

# 核技术利用建设项目

中国同辐放射源研发生产基地建设项目

# 环境影响报告书

四川中核同源科技有限公司

二〇二一年七月

环境保护部监制

# 核技术利用建设项目

中国同辐放射源研发生产基地建设项目

# 环境影响报告书

建设单位名称：四川中核同源科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省乐山市夹江县木城镇南安乡中核高通

邮政编码：614106

联系人：游世清

电子邮箱：2762770090@qq.com 联系电话：13990607129

## 目 录

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 图目录.....                    | I          |
| 附件目录.....                   | III        |
| <b>第一章 概 述.....</b>         | <b>1-1</b> |
| 1.1 项目名称、地点.....            | 1-1        |
| 1.1.1 名称.....               | 1-1        |
| 1.1.2 地点.....               | 1-1        |
| 1.2 项目概况.....               | 1-1        |
| 1.2.1 项目由来.....             | 1-1        |
| 1.2.2 项目基本情况.....           | 1-2        |
| 1.2.3 劳动定员和工作制度.....        | 1-11       |
| 1.2.4 区域规划与产业政策符合性.....     | 1-11       |
| 1.2.5 项目所在地周边环境简述.....      | 1-13       |
| 1.2.6 项目选址合理性分析.....        | 1-13       |
| 1.3 编制依据.....               | 1-14       |
| 1.3.1 国家相关法律.....           | 1-14       |
| 1.3.2 国家相关行政法规、条例.....      | 1-14       |
| 1.3.3 部门规章、规范性文件.....       | 1-15       |
| 1.3.4 技术规范和标准.....          | 1-15       |
| 1.3.5 与项目有关的文件、资料.....      | 1-16       |
| 1.4 评价标准.....               | 1-16       |
| 1.4.1 放射性评价标准.....          | 1-16       |
| 1.4.2 非放射性评价标准.....         | 1-18       |
| 1.5 评价等级.....               | 1-19       |
| 1.6 评价范围和保护目标.....          | 1-21       |
| 1.6.1 评价范围.....             | 1-21       |
| 1.6.2 保护目标.....             | 1-21       |
| <b>第二章 自然环境与社会环境状况.....</b> | <b>2-1</b> |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 2.1 自然环境状况.....             | 2-1        |
| 2.1.1 地理位置.....             | 2-1        |
| 2.1.2 地形、地貌.....            | 2-1        |
| 2.1.3 地质、地震.....            | 2-2        |
| 2.1.4 水文概况.....             | 2-4        |
| 2.1.5 气候气象.....             | 2-6        |
| 2.1.6 土壤、植被.....            | 2-6        |
| 2.1.7 矿产资源.....             | 2-7        |
| 2.2 环境质量和辐射现状.....          | 2-7        |
| 2.2.1 非放射性环境质量现状.....       | 2-7        |
| 2.2.2 辐射环境质量现状.....         | 2-14       |
| 2.4 场址适宜性评价.....            | 2-17       |
| <b>第三章 工程分析与源项.....</b>     | <b>3-1</b> |
| 3.1 项目规模与基本参数.....          | 3-1        |
| 3.1.1 项目建设情况.....           | 3-1        |
| 3.1.2 项目组成及依托的公辅设施.....     | 3-12       |
| 3.1.3 项目涉及核素的基本参数及理化性质..... | 3-16       |
| 3.1.4 产品规模.....             | 3-17       |
| 3.1.5 工作场所分级.....           | 3-18       |
| 3.2 工程设备与工艺分析.....          | 3-23       |
| 3.2.1 工程设备及主要原辅料消耗.....     | 3-23       |
| 3.2.2 工艺分析.....             | 3-30       |
| 3.2.3 人流和物流路径规划.....        | 3-62       |
| 3.3 污染源项.....               | 3-64       |
| 3.3.1 施工期污染源项.....          | 3-64       |
| 3.3.2 营运期污染源项.....          | 3-66       |
| 3.4 废弃物.....                | 3-80       |
| 3.4.1 放射性废弃物.....           | 3-80       |
| 3.4.2 非放射性废弃物.....          | 3-98       |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 3.5 总量控制.....              | 3-100      |
| 3.5.1 总量计算.....            | 3-100      |
| 3.5.2 总量控制指标.....          | 3-100      |
| <b>第四章 辐射安全与防护.....</b>    | <b>4-1</b> |
| 4.1 场所布局与屏蔽.....           | 4-1        |
| 4.1.1 场所布局.....            | 4-1        |
| 4.1.2 屏蔽设计.....            | 4-4        |
| 4.2 辐射安全与防护措施.....         | 4-15       |
| 4.2.1 建筑物屏蔽.....           | 4-15       |
| 4.2.2 生产装置屏蔽.....          | 4-15       |
| 4.2.3 工作场所与放射性物质的实体保卫..... | 4-17       |
| 4.2.4 操作过程中的辐射安全与防护措施..... | 4-18       |
| 4.2.5 其他辐射安全与防护措施.....     | 4-23       |
| 4.2.6 辐射安全与防护措施要求对照分析..... | 4-24       |
| 4.2.7 生产场所的防渗处理措施.....     | 4-25       |
| 4.3 三废的治理.....             | 4-26       |
| 4.3.1 放射性污染物治理措施.....      | 4-26       |
| 4.3.2 非放射性污染物治理措施.....     | 4-28       |
| 4.4 服务期满后的环境保护措施.....      | 4-30       |
| 4.4.1 设计阶段对退役实施的考虑.....    | 4-30       |
| 4.4.2 退役环保措施.....          | 4-30       |
| <b>第五章 环境影响分析.....</b>     | <b>5-1</b> |
| 5.1 建设阶段对环境的影响.....        | 5-1        |
| 5.1.1 施工期废气及其环境影响.....     | 5-1        |
| 5.1.2 施工期废水及其环境影响.....     | 5-4        |
| 5.1.3 施工期噪声及其环境影响.....     | 5-5        |
| 5.1.4 施工期固体废物及其环境影响.....   | 5-7        |
| 5.2 运行阶段对环境的影响.....        | 5-8        |
| 5.2.1 项目运行期放射性环境影响.....    | 5-8        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 5.2.2 项目运行期非放射性环境影响.....  | 5-115      |
| 5.3 事故影响分析.....           | 5-121      |
| 5.3.1 事故分级.....           | 5-121      |
| 5.3.2 辐射事故识别.....         | 5-122      |
| 5.3.3 最大潜在事故影响分析.....     | 5-124      |
| 5.3.4 事故预防措施.....         | 5-130      |
| <b>第六章 辐射安全管理.....</b>    | <b>6-1</b> |
| 6.1 机构与人员.....            | 6-1        |
| 6.1.1 辐射安全与环境保护机构.....    | 6-1        |
| 6.1.2 辐射工作人员配备计划.....     | 6-2        |
| 6.2 辐射安全管理规章制度.....       | 6-2        |
| 6.3 生产操作规程及岗位职责.....      | 6-4        |
| 6.4 辐射监测.....             | 6-6        |
| 6.4.1 个人剂量监测.....         | 6-6        |
| 6.4.2 工作场所监测.....         | 6-7        |
| 6.4.3 流出物监测.....          | 6-10       |
| 6.4.4 环境监测.....           | 6-11       |
| 6.4.5 监测设备.....           | 6-11       |
| 6.5 辐射事故应急.....           | 6-13       |
| 6.5.1 应急响应机构.....         | 6-13       |
| 6.5.2 应急响应.....           | 6-14       |
| 6.5.3 应急物资与保障.....        | 6-15       |
| 6.5.4 应急培训与演练.....        | 6-15       |
| <b>第七章 利益-代价简要分析.....</b> | <b>7-1</b> |
| 7.1 利益分析.....             | 7-1        |
| 7.1.1 产品用途.....           | 7-1        |
| 7.1.2 社会效益.....           | 7-1        |
| 7.1.3 直接效益.....           | 7-3        |
| 7.2 代价分析.....             | 7-5        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 7.2.1 社会代价.....        | 7-5        |
| 7.2.2 经济代价.....        | 7-6        |
| 7.2.3 环境代价.....        | 7-7        |
| <b>第八章 结论与建议.....</b>  | <b>8-1</b> |
| 8.1 项目工程概况.....        | 8-1        |
| 8.2 辐射安全与防护.....       | 8-1        |
| 8.3 环境影响分析.....        | 8-2        |
| 8.4 辐射安全管理.....        | 8-2        |
| 8.5 公众参与.....          | 8-3        |
| 8.6 建议和承诺.....         | 8-3        |
| 8.7 项目竣工验收检查内容及要求..... | 8-4        |
| 8.7.1 项目竣工验收检查内容.....  | 8-4        |
| 8.7.2 项目竣工验收检查要求.....  | 8-5        |

## 图目录

- 附图 1 项目地理位置图；
- 附图 2 项目外环境关系图；
- 附图 3-1 厂区总平面布置图；
- 附图 3-2 生产厂房和辐射中心负一层平面图；
- 附图 3-3 生产厂房和辐射中心一层平面图；
- 附图 3-4 生产厂房和辐射中心二层平面图；
- 附图 3-5 生产厂房和辐射中心三层平面图；
- 附图 3-6 研发楼一层平面图；
- 附图 3-7 研发楼二层平面图；
- 附图 3-8 研发楼三层平面图；
- 附图 3-9 研发楼四层平面图；
- 附图 3-10 研发楼屋顶平面图；
- 附图 4-1 生产厂房和辐射中心负一层辐射防护分区图；
- 附图 4-2 生产厂房和辐射中心一层辐射防护分区图；
- 附图 4-3 研发楼四层辐射防护分区图；
- 附图 4-4 生产厂房和辐射中心二层辐射防护分区图；
- 附图 5-1 生产厂房和辐射中心一层人流物流通道图；
- 附图 5-2 研发楼四层人流物流通道图；
- 附图 6-1 生产厂房和辐射中心负一层防渗分区图；
- 附图 6-2 生产厂房和辐射中心一层防渗分区图；
- 附图 6-3 研发楼四层防渗分区图；
- 附图 7-1 生产厂房和辐射中心负一层控制 III 区通风系统图；
- 附图 7-2 生产厂房和辐射中心负一层控制 II 区通风系统图；
- 附图 7-3 生产厂房和辐射中心一层通风系统图；
- 附图 7-4 生产厂房和辐射中心二层通风系统图；
- 附图 7-5 生产厂房和辐射中心三层通风系统图；
- 附图 7-6 研发楼四层通风系统图；



- 附图 8-1 生产厂房和辐射中心负一层监测点位图；
- 附图 8-2 生产厂房和辐射中心一层监测点位图；
- 附图 8-3 生产厂房和辐射中心二层监测点位图；
- 附图 8-4 生产厂房和辐射中心三层监测点位图；
- 附图 8-5 研发楼四层监测点位图；
- 附图 8-6 研发楼屋顶监测点位图；
- 附图 9-1 生产厂房和辐射中心一层安全联锁布局图；
- 附图 9-2 研发楼一层安全联锁布局图；
- 附图 9-3 研发楼四层安全联锁布局图；
- 附图 10 项目与园区规划关系图。

## 附件目录

附件 1 委托书；

附件 2 四川省固定资产投资投资项目备案表，夹江县发展和改革局，  
【2020-511126-25-03-419046】FGQB-0001 号；

附件 3 《乐山市夹江生态环境局关于四川中核同源科技有限公司放射源研发生产基地项目环境影响评价执行标准的通知》，乐山市夹江生态环境局，夹环审【2019】23 号；

附件 4 四川省生态环境厅关于《夹江核技术产业园规划环境影响报告书》的审查意见，四川省生态环境厅，川环建函[2019]57 号；

附件 5 监测报告，四川省核工业辐射测试防护院，辐测院监字（2017）第 H765 号；

附件 6 项目投资协议书；

附件 7 四川中核方原物流有限公司道路运输经营许可证；

附件 8 四川中核同源科技有限公司关于成立辐射安全与环境保护工作领导小组的通知，四川中核同源科技有限公司，中核同源发【2021】3 号。

# 第一章 概 述

## 1.1 项目名称、地点

### 1.1.1 名称

项目名称：中国同辐放射源研发生产基地建设项目。

建设单位：四川中核同源科技有限公司（以下简称中核同源）。

建设性质：新建。

### 1.1.2 地点

项目建设地点位于夹江核技术应用产业园西南侧（夹江县木城镇泉水村）。西南邻成渝环线高速公路（乐雅高速），东临园区规划道路及跃进渠。项目北偏东距木城镇约为 2km，东南距夹江县城约 11km，南距峨眉山市约 20km，东北距成都市约 100km。项目地理位置见附图 1。

## 1.2 项目概况

### 1.2.1 项目由来

中核同源为成都中核高通同位素股份有限公司（以下简称“中核高通”）为实施中国同辐总体战略，开展放射源研发生产基地建设而专门设立的项目公司。中核高通前身为中国核动力研究设计院第一研究所拥有同位素相关资产、业务和人员的下属单位，于 2002 年正式设立，由中国核动力研究设计院作为主发起人，将所属放射性同位素相关资产、人员以及业务进行剥离，与另外 7 家单位共同发起设立股份有限公司。2011 年，中国核工业集团对旗下核技术应用相关产业进行重组，将中国核动力研究设计院所属中核高通股权划拨给了中国同辐股份有限公司，使中国同辐股份有限公司成为中核高通的母公司。

中核同源是中核高通在四川省夹江县注册成立的全资子公司，拟从事放射源研发、生产和销售；放射源的回收与再利用；核技术咨询与服务；与核技术应用相关产品的研发、生产和销售；与核技术相关产品经营与进出口业务等。公司注册资金一亿元，成立于 2019 年 5 月 28 日，统一社会信用代码为

91511126MA67X4KH1Q。

为全面提升公司在放射源业务方面领先优势及核心竞争力，实现建设国际一流放射源研发生产基地的目标，公司拟实施中国同辐放射源研发生产基地建设项目，于夹江县夹江核技术应用产业园内新建厂区，用于放射源的生产与研发。

本项目涉及生产、使用 I 类、II 类、III 类、IV 类和 V 类放射源；销售 III 类、IV 类和 V 类放射源；甲级和乙级非密封放射性物质工作场所。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》的要求，公司应申领辐射安全许可证，应进行环境影响评价。根据中华人民共和国生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录》，本项目属于“五十五核与辐射”中“172.核技术利用建设项目——生产放射性同位素的（制备 PET 用放射性药物的除外），使用 I 放射源的（医疗使用的除外），甲级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告书。为此，中核同源委托中国核动力研究设计院承担本项目的环境影响报告书编制工作（委托书见附件 1）。我单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《中国同辐放射源研发生产基地建设项目环境影响报告书》。

### 1.2.2 项目基本情况

项目总投资 56000 万元，占地面积约 59333m<sup>2</sup>，总建筑面积 23630m<sup>2</sup>。

建设内容包括：

①生产厂房和辐射中心：在生产厂房和辐射中心内开展 $\gamma$ 射线辐照应用；生产 Co-57 源、Ge-68 源、Sn-In 发生器、Pm-147 源、Kr-85 源、C-14 源以及 Cs-137 源等 7 类放射源，设 1 个  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间（开展  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  放射源制备实验研究）；建设 1 个放射源库，设置 1 条退役  $^{60}\text{Co}$  工业源再利用生产线；

②放射源研发中心：开展豁免源制备或放射源制备研发，为乙级非密封放射性物质工作场所。研发中心内设非放实验室，放化实验室和 17 条标准源（豁免源）制备间；

③配套建设运行支持楼、物流中心及库房、大门及值班室等辅助设施。

### 1.2.2.1 建设内容

#### 1.2.2.1.1 主体工程

##### (1) 生产厂房和辐射中心

生产厂房和辐射中心为局部地下1层,地上3层建筑物,建筑占地面积10120m<sup>2</sup>,建筑面积13230m<sup>2</sup>,建筑高度15.3m。该建筑主要分为三大部分:

设置辐射技术应用中心开展钴-60 放射源 $\gamma$ 射线辐照工作;生产厂房内布置Co-57源、Ge-68源、Sn-In发生器、Pm-147源、Kr-85源、C-14源以及Cs-137源共计7条生产线,设<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y实验间;建设放射源库用于暂存高通公司回收的放射源及产品放射源,并建一间热室开展退役<sup>60</sup>Co放射源再利用。

##### ① 辐射技术应用中心

生产厂房和辐射中心内的东北面设置辐射技术应用中心,辐射技术应用中心地上三层,一层布置辐照装置,设有控制、计量、质检、产品试验、设备、维护等配套用房及未辐照产品库、已辐照产品库等仓储用房。二层布置办公、实验、剂量等配套用房。三层布置源升降设备、风机、配电等配套用房。辐照大厅贯通地上一层和二层。

辐射技术应用中心配置FJX-2型辐照装置,利用退役钴-60放射源制作的新源开展仪器设备材料辐照老化试验以及普通货物辐照灭菌保鲜等 $\gamma$ 射线辐照应用,设计装源量为 $1.48 \times 10^{17}$ Bq ( $4 \times 10^6$ Ci)。

##### ② 放射源库

生产厂房和辐射中心内的西北侧为放射源库,放射源库地上一层,源库内布置有贮源水井、贮存地坑、空容器贮存间及一间整备热室,并设有监控、更衣、去污、热室操作、水井、水质处理、排风等辅助用房。

源库配置吊车(12t)和小型搬运车,用于成品源、整个高通公司回收的退役放射源的集中贮存。源库建造一间整备热室,用于对回收的退役<sup>60</sup>Co放射源进行再利用生产。整备热室按照单次操作 $2.59 \times 10^{14}$ Bq的<sup>60</sup>Co密封放射源进行屏蔽设计,整备热室墙体为厚度1050mm的重混凝土,窥视窗为铅当量为321mmPb的铅玻璃。

##### ③ 生产厂房

生产厂房和辐射中心内的南侧为生产厂房,为地上一层和地下一层共两层的结构,生产厂房为非密封放射性物质工作场所。厂房一层布置包括<sup>57</sup>Co源、<sup>68</sup>Ge源、

Sn-In 发生器、 $^{147}\text{Pm}$  源、 $^{85}\text{Kr}$  源、 $^{14}\text{C}$  源、 $^{137}\text{Cs}$  源生产线在内的共计 7 条生产线和 1 个  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间，配套建设辅助工艺系统，并设有控制、值班、设备、卫生通过、排风、配电等各种辅助用房等。负一层布置废气处理间、滤液水罐间、低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、通风过滤器间以及固体废物暂存间。生产厂房设 4 间普通混凝土热室和 26 个不锈钢箱室，主要用于 7 类密封放射源的生产 and  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  放射源的试验研发，7 条生产线具体情况如下：

#### I、Co-57 源生产线

Co-57 源生产线设屏蔽手套箱 4 个，该生产线对于  $^{57}\text{Co}$  核素的单批次最大操作量为  $1.1\times 10^8\text{Bq}$ ，日最大操作量为  $4.4\times 10^8\text{q}$ ，日等效操作量为  $4.4\times 10^7\text{Bq}$ ，年最大操作量为  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

Co-57 源生产线主要产品为刻度源，主要用于仪表刻度以及科研、教学，产品密封源活度范围为  $3.7\times 10^7\text{Bq}\sim 1.1\times 10^8\text{Bq}$ ，均属于 V 类源。年产量约 1000 枚，总活度约  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

#### II、Ge-68 源生产线

Ge-68 源生产线设屏蔽手套箱 4 个，该生产线对 Ge 核素的单批次最大操作量为  $1.0\times 10^8\text{Bq}$ ，日最大操作量为  $2.0\times 10^8\text{Bq}$ ，日等效操作量为  $2.0\times 10^7\text{Bq}$ ，年最大操作量为  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

Ge-68 源生产线产品密封源活度范围为  $1.0\times 10^5\text{Bq}\sim 1.0\times 10^8\text{Bq}$ ，均属于 V 类源，主要用于仪器刻度，年产量约 1000 枚，总活度约  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

#### III、Sn-In 发生器生产线

Sn-In 发生器生产线设屏蔽手套箱 4 个，该生产线对 Sn-In 核素的单批次最大操作量为  $6.3\times 10^9\text{Bq}$ ，日最大操作量为  $1.89\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效操作量为  $1.89\times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大操作量为  $7.4\times 10^{11}\text{Bq}$ （20Ci）。

Sn-In 发生器生产线产品活度范围为  $1.85\times 10^9\text{Bq}\sim 6.3\times 10^9\text{Bq}$ ，主要用于油田测井，年产量约 400 个，总活度约  $7.4\times 10^{11}\text{Bq}$ （20Ci）。

#### IV、Pm-147 源生产线

Pm-147 源生产线设屏蔽手套箱 5 个，该生产线对于  $^{147}\text{Pm}$  核素的单批次最大操作量为  $2.59\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日最大操作量为  $2.59\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效操作量为  $2.59\times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大操作量为  $1.85\times 10^{12}\text{Bq}$ （50Ci）。

Pm-147 源生产线产品活度范围为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq} \sim 2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，均属于 V 类源，主要用于测厚以及科研、教学等。年产量约 100 枚，总活度约  $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$  (50Ci)。

#### V、气体源生产线

气体源生产线设屏蔽手套箱 1 个。该生产线对于  $^{85}\text{Kr}$  核素的单批次最大操作量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日最大操作量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效操作量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  年最大操作量为  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  (100Ci)。

气体源生产线产品活度范围为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq} \sim 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，均属于 V 类源活度范围，主要用于测厚以及科研、教学等。年产量约 1000 枚，总活度约  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  (100Ci)。

#### VI、C-14 源生产线

C-14 源生产线设屏蔽手套箱 1 个。该生产线对  $^{14}\text{C}$  核素的单批次最大操作量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最大操作量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效操作量 C-14 源为  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci)。

C-14 源生产线产品活度范围为  $1.0 \times 10^6 \text{Bq} \sim 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，均属于豁免源或 V 类源，主要用于 PM2.5 的监测，年产量约 20000 枚，总活度约  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci)。

#### VII、Cs-137 源生产线

Cs-137 源生产线设 4 间热室和 6 个屏蔽工作箱（本项目只用其中的 7#~10#4 个屏蔽工作箱）。该生产线对  $^{137}\text{Cs}$  核素的单批次最大操作量为  $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日最大操作量为  $2.22 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效操作量为  $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $3.7 \times 10^{13} \text{Bq}$  (1000Ci)。

Cs-137 源生产线产品活度范围为  $3.7 \times 10^6 \sim 1.11 \times 10^{11}$ ，属于 III、IV 或 V 类源，主要用于仪表刻度，年产量约 1000 枚，总活度约  $3.7 \times 10^{13} \text{Bq}$  (1000Ci)。

#### ④ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间位于生产厂房内西侧，主要开展  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  密封放射源的制备实验研究工作，无产品计划。 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验室设置 1 个屏蔽手套箱。该实验间设计日最大操作量  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效操作量为  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，每年操作 15 天，年最大操作量为  $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1.5Ci)。

整个生产厂房总的日等效操作量考虑包括上述放射性核素操作及放射性原料的储存，其和为  $5.25 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。



## (2) 研发中心

研发中心研发楼占地面积 1137m<sup>2</sup>，建筑面积 4658m<sup>2</sup>，楼高 4 层。用于对焊接工艺验证、放射源安全性能试验、计量器具管理、核素研发试验、豁免标准源制备等。一层主要为货包试验区、分级试验区、金相试验区等。二层主要为焊接试验区、物理测试间、试剂间、资料室、库房等。三层主要为焊接工艺评定试验间、货包跌落试验间、非放实验室、物理测试间等。四层主要为标准源生产间、放化实验室等。研发楼内涉及放射性核素操作的场所为四层的放化实验室和标准源生产间。

放化实验室涉及操作 <sup>57</sup>Co、<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C、<sup>22</sup>Na、<sup>51</sup>Cr、<sup>54</sup>Mn、<sup>65</sup>Zn、<sup>68</sup>Ge、<sup>109</sup>Cd、<sup>113</sup>Sn、<sup>131</sup>Ba、<sup>147</sup>Pm、<sup>152</sup>Eu、<sup>153</sup>Gd、<sup>203</sup>Hg、<sup>85</sup>Sr、<sup>88</sup>Y 等 17 种放射性核素；标准源生产线主要涉及 <sup>60</sup>Co 源、<sup>198</sup>Au 源、<sup>170</sup>Tm 源、<sup>210</sup>Pb 源、<sup>153</sup>Gd 源、<sup>154</sup>Eu 源、<sup>35</sup>S 源、<sup>133</sup>Ba 源、<sup>106</sup>Ru 源、<sup>169</sup>Yb 源、<sup>152</sup>Eu 源、<sup>144</sup>Ce 源、<sup>55</sup>Fe 源、<sup>22</sup>Na 源、<sup>109</sup>Cd 源、<sup>99</sup>Tc 源、<sup>36</sup>Cl 源等 17 种豁免源的制备，研发中心总的日等效操作量为 3.60×10<sup>9</sup>Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。各放射性核素操作量见表 1.2-1。

### 1.2.2.1.2 公用辅助工程

#### (1) 物流中心及库房

物流中心及库房位于本项目厂区东南侧，地上一层建筑，占地面积 1682m<sup>2</sup>，建筑面积 1682m<sup>2</sup>。物流中心主要布置 10 辆小货车停车位、10 辆大货车停车位、检修间等房间。库房设置金属材料库房（50m<sup>2</sup>）、气瓶库房（50m<sup>2</sup>）、其它库房（100m<sup>2</sup>），分类储存非放物资。

#### (2) 运行支持楼

运行支持楼为地上 4 层建筑物，占地面积 1000m<sup>2</sup>，建筑面积 4000m<sup>2</sup>。主要布置办公室、会议室、财务间、陈列间、档案室、接待室、监控室、库房及其他配套用房等。

#### (3) 大门及值班室

大门及值班室位于本项目厂区北侧，值班室为一层建筑，占地面积 60m<sup>2</sup>，总建筑面积 60m<sup>2</sup>，供保安人员值班用。

### 1.2.2.1.3 非密封放射性同位素

本项目操作的核素包括生产厂房操作 <sup>57</sup>Co、<sup>68</sup>Ge、<sup>113</sup>Sn/<sup>113m</sup>In、<sup>147</sup>Pm、<sup>85</sup>Kr、<sup>14</sup>C、



$^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ；研发楼放化实验室操作  $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$  以及  $^{88}\text{Y}$  等 17 种核素；标准源生产线操作  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  等 17 种核素生产豁免源。各放射性核素操作的具体情况见表 1.2-1。

表1.2-1 放射源同位素操作情况

| 序号 | 工作场所名称   | 场所等级 | 核素                                 | 日等效操作量 (Bq)           | 年操作量 (Bq)             | 活动种类     | 备注                                |
|----|--|------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------------------|
| 1  | 生产厂房   | 甲级   | $^{57}\text{Co}$                   | $4.4 \times 10^7$     | $3.7 \times 10^{10}$  | 生产、使用、销售 | 生产厂房的场所等级由所有核素的日等效操作量以及所储存的核素之和决定 |
| 2  |  |      | $^{68}\text{Ge}$                   | $2.0 \times 10^7$     | $3.7 \times 10^{10}$  | 生产、使用、销售 |                                   |
| 3  |  |      | $^{113}\text{Sn}/^{113m}\text{In}$ | $1.89 \times 10^{11}$ | $7.4 \times 10^{11}$  | 生产、使用、销售 |                                   |
| 4  |  |      | $^{147}\text{Pm}$                  | $2.59 \times 10^{11}$ | $1.85 \times 10^{12}$ | 生产、使用、销售 |                                   |
| 5  |  |      | $^{85}\text{Kr}$                   | $3.7 \times 10^{10}$  | $3.7 \times 10^{12}$  | 生产、使用、销售 |                                   |
| 6  |  |      | $^{14}\text{C}$                    | $3.7 \times 10^9$     | $3.7 \times 10^{10}$  | 生产、使用、销售 |                                   |
| 7  |  |      | $^{137}\text{Cs}$                  | $2.22 \times 10^9$    | $3.7 \times 10^{13}$  | 生产、使用、销售 |                                   |
| 8  |  |      | $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$     | $3.7 \times 10^9$     | $5.55 \times 10^{10}$ | 生产、使用    |                                   |
| 9  | 储存 7 条生产线及 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 研发原料 |      | /                                  | $3.0 \times 10^{10}$  | /                     | 储存       |                                   |

生产厂房总的日等效操作量为  $5.25 \times 10^{11}\text{Bq}$

|    |            |    |                   |                    |                    |    |                                     |
|----|------------|----|-------------------|--------------------|--------------------|----|-------------------------------------|
| 9  | 研发中心放化试验室一 | 乙级 | $^3\text{H}$      | $1.85 \times 10^7$ | $5.55 \times 10^9$ | 使用 | 总日等效操作量 $1.72 \times 10^9\text{Bq}$ |
| 10 |            |    | $^{14}\text{C}$   | $1.85 \times 10^7$ | $5.55 \times 10^9$ | 使用 |                                     |
| 11 |            |    | $^{68}\text{Ge}$  | $1.85 \times 10^8$ | $9.25 \times 10^9$ | 使用 |                                     |
| 12 |            |    | $^{85}\text{Sr}$  | $1.85 \times 10^8$ | $9.25 \times 10^9$ | 使用 |                                     |
| 13 |            |    | $^{131}\text{Ba}$ | $1.85 \times 10^8$ | $5.55 \times 10^9$ | 使用 |                                     |
| 14 |            |    | $^{51}\text{Cr}$  | $1.85 \times 10^7$ | $5.55 \times 10^9$ | 使用 |                                     |
| 15 |            |    | $^{113}\text{Sn}$ | $1.85 \times 10^7$ | $5.55 \times 10^9$ | 使用 |                                     |
| 16 |            |    | $^{153}\text{Gd}$ | $1.85 \times 10^8$ | $5.55 \times 10^9$ | 使用 |                                     |

| 序号 | 工作场所名称               | 场所等级 | 核素                | 日等效操作量 (Bq)          | 年操作量 (Bq)             | 活动种类         | 备注                                     |
|----|----------------------|------|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------|--|
| 17 |                      |      | <sup>203</sup> Hg | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 18 |                      |      | <sup>57</sup> Co  | 1.85×10 <sup>8</sup> | 1.85×10 <sup>10</sup> | 使用           |  |
| 19 |                      |      | <sup>109</sup> Cd | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 20 |                      |      | <sup>147</sup> Pm | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 21 |                      |      | <sup>88</sup> Y   | 1.85×10 <sup>8</sup> | 9.25×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 22 | 研发中心<br>放化试验<br>室二   |      | <sup>22</sup> Na  | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | 使用           | 总日等效操<br>作量<br>1.85×10 <sup>9</sup> Bq |
| 23 |                      |      | <sup>54</sup> Mn  | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 24 |                      |      | <sup>65</sup> Zn  | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 25 |                      |      | <sup>152</sup> Eu | 1.11×10 <sup>9</sup> | 3.33×10 <sup>9</sup>  | 使用           |  |
| 26 |                      |      | <sup>60</sup> Co  | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>5</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 27 | 研发中心<br>标准源生<br>产实验室 |      | <sup>198</sup> Au | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>6</sup>     | 生产、使用、<br>销售 | 总日等效操<br>作量<br>5.21×10 <sup>5</sup> Bq |
| 28 |                      |      | <sup>170</sup> Tm | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>6</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 29 |                      |      | <sup>210</sup> Pb | 1×10 <sup>3</sup>    | 1×10 <sup>4</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 30 |                      |      | <sup>153</sup> Gd | 1×10 <sup>5</sup>    | 1×10 <sup>7</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 31 |                      |      | <sup>154</sup> Eu | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>5</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 32 |                      |      | <sup>35</sup> S   | 1×10 <sup>5</sup>    | 1×10 <sup>7</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 33 |                      |      | <sup>133</sup> Ba | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>6</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 34 |                      |      | <sup>106</sup> Ru | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>5</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 35 |                      |      | <sup>169</sup> Yb | 1×10 <sup>5</sup>    | 1×10 <sup>7</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 36 |                      |      | <sup>152</sup> Eu | 1×10 <sup>5</sup>    | 1×10 <sup>6</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 37 |                      |      | <sup>144</sup> Ce | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>5</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 38 |                      |      | <sup>55</sup> Fe  | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>6</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |
| 39 |                      |      | <sup>22</sup> Na  | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>6</sup>     | 生产、使用、<br>销售 |  |

| 序号 | 工作场所名称     | 场所等级 | 核素                | 日等效操作量 (Bq)        | 年操作量 (Bq)       | 活动种类     | 备注 |
|----|------------|------|-------------------|--------------------|-----------------|----------|----|
| 40 |            |      | $^{109}\text{Cd}$ | $1 \times 10^4$    | $1 \times 10^6$ | 生产、使用、销售 |    |
| 41 |            |      | $^{99}\text{Tc}$  | $1 \times 10^4$    | $1 \times 10^7$ | 生产、使用、销售 |    |
| 42 |            |      | $^{36}\text{Cl}$  | $1 \times 10^4$    | $1 \times 10^6$ | 生产、使用、销售 |    |
| 43 | 储存研发中心试验原料 |      | /                 | $2.75 \times 10^7$ | /               | 储存       |    |

研发中心场所等级由三个场所的总的日等效操作量之和决定，为  $3.60 \times 10^9 \text{Bq}$

#### 1.2.2.1.4 密封放射源

本项目操作的密封放射源主要包括辐射技术应用中心使用 $^{60}\text{Co}$ 放射源开展辐照应用以及在放射源库整备热室利用回收的退役 $^{60}\text{Co}$ 放射源生产钴-60工业源。

辐射技术应用中心利用放射源库回收整备的 $^{60}\text{Co}$ 放射源开展辐照，辐照室的设计装源量为 $1.48 \times 10^{17} \text{Bq}$  (400万Ci)；放射源库的整备热室主要从事对回收的退役 $^{60}\text{Co}$ 源再利用生产，每批次最多操作 $^{60}\text{Co}$ 密封源 $2.59 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，每天最多生产 $^{60}\text{Co}$ 源7批次，日最大操作 $1.81 \times 10^{15} \text{Bq}$ 。产品规格为 $2.59 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，属于 I 类源，设计年操作100批次，年生产能力为 $2.59 \times 10^{16} \text{Bq}$  (70万Ci)。

#### 1.2.2.2 产品方案

本项目产品包括 $^{57}\text{Co}$ 放射源、 $^{68}\text{Ge}$ 放射源、Sn-In发生器、 $^{147}\text{Pm}$ 放射源、 $^{85}\text{Kr}$ 放射源、 $^{14}\text{C}$ 放射源、 $^{137}\text{Cs}$ 放射源、 $^{60}\text{Co}$ 工业辐照源和17种标准源，涉及钴-57、锗-68、锡-113、钷-147、氙-85、碳-14、铯-137以及钴-60等核素。本项目产品方案详见表1.2-2。

表1.2-2 项目产品方案

| 序号 | 产品名称                | 原料                      | 年销售规模                                       | 平均单枚放射源活度 (Bq/枚)                           | 用途        | 销售模式       |
|----|---------------------|-------------------------|---|--|-----------|------------|
| 1  | $^{57}\text{Co}$ 源  | $^{57}\text{CoCl}_2$ 溶液 | 约1000枚，总活度 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$   | $3.7 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$     | 刻度源       | 以销定产，不长期库存 |
| 2  | $^{68}\text{Ge}$ 源  | $^{68}\text{GeCl}_4$ 溶液 | 约 1000 枚，总活度 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ | $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^8$     | 校正源       |            |
| 3  | Sn-In发生器            | $^{113}\text{Sn}$ 块     | 约 400 套，总活度 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$  | $1.85 \times 10^9 \sim 6.3 \times 10^9$    | 油田测井      |            |
| 4  | $^{147}\text{Pm}$ 源 | $^{147}\text{PmCl}_3$   | 约 100 枚，总活度 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ | $7.4 \times 10^9 \sim 2.59 \times 10^{10}$ | 测厚以及科研、教学 |            |

|    |                    |                                     |                                       |  |           |            |
|----|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-----------|------------|
| 5  | <sup>85</sup> Kr源  | <sup>85</sup> Kr 气体                 | 约 1000 枚,总活度 $3.7 \times 10^{12}$ Bq  | $3.7 \times 10^8 \sim 3.7 \times 10^{10}$  | 测厚以及科研、教学 |            |
| 6  | <sup>14</sup> C源   | Ba <sup>14</sup> CO <sub>3</sub> 溶液 | 约 20000 枚,总活度 $3.7 \times 10^{10}$ Bq | $1.0 \times 10^6 \sim 3.7 \times 10^8$     | 监测PM2.5   |            |
| 7  | <sup>137</sup> Cs源 | <sup>137</sup> Cs 源半成品              | 约 1000 枚,总活度 $3.7 \times 10^{13}$ Bq  | $3.7 \times 10^6 \sim 1.11 \times 10^{11}$ | 仪表刻度      |            |
| 8  | <sup>60</sup> Co源  | 退役 <sup>60</sup> Co 工业源             | 约 100 枚,总活度 $2.59 \times 10^{16}$ Bq  | $2.59 \times 10^{14}$                      | 工业辐照      | 不销售,用于辐照中心 |
| 9  | <sup>60</sup> Co源  | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^5$ Bq          | $1 \times 10^4$                            | 标准源       | 以销定产,不库存   |
| 10 | <sup>198</sup> Au源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 11 | <sup>170</sup> Tm源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 12 | <sup>210</sup> Pb源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^4$ Bq          | $1 \times 10^3$                            | 标准源       |            |
| 13 | <sup>153</sup> Gd源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^7$ Bq          | $1 \times 10^6$                            | 标准源       |            |
| 14 | <sup>154</sup> Eu源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^5$ Bq          | $1 \times 10^4$                            | 标准源       |            |
| 15 | <sup>35</sup> S源   | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^7$ Bq          | $1 \times 10^6$                            | 标准源       |            |
| 16 | <sup>133</sup> Ba源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 17 | <sup>106</sup> Ru源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^5$ Bq          | $1 \times 10^4$                            | 标准源       |            |
| 18 | <sup>169</sup> Yb源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^7$ Bq          | $1 \times 10^6$                            | 标准源       |            |
| 19 | <sup>152</sup> Eu源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 20 | <sup>144</sup> Ce源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^5$ Bq          | $1 \times 10^4$                            | 标准源       |            |
| 21 | <sup>55</sup> Fe源  | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 22 | <sup>22</sup> Na源  | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 23 | <sup>109</sup> Cd源 | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^6$ Bq          | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |
| 24 | <sup>99</sup> Tc源  | 溶液                                  | 约 10 枚,活度 $1 \times 10^7$ Bq          | $1 \times 10^6$                            | 标准源       |            |
| 25 | <sup>36</sup> Cl源  | 溶液                                  | 约 10 枚,活度                             | $1 \times 10^5$                            | 标准源       |            |

|  |  |  |                           |  |  |
|--|--|--|---------------------------|--|--|
|  |  |  | $1 \times 10^6 \text{Bq}$ |  |  |
|--|--|--|---------------------------|--|--|

上述产品完成生产后，产品销售的运输由高通公司所属的方圆物流公司承担，项目单位具有运输资质（公司运输资质见附件 7），有能力开展项目产品的运输。

### 1.2.3 劳动定员和工作制度

项目建成后中核同源公司拟配置工作人员 113 名，配置生产人员 93 人，管理人员 20 人，公司辐射工作人员 61 名。人员结构具体如下：

表 1.2-3 公司人员配置表

| 序号 | 类别   | 项目           | 人数（人） | 年工作时间（天） | 备注 |
|----|------|--------------|-------|----------|----|
| 1  | 运行人员 | 辐射技术应用中心工作人员 | 8     | 250      |    |
| 2  |      | 放射源库工作人员     | 8     | 250      |    |
| 3  |      | 检修人员         | 6     | 250      |    |
| 4  |      | 生产厂房工作人员     | 20    | 250      |    |
| 5  |      | 检测人员         | 4     | 250      |    |
| 6  | 研发人员 |              | 25    | 250      |    |
| 7  | 物流人员 |              | 22    | 250      |    |
| 8  | 管理人员 | 综合管理         | 7     | 250      |    |
| 9  |      | 安全质量         | 4     | 250      |    |
| 10 |      | 库管           | 3     | 250      |    |
| 11 |      | 技术管理人员       | 2     | 250      |    |
| 12 |      | 采购销售人员       | 4     | 250      |    |
| 合计 |      |              | 113   |          |    |

注：各个岗位工作人员独立设置不交叉操作

### 1.2.4 区域规划与产业政策符合性

#### (1) 与国家产业政策的符合性

本项目选址在夹江核技术应用产业园内，夹江核技术应用产业园以核技术应用产业为主导，重点发展放射性同位素研发及应用、密封放射源和放射性药物研发及生产、辐照加工、核仪器仪表和放射医疗设备研发设计及制造、核技术服务等相关产业。由此可见，本项目属于放射性同位素研发及应用、辐照加工项目，与园区产业发展方向一致，符合园区规划要求。

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于**鼓励类**第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，项目符合国家产业政策。

**因此，本项目符合国家现行产业政策要求。**

## (2) 项目与相关规划的符合性分析

### ①与地方发展规划的符合性

乐山市为了加快推动乐山市军民融合产业集聚化、规模化、高端化发展，促进军工经济与区域经济融合发展，制定了《乐山市军民融合产业基地发展规划（2016—2030）》，该规划产业定位为“发展以放射医疗设备和放射性药物、辐照加工、工业放射源及相关检测仪器仪表为主的核技术应用产业；以核电配套设备研发设计、民用核燃料、核电装备、模块化小型堆为主的核能产业；以高性能碳纤维复合材料、高性能陶瓷材料等为主的军民两用新材料产业”；本项目主要生产各类工业放射源因此，本项目是符合《乐山市城市总体规划（2011-2030）》（2017版）相关规划要求的。夹江县发展和改革局以“川投资备【2020-511126-25-03-419046】FGQB-0001号”同意本项目立项，见附件2。

### ②与夹江核技术应用产业园规划的符合性

中共乐山市委、乐山市人民政府《关于加快推进“一总部三基地”建设的实施意见》（乐委发[2017]4号）中，明确指出“一总部”：打造“总部经济、创新高地、现代新城”三位一体的总部经济聚集区；“三基地”：五通桥基地打造全省循环经济示范区，犍为基地打造全省临港产业示范区，夹江基地打造全省军民融合产业示范区。其中，“夹江基地”重点发展民用核燃料、医用同位素、核电装备、高性能复合材料及军工配套等产业。”本项目生产的 $^{57}\text{Co}$ 源、Sn-In发生器、 $^{85}\text{Kr}$ 源、Co-60工业辐照源以及Cs-137源属于同位素应用，符合《关于加快推进“一总部三基地”建设的实施意见》文件的精神，同时项目的实施能够积极推进相关产业化进程。

本项目拟建于夹江核技术应用产业园内，园区于2019年编制完成《夹江核技术应用产业园规划环境影响报告书》，并取得了四川省生态环境厅《关于夹江核技术应用产业园规划环境影响报告书的审查意见》（川环建函[2019]57号）（附件4）。该规划环评及其审查意见中明确了园区准入负面清单包括：①不符合国家环保法律法规、产业政策、环境标准、准入条件、列入国家产能过剩的项目；②贮存、生产

危险化学品的企业；③核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产、加工、贮存、后处理；铀矿开采、冶炼；铀矿地质勘探、退役治理；伴生放射性矿产资源的采选等项目。本项目属于工业放射源的生产及应用，未列入负面清单，符合入园要求。同时，该规划环评及其审查意见中明确：鼓励园区引入符合夹江县核技术应用产业园主导产业项目，园区规划以核技术应用产业为主导产业。重点发展放射性同位素研发及应用、密封放射源和放射性药物研发及生产、辐照加工、核仪器仪表和放射医疗设备研发设计及制造、核技术服务等相关产业的项目；鼓励发展主业的下游产业、循环经济项目中与区域规划实施不冲突的企业。本项目属于密封放射源研发、生产及辐照加工项目，符合入园要求。

综上所述，本项目与国家产业政策、地方产业政策以及夹江核技术产业园规划均相符，项目符合区域相关规划。

### 1.2.5 项目所在地周边环境简述

本项目选址位于夹江核技术产业园西南侧，目前项目拟建地及其周边均为在建工地或空地，项目拟建地西南邻成渝环线高速公路（乐雅高速），东临园区规划道路。东面隔园区规划道路为跃进渠，再往东为园区核技术应用综合配套区，北面为工业企业，目前暂无拟引入的企业，为空地。

### 1.2.6 项目选址合理性分析

#### (1) 与园区功能的相容性

本项目选址于夹江核技术产业园核技术应用生产区的南端，西南邻成渝环线高速公路（乐雅高速），东隔园区规划道路为园区核技术应用综合配套区。本项目为密封放射源研发及生产，未列入夹江核技术产业园的负面清单，为园区主导产业之一。项目符合园区的产业规划。

本项目产生污水在园区污水处理厂建成投运前排入木城污水处理厂进行处理，园区污水处理厂建成投运后排入园区污水处理厂进行处理，项目产生的污水可充分依托园区或周边已有的污水处理设施对项目污水进行处理。同时项目可充分依托园区配套完善的给排水、供配电、供气等配套设施，且园区交通便利，便于项目生产所需的原料和生产产品的运输。



## (2) 与周围环境关系的相容性

由前述项目外环境关系描述可知，西南邻成渝环线高速公路，东面隔园区规划道路为园区核技术应用综合配套区，北面为园区内性质和本项目类似的企业，南面地块为园区配套设施。

项目周围无学校、医院以及大型居民聚集区，无项目建设的限制性因素。项目周边为类似医药生产企业，无易燃、易爆物品的生产和贮存区，项目所在地的环境适合项目的建设。

综上所述，本项目选址与周边环境相容，并且综合考虑项目所在地周边的自然环境、社会经济状况和环境质量现状，本项目选址较为合理。

## 1.3 编制依据

### 1.3.1 国家相关法律

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015年1月1日实施；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018年12月29日实施；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日实施；
- (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018年10月26日实施；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018年1月1日实施；
- (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年9月1日实施；
- (7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2018年12月29日实施。

### 1.3.2 国家相关行政法规、条例

- (1) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日；
- (2) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院令 562 号，2010 年 1 月 1 日；
- (3) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 612 号，2012 年 3 月 1 日；
- (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日施行；
- (5) 《危险化学品安全管理条例》(2002 年 1 月 26 日中华人民共和国国务院令 344 号公布，2011 年 2 月 16 日国务院第 144 次常务会议修订通过)，中华人民共和国国务院令 591 号。



### 1.3.3 部门规章、规范性文件

- (1) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施；
- (2) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日起实施；
- (3) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起实施；
- (4) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，国家发展和改革委员会令第 29 号，2020 年 1 月 1 日起实施。
- (5) 《放射源分类方法》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日发布
- (6) 关于发布《放射性废物分类》的公告，环公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起实施。

### 1.3.4 技术规范和标准

- (1) 《辐射环境保护管理导则·核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ/T10.1-2016）；
- (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (3) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）；
- (4) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；
- (5) 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89）；
- (6) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）；
- (7) 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-1991）；
- (8) 《放射性同位素生产和加工中的辐射防护监测》（EJ748-1993）；
- (9) 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；
- (10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- (11) 《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）；
- (12) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）；
- (13) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；

- (14) 《 $\gamma$ 辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB10252-2009)；
- (15) 《环境影响评价技术导则·总纲》(HJ2.1-2016)；
- (16) 《环境影响评价技术导则·大气环境》(HJ2.2-2018)；
- (17) 《环境影响评价技术导则·地表水环境》(HJ2.3-2018)；
- (18) 《环境影响评价技术导则·声环境》(HJ2.4-2009)。

### 1.3.5 与项目有关的文件、资料

- (1) 《中国同辐放射源研发生产基地建设可行性研究报告》，中国核电工程有限公司，2019年12月；
- (2) 四川中核同源科技有限公司《中国同辐放射源研发生产基地建设项目建议书》，成都中核同源有限责任公司，2020年12月；
- (3) 其他相关文件资料。

## 1.4 评价标准

### 1.4.1 放射性评价标准

#### 1.4.1.1 剂量约束值

本项目正常运行期间对职业人员和公众中任何个人造成的有效剂量的约束值依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定：“对任何工作人员的照射的剂量限值由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）不超过20mSv，其中任何一年中的有效剂量不超过50mSv；公众照射剂量限值是公众中有关关键人群组的成员所受到的平均个人年有效剂量估计值不超过1mSv”，同时，结合本项目的实际情况，提出了严于国家标准的职业照射和公众照射的剂量约束值，见表1.4-1，以此作为本项目辐射环境影响评价标准。

表 1.4-1 辐射环境影响评价标准 单位：mSv/a

| 分类   | GB18871-2002 基本限值标准 | 剂量约束值 |
|------|---------------------|-------|
| 职业照射 | 20                  | 5     |
| 公众照射 | 1                   | 0.1   |

### 1.4.1.2 工作场所的放射性表面污染控制水平

遵循《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定,确定工作场所的放射性表面污染控制水平如下表。

表 1.4-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位: Bq/cm<sup>2</sup>

| 表 面 类 型          |                  | β放射性物质             |
|------------------|------------------|--------------------|
| 工作台、设备、<br>墙壁、地面 | 控制区(该区内的高污染子区除外) | 40                 |
|                  | 监督区              | 4                  |
| 工作服、手套、<br>工作鞋   | 控制区              | 4                  |
|                  | 监督区              |                    |
| 手、皮肤、内衣、工作袜      |                  | 4×10 <sup>-1</sup> |

### 1.4.1.3 事故分级

根据中华人民共和国国务院令第 709 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条之规定,根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素,从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大事故,是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果,或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡。

重大辐射事故,是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故,是指 III 类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下(含 9 人)急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故,是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

## 1.4.2 非放射性评价标准

### 1.4.2.1 环境质量标准

根据夹环审【2019】23号文“乐山市夹江生态环境局关于四川中核同源科技有限公司放射源研发生产基地项目环境影响评价执行标准的通知”（附件3），项目厂址区域环境质量执行以下标准：

#### (1) 环境空气质量标准

环境空气质量标准执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

#### (2) 地表水环境质量标准

本项目废放射性废水接纳水体青衣江，评价河段环境现状评价执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水域标准。

#### (3) 声环境质量标准

项目拟建地属于《声环境质量标准》（GB3096-2008）中划定的3类区域，确定如下表1.4-3所示的环境噪声限值。

表 1.4-3 声环境质量标准

| 声环境功能区类别 | 环境噪声限值, $L_{eq}$ (dB(A)) |    |
|----------|--------------------------|----|
|          | 昼间                       | 夜间 |
| 3类       | 65                       | 55 |

#### (4) 地下水环境质量

本项目评价区域地下水环境现状评价执行《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类标准。

#### (5) 土壤环境质量

根据项目用地性质，土壤环境评价标准执行《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值。

### 1.4.2.2 污染物排放标准

根据乐山市夹江生态环境局夹环审【2019】23号文，本项目污染物的排放执行以下标准：

#### (1) 大气污染物排放标准

项目废气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

## (2) 水污染物排放标准

项目废水经预处理后排入园区污水管网，再进入污水处理厂。水污染物排入园区污水处理厂执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准。

## (3) 环境噪声排放标准

### ①施工期

项目建设施工期噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)规定的排放限值，具体值列入表 1.4-4 中。

表 1.4-4 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)

| 昼间 | 夜间 |
|----|----|
| 70 | 55 |

### ②运营期

项目运营期厂界环境噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)3类功能区标准，其控制标准列入表 1.4-5 中。

表 1.4-5 厂界环境噪声排放限值

| 厂界外声环境功能区类别 | 厂界环境噪声排放限值 $L_{eq}$ dB(A) |    |
|-------------|---------------------------|----|
|             | 昼间                        | 夜间 |
| 3类          | 65                        | 55 |

## 1.5 评价等级

### (1) 大气环境

根据《环境影响评价技术导则·大气环境》(HJ2.2-2018)中大气评价工作分级方法确定评价工作等级，其判据详见表 1.5-1。

表 1.5-1 大气评价工作等级判据

| 评价工作等级 | 评价工作分级判据                  |
|--------|---------------------------|
| 一级     | $P_{ma} \geq 10\%$        |
| 二级     | $1\% \leq P_{max} < 10\%$ |
| 三级     | $P_{max} < 1\%$           |

其中  $P_{max}$  为选择的主要污染物的最大地面空气质量浓度占标率  $P_i$  值最大者， $D_{10\%}$  为其对应的污染物地面空气质量浓度达标准值的 10% 时所对应的最远距离。

其中  $P_i$  定义为:  $P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \times 100\%$

式中:

$P_i$ —第  $i$  个污染物的最大地面空气质量浓度占标率, %;

$C_i$ —采用估算模式计算出的第  $i$  个污染物的最大 1h 地面空气质量浓度,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;

$C_{0i}$ —第  $i$  个污染物的环境空气质量浓度标准, (一般选用 GB3095 中 1h 平均质量浓度的二级浓度限值),  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

经过对建设项目的工程分析, 项目营运期主要大气污染物为臭氧、 $\text{NO}_2$  和氢气, 其影响范围和影响程度有限, 营运期大气污染物主要考虑  $\text{O}_3$ , 根据估算模式计算得到污染物的  $P_{\max}$ , 如表 1.5-2 所示。

表 1.5-2 评价工作等级判定表

| 大气污染物        | $C_{0i}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | $C_{0i}$ 来源                  | $P_{\max}(\%)$ |
|--------------|----------------------------------|------------------------------|----------------|
| $\text{O}_3$ | 200                              | 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准 | 2.31           |

根据表 1.5-1 及估算模式计算结果, 确定本项目大气环境影响评价工作等级为二级。

### (2) 地表水环境

本项目营运期污水主要为工艺废水和生活污水。生活污水排入预处理池, 再排入园区污水管网, 经园区污水管网进入木城污水处理厂。工艺废水中的放射性废水收集暂存于废液收集罐, 通过离子交换净化处理后回用。不进入评价区内的地表水环境。

根据《环境影响评价技术导则—地表水环境》(HJ/T2.3-2018) 规定, 项目污水排放方式为间接排放, 因此本次地表水评价级别为三级 B。

### (3) 声学环境

本项目处在《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中 3 类区域, 项目营运期噪声声源少, 其主要噪声源为生活噪声 (人群活动等) 和设施噪声 (公用设施), 其噪声值在 50~80dB(A) 之间, 经采取各种减降噪措施后, 满足外环境的要求。项目建设前后评价区内敏感目标噪声级增高量在 3dB (A) 以下 (不含 3dB (A))。根据《环境影响评价技术导则—声环境》(HJ 2.4-2009) 确定声环境评价等级为三级。

## 1.6 评价范围和保护目标

### 1.6.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则·核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ/T10.1-2016），本项目放射性同位素生产项目，评价范围为以生产厂房和辐射中心和研发楼边界为中心，半径不小于 3km 包络的区域。

### 1.6.2 保护目标

本项目选址在夹江核技术产业园内，厂址 3km 范围内主要是园区内的其他企业，厂区附近无医院、学校、等环境敏感目标。本项目的保护目标见表 1.6-1。

表 1.6-1 项目 3km 范围内主要环境保护目标

| 环境因素 | 保护目标     | 位置、距离（m）  |      | 受影响人数 | 保护要求                          |
|------|----------|-----------|------|-------|-------------------------------|
|      |          | 生产厂房和辐射中心 | 研发楼  |       |                               |
| 电离辐射 | 厂址西北面农户  | 313       | 223  | 20    | 本项目所致辐射剂量不超过规定的剂量约束值 0.1mSv/a |
|      | 厂址西南面农户  | 173       | 100  | 10    |                               |
|      | 厂址东南面农户  | 269       | 362  | 10    |                               |
|      | 厂址东北面农户  | 410       | 447  | 30    |                               |
|      | 木城镇第一幼儿园 | 1870      | 1880 | 60    |                               |
|      | 木城镇第一小学  | 2025      | 2030 | 300   |                               |
|      | 木城中学     | 2160      | 2150 | 200   |                               |
|      | 迎江乡卫生院   | 2760      | 2790 | 10    |                               |
|      | 木城镇育苗幼儿园 | 1670      | 1660 | 60    |                               |
|      | 某项目综合办公楼 | 756       | 706  | 200   |                               |
| 电离辐射 | 职业照射     | 本项目工作人员   |      | 113   | 5mSv/a                        |









## 第二章 自然环境与社会环境状况

### 2.1 自然环境状况

#### 2.1.1 地理位置

夹江县位于成都平原西南侧，乐山市腹地，地理位置在东经  $103^{\circ}17' \sim 103^{\circ}44'$ ，北纬  $29^{\circ}38' \sim 29^{\circ}55'$  之间。东倚青神县，东南连乐山市中区，南靠峨眉山市，西接洪雅县，北邻丹棱县、眉山市东坡区。东西长 43.7km，南北宽 33.5km，幅员面积为 748.47km<sup>2</sup>。

木城镇位于夹江县城以西 20km，距洪雅县 20km、峨眉山市 27km，东倚濛城街道，西接华头镇，幅员面积 108.71km<sup>2</sup>。

本项目位于夹江核技术应用产业园内，产业园的范围为：东、南至规划经二路，西邻成渝环线高速公路（乐雅高速），北到成渝环线高速公路（乐雅高速）木城连接线，涉及木城镇泉水村、代桥村、桂香村、王宿村、石柱村。本项目位于产业园西侧的核技术应用生产区，东至跃进渠，南、西、北三面至园区规划道路，主要涉及木城镇泉水村 3 社、4 社、王宿村等。

项目地理位置示意图见附图 1，项目外环境关系示意图见附图 2。

#### 2.1.2 地形、地貌

夹江县县境地处峨眉山东北麓，为四川盆地西南边缘向峨眉中山区的过渡地带。县境西部海拔 1000m 以上的山岭属峨眉山余脉，山高、坡陡、谷深，山脉呈树枝状分布；中部青衣江流域为河漫滩及谷地，千佛岩处最窄，上有木城大坝，下有云甘大坝；县域东部以平坝和台地为主，西部为低山区。整个地势由西北向东南倾斜，构成山地、平坝、台地的地貌轮廓。最高为华头镇斗笠口，海拔 1451 米（1997 年县界勘界图），最低为甘江镇青衣江出境处，海拔 380m。县域地貌区划按其成因不同，分为侵蚀堆积地形、构造剥蚀地形和侵蚀构造地形。

木城镇全镇地貌属丘陵低山区，山丘起伏，河谷纵横，最高峰地洗药湖为 841.4 米，全镇山地占 72.3%、耕地占 12.7%、水面占 4.9%，故有“七山半水分半田，一分道路和庄园”之称。

夹江核技术应用产业园属青衣江漫滩，地形较平缓。场地整体海拔高程为426~432m范围内，整体相对高差为6m，地形起伏小。产业园地形简单，地貌类型单一。

## 2.1.3 地质、地震

### 2.1.3.1 区域地质构造

区域地处龙门山构造带的中新生代前陆盆地—四川盆地的西南隅，地表主要出露中生代和老第三纪红色碎屑岩及新第三纪和第四纪河流相砂砾石层，仅西南隅出露古生代地层。地质构造主要表现为一系列走向北北东的褶皱和压扭性断层。此外，在近场的西南角的峨眉山北麓地带还分布有一系列小型弧形断裂构造等，具有漫长的演化历史。

夹江核技术应用产业园附近范围地质构造主要表现为宽缓褶皱和压扭性断层。褶皱构造变形不强烈，其褶皱轴方向为NNE~NE向，局部为近SN向，多为宽缓褶皱。地层产状除局部受断层影响而陡立外，其余大部分地区都较平缓。主要有NNE向尖尖石背斜、南安向斜和三苏场背斜，其中产业园就位于南安向斜内。尖尖石背斜位于产业园西部，在区域上为一规模较大的反“S”形褶曲。产业园附近范围为该背斜中段和北段，它的南段走向320。该背斜核部地层为下一中侏罗统自流井组(J1-2z)，两翼依次为J2s1、J2s2、J3sn、J3p、K2j、K2g1。尖尖石之北轴向NNW(335)，背斜北段轴面陡立，总体产状 $68\angle 5$ ，两翼产状近于对称( $320\angle 13$ ， $20\angle 21$ )枢纽向NNW倾伏( $335\angle 15$ )，两翼夹角160，为近直立对称水平纵弯褶皱。

南安向斜位于产业园附近范围中部。该向斜轴向总体为NNE~近SN。向斜形态十分开阔，两翼地层平缓，其倾角均小于25，一般在10~15之间，向斜槽部地层为上白垩统灌口组下段(K2g1)，两翼依次为上白垩统夹关组(K2j)，上侏罗统蓬莱镇组(J3p)和遂宁组(J3sn)。

三苏场背斜位于产业园附近范围东部，为一狭长背斜，轴向N20E。背斜总体轴向NNE，核部地层为中侏罗统上沙溪庙组，翼部地层依次为上侏罗统遂宁组(J3sn)，蓬莱镇组(J3p)，上白垩统夹关组(K2j)。总体显示两翼较陡，而核部较平缓。青衣江北卷洞桥—冷水湾一带核部为上沙溪庙组。

产业园附近范围内分布着9条断层，主要有白马场断层、欧大山断层、瓦窑山

断层和龙沱寺断层等，按走向分布可分为北东向、北北东向和近南北向 3 组，但数量不多，规模均较小。这些断层均显压性或压扭性，其形成与褶皱变形有着成因上的联系。

### 2.1.3.2 地层岩性

经工程地质测绘、调查，产业园由第四系覆盖层( $Q_4$ )、白垩系下统灌口组( $K_{1g1}$ )基岩组成。拟建区域第四系覆盖层分布于整个场地。产业园内第四系由填土、粉质粘土、卵石以及块石组成。灌口组( $K_{1g1}$ )由紫红色粉砂质泥岩和粉砂质泥岩组成。各种岩土体特征详述如下：

#### (1) 第四系覆盖层 ( $Q_4$ )

##### ①第四系全新统人工填土 ( $Q_4^{ml}$ )

建设用地填筑土主要由耕植土、素填土组成。

耕植土：呈褐红等色，松散，稍湿，主要由全风化泥岩及大量植物根系组成，含少量粉砂质泥岩碎石，主要分布于丘陵缓坡及平原地带。

素填土：黄褐色，稍密，稍湿，主要由强-中风化粉砂质泥岩、粉砂质泥岩的碎石、块石、及粘粒组成，为新近填土。主要分布遮云岗人工开挖边坡段及大堰溪沟口两侧地段。

##### ②第四系全新统残坡积层 ( $Q_4^{el+dl}$ )

粉质粘土：黄褐色，粉质粘土呈可塑状，不均匀含碎石、角砾，多为棱角状，母岩成分主要为强-中风化粉砂质泥岩、粉砂质泥岩，碎石含量约 15%~35%，局部零星含有块石。该层主要分布在斜坡坡顶及地形坡度较缓地段。

##### ③第四系全新统冲洪积层 ( $Q_4^{al+pl}$ )

粉质粘土：灰褐色，可塑，干强度、韧性中等，底部含少量细砂，无摇振反应，切面平面，稍有光泽。广泛分布于青衣江阶地地带。

卵石：青灰色、灰白色，稍湿-饱和，中密为主，局部稍密，呈圆状、亚圆状一般粒径 30—80mm，最大粒径 220mm，砂土充填，轻微胶结，含量大于 50%，母岩为火成岩及沉积岩。主要分布在青衣江阶地、大堰溪及南安河两岸坡地带。

##### ④第四系全新统崩坡积层 ( $Q_4^{col+dl}$ )

块石：灰褐色，紫红色，稍湿，松散，存在架空现象，主要由强-中风化粉砂质泥岩、粉砂质泥岩的块石和碎石组成，粒径一般为 40-80cm，最大约 200cm，块石

含量约 50%，碎石含量约 20%，充填少许角砾及岩屑等。该层主要分布于丘陵地带陡坡及 1#地块白杨坡中前缘位置。

## (2) 白垩系下统灌口组 ( $K_{1g}$ )

通过工程地质测绘，该层广泛分布于场地，分布部位为卵石层底部，主要由紫红色粉砂质泥岩、粉砂质泥岩及粉砂岩组成，呈互层状分布，可见泥裂、波痕等层面构造，局部可见石膏团块、溶蚀小孔及孔壁晶簇。层面节理发育，局部层间见有软弱夹层。（岩体的微观结构，如孔、洞、微裂隙及破碎带等）。

### 2.1.3.3 地震

根据《××工程场地地震安全性评价报告》（四川省地震局工程地震研究院、中国地震局地球物理研究所防灾减灾工程技术研究院，2005年6月），近区域近代地震活动的空间分布大致以斜贯近区域的青衣江为界，西南部地震相对密集，东北部地震相对稀疏。在近区域西南部，地震活动主要分布在汉王一中宝一歇马场一双福场一带、天宫一桃源一桂花场一线和柳江一吴河一脚盆坝一带，形成了大致呈北西走向展布的地震条带，绝大多数的 2.0 级以上地震均沿这一条带分布；在近区域东北部，地震活动水平明显降低，地震部分密度、强度均有大幅度下降；产业园及其附近 5km 范围内地震活动水平不高，迄今尚无  $M \geq 4.0$  级的地震记录，显示产业园处于地震构造环境相对稳定的地区。

根据《××工程地震安全性评价复核报告》（中国地震局地球物理研究所、四川赛思特科技有限责任公司 2009 年 10 月）确定，场地的地震基本烈度定为 VII 度，SL-2 级设计基准地面运动基岩峰值加速度水平向值为 0.21g；竖向向值为 0.14g。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010），勘察区地震基本烈度为 7 度区，设计地震分组属第三组，结合四川省地震局、四川省建设厅关于“川震防发（2013）74 号”文件规定，设计基本地震加速度值为 0.10g

## 2.1.4 水文概况

### 2.1.4.1 地表水

#### (1) 河流基本情况

##### ① 跃进渠（石面堰）

跃进渠原名石面堰，从青衣江上游的金釜乡境内段引水入堰，流经木城镇（核

动力院一号点地区)、甘江镇等。跃进渠从核动力院二号点地区迂回流过,最后在双福境内汇入双福河(为大渡河一级支流,最终在乐山市三江口处汇入岷江)。

跃进渠属于青衣江水系的人工灌溉河流,取水口位于夹江水文站上游 12km 的青衣江右岸石面渡处,为无坝引水,取水枢纽以上集雨面积 12250km<sup>2</sup>,占青衣江全流域面积的 95.0%。跃进渠取水口上、下游河段顺直,水流平缓,河谷开阔,河床由卵石组成。在取水口以上右岸为山丘地带,植被条件良好,左岸为平坝,取水口以下河床两岸为农田。总干渠全长 9.07km,自身灌溉面积仅 2612 亩,主要为农田灌溉,其次为沿途工业供水和农村人畜饮水。

跃进渠 1958 年 3 月建成通水,历年引水流量在 2~20m<sup>3</sup>/s。90 年代末对取水口进行了整治,降低了底板高程,引水流量有所增加,设计引水流量达 30.0m<sup>3</sup>/s,自 1995 年 3 月至今,月平均引水流量在 16.5~30.0 m<sup>3</sup>/s 之间。

本项目段跃进渠在产业园内为西北—东南走向,河道宽度约为 15.3~16.8m,深约 4.5m,勘测期水位 1.5~3.0m,流速约 0.3~0.5m/s,流量约 10.8~22.5m<sup>3</sup>/s。岸坡未见鼓胀变形迹象,岸坡整体稳定。

## ②大堰溪

大堰溪位于青衣江右岸,属青衣江一级支流,青衣江属于岷江水系的二级支流。大堰溪及其支沟蜿蜒曲折,坡度陡、水流快,属典型的山区型河流,汇水面积 3.8km<sup>2</sup>,域内河长 7.6km,河道上游较陡,中下游相对较缓。受降雨量的影响,径流年内分配不均,季节变化明显,一般 6~9 月为丰水期,12 月到次年 3 月为枯水期,枯洪季节差异大。大堰溪流域内成片森林稀少,开垦度大,植被一般,其余支沟植被发育。河流宽度约 4~7m 不等,水深一般为 0.15~0.4m,流速约 0.2~0.5m/s,流量约 120~520L/s。

### 2.1.4.2 洪水

据岷江五通桥水文站建站以来的资料记载,跃进渠历史调查最大洪水 1917 年水位 346.85m、相应流量 54000m<sup>3</sup>/s,实测最高洪水 1961 年 6 月 29 日洪峰水位 344.27m、相应流量 36200m<sup>3</sup>/s,实测最低水 1980 年 2 月 18 日水位 334.37m,相应流量 330m<sup>3</sup>/s。产业园规划环评将跃进渠按 50 年一遇洪水频率设防。

根据工程地质测绘调查及洪痕观测,大堰溪一般洪水水深约 2.0m,极端最高洪水水深约 3.5m,具有暴涨暴落特点。



### 2.1.4.3 地下水

区域地下水分为第四系孔隙水和基岩裂隙水。地下水赋水性差异大，以基岩裂隙水为主，第四系孔隙水为次。基岩裂隙水主要含水层为分布于粉砂质泥岩中，水量较小，透水性较弱。第四系松散层孔隙水主要分布在青衣江 I 级阶地及大堰溪两岸漫滩，含水层主要为第四系碎石土层，透水性好。区内地下水以青衣江、大堰溪、跃进渠和大气降水补给为主，地下水位随降雨的多少而升降，经山体斜坡下部松散堆积层运移，向地势低洼地段及河流下游排泄。

### 2.1.5 气候气象

夹江县属亚热带湿润季风气候，夏秋两季易受西太平洋副热带高压及青藏高原影响，处于青衣江暴雨中心，总体气候温和，雨量充沛，日照偏少，湿度较大。

项目拟建地最近的气象站为夹江县气象站，东经 103°36′，北纬 29°44′，观测场海拔高度 407.1m。据夹江县气象站 1981 年至 2010 年近 30 年资料记载，夹江年平均气温为 17.2℃，最冷月平均气温 6.8℃，最热月平均气温 26.0℃，极端最高气温为 38.7℃，极端最低气温为-3.8℃。年平均降水量为 1267.5mm，分布不均，5-10 月降雨量为 1076.6mm，占全年降雨量的 85%。年平均相对湿度为 82%，最小相对湿度为 11%。全年无霜期 300 天。年平均日照时数为 959.1 小时。年平均风速 1.1m/s，最多风向为 NNW。年平均蒸发量为 1068.2mm。年平均雷暴日日数 27.9 天。主要气象灾害有暴雨、洪涝、干旱、雷电、大风、寒潮、冰雹、高温、低温阴雨、大雾等。

### 2.1.6 土壤、植被

根据资料，拟建场地地层主要由①<sub>1</sub>可塑粉质粘土、①<sub>2</sub>软塑粉质粘土、②细砂、③<sub>1</sub>松散卵石、③<sub>2</sub>稍密卵石、③<sub>3</sub>中密卵石、④<sub>1</sub>强风化粉砂质泥岩及④<sub>2</sub>中风化粉砂质泥岩组成。结合拟建建筑物的工程性质，各层岩土体作为地基土的适宜性评价如下：

①<sub>1</sub>粉质粘土（ $Q_4^{al+pl}$ ）：可塑状，为有一定承载力的中压缩性土，分布厚度较小，均匀性较差，该层不能直接作为拟建物的基础持力层；

①<sub>2</sub>粉质粘土（ $Q_4^{al+pl}$ ）：软塑状，承载力低，压缩性大，分布厚度较小，均匀性较差，该层不能直接作为拟建物的基础持力层；

②细砂（ $Q_4^{al+pl}$ ）：松散，承载力较低，分布厚度较小，均匀性较差，具有轻微



液化，不能作为拟建物的基础持力层；

③<sub>1</sub> 松散卵石 ( $Q_4^{al+pl}$ ): 承载力较低，变形较大，分布不连续，存在一定的不均匀性，不能作为拟建建筑物的基础持力层；

③<sub>2</sub> 稍密卵石 ( $Q_4^{al+pl}$ ): 该层广泛分布在整个场区内，钻探揭露厚度较小承载力较高，变形较小，起伏较大，局部地段层厚较薄，可作为拟建建筑物的基础持力层；

③<sub>3</sub> 中密卵石 ( $Q_4^{al+pl}$ ): 该层广泛分布在整个场区内，钻探揭露厚度变化较大，承载力较高，变形较小，起伏较大，局部地段层厚较薄，可作为拟建建筑物的基础持力层；

④<sub>1</sub> 强风化粉砂质泥岩 ( $K_{lg1}$ ): 该层广泛分布在整个场区内，钻探揭露厚度 0.5~2.2m，岩体破碎，变形较大，分布厚度较薄，不宜作为基础持力层；

④<sub>2</sub> 中风化粉砂质泥岩 ( $K_{lg1}$ ): 该层广泛分布在整个场区内，分布较均匀，承载力较高，变形较小，由于该层埋藏深，适宜作为拟建物桩基础的桩端持力层。

拟建场地主要为耕地及花、果园地，局部为已拆迁民房荒地，植被茂盛，灌木成林。

## 2.1.7 矿产资源

夹江县矿藏主要有煤、页岩和高岭土。华头山区有烟煤储量约 1000 万吨，无烟煤储量约 500 万吨，该地区的采煤业已有 100 多年历史，近年的年产量约 20 万吨。页岩储量约 3 亿立方米，高岭土储量约 5000 万吨。

## 2.2 环境质量和辐射现状

### 2.2.1 非放射性环境质量现状

本报告引用生态环境主管部门对所在区域公开发布的环境空气、地表水质量现状数据，可反映本项目评价范围的环境质量水平现状。成都酉辰环境检测有限公司对项目拟建地的声环境质量现状进行了监测，监测结果列于 2.2-2。

#### 2.2.1.1 环境空气质量

根据乐山市生态环境局 2020 年 6 月 1 日发布的《乐山市 2019 年环境质量公报》(详见图 2.2-1)，2019 年乐山市全市环境空气质量平均优良天数比例为 89.2%，其中优 33.9%，良 55.3%，同比上升 7.7 个百分点。2019 年乐山市 11 个县(区、市)

环境空气中二氧化硫、二氧化氮、臭氧、一氧化碳和可吸入颗粒物年均浓度分别为  $12.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $24.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $121.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $1.4\text{mg}/\text{m}^3$  和  $61.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均优于国家环境空气二级标准，同比下降了 24.5%、6.7%、10.4%、5.6% 和 16.4%；细颗粒物平均浓度为  $39.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超过国家环境空气二级标准，同比下降了 16.2%。

由此可知项目所在评价区域为达标区。



图 2.2-1 乐山市 2019 年环境质量公报（城市环境空气质量部分）

### 2.2.1.2 地表水环境质量

根据乐山市生态环境局 2021 年 4 月 16 日发布的《乐山市地表水水质质量月报（2021 年 3 月）》（详见图 2.2-2），2021 年 3 月，列入国家考核的 6 个断面和省考核的 8 个断面水质均符合《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类标准，断面达标率为 100%，水质状况良好。

根据乐山市生态环境局 2020 年 6 月 1 日发布的《乐山市 2019 年环境质量公报》（详见图 2.2-3），2019 年，乐山市 47 个监测断面中达到或优于 III 类水质断面 39 个，达标率 83.0%，同比上升了 4.3%；II 类、III 类、IV 类、V 类和劣 V 类水质所占比例分别为 53.2%、29.8%、4.3%、6.4% 和 6.4%。地表水断面水质监测中主要污染指标为总磷。

2019 年，乐山市地表水共监测境内 27 条河流，岷江干流乐山段水质类别为 II—III 类；大渡河干流及其支流断面水质类别为 II—III 类；青衣江干流及支流断面水质类别为 II—IV 类；马边河干流及其支流断面水质类别为 II—III 类，茫溪河干流及其支流断面水质类别为 III—劣 V 类；龙溪河断面水质类别为 II 类。

乐山市 10 个国控、省控地表水断面中，监测断面总体达标率为 90%；青衣江、大渡河、马边河、龙溪河水质优，岷江乐山段水质良好，茫溪河水质受到中度污染。

## 乐山市地表水水质质量月报 (2021年3月)

发布日期:2021-04-16 来源:乐山市生态环境局 【字号:大 中 小】

分享到:    

## 乐山市2021年3月地表水水质状况

2021年3月,列入国家考核的6个断面和省考核的8个断面水质均符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类标准,断面达标率为100%,水质状况良好。

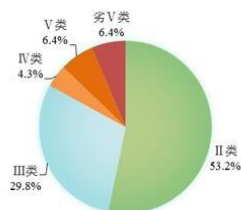
2021年3月地表水水质评价结果表

| 河流名称 | 断面名称      | 考核级别 | 实测类别 | 是否达标 | 主要污染指标 |
|------|-----------|------|------|------|--------|
| 大渡河  | 李码头       | 国考   | II   | 是    | /      |
| 青衣江  | 姜公堰       | 国考   | II   | 是    | /      |
| 马边河  | 马边河河口     | 国考   | II   | 是    | /      |
| 岷江   | 月波        | 国考   | III  | 是    | /      |
| 岷江   | 岷江青衣坝     | 国考   | II   | 是    | /      |
| 岷江   | 岷江沙咀      | 国考   | III  | 是    | /      |
| 茫溪河  | 茫溪大桥      | 省考   | III  | 是    | /      |
| 龙溪河  | 龙溪河口      | 省考   | II   | 是    | /      |
| 大渡河  | 大渡河安谷电站大坝 | 省考   | II   | 是    | /      |
| 大渡河  | 大渡河宜坪     | 省考   | II   | 是    | /      |
| 大渡河  | 大渡河芝麻凼    | 省考   | II   | 是    | /      |
| 峨眉河  | 峨眉河曾河坝    | 省考   | II   | 是    | /      |
| 马边河  | 马边河鼓儿滩吊桥  | 省考   | II   | 是    | /      |
| 沐溪河  | 沐溪河穿山坳    | 省考   | II   | 是    | /      |

图 2.2-2 乐山市地表水水质质量月报 (2021 年 3 月)

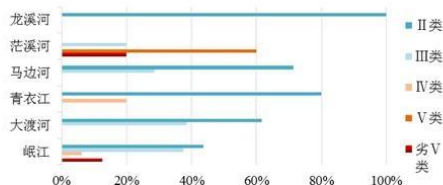
三、地表水环境质量

2019年，乐山市47个监测断面中达到或优于Ⅲ类水质断面39个，达标率83.0%，同比上升了4.3%；Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质所占比例分别为53.2%、29.8%、4.3%、6.4%和6.4%。地表水断面水质监测中主要污染指标为总磷。



2019年乐山市监测断面水质类别比例分布

2019年，乐山市地表水共监测境内27条河流，岷江干流乐山段水质类别为Ⅱ-Ⅲ类；大渡河干流及其支流断面水质类别为Ⅱ-Ⅲ类；青衣江干流及支流断面水质类别为Ⅱ-Ⅳ类；马边河干流及其支流断面水质类别为Ⅱ-Ⅲ类；茫溪河干流及其支流断面水质类别为Ⅲ-劣Ⅴ类；龙溪河断面水质类别为Ⅱ类。



2019年乐山市河流水质类别比例分布情况

乐山市10个国控、省控地表水断面中，监测断面总体达标率为90%；青衣江、大渡河、马边河、龙溪河水质优，岷江乐山段水质良好，茫溪河水质受到中度污染。



2019年岷江干流及其主要支流水质状况

图 2.2-3 乐山市 2020 年环境质量公报（地表水环境质量部分）

### 2.2.1.3 声环境质量

项目单位委托成都酉辰环境检测有限公司于2021年6月10日对项目拟建区及附近敏感点进行了环境噪声的现状监测。

(1) 监测项目：LeqdB (A)

(2) 监测点位

表 2.2-1 噪声监测点位

| 点位编号 | 监测点位置   | 功能    |
|------|---------|-------|
| 1#   | 厂界西北    | 场界噪声  |
| 2#   | 厂界西南    | 场界噪声  |
| 3#   | 厂界东南    | 场界噪声  |
| 4#   | 厂界东北    | 场界噪声  |
| 5#   | 厂址西北面农户 | 敏感点噪声 |
| 6#   | 厂址西南面农户 | 敏感点噪声 |
| 7#   | 厂址西东面农户 | 敏感点噪声 |
| 8#   | 厂址东北面农户 | 敏感点噪声 |

(3) 监测方法

按《声环境质量标准》(GB3096-2008)和国家环保总局颁布的《环境监测技术规范》执行。

(4) 监测结果

厂界噪声监测结果见表 2.2-2。

表 2.2-2 厂界及敏感点噪声监测结果

| 编号 | 监测点位置   | 结果 dB (A) |    | 标准  |
|----|---------|-----------|----|---|
|    |         | 昼间        | 夜间 |   |
| 1# | 厂界西北    | 43        | 40 | 《声环境质量标准》<br>(GB3096-2008) 3类标准<br>昼间：65dB (A)<br>夜间：55dB (A) |
| 2# | 厂界西南    | 45        | 42 |   |
| 3# | 厂界东南    | 45        | 41 |   |
| 4# | 厂界东北    | 45        | 44 |   |
| 5# | 厂址西北面农户 | 40        | 43 |   |
| 6# | 厂址西南面农户 | 44        | 39 |   |
| 7# | 厂址东南面农户 | 42        | 39 |   |
| 8# | 厂址东北面农户 | 43        | 38 |   |

监测结果显示，各监测点均分别对应满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)



3 类标准，无超标现象。

## 2.2.2 辐射环境质量现状

2021 年 6 月 10 日~6 月 11 日成都酉辰环境检测有限公司对项目拟建地的辐射环境质量现状进行了监测，监测结果列于 2.2-3~2.2-6。

### 2.2.2.1 环境 $\gamma$ 辐射水平

项目范围内环境  $\gamma$  辐射剂量率监测结果见表 2.2-3。

表 2.2-3 项目范围内环境  $\gamma$  辐射率监测结果 单位：nSv/h

| 监测点 | 监测点位置      | 平均值  | 标准差   |
|-----|------------|------|-------|
| 1#  | 厂区内生产厂房拟建地 | 88.8 | 1.597 |
| 2#  | 木城镇第一幼儿园   | 118  | 3.360 |
| 3#  | 木城镇第一小学    | 126  | 1.464 |
| 4#  | 木城中学       | 120  | 1.714 |
| 5#  | 迎江乡卫生院     | 110  | 1.459 |
| 6#  | 木城镇育苗幼儿园   | 112  | 2.044 |
| 7#  | 张村         | 94.0 | 2.260 |
| 8#  | 石柱村        | 104  | 1.942 |
| 9#  | 民安村        | 106  | 1.121 |
| 10# | 王宿岗村       | 97.3 | 0.611 |

由表 2.2-3 可见，项目所在地范围内各监测点的监测结果范围为 88.8nSv/h~126nSv/h，与 2020 年四川省生态环境状况公报中乐山市电离辐射水平 100nSv/h~130nSv/h 相比，属正常天然本底涨落范围。

### 2.2.2.2 表面污染

项目厂址内的  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染监测结果见表 2.2-4。

表 2.2-4  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染监测结果 单位：Bq/cm<sup>2</sup>

| 点位编号 | 监测点位       | $\alpha$ 表面污染 |     | $\beta$ 表面污染 |      | 备注  |
|------|------------|---------------|-----|--------------|------|-----|
|      |            | 平均值           | 标准差 | 平均值          | 标准差  |     |
| 1#   | 厂区内生产厂房拟建地 | 未检出           | /   | 9.35         | 6.00 | 混凝土 |
| 2#   | 厂区内研发楼拟建地  | 未检出           | /   | 8.46         | 4.77 | 泥地  |

由表 2.2-4，项目所在区域监测点  $\alpha$  表面污染未检出、 $\beta$  表面污染监测值范围为 (8.46~9.35) Bq/m<sup>3</sup>。现状监测值无明显异常。



### 2.2.2.3 地表水

项目拟建地附近的地表水监测结果见表 2.2-5。

表 2.2-5 地表水监测结果 单位：Bq/L

| 监测位置   | 监测时间      | 总 $\alpha$ | 总 $\beta$ |
|--------|-----------|------------|-----------|
| 1# 跃进渠 | 2021.6.10 | 未检出        | 0.054     |
| 2# 大堰溪 | 2021.6.10 | 0.065      | 0.307     |

由上表可见，两水体监测断面总 $\alpha$ ：0.054Bq/L、总 $\beta$ ：(0.065~0.307)Bq/L，与 2019 年全国辐射环境质量报告长江流域总 $\alpha$ （0.01~0.27）Bq/L、总 $\beta$ （0.02~0.23）Bq/L 相比，属正常天然本底涨落范围。

### 2.3.2.4 地下水

地下水的监测点取样设在基地旁的农户水井内，地下水的总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 放射性监测结果列入表 2.2-6。

表 2.2-6 地下水监测结果 单位：Bq/L

| 取样地点  | 总 $\alpha$ | 总 $\beta$ |
|-------|------------|-----------|
| 项目所在地 | 未检出        | 未检出       |

项目所在地地下水的总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 未检出。现状监测值无明显异常。

### 2.2.2.7 气溶胶

项目所在区域范围监测点空气中气溶胶总 $\alpha$ 、总 $\beta$ ，土壤总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 以及核素现状引用某单位 2020 年度监测年报的监测结果。项目所在地气溶胶总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 测量结果列入表 2.2-7。

表 2.2-7 项目所在地气溶胶总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 测量结果 单位：Bq/m<sup>3</sup>

| 监测点 | 监测点位置 | 总 $\alpha$ 监测值        | 总 $\beta$ 监测值         |
|-----|-------|-----------------------|-----------------------|
| 1#  | 木城    | $2.53 \times 10^{-4}$ | $2.01 \times 10^{-3}$ |
| 2#  | 南坝    | $2.48 \times 10^{-4}$ | $2.06 \times 10^{-3}$ |

由表 2.2-7，项目所在区域监测点气溶胶总 $\alpha$ 监测值范围为( $2.48 \times 10^{-4} \sim 2.53 \times 10^{-4}$ ) Bq/m<sup>3</sup>、总 $\beta$ 监测值范围为 ( $2.01 \times 10^{-3} \sim 2.06 \times 10^{-3}$ ) Bq/m<sup>3</sup>，与对照点碧峰峡的现状监测值（总 $\alpha$ 监测值  $2.13 \times 10^{-4}$ Bq/m<sup>3</sup>、总 $\beta$ 监测值  $1.59 \times 10^{-3}$ Bq/m<sup>3</sup>）相比，项目所在地监

测值无明显异常。

### 2.2.2.8 土壤

#### (1) 总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测

根据某单位 2020 年度监测年报的监测结果，项目所在地附近土壤总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测结果见表表 2.2-8。

表 2.2-8 地表土壤总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测结果 单位： $Bq/kg_{\text{干}}$

| 监测点 | 监测地点 | 总 $\alpha$         | 总 $\beta$          |
|-----|------|--------------------|--------------------|
| 1#  | 木城   | $2.75 \times 10^2$ | $6.30 \times 10^2$ |
| 2#  | 迎江   | $5.66 \times 10^2$ | $8.24 \times 10^2$ |
| 3#  | 南坝   | $3.68 \times 10^2$ | $7.58 \times 10^2$ |

由表 2.2-8 可见，监测点地表土壤中总 $\alpha$ 测值范围为( $2.75 \times 10^2 \sim 5.66 \times 10^2$ )  $Bq/kg_{\text{干}}$ ，总 $\beta$ 测值范围为( $6.30 \times 10^2 \sim 8.24 \times 10^2$ )  $Bq/kg_{\text{干}}$ ，与对照点碧峰峡的现状监测值(总 $\alpha$ 监测值  $6.30 \times 10^2 Bq/kg_{\text{干}}$ 、总 $\beta$ 监测值  $8.43 \times 10^2 Bq/kg_{\text{干}}$ )相比，项目所在地监测值无明显异常。

#### (2) 核素监测

根据某单位 2020 年度监测年报的监测结果，项目所在地附近土壤中的钴-60、铯-137 的监测结果列入表 2.2-9。

表 2.2-9 地表土中钴-60、铯-137 监测结果 单位： $Bq/kg_{\text{干}}$

| 监测点 | 监测地点 | $^{60}\text{Co}$           | $^{137}\text{Cs}$          |
|-----|------|----------------------------|----------------------------|
| 1#  | 木城   | $\leq 4.43 \times 10^{-1}$ | $\leq 7.91 \times 10^{-1}$ |
| 2#  | 迎江   | $\leq 1.28 \times 10^{-1}$ | $\leq 7.49 \times 10^{-1}$ |
| 3#  | 南坝   | $\leq 1.67 \times 10^{-1}$ | $\leq 7.65 \times 10^{-1}$ |

由表 2.2-9 可见，监测点地表土壤中  $^{60}\text{Co}$  测值范围为( $\leq 1.28 \times 10^{-1} \sim \leq 4.43 \times 10^{-1}$ )  $Bq/kg_{\text{干}}$ ， $^{137}\text{Cs}$  测值范围为( $\leq 7.49 \times 10^{-1} \sim \leq 7.91 \times 10^{-1}$ )  $Bq/kg_{\text{干}}$ ，与对照点碧峰峡的现状监测值( $^{60}\text{Co}$  监测值  $\leq 3.56 \times 10^{-1} Bq/kg_{\text{干}}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  监测值  $\leq 9.01 \times 10^{-1} Bq/kg_{\text{干}}$ )相比，项目所在地监测值无明显异常。

## 2.4 场址适宜性评价

本项目选址于夹江核技术应用产业园西侧，跃进渠以西地块。夹江核技术应用产业园主导产业为核技术应用，重点发展放射性同位素研发及应用、密封放射源和放射性药物研发及生产、辐照加工、核仪器仪表和放射医疗设备研发设计及制造、核技术服务等相关产业。本项目为放射源研发生产基地，项目符合园区的产业规划。

项目可充分依托园区配套完善的给排水、供配电、供气等配套，园区交通便利，便于项目生产所需的原料和产品的运输。项目东北面为园区道路和跃进渠，东南面隔园区道路为园区规划用地，西南面、西北面也为园区规划用地，项目周围无学校、医院以及大型居民聚集区，无项目建设的限制性因素。按照园区供地进度，本项目用地分两期供给，一期 89 亩和配套设施征地已获得用地指标，并已完成拆迁、移民安置和相关赔付，具备挂牌购地条件。项目周边为核技术应用企业，无易燃、易爆物品的生产和贮存区，项目所在地的环境适合项目的建设。

综上所述，本项目选址与周边环境相容，并且综合考虑项目所在地周边的自然环境、社会经济状况和环境质量现状，本项目选址较合理。







## 第三章 工程分析与源项

### 3.1 项目规模与基本参数

#### 3.1.1 项目建设情况

本项目投资 56000 万元，占地 59333m<sup>2</sup>，建筑面积 24763m<sup>2</sup>。

建设生产厂房和辐射中心，其内部东北面建辐射技术应用中心开展钴-60 放射源 $\gamma$ 射线辐照工作，西北面建放射源库暂存放射源及产品放射源，并建一间热室开展退役 <sup>60</sup>Co 放射源再利用，南面生产厂房内建设 <sup>57</sup>Co 源、<sup>68</sup>Ge 源、Sn-In 发生器、<sup>147</sup>Pm 源、<sup>85</sup>Kr 源、<sup>14</sup>C 源、<sup>137</sup>Cs 源等 7 条放射源生产线及 <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y 实验间。

建设研发楼，楼内 1 至 3 层为非放实验室，4 层设放化实验室（操作 <sup>57</sup>Co、<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C、<sup>22</sup>Na、<sup>51</sup>Cr、<sup>54</sup>Mn、<sup>65</sup>Zn、<sup>68</sup>Ge、<sup>109</sup>Cd、<sup>113</sup>Sn、<sup>131</sup>Ba、<sup>147</sup>Pm、<sup>152</sup>Eu、<sup>153</sup>Gd、<sup>203</sup>Hg、<sup>85</sup>Sr、<sup>88</sup>Y 等 17 种核素）和 <sup>60</sup>Co 源、<sup>198</sup>Au 源、<sup>170</sup>Tm 源、<sup>210</sup>Pb 源、<sup>153</sup>Gd 源、<sup>154</sup>Eu 源、<sup>35</sup>S 源、<sup>133</sup>Ba 源、<sup>106</sup>Ru 源、<sup>169</sup>Yb 源、<sup>152</sup>Eu 源、<sup>144</sup>Ce 源、<sup>55</sup>Fe 源、<sup>22</sup>Na 源、<sup>109</sup>Cd 源、<sup>99</sup>Tc 源、<sup>36</sup>Cl 源等 17 条豁免标准源生产线。

此外建设有运行支持楼、物流中心及库房、大门及值班室等辅助设施。本项目主要经济技术指标如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1 本项目主要技术经济指标

| 序号 | 项目        | 单位              | 指标     | 备注     |
|----|-----------|-----------------|--------|--------|
| 1  | 厂区总占地面积   | hm <sup>2</sup> | 5.90   | 约 89 亩 |
| 2  | 建构筑物总占地面积 | m <sup>2</sup>  | 13971  |        |
| 3  | 建构筑物总建筑面积 | m <sup>2</sup>  | 23630  |        |
| 4  | 道路及硬化场地面积 | m <sup>2</sup>  | 15465  |        |
| 5  | 人行道面积     | m <sup>2</sup>  | 1355   |        |
| 6  | 绿化面积      | m <sup>2</sup>  | 18650  |        |
| 7  | 实体围墙长度    | m               | 955    |        |
| 8  | 建筑系数      | %               | 24.51  |        |
| 9  | 容积率       |                 | 0.42   |        |
| 10 | 绿化率       | %               | 32.72  |        |
| 11 | 车位        | 个               | 14     |        |
| 12 | 土石方量      | m <sup>3</sup>  | 140270 | 均为填方   |

以下针对生产厂房和辐射中心、研发楼与配套公辅设施，分别描述项目规模及

相关参数。

### 3.1.1.1 主体工程建设情况

#### (1) 生产厂房和辐射中心

生产厂房和辐射中心为局部地下 1 层，地上 3 层建筑物，占地面积 10120m<sup>2</sup>，建筑面积 13230m<sup>2</sup>。该建筑包括辐射技术应用中心、放射源库以及生产厂房三大部分。

##### 1) 辐射技术应用中心

生产厂房和辐射中心内的东北面为辐射技术应用中心，地上三层，一层布置贯穿二楼的辐照大厅，并设控制、计量、质检、设备、维护等配套用房及未辐照产品库、已辐照产品库等仓储用房。二层辐照大厅旁布置办公、实验、备用等配套用房。三层布置源升降设备、风机、配电等配套用房。

辐射技术应用中心内配置 FJX-2 型辐照装置，利用退役钴-60 放射源再利用制作的新源开展辐照应用。本装置为水井贮源，贮源井内水深 7.5m，辐照源置于源架上，由源架带辐照源升起开展辐照工作，源架的升降由源升降设备控制，辐照室内共布设 14 套源架，沿源井中心线分列两排，每排 7 套，形成双板源排列，辐照产品输送线穿行其间，完成辐照。整个辐照工艺过程采用可编程控制器进行自动控制，将需要辐照的产品运至操作大厅装料段，由人工装至悬挂链下的辐照箱内，经由迷道入口自动输入辐照室进行辐照。辐照箱由悬挂链驱动，产品完成辐照后经由迷道出口输出辐照室，在操作大厅卸料段由人工卸出。

本装置设计装源能力为  $1.48 \times 10^{17} \text{Bq}^{60}\text{Co}$  (400 万 Ci)，年工作时间 8000h。辐照对象主要为：

①核级设备、航天设备老化试验，单批次辐照量 1 件，每 5 天辐照 1 批次，每批次辐照时间为 120h，年操作 10 批次（即 50 天，可以与食品、中成药半成品等同时辐照，不单独占用时间）；

②食品，单批次辐照量 20t，每天辐照 4 批次，每批次辐照时间为 6h，年操作 640 批次（即 160 天）；

③中成药半成品，单批次辐照量 20t，每天辐照 4 批次，每批次辐照时间为 6h，年操作 680 批次（即 170 天）。

##### 2) 放射源库



生产厂房和辐射中心内，西北侧为放射源库，用于成品源、整个高通公司回收的退役钴-60 源、退役铯-137 源、退役铀-235 源、退役钚-239 源、C-14 原料源的集中贮存。放射源库地上一层，建设有贮源水井、贮存地坑、空容器贮存间及一间整备热室，并设有监控、更衣、去污、热室操作、水井、水质处理、排风等辅助用房。

贮源水井 1 个，尺寸为 4m×3m×5m，井内水深 5m，最大屏蔽能力为  $3.7 \times 10^{16}$ Bq (100 万 Ci)，源井不用于贮源，只用于回收源的倒装作业；

贮存地坑共 20 条，尺寸为 6m×1.5m×1.8m，用于暂存退役源、C-14 原料源以及成品源。地坑设计钴-60 源存放能力为 500 万 Ci (12 条地坑)；铯-137 源存放能力为 10 万 Ci；钚-239 源存放能力为 9 万 Ci；铀-235 源存放能力为 5 万 Ci (铯-137、钚-239、铀-235 共占用 1 条地坑)；碳-14 原料源存放能力为 1Ci；碳-14 产成品源存放能力为 1Ci (与其他核素共占用 2 条地坑)，预留 5 条地坑；

空容器贮存间约 900m<sup>2</sup>，用于空容器贮存。

整备热室用于退役 <sup>60</sup>Co 源的再利用生产，对退役 <sup>60</sup>Co 工业源 (已经焊接两层包壳的成品源) 进行组装、焊封以生产 <sup>60</sup>Co 源供辐射技术应用中心辐照用。整备热室按照单次操作  $2.59 \times 10^{14}$ Bq 的 <sup>60</sup>Co 密封放射源进行屏蔽设计，整备热室墙体为厚度 1050mm 的重混凝土，窥视窗为铅当量为 321mmPb 的铅玻璃。操作的放射源原料主要为退役钴-60 工业辐照源、退役钴-60 伽玛刀源和退役钴-60 医疗源，产成品 <sup>60</sup>Co 辐照源规格为  $2.59 \times 10^{14}$ Bq，年生产能力为  $2.59 \times 10^{16}$ Bq (70 万 Ci)，产品供辐照中心使用，不外售。整备热室与辐照中心的贮源井通过斜孔道相连，封装好的辐照源将通过斜孔道直接进出辐照室贮源水井，操作人员在长杆工具的配合下进行装源。

### 3) 生产厂房

生产厂房和辐射中心内南侧为生产厂房，为地上一层和地下一层共两层的结构，生产厂房为非密封放射性物质工作场所。厂房一层布置 <sup>57</sup>Co 源、<sup>68</sup>Ge 源、Sn-In 发生器、<sup>147</sup>Pm 源、<sup>85</sup>Kr 源、<sup>14</sup>C 源、<sup>137</sup>Cs 源生产线在内的共计 7 条生产线和 1 个 <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y 实验装置，包括 4 间普通混凝土热室和 26 个不锈钢箱室等，配套建设辅助工艺系统，并设有控制、值班、设备、卫生通过、排风、配电等各种辅助用房等。负一层布置废气处理间、滤液水罐间、低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、通风过滤器间以及固体废物暂存间。

#### ①<sup>57</sup>Co 源生产线

$^{57}\text{Co}$  源生产线布置于生产厂房的 4 个屏蔽手套箱（1#~4#），4 个手套箱串联布置，手套箱之间通过开孔相通，以实现工艺的衔接，对  $^{57}\text{Co}$  原材料（ $^{57}\text{CoCl}_2$ ）进行料液上柱、烧结、源壳焊接以生产  $^{57}\text{Co}$  刻度源。

该生产线设计每天最多生产 4 批次，每批次最大操作量为  $1.1 \times 10^8 \text{Bq}$ 。产品规格为约  $3.7 \times 10^7 \text{Bq/枚} \sim 1.1 \times 10^8 \text{Bq/枚}$ ，年生产能力约 1000 枚。设计年生产 333 批次（即 84 天），年生产能力为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ （1Ci）；

生产原料主要为  $^{57}\text{CoCl}_2$  溶液，每次购入量（即最大储存量）为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，用带密封盖的西林瓶盛装，置于厚为 6mm 的铅罐内。原料存放于生产厂房的原料装运大厅存放区；产品存放在放射源库。

### ② $^{68}\text{Ge}$ 源生产线

$^{68}\text{Ge}$  源生产线布置于生产厂房的 4 个屏蔽手套箱（1#~4#），其手套箱的连接方式和  $^{57}\text{Co}$  源生产线的手套箱连接方式相同，对  $^{68}\text{Ge}$  原材料（ $^{68}\text{GeCl}_4$ ）进行分装、源芯制备、源壳焊接以生产  $^{68}\text{Ge}$  校正源。

该生产线设计每天最多生产 2 批次，每批次最大操作量为  $1 \times 10^8 \text{Bq}$ 。产品规格为  $1.0 \times 10^5 \text{Bq/枚} \sim 1.0 \times 10^8 \text{Bq/枚}$ ，年生产能力约 1000 枚。设计年生产 370 批次（即 185 天），年生产能力为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ （1Ci）。

生产原料主要为  $^{68}\text{GeCl}_4$  溶液，每次购入量（即最大储存量）为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，用带密封盖的西林瓶盛装，置于厚为 125mm 的铅罐内。原料存放于生产厂房的原料装运大厅存放区；产品存放在放射源库。

### ③Sn-In 发生器生产线

Sn-In 发生器生产线布置于生产厂房的 4 个屏蔽工作箱（1#~4#），其手套箱的连接方式和  $^{57}\text{Co}$  源生产线的手套箱连接方式相同， $^{57}\text{Co}$  源生产线、 $^{68}\text{Ge}$  源生产线和 Sn-In 发生器生产线串联布置，前区和后区相通。对  $^{113}\text{Sn}$  原材料（ $^{113}\text{Sn}$  块）进行溶解、灌装、包装以生产 Sn-In 发生器。

该生产线设计每天最多生产 Sn-In 发生器 3 批次，每批次最大操作量为  $6.3 \times 10^9 \text{Bq}$ 。产品规格为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq/套} \sim 6.3 \times 10^9 \text{Bq/套}$ ，年生产能力约 400 套。设计年生产 117 批次（即 39 天），年生产能力为  $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ （20Ci）。

生产原料主要为  $^{113}\text{Sn}$  块，每次购入量（即最大储存量）为  $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，用带密封盖的石英玻璃管盛装，置于厚为 25mm 的铅罐内。原料存放于生产厂房的原料装

运大厅存放区；产品存放在放射源库。

#### ④<sup>147</sup>Pm 源生产线

<sup>147</sup>Pm 源生产线布置于生产厂房的 5 个屏蔽手套箱（1#~5#），5 个手套箱串联布置，手套箱之间通过开孔相通，以实现工艺的衔接，<sup>147</sup>Pm 源生产线和上述三条生产线相对布置，共用生产前区。对 <sup>147</sup>Pm 原材料（<sup>147</sup>PmCl<sub>3</sub>）进行源芯制备、源壳焊接、包装以生产 <sup>147</sup>Pm 源。

该生产线设计每天最多生产 <sup>147</sup>Pm 源 1 批次，每批次最大操作量为  $2.59 \times 10^{10}$ Bq。产品规格为  $7.4 \times 10^9$ Bq/枚~ $2.59 \times 10^{10}$ Bq/枚，年生产能力约 100 枚。设计年生产 71 批次（即 71 天），年生产能力为  $1.85 \times 10^{12}$ Bq（50Ci）。

生产原料主要为 <sup>147</sup>PmCl<sub>3</sub>，每次购入量（即最大储存量）为  $1.85 \times 10^{12}$ Bq，用带密封盖的西林瓶盛装，置于厚为 5mm 的铅罐内。原料存放于生产厂房的原料装运大厅存放区；产品存放在放射源库。

#### ⑤气体源生产线

气体源生产线为 <sup>85</sup>Kr 源生产线，布置于生产厂房东南侧独立的房间内，使用 1 个屏蔽手套箱（1#），进行包壳连接、充气（<sup>85</sup>Kr 气体）、源壳焊接、检漏、包装以生产 <sup>85</sup>Kr 气体源。

该生产线设计每天最多生产 <sup>85</sup>Kr 气体源 1 批次，每批次最大操作量为  $3.7 \times 10^{10}$ Bq。产品规格为  $3.7 \times 10^8$ Bq/枚~ $3.7 \times 10^{10}$ Bq/枚，年生产能力约 1000 枚。设计年生产 100 批次（即 100 天），年生产能力为  $3.7 \times 10^{12}$ Bq（100Ci）。

生产原料主要为 <sup>85</sup>Kr 气体，每次购入量（即最大储存量）为  $3.7 \times 10^{12}$ Bq，用带密封盖的钢气瓶盛装，置于厚为 70mm 的铅罐内。原料存放于生产厂房的原料装运大厅存放区；产品存放在放射源库。

#### ⑥<sup>14</sup>C 源生产线

<sup>14</sup>C 源生产线布置于生产厂房东南侧独立的房间内，使用 1 个屏蔽手套箱（1#），对 <sup>14</sup>C 原材料（Ba<sup>14</sup>CO<sub>3</sub>）进行料液配制、源芯制备、封膜、装壳、包装以生产 <sup>14</sup>C 源。

该生产线设计每天最多生产 <sup>14</sup>C 源 1 批次，每批次最大操作量为  $3.7 \times 10^8$ Bq。产品规格为  $1.0 \times 10^6$ Bq/枚~ $3.7 \times 10^8$ Bq/枚，年生产能力约 20000 枚。设计年生产 100 批次（即 100 天），年生产能力为  $3.7 \times 10^{10}$ Bq（1Ci）。

生产原料主要为  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ ，每次购入量（即最大储存量）为  $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，用带密封盖的不锈钢瓶盛装，置于厚为 3mm 的铅罐内。原料和产品均存放在放射源库。

### ⑦ $^{137}\text{Cs}$ 源生产线

$^{137}\text{Cs}$  源生产线布置于生产厂房的 4 间热室（1#~4#）和 6 个屏蔽工作箱（5#~10#）（本项目只用 7#-10#屏蔽工作箱），热室和手套箱串联布置，箱体之间通过开孔相通，以实现工艺的衔接，该生产线和  $^{147}\text{Pm}$  源生产线相对布置，共用生产后区。对  $^{137}\text{Cs}$  源半成品（已具有内包壳，具有密封源的性质）进行检测、组装、源壳焊接、包装以生产  $^{137}\text{Cs}$  源。

该生产线设计每天最多生产  $^{137}\text{Cs}$  源 2 批次，每批次最大操作量为  $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。产品规格为  $3.7 \times 10^6\text{Bq/枚} \sim 1.11 \times 10^{11}\text{Bq/枚}$ ，年生产能力约 1000 枚。设计年生产 333 批次（即 167 天），年生产能力为  $3.7 \times 10^{13}\text{Bq}$ （1000Ci）。

生产原料主要为  $^{137}\text{Cs}$  源半成品，每次购入量（即最大储存量）为  $3.7 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，用带密封盖的不锈钢瓶盛装，置于厚为 170mm 的铅罐内。原料存放于生产厂房的原料装运大厅存放区；产品存放在放射源库。

### ⑧ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间主要通过基质吸附工艺，进行  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  密封放射源制备的实验研究工作。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  源实验布置于生产厂房东南侧独立的房间内，使用 1 个屏蔽手套箱（1#）内，对原材料进行基质吸附、风干、装壳以制备  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  源，原料用带密封盖的玻璃瓶盛装，置于厚为 4mm 的铅罐内，存放于生产厂房的原料装运大厅存放区。

该实验间设计日最大操作量  $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ ，每年操作 15，年操作量为  $5.55 \times 10^{10}\text{Bq}$ （1.5Ci）。

## (2)研发楼

研发楼占地面积  $1137\text{m}^2$ ，建筑面积  $4658\text{m}^2$ ，楼高 4 层，其中一至三层为非放工作区，四层为放射工作区。一层主要为货包试验区、分级试验区、金相试验区等。二层主要为焊接试验区、物理测试间、试剂间、资料室、库房等。三层主要为焊接工艺评定试验区、货包跌落试验区、非放实验室、物理测试间等。四层主要为标准源生产间、放化实验室等。

研发楼功能为：对焊接工艺验证、放射源安全性能试验、计量器具管理、核素

研发试验、豁免标准源制备等。

研发楼的放化实验室主要涉及  $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Y}$  等 17 种核素的操作；标准源生产线主要涉及  $^{60}\text{Co}$  源、 $^{198}\text{Au}$  源、 $^{170}\text{Tm}$  源、 $^{210}\text{Pb}$  源、 $^{153}\text{Gd}$  源、 $^{154}\text{Eu}$  源、 $^{35}\text{S}$  源、 $^{133}\text{Ba}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源、 $^{169}\text{Yb}$  源、 $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{144}\text{Ce}$  源、 $^{55}\text{Fe}$  源、 $^{22}\text{Na}$  源、 $^{109}\text{Cd}$  源、 $^{99}\text{Tc}$  源、 $^{36}\text{Cl}$  源等 17 种豁免源的制备。原料最多储存一天试验的 ( $1.0\times 10^3\text{Bq}\sim 3.7\times 10^9\text{Bq}$ ) 量，由丁基橡胶塞密封的玻璃瓶盛装置于厚为 10mm~170mm 的铅罐内。存放于研发楼各自的实验室内；豁免源产品存放在放射源库或生产厂房成品临时存放区。

### 3.1.1.2 配套工程建设情况

#### (1)物流中心及库房

物流中心及库房位于本项目厂区东南侧，地上一层建筑，占地面积 1682m<sup>2</sup>，建筑面积 1682m<sup>2</sup>。物流中心主要布置 10 辆小货车停车位、10 辆大货车停车位、检修间等房间。库房设置金属材料库房 (50m<sup>2</sup>)、气瓶库房 (50m<sup>2</sup>)、其它库房 (100m<sup>2</sup>)，分类储存非放物资。

#### (2)运行支持楼

运行支持楼为地上 4 层建筑物，占地面积 1000m<sup>2</sup>，建筑面积 4000m<sup>2</sup>。主要布置办公室、会议室、财务间、陈列间、档案室、接待室、监控室、库房及其他配套用房等。

#### (3)大门及值班室

大门及值班室位于本项目厂区北侧，值班室为一层建筑，占地面积 60m<sup>2</sup>，总建筑面积 60m<sup>2</sup>，供保安人员值班用。

本项目各构筑物的综合技术经济指标见表 3.1-2。

表 3.1-2 本项目建构筑物一览表

| 类型 | 序号 | 建、构筑物名称   | 占地面积 (m <sup>2</sup> ) | 建筑面积 (m <sup>2</sup> ) | 层数 | 备注            |
|----|----|-----------|------------------------|------------------------|----|---------------|
| 生产 | 1  | 生产厂房和辐射中心 | 10120                  | 13230                  | 4  | 地下 1 层、地上 3 层 |
|    | 2  | 研发楼       | 1137                   | 4658                   | 4  |               |
|    | 3  | 物流中心及库房   | 1682                   | 1682                   | 4  |               |
| 办公 | 4  | 运行支持楼     | 1000                   | 4000                   | 4  |               |

|    |   |        |       |       |   |  |
|----|---|--------|-------|-------|---|--|
| 其他 | 5 | 大门及值班室 | 60    | 60    | 1 |  |
| 合计 |   |        | 13999 | 23630 |   |  |

### 3.1.1.3 项目操作核素的情况

本项目生产厂房和辐射中心操作的核素为  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^{60}\text{Co}$ ；研发楼操作  $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$  以及  $^{88}\text{Y}$  等 17 种核素。本项目涉及的非密封放射性物质的规模及相关参数汇总列于表 3.1-3。

表 3.1-3 项目放射性同位素的操作情况

| 序号 | 核素名称  | 原料                            | 产品                   | 主要工艺               | 日最大操作量 (Bq)            | 日等效最大操作量 (Bq)          | 年操作量 (Bq)             | 产品活度 (Bq)                                  | 每天操作的批次 | 每年操作的批次 | 每批次操作时间 (h) |
|----|---|-------------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--|---------|---------|-------------|
| 1  | $^{57}\text{Co}$                                | $^{57}\text{CoCl}_2$ 溶液       | $^{57}\text{Co}$ 源   | 料液上柱、烧结、源壳焊接、清洗、质检 | $4.4 \times 10^8$      | $4.4 \times 10^7$      | $3.7 \times 10^{10}$  | $3.7 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$     | 4       | 333     | 1           |
| 2  | $^{68}\text{Ge}$                                | $^{68}\text{GeCl}_4$ 溶液       | $^{68}\text{Ge}$ 源   | 分装、源芯制备、源壳焊接、清洗、质检 | $2.0 \times 10^8$      | $2.0 \times 10^7$      | $3.7 \times 10^{10}$  | $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^8$     | 2       | 370     | 1.5         |
| 3  | $^{113}\text{Sn}/$<br>$^{113\text{m}}\text{In}$ | $^{113}\text{Sn}$ 块           | Sn-In 发生器            | 原料液制备、柱体制备、质检      | $1.89 \times 10^{10}$  | $1.89 \times 10^{11}$  | $7.4 \times 10^{11}$  | $1.85 \times 10^9 \sim 6.3 \times 10^9$    | 3       | 117     | 2           |
| 4  | $^{147}\text{Pm}$                               | $^{147}\text{PmCl}_3$         | $^{147}\text{Pm}$ 源  | 源芯制备、源壳焊接、清洗、质检    | $2.59 \times 10^{10}$  | $2.59 \times 10^{11}$  | $1.85 \times 10^{12}$ | $7.4 \times 10^9 \sim 2.59 \times 10^{10}$ | 1       | 71      | 2           |
| 5  | $^{85}\text{Kr}$                                | $^{85}\text{Kr}$              | $^{85}\text{Kr}$ 源   | 真空充气、源壳焊接、质检       | $3.7 \times 10^{10}$   | $3.7 \times 10^{10}$   | $3.7 \times 10^{12}$  | $3.7 \times 10^8 \sim 3.7 \times 10^{10}$  | 1       | 100     | 2           |
| 6  | $^{14}\text{C}$                                 | $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$   | $^{14}\text{C}$ 源    | 原料液制备、源芯制备、封膜装壳、质检 | $3.7 \times 10^8$      | $3.7 \times 10^9$      | $3.7 \times 10^{10}$  | $1.0 \times 10^6 \sim 3.7 \times 10^8$     | 1       | 100     | 1           |
| 7  | $^{137}\text{Cs}$                               | $^{137}\text{Cs}$ 源半成品        | $^{137}\text{Cs}$ 源  | 清洗检漏、组装、源壳焊接、质检    | $2.22 \times 10^{11}$  | $2.22 \times 10^9$     | $3.7 \times 10^{13}$  | $3.7 \times 10^6 \sim 1.11 \times 10^{11}$ | 2       | 333     | 3           |
| 8  | $^{90}\text{Sr}/$<br>$^{90}\text{Y}$            | $^{90}\text{SrCl}_2$ 溶液       | 源芯                   | 基质吸附               | $3.7 \times 10^9$      | $3.7 \times 10^9$      | $5.55 \times 10^{10}$ | /  | 1       | 15      | 3           |
| 9  | $^{60}\text{Co}$                                | 退役 $^{60}\text{Co}$ 工业源       | $^{60}\text{Co}$ 工业源 | 组装、焊接封焊、清洗、质检      | $1.813 \times 10^{15}$ | $1.813 \times 10^{14}$ | $2.59 \times 10^{16}$ | $< 2.59 \times 10^{14}$                    | 7       | 100     | 1           |
| 10 | $^3\text{H}$                                    | $^3\text{H}_2\text{O}$ 液体     | 标准溶液                 | 基质吸附               | $1.85 \times 10^9$     | $1.85 \times 10^7$     | $5.55 \times 10^9$    | /  | 1       | 3       | 2           |
| 11 | $^{14}\text{C}$                                 | $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ 块 | 源芯                   | 基质吸附               | $1.85 \times 10^9$     | $1.85 \times 10^7$     | $5.55 \times 10^9$    | /  | 1       | 3       | 2           |



| 序号 | 核素名称              | 原料                                  | 产品                   | 主要工艺 | 日最大操作量 (Bq)          | 日等效最大操作量 (Bq)        | 年操作量 (Bq)             | 产品活度 (Bq)         | 每天操作的批次 | 每年操作的批次 | 每批次操作时间 (h) |
|----|-------------------|-------------------------------------|----------------------|------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|---------|---------|-------------|
| 12 | <sup>68</sup> Ge  | <sup>68</sup> GeCl <sub>4</sub> 溶液  | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 9.25×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 5       | 2           |
| 13 | <sup>85</sup> Sr  | <sup>85</sup> SrCl <sub>2</sub> 溶液  | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 9.25×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 5       | 2           |
| 14 | <sup>131</sup> Ba | <sup>131</sup> BaCl <sub>2</sub> 溶液 | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 15 | <sup>51</sup> Cr  | K <sup>51</sup> CrO <sub>4</sub> 溶液 | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>7</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 16 | <sup>113</sup> Sn | <sup>113</sup> SnCl <sub>3</sub> 溶液 | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>7</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 17 | <sup>153</sup> Gd | <sup>153</sup> GdCl <sub>3</sub> 溶液 | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 18 | <sup>203</sup> Hg | <sup>203</sup> HgCl <sub>2</sub> 溶液 | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 19 | <sup>57</sup> Co  | <sup>57</sup> CoCl <sub>2</sub> 溶液  | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 1.85×10 <sup>10</sup> | /                 | 1       | 10      | 2           |
| 20 | <sup>109</sup> Cd | <sup>109</sup> CdCl <sub>2</sub> 溶液 | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 21 | <sup>147</sup> Pm | <sup>147</sup> PmCl <sub>3</sub> 溶液 | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 22 | <sup>88</sup> Y   | <sup>88</sup> Y 溶液                  | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 9.25×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 5       | 2           |
| 23 | <sup>22</sup> Na  | <sup>22</sup> NaCl 溶液               | 源芯                   | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 24 | <sup>54</sup> Mn  | <sup>54</sup> MnCl <sub>2</sub> 溶液  | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 25 | <sup>65</sup> Zn  | <sup>65</sup> Zn 标准溶液               | 标准溶液                 | 基质吸附 | 1.85×10 <sup>9</sup> | 1.85×10 <sup>8</sup> | 5.55×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 26 | <sup>152</sup> Eu | <sup>152</sup> EuCl <sub>3</sub> 溶液 | 源芯                   | 基质吸附 | 1.11×10 <sup>9</sup> | 1.11×10 <sup>9</sup> | 3.33×10 <sup>9</sup>  | /                 | 1       | 3       | 2           |
| 27 | <sup>60</sup> Co  | 溶液                                  | <sup>60</sup> Co 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>4</sup>    | 1×10 <sup>5</sup>     | 1×10 <sup>4</sup> | 1       | 10      | 0.5         |



| 序号 | 核素名称              | 原料 | 产品                    | 主要工艺 | 日最大操作量 (Bq)       | 日等效最大操作量 (Bq)     | 年操作量 (Bq)         | 产品活度 (Bq)         | 每天操作的批次 | 每年操作的批次 | 每批次操作时间 (h) |
|----|-------------------|----|-----------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|---------|-------------|
| 28 | <sup>198</sup> Au | 溶液 | <sup>198</sup> Au 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 29 | <sup>170</sup> Tm | 溶液 | <sup>170</sup> Tm 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 30 | <sup>210</sup> Pb | 溶液 | <sup>210</sup> Pb 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>3</sup> | 1×10 <sup>3</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>3</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 32 | <sup>153</sup> Gd | 溶液 | <sup>153</sup> Gd 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>7</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 33 | <sup>154</sup> Eu | 溶液 | <sup>154</sup> Eu 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 34 | <sup>35</sup> S   | 溶液 | <sup>35</sup> S 标准源   | 薄膜法  | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>7</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 35 | <sup>133</sup> Ba | 溶液 | <sup>133</sup> Ba 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 36 | <sup>106</sup> Ru | 溶液 | <sup>106</sup> Ru 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 37 | <sup>169</sup> Yb | 溶液 | <sup>169</sup> Yb 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>7</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 38 | <sup>152</sup> Eu | 溶液 | <sup>152</sup> Eu 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 39 | <sup>144</sup> Ce | 溶液 | <sup>144</sup> Ce 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 40 | <sup>55</sup> Fe  | 溶液 | <sup>55</sup> Fe 标准源  | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 41 | <sup>22</sup> Na  | 溶液 | <sup>22</sup> Na 标准源  | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 42 | <sup>109</sup> Cd | 溶液 | <sup>109</sup> Cd 标准源 | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 43 | <sup>99</sup> Tc  | 溶液 | <sup>99</sup> Tc 标准源  | 薄膜法  | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>7</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1       | 10      | 0.5         |
| 44 | <sup>36</sup> Cl  | 溶液 | <sup>36</sup> Cl 标准源  | 薄膜法  | 1×10 <sup>5</sup> | 1×10 <sup>4</sup> | 1×10 <sup>6</sup> | 1×10 <sup>5</sup> | 1       | 10      | 0.5         |

### 3.1.2 项目组成及依托的公辅设施

#### 3.1.2.1 项目组成及主要环境问题

项目的主要建设内容包括生产车间和辐射中心、研发楼以及配套公辅、环保设施，项目建设的规模及可能产生的环境问题详见表 3.1-4。

表 3.1-4 项目组成及主要环境问题

| 名称   | 建设内容及规模   |  | 可能产生的环境问题                    |                                  |  |
|------|-----------|--|------------------------------|----------------------------------|--|
|      |           |  | 施工期                          | 运行期                              |  |
| 主体工程 | 生产厂房和辐射中心 | 生产厂房和辐射中心局部地下 1 层，地上 3 层，建筑面积 13999m <sup>2</sup> 。东北侧建辐射技术应用中心；西北侧建放射源库，包括贮源水井、贮存地坑、空容器贮存间及整备热室；南侧生产厂房布置 <sup>57</sup> Co 源、 <sup>68</sup> Ge 源、Sn-In 发生器、 <sup>147</sup> Pm 源、 <sup>85</sup> Kr 源、 <sup>14</sup> C 源、 <sup>137</sup> Cs 源等 7 条放射源生产线及 1 个 <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 实验间。 | 施工噪声、施工扬尘、施工废水、建筑垃圾、施工人员生活污水 | 放射性废气、放射性废液、放射性固体废物；生活污水，固体废物和噪声 |  |
|      |           | 生产厂房   |                              |                                  | <sup>57</sup> Co 源生产线： <sup>57</sup> Co 源生产线的主要产品为 <sup>57</sup> Co 源。位于生产厂房的一层西南侧，建造 4 个屏蔽手套箱，箱体为 60mm 碳钢（7.8g/cm <sup>3</sup> ），窥视窗采用防护能力相当于 10mmPb 的铅玻璃。 <sup>57</sup> Co 源生产线设计生产能力为 1000 枚/a。 |
|      |           |  |                              |                                  | <sup>68</sup> Ge 源生产线： <sup>68</sup> Ge 源生产线的主要产品为 <sup>68</sup> Ge 源。位于生产厂房一层西南侧，建造 4 个屏蔽手套箱，箱体为 3mm 碳钢（7.8g/cm <sup>3</sup> ），窥视窗采用防护能力相当于 67mmPb 的铅玻璃。 <sup>68</sup> Ge 源生产线设计生产能力为 1000 枚/a。   |
|      |           |  |                              |                                  | Sn-In 发生器生产线：Sn-In 发生器生产线的主要产品为 Sn-In 发生器西南侧。位于生产厂房的一层，建造 4 个屏蔽工作箱，箱体为 160mm 碳钢（7.8g/cm <sup>3</sup> ），窥视窗采用防护能力相当于 41mmPb 的铅玻璃。Sn-In 发生器生产线设计生产能力为 400 套/a。                                       |
|      |           |  |                              |                                  | <sup>147</sup> Pm 源生产线： <sup>147</sup> Pm 源生产线位于生产厂房的一层西南侧，建造 5 个屏蔽手套箱，箱体为 10mm 的钢板，窥视窗采用防护能力相当于 1mmPb 的铅玻璃。 <sup>147</sup> Pm 源生产线设计生产能力为 100 枚/a。  |
|      |           | <sup>85</sup> Kr 源生产线： <sup>85</sup> Kr 源生产线的主要产品为 <sup>85</sup> Kr 源。位于生产厂房的一层东南侧，建造 1 个屏蔽手套箱，箱体为 110mm 碳钢（7.8g/cm <sup>3</sup> ），窥视窗采用防护能力相当于 47mmPb 的铅玻璃。 <sup>85</sup> Kr 源生产线设计生产能力为 1000 枚/a。  |                              |                                  |  |

|      |      |  |                             |   |
|------|------|--|-----------------------------|---|
|      |      | <p><sup>14</sup>C 源生产线：<sup>14</sup>C 源生产线的主要产品为 <sup>14</sup>C 源。位于生产厂房的一层东南侧，建造 1 个屏蔽手套箱，箱体为 3mm 碳钢（7.8g/cm<sup>3</sup>），窥视窗采用防护能力相当于 1mmPb 的铅玻璃。<sup>14</sup>C 源生产线设计生产能力为 20000 枚/a。</p> <p><sup>137</sup>Cs 源生产线：<sup>137</sup>Cs 源生产线的主要产品为 <sup>137</sup>Cs 源。位于生产厂房的一层西南侧，建造 4 间热室，设 6 套屏蔽工作箱，热室墙体为 850mm~1150mm 的普通混凝土（2.2g/cm<sup>3</sup>），窥视窗采用防护能力相当于 152mmPb 的铅玻璃。屏蔽工作箱箱体为 270mm~290mm 碳钢（7.8g/cm<sup>3</sup>），窥视窗采用防护能力相当于 122mmPb 的铅玻璃。<sup>137</sup>Cs 源生产线设计生产能力为 1000 枚/a。</p> <p><sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y 实验间：位于生产厂房的一层东南侧，建造 1 个屏蔽手套箱，箱体为 50mm 重混凝土（3.6g/cm<sup>3</sup>），窥视窗采用防护能力相当于 50mmPb 的铅玻璃。</p> |                             |   |
|      | 放射源库 | <p>设置贮源水井、贮存地坑、整备热室。配备贮源水井井水冷却净化系统、空容器贮存区。贮源水井用于倒装回收的 <sup>60</sup>Co 源；贮存地坑包括 20 个地坑，用于贮存用于暂存退役源、个别原料源以及成品源；空容器贮存区约 900m<sup>2</sup>，用于空容器贮存。</p> <p>放射源库整备热室拟开展退役 <sup>60</sup>Co 源再利用生产，热室墙体为 1050mm 的重混凝土（3.6g/cm<sup>3</sup>），窥视窗采用防护能力相当于 321mmPb 的铅玻璃。生产线利用退役 <sup>60</sup>Co 工业源生产 <sup>60</sup>Co 辐照源。生产线设计年生产能力为 100 枚/a，不出售。</p>  |                             |   |
|      | 辐射中心 | <p>辐射技术应用中心地上三层，四周均为 1900mm~2100mm 的混凝土墙体，屋顶为 1950mm 的混凝土。辐射中心布置 FJX-2 型辐照装置，设计装源能力为 1.48×10<sup>17</sup>Bq<sup>60</sup>Co（400 万 Ci），年工作时间 8000h，年产量约为 110000kGy·t/年。装置采用的放射源为退役 <sup>60</sup>Co 工业源再利用制作的新源。辐照产品主要为：核级设备、航天设备老化试验、食品、中成药半成品。</p>  |                             |   |
| 主体工程 | 研发楼  | <p>研发楼位于本项目拟建地西侧，建筑面积 4658m<sup>2</sup>，共 4 层，1~3 层的功能包括货包试验、分级试验、金相试验、焊接试验、泄漏检验试验、焊接工艺评定试验、货包跌落试验、物理测试等非放研究工作；4 层的功能为放化实验、豁免标准源制备。放化实验室通过放射性溶液基质吸附等工艺，研制放射源的制备，涉及 17 种核素的操作。标准源生产线通过薄膜法制备 17 种豁免标准源。配置通风橱 5 套，铅屏蔽手套</p>   | <p>施工噪声、施工扬尘、施工废水、建筑垃圾、</p> | <p>放射性废气、放射性废液、放射性固体废物；生活污水，固体废物和噪声</p> |

|      |          |  |          |           |
|------|----------|--|----------|-----------|
|      |          | 箱 6 个。   | 施工人员生活污水 |           |
| 辅助工程 | 物流中心及库房  | 位于项目拟建地东南部，建筑面积 1682m <sup>2</sup> ，物流中心主要布置 10 辆小货车、10 辆大货车停车位、检修间、维修间等。库房设置危化品库房（50m <sup>2</sup> ）、金属材料库房（50m <sup>2</sup> ）、气瓶库房（50m <sup>2</sup> ）、其它库房（100m <sup>2</sup> ），分类储存非放物资。 |          | 生活废水、生活垃圾 |
|      | 运行支持楼    | 位于项目拟建地东北部，共四层，建筑面积为 4000m <sup>2</sup> ，工作人员日常在此办公。   |          |           |
| 公用工程 | 给水       | 市政管网供给自来水。   |          |           |
|      | 排水       | 通过污水管网排入木城镇污水处理站。  |          |           |
|      | 供配电      | 电源拟引自附近变电所。  |          |           |
| 环保工程 | 非放射性废水处理 | 生活污水排入预处理池，再通过污水管网排入木城镇污水处理站。  |          |           |
|      | 非放射性废物处理 | 生活垃圾由环卫部门定期清运，危险废物送资质单位进行处理。   |          |           |
|      | 放射性废气处理  | 生产厂房和辐射中心、研发楼分别设置通风系统，各热室、屏蔽工作箱、屏蔽手套箱、通风柜出风通过管式排风净化装置（配：预过滤器、高效粒子过滤器）一级过滤后，经高效过滤器二次过滤后，由生产厂房和辐射中心、研发楼屋面 30m 排气筒分别高架排放。   |          |           |
|      | 放射性废液处理  | 由各箱室下设置的容器收集，达到一定量后转运至放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理后排入滤液水罐。对滤液进行取样测量，达到比活度 < 10Bq/L，作为生产线的清洗液回用，不外排。   | 放射性固体废物  |           |
|      | 放射性废物暂存  | 分类收集后装入不同包装容器，暂存于地下一层的放射性废物暂存间，达到一定量后集中送核动力院一所处置。放射性废水净化系统产生的废树脂和空气净化系统产生的废过滤器暂存在地下一层的固体废物暂存间，集中送核动力院一所处置。   | /        |           |

### 3.1.2.2 公用辅助工程

本项目公用辅助工程和环保工程大部分依托夹江核技术应用产业园配套设施，具体情况如下：

#### (1) 公用工程

##### ① 给排水

**给水：**水源为青衣水厂供水。青衣水厂供水规模为 5 万 m<sup>3</sup>/d。

**排水：**项目生活污水排入园区污水管网，最后进入木城镇污水处理站。本项目

排放的生活污水为  $9.6\text{m}^3/\text{d}$ ，木城镇污水处理站已建成投运且具有处理本项目生活污水的能力，项目产生的污水排入木城镇污水处理站可行。

本项目实行雨污水分流，雨水通过雨水管网排放。

## ②供配电

本项目由园区配套的母线引入电源供建筑内工艺设备、电梯及照明用电。项目配电电压为 $\sim 220\text{V}/380\text{V}$ 。

## (2)环保工程

### ①放射性三废处理

#### a、放射性废气

生产厂房和辐射中心、研发楼中，所有产生放射性废气的热室和屏蔽箱出风通过管式排风净化装置（配：预过滤器、高效粒子过滤器）一级过滤后，经高效过滤器二次过滤后，由生产厂房和辐射中心、研发楼屋面  $30\text{m}$  排气筒分别高架排放。详见 4.3 节三废的治理的介绍。

#### b、放射性废液

一般放射性废水通过离子交换净化处理后排入滤液水罐。对滤液进行取样测量，达到活度浓度 $<10\text{Bq/L}$  后作为生产线的清洗液回用，不外排。

#### c、放射性固体废物

项目产生的放射性固体废物分类收集后，装入不同包装容器，转运至地下一层的放射性固体废物暂存间分类暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

### ②非放射性三废处理

#### a、非放射性废气

辐射技术应用中心产生的臭氧、 $\text{NO}_2$  和氢气经场所通风系统由辐射中心顶楼  $20\text{m}$  排气筒排放；放射源库产生的臭氧、 $\text{NO}_2$  和氢气经场所通风系统由生产厂房顶楼  $30\text{m}$  排气筒排放。

#### b、非放射性废水

工作人员生活办公污水排入预处理池，经园区污水管网进入木城污水处理厂。

#### c、固体废物

生活垃圾经袋装收集后置于生活垃圾收集点，再由市政环卫部门定时清运；一般生产废物作为一般固体废物进行处理；物流中心及库房检修间的废机油和研发楼

产生的酸性废液属于危险废物送具有处理资质的公司处理。

#### d、噪声

项目生产设施产生的噪声通过车间厂房隔声处理。

### 3.1.3 项目涉及核素的基本参数及理化性质

项目涉及的生产、使用、销售放射性核素包括： $^{57}\text{Co}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ 等30余种放射性核素，各核素核物理参数见表3.1-5。

表 3.1-5 本项目涉及的放射性原料核物理参数及理化性质一览表

| 序号 | 核素名称                                      | 毒性 | 形态 | 半衰期           | 衰变方式(分支比, %)                | 最大粒子能量 (MeV)                | 最大光子能量 (MeV)                        | $\Gamma$ 照射量率常数 ( $\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ) |
|----|---|----|----|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| 1  | $^{57}\text{Co}$                          | 中毒 | 溶液 | 270d          | EC (100)                    |                             | 0.137                               | 0.096  |
| 2  | $^{68}\text{Ge}$                          | 中毒 | 溶液 | 288d          | EC (100)                    | 1.8991 ( $^{68}\text{Ga}$ ) | 1.88321 ( $^{68}\text{Ga}$ )        | 0.56 ( $^{68}\text{Ga}$ )  |
| 3  | $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ | 中毒 | 固体 | 115.2d/1.658h | EC (100) /IT (100)          |                             | 0.392 ( $^{113\text{m}}\text{In}$ ) | 0.14 ( $^{113\text{m}}\text{In}$ )                                   |
| 4  | $^{147}\text{Pm}$                         | 中毒 | 固体 | 2.62a         | $\beta^-$ (100)             | 0.225                       | 0.199                               | $7.2\times 10^{-7}$  |
| 5  | $^{85}\text{Kr}$                          | 低毒 | 气体 | 10.73a        | $\beta^-$ (100)             | 0.672                       | 0.517                               | 0.0013   |
| 6  | $^{14}\text{C}$                           | 中毒 | 固体 | 5692a         | $\beta^-$ (100)             | 0.155                       |                                     |  |
| 7  | $^{137}\text{Cs}$                         | 中毒 | 固体 | 30.174a       | $\beta^-$ (100)             | 1.176                       | 0.662 ( $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ) | 0.32 ( $^{137\text{m}}\text{Ba}$ )                                   |
| 8  | $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$            | 高毒 | 溶液 | 28.1a/64h     | $\beta^-$                   | 0.546/2.288                 |                                     |  |
| 9  | $^{60}\text{Co}$                          | 高毒 | 固体 | 5.26a         | $\beta^-$ (100)             | 0.315                       | 1.333                               | 1.32   |
| 10 | $^3\text{H}$                              | 低毒 | 液体 | 12.33a        | $\beta^-$ (100)             | 0.01861                     |                                     |  |
| 11 | $^{85}\text{Sr}$                          | 中毒 | 溶液 | 65.19d        | EC (100)                    |                             | 0.514                               | 0.30   |
| 12 | $^{131}\text{Ba}$                         | 中毒 | 溶液 | 11.7d         | EC (100)                    |                             | 0.497                               | 0.229  |
| 13 | $^{51}\text{Cr}$                          | 低毒 | 溶液 | 27.72d        | EC (100)                    |                             | 0.321                               | 0.018  |
| 14 | $^{153}\text{Gd}$                         | 中毒 | 溶液 | 241.6d        | EC (100)                    |                             | 0.104                               | 0.026  |
| 15 | $^{203}\text{Hg}$                         | 中毒 | 溶液 | 46.76d        | $\beta^-$ (100)             | 0.214                       | 0.280                               | 0.12   |
| 16 | $^{109}\text{Cd}$                         | 中毒 | 溶液 | 453d          | EC (~100)                   |                             | 0.089 ( $^{109\text{m}}\text{Ag}$ ) | 0.0015 ( $^{109\text{m}}\text{Ag}$ )                                 |
| 17 | $^{88}\text{Y}$                           | 中毒 | 溶液 | 108d          | EC (~100) + $\beta^+$ (0.3) | 0.761                       | 1.837                               | 1.32   |
| 18 | $^{22}\text{Na}$                          | 中毒 | 溶液 | 2.60a         | EC(9.45)+ $\beta^+$         | 0.546                       | 1.275                               | 1.21   |



|    |                   |    |    |                        | (90.55)           |  |  |   |
|----|-------------------|----|----|------------------------|-------------------|--|--|---|
| 19 | <sup>54</sup> Mn  | 中毒 | 溶液 | 312.5d                 | EC (~100)<br>+β+  |  | 0.835  | 0.47  |
| 20 | <sup>65</sup> Zn  | 中毒 | 溶液 | 244d                   | EC (98) +β+       | 0.325                                      | 1.116  | 0.314                                       |
| 21 | <sup>152</sup> Eu | 高毒 | 溶液 | 13.2a                  | EC (72)<br>+β+β-  | 1.492                                      | 1.409  | 0.56  |
| 22 | <sup>198</sup> Au | 中毒 | 溶液 | 2.696d                 | EC+β-<br>(~100)   | 1.371                                      | 0.676  | 0.23  |
| 23 | <sup>170</sup> Tm | 中毒 | 溶液 | 130d                   | EC+β- (<) 99)     | 0.968                                      | 0.0843                                       | 0.0012                                      |
| 24 | <sup>210</sup> Pb | 高毒 | 溶液 | 22.3a                  | α+β- (~100)       | 3.72                                       | 0.0465                                       | 0.0016                                      |
| 25 | <sup>154</sup> Eu | 高毒 | 溶液 | 16a                    | β- (100)          | 1.866                                      | 1.275  | 0.634                                       |
| 26 | <sup>35</sup> S   | 中毒 | 溶液 | 87.24d                 | β- (100)          | 0.1674                                     |  |   |
| 27 | <sup>133</sup> Ba | 中毒 | 溶液 | 10.9a                  | EC (100)          |  | 0.384  | 0.21  |
| 28 | <sup>106</sup> Ru | 高毒 | 溶液 | 368.2d                 | β- (100)          | 3.53<br>( <sup>106</sup> A <sub>Rh</sub> ) | 0.6222<br>( <sup>106</sup> A <sub>Rh</sub> ) | 0.116<br>( <sup>106</sup> A <sub>Rh</sub> ) |
| 29 | <sup>169</sup> Yb | 中毒 | 溶液 | 32d                    | EC (100)          |  | 0.198  | 0.108                                       |
| 30 | <sup>144</sup> Ce | 高毒 | 溶液 | 284.2d                 | β- (100)          | 0.316                                      | 0.134  | 0.0077                                      |
| 31 | <sup>55</sup> Fe  | 中毒 | 溶液 | 2.6a                   | EC (100)          |  |  |   |
| 32 | <sup>99</sup> Tc  | 低毒 | 溶液 | 2.13×10 <sup>5</sup> a | β- (100)          | 0.292                                      | 0.0897                                       | ~0  |
| 33 | <sup>36</sup> Cl  | 中毒 | 溶液 | 3.01×10 <sup>5</sup> a | EC+β+β-<br>(98.9) | 0.709                                      |  | 0.00001                                     |

注：表中数据引自《辐射防护手册》第一分册、《常用放射性核素衰变纲图》，毒性分组引自 GB18871-2002。

### 3.1.4 产品规模

本项目生产<sup>57</sup>Co源、<sup>68</sup>Ge源、Sn-In发生器、<sup>147</sup>Pm源、<sup>85</sup>Kr源、<sup>14</sup>C源、<sup>137</sup>Cs源、<sup>60</sup>Co源、<sup>198</sup>Au源、<sup>170</sup>Tm源、<sup>210</sup>Pb源、<sup>153</sup>Gd源、<sup>154</sup>Eu源、<sup>35</sup>S源、<sup>133</sup>Ba源、<sup>106</sup>Ru源、<sup>169</sup>Yb源、<sup>152</sup>Eu源、<sup>144</sup>Ce源、<sup>55</sup>Fe源、<sup>22</sup>Na源、<sup>109</sup>Cd源、<sup>99</sup>Tc源、<sup>36</sup>Cl源。涉及<sup>57</sup>Co、<sup>68</sup>Ge、<sup>113</sup>Sn、<sup>113m</sup>In、<sup>147</sup>Pm、<sup>85</sup>Kr、<sup>14</sup>C、<sup>137</sup>Cs、<sup>60</sup>Co、<sup>198</sup>Au、<sup>170</sup>Tm、<sup>210</sup>Pb、<sup>153</sup>Gd、<sup>154</sup>Eu、<sup>35</sup>S、<sup>133</sup>Ba、<sup>106</sup>Ru、<sup>169</sup>Yb、<sup>152</sup>Eu、<sup>144</sup>Ce、<sup>55</sup>Fe、<sup>22</sup>Na、<sup>109</sup>Cd、<sup>99</sup>Tc、<sup>36</sup>Cl等25种核素，放射源数量按年操作量除以单源最小活度保守考虑，本项目放射性同位素的产品情况见表3.1-6。

表 3.1-6 项目产品的销售规模

| 序号 | 核素名称             | 产品                 | 年销售总量（总活度或重量）                        |
|----|------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1  | <sup>57</sup> Co | <sup>57</sup> Co 源 | 约 1000 枚，总活度 3.7×10 <sup>10</sup> Bq |
| 2  | <sup>68</sup> Ge | <sup>68</sup> Ge 源 | 约 1000 枚，总活度 3.7×10 <sup>10</sup> Bq |

|    |   |                       |   |
|----|---|-----------------------|---|
| 3  | $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ | Sn-In 发生器             | 约 400 个, 总活度 $7.4\times 10^{11}\text{Bq}$   |
| 4  | $^{147}\text{Pm}$                         | $^{147}\text{Pm}$ 源   | 约 100 枚, 总活度 $1.85\times 10^{12}\text{Bq}$  |
| 5  | $^{85}\text{Kr}$                          | $^{85}\text{Kr}$ 源    | 约 1000 枚, 总活度 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$  |
| 6  | $^{14}\text{C}$                           | $^{14}\text{C}$ 源     | 约 20000 枚, 总活度 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ |
| 7  | $^{137}\text{Cs}$                         | $^{137}\text{Cs}$ 源   | 约 1000 枚, 总活度 $3.7\times 10^{13}\text{Bq}$  |
| 8  | $^{60}\text{Co}$                          | $^{60}\text{Co}$ 标准源  | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^5\text{Bq}$         |
| 9  | $^{198}\text{Au}$                         | $^{198}\text{Au}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 10 | $^{170}\text{Tm}$                         | $^{170}\text{Tm}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 11 | $^{210}\text{Pb}$                         | $^{210}\text{Pb}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^4\text{Bq}$         |
| 12 | $^{153}\text{Gd}$                         | $^{153}\text{Gd}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^7\text{Bq}$         |
| 13 | $^{154}\text{Eu}$                         | $^{154}\text{Eu}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^5\text{Bq}$         |
| 14 | $^{35}\text{S}$                           | $^{35}\text{S}$ 标准源   | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^7\text{Bq}$         |
| 15 | $^{133}\text{Ba}$                         | $^{133}\text{Ba}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 16 | $^{106}\text{Ru}$                         | $^{106}\text{Ru}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^5\text{Bq}$         |
| 17 | $^{169}\text{Yb}$                         | $^{169}\text{Yb}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^7\text{Bq}$         |
| 18 | $^{152}\text{Eu}$                         | $^{152}\text{Eu}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 19 | $^{144}\text{Ce}$                         | $^{144}\text{Ce}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^5\text{Bq}$         |
| 20 | $^{55}\text{Fe}$                          | $^{55}\text{Fe}$ 标准源  | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 21 | $^{22}\text{Na}$                          | $^{22}\text{Na}$ 标准源  | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 22 | $^{109}\text{Cd}$                         | $^{109}\text{Cd}$ 标准源 | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |
| 23 | $^{99}\text{Tc}$                          | $^{99}\text{Tc}$ 标准源  | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^7\text{Bq}$         |
| 24 | $^{36}\text{Cl}$                          | $^{36}\text{Cl}$ 标准源  | 约 10 枚, 总活度 $1\times 10^6\text{Bq}$         |

### 3.1.5 工作场所分级

根据本项目平面布局情况, 本项目的非密封放射性物质工作场所包括生产厂房和研发楼的四楼。

按照 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》进行分级。放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因



子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。生产厂房包含 7 条生产线和 1 个  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间, 涉及  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  等 8 种放射性核素的储存和操作; 研发楼 4 层包含 2 个放化实验室和 17 条标准源生产线, 涉及  $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  等 30 种放射性核素的储存和操作。因而, 在确定生产厂房的等级时, 使用各核素的储存和操作的日等效操作量之和作为场所分级的判据。

本项目放射性核素日等效操作量的计算见表 3.1-7。

表 3.1-7 放射性核素日等效操作量

| 场所序号 | 核素名称  | 日最大操作量 (Bq)                    | 核素毒性组别及修正因子 | 操作方式与源状态因子                          | 日等效最大操作量 (Bq)         | 产品                  | 工作场所 |
|------|---|--------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------|
| 1    | $^{57}\text{Co}$                                | $3.7 \times 10^{10}$<br>(储存量)  | 中毒组-0.1     | 操作方式: 源的储存<br>源状态: 溶液<br>修正因子: 100  | $3.7 \times 10^7$     | $^{57}\text{Co}$ 源  | 生产厂房 |
|      |   | $4.4 \times 10^8$              |             | 操作方式: 简单操作<br>源状态: 溶液<br>修正因子: 1    | $4.4 \times 10^7$     |                     |      |
|      | $^{68}\text{Ge}$                                | $3.7 \times 10^{10}$<br>(储存量)  | 中毒组-0.1     | 操作方式: 源的储存<br>源状态: 溶液<br>修正因子: 100  | $3.7 \times 10^7$     | $^{68}\text{Ge}$ 源  |      |
|      |   | $2.0 \times 10^8$              |             | 操作方式: 简单操作<br>源状态: 溶液<br>修正因子: 1    | $2.0 \times 10^7$     |                     |      |
|      | $^{113}\text{Sn}$<br>$/^{113\text{m}}\text{In}$ | $7.4 \times 10^{11}$<br>(储存量)  | 中毒组-0.1     | 操作方式: 源的储存<br>源状态: 固体<br>修正因子: 1    | $7.4 \times 10^{10}$  | Sn-In 发生器           |      |
|      |   | $1.89 \times 10^{10}$          |             | 操作方式: 简单操作<br>源状态: 固体<br>修正因子: 0.01 | $1.89 \times 10^{11}$ |                     |      |
|      | $^{147}\text{Pm}$                               | $1.85 \times 10^{12}$<br>(储存量) | 中毒组-0.1     | 操作方式: 源的储存<br>源状态: 固体<br>修正因子: 1    | $1.85 \times 10^{11}$ | $^{147}\text{Pm}$ 源 |      |

|                                |                  |                                |              |   |                       |                     |           |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------|---|-----------------------|---------------------|-----------|
|                                |                  | $2.59 \times 10^{10}$          |              | 操作方式：简单操作<br>源状态：固体<br>修正因子：0.01              | $2.59 \times 10^{11}$ |                     |           |
| $^{85}\text{Kr}$               |                  | $3.7 \times 10^{12}$<br>(储存量)  | 低毒组<br>-0.01 | 操作方式：源的储存<br>源状态：气体<br>修正因子：1                 | $3.7 \times 10^{10}$  | $^{85}\text{Kr}$ 源  |           |
|                                |                  | $3.7 \times 10^{10}$           |              | 操作方式：简单操作<br>源状态：气体<br>修正因子：0.01              | $3.7 \times 10^{10}$  |                     |           |
| $^{14}\text{C}$                |                  | $3.7 \times 10^8$              | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作<br>源状态：表面污染水<br>平较低的固体<br>修正因子：10   | $3.7 \times 10^6$     | $^{14}\text{C}$ 源   |           |
| $^{137}\text{Cs}$              |                  | $3.7 \times 10^{13}$<br>(储存量)  | 中毒组-0.1      | 操作方式：源的储存<br>源状态：表面污染水<br>平较低的固体<br>修正因子：1000 | $3.7 \times 10^9$     | $^{137}\text{Cs}$ 源 |           |
|                                |                  | $2.22 \times 10^{11}$          |              | 操作方式：简单操作<br>源状态：表面污染水<br>平较低的固体<br>修正因子：10   | $2.22 \times 10^9$    |                     |           |
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ |                  | $5.55 \times 10^{10}$<br>(储存量) | 高毒组-1        | 操作方式：源的储存<br>源状态：溶液<br>修正因子：100               | $5.55 \times 10^8$    | /                   |           |
|                                |                  | $3.7 \times 10^9$              |              | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1                 | $3.7 \times 10^9$     |                     |           |
| 合计                             |                  |                                |              |   | $5.25 \times 10^{11}$ |                     |           |
| 2                              | $^3\text{H}$     | $1.85 \times 10^9$             | 低毒组<br>-0.01 | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1                 | $1.85 \times 10^7$    | 放化试验室<br>一          | 研发楼<br>4层 |
|                                | $^{14}\text{C}$  | $1.85 \times 10^9$             | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作<br>源状态：表面污染水<br>平较低的固体<br>修正因子：10   | $1.85 \times 10^7$    |                     |           |
|                                | $^{68}\text{Ge}$ | $1.85 \times 10^9$             | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1                 | $1.85 \times 10^8$    |                     |           |
|                                | $^{85}\text{Sr}$ | $1.85 \times 10^9$             | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作                                     | $1.85 \times 10^8$    |                     |           |

|   |                   |                    |                  |                               |                    |
|---|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|
|   |                   |                    | 源状态：溶液<br>修正因子：1 |                               |                    |
|   | $^{131}\text{Ba}$ | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{51}\text{Cr}$  | $1.85 \times 10^9$ | 低毒组<br>-0.01     | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^7$ |
|   | $^{113}\text{Sn}$ | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{153}\text{Gd}$ | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{203}\text{Hg}$ | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{57}\text{Co}$  | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{109}\text{Cd}$ | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{147}\text{Pm}$ | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | 放化实验室一使用原料储存      |                    |                  |                               | $1.90 \times 10^7$ |
|   | 小计                |                    |                  |                               | $1.74 \times 10^9$ |
| 2 | $^{88}\text{Y}$   | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{22}\text{Na}$  | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{54}\text{Mn}$  | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{65}\text{Zn}$  | $1.85 \times 10^9$ | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1.85 \times 10^8$ |
|   | $^{152}\text{Eu}$ | $1.11 \times 10^9$ | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作                     | $1.11 \times 10^9$ |

放化试验室  
二

|                  |                       |                   |                  |                               |                   |           |           |
|------------------|-----------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|-----------|-----------|
|                  |                       |                   | 源状态：溶液<br>修正因子：1 |                               |                   |           |           |
| 放化实验室二使用原料储存     |                       |                   |                  | 8.51×10 <sup>6</sup>          |                   |           |           |
| 小计               |                       |                   |                  | 1.86×10 <sup>9</sup>          |                   |           |           |
| 2                | <sup>60</sup> Co      | 1×10 <sup>4</sup> | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> | 标准源生产线实验室 |           |
|                  | <sup>198</sup> A<br>u | 1×10 <sup>5</sup> | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> |           |           |
|                  | <sup>170</sup> T<br>m | 1×10 <sup>5</sup> | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> |           |           |
|                  | <sup>210</sup> Pb     | 1×10 <sup>3</sup> | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>3</sup> |           |           |
|                  | <sup>153</sup> G<br>d | 1×10 <sup>6</sup> | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>5</sup> |           |           |
|                  | <sup>154</sup> Eu     | 1×10 <sup>4</sup> | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> |           |           |
|                  | <sup>35</sup> S       | 1×10 <sup>6</sup> | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>5</sup> |           |           |
|                  | <sup>133</sup> Ba     | 1×10 <sup>5</sup> | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> |           |           |
|                  | <sup>106</sup> Ru     | 1×10 <sup>4</sup> | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> |           |           |
|                  | <sup>169</sup> Y<br>b | 1×10 <sup>6</sup> | 中毒组-0.1          | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>5</sup> |           |           |
|                  | <sup>152</sup> Eu     | 1×10 <sup>5</sup> | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>5</sup> |           | 研发楼<br>4层 |
|                  | <sup>144</sup> Ce     | 1×10 <sup>4</sup> | 高毒组-1            | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | 1×10 <sup>4</sup> |           |           |
| <sup>55</sup> Fe | 1×10 <sup>5</sup>     | 中毒组-0.1           | 操作方式：简单操作        | 1×10 <sup>4</sup>             |                   |           |           |

|                   |                 |              |                               |                    |  |
|-------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|--------------------|--|
|                   |                 |              | 源状态：溶液<br>修正因子：1              |                    |  |
| $^{22}\text{Na}$  | $1 \times 10^5$ | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1 \times 10^4$    |  |
| $^{109}\text{Cd}$ | $1 \times 10^5$ | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1 \times 10^4$    |  |
| $^{99}\text{Tc}$  | $1 \times 10^6$ | 低毒组<br>-0.01 | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1 \times 10^4$    |  |
| $^{36}\text{Cl}$  | $1 \times 10^5$ | 中毒组-0.1      | 操作方式：简单操作<br>源状态：溶液<br>修正因子：1 | $1 \times 10^4$    |  |
| 标准源生产车间使用原料储存     |                 |              |                               | $4.21 \times 10^3$ |  |
| 小计                |                 |              |                               | $5.25 \times 10^5$ |  |
| 合计                |                 |              |                               | $3.60 \times 10^9$ |  |

从表 3.1-7 可见，对每一个独立的工作场所，生产厂房放射性核素的日等效操作量为  $5.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ ；研发楼 4 层放射性核素的日等效操作量为  $3.60 \times 10^9\text{Bq}$ 。

按照 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的分级判据（见表 3.1-8），生产厂房属于甲级非密封放射性物质工作场所，研发楼 4 层属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 3.1-8 非密封源工作场所的分级

| 级别 | 日等效最大操作量/Bq                        |
|----|------------------------------------|
| 甲  | $>4 \times 10^9$                   |
| 乙  | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙  | 豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$       |

## 3.2 工程设备与工艺分析

### 3.2.1 工程设备及主要原辅料消耗

#### 3.2.1.1 主要设备

本项目主要的新增设备见表 3.2-1。

表 3.2-1 本项目设备表

| 序号 | 生产线                           | 设备名称      | 数量   | 备注  |
|----|-------------------------------|-----------|------|-----|
| 一  | 辐射技术应用中心                      | 源架        | 14 套 |     |
|    |                               | 源升降装置     | 14 套 |     |
|    |                               | 源架监视系统    | 1 套  |     |
|    |                               | 移动式电视监视系统 | 1 套  |     |
| 二  | 退役 $^{60}\text{Co}$ 放射源再利用生产线 | 包壳组装装置    | 1 套  |     |
|    |                               | 氩弧焊机      | 1 套  |     |
|    |                               | 超声清洗装置    | 1 套  |     |
|    |                               | 活度计       | 1 套  |     |
|    |                               | 屏蔽热室      | 1 间  |     |
|    |                               | 机械手       | 2 套  |     |
|    |                               | 储源架       | 5 套  |     |
| 三  | $^{57}\text{Co}$ 放射源生产线       | 加热炉       | 1 套  |     |
|    |                               | 活度计       | 1 套  |     |
|    |                               | 氩弧焊机      | 1 台  | 含焊台 |
|    |                               | 超声清洗装置    | 1 套  |     |
|    |                               | 屏蔽手套箱     | 4 套  |     |
| 四  | $^{68}\text{Ge}$ 放射源生产线       | 分液装置      | 1 套  |     |
|    |                               | 移液器       | 1 台  |     |
|    |                               | 活度计       | 2 台  |     |
|    |                               | 氩弧焊机      | 2 台  | 带焊台 |
|    |                               | 屏蔽手套箱     | 4 套  |     |
| 五  | Sn-In 发生器生产线                  | 原料溶解装置    | 1 套  |     |
|    |                               | 灌装泵       | 1 套  |     |
|    |                               | 蠕动泵       | 1 套  |     |
|    |                               | 活度测量仪     | 1 套  |     |
|    |                               | 表面污染仪     | 1 台  |     |

|   |   |                                    |          |     |               |
|---|---|------------------------------------|----------|-----|---------------|
|   | 6 |                                    | 屏蔽手套箱    | 3 套 |               |
|   | 7 |                                    | 耳箱       | 1 套 |               |
| 五 | 1 | $^{147}\text{Pm}$ 放射源生<br>产线       | 滴定装置     | 1 台 |               |
|   | 2 |                                    | 氩弧焊机     | 1 台 |               |
|   | 3 |                                    | 超声波清洗器   | 1 套 |               |
|   | 4 |                                    | 活度计      | 1 套 |               |
|   | 5 |                                    | 屏蔽手套箱    | 5 套 |               |
| 六 | 1 | $^{85}\text{Kr}$ 放射源生<br>产线        | 多工位活动箱室  | 1 套 | 1800×1200×900 |
|   | 2 |                                    | 气体分装装置   | 1 套 | 订制            |
| 七 | 3 | $^{85}\text{Kr}$ 放射源生<br>产线        | 冷封钳      | 1 套 | 订制            |
|   | 4 |                                    | 激光焊机     | 1 套 |               |
|   | 5 |                                    | 惰性气体检漏装置 | 1 套 |               |
|   | 6 |                                    | 活度测量仪    | 1 套 |               |
|   | 7 |                                    | 压力计      | 2 台 |               |
| 八 | 1 | $^{14}\text{C}$ 放射源生产<br>线         | 屏蔽手套箱    | 1 套 | 3000×1200×900 |
|   | 2 |                                    | 移液器      | 1 套 |               |
|   | 3 |                                    | 封膜机      | 1 套 |               |
|   | 4 |                                    | 测量设备     | 1 套 |               |
| 九 | 1 | Cs-137 放射源<br>生产线                  | 包壳切割装置   | 1 个 |               |
|   | 2 |                                    | 定标器      | 1 套 |               |
|   | 3 |                                    | 蠕动泵      | 3 个 |               |
|   | 4 |                                    | 屏蔽工作箱    | 4 套 |               |
|   | 5 |                                    | 自动焊接装置   | 2 个 |               |
|   | 6 |                                    | 辐照观察装置   | 3 个 |               |
|   | 7 |                                    | 超声波清洗器   | 3 个 |               |
|   | 8 |                                    | 真空检漏容器   | 1 个 |               |
| 十 | 1 | $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验室 | 手套箱      | 1 套 |               |
|   | 2 |                                    | 滴定装置     | 1 套 |               |
|   | 3 |                                    | 封膜机      | 1 台 |               |

|    |    |      |                               |    |  |
|----|----|------|-------------------------------|----|--|
| 十一 | 1  | 研发中心 | 滴定装置                          | 4套 |  |
|    | 2  |      | 封膜机                           | 1台 |  |
|    | 3  |      | 通风柜                           | 4个 |  |
|    | 4  |      | 流体式大面积 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 | 2个 |  |
|    | 5  |      | 高纯锗 $\gamma$ 谱仪               | 1个 |  |
|    | 6  |      | 碘化钠 $\gamma$ 谱仪               | 1个 |  |
|    | 7  |      | 低温试验箱                         | 1个 |  |
|    | 8  |      | 马弗炉                           | 1个 |  |
|    | 9  |      | 功率放大器                         | 1个 |  |
|    | 10 |      | 显微镜                           | 2台 |  |

### 3.2.1.2 主要原辅材料消耗和能耗

本项目消耗的主要原辅材料除了放射性物质以外，还包括各生产线生产放射源产品及研发中心从事研制研究工作所需的化学品，本项目涉及使用的原辅材料消耗及能耗见下表：

表 3.2-2 项目消耗的原辅材料及能耗

| 类型    | 序号           | 名称                      | 来源                  | 形态 | 规格         | 年用量                           |                               |
|-------|--------------|-------------------------|---------------------|----|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 原(辅)料 | Co-57 放射源生产线 |                         |                     |    |            |                               |                               |
|       | 1            | $^{57}\text{CoCl}_2$ 溶液 | 进口                  | 液体 | 定制         | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ |                               |
|       | 2            | 沸石柱                     | 国产                  | 固体 | 定制         | 500个                          |                               |
|       | 3            | 源包壳                     | 外加工                 | 固体 | 定制         | 100套                          |                               |
|       | Ge-68 放射源生产线 |                         |                     |    |            |                               |                               |
|       | 1            | $^{68}\text{GeCl}_4$ 溶液 | 进口                  | 溶液 | 定制         | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ |                               |
|       | 2            | 环氧树脂                    | 国产                  | 固体 | 分析纯, 500g  | 1瓶                            |                               |
|       | 3            | 源包壳                     | 外加工                 | 固体 | 定制         | 1000套                         |                               |
|       | 原(辅)料        | Sn-In 发生器生产线            |                     |    |            |                               |                               |
|       |              | 1                       | $^{113}\text{Sn}$ 块 | 进口 | 固体         | 定制                            | $7.4 \times 10^{11}\text{Bq}$ |
| 2     |              | 水合氧化锆冷柱                 | 国产                  | 固体 | 定制         | 约 150个                        |                               |
| 3     |              | 盐酸                      | 国产                  | 液体 | 分析纯, 500ml | 5瓶                            |                               |
| 4     |              | 双氧水                     | 国产                  | 液体 | 分析纯, 500ml | 1瓶                            |                               |
| 5     |              | 收集瓶                     | 国产                  | 固体 | 定制         | ~150个                         |                               |



| Pm-147 放射源生产线  |                             |     |    |  |                                |
|----------------|-----------------------------|-----|----|--|--------------------------------|
| 1              | $^{147}\text{PmCl}_3$       | 进口  | 溶液 | 定制                                       | $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$  |
| 2              | 源包壳                         | 外加工 | 固体 | 定制                                       | 100套                           |
| 3              | 陶瓷源芯                        | 外加工 | 固体 | 定制                                       | 100套                           |
| 4              | 氙气                          | 外购  | 液体 | 99.99%                                   | 2 瓶                            |
| Kr-85放射源生产线    |                             |     |    |  |                                |
| 1              | $^{85}\text{Kr}$            | 进口  | 气体 | 定制                                       | $1.11 \times 10^{13}\text{Bq}$ |
| 2              | 源包壳                         | 外加工 | 固体 | 定制                                       | 1000套                          |
| C-14 放射源生产线    |                             |     |    |  |                                |
| 1              | $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ | 进口  | 固体 | 定制                                       | $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ |
| 2              | 源包壳                         | 外加工 | 固体 | 定制                                       | 20000 套                        |
| 3              | 丙酮                          | 外购  | 液体 | 500mL/瓶                                  | 2 瓶                            |
| Cs-137 放射源生产线  |                             |     |    |  |                                |
| 1              | $^{137}\text{Cs}$ 密封源半成品    | 进口  | 固体 | 定制                                       | $3.7 \times 10^{13}\text{Bq}$  |
| 2              | 源包壳                         | 外加工 | 固体 | 定制                                       | 4000 套                         |
| 3              | 氙气                          | 外购  | 液体 | 99.99%                                   | 2 瓶                            |
| Sr-90/Y-90 实验室 |                             |     |    |  |                                |
| 1              | $^{90}\text{SrCl}_2$        | 进口  | 液体 | 定制                                       | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$  |
| 2              | 滤纸                          | 外购  | 固体 | 100 张/盒                                  | 10 盒                           |
| 3              | 铝箔                          | 外购  | 固体 | 0.1mm 厚                                  | $2\text{m}^2$                  |
| 4              | 铝包壳                         | 外购  | 固体 | 非标                                       | 2000 套                         |
| 研发中心（放化实验室一）   |                             |     |    |  |                                |
| 1              | 滤纸                          | 外购  | 固体 | 100 张/盒                                  | 3 盒                            |
| 2              | 陶瓷基片                        | 外购  | 固体 | $\phi 20\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 厚 | 150 个                          |
| 3              | 搪瓷基片                        | 外购  | 固体 | $\phi 20\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 厚 | 30 个                           |
| 4              | 铜片                          | 外购  | 固体 | 100mm 宽 $\times$ 0.1mm 厚                 | 2 米                            |
| 5              | 不锈钢包壳                       | 外购  | 固体 | 非标                                       | 150 套                          |
| 6              | 铝箔                          | 外购  | 固体 | 0.1mm 厚                                  | 1.5 平方米                        |
| 7              | 铝包壳                         | 外购  | 固体 | 非标                                       | 150 套                          |
| 8              | $\text{Na}_2\text{SO}_4$    | 外购  | 液体 | 500g/瓶                                   | 50g                            |
| 9              | KCl                         | 外购  | 液体 | 500g/瓶                                   | 250g                           |
| 10             | $\text{H}_2\text{SO}_4$     | 外购  | 液体 | 500mL/瓶                                  | 2 瓶                            |

|              |                                |    |    |                 |         |
|--------------|--------------------------------|----|----|-----------------|---------|
| 11           | NaOH                           | 外购 | 液体 | 500g/瓶          | 2 瓶     |
| 12           | HNO <sub>3</sub>               | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 1 瓶     |
| 13           | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> | 外购 | 液体 | 500g/瓶          | 3 瓶     |
| 14           | 丙酮                             | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 2 瓶     |
| 15           | 乙醇                             | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 3 瓶     |
| 研发中心（放化实验室二） |                                |    |    |                 |         |
| 1            | 滤纸                             | 外购 | 固体 | 100 张/盒         | 2 盒     |
| 2            | 陶瓷基片                           | 外购 | 固体 | φ20mm×0.5mm 厚   | 50 个    |
| 3            | 搪瓷基片                           | 外购 | 固体 | φ20mm×0.5mm 厚   | 20 个    |
| 4            | 铜片                             | 外购 | 固体 | 100mm 宽×0.1mm 厚 | 1 米     |
| 5            | 不锈钢包壳                          | 外购 | 固体 | 非标              | 50 套    |
| 6            | 铝箔                             | 外购 | 固体 | 0.1mm 厚         | 0.5 平方米 |
| 7            | 铝包壳                            | 外购 | 固体 | 非标              | 100 套   |
| 8            | KCl                            | 外购 | 液体 | 500g/瓶          | 250g    |
| 9            | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 1 瓶     |
| 10           | NaOH                           | 外购 | 液体 | 500g/瓶          | 1 瓶     |
| 11           | HNO <sub>3</sub>               | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 1 瓶     |
| 12           | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> | 外购 | 液体 | 500g/瓶          | 1 瓶     |
| 13           | 丙酮                             | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 2 瓶     |
| 14           | 乙醇                             | 外购 | 液体 | 500mL/瓶         | 3 瓶     |
| 15           | 滤纸                             | 外购 | 液体 | 100 张/盒         | 2 盒     |

表 3.2-2 项目能耗

| 类型 | 名称  | 来源   | 年耗量      |
|----|-----|------|----------|
| 能源 | 电能  | 园区供电 | 85 万 kwh |
| 水量 | 自来水 | /    | 3000t    |

本项目化学原料的理化性质见表 3.2-3。

表 3.2-3 项目主要化学原料理化性质

| 类别<br>品名 | 性 状                | 危险特性  | 储 存      |
|----------|--------------------|---|----------|
| 盐酸       | 无色,透明液体,<br>有刺激性气味 | 与一些活性金属粉末发生反应,放出氢气。遇氰化物能产生剧毒的氰化氢气体。与碱发生中和反应,并放出大量的热。具有强腐蚀 | 密封于阴凉处保存 |

|    |                      |   |          |
|----|----------------------|---|----------|
| 硝酸 | 无色透明发烟液体，有酸味         | 具有强氧化性。与易燃物(如苯)和有机物(如糖、纤维素等)接触会发生剧烈反应，甚至引起燃烧。与碱金属能发生剧烈反应。具有强腐蚀性 | 密封于阴凉处保存 |
| 乙醇 | 无色液体，有酒香             | 易燃，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。遇明火、高热能引起燃烧爆炸。与氧化剂接触发生化学反应或引起燃烧。             | 密封于阴凉处保存 |
| 丙酮 | 无色透明易流动液体，有芳香气味，极易挥发 | 其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。遇明火、高热极易燃烧爆炸。与氧化剂能发生强烈反应                        | 密封于阴凉处保存 |

### 3.2.1.3 放射性同位素来源及储存

#### (1) 辐射技术应用中心 Co-60 放射源

辐射技术应用中心 Co-60 辐照源主要生产原料为放射源库回收的退役  $^{60}\text{Co}$  放射源。回收后储存于放射源库的贮源水井内。

#### (2) Co-57 源生产线 Co-57 放射源

Co-57 源生产线 Co-57 放射源主要原料为  $^{57}\text{CoCl}_2$  溶液，来源为进口。购入时总活度为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (3) Ge-68 源生产线 Ge-68 放射源

Ge-68 源生产线 Ge-68 放射源主要原料为  $^{68}\text{GeCl}_4$  溶液，来源为进口。购入时总活度为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (4) Sn-In 发生器生产线 $^{113}\text{Sn}$ 放射源

Sn-In 发生器生产线  $^{113}\text{Sn}$  放射源主要原料为  $^{113}\text{Sn}$  块，来源为进口。购入时总活度为  $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$  (20Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (5) Pm-147 源生产线 Pm-147 放射源

Pm-147 源生产线 Pm-147 放射源主要原料为  $^{147}\text{PmCl}_3$  源，来源为进口。购入时总活度为  $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$  (100Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (6) Kr-85 源生产线 Kr-85 放射源

Kr-85 源生产线 Kr-85 放射源主要原料为  $^{85}\text{Kr}$  气体，放射源库的储存地坑或原料临时存放源为进口。购入时总活度为  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  (100Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (7) C-14 源生产线 C-14 放射源

C-14 源生产线 C-14 放射源主要原料为  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  源，来源为进口。购入时总活度为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci)，储存于放射源库的贮源地坑内。

#### (8) Cs-137 源生产线 Cs-137 放射源

Cs-137 源生产线 Cs-137 放射源主要原料为  $^{137}\text{Cs}$  密封源半成品，来源为进口。购入时总活度为  $3.7 \times 10^{13} \text{Bq}$  (1000Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (9) Sr-90/Y-90 实验室 Sr-90/Y-90 放射源

Sr-90/Y-90 实验室 Sr-90/Y-90 放射源主要原料为  $^{90}\text{SrCl}_2$  液体，来源为进口。购入时总活度为  $3.7 \times 10^{10} \text{q}$  (1Ci)，储存于生产厂房的原料装运大厅存放区。

#### (10) 研发中心放射性同位素

研发中心所使用的原料均为进口，原料均即买即用，由原料铅罐装载，原料铅罐厚 10mm，规格为 45mm×90mm (直径×高)。储存于各自实验室内。

### 3.2.2 工艺分析

本项目建设内容主要包括一栋生产厂房和辐射中心，包括辐射技术应用中心、放射源库、 $^{60}\text{Co}$  源、 $^{57}\text{Co}$  源、 $^{68}\text{Ge}$  源、Sn-In 发生器、 $^{147}\text{Pm}$  源、 $^{85}\text{Kr}$  源、 $^{14}\text{C}$  源、 $^{137}\text{Cs}$  源等 8 条放射源生产线，1 个  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间；研发楼，设放化实验室和 17 条豁免标准源生产线；同时包括相应配套公辅设施的建设。下面按生产线和环节描述各自的工艺：

#### 3.2.2.1 辐射技术应用中心

辐射技术应用中心利用退役钴-60 放射源制作的新源开展仪器设备材料辐照老化试验以及普通货物辐照灭菌保鲜等。操作的放射源为  $^{60}\text{Co}$  (I 类)。包括源架、源升降装置以及源架监视系统等。工作流程如下：

(1) 将需要辐照的产品运至操作大厅装料段，根据加工要求进行运行参数的选择；

(2) 升源，人工将拟辐照的货物搬运至悬挂链下的辐照箱内；

(3) 货物经由迷道入口自动输入辐照室进行辐照，辐照箱在由源架一侧被推至另一侧时自动换面。整过辐照过程中，辐照箱的运行按产品的辐照剂量设定通过传输系统 PLC 控制，使辐照箱进行间歇式步走进位，精确控制其在辐照工位停留时间和走位的时间，从而实现辐照剂量的精确控制；

(4)产品完成辐照后经由迷道出口输出辐照室，在操作大厅卸料段人工将辐照完毕的货物卸出；

(5)产品经质检合格后入库。

其工艺流程及产污环节如图 3.2-1 所示：

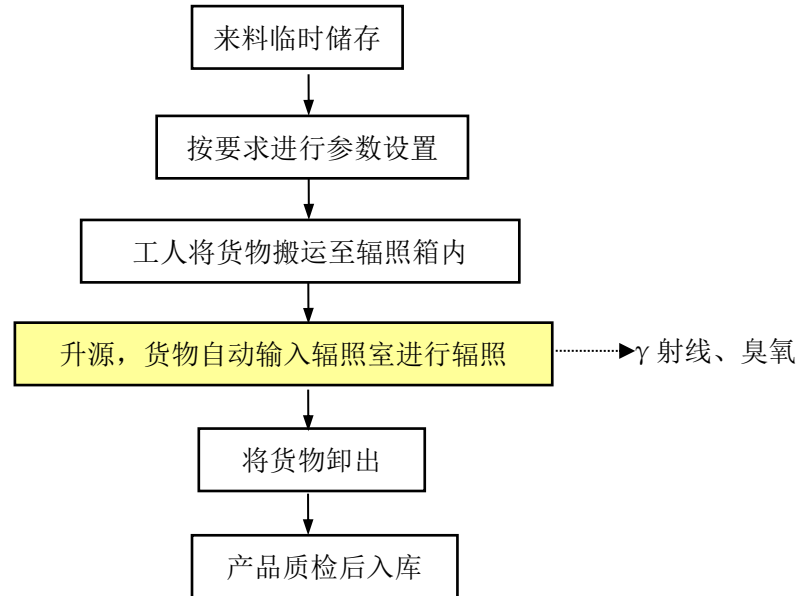


图 3.2-1 辐射技术应用中心辐照工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.2 退役放射源入库

本项目建设放射源库以实现成品源、个别放射性原料、退役放射源的集中贮存和再利用生产。放射源库的贮源水井、贮存地坑用于上述放射源的集中贮存。

#### (1)退役源入库

将在中核高通小密封源工号检验合格的退役源运至放射源库，卸除容器底座螺丝并拧松源罐活塞盖板上的紧固螺丝，将储源容器从车辆卸下，拆卸掉运输容器的防护罩、防火盖、压盖、防火套、支座等附属件。

#### (2)退役源倒装

用桁吊将源罐根据放射源类别吊至贮存地坑的相应位置。

#### (3)退役源入井

取退役  $^{60}\text{Co}$  放射源再利用生产辐照源一次操作量，将其屏蔽容器吊入贮源水井，在井中用吊车提起屏蔽塞，用长柄工具取出运输吊篮，将吊篮中装载的退役源取出存放于水井放射源存放架，清点核对数量并做好记录。用长柄工具将空吊篮放

回容器内，盖好屏蔽塞，用行吊将容器从水井中提出；检测合格后将其转至空容器库。

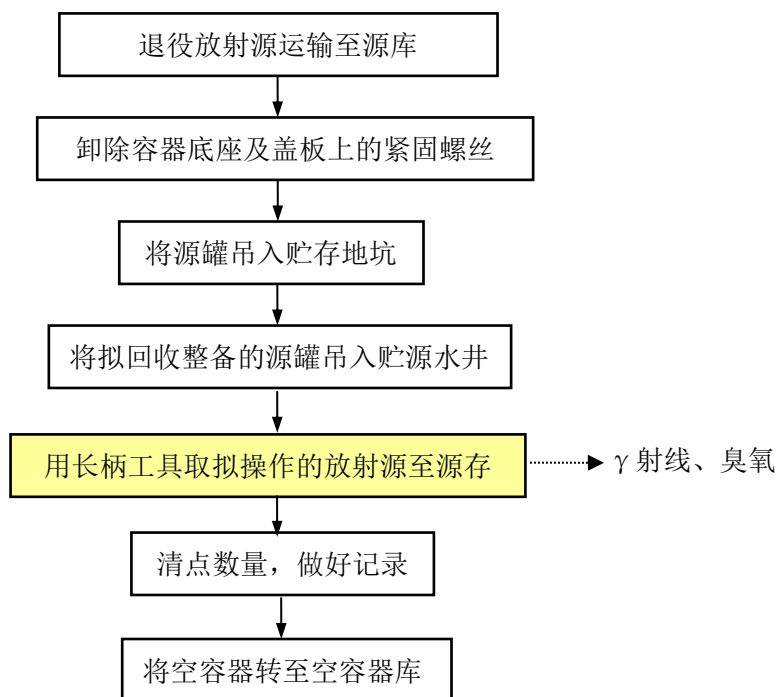


图 3.2-2 退役源入库工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.3 退役放射源再利用

在放射源库的整备热室开展退役放射源再利用，工艺流程如下：

#### (1) 放射源准备

根据组装方案将目标退役源从贮源水井由升降装置通过水井与整备热室的斜孔道提取至整备热室，按组装方案将垫块、退役放射源装入外包壳，放入充氦腔室充入 0.1MPa 氦气并压入下端塞。

#### (2) 新源组装封焊

从充氦腔室取出外包壳放进焊接台架进行下端塞与包壳的包壳熔融密封焊接。焊缝外观检验，合格进入下道工序。

#### (3) 成品源质量检验

泄漏检验：采用氦质谱检漏法或沸腾液体浸泡法对成品源进行泄漏检验，漏率大于  $10^{-9}$  Pam<sup>3</sup>/s 切割后重新封装，小于  $10^{-9}$  Pam<sup>3</sup>/s 判为合格。

表面污染检查：用脱脂纱布擦拭成品源棒全部表面直至擦拭纱布活度小于

200Bq。

尺寸检查：将成品源过管规检查，不能穿过的解体后重新封装，能穿过的为合格。

活度测量：将成品源装入测量装置进行测量，测量活度。

此工序在泄漏检验中产生检漏废液 1.8L/批次，该废水含核素  $^{60}\text{Co}$ ，活度浓度为  $9.44 \times 10^6 \text{Bq/L}$ ；表面污染检查中产生擦拭废物约 0.5kg/批次，活度为  $1.00 \times 10^4 \text{Bq/批次}$ ；不合格品切割后产生废弃包壳及垫块等固体废弃物约 1kg/批次，活度为  $3.7 \times 10^6 \text{Bq/批次}$ 。

#### (4)成品源倒装

合格成品源通过斜孔道将成品源转入辐射技术应用中心贮源水井，工作人员使用长杆工具将源棒装入水下转运篮筐，然后将篮筐通过滑轨系统输运至指定的倒装源区域将源装至辐射技术应用中心源架上。

放射源库退役源再利用的生产工艺流程示意图见图 3.2-3。

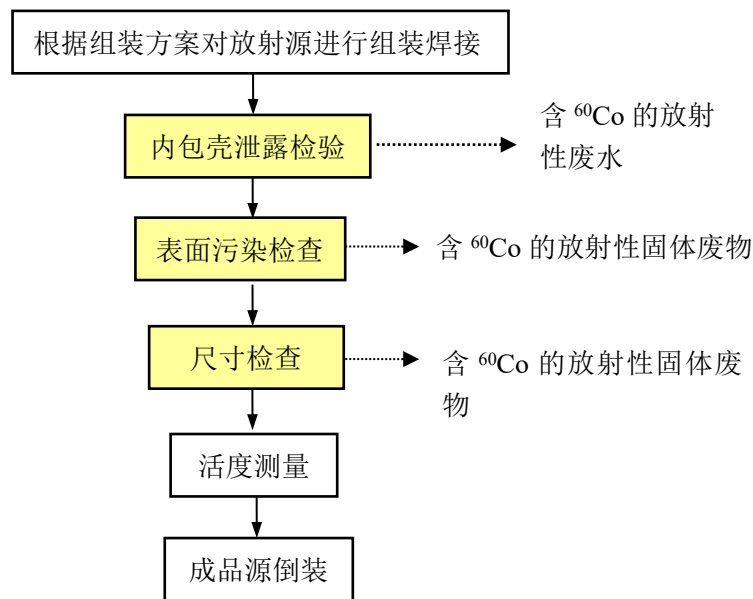


图 3.2-3 退役源再利用工艺流程及产污环节示意图

#### 3.2.2.4 Co-57 放射源生产线

本生产线利用  $^{57}\text{CoCl}_2$  溶液生产  $^{57}\text{Co}$  仪表刻度源，工艺流程如下：

##### (1) 生产准备

准备好生产所需的沸石柱、源壳等。用小车将原料铅罐运至生产前区，将装载



$^{57}\text{CoCl}_2$  溶液原料的铅罐由 1#箱室传入，取出原料西林瓶。

### (2) 原料分装

将原料西林瓶通过箱室之间的孔道转至转至 2#箱，根据产品要求使用移液器取  $^{57}\text{CoCl}_2$  溶液，移至活度计内测量活度。

### (3) 源芯制备

在 2#箱室内，用移液器将  $^{57}\text{CoCl}_2$  溶液滴加至沸石柱上制备源芯，源芯制备好后测量源芯活度，测量合格后，将源芯装入石英瓶，放入加热炉进行源芯烧结。

此工序产生含  $^{57}\text{Co}$  的移液器吸头，总质量约为 0.021kg，活度为  $3.5\times 10^2\text{Bq}$ /批次。源芯烧结产生废气，该废气中含  $^{57}\text{Co}$  核素，废气总活度为  $1.11\times 10^4\text{Bq}$ /批次。

### (4) 焊接密封

源芯烧结后，通过箱室之间的孔道转至 3#箱，装入包壳内采用氩弧焊接进行焊接密封。焊接完成后，观察焊缝成型效果与成品的外表面。

此工序产生含  $^{57}\text{Co}$  的废弃包壳，产生量约为 10g，活度为  $1.0\times 10^2\text{Bq}$ /批次。

### (5) 清洗检测

对密封源进行擦拭去污，擦拭后的放射源采取热液浸泡法进行检漏，检漏合格的放射源用超声波进行清洗，清洗完成后用蠕动泵取最后一轮的清洗液进行污染泄漏检测。

此工序产生含  $^{57}\text{Co}$  的放射性固废，为擦拭去污的废弃棉球，总质量约为 1.5g，总活度为  $50\text{Bq}$ /批次；产生含  $^{57}\text{Co}$  的放射性废液，为含  $^{57}\text{Co}$  的浸泡液、清洗液，废液总体积约为 80mL，活度为  $6.31\times 10^2\text{Bq}$ /批次。

### (6) 包装发货

产品检验合格，对产品放射源进行包装，再传至发货大厅，等待发货。

此外，工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{57}\text{Co}$  的固体废物，产生量为 0.1kg，活度为  $2.29\times 10^3\text{Bq}$ /批次。

$^{57}\text{Co}$  放射源的生产工艺流程示意图见图 3.2-4。



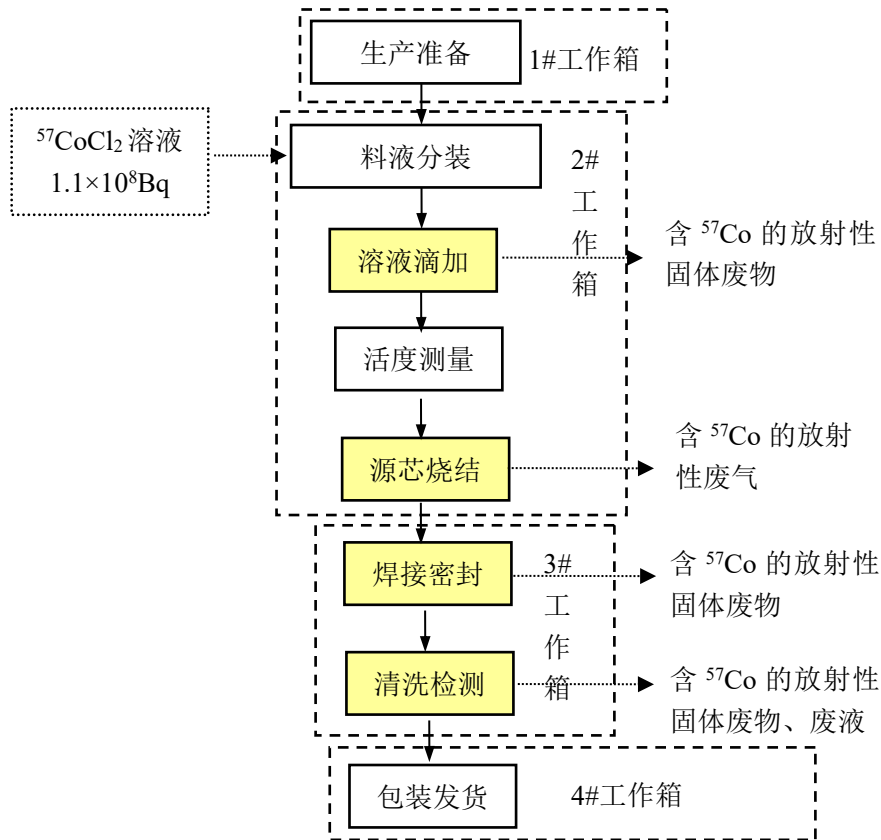


图 3.2-4  $^{57}\text{Co}$  放射源生产工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.5 Ge-68 放射源生产线

本生产线利用  $^{68}\text{GeCl}_4$  溶液生产  $^{68}\text{Ge}$  校正源，工艺流程如下：

#### (1) 生产准备

准备好生产所需的包壳及环氧树脂。用小车将原料铅罐运至生产前区，将装载  $^{68}\text{GeCl}_4$  溶液原料的铅罐由 1#箱室传入，取出原料西林瓶。

#### (2) 原料分装

将原料西林瓶通过箱室之间的孔道转至 2#箱室，根据产品要求使用移液器取出  $^{68}\text{GeCl}_4$  溶液放至活度计内测量活度。

#### (3) 源芯制备

在 2#箱室，将原料（ $^{68}\text{Ge}$  溶液）与环氧树脂混合、搅拌，使用分液装置将混合液加入到内包壳中，转移到 3#箱室。

含此工序产生含  $^{68}\text{Ge}$  的废弃移液器吸头，重量为 5g，活度为  $1.25 \times 10^2 \text{Bq/批次}$ 。

#### (4) 内包壳焊接密封

在 3#热室内待源芯常温固化后，使用氩弧焊机进行焊接密封。此工序产生废包壳，重量为 0.05kg，活度为 50Bq/批次。

#### (5) 内包壳清洗检测

采用浸泡法进行泄漏检验，擦拭法去污。此工序产生含  $^{68}\text{Ge}$  的浸泡液、清洗液，体积为 0.25L，活度约为  $1 \times 10^3 \text{Bq}$ ；产生含  $^{68}\text{Ge}$  的放射性固废为擦拭去污的废弃棉球，重量为 0.05kg，活度约为  $1 \times 10^2 \text{Bq}$ 。

#### (6) 外包壳焊接密封

将包裹源芯的内包壳装入外包壳内进行焊接密封。焊接完成后，观察焊缝与成品的外表面。

此工序产生废弃包壳，产生量约为 0.09kg，活度为 50Bq/批次。

#### (7) 外包壳清洗检测

采用浸泡法进行泄漏检验，擦拭法去污。此工序产生含  $^{68}\text{Ge}$  的清洗废液，体积为 0.25L，活度约为 80Bq；产生含  $^{68}\text{Ge}$  的擦拭去污废弃棉球，重量为 0.05kg，活度约为 20Bq。

#### (8) 包装发货

产品检验合格，对产品放射源进行包装，传至发货大厅，等待发货。

此外，在生产过程中产生含  $^{68}\text{Ge}$  的放射性废气，活度为  $1.0 \times 10^4 \text{Bq}$ /批次。工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{68}\text{Ge}$  的固体废物，产生量为 0.09kg，活度为  $2.06 \times 10^2 \text{Bq}$ /批次。

$^{68}\text{Ge}$  放射源的生产工艺流程示意图见图 3.2-5。

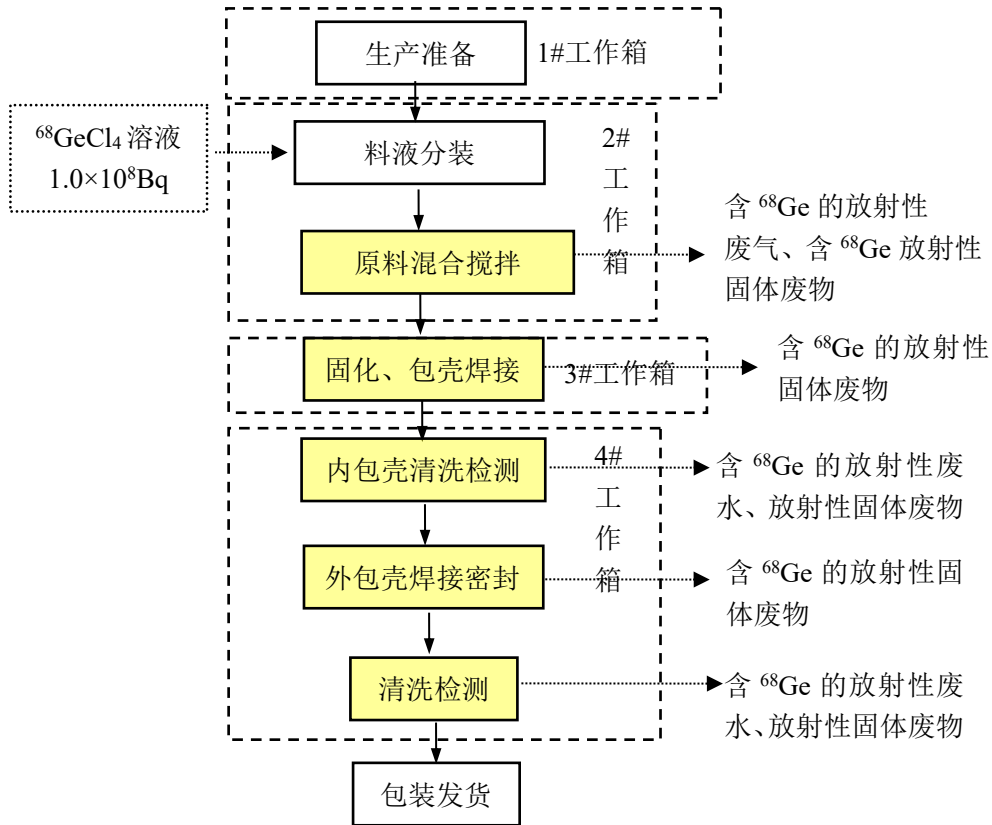


图 3.2-5 <sup>68</sup>Ge 放射源生产工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.6 Sn-In 发生器生产线

本生产线利用 <sup>113</sup>Sn 块生产 Sn-In 发生器，工艺流程如下：

#### (1) 生产准备

水合氧化锆冷柱由 4#辅料进料耳箱传入 3#灌装箱室；原料铅罐由小车运至生产前区，将装载 <sup>113</sup>Sn 块原料的铅罐由 1#箱室传入，取出原料石英瓶。

#### (2) 原料液配制

将原料石英瓶通过箱室之间的孔道转至 2#箱，在 2#屏蔽手套箱中，根据产品要求取出一定量的原料锡块，将原料锡块放于溶解瓶内，加入溶解液（0.1mol/L 的盐酸）溶解，加入去离子水进行稀释、加入双氧水进行价态调节。

本工序产生含 <sup>113</sup>Sn 的废弃一次性容器，总质量为 9g，总放射性活度约为  $4.27 \times 10^2 \text{Bq/批次}$ 。

#### (3) 料液质量检验

取样装置取少量溶液，测量料液浓度、核纯。剩余料液传至 3#箱室。

此工序产生含 <sup>113</sup>Sn 的质量检验残液，总体积约为 60mL，活度为  $6.0 \times 10^5 \text{Bq/批}$

次。

#### (4) 柱体制备

取料液对柱体进行灌装，静置 6 小时。

此工序产生含  $^{113}\text{Sn}$  的清洗废水。

#### (5) 质量检验

对柱体进行取淋洗液进行淋洗，静置 6 小时，再次淋洗。检测活度、核纯、放射纯、PH 值。

该工序产生  $^{113}\text{Sn}$  的淋洗质检废液，第一次淋洗废水产生量约为 80mL，总活度约为  $6 \times 10^5 \text{Bq/批次}$ ；第二次淋洗废水产生量约为 50mL，废液总活度约为  $7.34 \times 10^7 \text{Bq/批次}$ 。

#### (6) 包装发货

产品检验合格，对产品放射源进行包装，传至发货大厅，等待发货。

此外，在生产过程中产生含  $^{113}\text{Sn}$  放射性废气，总活度约为  $6.32 \times 10^5 \text{Bq/批次}$ 。工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{113}\text{Sn}$  的固体废物，产生量为 0.42kg，活度为  $3.45 \times 10^3 \text{Bq/批次}$ 。

产品 Sn-In 发生器的生产工艺流程示意图见图 3.2-6。

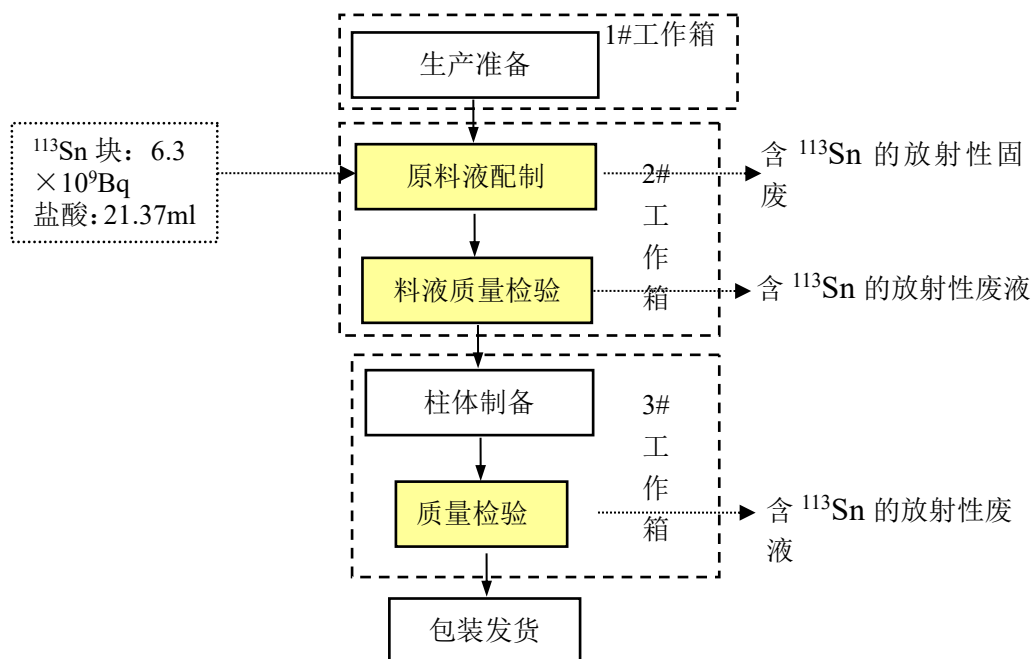


图 3.2-6 Sn-In 发生器生产工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.7 Pm-147 放射源生产线

本生产线利用  $^{147}\text{PmCl}_3$  生产  $^{147}\text{Pm}$  放射源，工艺流程如下：

#### (1) 生产准备

$^{147}\text{Pm}$  放射源制备的物料有  $^{147}\text{PmCl}_3$  原料溶液、源窗包壳、陶瓷源芯等。

准备好生产所需的包壳、陶瓷源芯，用小车将原料铅罐运至生产前区，将装载  $^{147}\text{PmCl}_3$  溶液原料的铅罐由 1#箱室传入，取出原料西林瓶。

#### (2) 源芯制备

将原料西林瓶通过箱室之间的孔道转至 2#箱室，在 2#箱中，根据产品要求使用移液器取  $^{147}\text{PmCl}_3$  料液均匀滴定于陶瓷源芯上，充分吸附、晾干，将源芯装入包壳。

此工序产生含  $^{147}\text{Pm}$  的移液器吸头、擦拭棉球，重量约为 0.015kg，总活度约  $2.9 \times 10^3 \text{Bq}$ /批次。

#### (3) 活度初测

将制备好的源芯转入 3#箱进行活度初测，经活度初测合格后的源芯传递至 4#箱。

#### (4) 焊接密封

在 4#箱对的活度检验合格源进行包壳焊接，包壳焊接完成后，进行外观检验。

此工序主要产生含  $^{147}\text{Pm}$  的废弃包壳，重量约为 0.015kg，总活度约  $1.1 \times 10^2 \text{Bq}$ /批次。

#### (5) 清洗检测

外观检验合格的源传至 5#箱，对密封源进行超声清洗，取末次清洗液进行污染泄漏检测。

此工序产生含  $^{147}\text{Pm}$  的清洗废水，产生量约为 0.3L/批次，总活度不超过  $2.03 \times 10^4 \text{Bq}$ /批次。

#### (6) 包装发货

产品检验合格，对产品放射源进行包装，传至发货大厅，等待发货。

此外，生产过程中产生含  $^{147}\text{Pm}$  的放射性废气，总活度不大于  $2.61 \times 10^6 \text{Bq}$ /批次。工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{147}\text{Pm}$  的固体废物，产生量为 0.52kg，活度为  $2.8 \times 10^3 \text{Bq}$ /批次。

产品  $^{147}\text{Pm}$  放射源的生产工艺流程示意图见图 3.2-7。

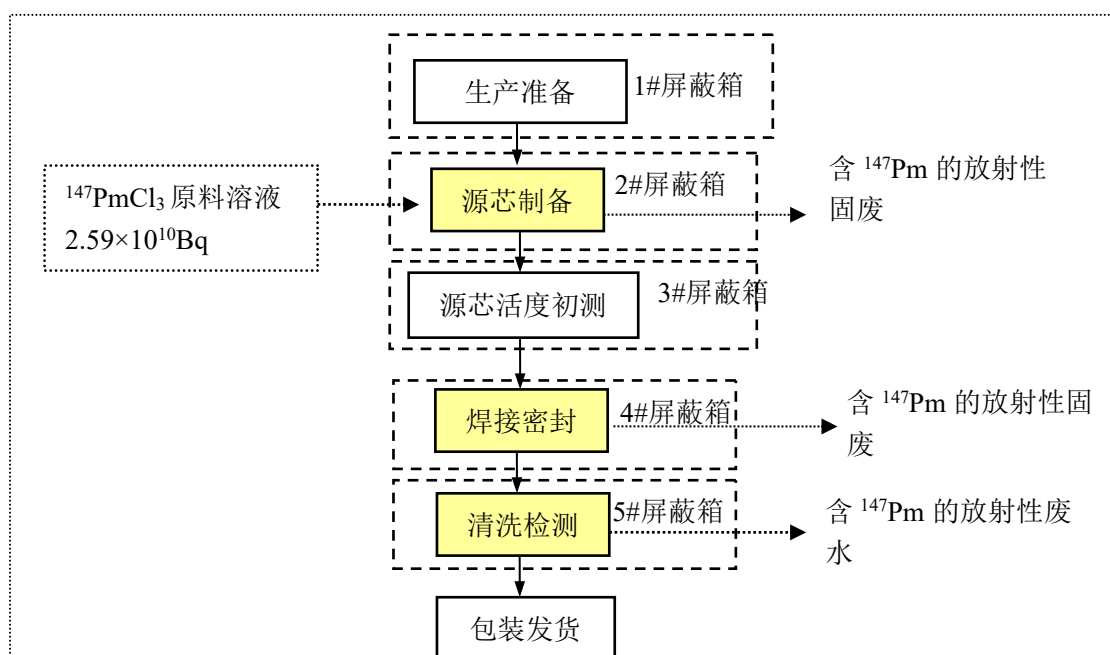


图 3.2-7  $^{147}\text{Pm}$  放射源生产工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.8 气体放射源生产线

本生产线利用  $^{85}\text{Kr}$  气体生产气体放射源，工艺流程如下：

#### (1) 生产准备

气体放射源制备的物料有  $^{85}\text{Kr}$  气体和源壳等。

将包壳由屏蔽手套箱传递口传入，连入  $^{85}\text{Kr}$  充气装置。使用充气装置，调节阀调节到抽气状态对包壳进行抽真空操作，当真空度达到 5Pa 时，关闭真空系统。

#### (2) 放射源制备

开启充气系统，充入  $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$  的原料气，关闭充气系统。用冷封钳将包壳充气管剪断，冷封，开启充气装置原料气回收功能，对原料气进行回收。

本工序产生含  $^{85}\text{Kr}$  的充气嘴废物，产生量为 0.07kg，放射性活度不大于  $3.7 \times 10^5\text{Bq/批次}$ ；充气过程中逸散的  $^{85}\text{Kr}$  气体，放射性活度为  $3.7 \times 10^7\text{Bq/批次}$ 。

#### (3) 密封焊接

将源转至封帽焊接工位，使用激光焊机进行封帽焊接，焊接完成后，进行外观检验。

#### (4) 质量检测

使用惰性气体检漏装置对密封放射源进行泄漏检验，使用擦拭法对放射源进行污染检验。

此工序产生含  $^{85}\text{Kr}$  的擦拭棉球，重量为 0.05kg，活度不大于 30Bq/批次。

#### (5) 包装发货

产品检验合格，对产品放射源进行包装，传至发货大厅，等待发货。

此外，工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{85}\text{Kr}$  的固体废物，产生量为 0.1kg，活度为 50Bq/批次。

产品  $^{85}\text{Kr}$  放射源的生产工艺流程示意图见图 3.2-8。

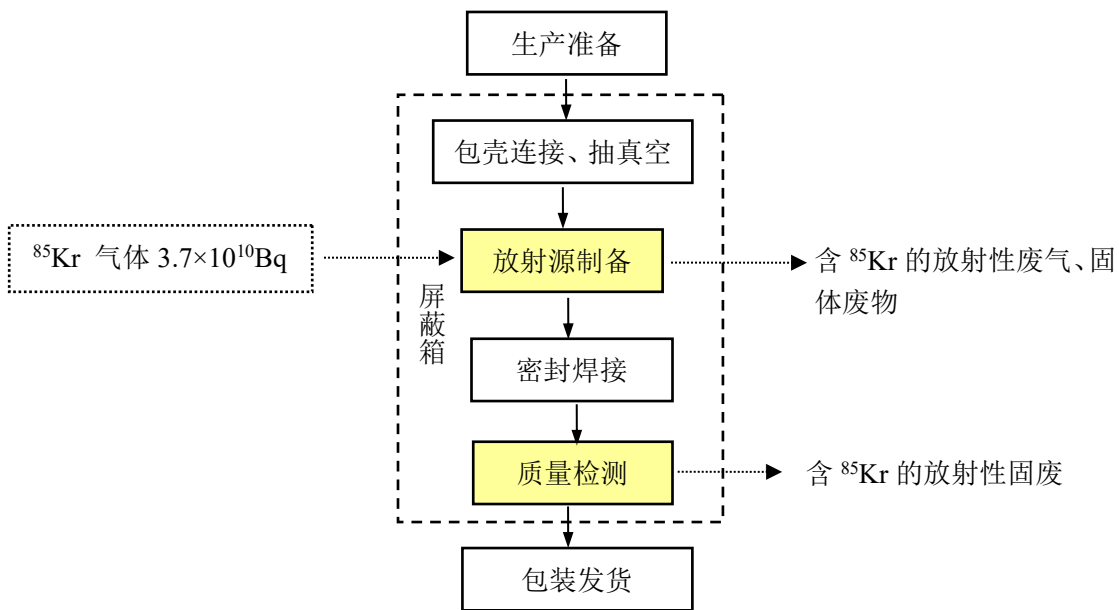


图 3.2-8 气体放射源生产工艺流程及产污环节示意图

#### 3.2.2.9 C-14 放射源生产线

本生产线利用  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  生产 C-14 放射源，工艺流程如下：

##### (1) 生产准备

将  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  块、丙酮等原料和源托传入生产箱室。用小车将原料铅罐运至生产前区，将装载  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  原料的铅罐由生产箱传入，取出原料不锈钢瓶。

##### (2) 原料液配制

根据产品要求取一定量的  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  放于溶解瓶内，加入 10mL 丙酮溶解，进行料液制备。

本工序主要的污染物为含  $^{14}\text{C}$  的放射性废气，放射性活度不超过  $2.0 \times 10^4 \text{Bq}$ 。项目使用丙酮溶液量很小，故在该环节不考虑丙酮挥发形成的有机废气。

### (3) 源芯制备

使用移液器取定量料液，滴至源托内晾干，晾干后的源托移至测量位，使用测量设备测量 $\beta$ 发射率。

本工序主要的污染物为含  $^{14}\text{C}$  的移液器吸头，产生量约为 5g，总活度约为  $1.8 \times 10^4 \text{Bq}$ ；产生含  $^{14}\text{C}$  的放射性废气，为在晾干过程中产生含  $^{14}\text{C}$  的放射性废气，总活度约为  $7 \times 10^3 \text{Bq}$ 。

### (4) 封膜密封

$\beta$ 发射率检测合格后，使用封膜机进行封膜密封，检验不合格的移至源芯制备工位，进行料液添补。

此工序产生含  $^{14}\text{C}$  的放射性废气，总活度约为  $1 \times 10^4 \text{Bq}$ 。

### (5) 密封

将封膜后的源托装于包壳内用 AB 胶进行密封。

### (6) 质量检验

使用擦拭法对放射源产品进行泄漏检验。

此工序产生含  $^{14}\text{C}$  的放射性固废为擦拭产生的棉球，重量约为 5g，总活度约为 50Bq。

### (7) 包装发货

产品检验合格，对产品放射源进行包装，传至发货大厅，等待发货。

此外，工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{14}\text{C}$  的固体废物，产生量为 0.16kg，活度 50Bq/批次。

产品  $^{14}\text{C}$  放射源的生产工艺流程示意图见图 3.2-9。



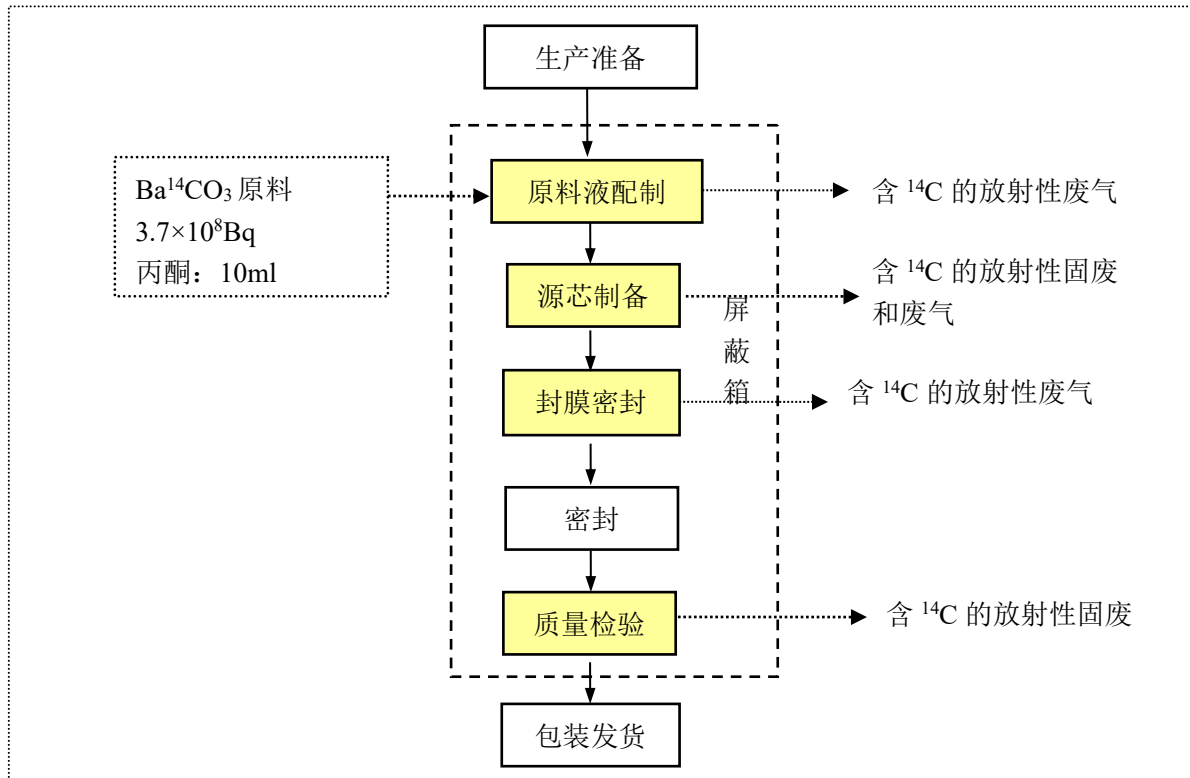


图 3.2-9  $^{14}\text{C}$  放射源生产工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.10 Cs-137 放射源生产线

本生产线利用  $^{137}\text{Cs}$  半成品源（已有内包壳密封）生产  $^{137}\text{Cs}$  放射源，工艺流程如下：

#### (1) 生产准备

准备好生产所需的外包壳等传入生产箱室。用小车将原料铅罐运至生产前区，将装载  $^{137}\text{Cs}$  半成品源的铅罐由生产箱传入，取出原料不锈钢瓶。

#### (2) 清洗检漏

根据产品要求取  $^{137}\text{Cs}$  半成品源进行清洗，取最后一次的清洗液进行污染泄漏检测。

此工序产生含有  $^{137}\text{Cs}$  的放射性废水，体积约 100mL，总活度不超过  $2.0 \times 10^2 \text{Bq}$ 。

#### (3) 焊接密封

检验合格的半成品源转至 8#箱体进行外包壳焊接密封。焊接完成后，通过目视检查焊缝与成品的外表面。

此工序产生含  $^{137}\text{Cs}$  的废弃包壳，约 22.5g/批次，活度为 30Bq/批次。

#### (4) 质量检验

将产品放入可观察的真空检漏容器中，用真空鼓泡法进行泄漏初检，泄漏初检合格的源传至 9#箱进行清洗去污，取最后一次清洗的清洗液进行测量。

此工序产生含  $^{137}\text{Cs}$  的清洗废水，产生量约 100mL/批次，总活度不超过 50Bq/批次。

#### (5) 包装发货

产品检验合格的源传至 10#箱，对产品放射源进行包装，将其装入出源容器，由出源口传出进行发货。

此外，工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品形成含  $^{137}\text{Cs}$  的固体废物，产生量为 100g，活度 3Bq/批次。

$^{137}\text{Cs}$  放射源的生产工艺流程示意图见图 3.2-10。

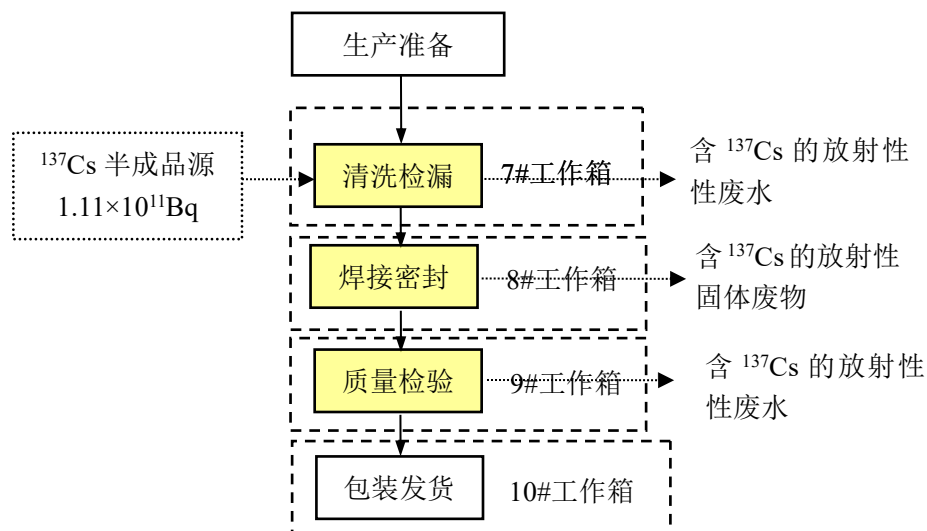


图 3.2-10  $^{137}\text{Cs}$  放射源生产工艺流程及产污环节示意图

#### 3.2.2.11 放射性核素 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 研发

放射性核素  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  的研发试验操作也在生产厂房内开展，主要目的是开发建立  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  密封放射源的制备工艺，制备  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  仪表源。其制备工艺流程如下：

- (1)将陶瓷/搪瓷吸附基质清洗干净并烘干备用；
- (2)根据  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  溶液的放射性浓度，用移液器量取约  $3.7 \times 10^9 \text{ Bq}$  的  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  溶液滴加至吸附基质上制成源芯；
- (3)将制备完成的源芯放置于通风柜中，在室温下自然风干，然后将源芯装入包

壳中，并用 AB 胶进行密封；

(4)对制备好的源进行泄漏质量检验。

本工艺中产生放射性固体废物主要是移液器吸头、质量检验过程中的擦拭棉球等，质量约 80g/a，总活度不超过  $2.67 \times 10^5$  Bq/a。源泄漏检验时产生放射性液体，总量约 100mL/a，总活度不超过  $7.48 \times 10^4$  Bq/a。产生放射性废气，总活度约为  $2 \times 10^4$  Bq/a。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  放射源制备研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-11。

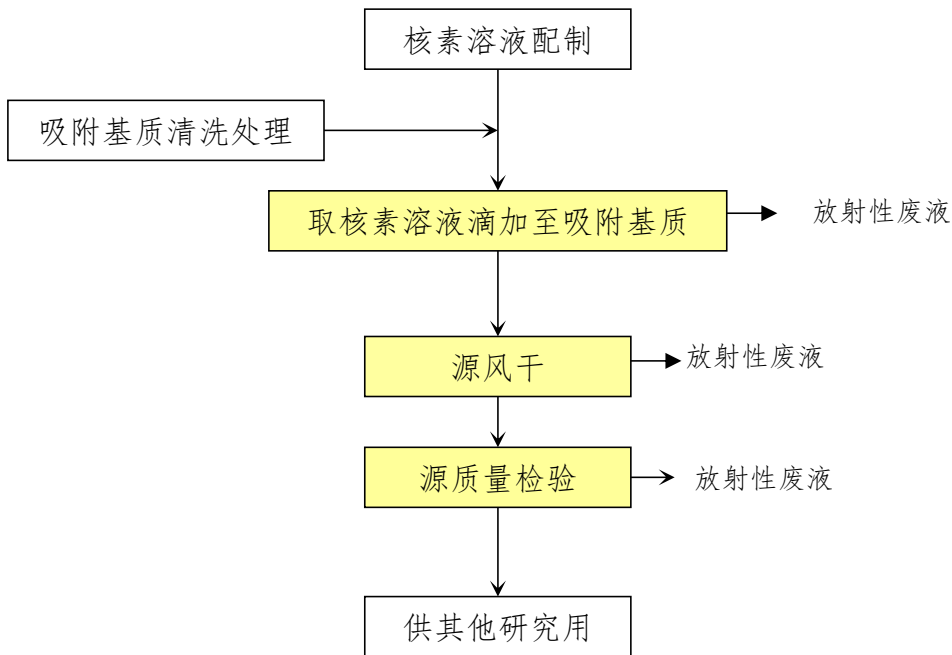


图 3.2-11  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  放射源制备研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12 放射性核素研发

研发楼的放化实验室主要涉及  $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Y}$  等 17 种核素的操作；标准源生产线主要涉及  $^{60}\text{Co}$  源、 $^{198}\text{Au}$  源、 $^{170}\text{Tm}$  源、 $^{210}\text{Pb}$  源、 $^{153}\text{Gd}$  源、 $^{154}\text{Eu}$  源、 $^{35}\text{S}$  源、 $^{133}\text{Ba}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源、 $^{169}\text{Yb}$  源、 $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{144}\text{Ce}$  源、 $^{55}\text{Fe}$  源、 $^{22}\text{Na}$  源、 $^{109}\text{Cd}$  源、 $^{99}\text{Tc}$  源、 $^{36}\text{Cl}$  源等 17 种豁免源的制备。

#### 3.2.2.12.1 放射性核素 $^3\text{H}$

$^3\text{H}$  标准溶液研发是在研发中心的放化实验室一内开展，开发建立  $^3\text{H}$  标准溶液

制备工艺，制备  $^3\text{H}$  标准溶液。其制备工艺流程如下：

(1)在手套箱中用移液器量取  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的  $^3\text{H}$  放射性原料溶液于 10mL 玻璃瓶中；

(2)用 HPGe  $\gamma$  谱仪测定所取放射性溶液的核纯度；

(3)将量取的  $^3\text{H}$  放射性溶液稀释后制成  $^3\text{H}$  标准溶液（母液）；

(4)用移液器量取定量的  $^3\text{H}$  标准溶液（母液），稀释后滴加至薄膜衬底上，制成不同活度的  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  计数器专用薄膜源，并用  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  计数器测量标准溶液的比活度值（ $\text{Bq/mg}$ ）；

(5)根据测得的比活度和稀释的比例，推算出标准溶液的放射性浓度；

(6)将  $^3\text{H}$  标准溶液（母液）分装于玻璃安部瓶中，并用火封封口，然后置于阴凉通风处贮存；

(7)定期检查容器壁对放射性核素的吸附情况、贮存过程中有无蒸发和泄漏、比活度等是否改变等，以确定标准溶液的稳定性。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是玻璃瓶、测量比活度时制备的  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  计数器专用薄膜源、移液器吸头等，质量约  $9\text{g/a}$ ，总活度不超过  $2 \times 10^7 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废液，总量约  $30\text{L/a}$ ，总活度不超过  $3.55 \times 10^7 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，总活度不超过  $5.55 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

$^3\text{H}$  标准溶液研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-12。

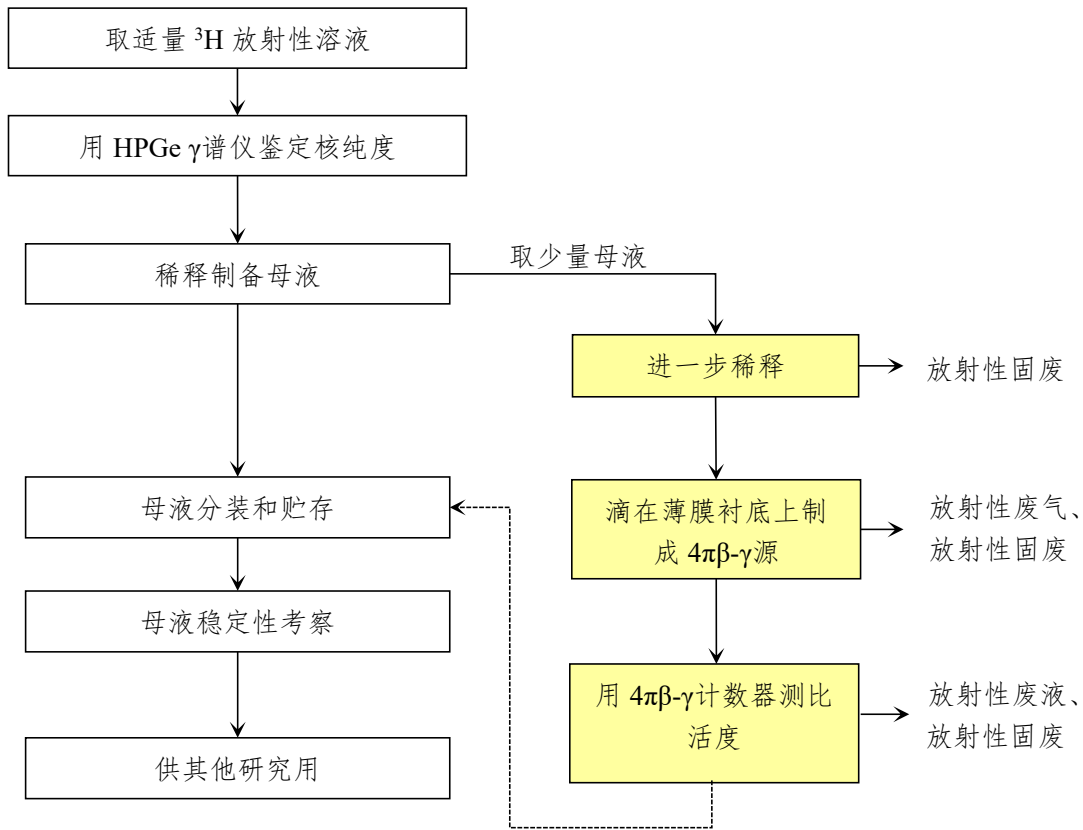


图 3.2-12  $^3\text{H}$  标准溶液研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12.2 放射性核素 $^{14}\text{C}$

$^{14}\text{C}$   $\beta$ 源制备实验研发是在研发中心的放化实验室一内开展，建立  $^{14}\text{C}$  源的制备工艺，制备  $^{14}\text{C}$  源。其制备工艺流程如下：

- (1)将铝/有机玻璃载片清洗干净，烘干备用；
- (2)根据  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  的比活度，并用分析天平称取约  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  块，装入烧杯中；
- (3)向烧杯中加入 5~10mL 无水乙醇/丙酮，并缓慢搅拌，将  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  块调制成混悬液；
- (4)根据每枚源的计划活度用移液器取相应体积的  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  混悬液，并均匀涂抹至载片表面，然后在通风柜中将其放置至干；
- (5)将剩余的  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  混悬液装入可密封的容器中保存；
- (6)在干燥后的载片表面再均匀涂抹一层环氧树脂并在通风柜中将其放置至干，

制成  $^{14}\text{C}$   $\beta$ 源。

(7)对  $^{14}\text{C}$   $\beta$ 源进行质量检验。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、质量检验过程中的擦拭棉球等，质量约 9g/a，总活度不超过  $5.55\times 10^5\text{Bq/a}$ 。源泄漏检验时产生放射性液体废物，总量约 30mL/a，总活度不超过  $5.55\times 10^5\text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，总活度不超过  $5.55\times 10^5\text{Bq/a}$ 。由于使用的乙醇/丙酮的量极少，故不考虑两者挥发所形成的有机废气。

$^{14}\text{C}$   $\beta$ 源制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-13。

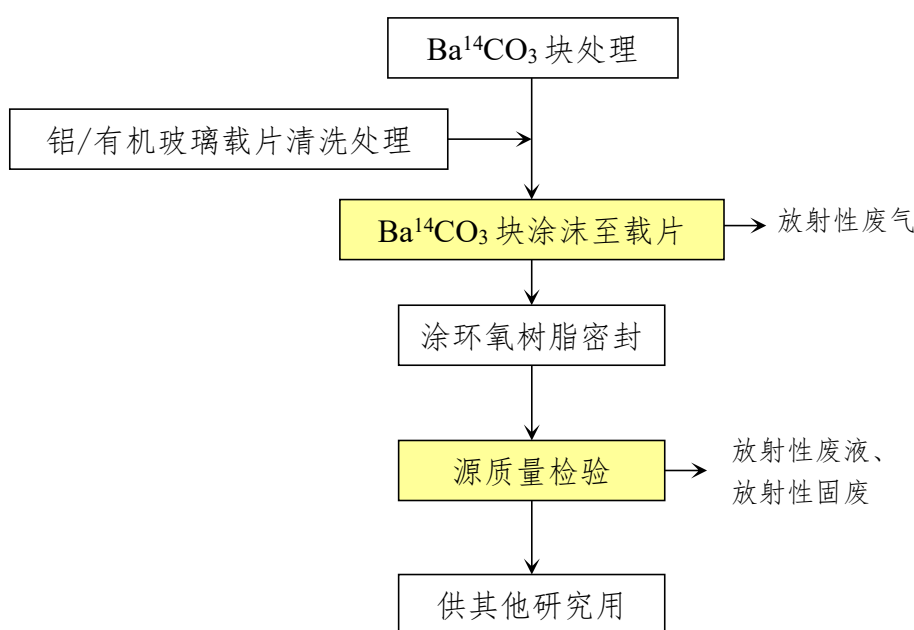


图 3.2-13  $^{14}\text{C}$   $\beta$ 源制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12.3 放射性核素 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$

$^{68}\text{Ge}$  和  $^{85}\text{Sr}$  密封放射源制备实验研发是在研发中心的放化实验室一内开展，建立基质吸附法制备  $^{68}\text{Ge}$  和  $^{85}\text{Sr}$  密封放射源的制备工艺，制备  $^{68}\text{Ge}$  和  $^{85}\text{Sr}$  密封放射源。制备工艺流程类似，如下：

(1)将陶瓷/搪瓷吸附基质及源包壳清洗干净并烘干备用；

(2)根据原料溶液的放射性浓度，用移液器量取  $1.85\times 10^9\text{Bq}$  的  $^{68}\text{GeCl}_4$  或  $^{85}\text{SrCl}_2$  溶液滴加至吸附基质上制成源芯；

(3)将制备完成的源芯放置于手套箱中，并在室温下自然风干；

(4)将源芯装入包壳并密封后制成放射源；

(5)对制备好的源进行质量检验。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、质量检验过程中的擦拭棉球等，其中含  $^{68}\text{Ge}$  核素的固废质量约 30g/a，总活度不超过  $7.4 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ；含  $^{85}\text{Sr}$  核素的固废质量约 15g/a，总活度不超过  $1.85 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。源泄漏检验时产生放射性液体废物，其中含  $^{68}\text{Ge}$  核素的废液总量约 100mL/a，总活度不超过  $7.47 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ；含  $^{85}\text{Sr}$  核素的废液总量约 50mL/a，总活度不超过  $1.87 \times 10^6 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，其中含  $^{68}\text{Ge}$  核素的放射性废气总活度不超过  $9.25 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ，含  $^{85}\text{Sr}$  核素的放射性废气总活度不超过  $9.25 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

$^{68}\text{Ge}$  和  $^{85}\text{Sr}$  密封放射源制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-14。

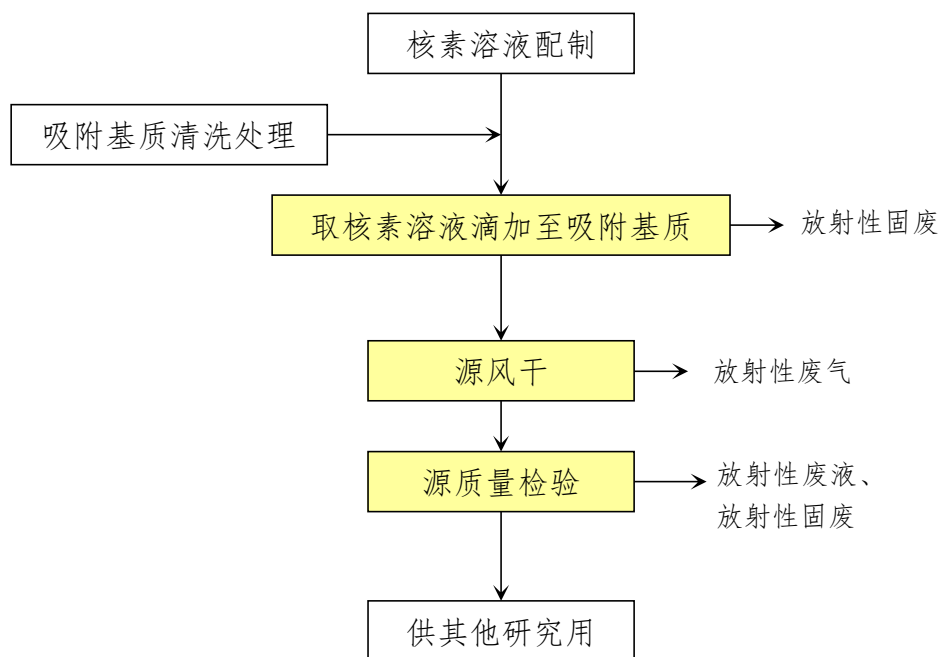


图 3.2-14  $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$  密封放射源制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

#### 3.2.2.12.4 放射性核素 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$

$^{131}\text{Ba}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$  标准溶液制备实验研发是在研发中心的放化实验室一内开展，用于开发建立标准溶液制备工艺，制备标准溶液。其制备工艺流程均类似，如下：

(1)用移液器量取  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的  $^{131}\text{BaCl}_2$ 、 $^{51}\text{CrCl}_2$ 、 $^{113}\text{SnCl}_3$ 、 $^{153}\text{GdCl}_3$ 、 $^{203}\text{HgCl}_2$  放射性原料溶液于 10mL 玻璃瓶中；

(2)用 HPGe  $\gamma$ 谱仪测定所取放射性溶液的核纯度;

(3)将量取的放射性溶液稀释后制成标准溶液(母液);

(4)用移液器量取标准溶液(母液),定量稀释后滴加至薄膜衬底上,制成不同浓度的  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 计数器专用薄膜源,并用  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 计数器测量标准溶液的比活度值(Bq/mg);

(5)根据测得的比活度和稀释的比例,推算出标准溶液的放射性浓度;

(6)将标准溶液(母液)分装于玻璃安部瓶中,并用火封封口,然后置于阴凉通风处贮存;

(7)定期检查容器壁对放射性核素的吸附情况、贮存过程中有无蒸发和泄漏、比活度等是否改变等,以确定标准溶液的稳定性。

本工艺中产生放射性固体废物,主要是移液器吸头、测量比活度时制备的  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 计数器专用薄膜源、玻璃瓶等,其中含  $^{131}\text{Ba}$ 核素的固废质量约 30g/a,总活度不超过  $2.66\times 10^8\text{Bq/a}$ ;含  $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 核素的固废质量分别约 9g/a,活度分别不超过  $2.0\times 10^7\text{Bq/a}$ 。产生放射性液体废物,其中含  $^{131}\text{Ba}$ 核素的废液总量约 100mL/a,总活度不超过  $4.74\times 10^8\text{Bq/a}$ ;含  $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 核素的废液量分别约 30mL/a,活度分别不超过  $3.55\times 10^7\text{Bq/a}$ 。产生放射性废气,含  $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 核素的放射性废气总活度分别不超过  $5.55\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

$^{131}\text{Ba}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 标准溶液制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-15。



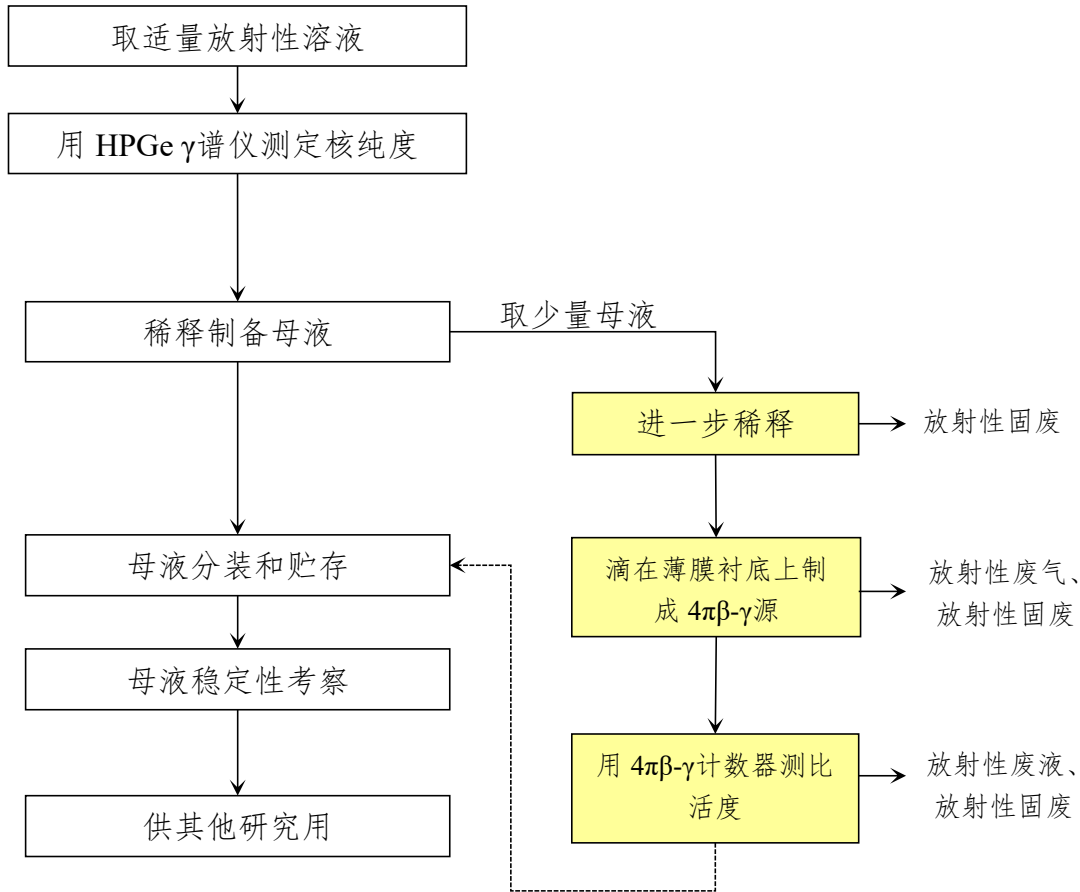


图 3.2-15  $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$  标准溶液制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12.5 放射性核素 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$

$^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  密封放射源制备实验研发是在研发中心的放化实验室一内开展，建立基质吸附法制备  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$  和  $^{147}\text{Pm}$  密封放射源的制备工艺，制备  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$  和  $^{147}\text{Pm}$  密封放射源。制备工艺流程类似，如下：

- (1) 将陶瓷/搪瓷吸附基质清洗干净并烘干备用；
- (2) 根据原料溶液的放射性浓度，用移液器量取  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的  $^{57}\text{CoCl}_2$ 、 $^{109}\text{CdCl}_2$ 、 $^{147}\text{PmCl}_3$  溶液滴加至吸附基质上制成源芯；
- (3) 将制备完成的源芯放置于手套箱中，并在室温下自然风干；
- (4) 将源芯装入包壳并密封后制成放射源；
- (5) 对制备好的源进行质量检验。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、质量检验过程中的擦拭棉

球、玻璃瓶等，其中含  $^{57}\text{Co}$  核素的固废质量约 30g/a，总活度不超过  $2.96 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ；含  $^{109}\text{Cd}$  核素的固废质量约 9g/a，活度不超过  $5.55 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ；含  $^{147}\text{Pm}$  核素的固废质量约 30g/a，活度不超过  $7.4 \times 10^6 \text{Bq/a}$ 。源泄漏检验时产生放射性液体废物，其中含  $^{57}\text{Co}$  核素的废液总量约 100mL/a，总活度不超过  $2.99 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ；含  $^{109}\text{Cd}$  核素的废液量约 30mL/a，活度不超过  $5.61 \times 10^7 \text{Bq/a}$ ；含  $^{147}\text{Pm}$  核素的废液量约 100mL/a，活度不超过  $7.47 \times 10^8 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，含  $^{57}\text{Co}$  核素的放射性废气总活度不超过  $1.85 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ，含  $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  的放射性废气总活度分别不超过  $5.55 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

$^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  密封放射源制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-16。

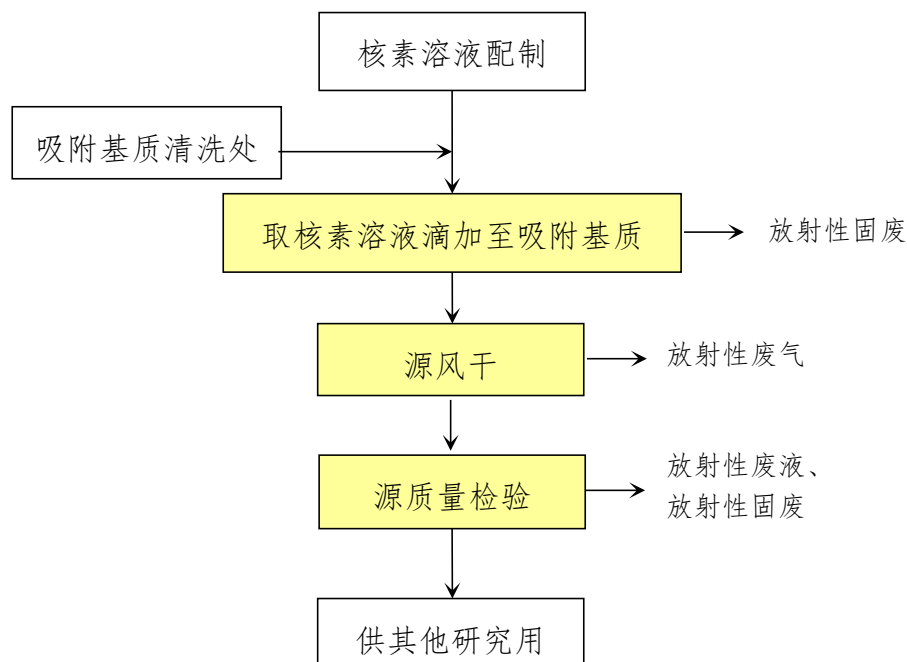


图 3.2-16  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  密封放射源制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12.6 放射性核素 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$

$^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  密封放射源制备实验研发是在研发中心的放化实验室二内开展，建立基质吸附法制备  $^{88}\text{Y}$  和  $^{22}\text{Na}$  密封放射源的制备工艺，制备  $^{88}\text{Y}$  和  $^{22}\text{Na}$  密封放射源。其制备工艺采取基质吸附法，制备工艺流程类似，如下：

- (1) 将陶瓷/搪瓷吸附基质及源包壳清洗干净并烘干备用；
- (2) 根据原料溶液的放射性浓度，用移液器量取  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的  $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{NaCl}$  溶液滴加至吸附基质上制成源芯；
- (3) 将制备完成的源芯放置于手套箱中，并在室温下自然风干；

(4)将源芯装入包壳并密封后制成放射源；

(5)对制备好的源进行质量检验。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、质量检验过程中的擦拭棉球、玻璃瓶等，其中含  $^{88}\text{Y}$  核素的固废质量约 15g/a，总活度不超过  $1.84 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ；含  $^{22}\text{Na}$  核素的固废质量约 9g/a，活度不超过  $5.55 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。源泄漏检验时产生放射性液体废物，其中含  $^{88}\text{Y}$  核素的废液总量约 50mL/a，总活度不超过  $1.87 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ；含  $^{22}\text{Na}$  核素的废液量约 30mL/a，活度不超过  $5.61 \times 10^7 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，含  $^{88}\text{Y}$  核素的放射性废气总活度不超过  $9.25 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ，含  $^{22}\text{Na}$  的放射性废气总活度不超过  $5.55 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

$^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  密封放射源制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-17。

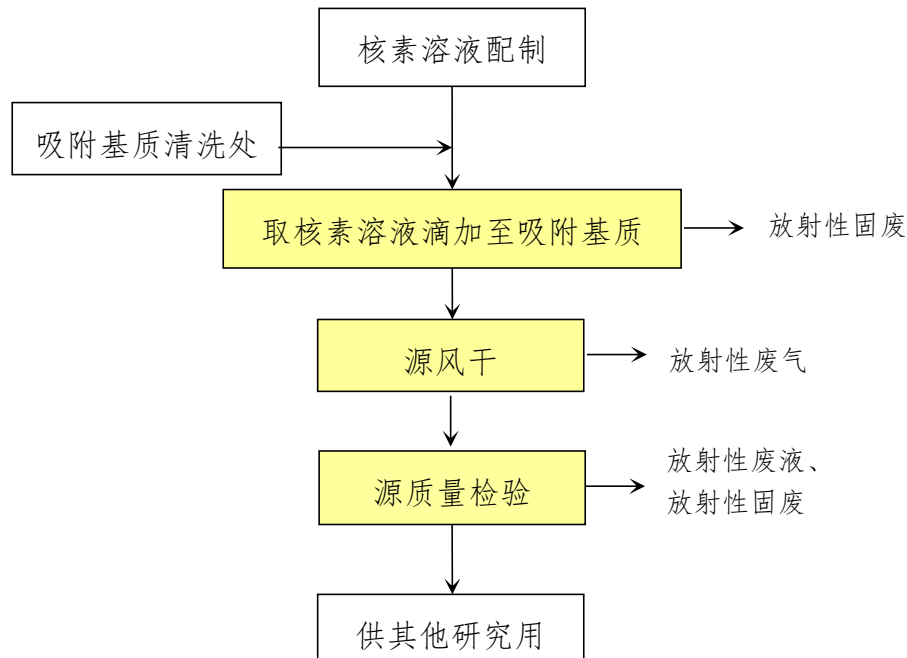


图 3.2-17  $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  密封放射源制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12.7 放射性核素 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$

$^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$  标准溶液制备实验研发是在研发中心的放化实验室二内开展，用于开发建立标准溶液制备工艺，制备标准溶液。其制备工艺流程均类似，如下：

(1)根据原料溶液的放射性浓度，用移液器量取  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的  $^{54}\text{MnCl}_2$ 、 $^{65}\text{ZnCl}_2$  放射性原料溶液于 10mL 玻璃瓶中；

(2)用 HPGe  $\gamma$  谱仪测定所取放射性溶液的核纯度；

(3)将量取的放射性溶液稀释后制成标准溶液（母液）；

(4)用移液器量取标准溶液（母液），定量稀释后滴加至薄膜衬底上，制成不同浓度的  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  计数器专用薄膜源，并用  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  计数器测量标准溶液的比活度值（Bq/mg）；

(5)根据测得的比活度和稀释的比例，推算出标准溶液的放射性浓度；

(6)将标准溶液（母液）分装于玻璃安部瓶中，并用火封封口，然后置于阴凉通风处贮存；

(7)定期检查容器壁对放射性核素的吸附情况、贮存过程中有无蒸发和泄漏、比活度等是否改变等，以确定标准溶液的稳定性。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、测量比活度时制备的  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  计数器专用薄膜源、玻璃瓶等，其中含  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$  核素的固废质量分别约 9g/a，活度分别不超过  $2.0\times 10^7\text{Bq/a}$ 。产生放射性液体废物，其中含  $^{54}\text{Mn}$  核素的废液总量约 50mL/a，总活度不超过  $3.55\times 10^7\text{Bq/a}$ ；含  $^{65}\text{Zn}$  核素的废液量分别约 30mL/a，活度分别不超过  $3.55\times 10^7\text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，含  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$  核素的放射性废气总活度分别不超过  $5.55\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

$^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$  标准溶液制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-18。

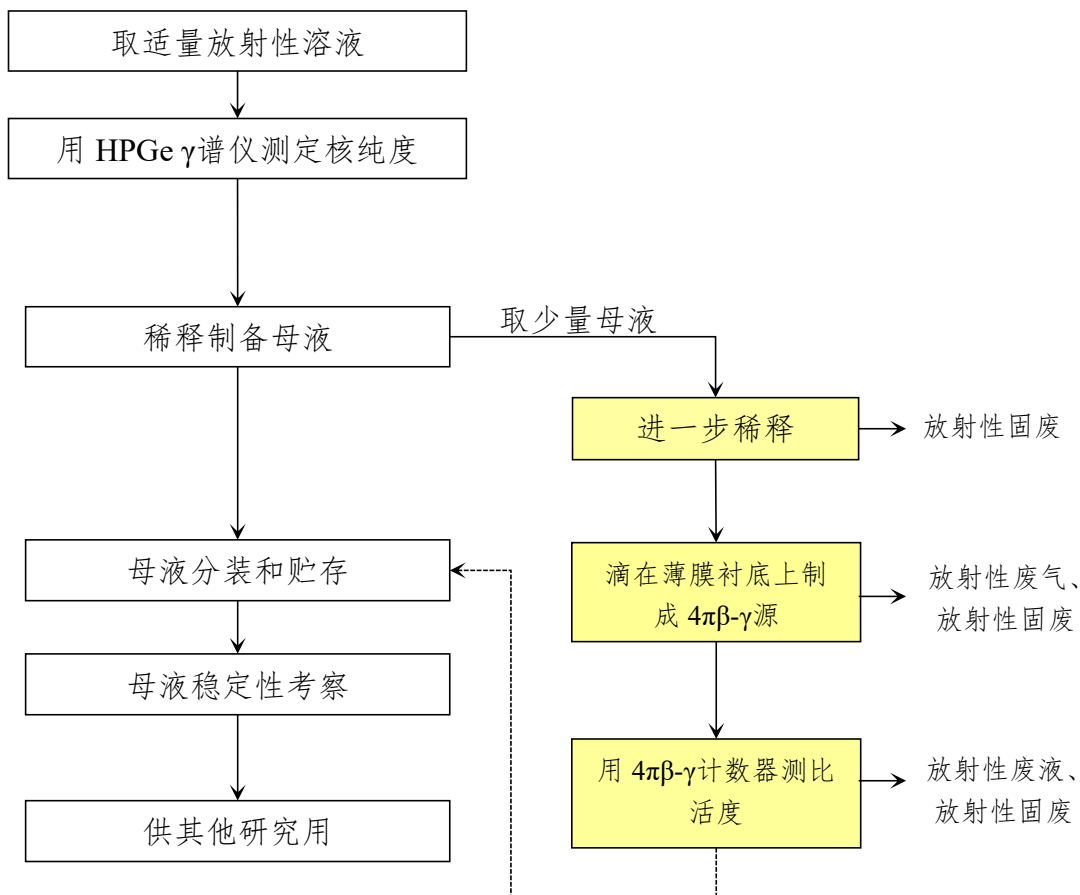


图 3.2-18 <sup>54</sup>Mn、<sup>65</sup>Zn 标准溶液制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.12.8 放射性核素 <sup>152</sup>Eu

<sup>152</sup>Eu 密封放射源制备实验研发是在研发中心的放化实验室二内开展，建立基质吸附法制备 <sup>152</sup>Eu 密封放射源的制备工艺，制备 <sup>152</sup>Eu 密封放射源。工艺流程如下：

- (1)将陶瓷/搪瓷吸附基质清洗干净并烘干备用；
- (2)根据原料溶液的放射性浓度，用移液器量取  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  的 <sup>152</sup>EuCl<sub>3</sub> 溶液滴加至吸附基质上制成源芯；

(3)将制备完成的源芯放置于手套箱中，并在室温下自然风干；

(4)将源芯装入包壳并密封后制成放射源；

(5)对制备好的源进行质量检验。

本工艺中产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、质量检验过程中的擦拭棉球、玻璃瓶等，其中含 <sup>152</sup>Eu 核素的固废质量约 9g/a，总活度不超过  $5.55 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。源泄漏检验时产生放射性液体废物，废液总量约 30mL/a，总活度不超过

$5.61 \times 10^7 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，总活度不超过  $3.33 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

$^{152}\text{Eu}$  密封放射源制备实验研发的生产工艺流程示意图见图 3.2-19。

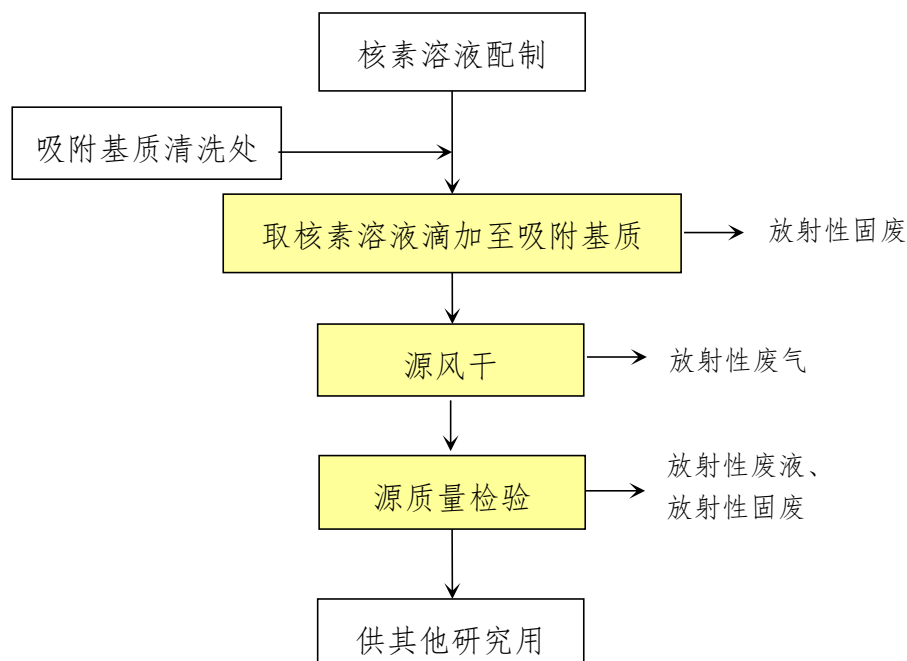


图 3.2-19  $^{152}\text{Eu}$  密封放射源制备实验研发工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.13 标准源生产线

标准源生产线主要涉及  $^{60}\text{Co}$  源、 $^{198}\text{Au}$  源、 $^{170}\text{Tm}$  源、 $^{210}\text{Pb}$  源、 $^{153}\text{Gd}$  源、 $^{154}\text{Eu}$  源、 $^{35}\text{S}$  源、 $^{133}\text{Ba}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源、 $^{169}\text{Yb}$  源、 $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{144}\text{Ce}$  源、 $^{55}\text{Fe}$  源、 $^{22}\text{Na}$  源、 $^{109}\text{Cd}$  源、 $^{99}\text{Tc}$  源、 $^{36}\text{Cl}$  源等 17 种豁免源的制备，标准源制备工艺为薄膜法。主要工艺流程如下：

#### (1) 生产准备

准备好原料并将原料液、源托传入生产箱室。

#### (2) 原料液配制

根据原料溶液的放射性浓度，用移液器量取  $1 \times 10^6 \text{Bq}$  的放射性原料溶液于溶解瓶内，进行料液制备。

#### (3) 源芯制备

根据所要制备的源的活度，用移液器取定量料液滴至源托内，晾干后将源托移至测量位测量发射率。

#### (4) 封膜密封

发射率检测合格后，进行封膜密封，检验不合格的移至源芯制备工位，进行料液添补。

#### (5) 封装

将封膜后的源托装于包壳内，用 AB 胶进行封装。

#### (6) 质量检验

对密封源擦拭去污，检查表面污染。擦拭去污后进行发射率、表面污染等检验。此工序产生含去污废物。

#### (7) 包装发货

检验合格后进行包装发货。

标准源生产线年操作量小，操作次数少，产生放射性固体废物，主要是移液器吸头、质检擦拭的棉球、玻璃瓶等，总产生量为 1.7kg/a，总活度不超过  $5.75 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。产生的放射性废液主要是质量检验中产生的废水，总产生量为 1.7L/a，总活度不超过  $5.75 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。产生放射性废气，总量不超过  $5.75 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。

标准源的制备工艺流程示意图见图 3.2-20。

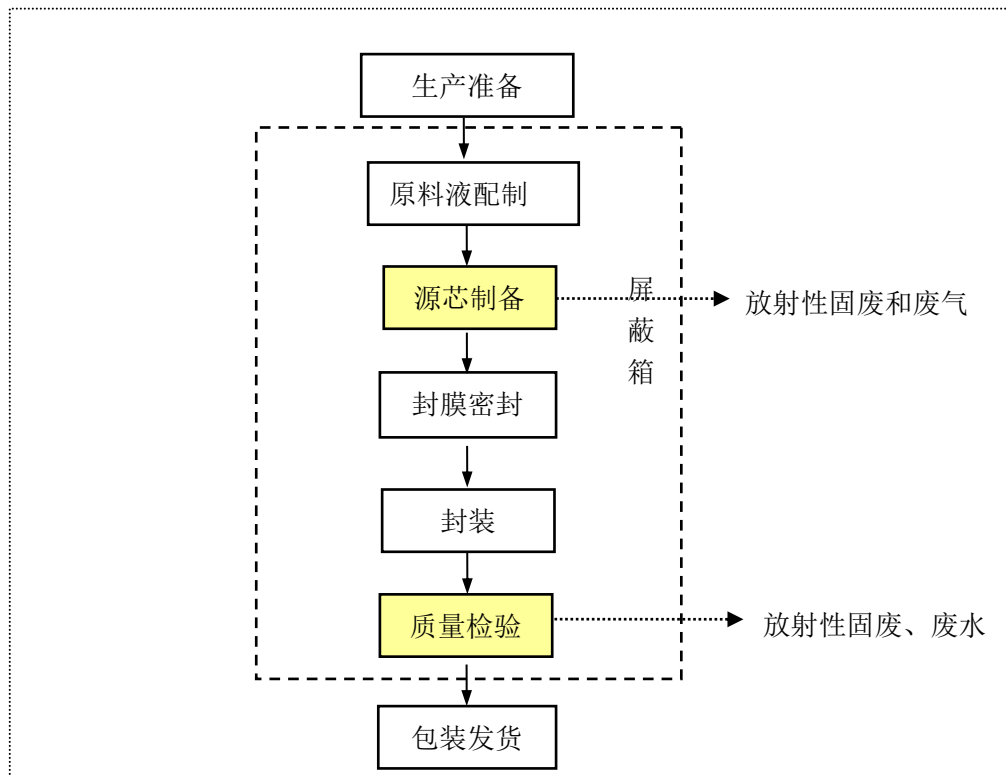


图 3.2-20 标准源制备工艺流程及产污环节示意图

### 3.2.2.14 研发中心非放试验

与研发楼有关的工艺流程包括工艺验证试验和生产工艺辅助、计量器具管理。其中工艺验证试验包含焊接工艺评定、晶间腐蚀、分级试验、环境试验、泄漏检验等。以下对其开展的代表性的试验进行描述：

#### (1) 货包试验

货包试验位于研发楼的一层，用于对放射性物品运输货包进行自由下落试验及堆积试验。

自由下落试验为将试验货包从 9m 高台上自由下落，检查检查样品外观是否出现贯穿性裂纹。试验间包括 9m 跌落台（位于三楼）及相应的试验准备和试验观察等用途的房间。

该工艺会产生验证不合格废弃容器以及噪声。

#### (2) 密封源性能试验

密封源试验间位于研发楼的一层，属于产品投产前的整体验证试验，目的在于验证在放射源在整体设计、加工工艺、生产设备及操作人员等复杂因素的综合影响下，其安全性是否仍能保证在内的放射性物质不会扩散到环境中，开展密封源安全性能全等级分级试验，试验样品为假密封源，试验内容包括：

①高低温试验室，用高温马弗炉和低温试验箱开展 2~6 级高低温试验，温度范围从-40℃至+800℃，及高温热冲击；

②高低压试验室，用高压试压泵装置和低压试验箱开展 2~6 级高低压试验，压力范围从绝对压力 25kPa 至 170MPa；

③冲击、穿刺、弯曲试验室，利用弯曲试验台架，力学试验机等开展 2~6 级冲击、穿刺试验试验，2~8 级弯曲试验。试验设备包括冲击程大于 1 米的试验台架、冲击靶，重量从 50g 至 20kg 的冲击锤，重量从 1g 至 1kg 的穿刺锤。

④振动试验室，开展 2~4 级振动试验，主要设备为振动试验装置，包括控制仪、功率放大器、振动台台体等部件。

其工艺流程见图 3.2-21。

该工艺主要产生试验不合格的假密封源，该假密封源为非放射性固体废物。



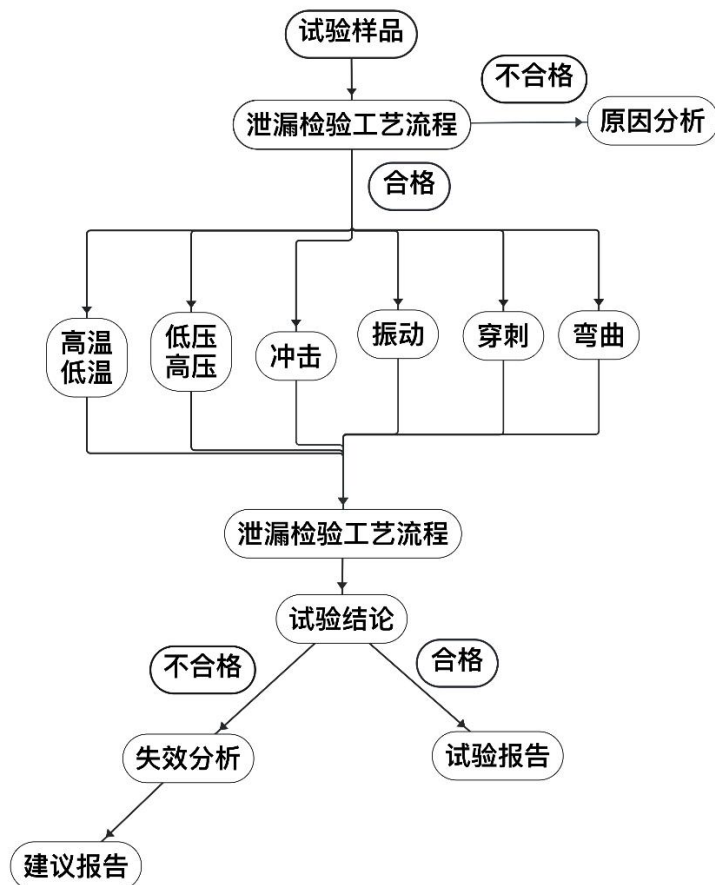


图 3.2-21 分级试验工艺流程图

### (3) 金相试验

金相试验位于研发楼一层，主要开展放射源焊接样品的晶间腐蚀及金相检验主要工艺流程如下：

- ① 配制硫酸-硫酸铜腐蚀试剂；
- ② 在 1L 带冷凝回流装置的锥形磨瓶中，保持微沸状态的加热装置，试样浸泡在试剂中，进行浸泡腐蚀；
- ③ 将腐蚀后试样清洗、干燥；
- ④ 按照标注要求进行弯曲试验，在密封源分级试验间的拉伸、弯曲试验室进行，观察试样；
- ⑤ 综合考虑样品的特点及加工工艺，选取样品具有代表性的部位交由外部进行切割；
- ⑥ 切割后对试样进行热压镶嵌；

- ⑦镶嵌后对试样进行磨平、抛光，直到检测面成为光亮无痕的镜面；
- ⑧对检测面采用硫酸-硫酸铜腐蚀试剂进行腐蚀；
- ⑨将试样冲洗、吹干；
- ⑩在显微镜下观察金相腐蚀后样品检测面。

其工艺流程见图 3.2-22。

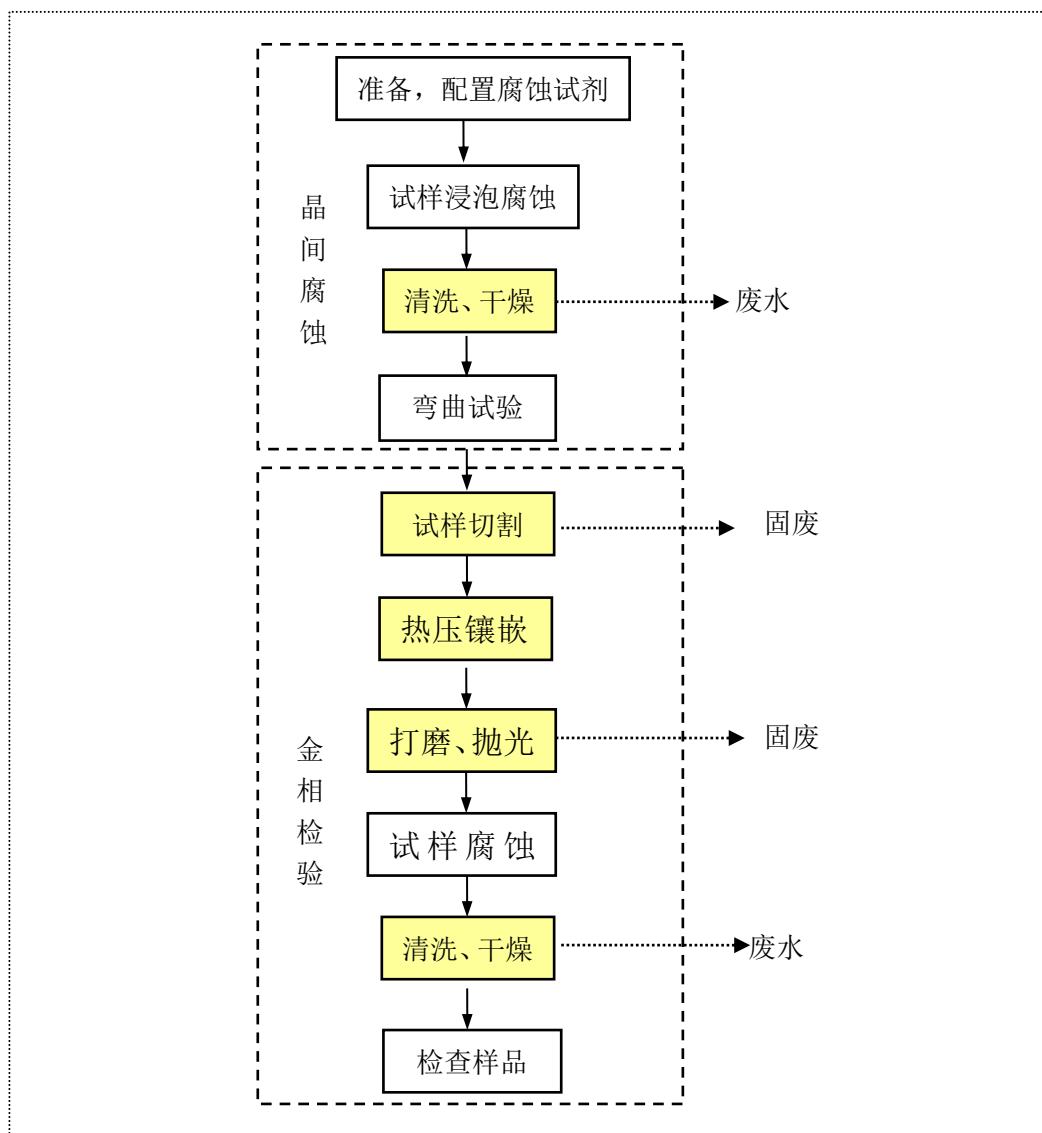


图 3.2-22 金相试验工艺流程及产污环节示意图

本试验主要产生废弃物包括：不锈钢金属切割、打磨铁削、残渣，约 1kg/年；浓度为 16%的硫酸-硫酸铜溶液，约 2L/年。

#### (4) 焊接试验区

焊接试验区位于研发楼二层，开展研究密封放射源焊接参数，并初步检验。焊

接工艺采用氩弧焊或激光焊，产生的焊烟非常少。

### (5) 泄漏检验试验区

泄漏检验试验区位于研发楼三层，主要采用热液体鼓泡法、氦质谱检漏法等非放射性检测手段对假密封源样品试验在性能分级测试前后进行泄漏检验评估，使用的液体为自来水。包括以下检漏方式：

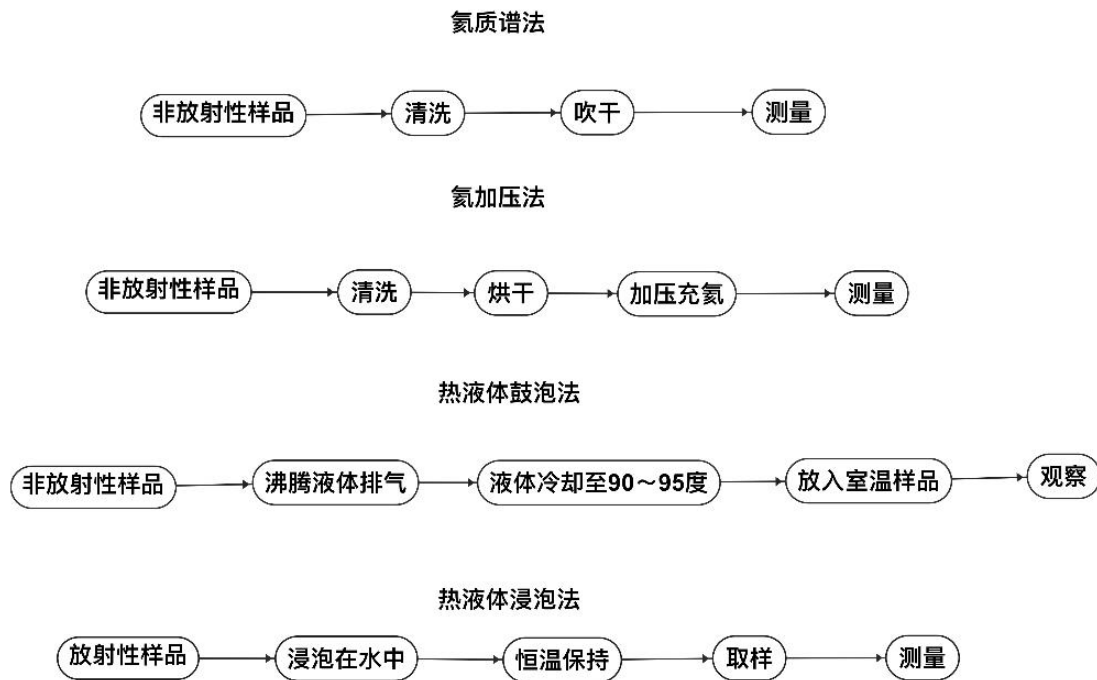


图 3.2-23 泄漏检验工艺流程图

该工艺产生检漏检验废水，该废水含少量颗粒物，产生量约 15L/年，废水经沉淀后循环使用，不外排。

#### 3.2.2.13 放射源销售

本项目销售的放射源包括： $^{57}\text{Co}$ 源、 $^{68}\text{Ge}$ 源、Sn-In发生器、 $^{147}\text{Pm}$ 源、 $^{85}\text{Kr}$ 源、 $^{14}\text{C}$ 源、 $^{137}\text{Cs}$ 源、 $^{60}\text{Co}$ 源以及17种豁免标准源。其销售工艺如下：

(1)公司销售部收到拟采购公司放射源购买申请，并与购方进行接洽工作，协商相关事宜；

(2)采购公司向公司提供《辐射安全许可证》及其它相关资料，销售部对其相关资质进行认定合格后与购买方签订销售协议和分责协议，办理转让审批手续；

(3)公司将检验合格后的放射源产品经包装检查和表面污染监测后，由高通公司

所属的方圆物流公司运输至最终客户，并进行放射源的出库台账记录，物流公司放射性物品运输经营许可证见附件；

(4)公司销售部安排专人进行放射源的移交。

表 3.2-5 放射源销售工艺人员配置及操作时间表

| 工艺流程环节 | 工作场所 | 人员配置(人) | 单批次操作时间 (min) | 年操作时间 (h) |
|--------|------|---------|---------------|-----------|
| 装载     | 运输车辆 | 1       | 10            | 30        |

表 3.2-6 销售过程相关单位责任划分表

| 相关单位   | 职责  |
|--------|---|
| 中核同源公司 | ①负责销售的商务谈判，与采购公司签订销售合同及销售责任划分协议；<br>②审查购买方是否具有相匹配的放射源使用资质，确保放射源销售到具有相应使用资质和能力的单位。 |
| 运输公司   | 负责将放射源运输至采购公司指定的地方，承担运输过程中的安全责任。  |
| 采购公司   | ①负责向中核同源公司提供真实的放射源许可使用资质和相关材料；<br>②负责放射源的日常安全使用；<br>③使用完的放射源，由同源公司负责回收处理。         |

### 3.2.3 人流和物流路径规划

本项目所有工作场所分别设有相对独立的人员和物流通道。分别为：

#### (1)人员通道

##### Co-57、Ge-68、Sn-In、Pm-147、Cs-137等生产线的人员进出通道：

门厅→家庭服间→工作服间，更换防护工作服→成品源装运大厅走道→进入生产线→进入热室后区及机械手检修间；完成工作后经生产线→成品源装运大厅走道→脏衣服间，更换工作服→去污间→污染检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→家常服间，更家常服衣→门厅离开。

##### Kr-85、C-14、Sr-Y等生产线的人员进出通道：

门厅→家庭服间→工作服间，更换防护工作服→经与生产线连接的走道→生产线/测量间/辅助间完成生产任务；完成工作后经生产线走道→脏衣服间，更换工作服→去污间→污染检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→家常服间，更家常服衣→门厅离开。

**辐照应用中心区域人员进出通道：**

门厅→走廊，进入辐照区域各功能操作间→进入操作大厅→辐照间密道→进入辐照室；完成工作后经辐照间密道→操作大厅→走廊→门厅离开。

**退役放射源再利用区域人员进出通道：**

门厅→走廊→源库门厅→经门厅进入测量间/监控室/家庭服间→工作服间，更换防护工作服→热室前区，完成生产任务；完成工作后→污染检测间，完成污染监测→工作服间，更换工作服→家常服间，更家常服衣→源库门厅→走廊→门厅离开。

**放射源库人员进出通道：**

门厅→走廊→源库门厅→经门厅进入测量间/监控室/家庭服间→工作服间，更换防护工作服→污染检测间→源库区→水井间/水质处理间，完成生产任务；完成工作后→源库区→污染检测间，完成污染监测→工作服间，更换工作服→家常服间，更家常服衣→源库门厅→走廊→门厅离开。

**(2) 物流通道****Co-57、Ge-68、Sn-In、Pm-147、Cs-137等生产线的物流通道：**

原料源/原辅料→原料源装运大厅→物流小车→生产线。

生产成品→专用物料通道→成品源装运大厅→离开。

放射性废物→专有收集器物→专用运输车辆→核动力院一所三废处理中心。

普通废物产生处→园区废物收集处理

**Kr-85、C-14、Sr-Y等生产线的物流通道：**

原料源/原辅料→成品源装运大厅→通道→进入生产线。

生产成品→通道→成品源装运大厅→离开。

放射性废物→专有收集器物→专用运输车辆→核动力院一所三废处理中心。

普通废物产生处→园区废物收集处理

**辐照应用中心物流通道：**

待辐照品→未辐照产品库→操作大厅→辐照室→操作大厅→已辐照产品库→离开。

普通废物产生处→园区废物收集处理

**退役放射源再利用及源库物流通道：**

合格退役源→汽车专运→源库大厅→贮存水井→热室→辐照应用中心。

合格退役源→汽车专运→源库大厅→贮存水井→热室→成品源贮存水井→热室→屏蔽容器→汽车转运→成品源装运大厅→离开。

普通废物产生处→园区废物收集处理

本项目人流和物流的路径规划见附图 5。

### 3.3 污染源项

#### 3.3.1 施工期污染源项

本项目为厂房、办公用房及配套服务设施建设项目，施工环节主要包括：基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装及工程验收等，建设期主要产生噪声、废气、固体废弃物、废水等污染物，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。施工期工艺流程如图3.3-1所示。

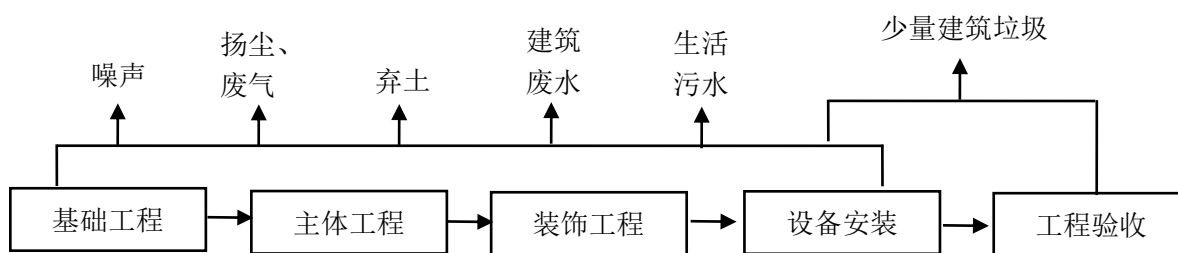


图 3.3-1 项目施工期工艺流程及产污位置图

#### (1) 废气

项目在施工期大气污染源主要来自于以下方面：

①土建混凝土浇铸及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（商品混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

②装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如油漆、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）的涂料等形成扬尘和有机废气污染物。

③施工机械设备排放的少量无组织废气等。

#### (2) 废水

##### ①施工生产废水

主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的

浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。该部分废水中的主要污染物为SS、石油类，其中污水中SS浓度值最高约1000mg/L。根据项目特点，经类比分析，预计施工废水产生量为50m<sup>3</sup>/d。

### ②施工人员生活污水

施工人员以60人计，生活用水排放按0.05m<sup>3</sup>/人·d计算，日产生活污水约3m<sup>3</sup>/d，以排放系数0.8计，排放量约为2.4m<sup>3</sup>/d。施工人员生活污水中主要含COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、SS等。

### (3) 噪声

施工期主要分为机械噪声、施工作业噪声和施工车辆噪声。本项目机械噪声主要由施工机械所造成，如挖土机、打桩机等多为点声源；施工作业噪声主要是一些零星敲打声、装卸车辆的撞击声等；施工车辆噪声属于交通噪声。在上述施工噪声中，对环境影响最大的是施工机械噪声。施工噪声声源强度和交通噪声强度分别见表3.3-1和表3.3-2。

表 3.3-1 施工期主要噪声源及其声级值

| 施工阶段 | 声源      | 声源强度 (dB(A)) |
|------|---------|--------------|
| 土石方  | 挖掘机     | 78~90        |
|      | 装载机     | 85~90        |
|      | 空压机     | 75~80        |
|      | 推土机     | 75~80        |
| 打桩   | 挖掘机     | 78~90        |
| 结构   | 混凝土输送泵  | 75~85        |
|      | 振捣器     | 75~85        |
|      | 电锯      | 80~85        |
|      | 搅拌器     | 80~85        |
| 装修   | 电钻、手工钻等 | 75~80        |
|      | 电锤      | 80~85        |
|      | 无齿锯     | 80           |

表 3.3-2 交通运输车辆噪声



| 施工阶段    | 运输内容      | 车辆类型      | 声源强度 (dB(A)) |
|---------|-----------|-----------|--------------|
| 主体阶段    | 建筑弃渣等     | 大型载重车     | 84~89        |
| 底板与结构阶段 | 钢筋、混凝土等   | 混凝土罐车、载重车 | 80~85        |
| 装修安装阶段  | 各种装修材料及设备 | 轻型载重卡车    | 75~80        |

#### (4) 固体废物

施工期固体废物主要包括建筑垃圾、装修垃圾、弃土、施工人员生活垃圾。

项目施工过程中产生的建筑垃圾（如水泥袋、铁质弃料、木材弃料等）约为50kg/d；装修垃圾按总建筑面积23630m<sup>2</sup>、每1.3t/100m<sup>2</sup>计，则产生的装修垃圾共约307.2t；项目场平及地基开挖产生约1000m<sup>3</sup>的弃土，施工期生活垃圾，施工人员约60人，生活垃圾按0.5kg/人·日计，产生量约为30kg/d。

### 3.3.2 营运期污染源项

#### 3.3.2.1 辐射技术应用中心、放射源库污染源

##### 3.3.2.1.1 放射性污染源

##### (1) 核素的辐射特性简介

辐射技术应用中心使用<sup>60</sup>Co放射源，<sup>60</sup>Co的半衰期为5.26a，最大γ辐射能量为1.33MeV，β射线能量为0.315MeV，属高毒性核素。

放射源库整备热室内布置1条退役<sup>60</sup>Co源再利用生产线，操作放射性核素为<sup>60</sup>Co。

##### (2) 辐射源项

辐射技术应用中心设计装源能力为1.48×10<sup>17</sup>Bq（400万Ci），工作人员操作位的最大辐射剂量率为4.17×10<sup>-8</sup>mGy/h。

放射源库的贮源水井在最大倒源量情况下源井口处的剂量率最大为2.13×10<sup>-3</sup>mSv/h；贮存地坑在最大储源量情况下地坑盖板外表面剂量率为5.84×10<sup>-3</sup>mSv/h。

<sup>60</sup>Co放射源在整备热室内操作。整备热室正对操作位的屏蔽设计是铅当量为321mm的铅玻璃观察窗。放射源库每批次最大操作量为2.59×10<sup>14</sup>Bq，工作人员操作位最大辐射剂量率为1.94×10<sup>-3</sup>mGy/h。



### 3.3.2.1.2 非放射性污染源

项目运营过程中产生的非放射性污染源主要为放射源使空气电离产生的臭氧以及放射源贮存于水池中时产生的水解氢。

辐射技术应用中心臭氧排放量为  $1.64 \times 10^5 \text{mg/h}$ ， $\text{NO}_2$  的排放速率为  $8.20 \times 10^4 \text{mg/h}$ ，辐照室氢气浓度为 0.00088%。以上产生的废气对环境空气影响是可接受的。

### 3.3.2.2 $^{57}\text{Co}$ 源生产线

#### 3.3.2.2.1 放射性污染源

##### (1) 核素的辐射特性简介

$^{57}\text{Co}$  是轨道电子俘获衰变核素， $^{57}\text{Co}$  核素的半衰期为 270d，最大 $\gamma$ 辐射能量为 0.137MeV，属中毒性核素。

##### (2) 辐射源项

$^{57}\text{Co}$  放射源生产在屏蔽工作箱内操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计是铅当量为 10mm 的铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{57}\text{Co}$  最大操作量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci) (取原料) 计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为  $8.66 \times 10^{-7} \text{mGy/h}$ 。

$^{57}\text{Co}$  核素操作过程中主要有分装、料液上柱、烧结、源壳焊接等工序。根据生产经验推算，每批次操作过程中，约有  $1.11 \times 10^4 \text{Bq}$  的  $^{57}\text{Co}$  核素释放进入空气。根据核素的操作时间和通风量 (单批次操作时间 1h，工作箱内通风量为  $200 \text{m}^3/\text{h}$ )，可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为  $55.5 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

本项目操作核素的屏蔽工作箱内空气与操作人员所在的工作箱前区空气是隔绝的 (场所空间是相互隔离的，通风系统是各自的)，且工作箱内对工作箱前区有 100Pa 的负压，从理论上讲工作箱前区的空气不会被污染。考虑工作箱内空间与工作箱前区有进风口、手套孔等贯穿设备，存在泄漏的可能性。本次评价参考《辐射防护手册 (第三分册)》的相关说明，操作人员所在的工作箱前区空气中核素浓度取工作箱内 ( $55.5 \text{Bq}/\text{m}^3$ ) 的 1‰，即  $5.55 \times 10^{-2} \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

产品  $^{57}\text{Co}$  放射源活度为  $3.7 \times 10^7/\text{枚} \sim 1.1 \times 10^8/\text{枚}$ ，产品由专用屏蔽铅盒装载，铅盒规格为  $139 \text{mm} \times 99 \text{mm} \times 54 \text{mm}$ 。内包装为 2mm 厚的 PP 塑料。每个包装盒内装载一枚  $^{57}\text{Co}$  放射源，铅盒壁厚 1mm，铅盒表面剂量率范围为  $4.44 \times 10^{-1} \text{mGy/h} \sim 1.32 \text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素  $^{57}\text{Co}$  操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

### (3) 放射性核素物料平衡

$^{57}\text{Co}$  放射源生产线上,  $^{57}\text{Co}$  的最大年操作量为  $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci), 每批最大操作量为  $1.1 \times 10^8\text{Bq}$ , 日最大操作量为 4 批, 全年进行 333 批次生产。生产过程中, 核素  $^{57}\text{Co}$  的物料平衡见表 3.3-3:

表 3.3-3 生产过程中核素  $^{57}\text{Co}$  的物料平衡 ( $^{57}\text{Co}$  放射源每批次生产)

| 主要核素   | 原料投入量                      | 生产过程损失量 |   | 产品中含量  |
|--|----------------------------|---------|---|--|
|  |                            |         |   |  |
| $^{57}\text{Co}$   | $1.1 \times 10^8\text{Bq}$ | 固废损失    | $2.79 \times 10^3\text{Bq}$               | $^{57}\text{Co}$ 放射源每批次生产产品共含 $^{57}\text{Co}$ :<br>$1.1 \times 10^8\text{Bq}$ 。 |
|  |                            | 液废损失    | $1.26 \times 10^3\text{Bq}$               |  |
|  |                            | 气废损失    | 生产过程中挥发的量:<br>$1.11 \times 10^4\text{Bq}$ |  |
|  |                            | 总计:     | $1.52 \times 10^4\text{Bq}$               |  |
| 活度平衡: 原料投入量 $1.1 \times 10^8\text{Bq} =$<br>生产过程损失量 $1.52 \times 10^4\text{Bq} +$ 产品中含量 $1.1 \times 10^8\text{Bq}$ |                            |         |   |  |

#### 3.3.2.2.2 非放射性污染源

项目为密封放射源的生产, 故不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析,  $^{57}\text{Co}$  放射源生产线污染源如图 3.2-4 所示。

#### 3.3.2.3 $^{68}\text{Ge}$ 源生产线

##### 3.3.2.3.1 放射性污染源

###### (1) 核素的辐射特性简介

$^{68}\text{Ge}$  是轨道电子俘获衰变核素, 半衰期为 288d, 属中毒性核素。

###### (2) 辐射源项

$^{68}\text{Ge}$  放射源生产在屏蔽工作箱内操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计是铅当量为 67mm 的铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{68}\text{Ge}$  最大操作量为  $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci) (取原料), 工作人员操作位最大辐射剂量率为  $2.32 \times 10^{-3}\text{mGy/h}$ 。

$^{68}\text{Ge}$  核素操作过程中主要有分装、源芯制备、源壳焊接等工序。根据生产经验推算, 每批次操作过程中, 约有  $1.0 \times 10^4\text{Bq}$  的  $^{68}\text{Ge}$  核素释放进入空气。根据核素

的操作时间和通风量（单批次操作时间 1.5h，工作箱内通风量为 200m<sup>3</sup>/h），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 33.3Bq/m<sup>3</sup>。

本项目操作核素的屏蔽工作箱内空气与操作人员所在的工作箱前区空气是隔绝的（场所空间是相互隔离的，通风系统是各自的），且工作箱内对工作箱前区有 100Pa 的负压，从理论上讲工作箱前区的空气不会被污染。考虑工作箱内空间与工作箱前区有进风口、手套孔等贯穿设备，存在泄漏的可能性。本次评价参考《辐射防护手册（第三分册）》的相关说明，操作人员所在的工作箱前区空气中核素浓度取工作箱内（33.3Bq/m<sup>3</sup>）的 1‰，即  $3.33 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

产品 <sup>68</sup>Ge 放射源活度为  $1.0 \times 10^5$ /枚~ $1.0 \times 10^8$ /枚。产品由专用屏蔽铅盒装载，铅盒规格为 139mm×99mm×54mm。内包装为 2mm 厚的 PP 塑料。每个包装盒内装载一枚 <sup>68</sup>Ge 放射源，铅盒壁厚 1mm，铅盒表面剂量率范围为  $1.61 \times 10^{-5} \text{mGy/h} \sim 1.61 \times 10^{-2} \text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素 <sup>68</sup>Ge 操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

### (3) 放射性核素物料平衡

<sup>68</sup>Ge 放射源生产线上，<sup>68</sup>Ge 的最大年操作量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  (1Ci)，全年进行 370 批次生产，每批最大操作量为  $1 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 2 批。生产过程中，核素 <sup>68</sup>Ge 的物料平衡见表 3.3-4：

表 3.3-4 生产过程中核素 <sup>68</sup>Ge 的物料平衡（<sup>68</sup>Ge 放射源每批次生产）

| 主要核素             | 原料投入量                       | 生产过程损失量 |   | 产品中含量  |
|------------------|-----------------------------|---------|---|--|
| <sup>68</sup> Ge | $1.0 \times 10^8 \text{Bq}$ | 固废损失    | $5.51 \times 10^2 \text{Bq}$              | <sup>68</sup> Ge 放射源每批次生产产品共含钷[ <sup>90</sup> Y]：<br>$1.0 \times 10^8 \text{Bq}$ 。 |
|                  |                             | 液废损失    | $1.08 \times 10^3 \text{Bq}$              |  |
|                  |                             | 气废损失    | 生产过程中挥发的量：<br>$1.0 \times 10^4 \text{Bq}$ |  |
|                  |                             | 总计：     | $1.16 \times 10^4 \text{Bq}$              |  |

活度平衡：原料投入量  $1.0 \times 10^8 \text{Bq} =$

生产过程损失量  $1.16 \times 10^4 \text{Bq} +$  产品中含量  $1.0 \times 10^8 \text{Bq}$

#### 3.3.2.3.2 非放射性污染源

项目为密封放射源的生产，故不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析， $^{68}\text{Ge}$ 放射源生产线污染源如图3.2-5所示。

### 3.3.2.4 $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 发生器生产线

#### 3.3.2.4.1 放射性污染源

##### (1) 核素的辐射特性简介

主要考虑核素  $^{113}\text{Sn}$  的特性， $^{113}\text{Sn}$  是轨道电子俘获衰变核素，半衰期为 115.2d， $\gamma$  射线能量为 0.392MeV，属中毒性核素。

##### (2) 辐射源项

$^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器生产在屏蔽工作箱内操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计是铅当量为 41mm 的铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{113}\text{Sn}$  大操作量为  $7.4\times 10^{11}\text{Bq}$  (20Ci) (取原料) 计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为  $5.68\times 10^{-4}\text{mGy/h}$ 。

$^{113}\text{Sn}$  核素操作过程中主要有溶解、灌装、包装等工序。根据生产经验推算，每批次操作过程中，约有  $6.32\times 10^5\text{Bq}$  的  $^{113}\text{Sn}$  核素释放进入空气。根据核素的操作时间和通风量 (单批次操作时间 2h，工作箱内通风量为  $200\text{m}^3/\text{h}$ )，可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为  $1.58\times 10^3\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

本项目操作核素的屏蔽工作箱内空气与操作人员所在的工作箱前区空气是隔绝的 (场所空间是相互隔离的，通风系统是各自的)，且工作箱内对工作箱前区有 100Pa 的负压，从理论上讲工作箱前区的空气不会被污染。考虑工作箱内空间与工作箱前区有进风口、手套孔等贯穿设备，存在泄漏的可能性。本次评价参考《辐射防护手册 (第三分册)》的相关说明，操作人员所在的工作箱前区空气中核素浓度取工作箱内 ( $1.58\times 10^3\text{Bq}/\text{m}^3$ ) 的 1%，即  $1.58\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

产品  $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器  $^{113}\text{Sn}$  活度为  $1.85\times 10^9/\text{套}\sim 6.3\times 10^9/\text{套}$ 。产品由专用屏蔽铅盒装载，铅盒规格为  $139\text{mm}\times 99\text{mm}\times 54\text{mm}$ 。内包装为 2mm 厚的 PP 塑料。每个包装盒内装载一套  $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器，铅盒壁厚 1mm，铅盒表面剂量率范围为  $6.64\times 10^{-2}\text{mGy/h}\sim 2.26\times 10^{-1}\text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素  $^{113}\text{Sn}$  操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

##### (3) 放射性核素物料平衡

$^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器生产线上， $^{113}\text{Sn}$  的最大年操作量为  $7.4\times 10^{11}$  (20Ci)，全年进

行 117 批次生产，每批最大操作量为  $6.3 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 3 批。生产过程中，核素  $^{113}\text{Sn}$  的物料平衡见表 3.3-5：

表 3.3-5 生产过程中核素  $^{113}\text{Sn}$  的物料平衡 ( $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器每批次生产)

| 主要核素  | 原料投入量                       | 生产过程损失量 |  | 产品中含量   |
|---|-----------------------------|---------|--|---|
| $^{113}\text{Sn}$   | $6.3 \times 10^9 \text{Bq}$ | 固废损失    | $3.88 \times 10^3 \text{Bq}$               | $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 发生器每批次生产产品共含 $^{113}\text{Sn}$ : $6.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 。 |
|   |                             | 液废损失    | $7.46 \times 10^7 \text{Bq}$               |   |
|   |                             | 气废损失    | 生产过程中挥发的量：<br>$6.32 \times 10^5 \text{Bq}$ |   |
|   |                             | 总计：     | $7.52 \times 10^7 \text{Bq}$               |   |
| 活度平衡：原料投入量 $6.3 \times 10^9 \text{Bq} =$<br>生产过程损失量 $7.52 \times 10^7 \text{Bq} +$ 产品中含量 $6.22 \times 10^9 \text{Bq}$ |                             |         |  |   |

#### 3.3.2.4.2 非放射性污染源

项目不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析， $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器生产线污染源如图 3.2-6 所示。

#### 3.3.2.5 $^{147}\text{Pm}$ 源生产线

##### 3.3.2.5.1 放射性污染源

###### (1) 核素的辐射特性简介

$^{147}\text{Pm}$  是纯  $\beta$ -衰变核素，半衰期为 2.62a，最大  $\gamma$  射线能量为 0.199MeV，最大  $\beta$  射线能量为 0.225MeV，属中毒性核素。

###### (2) 辐射源项

$^{147}\text{Pm}$  放射源生产在屏蔽工作箱内操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计是铅当量为 1mm 的铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{147}\text{Pm}$  最大操作量为  $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$  (50Ci) (取原料) 计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为  $3.3 \times 10^{-5} \text{mGy/h}$ 。

$^{147}\text{Pm}$  核素操作过程中主要有源芯制备、源壳焊接、包装等工序。根据生产经验推算，每批次操作过程中，约有  $2.61 \times 10^6 \text{Bq}$  的  $^{147}\text{Pm}$  核素释放进入空气。根据核素的操作时间和通风量 (单批次操作时间 2h，工作箱内通风量为  $200 \text{m}^3/\text{h}$ )，可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为  $6.52 \times 10^3 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

本项目操作核素的屏蔽工作箱内空气与操作人员所在的工作箱前区空气是隔

绝的（场所空间是相互隔离的，通风系统是各自的），且工作箱内对工作箱前区有100Pa的负压，从理论上讲工作箱前区的空气不会被污染。考虑工作箱内空间与工作箱前区有进风口、手套孔等贯穿设备，存在泄漏的可能性。本次评价参考《辐射防护手册（第三分册）》的相关说明，操作人员所在的工作箱前区空气中核素浓度取工作箱内（ $6.52 \times 10^3 \text{Bq/m}^3$ ）的1%，即 $6.52 \text{Bq/m}^3$ 。

产品 $^{147}\text{Pm}$ 放射源活度为 $7.4 \times 10^9$ /枚~ $2.59 \times 10^{10}$ /枚。产品由专用屏蔽铅盒装载，铅盒规格为139mm×99mm×54mm。内包装为2mm厚的PP塑料。每个包装盒内装载一枚 $^{147}\text{Pm}$ 放射源，铅盒壁厚1mm，铅盒表面剂量率范围为 $9.77 \times 10^{-7} \text{mGy/h}$ ~ $3.42 \times 10^{-6} \text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素 $^{147}\text{Pm}$ 操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章3.4节。

### (3) 放射性核素物料平衡

$^{147}\text{Pm}$ 放射源生产线上， $^{147}\text{Pm}$ 的最大年操作量为 $1.85 \times 10^{12}$ （50Ci），全年进行71批次生产，每批最大操作量为 $2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日最大操作量为1批。生产过程中，核素 $^{147}\text{Pm}$ 的物料平衡见表3.3-6：

表 3.3-6 生产过程中核素 $^{147}\text{Pm}$ 的物料平衡（ $^{147}\text{Pm}$ 放射源每批次生产）

| 主要核素              | 原料投入量                           | 生产过程损失量 |  | 产品中含量   |
|-------------------|---------------------------------|---------|--|---|
| $^{147}\text{Pm}$ | $2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$ | 固废损失    | $5.81 \times 10^3 \text{Bq}$               | $^{147}\text{Pm}$ 放射源每批次生产产品共含 $^{147}\text{Pm}$ ：<br>$2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。 |
|                   |                                 | 液废损失    | $2.03 \times 10^4 \text{Bq}$               |   |
|                   |                                 | 气废损失    | 生产过程中挥发的量：<br>$2.61 \times 10^6 \text{Bq}$ |   |
|                   |                                 | 总计：     | $2.64 \times 10^6 \text{Bq}$               |   |

活度平衡：原料投入量 $2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$  =

生产过程损失量 $2.64 \times 10^6 \text{Bq}$  + 产品中含量 $2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$

#### 3.3.2.5.2 非放射性污染源

项目为密封放射源的生产，故不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析， $^{147}\text{Pm}$ 放射源生产线污染源如图3.2-7所示。



### 3.3.2.6 气体放射源生产线

#### 3.3.2.6.1 放射性污染源

##### (1) 核素的辐射特性简介

气体放射源所用核素为  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  是  $\beta$ -衰变核素, 半衰期为 10.73a, 最大  $\gamma$  射线能量为 0.517MeV, 最大  $\beta$  射线能量 0.672MeV, 属低毒性核素。

##### (2) 辐射源项

气体放射源生产在屏蔽工作箱内操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计是铅当量为 47mm 的铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{85}\text{Kr}$  最大操作量为  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci) (生产过程中) 计算, 工作人员操作位最大辐射剂量率为  $1.15\times 10^{-4}\text{mGy/h}$ 。

$^{85}\text{Kr}$  核素操作过程中主要有包壳连接、充气、源壳焊接、检漏、包装等工序。根据生产经验推算, 每批次操作过程中, 约有  $3.7\times 10^7\text{Bq}$  的  $^{85}\text{Kr}$  核素逸散进入空气。根据核素的操作时间和通风量 (单批次操作时间 2h, 工作箱内通风量为  $200\text{m}^3/\text{h}$ ), 可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为  $9.25\times 10^4\text{Bq/m}^3$ 。

本项目操作核素的屏蔽工作箱内空气与操作人员所在的工作箱前区空气是隔绝的 (场所空间是相互隔离的, 通风系统是各自的), 且工作箱内对工作箱前区有 100Pa 的负压, 从理论上讲工作箱前区的空气不会被污染。考虑工作箱内空间与工作箱前区有进风口、手套孔等贯穿设备, 存在泄漏的可能性。本次评价参考《辐射防护手册 (第三分册)》的相关说明, 操作人员所在的工作箱前区空气中核素浓度取工作箱内 ( $9.25\times 10^4\text{Bq/m}^3$ ) 的 1%, 即  $92.5\text{Bq/m}^3$ 。

产品  $^{85}\text{Kr}$  放射源活度为  $3.7\times 10^8/\text{枚}\sim 3.7\times 10^{10}/\text{枚}$ 。产品由专用屏蔽铅盒装载, 铅盒规格为  $139\text{mm}\times 99\text{mm}\times 54\text{mm}$ 。内包装为 2mm 厚的 PP 塑料。每个包装盒内装载一枚  $^{85}\text{Kr}$  放射源, 铅盒壁厚 1mm, 铅盒表面剂量率范围为  $1.29\times 10^{-4}\text{mGy/h}\sim 1.29\times 10^{-2}\text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素  $^{85}\text{Kr}$  操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

##### (3) 放射性核素物料平衡

$^{85}\text{Kr}$  放射源生产线上,  $^{85}\text{Kr}$  的最大年操作量为  $3.7\times 10^{12}$  (100Ci), 全年进行 100 批次生产, 每批最大操作量为  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ , 日最大操作量为 1 批。生产过程中, 核

素  $^{85}\text{Kr}$  的物料平衡见表 3.3-7:

表 3.3-7 生产过程中核素  $^{85}\text{Kr}$  的物料平衡 (气体放射源每批次生产)

| 主要核素   | 原料投入量                         | 生产过程损失量  |  | 产品中含量   |
|--|-------------------------------|----------|--|---|
| $^{85}\text{Kr}$   | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ | 固废<br>损失 | $3.70 \times 10^5\text{Bq}$              | $^{85}\text{Kr}$ 放射源每批次生<br>产产品共含 $^{85}\text{Kr}$ :<br>$3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。 |
|  |                               | 液废<br>损失 | 0  |   |
|  |                               | 气废<br>损失 | 生产过程中挥发的量:<br>$3.7 \times 10^7\text{Bq}$ |   |
|  |                               | 总计:      | $3.74 \times 10^7\text{Bq}$              |   |
| 活度平衡: 原料投入量 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq} =$<br>生产过程损失量 $3.74 \times 10^7\text{Bq} +$ 产品中含量 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ |                               |          |  |   |

### 3.3.2.6.2 非放射性污染源

项目为放射源的生产, 故不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析,  $^{85}\text{Kr}$ 放射源生产线污染源如图3.2-8所示。

### 3.3.2.7 $^{14}\text{C}$ 放射源生产线

#### 3.3.2.7.1 放射性污染源

##### (1) 核素的辐射特性简介

$^{14}\text{C}$  是  $\beta$ -衰变核素, 半衰期为 5692a,  $\beta$  射线能量为 0.155MeV, 属中毒性核素。

##### (2) 辐射源项

$^{14}\text{C}$  放射源生产在屏蔽手套箱内操作。屏蔽手套箱正对操作位的屏蔽设是铅当量为 1mm 的铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{14}\text{C}$  最大操作量为  $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci) (取原料) 计算, 工作人员操作位最大辐射剂量率为  $5.77 \times 10^{-16}\text{mGy/h}$ 。

$^{14}\text{C}$  核素操作过程中主要有料液配制、源芯制备、封膜、装壳、包装等工序。根据生产经验推算, 每批次操作过程中, 约有  $3.7 \times 10^4\text{Bq}$  的  $^{14}\text{C}$  核素释放进入空气。根据核素的操作时间和通风量 (单批次操作时间 1h, 工作箱内通风量为  $200\text{m}^3/\text{h}$ ), 可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为  $1.85 \times 10^2\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

本项目操作核素的屏蔽手套箱内空气与操作人员所在的工作箱前区空气是隔绝的 (场所空间是相互隔离的, 通风系统是各自的), 且工作箱内对工作箱前区有 100Pa 的负压, 从理论上讲工作箱前区的空气不会被污染。考虑工作箱内空间与工



作箱前区有进风口、手套孔等贯穿设备，存在泄漏的可能性。本次评价参考《辐射防护手册（第三分册）》的相关说明，操作人员所在的工作箱前区空气中核素浓度取工作箱内（ $1.85 \times 10^2 \text{Bq/m}^3$ ）的1%，即  $1.85 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

产品  $^{14}\text{C}$  放射源活度为  $1.0 \times 10^6$ /枚~ $3.7 \times 10^8$ /枚。产品由专用屏蔽铅盒装载，铅盒规格为  $139\text{mm} \times 99\text{mm} \times 54\text{mm}$ 。内包装为 2mm 厚的 PP 塑料。每个包装盒内装载一枚  $^{14}\text{C}$  放射源，铅盒壁厚 1mm，铅盒表面剂量率范围为  $4.57 \times 10^{-4} \text{mGy/h} \sim 1.69 \times 10^{-1} \text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素  $^{14}\text{C}$  操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

### (3) 放射性核素物料平衡

$^{14}\text{C}$  放射源生产线上， $^{14}\text{C}$  的最大年操作量为  $3.7 \times 10^{10}$  (1Ci)，全年进行 100 批次生产，每批最大操作量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 1 批。生产过程中，核素  $^{14}\text{C}$  的物料平衡见表 3.3-8：

表 3.3-8 生产过程中核素  $^{14}\text{C}$  的物料平衡（ $^{14}\text{C}$  放射源每批次生产）

| 主要核素   | 原料投入量                       | 生产过程损失量 |   | 产品中含量   |
|--|-----------------------------|---------|---|---|
| $^{14}\text{C}$  | $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ | 固废损失    | $1.81 \times 10^4 \text{Bq}$              | $^{14}\text{C}$ 放射源每批次生产产品共含 $^{14}\text{C}$ ：<br>$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。 |
|  |                             | 液废损失    | 0   |   |
|  |                             | 气废损失    | 生产过程中挥发的量：<br>$3.7 \times 10^4 \text{Bq}$ |   |
|  |                             | 总计：     | $5.51 \times 10^4 \text{Bq}$              |   |
| 活度平衡：原料投入量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq} =$<br>生产过程损失量 $5.51 \times 10^4 \text{Bq} +$ 产品中含量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ |                             |         |   |   |

#### 3.3.2.7.2 非放射性污染源

项目为密封放射源的生产，故不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析， $^{14}\text{C}$  放射源生产线污染源如图 3.2-9 所示。

#### 3.3.2.8 $^{137}\text{Cs}$ 源生产线

##### 3.3.2.8.1 放射性污染源

###### (1) 核素的辐射特性简介

$^{137}\text{Cs}$  是  $\beta$ -衰变核素，半衰期为 30.174a，最大  $\beta$  射线能量为 1.176MeV，属中毒性核素。

## (2) 辐射源项

$^{137}\text{Cs}$  放射源生产在屏蔽工作箱内操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计分为铅当量为 152mm 的铅玻璃观察窗和铅当量为 122mm 铅玻璃观察窗。按单批次核素  $^{137}\text{Cs}$  最大操作量为  $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$  (3Ci) (生产过程中) 计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为  $2.67 \times 10^{-4}\text{mGy/h}$ 。

$^{137}\text{Cs}$  核素操作过程中主要有检测、组装、源壳焊接、包装等工序。该生产工艺只是对  $^{137}\text{Cs}$  半成品源进行简单的组合焊接，不会产生放射性废气。

产品  $^{137}\text{Cs}$  放射源活度为  $3.7 \times 10^6$ /枚~ $1.11 \times 10^{11}$ /枚。产品由专用屏蔽铅盒装载，铅盒规格为  $139\text{mm} \times 99\text{mm} \times 54\text{mm}$ 。内包装为 2mm 厚的 PP 塑料。每个包装盒内装载一枚  $^{137}\text{Cs}$  放射源，铅盒壁厚 18mm，铅盒表面剂量率范围为  $6.47 \times 10^{-5}\text{mGy/h}$ ~ $1.94\text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素  $^{137}\text{Cs}$  操作过程中产生的放射性废液及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

## (3) 放射性核素物料平衡

$^{137}\text{Cs}$  放射源生产线上， $^{137}\text{Cs}$  的最大年操作量为  $3.7 \times 10^{13}$  (1000Ci)，全年进行 333 批次生产，每批最大操作量为  $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日最大操作量为 2 批。生产过程中，核素  $^{137}\text{Cs}$  的物料平衡见表 3.3-9：

表 3.3-9 生产过程中核素  $^{137}\text{Cs}$  的物料平衡 ( $^{137}\text{Cs}$  放射源每批次生产)

| 主要核素              | 原料投入量                          | 生产过程损失量 |                             | 产品中含量  |
|-------------------|--------------------------------|---------|-----------------------------|--|
| $^{137}\text{Cs}$ | $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ | 固废损失    | 33Bq                        | $^{137}\text{Cs}$ 放射源每批次生产产品共含 $^{137}\text{Cs}$ :<br>$1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。 |
|                   |                                | 液废损失    | $2.5 \times 10^2\text{Bq}$  |  |
|                   |                                | 气废损失    | 0                           |  |
|                   |                                | 总计:     | $2.83 \times 10^2\text{Bq}$ |  |

活度平衡：原料投入量  $1.11 \times 10^{11}\text{Bq} =$

生产过程损失量  $2.83 \times 10^2\text{Bq} +$  产品中含量  $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$

### 3.3.2.8.2 非放射性污染源

项目为密封放射源的生产，故不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析， $^{137}\text{Cs}$ 放射源生产线污染源如图3.2-10所示。

### 3.3.2.9 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间

#### 3.3.2.9.1 放射性污染源

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验在生产厂房内开展，在1个屏蔽箱内进行操作。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为50mm铅当量的铅板，按单批次核素 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 最大操作量为 $5.55\times 10^{10}\text{Bq}$ （1.5Ci）（取原料）计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为 $2.11\times 10^{-3}\text{mGy/h}$ 。

本项目放射性核素 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 操作过程中产生的放射性废气、废液及放射性固体废物源项见本章3.4节。

#### 3.3.2.9.2 非放射性污染源

项目不产生非放射性污染物。

根据前述工艺流程分析， $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 研发试验工艺污染源如图3.2-11所示。

### 3.3.2.10 研发中心污染源

#### 3.3.2.10.1 放射性污染源

研发中心主要在开展放射性实验及标准源制备的过程中，源芯制备、风干、质量检验等步骤产生含所操作核素的放射性废液、废气和固体废物。

##### (1)放化实验室一

放化实验室一涉及12种核素，在4个屏蔽箱内进行操作，以下分别对其进行分析。

##### ①通风柜+手套箱（操作 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 的手套箱）

屏蔽箱为一个手套箱放置于一个通风柜内，涉及 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 两种核素，选取核素 $^{14}\text{C}$ 作为代表性核素。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为10mm铅当量的有机玻璃，按单批次核素 $^{14}\text{C}$ 最大操作量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ （50mCi）计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为 $2.62\times 10^{-14}\text{mGy/h}$ 。

##### ②手套箱1（操作 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 的手套箱）

手套箱1涉及 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 三种核素，选取核素 $^{68}\text{Ge}$ 作为代表性核素。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为120mm铅当量的铅板，按单批次核素 $^{168}\text{Ge}$ 最大操作量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ （50mCi）计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为 $2.42\times 10^{-3}\text{mGy/h}$ 。

③手套箱2（操作 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 的手套箱）

手套箱2涉及 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 四种核素，选取核素 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 作为代表性核素。屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为25mm铅当量的铅板，按单批次核素 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 最大操作量均为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ （50mCi）计算，操作 $^{113}\text{Sn}$ 时工作人员操作位最大辐射剂量率为 $2.1\times 10^{-3}\text{mGy/h}$ ；操作 $^{203}\text{Hg}$ 时工作人员操作位最大辐射剂量率为 $1.35\times 10^{-4}\text{mGy/h}$ 。

④手套箱3（操作 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 的手套箱）

手套箱3涉及 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 三种核素，选取核素 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 作为代表性核素，屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为10mm铅当量的铅板，按单批次核素 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 最大操作量均为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ （50mCi）计算，操作 $^{57}\text{Co}$ 时工作人员操作位最大辐射剂量率为 $1.09\times 10^{-5}\text{mGy/h}$ ；操作 $^{147}\text{Pm}$ 时工作人员操作位最大辐射剂量率为 $4.29\times 10^{-9}\text{mGy/h}$ 。

## (2)放化实验室二

放化实验室二涉及5种核素，于2个屏蔽箱内进行操作，以下分别对其进行分析。

①手套箱1（操作 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 的手套箱）

手套箱1涉及 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 两种核素，选取核素 $^{88}\text{Y}$ 作为代表性核素，屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为170mm铅当量的铅板，按单批次核素 $^{88}\text{Y}$ 最大操作量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ （50mCi）计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为 $4.99\times 10^{-4}\text{mGy/h}$ 。

②手套箱2（操作 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 的手套箱）

手套箱涉及 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 三种核素，选取核素 $^{152}\text{Eu}$ 作为代表性核素，屏蔽工作箱正对操作位的屏蔽设计为110mm铅当量的铅板，按单批次核素 $^{152}\text{Eu}$ 最大操作量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ （50mCi）计算，工作人员操作位最大辐射剂量率为 $1.35\times 10^{-3}\text{mGy/h}$ 。

## (3)标准源生产间

标准源生产间涉及 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ 十七种豁免源，于1个屏蔽手套箱内进行生产，选取核素 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 作为代表性核素，屏蔽工作箱正对操作位的

屏蔽设计为56mm铅当量的铅板,按单批次核素 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 最大操作量均为 $1\times 10^6\text{Bq}$  ( $27.1\mu\text{Ci}$ )计算,操作 $^{152}\text{Eu}$ 时工作人员操作位最大辐射剂量率为 $1.37\times 10^{-5}\text{mGy/h}$ ;操作 $^{106}\text{Ru}$ 时工作人员操作位最大辐射剂量率为 $2.60\times 10^{-6}\text{mGy/h}$ 。

上述场所各放射性核素操作过程中产生的放射性废气、废液及放射性固体废物的相关源项见本章3.4节。

### 3.3.2.10.2 非放射性污染源

研发中心主要在1-3层非放实验晶间腐蚀和金相检验试验中产生切割铁削、残渣及酸性废水;在泄漏检验试验含颗粒物的检漏废水。研发中心主要声源为通排风系统,源强为85dB(A)。

### 3.3.2.11 公用辅助设施污染源

#### 3.3.2.11.1 废水

##### (1) 废水的产生

**办公废水:**项目办公废水主要为工作人员日常办公产生的废水,项目厂区人数约113人,办公用水定额按 $100\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ 计,日平均用水量 $11.3\text{m}^3/\text{d}$ ,污水排放量为 $9.6\text{m}^3/\text{d}$ 。

##### (2) 项目营运期水平衡图

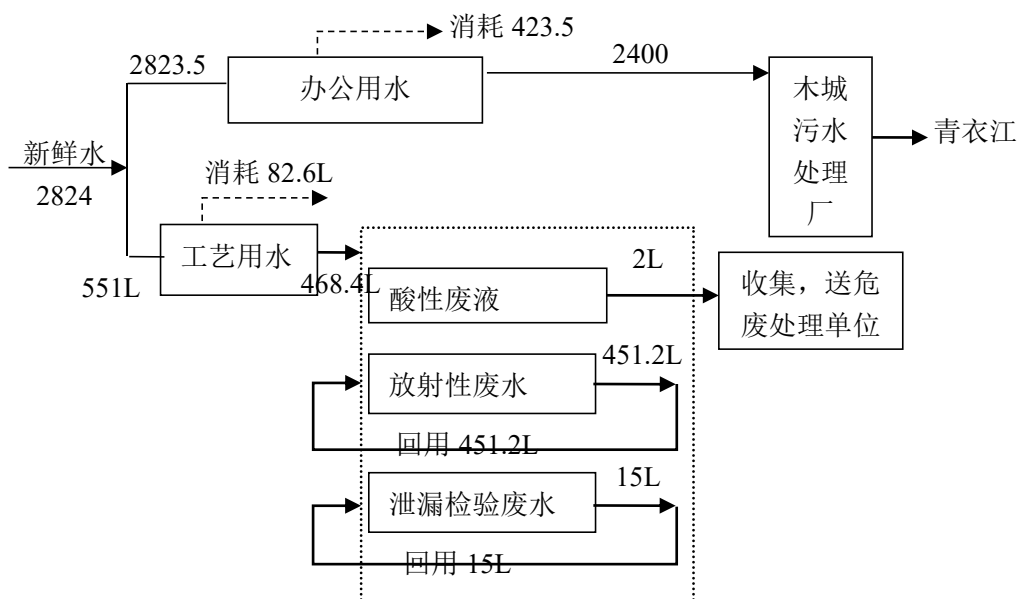


图 3.3-2 营运期水平衡图 (单位:  $\text{m}^3/\text{a}$ )

### 3.3.2.11.2 噪声

本项目投入营运后主要的噪声为：项目生产设施产生的噪声和设备噪声（通排风系统等），偶尔使用的柴油发电机的运行噪声。营运期涉及的声源及源强见表 3.3-10。

表 3.3-10 营运期主要噪声源及其声级值

| 场所      | 声源    | 声源强度 (dB(A)) |
|---------|-------|--------------|
| 生产厂房    | 风机系统  | 85           |
| 研发楼     | 风机系统  | 85           |
| 物流中心及库房 | 通排风系统 | 85           |

### 3.3.2.11.3 固体废物

本项目营运期产生的固体废物主要为工作人员产生的生活垃圾和物流中心及库房的检、维修间产生的机修废物。生活垃圾主要由工作人员产生，项目厂区人数约113人，生活垃圾产生量按0.5kg/人·d计，则生活垃圾产生总量为56.5kg/d（14.12t/a）。物流中心及库房的检、维修间主要对车辆进行检、维修，频率较小，废机油产生量约为10kg/a。

## 3.4 废弃物

本项目运行过程中的废弃物包括放射性废弃物和非放射性废弃物。放射性废弃物主要是含放射性的废气、废液和固体废物；非放射性废弃物包括废气、废水和固体废物。下面按类型分别描述放射性废弃物的来源、种类、活度等相关情况。

### 3.4.1 放射性废弃物

#### 3.4.1.1 整备热室退役放射源再利用生产线

在退役放射源再利用生产过程中，放射性三废的产生情况如下：

##### (1) 废气

在  $^{60}\text{Co}$  退役放射源再利用的生产过程中不产生放射性废气。

##### (2) 废液

本项目在  $^{60}\text{Co}$  退役放射源再利用生产  $^{60}\text{Co}$  放射源过程中产生的废水主要为含

$^{60}\text{Co}$  的检漏放射性废水，产生量为 1.8L/批次，全年 100 批次，年产生量 180L，总活度为  $1.70\times 10^9\text{Bq/a}$ 。

产生的放射性废液全部收集，由废液罐达到一定量后转运至地下一层放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理至活度低于  $10\text{Bq/L}$  后回用，不外排。

### (3) 固体废物

在本项目在  $^{60}\text{Co}$  退役放射源再利用生产  $^{60}\text{Co}$  放射源过程中产生的放射性固体废物有不合格品切割后产生废弃包壳及垫块等，产生量约  $100\text{kg/a}$ ，活度为  $3.7\times 10^8\text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭棉球，产生量约  $50\text{kg/a}$ ，活度为  $1.00\times 10^6\text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

#### 3.4.1.2 $\text{Co-57}$ 放射源生产线

在放射性核素  $^{57}\text{Co}$  的操作过程中，放射性三废的产生情况如下：

##### (1) 废气

在  $^{57}\text{Co}$  放射源的生产过程中，有烧结、封焊等工序，根据生产经验，释放进入空气中的  $^{57}\text{Co}$  放射性核素估算约有  $1.11\times 10^4\text{Bq/批次}$ 。本项目  $^{57}\text{Co}$  放射源每年生产 333 批次，排风系统的过滤器过滤效率按 99% 计，则本项目操作核素  $^{57}\text{Co}$  过程中通过气载途径排入环境的放射性活度为  $3.7\times 10^4\text{Bq/a}$ 。

##### (2) 废液

本项目在生产  $^{57}\text{Co}$  放射源过程中产生含  $^{57}\text{Co}$  的放射性废液包括剩余废液和清洗废水，产生量为 0.12L/批次，全年 333 批次，年产生量 40.4L，总活度为  $4.20\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

产生的放射性废液全部收集，由各箱室下设置的 2mm 不锈钢废液箱盛装达到一定量后转运至地下一层放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理至活度低于  $10\text{Bq/L}$  后回用，不外排。

##### (3) 固体废物

在生产  $^{57}\text{Co}$  放射源过程中产生的放射性固体废物有：移液器吸头、废弃包壳，产生量约  $10.8\text{kg/a}$ ，活度为  $1.67\times 10^5\text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭棉球、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约  $33.3\text{kg/a}$ ，活度为  $7.63\times 10^5\text{Bq/a}$ 。



放射性固体废物由 2mm 不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

### 3.4.1.3 Ge-68 放射源生产线

在放射性核素  $^{68}\text{Ge}$  的操作过程中，放射性三废的产生情况如下：

#### (1) 废气

在  $^{68}\text{Ge}$  放射源的生产过程中，有混合搅拌、固化等工序，根据生产经验，释放进入空气中的  $^{68}\text{Ge}$  放射性核素估算约有  $1.00 \times 10^4 \text{Bq}$  /批次。本项目  $^{68}\text{Ge}$  放射源每年生产 370 批次，排风系统的过滤器过滤效率按 99% 计，则本项目操作核素  $^{68}\text{Ge}$  过程中通过气载途径排入环境的放射性活度为  $3.7 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。

#### (2) 废液

本项目在生产  $^{68}\text{Ge}$  放射源过程中产生含  $^{68}\text{Ge}$  的放射性废液包括剩余废液和清洗废水，产生量为 0.5L/批次，全年 370 批次，年产生量 185L，总活度为  $4.00 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

产生的放射性废液全部收集，由各箱室下设置的 2mm 不锈钢废液箱盛装达到一定量后转运至地下一层放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理至活度低于 10Bq/L 后回用，不外排。

#### (3) 固体废物

在生产  $^{68}\text{Ge}$  放射源过程中产生的放射性固体废物有：废弃的移液器吸头、废弃包壳等，产生量约 90.6kg/a，活度为  $1.28 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭棉球、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约 33kg/a，活度为  $1.46 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由 2mm 不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

### 3.4.1.4 Sn-In 发生器生产线

在放射性核素  $^{113}\text{Sn}$  的操作过程中，放射性三废的产生情况如下：

#### (1) 废气

在 Sn-In 发生器的生产过程中，有溶解、淋洗等工序，根据生产经验，释放进入空气中的  $^{113}\text{Sn}$  放射性核素估算约有  $6.32 \times 10^5 \text{Bq}$  /批次。本项目  $^{113}\text{Sn}$  放射源每年生产 117 批次，排风系统的过滤器过滤效率按 99% 计，则本项目操作核素  $^{113}\text{Sn}$  过程



中通过气载途径排入环境的放射性活度为  $7.4 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

### (2) 废液

本项目在生产 Sn-In 发生器过程中产生含  $^{113}\text{Sn}$  的放射性废液包括质量检验残液和清洗废水，产生量为 0.19L/批次，全年 117 批次，年产生量 22L，总活度为  $8.73 \times 10^9 \text{Bq/a}$ 。

产生的放射性废液全部收集，由各箱室下设置的 2mm 不锈钢废液箱盛装达到一定量后转运至地下一层放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理至活度低于 10Bq/L 后回用，不外排。

### (3) 固体废物

在生产 Sn-In 发生器过程中产生的放射性固体废物有：废弃的容器等，产生量约 1kg/a，活度为  $5.00 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭棉球、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约 49kg/a，活度为  $4.04 \times 10^5 \text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由 2mm 不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

## 3.4.1.5 Pm-147 放射源生产线

在放射性核素  $^{147}\text{Pm}$  的操作过程中，放射性三废的产生情况如下：

### (1) 废气

在  $^{147}\text{Pm}$  放射源的生产过程中，有吸附、封焊等工序，根据生产经验，释放进入空气中的  $^{147}\text{Pm}$  放射性核素估算约有  $2.61 \times 10^6 \text{Bq/批次}$ 。本项目  $^{147}\text{Pm}$  放射源每年生产 71 批次，排风系统的过滤器过滤效率按 99% 计，则本项目操作核素  $^{147}\text{Pm}$  过程中通过气载途径排入环境的放射性活度为  $1.85 \times 10^6 \text{Bq/a}$ 。

### (2) 废液

本项目在生产  $^{147}\text{Pm}$  放射源过程中产生含  $^{147}\text{Pm}$  的放射性废液主要为质量检验残液，产生量为 300mL/批次，全年 71 批次，年产生量 21.3L，总活度为  $1.44 \times 10^6 \text{Bq/a}$ 。

产生的放射性废液全部收集，由各箱室下设置的 2mm 不锈钢废液箱盛装达到一定量后转运至地下一层放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理至活度低于 10Bq/L 后回用，不外排。

### (3) 固体废物

在生产  $^{147}\text{Pm}$  放射源过程中产生的放射性固体废物有：废弃的移液器吸头、包壳等，产生量约  $2.13\text{kg/a}$ ，活度为  $2.14\times 10^5\text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭棉球、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约  $37\text{kg/a}$ ，活度为  $1.99\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由  $2\text{mm}$  不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

#### 3.4.1.6 Kr-85 放射源生产线

在放射性核素  $^{85}\text{Kr}$  的操作过程中，放射性三废的产生情况如下：

##### (1) 废气

在  $^{85}\text{Kr}$  放射源的生产过程中，产生的废气主要为  $^{85}\text{Kr}$  逸散到空气中形成含  $^{85}\text{Kr}$  的放射性废气，根据生产经验，释放进入空气中的  $^{85}\text{Kr}$  放射性核素估算约有  $3.7\times 10^7\text{Bq/批次}$ 。本项目  $^{85}\text{Kr}$  放射源每年生产 100 批次，排风系统的过滤系统对  $^{85}\text{Kr}$  不具去除效果，则本项目操作核素  $^{85}\text{Kr}$  过程中通过气载途径排入环境的放射性活度为  $3.7\times 10^9\text{Bq/a}$ 。

##### (2) 废液

本项目在生产  $^{85}\text{Kr}$  放射源过程中不产生放射性废液。

##### (3) 固体废物

在生产  $^{85}\text{Kr}$  放射源过程中产生的放射性固体废物有：充气嘴，产生量约  $12\text{kg/a}$ ，活度为  $3.7\times 10^7\text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭废物、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约  $50\text{kg/a}$ ，活度为  $5.00\times 10^3\text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由  $2\text{mm}$  不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

#### 3.4.1.7 C-14 放射源生产线

在放射性核素  $^{14}\text{C}$  的操作过程中，放射性三废的产生情况如下：

##### (1) 废气

在  $^{14}\text{C}$  放射源的生产过程中，有溶解、滴定等工序，根据生产经验，释放进入空气中的  $^{14}\text{C}$  放射性核素估算约有  $3.7\times 10^4\text{Bq/批次}$ 。本项目  $^{14}\text{C}$  放射源每年生产 100 批次，排风系统的过滤器过滤效率按 99% 计，则本项目操作核素  $^{14}\text{C}$  过程中通过气

载途径排入环境的放射性活度为  $3.7 \times 10^4 \text{Bq/a}$ 。

### (2) 废液

本项目在生产  $^{14}\text{C}$  放射源过程中不产生放射性废液。

### (3) 固体废物

在生产  $^{14}\text{C}$  放射源过程中产生的放射性固体废物有：废弃的移液器吸头，产生量约  $1\text{kg/a}$ ，活度为  $1.8 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭废物、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约  $16\text{kg/a}$ ，活度为  $5.00 \times 10^3 \text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由  $2\text{mm}$  不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

#### 3.4.1.8 Cs-137 放射源生产线

在放射性核素  $^{137}\text{Cs}$  的操作过程中，本生产线利用  $^{137}\text{Cs}$  半成品源组合生产  $^{137}\text{Cs}$  放射源，仅有有焊接、清洗放射源外表面等工序，故本项目不产生放射性废气和放射性废水，仅产生少量放射性废物，包括：废弃的移源壳，产生量约  $7.5\text{kg/a}$ ，活度为  $1.0 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ；放射源表面擦拭废物、工作人员使用过的口罩，手套，鞋套等一次性劳保用品，产生量约  $8\text{kg/a}$ ，活度为  $1.0 \times 10^3 \text{Bq/a}$ 。

放射性固体废物由  $2\text{mm}$  不锈钢固废箱盛装，暂存于地下一层的放射性固体废物暂存间暂存，达到一定量后集中送核动力院一所处置。

#### 3.4.1.9 研发中心

研发楼的放化实验室主要涉及  $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Y}$  等 17 种核素的操作；标准源生产线主要涉及  $^{60}\text{Co}$  源、 $^{198}\text{Au}$  源、 $^{170}\text{Tm}$  源、 $^{210}\text{Pb}$  源、 $^{153}\text{Gd}$  源、 $^{154}\text{Eu}$  源、 $^{35}\text{S}$  源、 $^{133}\text{Ba}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源、 $^{169}\text{Yb}$  源、 $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{144}\text{Ce}$  源、 $^{55}\text{Fe}$  源、 $^{22}\text{Na}$  源、 $^{109}\text{Cd}$  源、 $^{99}\text{Tc}$  源、 $^{36}\text{Cl}$  源等 17 种豁免源的制备，放射性废弃物的产生情况如下：

### (1) 废气

研发中心操作放射性核素过程中，放射性废气的产生量如下：

表 3.4-1 研发中心放射性废气产生情况

| 序号 | 场所    | 核素           | 废气总活度(Bq/a)        |
|----|-------|--------------|--------------------|
| 1  | 放化实验室 | $^3\text{H}$ | $5.55 \times 10^5$ |

|    |                   |                   |                    |
|----|-------------------|-------------------|--------------------|
| 2  | 一                 | $^{14}\text{C}$   | $5.55 \times 10^5$ |
| 3  |                   | $^{68}\text{Ge}$  | $9.25 \times 10^5$ |
| 4  |                   | $^{85}\text{Sr}$  | $9.25 \times 10^5$ |
| 5  |                   | $^{131}\text{Ba}$ | $5.55 \times 10^5$ |
| 6  |                   | $^{51}\text{Cr}$  | $5.55 \times 10^5$ |
| 7  |                   | $^{113}\text{Sn}$ | $5.55 \times 10^5$ |
| 8  |                   | $^{153}\text{Gd}$ | $5.55 \times 10^5$ |
| 9  |                   | $^{203}\text{Hg}$ | $5.55 \times 10^5$ |
| 10 |                   | $^{57}\text{Co}$  | $1.85 \times 10^6$ |
| 11 |                   | $^{109}\text{Cd}$ | $5.55 \times 10^5$ |
| 12 |                   | $^{147}\text{Pm}$ | $5.55 \times 10^5$ |
| 13 |                   | 放化实验室<br>二        | $^{88}\text{Y}$    |
| 14 | $^{22}\text{Na}$  |                   | $5.55 \times 10^5$ |
| 15 | $^{54}\text{Mn}$  |                   | $5.55 \times 10^5$ |
| 16 | $^{65}\text{Zn}$  |                   | $5.55 \times 10^5$ |
| 17 | $^{152}\text{Eu}$ |                   | $3.33 \times 10^5$ |
| 1  | 标准源生产             | $^{60}\text{Co}$  | $1.00 \times 10^2$ |
| 2  |                   | $^{198}\text{Au}$ | $1.00 \times 10^3$ |
| 3  |                   | $^{70}\text{Tm}$  | $1.00 \times 10^3$ |
| 4  |                   | $^{210}\text{Pb}$ | $1.00 \times 10^2$ |
| 5  |                   | $^{153}\text{Gd}$ | $1.00 \times 10^4$ |
| 6  |                   | $^{154}\text{Eu}$ | $1.00 \times 10^2$ |
| 7  |                   | $^{35}\text{S}$   | $1.00 \times 10^4$ |
| 8  |                   | $^{133}\text{Ba}$ | $1.00 \times 10^3$ |
| 9  |                   | $^{106}\text{Ru}$ | $1.00 \times 10^2$ |
| 10 |                   | $^{169}\text{Yb}$ | $1.00 \times 10^4$ |
| 11 |                   | $^{152}\text{Eu}$ | $1.00 \times 10^3$ |
| 12 |                   | $^{144}\text{Ce}$ | $1.00 \times 10^2$ |
| 13 |                   | $^{55}\text{Fe}$  | $1.00 \times 10^3$ |
| 14 |                   | $^{22}\text{Na}$  | $1.00 \times 10^4$ |
| 15 |                   | $^{109}\text{Cd}$ | $1.00 \times 10^3$ |
| 16 |                   | $^{99}\text{Tc}$  | $1.00 \times 10^4$ |
| 17 |                   | $^{36}\text{Cl}$  | $1.00 \times 10^3$ |

## (2) 废液

本项目操作放射性核素过程中，通常有以下操作：溶液转移、稀释、吸附、清洗等。每次操作产生的放射性废液包括：反应残余液、仪器清洗废液等。研发中心放射性废液的产生量见表 3.4-2。

表 3.4-2 研发中心放射性废液产生情况

| 序号 | 场所         | 核素                | 放射性废液              |           |
|----|------------|-------------------|--------------------|-----------|
|    |            |                   | 总活度(Bq/a)          | 总体积 (L/a) |
| 1  | 放化实验室<br>一 | $^3\text{H}$      | $3.55 \times 10^7$ | 0.03      |
| 2  |            | $^{14}\text{C}$   | $5.55 \times 10^5$ | 0.03      |
| 3  |            | $^{68}\text{Ge}$  | $7.47 \times 10^8$ | 0.1       |
| 4  |            | $^{85}\text{Sr}$  | $1.87 \times 10^6$ | 0.05      |
| 5  |            | $^{131}\text{Ba}$ | $4.74 \times 10^8$ | 0.1       |
| 6  |            | $^{51}\text{Cr}$  | $3.55 \times 10^7$ | 0.03      |
| 7  |            | $^{113}\text{Sn}$ | $3.55 \times 10^7$ | 0.03      |
| 8  |            | $^{153}\text{Gd}$ | $3.55 \times 10^7$ | 0.03      |
| 9  |            | $^{203}\text{Hg}$ | $3.55 \times 10^7$ | 0.03      |
| 10 |            | $^{57}\text{Co}$  | $2.99 \times 10^8$ | 0.1       |
| 11 |            | $^{109}\text{Cd}$ | $5.61 \times 10^7$ | 0.03      |
| 12 |            | $^{147}\text{Pm}$ | $7.47 \times 10^8$ | 0.1       |
| 13 | 放化实验室<br>二 | $^{88}\text{Y}$   | $1.87 \times 10^6$ | 0.05      |
| 14 |            | $^{22}\text{Na}$  | $5.61 \times 10^7$ | 0.03      |
| 15 |            | $^{54}\text{Mn}$  | $3.55 \times 10^7$ | 0.05      |
| 16 |            | $^{65}\text{Zn}$  | $3.55 \times 10^7$ | 0.03      |
| 17 |            | $^{152}\text{Eu}$ | $5.61 \times 10^7$ | 0.03      |
| 1  | 标准源生产      | $^{60}\text{Co}$  | $1.00 \times 10^2$ | 0.1       |
| 2  |            | $^{198}\text{Au}$ | $1.00 \times 10^3$ | 0.1       |
| 3  |            | $^{70}\text{Tm}$  | $1.00 \times 10^3$ | 0.1       |
| 4  |            | $^{210}\text{Pb}$ | $1.00 \times 10^2$ | 0.1       |
| 5  |            | $^{153}\text{Gd}$ | $1.00 \times 10^4$ | 0.1       |
| 6  |            | $^{154}\text{Eu}$ | $1.00 \times 10^2$ | 0.1       |
| 7  |            | $^{35}\text{S}$   | $1.00 \times 10^4$ | 0.1       |

|    |  |                   |                    |     |
|----|--|-------------------|--------------------|-----|
| 8  |  | $^{133}\text{Ba}$ | $1.00 \times 10^3$ | 0.1 |
| 9  |  | $^{106}\text{Ru}$ | $1.00 \times 10^2$ | 0.1 |
| 10 |  | $^{169}\text{Yb}$ | $1.00 \times 10^4$ | 0.1 |
| 11 |  | $^{152}\text{Eu}$ | $1.00 \times 10^3$ | 0.1 |
| 12 |  | $^{144}\text{Ce}$ | $1.00 \times 10^2$ | 0.1 |
| 13 |  | $^{55}\text{Fe}$  | $1.00 \times 10^3$ | 0.1 |
| 14 |  | $^{22}\text{Na}$  | $1.00 \times 10^4$ | 0.1 |
| 15 |  | $^{109}\text{Cd}$ | $1.00 \times 10^3$ | 0.1 |
| 16 |  | $^{99}\text{Tc}$  | $1.00 \times 10^4$ | 0.1 |
| 17 |  | $^{36}\text{Cl}$  | $1.00 \times 10^3$ | 0.1 |

本项目研发中心产生的放射性废液主要为酸性废液，由配置的 2 个废液罐储存，每个废液罐 5L，材料为内层 5mm 玻璃瓶，外层 1cm 铸铁。该部分放射性废液暂存在研发中心三楼放射性废物间，定期转运至生产厂房和辐射中心地下一层放射性废液处理间，通过过滤净化和两级离子交换进行净化处理至活度低于 10Bq/L 后回用，不外排。

### (3) 固体废物

在研发中心操作放射性核素过程中产生的放射性固体废物为：操作用的废弃移液吸头、放射性包装、手套、去污废物等，研发中心放射性固废的产生量见表 3.4-3。

表 3.4-3 研发中心放射性固废产生情况

| 序号 | 场所         | 核素                | 放射性固体废物            |            |
|----|------------|-------------------|--------------------|------------|
|    |            |                   | 总活度(Bq/a)          | 总重量 (kg/a) |
| 1  | 放化实验室<br>— | $^3\text{H}$      | $2.00 \times 10^7$ | 0.009      |
| 2  |            | $^{14}\text{C}$   | $5.55 \times 10^5$ | 0.009      |
| 3  |            | $^{68}\text{Ge}$  | $7.40 \times 10^6$ | 0.03       |
| 4  |            | $^{85}\text{Sr}$  | $1.85 \times 10^4$ | 0.015      |
| 5  |            | $^{131}\text{Ba}$ | $2.66 \times 10^8$ | 0.03       |
| 6  |            | $^{51}\text{Cr}$  | $2.00 \times 10^7$ | 0.009      |
| 7  |            | $^{113}\text{Sn}$ | $2.00 \times 10^7$ | 0.009      |
| 8  |            | $^{153}\text{Gd}$ | $2.00 \times 10^7$ | 0.009      |
| 9  |            | $^{203}\text{Hg}$ | $2.00 \times 10^7$ | 0.009      |

|    |            |                   |                    |       |
|----|------------|-------------------|--------------------|-------|
| 10 |            | $^{57}\text{Co}$  | $2.96 \times 10^6$ | 0.03  |
| 11 |            | $^{109}\text{Cd}$ | $5.55 \times 10^5$ | 0.009 |
| 12 |            | $^{147}\text{Pm}$ | $7.40 \times 10^6$ | 0.03  |
| 13 | 放化实验室<br>二 | $^{88}\text{Y}$   | $1.84 \times 10^4$ | 0.015 |
| 14 |            | $^{22}\text{Na}$  | $5.55 \times 10^5$ | 0.009 |
| 15 |            | $^{54}\text{Mn}$  | $2.00 \times 10^7$ | 0.009 |
| 16 |            | $^{65}\text{Zn}$  | $2.00 \times 10^7$ | 0.009 |
| 17 |            | $^{152}\text{Eu}$ | $5.55 \times 10^5$ | 0.009 |
| 1  | 标准源生产      | $^{60}\text{Co}$  | $3.00 \times 10^2$ | 0.1   |
| 2  |            | $^{198}\text{Au}$ | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |
| 3  |            | $^{70}\text{Tm}$  | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |
| 4  |            | $^{210}\text{Pb}$ | $2.00 \times 10^2$ | 0.1   |
| 5  |            | $^{153}\text{Gd}$ | $3.00 \times 10^4$ | 0.1   |
| 6  |            | $^{154}\text{Eu}$ | $3.00 \times 10^2$ | 0.1   |
| 7  |            | $^{35}\text{S}$   | $3.00 \times 10^4$ | 0.1   |
| 8  |            | $^{133}\text{Ba}$ | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |
| 9  |            | $^{106}\text{Ru}$ | $3.00 \times 10^2$ | 0.1   |
| 10 |            | $^{169}\text{Yb}$ | $3.00 \times 10^4$ | 0.1   |
| 11 |            | $^{152}\text{Eu}$ | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |
| 12 |            | $^{144}\text{Ce}$ | $3.00 \times 10^2$ | 0.1   |
| 13 |            | $^{55}\text{Fe}$  | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |
| 14 |            | $^{22}\text{Na}$  | $3.00 \times 10^4$ | 0.1   |
| 15 |            | $^{109}\text{Cd}$ | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |
| 16 |            | $^{99}\text{Tc}$  | $3.00 \times 10^4$ | 0.1   |
| 17 |            | $^{36}\text{Cl}$  | $3.00 \times 10^3$ | 0.1   |

研发中心上述产生的放射性废物由 1 个 5L 的固废箱储存，固废箱材料为内层 10mm 有机玻璃，外层 1cm 铸铁。该部分放射性固体废物定期送中国核动力研究设计院放射性废物暂存库。

本项目放射性废液处理间处理放射性废液产生放射性废离子树脂，产生量为 100L/a，总活度为  $9.48 \times 10^9 \text{Bq/a}$ ；放射性废气处理系统处理废气产生放射性废过滤器，产生量为 288 kg/a，总活度为  $2.71 \times 10^8 \text{Bq/a}$ 。

以上放射性固体废物定期送中国核动力研究设计院放射性废物暂存库。  
本项目放射性三废的产生、处理及排放情况汇总见表 3.4-5~3.4-13。



表 3.4-5 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{60}\text{Co}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                  | 主要核素             | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                             | 总活度<br>(Bq/a)      | 处理措施                      | 排放方式                           | 排入环境量<br>(Bq/a) |
|------|-------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                    | $^{60}\text{Co}$ | 100kg/a        | $3.7 \times 10^6 \text{Bq/kg}$  | $3.7 \times 10^8$  | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置    | 不外排                            | /               |
|      | 含 $^{57}\text{Co}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{60}\text{Co}$ | 50kg/a         | $2.00 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ | $1.00 \times 10^6$ |                           |                                |                 |
| 废液   | 检漏废水                                | $^{60}\text{Co}$ | 180L/a         | $9.44 \times 10^6 \text{Bq/L}$  | $1.70 \times 10^9$ | 通过过滤净化<br>和离子交换进<br>行净化处理 | 活度低于<br>10Bq/L 回<br>用, 不外<br>排 | /               |

表 3.4-6 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{57}\text{Co}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                  | 主要核素             | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                             | 总活度<br>(Bq/a)      | 处理措施                      | 排放方式                           | 排入环境量<br>(Bq/a)   |
|------|-------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                    | $^{57}\text{Co}$ | 10.8kg/a       | $1.54 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ | $1.67 \times 10^5$ | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置    | 不外排                            | /                 |
|      | 含 $^{57}\text{Co}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{57}\text{Co}$ | 33.3kg/a       | $2.29 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ | $7.63 \times 10^5$ |                           |                                |                   |
| 废液   | 剩余废液和清洗废<br>水                       | $^{57}\text{Co}$ | 40.4L/a        | $1.04 \times 10^4 \text{Bq/L}$  | $4.2 \times 10^5$  | 通过过滤净化<br>和离子交换进<br>行净化处理 | 活度低于<br>10Bq/L 回<br>用, 不外<br>排 | /                 |
| 废气   | 生产过程中产生废<br>气                       | $^{57}\text{Co}$ | /              | /                               | $3.7 \times 10^6$  | 通过过滤器后<br>排入大气            | 处理后排<br>放                      | $3.7 \times 10^4$ |

表 3.4-7 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{68}\text{Ge}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                  | 主要核素             | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                             | 总活度<br>(Bq/a)      | 处理措施                      | 排放方式                           | 排入环境量<br>(Bq/a)   |
|------|-------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                    | $^{68}\text{Ge}$ | 90.6kg/a       | $1.41 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ | $1.28 \times 10^5$ | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置    | 不外排                            | /                 |
|      | 含 $^{68}\text{Ge}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{68}\text{Ge}$ | 33kg/a         | $4.42 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ | $1.46 \times 10^4$ |                           |                                |                   |
| 废液   | 剩余废液和清洗废<br>水                       | $^{68}\text{Ge}$ | 185L/a         | $2.16 \times 10^3 \text{Bq/L}$  | $4.00 \times 10^5$ | 通过过滤净化<br>和离子交换进<br>行净化处理 | 活度低于<br>10Bq/L 回<br>用, 不外<br>排 | /                 |
| 废气   | 生产过程中产生废<br>气                       | $^{68}\text{Ge}$ | /              | /                               | $3.7 \times 10^6$  | 通过过滤器后<br>排入大气            | 处理后排<br>放                      | $3.7 \times 10^4$ |

表 3.4-8 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 (Sn-In 发生器生产线)

| 废物类型 | 来源                                   | 主要核素              | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                             | 总活度<br>(Bq/a)      | 处理措施                      | 排放方式                           | 排入环境量<br>(Bq/a)   |
|------|--------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                     | $^{113}\text{Sn}$ | 1kg/a          | $5.00 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ | $5.00 \times 10^4$ | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置    | 不外排                            | /                 |
|      | 含 $^{113}\text{Sn}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{113}\text{Sn}$ | 49kg/a         | $8.24 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ | $4.04 \times 10^5$ |                           |                                |                   |
| 废液   | 清洗废水                                 | $^{113}\text{Sn}$ | 22L/a          | $3.97 \times 10^8 \text{Bq/L}$  | $8.73 \times 10^9$ | 通过过滤净化<br>和离子交换进<br>行净化处理 | 活度低于<br>10Bq/L 回<br>用, 不外<br>排 | /                 |
| 废气   | 生产过程中产生废<br>气                        | $^{113}\text{Sn}$ | /              | /                               | $7.4 \times 10^7$  | 通过过滤器后<br>排入大气            | 处理后排<br>放                      | $7.4 \times 10^5$ |

表 3.4-9 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{147}\text{Pm}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                   | 主要核素              | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                             | 总活度<br>(Bq/a)      | 处理措施                      | 排放方式                           | 排入环境量<br>(Bq/a)    |
|------|--------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                     | $^{147}\text{Pm}$ | 2.13kg/a       | $1.00 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ | $2.14 \times 10^5$ | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置    | 不外排                            | /                  |
|      | 含 $^{147}\text{Pm}$ 的去污棉<br>纱、手套、口罩等 | $^{147}\text{Pm}$ | 37kg/a         | $5.38 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ | $1.99 \times 10^5$ |                           |                                |                    |
| 废液   | 剩余废液和清洗废<br>水                        | $^{147}\text{Pm}$ | 21.3L/a        | $6.76 \times 10^4 \text{Bq/L}$  | $1.44 \times 10^6$ | 通过过滤净化<br>和离子交换进<br>行净化处理 | 活度低于<br>10Bq/L 回<br>用, 不外<br>排 | /                  |
| 废气   | 生产过程中产生废<br>气                        | $^{147}\text{Pm}$ | /              | /                               | $1.85 \times 10^8$ | 通过过滤器后<br>排入大气            | 处理后排<br>放                      | $1.85 \times 10^6$ |

表 3.4-10 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{85}\text{Kr}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                  | 主要核素             | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                           | 总活度<br>(Bq/a)     | 处理措施                   | 排放方式      | 排入环境量<br>(Bq/a)  |
|------|-------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|-----------|------------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                    | $^{85}\text{Kr}$ | 12kg/a         | $3.08\times 10^6\text{Bq/kg}$ | $3.7\times 10^7$  | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置 | 不外排       | /                |
|      | 含 $^{85}\text{Kr}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{85}\text{Kr}$ | 50kg/a         | 100Bq/kg                      | $5.00\times 10^3$ |                        |           |                  |
| 废气   | 生产过程中产生废<br>气                       | $^{85}\text{Kr}$ | /              | /                             | $3.7\times 10^9$  | 通过过滤器后<br>排入大气         | 处理后排<br>放 | $3.7\times 10^9$ |

表 3.4-11 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{14}\text{C}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                 | 主要核素            | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                           | 总活度<br>(Bq/a)     | 处理措施                   | 排放方式      | 排入环境量<br>(Bq/a)  |
|------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|-----------|------------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                   | $^{14}\text{C}$ | 1kg/a          | $1.8\times 10^6\text{Bq/kg}$  | $1.8\times 10^6$  | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置 | 不外排       | /                |
|      | 含 $^{14}\text{C}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{14}\text{C}$ | 16kg/a         | $3.12\times 10^2\text{Bq/kg}$ | $5.00\times 10^3$ |                        |           |                  |
| 废气   | 生产过程中产生废<br>气                      | $^{14}\text{C}$ | /              | /                             | $3.7\times 10^6$  | 通过过滤器后<br>排入大气         | 处理后排<br>放 | $3.7\times 10^4$ |

表 3.4-12 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 ( $^{137}\text{Cs}$  源生产线)

| 废物类型 | 来源                                   | 主要核素              | 产生量<br>(质量或体积) | 比活度                           | 总活度<br>(Bq/a)    | 处理措施                   | 排放方式 | 排入环境量<br>(Bq/a) |
|------|--------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------------|------|-----------------|
| 固废   | 放射源制备产生的<br>固体废物                     | $^{137}\text{Cs}$ | 7.5kg/a        | $1.33\times 10^3\text{Bq/kg}$ | $1.0\times 10^4$ | 收集后集中送<br>核动力院一所<br>处置 | 不外排  | /               |
|      | 含 $^{137}\text{Cs}$ 的去污棉纱、<br>手套、口罩等 | $^{137}\text{Cs}$ | 8kg/a          | $1.25\times 10^2\text{Bq/kg}$ | $1.0\times 10^3$ |                        |      |                 |

表 3.4-13 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式一览表 (研发中心)

| 废物类型 | 来源                               | 主要核素  | 产生量<br>(质量或体积)                              | 总活度<br>(Bq/a)                         | 处理措施                  | 排放方式                                | 排入环境量<br>(Bq/a)                         |
|------|----------------------------------|---|---|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|
| 废固   | 废弃移液吸头、放射<br>性包装、手套、去污<br>废物     | 研发中<br>心涉<br>及<br>操<br>作<br>的<br>20<br>余<br>种<br>核<br>素 | 每种核素均不<br>超过 0.1kg/a                        | 每种核素均<br>< $2.67\times 10^8\text{Bq}$ | 存放于固体废<br>物收集箱内暂<br>存 | 收集后集中送核动力院一所<br>处置                  | /                                       |
| 废液   | 反应过程中产生的<br>反应液、产品检验过<br>程中产生的废液 |   | 每种核素均不<br>超过 0.1L/a                         | 每种核素均<br>< $7.48\times 10^8\text{Bq}$ | 收集暂存于废<br>液储存罐        | 收集后送中国核动力研究设<br>计院放射性废液处理车间进<br>行处理 | /                                       |
| 废气   | 生产过程产生的气<br>溶胶                   |   | 每种核素年操<br>作所产生的废<br>气产生量小于<br>$5\text{m}^3$ | 每种核素均<br>< $2.0\times 10^6\text{Bq}$  | 使用高效过滤<br>器过滤         | 过滤后排放                               | 每种核素排放量<br>均< $2.0\times 10^4\text{Bq}$ |

### 3.4.2 非放射性废弃物

#### 3.4.2.1 废气

项目运营过程中产生的非放射性废气主要为辐照中心放射源使空气电离产生的臭氧、NO<sub>2</sub> 以及放射源贮存于水池中时产生的水解氢。

辐射技术应用中心臭氧排放量为  $1.64 \times 10^5 \text{mg/h}$ ，NO<sub>2</sub> 的排放量为  $8.20 \times 10^4 \text{mg/h}$ ，辐照室氢气浓度为 0.00088%。

#### 3.4.2.2 废水

##### (1) 生产废水

项目产生的非放射性废水主要由研发中心产生，包括以下类型：

在泄漏检验试中产生检漏废水，废水的年产生量为 15L/a，该废水主要含少许颗粒物。

##### (2) 办公废水

项目办公废水主要为工作人员日常办公产生的废水，项目厂区人数约 113 人，办公用水定额按 100L/人·d 计，日平均用水量 11.3m<sup>3</sup>/d，污水排放量为 9.6m<sup>3</sup>/d。

表3.4-12 项目职工生活废水产生情况

| 废水性质 |           | 废水量 m <sup>3</sup> /d | COD <sub>cr</sub> | BOD <sub>5</sub> | SS   | NH <sub>3</sub> -N |
|------|-----------|-----------------------|-------------------|------------------|------|--------------------|
| 处理前  | 浓度(mg/l)  |                       | 600               | 300              | 200  | 40                 |
|      | 产生量(kg/d) | 9.6                   | 5.8               | 5.1              | 2.9  | 0.38               |
| 处理后  | 浓度(mg/l)  |                       | 500               | 100              | 70   | 35                 |
|      | 排放量(kg/d) | 9.6                   | 4.8               | 0.96             | 0.67 | 0.336              |

#### 3.4.2.3 噪声

本项目投入营运后主要的噪声为：项目生产设施产生的噪声和设备噪声（通排风系统等）。

#### 3.4.2.4 固体废物

本项目营运期产生的固体废弃物主要为工作人员产生的生活垃圾和物流中心及库房的检、维修间产生的机修废物。

##### ①生活垃圾

生活垃圾是由工作人员产生，项目厂区人数约113人，生活垃圾产生量按0.5kg/



人·d计，则生活垃圾产生总量为56.5kg/d（14.1t/a）。生活垃圾属一般固废，经袋装收集后置于生活垃圾收集点，再由环卫部门定时清运。

### ②机修废物

物流中心及库房的检修间主要对车辆进行检、维修。使用频率较小，废机油产生量约为10kg/a。

### ③生产废液

在研发中心 1-3 层非放实验室晶间腐蚀和金相检验试验中产生硫酸-硫酸铜溶液，产生量约 2L/a。

### ④切割废物

在1-3层非放实验室晶间腐蚀和金相检验试验中对不带放射性的试样进行切割/打磨时产生不锈钢金属铁削、粉末残渣，约1kg/年。

### (5) 三废排放汇总

本项目非放射性“三废”排放量统计表详见表 3.4-13。

表3.4-13 项目“三废”排放量统计表

| 类别   | 污染源    | 污染物名称              | 年产生量               | 削减量    | 年排放量               | 处置措施               |
|------|--------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
| 废气   | 辐射技术中心 | 臭氧                 | 少量                 | 0      | 少量                 | 通过辐射中心楼顶 20m 排气筒排放 |
|      |        | NO <sub>2</sub>    | 少量                 | 0      | 少量                 |                    |
|      |        | 氢气                 | 少量                 | 0      | 少量                 |                    |
|      | 放射源库   | 臭氧                 | 少量                 | 0      | 少量                 | 通过厂房楼顶 30m 排气筒排放   |
|      |        | NO <sub>2</sub>    | 少量                 | 0      | 少量                 |                    |
|      |        | 氢气                 | 少量                 | 0      | 少量                 |                    |
| 废水   | 生活污水   | 水量                 | 2400m <sup>3</sup> | 0      | 2400m <sup>3</sup> | 经管网排入木城污水处理厂       |
|      |        | COD <sub>Cr</sub>  | 1.44t              | 0.24t  | 1.2t               |                    |
|      |        | BOD <sub>5</sub>   | 1.28t              | 1.04t  | 0.24t              |                    |
|      |        | SS                 | 0.72t              | 0.55t  | 0.17t              |                    |
|      |        | NH <sub>3</sub> -N | 0.095t             | 0.011t | 0.084t             |                    |
| 固体废物 | 一般废物   | 生活垃圾               | 14.1t              | 0      | 0                  | 由环卫部门处理            |
|      |        | 切割、打磨金属废物          | 1kg                | 0      | 0                  | 作为一般工业废物外售         |
|      | 危险废物   | 检、维修间废机油           | 10kg               | 0      | 0                  | 交由有处理资质的公司处置       |
|      |        | 研发中心酸性废液           | 2.2L               | 0      | 0                  |                    |

| 类别 | 污染源    | 污染物名称           | 年产生量       | 削减量 | 年排放量 | 处置措施               |
|----|--------|-----------------|------------|-----|------|--------------------|
| 废气 | 辐射技术中心 | 臭氧              | 少量         | 0   | 少量   | 通过辐射中心楼顶 20m 排气筒排放 |
|    |        | NO <sub>2</sub> | 少量         | 0   | 少量   |                    |
|    |        | 氢气              | 少量         | 0   | 少量   |                    |
|    | 放射源库   | 臭氧              | 少量         | 0   | 少量   | 通过厂房楼顶 30m 排气筒排放   |
|    |        | NO <sub>2</sub> | 少量         | 0   | 少量   |                    |
|    |        | 氢气              | 少量         | 0   | 少量   |                    |
| 噪声 | 风机系统   | 设备噪声            | 65~85dB(A) | /   | 达标排放 | 隔声、基础减震、安装消声系统     |

### 3.5 总量控制

本项目总量主要考虑生活污水的 COD、NH<sub>3</sub>-N 和总磷。

#### 3.5.1 总量计算

(1) 项目污水排入园区污水管网的总量控制指标为：

项目废水排放量为 9.6m<sup>3</sup>/d，项目排口废水化学需氧量浓度按 500mg/L 计算；氨氮按 35mg/L 计算，总磷按 0.3mg/L 计算，则：

化学需氧量（项目排口）=9.6m<sup>3</sup>/d×250d×500mg/l×10<sup>-6</sup>=1.2t/a

氨氮（项目排口）=9.6m<sup>3</sup>/d×250d×35mg/l×10<sup>-6</sup>=8.4×10<sup>-2</sup>t/a

总磷（项目排口）=9.6m<sup>3</sup>/d×250d×0.3mg/l×10<sup>-6</sup>=7.2×10<sup>-4</sup>t/a

(2) 本项目污水经污水处理厂处理达标后排放控制量：

项目废水排放量为 9.6m<sup>3</sup>/d，木城污水处理厂排口浓度除总氮达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）标准外，其余指标执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中 III 类标准，化学需氧量浓度按 20mg/L 计算，氨氮按 1.0mg/L 计算，总磷按 0.2mg/L 计算，则：

化学需氧量（污水处理厂排口）=9.6m<sup>3</sup>/d×250d×20mg/l×10<sup>-6</sup>=4.8×10<sup>-2</sup>t/a

氨氮（污水处理厂排口）=9.6m<sup>3</sup>/d×250d×1.0mg/l×10<sup>-6</sup>=2.4×10<sup>-3</sup>t/a

总磷（污水处理厂排口）9.6m<sup>3</sup>/d×250d×0.2mg/l×10<sup>-6</sup>=4.8×10<sup>-4</sup>t/a

#### 3.5.2 总量控制指标

建议本项目污染物总量控制指标见表 3.5-1。

表 3.5-1 本项目建议总量控制指标

| 类别 | 总是控制污染物            | 建议控制指标 (t/a)                                 |
|----|--------------------|--|
| 废水 | COD                | 1.2 (4.8×10 <sup>-2</sup> t)                 |
|    | NH <sub>3</sub> -N | 8.4×10 <sup>-2</sup> (2.4×10 <sup>-3</sup> ) |
|    | 总磷                 | 7.2×10 <sup>-4</sup> (4.8×10 <sup>-4</sup> ) |

注：“( )”外为经厂区内预处理达标后入园区污水管网的排放量；“（）”内为项目废水经木城污水处理厂处理总氮达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311-2016)，COD达《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中III类标准的排放量。



## 第四章 辐射安全与防护

### 4.1 场所布局与屏蔽

#### 4.1.1 场所布局

##### 4.1.1.1 平面布局

###### 4.1.1.1.1 厂区平面布局及合理性分析

整个厂区平面布置相对简单，生产区集中于一栋生产厂房内占据厂区大部分面积，位于厂区的中部，正对大门，研发楼位于整个厂区最西侧，生产厂房西面，物料中心及库房位于生产厂房南面，整个厂区的东南侧，运行支持楼主要是工作人员办公用，与生产厂房隔厂区绿化位于生产厂房东北侧。两个辐射工作场所具有独立的防护设施，且有相对独立、明确的监督和控制划分，各处辐射工作区域相对独立，互不干扰。

生产相关的建筑如生产厂房、研发楼和物料中心及库房集中布置于厂房西南面，研发楼、物料中心及库房和生产厂房距离较近，便于生产的衔接；办公区位于厂区东北面，整个厂区的上风向，受生产厂房和研发中心废气排放的影响相对较小，且与放射性工作场所之间留有一定的防护距离，电离辐射对该部分区域内工作人员影响也较小。从平面布置来看，整个厂区分区明晰，各区域之间互不干扰，放射性工作场所相对集中且与办公区之间留有一定的防护距离，**从辐射防护的角度而言，该项目的平面布置是合理可行的。**

本项目总平面布置见附图 3-1.

###### 4.1.1.1.2 各生产构筑物平面布局

###### (1) 生产厂房和辐射中心

生产厂房和辐射中心为地上局部三层，地下一层的建筑，呈倒“L”型。

**辐照技术应用中心：**厂房东西向排列部分的最北面为辐照技术应用中心，辐照技术应用中心最北端由西至东依次为未辐照产品库、空容器储藏间、操作大厅、已辐照产品库；以上用房南面由西至东依次布置了水质处理系统间、贮存水井、辐照室以及控制室、样品存放间、产品试验区等配套工艺间。

**放射源库：**辐照技术应用中心南面为放射源库的卫生通过间、更衣室、整备热

室及其操作室。

**生产厂房：**生产线分类别布置于厂房东向西向排列部分的最南端和南北向排列的部分。通风机房位于最西面，机房东面的厂房内，由北至南依次布置了 Sn-In 发生器生产线、 $^{57}\text{Co}$  放射源生产线、 $^{68}\text{Ge}$  放射源生产线、 $^{147}\text{Pm}$  放射源生产线和  $^{137}\text{Cs}$  放射源生产线，以上生产线均在手套箱内进行操作；厂房南北向排列的部分，最北端为更衣间、通信设备间等配套工艺间，再向南依次布置了气体放射源生产线、 $^{14}\text{C}$  放射源生产间、辐射监测设备间。

生产厂房和辐射中心一层平面布置见附图 3-3。

生产厂房负一层布置有废气处理间、滤液水罐间、低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、通风过滤器间以及固体废物暂存间。负一层平面布置见附图 3-2。

生产线车间和辐照室贯通了生产厂房的一、二层，控制室、样品存放间、产品试验区等配套工艺间等房间的楼上二层布置了实验室、办公室、备用间等房间。三层布置源升降设备、风机、配电等配套用房。二层平面布置见附图 3-4。

## (2) 研发中心

研发中心为四层结构的建筑。

一层主要为货包试验区、分级试验区、金相试验区、化学试验间等。

二层主要为焊接试验区、物理测试间、化学试验间、试剂间、资料室、库房等。

三层主要为泄漏检验试验区、焊接工艺评定试验间、货包跌落试验间、非放实验室、物理测试间、化学试验间等。

四层主要为卫生通过间、标准源生产线、放化实验室、化学试验间、排风机房等。研发中心四层的平面布置见附图 3-6~附图 3-9。

本项目工作场所的平面布局既便于生产操作、满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。因此，从安全生产、环境保护和辐射防护的角度来说，本项目辐射工作场所的平面布局是较为合理的。

### 4.1.1.2 辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的规定，将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。本项目辐射工作场所分区综合考虑区域的辐射水

平、放射性污染水平及潜在辐射风险，结合设施内工艺系统布置、工艺特点以及人流、物流通道，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围等因素。原则上以辐射水平为主要分区依据。

对于范围比较大的控制区，如果其中的辐射水平或污染水平在不同的局部变化比较大，则可根据需要划分为不同的子区。参考《EJ/T 316-2001 压水堆核电厂厂内辐射分区设计准则》、《EJ/T 270-2005 核电厂运行辐射防护规定》、《GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准》等标准，分区标准如下：

表 4.1-1 本项目辐射工作场所分区标准

| 分区名称 |          | 辐射水平<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 居留特征                  |
|------|----------|------------------------------|-----------------------|
| 监督区  |          | $\leq 2.5$                   | $\leq 2000\text{h/a}$ |
| 控制区  | 控制 I 区   | 2.5~7.5                      | $\leq 2000\text{h/a}$ |
|      | 控制 II 区  | 7.5~75                       | $\leq 200\text{h/a}$  |
|      | 控制 III 区 | $> 75$                       | 限制进入                  |

根据上述分区原则和本项目辐射工作场所布局情况，本项目工作场所分区如下：

控制区：将工作箱及其操作前区、后区、以及工作箱内部；辐射技术应用中心的辐照室；放射源库的贮源水井、贮存地坑、原料及成品源临时存放区、空容器贮存间及整备热室；负一层的废气处理间、滤液水罐间、低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、通风过滤器间以及固体废物暂存间设为控制区。同时根据控制区内的不同情况，将控制区进一步细分：将工作箱（污染水平高，去污和设备检修时人员可能进入）划为控制III区；物流通道（兼作应急检修通道）划为控制II区；工作箱的操作前区划分为控制I区。

监督区：各车间上述区域之外的其他生产场所划为监督区。

项目辐射工作场所控制区和监督区具体划分见下表 4.1-1，辐射工作场所分区图见附图 4。

表 4.1-2 辐射工作场所控制区和监督区划分一览表

| 辐射工作场所     | 控制区   | 监督区              |
|------------|---|------------------|
| 辐射技术应用中心   | 辐照室   | 控制室、计量室、质检室等其他区域 |
| 放射源库       | 贮源水井、贮存地坑、原料及成品源临时存放区、空容器贮存间及整备热室、热室操作室。                    | 监控、更衣、去污等其他区域    |
| 生产线        | 控制 I 区：工作箱前工作人员活动区域；<br>控制 II 区：工作箱后区；<br>控制 III 区：屏蔽工作箱内部。 | 车间内其他区域          |
| 研发中心       | 控制 I 区：工作箱前工作人员活动区域；<br>控制 III 区：屏蔽工作箱内部。                   | 车间内其他区域。         |
| 配套三废处理及暂存间 | 废气处理间、滤液水罐间、低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、通风过滤器间以及固体废物暂存间。      |                  |

## 4.1.2 屏蔽设计

### 4.1.2.1 构筑物屏蔽

项目构筑物的屏蔽考虑辐射技术应用中心和放射源库的屏蔽。

#### (1) 辐射技术应用中心

辐射技术应用中心的辐照室长 35m、宽 20m、高 5m。四周为 1900mm~2100mm 厚的混凝土屏蔽墙。辐照室内从内往外依次有 1200mm、1100mm、700mm 和 900mm 厚的四道混凝土迷道。辐照室顶为 1950mm 厚的混凝土。

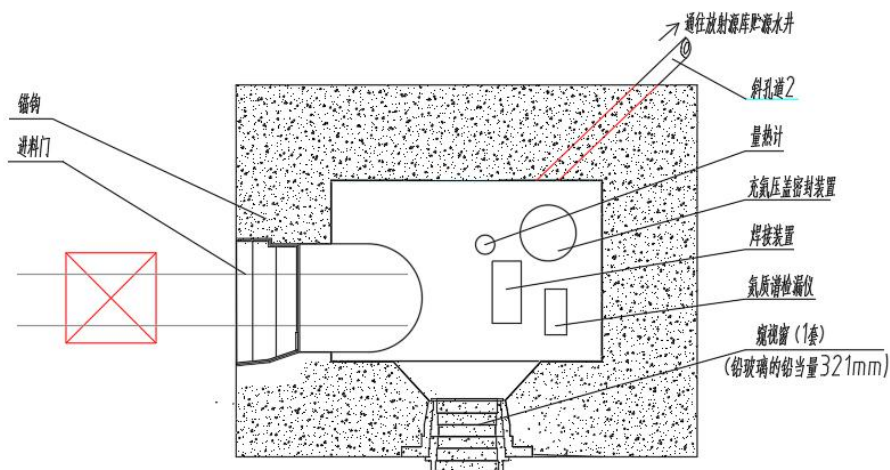
辐射技术应用中心的辐照源平时不用时储存于放射源井内，源井长 19.5m、宽 5.75m、深 7.5m，井口居于 0m 平面高度。储源井水深 7.5m。

#### (2) 放射源库

放射源库贮源水井尺寸为 4m×3m×5m，井内水深 5m。放射源库中在整备热室对退役  $^{60}\text{Co}$  工业源进行组装、焊封、检漏、测量以生产  $^{60}\text{Co}$  源。整备热室四周为 1050mm 厚的重混凝土墙体（密度为  $3.6\text{g}/\text{cm}^3$ ），热室的顶也为 1050mm 厚的重混凝土（密度为  $3.6\text{g}/\text{cm}^3$ ）。窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于 321mm 的铅。热室通过机械手操作。

整备热室的平面结构如下：





#### 4.1.2.2 生产装置屏蔽

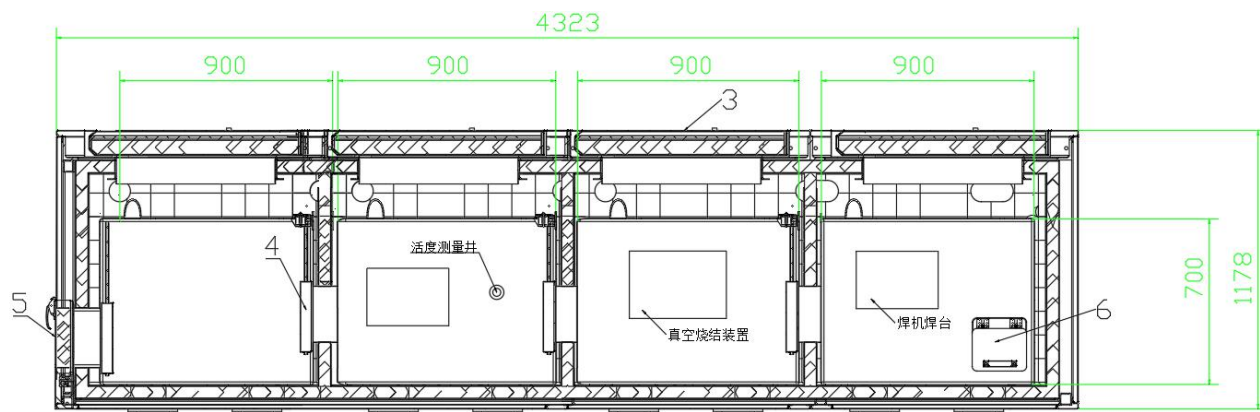
##### (1) $^{57}\text{Co}$ 源生产线

$^{57}\text{Co}$  源生产线包括料液上柱、烧结、源壳焊接等生产工艺，在 4 套屏蔽工作箱内完成。每节屏蔽箱大小为  $910\text{mm}\times 700\text{mm}\times 1050\text{mm}$ 。

各箱体主体屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ )，厚度为  $60\text{mm}$ ；窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于  $10\text{mm}$  的铅。

在单批次最大操作量 ( $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ ) 情况下，工作场所辐照水平最大为  $8.66\times 10^{-4}\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 要求。

$^{57}\text{Co}$  源生产线屏蔽工作箱平面结构如下：



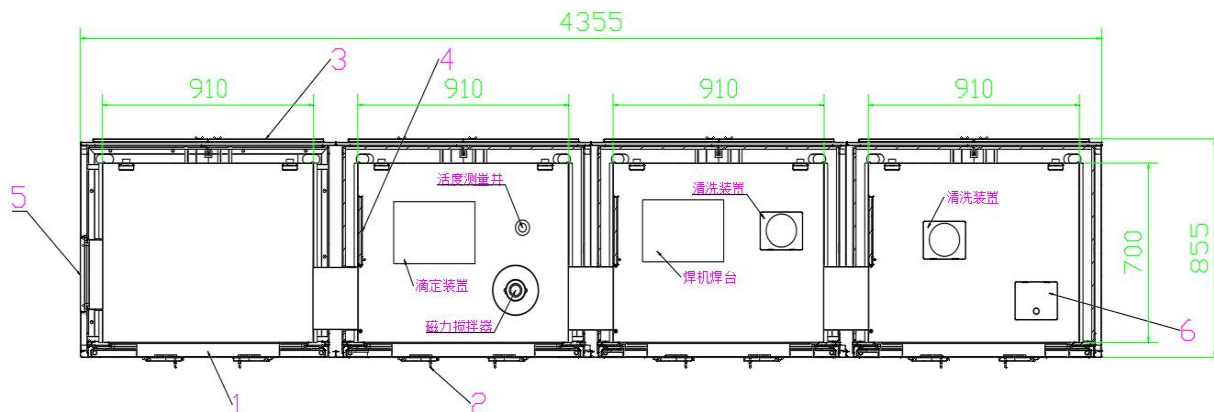
##### (2) $^{68}\text{Ge}$ 源生产线

$^{68}\text{Ge}$  源生产线包括分装、源芯制备、源壳焊接等生产工艺，在 4 套屏蔽工作箱内完成。每节屏蔽箱大小为  $910\text{mm}\times 700\text{mm}\times 1050\text{mm}$ 。

各箱体主体屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ )，厚度为  $3\text{mm}$ ；窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于  $67\text{mm}$  的铅。

在单批次最大操作量（ $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ）情况下，工作场所辐照水平最大为  $2.32 \mu\text{Gy/h}$ ，满足设计控制辐射水平（ $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）要求。

$^{68}\text{Ge}$  源生产线屏蔽工作箱平面结构如下：



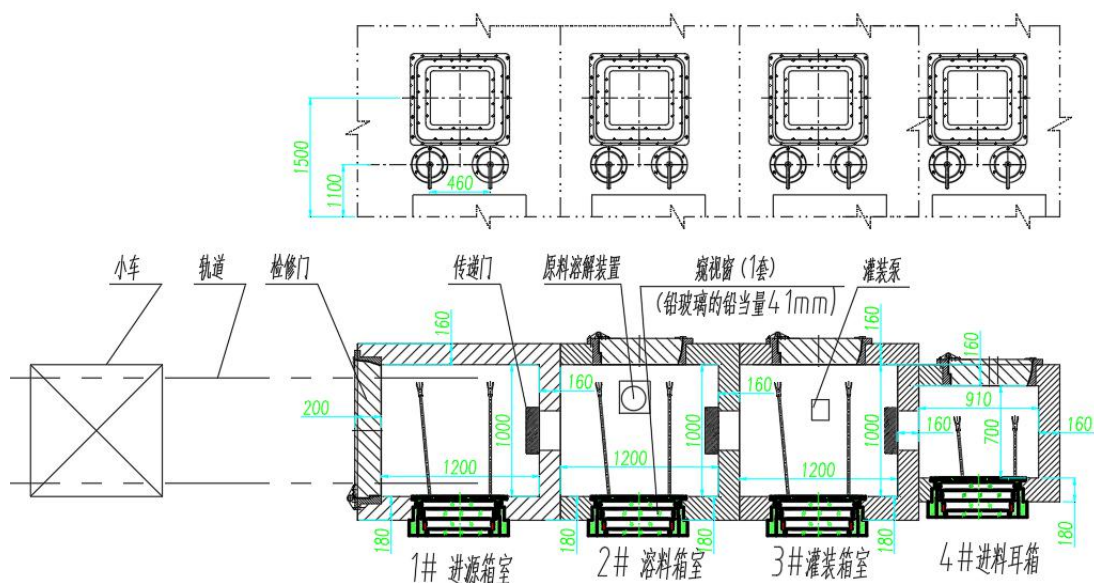
### (3)Sn-In 发生器生产线

Sn-In 发生器生产线包括溶解、灌装、包装等生产工艺，在 4 套屏蔽工作箱内完成。其中 3 节屏蔽箱大小为  $1200\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1050\text{mm}$ ，一节屏蔽箱大小为  $910\text{mm} \times 700\text{mm} \times 900\text{mm}$ 。

各箱体主体屏蔽材料为碳钢（ $7.8\text{g/cm}^3$ ），正对人方向厚度为  $180\text{mm}$ ，其他方向厚度为  $160\text{mm}$ ；窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于  $41\text{mm}$  的铅。

在单批次最大操作量（ $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）情况下，工作场所辐照水平最大为  $5.68 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ ，满足设计控制辐射水平（ $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）要求。

Sn-In 发生器生产线屏蔽工作箱平面结构如下：



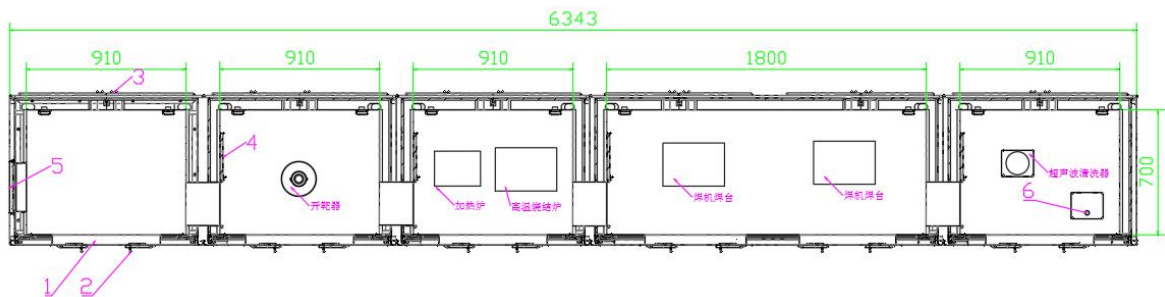
#### (4)<sup>147</sup>Pm 源生产线

<sup>147</sup>Pm 源生产线包括源芯制备、源壳焊接、包装等生产工艺，在 5 套屏蔽工作箱内完成。其中 4 节屏蔽箱大小为 910mm×700mm×900mm，一节屏蔽箱大小为 1800mm×700mm×900mm。

各箱体主体屏蔽材料为碳钢（7.8g/cm<sup>3</sup>），厚度为 10mm；窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于 1mm 的铅。

在单批次最大操作量（ $1.85 \times 10^{12}$ Bq）情况下，工作场所辐照水平最大为  $1.15 \times 10^{-4}$ μGy/h，满足设计控制辐射水平（2.5μSv/h）要求。

<sup>147</sup>Pm 源生产线屏蔽工作箱平面结构如下：



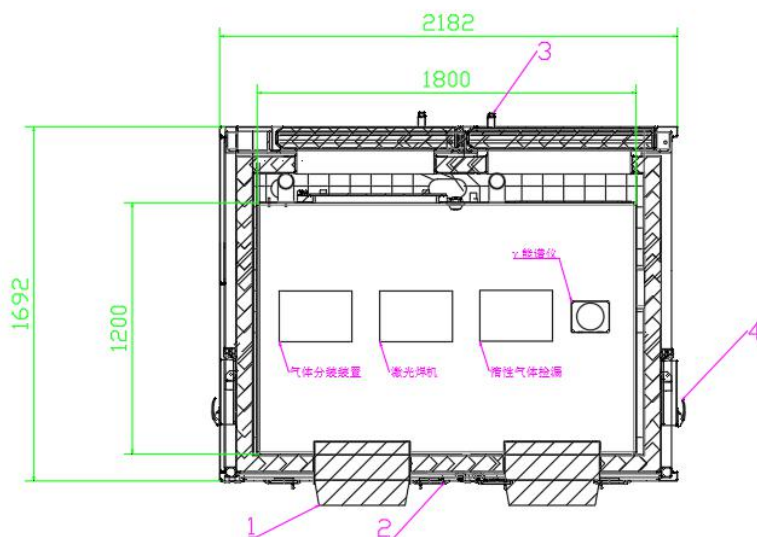
#### (5)气体源生产线

气体源生产线包括包壳连接、充气、源壳焊接、检漏、包装等生产工艺，在 1 套屏蔽工作箱内完成，大小为 1800mm×1200mm×900mm。

箱体主体屏蔽材料为碳钢（7.8g/cm<sup>3</sup>），厚度为 110mm；窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于 47mm 的铅。

在单批次最大操作量（ $3.7 \times 10^{10}$ Bq）情况下，工作场所辐照水平最大为  $1.15 \times 10^{-1}$ μGy/h，满足设计控制辐射水平（2.5μSv/h）要求。

气体源生产线屏蔽工作箱平面结构如下：



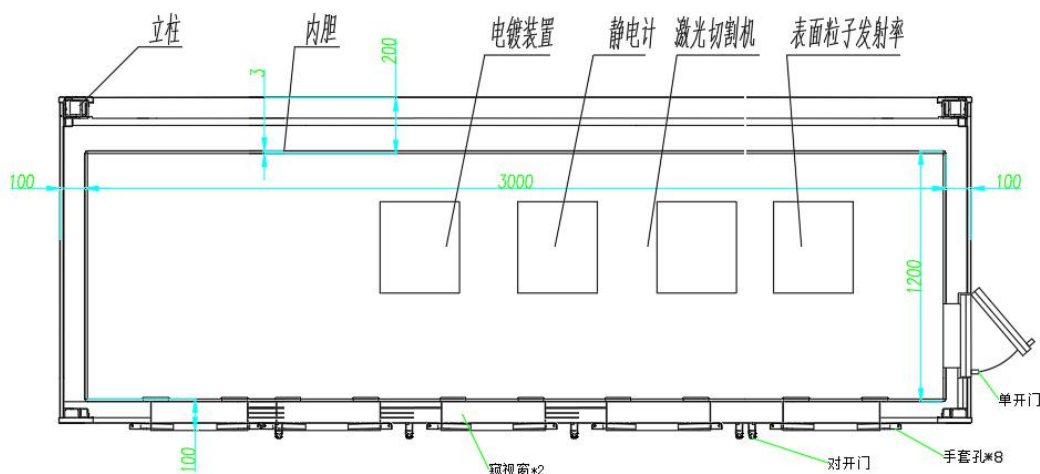
### (6)<sup>14</sup>C 源生产线

<sup>14</sup>C 源生产线包括料液配制、源芯制备、封膜、装壳、包装等生产工艺，在 1 套屏蔽手套箱内完成，大小为 3000mm×1200mm×900mm。

箱体主体屏蔽材料为碳钢（7.8g/cm<sup>3</sup>），厚度为 3mm；窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于 1mm 的铅。

在单批次最大操作量（3.7×10<sup>10</sup>Bq）情况下，工作场所辐照水平最大为 5.77×10<sup>-13</sup>μGy/h，满足设计控制辐射水平（2.5μSv/h）要求。

<sup>14</sup>C 源生产线屏蔽手套箱平面结构如下：



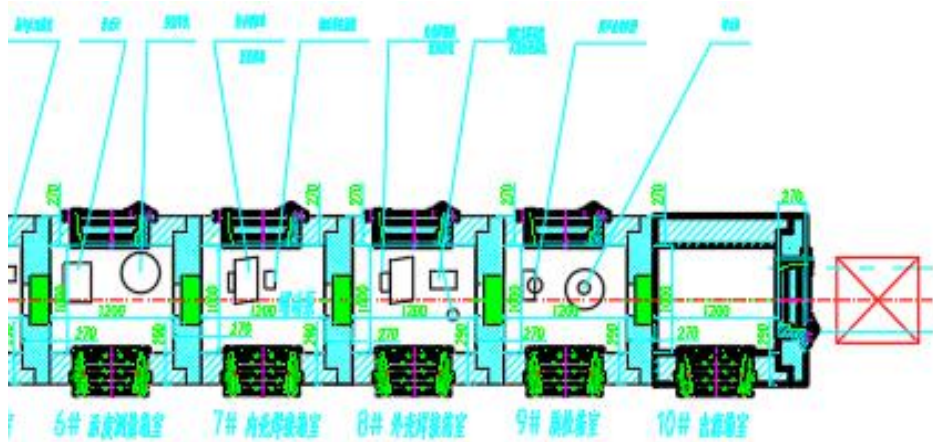
### (7)<sup>137</sup>Cs 源生产线

<sup>137</sup>Cs 源生产线包括检测、组装、源壳焊接、包装等生产工艺，在 4 套屏蔽工作箱内完成。屏蔽箱大小为 1200mm×1000mm×1050mm，箱体主体屏蔽材料为碳钢

( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为  $270\text{mm} \sim 290\text{mm}$ 。窥视窗采用铅玻璃, 防护能力相当于  $122\text{mm}$  的铅。

在单批次最大操作量 ( $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ ) 情况下, 工作场所辐照水平最大为  $2.67 \times 10^{-1}\mu\text{Gy}/\text{h}$ , 满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 要求。

$^{137}\text{Cs}$  源生产线屏蔽工作箱平面结构如下:



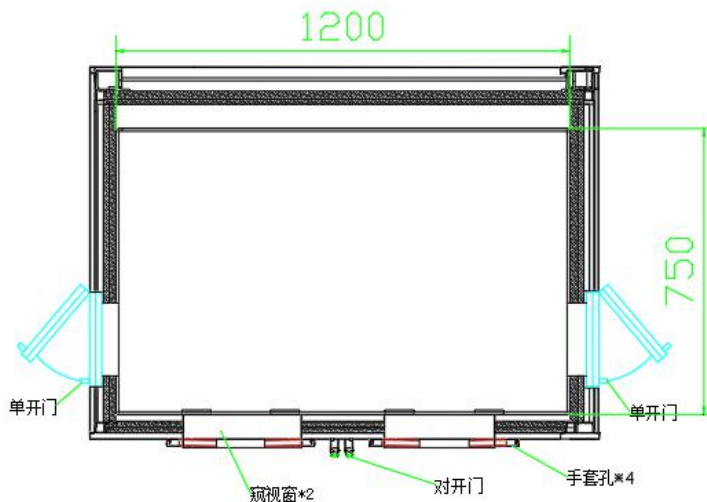
#### (8) $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间主要为基质吸附生产工艺, 在 1 套屏蔽工作箱内完成, 大小为  $1200\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 900\text{mm}$ 。

箱体主体屏蔽材料为铅板, 厚度为  $50\text{mm}$ ; 窥视窗采用铅玻璃, 防护能力相当于  $50\text{mm}$  的铅。

在单批次最大操作量 ( $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下, 工作场所辐照水平为  $1.63\mu\text{Gy}/\text{h}$ , 满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 要求。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间屏蔽工作箱平面结构如下:





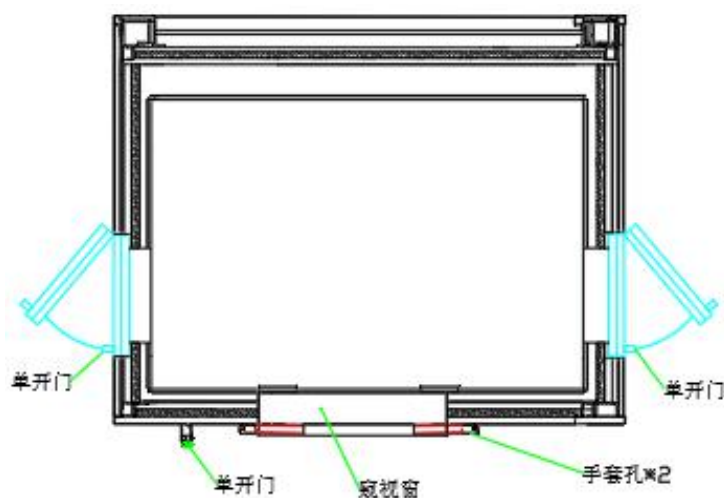
## (9)研发中心

研发中心有 6 个屏蔽工作箱。不同类型的核素在不同的屏蔽工作箱内操作：

### ①放化实验室一

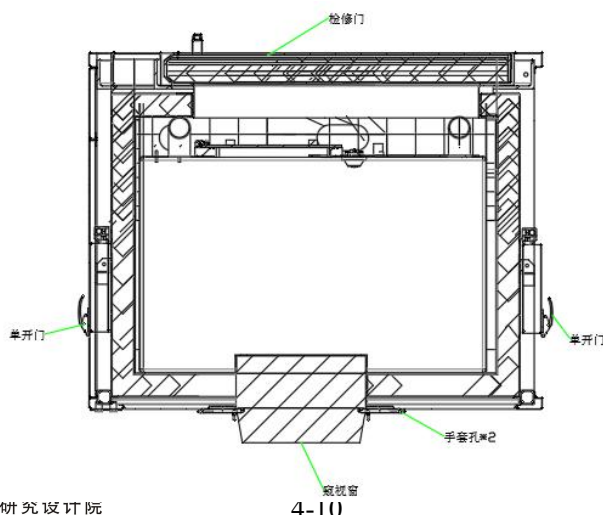
$^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  在手套箱+通风柜内进行操作,手套箱大小为  $800\text{mm}\times 500\text{mm}\times 550\text{mm}$ ,通风柜大小为  $1500\text{mm}\times 850\text{mm}\times 2350\text{mm}$ 。箱体主体为  $10\text{mm}$  的有机玻璃。以  $^{14}\text{C}$  为代表性核素,在单批次最大操作量 ( $1.85\times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下,工作场所辐照水平为  $2.62\times 10^{-11}\mu\text{Gy/h}$ ,满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ) 要求。

屏蔽工作箱平面结构如下：



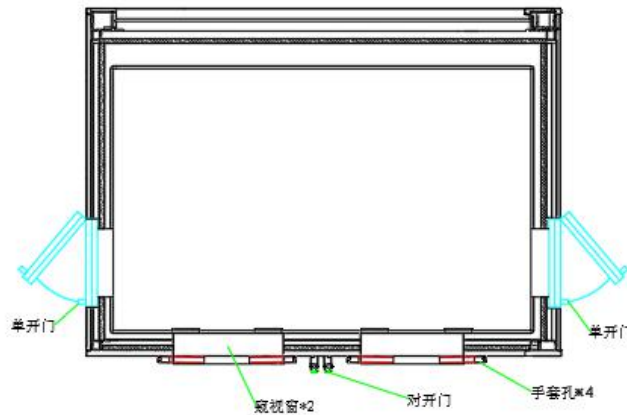
$^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$  和  $^{131}\text{Ba}$  在手套箱 1 内进行操作,手套箱大小为  $1200\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 900\text{mm}$ 。箱体主体为  $120\text{mm}$  的铅。以  $^{68}\text{Ge}$  为代表性核素,在单批次最大操作量 ( $1.85\times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下,工作场所辐照水平  $2.42\mu\text{Gy/h}$ ,满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ) 要求。

屏蔽工作箱平面结构如下：



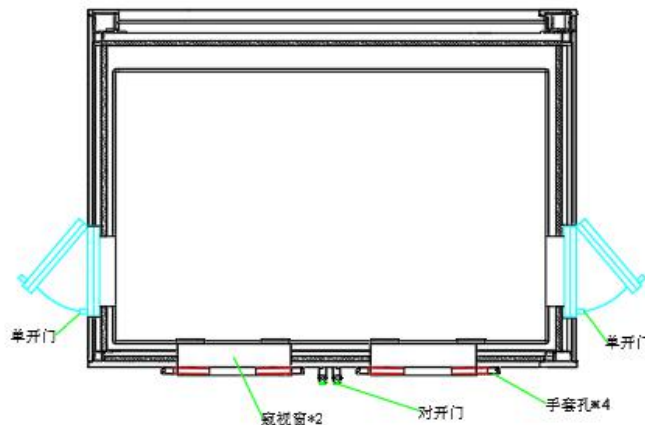
$^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$  和  $^{203}\text{Hg}$  在手套箱 2 内进行操作，手套箱大小为  $1200\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 900\text{mm}$ 。箱体主体为  $25\text{mm}$  的铅。以  $^{203}\text{Hg}$  作为代表性核素，在单批次最大操作量 ( $1.85\times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下，工作场所辐照水平为  $1.35\times 10^{-1}\mu\text{Gy/h}$ ，满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ) 要求。

屏蔽工作箱平面结构如下：



$^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$  和  $^{147}\text{Pm}$  在手套箱 3 内进行操作，手套箱大小为  $1200\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 900\text{mm}$ 。箱体主体为  $10\text{mm}$  的铅。以  $^{147}\text{Pm}$  为代表性核素，在单批次最大操作量 ( $1.85\times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下，工作场所辐照水平为  $4.29\times 10^{-6}\mu\text{Gy/h}$ ，满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ) 要求。

屏蔽工作箱平面结构如下：

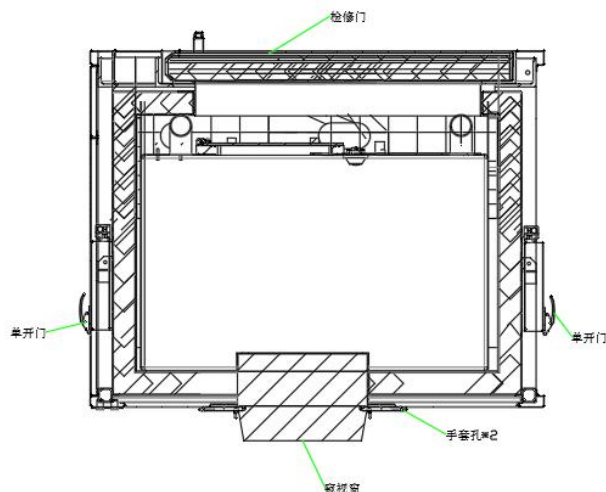


## ②放化实验室二

$^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  在手套箱 1 内进行操作，手套箱大小为  $1200\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 900\text{mm}$ 。箱体主体为  $170\text{mm}$  的铅。以  $^{88}\text{Y}$  作为代表性核素，在单批次最大操作量 ( $1.85\times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下，工作场所辐照水平为  $4.99\times 10^{-1}\text{Gy/h}$ ，满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ )

要求。

屏蔽工作箱平面结构如下：



$^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$  和  $^{152}\text{Eu}$  在手套箱 2 内进行操作，手套箱大小为  $1200\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 900\text{mm}$ 。箱体主体为  $110\text{mm}$  的铅。以  $^{152}\text{Eu}$  作为代表性核素，在单批次最大操作量 ( $1.85\times 10^9\text{Bq}$ ) 情况下，工作场所辐照水平为  $1.35\mu\text{Gy/h}$ ，满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ) 要求；屏蔽工作箱平面结构和上图类似。

### ③标准源生产线

标准源生产线在 1 个屏蔽工作箱内进行操作。屏蔽工作箱主屏蔽材料采用铅，四周及顶部厚度均为  $56\text{mm}$ ，窥视窗采用铅玻璃，防护能力相当于  $56\text{mm}$  厚铅。在单批次最大操作量情况下，工作场所辐照水平满足设计控制辐射水平 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ) 要求。

### 4.1.3.3 生产原料屏蔽

#### ①退役 $^{60}\text{Co}$ 放射源再利用生产线

退役  $^{60}\text{Co}$  放射源再利用生产原料为退役钴-60 工业辐照源、退役钴-60 伽玛刀源和退役钴-60 医疗源。回收的退役钴-60 工业辐照源活度  $2.22\times 10^{13}\text{Bq}\sim 4.44\times 10^{13}\text{Bq}$ ；回收的退役钴-60 伽玛刀源活度为  $1.85\times 10^{12}\text{Bq}\sim 1.48\times 10^{13}\text{Bq}$ ；回收的退役钴-60 医疗源活度为  $1.29\times 10^{13}\text{Bq}\sim 4.44\times 10^{13}\text{Bq}$ 。原料存放于储源铅罐内，铅罐储存于放射源库的贮源地坑。

#### ② $^{57}\text{Co}$ 源生产线

$^{57}\text{Co}$  源生产的原料为  $^{57}\text{CoCl}_2$  溶液，购入时的活度为  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ ，用带密封盖的西林瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚  $6\text{mm}$ 。



### ③<sup>68</sup>Ge 源生产线

<sup>68</sup>Ge 源生产的原料为 <sup>68</sup>GeCl<sub>4</sub> 溶液，购入时的活度为  $3.7 \times 10^{10}$ Bq，用带密封盖的西林瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 125mm。

### ④Sn-In 发生器生产线

Sn-In 发生器生产的原料为 <sup>113</sup>Sn 块，购入时的活度为  $7.4 \times 10^{11}$ Bq，用带密封盖的石英玻璃管盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 25mm。

### ⑤<sup>147</sup>Pm 源生产线

<sup>147</sup>Pm 源生产的原料为 <sup>147</sup>PmCl<sub>3</sub> 溶液，购入时的活度为  $1.85 \times 10^{12}$ Bq，用带密封盖的西林瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 5mm。

### ⑥气体源生产线

气体源生产的原料为 <sup>85</sup>Kr 气体，购入时的活度为  $3.7 \times 10^{12}$ Bq，用带密封盖的钢气瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 70mm。

### ⑦<sup>14</sup>C 源生产线

<sup>14</sup>C 源生产的原料为 Ba<sup>14</sup>CO<sub>3</sub> 块，购入时的活度为  $3.7 \times 10^{10}$ Bq，用带密封盖的不锈钢瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 3mm。

### ⑧<sup>137</sup>Cs 源生产线

<sup>137</sup>Cs 源生产的原料为 <sup>137</sup>Cs 源半成品源，购入时的活度为  $3.7 \times 10^{13}$ Bq，用带密封盖的不锈钢瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 170mm。

### ⑨<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y 实验间

<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y 实验的原料为 <sup>90</sup>SrCl<sub>2</sub> 溶液，购入时的活度为  $3.7 \times 10^9$ Bq，用带密封盖的玻璃瓶盛装，贮存于原料铅罐，原料铅罐厚 4mm。

### ⑩研发中心放射性同位素

研发中心所使用的原料最多储存一天试验的 ( $1.0 \times 10^3$ Bq~ $3.7 \times 10^9$ Bq) 量，由丁基橡胶塞密封的玻璃瓶盛装，置于厚为 10mm~170mm 的铅罐内。

#### 4.1.2.4 产品包装屏蔽设计

##### (1) <sup>57</sup>Co 放射源

产品 <sup>57</sup>Co 放射源活度为  $3.7 \times 10^7$ /枚~ $1.1 \times 10^8$ /枚，每枚放射源由一个铅盒装载，铅盒壁厚 1mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $3.7 \times 10^7$ /枚~ $1.1 \times 10^8$ /枚范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $3.29 \times 10^{-4}$ mGy/h~ $9.77 \times 10^{-4}$ mGy/h，距

铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $9.77 \times 10^{-4} \text{mGy/h}$ 。

### (2) $^{68}\text{Ge}$ 放射源

产品  $^{68}\text{Ge}$  放射源活度为  $1.0 \times 10^5$ /枚~ $1.0 \times 10^8$ /枚，每枚放射源由一个铅盒装载，铅盒壁厚 1mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $1.0 \times 10^5$ /枚~ $1.0 \times 10^8$ /枚范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $1.19 \times 10^{-8} \text{mGy/h}$ ~ $1.19 \times 10^{-5} \text{mGy/h}$ ，距铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $1.19 \times 10^{-5} \text{mGy/h}$ 。

### (3) $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 发生器

产品  $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$  发生器  $^{113}\text{Sn}$  活度为  $1.85 \times 10^9$ /套~ $6.3 \times 10^9$ /套，每套发生器由一个铅盒装载，铅盒壁厚 1mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $1.85 \times 10^9$ /套~ $6.3 \times 10^9$ /套范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $4.93 \times 10^{-5} \text{mGy/h}$ ~ $1.68 \times 10^{-4} \text{mGy/h}$ ，距铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $1.68 \times 10^{-4} \text{mGy/h}$ 。

### (4) $^{147}\text{Pm}$ 放射源

产品  $^{147}\text{Pm}$  放射源活度为  $7.4 \times 10^9$ /枚~ $2.59 \times 10^{10}$ /枚，每枚放射源由一个铅盒装载，铅盒壁厚 1mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $7.4 \times 10^9$ /枚~ $2.59 \times 10^{10}$ /枚范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $7.26 \times 10^{-10} \text{mGy/h}$ ~ $2.54 \times 10^{-9} \text{mGy/h}$ ，距铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $2.54 \times 10^{-9} \text{mGy/h}$ 。

### (5) $^{85}\text{Kr}$ 放射源

产品  $^{85}\text{Kr}$  放射源活度为  $3.7 \times 10^8$ /枚~ $3.7 \times 10^{10}$ /枚，每枚放射源由一个铅盒装载，铅盒壁厚 1mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $3.7 \times 10^8$ /枚~ $3.7 \times 10^{10}$ /枚范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $9.57 \times 10^{-8} \text{mGy/h}$ ~ $9.57 \times 10^{-6} \text{mGy/h}$ ，距铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $9.57 \times 10^{-6} \text{mGy/h}$ 。

### (6) $^{14}\text{C}$ 放射源

产品  $^{14}\text{C}$  放射源活度为  $1.0 \times 10^6$ /枚~ $3.7 \times 10^8$ /枚，每枚放射源由一个铅盒装载，铅盒壁厚 1mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $1.0 \times 10^6$ /枚~ $3.7 \times 10^8$ /枚范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $3.57 \times 10^{-9} \text{mGy/h}$ ~ $1.32 \times 10^{-6} \text{mGy/h}$ ，距铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $1.32 \times 10^{-6} \text{mGy/h}$ 。

### (7) $^{137}\text{Cs}$ 放射源

产品  $^{137}\text{Cs}$  放射源活度为  $3.7 \times 10^6$ /枚~ $1.11 \times 10^{11}$ /枚，每枚放射源由一个铅盒装载，铅盒壁厚 18mm，铅盒内衬 2mm 厚的 PP 塑料。在产品活度为  $3.7 \times 10^6$ /枚~ $1.11 \times 10^{11}$ /枚范围情况下，铅盒表面 1m 处剂量率范围为  $1.20 \times 10^{-7} \text{mGy/h}$ ~ $3.60 \times 10^{-3} \text{mGy/h}$ ，距

铅盒表面 1m 处的辐射剂量率最大为  $3.60 \times 10^{-3} \text{mGy/h}$ 。

## 4.2 辐射安全与防护措施

### 4.2.1 建筑物屏蔽

表 4.2-1 场所辐射防护设计情况

| 序号 | 名称       | 机房墙体、屋顶材料/厚度                                     | 其他   |
|----|----------|--|--|
| 1  | 生产厂房     | 为砖墙结构,墙体为 240mm 厚的砖墙。                            | /  |
| 2  | 辐射技术应用中心 | 辐照室四周均为混凝土墙体, 1900mm~2100mm。②屋顶为混凝土浇筑, 厚度 1950mm | 储源井长 19.5m、宽 5.75m、深 7.5m, 井口居于 0m 平面高度; 设置 1200mm、1100mm、700mm 和 900mm 厚的四道混凝土迷道。 |
| 3  | 研发中心     | 为砖墙结构,墙体为 240mm 厚的砖墙。                            | /  |

### 4.2.2 生产装置屏蔽

本项目的热室和屏蔽生产箱为放射性核素提供了屏蔽防护和包容保护。本项目整备热室有一间热室,  $^{57}\text{Co}$  源生产线有 4 套屏蔽工作箱,  $^{68}\text{Ge}$  源生产线有 4 套屏蔽工作箱, Sn-In 发生器生产线有 4 套屏蔽工作箱,  $^{147}\text{Pm}$  源生产线有 5 套屏蔽工作箱,  $^{85}\text{Kr}$  气体源生产线有 1 套屏蔽工作箱,  $^{14}\text{C}$  源生产线有 1 套屏蔽手套箱,  $^{137}\text{Cs}$  源生产线有 4 套屏蔽工作箱,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间有 1 套屏蔽工作箱, 研发中心有 6 套屏蔽工作箱, 1 套通风柜。其具体的功能、参数及设计能力见表 4.2-2。

表 4.2-2 各生产场所屏蔽工作箱/热室详情

| 生产场所                  | 数量  | 编号 | 功能    | 屏蔽材料及厚度  | 密封性 | 备注  |
|-----------------------|-----|----|-------|--|-----|---|
| 放射源库                  | 1 套 | /  | 组装、焊封 | 屏蔽材料为重混凝土, 厚度为 1050mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 321mmPb                          | /   | 整备热室  |
| $^{57}\text{Co}$ 源生产线 | 4 套 | 1# | 物料输入  | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为 60mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 10mmPb | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 910mm×700mm×1050mm |
|                       |     | 2# | 分装、制备 |  |     |   |
|                       |     | 3# | 封焊、检测 |  |     |   |
|                       |     | 4# | 发货    |  |     |   |

|                                    |     |     |           |  |     |   |
|------------------------------------|-----|-----|-----------|--|-----|---|
| $^{68}\text{Ge}$ 源生产线              | 4 套 | 1#  | 物料输入      | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为 3mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 67mmPb                          | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 910mm $\times$ 700mm $\times$ 1050mm   |
|                                    |     | 2#  | 源芯制备      |  | 3 级 |   |
|                                    |     | 3#  | 源芯焊接      |  | 3 级 |   |
|                                    |     | 4#  | 源壳焊接、检验发货 |  | 4 级 |   |
| Sn-In 发生器生产线                       | 4 套 | 1#  | 物料输入      | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度正对工作人员方向为 160mm, 其他方向为 180mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 41mmPb   | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 1200mm $\times$ 1000mm $\times$ 1050mm<br>尺寸: 910mm $\times$ 700mm $\times$ 900mm                                  |
|                                    |     | 2#  | 原料制备      |  |     |   |
|                                    |     | 3#  | 灌装、淋洗     |  |     |   |
|                                    |     | 4#  | 辅料传输      |  |     |   |
| $^{147}\text{Pm}$ 源生产线             | 5 套 | 1#  | 原辅料输入     | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为 10mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 1mmPb                          | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 910mm $\times$ 700mm $\times$ 900mm<br>1800mm $\times$ 700mm $\times$ 900mm<br>910mm $\times$ 700mm $\times$ 900mm |
|                                    |     | 2#  | 源芯制备      |  |     |   |
|                                    |     | 3#  | 活度测量      |  |     |   |
|                                    |     | 4#  | 包壳焊接      |  |     |   |
|                                    |     | 5#  | 清洗、质检     |  |     |   |
| $^{85}\text{Kr}$ 气体源生产线            | 1 套 | /   | 充气、封焊     | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为 110mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 47mmPb                        | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 1800mm $\times$ 1200mm $\times$ 900mm  |
| $^{14}\text{C}$ 源生产线               | 1 套 | /   | 制备、封膜、密封  | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为 3mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 1mmPb                           | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 3000mm $\times$ 1200mm $\times$ 900mm  |
| $^{137}\text{Cs}$ 源生产线             | 4 套 | 7#  | 清洗检漏      | 屏蔽材料为碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ), 厚度为正对工作人员方向为 290mm, 其他方向为 270mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 122mmPb | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 碳钢<br>3. 尺寸: 1200mm $\times$ 1000mm $\times$ 1050mm   |
|                                    |     | 8#  | 封焊        |  |     |   |
|                                    |     | 9#  | 质量检验      |  |     |   |
|                                    |     | 10# | 发货        |  |     |   |
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间 | 1 套 | /   | 基质吸附      | 屏蔽材料为铅板, 厚度为 50mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 50mmPb   | 4 级 | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\text{uSv/h}$<br>2. 材质: 重混凝土<br>3. 尺寸:  |

|        |    |        |   |  |                   |   |   |
|--------|----|--------|---|--|-------------------|---|---|
|        |    |        |   |  |                   | 1200mm×1000mm×900mm   |   |
| 研发中心   |    |        |   |  |                   |   |   |
| 放化实验室一 | 6套 | /      | 核素 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$   | 箱体主体为 10mm 有机玻璃  | 4级                | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 有机玻璃<br>3. 尺寸: 手套箱 800mm×500mm×550mm, 通风柜 1500mm×850mm×2350mm |   |
|        |    | 1#     | 核素 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 和 $^{131}\text{Ba}$                      | 屏蔽材料为铅, 厚度为 120mm  | 4级                | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 铅<br>3. 尺寸: 1200mm×1000mm×900mm                               |   |
|        |    | 2#     | 核素 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 和 $^{203}\text{Hg}$ | 屏蔽材料为铅, 厚度为 25mm   | 4级                | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 铅<br>3. 尺寸: 1200mm×1000mm×900mm                               |   |
|        |    | 3#     | 核素 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 和 $^{147}\text{Pm}$                     | 屏蔽材料为铅, 厚度为 10mm   | 4级                | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 铅<br>3. 尺寸: 1200mm×1000mm×900mm                               |   |
|        |    | 放化实验室二 | 1#  | 核素 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$                      | 屏蔽材料为铅, 厚度为 170mm | 4级  | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 铅<br>3. 尺寸: 1200mm×1000mm×900mm |
|        |    |        | 2#  | 核素 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 和 $^{152}\text{Eu}$ | 屏蔽材料为铅, 厚度为 110mm | 4级  | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 铅<br>3. 尺寸: 1200mm×1000mm×900mm |
| 标准源生产线 | 1套 | /      | 标准源生产   | 屏蔽材料为铅, 厚度为 110mm; 窥视窗为铅玻璃, 防护能力为 56mmPb                   | 4级                | 1. 屏蔽能力: 外表面剂量 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$<br>2. 材质: 铅   |   |

### 4.2.3 工作场所与放射性物质的实体保卫

为满足生产需要并加强安全生产措施, 本工程在各个密封放射源操作及非密封放射性物质工作场所和厂区内分别设置视频监控系统。可为工作人员及操作人员提

供必要、直观的图像信息；厂区视频监控系统可对厂区出入口、周界、重要厂房出入口进行监控，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性物质的安全。工作场所视频监控摄像机设置在密封放射源储存、使用位置、非密封放射性物质工作场所的门厅、生产线、发货间、普通区走廊、放射性废物间及放射性物料库房等。

整个工作场所有保卫人员 24h 值守，并采取定期和不定期巡查，确保放射性同位素处于安全位置。

## 4.2.4 操作过程中的辐射安全与防护措施

### 4.2.4.1 密封放射源使用场所采取的措施

项目使用密封放射源的场所包括辐射技术应用中心和放射源库，场所采取的辐射安全措施分述如下：

#### ——辐射技术应用中心

辐射技术应用中心装置控制系统采用计算机智能控制方式，承担钴源升降控制和物品输送控制，具有安全连锁、事故报警及状态显示等功能，用于功能性控制和安全性保证。控制台内设置多重安全连锁系统，该系统和控制系统连锁。主要有以下安全设施：

#### (1)固有安全措施

首先在源架周围设源架护罩和网状防护栏，防止被照物品卡住源架；其二为防止牵引钢丝绳被卡在滑轮中，使源架不能下降，装置中设有自动脱钩迫降装置，一旦情况发生，源架与牵引钢丝绳自动脱钩并掉入储源井中；其三安装牵引钢丝绳松脱报警系统，防止降源中源架被卡而升降机却正常运转而发生源降至水井的电气假信号，使安全连锁系统失效，伤害工作人员。

#### (2)工作状态指示

操作人员在升源前确认无人员滞留后，按动无人按钮，使防人光电投入运行，同时发出声光报警信号。在所有升源条件具备后按下升源按钮，人员通道口门和操作大厅的报警灯开始闪烁，并有铃声警示。当源升到位后，声光报警信号停止，红色报警灯由闪光转为平光，工作状态指示灯直观、明显地显示装置的工作状态，提示相关人员不要误入，防止人员受到不必要的照射。

#### (3)安全连锁

①灯机连锁：辐照中心大门工作状态指示灯会根据辐照源的升降进行显示，辐



照源升起，工作状态指示灯亮起，显示  $^{60}\text{Co}$  放射源处于工作状态，提醒外界人员此时放射源的状态。

②门机联锁：只有在通道门关闭，所有现场的急停按钮复位，清场信号生效的情况下，装置才能进行放射源的提升。人员通道口内设有应急开门按钮，应急开门按钮与源升降系统联锁，如果按动应急开门按钮，则会降源或中止升源。

③剂量仪表联锁装置：在迷道中装有固定式剂量仪表的探头，只要源被提起，剂量仪便显示并输出信号，切断辐照室和迷道的照明电源，锁定人员通道安全门不得开启，同时提示源已经升起，禁止入内。

④手提式剂量仪表联锁：配有一台特殊的手提式剂量仪，该仪器在射线(校验源)作用下，可发出与剂量相应的强弱不同的声响，工作人员携带它，源的任何非正常情况，都会立即发出异常的声响提示。该仪器与防护门及照明联锁，并用钥匙与控制起动系统连接，只有把仪器从固定的位置取下才能开启防护门和接通迷道、辐照室照明。这样保证了工作人员在进入时必须携带此仪器，以确保安全。同时也只有把此仪器放回原位，才能关闭辐照室、迷道照明，并关闭防护门，可防止把仪器遗留在辐照室。

#### (4)防止钴源误升装置

为防止工作人员未全部退出辐照室的情况下，有人误将钴源升起，设置了升源联锁程序，程序为启动无人复位按钮、响警铃，熄灭辐照室照明，再熄灭迷道照明，该程序有严格的时间顺序性，程序不完不升源。如果发生意外，仍有人留在里面，源已开始上升，人员可以拉动沿辐照室和迷道的墙壁上设有拉线开关，沿墙体架设的拉线报警器，发出报警信号，恢复照明，同时迫使源架自动降到井底，由此避免未出人员受到伤害。

#### (5)防止人员误入辐照室

辐照室的人员与货物进出口分开，货物进出口设有安全门，仅在辐照生产时，安全门才为进出的辐照箱即时开启并随之关闭。其二在迷道和进出口之间设置了四处双重光电保护，倘有人员误入迷道，则将触动防人光电，立即发出报警随即导致自动降源，输送系统停止运行。人员通道门设有电控锁，与升源用同一把钥匙，并与剂量监测联锁。如果源在工作位时，人员通道口门被强行打开，则引发降源。此外，还在门的内侧设有与升源电路联锁的安全链，如果源在工作位时，安全链被摘下，则源升降电路断开引发自动降源。

## (6) 监视系统

源架监视系统：贮源井内安装一个摄像头，位于井口表面以下4.0m处。摄像头连接到控制室内的电视监视器上，控制人员从监视器上可直接看到源架是否在井底贮存位置。

移动式电视监视系统：辐照室内设置移动式电视监视系统。摄像系统在输送机轨道上由迷道进入源室，并沿源室墙壁绕行，使摄像系统可以到达源架一侧及过源设备其他位置进行拍摄。

## (7) 水位报警系统

为防止水井水位因蒸发下降，水层厚度小于最小安全厚度，使井口外剂量超标造成工作人员意外照射，安装有极限水位报警装置，一旦水位降至设定位置，便发出报警并通过控制台控制水处理系统实施自动补水。只有把水补给到正常水位后，装置才能恢复正常运转。

## (8) 地震系统

本装置设有地震报警系统，一旦发生地震，便会发出报警，并将源降到储存位置。

## (9) 停电自动降源系统

为防止市网停电安全联锁失灵造成人员误照射，设置停电自动降源系统。停电自动降源系统是机械设备中增加了市网停电后源架自动下降功能。

## (10) 停电后系统状态显示系统

为防止突然停电对装置具体情况及源位判断的失误，控制系统设置了停电报警和电源自动转换功能，用辅助电源实施停电后的适时系统状态准确显示。

## (11) 警告警示装置

辐照室大门上设置有明显的电离辐射警告标志，标志符合 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附录 F 要求。



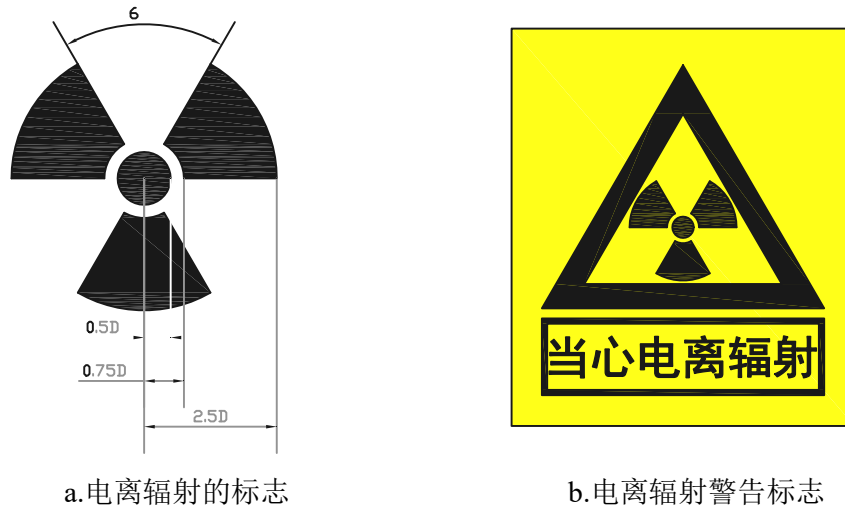


图 4.2-1 GB18871-2002 附录 F 规定的电离辐射标志和电离辐射警告标志  
——放射源库

(1)本项目工作场所在整个放射源研发生产基地内，储存的放射源安全由整个基地的实物保护系统负责。

(2)源库门为防盗门，源库采取双人双锁制度，放射源存取严格按照公司制定的放射源使用程序执行。

(3)源库内设置剂量监测仪，能够对源库内存放源后的剂量率进行适时的监测。且源库外设有“电离辐射”标志。

#### 4.2.4.2 非密封放射性物质场所采取的措施

本项目在操作放射性物质过程中，主要采取隔离、屏蔽以及合理的工作场所气流组织等辐射安全与防护措施。

##### 4.2.4.2.1 隔离与屏蔽措施

①生产原料采用专用铅罐转运，铅罐的屏蔽设计可使在额定装载量情况下，铅罐外面的辐射水平满足 GBZ114-2006《密封放射源及密封 $\gamma$ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求。

②非密封放射性物质的操作均在密闭的屏蔽工作箱内进行。屏蔽工作箱均设计有机械手和（或）手套操作孔，通过窥视窗用机械手或铅手套操作放射性物质。屏蔽工作箱的屏蔽设计（包括窥视窗）可使操作人员所在的操作前区的辐射水平满足辐射防护设计要求。

③生产的产品采用专用铅罐包装，产品铅罐的屏蔽设计在额定装载量情况下，

铅罐外面的辐射水平满足 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求。

#### 4.2.4.2.1 气流组织

项目放射性区域内通风系统根据建筑物的辐射防护分区进行设计，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区，各不同分区之间维持一定负压，绿区相对负压为 10~20Pa，橙区相对负压为 30~50Pa，红区相对负压为 80~100Pa，其中的热室相对负压为 200~300Pa，放射性区域排风经过滤处理后经排风塔高空排放。

##### (1) 生产厂房

生产厂房排风量走道换气次数为 1~2 次/h。排风系统由离心风机、管道及阀门组成。排风通过排风塔高空排放。

##### (2) 绿区

绿区包括生产厂房各生产线及研发中心工作人员停留位置。换气次数 3~4 次/h。排风系统由离心风机、管道及阀门组成。排风通过排风塔高空排放。

##### (3) 橙区

包括滤液水罐及废液转固间、通风过滤间以及固体废物暂存间，换气次数 4~5 次/h。排风系统由离心风机、空气净化装置（预过滤器、高效粒子过滤器）、管道及阀门组成。排风经预过滤器、高效粒子过滤器过滤后通过排风塔高空排放。

##### (4) 红区

包括低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、源库的整备热室，换气次数 5~6 次/h。排风系统由离心风机、空气净化装置（预过滤器、高效粒子过滤器）、管道及阀门组成。排风经预过滤器、高效粒子过滤器过滤处理后通过排风塔高空排放。

##### (5) 热室及各生产线的屏蔽工作箱内

每个热室、屏蔽工作箱按换气次数 30 次/h 计算排风量，风量为 200m<sup>3</sup>/h。排风通过设置在热室外部的管式排风净化装置（预过滤器、高效粒子过滤器）一级过滤后，再经离心风机和高效粒子过滤器过滤处理后由排风塔高空排放。

通风系统工作方式：生产作业前，首先开启手套箱风机系统运行 10 分钟后再开启场所通风，场所通风 10 分钟后，人员方可进入作业场所作业。在生产作业过程中，通风系统一直运行。生产作业完成后，通风系统延长运行 1 小时。

## 4.2.5 其他辐射安全与防护措施

### (1) 非密封放射性物质工作场所的出入控制措施

本项目放射源库和放射源生产线均设置有专门的卫生通过间，其中包括更衣间和淋浴室并配置有表面剂量检测系统。工作人员退出的过程中，需要使用表面沾污检测系统对全身的辐射剂量水平进行检测，无超标的情况直接退出卫生通过间；若有超标的情况，确定超标的部位、辐射水平，及时在淋浴间进行淋浴、清洗、去污，至辐射剂量水平达标，衣物作为放射性固体废物进行收集与处置。

同时，为限制无关人员进入辐射工作场所，在人流出入口设置磁卡门禁系统，防止非授权人员进入，并对进入厂房的授权人员进行统计和管理。

### (2) 原料及成品库房的控制措施

本项目密封源产品都暂存于专门的放射源库，放射源库设置双人双锁，双锁钥匙由一名安防负责人和一名生产负责人分别持有，确保放射性物质不被盗窃。

### (3) 台账管理

放射性产品原料及放射性物质产品的使用、销售和去向都必须有完整记录并长期保存，并由专人进行管理，并定期对单位内部所有的放射性物质进行核查，确保“物-账”统一。

### (4) “六防”措施

a、防火：在生产场所适当位置设置灭火器，灭火器采用特种灭火器，不使用带有腐蚀性的灭火器；保持消防通道的畅通。

b、防盗：本项目放射源和放射源物质安全由整个厂区实物保护系统负责，可有效防止放射源被盗。

c、防抢：由上述措施可见，项目采取的各项安全措施可有效的防止放射源及放射性物质被抢。

d、防破坏：厂区安排有专职保安，昼夜值班，可防止放射源及放射性物质被破坏。

e、防水：项目旁边的跃进渠百年一遇洪水位为 437.07m，千年一遇洪水位为 437.25m，万年一遇洪水位为 438.05m，项目厂区修建的基准高度为 446.5m，能保证所使用的放射源安全，不被洪水淹没。

f、防射线泄漏：项目采取了安全可靠的辐射屏蔽措施，可有效防止项目放射源产生射线的泄漏。

### (5) 现场监测

本项目工作场所设计了各项屏蔽设施，同时建设单位还制定了严密的监测计划，定期或不定期对整个工作场所进行辐射环境监测。

### 4.2.6 辐射安全与防护措施要求对照分析

本项目放射性工作场所属于放射源（I类放射源）使用和放射源生产线（包括甲级非密封放射性物质操作场所），根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序的相关要求》中对场所的相关规定，并参考《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400号），建设单位需具备的辐射防护设施、设备及措施情况见表4.2-2。

表 4.2-2 辐射安全防护设施汇总对照分析表

| 序号             | 规定的防护措施   | 情况     | 备注 |
|----------------|---|--------|----|
| 甲级非密封放射性物质操作场所 |   |        |    |
| 1              | 场所分区布局具有相应措施/标识                                 | 设计中已具备 | /  |
| 2              | 入口处电离辐射警示标识                                     | 设计中已具备 | /  |
| 3              | 卫生通过间   | 设计中已具备 | /  |
| 4              | 卫生通过间出口配备污染监测仪                                  | 设计中已具备 | /  |
| 5              | 单独的放射性通风设施（流向、过滤）                               | 设计中已具备 | /  |
| 6              | 工作箱（箱内保持合适负压）                                   | 设计中已具备 | /  |
| 7              | 屏蔽防护设施  | 拟落实    | /  |
| 8              | 易去污的工作台面和防污染覆盖材料                                | 拟落实    | /  |
| 9              | 移动放射性液体时容器不易破损或有不易破裂的套                          | 拟落实    | /  |
| 10             | 放射性废水暂存设施                                       | 设计中已具备 | /  |
| 11             | 放射性固废暂存设施（废物在专用贮存容器内分类贮存,容器必须标有核素名称、物理形态及存放日期等） | 设计中已具备 | /  |
| 12             | 放射性同位素暂存库                                       | 设计中已具备 | /  |
| I类放射源使用场所      |   |        |    |
| 1              | 场所分区布局具有相应措施/标识                                 | 设计中已具备 | /  |
| 2              | 入口处电离辐射警示标识                                     | 设计中已具备 | /  |
| 3              | 出入口工作状态显示，声音、光电等警示                              | 设计中已具备 | /  |
| 4              | 屏蔽防护措施  | 设计中已具备 | /  |

|        |      |   |        |                  |
|--------|------|---|--------|------------------|
| 5      |      | 含源设备自带屏蔽措施                                      | 设计中已具备 | /                |
| 6      |      | 辐射设备自带安全措施                                      | 设计中已具备 | /                |
| 7      |      | 操作台控制、钥匙控制、安全联锁                                 | 设计中已具备 | /                |
| 8      |      | 紧急停止开关  | 设计中已具备 | /                |
| 9      |      | 门内紧急开门按钮（指示、说明）                                 | 设计中已具备 | /                |
| 10     |      | 放射源暂存设施   | 设计中已具备 | /                |
| 11     |      | 放射性固废暂存设施（废物在专用贮存容器内分类贮存,容器必须标有核素名称、物理形态及存放日期等） | 设计中已具备 | /                |
| 12     |      | 安保设施（防火、防盗、防抢、防水、防破坏、防泄漏）                       | 设计中已具备 | /                |
| 整个厂区具备 |      |   |        |                  |
| 1      | 监测设备 | 固定式剂量报警仪  | 拟落实    | /                |
| 2      |      | 便携式 $\gamma$ 辐射监测仪                              | 拟落实    | /                |
| 3      |      | 便携式表面沾污仪  | 拟落实    | /                |
| 4      |      | 个人剂量计   | 拟落实    | /                |
| 5      |      | 个人剂量报警仪   | 拟落实    | /                |
| 6      |      | 移动式气溶胶取样监测设备                                    | 拟落实    | /                |
| 7      |      | 移动式气态流出物取样监测设备                                  | 拟落实    | /                |
| 8      |      | 移动式液态流出物取样监测设备                                  | 拟落实    | /                |
| 9      | 防护器材 | 联合工作服   | 拟落实    | /                |
| 10     |      | 个人防护用品（防护铅服、铅眼镜、铅手套、铅围脖等）                       | 拟落实    | 铅服 5 套、铅眼镜 5-6 个 |
| 11     |      | 去污用品和试剂   | 拟落实    |                  |
| 12     |      | 必备的警示标志和标识线                                     | 拟落实    | /                |
| 13     | 应急物资 | 灭火器材  | 拟落实    | /                |
| 14     |      | 应急处理工具（长杆夹具）（放射性同位素应急包装容器、长柄夹具等）                | 落实     |                  |

#### 4.2.7 生产场所的防渗处理措施

生产场所的防渗措施包括生产设备的防渗措施和工作场所地面墙面的防渗措施。

##### (1) 生产设备防渗措施

项目操作放射性核素的屏蔽工作箱内为不锈钢板，与四壁夹角之间采用无缝焊接，确保含放射性核素的废液不会泄漏；盛装项目产生的放射性废液采用专用的废液罐，废液罐为不锈钢或钛等材质，能确保做到辐射防护的同时，又防止废液对罐

体的腐蚀，最大程度的预防放射性废液的泄漏。

## (2) 场所分区防渗措施

将新建建筑及设施按单元所处的位置划分为三类地下水污染防治区域：

**重点防渗区：**包括放射性固体废物暂存间、放射性废树脂暂存间、放射性废液处理间、低放废液罐间、滤液水罐及转固间、辐射技术应用中心及放射源库的储源井，采用等效黏土防渗层  $M_b \geq 6.0\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$  的措施；

**一般防渗区：**包括所有辐射技术应用中心、放射源库、各放射源生产线场所、危险废物暂存间及研发中心放射性核素操作场所，采用等效黏土防渗层  $M_b \geq 1.5\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$  的措施；

**简单防渗区：**包括除上述防渗区外的项目范围，采用一般地面硬化。项目生产线所在的房间墙面为彩钢板装饰，接缝用玻璃胶密封，地面铺设 2.5mm 厚度的塑胶地板，地板踢脚线不低于 15cm。

## 4.3 三废的治理

### 4.3.1 放射性污染物治理措施

#### 4.3.1.1 放射性废气处理措施

放射性区域内通风系统根据建筑物的辐射防护分区进行设计，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区，各不同分区之间维持一定负压，绿区相对负压为 10~20Pa，橙区相对负压为 30~50Pa，红区相对负压为 80~100Pa，其中的热室相对负压为 200~300Pa，放射性区域排风经过滤处理后经排风塔高空排放。

#### (1) 生产厂房废气处理措施

##### ① 大厅

大厅排风通过排风塔高空排放。

##### ② 绿区

绿区包括生产厂房各生产线及研发中心工作人员停留位置。排风通过排风塔高空排放。

##### ③ 橙区

包括废气处理间、滤液水罐及废液转固间、通风过滤间以及固体废物暂存间，废气经过通风中心的高效粒子过滤器过滤后通过排风塔高空排放。



#### ④红区

包括低放废液罐间、放射性废液处理间、放射性废树脂暂存间、源库的整备热室，废气经高效粒子过滤器过滤处理后通过排风塔高空排放。

#### ⑤热室及各生产线的屏蔽工作箱内

每个热室、屏蔽工作箱内的废气通过屏蔽手套箱一级过滤后，再经高效粒子过滤器过滤处理后由排风塔高空排放。

生产厂房排风通过排风塔高空排放，总排风量约为 96000m<sup>3</sup>/h。排风塔的上口直径为 1.50m，出口风速为 15.0m/s，高度为 30m。

### (2)研发中心废气处理措施

#### ①绿区

绿区为工作人员的所停留的位置，排风通过排风塔高空排放。

#### ②通风柜排风系统

按照通风柜排风经设置在通风柜顶部的预过滤器一级过滤后，再经高效粒子过滤器过滤处理后通过排风塔高空排放。

#### ③手套箱排风系统

手套箱风经设置在手套箱出口的空气净化装置预过滤器一级过滤后，再经高效粒子过滤器过滤处理后通过排风塔高空排放。

研发楼的排风管路安装高效器，设计处理效率 95%。研发楼排风通过排风塔高空排放，总排风量约为 35000m<sup>3</sup>/h。排风塔的上口直径为 0.90m，出口风速为 15.0m/s。排风塔的高度为 30m。

### 4.3.1.2 放射性废液处理措施

本项目各生产线产生的放射性废液产生的放射性废液全部分类收集，由各箱室下设置的 2mm 不锈钢废液箱盛装达到一定量后转运至地下一层放射性废液处理间，通过过滤净化和两级离子交换进行净化处理至活度低于 10Bq/L 后回用，不外排。

### 4.3.1.3 放射性固体废物处理措施

依据《放射性废物分类公告》，按照废物最小化的原则，按极短寿命放射性废物、极低水平放射性废物和低水平放射性废物对项目产生的放射性废物进行分类收集、储存和处置。

本项目不产生极短寿命放射性废物，产生的放射性废物分类收集后定期送往中

国核动力研究设计院放射性废物库暂存。

本项目对产生的放射性废物实施全过程管理，设置专门的放固废间，对放射性废物的产生、处理、暂存情况做好记录，建立台账，转移放射性固体废物时按照管理规定执行移交手续。

在实施本环评所提出的措施后，本项目放射性固体废物处理方式可行。

## 4.3.2 非放射性污染物治理措施

### 4.3.2.1 非放射性废气处理措施

#### (1) 臭氧、NO<sub>2</sub>

辐射技术应用中心使用和放射源库储存和操作的Co-60密封源产生的射线使空气电离会产生臭氧和NO<sub>2</sub>。辐射技术应用中心产生的臭氧和NO<sub>2</sub>经场所通风系统由辐射中心顶楼20m排气筒排放；放射源库产生的臭氧和NO<sub>2</sub>经场所通风系统由生产厂房顶楼30m排气筒排放。

#### (2) 氢气

本项目辐射技术应用中心使用的Co-60密封源贮存在放射源井内以及放射源库使用水池储存回收的放射源时，密封源衰变产生的 $\gamma$ 射线与功能扩展井内的水作用会产生辐解氢气(H<sub>2</sub>)。辐射技术应用中心产生的辐解氢气经场所通风系统由辐射中心顶楼20m排气筒排放；放射源库产生的辐解氢气经场所通风系统由生产厂房顶楼30m排气筒排放。

### 4.3.2.2 非放射性废水处理措施

#### (1) 生产废水

项目产生的非放射性生产废水主要由研发中心产生，主要为在泄漏检验试中产生检漏废水，该废水主要含少许颗粒物，经沉淀后重复使用，不外排。

#### (2) 办公废水

项目办公废水主要为工作人员办公产生的废水，工作人员办公污水排入基地预处理池，经预处理池处理后排入园区污水管网，经园区污水管网进木城污水处理厂进行处理。

项目分别在生产厂房、运行支持楼和物流中心及库房建3个预处理池，每个池容积为16m<sup>3</sup>。



### 4.3.2.3 噪声治理措施

项目产生的噪声主要为通排风系统噪声，项目拟采用距离衰减和建筑物隔声的方式减弱通排风系统产生的噪声。

### 4.3.2.4 非放射性固体废物处理措施

#### ① 一般固废

**生活垃圾：**生活垃圾集中收集至垃圾暂存设施后，由环卫部门统一收运处置。

**切割、打磨金属废物：**金属切屑、粉末和残渣作为一般工业废物外售回收处理。

#### ② 危险废物

项目放射源研发试验中产生酸性废液；物流中心及库房检、维修车间产生废机油。根据《国家危险废物名录》，以上生产过程中产生的含油废物属于 HW08 废矿物油，废酸类属于 HW06，均属于危险废物，须交由有资质的单位进行处理。

项目产生的以上危险废物暂存于项目配套建设的危险废物暂存间，暂存间位于物流中心及库房的危险品库房，库房应采取以下管理措施：

- 必须与生活垃圾存放地分开，有防雨淋的装置，地基高度应确保设施内不受雨洪冲击或浸泡；
- 地面和1.0 m高的墙裙须进行防渗处理，易于清洁和消毒；
- 避免阳光直射，应有良好的照明设备和通风条件；
- 在库房外的明显处同时设置危险废物的警示标识，库房内应张贴“禁止吸烟、饮食”的警示标识；
- 库房必须上锁，危险废物应由有专业资质的单位收运处置；
- 库房应采取相应的防渗漏措施。



## 4.4 服务期满后的环境保护措施

本项目非密封放射性物质工作场所服务期满后，建单单位需根据相关要求实施场所退役。

### 4.4.1 设计阶段对退役实施的考虑

(1) 本项目放射源生产、研发中心均设置非密封放射性物质操作，对于易挥发和易撒漏的放射性物质应局限在较小的操作台或手套箱内操作，尽可能减少非密封放射性物质的扩散，并减小污染区域的面积；

(2) 非密封放射性物质工作场所地面铺设采用易拆性、易去污的材质，且墙角作圆角处理，防止撒漏放射性物质扩散到土壤中；

(3) 项目设置专用放射性固废暂存间和放射性废液罐，对放射性废物进行集中暂存，处理，尽可能减少“三废”的产生量、处理量、排放量和存留量。

### 4.4.2 退役环保措施

(1) 建设单位需根据要求编制退役方案，并在正式开展前退役活动前编制退役环境影响评价，并取得环保主管部门许可后才能正式按照方案实施退役活动。

(2) 在退役过程中需先进行源项调查，对无法达到解控水平的设施、设备需先进行去污工作，对无法去污的需进行集中暂存收集衰变或交由资质单位进行回收处理。

(3) 实施退役工作人员应作为辐射工作人员进行管理，并做好个人防护。

(4) 去污完成后，对建筑物进行拆除。

(5) 退役工作完成后，退役单位应按照国家相关规定，委托有资质的监测单位，对去污后的场所进行终态验收监测。

## 第五章 环境影响分析

### 5.1 建设阶段对环境的影响

施工期排放的污染物主要包括大气污染物、水污染物、噪声及固体废物，这些污染物的排放是暂时性的，只存在于建设施工阶段，因此其对环境的影响也是短期的。

#### 5.1.1 施工期废气及其环境影响

##### 5.1.1.1 施工期废气来源

施工期产生的最主要的大气污染物是扬尘，此外还有少量的其它废气污染源，如施工机械设备燃料燃烧排放的废气、装饰装修使用的油漆、人造板、含某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等）的涂料等产生的有机废气。

##### (1) 扬尘

施工期扬尘来源主要包括：

- ①土石方开挖和回填过程产生的扬尘；
- ②各种建筑材料（如白灰、水泥、沙、石子、砖等）、建筑垃圾、挖填土方临时堆放过程中产生的扬尘；
- ③各种建筑物料、建筑垃圾、挖填土方运输和装卸过程中产生的扬尘。

##### (2) 施工机械设备燃料燃烧排放的废气

施工期间，使用机动车运输原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO<sub>x</sub> 以及未完全燃烧的碳氢化合物等，其特点是排放量小，属间断性排放。

##### (3) 装饰装修阶段排放的废气

装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如油漆、人造板、含某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等）的涂料等将释放少量有机废气。

##### 5.1.1.2 施工期大气环境影响

项目施工期废气主要来源为施工扬尘、施工机械运行产生的废气以及装修阶段的油漆废气，其中以施工扬尘对空气环境质量的影响最大。

工程施工时，运输车辆行驶、施工垃圾的清理及堆放、人来车往、堆料场装卸材料等均可能产生扬尘。一般情况下，其产生量在有风旱季晴天多于无风和雨季，动态施工多于静态作业。

经综合对比分析，认为项目施工过程中的施工扬尘是大气污染因子中对区域大气环境影响最大的一项。因此，在本项目施工期大气环境影响方面，重点分析施工扬尘对项目周围环境的影响。

### (1) 施工期扬尘的环境影响

据调查，施工工地的诸多扬尘来源中，主要的是由运输车辆行驶产生的扬尘，约占扬尘总量的 60%。其产生量与道路路面及车辆行驶速度有关。在完全干燥情况下，可按经验公式计算：

$$Q = 0.123 \times \left(\frac{v}{5}\right) \left(\frac{W}{6.8}\right)^{0.85} \left(\frac{P}{0.5}\right)^{0.75} \quad \text{式 5.1-1}$$

式中：Q---汽车行驶的扬尘，kg/km·辆；

v---汽车速度，km/h；

W---汽车载重量，t；

P---道路表面粉尘量，kg/m<sup>2</sup>。

根据公式 5.1，一辆载重 5t 的卡车，通过一段长度为 500m 的路面时，不同表面清洁程度，不同行驶速度情况下产生的扬尘量如表 5.1-1 所示。

表 5.1-1 不同车速和地面清洁程度时的汽车扬尘 (kg/km·辆)

| 车速(km/h) | P (kg/m <sup>2</sup> ) |        |        |        |        |        |
|----------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 0.1                    | 0.2    | 0.3    | 0.4    | 0.5    | 1.0    |
| 5        | 0.0283                 | 0.0476 | 0.0646 | 0.0801 | 0.0947 | 0.1593 |
| 10       | 0.0566                 | 0.0953 | 0.1291 | 0.1602 | 0.1894 | 0.3186 |
| 15       | 0.0850                 | 0.1429 | 0.1937 | 0.2403 | 0.2841 | 0.4778 |
| 20       | 0.1133                 | 0.1905 | 0.2583 | 0.3204 | 0.3788 | 0.6371 |

由表 5.1-1 可见，在同样路面清洁情况下，车速越快，扬尘量越大；而在同样车速情况下，路面清洁度越差，则扬尘量越大。根据类比调查，一般情况下，施工场地、施工道路在自然风作用下产生的扬尘所影响的范围在 100m 以内。

抑制扬尘的一个简洁有效的措施是洒水。如果在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右。表 5.1-2 为施工场地洒水

抑尘的试验结果。由该表数据可看出对施工场地实施每天洒水 4~5 次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可将 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。

表 5.1-2 施工现场洒水抑尘试验结果

| 距离(m)                              |     | 5     | 20   | 50   | 100  |
|------------------------------------|-----|-------|------|------|------|
| TSP 小时平均浓度<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 不洒水 | 10.14 | 2.89 | 1.15 | 0.86 |
|                                    | 洒水  | 2.01  | 1.40 | 0.67 | 0.60 |

施工扬尘的另一种重要产生方式是建筑材料的露天堆放和搅拌作业，这类扬尘的主要特点是受作业时风速大小的影响显著。因此，禁止在大风天气时进行此类作业；同时，减少建筑材料的露天堆放是抑制这类扬尘的一种有效手段。

建设施工期产生扬尘是无法避免的，但其产生量和影响范围是可以控制的，因此本环评提出相应的扬尘控制措施。只要项目施工期做到文明施工，严格落实各项扬尘控制措施，则可有效控制施工期扬尘对环境空气质量影响，使其对环境空气的影响达到可接受的水平。

## (2) 施工期其它废气的环境影响

本项目施工期废气的另一来源是施工机械排放的燃油废气和装修阶段的油漆废气。

施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械等设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO<sub>x</sub> 以及未完全燃烧的碳氢化合物等，其特点是排放量小，属间断性排放，这些废气排入大气后可得到有效的稀释扩散，对环境的影响甚微。

油漆废气主要产生于室内室外装修阶段，由有机溶剂挥发产生。油漆废气排放属间断性排放，排放源分散，其产生、排放量很小，且该类废气的挥发释出是一个较为缓慢的过程，因此对项目所在区域的环境空气质量影响不大。

## (3) 施工期大气环境影响的总体评述

综上所述，项目的施工将会对项目所在地环境空气质量造成一定的影响，主要影响因子是施工扬尘。这些影响是短期的，随着施工期的结束也会结束。在项目施工阶段将采取有针对性的大气污染控制措施，因此，对项目所在地环境空气质量的影响较小。

### 5.1.1.3 施工期扬尘控制措施

根据《四川省建筑工程扬尘污染防治技术导则（试行）》，施工单位需做到：

①“六必须”：必须湿法作业；必须打围作业；必须硬化道路；必须设置冲洗设施、设备；必须配齐保洁人员；必须定时清扫施工现场。

②“六不准”：不准车辆带泥出门；不准运渣车辆超载；不准高空抛洒建渣；不准现场搅拌混凝土；不准场地积水；不准现场焚烧废弃物。

③施工现场设置施工围墙，封闭施工现场，采用密目安全网，以减少结构和装修过程中的粉尘飞扬现象，减少粉尘向大气的排放；拆除脚手架前，先将脚手板上的垃圾清理干净，清理时应避免扬尘。

④施工单位文明施工，定期对地面洒水，并对撒落在路面的渣土及时清除，清理阶段做到先洒水后清扫，避免产生扬尘对周边住户正常生活造成影响。

⑤由于道路和扬尘量与车辆的行驶速度有关，速度越快，扬尘量越大，因此，在施工场地对施工车辆必须实施限速行驶，同时施工现场主要运输道路尽量采用硬化路面并进行洒水抑尘；在施工场地出口放置防尘垫，对运输车辆现场设置洗车场，用水清洗车体和轮胎；自卸车、垃圾运输车等运输车辆不允许超载，选择对周围环境影响较小的运输路线，定时对运输路线进行清扫，运输车辆出场时必须封闭，避免在运输过程中的抛洒现象。

⑥禁止在有风天气进行渣土堆放作业，建材堆放地点要相对集中，临时废弃土石堆场及时清运，并对堆场以毡布覆盖，裸露地面进行硬化和绿化，减少建材的露天堆放时间；开挖出的土石方应加强围栏，表面用毡布覆盖，并及时将多余弃土外运。

## 5.1.2 施工期废水及其环境影响

### 5.1.2.1 施工期废水来源及产生量

施工期产生的废水主要包括施工生产废水和施工人员生活污水。

#### (1) 施工生产废水

施工期的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。该部分废水中的主要污染因子为SS、COD、石油类，污水中COD浓度值最高约600mg/L、SS约1000mg/L。根据项目建设工程量，经类比分析，预计本项目施工废水的最大产生量约为50m<sup>3</sup>/d。

#### (2) 施工人员生活污水



本项目建设施工高峰期施工人员预计可达 60 人,生活用水按  $0.05\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{d}$  计算,日用水量约  $3\text{m}^3/\text{d}$ ,以产生系数 0.8 计,生活污水产生量为  $2.4\text{m}^3/\text{d}$ 。

根据有关资料中的监测统计平均值,生活污水中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$  和 SS 的浓度依次约为  $400\text{mg/L}$ 、 $200\text{mg/L}$ 、 $30\text{mg/L}$  和  $400\text{mg/L}$ 。

### 5.1.2.2 施工期废水对地表水环境的影响

施工过程中上述各类废水若不经处理或处理不当,将影响地表水水质,短期内使地表水水质超标,危害环境。因此,施工期废水不应任意排放。分别针对施工废水和施工生活污水采取有针对性的控制措施后,项目施工期废水对周围地表水环境影响甚微。

### 5.1.2.3 施工期水污染物控制措施

施工时严禁将施工废水及施工生活污水直接排入地表水。设置沉淀池对施工废水简易沉淀后重复利用,不外排;本项目生活污水依托夹江核技术产业园园区污水管网,直接进入木城镇污水处理站。

## 5.1.3 施工期噪声及其环境影响

### 5.1.3.1 施工期主要噪声源及源强

建设施工期主要噪声源为各种施工机械及运输车辆。各施工阶段典型施工机械及运输车辆作业时的噪声源强经验值分别见表 5.1-3、表 5.1-4。

表 5.1-3 典型建筑施工机械噪声源强 (单位:  $\text{dB(A)}$ )

| 施工阶段 | 声源     | 声源强度* |
|------|--------|-------|
| 土石方  | 挖掘机    | 78~96 |
|      | 装载机    | 85~90 |
|      | 空压机    | 75~85 |
|      | 推土机    | 80~85 |
| 打桩   | 挖掘机    | 78~96 |
| 结构   | 混凝土输送泵 | 80~90 |
|      | 振捣器    | 90~95 |
|      | 电锯     | 90~95 |
|      | 搅拌器    | 90~95 |

续表 5.1-3 典型建筑施工机械噪声源强（单位：dB(A)）

| 施工阶段 | 声源      | 声源强度* |
|------|---------|-------|
| 装修   | 电钻、手工钻等 | 90~95 |
|      | 电锤      | 90~95 |
|      | 无齿锯     | 95    |

表 5.1-4 交通运输车辆噪声（单位：dB(A)）

| 施工阶段    | 运输内容      | 车辆类型      | 声源强度  |
|---------|-----------|-----------|-------|
| 主体阶段    | 建筑弃渣等     | 大型载重车     | 84~89 |
| 底板与结构阶段 | 钢筋、混凝土等   | 混凝土罐车、载重车 | 80~85 |
| 装修安装阶段  | 各种装修材料及设备 | 轻型载重卡车    | 75~80 |

### 5.1.3.2 施工期噪声影响预测与评价

#### (1) 预测模式

引起声波衰减的因素有距离、空气吸收、围墙阻隔等。保守估算，预测只考虑距离衰减。施工场地的施工机械可近似视为点声源处理，预测模式采用《环境影响评价技术导则—声环境》（HJ 2.4-2009）无指向性点声源几何发散衰减公式。

$$L_A(r) = L_{Aref}(r_0) - 20 \lg(r/r_0) \quad \text{式 5.1-2}$$

式中： $L_A(r)$ ---距声源  $r$  处的 A 声级，dB(A)；

$L_{Aref}(r_0)$ ---距声源  $r_0$  处的 A 声级，dB(A)；

$r$ 、 $r_0$ ---距声源的距离，m。

#### (2) 预测结果

在不考虑施工围墙对噪声的隔声作用的情况下，预测施工各阶段最强噪声源在不同距离处的噪声贡献值，结果列于表 5.1-5 中。

表 5.1-5 土建施工噪声预测结果（dB(A)）

| 噪声源强值 |    | 预测距离(m) |      |      |      |      |      |      | 建筑施工场界噪声排放标准<br>(GB12523-2011) |    |
|-------|----|---------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------|----|
|       |    | 10      | 20   | 25   | 50   | 100  | 150  | 200  | 昼间                             | 夜间 |
| 土石方   | 96 | 76.0    | 70.0 | 68.0 | 62.0 | 56.0 | 52.5 | 50.0 | 70                             | 55 |
| 打桩    | 96 | 76.0    | 70.0 | 68.0 | 62.0 | 56.0 | 52.5 | 50.0 | 70                             | 55 |
| 结构    | 95 | 75.0    | 69.0 | 67.0 | 61.0 | 55.0 | 51.5 | 49.0 | 70                             | 55 |
| 装修    | 95 | 75.0    | 69.0 | 67.0 | 61.0 | 55.0 | 51.5 | 49.0 | 70                             | 55 |



### (3) 施工期噪声影响评价

#### ① 施工噪声对厂界的影响

由表 5.1-5 可以看出，施工期间产生的噪声昼间在大于 20m 处可以达到《建筑施工场界噪声限值》（GB12523-90）要求，夜间在大于 150m 处能够达标。

#### ② 施工噪声对环境的影响

本项目施工地点距最近的敏感目标的最近距离大于 60m，因此项目施工噪声对外环境影响甚微。

#### 5.1.3.3 施工期噪声的控制措施

对于噪声的控制，通常可通过对噪声源、噪声传播路线和噪声受体三个方面采取措施。首先考虑对噪声源和传播路线的控制，其次，如有必要才采取对噪声受体的控制措施。

为降低施工噪声对声环境的影响，应采取如下噪声控制措施：

- ① 选用低噪设备，并采取有效的隔声减振措施。
- ② 合理设计施工总平面图，将主要高噪声的作业点置于施工场地中部区域，尽量远离厂界。
- ③ 合理安排施工工序，尽量缩短施工周期。
- ④ 合理安排施工时间，将强噪声作业尽量安排在白天进行，尽量避免夜间施工。
- ⑤ 文明施工，装卸、搬运钢管、模板等严禁抛掷。
- ⑥ 施工前必须先修围墙。

### 5.1.4 施工期固体废物及其环境影响

#### 5.1.4.1 施工期固体废物的来源

##### (1) 建筑垃圾

项目建设施工过程中产生的建筑垃圾主要包括多余土石方、混凝土废料、含砖、石、砂的杂土、铁质弃料、木材弃料等。

##### (2) 施工人员生活垃圾

施工人员生活垃圾包括就餐垃圾、塑料餐具、杯、袋及其它生活日用品废弃物。

#### 5.1.4.2 施工期固体废物的环境影响

施工过程中产生的建筑垃圾要及时清运、加以利用；生活垃圾如不及时清运处理，则会腐烂变质，滋生蚊虫苍蝇，产生恶臭，传染疾病，从而对周围环境和作业

人员的健康带来不利影响，因此应及时清运并进行处置。

针对项目施工期产生的固体废物采取处理处置措施，使建筑垃圾和生活垃圾得到清洁处理和处置，减小施工期产生的固体废物对周围环境的影响。

### 5.1.4.3 施工期固体废物的控制措施

#### (1) 建筑垃圾处理

在施工现场设置建筑废弃物临时堆场（树立标示牌）并进行防雨、防泄漏处理。施工生产废料应首先考虑回收利用，对钢筋、钢板、木材等下角料分类回收，交废物收购站处理；对不能回收的建筑垃圾，如混凝土废料、含砖、石、砂的杂土等应集中堆放，定时清运到指定的建筑垃圾场，以免影响环境质量。

#### (2) 生活垃圾处理

施工人员生活垃圾将依托现有垃圾暂存点统一收集，由环卫部门清运至垃圾处理场集中处理。

## 5.2 运行阶段对环境的影响

### 5.2.1 项目运行期放射性环境影响

#### 5.2.1.1 场所辐射水平

##### (1) 生产厂房和辐射中心

生产厂房和辐射中心主要分为生产厂房、放射源库和辐射中心三部分，以下分别对其场所辐射水平进行分析讨论。各生产线的生产和 Sr/Y 实验间的操作过程中，首先将装有活度等于年操作量的原料的原料罐转入屏蔽箱，打开原料罐，再将 1 批次的原料取出进行操作。所以估算原料取出前后，前墙外 30cm 处的剂量率。

##### 1) 生产厂房

###### ①<sup>57</sup>Co 源生产线

###### A. $\gamma$ 射线的辐照

<sup>57</sup>Co 为 EC 衰变方式，衰变时主要产生  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时，正在进行操作的 <sup>57</sup>Co 源仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。<sup>57</sup>Co 源的放射性活度按单次操作最大活度  $1.1 \times 10^8 \text{Bq}$  (3mCi) 计。根据《辐射防护手册》第三分册（李德平、潘自强主编，原子能出版社）， $\gamma$  射线点源的剂量率计算公式可以表示

为以下形式:

$$X_a = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot f \quad \text{式 5.2-1}$$

$$f = 10^{-\frac{x}{TVL}} \quad \text{式 5.2-2}$$

$$D_a = 8.69 \times 10^{-3} \cdot X_a \quad \text{式 5.2-3}$$

其中:

$X_a$ ——照射量率, 单位  $R/h$ ;

$A$ ——放射性活度, 单位  $Ci$ ;

$\Gamma$ ——照射量率常数, 单位  $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ;

$r$ ——计算点与放射源之间的距离, 单位  $m$ ;

$f$ ——减弱因子;

$x$ ——屏蔽层厚度, 单位  $mm$ ;

$TVL$ ——什值层厚度, 单位  $mm$ ;

$D_a$ ——空气吸收剂量率, 单位  $Gy/h$

主要计算参数及计算结果见表 5.2-1。

表 5.2-1  $^{57}Co$  源生产线操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素        | 放射性活度 (Ci)         | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                    | 什值层 ( $mm$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 ( $Gy/h$ )         |
|-----------|--------------------|--|--------|---------|--------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
|           |                    |  |        | 厚度 (mm) | 材料                 |                           |                       |                        |
| $^{57}Co$ | $3 \times 10^{-3}$ | 0.096  | 0.8    | 60      | 碳钢 ( $7.8g/cm^3$ ) | 15.3                      | $1.2 \times 10^{-4}$  | $5.27 \times 10^{-10}$ |
|           |                    |  | 0.8    | 10      | 铅玻璃窗的铅当量           | 2.6                       | $1.43 \times 10^{-4}$ | $5.13 \times 10^{-10}$ |

注: <sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11;

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知, 本项目  $^{57}Co$  源生产线生产时在计算点处的剂量率最大为  $5.27 \times 10^{-10} Gy/h$ , 也即  $5.27 \times 10^{-4} \mu Sv/h$ , 小于  $2.5 \mu Sv/h$  的控制剂量率, 因而场所的辐照水平满足要求。

#### B. 取原料时 $\gamma$ 射线的辐照

原料罐为  $6mmPb$  的铅罐, 主要计算参数及计算结果见表 5.2-2。

表 5.2-2  $^{57}\text{Co}$  源生产线取原料时操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                      | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ ) |
|------------------|------------|--|--------|---------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                  |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                                   |                                  |                      |                       |
| $^{57}\text{Co}$ | 1          | 0.096  | 0.8    | 60      | 碳钢 ( $7.8\text{g/cm}^3$ )            | 15.3                             | $5.9\times 10^{-7}$  | $8.66\times 10^{-10}$ |
|                  |            |  |        | 6       | 铅罐 ( $11.34\text{g/cm}^3$ )          | 2.6                              |                      |                       |
|                  |            |  | 0.8    | 16      | 铅玻璃窗的铅当量+铅罐 ( $11.34\text{g/cm}^3$ ) | 2.6                              | $7.02\times 10^{-7}$ | $8.42\times 10^{-10}$ |

由上表可知, 本项目  $^{57}\text{Co}$  源生产线取原料时 (约 3min) 在计算点处的剂量率最大为  $8.66\times 10^{-10}\text{Gy/h}$ , 也即  $8.66\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ , 小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率, 因而场所的辐照水平满足要求。

### ② $^{68}\text{Ge}$ 源生产线

$^{68}\text{Ge}$  为 EC 衰变方式, 衰变时主要产生中微子, 衰变子核为  $^{68}\text{Ga}$ ;  $^{68}\text{Ga}$  为  $\beta^+$  衰变和 EC 衰变方式, 衰变时产生  $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线,  $\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射, 因而在评价工作场所的辐照水平时, 需要同时考虑产生的  $\beta$  射线、韧致辐射和  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小, 故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时, 正在进行操作的  $^{68}\text{Ge}$  源仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。 $^{68}\text{Ge}$  源的放射性活度按单次操作最大活度  $1\times 10^8\text{Bq}$  ( $2.71\text{mCi}$ ) 计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$  粒子的射程与能量等于  $\beta$  粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。

根据《辐射防护基础》(李星洪等编, 原子能出版社) 能量为  $E$  (MeV) 的单能电子束, 在低  $Z$  物质中的射程, 可由卡茨 (Katz) 和彭福尔德 (Penfold) 公式计算:

$$\begin{cases} R = 0.412E_{\max}^{(1.265-0.0954LnE_{\max})}, & 0.01 < E < 2.5\text{MeV} \\ R = 0.53E_{\max} - 0.106, & 2.5 < E < 20\text{MeV} \end{cases} \quad \text{式 5.2-4}$$

$$d = \frac{R}{\rho} \quad \text{式 5.2-5}$$

其中:

$R$ —— $\beta$  粒子的最大射程, 单位  $\text{g/cm}^2$ ;

$E_{\max}$ —— $\beta$  粒子的最大能量, 单位 MeV;

$\rho$ ——材料的密度, 单位  $\text{g/cm}^3$ ;

$d$ ——防护厚度，单位 cm。

根据《辐射防护手册》第三分册（李德平、潘自强主编，原子能出版社），其在  $Z$  较高的物质中的射程可用如下经验公式估算：

$$R = \frac{1}{2} E_{\max} \quad \text{式 5.2-6}$$

$$d = \frac{R}{\rho} \quad \text{式 5.2-5}$$

其中：

$R$ —— $\beta$ 粒子的最大射程，单位 g/cm<sup>2</sup>；

$E_{\max}$ —— $\beta$ 粒子的最大能量，单位 MeV；

$\rho$ ——材料的密度，单位 g/cm<sup>3</sup>；

$d$ ——防护厚度，单位 cm。

$\beta$ 射线对铅的最大射程计算根据式 5.2-5~5.2-6 计算， $\beta$ 射线对铅玻璃的最大射程计算根据式 5.2-4~5.2-5 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-3。

表 5.2-3 <sup>68</sup>Ge 源生产线 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素               | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)            |
|------------------|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| <sup>68</sup> Ge | 1.8991              | 铅    | 11.34                    | 0.9496                   | $8.37 \times 10^{-1}$ |
|                  |                     | 铅玻璃  | 2.51~5.19                | 0.8917                   | 1.72~3.55             |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $8.37 \times 10^{-1}$ mm，能够被 <sup>68</sup>Ge 源生产线屏蔽箱 67mm 厚的铅完全阻挡； $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚度为 3.55mm，能够被 <sup>68</sup>Ge 源生产线屏蔽箱 67mm 铅当量的铅玻璃完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在 <sup>68</sup>Ge 源的生产过程中， $\beta$ 射线会与铅、铅玻璃内层的有机玻璃发生相互作用，产生韧致辐射。由于铅的有效原子序数最高，因而本次评价保守考虑 $\beta$ 射线与铅的相互作用的结果。根据《辐射防护基础》（李星洪等编，原子能出版社），韧致辐射的剂量率为：

$$D_a = \frac{4.59 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z \cdot \left(\frac{E}{r}\right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho) \cdot e^{-\mu R_l}}{K} \quad \text{式 5.2-7}$$

$$\mu = \frac{20}{E_{\max}^{1.54}} \cdot \rho \quad \text{式 5.2-8}$$

其中：

$A$ ——放射性活度，单位 Bq；

$Z$ ——吸收 $\beta$ 射线的屏蔽材料的原子序数，对于铅，取值为 82，对于铅玻璃内层的有机玻璃，取值为 6.3，对于碳钢，取值为 26，对于普通混凝土，取值为 14；

$E_{\max}$ —— $\beta$ 射线的最大能量，单位 MeV；

$E$ ——轫致辐射的平均能量，取值为  $E_{\beta\max}$  的 1/3，单位 MeV；

$r$ ——预测点与辐射源的距离，单位 m；

$(\mu_{en}/\rho)$ ——能量等于  $E$  的光子在空气中的质能吸收系数，单位  $\text{m}^2/\text{kg}$ ；

$\mu$ —— $\beta$ 射线在空气中的线衰减系数， $\text{cm}^{-1}$ ；

$R_l$ —— $\beta$ 射线穿过空气层的厚度，单位 cm；

$\rho$ ——空气的密度，取值为  $1.293 \times 10^{-3}$ ，单位  $\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$D_a$ ——空气吸收剂量率，单位 Gy/h；

$K$ ——热室或手套箱对轫致辐射的减弱因子。

$^{68}\text{Ge}$  源生产过程中，单批次最大操作量为  $1 \times 10^8 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 35cm。对 0.662MeV 的  $\gamma$  射线，64.8mm 厚的铅减弱因子为  $1 \times 10^3$ ，本项目  $^{68}\text{Ge}$  源生产线的屏蔽箱为 67mm 厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为  $1 \times 10^3$ 。主要计算参数及计算结果见表 5.2-4。

表 5.2-4  $^{68}\text{Ge}$  源生产线轫致辐照水平计算参数及结果

| 核素               | 活度 (Bq)         | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量 (MeV) | 距离 $r$ (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | 减弱因子 $K^2$      | 剂量率 (Gy/h)             |
|------------------|-----------------|------|----------------------|------------|--|-----------------|------------------------|
| $^{68}\text{Ge}$ | $1 \times 10^8$ | 82   | 1.8991               | 0.7        | $2.943 \times 10^{-3}$                           | $1 \times 10^3$ | $6.32 \times 10^{-10}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目  $^{68}\text{Ge}$  源生产在计算点处的轫致辐射剂量率为  $6.32 \times 10^{-10} \text{Gy/h}$ ，也即  $6.32 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ 。

C.  $\gamma$  射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-5。

表 5.2-5  $^{68}\text{Ge}$  源生产线操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci)           | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                           | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ ) |
|------------------|----------------------|--|--------|---------|---------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                  |                      |  |        | 厚度 (mm) | 材料                        |                                  |                      |                       |
| $^{68}\text{Ge}$ | $2.71\times 10^{-3}$ | 0.56   | 0.7    | 67      | 铅( $11.34\text{g/cm}^3$ ) | 53.02                            | $5.45\times 10^{-2}$ | $1.43\times 10^{-6}$  |
|                  |                      |  |        |         | 铅玻璃窗的铅当量                  |                                  |                      |                       |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目  $^{68}\text{Ge}$  源生产线在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $1.43\times 10^{-6}\text{Gy/h}$ ，也即  $1.43\mu\text{Sv/h}$ 。

## D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-6。

表 5.2-6  $^{68}\text{Ge}$  源生产线操作前区辐照水平计算结果

| 核素               | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $^{68}\text{Ge}$ | $6.32\times 10^{-4}$           | 1.43                                  | 1.431                     |

由上表可知，本项目研发中心在计算点处的剂量率为  $1.431\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

E. 取原料时  $\gamma$  射线的辐照

考虑到  $^{68}\text{Ge}$  源以  $\gamma$  辐射为主，原料罐为  $125\text{mmPb}$  的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-7。

表 5.2-7  $^{68}\text{Ge}$  源生产线取原料时操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |   | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ ) |
|------------------|------------|--|--------|---------|---|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                  |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                                      |                                  |                      |                       |
| $^{68}\text{Ge}$ | 1          | 0.56   | 0.7    | 192     | 铅板/铅玻璃窗的铅当量+铅罐 ( $11.34\text{g/cm}^3$ ) | 53.02                            | $2.39\times 10^{-4}$ | $2.32\times 10^{-6}$  |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。



由上表可知，本项目  $^{68}\text{Ge}$  源生产线取原料时（约 3min）在计算点处的  $\gamma$  剂量率最大为  $2.32 \times 10^{-6} \text{Gy/h}$ ，也即  $2.32 \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### ③Sn-In 发生器生产线

#### A. $\gamma$ 射线的辐照

Sn-In 发生器生产过程中涉及  $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$  两种核素， $^{113}\text{Sn}$  为 EC 衰变方式， $^{113\text{m}}\text{In}$  为 IT 衰变方式，衰变时均主要产生  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时，正在进行操作的  $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$  仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$  的放射性活度按单次操作最大活度  $6.3 \times 10^9 \text{Bq}$ （171mCi）计。按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-8。

表 5.2-8 Sn-In 发生器生产线操作前区  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素        | 箱室编号    | 放射性活度 (Ci)            | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                            | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ ) |
|-----------|---------|-----------------------|--|--------|---------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|           |         |                       |  |        | 厚度 (mm) | 材料                         |                                  |                       |                       |
| Sn-In 发生器 | 1# ~ 3# | $1.71 \times 10^{-1}$ | 0.14   | 1.0    | 180     | 碳钢 ( $7.8 \text{g/cm}^3$ ) | 44.6                             | $9.21 \times 10^{-5}$ | $1.99 \times 10^{-8}$ |
|           |         |                       |  | 1.1    | 41      | 铅玻璃窗的铅当量                   | 14.5                             | $1.49 \times 10^{-3}$ | $2.57 \times 10^{-7}$ |
|           | 4#      |                       |  | 0.8    | 180     | 碳钢 ( $7.8 \text{g/cm}^3$ ) | 44.6                             | $9.21 \times 10^{-5}$ | $2.78 \times 10^{-8}$ |
|           |         |                       |  | 0.9    | 41      | 铅玻璃窗的铅当量                   | 14.5                             | $1.49 \times 10^{-3}$ | $3.45 \times 10^{-7}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目 Sn-In 发生器生产线在计算点处的剂量率最大为  $3.45 \times 10^{-7} \text{Gy/h}$ ，也即  $3.45 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### B. 取原料时 $\gamma$ 射线的辐照

原料罐为 25mmPb 的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-9。



表 5.2-9 Sn-In 发生器生产线取原料时操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素        | 箱室编号    | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup><br>( $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                       | 什值层 (mm) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-----------|---------|------------|---|--------|---------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|           |         |            |   |        | 厚度 (mm) | 材料                                    |                       |                       |                       |
| Sn-In 发生器 | 1# ~ 2# | 20         | 0.14  | 1.0    | 180     | 碳钢(7.8g/cm <sup>3</sup> )             | 44.6                  | $1.74 \times 10^{-6}$ | $4.4 \times 10^{-8}$  |
|           |         |            |   |        | 25      | 铅罐 (11.34g/cm <sup>3</sup> )          | 14.5                  |                       |                       |
|           |         |            |   | 1.1    | 66      | 铅玻璃窗的铅当量+铅罐 (11.34g/cm <sup>3</sup> ) | 14.5                  | $2.81 \times 10^{-5}$ | $5.68 \times 10^{-7}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目 Sn-In 发生器生产线取原料时（约 3min）在计算点处的剂量率最大为  $5.68 \times 10^{-7}$  Gy/h，也即  $5.68 \times 10^{-1} \mu$ Sv/h，小于  $2.5 \mu$ Sv/h 的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### ④<sup>147</sup>Pm 源生产线

<sup>147</sup>Pm 仅发生 $\beta$ 衰变，衰变时产生 $\beta$ 射线和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 $\beta$ 射线、韧致辐射和 $\gamma$ 射线。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时，正在进行操作的 <sup>147</sup>Pm 源仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。<sup>147</sup>Pm 源的放射性活度按单次操作最大活度  $2.59 \times 10^{10}$  Bq (700mCi) 计。

##### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。按式 5.2-4~5.2-5 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-10。

表 5.2-10 <sup>147</sup>Pm 源生产线 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | $\beta$ 射线最大能量 (MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)                                     |
|-------------------|----------------------|------|--------------------------|--------------------------|--|
| <sup>147</sup> Pm | 0.225                | 碳钢   | 7.8                      | 0.0505                   | $6.47 \times 10^{-2}$                          |
|                   |                      | 铅玻璃  | 2.51~5.19                |                          | $9.73 \times 10^{-2} \sim 2.01 \times 10^{-1}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在碳钢中所能穿透的最大厚度为  $6.47 \times 10^{-2}$  mm，能够被 <sup>147</sup>Pm 源生产线屏蔽箱 10mm 厚的碳钢完全阻挡； $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚度为  $2.01 \times 10^{-1}$  mm，能够被 <sup>147</sup>Pm 源生产线屏蔽箱 1mm 铅当量的铅玻璃完全阻挡，

不会对人体造成影响。

### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在 $^{147}\text{Pm}$ 源的生产过程中， $\beta$ 射线会与碳钢、铅玻璃内层的有机玻璃发生相互作用，产生韧致辐射。由于碳钢的有效原子序数最高，因而本次评价保守考虑 $\beta$ 射线与碳钢的相互作用的结果。

$^{147}\text{Pm}$ 源生产过程中，单批次最大操作量为 $2.59 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面30cm处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为35cm。本项目 $^{147}\text{Pm}$ 源生产线的屏蔽箱为10mm厚的碳钢，保守起见不考虑其减弱效果，减弱因子的取值为1。按式5.2-7~5.2-8计算，主要计算参数及计算结果见表5.2-11。

表 5.2-11  $^{147}\text{Pm}$  源生产线韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)               | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /kg) | 减弱因子 K <sup>2</sup> | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|-----------------------|------|---------------------|----------|--|---------------------|------------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ | $2.59 \times 10^{10}$ | 26   | 0.225               | 0.7      | $2.548 \times 10^{-3}$                     | 1                   | $1.09 \times 10^{-10}$ |

注：<sup>1</sup>出自《辐射防护基础》表2-2插值得；

<sup>2</sup>参考《辐射防护基础》附表7。

由上表可知，本项目 $^{147}\text{Pm}$ 源生产在计算点处的韧致辐射剂量率为 $1.09 \times 10^{-10}\text{Gy/h}$ ，也即 $1.09 \times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ 。

### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式5.2-1~5.2-3计算，主要计算参数及计算结果见表5.2-12。

表 5.2-12  $^{147}\text{Pm}$  源生产线操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> (R·m <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> ·Ci <sup>-1</sup> ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                            | 什值层 (mm) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-------------------|------------|--|--------|---------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                         |                       |                       |                       |
| $^{147}\text{Pm}$ | 0.7        | $7.2 \times 10^{-7}$   | 0.7    | 10      | 碳钢 (7.8g/cm <sup>3</sup> ) | 26                    | $4.12 \times 10^{-1}$ | $3.6 \times 10^{-9}$  |
|                   |            |  |        | 1       | 铅玻璃窗的铅当量                   | 4.7                   | $6.13 \times 10^{-1}$ | $5.35 \times 10^{-9}$ |

注：<sup>1</sup>出自《辐射防护手册》第一分册表1.11；

<sup>2</sup>出自《辐射防护手册》第三分册表2.12插值得。

由上表可知，本项目 $^{147}\text{Pm}$ 源生产在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为 $5.35 \times 10^{-9}\text{Gy/h}$ ，

也即  $5.35 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### D.场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-13。

表 5.2-13  $^{147}\text{Pm}$  源生产线操作前区辐照水平计算结果

| 核素                | 韧致辐射所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ | $1.09 \times 10^{-4}$             | $5.35 \times 10^{-3}$                    | $5.46 \times 10^{-3}$        |

由上表可知，本项目研发中心在计算点处的剂量率为  $5.46 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### E.取原料时 $\gamma$ 射线的辐照

考虑到  $^{147}\text{Pm}$  源以  $\gamma$  辐射为主，原料罐为  $5\text{mmPb}$  的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-14。

表 5.2-14  $^{147}\text{Pm}$  源生产线取原料时操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度<br>(Ci) | 照射量率<br>常数 <sup>1</sup><br>( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离<br>(m) | 屏蔽层        |   | 什值层<br>(mm) <sup>2</sup> | 减弱因<br>子              | 剂量率<br>(Gy/h)         |
|-------------------|---------------|---|-----------|------------|---|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |               |   |           | 厚度<br>(mm) | 材料  |                          |                       |                       |
| $^{147}\text{Pm}$ | 50            | $7.2 \times 10^{-7}$  | 0.7       | 10         | 碳钢( $7.8\text{g/cm}^3$ )                    | 26                       | $3.56 \times 10^{-2}$ | $2.22 \times 10^{-8}$ |
|                   |               |   |           | 5          | 铅罐<br>( $11.34\text{g/cm}^3$ )              | 4.7                      |                       |                       |
|                   |               |   |           | 6          | 铅玻璃窗的铅<br>当量+铅罐<br>( $11.34\text{g/cm}^3$ ) | 4.7                      | $5.29 \times 10^{-2}$ | $3.3 \times 10^{-8}$  |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目  $^{147}\text{Pm}$  源生产线取原料时（约 3min）在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $3.3 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，也即  $3.3 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### ⑤气体源生产线

$^{85}\text{Kr}$  源仅发生 $\beta$ 衰变，衰变时产生 $\beta$ 射线和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 $\beta$ 射线、韧致辐射和 $\gamma$ 辐射。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很

小，故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时，正在进行操作的  $^{85}\text{Kr}$  源仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。 $^{85}\text{Kr}$  源的放射性活度按单次操作最大活度  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci) 计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-4~5.2-5 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-15。

表 5.2-15  $^{85}\text{Kr}$  源生产线 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素               | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)                                  |
|------------------|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|---|
| $^{85}\text{Kr}$ | 0.672               | 碳钢   | 7.8                      | 0.2455                   | $3.15\times 10^{-1}$                        |
|                  |                     | 铅玻璃  | 2.51~5.19                |                          | $4.73\times 10^{-1}\sim 9.78\times 10^{-1}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在碳钢中所能穿透的最大厚度为  $3.15\times 10^{-1}\text{mm}$ ，能够被  $^{85}\text{Kr}$  源生产线屏蔽箱 110mm 厚的碳钢完全阻挡； $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚度为  $9.78\times 10^{-1}\text{mm}$ ，能够被  $^{85}\text{Kr}$  源生产线屏蔽箱 47mm 铅当量的铅玻璃完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{85}\text{Kr}$  源的生产过程中， $\beta$ 射线会与碳钢、铅玻璃内层的有机玻璃发生相互作用，产生韧致辐射。由于碳钢的有效原子序数最高，因而本次评价保守考虑 $\beta$ 射线与碳钢的相互作用的结果。

$^{85}\text{Kr}$  源生产过程中，单批次最大操作量为  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 60cm。对 0.25MeV 的 $\gamma$ 射线，109mm 厚的碳钢减弱因子为  $2.0\times 10^3$ ，本项目  $^{85}\text{Kr}$  源生产线的屏蔽箱为 110mm 厚的碳钢，保守考虑其减弱因子的取值为  $2.0\times 10^3$ 。按式 5.2-7~5.2~8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-16。

表 5.2-16  $^{85}\text{Kr}$  源生产线韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素               | 活度 (Bq)             | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /kg) | 减弱因子 K <sup>2</sup> | 剂量率 (Gy/h)            |
|------------------|---------------------|------|---------------------|----------|--|---------------------|-----------------------|
| $^{85}\text{Kr}$ | $3.7\times 10^{10}$ | 26   | 0.672               | 1.0      | $2.72\times 10^{-3}$                       | $2.0\times 10^3$    | $1.63\times 10^{-10}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 7。

由上表可知，本项目气体放射源生产在计算点处的韧致辐射剂量率为  $1.63 \times 10^{-10}$  Gy/h，也即  $1.63 \times 10^{-4}$   $\mu$ Sv/h。

### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-17。

表 5.2-17  $^{85}\text{Kr}$  源生产线操作前区  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                  | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|------------------|------------|--|--------|---------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                               |                                  |                       |                       |
| $^{85}\text{Kr}$ | 1          | $1.3 \times 10^{-3}$   | 1.0    | 110     | 碳钢 ( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 55.96                            | $1.08 \times 10^{-2}$ | $1.15 \times 10^{-7}$ |
|                  |            |  | 1.1    | 47      | 铅玻璃窗的铅当量                         | 20.85                            | $5.57 \times 10^{-3}$ | $4.8 \times 10^{-8}$  |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目  $^{85}\text{Kr}$  源生产线在计算点处的  $\gamma$  剂量率最大为  $1.15 \times 10^{-7}$  Gy/h，也即  $1.15 \times 10^{-1}$   $\mu$ Sv/h。

### D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和  $\gamma$  射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-18。

表 5.2-18  $^{85}\text{Kr}$  源生产线操作前区辐照水平计算结果

| 核素               | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ) | 总剂量率 ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ) |
|------------------|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| $^{85}\text{Kr}$ | $1.63 \times 10^{-4}$                 | $1.15 \times 10^{-1}$                        | $1.152 \times 10^{-1}$           |

由上表可知，本项目研发中心在计算点处的剂量率为  $1.152 \times 10^{-1}$   $\mu$ Sv/h，小于  $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### E. 取原料时 $\gamma$ 射线的辐照

考虑到  $^{85}\text{Kr}$  源以  $\gamma$  辐射为主，原料罐为  $70\text{mmPb}$  的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-19。

表 5.2-19  $^{85}\text{Kr}$  源生产线取原料时操作前区 $\gamma$ 辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup><br>( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |  | 什值层 (mm) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 (Gy/h)           |
|------------------|------------|---|--------|---------|--|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                  |            |   |        | 厚度 (mm) | 材料   |                       |                      |                      |
| $^{85}\text{Kr}$ | 100        | $1.3\times 10^{-3}$   | 1.0    | 110     | 碳钢( $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ )                | 55.96                 | $4.75\times 10^{-6}$ | $5.07\times 10^{-9}$ |
|                  |            |   |        | 70      | 铅罐<br>( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ )          | 20.85                 |                      |                      |
|                  |            |   | 1.1    | 117     | 铅玻璃窗的铅当量+铅罐<br>( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 20.85                 | $2.45\times 10^{-6}$ | $2.11\times 10^{-9}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目  $^{85}\text{Kr}$  源生产线取原料时（约 3min）在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $5.07\times 10^{-9}\text{Gy}/\text{h}$ ，也即  $5.07\times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### ⑥ $^{14}\text{C}$ 源生产线

$^{14}\text{C}$  源仅发生 $\beta$ 衰变，衰变时产生 $\beta$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 $\beta$ 射线和韧致辐射。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时，正在进行操作的  $^{14}\text{C}$  源仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。 $^{14}\text{C}$  源的放射性活度按单次操作最大活度  $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi）计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-4~5.2-5 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-20。

表 5.2-20  $^{14}\text{C}$  源生产线 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素              | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 最大射程( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) | 对应防护厚度(mm)                                  |
|-----------------|---------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| $^{14}\text{C}$ | 0.155               | 碳钢   | 7.8                            | 0.028                          | $3.59\times 10^{-2}$                        |
|                 |                     | 铅玻璃  | 2.51~5.19                      |                                | $5.39\times 10^{-2}\sim 1.11\times 10^{-1}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在碳钢中所能穿透的最大厚度为  $3.59\times 10^{-2}\text{mm}$ ，能够被  $^{14}\text{C}$  源生产线屏蔽箱 3mm 厚的碳钢完全阻挡； $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚



度为  $1.11 \times 10^{-1} \text{mm}$ ，能够被  $^{14}\text{C}$  源生产线屏蔽箱 1mm 铅当量的铅玻璃完全阻挡，不会对人体造成影响。工作场所的辐照水平仅取决于韧致辐射。

### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{14}\text{C}$  源的生产过程中， $\beta$ 射线会与碳钢、铅玻璃内层的有机玻璃发生相互作用，产生韧致辐射。由于碳钢的有效原子序数最高，因而本次评价保守考虑 $\beta$ 射线与碳钢的相互作用的结果。

$^{14}\text{C}$  源生产过程中，单批次最大操作量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 60cm。本项目  $^{14}\text{C}$  源生产线的屏蔽箱为 3mm 厚的碳钢，保守起见不考虑其减弱效果，减弱因子的取值为 1。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-21。

表 5.2-21  $^{14}\text{C}$  源生产线韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素              | 活度 (Bq)           | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 $^1(\text{m}^2/\text{kg})$ | 减弱因子 $\text{K}^2$ | 剂量率 (Gy/h)             |
|-----------------|-------------------|------|---------------------|----------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|
| $^{14}\text{C}$ | $3.7 \times 10^8$ | 26   | 0.155               | 1        | $3.863 \times 10^{-3}$              | 1                 | $5.77 \times 10^{-21}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 参考《辐射防护基础》附表 7。

由上表可知，本项目  $^{14}\text{C}$  源生产线在计算点处的剂量率为  $5.77 \times 10^{-21} \text{Gy/h}$ ，也即  $5.77 \times 10^{-15} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### C. 取原料时韧致辐射的辐照

考虑到  $^{14}\text{C}$  源以韧致辐射为主，原料的内包装为带密封盖的不锈钢瓶，原料罐为 3mmPb 的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-22。

表 5.2-22  $^{14}\text{C}$  源生产线取原料时韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素              | 活度 (Bq)              | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 $^1(\text{m}^2/\text{kg})$ | 减弱因子 $\text{K}^2$ | 剂量率 (Gy/h)             |
|-----------------|----------------------|------|---------------------|----------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|
| $^{14}\text{C}$ | $3.7 \times 10^{10}$ | 26   | 0.155               | 1        | $3.863 \times 10^{-3}$              | 1                 | $5.77 \times 10^{-19}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 参考《辐射防护基础》附表 7。

由上表可知，本项目  $^{14}\text{C}$  源生产线取原料时（约 3min）在计算点处的剂量率为  $5.77 \times 10^{-19} \text{Gy/h}$ ，也即  $5.77 \times 10^{-13} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### ⑦<sup>137</sup>Cs 源生产线

<sup>137</sup>Cs 仅发生 $\beta$ 衰变,衰变时产生 $\beta$ 射线, $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射;其衰变子核 <sup>137m</sup>Ba 发生 IT 衰变,衰变时产生  $\gamma$  射线,因而在评价工作场所的辐照水平时,需要同时考虑 $\beta$ 射线、韧致辐射和  $\gamma$  辐射。评价选择距热室前墙、屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小,故可视为点源。在热室、屏蔽箱内进行生产操作时,正在进行操作的 <sup>137</sup>Cs 源仅由热室墙体、屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。<sup>137</sup>Cs 源的放射性活度按单次操作最大活度  $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$  (3Ci) 计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-4~5.2-5 计算,计算的主要参数及结果见表 5.2-23。

表 5.2-23 <sup>137</sup>Cs 源生产线 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)                      |
|-------------------|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <sup>137</sup> Cs | 1.176               | 碳钢   | 7.8                      | 0.5045                   | $6.47 \times 10^{-1}$           |
|                   |                     | 铅玻璃  | 2.51~5.19                |                          | $9.72 \times 10^{-1} \sim 2.01$ |
|                   |                     | 轻混凝土 | 2.2                      |                          | 2.29                            |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在碳钢中所能穿透的最大厚度为  $6.47 \times 10^{-1} \text{mm}$ , 能够被 <sup>137</sup>Cs 源生产线屏蔽箱 270~290mm 厚的碳钢完全阻挡; $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚度为 2.01mm, 能够被 <sup>137</sup>Cs 源生产线屏蔽箱 122~152mm 铅当量的铅玻璃完全阻挡; $\beta$ 射线在轻混凝土中所能穿透的最大厚度为 2.29mm, 能够被 <sup>137</sup>Cs 源生产线热室 850~1150mm 厚的轻混凝土墙体完全阻挡, 不会对人体造成影响。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射,物质的原子序数越高,所产生的韧致辐射越强。在 <sup>137</sup>Cs 源的生产过程中, $\beta$ 射线会与碳钢、铅玻璃内层的有机玻璃、轻混凝土墙体发生相互作用,产生韧致辐射。由于热室、屏蔽箱内轻混凝土、碳钢的有效原子序数分别为最高,因而本次评价热室、屏蔽箱分别保守考虑 $\beta$ 射线与碳钢的相互作用的结果。

<sup>137</sup>Cs 源生产过程中,单批次最大操作量为  $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。评价选择距热室墙体、屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点,热室内空气层厚度为 60cm,屏蔽箱内空气层厚度为 50cm。对 0.5MeV 的 $\gamma$ 射线,1003mm 厚的轻混凝土减弱因子为  $2.0 \times 10^6$ ,



本项目  $^{137}\text{Cs}$  源生产线的热室前区墙体为 1150mm 厚的轻混凝土，保守考虑其减弱因子的取值为  $2.0 \times 10^6$ ；对 0.5MeV 的  $\gamma$  射线，283mm 厚的碳钢减弱因子为  $2.0 \times 10^6$ ，本项目  $^{137}\text{Cs}$  源生产线的前区屏蔽为 290mm 厚的碳钢，保守考虑其减弱因子的取值为  $2.0 \times 10^6$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-24。

表 5.2-24  $^{137}\text{Cs}$  源生产线韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)               | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量 (MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 $^1(\text{m}^2/\text{kg})$ | 减弱因子 $K^2$        | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|-----------------------|------|----------------------|----------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|
| $^{137}\text{Cs}$ | $1.11 \times 10^{11}$ | 26   | 1.176                | 2.1      | $2.943 \times 10^{-3}$              | $2.0 \times 10^6$ | $2.59 \times 10^{-12}$ |
|                   |                       | 14   |                      | 1.1      |                                     | $2.0 \times 10^6$ | $4.02 \times 10^{-12}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 6、7。

由上表可知，本项目中核同源生产厂房在计算点处的韧致辐射剂量率为  $4.02 \times 10^{-12} \text{Gy/h}$ ，也即  $4.02 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-25。

表 5.2-25  $^{137}\text{Cs}$  源生产线操作前区  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 $^1(\text{R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1})$ | 距离 (m) | 屏蔽层     |                               | 什值层 (mm) $^2$ | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-------------------|------------|---|--------|---------|-------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |            |   |        | 厚度 (mm) | 材料                            |               |                       |                       |
| $^{137}\text{Cs}$ | 3          | 0.32  | 2.1    | 1150    | 普通混凝土 (2.2g/cm <sup>3</sup> ) | 240           | $1.62 \times 10^{-5}$ | $3.19 \times 10^{-8}$ |
|                   |            |   | 2.1    | 152     | 铅玻璃窗的铅当量                      | 28            | $3.73 \times 10^{-6}$ | $7.06 \times 10^{-9}$ |
|                   |            |   | 1.1    | 290     | 碳钢 (7.8g/cm <sup>3</sup> )    | 64            | $2.94 \times 10^{-5}$ | $2.05 \times 10^{-7}$ |
|                   |            |   | 1.2    | 122     | 铅玻璃窗的铅当量                      | 28            | $4.39 \times 10^{-5}$ | $2.66 \times 10^{-7}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目  $^{137}\text{Cs}$  源生产线在计算点处的  $\gamma$  剂量率最大为  $2.66 \times 10^{-7} \text{Gy/h}$ ，也即  $2.66 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和  $\gamma$  射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-26。

表 5.2-26  $^{137}\text{Cs}$  源生产线操作前区辐照水平计算结果

| 核素                | 韧致辐射所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| $^{137}\text{Cs}$ | $4.02 \times 10^{-6}$             | $2.66 \times 10^{-1}$                    | $2.67 \times 10^{-1}$        |

由上表可知，本项目研发中心在计算点处的剂量率为  $2.67 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### E. 取原料时 $\gamma$ 射线的辐照

考虑到  $^{137}\text{Cs}$  源以  $\gamma$  辐射为主，原料罐为 170mmPb 的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-27。

表 5.2-27  $^{137}\text{Cs}$  源生产线取原料时操作前区  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度<br>(Ci) | 照射量率<br>常数 <sup>1</sup><br>( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离<br>(m) | 屏蔽层        |  | 什值层<br>(mm) <sup>2</sup> | 减弱因子                   | 剂量率<br>(Gy/h)          |
|-------------------|---------------|---|-----------|------------|--|--------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |               |   |           | 厚度<br>(mm) | 材料   |                          |                        |                        |
| $^{137}\text{Cs}$ | 1000          | 0.32  | 2.1       | 1150       | 普通混凝土<br>( $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ )             | 240                      | $1.37 \times 10^{-11}$ | $9.03 \times 10^{-12}$ |
|                   |               |   |           | 170        | 铅罐<br>( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ )              | 28                       |                        |                        |
|                   |               |   | 2.1       | 152        | 铅玻璃窗的铅<br>当量+铅罐<br>( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 28                       | $3.16 \times 10^{-12}$ | $2 \times 10^{-12}$    |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目  $^{137}\text{Cs}$  源生产线取原料时（约 3min）在计算点处的  $\gamma$  剂量率最大为  $9.03 \times 10^{-12} \text{Gy/h}$ ，也即  $9.03 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### ⑧ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间涉及  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{90}\text{Y}$  两种核素， $^{90}\text{Sr}$  和  $^{90}\text{Y}$  仅发生  $\beta$  衰变，衰变时仅产生  $\beta$  射线， $\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑  $\beta$  射线和韧致辐射。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。在屏蔽箱内进行生产操作时，正在进行操作  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  仅由屏蔽箱或铅屏蔽窗进行屏蔽。 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  的放射性活度按单次操作最大活度  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ （100mCi）计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。

$\beta$ 射线对铅的最大射程计算根据式 5.2-5~5.2-6 计算,  $\beta$ 射线对铅玻璃的最大射程计算根据式 5.2-4~5.2-5 计算, 计算的主要参数及结果见表 5.2-28。

表 5.2-28  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素               | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)                                     |
|------------------|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|--|
| $^{90}\text{Sr}$ | 0.546               | 铅    | 11.34                    | 0.185                    | $2.41 \times 10^{-1}$                          |
|                  |                     | 铅玻璃  | 2.51~5.19                |                          | $3.57 \times 10^{-1} \sim 7.37 \times 10^{-1}$ |
| $^{90}\text{Y}$  | 2.288               | 铅    | 11.34                    | 1.0996                   | 1.01   |
|                  |                     | 铅玻璃  | 2.51~5.19                |                          | 2.12~4.38                                      |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在铅中所能穿透的最大厚度为 1.01mm, 能够被  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间屏蔽箱 50mm 厚的铅完全阻挡;  $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚度为 4.38mm, 能够被  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间屏蔽箱 50mm 铅当量的铅玻璃完全阻挡, 不会对人体造成影响。工作场所的辐照水平仅取决于韧致辐射。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射, 物质的原子序数越高, 所产生的韧致辐射越强。在  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  的实验过程中,  $\beta$ 射线会与铅、铅玻璃内层的有机玻璃发生相互作用, 产生韧致辐射。由于铅的有效原子序数最高, 因而本次评价保守考虑  $^{90}\text{Y}$  产生的 $\beta$ 射线与铅的相互作用的结果。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验过程中, 单批次最大操作量为  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱或铅玻璃表面 30cm 处作为计算点, 屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 1.0MeV 的  $\gamma$  射线, 48mm 厚的铅减弱因子为 20, 本项目  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间的屏蔽箱为 50mm 厚的铅, 保守考虑其减弱因子的取值为 20。按式 5.2-7~5.2-8 计算, 主要计算参数及计算结果见表 5.2-29。

表 5.2-29  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                             | 活度 (Bq)           | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /kg) | 减弱因子 K <sup>2</sup> | 剂量率 (Gy/h)            |
|--------------------------------|-------------------|------|---------------------|----------|--|---------------------|-----------------------|
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ | $3.7 \times 10^9$ | 82   | 2.288               | 0.7      | $2.896 \times 10^{-3}$                     | 20                  | $1.63 \times 10^{-6}$ |

注: <sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得;

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知, 本项目中核同源生产厂房在计算点处的剂量率为  $1.63 \times 10^{-6} \text{Gy/h}$ ,

也即  $1.63\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### C.取原料时韧致辐射的辐照

考虑到  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  以韧致辐射为主，原料的内包装为丁基橡胶塞密封的壁厚 5mm 的玻璃瓶，原料罐为 4mmPb 的铅罐，主要计算参数及计算结果见表 5.2-30。

表 5.2-30  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间取原料时韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                             | 活度 (Bq)               | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | 减弱因子 $K^2$ | 剂量率 (Gy/h)            |
|--------------------------------|-----------------------|------|---------------------|----------|--|------------|-----------------------|
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ | $5.55 \times 10^{10}$ | 10.6 | 2.288               | 0.7      | $2.896 \times 10^{-3}$                           | 30         | $2.11 \times 10^{-6}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目中核同源生产厂房取原料时（约 3min）在计算点处的剂量率为  $2.11 \times 10^{-6}\text{Gy/h}$ ，也即  $2.11\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

## 2) 放射源库

### ①整备热室

退役  $^{60}\text{Co}$  源再利用生产线布置于放射源库的整备热室。 $^{60}\text{Co}$  为 $\beta$ 衰变，衰变时产生 $\beta$ 射线和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 $\beta$ 射线、韧致辐射和 $\gamma$ 射线。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。在整备热室内进行生产操作时，正在进行操作的  $^{60}\text{Co}$  源仅由重混凝土墙体或铅屏蔽窗进行屏蔽。 $^{60}\text{Co}$  源的放射性活度按单次操作最大活度  $2.59 \times 10^{14}\text{Bq}$  (7000Ci) 计。

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-31。

表 5.2-31 整备热室  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                    | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|------------------|------------|--|--------|---------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                                 |                                  |                       |                       |
| $^{60}\text{Co}$ | 7000       | 1.32   | 2.4    | 1100    | 重混凝土 ( $3.6\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 160                              | $1.33 \times 10^{-7}$ | $1.94 \times 10^{-6}$ |
|                  |            |  | 2.5    | 321     | 铅玻璃的铅当量                            | 40                               | $9.44 \times 10^{-9}$ | $1.19 \times 10^{-7}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目整备热室操作  $^{60}\text{Co}$  时在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为

$1.94 \times 10^{-6} \text{Gy/h}$ ，也即  $1.94 \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

## ②源井

源井不用于贮源，只用于回收源的倒装作业，操作也均在井下进行。源井水层深度既要保证设计最大倒源量（100 万 Ci）时井上工作人员的安全，又要保证进行水下各种操作时，有足够的水屏蔽层。

### A.设计最大装源量的源在搁架

当设计最大倒源量（100 万 Ci）的源在搁架位置时，示意图见图 5.2-1（a），源上方的水层有效厚度取 5m。

### B.倒源状态

假定倒源时搁架上的钴源总活度为一次整备的操作量（7000Ci），且一根长 0.451m 的钴棒（1000Ci）处在搁架上方，钴棒上端距离水面的距离取 3.5m，示意图见图 5.2-1（b）。

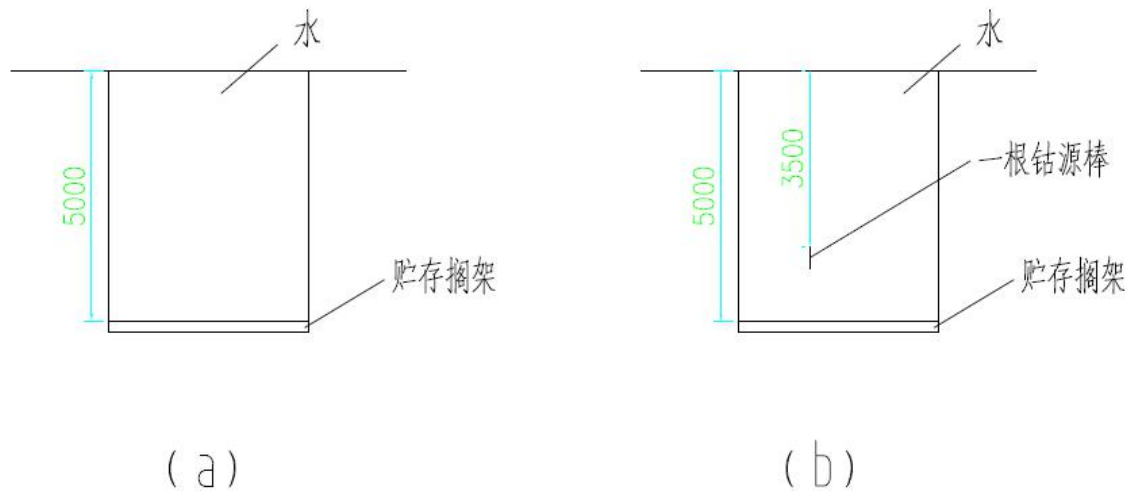


图 5.2-1 源井屏蔽示意图 (a) 设计最大装源量的源位于搁架 (b) 倒源

参照公式 5.2-1~5.2-3 进行计算，计算参数及结果见表 5.2-32。

表 5.2-32 源井屏蔽计算结果

| 放射源状态  | 放射源活度 (Ci)        | 距离 (m) | 水 (1g/cm <sup>3</sup> ) 层厚度 (mm) | 什值层 (mm) <sup>1</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (μGy/h)           |
|--------|-------------------|--------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 设计最大装源 | 1×10 <sup>6</sup> | 5      | 5000                             | 600                   | 4.64×10 <sup>-9</sup> | 2.13                  |
| 倒源     | 7×10 <sup>3</sup> | 5      | 5000                             |                       | 4.64×10 <sup>-9</sup> | 1.49×10 <sup>-2</sup> |
|        | 1×10 <sup>3</sup> | 3.5    | 3500                             |                       | 1.47×10 <sup>-6</sup> | 1.37                  |

注：<sup>1</sup>出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由以上计算结果可知，a、b 两种假设情景下，经去离子水层屏蔽后，源井口处的剂量率均小于 2.5μSv/h，场所的辐照水平满足要求。

### ③贮存地坑

贮存地坑规格为 6m×1.5m×1.8m，共 20 个，盖板均为 14cm 的碳钢板。主要贮存各种退役放射源、长时间不用的生产原料和长时间不销售的产品等。收集放射源、原料、及产品的铅罐型号各异，最大表面剂量率为 2mSv/h。以 <sup>60</sup>Co 为代表性核素，贮存地坑的屏蔽能力计算如下：

根据《辐射防护手册》第一分册的半无限体源计算公式 5.36、5.37 相比得到：

$$S_1 = S_2 BE(b) \quad \text{式 5.2-9}$$

其中：

$S_1$ ——盖板外表面的剂量率，mSv/h；

$S_2$ ——铅罐表面剂量率，mSv/h，取 2 mSv/h；

$B$ ——盖板的累计因子，根据《放射卫生学》P144 表 4-23 插值得，<sup>60</sup>Co 的光子平均能量为 1.25MeV，吸收物质的厚度  $\mu d = 0.4255 \times 14 = 5.957$ ，则  $B = 7.723$ ；

$b$ —— $b = \mu R$ ，其中  $\mu$  为盖板的线性衰减系数，根据《放射卫生学》P141 表 4-20 插值得， $\mu = 0.4255 \text{cm}^{-1}$ ， $R$  为盖板厚度，cm， $R = 14 \text{cm}$ ，则  $b = 5.957$ ；

$E(b)$  ——特殊函数值。

$E(b)$  值的计算方法：

根据《辐射防护手册》第一分册附录 A，当  $1 \leq b \leq 110$  时，

$$E(b) = \frac{e^{-b}}{b} \left( \frac{a_0 + a_1 b + a_2 b^2 + b^3}{c_0 + c_1 b + c_2 b^2 + b^3} \right) \quad \text{式 5.2-10}$$

其中：

$a_0 = 0.2372905$ ， $a_1 = 4.5307924$ ， $a_2 = 5.1266902$ ；

$c_0 = 2.4766331$ ， $c_1 = 8.6660126$ ， $c_2 = 6.1265272$ 。

本项目  $b=5.957$ ，因此，由式 5.2-10 可得  $E(b) = 3.78 \times 10^{-4}$ 。

根据式 5.2-9，计算地坑盖板外表面剂量率  $S_I = 2 \times 7.723 \times 3.78 \times 10^{-4} = 5.843 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 。

### 3) 辐射中心

#### ① 贯穿辐射

本项目辐照装置最大装源量为  $1.48 \times 10^{17} \text{Bq}$  ( $4 \times 10^6 \text{Ci}$ ) 的  $^{60}\text{Co}$  双板源， $\gamma$ 射线平均能量为  $1.25 \text{MeV}$ ，当点源与预测点之间存在屏蔽介质的情况下，点源产生的 $\gamma$ 射线致辐照室屏蔽墙（普通混凝土，密度  $2.3 \text{g/cm}^3$ ）外透射吸收剂量率，按式 5.2-1~式 5.2-3 计算，可得不同预测点位的贯穿辐射剂量率。

将放射源等效为 14 个  $2.8 \times 10^5 \text{Ci}$  的点源，这些点源分别位于每个源架的几何中心。

计算结果列于表 5.2-33，各预测点位示意图见图 5.2-2。



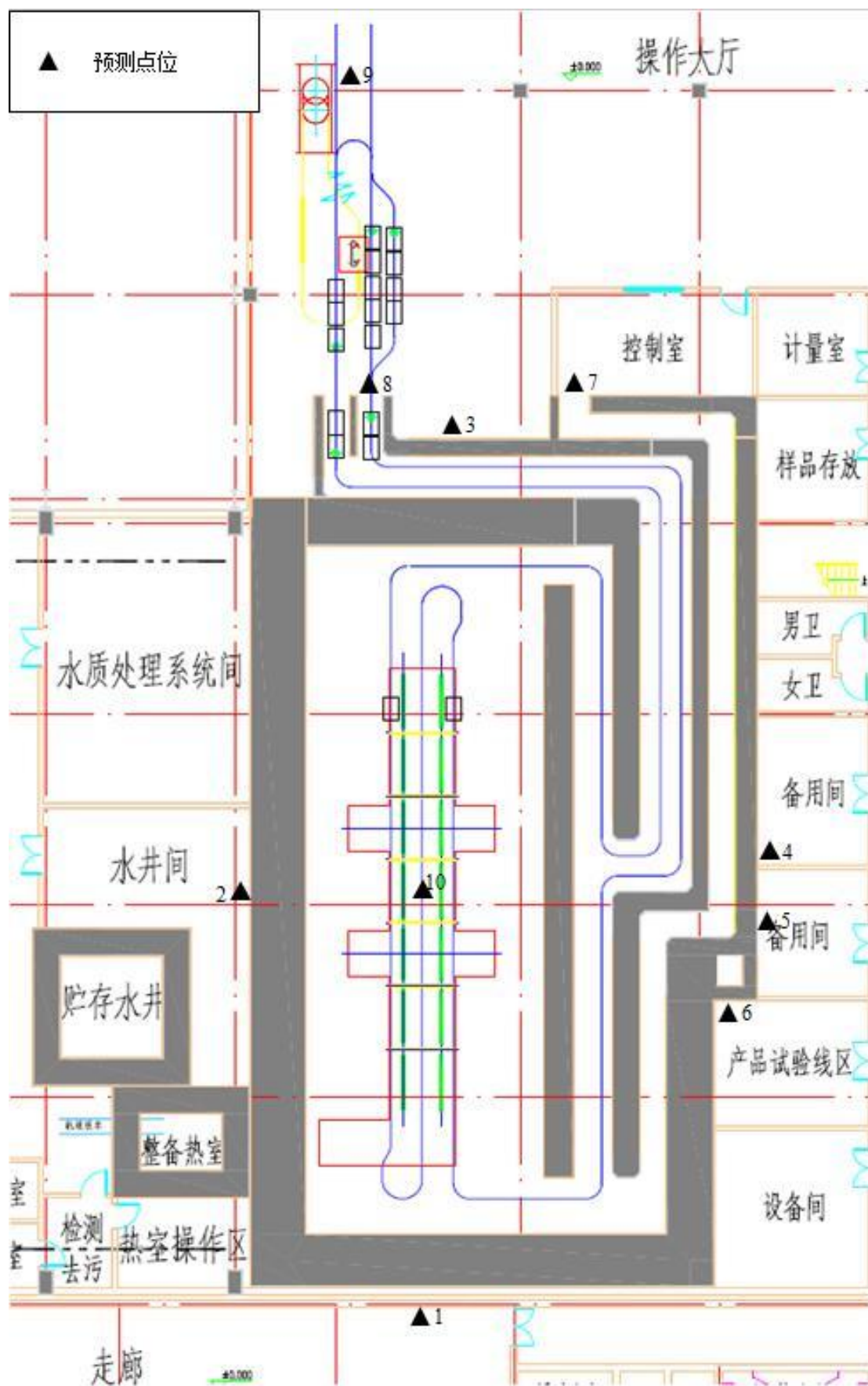


图 5.2-2 辐照中心屏蔽体外剂量率关注点位

表 5.2-33 辐照室墙外剂量率的估算结果

| 序号 | 位置             | 距离<br>(m) | 普通混凝土<br>(2.3g/cm <sup>3</sup> ) 墙厚<br>度 (mm) | 半值层<br>(mm) <sup>1</sup> | 减弱因<br>子 | 剂量率<br>(Gy/h) |          |
|----|----------------|-----------|---|--------------------------|----------|---------------|----------|
| 1  | 东南墙外<br>(走廊)   | 左 1       | 24.10   | 2101                     | 223      | 3.80E-10      | 2.10E-09 |
|    |                | 左 2       | 21.62   | 2101.3                   |          | 3.78E-10      | 2.60E-09 |
|    |                | 左 3       | 19.14   | 2101.6                   |          | 3.77E-10      | 3.31E-09 |
|    |                | 左 4       | 16.73   | 2102.1                   |          | 3.75E-10      | 4.31E-09 |
|    |                | 左 5       | 14.19   | 2102.9                   |          | 3.72E-10      | 5.94E-09 |
|    |                | 左 6       | 11.71   | 2104.3                   |          | 3.67E-10      | 8.59E-09 |
|    |                | 左 7       | 9.19  | 2107                     |          | 3.57E-10      | 1.36E-08 |
|    |                | 右 1       | 24.10   | 2101                     |          | 3.80E-10      | 2.10E-09 |
|    |                | 右 2       | 21.62   | 2101.3                   |          | 3.78E-10      | 2.60E-09 |
|    |                | 右 3       | 19.14   | 2101.6                   |          | 3.77E-10      | 3.31E-09 |
|    |                | 右 4       | 16.73   | 2102.1                   |          | 3.75E-10      | 4.31E-09 |
|    |                | 右 5       | 14.19   | 2103                     |          | 3.72E-10      | 5.93E-09 |
|    |                | 右 6       | 11.71   | 2104.3                   |          | 3.67E-10      | 8.59E-09 |
|    |                | 右 7       | 9.19  | 2107.1                   |          | 3.56E-10      | 1.36E-08 |
|    |                | 合计        |   |                          |          |               |          |
| 2  | 西南墙外<br>(水井间)  | 左 1       | 9.70  | 3393.4                   | 223      | 6.09E-16      | 2.08E-14 |
|    |                | 左 2       | 7.98  | 2790.9                   |          | 3.06E-13      | 1.54E-11 |
|    |                | 左 3       | 6.75  | 2359.8                   |          | 2.62E-11      | 1.85E-09 |
|    |                | 左 4       | 6.3   | 2200                     |          | 1.37E-10      | 1.11E-08 |
|    |                | 左 5       | 6.79  | 2374.9                   |          | 2.24E-11      | 1.56E-09 |
|    |                | 左 6       | 8.06  | 2816.2                   |          | 2.36E-13      | 1.17E-11 |
|    |                | 左 7       | 9.84  | 3438.8                   |          | 3.81E-16      | 1.26E-14 |
|    |                | 右 1       | 10.74   | 3033                     |          | 2.51E-14      | 7.00E-13 |
|    |                | 右 2       | 9.21  | 2601.6                   |          | 2.16E-12      | 8.18E-11 |
|    |                | 右 3       | 8.17  | 2306.5                   |          | 4.55E-11      | 2.19E-09 |
|    |                | 右 4       | 7.80  | 2202.8                   |          | 1.33E-10      | 7.00E-09 |
|    |                | 右 5       | 8.20  | 2316.5                   |          | 4.10E-11      | 1.96E-09 |
|    |                | 右 6       | 9.28  | 2619.3                   |          | 1.80E-12      | 6.72E-11 |
|    |                | 右 7       | 10.86   | 3066.1                   |          | 1.79E-14      | 4.86E-13 |
|    |                | 合计        |   |                          |          |               |          |
| 3  | 西北墙外<br>(操作大厅) | 左 1       | 10.64   | 2606.4                   | 223      | 2.06E-12      | 5.84E-11 |
|    |                | 左 2       | 13.11   | 2604.2                   |          | 2.10E-12      | 3.93E-11 |
|    |                | 左 3       | 15.59   | 2603                     |          | 2.13E-12      | 2.82E-11 |
|    |                | 左 4       | 18.01   | 2602.3                   |          | 2.15E-12      | 2.13E-11 |
|    |                | 左 5       | 20.54   | 2601.8                   |          | 2.16E-12      | 1.64E-11 |
|    |                | 左 6       | 23.02   | 2601.4                   |          | 2.17E-12      | 1.31E-11 |
|    |                | 左 7       | 25.56   | 2601.1                   |          | 2.17E-12      | 1.07E-11 |
|    |                | 右 1       | 10.64   | 2606.4                   |          | 2.06E-12      | 5.84E-11 |
|    |                | 右 2       | 13.11   | 2604.2                   |          | 2.10E-12      | 3.93E-11 |
|    |                | 右 3       | 15.59   | 2603                     |          | 2.13E-12      | 2.82E-11 |
|    |                | 右 4       | 18.01   | 2602.3                   |          | 2.15E-12      | 2.13E-11 |
|    |                | 右 5       | 20.54   | 2601.8                   |          | 2.16E-12      | 1.64E-11 |

|   |                      |     |       |        |     |          |          |
|---|----------------------|-----|-------|--------|-----|----------|----------|
|   |                      | 右 6 | 23.02 | 2601.4 |     | 2.17E-12 | 1.31E-11 |
|   |                      | 右 7 | 25.56 | 2601.1 |     | 2.17E-12 | 1.07E-11 |
|   |                      | 合计  |       |        |     |          |          |
| 4 | 东北墙外<br>(备用间)        | 左 1 | 15.34 | 4227.2 | 223 | 1.11E-19 | 1.52E-18 |
|   |                      | 左 2 | 14.59 | 4018.7 |     | 9.56E-19 | 1.44E-17 |
|   |                      | 左 3 | 14.23 | 2813.4 |     | 2.43E-13 | 3.85E-12 |
|   |                      | 左 4 | 14.29 | 2825.6 |     | 2.14E-13 | 3.36E-12 |
|   |                      | 左 5 | 14.79 | 3147.3 |     | 7.72E-15 | 1.13E-13 |
|   |                      | 左 6 | 15.66 | 5828.4 |     | 7.35E-27 | 9.62E-26 |
|   |                      | 左 7 | 16.88 | 5702   |     | 2.71E-26 | 3.05E-25 |
|   |                      | 右 1 | 13.97 | 4297.2 |     | 5.39E-20 | 8.88E-19 |
|   |                      | 右 2 | 13.13 | 4040.2 |     | 7.66E-19 | 1.43E-17 |
|   |                      | 右 3 | 12.73 | 3189.5 |     | 5.00E-15 | 9.90E-14 |
|   |                      | 右 4 | 12.81 | 2831.6 |     | 2.01E-13 | 3.94E-12 |
|   |                      | 右 5 | 13.35 | 3950.3 |     | 1.94E-18 | 3.49E-17 |
|   |                      | 右 6 | 14.31 | 6528.9 |     | 5.31E-30 | 8.32E-29 |
|   |                      | 右 7 | 15.64 | 5418.6 |     | 5.05E-25 | 6.63E-24 |
|   |                      | 合计  |       |        |     |          |          |
| 5 | 东北墙外<br>(备用间)        | 左 1 | 16.86 | 3697.1 | 223 | 2.65E-17 | 2.99E-16 |
|   |                      | 左 2 | 15.66 | 3789   |     | 1.02E-17 | 1.34E-16 |
|   |                      | 左 3 | 14.79 | 5061.8 |     | 2.01E-23 | 2.95E-22 |
|   |                      | 左 4 | 14.3  | 3231.9 |     | 3.22E-15 | 5.06E-14 |
|   |                      | 左 5 | 14.23 | 4439.7 |     | 1.24E-20 | 1.96E-19 |
|   |                      | 左 6 | 14.58 | 6063.4 |     | 6.49E-28 | 9.81E-27 |
|   |                      | 左 7 | 15.36 | 6386   |     | 2.32E-29 | 3.16E-28 |
|   |                      | 右 1 | 15.62 | 4562.9 |     | 3.47E-21 | 4.57E-20 |
|   |                      | 右 2 | 14.32 | 3452.3 |     | 3.31E-16 | 5.19E-15 |
|   |                      | 右 3 | 13.35 | 4803.6 |     | 2.89E-22 | 5.21E-21 |
|   |                      | 右 4 | 12.81 | 3235.7 |     | 3.10E-15 | 6.07E-14 |
|   |                      | 右 5 | 12.73 | 4759.7 |     | 4.55E-22 | 9.02E-21 |
|   |                      | 右 6 | 13.13 | 6102.4 |     | 4.34E-28 | 8.08E-27 |
|   |                      | 右 7 | 13.99 | 6458.6 |     | 1.10E-29 | 1.80E-28 |
|   |                      | 合计  |       |        |     |          |          |
| 6 | 东北墙外<br>(产品试验<br>线间) | 左 1 | 17.23 | 5836.3 | 223 | 6.77E-27 | 7.32E-26 |
|   |                      | 左 2 | 15.61 | 5282.3 |     | 2.06E-24 | 2.72E-23 |
|   |                      | 左 3 | 14.24 | 4819.1 |     | 2.46E-22 | 3.90E-21 |
|   |                      | 左 4 | 13.2  | 4471.5 |     | 8.92E-21 | 1.64E-19 |
|   |                      | 左 5 | 12.57 | 4261   |     | 7.84E-20 | 1.59E-18 |
|   |                      | 左 6 | 12.41 | 4207   |     | 1.37E-19 | 2.85E-18 |
|   |                      | 左 7 | 12.74 | 4319.3 |     | 4.29E-20 | 8.49E-19 |
|   |                      | 右 1 | 16.19 | 6029.1 |     | 9.25E-28 | 1.13E-26 |
|   |                      | 右 2 | 14.45 | 5567.4 |     | 1.09E-25 | 1.67E-24 |
|   |                      | 右 3 | 12.96 | 4992.6 |     | 4.11E-23 | 7.86E-22 |
|   |                      | 右 4 | 11.8  | 4548   |     | 4.05E-21 | 9.34E-20 |
|   |                      | 右 5 | 11.09 | 4273   |     | 6.92E-20 | 1.81E-18 |
|   |                      | 右 6 | 10.91 | 4207.8 |     | 1.36E-19 | 3.66E-18 |
|   |                      | 右 7 | 11.3  | 4358   |     | 2.88E-20 | 7.24E-19 |

|    |                 |      |       |        |     |          |          |
|----|-----------------|------|-------|--------|-----|----------|----------|
|    |                 | 合计   |       |        |     |          | 1.18E-17 |
| 7  | 人流迷道口           | 左 1  | 14.28 | 3027.6 | 223 | 2.66E-14 | 4.19E-13 |
|    |                 | 左 2  | 16.46 | 2902.6 |     | 9.66E-14 | 1.15E-12 |
|    |                 | 左 3  | 18.72 | 2824.8 |     | 2.16E-13 | 1.98E-12 |
|    |                 | 左 4  | 21.02 | 2773.5 |     | 3.66E-13 | 2.66E-12 |
|    |                 | 左 5  | 23.36 | 2737.8 |     | 5.30E-13 | 3.12E-12 |
|    |                 | 左 6  | 25.73 | 2712.1 |     | 6.91E-13 | 3.35E-12 |
|    |                 | 左 7  | 28.12 | 2692.8 |     | 8.43E-13 | 3.42E-12 |
|    |                 | 右 1  | 13.58 | 2877.7 |     | 1.25E-13 | 2.18E-12 |
|    |                 | 右 2  | 15.85 | 2795   |     | 2.93E-13 | 3.75E-12 |
|    |                 | 右 3  | 18.18 | 2744.2 |     | 4.96E-13 | 4.82E-12 |
|    |                 | 右 4  | 20.55 | 2711   |     | 6.98E-13 | 5.31E-12 |
|    |                 | 右 5  | 22.94 | 2687.9 |     | 8.87E-13 | 5.41E-12 |
|    |                 | 右 6  | 25.34 | 2705.6 |     | 7.39E-13 | 3.69E-12 |
|    |                 | 右 7  | 27.82 | 3501.1 |     | 2.00E-16 | 8.31E-16 |
|    |                 |      |       | 合计     |     |          |          |
| 8  | 物流迷道口           | 左 1  | 12.38 | 1912.1 | 223 | 2.67E-09 | 5.59E-08 |
|    |                 | 左 2  | 14.85 | 1908.4 |     | 2.77E-09 | 4.04E-08 |
|    |                 | 左 3  | 17.32 | 1906.1 |     | 2.84E-09 | 3.04E-08 |
|    |                 | 左 4  | 19.79 | 1904.7 |     | 2.88E-09 | 2.36E-08 |
|    |                 | 左 5  | 22.27 | 1903.7 |     | 2.91E-09 | 1.88E-08 |
|    |                 | 左 6  | 24.74 | 1903   |     | 2.93E-09 | 1.54E-08 |
|    |                 | 左 7  | 27.27 | 1902.5 |     | 2.95E-09 | 1.27E-08 |
|    |                 | 右 1  | 12.64 | 1951.7 |     | 1.77E-09 | 3.56E-08 |
|    |                 | 右 2  | 15.06 | 1936   |     | 2.09E-09 | 2.95E-08 |
|    |                 | 右 3  | 17.5  | 1926.4 |     | 2.30E-09 | 2.41E-08 |
|    |                 | 右 4  | 19.95 | 1920.2 |     | 2.45E-09 | 1.98E-08 |
|    |                 | 右 5  | 22.41 | 1916   |     | 2.56E-09 | 1.64E-08 |
|    |                 | 右 6  | 24.87 | 1913   |     | 2.64E-09 | 1.37E-08 |
|    |                 | 右 7  | 27.39 | 1910.7 |     | 2.71E-09 | 1.16E-08 |
|    |                 |      |       | 合计     |     |          |          |
| 9  | 装卸货区            | 左 1  | 22.41 | 1907.3 | 223 | 2.80E-09 | 1.79E-08 |
|    |                 | 左 2  | 24.88 | 1905.9 |     | 2.85E-09 | 1.48E-08 |
|    |                 | 左 3  | 27.35 | 1904.9 |     | 2.87E-09 | 1.23E-08 |
|    |                 | 左 4  | 29.83 | 1904.1 |     | 2.90E-09 | 1.05E-08 |
|    |                 | 左 5  | 32.3  | 1903.5 |     | 2.92E-09 | 8.98E-09 |
|    |                 | 左 6  | 34.78 | 1903   |     | 2.93E-09 | 7.78E-09 |
|    |                 | 左 7  | 37.31 | 1902.6 |     | 2.94E-09 | 6.79E-09 |
|    |                 | 右 1  | 22.59 | 2631   |     | 1.60E-12 | 1.00E-11 |
|    |                 | 右 2  | 25.04 | 3629.2 |     | 5.33E-17 | 2.73E-16 |
|    |                 | 右 3  | 27.5  | 4334.4 |     | 3.67E-20 | 1.56E-19 |
|    |                 | 右 4  | 29.96 | 4328.9 |     | 3.89E-20 | 1.39E-19 |
|    |                 | 右 5  | 32.43 | 3797.6 |     | 9.37E-18 | 2.86E-17 |
|    |                 | 右 6  | 34.89 | 2849.7 |     | 1.67E-13 | 4.40E-13 |
|    |                 | 右 7  | 37.42 | 1908.2 |     | 2.78E-09 | 6.37E-09 |
|    |                 |      |       | 合计     |     |          |          |
| 10 | 屋顶 <sup>2</sup> | 单个源架 | 5.85  | 1950   | 223 | 1.80E-09 | 1.69E-07 |

|  |    |          |
|--|----|----------|
|  | 合计 | 2.37E-06 |
|--|----|----------|

注：<sup>1</sup>参考《辐射防护基础》附表 6；

<sup>2</sup>该点位保守考虑为，关注点位于单个源架几何中心的正上方，再乘以 14。

由计算结果知，辐照室屋顶的剂量率最高，可达 2.37 $\mu$ Sv/h，满足相关标准要求。因此，辐照室屏蔽墙（顶）外的剂量率能够满足《 $\gamma$ 辐照装置设计建造和使用规范》（GB17568-2019）中对辐照室“在设计最大装源量的前提下，屏蔽体外剂量率不应超过 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

## ②迷道散射

采用《 $\gamma$ 辐照装置的辐射防护与安全规范》（GB10252-2009）附录 A 中（即《辐射防护手册》第一分册 放射源与屏蔽）推荐的计算方法估算迷道口处的散射辐射剂量率。

为估算迷道口处的散射辐射剂量率，需要对迷道中的 $\gamma$ 射线多次散射进行计算，由于 $\gamma$ 射线散射反照率较小，因此，通常以最小散射次数的径迹来估算射线的多次散射，并按照该散射角初次散射的 $\gamma$ 光子能量作为整个散射 $\gamma$ 谱的近似代表，散射面上的源也可看成均匀的点源。

本项目迷道设计较为复杂，为多重“S”型，由图 5.2-3 可以看出，在最极端无屏蔽的情况下，无论是人员迷道，还是物流迷道，射线至少经过多次散射才能到达迷道口。因两侧物流迷道设计较为对称，为简化计算，这里仅以近似点源模式估算物流迷道口以及人员迷道入口处的散射辐射剂量率。

射线在人行迷道中至少要散射六次才能到达控制室门口（绿色线），射线在货物迷道中至少要散射五次才能到达货物出入口门口（红色线）。

根据 GB10252-2009 附录 A 推荐的辐照室迷道计算方法，散射辐射剂量率的计算公式见式 5.2-9~5.2-13：

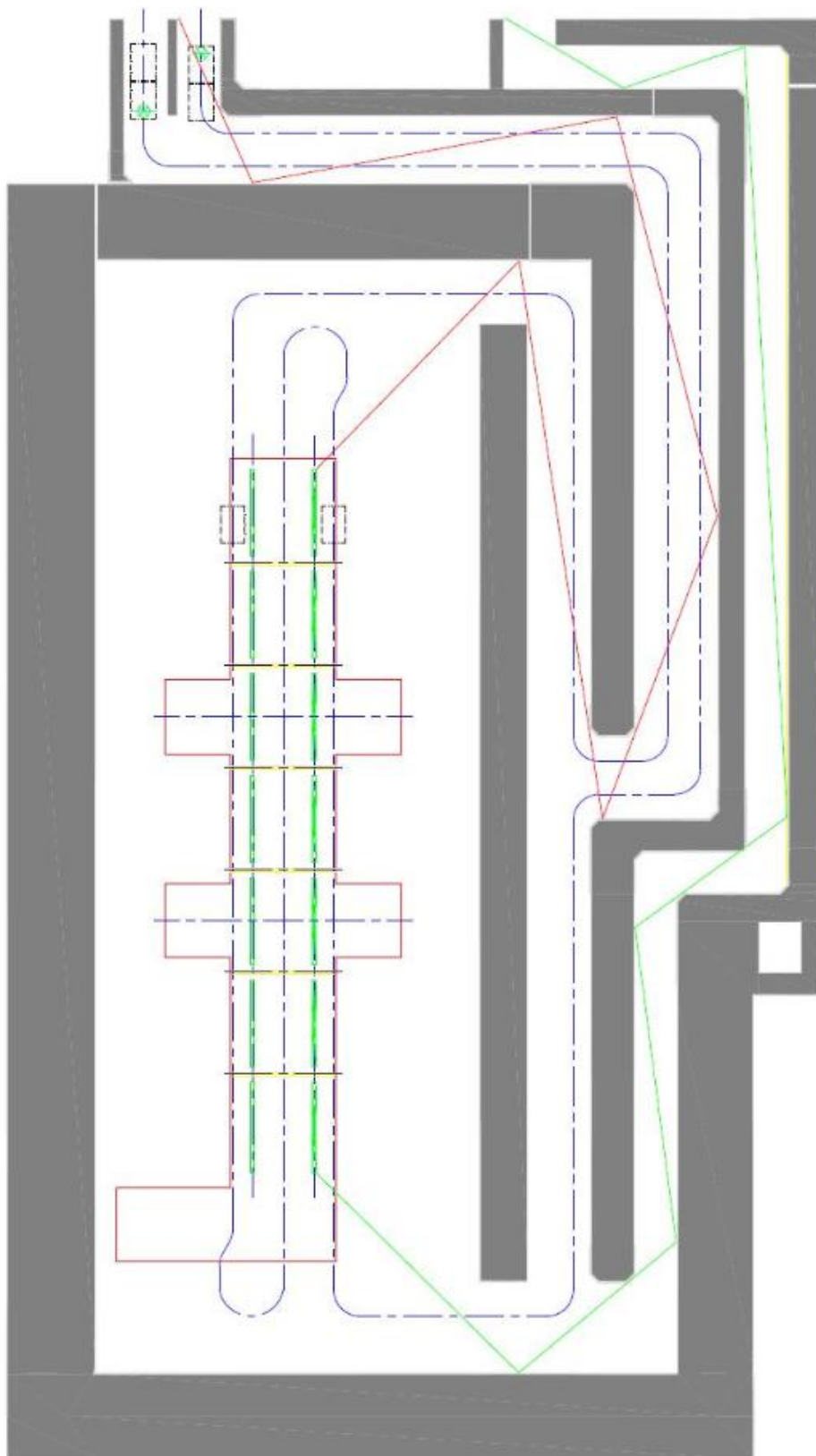


图 5.2-3 辐照中心迷道散射示意图

$$\dot{D}_s = \frac{\dot{D}_0 \cdot \alpha_d \cdot \cos \theta \cdot S}{r^2}$$

式 5.2-11

式中：

$\dot{D}_s$ —经一次散射后某测点位置处的反散射剂量率，Sv/h；

$S$ —散射面的面积， $m^2$ ；

$r$ —散射点到计算点的距离， $m$ ；

$\dot{D}_0$ —入射到面积元  $S$  处的剂量率，Sv/h；

$\alpha_d$ —剂量微分反照率。

其中  $\alpha_d$  计算公式如下：

$$\alpha_d = \frac{c \cdot k(\theta_s) \times 10^{26} + c'}{1 + \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta}} \quad \text{式 5.2-12}$$

式中：

$c$ 、 $c'$ —与入射  $\gamma$  射线能量和散射介质有关的系数；

$\theta_0$ —入射  $\gamma$  射线的入射角， $^\circ$ ；

$\theta$ —散射  $\gamma$  射线的反射角， $^\circ$ ；

$k(\theta_s)$ —公式换算中间量，见公式 (5.2-11)。

其中  $k(\theta_s)$  的计算公式如下：

$$k(\theta_s) = \frac{r_0^2}{2} p [1 + p^2 - p(1 - \cos^2 \theta_s)] \quad \text{式 5.2-13}$$

式中：

$r_0$ —经典电子半径，取  $2.818 \times 10^{-13} \text{cm}$ ；

$p$ —公式换算中间量，见式 5.2-14；

$\theta_s$ —散射方向与入射方向的夹角，见式 5.2-15。

$\gamma$  光子散射前后能量之比：

$$p = \frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos \theta_s)} \quad \text{式 5.2-14}$$

式中：

$E_0$ —入射  $\gamma$  射线能量，MeV；

$E$ —一次散射后  $\gamma$  射线能量，MeV。

散射方向与入射方向的夹角  $\theta_s$  由下式确定：



$$\cos \theta_s = \sin \theta_0 \sin \theta \cos \phi - \cos \theta_0 \cos \theta$$

式 5.2-15

式中：

$\phi$ —入射面与散射面的夹角。

$\gamma$  射线反射简化示意图见图 5.2-4。

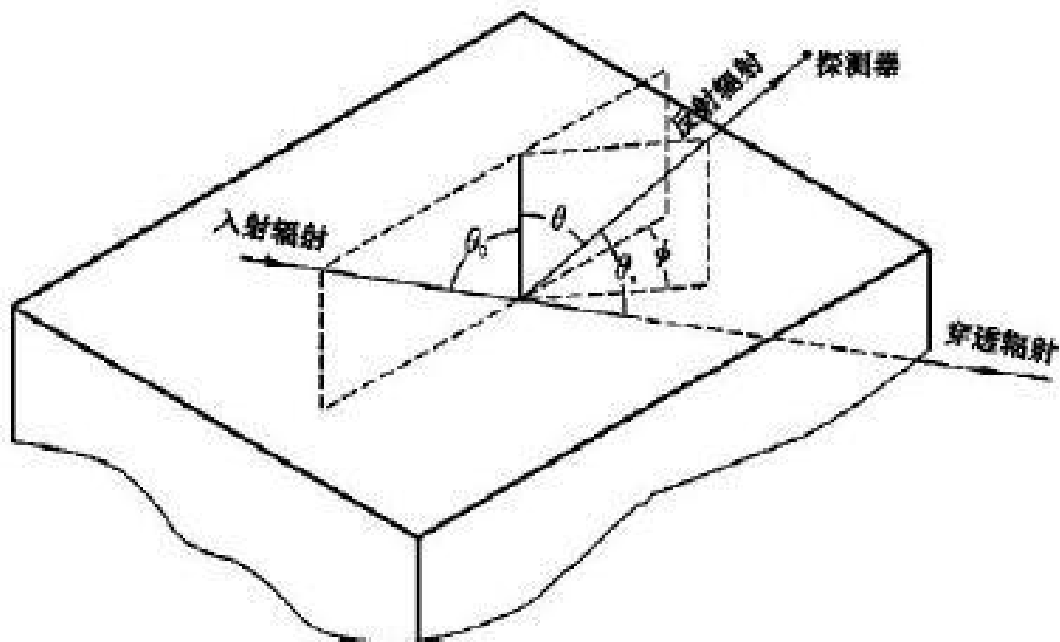


图 5.2-4 计算反散射的示意图

本项目中，保守考虑，认为入射面与散射面是在同一个平面上，即 $\phi$ （入射面与散射面的夹角）为 $0^\circ$ 。

迷道散射计算结果见表 5.2-34。

表 5.2-34 反散射计算所用参数及结果

| 散射路线       | 散射次数 | 入射角 (°) | 反射角 (°) | 散射后能量 (MeV) | 散射面积 (m <sup>2</sup> ) | 距离 (m) | 剂量率 (Sv/h) |
|------------|------|---------|---------|-------------|------------------------|--------|------------|
| 绿线<br>(人行) | 第一次  | 45      | 50      | 0.39        | 10.95                  | 4.97   | 1.00E+01   |
|            | 第二次  | 40      | 83      | 0.29        | 5.00                   | 7.72   | 9.86E-03   |
|            | 第三次  | 83      | 36      | 0.22        | 5.00                   | 4.57   | 2.54E-05   |
|            | 第四次  | 36      | 87      | 0.19        | 6.15                   | 18.73  | 2.45E-09   |
|            | 第五次  | 3       | 71      | 0.13        | 7.13                   | 3.12   | 2.65E-11   |
|            | 第六次  | 71      | 59      | 0.12        | 6.15                   | 3.34   | 3.91E-13   |
| 红线<br>(货行) | 第一次  | 44      | 8       | 0.25        | 7.50                   | 13.70  | 8.53E-01   |
|            | 第二次  | 8       | 21      | 0.13        | 11.50                  | 7.87   | 4.12E-03   |
|            | 第三次  | 69      | 76      | 0.13        | 11.50                  | 10.00  | 1.48E-05   |
|            | 第四次  | 14      | 80      | 0.10        | 9.20                   | 9.00   | 1.71E-08   |
|            | 第五次  | 80      | 24      | 0.09        | 9.20                   | 4.39   | 9.30E-11   |

由计算结果知,在将 400 万 Ci 板源当做近似点源的情况下,辐照室迷道口剂量率考虑透射和散射的累加结果。根据表 5.2-33 和表 5.2-34 的估算结果,人流迷道口处的剂量率合计为  $4.17 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ,物流迷道口处的剂量率合计为  $3.49 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ,均满足《 $\gamma$  辐照装置设计建造和使用规范》(GB17568-2019)中对辐照室“在设计最大装源量的前提下,迷道口处的剂量率不超过  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

### ③屋顶天空反散射

穿透屋顶的  $\gamma$  射线在大气反散射作用下,辐照室周围地面上可能会形成一个附加的辐射场,见图 5.2-5。辐照室外考察点 P 处的剂量率计算,采用《 $\gamma$  辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB10252-2009)附录 A.3 中的推荐方法,见式 5-14。

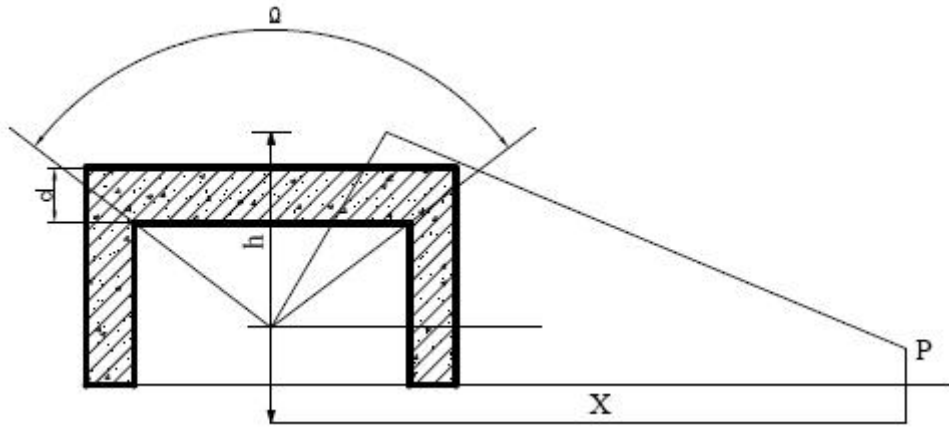


图 5.2-5 天空反散射示意图

$$\dot{D}_P = \frac{8.775 \times 10^{-3} \cdot A \cdot \Omega^{1.3}}{k \cdot h^2 \cdot X^2} \quad \text{式 5.2-16}$$

式中：

$\dot{D}_P$ —P 点的天空反散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A—放射源的放射性活度，MBq，为  $1.48 \times 10^{11}$  MBq；

$\Omega$ — $^{60}\text{Co}$  源对辐照室屋顶所张的立体角，Sr；

h— $^{60}\text{Co}$  源到屋顶上方 2m 处的距离，m；

X— $^{60}\text{Co}$  源到 P 点的距离，m；

k—屋顶对射线的减弱倍数，对于 195cm 的混凝土，k 取  $5.56 \times 10^8$ 。

立体角计算：

辐射源对屏蔽墙所张立体角示意图见图 5.2-6。

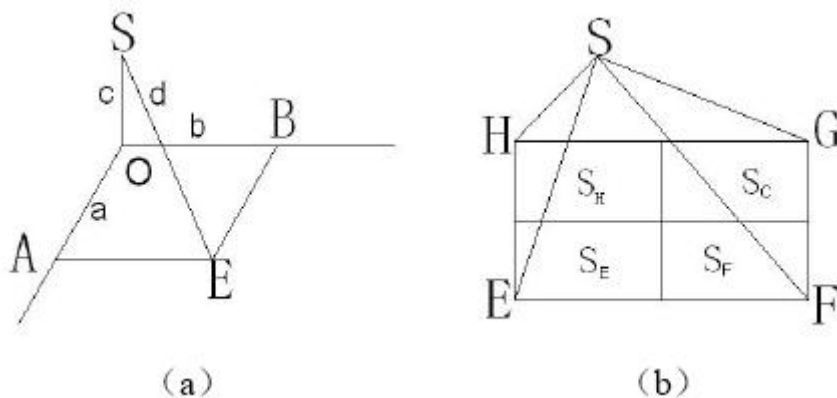


图 5.2-6 辐射源对屏蔽墙所张立体角示意图

对于图 5.2-6 中 (a) 的情况，平面 OABE 对 S 点所张的立体角为：

$$\Omega' = \arctg \frac{ab}{cd} \quad \text{式 5.2-17}$$

实际上，辐射源对屏蔽墙所张立体角经常是如图（b）所示的情况，这可把平面 EFGH 对 S 点所张立体角视为平面 S<sub>E</sub>、S<sub>F</sub>、S<sub>G</sub> 和 S<sub>H</sub> 对 S 点所张立体角  $\Omega_E$ 、 $\Omega_F$ 、 $\Omega_G$  和  $\Omega_H$  之和，即：

$$\Omega = \Omega_E + \Omega_F + \Omega_G + \Omega_H \quad \text{式 5.2-18}$$

根据式 5-15 和式 5-16，计算本辐照中心辐射源对屏蔽墙所张立体角，计算结果见表 5.2-35。

表 5.2-35 立体角计算结果

| 序号 | a (m) | b (m) | c (m) | d (m) | ab/cd | 立体角 $\Omega$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 1  | 13.45 | 4.55  | 2.2   | 14.37 | 1.94  | 1.09         |
| 2  | 13.45 | 4.75  | 2.2   | 14.43 | 2.01  | 1.11         |
| 3  | 13.55 | 4.55  | 2.2   | 14.46 | 1.94  | 1.09         |
| 4  | 13.55 | 4.75  | 2.2   | 14.53 | 2.01  | 1.11         |
| 合计 |       |       |       |       |       | 4.41         |

根据公式 5-14 计算得出不同点位的天空反散射剂量率，估算结果见表 5.2-36。

表 5.2-36 天空反散射参数及结果表

| 距离 X (m) | 屋顶厚度 (cm) | 立体角 (Sr) | 距离 H (m) | 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|----------|-----------|----------|----------|--------------------------|
| 20       | 195       | 4.41     | 6.15     | $1.06 \times 10^{-3}$    |
| 50       |           |          |          | $1.7 \times 10^{-4}$     |
| 100      |           |          |          | $4.25 \times 10^{-5}$    |
| 200      |           |          |          | $1.06 \times 10^{-5}$    |
| 300      |           |          |          | $4.73 \times 10^{-6}$    |
| 500      |           |          |          | $1.7 \times 10^{-6}$     |
| 1000     |           |          |          | $4.25 \times 10^{-7}$    |
| 1500     |           |          |          | $1.89 \times 10^{-7}$    |
| 2000     |           |          |          | $1.06 \times 10^{-7}$    |
| 2500     |           |          |          | $6.81 \times 10^{-8}$    |
| 3000     |           |          |          | $4.73 \times 10^{-8}$    |

从表 5.2-36 中计算结果可知，经厚度为 195cm 的混凝土顶层屏蔽后，天空反散

射对周边环境的影响较小。

#### ④贮源井水辐射防护

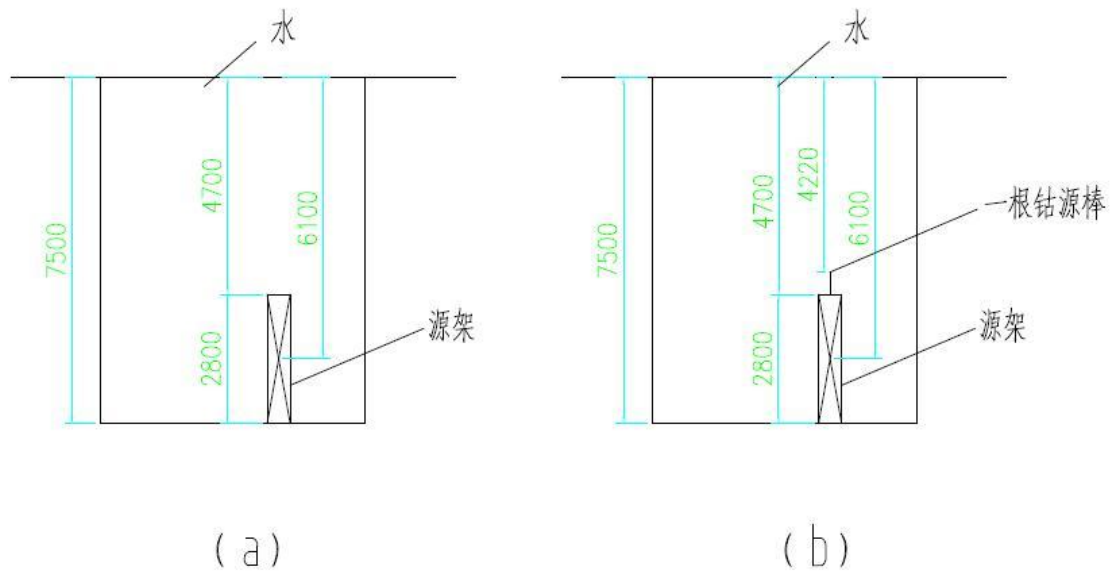
贮源井除了贮源外，倒源、装源等操作也均在井下进行。贮源井水层深度既要保证最大贮源量时井上工作人员的安全，又要保证进行水下各种操作时，有足够的水屏蔽层。

##### A.源在贮存位置

贮源井设计深度为 7.5m。源在贮存位置时，源在水井中的几何位置如图 5.2-7 (a) 所示。当总活度为 400 万 Ci 的源位于源架，源架中心到井水表面的有效水层厚度不低于 6.1m，本次估算保守考虑，水层有效厚度取 4.7m。

##### B.倒源状态

假定源架上的钴源总活度为 400 万 Ci，装源时一根源棒（7000Ci）处在源架上方，距离水面的距离取 4.22m，示意图见图 5.2-7 (b)。



5.2-7 水井屏蔽示意图 (a) 贮源 (b) 倒源

参照公式 5.2-1~5.2-3 进行计算，计算参数及结果见表 5.2-37。

表 5.2-37 贮源水井屏蔽计算结果

| 放射源状态 | 放射源活度 (Ci)        | 距离 (m) | 水 (1g/cm <sup>3</sup> ) 层厚度 (mm) | 什值层 (mm) <sup>1</sup> | 减弱因子                   | 剂量率 (μGy/h)           |
|-------|-------------------|--------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 贮源    | 4×10 <sup>6</sup> | 4.7    | 4700                             | 448                   | 3.23×10 <sup>-11</sup> | 6.7×10 <sup>-2</sup>  |
| 倒源    | 4×10 <sup>6</sup> | 4.7    | 4700                             |                       | 3.23×10 <sup>-11</sup> | 6.7×10 <sup>-2</sup>  |
|       | 7×10 <sup>3</sup> | 4.22   | 4220                             |                       | 3.81×10 <sup>-10</sup> | 1.72×10 <sup>-3</sup> |

注：<sup>1</sup>参考《辐射防护基础》附表 5。

由以上计算结果可知，将 400 万 Ci 板源当做近似点源的情况下，无论是装源状态，还是源架在井底时的贮源状态，经去离子水层屏蔽后，倒源井口处的剂量率小于 2.5μSv/h，可满足辐照室内操作放射源的要求。

## (2)研发楼

本项目研发楼 4 层为乙级非密封放射性物质工作场所，主要分为放化实验室一、放化实验室二、标准源生产间三部分，以下分别对其场所辐射水平进行分析讨论。放化实验室的研发和标准源生产间的生产过程中，首先将装有 1 批次原料的原料罐转入屏蔽箱，打开原料罐，再将原料取出进行操作。所以校核当原料取出后，前墙外 30cm 处的剂量率较为保守。

### 1) 放化实验室一

放化实验室一涉及 12 种核素，于 4 个屏蔽箱内进行操作，以下分别对其进行分析。

#### ①通风柜+手套箱（操作 <sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C 的手套箱）

本屏蔽箱为一个手套箱放置于一个通风柜内，涉及 <sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C 两种核素，本次评价选取核素 <sup>14</sup>C 作为代表性核素，计算在操作 <sup>14</sup>C 的过程中，场所的辐射水平。<sup>14</sup>C 为β衰变核素，衰变时产生β射线，β射线与物质相互作用会产生韧致辐射。因而在评价工作场所的辐照水平时，要考虑β射线和韧致辐射。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽材料为 10mm 铅当量的有机玻璃。操作 <sup>14</sup>C 的放射性活度按最大活度 1.85×10<sup>9</sup>Bq（50mCi）计。

#### A.β射线的辐照

β粒子的射程与能量等于β粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-4~5.2-5 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-38。

表 5.2-38 通风柜+手套箱β射线最大射程计算参数及结果

| 核素              | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)                                     |
|-----------------|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|--|
| <sup>14</sup> C | 0.155               | 铅玻璃  | 2.51~5.19                | 0.028                    | $5.39 \times 10^{-2} \sim 1.11 \times 10^{-1}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在铅玻璃中所能穿透的最大厚度为  $1.11 \times 10^{-1}$ mm，能够被通风柜+手套箱的 10mm 厚的铅玻璃完全阻挡，不会对人体造成影响。工作场所的辐照水平仅取决于韧致辐射。

### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在 <sup>14</sup>C 的操作过程中， $\beta$ 射线会与铅玻璃内层的有机玻璃发生相互作用，产生韧致辐射。由于有机玻璃的有效原子序数最高，因而本次评价保守考虑 $\beta$ 射线与有机玻璃的相互作用的结果。

<sup>14</sup>C 的操作过程中，单批次最大操作量为  $1.85 \times 10^9$ Bq。评价选择距铅玻璃表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 30cm。对 0.25MeV 的  $\gamma$  射线，9.8mm 厚的铅减弱因子为  $5 \times 10^2$ ，本屏蔽箱为 10mm 铅当量的铅玻璃，保守考虑其减弱因子的取值为  $5 \times 10^2$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-39。

表 5.2-39 通风柜+手套箱韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素              | 活度 (Bq)            | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /kg) | 减弱因子 K <sup>2</sup> | 剂量率 (Gy/h)             |
|-----------------|--------------------|------|---------------------|----------|--|---------------------|------------------------|
| <sup>14</sup> C | $1.85 \times 10^9$ | 6.3  | 0.155               | 0.7      | $3.863 \times 10^{-3}$                     | $5 \times 10^2$     | $2.62 \times 10^{-17}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目中核同源放化实验室一的通风柜+手套箱操作 <sup>14</sup>C 时在计算点处的剂量率为  $2.62 \times 10^{-17}$ Gy/h，也即  $2.62 \times 10^{-11}$  $\mu$ Sv/h，小于 2.5 $\mu$ Sv/h 的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### ②手套箱 1（操作 <sup>68</sup>Ge、<sup>85</sup>Sr、<sup>131</sup>Ba 的手套箱）

本屏蔽箱为手套箱，涉及 <sup>68</sup>Ge、<sup>85</sup>Sr、<sup>131</sup>Ba 三种核素，本次评价选取核素 <sup>68</sup>Ge 作为代表性核素，计算在操作 <sup>68</sup>Ge 的过程中场所的辐射水平。<sup>68</sup>Ge 为 EC 衰变方式，衰变时主要产生中微子，衰变子核为 <sup>68</sup>Ga；<sup>68</sup>Ga 为 $\beta^+$ 衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生 $\beta^+$ 射线和  $\gamma$  射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑产生的 $\beta$ 射线、韧致辐射和  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽



材料为 120mm 厚的铅。操作  $^{68}\text{Ge}$  的放射性活度按最大活度  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  (50mCi) 计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-40。

表 5.2-40 手套箱 1 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素               | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm)            |
|------------------|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| $^{68}\text{Ge}$ | 1.8991              | 铅    | 11.34                    | 0.9496                   | $8.37 \times 10^{-1}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $8.37 \times 10^{-1} \text{mm}$ ，能够被手套箱 1 的 120mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{68}\text{Ge}$  的操作过程中， $\beta$ 射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑 $\beta$ 射线与铅的相互作用的结果。

$^{68}\text{Ge}$  的操作过程中，单批次最大操作量为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 0.662MeV 的  $\gamma$  射线，119mm 厚的铅减弱因子为  $5 \times 10^5$ ，操作  $^{68}\text{Ge}$  的手套箱 1 为 120mm 厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为  $5 \times 10^5$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-41。

表 5.2-41 手套箱 1 韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素               | 活度 (Bq)            | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /kg) | 减弱因子 K <sup>2</sup> | 剂量率 (Gy/h)             |
|------------------|--------------------|------|---------------------|----------|--|---------------------|------------------------|
| $^{68}\text{Ge}$ | $1.85 \times 10^9$ | 82   | 1.8991              | 0.7      | $2.943 \times 10^{-3}$                     | $5 \times 10^5$     | $2.09 \times 10^{-11}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目中核同源放化实验室一的手套箱 1 操作  $^{68}\text{Ge}$  时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $2.09 \times 10^{-11} \text{Gy/h}$ ，也即  $2.09 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-42。

表 5.2-42 手套箱 1  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup><br>( $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                            | 什值层 (mm) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|------------------|------------|---|--------|---------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  |            |   |        | 厚度 (mm) | 材料                         |                       |                       |                       |
| <sup>68</sup> Ge | 0.05       | 0.56  | 0.7    | 120     | 铅(11.34g/cm <sup>3</sup> ) | 53.02                 | $5.45 \times 10^{-3}$ | $2.42 \times 10^{-6}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 1 操作 <sup>68</sup>Ge 时在计算点处的  $\gamma$  剂量率最大为  $2.42 \times 10^{-6}$  Gy/h，也即  $2.42 \mu$ Sv/h。

#### D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和  $\gamma$  射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-43。

表 5.2-43 手套箱 1 辐照水平计算结果

| 核素               | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu$ Gy/h) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu$ Gy/h) | 总剂量率 ( $\mu$ Gy/h) |
|------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| <sup>68</sup> Ge | $2.09 \times 10^{-5}$   | 2.42                           | 2.421              |

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 1 操作 <sup>68</sup>Ge 时在计算点处的剂量率为  $2.421 \mu$ Sv/h，小于  $2.5 \mu$ Sv/h 的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### ③ 手套箱 2 (操作 <sup>51</sup>Cr、<sup>113</sup>Sn、<sup>153</sup>Gd、<sup>203</sup>Hg 的手套箱)

本屏蔽箱为手套箱，涉及 <sup>51</sup>Cr、<sup>113</sup>Sn、<sup>153</sup>Gd、<sup>203</sup>Hg 四种核素，本次评价选取核素 <sup>113</sup>Sn、<sup>203</sup>Hg 作为代表性核素，计算在操作 <sup>113</sup>Sn、<sup>203</sup>Hg 的过程中场所的辐射水平。<sup>113</sup>Sn 为 EC 衰变方式，衰变时主要产生中微子，衰变子核为 <sup>113m</sup>In；<sup>113m</sup>In 为 IT 衰变方式，衰变时产生  $\gamma$  射线，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要考虑产生的  $\gamma$  射线。<sup>203</sup>Hg 仅发生  $\beta$ -衰变，衰变时产生  $\beta$ -射线和  $\gamma$  射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑  $\beta$ 射线、韧致辐射和  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽材料为 25mm 厚的铅。操作 <sup>113</sup>Sn、<sup>203</sup>Hg 的放射性活度均按最大活度  $1.85 \times 10^9$  Bq (50mCi) 计。

##### A. <sup>113</sup>Sn 的 $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-44。

表 5.2-44 手套箱 2 操作  $^{113}\text{Sn}$  时  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup><br>( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                  | 什值层 (mm) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 (Gy/h)          |
|-------------------|------------|---|--------|---------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
|                   |            |   |        | 厚度 (mm) | 材料                               |                       |                      |                     |
| $^{113}\text{Sn}$ | 0.05       | 0.14  | 0.7    | 25      | 铅( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 14.5                  | $1.89\times 10^{-2}$ | $2.1\times 10^{-6}$ |

注：<sup>1</sup>出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup>出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 2 操作  $^{113}\text{Sn}$  时在计算点处的剂量率最大为  $2.1\times 10^{-6}\text{Gy}/\text{h}$ ，也即  $2.1\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### B. $^{203}\text{Hg}$ 的 $\beta$ 射线的辐照

$\beta$  粒子的射程与能量等于  $\beta$  粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-45。

表 5.2-45 手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时  $\beta$  射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | $\beta$ 射线最大能量 (MeV) | 吸收材料 | 材料密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 最大射程 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) | 对应防护厚度 (mm)          |
|-------------------|----------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| $^{203}\text{Hg}$ | 0.214                | 铅    | 11.34                           | 0.107                           | $9.44\times 10^{-2}$ |

由上表可以看出  $\beta$  射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $9.44\times 10^{-2}\text{mm}$ ，能够被手套箱 2 的 25mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### C. $^{203}\text{Hg}$ 的韧致辐射的辐照

$\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{203}\text{Hg}$  的操作过程中， $\beta$  射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑  $\beta$  射线与铅的相互作用的结果。

$^{203}\text{Hg}$  的操作过程中，单批次最大操作量为  $1.85\times 10^9\text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 0.25MeV 的  $\gamma$  射线，24.9mm 厚的铅减弱因子为  $1\times 10^7$ ，操作  $^{203}\text{Hg}$  的手套箱 2 为 25mm 厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为  $1\times 10^7$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-46。

表 5.2-46 手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)            | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | 减弱因子 $K^2$      | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|--------------------|------|---------------------|----------|--|-----------------|------------------------|
| $^{203}\text{Hg}$ | $1.85 \times 10^9$ | 82   | 0.214               | 0.7      | $2.659 \times 10^{-3}$                           | $1 \times 10^7$ | $5.14 \times 10^{-19}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目中核同源放化实验室一的手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $5.14 \times 10^{-19}\text{Gy/h}$ ，也即  $5.14 \times 10^{-13}\mu\text{Sv/h}$ 。

#### D. $^{203}\text{Hg}$ 的 $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-47。

表 5.2-47 手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                  | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-------------------|------------|--|--------|---------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                               |                                  |                       |                       |
| $^{203}\text{Hg}$ | 0.05       | 0.12   | 0.7    | 25      | 铅( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 8.78                             | $1.42 \times 10^{-3}$ | $1.35 \times 10^{-7}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $1.35 \times 10^{-7}\text{Gy/h}$ ，也即  $1.35 \times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$ 。

#### E. $^{203}\text{Hg}$ 的场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-48。

表 5.2-48 手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时辐照水平计算结果

| 核素                | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $^{203}\text{Hg}$ | $5.14 \times 10^{-13}$         | $1.35 \times 10^{-1}$                 | $1.351 \times 10^{-1}$    |

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 2 操作  $^{203}\text{Hg}$  时在计算点处的剂量率为  $1.351 \times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### ④手套箱 3（操作 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 的手套箱）

本屏蔽箱为手套箱，涉及  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  三种核素，本次评价选取核素  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  作为代表性核素，计算在操作  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  的过程中，场所的辐射水平。 $^{57}\text{Co}$

为 EC 衰变方式，衰变时主要产生 $\gamma$ 射线。 $^{147}\text{Pm}$  仅发生 $\beta$ -衰变，衰变时产生 $\beta$ -射线和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 $\beta$ 射线、韧致辐射和 $\gamma$ 射线。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽材料为 10mm 厚的铅。操作  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  的放射性活度均按最大活度  $1.85\times 10^9\text{Bq}$  (50mCi) 计。

#### A. $^{57}\text{Co}$ 的 $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-49。

表 5.2-49 手套箱 3 操作  $^{57}\text{Co}$  时  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素               | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                           | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ ) |
|------------------|------------|--|--------|---------|---------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                  |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                        |                                  |                      |                       |
| $^{57}\text{Co}$ | 0.05       | 0.096  | 0.7    | 10      | 铅( $11.34\text{g/cm}^3$ ) | 2.6                              | $1.43\times 10^{-4}$ | $1.09\times 10^{-8}$  |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12 插值得。

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 3 操作  $^{57}\text{Co}$  时在计算点处的剂量率最大为  $1.09\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，也即  $1.09\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### B. $^{147}\text{Pm}$ 的 $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-50。

表 5.2-50 手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度( $\text{g/cm}^3$ ) | 最大射程( $\text{g/cm}^2$ ) | 对应防护厚度(mm)           |
|-------------------|---------------------|------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ | 0.225               | 铅    | 11.34                   | 0.1125                  | $9.92\times 10^{-2}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $9.92\times 10^{-2}\text{mm}$ ，能够被手套箱 3 的 10mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### C. $^{147}\text{Pm}$ 的韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{147}\text{Pm}$  的操作过程中， $\beta$ 射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由

于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑 $\beta$ 射线与铅的相互作用的结果。

$^{147}\text{Pm}$  的操作过程中，单批次最大操作量为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱表面  $30\text{cm}$  处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为  $37.5\text{cm}$ 。对  $0.25\text{MeV}$  的  $\gamma$  射线， $9.8\text{mm}$  厚的铅减弱因子为  $5 \times 10^2$ ，操作  $^{147}\text{Pm}$  的手套箱 3 为  $10\text{mm}$  厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为  $5 \times 10^2$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-51。

表 5.2-51 手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)            | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | 减弱因子 $K^2$      | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|--------------------|------|---------------------|----------|--|-----------------|------------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ | $1.85 \times 10^9$ | 82   | 0.225               | 0.7      | $2.548 \times 10^{-3}$                           | $5 \times 10^2$ | $2.36 \times 10^{-14}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目中核同源放化实验室一的手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $2.36 \times 10^{-14} \text{Gy/h}$ ，也即  $2.36 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### D. $^{147}\text{Pm}$ 的 $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-52。

表 5.2-52 手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                  | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|------------|--|--------|---------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                   |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                               |                                  |                       |                        |
| $^{147}\text{Pm}$ | 0.05       | $7.2 \times 10^{-7}$   | 0.7    | 10      | 铅( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 4.7                              | $7.45 \times 10^{-3}$ | $4.26 \times 10^{-12}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $4.26 \times 10^{-12} \text{Gy/h}$ ，也即  $4.26 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### E. $^{147}\text{Pm}$ 的场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-53。

表 5.2-53 手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时辐照水平计算结果



| 核素                | 韧致辐射所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ | $2.36 \times 10^{-8}$             | $4.26 \times 10^{-6}$                    | $4.29 \times 10^{-6}$        |

由上表可知，本项目放化实验室一的手套箱 3 操作  $^{147}\text{Pm}$  时在计算点处的剂量率为  $4.29 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

## 2) 放化实验室二

放化实验室二涉及 5 种核素，于 2 个屏蔽箱内进行操作，以下分别对其进行分析。

### ①手套箱 1（操作 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 的手套箱）

本屏蔽箱为手套箱，涉及  $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  两种核素，本次评价选取核素  $^{88}\text{Y}$  作为代表性核素，计算在操作  $^{88}\text{Y}$  的过程中，场所的辐射水平。 $^{88}\text{Y}$  为  $\beta^+$  衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生  $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线， $\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑产生的  $\beta$  射线、韧致辐射和  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽材料为 170mm 厚的铅。操作  $^{88}\text{Y}$  的放射性活度按最大活度  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$  ( $50\text{mCi}$ ) 计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$  粒子的射程与能量等于  $\beta$  粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-54。

表 5.2-54 手套箱 1  $\beta$  射线最大射程计算参数及结果

| 核素              | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度( $\text{g/cm}^3$ ) | 最大射程( $\text{g/cm}^2$ ) | 对应防护厚度(mm)            |
|-----------------|---------------------|------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $^{88}\text{Y}$ | 0.761               | 铅    | 11.34                   | 0.3805                  | $3.36 \times 10^{-1}$ |

由上表可以看出  $\beta$  射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $3.36 \times 10^{-1} \text{mm}$ ，能够被手套箱 1 的 170mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{88}\text{Y}$  的操作过程中， $\beta$  射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑  $\beta$  射线与铅的相互作用的结果。



$^{88}\text{Y}$  的操作过程中, 单批次最大操作量为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点, 屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 0.5MeV 的  $\gamma$  射线, 107mm 厚的铅减弱因子为  $5 \times 10^7$ , 操作  $^{88}\text{Y}$  的手套箱 1 为 170mm 厚的铅, 保守考虑其减弱因子的取值为  $5 \times 10^7$ 。按式 5.2-7~5.2~8 计算, 主要计算参数及计算结果见表 5.2-55。

表 5.2-55 手套箱 1 韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素              | 活度 (Bq)            | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | 减弱因子 $K^2$      | 剂量率 (Gy/h)            |
|-----------------|--------------------|------|---------------------|----------|--|-----------------|-----------------------|
| $^{88}\text{Y}$ | $1.85 \times 10^9$ | 82   | 0.761               | 0.8      | $2.78 \times 10^{-3}$                            | $5 \times 10^7$ | $8.8 \times 10^{-15}$ |

注: <sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得;

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知, 本项目中核同源放化实验室二的手套箱 1 操作  $^{88}\text{Y}$  时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $8.8 \times 10^{-15} \text{Gy/h}$ , 也即  $8.8 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 。

### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2~3 计算, 主要计算参数及计算结果见表 5.2-56。

表 5.2-56 手套箱 1  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素              | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                   | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-----------------|------------|--|--------|---------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                                |                                  |                       |                       |
| $^{88}\text{Y}$ | 0.05       | 1.32   | 0.8    | 170     | 铅( $11.34 \text{g}/\text{cm}^3$ ) | 52.3                             | $5.62 \times 10^{-4}$ | $4.98 \times 10^{-7}$ |

注: <sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11;

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知, 本项目放化实验室二手套箱 1 操作  $^{88}\text{Y}$  源时在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $4.98 \times 10^{-7} \text{Gy/h}$ , 也即  $4.98 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 。

### D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和, 具体值见表 5.2-57。

表 5.2-57 手套箱 1 辐照水平计算结果

| 核素              | 韧致辐射所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-----------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| $^{88}\text{Y}$ | $8.8 \times 10^{-9}$              | $4.98 \times 10^{-1}$                    | $4.99 \times 10^{-1}$        |

由上表可知，本项目放化实验室二手套箱 1 操作  $^{88}\text{Y}$  源时在计算点处的剂量率为  $4.99 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

#### ②手套箱 2（操作 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 的手套箱）

本屏蔽箱为手套箱，涉及  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$  三种核素，本次评价选取核素  $^{152}\text{Eu}$  作为代表性核素，计算在操作  $^{152}\text{Eu}$  的过程中，场所的辐射水平。 $^{152}\text{Eu}$  为  $\beta^-$  衰变、 $\beta^+$  衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生  $\beta$  射线、 $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线， $\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑产生的  $\beta$  射线、韧致辐射和  $\gamma$  射线。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽材料为 110mm 厚的铅。操作  $^{152}\text{Eu}$  的放射性活度保守按操作  $^{65}\text{Zn}$  的最大活度  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ （50mCi）计。

#### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$  粒子的射程与能量等于  $\beta$  粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-58。

表 5.2-58 手套箱 2  $\beta$  射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度( $\text{g/cm}^3$ ) | 最大射程( $\text{g/cm}^2$ ) | 对应防护厚度(mm)            |
|-------------------|---------------------|------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | 1.492               | 铅    | 11.34                   | 0.746                   | $6.58 \times 10^{-1}$ |

由上表可以看出  $\beta$  射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $6.58 \times 10^{-1} \text{mm}$ ，能够被手套箱 2 的 110mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

#### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$  射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{152}\text{Eu}$  的操作过程中， $\beta$  射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑  $\beta$  射线与铅的相互作用的结果。

$^{152}\text{Eu}$  的操作过程中，单批次最大操作量保守考虑为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 0.5MeV 的  $\gamma$  射

线，107mm 厚的铅减弱因子为  $5 \times 10^7$ ，操作  $^{152}\text{Eu}$  的手套箱 2 为 110mm 厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为  $5 \times 10^7$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-59。

表 5.2-59 手套箱 2 韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)            | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 $^1(\text{m}^2/\text{kg})$ | 减弱因子 $K^2$      | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|--------------------|------|---------------------|----------|-------------------------------------|-----------------|------------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | $1.85 \times 10^9$ | 82   | 1.492               | 0.8      | $2.966 \times 10^{-3}$              | $5 \times 10^7$ | $9.36 \times 10^{-14}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目中核同源放化实验室二的手套箱 2 操作  $^{152}\text{Eu}$  时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $9.36 \times 10^{-14}\text{Gy/h}$ ，也即  $9.36 \times 10^{-8}\mu\text{Sv/h}$ 。

### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-60。

表 5.2-60 手套箱 2  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci) | 照射量率常数 $^1$ ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                  | 什值层 (mm) $^2$ | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-------------------|------------|--|--------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |            |  |        | 厚度 (mm) | 材料                               |               |                       |                       |
| $^{152}\text{Eu}$ | 0.05       | 0.56   | 0.8    | 110     | 铅( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 44.96         | $3.58 \times 10^{-3}$ | $1.35 \times 10^{-6}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目放化实验室二手套箱 2 操作  $^{152}\text{Eu}$  源时在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $1.35 \times 10^{-6}\text{Gy/h}$ ，也即  $1.35\mu\text{Sv/h}$ 。

### D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-61。

表 5.2-61 手套箱 2 辐照水平计算结果

| 核素                | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | $9.36 \times 10^{-8}$          | 1.35                                  | 1.351                     |

由上表可知，本项目放化实验室二手套箱 2 操作  $^{152}\text{Eu}$  源时在计算点处的剂量率为  $1.351\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

### 3) 标准源生产间

标准源生产间涉及  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  十七种豁免源，于 1 个屏蔽手套箱内进行生产，以下对其进行分析。

本次评价选取核素  $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{106}\text{Ru}$  作为代表性核素，计算在生产  $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源的过程中，场所的辐射水平。 $^{152}\text{Eu}$  为 $\beta$ -衰变、 $\beta^+$ 衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生 $\beta$ -射线、 $\beta^+$ 射线和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑产生的 $\beta$ 射线、韧致辐射和 $\gamma$ 射线； $^{106}\text{Ru}$  为 $\beta$ -衰变方式，衰变子核为  $^{106}\text{Rh}$ ， $^{106}\text{Rh}$  为 $\beta$ -衰变方式，衰变时产生 $\beta$ -射线和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑产生的 $\beta$ 射线、韧致辐射和 $\gamma$ 射线。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点。由于放射源尺寸很小，故可视为点源。屏蔽箱的屏蔽材料为 56mm 厚的铅。生产  $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源的放射性活度保守按单个标准源的最大活度  $1\times 10^6\text{Bq}$  ( $27.1\ \mu\text{Ci}$ ) 计。

#### ① $^{152}\text{Eu}$ 源

##### A. $\beta$ 射线的辐照

$\beta$ 粒子的射程与能量等于 $\beta$ 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-62。

表 5.2-62 标准源生产间生产  $^{152}\text{Eu}$  源时 $\beta$ 射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 最大射程( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) | 对应防护厚度(mm)           |
|-------------------|---------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | 1.492               | 铅    | 11.34                          | 0.746                          | $6.58\times 10^{-1}$ |

由上表可以看出 $\beta$ 射线在铅中所能穿透的最大厚度为  $6.58\times 10^{-1}\text{mm}$ ，能够被标准源生产间手套箱的 56mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

##### B. 韧致辐射的辐照

$\beta$ 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在  $^{152}\text{Eu}$  源的生产过程中， $\beta$ 射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑 $\beta$ 射线与铅的相互作用的结果。

$^{152}\text{Eu}$  源的生产过程中，单批次最大操作量保守考虑为  $1\times 10^6\text{Bq}$ 。评价选择距屏

蔽箱表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 0.5MeV 的  $\gamma$  射线，53mm 厚的铅减弱因子为  $5 \times 10^3$ ，标准源生产间手套箱为 56mm 厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为  $5 \times 10^3$ 。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-63。

表 5.2-63 标准源生产间生产  $^{152}\text{Eu}$  源时韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)         | 原子序数 | $\beta$ 射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 $^1(\text{m}^2/\text{kg})$ | 减弱因子 $K^2$      | 剂量率 (Gy/h)             |
|-------------------|-----------------|------|---------------------|----------|-------------------------------------|-----------------|------------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | $1 \times 10^6$ | 82   | 1.492               | 0.7      | $2.966 \times 10^{-3}$              | $5 \times 10^3$ | $5.97 \times 10^{-13}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目标准源生产间手套箱生产  $^{152}\text{Eu}$  源时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $5.97 \times 10^{-13}\text{Gy/h}$ ，也即  $5.97 \times 10^{-7}\mu\text{Sv/h}$ 。

#### C. $\gamma$ 射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-64。

表 5.2-64 标准源生产间生产  $^{152}\text{Eu}$  源时  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci)            | 照射量率常数 $^1(\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1})$ | 距离 (m) | 屏蔽层     |                                  | 什值层 (mm) $^2$ | 减弱因子                  | 剂量率 (Gy/h)            |
|-------------------|-----------------------|---|--------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |                       |   |        | 厚度 (mm) | 材料                               |               |                       |                       |
| $^{152}\text{Eu}$ | $2.71 \times 10^{-5}$ | 0.56  | 0.7    | 56      | 铅( $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 44.96         | $5.68 \times 10^{-2}$ | $1.37 \times 10^{-8}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目标准源生产间手套箱生产  $^{152}\text{Eu}$  源时在计算点处的 $\gamma$ 剂量率最大为  $1.37 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，也即  $1.37 \times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 。

#### D. 场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和 $\gamma$ 射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-65。

表 5.2-65 标准源生产间生产  $^{152}\text{Eu}$  源时辐照水平计算结果

| 核素                | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | $5.97 \times 10^{-7}$          | $1.37 \times 10^{-2}$                 | $1.371 \times 10^{-2}$    |

由上表可知，本项目标准源生产间手套箱生产  $^{152}\text{Eu}$  源时在计算点处的剂量率为  $1.371 \times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求。

②<sup>106</sup>Ru 源

## A. β射线的辐照

β粒子的射程与能量等于β粒子最大能量的单能电子的射程是一样的。根据式 5.2-5~5.2-6 计算，计算的主要参数及结果见表 5.2-66。

表 5.2-66 标准源生产间生产 <sup>106</sup>Ru 源时β射线最大射程计算参数及结果

| 核素                | β射线最大能量(MeV) | 吸收材料 | 材料密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大射程(g/cm <sup>2</sup> ) | 对应防护厚度(mm) |
|-------------------|--------------|------|--------------------------|--------------------------|------------|
| <sup>106</sup> Ru | 3.53         | 铅    | 11.34                    | 1.765                    | 1.56       |

由上表可以看出β射线在铅中所能穿透的最大厚度为 1.56mm，能够被标准源生产间手套箱的 56mm 厚的铅完全阻挡，不会对人体造成影响。

## B. 韧致辐射的辐照

β射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。在 <sup>106</sup>Ru 源的生产过程中，β射线会与铅发生相互作用，产生韧致辐射。由于屏蔽箱内铅的有效原子序数为最高，因而本次评价屏蔽箱分别保守考虑β射线与铅的相互作用的结果。

<sup>106</sup>Ru 源的生产过程中，单批次最大操作量保守考虑为  $1 \times 10^6$ Bq。评价选择距屏蔽箱表面 30cm 处作为计算点，屏蔽箱内空气层厚度为 37.5cm。对 1.25MeV 的 γ 射线，46.2mm 厚的铅减弱因子为 10，标准源生产间手套箱为 56mm 厚的铅，保守考虑其减弱因子的取值为 10。按式 5.2-7~5.2-8 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-67。

表 5.2-67 标准源生产间生产 <sup>106</sup>Ru 源时韧致辐照水平计算参数及结果

| 核素                | 活度 (Bq)         | 原子序数 | β射线最大能量(MeV) | 距离 r (m) | 质量能量吸收系数 <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /kg) | 减弱因子 K <sup>2</sup> | 剂量率 (Gy/h)            |
|-------------------|-----------------|------|--------------|----------|--|---------------------|-----------------------|
| <sup>106</sup> Ru | $1 \times 10^6$ | 82   | 3.53         | 0.7      | $2.701 \times 10^{-3}$                     | 10                  | $2.24 \times 10^{-9}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护基础》表 2-2 插值得；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护基础》附表 8。

由上表可知，本项目标准源生产间手套箱生产 <sup>106</sup>Ru 源时在计算点处的韧致辐射剂量率为  $2.24 \times 10^{-9}$ Gy/h，也即  $2.24 \times 10^{-3}$ μSv/h。

## C. γ射线的辐照

按式 5.2-1~5.2-3 计算，主要计算参数及计算结果见表 5.2-68。



表 5.2-68 标准源生产间生产  $^{106}\text{Ru}$  源时  $\gamma$  辐射水平计算参数及评价结果

| 核素                | 放射性活度 (Ci)           | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                           | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                 | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|----------------------|--|--------|---------|---------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                   |                      |  |        | 厚度 (mm) | 材料                        |                                  |                      |                       |
| $^{106}\text{Ru}$ | $2.71\times 10^{-5}$ | 0.116  | 0.7    | 56      | 铅( $11.34\text{g/cm}^3$ ) | 26.1                             | $7.15\times 10^{-3}$ | $3.57\times 10^{-10}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；

<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

由上表可知，本项目标准源生产间手套箱生产  $^{106}\text{Ru}$  源时在计算点处的  $\gamma$  剂量率最大为  $3.57\times 10^{-10}\text{Gy/h}$ ，也即  $3.57\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ 。

#### D.场所辐照水平

计算点的剂量率为韧致辐射和  $\gamma$  射线产生的剂量率之和，具体值见表 5.2-69。

表 5.2-69 标准源生产间生产  $^{106}\text{Ru}$  源时辐照水平计算结果

| 核素                | 韧致辐射所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | $\gamma$ 射线所致剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 总剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $^{106}\text{Ru}$ | $2.24\times 10^{-3}$           | $3.57\times 10^{-4}$                  | $2.597\times 10^{-3}$     |

由上表可知，本项目标准源生产间手套箱生产  $^{106}\text{Ru}$  源时在计算点处的剂量率为  $2.597\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的控制剂量率，因而场所的辐照水平满足要求

### 5.2.1.2 人员受照剂量

#### 5.2.1.2.1 公众照射剂量

根据对本项目辐射污染源项及相应的照射途径分析，本项目电离辐射对公众的影响主要来自：(1)生产厂房、研发楼的放射性流出物，(2)辐照中心直射和天空反散射。本次评价对公众照射剂量估算主要考虑放射性流出物所致剂量。本项目放射性流出物仅有气载流出物，不涉及液态流出物。

#### (1)生产厂房、研发楼的放射性流出物所致剂量

##### 1) 地面空气浓度计算模式

该计算模式引自 IAEA Safety Reports Series No.19，本项目气载放射性流出物排放高度 ( $H$ ) 为 30m，邻近最高建筑物某项目综合办公楼高度 ( $H_B$ ) 为 32.6m， $H\leq 2.5H_B$ ，所以本项目适用如下计算模式：

① 下风向距离  $x\leq 2.5\sqrt{A_B}$  的计算模式

在  $H\leq 2.5H_B$  且  $x\leq 2.5\sqrt{A_B}$  时，下风向距离  $x$  处核素的地面空气浓度可以表示为



(5.2-9)式的形式。

$$C_A = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_B K} \quad \text{式 5.2-19}$$

其中：

$u_a$ ——释放高度处年平均风速，单位 m/s，取乐山地区多年平均风速 1.1m/s；

$Q_i$ —— $i$ 核素的平均释放速率，单位Bq/s；

$P_p$ —— $p$  风向的风频，单位 1，保守取值 0.25；

$H_B$ ——邻近最高建筑物的高度，单位 m；如果该的建筑物的宽度大于其高度，则应该用其宽度替代式中的  $H_B$ 。周围邻近最高建筑物为某项目综合办公楼，高度 32.6m，因而此处  $H_B$  的取值为 32.6m；

$K$ ——经验常数，取值为 1，单位 m。

②下风向距离  $x > 2.5\sqrt{A_B}$  的计算模式

在  $H \leq 2.5H_B$  且  $x > 2.5\sqrt{A_B}$  时，下风向距离  $x$  处核素的地面空气浓度可以表示为(5.2-10)式的形式。在(5.2-10)式中使用扩散因子  $B$  作修正。

$$C_A = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad \text{式 5.2-20}$$

$$B = \frac{12}{\sqrt{2\pi^3}} \times \frac{1}{x \Sigma_z} \quad \text{式 5.2-21}$$

$$\Sigma_z = \left( \sigma_z^2 + \frac{A_B}{\pi} \right)^{0.5} \quad \text{式 5.2-22}$$

$$\sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \quad \text{式 5.2-23}$$

其中：

$u_a$ ——释放高度处年平均风速，单位m/s，取乐山地区多年平均风速取保守 1.1m/s；

$Q_i$ —— $i$ 核素的平均释放速率，单位Bq/s；

$P_p$ —— $p$  风向的风频，单位 1，保守取值 0.25；

$x$ ——下风向距离，单位 m；

$A_B$ ——对扩散影响最大的建筑物最大面的表面积，单位  $m^2$ ，本项目中对扩散影响最大的建筑物为某项目综合办公楼，其最大面的表面积为  $3822.76m^2$ 。

## ③浓度计算结果

根据本报告第三章对项目放射性源项的分析，本项目在正常运行工况下通过气载流出物途径进入环境的放射性核素量见 5.2-59。生产厂房和辐射中心的气载放射性废物产生量为  $3.98 \times 10^9 \text{Bq/a}$ （其中  $^{85}\text{Kr}$  源生产线的产生量为  $3.7 \times 10^9 \text{Bq/a}$ ），研发楼的气载放射性废物产生量为  $1.17 \times 10^7 \text{Bq/a}$ 。本项目的预过滤器的效率为 85%，高效空气粒子过滤器的效率为 99.99%，保守起见除  $^{85}\text{Kr}$  外的所有核素按 99% 的去除效率考虑，即生产厂房和辐射中心、研发楼每年分别有  $3.71 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.17 \times 10^5 \text{Bq}$  的气载流出物经排气筒释放进入大气环境。

表 5.2-70 气载流出物源项

| 排气筒所在建筑         | 核素  | 气载流出物途径排放量 (Bq/a) |
|-----------------|---|-------------------|
| 生产厂房和辐射中心       | $^{57}\text{Co}$                          | 3.70E+04          |
|                 | $^{68}\text{Ge}$                          | 3.70E+04          |
|                 | $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ | 7.40E+05          |
|                 | $^{147}\text{Pm}$                         | 1.85E+06          |
|                 | $^{85}\text{Kr}$                          | 3.70E+09          |
|                 | $^{14}\text{C}$                           | 3.70E+04          |
|                 | $^{137}\text{Cs}$                         | 4                 |
|                 | $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$            | 3.70E+04          |
|                 | $^{60}\text{Co}$                          | 7                 |
| 研发楼             | $^3\text{H}$                              | 5.55E+03          |
|                 | $^{14}\text{C}$                           | 5.55E+03          |
|                 | $^{68}\text{Ge}$                          | 9.25E+03          |
|                 | $^{85}\text{Sr}$                          | 9.25E+03          |
|                 | $^{131}\text{Ba}$                         | 5.55E+03          |
|                 | $^{51}\text{Cr}$                          | 5.55E+03          |
|                 | $^{113}\text{Sn}$                         | 5.55E+03          |
|                 | $^{153}\text{Gd}$                         | 5.65E+03          |
|                 | $^{203}\text{Hg}$                         | 5.55E+03          |
|                 | $^{57}\text{Co}$                          | 1.85E+04          |
|                 | $^{109}\text{Cd}$                         | 5.56E+03          |
|                 | $^{147}\text{Pm}$                         | 5.55E+03          |
| $^{88}\text{Y}$ | 9.25E+03                                  |                   |

|                   |          |
|-------------------|----------|
| $^{22}\text{Na}$  | 5.65E+03 |
| $^{54}\text{Mn}$  | 5.55E+03 |
| $^{65}\text{Zn}$  | 5.55E+03 |
| $^{152}\text{Eu}$ | 3.34E+03 |
| $^{60}\text{Co}$  | 1        |
| $^{198}\text{Au}$ | 1.00E+01 |
| $^{170}\text{Tm}$ | 1.00E+01 |
| $^{210}\text{Pb}$ | 1        |
| $^{154}\text{Eu}$ | 1        |
| $^{35}\text{S}$   | 1.00E+02 |
| $^{133}\text{Ba}$ | 1.00E+01 |
| $^{106}\text{Ru}$ | 1        |
| $^{169}\text{Yb}$ | 1.00E+02 |
| $^{144}\text{Ce}$ | 1        |
| $^{55}\text{Fe}$  | 1.00E+01 |
| $^{99}\text{Tc}$  | 1.00E+02 |
| $^{36}\text{Cl}$  | 1.00E+01 |

经计算，距离生产厂房和辐射中心、研发楼的排放源不同距离  $x$  处的地面空气浓度见表 5.2-71。

表 5.2-71 (1/4) 不同距离处地面空气浓度 (Bq/m<sup>3</sup>)

| 距排气筒<br>距离 (m) | 生产厂房和辐射中心        |                  |                                       |                   |                  |                 |                   |                                   |                  |
|----------------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
|                | <sup>57</sup> Co | <sup>68</sup> Ge | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>147</sup> Pm | <sup>85</sup> Kr | <sup>14</sup> C | <sup>137</sup> Cs | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y | <sup>60</sup> Co |
| 10             | 3.163E-06        | 3.163E-06        | 6.326E-05                             | 1.581E-04         | 3.163E-01        | 3.163E-06       | 3.419E-10         | 3.163E-06                         | 5.984E-10        |
| 20             | 3.163E-06        | 3.163E-06        | 6.326E-05                             | 1.581E-04         | 3.163E-01        | 3.163E-06       | 3.419E-10         | 3.163E-06                         | 5.984E-10        |
| 50             | 3.163E-06        | 3.163E-06        | 6.326E-05                             | 1.581E-04         | 3.163E-01        | 3.163E-06       | 3.419E-10         | 3.163E-06                         | 5.984E-10        |
| 100            | 3.163E-06        | 3.163E-06        | 6.326E-05                             | 1.581E-04         | 3.163E-01        | 3.163E-06       | 3.419E-10         | 3.163E-06                         | 5.984E-10        |
| 150            | 3.163E-06        | 3.163E-06        | 6.326E-05                             | 1.581E-04         | 3.163E-01        | 3.163E-06       | 3.419E-10         | 3.163E-06                         | 5.984E-10        |
| 154            | 3.163E-06        | 3.163E-06        | 6.326E-05                             | 1.581E-04         | 3.163E-01        | 3.163E-06       | 3.419E-10         | 3.163E-06                         | 5.984E-10        |
| 155            | 3.202E-07        | 3.202E-07        | 6.405E-06                             | 1.601E-05         | 3.202E-02        | 3.202E-07       | 3.462E-11         | 3.202E-07                         | 6.058E-11        |
| 200            | 2.444E-07        | 2.444E-07        | 4.887E-06                             | 1.222E-05         | 2.444E-02        | 2.444E-07       | 2.642E-11         | 2.444E-07                         | 4.623E-11        |
| 300            | 1.564E-07        | 1.564E-07        | 3.128E-06                             | 7.820E-06         | 1.564E-02        | 1.564E-07       | 1.691E-11         | 1.564E-07                         | 2.959E-11        |
| 400            | 1.121E-07        | 1.121E-07        | 2.242E-06                             | 5.606E-06         | 1.121E-02        | 1.121E-07       | 1.212E-11         | 1.121E-07                         | 2.121E-11        |
| 500            | 8.560E-08        | 8.560E-08        | 1.712E-06                             | 4.280E-06         | 8.560E-03        | 8.560E-08       | 9.254E-12         | 8.560E-08                         | 1.619E-11        |
| 1000           | 3.455E-08        | 3.455E-08        | 6.910E-07                             | 1.728E-06         | 3.455E-03        | 3.455E-08       | 3.735E-12         | 3.455E-08                         | 6.537E-12        |
| 2000           | 1.283E-08        | 1.283E-08        | 2.566E-07                             | 6.415E-07         | 1.283E-03        | 1.283E-08       | 1.387E-12         | 1.283E-08                         | 2.427E-12        |
| 3000           | 7.042E-09        | 7.042E-09        | 1.408E-07                             | 3.521E-07         | 7.042E-04        | 7.042E-09       | 7.613E-13         | 7.042E-09                         | 1.332E-12        |
| 4000           | 4.581E-09        | 4.581E-09        | 9.163E-08                             | 2.291E-07         | 4.581E-04        | 4.581E-09       | 4.953E-13         | 4.581E-09                         | 8.668E-13        |
| 5000           | 3.278E-09        | 3.278E-09        | 6.557E-08                             | 1.639E-07         | 3.278E-04        | 3.278E-09       | 3.544E-13         | 3.278E-09                         | 6.203E-13        |

表 5.2-71 (2/4) 不同距离处地面空气浓度 (Bq/m<sup>3</sup>)

| 距排气筒距离<br>(m) | 研发楼            |                 |                  |                  |                   |                  |                   |                   |                   |                  |
|---------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|               | <sup>3</sup> H | <sup>14</sup> C | <sup>68</sup> Ge | <sup>85</sup> Sr | <sup>131</sup> Ba | <sup>51</sup> Cr | <sup>113</sup> Sn | <sup>153</sup> Gd | <sup>203</sup> Hg | <sup>57</sup> Co |
| 10            | 4.744E-07      | 4.744E-07       | 7.907E-07        | 7.907E-07        | 4.744E-07         | 4.744E-07        | 4.744E-07         | 4.830E-07         | 4.744E-07         | 1.581E-06        |
| 20            | 4.744E-07      | 4.744E-07       | 7.907E-07        | 7.907E-07        | 4.744E-07         | 4.744E-07        | 4.744E-07         | 4.830E-07         | 4.744E-07         | 1.581E-06        |
| 50            | 4.744E-07      | 4.744E-07       | 7.907E-07        | 7.907E-07        | 4.744E-07         | 4.744E-07        | 4.744E-07         | 4.830E-07         | 4.744E-07         | 1.581E-06        |
| 100           | 4.744E-07      | 4.744E-07       | 7.907E-07        | 7.907E-07        | 4.744E-07         | 4.744E-07        | 4.744E-07         | 4.830E-07         | 4.744E-07         | 1.581E-06        |
| 150           | 4.744E-07      | 4.744E-07       | 7.907E-07        | 7.907E-07        | 4.744E-07         | 4.744E-07        | 4.744E-07         | 4.830E-07         | 4.744E-07         | 1.581E-06        |
| 154           | 4.744E-07      | 4.744E-07       | 7.907E-07        | 7.907E-07        | 4.744E-07         | 4.744E-07        | 4.744E-07         | 4.830E-07         | 4.744E-07         | 1.581E-06        |
| 155           | 4.803E-08      | 4.803E-08       | 8.006E-08        | 8.006E-08        | 4.803E-08         | 4.803E-08        | 4.803E-08         | 4.890E-08         | 4.803E-08         | 1.601E-07        |
| 200           | 3.665E-08      | 3.665E-08       | 6.109E-08        | 6.109E-08        | 3.665E-08         | 3.665E-08        | 3.665E-08         | 3.731E-08         | 3.665E-08         | 1.222E-07        |
| 300           | 2.346E-08      | 2.346E-08       | 3.910E-08        | 3.910E-08        | 2.346E-08         | 2.346E-08        | 2.346E-08         | 2.388E-08         | 2.346E-08         | 7.820E-08        |
| 400           | 1.682E-08      | 1.682E-08       | 2.803E-08        | 2.803E-08        | 1.682E-08         | 1.682E-08        | 1.682E-08         | 1.712E-08         | 1.682E-08         | 5.606E-08        |
| 500           | 1.284E-08      | 1.284E-08       | 2.140E-08        | 2.140E-08        | 1.284E-08         | 1.284E-08        | 1.284E-08         | 1.307E-08         | 1.284E-08         | 4.280E-08        |
| 1000          | 5.183E-09      | 5.183E-09       | 8.638E-09        | 8.638E-09        | 5.183E-09         | 5.183E-09        | 5.183E-09         | 5.276E-09         | 5.183E-09         | 1.728E-08        |
| 2000          | 1.925E-09      | 1.925E-09       | 3.208E-09        | 3.208E-09        | 1.925E-09         | 1.925E-09        | 1.925E-09         | 1.959E-09         | 1.925E-09         | 6.415E-09        |
| 3000          | 1.056E-09      | 1.056E-09       | 1.760E-09        | 1.760E-09        | 1.056E-09         | 1.056E-09        | 1.056E-09         | 1.075E-09         | 1.056E-09         | 3.521E-09        |
| 4000          | 6.872E-10      | 6.872E-10       | 1.145E-09        | 1.145E-09        | 6.872E-10         | 6.872E-10        | 6.872E-10         | 6.996E-10         | 6.872E-10         | 2.291E-09        |
| 5000          | 4.918E-10      | 4.918E-10       | 8.196E-10        | 8.196E-10        | 4.918E-10         | 4.918E-10        | 4.918E-10         | 5.006E-10         | 4.918E-10         | 1.639E-09        |

表 5.2-71 (3/4) 不同距离处地面空气浓度 (Bq/m<sup>3</sup>)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|            | <sup>109</sup> Cd | <sup>147</sup> Pm | <sup>88</sup> Y | <sup>22</sup> Na | <sup>54</sup> Mn | <sup>65</sup> Zn | <sup>152</sup> Eu | <sup>60</sup> Co | <sup>198</sup> Au | <sup>170</sup> Tm |
| 10         | 4.753E-07         | 4.744E-07         | 7.907E-07       | 4.830E-07        | 4.744E-07        | 4.744E-07        | 2.855E-07         | 8.548E-11        | 8.548E-10         | 8.548E-10         |
| 20         | 4.753E-07         | 4.744E-07         | 7.907E-07       | 4.830E-07        | 4.744E-07        | 4.744E-07        | 2.855E-07         | 8.548E-11        | 8.548E-10         | 8.548E-10         |
| 50         | 4.753E-07         | 4.744E-07         | 7.907E-07       | 4.830E-07        | 4.744E-07        | 4.744E-07        | 2.855E-07         | 8.548E-11        | 8.548E-10         | 8.548E-10         |
| 100        | 4.753E-07         | 4.744E-07         | 7.907E-07       | 4.830E-07        | 4.744E-07        | 4.744E-07        | 2.855E-07         | 8.548E-11        | 8.548E-10         | 8.548E-10         |
| 150        | 4.753E-07         | 4.744E-07         | 7.907E-07       | 4.830E-07        | 4.744E-07        | 4.744E-07        | 2.855E-07         | 8.548E-11        | 8.548E-10         | 8.548E-10         |
| 154        | 4.753E-07         | 4.744E-07         | 7.907E-07       | 4.830E-07        | 4.744E-07        | 4.744E-07        | 2.855E-07         | 8.548E-11        | 8.548E-10         | 8.548E-10         |
| 155        | 4.812E-08         | 4.803E-08         | 8.006E-08       | 4.890E-08        | 4.803E-08        | 4.803E-08        | 2.891E-08         | 8.655E-12        | 8.655E-11         | 8.655E-11         |
| 200        | 3.672E-08         | 3.665E-08         | 6.109E-08       | 3.731E-08        | 3.665E-08        | 3.665E-08        | 2.206E-08         | 6.604E-12        | 6.604E-11         | 6.604E-11         |
| 300        | 2.350E-08         | 2.346E-08         | 3.910E-08       | 2.388E-08        | 2.346E-08        | 2.346E-08        | 1.412E-08         | 4.227E-12        | 4.227E-11         | 4.227E-11         |
| 400        | 1.685E-08         | 1.682E-08         | 2.803E-08       | 1.712E-08        | 1.682E-08        | 1.682E-08        | 1.012E-08         | 3.030E-12        | 3.030E-11         | 3.030E-11         |
| 500        | 1.286E-08         | 1.284E-08         | 2.140E-08       | 1.307E-08        | 1.284E-08        | 1.284E-08        | 7.727E-09         | 2.314E-12        | 2.314E-11         | 2.314E-11         |
| 1000       | 5.192E-09         | 5.183E-09         | 8.638E-09       | 5.276E-09        | 5.183E-09        | 5.183E-09        | 3.119E-09         | 9.338E-13        | 9.338E-12         | 9.338E-12         |
| 2000       | 1.928E-09         | 1.925E-09         | 3.208E-09       | 1.959E-09        | 1.925E-09        | 1.925E-09        | 1.158E-09         | 3.468E-13        | 3.468E-12         | 3.468E-12         |
| 3000       | 1.058E-09         | 1.056E-09         | 1.760E-09       | 1.075E-09        | 1.056E-09        | 1.056E-09        | 6.357E-10         | 1.903E-13        | 1.903E-12         | 1.903E-12         |
| 4000       | 6.885E-10         | 6.872E-10         | 1.145E-09       | 6.996E-10        | 6.872E-10        | 6.872E-10        | 4.136E-10         | 1.238E-13        | 1.238E-12         | 1.238E-12         |
| 5000       | 4.927E-10         | 4.918E-10         | 8.196E-10       | 5.006E-10        | 4.918E-10        | 4.918E-10        | 2.959E-10         | 8.861E-14        | 8.861E-13         | 8.861E-13         |

表 5.2-71 (4/4) 不同距离处地面空气浓度 (Bq/m<sup>3</sup>)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | <sup>210</sup> Pb | <sup>154</sup> Eu | <sup>35</sup> S | <sup>133</sup> Ba | <sup>106</sup> Ru | <sup>169</sup> Yb | <sup>144</sup> Ce | <sup>55</sup> Fe | <sup>99</sup> Tc | <sup>36</sup> Cl |
| 10         | 8.548E-11         | 8.548E-11         | 8.548E-09       | 8.548E-10         | 8.548E-11         | 8.548E-09         | 8.548E-11         | 8.548E-10        | 8.548E-09        | 8.548E-10        |
| 20         | 8.548E-11         | 8.548E-11         | 8.548E-09       | 8.548E-10         | 8.548E-11         | 8.548E-09         | 8.548E-11         | 8.548E-10        | 8.548E-09        | 8.548E-10        |
| 50         | 8.548E-11         | 8.548E-11         | 8.548E-09       | 8.548E-10         | 8.548E-11         | 8.548E-09         | 8.548E-11         | 8.548E-10        | 8.548E-09        | 8.548E-10        |
| 100        | 8.548E-11         | 8.548E-11         | 8.548E-09       | 8.548E-10         | 8.548E-11         | 8.548E-09         | 8.548E-11         | 8.548E-10        | 8.548E-09        | 8.548E-10        |
| 150        | 8.548E-11         | 8.548E-11         | 8.548E-09       | 8.548E-10         | 8.548E-11         | 8.548E-09         | 8.548E-11         | 8.548E-10        | 8.548E-09        | 8.548E-10        |
| 154        | 8.548E-11         | 8.548E-11         | 8.548E-09       | 8.548E-10         | 8.548E-11         | 8.548E-09         | 8.548E-11         | 8.548E-10        | 8.548E-09        | 8.548E-10        |
| 155        | 8.655E-12         | 8.655E-12         | 8.655E-10       | 8.655E-11         | 8.655E-12         | 8.655E-10         | 8.655E-12         | 8.655E-11        | 8.655E-10        | 8.655E-11        |
| 200        | 6.604E-12         | 6.604E-12         | 6.604E-10       | 6.604E-11         | 6.604E-12         | 6.604E-10         | 6.604E-12         | 6.604E-11        | 6.604E-10        | 6.604E-11        |
| 300        | 4.227E-12         | 4.227E-12         | 4.227E-10       | 4.227E-11         | 4.227E-12         | 4.227E-10         | 4.227E-12         | 4.227E-11        | 4.227E-10        | 4.227E-11        |
| 400        | 3.030E-12         | 3.030E-12         | 3.030E-10       | 3.030E-11         | 3.030E-12         | 3.030E-10         | 3.030E-12         | 3.030E-11        | 3.030E-10        | 3.030E-11        |
| 500        | 2.314E-12         | 2.314E-12         | 2.314E-10       | 2.314E-11         | 2.314E-12         | 2.314E-10         | 2.314E-12         | 2.314E-11        | 2.314E-10        | 2.314E-11        |
| 1000       | 9.338E-13         | 9.338E-13         | 9.338E-11       | 9.338E-12         | 9.338E-13         | 9.338E-11         | 9.338E-13         | 9.338E-12        | 9.338E-11        | 9.338E-12        |
| 2000       | 3.468E-13         | 3.468E-13         | 3.468E-11       | 3.468E-12         | 3.468E-13         | 3.468E-11         | 3.468E-13         | 3.468E-12        | 3.468E-11        | 3.468E-12        |
| 3000       | 1.903E-13         | 1.903E-13         | 1.903E-11       | 1.903E-12         | 1.903E-13         | 1.903E-11         | 1.903E-13         | 1.903E-12        | 1.903E-11        | 1.903E-12        |
| 4000       | 1.238E-13         | 1.238E-13         | 1.238E-11       | 1.238E-12         | 1.238E-13         | 1.238E-11         | 1.238E-13         | 1.238E-12        | 1.238E-11        | 1.238E-12        |
| 5000       | 8.861E-14         | 8.861E-14         | 8.861E-12       | 8.861E-13         | 8.861E-14         | 8.861E-12         | 8.861E-14         | 8.861E-13        | 8.861E-12        | 8.861E-13        |



## 2) 气载流出物剂量估算模式

本次评价考虑的气载流出物对公众造成辐射影响的途径包括：

- 烟云浸没外照射；
- 放射性气载流出物在地面沉积造成的外照射；
- 吸入空气造成的内照射。

### ①烟云浸没外照射所致剂量估算模式

$$D_i^{im} = C_{Ai} DF_{im} O_f \quad \text{式 5.2-24}$$

其中：

$C_{Ai}$ ——核素  $i$  的地面空气浓度，单位  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ；

$DF_{im}$ ——烟云浸没外照射剂量转换因子，单位  $\text{Sv}\cdot\text{m}^3\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ，根据 IAEA No.19 TABLE XV 和 FGR No.12 TABLE III.1，本项目核素的烟云浸没外照射剂量转换因子汇总到表 5.2-72；

$O_f$  ——每年公众受到浸没外照射的时间份额，取值为 1。

### ②地面沉积外照射所致剂量估算模式

$$D_i^{gr} = C_{gr} DF_{gr} O_f \quad \text{式 5.2-25}$$

$$C_{gr} = \frac{d_i [1 - \exp(-\lambda_E t_b)]}{\lambda_E} \quad \text{式 5.2-26}$$

$$d_i = (V_d + V_w) C_{Ai} \quad \text{式 5.2-27}$$

其中：

$C_{Ai}$ ——核素  $i$  的地面空气浓度，单位  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ；

$DF_{gr}$ ——地面沉积外照射剂量转换因子，单位  $\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ，根据 IAEA No.19 TABLE XV 和 FGR No.12 TABLE III.3，本项目核素的地面沉积外照射剂量转换因子汇总到表 5.2-72；

$O_f$  ——每年公众受到地表沉积外照射的时间份额，取值为 1；

$\lambda_E$ ——核素由地表面清除的有效速率常数， $\lambda_E = \lambda + \lambda_s$ ，单位  $\text{s}^{-1}$ ，根据 IAEA No.19 TABLE X 和 Annex II，本项目核素的  $\lambda$  和  $\lambda_s$  汇总到表 5.2-72；

$V_d + V_w$ ——总沉积速率，保守取  $1000\text{m}/\text{d}$ ；

$t_b$ ——核素释放时间，单位  $\text{d}$ ，取值  $1.1 \times 10^4 \text{d}$ 。

### ③吸入内照射所致剂量估算模式

$$D_i^{inh} = C_{Ai} R_{inh} DF_{inh} \quad \text{式 5.2-28}$$

其中：

$C_{Ai}$ ——核素  $i$  的地面空气浓度，单位  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ；

$R_{inh}$ ——呼吸率，单位  $\text{m}^3/\text{a}$ ，根据 IAEA No.19 TABLE XIV，对于成人，呼吸率取值为  $8400\text{m}^3/\text{a}$ ；

$DF_{inh}$ ——吸入内照射剂量转换因子，单位  $\text{Sv}/\text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 表 B7，对于成人，本项目核素的吸入内照射剂量转换因子汇总到表 5.2-72。

表 5.2-72 本项目气载流出物各核素的计算参数

| 核素                                       | 浸没外照射剂量转换因子<br>(Sv·m <sup>3</sup> ·Bq <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> ) | 地面沉积外照射剂量转换因子<br>(Sv·m <sup>3</sup> ·Bq <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> ) | $\lambda$<br>(s <sup>-1</sup> ) | $\lambda_s$<br>(s <sup>-1</sup> ) | 吸入内照射剂量转换因子<br>(Sv·Bq <sup>-1</sup> ) |
|--|--|--|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <sup>57</sup> Co                         | 1.8E-07  | 3.7E-09  | 2.97E-08                        | 0                                 | 5.5E-10                               |
| <sup>68</sup> Ge                         | 2.3E-12  | 6.9E-13  | 2.79E-08                        | 0                                 | 1.4E-08                               |
| <sup>113</sup> Sn/<br><sup>113m</sup> In | 1.2E-08  | 8.8E-09  | 6.98E-08                        | 0                                 | 2.7E-09                               |
| <sup>147</sup> Pm                        | 2.8E-10  | 1.1E-12  | 8.39E-09                        | 0                                 | 5.0E-09                               |
| <sup>85</sup> Kr                         | 3.8E-09  | 0  | 2.05E-09                        | 0                                 | 0                                     |
| <sup>14</sup> C                          | 7.1E-12  | 5.1E-13  | 3.86E-12                        | 0                                 | 2.0E-09                               |
| <sup>137</sup> Cs                        | 8.7E-07  | 1.8E-08  | 7.33E-10                        | 1.4E-04                           | 9.7E-09                               |
| <sup>90</sup> Sr/<br><sup>90</sup> Y     | 3.1E-09  | 3.5E-09  | 7.55E-10                        | 1.4E-04                           | 3.6E-08                               |
| <sup>60</sup> Co                         | 4.0E-06  | 7.5E-08  | 4.17E-09                        | 0                                 | 1.0E-08                               |
| <sup>3</sup> H                           | 1.0E-11  | 0  | 1.78E-09                        | 0                                 | 4.5E-11                               |
| <sup>85</sup> Sr                         | 7.7E-07  | 1.6E-08  | 1.24E-07                        | 1.4E-04                           | 6.4E-10                               |
| <sup>131</sup> Ba                        | 6.6E-07  | 1.5E-08  | 6.86E-07                        | 0                                 | 7.6E-10                               |
| <sup>51</sup> Cr                         | 4.8E-08  | 9.8E-10  | 2.90E-07                        | 0                                 | 3.2E-11                               |
| <sup>153</sup> Gd                        | 1.2E-07  | 3.4E-09  | 3.32E-08                        | 0                                 | 2.1E-09                               |
| <sup>203</sup> Hg                        | 3.6E-07  | 7.4E-09  | 1.72E-07                        | 0                                 | 2.4E-09                               |
| <sup>109</sup> Cd                        | 9.6E-09  | 7.4E-10  | 1.73E-08                        | 0                                 | 6.6E-09                               |
| <sup>88</sup> Y                          | 4.3E-06  | 7.8E-08  | 7.43E-08                        | 0                                 | 4.1E-09                               |
| <sup>22</sup> Na                         | 3.4E-06  | 6.7E-08  | 8.45E-09                        | 0                                 | 1.3E-09                               |
| <sup>54</sup> Mn                         | 1.3E-06  | 2.6E-08  | 2.57E-08                        | 0                                 | 1.5E-09                               |
| <sup>65</sup> Zn                         | 9.2E-07  | 1.8E-08  | 3.29E-08                        | 0                                 | 1.6E-09                               |
| <sup>152</sup> Eu                        | 1.8E-06  | 3.5E-08  | 1.67E-09                        | 0                                 | 4.2E-08                               |
| <sup>198</sup> Au                        | 6.2E-07  | 1.3E-08  | 2.98E-06                        | 0                                 | 7.8E-10                               |
| <sup>170</sup> Tm                        | 7.0E-09  | 1.9E-10  | 6.17E-08                        | 0                                 | 7.0E-09                               |
| <sup>210</sup> Pb                        | 1.8E-09  | 1.2E-09  | 9.86E-10                        | 0                                 | 1.1E-06                               |
| <sup>154</sup> Eu                        | 2.0E-06  | 3.8E-08  | 2.50E-09                        | 0                                 | 5.3E-08                               |
| <sup>35</sup> S                          | 1.0E-10  | 5.5E-13  | 9.18E-08                        | 0                                 | 1.4E-09                               |
| <sup>133</sup> Ba                        | 5.6E-07  | 1.3E-08  | 2.02E-09                        | 0                                 | 3.1E-09                               |
| <sup>106</sup> Ru                        | 3.6E-07  | 1.1E-08  | 2.18E-08                        | 0                                 | 2.8E-08                               |
| <sup>169</sup> Yb                        | 4.1E-07  | 9.6E-09  | 2.51E-07                        | 0                                 | 2.5E-09                               |
| <sup>144</sup> Ce                        | 1.1E-07  | 5.7E-09  | 2.82E-08                        | 0                                 | 3.6E-08                               |
| <sup>55</sup> Fe                         | 0  | 0  | 8.14E-09                        | 0                                 | 3.8E-10                               |
| <sup>99</sup> Tc                         | 9.2E-10  | 2.5E-12  | 1.03E-13                        | 0                                 | 4.0E-09                               |
| <sup>36</sup> Cl                         | 7.0E-10  | 2.2E-11  | 7.30E-14                        | 1.4E-03                           | 7.3E-09                               |

## ④剂量计算结果

本项目各核素由烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射、各途径合计所致公众剂量计算结果见表 5.2-73~76。

表 5.2-73 (1/4) 各核素由烟云浸没外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离<br>(m) | 生产厂房和辐射中心        |                  |                                       |                   |                  |                 |                   |                                   |                  |
|---------------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
|               | <sup>57</sup> Co | <sup>68</sup> Ge | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>147</sup> Pm | <sup>85</sup> Kr | <sup>14</sup> C | <sup>137</sup> Cs | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y | <sup>60</sup> Co |
| 10            | 2.054E-12        | 2.624E-17        | 2.738E-12                             | 1.597E-13         | 4.336E-09        | 8.101E-17       | 1.073E-15         | 3.537E-14                         | 8.634E-15        |
| 20            | 2.054E-12        | 2.624E-17        | 2.738E-12                             | 1.597E-13         | 4.336E-09        | 8.101E-17       | 1.073E-15         | 3.537E-14                         | 8.634E-15        |
| 50            | 2.054E-12        | 2.624E-17        | 2.738E-12                             | 1.597E-13         | 4.336E-09        | 8.101E-17       | 1.073E-15         | 3.537E-14                         | 8.634E-15        |
| 100           | 2.054E-12        | 2.624E-17        | 2.738E-12                             | 1.597E-13         | 4.336E-09        | 8.101E-17       | 1.073E-15         | 3.537E-14                         | 8.634E-15        |
| 150           | 2.054E-12        | 2.624E-17        | 2.738E-12                             | 1.597E-13         | 4.336E-09        | 8.101E-17       | 1.073E-15         | 3.537E-14                         | 8.634E-15        |
| 154           | 2.054E-12        | 2.624E-17        | 2.738E-12                             | 1.597E-13         | 4.336E-09        | 8.101E-17       | 1.073E-15         | 3.537E-14                         | 8.634E-15        |
| 155           | 5.764E-14        | 7.365E-19        | 7.686E-14                             | 4.483E-15         | 1.217E-10        | 2.274E-18       | 3.012E-17         | 9.927E-16                         | 2.423E-16        |
| 200           | 4.398E-14        | 5.620E-19        | 5.865E-14                             | 3.421E-15         | 9.286E-11        | 1.735E-18       | 2.298E-17         | 7.575E-16                         | 1.849E-16        |
| 300           | 2.815E-14        | 3.597E-19        | 3.754E-14                             | 2.190E-15         | 5.943E-11        | 1.110E-18       | 1.471E-17         | 4.849E-16                         | 1.184E-16        |
| 400           | 2.018E-14        | 2.579E-19        | 2.691E-14                             | 1.570E-15         | 4.260E-11        | 7.960E-19       | 1.054E-17         | 3.475E-16                         | 8.484E-17        |
| 500           | 1.541E-14        | 1.969E-19        | 2.054E-14                             | 1.198E-15         | 3.253E-11        | 6.078E-19       | 8.051E-18         | 2.654E-16                         | 6.478E-17        |
| 1000          | 6.219E-15        | 7.947E-20        | 8.292E-15                             | 4.837E-16         | 1.313E-11        | 2.453E-19       | 3.250E-18         | 1.071E-16                         | 2.615E-17        |
| 2000          | 2.310E-15        | 2.951E-20        | 3.079E-15                             | 1.796E-16         | 4.876E-12        | 9.110E-20       | 1.207E-18         | 3.978E-17                         | 9.710E-18        |
| 3000          | 1.268E-15        | 1.620E-20        | 1.690E-15                             | 9.858E-17         | 2.676E-12        | 5.000E-20       | 6.623E-19         | 2.183E-17                         | 5.329E-18        |
| 4000          | 8.247E-16        | 1.054E-20        | 1.100E-15                             | 6.414E-17         | 1.741E-12        | 3.253E-20       | 4.309E-19         | 1.420E-17                         | 3.467E-18        |
| 5000          | 5.901E-16        | 7.541E-21        | 7.868E-16                             | 4.590E-17         | 1.246E-12        | 2.328E-20       | 3.084E-19         | 1.016E-17                         | 2.481E-18        |

续表 5.2-73 (2/4) 各核素由烟云浸没外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼            |                 |                  |                  |                   |                  |                                       |                   |                   |                  |
|------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|            | <sup>3</sup> H | <sup>14</sup> C | <sup>68</sup> Ge | <sup>85</sup> Sr | <sup>131</sup> Ba | <sup>51</sup> Cr | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>153</sup> Gd | <sup>203</sup> Hg | <sup>57</sup> Co |
| 10         | 1.711E-17      | 1.215E-17       | 6.561E-18        | 2.196E-12        | 1.130E-12         | 8.215E-14        | 2.054E-14                             | 2.091E-13         | 6.161E-13         | 1.027E-12        |
| 20         | 1.711E-17      | 1.215E-17       | 6.561E-18        | 2.196E-12        | 1.130E-12         | 8.215E-14        | 2.054E-14                             | 2.091E-13         | 6.161E-13         | 1.027E-12        |
| 50         | 1.711E-17      | 1.215E-17       | 6.561E-18        | 2.196E-12        | 1.130E-12         | 8.215E-14        | 2.054E-14                             | 2.091E-13         | 6.161E-13         | 1.027E-12        |
| 100        | 1.711E-17      | 1.215E-17       | 6.561E-18        | 2.196E-12        | 1.130E-12         | 8.215E-14        | 2.054E-14                             | 2.091E-13         | 6.161E-13         | 1.027E-12        |
| 150        | 1.711E-17      | 1.215E-17       | 6.561E-18        | 2.196E-12        | 1.130E-12         | 8.215E-14        | 2.054E-14                             | 2.091E-13         | 6.161E-13         | 1.027E-12        |
| 154        | 1.711E-17      | 1.215E-17       | 6.561E-18        | 2.196E-12        | 1.130E-12         | 8.215E-14        | 2.054E-14                             | 2.091E-13         | 6.161E-13         | 1.027E-12        |
| 155        | 4.803E-19      | 3.410E-19       | 1.841E-19        | 6.164E-14        | 3.170E-14         | 2.306E-15        | 5.764E-16                             | 5.868E-15         | 1.729E-14         | 2.882E-14        |
| 200        | 3.665E-19      | 2.602E-19       | 1.405E-19        | 4.704E-14        | 2.419E-14         | 1.759E-15        | 4.398E-16                             | 4.478E-15         | 1.320E-14         | 2.199E-14        |
| 300        | 2.346E-19      | 1.666E-19       | 8.993E-20        | 3.011E-14        | 1.548E-14         | 1.126E-15        | 2.815E-16                             | 2.866E-15         | 8.446E-15         | 1.408E-14        |
| 400        | 1.682E-19      | 1.194E-19       | 6.446E-20        | 2.158E-14        | 1.110E-14         | 8.072E-16        | 2.018E-16                             | 2.054E-15         | 6.054E-15         | 1.009E-14        |
| 500        | 1.284E-19      | 9.117E-20       | 4.922E-20        | 1.648E-14        | 8.474E-15         | 6.163E-16        | 1.541E-16                             | 1.569E-15         | 4.622E-15         | 7.704E-15        |
| 1000       | 5.183E-20      | 3.680E-20       | 1.987E-20        | 6.651E-15        | 3.421E-15         | 2.488E-16        | 6.219E-17                             | 6.331E-16         | 1.866E-15         | 3.110E-15        |
| 2000       | 1.925E-20      | 1.366E-20       | 7.378E-21        | 2.470E-15        | 1.270E-15         | 9.238E-17        | 2.310E-17                             | 2.351E-16         | 6.929E-16         | 1.155E-15        |
| 3000       | 1.056E-20      | 7.500E-21       | 4.049E-21        | 1.356E-15        | 6.971E-16         | 5.070E-17        | 1.268E-17                             | 1.290E-16         | 3.803E-16         | 6.338E-16        |
| 4000       | 6.872E-21      | 4.879E-21       | 2.634E-21        | 8.819E-16        | 4.536E-16         | 3.299E-17        | 8.247E-18                             | 8.395E-17         | 2.474E-16         | 4.123E-16        |
| 5000       | 4.918E-21      | 3.492E-21       | 1.885E-21        | 6.311E-16        | 3.246E-16         | 2.361E-17        | 5.901E-18                             | 6.008E-17         | 1.770E-16         | 2.951E-16        |

续表 5.2-73 (3/4) 各核素由烟云浸没外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|            | <sup>109</sup> Cd | <sup>147</sup> Pm | <sup>88</sup> Y | <sup>22</sup> Na | <sup>54</sup> Mn | <sup>65</sup> Zn | <sup>152</sup> Eu | <sup>60</sup> Co | <sup>198</sup> Au | <sup>170</sup> Tm |
| 10         | 1.646E-14         | 4.792E-16         | 1.227E-11       | 5.924E-12        | 2.225E-12        | 1.575E-12        | 1.854E-12         | 1.233E-15        | 1.912E-15         | 2.159E-17         |
| 20         | 1.646E-14         | 4.792E-16         | 1.227E-11       | 5.924E-12        | 2.225E-12        | 1.575E-12        | 1.854E-12         | 1.233E-15        | 1.912E-15         | 2.159E-17         |
| 50         | 1.646E-14         | 4.792E-16         | 1.227E-11       | 5.924E-12        | 2.225E-12        | 1.575E-12        | 1.854E-12         | 1.233E-15        | 1.912E-15         | 2.159E-17         |
| 100        | 1.646E-14         | 4.792E-16         | 1.227E-11       | 5.924E-12        | 2.225E-12        | 1.575E-12        | 1.854E-12         | 1.233E-15        | 1.912E-15         | 2.159E-17         |
| 150        | 1.646E-14         | 4.792E-16         | 1.227E-11       | 5.924E-12        | 2.225E-12        | 1.575E-12        | 1.854E-12         | 1.233E-15        | 1.912E-15         | 2.159E-17         |
| 154        | 1.646E-14         | 4.792E-16         | 1.227E-11       | 5.924E-12        | 2.225E-12        | 1.575E-12        | 1.854E-12         | 1.233E-15        | 1.912E-15         | 2.159E-17         |
| 155        | 4.620E-16         | 1.345E-17         | 3.442E-13       | 1.663E-13        | 6.245E-14        | 4.419E-14        | 5.203E-14         | 3.462E-17        | 5.366E-17         | 6.058E-19         |
| 200        | 3.525E-16         | 1.026E-17         | 2.627E-13       | 1.269E-13        | 4.765E-14        | 3.372E-14        | 3.970E-14         | 2.642E-17        | 4.095E-17         | 4.623E-19         |
| 300        | 2.256E-16         | 6.569E-18         | 1.681E-13       | 8.120E-14        | 3.050E-14        | 2.158E-14        | 2.541E-14         | 1.691E-17        | 2.621E-17         | 2.959E-19         |
| 400        | 1.617E-16         | 4.709E-18         | 1.205E-13       | 5.821E-14        | 2.186E-14        | 1.547E-14        | 1.822E-14         | 1.212E-17        | 1.879E-17         | 2.121E-19         |
| 500        | 1.235E-16         | 3.595E-18         | 9.202E-14       | 4.444E-14        | 1.669E-14        | 1.181E-14        | 1.391E-14         | 9.254E-18        | 1.434E-17         | 1.619E-19         |
| 1000       | 4.984E-17         | 1.451E-18         | 3.714E-14       | 1.794E-14        | 6.737E-15        | 4.768E-15        | 5.614E-15         | 3.735E-18        | 5.790E-18         | 6.537E-20         |
| 2000       | 1.851E-17         | 5.389E-19         | 1.379E-14       | 6.662E-15        | 2.502E-15        | 1.771E-15        | 2.085E-15         | 1.387E-18        | 2.150E-18         | 2.427E-20         |
| 3000       | 1.016E-17         | 2.958E-19         | 7.570E-15       | 3.656E-15        | 1.373E-15        | 9.718E-16        | 1.144E-15         | 7.613E-19        | 1.180E-18         | 1.332E-20         |
| 4000       | 6.609E-18         | 1.924E-19         | 4.925E-15       | 2.379E-15        | 8.934E-16        | 6.322E-16        | 7.444E-16         | 4.953E-19        | 7.677E-19         | 8.668E-21         |
| 5000       | 4.730E-18         | 1.377E-19         | 3.524E-15       | 1.702E-15        | 6.393E-16        | 4.524E-16        | 5.327E-16         | 3.544E-19        | 5.494E-19         | 6.203E-21         |

续表 5.2-73 (4/4) 各核素由烟云浸没外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | <sup>210</sup> Pb | <sup>154</sup> Eu | <sup>35</sup> S | <sup>133</sup> Ba | <sup>106</sup> Ru | <sup>169</sup> Yb | <sup>144</sup> Ce | <sup>55</sup> Fe | <sup>99</sup> Tc | <sup>36</sup> Cl |
| 10         | 5.551E-19         | 6.167E-16         | 3.084E-18       | 1.727E-15         | 1.110E-16         | 1.264E-14         | 3.392E-17         | 0.000E+00        | 2.837E-17        | 2.159E-18        |
| 20         | 5.551E-19         | 6.167E-16         | 3.084E-18       | 1.727E-15         | 1.110E-16         | 1.264E-14         | 3.392E-17         | 0.000E+00        | 2.837E-17        | 2.159E-18        |
| 50         | 5.551E-19         | 6.167E-16         | 3.084E-18       | 1.727E-15         | 1.110E-16         | 1.264E-14         | 3.392E-17         | 0.000E+00        | 2.837E-17        | 2.159E-18        |
| 100        | 5.551E-19         | 6.167E-16         | 3.084E-18       | 1.727E-15         | 1.110E-16         | 1.264E-14         | 3.392E-17         | 0.000E+00        | 2.837E-17        | 2.159E-18        |
| 150        | 5.551E-19         | 6.167E-16         | 3.084E-18       | 1.727E-15         | 1.110E-16         | 1.264E-14         | 3.392E-17         | 0.000E+00        | 2.837E-17        | 2.159E-18        |
| 154        | 5.551E-19         | 6.167E-16         | 3.084E-18       | 1.727E-15         | 1.110E-16         | 1.264E-14         | 3.392E-17         | 0.000E+00        | 2.837E-17        | 2.159E-18        |
| 155        | 1.558E-20         | 1.731E-17         | 8.655E-20       | 4.847E-17         | 3.116E-18         | 3.549E-16         | 9.520E-19         | 0.000E+00        | 7.963E-19        | 6.058E-20        |
| 200        | 1.189E-20         | 1.321E-17         | 6.604E-20       | 3.698E-17         | 2.378E-18         | 2.708E-16         | 7.265E-19         | 0.000E+00        | 6.076E-19        | 4.623E-20        |
| 300        | 7.609E-21         | 8.454E-18         | 4.227E-20       | 2.367E-17         | 1.522E-18         | 1.733E-16         | 4.650E-19         | 0.000E+00        | 3.889E-19        | 2.959E-20        |
| 400        | 5.454E-21         | 6.060E-18         | 3.030E-20       | 1.697E-17         | 1.091E-18         | 1.242E-16         | 3.333E-19         | 0.000E+00        | 2.788E-19        | 2.121E-20        |
| 500        | 4.164E-21         | 4.627E-18         | 2.314E-20       | 1.296E-17         | 8.329E-19         | 9.486E-17         | 2.545E-19         | 0.000E+00        | 2.128E-19        | 1.619E-20        |
| 1000       | 1.681E-21         | 1.868E-18         | 9.338E-21       | 5.229E-18         | 3.362E-19         | 3.829E-17         | 1.027E-19         | 0.000E+00        | 8.591E-20        | 6.537E-21        |
| 2000       | 6.242E-22         | 6.936E-19         | 3.468E-21       | 1.942E-18         | 1.248E-19         | 1.422E-17         | 3.815E-20         | 0.000E+00        | 3.190E-20        | 2.427E-21        |
| 3000       | 3.426E-22         | 3.806E-19         | 1.903E-21       | 1.066E-18         | 6.851E-20         | 7.803E-18         | 2.094E-20         | 0.000E+00        | 1.751E-20        | 1.332E-21        |
| 4000       | 2.229E-22         | 2.476E-19         | 1.238E-21       | 6.934E-19         | 4.458E-20         | 5.077E-18         | 1.362E-20         | 0.000E+00        | 1.139E-20        | 8.668E-22        |
| 5000       | 1.595E-22         | 1.772E-19         | 8.861E-22       | 4.962E-19         | 3.190E-20         | 3.633E-18         | 9.747E-21         | 0.000E+00        | 8.152E-21        | 6.203E-22        |



表 5.2-74 (1/4) 各核素由地面沉积外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离<br>(m) | 生产厂房和辐射中心        |                  |                                       |                   |                  |                 |                   |                                   |                  |
|---------------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
|               | <sup>57</sup> Co | <sup>68</sup> Ge | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>147</sup> Pm | <sup>85</sup> Kr | <sup>14</sup> C | <sup>137</sup> Cs | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y | <sup>60</sup> Co |
| 10            | 1.65E-08         | 3.27E-12         | 3.33E-07                              | 8.65E-10          | 0.00E+00         | 6.39E-11        | 1.84E-15          | 3.30E-12                          | 4.41E-10         |
| 20            | 1.65E-08         | 3.27E-12         | 3.33E-07                              | 8.65E-10          | 0.00E+00         | 6.39E-11        | 1.84E-15          | 3.30E-12                          | 4.41E-10         |
| 50            | 1.65E-08         | 3.27E-12         | 3.33E-07                              | 8.65E-10          | 0.00E+00         | 6.39E-11        | 1.84E-15          | 3.30E-12                          | 4.41E-10         |
| 100           | 1.65E-08         | 3.27E-12         | 3.33E-07                              | 8.65E-10          | 0.00E+00         | 6.39E-11        | 1.84E-15          | 3.30E-12                          | 4.41E-10         |
| 150           | 1.65E-08         | 3.27E-12         | 3.33E-07                              | 8.65E-10          | 0.00E+00         | 6.39E-11        | 1.84E-15          | 3.30E-12                          | 4.41E-10         |
| 154           | 1.65E-08         | 3.27E-12         | 3.33E-07                              | 8.65E-10          | 0.00E+00         | 6.39E-11        | 1.84E-15          | 3.30E-12                          | 4.41E-10         |
| 155           | 4.62E-10         | 9.17E-14         | 9.35E-09                              | 2.43E-11          | 0.00E+00         | 1.79E-12        | 5.15E-17          | 9.27E-14                          | 1.24E-11         |
| 200           | 3.52E-10         | 6.99E-14         | 7.13E-09                              | 1.85E-11          | 0.00E+00         | 1.37E-12        | 3.93E-17          | 7.07E-14                          | 9.44E-12         |
| 300           | 2.26E-10         | 4.48E-14         | 4.56E-09                              | 1.19E-11          | 0.00E+00         | 8.76E-13        | 2.52E-17          | 4.53E-14                          | 6.04E-12         |
| 400           | 1.62E-10         | 3.21E-14         | 3.27E-09                              | 8.50E-12          | 0.00E+00         | 6.28E-13        | 1.80E-17          | 3.24E-14                          | 4.33E-12         |
| 500           | 1.23E-10         | 2.45E-14         | 2.50E-09                              | 6.49E-12          | 0.00E+00         | 4.79E-13        | 1.38E-17          | 2.48E-14                          | 3.31E-12         |
| 1000          | 4.98E-11         | 9.89E-15         | 1.01E-09                              | 2.62E-12          | 0.00E+00         | 1.93E-13        | 5.56E-18          | 1.00E-14                          | 1.33E-12         |
| 2000          | 1.85E-11         | 3.67E-15         | 3.74E-10                              | 9.73E-13          | 0.00E+00         | 7.18E-14        | 2.06E-18          | 3.71E-15                          | 4.96E-13         |
| 3000          | 1.02E-11         | 2.02E-15         | 2.06E-10                              | 5.34E-13          | 0.00E+00         | 3.94E-14        | 1.13E-18          | 2.04E-15                          | 2.72E-13         |
| 4000          | 6.61E-12         | 1.31E-15         | 1.34E-10                              | 3.47E-13          | 0.00E+00         | 2.57E-14        | 7.37E-19          | 1.33E-15                          | 1.77E-13         |
| 5000          | 4.73E-12         | 9.38E-16         | 9.57E-11                              | 2.49E-13          | 0.00E+00         | 1.84E-14        | 5.27E-19          | 9.49E-16                          | 1.27E-13         |

续表 5.2-74 (2/4) 各核素由地面沉积外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼            |                 |                  |                  |                   |                  |                                       |                   |                   |                  |
|------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|            | <sup>3</sup> H | <sup>14</sup> C | <sup>68</sup> Ge | <sup>85</sup> Sr | <sup>131</sup> Ba | <sup>51</sup> Cr | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>153</sup> Gd | <sup>203</sup> Hg | <sup>57</sup> Co |
| 10         | 0.00E+00       | 9.58E-12        | 8.16E-13         | 3.77E-12         | 4.33E-10          | 6.69E-11         | 2.50E-09                              | 2.07E-09          | 8.52E-10          | 8.23E-09         |
| 20         | 0.00E+00       | 9.58E-12        | 8.16E-13         | 3.77E-12         | 4.33E-10          | 6.69E-11         | 2.50E-09                              | 2.07E-09          | 8.52E-10          | 8.23E-09         |
| 50         | 0.00E+00       | 9.58E-12        | 8.16E-13         | 3.77E-12         | 4.33E-10          | 6.69E-11         | 2.50E-09                              | 2.07E-09          | 8.52E-10          | 8.23E-09         |
| 100        | 0.00E+00       | 9.58E-12        | 8.16E-13         | 3.77E-12         | 4.33E-10          | 6.69E-11         | 2.50E-09                              | 2.07E-09          | 8.52E-10          | 8.23E-09         |
| 150        | 0.00E+00       | 9.58E-12        | 8.16E-13         | 3.77E-12         | 4.33E-10          | 6.69E-11         | 2.50E-09                              | 2.07E-09          | 8.52E-10          | 8.23E-09         |
| 154        | 0.00E+00       | 9.58E-12        | 8.16E-13         | 3.77E-12         | 4.33E-10          | 6.69E-11         | 2.50E-09                              | 2.07E-09          | 8.52E-10          | 8.23E-09         |
| 155        | 0.00E+00       | 2.69E-13        | 2.29E-14         | 1.06E-13         | 1.22E-11          | 1.88E-12         | 7.01E-11                              | 5.80E-11          | 2.39E-11          | 2.31E-10         |
| 200        | 0.00E+00       | 2.05E-13        | 1.75E-14         | 8.07E-14         | 9.28E-12          | 1.43E-12         | 5.35E-11                              | 4.42E-11          | 1.83E-11          | 1.76E-10         |
| 300        | 0.00E+00       | 1.31E-13        | 1.12E-14         | 5.17E-14         | 5.94E-12          | 9.18E-13         | 3.42E-11                              | 2.83E-11          | 1.17E-11          | 1.13E-10         |
| 400        | 0.00E+00       | 9.42E-14        | 8.02E-15         | 3.70E-14         | 4.26E-12          | 6.58E-13         | 2.45E-11                              | 2.03E-11          | 8.37E-12          | 8.08E-11         |
| 500        | 0.00E+00       | 7.19E-14        | 6.13E-15         | 2.83E-14         | 3.25E-12          | 5.02E-13         | 1.87E-11                              | 1.55E-11          | 6.39E-12          | 6.17E-11         |
| 1000       | 0.00E+00       | 2.90E-14        | 2.47E-15         | 1.14E-14         | 1.31E-12          | 2.03E-13         | 7.56E-12                              | 6.25E-12          | 2.58E-12          | 2.49E-11         |
| 2000       | 0.00E+00       | 1.08E-14        | 9.18E-16         | 4.24E-15         | 4.87E-13          | 7.53E-14         | 2.81E-12                              | 2.32E-12          | 9.58E-13          | 9.25E-12         |
| 3000       | 0.00E+00       | 5.91E-15        | 5.04E-16         | 2.33E-15         | 2.67E-13          | 4.13E-14         | 1.54E-12                              | 1.27E-12          | 5.26E-13          | 5.08E-12         |
| 4000       | 0.00E+00       | 3.85E-15        | 3.28E-16         | 1.51E-15         | 1.74E-13          | 2.69E-14         | 1.00E-12                              | 8.29E-13          | 3.42E-13          | 3.30E-12         |
| 5000       | 0.00E+00       | 2.75E-15        | 2.35E-16         | 1.08E-15         | 1.24E-13          | 1.92E-14         | 7.18E-13                              | 5.93E-13          | 2.45E-13          | 2.36E-12         |

续表 5.2-74 (3/4) 各核素由地面沉积外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|            | <sup>109</sup> Cd | <sup>147</sup> Pm | <sup>88</sup> Y | <sup>22</sup> Na | <sup>54</sup> Mn | <sup>65</sup> Zn | <sup>152</sup> Eu | <sup>60</sup> Co | <sup>198</sup> Au | <sup>170</sup> Tm |
| 10         | 8.49E-10          | 2.60E-12          | 3.47E-08        | 1.60E-07         | 2.00E-08         | 1.08E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.56E-13          | 1.10E-13          |
| 20         | 8.49E-10          | 2.60E-12          | 3.47E-08        | 1.60E-07         | 2.00E-08         | 1.08E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.56E-13          | 1.10E-13          |
| 50         | 8.49E-10          | 2.60E-12          | 3.47E-08        | 1.60E-07         | 2.00E-08         | 1.08E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.56E-13          | 1.10E-13          |
| 100        | 8.49E-10          | 2.60E-12          | 3.47E-08        | 1.60E-07         | 2.00E-08         | 1.08E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.56E-13          | 1.10E-13          |
| 150        | 8.49E-10          | 2.60E-12          | 3.47E-08        | 1.60E-07         | 2.00E-08         | 1.08E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.56E-13          | 1.10E-13          |
| 154        | 8.49E-10          | 2.60E-12          | 3.47E-08        | 1.60E-07         | 2.00E-08         | 1.08E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.56E-13          | 1.10E-13          |
| 155        | 2.38E-11          | 7.29E-14          | 9.73E-10        | 4.49E-09         | 5.62E-10         | 3.04E-10         | 5.58E-09          | 1.77E-12         | 4.37E-15          | 3.08E-15          |
| 200        | 1.82E-11          | 5.56E-14          | 7.42E-10        | 3.42E-09         | 4.29E-10         | 2.32E-10         | 4.26E-09          | 1.35E-12         | 3.33E-15          | 2.35E-15          |
| 300        | 1.16E-11          | 3.56E-14          | 4.75E-10        | 2.19E-09         | 2.75E-10         | 1.49E-10         | 2.72E-09          | 8.63E-13         | 2.13E-15          | 1.51E-15          |
| 400        | 8.34E-12          | 2.55E-14          | 3.41E-10        | 1.57E-09         | 1.97E-10         | 1.06E-10         | 1.95E-09          | 6.19E-13         | 1.53E-15          | 1.08E-15          |
| 500        | 6.37E-12          | 1.95E-14          | 2.60E-10        | 1.20E-09         | 1.50E-10         | 8.13E-11         | 1.49E-09          | 4.72E-13         | 1.17E-15          | 8.25E-16          |
| 1000       | 2.57E-12          | 7.86E-15          | 1.05E-10        | 4.84E-10         | 6.07E-11         | 3.28E-11         | 6.02E-10          | 1.91E-13         | 4.71E-16          | 3.33E-16          |
| 2000       | 9.55E-13          | 2.92E-15          | 3.90E-11        | 1.80E-10         | 2.25E-11         | 1.22E-11         | 2.23E-10          | 7.08E-14         | 1.75E-16          | 1.24E-16          |
| 3000       | 5.24E-13          | 1.60E-15          | 2.14E-11        | 9.86E-11         | 1.24E-11         | 6.69E-12         | 1.23E-10          | 3.89E-14         | 9.61E-17          | 6.78E-17          |
| 4000       | 3.41E-13          | 1.04E-15          | 1.39E-11        | 6.42E-11         | 8.05E-12         | 4.35E-12         | 7.98E-11          | 2.53E-14         | 6.25E-17          | 4.41E-17          |
| 5000       | 2.44E-13          | 7.46E-16          | 9.96E-12        | 4.59E-11         | 5.76E-12         | 3.11E-12         | 5.71E-11          | 1.81E-14         | 4.47E-17          | 3.16E-17          |

续表 5.2-74 (4/4) 各核素由地面沉积外照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | <sup>210</sup> Pb | <sup>154</sup> Eu | <sup>35</sup> S | <sup>133</sup> Ba | <sup>106</sup> Ru | <sup>169</sup> Yb | <sup>144</sup> Ce | <sup>55</sup> Fe | <sup>99</sup> Tc | <sup>36</sup> Cl |
| 10         | 2.64E-12          | 4.92E-11          | 2.14E-15        | 1.96E-10          | 1.80E-12          | 1.37E-11          | 7.21E-13          | 0.00E+00         | 8.48E-13         | 5.61E-19         |
| 20         | 2.64E-12          | 4.92E-11          | 2.14E-15        | 1.96E-10          | 1.80E-12          | 1.37E-11          | 7.21E-13          | 0.00E+00         | 8.48E-13         | 5.61E-19         |
| 50         | 2.64E-12          | 4.92E-11          | 2.14E-15        | 1.96E-10          | 1.80E-12          | 1.37E-11          | 7.21E-13          | 0.00E+00         | 8.48E-13         | 5.61E-19         |
| 100        | 2.64E-12          | 4.92E-11          | 2.14E-15        | 1.96E-10          | 1.80E-12          | 1.37E-11          | 7.21E-13          | 0.00E+00         | 8.48E-13         | 5.61E-19         |
| 150        | 2.64E-12          | 4.92E-11          | 2.14E-15        | 1.96E-10          | 1.80E-12          | 1.37E-11          | 7.21E-13          | 0.00E+00         | 8.48E-13         | 5.61E-19         |
| 154        | 2.64E-12          | 4.92E-11          | 2.14E-15        | 1.96E-10          | 1.80E-12          | 1.37E-11          | 7.21E-13          | 0.00E+00         | 8.48E-13         | 5.61E-19         |
| 155        | 7.42E-14          | 1.38E-12          | 6.00E-17        | 5.50E-12          | 5.05E-14          | 3.83E-13          | 2.02E-14          | 0.00E+00         | 2.38E-14         | 1.57E-20         |
| 200        | 5.66E-14          | 1.05E-12          | 4.58E-17        | 4.20E-12          | 3.86E-14          | 2.92E-13          | 1.55E-14          | 0.00E+00         | 1.82E-14         | 1.20E-20         |
| 300        | 3.62E-14          | 6.75E-13          | 2.93E-17        | 2.69E-12          | 2.47E-14          | 1.87E-13          | 9.89E-15          | 0.00E+00         | 1.16E-14         | 7.69E-21         |
| 400        | 2.60E-14          | 4.84E-13          | 2.10E-17        | 1.93E-12          | 1.77E-14          | 1.34E-13          | 7.09E-15          | 0.00E+00         | 8.33E-15         | 5.51E-21         |
| 500        | 1.98E-14          | 3.69E-13          | 1.60E-17        | 1.47E-12          | 1.35E-14          | 1.02E-13          | 5.41E-15          | 0.00E+00         | 6.36E-15         | 4.21E-21         |
| 1000       | 8.00E-15          | 1.49E-13          | 6.48E-18        | 5.94E-13          | 5.45E-15          | 4.13E-14          | 2.18E-15          | 0.00E+00         | 2.57E-15         | 1.70E-21         |
| 2000       | 2.97E-15          | 5.53E-14          | 2.40E-18        | 2.20E-13          | 2.03E-15          | 1.54E-14          | 8.11E-16          | 0.00E+00         | 9.54E-16         | 6.31E-22         |
| 3000       | 1.63E-15          | 3.04E-14          | 1.32E-18        | 1.21E-13          | 1.11E-15          | 8.42E-15          | 4.45E-16          | 0.00E+00         | 5.23E-16         | 3.46E-22         |
| 4000       | 1.06E-15          | 1.98E-14          | 8.59E-19        | 7.87E-14          | 7.23E-16          | 5.48E-15          | 2.90E-16          | 0.00E+00         | 3.40E-16         | 2.25E-22         |
| 5000       | 7.59E-16          | 1.41E-14          | 6.14E-19        | 5.63E-14          | 5.17E-16          | 3.92E-15          | 2.07E-16          | 0.00E+00         | 2.44E-16         | 1.61E-22         |

表 5.2-75 (1/4) 各核素由吸入内照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离<br>(m) | 生产厂房和辐射中心        |                  |                                       |                   |                  |                 |                   |                                   |                  |
|---------------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
|               | <sup>57</sup> Co | <sup>68</sup> Ge | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>147</sup> Pm | <sup>85</sup> Kr | <sup>14</sup> C | <sup>137</sup> Cs | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y | <sup>60</sup> Co |
| 10            | 5.271E-11        | 1.342E-09        | 5.175E-09                             | 2.396E-08         | 0.000E+00        | 1.917E-10       | 1.005E-13         | 3.450E-09                         | 1.813E-13        |
| 20            | 5.271E-11        | 1.342E-09        | 5.175E-09                             | 2.396E-08         | 0.000E+00        | 1.917E-10       | 1.005E-13         | 3.450E-09                         | 1.813E-13        |
| 50            | 5.271E-11        | 1.342E-09        | 5.175E-09                             | 2.396E-08         | 0.000E+00        | 1.917E-10       | 1.005E-13         | 3.450E-09                         | 1.813E-13        |
| 100           | 5.271E-11        | 1.342E-09        | 5.175E-09                             | 2.396E-08         | 0.000E+00        | 1.917E-10       | 1.005E-13         | 3.450E-09                         | 1.813E-13        |
| 150           | 5.271E-11        | 1.342E-09        | 5.175E-09                             | 2.396E-08         | 0.000E+00        | 1.917E-10       | 1.005E-13         | 3.450E-09                         | 1.813E-13        |
| 154           | 5.271E-11        | 1.342E-09        | 5.175E-09                             | 2.396E-08         | 0.000E+00        | 1.917E-10       | 1.005E-13         | 3.450E-09                         | 1.813E-13        |
| 155           | 1.479E-12        | 3.766E-11        | 1.453E-10                             | 6.725E-10         | 0.000E+00        | 5.380E-12       | 2.821E-15         | 9.684E-11                         | 5.089E-15        |
| 200           | 1.129E-12        | 2.874E-11        | 1.108E-10                             | 5.132E-10         | 0.000E+00        | 4.105E-12       | 2.152E-15         | 7.389E-11                         | 3.883E-15        |
| 300           | 7.226E-13        | 1.839E-11        | 7.095E-11                             | 3.285E-10         | 0.000E+00        | 2.628E-12       | 1.378E-15         | 4.730E-11                         | 2.486E-15        |
| 400           | 5.180E-13        | 1.318E-11        | 5.085E-11                             | 2.354E-10         | 0.000E+00        | 1.883E-12       | 9.876E-16         | 3.390E-11                         | 1.782E-15        |
| 500           | 3.955E-13        | 1.007E-11        | 3.883E-11                             | 1.798E-10         | 0.000E+00        | 1.438E-12       | 7.540E-16         | 2.589E-11                         | 1.360E-15        |
| 1000          | 1.596E-13        | 4.063E-12        | 1.567E-11                             | 7.256E-11         | 0.000E+00        | 5.805E-13       | 3.043E-16         | 1.045E-11                         | 5.491E-16        |
| 2000          | 5.928E-14        | 1.509E-12        | 5.820E-12                             | 2.694E-11         | 0.000E+00        | 2.156E-13       | 1.130E-16         | 3.880E-12                         | 2.039E-16        |
| 3000          | 3.253E-14        | 8.281E-13        | 3.194E-12                             | 1.479E-11         | 0.000E+00        | 1.183E-13       | 6.203E-17         | 2.129E-12                         | 1.119E-16        |
| 4000          | 2.117E-14        | 5.388E-13        | 2.078E-12                             | 9.621E-12         | 0.000E+00        | 7.697E-14       | 4.036E-17         | 1.385E-12                         | 7.281E-17        |
| 5000          | 1.515E-14        | 3.855E-13        | 1.487E-12                             | 6.885E-12         | 0.000E+00        | 5.508E-14       | 2.888E-17         | 9.914E-13                         | 5.210E-17        |

续 5.2-75 (2/4) 各核素由吸入内照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼            |                 |                  |                  |                   |                  |                                       |                   |                   |                  |
|------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|            | <sup>3</sup> H | <sup>14</sup> C | <sup>68</sup> Ge | <sup>85</sup> Sr | <sup>131</sup> Ba | <sup>51</sup> Cr | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>153</sup> Gd | <sup>203</sup> Hg | <sup>57</sup> Co |
| 10         | 6.469E-13      | 2.875E-11       | 3.354E-10        | 1.533E-11        | 1.093E-11         | 4.600E-13        | 3.882E-11                             | 3.073E-11         | 3.450E-11         | 2.636E-11        |
| 20         | 6.469E-13      | 2.875E-11       | 3.354E-10        | 1.533E-11        | 1.093E-11         | 4.600E-13        | 3.882E-11                             | 3.073E-11         | 3.450E-11         | 2.636E-11        |
| 50         | 6.469E-13      | 2.875E-11       | 3.354E-10        | 1.533E-11        | 1.093E-11         | 4.600E-13        | 3.882E-11                             | 3.073E-11         | 3.450E-11         | 2.636E-11        |
| 100        | 6.469E-13      | 2.875E-11       | 3.354E-10        | 1.533E-11        | 1.093E-11         | 4.600E-13        | 3.882E-11                             | 3.073E-11         | 3.450E-11         | 2.636E-11        |
| 150        | 6.469E-13      | 2.875E-11       | 3.354E-10        | 1.533E-11        | 1.093E-11         | 4.600E-13        | 3.882E-11                             | 3.073E-11         | 3.450E-11         | 2.636E-11        |
| 154        | 6.469E-13      | 2.875E-11       | 3.354E-10        | 1.533E-11        | 1.093E-11         | 4.600E-13        | 3.882E-11                             | 3.073E-11         | 3.450E-11         | 2.636E-11        |
| 155        | 1.816E-14      | 8.070E-13       | 9.415E-12        | 4.304E-13        | 3.067E-13         | 1.291E-14        | 1.089E-12                             | 8.626E-13         | 9.684E-13         | 7.397E-13        |
| 200        | 1.386E-14      | 6.158E-13       | 7.184E-12        | 3.284E-13        | 2.340E-13         | 9.852E-15        | 8.313E-13                             | 6.582E-13         | 7.389E-13         | 5.645E-13        |
| 300        | 8.868E-15      | 3.941E-13       | 4.598E-12        | 2.102E-13        | 1.498E-13         | 6.306E-15        | 5.321E-13                             | 4.213E-13         | 4.730E-13         | 3.613E-13        |
| 400        | 6.357E-15      | 2.825E-13       | 3.296E-12        | 1.507E-13        | 1.074E-13         | 4.520E-15        | 3.814E-13                             | 3.020E-13         | 3.390E-13         | 2.590E-13        |
| 500        | 4.854E-15      | 2.157E-13       | 2.517E-12        | 1.150E-13        | 8.197E-14         | 3.451E-15        | 2.912E-13                             | 2.306E-13         | 2.589E-13         | 1.977E-13        |
| 1000       | 1.959E-15      | 8.707E-14       | 1.016E-12        | 4.644E-14        | 3.309E-14         | 1.393E-15        | 1.175E-13                             | 9.307E-14         | 1.045E-13         | 7.981E-14        |
| 2000       | 7.275E-16      | 3.233E-14       | 3.772E-13        | 1.724E-14        | 1.229E-14         | 5.173E-16        | 4.365E-14                             | 3.456E-14         | 3.880E-14         | 2.964E-14        |
| 3000       | 3.993E-16      | 1.775E-14       | 2.070E-13        | 9.464E-15        | 6.743E-15         | 2.839E-16        | 2.396E-14                             | 1.897E-14         | 2.129E-14         | 1.627E-14        |
| 4000       | 2.598E-16      | 1.155E-14       | 1.347E-13        | 6.157E-15        | 4.387E-15         | 1.847E-16        | 1.559E-14                             | 1.234E-14         | 1.385E-14         | 1.058E-14        |
| 5000       | 1.859E-16      | 8.262E-15       | 9.639E-14        | 4.406E-15        | 3.139E-15         | 1.322E-16        | 1.115E-14                             | 8.831E-15         | 9.914E-15         | 7.573E-15        |

续 5.2-75 (3/4) 各核素由吸入内照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|            | <sup>109</sup> Cd | <sup>147</sup> Pm | <sup>88</sup> Y | <sup>22</sup> Na | <sup>54</sup> Mn | <sup>65</sup> Zn | <sup>152</sup> Eu | <sup>60</sup> Co | <sup>198</sup> Au | <sup>170</sup> Tm |
| 10         | 9.505E-11         | 7.188E-11         | 9.824E-11       | 1.903E-11        | 2.156E-11        | 2.300E-11        | 3.634E-10         | 2.590E-14        | 2.020E-14         | 1.813E-13         |
| 20         | 9.505E-11         | 7.188E-11         | 9.824E-11       | 1.903E-11        | 2.156E-11        | 2.300E-11        | 3.634E-10         | 2.590E-14        | 2.020E-14         | 1.813E-13         |
| 50         | 9.505E-11         | 7.188E-11         | 9.824E-11       | 1.903E-11        | 2.156E-11        | 2.300E-11        | 3.634E-10         | 2.590E-14        | 2.020E-14         | 1.813E-13         |
| 100        | 9.505E-11         | 7.188E-11         | 9.824E-11       | 1.903E-11        | 2.156E-11        | 2.300E-11        | 3.634E-10         | 2.590E-14        | 2.020E-14         | 1.813E-13         |
| 150        | 9.505E-11         | 7.188E-11         | 9.824E-11       | 1.903E-11        | 2.156E-11        | 2.300E-11        | 3.634E-10         | 2.590E-14        | 2.020E-14         | 1.813E-13         |
| 154        | 9.505E-11         | 7.188E-11         | 9.824E-11       | 1.903E-11        | 2.156E-11        | 2.300E-11        | 3.634E-10         | 2.590E-14        | 2.020E-14         | 1.813E-13         |
| 155        | 2.668E-12         | 2.017E-12         | 2.757E-12       | 5.340E-13        | 6.052E-13        | 6.456E-13        | 1.020E-11         | 7.270E-16        | 5.671E-16         | 5.089E-15         |
| 200        | 2.036E-12         | 1.539E-12         | 2.104E-12       | 4.075E-13        | 4.618E-13        | 4.926E-13        | 7.782E-12         | 5.548E-16        | 4.327E-16         | 3.883E-15         |
| 300        | 1.303E-12         | 9.854E-13         | 1.347E-12       | 2.608E-13        | 2.956E-13        | 3.153E-13        | 4.981E-12         | 3.551E-16        | 2.770E-16         | 2.486E-15         |
| 400        | 9.340E-13         | 7.063E-13         | 9.653E-13       | 1.869E-13        | 2.119E-13        | 2.260E-13        | 3.570E-12         | 2.545E-16        | 1.985E-16         | 1.782E-15         |
| 500        | 7.131E-13         | 5.393E-13         | 7.370E-13       | 1.427E-13        | 1.618E-13        | 1.726E-13        | 2.726E-12         | 1.943E-16        | 1.516E-16         | 1.360E-15         |
| 1000       | 2.878E-13         | 2.177E-13         | 2.975E-13       | 5.761E-14        | 6.530E-14        | 6.965E-14        | 1.100E-12         | 7.844E-17        | 6.118E-17         | 5.491E-16         |
| 2000       | 1.069E-13         | 8.083E-14         | 1.105E-13       | 2.140E-14        | 2.425E-14        | 2.587E-14        | 4.086E-13         | 2.913E-17        | 2.272E-17         | 2.039E-16         |
| 3000       | 5.866E-14         | 4.436E-14         | 6.063E-14       | 1.174E-14        | 1.331E-14        | 1.420E-14        | 2.243E-13         | 1.599E-17        | 1.247E-17         | 1.119E-16         |
| 4000       | 3.817E-14         | 2.886E-14         | 3.945E-14       | 7.640E-15        | 8.659E-15        | 9.236E-15        | 1.459E-13         | 1.040E-17        | 8.113E-18         | 7.281E-17         |
| 5000       | 2.731E-14         | 2.065E-14         | 2.823E-14       | 5.467E-15        | 6.196E-15        | 6.609E-15        | 1.044E-13         | 7.443E-18        | 5.806E-18         | 5.210E-17         |



续 5.2-75 (4/4) 各核素由吸入内照射所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | <sup>210</sup> Pb | <sup>154</sup> Eu | <sup>35</sup> S | <sup>133</sup> Ba | <sup>106</sup> Ru | <sup>169</sup> Yb | <sup>144</sup> Ce | <sup>55</sup> Fe | <sup>99</sup> Tc | <sup>36</sup> Cl |
| 10         | 2.849E-12         | 1.373E-13         | 3.626E-13       | 8.030E-14         | 7.253E-14         | 6.476E-13         | 9.325E-14         | 9.843E-15        | 1.036E-12        | 1.891E-13        |
| 20         | 2.849E-12         | 1.373E-13         | 3.626E-13       | 8.030E-14         | 7.253E-14         | 6.476E-13         | 9.325E-14         | 9.843E-15        | 1.036E-12        | 1.891E-13        |
| 50         | 2.849E-12         | 1.373E-13         | 3.626E-13       | 8.030E-14         | 7.253E-14         | 6.476E-13         | 9.325E-14         | 9.843E-15        | 1.036E-12        | 1.891E-13        |
| 100        | 2.849E-12         | 1.373E-13         | 3.626E-13       | 8.030E-14         | 7.253E-14         | 6.476E-13         | 9.325E-14         | 9.843E-15        | 1.036E-12        | 1.891E-13        |
| 150        | 2.849E-12         | 1.373E-13         | 3.626E-13       | 8.030E-14         | 7.253E-14         | 6.476E-13         | 9.325E-14         | 9.843E-15        | 1.036E-12        | 1.891E-13        |
| 154        | 2.849E-12         | 1.373E-13         | 3.626E-13       | 8.030E-14         | 7.253E-14         | 6.476E-13         | 9.325E-14         | 9.843E-15        | 1.036E-12        | 1.891E-13        |
| 155        | 7.997E-14         | 3.853E-15         | 1.018E-14       | 2.254E-15         | 2.036E-15         | 1.818E-14         | 2.617E-15         | 2.763E-16        | 2.908E-14        | 5.307E-15        |
| 200        | 6.102E-14         | 2.940E-15         | 7.767E-15       | 1.720E-15         | 1.553E-15         | 1.387E-14         | 1.997E-15         | 2.108E-16        | 2.219E-14        | 4.050E-15        |
| 300        | 3.906E-14         | 1.882E-15         | 4.971E-15       | 1.101E-15         | 9.942E-16         | 8.877E-15         | 1.278E-15         | 1.349E-16        | 1.420E-14        | 2.592E-15        |
| 400        | 2.800E-14         | 1.349E-15         | 3.563E-15       | 7.890E-16         | 7.127E-16         | 6.363E-15         | 9.163E-16         | 9.672E-17        | 1.018E-14        | 1.858E-15        |
| 500        | 2.138E-14         | 1.030E-15         | 2.721E-15       | 6.024E-16         | 5.441E-16         | 4.858E-15         | 6.996E-16         | 7.385E-17        | 7.773E-15        | 1.419E-15        |
| 1000       | 8.628E-15         | 4.157E-16         | 1.098E-15       | 2.432E-16         | 2.196E-16         | 1.961E-15         | 2.824E-16         | 2.981E-17        | 3.138E-15        | 5.726E-16        |
| 2000       | 3.204E-15         | 1.544E-16         | 4.078E-16       | 9.030E-17         | 8.156E-17         | 7.282E-16         | 1.049E-16         | 1.107E-17        | 1.165E-15        | 2.126E-16        |
| 3000       | 1.759E-15         | 8.473E-17         | 2.238E-16       | 4.956E-17         | 4.476E-17         | 3.997E-16         | 5.755E-17         | 6.075E-18        | 6.395E-16        | 1.167E-16        |
| 4000       | 1.144E-15         | 5.513E-17         | 1.456E-16       | 3.224E-17         | 2.912E-17         | 2.600E-16         | 3.744E-17         | 3.952E-18        | 4.160E-16        | 7.593E-17        |
| 5000       | 8.187E-16         | 3.945E-17         | 1.042E-16       | 2.307E-17         | 2.084E-17         | 1.861E-16         | 2.679E-17         | 2.828E-18        | 2.977E-16        | 5.433E-17        |

表 5.2-76 (1/4) 各核素各途径总和所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离<br>(m) | 生产厂房和辐射中心        |                  |                                       |                   |                  |                 |                   |                                   |                  |
|---------------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
|               | <sup>57</sup> Co | <sup>68</sup> Ge | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>147</sup> Pm | <sup>85</sup> Kr | <sup>14</sup> C | <sup>137</sup> Cs | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y | <sup>60</sup> Co |
| 10            | 1.65E-08         | 1.35E-09         | 3.38E-07                              | 2.48E-08          | 4.34E-09         | 2.56E-10        | 1.03E-13          | 3.45E-09                          | 4.41E-10         |
| 20            | 1.65E-08         | 1.35E-09         | 3.38E-07                              | 2.48E-08          | 4.34E-09         | 2.56E-10        | 1.03E-13          | 3.45E-09                          | 4.41E-10         |
| 50            | 1.65E-08         | 1.35E-09         | 3.38E-07                              | 2.48E-08          | 4.34E-09         | 2.56E-10        | 1.03E-13          | 3.45E-09                          | 4.41E-10         |
| 100           | 1.65E-08         | 1.35E-09         | 3.38E-07                              | 2.48E-08          | 4.34E-09         | 2.56E-10        | 1.03E-13          | 3.45E-09                          | 4.41E-10         |
| 150           | 1.65E-08         | 1.35E-09         | 3.38E-07                              | 2.48E-08          | 4.34E-09         | 2.56E-10        | 1.03E-13          | 3.45E-09                          | 4.41E-10         |
| 154           | 1.65E-08         | 1.35E-09         | 3.38E-07                              | 2.48E-08          | 4.34E-09         | 2.56E-10        | 1.03E-13          | 3.45E-09                          | 4.41E-10         |
| 155           | 4.63E-10         | 3.78E-11         | 9.49E-09                              | 6.97E-10          | 1.22E-10         | 7.17E-12        | 2.90E-15          | 9.69E-11                          | 1.24E-11         |
| 200           | 3.54E-10         | 2.88E-11         | 7.24E-09                              | 5.32E-10          | 9.29E-11         | 5.47E-12        | 2.21E-15          | 7.40E-11                          | 9.44E-12         |
| 300           | 2.26E-10         | 1.84E-11         | 4.64E-09                              | 3.40E-10          | 5.94E-11         | 3.50E-12        | 1.42E-15          | 4.73E-11                          | 6.05E-12         |
| 400           | 1.62E-10         | 1.32E-11         | 3.32E-09                              | 2.44E-10          | 4.26E-11         | 2.51E-12        | 1.02E-15          | 3.39E-11                          | 4.33E-12         |
| 500           | 1.24E-10         | 1.01E-11         | 2.54E-09                              | 1.86E-10          | 3.25E-11         | 1.92E-12        | 7.76E-16          | 2.59E-11                          | 3.31E-12         |
| 1000          | 5.00E-11         | 4.07E-12         | 1.02E-09                              | 7.52E-11          | 1.31E-11         | 7.74E-13        | 3.13E-16          | 1.05E-11                          | 1.34E-12         |
| 2000          | 1.86E-11         | 1.51E-12         | 3.80E-10                              | 2.79E-11          | 4.88E-12         | 2.87E-13        | 1.16E-16          | 3.88E-12                          | 4.96E-13         |
| 3000          | 1.02E-11         | 8.30E-13         | 2.09E-10                              | 1.53E-11          | 2.68E-12         | 1.58E-13        | 6.38E-17          | 2.13E-12                          | 2.72E-13         |
| 4000          | 6.63E-12         | 5.40E-13         | 1.36E-10                              | 9.97E-12          | 1.74E-12         | 1.03E-13        | 4.15E-17          | 1.39E-12                          | 1.77E-13         |
| 5000          | 4.74E-12         | 3.86E-13         | 9.72E-11                              | 7.13E-12          | 1.25E-12         | 7.34E-14        | 2.97E-17          | 9.92E-13                          | 1.27E-13         |

续 5.2-76 (2/4) 各核素各途径总和所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼            |                 |                  |                  |                   |                  |                                       |                   |                   |                  |
|------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|            | <sup>3</sup> H | <sup>14</sup> C | <sup>68</sup> Ge | <sup>85</sup> Sr | <sup>131</sup> Ba | <sup>51</sup> Cr | <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | <sup>153</sup> Gd | <sup>203</sup> Hg | <sup>57</sup> Co |
| 10         | 6.47E-13       | 3.83E-11        | 3.36E-10         | 2.13E-11         | 4.45E-10          | 6.75E-11         | 2.54E-09                              | 2.10E-09          | 8.87E-10          | 8.25E-09         |
| 20         | 6.47E-13       | 3.83E-11        | 3.36E-10         | 2.13E-11         | 4.45E-10          | 6.75E-11         | 2.54E-09                              | 2.10E-09          | 8.87E-10          | 8.25E-09         |
| 50         | 6.47E-13       | 3.83E-11        | 3.36E-10         | 2.13E-11         | 4.45E-10          | 6.75E-11         | 2.54E-09                              | 2.10E-09          | 8.87E-10          | 8.25E-09         |
| 100        | 6.47E-13       | 3.83E-11        | 3.36E-10         | 2.13E-11         | 4.45E-10          | 6.75E-11         | 2.54E-09                              | 2.10E-09          | 8.87E-10          | 8.25E-09         |
| 150        | 6.47E-13       | 3.83E-11        | 3.36E-10         | 2.13E-11         | 4.45E-10          | 6.75E-11         | 2.54E-09                              | 2.10E-09          | 8.87E-10          | 8.25E-09         |
| 154        | 6.47E-13       | 3.83E-11        | 3.36E-10         | 2.13E-11         | 4.45E-10          | 6.75E-11         | 2.54E-09                              | 2.10E-09          | 8.87E-10          | 8.25E-09         |
| 155        | 1.82E-14       | 1.08E-12        | 9.44E-12         | 5.98E-13         | 1.25E-11          | 1.89E-12         | 7.12E-11                              | 5.88E-11          | 2.49E-11          | 2.32E-10         |
| 200        | 1.39E-14       | 8.21E-13        | 7.20E-12         | 4.56E-13         | 9.53E-12          | 1.45E-12         | 5.43E-11                              | 4.49E-11          | 1.90E-11          | 1.77E-10         |
| 300        | 8.87E-15       | 5.26E-13        | 4.61E-12         | 2.92E-13         | 6.10E-12          | 9.25E-13         | 3.48E-11                              | 2.87E-11          | 1.22E-11          | 1.13E-10         |
| 400        | 6.36E-15       | 3.77E-13        | 3.30E-12         | 2.09E-13         | 4.37E-12          | 6.63E-13         | 2.49E-11                              | 2.06E-11          | 8.72E-12          | 8.11E-11         |
| 500        | 4.85E-15       | 2.88E-13        | 2.52E-12         | 1.60E-13         | 3.34E-12          | 5.06E-13         | 1.90E-11                              | 1.57E-11          | 6.66E-12          | 6.19E-11         |
| 1000       | 1.96E-15       | 1.16E-13        | 1.02E-12         | 6.45E-14         | 1.35E-12          | 2.04E-13         | 7.68E-12                              | 6.35E-12          | 2.69E-12          | 2.50E-11         |
| 2000       | 7.28E-16       | 4.31E-14        | 3.78E-13         | 2.40E-14         | 5.01E-13          | 7.59E-14         | 2.85E-12                              | 2.36E-12          | 9.98E-13          | 9.28E-12         |
| 3000       | 3.99E-16       | 2.37E-14        | 2.08E-13         | 1.31E-14         | 2.75E-13          | 4.16E-14         | 1.57E-12                              | 1.29E-12          | 5.48E-13          | 5.09E-12         |
| 4000       | 2.60E-16       | 1.54E-14        | 1.35E-13         | 8.55E-15         | 1.79E-13          | 2.71E-14         | 1.02E-12                              | 8.42E-13          | 3.56E-13          | 3.31E-12         |
| 5000       | 1.86E-16       | 1.10E-14        | 9.66E-14         | 6.12E-15         | 1.28E-13          | 1.94E-14         | 7.29E-13                              | 6.02E-13          | 2.55E-13          | 2.37E-12         |

续 5.2-76 (3/4) 各核素各途径总和所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|            | <sup>109</sup> Cd | <sup>147</sup> Pm | <sup>88</sup> Y | <sup>22</sup> Na | <sup>54</sup> Mn | <sup>65</sup> Zn | <sup>152</sup> Eu | <sup>60</sup> Co | <sup>198</sup> Au | <sup>170</sup> Tm |
| 10         | 9.44E-10          | 7.45E-11          | 3.48E-08        | 1.60E-07         | 2.01E-08         | 1.09E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.78E-13          | 2.91E-13          |
| 20         | 9.44E-10          | 7.45E-11          | 3.48E-08        | 1.60E-07         | 2.01E-08         | 1.09E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.78E-13          | 2.91E-13          |
| 50         | 9.44E-10          | 7.45E-11          | 3.48E-08        | 1.60E-07         | 2.01E-08         | 1.09E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.78E-13          | 2.91E-13          |
| 100        | 9.44E-10          | 7.45E-11          | 3.48E-08        | 1.60E-07         | 2.01E-08         | 1.09E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.78E-13          | 2.91E-13          |
| 150        | 9.44E-10          | 7.45E-11          | 3.48E-08        | 1.60E-07         | 2.01E-08         | 1.09E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.78E-13          | 2.91E-13          |
| 154        | 9.44E-10          | 7.45E-11          | 3.48E-08        | 1.60E-07         | 2.01E-08         | 1.09E-08         | 1.99E-07          | 6.30E-11         | 1.78E-13          | 2.91E-13          |
| 155        | 2.65E-11          | 2.09E-12          | 9.76E-10        | 4.49E-09         | 5.63E-10         | 3.05E-10         | 5.59E-09          | 1.77E-12         | 4.99E-15          | 8.17E-15          |
| 200        | 2.02E-11          | 1.60E-12          | 7.45E-10        | 3.42E-09         | 4.30E-10         | 2.33E-10         | 4.26E-09          | 1.35E-12         | 3.81E-15          | 6.24E-15          |
| 300        | 1.29E-11          | 1.02E-12          | 4.77E-10        | 2.19E-09         | 2.75E-10         | 1.49E-10         | 2.73E-09          | 8.64E-13         | 2.44E-15          | 3.99E-15          |
| 400        | 9.27E-12          | 7.32E-13          | 3.42E-10        | 1.57E-09         | 1.97E-10         | 1.07E-10         | 1.96E-09          | 6.19E-13         | 1.75E-15          | 2.86E-15          |
| 500        | 7.08E-12          | 5.59E-13          | 2.61E-10        | 1.20E-09         | 1.51E-10         | 8.15E-11         | 1.49E-09          | 4.73E-13         | 1.33E-15          | 2.19E-15          |
| 1000       | 2.86E-12          | 2.26E-13          | 1.05E-10        | 4.84E-10         | 6.08E-11         | 3.29E-11         | 6.03E-10          | 1.91E-13         | 5.38E-16          | 8.82E-16          |
| 2000       | 1.06E-12          | 8.38E-14          | 3.91E-11        | 1.80E-10         | 2.26E-11         | 1.22E-11         | 2.24E-10          | 7.08E-14         | 2.00E-16          | 3.28E-16          |
| 3000       | 5.83E-13          | 4.60E-14          | 2.15E-11        | 9.87E-11         | 1.24E-11         | 6.70E-12         | 1.23E-10          | 3.89E-14         | 1.10E-16          | 1.80E-16          |
| 4000       | 3.79E-13          | 2.99E-14          | 1.40E-11        | 6.42E-11         | 8.06E-12         | 4.36E-12         | 8.00E-11          | 2.53E-14         | 7.14E-17          | 1.17E-16          |
| 5000       | 2.71E-13          | 2.14E-14          | 9.99E-12        | 4.59E-11         | 5.77E-12         | 3.12E-12         | 5.72E-11          | 1.81E-14         | 5.11E-17          | 8.37E-17          |

续 5.2-76 (4/4) 各核素各途径总和所致公众受照射剂量分析 (Sv/a)

| 距排气筒距离 (m) | 研发楼               |                   |                 |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | <sup>210</sup> Pb | <sup>154</sup> Eu | <sup>35</sup> S | <sup>133</sup> Ba | <sup>106</sup> Ru | <sup>169</sup> Yb | <sup>144</sup> Ce | <sup>55</sup> Fe | <sup>99</sup> Tc | <sup>36</sup> Cl |
| 10         | 5.49E-12          | 4.93E-11          | 3.65E-13        | 1.96E-10          | 1.87E-12          | 1.43E-11          | 8.15E-13          | 9.84E-15         | 1.88E-12         | 1.89E-13         |
| 20         | 5.49E-12          | 4.93E-11          | 3.65E-13        | 1.96E-10          | 1.87E-12          | 1.43E-11          | 8.15E-13          | 9.84E-15         | 1.88E-12         | 1.89E-13         |
| 50         | 5.49E-12          | 4.93E-11          | 3.65E-13        | 1.96E-10          | 1.87E-12          | 1.43E-11          | 8.15E-13          | 9.84E-15         | 1.88E-12         | 1.89E-13         |
| 100        | 5.49E-12          | 4.93E-11          | 3.65E-13        | 1.96E-10          | 1.87E-12          | 1.43E-11          | 8.15E-13          | 9.84E-15         | 1.88E-12         | 1.89E-13         |
| 150        | 5.49E-12          | 4.93E-11          | 3.65E-13        | 1.96E-10          | 1.87E-12          | 1.43E-11          | 8.15E-13          | 9.84E-15         | 1.88E-12         | 1.89E-13         |
| 154        | 5.49E-12          | 4.93E-11          | 3.65E-13        | 1.96E-10          | 1.87E-12          | 1.43E-11          | 8.15E-13          | 9.84E-15         | 1.88E-12         | 1.89E-13         |
| 155        | 1.54E-13          | 1.39E-12          | 1.02E-14        | 5.50E-12          | 5.26E-14          | 4.02E-13          | 2.29E-14          | 2.76E-16         | 5.29E-14         | 5.31E-15         |
| 200        | 1.18E-13          | 1.06E-12          | 7.81E-15        | 4.20E-12          | 4.01E-14          | 3.06E-13          | 1.74E-14          | 2.11E-16         | 4.04E-14         | 4.05E-15         |
| 300        | 7.53E-14          | 6.76E-13          | 5.00E-15        | 2.69E-12          | 2.57E-14          | 1.96E-13          | 1.12E-14          | 1.35E-16         | 2.58E-14         | 2.59E-15         |
| 400        | 5.40E-14          | 4.85E-13          | 3.58E-15        | 1.93E-12          | 1.84E-14          | 1.41E-13          | 8.01E-15          | 9.67E-17         | 1.85E-14         | 1.86E-15         |
| 500        | 4.12E-14          | 3.70E-13          | 2.74E-15        | 1.47E-12          | 1.41E-14          | 1.07E-13          | 6.11E-15          | 7.38E-17         | 1.41E-14         | 1.42E-15         |
| 1000       | 1.66E-14          | 1.49E-13          | 1.10E-15        | 5.94E-13          | 5.67E-15          | 4.33E-14          | 2.47E-15          | 2.98E-17         | 5.71E-15         | 5.73E-16         |
| 2000       | 6.18E-15          | 5.55E-14          | 4.10E-16        | 2.21E-13          | 2.11E-15          | 1.61E-14          | 9.16E-16          | 1.11E-17         | 2.12E-15         | 2.13E-16         |
| 3000       | 3.39E-15          | 3.05E-14          | 2.25E-16        | 1.21E-13          | 1.16E-15          | 8.83E-15          | 5.03E-16          | 6.07E-18         | 1.16E-15         | 1.17E-16         |
| 4000       | 2.21E-15          | 1.98E-14          | 1.46E-16        | 7.87E-14          | 7.52E-16          | 5.75E-15          | 3.27E-16          | 3.95E-18         | 7.57E-16         | 7.59E-17         |
| 5000       | 1.58E-15          | 1.42E-14          | 1.05E-16        | 5.63E-14          | 5.38E-16          | 4.11E-15          | 2.34E-16          | 2.83E-18         | 5.41E-16         | 5.43E-17         |

本项目气载放射性流出物所致评价范围内公众个人年有效剂量计算结果见表 5.2-77。

表 5.2-77 气载放射性流出物所致评价范围内公众个人年有效射剂量分析

| 距排气筒距离 (m) | 受照剂量 (Sv/a) |
|------------|-------------|
| 10         | 8.30E-07    |
| 20         | 8.30E-07    |
| 50         | 8.30E-07    |
| 100        | 8.30E-07    |
| 150        | 8.30E-07    |
| 154        | 8.30E-07    |
| 155        | 2.33E-08    |
| 200        | 1.78E-08    |
| 300        | 1.14E-08    |
| 400        | 8.16E-09    |
| 500        | 6.23E-09    |
| 1000       | 2.51E-09    |
| 2000       | 9.33E-10    |
| 3000       | 5.12E-10    |
| 4000       | 3.33E-10    |
| 5000       | 2.39E-10    |

从表 5.2-77 可见，本项目正常工况下放射性流出物所致评价范围内公众受照剂量在  $2.39 \times 10^{-10} \text{Sv/a} \sim 8.30 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$  范围，评价范围内公众最大受照剂量为  $8.30 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，即  $8.30 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，占剂量约束值  $0.1 \text{mSv/a}$  的 0.83%。本项目对公众的辐射影响可接受。

本项目气载放射性流出物所致敏感点公众个人年有效剂量计算结果见表 5.2-78。

表 5.2-78 气载放射性流出物所致敏感点公众个人年有效射剂量

| 敏感点      | 距离 (m)    |      | 年有效剂量 (Sv/a)     |          |          |
|----------|-----------|------|------------------|----------|----------|
|          | 生产厂房和辐射中心 | 研发楼  | 生产厂房和辐射中心气载流出物所致 | 研发楼所致    | 合计       |
| 厂址西北面农户  | 313       | 223  | 5.09E-09         | 8.39E-09 | 1.35E-08 |
| 厂址西南面农户  | 173       | 100  | 9.73E-09         | 4.41E-07 | 4.50E-07 |
| 厂址东南面农户  | 269       | 362  | 6.03E-09         | 4.87E-09 | 1.09E-08 |
| 厂址东北面农户  | 410       | 447  | 3.71E-09         | 3.79E-09 | 7.51E-09 |
| 木城镇第一幼儿园 | 1870      | 1880 | 4.83E-10         | 5.43E-10 | 1.03E-09 |
| 木城镇第一小学  | 2025      | 2030 | 4.30E-10         | 4.85E-10 | 9.15E-10 |
| 木城中学     | 2160      | 2150 | 3.91E-10         | 4.46E-10 | 8.37E-10 |
| 迎江乡卫生院   | 2760      | 2790 | 2.72E-10         | 3.03E-10 | 5.75E-10 |
| 木城镇育苗幼儿园 | 1670      | 1660 | 5.70E-10         | 6.50E-10 | 1.22E-09 |
| 某项目综合办公楼 | 756       | 706  | 1.72E-09         | 2.13E-09 | 3.85E-09 |
| 某项目场地    | 195       | 245  | 8.57E-09         | 7.57E-09 | 1.61E-08 |

从表 5.2-78 可见, 本项目正常工况下放射性流出物所致厂区周围敏感点处公众受照剂量在  $5.75 \times 10^{-10} \text{Sv/a} \sim 4.50 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$  范围, 敏感点处公众最大受照剂量为  $4.50 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ , 即  $4.50 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

### 3) 三关键

以厂址西南面农户的成人为关键居民组, 对于关键居民组, 各途径、各核素贡献见表 5.2-79。

表 5.2-79 关键居民组各途径、各核素贡献

| 核素  | 空气浸没外照射 (Sv/a) | 地表沉积外照射 (Sv/a) | 吸入内照射 (Sv/a) | 合计 (Sv/a) | 份额        |
|---|----------------|----------------|--------------|-----------|-----------|
| $^{57}\text{Co}$                          | 5.134E-14      | 4.112E-10      | 1.318E-12    | 4.126E-10 | 9.161E-04 |
| $^{68}\text{Ge}$                          | 6.560E-19      | 8.164E-14      | 3.354E-11    | 3.362E-11 | 7.465E-05 |
| $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ | 6.845E-14      | 8.324E-09      | 1.294E-10    | 8.453E-09 | 1.877E-02 |
| $^{147}\text{Pm}$                         | 3.993E-15      | 2.163E-11      | 5.990E-10    | 6.206E-10 | 1.378E-03 |
| $^{85}\text{Kr}$                          | 1.084E-10      | 0.000E+00      | 0.000E+00    | 1.084E-10 | 2.406E-04 |
| $^{14}\text{C}$                           | 2.025E-18      | 1.597E-12      | 4.792E-12    | 6.389E-12 | 1.418E-05 |
| $^{137}\text{Cs}$                         | 2.683E-17      | 4.588E-17      | 2.512E-15    | 2.585E-15 | 5.739E-09 |

|                                       |           |                  |           |                  |                  |
|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|------------------|
| <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y     | 8.842E-16 | 8.253E-14        | 8.625E-11 | 8.633E-11        | 1.917E-04        |
| <sup>60</sup> Co                      | 2.158E-16 | 1.102E-11        | 4.533E-15 | 1.102E-11        | 2.447E-05        |
| <sup>3</sup> H                        | 1.711E-17 | 0.000E+00        | 6.469E-13 | 6.469E-13        | 1.436E-06        |
| <sup>14</sup> C                       | 1.215E-17 | 9.584E-12        | 2.875E-11 | 3.834E-11        | 8.511E-05        |
| <sup>68</sup> Ge                      | 6.561E-18 | 8.165E-13        | 3.354E-10 | 3.363E-10        | 7.465E-04        |
| <sup>85</sup> Sr                      | 2.196E-12 | 3.770E-12        | 1.533E-11 | 2.130E-11        | 4.729E-05        |
| <sup>131</sup> Ba                     | 1.130E-12 | 4.331E-10        | 1.093E-11 | 4.452E-10        | 9.883E-04        |
| <sup>51</sup> Cr                      | 8.215E-14 | 6.694E-11        | 4.600E-13 | 6.748E-11        | 1.498E-04        |
| <sup>113</sup> Sn/ <sup>113m</sup> In | 2.054E-14 | 2.497E-09        | 3.882E-11 | 2.536E-09        | 5.631E-03        |
| <sup>153</sup> Gd                     | 2.091E-13 | 2.065E-09        | 3.073E-11 | 2.096E-09        | 4.653E-03        |
| <sup>203</sup> Hg                     | 6.161E-13 | 8.522E-10        | 3.450E-11 | 8.873E-10        | 1.970E-03        |
| <sup>57</sup> Co                      | 1.027E-12 | 8.226E-09        | 2.636E-11 | 8.253E-09        | 1.832E-02        |
| <sup>109</sup> Cd                     | 1.646E-14 | 8.488E-10        | 9.505E-11 | 9.439E-10        | 2.096E-03        |
| <sup>147</sup> Pm                     | 4.792E-16 | 2.596E-12        | 7.188E-11 | 7.448E-11        | 1.653E-04        |
| <sup>88</sup> Y                       | 1.227E-11 | 3.466E-08        | 9.824E-11 | 3.477E-08        | 7.719E-02        |
| <sup>22</sup> Na                      | 5.924E-12 | 1.598E-07        | 1.903E-11 | 1.599E-07        | 3.549E-01        |
| <sup>54</sup> Mn                      | 2.225E-12 | 2.004E-08        | 2.156E-11 | 2.006E-08        | 4.454E-02        |
| <sup>65</sup> Zn                      | 1.575E-12 | 1.084E-08        | 2.300E-11 | 1.086E-08        | 2.411E-02        |
| <sup>152</sup> Eu                     | 1.854E-12 | 1.987E-07        | 3.634E-10 | <b>1.991E-07</b> | <b>4.420E-01</b> |
| <sup>60</sup> Co                      | 1.233E-15 | 6.297E-11        | 2.590E-14 | 6.300E-11        | 1.399E-04        |
| <sup>198</sup> Au                     | 1.912E-15 | 1.557E-13        | 2.020E-14 | 1.778E-13        | 3.948E-07        |
| <sup>170</sup> Tm                     | 2.159E-17 | 1.099E-13        | 1.813E-13 | 2.912E-13        | 6.466E-07        |
| <sup>210</sup> Pb                     | 5.551E-19 | 2.642E-12        | 2.849E-12 | 5.491E-12        | 1.219E-05        |
| <sup>154</sup> Eu                     | 6.167E-16 | 4.921E-11        | 1.373E-13 | 4.935E-11        | 1.096E-04        |
| <sup>35</sup> S                       | 3.084E-18 | 2.138E-15        | 3.626E-13 | 3.648E-13        | 8.099E-07        |
| <sup>133</sup> Ba                     | 1.727E-15 | 1.960E-10        | 8.030E-14 | 1.961E-10        | 4.353E-04        |
| <sup>106</sup> Ru                     | 1.110E-16 | 1.801E-12        | 7.253E-14 | 1.874E-12        | 4.159E-06        |
| <sup>169</sup> Yb                     | 1.264E-14 | 1.365E-11        | 6.476E-13 | 1.431E-11        | 3.177E-05        |
| <sup>144</sup> Ce                     | 3.392E-17 | 7.214E-13        | 9.325E-14 | 8.147E-13        | 1.809E-06        |
| <sup>55</sup> Fe                      | 0.000E+00 | 0.000E+00        | 9.843E-15 | 9.843E-15        | 2.185E-08        |
| <sup>99</sup> Tc                      | 2.837E-17 | 8.480E-13        | 1.036E-12 | 1.884E-12        | 4.183E-06        |
| <sup>36</sup> Cl                      | 2.159E-18 | 5.609E-19        | 1.891E-13 | 1.891E-13        | 4.198E-07        |
| 合计                                    | 1.377E-10 | <b>4.482E-07</b> | 2.074E-09 | 4.504E-07        | 1.000E+00        |
| 份额                                    | 3.056E-04 | <b>9.951E-01</b> | 4.605E-03 | 1.000E+00        |                  |



从上表可知,关键途径为地表沉积外照射,其所致剂量为  $4.482 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ , 约占总剂量的 99.51%。关键核素为  $^{152}\text{Eu}$ , 其所致剂量为  $1.991 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ , 约占总剂量的 44.20%。

### (2)辐照中心直射和天空反散射所致剂量

辐照中心对 3km 范围内厂区外道路公众的直射剂量率估算以屏蔽体中心为 400 万 Ci 的  $^{60}\text{Co}$  点源考虑, 计算结果如下。

表 5.2-80 敏感点处  $\gamma$  辐射直射剂量率计算参数及结果

| 计算点     | 核素               | 放射性活度 (Ci)      | 照射量率常数 <sup>1</sup> ( $\text{R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$ ) | 距离 (m) | 屏蔽层     |                             | 什值层 ( $\text{mm}$ ) <sup>2</sup> | 减弱因子                  | 剂量率 ( $\text{Gy/h}$ )  |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|---------|------------------|-----------------|--|--------|---------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|         |                  |                 |  |        | 厚度 (mm) | 材料                          |                                  |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| 厂址西北面农户 | $^{60}\text{Co}$ | $4 \times 10^6$ | 1.32   | 291    | 2600    | 混凝土 ( $2.3 \text{g/cm}^3$ ) | 223                              | $2.2 \times 10^{-12}$ | $1.19 \times 10^{-12}$ |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| 厂址西南面农户 |                  |                 |  | 202    | 2200    |                             |                                  |                       |                        | $1.37 \times 10^{-10}$ | $1.54 \times 10^{-10}$ |                        |                        |                        |                        |
| 厂址东南面农户 |                  |                 |  | 280    | 2100    |                             |                                  |                       |                        |                        |                        | $3.84 \times 10^{-10}$ | $2.24 \times 10^{-10}$ |                        |                        |
| 厂址东北面农户 |                  |                 |  | 351    | 2804.5  |                             |                                  |                       |                        |                        |                        |                        |                        | $2.66 \times 10^{-13}$ | $9.91 \times 10^{-14}$ |
| 木城镇第一   |                  |                 |  | 1805   | 2804.5  |                             |                                  |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |

|          |  |  |      |        |  |  |                        |                        |
|----------|--|--|------|--------|--|--|------------------------|------------------------|
| 幼儿园      |  |  |      |        |  |  |                        |                        |
| 木城镇第一小学  |  |  | 1956 | 2804.5 |  |  | $2.66 \times 10^{-13}$ | $3.19 \times 10^{-15}$ |
| 木城中学     |  |  | 2089 | 2804.5 |  |  | $2.66 \times 10^{-13}$ | $2.8 \times 10^{-15}$  |
| 迎江乡卫生院   |  |  | 2702 | 2804.5 |  |  | $2.66 \times 10^{-13}$ | $1.67 \times 10^{-15}$ |
| 木城镇育苗幼儿园 |  |  | 1604 | 2804.5 |  |  | $2.66 \times 10^{-13}$ | $4.74 \times 10^{-15}$ |
| 某项目综合办公楼 |  |  | 695  | 2600   |  |  | $2.2 \times 10^{-12}$  | $2.09 \times 10^{-13}$ |
| 某项目场地    |  |  | 146  | 2804.5 |  |  | $2.66 \times 10^{-13}$ | $5.73 \times 10^{-13}$ |

注：<sup>1</sup> 出自《辐射防护手册》第一分册表 1.11；  
<sup>2</sup> 出自《辐射防护手册》第三分册表 2.12。

表 5.2-81 敏感点处天空反散射参数及结果

| 计算点      | 距离 X (m) | 屋顶厚度 (cm) | 立体角 (Sr) | 距离 H (m) | 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|----------|----------|-----------|----------|----------|--------------------------|
| 厂址西北面农户  | 291      | 195       | 4.41     | 6.15     | $5.02 \times 10^{-6}$    |
| 厂址西南面农户  | 202      |           |          |          | $1.04 \times 10^{-5}$    |
| 厂址东南面农户  | 280      |           |          |          | $5.43 \times 10^{-6}$    |
| 厂址东北面农户  | 351      |           |          |          | $3.45 \times 10^{-6}$    |
| 木城镇第一幼儿园 | 1805     |           |          |          | $1.31 \times 10^{-7}$    |
| 木城镇第一小学  | 1956     |           |          |          | $1.11 \times 10^{-7}$    |
| 木城中学     | 2089     |           |          |          | $9.75 \times 10^{-8}$    |
| 迎江乡卫生院   | 2702     |           |          |          | $5.83 \times 10^{-8}$    |
| 木城镇育苗幼儿园 | 1604     |           |          |          | $1.65 \times 10^{-7}$    |
| 某项目综合办公楼 | 695      |           |          |          | $8.81 \times 10^{-7}$    |
| 某项目场地    | 146      |           |          |          | $2 \times 10^{-5}$       |

厂址西北面农户居留因子取 1，其余敏感点居留因子取 1/4，保守按全年工作 8000h 计算，由辐照装置正常工作产生的年有效剂量见表 5.2-82。

表 5.2-82 辐照中心所致公众有效剂量

| 计算点      | 方位 | 距离 X (m) | 剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |                       | 剂量率 (mSv/a)           |
|----------|----|----------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
|          |    |          | 直射                         | 天空反散射                 |                       |
| 厂址西北面农户  | NW | 291      | $1.19 \times 10^{-6}$      | $5.02 \times 10^{-6}$ | $4.97 \times 10^{-5}$ |
| 厂址西南面农户  | SW | 202      | $1.54 \times 10^{-4}$      | $1.04 \times 10^{-5}$ | $1.31 \times 10^{-3}$ |
| 厂址东南面农户  | SE | 280      | $2.24 \times 10^{-4}$      | $5.43 \times 10^{-6}$ | $1.84 \times 10^{-3}$ |
| 厂址东北面农户  | NE | 351      | $9.91 \times 10^{-8}$      | $3.45 \times 10^{-6}$ | $2.84 \times 10^{-5}$ |
| 木城镇第一幼儿园 | NE | 1805     | $3.75 \times 10^{-9}$      | $1.31 \times 10^{-7}$ | $2.69 \times 10^{-7}$ |
| 木城镇第一小学  | NE | 1956     | $3.19 \times 10^{-9}$      | $1.11 \times 10^{-7}$ | $2.29 \times 10^{-7}$ |
| 木城中学     | NE | 2089     | $2.80 \times 10^{-9}$      | $9.75 \times 10^{-8}$ | $2.01 \times 10^{-7}$ |
| 迎江乡卫生院   | NE | 2702     | $1.67 \times 10^{-9}$      | $5.83 \times 10^{-8}$ | $1.2 \times 10^{-7}$  |
| 木城镇育苗幼儿园 | NE | 1604     | $4.74 \times 10^{-9}$      | $1.65 \times 10^{-7}$ | $3.4 \times 10^{-7}$  |
| 某项目综合办公楼 | NW | 695      | $2.09 \times 10^{-7}$      | $8.81 \times 10^{-7}$ | $2.18 \times 10^{-6}$ |
| 某项目场地    | NE | 146      | $5.73 \times 10^{-7}$      | $2 \times 10^{-5}$    | $4.11 \times 10^{-5}$ |

由表 5.2-82 知，项目拟建厂址周围 3km 范围内公众的受照年有效剂量在  $1.2 \times 10^{-7} \text{mSv/a} \sim 1.84 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$  范围。

## (3)公众剂量合计

表 5.2-83 本项目所致公众有效剂量

| 计算点      | 生产厂房、研发楼的放射性流出物所致剂量 (mSv/a) | 辐照中心所致剂量 (mSv/a)      | 合计 (mSv/a)            |
|----------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 厂址西北面农户  | $1.35 \times 10^{-5}$       | $4.97 \times 10^{-5}$ | $6.32 \times 10^{-5}$ |
| 厂址西南面农户  | $4.50 \times 10^{-4}$       | $1.31 \times 10^{-3}$ | $1.76 \times 10^{-3}$ |
| 厂址东南面农户  | $1.09 \times 10^{-5}$       | $1.84 \times 10^{-3}$ | $1.85 \times 10^{-3}$ |
| 厂址东北面农户  | $7.51 \times 10^{-6}$       | $2.84 \times 10^{-5}$ | $3.59 \times 10^{-5}$ |
| 木城镇第一幼儿园 | $1.03 \times 10^{-6}$       | $2.69 \times 10^{-7}$ | $1.3 \times 10^{-6}$  |
| 木城镇第一小学  | $9.15 \times 10^{-7}$       | $2.29 \times 10^{-7}$ | $1.14 \times 10^{-6}$ |
| 木城中学     | $8.37 \times 10^{-7}$       | $2.01 \times 10^{-7}$ | $1.04 \times 10^{-6}$ |
| 迎江乡卫生院   | $5.75 \times 10^{-7}$       | $1.2 \times 10^{-7}$  | $6.95 \times 10^{-7}$ |
| 木城镇育苗幼儿园 | $1.22 \times 10^{-6}$       | $3.4 \times 10^{-7}$  | $1.56 \times 10^{-6}$ |
| 某项目综合办公楼 | $3.85 \times 10^{-6}$       | $2.18 \times 10^{-6}$ | $6.03 \times 10^{-6}$ |
| 某项目场地    | $1.61 \times 10^{-5}$       | $4.11 \times 10^{-5}$ | $5.72 \times 10^{-5}$ |

从表 5.2-83 可见，本项目正常工况下所致厂区周围敏感点处公众受照剂量在  $6.95 \times 10^{-7} \text{mSv/a} \sim 1.85 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$  范围，敏感点处公众最大受照剂量为  $1.85 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，占剂量约束值  $0.1 \text{mSv/a}$  的 1.85%。本项目对各敏感点处公众的辐射影响可接受。

## 5.2.1.2.2 工作人员职业照射剂量

本项目生产原料的运输均委托四川中核方原物流有限公司（运输资质见附件）进行，运输过程不会对本单位辐射工作人员产生剂量，因而本次评价仅包括产品的生产过程对工作人员产生的剂量及销售过程对工作人员产生的剂量。本项目按生产岗位配置辐射工作人员，各产品由不同的人员负责，本次评价对工作人员的职业照射剂量估算，分别按照各产品计算工作人员所受剂量。

## (1)生产厂房和辐照中心

## 1) 生产厂房

生产厂房各生产线生产、Sr/Y 实验间操作时，取原料的时间很短，约 3min 每批次，可忽略。本次计算主要关注原料取出后生产过程中对工作人员的剂量。职业照射考虑的照射途径主要分为外照射、吸入内照射、空气浸没外照射等。

### ①<sup>57</sup>Co 源生产线所致职业人员受照剂量分析

#### A.γ辐射外照射致职业人员受照剂量

本项目 <sup>57</sup>Co 源生产线操作流程包括：生产准备、原料分装、源芯制备、焊接密封、清洗检测、包装发货等环节；其中生产准备主要在研发楼进行；原料分装、源芯制备、焊接密封、清洗检测、包装分别在不同的屏蔽箱内，由同一操作人员进行操作。本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

<sup>57</sup>Co 在衰变过程中仅产生γ射线，预测采用γ射线模式。γ射线点源所致剂量的基本公式如式 5.1-1~5.2-3 及如下：

$$D_A = k \cdot D_a \quad \text{式 5.2-29}$$

其中：

$k$ ——剂量转换因子，取值为 1；

$D_a$ ——空气吸收剂量率，单位 Gy/h；

$D_A$ ——有效剂量率，单位 Sv/h。

<sup>57</sup>Co 源生产γ外照射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-84。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-84 <sup>57</sup>Co 源生产所致职业人员受γ外照射剂量

| 核素               | 辐射剂量率<br>(mSv/h)      | 年操作时间(h) | 年有效剂量<br>(mSv/a)      |
|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| <sup>57</sup> Co | $5.27 \times 10^{-7}$ | 333      | $1.76 \times 10^{-4}$ |

由上表可知，在 <sup>57</sup>Co 源生产过程中，职业人员所受γ外照射剂量最大为  $1.76 \times 10^{-4}$  mSv/a。

#### B.吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，<sup>57</sup>Co 屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $5.56 \times 10^{-2}$  Bq/m<sup>3</sup>。工作人员吸入污染空气所致内照射剂量计算公式：

$$D_i^{inh} = C_i \cdot BR \cdot t \cdot DRF_{inh} \quad \text{式 5.2-30}$$

其中：

$D_i^{inh}$ ——吸入内照射剂量，Sv；

$C_i$ ——空气中放射性物质的活度浓度，Bq/m<sup>3</sup>；

$BR$ ——呼吸率， $m^3/s$ ，取  $2.67 \times 10^{-4} m^3/s$ ；

$t$ ——工作人员的受照时间， $s$ ；

$DRF_{inh}$ ——吸入剂量转换因子， $Sv/Bq$ ；

$^{57}Co$  的吸入剂量转换因子取  $5.2 \times 10^{-10} Sv/Bq$ ， $^{57}Co$  源每生产批次操作时间为 1h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 333 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则工作人员的吸入内照射剂量为  $9.25 \times 10^{-6} mSv/a$ 。

#### C. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析， $^{57}Co$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $5.56 \times 10^{-2} Bq/m^3$ 。工作人员空气浸没所致外照射剂量计算公式：

$$D_i^{im} = C_i \cdot DF_{im} \cdot O_f \quad \text{式 5.2-31}$$

其中：

$D_i^{im}$ ——空气浸没外照射剂量， $Sv/a$ ；

$C_i$ ——空气中放射性物质的活度浓度， $Bq/m^3$ ；

$DF_{im}$ ——空气浸没剂量转换因子， $Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot a^{-1}$ ；

$O_f$ ——一年中人员受到空气浸没外照射的时间份额。

对于  $^{57}Co$ ，空气浸没剂量转换因子取值为  $1.8 \times 10^{-7} Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot a^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 333 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $1.8 \times 10^{-6} mSv/a$ 。

#### D. $^{57}Co$ 源生产所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-85  $^{57}Co$  源生产所致职业人员受照剂量汇总

| $\gamma$ 外照射<br>( $mSv/a$ ) | 吸入内照射<br>( $mSv/a$ )  | 空气浸没外照射<br>( $mSv/a$ ) | 总的年有效剂量<br>( $mSv/a$ ) |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| $1.76 \times 10^{-4}$       | $9.25 \times 10^{-6}$ | $1.8 \times 10^{-6}$   | $1.87 \times 10^{-4}$  |

由上表可知，生产  $^{57}Co$  源的工作人员受照总剂量为  $1.87 \times 10^{-4} mSv/a$ 。

### ② $^{68}Ge$ 源生产线所致职业人员受照剂量分析

#### A. 韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目  $^{68}Ge$  源生产过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、原料分装、源芯制备、内包壳焊接密封、内包壳清洗检测、外包壳焊接密封、外包壳清洗检测、包装发货等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{68}\text{Ge}$  在衰变过程中产生中微子，衰变子核为  $^{68}\text{Ga}$ ，同时  $^{68}\text{Ga}$  衰变时产生  $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{68}\text{Ge}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{68}\text{Ge}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-86。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-86  $^{68}\text{Ge}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素               | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)      | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|------------------|------------------------|----------|-----------------------|
| $^{68}\text{Ge}$ | $1.431 \times 10^{-3}$ | 555      | $7.96 \times 10^{-1}$ |

由上表可知，在  $^{68}\text{Ge}$  源生产过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $7.96 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ 。

#### B.吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析， $^{68}\text{Ge}$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $3.33 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{68}\text{Ge}$  的吸入剂量转换因子取  $1.3 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ ， $^{68}\text{Ge}$  源每生产批次操作时间为 1.5h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 370 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $2.31 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

#### C.空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析， $^{68}\text{Ge}$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $3.33 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{68}\text{Ge}$ ，空气浸没剂量转换因子取值为  $2.3 \times 10^{-12} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 370 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $1.38 \times 10^{-11} \text{mSv/a}$ 。

#### D. $^{68}\text{Ge}$ 源生产所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-87  $^{68}\text{Ge}$  源生产所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)     | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| $7.96 \times 10^{-1}$ | $2.31 \times 10^{-4}$ | $1.38 \times 10^{-11}$ | $7.96 \times 10^{-1}$ |

由上表可知，生产  $^{68}\text{Ge}$  源的工作人员受照总剂量为  $7.96 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ 。

### ③Sn-In 发生器生产线所致职业人员受照剂量分析

#### A. $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目 Sn-In 发生器生产过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、原料液配制、料液质量检验、柱体制备、质量检验、包装发货等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$  在衰变过程中主要产生  $\gamma$  射线，预测采用  $\gamma$  射线模式。

Sn-In 发生器生产  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-88。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-88 Sn-In 发生器生产  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素  | $\gamma$ 辐射剂量率<br>(mSv/h) | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|---|---------------------------|----------|-----------------------|
| $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ | $3.45 \times 10^{-4}$     | 234      | $8.08 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，在 Sn-In 发生器生产过程中，职业人员所受  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $8.08 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### B. 吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，Sn-In 发生器屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $1.58 \text{Bq/m}^3$ 。

$^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$  的吸入剂量转换因子保守取较大的  $2.5 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ ，Sn-In 发生器每生产批次操作时间为 2h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 117 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $8.89 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

#### C. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，Sn-In 发生器屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $1.58 \text{Bq/m}^3$ 。



对于  $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ ，空气浸没剂量转换因子取值为  $1.2 \times 10^{-8} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 117 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $3.42 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ 。

#### D. Sn-In 发生器生产所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-89 Sn-In 发生器生产所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)    | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $8.08 \times 10^{-2}$ | $8.89 \times 10^{-4}$ | $3.42 \times 10^{-6}$ | $8.17 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，生产 Sn-In 发生器的工作人员受照总剂量为  $8.17 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### ④ $^{147}\text{Pm}$ 源生产线所致职业人员受照剂量分析

##### A. 韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目  $^{147}\text{Pm}$  源生产过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、原料液配制、料液质量检验、源芯制备、焊接密封、清洗检测、包装发货等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{147}\text{Pm}$  仅发生  $\beta$  衰变，衰变时产生  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{147}\text{Pm}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{147}\text{Pm}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-90。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-90  $^{147}\text{Pm}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素                | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ | $5.46 \times 10^{-6}$ | 142      | $7.76 \times 10^{-4}$ |

由上表可知，在  $^{147}\text{Pm}$  源生产过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $7.76 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

##### B. 吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析, $^{147}\text{Pm}$ 屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为 $6.51\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

$^{147}\text{Pm}$ 的吸入剂量转换因子取 $4.7\times 10^{-9}\text{Sv}/\text{Bq}$ , $^{147}\text{Pm}$ 源每生产批次操作时间为2h,保守考虑一个工作人员参与全年所有71批次的操作,且操作时间覆盖整个单批次时长,按式5.2-30计算,则工作人员的吸入内照射剂量为 $4.18\times 10^{-3}\text{mSv}/\text{a}$ 。

#### C.空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析, $^{147}\text{Pm}$ 屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为 $6.51\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

对于 $^{147}\text{Pm}$ ,空气浸没剂量转换因子取值为 $2.8\times 10^{-10}\text{Sv}\cdot\text{m}^3\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ,保守考虑一个工作人员参与全年所有370批次的操作,且操作时间覆盖整个单批次时长,则时间份额取值为0.18,按式5.2-31计算,则工作人员的空气浸没外照射剂量为 $3.28\times 10^{-7}\text{mSv}/\text{a}$ 。

#### D. $^{147}\text{Pm}$ 源生产所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-91  $^{147}\text{Pm}$ 源生产所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)       | 吸入内照射<br>(mSv/a)     | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)   | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)   |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $7.76\times 10^{-4}$ | $4.18\times 10^{-3}$ | $3.28\times 10^{-7}$ | $4.95\times 10^{-3}$ |

由上表可知,生产 $^{147}\text{Pm}$ 源的工作人员受照总剂量为 $4.95\times 10^{-3}\text{mSv}/\text{a}$ 。

### ⑤气体源生产线所致职业人员受照剂量分析

#### A.韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目 $^{85}\text{Kr}$ 源生产过程中,造成操作人员照射剂量的操作流程包括:生产准备、放射源制备、锡焊密封、封帽焊接、质量检测、包装发货等环节,本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{85}\text{Kr}$ 源仅发生 $\beta$ 衰变,衰变时产生 $\beta$ 射线和 $\gamma$ 射线。由5.2.1.1场所辐照水平一节分析可知,在屏蔽箱内操作时, $^{85}\text{Kr}$ 产生的 $\beta$ 射线完全被屏蔽材料吸收,不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和 $\gamma$ 辐射,根据式5.2-31进行计算。

$^{85}\text{Kr}$ 源生产韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表5.2-92。保守考虑,预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-92 气体源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素               | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)      | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|------------------|------------------------|----------|-----------------------|
| $^{85}\text{Kr}$ | $1.152 \times 10^{-4}$ | 200      | $2.31 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，在气体源生产过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $2.31 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### B. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析， $^{85}\text{Kr}$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $92.5 \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{85}\text{Kr}$ ，空气浸没剂量转换因子取值为  $3.8 \times 10^{-9} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 100 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $6.33 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### C. $^{85}\text{Kr}$ 源生产所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-93  $^{85}\text{Kr}$  源生产所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)    | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $2.31 \times 10^{-2}$ | $6.33 \times 10^{-5}$ | $2.32 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，生产气体源的工作人员受照总剂量为  $2.32 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

### ⑥ $^{14}\text{C}$ 源生产线所致职业人员受照剂量分析

#### A. 韧致辐射致职业人员受照剂量

本项目  $^{14}\text{C}$  源生产过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、原料液配制、源芯制备、封膜密封、焊接密封、质量检验、包装发货等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{14}\text{C}$  源仅发生  $\beta$  衰变，衰变时产生  $\beta$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{14}\text{C}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{14}\text{C}$  源生产韧致辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-94。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-94  $^{14}\text{C}$  源生产韧致辐射所致职业人员受照剂量

| 核素              | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)      | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)           |
|-----------------|------------------------|----------|------------------------|
| $^{14}\text{C}$ | $5.77 \times 10^{-18}$ | 100      | $5.77 \times 10^{-16}$ |

由上表可知，在  $^{14}\text{C}$  源生产过程中，职业人员所受韧致辐射外照射剂量为  $5.77 \times 10^{-16} \text{mSv/a}$ 。

#### B. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析， $^{14}\text{C}$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $1.85 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{14}\text{C}$ ，空气浸没剂量转换因子取值为  $7.1 \times 10^{-12} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 100 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $2.36 \times 10^{-10} \text{mSv/a}$ 。

#### C. $^{14}\text{C}$ 源生产所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-95  $^{14}\text{C}$  源生产所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)         | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)     | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)     |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| $5.77 \times 10^{-16}$ | $2.36 \times 10^{-10}$ | $2.36 \times 10^{-10}$ |

由上表可知，生产  $^{14}\text{C}$  源的工作人员受照总剂量为  $2.36 \times 10^{-10} \text{mSv/a}$ 。

#### ⑦ $^{137}\text{Cs}$ 源生产线所致职业人员受照剂量分析

$^{137}\text{Cs}$  源生产线由于对带包壳的半成品源进行操作，故职业照射仅考虑外照射途径。

本项目  $^{137}\text{Cs}$  源生产过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：清洗捡漏、焊接密封、质量检验、包装发货等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{137}\text{Cs}$  仅发生  $\beta$ -衰变，衰变时产生  $\beta$  射线，衰变子核为  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ，其衰变子核  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  发生 IT 衰变，衰变时产生  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{137}\text{Cs}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{137}\text{Cs}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-96。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致

的活度减少。

表 5.2-96  $^{137}\text{Cs}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素                | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{137}\text{Cs}$ | $5.51 \times 10^{-4}$ | 999      | $5.49 \times 10^{-1}$ |

由上表可知，在  $^{137}\text{Cs}$  源生产过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $5.49 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ 。

### ⑧ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间所致职业人员受照剂量分析

#### A. 韧致辐射致职业人员受照剂量

本项目  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：核素溶液配制、基质吸附、源风干、源质量检验等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  仅发生 $\beta$ 衰变，衰变时仅产生 $\beta$ 射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  产生的 $\beta$ 射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  操作韧致辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-97。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-97  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间操作韧致辐射所致职业人员受照剂量

| 核素                             | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|--------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ | $1.63 \times 10^{-3}$ | 45       | $7.35 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，在  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  操作过程中，职业人员所受韧致辐射外照射剂量为  $7.35 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### B. 吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析， $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.11 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  的吸入剂量转换因子保守取较大的  $1.5 \times 10^{-7} \text{Sv/Bq}$ ， $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  每批次操作时间为 3h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 15 批次的操作，且操作时间覆盖

整个单批次时长,按式 5.2-30 计算,则工作人员的吸入内照射剂量为  $2.67 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

#### C.空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  屏蔽工作箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.11 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ , 空气浸没剂量转换因子取值为  $3.1 \times 10^{-9} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 保守考虑一个工作人员参与全年所有 15 批次的操作,且操作时间覆盖整个单批次时长,则时间份额取值为 0.18,按式 5.2-31 计算,则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $2.29 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$ 。

#### D. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 操作所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-98  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间操作所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)    | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $7.35 \times 10^{-2}$ | $2.67 \times 10^{-3}$ | $2.29 \times 10^{-7}$ | $7.62 \times 10^{-2}$ |

由上表可知,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  实验间的工作人员受照总剂量为  $7.62 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

## 2) 放射源库

### ①整备热室所致职业人员受照剂量分析

整备热室由于从带两层包壳的回收源进行操作,故职业照射仅考虑外照射途径。

本项目整备热室退役  $^{60}\text{Co}$  源生产操作过程中,造成操作人员照射剂量的操作流程包括:新源组装封焊、成品源质量检验、成品源贮存等环节,本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{60}\text{Co}$  为 $\beta$ -衰变,衰变时产生 $\beta$ -射线和 $\gamma$ -射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知,在整备热室内操作时,  $^{60}\text{Co}$  产生的 $\beta$ -射线完全被屏蔽材料吸收,不会对热室外人员造成辐射剂量。在成品源贮存后,  $^{60}\text{Co}$  产生的 $\beta$ -射线完全被贮源水井吸收,不会对井外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和 $\gamma$ -辐射,根据式 5.2-31 进行计算。

$^{60}\text{Co}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-99。保守考虑,预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少。

表 5.2-99  $^{60}\text{Co}$  源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量



| 核素               | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{60}\text{Co}$ | $1.94 \times 10^{-3}$ | 100      | $1.94 \times 10^{-1}$ |

由上表可知，在  $^{60}\text{Co}$  源生产过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $1.94 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ 。

### ②源井所致职业人员受照剂量分析

源井不用于贮源，只用于回收源的倒装作业。以日常井下存有 7000Ci 的钴源计，水井间工作人员巡检时，井口最大剂量率为  $1.49 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$ ，而且巡检时间较短，按巡查一次耗时 5min，每天巡查 1 次计算，工作人员巡查年受照剂量约为  $4.54 \times 10^{-4} \text{mSv}$ 。

根据标准要求，容器表面剂量率小于  $2 \text{mSv/h}$ ，1m 处剂量率小于  $0.2 \text{mSv/h}$ 。

工作人员对源罐的操作分为靠近容器表面的操作和远距离操作，其中，靠近容器表面的操作主要有固定吊点，通过对倒源人员进行分组和分工可以使每个人的操作时间控制在 5min 左右，则靠近容器表面的操作过程对工作人员的剂量贡献约为  $0.167 \text{mSv}$ ；

而运用桁吊将源罐吊入源井等其他操作均为远距离操作，保守取 1m 处剂量率计算，每个人的操作时间保守估计为 0.5h，则剂量贡献为  $0.1 \text{mSv}$ 。

当源容器放入倒源井后，用长臂夹逐个取出源棒至源架上时，工作人员所受照剂量率最大为  $1.37 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ （详见 5.2.1.1 节），保守估计，每批次每个工作人员操作 0.5h，每年以 100 批次计，剂量贡献仅为  $0.0685 \text{mSv}$ 。

综合考虑，以上源井处巡查和钴源的倒装对工作人员的总剂量贡献约为  $0.336 \text{mSv}$ 。

### ③贮存地坑所致职业人员受照剂量分析

工作人员在贮存地坑的停留时间约 100h，则贮存地坑对源库工作人员造成的年有效剂量为  $0.585 \text{mSv/a}$ 。

## 3) 辐射中心

### ①正常运行

由于辐照室工作人员巡检时，井口最大剂量率为  $2.13 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ，而且巡检时间较短，按巡查一次耗时 5min，每天巡查 1 次计算，工作人员巡查年受照剂量约为  $6.48 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

辐照室工作人员主要在控制室滞留，以工作人员迷道入口处剂量率保守计算工作人员的年有效剂量，剂量率为  $7.03 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ 。保守按全年工作 8000h 且三班倒计算，正常运行状态下，工作人员的年有效剂量为  $1.88 \times 10^{-4}\text{mSv}$ 。

## ②倒源过程

本辐照装置初装源 100 万 Ci，以后每年最多补充 50 万 Ci 的  $^{60}\text{Co}$  放射源（加源量将根据市场需求调整）。根据标准要求，新源容器一般装源量为 20 万 Ci，表面剂量率小于  $2\text{mSv/h}$ ，1m 处剂量率小于  $0.2\text{mSv/h}$ 。

工作人员对源罐的操作分为靠近容器表面的操作和远距离操作，其中，靠近容器表面的操作主要有固定吊点（使容器与运输车辆分离）和卸除容器底座螺丝并拧松源罐活塞盖板上的紧固螺丝，通过对倒源人员进行分组和分工可以使每个人的操作时间控制在 10min 左右，则靠近容器表面的操作过程对工作人员的剂量贡献约为  $0.33\text{mSv}$ ；

而运用桁吊将源罐吊入贮存地坑等其他操作均为远距离操作，保守取 1m 处剂量率计算，每个人的操作时间保守估计为 0.5h，则剂量贡献为  $0.1\text{mSv}$ 。

当源容器放入倒源井后，用长臂夹逐个取出源棒至源架上时，工作人员所受照射剂量率最大为  $0.418\mu\text{Sv/h}$ （详见 5.2.1.1 节），保守估计，每个工作人员操作 5h，剂量贡献仅为  $2.09 \times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

综合考虑，以上 20 万 Ci 钴源的倒装对工作人员的剂量贡献约为  $0.433\text{mSv}$ 。初次装源 100 万 Ci，需重复 5 次倒源工作。保守估算，100 万 Ci  $^{60}\text{Co}$  源的倒装对工作人员的剂量贡献约为  $2.165\text{mSv}$ 。

## (2)研发楼

### 1) 放化实验室一

#### ①通风柜+手套箱所致职业人员受照剂量分析

##### A. 韧致辐射致职业人员受照剂量

本项目放化实验室一通风柜+手套箱选取核素  $^{14}\text{C}$  作为代表性核素进行计算。 $^{14}\text{C}$  核素操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、涂抹载片、环氧树脂密封、质量检验等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{14}\text{C}$  仅发生  $\beta$  衰变，衰变时仅产生  $\beta$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{14}\text{C}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造



成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{14}\text{C}$  操作韧致辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-100。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取放化实验室一通风柜+手套箱操作所有核素的总时间。

表 5.2-100 放化实验室一通风柜+手套箱操作韧致辐射所致职业人员受照剂量

| 核素              | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)      | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)           |
|-----------------|------------------------|----------|------------------------|
| $^{14}\text{C}$ | $2.62 \times 10^{-14}$ | 12       | $3.15 \times 10^{-13}$ |

由上表可知，在放化实验室一通风柜+手套箱操作过程中，职业人员所受韧致辐射外照射剂量为  $3.15 \times 10^{-13} \text{mSv/a}$ 。

#### B.空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一通风柜+手套箱操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $5.14 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  空气浸没剂量转换因子保守取两者中较大的  $1 \times 10^{-11} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有核素共 6 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $9.25 \times 10^{-11} \text{mSv/a}$ 。

#### C.放化实验室一通风柜+手套箱操作所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-101 放化实验室一“通风柜+手套箱”操作所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)         | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)     | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)     |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| $3.15 \times 10^{-13}$ | $9.25 \times 10^{-11}$ | $9.28 \times 10^{-11}$ |

由上表可知，放化实验室一通风柜+手套箱的工作人员受照总剂量为  $9.28 \times 10^{-11} \text{mSv/a}$ 。

### ②手套箱 1 所致职业人员受照剂量分析

#### A.韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目放化实验室一手套箱 1 选取核素  $^{68}\text{Ge}$  作为代表性核素进行计算。 $^{68}\text{Ge}$  核素操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、核素溶液配制、基质吸附、源风干、源质量检验等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{68}\text{Ge}$  在衰变过程中产生中微子，衰变子核为  $^{68}\text{Ga}$ ，同时  $^{68}\text{Ga}$  衰变时产生  $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{68}\text{Ge}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{68}\text{Ge}$  核素操作韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-102。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取放化实验室一手套箱 1 操作所有核素的总时间。

表 5.2-102 放化实验室一手套箱 1 韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素               | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)         |
|------------------|-----------------------|----------|----------------------|
| $^{68}\text{Ge}$ | $2.42 \times 10^{-3}$ | 26       | $6.3 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，在放化实验室一手套箱 1 操作过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $6.3 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### B.吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一手套箱 1 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{Ba}$  的吸入剂量转换因子保守取三者中较大的  $1.3 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ ， $^{68}\text{Ge}$  每批次操作时间为 2h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 13 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $1.5 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

#### C.空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一手套箱 1 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{Ba}$  空气浸没剂量转换因子保守取三者中较大的  $7.7 \times 10^{-7} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 13 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $6.41 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### D.放化实验室一手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-103 放化实验室一手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)       | 吸入内照射<br>(mSv/a)     | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)    | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $6.3 \times 10^{-2}$ | $1.5 \times 10^{-4}$ | $6.41 \times 10^{-5}$ | $6.32 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，放化实验室一手套箱 1 的工作人员受照总剂量为  $6.32 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

### ③手套箱 2 所致职业人员受照剂量分析

#### A. $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目放化实验室一手套箱 2 选取核素  $^{113}\text{Sn}$  作为代表性核素进行计算。 $^{113}\text{Sn}$  核素操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、核素溶液配制、衬底成源、比活度测量等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{113}\text{Sn}$  为 EC 衰变方式，衰变时主要产生中微子，衰变子核为  $^{113\text{m}}\text{In}$ ； $^{113\text{m}}\text{In}$  为 IT 衰变方式，衰变时产生  $\gamma$  射线。因而操作人员所受剂量主要为  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{113}\text{Sn}$  核素操作  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-104。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取放化实验室一手套箱 2 操作所有核素的总时间。

表 5.2-104 放化实验室一手套箱 2  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素                | 总辐射剂量率(mSv/h)        | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|-------------------|----------------------|----------|-----------------------|
| $^{113}\text{Sn}$ | $2.1 \times 10^{-3}$ | 24       | $5.03 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，在放化实验室一手套箱 1 操作过程中，职业人员所受  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $5.03 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### B. 吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一手套箱 2 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$  的吸入剂量转换因子保守取四者中较大的  $2.5 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ ， $^{113}\text{Sn}$  每批次操作时间为 2h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 12 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $2.67 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### C. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一手套箱 2 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ ，空气浸没剂量转换因子保守取四者中较大的  $3.6 \times 10^{-7} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 12 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $3 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### D.放化实验室一手套箱 2 所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-105 放化实验室一手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a) | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| $5.03 \times 10^{-2}$ | $2.67 \times 10^{-5}$ | $3 \times 10^{-5}$ | $5.04 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，放化实验室一手套箱 2 的工作人员受照总剂量为  $5.04 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

#### ④手套箱 3 所致职业人员受照剂量分析

##### A. $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目放化实验室一手套箱 3 选取核素  $^{57}\text{Co}$  作为代表性核素进行计算。 $^{57}\text{Co}$  核素操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、核素溶液配制、基质吸附、源风干、源质量检验等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{57}\text{Co}$  为 EC 衰变方式，衰变时主要产生  $\gamma$  射线。因而操作人员所受剂量主要为  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{57}\text{Co}$  核素操作  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-106。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取放化实验室一手套箱 3 操作所有核素的总时间。

表 5.2-106 放化实验室一手套箱 3  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素               | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{57}\text{Co}$ | $1.09 \times 10^{-5}$ | 32       | $3.47 \times 10^{-4}$ |

由上表可知，在放化实验室一手套箱 3 操作过程中，职业人员所受  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $3.47 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

##### B.吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一手套箱 3 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  的吸入剂量转换因子保守取三者中较大的  $6.2 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ ， $^{57}\text{Co}$  每批次操作时间为 2h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 16 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $8.82 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### C. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室一手套箱 3 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ ，空气浸没剂量转换因子保守取三者中较大的  $1.8 \times 10^{-7} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 16 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $1.5 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### D. 放化实验室一手套箱 3 所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-107 放化实验室一手套箱 3 所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)   | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| $3.47 \times 10^{-4}$ | $8.82 \times 10^{-5}$ | $1.5 \times 10^{-5}$ | $4.51 \times 10^{-4}$ |

由上表可知，放化实验室一手套箱 3 的工作人员受照总剂量为  $4.51 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

## 2) 放化实验室二

### ① 手套箱 1 所致职业人员受照剂量分析

#### A. 韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目放化实验室二手套箱 1 选取核素  $^{88}\text{Y}$  作为代表性核素进行计算。 $^{88}\text{Y}$  核素操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、核素溶液配制、基质吸附、源风干、源质量检验等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{88}\text{Y}$  为  $\beta^+$  衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生  $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{88}\text{Y}$  产生的  $\beta$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{88}\text{Y}$  核素操作韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-108。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取放化实验室二手套箱 1 操作所有核素的总时间。

表 5.2-108 放化实验室二手套箱 1 韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素              | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|-----------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{88}\text{Y}$ | $4.99 \times 10^{-4}$ | 16       | $7.97 \times 10^{-3}$ |

由上表可知，在放化实验室二手套箱 1 操作过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $7.97 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

#### B.吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室二手套箱 1 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  的吸入剂量转换因子保守取两者中较大的  $3.9 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ ， $^{88}\text{Y}$  每批次操作时间为 2h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 8 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $2.77 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### C.空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室二手套箱 1 操作前区空气中气溶胶活度浓度为  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$  空气浸没剂量转换因子保守取两者中较大的  $4.3 \times 10^{-6} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 8 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $3.58 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

#### D.放化实验室二手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-109 放化实验室二手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)    | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $7.97 \times 10^{-3}$ | $2.77 \times 10^{-5}$ | $3.58 \times 10^{-4}$ | $8.36 \times 10^{-3}$ |

由上表可知，放化实验室二手套箱 1 的工作人员受照总剂量为  $8.36 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

#### ②手套箱 2 所致职业人员受照剂量分析



### A. 韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项目放化实验室二手套箱 2 选取核素  $^{152}\text{Eu}$  作为代表性核素进行计算。 $^{152}\text{Eu}$  核素操作过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、核素溶液配制、基质吸附、源风干、源质量检验等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{152}\text{Eu}$  为  $\beta^-$  衰变、 $\beta^+$  衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生  $\beta^-$  射线、 $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{152}\text{Eu}$  产生的  $\beta^-$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{152}\text{Eu}$  核素操作韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-110。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取放化实验室二手套箱 2 操作所有核素的总时间。

表 5.2-110 放化实验室二手套箱 2 韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素                | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)      | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|-------------------|------------------------|----------|-----------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | $1.351 \times 10^{-3}$ | 18       | $2.42 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，在放化实验室二手套箱 2 操作过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $2.42 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

### B. 吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室二手套箱 2 操作前区空气中气溶胶活度浓度保守取  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

$^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$  的吸入剂量转换因子保守取三者中较大的  $3.9 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ ， $^{152}\text{Eu}$  每批次操作时间为 2h，保守考虑一个工作人员参与全年所有 9 批次的操作，且操作时间覆盖整个单批次时长，按式 5.2-30 计算，则工作人员的吸入内照射剂量为  $1.87 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

### C. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，放化实验室二手套箱 2 操作前区空气中气溶胶活度浓度保守取  $4.63 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 。

对于  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$  空气浸没剂量转换因子保守取三者中较大的  $1.8 \times 10^{-6} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，保守考虑一个工作人员参与全年所有 9 批次的操作，且操作

时间覆盖整个单批次时长，则时间份额取值为 0.18，按式 5.2-31 计算，则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $8.99 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### D. 放化实验室二手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

表 5.2-111 放化实验室二手套箱 1 所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)    | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $2.42 \times 10^{-2}$ | $1.87 \times 10^{-4}$ | $8.99 \times 10^{-5}$ | $2.45 \times 10^{-2}$ |

由上表可知，放化实验室二手套箱 2 的工作人员受照总剂量为  $2.45 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

### 3) 标准源生产间

#### A. 韧致辐射和 $\gamma$ 辐射致职业人员受照剂量

本项标准源生产间选取核素  $^{152}\text{Eu}$  作为代表性核素进行计算。 $^{152}\text{Eu}$  标准源生产过程中，造成操作人员照射剂量的操作流程包括：生产准备、料液制备、定量测试、源风干、源测量、封膜密封、源壳密封、擦拭去污、源质量检验、包装等环节，本次评价分别选取操作人员所处的实际点位作为职业人员受照剂量率的预测点。

$^{152}\text{Eu}$  为  $\beta^-$  衰变、 $\beta^+$  衰变和 EC 衰变方式，衰变时产生  $\beta^-$  射线、 $\beta^+$  射线和  $\gamma$  射线。由 5.2.1.1 场所辐照水平一节分析可知，在屏蔽箱内操作时， $^{152}\text{Eu}$  产生的  $\beta^-$  射线完全被屏蔽材料吸收，不会对屏蔽箱外人员造成辐射剂量。因而操作人员所受剂量主要为韧致辐射和  $\gamma$  辐射，根据式 5.2-31 进行计算。

$^{152}\text{Eu}$  标准源生产韧致辐射和  $\gamma$  辐射致职业人员受照剂量预测所依据参数及计算结果列于表 5.2-112。保守考虑，预测未考虑核素衰变及核素转移到放射性废物中所致的活度减少，年操作时间取标准源生产间操作所有核素的总时间。

表 5.2-112 标准源生产间韧致辐射和  $\gamma$  辐射所致职业人员受照剂量

| 核素                | 总辐射剂量率<br>(mSv/h)     | 年操作时间(h) | 年有效剂量(mSv/a)          |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| $^{152}\text{Eu}$ | $1.37 \times 10^{-5}$ | 85       | $1.16 \times 10^{-3}$ |

由上表可知，在标准源生产间的生产过程中，职业人员所受韧致辐射和  $\gamma$  辐射外照射剂量为  $1.16 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

#### B. 吸入内照射致职业人员受照剂量

根据源项分析，标准源生产间操作前区空气中气溶胶活度浓度保守取  $1 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。



标准源生产间各核素的吸入剂量转换因子保守取其中较大的  $8.9 \times 10^{-7} \text{Sv/Bq}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  每批次操作时间为 0.5h, 保守考虑一个工作人员参与全年所有 170 批次的操作, 且操作时间覆盖整个单批次时长, 按式 5.2-30 计算, 则工作人员的吸入内照射剂量为  $7.27 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

#### C. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

根据源项分析, 标准源生产间操作前区空气中气溶胶活度浓度保守取  $1 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

对于标准源生产间各核素, 空气浸没剂量转换因子保守取三者中较大的  $4 \times 10^{-6} \text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 保守考虑一个工作人员参与全年所有 170 批次的操作, 且操作时间覆盖整个单批次时长, 则时间份额取值为 0.18, 按式 5.2-31 计算, 则工作人员的空气浸没外照射剂量为  $7.2 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$ 。

#### D. 标准源生产间所致职业人员受照剂量汇总。

表 5.2-113 标准源生产间所致职业人员受照剂量汇总

| 外照射<br>(mSv/a)        | 吸入内照射<br>(mSv/a)      | 空气浸没外照射<br>(mSv/a)   | 总的年有效剂量<br>(mSv/a)    |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| $1.16 \times 10^{-3}$ | $7.27 \times 10^{-5}$ | $7.2 \times 10^{-7}$ | $1.24 \times 10^{-3}$ |

由上表可知, 标准源生产间的工作人员受照总剂量为  $1.24 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

#### (3) 放射源销售致职业人员受照射剂量分析

产品在生产、包装完成后, 在成品源装运大厅暂存, 短时间即进行销售。产品销售的运输均委托四川中核方原物流有限公司 (运输资质见附件) 进行, 运输过程不会对本单位辐射工作人员产生剂量。销售的产品由成品源装运大厅转运至购货方运输车辆由本项目单位人员完成。

本项目产品采用专用铅罐从成品源装运大厅内转运至专用运输车辆。考虑到产品在存放的过程中会发生衰变, 产品活度会比生产完成时下降, 因而在销售人员所受的剂量计算中使用的产品活度为出厂活度。放射源枚数按年操作量除以单源最小活度保守考虑。产品销售方案见表 5.2-114。

表 5.2-114 产品销售方案

| 产品                    | 出厂活度                             | 年销售量      | 屏蔽罐材料 | 屏蔽罐厚度 |
|-----------------------|----------------------------------|-----------|-------|-------|
| $^{57}\text{Co}$ 源    | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq/枚}$  | 约 1000 枚  | 铅     | 1mm   |
| $^{68}\text{Ge}$ 源    | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq/枚}$  | 约 1000 枚  |       | 1mm   |
| Sn-In 发生器             | $7.4 \times 10^{11}\text{Bq/个}$  | 约 400 枚   |       | 1mm   |
| $^{147}\text{Pm}$ 源   | $1.85 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$ | 约 100 枚   |       | 1mm   |
| $^{85}\text{Kr}$ 源    | $3.7 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$  | 约 1000 枚  |       | 1mm   |
| $^{14}\text{C}$ 源     | $3.7 \times 10^{10}\text{Bq/枚}$  | 约 20000 枚 |       | 1mm   |
| $^{137}\text{Cs}$ 源   | $3.7 \times 10^{13}\text{Bq/枚}$  | 约 1000 枚  |       | 18mm  |
| $^{60}\text{Co}$ 标准源  | $1 \times 10^5\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       | 1mm   |
| $^{198}\text{Au}$ 标准源 | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{170}\text{Tm}$ 标准源 | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{210}\text{Pb}$ 标准源 | $1 \times 10^4\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{153}\text{Gd}$ 标准源 | $1 \times 10^7\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{154}\text{Eu}$ 标准源 | $1 \times 10^5\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{35}\text{S}$ 标准源   | $1 \times 10^7\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{133}\text{Ba}$ 标准源 | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{106}\text{Ru}$ 标准源 | $1 \times 10^5\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{169}\text{Yb}$ 标准源 | $1 \times 10^7\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{152}\text{Eu}$ 标准源 | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{144}\text{Ce}$ 标准源 | $1 \times 10^5\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{55}\text{Fe}$ 标准源  | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{22}\text{Na}$ 标准源  | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{109}\text{Cd}$ 标准源 | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{99}\text{Tc}$ 标准源  | $1 \times 10^7\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |
| $^{36}\text{Cl}$ 标准源  | $1 \times 10^6\text{Bq/枚}$       | 约 10 枚    |       |       |

转运人员转运时间取 10.0min 估算，每种产品保守考虑为最大规格的量，则产品转运阶段人员所受剂量见表 5.2-115。

表 5.2-115 产品销售转运人员所受剂量

| 转运的产品                 | 辐射源项<br>(距铅罐表面 1m 处的辐射剂量率)                                       | 人员所受剂量<br>(mSv/a)     |
|-----------------------|--|-----------------------|
| $^{57}\text{Co}$ 源    | $9.77 \times 10^{-4} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$       | $1.63 \times 10^{-1}$ |
| $^{68}\text{Ge}$ 源    | $1.19 \times 10^{-5} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$       | $1.99 \times 10^{-3}$ |
| Sn-In 发生器             | $1.68 \times 10^{-4} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{个})$       | $1.12 \times 10^{-2}$ |
| $^{147}\text{Pm}$ 源   | $2.54 \times 10^{-9} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$       | $4.23 \times 10^{-8}$ |
| $^{85}\text{Kr}$ 源    | $9.57 \times 10^{-6} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$       | $1.60 \times 10^{-3}$ |
| $^{14}\text{C}$ 源     | $4.16 \times 10^{-6} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$       | $1.39 \times 10^{-2}$ |
| $^{137}\text{Cs}$ 源   | $3.60 \times 10^{-3} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$       | $5.99 \times 10^{-1}$ |
| $^{60}\text{Co}$ 标准源  | 保守考虑为 $1.19 \times 10^{-7} \text{mGy}/(\text{h} \cdot \text{枚})$ | $3.36 \times 10^{-6}$ |
| $^{198}\text{Au}$ 标准源 |  |                       |
| $^{170}\text{Tm}$ 标准源 |  |                       |
| $^{210}\text{Pb}$ 标准源 |  |                       |
| $^{153}\text{Gd}$ 标准源 |  |                       |
| $^{154}\text{Eu}$ 标准源 |  |                       |
| $^{35}\text{S}$ 标准源   |  |                       |
| $^{133}\text{Ba}$ 标准源 |  |                       |
| $^{106}\text{Ru}$ 标准源 |  |                       |
| $^{169}\text{Yb}$ 标准源 |  |                       |
| $^{152}\text{Eu}$ 标准源 |  |                       |
| $^{144}\text{Ce}$ 标准源 |  |                       |
| $^{55}\text{Fe}$ 标准源  |  |                       |
| $^{22}\text{Na}$ 标准源  |  |                       |
| $^{109}\text{Cd}$ 标准源 |  |                       |
| $^{99}\text{Tc}$ 标准源  |  |                       |
| $^{36}\text{Cl}$ 标准源  |  |                       |

从表 5.2-115 可见，产品销售阶段转运人员所受的辐射剂量预测值很小，不同核素产品转运人员个人所受的最大有效剂量为  $5.99 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ 。

#### (7)各生产组工作人员所受总剂量

本项目按生产岗位配置辐射工作人员，不同的产品由不同的生产组工作人员负

责，保守假设一名工作人员参与了该产品的生产与销售工作，由生产与销售剂量之和评价工作人员所受的辐射影响。各产品生产组工作人员所受剂量之和见表 5.2-116。

表 5.2-116 工作人员所受剂量 单位：mSv/a

| 场所与核素          |  | 生产或操作阶段所受剂量   | 产品转运阶段所受剂量             | 人员所受总剂量               |                        |
|----------------|--|---|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 生产<br>厂房       | <sup>57</sup> Co 源   | 1.87×10 <sup>-4</sup>   | 1.63×10 <sup>-1</sup>  | 1.63×10 <sup>-1</sup> |                        |
|                | <sup>68</sup> Ge 源   | 7.96×10 <sup>-1</sup>   | 1.99×10 <sup>-3</sup>  | 7.98×10 <sup>-1</sup> |                        |
|                | Sn-In 发生器  | 8.17×10 <sup>-2</sup>   | 1.12×10 <sup>-2</sup>  | 9.29×10 <sup>-2</sup> |                        |
|                | <sup>147</sup> Pm 源  | 4.95×10 <sup>-3</sup>   | 4.23×10 <sup>-8</sup>  | 4.95×10 <sup>-3</sup> |                        |
|                | <sup>85</sup> Kr 源   | 2.32×10 <sup>-2</sup>   | 1.60×10 <sup>-3</sup>  | 2.48×10 <sup>-2</sup> |                        |
|                | <sup>14</sup> C 源  | 2.36×10 <sup>-10</sup>  | 1.39×10 <sup>-2</sup>  | 1.39×10 <sup>-2</sup> |                        |
|                | <sup>137</sup> Cs 源  | 5.49×10 <sup>-1</sup>   | 5.99×10 <sup>-1</sup>  | 1.15                  |                        |
|                | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y  | 7.62×10 <sup>-2</sup>   | /                      | 7.62×10 <sup>-2</sup> |                        |
| 放射<br>源库       | <sup>60</sup> Co 源   | 1.717   | /                      | 1.717                 |                        |
| 放化<br>实验室一     | 通风<br>柜+<br>手套<br>箱  | <sup>3</sup> H<br><sup>14</sup> C   | 9.28×10 <sup>-11</sup> | /                     | 9.28×10 <sup>-11</sup> |
|                | 手套<br>箱 1  | <sup>68</sup> Ge<br><sup>85</sup> Sr<br><sup>131</sup> Ba                       | 6.32×10 <sup>-2</sup>  | /                     | 6.32×10 <sup>-2</sup>  |
|                | 手套<br>箱 2  | <sup>51</sup> Cr<br><sup>113</sup> Sn<br><sup>153</sup> Gd<br><sup>203</sup> Hg | 5.04×10 <sup>-2</sup>  | /                     | 5.04×10 <sup>-2</sup>  |
|                | 手套<br>箱 3  | <sup>57</sup> Co<br><sup>109</sup> Cd<br><sup>147</sup> Pm                      | 4.51×10 <sup>-4</sup>  | /                     | 4.51×10 <sup>-4</sup>  |
| 放化<br>实验室二     | 手套<br>箱 1  | <sup>88</sup> Y<br><sup>22</sup> Na   | 8.36×10 <sup>-3</sup>  | /                     | 8.36×10 <sup>-3</sup>  |
|                | 手套<br>箱 2  | <sup>54</sup> Mn<br><sup>65</sup> Zn<br><sup>152</sup> Eu                       | 2.45×10 <sup>-2</sup>  | /                     | 2.45×10 <sup>-2</sup>  |
| 标准<br>源生<br>产间 | <sup>60</sup> Co<br><sup>198</sup> Au<br><sup>170</sup> Tm<br><sup>210</sup> Pb<br><sup>153</sup> Gd<br><sup>154</sup> Eu<br><sup>35</sup> S<br><sup>133</sup> Ba<br><sup>106</sup> Ru | 1.24×10 <sup>-3</sup>   | 3.36×10 <sup>-6</sup>  | 1.24×10 <sup>-3</sup> |                        |

|      |  |      |   |      |
|------|--|------|---|------|
|      | <sup>169</sup> Yb<br><sup>152</sup> Eu<br><sup>144</sup> Ce<br><sup>55</sup> Fe<br><sup>22</sup> Na<br><sup>109</sup> Cd<br><sup>99</sup> Tc<br><sup>36</sup> Cl |      |   |      |
| 辐射中心 | <sup>60</sup> Co 源   | 2.23 | / | 2.23 |

本项目各生产组的工作人员各自承担各产品的生产工作，各生产组之间工作内容不交叉，故本项目各生产组之间工作人员所受剂量不存在叠加影响。上述计算考虑一名工作人员参加了产品的生产及销售工作，实际工作中，各生产线配置了多名工作人员，各产品的生产与销售可能由不同工作人员完成，故上述计算是保守的。综上，按各生产线生产岗位核算，本项目运行对工作人员所致的职业照射剂量在  $9.28 \times 10^{-11} \text{mSv/a} \sim 1.15 \text{mSv/a}$  范围。

因此本项目对工作人员的职业照射剂量最大为 **2.23mSv/a**，低于本次评价确定的  $5 \text{mSv/a}$  的职业照射剂量控制值。

## 5.2.2 项目运行期非放射性环境影响

### 5.2.2.1 废气环境影响

项目的非放废气主要考虑辐射中心放射源使空气电离产生的臭氧以及氢气。

#### (1) 臭氧

##### ① 臭氧的产生率

根据《 $\gamma$ 辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB10252-2009)附录C中的公式计算如下：

$$Q_0 = 1.71 \times 10^{-2} \cdot A \cdot V^{\frac{1}{3}} \cdot G \quad \text{式 5.2-32}$$

式中：

$Q_0$ —臭氧的辐射化学产额，mg/h；

$A$ —辐照源的活度，TBq。  $A=1.48 \times 10^5 \text{TBq}$ ；

$G$ —空气吸收100eV的电离辐射能量所产生的臭氧分子数， $G=6$ ；

$V$ —辐照室体积 ( $\text{m}^3$ )， $V=1255.5 \text{m}^3$ 。

由上式可得：

$$Q=1.71 \times 10^{-2} \times 1.48 \times 10^5 \times 1255.5^{1/3} \times 6 = 1.64 \times 10^5 \text{mg/h}$$

## ②臭氧的饱和浓度

考虑连续排风和臭氧的分解时，辐照室空气中臭氧的平均浓度计算公式见式 5.2-33。

$$C(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad \text{式 5.2-33}$$

式中：

$C(t)$ —辐照室内 $t$ 时刻臭氧的平均浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$Q_0$ —臭氧的辐射化学产额， $\text{mg}/\text{h}$ ；

$V$ —辐照室的体积， $\text{m}^3$ ；

$T$ —有效清除时间， $\text{h}$ 。

若以 $t_v$ 表示换气一次所需时间， $\text{h}$ （本项目热室换气次数 $20\text{h}^{-1}$ ，故 $t_v=0.05\text{h}$ ）； $t_d$ 表示臭氧的有效分解时间（可取 $50\text{min}$ ，即 $0.83\text{h}$ ），则

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad \text{式 5.2-34}$$

将 $t_v=0.05\text{h}$ ， $t_d=0.83\text{h}$ 代入式5.2-34得 $T=0.0472\text{h}$

当 $t \geq T$ 时，室内臭氧平衡浓度 $Q_s$ ，由式5-24得到室内臭氧平衡浓度计算公式如下：

$$Q_s = \frac{Q_0 T}{V} \quad \text{式 5.2-35}$$

将 $Q_0=1.64 \times 10^5 \text{mg}/\text{h}$ ， $V=1255.5\text{m}^3$ ， $T=0.0472\text{h}$ 各参数代入，得到室内臭氧饱和浓度 $6.17\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## ③停止辐照后的臭氧浓度

降源停止辐照后，双台风机加速排风（热室换气次数 $40\text{h}^{-1}$ ，故 $t_v'=0.025\text{h}$ ， $T'=0.0243\text{h}$ ）5min后，辐照室内的臭氧浓度计算公式如下：

$$Q(t_f) = Q_f e^{-\frac{t_f}{T}} \quad \text{式 5.2-36}$$

式中：

$Q(t_f)$ — $t_f$ 时刻的臭氧浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$Q_f$ —停止辐照的瞬时臭氧浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$t_f$ —停止辐照后的时间， $\text{h}$ 。

由上式计算得出，双台风机开启5min后，辐照室内臭氧的浓度降至 $0.200\text{mg}/\text{m}^3$ ，

满足《 $\gamma$ 辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB10252-2009)附录B的规定“辐照室内当放射源降至井水下贮存位5min后,臭氧浓度不超过 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”的要求。

#### ④臭氧的排放和大气扩散

根据《环境影响评价技术导则—大气环境》(HJ2.2-2008)的规定,采用估算模式计算大气污染物对环境的影响。臭氧排放考虑连续点源释放,风场空间假设是均匀恒定、湍流是平稳的。本项目排气筒高度为20m,排气口尺寸为 $1\times 1.2\text{m}$ 。辐照室臭氧浓度和臭氧的排出量见表5.2-117。

表5.2-117 辐照室臭氧产生量、饱和浓度和臭氧排出量

| 辐照源项     | 臭氧产生量 (mg/h)      | 臭氧饱和浓度 (mg/m <sup>3</sup> ) | 臭氧排出量 (mg/h)      |
|----------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| 400 万 Ci | $1.64\times 10^5$ | 6.17                        | $1.55\times 10^5$ |

经计算,臭氧的最大落地浓度在拟建厂址下风向距排气筒277m处,为 $2.55\times 10^{-3}\text{mg}/\text{m}^3$ ,浓度占标率为1.27%。

#### (2) 氢气

本项目辐射技术应用中心<sup>60</sup>Co密封辐照源的 $\gamma$ 辐射与储源中水作用,发生水解,生成氢气(H<sub>2</sub>)。水每吸收100eV辐射能量产生0.45个H<sub>2</sub>分子。根据(GBZ/T 220.3-2015)《建设项目职业病危害放射防护评价规范 第3部分:  $\gamma$ 辐射加工装置、中高能加速器》附录G,辐照室内氢气浓度*c*可由下式估算:

$$c = \frac{1.5 \times A}{\lambda_0 \times V} \times 100\% \quad \text{式 5.2-37}$$

式中:

*c*: 为室内氢气百分比浓度;

*A*: 为放射源活度,单位为拍贝克(PBq);

$\lambda_0$ : 通风率,单位为次每小时;辐照室设计通风换气次数为20次/h;

*V*: 辐照室体积,单位为升(L)。

根据式5.2-37,计算出本项目辐射技术中心辐照室氢气浓度为0.00088%,远低于氢气最低爆炸极限4.0%。因此,在正常通风情况下,辐照室内不会发生氢气爆炸。

### 5.2.2.2 废水环境影响

#### (1) 生产废水



项目产生的非放射性生产废水主要为在泄漏检验试中产生检漏废水，产生量为15L/a，该废水主要含少许颗粒物，经沉淀后重复使用，不外排。

## (2)办公废水

项目办公废水主要为工作人员日常办公产生的废水，项目厂区人数约113人，办公用水定额按100L/人·d计，日平均用水量11.3m<sup>3</sup>/d，污水排放量为9.6m<sup>3</sup>/d。工作人员生活办公污水排入基地预处理池，经预处理池处理后排入园区污水管网，经园区污水管网进木城污水处理厂进行处理。

### 5.2.2.3 地下水环境影响

本项目地下水污染防治措施和对策，坚持“源头控制、分区防治、污染监控、应急响应”的原则。本项目拟采取的地下水的防治措施如下所述。

#### (1)源头控制措施

- ①积极推行实施清洁生产，实现各类废物循环利用，减少污染物的排放量；
- ②根据国家现行相关规范加强环境管理，采取防止和降低污染物跑、冒、滴、漏的措施。正常运营过程中应加强巡检及时处理污染物跑、冒、滴、漏，同时应加强对防渗工程的检查，若发现防渗密封材料老化或损坏，应及时维修更换；
- ③对管道、设备及处理构筑物采取控制措施，放射性废水收集箱材质能防腐蚀，不易破裂，能有效防止污染物的跑、冒、滴、漏，将污染物泄漏的事故降到最低限度；
- ④坚持“可视化”原则，在满足工程和防渗层结构标准要求的前提下，尽量在地表面实施防渗措施，便于泄漏物质的收集和及时发现破损的防渗层。

#### (2)分区防治措施

将新建建筑及设施按单元所处的位置划分为三类地下水污染防治区域：

**重点防渗区：**包括放射性固体废物暂存间、放射性废树脂暂存间、放射性废液处理间、低放废液罐间、滤液水罐及转固间、辐射技术应用中心及放射源库的储源井，危险废物暂存间等，采用等效黏土防渗层  $M_b \geq 6.0m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}cm/s$  的措施；

**一般防渗区：**包括所有辐射技术应用中心、放射源库、各放射源生产线场所及研发中心放射性核素操作场所，采用等效黏土防渗层  $M_b \geq 1.5m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}cm/s$  的措施；

**简单防渗区：**包括除上述防渗区外的项目范围，采用一般地面硬化。项目生产

线所在的房间墙面为彩钢板装饰，接缝用玻璃胶密封，地面铺设 2.5mm 厚度的塑胶地板，地板踢脚线不低于 15cm。

在采取上述地下水防治措施的前提下，本项目营运期不会对地下水水质及水位造成影响。

#### 5.2.2.4 固体废物环境影响

生活垃圾是由工作人员产生，项目生活垃圾产生总量为 56.5kg/d（14.12t/a）。生活垃圾属一般固废，经袋装收集后置于生活垃圾收集点，再由夹江县木城镇市政环卫部门定时清运。物流中心及库房检、维修车间产生废机油，产生量约为 10kg/a；项目放射源研发试验中产生酸性废液，产生量约为 2L/a。属于危险废物，交有处理资质的公司处置。研发中心研发试验中产生切割、打磨金属切屑和残渣，产生量约为 1kg/a，作为一般工业废物外售回收处理。

#### 5.2.2.5 噪声环境影响

本项目营运期间产生的噪声主要为生活噪声和设备噪声，设备噪声主要来自通排风系统。建设单位对主要噪声源采取隔声、距离衰减等降噪措施。

##### (1) 预测点

根据项目总平面布置图和外环境关系图，本次环评重点预测声源对厂界和厂址周围农户的影响。

##### (2) 预测模型

点声源由室内传至室外的衰减计算：

$$L_{p2}=L_{p1}-(TL+6) \quad \text{式 5.2-38}$$

式中：

$L_{p2}$ ——室外噪声级，单位 dB(A)；

$L_{p1}$ ——室内噪声级，单位 dB(A)；

$TL$ ——总隔声量，估算项目厂房的总隔声量为 15dB(A)。

点声源随距离的衰减计算模式：

$$L_2=L_1-20\lg(r_2/r_1) \quad \text{式 5.2-39}$$

式中：

$L_1$ —— $r_1$  处的 A 声级，单位 dB(A)；

$L_2$ —— $r_2$  处的 A 声级，单位 dB(A)。

$$L_p = 10 \lg(10^{0.1L_{eqg}} + 10^{0.1L_{eqb}}) \quad \text{式 5.2-40}$$

式中：

$L_{eqg}$ ——建设项目声源在预测点的等声级贡献值，单位 dB(A)；

$L_{eqb}$ ——预测点背景值，单位 dB(A)；

$L_p$ ——预测点的等声级预测值，单位 dB(A)。

### (3) 预测采用的主要计算参数

本项目新增设备的噪声源与厂界的最近距离见表 5.2-118。

表 5.2-118 营运期主要噪声源距厂界距离

| 场所           | 生产厂房和辐射中心 | 研发楼 | 物流中心及库房 |
|--------------|-----------|-----|---------|
| 声源强度 (dB(A)) | 64        | 64  | 59      |
| 西北厂界(m)      | 30        | 16  | 168     |
| 西南厂界(m)      | 63        | 26  | 28      |
| 东南厂界(m)      | 49        | 209 | 29      |
| 东北厂界(m)      | 77        | 225 | 100     |
| 厂址西北面农户(m)   | 106       | 90  | 243     |
| 厂址西南面农户(m)   | 115       | 61  | 134     |
| 厂址东南面农户(m)   | 256       | 405 | 225     |
| 厂址东北面农户(m)   | 265       | 413 | 288     |

### (4) 预测结果及分析

本次声环境影响预测噪声监测现状值作为声环境本底。本项目建成后不会在夜间开工，因而不会对周围夜间的声环境造成影响。本项目建成后，噪声预测结果见表 5.2-119。

表 5.2-119 营运期厂界噪声预测表 单位：dB(A)

| 预测点 | 本项目贡献 | 噪声本底 | 预测值 | 评价结果 |
|-----|-------|------|-----|------|
|-----|-------|------|-----|------|

|         |       | 昼间 | 夜间 | 昼间    | 夜间    | 昼间 | 夜间 |
|---------|-------|----|----|-------|-------|----|----|
| 西北厂界    | 20.00 | 43 | 40 | 43.02 | 40.04 | 达标 | 达标 |
| 西南厂界    | 16.29 | 45 | 42 | 45.01 | 42.01 | 达标 | 达标 |
| 东南厂界    | 11.99 | 45 | 41 | 45.00 | 41.01 | 达标 | 达标 |
| 东北厂界    | 5.27  | 45 | 44 | 45.00 | 44.00 | 达标 | 达标 |
| 厂址西北面农户 | 6.27  | 40 | 43 | 40.00 | 43.00 | 达标 | 达标 |
| 厂址西南面农户 | 8.37  | 44 | 39 | 44.00 | 39.00 | 达标 | 达标 |
| 厂址东南面农户 | 0     | 42 | 39 | 42.00 | 39.00 | 达标 | 达标 |
| 厂址东北面农户 | 0     | 43 | 38 | 43.00 | 38.00 | 达标 | 达标 |

预测表明，本项目建成后昼间厂界噪声预测值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准要求。综上所述，本项目运行阶段厂内设备噪声影响较小。

## 5.3 事故影响分析

### 5.3.1 事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第449号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 5.3-1。

表 5.3-1 辐射事故等级划分表

| 事故等级     | 事故情形  |
|----------|---|
| 特别重大辐射事故 | I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素失控导致3人以上（含3人）急性死亡。               |
| 重大辐射事故   | I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。 |
| 较大辐射事故   | III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致9人以下（9人）急性重度放射病、局部器官残疾。                     |
| 一般辐射事故   | IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射                             |

根据《实用辐射安全手册》（从慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 5.3-2。

表 5.3-2 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

| 辐射剂量<br>(Gy) | 发生率<br>(%) | 辐射剂量<br>(Gy) | 死亡率<br>(%) |
|--------------|------------|--------------|------------|
| 0.70         | 1          | 2.00         | 1          |
| 0.90         | 10         | 2.50         | 10         |
| 1.00         | 20         | 2.80         | 20         |
| 1.05         | 30         | 3.00         | 30         |
| 1.10         | 40         | 3.20         | 40         |
| 1.20         | 50         | 3.50         | 50         |
| 1.25         | 60         | 3.60         | 60         |
| 1.35         | 70         | 3.75         | 70         |
| 1.40         | 80         | 4.00         | 80         |
| 1.60         | 90         | 4.50         | 90         |
| 2.00         | 99         | 5.50         | 99         |

### 5.3.2 辐射事故识别

本项目涉及使用和销售的放射源包括： $^{57}\text{Co}$ 源、 $^{68}\text{Ge}$ 源、Sn-In 发生器、 $^{147}\text{Pm}$ 源、 $^{85}\text{Kr}$ 源、 $^{14}\text{C}$ 源、 $^{137}\text{Cs}$ 源、 $^{60}\text{Co}$ 源、 $^{198}\text{Au}$ 源、 $^{170}\text{Tm}$ 源、 $^{210}\text{Pb}$ 源、 $^{153}\text{Gd}$ 源、 $^{154}\text{Eu}$ 源、 $^{35}\text{S}$ 源、 $^{133}\text{Ba}$ 源、 $^{106}\text{Ru}$ 源、 $^{169}\text{Yb}$ 源、 $^{152}\text{Eu}$ 源、 $^{144}\text{Ce}$ 源、 $^{55}\text{Fe}$ 源、 $^{22}\text{Na}$ 源、 $^{109}\text{Cd}$ 源、 $^{99}\text{Tc}$ 源、 $^{36}\text{Cl}$ 源；非密封放射性物质包括： $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 。根据分析，本项目可能发生的辐射事故如下：

表 5.3-3 项目可能发生的辐射事故一览表

| 活动  | 涉及核素  | 可能发生的事故   | 可能事故后果    |
|---|---|---|-----------|
| 放射源、标准源生产   | $^{57}\text{Co}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ | 原料罐/半成品罐丢失、被盗、失控  | 导致公众误照射   |
|   |   | 热室/屏蔽箱泄漏或负压不足,导致含放射性气溶胶/气体逸散到操作前区 ( $^{137}\text{Cs}$ 不涉及)  | 导致职业人员误照射 |
|   |   | 过滤装置吸附达到饱和或受潮等使过滤系统失效 ( $^{137}\text{Cs}$ 不涉及)  | 导致公众误照射   |
|   |   | 工作人员误操作,导致放射性物质撒漏 ( $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 不涉及) | 导致职业人员误照射 |
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 实验间、放化实验室一、放化实验室二 研发 | $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{152}\text{Eu}$  | 原料罐丢失、被盗、失控   | 导致公众误照射   |
|   |   | 通风柜/屏蔽手套箱泄漏或负压不足,导致含放射性气溶胶逸散到操作前区   | 导致职业人员误照射 |
|   |   | 过滤装置吸附达到饱和或受潮等使过滤系统失效   | 导致公众误照射   |
|   |   | 工作人员误操作,导致放射性溶液撒漏   | 导致职业人员误照射 |
| 放射源销售   | $^{57}\text{Co}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{154}\text{Eu}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ | 放射源货包丢失、被盗、失控   | 导致公众误照射   |
| 放射源库  | 所有核素  | 原料罐/半成品罐、放射源货包丢失、被盗、失控  | 导致公众误照射   |
| 辐射中心  | $^{60}\text{Co}$  | 装置故障引起卡源,源架不能降到贮水井  | 导致职业人员误照射 |
|   |   | 人员误入或误留辐照室  | 导致职业人员误照射 |
|   |   | 被辐照物长时间过量辐照或由于机械、电器产生的火花引起着火  | 导致职业人员受伤  |
|   |   | 通风系统长期未运行情况下,氢气浓度有可能达到爆炸下限4.1% (体积比),引起爆炸   | 导致职业人员受伤  |

根据各生产和销售环节放射性物质用量及核素组成情况,并根据表 5.3-3 综合分析,本项目可能发生的最大潜在事故有 5 种情况:

- (1) 工作人员误操作,导致放射性物质撒漏;
- (2) 负压热室/屏蔽箱发生泄漏或箱内负压不足;

- (3)过滤装置吸附达到饱和或受潮等使过滤系统失效；  
 (4)放射源丢失、被盗、失控；  
 (5)人员误入或误留辐射中心屏蔽体。

### 5.3.3 最大潜在事故影响分析

针对上述最大潜在事故进行分析，并对的事故后果进行预测、分析、评价。

#### 5.3.3.1 放射性物质误操作撒漏事故

##### (1)事故情景假设

工作人员误操作，导致放射性物质撒漏， $^{85}\text{Kr}$ 源生产线操作对象为气体，不涉及此类事故；对于使用热室和屏蔽工作箱（ $\text{Sn-In}$ 发生器生产线、 $^{137}\text{Cs}$ 源生产线、退役 $^{60}\text{Co}$ 源生产线）的机械手进行操作的工作人员，放射性溶液撒漏不会直接沾染手部皮肤，因而对人体的影响不大；对使用屏蔽手套箱进行操作的工作人员影响较大。本事故情景主要讨论使用屏蔽手套箱进行操作的工作人员手部的烧伤，假设放射性液体均匀洒布在手部皮肤表面，受污染皮肤面积保守取 $100\text{cm}^2$ ，另设事故处理时间持续 $1\text{min}$ ，计算中不考虑手套箱自带铅手套的防护作用。

##### (2)事故源项

本事故情景涉及 $^{57}\text{Co}$ 源、 $^{68}\text{Ge}$ 源、 $^{147}\text{Pm}$ 源、 $^{14}\text{C}$ 源4种放射源、19种非密封放射性物质和17种标准源的操作。本次评价假设发生事故时，撒漏的放射性物质为 $^{88}\text{Y}$ 。

保守考虑，事故发生时，该批次操作的放射性溶液全部撒漏，皮肤沾染量为总操作量的 $1/10$ ，即为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

##### (3)事故后果预测及评价

污染面可以近似为圆面，因而放射源可以近似为圆盘源，根据《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编），圆盘源的吸收剂量由下式计算：

$$X = \frac{A\Gamma}{a^2} \ln\left(\frac{h^2 + a^2}{h^2}\right) \quad \text{式 5.3-1}$$

$$D_a = 8.73 \times 10^{-3} \cdot X \quad \text{式 5.3-2}$$

$$D_A = k \cdot D_a \quad \text{式 5.3-3}$$

其中：

$X$ ——照射量率，单位  $\text{R/h}$ ；

$a$ ——面源半径，取值为  $0.056\text{m}$ ；



$h$ ——受体距面源距离，对于人体手部组织，平均取值为 0.005m；

$A$ ——放射性活度，单位 Ci；

$\Gamma$ ——照射量率常数，单位  $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$ ，对于  $^{88}Y$  照射量率常数取值为 1.32；

$k$ ——剂量转换因子，取值为 1；

$D_a$ ——空气吸收剂量率，单位 Gy/h；

$D_A$ ——有效剂量率，单位 Sv/h。

按上述模式计算，放射性溶液撒漏事故 1min，可造成职业人员手部受照射剂量为 1.482mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值。在发生放射性物质撒漏时，对工作人员影响较小，不构成辐射事故。

### 5.3.3.2 热室/屏蔽箱泄漏事故

#### (1)事故情景假设

热室/屏蔽箱泄漏时，内部风机停止工作，挥发的放射性核素均匀分布在热室/屏蔽箱内，并通过泄漏点扩散至操作前区。操作人员在不知情的情况下，在操作前区完整完成一个批次的操作流程。

#### (2)事故源项

评价保守地认为，在热室/屏蔽箱发生泄漏时，操作前区的放射性核素浓度与热室/屏蔽箱内浓度相同。由于放射性物质的挥发量较少，因而评价主要考虑职业人员所受的吸入内照射及空气浸没外照射。吸入内照射有效剂量由式 5.2-30 计算得，空气浸没外照射有效剂量由式 5.2-31 计算得。式中受照时间  $t$  的取值为各产品的单批次操作时间。

#### (3)事故后果预测及评价

热室/屏蔽箱泄漏事故所致职业人员所受吸入内照射剂量预测参数及结果见表 5.3-4。

表 5.3-4 热室/屏蔽箱泄漏事故所致职业人员所受吸入内照射剂量预测参数及结果



| 活动                                    |  | 核素浓度<br>(Bq/m <sup>3</sup> )   | 时间<br>(h) | 吸入剂量转换因子<br>(Sv/Bq)* | 剂量<br>(mSv) |          |
|---------------------------------------|--|--|-----------|----------------------|-------------|----------|
| 放射源生产线                                | <sup>57</sup> Co 源生产   | 5.56E+01   | 1         | 5.20E-10             | 2.78E-05    |          |
|                                       | <sup>68</sup> Ge 源生产   | 3.33E+01   | 1.5       | 1.30E-08             | 6.25E-04    |          |
|                                       | Sn-In 发生器生产  | 1.58E+03   | 2         | 2.50E-09             | 7.60E-03    |          |
|                                       | <sup>147</sup> Pm 源生产  | 6.51E+03   | 2         | 4.70E-09             | 5.89E-02    |          |
|                                       | <sup>85</sup> Kr 源生产   | 9.25E+04   | 2         | -                    | 0           |          |
|                                       | <sup>14</sup> C 源生产  | 1.85E+02   | 1         | -                    | 0           |          |
| <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 实验间 |  | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 操作   | 4.11E+02  | 3                    | 1.50E-07    | 1.78E-01 |
| 放化实验室一                                | 通风柜+手套箱  | <sup>3</sup> H、 <sup>14</sup> C 操作   | 5.14E+01  | 2                    | -           | 0        |
|                                       | 手套箱 1  | <sup>68</sup> Ge、 <sup>85</sup> Sr、 <sup>131</sup> Ba 操作                     | 4.63E+02  | 2                    | 1.30E-08    | 1.16E-02 |
|                                       | 手套箱 2  | <sup>51</sup> Cr、 <sup>113</sup> Sn、 <sup>153</sup> Gd、 <sup>203</sup> Hg 操作 | 4.63E+02  | 2                    | 2.50E-09    | 2.22E-03 |
|                                       | 手套箱 3  | <sup>57</sup> Co、 <sup>109</sup> Cd、 <sup>147</sup> Pm 操作                    | 4.63E+02  | 2                    | 6.20E-09    | 5.51E-03 |
| 放化实验室二                                | 手套箱 1  | <sup>88</sup> Y、 <sup>22</sup> Na 操作   | 4.63E+02  | 2                    | 3.90E-09    | 3.47E-03 |
|                                       | 手套箱 2  | <sup>54</sup> Mn、 <sup>65</sup> Zn、 <sup>152</sup> Eu 操作                     | 4.63E+02  | 2                    | 3.90E-08    | 2.08E-02 |
| 标准源生产间                                | <sup>60</sup> Co、 <sup>198</sup> Au、 <sup>170</sup> Tm、 <sup>210</sup> Pb、 <sup>153</sup> Gd、 <sup>154</sup> Eu、 <sup>35</sup> S、 <sup>133</sup> Ba、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>169</sup> Yb、 <sup>152</sup> Eu、 <sup>144</sup> Ce、 <sup>55</sup> Fe、 <sup>22</sup> Na、 <sup>109</sup> Cd、 <sup>99</sup> Tc、 <sup>36</sup> Cl 源生产 |  | 1.00E+01  | 0.5                  | 8.90E-07    | 4.28E-04 |

\*注：放化实验室一、二、标准源生产间保守取几种核素的最大值。

由上表可见在热室/屏蔽箱泄漏事故状况下，职业人员吸入内照射剂量最大为  $1.78 \times 10^{-1} \text{mSv}$ 。

热室/屏蔽箱泄漏事故所致职业人员所受空气浸没外照射剂量预测参数及结果见表 5.3-5。

表 5.3-5 热室/屏蔽箱泄漏事故所致职业人员所受浸没外照射剂量预测参数及结果

| 活动                                    |   | 核素浓度<br>(Bq/m <sup>3</sup> )  | 空气浸没<br>剂量转换因子<br>(Sv·m <sup>3</sup> ·Bq <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )* | 时间份<br>额 | 剂量<br>(mSv) |          |
|---------------------------------------|---|---|--|----------|-------------|----------|
| 放射源生产线                                | <sup>57</sup> Co 源生产  | 5.56E+01  | 1.80E-07   | 1.14E-04 | 1.14E-06    |          |
|                                       | <sup>68</sup> Ge 源生产  | 3.33E+01  | 2.30E-12   | 1.71E-04 | 1.31E-11    |          |
|                                       | Sn-In 发生器生产   | 1.58E+03  | 1.20E-08   | 2.28E-04 | 4.33E-06    |          |
|                                       | <sup>147</sup> Pm 源生产   | 6.51E+03  | 2.80E-10   | 2.28E-04 | 4.16E-07    |          |
|                                       | <sup>85</sup> Kr 源生产  | 9.25E+04  | 3.80E-09   | 2.28E-04 | 8.03E-05    |          |
|                                       | <sup>14</sup> C 源生产   | 1.85E+02  | 7.10E-12   | 1.14E-04 | 1.50E-10    |          |
| <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 实验间 | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 操作  | 4.11E+02  | 3.10E-09   | 3.42E-04 | 4.36E-07    |          |
| 放化<br>实验<br>室一                        | 通风柜+<br>手套箱   | <sup>3</sup> H、 <sup>14</sup> C 操作  | 5.14E+01   | 1.00E-11 | 2.28E-04    | 1.17E-10 |
|                                       | 手套箱 1   | <sup>68</sup> Ge、 <sup>85</sup> Sr、 <sup>131</sup> Ba 操作                        | 4.63E+02   | 7.70E-07 | 2.28E-04    | 8.13E-05 |
|                                       | 手套箱 2   | <sup>51</sup> Cr、 <sup>113</sup> Sn、 <sup>153</sup> Gd、 <sup>203</sup> Hg<br>操作 | 4.63E+02   | 3.60E-07 | 2.28E-04    | 3.80E-05 |
|                                       | 手套箱 3   | <sup>57</sup> Co、 <sup>109</sup> Cd、 <sup>147</sup> Pm 操<br>作                   | 4.63E+02   | 1.80E-07 | 2.28E-04    | 1.90E-05 |
| 放化<br>实验<br>室二                        | 手套箱 1   | <sup>88</sup> Y、 <sup>22</sup> Na 操作  | 4.63E+02   | 4.30E-06 | 2.28E-04    | 4.54E-04 |
|                                       | 手套箱 2   | <sup>54</sup> Mn、 <sup>65</sup> Zn、 <sup>152</sup> Eu 操作                        | 4.63E+02   | 1.80E-06 | 2.28E-04    | 1.14E-04 |
| 标准<br>源生<br>产间                        | <sup>60</sup> Co、 <sup>198</sup> Au、 <sup>170</sup> Tm、 <sup>210</sup> Pb、 <sup>153</sup> Gd、<br><sup>154</sup> Eu、 <sup>35</sup> S、 <sup>133</sup> Ba、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>169</sup> Yb、 <sup>152</sup> Eu、<br><sup>144</sup> Ce、 <sup>55</sup> Fe、 <sup>22</sup> Na、 <sup>109</sup> Cd、 <sup>99</sup> Tc、 <sup>36</sup> Cl<br>源生产 | 1.00E+01  | 4.00E-06   | 5.71E-05 | 2.28E-07    |          |

\*注：放化实验室一、二、标准源生产间保守取几种核素的最大值。

由上表可见在热室/屏蔽箱泄漏事故状况下，职业人员所受空气浸没外照射剂量最大为  $4.54 \times 10^{-4}$  mSv。

表 5.3-6 热室/屏蔽箱泄漏事故所致职业人员所受照射剂量预测结果

| 活动                                    |  | 吸入内照射剂量 (mSv)  | 空气浸没外照射剂量 (mSv) | 总剂量 (mSv) |          |
|---------------------------------------|--|--|-----------------|-----------|----------|
| 放射源生产线                                | <sup>57</sup> Co 源生产   | 2.78E-05   | 1.14E-06        | 2.89E-05  |          |
|                                       | <sup>68</sup> Ge 源生产   | 6.25E-04   | 1.31E-11        | 6.25E-04  |          |
|                                       | Sn-In 发生器生产  | 7.60E-03   | 4.33E-06        | 7.60E-03  |          |
|                                       | <sup>147</sup> Pm 源生产  | 5.89E-02   | 4.16E-07        | 5.89E-02  |          |
|                                       | <sup>85</sup> Kr 源生产   | 0  | 8.03E-05        | 8.03E-05  |          |
|                                       | <sup>14</sup> C 源生产  | 0  | 1.50E-10        | 1.50E-10  |          |
| <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 实验间 |  | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 操作   | 1.78E-01        | 4.36E-07  | 1.78E-01 |
| 放化实验室一                                | 通风柜+手套箱  | <sup>3</sup> H、 <sup>14</sup> C 操作   | 0               | 1.17E-10  | 1.17E-10 |
|                                       | 手套箱 1  | <sup>68</sup> Ge、 <sup>85</sup> Sr、 <sup>131</sup> Ba 操作                     | 1.16E-02        | 8.13E-05  | 1.16E-02 |
|                                       | 手套箱 2  | <sup>51</sup> Cr、 <sup>113</sup> Sn、 <sup>153</sup> Gd、 <sup>203</sup> Hg 操作 | 2.22E-03        | 3.80E-05  | 2.26E-03 |
|                                       | 手套箱 3  | <sup>57</sup> Co、 <sup>109</sup> Cd、 <sup>147</sup> Pm 操作                    | 5.51E-03        | 1.90E-05  | 5.53E-03 |
| 放化实验室二                                | 手套箱 1  | <sup>88</sup> Y、 <sup>22</sup> Na 操作   | 3.47E-03        | 4.54E-04  | 3.92E-03 |
|                                       | 手套箱 2  | <sup>54</sup> Mn、 <sup>65</sup> Zn、 <sup>152</sup> Eu 操作                     | 2.08E-02        | 1.14E-04  | 2.09E-02 |
| 标准源生产车间                               | <sup>60</sup> Co、 <sup>198</sup> Au、 <sup>170</sup> Tm、 <sup>210</sup> Pb、 <sup>153</sup> Gd、 <sup>154</sup> Eu、 <sup>35</sup> S、 <sup>133</sup> Ba、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>169</sup> Yb、 <sup>152</sup> Eu、 <sup>144</sup> Ce、 <sup>55</sup> Fe、 <sup>22</sup> Na、 <sup>109</sup> Cd、 <sup>99</sup> Tc、 <sup>36</sup> Cl 源生产 |  | 4.28E-04        | 2.28E-07  | 4.28E-04 |

由上表可见在热室/屏蔽箱泄漏事故状况下，职业人员所受照射剂量最大为  $1.78 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 20mSv 的剂量限值。在热室/屏蔽箱泄漏时，对工作人员影响较小，不构成辐射事故。

### 5.3.3.3 过滤系统失效事故

#### (1) 事故情景假设

假定两级过滤器同时失效后 24 小时内发现并更换过滤器，当天产生的放射性物质全部排放到大气中。

#### (2) 事故源项

表 5.3-7 过滤系统失效事故气载流出物源项

| 排气筒所在建筑   | 核素               | 气载流出物途径排放量 (Bq) |
|-----------|------------------|-----------------|
| 生产厂房和辐射中心 | <sup>57</sup> Co | 4.44E+04        |
|           | <sup>68</sup> Ge | 2.00E+04        |

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
|                   | $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ | 1.90E+06  |
|                   | $^{147}\text{Pm}$                         | 2.61E+06  |
|                   | $^{85}\text{Kr}$                          | 3.70E+07  |
|                   | $^{14}\text{C}$                           | 3.70E+04  |
|                   | $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$            | 2.47E+05  |
| 研发楼               | $^3\text{H}$                              | 1.85E+05  |
|                   | $^{14}\text{C}$                           | 1.85E+05  |
|                   | $^{68}\text{Ge}$                          | 1.85E+05  |
|                   | $^{85}\text{Sr}$                          | 1.85E+05  |
|                   | $^{131}\text{Ba}$                         | 1.85E+05  |
|                   | $^{51}\text{Cr}$                          | 1.85E+05  |
|                   | $^{113}\text{Sn}$                         | 1.85E+05  |
|                   | $^{153}\text{Gd}$                         | 1.86E+05  |
|                   | $^{203}\text{Hg}$                         | 1.85E+05  |
|                   | $^{57}\text{Co}$                          | 1.85E+05  |
|                   | $^{109}\text{Cd}$                         | 1.851E+05 |
|                   | $^{147}\text{Pm}$                         | 1.85E+05  |
|                   | $^{88}\text{Y}$                           | 1.85E+05  |
|                   | $^{22}\text{Na}$                          | 1.86E+05  |
|                   | $^{54}\text{Mn}$                          | 1.85E+05  |
|                   | $^{65}\text{Zn}$                          | 1.85E+05  |
|                   | $^{152}\text{Eu}$                         | 1.111E+05 |
|                   | $^{60}\text{Co}$                          | 1.00E+01  |
|                   | $^{198}\text{Au}$                         | 1.00E+02  |
|                   | $^{170}\text{Tm}$                         | 1.00E+02  |
|                   | $^{210}\text{Pb}$                         | 1.00E+01  |
|                   | $^{154}\text{Eu}$                         | 1.00E+03  |
|                   | $^{35}\text{S}$                           | 1.00E+01  |
|                   | $^{133}\text{Ba}$                         | 1.00E+03  |
|                   | $^{106}\text{Ru}$                         | 1.00E+02  |
|                   | $^{169}\text{Yb}$                         | 1.00E+01  |
| $^{144}\text{Ce}$ | 1.00E+03                                  |           |
| $^{55}\text{Fe}$  | 1.00E+02                                  |           |
| $^{99}\text{Tc}$  | 1.00E+01                                  |           |

|  |                  |          |
|--|------------------|----------|
|  | $^{36}\text{Cl}$ | 1.00E+02 |
|--|------------------|----------|

### (3)事故后果预测及评价

在事故工况下，考虑烟羽吸入途径对公众造成的内照射和空气浸没途径对公众造成的外照射，评价采用 5.2.1.2.1 节所述模式，保守考虑单次事故对公众产生的长期影响，计算结果见表 5.3-8。

表 5.3-8 过滤系统失效事故所致公众受照剂量预测结果

| 距排放口距离<br>(m) | 空气浸没外照射剂量<br>(mSv) | 吸入内照射剂量<br>(mSv) | 总剂量<br>(mSv) |
|---------------|--------------------|------------------|--------------|
| 10            | 8.061E-07          | 1.052E-04        | 1.060E-04    |
| 20            | 8.061E-07          | 1.052E-04        | 1.060E-04    |
| 50            | 8.061E-07          | 1.052E-04        | 1.060E-04    |
| 100           | 8.061E-07          | 1.052E-04        | 1.060E-04    |
| 150           | 8.061E-07          | 1.052E-04        | 1.060E-04    |
| 154           | 8.061E-07          | 1.052E-04        | 1.060E-04    |
| 155           | 2.263E-08          | 2.953E-06        | 2.975E-06    |
| 200           | 1.726E-08          | 2.253E-06        | 2.270E-06    |
| 300           | 1.105E-08          | 1.442E-06        | 1.453E-06    |
| 400           | 7.921E-09          | 1.034E-06        | 1.042E-06    |
| 500           | 6.048E-09          | 7.893E-07        | 7.953E-07    |
| 1000          | 2.441E-09          | 3.186E-07        | 3.210E-07    |
| 2000          | 9.065E-10          | 1.183E-07        | 1.192E-07    |
| 3000          | 4.975E-10          | 6.493E-08        | 6.543E-08    |
| 4000          | 3.237E-10          | 4.224E-08        | 4.257E-08    |
| 5000          | 2.316E-10          | 3.023E-08        | 3.046E-08    |

根据表 5.3-8，在过滤器失效状态下，公众最大受照射剂量为  $1.06 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 1mSv 的剂量限值，因此在过滤器失效状态下，挥发的放射性气载流出物对周围辐射环境影响较小，不构成辐射事故。

#### 5.3.3.4 放射源丢失、被盗、失控事故

本项目  $^{60}\text{Co}$  放射源属于 I 类放射源， $^{137}\text{Cs}$  源属于 III、IV、V 类放射源， $^{57}\text{Co}$  源、 $^{68}\text{Ge}$  源、 $^{147}\text{Pm}$  源、 $^{85}\text{Kr}$  源、 $^{14}\text{C}$  源属于 V 类放射源，标准源均属于豁免源。根据中华人民共和国国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控属于**重大辐射事故**。若有不知情的人员接触到

放射源，则可能造成更为严重的辐射事故。

### 5.3.3.5 误入或误留辐射中心屏蔽体事故

假设辐射中心屏蔽体内装有  $^{60}\text{Co}$  的源架处于水面以上，有人员误入屏蔽体，在无屏蔽的情况下受到  $\gamma$  射线辐射伤害。将  $^{60}\text{Co}$  的源架视为 400 万 Ci 的点源，假设误入人员位于屏蔽体内 2 个货物迷道口，距源 5.4m、5.8m 处，受  $\gamma$  射线照射不同时间所受剂量，计算公式见式 5.2-1、5.2~3。结果见表 5.3-9。

表 5.3-9 误入或误留辐射中心屏蔽体事故所致工人受照剂量预测结果

| 照射时间(min) | 事故辐射剂量估算值 (Gy) |           |
|-----------|----------------|-----------|
|           | 与源距离 5.4m      | 与源距离 5.8m |
| 1         | 26             | 23        |
| 2         | 52             | 45        |
| 3         | 79             | 68        |
| 4         | 105            | 91        |
| 5         | 131            | 114       |

从表 5.3-9 看出，误入或误留辐射中心屏蔽体将对近距离接触人员造成很大的辐射剂量。根据表 5.3-2，受照剂量达 5.5Gy，急性放射病的死亡率为 99%。在此事故情况下，根据中华人民共和国国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定，将导致**重大辐射事故**，若误入人数达 3 人，则将导致**特别重大辐射事故**。

### 5.3.4 事故预防措施

针对上述本项目可能发生的五种最大潜在事故，拟分别采取以下的事故预防措施。

#### (1)放射性物质误操作撒漏事故防范措施

建设单位须制定严格的放射性物质操作规程，并对新上岗人员进行公司内部操作培训，同时还需参加相关部门组织的辐射防护与安全培训，并取得合格证。

#### (2)热室/屏蔽箱泄漏事故防范措施

制定辐射防护设施的维护保养制度，并定期对热室/屏蔽箱进行维护和检修，同时为即时发现热室/屏蔽箱泄漏，避免放射性气体逸散到操作间对人员造成误照射，环评建议建设单位配备含移动式气溶胶监测设备或定期委托监测单位对辐射工作场所的放射性气溶胶进行监测。

### (3)过滤系统失效事故

制定辐射防护设施的维护保养制度，定期对过滤装置的过滤效率进行检查，并在废气排放烟囱设置自动检测设备，当效率达不到使用要求时，即时对过滤器滤芯进行更换。

### (4)放射源丢失、被盗、失控事故

中核同源对放射源实施了严密的保卫措施和制度，确保放射源处于受控状态。特别是高活度放射源，存放在有足够屏蔽能力的铅罐内，并有专门的贮存设施，专人负责管理。生产厂房、放射源库安装了报警装置，实行 24 小时全天候保卫制度，并实行严格的登记、领（借）用、归还注销、保管和定期校核与检查等管理制度。因此，在实际情况中，这种放射源丢失、被盗、失控事故几乎不可能发生。同时，项目单位制定了完善的事故应急预案，以将事故不良后果降至最低。

### (5)误入或误留辐射中心屏蔽体事故

中核同源在辐照加工过程中辐照装置的进出口是打开的，为防止外来非工作人员随着载物箱进入辐照室，在迷道进出口处设置了多重装置。首先在进口处始终有载物箱，限制了人员出入空间；其二在迷道和进出口之间设置了双重光电保护，只要人员一通过立即发出报警和降源；其三控制系统有严格的照明管制联锁，运行中的迷道和辐照室的照明始终是关闭着的，从光线上限制了人员进入的可能性。通过上述措施可以防止人员误入，以避免辐射事故的发生。



## 第六章 辐射安全管理

### 6.1 机构与人员

#### 6.1.1 辐射安全与环境保护机构

同源公司成立了辐射安全与环境保护工作领导小组（见附件 8），并拟建立健全的辐射安全与环境保护管理机构，包括安全环保部、事故应急管理领导小组等。

##### 6.1.1.1 安全环保部

同源公司拟设立安全环保部，全面负责同源公司辐射安全、环境保护与实体保卫工作。具体职责如下：

(1)贯彻执行国家和上级主管部门有关放射源管理的法规和规定，结合本公司实际制定相应的管理规程；

(2)全面负责公司辐射工作场所的安全监督和管理，定期、不定期进行安全检查；

(3)负责制定公司辐射安全培训计划，组织协调辐射工作人员参加辐射安全培训；

(4)负责公司辐射工作人员个人剂量管理；

(5)负责放射源在生产、使用、贮存、销售过程中的辐射安全、环境保护、职业安全与卫生及安全生产标准化监督管理；

(6)负责建立公司放射源的台账，并实行动态管理；

(7)负责放射源生产、使用、贮存、销售等操作人员的辐射安全资格管理，监督培训计划落实；

(8)参与、配合放射源事故的调查处理；

(9)接受上级主管部门的监督检查。

##### 6.1.1.2 辐射工作领导小组

同源公司拟成立辐射工作领导小组，组长由总经理担任，各部门和各条生产小组均设立辐射安全员，负责公司各级日常运营的安全管理、环境保护管理与实体保卫工作，形成完备的组织机构。同时，公司拟配备注册核安全工程师 4 名，全面负责公司辐射安全综合管理、质量保证、辐射防护、辐射环境监测与评价工作。具体职责如下：

- (1)贯彻执行国家和上级主管部门有关放射源管理的法规和规定；
- (2)负责放射源在生产、使用、贮存、销售过程中的安全管理；
- (3)负责建立室级放射源的台账，并实行动态管理；
- (4)负责制定个人岗位、工序操作规程，并监督落实；
- (5)参与、配合放射源事故的调查处理；
- (6)接受上级主管部门的监督检查。

### 6.1.1.3 事故应急管理领导小组

同源公司拟成立事故应急管理领导小组，组长由总经理担任，副组长（总指挥）由主管安全的副总经理担任，组员由各部门负责人和核安全工程师担任。具体职责如下：

(1)在日常管理中，制定应急预案、组织建立应急响应措施、组织应急演练与培训、定期检查应急物资准备情况；

(2)在事故发生时，及时组织应急响应，充分调动所有资源，采取科学合理的措施，按照应急预案开展应急响应工作，力争将事故造成的影响减少到最小的程度。

### 6.1.2 辐射工作人员配备计划

本项目建成后拟配置工作人员 113 人，其中运行人员 46 人（包括辐射技术应用中心 8 人、放射源库 8 人、检修 6 人、生产厂房 20 人、检测人员 4 人）、研发人员 25 人、物流人员 22 人、管理人员 20 人（包括综合管理 7 人、安全质量 4 人、库管 3 人、技术管理 2 人、采购销售 4 人）。

本项目工作人员主要来自中核高通放射源研发、生产、检验及服务保障相关岗位，具有多年工作经验，均已经过相关培训取得执业资格并定期复训；部分专业人员以社会招聘方式解决，主要生产岗位技术骨干和生产管理人员必须接受相关培训并取得放射性工作岗位操作证，涉及特种作业的，需取得相关执业资格。

根据环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，本项目辐射工作人员应当接受辐射安全培训。环评要求，项目单位应及早制定工作人员辐射安全培训计划，确保本项目辐射工作人员在项目投运前完成中级或高级辐射安全培训，考核合格后持证上岗。

## 6.2 辐射安全管理规章制度

项目建成投运前，同源公司将组织制定完善的辐射安全管理制度，主要包括《放

射性工作场所管理规定》、《放射性物质管理规定》、《放射性物质交接管理规定》、《放射性废物管理规定》、《放射性物品运输管理规定》、《辐射防护最优化管理规定》、《强辐射场操作管理规定》、《职业健康监护管理规定》、《职业病危害与告知管理规定》、《职业病危害项目申报管理规定》、《个人剂量监测和管理规定》、《放射性工作人员营养保健费管理规定》、《劳动防护用品管理规定》、《辐射监测管理规定》、《放射性工作场所外围及流出物辐射监测规定》、《辐射应急监测管理规定》、《生产安全事故（件）报告、调查和处理管理规定》、《生产安全事故综合应急预案》、《辐射事故专项应急预案》、《放射性物品运输事故专项应急预案》、《职业病危害专项应急预案》、《放射性物质进口采购管理制度》等。

根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见表 6.2-1。

表 6.2-1 建设单位需制定的规章制度

| 序号 | 规定的管理制度      |                              | 落实情况             | 备注   |
|----|--------------|------------------------------|------------------|--|
| 1  | 综合           | 辐射安全管理规定                     | 拟制定              |  |
| 2  | 放射性物质        | 物料平衡管理规定                     | 拟制定              |  |
| 3  |              | 放射性物质管理规定（购买、领用、销售、保管、盘存等）   | 拟制定              | <sup>137</sup> Cs、 <sup>144</sup> Ce 等需进行化学加工的密封源生产线 |
| 4  |              | 放射源管理规定（销售、盘存、回收、送贮等）        | 拟制定              | <sup>60</sup> Co 等不需进行化学加工的密封源生产线                    |
| 5  |              | 非密封放射性物质的管理规定（购买、领用、保管盘存和运输） | 拟制定              | 甲级、乙级非密封放射性物质操作场所                                    |
| 6  |              | 放射源管理制度（使用、转让、送贮、返回及台帐等）     | 拟制定              | γ辐照装置  |
| 7  |              | 放射源更换/加装管理制度                 | 待完善              |  |
| 8  |              | 放射源收贮管理规定                    | 待落实              | 放射源收贮库   |
| 9  |              | 放射性废物收贮管理规定                  | 待落实              |  |
| 10 |              | 销售                           | 放射性同位素销售及进出口管理制度 | 待完善  |
| 11 | 放射性同位素台帐管理制度 |                              | 拟制定              |  |
| 12 | 工作场所         | 场所分区管理规定（含人流、物流路线图）          | 拟制定              |  |
| 13 |              | 操作规程（操作、贮存及包装等）              | 拟制定              |  |

|    |      |   |     |            |
|----|------|---|-----|------------|
| 14 |      | 去污操作规程  | 拟制定 |            |
| 15 |      | 保安管理规定  | 拟制定 |            |
| 16 |      | 安全防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等） | 待完善 |            |
| 17 | 监测   | 监测方案  | 待落实 |            |
| 18 |      | 监测仪表使用与检验管理制度                                       | 待完善 |            |
| 19 |      | 放射性货包监测制度   | 待落实 | 放射性同位素销售单位 |
| 20 | 人员   | 辐射工作人员培训/再培训管理制度                                    | 拟制定 |            |
| 21 |      | 辐射工作人员个人剂量管理制度                                      | 拟制定 |            |
| 22 | 应急   | 辐射事故/事件应急预案   | 拟制定 |            |
| 23 | 三废   | 放射性“三废”管理规定   | 拟制定 |            |
| 24 | 包装运输 | 包装整备管理规定  | 待落实 | 放射源收贮库     |
| 25 |      | 运输管理规定  | 拟制定 |            |

对照上表，单位仍需进一步完善、落实的规章制度包括：

- (1)物料平衡管理规定；
- (2) $\gamma$  辐照装置的放射源更换/加装管理制度；
- (3)放射源收贮库的放射源收贮管理规定；
- (4)放射源收贮库的放射性废物收贮管理规定；
- (5)放射性同位素销售单位的放射性同位素销售及进出口管理制度；
- (6)安全防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）；
- (7)监测方案；
- (8)监测仪表使用与检验管理制度；
- (9)放射性同位素销售单位的放射性货包监测制度；
- (10)放射源收贮库的包装整备管理规定。

### 6.3 生产操作规程及岗位职责

项目单位已制定的本项目的放射源生产工艺规程，包括：

《密封放射源包壳及成品检验规程》；

《密封源分装操作规程》；

《密封源焊接操作规程》；

- 《成品源焊接质量检验操作规程》；
- 《放射源清洗、浸泡操作规程》；
- 《密封放射源表面污染与泄漏操作规程》；
- 《水井操作规程》；
- 《钴-60 伽玛刀源装源操作规程》；
- 《氩弧焊机操作规程》；
- 《防跌落失控装置操作规程》；
- 《标刻机操作规程》；
- 《排风系统操作规程》；
- 《表面污染监测仪操作规程》；
- 《伽玛刀源外包壳切割机操作规程》；
- 《伽玛刀源内包壳切割机操作规程》；
- 《放射性污染去污操作规程》；
- 《放射源容器去污操作规程》；
- 《包壳清洗烘干操作规程》；
- 《吊车操作规程》；
- 《ZC104、ZC105 型机械手操作规程》；
- 《机械手检修操作规程》；
- 《装卸操作规程》；
- 《容器操作手册》；
- 《水井倒源操作规程》；
- 《灌样操作规程》；
- 《电气维护保养操作规程》；
- 《滤波器操作规程》；
- 《水下高清摄像机操作规程》；
- 《容器吊装操作规程》；
- 《放射性废物收集转运过程事故现场处置方案》；
- 《放射源丢失、被盗、失控现场处置方案》；
- 《放射性物质跌落于无屏蔽场所处置方案》；
- 《热室内放射性物质失控处置措施》；

《倒源容器吊篮卡滞现场处置方案》；

《放射性设施维修事故现场处置方案》。

项目单位拟制订除<sup>60</sup>Co外各生产线、各研发实验的操作规程和相应的生产岗位职责。

环评要求本项目的工作人员在正式上岗前应熟悉各自岗位的操作工艺，熟练掌握操作技艺，明确各自岗位职责，尽量避免因操作不熟练、职责不清而导致辐射安全事故。

## 6.4 辐射监测

为了保证本项目运行过程的安全，控制和评价辐射危害，建设单位设置了相应的辐射剂量监测手段，以使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测、流出物监测、环境监测。

### 6.4.1 个人剂量监测

本项目建成运行后，辐射工作人员均进行个人剂量监测。个人剂量监测包括外照射监测、内照射监测、体表污染监测等。

#### （1）外照射监测

本项目设置了个人剂量报警系统以及热释光剂量监测系统。个人剂量报警计可实时了解场所剂量率，超过设定阈值时进行声光报警，并可累积计量。通过个人剂量读出仪可对个人剂量报警计的测量数据进行储存和管理。热释光剂量计用于工作人员个人外照射剂量的测量，工作人员进入控制区时必须佩戴。

同源公司根据生产厂房和辐射中心、研发楼工艺操作及劳动定员，各工号均配备足够的个人剂量报警计，在生产厂房和辐射中心集中设置热释光剂量计和热释光剂量读出仪，为生产厂房和辐射中心、研发楼放射性工作人员提供个人剂量测量。本项目拟新增 113 名辐射工作人员，共需新增个人剂量计 226 个。

建设单位需定期（每季度一次）将个人剂量片用个人剂量读出仪进行读取和记录，并根据《四川省环境保护厅关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知》（川环办发[2010]49号）的要求做好个人剂量管理的工作。

环评要求：①项目建成投运后，保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计。加



强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度检测一次，做到专人专戴，定期监测；②建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案终生保存，如果辐射工作人员一直从事辐射工作到退休，个人剂量档案要保存终生；③当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该工作人员进行干预；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行超标原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后上报发证机关；当全年个人剂量超过 50mSv 时，需启动辐射事故应急预案。

### (2) 内照射监测

通过多通道气溶胶取样通道和移动式气溶胶连续测量仪以及相应的实验室测量仪器，监测呼吸带附近的气溶胶活度浓度，估算摄入量或待积有效剂量，并且定期进行全身、胸部及尿样放射性分析测量。

### (3) 体表污染监测

生产厂房的总卫生出入口内设置污染检测仪，对退出的工作人员进行污染水平检测；生产厂房的男、女卫生通道检测间设便携式 $\alpha$ 、 $\beta$ 污染监测仪，对工作人员的手足、工作服、工作鞋进行必要的表面污染检测，发现污染及时去污，检测合格后方可离开。

研发楼 4 层的总卫生出入口内设污染监测仪，对工作人员进行污染水平检测，发现污染及时去污，检测合格后方可离开。

放射源库门厅内设污染检测仪，对工作人员进行污染水平检测；放射源库的检测去污间设便携式 $\alpha$ 、 $\beta$ 污染监测仪，对工作人员的手足、工作服、工作鞋进行必要的表面污染检测，发现污染及时去污，检测合格后方可离开。

## 6.4.2 工作场所监测

对于工作场所监测建设单位应进行定期和不定期监测。项目单位制定的定期监测内容及频次见表 6.4-1。

表 6.4-1 工作场所辐射监测方案

| 监测指标          | 监测布点  | 监测频次   |
|---------------|---|--|
| $\gamma$ 辐射水平 | (1) 生产厂房和辐射中心的固定监测仪器设置点：<br>①生产厂房一层：<br>a、原料大厅东北侧（4 个探头，位于 Sn-In 发生器生产线的 4 个的屏蔽 | 在生产厂房和辐射中心、研发楼 4 层正常运行、新设备安装、设备检修检定维护工况下，启动固定监测仪器。 |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <p>工作箱内)；</p> <p>b、<math>^{57}\text{Co}</math>源生产线前区(8个探头，位于<math>^{57}\text{Co}</math>源生产线、<math>^{68}\text{Ge}</math>源生产线的8个屏蔽手套箱内)；</p> <p>c、<math>^{147}\text{Pm}</math>源生产线前区(5个探头，位于<math>^{147}\text{Pm}</math>源生产线的5个屏蔽手套箱内)；</p> <p>d、<math>^{137}\text{Cs}</math>源生产线前区西南侧(4个探头，位于<math>^{137}\text{Cs}</math>源生产线的4个热室内)；</p> <p>e、<math>^{137}\text{Cs}</math>源生产线前区东北侧(6个探头，位于<math>^{137}\text{Cs}</math>源生产线的6个屏蔽工作箱内)；</p> <p>f、成品源装运大厅东南门外(4个探头，位于成品源装运大厅内四面墙)；</p> <p>g、通风机房西南门外(1个探头，位于通风机房内)；</p> <p>h、辅助间外(1个探头，探头位于辅助间内)；</p> <p>i、辅助间外(1个探头，探头位于辅助间内)；</p> <p>j、<math>^{85}\text{Kr}</math>源生产线间外(1个探头，探头位于<math>^{85}\text{Kr}</math>源生产线屏蔽手套箱内)；</p> <p>k、<math>^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}</math>实验间外(1个探头，探头位于<math>^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}</math>屏蔽手套箱内)；</p> <p>l、<math>^{14}\text{C}</math>源生产线间外(1个探头，探头位于<math>^{14}\text{C}</math>源生产线屏蔽工作箱内)；</p> <p>②生产厂房负一层：</p> <p>a、备用间门外(1个探头，位于备用间内)；</p> <p>b、滤液水罐及废液转固间门外(1个探头，位于滤液水罐及废液转固间内)；</p> <p>c、备用间门外(1个探头，位于备用间内)；</p> <p>d、放射性废液处理间门外(1个探头，位于放射性废液处理间内)；</p> <p>e、放射性废树脂暂存间门外(1个探头，位于放射性废树脂暂存间内)；</p> <p>f、通风过滤器间西南门外(1个探头，位于通风过滤器间内西南侧)；</p> <p>g、通风过滤器间东北门外(1个探头，位于通风过滤器间内东北侧)；</p> <p>h、固体废物暂存间西北门外(1个探头，位于固体废物暂存间内西南侧)；</p> <p>i、固体废物暂存间东南门外(2个探头，位于固体废物暂存间内东北侧、东南侧)；</p> <p>③生产厂房二层：</p> | <p>采用便携式<math>\gamma</math>剂量率仪监测的区域每周一次。</p> |
|--|---|---|



|            |  |            |
|------------|--|------------|
|            | <p>a、楼梯间内（4个探头，位于通风机房四墙）；</p> <p>④放射源库：</p> <p>a、排风机房门外（1个探头，位于排风机房内）；</p> <p>b、热室操作区内（1个探头，位于整备热室内）；</p> <p>c、水井间门外（1个探头，位于水井间内）；</p> <p>d、水质处理系统间门外（1个探头，位于水质处理系统间内）；</p> <p>e、空容器储藏间门外（4个探头，位于空容器储藏间四角）；</p> <p>⑤辐射中心一层：</p> <p>a、辐照装置迷道口装货侧（1个探头，位于辐照装置迷道口装货侧）；</p> <p>b、辐照装置迷道口卸货侧（2个探头，位于辐照装置迷道口卸货侧、辐照装置迷道内）；</p> <p>⑥辐射中心三层：</p> <p>a、走廊内（2个探头，位于风机房西北、东南侧）；</p> <p>（2）研发楼4层的固定监测仪器设置点：放化实验室一内（4个探头，位于四个手套箱内）、标准源生产线间内（3个探头，位于标准源生产线的手套箱和放化实验室二的两个手套箱内）、排风机房内（1个探头，位于排风机房内）。</p> <p>生产厂房和辐射中心、研发楼4层采用便携式<math>\gamma</math>剂量率仪定期对未设置固定式<math>\gamma</math>探测器的区域<math>\gamma</math>辐射水平监测。</p> |            |
| 空气中气溶胶活度浓度 | <p>生产厂房、研发楼4层内设固定式气溶胶取样系统（样品送至研发楼检测）或气溶胶连续测量仪；生产厂房、研发楼4层配置移动式<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>气溶胶连续测量仪，对未设置固定式取样点的关心区域进行短期连续测量；放射源库、辐射中心气溶胶污染风险极低，共用生产厂房的移动式<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>气溶胶连续测量仪进行短期连续测量。</p>   | 在生产周期每周一次。 |
| 表面污染水平     | <p>生产厂房和辐射中心、研发楼4层均配备适当数量的便携式<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>表面污染监测仪进行测量；同时采用取样测量法对这些区域的工作台面、设备表面、墙面、地面的代表性位置取样，集中在分析实验室进行测量。</p>  | 在生产周期每周一次。 |

同时，项目单位需另行委托监测资质单位进行年度监测，监测内容及布点参照

表 6.4-1。年度监测数据应于每年 1 月 31 日前报四川省生态环境厅和生态环境部西南监督站存档备案。

### 6.4.3 流出物监测

#### 6.4.3.1 流出物排放监测

##### (1) 气载流出物

同源公司针对本项目制定了气溶胶监测计划。在项目正常运行时，拟设置监测系统，监测气溶胶的排放量和排放浓度，并记录放射性废气的日排放量和年排放量。一旦出现排放浓度异常，应采取措施，并停止生产。

##### ① 监测对象

项目运行期间的监测对象为气溶胶。

##### ② 监测系统描述

项目在生产厂房 1 层、放射源库 1 层、辐射中心 3 层、研发楼 4 层的通风机房各设置取样口对气溶胶进行取样，项目单位拟配置气载流出物监测系统，以连续监测方式为主，对取样管路抽取的气溶胶进行连续监测。气态流出物监测设备设有就地显示和声光报警装置，设备工作状态、测量结果和报警信息会通过工号管理间内的辐射监测数据采集服务器收集处理并存储，经协议转换后，通过标准网络通讯协议传至辐射监测计算机。对气载流出物同时设置取样设备及取样盒，通过取样测量方式实现气态流出物中气溶胶的取样，样品送实验室进行测量，必要时对样品进行放射性核素分析。

##### ③ 监测方法

气溶胶：采用连续在线监测的方式，通过计算机显示监测数据；同时采用取样监测的方式，按照监测计划规定的频率获取气溶胶样品，采用相应仪器对样品进行测量分析，得到向外环境排出的气溶胶的放射性物质的量。

##### ④ 监测频次

项目运行期间在线监测系统保持开启；对气溶胶采取样监测，监测频率一季度一次。

##### (2) 液态流出物

根据工艺方案，含放射性的废液不直接对环境排放。

### 6.4.3.2 过滤器效率监测

定期对高效过滤器的吸附效率进行取样监测，并做好记录，当效率达不到使用要求时，即时对高效过滤器滤芯进行更换。

### 6.4.3.3 水质处理系统效率监测

定期对水质处理系统的处理效率进行取样监测，并做好记录，当效率达不到使用要求时，即时对水质处理系统树脂进行更换。

## 6.4.4 环境监测

根据本项目气载流出物中核素种类、性质和数量确定  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  为关键核素，本项目的环境监测计划列于表 6.4-2。

表 6.4-2 环境监测内容

| 监测项目   | 监测点                            | 监测频率（次/年） | 执行标准   |
|--|--------------------------------|-----------|--|
| $\gamma$ 辐射水平  | 生产厂房和辐射中心、研发楼为中心，半径 50~300m 以内 | 1~2       | 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021 “应用开放型放射源环境监测内容和频次” |
| 土壤（总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ ） | 生产厂房和辐射中心、研发楼为中心，半径 50~300m 以内 | 1         |  |
| 空气（总 $\alpha$ 、总 $\beta$ ）   | 生产厂房和辐射中心、研发楼为中心排气筒的排放口        | 1         |  |
| 放射性固体废物  | 贮存室或贮存容器外表面                    | 1~2       |  |

## 6.4.5 监测设备

根据前述监测计划，建设单位拟配置的监测设备见表 6.4-3。

表 6.4-3 监测设备配置表

| 序号 | 名称                        | 主要指标和规格要求  | 单位 | 数量 | 备注 |
|----|---------------------------|--|----|----|----|
| 一  | 生产厂房和辐射中心                 |  |    |    |    |
| 1  | C1 型全身污染监测仪               | 能量范围：50keV~3MeV  | 台  | 2  |    |
| 2  | 便携式 $\alpha\beta$ 表面污染监测仪 | 探头测量面积：不小于 100cm <sup>2</sup> ；<br>本底值： $\alpha\leq 0.1\text{cps}$ ； $\beta/\gamma\leq 15\text{cps}$ ； | 台  | 3  |    |
| 3  | 个人剂量报警仪                   | 测量辐射： $\gamma$ 、中子；<br>测量范围：0.1 $\mu\text{Sv/h}$ ~100mSv/h；<br>累积剂量范围：0.1uSv~1Sv；                      | 台  | 46 |    |
|    | 个人剂量读出仪                   | 读取、显示并储存个人剂量报警计信息  | 台  | 1  |    |

|    |                            |   |  |    |    |  |
|----|----------------------------|---|--|----|----|--|
| 4  | 个人剂量计系统                    | 热释光剂量计  | 测量范围：10 $\mu$ Gy~10Gy；   | 支  | 92 |  |
|    |                            | 指环热释光剂量计  | X和 $\gamma$ 辐射测量范围：0.1mGy~10Gy；<br>高能 $\beta$ 辐射测量范围：0.4mGy~10Gy；          | 支  | 5  |  |
|    |                            | 热释光剂量读出仪  | 测量范围：10 $\mu$ Gy~10Gy；   | 台  | 2  |  |
|    |                            | 退火炉   | 控温范围：室温~400 $^{\circ}$ C；  | 台  | 2  |  |
| 5  | 内照射监测设备                    | 全身计数器   | 用于人体放射性检测，两个4"×4"×16"（英寸）NaI探测器  | 台  | 1  |  |
|    |                            | 器官计数器   |  | 台  | 1  |  |
|    |                            | 内照射剂量估算与数据管理软件  |  | 套  | 1  |  |
| 6  | 便携式 $\gamma$ 剂量率检测仪        | 测量范围：1 $\mu$ Sv/h~10Sv/h；   | 台  | 3  |    |  |
| 7  | 长杆 $\gamma$ 剂量率检测仪         | 测量范围：1 $\mu$ Sv/h~10Sv/h；<br>延伸长度4m；  | 台  | 1  |    |  |
| 8  | 移动式 $\alpha\beta$ 气溶胶连续测量仪 | 探测器类型：PIPS探测器；<br>测量范围： $\alpha$ ：1 $\times 10^{-2}$ ~3.7 $\times 10^6$ Bq/m $^3$ ，<br>$\beta$ ：1~3.7 $\times 10^6$ Bq/m $^3$ ； | 台  | 1  |    |  |
| 9  | 气溶胶取样系统                    | 集中式气溶胶取样通道  | 单个取样通道由气溶胶取样器、手动调节阀、电磁球阀、流量计、以及回路取样管道、支架等组成；                               | 套  | 1  |  |
|    |                            | 控制显示设备  | 气溶胶取样通道的控制及数据显示；   | 套  | 1  |  |
|    |                            | 多点式取样装置   | 由气溶胶取样器、流量计、取样泵、就地显示储存单元、支架等组成的气溶胶取样装置；流量：3~4.5m $^3$ /h；                  | 台  | 1  |  |
| 10 | 辐射监测管理系统                   | 含辐射监测工作站（计算机及相关软件）、串口服务器、交换机、网络机柜等设备；   | 套  | 1  |    |  |
| 11 | 区域 $\gamma$ 剂量率监测系统        | 就地处理显示箱   | 外接：仪器设有1~4组独立通道，可同时外接1~4个 $\gamma$ 探测器与声光报警组件，并给探测器供电；                     | 台  | 30 |  |
|    |                            | GM管型 $\gamma$ 探测器   | 测量范围：0.1 $\mu$ Gy/h~10mGy/h；<br>能量范围：50keV~3MeV；                           | 台  | 64 |  |
| 12 | 个人辐射防护用品                   | 包含工作服、防护手套、口罩等；   | 套  | 46 |    |  |
| 13 | 全封闭防护服                     | 防污染工作服，含手套、鞋套、全面罩（滤罐）等；   | 套  | 10 |    |  |
| 14 | 通风风衣                       | 具备气密性，设有空气调节系统以及内分配系统；  | 套  | 10 |    |  |
| 二  | 研发楼                        |   |  |    |    |  |
| 1  | C1型全身污染监测仪                 | 能量范围：50keV~3MeV   | 台  | 1  |    |  |
| 2  | 便携式 $\alpha\beta$ 表面污染监测仪  | 探头测量面积：不小于100cm $^2$ ；<br>本底值： $\alpha\leq 0.1$ cps； $\beta/\gamma\leq 15$ cps；   | 台  | 1  |    |  |
| 3  | 个人剂量报警仪系统                  | 个人剂量报警仪   | 测量辐射： $\gamma$ 、中子；<br>测量范围：0.1 $\mu$ Sv/h~100mSv/h；<br>累积剂量范围：0.1uSv~1Sv； | 台  | 25 |  |
| 4  | 个人剂量计系                     | 热释光剂量计  | 测量范围：10 $\mu$ Gy~10Gy；   | 支  | 50 |  |

|   |                     |                            |  |   |    |  |
|---|---------------------|----------------------------|--|---|----|--|
|   | 统                   | 指环热释光剂量计                   | X和 $\gamma$ 辐射测量范围：0.1mGy~10Gy；<br>高能 $\beta$ 辐射测量范围：0.4mGy~10Gy；          | 支 | 25 |  |
| 5 |                     | 便携式 $\gamma$ 剂量率检测仪        | 测量范围：1 $\mu$ Sv/h~10Sv/h；  | 台 | 1  |  |
| 6 |                     | 移动式 $\alpha\beta$ 气溶胶连续测量仪 |  | 台 | 1  |  |
| 7 | 气溶胶取样系统             | 集中式气溶胶取样通道                 | 单个取样通道由气溶胶取样器、手动调节阀、电磁球阀、流量计、以及回路取样管道、支架等组成；                               | 套 | 1  |  |
|   |                     | 多点式取样装置                    | 由气溶胶取样器、流量计、取样泵、就地显示储存单元、支架等组成的气溶胶取样装置；流量：3~4.5m <sup>3</sup> /h；          | 台 | 1  |  |
| 8 | 区域 $\gamma$ 剂量率监测系统 | 就地处理显示箱                    | 外接：仪器设有1~4组独立通道，可同时外接1~4个 $\gamma$ 探测器与声光报警组件，并给探测器供电；                     | 台 | 3  |  |
|   |                     | GM管型 $\gamma$ 探测器          | 测量范围：0.1 $\mu$ Gy/h~10mGy/h；<br>能量范围：50keV~3MeV；                           | 台 | 8  |  |
| 9 |                     | 个人辐射防护用品                   | 包含工作服、防护手套、口罩等；  | 套 | 25 |  |
| 三 | 其他                  |                            |  |   |    |  |
| 1 | 个人剂量报警仪系统           | 个人剂量报警仪                    | 测量辐射： $\gamma$ 、中子；<br>测量范围：0.1 $\mu$ Sv/h~100mSv/h；<br>累积剂量范围：0.1uSv~1Sv； | 台 | 42 |  |
| 2 | 个人剂量计系统             | 热释光剂量计                     | 测量范围：10 $\mu$ Gy~10Gy；   | 支 | 84 |  |

## 6.5 辐射事故应急

为了加强对放射源的安全和防护的监督管理，促进放射源的安全应用，保障人体健康，保护环境，同源公司拟制定《辐射事故专项应急预案》，拟成立事故应急管理领导小组，成员包含：组长（由总经理担任）、副组长（总指挥，由主管安全的副总经理担任）、组员（由各部门负责人和核安全工程师担任）。

### 6.5.1 应急响应机构

#### 6.5.1.1 应急组织机构

本项目辐射事故应急处理组织机构图见图 6.4-1。

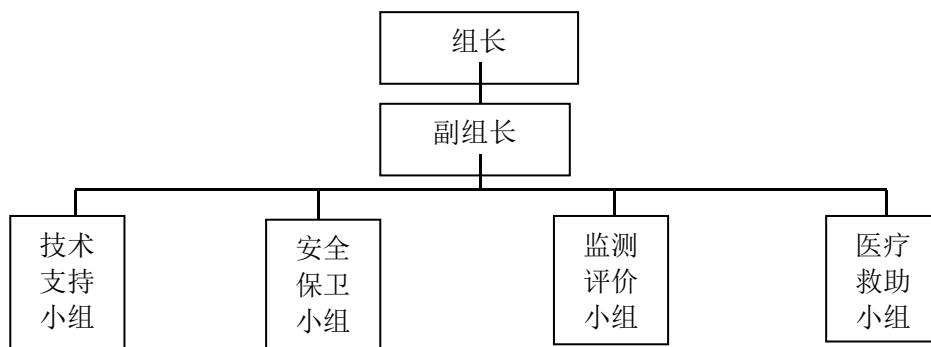


图 6.4-1 辐射事故处理组织机构图

### 6.5.1.2 应急组织机构职责

(1)应急小组组长：由总经理担任，统一指挥应急响应行动，宣布应急状态，启动应急组织，决策应急中止，为应急能力保持提供必要条件。

(2)应急小组副组长：由主管安全的副总经理担任，协调各级、各专业力量实施应急支援行动，向上级主管部门通报事故，组织事故原因调查和经验反馈。

(3)技术支持：由技术部负责人和核安全工程师总管，提供事故处理措施技术支持。

(4)安全保卫：由安质部和保障部负责人总管，负责污染区域警戒、控制和交通管制。

(5)监测评价：由生产部、技术部测量评价专业人员担任，提供现场辐射监测和环境监测，人员体表污染监测，提供辐射防护建议。

(6)医疗救助：由保障部、专业医院医师担任，负责场内紧急救治，提供应急处置人员医疗防护建议。

## 6.5.2 应急响应

### (1) 应急启动

发生辐射事故时，应立即报告事故应急小组副组长，并开展现场警戒和处理措施。

在接到报告后由应急小组副组长通知应急小组组长、各相关专业人员，根据应急小组组长指示启动应急组织。

### (2) 应急响应行动

技术支持负责人根据放射性核素理化性质和放射性危害，提供专业技术支持，

以便更好地收集、处理放射性物质与恢复环境。

安全保卫负责人建立事故警戒、控制区，人员进入现场须经批准，离开现场须经辐射监测和去污。必要时，建立交通控制通道，保障事故处理人员、设备或物资通畅。

辐射防护人员立即对现场的辐射水平进行监测，检查应急处置人员防护设备，设置环境监测点，开展人员剂量监测和污染监测，根据事故处理进展提供防护建议。

医疗救助人员对有急性照射或摄入核素的人员进行医疗救治或建议送厂外专业医院治疗，为现场处理人员提供医疗防护。医疗救助人员协助事故处理人员体表污染的去污（头发、鼻、耳、咽等部位）。

### (3) 应急终止

应急终止需满足以下条件：

- ①事故得到控制，事故影响已经消除；
- ②放射性物质的泄露或释放已降到规定限值以下；
- ③事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。

应急小组组长确认终止条件和时机，发布应急终止命令。

应急小组副组长向应急小组组长提交辐射事故初始报告表和后续报告表。组织事故原因调查和经验反馈，改进安全措施。

## 6.5.3 应急物资与保障

根据应急预案的职责分工，准备好应对辐射事故的人力、物力、车辆、通讯和资金保障工作，主要有：

- (1)便携式 $\gamma$ 剂量率仪、便携式 $\alpha/\beta$ 表面污染仪、应急 TLD 等物项；
- (2)人员急救医疗设施；
- (3)对讲机、专用操作工具、防护用品、隔离带、去污用品等；
- (4)应急救援车辆。

## 6.5.4 应急培训与演练

### 6.5.4.1 培训

承担应急任务的人员每年不低于一次培训本项目辐射事故专项应急预案，熟悉事故类型、危害与处置程序，使之正确理解应急响应要求，有效执行应急响应。应急培训应形成记录并保存。



#### 6.5.4.2 演练

(1)每年开展不低于一次的辐射事故专项应急预案的应急演练，使相关人员熟悉应急预案、应急处置方案，并能有序、协调配合；

(2)每次演练后，针对演练中发现的问题，及时对应急预案加以必要修改和完善，以提高应对突发辐射异常事故的应急处置能力。

## 第七章 利益-代价简要分析

### 7.1 利益分析

#### 7.1.1 产品用途

本项目建成后用于  $^{57}\text{Co}$  源、 $^{68}\text{Ge}$  源、Sn-In 发生器、 $^{147}\text{Pm}$  源、 $^{85}\text{Kr}$  源、 $^{14}\text{C}$  源、 $^{137}\text{Cs}$  源等 7 种放射源和  $^{60}\text{Co}$  源、 $^{198}\text{Au}$  源、 $^{170}\text{Tm}$  源、 $^{210}\text{Pb}$  源、 $^{153}\text{Gd}$  源、 $^{154}\text{Eu}$  源、 $^{35}\text{S}$  源、 $^{133}\text{Ba}$  源、 $^{106}\text{Ru}$  源、 $^{169}\text{Yb}$  源、 $^{152}\text{Eu}$  源、 $^{144}\text{Ce}$  源、 $^{55}\text{Fe}$  源、 $^{22}\text{Na}$  源、 $^{109}\text{Cd}$  源、 $^{99}\text{Tc}$  源、 $^{36}\text{Cl}$  源等 17 种标准源的生产、销售和使用，退役  $^{60}\text{Co}$  工业源的回收、生产和使用， $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^{57}\text{Co}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{131}\text{Ba}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{203}\text{Hg}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{88}\text{Y}$  等 19 种核素的研发和使用，以及所有相关核素的贮存，形成下列主要经济指标：2026 年~2038 年期间，年平均销售收入 9916 万元、年均净利润 3068 万元。项目建成后，整体技术水平处于国内领先。

本项目建成后，将成为国内领先的放射源生产加工基地，同时开展放射源倒装、放射性物质运输、退役放射源回收、核技术利用设施退役等核技术服务，逐步向为石油化工、水利水电、矿产资源、环境保护等行业提供探伤、井间示踪测试等服务，最终将同源公司打造成国际一流的放射源及相关应用服务一体化供应商。

#### 7.1.2 社会效益

公司生产的产品的社会效益主要体现在以下几方面：

##### (1) 做大做强国内核技术应用产业

目前世界上有 150 多个国家开展了核技术应用的研究，核技术应用在发达国家已形成庞大的产业链。美国核技术应用产业的年产值占国民经济总产值的比例约为 4%~5%，日本和欧洲相应所占比例为 2%~3%，全世界核技术产业规模超过 1 万亿美元。

中国民用核技术起步于上世纪 50 年代，历经了科研开发的起步阶段、应用开发的产业化阶段以及快速发展三个阶段，现在已经形成了具有一定规模和水平、较为完整的体系。国内核技术应用产业的年产值在 2010 年已达 1000 亿元，占当年 GDP 的 0.3%，到 2015 年相关产值已达 3000 亿元，占当年 GDP 的 0.4%，年增长率保持在 20%左右。截至 2018 年底，我国至少有 400 家单位直接从事核技术应用研发与生产，应用单位数至少上千家，为全社会提供近 10 万个就业岗位，在提高人

民生活水平、促进社会经济发展中发挥了不可替代的作用。

核技术应用的发展深刻影响着世界各国的科技进步、经济发展和人民健康，成为世界大国必争的战略制高点和优先发展的重要方向，西方发达国家核技术的产值甚至远超核电。对标美国、欧洲、日本等发达国家和地区相比，我国核技术应用产业的产值在国民经济中占比较低，核技术应用的市场拓展还处于初级阶段。2018年10月发布的《中国民用核技术产业发展主旨报告》显示，我国民用核技术发展迅速，未来十年的增长速度有望继续保持在20%左右，到2030年有望突破万亿。本项目的建设有利于做大做强国内核技术应用产业，提升我国在该领域国际上的竞争力。

## (2)实现行业健康发展

### ①响应上级号召，调整放射源生产布局

2014年2月，习近平在北京市考察工作时提出要明确北京作为首都的城市战略定位，坚持和强化首都的全国“政治中心、文化中心、国际交往中心、科技创新中心”的核心功能。2018年11月，中共中央、国务院明确要求以疏解北京非首都功能为“牛鼻子”推动京津冀协同发展。疏解非首都功能主要包括对一般的制造业要逐步的清退。根据生态环境部和北京市有关疏解北京非首都功能的有关要求，原子高科和中核同兴须在5~8年内停止在北京地区的放射源相关产品的工业化生产。本项目的建设有利于放射源生产的总体部署调整工作的顺利开展。

### ②实现中国同辐内产业升级，提升企业核心竞争力

目前原子高科、中核同兴和中核高通的生产线大多依托原子能院和核动力院的老旧工号和设施，现有生产线（除303工号改扩建工程外）多建于上世纪八九十年代，其设计标准低、自动化水平不高，生产能力有限，功能、布局等方面存在一定的限制或缺陷，面临着改造升级的现实要求。

利用本项目建设的契机，可在老生产线的技术基础上，借鉴行业先进技术，优化现有工序，提高生产效率，扩大生产规模，打造国内领先、国际一流的产业基地，全面提升同源公司的核心竞争力。

### ③整合内部资源，实现中国同辐发展战略

本项目对原成员单位的生产线统一协调、集中布局，可避免多基地建设引起的投资分散、技术力量不集中、运营费用高等问题，有利于优化中国同辐产业结构布局；本项目建设有望加快核技术相关的开发利用，推进中国同辐新战略体系的落地，进一步巩固中核集团在国内核技术应用产业的领先地位，把企业建设成为国际同辐

行业有影响力的知名企业，为建设核工业强国提供战略支撑。

### (3)符合地方政府对于产业发展的需要

四川省作为全国 8 个全面改革创新试验区之一，把军民融合发展放在了全省发展布局更加突出的位置。2017 年，乐山市人民政府制定了《乐山市军民融合产业发展规划》，明确了将乐山打造为中国核科技应用引领区的战略目标，拟面向国内国外，推进民用核燃料、核技术应用和核电装备等方面的研发、生产、技术服务，把乐山打造成为国内一流、国际具有重要影响力的核科技应用基地。根据《乐山市城市总体规划》和《乐山市工业经济发展规划》，乐山市拟在夹江县北部，以木城镇为主，规划 1.5 平方公里，以中国核动力研究设计院、中核高通等为龙头单位，发挥在核技术应用方面的优势，推进实施同位素研发、同位素生产、同位素制品等核技术利用项目的开展。2018 年，乐山市制定了《乐山市关于加快推进夹江基地军民融合产业发展十条扶持政策(试行)》，明确通过市、县财政共同出资扶持军民融合产业的发展，将夹江基地建成全省军民融合产业示范区，对于工商注册、税收解缴关系在夹江县的军民融合企业及相关杰出人才可享受落户、重大项目建设、做大做强、科技创新、科技成果转化等方面的奖励政策。本项目的建设符合地方政府对于产业发展的需要。

综上所述，同源公司在本项目完成后，可乘核技术大发展的风口，做大做强我国核技术应用产业，同时实现我国核技术应用产业的合理布局与整合优化，同时带动地方产业与经济的发展，社会效益显著。

### 7.1.3 直接效益

项目建成后，各产品可预见的经济指标如下：

#### (1)仪器仪表源

2026 年~2038 年仪器仪表源的相关经济指标预测见表 7.1-1。

表 7.1-1 2026 年~2038 年仪器仪表源的经济指标预测（单位：万元）

| 年份   | 收入   | 毛利润  |
|------|------|------|
| 2026 | 4735 | 1894 |
| 2027 | 4972 | 1989 |
| 2028 | 5221 | 2088 |
| 2029 | 5482 | 2193 |
| 2030 | 5756 | 2302 |
| 2031 | 6043 | 2417 |
| 2032 | 6346 | 2538 |

|      |       |       |
|------|-------|-------|
| 2033 | 6663  | 2665  |
| 2034 | 6996  | 2799  |
| 2035 | 7346  | 2938  |
| 2036 | 7713  | 3085  |
| 2037 | 8099  | 3240  |
| 2038 | 8504  | 3402  |
| 合计   | 83876 | 33550 |

### (2)工业源回收

2026年~2038年工业源回收的相关经济指标预测见表 7.1-2。

表 7.1-2 2026年~2038年工业源回收的经济指标预测（单位：万元）

| 年份   | 收入    | 毛利润   |
|------|-------|-------|
| 2026 | /     | /     |
| 2027 | /     | /     |
| 2028 | /     | /     |
| 2029 | /     | /     |
| 2030 | /     | /     |
| 2031 | 3000  | 2590  |
| 2032 | 3000  | 2590  |
| 2033 | 3000  | 2590  |
| 2034 | 3000  | 2590  |
| 2035 | 3000  | 2590  |
| 2036 | 3000  | 2590  |
| 2037 | 3000  | 2590  |
| 2038 | 3000  | 2590  |
| 合计   | 24000 | 20720 |

### (3)核技术服务

2026年~2038年其他核技术服务的相关经济指标预测见表 7.1-3。

表 7.1-3 2026年~2038年核技术服务的相关经济指标预测（单位：万元）

| 年份   | 收入   | 毛利润   |
|------|------|-------|
| 2026 | 300  | 285   |
| 2027 | 310  | 294.5 |
| 2028 | 320  | 304   |
| 2029 | 330  | 313.5 |
| 2030 | 340  | 323   |
| 2031 | 350  | 332.5 |
| 2032 | 360  | 342   |
| 2033 | 370  | 351.5 |
| 2034 | 380  | 361   |
| 2035 | 390  | 370.5 |
| 2036 | 400  | 380   |
| 2037 | 410  | 389.5 |
| 2038 | 420  | 399   |
| 合计   | 4680 | 4446  |

### (4)辐照服务与关联交易

2026年~2038年辐照服务与关联交易的相关经济指标预测见表7.1-4。

表 7.1-4 2026 年~2038 年辐照服务与关联交易的相关经济指标预测（单位：万元）

| 年份   | 收入    | 毛利润   |
|------|-------|-------|
| 2026 | 100   | 100   |
| 2027 | 150   | 150   |
| 2028 | 200   | 200   |
| 2029 | 350   | 350   |
| 2030 | 550   | 550   |
| 2031 | 850   | 850   |
| 2032 | 1050  | 1050  |
| 2033 | 1250  | 1250  |
| 2034 | 1350  | 1350  |
| 2035 | 1450  | 1450  |
| 2036 | 1550  | 1550  |
| 2037 | 1650  | 1650  |
| 2038 | 1750  | 1750  |
| 合计   | 12250 | 12250 |

#### (5)研发小源

2026年~2038年研发小源的相关经济指标预测见表7.1-5。

表 7.1-5 2026 年~2038 年研发小源的相关经济指标预测（单位：万元）

| 年份   | 收入   | 毛利润   |
|------|------|-------|
| 2026 | /    | -38.3 |
| 2027 | 200  | 157.4 |
| 2028 | 200  | 155   |
| 2029 | 200  | 151.7 |
| 2030 | 300  | 246.8 |
| 2031 | 300  | 212   |
| 2032 | 300  | 209.4 |
| 2033 | 300  | 206.9 |
| 2034 | 300  | 205.3 |
| 2035 | 500  | 401.8 |
| 2036 | 500  | 400.2 |
| 2037 | 500  | 398.7 |
| 2038 | 500  | 397.1 |
| 合计   | 4100 | 3104  |

由以上分析可以看出，本项目产生的经济效益是非常可观的。

## 7.2 代价分析

### 7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑两个方面，一是资源，二是能源。

资源方面，项目在夹江核技术应用产业园内进行，一期即完成全部征地共 89 亩。本项目采用雨污分离，屋面雨水汇合后排入雨水池，道路设若干雨水口，汇集

地表水后接入雨水管道，排入夹江核技术应用产业园雨水管道。生活污水最高日污水量 9.6m<sup>3</sup>/d，经园区污水管网收集后排入木城镇污水处理站，处理合格后排入青衣江。工业废水经净化系统和二次离子交换后，作为清洗液回用，不外排。

能源方面，项目单位运行期间需用水、电以及天然气等能源，年耗量见表 7.2-1。

表 7.2-1 项目运行期间能源消耗情况一览表

| 名称       | 小时最大用量                | 日最大用量                  | 来源     | 主要化学成分           |
|----------|-----------------------|------------------------|--------|------------------|
| 电能（一期）   | 用电负荷总计算有功功率约为 5000kW  |                        | 园区供电系统 | /                |
| 生产用水（一期） | 2.99m <sup>3</sup> /h | 7.02m <sup>3</sup> /d  | 园区给水管网 | H <sub>2</sub> O |
| 生活用水     | 1.93m <sup>3</sup> /h | 10.35m <sup>3</sup> /d |        |                  |

## 7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下三个方面的成本：

(1) 建筑场地成本；

(2) 设备投资成本；

(3) 环保投资：包含环保设施、环境管理、环境监测及事故防范措施等费用，合计投入约 786 万元。本项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资估算见表 7.2-2。

表 7.2-2 项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资一览表

| 项目       | 污染物及其防治（辐射防护）措施       | 投资（万元）   | 备注  |          |
|----------|-----------------------|--|-----|----------|
| 辐射安全防护设备 | 辐射技术应用中心              | 辐射防护设施：①机房四周均为混凝土墙体，墙体厚度 1900mm~2100mm。②屋顶为混凝土浇筑，厚 1950mm。③储源井长 19.5m、宽 5.75m、深 7.5m | /   | 纳入主体工程   |
|          | 放射源库整备热室              | 辐射安全设施：安全联锁、紧急停机、远程视频监控声光报警器、水位报警、停电自动降源系统等。   | 150 | 建设       |
|          | 放射源库整备热室              | 辐射防护设施：墙体重混凝土厚度为 1050mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 321mmPb  | /   | 纳入主体工程   |
| 辐射安全防护措施 | 辐射工作场所辐射防护分区          |  | 50  | 所有辐射工作场所 |
|          | 放射性标志                 |  | 1   |          |
|          | 通风系统                  |  | 120 |          |
| 辐射安全防护设备 | <sup>57</sup> Co 源生产线 | 屏蔽工作箱（4套）  | 40  |          |
|          |                       | 放射性废液和固体废物暂存罐各 1 个   | 2   |          |
|          | <sup>68</sup> Ge 源生产线 | 屏蔽工作箱（4套）  | 40  |          |
|          |                       | 放射性废液和固体废物暂存罐各 1 个   | 2   |          |



|            |  |   |               |    |  |
|------------|--|---|---------------|----|--|
|            | Sn-In 发生器生产线   | 屏蔽工作箱（4套）   | 40            |    |  |
|            |  | 放射性废液和固体废物暂存罐各1个  | 2             |    |  |
|            | <sup>147</sup> Pm 源生产线   | 屏蔽工作箱（5套）   | 50            |    |  |
|            |  | 放射性废液和固体废物暂存罐各1个  | 2             |    |  |
|            | <sup>85</sup> Kr 源生产线  | 屏蔽工作箱（1套）   | 10            |    |  |
|            |  | 放射性废液和固体废物暂存罐各1个  | 2             |    |  |
|            | <sup>14</sup> C 源生产线   | 屏蔽工作箱（1套）   | 10            |    |  |
|            |  | 放射性废液和固体废物暂存罐各1个  | 2             |    |  |
|            | <sup>137</sup> Cs 源生产线   | 屏蔽工作箱（4套）   | 40            |    |  |
|            |  | 放射性废液和固体废物暂存罐各1个  | 2             |    |  |
|            | <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 实验间  | 屏蔽工作箱（1套）   | 8             |    |  |
|            | 研发中心   | 屏蔽工作箱（6个）   | 60            |    |  |
|            |  | 放射性废液和固体废物暂存罐各1个  | 2             |    |  |
|            | 辐射防护设备   |   | 产品配套铅盒 5000 个 | 10 |  |
|            | 辐射安全管理   | 辐射工作人员培训、辐射工作场所管理及单位辐射安全与管理制度的修订完善等管理措施。                      |               | 5  |  |
|            |  | 工作人员辐射防护用品（个人剂量计、个人剂量报警器、铅围裙、铅手套、铅眼镜、工作服装、工作帽、工作鞋、工作袜、特殊口罩等）。 |               | 20 |  |
| 辐射监测       | 辐射监测仪器：可携式 $\gamma$ 测量仪、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面沾污仪、个人剂量报警器、沾污仪、活度计、X、 $\gamma$ 通用计量仪。 |   | 50            |    |  |
|            | 空气取样系统、手脚污染监测仪、实时在线监测系统。   |   | 50            |    |  |
| 风险防范措施     |  | 辐射工作场所应急物品：包括应急监测仪器，应急器材，应急警戒、公告用品，应急救援用品和应急通讯工具等。            | 5             |    |  |
| 非放射性废气治理   | 臭氧   | 排气筒   | 3             |    |  |
| 非放射性固体废物处置 | 生活垃圾   | 由环卫部门统一集中收集后处理。   | 3             |    |  |
|            | 危险废物   | 资质公司收集处理  | 5             |    |  |
| 合计         |  | /   | 786           |    |  |

### 7.2.3 环境代价

同源基地项目的环境代价主要为项目运行期间向环境排放的放射性气载流出物，项目运行期间产生和向环境排放的放射性气载流出物及放射性固体废物量见表 7.2-3。

表 7.2-3 项目运行期各类放射性废物年产生量和向环境排放量一览表

| 废物种类  |          | 年产生量          | 年排入环境量                                      |                                |                            |
|-------|----------|---------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| 放射性废物 | 放射性气载流出物 | 生产厂房和辐射中心     | $3.97 \times 10^9 \text{Bq/a}$              | $3.71 \times 10^9 \text{Bq/a}$ |                            |
|       |          | 研发楼           | $1.17 \times 10^7 \text{Bq/a}$              | $1.17 \times 10^5 \text{Bq/a}$ |                            |
|       | 放射性废液    | 生产厂房和辐射中心     | $1.04 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ , 448.77L | 0                              |                            |
|       |          | 研发楼           | $2.69 \times 10^9 \text{Bq/a}$ , 2.55L      |                                |                            |
|       | 放射性固体废物  | 生产厂房和辐射中心     | $4.12 \times 10^8 \text{Bq/a}$ , 471.33kg   | 0                              |                            |
|       |          | 研发楼           | $4.26 \times 10^8 \text{Bq/a}$ , 1.92kg     |                                |                            |
|       |          | 废液处理车间        | $9.48 \times 10^9 \text{Bq/a}$ , 100L       | 0                              |                            |
|       |          | 废气处理系统        | $2.71 \times 10^8 \text{Bq/a}$ , 288kg      | 0                              |                            |
|       | 非放射性废物   | 废水            | 生产废水  | 15L/a                          | 0                          |
|       |          |               | 生活污水  | $2400 \text{m}^3/\text{a}$     | $2400 \text{m}^3/\text{a}$ |
| 固体废物  |          | 生活垃圾          | 14.1t                                       | 0                              |                            |
|       |          | 废机油           | 10kg  | 0                              |                            |
|       |          | 酸性废液          | 2L  | 0                              |                            |
|       |          | 切割、打磨金属废物     | 1kg   | 0                              |                            |
| 废气    |          | 臭氧            | 少量  | 少量                             |                            |
|       |          | $\text{NO}_2$ | 少量  | 少量                             |                            |
|       |          | 氢气            | 少量  | 少量                             |                            |

通过理论估算，项目运行期间的排风通过预过滤器和高效空气粒子过滤器后，经生产厂房和辐射中心、研发楼屋面 30m 高的烟囱分别排入环境的放射性气载流出物所致 3km 评价范围内公众剂量为：评价范围内公众最大个人年有效剂量为  $7.57 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

项目运营期间产生的放射性固体废物分类收集后，装入不同包装容器，送入生产厂房地下一层的固体废物暂存间分类暂存，最终送往核动力院一所处置；项目运营期间放射性废液净化系统会产生废树脂，暂存于生产厂房地下一层的放射性废树脂暂存间内，达到一定量后输送至转固间进行转固处理，最终送往核动力院一所处置。经此处理，项目运营期间产生的放射性固体废物不外排进入环境，不对项目所在区域环境造成影响。

项目运营期间产生的放射性废液用箱室下设置的屏蔽容器收集，达到一定量后用小車转运至地下一层的放射性废液处理间，通过离子交换进行净化处理，排入滤液水罐。对滤液进行取样测量，若比活度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ，则作为生产线的清洗液回用；若比活度 $> 10\text{Bq/L}$ ，将废液再次进入处理装置进行处理，直至 $\leq 10\text{Bq/L}$ ，做生产线的清洗液回用。经此处理，项目运营期间产生的放射性废液不外排进入环境，不对项目所在区域环境造成影响。

此外，项目产生的生活垃圾定期送往环卫部门指定地点，由环卫部门定期清运；项目产生的废机油属于危险废物，交有处理资质的公司处置。项目产生的生活污水经园区污水管网，排入木城镇污水处理站，对水环境的影响较小。

综上所述，通过对同源放射源研发生产基地建设项目的利益和代价的简要分析，考虑经济、社会、环境各方面的因素，利益大于代价，符合 GB18871-2002 规定的“实践的正当性”，说明本项目满足正当性要求。







## 第八章 结论与建议

### 8.1 项目工程概况

项目建设地点位于规划的夹江核技术应用产业园内,项目占地面积约 59333m<sup>2</sup>,建筑面积 23630m<sup>2</sup>。本项目放射源研发生产基地项目包括生产厂房和辐射中心(开展 $\gamma$ 射线辐照应用;生产 7 类放射源;开展  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  制备研发实验;放射源库,设退役  $^{60}\text{Co}$  工业源再利用生产线);放射源研发中心(设非放实验室,放化实验室和 17 条标准源生产线),配套建设运行支持楼、物流中心及库房、大门及值班室等辅助设施。项目建设辐射技术应用中心利用退役钴-60 放射源开展辐照应用,设计装源量  $1.48\times 10^{17}\text{Bq}$  ( $4\times 10^6\text{Ci}$ );放射源库用于成品源、退役放射源的集中贮存、再利用生产,源库内建整备热室内开展退役  $^{60}\text{Co}$  源再利用生产,最大日操作量  $1.81\times 10^{15}\text{Bq}$ ,年生产能力为  $2.59\times 10^{16}\text{Bq}$  (70 万 Ci);项目生产并销售 Co-57 源、Ge-68 源、Sn-In 发生器、Pm-147 源、Kr-85 源、C-14 源以及 Cs-137 源等 7 类放射源。其中 Co-57 源年最大操作量  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci), Ge-68 源年最大操作量  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci), Sn-In 发生器年最大操作量  $7.4\times 10^{11}\text{Bq}$  (20Ci), Pm-147 源年最大操作量  $1.85\times 10^{12}\text{Bq}$  (50Ci), Kr-85 源年最大操作量  $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$  (100Ci), C-14 源年最大操作量  $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$  (1Ci), Cs-137 源年最大操作量  $3.7\times 10^{13}\text{Bq}$  (1000Ci)。生产厂房属于甲级非密封放射性物质工作场所,研发楼属于乙级非密封放射性物质工作场所。项目总投资 56000 万元,环保投资 786 万元。

该项目符合国家现行产业政策和当地规划,项目能够带来良好的社会效益和产生较好的经济效益;在采取了设计的辐射安全防护措施以及三废治理措施后,项目运行所产生的辐射危害是很小的,完全满足国家标准要求。该项目具有实践的正当性。

### 8.2 辐射安全与防护

项目辐射技术应用中心建设辐照屏蔽室,放射源库建设整备热室采取隔室远距离方式操作密封放射源,生产线及研发实验设计使用屏蔽工作箱来操作放射性核素,辐照室和整备热室的屏蔽设计满足相关标准要求,工作箱的屏蔽设计和密闭设计满足相关标准要求,可使对操作人员的辐射影响满足国家标准要求并达较低水平;辐射技术应用中心设置安全可靠的辐射安全设施,工作场所合理划定控制区与



监督区进行管理，人流与物流路径分离，可尽量限制放射性污染范围。针对运行产生的放射性废气、废水和固体废物，项目设计或依托有完善的收集、处理、排放（或暂存）设施，可使放射性废气和废液能得到较好的净化处理，确保通过流出物途径进入环境的放射性物质尽可能少，对公众的辐射影响满足国家标准要求并达相当低的水平；可使放射性固体废物能得到妥善的整备包装，并安全暂存于放射性废物暂存库中直至最终的安全处置，确保不释入环境产生辐射危害。本项目拟采取的辐射安全与防护措施是可行的。

### 8.3 环境影响分析

#### (1) 辐射环境影响分析结论

本项目操作非密封放射性物质，主要是通过放射性流出物途径对公众产生辐射影响。剂量估算结果表明，放射性流出物所致 3km 范围内公众个人有效剂量最大值为  $7.57 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，远低于 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的  $1 \text{mSv/a}$  公众照射剂量限值，也只占本次评价确定的  $0.1 \text{mSv/a}$  的公众剂量约束值的 0.76%。项目运行对公众的辐射影响很小，是可以接受的。

本项目对工作人员的职业照射剂量最大值为  $2.23 \text{mSv/a}$ ，远低于 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的  $20 \text{mSv/a}$  的职业照射剂量限值，也低于本次评价确定的  $5 \text{mSv/a}$  职业照射剂量控制值，项目运行对工作人员的职业照射剂量满足国家标准要求。

#### (2) 非放环境影响分析结论

项目运行产生生活污水经园区污水管网进入木城污水处理厂，普通生产废水通过沉淀后重复使用。项目营运期的固体废物主要包括生活垃圾、金属切屑、废酸性溶液及机修废物，生活垃圾由夹江县市政环卫部门定时清运；金属切屑作为一般工业废物外售回收处理；废酸性溶液及机修废物属于危险废物，交有资质的单位进行处理。本项目没有高噪声设备。综上，项目对非放射性环境影响甚微。

### 8.4 辐射安全管理

项目单位四川中核同源科技有限公司设有健全的辐射安全与环境保护管理机构。公司安防环保部负责公司所有辐射实践活动的辐射安全与环境保护工作。辐射安全与环境保护管理机构的设置满足要求。

本项目拟配置辐射工作人员 113 名，其中管理岗位 20 名，生产岗位 93 名，目

前部分辐射工作人员取得辐射安全培训合格证书，公司承诺其余及新增辐射工作人员将组织安排培训，人员持证上岗。在此基础上本项目辐射工作人员的配置满足要求。

本项目已制定《辐射事故应急预案》，预案内容包括：相关机构及其职责、应急响应措施等，本项目辐射事故应急预案是可行的。

本项目设置了相应的辐射剂量监测手段并制定了相应的监测制度。工作人员个人剂量监测执行《个人剂量监测与数据管理规定》，该计划规定的监测内容和频次符合相关标准要求，可满足本项目需求；工作场所的监测执行《工作场所辐射监测计划》，工作场所监测可满足要求；流出物监测和环境监测执行现行的《放射性流出物检测与排放管理规定》，可满足本项目要求。

## 8.5 公众参与

建设单位在中核高通公司网站上就项目情况进行了网上公示，公示期对环境影响报告书（简本）进行了公示。依据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号）要求，本项目在中核高通公司网站进行公示的同时，两次将公示信息刊登在四川科技报，并对公示信息进行了张贴公告。公示期间，未收到任何反馈信息，无反对意见。项目实施过程中，应按照环评有关预防、减缓、消除不利于环境影响的措施及建议进行，确保公众所关心的环境问题能得到妥善解决。

## 8.6 建议和承诺

(1)在项目投运前完成对辐射工作人员的辐射安全培训，并保持对工作人员进行安全生产和环境保护（包括辐射防护）方面的持续教育。

(2)在项目投运前完成辐射安全管理规章制度的新增及完善工作，并随国家辐射安全与环境保护方面法律法规的更新，及时组织修订各项辐射安全与防护管理制度。

(3)放射性源只能销售给持有辐射安全许可证的单位，并在转入单位的辐射安全许可证规定的种类和范围内。

(4)项目单位应按照环境保护部令第3号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十二条之规定编写辐射防护安全与防护状况年度评估报告，于每年1月31日前报送辐射安全许可证发证机关。

## 8.7 项目竣工验收检查内容及要求

### 8.7.1 项目竣工验收检查内容

表 8.7-1 项目竣工验收检查对照表

| 类别   | 内容   |
|------|--|
| 场所设施 | 辐射技术应用中心机房：墙体和屋顶为混凝土浇筑，墙厚 1900mm~2100mm，屋顶厚度 1950mm  |
|      | 整备热室：墙体重混凝土厚度为 1050mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 321mmPb  |
|      | 屏蔽工作箱：<br><sup>57</sup> Co 源生产线：4 套，碳钢厚 60mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 10mmPb；<br><sup>68</sup> Ge 源生产线：4 套，碳钢厚 3mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 67mmPb；<br>Sn-In 发生器生产线：4 套，碳钢厚 160~180mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 41mmPb；<br><sup>147</sup> Pm 源生产线：5 套，碳钢厚 10mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 1mmPb；<br><sup>85</sup> Kr 源生产线：1 套，碳钢厚 110mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 47mmPb；<br><sup>14</sup> C 源生产线：1 套，碳钢厚 3mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 1mmPb；<br><sup>137</sup> Cs 源生产线：4 套，碳钢厚 270~290mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 122mmPb；<br><sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y 实验间：1 套，铅板厚 50mm；窥视窗为铅玻璃，防护能力为 50mmPb。<br>研发中心：6 套，有机玻璃，壁厚 10mm；铅，壁厚 120mm；铅，壁厚 25mm 铅，壁厚 10mm；铅，壁厚 170mm；铅，壁厚 110mm；铅，壁厚 110mm，窥视窗为铅玻璃，防护能力 56mmPb。 |
|      | 通风设施：<br>通排风系统保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区，各不同分区之间维持一定负压，绿区相对负压为 10~20Pa，橙区相对负压为 30~50Pa，红区相对负压为 80~100Pa，其中的热室相对负压为 200~300Pa。<br>大厅走道换气次数 1~2 次/h；每个热室、箱室换气次数 30 次/h。排风通过设置在箱室外部的管式排风净化装置一级过滤后，再经高效粒子过滤器过滤处理后由排风塔高空排放。生产厂房排风通过排风塔高空排放，总排风量约 96000m <sup>3</sup> /h。出口风速为 15.0m/s。排风塔高 30m。研发楼排风通过排风塔高空排放，总排风量约 35000m <sup>3</sup> /h。出口风速为 15.0m/s。排风塔高 30m。  |
|      | 场所分区布局具有相应措施/标识  |
|      | 入口处电离辐射警示标识  |
|      | 卫生通过间  |
|      | 卫生通过间出口配备污染监测仪   |
|      | 易去污的工作台面和防污染覆盖材料   |
|      | 放射性废水暂存设施：<br>每条放射源生产线和研发中心各配备一个不锈钢材质废液箱，壁厚 2mm。   |
|      | 放射性固废暂存设施（废物在专用贮存容器内分类贮存，容器必须标有核素名称、物理形态及存放日期等）  |
|      | 放射源库（产品和退役放射源暂存）   |
|      | 安保设施（防火、防盗、防抢、防水、防破坏、防泄漏）  |

|                    |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| 监测设备               | 固定式剂量报警仪：3 台                    |
|                    | 便携式 $\gamma$ 辐射监测仪：1 台          |
|                    | 便携式表面沾污仪：1 台                    |
|                    | 个人剂量计：226 个                     |
|                    | 便携式辐射监测仪：1 台                    |
|                    | 便携式表面沾污仪：1 台                    |
|                    | 移动式气溶胶取样监测设备：1 套                |
| 防护器材               | 排气筒实时在线监测系统：1 套                 |
|                    | 联合工作服：56 套                      |
|                    | 个人防护用品：61套                      |
|                    | 去污用品和试剂                         |
| 应急物资               | 必备的警示标志和标识线                     |
|                    | 消防器材                            |
| 辐射相关管理制度           | 应急处理工具（放射性同位素应急包装容器、长柄夹具等）      |
|                    | (1) 《辐射安全管理规定》                  |
|                    | (2) 《非密封放射性物质管理规定》（购买、领用、保管、盘存） |
|                    | (3) 《物料平衡管理规定》                  |
|                    | (4) 《场所分区管理规定》（含人流、物流路线图）       |
|                    | (5) 《去污操作规程》                    |
|                    | (6) 《操作规程》（操作、贮存及包装等）           |
|                    | (7) 《安全防护设施的维护与维修制度》            |
|                    | (8) 《监测方案》                      |
|                    | (9) 《监测仪表使用与检验管理制度》             |
|                    | (10) 《辐射工作人员个人剂量管理制度》           |
|                    | (11) 《辐射工作人员培训/再培训管理制度》         |
|                    | (12) 《辐射事故/事件应急预案》              |
| (13) 《放射性“三废”管理规定》 |                                 |

### 8.7.2 项目竣工验收检查要求

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）规定，建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

验收报告分为验收监测报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

**验收的程序和内容：**建设项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建

设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测报告。

**公示：**除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

- （一）建设项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；
- （二）对建设项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；
- （三）验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当向所在地县级以上环境保护主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

**验收期限：**本项目环境保护设施的验收期限不超过 6 个月。验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台（网址为 <http://47.94.79.251>），填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，环境保护主管部门对上述信息予以公开。

建设单位应当将验收报告以及其他档案资料存档备查。

