

核技术利用建设项目

成都欣科医药有限公司核技术产业基地二期核  
技术利用项目环境影响报告书

(公示本)



生态环境部监制

## 核技术利用建设项目

# 成都欣科医药有限公司核技术产业基地二期核技术利用项目环境影响报告书

建设单位名称：成都欣科医药有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：成都市双流区西航港开发区空港四路3081号

邮政编码：610200

联系人：李骥

电子邮箱：261079560@qq.com

联系电话：18384111062

打印编号: 1757574581000

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	343645		
建设项目名称	成都欣科医药有限公司核技术产业基地二期核技术利用项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	成都欣科医药有限公司		
统一社会信用代码	915101227130108079		
法定代表人 (签章)	宋永红		
主要负责人 (签字)	宋永红		
直接负责的主管人员 (签字)	李骥		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	四川省自然资源实验测试研究中心(四川省核应急技术支持中心)		
统一社会信用代码	12510000MB1P513986		
<b>三、编制人员情况</b>			
<b>1. 编制主持人</b>			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
张潇月	2013035510350000003512510690	BH012281	
<b>2. 主要编制人员</b>			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
冯晶	自然环境与社会环境状况、辐射安全管理、利益-代价简要分析、公众参与	BH074669	
张潇月	项目概述、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、结论与建议	BH012281	

## 第一章 概述

### 1.1 项目名称、地点

#### 1.1.1 项目名称

核技术产业基地二期核技术利用项目

#### 1.1.2 建设地点

本项目位于四川省成都市双流区西航港开发区空港四路3081号成都欣科医药有限公司厂区内，位于双流工业集中发展区第六期内，厂区中心坐标为东经103.963879°、北纬30.474497°，项目地理位置见附图1。

### 1.2 项目概况

#### 1.2.1 建设单位概况

成都欣科医药有限公司（统一社会信用代码915101227130108079，以下简称“成都欣科”）成立于1999年，现属于成都倍特药业旗下子公司，主要进行放射性同位素药物、生物标记药物的研发与应用。公司属于国家高新技术企业，同时还荣获“四川省专精特新中小企业、成都市企业技术中心”等荣誉。

成都欣科拥有高素质的科研、生产和管理团队，包含多名研究员、博士研究生导师、国家自然科学基金项目审评专家等，专业技术人才占比80%以上。同时公司在绵阳设立了生产基地，拥有符合资质的高标准洁净厂房和完善的质量保证、环境管理和职业健康安全管理体系。

2015年，成都欣科率先提出“碘<sup>[131I]</sup>国产化”的概念，并与中国工程物理研究院核物理与化学研究所缔结医用核素国产化联盟；2016年，成都欣科与中国工程物理研究院核物理与化学研究所携手开发的全产业链国产化碘<sup>[131I]</sup>化钠口服溶液全面投入市场，打破了国产核素药物的进口垄断；2020年，成都欣科与中国工程物理研究院核物理与化学研究所联合申报碘<sup>[131I]</sup>及碘<sup>[131I]</sup>化钠口服液规模化生产关键技术与应用，荣获“四川省科技进步一等奖”；2023年3月，成都欣科取得了氯化锶<sup>[89Sr]</sup>注射液的药品注册批文，产品投入市场后，成为国内少有的通过国家药监局一致性评价的国产化同位素药物，有利于缓解我国同位素药物的供给不足的局面。

#### 1.2.2 项目由来

目前，成都欣科已建辐射工作场所共5个，分别为①01车间一层1条氯化锶<sup>[89Sr]</sup>注

射液生产线、1条即时标记药物生产线与质检中心，为甲级非密封放射性物质工作场所；②02车间2条生产碘<sup>[131I]</sup>口服液和<sup>177Lu</sup>Cl<sub>3</sub>原液的放射性药物生产线，为甲级非密封放射性物质工作场所；③放射性药品仓库用于代理销售产品的暂存，为乙级非密封放射性工作场所。④01车间二层研发质检中心和动物房，为甲级非密封放射性物质工作场所；⑤02车间碳-14胶囊申报线，为甲级非密封放射性物质工作场所；成都欣科目前已建辐射工作场所①②③于2024年4月完成了《成都欣科医药有限公司核技术产业基地技改项目（一期）环境影响报告书》并取得四川省生态环境厅川环审批[2024]39号批复，于2024年11月完成了竣工环境保护验收；辐射工作场所④⑤于2024年12月完成了《欣科医药核技术产业基地动物房及碳-14胶囊申报线改建项目环境影响报告书》并取得四川省生态环境厅的川环审批[2025]21号批复，目前建设完毕，并已纳入辐射安全许可证。

成都欣科现持有《辐射安全许可证》（国环辐证（00542））和放射性物品道路运输许可证（川交运管许可成字510100600137号）。

成都欣科自被成都倍特药业集团并购后，业务重新整合，利用集团在物流、营销及技术研发等方面的综合优势，将核医药产业作为集团发展的战略重点，将进一步推动成都欣科在核医药领域的技术革新和市场扩张。

本次拟投资12800万元建设“核技术产业基地二期核技术利用项目”：在厂区内预留空地建设2号楼和9号楼（动力车间）。在2号楼内新建1个回旋加速器制药区（使用2台16.5MeV的回旋加速器）、7条放射性药物生产线及配套功能用房，每条生产线均为甲级非密封放射性物质工作场所；新建质检中心、放射性物料库、放射性药品库和原辅材料库房。该项目的建设有助于提高公司核药的生产能力和研发能力，加速新药研发和满足当地核医学领域快速发展的需求，其建设是必要的。9号楼为单层供热动力楼，为2号楼的辅助工程，建设1台总容量为1吨/小时（0.7兆瓦）蒸汽发生器自用供暖，另安装3台备用的柴油发电机。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021版）第91项，该蒸汽发生器总容量不大于1吨/小时（0.7兆瓦）天然气锅炉，无需编制环评文件。

本项目涉及使用甲级非密封放射性物质工作场所及Ⅱ类射线装置，为加强辐射源的辐射安全管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保非密封放射性物质的生产、使用、销售不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，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》、《中华人民共和国放射性污染防

治法》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设单位须对本项目进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021版），本项目应编制环境影响报告书。为此，建设单位委托（见附件1）四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心）（以下简称“评价单位”）对该项目进行环境影响评价工作。评价单位接受委托后，通过现场勘察、现场监测和资料收集等工作，结合本项目的特点，按照国家有关标准、技术规范要求，编制完成《成都欣科医药有限公司核技术产业基地二期核技术利用项目环境影响报告书》。

### 1.2.3 建设内容概况

#### 1.2.3.1 建设性质：新建

#### 1.2.3.2 项目总投资：12800万元

#### 1.2.3.3 工程占地情况

本项目在成都欣科现有厂区内预留用地进行建设，不涉及新增占地，成都欣科厂区总占地面积16630.49m<sup>2</sup>，已取得原成都市双流区国土资源局的国土使用证和原成都市双流区规划建设局的建设用地规划许可证，项目用地属于工业用地。

#### 1.2.3.4 建设内容

本项目所在2号楼，为1栋地下1层地上4层的建筑，高24m，主要包括204车间、214车间（回旋加速器区）、207车间（氟-18药物生产线）、208车间（氟-18药物生产线）、206车间（中试线）、209车间（β核素生产线）、210车间（α核素生产线）、211车间（β核素生产线）、212车间（α核素生产线）、1个质检中心、1个放射性物料库房、2个成品库房以及生产销售配套功能用房。项目总平面布局见附图4~附图8，具体建设内容和规模如下：

##### （1）2号楼地下一层

布置2个消防水池，1个消防水泵房、放射性废物暂存间1（49.80m<sup>2</sup>）、放射性废物暂存间2（41.64m<sup>2</sup>），1个排风机房、1个生活水箱间和1个配电机房。在地下一层西北侧边界外建设一个3格并联衰变池，衰变池为不锈钢拼装水箱，嵌入在地下钢筋混凝土构筑物内，构筑物长6.40m，宽5.20m，高2.1m。

##### （2）2号楼一层

2号楼一层建设204车间（回旋加速器区）、1间放射性物料间、207车间（氟-18药物生产线）、208车间（氟-18药物生产线）、206车间（中试线），并建设办公室、更衣室、换鞋室、洗衣间、卫生间、大厅、容器具清洗间、容器具存放间、工具间、

洁具间、配电间、标签打印间、危化品暂存库 1、危化品暂存库 2 以及危化品废物暂存库等配套设施。

### 1) 204 车间（回旋加速器区）

在一层西侧建设 204 车间，布置加速器机房一和加速器机房二，两间加速器机房紧邻布置，占地面积均为 126m<sup>2</sup>，机房尺寸相同（长 15m×8.4m×4.65m），机房屏蔽墙体厚度相同。建设单位拟在机房内分别安装使用一台 GE PET trace 鲲鹏型回旋加速器用于生产正电子核素，属于 II 类射线装置，两台加速器不同时使用。加速器质子束最大能量均为 16.5MeV，均为双束流设计，单束流模式最大束流为 80μA，双束流模式最大束流为 2×80μA。每台加速器均生产核素氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镱-177、铽-161、铅-203。生产的核素最终通过专用地下管道气动装置自动传输至两条氟-18 药物生产线以及中试线热室。单台加速器年最大出束时间约 2000h。

2 台加速器分别配置有设备间，并共用 1 间制靶室、1 间控制室和 2 间气瓶间。

### 2) 207 生产车间（氟-18 药物生产线）

在一层中部偏北侧建设 207 生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间（两条氟-18 生产线共同）、包装间组成，加速器生产的核素原料 <sup>18</sup>F（液态）通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。

207 生产车间主要产品包括不同规格（装量）的氟[<sup>18</sup>F]注射液。生产线日最大操作量为 2.59E+12Bq，日等效最大操作量为 2.59E+10Bq，年最大产量为 6.48E+14Bq，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

### 3) 208 生产车间（氟-18 药物生产线）

208 生产车间与 207 生产车间相邻布置，该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量及活动种类均与氟-18 标记药物生产线一相同，车间日最大操作量为 2.59E+12Bq，日等效最大操作量为 2.59E+10Bq，年最大产量为 6.48E+14Bq，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

### 4) 206 车间（中试线）

在一层东侧建设 206 生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、融靶区（205 车间）、准备间、拆包间、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、洁具间和包装间组成。生产氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镱-177、铽-161、铅-203、钷-225、铅-212 药物溶液。其中核素锆-89、铅-203 除由加速器生产以外，还

需另行外购；核素镓-68 除由加速器生产以外，还需外购锗-68（镓-68）发生器淋洗制备；外购钷-228（铅-212）发生器淋洗铅-212 以及外购核素镱-177、铽-161、铟-225。206 车间单日仅采用一种生产方式制备一种药物，一年最多生产使用 3 种放射性药物。

#### ①加速器生产核素

氟-18 日最大操作量为  $6.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $6.48\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $6.48\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格  $10\text{mCi}\sim 300\text{mCi}$  不等；铜-64 日最大操作量为  $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为  $3.70\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $4\text{mCi}$ ；镓-68 日最大操作量为  $1.85\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.85\text{E}+09\text{Bq}$ ；年最大产量为  $1.85\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为  $100\text{mCi}$ ；锆-89 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $50\text{mCi}$ ；铅-203 日最大操作量为  $1.30\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.30\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.30\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $20\text{mCi}$ 。

#### ②外购发生器制药

购买锗-68（镓-68）发生器生产镓-68 放射性药物，锗-68 最大装量为  $200\text{mCi}$ ，年最大购买量 20 个。锗-68 日最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大用量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ； $^{68}\text{Ga}$  日最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.48\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为  $100\text{mCi}$ ；购买钷-228（铅-212）发生器生产铅-212 放射性药物，钷-228 最大装量  $200\text{mCi}$ ，年最大购买量 2 个。钷-228 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大用量为  $1.48\text{E}+10\text{Bq}$ ；铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ 。

#### ③外购核素制药

镱-177 日最大操作量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为  $200\text{mCi}$ ；铽-161 日最大操作量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为  $200\text{mCi}$ ；铟-225 日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ ；铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ ；锆-89 日最大操作量为  $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.96\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $2.96\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $50\text{mCi}$ ；铅-203 日最大操作量为  $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为

3.70E+08Bq, 年最大产量为 3.70E+11Bq, 产品规格为 20mCi; 碛-221 日最大操作量为 7.40E+09Bq, 日等效最大操作量为 7.40E+07Bq, 年最大产量为 7.40E+11Bq, 产品规格为 5mCi; 磷-225 日最大操作量为 2.22E+10Bq, 日等效最大操作量为 2.22E+07Bq, 年最大产量为 2.22E+12Bq, 产品规格为 5mCi、10mCi、25mCi、50mCi、100mCi。

206 车间单日最大操作量的核素为镭-177、铯-161 和镭-225, 日等效最大操作量为 7.40E+10Bq, 为甲级非密封放射性物质工作场所。

### 5) 放射性物料库

在 1 层西北侧设置一个放射性物料库, 面积约 11.93m<sup>2</sup>。用于存储外购原料锆-89、铅-203、镭-177、铯-161、镭-225、铅-212、锶-68、钼-99、铯-149、钷-44、铈-186, 碛-211、磷-32 以及锶-68 (镓-68) 发生器、钷-228 (铅-212) 发生器。根据生产研发需要, 预计每天最多存放 7 种核素。放射性物料库日最大储存量为 3.03E+12Bq, 日等效最大操作量为 3.90E+09Bq, 年最大用量为 3.04E+14Bq, 为乙级非密封放射性物质工作场所。

### (3) 2 号楼二层

#### 1) 209 车间 (β核药生产线)

在二层中部建设 209 车间, 由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

209 车间生产镭-177 或铯-161 的药物溶液。①外购镭-177 原料, 镭-177 日最大操作量为 1.48E+12Bq, 日等效最大操作量为 1.48E+11Bq, 年最大产量为 3.70E+14Bq; ②外购铯-161 原料, 铯-161 日最大操作量为 1.48E+12Bq, 日等效最大操作量为 1.48E+11Bq, 年最大产量为 3.70E+14Bq。209 车间仅使用一种核素制备一种药物, 为甲级非密封放射性物质工作场所。

#### 2) 210 车间 (α核药生产线)

210 生产车间与 209 生产车间相邻布置, 210 车间生产镭-225 或铅-212 的药物溶液。①外购镭-225 原料, 镭-225 日最大操作量为 7.40E+08Bq, 日等效最大操作量为 7.40E+10Bq, 年最大产量为 1.11E+11Bq, 产品规格为 5mCi; ②购买钷-228 (铅-212) 发生器生产铅-212 放射性药物, 每年购买 20 个, 钷-228 日最大操作量为 1.11E+09Bq, 日等效最大操作量为 1.11E+08Bq, 年最大用量为 2.22E+10Bq; 铅-212 日最大操作量为 1.11E+09Bq, 日等效最大操作量为 1.11E+09Bq, 年最大产量为 1.67E+11Bq, 产品

规格为 50mCi；③外购铅-212 原料，铅-212 日最大操作量为  $7.40E+09Bq$ ，日等效最大操作量为  $7.40E+09Bq$ ，年最大产量为  $1.277E+12Bq$ ，产品规格为 5mCi。210 车间单日只采用一种方式和使用一种核素制备一种药物，每年生产一种药物，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

### 3) 211 车间 ( $\beta$ 核药生产线)

211 生产车间与 210 生产车间相邻布置，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量及活动种类均与 209 相同，209 车间日最大操作量为  $1.48E+12Bq$ ，日等效最大操作量为  $1.48E+11Bq$ ，年最大产量为  $3.70E+14Bq$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

### 4) 212 车间 ( $\alpha$ 核药生产线)

212 车间与 211 车间相邻布置，该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量及活动种类均与 210 车间相同，212 车间日最大操作量为  $7.40E+08Bq$ ，日等效最大操作量为  $7.40E+10Bq$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

## (4) 三层质检中心

在三楼建设质检中心，建筑面积约  $1494m^2$ 。质检中心分为放射性质检区和非放射性质检区。放射性质检区包括放射性样品收发室、缓冲/检测/去污区、防护用具间、放化实验室 1、放化实验室 2、放化实验室 3，放化实验室 4，天平室 1、天平室 2，液相室、液相仪器室、阳性对照室 1、微生物限度室 1、培养室 1、内毒素检查室 1、阴凉留样室 1、仪器室 1、仪器室 2、仪器室 3、仪器室 4、常温留样室 1、稳定性考察室 1、取样室 1、无菌检查室 1 以及一间备用间。

非放射性质检区包括非放样品收发室、无菌检查室 2、取样室 2、内毒素检查室 2、阴凉库、微生物鉴定室、阳性对照室 2、微生物限度室 2，微生物准备区、培养室 2、灭菌室、菌种库、暗室、滴定室、红外光谱室、仪器室 5、仪器室 6、阴凉留样室 2、常温留样室 2、水分室、原子吸收光谱室、理化实验室、清洁洗涤室、晾干室、天平室 3、天平室 4、稳定性考察室 2、高温室以及 1 间备用间。

另外配套建设更衣换鞋区、办公室生活设施、储存库、试剂库、暂存间、净化机房、强弱电井。

质检中心涉及使用和销售（仅外委送样或分析测试或实验）核素氟-18、铜-64、

镓-68, 钨-99m、铅-212、碘-131、铅-203、镭-177、铯-89、碳-14、钪-89、铯-161、钶-225、钷-47、镓-67、钇-90、钇-103、钷-111、钷-153、钷-166、铯-188、钷-201、钷-211、钷-223、钷-227、碘-123、碘-124、碘-125、钷-68、钷-99、铯-149、钷-44、铯-186, 磷-32, 单日最多操作使用8种核素, 其中氟-18、镓-68, 钨-99m、镭-177、钶-225、铯-161、铅-212为每日必检核素。质检中心日等效最大操作量为 $4.06E+11Bq$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### (5) 四层库房

在4楼建设放射性药品库房和非放射性物料库。放射性药品库房包括成品库1、成品库2、收发货区、容器清洁区和容器存储区。非放射性物料库包括非放货厅、退货库、综合物料库、综合包材库1、综合包材库2、低值易耗库、研发包材库、研发物料库、医疗器械库。另外配套建设制单间、洁具间、强弱电井等。

放射性药品库房涉及储存药品钪-89、钶-225、铅-212、碘-131、碘-125、钷-99 (钨-99m) 发生器、镭-177、铯-161、铯-89、钇-90、钷-68 (镓-68) 发生器、钷-188 (铯-188) 发生器、钷-228 (铅-212) 发生器。

库房日等效最大操作量为 $5.94E+09Bq$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### (6) 放射性药物及发生器代理销售

建设单位代理销售钷-99、钷-211、磷-32、钷-228 药物溶液, 代理销售铯-90 (钷-90) 敷贴源和钷-224 (铅-212), 由厂家直接发货给用户, 不在厂区暂存, 每年代理销售的核药总活度为 $1.85E+13Bq$ 。

#### 1.2.4 产业政策符合性

本项目属放射性药物研发及生产项目。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号《产业结构调整指导目录(2024年本)》, 本项目属鼓励类第六项“核能”第4条“核技术应用: 同位素、加速器及辐照应用技术开发, 辐射防护技术开发与监测设备制造”。同时, 本项目已在成都市双流区新经济和科技局备案, 备案号: 川投资备【2503-510122-07-02-712064】JXQB-0119号, 本项目建设符合国家现行产业政策。

#### 1.2.5 规划符合性分析

##### (1) 与《医用同位素中长期发展规划(2021-2035)》符合性分析

2021年5月, 国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局等8部委联合发布了《关于印发〈医用同位素中长期发展规划(2021-2035)〉的通知》(国原发[2021]2号), 将放射性

药物研发作为重点任务，指出“针对国外已应用于临床的放射性诊疗药物加强技术研发力度，获得一批具备自主知识产权的放射性新药。针对严重威胁人类健康的恶性肿瘤，开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发。加快新型介入给药技术和剂量控制技术研究，提升放射性药物效能。”“掌握碘-125、碘-131、无载体镱-177、碳-14、铯-89辐照及纯化等研制技术。”“结合临床需求，开展其他医用同位素规模化生产技术研究”。

本项目采用加速器辐照及分离制备放射性药物以及购买放射性同位素开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发，建成后将提高氟-18放射性药物的供应能力，增加铜-64、镱-68、镱-89、镱-177、铪-161、钷-225、铅-212、铅-203等医用同位素药物的生产，符合《医用同位素中长期发展规划（2021-2035）》。

### **(2) 与《四川省医用同位素及放射性药物产业发展行动计划（2022-2025年）》符合性分析**

2023年1月，中共四川省委军民融合发展委员会办公室、四川省经济和信息化厅、四川省科学技术厅、四川省生态环境厅、四川省交通运输厅、四川省卫生健康委员会、四川省医疗保障局、四川省药品监督管理局联合印发了《四川省医用同位素及放射性药物产业发展行动计划（2022-2025年）》，《行动计划》以建立稳定自主的医用同位素供应保障体系为根本依托，以放射性药物和高端诊疗设备研发生产为主攻方向，围绕加快同位素生产基础设施建设、加强科研创新能力建设、瞄准薄弱环节精准发力、推动三级综合医院核医学科全覆盖、持续完善产业发展政策等5个方面，明确19项具体“硬举措”。《行动计划》提出，鼓励中国同辐等龙头单位联合各类研发团队、重点药企共同打造贯穿“政产学研用”全流程的医用同位素和放射性药物产业联盟和创新联合体。同时，四川将推广核医学科建设，着力将四川省建成为国内核医学科建设的示范省。

本项目系医用同位素药物生产和销售项目，项目建成后将提高氟-18放射性药物的供应能力，增加铜-64、镱-68、镱-89、镱-177、铪-161、钷-225、铅-212、铅-203等医用同位素药物的生产，以及开展其他放射性同位素药物代理销售，实施后能够积极推进区域医用同位素药物及相关医疗健康产业链的发展，符合《四川省医用同位素及放射性药物产业发展行动计划（2022-2025年）》。

### **(3) 与《四川省核技术应用科技创新发展实施方案（2023-2025年）》符合性分析**

2023年12月，四川省科学技术厅、中共四川省委军民融合发展委员会办公室、四川省发展和改革委员会、四川省人力资源和社会保障厅、四川省生态环境厅、四川省农业农村厅、四川省卫生健康委员会、四川省药品监督管理局联合印发了《四川省核技术应用科技创新发展实施方案（2023-2025年）》，提出“开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发”。

本项目采用加速器辐照及分离制备放射性药物以及购买放射性同位素开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发。因此，本项目与《四川省核技术应用科技创新发展实施方案（2023-2025年）》相符。

#### **（4）与《放射性药品经营质量管理实施细则》（渝药监[2023]16号）符合性分析**

2023年3月，重庆市药品监督管理局、四川省药品监督管理局联合制定了《放射性药品经营质量管理实施细则》，《细则》结合放射性药品的特殊性，明确了放射性药品经营企业在质量管理体系与机构职责、人员与培训、质量管理体系文件、设施设备与校准验证、采购、收货与验收、储存与养护、出库销售与运输配送、售后管理方面的要求。

本项目建设单位将按照《细则》提出的相关要求进行执行，与《放射性药品经营质量管理实施细则》（渝药监[2023]16号）相符。

#### **（5）与《关于促进核医疗产业高质量发展的意见》（川府发〔2024〕13号）符合性分析**

2024年7月23日，四川省人民政府发布了《关于促进核医疗产业高质量发展的意见》（川府发〔2024〕13号）。为充分发挥四川核工业大省独特资源优势，大力发展自主可控的核医疗产业，加快补齐我国医用同位素、放射性药物、高端核医疗装备和核医学转化应用短板，全力打造世界级核医疗产业高地，提出了相关意见。

意见明确，到2027年，实现10种以上主要医用同位素国产化自主供应，5个以上放射性药物和高端核医疗装备完成或进入临床试验，形成医用同位素、放射性药物、核医疗装备的标准体系，以及完善的核医学临床转化及研学诊疗体系，建成国内领先的核医疗产业集群。到2030年，建成全球最大的医用同位素生产基地、全国最大的放射性药物和核医疗装备生产聚集地、全国最好的核医疗中心，形成世界级核医疗产业发展高地。

意见明确了多项重点任务，主要包括推动主要医用同位素稳定供应、加大放射性药物研发生产力度和建立完善核医疗临床应用体系等。具体涉及推动省内三级公立综

合医院核医学科建设，自2025年起在新的三级公立综合医院评审和复审中，将核医学科建设计划作为重要评价指标之一。深入实施“一县一科”核医学科推广计划，打造特色核医学科室。

本项目开展放射性药物生产研发，项目建成后，有利于加大放射性药物研发生产力度，鉴于放射性药物的时效性和供应范围限制，本项目将为西南地区提供有效的放射性药物供应保障，有助于积极推进区域“一县一科”核医学科推广计划。因此，项目建设符合《关于促进核医疗产业高质量发展的意见》（川府发〔2024〕13号）。

#### （6）与双流工业集中发展区第六期规划的符合性分析

本项目位于双流工业集中发展区第六期内，该发展区于2017年进行了环境影响评价，并取得了成都市生态环境局（原成都市环境保护局）《关于双流工业集中发展区第六期修编规划环境影响评价报告书审查意见的函》（成环建评〔2017〕277号）。

根据该规划环评报告书及其审查意见（成环建评〔2017〕277号）：

##### ①园区规划概况及准入要求

规划范围：规划区位于双流区黄甲镇南侧，北至红庙路，南至正公路，西至黄甲镇西侧边界及其西侧规划南北向20米道路，东至空港五路南延线。

规划年限：规划目标年2025年。

产业定位：以电子信息、航空装备制造、生物医药、新能源为主导产业。

用地布局规划：规划区规划用地总面积为776.53公顷，其中城市建设用地731.69公顷，以产业用地为主；非建设用地44.84公顷。园区工业用地总面积360.50公顷，规划区居住用地包括二类住宅用地等，总用地面积为46.09公顷。

园区环境负面清单详见下表。

表1.2.5-1 园区环境负面清单

主导产业定位	主导行业规划环评建议负面清单	其他行业负面清单
航空产业	电镀企业；	(1) 不符合国家产业政策和行业准入条件的项目； (2) 技术落后，项目清洁生产水平不能达到行业清洁生产标准二级标准要求或低于全国同类企业平均清洁生产水平的项目； (3) 不符合国家及省、市、县(区)重金属污染防治规划要求的项目； (4) 不符合国家(或地方)大气、水、土壤等污染防治要求的项目； (5) 与拟入园的园区生活空间冲突或经环保论证与周边企业、规划用地等环境不相容或存在重大环境风险隐患且无法消除的项目； (6) 石化、基础化工、大型有机化工项目； (7) 电镀企业； (8) 印刷电路板制造、显示器件制造项目； (9) 轮胎、橡胶制造企业；
新能源	多晶硅生产(采用多晶硅材料生产下游产品除外)，涉及燃料乙醇的项目，涉及氢能项	

目；	(10) 废塑料、废轮胎、废油等废弃资源再生利用项目； (11) 食品制造、农副食品加工项目； (12) 金属冶炼、水泥、石墨及碳素制品、焦化、纯碱、烧碱、工业炉窑、燃煤发电机组、进口废旧物资和工业废物焚烧处理等大气污染物排放量大，或者会产生有毒、有害及恶臭异味且与周边环境不相容的项目； (13) 制浆造纸、纺织染整、皮革鞣制、农药等水污染物排放量大、难处理，可能影响污水处理厂正常运行的项目； (14) 与规划环评不符的项目。
----	---

## ②与园区规划符合性分析

本项目属于放射性药物研发及生产项目，属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中鼓励类项目，符合医用同位素、放射性药物等核技术应用发展规划，在施工期和运营期将严格落实各项污染治理或防治措施，对周围环境影响较小，不属于双流工业集中发展区第六期环境负面清单项目，不属于规划环评中提出的规划优化调整建议事项。本项目在成都欣科现有厂区内预留空地建设，不新增占地，项目所在厂区已取得原成都市双流区规划建设局的《建设用地规划许可证》，用地性质属于工业用地，本项目与双流工业集中发展区第六期规划相符。

### 1.2.6 与“三线一单”符合性分析

根据原环境保护部环环评[2016]150号文《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》的要求，建设项目选址选线、规模、性质和工艺路线等应与“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”（以下简称“三线一单”）进行对照。《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（成府发[2021]8号）对落实“三线一单”，建立生态环境分区管控体系并监督实施提出了要求。

根据《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（成府发[2021]8号），全市共划定环境管控单元133个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元。

**优先保护单元：**指以生态环境保护为主的区域。主要包括生态保护红线和一般生态空间，由自然保护地、集中式饮用水水源保护区和其他保护地构成。全市划分优先保护单元35个，占全市国土面积的32%。依法禁止或限制开发建设活动，严守生态环境质量底线，确保生态环境功能不降低。

**重点管控单元：**指涉及大气、水、土壤、自然资源等资源环境要素重点管控的区域。主要包括城镇重点管控单元、工业重点管控单元和要素重点管控单元，由人口密

集的中心城区和产业功能区等组成。全市划分重点管控单元97个，占全市国土面积的67%。应不断提升资源利用效率，有针对性地加强污染物排放控制和环境风险防控，解决生态环境质量不达标等问题。

一般管控单元：指除优先保护单元和重点管控单元之外的其他区域，衔接区县行政边界形成管控单元。全市划定一般管控单元1个，占全市国土面积的1%。主要落实生态环境保护基本要求。

根据成府发[2021]8号、《长江经济带战略环境评价 四川省成都市“三线一单”生态环境分区管控优化完善研究报告》（2021年6月）及四川省“三线一单”数据分析系统，项目所在地共涉及5个管控单元，分别为双流区要素重点管控单元、府河-双流区-黄龙溪-控制单元、双流区高污染燃料禁燃区、双流区自然资源重点管控区、双流区大气环境布局敏感重点管控区。



图1.2.6-1 四川省“三线一单”符合性分析查询结果图

### ①生态保护红线

本项目位于工业重点管控单元，不属于优先保护单元，项目占地范围不涉及成都市生态保护红线，本项目与各管控单元的位置关系见图1.2.6-2、图1.2.6-3。

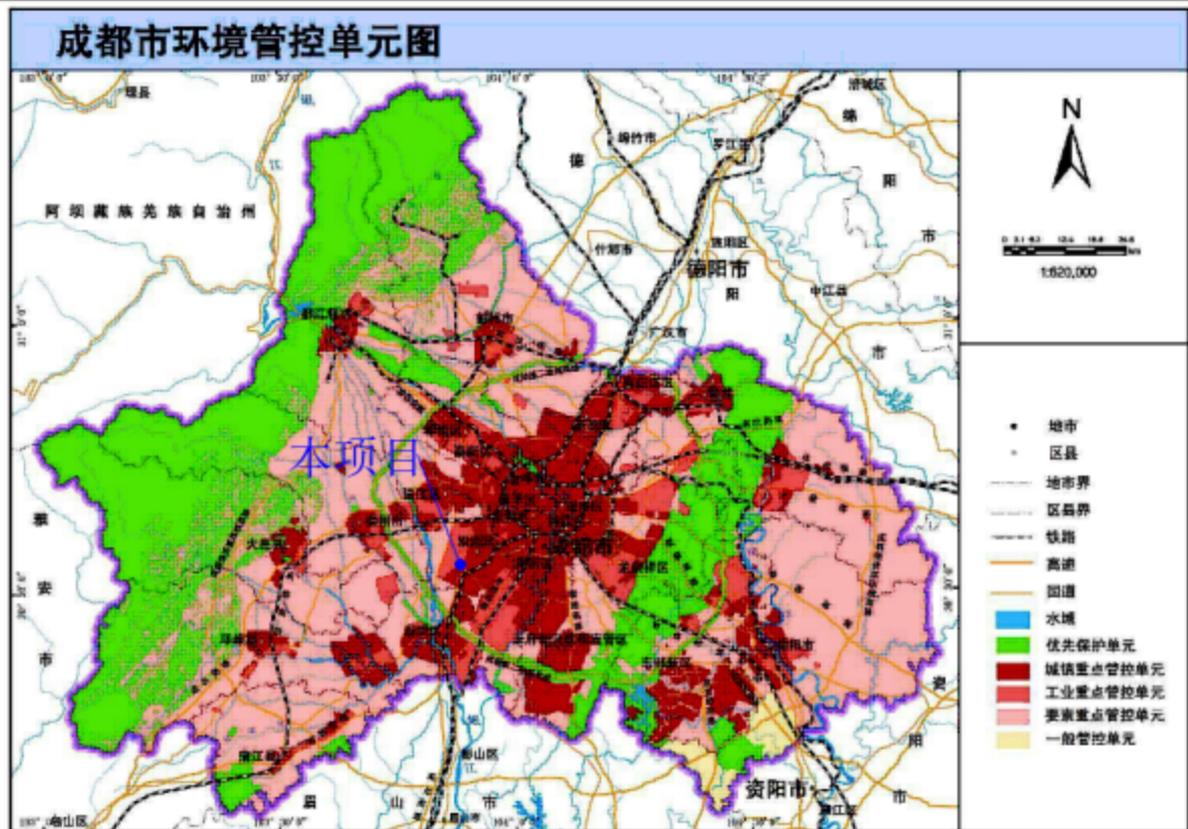


图1.2.6-2 本项目与各管控单元的位置关系图



图1.2.6-3 四川省“三线一单”数据分析系统导出结果

## ②环境质量底线

### A、水环境质量底线：

本项目所在地属水环境城镇生活污染重点管控区（府河-双流区-黄龙溪-控制单元），具体管控要求是：

①逐步推动城镇建成区企业向园区转移，现有企业废水应达标排放。②对工业废水进入市政污水收集设施情况进行排查，组织开展评估，经评估认定污染物不能被城镇污水处理厂有效处理或可能影响污水处理厂出水稳定达标的，应限期退出。③防范污水处理厂、加油站、其他物料堆存场所泄漏风险，建立健全防泄漏设施，完善应急体系等。

本项目位于园区内，项目产生的废水可以被城镇污水处理厂有效处理，不会影响污水处理厂出水的稳定达标，本项目对放射性固体废物暂存间采取防泄漏措施，本项目符合府河-双流区-黄龙溪-控制单元管控要求。

### B、大气环境质量底线：

本项目所在地属双流区大气环境布局敏感重点管控区和双流区高污染燃料禁燃区。本项目属放射性药物研发及生产项目，项目主要使用清洁能源-电，另使用1台0.7兆瓦的小型蒸汽发生器供暖，燃料为天然气；生产过程使用少量乙醇，不使用涂料、胶粘

剂和油墨等，不属于挥发性有机物重点行业；对生产过程中产生的少量废气采取措施治理后达标排放。本项目符合双流区大气环境布局敏感重点管控区和双流区高污染燃料禁燃区管控要求。

### ③资源利用上线

资源利用上限是各地区能源、水、土地等资源消耗不得突破的“天花板”。本项目所在地属双流区自然资源重点管控区。本项目耗水量很低，不属于高耗水企业；项目主要使用清洁能源-电，另使用1台0.7兆瓦的小型蒸汽发生器供暖，以天然气作为能源，不属于高污染燃料；项目能耗很低；项目在成都欣科厂区已征地范围内实施，不新增占地。本项目符合资源利用上线要求。

### ④生态环境准入清单

本项目位于双流工业集中发展区第六期内，根据《成都市生态环境准入清单》（2022年版），项目所在地属工业重点管控单元，其生态环境准入清单详见表1.2.6-1。

表1.2.6-1 项目与生态环境准入清单对照分析一览表

管控维度	清单要求	管控要求	项目情况	符合性
空间布局约束	禁止开发建设活动的要求	1、禁止引入多晶硅制造（采用多晶硅材料生产下游产品除外）项目； 2、禁止引入不符合国家行业准入条件的项目以及列入产业结构指导目录禁止类和市场准入负面清单的项目； 3、禁止在长江干流及主要支流岸线 1 公里范围内新建石油化工、煤化工、涉磷、造纸、印染、制革等项目，现有上述项目可进行节能环保等升级改造，但必须满足区域减排与环境质量改善要求； 4、禁止在长江干支流 1 公里范围内新建、扩建化工园区和化工项目； 5、禁止在合规园区外新建、扩建钢铁、石化、化工、焦化、建材、有色等高污染项目； 6、禁止生产高 VOCs 含量有机溶剂型涂料、油墨和胶黏剂的新、扩建项目； 7、禁止新建、扩建使用燃煤设施的工业项目； 8、禁止在本市规划已确定的通风廊道区域内新建、改建、扩建排放大气污染物的工业项目； 9、绕城高速公路（G4202）以内禁止新建、扩建混凝土（砂浆）、沥青搅拌站； 10、绕城高速公路（G4202）以内区域，禁止新建大型物流基地、物流集散中心或者商品批发市场。	本项目位于双流工业集中发展区第六期内，属放射性药物研发及生产项目，不属于禁止开发的建设活动。	符合
	限制开发建设活动的要求	1、严控列入产业结构指导目录限制类行业的项目； 2、控制水泥、平板玻璃、日用玻璃、涂料、铸造、砖瓦等行业产能； 3、严控列入国家产能过剩的项目，继续化解过剩产能，严禁钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃等行业新增产能，对确有必要新建的必须实施等量或减量置换。	本项目属于产业结构指导目录鼓励类项目，不属于限制开发的建设活动。	符合
	不符合空间布局要求活动的退出要求	1、现有属于禁止引入产业门类的企业，原则上限制发展，污染物排放只降不增，允许以提升安全、生态环境保护水平为目的的改建，引导企业结合产业升级等适时搬迁； 2、加快布局分散的企业向园区集中，鼓励现有工业项目、化工项目分别搬入工业集聚区、化工产业集聚区； 3、工业生产中可能产生恶臭气体但未按要求设置合理防护距离的排污单位，引导企业适时搬迁； 4、建立发现一起，整治一起长效机制，实现“散乱污”经营主体动态清零。	本项目位于双流工业集中发展区第六期内，不属于不符合空间布局要求的建设活动。	符合
污染物排放管控	现有源提标升级改造	1、污水收集处理率达 100%；排放标准根据流域及其水质现状等提出相应标准。岷江、沱江流域现有及扩建工业园区污水处理厂执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）； 2、加快推进钢铁、平板玻璃、水泥等重点行业超低排放改造；加快推进涉挥发性有机物重点行业深度治理； 3、推广低（无）VOCs 含量原辅材料；进一步提高木质家具制造、包装印刷、医药化工等行业低 VOCs 原辅材料替代率；	本项目污水收集处理率为 100%；本项目为同位素药物使用及生产企业，乙醇使用量小，不属于挥发性有机物重点行业；本项目主要使用清洁能源-电，另使用 1 台 0.7 兆瓦	符合

		4、全面推进在用锅炉提标改造，按期执行《成都市锅炉大气污染物排放标准》（DB51/2672-2020）要求。	的小型蒸汽发生器供暖，燃料为天然气。	
	新增源等量或倍量替代	参照《关于加强重点行业建设项目区域削减措施监督管理的通知》（环办环评[2020]36号）执行。	本项目不属于重点行业建设项目。	符合
	新增源排放标准限值	严格执行废气、废水、噪声、固体废物等国家、行业和地方污染物排放标准。	本项目废气、废水、噪声、固体废物等严格执行污染物排放标准。	符合
	污染物排放绩效水平准入要求	1、电子信息行业、汽车制造行业应分别参考执行成都市电子信息行业资源环境绩效指标、汽车制造行业资源环境绩效指标； 2、工业固体废弃物利用处置率达100%，危险废物处置率达100%； 3、推进老旧燃气锅炉和成型生物质锅炉低氮燃烧改造或改电工作； 4、推进低（无）VOCs含量源头替代。聚焦工业和服务业、溶剂使用源等VOCs重点来源，出台源头替代实施方案，重点推广水性、高固含量、无溶剂、低VOCs含量型的涂料、胶粘剂和油墨产品的生产。推进低VOCs含量、低反应活性等环境友好型原辅材料和产品的替代。	本项目放射性固废、危险废物、一般固废处置率均达100%；本项目不设锅炉；本项目为同位素药物使用及生产企业，生产过程使用少量乙醇，不使用涂料、胶粘剂和油墨等。	符合
环境 风险 防控	用地环境风险防控要求	1、涉及有毒有害、易燃易爆物质新建、改、扩建项目，严控准入要求； 2、严格涉重金属（铅、汞、镉、铬、砷）企业和园区环境准入管理，新（改、扩）建重点行业建设项目应遵循重金属污染物“减量置换”或“等量替代”的原则。	本项目符合园区规划及规划环评要求；本项目不属于涉重金属重点行业项目。	符合
	园区环境风险防控要求	1、园区风险防控体系要求：构建三级环境风险防控体系，强化危化品泄漏应急处置措施，确保风险可控； 2、针对化工园区建立有毒有害气体环境风险预警体系，建立区域、流域联动应急响应体系，实行联防联控。	本项目不涉及。	符合
	企业环境风险防控要求	1、化工、电镀等行业企业拆除生产设施设备、构筑物和污染治理设施，要事先制定残留污染物清理和安全处置方案，要严格按照有关规定实施安全处理处置，防范拆除活动污染土壤； 2、已污染地块，应当依法开展土壤污染状况调查、治理与修复，符合相关土壤环境质量要求后，方可进入用地程序； 3、重有色金属冶炼行业、金属表面处理及热处理加工行业、皮革及其制品制造业、化学原料及化学制品制造业、铅酸蓄电池制造行业等应满足重点重金属排放行业污染治理相关要求，重金属重点行业清洁生产总体上达到国内先进水平，重金属重点排污企业达标排放率达100%。	本项目不涉及。	符合
资源	水资源利	1、鼓励引导新建、改建、扩建工业园区按照有关要求统筹建设工业废水集中处理和回用设施，适时	本项目耗水量很低，不属	符合

利用效率	用效率要求	<p>推进企业间串联用水、分质用水、一水多用，实现水循环梯级优化利用和废水集中处理回用，创建节水型工业园区；</p> <p>2、鼓励火力发电、纺织、造纸、化工、食品和发酵等高耗水企业对废水进行深度处理回用，降低单位产品耗水量。火电、有色、造纸、印染等高耗水行业项目具备使用再生水条件但未有效利用的，要严格控制新增取水许可。</p>	于高耗水企业。	
	能源利用效率要求	<p>1、除威立雅三瓦窑热电（成都）有限公司外，禁止贮存、使用燃煤等高污染燃料；</p> <p>2、在禁燃区内，禁止销售、燃用高污染燃料，禁止新建、改建、扩建任何燃用高污染燃料的项目和设备，已建成使用高污染燃料的各类设备应当拆除或者改用管道天然气、页岩气、液化石油气电或者其他清洁能源；</p> <p>3、禁止新建、改建（已有锅炉配套治理设施升级改造除外）、扩建燃煤、生物质锅炉（含成型生物质锅炉）；</p> <p>4、工业企业单位工业增加值能耗对标国内先进水平及以上；工业园区污染能耗物耗水耗指标满足省级生态工业园区或更高要求等；</p> <p>5、电力、钢铁、纺织、造纸、石油石化、化工、食品发酵等高耗水行业达到先进定额标准。</p>	本项目主要使用清洁能源-电，使用1台0.7兆瓦的小型蒸汽发生器供暖，燃料为天然气；本项目能耗很低；本项目耗水量很低，不属于高耗水企业。	符合

综上所述，本项目建设符合四川省及成都市“三线一单”管控要求。

## 1.2.7 项目外环境关系

### 1.2.7.1 厂区周围外环境关系

本项目位于双流工业集中发展区第六期内，成都市双流区西航港开发区空港四路3081号。本项目评价范围内不涉及任何国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地和饮用水水源保护区等需要特殊保护的区域，因此，不涉及生态环境敏感目标及需要特殊保护的环境目标。

经现场踏勘调查，本项目评价范围内主要为园区内各企业，有少量长埂社区3组居民分布，具体企业和居民分布情况如下：

**北侧：**最近水平距离15m为成都惠融、惠友工程机械设备有限公司（约60人），162m为成都市涉案财物管理中心（约35人），457m为成都伊耐克新能源有限公司（约100人）；

**西北侧：**最近水平距离69m为楚北生产制造基地，282m为成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等（约90人），307m为四川金瑞气体有限公司（约55人），350m为四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司（约80人）、398m为成都科杰新能源有限责任公司（约30人）、433m为成都远东电气（约100人）；

**西侧：**最近水平距离68m为四川荣乐化妆品有限公司（约120人），318m为四川神工钨钢刀具有限公司（约315人）；

**西南侧：**最近水平距离70m为四川苏克流体控制设备股份有限公司（约160人），191m为四川国纳科技有限公司（约90人），197m为在建厂房，364m为成都实好电器有限公司（约50人），390m为成都新连通低温设备有限公司（约100人），414m为成都宏华太阳能技术开发有限公司（约20人）；466m为上海辽申幕墙工程有限公司（约25人）；

**南侧：**最近水平距离205m为成都迈斯拓新能源润滑材料股份有限公司（约40人）；

**东南侧：**最近水平距离110m为成都市消防救援支队重型机械工程救援大队、西南地区（成都）进口消防车辆装备维修中心（约50人）；

**东侧：**最近水平距离115m为成都青山利康药业股份有限公司（约200人）；

**东北侧：**最近水平距离277m为成都市丹炉高温科技有限责任公司（约15人），305为长埂社区3组居民（约40人），330m为双流公兴仓库（约4人），355m为四川奢悦门窗有限公司（约20人）。

本项目周围外环境关系见附图3。

### 1.2.7.2 厂区内环境关系

成都欣科厂区内现有建筑物包括1号楼（质检大楼）、3号楼（02车间）、4号楼（01车间）、6号楼（动力车间）和8号楼（门卫室）。其中1号楼（质检大楼）位于厂区西南侧，距2号楼最近18m，为地上5层建筑（目前3~5楼均为预留房间、无地下室），用于员工办公；4号楼位于厂区东南侧，为地上2层建筑（无地下室），一层主要包括1条氯化锶 $[^{89}\text{Sr}]$ 注射液生产线、1条即时标记药物生产线和质检中心，二层主要为研发质检中心和动物房，距2号楼最近128m；3号楼位于厂区东侧，为地上1层建筑（无地下室），主要包括2条相同的放射性药物生产线，均用于生产碘 $[^{131}\text{I}]$ 口服液和 $^{177}\text{LuCl}_3$ 原液以及一条碳-14胶囊申报线，距2号楼最近25m；6号楼（动力车间）位于厂区东南侧，动力车间布设配电室、柴油机房和放射性药品仓库。

### 1.2.8 原有项目环保手续履行情况

#### (1) 环保手续履行情况

目前，成都欣科已建辐射工作场所包括01车间（2层建筑）、02车间（1层建筑）和放射性药品仓库（1层建筑），其中01车间一层主要包括1条氯化锶 $[^{89}\text{Sr}]$ 注射液生产线、1条即时标记药物生产线和质检中心，为1个甲级非密封放射性物质工作场所；二层主要包括研发质检中心、动物房动物实验部分和动物房发生器工艺研究部分，为1个甲级非密封放射性物质工作场所。02车间的2条相同的放射性药物生产线，均用于生产碘 $[^{131}\text{I}]$ 口服液和 $^{177}\text{LuCl}_3$ 原液，分别为1个甲级非密封放射性物质工作场所；02车间的1条碳-14胶囊申报线为甲级非密封放射性物质工作场所。放射性药品仓库用于代理销售产品的暂存，为乙级非密封放射性工作场所。成都欣科目前01车间一层、02车间的2条生产碘 $[^{131}\text{I}]$ 口服液和 $^{177}\text{LuCl}_3$ 原液的生产线和放射性药品仓库，于2024年4月完成了环境影响评价——成都欣科医药有限公司核技术产业基地技改项目（一期）环境影响报告书，并取得四川省生态环境厅川环审批[2024]39号批复，于2024年10月29日重新申领了由生态环境部核发的《辐射安全许可证》（国环辐证【00542】），于2024年11月完成了竣工环境保护验收。01车间二层研发质检中心和动物房和02车间碳-14胶囊申报线于2024年12月完成了《欣科医药核技术产业基地动物房及碳-14胶囊申报线改建项目环境影响报告书》并取得四川省生态环境厅的川环审批[2025]21号批复，目前建设完毕，正在办理辐射安全许可证。

## (2) 企业目前持有的辐射安全许可证情况

2024年10月29日，成都欣科医药有限公司重新申领了由生态环境部核发的《辐射安全许可证》（国环辐证【00542】），许可的活动种类和范围包括生产、销售、使用非密封放射性物质，甲级、乙级非密封放射性物质工作场所。

## (3) 现有工程污染物产生及处理情况调查

成都欣科现有工程各污染物产生及处理情况详见下表。

表1.2.8-2 现有工程污染物产生及处理情况表

废物种类	产生场所		核素种类	产生量	处置措施及去向	排放量
放射性废气 Bq/a	01 车间 1层	氯化锶 [ <sup>89</sup> Sr]注射液 生产线	<sup>89</sup> Sr	8.88E+08	各生产线的屏蔽工作箱、 质检及研发实验用的屏蔽手套 箱、通风柜等设有局排系统， 局排收集的废气引至车间屋顶 经高浓度过滤装置（净化效率 99%）处理后由01-1#排气筒（高 17.4m）排放； 前述各涉放操作房间设有全 排，全排系统收集的废气引至 车间屋顶经低浓度过滤装置 （净化效率99%）处理后由 01-2#排气筒（高20.2m）排放。	8.88E+06
		质检中 心	<sup>131</sup> I、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga	1.38E+09		1.38E+07
	01 车间 2层	研发质 检中心 和动物 房（每 日最多 操作3 种核 素）和1 种发生 器	<sup>14</sup> C、 <sup>18</sup> F、 <sup>64</sup> Cu、 <sup>68</sup> Ga、 <sup>211</sup> At、 <sup>131</sup> I、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>47</sup> Sc、 <sup>67</sup> Ga、 <sup>67</sup> Cu、 <sup>89</sup> Zr、 <sup>90</sup> Y、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>103</sup> Pd、 <sup>111</sup> In、 <sup>153</sup> Sm、 <sup>161</sup> Tb、 <sup>166</sup> Ho、 <sup>188</sup> Re、 <sup>201</sup> Tl、 <sup>212</sup> Pb、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>225</sup> Ac、 <sup>227</sup> Th、 <sup>123</sup> I、 <sup>131</sup> I、 <sup>125</sup> I、 <sup>14</sup> C液体、 <sup>14</sup> C粉末	1.36E+08	动物房的屏蔽工作箱、质检及 研发实验用的屏蔽手套箱、通 风柜等箱体分别设有排风系 统，各涉放操作房间另行设置 排风系统。各套排风系统均采 用三级过滤处理措施，经处理 后分别由01-#1排气筒（排气筒 距地面高17.4m）排放、01-#2 排气筒（排气筒距地面高 20.2m）排放。	4.81E+07
	02 车间	放药生 产线1	<sup>131</sup> I	3.70E+11	各生产线的屏蔽工作箱设有 局排系统，涉放操作的房间均 设有全排系统。局排与全排系 统收集的废气分别经局排、全 排过滤装置（净化效率均为 99%）处理后汇入02-1#排气筒	3.70E+09
			<sup>177</sup> Lu	2.22E+09		2.22E+07
		放药生 产线2	<sup>131</sup> I	3.70E+11		3.70E+09

			$^{177}\text{Lu}$	2.22E+09		2.22E+07
		碳-14 胶囊申 报线	$^{14}\text{C}$	6.67E+06	共设置4套排风过滤系统,其中手套箱和干燥机单独设置排风系统均采用三级过滤装置(中效预过滤器(F8)+袋进袋出高效过滤器(H14)+袋进袋出高效过滤器(H14));各涉放操作房间另行设置排风过滤系统,过滤装置为一级过滤(袋进袋出高效过滤器(H14));统一汇合至02车间屋顶已有排气筒(高15m)排放。	6.67E+04
放射性 废水	01 车间、 02 车间 既有 场所	质检中心、研发质检中心、动物房、碳-14胶囊申报线	标记合成废液、含有核素的实验混合分析液、高效液相色谱仪检测废液。	138.4L/a 其中产生 长半衰期 ( $^{14}\text{C}$ ) 废液 0.35L/a	采用专用容器分类收集后转运至放射性污物暂存间暂存。涉及短半衰期核素的部分,在经过10个半衰期的暂存衰变后,监测达到清洁解控标准,经主管部门批准,作为危险废物交由具备相应资质的单位进行处理;含长半衰期核素的,定期委托有资质单位进行处理。应急废水通过去污间特排下水管道排入02车间北侧已建应急衰变池预留罐体内,达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。	0
放射性 固废 kg/a	01 车间	氯化锶 [ $^{89}\text{Sr}$ ]注 射液生 产线	$^{89}\text{Sr}$	40	按所含核素半衰期分类收集,送至01车间放射性污物暂存间1暂存间2暂存衰变。其中:含有短半衰期的,达清洁解控水平后,按普通固废处理;含长半衰期( $^{14}\text{C}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ )的,定期交由有资质单位处理;核素发生器返回生产厂家回收处理。	0
		锝 [ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ] 即时标 记药物 生产线	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	40		0
			$^{99}\text{Mo}$ ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )	7000		0
		质检中心	$^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 等	30		0

	研发质检中心	$^{14}\text{C}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{47}\text{Sc}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ 、 $^{67}\text{Cu}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{103}\text{Pd}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{166}\text{Ho}$ 、 $^{188}\text{Re}$ 、 $^{201}\text{Tl}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{227}\text{Th}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{14}\text{C}$ 液体、 $^{14}\text{C}$ 粉末	24.16	分类收集暂存（对于感染性废物首先经消毒处理后再暂存），含半衰期 $\leq 18\text{d}$ 核素的，达到清洁解控水平以后，交有资质单位处理；含半衰期 $> 18\text{d}$ 核素的，达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。 淋洗废液达到清洁解控水平以后，交有资质单位处理；废热柱达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。	0
		废发生器： $^{68}\text{Ge}$ ( $^{68}\text{Ga}$ )、 $^{99}\text{Mo}$ ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )、 $^{68}\text{Ge}$ ( $^{68}\text{Ga}$ )、 $^{90}\text{Sr}$ ( $^{90}\text{Y}$ )、 $^{99}\text{Mo}$ ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )、 $^{188}\text{W}$ ( $^{188}\text{Re}$ )、 $^{228}\text{Th}$ ( $^{212}\text{Pb}$ )、 $^{227}\text{Ac}$ ( $^{223}\text{Ra}$ )	2300	由发生器生产厂家回收	0
	动物房	钷-47、铜-64、镱-67、铜-67、镱-68、镉-89、钷-90、钨-99m、钷-103、铟-111、钷-153、钷-161、钷-166、镱-177、铈-188、钷-201、钷-211、铅-212、镭-223、钷-225、钷-227、氟-18、碘-123、碘-125、碘-131	2996.83	分类收集暂存，含半衰期 $\leq 18\text{d}$ 核素的，达到清洁解控水平以后，交有资质单位处理；含半衰期 $> 18\text{d}$ 核素的，达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。 分类收集，经消毒处理后，将动物尸体组织转移至放射性污物暂存间冰柜内暂存；含半衰期 $\leq 18\text{d}$ 核素的，达到清洁解控水平以后，交有资质单位处理；含半衰期 $> 18\text{d}$ 核素，达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。	0
02 车间	放药生产线 1	$^{131}\text{I}$	40	按所含核素半衰期分类收集，送至 02 车间放射性污物暂存间暂存衰变，达清洁解控水平后，按普通固废处理。	0
		$^{177}\text{Lu}$	40		0
	放药生产线 2	$^{131}\text{I}$	40		0
		$^{177}\text{Lu}$	40		0
碳-14 胶囊申报线	$^{14}\text{C}$	6.27	集中收集在碳-14 胶囊申报线北端的放射性污物暂存间贮存，达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。	0	

	废过滤芯	$^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 等	974	01 车间、02 车间各场所产生的废过滤芯就近存放在所在车间的放射性污物暂存间内，经暂存衰变达到清洁解控水平后，作为危废交有资质单位处理。	0
	回收的空铅罐（仅回收 $^{131}\text{I}$ 和 $^{177}\text{Lu}$ 药物）表面污染水平不达标时，去污擦拭废纸	$^{131}\text{I}$ 、 $^{177}\text{Lu}$	4	专用容器收集，在 02 车间放射性污物暂存间暂存衰变，达到清洁解控水平后，交当地环卫部门清运处理。	0
非放废气	研发质检中心酸雾、挥发性有机废气	/	产生量较少，可以忽略	/	/
	氨气	/	150.5g/a	氢氧化钙溶液吸收，吸收效率为 95%。	7.53g/h
非放废水	生产线洗瓶废水、冷药合成及试剂准备室洗手及应急冲洗眼睛废水	/	980L/a	经厂区预处理池（6m <sup>3</sup> ）处理后排入市政污水管网，进入四川溪水合公兴污泥处理厂处理达标后排放。	980L/a
	洁净服清洗废水	/	60m <sup>3</sup> /a		60m <sup>3</sup> /a
	纯水制备废水	/	50.64m <sup>3</sup> /a		50.64m <sup>3</sup> /a
	清洗灭菌室非涉放动物笼具等清洗废水	/	6.4m <sup>3</sup> /a		
	生活污水	/	1478.4m <sup>3</sup> /a		1478.4m <sup>3</sup> /a
非放固废	废包装材料、一次性劳保用品、一次性口罩和手套等	/	1024kg/a	分类收集，可回收的交由废品收购站处置，不可回收的交由环卫部门统一处理。	0
	沾染了酸碱及有机溶剂的空化学试剂瓶	/	425kg/a	交由有资质单位处置。	0
	废有机溶剂、废酸溶液、废培养基	/	350kg/a	交由有资质单位处置。	0
	生活垃圾及餐厨垃圾	/	10.8t/a	交由市政环卫部门统一处理。	0

#### (4) 原有辐射安全管理情况

建设单位原有辐射安全管理详细情况见“第六章 辐射安全管理”，辐射安全管理结论情况如下：

成都欣科已按国家及地方辐射安全管理要求成立辐射防护与安全管理小组，所有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护学习、并在考核合格后上岗，同时关键岗位已设立2名注册核安全工程师。编制了《成都欣科医药有限公司2024年度安全和防护状况

年度评估报告》并报给发证机关，根据评估报告，成都欣科现有非密封放射性物质工作场所的辐射安全防护设施、设备、监测仪器和防护用品均已到位，并运行正常；已按要求制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并根据要求张贴上墙；建设单位已设立“EHS部”建立辐射防护档案，并多次自行组织辐射防护知识的培训，培植公司核安全文化。2024年12月开展了辐射事故应急演练。

所有辐射工作人员均已配备个人剂量计，并按要求每季度送有资质单位进行个人剂量检测，根据统计结果，最近一年建设单位辐射工作人员全年个人剂量累计量为0.0035mSv~3.72mSv，未出现个人年有效剂量超标情况。

2024年建设单位按照制定的环境监测计划落实了自行监测，并已委托有资质单位开展了年度监测，根据年度监测结果，各监测因子均满足相关标准限值要求。2024年11月对“成都欣科医药有限公司核技术产业基地技改项目（一期）”进行了竣工环境保护验收监测，监测内容包括现有所有辐射工作场所及周围环境，根据验收监测结果，验收期间各监测因子均满足相关标准限值要求。

### 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日修订；
- (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日修订；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017年6月27日修订；
- (6) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2022年6月5日修订；
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订；

#### 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》（国务院令第449号）（2019年3月2日修改并实施《国务院关于修改部分行政法规的决定》，中华人民共和国国务院令第709号）；
- (2) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院第682号令，2017年10月1日起施行）；
- (3) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第612号）；

(4) 《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第562号）；

(5) 《危险化学品安全管理条例》（国务院令第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》（环境保护部第18号令）；

(2) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年，国家环境保护总局令第31号，2008年12月6日经环境保护部令第3号修改，2017年12月20日经环境保护部令第47号修改，2019年8月22日经生态环境部令第7号修改，2021年1月4日经生态环境部令第20号修改）；

(3) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》（生态环境部令第16号）；

(4) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号）；

(5) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部/国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号）；

(6) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环公告2017年第65号）；

(7) 《国家危险废物名录（2025版）》；

(8) 《环境保护部办公厅关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）；

(9) 《放射性物品运输安全许可管理办法（2019年修正本）》（生态环境部令第7号）；

(10) 《放射性物品运输安全监督管理办法》（环保部令第38号）；

(11) 《放射性物品道路运输管理规定（2016年修正版）》（交通运输部令2016年第71号）；

(12) 《危险货物道路运输安全管理条例》（交通运输部、工业和信息化部、公安部、生态环境部、应急管理部、国家市场监督管理总局令第29号）；

(13) 《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号）；

(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日施行）；

(15) 《生态环境部（国家核安全局）核技术利用项目监督检查技术程序》（2020年版）；

(16) 《关于印发<医用同位素中长期发展规划(2021-2035)>的通知》(国原发[2021]2号)。

#### 1.3.4 地方环境法规和政府规章文件

(1) 《四川省环境保护条例》(四川省第十二届人民代表大会常务委员会第三十六次会议通过)；

(2) 《四川省辐射污染防治条例》(四川省第十二届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过)；

(3) 《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〔2010〕49号)，2010年3月29日实施；

(4) 《四川省生态环境厅关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)>的通知》(川环函〔2016〕1400号)；

(5) 《四川省人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》(川府发[2020]9号)；

(6) 《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》(成府发[2021]8号)；

(7) 《四川省医用同位素及放射性药物产业发展行动计划(2022-2025年)》；

(8) 《四川省核技术应用科技创新发展实施方案(2023-2025年)》；

(9) 《放射性药品经营质量管理实施细则》(渝药监[2023]16号)；

(10) 《关于促进核医疗产业高质量发展的意见》(川府发〔2024〕13号)。

#### 1.3.5 技术规范和标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；

(2) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；

(4) 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)；

(5) 《放射性物质运输包装质量保证》(GB/T15219-2009)；

(6) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB27742-2011)；

(7) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；

(8) 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》(GB12711-91)；

(9) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》(GB11928-89)；

(10) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》(EJ380-1989)；

(11) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA5-2019)；

- (12) 《核技术利用放射性废物最小化》(HAD401/11-2020)；
- (13) 《核技术利用设施退役》(核安全导则HAD401/14-2021)；
- (14) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；
- (15) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ129-2016)；
- (16) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WST613-2018)；
- (17) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；
- (18) 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；
- (19) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；
- (20) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)；
- (21) 《声环境质量标准》(GB3096-2008)；
- (22) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)；
- (23) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996)；
- (24) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)；
- (25) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)；
- (26) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)；
- (27) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)；
- (28) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)；
- (29) 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；
- (30) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ2.3-2018)；
- (31) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)；
- (32) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021)；
- (33) 《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)；
- (34) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)；
- (35) 《环境影响评价技术导则 土壤环境(试行)》(HJ964-2018)；
- (36) 《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)。

#### 1.3.6 参考资料

- (1) 《2022年全国辐射环境质量报告》(中华人民共和国生态环境部)；
- (2) 《辐射防护手册(一分册、三分册)》(原子能出版社 潘志强编著)；
- (3) 《中子物理》(原子能出版社 刘圣康编著)；

- (4) 《原子核物理》(原子能出版社 卢希庭编著)；
- (5) 《辐射安全手册》(科学出版社 潘自强主编)；
- (6) 《放射性同位素手册》(科学出版社 马崇智等编著)；
- (7) 《辐射防护导论》(原子能出版社 李士骏主编)；
- (8) 《Health Physics and Radiological Health(FOURTH EDITION)》(Edited by Bernard Shleien,Pharm.D.)；
- (9) 《Federal Guidance Report No.15: External Exposure to Radionuclides in Air,Water and Soil》(EPA 402-R-19-002)；
- (10) 《EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER1100 RADIONUCLIDES》(David S. Smith and Michael G. stabin)；
- (11) 《RADIONUCLIDE AND TADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》(RADIATION PROTECTION DOSIMETRY Vol.98 No1,2002)；
- (12) 《GENERIC MODELS FOR USE IN ASSESSING THE IMPACT OFDISCHARGES OF RADIOACTIVE SUBSTANCES TO THE ENVIRONMENT》(IAEA Safety Reports Series No.19)。

## 1.4 评价标准

### 1.4.1 环境质量标准

项目所在区域大气环境功能分区为二类功能区,常规污染物常规污染物 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、TSP、CO、O<sub>3</sub>执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单二级标准;TVOC、HCl、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>参照执行《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)附录 D 要求。详见表 1.4.1-1。

表 1.4.1-1 大气环境质量标准

污染物	各项污染物的浓度 (μg/m <sup>3</sup> )			依据
	1小时平均	日平均	年平均	
SO <sub>2</sub>	500	150	60	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012)及修改单 二级标准
NO <sub>2</sub>	200	80	40	
PM <sub>10</sub>	/	150	70	
PM <sub>2.5</sub>	/	75	35	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	300	/	100	《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018) 表 D.1
TVOC	/	600(8小时平均)	/	
HCl	50	15	/	

## (2) 地表水

本项目废水最终排入锦江，根据《四川省地表水功能区划》锦江属于Ⅲ类水体，地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水体标准，主要指标限值见下表。

表1.4.1-2 地表水环境质量评价标准

指标	标准值	执行标准
pH（无量纲）	6~9	《地表水环境质量标准》 （GB3838-2002）Ⅲ类标准
高锰酸盐指数	≤6mg/L	
BOD <sub>5</sub>	≤4mg/L	
DO	≥5mg/L	
COD	≤20mg/L	
NH <sub>3</sub> -N	≤1.0mg/L	

## (3) 地下水质量标准

执行《地下水质量标准》（GB/T14848-2017），地下水总 $\alpha$ ≤0.1Bq/L，总 $\beta$ ≤1Bq/L。

## (4) 声环境质量标准

根据《成都市双流区人民政府关于印发<成都市双流区声环境功能区划分方案>的通知》（双府函〔2020〕153号），本项目建设地声功能区为3类声功能区（见图1.4.1-1），执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类标准，详见表1.4.1-3。



图1.4.1-1 项目所在位置声功能区划图

表1.4.1-3 声环境质量标准

适用区域	标准值 (Leq: dB (A))		执行标准
3类	昼间	夜间	《声环境质量标准》 (GB3096-2008)中的3类标准
	65	55	

## 1.4.2 污染物排放标准

## (1) 大气污染物

施工期扬尘执行《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)相关要求,具体标准值见下表。

表1.4.2-1 四川省施工场地扬尘排放标准

污染物		排放浓度	执行标准
施工期	TSP	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)表1中的成都市、其他工程阶段

## (2) 水污染物

本项目正常运行期间无放射性废水排放,非放射性废水通过市政污水管网排入四川溪水合公兴污泥处理厂处理达标后排放,执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准,具体标准值见下表。

表1.4.2-3 污水综合排放标准

类别	污染物	最高允许排放浓度	执行标准
第二类污染物 (排污单位排放口)	pH	6~9(无量纲)	《污水综合排放标准》 (GB8978-1996)表4中第二类污染物最高允许排放浓度中三级标准
	COD	500mg/L	
	BOD <sub>5</sub>	300mg/L	
	悬浮物	400mg/L	
	总磷	8.0	

注:①排污单位排放口指:预处理池排放口。

## (3) 噪声

项目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),运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的3类标准,具体标准值见下表。

表1.4.2-4 噪声排放标准

阶段	噪声限值 (Leq: dB (A))		执行标准
施工期	昼间	夜间	《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB12523-2011)
	70	55	
运营期	65	55	《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB12348-2008)3类标准

## (4) 固体废物

一般工业固体废物执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)。

### 1.4.3 电离辐射相关标准

#### 1.4.3.1 个人剂量控制

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中的相关标准：

(1) 职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录B剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续5年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定职业照射年有效剂量管理限值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)职业照射剂量限值20mSv的四分之一执行，即5mSv/a。

(2) 公众照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录B剂量限值：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定厂区周围公众照射年有效剂量管理限值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)公众照射剂量限值的十分之一执行，即0.1mSv/a。

#### 1.4.3.2 剂量率水平控制限值

参照《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020)、《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA-2019)中关于工作场所屏蔽要求，本次评价以从严为原则，确定辐射剂量率控制目标值如下：

(1) 放射性药物生产工作箱、手套箱、通风橱正对人员操作位表面30cm处辐射剂量率应小于2.5 $\mu$ Sv/h，非正对人员操作位表面30cm处的辐射剂量率应小于25 $\mu$ Sv/h；

(2) 非密封放射性物质辐射工作场所墙体外表面30cm处的辐射剂量率应小于2.5 $\mu$ Sv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10 $\mu$ Sv/h；

(3) 放射性废物收集容器外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5 $\mu$ Sv/h。

#### 1.4.3.3 放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定，工作人员的衣服、体表及工作场所的设备、工具、地面等放射性表面污染控制水平见下表。

表1.4.3-1 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		$\alpha$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )		$\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 (该区内的高污染子区除外)	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	4×10 <sup>-1</sup>	4×10 <sup>-1</sup>	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-1</sup>

#### 1.4.3.4 放射性废水

总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 属于第一类污染物，根据《污水综合排放标准》(GB8978-1996)规定，车间处理设施(本项目衰变池)排放口最高允许排放浓度总 $\alpha$ 为1Bq/L、总 $\beta$ 为10Bq/L。

#### 1.4.3.5 放射性固体废物清洁解控水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表1.4.3-1所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。同时参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，本项目放射性固体废物申请解控应满足下列要求：

①所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天、所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍、含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天；②经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平；③ $\alpha$ 表面沾污小于0.08Bq/cm<sup>2</sup>， $\beta$ 表面污染小于0.8Bq/cm<sup>2</sup>。

不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于4Bq/cm<sup>2</sup>、其他 $\alpha$ 发射体应小于0.4Bq/cm<sup>2</sup>。

## 1.5 评价范围和保护目标

### 1.5.1 评价等级

#### 1.5.1.1 大气环境评价等级

本项目运营期大气污染物包含放射性大气污染物和非放射性大气污染物。

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格

式》(HJ10.1-2016),放射性废气主要评价其所致项目周围关注点人员所受最大年有效剂量是否满足确定的剂量管理限值。

根据污染源项分析,本项目产生的非放射性大气污染物主要为臭氧、冷药合成及试剂准备废气:酸雾、TVOC,产生量和排放量均较小,其影响程度和影响范围有限,根据《环境影响评价技术导则-大气环境》(HJ2.2-2018),本项目的大气环境影响评价工作等级定为三级,只调查项目所在区域环境质量达标情况,不进行进一步预测与评价。

#### 1.5.1.2 地表水环境评价等级

本项目产生的废水主要为工作人员产生的生活污水和少量清洗废水,水质复杂程度为简单。本项目废水经厂区预处理池处理后排入园区污水管网,接入四川溪水合公兴污泥处理厂进行处理,处理达标后排入锦江。项目废水排放形式为间接排放,根据《环境影响评价技术导则-地表水环境》(HJ2.3-2018)评价工作等级划分原则与方法,本项目的地表水环境影响评价工作等级定为三级B。

#### 1.5.1.3 声环境评价等级

本项目位于工业区域内,属于3类声环境功能区,运营期主要噪声源为空压机、净化空调和排风机等,项目建设前后评价范围内敏感目标噪声及增高量在3dB(A)以下,且受影响的人口数量变化不大,根据《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021),评级等级确定为三级。

#### 1.5.1.4 地下水环境评价等级

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021版)》(生态环境部令第16号),本项目属于“171核技术利用建设项目”,对照《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)附录A,未提及本项目所属行业,评价参考附录A中“M医药”中“单纯药品分装、复配”行业分类,属于IV类建设项目,本项目位于工业园区内,项目用水来源于市政管网,项目所在区域无集中式饮用水源地、特殊地下水资源保护区以及分散式居民饮用水水源等环境敏感区,地下水敏感程度为不敏感,本项目不需要开展地下水环境影响评价。

#### 1.5.1.5 土壤环境评价等级

本项目属于核与辐射类建设项目,不适用于《环境影响评价技术导则-土壤环境》(HJ964-2018)。由于本项目产生的各类污染物排放量很小,并且采用了严格的分区防渗措施,所以本项目对土壤环境的影响很小,本项目所处区域土壤环境不敏感,参考《环境影响评价技术导则-土壤环境》(HJ964-2018)评价等级的判定,本项目可不

开展土壤环境影响评价工作。

### 1.5.2 评价范围

#### (1) 电离辐射环境影响评价范围

本项目涉及甲级非密封放射性物质工作场所位于01车间和02车间，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》(HJ10.1-2016)，确定本项目电离辐射环境影响评价范围为01车间二层和02车间非密封放射性物质工作场所实体边界外500m以内的区域。

#### (2) 非放环境影响评价范围

大气环境：本项目大气评价等级为三级，因此不设置大气环境影响评价范围。

地表水环境：本项目地表水环境影响评价等级为三级B，主要评价内容包括（1）满足其依托污水处理设施环境可行性分析的要求；（2）涉及地表水环境风险的，应覆盖环境风险影响范围所及的水环境保护目标水域。

声环境：本项目声环境评价等级为三级，评价范围为项目厂界周边200m范围。

### 1.5.3 环境保护目标

本项目位于双流工业集中发展区第六期内，成都市双流区西航港开发区空港四路3081号。本项目评价范围内不涉及任何国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地和饮用水水源保护区等需要特殊保护的区域，因此，不涉及生态环境敏感目标及需要特殊保护的环境目标。

经现场踏勘调查，本项目评价范围内主要为园区内各企业，有少量长埂社区3组居民分布，具体企业和居民分布情况见下表。

表1.5.3-1 本项目环境保护目标一览表

编号	保护目标名称	方位	与辐射源最近距离(m)	人数(人)	备注
厂区外	1 成都惠融、惠友工程机械设备有限公司	北侧	15	约 60	公众
	2 成都青山利康药业股份有限公司	东侧	115	约 200	公众
	3 成都市消防救援支队重型机械工程救援大队、西南地区(成都)进口消防车辆装备维修中心	东南侧	110	约 50	公众
	4 成都迈斯拓新能源润滑材料股份有限公司	南侧	205	约 40	公众
	5 四川苏克流体控制设备股份有限公司	西南侧	70	约 160	公众
	6 在建厂房	西南侧	197	/	公众
	7 成都实好电器有限公司	西南侧	364	约 50	公众
	8 成都宏华太阳能技术开发有限公司	西南侧	414	约 20	公众
	9 四川国纳科技有限公司	西南侧	191	约 90	公众

	10	成都新连通低温设备有限公司	西南侧	390	约 100	公众
	11	四川神工钨钢刀具有限公司	西侧	318	约 315	公众
	12	四川荣乐化妆品有限公司	西侧	68	约 120	公众
	13	楚北生产制造基地	西北侧	69	/	公众
	14	四川金瑞气体有限公司	西北侧	307	约 55	公众
	15	成都市涉案财物管理中心	北侧	181	约 35	公众
	16	成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等	西北侧	282	约 90	公众
	17	四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	西北侧	350	约 80	公众
	18	成都远东电气	西北侧	433	约 100	公众
	19	成都科杰新能源有限责任公司	西北侧	398	约 30	公众
	20	成都伊耐克新能源有限公司	北侧	457	约 100	公众
	21	长埂社区 3 组居民	东北侧	305	约 40	公众
	22	双流公兴仓库	东北侧	330	约 4	公众
	23	四川喜悦门窗有限公司	东北侧	355	约 20	公众
	24	成都市丹炉高温科技有限责任公司	东北侧	277	约 15	公众
	25	上海辽申幕墙工程有限公司	西南侧	466	约 25	公众
厂区内	26	质检大楼工作人员	/	18	39	公众
	27	#3 号楼（标记药物车间）	东南侧	13	12	职业
	28	#4 号楼（即时标记药物车间）	东南侧	65	24	职业

## 1.6 评价工作程序

本项目评价工作程序见图 1.6-1。

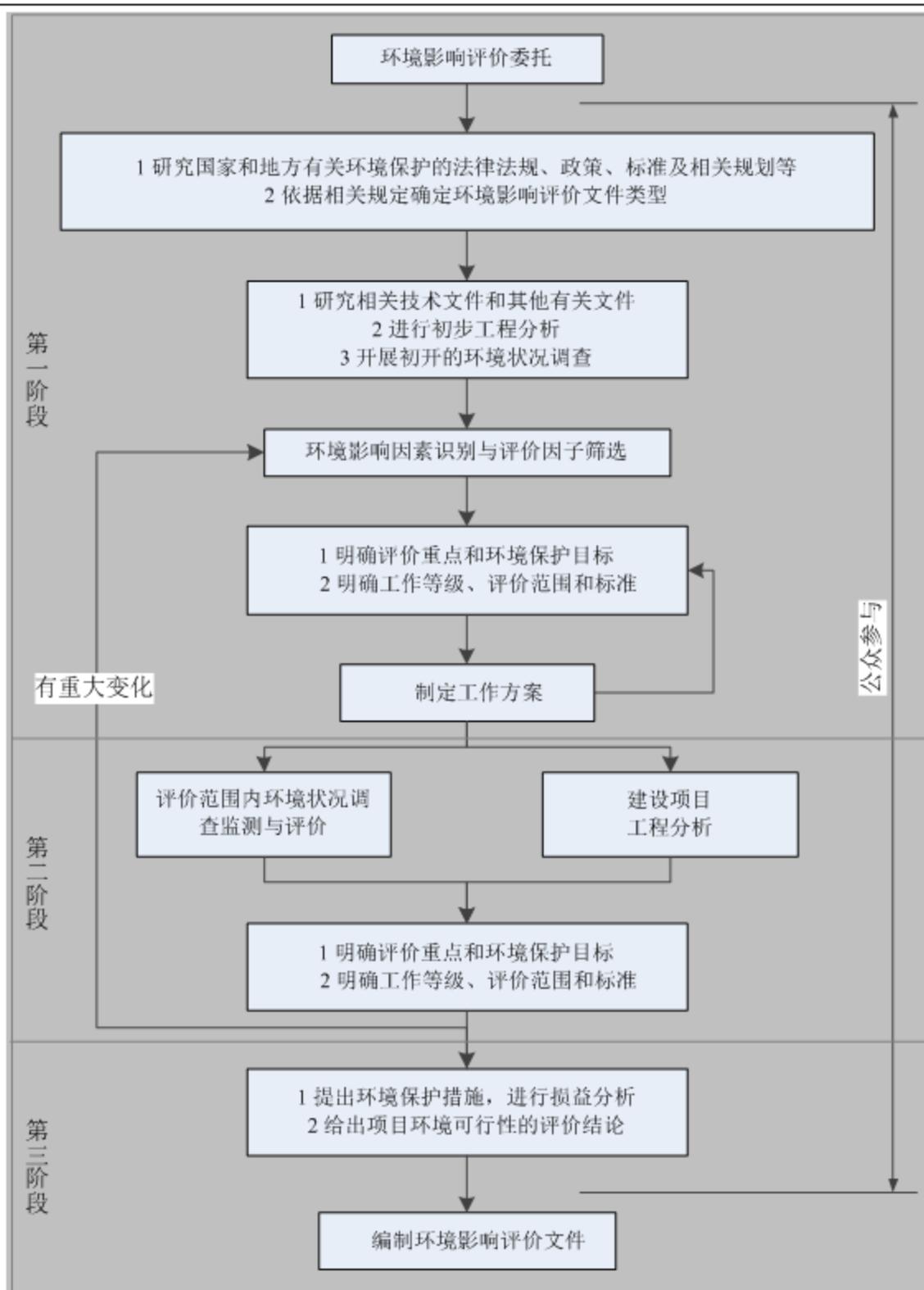


图1.6-1 环境影响评价工作程序流程图

## 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

成都市双流区位于四川省中西部，成都平原东南缘，成都市西南近郊。地跨东经 $103^{\circ}47'51''\sim 104^{\circ}15'33''$ ，北纬 $30^{\circ}13'32''\sim 30^{\circ}40'12''$ 。境域东连龙泉驿区和简阳市，南接仁寿县、彭山区，西邻新津县、崇州市，北靠温江区、青羊区、武侯区和高新区。

双流地处成都市腹地，呈扇形环绕中心城区西——西南——南面分布，为成都西南的门户区。双流区政府驻东升街道，距成都市主城区10km。

西南航空港开发区位于成都南部，东至成都高新区，南至成都五环线，南至成都五环线(规划的第二绕城高速)，西临双流国际机场，北靠成都武侯区，规划面积 $68\text{km}^2$ 。

本项目位于四川成都市双流区西南航空港经济开发区工业集中区，属于双流工业集中发展区第六期(西南航空港组团)，项目地理位置见附图1。

#### 2.1.2 地形、地貌

双流区地形地貌多样，境内分布有坝区、丘区和绵延起伏的浅丘台地。双流区境内海拔 $423\sim 988.1\text{m}$ ，主要有龙泉山、牧马山两大山脉。龙泉山源起德阳市罗江区瓦店乡青龙羌峡，是东北向西南走向的狭长褶皱构造低山，长 $210\text{km}$ ，宽 $10\sim 18\text{km}$ 。龙泉山从龙泉驿区柏合街道入境内，经太平、永兴、籍田等街道入仁寿县。牧马山源起东升街道，山脉经东升、西航港、黄甲、黄水、怡兴、永安、黄龙溪等镇(街道)，绵延入新津区至彭山市双河口止，长 $35\text{km}$ ，宽 $11\text{km}$ ，山脉走向由西北至东南，山势平缓微倾。

#### 2.1.3 地震

项目所在地地势平坦属于平原地区，地质条件稳定，未发现不良地质现象。根据《GB18306-2001第1号修改单》及成都市防震减灾局的《汶川8.0级地震成都市灾后重建地震评价规划用图》，项目所在区域的地震动峰值加速度为 $0.1\text{g}$ ，地震动反应谱特征周期为 $0.45\text{s}$ (地震基本烈度Ⅶ度)。各项建设活动必须满足《城市抗震防灾规划标准》(GB50413-2007)的相关要求，所有建设项目应根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2004)确定抗震设防要求。建筑物的设计要按照新颁布的《建筑抗震设计规范》(GB5011-2001)执行。项目抗震设防标准参照以上标准执行。

## 2.1.4 水文概况

### 2.1.4.1 地表水

双流区境内河流属岷江水系，多集中分布于平原地区，流向近于由北东向南西，主要河流有金马河、锦江、江安河、杨柳河、白河和鹿溪河，河流总长117.65km。

锦江发源于石堤堰分水枢纽锦江闸，其水源来自都江堰柏条河及走马河分支徐堰河。柏条河及徐堰河相汇后流经郫县团结镇石堤村，经石堤堰枢纽分为二支：北支为毗河，流入金堂赵镇后汇入沱江；南至为锦江，流入彭山县井口镇注入岷江。锦江流经郫县团结镇、安靖镇，进入成都市区，绕城北至城东，出九眼桥，经望江楼、成昆铁路大桥、三瓦窑、永安大桥、五岔子大桥后，进入双流县境，流经双流县中和(现属高新区)、华阳、正兴、永安、黄龙溪进入彭山县顺河、双江等乡镇，于江口镇注入岷江。锦江干流全长115km，其中郫都区段23km，成都市区段29km，双流县段49km，彭山县段14km。锦江河道平均纵坡1.4%，双流段平均坡降0.9%，全流域面积2090km<sup>2</sup>。

本项目外排废水最终进入成都市双流区四川溪水合公兴污泥污水处理厂处理达标后排放至锦江的府河段，锦江府河段平均比降1%。该河段流长49km，集雨面积969km<sup>2</sup>，河床宽99m~265m，平均比降0.88%，多年平均流量82m<sup>3</sup>/s。项目评价范围内也无集中饮用水源地、特殊地下水资源保护区及分散式居民饮用水水源等环境敏感区。

### 2.1.4.2 地下水

双流地下水资源丰富，地下水资源主要集中于广大平原区；而丘陵、山区地下水资源缺乏。区域地下水年开采资源总量约为3.7亿m<sup>3</sup>，其中平原地区约为3.4亿m<sup>3</sup>，占90.85%，牧马山台地与丘陵低山地区地下水年开采量约为0.16亿m<sup>3</sup>和0.18亿m<sup>3</sup>，分别占全县地下水年开采总量的4.4%和4.75%。

## 2.1.5 气候、气象

项目所在片区域属四川盆地亚热带湿润季风气候区，气候温和，雨水充沛，四季分明，无霜期长，春早秋凉，夏无酷暑，冬无严寒。但夏季降雨集中，易洪涝；秋温速降，多绵雨；冬无严寒，云雾多。

2022年，双流区气温偏高，降水偏少，日照偏多。年平均气温18.2℃，年总降水量807.2毫米。

## 2.1.6 土壤

双流区主要土壤类型有水稻土、冲积土、黄壤土、紫色土，共4种，冲积性水稻土、紫色性水稻土、黄壤性水稻土、潮土、紫色土、黄壤土6个亚类，21个土属，44个土种。其中以水稻土为主，占总耕地面积的78.62%，分布于全区各乡镇，pH值在5.5~8.5的

变幅内，大于8.5的微咸性土壤仅占1.89%，基本适宜水稻、小麦、油菜等作物的生长要求。

### 2.1.7 动植物资源

由于地形、地貌、土壤等差异，境内平原、台地与丘陵山区分布有不同的森林植被和植物群落，植被具有多样性特点。

平原区以农业植被为主，主要是油菜和水稻；村落周围、河渠道路两旁，以慈竹群落为主的川西平原林盘星罗棋布；龙泉山低山区主要分布以柏树、青冈等为主的针阔混交林和成片种植的经济林木；浅丘、台地以人工次生林为主，多为纯林，主要类型为马尾松、湿地松等松林。

经调查，本项目所在区域为工业区，人类活动较频繁，区域内植被多以景观植被为主。评价区域内无重点保护的珍稀、濒危动植物及古、珍树木。

## 2.2 社会经济状况

### 2.2.1 双流区社会经济状况

双流区政府驻东升街道，距成都市主城区10km。2023年，双流区实际管辖区面积466km<sup>2</sup>；实际管辖5个街道、4个镇，有社区105个、行政村13个；户籍人口73万，常住人口150余万。

双流区位于成都市西南核心区域，是国家级天府新区、临空经济示范区和自由贸易试验区的重要承载地，2023年实现地区生产总值1197.5亿元，位列“赛迪百强区榜单”第26位，连续4年获评“中国最具幸福感城区”。

### 2.2.2 双流工业集中发展区概况

西南航空港经济开发区地处成都市中心城的西南边缘、双流区北部片区，紧邻全国四大航空港之一的成都双流国际机场，它是1992年经省人民政府批准的省级重点开发区，是成都市发展战略规划中南部副中心的重要组成部分，担负着产业载体的重要功能，是城市化、工业化的承载基础，是西部唯一集航空、铁路、公路、航运为一体的开发区。它东至成都高新区，南至成都五环线，西临双流国际机场，北靠成都武侯区。规划面积60km<sup>2</sup>（其中科教新城规划面积32km<sup>2</sup>，工业集中区规划面积28km<sup>2</sup>），建成面积21.36km<sup>2</sup>。

经过十余年的开发建设，开发区累计投入基础设施建设资金5.5亿元，初步完善了交通、通讯、能源、宽带网络和市政设施系统，建立起文、卫、科、教和餐饮娱乐、运动休闲等社会支撑体系。截至目前，西航港工业集中发展区共引进各类项目162个，

协议资金265亿元，其中，投资30亿元以上的项目3个，5亿元以上项目11个，亿元以上的项目50个。已形成了制药、光电、机械、绿色食品、教育科研五大支柱产业：以四川大学、西南民族学院、成都信息工程学院、中科院光电技术研究所、西南技术物理研究所、西南化工研究院、核工业部西南物理研究院等为龙头的教育、科研产业基地；以德国拜耳动物保健、华神科技制药、四川太极制药、康弘制药、广松制药等为龙头的医药产业；以天威新能源公司、四川阿波罗太阳能、东方光盘、希望变频、长江通信、科维电子、海力电子仪表等为龙头的光电产业；以KTM球阀、阿尔法麦克斯驱动装置、西梅卡气体分离、四川客车厂、珠峰摩托等为龙头的机械产业；以西航食品、川航汉莎食品、嘉里粮油为龙头的绿色食品加工产业。开发区将继续抢抓成都南部新城建设机遇，大手笔、大气魄规划实施60平方公里，依托双流国际机场和四川大学、中科院光电所、成都高技术产业基地、开发区现有产业等优势，以引进重大产业化项目为命脉，以突出优化投资创业环境、构建技术创新体系为重点，以专业园建设为载体，有效聚集电子电器、生物制药、新材料等高新产业，着力打造“一区两城”（“一区”即通过几年时间努力把开发区建设成为“西部一流，全国知名”的开发区，“两城”即32平方公里的科研教育城和28平方公里现代工业城），把开发区建设成为双流乃至成都经济社会发展的重要产业平台。

### 2.2.3 四川溪水合公兴污泥处理厂概况

四川溪水合公兴污泥处理厂位于天府新区正兴镇回龙村，府河西岸毛家湾，四川溪水合公兴污泥处理厂处理规模为10万m<sup>3</sup>/d，污水处理厂采用较为先进的污水处理工艺：预处理+AAOA生化处理+MBR膜生物反应器高效过滤+紫外线消毒，出水指标为《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级A标。

## 2.3 环境质量现状

### 2.3.1 非放环境质量现状

#### 2.3.1.1 环境空气质量现状

##### （1）区域达标判定

##### ①监测结果判定

本项目所在地行政区划属于成都市双流区，根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018），项目所在区域达标情况判定优先采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论。故本次评价引用成都市生态环境局发布的《2023年成都市环境空气质量状况》中环境空气质量数据及结论。

根据《2023年成都市环境空气质量状况》，2023年，成都市城区环境空气质量90天优，195天良，60天轻度污染，19天中度污染、1天重度污染，达标天数比例78.1%。主要污染物二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）、可吸入颗粒物（PM<sub>10</sub>）、细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）浓度分别为3微克/立方米、28微克/立方米、60微克/立方米、39微克/立方米；一氧化碳（CO）日均值第95百分位数为1.0毫克/立方米，臭氧（O<sub>3</sub>）日最大8小时平均浓度值第90百分位数为168微克/立方米。

表2.3-1 成都市2023年环境空气质量状况数据

地点	监测因子	浓度	标准值	Pi 值	备注	
成都市	SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	年均值	3	60	0.05	达标
	NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	年均值	28	40	0.70	达标
	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	年均值	60	70	0.86	达标
	CO (mg/m <sup>3</sup> )	日均值第 95 百分浓度值	1.0	4	0.25	达标
	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	年均值	39	35	1.11	不达标
	O <sub>3</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	8h 均值第 90 百分位浓度值	168	160	1.05	不达标

根据《2023年成都市环境空气质量状况》结论：2023年，成都市污染物SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub>浓度均达标，O<sub>3</sub>、PM<sub>2.5</sub>浓度不达标。本项目地处成都市，属于不达标区。

## ②空气质量达标规划

根据2018年9月成都市人民政府发布的《成都市空气质量达标规划（2018-2027年）》（成府函〔2018〕120号），主要内容如下：

**规划范围：**成都市行政区域，辖区总面积14334km<sup>2</sup>，含成都市传统五城区、六郊区、成都高新区和天府新区成都直管区和五个县级市及四个县。

**规划年限：**2018~2020年、2021~2027年两个阶段。

**总体战略：**以未达标、健康危害大的PM<sub>2.5</sub>为重点控制因子，协同控制臭氧污染，实施空气质量全面达标战略。一是通过升级产业结构、优化空间布局、调整能源结构、推行清洁生产、引导绿色生活，加强大气污染源头控制；二是以工业源、移动源、扬尘源等为重点控制对象，推进多污染源综合防治；三是针对SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、VOCs等大气污染物，开展多污染物协同控制，推进大气氨的排放控制。

**主要措施：**①优化城市空间布局与产业结构；②提高清洁能源利用比重；③深化工业源大气污染防治；④推进重点行业VOCs污染防治；⑤强化移动源污染治理；⑥加强扬尘污染整治；⑦全面推进其他面源污染治理；⑧加强重污染天气应对；⑨强化区域大气污染联防联控机制；⑩加强环保能力建设等措施。

**达标期限与分阶段目标：**到2020年，环境空气质量明显改善，PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降到49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，O<sub>3</sub>浓度升高趋势基本得到遏制。到2027年，全市环境空气质量全面改善，主要大气污染物浓度稳定达到国家环境空气质量二级标准，全面消除重污染天气。

表2.3-2 成都市空气质量改善指标表

年份	PM <sub>2.5</sub> 年均浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> 年均浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> 年均浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	优良天数比例 (%)
2017	56	88	53	64.4
2020	49	80	49	70
2022	44	75	47	74
2027	35	6	40	85

### 2.3.1.2 地表水环境质量现状

根据园区污水规划，本项目废水进入四川溪水合公兴污泥处理厂处理达标后排入锦江，锦江属于III类水域。

根据《环境影响评价技术导则地表水环境》（HJ2.3-2018）水环境质量现状调查相关要求，应优先采用国务院生态环境保护主管部门统一发布的水环境状况信息。故本次评价引用成都市生态环境局发布的《2023年成都市地表水环境质量状况》中地表水数据及结论。

根据《2023年成都市地表水环境质量状况》结论，成都市岷、沱江水系成都段共设置市控及以上地表水监测断面114个，2023年监测结果表明，岷、沱江水系成都段地表水水质总体呈优，I~III类水质断面114个，占100.0%（I类水质断面4个，占比3.6%；II类水质断面90个，占比78.9%；III类水质断面20个，占比17.5%）；无IV~V类和劣V类水质断面。

本项目最终受纳水体为锦江，属于岷江水系，岷江水系成都段水质总体呈优，满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水域标准要求。

### 2.3.1.3 声环境质量现状评价

本次环评对项目厂界周围声环境质量现状评价引用《成都欣科医药有限公司核技术产业基地技改项目（一期）竣工环境保护验收监测报告》中现场监测结果。监测时间为2024年11月7日~8日，该声环境监测结果能较好的反映厂界周围声环境质量现状。监测内容如下：

(1) 监测项目

昼、夜等效连续A声级

(2) 监测布点

在已建厂址四周各布设1个监测点位，共计4个点位。

(3) 监测时段

监测两天，昼夜各监测一次。

(4) 监测结果与分析

项目厂界周围噪声监测结果如下表所示。

表2.3-6 厂界四周噪声监测结果表 单位：dB (A)

序号	测点名称	监测日期	监测时段	监测结果
#1	东北侧厂界外 1m处	2024年11月07日	昼间	53
			夜间	48
		2024年11月08日	昼间	54
			夜间	48
#2	西北侧厂界外 1m处	2024年11月07日	昼间	58
			夜间	51
		2024年11月08日	昼间	58
			夜间	52
#3	西南侧厂界外 1m处	2024年11月07日	昼间	58
			夜间	48
		2024年11月08日	昼间	52
			夜间	46
#4	东南侧厂界外 1m处	2024年11月07日	昼间	56
			夜间	52

		2024年11月08日	昼间	53
			夜间	51

由上表结果可知，本项目四周厂界昼间噪声监测结果为52dB(A)~58dB(A)，夜间噪声监测结果为46dB(A)~52dB(A)，均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中3类标准(昼间：65dB(A)，夜间：55dB(A))要求。

### 2.3.2 辐射环境现状

本项目涉及生产、使用和销售放射性同位素(甲级工作场所)，属于核技术利用(生产、销售、使用放射性同位素)项目。根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)“2.3环境质量和辐射现状”要求，本项目辐射环境监测内容为评价范围内(厂区内及厂区周边500m范围内)的大气、水体(地表水、地下水)、土壤等环境介质中与项目相关的放射性核素含量及贯穿辐射现状水平。

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)中“5.3核技术利用辐射环境监测”对非密封放射性物质场所应用前的监测要求，应对 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率和土壤、地表水、底泥中的应用核素进行监测，对应用核素只关注可能对环境有影响的应用核素，监测应有针对性，如应用核素难以分析，可用总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 替代。由于本项目涉及使用的核素种类较多，基于目前辐射环境监测技术条件限制和核素半衰期、衰变特性等因素，本次评价选取有代表性的放射性核素进行监测，主要从以下几个方面进行选取：

①从操作量、挥发性、半衰期、射线能量上进行考虑：选择操作量较大、挥发性较强、半衰期较长、射线能量较大的核素。本项目不涉及易挥发核素，正电子核素的半衰期较短，辐射环境影响较小，本次选用有代表性的镅-177、铯-225核素进行监测，并检测总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 。

②从核素来源进行考虑：选择天然放射性核素或天然放射性成员核素进行监测，对人造核素由于自然环境不存在，所以不进行本底监测；本项目涉及天然放射性核素或天然放射性成员核素包括： $^{228}\text{Th}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、由于 $^{228}\text{Th}$ 为发生器母体核素，位于淋洗柱内，不会散逸到环境中，所以不进行监测；选择 $^{225}\text{Ac}$ 进行监测。

③监测总 $\alpha$ 、总 $\beta$ ：由于本项目实验过程涉及的核素种类较多，难以对每一种核素都进行监测，所以对总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 进行监测，以反映环境中放射性总体水平。

综合以上原因，最终选择了镅-177、铯-225的核素含量及总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 为监测指标。

受成都欣科医药有限公司委托，四川省核工业辐射测试防护院(四川省核应急技术

支持中心)于2025年03月25日至2025年03月31日对成都欣科医药有限公司核技术产业基地二期核技术利用项目地表水、地下水、环境空气、土壤、底泥、环境辐射现状进行了监测。

### 2.3.2.1环境 $\gamma$ 辐射剂量水平

#### (1) 监测项目

$\gamma$ 空气吸收剂量率

(2) 监测使用仪器、监测方法项目监测使用仪器及监测方法见下表。

表2.3-7 监测使用设备一览表

监测时间	监测项目	仪器名称及参数	监测方法	校准/检定情况
2025年3月25日~3月31日	X- $\gamma$ 辐射剂量率	仪器名称：便携式X- $\gamma$ 剂量率仪 仪器型号：BH3103B 仪器编号：018 能量响应范围：25keV~3MeV 检出限： $1 \times 10^{-3}$ Gy/h	《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)	校准单位：四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心） 证书编号：校准字第J20250206002号 校准日期：2025-02-19 有效日期：2026-02-18
2025年3月25日~3月31日	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染活度	仪器名称： $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪 仪器型号：LB124 仪器编号：10-9577 能量响应范围：50keV~1.3MeV 检出限： $\alpha$ 道：0~5000cps； $\beta$ 道：0~50000cps	《表面污染测定第1部分 $\beta$ 发射体(E $\beta$ max>0.15MeV)和 $\alpha$ 发射体》(GB/T 14056.1-2008)	检定单位：四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心） 证书编号：J20240602009号 检定日期：2024-06-03 有效日期：2025-06-02
2025年3月25日~3月31日	中子剂量当量率	仪器名称：中子周围剂量当量仪 仪器型号：TPS-451C 仪器编号：20390355 能量响应范围：0.025eV~15MeV 检出限：0.01~10000 $\mu$ Sv/h	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)	校准单位：中国核动力研究设计院检测校准实验室 证书编号：校字第2024-N007号 校准日期：2024-04-11 有效日期：2025-04-10

#### (3) 监测结果及结果分析评价

表2.3-8  $\gamma$ 空气吸收剂量率监测结果

测点编号	监测点位	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率( $\times 10^{-3}$ Gy/h)	标准差( $\times 10^{-3}$ Gy/h)	备注
监测时间：2025年3月25日				
1	拟建2号楼位置处	8.6	0.19	/
2	拟建2号楼东南侧	10.0	0.16	/
3	拟建2号楼西南侧	9.7	0.21	/
4	拟建2号楼西北侧	8.7	0.18	/
5	拟建2号楼东北侧	8.8	0.22	/

6	成都惠融、惠友工程机械设备有限公司	8.3	0.18	/
7	成都青山利康药业股份有限公司	7.8	0.22	/
8	成都市消防救援支队重型机械工程救援大队、西南地区（成都）进口消防车辆装备维修中心	8.2	0.27	/
9	成都迈斯拓新能源润滑材料股份有限公司	8.0	0.22	/
10	四川苏克流体控制设备股份有限公司	8.8	0.17	/
11	在建厂房	8.4	0.20	/
12	成都实好电器有限公司	8.8	0.15	/
13	成都宏华太阳能技术开发有限公司	8.6	0.22	/
14	四川国纳科技有限公司	8.3	0.18	/
15	成都新连通低温设备有限公司	8.0	0.13	/
16	四川神工钨钢刀具有限公司	8.6	0.20	/
17	四川荣乐化妆品有限公司	8.6	0.15	/
18	在建厂房（楚北生产制造基地）	8.7	0.16	/
19	四川金瑞气体有限公司	8.5	0.12	/
20	成都市涉案财物管理中心	9.2	0.19	/
21	成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司等	8.8	0.17	/
22	四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	9.0	0.25	/
23	成都远东电气	8.7	0.21	/
24	成都科杰新能源有限责任公司	8.8	0.20	
25	成都伊耐克新能源有限公司	9.3	0.18	
26	长埂社区3组居民	10.8	0.18	
27	双流公兴仓库	9.8	0.21	
28	四川睿悦门窗有限公司	9.4	0.22	
29	成都市丹炉高温科技有限责任公司	9.4	0.16	
30	上海辽申幕墙工程有限公司	8.9	0.16	

注：监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

根据上表监测数据，本项目拟建位置及周围各监测点位的 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率为 $7.8 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 10.8 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ （ $76 \text{nGy/h} \sim 148 \text{nGy/h}$ ），属于成都市生态环境局《2023成都生态环境质量公报》中成都市环境 $\gamma$ 辐射剂量率自动监测年均范围 $67.0 \text{nGy/h} \sim 119 \text{nGy/h}$ ，为当地正常天然本底辐射水平。

表2.3-9 表面污染现状辐射监测结果

序号	点位名称	监测日期	$\beta$ 表面污染活度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	标准差 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	$\alpha$ 表面污染活度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	标准差 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )
1	拟建2号楼位置处	2025-03-25	0.05	0.007	<0.01	/

2	拟建2号楼东南侧	2025-03-25	0.06	0.010	<0.01	/
3	拟建2号楼西南侧	2025-03-25	0.05	0.004	<0.01	/
4	拟建2号楼西北侧	2025-03-25	0.03	0.004	<0.01	/
5	拟建2号楼东北侧	2025-03-25	0.03	0.008	<0.01	/

表2.3-10 中子剂量当量率辐射监测结果

序号	点位名称	监测日期	中子剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	标准差 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	备注
1	拟建2号楼位置处	2025-03-25	<0.01	/	/

根据表2.3-9和表2.3-10监测结果，项目拟建地表面污染水平无异常，中子剂量当量率低于检出限。

### 2.3.2.2 环境空气

#### (1) 监测项目

环境空气中与本项目活动相关且活度和影响较大的放射性核素 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度。

#### (2) 监测布点

根据项目外环境关系及周边公众居留情况，在厂址中央及厂址下风向处存在公众长期居留点进行了布点，具体监测点位布设见附图12。

#### (3) 监测使用仪器

监测使用仪器情况见下表。

表2.3-9 环境空气监测使用设备一览表

监测项目	仪器名称及编号	仪器技术指标	校准/检定情况
环境空气中 $^{177}\text{Lu}$ 核素分析	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	能量范围：40keV~10MeV 分辨率：1.81keV	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2023-12-26
环境空气中 $^{225}\text{Ac}$ 核素分析	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	能量范围：40keV~10MeV 分辨率：1.81keV	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2023-12-26
气溶胶中总 $\alpha$	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 21362574	探测效率：73% 本底：0.0020	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2024-2-16
气溶胶中总 $\beta$		探测效率：81% 本底：0.0234	

#### (4) 监测方法

监测方法及来源见下表。

表2.3-10 监测方法及方法来源一览表

项目	监测方法及方法来源
----	-----------

气溶胶中 $^{177}\text{Lu}$ 核素分析	《空气中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》(WS/T 184-2017)
气溶胶中 $^{225}\text{Ac}$ 核素分析	《空气中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》(WS/T 184-2017)
气溶胶中总 $\alpha$	《水质 总 $\alpha$ 放射性的测定 厚源法》(HJ 898-2017)
气溶胶中总 $\beta$	《水质 总 $\beta$ 放射性的测定 厚源法》(HJ 899-2017)

## (5) 监测结果及结果评价

监测结果见下表。

表2.3-11 环境空气中放射性监测

监测时间	监测点位	监测项目	监测结果
2025-03-25	厂区中央(1#)	总 $\alpha$ (Bq/m <sup>3</sup> )	0.000548
	长埂社区3组居民(下风向)(2#)		0.000683
	厂区中央(1#)	总 $\beta$ (Bq/m <sup>3</sup> )	0.00165
	长埂社区3组居民(下风向)(2#)		0.00252
	厂区中央(1#)	镭-177 (Bq/m <sup>3</sup> )	$<4.81 \times 10^{-5}$
	长埂社区3组居民(下风向)(2#)		$<3.01 \times 10^{-5}$
	厂区中央(1#)	钨-225 (Bq/m <sup>3</sup> )	$<3.10 \times 10^{-5}$
	长埂社区3组居民(下风向)(2#)		$<3.32 \times 10^{-5}$

由以上监测结果可知,项目所在区域监测点气溶胶 $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 的活度浓度低于探测限,总 $\alpha$ 监测值范围为 $5.48 \times 10^{-4}\text{Bq/m}^3 \sim 6.83 \times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ 、总 $\beta$ 监测值范围为 $1.65 \times 10^{-3}\text{Bq/m}^3 \sim 2.52 \times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ ,本次监测结果与《成都欣科医药有限公司核技术产业基地技改项目(一期)环境影响报告书》中的辐射环境监测数据监测结果(总 $\alpha$ 活度浓度为 $0.37 \times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ ,总 $\beta$ 活度浓度为 $3.45 \times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ )进行比对,基本属于正常辐射水平。

## 2.3.2.3 地表水

## (1) 监测项目

项目厂区废水最终汇入四川溪水合公兴污泥处理厂处理达标后排入锦江。本次环评对受纳水体锦江中与本项目活动相关的特征放射性核素 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 及总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度进行监测,监测断面设在四川溪水合公兴污泥处理厂排放口上、下游500m,监测结果可以反映水体辐射环境质量现状。

## (2) 监测使用仪器

监测使用仪器情况见下表。

表2.3-12 地表水监测使用设备一览表

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
水中总 $\alpha$	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 21362574	探测效率：73% 本底：0.0020	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2024-2-16
水中总 $\beta$		探测效率：81% 本底：0.0234	
水中 $\gamma$ 核素分析	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	能量范围：40keV~10MeV 分辨率：1.81keV	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2023-12-26

## (3) 监测方法

监测方法及来源见下表。

表2.3-13 地表水监测方法及方法来源一览表

项目	监测方法及方法来源
水中总 $\alpha$	《水质 总 $\alpha$ 放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017)
水中总 $\beta$	《水质 总 $\beta$ 放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017)
水中 $\gamma$ 核素分析	《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》(GB/T 16145-2022)

## (4) 监测结果及结果评价

监测结果见下表。

表2.3-14 地表水放射性监测结果表

监测项目	监测时间、点位及结果	
	2025-03-31	
	四川溪水合公兴污泥处理厂排放口上游500m (1#)	四川溪水合公兴污泥处理厂排放口下游500m (2#)
总 $\beta$ (Bq/L)	0.187	0.382
总 $\alpha$ (Bq/L)	0.061	0.028
镅-225(Bq/L)	$<5.26 \times 10^{-2}$	$<4.37 \times 10^{-2}$
镭-177(Bq/L)	$<4.12 \times 10^{-1}$	$<3.60 \times 10^{-1}$
备注：/		

由上表结果可知，项目接纳水体锦江河段中监测断面 $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 的活度浓度低于探测限，总 $\alpha$ 为0.061Bq/L~0.028Bq/L、总 $\beta$ 为0.187Bq/L~0.382Bq/L，无异常情况。

## 2.3.2.4 地下水

## (1) 监测项目

项目厂区周边无分散式饮用水源取水点，在厂址内取地下水样，对水体中的特征放射性核素 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 及总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度进行监测。

## (2) 监测使用仪器

监测使用仪器情况见下表。

表2.3-15 地下水监测使用设备一览表

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
镭-177、 钷-225	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	能量范围：40keV~10MeV 分辨率：1.81keV	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2023-12-26
水中总 $\alpha$	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 21362574	探测效率：73% 本底：0.0020	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2024-2-16
水中总 $\beta$		探测效率：81% 本底：0.0234	

## (3) 监测方法

监测方法及来源见下表。

表2.3-16 地下水监测方法及方法来源一览表

项目	监测方法及方法来源
镭-177、钷-225	《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》（GB/T16145-2022）
水中总 $\alpha$	《水质 总 $\alpha$ 放射性的测定 厚源法》（HJ898-2017）
水中总 $\beta$	《水质 总 $\beta$ 放射性的测定 厚源法》（HJ899-2017）

## (4) 监测结果及结果评价

监测结果见下表。

表2.3-17 地下水放射性监测结果表

监测项目	监测时间、点位及结果
	2025-03-25
	厂区内地下水井
总 $\beta$ (Bq/L)	0.030
总 $\alpha$ (Bq/L)	0.280
钷-225(Bq/L)	$<3.59 \times 10^{-2}$
镭-177(Bq/L)	$<3.74 \times 10^{-1}$
备注：/	

由上表结果可知， $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 的活度浓度低于探测限，总 $\alpha$ 为0.28Bq/L，总 $\beta$ 为0.03Bq/L。总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 的监测结果满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中Ⅲ类标准限值要求（总 $\alpha \leq 0.5\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 1.0\text{Bq/L}$ ）。

## 2.3.2.5 土壤

## (1) 监测项目

在厂区空地及厂界外西南侧空地取土壤样，对土壤中放射性核素 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 及总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度进行监测。

### (2) 监测使用仪器

监测使用仪器情况见下表。

表2.3-18 土壤监测使用设备一览表

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
镭-225	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	能量范围：40keV~10MeV 分辨率：1.81keV	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2023-12-26
镭-177		能量范围：40keV~10MeV 分辨率：1.81keV	检定单位：中国测试技术研究院 检定日期：2023-12-26

### (3) 监测方法

表2.3-19 土壤监测方法及方法来源一览表

项目	监测方法及方法来源
镭-225	《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》（GB/T 16145-2022）
镭-177	《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》（GB/T 16145-2022）

### (4) 监测结果及结果评价

监测结果见下表。

表2.3-20 土壤中放射性监测结果表

监测项目	监测时间、点位及结果	
	2025-03-25	
	厂区内（2号楼下风向）（1#）	厂界外东北侧空地（厂界外下风向160m）（2#）
	采样深度（m）：0-0.2	采样深度（m）：0-0.2
镭-225(Bq/kg)	$<5.52 \times 10^{-1}$	$<5.00 \times 10^{-1}$
镭-177(Bq/kg)	$<4.83$	$<4.30$

由上表结果可知，项目区域土壤中 $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 比活度低于探测限，根据环境质量和环境放射性现状水平判断，土壤监测结果无异常。

#### 2.3.2.6 底泥

##### (1) 监测项目及监测布点

在四川溪水合公兴污泥处理厂排放口上、下游500m处的采集底泥，监测特征核素 $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 的比活度以及总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 比活度。

##### (2) 监测仪器及方法

使用的监测仪器及方法见下表。

表2.3-21 底泥监测仪器及方法一览表

监测项目	监测方法	监测仪器	检出限
总 $\alpha$	《水质 总 $\alpha$ 放射性的测定 厚源法》 (HJ 898-2017)	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 21362574	/
总 $\beta$	《水质 总 $\beta$ 放射性的测定 厚源法》 (HJ 899-2017)	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 21362574	/
钶-225	《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》(GB/T 16145-2022)	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	/
镭-177	《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》(GB/T 16145-2022)	高纯锗 $\gamma$ 能谱仪 59-TP51891A	/

### (3) 监测结果及结果评价

底泥放射性监测结果见下表。

表2.3-22 底泥中放射性比活度监测结果

监测项目	监测时间、点位及结果	
	2025-03-31	
	四川溪水合公兴污水处理厂排 放口上游500m (1#)	四川溪水合公兴污水处理厂排 放口下游500m (2#)
总 $\beta$ (Bq/kg)	639	765
钶-225(Bq/kg)	$<3.60 \times 10^{-1}$	$<3.94 \times 10^{-1}$
镭-177(Bq/kg)	$<4.87$	$<4.85$
总 $\alpha$ (Bq/kg)	951	973

备注：/

由上表结果可知， $^{177}\text{Lu}$ 和 $^{225}\text{Ac}$ 的比活度低于探测限，总 $\alpha$ 最大为973Bq/kg，总 $\beta$ 为765Bq/kg，属于正常辐射水平。

## 2.4 场址适宜性评价

本项目位于四川成都市双流区西南航空港经济开发区工业集中区，场址距成都主城区15km，距双流城区9.6km，距黄甲镇1.8km，距公兴镇2.1km。经对建设区域自然环境状况分析可知，项目评价范围内无不良地质现象，无地表水或地下水集中式饮用水源，评价范围内无矿产资源存储，评价范围内受人类活动影响深远，多以城市绿化乔灌木等人工植被为主，无天然林，无重点保护的珍稀、濒危动植物及古、珍树木。评价范围内无明显制约项目建设的自然环境因素。

项目厂址周边500m评价范围内主要已建的企业，无重污染企业，无学校、医院及大型居民区，无自然保护区、风景名胜区、水资源保护区及保护文物等环境敏感目标，

对项目的建设无明显环境制约因素。目前，园区已建有较完善的给排水、供配电、通讯等配套基础设施，四川溪水合公兴污泥处理厂已建成投运，园区交通便利，本项目可充分依托园区配套基础设施，所在区域的基础设施及环境适合项目建设。

根据《2023年成都市环境空气质量状况》分析可知，项目所在区域属于环境空气质量不达标区，按照《成都市空气质量达标规划（2018-2027年）》，到2027年，全市环境空气质量全面改善，主要大气污染物浓度稳定达到国家《环境空气质量标准》二级标准，全面消除重污染天气。项目受纳水体为锦江，根据《2023年成都市地表水环境质量状况》数据分析，锦江水质满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水域标准要求。经现场监测，拟建厂址厂界监测点位昼夜间噪声监测值均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类区标准要求，区域声环境质量较好。

根据辐射环境监测结果，项目区域环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率处于四川省天然本底涨落范围内，厂址中子剂量当量率在仪器探测下限以下；所在区域空气、地表水、地下水、土壤，以及最终受纳水体底泥、厂址附近鱼塘底泥中与本项目活动相关的放射性核素活度浓度、总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 活度浓度监测值未见异常。

综上所述，项目评价范围内无明显环境制约因素，项目的建设与周边环境相容，区域内环境质量良好，辐射环境水平属于区域辐射本底水平，因此，从环境保护和辐射安全角度分析，项目场址适宜本项目建设。

## 第三章 工程分析与源项

### 3.1 项目规模与基本参数

#### 3.1.1 项目建设内容

本项目利用现有2号楼新建辐射工作场所，2号楼高23.95m，为地面4层，地下一层建筑。

地下一层布置消防水泵房、消防水池和2间放射性废物暂存间和辅助设施。

一层主要包括204车间（回旋加速器区）、207车间（氟-18药物生产线）、208车间（氟-18药物生产线）、206车间（中试线）及配套功能用房。

二层主要包括209车间（β核素生产线）、211车间（β核素生产线）、210车间（α核素生产线）、212车间（α核素生产线）。

三层为质检中心，主要开展放射性物料、非放射性物料以及放射性产品的检验检测。

四层主要为放射性药品成品库房、容器具清洗存储间和原辅材料库房。

建设单位代理销售钼-99、碲-211、磷-32、钷-228药物溶液，代理销售铟-90（铟-90）敷贴源和镭-224（铅-212），由厂家直接发货给用户，不在厂区暂存。

具体建设内容和规模如下：

##### 3.1.1.1 2号楼地下一层

布置2个消防水池，1个消防水泵房、1个长半衰期放射性废物暂存间（49.80m<sup>2</sup>）、1个短半衰期放射性废物暂存间（41.64m<sup>2</sup>），1个排风机房、1个生活水箱间和1个配电机房。在地下一层西北侧边界外建设一个3格并联衰变池，衰变池为不锈钢拼装水箱，嵌入在地下钢筋混凝土构筑物内，构筑物长6.40m，宽5.20m，高2.1m。

##### 3.1.1.2 2号楼一层

2号楼一层建设204、214车间（回旋加速器区）、1间放射性物料间、207车间（氟-18药物生产线）、208车间（氟-18药物生产线）、206车间（中试线），并建设办公室、更衣室、换鞋室、洗衣间、卫生间、大厅、容器具清洗间、容器具存放间、工具间、洁具间、配电间、标签打印间、危化品暂存库1、危化品暂存库2以及危化品废物暂存库等配套设施。

##### (1) 204、214车间（回旋加速器）

在一层西侧建设204、214车间，分别布置加速器机房一和加速器机房二，两间加速

器机房紧邻布置，占地面积均为  $126\text{m}^2$ ，机房尺寸相同（长  $15\text{m} \times 8.4\text{m} \times 4.65\text{m}$ ），机房屏蔽墙体厚度相同。建设单位拟在机房内分别安装使用一台 GE PET trace 鲲鹏型回旋加速器用于生产正电子核素，属于 II 类射线装置，两台加速器不同时使用。加速器质子束最大能量均为  $16.5\text{MeV}$ ，均为双束流设计，单束流模式最大束流为  $80\mu\text{A}$ ，双束流模式最大束流为  $2 \times 80\mu\text{A}$ 。每台加速器均生产核素氟-18、铜-64、镓-68、锆-89。生产的核素最终通过专用地下管道气动装置自动传输至两条氟-18 药物生产线以及中试线热室。加速器单日最多生产 2 种核素，氟-18 和 1 种固体靶核素。单台加速器年最大出束时间  $2000\text{h}$ 。

机房净空尺寸为长  $5.0\text{m} \times$  宽  $4.9\text{m} \times$  高  $3.0\text{m}$ （不含迷道），机房四周墙体、迷道及屋顶均为钢筋混凝土结构，迷道位于西北侧，为多折迷道。

回旋加速器机房东南侧、西北侧和东北侧墙体均为  $2.30\text{m}$  厚混凝土，西南侧迷道由内至外第一折为  $0.93\sim 1.33\text{m}$  厚混凝土，第二折为  $0.585\sim 0.105\text{m}$  厚混凝土，第三折为  $0.6\text{m}$  厚混凝土，第四折为  $0.4\text{m}$  厚混凝土，第五折为  $0.4\text{m}$  厚混凝土；屋顶为  $2.30\text{m}$  厚混凝土，防护门为  $10\text{mm}$  铅当量+ $150\text{mm}$  含硼聚乙烯电动钢板夹芯平移防护门。

2台加速器分别配置有设备间，并共用1间制靶室、1间控制室和2间气瓶间。各放射性原料及产额情况见表3.1.1-1。

表3.1.1-1 回旋加速器生产运行参数表

场所	生产核素	靶类型	打靶核反应	打靶时间	束流指标	单次最大产额 (Ci)	单日最大生产批次	年打靶时间(h)	备注
204、214 车间（回旋加速器机房，不同时使用）	$^{18}\text{F}$	液态靶	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$	2h	$16.5\text{MeV} \times 80\mu\text{A}$	17.5	4	2000	传输至 207 车间
	$^{18}\text{F}$	液态靶	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$	2h	$16.5\text{MeV}/75\mu\text{A}$	17.5	4	2000	传输至 208 车间
	$^{64}\text{Cu}$	固态靶	$^{64}\text{Ni}(\text{p},\text{n})^{64}\text{Cu}$	8h	$16.5\text{MeV}/75\mu\text{A}$	1	1	800	传输至 206 车间
	$^{68}\text{Ga}$	固态靶	$^{68}\text{Zn}(\text{p},\text{n})^{68}\text{Ga}$	1h	$16.5\text{MeV}/75\mu\text{A}$	5	1	100	
	$^{89}\text{Zr}$	固态靶	$^{89}\text{Y}(\text{p},\text{n})^{89}\text{Zr}$	8h	$16.5\text{MeV}/75\mu\text{A}$	0.1	1	800	

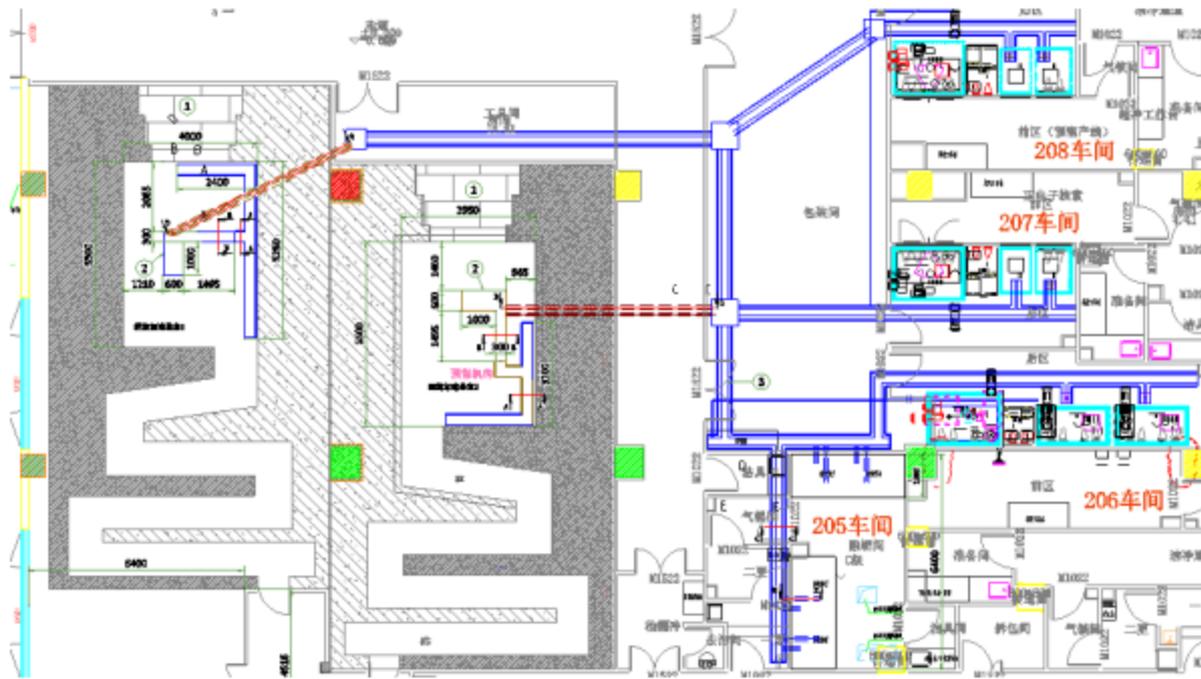


图3.1.1-1 打靶生产原料传输流线及对应热室图

### (2) 207 车间（氟-18 药物生产线）

在一层中部偏北侧建设 207 生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间（两条氟-18 生产线共同）、包装间组成，加速器生产的核素原料  $^{18}\text{F}$ （液态）通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。

207 车间主要产品包括不同规格（装量）的氟 $^{18}\text{F}$ 注射液，产品规格 10mCi~300mCi 不等。日最大操作量为  $2.59\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.59\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $6.48\text{E}+14\text{Bq}$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-2 207 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作 量 (Bq)	年最大操作天 数 (天)	年最大使用 量 (Bq)
1	207车间	$^{18}\text{F}$	$2.59\text{E}+12$	$2.59\text{E}+10$	250	$6.48\text{E}+14$

### (3) 208 生产车间（氟-18 药物生产线）

208 生产车间与 207 生产车间相邻布置，该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量、活动种类及产品规格均与氟-18 标记药物生产线一相同，车间日最大操作量为  $2.59\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.59\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $6.48\text{E}+14\text{Bq}$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-3 208 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作天数 (天)	年最大使用量 (Bq)
1	208车间	$^{18}\text{F}$	$2.59\text{E}+12$	$2.59\text{E}+10$	250	$6.48\text{E}+14$

#### (4) 206 车间 (中试线)

在一层东侧建设 206 生产车间, 由合成热室、分装热室、前区、后区、融靶区 (205 车间)、准备间、拆包间、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、洁具间和包装间组成。生产氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镱-177、铽-161、铅-203、铷-225、铅-212、碲-211 和磷-32 药物溶液。其中核素原料锆-89 除由加速器生产以外, 还需另行外购; 核素原料镓-68 除由加速器生产以外, 还需外购锗-68 (镓-68) 发生器淋洗制备; 外购钷-228 (铅-212) 发生器淋洗铅-212; 外购核素原料镱-177、铽-161、铷-225、锆-89 和铅-203。206 车间单日仅采用一种生产方式制备一种药物, 一年最多生产使用 3 种放射性药物。

##### ①加速器生产核素

氟-18 日最大操作量为  $6.48\text{E}+11\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $6.48\text{E}+09\text{Bq}$ , 年最大产量为  $6.48\text{E}+13\text{Bq}$ , 产品规格 10mCi~300mCi 不等; 铜-64 日最大操作量为  $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ , 年最大产量为  $3.70\text{E}+12\text{Bq}$ , 产品规格为 4mCi; 镓-68 日最大操作量为  $1.85\text{E}+11\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.85\text{E}+09\text{Bq}$ ; 年最大产量为  $1.85\text{E}+13\text{Bq}$ , 产品规格为 100mCi; 锆-89 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ , 年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ , 产品规格为 50mCi。

##### ②外购发生器制药

购买锗-68 (镓-68) 发生器生产镓-68 放射性药物, 锗-68 最大装量为 200mCi, 年最大购买量 20 个。锗-68 日最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ , 年最大用量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ;  $^{68}\text{Ga}$  日最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+09\text{Bq}$ , 年最大产量为  $1.48\text{E}+13\text{Bq}$ , 产品规格为 100mCi; 购买钷-228 (铅-212) 发生器生产铅-212 放射性药物, 钷-228 最大装量 200mCi, 年最大购买量 2 个。钷-228 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ , 年最大用量为  $1.48\text{E}+10\text{Bq}$ ; 铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , 年最大产量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ , 产品规格为 5mCi。

##### ③外购核素制药

镱-177 日最大操作量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ , 年最大产

量为  $7.40\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为  $200\text{mCi}$ ；铯-161 日最大操作量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为  $200\text{mCi}$ ；铟-225 日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ ；铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ ；钪-89 日最大操作量为  $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.96\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $2.96\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $50\text{mCi}$ ；铅-203 日最大操作量为  $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为  $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $20\text{mCi}$ ；碲-221 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ ；磷-225 日最大操作量为  $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.22\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大产量为  $2.22\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ 、 $10\text{mCi}$ 、 $25\text{mCi}$ 、 $50\text{mCi}$ 、 $100\text{mCi}$ 。

206 车间单日最大操作量的核素为镥-177、铯-161 和铟-225，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3.1.1-4 206 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	核素来源	年最大操作天数(天)	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大使用量(Bq)	活动种类
1	206 车间	$^{64}\text{Cu}$	加速器生产	100	$3.70\text{E}+10$	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+12$	生产、使用、销售
2		$^{68}\text{Ga}$	加速器生产	100	$1.85\text{E}+11$	$1.85\text{E}+09$	$3.33\text{E}+13$	生产、使用、销售
3		$^{68}\text{Ga}$	发生器淋洗	100	$1.48\text{E}+11$	$1.48\text{E}+09$		
4		$^{68}\text{Ge}$	外购 $^{68}\text{Ge}$ ( $^{68}\text{Ga}$ )发生器 $0.2\text{mCi}$	100	$1.48\text{E}+11$	$1.48\text{E}+08$	$1.48\text{E}+11$	使用
5		$^{89}\text{Zr}$	加速器生产	100	$7.40\text{E}+09$	$7.40\text{E}+08$	$3.70\text{E}+12$	生产、使用、销售
6		$^{89}\text{Zr}$	外购，单瓶最大装量 $800\text{mCi}$	100	$2.96\text{E}+10$	$2.96\text{E}+09$		
7		$^{203}\text{Pb}$	外购，单瓶最大装量 $20\text{mCi}$	100	$3.70\text{E}+09$	$3.70\text{E}+07$		
8		$^{177}\text{Lu}$	外购，单瓶最大装量 $20\text{Ci}$	100	$7.40\text{E}+11$	$7.40\text{E}+10$	$7.40\text{E}+13$	生产、使用、销售
9		$^{161}\text{Tb}$	外购，单瓶最大装量	100	$7.40\text{E}+11$	$7.40\text{E}+10$	$7.40\text{E}+13$	生产、使用、销售

		20Ci					
10	$^{18}\text{F}$	加速器生产	100	6.48E+11	6.48E+09	6.48E+13	生产、使用、销售
11	$^{225}\text{Ac}$	外购, 单瓶 最大装量 2mCi	100	7.40E+08	7.40E+10	7.40E+10	生产、使用、销售
12	$^{228}\text{Th}$	外购 $^{228}\text{Th}$ ( $^{212}\text{Pb}$ ) 发生器	100	7.40E+09	7.40E+08	1.48E+10	使用
13	$^{212}\text{Pb}$	发生器淋洗	100	7.40E+09	7.40E+09	1.48E+12	生产、使用、销售
14	$^{212}\text{Pb}$	外购, 单瓶 最大装量 20mCi	100	7.40E+09	7.40E+09		
15	$^{211}\text{At}$	外购, 单瓶 最大装量 200mCi	100	7.40E+09	7.40E+07	7.40E+11	生产、使用、销售
16	$^{32}\text{P}$	外购, 单瓶 最大装量 600mCi	100	2.22E+10	2.22E+07	2.22E+12	生产、使用、销售

### (5) 放射性物料库

在 1 层西北侧设置一个放射性物料库, 面积约 11.93m<sup>2</sup>。用于存储外购原料锆-89、铅-203、镱-177、铯-161、铷-225、铅-212、锗-68、钼-99、铯-149、钷-44、铈-186, 碲-211、磷-32 以及锗-68 (镱-68) 发生器、钷-228 (铅-212) 发生器。根据生产研发需要, 预计每天最多存放 7 种核素, 镱-177、铯-161、铷-225、铅-212 是每日必需核素, 另外再选取三种日等效操作量最大的核素进行累计, 确定场所等级。则放射性物料库日最大储存量为 3.03E+12Bq, 日等效最大操作量为 3.90E+09Bq, 年最大用量为 3.04E+14Bq, 为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 3.1.1-5 放射性物料库非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	核素来源	年最大操作天数 (天)	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大使用量 (Bq)	活动种类
1	放射性物料库	$^{89}\text{Zr}$	单个包装最大装量 800mCi, 每日最多购买 1 个	100	2.96E+10	2.96E+07	2.96E+12	使用
2	放射性物料库	$^{203}\text{Pb}$	单个包装最大装量 20mCi, 每日最多购买 1 个	100	7.40E+08	7.40E+04	7.40E+10	使用

3	$^{177}\text{Lu}$	单个包装最大装量20Ci, 每日最多购买2个	250	1.48E+12	1.48E+09	3.70E+14	使用
4	$^{161}\text{Tb}$	单个包装最大装量20Ci, 每日最多购买2个	250	1.48E+12	1.48E+09	3.70E+14	使用
5	$^{225}\text{Ac}$	单瓶最大装量2mCi, 每日最多购买10瓶	250	7.40E+08	7.40E+07	1.85E+11	使用
6	$^{228}\text{Th}$ ( $^{212}\text{Pb}$ )	发生器外购, 规格200mCi, 每日最多购买1个	1	7.40E+09	7.40E+08	1.48E+10	使用
7	$^{212}\text{Pb}$	单瓶最大装量20mCi, 每日最多购买10瓶	250	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	使用
8	$^{68}\text{Ge}$	单个包装最大装量20mCi, 每日最多购买1个	1	7.40E+08	7.40E+05	7.40E+08	使用
9	$^{99}\text{Mo}$	单个包装最大装量20mCi, 每日最多购买1个	1	7.40E+08	7.40E+05	7.40E+08	使用
10	$^{149}\text{Tb}$	单个包装最大装量20mCi, 每日最多购买1个	1	7.40E+08	7.40E+05	7.40E+08	使用
11	$^{44}\text{Sc}$	单个包装最大装量20mCi, 每日最多购买1个	1	7.40E+08	7.40E+05	7.40E+08	使用
12	$^{186}\text{Re}$	单个包装最大装量20mCi, 每日最多购买1个	1	7.40E+08	7.40E+05	7.40E+08	使用
13	$^{68}\text{Ge}$ $^{68}(\text{Ga})$	单个包装最大装量200mCi, 每日最多购买20个	1	7.40E+08	7.40E+05	7.40E+08	使用
14	$^{211}\text{At}$	单个包装最大装量200mCi, 每日最多购买1个	100	7.40E+09	7.40E+07	7.40E+11	使用
15	$^{32}\text{P}$	单个包装最大装量600mCi, 每日最多购买1个	100	2.22E+10	2.22E+07	2.22E+12	使用

### 3.1.1.3 2号楼二层

2号楼一层建设 209、210、210、212 车间, 并配套建设制水间、洗衣整衣间、清洗间、灭菌间、洁具间、空调机房及控制室等。

(1) 209 车间 ( $\beta$ 核药生产线)

在二层中部建设 209 车间, 由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

209 车间生产镱-177 或铽-161 的药物溶液。①外购镱-177 原料, 镱-177 日最大操作量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ , 年最大产量为  $3.70\text{E}+14\text{Bq}$ , 产品规格为  $200\text{mCi}$ ; ②外购铽-161 原料, 铽-161 日最大操作量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ , 年最大产量为  $3.70\text{E}+14\text{Bq}$ , 产品规格为  $200\text{mCi}$ 。209 车间单日及每年仅使用一种核素制备一种药物, 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-8 209 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作天数 (天)	年最大使用量 (Bq)
1	209 车间	$^{177}\text{Lu}$	$1.48\text{E}+12$	$1.48\text{E}+11$	250	$3.70\text{E}+14$
2		$^{161}\text{Tb}$	$1.48\text{E}+12$	$1.48\text{E}+11$	250	$3.70\text{E}+14$

(2) 210 车间 ( $\alpha$ 核药生产线)

210 车间与 209 车间相邻布置, 由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

210 车间生产镭-225 或铅-212 的药物溶液。①外购镭-225 原料, 镭-225 日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ , 年最大产量为  $1.11\text{E}+11\text{Bq}$ , 产品规格为  $5\text{mCi}$ ; ②购买钍-228 (铅-212) 发生器生产铅-212 放射性药物, 每年购买 20 个, 钍-228 日最大操作量为  $1.11\text{E}+09\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ , 年最大用量为  $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ ; 铅-212 日最大操作量为  $1.11\text{E}+09\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.11\text{E}+09\text{Bq}$ , 年最大产量为  $1.67\text{E}+11\text{Bq}$ , 产品规格为  $5\text{mCi}$ ; ③外购铅-212 原料, 铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , 年最大产量为  $1.11\text{E}+12\text{Bq}$ , 产品规格为  $5\text{mCi}$ 。210 车间单日只采用一种方式和使用一种核素制备一种药物, 每年只生产一种药物, 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-6 210 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作天数 (天)	年最大使用量 (Bq)
1	211 车间	$^{225}\text{Ac}$	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+10$	250	$1.85\text{E}+11$
2		$^{212}\text{Pb}$	$7.40\text{E}+09$	$7.40\text{E}+09$	150	$1.277\text{E}+12$
3		$^{212}\text{Pb}$ (淋洗)	$1.11\text{E}+09$	$1.11\text{E}+09$	150	
4		$^{228}\text{Th} (^{212}\text{Pb})$	$1.11\text{E}+09$	$1.11\text{E}+08$	150	$2.22\text{E}+10$

(3) 211 车间 ( $\beta$ 核药生产线)

211 生产车间与 210 生产车间相邻布置, 该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量、活动种类及产品规格均与 209 相同, 209 车间日最大操作量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ , 年最大产量为  $3.70\text{E}+14\text{Bq}$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-9 211 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作天数 (天)	年最大使用量 (Bq)
1	210 车间	$^{177}\text{Lu}$	$1.48\text{E}+12$	$1.48\text{E}+11$	250	$3.70\text{E}+14$
2		$^{161}\text{Tb}$	$1.48\text{E}+12$	$1.48\text{E}+11$	250	$3.70\text{E}+14$

(4) 212 车间 ( $\alpha$ 核药生产线)

212 车间布置在二层中部东侧, 与 211 车间相邻布置, 该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量、活动种类及产品规格均与 210 车间相同, 212 车间日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-7 212 车间非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作天数 (天)	年最大使用量 (Bq)
1	212 车间	$^{225}\text{Ac}$	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+10$	250	$1.85\text{E}+11$
2		$^{212}\text{Pb}$	$7.40\text{E}+09$	$7.40\text{E}+09$	150	$1.277\text{E}+12$
3		$^{212}\text{Pb}$ (淋洗)	$1.11\text{E}+09$	$1.11\text{E}+09$	150	
4		$^{228}\text{Th} (^{212}\text{Pb})$	$1.11\text{E}+09$	$1.11\text{E}+08$	150	$2.22\text{E}+10$

## 3.1.1.4 2号楼三层质检中心

在三楼建设质检中心, 建筑面积约  $1494\text{m}^2$ 。质检中心分为放射性质检区和非放射性质检区。放射性质检区包括放射性样品收发室、放化实验室 1、放化实验室 2、放化实验室 3、放化实验室 4, 天平室 1、天平室 2, 气相室、气相仪器室、液相室、液相仪器室、阳性对照室 1、微生物限度室 1、培养室 1、内毒素检查室 1、阴凉留样室 1、仪器室 1、仪器室 2、仪器室 3、仪器室 4、常温留样室 1、稳定性考察室 1、取样室 1、无菌检查室 1、洁具间 1、灭活室 1、以及一间备用间。

非放射性质检区包括非放样品收发室、无菌检查室 2、取样室 2、内毒素检查室 2、阴凉库、微生物鉴定室、阳性对照室 2、微生物限度室 2, 微生物准备区、培养室 2、灭活室、菌种库、暗室、滴定室、红外光谱室、仪器室 5、仪器室 6、阴凉留样室 2、常温留样室 2、水分室、原子吸收光谱室、理化实验室、清洁洗涤室、晾干室、天平室 3、天

平室 4、稳定性考察室 2、高温室以及 1 间备用间。

另外配套建设更衣换鞋区、办公室生活设施、储存库、试剂库、暂存间、净化机房、强弱电井。

质检中心涉及使用和销售（仅外委送样或分析测试或实验）核素氟-18、铜-64、镓-68，锝-99m、铅-212、碘-131、铅-203、镱-177、铈-89、碳-14、锆-89、铽-161、钷-225、钷-47、镱-67、钇-90、钇-103、铟-111、钷-153、铈-166、镱-188、铈-201、铈-211、镱-223、钷-227、碘-123、碘-124、碘-125、镱-68、钷-99、铽-149、钷-44、镱-186，磷-32。单日最多操作使用 8 种核素，其中氟-18、镓-68，锝-99m、镱-177、钷-225、铽-161 为每日必检核素，另外选取两种日等效操作量最大的核素进行累计计算，确定场所等级。质检中心日等效最大操作量为  $4.06E+11Bq$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。质检核素的日最大操作量和年最大用量见下表。

表 3.1.1-10 质检中心非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	活动种类	年最大操作天数(天)	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大使用量(Bq)
1	质检中心	F-18	使用、销售	250	$2.96E+10$	$2.96E+08$	$7.40E+12$
2		Cu-64	使用、销售	100	$1.48E+08$	$1.48E+06$	$1.48E+10$
3		Ga-68	使用、销售	250	$7.40E+09$	$7.40E+07$	$1.85E+12$
4		Tc-99m	使用、销售	300	$5.55E+09$	$5.55E+07$	$1.67E+12$
5		Pb-212	使用、销售	150	$1.85E+08$	$1.85E+08$	$2.78E+10$
6		I-131	使用、销售	200	$1.85E+10$	$1.85E+10$	$3.70E+12$
7		Pb-203	使用、销售	100	$7.40E+08$	$7.40E+06$	$7.40E+10$
8		Lu-177	使用、销售	250	$7.40E+09$	$7.40E+09$	$1.85E+12$
9		Sr-89	使用、销售	100	$5.55E+09$	$5.55E+09$	$5.55E+11$
10		C-14	使用、销售	120	$3.70E+09$	$3.70E+11$	$4.44E+11$
11		Zr-89	使用、销售	100	$1.48E+09$	$1.48E+08$	$1.48E+11$
12		Tb-161	使用、销售	250	$7.40E+09$	$7.40E+09$	$1.85E+12$
13		Ac-225	使用、销售	250	$1.85E+08$	$1.85E+09$	$4.63E+10$
14		Sc-47	使用、销售	20	$3.70E+08$	$3.70E+07$	$7.40E+09$
15		Ga-67	使用、销售	20	$1.85E+08$	$1.85E+07$	$3.70E+09$
16		Y-90	使用、销售	20	$1.85E+08$	$1.85E+07$	$3.70E+09$

17	Pd-103	使用、销售	30	3.70E+08	3.70E+07	1.11E+10
18	In-111	使用、销售	30	1.85E+08	1.85E+07	5.55E+09
19	Sm-153	使用、销售	30	3.70E+08	3.70E+07	1.11E+10
20	Ho-166	使用、销售	20	3.70E+08	3.70E+07	7.40E+09
21	Re-188	使用、销售	20	3.70E+08	3.70E+07	7.40E+09
22	Tl-201	使用、销售	20	1.85E+08	1.85E+06	3.70E+09
23	At-211	使用、销售	100	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+08
24	Ra-223	使用、销售	20	3.70E+06	3.70E+07	7.40E+07
25	Th-227	使用、销售	20	3.70E+06	3.70E+07	7.40E+07
26	I-123	使用、销售	20	3.70E+07	3.70E+05	7.40E+08
27	I-125	使用、销售	20	3.70E+06	3.70E+05	7.40E+07
28	Ge-68	使用、销售	20	3.70E+07	3.70E+06	7.40E+08
29	Mo-99	使用、销售	20	3.70E+07	3.70E+06	7.40E+08
30	Tb-149	使用、销售	20	3.70E+07	3.70E+06	7.40E+08
31	Sc-44	使用、销售	20	3.70E+07	3.70E+06	7.40E+08
32	Re-186	使用、销售	20	3.70E+07	3.70E+06	7.40E+08
33	I-124	使用、销售	20	1.85E+08	1.85E+07	3.70E+09
34	P-32	使用、销售	100	1.85E+08	1.85E+07	1.85E+10

### 3.1.1.5 2号楼四层库房

在4楼建设放射性库房和非放射性物料库。放射性库房包括成品库1、成品库2、收发货区、容器清洁区和容器存储区。非放射性物料库包括非放货厅、退货库、综合物料库、综合包材库1、综合包材库2、低值易耗库、研发包材库、研发物料库、医疗器械库。另外配套建设制单间、洁具间、强弱电井等。

放射性药品库房涉及储存药品锆-89、铜-225、铅-212、碘-131、碘-125、钼-99（钨-99m）发生器、镭-177、铽-161、铈-89、钇-90、镱-68（镱-68）发生器、钨-188（铈-188）发生器、钷-228（铅-212）发生器。

库房日等效最大操作量为  $5.94E+09Bq$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

表 3.1.1-11 药物成品库非密封放射性物质操作量情况表

序号	区域	核素名称	最大储存天数(天)	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大操作量(Bq)	活动种类
1	成品库	Zr-89	100	$3.70E+10$	$3.70E+07$	$3.70E+12$	销售
3		Ac-225	150	$7.40E+08$	$7.40E+07$	$1.11E+11$	销售
4		I-131	200	$2.59E+12$	$2.59E+09$	$5.18E+14$	
5		Lu-177	250	$1.48E+12$	$1.48E+09$	$3.70E+14$	销售
6		Tb-161	100	$7.40E+11$	$7.40E+08$	$7.40E+13$	销售
7		Sr-89	200	$4.44E+10$	$4.44E+07$	$8.88E+12$	销售
8		Y-90	200	$2.32E+11$	$2.32E+08$	$4.63E+13$	销售
9		I-125	200	$7.40E+09$	$7.40E+06$	$1.48E+12$	销售
10		Ge-68(Ga-68)	200	$1.85E+11$	$1.85E+08$	$3.70E+13$	销售
11		W-188(Re-188)	200	$1.85E+11$	$1.85E+08$	$3.70E+13$	销售

### 3.1.1.6 放射性药物及发生器代理销售

建设单位代理销售钼-99、碲-211、磷-32、钷-228 药物溶液，代理销售锶-90（钇-90）敷贴源和镭-224（铅-212），由厂家直接发货给用户，不在厂区暂存，每年代理销售的核药总活度为  $1.85E+13Bq$ 。

表 3.1.1-12 放射性药物代理销售情况表

序号	核素名称	最大储存天数(天)	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大操作量(Bq)	活动种类
1	Mo-99	150	$2.74E+24$	$2.74E+23$	$4.11E+26$	销售
3	Sr-90 (Y-90)	200	$5.48E+22$	$5.48E+20$	$1.10E+25$	销售
4	At-211	200	$2.74E+23$	$2.74E+21$	$5.48E+25$	
5	P-32	200	$2.74E+23$	$2.74E+20$	$5.48E+25$	销售
6	Th-228	200	$5.48E+22$	$5.48E+21$	$1.10E+25$	销售

### 3.1.1.7 辅助及依托工程

本项目在已有厂区范围内进行建设，供水、排水、电力供应、厂内道路运输等辅助及依托工程均已建设完成，且处于正常运行状态，其已在《成都欣科医药有限公司核技术产业基地建设项目环境影响报告书》（川环审批（2013）521号）进行了环境影响评价。

给本项目供热和应急供电的动力中心9号楼目前正在修建。

#### (1) 动力车间

9号楼位于厂区东侧，为地上一层建筑，无地下室，建筑面积389m<sup>2</sup>，主要由蒸汽发生器机房和柴油发电机房组成，建成后为整个厂区供暖及应急供电。

本项目厂区用电由市政电网直接引入，经总配电站变压后为厂区供电，供建筑内工艺设备、照明用电等，配电电压为220V/380V。

#### (2) 生活设施（4号楼）

4号楼位于厂区西南侧，为地上五层建筑（目前3~5楼均为预留房间），无地下室，用于员工办公，占地面积1059m<sup>2</sup>。其中1楼设有职工食堂供员工用餐，食堂不设厨房，采取配餐制。

#### (3) 放射性废水处理设施

项目在地下一层北侧边界外建设一个3格并联埋地式衰变池，容积为15m<sup>3</sup>（长7.5m×宽2m×高1m），单格容积为5m<sup>3</sup>。衰变池结构形式为现浇钢筋混凝土地下水池，池顶距离地面3.5m，中间用泥土夯实。衰变池采取防雨水、防渗、防腐、防泄露措施。

#### (4) 给排水工程

##### ①给水工程

项目厂区用水来自市政自来水管网。

##### ②排水工程

项目厂区排水采用雨污分流制。

雨水：屋面雨水经雨水斗收集，经雨水管排至室外雨水沟，再排入室外雨水管网。道路雨水通过路边雨水口进入室外雨水管网。室外雨水管网最终接入市政雨水管网。

污水：厂区内设有6m<sup>3</sup>的预处理池，厂区内污水管网沿厂区内道路铺设，项目外排废水经厂区预处理池处理后排入市政污水管网，进入四川溪水合公兴污泥污水处理厂处理达标后排放。

#### (5) 依托现有环保工程的可行性

本项目新增工作人员产生的生活污水和生活垃圾量较少，依托厂区现有处理设施处理是可行的。其他放射性废水处理设施、放射性废气治理措施、放射性固体废物处理措施等均为本次新建。

## 3.1.2 非密封放射性物质工作场所分级

## 3.1.2.1 场所分级依据

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C非密封源工作场所的分级,放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法(见式 3.1-1),非密封放射性物质工作场所的分级判据如表3.1.3-1,核素毒性修正因子见表3.1.3-2、操作方式修正因子见表3.1.3-3。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots\dots \text{式 3.1-1}$$

表3.1.3-1 非密封性放射性物质场所分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

表3.1.3-2 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表3.1.3-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体、溶液、悬浮 液	表面有污染 的固体	气体、蒸汽、粉末、压 力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据环境保护部办公厅《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函(2016)430号)对于常见放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取依据,以及《辐射防护手册(三分册)》确定本项目核素的操作方式,各种操作类型的具体方式举例见表3.1.3-4。

表3.1.3-4 各种操作方式划分依据

依据	操作方式划分
环办辐射函	①利用钼锝发生器淋洗 $^{99m}\text{Tc}$ 放射性药物时, $^{99}\text{Mo}$ 的操作视为“贮存”;

(2016) 430号	<p>②放射性药品生产中,分装、标记等活动视为“简单操作”;</p> <p>③医疗机构使用<math>^{18}\text{F}</math>、<math>^{99\text{m}}\text{Tc}</math>、<math>^{125}\text{I}</math>粒子源相关活动视为“很简单的操作”,使用<math>^{131}\text{I}</math>核素相关活动视为“简单操作”。</p> <p>④满足以下条件应当作为一个单独场所进行日等效操作核算:a、有相对独立、明确的监督区和控制区划分;b、工艺流程连续完整;c、有相对独立的辐射防护措施。</p>
辐射防护手册 (三分册)	<p>①贮存:把盛装在容器内的放射性溶液、样品和废液等密封后存放于工作场所的通风柜、手套箱、样品架、工作台和专用贮存柜内等贮存操作。这类操作的危害最小。</p> <p>②很简单的操作:例如少量稀溶液的合并、分装或稀释,污染不严重的器皿和工具等的洗涤等。这类操作,会有少量的放射性物质散布开来,主要是要防止洒漏。</p> <p>③简单的操作:例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离,萃取或反萃取,离子交换,色层分离,吸移或滴定放射性溶液等。这类操作,可能会有较多的放射性物质散布开来,除了会有表面污染外,还会有空气污染出现。</p> <p>④有特别危险的操作:例如对溶液的加热蒸馏或蒸发,烘烤烘干,强放溶液的取样或转移,粉末料样的称重、溶解、干沉淀物的收集与转移等。操作过程中均会产生少量气体或气溶胶。更危险的操作还有干式操作和发尘操作,例如破碎研磨样品,粉末物质剧烈混合或包装等。因为这类操作,不发生意外时并不一定有较多的放射性物质散布开来,但发生事故的几率较多,而且后果较严重。</p>

本项目2号楼为一栋地上四层地下一层建筑,每层均布置有涉放场所。依据上述划分条件原则,本项目共划分为10个非密封放射性物质工作场所,具体划分情况如下:

①项目回旋加速器区相对独立,对于加速器有相应单独的射线装置分区管控要求,且加速器机房仅作为提供生产原料的方式之一,在机房内人员不操作放射性核素。因此,回旋加速器区不划入非密封放射性物质工作场所。

②2条氟[ $^{18}\text{F}$ ]标记药物生产线外围分别有实体墙体分隔,有从原料进入生产线合成分装到产品包装的完整生产工艺流程,分别设置了独立的人员进入缓冲区和生产线控制区,合成热室和分装热室等辐射防护措施独立。因此,2条氟[ $^{18}\text{F}$ ]标记药物生产线分别划为一个非密封放射性物质工作场所。

③中试线外围有实体墙体分隔,有从原料进入生产线溶靶、分离纯化、分装灭菌、合成分装及淋洗标记到产品包装的完整生产工艺流程,设置了独立的人员进入缓冲区和生产线控制区,合成热室和分装热室等辐射防护措施独立。因此,中试线划为一个非密封放射性物质工作场所。

④2条 $\beta$ 核药生产线和2条 $\alpha$ 核药生产线分别有实体墙体分隔,有从原料进入生产线合成分装到产品包装的完整生产工艺流程,分别设置了独立的人员进出缓冲区和生产线控制区,合成热室和分装热室等辐射防护措施相对独立。因此,4条生产线分别划为一个非密封放射性物质工作场所。

⑤项目质检中心位于2号楼三层，与各生产线之间无人员通道直接相连，质检人员与相应各条生产线的人流不交叉；质检中心出入口设置了缓冲区，监督区和控制区划分相对独立、明确；对洁净度要求高的检测区域设置了第二级更衣检测区，质检中心设有若干独立的手套箱作为操作的防护措施。因此，质检中心划为一个非密封放射性物质工作场所。

⑥一层中部设1间放射性物料库，用于暂存建设单位购买的药物生产原料和发生器。放射性物料库相对独立，与各生产线等场所不连通，仅用于放射性核素原料暂存和出入库，不涉及核素操作。库房四周墙体为240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡、顶面和底板均为钢筋混凝土浇筑，辐射防护措施相对独立；库房在室内入口处单独设置缓冲区，监督区和控制区划分相对独立、明确。因此，放射性物料库单独划为一个非密封放射性物质工作场所。

⑦本项目放射性药物成品库位于四层，用于暂存建设单位生产、代理销售放射性药物和发生器，容器具清洗间和储存间用于清洗和储存回收的受到污染的铅容器等。成品库和容器具清洗间和储存间完全独立，出入口设置了缓冲区，监督区和控制区划分独立、明确；成品库仅用于放射性药物成品暂存和出入库，不涉及核素操作；库房四周墙体为370mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡、顶面和底板均为钢筋混凝土浇筑，辐射防护措施相对独立。因此，放射性药物成品库、容器具清洗间和储存间单独划为一个非密封放射性物质工作场所。

每个场所设置有相对独立的通排风及净化设施，排风过滤系统不存在共用情况。

综上所述，2号楼各个辐射工作场所分别具有工艺连续完整、辐射防护措施相对独立和“两区”划分明确等特点，划分10个场所符合场所划分三原则，且有利于建设单位分别对不同生产线和场所开展日常管理。

## 3.1.3 项目组成及主要环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表3.1.4-1。

表3.1.4-1 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程 2号楼一楼	204、214车间（回旋加速器）	在一层西侧建设204、214车间，分别布置加速器机房一和加速器机房二，两间加速器机房紧邻布置，占地面积均为126m <sup>2</sup> ，机房尺寸相同（长15m×8.4m×4.65m），机房屏蔽墙体厚度相同。建设单位拟在机房内分别安装使用一台GE PET trace 鲲鹏型回旋加速器用于生产正电子核素，属于II类射线装置，两台加速器不同时使用。加速器质子束最大能量均为16.5MeV，均为双束流设计，单束流模式最大束流为80μA，双束流模式最大束流为2×80μA。每台加速器均生产核素氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镧-177、铽-161、铅-203。生产的核素最终通过专用地下管道气动装置自动传输至两条氟-18药物生产线以及中试线热室。加速器单日最多生产2种核素，氟-18和1种固体靶核素。单台加速器年最大出束时间2000h。		β/γ射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物
	207车间（氟-18药物生产线）	在一层中部偏北侧建设207生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间（两条氟-18生产线共同）、包装间组成，加速器生产的核素原料 <sup>18</sup> F（液态）通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。 207车间主要产品包括不同规格（装量）的氟[ <sup>18</sup> F]注射液，产品规格10mCi~300mCi不等。日最大操作量为2.59E+12Bq，日等效最大操作量为2.59E+10Bq，年最大产量为6.48E+14Bq，为 <b>甲级非密封放射性物质工作场所</b> 。	施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、生活垃圾、生活污水等。	β/γ射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物
	208生产车间（氟-18药物生产线）	在一层中部偏北侧建设208生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间（两条氟-18生产线共同）、包装间组成，加速器生产的核素原料 <sup>18</sup> F（液态）通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。 208车间主要产品包括不同规格（装量）的氟[ <sup>18</sup> F]注射液，产品规格10mCi~300mCi不等。日最大操作量为2.59E+12Bq，日等效最大操作量为2.59E+10Bq，年最大产量为6.48E+14Bq，为 <b>甲级非密封放射性物质工作场所</b> 。		β/γ射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物
	206车间（中试线）	在一层东侧建设206生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、融靶区（205车间）、准备间、拆包间、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、洁具间和包装间组成。生产氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镧-177、铽-161、铅-203、钷-225、铅-212药物溶液。其中核素原料锆-89除由加速器生产以外，还需另行外购；核素原料镓-68除由加速器生产以外，还需外购镓-68（镓-68）发生器淋洗制备；外购钷-228（铅-212）发生器淋洗铅-212；外购核素原料镧-177、		α/β/γ射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
2号 楼2 楼		<p>铯-161、镭-225、钍-89和铅-203。206车间单日仅采用一种生产方式制备一种药物，一年最多生产使用3种放射性药物。</p> <p>206车间单日最大操作量的核素为镭-177、铯-161和镭-225，日等效最大操作量为<math>7.40E+10Bq</math>，为甲级非密封放射性物质工作场所。</p>		性固体废物
	放射性物料库	<p>在1层西北侧设置一个放射性物料库，面积约<math>11.93m^2</math>。用于存储外购原料钍-89、铅-203、镭-177、铯-161、镭-225和铅-212；以及锗-68（镓-68）发生器、钍-228（铅-212）发生器。根据生产研发需要，预计每天存放一种核素，则放射性物料库日最大储存量为<math>2.30E+11Bq</math>，日等效最大操作量为<math>2.30E+09Bq</math>，年最大用量为<math>2.23E+13Bq</math>，为乙级非密封放射性物质工作场所。</p>		$\alpha/\beta/\gamma$ 射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气
	211车间（ $\alpha$ 核药生产线）	<p>在二层中部西侧建设211车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。</p> <p>211车间生产镭-225或铅-212的药物溶液。①外购镭-225原料，镭-225日最大操作量为<math>7.40E+08Bq</math>，日等效最大操作量为<math>7.40E+10Bq</math>，年最大产量为<math>1.11E+11Bq</math>，产品规格为<math>5mCi</math>；②购买钍-228（铅-212）发生器生产铅-212放射性药物，每年购买20个，钍-228日最大操作量为<math>1.11E+09Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.11E+08Bq</math>，年最大用量为<math>2.22E+10Bq</math>；铅-212日最大操作量为<math>1.11E+09Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.11E+09Bq</math>，年最大产量为<math>1.67E+11Bq</math>，产品规格为<math>50mCi</math>；③外购铅-212原料，铅-212日最大操作量为<math>7.40E+09Bq</math>，日等效最大操作量为<math>7.40E+09Bq</math>，年最大产量为<math>1.11E+12Bq</math>，产品规格为<math>5mCi</math>。211车间单日只采用一种方式和使用一种核素制备一种药物，每年只生产一种药物，为<b>甲级非密封放射性物质工作场所</b>。</p>	施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、生活垃圾、生活污水等。	$\alpha/\beta/\gamma$ 射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物
212车间（ $\alpha$ 核药生产线）	<p>在二层中部西侧建设212车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。</p> <p>212车间生产镭-225或铅-212的药物溶液。①外购镭-225原料，镭-225日最大操作量为<math>7.40E+08Bq</math>，日等效最大操作量为<math>7.40E+10Bq</math>，年最大产量为<math>1.11E+11Bq</math>，产品规格为<math>5mCi</math>；②购买钍-228（铅-212）发生器生产铅-212放射性药物，每年购买20个，钍-228日最大操作量为<math>1.11E+09Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.11E+08Bq</math>，年最大用量为<math>2.22E+10Bq</math>；铅-212日最大操作量为<math>1.11E+09Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.11E+09Bq</math>，年最大产量为<math>1.67E+11Bq</math>，产品规格为<math>50mCi</math>；③外购铅-212原料，铅-212日最大操作量为<math>7.40E+09Bq</math>，日等效最大操作量为<math>7.40E+09Bq</math>，年最大产量为<math>1.11E+12Bq</math>，产品规格为<math>5mCi</math>。212车间单日只采用一种方式和使用一种核素制备一种药物，每年只生产一种药物，为<b>甲级非密封放射性物质工作场所</b>。</p>	$\alpha/\beta/\gamma$ 射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物		
209车间（ $\beta$ 核药生产线）	<p>在二层中部西侧建设209车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。</p> <p>209车间生产镭-177或铯-161的药物溶液。①外购镭-177原料，镭-177日最大操作量为<math>1.48E+12Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.48E+11Bq</math>，年最大产量为<math>3.70E+14Bq</math>，产品规格为</p>	$\beta/\gamma$ 射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放		

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
		<p>200mCi；②外购铯-161原料，铯-161日最大操作量为<math>1.48E+12Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.48E+11Bq</math>，年最大产量为<math>3.70E+14Bq</math>，产品规格为200mCi。209车间单日及每年仅使用一种核素制备一种药物，为<b>甲级非密封放射性物质工作场所</b>。</p> <p>在二层中部西侧建设210车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。</p> <p>210车间生产镱-177或铯-161的药物溶液。①外购镱-177原料，镱-177日最大操作量为<math>1.48E+12Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.48E+11Bq</math>，年最大产量为<math>3.70E+14Bq</math>，产品规格为200mCi；②外购铯-161原料，铯-161日最大操作量为<math>1.48E+12Bq</math>，日等效最大操作量为<math>1.48E+11Bq</math>，年最大产量为<math>3.70E+14Bq</math>，产品规格为200mCi。210车间单日及每年仅使用一种核素制备一种药物，为<b>甲级非密封放射性物质工作场所</b>。</p>		<p>放射性废液、放射性固体废物</p> <p><math>\beta/\gamma</math>射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物</p>
2号楼3楼	三层质检中心	<p>建筑面积约<math>1494m^2</math>。质检中心分为放射性质检区和非放射性质检区。放射性质检区包括放射性样品收发室、缓冲/检测/去污区、防护用具间、放化实验室1、放化实验室2、放化实验室3、放化实验室4、天平室1、天平室2、液相室、液相仪器室、阳性对照室1、微生物限度室1、培养室1、内毒素检查室1、阴凉留样室1、仪器室1、仪器室2、仪器室3、仪器室4、常温留样室1、稳定性考察室1、取样室1、无菌检查室1以及一间备用间。</p> <p>非放射性质检区包括非放样品收发室、无菌检查室2、取样室2、内毒素检查室2、阴凉库、微生物鉴定室、阳性对照室2、微生物限度室2，微生物准备区、培养室2、灭菌室、菌种库、暗室、滴定室、红外光谱室、仪器室5、仪器室6、阴凉留样室2、常温留样室2、水分室、原子吸收光谱室、理化实验室、清洁洗涤室、晾干室、天平室3、天平室4、稳定性考察室2、高温室以及1间备用间。</p> <p>质检中心单日最多操作使用放射性核素氟-18、铜-64、镓-68、镓-99m、铅-212、碘-131、铅-203、镱-177、铟-89、碳-14。质检中心日等效最大操作量为<math>4.06E+11Bq</math>，为<b>甲级非密封放射性物质工作场所</b>。</p>	<p>施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、生活垃圾、生活污水等。</p>	<p><math>\alpha/\beta/\gamma</math>射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废液、放射性固体废物</p>
2号楼4楼	库房	<p>在4楼建设放射性库房和非放射性物料库。放射性库房包括成品库1、成品库2、收发货区、容器清洁区和容器存储区。非放射性物料库包括非放货厅、退货库、综合物料库、综合包材库1、综合包材库2、低值易耗库、研发包材库、研发物料库、医疗器械库。另外配套建设制单间、洁具间、强弱电井等。</p> <p>放射性药品库房涉及储存药品锆-89、镭-225、铅-212、碘-131、碘-125、钼-99（钨-99m）发生器、镱-177、铯-161、铟-89、钇-90、锆-68（镓-68）发生器、钨-188（铼-188）发生器、钷-228（铅-212）发生器。</p> <p>库房日等效最大操作量为<math>5.94E+09Bq</math>，为<b>甲级非密封放射性物质工作场所</b>。</p>	<p>施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、生活垃圾、生活污水等。</p>	<p><math>\alpha/\beta/\gamma</math>射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气</p>
/	/	<p>建设单位代理销售钼-99、碲-211、磷-32、钷-228药物溶液，代理销售铟-90（钇-90）敷贴源和镭-224（铅-212），由厂家直接发货给用户，不在厂区暂存，每年代理销售的核药总活度为<math>1.85E+13Bq</math>。</p>	/	/

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题			
			施工期	运营期		
配套工程	动力车间	9号楼位于厂区东侧，为地上一层建筑，无地下室，建筑面积389m <sup>2</sup> ，主要由蒸汽发生器机房和柴油发电机房组成，建成后为整个厂区供暖及应急供电。		施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、生活垃圾、生活污水等。	噪声、废气	
	衰变池	项目在地下一层东北侧边界外建设一个3格并联衰变池，衰变池为不锈钢拼装水箱，有效容积为15m <sup>3</sup> ，嵌入在地下钢筋混凝土构筑物内，构筑物长6.40m，宽5.20m，高2.1m。			放射性废水	
	废水处理	非放射性	依托厂区内已有6m <sup>3</sup> 的预处理池，项目外排废水经厂区预处理池处理后排入市政污水管网，进入四川溪水合公兴污泥处理厂。	已建成，无施工期环境影响	非放射性废水、底泥	
	废气治理	放射性	放射性废气收集处理系统，包括热室、生物安全柜、手套箱的局部排风系统和房间的整体排风系统，热室、手套箱、生物安全柜内放射性废气采用“H13高效过滤器+中效过滤器+初效过滤器”处理，辐射工作场所放射性废气采用“H13高效过滤器+中效过滤器+初效过滤器”处理，经处理后各套系统的废气最终并管为4个排气筒（编号1~4排气筒、距地面高度27m）进行排放。		扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾等。	放射性废气、噪声
		非放射性	非放射性废气收集处理系统，局部排风系统采用“H13高效过滤器+中效过滤器+初效过滤器”处理和房间的整体排风系统采用“中效过滤器+初效过滤器”处理，经处理装置处理后各套系统的废气汇总到一根排气筒（距地面高度27m）进行排放。			非放射性废气、噪声
	固体废物处置措施	放射性	2号楼负一层设有1个长半衰期放射性废物暂存间（49.80m <sup>2</sup> ）、1个短半衰期放射性废物暂存间（41.64m <sup>2</sup> ）。		施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾等。	放射性固体废物
		非放射性	①一般固体废物：统一收集后，交由环卫部门统一收运处置。 ②危险废物：2号楼一层设有危化品废物暂存库，暂存库占地面积187m <sup>2</sup> 。			非放射性固体废物
	辅助工程	2号楼地下一层	2个消防水池，1个消防水泵房、1个排风机房、1个生活水箱间和1个配电机房。			噪声
		2号楼一层	办公室、更衣室、换鞋室、洗衣间、卫生间、大厅、容器清洗间、容器具存放间、工具间、洁具间、配电间、标签打印间、危化品暂存库1、危化品暂存库2。			生活废水、生活垃圾
		2号楼二层	制水间、洗衣整衣间、清洗间、灭菌间、洁具间、空调机房及控制室。			非放废水、噪声
2号楼三层		更衣换鞋区、办公室生活设施、储存库、试剂库、暂存间、净化机房、强弱电井。			生活污水、生活垃圾	
2号楼四层		建设制单间、洁具间、强弱电井。			非放废水	

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
	厂区办公及生活设施	依托厂区已有4号楼，4号楼为地上五层建筑（目前3~5楼均为预留房间），无地下室，用于员工办公，占地面积1059m <sup>2</sup> 。其中1楼设有职工食堂供员工用餐，食堂不设厨房，采取配餐制。		生活污水、生活垃圾
公用工程	供水	依托厂区已有市政供水管网。	已建成，无施工期环境影响	/
	供电	依托厂区已有市政供电系统，由市政电网引入，经总配电站变压后为厂区供电，供建筑内工艺设备、照明用电等，配电电压为220V/380V。		/
	排水	依托厂区已有排水系统，厂区内设有6m <sup>3</sup> 的预处理池，厂区内污水管网沿厂区内道路铺设，项目外排废水经厂区预处理池处理后排入市政污水管网，进入四川溪水合公兴污泥处理厂。		非放射性废水

### 3.1.4 原辅材料及理化性质

#### 3.1.4.1 主要原辅材料消耗

根据建设单位提供资料，本项目使用的主要原辅材料情况见表3.1.5-1~表3.1.5-3。

表3.1.5-1 药物生产主要放射性原辅材料一览表

生产药物	原辅料及耗材	规格	单批生产消耗量	年消耗用量	存储位置	来源
<sup>18</sup> F	合成卡套	4批一套	0.25套	75套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	300套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	120瓶	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml/支	1支	1200支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	60L	物料暂存间	外购
	重氧水	50g/瓶	6g	7200g	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	88瓶	105600瓶	容器具存放间	外购
<sup>64</sup> Cu	合成卡套	1批一套	1套	100套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	100套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	5L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	100支	物料暂存间	外购
	<sup>64</sup> Ni	99.999%	150mg	15g	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	5L	物料暂存间	外购
	纯化卡套	1套	1套	100套	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	25瓶	2500瓶	容器具存放间	外购
<sup>68</sup> Ga	合成卡套	1批一套	1套	100套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	100套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	5L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	100支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	5L	物料暂存间	外购
	盐酸	500ml/瓶	50ml	5L	物料暂存间	外购
	<sup>68</sup> ZnCl <sub>2</sub> 或 <sup>68</sup> ZnO	99.999%	250mg	25g	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	20瓶	2000瓶	容器具存放间	外购
<sup>89</sup> Zr	合成卡套	1批一套	1套	100套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	100套	物料暂存间	外购

	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	10L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	200支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	10L	物料暂存间	外购
	盐酸	500ml/瓶	50ml	10L	物料暂存间	外购
	草酸	500ml/瓶	50ml	10L	物料暂存间	外购
	天然金属铊	99.999%	铊-89箔片, 一般按厚度算	300片	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	25瓶	5000瓶	容器具存放间	外购
<sup>203</sup> Pb (外购)	<sup>203</sup> Tl或 <sup>205</sup> Tl	99.999%	10-100mg	15g	物料暂存间	外购
	合成卡套	1批一套	1套	150套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	150套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	7500ml	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	150	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	7500ml	物料暂存间	外购
	硝酸	500ml/瓶	20ml	3L	物料暂存间	外购
	乙酸铵	500ml/瓶	5ml	750ml	物料暂存间	外购
	Pb树脂	50g/瓶	1g	150g	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	10瓶	1500瓶	容器具存放间	外购
<sup>212</sup> Pb (外购)	合成卡套	1批一套	1套	150套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	150套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	7.5L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	150支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	7.5L	物料暂存间	外购
	乙酸铵	500ml/瓶	5ml	750ml	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	40瓶	6000瓶	容器具存放间	外购
<sup>225</sup> Ac	合成卡套	1批一套	1套	250套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	250套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	12.5L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	250支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	12.5L	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	80瓶	20000瓶	容器具存放间	外购
<sup>177</sup> Lu	合成卡套	1批一套	1套	250套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	250套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	25L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	500支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	25L	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	100瓶	50000瓶	容器具存放间	外购
<sup>161</sup> Tb	合成卡套	1批一套	1套	250套	物料暂存间	外购
	分装卡套	1天一套	1套	250套	物料暂存间	外购
	灭菌注射用水	500ml/瓶	50ml	12.5L	物料暂存间	自制
	无菌注射器	50ml	1支	250支	物料暂存间	外购
	无水乙醇	2L/桶	50ml	12.5L	物料暂存间	外购
	西林瓶	10ml/支	100瓶	25L	容器具存放间	外购

表3.1.5-2 质检中心主要非放原辅材料一览表

使用场所	名称	规格	单次最大购买量(瓶)	年消耗量(瓶)	存储位置	来源
质检中心	甲醇	4L/瓶	4	40	试剂室	外购
	乙腈	4L/瓶	4	40	试剂室	外购
	异丙醇	4L/瓶	2	8	试剂室	外购
	正己烷	4L/瓶	4	4	试剂室	外购
	四氢呋喃	4L/瓶	4	8	试剂室	外购
	磷酸氢二钠	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	磷酸二氢钠	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	磷酸氢二钾	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	磷酸二氢钾	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	磷酸氢二铵	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	磷酸二氢铵	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	乙酸铵	500g/瓶	1	10	试剂室	外购
	冰醋酸	500ml/瓶	1	5	试剂室	外购
	三氟乙酸	100ml/瓶	1	10	试剂室	外购
	磷酸	500ml/瓶	1	10	试剂室	外购
	钼酸钠	500g/瓶	3	15	试剂室	外购
	氢氧化钠	500g/瓶	5	15	试剂室	外购
	硝酸铝	500g/瓶	3	15	试剂室	外购
	碳酸铵	500g/瓶	5	15	试剂室	外购
	氧化铈	500g/瓶	2	15	试剂室	外购
	四氯化钛	500g/瓶	3	15	试剂室	外购
	硝酸四氢	500/瓶	3	15	试剂室	外购
	五水四氯化锡	500g/瓶	2	15	试剂室	外购
	五水硝酸钴	500g/瓶	2	15	试剂室	外购
	二氧化钛	500g/瓶	3	15	试剂室	外购
	无水乙醇	2.5L/瓶	4	15	试剂室	外购
	生理盐水	10ml/支	2箱	4箱	试剂室	外购
	盐酸	500ml/瓶	2	10	试剂室	外购
	硝酸GR	500ml/瓶	2	10	试剂室	外购
	硫酸	500ml/瓶	2	20	试剂室	外购
	正丙醇	500ml/瓶	3	15	试剂室	外购
	氨水	500ml/瓶	4	15	试剂室	外购
	十二胺	500ml/瓶	4	15	试剂室	外购
	硅酸乙酯	500ml/瓶	2	15	试剂室	外购
	钛酸丁酯	500ml/瓶	2	15	试剂室	外购
	乙酸钠	500g/瓶	2	4	试剂室	外购
氯化钠	250g/瓶	5	20	试剂室	外购	
正辛胺	200ml/瓶	2	4	试剂室	外购	
甲酸铵	500g/瓶	2	7	试剂室	外购	
无水甲酸	500ml/瓶	1	2	试剂室	外购	
过氧化氢	500ml	1	5	试剂室	外购	
高锰酸钾	500ml	1	2	试剂室	外购	

使用场所	名称	规格	单次最大购买量(瓶)	年消耗量(瓶)	存储位置	来源
	六水合硝酸镁	500g	1	2	试剂室	外购
	硝酸钾	500g	1	2	试剂室	外购
	硝酸钠	500g	1	2	试剂室	外购
	硝酸铅	500g	1	2	试剂室	外购
	硝酸银	100g	1	2	试剂室	外购
	重铬酸钾	500g	1	2	试剂室	外购
	48%氢溴酸	500ml	2	10	试剂室	外购
	丙酮	500ml	2	10	试剂室	外购
	三氯甲烷	500ml	1	3	试剂室	外购
	溴	500g	1	2	试剂室	外购
	二氧化锰(AR)	500g	1	2	试剂室	外购
	碳酸氢钠	500g	1	2	试剂室	外购
	无水碳酸钠	500g	1	2	试剂室	外购
	无水四硼酸钠	500g	1	2	试剂室	外购
	钼酸铵,四水	500g	1	2	试剂室	外购
	无水硫酸铜	500g	1	2	试剂室	外购
	氯化铵	500g	1	2	试剂室	外购
	滑石粉,一水	500g	1	2	试剂室	外购
	硫酸钾	500g	1	2	试剂室	外购
	柠檬酸,一水	500g	1	2	试剂室	外购
	硝酸铜,三水	500g	1	2	试剂室	外购
	氯化镁,六水	500g	1	2	试剂室	外购
	糊精	500g	1	2	试剂室	外购
	鞣酸	500g	1	2	试剂室	外购
	乙酸铅,三水	500g	1	2	试剂室	外购
	5-磺基水杨酸二水合物(AR)	500g	1	2	试剂室	外购
	二水合硝酸亚汞(分析纯)	100g	1	2	试剂室	外购
	碘	250g	1	2	试剂室	外购
	8-羟基-136三磺酸三钠盐(>98%)	N/A	1	2	试剂室	外购
	无砷锌粒(大颗粒)	500g	1	2	试剂室	外购
	钠石灰	500g	1	2	试剂室	外购
	甲基红	25g	1	2	试剂室	外购
	十六烷基三甲基溴化铵(CTAB99%)	N/A	1	2	试剂室	外购
	碘	250g	1	2	试剂室	外购
	硫化亚铁	500g	1	2	试剂室	外购
	无水氯化锶(99.5%)	500g	1	2	试剂室	外购
	硼酸(AR)	500g	1	2	试剂室	外购
	可溶性淀粉(AR)	500g	1	2	试剂室	外购
	硫酸锌,七水	N/A	1	2	试剂室	外购

使用场所	名称	规格	单次最大购买量(瓶)	年消耗量(瓶)	存储位置	来源
	高碘酸钠	100g	1	2	试剂室	外购
	亚硝基铁氰化钠, 二水	25g	1	2	试剂室	外购
	碘酸钾	N/A	1	2	试剂室	外购
	六氰基亚铁酸钾(无水)	N/A	1	2	试剂室	外购
	硝酸铈铵	25g	1	2	试剂室	外购
	盐酸羟胺	25g	1	2	试剂室	外购
	四丁基氢氧化铵溶液	500ml	1	5	试剂室	外购
	消毒酒精	500ml	1	2	试剂室	外购
	丙三醇	500ml	1	2	试剂室	外购
	1, 4二氧六环	500ml	1	2	试剂室	外购
	正丁醇	500ml	1	2	试剂室	外购
	二氯甲烷	500ml	1	2	试剂室	外购
	碘	500ml	1	2	试剂室	外购
	无水甲醇	500ml	2	10	试剂室	外购
	闪烁液	1000ml	2	10	试剂室	外购
	阳离子交换树脂	100ml	2	20	试剂室	外购

### 3.1.4.2 放射性物料特性

本项目涉及生产和使用氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镭-177、铽-161、铅-203、钶-225、铅-212；质检中心涉及使用氟-18、铜-64、镓-68、钨-99m、铅-212、碘-131、铅-203、镭-177、铽-89、碳-14；涉及储存铜-64、镓-68、锆-89、钶-225、铅-212、碘-131、钨-99（钨-99m）发生器、镭-177、铽-161、铽-89、铽-90（钷-90）、钷-90、钷-68（镓-68）发生器、钨-188（铼-188）发生器、钨-99，砒-211、磷-32、钷-228（铅-212）发生器。

### 3.1.4.3 主要非放射性物料特性

根据《危险化学品目录》（2018版），本项目使用的非放射性物质属于危险化学品的及其危险性见表3.1.5-4。

表3.1.5-4 本项目危险化学品理化性质

序号	原料	性状	危险特性	储存条件
1	醋酸钠	白色结晶性粉末	易燃性：醋酸钠在空气中易氧化，易受潮、受热、受光等能量刺激而发生自燃或助燃。 腐蚀性：醋酸钠具有强腐蚀性。 毒性：醋酸钠在水中乃至环境中具有毒性。	密封干燥保存。用内衬塑料袋，外套编织袋或麻袋包装。醋酸钠具有潮解性，贮运中要注意防潮，严禁与腐蚀性气接触，防止曝晒和雨淋，运输要加防雨覆盖物。

序号	原料	性状	危险特性	储存条件
2	乙酸	无色透明液体，有刺激性气味	易燃性：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。与铬酸、过氧化钠、硝酸或其它氧化剂接触，有引起爆炸的危险。具有腐蚀性。	阴凉、通风，远离火种。冬季应保持库温高于 16℃，以防凝固。保持密封，与氧化剂、碱类分开，切忌混储。用防爆型照明、通风设施。
3	乙腈	无色液体，具有刺激性气味。	毒性：乙腈对人体具有毒性，会影响呼吸系统、神经系统和肝脏等器官，进而导致中毒和死亡。 易燃性和爆炸性：乙腈具有易燃性和爆炸性。 腐蚀性：乙腈具有腐蚀性，能够对皮肤和黏膜造成严重伤害。	储存在阴凉干燥的地方，远离火源和氧化剂，并禁止与易燃物、腐蚀品等混储。
4	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。在火场中，受热的容器有爆炸危险。其蒸气比空气重，能在较低处扩散到相当远的地方遇明火会回燃。	密封于阴凉处保存。与氧化剂、酸类、碱金属、胺类等分开存放。远离火种、热源。
5	丙酮	无色透明易流动液体，有芳香气味，极易挥发。	易燃性和爆炸性：在与空气混合后形成爆炸性混合物，其蒸气比空气重，能在低处聚集并滞留。遇到点火源可引起燃烧或爆炸。 毒性：对人体有毒性，可通过呼吸道吸入、皮肤接触或误食进入人体导致中毒。	储存于阴凉干燥、良好通风处，远离热源、火源和有禁忌的物质。保持容器密封。应与氧化剂、还原剂、碱类分开存放，切忌混储。采用防爆型照明、通风设施。
6	碘化钾	无色或白色晶体，无臭，有浓苦咸味。	刺激性：可能对皮肤、眼睛等部位造成伤害，应避免直接接触。 易燃性：不应与易燃物质混合使用，避免火灾和爆炸的发生。 腐蚀性：不应与酸性物质接触，以免产生有害气体，引发中毒等危险。 毒性：不宜误食。如误食可能会对健康造成损害，应及时就医。	碘化钾应储于阴凉、干燥、通风的库房内，不可堆放在露天或货棚。避免日光直射和受潮，以防商品变质。要与易燃、有毒、酸类及挥发异味的物品隔离，不能共储混运，库房要经常保持清洁。
7	甲醇	无色透明液体，有刺激性气味。	毒性：能够直接对人体造成伤害。 易燃性：甲醇是易燃的液体，具有较高的火灾和爆炸危险性。 挥发性：甲醇具有较强的挥发性，室温下即可迅速挥发成有毒的气体。	储存于阴凉、通风良好专用库房内，远离火种、热源。库温不宜超过 37℃，保持密封。应与氧化剂、酸类、碱金属等分开，切忌混储。
8	二氯甲烷	无色透明液体，具有芳香气味。	可燃性：其闪点和引燃温度分别为无资料和 615℃。在特定条件下，蒸气与空气能形成爆炸性混合物，爆炸极限为 12%-19%（体积）。 毒性：具有麻醉作用，主要损害中枢神经和呼吸系统。	贮存于阴凉、干燥、通风良好及阳光无法直射的地方。贮存须远离热源、火焰及不相容物，如强氧化剂、强酸、硝酸。
9	盐酸	无色，透明液体，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

序号	原料	性状	危险特性	储存条件
10	氨水	无色透明且具有刺激性气味液体。	挥发性：氨水易挥发出氨气。 腐蚀性：氨水有一定的腐蚀作用，碳化氨水的腐蚀性更加严重。 燃烧和爆炸性：接触三甲胺、氨基化合物、醇类等能引发燃烧和爆炸。	阴凉、干燥、通风。远离火种、热源。防止阳光直射。保持容器密封。应与酸类、金属粉末等分开存放。露天贮罐夏季要有降温措施。
11	浓硫酸	硫酸是一种无色无味油状液体。	熔点：98.3%时，熔点：10℃； 沸点：338℃。硫酸是一种高沸点难挥发的强酸，易溶于水，能以任意比与水混溶。 引起严重灼伤。	储存于阴凉、通风的库房。库温不超过 35℃，相对湿度不超过 85%。保持容器密封。应与易（可）燃物、还原剂、碱类、碱金属、食用化学品分开存放，切忌混储。储区应备有泄漏应急处理设备和合适的收容材料。
12	无水甲酸	无色发烟液体，有强烈刺激性气味，具有腐蚀性。	酸性腐蚀品，具强腐蚀性、刺激性，可致人体灼伤，其蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。应与氧化剂、碱类、活性金属粉末分开存放，切忌混储。
13	过氧化氢	纯品为无色透明液体，有微弱的特殊气味。	强氧化剂，本身不燃，但能与可燃物反应放出大量热量和氧气而引起着火爆炸。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。库温不宜超过 30℃。应与易燃物、还原剂等分开存放，切忌混储。
14	硝酸铅	白色立方或单斜晶体，硬而发亮，有毒。	氧化剂，受高热分解产生有毒的铅氧化物烟雾，对人体有毒性，损害造血、神经、消化系统及肾脏等。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。应与还原剂、易燃物、食用化学品分开存放，切忌混储。
15	硝酸银	无色透明斜方晶系片状晶体，易溶于水和氨水，对光敏感。	强氧化剂，遇可燃物着火时，能助长火势，受高热分解产生有毒的氮氧化物。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。应与易（可）燃物、还原剂、碱类、醇类等分开存放，切忌混储。
16	重铬酸钾	橙红色三斜晶体或针状晶体，无臭，有强氧化性。	强氧化剂，与还原剂、有机物、易燃物等接触或混合时有引起燃烧爆炸的危险，对人体有强腐蚀性、毒性，可损害肝、肾等器官。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。库温不超过 30℃，相对湿度不超过 80%。应与还原剂、活性金属粉末、易燃物等分开存放，切忌混储。
17	48%氢溴酸	无色或淡黄色液体，具有刺激性酸味，能与水、乙酸及乙醇混溶。	酸性腐蚀品，具有强腐蚀性，能腐蚀金属，对人体皮肤、眼睛和呼吸道有强烈刺激和腐蚀作用。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。保持容器密封。应与碱类、胺类、碱金属等分开存放，切忌混储。
18	三氯甲烷	无色透明液体，有特殊气味，味甜，极易挥发。	有麻醉性，有致癌可能性，遇明火或灼热的物体时能产生剧毒的光气，在空气、水分和光的作用下，易氧化生成剧毒的光气。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。库温不超过 30℃，相对湿度不超过 80%。应与碱类、铝、食用化学品分开存放，切忌混储。

序号	原料	性状	危险特性	储存条件
19	溴	暗红褐色发烟液体。有刺鼻、强烈刺激性臭味。	具有强腐蚀性、毒性，对皮肤、眼睛和呼吸道有强烈刺激和腐蚀作用，是强氧化剂，与易燃物、有机物接触易着火燃烧。	储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。库温不超过 30℃，相对湿度不超过 80%。应与还原剂、碱金属、易燃物等分开存放，切忌混储。

### 3.1.5 劳动定员

本项目共设置辐射工作人员43人，其中利旧人员18人，新增人员25人，具体人员配置情况见表3.1.6-1。

表3.1.6-1 项目劳动人员配置一览表

工作场所		人数(人)	备注	
2号楼	一层	204、214车间	3	新增人员
		205车间	2	新增人员
		206车间	2	新增人员
		207车间	2	新增人员
		208车间	2	新增人员
		转运、拆包、打包	6	利旧人员
		放射性物料库	2	新增人员
	二层	209车间	2	新增人员
		210车间	2	新增人员
		211车间	2	新增人员
		212车间	2	新增人员
		转运、拆包、打包	4	利旧人员
	三层	质检中心	10	利旧人员
	四层	药物成品库	2	新增人员
	合计		43	/

## 3.2 工程设备与工艺分析

### 3.2.1 主要工艺设备配置

本项目主要工艺设备汇总见下表。

表3.2.1-1 本项目生产车间主要工艺设备一览表

序号	设备名称	单位(台/套)	数量	备注
一	204 车间(回旋加速器区)			
1	GE PET trace 鲲鹏型回旋加速器	台	2	无自屏蔽体，根据生产经营规模需求分期配置
二	207 车间(氟 <sup>[18F]</sup> 标记药物生产线)			
1	合成热室	套	2	根据生产经营规模需求分期配置
2	分装热室	套	1	/
3	超净工作台(预留电源)	台	2	/
4	胶塞、瓶、盖清洗设备	台	2	/

序号	设备名称	单位(台/套)	数量	备注
5	电热鼓风干燥箱	台	1	/
6	不锈钢工作台	台	1	/
7	活度计(分装热室内)	台	2	/
8	放料箱	套	1	/
三	208 车间(氟 <sup>[18F]</sup> 标记药物生产线)			
1	合成热室	套	2	根据生产经营规模需求 分期配置
2	分装热室	套	1	/
3	超净工作台(预留电源)	台	2	/
4	胶塞、瓶、盖清洗设备	台	2	/
5	电热鼓风干燥箱	台	1	/
6	不锈钢工作台	台	1	/
7	活度计(分装热室内)	台	2	/
8	放料箱	套	1	/
四	206 车间(中试线)			
1	合成热室	套	2	根据生产经营规模需求 分期配置
2	分装热室	套	1	/
3	超净工作台(预留电源)	台	2	/
4	胶塞、瓶、盖清洗设备	台	2	/
5	电热鼓风干燥箱	台	1	/
6	不锈钢工作台	台	1	/
7	活度计(分装热室内)	台	2	/
8	融靶热室	套	4	根据生产经营规模需求 分期配置
9	放料箱	套	1	/
五	209 车间( $\beta$ 核素生产线)			
1	热室	套	5	根据生产经营规模需求 分期配置
2	恒温混匀仪(热室内)	套	1	/
3	分装设备(热室内)	台	2	/
4	合成设备(热室内)	台	2	/
5	取样设备(热室内)	台	1	/
6	层流罩	台	1	/
7	电子天平(放层流罩内)	台	2	/
8	超声清洗机(放层流罩内)	台	1	/
9	pH计(放层流罩内)	台	1	/
10	超净工作台	台	1	/
11	放料箱	套	2	/
六	210 车间( $\beta$ 核素生产线)、211 车间( $\beta$ 核素生产线)、212 车间( $\beta$ 核素生产线)			

序号	设备名称	单位(台/套)	数量	备注
1	热室	套	3	根据生产经营规模需求分期配置, 210、210、212车间工艺设备配置相同。
2	恒温混匀仪(热室内)	套	1	
3	分装设备(热室内)	台	1	
4	合成设备(热室内)	台	2	
5	取样设备(热室内)	台	1	
6	层流罩	台	1	
7	电子天平(放层流罩内)	台	2	
8	超声清洗机(放层流罩内)	台	1	
9	pH计(放层流罩内)	台	1	
10	超净工作台	台	1	
11	放料箱	套	2	

表3.2.1-2 本项目质检中心主要工艺设备一览表

区域	场所	设备名称	数量(台/套)
放射性区域	放化实验室1	手套箱+活度计	6
		工作台	1
		万向抽气罩	1
	放化实验室2	手套箱+活度计	6
		工作台	1
		万向抽气罩	1
	放化实验室3	手套箱+活度计	4
		工作台	1
		万向抽气罩	1
	放化实验室4	手套箱+活度计	2
		工作台	1
		万向抽气罩	
	天平室1/百万分之一天平室	边台(天平)	3
		百万分之一天平	1
	液相仪器室	HPLC	10
		通风橱	10
	数据处理室	电脑	5
		色谱柱暂存柜	1
	气相室	气相色谱	3
		通风橱	2
电脑		1	
色谱柱暂存柜		1	
仪器室3	ICP(含操作台、仪器、电脑)	1	
仪器室1	液体闪烁计数器(含电脑)	2	
仪器室2	锆分析仪	1	

		智能定标器	1
		薄层放射性扫描仪（含电脑）	1
		紫外分光光度计（含电脑）	1
	仪器室4	高纯锗 $\gamma$ 谱仪	2
		边台	2
		液氮罐	2
		蠕动泵	1
	放射性样品稳定性考察室1	稳定性实验箱	8
		冰箱	2
	放射性样品留样室1（常温）	屏蔽柜	10
		通风屏蔽柜	1
		冰箱	3
	放射性样品留样室1（阴凉）	屏蔽柜	6
	放射性洁具间	拖把池、洁具架	1
	非放样品收发室	小推车	1
		样品柜	5
		冰箱	2
	试剂库	试剂柜	10
		边台	1
	暂存间	危化品柜	10
	标液室	冰箱	2
		试剂柜	2
		边台	1
	理化实验室	pH计	4
		电导率仪	4
		离心机	1
		水浴锅	8
		超声波清洗器	4
		冰箱	2
		通风橱	6
		溶出仪	1
		中央实验台	1
		万向抽气罩	1
	滴定室	通风橱（内含电位滴定仪）	2
		边台	1
	天平室2/百万分之一天平室	万分之一	2
		十万分之一天平	3
		百万分之一天平	1
	精密仪器室	紫外分光光度计（含电脑）	1
	红外光谱室	红外光谱仪（含电脑）	1
		除湿机	1

		边台	1
	普通仪器室	冰点渗透压仪	1
		澄明度检测仪	1
		伞棚灯	1
		TOC	1
		智能崩解仪	1
		示波极谱仪	1
		旋光仪	1
	水分室	通风橱（内含卡尔费休水分仪）	1
		天平+边台	1
	原子吸收光谱室	原子吸收光谱仪（含电脑）	1
		边台	1
	高温室	马弗炉	2
		鼓风干燥箱（放在边台）	6
边台		1	
样品稳定性考察室	稳定性实验箱	2	
非放样品留样室（常温）	样品柜	4	
	冰箱	4	
非放样品留样室（阴凉）	样品柜	4	
微生物区域微生物准备室（非放射性区域）	阴凉库	货架	3
	菌种库	冰箱（带锁）	2
		低温冰箱（带锁）	2
	准备间	天平	2
		恒温水浴锅	1
		电炉	1
		混合仪	1
		中央试验台	1
		冷藏箱	2
	清洗间	器皿柜	2
	灭活间	立式压力蒸汽灭菌器	1
		不锈钢柜子（带锁）	1
	灭菌间	立式压力蒸汽灭菌器	2
		鼓风干燥箱	2
脉动真空灭菌柜		1	
传递窗		1	
微生物区域非放普通区域	内毒素实验室	恒温水浴锅	1
		试管恒温仪	1
		边台	1
		超净工作台（内含不溶性微粒检测仪）	1
	培养室	生化培养箱	4

		恒温培养箱	2
		边台	1
		菌落计数器（放在边台）	1
	微生物鉴别室	超净工作台	1
		边台	1
		显微镜（含电脑）	1
无菌操作间	无菌检查室	无菌隔离器	1
		传递窗	2
		边台	1
	取样间	A级层流罩	1
		传递窗（落地式）	1
		封口机	1
		天平	1
		边台	1
微生物限度室	微生物限度室	超净工作台	1
		边台	1
阳性对照室	阳性对照室	生物安全柜	1
		漩涡混合仪	1
		传递窗	2
		边台	1
微生物区域放射性区域普通区域	放射性内毒素实验室	恒温水浴锅	1
		试管恒温仪	1
		边台	1
		通风橱	1
	放射性培养室	超净工作台（内含不溶性微粒检测仪）	1
		生化培养箱	4
		恒温培养箱	2
		边台	1
放射性无菌操作间	无菌检查室	菌落计数器（放在边台）	1
		无菌隔离器（带屏蔽）	1
		手套箱	1
	取样室	边台	1
		手套箱	2
放射性微生物限度室	微生物限度室	传递窗（落地式）	2
		边台	1
		超净工作台	1
		手套箱（带过滤排风）	1
放射性阳性对照室	阳性对照室	边台	1
		生物安全柜	1
		手套箱（带过滤排风）	1
		漩涡混合仪	1
		边台	1

### 3.2.2 工艺分析

#### (1) 回旋加速器工作原理

回旋加速器的基本原理是带电粒子在扇形磁铁和高频腔产生的磁场和高频电场作用下，带电粒子束在近似于螺旋的轨道中不断被加速，束流能量随着运动轨道半径的增大而增大。当带电粒子加速到一定能量时，可通过该位置的碳剥离膜将束流引出，并通过靶站的靶窗轰击靶材料。引出的束流与其路径上靶材料原子核的碰撞将引发核反应，从而产生具有一定阈能的放射性核素。本项目涉及生产的放射性核素均为正电子核素包括：氟-18、铜-64、镓-68、锆-89。

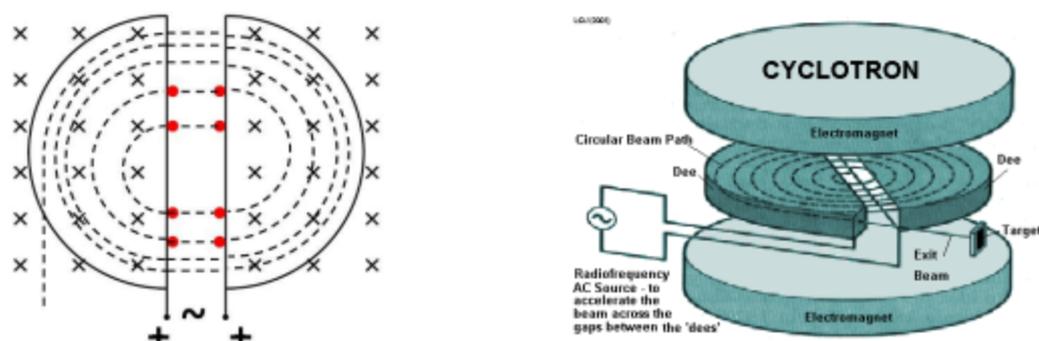


图3.2.2-1 回旋加速器原理图

#### (2) 回旋加速器系统构成

本项目拟使用的PET trace鲲鹏回旋加速器主要由磁场系统、离子源系统、射频系统、束流引出系统、靶系统、控制系统、真空系统、冷却系统等组成。技术参数见表3.2.2-1。

表3.2.2-1 回旋加速器技术参数表

型号：PET trace鲲鹏			
尺寸：1.33m×1.2m×1.91m（主机）			
回旋加速器机体技术参数		靶技术参数	
屏蔽情况	非自屏蔽	靶体积	2.4mL
束流离子	H <sup>-</sup>	冷却方式	水冷
束流能量	16.5MeV	粒子源	氢气
束流强度	2×80μA	束流端口数量	6
重量	20t	最大出束流数	2
机体内冷却水总体积	200L	靶体类型	固、液、气

注：所有靶材均为外购。

##### ① 磁场系统

回旋加速器磁场系统由扇形磁轭、铜线圈、磁铁电源配给系统等组成。磁轭横截面形状由磁场的等时性条件确定，励磁后可为被加速的带电粒子提供保持螺旋运动轨

迹的磁场分布。

#### ②离子源系统

由离子源、离子源电源配给器和气体控制组成，主要功能是提供H<sup>-</sup>离子束，离子源为氢气。

#### ③射频系统

该系统主要包括RF谐振腔、RF功率发生器以及相应的控制和检测电路，射频系统为加速器提供高频振荡电压，从离子源中提取离子进行加速并对离子运行一周提供加速电压。

#### ④束流引出系统

主要包括剥离碳膜、引出器等装置，该系统直接将加速的且具有最大能量的带电负离子从真空腔中引出，主要是通过剥离膜剥去负粒子的两个电子，使其转变成带正电荷的质子，此时粒子束运行轨道发生逆向偏转，然后通过引出装置将束流引入靶内。PET trace鲲鹏回旋加速器最大引出束流强度为160 $\mu$ A，可单束流（160 $\mu$ A）运行，也可双束流（2 $\times$ 80 $\mu$ A）运行。

#### ⑤靶系统

PET trace鲲鹏回旋加速器共配置6个靶位，涉及固体靶系统。单次打靶最多运行2个靶位，2个液体靶制备<sup>18</sup>F，可以同时出束即双束流模式。此外，该设备上的1个固体靶和1个液体靶可以同时运行。

A、本项目固体靶生产铜-64、镓-68、锆-89，系统中一个铝制载体负责将靶在靶台和卸载热室之间来回运输，载体靠局部真空传送。固体靶系统包括发射端、接收端、气动传输系统和控制单元。所有系统逻辑电路均有加速器自带的控制系统进行自动控制，不需要进行人工换靶。

B、本项目液体靶系统可以生产高纯净的氟-18，液体靶由锥形铌室控制成，以靶膜为靶窗，输入和输出管线直接插入铌室，向靶腔室中注入重氧水和去离子水，辐照后通过管道传回热室。

#### ⑥控制系统

控制系统由可编程逻辑控制器（PLC）和控制界面来实现，可完成加速器各设备和外部系统的安全互锁，在保证人员安全的情况下，完成安全生产及相关检测数据记录。

#### ⑦真空系统

真空系统通过真空泵在加速器内建立束流加速和传输需要的真空压力水平，降低束流与气体分子的碰撞损失，同时为高频电场提供绝缘。

#### ⑧冷却系统

冷却方式为水冷，分为一级循环冷却水系统和二级循环冷却水系统，其中二级循环冷却水采用去离子水，主要是对靶体进行冷却，一级循环冷却水采用自来水，对二级循环冷却水进行热交换。

表 3.2-11 本项目放射性药物销售和暂存情况

序号	核素	单个货包最大活度 (Bq)	每年最大暂存销量 (Bq)	每年最大暂存天数 (天)	每年最大暂存货包数量 (件)	每天最大贮存量 (Bq)	每日暂存最大货包件数 (件)	存储位置	*货包类型
1	Zr-89	1.48E+08	3.7E+12	100	7500	7.40E+10	75	成品库1	A类II级(黄)
2	Ac-225	9.25E+06	1.11E+11	150	3600	7.40E+09	24		A类II级(黄)
3	I-131	5.55E+11	5.18E+14	200	280	7.40E+09	2		A类II级(黄)
4	Lu-177	7.40E+09	3.70E+14	250	15000	1.85E+09	60		A类II级(黄)
5	Tb-161	7.40E+09	7.40E+13	100	3000	7.40E+09	30		A类II级(黄)
6	Sr-89	1.48E+08	8.88E+12	200	18000	7.40E+08	90	成品库2	A类II级(黄)
7	Y-90	7.40E+09	4.63E+13	200	1877.1	3.70E+09	10		A类II级(黄)
8	I-125	1.85E+08	1.48E+12	200	2400	3.70E+08	12		A类II级(黄)
9	Ge-68(Ga-68)	7.40E+09	3.70E+13	200	1500	7.40E+10	8		A类II级(黄)
10	W-188(Re-188)	3.70E+09	3.70E+13	200	3000	4.44E+10	15		A类II级(黄)
11	Mo-99(Tc-99m)	7.40E+10	7.40E+13	200	300	1.85E+09	2		A类II级(黄)

“\*”注：无法准确确定 I 级货包和 II 级货包的准确数量，保守均按照 II 级货包计算。

### 3.2.2.9 产品销售及运输

#### (1) 销售

本项目销售模式为自产自销，主要销售流程如下：

①成都欣科医药有限公司销售部门收到客户购买需求后与客户进行接洽工作，协商相关事宜；

②购买方向销售部门提供《辐射安全许可证》及其它相关资料，代理方则需同时向销售部门提供代理方及用户的《辐射安全许可证》及其它相关资料，销售部门对其相关资质进行认定合格后与客户签订销售协议书，明确运输、使用过程中的辐射安全责任；

③欣科药业根据购买方提供的购买需求情况进行放射性药物生产。

④生产完成并检验合格后的放射性药物经包装检查和表面污染监测后，由建设方运输部门直接运输至最终客户，并进行放射性药品的出库台账记录。

在销售过程，相关单位的职责各不相同，需在合同签订中各自明确。具体职责如下：

**表3.2.2-14 销售过程相关单位责任划分表**

相关单位	职责
成都欣科医药有限公司	①负责放射性物质销售的商务谈判，与购买方签订放射性物质销售合同； ②负责审查购买方是否具有相应的使用资质，确保非密封放射性物质销售到具有相应使用资质的单位； ③负责放射性物质的产品质量及出厂前货包的辐射安全责任； ④负责运至购买方（或使用方）指定地点后的现场交付协调工作； ⑤落实《危险货物道路运输安全管理办法》中的危险货物道路运输作业查验、记录制度，并协助托运过程辐射事故应急信息对接； ⑥负责将产品运输至购买方（或使用方）指定的地点，并办理放射性物质运输的相关审批手续，承担放射性物质运输过程中的安全责任。
购买方	①负责提供真实的非密封放射性物质许可使用资质； ②负责非密封放射性物质到场后的安全使用和储存工作； ③未使用完的放射性药品，由购买方负责安全处理。
代理方	①负责提供真实的非密封放射性物质许可销售资质； ②负责提供使用方的非密封放射性物质许可使用资质； ③负责放射性药品交付过程的协调沟通工作。
第三方运输单位	负责将非密封放射性物质运输至购买方（或使用方）指定的地方，并办理放射性物质运输的相关审批手续，承担放射性物质运输过程中的安全责任。

#### (2) 产品运输方案

成都欣科医药有限公司设有运输部门，取得了《放射性物品道路运输许可证》（川交运管许可 成 字510100600137号），成都区域4小时内的客户均由建设单位直接送达，

对于远途客户，由建设单位派运输车辆运送至就近的铁路货站或机场后，移交给第三方有资质单位进行后续运输。

### 3.2.3 辐射工作场所流通过程规划

本项目各辐射工作场所人流、物流路径规划详见附图5，辐射工作人员从2号楼一层南侧进入大厅后分别进入各自的工作场所和生产车间，涉放原料从一层西北侧出入口送入，并通过北侧角落货梯送往二层生产车间和三层质检中心，放射性废物从2号楼一层北侧角落的货梯运出，药物成品从一层西北侧出入口运出，非放原料从2号楼1层东北侧出入口运送入物料暂存间。人流物流路径相对独立，从时间上做到了互不干扰，保持了2号楼内各工作场所的安全性和秩序性，便于管理。

#### 3.2.3.1 204车间、214车间人流物流路径规划（回旋加速器区）

**①人流路径：**放射性工作人员进入和退出放射性工作场所均需按照规定的路线行进：

**进入路线：**①从一层南侧门厅进入→一层换鞋室、更衣室→监控室/办公室/前室；  
②从一层南侧门厅进入→一层换鞋室、更衣室→走廊→加速器控制室/洗衣间/设备间/和制靶间。

**退出路线：**原路退出。

**②放射性原料流入路径：**①从一层西北侧出入口进入→走廊→制靶间→204 车间/214 车间。

**③ 核素原料传输路径：**①204 车间/214 车间→专用传输管线（地下）→207 车间、208 车间和 206 合成热室。②加速器室一/加速器室二→专用传输管线（地下）→固体靶热室→207 车间、208 车间和 206 车间合成热室。

**④ 放射性废物路径：**①204、214 车间→走廊→北侧 HT-1 货梯→负一层东南侧的放射性废物暂存间。

#### 3.2.3.2 207车间、208车间人流物流路径规划（氟<sup>[18F]</sup>标记药物生产线）

**① 人流路径：**放射性工作人员进入和退出放射性工作场所均需按照规定的路线行进：

**进入路线：A.生产人员：**从一层南侧门厅进入→一层换鞋室、更衣室→缓冲间→走廊→207、208 车间一更、二更、气锁间、洁净通道、气锁间→207 车间前区/208 车间前区。

**B.包装人员：**从一层南侧门厅进入→一层换鞋室、更衣室→缓冲间→走廊→207

车间包装间/208 车间包装间。

**退出路线：A.生产人员：**207 车间前区/208 车间前区→气锁间→洁净通道→气锁间 2→检测去污间→一更→走廊→一层总更间（日常服、换鞋）→一层南侧门厅退出。

**B.包装人员：**207 车间包装间/208 车间包装间→走廊→检测缓冲间（检测是否带有放射性污染物，如带有放射性污染物，应到去污间进行去污后再进入检测间进行检测。）→一层总更间（日常服、换鞋）→一层南侧门厅退出。

② **放射性原料流入路径：**204 车间/214 车间→专用传输管线（地下）→207 车间和 208 车间合成热室。

③ **非放射性原料流入路径：**从 2 号楼 1 层东北侧出入口运送入→物料暂存间→走廊→207 车间拆包间/208 车间拆包间/北侧货梯→三层质检中心。

④ **放射性药物产品流出路径：**207 车间分装热室/208 车间分装热室→传递窗→包装间→走廊→一层西北侧出入口出货。

⑤ **放射性废物流出路径：**207 车间后区/208 车间后区→走廊→北侧 HT-1 货梯→负一层东南侧的短半衰期废物暂存间。

### 3.2.3.3 206 车间人流物流路径规划（中试线）

#### ① 人流路径

**进入路线：A.生产人员：**从一层南侧门厅进入→一层总更间（日常服、换鞋）→缓冲间→走廊→206 车间一更、二更、气锁间→洁净通道→气锁间→206 车间前区。

**B.包装人员：**从一层南侧门厅进入→一层换鞋室、更衣室→缓冲间→走廊→206 车间包装间。

**退出路线：A.生产人员：**206 车间前区→气锁间→洁净通道→气锁间 2→检测去污间→一更→走廊→一层总更间（日常服、换鞋）→一层南侧门厅退出。

**B.包装人员：**206 车间包装间→走廊→检测缓冲间（检测是否带有放射性污染物，如带有放射性污染物，应到去污间进行去污后再进入检测间进行检测。）→一层总更间（日常服、换鞋）→一层南侧门厅退出。

② **放射性原料流入路径：**A.204 车间/214 车间→专用传输管线（地下→206 车间合成热室。B.从 2 号楼 1 层东北侧出入口运送入→走廊→物料暂存间/→包装间→206 车间后区。

③ **非放射性原料流入路径：**从 2 号楼 1 层东北侧出入口运送入→物料暂存间→走廊→206 车间拆包间/北侧货梯→三层质检中心。

④ **放射性药物产品流出路径**: 206 车间分装热室→传递窗→包装间→走廊→一层西北侧出入口出货。

⑤ **放射性废物流出路径**: 206 车间后区→走廊→北侧 HT-1 货梯→负一层东南侧的放射性废物暂存间。

#### 3.2.3.4 209 车间、210 车间

##### ① 人流路径

**进入路线**: A.生产人员: 从一层南侧角楼梯上二层→走廊→209 车间、210 车间一更、二更、气锁间、洁净通道、气锁间/准备间→209 车间、210 车间前区。

B.包装人员: 从一层南侧角楼梯上二层→走廊→209 车间、210 车间包装间。

**退出路线**: A.生产人员: 209 车间、210 车间前区→209 车间、210 车间气锁间、洁净通道、气锁间 2→检测去污间→一更→走廊→一层南侧角楼梯下楼退出。

B.包装人员: 209 车间、210 车间包装间→走廊→一层南侧角楼梯下楼退出。

② **放射性原料流入路径**: 从 2 号楼 1 层东北侧出入口运送入→走廊→物料暂存间/北侧角 HT-1 货梯→包装间→209 车间、210 车间后区。

③ **非放射性原料流入路径**: 从 2 号楼 1 层东北侧出入口运送入→物料暂存间→走廊→北侧 HT-1 货梯→209 车间、210 车间拆包间/三层质检中心→热室。

④ **放射性药物产品流出路径**: 209 车间、210 车间分装热室→传递窗→包装间→走廊→二层北侧角 HT-1 货梯→一层西北侧出入口出货。

⑤ **放射性废物流出路径**: 209 车间、210 车间后区→走廊→北侧 HT-1 货梯→负一层东南侧的放射性废物暂存间。

#### 3.2.3.5 211 车间、212 车间

##### ① 人流路径

**进入路线**: A.生产人员: 从一层南侧角楼梯上二层→走廊→211 车间、212 车间一更、二更、气锁间、洁净通道、气锁间/准备间→211 车间、212 车间前区。

B.包装人员: 从一层南侧角楼梯上二层→走廊→211 车间、212 车间包装间。

**退出路线**: A.生产人员: 211 车间、212 车间前区→211 车间、212 车间气锁间、洁净通道、气锁间 2→检测去污间→一更→走廊→一层南侧角楼梯下楼退出。

B.包装人员: 211 车间、212 车间包装间→走廊→一层南侧角楼梯下楼退出。

② **放射性原料流入路径**: 从 2 号楼 1 层东北侧出入口运送入→走廊→物料暂存间/北侧角 HT-1 货梯→包装间→211 车间、212 车间后区。

③ **非放射性原料流入路径**: 从2号楼1层东北侧出入口运送入→物料暂存间→走廊→北侧 HT-1 货梯→211 车间、212 车间拆包间/三层质检中心→热室。

④ **放射性药物产品流出路径**: 211 车间、212 车间分装热室→传递窗→包装间→走廊→二层北侧角 HT-1 货梯→一层西北侧出入口出货。

⑤ **放射性废物流出路径**: 211车间、212车间后区→走廊→北侧HT-1货梯→负一层东南侧的放射性废物暂存间。

### 3.2.3.6 质检中心

①**人员路径**: 工作人员通过北侧楼梯上三层质检中心→换鞋室→更衣室→走廊→放射性样品收发室→各仪器室、检测室等。工作结束后经东北侧检测间进行表面污染沾污检测, 若经检测合格可经更衣区脱衣后、更鞋区换鞋后离开; 若监测出现超标则首先去污(采用擦拭法, 若工作服受到污染则在此脱衣), 去污后再次进行表面沾污监测, 经检测合格后经更衣区脱衣后(工作服未受到污染)、更鞋区换鞋后离开。

#### ②放射性原料路径

放射性原料由一层西北侧出入口出货送入→各生产车间热室内取样→北侧货梯→放射性药物收发室→放化实验室2→各检测室、仪器室等。

③ **非放射性原料流入路径**: 从2号楼东北侧 HT-2 货梯运送入→电梯厅→走廊→非放样品收发室→试剂室/对照品、标液室→走廊东北侧出入口→质检中心各非放检测室、仪器室。

#### ④放射性废物路径

各检测室、仪器室→走廊→北侧货梯→负一层放射性废物暂存间;

由上述分析可见, 本项目2号楼各非密封放射性物质工作场所人流、物流通道在满足生产工艺要求的前提下, 做到了合理规划, 便于日常辐射防护监管, 本评价认为项目人流、物流路径规划基本合理。

## 3.3 污染源项

### 3.3.1 施工期污染源

本项目为新建项目, 施工环节主要包括: 土建施工、厂房装修、设施设备安装和场地清理等, 施工期主要环境污染因子包括施工扬尘、装修废气、施工废水、噪声、固体废物等。施工期工艺流程及产污环节如下图所示。

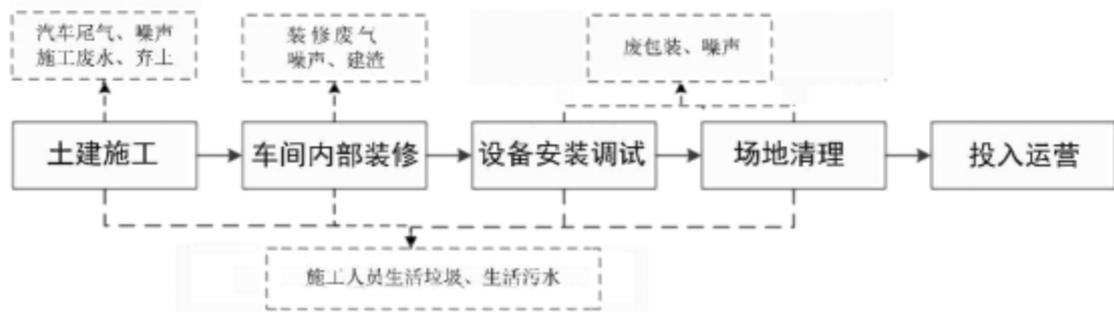


图 3.3-1 施工期工艺流程及产污环节示意图

### (1) 噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有重型运输车、电锯、电锤、空压机、角磨机等，施工期噪声源强见表3.3.1-1。

表3.3.1-1 施工期机械噪声源值

声源	距离源强5m处噪声dB (A)	距离源强10m处噪声dB (A)
重型运输车	82-90	78-86
木工电锯	93-99	90-95
电锤	100-105	95-99
空压机	88-92	83-88
角磨机	90-96	84-90
风镐	88-92	83-87
振动夯锤	92-100	86-94

注：源强数据来自《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ 2034-2013）。

### (2) 施工废气

施工废气主要来源于施工阶段产生的施工扬尘和施工车辆尾气，机械废气以及装修过程产生的装修废气等。

### (3) 施工废水

施工期废水为施工人员的生活污水和施工废水。本项目施工期预计施工人员最多约50人左右，生活用水量按每人 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ 计算，用水量为 $5\text{m}^3/\text{d}$ ，排放系数以0.8计，生活污水排放量为 $4\text{m}^3/\text{d}$ 。

施工废水主要污染物为悬浮物，采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排。

### (4) 固体废物

项目施工期固体废物包括基础开挖产生的弃土、施工建筑垃圾，以及施工人员产生的生活垃圾。

本项目土建阶段产生的土石方部分用于回填绿化，剩余部分运往当地建设部门指定场所处理。

建筑垃圾主要来自装修施工作业产生的废砂石、废建材等。根据施工行业经验估算，新建工程按每新建  $100\text{m}^2$  建筑产生  $0.5\text{t}$  建筑垃圾计算，本项目总建筑面积  $5246.93\text{m}^2$ ，则建筑垃圾产生量约  $26.2\text{t}$ ；设备安装阶段废材料产生量约  $2\text{t}$ 。

本项目施工高峰期工人人数约  $50$  人，生活垃圾产生量按  $0.5\text{kg}/\text{人}\cdot\text{d}$  计，产生量为  $25\text{kg}/\text{d}$ 。

### 3.3.2 运营期放射性污染源

本项目运营期生产工作场所包括 204、214 车间（回旋加速器区）、206 车间、207 车间、208 车间、209 车间、210 车间、211 车间、212 车间和药物成品库。

#### 3.3.2.1 204、214 车间（回旋加速器区）

##### （1）质子

本项目回旋加速器加速粒子为质子（最大能量为  $16.5\text{MeV}$ ），属于重带电粒子，相对电子其射程仅为同等能量的电子射程的几十分之一到百分之一，同时由于质子均在机体内部加速传输，且在末端打靶后全部损失，剩余到达机房内质子的穿透性很弱，很容易被物质阻挡，其外照射防护在本项目中不作考虑。

##### （2）中子

回旋加速器出束期间产生的中子主要来源于两种途径，一种为质子运过程束流损失与准直器等作用发生  $(p, n)$  核反应产生中子，另一种为质子射束轰击靶材时发生  $(p, n)$  核反应产生中子，其中轰击靶材产生中子为主要途径，最大中子能量为  $16.5\text{MeV}$ 。

##### （3） $\gamma$ 射线

主要来源于两种途径，一种是  $(p, n)$  核反应产生的放射性核素衰变产生  $\gamma$  射线，其能量相对较低，另一种是中子与回旋加速器机体材质或空气介质作用发生中子捕获反应  $(n, \gamma)$  产生  $\gamma$  射线，最大能量为  $10\text{MeV}$ 。

##### （4）感生放射性

主要来源于初始粒子与加速器部件相互作用产生，以及束流损失产生的次级中子散裂及热中子捕获（包括： $(n, 2n)$ 、 $(n, p)$ 、 $(n, \alpha)$ 、 $(n, \gamma)$ ）引起的感生放射性，核素衰变过程伴生  $\beta$ 、 $\gamma$  射线。感生放射性强度取决于加速器粒子的能量、种类、流强、加速器运行时间、被照材料性质等因素。本项目主要考虑加速器结构部件、空气、冷却水等部位的感生放射性。

①结构部件活化：回旋加速器活化主要来源于加速离子在束流损失点发生  $(p, x)$  核反应产生放射性核素，另外一部分来源于中子活化部件发生  $(n, x)$  核产生放射性核

素，束流损失主要点位包括：准直器和靶材料等，主要是材质为：铜、铝、铁及合金等，在短时间运行条件下，主要以大截面反应产生的短半衰期放射性核素为主（如：铝-28、镁-27、钠-24、锰-56等），停机冷却后剩余辐射剂量会降低至较小水平，若加速器长期运行期对于小截面反应产生的长半衰期核素（如：钴-60）会进行累计，从而增大剩余剂量。本项目回旋加速器在运行过程中主要定期进行活化部件的更换，每台年产生量约10kg，靶膜、碳膜约0.1kg。加速器结构部件产生的感生放射性核素种类见下表。

表3.3.2-1 加速器结构部件中的主要感生放射性产物

部位	材质	感生放射性核素	半衰期	辐射类型
束流管、偏转磁铁、结构材料	不锈钢	$^{56}\text{Mn}$	2.6h	$\beta^-$ , $\gamma$
		$^{65}\text{Ni}$	38min	$\beta^-$ , $\gamma$
	铝	$^{27}\text{Mg}$	9.5min	$\beta^-$ , $\gamma$
		$^{24}\text{Na}$	14.9h	$\beta^-$ , $\gamma$
		$^{28}\text{Al}$	2.3min	$\beta^-$ , $\gamma$
	铜	$^{62}\text{Cu}$	9.7min	$\beta^+$ , $\gamma$
		$^{64}\text{Cu}$	12.8h	$\beta^+$ , $\gamma$
		$^{66}\text{Cu}$	5.1min	$\beta^-$ , $\gamma$

备注：引自《辐射防护手册（第一分册）》（李德平，潘自强主编，原子能出版社）

由上表可见，加速器结构部件产生的感生放射性核素多数为短半衰期核素，经过一定时间可衰变至较低水平。

③冷水活化：回旋加速器运行时，次级中子与冷却水中的氧发生核反应产生感生放射性核素。16.5MeV回旋加速器运行期间，冷却水中活化产物主要有 $^{16}\text{N}$ （半衰期7.3s）、 $^{15}\text{O}$ （半衰期2min）放射性核素，为短半衰期核素，放置一定时间可衰变至较低水平。

正常运行期间，冷却水在冷却系统管路中循环使用，不外排。维保期间可能需要排掉冷却水，以便进行设备检修。每台加速器冷却水量为100L，2台加速器冷却废水产生量为0.2m<sup>3</sup>/a。冷却废水采用带铅屏蔽的废水收集桶单独收集，在加速器机房内暂存衰变超过30天后，经监测 $\beta$ 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 后排入园区污水管网。

### 3.3.2.2 207车间、208车间（氟 $^{18}\text{F}$ 标记药物生产线）

207车间和208车间药物产量、活动种类、生产线生产工艺流程完全相同，均是以回旋加速器生产的 $^{18}\text{F}$ 离子溶液，经合成、分装等工序生产。

#### （1）贯穿辐射

$^{18}\text{F}$ 半衰期为109.7min，低毒，衰变方式为 $\beta^+$ 衰变和EC衰变，衰变时产生0.635MeV的 $\beta$ 射线，以及 $\beta^+$ 衰变过程中产生的正电子与负电子发生湮没反应产生的 $\gamma$ 射线

(0.511MeV)。

因此，在核素原料溶液转运、放射性药物生产和产品包装运输环节，相关工作人员会受到 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线的外照射影响。

### (2) 放射性废气

氟-18不具有挥发性，在生产过程挥发量较小。2条生产线氟-18的日最大操作量为 $2.59E+12Bq$ ，则两条生产线含氟-18废气产生量为 $5.18E+08Bq/d$ 。

项目氟 $[^{18}F]$ 标记药物生产线设计有高效过滤器+中效过滤器+初效过滤器风机组，根据设计资料，含氟-18气溶胶过滤效率不低于99%，则废气中氟-18排放量为 $5.18E+06Bq/d$ 。

### (3) 放射性废水

清洗废水量很小且氟-18半衰期很短，单次的清洗废水经专用塑料瓶容器收集后放入铅容器内用推车运送到放射性固废间的地坑内存储，衰变超过30天后按一般废水处理。

### (4) 放射性固体废物

合成、分装环节产生含氟-18的一次性合成卡套（注射器、针头和传输管路等）、废树脂和滤材等，两条生产线产生量约 $1.6kg/d$ 。

### (5) 核素物料平衡

两条氟 $[^{18}F]$ 标记药物生产线生产规模相同，2条生产线氟-18的日最大操作量为 $5.18E+12Bq$ ，产品中的氟-18含量约为 $2.07E+12Bq$ 。

生产线生产过程中，核素物料平衡见下表。

表 3.3.2-3 207、208 车间氟 $[^{18}F]$ 药物生产线核素平衡

核素	原料投入量 (Bq/d)	生产过程损失量 (Bq/d)		产品中含量 (Bq/d)
$^{18}F$	5.18E+12 (两条生产线)	废气损失	5.18E+08	2.07E+12
		废水损失	1.04E+09	
		固体废物损失	5.18E+08	
		传输管线损失	5.18E+06	
		质检损失	2.96E+10	
		留样损失	2.96E+10	
		衰变损失	3.11E+12	
		合计	3.17E+12	

#### 3.3.2.4 209车间、210车间

##### (1) 贯穿辐射

209和211车间分别建设1条放药生产线，涉及的放射性核素为镅-177和铯-161，两条生产线生产规模相同。镅-177的半衰期为6.71d，衰变方式为 $\beta^-$ （100%），衰变时 $\beta^-$

粒子最大能量为0.2058MeV，产生的 $\gamma$ 射线最大能量为0.208MeV；铽-161半衰期为6.91d，衰变方式为 $\beta^-$ （100%），衰变时 $\beta$ 粒子最大能量为0.584MeV，产生 $\gamma$ 射线最大能量为0.075MeV。

#### (2) 放射性废气

根据行业生产经验，镱-177和铽-161核素不易挥发，挥发量保守按操作量的0.1%考虑。生产线热室自带过滤器，并另外设计有中效过滤器+H13高效过滤器风机组，对不小于0.1 $\mu\text{m}$ 的气溶胶去除率为99.9%，本项目去除效率保守按99%考虑。209和211车间放射性废气产生量见下表。

表3.3.2-8 209和211车间放射性废气产生量一览表

生产车间	核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性废气产生量 (Bq/d)	过滤器去除率	排放量 (Bq/d)
209车间	$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	1.48E+08	99%	1.48E+06
	$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	1.48E+08	99%	1.48E+06
210车间	$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	1.48E+08	99%	1.48E+06
	$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	1.48E+08	99%	1.48E+06

#### (3) 放射性废水

②每批次生产结束后，在下一批次生产开始前，需对生产线的合成装置、分装装置的输送管路进行清洗

放射性废水产生量及废水中核素活度含量见下表：

表3.3.2-9 209和211车间废水产生量及活度一览表

生产车间	核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性废水产生量 (ml/d)	活度 (Bq/d)
209车间	$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	60	2.96E+08
	$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	60	2.96E+08
210车间	$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	60	2.96E+08
	$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	60	2.96E+08

每批次产生清洗废水，由专用塑料瓶收集后装入铅容器内用推车送入放射性固废间地坑内暂存，核素废水存储10个半衰期及以上后经监测达标后按一般废水处理。

#### (4) 放射性固废

209和211车间产生的放射性固体废物产生量及废物中核素活度含量见下表。

表3.3.2-10 209和211车间放射性固废产生量及活度一览表

生产车间	核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性固废产生量 (g/d)	活度 (Bq/d)
209车间	$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	400	1.48E+08
	$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	400	1.48E+08
210车间	$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	400	1.48E+08
	$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	400	1.48E+08

#### (5) 核素物料平衡

209 和 211 车间每年仅生产镱-177、铽-161 其中一种放射性药物，每天生产 2 批次。生产过程中，核素物料平衡见下表。

表3.3.2-11 209和211车间物料平衡核算表

主要核素	原料投入量 (Bq/d)	生产过程损失量 (Bq/d)		产品中含量 (Bq/d)
$^{177}\text{Lu}$	1.48E+12	废气损失量	1.48E+08	1.46E+12
		废液损失量	2.96E+08	
		固废损失量	1.48E+08	
		质检损失量	7.40E+09	
		留样损失量	3.70E+09	
		衰变损失量 (2h)	1.25E+10	
合计			2.42E+10	
主要核素	原料投入量 (Bq/d)	生产过程损失量 (Bq/d)		产品中含量 (Bq/d)
$^{161}\text{Tb}$	1.48E+12	废气损失量	1.48E+08	1.46E+12
		废液损失量	2.96E+08	
		固废损失量	1.48E+08	
		质检损失量	7.40E+09	
		留样损失量	3.70E+09	
		衰变损失量 (2h)	1.21E+10	
合计			2.38E+10	

### 3.3.2.5 211车间、212车间

209和211车间分别建设1条放药生产线，涉及的放射性核素为镭-225和铅-212，两条生产线生产规模相同，铅-212可能采用发生器淋洗生产也可能采用外购原料生产，本次按照每日最大操作量进行分析。

#### (1) 贯穿辐射

铅-212半衰期为10.6h，衰变方式为 $\beta^-$  (100%)，衰变时 $\beta$ 粒子最大能量为0.589MeV，产生 $\gamma$ 射线最大能量为0.415MeV；镭-225半衰期为10.0d，衰变方式为 $\beta^-$  (100%)，衰变时 $\alpha$ 粒子最大能量为5.83MeV，产生 $\gamma$ 射线最大能量为0.0998MeV。

#### (2) 放射性废气

209和211车间放射性废气产生量见下表。

表3.3.2-12 210和212车间放射性废气产生量一览表

生产车间	核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性废气产生量 (Bq/d)	过滤器去除率	排放量 (Bq/d)
211车间	$^{225}\text{Ac}$	7.40E+08	7.40E+04	99%	7.40E+02
	$^{212}\text{Pb}$	7.40E+09	7.40E+05	99%	7.40E+03
212车间	$^{225}\text{Ac}$	7.40E+08	7.40E+04	99%	7.40E+02
	$^{212}\text{Pb}$	7.40E+09	7.40E+05	99%	7.40E+03

#### (3) 放射性废水

放射性废水产生量及废水中核素活度含量见下表：

表3.3.2-13 210和212车间废水产生量及活度一览表

生产车间	核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性废水产生量 (ml/d)	活度 (Bq/d)
211 车间	<sup>225</sup> Ac	7.40E+08	30	1.48E+05
	<sup>212</sup> Pb	7.40E+09	30	1.48E+06
212 车间	<sup>225</sup> Ac	7.40E+08	30	1.48E+05
	<sup>212</sup> Pb	7.40E+09	30	1.48E+06

每批次产生清洗废水，由专用塑料瓶收集后装入铅容器内用推车送入放射性固废间地坑内暂存，半衰期小于 24 小时的核素废水衰变超过 30 天后排放，其他核素废水存储 10 个半衰期及以上后经监测达标后按一般废水处理。

#### (4) 放射性固废

210 和 212 车间产生的放射性固体废物产生量及废物中核素活度含量见下表。

表3.3.2-14 210和212车间放射性固废产生量及活度一览表

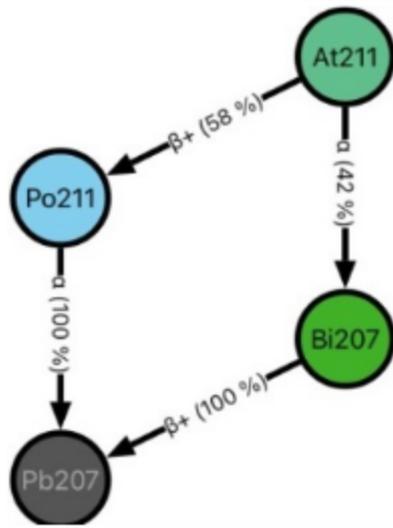
生产车间	核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性固废产生量 (g/d)	活度 (Bq/d)
211 车间	<sup>225</sup> Ac	7.40E+08	200	7.40E+04
	<sup>212</sup> Pb	7.40E+09	200	7.40E+05
212 车间	<sup>225</sup> Ac	7.40E+08	200	7.40E+04
	<sup>212</sup> Pb	7.40E+09	200	7.40E+05

#### 3.3.2.6 质检中心

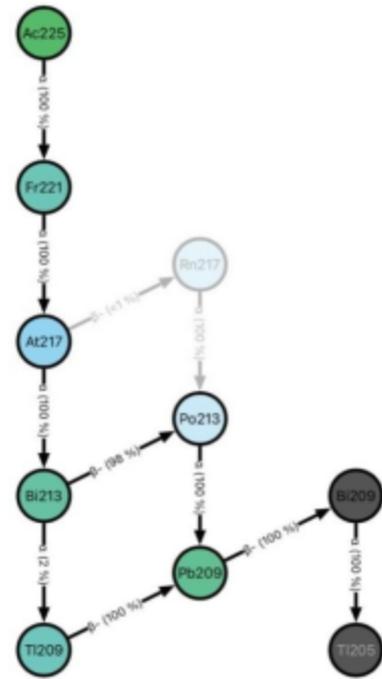
质检中心涉及操作 34 种核素，各核素的发射的 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\alpha$ 射线类型及射线能量见表 3.3.2-16。

##### (1) 贯穿辐射

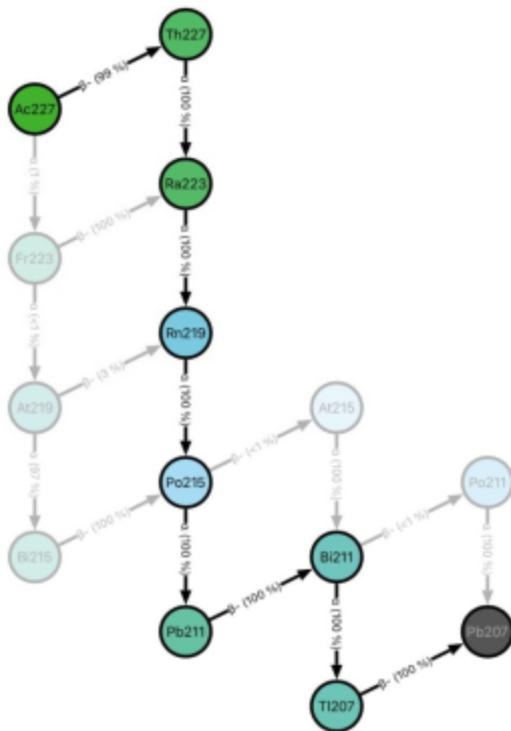
铀-238、钍-232、镭-226、钋-210、铋-214、钋-214、铀-235、钍-230、镭-226、钋-210、铋-214、钋-214衰变链见图 3.3.2-1，衰变过程各核素特性见表 3.3.2-1~3.3.2-4。



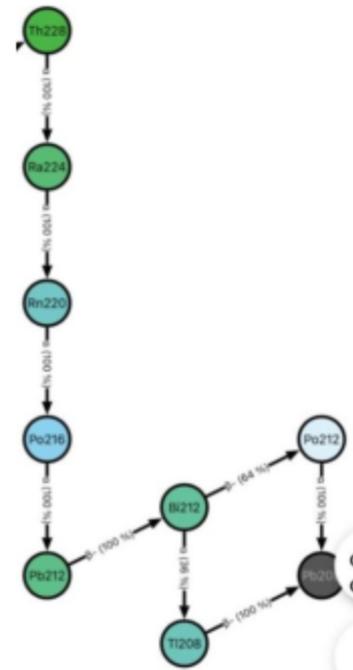
砷-211衰变链



锕-225衰变链



钍-227、镭-223衰变链



铅-212衰变链

图3.3.2-1  $\alpha$ 核素衰变链图

表3.3.2-17 砷-211衰变链特征表

母体/核素 (衰变分支)	半衰期	$\alpha$ 粒子能量 (MeV)	$\beta$ 粒子能量 (MeV)	主要 $\gamma$ 射线能量 (MeV)
$^{211}\text{At}$	7.21h	5.869	/	0.669

$^{211}\text{Po}$ (58%)	$^{207}\text{Bi}$ (42%)	0.516s	31.55a	7.450	/	/	0.38	0.898	1.063
$^{207}\text{Pb}$		稳定							

注：未列入衰变分支<1%的核素。

表3.3.2-18 铜-225衰变链特征表

母体/核素 (衰变分支)	半衰期	$\alpha$ 粒子能量 (MeV)	$\beta$ 粒子能量 (MeV)	主要 $\gamma$ 射线能量 (MeV)
$^{225}\text{Ac}$	10.0d	5.830	/	0.0998
$^{211}\text{Fr}$ (100%)	4.90min	6.341	/	0.218
$^{217}\text{At}$ (100%)	32.6ms	7.067	/	0.258
$^{213}\text{Bi}$ (100%)	45.59min	5.875	1.42	0.441
$^{213}\text{Po}$ (98%)   $^{209}\text{Tl}$ (2%)	3.706 $\mu\text{s}$   2.162min	8.376   /	/   1.80	/   1.567
$^{209}\text{Pb}$ (100%)	3.234h	/	0.20	/
$^{209}\text{Bi}$ (100%)	2.01E+19a	3.077	/	/
$^{205}\text{Tl}$	稳定			

注：未列入衰变分支<1%的核素。

表3.3.2-19 钍-227、镭-223衰变链特征表

母体/核素 (衰变分支)	半衰期	$\alpha$ 粒子能量 (MeV)	$\beta$ 粒子能量 (MeV)	主要 $\gamma$ 射线能量 (MeV)
$^{227}\text{Th}$ (100%)	18.7d	6.038	/	0.236
$^{223}\text{Ra}$ (100%)	11.4d	5.716	/	0.270
$^{219}\text{Rn}$ (100%)	3.96s	6.819	/	0.271
$^{215}\text{Po}$ (100%)	1.781ms	7.381	/	0.439
$^{211}\text{Pb}$ (100%)	36.1min	/	0.47	0.405
$^{211}\text{Bi}$ (100%)	2.14min	6.622	0.579	0.351
$^{207}\text{Tl}$ (100%)	4.77min	/	1.43	0.898
$^{207}\text{Pb}$ (100%)	稳定			

注：未列入衰变分支<1%的核素。

表3.3.2-20 铅-212衰变链特征表

母体/核素 (衰变分支)	半衰期	$\alpha$ 粒子能量 (MeV)	$\beta$ 粒子能量 (MeV)	主要 $\gamma$ 射线能量 (MeV)
$^{212}\text{Pb}$ (100%)	10.6h	/	0.589	0.415
$^{212}\text{Bi}$ (100%)	60.6min	6.05	/	0.040
$^{212}\text{Po}$ (64%)   $^{208}\text{Tl}$ (36%)	0.299 $\mu\text{s}$   3.05min	8.78   /	/   1.80	/   2.614
$^{208}\text{Pb}$	稳定			

注：未列入衰变分支<1%的核素。

## (2) 放射性废气

质检中心放射性废气产生量见下表。

表3.3.2-21 质检中心放射性废气产生量一览表

核素	最大操作量 (Bq/d)	排放量 (Bq/d)
F-18	2.96E+10	2.96E+04
Cu-64	1.48E+08	1.48E+02
Ga-68	7.40E+09	7.40E+03
Tc-99m	5.55E+09	5.55E+03
Pb-212	1.85E+08	1.85E+02
I-131	1.85E+10	1.85E+05
Pb-203	7.40E+08	7.40E+02
Lu-177	7.40E+09	7.40E+03
Sr-89	5.55E+09	5.55E+04
C-14	3.70E+09	3.70E+03
Zr-89	1.48E+09	1.48E+03
Tb-161	7.40E+09	7.40E+03
Ac-225	1.85E+08	1.85E+02
Sc-47	3.70E+08	3.70E+02
Ga-67	1.85E+08	1.85E+02
Y-90	1.85E+08	1.85E+02
Pd-103	3.70E+08	3.70E+02
In-111	1.85E+08	1.85E+02
Sm-153	3.70E+08	3.70E+02
Ho-166	3.70E+08	3.70E+02
Re-188	3.70E+08	3.70E+02
Tl-201	1.85E+08	1.85E+02
At-211	3.70E+06	3.70
Ra-223	3.70E+06	3.70
Th-227	3.70E+06	3.70
I-123	3.70E+07	3.70E+02
I-125	3.70E+06	3.70E+01
Ge-68	3.70E+07	3.70E+01
Mo-99	3.70E+07	3.70E+01
Tb-149	3.70E+07	3.70E+01
Sc-44	3.70E+07	3.70E+01
Re-186	3.70E+07	3.70E+01
I-124	1.85E+08	1.85E+03

## (3) 放射性固废

质检中心产生的放射性固体废物中核素活度含量即为质检操作量，废物产生量及活度见下表。

表 3.3.2-23 质检中心放射性废物产生量及核素含量表

核素	最大操作量 (Bq/d)	放射性废物产生量 (kg/d)
F-18	2.96E+10	0.8
Cu-64	1.48E+08	0.2
Ga-68	7.40E+09	0.2
Tc-99m	5.55E+09	0.2
Pb-212	1.85E+08	0.2
I-131	1.85E+10	0.2
Pb-203	7.40E+08	0.2
Lu-177	7.40E+09	0.4
Sr-89	5.55E+09	0.2
C-14	3.70E+09	0.2
Zr-89	1.48E+09	0.2

Tb-161	7.40E+09	0.4
Ac-225	1.85E+08	0.2
Sc-47	3.70E+08	0.2
Ga-67	1.85E+08	0.2
Y-90	1.85E+08	0.2
Pd-103	3.70E+08	0.2
In-111	1.85E+08	0.2
Sm-153	3.70E+08	0.2
Ho-166	3.70E+08	0.2
Re-188	3.70E+08	0.2
Tl-201	1.85E+08	0.2
At-211	3.70E+06	0.2
Ra-223	3.70E+06	0.2
Th-227	3.70E+06	0.2
I-123	3.70E+07	0.2
I-125	3.70E+06	0.2
Ge-68	3.70E+07	0.2
Mo-99	3.70E+07	0.2
Tb-149	3.70E+07	0.2
Sc-44	3.70E+07	0.2
Re-186	3.70E+07	0.2
I-124	1.85E+08	0.2

### 3.3.2.7 放射性物料库和四层放射性库房

四层放射性库房包括成品库 1、成品库 2、收发货区、容器清洁区和容器存储区。

项目放射性物料库和药物成品库存放的放射性药物均有完整包装，且经过表面沾污检测合格，暂存过程中不会拆开包装，项目营运期间正常工况下不会产生放射性废气和放射性废水，因此在暂存过程中主要污染源项为电离辐射。

#### (1) $\alpha$ 射线

本项目拟暂存的放射性药物包括治疗用 $\alpha$ 核素药物  $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$  和  $^{225}\text{Ac}$ ，这些放射性核素会自发衰变产生  $\alpha$  射线。

#### (2) $\beta$ 射线

本项目拟暂存放射性药物包括正电子药物 ( $^{18}\text{F}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{123}\text{I}$  和  $^{125}\text{I}$ ) 和治疗用 $\beta$ 核素药物 ( $^{90}\text{Y}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{188}\text{Re}$ 、 $^{188}\text{W}$  和  $^{14}\text{C}$ )，这些放射性核素会自发衰变产生 $\beta^+$ 粒子或 $\beta^-$ 粒子。

#### (3) $\gamma$ 射线

诊断用单光子药物 ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) 和治疗用单光子药物 ( $^{125}\text{I}$ ) 会通过轨道电子俘获产生 $\gamma$ 射线，另外其他放射性核素 (如  $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{223}\text{Ra}$  等) 在发生 $\alpha$ 衰变或 $\beta$ 衰变时也伴随产生 $\gamma$ 射线。

#### (4) 放射性固体废物

为确保放射性药物暂存过程中的辐射安全，项目拟对进出库放射性药物货包进行

表面沾污水平检测，检测合格方可入库或装车外运，不合格的进行擦拭去污，去污过程中将产生少量擦拭放射性废物约 5kg/a。

### (5) 放射性废水

容器清洁区会清洗回收的未清洁解控的碘-131 铅罐，产生的废水经特排管道进入衰变池，大约每年产生含碘-131 放射性废水 10L，碘-131 每年生产销售量为  $1.85 \times 10^{12}$ ，保守取铅罐清洗废水中碘-131 的活度为操作活度的 1%。

#### 3.3.2.8 其他放射性污染源

##### (1) 过滤器

本项目回旋加速器机房、生产线/中试线、质检中心和库房设置的排风过滤系统将定期更换（根据实际使用情况，更换周期1~3年不等）过滤和吸附材料以保证净化效果。

##### (2) 废弃材料和污染衣物

本项目产生的放射性固体废物主要包括：废弃的手套、鞋套、口罩等用品，同时，生产线辐射工作人员每日离开生产线时需进行手脚体表沾污监测，正常情况下，生产线工作人员不会产生沾污；若出现监测不达标，则需进行去污清洁，并将沾污衣物作为放射性固体废物处理。各类物品产生量约为 200kg/a。

##### (3) 工作人员清洗废水

日常过程中，本项目辐射工作人员离开车间或质检中心时进行洁衣和全身表面沾污监测，若监测达标将不进行去污清洁，洁衣清洗和手部清洗产生的清洗废水将作为非放射性废水进行处理，若表面沾污监测超标洁衣将作为放射性固体废物进行收集处理。涉及防护工作箱检修、事故应急及体表大面积沾染情况，辐射工作人员将进行应急冲淋，该应急冲淋废水将作为放射性废水进行管理，根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），按60L/（人·d）计，单次事故或检修状态淋浴用水按2名工作人员计（同一工作2人同时操作），则单次事故放射性废水最大排放量为120L/次。

#### 3.3.3 运营期非放射性污染源

##### (1) 废气

根据源项分析，本项目非放射性废气主要来源于使用的硫酸、浓盐酸挥发产生的酸雾，由于在使用过程中很少进行开放液面使用，主要采取移液器或注射器进行液体转移或操作，同时根据建设单位提供的资料，年最大用量约140L，其使用量较小，且各非辐射工作场所设置有通风橱及中效过滤器，经过滤器后酸雾产生量较小。

本项目运行期会产生挥发性有机物，由于其使用过程大部分在密闭环境中，且年

用量较小，同时非辐射工作场所设置有通风橱及中效过滤器，经过滤器过滤后挥发性有机物产生量较小，可以忽略。

### (2) 废水

本项目非放射性废水主要来源于工作人员产生的生活污水、清洗废水和和非放工艺废水等。

①本项目本次共有辐射工作人员43人，根据《四川省用水定额》（川府函[2021]8号），生活用水按240L/（人·d）计，每天用水量为10.32m<sup>3</sup>/d，排放系数取0.8，则生活污水排放量为8.26m<sup>3</sup>/d；根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）洁衣用水按30L/（人·d）计，每天用水量为1.29m<sup>3</sup>/d，排放系数取0.8，则洗衣废水排放量为10.32m<sup>3</sup>/d。

②生产线清洗用水主要来源于非放射性一次性耗材用品在进入工作箱前需进行清洗灭菌，清洗用水主要采用制备的纯化水进行清洗，其中生产线纯化用水量约200L/d，纯化水使用后作为非放射性废水进行排放。质检中心清洗用水主要来源于玻璃器皿（非放）的纯化水清洗，用水量约300L/d，本项目纯化水制备效率约70%计，产生源为自来水，用水量约0.72m<sup>3</sup>/d。

③本项目非放射性靶片制备过程，涉及电镀工艺，根据加速器运行计划，单次最多2条束流线同时运行，每天最多制2次靶，单次操作涉及靶片电镀、酸洗废水，用水主要为纯化水，用量为约1L，电镀液和酸洗液一般采取进行重复使用，特殊情况下（如：设备检修、溶液污染）才进行排放，排放量约500mL/次，根据《国家危险废物名录（2021版）》属于“HW17表面处理废物-金属表面处理及热处理加工-336-063-17其他电镀工艺产生的废槽液、槽渣”类。

### (3) 固体废物

本项目非放射性固体废物主要来源于工作人员产生的生活垃圾、餐厨垃圾、废油脂、生产线和实验室产生的非放射性固体废物等。

①本项目拟设置工作人员43人，生活垃圾按0.5kg/（人·d）计，产生量为21.5kg/d，餐厨垃圾按0.1kg/人·d计，产生量为4.3kg/d。

②动力站软化水制备产生的废离子交换树脂属于一般固废，每三年更换一次，产生量约0.5t。

③生产线产生的非放射性固体废物主要是原料包装废材、产品包装废材、空化学试剂瓶、非放射性沾染的一次性口罩、手套、擦拭物等，平均单条药物生产线产生量

约1kg/d, 本项目最多共7条生产线运行, 产生量约7kg/d。质检中心产生的非放射性固体废物主要是非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物、空化学试剂瓶, 其中非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物等产生量约0.5kg/d, 空化学试剂瓶产生量约1kg/d, 根据《国家危险废物名录(2021版)》属于“HW49其他废物-非特定行业-900-047-49生产、研究活动中, 化学和生物实验室产生的有机溶剂、废酸、废碱污染的一次性实验用品、包装物等”。

生产线、中试线和质检中心等涉及过滤短半衰期核素废气的活性炭过滤器待清洁解控后作为危险废物处置, 其最大产生量约1050kg/a; 非放射性区域初效、中效和高效过滤器产生的废滤芯每年最多为75kg, 过滤器滤芯根据《国家危险废物名录(2021版)》属于“HW49其他废物”。

生产线、中试线和质检中心等涉及短半衰期核素的离子交换树脂待清洁解控后作为危险废物处置, 其年产生量约20kg, 根据《国家危险废物名录(2021版)》属于“HW13有机树脂类废物-非特定行业-900-015-13制药行业分离过程产生的废弃离子交换树脂”。

④质检中心非放射性实验室产生的的废有机溶液(含一、二次清洗废液)、废酸溶液(含一、二次清洗废液)、废碱溶液(含一、二次清洗废液)等作为危险废物处置, 其产生量分别为约500L/a、500L/a、100L/a, 根据《国家危险废物名录》(2025年版)分别属于“HW35废碱-非特定行业-900-352-35使用碱进行清洗产生的废碱溶液”、“HW06废有机溶剂-非特定行业-900-404-06工业生产中作为清洗剂、萃取剂、溶剂或反应介质使用后废弃的其他列入《危险化学品目录》的有机溶剂”。

#### (4) 噪声

项目营运期主要噪声源为排风机房的离心机和送风机房的空调机组、加速器设备间的空压机等。本项目拟采用低噪声设备, 风机的噪声源强不超过62dB(A), 空压机的噪声源强不超过75dB(A), 同时针对不同的噪声源采取基础减振、厂房隔声、风机进出口设软接头等降噪措施。

### 3.3.4 非放射性废弃物

#### 3.4.2.1 非放射性废气

根据源项分析, 本项目非放射性废气主要来源于各生产线及实验室使用的氯化氢、硝酸、硫酸挥发产生的酸雾, 以及使用有机化合物产生的挥发性有机物, 由于单次用量极少, 因此其产生量也较少, 同时该非放射性废气经中效过滤器过滤后其排放量和忽略。

加速器在运行过程中因室内空气被连续辐照电离产生少量臭氧和二氧化氮，在连续辐照条件下，臭氧的饱和浓度为 $3.46 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ ，二氧化氮饱和浓度为 $1.73 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ ，远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 $0.3 \text{mg/m}^3$ ，二氧化氮的一小时平均浓度值 $5 \text{mg/m}^3$ 。

### 3.4.2.2 非放射性废水

根据源项分析，本项目非放射性废水主要来源于辐射工作人员的生活污水、清洗、工艺废水及非放质检工艺清洗废水等，非放射性废水产生及排放情况见表3.4-4。

表3.4-4 非放射性废水产生及排放情况表

种类		日最大产生量 (m <sup>3</sup> /d)	年最大工作时间 (d)	年产生量 (m <sup>3</sup> /a)	处理措施及去向
生活污水		7.87	250	1967.5	排入园区污水管网后排入四川溪水合公兴污泥处理厂处理，最终排入锦江
洗衣清洗废水		0.98	250	245	
工艺废水	灭菌清洗废水	0.72	250	180	
	电镀废液	5.0E-04	200	5.0E-02	作为危险废物交有资质单位处置
非放射性实验	废有机溶液（含一、二次清洗废液）	500L/a			作为危险废物交有资质单位处置
	废酸溶液（含一、二次清洗废液）	500L/a			作为危险废物交有资质单位处置
	废碱溶液（含一、二次清洗废液）	100L/a			作为危险废物交有资质单位处置

### 3.4.2.3 非放射性固体废物

根据源项分析，本项目非放射性固体废物主要来源于辐射工作人员产生的生活垃圾和工艺固废等。

本项目放射性固体废物产生及排放情况见表3.4-5。

表3.4-5 非放射性固体废物产生及排放情况表

种类		日产生量 (kg/d)	年工作时间 (d)	年产生量 (kg/a)	处理措施及去向
生活垃圾		20.5	250	5125	集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置
厨余垃圾		4.1	250	1025	
生产/中试线	原料包装废材、产品包装废材、非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物等	7	250	1750	分类收集之后可回收的交由废品收购站处置，不可回收的由环卫部门统一集中处理与处置

质检中心	非放射性沾染的一次性口罩、手套、擦拭物等	0.5	250	125	集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置
	空化学试剂瓶	1	250	250	交有资质单位处理
其他	纯水制备离子交换树脂	500kg/a			经收集后定期由设备厂家回收处理
	涉放过滤器滤芯（含活性炭）	2455kg/a			交有资质单位处理
	非放过滤器滤芯	75kg/a			交有资质单位处理
	清洁解控后离子交换树脂	20kg/a			交有资质单位处理

## 第四章 辐射防护与安全措施

### 4.1 场所布局与屏蔽

#### 4.1.1 总平面布置及合理性分析

##### 4.1.1.1 厂区平面布置及合理性分析

成都欣科医药有限公司厂区占地范围呈西北-东南走向，入口位于厂区西北侧，厂区内北侧为2号楼（本次建设内容），为地下1层地上4层建筑，高24m，东北侧设置衰变池。西侧为质检大楼，为地上五层建筑（高23.5m，目前1~2层为办公区，3~5层均为预留房间），无地下室，用于员工办公。厂区东北侧中部为3号楼（标记药物车间），为地上一层建筑（高5.1m），无地下室，用于同位素药物的生产。厂区东侧为4号楼（即时标记药物车间），为地上二层建筑（高10.7m），无地下室，一层用于同位素药物的生产，二层为本项目评价的研发质检中心和动物房。东南侧规划#5生产车间尚未修建，东南角动力车间为地上一层建筑（高6.9m），无地下室，由配电室、柴油机房和放射性药品仓库组成，为整个厂区提供应急发电以及用于存放代理销售放药产品。南侧规划#7生产车间尚未修建。放射性废水衰变池位于#3车间室外北侧地下，便于就近收集车间产生的碘-131容器清洗废水。

本项目整体采取放射性工作场所和非放射性工作场所分开布置的方式，且保持一定的防护距离，人流和物流分开布置，各区域相互独立，互不干扰，从辐射防护和环境保护的角度而言，本项目厂区总平布置合理。

##### 4.1.1.2 放射性工作场所布置及合理性分析

###### (1) 2号楼一层

2号楼一层建设 204、214 车间（回旋加速器区）、1间放射性物料间、207 车间（氟-18 药物生产线）、208 车间（氟-18 药物生产线）、206 车间（中试线），并建设办公室、更衣室、换鞋室、洗衣间、卫生间、大厅、容器具清洗间、容器具存放间、工具间、洁具间、配电间、标签打印间、危化品暂存库 1、危化品暂存库 2 以及危化品废物暂存库等配套设施。

###### ①204、214 车间（回旋加速器）

在一层西侧角建设 204、214 车间，分别布置加速器机房一和加速器机房二，两间加速器机房紧邻布置，配套的控制室、设备间等布置在机房周围，该区域相对独立，进出设有权限。

### ②207、208 车间

在一层中部偏北侧建设 207 和 208 生产车间（氟-18 药物生产线），两个车间分别由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间（两条氟-18 生产线共同使用）、包装间组成，加速器生产的核素原料  $^{18}\text{F}$ （液态）通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。在一层东侧建设 206 生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、融靶区（205 车间）、准备间、拆包间、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、洁具间和包装间组成。加速器生产的核素原料通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。每个车间均独立设置，各车间人流、物流不交叉。

在 1 层西北侧设置一个放射性物料库，用于存储外购原料，与生产线就近布置，方便原料的转运。

### (2) 2号楼二层

2 号楼一层建设 209、210、210、212 车间，并配套建设制水间、洗衣整衣间、清洗间、灭菌间、洁具间、空调机房及控制室等。

在二层中部西侧建设 211 车间，与 212 车间相邻布置，两个车间分别由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

在二层中部西侧建设 209 车间，与 210 生产车间相邻布置，两个车间分别由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

二层每个车间均独立设置，各车间人流、物流不交叉。

### (3) 2号楼三层质检中心

在三楼建设质检中心。质检中心分为放射性质检区和非放射性质检区，两个区域相对独立设置，人流物流不交叉。放射性质检区位于三册西、西北、西南侧，包括放射性样品收发室、放化实验室 1、放化实验室 2、放化实验室 3，放化实验室 4，天平室 1、天平室 2，气相室、气相仪器室、液相室、液相仪器室、阳性对照室 1、微生物限度室 1、培养室 1、内毒素检查室 1、阴凉留样室 1、仪器室 1、仪器室 2、仪器室 3、仪器室 4、常温留样室 1、稳定性考察室 1、取样室 1、无菌检查室 1、洁具间 1、灭活室 1、以及一间备用间。

非放射性质检区布置在三层东侧，包括非放样品收发室、无菌检查室 2、取样室 2、内毒素检查室 2、阴凉库、微生物鉴定室、阳性对照室 2、微生物限度室 2，微生物准备区、培养室 2、灭菌室、菌种库、暗室、滴定室、红外光谱室、仪器室 5、仪器室 6、阴凉留样室 2、常温留样室 2、水分室、原子吸收光谱室、理化实验室、清洁洗涤室、晾干室、天平室 3、天平室 4、稳定性考察室 2、高温室以及 1 间备用间。

另外配套建设更衣换鞋区、办公室生活设施、储存库、试剂库、暂存间、净化机房、强弱电井。

#### (4) 2号楼四层库房

在 4 楼建设放射性库房和非放射性物料库，两个区域独立设置。放射性库房包括成品库 1、成品库 2、收发货区、容器清洁区和容器存储区。非放射性物料库包括非放货厅、退货库、综合物料库、综合包材库 1、综合包材库 2、低值易耗库、研发包材库、研发物料库、医疗器械库。另外配套建设制单间、洁具间、强弱电井等。

##### 4.1.1.3 平面布置合理性

本项目 2 号楼放射性工作场所和非放射性工作区域界限分明，对于可能涉及放射性污染的场所均采取集中布置方式，并根据工艺需要设置换鞋、更衣、淋浴、清洁、缓冲等配套辅助用房，同时通过设置独立的人流、物流通道，保障各辐射工作场所的相对独立性，避免放射性交叉污染影响。综合分析，本项目各放射性工作场所布局既相对独立又互相有机联系，既能减少放射性污染扩散，又能保障生产工艺、质检工艺及收发货的需求，因此其平面布局是合理的。

#### 4.1.2 辐射工作场所分区

##### (1) 控制区、监督区划分

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，应把放射性工作场所分为控制区、监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制，需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，对控制区运用行政管理程序(如工作许可证制度)限制进入。监督区通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。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。

本项目 2 号楼各放射性工作场所控制区和监督区划分情况见表 4.1.1-1，两区划分图详见附图 9~附图 13。

表4.1.2-1 本项目涉及场所“两区”划分一览表

工作场所	控制区	监督区
204、214 车间	回旋加速器机房一（含迷道）、回旋加速器机房二（含迷道）。	设备间一、设备间二、操作间
207 车间	前区、后区	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间
208 车间	前区、后区	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间
206 车间	前区、后区、融靶间	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间；融靶区一更、二更、气锁间
放射性物料库	放射性物料库	放射性物料库缓冲区
209 车间	前区、后区	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间
210 车间	前区、后区	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间
211 车间	前区、后区	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间
212 车间	前区、后区	一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、包装间
质检中心	放射性样品收发室、放化实验室1、放化实验室2、放化实验室3、放化实验室4、天平室1、天平室2、气相室、气相仪器室、液相室、液相仪器室、阳性对照室1、微生物限度室1、培养室1、内毒素检查室1、阴凉留样室1、仪器室1、仪器室2、仪器室3、仪器室4、常温留样室1、稳定性考察室1、取样室1、无菌检查室1、洁具间1、灭活室1、以及一间备用间。	缓冲/检测/去污区、防护用具间、走廊。
成品库房	成品库1、成品库2、收发货区、容器清洁区、容器储存区	检测间、去污间、走廊
放射固废暂存间1	放射固废暂存间1	走廊
放射性废物暂存间2	放射固废暂存间2	走廊

## (2) “两区”管控要求

## ①控制区管控要求

A、在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合GB18871-2002附录F（见图4.1.1-1）规定的警告标识，并以红色标识“控制区”的边界。B、制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序。C、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁、门禁等）限制进出控制区。D、工作人员要进入控制区高放射性场所，携带有个人剂量报警仪；E、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。



图4.1.2-1 电离辐射标识和电离辐射警告标识

## ② 监督区管控要求

A、监督区范围内限制非职业人员进入；B、以黄色标识“监督区”的边界；C、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌和电离辐射警告标识；D、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

### 4.1.3 屏蔽设计

2号楼为钢筋混凝土框架结构，建筑外墙是24cm厚页岩砖墙，楼板为15cm厚混凝土，建筑内根据各功能布局采用彩钢板进行隔离。本项目各辐射工作场所主要采用操作箱体进行屏蔽（如热室、手套箱、铅屏风等），所以本次环评主要考虑各操作箱体的屏蔽作用，不考虑整个车间外墙的屏蔽作用。

#### 4.1.3.1 加速器机房辐射屏蔽措施

机房四周墙体、迷道及屋顶均采用密度为  $2.35\text{t/m}^3$  钢筋混凝土一次性浇筑，迷道位于西北侧，为多折迷道。

回旋加速器机房东南侧、西北侧和东北侧墙体均为2.30m厚混凝土，西南侧迷道由内至外第一折为0.93~1.33m厚混凝土，第二折为0.585~0.105m厚混凝土，第三折为0.6m厚混凝土，第四折为0.4m厚混凝土，第五折为0.4m厚混凝土；屋顶为2.30m厚混

凝土，防护门为10mm铅当量+150mm含硼聚乙烯电动钢板夹芯平移防护门，铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。

加速器机房穿墙管线主要包括：冷却水管道、控制电缆、通排风管道和放射性原料输送管道等。①控制电缆均采用地沟穿墙，孔径为60mm~150mm，埋深为300mm~500mm；②通排风管道、冷却水管道均沿迷道进行布置，迷道外穿墙口采用5mm铅进行补偿；③放射性原料输送管道均采用地沟或预埋管道设计，地沟埋深为-450mm，放射性液体原料输送管道直径为80mm（外套3mm铅防护），放射性固体原料输送管道直径为100mm（外套3mm铅防护），在机房外走廊区域及热室区域均采用50mm铅盖板进行屏蔽补偿。

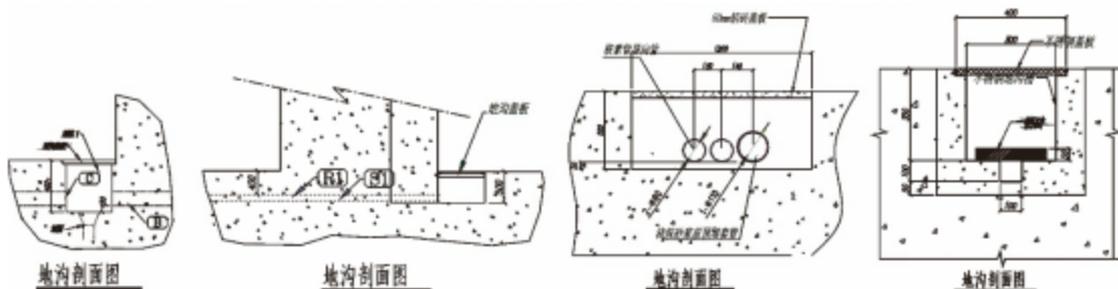


图4.1.2-2 预埋管沟示意图

#### 4.1.3.2 生产线及质检中心实体屏蔽措施

2号楼楼板为150mm现浇混凝土，建筑内根据各功能布局采用50mm厚净化彩钢板进行隔离，部门房间采用混凝土或实心砖进行屏蔽。本项目各放射性药物生产环节均在热室中进行，热室采用密闭工作箱设计；质检中心各工艺环境均在手套箱中进行，手套箱采用密闭双孔手套设计，热室和手套箱的密闭性符合《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的3级标准，小时泄漏率 $\leq 10^{-2}$ ，防护性能满足人操作位置剂量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

加速器生产的放射性原料由管线自动传输到接收热室中，或者由人员将原料通过准备箱体传入合成热室。各热室之间传递通过内部管线连接，放射性药物生产装罐完毕后通过内部自动传输系统经分装热室内部的顶升装置将药品下降至与包装间相连的传递窗，然后人员外包后通过推车运至成品库房或发货区，等待发货。热室下部设计有放射性固废收集桶、放射性废液收集桶。

本项目各车间及质检中心热室和手套箱具体屏蔽设计参数见表4.1.3-1、4.1.3-2。

表 4.1.3-1 2号楼部分房间实体屏蔽设计一览表

放射性原料暂存库	四周墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	150mm混凝土
	南侧防护门	5mmpb
放射性样品收发室	四周墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	150mm混凝土
	南侧防护门	5mmpb
	北侧窗	5mmpb
阴凉留样室1	四周墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	150mm混凝土
	南侧防护门	5mmpb
常温留样室1	四周墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	150mm混凝土
	南侧防护门	5mmpb
稳定性考察室1	四周墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	150mm混凝土
	南侧防护门	5mmpb
放射性废物暂存间1	北侧及东侧墙体	300mm混凝土
	西侧及南侧墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	300mm混凝土
	防护门	5mmpb
放射性废物暂存间2	东侧墙体	300mm混凝土
	北侧、西侧及南侧墙体	240mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	顶板	150mm混凝土
	地板	300mm混凝土
	防护门	5mmpb
成品库1	四周墙体	370mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	底板	150mm混凝土
	顶板	150mm混凝土
成品库2	四周墙体	370mm页岩实心砖+1mmpb硫酸钡
	底板	150mm混凝土
	顶板	150mm混凝土

表 4.1.3-2 生产车间及质检中心热室屏蔽设计一览表

生产线名称		操作方式	操作核素	数量 (个)	屏蔽材质及厚度	观察窗
207、 208	接收/合成 热室	自动操作	$^{18}\text{F}$	1	100mm 铅	100mm 铅当量 铅玻璃

生产线名称		操作方式	操作核素	数量 (个)	屏蔽材质及厚度	观察窗
车间	合成热室	自动操作		1	100mm 铅	100mm 铅当量 铅玻璃
	分装热室	自动操作		1	100mm 铅	100mm 铅当量 铅玻璃
	转运铅罐	人工操作		20	40mm 铅	/
206 车间	接收/合成 热室	自动操作 机械臂	$^{64}\text{Cu}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{203}\text{Pb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{18}\text{F}$	1	130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	合成热室			1	130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	分装热室			1	130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	转运铅罐	人工操作		10	40mm 铅	/
	转运铅罐	人工操作		10	20mm 铅	/
209 车间	分装热室	自动操作		2	30mm 铅	30mm 铅当量 铅玻璃
	接收/合成热室	自动操作		2	30mm 铅	30mm 铅当量 铅玻璃
	转运铅罐	人工操作		10	10mm 铅	/
	转运铅罐	人工操作		10	3mm 铅	/
211 车间	接收/合成 热室	自动操作	$^{177}\text{Lu}$ 、 $^{161}\text{Tb}$	1	30mm 铅	30mm 铅当量 铅玻璃
	合成热室	自动操作		1	30mm 铅	30mm 铅当量 铅玻璃
	分装热室	自动操作		1	30mm 铅	30mm 铅当量 铅玻璃
	转运铅罐	人工操作		10	10mm 铅	/
	转运铅罐	人工操作		10	3mm 铅	/
210 车间	接收/合成 热室	自动操作	$^{212}\text{Pb}$ 、 $^{225}\text{Ac}$	1	操作位为 140mm 铅，其余侧为 130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	合成热室	自动操作		1	操作位为 140mm 铅，其余侧为 130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	分装热室	自动操作		1	操作位为 140mm 铅，其余侧为 130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	转运铅罐	人工操作		10	40mm 铅	/

生产线名称		操作方式	操作核素	数量 (个)	屏蔽材质及厚度	观察窗
	转运铅罐	人工操作		10	20mm 铅	/
212 车间	接收/合成 热室	自动操作	$^{212}\text{Pb}$ 、 $^{225}\text{Ac}$	1	操作位为 140mm 铅, 其余侧为 130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	合成热室	自动操作		1	操作位为 140mm 铅, 其余侧为 130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	分装热室	自动操作		1	操作位为 140mm 铅, 其余侧为 130mm 铅	130mm 铅当量 铅玻璃
	转运铅罐	人工操作		10	40mm 铅	/
	转运铅罐	人工操作		10	20mm 铅	/

表 4.1.3-3 质检中心通风橱/手套箱屏蔽设计一览表

工作场所	设备/屏蔽体	数量	涉及操作的核素	屏蔽设计	
质检 中心	锝分析仪	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	10mm 铅当量	
	放化试验 室1	手套箱	1	F-18、Cu-64、Ga-68、Zr-89、 Sc-44、I-124、Ac-225、I-123、I-125	80mm 铅当量
		手套箱	1	I-131、Pb-203、Y-90、Ho-166、 Re-188、Mo-99	50mm 铅当量
		手套箱	4	Sr-89、Pb-212、At-211、Ra-223、 Th-227、Tb-149、Tb-161、Sc-47、Ga-67 、Pd-103、In-111、Sm-153、Tl-201、 Ge-68、Re-186	10mm 铅当量
		$^{89}\text{Sr}$ 通风橱	1	$^{89}\text{Sr}$	10mm 铅当量
	放化实验 室2	手套箱	3	Lu-177、Sr-89、Pb-212、At-211、Ra-223 、Th-227、Tb-149、Tb-161、Sc-47、Ga-67 、Pd-103、In-111、 Sm-153、Tl-201、Ge-68、Re-186	10mm 铅当量
		$^{14}\text{C}$ 手套箱	1	$^{14}\text{C}$	15mm 有机玻璃+ 外层3mm 钢
		手套箱	1	F-18、Cu-64、Ga-68、Zr-89、 Sc-44、I-124、Ac-225、I-123、I-125	80mm 铅当量
		手套箱	1	Pb-203、Y-90、Ho-166、 Re-188、Mo-99	50mm 铅当量
		放化实验 室3	手套箱	1	F-18、Cu-64、Ga-68、Zr-89、 Sc-44、I-124、Ac-225、I-123、I-125
	手套箱		1	Pb-203、Y-90、Ho-166、 Re-188、Mo-99	50mm 铅当量
	手套箱		4	Lu-177、Sr-89、Pb-212、At-211、Ra-223 、Th-227、Tb-149、Tb-161、Sc-47、Ga-67 、Pd-103、In-111、 Sm-153、Tl-201、Ge-68、Re-186	10mm 铅当量

放化实验室4	手套箱	1	I-131	50mm铅当量
	锆分析仪	1	<sup>99m</sup> Tc	50mm铅当量
液相仪器室	通风橱	6	本项目所有核素	50mm铅当量
	通风橱	4	本项目所有核素	10mm铅当量
仪器室1	锆分析仪	1	本项目所有核素	10mm铅当量
	薄层放射性扫描	1	本项目所有核素	20mm铅当量
仪器室2	液体闪烁计数器	2	$\beta$ 核素	10mm铅当量
仪器室4	高纯锗谱仪	2	$\gamma$ 核素	30mm铅当量
内毒素检查室1	L屏	1	本项目所有核素	20mm铅当量
微生物限度室1	生物安全柜	1	本项目所有核素	20mm铅当量
药物原料转移铅罐		10	F-18、Cu-64、Ga-68、Zr-89、Sc-44、I-124、Ac-225、I-123、I-125	40mm铅当量
药物原料转移铅罐		10	Lu-177、Sr-89、Pb-212、At-211、Ra-223、Th-227、Tb-149、Sc-47、Ga-67、Pd-103、In-111、Tb-161、Sm-153、Tl-201、Ge-68、Re-186	20mm铅当量

#### 4.1.3.3 放射性废物暂存实体屏蔽措施

本项目加速器机房、生产车间和质检中心针对放射性废液和放射性固体均采用屏蔽容器进行废物的分类收集（详见表4.1.3-4），其中每个车间热室下部设置放射性废物收集桶，质检中心每个涉放区域设置放射性废物收集桶。收集之后通过推车转移放射性废物暂存间暂存容器或地坑内。

回旋加速器机房产生的活化部件用铅容器收集后暂存在加速器机房内。

表4.1.3-4 放射性固废、废液收集容器屏蔽设计一览表

场所	设施	屏蔽材质及厚度	容积 (L)	数量 (个)	放置位置	
加速器大厅	放射性固废收集容器	20mm铅	10	1	加速器机房	
生产车间	206车间	放射性固废收集桶	50mm铅	10	1	热室下方
	207车间	放射性固废收集桶	30mm铅	10	1	热室下方
	208车间	放射性固废收集桶	30mm铅	10	1	热室下方
	209车间	放射性固废收集桶	10mm铅	10	1	热室下方
	211车间	放射性固废收集桶	10mm铅	10	1	热室下方
	210车间	放射性固废收集桶	50mm铅	10	1	热室下方
	212车间	放射性固废收集桶	50mm铅	10	1	热室下方
	205车间	放射性固废收集容器	30mm铅	10	1	热室下方
	人体去污废水收集容器		2mm不锈钢	240	8	去污间
	放射性废物暂存地坑		20mm铅盖	2880	3	放射性废物暂存间1
放射性废物暂存地坑		20mm铅盖	1920	3	放射性废物	

场所	设施	屏蔽材质及厚度	容积 (L)	数量 (个)	放置位置	
					暂存间2	
质检中心	1#放射性化学实验室	放射性固废收集容器	30mm铅	10	1	实验室内
	2#放射性化学实验室	放射性固废收集容器	30mm铅	10	1	
	3#放射性化学实验室	放射性固废收集容器	30mm铅	10	1	实验室内
	4#放射性化学实验室	放射性固废收集容器	20mm铅	10	1	
	气相仪器室	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
	液相仪器室	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
		放射性废液收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
	仪器室1	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
	仪器室2	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
	仪器室3	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
	仪器室4	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	仪器室内
	阳性对照室1	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	阳性对照1室内
	微生物限度室1	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	微生物限度室1内
	培养室1	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	培养室1内
	内毒素检查室1	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	内毒素检查室1内
无菌检查室1	放射性固废收集容器	10mm铅	10	1	无菌检查室1内	

2号楼一层、二层和三层每层拟设置2台铅废物车,容积为100L/台,屏蔽材料为铅,厚20mm。



图4.1.2-3 铅废物车

## 4.2 辐射安全与防护措施

### 4.2.1 回旋加速器

#### (1) 设备固有安全性及联锁

①在回旋加速器出束前，会对磁场系统、射频系统、引出系统、真空系统、束流诊断系统等进行测量，如果实测值达不到预设值，或者各个分系统冷却水流量达不到最低阈值，此时系统将报警，无法开启离子源，从而预防事故的发生。

②回旋加速器运行时，系统实时监控磁场系统、射频系统、引出系统、真空系统、束流诊断系统等的安全回路，如果回路泄露（表现为温度异常、真空压力异常等），此时系统将立刻关闭离子源电源、高频功率源输出及磁铁电源输出，从而停止打靶，防止产生过量的感生放射性或避免对加速器内部器件构成破坏。

③加速器将设置登陆页面，设置登录名和密码。在进行加速器操作前，操作人员需先进行登陆，只有密码输入正确，操作人员方可登陆系统，当操作人员下达没有使用权限的加速器指令时，加速器将不会执行相应的指令。

#### 4.2.2 操作过程中的辐射安全与防护措施

本项目在操作放射性物质过程中主要采取隔离与屏蔽、合理的工作场所气流组织、个人防护措施和辐射安全装置等辐射安全与防护措施。

##### 4.2.2.1 隔离与屏蔽措施

①项目各条放射性药品生产线布置相对独立，生产线分别设置密闭的热室或超净工作台。热室设计有机械手或手套操作孔，采用自动模块进行药物的分装合成等，偶尔通过机械手或铅手套操作放射性物质。热室的屏蔽设计（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。

② 放射性质检均在有屏蔽的手套箱和通风橱内进行，手套箱设计有手套操作孔，通过窥视窗用铅手套操作放射性物质。手套箱和防护通风橱等屏蔽体设计可使操作人员所在的操作区的辐射水平满足辐射防护设计要求。

③ 生产用的放射性原料及本项目生产的产品均采用专用铅罐包装，铅罐的屏蔽设计在额定装载量情况下，其外表面的辐射水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的Ⅱ级 A 型货包（外表面任意一点的最高辐射水平  $0.005 < H \leq 0.5 \text{mSv/h}$ ）要求。放射性原料及生产出的产品在厂区内转运过程中，拟使用含铅屏蔽的箱式不锈钢铅推车进行转运。

#### 4.2.2.2 场所气流组织及通排风设计

##### (1) 气流组织

本项目各放射性工作场所为同时满足 GMP 洁净区正压气流组织要求及放射性物质负压气流组织，各场所以邻近连通房间（如：气锁间、缓冲室等）为最高压力区，压差往两边邻近连通房间逐级递减，可保证放射性废气局部流动方向为：非辐射工作区→前区→后区→工作箱→排风管道，避免放射性废气扩散。本项目各功能房间压差见表 4.2.2-1，气流组织见图 4.2.2-1~图 4.2.2-4。

表 4.2.2-1 本项目各工作场所压差表

场所名称	绝对压差 (Pa)	房间名称
207 车间(一层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊、拆包间
	-15	后区、
	-100	合成热室、分装热室
208 车间(一层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊、拆包间
	-15	后区
	-100	合成热室、分装热室
206 车间(一层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更

场所名称	绝对压差 (Pa)	房间名称
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊、拆包间
	-15	后区
	-100	合成热室、分装热室
209 车间(二层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊、拆包间、物料暂存间 2
	-5	后区
	-100	合成热室、分装热室
210 车间(二层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊
	-15	后区
	-100	合成热室、分装热室
211 车间(二层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊、拆包间、物料暂存间 1
	-15	后区
	-100	合成热室、分装热室
212 车间(二层)	34	气锁间、气锁间 1、准备间
	26	前区、洁净通道、二更
	13	气锁间 2、一更
	+5	洁具间、去污间
	0	包装间、室外走廊
	-15	后区
	-100	合成热室、分装热室
质检中心(三层)	45	无菌检查室 2、取样室 2、微生物限度室 2
	40	无菌检查室 1、取样室 1、微生物限度室 1
	32	无菌检查室 2 气锁间、取样室 2 气锁间、阳性对照室 2 气锁间、微生物限度室 2 气锁间
	27	阳性对照室 1 气锁间、微生物限度室 1 气锁间、无菌检查室 1 气锁间、取样室 1 气锁间
	26	无菌检查室 2 二更、阳性对照室 2 二更、微生物限度室 2 二更

场所名称	绝对压差 (Pa)	房间名称
	21	取样室 1 二更、阳性对照室 1 二更、微生物限度室 1 二更
	19	阳性对照室 2
	14	阳性对照室 1
	13	无菌检查室 2 一更、阳性对照室 2 一更、微生物限度室 2 一更
	8	阳性对照室 1 一更、微生物限度室 1 一更
	-5	防护用品间, 涉放质检中心内部走廊
	-10	放化实验室 1、放化实验室 2、放化实验室 3、天平室 1、天平室 2、气相室、气相仪器室、液相室、液相仪器室、仪器室 1、仪器室 2、仪器室 3、仪器室 4、备用间、培养室 1、内毒素检查室 1、微生物鉴定室
	-15	放射性样品收发室、检测缓冲间、常温留样室 1、稳定性考察室 1、阴凉留样室 1、洁具间 1、灭活室 1
	-20	放化实验室 4
	-50	各检测室、实验室内手套箱、通风橱等
涉放库房 (四层)	-5	走廊
	-10	成品库 1、成品库 2、容器清洁区、容器储存区、收发货区
	-15	检测间、去污间



图4.2.2-1 2号楼一层非密封放射性物质工作场所压差分区及气流组织图

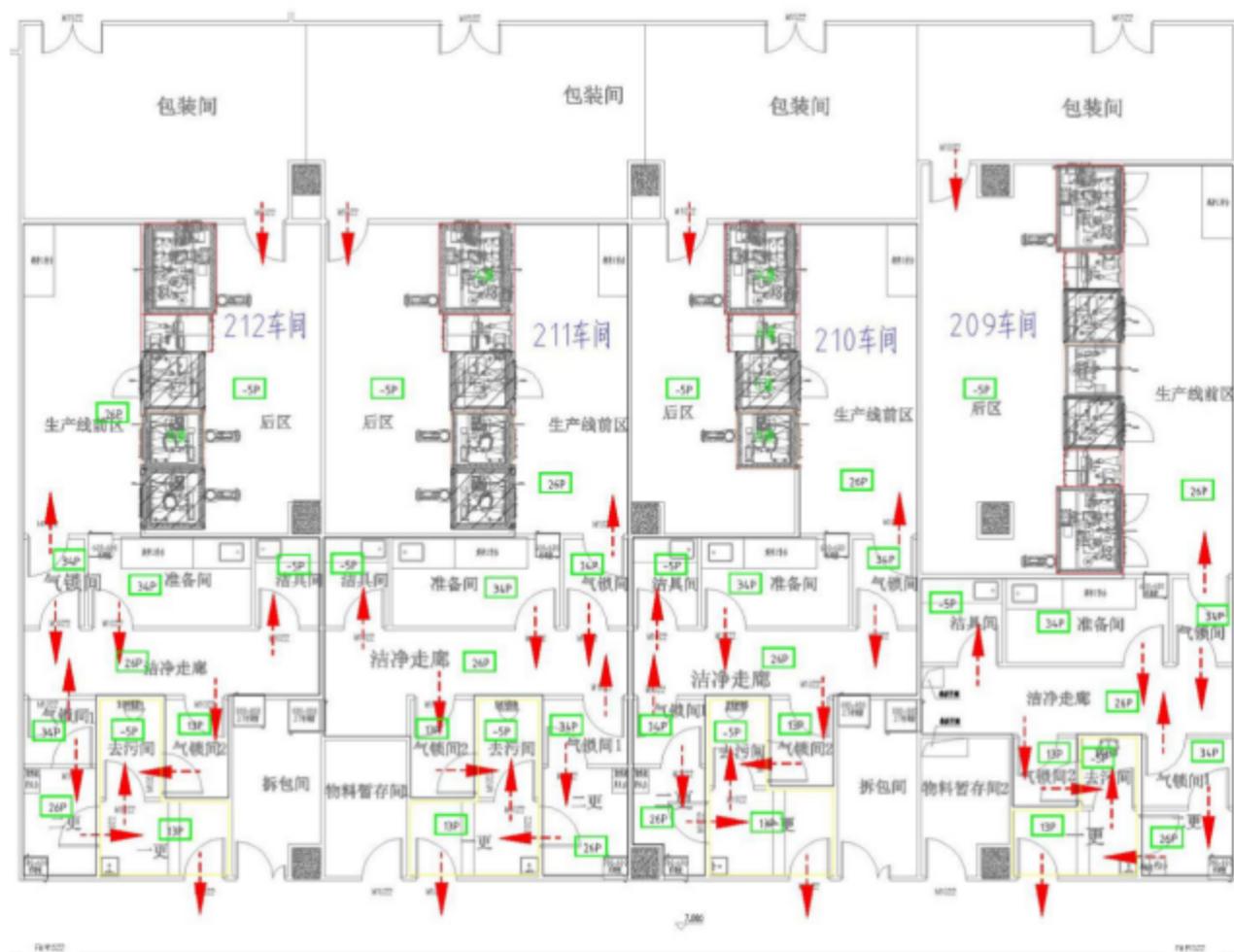


图4.2.2-2 2号楼二层非密封放射性物质工作场所压差分区及气流组织图



图4.2.2-3 2号楼三层非密封放射性物质工作场所压差分区及气流组织图

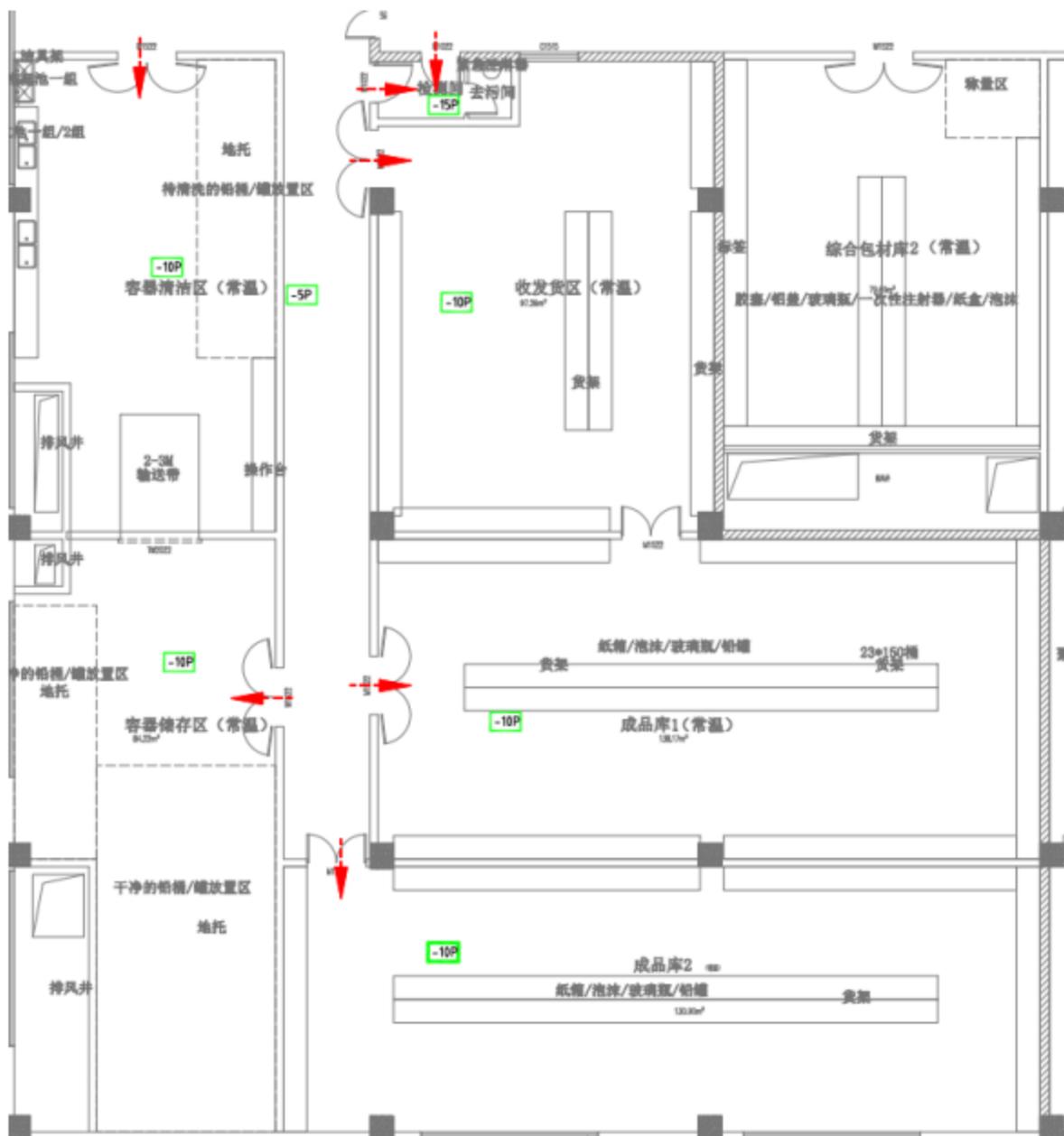


图4.2.1-4 2号楼三层非密封放射性物质工作场所压差分区及气流组织图

## (2) 排风

本项目2号楼各场所排风管道在楼顶汇总为4根主排气筒，各管道设计情况见表4.2.2-2。

表4.2.2-2 2号楼射线装机机房和非密封放射性物质工作场所排风管及风量统计表

主排气筒编号	场所	排风量 (m <sup>3</sup> /h)	排风系统编号	治理措施
#1	制靶间通风橱	3600	PF-1-J5	经高效过滤（H13）后由排风管道引至楼顶经初效过滤（G4）+中效过滤（F8）后汇入主排气筒排放。

主排气筒编号	场所		排风量 (m <sup>3</sup> /h)	排风系统编号	治理措施
#1	204 车间、214 车间	回旋加速器机房 1	1400	PF-1-10	经排风管道引至楼顶高效过滤 (H13) 后汇入主排气筒排放。
#1		回旋加速器机房 2	1400	PF-1-11	经排风管道引至楼顶高效过滤 (H13) 后汇入主排气筒排放。
#1	205 车间	净化缓冲区域	1600	PF-1-3	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) +高效过滤器 (H13) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		融靶热室	2000	PF-1-J1	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#2	207 车间、208 车间、放射性物料库	207 车间热室	1700	PF-1-J3	经活性炭高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#2		208 车间热室	1800	PF-1-J4	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		制靶间通风橱	3600	PF-1-J5	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#3	207 车间、208 车间、放射性物料库	207 车间、208 车间后区、206 车间后区、放射性物料库	3500	PF-1-7	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) +高效过滤器 (H13) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#3		207 车间净化缓冲区域、前区	2800	PF-1-8	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) +高效过滤器 (H13) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#3		208 车间净化缓冲区域、前区	2400	PF-1-6	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) +高效过滤器 (H13) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#3	206 车间	206 车间热室	4450	PF-1-J2	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#3		206 车间净化缓冲区域、前区	3000	PF-1-5	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) +高效过滤器 (H13) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#3	209 车间、210 车间	209 车间净化缓冲区域、前区	3150	PF-2-7	经由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后+高效过滤 (H13) +活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		210 车间净化缓冲区域、前区	3200	PF-2-6	经高效过滤 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#3		209 车间热室	4200	PF-2-J3	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) +活性炭过滤器后

主排气筒编号	场所	排风量 (m <sup>3</sup> /h)	排风系统编号	治理措施
				汇入主排气筒排放。
#3	210 车间热室	2700	PF-2-J4	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#2	209 车间后区、210 车间后区, 包括 211 车间和 212 车间后区	7300	PF-2-4	经由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后+高效过滤 (H13) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1	211 车间、212 车间	211 车间净化缓冲区域、前区	PF-2-5	由排风管道引至楼顶经+中效过滤 (F8) + 高效过滤器 (H13) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		212 车间净化缓冲区域、前区	PF-2-3	经由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 高效过滤 (H13) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		212 车间净化缓冲区域、前区	PF-2-6	经由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 高效过滤 (H13) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		211 车间热室	PF-2-J1	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#2		212 车间热室	PF-2-J2	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1		涉放液相通风橱	9000	PF-3-J3
#1	涉放液相通风橱 2	9000	PF-3-J4	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#2	涉放放化实验室 1 手套箱、通风橱	4300	PF-3-J8	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#2	质检中心	检测间、去污间、放射性样品收发室、走廊、放化实验室 1、2、3、4; 气相室、气相仪器室、天平室 1、天平室 2、防护用具间	PF-3-4	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 处理后汇入主排气筒排放。
#2		涉放取样室 1 手套箱、无菌检查	PF-3-J9	经活性炭高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排

主排气筒编号	场所	排风量 (m <sup>3</sup> /h)	排风系统编号	治理措施
	室 1 无菌隔离器			气筒排放。
#2	涉放微生物限度室 1 手套箱、生物安全柜	1500	PF-3-J10	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#2	涉放放化实验室 2 手套箱、通风橱	3800	PF-3-J11	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#1	涉放放化实验室 3 手套箱、通风橱	1800	PF-3-J12	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#1	涉放放化实验室 4 手套箱、通风橱	500	PF-3-J13	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶中效过滤 (F8) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1	仪器室 3 检测仪器	1800	PF-3-J2	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经初效过滤 (G4) + 中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#1	涉放天平室专用抽风罩	200	PF-3-J1	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#2	涉放天平室 1 碳-14 专用抽风罩	200	PF-3-J22	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#2	取样室 1、无菌检查室 1、微生物限度室 1 缓冲净化区域	4300	PF-3-5	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 高效过滤器 (H13) 后汇入主排气筒排放
#2	阳性对照室 2 缓冲净化区域	1350	PF-3-6	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 高效过滤器 (H13) 后汇入主排气筒排放
#2	取样室 2、无菌检查室 2、微生物限度室 2 净化区域	3050	PF-3-7	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 高效过滤器 (H13) 后汇入主排气筒排放
#1	涉放培养室、留样室区域	5200	PF-3-9	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#3	微生物限度室 1 生物安全柜、手套箱	1500	PF-3-J18	经活性炭高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#2	阳性对照室 1 缓冲净化区域	1900	PF-3-8	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 高效过滤器 (H13) 后汇入主排气筒排放
#2	阳性对照室 1 手套箱、生物安全柜	1500	PF-3-J17	经活性炭高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放。
#2	非放阳性对照室	1000	PF-3-J14	经高效过滤器 (H13) 后由排风管道引至

主排气筒编号	场所	排风量 (m <sup>3</sup> /h)	排风系统编号	治理措施
	2 生物安全柜			楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#2	非放无菌检查室 2 无菌隔离器、取样室 2 层流罩	1000	PF-3-J15	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#3	非放试剂库区域	1800	PF-3-3	由排风管道引至楼顶经初效过滤 (G4) 后汇入主排气筒排放
#3	非放理化实验室通风橱、实验台	2600	PF-3-J7	由排风管道引至楼顶经初效过滤 (G4) 后汇入主排气筒排放
#3	非放理化实验室通风橱、实验台	5400	PF-3-J6	由排风管道引至楼顶经初效过滤 (G4) 后汇入主排气筒排放
#3	放射性固废间 放射性废物暂存间 1、2	1900	PF-B-2	管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放
#2	容器具清洁区	1550	PF-4-1	由排风管道引至楼顶经中效过滤 (F8) + 活性炭过滤器后汇入主排气筒排放。
#1	四层库房 缓冲检测、去污间、收发区、成品库 1、成品库 2、容器具储存区	6350	PF-4-2	管道引至楼顶经中效过滤 (F8) 后汇入主排气筒排放

#### 4.2.2.3 个人防护措施

(1) 本项目辐射工作人员上岗前均进行辐射安全与防护知识培训，并在学习考核合格后上岗，同时各非密封放射性物质工作场所制定严格的操作流程，所有辐射工作人员在上岗前均先进行操作的冷试验后才能正式开展放射性物质的操作生产。

(2) 所有辐射工作人员进入放射性工作场所均需佩戴个人剂量计，同时进入高放射性场所需佩戴个人剂量报警仪，并按要求定期进行辐射工作人员个人剂量进行检测。

(3) 辐射工作人员进出工作区需按既定进出通道，根据各区域洁净度要求进行更衣，离开工作区必须进行表面沾污监测，若监测不满足清洁限值要求，如果小面积沾污采用擦拭法去污，如果大面积沾污则采用淋浴去污，去污后再监测，监测达标后方可离开。

(4) 对于放射性核素的分装过程中在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，以防止放射性药粉（液）洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

(5) 每天进行生产和实验结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应及时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污擦拭纸等需按放射

性废物管理。

(6) 定期采用移动式气溶胶监测系统对生产场所进行室内气溶胶采样，若出现气溶胶异常应及时进行场所工作箱密闭性或通排风系统进行检修。

(7) 对于放射设备的检修和维护时，如手套箱的開箱检修或过滤器的滤芯的更换时，还将配备防护铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖等个人防护用品。

#### 4.2.2.4 其他辐射安全与防护措施

##### (1) 电离辐射警告标志

项目每个生产车间的热室、质检中心每个涉放房间、放射性物料库、放射性药物成品库、放射性废物暂存间及加速器机房等辐射工作场所均在门上醒目位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明，严禁非辐射工作人员进入。同时，在一层总更间、放射性药物生产车间的人员出入口（更衣室）及西北侧物流出入口处设电离辐射警告标识，提醒无关人员勿入。

此外，本项目生产的放射性药物产品外包装上明显位置均按要求设置放射性标识和中文警示说明。

##### (2) 固定式辐射剂量监测系统

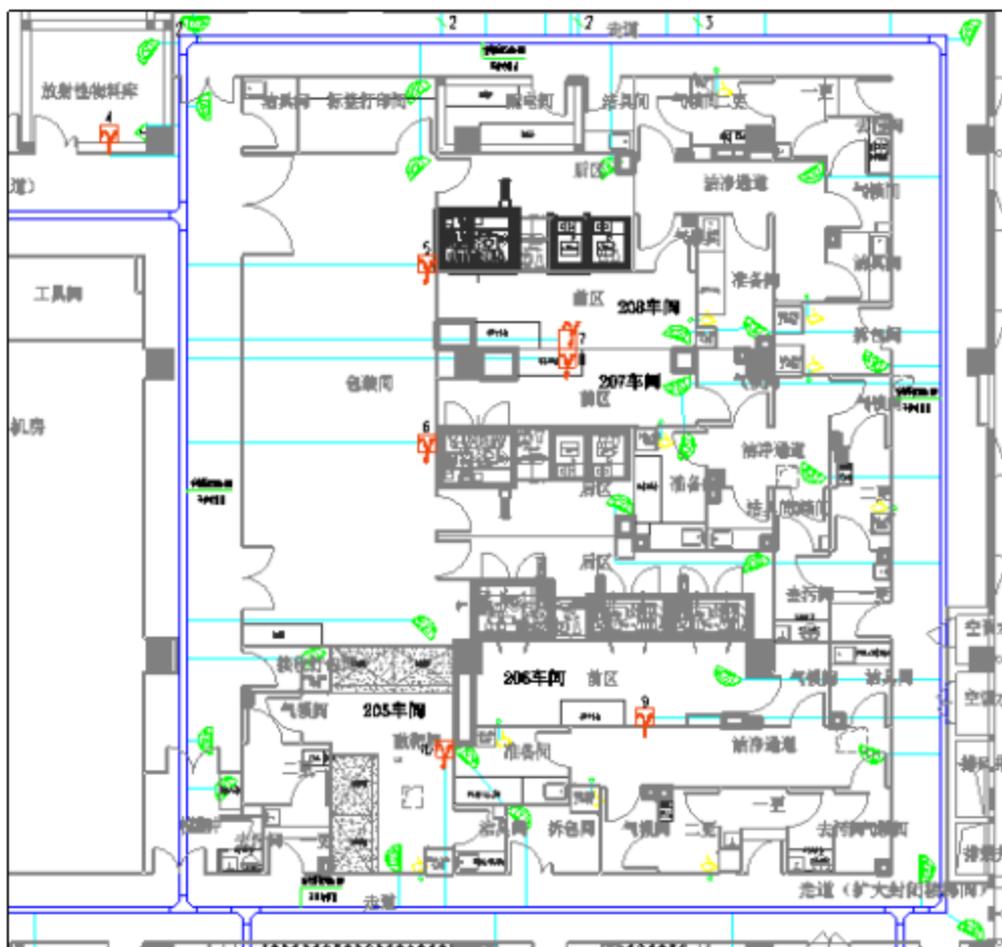
本项目各辐射工作场所的人流、物流进出通道、放射性药物生产车间的热室、前区、后区、包装间、放射性物料库、放射性药物成品库、及废物暂存间均安装有固定式剂量监测探头及警示灯，在监控室内设有固定式辐射剂量监测系统的辐射剂量率实时显示屏，当探测到场所内辐射剂量率超过设置阈值时，会发出警示，提醒监控室工作人员及操作人员剂量异常。项目固定式辐射剂量监测系统设置情况见下表。

表 4.2.2-3 项目固定式辐射剂量监测系统设置情况

安装场所	探头类型及数量
每台固定式 $\gamma$ 剂量监测仪都能现场显示，并且 2 号楼监控室能显示所有固定式 $\gamma$ 剂量监测仪的数据，共计 25 台固定式 $\gamma$ 剂量监测仪	
205 车间	融靶间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
206 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
207 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
208 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
209 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪

安装场所	探头类型及数量
210 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
211 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
212 车间	热室前区：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 包装间：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
质检中心	放射性样品收发室：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 放化实验室 1：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 放化实验室 2：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 放化实验室 3：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪 放化实验室 4：固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
药物成品库一	固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
药物成品库二	固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
放射性物料库	固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
放射性废物暂存间一	固定式 $\gamma$ 剂量监测仪
放射性废物暂存间二	固定式 $\gamma$ 剂量监测仪

放射性废物间监控和固定式 $\gamma$ 监测仪布置



205、206、207、208 车间、放射性物料库监控和固定式监测仪布置





### (3) 放射性物料库、放射性药物成品库及放射性废物暂存间“六防”措施

本项目放射性物料库、放射性药物成品库及放射性废物暂存间具有防水、防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”管控措施，具体见下表。

表 4.2.2-4 放射性物料库、放射性药物成品库及放射性废物暂存间“六防”措施一览表

措施类别	措施内容
防火	物料库和成品库内拟安装烟雾报警装置，配备灭火器，不暂存易燃、易爆、腐蚀性物品，物料库和成品库内暂存的放射性物品货包有多层包装、单层存放，放射性废物均采用专用屏蔽容器收集暂存，能够有效防火。
防水	项目成品库、废物暂存间和物料间墙体顶板均为钢筋混凝土，四周墙体采用实心砖+硫酸钡，地面采用防水材料，具有较好防水效果。
防盗、防丢失和防破坏	①项目放射性药物成品库和放射性物料库底板和顶板为 150mm 钢筋混凝土，成品库四周墙体为 370mm 实心砖墙+1mm 铅当量的硫酸钡，放射性物料库四周墙体为 240mm 实心砖墙+1mm 铅当量的硫酸钡工作场所内设置有监控摄像头实行 24h 实时监控，公司专人值守； ②项目拟在放射性药物成品库和放射性物料库门口设红外报警系统，值班室一旦发现异常，可立即报警； ③放射性药物成品库、放射性物料库和废物暂存间防盗门拟采用双人双锁和台账管理。
防泄漏	①项目代理销售的放射性物品货包均购置于正规厂家，在出厂运输前均进行了辐射剂量检测，在到达厂区入库前需进行再次进行检测；本项目生产的放射性药物产品货包出入库前同样需要进行检测，货包表面任意一点的辐射剂量率均满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的相关要求后方可发货或入库暂存； ②项目拟配备个人剂量报警仪可及时发现异常值；配置便携式辐射剂量率仪，可定期进行辐射剂量监测； ③项目拟在放射性物料库、放射性药物成品库及放射性废物暂存间设固定式辐射剂量率报警仪，发现辐射剂量超过设定阈值，立即处理。

此外，建设单位还应从以下几个方面加强管理：

① 值班人员应认真履行岗位职责，严格执行交接班制度，并做好记录；加强夜间和节假日巡逻，做好防盗和防破坏措施。

② 制定针对性的场所安全保卫制度，严防放射性物品损坏、丢失或恶意破坏等事件的发生。

③ 物料库和成品库视频监控装置摄像头应覆盖整个库房，监视及回放图像应能清楚辨别人员的体貌特征；视频图像应实时记录，记录保存时间应不少于 30 天。当报警发生时，视频监控系统应能对报警现场进行图像复核，记录报警触发前图像信息，预录时间可设定且不少于 5s，视频监控系统应设置备用电源，断电时应保证对视频监控设备供电不少于 1h。

建设单位在落实上述措施及要求后，能够有效保障放射性物品的暂存安全。

### (4) 成品库与《放射性药品经营质量管理实施细则》的符合性

根据重庆市药品监督管理局、四川省药品监督管理局《关于印发放射性药品经营质量管理实施细则的通知》（渝药监〔2023〕16号）中的相关要求，本项目拟建情况与管理要求对照分析如下表所示。

表 4.2.2-5 项目药物成品库与放射性药品经营质量管理实施细则的相关要求对照分析

序号	分类	应具备的条件	拟落实情况	符合性
1	企业要求	企业应当具有与放射性药品经营范围、经营规模相适应的经营场所和库房。	项目拟取得销售许可，建工作场所，并建设放射性药物成品库	符合
2		工作区域应有明显的放射性标志并按要求对设施设备开展验证和校准。	拟配备	符合
2	暂存库的要求	储存放射性药品应设立专库，使用面积不得少于 40 平方米且应符合放射性物品安全、环保相关防护要求。	成品库 1 使用面积约 138.17m <sup>2</sup> ，成品库 2 使用面积约 130.90m <sup>2</sup>	符合
3		库房内外环境整洁，无污染源，库区地面硬化。	拟按要求建设	符合
4		库房内墙、顶光洁，地面平整，门窗结构严密。	库房无窗，采用防护门	符合
5		放射性工作区与非放射性工作区应有效隔离，确保非放射性工作区无核辐射风险，并有明确的分区标识。	库房采用 370mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡，并拟落实分区管控	符合
6		库房有可靠的安全防护措施和放射性物品防护措施，能够对无关人员进入实行可控管理，防止放射性药品被盗、替换、混入假药。	库房采用 370mm 实心砖墙体+1mm 铅当量硫酸钡，防护门双人双锁管理，库房设 24 小时监控	符合
7		有防止室外装卸、搬运、接收、发运等作业受异常天气影响的措施。	库房 2 号楼 4 层室内，不会受不良天气影响	符合
8		有特殊温控要求的放射性药品的，还应按《药品经营质量管理规范》规定配备符合要求的专库或专柜。	/	/
9		放射性药品与地面之间有效隔离的设备	拟设置货架	符合
10		防辐射、避光、通风、防潮、防虫、防鼠等设备。	库房在车间一层，采用 370mm 实心砖墙体+1mm 铅当量硫酸钡，防护门双人双锁，设通排风系统	符合
11		有效调控温湿度及室内外空气交换的设备。	拟设通排风系统和空调	符合
12	自动监测、记录库房温湿度的设备。	拟配备	符合	
13	符合储存作业要求的照明设备。	拟配备	符合	
14	辐照计量监控设备，放射性工作区应配备相关辐射防护设备。	拟配备	符合	
15	包装物料的存放场所。	本项目产品所需包材已设计存放场所	符合	
16	验收、发货的专用场所。	已设计收发货厅	符合	
17	不合格、退货或召回的放射性药品隔离存放的专用存放场所。	不退货、不召回	符合	

序号	分类	应具备的条件	拟落实情况	符合性
18		有特殊温控要求的放射性药品应当配备符合其要求的设施设备。	/	/

由上表可知，建设单位在按照上述要求进行落实后，本项目放射性药物成品库能够满足《放射性药品经营质量管理实施细则》中关于暂存库的相关要求。

#### 4.2.3 辐射安全与防护措施要求对照分析

本项目涉及甲级非密封放射性物质工作场所和使用Ⅱ类射线装置。根据《放射性药物生产线监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-003）、《甲级非密封放射性物质工作场所监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-005）、《加速器生产放射性同位素场所监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-008）、《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》（川环函〔2016〕1400号）和《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中相关辐射安全防护设施监督要求，本项目拟采取的辐射安全防护措施对照分析见下表。

表 4.2-4-1 项目与“加速器生产放射性同位素场所的辐射安全与防护措施要求”对照分析

序号	项目	检查内容	项目落实或设计情况
1*	A 工作 指示 和警示	入口有电离辐射警告标志	拟配备
2*		入口有加速器工作状态显示	已设计
3*		灯光和声音报警指示装置	已设计
4*		门内紧急开门按钮（指示、说明）	已设计
5*		紧急出口标志及应急照明	已设计
6*	B 安全 联锁	控制台和大厅门钥匙控制	设备自带
7*		门与加速器束流联锁	已设计
8*		门与加速器高压触发联锁	已设计
9		辐射报警灯与加速器出束状态联锁	已设计
10*		辐射剂量与门联锁	已设计
11*		清场巡更系统与门连锁	已设计
12*		束流阻挡器（如有）位置与束流联锁	设备自带
13*	C 场所 设施	控制台上复位确认按钮	设备自带
14		大厅内有清场巡更系统	已设计
15*		大厅内有紧急停机按钮	已设计
16*		按钮位置醒目及文字说明	拟设置
17*		控制台有紧急停机按钮	设备自带
18*		紧急停机按钮能自锁及复位	已设计
19*	D 监测 设备	控制区内固定式辐射剂量监测仪	已设计
20*		个人剂量报警仪( $\gamma$ )	利旧2个
21*		个人剂量计( $\gamma$ 、中子)	拟配置

22*		便携式剂量测量仪	拟配置
23		便携式表面污染仪	拟配置
24*	E 其他	强活化部件应有专门贮存容器和存放地点， 容器表面应有电离辐射标志	已设计
25*		排风过滤净化系统	已设计
26		灭火器材	拟配置
备注：加*的项目是重点项。			

表 4.2-4-2 项目与“加速器生产放射性药物场所”的辐射安全与防护措施要求  
对照分析——同位素生产场所辐射防护与安全

序号	检查项目		项目落实或设计情况
1*	A 场所 设施	工作场所功能、设置及分区布局	已进行分区设计
2*		场所分区的管控措施及标识	拟配备
3*		入口处有电离辐射警告标志	拟配备
4*		卫生通过间	已设计
5*		通风系统完整性及效能	已设计
6*		工作箱或热室	已设计
7*		屏蔽防护设施	已设计
8		防过热或超压保护(有易燃易爆和高温高压操作时)	已设计
9		防止放射性液体操作造成污染的措施	已设计
10*		机械手或其它远距离操作工具	已设计
11*		放射性废水处理系统及标识	已设计
12*		放射性物料与成品暂存场所设施	已设计
13*		放射性固体废物暂存场所或设施	已设计
14*		安保设施	已设计
15	B 监测 设备	固定式辐射监测报警仪	已设计
16*		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配备
17*		气载放射性流出物取样监测设备	拟配备
18*		便携式辐射监测仪(污染、辐射水平等)	拟将加速器工作室设置为控制区
19*		个人剂量计	拟配备, 利旧 24 个
20		个人剂量报警仪	拟新增 12 台, 利旧 12 台
21	C 防护用品	个人辐射防护用品	拟配备
22	D	去污用品和应急物资	拟配备

23	应急物资	合适的灭火器材	拟配备
24		放射性同位素应急容器	拟配备
备注：加*的项目是重点项。			

表 4.2.4-3 项目与“放射性药物生产线”的辐射安全与防护措施要求对照分析

项目	辐射安全防护设施检查项目		落实或设计情况
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	已设计
2*		场所分区的管控措施及标识	已设计
3*		电离辐射警告标志	拟配备
4*		卫生通过间	已设计
5*		通风系统完整性及效能	已设计
6		排风过滤器	已设计
7*		密封箱室或通风柜	已设计
8*		屏蔽防护设施	已设计
9		防过热或超压保护	已设计
10*		防止放射性液体操作造成污染的措施	已设计
11*		放射性废水处理系统及标识	拟落实
12*		放射性物料与成品暂存场所或设施	已设计
13*		放射性固体废物暂存场所或设施	已设计
14*		安保设施	已设计
15*	B 监测设备	人员出口污染监测仪	拟配备
16*		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配备
17		气载放射性流出物取样监测设备	拟配备
18*		便携式辐射监测仪	拟配备
19*		个人剂量计（ $\gamma$ 射线、中子）	拟配备
20		个人剂量报警仪	拟配备
21*	C 防护用品	个人辐射防护用品	拟配备
22*	D 应急物资	去污用品和应急物资	拟配备
23		合适的灭火器材	拟配备
24*		放射性同位素应急包装容器	拟配备

表 4.2.4-4 项目与“甲级非密封放射性物质工作场所”的辐射安全与防护措施要求对照分析

序号	辐射安全防护设施检查项目		项目落实或设计情况
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	已设计
2*		场所分区的管控措施及标识	已设计
3*		电离辐射警告标志	拟配备
4*		卫生通过间	已设计
5*		通风系统完整性及效能	已设计
6*		排风过滤器	已设计
7*		密封箱室	已设计
8*		屏蔽防护设施	已设计
9		防过热或超压保护	已设计
10*		防止放射性液体操作造成污染的措施	已设计
11*		机械手或其它远距离操作工具	已设计
12*		火灾报警仪	已设计
13*		放射性废水处理系统及标识	拟设置
14*		放射性物料与成品暂存场所设施	已设计
15*		放射性固体废物暂存场所或设施	已设计
16*		安保设施	已设计
17		防火设备、应急出口	已设计
18*	B 监测设备	人员出口污染监测仪	拟配备
19*		固定式辐射监测报警仪	拟配备
20*		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配备
21		气载放射性流出物取样监测设备	拟配备
22*		便携式辐射监测仪表	拟配备
23*		个人剂量计	拟配备
24		个人剂量报警仪	拟配备
25*	C 防护用品	个人辐射防护用品	拟配备
26*	D 应急物资	去污用品和应急物资	拟配备
27		合适的灭火器材	拟配备
28*		放射性同位素应急包装容器	拟配备

备注：加\*的项目是重点项。

表 4.2.4-5 项目与“操作非密封源的辐射防护规定”的符合性对照分析

序号	项目	标准要求	本项目执行情况	结论
1	安全操作一般	为开展辐射防护管理工作并对职业照射进行控制非密封源工作场所应实行严格的分区、分级管理，分区、	本项目对非密封放射性物质工作场所进行了控制区和监督区划分，具体见 4.1.2 章节。	符合

序号	项目	标准要求	本项目执行情况	结论
	要求	分级管理的措施，应遵循GB18871-2002的要求。		
		宜在辐射工作场所的醒目位置悬挂（张贴）辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规程和操作规程。	项目拟在控制区和监督区出入口张贴辐射警告标志；项目设计了合理的人流和物流路径，确保各生产线不交叉；项目拟根据本项目实际情况制定辐射防护规程和操作规程。	符合
		操作非密封源的单位应制定辐射防护大纲并对其实施和评价负全面责任。单位应设立相应的安全与防护机构（或专兼职安全与防护人员），并用文件的形式明确规定其职责。	建设单位已成立辐射安全与环境保护领导小组，并配备专职辐射安全管理人员，全面落实单位辐射安全管理责任。	符合
		应建立安全与防护培训制度培植和保持工作人员良好的安全文化素养，自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。	建设单位制订了人员培训制度，所有辐射工作人员均在进行辐射安全与防护学习并经考核合格后上岗，上岗前进行岗位培训，熟练掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。	符合
		辐射工作人员对某些操作程序必要时应先进行模拟试验、冷试验、热试验，当熟练掌握操作技能后方可正式开展工作。	在进行高活度放射性物质操作前，建设单位将先进行模拟冷试验，在熟悉基本操作流程后，再进行低活度放射性物质操作热试验，并验证各项操作参数正常后才进行正式生产操作。	符合
		如果操作过程中发现异常情况，应及时报告，并分析原因，采取措施，防止重复发生类似事件。	建设单位制订了辐射事故应急预案，将根据本项目实际情况进行完善。运行过程若出现异常情况，将及时报告、分析原因、采取措施，防止发生类似事件。	符合
		应定期检查工作场所各项防护与安全措施的有效性，针对不安全因素制定相应的补救措施，并认真落实，确保工作场所处在良好的运行状态。	建设单位制定了各项辐射安全设施设备的维护保养制度，并定期对各辐射工作场所的辐射安全设施设备进行检查，发现问题及时整改，确保辐射安全设施设备的正常安全运行。	符合
		非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全和防护要求的条件，尽可能在通风橱、工作箱或手套箱内进行。	本项目生产车间均设计了热室和通风柜，质检中心检测室和实验室配备了手套箱和通风橱，根据分析，各屏蔽设施满足防护要求，屏蔽体外正对人员操作位辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位辐射剂量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。	符合
		操作过程中所用的设备、仪器、仪表、器械和传输管道等应符合安全和防护要求。吸取液体的操作应使用合适的负压吸液器械，防止放射性液体溅出、溢出，造成污染。储	本项目拟采购符合安全和防护要求的设备、仪器、仪表、器械和传输管道；采用合适的负压吸液器械吸取液体；采用不易破裂的材料制成的容器储存放射性溶液。	符合

序号	项目	标准要求	本项目执行情况	结论
2	安全操作条件	存放放射性溶液的容器应由不易破裂的材料制成。		
		有可能造成污染的操作步骤应在铺有塑料或不锈钢等易于去污的工作台面上或搪瓷盘内进行。	本项目热室、手套箱、通风橱均为不锈钢工作台面，内设置有吸水垫纸和搪瓷盘。	符合
		操作中使用的容器，必要时应在其外面加一个能足以容纳其全部放射性溶液的不易破裂的套桶。	本项目放射性原料和放射性产品均外包有屏蔽铅罐或套筒，防止放射性溶液因包装破裂而泄露。	符合
		操作易燃易爆物质，或操作中使用高温、高电压和高气压设备时，应有可靠的防止过热或超压的保护措施，并遵守国家有关安全规定。	本项目对核素进行加压或加热操作时在热室或手套箱中进行，箱体中自带防止过热或超压的保护措施。	符合
		伴有强外照射的操作，应尽可能缩短操作时间，利用合适的屏蔽或使用长柄操作机械等防护措施。	本项目放射性药物生产车间均设置有屏蔽箱体，合成和分装均为自动操作；设置有长柄操作机械手及电脑控制操作，同时在操作过程中，辐射工作人员提前熟悉操作工艺，并定期对操作规程进行优化，尽量缩短操作时间。	符合
		若需要进行开启密闭工作箱门放入或取出物品及其他危险性较大的操作时，应采取安全与防护措施，并在防护人员监督下进行。	在进行放射性原料和放射性产品转移时，将涉及开启工作箱后门，操作过程中，将配置 1 名辐射工作人员进行监督操作，操作人员和监督人员将配备个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪对放射性物品容器表面进行监测，同时在工作箱后区还安装有固定式剂量报警仪对该高剂量操作实时进行监测，当出现超标情况将进行声光报警。	符合
	进行污染设备检修时，应当事先拟出计划。主要的工作内容及采取的防护措施，经现场防护人员审查同意并落实辐射防护措施后方可进行。	建设单位制定了设备检修规程，在进行污染设备检修时（如过滤器更换），建设单位专职辐射安全管理人员将进行现场监督，并进行辐射监测。	符合	
3	安全操作个人防护	辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。	建设单位制定了人员培训制度，所有辐射工作人员均在参加辐射安全与防护学习并考核合格后上岗，上岗前进行岗位培训，熟练掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。	符合
		辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行定期检验。	本项目各生产线配备的个人防护用品包括：铅服、口罩、手套、洁净服、个人剂量报警仪、个人剂量计、便携式辐射监测仪和表面沾污仪等，同时建设单位还另行配备有备份防护用品，其中个人剂量报警仪、个人剂量计、便携式辐射监测仪和表	符合

序号	项目	标准要求	本项目执行情况	结论
			面沾污仪等还将定期进行检验，确保其有效性。	
		在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。	建设单位拟配备长杆辐射监测仪和长柄夹，在任何情况下禁止用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。	符合
		辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救药品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。	建设单位配备有医学防护用品和急救药品箱，同时制定辐射事故应急预案，并明确提出医学处理的操作要求。	符合
4	放射性废物管理一般要求	放射性废物的管理应遵循 GB18871-2002, GB 14500 的相关规定，进行优化管理。应从源头控制、减少放射性废物的产生，防止污染扩散。应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。	建设单位将设计合理工艺，在操作过程中将尽量减少放射性废物产生，同时各生产线将按放射性核素的种类、活度、半衰期等参数进行放射性废物的分类，尽量实现废物最小化，制订放射性废物管理制度，并建设放射性废物的管理台账，详细记录放射性废物的产生、处理和处置情况，并建档保存。	符合
5	放射性废水管理	操作非密封源的单位，一般应建立放射性废水处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废水排入普通下水道，相关控制应遵循 GB18871-2002 的要求，不允许利用生活污水下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。	生产车间的去污间、淋浴间产生的去污废水通过容器盛装，暂存衰变。污染容器的清洁废水排入衰变池暂存。	符合
		废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。	本项目各生产线、质检中心产生少量放射性废液（废弃的放射性药物或样品），拟将放射性废液盛装在塑料瓶内，置于收集/转移铅桶内分类暂存于放射性废物暂存间地坑或铅容器内，按规定储存一定的时间后经监测满足排放标准后作为危废处置。	符合
		经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。	本项目收集的放射性废水经衰变池贮存衰变一定时间后，将通过取样监测分析达标后进行排放。	符合
6	放射性固体废物管理	产生放射性固体废物较多的单位应当建立周体废物暂存库，确保储存的废物可回取。	本项目车间一层拟建设放射性废物暂存间一、二，短半衰期固废贮存衰变一定时间后经监测达到清洁解控水平后作为普通固体废物进行处理，可以实现放射性废物减量化要求。	符合
		操作非密封源的单位产生的废物（包括废弃的放射源），应按要求送指定的废物暂存间暂存。送贮的		符合

序号	项目	标准要求	本项目执行情况	结论
		废物应符合送贮条件。		
		对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。		符合
7	放射性废气管理	对工作场所放射性废气或气溶胶的排放系统，应经常检查其净化过滤装置的有效性。	本项目各生产车间、质检中心实验室和检测室等场所均设计了独立排风系统，运行过程中产生的放射性气溶胶均在过滤后引至楼顶排放；同时，建设单位制定了设备维护维修制定，定期对净化过滤装置进行维护和维修，确保其运行有效性；此外，建设单位拟配备移动气溶胶采样设备，定期对辐射工作场所内进行气溶胶监测，各废气排放口还设置气溶胶采样口，每年进行一次放射性气溶胶监测。	符合
		凡预计会产生大量放射性废气或气溶胶而可能污染环境的一次性操作，亦应采取有效的防护与安全措施和监测手段。		符合
8	非密封放射性物质的管理	操作非密封源的单位应配备专（兼）职人员负责放射性物质的管理，应建立非密封放射源的账目（如交收账、库存账、消耗账），并建立登记保管、领用、注销和定期检查制度。	本项目外购的放射性原料在进场后均将先进行台账登记，同时各药物生产车间还建立放射性原料和产品的台账制度，并定期对台账进行核查。	符合
		非密封放射源应存放在具备防火、防盗等安全防范措施的专用贮存场所妥善保管，不得将其与易燃、易爆及其他危险物品放在一起。	本项目设置有独立的放射性药物成品库和放射性废物暂存间，不存放易燃、易爆及其他危险物品。	符合
		辐射工作场所贮存的非密封放射源数量应符合防护与安全的要求，对于不使用的非密封放射源应及时贮存在专用贮存场所。	本项目生产线为订单式生产，即产即销，一般不暂存放射性原料和产品。拟代理销售药物正常情况下也不暂存，仅在必要时临时暂存在放射性药物成品库，同时将进行台账记录。	符合
		贮存非密封放射源的保险橱和容器在使用前应经过检漏。容器外应贴有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起始时间和存放负责人等）。	放射性药物成品库内拟按核素种类进行分类暂存管理，暂存容器将在明显位置标注名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起始时间和存放负责人等信息。	符合
		存放非密封放射源的库房应采取安保措施严防被盗、丢失。	放射性药物成品库拟设置固定式剂量报警仪和监控摄像头，并实行双人双锁和台账管理。	符合
		应定期清点非密封放射源的种类、数量、做到账物相符。工作人员如发现异常情况应按相关规定及时报告。	建设单位将定期进行放射性物料清点，并进行核算，做到账物相符，发现异常将及时报告。	符合
		应做好非密封放射源的领用和注销	建设单位已制定放射性同位素管理制度，	符合

序号	项目	标准要求	本项目执行情况	结论
		工作领用人一般应做到：①掌握辐射防护基本知识；②履行登记手续、按期归还；③不允许擅自转借；④用毕办理注销手续。	明确相关管理要求，在各生产车间落实专人（辐射工作人员）进行放射性物料的实物和台账管理，防止未发生放射性物料擅自转让、丢失、被盗等情况。	

#### 4.2.4 安全保卫措施

##### 4.2.4.1 防盗、防抢、防破坏措施

###### (1) 监控系统

为满足生产需要、改善生产条件和加强安全生产措施，本项目在各个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进出口、厂界、重要厂房进出口进行监控，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性药物的安全。本项目非密封放射性物质工作场所视频监控系统主机放置在一层监测室，摄像机设置在回旋加速器区、放射性药物生产车间的前区、后区、门厅、准备间、发货区、普通区走廊、放射性污物暂存间、放射性物料库及成品库等。整个非密封放射性物质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。

###### (2) 双人双锁及台账管理

本项目使用的放射性物料库、放射性污物暂存间和成品库均设置双人双锁，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。同时，放射性原料、放射性药物成品及放射性废物的来源和去向都应有完整记录并长期保存，并由专人进行管理，建设单位还将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。

###### (3) 人员出入控制

为限制无关人员进入非密封放射性物质工作场所，在人流出入门设置磁卡门禁系统，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。把所有持卡人员的姓名、卡号、部门、职务等个人资料输入电脑（或门控器），同时设置每张卡的级别，不同级别的门禁卡可进入场所不同，便完成了感应卡的输入程序。登记完成以后的感应卡，便有了合规进出的权力。辐射工作场所门禁点位设置：①辐射工作场所的人流、物流总出入口设置门禁；②在不同危险程度的区域交界处设置，如控制区与监督区、监督区与普通区；③在放射性物品存放间设置门禁系统和机械门锁。

##### 4.2.4.2 防火措施

(1) 本项目为新建项目，项目中建筑物主要为钢筋混凝土框架结构。火灾危险性

分类为丁类，建筑物的耐火等级地下一级，地上二级，其中地下为一个防火分区，地上三层整个为一个防火分区。每个防火分区面积均满足《建筑设计防火规范》（GB50116-2014）（2018年版）相关要求。

(2) 本工程消火栓系统采用室内外合用临时高压消火栓给水系统，在厂区成环状布置，管径 DN150，室外消火栓接自此管网。2号楼每层楼均按《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）要求设置消火栓系统和灭火器。

(3) 在负一层消防水泵房内设电动消火栓泵 2 台（1 用 1 备），建设有效容积分别为  $138.38\text{m}^3$  和  $137.09\text{m}^3$  消防水池 2 座，储存室内外火灾延续时间的一次消防用水。消火栓泵出水管在室外连接成环，供给厂区室内、外消火栓用水。

(4) 本项目设置火灾自动报警和消防联动控制系统。火灾自动报警和消防联动控制系统按集中报警系统进行设计。门卫消防控制室作为厂区消防控制室。消防控制室能显示所有火灾报警信号和联动控制状态信号，并能控制排烟风机等重要的消防设备。

#### 4.2.4.3 防水（防渗）及地下水污染防治措施

建设单位应关注项目可能发生的地下水污染，地下水污染防治措施按照“源头控制、分区防治、污染监控、应急响应”相结合的原则，从污染物的产生、入渗、扩散、应急响应全方位进行控制。本项目防渗区划分建议及设计防渗措施见表4.2.5-1。

表4.2.5-1 地下水污染防治分区及设计防渗措施一览表

序号	分区类别	防渗要求	场所	防水、防渗方案
1	重点防渗区	等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ 、渗透系数 $K \leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ；或参照 GB18598 执行	2号楼各生产车间前区、后区，每个去污间、放射性物料库、药物成品库、质检中心涉放实验室和检测室，放射性废物暂存间	15cm 厚混凝土基层+1.5mm 厚聚氨酯防水涂料 2 道或者 1 道水泥基渗透结晶型防水涂料
			衰变池	池体为 30cm 厚混凝土（抗渗等级 P6）+上铺 2cm 厚环氧乳液水泥砂浆，罐体采用 2mm 厚不锈钢
2	一般防渗区	等效黏土防渗层 $M_b \geq 1.5\text{m}$ 、渗透系数 $K \leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ；或参照 GB16889 执行	办公区、食堂住宿综合楼、废水预处理池	等效黏土防渗层 $M_b \geq 1.5\text{m}$ 、渗透系数 $K \leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ；或参照 GB16889 执行
3	简单防渗区	/	厂区内除重点防渗区和一般防渗区以外的其他区域	一般地面硬化

#### 4.2.4.4 防泄漏措施

本项目非密封放射性物质工作场所已设计了各项屏蔽设施（见4.1.2章节），同时建设单位还需制定严密的监测计划，定期或不定期对整个非密封放射性物质工作场所进行辐射环境监测（监测计划6.3章节）。本项目放射性物料密封于屏蔽罐内、各热室、生物安全柜、手套箱、胶囊灌装机等都具有良好的密封性，正常生产过程中不会发生放射性物质泄漏，但为避免事故状态下放射性物质泄漏，本项目动物房和碳-14胶囊申报线均设置有固定式剂量报警仪，当发生放射性物质泄漏，辐射剂量率超过阈值时（ $5\mu\text{Sv/h}$ ）将触动报警装置。

动物房区域 $\gamma$ 剂量率监测系统主要用于药物标记、发生器工艺研究、质检、给药后动物饲养、注射室、解剖室等各涉放场所的剂量率水平，该系统由探头系统和主机系统两部分组成。动物房区域 $\gamma$ 剂量率监测系统的探头共10个，安装高度均为2m，主机共2个，安装高度1.6m，为保证仪器响应速度，每个主机带4~6个探头。动物房区域在卫生通道门口设置表面污染监测仪用于工作人员表面污染监测（共设置2台）。

研发质检中心安装有2台固定式 $\gamma$ 剂量率报警仪和4台表面污染监测仪，本次全部利旧，不新增。

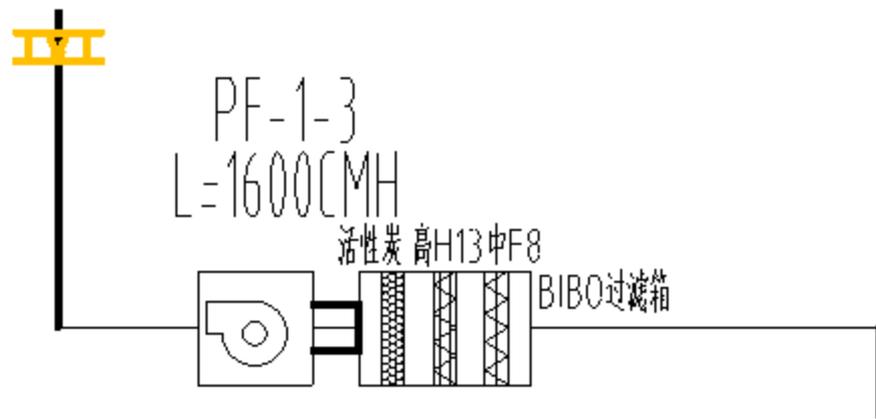
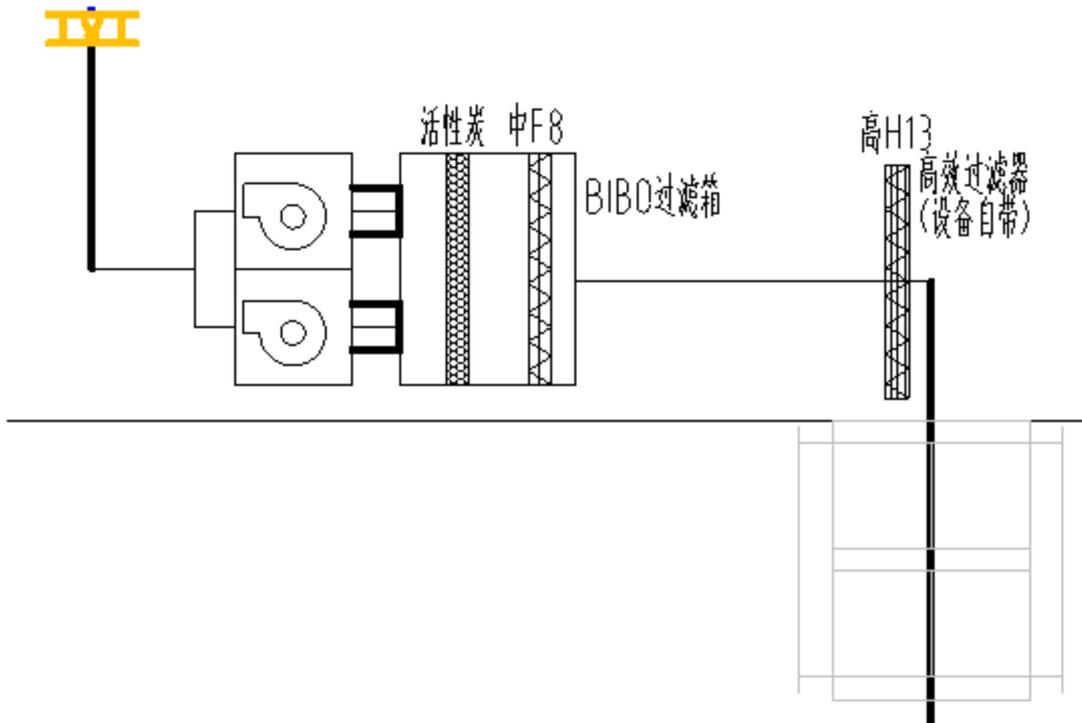
### 4.3 三废治理

#### 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

本项目回旋加速器区和各放射性药物生产车间的排风系统均独立设计，可独立开启，互不干扰。各辐射工作场所排风系统共41根排风管道引至2号楼楼顶，在楼顶并成3根主排气筒，主排气筒高27m，废气经相应的净化方式处理后通过主排气筒排放。各场所放射性废气治理排风系统具体见表4.2.2-2。

本项目主要过滤系统组合设计图如下：



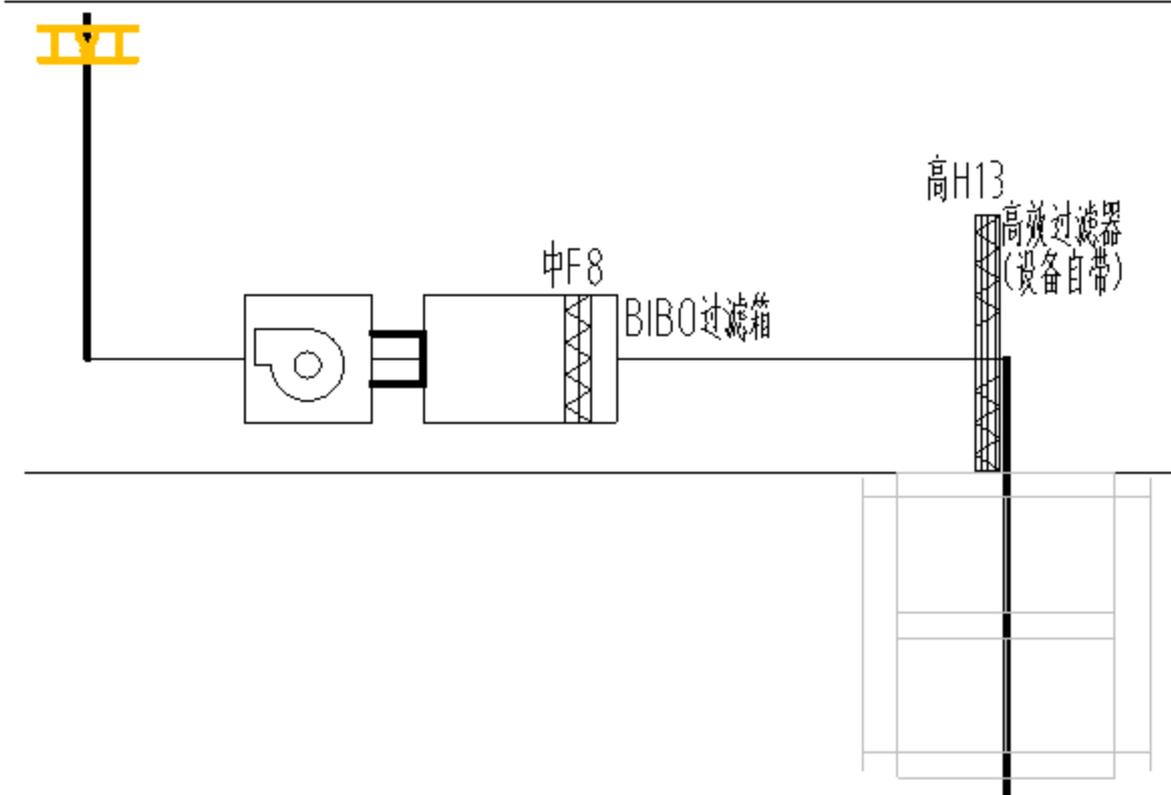


图4.3.1-1 主要过滤系统组合设计图

### (1) 回旋加速器区

项目设有回旋加速器机房1与回旋加速器机房2两间加速器机房，两间机房分别设1套排风系统，废气经单独排风管引至2号楼楼顶，经高效过滤装置处理后，分别由PF-1-10和PF-1-11号排风管道汇入27m高#1主排气筒排放；每套排风系统风机排风量为 $1400\text{m}^3/\text{h}$ ，净化效率99%。#1主排气筒内径为 $2000\times 1800$ ，顶部为防雨弯头，预留废气人工取样口，排放口设置总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 在线监测系统。

### (2) 放射性药物生产车间

项目各生产线根据工作场所分区，分别设置治理排风系统。产生放射性气体的设备设局部通风，工作箱等在生产时产生放射性物质或气体的，先经设备自带除碘（活性炭）高效过滤器过滤后，再经楼顶初效+中效过滤装置和活性炭吸附装置处理后排放。高效过滤器过滤效率不低于99.9%，活性炭吸附器的净化系数不低于95%。7个药物生产车间排风管道，所有排风管道在楼顶汇入不同的主排气筒排放。

### (3) 放射性暂存场所

项目留样间、废物暂存间一、废物暂存间二、成品库以及放射性物料库，均设有不同的排风系统，废气经排风管道引至2号楼楼顶，经初效+中效过滤装置和活性炭吸附装置处理后汇入不同的主排气筒排放。

#### (4) 其他涉放场所

生产车间和质检中心除工作箱以外的控制区和监督区均设置排风系统，废气经排风管道引至 2 号楼楼顶，经初效+中效过滤装置处理，涉碘区域废气经排风管道引至 2 号楼楼顶，经初效+中效过滤装置和活性炭吸附装置处理后汇入不同的主排气筒排放。

综上，本项目辐射工作场所共设有 41 根排风管道，各排风管道集中引至 2 号楼楼顶，并管后分别汇入 3 根 27m 高的主排气筒排放，主排气筒高于周围 50m 范围最高建筑 3m 以上。排气筒顶部采用防雨弯管，预留废气人工取样口。取样口应按《固定源废气监测技术规范》（HJ/T397-2007）要求设置。

#### (5) 废气排放管理措施

①建设单位需定期对通排风系统管道及净化系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中各型过滤装置需根据设备要求（当过滤器两端压差值为小于初阻值或大于2倍初阻值时进行清洗或更换）定期进行过滤效率检定和更换，并将更换下的滤芯进行收集暂存衰变或处置；②为尽量减小公众不必要的照射，建设单位应对各排放口进行信息标识，并对废气排放口楼顶进行封闭管理，除监测采样、设备维护、检修等特殊情况下，禁止人员在楼顶长期居留。

#### 4.3.1.2 放射性废水处理措施

##### (1) 放射性废水收集、处理措施

项目回旋加速器检修维护期间产生的活化冷却废水，废水中放射性核素的半衰期不超过 2min，冷却废水采用带铅屏蔽的废水收集桶单独收集，在加速器机房内暂存衰变超过 30 天后，经监测 $\beta$ 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 后排入园区污水管网。辐射工作人员洗手、清洗等过程中可能产生的放射性废水，在洗手池下方安装约 50L 的容器收集，静置衰变后经监测达标后排入厂区污水管网；如突发药物撒漏等辐射事故造成人员大面积污染需进行淋浴去污，淋浴设备下方设置 240L 的废水收集容器，静置衰变后经监测达标后排入厂区污水管网；质检中心器皿清洗会产生少量放射性废水，由于产生量很少，因此采用废液罐收集暂存衰变超过沾染的核素 10 个半衰期后监测达标后排入厂区污水管网；生产车间热室管路的单次的清洗废水经专用塑料瓶收集后放入铅容器内用推车运送到放射性固废间的地坑内存储，短半衰期（24h 内）核素废水衰变超过 30 天后排入厂区污水管网，其他核素静置衰变 10 个半衰期后经检测达标后排入厂区污水管网。

本项目在 2 号楼东侧新建埋地式衰变池，衰变池设置不锈钢 3 格并联衰变池。衰

变池为 2mm 厚不锈钢拼装水箱，嵌入在地下钢筋混凝土构筑物内，池顶设采样口（带锁具），每个内壁尺寸为 3m×2m×1m，单个容积均为 6.00m<sup>3</sup>，单个有效容积均为 5.00m<sup>3</sup>。3 格衰变池交互衰变处理，第一格存满废水时关闭阀门，开启另外 1 格进水，第 2 格存满废水后进行衰变处理关闭阀门，开启第 3 格进水。项目废水中主要核素为碘-131 容器清洗废水。废水排入衰变池后，暂存超过 180 天后，经泵提升至室外排水井，经厂区污水管排入园区污水管网。

## （2）衰变池结构和设计

① **衰变池结构和材料选用：**项目衰变池为 2mm 厚不锈钢拼装水箱，嵌入在地下钢筋混凝土构筑物内，构筑物顶板顶标高为-0.90m，底板顶标高为-2.80m，长 6.40m（外皮），宽 5.20m（外皮），水池壁厚 300mm，顶板厚 250mm，底板厚 200mm。衰变池钢筋的强度标准值应具有不小于 95%的保证率；衰变池混凝土强度等级 C35，防水混凝土，防水等级为一级，抗渗等级 P8。

② **衰变池防水、防腐蚀要求：**衰变池为 2mm 不锈钢成品水箱，本身可视为不透水。另外混凝土构筑物底板、四周和顶板分别采用防水构造，水池外壁防水构造保护层为 20 厚 1:2.5 水泥砂浆，确保池体总体防水、防腐满足标准要求，可防止池体出现渗漏或外部地下水渗入池内。

③ **衰变池防雨措施：**衰变池设置在地面下方 0.6m，且采用混凝土防渗顶板，雨水不会进入池内。

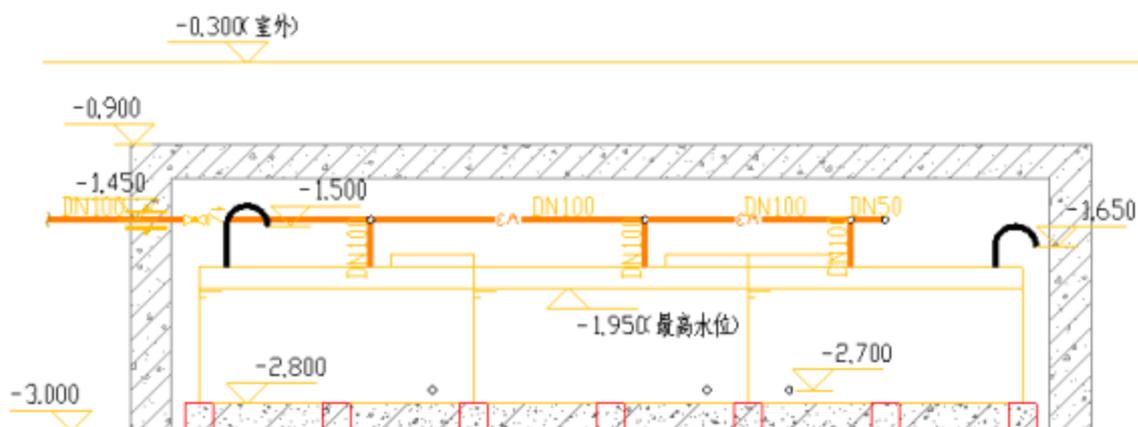
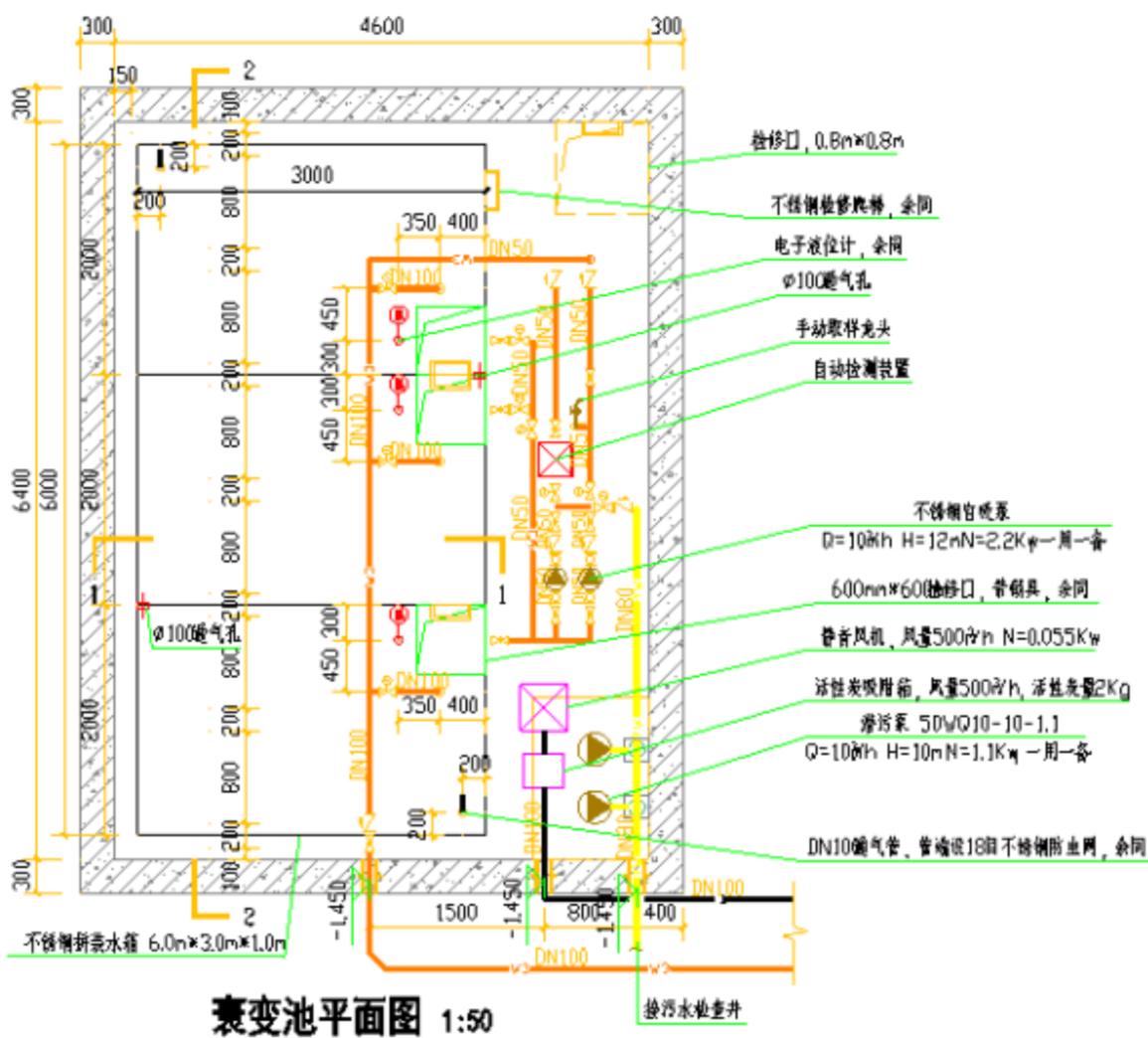


图4.3.1-2 主要过滤系统组合设计图

## (5) 放射性废水管理措施

① 建设单位应严格放射性废水衰变运行管理，安排专职人员进行管理，并建立暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间和监测结果等信息，并妥善保管。

② 定期对放射性废水特排管道进行检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现，不得随意对特排管道进行改线或接入非下水管道，若需新建或改造特排管道不得设置 U 型下水管路，保持管道内径光滑并具有一定的下水坡度，防止出现放射性物质沉积。

③ 本项目产生的放射性废水在日常委托监测或自行监测中发现监测结果异常时，应分析原因并及时采取管控措施，确保废水达标排放。

### 4.3.1.3 放射性固废处理措施

#### (1) 放射性固体废物收集处理

根据《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020），本项目生产车间、质检中心产生的放射性固体废物均属于可压缩/非感染性废物。

本项目产生的放射性固体废物包括回旋加速器加速器维修更换产生的废弃活化部件（如碳膜支架和靶膜），废靶材；核素淋洗、纯化、过滤、装罐过程中产生的合成、分装环节产生的一次性合成卡套（注射器、针头和传输管路等）、废树脂和滤材、用于吸收合成废液的卫生纸或脱脂棉球；固体靶核素，分离纯化、合成、分装环节分别产生含铜-64、锆-89、镓-68 的废纯化柱、原料瓶、反应瓶、过渡瓶、液体传输管、滤膜和擦拭吸纸等；质检中心产生的用于吸收质检废液的卫生纸或脱脂棉球及实验一次性耗材（手套，层析纸，毛细管、样品瓶、试验台垫层吸水纸、pH 试纸、移液器枪头、实验器具擦拭纸等；废气处理废滤芯；以及辐射工作人员受污染劳动防护用品（废手套、洁净服等），以及产生的废弃  $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$  发生器，废  $^{228}\text{Th}$ - $^{212}\text{Pb}$  发生器。

① 项目产生的废弃  $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$  发生器，废  $^{228}\text{Th}$ - $^{212}\text{Pb}$  发生器放置到废物暂存间内，暂存一定时间后，再连同原包装容器一起由厂家统一回收。

② 根据《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等相关规定要求，对于所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期 24 小时~100 天的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面沾污小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可实施解控；对于不能解控的放射性固体废物（半衰期大于 100 天），按照放射性废物处理的相关规定交有资质单位处理。

③ 回旋加速器每年维修更换的活化部件预计约 10kg/台，主要含有  $^{56}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Ni}$ 、 $^{27}\text{Mg}$ 、 $^{24}\text{Na}$ 、 $^{28}\text{Al}$ 、 $^{62}\text{Cu}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{66}\text{Cu}$  等感生放射性核素，这些感生放射性核素半衰期均较短，其中最长的  $^{24}\text{Na}$  的半衰期也仅 14.9h，可由铅废物桶收集后就地放置于加速器机房内衰变，经检测达到清洁解控水平后作为一般废物处理。

加速器运行产生的放射性废靶膜和碳膜等活化材料量较少，每台约 0.1kg/a，参考同类型项目，由于其放射性活度浓度超过豁免水平，应作为放射性固废处理，可由铅废物桶收集后就地暂存于加速器机房内，交有相应资质的单位处理。

本项目运营后生产和质检产生的放射性固体废物共需要  $11.61\text{m}^3$  容积的带屏蔽的储存容器，本项目 2 间放射性固体废物暂存间共设置了 3 个  $2.88\text{m}^3$  和 3 个  $1.92\text{m}^3$  的地坑，容积共  $14.4\text{m}^3$ ；地坑 1、地坑 5 和地坑 6 存放过滤器滤芯、受污染的防护用品，管路清洗废水和  $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{125}\text{I}$  放射性固体废物，该部分废物所需储存容器体积为  $6.59\text{m}^3$ ，地坑 1、地坑 5 和地坑 6 总容积为  $6.72\text{m}^3$ 。

综合上述分析可见，本项目设置的两间放射性废物暂存间的空间和容积以及暂存间内设计的地坑的容量完全可满足项目放射性固体废物暂存需求。

### (3) 放射性废物管理

① 定期对放射性废物产生环节进行审查，制定废物最小化大纲，采取工艺、设备、产品方案优化方案，从源头减少放射性废物产生量。

② 对满足放射性固体废物处理要求的及时进行处理，以保证各地坑和铅容器的暂存空间的流转。

③ 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

④ 暂存过程，每袋废物的表面剂量率应不超过  $0.1\text{mSv/h}$ ，质量不超过  $20\text{kg}$ ；废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

⑤ 放射性废物暂存间不得存放其他易燃、易爆、易腐蚀危险物品，对于含破碎玻璃器皿、含尖刺及棱角的放射性固体废物，预先进行包装处理后再装入专用塑料袋中，防止塑料袋刺破，造成二次污染。

⑥ 对于可以清洁解控的废物，应进行监测，辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$  表面沾污小于  $0.08\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq/cm}^2$ 。

⑦ 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整

备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv/h}$ ，表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于 $4\text{Bq/cm}^2$ 、其他 $\alpha$ 发射体应小于 $0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

⑧建设单位在运行过程中，根据设计及本报告提出的分类暂存方式（见表4.3.1-3）进行分类收集暂存，在各废物箱体外明显标注核素名称和废物种类等信息。

#### 4.3.2 非放射性污染物治理措施

##### 4.3.2.1 非放射性废气治理措施

本项目工艺废气主要是非放物料准备过程及产品消毒过程中产生的挥发性有机物（乙醇），同时生产和实验检测过程因使用无机酸形成挥发性酸雾（氯化氢、硝酸、硫酸），本项目各生产线准备间及质检中心非放射性检测区设置有独立的非放废气排风系统，经中效过滤器过滤后引至楼顶排放；热室、手套箱等工作箱产生的非放废气与放射性废气一起经过滤后引至楼顶排放。

##### 4.3.2.2 非放射性废水治理措施

###### （1）工艺废水治理

本项目产生的工艺废水主要包括：生产线及质检中心产生的洁具用品清洗灭菌废水，产生量约 $0.72\text{m}^3/\text{d}$ ，该部分废水排入园区污水管网，接入四川溪水合公兴污泥污水处理厂处理进行处理，处理达标后排入锦江。

###### （2）生活污水

项目运营期生活污水产生量为 $7.87\text{m}^3/\text{d}$ ，该部分废水经初沉池预处理后，进入园区污水管网，排入四川溪水合公兴污泥污水处理厂处理进行处理，处理达标后排入锦江。

###### （3）洗衣清洗废水及洗手废水

洗衣清洗及洗手废水的产生量为 $0.98\text{m}^3/\text{d}$ ，该部分废水排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江。

以上废水经预处理池收集处理后排入园区污水管网后进入四川溪水合公兴污泥污水处理厂处理，最终排入锦江。

###### （2）废水治理措施可行性分析

根据《双流工业集中发展区第六期修编规划环境影响报告书》及其审查意见，本项目厂区属于四川溪水合公兴污泥污水处理厂服务范围。根据调查，本项目所在区域建设有污水管网，项目产生的污水经污水管网可进入四川溪水合公兴污泥污水处理厂处理。因此，本项目产生的废水通过园区污水管网排入四川溪水合公兴污泥污水处理厂是可行的。

根据调查，四川溪水合公兴污泥处理厂处理规模为2万m<sup>3</sup>/d，污水处理厂采用较为先进的污水处理工艺预处理+AAO+反硝化生物过滤+脱碳生物过滤+紫外线消毒，出水指标为《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级A标。

本项目废水排放量为2392.50m<sup>3</sup>/a，可见日废水排放量远小于污水处理厂处理规模，且废水成分主要为COD、BOD<sub>5</sub>、SS等，不含放射性及化学试剂等，可生化性较好，不会对四川溪水合公兴污泥处理厂造成明显的冲击。

综上，四川溪水合公兴污泥处理厂能够接纳项目废水，纳入不会对污水处理厂造成超负荷影响。因此，项目污水防治措施可行。

#### 4.3.2.3 噪声治理措施

项目生产设备均为低噪声运行设备，主要噪声源为净化空调机组和排风机运行造成，主要采取减振隔声、减振和增加软管接头等措施减少噪声影响，每个排风机的噪声源强不大于62dB(A)。

#### 4.3.2.4 非放射性固体废物处理措施

本项目非放射性固体废物主要包括生活垃圾，未沾染放射性物质的一次性手套、衣服、鞋套等，原料包装废材，质检、研发过程中产生的废有机溶剂、废酸液等，未涉放射性的空化学试剂瓶和药瓶，未涉放射性房间的废气过滤装置产生的废活性炭等。

##### (1) 一般固废

生活垃圾、未沾染放射性物质的一次性手套、衣服、鞋套、原料包装废材等统一收集后，交由环卫部门统一收运处置。

##### (2) 危险废物

本项目产生的危险废物主要包括：电镀废液、非放化学试剂瓶、废有机溶液、废酸溶液、废碱溶液、清洁解控后活性炭过滤器、清洁解控后离子交换树脂等，危险废物暂存于危险废物暂存间，暂存达一定数量后由资质单位统一收集处理，并按照国家有关危险废物申报登记、转移联单等管理制度的要求，向当地生态环境主管部门进行危险废物的申报、转移等。日常的生产管理过程中须做好危险固体废物情况的台账记录，记录上须表明危险废物的名称、来源、数量、特性和包装容器的类别、入库日期、存放库位、废物出库日期及接收单位名称。危险废物的记录和货单在危险固体废物转运后应继续保留三年。

根据《国家危险废物名录（2025版）》，各危险废物类别见表4.3.2-2。

表4.3.2-5 本项目非放射性危险废物类别一览表

固体废物种类	危险废物类别
电镀废液	HW17 表面处理废物
未涉放射性的空化学试剂瓶、未涉放射性房间的废气过滤装置产生的废活性炭等	HW49 其他废物
废有机溶液	HW06 含有机溶剂的废物
废酸溶液	HW34 废酸
废碱溶液	HW35 废碱
废树脂	HW13 有机树脂类废物

以上废物由专用容器收集暂存于1层危化品暂存库内，该区域将按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中相关要求进行管理，场所地面与墙面裙脚将采取防渗处理，危险废物贮存容器外表面将设危险废物标识，并建立危险废物管理台账。

#### 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，建设单位需根据相关要求实施场所退役，退役阶段应采取以下环保措施：

（1）建设单位需根据《核技术利用设施退役》（核安全导则HAD401/14-2021）要求编制退役方案，并在正式开展退役活动前编制退役环境影响评价，并取得生态环境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处置。

（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）退役过程按《核技术利用项目放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）进行放射性废物的分类和整备，并通过源头控制、再循环与再利用、清洁解控、处理优化及强化管理，使最终放射性固体废物产生量（体积和活度）减小至可合理达到的尽量低的水平。

## 第五章 环境影响分析

### 5.1 建设阶段对环境的影响

#### 5.1.1 施工期声环境影响分析

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有重型运输车、电锯、电锤、空压机、角磨机等，施工期噪声源强见表3.3.1-1。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），点声源随传播距离增加引起的衰减按下式计算：

$$L_A=L_0-20\lg(r_A/r_0)$$

式中： $L_A$ —计算点处的声压级，dB（A）；

$L_0$ —噪声源强，dB（A）；

$r_0$ —参考距离，m；

$r_A$ —声源距计算点的距离，m。

单台施工机械噪声昼间最大在距声源281m以外可符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》70dB（A）标准限值，夜间在791m以外可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》55dB（A）标准限值。

为了减轻本项目施工期噪声对周围环境的影响，要求企业在建设期采取以下的措施以减轻施工噪声对周围环境影响：

①建设单位应当按照规定将噪声污染防治费用列入工程造价，在施工合同中明确施工单位的噪声污染防治责任。施工单位应当按照规定制定噪声污染防治实施方案，采取有效措施，减少振动、降低噪声。建设单位应当监督施工单位落实噪声污染防治实施方案。

②合理布置施工机具，使用低噪声施工机具，加强施工设备维护。

③合理安排施工时间，避免高噪声源强设备同时施工。

④加强对施工场地的噪声管理，文明施工，避免因施工噪声产生纠纷。

通过采取上述措施后，能最大限度地减少施工噪声的影响，同时本项目施工期较短，施工噪声将随着施工活动的结束而消失。

#### 5.1.2 施工期大气环境影响分析

本项目施工废气主要来源于施工阶段产生的施工扬尘和施工机械尾气，以及装修

过程产生的装修废气等。

### (1) 施工扬尘

本项目建筑施工、车辆运输等产生的扬尘在短期内将使局部区域空气中的TSP增加。施工扬尘影响主要是在施工区域，在施工现场地面和路面采取定期洒水措施后，TSP满足《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）。由于本项目施工工程量较小、施工期较短，产生的废气量较小，且施工场地位于厂区的已建厂房内，因此本项目施工扬尘对周围的大气环境影响很小。

为减小施工期扬尘对周围环境产生的影响，建设单位施工期应严格落实《成都市建设施工现场管理条例》和《成都市建设工地扬尘治理“十必须、十不准”的通知》对施工现场的管理要求，并全面督查建设工地现场管理“十必须”、“十不准”执行情况；严格落实《成都市2021年大气污染防治工作行动方案》对施工机械和运输车辆的管理要求；根据《成都市人民政府办公厅关于印发<成都市重污染天气应急预案（2020年修订）>的通知》（成办发[2020]27号），落实重污染天气状况下的应急措施要求，建设单位应要求施工单位制定施工期环境管理计划，加强管理，按进度、有计划地进行文明施工。

### (2) 施工机械尾气

施工期间使用机动车运送原材料、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THC等，其特点是排放量小、属间断性无组织排放，由于其这一特点，加之施工场地开阔，扩散条件良好，因此对其不加处理也可达到相应的排放标准。在施工期内应多加注意施工设备的维护，使其能够正常的运行，提高设备原料的利用率。

### (3) 装修废气

装修废气来源于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，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较小，施工过程中建设单位应采取如下措施：

①装修工程提倡绿色装修，采用符合国家标准的室内装饰和装修材料，从根本上降低装修废气对周围大气的污染；

②涂料和涂料喷涂产生的废气，对近距离接触的人体有一定危害，施工期的污染对象主要是施工人员，应采取必要的安全防护措施，如防护面具或口罩等。

### 5.1.3 施工期水环境影响分析

项目施工期废水主要为施工人员产生的生活污水及施工废水，其中生活污水产生量为 $2.9\text{m}^3/\text{d}$ ，该生活污水依托厂区内已有生活污水处理设施处理后排入市政污水管网，经四川溪水合公兴污泥处理厂处理达标后排入锦江，对地表水环境影响较小。

施工废水主要污染物为悬浮物，采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排，对地表水环境无影响。

### 5.1.4 施工期固体废物环境影响分析

本项目施工期产生的固体废弃物主要为建筑垃圾、包装废材和施工人员产生的生活垃圾。其中建筑垃圾送当地建设部门指定填埋场处置，包装废材主要进行废品回收利用。本项目施工期约2个月，施工期间平均每天安排施工人员约15人，生活垃圾产生量以 $0.6\text{kg}/\text{人}\cdot\text{d}$ 计，施工期生活垃圾产生总量约为 $0.5\text{t}$ ，由厂区清洁人员按时清扫、收集袋装后由当地环卫部门收集统一处理。通过采取以上措施，本项目施工期固体废物对周围环境影响很小。

本项目在施工期采用物理隔离，施工单位对拟施工区域边界进行隔离打围。隔离打围选择硬质非易燃无孔材料，打围材料和地面及周围采用硬连接固定。打围后，打围边界应满足不得留有通道或栅栏，人员不能穿越，不能被轻易破坏，不能传递物品。通过采取物理隔离措施后，已有辐射工作场所对施工人员的辐射影响很小。

## 5.2 运行阶段对环境的影响

### 5.2.1 回旋加速器运行时辐射影响分析

本项目回旋加速器机房一和回旋加速器机房二使用的回旋加速器型号为GE PET trace 鲲鹏，两台回旋加速器不会同时运行，其质子束最大能量为 $16.5\text{MeV}$ ，为双束流设计，单束流模式最大束流为 $80\mu\text{A}$ ，双束流模式最大束流为 $2\times 80\mu\text{A}$ ，用于制备正电子显像药物用核素原料（ $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 和 $^{89}\text{Zr}$ 共4种），产生的中子和 $\gamma$ 射线能量最大分别为 $15\text{MeV}$ 和 $10\text{MeV}$ ，制备各核素原料所需的常用工况为：质子束能量为 $16.5\text{MeV}$ 、由于正电子核素发生湮没反应后发出的 $\gamma$ 射线能量最大为 $0.915\text{MeV}$ ，远小于回旋加速器产生的 $\gamma$ 射线的能量，因此回旋加速器机房的屏蔽设计在考虑了加速器产生的 $\gamma$ 射线时，对正电子核素产生的 $\gamma$ 射线的辐射影响也能屏蔽。因此，回旋加速器机房外的辐射水平分析主要考虑质子核反应产生的中子和 $\gamma$ 射线影响。

根据生产厂家提供的FLUCK预测资料，回旋加速器距离靶点表面 $1\text{m}$ 处中子、 $\gamma$ 剂量率分布情况见图11-1。

表5.2.1-1 靶点1m处中子、光子剂量率统计表

与靶点的距离 (m)	中子		光子	
	能量 (MeV)	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	能量 (MeV)	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1m (X-Y轴平面上)	15	7.77E+07	10	2.08E+06
1m (X-Z轴平面上)		4.59E+07		2.14E+06

根据图 11-1, 靶体 1m 处  $\gamma$  剂量率最大为  $7.77 \times 10^7 \mu\text{Sv/h}$ , 靶体 1m 处中子剂量率最大为  $2.14 \times 10^6 \mu\text{Sv/h}$ 。对于回旋加速器机房, 本次选择的关注点位见图 5.2.1-2 和 5.2.1-3。

### (1) 回旋加速器运行时周围剂量率计算

#### ① 关注点透射剂量率计算

计算参数及结果见表 5.2.1-2, 5.2.1-3。

表5.2.1-2 回旋加速器机房一各关注点透射剂量率计算参数及结果

关注点	混凝土厚度 (cm)	屏蔽体外30cm处与靶点的距离 (m)	关注点 $\gamma$ 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点中子剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
A (走廊)	230	5.3	5.61E-02	5.61E-02	1.12E-01
B (楼外道路)	230	4.4	8.14E-02	8.14E-02	1.63E-01
C (设备间1)	325	10.3	9.87E-06	9.87E-06	1.97E-05
D (机房防护门外)	305	11.1	3.96E-05	2.38E-05	6.34E-05
E (操作间)	300	16.4	2.67E-05	1.60E-05	4.27E-05
F (走廊)	650	13.7	7.51E-17	7.51E-17	1.50E-16
H (楼上包装间)	230	5.78	2.79E-02	2.79E-02	5.57E-02
I (楼上前区)	232	5.8	2.37E-02	2.37E-02	4.74E-02

根据预测结果可知, 加速器机房一在现有屏蔽设计和最大工况运行条件下, 屏蔽体外透射剂量率在  $2.25 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h} \sim 0.22 \mu\text{Sv/h}$  之间, 满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  控制剂量率限值要求, 其屏蔽设计合理。

表5.2.1-2 回旋加速器机房二各关注点剂量率计算参数及结果

关注点	混凝土厚度 (cm)	屏蔽体外30cm处与靶点的距离 (m)	关注点 $\gamma$ 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点中子剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
A1 (工具间)	230	4.7	5.58E-01	7.13E-02	6.29E-01
B1 (楼外道路)	650	14.3	1.72E-11	6.90E-17	1.72E-11
C1 (走廊)	360	10.7	1.20E-04	6.17E-07	1.20E-04
D1 (机房防护门外)	297	11.3	<sup>a</sup> 5.47E-05	<sup>a</sup> 5.31E-05	9.72E-05
E1 (操作间)	297	13.3	<sup>a</sup> 3.95E-05	<sup>a</sup> 3.84E-05	7.01E-05
F1 (走廊)	325	10.8	7.33E-04	8.98E-06	7.42E-04
G1 (走廊、外包间)	230	3.95	7.90E-01	1.01E-01	8.91E-01

H (楼上包装间)	230	5.78	3.80E-01	2.79E-02	4.07E-01
I(楼上前区)	232	5.8	3.39E-01	2.37E-02	3.63E-01

根据预测结果可知, 加速器机房一在现有屏蔽设计和最大工况运行条件下, 屏蔽体外剂量率在 $1.50 \times 10^{-16} \mu\text{Sv/h} \sim 0.16 \mu\text{Sv/h}$ 之间, 满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率限值要求; 加速器机房二在现有屏蔽设计和最大工况运行条件下, 屏蔽体外剂量率在 $1.72 \times 10^{-11} \mu\text{Sv/h} \sim 0.89 \mu\text{Sv/h}$ 之间, 满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率限值要求, 其屏蔽设计合理。

#### ② 迷道散射剂量率计算

对于多次散射到达迷道防护门处 $\gamma$ 剂量率参考《电子加速器辐射装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)计算, 到达防护门入口处(D、D1点)的中子剂量率为 $5.00 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ; 到达防护门入口处(D、D1点)的 $\gamma$ 剂量率为 $7.02 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### ③ 迷道防护门外剂量率计算

本项目防护门设计为10mm铅+150mm聚乙烯。中子及 $\gamma$ 射线的什值层厚度及减弱倍数见表5.2.1-3。

表5.2.1-3 防护门外散射辐射剂量率计算表

关注点	材料	$\gamma$ 什值层	防护门屏蔽层	减弱因子	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
D1' (防护门内)	铅	38mm	10mm	0.55( $\gamma$ 射线)	3.87E-10
	聚乙烯	/	150mm	0.06(中子)	3.00E-08

经计算, 中子经150mm聚乙烯屏蔽后散射剂量当量率为 $3.00 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ ,  $\gamma$ 射线经10mm铅屏蔽后散射剂量当量率为 $3.87 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ 。

表5.2.1-4 防护门外关注点剂量率

关注点	透射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	叠加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
D1' (防护门内)	5.47E-05	3.87E-10	9.72E-05
	4.25E-05	3.00E-08	

由上表可知, 最终迷道防护门外合计剂量率为 $9.72 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ , 满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率限值要求。

#### (4) 放射性核素传输过程剂量率计算

回旋加速器机房与热室之间药物传输专用管道预埋在地沟内, 地沟采用混凝土浇筑, 深度为50cm, 地沟上方将覆盖100mm厚铅砖予以防护。放射性药物在管线中输送时按点源进行计算, 源强保守取单次生产量最大的氟-18 (17.5Ci, 打靶2h) 核素进行评价。

经计算放射性药物在传输过程中, 管沟上方最大剂量为 $0.07 \mu\text{Sv/h}$ , 满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

## (5) 加速器运行时对职业人员的影响

本项目定岗定责，各工作场所的放射性操作均由专人负责，不同场所工作人员不交叉工作，关注点处人员的年有效剂量可由下式进行估算。

$$D = H * t * T / 1000 \dots\dots\dots \text{式5.2.1-5}$$

式中：

D—关注点人员有效剂量（mSv）；

H—关注点的辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

t—关注点处受照时间（h）；

T—居留因子，全部居留 T=1，部分居留 T=1/4，偶尔居留 T=1/16。

回旋加速器拟配置3名辐射工作人员负责回旋加速器的各项操作，回旋加速器预计每年出束时间为2000h，则辐射工作人员所受年有效剂量为 $1.65 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，小于职业人员5mSv/a剂量管理限值。

## 5.2.2 场所辐射水平及职业人员辐射环境影响

## 5.2.2.1 计算模型

本项目职业人员饮食原料均为异地外购，来源于评价范围以外区域，且职业人员严禁在控制区进食、饮水，因此本次评价不考虑食入内照射。针对职业人员的受照剂量分析，主要包括外照射和内照射剂量两个部分。本项目涉及使用的核素种类较多，包括 $\alpha$ 核素、 $\beta$ 核素和 $\gamma$ 核素，其中 $\beta$ 核素产生的 $\beta$ 粒子在遇到重质材料时会产生韧致辐射，由于本项目各工艺环节均采用重质材料铅进行屏蔽， $\alpha$ 、 $\beta$ 粒子穿透能量较弱，本次外照射剂量不考虑 $\alpha$ 、 $\beta$ 射线辐射影响，主要考虑 $\gamma$ 射线和韧致辐射的外照射影响；对于内照射，本次考虑各种核素的辐射影响；对于 $\alpha$ 核素的衰变子体核素选择衰变百分数较大、衰变常数较大、较难屏蔽的核素，考虑子体核素的 $\gamma$ 射线和韧致辐射的外照射影响；详见表5.2.2-1。

表5.2.2-1 放射性核素影响因子一览表

放射性核素	射线类型	影响因素
$^{14}\text{C}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Y}$	$\beta$	韧致辐射外照射、内照射、浸没外照射
$^{67}\text{Ga}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{103}\text{Pd}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{201}\text{Tl}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{125}\text{I}$	$\gamma$	$\gamma$ 辐射外照射、内照射、浸没外照射
$^{47}\text{Sc}$ 、 $^{44}\text{Sc}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{166}\text{Ho}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{186}\text{Re}$ 、 $^{188}\text{Re}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{149}\text{Tb}$	$\beta$ 、 $\gamma$	$\gamma$ 韧致辐射外照射、内照射、浸没外照射
$^{211}\text{At}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{227}\text{Th}$	$\alpha$ 、 $\gamma$	$\gamma$ 辐射外照射、内照射、浸没外照射

$^{212}\text{Pb}$	$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$	$\gamma$ 辐射外照射、内照射、浸没外照射
$\alpha$ 核素的衰变子体核素： $^{211}\text{Po}$ 、 $^{217}\text{At}$ 、 $^{215}\text{Bi}$ 、 $^{215}\text{Po}$ 、 $^{211}\text{Pb}$ 、 $^{212}\text{Po}$ 、 $^{212}\text{Bi}$ 、 $^{208}\text{Tl}$ 、 $^{219}\text{Rn}$	$\beta$ 、 $\gamma$	$\gamma$ 韧致辐射外照射

### 5.2.2.2 场所贯穿外照射辐射水平分析

#### (1) 207车间、208车间

207 车间和 208 车间分别建设 1 条氟 $^{18}\text{F}$ 标记药物生产线，2 条生产线工艺、产品及生产能力均相同，均以自建回旋加速器制备的氟 $^{18}\text{F}$ 离子溶液为原料液。2 条生产线涉及的放射性核素  $^{18}\text{F}$  操作量相同，每条线每批次最大操作量均为  $6.475\text{E}+11\text{Bq}$ ；每条线每日最多生产 4 批次，全年共生产 1000 批次，每批次的合成时间 1h，分装时间 0.5h。

2 条生产线分别配置 2 人，负责生产线操作，每人每年最多操作 500 批次；2 条生产线的包装、转运分别由 2 名辐射工作人员负责操作。

每条生产线均设置合成热室、预室和分装热室，药物的合成、分装、活度测量等均在热室内自动操作，人员在前区进行观察，本次评价对合成热室和分装设备表面 30cm 处的 $\gamma$ 辐射和韧致辐射剂量水平进行分析。 $\gamma$ 射线和韧致辐射外照射辐射影响预测参数及计算结果见下表 5.2.2-2~5.2.2-4。

放射性废物转运及在暂存间内的转入转出等工作均由生产线辐射工作人员兼任。放射性废物转运过程人员受照剂量为  $0.104\text{mSv/a}$ 。

表 5.2.2-2 氟<sup>18</sup>F标记药物生产线（207、208 车间） $\gamma$ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果

生产环节	合成		分装		包装、转运
	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	
操作核素名称	<sup>18</sup> F				
$\gamma$ 射线能量 (MeV)	0.511	0.511	0.511	0.511	0.511
操作活度 (MBq)	6.475E+05	6.475E+05	6.475E+05	6.475E+05	1.11E+04
操作距离 (m)	1 (操作位)	1 (非操作位)	1 (操作位)	1 (非操作位)	0.9
衰减系数	9.46E-07	9.46E-07	9.46E-07	9.46E-07	3.89E-03
年操作时间 (h)	1000	/	500	/	500
剂量转换因子	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	8.76E-02	8.76E-02	8.76E-02	8.76E-02	7.62E+00
<b>年受照剂量 (mSv/a)</b>	<b>8.76E-02</b>	<b>/</b>	<b>4.38E-02</b>	<b>/</b>	<b>3.81E+00</b>

表 5.2.2-3 氟<sup>18</sup>F标记药物生产线（207、208 车间） $\beta$ 致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果

生产环节	合成		分装		包装、转运
	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	
操作核素名称	<sup>18</sup> F				
$\beta$ 粒子最大能量 (MeV)	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
$\beta$ 粒子平均能量 (MeV)	0.64/3	0.64/3	0.64/3	0.64/3	0.64/3

操作活度 (Bq)	6.475E+11	6.475E+11	6.475E+11	6.475E+11	1.11E+10
操作距离 (m)	1 (操作位)	1 (非操作位)	1 (操作位)	1 (非操作位)	0.9
减弱倍数	7.38E+18	7.38E+18	7.38E+18	7.38E+18	3.53E+07
空气吸收剂量率 (Gy/h)	4.17E-23	4.30E-23	4.30E-23	4.30E-23	1.90E-13
年操作时间 (h)	1000	/	500	/	500
剂量转换因子	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	4.17E-17	4.30E-17	4.30E-17	4.30E-17	1.90E-07
<b>年受照剂量 (mSv/a)</b>	<b>4.17E-17</b>	<b>/</b>	<b>2.15E-17</b>	<b>/</b>	<b>9.52E-08</b>

表 5.2.2-4 氟 $^{18}\text{F}$ 标记药物生产线 (207、208 车间) 场所辐射水平及职业人员外照射所致受照剂量计算结果

生产环节		合成		分装		包装、转运
操作核素		$^{18}\text{F}$ (操作位)	$^{18}\text{F}$ (非操作位)	$^{18}\text{F}$ (操作位)	$^{18}\text{F}$ (非操作位)	$^{18}\text{F}$
屏蔽体外辐射剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\gamma$ 辐射剂量率	8.76E-02	8.76E-02	8.76E-02	8.76E-02	7.62E+00
	韧致辐射剂量率	4.17E-17	4.30E-17	4.30E-17	4.30E-17	1.90E-07
	<b>合计</b>	<b>8.76E-02</b>	<b>8.76E-02</b>	<b>8.76E-02</b>	<b>8.76E-02</b>	<b>7.62E+00</b>
年受照剂量 (mSv/a)	$\gamma$ 辐射所致年受照剂量	8.76E-02	/	4.38E-02	/	3.81E+00
	韧致辐射所致年受照剂量	4.17E-17	/	2.15E-17	/	9.52E-08
	人员工作模式	每条生产线共配置 2 人, 每条生产线由 2 人轮流负责每天 4 个批次生产, 包装转运人员每条生产线配置 2 人, 同时负责每批次的药物转运				每条生产线 2 人操作

生产环节		合成		分装		包装、转运
操作核素		$^{18}\text{F}$ (操作位)	$^{18}\text{F}$ (非操作位)	$^{18}\text{F}$ (操作位)	$^{18}\text{F}$ (非操作位)	$^{18}\text{F}$
	放射性废物转运剂量	1.04E-01				/
	合计剂量	2.35E-01				3.81E+00
	单人剂量	1.175E-01				1.91E+00

综上所述，对于本项目 207 车间和 208 车间氟[ $^{18}\text{F}$ ]标记药物生产线：

- ① 合成和分装过程中，工作箱外人员操作位置的辐射剂量率水平最大为  $8.76 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求；
- ② 合成和分装过程中，工作箱外非正对人员操作位置辐射剂量率水平最大为  $8.76 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足  $25 \mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求；
- ③ 合成、分装、废物转运和包装、转运过程中，职业人员最大受照剂量为  $1.91 \text{mSv/a}$ ，满足本项目  $5 \text{mSv/a}$  的剂量约束值要求。

## (2) 206车间

206车间建设1条中试线,均以自建回旋加速器制备的铜-64、锆-89和镓-68为原料,或者以外购核素原料或者发生器制备核素原料生产研发放射性药物。中试线涉及使用放射性核素 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{161}\text{Tb}$ 、 $^{203}\text{Pb}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{32}\text{P}$ 生产放射性药物溶液,每日只采用一种方式生产1批次一种药物,每种药物生产周期为100天,每年使用三种核素原料生产放射性药物,全年共生产300批次,每批次的合成时间1.5h,分装时间0.5h。

$^{18}\text{F}$ 日最大操作量为 $6.48\text{E}+11\text{Bq}$ , $^{64}\text{Cu}$ 日最大操作量为 $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ , $^{68}\text{Ga}$ 日最大操作量为 $1.85\text{E}+11\text{Bq}$ , $^{177}\text{Lu}$ 日最大操作量为 $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ , $^{161}\text{Tb}$ 日最大操作量为 $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ , $^{225}\text{Ac}$ 日最大操作量为 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ , $^{212}\text{Pb}$ 日最大操作量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , $^{89}\text{Zr}$ 日最大操作量为 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ , $^{203}\text{Pb}$ 日最大操作量为 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ , $^{211}\text{At}$ 日最大操作量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ , $^{32}\text{P}$ 日最大操作量为 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ 。

中试线分别配置2人,负责生产线操作,每人每年最多操作150批次;中试线药物的包装、转运由1名辐射工作人员负责操作。

生产线设置合成热室、准备室和分装热室,药物的合成、分装、活度测量等均在热室内自动操作,人员在前区进行观察,偶尔采用机械臂进行人工干预。本次评价对合成热室和分装设备表面30cm处的 $\gamma$ 辐射和韧致辐射剂量水平进行分析。 $\gamma$ 射线和韧致辐射外照射辐射影响预测参数及计算结果见下表5.2.2-5。

放射性废物转运及在暂存间内的转入转出等工作均由生产线辐射工作人员兼任。放射性废物转运过程人员受照剂量为 $0.125\text{mSv/a}$ 。

表5.2.2-5 中试各热室  $\gamma$  辐射和韧致辐射剂量水平计算参数取值及计算结果一览表

序号	核素名称	工作箱体	单次最大操作量 (MBq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大 $\beta$ 粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	工作箱体操作位最大剂量率取值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1	$^{64}\text{Cu}$	合成热室、分装热室	3.70E+10	130	9.89E-06	0.653	82	5.29E-24	9.89E-06	2.46
2	$^{68}\text{Ga}$	合成热室、分装热室	1.85E+05	130	2.48E-04	1.899	82	1.83E-03	2.08E-03	
3	$^{89}\text{Zr}$	合成热室、分装热室	2.96E+04	130	3.54E-01	0.902	82	3.78E-16	3.54E-01	
4	$^{161}\text{Tb}$	合成热室、分装热室	7.40E+05	130	0.00E+00	0.584	82	9.10E-24	9.10E-24	
5	$^{177}\text{Lu}$	合成热室、分装热室	7.40E+05	130	1.38E-58	0.497	82	2.96E-27	2.96E-27	
6	$^{212}\text{Pb}$	合成热室、分装热室	7.40E+03	130	3.97E-43	0.589	82	9.26E-26	9.26E-26	
7	$^{225}\text{Ac}$	合成热室、分装热室	7.40E+02	130	1.40E-106	/	/	0.00E+00	1.40E-106	
8	$^{211}\text{At}$	合成热室、分装热室	7.40E+03	130	1.74E-133	/	/	0.00E+00	1.74E-133	
9	$^{18}\text{F}$	合成热室、分装热室	6.48E+05	130	1.80E-03	0.63	82	9.13E-23	1.80E-03	
10	$^{32}\text{P}$	合成热室、分装热室	2.22E+04	130	/	1.71	82	4.81E-06	4.81E-06	
11	$^{203}\text{Pb}$	合成热室、分装热室	3.70E+03	130	1.93E-27	/	/	0.00E+00	1.93E-27	
$\alpha$ 核素的	$^{217}\text{At}$	合成热室、分	7.36E+02	130	1.01E-14	/	82	0.00E+00	4.77E-07	

序号	核素名称	工作箱体	单次最大操作量 (MBq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大 $\beta$ 粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	工作箱体操作位最大剂量率取值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
衰变子体核素		装热室							(叠加了母体 $^{225}\text{Ac}$ 的剂量率)	
	$^{213}\text{Bi}$	合成热室、分装热室	6.03E+02	130	6.21E-10	1.42	82	4.76E-07		
	$^{211}\text{Po}$	合成热室、分装热室	3.56E+03	30	3.83E-01	/	/	0.00E+00	3.83E-01 (叠加了母体 $^{211}\text{At}$ 的剂量率)	
	$^{212}\text{Bi}$	合成热室、分装热室	5.11E+03	130	4.94E-01	2.25	82	5.29E-14	2.46 (叠加了母体 $^{212}\text{Pb}$ 的剂量率)	
	$^{208}\text{Tl}$	合成热室、分装热室	1.81E+03	130	2.35E+00	1.80	82	3.36E-17		

表5.2.2-6 中试线药物包装转运辐射剂量水平计算参数取值及计算结果一览表

序号	核素名称	单次最大操作量 (MBq/次)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大 $\beta$ 粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1	$^{64}\text{Cu}$	1.48E+02	1.67E-02	0.653	82	2.03E-09	1.67E-02
2	$^{68}\text{Ga}$	3.70E+03	2.09E+00	1.899	82	3.00E-01	2.39E+00
3	$^{89}\text{Zr}$	1.85E+03	2.26E+01	0.902	82	1.15E-05	2.26E+01
4	$^{161}\text{Tb}$	7.40E+03	1.58E-52	0.584	82	3.08E-02	3.08E-02
5	$^{177}\text{Lu}$	7.40E+03	6.23E-18	0.497	82	2.96E-09	2.96E-09
6	$^{212}\text{Pb}$	1.85E+02	1.77E-13	0.589	82	1.03E-09	1.03E-09
7	$^{225}\text{Ac}$	1.85E+02	2.83E-16	/	82	/	2.83E-16
8	$^{211}\text{At}$	1.85E+02	2.44E-41	/	82	/	2.44E-41
9	$^{18}\text{F}$	1.11E+04	6.18E+00	0.63	82	1.50E-07	6.18E+00

序号	核素名称	单次最大操作量 (MBq/次)	γ辐射剂量率 (μSv/h)	最大β粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 (μSv/h)	合计剂量率 (γ辐射+韧致辐射) (μSv/h)
10	<sup>32</sup> P	3.70E+03	/	1.71	82	1.04E+00	1.04E+00
11	<sup>203</sup> Pb	7.40E+03	7.22E-01	/	/	/	7.22E-01
α核素的衰变子体核素	<sup>217</sup> At	1.85E+02	9.56E-05	/	/	/	2.33E-02
	<sup>213</sup> Bi	2.29E+01	1.75E-02	1.42	82	5.71E-03	(叠加了母体 <sup>213</sup> Pb的剂量率)
	<sup>211</sup> Po	1.05E+02	4.92E-03	/	/	/	4.92E-03
	<sup>212</sup> Bi	2.89E+01	1.08E-01	2.25	82	5.06E-06	(叠加了母体 <sup>211</sup> Pb的剂量率)
	<sup>208</sup> Tl	7.57E+00	5.77E-01	1.80	82	1.40E-07	(叠加了母体 <sup>212</sup> Pb的剂量率)

由于中试线每年只生产三种药物，因此选择剂量贡献值最大的三种核素进行职业人员年受照剂量的叠加。计算结果见下表：

表 5.2.2-7 中试线（206 车间）场所辐射水平及职业人员外照射所致受照剂量计算结果

生产环节		合成	分装	包装、转运
操作核素		<sup>89</sup> Zr、 <sup>211</sup> At 及其子体、 <sup>212</sup> Pb 及其子体（操作位及箱体侧面）	<sup>89</sup> Zr、 <sup>211</sup> At 及其子体、 <sup>212</sup> Pb 及其子体（操作位及箱体侧面）	<sup>89</sup> Zr、 <sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga
屏蔽体外辐射剂量率 (μSv/h)	γ辐射剂量率+韧致辐射剂量率	3.20	3.20	31.20
年受照时间 (h)	/	150	50	25
剂量转换因子	/	1	1	1
年受照剂量(mSv/a)	合计剂量	4.80E-01	1.60E-01	7.80E-01
	人员工作模式	每条生产线共配置 2 人，每条生产线由 2 人轮流负责，每天 1 个批次生产，包装转运人员每条生产线配置 1 人，负责药物转运		每条生产线 1 人操作
	放射性废物转运剂量	0.125		/

	合计剂量	7.65E-01	7.80E-01
	单人剂量	3.83E-01	7.80E-01

综上所述，对于本项目 206 车间标记药物生产线：

① 合成、分装过程中，工作箱外人员操作位置的辐射剂量率水平最大为  $2.46\mu\text{Sv/h}$ ，满足  $2.5\mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求；

② 合成、分装过程中，工作箱外非正对人员操作位置辐射剂量率水平最大为  $2.46\mu\text{Sv/h}$ ，满足  $25\mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求；

③ 合成、分装、放射性废物转运和产品包装、转运过程中，职业人员最大受照剂量为  $0.78\text{mSv/a}$ ，满足本项目  $5\text{mSv/a}$  的剂量约束值要求。

### (3) 209 车间、211 车间 ( $\beta$ 核药生产线)

209 车间和 211 车间分别建设 1 条  $\beta$ 核素标记药物生产线，2 条生产线工艺、产品及生产能力均相同，均以外购核素原料制备核素原料生产研发放射性药物。2 条生产线涉及的放射性核素  $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{161}\text{Tb}$  操作量相同，每年仅生产其中 1 种核药，每条线每批次最大操作量均为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ；每条线每日最多生产 2 批次，全年共生产 500 批次，每批次的合成时间 1.5h，分装时间 0.5h。

2 条生产线分别配置 2 人，负责生产线操作，每人每年最多操作 250 批次；每条生产线的包装、转运分别由 1 名辐射工作人员负责操作。

生产线设置合成热室、准备室和分装热室，药物的合成、分装、活度测量等均在热室内自动操作，人员在前区进行观察，偶尔采用机械臂进行人工干预。本次评价对合成热室和分装设备表面 30cm 处的  $\gamma$  辐射和韧致辐射剂量水平进行分析。 $\gamma$  射线和韧致辐射外照射辐射影响预测参数及计算结果见下表 5.2.2-8。

放射性废物转运及在暂存间内的转入转出等工作均由生产线辐射工作人员兼任。放射性废物转运过程人员受照剂量为  $0.104\text{mSv/a}$ 。

表 5.2.2-8 209、211 车间 $\gamma$ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果

生产环节	合成		分装		包装、转运	
	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$
操作核素名称	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$
$\gamma$ 射线能量 (MeV)	0.208	0.075	0.208	0.075	0.208	0.075
操作活度 (MBq)	7.40E+05	7.40E+05	7.40E+05	7.40E+05	7.40E+03	7.40E+03
操作距离 (m)	1	1	1	1	0.9	0.9
衰减系数	6.05E-15	3.73E-161	6.05E-15	3.73E-161	1.82E-05	9.06E-17
年操作时间 (h)	750	250	750	250	250	250
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	3.42E-11	1.76E-157	3.42E-11	1.76E-157	1.27E-03	5.27E-15
年受照剂量 (mSv/a)	2.57E-11	4.40E-158	2.57E-11	4.40E-158	3.18E-04	1.32E-15

表 5.2.2-9 209、211 车间 $\beta$ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果

生产环节	合成		分装		包装、转运	
	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$
操作核素名称	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$
$\beta$ 粒子最大能量 (MeV)	0.497	0.584	0.497	0.584	0.497	0.584
操作活度 (Bq)	7.40E+11	7.40E+11	7.40E+11	7.40E+11	7.40E+09	7.40E+09
操作距离 (m)	1 (操作位)	1 (非操作位)	1 (操作位)	1 (非操作位)	0.9	0.9
有效原子序数	82	82	82	82	82	82
减弱倍数	4.64E+06	7.63E+05	4.64E+06	7.63E+05	1.67E+02	3.87
空气吸收剂量率 (Gy/h)	5.20E-17	3.51E-16	5.20E-17	3.51E-16	1.78E-14	8.55E-13
年操作时间 (h)	750	250	750	250	250	250
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	5.20E-11	3.51E-10	5.20E-11	3.51E-10	1.78E-08	8.55E-07
年受照剂量 (mSv/a)	3.90E-11	8.78E-11	3.90E-11	8.78E-11	4.46E-09	2.14E-07

表 5.2.2-10 209、211 车间场所辐射水平及职业人员外照射所致受照剂量计算结果

生产环节	合成		分装		包装、转运	
	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$
操作核素	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$

生产环节		合成		分装		包装、转运	
操作核素		$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$	$^{177}\text{Lu}$	$^{161}\text{Tb}$
屏蔽体外辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\gamma$ 辐射剂量率	3.42E-11	1.76E-157	3.42E-11	1.76E-157	1.27E-03	5.27E-15
	韧致辐射剂量率	5.20E-11	3.51E-10	5.20E-11	3.51E-10	1.78E-08	8.55E-07
	合计	<b>8.62E-11</b>	<b>3.51E-10</b>	<b>8.62E-11</b>	<b>3.51E-10</b>	<b>1.27E-03</b>	<b>8.55E-07</b>
年受照剂量 ( $\text{mSv/a}$ )	$\gamma$ 辐射所致年受照剂量	2.57E-11	4.40E-158	2.57E-11	4.40E-158	3.18E-04	1.32E-15
	韧致辐射所致年受照剂量	3.90E-11	8.78E-11	3.90E-11	8.78E-11	4.46E-09	2.14E-07
	合计	<b>6.47E-11</b>	<b>8.78E-11</b>	<b>6.47E-11</b>	<b>8.78E-11</b>	<b>3.18E-04</b>	<b>2.14E-07</b>
	人员工作模式	每条生产线共配置 2 人,每条生产线由 2 人轮流负责每天 4 个批次生产,包装转运人员每条生产线配置 1 人					
	合计剂量	<b>3.05E-10</b>				<b>3.18E-04</b>	<b>2.14E-07</b>
	放射性废物转运剂量	<b>1.04E-01</b>				/	/
	单人剂量	<b>5.20E-02</b>				<b>3.18E-04</b>	<b>2.14E-07</b>

综上所述,对于本项目 209 车间和 211 车间标记药物生产线:

- ① 合成、分装过程中,工作箱外人员操作位置的辐射剂量率水平最大为  $3.51 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ , 满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求;
- ② 合成、分装过程中,工作箱外非正对人员操作位置辐射剂量率水平最大为  $3.51 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ , 满足  $25 \mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求;
- ③ 合成、分装、放射性废物转运质检和包装、转运过程中,职业人员最大受照剂量为  $5.20 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ , 满足本项目  $5 \text{mSv/a}$  的剂量约束值要求。

#### (4) 210 车间、212 车间 ( $\alpha$ 核药生产线)

210 车间和 212 车间分别建设 1 条  $\alpha$ 核素标记药物生产线, 2 条生产线工艺、产品及生产能力均相同, 均以外购核素原料制备核素原料生产研发放射性药物。2 条生产线涉及的放射性核素  $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{212}\text{Pb}$  操作量相同, 每年仅生产其中 1 种核药, 每条线每批次  $^{225}\text{Ac}$  最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ 、每条线每批次  $^{212}\text{Pb}$  最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ; 每条线每日最多生产 1 批次, 全年共生产 250 批次, 每批次的合成时间 1.5h, 分装时间 0.5h, 包装转运时间 0.5h。

2 条生产线分别配置 2 人, 负责生产线操作, 每人每年最多操作 125 批次; 每条生产

线的包装、转运分别由1名辐射工作人员负责操作。

生产线设置合成热室、准备室和分装热室，药物的合成、分装、活度测量等均在热室内自动操作，人员在前区进行观察，偶尔采用机械臂进行人工干预。本次评价对合成热室和分装设备表面30cm处的 $\gamma$ 辐射和韧致辐射剂量水平进行分析。 $\gamma$ 射线和韧致辐射外照射辐射影响预测参数及计算结果见下表5.2.2-11。

放射性废物转运过程人员受照剂量为 0.104mSv/a。

表 5.2.2-11 210、212 车间 $\gamma$ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果

序号	核素名称	单次最大操作量 (MBq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	最大粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu$ Sv/h)	工作箱体操作位最大剂量率取值 ( $\mu$ Sv/h)
1	$^{212}\text{Pb}$	7.40E+03	140	1.34E-46	0.589	82	1.01E-33	1.56	1.56
子体核素	$^{212}\text{Bi}$	5.11E+03	140	2.55E-02	2.25	82	3.87E-21		
	$^{208}\text{Tl}$	1.81E+03	140	1.54	1.80	82	1.56E-24		
2	$^{225}\text{Ac}$	7.40E+02	140	7.59E-115	/	82	/	9.72E-11	
子体核素	$^{217}\text{At}$	7.36E+02	140	1.10E-15	/	82	/		
	$^{213}\text{Bi}$	6.03E+02	140	9.70E-11	1.42	82	1.50E-13		
1	$^{212}\text{Pb}$	7.40E+03	130	3.97E-43	0.589	82	9.26E-32	2.46	
子体核素	$^{212}\text{Bi}$	5.11E+03	130	4.94E-02	2.25	82	5.29E-20		
	$^{208}\text{Tl}$	1.81E+03	130	2.41	1.80	82	3.36E-23		
2	$^{225}\text{Ac}$	7.40E+02	130	1.40E-106	/	82	/	6.22E-10	
子体核素	$^{217}\text{At}$	7.36E+02	130	1.01E-14	/	82	/		
	$^{213}\text{Bi}$	6.03E+02	130	6.21E-10	1.42	82	4.76E-13		
1	$^{212}\text{Pb}$	1.85E+02	40	1.77E-13	0.589	82	1.03E-15	6.85E-01	
子体核素	$^{212}\text{Bi}$	2.89E+01	40	1.08E-01	2.25	82	5.05E-12		
	$^{208}\text{Tl}$	7.57	40	5.77E-01	1.80	82	1.40E-13		
2	$^{225}\text{Ac}$	1.85E+02	20	2.83E-16	/	82	/	1.76E-02	
子体核素	$^{217}\text{At}$	1.85E+02	20	9.56E-05	/	82	/		
	$^{213}\text{Bi}$	2.29E+01	20	1.75E-02	1.42	82	5.72E-09		

表 5.2.2-12 210、212 车间场所辐射水平及职业人员外照射所致受照剂量计算结果

生产环节	合成		分装		合成		分装		包装、转运	
	<sup>212</sup> Pb	<sup>212</sup> Pb	<sup>212</sup> Pb	<sup>212</sup> Pb	<sup>225</sup> Ac	<sup>225</sup> Ac	<sup>225</sup> Ac	<sup>225</sup> Ac	<sup>212</sup> Pb	<sup>225</sup> Ac
屏蔽体外辐射剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	1.56	2.46	1.56	2.46	9.72E-11	6.22E-10	9.72E-11	6.22E-10	6.85E-01	1.76E-02
操作距离 (m)	1 操作位	1 非操作位	1 操作位	1 非操作位	1 操作位	1 非操作位	1 操作位	1 非操作位	0.9	0.9
年操作时间 (h)	375	/	125	/	375	/	125	/	125	125
剂量转换因子	1	/	1	/	1	/	1	/	1	1
年受照剂量 (mSv/a)	5.85E-01	3.08E-01	5.85E-01	3.08E-01	3.65E-11	7.78E-11	3.65E-11	7.78E-11	1.06E-01	2.72E-03
合计受照剂量 (mSv/a)	7.81E-01 (操作位)				4.86E-11 (操作位)				1.06E-01	2.72E-03
放射性废物转运剂量(mSv/a)	0.104				0.104				/	/
单人受照剂量 (mSv/a)	0.44				5.20E-02				1.06E-01	2.72E-03

综上所述，对于本项目 210 车间和 212 车间标记药物生产线：

- ① 合成、分装过程中，工作箱外人员操作位置的辐射剂量率水平最大为  $1.56\mu\text{Sv/h}$ ，满足  $2.5\mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求；
- ② 合成、分装过程中，工作箱外非正对人员操作位置辐射剂量率水平最大为  $2.46\mu\text{Sv/h}$ ，满足  $25\mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求；
- ③ 合成、分装和包装转运过程中，职业人员最大受照剂量为  $0.44\text{mSv/a}$ ，满足本项目  $5\text{mSv/a}$  的剂量约束值要求。

## (5) 质检中心

质检中心放化实验室设置手套箱和通风橱，核素原料分装、性状检查、鉴别、pH测定、放射性活度（浓度）测定、放射化学纯度测定、放射性核纯度测定、有关物质或杂质含量分析等均在手套箱内操作；细菌内毒素测定、无菌检查、微生物限度检查在20mm的铅“L”屏后操作。本次评价对热室、通风橱及铅屏表面30cm处的 $\gamma$ 辐射和韧致辐射剂量水平进行分析。 $\gamma$ 射线和韧致辐射外照射辐射影响预测参数及计算结果见下表5.2.2-13。

## ①质检中心放化实验室核素原料分装、性状检查、pH测定、放射性活度（浓度）测定、放射化学纯度测定剂量率核算

表5.2.2-13 质检中心放化实验室核素原料分装、性状检查、pH测定、放射性活度（浓度）测定、放射化学纯度测定手套箱和通风橱 $\gamma$ 辐射和韧致辐射剂量水平计算参数取值及计算结果一览表

序号	核素名称	工作箱体	单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大 $\beta$ 粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
药物 质检	1	$^{47}\text{Sc}$	手套箱、通风橱	3.70E+08	10	6.75E-07	0.6	82	4.52E-03	4.52E-03
	2	$^{64}\text{Cu}$	手套箱、通风橱	1.48E+08	80	1.47E-04	0.653	82	1.60E-16	1.47E-04
	3	$^{67}\text{Ga}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	10	1.27E-01	/	/	0.00E+00	1.27E-01
	4	$^{44}\text{Sc}$	手套箱、通风橱	3.70E+07	80	1.19E-01	1.474	82	1.28E-06	1.19E-01
	5	$^{68}\text{Ga}$	手套箱、通风橱	7.40E+09	80	3.68E-02	1.899	82	3.04E-02	6.71E-02
	6	$^{89}\text{Zr}$	手套箱、通风橱	1.48E+09	80	2.31E+00	0.902	82	1.63E-10	2.31E+00
	7	$^{90}\text{Y}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	50	0.00E+00	0.934	82	2.14E-07	2.14E-07
	8	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	手套箱、通风橱	5.55E+09	10	5.11E-08	/	/	0.00E+00	5.11E-08
	9	$^{103}\text{Pd}$	手套箱、通风橱	3.70E+08	10	0.00E+00	/	/	0.00E+00	0.00E+00
	10	$^{111}\text{In}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	10	5.51E-04	/	/	0.00E+00	5.51E-04
	11	$^{153}\text{Sm}$	手套箱、通风橱	3.70E+08	10	1.78E-22	0.265	82	4.05E-08	4.05E-08
	12	$^{161}\text{Tb}$	手套箱、通风橱	7.40E+09	10	4.38E-52	0.584	82	8.56E-02	8.56E-02
	13	$^{166}\text{Ho}$	手套箱、通风橱	3.70E+08	50	3.44E-01	1.854	82	2.32E-02	3.68E-01
	14	$^{177}\text{Lu}$	手套箱、通风橱	7.40E+09	10	2.86E-03	0.497	82	3.82E-02	4.10E-02

序号	核素名称	工作箱体	单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )
15	$^{188}\text{Re}$	手套箱、通风橱	3.70E+08	50	5.58E-02	2.12	82	4.70E-02	1.03E-01
16	$^{201}\text{Tl}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	10	6.49E-11	/	/	0.00E+00	6.49E-11
17	$^{211}\text{At}$	手套箱、通风橱	3.70E+06	10	2.41E-11	/	/	0.00E+00	2.41E-11
衰变的子体核素	$^{211}\text{At}$								
	$^{211}\text{Po}$	手套箱、通风橱	2.12E+06	10	3.39E-03	/	/	0.00E+00	3.39E-03
18	$^{212}\text{Pb}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	80	6.33E-27	0.589	82	4.09E-17	4.09E-17
$\alpha$ 核素衰变的子体核素	$^{212}\text{Bi}$	手套箱、通风橱	1.99E+07	80	1.46E-02	2.25	82	2.14E-04	1.48E-02
	$^{208}\text{Tl}$	手套箱、通风橱	4.40E+06	80	1.54E-01	1.8	82	3.01E-06	1.54E-01
19	$^{225}\text{Ac}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	10	1.45E-07	/	/	0.00E+00	1.45E-07
衰变的子体核素	$^{225}\text{Ac}$								
	$^{217}\text{At}$	手套箱、通风橱	1.41E+08	10	1.85E-03	/	/	0.00E+00	1.85E-03
	$^{213}\text{Bi}$	手套箱、通风橱	1.25E+07	10	1.70E-01	1.42	82	1.67E-02	1.87E-01
20	$^{227}\text{Th}$	手套箱、通风橱	3.70E+06	10	5.52E-05	/	/	0.00E+00	5.52E-05
21	$^{223}\text{Ra}$	手套箱、通风橱	3.70E+06	10	3.86E-03	0.427	82	1.17E-05	3.87E-03
衰变的子体核素	$^{227}\text{Th}$								
	$^{219}\text{Rn}$	手套箱、通风橱	3.70E+06	10	5.90E-03	/	/	0.00E+00	5.90E-03
	$^{215}\text{Po}$	手套箱、通风橱	3.70E+06	10	3.90E-05	/	/	0.00E+00	3.90E-05
	$^{211}\text{Pb}$	手套箱、通风橱	6.40E+05	10	6.65E-03	0.47	82	3.06E-06	6.65E-03

序号	核素名称	工作箱体	单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )
22	$^{19}\text{F}$	手套箱、通风橱	2.96E+10	80	2.34E-01	0.63	82	3.15E-14	2.34E-01
23	$^{123}\text{I}$	手套箱、通风橱	3.70E+07	80	2.86E-71	/	/	0.00E+00	2.86E-71
24	$^{131}\text{I}$	手套箱、通风橱	1.85E+10	50	1.12E-01	0.606	82	3.30E-09	1.12E-01
25	$^{125}\text{I}$	手套箱、通风橱	3.70E+06	80	0.00E+00	/	/	0.00E+00	0.00E+00
26	$^{186}\text{Re}$	手套箱、通风橱	3.70E+07	10	6.45E-12	1.474	82	5.96E-02	5.96E-02
27	$^{124}\text{I}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	80	2.51E-01	2.13	82	2.84E-04	2.51E-01
28	$^{68}\text{Ge}$	手套箱、通风橱	3.70E+07	10	0.00E+00	0.01	/	0.00E+00	0.00E+00
29	$^{99}\text{Mo}$	手套箱、通风橱	3.70E+07	50	2.29E-02	1.215	82	1.27E-05	2.29E-02
30	$^{32}\text{P}$	手套箱、通风橱	1.85E+08	10	0.00E+00	1.71	/	5.17E-01	5.17E-01
31	$^{149}\text{Tb}$	手套箱、通风橱	3.70E+07	10	1.20E+00	1.15	82	1.67E-02	1.22E+00
32	$^{14}\text{C}$	手套箱、通风橱	3.70E+09	15(有机玻璃)	0.00E+00	0.156	5.85	2.39E-02	2.39E-02
33	$^{89}\text{Sr}$	手套箱、通风橱	5.55E+09	20	0.00E+00	1.495	82	2.40E+00	2.40E+00
34	$^{203}\text{Pb}$	手套箱、通风橱	7.40E+08	50	1.63E-09	/	/	0.00E+00	1.63E-09

## ②液相仪器室、仪器室4放射化学纯度测定、放射性核纯度测定剂量率核算

表5.2.2-14 液相仪器室、仪器室4放射化学纯度测定、放射性核纯度测定质检过程  $\gamma$  辐射和韧致辐射剂量水平计算及计算结果一览表

序号	核素名称	质检单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度(mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	放射化学纯度测定	核素鉴别、放射性核
----	------	------------------	-----------	-------------------------------------	------------------------------	--	----------	-----------

		放射化学 纯度测定 (液相色 谱仪法)	核素鉴 别、放射 性核纯度 测量	放射化学 纯度测定 (液相色 谱仪法)	核素鉴 别、放射 性核纯度 测量	放射化学纯 度测定(液 相色谱仪 法)	核素鉴别、 放射性核 纯度测量	放射化学纯 度测定(液 相色谱仪 法)	核素鉴别、 放射性核 纯度测量	放射化学 纯度测定 (液相色 谱仪法)	核素鉴别、放射 性核纯度测量		
1	<sup>47</sup> Sc	1.85E+06	7.40E+06	10	30	3.38E-09	1.24E-23	2.26E-05	1.08E-08	2.26E-05	1.08E-08	9.06E-01	8.61E-01
2	<sup>64</sup> Cu	1.85E+06	7.40E+06	10	30	4.35E-02	9.77E-03	3.22E-05	2.17E-08	4.35E-02	9.77E-03		
3	<sup>67</sup> Ga	1.85E+06	7.40E+06	10	30	1.27E-03	3.47E-07	/	0.00E+00	1.27E-03	3.47E-07		
4	<sup>44</sup> Sc	1.85E+06	7.40E+06	10	30	9.03E-01	8.61E-01	2.98E-03	5.54E-04	9.06E-01	8.61E-01		
5	<sup>68</sup> Ga	1.85E+06	7.40E+06	10	30	2.18E-01	4.90E-02	8.39E-03	4.53E-03	2.26E-01	5.36E-02		
6	<sup>89</sup> Zr	1.85E+06	7.40E+06	10	30	6.33E-01	5.43E-01	2.52E-04	2.55E-06	6.34E-01	5.43E-01		
7	<sup>90</sup> Y	1.85E+06	/	10	30	/	/	2.88E-04	#VALUE!	2.88E-04	/		
8	<sup>99m</sup> Tc	1.85E+06	7.40E+06	10	30	1.70E-11	6.82E-31	/	0.00E+00	1.70E-11	6.82E-31		
9	<sup>103</sup> Pd	1.85E+06	7.40E+06	10	30	0.00E+00	0.00E+00	/	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
10	<sup>111</sup> In	1.85E+06	7.40E+06	10	30	5.51E-06	1.38E-15	/	0.00E+00	5.51E-06	1.38E-15		
11	<sup>153</sup> Sm	1.85E+06	7.40E+06	10	30	8.91E-25	1.80E-70	2.03E-10	2.56E-22	2.03E-10	2.56E-22		
12	<sup>161</sup> Tb	1.85E+06	7.40E+06	10	30	1.09E-55	4.89E-162	2.14E-05	1.02E-08	2.14E-05	1.02E-08		
13	<sup>166</sup> Ho	1.85E+06	7.40E+06	10	30	1.79E-02	2.22E-02	7.64E-03	3.77E-03	2.56E-02	2.60E-02		
14	<sup>177</sup> Lu	1.85E+06	7.40E+06	10	30	7.15E-07	9.50E-16	9.54E-06	1.37E-09	1.03E-05	1.37E-09		
15	<sup>188</sup> Re	1.85E+06	7.40E+06	10	30	1.95E-02	9.32E-03	1.09E-02	6.40E-03	3.04E-02	1.57E-02		
16	<sup>201</sup> Tl	1.85E+06	7.40E+06	10	30	6.49E-13	7.35E-35	/	0.00E+00	6.49E-13	7.35E-35		
17	<sup>211</sup> At	1.85E+06	/	10	30	1.20E-11	/	/	/	1.20E-11	/		
18	<sup>212</sup> Pb	1.85E+06	/	10	30	1.28E-04	/	/	/	1.50E-04	/		
19	<sup>225</sup> Ac	1.85E+06	/	10	30	1.45E-09	/	/	/	1.45E-09	/		
20	<sup>227</sup> Th	1.85E+06	/	10	30	2.76E-05	/	/	0.00E+00	2.76E-05	/		
21	<sup>223</sup> Ra	1.85E+06	/	10	30	1.93E-03	/	5.85E-06	0.00E+00	1.93E-03	/		
22	<sup>18</sup> F	1.85E+06	7.40E+06	10	30	2.41E-01	6.02E-02	3.17E-05	2.14E-08	2.41E-01	6.02E-02		
23	<sup>123</sup> I	1.85E+06	7.40E+06	10	30	4.53E-10	2.52E-27	/	0.00E+00	4.53E-10	2.52E-27		
24	<sup>131</sup> I	1.85E+06	7.40E+06	10	30	4.84E-02	2.95E-03	2.30E-05	1.10E-08	4.85E-02	2.95E-03		

序号	核素名称	质检单次最大操作量 (Bq/次)		铅屏蔽厚度(mm)		γ辐射剂量率 (μSv/h)		韧致辐射剂量率 (μSv/h)		合计剂量率 (γ辐射+韧致辐射) (μSv/h)		放射化学纯度测定 (液相色谱仪法) 最大剂量率取值(μSv/h)	核素鉴别、放射性核纯度测量最大剂量率取值(μSv/h)
		放射化学纯度测定 (液相色谱仪法)	核素鉴别、放射性核纯度测量	放射化学纯度测定 (液相色谱仪法)	核素鉴别、放射性核纯度测量								
25	<sup>125</sup> I	1.85E+06	7.40E+06	10	30	1.17E-161	0.00E+00	/	0.00E+00	1.17E-161	0.00E+00		
26	<sup>186</sup> Re	1.85E+06	7.40E+06	10	30	3.23E-13	2.11E-34	2.98E-03	5.54E-04	2.98E-03	5.54E-04		
27	<sup>124</sup> I	1.85E+06	7.40E+06	10	30	4.95E-01	4.38E-01	8.98E-03	3.59E-03	5.04E-01	4.41E-01		
28	<sup>68</sup> Ge	1.85E+06	/	10	30	/	/	/	0.00E+00	0.00E+00	/		
29	<sup>99</sup> Mo	1.85E+06	7.40E+06	10	30	5.86E-02	3.28E-02	1.37E-03	1.18E-04	6.00E-02	3.29E-02		
30	<sup>32</sup> P	1.85E+06	/	10	30	/	/	5.17E-03	0.00E+00	5.17E-03	/		
31	<sup>149</sup> Tb	1.85E+06	7.40E+06	10	30	6.00E-02	6.51E-02	8.37E-04	3.35E-05	6.08E-02	6.52E-02		
32	<sup>14</sup> C	1.85E+06	/	10	30	/	/	1.95E-05	0.00E+00	1.19E-05	/		
33	<sup>89</sup> Sr	1.85E+06	/	10	30	/	/	3.38E-03	0.00E+00	3.38E-03	/		
34	<sup>203</sup> Pb	1.85E+06	7.40E+06	10	30	5.01E-03	5.71E-07	/	0.00E+00	5.01E-03	5.71E-07		

## ③薄层色谱放射化学纯度测定、液体闪烁计数器法测定放射性活度、有关物质或杂质含量分析过程剂量率核算

表5.2.2-15 质检中心放射化学纯度测定、放射性活度测定、有关物质或杂质含量分析过程辐射剂量水平计算结果一览表

序号	核素名称	质检单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度(mm)	γ辐射剂量率 (μSv/h)	韧致辐射剂量率 (μSv/h)	合计剂量率 (γ辐射+韧致辐射) (μSv/h)
----	------	------------------	-----------	----------------	-----------------	--------------------------

		薄层色谱法测定放射化学纯度	有关物质或杂质含量分析	液体闪烁计数器法测定放射性活度												
1	<sup>47</sup> Sc	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	6.75E-09	5.68E-39	6.75E-10	4.52E-05	6.48E-13	4.52E-06	4.52E-05	6.48E-13	4.52E-06
2	<sup>64</sup> Cu	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	3.67E-06	2.75E-04	8.69E-03	3.99E-18	1.83E-12	6.44E-06	3.67E-06	2.75E-04	8.70E-03
3	<sup>67</sup> Ga	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	2.55E-03	1.18E-11	/	0.00E+00	0.00E+00	/	2.55E-03	1.18E-11	/
4	<sup>44</sup> Sc	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	1.19E-02	1.03E-01	1.81E-01	1.28E-07	1.28E-05	5.96E-04	1.19E-02	1.03E-01	1.81E-01
5	<sup>68</sup> Ga	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	1.84E-05	1.38E-03	4.36E-02	1.52E-05	3.06E-04	1.68E-03	3.36E-05	1.68E-03	4.53E-02
6	<sup>89</sup> Zr	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	5.77E-03	5.82E-02	1.27E-01	4.09E-13	3.22E-09	5.04E-05	5.77E-03	5.82E-02	1.27E-01
7	<sup>90</sup> Y	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	50	50	10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.29E-09	4.29E-09	5.76E-05	4.29E-09	4.29E-09	5.76E-05
8	<sup>99m</sup> Tc	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	3.41E-11	3.41E-51	/	0.00E+00	0.00E+00	/	3.41E-11	3.41E-51	/
9	<sup>103</sup> Pd	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	0.00E+00	0.00E+00	/	0.00E+00	0.00E+00	/	0.00E+00	0.00E+00	/
10	<sup>111</sup> In	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	1.10E-05	4.30E-26	/	0.00E+00	0.00E+00	/	1.10E-05	4.30E-26	/
11	<sup>153</sup> Sm	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	1.78E-24	4.56E-117	1.78E-25	4.05E-10	4.05E-35	4.05E-11	4.05E-10	4.05E-35	4.05E-11
12	<sup>161</sup> Tb	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	2.19E-55	2.73E-269	2.19E-56	4.28E-05	6.14E-13	4.28E-06	4.28E-05	6.14E-13	4.28E-06
13	<sup>166</sup> Ho	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	50	50	10	3.44E-03	3.44E-03	3.59E-03	2.32E-04	2.32E-04	1.53E-03	3.68E-03	3.68E-03	5.12E-03
14	<sup>177</sup> Lu	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	1.43E-06	1.58E-25	1.43E-07	1.91E-05	2.46E-14	1.91E-06	2.05E-05	2.46E-14	2.05E-06
15	<sup>188</sup> Re	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	50	50	10	5.58E-04	5.58E-04	3.89E-03	4.70E-04	4.70E-04	2.18E-03	1.03E-03	1.03E-03	6.07E-03
16	<sup>201</sup> Tl	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	1.30E-12	1.04E-57	/	0.00E+00	0.00E+00	/	1.30E-12	1.04E-57	/
17	<sup>211</sup> At	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	2.41E-11	5.19E-53	/	0.00E+00	0.00E+00	/	2.41E-11	5.19E-53	/
18	<sup>212</sup> Pb	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	2.56E-04	3.31E-18	/	4.35E-05	6.24E-13	/	3.00E-04	6.24E-13	/
19	<sup>225</sup> Ac	3.70E+06	3.70E+06	/	80	50	/	4.07E-67	2.53E-42	/	0.00E+00	0.00E+00	/	4.07E-67	2.53E-42	/
20	<sup>227</sup> Th	3.70E+06	3.70E+06	/	80	50	/	2.75E-35	2.66E-22	/	0.00E+00	0.00E+00	/	2.75E-35	2.66E-22	/

21	<sup>223</sup> Ra	3.70E+06	3.70E+06	/	80	50	/	9.97E-20	1.28E-12	/	3.25E-21	1.51E-14	/	1.03E-19	1.30E-12	/
22	<sup>18</sup> F	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	4.82E-01	1.88E-03	4.82E-02	6.34E-05	1.80E-12	6.34E-06	4.82E-01	1.88E-03	4.82E-02
23	<sup>123</sup> I	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	9.06E-10	1.75E-45	/	0.00E+00	0.00E+00	/	9.06E-10	1.75E-45	/
24	<sup>131</sup> I	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	9.69E-02	2.24E-05	9.69E-03	4.61E-05	6.61E-13	4.61E-06	9.69E-02	2.24E-05	9.69E-03
25	<sup>125</sup> I	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	2.34E-161	0.00E+00	/	0.00E+00	0.00E+00	/	2.34E-161	0.00E+00	/
26	<sup>186</sup> Re	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	6.45E-13	1.72E-56	6.45E-14	5.96E-03	1.28E-05	5.96E-04	5.96E-03	1.28E-05	5.96E-04
27	<sup>124</sup> I	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	9.90E-01	4.83E-02	9.90E-02	1.80E-02	1.80E-04	1.80E-03	1.01E+00	4.85E-02	1.01E-01
28	<sup>68</sup> Ge	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	0.00E+00	0.00E+00	/	0.00E+00	0.00E+00	/	0.00E+00	0.00E+00	/
29	<sup>99</sup> Mo	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	10	50	10	1.17E-01	2.29E-03	1.17E-02	2.74E-03	1.27E-06	2.74E-04	1.20E-01	2.29E-03	1.20E-02
30	<sup>32</sup> P	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.33E-06	6.19E-05	1.03E-03	1.33E-06	6.19E-05	1.03E-03
31	<sup>149</sup> Tb	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	1.25E-03	8.83E-03	1.20E-02	1.67E-10	1.67E-07	1.67E-04	1.25E-03	8.83E-03	1.22E-02
32	<sup>14</sup> C	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	50	50	10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-05	2.39E-05	2.39E-06	2.39E-05	2.39E-05	2.39E-06
33	<sup>89</sup> Sr	3.70E+06	3.70E+06	3.70E+05	80	50	10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.85E-07	2.14E-05	6.75E-04	2.85E-07	2.14E-05	6.75E-04
34	<sup>203</sup> Pb	3.70E+06	3.70E+06	/	10	50	/	1.00E-02	8.13E-12	/	0.00E+00	0.00E+00	/	1.00E-02	8.13E-12	/

## ④细菌内毒素测量，无菌、微生物限度检查剂量率核算

表5.2.2-16 细菌内毒素测量，无菌、微生物限度检查过程 $\gamma$ 辐射和韧致辐射剂量水平计算结果一览表

序号	核素名称	质检单次最大操作量 (Bq/次)		铅屏蔽厚度(mm)		$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)		韧致辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)		合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu$ Sv/h)	
		细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查
1	<sup>47</sup> Sc	1.48E+07	1.48E+07	20	20	8.18E-16	8.18E-16	1.98E-06	1.98E-06	1.98E-06	1.98E-06
2	<sup>64</sup> Cu	1.48E+07	1.48E+07	20	20	8.24E-02	8.24E-02	3.34E-06	3.34E-06	8.24E-02	8.24E-02
3	<sup>67</sup> Ga	1.48E+07	1.48E+07	20	20	8.41E-05	8.41E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.41E-05	8.41E-05
4	<sup>44</sup> Sc	1.48E+07	1.48E+07	30	30	1.72E+00	1.72E+00	1.11E-03	1.11E-03	1.72E+00	1.72E+00
5	<sup>68</sup> Ga	1.48E+07	/	20	20	4.14E-01	/	2.47E-02	/	4.38E-01	/

序号	核素名称	质检单次最大操作量 (Bq/次)		铅屏蔽厚度(mm)		γ辐射剂量率 (μSv/h)		韧致辐射剂量率 (μSv/h)		合计剂量率 (γ辐射+韧致辐射) (μSv/h)	
		细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查
6	<sup>89</sup> Zr	1.48E+07	1.48E+07	20	20	2.35E+00	2.35E+00	1.01E-04	1.01E-04	2.35E+00	2.35E+00
7	<sup>90</sup> Y	1.48E+07	1.48E+07	20	20	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-04	1.20E-04	1.20E-04	1.20E-04
8	<sup>99m</sup> Tc	1.48E+07	/	20	20	1.36E-20	/	0.00E+00	/	1.36E-20	/
9	<sup>103</sup> Pd	1.48E+07	1.48E+07	20	20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
10	<sup>111</sup> In	1.48E+07	1.48E+07	20	20	3.48E-10	3.48E-10	0.00E+00	0.00E+00	3.48E-10	3.48E-10
11	<sup>153</sup> Sm	1.48E+07	1.48E+07	20	20	5.07E-47	5.07E-47	9.12E-16	9.12E-16	9.12E-16	9.12E-16
12	<sup>161</sup> Tb	1.48E+07	1.48E+07	20	20	2.93E-108	2.93E-108	1.87E-06	1.87E-06	1.87E-06	1.87E-06
13	<sup>166</sup> Ho	1.48E+07	1.48E+07	20	20	7.99E-02	7.99E-02	2.15E-02	2.15E-02	1.01E-01	1.01E-01
14	<sup>177</sup> Lu	1.48E+07	1.48E+07	20	20	1.04E-10	1.04E-10	4.57E-07	4.57E-07	4.58E-07	4.58E-07
15	<sup>188</sup> Re	1.48E+07	1.48E+07	20	20	5.39E-02	5.39E-02	3.34E-02	3.34E-02	8.73E-02	8.73E-02
16	<sup>201</sup> Tl	1.48E+07	1.48E+07	20	20	2.76E-23	2.76E-23	0.00E+00	0.00E+00	2.76E-23	2.76E-23
17	<sup>211</sup> At	1.85E+06	/	20	20	4.62E-22	/	0.00E+00	/	4.62E-22	/
18	<sup>212</sup> Pb	1.48E+07	1.48E+07	20	20	3.45E-07	3.45E-07	1.90E-06	1.90E-06	2.25E-06	2.25E-06
19	<sup>225</sup> Ac	1.48E+07	1.48E+07	20	20	6.29E-17	6.29E-17	0.00E+00	0.00E+00	6.29E-17	6.29E-17
20	<sup>227</sup> Th	1.85E+06	1.85E+06	20	20	1.29E-09	1.29E-09	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-09	1.29E-09
21	<sup>223</sup> Ra	1.85E+06	1.85E+06	20	20	8.23E-06	8.23E-06	3.50E-08	3.50E-08	8.27E-06	8.27E-06
22	<sup>18</sup> F	1.48E+07	/	20	20	4.82E-01	/	3.29E-06	/	4.82E-01	/
23	<sup>123</sup> I	1.48E+07	1.48E+07	20	20	4.27E-18	4.27E-18	0.00E+00	0.00E+00	4.27E-18	4.27E-18
24	<sup>131</sup> I	1.48E+07	1.48E+07	20	20	4.78E-02	4.78E-02	2.02E-06	2.02E-06	4.78E-02	4.78E-02
25	<sup>125</sup> I	1.85E+06	1.85E+06	20	20	3.56E-322	3.56E-322	0.00E+00	0.00E+00	3.56E-322	3.56E-322
26	<sup>186</sup> Re	1.48E+07	1.48E+07	20	20	3.30E-23	3.30E-23	5.14E-03	5.14E-03	5.14E-03	5.14E-03
27	<sup>124</sup> I	1.48E+07	1.48E+07	20	20	1.86E+00	1.86E+00	2.27E-02	2.27E-02	1.88E+00	1.88E+00
28	<sup>68</sup> Ge	1.48E+07	1.48E+07	20	20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

序号	核素名称	质检单次最大操作量 (Bq/次)		铅屏蔽厚度(mm)		γ辐射剂量率 (μSv/h)		韧致辐射剂量率 (μSv/h)		合计剂量率 (γ辐射+韧致辐射) (μSv/h)	
		细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查	细菌内毒素测定	无菌、微生物限度检查
29	<sup>99</sup> Mo	1.48E+07	1.48E+07	20	20	1.75E-01	1.75E-01	1.61E-03	1.61E-03	1.77E-01	1.77E-01
30	<sup>32</sup> P	1.48E+07	1.48E+07	20	20	0.00E+00	0.00E+00	1.15E-02	1.15E-02	1.15E-02	1.15E-02
31	<sup>149</sup> Tb	1.48E+07	1.48E+07	20	20	2.50E-01	2.50E-01	6.70E-04	6.70E-04	2.51E-01	2.51E-01
32	<sup>14</sup> C	1.48E+07	1.48E+07	15	15	0.00E+00	0.00E+00	9.54E-05	9.54E-05	9.54E-05	9.54E-05
33	<sup>89</sup> Sr	1.48E+07	1.48E+07	20	20	0.00E+00	0.00E+00	6.41E-03	6.41E-03	6.41E-03	6.41E-03
34	<sup>203</sup> Pb	1.48E+07	1.48E+07	20	20	2.14E-04	2.14E-04	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-04	2.14E-04

### ⑤放射性废物转运过程中剂量水平核算

本项目放射性废物转运时，由废物产生部门辐射工作人员将自己部门产生的废物转运至放射性污物暂存间，转运时采用20mmPb的转运车。

表5.2.2-17 质检中心放射性废物转运过程γ辐射和韧致辐射剂量水平计算结果一览表

序号	核素名称	转运器具	单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	γ辐射剂量率 (μSv/h)	最大β粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 (μSv/h)	合计剂量率 (γ辐射+韧致辐射) (μSv/h)	
放射性废物转运	1	<sup>47</sup> Sc	推车	3.59E+08	20	1.98E-14	0.6	82	4.79E-05	4.79E-05
	2	<sup>64</sup> Cu	推车	1.24E+08	20	6.90E-01	0.653	82	2.80E-05	6.90E-01
	3	<sup>67</sup> Ga	推车	1.83E+08	20	1.04E-03	/	/	0.00E+00	1.04E-03
	4	<sup>44</sup> Sc	推车	2.55E+07	20	6.07E+00	1.474	82	8.85E-03	6.08E+00
	5	<sup>68</sup> Ga	推车	3.58E+03	20	1.00E-04	1.899	82	5.96E-06	1.06E-04
	6	<sup>89</sup> Zr	推车	5.90E+08	20	9.34E+01	0.902	82	4.04E-03	9.34E+01

序号	核素名称	转运器具	单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大 $\beta$ 粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )
			5.90E+08	20	9.34E+01	0.902	82	4.04E-03	9.34E+01
7	$^{90}\text{Y}$	推车	1.83E+08	20	0.00E+00	0.934	82	1.49E-03	1.49E-03
8	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	推车	3.09E+02	20	2.85E-25	/	/	0.00E+00	2.85E-25
9	$^{103}\text{Pd}$	推车	3.67E+08	20	0.00E+00	/	/	0.00E+00	0.00E+00
10	$^{111}\text{In}$	推车	1.81E+08	20	4.26E-09	/	/	0.00E+00	4.26E-09
11	$^{153}\text{Sm}$	推车	3.58E+08	20	1.23E-45	0.265	82	2.21E-14	2.21E-14
12	$^{161}\text{Tb}$	推车	7.31E+09	20	1.44E-105	0.584	82	9.24E-04	9.24E-04
13	$^{166}\text{Ho}$	推车	3.65E+08	20	1.97E+00	1.854	82	5.30E-01	2.50E+00
14	$^{177}\text{Lu}$	推车	7.33E+09	20	5.17E-08	0.497	82	2.27E-04	2.27E-04
15	$^{188}\text{Re}$	推车	3.34E+08	20	1.22E+00	2.12	82	7.54E-01	1.97E+00
16	$^{201}\text{Tl}$	推车	1.84E+08	20	3.44E-22	/	/	0.00E+00	3.44E-22
17	$^{211}\text{At}$	推车	3.13E-14	20	7.81E-42	/	/	0.00E+00	7.81E-42
	$^{211}\text{At}$ 衰变的子体核素 $^{211}\text{Po}$	推车	0.00E+00	20	0.00E+00	/	/	0.00E+00	
18	$^{212}\text{Pb}$	推车	1.82E+08	20	4.25E-06	0.589	82	2.35E-05	6.21E-02
	$\alpha$ 核素衰变的子体核素 $^{212}\text{Bi}$	推车	1.49E+06	20	5.80E-02	2.25	82	4.03E-03	
	$^{209}\text{Tl}$	推车	2.13E-41	20	1.11E-47	1.8	82	2.09E-50	
19	$^{225}\text{Ac}$	推车	1.85E+08	20	7.85E-16	/	/	0.00E+00	2.04E-05
	$^{225}\text{Ac}$ 衰变的 $^{217}\text{At}$	推车	0.00E+00	20	0.00E+00	/	/	0.00E+00	
	$^{213}\text{Bi}$	推车	8.57E+03	20	1.82E-05	1.42	82	2.21E-06	

序号	核素名称	转运器具	单次最大操作量 (Bq/次)	铅屏蔽厚度 (mm)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	最大 $\beta$ 粒子能量 (MeV)	有效原子序数 Z	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计剂量率 ( $\gamma$ 辐射+韧致辐射) ( $\mu\text{Sv/h}$ )
	子体核素								
20	$^{227}\text{Th}$	推车	3.69E+06	20	2.58E-09	/	/	0.00E+00	2.58E-09
21	$^{223}\text{Ra}$	推车	3.67E+06	20	1.63E-05	0.427	82	6.95E-08	1.66E-05
227Th、 223Ra 衰变的 子体核素	$^{219}\text{Rn}$	推车	0.00E+00	20	0.00E+00	/	/	0.00E+00	
	$^{215}\text{Po}$	推车	0.00E+00	20	0.00E+00	/	/	0.00E+00	
	$^{211}\text{Pb}$	推车	6.37E+01	20	2.51E-07	0.47	82	2.27E-12	
22	$^{18}\text{F}$	推车	3.40E+06	20	1.11E-01	0.63	82	7.57E-07	1.11E-01
23	$^{123}\text{I}$	推车	3.51E+07	20	1.01E-17	/	/	0.00E+00	1.01E-17
24	$^{131}\text{I}$	推车	1.82E+10	20	5.87E+01	0.606	82	2.48E-03	5.87E+01
25	$^{125}\text{I}$	推车	3.70E+06	20	7.11E-322	/	/	0.00E+00	7.11E-322
26	$^{186}\text{Re}$	推车	3.66E+07	20	8.15E-23	1.474	82	1.27E-02	1.27E-02
27	$^{124}\text{I}$	推车	1.80E+08	20	2.27E+01	2.13	82	2.76E-01	2.29E+01
28	$^{68}\text{Ge}$	推车	3.70E+07	20	0.00E+00	0.01	/	0.00E+00	0.00E+00
29	$^{99}\text{Mo}$	推车	3.68E+07	20	4.36E-01	1.215	82	4.00E-03	4.40E-01
30	$^{32}\text{P}$	推车	1.83E+08	20	0.00E+00	1.71	/	1.42E-01	1.42E-01
31	$^{149}\text{Tb}$	推车	2.94E+07	20	4.96E-01	1.15	82	1.33E-03	4.98E-01
32	$^{14}\text{C}$	推车	3.70E+09	15	0.00E+00	0.156	5.85	2.39E-02	2.39E-02
33	$^{89}\text{Sr}$	推车	5.55E+09	20	0.00E+00	1.495	82	2.40E+00	2.40E+00
34	$^{203}\text{Pb}$	推车	7.33E+08	20	1.06E-02	/	/	0.00E+00	1.06E-02

### ⑥结论

根据表5.2.2-13~5.2.2-17，本项目放化实验室1、2、3、4各手套箱、通风橱外操作位最大剂量率为 $2.40\mu\text{Sv/h}$ ，液相仪器室箱体外操作位最大剂量率为 $0.906\mu\text{Sv/h}$ ，仪器室4箱体外操作位最大剂量率为 $0.86\mu\text{Sv/h}$ ，仪器室2箱体外操作位最大剂量率为 $0.18\mu\text{Sv/h}$ 、内毒素检查室1操作位最大剂量率为 $2.35\mu\text{Sv/h}$ 、微生物限度室1操作位最大剂量率为 $2.35\mu\text{Sv/h}$ ，均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

### ⑦质检中心职业人员贯穿外照射剂量分析

根据质检工作流程、年操作时间及辐射工作人员操作位处最大剂量率估算出质检中心辐射工作人员受到 $\gamma$ 射线和韧致辐射所致外照射剂量（见表5.2.2-18），根据表5.2.2-18，本项目质检中心的建设对辐射工作人员产生的外照射剂量最大为 $3.638\text{mSv/a}$ 。

表5.2.2-18 质检中心辐射工作人员 $\gamma$ 射线和韧致辐射所致外照射剂量估算表

序号	核素名称	放射性质 检原料分 装、性状检 查、pH值 测定、活度 浓度测定 操作位剂 量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操 作时 间 (h)	年受照 剂量 (mSv)	放射化学 纯度测定 (液相色 谱仪法) 操作位剂 量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操 作时 间 (h)	年受照剂 量 (mSv)	核素鉴 别、放射 性核纯 度测量 操作位 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操 作时 间 (h)	年受照 剂量 (mSv)	薄层色谱 法测定放 射化学纯 度操作位 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操 作时 间 (h)	年受照剂 量 (mSv)	有关物 质或杂 质含量 分析操 作位剂 量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操 作时 间 (h)	年受照 剂量 (mSv)	
药 物 质 检	1	$^{47}\text{Sc}$	4.52E-03	3.33	1.51E-05	2.26E-05	3.33	7.53E-08	1.08E-08	5	5.40E-11	4.52E-05	3.33	1.51E-07	6.48E-13	3.33	2.16E-15
	2	$^{64}\text{Cu}$	1.47E-04	16.67	2.44E-06	4.35E-02	16.67	7.25E-04	9.77E-03	25	2.44E-04	3.67E-06	16.67	6.12E-08	2.75E-04	16.67	4.58E-06
	3	$^{67}\text{Ga}$	1.27E-01	3.33	4.25E-04	1.27E-03	3.33	4.23E-06	3.47E-07	5	1.74E-09	2.55E-03	3.33	8.50E-06	1.18E-11	3.33	3.93E-14
	4	$^{44}\text{Sc}$	1.19E-01	3.33	3.97E-04	9.06E-01	3.33	3.02E-03	8.61E-01	5	4.31E-03	1.19E-02	3.33	3.97E-05	1.03E-01	3.33	3.43E-04
	5	$^{68}\text{Ga}$	6.71E-02	41.67	2.80E-03	2.26E-01	41.67	9.42E-03	5.36E-02	62.5	3.35E-03	3.36E-05	41.67	1.40E-06	1.68E-03	41.67	7.00E-05
	6	$^{89}\text{Zr}$	2.31E+00	16.67	3.85E-02	6.34E-01	16.67	1.06E-02	5.43E-01	25	1.36E-02	5.77E-03	16.67	9.62E-05	5.82E-02	16.67	9.70E-04
	7	$^{90}\text{Y}$	2.14E-07	3.33	7.15E-10	2.88E-04	3.33	9.60E-07	/	5	/	4.29E-09	3.33	1.43E-11	4.29E-09	3.33	1.43E-11
	8	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.11E-08	50.00	2.56E-09	1.70E-11	50.00	8.50E-13	6.82E-31	75	5.12E-32	3.41E-11	50.00	1.71E-12	3.41E-51	50.00	1.71E-52
	9	$^{103}\text{Pd}$	0.00E+00	5.00	0.00E+00	0.00E+00	5.00	0.00E+00	0.00E+00	7.5	0.00E+00	0.00E+00	5.00	0.00E+00	0.00E+00	5.00	0.00E+00
	10	$^{111}\text{In}$	5.51E-04	5.00	2.75E-06	5.51E-06	5.00	2.76E-08	1.38E-15	7.5	1.04E-17	1.10E-05	5.00	5.50E-08	4.30E-26	5.00	2.15E-28
	11	$^{153}\text{Sm}$	4.05E-08	5.00	2.03E-10	2.03E-10	5.00	1.02E-12	2.56E-22	7.5	1.92E-24	4.05E-10	5.00	2.03E-12	4.05E-35	5.00	2.03E-37
	12	$^{161}\text{Tb}$	8.56E-02	41.67	3.56E-03	2.14E-05	41.67	8.92E-07	1.02E-08	62.5	6.38E-10	4.28E-05	41.67	1.78E-06	6.14E-13	41.67	2.56E-14
	13	$^{166}\text{Ho}$	3.68E-01	3.33	1.23E-03	2.56E-02	3.33	8.53E-05	2.60E-02	5	1.30E-04	3.68E-03	3.33	1.23E-05	3.68E-03	3.33	1.23E-05
	14	$^{177}\text{Lu}$	4.10E-02	41.67	1.71E-03	1.03E-05	41.67	4.29E-07	1.37E-09	62.5	8.56E-11	2.05E-05	41.67	8.54E-07	2.46E-14	41.67	1.03E-15
	15	$^{188}\text{Re}$	1.03E-01	3.33	3.43E-04	3.04E-02	3.33	1.01E-04	1.57E-02	5	7.85E-05	1.03E-03	3.33	3.43E-06	1.03E-03	3.33	3.43E-06
	16	$^{201}\text{Tl}$	6.49E-11	3.33	2.16E-13	6.49E-13	3.33	2.16E-15	7.35E-35	5	3.68E-37	1.30E-12	3.33	4.33E-15	1.04E-57	3.33	3.47E-60
	17	$^{211}\text{At}$	2.41E-11	16.67	4.02E-13	1.20E-11	16.67	2.00E-13	/	25	/	2.41E-11	16.67	4.02E-13	5.19E-53	16.67	8.65E-55

子体核素	<sup>211</sup> Po	3.39E-03	16.67	5.64E-05	/	16.67	/	/	25	/	/	16.67	/	/	16.67	/
18	<sup>212</sup> Pb	4.09E-17	25.00	1.02E-18	1.50E-04	25.00	3.75E-06	1.50E-04	37.5	5.63E-06	3.00E-04	25.00	7.50E-06	6.24E-13	25.00	1.56E-14
子体核素	<sup>212</sup> Bi	1.48E-02	25.00	3.71E-04	/	25.00	/	/	37.5	/	/	25.00	/	/	25.00	/
	<sup>208</sup> Tl	1.54E-01	25.00	3.85E-03	/	25.00	/	/	37.5	/	/	25.00	/	/	25.00	/
19	<sup>225</sup> Ac	1.45E-07	41.67	6.02E-09	1.45E-09	41.67	6.04E-11	/	62.5	/	4.07E-67	41.67	1.70E-68	2.53E-42	41.67	1.05E-43
子体核素	<sup>217</sup> At	1.85E-03	41.67	7.72E-05	/	41.67	/	/	62.5	/	/	41.67	/	/	41.67	/
	<sup>213</sup> Bi	1.87E-01	41.67	7.79E-03	/	41.67	/	/	62.5	/	/	41.67	/	/	41.67	/
20	<sup>227</sup> Th	5.52E-05	3.33	1.84E-07	2.76E-05	3.33	9.20E-08	/	5	/	2.75E-35	3.33	9.17E-38	2.66E-22	3.33	8.87E-25
21	<sup>223</sup> Ra	3.87E-03	3.33	1.29E-05	1.93E-03	3.33	6.43E-06	/	5	/	1.03E-19	3.33	3.43E-22	1.30E-12	3.33	4.33E-15
子体核素	<sup>219</sup> Rn	5.90E-03	3.33	1.97E-05	/	3.33	/	/	5	/	/	3.33	/	/	3.33	/
	<sup>215</sup> Po	3.90E-05	3.33	1.30E-07	/	3.33	/	/	5	/	/	3.33	/	/	3.33	/
	<sup>211</sup> Pb	6.65E-03	3.33	2.22E-05	/	3.33	/	/	5	/	/	3.33	/	/	3.33	/
22	<sup>18</sup> F	2.34E-01	3.33	7.81E-04	2.41E-01	3.33	8.03E-04	6.02E-02	5	3.01E-04	4.82E-01	3.33	1.61E-03	1.88E-03	3.33	6.27E-06
23	<sup>123</sup> I	2.86E-71	3.33	9.55E-74	4.53E-10	3.33	1.51E-12	2.52E-27	5	1.26E-29	9.06E-10	3.33	3.02E-12	1.75E-45	3.33	5.83E-48
24	<sup>131</sup> I	1.12E-01	33.33	3.73E-03	4.85E-02	33.33	1.62E-03	2.95E-03	50	1.48E-04	9.69E-02	33.33	3.23E-03	2.24E-05	33.33	7.47E-07
25	<sup>125</sup> I	0.00E+00	3.33	0.00E+00	1.17E-161	3.33	3.90E-164	0.00E+00	5	0.00E+00	2.34E-161	3.33	7.80E-164	0.00E+00	3.33	0.00E+00
26	<sup>186</sup> Re	5.96E-02	3.33	1.99E-04	2.98E-03	3.33	9.93E-06	5.54E-04	5	2.77E-06	5.96E-03	3.33	1.99E-05	1.28E-05	3.33	4.27E-08
27	<sup>124</sup> I	2.51E-01	3.33	8.38E-04	5.04E-01	3.33	1.68E-03	4.41E-01	5	2.21E-03	1.01E+00	3.33	3.37E-03	4.85E-02	3.33	1.62E-04
28	<sup>68</sup> Ge	0.00E+00	3.33	0.00E+00	0.00E+00	3.33	0.00E+00	/	5	/	0.00E+00	3.33	0.00E+00	0.00E+00	3.33	0.00E+00
29	<sup>99</sup> Mo	2.29E-02	3.33	7.64E-05	6.00E-02	3.33	2.00E-04	3.29E-02	5	1.65E-04	1.20E-01	3.33	4.00E-04	2.29E-03	3.33	7.63E-06
30	<sup>32</sup> P	5.17E-01	16.67	8.62E-03	5.17E-03	16.67	8.62E-05	/	25	/	1.33E-06	16.67	2.22E-08	6.19E-05	16.67	1.03E-06
31	<sup>149</sup> Tb	1.22E+00	3.33	4.06E-03	6.08E-02	3.33	2.03E-04	6.52E-02	5	3.26E-04	1.25E-03	3.33	4.17E-06	8.83E-03	3.33	2.94E-05
32	<sup>14</sup> C	2.39E-02	20.00	4.77E-04	1.19E-05	20.00	2.38E-07	/	30	/	2.39E-05	20.00	4.78E-07	2.39E-05	20.00	4.78E-07
33	<sup>89</sup> Sr	2.40E+00	16.67	4.00E-02	3.38E-03	16.67	5.63E-05	/	25	/	2.85E-07	16.67	4.75E-09	2.14E-05	16.67	3.57E-07
34	<sup>203</sup> Pb	1.63E-09	16.67	2.71E-11	5.01E-03	16.67	8.35E-05	5.71E-07	25	1.43E-08	1.00E-02	16.67	1.67E-04	8.13E-12	16.67	1.36E-13

表5.2.2-18 质检中心辐射工作人员 $\gamma$ 射线和韧致辐射所致外照射剂量估算表(续表)

序号	核素名称	液体闪烁计数器法测定放射性活度操作位剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操作时间(h)	年受照剂量(mSv)	细菌内毒素测定操作位剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操作时间(h)	年受照剂量(mSv)	无菌、微生物限度检查操作位剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操作时间(h)	年受照剂量(mSv)	放射性废物转运过程剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	年操作时间(h)	年受照剂量(mSv)	年受照总有效剂量(mSv)
1	$^{47}\text{Sc}$	4.52E-06	1.67	7.53E-09	1.98E-06	10	1.98E-08	1.98E-06	10	1.98E-08	4.79E-05	1.67	7.99E-08	1.54E-05
2	$^{64}\text{Cu}$	8.70E-03	8.33	7.25E-05	8.24E-02	50	4.12E-03	8.24E-02	50	4.12E-03	6.90E-01	8.33	5.75E-03	1.50E-02
3	$^{67}\text{Ga}$	/	1.67	/	8.41E-05	10	8.41E-07	8.41E-05	10	8.41E-07	1.04E-03	1.67	1.74E-06	4.41E-04
4	$^{44}\text{Sc}$	1.81E-01	1.67	3.02E-04	1.72E+00	10	1.72E-02	1.72E+00	10	1.72E-02	6.08E+00	1.67	1.01E-02	5.29E-02
5	$^{68}\text{Ga}$	4.53E-02	20.83	9.44E-04	4.38E-01	125	5.48E-02	/	125	/	1.06E-04	20.83	2.21E-06	7.13E-02
6	$^{89}\text{Zr}$	1.27E-01	8.33	1.06E-03	2.35E+00	50	1.18E-01	2.35E+00	50	1.18E-01	9.34E+01	8.33	7.78E-01	1.86E+00
											9.34E+01	8.33	7.78E-01	
7	$^{90}\text{Y}$	5.76E-05	1.67	9.60E-08	1.20E-04	10	1.20E-06	1.20E-04	10	1.20E-06	1.49E-03	1.67	2.48E-06	5.93E-06
8	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	25.00	/	1.36E-20	150	2.04E-21	/	150	/	2.85E-25	25.00	7.13E-27	2.56E-09
9	$^{103}\text{Pd}$	/	2.50	/	0.00E+00	15	0.00E+00	0.00E+00	15	0.00E+00	0.00E+00	2.50	0.00E+00	0.00E+00
10	$^{111}\text{In}$	/	2.50	/	3.48E-10	15	5.22E-12	3.48E-10	15	5.22E-12	4.26E-09	2.50	1.06E-11	2.84E-06
11	$^{153}\text{Sm}$	4.05E-11	2.50	1.01E-13	9.12E-16	15	1.37E-17	9.12E-16	15	1.37E-17	2.21E-14	2.50	5.51E-17	2.06E-10
12	$^{161}\text{Tb}$	4.28E-06	20.83	8.92E-08	1.87E-06	125	2.34E-07	1.87E-06	125	2.34E-07	9.24E-04	20.83	1.93E-05	3.59E-03
13	$^{166}\text{Ho}$	5.12E-03	1.67	8.53E-06	1.01E-01	10	1.01E-03	1.01E-01	10	1.01E-03	2.50E+00	1.67	4.17E-03	7.66E-03
14	$^{177}\text{Lu}$	2.05E-06	20.83	4.27E-08	4.58E-07	125	5.73E-08	4.58E-07	125	5.73E-08	2.27E-04	20.83	4.72E-06	1.72E-03
15	$^{188}\text{Re}$	6.07E-03	1.67	1.01E-05	8.73E-02	10	8.73E-04	8.73E-02	10	8.73E-04	1.97E+00	1.67	3.28E-03	5.57E-03
16	$^{201}\text{Tl}$	/	1.67	/	2.76E-23	10	2.76E-25	2.76E-23	10	2.76E-25	3.44E-22	1.67	5.73E-25	2.23E-13
17	$^{211}\text{At}$	/	8.33	/	4.62E-22	50	2.31E-23	/	50	/	7.81E-42	8.33	6.51E-44	1.00E-12
子体	$^{211}\text{Po}$	/	8.33	/	/	50	/	/	50	/	0.00E+00	8.33	0.00E+00	5.64E-05
18	$^{212}\text{Pb}$	/	12.50	/	2.25E-06	75	1.69E-07	2.25E-06	75	1.69E-07	2.77E-05	12.50	3.46E-07	1.76E-05

子 体	<sup>212</sup> Bi	/	12.50	/	/	75	/	/	75	0.00E+00	6.20E-02	12.50	7.76E-04	1.15E-03
	<sup>208</sup> Tl	/	12.50	/	/	75	/	/	75	/	1.11E-47	12.50	1.39E-49	3.85E-03
19	<sup>225</sup> Ac	/	20.83	/	6.29E-17	125	7.86E-18	6.29E-17	125	7.86E-18	7.85E-16	20.83	1.64E-17	6.08E-09
子 体	<sup>217</sup> At	/	20.83	/	/	125	/	/	125	0.00E+00	0.00E+00	20.83	0.00E+00	7.72E-05
	<sup>213</sup> Bi	/	20.83	/	/	125	/	/	125		2.04E-05	20.83	4.26E-07	7.79E-03
20	<sup>227</sup> Th	/	1.67	/	1.29E-09	10	1.29E-11	1.29E-09	10	1.29E-11	2.58E-09	1.67	4.30E-12	2.76E-07
21	<sup>223</sup> Ra	/	1.67	/	8.27E-06	10	8.27E-08	8.27E-06	10	8.27E-08	1.64E-05	1.67	2.73E-08	1.95E-05
子 体	<sup>219</sup> Rn	/	1.67	/	/	10	/	/	10	/	0.00E+00	1.67	0.00E+00	1.97E-05
	<sup>215</sup> Po	/	1.67	/	/	10	/	/	10	/	0.00E+00	1.67	0.00E+00	1.30E-07
	<sup>211</sup> Pb	/	1.67	/	/	10	/	/	10	/	2.51E-07	1.67	4.19E-10	2.22E-05
22	<sup>18</sup> F	4.82E-02	1.67	8.03E-05	4.82E-01	10	4.82E-03	/	10	/	1.11E-01	1.67	1.85E-04	8.58E-03
23	<sup>125</sup> I		1.67		4.27E-18	10	4.27E-20	4.27E-18	10	4.27E-20	1.01E-17	1.67	1.69E-20	4.53E-12
24	<sup>131</sup> I	9.69E-03	16.67	1.62E-04	4.78E-02	100	4.78E-03	4.78E-02	100	4.78E-03	5.87E+01	16.67	9.79E-01	9.97E-01
25	<sup>125</sup> I		1.67		3.56E-322	10	0.00E+00	3.56E-322	10	0.00E+00	7.11E-322	1.67	0.00E+00	1.17E-163
26	<sup>186</sup> Re	5.96E-04	1.67	9.93E-07	5.14E-03	10	5.14E-05	5.14E-03	10	5.14E-05	1.27E-02	1.67	2.12E-05	3.56E-04
27	<sup>124</sup> I	1.01E-01	1.67	1.68E-04	1.88E+00	10	1.88E-02	1.88E+00	10	1.88E-02	2.29E+01	1.67	3.82E-02	8.42E-02
28	<sup>68</sup> Ge		1.67		0.00E+00	10	0.00E+00	0.00E+00	10	0.00E+00	0.00E+00	1.67	0.00E+00	0.00E+00
29	<sup>99</sup> Mo	1.20E-02	1.67	2.00E-05	1.77E-01	10	1.77E-03	1.77E-01	10	1.77E-03	4.40E-01	1.67	7.33E-04	5.14E-03
30	<sup>32</sup> P	1.03E-03	8.33	8.58E-06	1.15E-02	50	5.75E-04	1.15E-02	50	5.75E-04	1.42E-01	8.33	1.19E-03	1.11E-02
31	<sup>149</sup> Tb	1.22E-02	1.67	2.03E-05	2.51E-01	10	2.51E-03	2.51E-01	10	2.51E-03	4.98E-01	1.67	8.29E-04	1.05E-02
32	<sup>14</sup> C	2.39E-06	10.00	2.39E-08	9.54E-05	60	5.72E-06	9.54E-05	60	5.72E-06	2.39E-02	10.00	2.39E-04	7.28E-04
33	<sup>89</sup> Sr	6.75E-04	8.33	5.63E-06	6.41E-03	50	3.21E-04	6.41E-03	50	3.21E-04	2.40E+00	8.33	2.00E-02	6.07E-02
34	<sup>203</sup> Pb	/	8.33	/	2.14E-04	50	1.07E-05	2.14E-04	50	1.07E-05	1.06E-02	8.33	8.83E-05	3.60E-04
合计														3.21
质检中心由10名工作人员分摊工作, 平均每名人员受照剂量0.32mSv/a, 保守取两倍系数, 单人受照剂量为0.64mSv/a。														

### 5.2.2.3 放射性药物成品库

项目放射性药物成品库存放的放射性药物均有完整包装，且经过表面沾污检测合格，暂存过程中不会拆开包装，项目营运期间正常工况下不会产生放射性废气和放射性废水，因此在暂存过程中主要产生电离辐射影响。

#### (1) 放射性药物成品库墙体外辐射剂量率

根据项目代理销售放射性同位素方案，项目放射性药物成品库必要时仅存放满足 I 级（白）水平或 II 级（黄）要求的放射性药物货包，《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中货包的包装分级见下表。

表 5.2.2-19 货包包装的分级

条件		分级
运输指数 (TI)	外表面上任一点的最大辐射水平 H (mSv/h)	
0 <sup>①</sup>	$H \leq 0.005$	I 级（白）
$0 < TI \leq 1$ <sup>②</sup>	$0.005 < H \leq 0.5$	II 级（黄）
$1 < TI \leq 10$	$0.5 < H \leq 2$	III 级（黄）
$10 \leq TI$	$2 < H \leq 10$	III 级（黄） <sup>③</sup>

备注：① 若测的 TI 值不大于 0.05，此数值可取为零；  
② 除集合包装以外，需按独家使用方式运输。

根据 3.2.2.7 章节和表 3.2-11 的项目放射性药物成品暂存情况分析，将项目可能同时最多暂存的 328 个货包所有辐射剂量率进行叠加，近似当作为一个点源。本项目暂存库仅存满足 I 级（白）水平和 II 级（黄）要求的货包，即 II 级（黄）货包要求放射性药物货包外表面辐射剂量率最大值不超过  $500 \mu\text{Sv/h}$ ，其中  $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{161}\text{Tb}$  暂存在成品库 1 内， $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ge}({}^{68}\text{Ga})$  发生器、 $^{188}\text{W}-(^{188}\text{Re})$  发生器、 $^{99}\text{Mo}({}^{99\text{m}}\text{Tc})$  发生器暂存在成品库 2 内。

本项目放射性药物成品库为 37cm 厚实心砖墙体+1mm 铅当量的硫酸钡水泥。根据核素的衰变特性以及医疗市场对各种核素的使用量等情况，结合货包等级，本次将不同核素对关注点造成的剂量叠加后进行预测分析。

根据上述分析，已知放射性药物成品库内单个放射性药物货包表面 0.05m 处辐射剂量率为  $500 \mu\text{Sv/h}$ ，墙体外关注点处的辐射剂量率见下表。

表 5.2.2-20 与货包表面不同距离关注点处的辐射剂量率

药物类别	关注点	1m 处关注点的辐射剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	货包数量 (件)	与墙外关注点最近距离 (m)	关注点辐射剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点叠加辐射剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	存储天数 (天)	居留因子	关注点年有效剂量 (mSv)	关注点叠加年有效剂量 (mSv)
$^{89}\text{Zr}$	成品库1 四周墙 体外 30cm处	500	75	2.5	1.15	1.31	100	1/16	7.21E-03	9.63E-03
$^{225}\text{Ac}$		500	24	1.5	/		150	1/16	0	
$^{131}\text{I}$		500	2	1.5	1.71E-02		200	1/16	2.14E-04	
$^{177}\text{Lu}$		500	60	1.5	1.41E-01		250	1/16	2.20E-03	
$^{161}\text{Tb}$		500	30	1.5	3.51E-05		100	1/16	2.19E-07	
$^{89}\text{Sr}$	成品库2 四周墙 体外 30cm处	500	90	1.5	/	0.53	200	1/16	0	6.63E-03
$^{90}\text{Y}$		500	10	1.5	/		200	1/16	0	
$^{125}\text{I}$		500	12	1.5	1.02E-15		200	1/16	1.27E-17	
$^{68}\text{Ge}$ ( $^{68}\text{Ga}$ )		500	8	1.5	1.04E-01		200	1/16	1.30E-03	
$^{188}\text{W}$ -( $^{188}\text{Re}$ )		500	15	1.5	3.71E-01		200	1/16	4.63E-03	
$^{99}\text{Mo}$ ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )		500	2	1.5	5.59E-02		200	1/16	6.98E-04	

由上表可知，本项目放射性药物成品库在暂存 328 个货包时，成品库 1 和成品库 2 四周墙体外关注点处辐射剂量率最大为  $1.31\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021) 中规定的距工作场所控制区墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  要求；墙体外人员年受照剂量最大为  $9.63\text{E-}03\text{mSv}$ 。

## (2) 放射性药物货包出入库所致剂量估算

根据建设单位设计资料，代理销售的放射性药物和发生器正常情况直接由生产厂家发货到客户，不会在放射性药物成品库暂存；仅特殊情况下货包出厂后无法送达客户时才会暂存，另自行生产的部分半衰期较长的药物会进行暂存，因此，每年暂存的时间较少。工作人员所受贯穿外照射剂量按照（式 5.2-3）估算结果见下表。

表 5.2.2-21 项目放射性药物成品库对辐射工作人员所致剂量估算结果

场所	工艺环节	距货包表面 1m 处 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	货包数量 (个)	年操作时 间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)	单人年受照剂量 (mSv/a)
放射性 药物成 品库	放射性药物 货包出入库	1.25	80	533.3	0.67	0.335

由上表可知，从保守角度考虑，项目放射性药物成品库房管理人员年受照剂量最大为 0.335mSv/a，满足 5mSv/a 剂量管理限值要求。

### 5.2.2.4 放射性物料库

项目放射性物料库存放的用于生产的放射性原料均有完整包装，且经过表面沾污检测合格，暂存过程中不会拆开包装，项目营运期间正常工况下不会产生放射性废气和放射性废水，因此在暂存过程中主要产生电离辐射影响。

#### (1) 放射性物料库墙体外辐射剂量率

建设单位根据项目放射性药物生产计划购买放射性原料暂存，物料库仅存放满足 I 级（白）水平或 II 级（黄）要求的放射性药物货包，《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中货包的包装分级见表 5.2.2-19。

根据 3.1.1.2 章节表 3.1.1-5 的外购放射性原料暂存情况分析，镅-177、铯-161、铟-225、铅-212 是每日必需核素，另外再选取三种影响较大的核素原料货包，钪-89、铯-188 和钼-99。将物料库可能同时最多暂存的 27 个货包所有辐射剂量率进行叠加，近似当作为一个点源。本项目暂存库仅存满足 I 级（白）水平和 II 级（黄）要求的货包，即 II 级（黄）货包要求放射性药物货包外表面辐射剂量率最大值不超过  $500\mu\text{Sv/h}$ ，I 级（白）货包外表面辐射剂量率最大值不超过  $5\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目放射性物料库为 24cm 厚实心砖墙体+1mm 铅当量的硫酸钡水泥。根据核素的衰变特性以及各种核素的使用量等情况，结合货包等级，本次将不同核素对关注点造成的剂量叠加后进行预测分析。

根据上述分析，已知放射性物料库内单个放射性药物货包表面 0.05m 处辐射剂量率为  $500\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽体外关注点处的辐射剂量率可通过式 5.2-10 进行计算。

表 5.2.2-22 与货包表面不同距离关注点处的辐射剂量率

关注点	药物类别	1m 处关注点的辐射剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	货包数量 (件)	与墙外关注点最近距离 (m)	关注点辐射剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点叠加辐射剂量率水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	存储天数 (天)	居留因子	关注点年有效剂量 ( $\text{mSv}$ )	关注点叠加年有效剂量 ( $\text{mSv}$ )
四周墙体 外30cm(走廊、电梯、 容器具存放间)	$^{89}\text{Zr}$	500	1	2.5	3.80E-02	0.68	100	1/16	2.38E-04	8.08E-03
	$^{225}\text{Ac}$	500	10	1.5	/		150	1/16	0.00E+00	
	$^{188}\text{Re}$	500	1	1.5	7.18E-02		20	1/16	8.97E-05	
	$^{177}\text{Lu}$	500	2	1.5	3.36E-02		250	1/16	5.26E-04	
	$^{161}\text{Tb}$	500	2	1.5	2.91E-04		100	1/16	1.82E-06	
	$^{99}\text{Mo}$	500	1	1.5	8.43E-02		20	1/16	1.05E-04	
	$^{212}\text{Pb}$	500	10	1.5	4.56E-01		250	1/16	7.12E-03	
屋顶上方 制水间1m 处	$^{89}\text{Zr}$	500	1	3	2.64E-02	0.19	100	1/16	1.65E-04	2.13E-03
	$^{225}\text{Ac}$	500	10	3	/		150	1/16	0.00E+00	
	$^{188}\text{Re}$	500	1	3	1.79E-02		20	1/16	2.24E-05	
	$^{177}\text{Lu}$	500	2	3	8.41E-03		250	1/16	1.31E-04	
	$^{161}\text{Tb}$	500	2	3	7.27E-05		100	1/16	4.54E-07	
	$^{99}\text{Mo}$	500	1	3	2.11E-02		20	1/16	2.63E-05	
	$^{212}\text{Pb}$	500	10	3	1.14E-01		250	1/16	1.78E-03	
距楼下消 防水泵房 地面1.7m 处	$^{89}\text{Zr}$	500	1	2.5	3.80E-02	0.27	100	1/16	2.38E-04	3.06E-03
	$^{225}\text{Ac}$	500	10	2.5	/		150	1/16	0.00E+00	
	$^{188}\text{Re}$	500	1	2.5	2.58E-02		20	1/16	3.23E-05	
	$^{177}\text{Lu}$	500	2	2.5	1.21E-02		250	1/16	1.89E-04	
	$^{161}\text{Tb}$	500	2	2.5	1.05E-04		100	1/16	6.54E-07	
	$^{99}\text{Mo}$	500	1	2.5	3.03E-02		20	1/16	3.79E-05	
	$^{212}\text{Pb}$	500	10	2.5	1.64E-01		250	1/16	2.56E-03	

由上表可知,本项目放射性物料品库在暂存27个货包时,库房四周墙体外关注点处辐射剂量率最大为 $0.68\mu\text{Sv/h}$ ,满足《核医学放射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)中规定的距工作场所控制区墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 要求。屏蔽体外人员年受照剂量最大为 $8.08\text{E-}03\text{mSv}$ 。

## (2) 放射性物流库货包出入库所致剂量估算

根据建设单位生产计划和质检研发计划，项目由 2 名辐射工作人员负责货包出入库，工作人员所受贯穿外照射剂量按照（式 5.2-3）估算结果见下表。

表 5.2.2-23 项目放射性物料库对辐射工作人员所致剂量估算结果

场所	工艺环节	距货包表面 1m 处 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	货包数量 (个)	年操作时 间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)	单人年受照剂量 (mSv/a)
放射性 药物成 品库	放射性药物 货包出入库	1.25	27	225	0.28	0.14

由上表可知，从保守角度考虑，项目放射性药物成品库房管理人员年受照剂量最大为 0.14mSv/a，满足 5mSv/a 剂量管理限值要求。

### 5.2.2.5 职业人员受照剂量综合分析

#### (1) 辐射工作人员年受照剂量

本项目职业人员受到的生产操作核素外照射剂量、放射性气体所致内照射和外照射剂量、产品包装和转运所致外照射剂量、废物转运和放射性药品运输所致剂量之和见下表。

表 5.2.2-27 项目职业人员受照剂量表

序号	工作场所/环节	操作人员受照剂量 (包括废物转运所 致受照剂量) (mSv/a)	气溶胶所致 照射剂量 (mSv/a)	包装、转运所 致受照剂量 (mSv/a)	产品运输所 致受照剂量 (mSv/a)	单名工作人 员年受照剂 量 (mSv/a)
1	加速器室一	/	/	/	/	8.54E-05
	加速器室二	/	/	/	/	1.65E-05
2	206 车间操作人 员	3.83E-01	1.50E-01	/	/	5.33E-01
	206 车间包装、 转运人员	/	/	7.80E-01	/	0.78
3	207 车间操作人 员	1.175E-01	9.90E-02	/	/	2.17E-01
	207 车间包装、 转运人员	/	/	1.91	/	1.91
4	208 车间操作人 员	1.175E-01	9.90E-02	/	/	2.17E-01
	208 车间包装、 转运人员	/	/	1.91	/	1.91
5	209 车间操作人 员	5.25E-02	5.35E-04	/	/	5.30E-02
	209 车间包装、 转运人员	/	/	8.43E-05	/	8.43E-05
6	211 车间操作人 员	5.25E-02	6.70E-04	/	/	5.32E-02

	211 车间包装、 转运人员	/	/	8.43E-05	/	8.43E-05
7	210 车间操作人 员	5.20E-02	1.17E-05	/	/	5.20E-02
	210 车间包装、 转运人员	/	/	1.06E-01	/	1.06E-01
8	212 车间操作人 员	5.20E-02	1.24E-05	/	/	5.20E-02
	212 车间包装、 转运人员	/	/	1.06E-01	/	1.06E-01
10	质检中心辐射 工作人员	0.68	0.065	/	/	0.75
11	放射性药物成 品库工作人员	0.335	/	/	/	3.35E-01
12	放射性物料间 工作人员	0.14	/	/	/	1.40E-01
13	放射性药物运 输人员	/	/	/	1.185	1.19

根据上表分析，本项目运行后，职业人员最大受照剂量为 1.91mSv/a，满足本项目 5mSv/a 剂量管理限值要求。

## (2) 辐射工作人员的叠加影响分析

本项目辐射工作人员总受照剂量最大为 3.11mSv/a，满足职业人员 5mSv/a 剂量管理限值要求。

### 5.2.2.6 放射性废物暂存影响分析

本项目放射性药物生产线和质检中心产生的放射性废物拟采用位于地下一层的放射性废物暂存间地坑收集暂存，放射性废物暂存间一、二的墙体为 24cm 实心砖墙 +1mm 铅当量的硫酸钡水泥，建筑外墙部分为 300cm 混凝土，顶板均为 150mm 厚钢筋混凝土，库门均为 5mmPb 防护门，楼下无房间。另外，按照本报告提出的剂量率控制目标值，固体放射性废物地坑顶盖外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu$ Sv/h。因此，再经实心砖墙和铅门屏蔽后，放射性废物暂存间墙体和防护门外 30cm 处的剂量率将低于 2.5 $\mu$ Sv/h。

## 5.2.2.7 放射性气溶胶所致职业人员照射剂量分析

本项目生产车间和质检中心所使用的热室和手套箱均为密闭环境，各工作箱单独设置排风系统进行排风，生产线工作箱正常运行时压力为 100Pa，质检中心手套箱和通风橱正常运行时压力保持在-50Pa 至-100Pa 之间，箱体内存散到车间内的放射性气溶胶量较少。但由于工作箱设有物料进出口、进风口等，类比同行业企业运行经验数据，生产车间用工作箱和质检研发用手套箱、生物安全柜等泄漏率取 0.1%，质检中心通风橱泄漏率取 1%，本次环评质检中心所有涉放工作箱的泄漏率均保守取 1%，逸散放射性气溶胶浓度见表 5.2.2-25。

表 5.2.2-25 生产车间及质检中心生产及使用核素时逸散至车间放射性气溶胶浓度

场所	操作核素	日挥发量 (Bq)	日泄漏量 (Bq)	操作间内体积 (m <sup>3</sup> )	逸散放射性气溶胶浓度 (Bq/m <sup>3</sup> )
207车间	<sup>18</sup> F	2.59E+08	2.59E+04	52.92	489.42
208车间	<sup>18</sup> F	2.59E+08	2.59E+04	52.92	489.42
206车间	<sup>64</sup> Cu	3.70E+06	3.70E+02	60.13	6.15
	<sup>89</sup> Zr	2.96E+06	2.96E+02		4.92
	<sup>68</sup> Ga	1.85E+07	1.85E+03		30.77
	<sup>177</sup> Lu	7.40E+07	7.40E+03		123.07
	<sup>161</sup> Tb	7.40E+07	7.40E+03		123.07
	<sup>203</sup> Pb	3.70E+05	3.70E+01		0.62
	<sup>212</sup> Pb	7.40E+05	7.40E+01		1.23
	<sup>225</sup> Ac	7.40E+04	7.40E+00		0.12
	<sup>18</sup> F	6.48E+07	6.48E+03		107.77
	<sup>211</sup> At	7.40E+05	7.40E+01		1.23
209车间	<sup>32</sup> P	2.22E+06	2.22E+02	80.61	3.69
	<sup>177</sup> Lu	1.48E+08	1.48E+04		183.60
211车间	<sup>161</sup> Tb	1.48E+08	1.48E+04	64.62	183.60
	<sup>177</sup> Lu	1.48E+08	1.48E+04		229.03
210车间	<sup>161</sup> Tb	1.48E+08	1.48E+04	66.90	229.03
	<sup>225</sup> Ac	7.40E+04	7.40E+00		0.11
212车间	<sup>212</sup> Pb	7.40E+05	7.40E+01	63.33	1.11
	<sup>225</sup> Ac	7.40E+04	7.40E+00		0.12
质检中心放化实验室 4	<sup>212</sup> Pb	7.40E+05	7.40E+01	33.21	1.17
质检中心放化实验室1、2、3	<sup>131</sup> I	1.85E+07	1.85E+04	80.28	557.06
	<sup>124</sup> I	1.85E+05	1.85E+02		2.30
	<sup>18</sup> F	2.96E+06	2.96E+03		36.87
	<sup>68</sup> Ga	7.40E+05	7.40E+02		9.22
	<sup>99m</sup> Tc	5.55E+05	5.55E+02		6.91

	<sup>89</sup> Sr	5.55E+06	5.55E+03		69.13
	<sup>177</sup> Lu	7.40E+05	7.40E+02		9.22
	<sup>161</sup> Tb	7.40E+05	7.40E+02		9.22
质检中心液相 仪器室	<sup>131</sup> I	7.40E+03	7.40E+00	36.68	0.20
	<sup>124</sup> I	7.40E+03	7.40E+00		0.20
	<sup>18</sup> F	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>68</sup> Ga	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>99m</sup> Tc	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>89</sup> Sr	7.40E+03	7.40E+00		0.20
	<sup>177</sup> Lu	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>161</sup> Tb	7.40E+02	7.40E-01		0.02
质检中心 仪器室4	<sup>131</sup> I	7.40E+03	7.40E+00	32.9	0.22
	<sup>124</sup> I	7.40E+03	7.40E+00		0.22
	<sup>18</sup> F	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>68</sup> Ga	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>99m</sup> Tc	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>89</sup> Sr	7.40E+03	7.40E+00		0.22
	<sup>177</sup> Lu	7.40E+02	7.40E-01		0.02
	<sup>161</sup> Tb	7.40E+02	7.40E-01		0.02
质检中心 仪器室2	<sup>131</sup> I	3.70E+02	3.70E-01	44.1	8.39E-03
	<sup>124</sup> I	3.70E+02	3.70E-01		8.39E-03
	<sup>18</sup> F	3.70E+01	3.70E-02		8.39E-04
	<sup>68</sup> Ga	3.70E+01	3.70E-02		8.39E-04
	<sup>99m</sup> Tc	3.70E+01	3.70E-02		8.39E-04
	<sup>89</sup> Sr	3.70E+02	3.70E-01		8.39E-03
	<sup>177</sup> Lu	3.70E+01	3.70E-02		8.39E-04
	<sup>161</sup> Tb	3.70E+01	3.70E-02		8.39E-04
质检中心 内毒素检查室	<sup>131</sup> I	14800	1.48E+01	24.92	5.94E-01
	<sup>124</sup> I	14800	1.48E+01		5.94E-01
	<sup>18</sup> F	1480	1.48E+00		5.94E-02
	<sup>68</sup> Ga	1480	1.48E+00		5.94E-02
	<sup>99m</sup> Tc	1480	1.48E+00		5.94E-02
	<sup>89</sup> Sr	14800	1.48E+01		5.94E-01
	<sup>177</sup> Lu	1480	1.48E+00		5.94E-02
	<sup>161</sup> Tb	1480	1.48E+00		5.94E-02
质检中心 无菌检查室/ 微生物限度室	<sup>131</sup> I	14800	1.48E+01	33.74	4.39E-01
	<sup>124</sup> I	14800	1.48E+01		4.39E-01
	<sup>18</sup> F	1480	1.48E+00		4.39E-02
	<sup>68</sup> Ga	1480	1.48E+00		4.39E-02
	<sup>99m</sup> Tc	1480	1.48E+00		4.39E-02
	<sup>89</sup> Sr	14800	1.48E+01		4.39E-01
	<sup>177</sup> Lu	1480	1.48E+00		4.39E-02
	<sup>161</sup> Tb	1480	1.48E+00		4.39E-02

## ①放射性废气所致内照射剂量估算模式

$$E_{\alpha} = \sum_i e_i \cdot R \cdot C_i \cdot t \dots\dots\dots \text{式5.2-9}$$

## ②放射性废气所致浸没外照射剂量估算模式

$$E_{\beta} = \sum_i D_{\alpha} C_i t \dots\dots\dots \text{式5.2-10}$$

根据项目放射性气溶胶源强，按照上述两个公式计算，本项目气溶胶所致吸入剂量估算结果见下表。

表 5.2-26 生产车间及质检中心放射性气溶胶所致年受照剂量计算表

生产线	操作核素	职业人员年工作时间 (h/a)	吸入内照射	空气浸没外照射	剂量合计 (mSv/a)
			所致年有效剂量 (mSv/a)	所致年有效剂量 (mSv/a)	
207 车间	<sup>18</sup> F	2000	8.19E-02	1.16E-01	1.98E-01
208 车间	<sup>18</sup> F	2000	8.19E-02	1.16E-01	1.98E-01
206 车间	<sup>64</sup> Cu	200	2.22E-04	3.71E-05	0.30 (每年最多生产3种核药)
	<sup>89</sup> Zr	200	8.86E-04	1.86E-04	
	<sup>68</sup> Ga	200	5.98E-04	9.79E-04	
	<sup>177</sup> Lu	200	3.25E-02	1.44E-04	
	<sup>161</sup> Tb	200	3.54E-02	8.38E-05	
	<sup>203</sup> Pb	200	2.36E-05	5.45E-06	
	<sup>212</sup> Pb	200	9.75E-03	5.20E-06	
	<sup>225</sup> Ac	200	2.33E-01	4.71E-08	
	<sup>18</sup> F	200	2.41E-03	3.41E-03	
	<sup>211</sup> At	200	3.25E-02	9.39E-07	
209 车间	<sup>177</sup> Lu	1000	2.42E-01	1.07E-03	1.07E-03
	<sup>161</sup> Tb	1000	2.64E-01	6.25E-04	
211 车间	<sup>177</sup> Lu	1000	3.02E-01	1.34E-03	1.34E-03
	<sup>161</sup> Tb	1000	3.30E-01	7.80E-04	
210 车间	<sup>225</sup> Ac	1000	1.05E+00	2.12E-07	2.34E-05
	<sup>212</sup> Pb	1000	4.38E-02	2.34E-05	
212 车间	<sup>225</sup> Ac	1000	1.11E+00	2.24E-07	2.47E-05
	<sup>212</sup> Pb	1000	4.63E-02	2.47E-05	
质检中心放射实验室4	<sup>131</sup> I	66.66	4.90E-01	2.26E-03	0.65
质检中心放射实验室1、2、3	<sup>124</sup> I	593.34	1.03E-02	2.51E-04	
	<sup>18</sup> F	593.34	2.44E-03	3.47E-03	
	<sup>68</sup> Ga	593.34	5.32E-04	8.70E-04	

生产线	操作核素	职业人员年工作时间 (h/a)	吸入内照射	空气浸没外照射	剂量合计 (mSv/a)
			所致年有效剂量 (mSv/a)	所致年有效剂量 (mSv/a)	
	<sup>99m</sup> Tc	593.34	9.84E-05	7.59E-05	
	<sup>89</sup> Sr	593.34	6.89E-02	2.58E-04	
	<sup>177</sup> Lu	593.34	7.22E-03	3.19E-05	
	<sup>161</sup> Tb	593.34	7.88E-03	1.86E-05	
质检中心液相仪器室	<sup>131</sup> I	1253.34	3.34E-03	1.54E-05	
	<sup>124</sup> I	1253.34	1.91E-03	4.64E-05	
	<sup>18</sup> F	1253.34	2.82E-06	4.01E-06	
	<sup>68</sup> Ga	1253.34	2.46E-06	4.02E-06	
	<sup>99m</sup> Tc	1253.34	6.07E-07	4.68E-07	
	<sup>89</sup> Sr	1253.34	4.25E-04	1.59E-06	
	<sup>177</sup> Lu	1253.34	3.34E-05	1.47E-07	
	<sup>161</sup> Tb	1253.34	3.64E-05	8.61E-08	
质检中心仪器室4	<sup>131</sup> I	940	2.79E-03	1.29E-05	
	<sup>124</sup> I	940	1.60E-03	3.88E-05	
	<sup>18</sup> F	940	2.36E-06	3.35E-06	
	<sup>68</sup> Ga	940	2.06E-06	3.36E-06	
	<sup>99m</sup> Tc	940	5.07E-07	3.91E-07	
	<sup>89</sup> Sr	940	3.55E-04	1.33E-06	
	<sup>177</sup> Lu	940	2.79E-05	1.23E-07	
	<sup>161</sup> Tb	940	3.04E-05	7.20E-08	
质检中心仪器室2	<sup>131</sup> I	313.33	3.47E-05	1.60E-07	
	<sup>124</sup> I	313.33	1.99E-05	4.83E-07	
	<sup>18</sup> F	313.33	2.93E-08	4.16E-08	
	<sup>68</sup> Ga	313.33	2.56E-08	4.18E-08	
	<sup>99m</sup> Tc	313.33	6.31E-09	4.86E-09	
	<sup>89</sup> Sr	313.33	4.42E-06	1.66E-08	
	<sup>177</sup> Lu	313.33	3.47E-07	1.53E-09	
	<sup>161</sup> Tb	313.33	3.79E-07	8.95E-10	
质检中心内毒素检查室	<sup>131</sup> I	1880	1.47E-02	6.79E-05	
	<sup>124</sup> I	1880	8.44E-03	2.05E-04	
	<sup>18</sup> F	1880	1.25E-05	1.77E-05	
	<sup>68</sup> Ga	1880	1.09E-05	1.78E-05	
	<sup>99m</sup> Tc	1880	2.68E-06	2.07E-06	
	<sup>89</sup> Sr	1880	1.88E-03	7.03E-06	
	<sup>177</sup> Lu	1880	1.47E-04	6.51E-07	
	<sup>161</sup> Tb	1880	1.61E-04	3.80E-07	
质检中心无菌检查	<sup>131</sup> I	1880	1.09E-02	5.02E-05	
	<sup>124</sup> I	1880	6.23E-03	1.51E-04	

生产线	操作核素	职业人员年工作时间 (h/a)	吸入内照射	空气浸没外照射	剂量合计 (mSv/a)
			所致年有效剂量 (mSv/a)	所致年有效剂量 (mSv/a)	
室/微生物 限度室	$^{18}\text{F}$	1880	9.20E-06	1.31E-05	
	$^{68}\text{Ga}$	1880	8.02E-06	1.31E-05	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1880	1.98E-06	1.53E-06	
	$^{89}\text{Sr}$	1880	1.39E-03	5.20E-06	
	$^{177}\text{Lu}$	1880	1.09E-04	4.81E-07	
	$^{161}\text{Tb}$	1880	1.19E-04	2.81E-07	

表 5.2.2-26 生产车间及质检中心放射性气溶胶所致单人年受照剂量

生产线	个人剂量合计 (mSv/a)
207车间	9.90E-02
208车间	9.90E-02
206车间	1.50E-01
209车间	5.35E-04
211车间	6.70E-04
210车间	1.17E-05
212车间	1.24E-05
质检中心	6.50E-02

### 5.2.3 项目运行期对公众辐射环境影响

本项目2号楼为放射性工作场所，正常营运期间禁止无关人员进入，故整个2号楼基本为职业照射。本项目位于双流工业集中发展区第六期内，根据现场踏勘及调查，评价范围内主要为工业企业和规划空地，范围内公众主要为园区内各企事业单位的工作人员，其饮食主要来自评价范围外的区域，饮用水取自市政供水管网供应。因此，本评价不考虑食入、饮水造成的食入内照射途径。

针对公众的受照剂量分析对于距离本项目50m以内的公众主要考虑 $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射和放射性气载流出物所致辐射影响；对于距离本项目50m以外的公众， $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射影响很小，可以忽略，所以主要考虑放射性气载流出物所致辐射影响。放射性气载流出物所致辐射影响主要以烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气造成的内照射途径为主。

#### 1、放射性气载流出物所致辐射影响

##### (1) 放射性废气源项

项目正常工况下，排放的放射性废气汇总如下。

表5.2.3-1 放射性废气排放源项表

场所		核素	年排放量 (Bq/a)	年排放时间 (h) *1	排气筒	排放口高度 (m)	排放速率 (Bq/s)
207车间	药物生产	$^{18}\text{F}$	6.48E+08	2000	#2 排气筒	27	89.93
208车间	药物生产	$^{18}\text{F}$	6.48E+08	2000			89.93
206车间	药物生产	$^{211}\text{At}$	2.22E+05	600	#3 排气筒	27	0.10
209车间	药物生产	$^{177}\text{Lu}$	3.70E+08	1000	#3 排气筒	27	102.78
211车间	药物生产	$^{225}\text{Ac}$	1.85E+05	1000	#3 排气筒	27	0.05
210车间	药物生产	$^{161}\text{Tb}$	3.70E+08	1000	#3 排气筒	27	102.78
212车间	药物生产	$^{212}\text{Pb}$	1.85E+06	1000	#1 排气筒	27	0.51
质检中心		$^{131}\text{I}$	7.40E+07	1253.3	#1~#3 排气筒	27	16.40
		$^{89}\text{Sr}$	5.55E+06	1253.3			1.23

\*注：质检中心各核素废气的排放速率为各工作箱体和检测设备排放速率之和，质检中心放射性废气排放时间保守考虑单年在放化实验室操作所有核素的时间的2倍，因其余检测项所需核素活度远小于放化实验室检测项的活度。

##### (2) 预测结果与分析

距排气筒不同距离处地面放射性核素活度浓度及受照剂量计算结果见表5.2.2-4~表5.2.2-9。

表5.2.3-4 距排气筒不同距离处敏感目标地面放射性核素浓度计算结果表

敏感目标	#3 排气筒	#2 排气筒	#2 排气筒	#3 排气筒	#3 排气筒	#3 排气筒	#1 排气筒	#1-#3 排气筒		
	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		
	地面放射性核素浓度 (Bq/m <sup>3</sup> )									
	<sup>211</sup> At	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都惠融、惠友工程机械设备 有限公司	1.73E-04	1.52E-01	1.52E-01	1.73E-01	8.66E-05	1.73E-01	8.66E-04	2.76E-02	2.07E-03	
成都青山利康药业股份有限 公司	1.58E-05	1.42E-02	1.42E-02	1.63E-02	7.91E-06	1.63E-02	8.07E-05	2.60E-03	1.95E-04	
成都市消防救援支队重型机 械工程救援大队、西南地区 (成都) 进口消防车辆装备维 修中心	1.66E-05	1.50E-02	1.50E-02	1.71E-02	8.32E-06	1.71E-02	8.48E-05	2.73E-03	2.05E-04	
成都迈斯拓新能源润滑材料 股份有限公司	7.96E-06	7.16E-03	7.16E-03	8.19E-03	3.98E-06	8.19E-03	4.06E-05	1.31E-03	9.80E-05	
四川苏克流体控制设备股份 有限公司	1.73E-04	1.52E-01	1.52E-01	1.73E-01	8.66E-05	1.73E-01	8.66E-04	2.76E-02	2.07E-03	
在建厂房	8.37E-06	7.53E-03	7.53E-03	8.61E-03	4.19E-06	8.61E-03	4.27E-05	1.37E-03	1.03E-04	
成都实好电器有限公司	3.66E-06	3.29E-03	3.29E-03	3.76E-03	1.83E-06	3.76E-03	1.87E-05	6.00E-04	4.50E-05	
成都宏华太阳能技术开发有 限公司	3.04E-06	2.73E-03	2.73E-03	3.12E-03	1.52E-06	3.12E-03	1.55E-05	4.98E-04	3.73E-05	
四川国纳科技有限公司	8.70E-06	7.83E-03	7.83E-03	8.95E-03	4.35E-06	8.95E-03	4.44E-05	1.43E-03	1.07E-04	
成都新连通低温设备有限公 司	3.31E-06	2.98E-03	2.98E-03	3.41E-03	1.66E-06	3.41E-03	1.69E-05	5.43E-04	4.08E-05	
四川神工钨钢刀具有限公司	4.44E-06	3.99E-03	3.99E-03	4.56E-03	2.22E-06	4.56E-03	2.26E-05	7.28E-04	5.46E-05	
四川荣乐化妆品有限公司	1.73E-04	1.52E-01	1.52E-01	1.73E-01	8.66E-05	1.73E-01	8.66E-04	2.76E-02	2.07E-03	
在建厂房(楚北生产制造基	1.73E-04	1.52E-01	1.52E-01	1.73E-01	8.66E-05	1.73E-01	8.66E-04	2.76E-02	2.07E-03	

敏感目标	#3 排气筒	#2 排气筒	#2 排气筒	#3 排气筒	#3 排气筒	#3 排气筒	#1 排气筒	#1~#3 排气筒		
	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		
	地面放射性核素浓度 (Bq/m <sup>3</sup> )									
	<sup>211</sup> At	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
地)										
四川金瑞气体有限公司	4.66E-06	4.19E-03	4.19E-03	4.79E-03	2.33E-06	4.79E-03	2.38E-05	7.64E-04	5.73E-05	
成都市涉案财物管理中心	9.30E-06	8.37E-03	8.37E-03	9.56E-03	4.65E-06	9.56E-03	4.74E-05	1.53E-03	1.14E-04	
成都聚广科技有限责任公司、 四川昌禄建设工程检测有限公司、 成都惠安云科技有限公司、 成都时时印务有限公司、 成都博图机电设备有限公司、 成都航图精信科技有限公司 等	5.24E-06	4.71E-03	4.71E-03	5.38E-03	2.62E-06	5.38E-03	2.67E-05	8.59E-04	6.44E-05	
四川飞宇电力股份有限公司、 四川飞宇电气有限公司	3.87E-06	3.48E-03	3.48E-03	3.98E-03	1.94E-06	3.98E-03	1.98E-05	6.35E-04	4.76E-05	
成都远东电气	2.84E-06	2.55E-03	2.55E-03	2.92E-03	1.42E-06	2.92E-03	1.45E-05	4.66E-04	3.49E-05	
成都科杰新能源有限责任公司	3.22E-06	2.89E-03	2.89E-03	3.31E-03	1.61E-06	3.31E-03	1.64E-05	5.27E-04	3.96E-05	
成都伊耐克新能源有限公司	2.62E-06	2.36E-03	2.36E-03	2.69E-03	1.31E-06	2.69E-03	1.34E-05	4.30E-04	3.22E-05	
长埂社区 3 组居民	4.70E-06	4.23E-03	4.23E-03	4.83E-03	2.35E-06	4.83E-03	2.40E-05	7.71E-04	5.78E-05	
双流公兴仓库	4.21E-06	3.79E-03	3.79E-03	4.33E-03	2.11E-06	4.33E-03	2.15E-05	6.91E-04	5.18E-05	
四川睿悦门窗有限公司	3.80E-06	3.41E-03	3.41E-03	3.90E-03	1.90E-06	3.90E-03	1.94E-05	6.22E-04	4.67E-05	
成都市丹炉高温科技有限责任公司	5.37E-06	4.83E-03	4.83E-03	5.52E-03	2.68E-06	5.52E-03	2.74E-05	8.80E-04	6.60E-05	
上海辽申幕墙工程有限公司	2.55E-06	2.29E-03	2.29E-03	2.62E-03	1.27E-06	2.62E-03	1.30E-05	4.17E-04	3.13E-05	
欣科厂区内质检大楼	1.73E-04	1.52E-01	1.52E-01	1.73E-01	8.66E-05	1.73E-01	8.66E-04	2.76E-02	2.07E-03	

表5.2.3-5 距排气筒不同距离处敏感目标地面沉积外照射所致剂量计算结果表

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	地面沉积外照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都惠融、惠友工程机械设备 有限公司	2.28E-20	1.62E-16	1.62E-16	6.09E-16	1.56E-19	5.15E-16	7.53E-19	1.20E-15	1.74E-16	2.83E-15
成都青山利康药业股份有限 公司	2.08E-21	1.52E-17	1.52E-17	5.71E-17	1.43E-20	4.84E-17	7.02E-20	1.13E-16	1.63E-17	2.65E-16
成都市消防救援支队重型机 械工程救援大队、西南地区 (成都)进口消防车装备 维修中心	2.19E-21	1.60E-17	1.60E-17	6.01E-17	1.50E-20	5.08E-17	7.38E-20	1.19E-16	1.71E-17	2.79E-16
成都迈斯拓新能源润滑材料 股份有限公司	1.05E-21	7.65E-18	7.65E-18	2.88E-17	7.19E-21	2.44E-17	3.53E-20	5.69E-17	8.20E-18	1.34E-16
四川苏克流体控制设备股份 有限公司	2.28E-20	1.62E-16	1.62E-16	6.09E-16	1.56E-19	5.15E-16	7.53E-19	1.20E-15	1.74E-16	2.83E-15
在建厂房	1.10E-21	8.05E-18	8.05E-18	3.02E-17	7.56E-21	2.56E-17	3.72E-20	5.98E-17	8.63E-18	1.40E-16
成都实好电器有限公司	4.82E-22	3.52E-18	3.52E-18	1.32E-17	3.31E-21	1.12E-17	1.62E-20	2.62E-17	3.77E-18	6.14E-17
成都宏华太阳能技术开发有 限公司	4.00E-22	2.92E-18	2.92E-18	1.10E-17	2.74E-21	9.28E-18	1.35E-20	2.17E-17	3.13E-18	5.09E-17
四川国纳科技有限公司	1.15E-21	8.36E-18	8.36E-18	3.14E-17	7.86E-21	2.66E-17	3.86E-20	6.22E-17	8.97E-18	1.46E-16
成都新连通低温设备有限公 司	4.36E-22	3.18E-18	3.18E-18	1.20E-17	2.99E-21	1.01E-17	1.47E-20	2.37E-17	3.41E-18	5.56E-17
四川神工钨钢刀具有限公司	5.84E-22	4.26E-18	4.26E-18	1.60E-17	4.01E-21	1.36E-17	1.97E-20	3.17E-17	4.57E-18	7.44E-17
四川荣乐化妆品有限公司	2.28E-20	1.62E-16	1.62E-16	6.09E-16	1.56E-19	5.15E-16	7.53E-19	1.20E-15	1.74E-16	2.83E-15
在建厂房(楚北生产制造基 地)	2.28E-20	1.62E-16	1.62E-16	6.09E-16	1.56E-19	5.15E-16	7.53E-19	1.20E-15	1.74E-16	2.83E-15
四川金瑞气体有限公司	6.13E-22	4.48E-18	4.48E-18	1.68E-17	4.21E-21	1.42E-17	2.07E-20	3.33E-17	4.80E-18	7.81E-17

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	地面沉积外照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>19</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都市涉案财物管理中心	1.22E-21	8.94E-18	8.94E-18	3.36E-17	8.40E-21	2.84E-17	4.13E-20	6.65E-17	9.58E-18	1.56E-16
成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等	6.89E-22	5.03E-18	5.03E-18	1.89E-17	4.73E-21	1.60E-17	2.32E-20	3.74E-17	5.40E-18	8.78E-17
四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	5.10E-22	3.72E-18	3.72E-18	1.40E-17	3.50E-21	1.18E-17	1.72E-20	2.77E-17	3.99E-18	6.50E-17
成都远东电气	3.74E-22	2.73E-18	2.73E-18	1.03E-17	2.57E-21	8.68E-18	1.26E-20	2.03E-17	2.93E-18	4.76E-17
成都科杰新能源有限责任公司	4.23E-22	3.09E-18	3.09E-18	1.16E-17	2.90E-21	9.83E-18	1.43E-20	2.30E-17	3.31E-18	5.39E-17
成都伊耐克新能源有限公司	3.45E-22	2.52E-18	2.52E-18	9.47E-18	2.37E-21	8.01E-18	1.16E-20	1.87E-17	2.70E-18	4.40E-17
长埂社区 3 组居民	6.19E-22	4.52E-18	4.52E-18	1.70E-17	4.25E-21	1.44E-17	2.09E-20	3.36E-17	4.84E-18	7.89E-17
双流公兴仓库	5.54E-22	4.05E-18	4.05E-18	1.52E-17	3.80E-21	1.29E-17	1.87E-20	3.01E-17	4.34E-18	7.06E-17
四川睿悦门窗有限公司	5.00E-22	3.65E-18	3.65E-18	1.37E-17	3.43E-21	1.16E-17	1.68E-20	2.71E-17	3.91E-18	6.37E-17
成都市丹炉高温科技有限责任公司	7.06E-22	5.16E-18	5.16E-18	1.94E-17	4.85E-21	1.64E-17	2.38E-20	3.83E-17	5.53E-18	9.00E-17
上海辽申幕墙工程有限公司	3.35E-22	2.45E-18	2.45E-18	9.19E-18	2.30E-21	7.78E-18	1.13E-20	1.82E-17	2.62E-18	4.27E-17
欣科厂区内质检大楼	2.28E-20	1.62E-16	1.62E-16	6.09E-16	1.56E-19	5.15E-16	7.53E-19	1.20E-15	1.74E-16	2.83E-15

表5.2.3-6 距排气筒不同距离处敏感目标吸入内照射所致剂量计算结果表

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	吸入内照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>19</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	吸入内照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>19</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都惠融、惠友工程机械设备 有限公司	2.00E-04	1.48E-04	1.48E-04	2.00E-03	7.19E-03	2.18E-03	3.00E-04	3.20E-03	3.05E-05	1.54E-02
成都青山利康药业股份有限 公司	1.83E-05	1.39E-05	1.39E-05	1.88E-04	6.57E-04	2.05E-04	2.80E-05	3.00E-04	2.86E-06	1.43E-03
成都市消防救援支队重型机 械工程救援大队、西南地区 (成都)进口消防车辆装备 维修中心	1.92E-05	1.46E-05	1.46E-05	1.98E-04	6.91E-04	2.16E-04	2.94E-05	3.15E-04	3.01E-06	1.50E-03
成都迈斯拓新能源润滑材料 股份有限公司	9.21E-06	7.00E-06	7.00E-06	9.47E-05	3.31E-04	1.03E-04	1.41E-05	1.51E-04	1.44E-06	7.18E-04
四川苏克流体控制设备股份 有限公司	2.00E-04	1.48E-04	1.48E-04	2.00E-03	7.19E-03	2.18E-03	3.00E-04	3.20E-03	3.05E-05	1.54E-02
在建厂房	9.68E-06	7.36E-06	7.36E-06	9.95E-05	3.48E-04	1.09E-04	1.48E-05	1.59E-04	1.52E-06	7.55E-04
成都实好电器有限公司	4.23E-06	3.22E-06	3.22E-06	4.35E-05	1.52E-04	4.75E-05	6.48E-06	6.94E-05	6.63E-07	3.30E-04
成都宏华太阳能技术开发有 限公司	3.51E-06	2.67E-06	2.67E-06	3.61E-05	1.26E-04	3.94E-05	5.37E-06	5.76E-05	5.49E-07	2.74E-04
四川国纳科技有限公司	1.01E-05	7.65E-06	7.65E-06	1.03E-04	3.61E-04	1.13E-04	1.54E-05	1.65E-04	1.58E-06	7.85E-04
成都新连通低温设备有限公 司	3.83E-06	2.91E-06	2.91E-06	3.94E-05	1.38E-04	4.30E-05	5.86E-06	6.28E-05	6.00E-07	2.99E-04
四川神工钨钢刀具有限公司	5.13E-06	3.90E-06	3.90E-06	5.27E-05	1.84E-04	5.75E-05	7.85E-06	8.41E-05	8.03E-07	4.00E-04
四川荣乐化妆品有限公司	2.00E-04	1.48E-04	1.48E-04	2.00E-03	7.19E-03	2.18E-03	3.00E-04	3.20E-03	3.05E-05	1.54E-02
在建厂房(楚北生产制造基 地)	2.00E-04	1.48E-04	1.48E-04	2.00E-03	7.19E-03	2.18E-03	3.00E-04	3.20E-03	3.05E-05	1.54E-02
四川金瑞气体有限公司	5.39E-06	4.10E-06	4.10E-06	5.54E-05	1.93E-04	6.04E-05	8.24E-06	8.84E-05	8.43E-07	4.20E-04
成都市涉案财物管理中心	1.08E-05	8.18E-06	8.18E-06	1.11E-04	3.86E-04	1.21E-04	1.65E-05	1.76E-04	1.68E-06	8.39E-04

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	吸入内照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等	6.06E-06	4.60E-06	4.60E-06	6.22E-05	2.17E-04	6.79E-05	9.27E-06	9.93E-05	9.48E-07	4.72E-04
四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	4.48E-06	3.41E-06	3.41E-06	4.60E-05	1.61E-04	5.02E-05	6.85E-06	7.35E-05	7.01E-07	3.49E-04
成都远东电气	3.28E-06	2.50E-06	2.50E-06	3.38E-05	1.18E-04	3.68E-05	5.03E-06	5.39E-05	5.14E-07	2.56E-04
成都科杰新能源有限责任公司	3.72E-06	2.83E-06	2.83E-06	3.82E-05	1.34E-04	4.17E-05	5.69E-06	6.10E-05	5.82E-07	2.90E-04
成都伊耐克新能源有限公司	3.03E-06	2.30E-06	2.30E-06	3.12E-05	1.09E-04	3.40E-05	4.64E-06	4.97E-05	4.74E-07	2.36E-04
长埂社区 3 组居民	5.44E-06	4.13E-06	4.13E-06	5.59E-05	1.95E-04	6.10E-05	8.32E-06	8.92E-05	8.51E-07	4.24E-04
双流公兴仓库	4.87E-06	3.70E-06	3.70E-06	5.00E-05	1.75E-04	5.46E-05	7.45E-06	7.99E-05	7.62E-07	3.80E-04
四川睿悦门窗有限公司	4.39E-06	3.34E-06	3.34E-06	4.51E-05	1.58E-04	4.92E-05	6.72E-06	7.20E-05	6.87E-07	3.42E-04
成都市丹炉高温科技有限责任公司	6.21E-06	4.72E-06	4.72E-06	6.38E-05	2.23E-04	6.96E-05	9.49E-06	1.02E-04	9.71E-07	4.84E-04
上海辽申幕墙工程有限公司	2.94E-06	2.24E-06	2.24E-06	3.03E-05	1.06E-04	3.30E-05	4.50E-06	4.83E-05	4.61E-07	2.30E-04
欣科厂区内质检大楼	2.00E-04	1.48E-04	1.48E-04	2.00E-03	7.19E-03	2.18E-03	3.00E-04	3.20E-03	3.05E-05	1.54E-02

表5.2.3-7 距排气筒不同距离处敏感目标烟云浸没外照射所致剂量计算结果表

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	烟云浸没外照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	烟云浸没外照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>19</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都惠融、惠友工程机械设备 有限公司	5.78E-09	2.10E-04	2.10E-04	8.84E-06	1.45E-09	5.16E-06	1.60E-07	1.47E-05	1.14E-07	4.49E-04
成都青山利康药业股份有限 公司	5.28E-10	1.97E-05	1.97E-05	8.30E-07	1.33E-10	4.85E-07	1.49E-08	1.38E-06	1.07E-08	4.22E-05
成都市消防救援支队重型机 械工程救援大队、西南地区 (成都)进口消防车辆装备 维修中心	5.55E-10	2.07E-05	2.07E-05	8.72E-07	1.39E-10	5.09E-07	1.57E-08	1.45E-06	1.13E-08	4.43E-05
成都迈斯拓新能源润滑材料 股份有限公司	2.66E-10	9.93E-06	9.93E-06	4.18E-07	6.67E-11	2.44E-07	7.51E-09	6.95E-07	5.40E-09	2.12E-05
四川苏克流体控制设备股份 有限公司	5.78E-09	2.10E-04	2.10E-04	8.84E-06	1.45E-09	5.16E-06	1.60E-07	1.47E-05	1.14E-07	4.49E-04
在建厂房	2.80E-10	1.04E-05	1.04E-05	4.39E-07	7.02E-11	2.56E-07	7.90E-09	7.31E-07	5.68E-09	2.23E-05
成都实好电器有限公司	1.22E-10	4.56E-06	4.56E-06	1.92E-07	3.07E-11	1.12E-07	3.45E-09	3.20E-07	2.48E-09	9.76E-06
成都宏华太阳能技术开发有 限公司	1.01E-10	3.78E-06	3.78E-06	1.59E-07	2.54E-11	9.30E-08	2.86E-09	2.65E-07	2.06E-09	8.09E-06
四川国纳科技有限公司	2.91E-10	1.08E-05	1.08E-05	4.57E-07	7.29E-11	2.67E-07	8.21E-09	7.60E-07	5.90E-09	2.32E-05
成都新连通低温设备有限公 司	1.11E-10	4.13E-06	4.13E-06	1.74E-07	2.78E-11	1.01E-07	3.12E-09	2.89E-07	2.25E-09	8.83E-06
四川神工钨钢刀具有限公司	1.48E-10	5.53E-06	5.53E-06	2.33E-07	3.72E-11	1.36E-07	4.18E-09	3.87E-07	3.01E-09	1.18E-05
四川荣乐化妆品有限公司	5.78E-09	2.10E-04	2.10E-04	8.84E-06	1.45E-09	5.16E-06	1.60E-07	1.47E-05	1.14E-07	4.49E-04
在建厂房(楚北生产制造基 地)	5.78E-09	2.10E-04	2.10E-04	8.84E-06	1.45E-09	5.16E-06	1.60E-07	1.47E-05	1.14E-07	4.49E-04
四川金瑞气体有限公司	1.56E-10	5.81E-06	5.81E-06	2.44E-07	3.90E-11	1.43E-07	4.39E-09	4.07E-07	3.16E-09	1.24E-05
成都市涉案财物管理中心	3.11E-10	1.16E-05	1.16E-05	4.88E-07	7.79E-11	2.85E-07	8.77E-09	8.12E-07	6.31E-09	2.48E-05

敏感目标	206 车间	207 车间	208 车间	209 车间	210 车间	211 车间	212 车间	质检中心		合计剂量 (mSv/a)
	烟云浸没外照射所致剂量 (mSv/a)									
	<sup>211</sup> At	<sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	<sup>177</sup> Lu	<sup>225</sup> Ac	<sup>161</sup> Tb	<sup>212</sup> Pb	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	
成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等	1.75E-10	6.53E-06	6.53E-06	2.75E-07	4.39E-11	1.60E-07	4.94E-09	4.57E-07	3.55E-09	1.40E-05
四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	1.29E-10	4.83E-06	4.83E-06	2.03E-07	3.25E-11	1.19E-07	3.65E-09	3.38E-07	2.63E-09	1.03E-05
成都远东电气	9.48E-11	3.54E-06	3.54E-06	1.49E-07	2.38E-11	8.70E-08	2.68E-09	2.48E-07	1.93E-09	7.57E-06
成都科杰新能源有限责任公司	1.07E-10	4.01E-06	4.01E-06	1.69E-07	2.69E-11	9.85E-08	3.03E-09	2.81E-07	2.18E-09	8.57E-06
成都伊耐克新能源有限公司	8.75E-11	3.27E-06	3.27E-06	1.37E-07	2.20E-11	8.03E-08	2.47E-09	2.29E-07	1.78E-09	6.98E-06
长埂社区3组居民	1.57E-10	5.86E-06	5.86E-06	2.47E-07	3.94E-11	1.44E-07	4.43E-09	4.11E-07	3.19E-09	1.25E-05
双流公兴仓库	1.41E-10	5.25E-06	5.25E-06	2.21E-07	3.53E-11	1.29E-07	3.97E-09	3.68E-07	2.86E-09	1.12E-05
四川睿悦门窗有限公司	1.27E-10	4.73E-06	4.73E-06	1.99E-07	3.18E-11	1.16E-07	3.58E-09	3.31E-07	2.57E-09	1.01E-05
成都市丹炉高温科技有限责任公司	1.79E-10	6.69E-06	6.69E-06	2.81E-07	4.50E-11	1.64E-07	5.06E-09	4.69E-07	3.64E-09	1.43E-05
上海辽申幕墙工程有限公司	8.50E-11	3.17E-06	3.17E-06	1.34E-07	2.13E-11	7.80E-08	2.40E-09	2.22E-07	1.73E-09	6.78E-06
欣科厂区内质检大楼	5.78E-09	2.10E-04	2.10E-04	8.84E-06	1.45E-09	5.16E-06	1.60E-07	1.47E-05	1.14E-07	4.49E-04

表5.2.3-8 距排气筒不同距离处敏感目标放射性废气所致剂量计算结果表（合计）

敏感目标	方位	与辐射源最近距离 (m)	地面沉积外照射 (mSv/a)	吸入内照射 (mSv/a)	烟云浸没外照射 (mSv/a)	合计 (mSv/a)
成都惠融、惠友工程机械设备有限公司	北侧	15	4.49E-04	1.54E-02	2.83E-15	1.59E-02
成都青山利康药业股份有限公司	东侧	115	4.22E-05	1.43E-03	2.65E-16	1.47E-03
成都市消防救援支队重型机械工程救援大队、西南地区（成都）进口消防车辆装备维修中心	东南侧	110	4.43E-05	1.50E-03	2.79E-16	1.54E-03
成都迈斯拓新能源润滑材料股份有限公司	南侧	205	2.12E-05	7.18E-04	1.34E-16	7.40E-04
四川苏克流体控制设备股份有限公司	西南侧	70	4.49E-04	1.54E-02	2.83E-15	1.59E-02
在建厂房	西南侧	197	2.23E-05	7.55E-04	1.40E-16	7.78E-04
成都实好电器有限公司	西南侧	364	9.76E-06	3.30E-04	6.14E-17	3.40E-04
成都宏华太阳能技术开发有限公司	西南侧	414	8.09E-06	2.74E-04	5.09E-17	2.82E-04
四川国纳科技有限公司	西南侧	191	2.32E-05	7.85E-04	1.46E-16	8.08E-04
成都新连通低温设备有限公司	西南侧	390	8.83E-06	2.99E-04	5.56E-17	3.08E-04
四川神工钨钢刀具有限公司	西侧	318	1.18E-05	4.00E-04	7.44E-17	4.12E-04
四川荣乐化妆品有限公司	西侧	68	4.49E-04	1.54E-02	2.83E-15	1.59E-02
楚北生产制造基地	西北侧	69	4.49E-04	1.54E-02	2.83E-15	1.59E-02
四川金瑞气体有限公司	西北侧	307	1.24E-05	4.20E-04	7.81E-17	4.33E-04
成都市涉案财物管理中心	北侧	181	2.48E-05	8.39E-04	1.56E-16	8.64E-04
成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等	西北侧	282	1.40E-05	4.72E-04	8.78E-17	4.86E-04
四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	西北侧	350	1.03E-05	3.49E-04	6.50E-17	3.60E-04
成都远东电气	西北侧	433	7.57E-06	2.56E-04	4.76E-17	2.64E-04

敏感目标	方位	与辐射源最近距离 (m)	地面沉积外照射 (mSv/a)	吸入内照射 (mSv/a)	烟云浸没外照射 (mSv/a)	合计 (mSv/a)
成都科杰新能源有限责任公司	西北侧	398	8.57E-06	2.90E-04	5.39E-17	2.99E-04
成都伊耐克新能源有限公司	北侧	457	6.98E-06	2.36E-04	4.40E-17	2.43E-04
长埂社区3组居民	东北侧	305	1.25E-05	4.24E-04	7.89E-17	4.37E-04
双流公兴仓库	东北侧	330	1.12E-05	3.80E-04	7.06E-17	3.91E-04
四川睿悦门窗有限公司	东北侧	355	1.01E-05	3.42E-04	6.37E-17	3.52E-04
成都市丹炉高温科技有限责任公司	东北侧	277	1.43E-05	4.84E-04	9.00E-17	4.98E-04
上海辽申幕墙工程有限公司	西南侧	466	6.78E-06	2.30E-04	4.27E-17	2.36E-04
欣科厂区内质检大楼	西南侧	18	4.49E-04	1.54E-02	2.83E-15	1.59E-02

## 2、 $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射

本项目主要考虑距离辐射场所100m以内的公众所受 $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射所致剂量，项目对100m以外的敏感目标的 $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射影响可以忽略不计，单台加速器年最大出束时间为2000h，每个车间的生产操作时间见表5.2.3-1，具体估算见表5.2.3-9。

表5.2.3-9 本项目对公众造成的贯穿外照射剂量估算一览表

保护目标名称	204 车间/214 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	206 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	207 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	208 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	209 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	210 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	211 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	212 车间屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	质检中心屏蔽体外最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	距离辐射源最近距离 (m)	所致照射剂量 (mSv/a)
成都惠融、惠友工程机械设备有限公司	8.91E-01	2.11	8.76E-02	8.76E-02	3.51E-10	3.51E-10	2.46	2.46	8.37	25	3.01E-02
四川苏克流体控制设备股份有限公司	8.91E-01	2.11	8.76E-02	8.76E-02	3.51E-10	3.51E-10	2.46	2.46	8.37	75	3.34E-03
四川荣乐化妆品有限公司	8.91E-01	2.11	8.76E-02	8.76E-02	3.51E-10	3.51E-10	2.46	2.46	8.37	73	3.53E-03
楚北生产制造基地	8.91E-01	2.11	8.76E-02	8.76E-02	3.51E-10	3.51E-10	2.46	2.46	8.37	74	3.43E-03
质检大楼工作人员	8.91E-01	2.11	8.76E-02	8.76E-02	3.51E-10	3.51E-10	2.46	2.46	8.37	18	5.81E-02

注：①加速器机房一和机房二不会同时使用；②质检中心屏蔽体外最大剂量率考虑每个检测项目都在进行，且为每个检测项目的最大剂量率之和。

综合考虑本项目 $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射、放射性气载流出物所致受照剂量及该公司前期核技术利用项目已评价内容所致受照剂量，公众所受剂量综合分析见表5.2.3-10。

## 2、公众受照剂量

根据现场监测结果，本项目验收范围内各环境保护目标处的 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率处于当地正常天然本底辐射水平，环境空气中总 $\beta$ 和碘-131活度浓度与环评时监测结果处于同一水平，因此，本项目试生产期间，未对厂区外公众造成明显的照射剂量。

由以上结论可知一期项目对周围公众的辐射影响可以忽略不计。

综合考虑本项目 $\gamma$ 射线/韧致辐射贯穿外照射、放射性气载流出物所致受照剂量及该公司一期验收监测结果和已评价内容所致受照剂量，公众所受剂量综合分析见表5.2.2-10。

表5.2.2-10 本项目对公众造成剂量综合分析

序号	保护目标名称	气载流出物所致剂量 (mSv/a)	贯穿外照射所致剂量 (mSv/a)	一期项目运行所致剂量 (mSv/a)	动物房及碳-14胶囊申报线改建项目所致剂量 (mSv/a)	合计 (mSv/a)
1	成都惠融、惠友工程机械设备有限公司	1.59E-02	3.01E-02	/	6.46E-03	5.25E-02
2	成都青山利康药业股份有限公司	1.47E-03	/	/	2.05E-02	2.20E-02
3	成都市消防救援支队重型机械工程救援大队、西南地区(成都)进口消防车辆装备维修中心	1.54E-03	/	/	2.62E-02	2.77E-02
4	成都迈斯拓新能源润滑材料股份有限公司	7.40E-04	/	/	5.56E-05	7.96E-04
5	四川苏克流体控制设备股份有限公司	1.59E-02	3.34E-03	/	8.86E-04	2.01E-02
6	在建厂房	7.78E-04	/	/	4.40E-05	8.22E-04
7	成都实好电器有限公司	3.40E-04	/	/	1.93E-05	3.59E-04
8	成都宏华太阳能技术开发有限公司	2.82E-04	/	/	1.60E-05	2.98E-04
9	四川国纳科技有限公司	8.08E-04	/	/	4.58E-05	8.54E-04
10	成都新连通低温设备有限公司	3.08E-04	/	/	1.74E-05	3.25E-04
11	四川神工钨钢刀具有限公司	4.12E-04	/	/	2.33E-05	4.35E-04
12	四川荣乐化妆品有限公司	1.59E-02	3.53E-03	/	8.84E-05	1.95E-02
13	楚北生产制造基地	1.59E-02	3.43E-03	/	8.84E-05	1.94E-02
14	四川金瑞气体有限公司	4.33E-04	/	/	2.45E-05	4.58E-04
15	成都市涉案财物管理中心	8.64E-04	/	/	4.89E-05	9.13E-04
16	成都聚广科技有限责任公司、四川昌禄建设工程检测有限公司、成都惠安云科技有限公司、成都时时印务有限公司、成都博图机电设备有限公司、成都航图精信科技有限公司等	4.86E-04	/	/	2.75E-05	5.14E-04

17	四川飞宇电力股份有限公司、四川飞宇电气有限公司	3.60E-04	/	/	2.04E-05	3.80E-04
18	成都远东电气	2.64E-04	/	/	1.49E-05	2.79E-04
19	成都科杰新能源有限责任公司	2.99E-04	/	/	1.69E-05	3.16E-04
20	成都伊耐克新能源有限公司	2.43E-04	/	/	1.38E-05	2.57E-04
21	长埂社区3组居民	4.37E-04	/	/	2.47E-05	4.62E-04
22	双流公兴仓库	3.91E-04	/	/	2.21E-05	4.13E-04
23	四川睿悦门窗有限公司	3.52E-04	/	/	2.00E-05	3.72E-04
24	成都市丹炉高温科技有限责任公司	4.98E-04	/	/	2.82E-05	5.26E-04
25	上海辽申幕墙工程有限公司	2.36E-04	/	/	1.77E-05	2.54E-04
26	欣科厂区内质检大楼	1.59E-02	5.81E-02	/	8.86E-04	7.49E-02

注：①“/”表示不考虑该类型辐射剂量；②动物房及碳-14胶囊申报线改建项目所致剂量建设内容所致剂量数据来自《欣科医药核技术产业基地动物房及碳-14胶囊申报线改建项目环境影响报告书》。

经计算，评价范围内，本项目运行过程对周围公众产生的年有效剂量最大为0.074mSv/a；同时考虑该公司一期和动物房及碳-14胶囊申报线改建项目已评价内容所致公众受照射剂量贡献值；经调查，本项目评价范围内无其他放射性核素相关企业，无其他放射性污染源，最终本项目评价范围内公众最大受照射剂量为0.074mSv/a，满足0.1mSv/a剂量管理限值。

#### 5.2.4 放射性废水环境影响分析

本项目放射性废水包括：回旋加速器检修维护期间产生的活化冷却废水、放射性药物合成（标记）、分装过程中产生的管路清洗废水，以及辐射工作人员在操作药物时发生药物撒漏等意外事件，造成手部及身体的污染，需要在去污间/淋浴间进行清洗或淋浴去污产生的少量含放射性核素的去污废水。项目回旋加速器检修维护期间产生的活化冷却废水，废水中放射性核素的半衰期不超过2min，冷却废水采用带铅屏蔽的废水收集桶单独收集，在加速器机房内暂存衰变超过30天后，经监测 $\beta$ 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 后排入园区污水管网。管路清洗废水盛装在塑料瓶里，置于铅容器内用推车运送到放射性固废间的地坑内存储，短半衰期（24h内）核素废水衰变超过30天后排入厂区污水管网，其他核素静置衰变10个半衰期后，经检测 $\alpha$ 活度浓度 $\leq 4\text{Bq/L}$ ， $\beta$ 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 后排入园区污水管网排入园区污水井，进入园区污水管网。辐射工作人员洗手、清洗等过程中可能产生的放射性废水，在洗手池下方安装约50L的容器收集，静置衰变后经监测达标后排入厂区污水管网；如突发药物撒漏等辐射事故造成人员大面积污染需进行淋浴去污，淋浴设备下方设置240L的废水收集容器，静置衰变后经监测达标后排入园区污水管网。

本项目在2号楼东侧新建埋地式衰变池，衰变池设置不锈钢3格并联衰变池，用

于收集暂存碘-131 容器清洗废水。废水排入衰变池后，暂存超过 180 天后，经泵提升至室外排水井，经厂区污水管排入园区污水管网。

综上，项目放射性废水对地表水环境影响很小。

### 5.2.5 放射性固体废物环境影响分析

根据《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020），本项目生产线和废气净化产生的放射性固体废物均属于可压缩/非感染性废物。

本项目合成、分装废液、质检废液采用专用容器分类收集后用转运车转运至放射性废物暂存间地坑内暂存衰变，对于所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天、所含核素半衰期24小时~18天的暂存时间超过核素最长半衰期的10倍（含碘-131核素的暂存超过180天），监测符合标准（总 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L）后作为危险废物（HW02 医药废物）交有资质单位处理；对于所含核素半衰期大于18天的放射性废液，达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。更换的废气处理废滤芯和活性炭在放射性废物间暂存解控后作为危险废物（HW49 其他废物）交有资质单位处理。

2 间放射性废物暂存间位于 2 号楼负一层，放射性固体废物经分类收集后转运至放射性废物暂存间内暂存衰变。各种废物均存放在地坑内，地坑顶部为 20mm 铅当量的铅盖，加上废物暂存间四周 37mm 的实心砖+1mm 铅当量的硫酸钡墙体和 150mm 钢筋混凝土顶板，并采用 5mm 铅防护门，因此，经过多重屏蔽防护后，项目产生的放射性固体废物对环境影响较小。

### 5.2.6 项目运行期非放射性环境影响

#### 5.2.6.1 非放射性废气环境影响

本项目非放射性废气主要来源于各生产线及实验室使用的氯化氢、硝酸、硫酸挥发产生的酸雾，以及使用有机化合物产生的挥发性有机物，由于单次用量极少，因此其产生量也较少，同时该非放射性废气经中效过滤器过滤后对环境的影响较小。

加速器在运行过程中因室内空气被连续辐照电离产生少量臭氧和二氧化氮，在连续辐照条件下，臭氧的饱和浓度为 $3.46 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ ，二氧化氮饱和浓度为 $1.73 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ ，远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 $0.3 \text{mg/m}^3$ ，二氧化氮的一小时平均浓度值 $5 \text{mg/m}^3$ 。

#### 5.2.6.2 非放射性废水环境影响

本项目运营期非放射性废水包括：非放工艺清洗废水、纯化水制备废水、准备室

洗手废水、以及工作人员生活污水，洁衣清洗废水，排入预处理池处理后排入园区污水管网，接入四川溪水合公兴污泥处理厂进行处理，处理达标后排入锦江，对地表水环境影响较小。

### 5.2.6.3 非放射性固体废物环境影响

本项目产生的生活垃圾、未沾染的一次性手套、衣服、鞋套、原料包装废材、产品包装废材（非放）等一般固废统一收集后，交由环卫部门统一收运处置。

本项目产生的危险废物主要包括质检过程中产生的废有机溶剂、废酸液等，未涉放射性的空化学试剂瓶和药瓶，未涉放射性房间的废气过滤装置产生的废活性炭和废过滤芯等。危险废物须交有资质单位进行处理。

采取上述措施后非放射性固体废物对环境的影响较小。

### 5.2.6.4 噪声环境影响

本项目生产及配套设施产生的噪声通过车间厂房隔声，针对净化空调机组和排风机噪声，主要采取安装消声器、减振和增加软管接头等措施减少噪声影响，采取以上措施后，项目运行噪声对厂界周围声环境影响较小。

## 5.3 事故影响分析

### 5.3.1 事故分级判断依据

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449号），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（Ⅰ级）、重大辐射事故（Ⅱ级）、较大辐射事故（Ⅲ级）和一般辐射事故（Ⅳ级）等四级，详见表5.3.1-1。

表5.3.1-1 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	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（Ⅱ级）	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（Ⅲ级）	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（Ⅳ级）	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。

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）急性放射病发生参考剂量见表5.3.1-2。

表5.3.1-2 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

## 5.3.2 辐射事故识别

本项目涉及 II 类射线装置、甲级非密封放射性物质工作场所、放射性物料库和药物成品库，营运期间可能存在的辐射事故风险隐患如下表。

表5.3.2-1 项目环境风险和潜在危害及事故隐患

序号	工作场所	设备或物质	类型	风险因子	可能发生的辐射事故
1	加速器室一、二	回旋加速器	II 类射线装置	质子、中子、 $\gamma$ 射线	① 由于安全连锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行出束操作，对误入机房内的人员或在防护门附近活动人员造成不必要的照射。 ② 工作人员还未全部撤离机房，控制室内人员误操作启动设备，造成机房内滞留人员的误照射。
2	放射性药物生产车间	氟-18、铜-64、镓-68、铅-212、铅-203、镅-177、钪-89、钷-161、铟-225、砷-211、磷-32	甲级非密封放射性物质工作场所	$\beta$ 射线、韧致辐射、 $\gamma$ 射线、放射性气载流出物	① 工作人员误操作，导致放射性溶液撒漏。 ② 工作箱负压不足或破损泄漏，导致放射性气溶胶逸散到操作区。 ③ 过滤装置断电、活性炭吸附达到饱和或过滤材料受潮等导致过滤失效。 ④ 突然性断电致使通排风系统停止运转，导致热室或超净工作台内放射性气溶胶逸散到操作区域。 ⑤ 盛装放射性物品的铅罐丢失、被盗。
3	质检中心	氟-18、铜-64、镓	甲级非密	$\alpha$ 射线、 $\beta$	① 工作人员误操作，导致放射性溶液

序号	工作场所	设备或物质	类型	风险因子	可能发生的辐射事故
		-68、钨-99m、铅-212、碘-131、铅-203、镭-177、锶-89、碳-14、钪-89、钷-161、铯-225、钷-47、镱-67、钷-90、钷-103、铀-111、钷-153、钷-166、铯-188、钷-201、钷-211、钷-223、钷-227、碘-123、碘-124、碘-125、钷-68、钷-99、钷-149、钷-44、铯-186、磷-32	密封放射性物质工作场所	射线、韧致辐射、 $\gamma$ 射线、放射性废气	撒漏。 ② 工作箱负压不足或破损泄漏，导致放射性气溶胶逸散到操作区。 ③ 过滤装置断电、活性炭吸附达到饱和或过滤材料受潮等导致过滤失效。 ④ 突然性断电致使通排风系统停止运转，导致热室或超净工作台内放射性气溶胶逸散到操作区域。
4	放射性物料库/成品库	放射性药物货包（共 19 种核素和 3 种发生器）	非密封放射性物质	$\beta$ 射线、韧致辐射、 $\gamma$ 射线、放射性气载流出物	① 因管理不善，放射性药物货包丢失或被盗。 ② 因工作人员操作失误，造成放射性药物货包破损洒漏。

### 5.3.3 辐射事故影响分析

#### 5.3.3.1 回旋加速器误照射事故

本项目回旋加速器机房一和回旋加速器机房二使用的回旋加速器型号为 GE PET trace 鲲鹏，质子束最大能量均为 16.5MeV，均为双束流设计，单束流模式最大束流为 80 $\mu$ A，双束流模式最大束流为 2 $\times$ 80 $\mu$ A。加速器室一和加速器室二紧邻布设，两间加速器室屏蔽体厚度设计相同，大小相同，且不同时使用。

#### (1) 人员误入或滞留

##### ①场景

由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行出束操作，人员误入机房或工作人员还未全部撤离机房，操作人员启动加速器的情况下，人员受到照射。由于加速器机房内四周和机器上均设有带中文标识的急停按钮，因此一旦发现发生误照可以在较短时间内按动急停按钮，使加速器停止出束，人员距离主机表面 0.5m 或 1m 处。

因设备检修由厂家安排专业人员负责，因此本项目不分析维修过程中可能出现的误照射事故。

##### ②事故后果

根据生产厂家提供的 FLUCK 预测资料，回旋加速器距离靶体 1m 处 $\gamma$ 剂量率最大为 7.77 $\times 10^7$   $\mu$ Sv/h，靶体 1m 处中子剂量率最大为 2.14 $\times 10^6$   $\mu$ Sv/h，人员误入机房受照参数和剂量估算结果见下表。

表 5.3.3-2 人员误入回旋加速器机房事故情况下受照剂量

受照情景	关注点位	R (m)	辐射剂量率(中子+ $\gamma$ ) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	受照时间	受照剂量 (mSv/次)
人员误入 或滞留	机房内	0.5	3.19E+08	10s	886.11
				1min	5316.67
				2min	10633.33
	1	7.98E+07	10s	221.67	
			1min	1330	
			2min	2660	

备注：加速器/屏蔽体表面外剂量率取单束流和双束流运行模式下各方向的最大值。

由上表分析可见：

A、当人员误入或滞留机房内，在加速器正常出束运行的情况下，在距离靶体 0.5m 处持续停留 10s 的情况下，受照剂量达到 886.11mSv，超过 GB18871-2002 中职业人员 20mSv 或公众 1mSv 剂量限值，也超过本项目职业人员（5mSv）或公众（0.1mSv）的年剂量管理限值，造成轻度放射性病，为一般辐射事故。人员受照剂量随着距离靶体的距离增大而减小。

B、当人员误入或滞留机房内，在加速器正常出束运行的情况下，在距离靶体 0.5m 处持续停留 2min 的情况下，受照剂量为 10.63Sv，达到致死剂量，构成重大辐射事故，由于回旋加速器机房内和控制台有急停按钮，有出束警铃，有无死角的监控摄像头，此类情况发生的可能性极低。

## (2) 停机后人员误入事故后果影响分析

加速器单日运行8h后停机人员即进入机房，假设滞留时间为10min，机房内感生放射性废气未进行及时排放，考虑最不利的情况，通风系统失效，机房内氩-41静态活度浓度为 $7.20 \times 10^6 \text{Bq/m}^3$ ，主要照射途径为浸没外照射（转换因子 $6.20 \times 10^{-14} \text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^3$ ），经计算误入人员单次最大受照剂量为 $4.46 \times 10^4 \text{mSv}$ ，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员 20mSv 的剂量限值，不构成辐射事故，属于辐射事件。

### 5.3.3.2 非密封放射性物质工作场所辐射事故影响分析

#### 1、放射性溶液撒漏

经计算，单次放射性溶液撒漏事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 3.57Sv，超过《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，对应全身最大受照剂量为35.7mSv，若事故持续发生，可能导致职业人员受照剂量超过50mSv限值，构成一般辐射事故。

## 2、密闭防护工作箱破损泄漏

经计算，单次密闭防护工作箱破损泄漏事故状态下，单次事故对工作人员造成的吸入内照射和浸没外照射剂量最大为599mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员任何一年中的有效剂量50mSv限值，根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），可能不会发生急性放射病，属于一般辐射事故。

## 3、排风系统失效

经计算，排风系统失效情景下，单次事故对工作人员造成的吸入内照射剂量为5.99mSv，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员任何一年中的有效剂量50mSv限值，故发生排风系统失效时，对工作人员影响不构成辐射事故，属于辐射事件。

## 4、放射性废气过滤系统失效

根据预测结果可知，在放射性废气过滤器失效状态下，放射性核素最大释放量为 $9.19E+07Bq$ ，事故持续期间所致排气筒下风向500m内公众的吸入内照射剂量最大为 $7.25E-05mSv$ ，低于《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，不足以导致公众患病。故在涉放气体过滤净化系统失效状态下，对公众的影响不构成辐射事故，属于辐射事件。

## 5、盛装放射性物品的铅罐丢失、被盗

### （1）事故情景

假设在贮存放射性药品期间管理不善，导致盛装放射性药品的铅罐丢失、被盗，假设在丢失、被盗期间，放射性药品从铅罐中取出，但包装保持完整，放射性物质并未撒漏，相关人员主要受到外照射的影响。假设某一放射性药品日最大操作量发生丢失、被盗。

### （2）事故后果分析

本项目各放射性药品单次购买量最大可以达到IV类、V类放射源的活度，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号），本项目放射性药品丢失、被盗并未撒漏的情况下可构成一般辐射事故。

### 5.3.4 辐射事故防范及应急措施

#### 5.3.4.1 辐射事故防范措施

本项目采取的事故防范措施主要包括辐射安全管理和辐射防护设施、措施两方面：

##### (1) 辐射安全管理

①建设单位已成立有辐射安全与环境保护管理领导小组，负责全公司的辐射安全管理工作。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规要求，建设单位针对项目特点，制定有辐射安全防护制度、放射性同位素操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训计划和剂量健康管理制度、辐射事故应急预案等，并定期组织检查各种制度的贯彻落实情况。

②制定放射性同位素、射线装置操作规程，并将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

③根据公司可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定了辐射事故应急预案和事故应急响应程序，并将辐射事故应急预案和应急响应程序悬挂于辐射工作场所适当醒目位置。公司制定的辐射事故应急预案包括了应急机构组织与职责、应急响应程序、应急联系电话、条件保障等。

④定期对各屏蔽工作箱和涉放气体排风过滤装置的安全防护效果、过滤效果等进行检测或检查，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

⑤定期对各屏蔽工作箱和涉放气体排风过滤装置进行维护保养，对可能引起操作失灵的关键零配件及时更换，并建立有维护维修台账。

⑥加强辐射工作人员的管理。公司定期组织辐射工作人员参加辐射安全与防护知识学习，对于新增辐射工作人员，在其上岗前组织参加辐射安全与防护知识培训考核，确保辐射人员持证上岗。定期组织辐射工作人员进行上岗前、在岗期间和离岗时的健康体检，并分别建立有辐射工作人员个人剂量检测、职业健康管理、培训管理档案。

⑦在营运期间加强控制区和监督区管理，通过“两区”划分，在控制区和监督区进出口附近设电离辐射警示标志等措施。加强公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

##### (2) 辐射防护设施、措施

针对不同辐射事故拟采取以下防范措施：

###### ①放射性溶液撒漏

项目采用合适的负压吸液器械吸取液体，采用不易破裂的材料制成的容器储存放

射性溶液。各放射性药物操作使用的屏蔽工作箱为不锈钢工作台面，分装、质检过程中在屏蔽箱体内或操作台面设置搪瓷盘和吸水垫纸，以防溶液撒漏。

#### ②密闭防护工作箱破损泄漏

首先采购符合国家相关质量安全和辐射防护要求的设备。定期对防护工作箱的气密性、安全性等进行维保检查，发现问题及时与维修。配备有移动式气溶胶监测设备，定期巡测。定期委托有相关资质的监测单位进行场所放射性废气监测。

#### ③排风系统失效

项目从市政10kV电网取得满足二级负荷供电的两回路10kV电源，两回路互为备用电源，用于满足消防二级负荷和其他二级保障负荷对用电的要求。此外，厂区在动力车间设置有1台备用柴油发电机，备用柴油发电机可以在10min内启动。制定配电设施维护保养制度，定期检查，发现问题及时维护保养，保证供配电设施的正常运行。

#### ④放射性废气过滤系统失效

在放射性废气排放口设人工取样口，定期取样监测。本项目设置的排气筒设置在线监测系统，当过滤器失效时将显示故障提示进行检修，同时设有压差报警装置，可及时发现并显示故障。

综上，建设单位在严格落实以上各项事故防范措施的前提下，可减少或避免放射性事故的发生概率，从而保证项目的正常运营，保障工作人员和公众的辐射安全。

### 5.3.4.2 辐射事故应急措施

成都欣科医药有限公司依据可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定了辐射事故应急预案和事故应急响应程序，一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，按照应急响应程序做好应对。采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的放射性溶液撒漏。发生这种事故应迅速用吸水纸吸干溅洒的液体，以防扩散。然后从溅洒处移去吸水纸，用干净药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。再用表面沾污仪测量污染区，如果 $\beta$ 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\alpha$ 表面沾污大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 $\beta$ 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\alpha$ 表面沾污小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

处理过程中产生的沾污吸水纸、药棉或纸巾等沾污物品应用专用容器收集，按放射性固体废物处理。

②因操作不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸水纸将其吸

干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。

③人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干沾污体表，以防扩散，然后根据不同核素分别去污，最终需满足 $\beta$ 表面污染小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\alpha$ 表面污染小于 $0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

④当发生防护屏蔽箱泄漏、排风系统过滤装置失效事故时，应及时组织人员对设备进行检修，并对室内空气放射性进行采样监测和职业人员内照射剂量监测。待设备维修正常，且室内空气放射性降低至本底水平后再开展工作。

⑤若发生放射性原料铅罐、放射性药品被盗抢、丢失时，第一发现人员应立即启动辐射事故应急预案，及时报告上级领导和相关部门，分析、确定被盗抢、丢失的具体时间及原因，并及时将信息提供给向相关部门，根据有关线索，组织人员协同相关部门进行查找。在查找过程中，事故处理人员须携带个人剂量报警仪和辐射监测仪器，以防受到不必要的照射。对放射性同位素丢失前的存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，应按辐射剂量率大小划定警戒线，并设置放射性污染标识，撤离警戒区域内的所有人员，限制无关人员靠近，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场进行处理。经监测满足解控要求后再解除警戒。

#### 5.3.4.3 安全保卫措施

为确保放射性同位素的安全，本项目拟采取以下安全保卫措施：

①防火措施：各涉放工作场所内配备手提式干粉灭火器，涉放场所内部功能单元之间的墙体设计为不易燃材料，场所内及相邻场所禁止存放易燃、易爆、腐蚀性等物品。

②防盗措施：放射性废物暂存间、放射性物料库、成品库均设置双人双锁，并设置防盗门。

③防抢和防破坏措施：在厂区内和各放射性工作场所均设置视频监控系统，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性物质的安全。其中，厂区视频监控主要对厂区出入口、周界、重要厂房出入口进行监控。放射性工作场所视频监控主要对工作场所人员进出门厅、放射性核素主要操作场所、放射性库房、放射性污物暂存间等重要涉放场所进行监控；同时，各放射性工作场所安排有保安人员进行24h值守，并采取定期、不定期巡查，确保放射性物质的安全。

## 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组织机构

建设单位以“成欣药人[2024]11号”成立了“辐射安全与环境保护管理领导小组”，并明确了职责范围：

#### 领导小组人员：

组长：张春燕

副组长：王鹏、叶柱建、李骥

成员：陈迪、余晓娟、任浩、贾振锋、唐维皓、王建芝

**领导小组职责：**建立健全各项安全规章制度和质量保证制度，定期组织召开安全例会，对辐射工作的立项、设备的引进以及防护的配置进行论证，提出实施方案和计划，为公司决策提供科学依据。

**组长职责：**①全面负责公司的辐射安全与环境保护工作；②全国核技术利用辐射安全申报系统的管理；③定期审核辐射安全措施；④定期（至少每半年一次）督促检查放射性物质场所的辐射安全措施并督促整改；⑤定期（至少每年一次）召开辐射安全领导小组会议，总结全公司的辐射安全工作。

**副组长职责：**①评估辐射安全措施计划；②辐射防护培训、辐射安全演练的统筹安排；③审核辐射工作人员的操作能力及资格；④督促开展辐射安全与环境保护的日常检查及监测；⑤监督公司内“三废”的依法依规处理。

**成员职责：**①负责生产过程中放射剂量控制，负责放射性物质台账管理；②负责放射性物质的运输安全，放射性物质及辐射防护设备的安全管理与定期维护工作；③统筹监督管理全公司的“三废”处理；④督促开展环境监测，定期校验监测仪器仪表；⑤负责公司个人剂量仪的管理，定期开展辐射安全演练；⑥定期开展辐射安全培训，负责公司放射性工作人员的健康体检，负责公司安全保卫工作。

#### 6.1.2 辐射工作人员配备情况

建设单位一期项目辐射工作人员定员54名，到目前建设单位共有72名辐射工作人员，其中18名是为本项目的建设培养的辐射工作人员，待本项目投运后，这18名辐射工作人员将进入本项目新的独立辐射工作岗位，不再与原有辐射工作岗位交叉。

目前建设单位在岗辐射工作人员均已参加辐射安全与防护知识学习，并考核合格

后上岗（详见附件10），同时根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于发布<注册核安全工程师执业资格关键岗位名录>（第一批）的通知》（国核安发[2010]25号），建设单位辐射安全关键岗位已配备2名（叶柱建、尹华刚）注册核安全工程师。

表6.1.2-1 在岗辐射工作人员学习考核一览表

序号	姓名	培训证书编号	备注	序号	姓名	培训证书编号	备注
1	胡跃祥	FS24SC2300121	/	37	周一帆	FS24SC2300007	/
2	张仁昊	FS21SC2300001	/	38	钟静	FS24SC2300021	/
3	程飞龙	FS24SC2300052	/	39	罗宇	FS24SC2300020	/
4	肖普	FS21SC2300013	/	40	叶柱建	HA00003122	注册核安全工程师
5	张建栋	FS21SC2300006	/	41	贾振锋	FS24SC2300019	/
6	李骥	FS23SC2200450	/	42	任浩	FS24SC2300024	/
7	周引	FS24SC2300029	/	43	李军宏	FS24SC2300064	/
8	邢杰	FS24SC2300055	/	44	何欢	FS24SC2300071	/
9	魏峰	FS22SC2300039	/	45	吴兴伦	FS24SC2300078	/
10	陈迪	FS24SC2300004	/	46	罗干	FS24SC2300049	/
11	王皓	FS21SC2300003	/	47	韦进涛	FS24SC2300192	/
12	杨雪蓉	FS22SC2300174	/	48	黄勤	FS24SC2300134	/
13	刘川	FS22SC2300151	/	49	周益	FS24SC2300126	/
14	许林森	FS22SC2300152	/	50	陆文亮	FS20JS0000200	/
15	陈灵	FS22SC2300006	/	51	赵川	FS24SC2300068	/
16	童海东	FS22SC2300045	/	52	杨安银	FS24SC2300141	/
17	周江陵	FS23SC2300308	/	53	舒琳珑	FS24SC2300200	/
18	赖从秀	FS22SC2300183	/	54	邹笑一	FS24SC2300044	/
19	胡钟	FS23SC2300015	/	55	杨洪	FS24SC2300481	/
20	温小冬	FS23SC2300237	/	56	涂志善	FS24SC2500624	/
21	安玉龙	FS23SC2300314	/	57	郭卓奇	FS24SC2300122	/
22	何绪亮	FS23SC2300228	/	58	李科言	FS24SC2300640	/
23	郑涛	FS23SC2300054	/	59	丁鹏	FS24SC0300182	/
24	杨昊杰	FS23SC2300040	/	60	舒什	FS24SC2300204	/
25	姜鸿宇	FS23SC2300578	/	61	罗登容	FS24SC2300487	/
26	朱琼	FS23SC23000351	/	62	刘皎晖	FS24SC2300492	/
27	曾倩	FS23SC2300414	/	63	陈寒柯	FS24SC2300280	/
28	唐维皓	FS23SC2200020	/	64	朱锐	FS24CQ2300063	/
29	王建芝	FS23SC2200264	/	65	叶爽	FS24SC2300618	/
30	尹华刚	HA00003952	注册核安全工程师	66	连雨玫	FS24SC2300205	/
31	肖富彤	FS23SC2300575	/	67	胡坤	FS24SC2300616	/

序号	姓名	培训证书编号	备注	序号	姓名	培训证书编号	备注
32	吴智坤	FS23SC2300689	/	68	罗庆梅	FS24SC2300623	/
33	毛继龙	FS23SC2300576	/	69	王鸿	FS24SC2300203	/
34	陈鹏德	FS23SC2300549	/	70	高强	FS24SC2300628	/
35	陈佳	FS23SC2300690	/	71	彭子剑	FS20SC0000027	/
36	余晓娟	FS24SC2300010	/	72	杨文玉	FS24SC2300636	/

## 6.2 辐射安全管理规章制度

### 6.2.1 制度要求及落实

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关管理要求，非密封放射性物质工作场所的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。并根据《放射性药物生产线监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-003）、《甲级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-005）和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400号）的相关要求，建设单位目前已落实的规章制度情况见表6.2.1-1。

表6.2.1-1 建设单位辐射安全管理规章制度落实情况对照表

制度	具体制度要求	公司制度建设情况	备注
综合	辐射安全与防护管理大纲	辐射安全管理规程（SMP-EHS-001）	符合要求
放射性物质	非密封放射性物质的管理规定	非密封放射性物质台账管理规程（SMP-EHS-005）	符合要求
	物料平衡管理规定	未制定	需补充
场所管理	场所分区管理规定	场所分区管理规定（SMR-Q-007）	符合要求
	操作规程	辐射工作设备管理规程（SMP-EHS-002）	符合要求
	安保管理规定	放射性药品安全管理规定（SMR-Q-002）、辐射安全保卫制度（SMR-Q-010）	符合要求
	去污操作规程	放射性污染去污标准操作规程（SMR-Q-006）	符合要求
	安全防护设施的维修与维护制度	辐射安全防护设施的维护与维修管理规程（SMP-EHS-003）	符合要求
监测	监测方案	辐射工作场所与环境辐射水平监测管理规程（SMP-EHS-006）	符合要求
	监测仪表使用与校验管理制度	监测仪表使用与校验管理规程（SMP-EHS-007）	符合要求
人员	辐射工作人员培训再培训管理制度	辐射工作人员培训管理规程（SMP-EHS-008）	符合要求
	辐射工作人员个人剂量管理制度	放射性工作人员个人剂量管理规程（SMP-EHS-009）	符合要求

制度	具体制度要求	公司制度建设情况	备注
	运输	放射性物品装卸标准操作规程（SMR-Q-005）	新增
应急	辐射事故应急预案	辐射事故应急预案（SMP-EHS-010）	符合要求
三废	放射性“三废”管理规定	放射性废物管理规程（SMP-EHS-011）	符合要求

目前，成都欣科医药有限公司已按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400号）要求将《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《操作规程》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于辐射工作场所内，且上墙制度的尺寸不小于400mm×600mm，建设单位执行情况见下图：

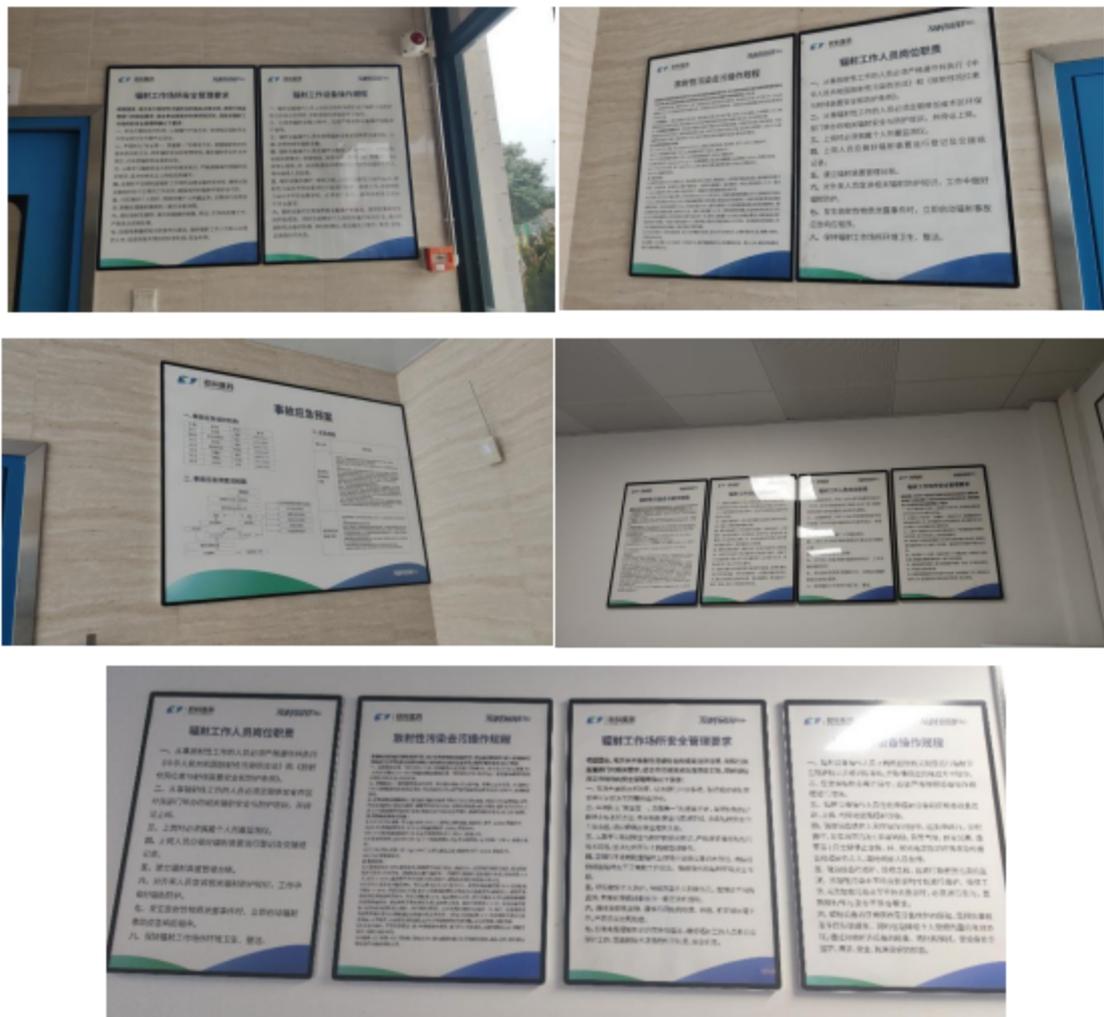


图6.2.1-1 上墙规章制度执行情况

### 6.2.2 档案管理

建设单位辐射安全与环保相关档案资料放置于“安全环保部”办公室，对照《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》（川环函〔2016〕1400号），建设单位落实的档案管理情况见表6.2.2-1。

表6.2.2-1 档案管理已落实情况对照表

序号	规定档案	落实档案
1	制度文件	辐射安全管理制度档案
2	环评资料	项目“三同时”档案
3	许可证资料	辐射安全许可证申请档案
4	放射源和射线装置台账	放射性同位素转让档案
5	监测和检查记录	辐射安全检查档案、年度监测档案、 $\gamma$ 剂量率监测单位、表面沾污监测档案、放射性废气监测档案
6	个人剂量档案	个人剂量监测档案
7	培训档案	辐射安全培训档案
8	辐射应急资料	应急演练档案
9	废物处置记录	放射性液体管理档案、放射性固废管理档案
10	其他相关档案	健康体检档案、年度评估档案、仪器检定档案

### 6.3 辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）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、废气和废水监测、环境监测、产品监测。目前建设单位已制定辐射工作场所与环境辐射水平监测管理规程（SMP-EHS-006）执行辐射监测工作，并建立辐射环境监测档案，由EHS部门专职辐射安全管理人员管理。

#### 6.3.1 个人剂量监测

建设单位目前在岗的辐射工作人员共86名，均参加了辐射安全防护培训并持证上岗。现有辐射工作人员均已配备热释光个人剂量计，同时对于进行较危险操作时辐射工作人员还配备直读式个人剂量报警仪（可以即时显示工作人员操作现场的 $\gamma$ 辐射水平和工作人员的累积剂量，如果现场 $\gamma$ 辐射水平超过设定的报警阈值，仪器将发出报警），热释光个人剂量计定期（每季度一次）送有资质单位进行检测（见附件10）。

表 6.3.1-1 最近一年现有辐射工作人员累计剂量统计一览表 单位：mSv

序号	姓名	性别	个人剂量监测结果（mSv）					备注
			2023年四季度	2024年一季度	2024年二季度	2024年三季度	全年	
1	胡跃祥	男	0.81	0.71	1.19	1.01	3.72	无异常
2	廖琳	女	0.09	0.0035	0	0	0.0935	无异常
3	张仁吴	男	0.08	0.03	0.01	0.02	0.14	无异常
4	肖普	男	0.09	0.02	0.03	0.02	0.16	无异常
5	张建栋	男	0.13	0.0035	1.14	0.07	1.3435	无异常
6	李骥	男	0.07	0.0035	0.09	0.0035	0.167	无异常
7	周引	男	0.16	0.05	0.07	0.29	0.57	无异常
8	邢杰	男	0.21	0.24	0.52	0.36	1.33	无异常
9	魏峰	男	0.77	0.35	0.62	0.89	2.63	无异常

10	陈迪	男	0.08	0.0035	0.14	0.74	0.9635	无异常
11	王皓	男	0.24	0.23	0.34	0.19	1	无异常
12	谯上春	男	0.08	0.01	0.09	0.02	0.2	无异常
13	杨雪蓉	女	0.02	0.0035	0.03	0.03	0.0835	无异常
14	刘川	男	0.13	0.0035	0.03	0.0035	0.167	无异常
15	许林森	男	0.26	0.09	0.09	0.05	0.49	无异常
16	陈灵	男	0.08	0.3	0.06	0.16	0.6	无异常
17	童海东	男	0.05	0.0035	0.11	0.15	0.3135	无异常
18	周江陵	男	0.12	0.0035	0.04	0.11	0.2735	无异常
19	赖从秀	女	0.07	0.0035	0.09	0.05	0.2135	无异常
20	胡钟	男	0.29	0.15	0.29	0.37	1.1	无异常
21	温小冬	男	0.35	0.0035	0.16	0.27	0.7835	无异常
22	安玉龙	男	0.05	0.0035	0.05	0.05	0.1535	无异常
23	何绪亮	男	0.0035	0.06	0.26	0.21	0.5335	无异常
24	郑涛	男	0.46	0.22	0.44	0.41	1.53	无异常
25	杨昊杰	男	0.19	0.09	0.48	1.04	1.8	无异常
26	姜鸿宇	男	0.13	0.0035	0.05	0.07	0.2535	无异常
27	朱琼	女	0.07	0.0035	0.15	0.04	0.2635	无异常
28	曾倩	女	0.0035	0.0035	0.1	0.09	0.197	无异常
29	黄勇	男	0.08	0	0	0	0.08	无异常
30	唐维皓	男	0.04	0.0035	0.01	0.02	0.0735	无异常
31	王建芝	男	0.0035	0.0035	0.02	0.0035	0.0305	无异常
32	尹华刚	男	0.08	0.0035	0.09	0.08	0.2535	无异常
33	肖富彤	男	0.07	0.03	0.05	0.08	0.23	无异常
34	吴志坤	男	0.17	0.44	0.57	0.71	1.89	无异常
35	毛继龙	男	0.06	0.0035	0.01	0.08	0.1535	无异常
36	陈鹏德	男	0.15	0.1	0.1	0.13	0.48	无异常
37	陈佳	女	0.0035	0.0035	0.11	0.01	0.127	无异常
38	王蕾	男	0.05	0.0035	0	0.06	0.1135	无异常
39	佘晓娟	女	0.0035	0.0035	0.06	0.06	0.127	无异常
40	周一帆	男	0.11	0.04	0.04	0.22	0.41	无异常
41	钟静	女	0.0035	0.03	0.17	0.04	0.2435	无异常
42	罗宇	男	0.0035	0.08	0.07	0.07	0.2235	无异常
43	叶柱建	男	0.02	0.0035	0.0035	0.11	0.137	无异常
44	贾振锋	男	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.014	无异常
45	任浩	男	0.08	0.0035	0.0035	0.47	0.557	无异常
46	苏娇	女	0.1	0.01	0.1	0.06	0.27	无异常
47	李军宏	男	0.16	0.08	0.08	0.08	0.4	无异常
48	何欢	女	0.0035	0.0035	0.13	0.06	0.197	无异常
49	张明露	女	0.0035	0.0035	0.02	0.06	0.087	无异常
50	吴兴伦	男	0.0035	0.07	0.07	0.08	0.2235	无异常
51	罗干	男	0.0035	0.0035	0.26	0.05	0.317	无异常
52	韦进涛	男	0	0.21	0.0035	0.09	0.3035	无异常

53	黄勤	女	0	0.0035	0.05	0.04	0.0935	无异常
54	周益	女	0	0.0035	0.03	0.06	0.0935	无异常
55	陆文亮	男	0	0.09	0.17	0.09	0.35	无异常
56	段嘉川	男	0	0.01	0	0	0.01	无异常
57	涂雪莲	女	0	0.02	0	0	0.02	无异常
58	秦莉霞	女	0	0.08	0	0	0.08	无异常
59	杨安银	男	0	0.07	0.19	0.11	0.37	无异常
60	舒琳珑	男	0	0.09	0.29	0.26	0.64	无异常
61	李翔	女	0	0.07	0	0.07	0.14	无异常
62	邹笑一	男	0	0.07	0.17	0.08	0.32	无异常
63	杨洪	男	0	0.16	0.14	0.34	0.64	无异常
64	郭卓奇	男	0	0.13	1.04	0.51	1.68	无异常
65	李科言	男	0	0	0.52	0.43	0.95	无异常
66	丁鹏	男	0	0	0.02	0.0035	0.0235	无异常
67	舒什	男	0	0	0.19	0.41	0.6	无异常
68	罗登容	女	0	0	0.05	0.11	0.16	无异常
69	刘皎晖	女	0	0	0.03	0.09	0.12	无异常
70	陈寒柯	男	0	0	0.09	0.16	0.25	无异常
71	朱锐	男	0	0	0.07	0.25	0.32	无异常
72	叶爽	女	0	0	0.04	0.0035	0.0435	无异常
73	连雨玫	女	0	0	0.0035	0.05	0.0535	无异常
74	胡坤	男	0	0	0.29	0.4	0.69	无异常
75	罗庆梅	女	0	0	0.0035	0.07	0.0735	无异常
76	王鸿	男	0	0	0.0035	0.01	0.0135	无异常
77	高强	男	0	0	0.14	0.54	0.68	无异常
78	高皖皎	女	0	0	0.03	0.03	0.06	无异常
79	杨文玉	女	0	0	0.0035	0.03	0.0335	无异常
80	岑龙座	男	0	0	0.0035	0.14	0.1435	无异常
81	赵丽	女	0	0	0	0.08	0.08	无异常
82	匡利康	男	0	0	0	0.0035	0.0035	无异常
83	唐小龙	男	0	0	0	0.46	0.46	无异常
84	刘倩	女	0	0	0	0.07	0.07	无异常

根据统计结果，最近一年建设单位辐射工作人员全年个人剂量累计量为0.0035mSv~3.72mSv，未出现个人年有效剂量超标情况，还有2名人员为新入职人员，个人剂量计尚未达到佩戴3个月的时间。

在后期运营过程中，建设单位将持续按《四川省环境保护厅关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环函〔2016〕1400号）的要求做好个人剂量管理工作：①为每位辐射工作人员建立个人剂量档案，并终生保存；②对于全年累计检测数值超过5mSv的，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干

预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关；③当单年个人剂量超过50mSv时，需调查超标原因，上报辐射安全许可证发证机关，确认是否启动辐射事故应急预案；③在每年的1月31日前上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

### 6.3.2 工作场所监测

对于工作场所监测分为：区域 $\gamma$ 辐射剂量率监测、区域空气放射性监测和表面污染监测。

#### (1) 区域 $\gamma$ 辐射监测

区域 $\gamma$ 辐射监测用于监测生产线车间内放射性工作区域的 $\gamma$ 辐射水平，设置固定式区域 $\gamma$ 监测点，对于固定式监测点覆盖不到的场所使用便携式 $\gamma$ 测量仪进行监测。

固定式区域 $\gamma$ 监测点就地显示测点位置 $\gamma$ 辐射水平，当 $\gamma$ 辐射水平超过预先设定的报警阈值时，就地和远程控制单元实时发出声光报警信号，起到提醒、警示作用，保证工作人员免受过量照射。加速器机房门口安装固定式中子监测仪，可显示测点位置中子辐射水平。

#### (2) 表面沾污监测

①场所中的表面污染监测对象包括放射性核素操作场所的工作台面、地面、设备表面、墙壁等，可采用直接测量法或擦拭取样测量法进行测量。直接测量法采用便携式表面污染监测仪现场测量；擦拭取样测量法适用于 $\gamma$ 辐射水平较高的区域或不平整的污染表面。

②在卫生通道门口设置表面污染监测仪用于手脚表面污染监测，当其超过预先设定的报警阈值时，仪器报警，提醒工作人员对手脚进行去污处理。

#### (3) 区域空气放射性监测

区域空气放射性监测采用便携式气溶胶/碘取样仪进行放射性核素操作场所空气中放射性活度浓度测量，确保工作人员的辐射安全。

表6.3.2-1 工作场所监测计划表

场所	监测点位	监测项目	监测频次	备注
204/214 车间(加速器室一、加速器室二)	①控制室内的操作人员工位处。 ②机房四周墙体外 30cm 处。 ③机房防护门外 30cm 处，	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量率	1次/年	委托监测

	以及防护门的左、中、右3个点和门缝四周。 ④其他人员经常活动的位置,如机房正上方的房间等。		1次/月	自行监测
205 车间、206 车间、207 车间、208 车间、209 车间、210 车间、211 车间、212 车间、质检中心、放射性物料库、药物成品库	控制区内所有房间,控制区内职业人员操作位,控制区外相邻的房间等区域、热室箱体表面、手套箱表面、通风橱表面、废物桶表面	$\gamma$ 辐射剂量率	每月一次	自行监测
			每年一次	委托监测
	控制区内所有房间	放射性废气(总 $\alpha/\beta$ )	每季度一次	自行监测
			每年一次	委托监测
	人员易接触或放射性物品易撒漏的墙面、地面、工作台等区域	$\alpha/\beta$ 表面沾污	每月一次	自行监测
			每次生产结束后	自行监测
每年一次			委托监测	
工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋和帽子等	$\alpha/\beta$ 表面沾污	每次涉及放射性操作后离开场所前	自行监测	
放射性物料库、药物成品库、放射性废物暂存间 一、二	控制区内所有房间,防护铅门及左右门缝、废物桶表面、废物间地坑盖板表面、控制区内职业人员操作位,控制区外相邻的房间等区域	$\gamma$ 辐射剂量率	每月一次	自行监测
			每年一次	委托监测
	控制区内所有房间	放射性废气(总 $\beta$ )	每季度一次	自行监测
			每年一次	委托监测
	人员易接触或放射性物品易撒漏的墙面、地面、工作台等区域	$\beta$ 表面沾污	每月一次	自行监测
			每次生产结束后	自行监测
每年一次			委托监测	
工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋和帽子等	$\beta$ 表面沾污	每次涉及放射性操作后离开场所前	自行监测	

### 6.3.3 放射性废物监测

#### (1) 放射性废气监测

本项目2号楼屋顶#1~#3排气筒均设置在线监测系统和手工采样口。

#### (2) 放射性液态监测

对于需要排放的放射性废水(暂存到期直接解控排放的除外),在每次解控排放前需进行取样监测。

#### (3) 放射性固体废物监测

对于放射性固体废物，在每次解控前需进行监测。

表6.3.3-1 放射性废物监测计划

监测对象	监测点位	监测因子	监测频次	备注
放射性废气	#1排气筒	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 碘-131、镭-177、 钍-225	1次/年	委托监测
		总 $\alpha$ 、总 $\beta$	取样监测，至少1次/ 半年	自行监测
		总 $\alpha$ 、总 $\beta$	在线连续监测	自行监测
	#2排气筒	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 碘-131、镭-177、 钍-225	1次/年	委托监测
		总 $\alpha$ 、总 $\beta$	在线连续监测	自行监测
	#3排气筒	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 碘-131、镭-177、 钍-225	1次/年	委托监测
		总 $\alpha$ 、总 $\beta$	在线连续监测	自行监测
		总 $\alpha$ 、总 $\beta$	在线连续监测	自行监测
	放射性废水	废液瓶取样监测	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ ，含碘 -131废液增加 碘-131	每次解控前（直接解 控的除外）
放射性固体废物	放射线废物暂存间一	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染、 $\gamma$ 辐射剂量率	1次/年	委托监测
	放射线废物暂存间二	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染、 $\gamma$ 辐射剂量率		
	放射性固体废物	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染、 $\gamma$ 辐射剂量率	每次解控前	自行监测
放射性废物包装体外		$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染、 $\gamma$ 辐射剂量率	每次处理前	自行监测

#### 6.3.4 过滤器效率监测

根据设备性能要求定期对过滤器的阻力进行监测，并做好记录，高效空气过滤器的阻力达到初阻力的两倍或出现无法修补的渗漏时予以更换。此外，当过滤器两端压差异常（如穿漏）时亦予以更换。

#### 6.3.5 监测设备

根据前述监测计划，建设单位已有及拟新增监测设备配备情况见下表。

表6.3.6-1 辐射环境监测设备

序号	监测设备名称	型号	数量	使用场所	备注
1	便携射线检测仪	Inspector	10	全厂区内	已有
2	便携射线检测仪	Inspector	10	全厂区内、各控制 区出口	已有
3	便携式 $\gamma$ 剂量率仪	AT1123	1	全厂区内	已有

4	X $\gamma$ 辐射在线监测仪	HA1100Med-G	1	#4 楼衰变池	已有
5	手脚沾污仪	RC4000	1	每个车间门口	已有
6	手脚沾污仪	RC4000	1	每个车间门口	已有
7	长杆辐射剂量率仪	6150AD	1	全厂区内	已有
8	长杆辐射剂量率仪	/	1	全厂区内	已有
9	便携式表面污染测量仪	COMO170	1	全厂区内	已有
10	碘气溶胶连续在线监测装置	H2PTM01	1	02 车间废气取样	已有
11	电子式个人剂量计	DMC3000	10	全厂区内	已有
12	$\gamma$ 个人剂量计	/	127	全厂区内	新增 41
14	固定式区域 $\gamma$ 监测系统	待定	25	本项目 2 号楼	新增
16	表面污染测量仪	/	9	本项目生产车间、质检中心、放射性物料库、成品库、放射性废物暂存间	新增
20	个人剂量报警仪	/	18	生产线，放射性库房、放化实验室	新增
21	移动式气溶胶采样监测仪	/	2	全厂共用	已有
22	便携式中子剂量监测仪	待定	1	加速器室一和加速器室二	新增
23	个人剂量计 ( $\gamma$ 、中子)	待定	3	回旋加速器区	新增

### 6.3.6 工作场所及辐射环境监测情况

建设单位按照制定的环境监测计划落实了自行监测，并委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）开展了年度辐射环境监测，监测内容包括：01车间（原即时标记药物车间）、质检中心（原放化实验室A区）、研发质检中心（原放射性实验室D区、放化实验室C区）、放射性污物暂存间、放射性药品仓库（原发货库房）、成品库房等区域的 $\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 表面沾污、环境空气总 $\alpha$ /总 $\beta$ 及碘-131、废水总 $\alpha$ /总 $\beta$ 。年度监测结果表明：场所各监测点 $\gamma$ 辐射剂量率均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求； $\beta$ 表面污染满足控制区 $40\text{Bq/cm}^2$ 、监督区 $4\text{Bq/cm}^2$ 的放射性表面污染控制水平要求；厂区下风向环境空气中总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 活度浓度对照项目建设前厂区本底监测结果，为正常波动范围，属于本底辐射水平。

2024年11月对“成都欣科医药有限公司核技术产业基地技改项目（一期）”进行了竣工环境保护验收监测，监测内容包括现有所有辐射工作场所及周围环境。验收监测结果表明：场所各监测点 $\gamma$ 辐射剂量率均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求； $\beta$ 表面污染满足控制区 $40\text{Bq/cm}^2$ 、监督区 $4\text{Bq/cm}^2$ 的放射性表面污染控制水平要求；厂区周围环境空气和土壤中放射性监测结果对照项目建设前厂区本底监测结果，为正常波动范围，属于本底辐射水平。

## 6.4 辐射事故应急

### 6.4.1 应急响应机构及职责

公司依托设立的辐射安全与环境保护管理领导小组作为应急领导小组，组织开展非密封放射性物质工作场所辐射事故的应急救援工作，领导小组组成如下：

组长：张春燕

副组长：王鹏、李骥、叶柱建

成员：陈迪、余晓娟、任浩、贾振锋、唐维皓、王建芝等

根据实际情况设立协调组、事故分析与评价组、监测组、现场监督组，成员由EHS、生产部、质量部、欣科研究所、运输部、库房管理部、行政部等相关人员组成。

应急领导小组由组长、副组长和若干成员组成。组长为公司实际负责人；副组长为公司生产负责人、EHS主管、高级辐射安全工程师，并依次作为组长第一替代人。

表6.4.1-1 辐射安全领导小组成员及职责

分类	应急人员	职责
组长	安全总监	(1)领导和指挥辐射事故应急组织体系中各部门的应急响应行动； (2)组织制订、修订公司事故应急预案并审批辐射事故相关实施程序 (3)组织开展公司内部应急培训、演练，编制辐射应急项目规划，开展能力建设，落实辐射事故应急准备，组织公司辐射事故应急值班，维持应急响应能力 (4)核与辐射事故应急的领导，批准辐射事故应急预案，统辐射事故应急准备与响应工作。 (5)批准公司级应急响应行动的启动、调整和终止； (6)向主管部门汇报的事故报告和应急工作报告，向公司核应急提供的有关信息资料及采取防护行动的建议。
副组长	副总经理、高级注册核安全工程师、EHS负责人	(1)协助组长指挥辐射事故应急组织体系中各部门的应急响应行动； (2)组长不能有效履职时，履行组长所有职责。
成员	协调组	协调组是应急领导小组在辐射事故应急期间的执行机构，协调组由公司行政部担任，由行政部负责人担任组长，行政部其他人员担任副组长，并作为组长替代人。 主要职责为： (1)传达和贯彻应急领导小组的指示；负责应急各组的协调，组织协调各组有效开展应急响应工作； (2)负责应急机构的外部联络和信息交换，文件的运转管理及归档； (3)督办应急响应各项指令的落实情况； (4)负责辐射事故应急软硬件运行操作； (5)负责提供辐射事故地点及相关的基础资料； (6)负责汇总事故相关报告，编制应急简报； (7)负责编写应急响应总结报告。
	事故分析与评价组	事故分析与评价组在副组长中抽调至少2人担任。 (1)收集辐射事故相关的数据和信息，分析事故工况、事故源项，进行后果评价，预测事故发展趋势，提出防护行动建议； (2)对应急处置行动进行评价，根据需要制定辐射事故应急监测方案；

	(3)向领导小组提供相应素材,以便其起草向主管部门提交的报告; (4)负责编写事故分析和后果评价报告。
监测组	监测组由 EHS、质量部、小分子影像中心、生产部中抽调人员组成。主要职责为: (1)按辐射事故应急监测方案组织和开展辐射环境应急监测; (2)按照指挥小组下达的指令调整监测方案并开展应急监测工作; (3)必要时要求派遣其他监测人员,对现场应急监测工作进行支援; (4)负责记录、校核、报送监测数据; (5)组织编制辐射环境应急监测总结报告。 (6)负责应急监测支援力量的工作协调; (7)应急状态终止后,继续后续辐射环境监测工作。
后期组	后勤组由行政部等相关部门组成,其职责是为应急响应工作提供后勤保障。
现场监督组	现场监督组在副组长抽调人员组成。主要职责为: (1)负责了解现场事故情况和发展趋势、应急响应行动和事故处理措施以及应急计划的执行情况,及时向应急办报告; (2)按照应急办下达的指令采取相应行动; (3)必要时开展对辐射事故地点的应急监测。

#### 6.4.2 辐射应急响应方案

##### 6.4.2.1 辐射事故响应等级

根据预估事故严重性,建设单位分为以下三个等级:

(1)属于较大辐射事故。包括:非密封放射性物质失控导致9人以下(含9人)急性重度放射病、局部器官残疾。

(2)属于一般辐射事故。包括:非密封放射性物质失控导致人员剂量超过年剂量限值,包括非密封放射性物质工作箱或手套箱外洒漏可能致环境污染,过滤器长期失效导致的超限释放,火灾、水淹或地震致放射性物质泄漏,最终造成公众受照剂量超过年剂量限值;非密封放射性物质管理不善,丢失、被盗。

(3)属于辐射事件。包括放射性废气过滤装置短时间失效,导致短时间内放射性废气全部外排,或非密封放射性物质工作箱或手套箱内撒漏污染,人员受照剂量未超年剂量限值。

##### 6.4.2.2 辐射应急事故响应程序

建设单位目前已制定《辐射事故应急预案》,列出了可能出现的6种辐射事故和2种辐射事件类型:非密封放射性物质失控、丢失、被盗辐射事故;人员误食或恶意投放非密封放射性物质辐射事故;人员剂量超过年剂量限值辐射事故;非密封放射性物质工作箱或手套箱外洒漏可能导致环境污染辐射事故;过滤器饱和、受潮、失效造成过滤效率下降导致的超限释放辐射事故;火灾、水淹或地震致放射性物质泄漏辐射事故;人员剂量超管理限值但未超年剂量限值事件;非密封放射性物质工作箱或手套箱内部洒漏污染事件。针对每种事故/事件,分别制定应急响应程序(包括:上报流程、

处置程序)，同时建设单位已制定内部应急联系通讯录和政府机构应急通讯录，并张贴于各辐射工作场所。

### 6.4.2.3 辐射应急报告

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的应急措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由应急领导小组按程序逐级上报生态环境主管部门，若发生放射性物品丢失、被盗时同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政部门报告，同时及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。流程包括：

(1)当班各级人员发现异常事故动态，向应急值班人报告。无法联系到应急值班人时直接向应急组长报告；

(2)应急值班人向应急组长报告；应急组长确定启动应急预案；

(3)应急组长在规定时间内向各级政府进行报告。

事故应急报告包括以下内容：

(1)事故发生的时间和地点及事故发生的简要经过；

(2)事故发生原因及性质的初步判断；

(3)直接经济损失初步估计；

(4)事故可能持续的时间；

(5)健康危害与必要的医疗措施；

(6)联系人姓名和电话。

制定内部应急联系通讯录和政府机构应急通讯录，并张贴于各辐射工作场所。辐射事故应急联络电话见下表：

表6.4.2-1 辐射事故应急联络电话一览表

联络人或单位		应急联络电话
公司内	组长：张春燕	15208435694
	副组长：王鹏、李骥、叶柱建	15075135072、18384111062、18280441937
	成员：陈迪、余晓娟、任浩、贾振锋、唐维皓、王建芝等	13551138836、18086800617、18908071805、18080850859、15348196876、18179715274
	值班人员：郭玉影	18980572881
双流区生态环境局		028-85822837
双流区公安局		110、028-85808110
成都市双流区卫生健康局		028-85822918
成都市生态环境局		028-61885200
四川省生态环境厅		028-80589003(周一至周五) 028-80589100(周末及节假日)

#### 6.4.2.4 事故调查

- (1)事故当事人应如实向公司应急领导小组提供事故情况，接受事故调查。
- (2)事故调查必须坚持“四不放过”的原则。
- (3)事故调查应对事故原因进行分析、事故性质进行确定，制定行之有效的措施，防止类似事故再次发生。
- (4)调查报告应把事故发生的经过，原因、性质、责任、处理意见、纠正和预防措施等清楚、准确、客观、全面表述，经调查组全体人员签字确认后上报有关部门。

#### 6.4.2.5 应急救援预案的关闭

应急状态终止条件：同时符合下列条件，即满足应急状态终止条件：

- (1)辐射污染源的泄漏或释放已降至规定限值以内；
- (2)事故所造成的危害已经被彻底消除或可控；
- (3)事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。

应急状态终止后的行动：应急状态终止后，经应急总指挥批准，进入应急总结及事故后恢复工作，应急办承担应急指挥部的日常工作，指挥各应急响应组协同开展下列工作：

- (1)评价事故造成的影响，指导有关部门和事故责任单位查出原因，防止类似事故的重复出现；
- (2)评价应急期间所采取的行动；
- (3)根据实践经验，及时对应急预案及相关实施程序进行修订；
- (4)对造成环境污染的辐射事故，省级生态环境部门要组织有计划的辐射环境监测，审批、管理必要的区域去污计划和因事故及去污产生的放射性废物的处理和处置计划并监督实施。

总结报告：应急状态终止后，应在两周内向提交总结报告，总结报告至少应包括演练内容、演练流程、演练成果，演练中出现问题，演练总结等。

#### 6.4.3 应急物资与保障

为保证辐射事故应急响应能力，公司辐射事故应急组织体系各部门应：

- (1)按照本预案的要求做好应急准备工作，定期修订本部门的辐射事故应急预案及实施程序；
- (2)制定辐射事故应急人员的应急培训和应急演习实施方案，并组织实施；
- (3)积极提高辐射事故应急准备、应急响应及应急监测技术；

(4)保证应急设备和物资始终处于良好备用状态，定期保养、检验和清点应急设备和物资。建设单位已储备的应急响应物质保障条件见下表：

表6.4.3-1 项目辐射应急响应保障物资

应急物资	主要功能	存放地点	备注
对讲机 2套	应急联络	保障部	已有
长柄夹具 1个	远距离操作，夹取放射性物质	安防部仓库	已有
警戒隔离带、电离辐射警示牌若干	警示、防止非应急人员进入		
铅衣、铅手套、铅眼镜、铅帽、防护眼罩 3套	应急人员个人防护		
防护面具（3M 防毒面罩、高效能口罩）3包	屏蔽和防止吸入放射性物质		
便携式表面污染监测仪 1套	应急场所表面污染水平监测	工作场所	已有
便携式 $\gamma$ 剂量率仪 1套	应急场所辐射水平监测	工作场所	已有
电子式个人剂量计 10个	应急人员个人剂量监测	工作场所	已有
无纺布、棉纱、脱脂棉 1包	吸附液体放射性物质	安防部仓库	已有
污染表面清洁剂（有效期6个月）6瓶	表面沾污去污处理		已有
屏蔽铅桶、废物袋各 2个	应急处理废物收纳		已有
汽车 2辆	交通保障	公司内	已有
医药箱 3箱	应急治疗	安防部仓库	已有
一次性手套 3箱	防止沾污		已有

#### 6.4.4 应急培训与演练

建设单位先已制定《辐射工作人员培训管理制度》，其内容已涵盖应急人员的培训内容及要求，建设单位每年进行一次应急培训，2024年建设单位已自主开展的培训内容包括：消防安全知识培训，辐射安全与防护基础知识培训，安全生产意识、辐射安全知识培训，辐射个人防护与污染处理培训（含考试），辐射仪器简介选择、公司使用 $\gamma$ 剂量率仪、表面污染仪、个人剂量计的使用操作培训等。

建设单位每一年组织员工进行应急演练1~2次，2024年开展了一次辐射应急演练，模拟放射性药品泄露的应急，并在演练结束后对存在的问题进行总结。

#### 6.4.5 小结

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（生态环境部18号令），根据建设单位现有辐射事故应急管理执行对照情况见下表。

表6.4.5-1 建设单位辐射事故应急管理执行情况对照表

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》	建设单位执行情况	备注
应急机构和职责分工	成立了“应急领导小组”，全面负责公司辐射事故应急响应和准备工作。预案中明确了各成员组的职责分工。	满足要求
应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备	制定了应急小组成员名单（含联系方式）。由 EHS 组织实施。EHS 负责应急物资、资金的保障。	满足要求

辐射事故分级与应急响应措施	应急预案按照公司运营情况进行了辐射事故分级，并针对不同类型的辐射事故/事件提出具有针对性、可操作性的应急措施。且将辐射应急响应程序张贴在放射性工作场所内、易于操作人员看见的地方，响应程序包含了应急小组及相关环保、公安和卫生部门的联系电话。	满足要求
辐射事故的调查、报告和处置程序	应急领导小组配合政府部门对环境进行恢复、事故调查、经验教训总结。应急预案制定了应急报告程序和报告内容，对不同等级事故制定了处理程序。	满足要求
制定辐射事故信息公开、公众宣传方案	应急预案规定了 EHS 负责配合政府部门进行辐射事故信息对外的发布。	满足要求

由上表可见，成都欣科医药有限公司现有辐射事故应急预案基本能满足现有辐射活动所需，对于本次新增建设内容，公司承诺将根据实际建设内容及时进行修订，以满足后续发展需求。

## 第七章 利益-代价简要分析

### 7.1 利益分析

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。与美国、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。

随着我国国民经济的持续发展，广大国民物质文化生活水平的不断提高及老龄化加剧等，对医疗服务提出更高效的要求。放射性药物作为体内放疗的重大组成部分，在应用过程中有其独特的优势。同时，国家鼓励、支持放射性药品的开发、生产与应用，2015年，国家发改委制定的《高端医疗器械和药品关键技术产业化实施方案》中，放射药品和高端肿瘤放疗设备关键技术产业化开发是其支持的重点项目之一。四川省委、四川省人民政府决策咨询委员会向省人民政府报送的《促进四川民用非动力核技术产业发展的建议》中提出“重点发展先进的医用同位素制备技术，高特异诊断标记化合物（药物）和特效放射性治疗标记化合物（药物），高效低毒的抗辐射损伤新药”。2021年国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局等8部委联合发布了《关于印发〈医用同位素中长期发展规划（2021-2035）〉的通知》（国原发[2021]2号），将放射性药物研发作为重点任务，指出“针对国外已应用于临床的放射性诊疗药物，加强技术研发力度，获得一批具备自主知识产权的放射性新药。针对严重威胁人类健康的恶性肿瘤，开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发。加快新型介入给药技术和剂量控制技术研究，提升放射性药物效能。”在此形势下，放射性药品技术和产品的市场需求将持续增长，我国放射性药品的市场发展潜力巨大。

此外，由于放射性药物具有自然衰变的特殊性，运输过程太长会造成极大的浪费，给患者增加负担。本项目研发出的新药将覆盖我国西南地区，其建设可推进区域患者总体诊疗费用下降、医药分离、推广经验和方案等医改目标。

同时，项目建成后，将对研发、生产技术、销售及其他职能人员有一定的需求，

并为新型研发人才打造很好的就业平台，这对减轻社会就业或再就业压力，保障社会安定起到了积极作用。

综上所述，本项目的建设符合新兴产业发展需要，有利于加快实现区域产业发展布局的总规划，有利于促进当地经济快速发展，增强企业的综合经济能力，增加就业机会，具有明显的经济和社会效益。

## 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，项目在双流工业集中发展区第六期内进行建设，故评价项目无土地、农作物和其他经济作物征购问题，也不存在新建道路问题，项目运行依托整个园区的基础设施，不单独建设供水、排水系统，故社会损失可忽略。

能源方面，项目单位运行期间需用水、电等能源，年耗量见表7.2.1-1。

表7.2.1-1 项目运行期间能源消耗情况一览表

名称	年耗量	来源	主要化学成分
电能	50万kW·h/a	城市供电系统	/
水	940m <sup>3</sup> /a	城市给水管网	H <sub>2</sub> O

### 7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下三方面的成本：

- (1) 建筑物建设成本；
- (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1491.20万元，项目总投资12800万元，环保投资占总投资的11.65%。

### 7.2.3 环境代价

本项目环境代价主要表现在：

(1) 项目建设施工阶段，将产生噪声、施工扬尘、施工建渣及施工人员产生的生活污水、生活垃圾等，如果不加强施工管理将对周围环境造成一定影响。但是这些影响具有时效性，随着施工期间的结束，对环境的影响也消除。只要工程在施工期严格执行上述基本要求，可以使施工期的环境影响降到最小程度。

(2) 项目运营阶段，将产生放射性废气、放射性废液和放射性固废，同时对职业人员及公众造成一定辐射影响。

通过理论预测，项目运营期间排入环境的放射性废气所致评价范围内的公众剂量

低于本报告提出的剂量管理限值 $0.1\text{mSv/a}$ ；贯穿辐射对辐射工作人员和周边公众造成的附加剂量值低于本报告提出的剂量管理限值（职业人员 $5\text{mSv/a}$ 、公众 $0.1\text{mSv/a}$ ）。

运营期间产生的放射性废液暂存衰变，衰变时间满足要求并经监测达标后，交有资质单位进行处理；产生生活污水、清洗废水等非放射性废水经厂区预处理池处理后排入市政污水管网，最终经四川溪水合公兴污泥处理厂处理达标后排入锦江，对区域地表水环境影响较小。

运营期间产生的放射性固废送入放射性污物暂存间暂存，定期委托有资质单位进行处理，不会对项目所在区域环境造成影响。

### 7.3 正当性分析

通过对本项目利益-代价的简要分析，考虑社会、经济、环境各方面的因素，本项目给社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的“实践正当性”，表明本项目的实践具有正当性。

## 第八章 结论与建议

### 8.1 项目工程概况

本项目所在 2 号楼，为 1 栋地下 1 层地上 4 层的建筑，高 24m，主要包括 204 车间、214 车间（回旋加速器区）、207 车间（氟-18 药物生产线）、208 车间（氟-18 药物生产线）、206 车间（中试线）、209 车间（β核素生产线）、210 车间（α核素生产线）、211 车间（β核素生产线）、212 车间（α核素生产线）、1 个质检中心、放射性物料库房、成品库房以及生产销售配套功能用房。项目总平面布局见附图 5~附图 9，具体建设内容和规模如下：

#### (1) 2 号楼地下一层

布置 2 个消防水池，1 个消防水泵房、放射性废物暂存间 1（49.80m<sup>2</sup>）、放射性废物暂存间 2（41.64m<sup>2</sup>），1 个排风机房、1 个生活水箱间和 1 个配电机房。在地下了一层西北侧边界外建设一个 3 格并联衰变池，衰变池为不锈钢拼装水箱，嵌入在地下钢筋混凝土构筑物内，构筑物长 6.40m，宽 5.20m，高 2.1m。

#### (2) 2 号楼一层

2 号楼一层建设 204 车间（回旋加速器区）、1 间放射性物料间、207 车间（氟-18 药物生产线）、208 车间（氟-18 药物生产线）、206 车间（中试线），并建设办公室、更衣室、换鞋室、洗衣间、卫生间、大厅、容器具清洗间、容器具存放间、工具间、洁具间、配电间、标签打印间、危化品暂存库 1、危化品暂存库 2 以及危化品废物暂存库等配套设施。

##### 1) 204 车间（回旋加速器区）

在一层西侧建设 204 车间，布置加速器机房一和加速器机房二，两间加速器机房紧邻布置，占地面积均为 126m<sup>2</sup>，机房尺寸相同（长 15m×8.4m×4.65m），机房屏蔽墙体厚度相同。建设单位拟在机房内分别安装使用一台 GE PET trace 鲲鹏型回旋加速器用于生产正电子核素，属于 II 类射线装置，两台加速器不同时使用。加速器质子束最大能量均为 16.5MeV，均为双束流设计，单束流模式最大束流为 80μA，双束流模式最大束流为 2×80μA。每台加速器均生产核素氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镱-177、铽-161、铅-203。生产的核素最终通过专用地下管道气动装置自动传输至两条氟-18 药物生产线以及中试线热室。单台加速器年最大出束时间约 2000h。

2台加速器分别配置有设备间，并共用1间制靶室、1间控制室和2间气瓶间。

### 2) 207生产车间（氟-18药物生产线）

在一层中部偏北侧建设207生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、准备间、洁具间、拆包间（两条氟-18生产线共同）、包装间组成，加速器生产的核素原料 $^{18}\text{F}$ （液态）通过专用地下管道，由高纯惰性气体经气动装置自动传输至生产线热室内。

207生产车间主要产品包括不同规格（装量）的氟 $^{18}\text{F}$ 注射液。生产线日最大操作量为 $2.59\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.59\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为 $6.48\text{E}+14\text{Bq}$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

### 3) 208生产车间（氟-18药物生产线）

208生产车间与207生产车间相邻布置，该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量及活动种类均与氟-18标记药物生产线一相同，车间日最大操作量为 $2.59\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.59\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为 $6.48\text{E}+14\text{Bq}$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

### 4) 206车间（中试线）

在一层东侧建设206生产车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、融靶区（205车间）、准备间、拆包间、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间1、气锁间2、洁具间和包装间组成。生产氟-18、铜-64、镓-68、锆-89、镱-177、铽-161、铅-203、铟-225、铅-212药物溶液。其中核素锆-89、铅-203除由加速器生产以外，还需另行外购；核素镓-68除由加速器生产以外，还需外购镉-68（镓-68）发生器淋洗制备；外购钍-228（铅-212）发生器淋洗铅-212以及外购核素镱-177、铽-161、铟-225。206车间单日仅采用一种生产方式制备一种药物，一年最多生产使用3种放射性药物。

#### ①加速器生产核素

氟-18日最大操作量为 $6.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.48\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为 $6.48\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格 $10\text{mCi}\sim 300\text{mCi}$ 不等；铜-64日最大操作量为 $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为 $3.70\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为 $4\text{mCi}$ ；镓-68日最大操作量为 $1.85\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85\text{E}+09\text{Bq}$ ；年最大产量为 $1.85\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为 $100\text{mCi}$ ；锆-89日最大操作量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为 $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为 $50\text{mCi}$ ；铅-203日最大操作量为 $1.30\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.30\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为 $1.30\text{E}+12\text{Bq}$ ，

产品规格为 20mCi。

### ②外购发生器制药

购买锗-68（镓-68）发生器生产镓-68 放射性药物，锗-68 最大装量为 200mCi，年最大购买量 20 个。锗-68 日最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大用量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ； $^{68}\text{Ga}$  日最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.48\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为 100mCi；购买钷-228（铅-212）发生器生产铅-212 放射性药物，钷-228 最大装量 200mCi，年最大购买量 2 个。钷-228 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大用量为  $1.48\text{E}+10\text{Bq}$ ；铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为 5mCi。

### ③外购核素制药

镭-177 日最大操作量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为 200mCi；铯-161 日最大操作量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+13\text{Bq}$ ，产品规格为 200mCi；铷-225 日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，产品规格为 5mCi；铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为 5mCi；铊-89 日最大操作量为  $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.96\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $2.96\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为 50mCi；铅-203 日最大操作量为  $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大产量为  $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为 20mCi；碲-221 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大产量为  $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为 5mCi；磷-225 日最大操作量为  $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $2.22\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大产量为  $2.22\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为 5mCi、10mCi、25mCi、50mCi、100mCi。

206 车间单日最大操作量的核素为镭-177、铯-161 和铷-225，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，为甲级非密封放射性物质工作场所。

### 5) 放射性物料库

在 1 层西北侧设置一个放射性物料库，面积约  $11.93\text{m}^2$ 。用于存储外购原料铊-89、铅-203、镭-177、铯-161、铷-225、铅-212、锗-68、钼-99、铯-149、钷-44、铯-186，碲-211、磷-32 以及锗-68（镓-68）发生器、钷-228（铅-212）发生器。根据生产研发需要，预计每天最多存放 7 种核素。放射性物料库日最大储存量为  $3.03\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等

效最大操作量为  $3.90\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大用量为  $3.04\text{E}+14\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

### (3) 2 号楼二层

#### 1) 209 车间 ( $\beta$ 核药生产线)

在二层中部建设 209 车间，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

209 车间生产镭-177 或铽-161 的药物溶液。①外购镭-177 原料，镭-177 日最大操作量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，年最大产量为  $3.70\text{E}+14\text{Bq}$ ；②外购铽-161 原料，铽-161 日最大操作量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，年最大产量为  $3.70\text{E}+14\text{Bq}$ 。209 车间仅使用一种核素制备一种药物，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### 2) 210 车间 ( $\alpha$ 核药生产线)

210 生产车间与 209 生产车间相邻布置，210 车间生产镭-225 或铅-212 的药物溶液。①外购镭-225 原料，镭-225 日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.11\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ ；②购买钷-228 (铅-212) 发生器生产铅-212 放射性药物，每年购买 20 个，钷-228 日最大操作量为  $1.11\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大用量为  $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ ；铅-212 日最大操作量为  $1.11\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.11\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.67\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品规格为  $50\text{mCi}$ ；③外购铅-212 原料，铅-212 日最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，年最大产量为  $1.277\text{E}+12\text{Bq}$ ，产品规格为  $5\text{mCi}$ 。210 车间单日只采用一种方式和使用一种核素制备一种药物，每年生产一种药物，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### 3) 211 车间 ( $\beta$ 核药生产线)

211 生产车间与 210 生产车间相邻布置，由合成热室、分装热室、前区、后区、一更、二更、洁净通道、去污间、气锁间、气锁间 1、气锁间 2、准备间、洁具间、拆包间、包装间组成。

该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量及活动种类均与 209 相同，209 车间日最大操作量为  $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，年最大产量为  $3.70\text{E}+14\text{Bq}$ ，为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### 4) 212 车间 ( $\alpha$ 核药生产线)

212 车间与 211 车间相邻布置, 该生产车间的建设内容、生产规模、产品方案、操作量及活动种类均与 210 车间相同, 212 车间日最大操作量为  $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ , 日等效最大操作量为  $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### (4) 三层质检中心

在三楼建设质检中心, 建筑面积约  $1494\text{m}^2$ 。质检中心分为放射性质检区和非放射性质检区。

质检中心涉及使用和销售 (仅外委送样或分析测试或实验) 核素氟-18、铜-64、镓-68, 锝-99m、铅-212、碘-131、铅-203、镭-177、铈-89、碳-14、钪-89、铽-161、钷-225、钷-47、镓-67、铟-90、钇-103、铟-111、钷-153、钷-166、铈-188、铈-201、砒-211、镭-223、钷-227、碘-123、碘-124、碘-125、锗-68、钼-99、铽-149、钷-44、铈-186, 磷-32, 单日最多操作使用 8 种核素, 其中氟-18、镓-68, 锝-99m、镭-177、钷-225、铽-161、铅-212 为每日必检核素。质检中心日等效最大操作量为  $4.06\text{E}+11\text{Bq}$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### (5) 四层库房

在 4 楼建设放射性药品库房和非放射性物料库。放射性药品库房包括成品库 1、成品库 2、收发货区、容器清洁区和容器存储区。

放射性药品库房涉及储存药品钪-89、钷-225、铅-212、碘-131、碘-125、钼-99 (锝-99m) 发生器、镭-177、铽-161、铈-89、铟-90、锗-68 (镓-68) 发生器、钷-188 (铈-188) 发生器、钷-228 (铅-212) 发生器。

库房日等效最大操作量为  $5.94\text{E}+09\text{Bq}$ , 为**甲级非密封放射性物质工作场所**。

#### (7) 放射性药物及发生器代理销售

建设单位代理销售钼-99、砒-211、磷-32、钷-228 药物溶液, 代理销售铈-90 (钷-90) 敷贴源和镭-224 (铅-212), 由厂家直接发货给用户, 不在厂区暂存, 每年代理销售的核药总活度为  $1.85\text{E}+13\text{Bq}$ 。

项目总投资 12800 万元, 环保投资 1491.20 万元, 占总投资的 11.65%。

## 8.2 辐射安全与防护

### 8.2.1 电离辐射防护

2 号楼为钢筋混凝土框架结构, 建筑外墙是 20cm 厚页岩砖墙, 楼板为 15cm 厚混凝土, 建筑内根据各功能布局采用彩钢板进行隔离。本项目各辐射工作场所主要采用操

作箱体进行屏蔽（如热室、手套箱等），密闭箱体密闭性符合《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的2级或3级标准，防护性能满足工作人员操作位置剂量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

经预测分析，拟采取的各类屏蔽设施和措施满足相关标准要求，可使辐射工作人员受照剂量满足GB18871-2002提出的职业人员剂量照射限值和本项目提出的职业人员剂量管理限值。同时，各涉放工作场所按相关要求划定控制区与监督区进行管理，人流、物流路径分离。

### 8.2.2 放射性“三废”治理

本项目回旋加速器区和各放射性药物生产车间的排风系统均独立设计，可独立开启，互不干扰。各辐射工作场所排风系统共41根排风管道引至2号楼楼顶，在楼顶并成3根主排气筒，主排气筒高27m，废气经相应的净化方式处理后通过主排气筒排放。

#### 8.2.2.1 放射性废气

##### （1）回旋加速器区

项目设有回旋加速器机房1与回旋加速器机房2两间加速器机房，两间机房分别设1套排风系统，废气经单独排风管引至2号楼楼顶，经高效过滤装置处理后，分别由PF-1-10和PF-1-11号排风管道汇入27m高#1主排气筒排放；每套排风系统风机排风量为 $1400\text{m}^3/\text{h}$ ，净化效率99%。#1主排气筒内径为 $2000\times 1800$ ，顶部为防雨弯头，预留废气人工取样口，排放口设置总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 在线监测系统。

##### （2）放射性药物生产车间

项目各生产线根据工作场所分区，分别设置治理排风系统。产生放射性气体的设备设局部通风，工作箱等在生产时产生放射性物质或气体的，先经设备自带除碘（活性炭）高效过滤器过滤后，再经楼顶初效+中效过滤装置和活性炭吸附装置处理后排放。高效过滤器过滤效率不低于99.9%，活性炭吸附器的净化系数不低于95%。7个药物生产车间排风管道，所有排风管道在楼顶汇入不同的主排气筒排放。

##### （3）放射性暂存场所

项目留样间、废物暂存间一、废物暂存间二、成品库以及放射性物料库，均设有不同的排风系统，废气经排风管道引至2号楼楼顶，经初效+中效过滤装置和活性炭吸附装置处理后汇入不同的主排气筒排放。

##### （4）其他涉放场所

生产车间和质检中心除工作箱以外的控制区和监督区均设置排风系统，废气经排

风管道引至 2 号楼楼顶，经初效+中效过滤装置处理，涉碘区域废气经排风管道引至 2 号楼楼顶，经初效+中效过滤装置和活性炭吸附装置处理后汇入不同的主排气筒排放。

综上，本项目辐射工作场所共设有 41 根排风管道，各排风管道集中引至 2 号楼楼顶，并管后分别汇入 3 根 27m 高的主排气筒排放，主排气筒高于周围 50m 范围最高建筑 3m 以上。排气筒顶部采用防雨弯管，预留废气人工取样口。取样口应按《固定源废气监测技术规范》（HJ/T397-2007）要求设置。

### （5）废气排放管理措施

①建设单位需定期对通排风系统管道及净化系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中各型过滤装置需根据设备要求（当过滤器两端压差值为小于初阻值或大于 2 倍初阻值时进行清洗或更换）定期进行过滤效率检定和更换，并将更换下的滤芯进行收集暂存衰变或处置；②为尽量减小公众不必要的照射，建设单位应对各排放口进行信息标识，并对废气排放口楼顶进行封闭管理，除监测采样、设备维护、检修等特殊情况下，禁止人员在楼顶长期居留。

#### 8.2.2.2 放射性废水

本项目放射性废水包括：回旋加速器检修维护期间产生的活化冷却废水、放射性药物合成（标记）、分装过程中产生的管路清洗废水，以及辐射工作人员在操作药物时发生药物撒漏等意外事件，造成手部及身体的污染，需要在去污间/淋浴间进行清洗或淋浴去污产生的少量含放射性核素的去污废水。项目回旋加速器检修维护期间产生的活化冷却废水，废水中放射性核素的半衰期不超过 2min，冷却废水采用带铅屏蔽的废水收集桶单独收集，在加速器机房内暂存衰变超过 30 天后，经监测 $\beta$ 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 后排入园区污水管网。管路清洗废水盛装在塑料瓶里，置于铅容器内用推车运送到放射性固废间的地坑内存储，短半衰期（24h 内）核素废水衰变超过 30 天后排入厂区污水管网，其他核素静置衰变 10 个半衰期后，经检测 $\alpha$ 活度浓度 $\leq 4\text{Bq/L}$ ， $\beta$ 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 后排入园区污水管网排入园区污水井，进入园区污水管网。辐射工作人员洗手、清洗等过程中可能产生的放射性废水，在洗手池下方安装约 50L 的容器收集，静置衰变后经监测达标后排入厂区污水管网；如突发药物撒漏等辐射事故造成人员大面积污染需进行淋浴去污，淋浴设备下方设置 240L 的废水收集容器，静置衰变后经监测达标后排入园区污水管网。

本项目在 2 号楼东侧新建埋地式衰变池，衰变池设置不锈钢 3 格并联衰变池，用于收集暂存碘-131 容器清洗废水。废水排入衰变池后，暂存超过 180 天后，经泵提升

至室外排水井，经厂区污水管排入园区污水管网。

综上，项目放射性废水对地表水环境影响很小。

### 8.2.2.3 放射性固体废物环境影响分析

根据《核技术利用放射性废物最小化》(HAD401/11-2020)，本项目生产线和废气净化产生的放射性固体废物均属于可压缩/非感染性废物。

本项目产生的放射性固体废物包括回旋加速器加速器维修更换产生的废弃活化部件(如碳膜支架和靶膜)，废靶材；核素淋洗、纯化、过滤、装罐过程中产生的合成、分装环节产生的一次性合成卡套(注射器、针头和传输管路等)、废树脂和滤材、用于吸收合成废液的卫生纸或脱脂棉球；分离纯化、合成、分装环节分别产生含铜-64、锆-89、镓-68的废纯化柱、原料瓶、反应瓶、过渡瓶、液体传输管、滤膜和擦拭吸纸等；质检中心产生的用于吸收质检废液的卫生纸或脱脂棉球及实验一次性耗材(手套，层析纸，毛细管、样品瓶、试验台垫层吸水纸、pH试纸、移液器枪头、实验器具擦拭纸等；废气处理废滤芯；以及辐射工作人员受污染劳动防护用品(废手套、洁净服等)，以及产生的废弃 $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$ 发生器，废 $^{228}\text{Th}$ - $^{212}\text{Pb}$ 发生器。

① 项目产生的废弃 $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$ 发生器，废 $^{228}\text{Th}$ - $^{212}\text{Pb}$ 发生器放置到废物暂存间内，暂存一定时间后，再连同原包装容器一起由厂家统一回收。

② 对于所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天、所含核素半衰期24小时~100天的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍(含碘-131核素的暂存超过180天)，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可实施解控；对于不能解控的放射性固体废物(半衰期大于100天)，按照放射性废物处理的相关规定交有资质单位处理。

③ 回旋加速器每年维修更换的活化部件预计约10kg/台，主要含有 $^{56}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Ni}$ 、 $^{27}\text{Mg}$ 、 $^{24}\text{Na}$ 、 $^{28}\text{Al}$ 、 $^{62}\text{Cu}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{66}\text{Cu}$ 等感生放射性核素，半衰期均较短，由铅废物桶收集后就地放置于加速器机房内衰变，经检测达到清洁解控水平后作为一般废物处理。

加速器运行产生的放射性废靶膜和碳膜等活化材料量较少，每台约 $0.1\text{kg}/\text{a}$ ，由铅废物桶收集后就地暂存于加速器机房内，交有相应资质的单位处理。

本项目各工作场所放射性固体废物按所含核素种类及危险废物特性，采取分类收集、分别处理的方式。各工作场所均设有放射性废物桶(10mmPb、20mmPb、50mmPb)。

本项目合成、分装废液、质检废液采用专用容器分类收集后用转运车转运至放射性废物暂存间地坑内暂存衰变，对于所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天、所含核素半衰期24小时~18天的暂存时间超过核素最长半衰期的10倍（含碘-131核素的暂存超过180天），监测符合标准（总 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L）后作为危险废物（HW02 医药废物）交有资质单位处理；对于所含核素半衰期大于18天的放射性废液，达到一定量后按照放射性废物处理的相关规定交由有资质单位进行处理。更换的废气处理废滤芯和活性炭在放射性废物间暂存解控后作为危险废物（HW49 其他废物）交有资质单位处理。

2间放射性废物暂存间位于2号楼负一层，放射性固体废物经分类收集后转运至放射性废物暂存间内暂存衰变。各种废物均存放在地坑内，地坑顶部为20mm铅当量的铅盖，加上废物暂存间四周37mm的实心砖+1mm铅当量的硫酸钡墙体和150mm钢筋混凝土顶板，并采用5mm铅防护门，因此，经过多重屏蔽防护后，项目产生的放射性固体废物对环境影响较小。

### 8.3 环境影响分析

#### 8.3.1 施工期环境影响分析结论

项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期间的结束，对环境的影响也消除。只要工程在施工期严格执行各项环境保护措施，可以使施工期的环境影响降到最小程度。

#### 8.3.2 运营期环境影响分析结论

##### 8.3.2.1 辐射环境影响分析

###### （1）职业人员受照剂量分析

本项目职业人员最大受照剂量满足本项目5mSv/a剂量管理限值要求，公众最大受照射剂量满足0.1mSv/a剂量管理限值要求。

###### （2）放射性废液影响

本项目产生的放射性废液均妥善处理，对地表水环境基本无影响。

###### （3）放射性固废影响

本项目产生的放射性固体废物均妥善处理，对周围环境影响很小。

##### 8.3.2.2 非放环境影响分析结论

###### （1）非放射性废气

本项目非放射性废气主要来源于各生产线及实验室使用的氯化氢、硝酸、硫酸挥

发产生的酸雾，以及使用有机化合物产生的挥发性有机物，由于单次用量极少，因此其产生量也较少，同时该非放射性废气经中效过滤器过滤后对环境影响较小。

加速器在运行过程中因室内空气被连续辐照电离产生少量臭氧和二氧化氮，在连续辐照条件下，臭氧、二氧化氮浓度很小，对环境影响较小。

### (2) 非放射性废水环境影响

本项目运营期非放射性废水包括：非放工艺清洗废水、纯化水制备废水、准备室洗手废水、以及工作人员生活污水，洁具清洗废水，排入预处理池处理后排入园区污水管网，接入四川溪水合公兴污泥处理厂进行处理，处理达标后排入锦江，对地表水环境影响较小。

### (3) 非放射性固体废物环境影响

本项目产生的生活垃圾、未沾染的一次性手套、衣服、鞋套、原料包装废材、产品包装废材（非放）等一般固废统一收集后，交由环卫部门统一收运处置。

本项目产生的废有机溶剂、废酸液等，未涉放射性的空化学试剂瓶和药瓶，未涉放射性房间的废气过滤装置产生的废活性炭和废过滤芯等交有资质单位进行处理。

非放射性固体废物对环境影响较小。

#### 8.3.2.3 噪声环境影响

本项目生产及配套设施产生的噪声通过车间厂房隔声，针对净化空调机组和排风机噪声，主要采取安装消声器、减振和增加软管接头等措施减少噪声影响，采取以上措施后，项目运行噪声对厂界周围声环境影响较小。

## 8.4 辐射安全管理

建设单位已成立辐射安全管理机构，现有辐射工作人员均已进行辐射防护与安全知识学习考核，已按要求制定各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，建设单位承诺在项目投运前，将对新增辐射工作人员进行学习考核，并对现有规章制度及应急预案进行修订，继续严格执行相关辐射安全管理要求。

本项目各涉放工作场所均拟配备相应的辐射监测仪器，并制定相应的环境监测制度。环境监测方案包含工作场所监测计划、废气和废液监测计划和个人剂量监测计划，各监测计划包含监测项目、监测频次、监测点位及监测方法，监测方案满足相关环境监测规范要求，满足本项目环境监管要求。

## 8.5 项目环保可行性结论

根据上述分析，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布置合理，采取辐射防护措施技术可行，措施有效。在严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众受照射剂量低于国家规定的年有效剂量限值和本项目提出的剂量管理限值。**评价认为，本项目从辐射防护及环境保护角度分析是可行的。**

## 8.6 要求及承诺

(1) 本项目在建设和运营过程中须严格落实项目设计及本报告书提出的各项污染防治措施与辐射安全防护措施。

(2) 建设单位应在重新申请辐射安全许可证之前，登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>），对本项目所用非密封放射性物质、射线装置及其场所的相关信息进行申报。

(3) 定期对辐射安全防护设施进行检查、维护，发现问题及时维修。

(4) 建设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，并按时（每年1月31日前）向生态环境主管部门网站申报辐射安全与防护状况年度自查评估报告。报告内容应包括单位放射性工作场所采取的辐射安全防护设施、放射工作场所管理制度、辐射工作人员年剂量和事故应急预案等。

(5) 在项目投运前完成各项辐射安全管理规章制度的修订，并在后续运营期间，根据相关法律法规的更新及运营过程中发现的问题，及时组织修订，使其具有针对性、可操作性；定期进行辐射事故应急演练，检验应急预案的可行性、可操作性，并根据演练反应的问题，总结、完善事故应急预案。

(6) 在项目投运前完成本项目所有辐射工作人员的辐射安全与防护考核，保证所有辐射工作人员考核通过持证上岗。并在后续运营期间，按相关规定对辐射工作人员进行再培训教育。

(7) 建设单位应加强核安全文化建设，开展核安全文化培育、评估和持续改进，不断提升核安全文化水平，强化法律意识，自觉应用核与辐射安全法规开展相关工作，推动核安全文化成为基本价值观。

## 8.7 竣工验收要求

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3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系统（网址为 <http://114.251.10.205/#/pub-message>），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。

表8.8.1-1 竣工环境保护验收一览表

场所		设施（措施）	数量
加速器机房	屏蔽设施	主体屏蔽结构	/
	安全设施	电离辐射警示标志、“两区”划分标识	/
		人员出入口门禁系统	8套
		门-机联锁系统	2套
		门-束流联锁系统	2套
		门-灯联锁系统	2套
		声光报警及语音播报系统	2套
		门-剂量联锁（固定式 X- $\gamma$ 剂量率监测系统）	2套
		固定式 X- $\gamma$ 剂量报警仪	4台

场所		设施(措施)	数量
		固定式中子剂量报警仪	1台
		通风联锁系统	2套
		钥匙控制系统	2套
		紧急停机装置	4个
		紧急开门装置	2个
		清场巡检系统	8套
		视频监控系统	10套
	个人防护用品	$\gamma$ 个人剂量报警仪	2个
		$\gamma$ 个人剂量计	3个
		中子个人剂量计	3个
		洁净工作服、一次性口罩、手套等	若干
	监测	便携式 $\alpha\beta$ 表面沾污仪	1台
		便携式 X- $\gamma$ 辐射监测仪	1台
		便携式中子剂量当量率监测仪	1台
	放射性废气处理	通排风系统及过滤系统	2套
	放射性废水处理	冷却水收集桶	2个
	放射性固废处理	放射性固废暂存容器	2个
其他	地面防渗、防水处理	/	
	制度上墙	/	
一层	屏蔽设施	205、206、207、208 生产线及中试线屏蔽工作箱/手套箱	5套
		产品铅罐	若干
	安全设施	电离辐射警示标志、“两区”划分标识	/
		人员出入口门禁系统	8套
		机械双人双锁	6套
		视频监控系统	24个
		卫生通过间气闸联锁系统	5套
		固定式 X- $\gamma$ 剂量报警仪	7套
	个人防护用品	个人剂量报警仪	10个
		$\gamma$ 个人剂量计	15个
		洁净工作服、一次性口罩、手套等	若干
		污染表面清洗剂	/
	监测	全身表面沾污仪	5台
		便携式 $\alpha\beta$ 表面沾污仪	5台

场所	设施(措施)	数量	
	便携式 $\gamma$ 辐射监测仪	1台	
	放射性废气处理	生产线及中试线通排风及过滤系统	5套
	放射性废水处理	放射性废液收集容器(2L)	10个
		放射性废水暂存箱(40L)	5个
		放射性废水下水系统及自动控制系统	1套
		人体去污水暂存箱	5个
		防渗围堰	/
	放射性固废处理	放射性废物暂存间(含地坑)	2间
	其他	地面防渗、防水处理	/
		制度上墙	/
二层	屏蔽设施	209、210、211、212 生产线及中试线屏蔽工作箱/手套箱	4套
		产品铅罐	若干
	安全设施	电离辐射警示标志、“两区”划分标识	/
		人员出入口门禁系统	6套
		机械双人双锁	4套
		视频监控系统	20个
		卫生通过间气闸连锁系统	4套
		固定式 X- $\gamma$ 剂量报警仪	8套
	个人防护用品	个人剂量报警仪	8个
		$\gamma$ 个人剂量计	12个
		洁净工作服、一次性口罩、手套等	若干
		污染表面清洗剂	/
	监测	全身表面沾污仪	1台
		便携式 $\alpha\beta$ 表面沾污仪	4台
		便携式 $\gamma$ 辐射监测仪	1台
	放射性废气处理	生产线通排风及过滤系统	4套
	放射性废水处理	放射性废液收集容器(2L)	8个
		放射性废水暂存箱(40L)	4个
		人体去污水暂存箱	4个
		防渗围堰	/
	放射性固废处理	放射性废物暂存间(含地坑)	2间
	其他	地面防渗、防水处理	/

场所		设施(措施)	数量
		制度上墙	/
质检中心	屏蔽设施	手套箱	18套
		通风橱	13套
		原料铅罐	若干
		L屏	3个
		电离辐射警示标志、“两区”划分标识	若干
	安全设施	固定式 $\gamma$ 剂量报警仪	4套
		$\gamma$ 个人剂量报警仪	10个
		$\gamma$ 个人剂量计	10个
		视频监控系统	28个
		人员出入口门禁系统	5个
		机械双人双锁	3个
		个人防护用品	洁净工作服、一次性口罩、手套等
	污染表面清洗剂		/
	监测	手脚表面沾污监测仪	1台
		便携式 $\gamma$ 辐射监测仪	1台
		便携式 $\alpha/\beta$ 表面沾污仪	1台
	放射性废气处理	排风及过滤系统	14套
	放射性废水处理	放射性废液收集容器(10L)	15个
		放射性废水暂存箱(40L)	1个
		箱式推车	2个
		防渗围堰	/
	放射性固废处理	放射性固废收集容器	15个
		放射性废物暂存间(含地坑)	1间
其他	地面防渗、防水处理	/	
	制度上墙	/	
四层	安全设施	电离辐射警示标志、“两区”划分标识	/
		人员出入口门禁系统	2套
		机械双人双锁	1套
		视频监控系统	8个
		便携式 $\alpha/\beta$ 表面沾污仪	1台
		固定式 X- $\gamma$ 剂量报警仪	2套
	其他	地面防渗、防水处理	/
		制度上墙	/