

核技术利用建设项目

中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化平台
项目

环境影响报告书

(公示本)



四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司

二〇二五年七月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化
平台项目

环境影响报告书

建设单位名称：四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村五组

邮政编码：621000

联系人：马*

电子邮箱： /

联系电话：187*****64

目 录

1	概述	5
1.1	项目名称、地点	5
1.2	项目概况	5
1.3	编制依据	34
1.4	评价标准	39
1.5	评价等级	44
1.6	评价范围和保护目标	46
2	自然环境与社会环境状况	49
2.1	自然环境状况	49
2.2	社会经济状况	53
2.3	环境质量和辐射现状	55
2.4	厂址适宜性评价	59
3	工程分析与源项	61
3.1	项目规模与基本参数	61
3.2	工艺设备与工艺分析	76
3.3	污染源项	82
3.4	废弃物	97
4	辐射防护与安全措施	106
4.1	场所布局与屏蔽	106
4.2	辐射安全与防护措施	115
4.3	三废治理	128
4.4	服务期满后的环境保护措施	138
5	环境影响分析	140
5.1	施工期环境影响评价	140
5.2	运营期环境影响评价	143
5.3	事故影响分析	160
6	辐射安全管理	169
6.1	机构与人员	169

6.2	辐射安全管理规章制度	169
6.3	辐射监测	170
6.4	辐射事故应急	174
7	利益-代价简要分析	178
7.1	利益分析	178
7.2	代价分析	178
7.3	正当性分析	182
8	结论与建议	183
8.1	项目工程概况	183
8.2	辐射安全与防护	183
8.3	环境影响分析	184
8.4	辐射安全管理	185
8.5	公众参与	185
8.6	结论	186
8.7	建议和承诺	186
8.8	竣工验收要求	187

附图

附图 1 地理位置图

附图 2 本项目产业园（青龙北片区）规划用地布局图

附图 3 项目辐射环境质量现状监测布点示意图-1（核医疗产业园区）

附图 4 项目辐射环境质量现状监测布点示意图-2（川发厂区）

附图 5 项目外环境关系图

附图 6 项目总平面布局及废气排口布置示意图

附图 7-1 8 号车间一层平面布局及“人流、污流、物流”平面图

附图 7-2 8 号车间三层平面布局及“人流、污流、物流”平面图

附图 8 10 号车间二层平面布局及“人流、污流、物流”平面图

附图 9-1 8 号车间一层辐射分区图

附图 9-2 8 号车间三层辐射分区图

附图 10 10 号车间二层辐射分区图

附图 11-1 8 号车间一层放射排风分区示意图

附图 11-2 8 号车间三层放射排风分区示意图

附图 12 10 号车间二层放射排风分区示意图

附图 13-1 8 号车间一层气流组织示意图

附图 13-2 8 号车间三层气流组织示意图

附图 14 10 号车间二层气流组织示意图

附图 15 放射性废水衰变池布置示意图

附图 16-1 8 号车间一层放射性废水管道平面图

附图 16-2 8 号车间三层放射性废水管道平面图

附图 17 10 号车间二层放射性废水管道平面图

附图 18-1 8 号车间一层辐射监测设备分布图

附图 18-2 8 号车间三层辐射监测设备分布图

附图 19 10 号车间二层辐射监测设备分布图

附件

附件 1 项目委托书

附件 2 关于成立辐射安全与环境保护管理小组的通知

附件 3 中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化平台项目-备案证明表
(2024-09-20) (1)

附件 4-1 引用产业园辐射环境监测-川辐环监字（2022）第 RM0029RM0031 号（气
水土、芙蓉溪底泥，多种核素）

附件 4-2 中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化平台一期项目-久测环检字
202503087 号

附件 4-3 新增核素检测-辐测院监字（2024）第 H248 号 国通（绵阳）新药技术有
限公司游仙区放射药研发生产基地二期项目环境质量现状监测报告

附件 4-4 引用产业园辐射环境监测 川辐环监字（2024）第 RM0072 号-辐射环境现
状监测（气溶胶、地下水、地表水、土壤及底泥）-西安迈斯拓扑科技有限公司加速器
生产铜 225 等医用同位素项目环境质 量监测

附件 5 国有建设用地使用权转让协议

1 概述

1.1 项目名称、地点

1.1.1 项目名称

中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化平台项目

1.1.2 建设地点

本项目位于四川省绵阳市游仙区中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山片区（东经 104.809268；北纬 31.533889），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

四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司，统一社会信用代码：91510704MAD0DQB45Y（以下简称核医疗公司或建设单位），该公司是一家从事园区管理服务，土地整治服务，企业管理咨询等业务的公司，成立于 2023 年 09 月 28 日，注册资本为 30000 万人民币，企业的经营范围为：一般项目：园区管理服务；自有资金投资的资产管理服务；土地整治服务；企业管理咨询；非居住房地产租赁；住房租赁；物业管理；信息咨询服务（不含许可类信息咨询服务）；通用设备制造（不含特种设备制造）；国内货物运输代理；道路货物运输站经营；国内贸易代理；会议及展览服务；技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；供应链管理服务。（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）许可项目：建设工程施工；房地产开发经营；道路危险货物运输。

1.2.2 项目由来

为贯彻落实习近平总书记来川视察关于“在推进科技创新和科技成果转化上同时发力”重要指示精神，加快建成“健康中国”，完善中国科技城核医疗健康产业园“产业基础设施”，推动科技成果转移转化，保障园区多品种放射性药物的研发生产，助推园区核医疗产业补链强链，推动绵阳市国家核医学基地建设，形成新质生产力，四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司经对园区充分调研，拟开展中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化平台项目，为中小型放药生产企业提供待加工平台。本项目共涉及 9 个非密封放射性物质工作场所，其中 8 号车间 7 个、10 号车间 2 个。8 号车间非密封放射性物质工作场所分别为：①⁹⁹Mo（^{99m}Tc）发生器线：该场所用于生产 ⁹⁹Mo

(^{99m}Tc) 发生器, 场所日等效最大操作量 $1.11\text{E}+12\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ② ^{177}Lu 核素生产线: 该场所用于生产 ^{177}Lu 核素溶液, 场所日等效最大操作量 $4.16\text{E}+14\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ③ ^{177}Lu 注射剂生产线: 该场所用于生产 ^{177}Lu 注射剂, 场所日等效最大操作量 $1.48\text{E}+11\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ④ ^{131}I 口服液生产线: 该场所用于生产 ^{131}I 口服液, 场所日等效最大操作量 $7.40\text{E}+11\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ⑤源库: 该场所用于存放 ^{177}Lu 、 ^{99}Mo 、 ^{131}I 、 ^{99}Mo (^{99m}Tc) 放射性原料, 场所日等效最大操作量 $2.44\text{E}+10\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ⑥镓即时标记药物线: 该场所用于生产镓即时标记药物, 场所日等效最大操作量 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ⑦质检中心: 该场所用于质检 8 号车间及 10 号车间生产的放射性产品, 场所日等效最大操作量 $3.77\text{E}+09\text{Bq}$, 为乙级工作场所。10 号车间非密封放射性物质工作场所分别为: ① ^{177}Lu 注射剂生产线 (10 号车间): 该场所用于生产 ^{177}Lu 注射剂, 场所日等效最大操作量 $1.48\text{E}+11\text{Bq}$, 为甲级工作场所; ②源库 (10 号车间): 该场所用于存放 ^{177}Lu 放射性原料, 场所日等效最大操作量 $1.48\text{E}+09\text{Bq}$, 为乙级工作场所。

根据《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《建设项目环境保护管理条例》等法律法规要求, 本项目须进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录 (2021 年版)》中“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目”中“生产放射性同位素的 (制备 PET 用放射性药物的除外)、甲级非密封放射性物质工作场所为报告书类, 乙、丙级非密封放射性物质工作场所为报告表类, 使用 II 类射线装置为报告表类, 销售非密封放射性物质的为登记表类”的分类管理要求, 经综合分析管理要求, 本项目应编制环境影响报告书。

为加强甲级非密封放射性物质工作场所的管理、医用放射性同位素生产、使用和销售过程中的辐射安全与环境管理, 防止放射性污染和意外环境事故的发生, 保护环境, 保障公众健康, 同时为公司申办生态环境主管部门核发《辐射安全许可证》提供支持性文件, 建设单位委托四川久远环保安全咨询有限公司承担本项目的环评报告编制工作。环评单位接受委托后, 随即组织专业人员开展资料收集、现场踏勘、资料整理分析、调研有关法规等工作, 并与建设单位进行多方咨询交流, 反复核实, 在进行工程分析的基础上, 结合工程的具体情况以及辐射危害特征, 按照《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》(HJ 10.1-2016) 的要求, 编制了本环境影响报告书。

1.2.3 项目基本情况

1、建设性质：新建

2、项目总投资：30000 万元

3、工程占地情况

本工程总规划用地面积 19153.34m²，总规划建筑面积 28310.47m²。根据国有建设用地使用权转让协议（附件 5），项目用地属于工业用地。

4、项目建设规模

本项目共新建 2 栋建构物，其主体工程为 8 号车间、10 车间两栋生产厂房，配套工程为室外衰变池等，总建筑面积 28310.47m²，项目总平面布局见附图 6，具体建设内容和规模如下：

（1）8 号车间

8 号车间为地上 3 层，总高 24.95m，总建筑面积 12627.76m²。其中，一层为放射性药物生产区，楼层总面积约为 3758.03m²，在楼层中央布置 ¹⁷⁷Lu 核素生产线、¹⁷⁷Lu 注射剂生产线、¹³¹I 口服液生产线、⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线及其配套外清间、更衣间以及检测去污间等，围绕生产线在建筑一层北侧自西向东布置有无机酸碱废液间、放废库、源库、成品暂存间等，车间一层南侧布置有男更以及女更等。一层夹层布置有电间及排风机房，楼层总面积约为 3758.03m²。二层为预留区域，楼层总面积约为 3820.19m²。三层为放射性药物生产区以及质检区，楼层总面积约为 3820.19m²，在楼层中央布置 ^{99m}Tc 即时标记药物生产线以及质检区，质检区包含接收分样间、放射性废物暂存间、内毒素检测间、理化实验室等，围绕生产线在建筑三层北侧自西向东布置有放射性货厅、放废库、普通废物间、试剂间等，车间三层南侧布置有办公区、男更以及女更等，三层其余区域为预留区域。根据人流物流及辐射两区划分情况，将 8 号车间分为 7 个工作场所，具体工作场所划分情况以及其建设内容如下所示：

①⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线

⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线位于一层，包括钼锝前区、后区，更衣间、物料暂存间等，以外购 ⁹⁹Mo 核素溶液为原料经淋洗上柱制备 ⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器，年产 ⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器 20000 个（约 1.02E+11Bq/个），场所日等效最大操作量 1.11E+12Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

②¹⁷⁷Lu 核素生产线

¹⁷⁷Lu 核素生产线位于一层，包括镥 [¹⁷⁷Lu] 前区、后区，更衣间、物料接收间等。

以外购 ^{177}Lu 靶件进行靶料溶解、分离纯化、分装等工序生产 ^{177}Lu 核素，年产 ^{177}Lu 核素溶液 1600 瓶（约 $4.62\text{E}+11\text{Bq/瓶}$ ），场所日等效最大操作量 $4.16\text{E}+14\text{Bq}$ ，为甲级非密封放射性物质工作场所。

③ ^{177}Lu 注射剂生产线

^{177}Lu 注射剂生产线位于一层，包括镱 [^{177}Lu] 前区、后区，更衣间、物料接收间等，以外购或自主生产的 ^{177}Lu 核素溶液进行药液合成、药液分装、检验分装等工序生产 ^{177}Lu 标记药物，年产 ^{177}Lu 标记药物 29360 瓶（约 $9.25\text{E}+09\text{Bq/瓶}$ ），场所日等效最大操作量 $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，为甲级非密封放射性物质工作场所。

④ ^{131}I 口服液生产线

^{131}I 口服液生产线位于一层，包括碘 [^{131}I] 前区、后区，更衣间、准备间等，以外购 ^{131}I 溶液通过非放原料预备、料液配制、分装、产品防护包装等工序生产 ^{131}I 口服液，年产 ^{131}I 口服液约 23700 瓶（约 $5.55\text{E}+10\text{Bq/瓶}$ ），场所日等效最大操作量 $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，为甲级非密封放射性物质工作场所。

⑤源库

源库位于车间一层北侧，主要存贮各生产线使用的 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{99}Mo 核素原料以及 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器，场所日等效操作量为 $2.44\text{E}+10\text{Bq}$ ，为甲级工作场所。

⑥镓即时标记药物生产线

镓即时标记药物生产线位于三层，包括镓标、镓外包间，更衣间等，以购 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器以生产准备、淋洗、标记等工序生产镓即时标记药物，生产线年产镓即时标记药物约 174400 瓶（约 $7.4\text{E}+8\text{Bq/瓶}$ ），场所日等效最大操作量 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，为甲级非密封放射性物质工作场所。

⑦质检中心

质检中心位于三层，包含留样间、稳定性实验室、理化实验室、 γ 计数器室、 γ 能谱室和液相室等，主要进行核素鉴别、pH 检测、放射性核纯度检测、放射性活度/浓度检测和微生物限度检测等，场所日等效最大操作量为 $3.77\text{E}+09\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 10号车间

10 号车间为地上 3 层，建筑总高 24.95m，总建筑面积 8053.71m^2 。其中，一层为预留区域，楼层面积约为 2523.3m^2 。一层夹层布置有空调机房等，夹层总面积约为 903.9m^2 。二层北侧布置 ^{177}Lu 注射剂生产线及其配套外包间、外清间和物料暂存间等，

在车间东侧自北向南布置空调机房、甲类试剂间、易制毒试剂间、内包材、外包材库、防护包材库、成品暂存间、放废库、源库和货厅等，楼层面积约为 2576.9m²。三层为预留区，楼层面积为 2576.9m²，将 10 号车间分为 2 个工作场所，具体工作场所划分情况以及其建设内容如下所示：

①¹⁷⁷Lu 注射剂生产线

¹⁷⁷Lu 注射剂生产线位于二层，包括镱 [¹⁷⁷Lu] 前区、后区，更衣间、物料暂存间等，以外购 ¹⁷⁷Lu 注射剂通过原料溶液接收、药液合成、药液纯化等工序生产 ¹⁷⁷Lu 标记药物，年产 ¹⁷⁷Lu 注射剂 29360 瓶（约 9.25E+09Bq/瓶），场所日等效最大操作量 1.48E+11Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

②源库

源库位于车间二层西侧，主要存贮生产线使用的 ¹⁷⁷Lu 核素原料，场所日等效操作量为 1.48E+09Bq，为乙级工作场所。

表 1-1 项目各场所放射性核素操作量一览表

工作场所	核素/半衰期	毒性	性状	操作方式	日最大操作（Bq）	年操作天数（d）	年最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	活动种类	场所等级	产品	
8号车间												
一层	⁹⁹ Mo（ ^{99m} Tc）发生器线	⁹⁹ Mo（ ^{99m} Tc）	中毒	液态	简单操作	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+12	生产、使用、销售	甲级 日等效最大操作量： 1.11E+12Bq	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发生器年生产/销售 20000 个（1.02E+11Bq/个）
		⁹⁹ Mo	中毒	液态	简单操作	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+12	使用		
	¹⁷⁷ Lu 核素生产线	¹⁷⁷ Lu	中毒	固态 液态	特别危险操作	4.16E+12	200	8.32E+14	4.16E+14	生产、使用、销售	甲级	¹⁷⁷ Lu 核素溶液年生产/销售 1600 瓶（约 4.62E+11Bq/瓶）
	¹⁷⁷ Lu 注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	中毒	液态	简单操作	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+11	生产、使用、销售	甲级	¹⁷⁷ Lu 注射剂年生产/销售 29360 瓶（9.25E+09Bq/瓶）
	¹³¹ I 口服液生产线	¹³¹ I	中毒	液态	简单操作	7.40E+12	200	1.48E+15	7.40E+11	生产、使用、销售	甲级	¹³¹ I 口服液年生产/销售 23700 瓶（5.55E+10Bq/瓶）
	源库	¹⁷⁷ Lu	中毒	液态	贮存	5.18E+12	200	1.04E+15	5.18E+09	使用	甲级 日等效最大操作量合计：2.44E+10Bq	/
		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	液态	贮存	7.40E+11	250	1.85E+14	7.40E+08	使用		
		¹³¹ I	中毒	液态	贮存	7.40E+12	200	1.48E+15	7.40E+09	使用		
		⁹⁹ Mo	中毒	液态	贮存	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+10	使用		
三层	锝即时标记药物线	^{99m} Tc	低毒	液态	简单操作	6.66E+11	250	1.67E+14	6.66E+09	生产、使用、销售	甲级 日等效最大操作量合	锝即时标记药物年生产/销售 174400

		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	液态	贮存	7.40E+11	250	1.85E+14	7.40E+08	使用	计：7.40E+09Bq	瓶（7.4E+8Bq/瓶）
	质检中心	⁹⁹ Mo	中毒	液态	简单操作	3.70E+08	200	7.40E+10	3.70E+07	使用	乙级 日等效最大操作量合计：3.77E+09Bq	/
		^{99m} Tc	低毒	液态	简单操作	3.70E+09	250	9.25E+11	3.70E+07	使用		
		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	液态	简单操作	2.96E+10	200	5.92E+12	2.96E+09	使用		
		¹⁷⁷ Lu	中毒	液态	简单操作	3.70E+09	200	7.40E+11	3.70E+08	使用		
		¹³¹ I	中毒	液态	简单操作	3.70E+09	200	7.40E+11	3.70E+08	使用		
10 号车间												
二层	¹⁷⁷ Lu 注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	中毒	液态	简单操作	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+11	生产、使用、销售	甲级	¹⁷⁷ Lu 注射剂年生产/销售 29360 瓶（9.25E+09Bq/瓶）
	源库	¹⁷⁷ Lu	中毒	液态	贮存	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+09	使用	乙级	/

1.2.4 产业政策符合性分析

1.2.4.1 与国家产业政策符合性分析

本项目主要开展医用同位素药物和放射性同位素的生产与销售，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”。本项目不属于国家发展改革委、商务部印发的《市场准入负面清单（2020年版）》（发改体改规〔2020〕1880号）中规定的禁止准入类与许可准入类事项，为准入行业。

本项目已在游仙区发展和改革局备案，备案号为：川投资备【2409-510704-04-01-288212】FGQB-0590号。

综上所述，项目符合当前国家产业政策。

1.2.4.2 与地方相关规划和政策符合性分析

（1）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

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。

建设单位在游仙区建设中国科技城核医疗健康产业园放射性药物孵化平台项目，主要开展医用同位素药物生产和销售。项目建成后，有利于推动主要医用同位素稳定供应；鉴于同位素医药产品的时效性和供应范围限制，本项目将为周边区域提供有效的同位素药物供应保障，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）。

(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

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、四川省医疗保障局和四川省药品监督管理局联合发布了《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）》（以下简称《行动计划》）。

《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，着力将四川省建设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，主要从事 ^{177}Lu 核素生产、 ^{177}Lu 注射剂生产、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物、 ^{131}I 口服液的生产和销售，实施后能够积极推进国内医用同位素药物及相关医疗健康产业链的发展，促进西南地区核医学的发展，为患者创造更多高效的治疗途径。因此，项目建设符合《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）》。

综上，本项目符合国家现行产业政策和四川省相关政策。

1.2.4.3 与其他政策符合性分析

与《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》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、国家医疗保障局和国家药品监督管理局等 8 部委联合发布《关于印发〈医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）〉的通知》（国原发〔2021〕2 号），将放射性药物研发作为重点任务。该规划明确指出发展总目标为“建立稳定自主的医用同位素供应保障体系，满足人民日益增长的健康需求，为建成与社会主义现代化国家相适应的健康国家提供坚强保障”。针对放射性新药研发，该规划提出“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。”

本项目生产的放射性药物主要面向周边地区医疗机构进行销售，项目的实施可推进周边地区医用同位素供应体系的发展，促进地区核医学的发展。因此，项目建设符合《医用同位素中长期发展规划（2021-2035 年）》。

1.2.5 与有关区域规划相符性分析

1.2.5.1 用地规划符合性

本项目位于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园的青龙山北片区，根据该产业园用地规划布局图，项目拟建厂址为工业用地。本项目已取得建设项目用地规划许可证，建设单位与绵阳惠东市政建设工程有限公司签订国有土地转让协议，具体建设土地使用权转让协议见附件 5，根据核医疗产业园区内各地块的用地性质，467 地块为 II 类工业用地。

因此，本项目用地符合中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园用地规划。

1.2.5.2 与中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区的规划符合性

本项目位于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山片区内，该园区于 2023 年编制完成了《中国（绵阳）科技城医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书》，并取得了《四川省生态环境厅关于印发中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书审查意见的函》（川环建函〔2023〕11 号）。由该规划环评报告书及其审查意见可知：

（1）园区规划概况及准入要求

①规划范围

总规划面积 50.97 公顷，规划区东至游仙区旅游环线，西南至青龙山，北至棉梓路。

②产业定位

重点发展放射性同位素研发及生产、放射性诊断和治疗药物研发及生产、放射医疗装置研发及制造、核探测成像仪器仪表研发制造及应用、辐照加工等核技术利用相关产业。

③生态环境准入清单

规划区仅引入放射性同位素研发及生产、放射性同位素药物研发及生产、核探测成像仪器仪表研发制造及应用、放射性医疗装置研发及制造、核辐射加工等核技术利用相关产业的项目。

④规划区禁止引入的项目：

- a. 不符合国家环保法律法规、产业政策、准入条件、列入国家产能过剩的项目。
- b. 不符合国家及省、市辐射污染防治要求及重金属污染防治规划的项目。
- c. 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。
- d. 经环评论证与周边企业、规划用地等环节不相容或存在重大环节风险隐患且无法消除的项目。
- e. 规划区内禁止引入含酸洗、磷化等工序的项目，禁止引入专业电镀和专业喷漆等污染相对较重的项目。核探测成像仪器仪表及放射医疗装置制造所涉及表面处理（电镀、喷漆）应交由第三方加工，禁止在园区内进行专业电镀和专业喷漆。
- f. 禁止引入核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产加工、贮存、后处理；铀矿开采、冶炼；铀矿地质勘探、退役治理；伴生放射性矿产资源的采选等项目。

（2）与园区规划符合性分析

本项目的建设 with 园区规划符合性分析见下表。

表 1-2 项目与中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划符合性分析表

项目	四川省生态环境厅关于印发《中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书》审查意见的函（川环建函（2023）11号）中相关要求	本项目建设内容	符合性
鼓励入园行业	1、以园区确定的主导产业及其配套产业等符合产业政策和规划的行业。 2、用水、节水、排水设计等清洁生产标准达到或优于国家先进水平的项目。 3、优先引入低污染、低能耗、高效益，遵循清洁生产及循环经济的项目。	1、本项目为放药及同位素生产项目，属于园区主导产业。 2、本项目建成后经过各项节能工程，清洁生产标准可达二级要求（国家清洁生产先进水平） 3、本项目不属于高污染、高能耗项目	符合
禁止入园行业	1、不符合国家环保法律法规、产业政策、准入条件、列入国家产能过剩的项目。 2、不符合国家及省、市辐射污染防治要求及重金属污染防治规划的项目。 3、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。 4、经环评论证与周边企业、规划用地等环节不相容或存在重大环节风险隐患且无法消除的项目。 5、规划区内禁止引入含酸洗、磷化等工序的项目，禁止引入专业电镀和专业喷漆等污染相对较重的项目。核探测成像仪器仪表及放射医疗装置制造所涉及表面处理（电镀、喷漆）应交由第三	1、本项目属于放射同位素生产项目，根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于鼓励类第六项“核能”中第四条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，项目符合国家当前产业政策。 2、项目属于园区主导产业，不涉及重金属污染。 3、项目建成后经过各项节能工程可达行业清洁生产标准二级要求。 4、本项目为放药及同位素生产项目，符合园区主导的核技术利用产业。项目不属于高污染、高耗能项目，经分析与周边环境相容。 5、本项目不涉及酸洗、磷化等。	符合

	方加工，禁止在园区内进行专业电镀和专业喷漆。 6、禁止引入核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产加工、贮存、后处理；铀矿开采、冶炼；铀矿地质勘探、退役治理；伴生放射性矿产资源的采选等项目。	6、本项目不属于园区禁入行业。	
清洁生产要求	新引进项目清洁生产水平必须达到行业清洁生产标准二级标准要求或国内先进水平的项目。	①生产工艺及装备 项目主要工艺设备为各生产热室，不涉及高能耗高污染设备；经分析，项目各屏蔽体均能满足辐射防护要求。 ②资源能源消耗 本项目主要消耗电能，及少量工艺用水。 ③污染物产生和排放 本项目主要污染物为各热室和实验场所产生的放射性废气、放射性废水、放射性固废。各生产线均设有多套生产热室，操作均在热室中进行，经分析各热室及屏蔽体满足辐射防护要求，所致的职业人员和公众受照剂量低于GB18871规定的剂量限值和本报告提出的剂量约束值。采取环保治理措施可使非放类“三废”达标排放，可达清洁生产二级标准要求。	符合
规划区制约因素对策措施	环境敏感点的制约：规划区东侧隔芙蓉溪约200m为新桥镇玉泉村，西南约2.8km为游仙街道场镇，产业园区西北端的科研组团与阅翠府小区相邻。绵阳市常年最大风频风向为东北风，产业园区位于游仙街道场镇的上风向，产业园区实施产生的放射性气载流出物可能对游仙街道场镇及周边相邻玉泉村、阅翠府小区等环境敏感区造成不利环境影响。	项目主要进行放药及同位素的生产，对周边环境主要的影响为放射性废气，经分析本项目运行期间对周边公众影响轻微。	符合

综上所述，项目属于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区鼓励类行业，符合园区规划。

1.2.6 项目生态环境分区管控符合性分析

根据生态环境部《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》（环环评〔2016〕150号）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“分区管控”）进行对照。

1.2.6.1 生态保护红线

根据《四川省人民政府关于印发四川省生态保护红线方案的通知》（川府发〔2018〕24号）生态保护红线划定结果：四川省生态保护红线总面积14.80万平方公

里，占全省幅员面积的 30.45%，涵盖了水源涵养、生物多样性保护、水土保持功能极重要区，水土流失、土地沙化、石漠化极敏感区，自然保护区、森林公园的生态保育区和核心景观区，风景名胜区的级保护区（核心景区）、地质公园的地质遗迹保护区、世界自然遗产地的核心区、湿地公园的湿地保育区和恢复重建区、饮用水水源保护区的级保护区、水产种质资源保护区的核心区等法定保护区域，以及极小种群物种分布栖息地、国家一级公益林、重要湿地、雪山冰川、高原冻土、重要水生生境、特大和大型地质灾害隐患点等各类保护地。

本项目位于绵阳市游仙区，周边生态红线的生态功能和保护重点见下表。

表 1-3 绵阳市涉及四川省生态红线区类型和保护要求一览表

名称	生态功能	保护重点
盆中城市饮用水源—水土保持生态保护红线	四川盆地区是成渝经济区的重要组成部分，是成渝城市群核心区域，人口密集，经济发展，城镇化率大于50%，该区主体功能区定位为重点开发区域和农产品主产区，其主导功能为人居保障和农林产品提供，该区的生态保护红线主要以保障城市饮水安全的饮用水水源保护区为主，还有零散分布于四川盆地及成都平原区自然保护区、风景名胜区、湿地公园、地质公园等各类生态保护重要区域，它们在维护区域水土保持功能方面发挥着重要作用。	严格按照现有相关法律法规对禁止开发区域的管理要求，对生态保护红线实施严格保护，严格控制人为因素对区内自然生态的干扰。

本项目与绵阳市生态保护红线位置关系如下图所示。



图 1-1 绵阳市生态保护红线分布图

1.2.6.2 与绵阳市生态环境分区管控的符合性分析

根据绵阳市人民政府《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》（绵府发〔2021〕18号）以及绵阳市人民政府办公室《关于加强生态环境分区管控的通知》（绵府办函〔2024〕42号），本项目与绵阳市生态环境分区管控的符合性分析如下：

为实现生态环境精细化管理，建立国土空间全覆盖的生态环境保护制度，将全市行政区划从生态环境保护角度划分为优先保护、重点管控和一般管控三类环境管控单元，在一张图上落实生态保护、环境质量目标管理、资源利用管控要求，按照环境管控单元编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。

①优先保护单元。以生态环境保护为主的区域，全市划分优先保护单元20个，主要包括生态保护红线、自然保护地、饮用水水源保护区等，应以生态环境保护优先为原则，严格执行相关法律、法规要求，严守生态环境质量底线，确保生态环境功能不降低。

②重点管控单元。涉及水、大气、土壤等资源环境要素重点管控的区域，全市划分重点管控单元43个，主要包括人口密集的城镇规划区和产业集聚的工业园区（工业集聚区）等，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、生态环境风险突出等问题，制定差别化的生态环境准入要求。对环境质量不达标区域，提出污染物削减比例要求；对环境质量达标区域，提出允许排放量建议指标。

③一般管控单元。除优先保护单元和重点管控单元之外的其他区域，全市共划分一般管控单元7个。执行区域生态环境保护的基本要求，重点加强农业、生活等领域污染治理。

本项目位于绵阳市游仙区核医疗健康产业园内467地块，根据绵阳市生态环境管控单元划分，项目属于工业重点管控单元。

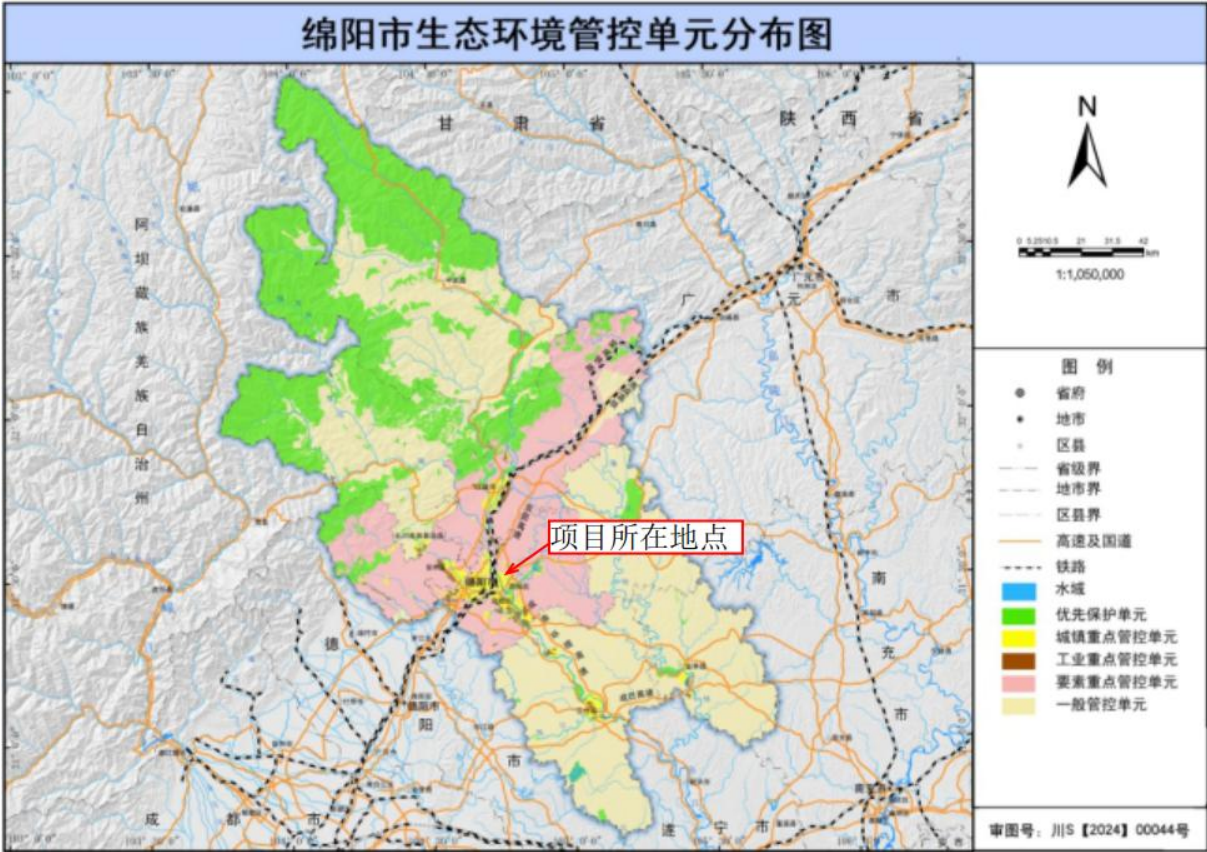


图 1-2 绵阳市生态环境管控单元分布图

项目与绵阳市及游仙区生态环境管控要求符合性分析见下表。

表 1-4 项目与绵阳市及游仙区生态环境管控要求符合性分析表

序号	区域	管控要求	本项目情况	符合性
1	绵阳市	电子信息行业引入严格执行其行业资源环境绩效指标准入要求。统筹城区发展与园区的关系，优化园区布局，严控城市上风向引入大气污染物排放量大的企业，推进城区以及布局不合理的高污染、高能耗企业退城入园。	本项目为医用同位素及药物生产项目，属于《国民经济行业分类》（GB/T4754-2017）中“医药制造业”，项目选址位于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区的生产组团。根据《中国（绵阳）科技城医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书》及《四川省生态环境厅关于印发中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书审查意见的函》（川环建函〔2023〕11号），该片区以放射性药物研发生产、核医疗设备制造、核测控装备、无损检测等相关核技术应用产业为主导产业。本项目符合产业园青龙山北片区主导产业定位。项目采用国内外核药领域先进的生产技术与生产设备，工艺用水量较少，采取的环保治理措施可使“三废”达标排放，对所在区域环境影响较小。	符合
2		新建、改建、扩建增加重点重金	本项目为医用同位素药物生产项目，无重	符合

		属（汞、镉、铬、铅、砷）污染物排放的建设项目需满足区域重点重金属总量管控要求，对电子信息、化工等涉重企业重点重金属执行严格的准入条件，严控环境风险。	金属（汞、镉、铬、铅、砷）污染物排放。	
3		严格控制高污染、高能耗项目；严格执行能源消费总量和强度双控制度，严格执行煤炭消费总量控制要求。	本项目不属于高污染、高耗能项目。。	符合
4		优化调整产业结构，严格生态环境准入要求。	本项目属于医用同位素及药物生产项目，根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于 鼓励类 第六项“核能”中第四条“ 同位素 、加速器及辐照应用技术开发”，项目符合国家当前产业政策	符合
5		统筹城区发展与园区的关系，优化园区布局，引导工业园区及城市发展方向，推动城市建成区内企业“退城入园”，严格控制园外企业无序扩张。	本项目厂址位于四川省绵阳市游仙区核医疗产业园内。根据《中国（绵阳）科技城医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书》及《四川省生态环境厅关于印发中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书审查意见的函》（川环建函〔2023〕11号），该片区以放射性药物研发生产、核医疗设备制造、核测控装备、无损检测等相关核技术应用产业为主导产业。本项目为医用同位素及药物生产项目，符合该片区主导产业定位。	符合
6	游仙区	统筹涪江、魏城河、芙蓉溪等流域水资源、水生态、水环境治理防护，加强农业面源污染治理，严格控制化肥农药使用量	本项目放射性废水经由放射性废水暂存罐收集暂存衰变达标后，经审管部门认可后，进入园区生产污水管网汇入产业园建设的园区污水处理厂处理达标后，排入芙蓉溪；有机放射性废水由有机放射性废水暂存罐收集暂存衰变达标后，交有资质单位处置；生活污水和非放生产废水经厂区室外污水管网，汇入园区污水处理厂，最终由园区污水处理站处理达标后排入芙蓉溪。	符合
7		加强重点时段、重点区域大气污染联防联控，以PM _{2.5} 和臭氧污染协同控制为重点，全面开展VOCs治理，强化燃煤、扬尘、机动车移动源整治。	本项目放射性气载流出物经过滤装置净化处理后排放。经分析，处理后外排放射性气载流出物所致周边评价范围内公众剂量满足GB18871规定的公众剂量限值和本报告提出的公众剂量约束值。	符合
8		加快构建生态安全屏障，构建城乡一体、全域覆盖、通道连续、生物多样、功能丰富的游仙区绿化体系，加强生物多样性保护。	本项目选址不占林地，厂址区域以待建空地为主，项目建成后厂区绿地面积2870m ² 。	符合
9		加强涪江良好水体保护，严格控制涪江流域水环境风险突出项目。	本项目放射性废水由放射性废水暂存罐收集在放废库中暂存衰变达标后，经审管部门认可后，进入园区生产污水管网，汇入	符合

			健康产业园建设的园区污水处理厂处理达标（《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级A标），最终排入芙蓉溪。有机放射性废水不外排，衰变达标后交有资质单位处置。	
--	--	--	---	--

1.2.6.3 生态环境分区管控符合性分析

根据《关于加强生态环境分区管控的通知》（绵府发〔2024〕42号），本工程所在区域不涉及优先保护管控单元，涉及4个重点管控区，及1个禁燃区，具体涉及管控单元见下。



表 1-5 项目涉及环境管控单元表

环境管控单元编码	环境管控单元名称	所属城市	所属区县	准入清单类型	管控类型
YS5107042310002	游仙高新技术产业园（含中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园）	绵阳市	游仙区	大气环境管控分区	大气环境高排放重点管控区
YS5107042530001	游仙区城镇开发边界	绵阳市	游仙区	资源管控分区	土地资源重点管控区
YS5107042540001	游仙区高污染燃料禁燃区	绵阳市	游仙区	资源管控分区	高污染燃料禁燃区
YS5107042550001	游仙区自然资源重点管控区	绵阳市	游仙区	资源管控分区	自然资源重点管控区
ZH51070420002	游仙高新技术产业园区（含中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园）	绵阳市	游仙区	环境综合管控单元	环境综合管控单元工业重点管控单元

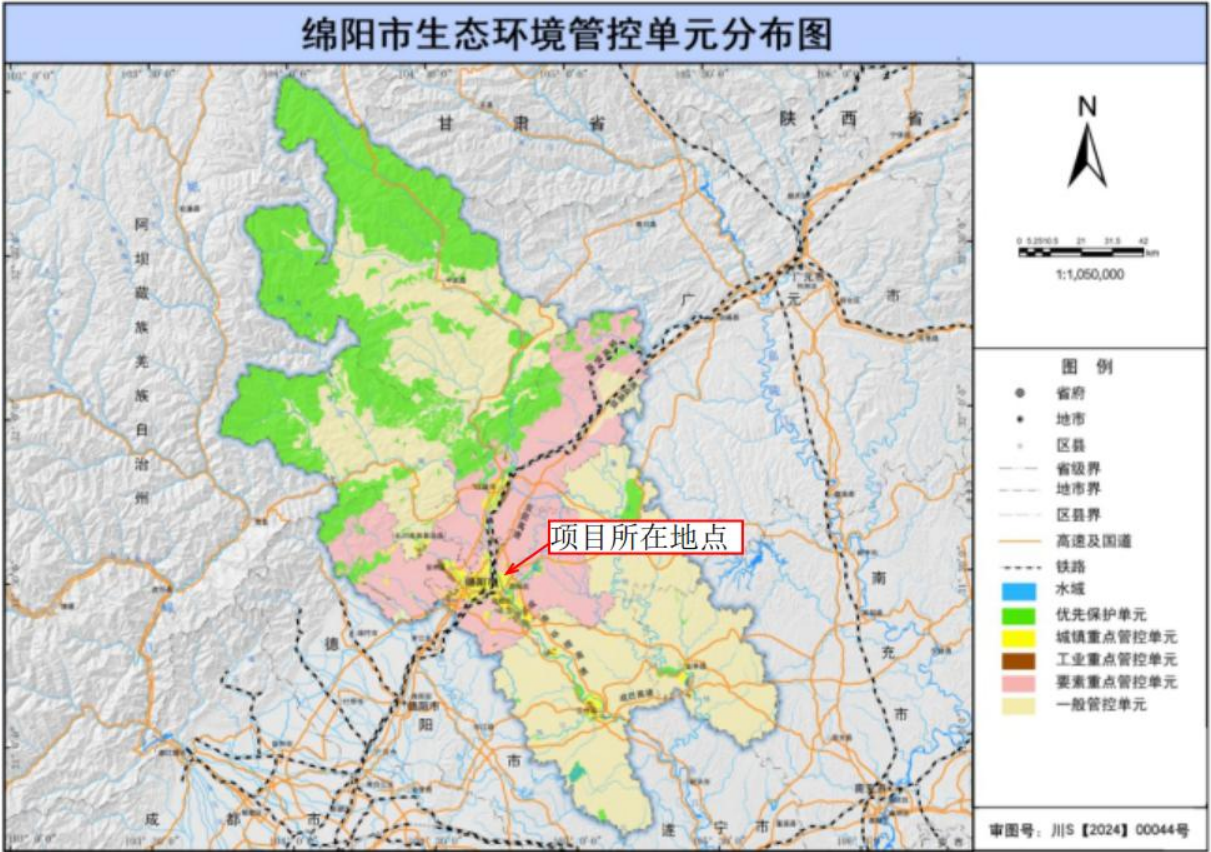


图 1-4 绵阳市环境管控单元图

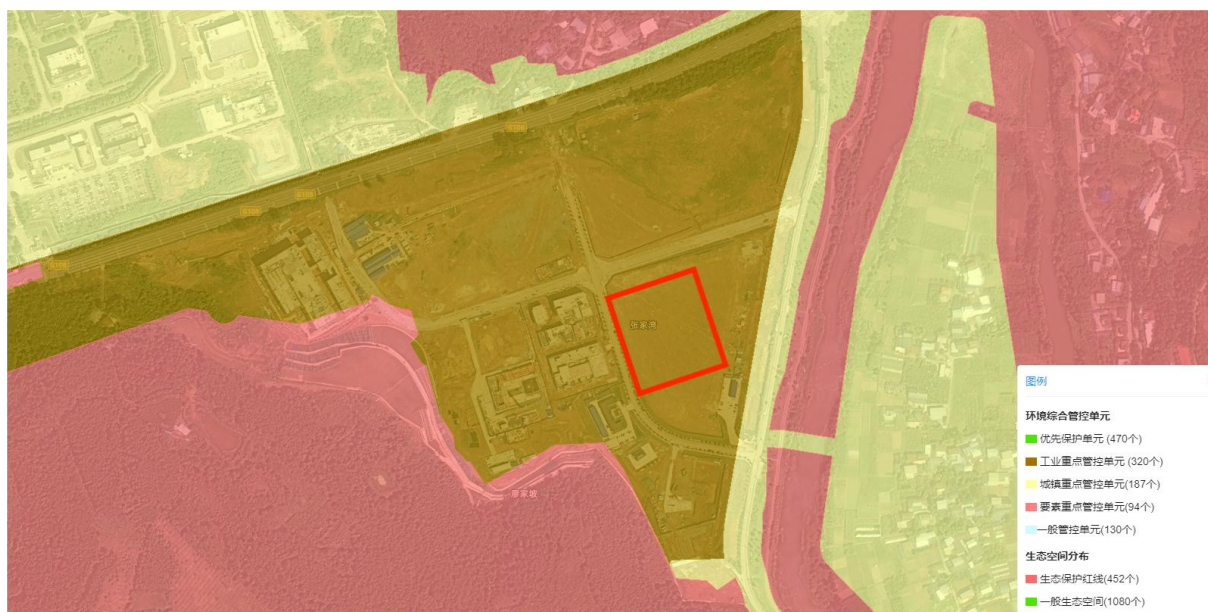


图 1-5 四川省生态环境分区管控数据分析系统导出结果

表 1-6 本项目生态环境分区管控符合性对照分析清单

生态环境分区管控具体要求				本项目	符合性分析
类别		对应管控要求			
YS5107042310002 游仙高新技术产业园 （含中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园）	单元级清单 管控要求	空间布局约束	禁止开发建设活动的要求 / 限制开发建设活动的要求 / 允许开发建设活动的要求 / 不符合空间布局要求活动的退出要求 / 其他空间布局约束要求 /	/	/
		污染物排放管控	大气环境质量执行标准 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）：二级 区域大气污染物削减/替代要求 / 燃煤和其他能源大气污染控制要求 / 工业废气污染控制要求 1、全面淘汰10蒸吨/小时及以下燃煤锅炉，原则上不再新建35蒸吨/小时及以下的燃煤锅炉，推进县级及以上城市建成区淘汰35蒸吨/小时及以下燃煤锅炉，以工业余热、电厂热力、清洁能源等替代煤炭。 2、加快推进火电、钢铁、铸造（含烧结、球团、高炉工序）水泥、焦化行业燃煤锅炉核工业炉窑超低排放改造及深度治理。稳步实施陶瓷、玻璃、铁合金、有色、砖瓦等行业企业深度治理，推进工业炉窑煤改电（气）和低氮燃烧改造。全面加强钢铁、建材、有色、焦化、铸造重点行业无组织排放治理。生物质锅炉采用专用锅炉，配套布袋等高效除尘设施，禁止掺烧煤炭、垃圾等其他物料。 机动车船大气污染控制要求 / 扬尘污染控制要求	本项目不涉及燃煤锅炉，非钢铁、火电、铸造、钢铁等行业。运营期产生的主要为放射性废气，经采取有效的过滤措施，对评价范围内的公众影响轻微。	符合

			/ 农业生产经营活动大气污染控制要求 / 重点行业企业专项治理要求 加快实施低VOCs含量原辅材料替代。持续开展VOCs治理设施提级增效，对采用单一低温等离子、光氧化、光催化以及非水溶性VOCs废气采用单一喷淋吸收等治理技术且无法稳定达标的，加快推进升级改造。强化VOCs无组织排放整治。石化、化工等行业加强非正常工况废气排放管控。推进涉VOCs产业集群治理提升 其他大气污染物排放管控要求 /		
		环境风险防控	/	/	/
		资源开发效率要求	/	/	/
YS5107042530001 游仙区城镇开发边界	单元级清单 管控要求	空间布局约束	1.以城镇开发建设现状为基础，综合考虑资源承载能力、人口分布、经济布局、城乡统筹、城镇无序蔓延科学预留一定比例的留白区，为未来发展留有发展空间城镇建设和发展不得违法违规侵占河道、湖面、滩地2.城镇开发边界调整报国土空间规划原审批机关审批	本项目建设在“中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园”规划区域内。	
		污染物排放管控	/	/	/
		环境风险防控	/	/	/
		资源开发效率要求	土地资源开发效率要求： 土地资源开发利用量不得超过土地资源利用上线控制性指标。 能源资源开发效率要求 / 其他资源开发效率要求 /	/	/
YS5107042540001 游仙区高污染燃料禁燃区	单元级清单 管控要求	空间布局约束	坚决遏制“两高一低”项目盲目发展	本项目不属于“两高一低”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家当前产业发展	符合

				政策。	
		污染物排放 管控	/	/	
		环境风险防 控	/	/	/
		资源开发效 率要求	土地资源开发效率要求 / 能源资源开发效率要求 能源消耗、污染物排放不得超过能源利用上线控制性指标。 其他资源开发效率要求 /	/	/
YS5107042550001 游仙区自然资源重点 管控区	单元级清单 管控要求	空间布局约 束	/	/	/
		污染物排放 管控	/	/	/
		环境风险防 控	/	/	/
		资源开发效 率要求	土地资源开发效率要求 / 能源资源开发效率要求 / 其他资源开发效率要求 /	/	/
ZH51070420002 游仙高新技术产业园 区（含中国（绵阳） 科技城核医疗健康产 业园）	普适性清单 管控要求	空间布局约 束	禁止开发建设活动的要求 -禁止在长江干支流、重要湖泊岸线一公里范围内新建、扩建化工园区和化工项目。 -禁止引入清洁生产水平达不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。 -未通过认定的化工园区，不得新建、改扩建化工项目（安全、环保、节能和智能化改造项目除外），按属地原则依法依规妥善做好未通过认定的化工园区及园内企业的转型、关闭、处置及监管工作。 限制开发建设活动的要求	本项目属于核技术利用类高新技术产业不属于高污染、化工类项目，属于国家鼓励类项目；本项目拥有完善的污染防治措施，经有效的环保措施处理后可达到清洁生产二级标准。	符合

		现有属于园区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。 不符合空间布局要求活动的退出要求 现有属于禁止引入产业门类的企业，应按相关规定限期整治或退出。 -二类、三类工业用地 50m 范围内，不新增居住、教育、卫生用地。 -新建、扩建石化、化工、焦化、有色金属冶炼、平板玻璃项目应布设在依法合规设立并经规划环评的产业园区。 其他空间布局约束要求		
	污染物排放管控	1.新增源等量或倍量替代：-上一年度水环境质量未完成目标的，新建排放水污染的建设项目按照总量管控要求进行倍量削减替代。 -上一年度空气质量年平均浓度不达标的城市，建设项目新增相关污染物按照总量管控要求进行倍量削减替代。 -对新建排放二氧化硫、氮氧化物、工业烟粉尘和VOCs的项目实施现役源倍量削减量替代。 -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，防范过剩和落后产能跨地区转移。 2.污染物排放绩效水平准入要求：-工业固体废弃物利用处置率达100%，危险废物处置率达100%。 -重金属重点排污企业达标排放率达100%，重有色金属矿采选业、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。 -禁止露天和敞开式汽修喷漆作业，严禁露天焚烧建筑垃圾；新建涉及VOCs排放的工业企业入园。 -按照“减量置换”或“等量置换”的原则，前置审批新（改、扩）建重点行业（包括重有色金属矿采选业（铅锌矿采选、铜矿采选、铋矿采选、金矿采选等）、重有色金属冶炼业（铅锌冶炼、铜冶炼等）、金属表面处理及热处理加工业（电镀）、铅蓄电池制造业、皮革制造业、化学原料及化学制品制造业（聚氯乙烯、铬盐等基础	本项目生产过程中主要产生放射性废气、放射性废水、放射性固废等污染物，并对相关废物处置拟定了完善的处置方式：①放射性废气：各辐射工作场所设有局排及全排，产生的废气经过滤装置处理后排放。②放射性废水：项目产生的生产废水（放射性废水）由放射性废水暂存罐收集在放废库中暂存衰变达标后，经审管部门认可后，排入园区污水处理厂，有机放射性废水暂存衰变达标后交有资质单位处置。生活污水和非放生产废水通过厂区污水管网汇入园区生活污水管网后，由园区污水处理厂处理	符合

		化学原料制造、硫化物矿制酸等))生产类项目重金属总量替代与削减要求。 -2030年,涪江流域水总量控制在41.16亿m³以内,COD排放总量限制在3.61万t/a内、NH₃-N排放总量限制在0.41万t/a内。全面推进涪江流域水环境保护工作,确保流域相关控制断面水质达标。全面推进流域水生生态保护及修复工作。 -以“两高”行业为主导产业的园区规划环评应增加碳排放情况与减排潜力分析,推动园区绿色低碳发展。 -新建、扩建“两高”项目应采用先进适用的工艺技术和装备,单位产品物耗、能耗、水耗等达到清洁生产先进水平,依法制定并严格落实防治土壤与地下水污染的措施。 -电子信息重点行业新建应参考绵阳市“三线一单”生态环境分区管控中电子信息行业资源环境绩效准入门槛。 3.化工园区应按照分类收集,分质处理的要求,配备专业化工生产废水集中处理设施(独立建设或依托骨干企业)及专管或明管输送的配套管网,化工生产废水纳管率达到100%。入河排污口设置应符合相关规定。 4.重点行业建设项目应遵循重点重金属污染物排放“等量替代”原则。按国家规定,建设单位在提交环境影响评价文件时应明确重点重金属污染物排放总量及来源,无明确具体总量来源的,各级生态环境部门不得批准相关环境影响评价文件。重金属污染物排放总量替代管理豁免的情形参见《四川省“十四五”重金属污染防控工作方案》;重点行业、重点重金属的界定参见《四川省“十四五”重金属污染防控工作方案》。 5.落实《四川省深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治和柴油货车污染治理攻坚战实施方案》要求,推进重点行业超低排放改造和深度治理,加快实施低VOCs含量原辅材料替代,持续开展VOCs治理设施提级增效,强化VOCs无组织排放整治,加强非正常工况废气排放管控,推进涉VOCs产业集群治理提升,推进油品VOCs综合管控。		
	环境风险防控	联防联控要求 涪江流域干流建设流域突发环境事件监控预警体系。 其他环境风险防控要求	本项目系放射性药物生产项目,运营期仅涉及放射性废气及少量有机废气,同时本	符合

		1.企业环境风险防控要求：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。（根据GB 8978中第一类污染物以及《优先控制化学品名录》《有毒有害大气污染物名录》《有毒有害水污染物名录》确定）园区环境风险防控要求：严格限制高风险化学品生产、使用，并逐步淘汰替代。优化调整高风险化学品企业布局，逐步退出环境敏感区。 2.用地环境风险防控要求：化工、电镀等行业企业拆除生产设施设备、构筑物 and 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。 -有色金属矿采选、有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革、天然（页岩）气开采、铅蓄电池、汽车制造、农药、危废处置、电子拆解等行业企业及其他可能影响土壤环境质量的生产设施设备、构筑物 and 污染治理设施的拆除，按照有关规定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。 3.化工园区应具有安全风险监控体系、建立生态环境监测监控体系、建立必要的突发环境事件应急体系。	项目拟设计完善的废气处理设施等一系列环保设施，经处理后可满足区域排放要求，影响轻微。	
	资源开发效率要求	水资源利用总量要求 -新、改扩建项目污染水耗指标满足《四川省省级生态工业园区指标》综合类生态工业园区要求。 -到 2025 年，全市万元 GDP、万元工业增加值用水量分别降低到 61m 和 25m，比 2020 年再降低 29%、26%。-工业用水重复利用率提高至 95%。 地下水开采要求 绵阳市 2025 年地下水开采控制量以省市下发指标为准 能源利用总量及效率要求 启动实施碳达峰行动。实施二氧化碳排放总量和强度“双控”，从严从紧控制煤炭消费，持续挖掘存量碳减排空间。有序推进风能、生物质等新能源开发，严控以化石能源为燃料的火力发电项目，稳定并逐步降低火电运行小时数。 -实施水泥等行业产能减量和减量置换，提高钢铁行业能效煤效，推动水泥熟料原料替代和能源梯级利用。推动生活清洁替代和电能	本项目不涉及地下水开采，用水由市政给水管网供给且用水量小。	复合

		替代，扩大可再生能源电力调入和消纳规模，提升工业用能终端电气化水平。 -国家大气污染防治重点区域（以下称重点区域）内新建耗煤项目还应严格按照规定采取煤炭消费减量替代措施，不得使用高污染燃料作为煤炭减量替代措施。 -实施煤炭消费总量控制：严格控制煤炭消费总量；严格控制新建、改 建、扩建耗煤项目，新增耗煤项目实行煤炭消耗减量倍量替代		
单元级清单 管控要求	空间布局约束	禁止开发建设活动的要求 禁止引入不符合法律法规、有关政策及规划的项目；禁止引入不符合产业政策和准入条件的项目；禁止引入列入《环境保护综合目录（2017版）》确定的“高污染、高环境风险”产品项目（电子信息产业及相关产业除外）；禁止引入按照《建设项目环境风险评价技术导则》确定环境风险潜势为IV级及以上的项目 中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园：禁止引入含酸洗、磷化等工序的项目；医疗仪器设备及器械制造、仪器仪表制造所涉及表面处理（电镀、喷漆）应交由第三方加工，禁止在园区内进行专业电镀和专业喷漆核辐射加工禁止引入对各种药材、食品、水产品等的核辐射加工 -其他同工业重点管控单元普适性管控要求 限制开发建设活动的要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 允许开发建设活动的要求 / 不符合空间布局要求活动的退出要求 游仙高新区五里梁片区南侧二类工业用地靠近松垭镇日新社区居民点房屋一侧 50米内不布置生产车间及易燃易爆物质堆放点，边界处布置绿化隔离带，与松垭镇日新社区居民点相隔离该区域工业项目厂界噪声达 2 类标准，严格控制挥发性有机物等废气污染物排放量，禁止引入有恶臭污染物产生的工业项目 -其他同工业重点管控单元普适性管控要求 其他空间布局约束要求 /	本项目系放药的研发生产，不属于上述“高污染、高环境风险”项目，符合中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园整体规划。	符合

		污染物排放管控	现有源提标升级改造 同工业重点管控单元普适性管控要求 新增源等量或倍量替代 同工业重点管控单元普适性管控要求 新增源排放标准限值 同工业重点管控单元普适性管控要求 污染物排放绩效水平准入要求 按照《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822）要求，严格控制生产、储存、装卸等环节的排放，提高有机废气收集及处理效率；工业企业堆场实施规范化全封闭管理，各类堆场要采取密闭存储、密闭作业、喷淋抑尘、覆盖防尘、设置防风围挡、硬化稳定及绿化等措施； 中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园：放射性气载流出物向环境的排放包括总量控制和浓度控制，需满足 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中8.6 款规定，并经审管部门认可。放射性废水按所含核素半衰期分类收集处理，含短半衰期核素的放射性废水经企业建设的衰变设施暂存衰变达排放标准后，与非放工业废水经企业预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中三级标准或相关行业标准后，进入园区污水处理厂处理；放射性固废由产生单位按核素半衰期和特性分类收集，含长半衰期核素交资质单位处置，含短半衰期核素解控后按工业固废处置。 其他同工业重点管控单元普适性管控要求。 其他污染物排放管控要求 /	本项目生产过程中主要产生放射性废气、放射性废水、放射性固废等污染物，并对相关废物处置拟定了完善的处置方式：①放射性废气：各辐射工作场所设有局排及全排，产生的废气经过滤装置处理后排放。②项目产生的生产废水（放射性废水）由放射性废水暂存罐收集在放废库中暂存衰变达标后，经审管部门认可后，排入园区污水处理厂，有机放射性废水暂存衰变达标后交有资质单位处置。生活污水和非放生产废水通过厂区污水管网汇入园区生活污水管网后，由园区污水处理厂处理。	符合
		环境风险防控	严格管控类农用地管控要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 安全利用类农用地管控要求 对拟收回土地使用权的石油加工、化工、电镀、制革、机械加工、铅蓄电池、汽车制造、农药、危险废物处置、汽车拆解、涉重金属等行业企业用地，以及用途拟变更为居住和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施的上述企业用地，由土地使用权人负责开展土壤及地下水环境状况调查评估，其他同工业重点管控单元普适性管控要求	/	/

			污染地块管控要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 园区环境风险防控要求 园区内、外紧邻居住和医疗教育用地的工业用地不得补助危险化学品贮存设施。 其他同工业重点管控单元普适性管控要求 / 企业环境风险防控要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 其他环境风险防控要求 /		
		资源开发效率要求	水资源利用效率要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 地下水开采要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 能源利用效率要求 园区内禁止使用高污染燃料，鼓励引入天然气分布式能源，鼓励新建锅炉加装低氮燃烧装置 其他同工业重点管控单元普适性管控要求 其他资源利用效率要求 /		

1.2.7 项目外环境关系

1.2.7.1 厂区周围外环境关系

本项目位于绵阳市游仙区核医疗产业园 467 地块（东经 104.809268；北纬 31.533889）。结合现场踏勘，本项目周边 3km 评价范围内外环境关系如下表。

表 1-7 项目外环境关系

名称	方位	距离	性质	人数	备注
绵梓路	北	230m	国道	/	/
科技城核医疗健康产业园规划用地	北	40~230m	规划建设用地	/	待建
国通（绵阳）新药技术有限公司-游仙区放射药研发生产基地项目	西北	340~500m	同位素研发销售生产企业	约85人	已建成投运
中广核测控设备	西北	70~130m	测控设备生产销售企业	约70人	在建
中玖闪光医疗科技有限公司	西北	130~220m	医用设备研发生产销售企业	/	在建
中广核中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目	西南	30~130m	同位素研发销售生产企业	/	已建成，未投运
中广核质子医疗	西南	130~270m	医用质子加速器研发生产销售企业	约100人	已建成投运
核医疗产业园污水处理厂	西南	90~200m	污水处理厂	约20人	已建成，未投运
涪江（核医学）实验室	东	5~100m	企业	/	待建
芙蓉溪	东	180m	河流	/	/
西安迈斯拓扑电子加速器生产医用同位素和嬗变技术研究项目	南	5~70m	同位素研发销售生产企业	工业用地，目前待建	在建
玉泉村1队	东侧	200~300m	分散居民	约400人	/
玉泉村5队	东侧	400~500m	分散居民	约400人	
玉泉村2队	东侧	500~620m	分散居民	约400人	
长河堰村	东侧	2.5km	分散居民	约500人	
吴家村1队	南侧	1km	分散居民	约400人	
望江村	南侧	2.5km	分散居民	约1000人	
吴家村8队	西南侧	1.9km	分散居民	约500人	
石垭村6队	西南侧	1.7km	分散居民	约500人	
吴家村7队	西南侧	2.0km	分散居民	约500人	
吴家村6队	西南侧	2.3km	分散居民	约500人	
吴家村社区	西南侧	2.4km	分散居民	约800人	
鹤林原山	西侧	2.1km	居民小区	约5000人	
阅翠府	西侧	1.4km	居民小区	约2500人	
某科研所	西北侧	700m	企业	约150人	
新桥镇两河村	西北侧	1.7km	分散居民	约300人	
仙鹤湖水库	西北侧	2.4km	水库	饮用水源	
两河村1队	西北侧	1.7km	分散居民	约 400	

				人
庄子村3队	西北侧	2.0km	分散居民	约 400 人
两河村5队	西北侧	2.6km	分散居民	约 400 人
双桥村3队	西北侧	2.5km	分散居民	约 400 人
两河村3队	西北侧	2.8km	分散居民	约 400 人
同福村	西北侧	2.85km	分散居民	约 400 人
两河村14队	西北侧	2.95km	分散居民	约 400 人
石埡村1队	北侧	500m	分散居民	约400人
庄子村1队	北侧	1.3km	居民住宅	约200人
新桥小学	北侧	1.8km	学校	约500人
新桥镇中学	北侧	2.0km	学校	约500人
新桥镇场镇	北侧	2.0km	场镇	约2500人
铜铃村	东北侧	2.5km	分散居民	约500人

1.2.7.2 项目选址合理性分析

(1) 与园区功能的相容性

本项目厂址地处中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园中的青龙山北片区。根据园区规划，中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园的青龙山北片区规划重点发展放射性同位素研发及生产、放射性药物研发及生产、射线装置研发及生产等核技术产业。本项目属于医用放射性同位素药物生产，为园区主导产业之一，项目符合园区的产业规划。

本项目产生的放射性生产废水经自建放射性废水衰变池暂存衰变达标（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）后，与非放生产废水一并排入中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划建设的污水处理厂处理达标后排放。同时，项目可充分依托园区配套的给排水、供配电、供气、道路等基础设施。

(2) 与周边环境关系的相容性

由前述外环境关系简述可知，在核医疗产业园区内，本项目北侧 40~220m 为科技城核医疗健康产业园规划用地，目前为空地。项目西北侧厂界 340~500m 为游仙区放射药研发生产基地项目，该项目主要从事同位素研发生产销售，目前项目一期已建设完成，二期暂未开始建设。项目西北侧厂界外 170~130m 为中广核测控设备项目，该项主要从事测控设备生产销售，目前已开始建设。项目西北侧厂界外 130~220m 为

中玖闪光医疗科技有限公司，该企业主要从事医用设备研发生产销售企业，目前已开始建设。项目西南侧厂界外 30~130m 为中广核中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目，该项目主要从事同位素研发生产销售生产，目前已开始建设。项目西南侧厂界外 130~270m 为中广核质子医疗，该项目主要从事医用质子加速器研发生产销售，目前已建设完成并投运。项目西南侧厂界外 90~200m 为核医疗产业园污水处理厂，目前已建设完成尚未投入运营。项目东侧厂界外 5~100m 为涪江（核医学）实验室，主要从事核医学实验，目前待建。项目南侧厂界外 5~70m 为西安迈斯拓扑电子加速器生产医用同位素和嬗变技术研究项目，该项目主要从事同位素研发生产销售生产，目前在建。在核医疗产业园区外，本项目外环境关系主要以新桥镇、玉泉村、吴家村、石堰村、长河堰村等村镇区域为主。

（3）与仙鹤湖水库相容性分析

仙鹤湖水库为绵阳市备用水源，位于项目西北侧 2.4km，距离较远。经调查，项目所在地常年主导风向为东北风，因此仙鹤湖水库不在项目下风向。另外，仙鹤湖水库与本项目之间间隔有两座山体，不属于同一地下水文单元。综上所述，项目运行不会对仙鹤湖水库水质造成不利影响。

综上所述，项目建成后周边存在以居民住宅为主要功能的区域，已建成的、规划引入的企事业单位则以放射性核素研发生产、核医疗设备制造、核测控装备等相关核技术应用产业为主，无重污染企业，对本项目的建设无明显环境制约影响。项目为放射性同位素及药物生产项目，与周边企业同属于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划的主导产业。经预测分析，项目在采取相应辐射安全与防护措施及环保防治措施后，能保证各类污染物达标排放，对周边环境影响轻微。

综上所述，本项目与周边环境相容，采取的环保治理措施可保证污染物达标排放，对周边环境影响轻微，**从辐射防护和环境保护角度而言，本项目选址合理可行。**

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 日修订实施；
- （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施；
- （4）《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日修订实施；

- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年 1 月 1 日实施；
- (6) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2022 年 6 月 5 日修订实施；
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日修订实施。

1.3.2 国家相关行政法规、条例

(1) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 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目录（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）》（发展和改革委员会令第 7 号）；

(5) 《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）；

(6) 《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）；

(7) 《放射性物品运输安全监督管理办法》（环保部令第 38 号）；

(8) 《放射性物品道路运输管理规定（2021 年修正版）》（交通运输部令 2021 年第 20 号）；

- (9) 《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号）；
- (10) 《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）；
- (11) 《生态环境部（国家核安全局）核素利用项目监督检查技术程序》（2020年版）；

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》（由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）；

1.3.5 技术规范 and 标准

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- (2) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；
- (3) 《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）；
- (4) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T 15219-2009）；
- (5) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB 27742-2011）；
- (6) 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；
- (7) 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB 12711—2018）；
- (8) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB 11928-1989）；
- (9) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ 380-1989）；
- (10) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA5-2019）；
- (11) 《核技术利用放射性废物最小化》（HAD 401/11-2020）；
- (12) 《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021）；
- (13) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；
- (14) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016）；

- (15) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST 613-2018）；
- (16) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- (17) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；
- (18) 《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》（HJ 10.1-2016）；
- (19) 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；
- (20) 《声环境质量标准》(GB 3096-2008)；
- (21) 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）；
- (22) 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）；
- (23) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；
- (24) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- (25) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；
- (26) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)；
- (27) 《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）；
- (28) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
- (29) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）；
- (30) 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）；
- (31) 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）；
- (32) 《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016）；
- (33) 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）；
- (34) 《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ 964-2018）；
- (35) 《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）；
- (36) 《核技术利用单位反恐怖防范要求》（GA 1807-2022）；
- (37) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；
- (38) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；
- (39) 《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB51 2377-2017）；
- (40) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）；
- (41) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）。

1.3.6 与项目相关的文件、资料

(1) 项目立项备案表，备案号为“川投资备〔2311-510704-07-02-597052〕JXQB-0279 号”。

(2) 其他项目相关资料

1.4 评价标准

1.4.1 电离辐射标准

1.4.1.1 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：

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：a）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；b）任何一年中的有效剂量，50mSv；c）眼晶体的年当量剂量，150mSv；d）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定项目职业照射年有效剂量约束值按《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**。

公众照射：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：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，本环评确定项目公众照射年有效剂量约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）公众照射剂量限值的十分之一执行，即 **0.1mSv/a**。

1.4.1.2 剂量率水平控制限值

参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）与《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA5-2019）中关于工作场所屏蔽要求，结合本项目工艺特点，按照屏蔽防护从严原则，确定本项目工作场所的屏蔽防护控制目标值如下：

(1) 放射性药物合成和分装的箱体、通风橱等设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围

剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$;

(2) 固体放射性废物收集桶、衰变池的放射性废水收集罐外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;

(3) 控制区内房间防护门、墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。屏蔽墙体外的人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

1.4.1.3 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 1-8 工作场所放射性表面沾污控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

1.4.1.4 放射性废水

总 β 属于一类污染物，根据《污水综合排放标准》(GB8978-1996)规定，车间内废水排放限值：总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 。

1.4.1.5 放射性固体废物清洁解控水平

参照《核医学辐射防护与安全要求》HJ 1188-2021 中 7.2.3 节关于固体放射性废物清洁解控要求：经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控处理：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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 β 和 γ 发射体应小于 4Bq/cm^2 。

1.4.1.6 气载流出物管控要求

依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定，产生气态放射性废物的工作场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

1.4.2 非放射性评价标准

根据本项目所在环境功能区，确定项目环境评价执行标准如下：

1.4.2.1 环境质量标准

（1）环境空气质量

根据项目区域功能特点，SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀、PM_{2.5}执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准，主要评价因子标准限值见下表。

表 1-9 环境空气质量评价标准

污染物名称	取值时间	标准浓度限值	浓度单位	标准来源
SO ₂	1小时平均	500	μg/m ³	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012) 二级
	日平均	150		
	年均	60		
NO ₂	1小时平均	200		
	日平均	80		
	年均	40		
CO	1小时平均	10	mg/m ³	
	24小时平均	4		
O ₃	1小时平均	200	μg/m ³	
	日最大8小时平均	160		
PM ₁₀	日平均	150		
	年均	70		
PM _{2.5}	日平均	75		
	年均	35		

（2）地表水环境质量

本项目污水最终受纳水体为芙蓉溪。芙蓉溪水质类别为《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类水域，评价因子标准限值见下表。

表 1-10 地表水环境质量评价标准（GB3838-2002）

项目 浓度	pH	DO	CODCr	BOD ₅	NH ₃ -N	高锰酸盐指数
Ⅲ	6~9	5	20	4	1.0	6

注：上述标准中，pH无量纲，其余因子单位为mg/L。

(3) 声环境质量

项目建设厂址所在区域属于《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类声功能区，执行3类标准，详见下表。

表 1-11 声环境质量标准（GB3096-2008）

适用区域	标准值（Leq: dB（A））	
	昼间	夜间
3类	65	55

1.4.2.2 污染物排放标准

(1) 大气污染物

施工期扬尘排放执行《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）相关要求；生产及质检产生的挥发性有机物执行《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB51/2377-2017）；氮氧化物、氯化氢执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）。

表 1-12 大气污染物排放标准限值

污染物	排放浓度	执行标准
施工期 TSP	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）

表 1-13 挥发性有机物排放标准

污染物	有组织排放			无组织排放监控浓度限值（ mg/m^3 ）
	最高允许排放浓度（ mg/m^3 ）	排气筒高度（m）	排放速率（ kg/h ）	
VOCs	60	30	20	2.0
氮氧化物	240	30	4.4	0.12
氯化氢	100	30	1.4	0.2

注 1：VOCs 最高允许排放浓度等参考《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB51/2377-2017）执行。氮氧化物，氯化氢最高允许排放浓度等参考《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）执行

(2) 水污染物

本项目营运期间产生的生活污水经园区污水处理厂处理达标后排放至芙蓉溪；非有机放射性废水暂存衰变经监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq}/\text{L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ）后，经审管部门认可后与非放生产废水一并排至园区生产废水管网，由园区污水处理厂处理《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标后排入芙蓉溪。有机放射性废水收集暂存，定期交由有资质的单位处置，不外排。废水排放执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准，见下表。

表 1-14 城镇污水处理厂污染物排放标准限值（单位：mg/L）

序号	基本控制项目	一级A标准
1	化学需氧量（COD）	50
2	生化需氧量（BOD ₅ ）	10
3	悬浮物（SS）	10
4	动植物油	1
5	石油类	1
6	阴离子表面活性剂	0.5
7	总氮（以N计）	15
8	氨氮（以N计）	5（8）
9	总磷（以P计）	0.5
10	色度（稀释倍数）	30
11	pH	6-9
12	粪大肠菌群数（个/L）	10 ³

表 1-15 污水综合排放标准限值

类 别	污 染 物	标准限值
第一类污染物	总α	1Bq/L
	总β	10Bq/L
第二类污染物	pH（无量纲）	6~9
	COD	500mg/L
	BOD ₅	300mg/L
	SS	400mg/L

（3）噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)，见下表。

表 1-16 建筑施工场界环境噪声排放限值

标准类别	噪声限值（Leq: dB（A））	
《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB12523-2011)	昼间	夜间
	70	55

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

表 1-17 工业企业厂界环境噪声标准

标准类别		噪声限值（Leq: dB（A））	
		昼间	夜间
《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB12348-2008)	3类	65	55

（4）固体废物

《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）。

1.5 评价等级

1.5.1 大气环境影响评价等级

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》（HJ 10.1-2016），放射性气载流出物主要评价其所致项目周围关注点人员受照剂量是否满足确定的剂量约束值；对于非放类大气污染物，需依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）进行评价工作分级判定，具体环境空气评价工作等级判定见下表。

表 1-18 环境空气评价等级划分表

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

表中 $D_{10\%}$ 为第 i 个污染物的地面浓度达标准值 10% 时所对应的最远距离。 P_i 为每一种污染物的最大地面浓度占标率（第 i 个污染物），可按下列公式计算：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \times 100\%$$

式中： P_i -----第 i 个污染物的最大地面浓度占标率，%；

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

C_i -----第 i 类污染物大气环境质量标准， mg/m^3 。

C_{oi} 一第 i 个污染物的环境空气质量浓度标准， $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。一般选取用 GB3095 中 1h 平均采样时间的二级标准的浓度限值；对仅有 8h 平均质量浓度限值、日平均质量浓度限值或年平均质量浓度限值的，可分别按 2 倍、3 倍、6 倍折算为 1h 平均浓度限值。

根据污染源项目分析，主要大气污染源为放药质检产生的少量挥发性有机废气、氮氧化物和氯化氢。采用 AERSCREEN 估算模式计算其占标率及最远距离 $D_{10\%}$ 得知，VOCs 等占标率 $< 1\%$ ，根据评价工作等级划分的相关判据，大气环境评价等级为三级。

1.5.2 地表水环境影响评价等级

本项目为水污染影响型建设项目。根据初步工程分析，项目运营期外排废水主要为放射性同位素或放药生产过程产生的工艺废水和生活污水。

本项目营运期间产生的生活污水经园区污水处理厂处理后排放至芙蓉溪；非有机放射性废水通过放射性废水暂存罐收集暂存并衰变达标（ $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ ）后，通过厂区污水管网汇入园区生产废水管网进入园区污水处理厂处理，最终排入芙

蓉溪；有机放射性废水暂存衰变达标后交有资质单位处置，不外排。

综上，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 地面水环境》（HJ 2.3-2018）评价工作等级划分原则与方法，本项目地表水环境影响评价工作等级为三级 B，可不进行水环境影响预测，主要评价内容包括（1）水污染控制和水环境影响减缓措施有效性评价；（2）依托污水处理设施的环境可行性评价。地表水评价等级判别依据见下表。

表 1-19 地表水评价等级判断

评价等级	判定依据	
	排放方式	废水排放量 $Q/(m^3/d)$ ；水污染物当量数 $W/$ （无量纲）
一级	直接排放	$Q \geq 20000$ 或 $W \geq 600000$
二级	直接排放	其他
三级A	直接排放	$Q < 200$ 且 $W < 6000$
三级B	间接排放	-

1.5.3 地下水环境影响评价等级

根据《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“172 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，本项目不需要开展地下水环境影响评价，评价重点为提出地下水污染防治措施和建议。

1.5.4 声环境影响评价等级

本项目评价区域属于《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类标准区域，依照《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）的规定，结合本项目噪声特征，项目声环境影响评价工作等级判定见下表。

表 1-20 声环境影响评价工作等级判定表

项目	声环境区划	项目建设前后噪声级的变化程度	受噪声影响范围内的人口
三级评价标准判据	3 类区	增高量在 3dB(A) 以下[不含 3dB(A)]	变化不大
实际情况	3 类区	增高量在 3dB(A) 以下	变化不大
评价等级判定	声环境影响评价工作等级判定结果：三级评价		

项目建成后评价范围内声环境保护目标噪声级增加小于 3dB(A)，受影响的人口变化不大，根据 HJ2.4-2021 规定的等级判定要求，本项目声环境影响评价等级为三级。

1.5.5 土壤环境影响评价等级

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，根据《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。

1.5.6 生态环境影响评价

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），“符合生态环境分区管控要求且位于原厂界（或永久用地）范围内的污染影响类改扩建项目，位于已批准规划环评的产业园区内且符合规划环评要求、不涉及生态敏感区的污染影响类建设项目，可不确定评价等级，直接进行生态影响简单分析”。本项目属于在符合生态环境分区管控要求且位于规划用地内新建项目，可不确定评价等级，直接进行生态影响简单分析。

1.6 评价范围和保护目标

1.6.1 评价范围

1.6.1.1 辐射环境

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），“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所的评价范围，甲级取半径500m的范围，乙、丙级取半径50m的范围；放射性同位素生产的评价范围取3km”。本项目主要进行放射性核素和药物生产，且为甲级非密封放射性物质工作场所，评价范围为：以8号车间与10号车间实体边界为中心，取半径3000m的范围。

1.6.1.2 其他要素

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），三级评价项目不需设置大气环境影响评价范围。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021），项目声环境影响评价范围为厂界外 200m 以内的区域。

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），间接排放项目可不进行水环境影响预测。

1.6.2 环境保护目标

根据现场踏勘，项目运营期主要环境保护目标见下表。

表 1-21 环境保护目标一览表

环境要素	敏感目标名称	位置/方位	最近距离	规模(人)	性质	环境保护类别
电离辐射环境	本项目厂界内	/	/	48 人	/	职业照射剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$
	本项目厂界外	游仙区放射药研发生产基地项目	西北侧	约340m	约85人	企业
		中广核质子医疗项目	西南侧	约130m	约100人	企业
		中广核中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目(建设中)	西南侧	约30m	约100人	企业
		中广核测控设备(建设中)	西北侧	约70m	约70人	企业
		中玖闪光医疗科技有限公司(建设中)	西北侧	约130m	约39人	企业
		涪江(核医学)实验室(建设中)	东侧	约5m	约50人	企业
		西安迈斯拓扑电子加速器生产医用同位素和嬗变技术研究项目(建设中)	南侧	约5m	约50人	企业
		核医疗产业园污水处理站	西南侧	约90m	约20人	污水处理厂
		玉泉村1队	东侧	约200m	约400人	分散居民
		玉泉村5队	东侧	约400m	约400人	分散居民
		玉泉村2队	东侧	约500m	约400人	分散居民
		长河堰村	东侧	约2.5km	约500人	分散居民
		吴家村1队	南侧	约1km	约400人	分散居民
		望江村	南侧	约2.5km	约1000人	分散居民
		吴家村8队	西南侧	约1.9km	约500人	分散居民
		石埡村6队	西南侧	约1.7km	约500人	分散居民
		吴家村7队	西南侧	约2.0km	约500人	分散居民
		吴家村6队	西南侧	约2.3km	约500人	分散居民
		吴家村社区	西南侧	约2.4km	约800人	分散居民
		鹤林原山	西侧	约2.1km	约5000人	居民小区
		阅翠府	西侧	约1.4km	约2500人	居民小区

	某科研所	西北侧	约700m	约150人	企业
	新桥镇两河村	西北侧	约1.7km	约300人	分散居民
	两河村1队	西北侧	约1.7km	约 400 人	分散居民
	庄子村3队	西北侧	约2.0km	约 400 人	分散居民
	两河村5队	西北侧	约2.6km	约 400 人	分散居民
	双桥村3队	西北侧	约2.5km	约 400 人	分散居民
	两河村3队	西北侧	约2.8km	约 400 人	分散居民
	同福村	西北侧	约2.85km	约 400 人	分散居民
	两河村14队	西北侧	约2.95km	约 400 人	分散居民
	园区规划用地	北侧	约25m	空地	工业用地
	石埡村1队	北侧	约500m	约400人	分散居民
	庄子村1队	北侧	约1.3km	约200人	居民住宅
	新桥小学	北侧	约1.8km	约500人	学校
	新桥镇中学	北侧	约2.0km	约500人	学校
	新桥镇场镇	北侧	约2.0km	约2500人	场镇
	铜铃村	东北侧	约2.5km	约500人	分散居民

2 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

绵阳市地处四川盆地西北部，涪江中上游地带，北纬 $30^{\circ}42' \sim 33^{\circ}03'$ ，东经 $103^{\circ}45' \sim 105^{\circ}43'$ 。东接南充市，南接遂宁市，西南界德阳市，西靠阿坝藏族羌族自治州，北抵甘肃省，东北与广元市为邻。全市辖区面积 20249km^2 。

游仙区位于四川盆地西北部边缘丘陵地带，地理坐标介于北纬 $30^{\circ}20' \sim 31^{\circ}43'$ ，东经 $104^{\circ}40' \sim 105^{\circ}09'$ 之间。东接梓潼县、南邻三台县、西接涪城区、北靠江油市，是绵阳市的重要组成部分。东西长约 43 公里，南北宽 42 公里。宝成铁路和川陕、绵梓、绵盐等高等级公路穿境而过，距成都 127 公里。

本项目选址于绵阳市游仙区核医疗产业园 467 地块，厂址北侧主干道路为绵梓路，东侧河流为芙蓉溪，建设项目地理位置见附图 1。

2.1.2 地形、地貌、地质

(1) 地形地貌

绵阳市境内地层发育较齐全，岩石建造复杂，岩性岩相变化大；多期多次构造继承、干扰、叠加，构造形态极复杂；晚期岩浆活动及区域变质作用微弱；沉积成矿作用强，内生矿化弱。绵阳市处于龙门山前缘向四川盆地过渡带。该区域地跨摩天岭、龙门山及四川盆地三个地理地貌单元。北部属摩天岭南缘，南部为盆地边远山区，中部为龙门山山脉。绵阳市属于四川盆地盆中丘陵区北部，总的地势呈北高南低，自北而南呈阶梯逐渐降低。东西两面高中间低。中部为河谷冲积平原，两边为高阶地形成的丘状台地或丘陵。区境海拔一般为 500 米至 600 米。地势东北高西南和西部涪江及中部芙蓉溪、魏城河谷较低。最高点在太平乡与柏林镇交界处的旱山庙山顶，海拔 728 米，最低点在玉河镇花碑湾魏城河谷与三台县交界处，海拔 419 米。全市按地貌主要类型分为：山区占 61.00%，丘陵区占 20.40%，平坝区占 18.60%。

游仙区地处四川盆地西北边缘，地势北高南低，海拔高程多在 465m~550m 之间，地形相对切割深度一般在 30m 左右。全区以低山丘陵地形为主，山坡自然陡度在 200 以内，山体宽厚、沟壑和缓，按成因划分为侵蚀堆积和构造侵蚀堆积两大类型，山间洼地之间有树状水沟连通，侵蚀作用不很强烈。

拟建项目场地原为丘陵地貌，现已铲平，地势较平坦，整体呈西高东低，场地东侧约 180m 处为芙蓉溪。

（2）地质

根据核医疗产业园区勘察报告，本项目拟建厂区勘察深度范围内地基土按时代和成因划分为三个工程地质层，即第四系人工填土层（ Q_4^{ml} ）、第四系全系统残坡积层（ Q_4^{al} ）、下伏基岩为侏罗系七曲寺组（ Jq ）。地层结构自上而下为：

①第四系全新元素填土（ Q_4^{ml} ）

杂填土 1-1：杂色，松散-稍密，稍湿-湿，物质组成以粉质粘土、岩块及卵石为主，其中卵石含量约 33%，岩块约 31%，部分地段间夹 10%左右的砼块及砖块等建渣，为场地场平回填，回填时间 2-3 年，随意回填，新进填。土未完成自重固结，不均匀。

杂填土 1-2：杂色，松散-稍密，稍湿-湿，物质组成以粉质粘土为主，夹 45%左右的砼块及砖块等建渣，为原房屋及道路修建时回填，随意堆填，回填时间 5-20 年不等，基本完成自重固结，但其物质组成变化大，不均匀。

②第四系全系统冲积粉土层（ Q_4^{al} ）

粉质粘土 1：可塑；黄褐色，湿，可塑，干强度中等，韧性中等。在场地大部分地段均有分布，在北侧段（1#、2#、5#建筑区域局部）受场平开挖影响，该层缺失。

粉质粘土 2：软塑；黑褐色，很湿，软塑，干强度中等，韧性中等。在场地部分地段分布，主要为在原堰塘及水田区域分布。

卵石：在整个场地下部多数地段分布，层状分布，松散-密实，湿-很湿，卵石含量 52%~62%，母岩成份主要为砂岩、灰岩等。粒径一般 2—20cm 居多，大者可达 35cm 以上。河流冲积形成，分选性一般，呈辫状分布，磨圆度较好呈圆状-亚圆状，填隙物以粉土、砂及角砾为主

③下伏基岩为侏罗系七曲寺组

岩性为粉砂质泥岩与砂岩不等厚韵律互层，根据风化程度可划分为强风化及中风化层。

（3）地震

拟建场地位于四川省绵阳市游仙区，根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010、2016）附录 A 的规定，拟建场地抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值为 0.10g，设计地震分组为第二组，根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）的规定，II类场地条件下，拟建场地峰值加速度为 0.10g，反应谱特征周期为 0.40s。

2.1.3 水文特征

(1) 地表水

绵阳境内河流属嘉陵江水系，涪江是绵阳市的主要河流、嘉陵江右岸的一级支流，发源于岷山东麓松潘县的三舍驿雪宝顶（海拔 5555m），经平武、江油、绵阳、三台、遂宁、合川注入嘉陵江，全长 670km，流域面积 36400km²。支流呈树枝状，涪江左岸有芙蓉溪、梓江；右岸有平通河、通口河、安昌江等较大支流流入。

芙蓉溪：系涪江的支流，共有两源，西源为正源名杜家河，东源名战旗河，两源分别发源于江油市新兴、新安、双河 3 乡交界海拔 825 米的垮石岩南坡和东坡，杜家河与战旗河南流至绵阳市游仙区太平场镇北面汇合后始名芙蓉溪，再经太平、凤凰、忠兴、街子、瓦子、新桥、游仙等乡镇，至城区沈家坝南注入涪江。河流全长 90.7km，流域面积 594.9km²，流经市境河段长约 60km，天然落差 63m，平均比降 1.05‰，汇水面积 311.5km²。河道蜿蜒曲折，两岸开阔，有 1~2 级阶地发育。芙蓉溪主要水体功能为纳污、灌溉和泄洪等，水质类别为 III 类水域。

本项目营运期间产生的生活污水经厂区污水管网排入园区污水处理厂处理达标后排放至芙蓉溪；放射性废水暂存衰变经监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）后，经主管部门认可后由园区生产废水管网排入园区污水处理厂，经污水处理厂处理达标排放至芙蓉溪。

(2) 地下水

据区域地质资料及钻探揭示，拟建场地的地下水由上层滞水、基岩裂隙水组成，上层滞水主要富存于填土层及黏性土裂隙中，受大气降水的补给，并通过渗流和蒸发排泄，无统一水位，含水量和水位随季节变化较大，而岩石裂隙、节理为基岩裂隙水的主要含水层，主要受地下径流补给和排泄，埋藏较深，含水量一般。

勘察期间正值平水期，钻孔内测得水位，埋深 2.20~5.41m，高程 484.01~487.11m，无统一地下水位，地下水位年变化幅度为 2~3m。

2.1.4 气候特征

绵阳市属北亚热带湿润季风气候区，气候温和，四季分明，具有冬长但无严寒，无霜期长（年平均在 253~301 天之间）；夏热但无酷暑，春旱、秋凉的特点。全年都适于农作物生长。年平均气温 14.7~17.3℃，年平均日照时数 929.7~1391.4 小时。雨量充沛，年降雨量 825~1417mm，但季节分配不均，主要集中在 6~9 月份，占全年降雨量的 76%，11 月~翌年 2 月降雨量仅为 5%，形成冬春少雨多旱、初夏干旱频繁、立夏

西部多涝、东部旱涝交错的气候特征。主要参数如下：

多年平均气温：	16.3℃
多年极端最高气温：	39.4℃
多年极端最低气温：	-4.5℃
多年平均日照时数：	1298.1 小时
全年无霜期：	272 天
多年平均相对湿度	79%
多年平均降水量	963.2mm
常年主导风向	NE
最大风速	15.7m/s,
多年平均风速	1.1 米/秒
多年静风风频	49%

2.1.5 土壤资源

游仙区 90%的土地面积的母质属白垩系城墙岩群剑阁组紫色砂质页岩母质。岩层由黄色砂岩与紫色泥岩相间组成，多呈水平状。因此丘陵地区从坡脚到坡顶的土地多是梯地。该类母质形成的土壤为紫色土壤类型，富含钙质，土壤中呈中性至微碱性，砂岩裸露多的地方质地较轻，黄砂岩裸露的地方土壤呈微酸性。

2.1.6 矿产资源

绵阳自然资源丰富，全境水能总量 293.28 万千瓦，可开发水能 138.35 万千瓦。天然气储量 100 亿立方米，有铁、金、铝、铜、煤、铅、锌、钨、锰、锡、铂、汞、银、磷、石灰石、石英石、重晶石、石油、天然气、大理石、油页岩、玻璃砂岩、耐火粘土、膨润土、高岭土、方解石、白矾、石棉、水晶、萤石等有工业开采价值的矿产资源 57 种，已有 26 种矿产探明储量，已开发利用的矿产 21 种。开采价值大、储量居四川重要地位的共 15 种。其中黄金、锰、熔剂白云岩、膨润土的探明储量居全省首位；重晶石、玻璃砂岩居第二位；天然气、水泥灰岩、水泥配料、铸型砂居第三位；熔剂灰岩列第四位，磷块岩居第六位。有矿产地 335 处,其中黑色金属 73 处，贵金属 69 处，燃料矿产 13 处，非金属矿产 155 处；全市各类矿产具有一定工业矿床规模的产地共 74 处：其中黑色金属 17 处，有色金属 4 处，贵金属 14 处，燃料矿产 4 处，非金属矿产 35 处。

经调查，项目用地区域内无矿产资源存储。

2.1.7 动植物资源

绵阳生物多样性丰富，自然植被主要林相为马尾松木林，以及次生灌丛和草丛。乔木以马尾松、柏树、青冈为主，灌木以麻栎、栓皮栎、马桑、黄荆为主要代表，主要经济林木是油桐、乌桕、桑、柑橘等。市境共有林业用地 1562.2 万亩。森林面积 941.08 万亩，森林覆盖率为 36%，现有林地 73 万多公顷。林木总面积量 8136 万立方米。全市有维管束植物 4500 余种，其中主要植物有 2471 种，列入全国植物保护的有珙桐、连香、杜仲、四川红杉、水杉、木青等 39 种。有药用植物 2156 种，其中常用药材 457 种。桔梗、麦冬、附子、枣皮、杜仲、天麻、黄连、党参、银杏、贝母、虫草等数十种优质药材著称中外。木耳等大型真菌和地衣植物、蕨类植物资源丰富。项目区域自然植被受人为经济活动影响基本不复存在，取而代之的是农田植被、四旁植被和缓丘植被。区域的植被覆盖率一般，有轻度或微度的水土流失。

绵阳区系代表动物以鼬科和鼠类为主，鸟类以白鹭、斑鸠、家燕、喜鹊、麻雀最为常见。动物资源中，除家养动物 57 个品种外，有野生动物 330 种。其中属全省重点保护的珍稀动物 42 种，列入全国重点保护的珍稀动物 26 种，包括大熊猫、金丝猴、云豹、牛羚、黑颈鹤、小熊猫等。

游仙区森林植被分区位于四川省亚热带常绿阔叶林区，川东盆地及西南山地常绿阔叶林地带，川东盆地偏湿性常绿阔叶林亚带、盆地底部丘陵低山植被地区、盆地深丘植被小区。主要植被群落为亚热带常绿针叶林、以柏木、马尾松构成群落的优势树种。还有阔叶树种、桉木、栎类、桉树、梧桐、槐等，珍贵树种有杏樟、银杏、红豆树等。灌木以马桑、黄荆为主。草本植物主要有茅草、蓼草，巴茅等。全区有乔木树种 57 科、109 属、187 种。全区活立木蓄积量 50 万 m^3 ，其中用材林 36.15 万 m^3 ，占总蓄积量的 72.3%，其余为防护林、薪炭林、特用林。全区森林覆盖率为 31.9%，林业用地占全区土地总面积的 36%。绿色覆盖率为 32.4%。

经调查，受人类活动影响深远，评价区域内植被多以农作植被、经济作物及果树为主，无天然林。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 人口简况

本项目选址于绵阳市游仙区核医疗产业园 467 地块（项目厂址中心坐标：

104°48'3.168"；北纬 31°32'12.660"），根据绵阳市游仙区经济试验区管委会提供的中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划方案，项目属于产业园生产组团内。根据现场勘查，项目运营期周边 3km 范围均在游仙区管辖范围内，评价范围内的人口分布情况见下表。

表 2-1 项目评价范围内人口分布情况

名称	方位	距离	性质	人数
涪江（核医学）实验室	东	5~100m	企业	约50人
中广核质子医疗项目	西南	130~270m	企业	约100人
中广核中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目	西南	30~130m	企业	约66人
中广核测控设备项目	西北	70~130m	企业	约50人
中玖闪光医疗科技有限公司	西北	130~220m	企业	约39人
游仙区放射药研发生产基地项目	西北	340~500m	企业	约85人
核医疗产业园污水处理厂	西南	90~200m	污水处理厂	约30人
西安迈斯拓电子加速器生产医用同位素和嬗变技术研究项目	南	10~70m	企业	约50人
玉泉村5队	东侧	400~500m	分散居民	约400人
玉泉村2队	东侧	500~620m	分散居民	约400人
长河堰村	东侧	2.5km	分散居民	约500人
吴家村1队	南侧	1km	分散居民	约400人
望江村	南侧	2.5km	分散居民	约1000人
吴家村8队	西南侧	1.9km	分散居民	约500人
石垭村6队	西南侧	1.7km	分散居民	约500人
吴家村7队	西南侧	2.0km	分散居民	约500人
吴家村6队	西南侧	2.3km	分散居民	约500人
吴家村社区	西南侧	2.4km	分散居民	约800人
鹤林原山	西侧	2.1km	居民小区	约5000人
阅翠府	西侧	1.4km	居民小区	约2500人
某科研所	西北侧	700m	企业	约150人
新桥镇两河村	西北侧	1.7km	分散居民	约300人
仙鹤湖水库	西北侧	2.4km	水库	饮用水源
两河村1队	西北侧	1.7km	分散居民	约 400 人
庄子村3队	西北侧	2.0km	分散居民	约 400 人
两河村5队	西北侧	2.6km	分散居民	约 400 人
双桥村3队	西北侧	2.5km	分散居民	约 400 人
两河村3队	西北侧	2.8km	分散居民	约 400 人
同福村	西北侧	2.85km	分散居民	约 400 人
两河村14队	西北侧	2.95km	分散居民	约 400 人
石垭村1队	北侧	500m	分散居民	约400人
庄子村1队	北侧	1.3km	居民住宅	约200人
新桥小学	北侧	1.8km	学校	约500人
新桥镇中学	北侧	2.0km	学校	约500人
新桥镇场镇	北侧	2.0km	场镇	约2500人
铜铃村	东北侧	2.5km	分散居民	约500人

2.2.2 中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区

（1）园区规划概况

根据城市总体规划，2021 年在游仙区成立中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园（以下简称“核医疗健康产业园”）。

核医疗健康产业园位于游仙区游仙街道石垭村、金山村、文胜村、吴家社区和新桥镇玉泉村，园区规划用地 4000 亩，园区规划研发、生产、安评和医疗、科研配套和文商旅等 5 个组团，以核技术应用产业为主导，重点发展放射性同位素研发及生产、放射性诊断和治疗药物研发及生产、放射医疗装置研发及制造、核探测成像仪器仪表研发制造及应用、辐照加工等相关产业。

核医疗健康产业园规划分批次启动建设，建设周期五年。首期启动区为青龙山北片区，该片区由研发组团（绵梓路以北）和生产组团组成。生产组团位于游仙区游仙街道石垭村，规划范围东至游仙区乡村旅游环线，西、南至青龙山，北至绵梓路，规划总面积 50.97 公顷（约 764.55 亩），该片区规划重点发展放射性同位素研发及应用、放射性药物研发及生产和放射医疗设备研发设计及制造等核技术产业。

目前，中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区已完成规划环评编制工作并取得批复（川环建函〔2023〕11 号）。

（2）核医疗健康产业园污水处理厂概况

2022 年 8 月 27 日，绵阳市游仙区发展和改革局对中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园基础设施建设项目（二期）可行性研究报告（代立项）进行了批复（绵游发法规〔2022〕258 号），为加快中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区基础设施的建设，绵阳惠东市政建设工程有限公司决定对中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园基础设施建设项目（二期）进行分段实施，一期建设污水处理厂 1 座，设计污水处理能力 500m³/d，处理中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区区域内的生活污水及工业废水，处理工艺采用粗细格栅+调节池/事故池+混合絮凝沉淀+一体化 AAO-MBR+电子束辐照+次氯酸钠接触消毒工艺，尾水处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标后经污水排放管道排入芙蓉溪。核医疗健康产业园污水处理厂现已建成，暂存未投运。

（3）核医疗健康产业园现状

根据现场踏勘情况，核医疗产业园内已陆续有企业入驻，其中中广核质子治疗装备制造基地现已建成，并已通过验收，投入使用，其余企业均在施工建设中。具体产

业园内企业情况见下表所示：

表 2-2 核医疗产业园内企业入驻情况一览表

入驻企业	项目名称	项目状况
中广核医疗科技（绵阳）有限公司	中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目	正在建设
	绵阳质子医疗装备制造基地项目	已建成投运
中广核久源（绵阳）科技有限公司绵阳分公司	核测控装备研发制造基地新增校准及检测用核技术利用项目	正在建设
西安迈斯拓扑科技有限公司	西安迈斯拓扑电子加速器生产医用同位素和嬗变技术研究项目	正在建设
中玖闪光医疗科技有限公司	新一代 FLASH 放疗设备研发及其产业化（一期）项目	正在建设
国通（绵阳）新药技术有限公司	游仙区放射药研发生产基地项目	已建成投运

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 非放环境质量现状

2.3.1.1 空气环境质量现状评价

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。

根据绵阳市生态环境局 2025 年 3 月发布的《2024 年绵阳市环境质量状况年报》，其中的数据和结论作为空气质量达标区的判定依据，游仙区环境空气质量年均浓度统计及达标情况见下表：

表 2-3 区域环境空气质量现状评价

污染物	年度评价指标	现状浓度/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	标准值/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率/%	达标情况
SO ₂	年平均质量浓度	5.7	60	9.50%	达标
NO ₂	年平均质量浓度	16.4	40	41.00%	达标
CO	24小时平均第95百分位数	0.9	4000	0.02%	达标
O ₃	8小时平均第90百分位数	147.5	160	92.19%	达标
PM _{2.5}	年平均质量浓度	31.0	35	88.57%	达标
PM ₁₀	年平均质量浓度	42.4	70	60.57%	达标

由上表可知，游仙区 2024 年 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 年平均浓度达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）相应的二级标准，CO 24 小时平均第 95 百分位数达到

《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中相应的二级标准，O₃ 8 小时平均第 90 百分位数达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中相应的二级标准。因此，游仙区环境空气质量达标。

2.3.1.2 地表水环境质量现状评价

本项目最终受纳水体为芙蓉溪，芙蓉溪属于Ⅲ类水域。根据绵阳市生态环境局官网发布的《2024 年绵阳市环境质量状况年报》中地表水环境质量：2024 年，绵阳市地表水 27 个断面中，其中Ⅰ-Ⅲ类（优良水体）断面 27 个，地表水优良率 100%。河流中，涪江、通口河、凯江、梓江、安昌河、平通河、土门河、青竹江、秀水河整体水质优；芙蓉溪、魏城河水质良。湖库中，沉抗水库水质优、鲁班水库水质良，均呈中营养状态。

表 2-4 2023 年地表水环境质量评价结果统计表

河流/湖库名称	断面名称	所在地	控制级别	划定类别	上年度平均水质类别	本年度平均水质类别
芙蓉溪	仙鱼桥	游仙区	市控	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

由上述监测结果可知，芙蓉溪水质类别达到了《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水域标准的要求，表明芙蓉溪水质良好。

2.3.1.3 声环境质量现状评价

四川久测环境技术有限公司于 2025 年 3 月 20 日-3 月 21 日对项目厂址声环境进行的现状监测。

（1）监测因子

等效连续 A 声级

（2）监测布点

在项目厂址东南西北四周各布设 1 个监测点位，共计 4 个点位。

（3）监测时段

监测 2 天，昼夜各监测 1 次。

（4）监测方法

按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）的规定进行监测。

（5）监测结果与分析

评价区域环境噪声监测结果如下表所示。

表 2-5 区域声环境质量监测与评价结果表（dBA）

点位编号	点位名称	检测日期	昼间测量结果 dB(A)	夜间测量结果 dB(A)
1#	东侧厂界外	2025/3/20	54	45
		2024/3/21	56	43
2#	南侧厂界外	2025/3/20	52	42
		2024/3/21	53	44
3#	西侧厂界外	2025/3/20	57	44
		2024/3/21	55	42
4#	北侧厂界外	2025/3/20	57	46
		2024/3/21	57	44

由上表结果可知，项目厂址厂界监测点位昼夜噪声监测值满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类区标准（昼间≤65 dBA、夜间≤55 dBA）要求，表明区域声环境质量较好。

2.3.2 辐射环境现状

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）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对应用非密封放射性物质及射线装置的项目在应用前的辐射环境监测要求，本次监测包含拟建厂址及周围环境的γ辐射，大气、土壤、地表水和地下水等环境介质中的放射性核素含量现状水平。基于当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，本项目以环境介质中放射性核素 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁹⁹Mo 的核素含量及总β为监测指标。

经调查，项目南厂界外为西安迈斯拓扑电子加速器生产医用同位素和嬗变技术研究项目（在建），东厂界外为涪江（核医学）实验室（待建），西南侧厂界外为中广核中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目（在建）以及中广核质子医疗项目（已运行）。本次评价引用游仙区放射药研发生产二期项目-辐测院监字（2024）第 H248 号报告、2022 年产业园区的其他企业辐射监测数据-川辐环监字（2022）第 RM0029 号以及西安迈斯拓扑科技有限公司加速器生产铜 225 等医用同位素项目环境质量监测-川辐环监字（2024）第 RM0072 号。经调查，除游仙区放射药研发生产一期项目小规模运行外，周边暂无排放 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁹⁹Mo 等核素的企业运行，环境现状数据采用既有监测报告具有代表性。

2.3.2.1 环境 X-γ辐射剂量率水平

项目场址周围环境 X-γ辐射剂量率监测值为 32.7~71.4nSv/h，经换算后环境γ辐射空气吸收剂量率为 26.43~57.72nGy/h，对比《2023 年四川省生态环境状况公报》中绵

阳市空气吸收剂量率自动监测结果 70~100nGy/h，属于当地正常天然本底辐射水平。

2.3.2.2 β 表面污染水平

项目建设地 β 表面污染未检出。

2.3.2.3 气溶胶

项目区域监测点气溶胶中放射性核素 ^{131}I 监测值 $<7.83\text{E-}07\text{Bq/m}^3$ 、 ^{177}Lu 监测值 $\leq 1.42\text{E-}06\text{Bq/m}^3$ ， ^{99}Mo 监测值 $\leq 1.7\text{E-}05\text{Bq/m}^3$ 。

2.3.2.4 地表水

项目所在区域地下水中放射性核素 ^{131}I 监测值 $<5.17\text{E-}02\text{Bq/L}$ 、 ^{177}Lu 监测值 $<3.70\text{E-}01\text{Bq/L}$ 、 ^{99}Mo 监测值 $\leq 2.69\text{E-}01\text{Bq/L}$ 。

2.3.2.5 地下水

项目所在区域地下水中放射性核素 ^{131}I 监测值 $<5.25\text{E-}02\text{Bq/L}$ 、 ^{177}Lu 监测值 $<2.27\text{E-}01\text{Bq/L}$ 、 ^{99}Mo 监测值 $\leq 5.0\text{E-}02\text{Bq/L}$ 。

2.3.2.6 土壤

项目所在区域土壤中放射性核素 ^{131}I 监测值 $<4.71\text{E-}01\text{Bq/kg}$ 、 ^{177}Lu 监测值 $<4.90\text{Bq/kg}$ 、 ^{99}Mo 监测值 $\leq 4.09\text{Bq/kg}$ 。

2.3.2.7 底泥

监测期间，芙蓉溪底泥中总 β 监测值为 $7.61\text{E+}02\text{Bq/kg}$ ，规划环评未进行芙蓉溪河段底泥监测，因此选用与规划环评同时进行的项目游仙区放射药研发生产项目一期环评的监测报告（川辐环监字（2022）第 RM0031 号）进行对比，与其中芙蓉溪河段底泥总 β 水平 $6.22\text{E+}02\sim 6.64\text{E+}02\text{Bq/kg}$ 相比，基本相当。

监测期间芙蓉溪底泥中放射性核素 ^{131}I 监测值 $<5.52\text{E-}01\text{Bq/kg}$ 、 ^{177}Lu 监测值 $<4.61\text{Bq/kg}$ 、 ^{99}Mo 监测值 $\leq 4.09\text{Bq/kg}$ 。

2.4 厂址适宜性评价

本项目厂址位于绵阳市游仙区核医疗产业园 467 地块（项目厂址中心坐标：104°48'3.168"；北纬 31°32'12.660"）。经对建设区域自然环境状况分析可知，项目场地区域内无不良地质现象，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。

经调查，已建成的、规划引入的企事业单位以科研院所、放射性核素药物研发生产、核医疗设备制造、核测控装备等相关核技术应用产业为主，对本项目的建设无明显环境制约影响。项目为放射性同位素生产项目，周边企业同属于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划的主导产业。项目所在区域主导风向为东北风，项目地块下风向为青龙山。因此，本项目与周边环境相容。

本项目 8 号、10 号车间各放药生产线以及放射质检区运营期产生的挥发性有机物产生量极少，经过过滤装置处理后，可达标排放。非有机放射性废水暂存衰变经监测达标经审管部门认可后排入所在核医疗健康产业园园区污水处理厂处理，有机放射性废水暂存衰变后，交有资质单位处置，不外排；放射性固废按核素种类特性分类收集，贮存解控后作为一般固废处置。经采取上述措施后，项目所致影响可接受。

根据《2024 年绵阳市生态环境质量年报》分析可知，项目所在区域属于环境空气质量达标区；芙蓉溪水质满足《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）中 3 类标准要求，区域声环境质量较好。根据辐射环境监测结果，项目厂址环境 γ 辐射剂量率处于四川省天然本底涨落范围内，所在区域空气、地表水、地下水及土壤中与本项目活动相关的放射性核素活度浓度和总 β 活度浓度监测值未见异常。

根据《中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园控制性详细规划》并咨询规划实施部门，青龙山片区北侧设计有排洪管、西侧（靠青龙山）设计有截洪沟和排洪沟，规划区排涝的标准为 2 年一遇 24 小时暴雨一天排干，暴雨发生时雨水管（渠）网协同片区内各类绿地排除地面径流，保证地面无明显积水。经现场调查，项目东侧约 180m 为芙蓉溪。芙蓉溪全长 90.7km，流域面积 594.9km²，流经市境河段长约 60km，天然落差 63m，平均比降 1.05‰，汇水面积 311.5km²。经调查，项目所在河段百年一遇洪水流量为 2970m³/s。项目拟建的 8 号车间、10 号车间等场所按照《防洪标准》（GB201-2014）中防护等级 I 级进行设计。因此，项目可避免内涝影响。

综上所述，项目评价范围内无明显环境制约因素，项目的建设及周边环境相容，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。

3 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

本项目总用地面积 19153.34m²，总建筑面积 28310.47m²，计划总投资 30000 万元。项目主要建设 8 号车间、10 号车间及配套辅助设施，用于放射性同位素和放射性药物生产。

项目拟在 8 号车间内建设 5 条放射性核素生产线以及质检中心，共涉及 7 个放射性工作场所，放射性核素生产线主要用于生产放射性药物以及核素发生器，包括 1 条 ⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线、1 条 ¹⁷⁷Lu 核素生产线、1 条 ¹⁷⁷Lu 注射剂生产线、1 条 ¹³¹I 口服液生产线、1 条 镅即时标记药物生产线；质检中心用于放射性核素产品质检，该车间一层共布置 5 个非密封放射性物质工作场所：①⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线，日等效最大操作量 1.11E+12Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；②¹⁷⁷Lu 核素生产线，日等效最大操作量 4.16E+14Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；③¹⁷⁷Lu 注射剂生产线，日等效最大操作量 1.48E+11Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；④¹³¹I 口服液生产线，日等效最大操作量 7.40E+11Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；⑤源库，日等效最大操作量 2.44E+10Bq，甲级非密封放射性物质工作场所。该车间三层共布置 2 个非密封放射性物质工作场所：①镅即时标记药物生产线，日等效最大操作量 7.40E+09Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；②质检中心，日等效最大操作量 3.77E+09Bq，乙级非密封放射性物质工作场所。

项目拟在 10 号车间建设 1 条放射性核素生产线，共涉及 2 个放射性工作场所，分别为①1 条 ¹⁷⁷Lu 注射剂生产线，日等效最大操作量 1.48E+11Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；②源库，日等效操作量为 1.48E+09Bq，为乙级工作场所。

项目建成投运后，最大生产能力可达年生产、销售 ⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器年生产/销售 20000 个（1.02E+11Bq/个）、¹⁷⁷Lu 核素溶液年生产/销售 1600 瓶（约 4.62E+11Bq/瓶）、¹⁷⁷Lu 注射剂年生产/销售 73500 瓶（9.25E+09Bq/瓶）（8 号车间及 10 号 ¹⁷⁷Lu 注射剂生产线各生产 36750 瓶）、¹³¹I 口服液年生产/销售 23600 瓶（5.55E+10Bq/瓶）和镅即时标记药物年生产/销售 174250 瓶（7.4E+8Bq/瓶）。

3.1.1.1.1 8号车间

8号车间为地上三层建筑，建筑面积12627.76m²，一层主要布置4条放射性核素（药物）生产线及配套的源库、放射性废物库等；一层与二层之间夹层为排风过滤机房；二层为预留区；三层由锝即时标记药物生产线、质检中心、预留生产区及配套的放射性废物库等组成。

(1) 8号车间一层

8号车间一层拟布置有1条⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线、1条¹⁷⁷Lu核素生产线、1条¹⁷⁷Lu注射剂生产线、1条¹³¹I口服液生产线、放废物库1（非挥发性核素）、放废库2（非挥发性核素）、放废库3（挥发性核素）、源库、成品暂存间、铅罐区污染物暂存、铅罐接收检测间及配套用房。

①⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线

该生产线由钼锝前区、钼锝后区、钼锝外包间、检测去污间、接收间、非放外清间、配制间、更衣间、物料暂存间等组成，面积约396.80m²，以外购⁹⁹Mo核素溶液为原料，经上柱淋洗生产⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器，每天生产1批次，年产⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器20000个（1.02E+11Bq/个），场所日等效最大操作量1.11E+12Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3-1 8号车间⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	⁹⁹ Mo	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+12	使用
2	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+12	生产、使用、销售

②¹⁷⁷Lu核素生产线

该生产线由镥 [¹⁷⁷Lu] 前区、镥 [¹⁷⁷Lu] 后区、镥 [¹⁷⁷Lu] 外包间、设备间、后处理间、准备间、器具准备间、更衣间、物料接收间等组成，面积约373.37m²，以外购Yb辐照后靶件为原料，经分离纯化生产¹⁷⁷Lu核素溶液，每天生产1批次，年产¹⁷⁷Lu核素溶液1600瓶（约4.62E+11Bq/瓶），场所日等效最大操作量4.16E+14Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3-2 8号车间¹⁷⁷Lu核素生产线核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	¹⁷⁷ Lu	4.16E+12	200	8.32E+14	4.16E+14	生产、使用、销售

③¹⁷⁷Lu 注射剂生产线

该生产线由镥 [¹⁷⁷Lu] 前区、镥 [¹⁷⁷Lu] 后区、镥 [¹⁷⁷Lu] 外包间、设备间、后处理间、准备间、器具准备间、更衣间、物料接收间等组成，面积约 248m²，以外购或自主生产的 ¹⁷⁷Lu 核素溶液为原料，经合成标记生产 ¹⁷⁷Lu 标记药物，每天生产 1 批次，年产 ¹⁷⁷Lu 标记药物 29360 瓶（约 9.25E+09Bq/瓶），场所日等效最大操作量 1.48E+11Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3-3 8 号车间 ¹⁷⁷Lu 注射剂生产线核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	¹⁷⁷ Lu	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+11	生产、使用、销售

④¹³¹I 口服液生产线

该生产线由碘 [¹³¹I] 前区、碘 [¹³¹I] 后区、碘 [¹³¹I] 外包间、剂量检测间、配制间、准备间、更衣间、暂存间等组成，面积约 312.28m²，以外购 ¹³¹I 核素溶液为原料，经标记分装生产 ¹³¹I 口服液，每天生产 1 批次，年产 ¹³¹I 口服液 23700 瓶（5.55E+10Bq/瓶），场所日等效最大操作量 7.40E+11Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3-4 8 号车间 ¹³¹I 口服液生产线核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	¹³¹ I	7.40E+12	200	1.48E+15	7.40E+11	生产、使用、销售

⑤源库

源库位于车间一层北侧，主要存贮各生产线使用的 ¹⁷⁷Lu、¹³¹I、⁹⁹Mo 核素原料以及 ⁹⁹Mo (^{99m}Tc) 发生器，场所日等效操作量为 2.44E+10Bq，为甲级工作场所。

表 3-5 8 号车间源库核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	¹⁷⁷ Lu	5.18E+12	250	1.30E+15	5.18E+09	使用
2	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	7.40E+11	250	1.85E+14	7.40E+08	使用
3	¹³¹ I	7.40E+12	200	1.48E+15	7.40E+09	使用
4	⁹⁹ Mo	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+10	使用

⑥废物库及其他配套用房

在车间一层北侧自西向东布置无机酸碱废液间、一层放废库 2（非挥发性核素）、一层放废库 1（非挥发性核素）、一层放废库 3（挥发性核素）、源库、成品暂存间、货厅、铅罐区污染物暂存、防护包材库等，车间一层东侧配置外包材间、易制毒试剂间、试剂间（甲类）、原辅料库、变配电室等，车间一层南侧配置门厅、男总更、女总更、值班室等。

（2）8 号车间三层

8 号车间三层为放射性工作场所，拟布置 1 条锝即时标记药物生产线、质检中心、放射性废物暂存区等主要非密封放射性物质工作场所。同时还布置有空调机房、普通废物间、试剂间、办公区、非放质检区、男/女总更等配套辅助用房；三层西侧为预留生产区。车间三层各场所具体如下：

①锝即时标记药物生产线

拟在车间三层中央建设一条锝即时标记药物生产线，包括锝标、锝标外包间、洁具间、剂量检测间、洗衣整衣间、更衣间等，面积约 156.96m²，以外购或自产的 ⁹⁹Mo（^{99m}Tc）发生器进行淋洗生产 ^{99m}Tc，经标记生产锝（^{99m}Tc）即时标记药物，每天生产 1 批次，年产锝即时标记药物 174400 瓶（7.4E+8Bq/瓶），场所日等效最大操作量 7.40E+09Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3-6 8 号车间锝即时标记药物生产线核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	7.40E+11	250	1.85E+14	7.40E+08	使用
2	^{99m} Tc	6.66E+11	250	1.67E+14	6.66E+09	生产、使用、销售

②质检中心

质检中心包含留样间、稳定性实验室、理化实验室、γ 计数器室、γ 能谱室和液相室等，面积约 607.65m²，主要进行核素鉴别、pH 检测、放射性核纯度检测、放射性活度/浓度检测和微生物限度检测等，涉及核素 ⁹⁹Mo、^{99m}Tc、⁹⁹Mo（^{99m}Tc）、¹⁷⁷Lu、¹³¹I 等核素，日等效最大操作量为 3.77E+09Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 3-7 8 号车间质检中心核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	⁹⁹ Mo	3.70E+08	200	7.40E+10	3.70E+07	使用

2	^{99m}Tc	3.70E+09	250	9.25E+11	3.70E+07	使用
3	$^{99}\text{Mo} (^{99m}\text{Tc})$	2.96E+10	200	5.92E+12	2.96E+09	使用
4	^{177}Lu	3.70E+09	200	7.40E+11	3.70E+08	使用
5	^{131}I	3.70E+09	200	7.40E+11	3.70E+08	使用

③废物库及其他配套用房

拟在车间三层北侧自西向东布置空调机房、放射性货梯、放射性货厅、三层放废库 1（非挥发性核素）、三层放废库 3（培养基）、三层放废库 2（挥发性核素）、普通废物间、试剂间等，在车间三层南侧自西向东布置空调机房、男总更、女总更、电梯厅和办公室等。

3.1.1.1.2 10 号车间

10 号车间为地上三层建筑，其中一层和三层为预留，二层由 ^{177}Lu 注射剂生产线、源库及配套的放射性废物库等组成。

(1) ^{177}Lu 注射剂生产线

该生产线由镱 [^{177}Lu] 前区、镱 [^{177}Lu] 后区、镱 [^{177}Lu] 外包间、设备间、后处理间、准备间、器具准备间、更衣间、物料接收间等组成，面积 316.72m²，以外购或自主生产的 ^{177}Lu 核素溶液为原料，经合成标记生产 ^{177}Lu 标记药物，每天生产 1 批次，年产 ^{177}Lu 标记药物 29360 瓶（约 9.25E+09Bq/瓶），场所日等效最大操作量 1.48E+11Bq，为甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3-8 10 号车间 ^{177}Lu 注射剂生产线核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	^{177}Lu	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+11	生产、使用、销售

(2) 源库

源库位于 10 号车间二层东侧，主要存贮生产线使用的 ^{177}Lu 核素原料，场所日等效操作量为 1.48E+09Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 3-9 10 号车间源库核素操作量情况一览表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大操作量 Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	^{177}Lu	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+09	使用

(3) 废物库及其他配套用房

拟在 10 号车间二层西侧自北向南布置空调机房、甲类试剂间、内包材、外包材库、防护包材库、成品暂存库、放废库 2、源库、放废库 1 等，车间一层北侧配置男总更、女总更、电梯厅等。

3.1.1.1.3 放射性仓储设施

本项目在 8 号车间及 10 号车间内均设有源库、包装材料库、成品库、放射性废物库等仓储设施，具体配置见下。

表 3-10 项目仓储设施一览表

序号	存储间	位置	仓储用途
1	一层放废库1（非挥发性发核素）	8号车间1层	用于8号楼一层产生的非挥发性放射性废物暂存
2	一层放废库2（非挥发性发核素）		用于8号楼一层产生的非挥发性放射性废物暂存
3	一层放废库3（挥发性发核素）		用于8号楼一层产生的 ¹³¹ I放射性废物暂存
4	源库		放射性原料暂存
5	成品暂存间		成品暂存
6	铅罐污染物暂存		沾污铅罐暂存
7	三层放废库1（非挥发性核素）	8号车间3层	用于8号楼三层产生的非挥发性放射性废物暂存
8	三层放废库2（挥发性发核素）		用于8号楼三层产生的 ¹³¹ I放射性废物暂存
9	三层放废库3（非挥发性核素）		用于8号楼三层产生的非挥发性放射性废物暂存
10	成品暂存间	10号车间2层	放射性药物成品暂存
11	放废库2		用于10号车间2层产生的放射性废物暂存
12	源库		用于10号车间2层产生的放射性原料暂存
13	放废库1		用于10号车间2层产生的放射性废物暂存
14	质检放废库	10号车间3层	3层质检放射性废物暂存

项目生产和实验用的非放原料都存放在对应楼层内非放原辅料库内，使用当天领取、结余的当天退还，生产车间和实验室内不存放非放原辅料。

本项目产品涉及核素采取订单订购生产、即产即销的生产方式。生产用放射性原料及生产的放药成品原则上不暂存，只有在不能立即开展生产或不能立即发货时，临时暂存在原料库、成品库内（一般不超过 2 天）。

3.1.1.2 公辅工程

（1）门卫室

2 间门卫室分别位于厂区西侧、北侧，为地上一层建筑，建筑高度 4.8m，建筑面积 24.66m²（西侧）、12.92m²（北侧），兼具消防总控功能，设消防控制室、门卫室及卫生间，可布置消防机柜，为门卫人员提供临时休息等功能。

（2）放射性废水处理设施

本项目拟在 8 号车间 10 号车间南侧各新建一个地埋式废水衰变池，用于应急去污废水收集和贮存衰变。衰变池设置 1 格集水井和 3 格衰变井，单格池体净空尺寸为 1.95m（高）×1.95m×2.75m，3 个池体容积均为 10.725m³。衰变池结构形式为现浇钢筋混凝土地下水池，池顶设盖板。衰变池采用并联结构，地埋式密封处理，并采取防雨

水、防渗、防腐、防泄漏措施。

(3) 生活设施

本项目不设置住宿、食堂、集中办公等生活设施。

(4) 供电

本项目用电设备均为二级负荷。消防应急照明系统采用集中电源集中控制型消防应急照明和疏散指示系统，蓄电池持续工作时间不小于 60min。变配电室、消防泵房、排烟机房、消防控制室、控制室、洁净区备用照明采用集中应急电源（EPS）或灯具自带蓄电池供电方式，除洁净区备用照明蓄电池供电时间不少于 30min 外，其余蓄电池供电时间不少于 60min。

(5) 给排水工程

①生产、生活给水：本工程选用市政水作为项目水源，自市政供水管网引一路 DN150 自来水管路，在厂区内形成环状，市政供水压力 0.40MPa，水质水量及水压满足需求。

②消防给水：室内外消防为临时高压消防给水系统，厂区配套消防水池、消火栓泵、高位消防水箱及增加稳压设施，满足本工程所需。

③生产生活排水：本项目生产过程中产生的放射性废水均由铅罐收集，于放射性废物库暂存至清洁解控水平（射性活度浓度小于 10Bq/L）后作为一般废水与生活废水一并排入市政污水管网，进入园区污水处理厂处理达标后排放。

④雨水排水：生产车间和门卫屋面雨水采用建筑外排水，厂区内雨水经雨水口收集后最终在厂区东南侧排至市政雨水管网

3.1.2 产品方案

本项目建成后拟销售产品有锝即时标记药物、 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器、 ^{177}Lu 核素、 ^{177}Lu 注射剂、 ^{131}I 口服溶液，具体产品方案详见下表：

表 3-11 项目产品方案

序号	生产车间	产品名称	年最大生产规模	物理形态	外运单位
1	8号车间	锝即时标记药物	每瓶约7.4E+08Bq，年最大生产174400瓶	液态	委外运输
2		^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)发生器	每个约1.02E+11Bq，年最大生产20000个	固态	
3		^{177}Lu 核素	每瓶约4.62E+11Bq，年最大生产1600瓶	液态	
4		^{177}Lu 注射剂	每瓶约9.25E+09Bq，年最大生产29360瓶	液态	
5		^{131}I 口服溶液	每瓶约5.55E+10Bq，年最大生产23700瓶	液态	
9	10号车间	^{177}Lu 注射剂	每瓶约9.25E+09Bq，年最大生产29360瓶	液态	

3.1.3 项目组成及主要环境问题

本项目组成及主要环境问题见下表。

表 3-12 项目组成及主要环境问题一览表

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	8号车间	①一层：一层为放射性工作场所，建筑面积约3758.03m ² ，拟建设 ¹⁷⁷ Lu核素生产线、 ¹⁷⁷ Lu注射剂生产线、 ¹³¹ I口服液生产线、 ⁹⁹ Mo（ ^{99m} Tc）发生器生产线及其配套的仓储设施。 ②二层：二层整体为预留区，建筑面积约3820.19m ² 。 ③三层：三层为放射性工作场所，建筑面积约3820.19m ² ，拟建设镅即时标记药物生产线，质检中心及其配套的仓储设施。	施工扬尘 施工废水 施工噪声 建筑垃圾 生活污水 生活垃圾	β射线、γ射线、废气（酸雾、TVOC、放射性废气）、废水（非放清洗废水、放射性废水）、固体废物（非放固体废物、放射性固体废物）
	10号车间	①一层：一层整体为预留区，建筑面积约2523.3m ² 。 ②二层：二层为放射工作场所，建筑面积约2576.9m ² ，拟建设一条 ¹⁷⁷ Lu注射剂生产线，及其配套的仓储设施，同时部分厂房作为预留。 ③三层：三层整体为预留区，建筑面积约2576.9m ² 。		
辅助工程	门卫室	本项目拟建两个门卫室，均为地上一层建筑，建筑高度4.8m，其中门卫室1建筑面积24.66m ² ，门卫室2建筑面积12.92m ² ，兼具消防总控功能，设消防控制室、门卫室。		
公用工程	给水	市政管网供给自来水。	/	/
	供配电	由市政电网引入。		
环保工程	废水治理措施	项目采取雨污分流制： 雨水：直接排入厂区雨水管网，汇入市政雨水管网。 生产废水：本项目分别在8号车间10号车间南侧各新建一个地理式衰变池，衰变池设置一个集水井和3格并联衰变池，单格池体净空尺寸为1.95m（高）×2m×2.75m，3个池体容积均为10.725m ³ ，用于收集事故应急产生的放射性废水，放射性废水暂存衰变经检测达标（总β≤10Bq/L）后排入园区污水管网；生产中的放射性废水由专用铅罐收集，于放射性废物暂存间中暂存至清洁解控水平直接排入园区污水管网，有机放射性废液暂存至解控后交由有资质单位处置。 生活污水：生活污水直接排入厂区污水管网，厂区废水最终由厂区西侧总排口接入园区市政污水管网。	施工扬尘 施工废水 施工噪声 建筑垃圾 生活污水 生活垃圾	噪声
	废气治理措施	放射性废气：各涉放场所设局排和全排系统，废气经过滤净化处理后，由排气筒于屋顶排放。		放射性废气、噪声
	噪声防治措施	①合理布置噪声源，密闭厂房，建筑采用隔音、吸音材料。 ②机械设备选型时采用低噪声型号，安装时采用一定的隔声减噪措施。 ③加强机械设备的日常维修、更新，确保处于正常运行工况。		噪声

	固废处置措施	放射性固体废物：由专用屏蔽容器分类收集后暂存于放射性废物暂存间内，按核素衰变特性经衰变后分类处置。 生活垃圾：设垃圾桶，定点袋装收集后交环卫部门清运处理。 一般固体废物：废弃包装材料、擦拭纸等非放射性材料分类收集后交环卫部门清运处置。 危险废物：非放质检区产生的有机废液、废酸碱和清洁解控后的废活性炭等收集后交有资质的单位处理。		固体废物、 生活垃圾
--	--------	---	--	---------------

3.1.4 工作场所分级

3.1.4.1 判断依据

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）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：①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；②工艺流程连续完整；③有相对独立的辐射防护措施。

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），非密封放射性物质工作场所的分级依据如表3-13，核素毒性修正因子见表3-14、操作方式修正因子见表3-15。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots\dots (\text{式 3-1})$$

表 3-13 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 3-14 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 3-15 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

参考《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如下：

（1）**贮存**：把盛装在容器内的放射性溶液、样品和废水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属贮存操作。这类操作的危害最小。

（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。

（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。

（4）**特别危险的操作**：例如对溶液的加热蒸馏或蒸发，热烤烘干，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生尘操作，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，发生意外时并不一定有较多的放射性物质散布开来，但发生事故的概率较大，而且后果较严重。

3.1.4.2 判断结果

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目场所划分如下：

本项目 8 号车间与 10 号车间互为独立建筑，且 ^{177}Lu 核素生产线、 $^{99}\text{Mo} (^{99\text{m}}\text{Tc})$ 发生器生产线、 ^{177}Lu 注射剂生产线、 ^{131}I 口服液生产线位于 8 号车间 1 层，有独立的人员更衣入口及独立的去污监测出口；镅即时标记药物生产线、质检中心位于 8 号车间 3 层，有独立的人员更衣入口及独立的去污监测出口；10 号车间 ^{177}Lu 注射剂生产线位于车间二层中部，有独立的人员更衣入口及独立的去污监测出口。

综上所述本项目将 8 号车间 ^{177}Lu 核素生产线、 $^{99}\text{Mo} (^{99\text{m}}\text{Tc})$ 发生器生产线、 ^{177}Lu 注

射剂生产线、 ^{131}I 口服液生产线、镓即时标记药物生产线、质检中心、源库；10 号车间的 ^{177}Lu 注射剂生产线、源库各作为一个非密封放射性物质工作场所来管理。

(1) 8 号车间

$^{99}\text{Mo}(^{99\text{m}}\text{Tc})$ 发生器生产线日等效最大操作量为 $1.11\text{E}+12\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所； ^{177}Lu 核素生产线日等效最大操作量为 $4.16\text{E}+14\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所； ^{177}Lu 注射剂生产线日等效最大操作量为 $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所； ^{131}I 口服液生产线日等效最大操作量为 $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所；质检中心日等效最大操作量为 $3.77\text{E}+09\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；镓即时标记药物生产线日等效最大操作量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所；源库日等效最大操作量为 $2.44\text{E}+10\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

(2) 10 号车间

^{177}Lu 注射剂生产线日等效最大操作量为 $1.48\text{E}+11\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所；源库日等效最大操作量为 $1.48\text{E}+09\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 3-16 本项目非密封放射性物质工作场所分级一览表

场所		核素	毒性	毒性修正因子	性状	操作方式	操作修正因子	日最大操作（Bq）	年操作天数（d）	年最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	活动种类	场所日等效最大操作量（Bq）	场所等级
8号车间	锝即时标记药物生产线	^{99m} Tc	低毒	0.01	液态	简单操作	1	6.66E+11	250	1.67E+14	6.66E+09	生产、使用、销售	7.40E+09	甲级
		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	0.1	液态	贮存	100	7.40E+11	250	1.85E+14	7.40E+08	使用		
	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发生器生产线	⁹⁹ Mo	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+12	使用	1.11E+12	甲级
		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+12	生产、使用、销售		
	¹⁷⁷ Lu核素生产线	¹⁷⁷ Lu	中毒	0.1	固体/液态	特别危险操作	0.001	4.16E+12	200	8.32E+14	4.16E+14	生产、使用、销售	4.16E+14	甲级
	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+11	生产、使用、销售	1.48E+11	甲级
	¹³¹ I口服液生产线	¹³¹ I	中毒	0.1	液态	简单操作	1	7.40E+12	200	1.48E+15	7.40E+11	生产、使用、销售	7.40E+11	甲级
	质检中心	⁹⁹ Mo	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.70E+08	200	7.40E+10	3.70E+07	使用	3.77E+09	乙级
		^{99m} Tc	低毒	0.01	液态	简单操作	1	3.70E+09	250	9.25E+11	3.70E+07	使用		
		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	0.1	液态	简单操作	1	2.96E+10	200	5.92E+12	2.96E+09	使用		
		¹⁷⁷ Lu	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.70E+09	200	7.40E+11	3.70E+08	使用		
		¹³¹ I	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.70E+09	200	7.40E+11	3.70E+08	使用		
	源库	¹⁷⁷ Lu	中毒	0.1	液态	贮存	100	5.18E+12	200	1.04E+15	5.18E+09	使用	2.44E+10	甲级
		⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)	中毒	0.1	固态	贮存	1000	7.40E+11	250	1.85E+14	7.40E+08	使用		
		¹³¹ I	中毒	0.1	液态	贮存	100	7.40E+12	200	1.48E+15	7.40E+09	使用		
		⁹⁹ Mo	中毒	0.1	液态	贮存	100	1.11E+13	200	2.22E+15	1.11E+10	使用		
10号车间	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+11	生产、使用、销售	1.48E+11	甲级
	源库	¹⁷⁷ Lu	中毒	0.1	液态	贮存	100	1.48E+12	200	2.96E+14	1.48E+09	使用	1.48E+09	乙级

3.1.5 劳动定员及工作制度

放射性药品具有与普通药品不同的特性，其以销定产的特点，决定了此类药物的生产方式及生产周期，根据生产规模和工艺技术要求，本项目生产制度为项目投产后年工作 250 天，每天工作 8 个小时。本项目建成后拟定员 60 人，后续根据运营情况进行人员的增加。人员具体配置见下表。

表 3-17 项目劳动人员配置一览表

序号	部门		岗位	人数 (人)	是否为辐射 工作人员	备注
1	质量部	8号/10号 车间	质量主管	1	是	/
2			QA	5	是	/
3			QC	10	是	/
4	安全生产部	8号车间	安全生产主管	1	是	/
5			安全管理	3	是	/
6			^{131}I 口服液生产线	4	是	分为1班；每班4人。
7			$^{99}\text{Mo}(\text{}^{99\text{m}}\text{Tc})$ 发生器 生产线	4	是	分为2班；每班2人。
8			锝即时标记药物生 产线	4	是	分为2班；每班2人。
9			^{177}Lu 核素生产线	8	是	分为2班；每班4人。
10			^{177}Lu 注射剂生产线	4	是	分为1班；每班4人。
11		10号车间	^{177}Lu 注射剂生产线	4	是	分为1班；每班4人。
12	综合管理部		行政管理	12	否	不在本项目厂区办公

注：上表劳动人员配置为最大产能时的人员配置，实际生产过程中依据实际产能配置人员。

四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司承诺，将依据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）要求，积极组织项目拟定的辐射工作人员在上岗前参加辐射安全和防护考核，确保所有辐射工作人员考核通过持证上岗。

根据《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：①辐射工作人员在上岗前，建设单位应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作；②建设单位应当建立并保存辐射工作人员考核取证档案。

3.2 工艺设备与工艺分析

本项目涉及工艺设备汇总见下表。

表 3-18 本项目主要工艺设备一览表

序号	场所	工艺设备	数量	备注
1	¹³¹ I口服液生产线	进料热室	1	内部净尺寸800×800×1000（h）mm，屏蔽厚度80mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带剑式机械手，D级洁净度
2		前处理热室（原料检验）	1	内部净尺寸1200×800×1000（h）mm，屏蔽厚度80mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带剑式机械手，D级洁净度
3		配制热室	1	内部净尺寸1400×800×1000（h）mm，屏蔽厚度80mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带剑式机械手，D级洁净度
4		准备冷室C级	1	内部净尺寸800×800×700（h）mm，D级洁净度，局部屏蔽（输液管50mmPb）
5		分装热室	1	内部净尺寸1900×800×1000（h）mm，屏蔽厚度80mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带剑式机械手，C级洁净度，带分装仪
6		包装热室	1	内部净尺寸1400×800×1000（h）mm，屏蔽厚度80mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带剑式机械手，D级洁净度、带活度计。
7	8号车间	进料热室	1	内部净尺寸1200×1200×1400（高）mm，屏蔽厚度150mm铅，带铅玻璃窗，带关节机械手，C级洁净度
8		配制热室	1	内部净尺寸1400×1200×1400mm（h），屏蔽厚度150mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带关节机械手，C级洁净度
9		灌注淋洗热室	1	内部净尺寸1800×1000×1200（h）mm，屏蔽厚度100mmPb，带铅玻璃窗100mmPb，带剑式机械手，A级洁净度
10		检验热室	1	内部净尺寸800×1000×1200（h）mm，屏蔽厚度100mmPb，带铅玻璃窗100mmPb，带剑式机械手，C级洁净度
11		热柱组装热室	1	内部净尺寸1400×1000×800（h）mm，屏蔽厚度100mmPb，带铅玻璃窗100mmPb，带剑式机械手，C级洁净度
12		防护包装热室	1	内部净尺寸1400×1000×800（h）mm，屏蔽厚度100mmPb，带铅玻璃窗100mmPb，带剑式机械手，C级洁净度
13		超净工作台	1	由设备供应商统一考虑，与热室配套
14		层流隔离器	1	由设备供应商统一考虑，与热室配套
15		进料热室	1	内部净尺寸1200×1200×1400（高）mm，屏蔽厚度150mm铅，带铅玻璃窗，带关节机械手，C级洁净度
16		超净工作台	2	内部尺寸1200×800×1500（h）mm，屏蔽厚度20mmPb
17	锡即时标记药物生产线	屏蔽通风橱	2	1200×850×2400mm，屏蔽厚度20mmPb，排风量1800m ³ /h
18	¹⁷⁷ Lu核素生产线	进料解靶热室	1	内部净尺寸mm，双工位，屏蔽厚度80mmPb，带铅玻璃窗80mmPb，带剑式机械手，C级洁净度，内部分割进料与解靶，中间不屏蔽，与溶解热室间设小传递窗

19			溶解热室	1	内部净尺寸900×800×1000 (h) mm, 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, C级洁净度
20			分离纯化热室	1	内部净尺寸1500×800×1000 (h) mm, 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, C级洁净度
21			准备冷室C级	1	内部净尺寸800×800×750 (h) mm, C级洁净度
22			分离纯化热室	1	内部净尺寸1500×800×1000 (h) mm, 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, C级洁净度
23			准备冷室A级	1	内部净尺寸800×800×750 (h) mm, A级洁净度
24			分装灭菌热室	1	内部净尺寸1900×800×1000mm, 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, A级洁净度, 设置气溶胶及浮游菌等在线连续监测装置, 带分装仪、活度计5Ci。
25		¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	准备冷室C级	1	内部净尺寸800×800×700 (h) mm (选厂家标准), C级洁净度
26			合成热室	1	内部净尺寸1900×800×1000 (h) mm (两套合成系统), 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, C级洁净度, 带两套自动合成仪
27			准备冷室B级	1	内部净尺寸800×800×700 (h) mm (选厂家标准), B级洁净度
28			分装灭菌热室	1	内部净尺寸1900×800×1000 (h) mm, 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, A级洁净度, 设置气溶胶及浮游菌等在线连续监测装置, 带活度计5Ci, 分装仪
29		质检中心	屏蔽通风橱	8	1200×850×2400mm, 滑动L屏式, 排风量1800m³/h, 屏蔽厚度10mmPb; 液相室、ICP、研发实验室1、研发实验室2、研发实验室3
30			屏蔽通风橱	5	1200×850×2400mm, 滑动L屏式, 排风量1800m³/h, 防爆, 屏蔽厚度10-15mmPb; TLC室、理化实验室
31			屏蔽手套箱	3	排风量: 500m³/h, 屏蔽厚度10mmPb, 活度计5Ci; 研发实验室1、研发实验室2、研发实验室3
32			屏蔽手套箱	1	屏蔽厚度100mmPb 内部尺寸: 1400×800×1000, 活度计量程50Ci; 接收分样间。
33			屏蔽手套箱	1	排风量: 500m³/h, 屏蔽厚度10mmPb, 活度计CRC-55R; 理化实验室
34			生物安全柜	2	A2型, 屏蔽厚度10mmPb; 微生物实验室、阳性室
35			稳定性试验箱	1	620×800×170mm, 自带UPS, 屏蔽厚度10mmPb; 稳定性实验室
36			铅屏风	若干	1000×200×2400 (h), 3mmPb, 可移动
37			L屏	若干	10mmPb, 可移动
38			放射性TLC	1	TLC室
39			γ计数器	1	测量范围0.1-1, 测量对象: α β γ, 测量精度0.1, 灵敏度0.1Bq, γ计数室
40			高效液相色谱仪	1	液相室, 屏蔽厚度20mmPb
41			伽马能谱仪	1	γ能谱室

42	10号车间	^{177}Lu 注射剂生产线	ICP-OES	1	ICP室
43			万分之一天平	1	天平室
44			百分之一天平	1	
45			恒温培养箱	1	阳性培养室
46			灭活间	1	灭菌锅
47			脉动真空灭菌器	1	灭菌室
48			家用洗衣机	1	
49			恒温培养箱	1	培养室
50			放射性操作室	1	灭菌锅
51			准备冷室C级	1	内部净尺寸800×800×700 (h) mm (选厂家标准), C级洁净度
52	10号车间	^{177}Lu 注射剂生产线	合成热室	1	内部净尺寸1900×800×1000 (h) mm (两套合成系统), 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, C级洁净度, 带两套自动合成仪
53			准备冷室B级	1	内部净尺寸800×800×700 (h) mm (选厂家标准), B级洁净度
54			分装灭菌热室	1	内部净尺寸1900×800×1000 (h) mm, 屏蔽厚度80mmPb, 带铅玻璃窗80mmPb, 带剑式机械手, A级洁净度, 设置气溶胶及浮游菌等在线连续监测装置, 带活度计5Ci, 分装仪

3.2.1 主要原辅材料

略

(2) 原辅材料理化特性

①放射性同位素理化特性

本项目各核素物理参数见下表。

表 3-19 放射性核素物理参数一览表

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变方式	α 平均能量 (MeV/nt)	平均电子能量 (MeV/nt)	光子平均能量 (MeV/nt)	空气比释动能率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
产品原料								
1	^{99}Mo	中毒	65.9h	β^-	-	0.3929	0.1484	3.80E-02
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒	6.01h	IT、 β^-	-	0.0162	0.1266	1.83E-02
3	^{131}I	中毒	8.0207d	β^-	-	0.1918	0.3828	5.46E-02
4	^{177}Lu	中毒	6.647d	β^-	-	0.1479	0.0351	4.98E-03
靶件杂质核素								
5	^3H	低毒	12.32y	β^-	-	-	0.00567	-
6	^{14}C	中毒	5700y	β^-	-	-	0.04945	-
7	^{24}Na	中毒	14.959h	β^-	-	4.12319	0.55381	4.28E-01
8	^{28}Al	/	2.2414m	β^-	-	1.77885	1.24165	1.97E-01
9	^{31}Si	低毒	157.3m	β^-	-	0.00088	0.59485	1.08E-04
10	^{32}P	中毒	14.263d	β^-	-	-	0.69477	-
11	^{37}Ar	低毒	35.04d	EC	-	0.00028	0.00226	-

12	⁴⁰ K	低毒	1.25E+09y	β ⁻ 、EC、β ⁺	-	0.15671	0.52176	1.81E-02
13	⁴² K	低毒	12.36h	β ⁻	-	0.27869	1.43034	3.21E-02
14	⁴⁵ Ca	中毒	162.67d	β ⁻	-	-	0.0772	-
15	⁴⁶ Sc	中毒	83.79d	β ⁻	-	2.00958	0.11207	2.57E-01
16	⁴⁷ Sc	中毒	3.3492d	β ⁻	-	0.10886	0.16241	1.55E-02
17	⁵⁵ Fe	中毒	2.737y	EC	-	0.00166	0.00416	1.36E-04
18	⁵⁹ Fe	中毒	44.495d	β ⁻	-	1.18827	0.11788	1.47E-01
19	⁶⁰ Co	高毒	5.2713y	β ⁻	-	2.50384	0.09686	3.06E-01
20	⁶⁴ Cu	低毒	12.7h	EC、β ⁺ 、β ⁻	-	0.18548	0.12475	2.62E-02
21	⁶⁵ Zn	中毒	244.06d	EC、β ⁺	-	0.58193	0.00687	7.29E-02
22	⁶⁹ Zn	低毒	56.4m	β ⁻	-	-	0.32155	8.37E-07
23	⁷² Ga	中毒	14.1h	β ⁻	-	2.70709	0.50596	3.18E-01
24	^{110m} Ag	中毒	249.76d	β ⁻ 、IT	-	2.76056	0.07576	3.60E-01
25	¹¹⁴ In	/	71.9s	β ⁻ 、EC、β ⁺	-	0.00232	0.77402	2.86E-04
26	^{114m} In	中毒	49.51d	IT、EC	-	0.08041	0.145	1.44E-02
27	¹¹⁵ In	低毒	4.4E+14y	β ⁻	-	-	0.15256	-
28	¹²³ Te	低毒	6E+14y	EC	-	0.00035	0.00275	-
29	¹⁷⁵ Yb	中毒	4.185d	β ⁻	-	0.0391	0.13077	5.70E-03

注：空气比释动能率常数引自GBZ 120-2020 表H.1、《辐射安全手册》表6.2、《EXPOSURERATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUESFOR OVER 1,100 RADIONUCLIDES》Table 1；

③非放射性物料理化性质

本项目生产线及质检室涉及使用的非放射性物料理化性质见下表。

表 3-20 本项目涉及的非放射性物料理化性质一览表

名称	理化性质	燃爆性	毒理性质	贮存方法
盐酸	为无色液体，在空气中产生白雾，有刺鼻气味和强腐蚀性。相对密度为1.20，沸点84℃，熔点-43℃，易溶于水、乙醇、乙醚和油等。	不燃	剧毒。急性毒性LD50：900mg/kg（大鼠经口）；LC50：3124ppm（大鼠吸入，1h）	盐酸要储存在密封容器当中，存于阴凉、干燥、通风处，应与易燃、可燃物，碱类、金属粉末等分开存放。不可混储混运，搬运时要轻装轻卸，防止包装及容器损坏，分装和搬运作业要注意个人防护，运输按规定路线行驶。
丙酮	无色透明易流动液体，有芳香气味，极易挥发。熔点（℃）-94.6；相对密度（水=1）：0.8；沸点（℃）：56.5；饱和蒸汽压（KPa）：	易燃。燃烧分解物为一氧化碳、二	毒性LD50：5800mg/kg（大鼠经口）；2000mg/kg（兔经皮）；人吸入12000ppm×4小时，最	储存于阴凉、通风的房间内。远离火种、热源。防止阳光直射。保持容器密封。应与氧化剂、还原剂、碱类分开存放，切忌混储。

	53.32 (39.5℃)；溶解性：与水混溶，可混溶于乙醇、乙醚、氯仿、油类、烃类等多数有机溶剂。	氧化碳。	小中毒浓度。人经口200mL，昏迷，12小时恢复。	
乙醇	无色液体，有酒香。熔点(℃) -114.1；相对密度(水=1)：0.79；沸点(℃)：78.3；饱和蒸汽压(KPa)：5.33 (19℃)；溶解性：与水混溶，可混溶于醚、氯仿、甘油等多数有机溶剂。	易燃。燃烧分解物为一氧化碳、二氧化碳。	毒性LD50：7060mg/kg (兔经口)；7340mg/kg (兔经皮)；LC50：37620mg/m ³ ，10小时(大鼠吸入)。人吸入4.3mg/L×50分钟，头面部发热，四肢发凉，头痛；人吸入2.6mg/L×39分钟，头痛，无后作用。	储存于阴凉、通风的房间内。远离火种、热源。防止阳光直射。保持容器密封。应与氧化剂、酸类、碱金属、胺类等分开存放，切忌混储。
甲醇	无色透明液体，有刺激性气味；熔点(℃)：-97.8；沸点(℃)：64.7；	易燃	甲醛中毒对人体健康的影响主要表现在嗅觉异常、刺激、过敏、肺功能异常、肝功能异常和免疫功能异常等方面。大量接触或误饮可能导致严重健康问题，甚至死亡。	应存放在阴凉、通风、干燥的地方，避免阳光直射和高温环境。建议贮存温度为4℃，以降低其挥发性和提高安全性。
硝酸	硝酸，是一种具有强氧化性、腐蚀性的一元无机强酸。是六大无机强酸之一，也是一种重要的化工原料，化学式为HNO ₃ ，分子量为63.01，其水溶液俗称硝镪水或氨氮水，纯品为无色透明发烟液体，有酸味。熔点：-42℃(无水)，沸点：83℃(无水)，相对密度(水=1)：1.50(无水)。	不燃	急性毒性 LC50:130mg/m ³ (大鼠吸入，4h)、67ppm (小鼠吸入，4h)； 对鱼类的毒性 LC50:72mg/L(96h) (鱼)	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%。保持容器密封。应与还原剂、碱类、醇类、碱金属等分开存放，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。
过氧化氢	过氧化氢，化学式为H ₂ O ₂ ，是一种蓝色、有轻微刺激性气味的黏稠液体，在暗处较稳定，受热、光照或遇到某些杂质易分解为氧气和水，能以任意比例与水互溶。熔点：-0.425℃，沸点：150.1℃，密度：1.441g/cm ³	不燃	经常接触多患皮炎及支气管和肺脏疾病。经口中毒时会出现腹痛、胸口痛、呼吸困难、呕吐、体温升高、结膜和皮肤出血，个别可能出现视力障碍、痉挛、轻瘫。美国通常规定最高容许浓度为1.4mg/m ³	储存于阴凉、干燥、通风良好的专用库房内，远离火种、热源。库温不超过30℃，相对湿度不超过80%。保持容器密封。应与易(可)燃物、还原剂、活性金属粉末等分开存放，切忌混储。储区应备有泄漏物应急处理设备和合适的收容材料。
乙腈	乙腈，是一种有机化合物，化学式为CH ₃ CN或C ₂ H ₃ N，为无色透明液体，有优良的溶剂性能。熔点：-45℃；沸点：81-82℃；密度：0.786g/cm ³ ；闪点：2℃(CC)	易燃	急性乙腈中毒的症状和体征包括胸痛、胸部紧束感、恶心、呕吐、心动过速、低血压、呼吸急促和浅表、头痛、焦虑和抽搐。急性毒性LC50：	储存注意事项 储存于阴凉、通风的库房。远离火种。库温不宜超过37℃。保持容器密封。应与氧化剂、还原剂、酸类、碱类、易(可)燃物、食用化学品分开存放，切忌混储。采用防爆型照明、通风设

			571 mg/kg（成年女性）	施。禁止使用易产生火花的机械设备和工具。储区应备有泄漏应急处理设备和合适的收容材料
--	--	--	-----------------	---

3.2.2 工艺分析

略

3.2.3 辐射工作场所流通路径规划

3.2.3.1 8号车间

（1）一层的流通路径规划

本楼层设有 ^{177}Lu 核素生产线、 ^{177}Lu 注射剂生产线、 ^{131}I 口服液生产线、钼铈发生器线及配套源库、放射性废物库等。为防止交叉污染，各功能区设有相对独立的人员、物流专用出入口。本场所流通路径规划如下：

人流：放射性工作人员进入和退出放射性工作场所需按照规定的路线行进：

1、进入路线：

放药生产区：厂房南侧人员专用门厅进入→门厅区更衣区更衣（日常服）→工作区走廊→各放药生产车间的一更→二更→进入气锁→内走廊→缓冲→各放药生产线前区（操作区）

外包区：厂房南侧人员专用门厅进入→门厅区更衣区更衣（日常服）→工作区走廊→各放药生产线外包更衣间→各放药生产线外包间。

2、退出路线

放药生产区：放药生产线前区（操作区）→缓冲间→退出气锁→剂量检测间（手脚沾污及表面污染监测，作为事故应急用。若人体沾污，则进入去污间去污，污水由特排管道收集至衰变池）→换鞋一更→工作区走廊→门厅区更衣区更衣→厂房南侧人员专用门厅出；

外包区：各放药生产线外包间→检测去污间→各放药生产线外包更衣间→工作区走廊→门厅区更衣区更衣→厂房南侧人员专用门厅出。

放射性原料流入通道：

① ^{177}Lu 核素生产线、钼铈发生器线：厂房北端收发货大厅进入→工作区走廊→各放药生产车间外清（设有传递窗）→接收间→生产线后区（生产热室）；

② ^{177}Lu 注射剂生产线、 ^{131}I 口服液生产线：厂房北端收发货大厅进入→工作区走廊

→各放药生产车间外清（设有传递窗）→生产线后区（生产热室）。若因生产计划放射性原料需临时暂存，其路线为：厂房北端收发货厅进入→一层源库→工作区走廊→各放药生产车间外清（设有传递窗）→接收间→生产线后区（生产热室）。

非放射性原料流入通道：厂房东北端非放原料收发货大厅进入→工作区走廊→原辅料库/试剂间→工作区走廊→各放药生产线非放外清间（设有传递窗）→物料暂存间→放药生产线前区。

外包材流入通道：厂房东北端非放原料收发货大厅进入→工作区走廊→各放药生产线外包间。

放射性产品流出通道：

①产品直接发货：各放药生产线后区（操作间）生产热室→外包间（生产车间内）打内包→工作区走廊→外包间打外包和外包表面剂量监测→厂房北端收发货厅出。

②产品未直接发货：若因生产计划放药产品需临时暂存，其路线为：各放药生产线后区（操作间）生产热室→外包间（生产车间内）打内包→工作区走廊→成品暂存间→外包间打外包和外包表面剂量监测→厂房北端收发货厅出。

放射性废物流出通道：① ^{177}Lu 核素生产线、镥标发生器线的后区（操作间）生产热室→接受间→放射性外清间→工作区走廊→一楼北侧放射性废物库；② ^{177}Lu 注射剂生产线、 ^{131}I 口服液生产线的后区（操作间）生产热室→放射性外清间→工作区走廊→一楼北侧放射性废物库。

（2）三层的流通路径规划

本楼层分为生产区和质检区两大功能区，生产区设有镥即时标记药物性线；质检区按功能划分为放射质检区和非放质检区。为防止交叉污染，各功能区设有相对独立的人员、物流专用出入口。本场所流通路径规划如下：

①核素药物生产区

人流：1）放射性工作人员进入和退出放射性工作场所需按照规定的路线行进：

进入路线：厂房南侧人员专用门厅（一层）进入→员工专用电梯上三层→三层西侧男/女总更（日常服）→缓冲洗手间→工作区走廊→各放药生产车间的换鞋一更→二更→进入气锁→内走廊→镥标生产区（操作间）；

退出路线：1）镥标生产区（操作区）→内走廊→退出气锁→剂量检测→去污间（手脚沾污及表面污染监测，作为事故应急用。若人体沾污，则进入去污间去污，污水由特排管道收集至衰变池）→工作区走廊→三层的男/女总更→员工专用电梯下一楼

→厂房南侧人员专用门厅出；

放射性原料流入通道：厂房北端收发货厅（一层）进入三层放射性货梯→三层放射货厅→工作区走廊→各放药生产线放射性外清（设有传递窗）→镅标（操作间）。若因生产计划放射性原料需临时暂存，其路线为：厂房北端收发货厅进入→一层源库→工作区走廊→三层放射性货梯→三层放射货厅→工作区走廊→各放药生产线放射性外清（设有传递窗）→镅标（操作间）。

非放射性原料流入通道：厂房东北端非放原料收发货厅进入→东北端非放物料专用货梯上三楼→→工作区走廊→各放药生产车线的非放外清间→外清间的传递窗→镅标（操作间）。

外包材流入通道：厂房东北端非放原料收发货大厅进入→工作区走廊→各放药生产线外包间。

放射性产品流出通道：镅标（操作间）→镅标外包间打外包和外包表面剂量监测→工作区走廊→厂房北端收发货厅出。若因生产计划放药产品需临时暂存，其路线为：各放药生产车间的生产区（操作区）生产热室→外包区的传递热室→外包区打内包→外包区的缓冲间→工作区走廊→三楼东侧专用放射性物料货梯下一楼→成品暂存间→厂房北端收发货厅出。

放射性废物流出通道：镅标（操作间）→放射性外清间→工作区走廊→三楼北侧放射性废物库。

②放射质检区（放射质检区）

人流：放射性工作人员进入和退出放射性工作场所需按照规定的路线行进：

进入路线：厂房南端人员出入口进→南端员工专用楼梯上三层→三层质检区的专用更衣间更衣→剂量检测间→质检区走廊→放射质检区实验室。

退出路线：放射质检区实验室→质检区走廊→剂量检测间（手脚沾污及表面污染监测。若人体沾污（事故情况），则进入去污间淋浴去污，污水由特排管道收集至衰变池）→三层质检区的专用更衣间更衣（日常服）→南端员工专用楼梯下一楼→厂房南端人员出入口出。

放射性物料流入通道：镅标外包间/三层放射性货厅→工作区走廊→放射性物料接收间→质检区走廊→放射质检区实验室。

放射性废物流出通道：放射质检区实验室→质检区走廊→放射性物料接收间→工作区走廊→三楼北侧放射性废物库。

8号车间一层、三层辐射人、物流路径规划见附图7-1至附图7-2。

3.2.3.2 10号车间

10号车间二层为 ^{177}Lu 注射剂生产线，本场所流通过程规划如下：

本楼层设有 ^{177}Lu 注射剂生产线及配套源库、放射性废物库等。为防止交叉污染，各功能区设有相对独立的人员、物流专用出口。本场所流通过程规划如下：

人流：放射性工作人员进入和退出放射性工作场所需按照规定的路线行进：

进入路线：厂房北端人员专用门厅进入→北端专用电梯→二层电梯厅→男/女总更→工作区走廊→一更→二更→进入气锁→C级洁净走廊→缓冲间→ ^{177}Lu 标记前区（操作间）；

退出路线： ^{177}Lu 注射前区（操作间）→缓冲间→C级洁净走廊→退出气锁→退更检测间（手脚沾污及表面污染监测。若人体沾污，则进入去污间淋浴去污，污水由特排管道收集至衰变池）→一更→工作区走廊→男/女总更→二层电梯厅→北端专用电梯→厂房北端人员专用门厅出。

放射性物料流入通道：厂房南端货厅进入→专用货梯→二层货厅→工作区走廊→源库/外包间→落地传递窗→ ^{177}Lu 注射后区。

非放射性原料流入通道：厂房西北端非放原料收发货厅进入→西北端1t非放货梯→试剂间/非放外清间（设有传递窗）→C级洁净走廊→缓冲间→ ^{177}Lu 注射前区（操作间）。

外包材流入通道：厂房东端非放原料收发货大厅进入→工作区走廊→各放药生产线外包间。

放射性产品流出通道： ^{177}Lu 注射后区→落地传递窗→外包间→工作区走廊→南侧3t货梯→一层货厅出。若因生产计划放药产品需临时暂存，其路线为： ^{177}Lu 标记后区→落地传递窗→外包间→工作区走廊→成品暂存间→南侧3t货梯→一层货厅出

放射性废物流出通道： ^{177}Lu 注射后区→落地传递窗→外包间→二层放废库。

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。

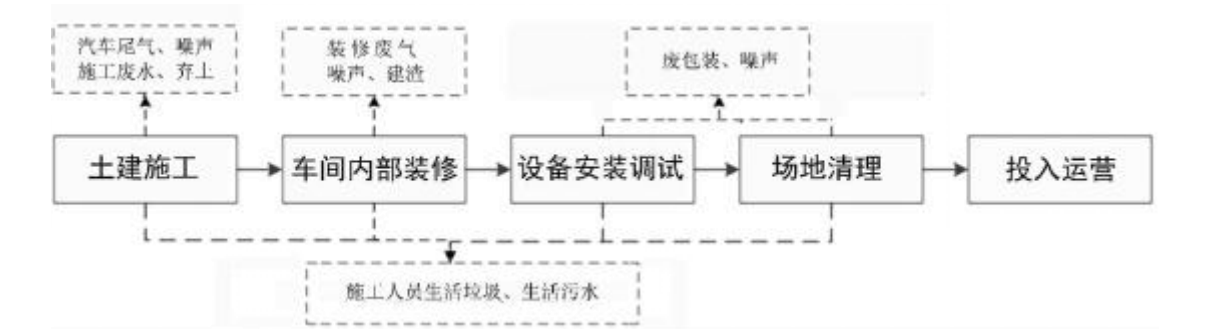


图 3-1 施工期工艺流程及产污环节示意图

3.3.1.1 施工废气

本项目施工废气主要来源于土建施工阶段产生的施工扬尘、汽车尾气以及装修过程产生的少量有机废气。

3.3.1.2 施工废水

施工期要废水包括施工废水及施工人员生活污水。施工废水主要包括土方阶段施工排水和车辆冲洗废水等。类比同类工程，施工废水排放量约 5m³/d，废水中主要污染物为石油类污染物和悬浮物。施工高峰期工人人数可达 50 人左右，生活用水量按每人 0.1m³/d 计算，用水量为 5m³/d，排放系数以 0.8 计，生活污水排放量为 4m³/d。

3.3.1.3 施工噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备，包括载重汽车、吊车、电焊机、电锯、空压机、电钻和角磨机等，根据《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ 2034-2013），施工期主要工程机械 5m 处噪声源强见下表。

表 3-21 施工期主要机械噪声源强

序号	噪声源	距声源5m处声压级dB（A）	距声源10m处声压级dB（A）
1	液压挖掘机	82-90	78-86
2	轮式装载机	90-95	85-91
3	空压机	88-92	83-88
4	电锤	100-105	95-99
5	重型运输车	82-90	78-86
6	角磨机	90-96	84-90
7	木工电锯	93-99	90-95

3.3.1.4 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。

本项目用地为政府提供的已平整净地，加上项目修建标准厂房的建筑物工程量较少，因此土石方工程量不大。土建阶段预估土石方产生量约 5000m³，部分用于回填绿化，产生的少量弃土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 100m² 建筑产生 0.5t 建筑垃圾计算，本项目总建筑面积 28310.47m²，则建筑垃圾产生量约 141.6t；设备安装阶段废材料产生量约 1t。

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

3.3.2 运营期辐射污染源

3.3.2.1 ¹⁷⁷Lu 核素生产线

本生产线以外购的成品辐照后靶件为原料，靶件内的铝盒装有 1 个石英瓶，石英瓶内含有 1 个 Yb₂O₃ 靶件，生产过程中将靶件经过溶解、纯化等工序生产 ¹⁷⁷Lu 核素溶液。根据建设单位提供资料，靶件为 2 层包裹结构，最外层为铝盒，中间层为石英瓶，最内层为原料 Yb₂O₃，靶件堆照完成后冷却至少 1 天再由厂家运送至本项目厂区，靶件整体辐照后源项如下表所示。

表 3-22 单个铝盒辐照后主要源项如下

主要核素	EOB时 (Bq)	冷却1天 (Bq)	冷却180天 (Bq)	冷却365天 (Bq)	冷却2年 (Bq)
³ H	9.60E+05	9.60E+05	9.35E+05	9.10E+05	8.61E+05
²⁸ Al	5.46E+13	1.88E-03	——	——	——
⁴⁶ Sc	2.98E+07	2.96E+07	6.77E+06	1.46E+06	7.14E+04
⁴⁷ Sc	1.45E+05	1.19E+05	9.66E-12	2.26E-28	3.52E-61
⁵⁵ Fe	1.93E+05	1.92E+05	1.69E+05	1.49E+05	1.16E+05
⁵⁹ Fe	9.66E+04	9.47E+04	5.85E+03	3.28E+02	1.11E+00
⁶⁰ Co	2.06E+05	2.06E+05	1.93E+05	1.81E+05	1.58E+05
⁶⁴ Cu	7.07E+08	1.92E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
⁶⁵ Zn	5.78E+05	5.78E+05	3.48E+05	2.06E+05	7.32E+04
⁶⁹ Zn	1.09E+07	2.37E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
⁷² Ga	2.01E+07	6.21E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
^{110m} Ag	3.48E+04	3.46E+04	2.10E+04	1.26E+04	4.57E+03
¹¹⁴ In	1.89E+05	3.62E+04	2.93E+03	2.20E+02	1.32E+00
^{114m} In	3.83E+04	3.80E+04	3.08E+03	2.31E+02	1.39E+00
¹¹⁵ In	3.76E-07	3.76E-07	3.76E-07	3.76E-07	3.76E-07
¹²³ Te	9.47E-08	9.47E-08	3.54E-08	1.21E-08	1.46E-09

注：单个靶铝盒靶重80g。

表 3-23 单个石英瓶辐照后主要源项如下

主要核素	EOB时 (Bq)	冷却1天 (Bq)	冷却60天 (Bq)	冷却180天 (Bq)	冷却365年 (Bq)
------	-----------	-----------	------------	-------------	-------------

³ H	3.99E+04	3.99E+04	3.96E+04	3.89E+04	3.77E+04
¹⁴ C	1.33E+04	1.33E+04	1.33E+04	1.33E+04	1.33E+04
²⁴ Na	2.40E+07	7.91E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
²⁸ Al	1.42E+08	4.82E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
³¹ Si	4.98E+10	8.75E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
³² P	8.75E+05	8.34E+05	4.77E+04	1.44E+02	1.43E+00
³⁷ Ar	2.15E+04	2.10E+04	6.53E+03	6.08E+02	1.56E+01
⁴⁰ K	1.35E-03	1.35E-03	1.35E-03	1.35E-03	1.35E-03
⁴² K	2.18E+06	5.67E+05	2.27E-12	2.27E-12	2.27E-12
⁴⁵ Ca	4.46E+04	4.44E+04	3.45E+04	2.07E+04	9.42E+03
⁵⁵ Fe	1.01E+04	1.01E+04	9.69E+03	8.88E+03	7.76E+03
⁵⁹ Fe	4.91E+03	4.83E+03	1.95E+03	3.06E+02	1.77E+01

注：单个石英靶重15g。

表 3-24 辐照后靶件运送至本厂区主要源项

铝盒	活度 (Bq)	石英瓶	活度 (Bq)	Yb ₂ O ₃	活度 (Bq)
³ H	9.60E+05	³ H	3.99E+04	¹⁷⁷ Lu	1.04E+12
²⁸ Al	1.88E-03	¹⁴ C	1.33E+04	¹⁷⁵ Yb	1.74E+11
⁴⁶ Sc	2.96E+07	²⁴ Na	7.91E+06	/	/
⁴⁷ Sc	1.19E+05	²⁸ Al	4.82E-05	/	/
⁵⁵ Fe	1.92E+05	³¹ Si	8.75E+07	/	/
⁵⁹ Fe	9.47E+04	³² P	8.34E+05	/	/
⁶⁰ Co	2.06E+05	³⁷ Ar	2.10E+04	/	/
⁶⁴ Cu	1.92E+08	⁴⁰ K	1.35E-03	/	/
⁶⁵ Zn	5.78E+05	⁴² K	5.67E+05	/	/
⁶⁹ Zn	2.37E+05	⁴⁵ Ca	4.44E+04	/	/
⁷² Ga	6.21E+06	⁵⁵ Fe	1.01E+04	/	/
^{110m} Ag	3.46E+04	⁵⁹ Fe	4.83E+03	/	/
¹¹⁴ In	3.62E+04	/	/	/	/
^{114m} In	3.80E+04	/	/	/	/
¹¹⁵ In	3.76E-07	/	/	/	/
¹²³ Te	9.47E-08	/	/	/	/

①气载流出物

铝盒和石英瓶进入生产线后作为放射性固废处置，因此不考虑其产生其气溶胶。生产过程中核素溶液反应、转移等操作过程中会有含有 ¹⁷⁷Lu 和 ¹⁷⁵Yb 核素的气溶胶释放到空气中。根据行业生产经验，本工艺涉及加热操作，气溶胶释放量保守按操作量的 1‰计。

表 3-25¹⁷⁷Lu 核素生产线放射性废气产生量一览表

核素	活度 (Bq)	气溶胶产生量 (Bq)
¹⁷⁷ Lu	4.16E+12	4.16E+09
¹⁷⁵ Yb	6.96E+11	6.96E+08

注：铝靶及石英靶进入生产线后立即拆解作为放射性固废处置，不考虑其产生其气溶胶。

②放射性废水

放射性废水主要产生少量冲洗及纯化废水；每次产生废水约 0.20L，废水中约含有

1.66E+10Bq 的 ^{177}Lu :

③放射性固体废物

放射性固体废物为废成分分离柱, 沾污一次性输送软管等套件等, 每批次产生放射性固废约 200g, 固废中约含有 2.08E+11Bq 的 ^{177}Lu ; 同时还会产生废旧靶壳等固废, 产生量约为 95g/个 (铝盒 80g、石英瓶 15g), 每天最大使用 4 个靶件, 则每天产生废靶件 380g, 杂质核素主要以固废的形式存在, 所含废物活度下表所示:

表 3-26 ^{177}Lu 核素生产线放射性固废产生量一览表

核素	固废产生量 (Bq)	产生来源
^3H	4.00E+06	废靶件
^{14}C	5.32E+04	
^{24}Na	3.16E+07	
^{28}Al	7.72E-03	
^{31}Si	3.50E+08	
^{32}P	3.34E+06	
^{37}Ar	8.40E+04	
^{40}K	5.40E-03	
^{42}K	2.27E+06	
^{45}Ca	1.78E+05	
^{46}Sc	1.18E+08	
^{47}Sc	4.76E+05	
^{55}Fe	8.08E+05	
^{59}Fe	3.98E+05	
^{60}Co	8.24E+05	
^{64}Cu	7.68E+08	
^{65}Zn	2.31E+06	
^{69}Zn	9.48E+05	
^{72}Ga	2.48E+07	
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	1.38E+05	
^{114}In	1.45E+05	
$^{114\text{m}}\text{In}$	1.52E+05	
^{115}In	1.50E-06	
^{123}Te	3.79E-07	
^{177}Lu	2.08E+11	废分离柱, 沾污一次性输送软管等套件等

注: 本生产线一天最大消耗4个辐照靶件。

④电离辐射

各核素衰变特性, 射线能量见表 3-19;

根据建设单位提供的方案, 每日生产 1 批次, ^{177}Lu 每批次最大操作量为 4.16E+12 Bq。生产过程中, 核素平衡见下表。

表 3-27 ^{177}Lu 核素生产线生产核素平衡核算 (每批次)

主要核素	原料投入量 (Bq)	生产过程损失量 (Bq)		产品中含量 (Bq)
^{177}Lu	4.16E+12	废气损失量	4.16E+09	3.69E+12
		废水损失量	1.66E+10	
		固废损失量	2.08E+11	

		衰变损失量	2.43E+11	
--	--	-------	----------	--

注：衰变考虑生产过程约830min。

3.3.2.2 ^{177}Lu 注射剂生产线（8号车间）

本车间主要以外购的或自主生产的 ^{177}Lu 溶液为原料，生产 ^{177}Lu 注射剂。

①气载流出物

生产过程中核素溶液反应、转移等操作过程中会有含有 ^{177}Lu 核素的气溶胶释放到空气中。根据行业生产经验，气溶胶释放量保守按操作量的 0.1‰计。 ^{177}Lu 日最大操作量为 $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ ，则放射性气载流出物产生量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq/d}$ 。

②放射性废水

放射性废水为少量残余标记溶液及少量的冲洗废水，每批次生产产生废水约 0.05L/批次，废水中约含有 $5.92\text{E}+09\text{Bq}$ 的 ^{177}Lu 。

③放射性固体废物

放射性固废包括废合成卡套、废原料瓶沾污一次性针头及输送软管等套件，产生量约 300g/d，固废中约含有 $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ 的 ^{177}Lu 。

④电离辐射

^{177}Lu 半衰期为 6.647d，中毒，为 β -衰变，衰变时产生 0.1479MeV/nt 的 β -射线及 0.0351MeV/nt 的 γ 射线。

物料衡算：

根据建设单位提供的方案， ^{177}Lu 注射剂生产线每日生产 1 批次，每批次最大操作量为 $1.48\text{E}+12\text{Bq}$ 。生产过程中，核素平衡见下表。

表 3-28 ^{177}Lu 注射剂生产线（8号车间）生产核素平衡核算（每批次）

主要核素	原料投入量 (Bq)	生产过程损失量 (Bq)		产品中含量 (Bq)
^{177}Lu	$1.48\text{E}+12$	废气损失量	$1.48\text{E}+08$	$1.36\text{E}+12$
		废水损失量	$5.92\text{E}+09$	
		固废损失量	$7.40\text{E}+10$	
		衰变损失量	$4.23\text{E}+10$	

注：衰变考虑生产过程约6.67h。

3.3.2.3 ^{131}I 口服液生产线

本车间主要以外购的 ^{131}I 核素溶液为原料，生产 ^{131}I 口服液，各生产环节放射性废物情况如下所示。

①气载流出物

生产过程中核素溶液反应、转移等操作过程中会有含有 ^{131}I 核素的气溶胶释放到空气中。根据行业生产经验， ^{131}I 属于易挥发核素，气溶胶释放量保守按操作量的 1‰ 计。 ^{131}I 日最大操作量为 $7.40\text{E}+12\text{Bq}$ ，则放射性气载流出物产生量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq/d}$ 。

②放射性废水

放射性废水为少量的冲洗废水，每批次生产产生废水约 0.20L，废水中约含有 $4.44\text{E}+11\text{Bq}$ 的 ^{131}I 。

③放射性固体废物

放射性固废包括废合成卡套、废原料瓶、沾污一次性针头及输送软管等套件，产生量约 300g/d，固废中约含有 $2.00\text{E}+11\text{Bq}$ 的 ^{131}I 。

④电离辐射

^{131}I 半衰期为 8.0207d，中毒，为 β -衰变，衰变时产生 0.3828MeV/nt 的 β -射线及 0.1918MeV/nt 的 γ -射线。

物料衡算：

根据建设单位提供的方案，每日每条产线生产 1 批次， ^{131}I 每批次最大操作量均为 $7.40\text{E}+12\text{Bq}$ 。生产过程中，核素平衡见下表。

表 3-29 ^{131}I 口服液生产核素平衡核算（每批次）

主要核素	原料投入量 (Bq)	生产过程损失量 (Bq)		产品中含量 (Bq)
^{131}I	$7.40\text{E}+12$	废气损失量	$7.40\text{E}+09$	$6.57\text{E}+12$
		废水损失量	$4.44\text{E}+11$	
		固废损失量	$2.00\text{E}+11$	
		衰变损失量	$1.76\text{E}+11$	

注：衰变考虑生产过程约 4.7h。

3.3.2.4 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)发生器生产线

本车间主要以外购的 ^{99}Mo 核素溶液为原料，生产 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)发生器。

①气载流出物

^{99}Mo 原料接收、料液配置、灌注均涉及开放液面操作，根据 ^{99}Mo 不易挥发的特性， ^{99}Mo 挥发率保守取 0.1‰，本项目 ^{99}Mo 日最大操作量为 $1.11\text{E}+13\text{Bq}$ ，则气溶胶释放量为 $1.11\text{E}+09\text{Bq/d}$ 。

②放射性废水

^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 生产过程中产生少量的清洗废液，每次用水量约 0.1L，约含有 $5.55\text{E}+10\text{Bq}$ 的 ^{99}Mo 。

③放射性固体废物

放射性固体废物包括废原料瓶、沾污一次性针头及输送软管等套件，产生量约 400g/批次，固废中含有 $8.33\text{E}+11\text{Bq}$ 的 ^{99}Mo 。

④电离辐射

^{99}Mo 半衰期为 65.9d，中毒，为 β -衰变，衰变时产生 0.3929MeV/nt 的 β 射线，此外，也有较低概率产生 0.1484MeV/nt 的 X- γ 射线。

物料衡算：

根据建设单位提供的方案，本生产线每日生产 1 批次， ^{99}Mo 每批次最大操作量均为 $1.11\text{E}+13\text{Bq}$ 。生产过程中，核素平衡见下表。

表 3-30 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器生产核素平衡核算（每批次）

主要核素	原料投入量 (Bq)	生产过程损失量 (Bq)		产品中含量 (Bq)
^{99}Mo	$1.11\text{E}+13$	废气损失量	$1.11\text{E}+09$	$1.02\text{E}+13$
		废水损失量	$5.55\text{E}+10$	
		固废损失量	$8.33\text{E}+11$	
		衰变损失量	$3.40\text{E}+10$	

注：本生产线生产流程总时长约 7h。

3.3.2.5 锝即时标记药物生产线

本车间拟设 1 条生产线，以外购或自主生产的 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器为原料，淋洗生产 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 即时标记药物。

①气载流出物

^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器的淋洗过程是在密闭的发生器中，发生器是放置在负压的通风橱中进行淋洗，洗脱液的分装在常温下进行，且 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为不易挥发同位素，因此，生产过程中放射性废气产生量较少，可忽略。

②放射性废水

锝即时标记药物生产线主要生产过程为 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器的淋洗和标记分装，不存在设备清洗等废水产生过程。生产过程中主要是对超净工作台台面和器具等擦拭清洁，用灭菌注射用水配合一次性擦拭布，擦拭灭菌，因此没有放射性废水产生。

③放射性固体废物

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的淋洗、标记、分装、质检过程中会产生沾污放射性核素的一次性擦拭布、吸水纸、酒精棉球、废弃的淋洗真空接收瓶、标记液制剂瓶、注射器以及操作手套等，产生量约 0.5kg/d。

根据放药行业生产经验，生产线一次性材料中沾染 ^{99m}Tc 的量非常小，生产线 ^{99m}Tc 的日最大操作量为 $6.66\text{E}+11\text{Bq}$ ，生产线产生的含 ^{99m}Tc 固体废物中 ^{99m}Tc 的量约为 $3.33\text{E}+10\text{Bq/d}$ 。

④电离辐射

^{99}Mo 半衰期为 65.9d，中毒，为 β -衰变，衰变时产生 0.3929MeV/nt 的 β 射线，此外，也有较低概率产生 0.1484MeV/nt 的 X- γ 射线；

^{99m}Tc 半衰期为 6.01h，低毒，为 IT/ β -衰变，衰变时产生 0.0162MeV/nt 的 β 射线，此外，也有较低概率产生 0.1266MeV/nt 的 X- γ 射线。

⑤物料衡算：

锝即时标记药物生产线每日生产 1 批次，日最大操作量为 $6.66\text{E}+11\text{Bq}$ ，产品中 ^{99m}Tc 含量约为 $9.38\text{E}+11\text{Bq}$ 。生产线核素物料平衡见下表。

表 3-31 锝即时标记药物生产线生产核素平衡核算

主要核素	原料投入量 (Bq)	生产过程损失量 (Bq)		产品中含量 (Bq)
^{99m}Tc	$6.66\text{E}+11$	废气损失量	0	$5.16\text{E}+11$
		废水损失量	0	
		固废损失量	$3.33\text{E}+10$	
		衰变损失量	$1.16\text{E}+11$	

注：衰变损失考虑整套生产工艺流程所需时间（100min），质检及留样计入产品含量中（其余生产线同理）。

3.3.2.6 ^{177}Lu 注射剂生产线（10 号车间）

本车间主要以外购的或自主生产的 ^{177}Lu 溶液为原料，生产 ^{177}Lu 注射剂，各生产环节均与 ^{177}Lu 注射剂生产线（8 号车间），详见 3.3.2.2 节。

3.3.2.7 质检中心

（1）电离辐射

本项目质检实验室涉及放射性核素 ^{99}Mo 、 ^{99m}Tc 、 ^{99}Mo （ ^{99m}Tc ）、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等 4 种核素，各核素的特性见表 3-19。其中发生器用于淋洗子体核素，母体核素位于吸附柱内因此主要考虑发生器子体核素，且 ^{99m}Tc 挥发率半衰期极短不易挥发可忽略不计，因此放射性三废主要考虑 ^{99}Mo 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等 3 种。

（2）放射性废气

放射质检区涉及放射性核素的操作，碘系挥发量保守按 1‰计，其他非碘核素挥发量保守按 0.1‰计。放射质检测区废气排放量见下表：

表 3-32 实验室放射性废气产生量核算表

核素	日最大操作量 (Bq)	挥发率	废气产生量 (Bq/d)
⁹⁹ Mo	3.70E+08	0.0001	3.70E+04
¹⁷⁷ Lu	3.70E+09	0.0001	3.70E+05
¹³¹ I	3.70E+09	0.001	3.70E+06

(3) 放射性废水

实验室产生的放射性废水主要包含检验混合分析液体等。放射性废水产生情况见下表：

表 3-33 实验室放射性废水产生量核算表

场所	放射性废水名称	每种核素质检每日最大废水产生量 (mL/种)
各放射性实验室	含有有机溶剂的放射性废水	100

本项目 8 号车间质检中心日最大操作 4 种核素，10 号车间 1 种核素质检，则每天放射性废水最大产生量为 0.5L。实验过程放射性核素主要附着于不易去污的器皿中，因此放射性废水中核素残留比按 1%估算，产生量见表：

表 3-34 实验室放射性废水产生量核算表

核素	日最大操作量 (Bq)	废水中含量 (Bq)
⁹⁹ Mo	3.70E+08	3.70E+06
¹⁷⁷ Lu	3.70E+09	3.70E+07
¹³¹ I	3.70E+09	3.70E+07
^{99m} Tc	3.70E+09	3.70E+07

(4) 放射性固废

核素鉴别产生的废滤纸，放射化学纯度检验产生的一次性废试纸或硅胶板，pH 值和核素活度浓度检验产生的废试纸，检验过程转移核素溶液用的一次性注射器、试管、样品包装瓶，以及检验完成后抽检的液态样品、实验台面擦拭纸和实验人员产生的一次性手套口罩，将收集作为放射性固废，放射性固废产生情况见下表：

表 3-35 实验室放射性固废产生量核算表

场所	放射性固废种类	单次实验产生量 (g/种)
放射质检区	原液玻璃瓶、试验台垫层吸水纸、pH试纸、纯化测定层析纸、移液器枪头、毛细管	100
	稀释液玻璃瓶	50

本项目 8 号车间实验室日最大操作 4 种核素，每种核素每天开展一次质检实验（¹⁷⁷Lu 开展两次），则每天放射性固废最大产生量为 0.75kg。实验过程放射性核素主要附着于不易去污的放射性固废中，因此放射性固废中核素残留比按 99%估算，产生量见表：

表 3-36 实验室放射性固废产生量核算表

核素	日最大操作量 (Bq)	固废中含量 (Bq)
⁹⁹ Mo	3.70E+08	3.66E+08
¹⁷⁷ Lu	3.70E+09	3.66E+09
¹³¹ I	3.70E+09	3.66E+09
^{99m} Tc	3.70E+09	3.66E+09

3.3.2.8 其他辐射污染源项

(1) 废过滤材料

本项目高效过滤和活性炭吸附装置需定期更换过滤和吸附材料以保证净化效果，本项目辐射工作场所共有 42 套过滤机组（8 号车间 37 套，10 号车间 5 套），平均每套过滤机组内置过滤材料约 20kg，全部更换 1 次产生量约 840kg。废弃的过滤材料含有放射性核素，作为放射性固体废物处理，解控后作为危险废物处置。

(2) 铅罐去污擦拭废纸

本项目产品包装铅罐采取回收重复利用方式。铅罐回收后，经暂存一定时间后，先测定表面污染情况，满足要求（小于 0.4Bq/cm²）可直接进行清洁后回用。若个别铅罐经检测不满足要求，则需延长暂存时间至满足要求为止；或进行清洁去污，去污方式拟采用擦拭纸进行清洁，不涉及水洗，产生含有放射性核素的擦拭废纸，产生量约 200g/d。

实际生产营运期间，因铅罐内的放射性药品盛装在密封的产品瓶中，铅罐不直接与放射性药品接触，通常情况下铅罐沾污概率较低。

(3) 废弃材料和沾污衣物

本项目产生的放射性固体废物主要包括：废弃的瓶子、标签、管道、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 50kg/a。

(4) 工作人员应急去污擦拭固废

生产线辐射工作人员每日离开生产线时需进行手脚沾污监测，正常情况下，生产线工作人员不会产生沾污，无冲淋废水产生。若出现监测不达标，则采取湿巾纸擦拭去污的方式进行去污，擦拭至满足要求为止，去污完成后方可退出至淋浴间二次清洗，因此本项目正常工况加不产生去污废水。根据建设单位提供资料，本项目建成后每条生产线擦拭去污用纸最大为 5kg/a，质检中心擦拭去污用纸最大为 10kg/a，因此本项目

辐射工作场所产生擦拭去污用纸最大为 40kg（6 条生产线及 1 个质检中心）。

3.3.3 营运期非放射性污染源

3.3.3.1 废气

（1）酸雾

本项目使用的盐酸、乙酸等挥发产生酸雾，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，年用酸液量共约 450L，酸雾产生量较小，同时经过滤器过滤后其排放量较小，可以忽略。

（2）TVOC（总挥发性有机物）

本项目涉及使用乙醇、丙酮，属于挥发性有机物，丙酮用量为 15L/a，密度为 789.9kg/m^3 ，其挥发量按 100% 计算；乙醇用量为 280L/a，密度为 789.3kg/m^3 ，其挥发量按 100% 计算，因此挥发性有机物产生量为 232kg/a 。由于单次用量较少，因此其产生量也较少，同时经过滤器过滤后其排放量较小，可以忽略。

3.3.3.2 废水

（1）生活污水

本项目拟定生产人员 48 人。参照《四川省用水定额》（川府函〔2021〕8 号），生活用水按 $240\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 计，日用水量为 $11.52\text{m}^3/\text{d}$ ，排放系数取 0.8，则生活污水排放量为 $9.22\text{m}^3/\text{d}$ （年工作 250 天， $2304\text{m}^3/\text{a}$ ）。

（2）生产废水

生产废水包括外购空铅罐在使用前清洗产生的清洗废水、质检中心在实验前对器皿清洗产生的清洗废水。

空铅罐清洗废水：空铅罐清洗采用自来水清洗，用水量约 $2.5\text{m}^3/\text{d}$ ，排放系数取 0.9，则清洗废水产生量约 $2.25\text{m}^3/\text{d}$ （年工作 250 天， $562.5\text{m}^3/\text{a}$ ）。

实验前空器皿清洗废水：实验器皿在实验前需用纯水进行清洗，用水量约 $0.3\text{m}^3/\text{d}$ 。排放系数取 0.9，则清洗废水产生量约 $0.27\text{m}^3/\text{d}$ （年工作 250 天， $67.5\text{m}^3/\text{a}$ ）。

洁净服清洗废水：进入涉放工作场所的工作人员需更换洁净服，更换下的洁净服用自来水清洗，用水量约 $1.5\text{m}^3/\text{d}$ 。排放系数取 0.9，则清洗废水产生量约 $1.35\text{m}^3/\text{d}$ （年工作 250 天， $337.5\text{m}^3/\text{a}$ ）。

洁净厂房清洁废水：本项目生产线拟定期使用纯水进行清洁（清洗前进行表面沾

污监测，确保清洁地面无放射性沾污），用水量约 $2.5\text{m}^3/\text{d}$ ，清洁废水排放系数取 0.6，则清洁废水产生约 $1.5\text{m}^3/\text{d}$ ，年工作 250 天，则年产生清洁废水 $375\text{m}^3/\text{d}$ 。

纯水制备废水：本项目拟建设纯水制备系统，纯水用于实验器皿清洗及洁净厂房清洁，其中实验器皿清洗用水需 $0.3\text{m}^3/\text{d}$ ，厂房清洁需 $2.5\text{m}^3/\text{d}$ ，纯水制备效率保守取 80%，纯水制备所产生的废水约 $0.7\text{m}^3/\text{d}$ ，年工作 250d，则年产生纯水制备废水约 $175\text{m}^3/\text{a}$ 。

3.3.3.3 固体废物

（1）废包装和一次性材料

项目各生产线原辅料耗材在拆包过程产生废包装材料（废纸盒、废塑料袋等）、产品外包发货环节产生废包装材料（废缓冲泡沫边角料、废塑料袋、废纸箱等）、质检中心产生的非放射性沾染的一次性口罩、手套、擦拭物和一次性劳保用品（手套、口罩等），产生量约 $5\text{kg}/\text{d}$ 。

（2）危险废物

生产线和质检区（非放及涉放质检区）产生有机废液、废酸、废碱和空化学试剂瓶等属于《国家危险废物名录（2025 版）》中“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，以及沾染上述物质的一次性实验用品、包装物等”，为危险废物，年产生量约 $50\text{kg}/\text{a}$ 。

生产线和质检区实验室等场所过滤短半衰期核素废气的活性炭过滤器及高效滤芯，待清洁解控后属于《国家危险废物名录（2025 版）》中的“HW49 其他废物-非特定行业-900-039-49 化学原料和化学制品净化过程产生的废活性炭”，为危险废物。本项目共有 42 套过滤器，每套过滤器及滤芯约 20kg ，按照一年换 1 次计算，其最大产生量约 $840\text{kg}/\text{a}$ 。

（3）生活垃圾

项目生产定员 48 人，工作人员日产生的办公生活垃圾按 $0.5\text{kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 计，产生量为 $24\text{kg}/\text{d}$ ，即 $6\text{t}/\text{a}$ 。

（4）退役发生器

本项目拟生产销售 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器，年最大生产销售 20000 个，因 ^{99}Mo 半衰期极短，发生器在用户使用完成后由用户方暂存至清洁解控水平后，建设单位派人确认并回收，回收后送入废物库中拆解去除离子交换柱（约 $50\text{g}/\text{个}$ ），其余设备清洁

回收使用，拆下后的离子交换柱（HW13-非特定行业-900-015-13）作为危废收储暂存，定期交由有资质的单位处置。

本项目外购的 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器使用完成后转入放射性废物库暂存，暂存 90 天后交还原生产厂家处置。

3.3.3.4 噪声

运营期主要噪声源为排风的离心机（各车间楼顶）和送风的空调机组（二层空调机房），项目拟采用低噪声设备，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，噪声源强一般不超过 80dB（A）。

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废物

3.4.1.1 气载流出物

本项目放射性原料及放药成品原则上不暂存，只有在不能立即开展生产或不能立即发货时，临时暂存在相应的库房内（一般不超过 2 天）。放射性原料、放药产品和放射性废物存储期间均密封在铅罐内。因此，项目运营期间放射性气载流出物主要源于各生产线、放射性质检等场所对核素溶液操作过程中产生。

本项目放射性工作场所采用分区域独立排风设计，各生产线热室、涉放实验室通风橱及排风罩等设有局部排风系统，涉放房间设有全面排风系统。热室或设备废气经局部排风系统收集后，先通过设备自带的高效粒子空气过滤器和在排风机房设置的预过滤器+活性炭过滤器（部分热室无此过滤）+高效过滤器过滤净化后排放，其中预过滤器：过滤效率 $\geq 85\%$ ，重量法；高效粒子过滤器：过滤效率 $\geq 99.99\%$ ，钠焰法。活性炭过滤器为浸渍活性炭过滤器。质检中心通风橱等密闭操作设备产生的废气，由专用局部排风系统直接经同规格高效过滤装置处理后排放，系统风量经严格匹配设计，确保过滤装置处理效率；各生产车间操作间、外包间及质检的实验室废气经各场所全排系统收集，经相应高效过滤装置净化后排放；各工作场所排风系统在经过过滤装置处理前均采用独立风道设计，实现物理隔离，有效避免交叉污染风险。排风系统在过滤器处理后设置止回阀，避免回流污染。

根据 3.3.2 节污染源和核素平衡分析可知，放射性气载流出物的产生量及排放量汇总见表 3-45。

3.4.1.2 放射性废水

放射性废水主要各生产线产生的少量冲洗及纯化废水、质检中心产生的少量质检废水，根据3.3.2节污染源和核素平衡分析可知，放射性废水的产生量及排放量汇总见表 3-46。

3.4.1.3 放射性固废

本项目放射性固废主要来自各放药生产线、放射性质检，以及涉放区排风系统高效过滤装置定期更换产生的含有核素的废过滤芯。

根据 3.3.2 节污染源和核素平衡分析可知，放射性固废的产生量及处置情况汇总见表 3-47。

表 3-37 放射性气载流出物排放量

场所名称		核素	工作时间 (d)	日产生量 (Bq/d)	年产生量 (Bq/a)	治理措施及排放去向	排放量（Bq/a）
8号车间	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发生器生产线	⁹⁹ Mo	200	1.11E+09	2.22E+11	热室、通风橱等设备经设备局排收集经夹层过滤机房预过滤+BIBO高效过滤装置过滤后由1#排气筒排放；生产线场所废气经全排系统收集由专用风机引至夹层过滤机房经预过滤+BIBO高效过滤装置过滤后由屋面1#排气筒排放；综合过滤效率99%。	2.22E+09
	¹⁷⁷ Lu核素生产线	¹⁷⁷ Lu	200	4.16E+09	8.32E+11	热室、通风橱等设备经设备局排收集至夹层过滤机房预过滤+BIBO高效过滤装置过滤后由1#排气筒排放；	8.32E+09
		¹⁷⁵ Yb		6.96E+08	1.39E+11		1.39E+09
	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	200	1.48E+08	2.96E+10	生产线场所废气经全排系统收集由专用风机引至二层排风机房经预过滤+BIBO高效过滤装置过滤后由屋面1#排气筒排放；综合过滤效率99%。	2.96E+08
	¹³¹ I口服液生产线	¹³¹ I	200	7.40E+09	1.48E+12	热室、通风橱等设备经设备局排收集至夹层过滤机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置过滤后由1#排气筒排放；生产线场所废气经全排系统收集由专用风机引至夹层过滤机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置过滤后由屋面1#排气筒排放；综合过滤效率99%。	1.48E+10
	质检中心	⁹⁹ Mo	200	3.70E+04	7.40E+06	热室、通风橱等设备经设备局排收集经屋面经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置过滤后由1#排气筒排放；生产线场所废气经全排系统收集由专用风机引至屋面经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置过滤后由屋面1#排气筒排放；综合过滤效率99%。	7.40E+04
		¹⁷⁷ Lu	200	3.70E+05	7.40E+07		7.40E+05
		¹³¹ I	200	3.70E+06	7.40E+08		7.40E+06
10号车间	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	200	1.48E+08	2.96E+10	热室、通风橱等设备经设备局排收集经二层预过滤+BIBO高效过滤装置过滤后由2#排气筒排放；生产线场所废气经全排系统收集由专用风机引至二层排风机房经预过滤+BIBO高效过滤装置过滤后由屋面2#排气筒排放；综合过滤效率99%。	2.96E+08

表 3-38 放射性废水产生及处置情况表

产生场所		核素名称	废水种类	单产生量 (L/d)	比活度 (Bq/L)	年生产天数 (d)	年产生废水量 (L/a)	暂存处置情况及 最终去向
8号 车间	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发生器生产线	⁹⁹ Mo	清洗废液	0.1	5.55E+11	200	20	各生产线配置一个2L放射性废水专用铅罐，生产线产生的放射性废水均由铅罐收集，生产完成后由专人转运至一层放射性废物库废水暂存区暂存，暂存至经监测达清洁解控水平后作为一般废水排入厂区污水管网。
	¹⁷⁷ Lu核素生产线	¹⁷⁷ Lu	冲洗废水，纯化废液	0.2	8.32E+10	200	40	
	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	残余标记溶液及少量的冲洗废水	0.05	1.18E+11	200	10	
	¹³¹ I口服液生产线	¹³¹ I	冲洗废水	0.2	2.22E+12	200	40	
	质检中心	⁹⁹ Mo	含有有机溶剂的放射性废水	0.1	3.70E+07	200	20	实验室产生的放射性废液，由2L的放射性废水收集铅罐收集，暂存至三层放射性废物库中，暂存至经监测达清洁解控水平后作为危险废物交由有资质单位处置。
		^{99m} Tc		0.1	3.70E+08	250	25	
		¹⁷⁷ Lu		0.1	3.70E+08	200	20	
		¹³¹ I		0.1	3.70E+08	200	20	
10号 车间	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu	残余标记溶液及少量的冲洗废水	0.05	1.18E+11	200	10	生产线配置一个2L放射性废水专用铅罐，生产线产生的放射性废水均由铅罐收集，生产完成后由专人转运至一层放射性废物库废水暂存区暂存，暂存至经监测达清洁解控水平后作为一般废水排入厂区污水管网。

表 3-39 运行期间放射性固废产生及处置情况表

场所		核素名称	固废种类	产生量 (g/d)	比活度 (Bg/g)	年生产天 数 (d)	年产生固废 量 (kg/a)	暂存处置情况及 最终去向
8号 车间	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发 生器生产线	⁹⁹ Mo	废原料瓶、沾污一次性针头及 输送软管等套件	400	3.47E+09	200	80	各生产线配置一个2L固废专用铅 罐，生产完成后由专人转运至一层 放射性废物库指定固废暂存区暂 存，暂存至经监测达清洁解控水平 后作为一般固废交由市政环卫部门 处置； ¹⁷⁷ Lu核素生产线产生的废靶 管、包壳由5L专用容器收集，转运 至一层放废库中暂存，定期委托有 资质的单位现场处置。
	锝即时标记药 物生产车间	^{99m} Tc	一次性擦拭布、吸水纸、酒精 棉球、废弃的淋洗真空接收 瓶、标记液制剂瓶、注射器	500	6.66E+07	250	125	
	¹⁷⁷ Lu核素生产 线	¹⁷⁷ Lu	废分离柱，沾污一次性输送软 管等套件等	200	1.04E+09	200	40	
		³ H	废铝靶、废石英靶、废分离柱	380	4.21E+04	200	76	
		¹⁴ C			5.60E+02			
		²⁴ Na			3.33E+05			
		²⁸ Al			8.13E-05			
		³¹ Si			3.68E+06			
		³² P			3.52E+04			
		³⁷ Ar			8.84E+02			
		⁴⁰ K			5.68E-05			
		⁴² K			2.39E+04			
		⁴⁵ Ca			1.87E+03			
		⁴⁶ Sc			1.24E+06			
		⁴⁷ Sc			5.01E+03			
		⁵⁵ Fe			8.51E+03			
		⁵⁹ Fe			4.19E+03			
		⁶⁰ Co			8.67E+03			
		⁶⁴ Cu			8.08E+06			
		⁶⁵ Zn			2.43E+04			
		⁶⁹ Zn			9.98E+03			
		⁷² Ga			2.61E+05			
		^{110m} Ag			1.45E+03			
		¹¹⁴ In			1.53E+03			
		^{114m} In			1.60E+03			
		¹¹⁵ In			1.58E-08			
		¹²³ Te			3.99E-09			

	¹⁷⁷ Lu注射剂生 产线	¹⁷⁷ Lu	废原料瓶沾污一次性针头及输 送软管等套件	300	2.47E+08	200	60	实验室内配置一个2L固废专用铅 罐，生产完成后由专人转运至三层 放射性废物库指定固废暂存区暂 存，暂存至经监测达清洁解控水平 后作为危废交由有资质单位处置。
	¹³¹ I口服液生产 线	¹³¹ I	废原料瓶沾污一次性针头及输 送软管等套件	300	6.67E+08	200	60	
	质检中心	⁹⁹ Mo	原液玻璃瓶、试验台垫层吸水 纸、pH试纸、纯化测定层析 纸、移液器枪头、毛细管	150	2.44E+06	200	30	
		¹⁷⁷ Lu		150	2.44E+07	200	30	
		¹³¹ I		150	2.44E+07	200	30	
^{99m} Tc		150		4.40E+09	250	37.5		
10号 车间	¹⁷⁷ Lu注射剂生 产线	¹⁷⁷ Lu	废原料瓶沾污一次性针头及输 送软管等套件	300	2.47E+08	200	60	生产线配置一个2L固废专用铅罐， 生产完成后由专人转运至二层放射 性废物库指定固废暂存区暂存，暂 存至经监测达清洁解控水平后作为 一般固废交由市政环卫部门处置。
排风过滤机房		¹⁷⁷ Lu、 ¹³¹ I、 ⁹⁹ Mo等	废活性炭废滤芯	/	/	/	840	打包装入10L铅箱内转运至就近放 射性废物库固废暂存区暂存
铅罐接收间			铅罐去污擦拭废纸	200	/	250	50	装入5L铅垃圾桶内转运至8号车间1 层放射性废物暂存库固废暂存区暂 存，暂存至经监测达清洁解控水平 后作为一般固废交由市政环卫部门 处置。
生产车间的其他废物			废弃材料和沾污衣物	/	/	/	50	
			工作人员应急去污擦拭固废	/	/	/	40	

注：废活性炭、滤芯保守考虑每年更换一次。

3.4.2 非放废物

3.4.2.1 废气

本项目非放射性废气主要来源于质检中心实验使用的盐酸和硝酸等挥发产生的酸雾，以及乙醇产生的挥发性有机物；由于实验过程中酸性试剂和乙醇等试剂年用量较少，操作过程中酸雾、挥发性有机废气产生量较少，且各实验室及设备均设有相应的通排风系统，所有废气均经活性炭过滤后排放，因此可忽略不计。

3.4.2.2 废水

根据源项分析，项目非放射性废水包括生活污水和生产废水，其中生产废水包括外购空铅罐在使用前清洗产生的清洗废水、实验前对器皿清洗产生的清洗废水、辐射工作人员洁净服清洗废水等，废水汇总如下表所示：

表 3-40 运行期间非放废水产生及处置情况表

废水类别		日产生量 (m ³)	年产生量 (m ³)	处置方式
生产废水	生活废水	9.22	2304	直接排放至厂区污水管网， 汇集后由园区污水管网引至 园区污水处理厂处理达标后 排放
	空铅罐清洗废水	2.25	562.5	
	实验前空器皿清洗废水	0.27	67.5	
	洁净服清洗废水	1.35	337.5	
	洁净厂房清洁废水	1.5	375	
	纯水制备废水	0.7	175	

3.4.2.3 噪声

本项目生产设备均为低噪声设备，主要噪声源于风机组运行噪声，噪声源强度在80dB(A)左右。

项目拟采用低噪声设备，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。项目各产噪设备情况及治理措施见下表。

表 3-41 项目产噪设备及治理措施

噪声源	声源类型	噪声源强		降噪措施		噪声排放值		持续时间/h
		核算方法	噪声源强 dB(A)	工艺	降噪效果 dB(A)	核算方法	噪声值 dB(A)	
排风机	频发	类比法	80	隔声、减震、风机进出口设软接头	15	类比法	65	8760

注：保守按365天运行，每天24小时。

3.4.2.4 固体废物

本项目非放射性固体废物包括工作人员产生的生活垃圾，以及放射性药物生产线、放射性实验室产生的各类非放射性固体废物，各类固废产生及处置情况见下表。

表 3-42 项目非放固废产生量、处理措施

序号	种类	日产生量	年产生量	最终去向
1	生活垃圾	24kg/d	6t/a	集中收集后交由环卫部门统一处理。
2	废包装材料、非放射性沾染的一次性口罩、手套、擦拭物等	5kg/d	1.25t/a	分类收集之后，可回收的交由废品收购站，不可回收的由环卫部门统一集中处理与处置。
3	生产线和质检区产生的有机废液、废酸、废碱、空化学试剂瓶等	/	50kg/a	属于危险废物，定期交由有资质单位处置
4	解控后的废滤芯，废活性炭	/	840kg/a	
5	各放射性实验室解控的有机废液，沾有有机化学试剂的试纸器皿等	/	157.5kg/a	
6	废旧发生器拆解下的离子交换树脂	/	1t/a	

注：保守考虑年工作时间250天。

4 辐射防护与安全措施

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

4.1.1.1 厂区总平面布置及合理性分析

本项目位于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山片区中东部，厂区总平面图详见附图。各厂房有独立的放射性衰变池，均位于厂房南侧。

8号车间及10号车间均设有人流出入口和物流出入口，其中8号车间人流出入口位于厂房南侧，物流出入口共有4个出入口（1个放射性物料出入口，1个非放物料出入口，1个预留非放物料出入口），均分布于厂房北侧；10号车间人流出入口位于厂房北侧，物流出入口共有4个出入口（2个放射性物料品出入口，1个非放物料出入口，1个预留放射性废物出入口），其中二层放射性物料出入口位于厂房南侧，一层放射性物料出入口、非放物料出入口以及预留放射性废物出入口均位于厂房西侧。

本项目拟建厂房在满足行业相关安全和防火等规范要求的前提下，实现的人流、物流的互不干扰，依托所在园区道路，满足项目生产、物流运输要求。环保设施布置合理，正常运行工况下，对周边环境影响较小。因此，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 车间平面布置

（1）8号车间

8号车间为地上三层建筑，本项目拟在一层布置放射性核素（药物）生产线及配套辅助用房，拟在三层布设镥标记药物生产线、质检中心及配套辅助用房，二层为预留生产区。以下主要针对8号车间一层和三层平面布局进行介绍：

8号车间一层共5个放射性工作场所，含4条生成线及1个源库。4条生产线集中布置在车间中部，主要为 ^{177}Lu 注射剂生产线、 ^{177}Lu 核素生产线、 ^{131}I 口服液生产线、 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器生产线，每条生产线配有独立的人物流出入口；一层北侧为源库及放射性废物暂存区，东侧主要为外包材间、内包材间、原辅料库、生产资料库、试剂库等配套辅助用房。

8号车间三层共2个放射性工作场所，分别为生产线和质检中心，集中布置在三层中部，生产线与质检中心均有独立的人物流出入口；三层北侧主要为放射性废物暂

存区、空调机房等，西侧主要为预留区及空调机房，南侧主要为预留区、三层人流出入口、办公区等，东侧主要为非放质检区。

(2) 10 号车间

10 号车间为地上三层建筑，本项目拟在二层布置 1 条 ^{177}Lu 注射剂生产线及配套辅助用房，其余楼层为预留场所。

10 号车间二层共 2 个放射性工作场所，分别为 ^{177}Lu 注射剂生产线和源库；生产线布置在车间中北部，配有独立的人物流出入口；二层西南侧为源库、放射性废物暂存区、成品库、外包材间、内包材间等原辅物料库，南侧主要为排风过滤机房。

综上所述，8 号车间和 10 号车间各楼层的涉放工作场所均相对独立，实现了人流、物流互不干扰，各楼层的平面布局既便于生产操作需求，又便于辐射分区管理和辐射安全防护。因此，从辐射防护和环境保护的角度而言，本项目各车间的平面布置合理。

4.1.2 辐射工作场所分区

4.1.2.1 “两区”划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4 条要求，应在辐射工作场所内划出控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区是在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序禁止无关人员进入，职业人员在进行日常工作时尽量缩短在控制区内停留时间。

监督区通常不需要专门的防护手段或安全措施，需要对职业照射条件进行监督和评价。监督区入口处设置标明监督区的标志。监督区范围内限制无关人员进入。

结合本项目涉放工作场所内工艺系统布置、工艺特点、人物流路径规划及涉放场所辐射水平、辐射安全防护措施等因素，确定本项目控制区和监督区的划分见下表。辐射“两区”分布图见附图 9-1 至附图 10。

表 4-1 本项目辐射“两区”划分一览表

工作场所		控制区	监督区
8号车间			
一层	^{177}Lu 注射剂生产线	后区、前区、缓冲间、退出气锁间、剂量监测间、去污间、外包缓冲间、外包检测去污间、中控间、外包间	外清间、准备配置间、内走廊、洁具间、洗衣整衣间、进入气锁、二更、换鞋一更、外包更衣间

	^{177}Lu 核素生产线	后区、前区、缓冲间、退出气锁间、剂量监测间、去污间、外包缓冲间、外包检测去污间、后处理间、ICP间、接收间、外包间	外包更衣间、外清间、器具准备间、器具处理间、准备间、内走廊、非放外清间、物料接收间、洁具间、废弃物间、洗衣整衣间、进入气锁间、二更、换鞋一更
	^{131}I 口服液生产线	后区、前区、缓冲间、退出气锁间、剂量监测间、去污间、外包缓冲间、外包检测去污间、中控间、外包间	外清间、准备间、配制间、内走廊、洁具间、洗衣整衣间、进入气锁、二更、换鞋一更、外包更衣间、暂存间
	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器生产线	后区、前区、缓冲间、退出气锁间、剂量检测间、去污间、外包缓冲间、外包检测去污间、接收间、外包间	外清间、物料暂存间、非放外清间、称量间、配制间、内走廊、洁具间、洗衣整衣间、进入气锁、二更、换鞋一更、外包更衣间、器具清洗间、冷柱准备间
	源库及废物暂存区	一层放废库2、一层放废库3、一层放废库1、源库、缓冲间1、成品暂存间、铅罐去污染暂存间、铅罐接收监测间	缓冲间2
三层	锝即时标记药物生产线	外包缓冲间、锝标间、洁具间、洗衣整衣间、退出气锁间、剂量检测间、去污间、外包间	换鞋一更、二更、外清间
	质检中心	所有实验室及走廊	更衣间
10号车间			
二层	^{177}Lu 注射剂生产线	前区、后区、去污间、缓冲检测间、外包间、前区缓冲间、C级洁净走廊、退出气锁、洁具间、去污间、退更检测间	准备间、二更、进入气锁、一更、洁净洗衣整衣间、洁物暂存间、称量间、清洗灭菌间、物料暂存间、C级洁净走廊、洁具间、废物间、废物接收间、外清间、外包更衣间
	源库及废物暂存区	放废库1、放废库2、成品暂存间、源库	缓冲检测间
辐射安全管理要求		(1) 控制区入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志。 (2) 控制区内禁止无关人员进入，职业人员进行日常工作时应尽量缩短在控制区内停留时间。	(1) 监督区入口处应设置标明监督区的标志。 (2) 监督区范围内限制无关人员进入。

4.1.2.2 “两区”管理要求

(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) 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，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。

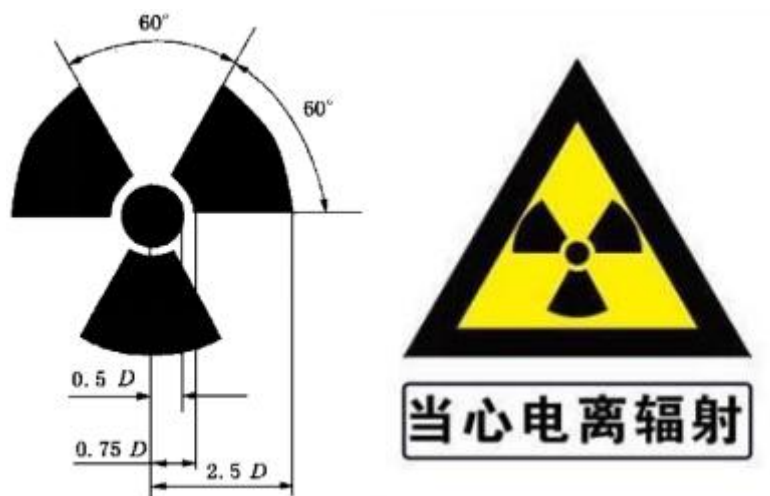


图 4-1 电离辐射标识和电离辐射警告标识

(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；

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

4.1.3.1 生产车间辐射屏蔽设计

(1) 生产车间墙体屏蔽设计

本项目各生产车间外墙采用 250mm 厚页岩空心砖，车间内一层放废库 2（非挥发性核素）、一层放废库 1（非挥发性核素）、一层放废库 3（挥发性核素）、源库、成品暂存间、铅罐区污染物暂存间墙体采用 300mm 厚混凝土实心砖防护墙，门采用 10mm 铅当量的防护门，三层放废库 1（非挥发性核素）、三层放废库 2（挥发性核素）、三层放废库 3（培养基）墙体采用 300mm 厚混凝土实心砖防护墙，门采用 10mm 铅当量的防护门；生产区留样间、稳定性实验室墙体采用 200mm 厚混凝土实心砖防护墙，门采用 3mm 铅当量的防护门。

(2) 放药生产装置屏蔽设计

生产线的涉放生产流程（标记、纯化、分装等）均在热室内进行，根据工艺内容，生产线由若干个相连热室组成。根据设备厂家提供的资料，生产线热室箱体符合《密

封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的 2 级标准，小时泄漏率不大于 2.5×10^{-3} 。



图 4-2 典型放药生产热室示意图

热室位于车间内的操作区。8 号车间内工作人员用转运小车将装有放射性核素原料溶液的铅罐运到放射性外清，通过传递窗将原料传入生产线后区，10 号车间内工作人员通过小车间将放射性核素原料转运至外包区，并通过原料传递窗传入生产线后区。转移至在后区后将铅罐放在热室底部的升降装置托盘上，用顶升装置将其升至热室的腔体内，将原料铅罐与进料口对接后，关闭热室底部防护门，退出外包区，进入操作区进行操作。

放射性物料从第一个热室到最后一个热室的传递由箱体内部运输通道完成转移。生成的放射性药品在最后一个热室内通过内部运输通道送至热室下方的铅罐内，密闭铅罐后将其通过产品传递窗转移至外包区，在外包区进行铅罐外表面贴签等内包装工序，再送至一层的外包间完成运输外包装的打包。

本项目各生产线防护屏蔽设计情况见下表。

表 4-2 生产线热室防护屏蔽设计

¹³¹ I口服液生产线			
工作箱	箱体内部净尺寸	屏蔽厚度（mmPb）	观察窗

	(长×宽×高) (cm)	前面	后面	左面	右面	顶面	底面	防护铅当量 (mmPb)	
进料热室	800×800×1000	80	80	80	80	80	80	80	
前处理热室	1200×800×1000	80	80	80	80	80	80	80	
配制热室	1400×800×1000	80	80	80	80	80	80	80	
准备冷室C级	800×800×700	料液输送管道配备局部等效的局部屏蔽80mmPb							/
分装热室	1900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80	
包装热室	1400×800×1000	80	80	80	80	80	80	80	

¹⁷⁷Lu核素生产线

工作箱	箱体内部净尺寸 (长×宽×高) (cm)	屏蔽厚度 (mmPb)						观察窗 防护铅当量 (mmPb)		
		前面	后面	左面	右面	顶面	底面			
进料解靶热室	800×800×800	80	80	80	80	80	80	80		
溶解热室	900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80		
分离纯化热室	1500×800×1000	80	80	80	80	80	80	80		
准备冷室C级	800×800×750	料液输送管道采用等效局部屏蔽							80	
分离纯化热室	1500×800×1000	80	80	80	80	80	80	80		
准备冷室A级	800×800×750	料液输送管道采用等效局部屏蔽80mmPb							/	
分装灭菌热室	1900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80		
后处理间后处 理热室	1200×850×2400	10	10	10	10	10	10	10		

¹⁷⁷Lu注射剂生产线 (8号车间)

工作箱	箱体内部净尺寸 (长×宽×高) (cm)	屏蔽厚度 (mmPb)						观察窗 防护铅当量 (mmPb)
		前面	后面	左面	右面	顶面	底面	
准备冷室C级	800×800×700	/	/	/	/	/	/	/
合成热室	1900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80
准备冷室B级	800×800×700	/	/	/	/	/	/	/
分装灭菌热室	1900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80

^{99m}Tc (发生器) 生产线

工作箱	箱体内部净尺寸 (长×宽×高) (cm)	屏蔽厚度 (mmPb)						观察窗 防护铅当量 (mmPb)
		前面	后面	左面	右面	顶面	底面	
进料热室	1200×1200×1400	150	150	150	150	150	150	150
配制热室	1400×1200×1400	150	150	150	150	150	150	150
灌注淋洗热室	1800×1000×1200	100	100	100	100	100	100	100
检验热室	800×1000×1200	100	100	100	100	100	100	100
热柱组装热室	1400×1000×800	100	100	100	100	100	100	100
防护包装热室	1400×1000×800	100	100	100	100	100	100	100

¹⁷⁷Lu注射剂生产线 (10号车间)

工作箱	箱体内部净尺寸 (长×宽×高) (cm)	屏蔽厚度 (mmPb)						观察窗 防护铅当量 (mmPb)
		前面	后面	左面	右面	顶面	底面	
准备冷室C级	800×800×700	/	/	/	/	/	/	/
合成热室	1900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80
准备冷室B级	800×800×700	/	/	/	/	/	/	/
分装灭菌热室	1900×800×1000	80	80	80	80	80	80	80

锝即时标记药物生产线

工作箱	箱体内部净尺寸	屏蔽厚度 (mmPb)						观察窗	数量
-----	---------	-------------	--	--	--	--	--	-----	----

	(长×宽×高) (cm)	前面	后面	左面	右面	顶面	底面	防护铅当量 (mmPb)	
淋洗工作台	120×80×150	20	20	20	20	20	20	20	2
通风橱	120×85×240	20	20	20	20	20	20	20	2

表 4-3 实验室屏蔽设计

工作箱	箱体内部净尺寸 (长×宽×高) (cm)	屏蔽厚度 (mmPb)						数量
		前面	后面	左面	右面	顶面	底面	
屏蔽通风橱	120×85×240	10	10	10	10	10	10	TLC室2台、液相室2台、ICP室1台、理化实验室3台、研发实验室1内2台、研发实验室2内2台、研发实验室3内2台
屏蔽手套箱	140×80×100	10	10	10	10	10	10	理化实验室2台、研发实验室1内1台、研发实验室2内1台、研发实验室3内1台
		15	15	15	15	15	15	
屏蔽手套箱	140×80×100	100	100	100	100	100	100	接收分样间1台
放射性生物安全柜	100×70×70	10	10	10	10	10	10	微生物室、阳性室内各1台
稳定性试验箱	62×80×17	10	10	10	10	10	10	稳定性实验室1台
γ能谱仪	/	100	100	100	100	100	100	γ能谱室内1台

4.1.3.2 放射性原料库/成品库/废物库屏蔽设计

8号车间、10号车间主体外墙采用250mm厚岩空心砖，各层楼板主要为120mm-200mm厚混凝土；车间内各放射性原料库、成品库、放射性废物库的墙体均为300mm厚混凝土墙，地面采用环氧地面，库门为10mmPb防护门，各库房尺寸见下表所示。

表 4-4 其它涉放场所屏蔽设计

场所	屏蔽材料及厚度	尺寸mm (东西净距×南北净距×室空间高)
8号车间		
一层放废库1（非挥发性核素）	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙，混凝土比重2.3t/m ³ ，地面载荷2t/m ² ，房间设150mm厚混凝土楼板，板底高3.85m；10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	3200×6500×4000
一层放废库2（非挥发性核素）	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙，混凝土比重2.3t/m ³ ，地面载荷2t/m ² ，房间设150mm厚混凝土楼板，板底高3.85m；10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	9850×4450×4000
一层放废库3（挥发性核素）	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙，混凝土比重2.3t/m ³ ，地面载荷2t/m ² ，房间设150mm厚混凝土楼板，板底高3.85m；10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	4900×7250×4000
源库	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙，混凝土比重	3100×3700×4000

	2.3t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设180mm厚混凝土楼板, 板底高3.82m; 10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	
成品暂存间	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙, 混凝土比重2.3t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设180mm厚混凝土楼板, 板底高3.82m; 10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	6000×3700×4000
铅罐区污染物暂存	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙, 混凝土比重2.3t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设180mm厚混凝土楼板, 板底高3.82m; 10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	3600×4200×4000
三层放废库1 (非挥发性核素)	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙, 混凝土比重2.3t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土楼板, 板底高3.85m; 10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	7600×3850×4000
三层放废库2 (挥发性核素)	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙, 混凝土比重2.3t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土楼板, 板底高3.85m; 10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	3700×7800×4000
三层放废库3 (培养基)	房间墙体为300厚混凝土实心砖防护墙, 混凝土比重2.3t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土楼板, 板底高3.85m; 10mm铅当量的铅屏蔽防射线平开门	4950×3650×4000
10号车间		
一层放射性废物库	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	8450×5730×4000
一层源库	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	2500×2700×4000
一层成品暂存间	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	2500×5730×4000
一层放射性三废处理区	房间墙体为370mm厚混凝土空心砌块墙, 高到顶, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷3t/m ² , 轻质吊顶6m; 10mm铅当量屏蔽门	29360×17100×6000
10号车间		
二层成品暂存间	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	5265×4200×4000
二层放废库2	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	5265×4525×4000
二层放废库1	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	5265×4800×4000
二层源库	房间墙体为300mm厚混凝土空心砌块墙, 高4.0m, 混凝土比重2.35t/m ³ , 地面载荷2t/m ² , 房间设150mm厚混凝土顶, 顶高4.0m, 不设吊顶; 10mm铅当量屏蔽门	2975×2875×4000

4.1.3.3 原料包装屏蔽设计

本项目放射性原料在购入时自带铅罐进行辐射屏蔽。原料货包由其生产厂家按《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)规定的II级(黄)或I级(白)货包标准。

4.1.3.4 产品包装屏蔽设计

生产的同位素药物产品包装屏蔽按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的Ⅱ级（黄）或Ⅰ级（白）货包标准，其中Ⅱ级（黄）货包外表面上任一点的最高辐射水平 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ ，Ⅰ级（白）货包外表面上任一点的最高辐射水平 $H \leq 0.005\text{mSv/h}$ ，包装屏蔽设计参数见下表。

表 4-5 项目同位素产品包装屏蔽设计

序号	生产车间	产品名称	物理形态	包装方式
1	^{131}I 口服液生产线	^{131}I 口服液	液态	西林瓶+缓冲内包+46mmPb铅罐+缓冲外包
2	钨即时标记药物生产线	钨即时标记药物	液态	一次性无菌注射器+缓冲内包+2mmPb铅罐+缓冲外包
3	^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器生产线	^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器	固态	发生器柱自带70mmPb+30mmPb外包
4	^{177}Lu 核素生产线	^{177}Lu 核素溶液	液态	西林瓶+缓冲内包+10mmPb铅罐+缓冲外包
5	^{177}Lu 注射剂生产线（8号车间）	^{177}Lu 标记药物	液态	西林瓶+缓冲内包+10mmPb铅罐+缓冲外包
6	^{177}Lu 注射剂生产线（10号车间）	^{177}Lu 标记药物	液态	西林瓶+缓冲内包+10mmPb铅罐+缓冲外包

4.1.3.5 放射性废水处理设施（措施）屏蔽设计

本项目每条生产线采用的热室内均设有一个放射性废水暂存罐（2L），当放射性废液暂存到一定量后将暂存罐由专人转运至放射性废物库暂存。各生产线设置的去污间用于辐射工作人员发生沾污事故后去污处理工作，去污过程中优先采用擦拭去污法，如擦拭无法去除则在去污间中进行冲洗，去污废水经特排管道汇入放射性废水衰变池。

质检期间由于单批次放射性废水产生量较少，在实验用的防护工作箱体内设专用废水收集罐（2L）临时收贮在防护工作箱体内，再定期转运至对应的放射性废物库暂存。

上述各类处理措施和设施采取的屏蔽设计如下：

①放射性废水收集容器

各生产车间热室内各配有一个有效容积 2L，厚 20mmPb，带等效厚度的铅盖。

②放射性废水衰变池

本项目共建两个放射性衰变池，顶板为 100mm 混凝土，其中放射性衰变池 1 位于 8 号车间南侧，内设 3 个小衰变池，每个小衰变池 $1.95\text{（高）} \times 1.95 \times 2.75 = 10.457\text{m}^3$ ，衰变池结构形式为现浇钢筋混凝土地下水池，池顶设盖板。衰变池采用并联结构，地

埋式密封处理，并采取防雨水、防渗、防腐、防泄漏措施；放射性衰变池 2 位于 10 号车间南侧，大小、尺寸、结构均与放射性衰变池 1 一致。

③特排管道管理措施

放射性废水采用无缝不锈钢管，焊接。除埋地放射性管道外，其余放射性管道采用 2mm 铅皮包封。

④放射性废水

本项目产生的非有机放射性废水由生产线或涉放实验室的放射性废水收集容器收集后转运至最近的放射性废物库（质检放废库）中暂存容器内核素的 10 个半衰期后，经监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ ）并由审管部门认可后，通过导管将非有机放射性废水转移至生产废水管网中，由园区生产废水管网汇入园区污水处理厂处理达标后排入芙蓉溪。有机放射性废水收集容器收集后转运至最近的放射性废物库（质检放废库）中暂存容器内核素的 10 个半衰期后，经监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ ）并由主管部门认可后，交有资质单位进行处置。

4.1.3.6 放射性固废处理措施屏蔽设计

各放药生产车线的操作区内均设置有 1 个 2L，厚度为 20mmPb 的不锈钢桶，用于收集生产过程中产生的放射性固体废物。

质检中心的各涉放实验室内各设 1 个 2L 的不锈钢桶（防护铅当量为 20mmPb），收集实验过程中产生的放射性固体废物。

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 非密封放射性物质工作场所的辐射防护措施

4.2.1.1 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、屏蔽以及合理的工作场所气流组织等辐射安全与防护措施。

（1）隔离与屏蔽措施

①项目各条放射性核素或药物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，通过窥视窗用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，拟使用箱式不锈钢推车进行转运。

（2）气流组织和放射性气体排风设计

①气流组织

药品生产车间相对正压；根据 GMP 附录放射性药品原则，操作放射性区域要求相对负压。在设计生产车间时，综合考虑两个原则不冲突的前提下，以生产车间洁净走廊或洁净走廊内部缓冲间为最大压差，往两边逐级递减；操作热室较操作前区相对负压，可保证放射性气溶胶流出方向仅为车间全排和防护工作箱（热室或通风橱等）局排。

②放射工作场所排风设计

本项目各生产区、质检中心的排风系统均独立设计，互不干扰，可独立开启。

◆ 放射性核素或药物生产区

生产线分布在 8 号车间 1 层和 3 层，10 号车间 2 层，各生产车间相对独立，各车间的放射性排风系统均由设备（热室）局排与房间全排两套系统组成，其中：

设备（热室）局排系统：生产线的各热室均设计独立的局排系统，热室内废气经局排系统预过滤后，合并汇入一根排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m，对地高度约 30m）。为确保热室密闭性，热室设置微负压，压力在 -20Pa 以上，并在热室对外接口内外及主腔防护门处设橡胶密封圈。

房间全排系统：分别在生产线前区（操作区）、生产线后区以及外包区设房间全排系统。其中，操作区及其缓冲间的排风合并汇入一根主排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预处理+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m）；生产线后区的排风单独汇入一根主排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预处理+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m）。

◆ 质检中心排风

本项目质检中心在 8 号车间三层，各实验室的排风系统分为设备（如质谱仪、通风柜等）局排与房间全排两套系统，其中：

设备（质谱仪、通风橱等）局排系统：8号车间质检区设备内废气经局排系统，合并汇入一根主排风管道，引至车间屋顶经高效过滤装置（预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m）

房间全排系统：涉放实验室（液相室、理化间、灭菌室、培养室、准备室、稳定性间、能谱室等）设房间全排系统，房间内气体合并汇入主排风管道，8号车间引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m）。

◆ 放射性库房

各放射性源库、成品暂存间、放射性废物库均为房间全排系统，其中：

8号车间：位于一层的源库、放废库 1/2/3 以及成品暂存间的气体合并汇入一根主排风管道通过过滤装置处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m），其中一层放废库 3 以及源库引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置处理。其余房间排风引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+BIBO 高效过滤装置处理；位于一层的铅罐接收检测和铅罐区污染物暂存的气体合并汇入一根主排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+BIBO 高效过滤装置处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m）。位于三层的放废库 1/2/3 的气体合并汇入一根排风管道通过过滤装置处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m），其中放废库 3 和放废库 3 的气体引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置处理，放废库 1 的气体至本栋厂房内的排风机房经预过滤+BIBO 高效过滤装置处理。

10号车间：二层成品暂存间、放废库 1/2/3、源库及其缓冲检测间的房间气体合并汇入一根主排风管道，引至 10号车间三层经预过滤+BIBO 高效过滤装置（净化效率达 99%）处理后于屋顶排放（排口高于屋脊 3m）。

综上，本项目涉及 8号车间放射性气载流出物排风系统共设有 37 套高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置）、1 个放射性气载流出物排气筒（距地面约 30m 高）；10号车间放射性气载流出物排风系统共有 5 套高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置）、1 个放射性气载流出物排气筒（距地面约 30m 高）。

本项目放射性工作场所排风设计见下表：

表 4-6 放射性工作场所排风设计一览表

场所			排风量 (m ³ /h)	过滤器措施	排口编号
8号车间	¹⁷⁷ Lu核素生产线	热室	2770	热室废气经预过滤后经专用排风管道由EXU1-1-4a/4b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	统一由1#排气筒排放（距地面约30m高），排口总排风量为143235m ³ /h
		¹⁷⁷ Lu后区	1750	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-1-3a/3b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	
		外包间	1730	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-1-2排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	
		后处理间	普通通风橱	1800	
			房间全排	1000	
		ICP	房间全排	650	
			普通通风橱	1800	
			质谱仪	360	
			检测去污间	320	
			缓冲间	320	
			接收间	330	
			¹⁷⁷ Lu前区	2590	
			缓冲间	750	
			去污间	190	
			剂量检测间	270	
			退出气锁	220	
	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	热室	1750	热室废气经预过滤后经专用排风管道由EXU1-2-4a/4b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	
		¹⁷⁷ Lu后区	2760	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-2-3a/3b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	
		中控间	普通通风橱	1800	
			房间全排	320	
		外包间	1510	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-2-2排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	
		检测去污间	240	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-2-2排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	

	缓冲间		270	
	¹⁷⁷ Lu前区		3030	
	缓冲间		680	
	去污间		220	
	剂量检测间		210	
	退出气锁		250	
放废库及成品暂存间	源库		830	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-5-2排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	一层放废库3		2480	
	缓冲间		590	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-5-1排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
	缓冲间		390	
	一层放废库1		1640	
	一层放废库2		3160	
¹³¹ I标记线	成品暂存间		1520	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-6-1排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
	热室		2550	热室废气经预过滤后经专用排风管道由EXU1-3-4a/4b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	¹³¹ I后区		2830	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-3-3a/3b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	中控间	普通通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU1-3-5排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		手套箱	500	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU1-3-6a/6b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	1160	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-3-2排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		外包间	2020	
		检测去污间	330	
		缓冲间	410	
		¹³¹ I前区	2660	
		缓冲间	620	
		去污间	200	
		剂量检测间	330	
		退出气锁	230	
钼铈发生器线	热室		1075	热室废气经预过滤后经专用排风管道由EXU1-4-4a/4b排风机引至8号车间一层夹层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
	钼铈后区		1990	房间全排合并汇入一根管道，由EXU1-4-3a/3b排风机引至8号车间一层夹层排

				风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
				外包间 3170
				检测去污间 310
				缓冲间 290
				接收间 280
				钼锝前区 3840
				物料暂存间 960
				缓冲间 670
				去污间 270
				剂量检测间 220
				退出气锁 200
放废库				铅罐接收检测 1940
				成品暂存间 1560
				缓冲间 590
				三层放废库1 2160
				三层放废库2 2040
				三层放废库3 1220
钨标线	钨标	普通通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-1-3排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
		普通通风橱	1800	
		房间全排	2590	房间全排合并汇入一根管道，由EXU3-1-2排风机引至8号车间楼顶排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
		缓冲检测间	430	
		洗衣整衣间	780	
		C级洁净走廊	1510	
		去污间	220	
		剂量检测间	380	
		退出气锁	250	
	洁具间		1040	房间全排合并汇入一根管道，由EXU3-1-4a/4b排风机引至8号车间楼顶排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理
放射质检区	无菌间	无菌	910	房间全排合并汇入一根管道，由EXU3-3-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		气锁	500	
		三更	610	
		二更	230	
		一更	150	
	微生物培养间	微生物	670	房间全排合并汇入一根管道，由EXU3-4-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		气锁	160	
		二更	210	
		一更	150	
	阳性间	阳性	860	房间全排合并汇入一根管道，由EXU3-5-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		气锁	190	
		二更	180	
		一更	220	
	液闪	无菌隔离	180	房间全排及局排合并汇入一根管道，由

	间	器		EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	260	
	研发实验室3	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-4排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		屏蔽通风橱	1800	
		手套箱	500	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-5a/5b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	910	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	研发实验室2	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-4排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		屏蔽通风橱	1800	
		手套箱	500	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-5a/5b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	860	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	研发实验室1	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-4排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		屏蔽通风橱	1800	
		手套箱	500	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-5a/5b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	710	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	放射性操作室		240	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	放射性废物暂存间		170	
	缓冲间		140	
	留样间		320	
	稳定性室		310	
	器皿室		370	
	γ 计数室		290	
	备用间		680	
	非放物料接收间		230	
	放射性物料		320	
	走廊		1850	
	去污间		170	

		剂量检测间	230	
	液相室	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-6排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		屏蔽通风橱	1800	
		房间全排	420	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	γ能谱室	普通通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-6排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	640	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-2a/2b排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	ICP-MS	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-6排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		质谱仪	360	
		房间全排	540	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-2a/2b排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	TLC	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-7a/7b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		屏蔽通风橱	1800	
		房间全排	420	房间全排合并汇入一根管道，由BEXU3-2-3a/3b排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
	理化实验室	屏蔽通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-7a/7b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		屏蔽通风橱	1800	
		屏蔽通风橱	1800	
		普通通风橱	1800	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-8a/8b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		手套箱	500	
		手套箱	500	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理
		房间全排	910	
	接收分样	手套箱	500	废气经预过滤后经专用排风管道由EXU3-2-8a/8b排风机引至8号车间楼顶排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过

		间			滤装置处理	
		房间全排	280	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理		
		走廊	1900	房间全排合并汇入一根管道，由EMD3-2-1排风机引至8号车间顶层排风经预过滤、活性炭及BIBO高效过滤装置处理		
		天平室	190			
		天平室	240			
		阳性培养室	180			
		灭活间	170			
		灭菌室	550			
		内毒素	140			
		准备间	860			
		检查室	150			
		培养室	480			
10号车间	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	热室	900	热室废气经预过滤后经专用排风管道由EXU2-1-4a/4b排风机引至10号车间三层排风机房经预过滤及BIBO高效过滤装置处理	统一由2#排气筒排放（距地面约30m高），排口总排风量为13170m³/h	
		¹⁷⁷ Lu标记后区	1360	房间全排合并汇入一根管道，由EXU2-1-3a/3b排风机引至10号车间三层排风经预过滤及BIBO高效过滤装置处理		
		控制区C级洁净走廊	760	房间全排合并汇入一根管道，由EXU2-1-2排风机引至10号车间三层排风经预过滤及BIBO高效过滤装置处理		
		缓冲间	140			
		去污间	150			
		外包间	1210			
		¹⁷⁷ Lu前区	2180			
		缓冲间	350			
		洁具间	350			
		去污间	130			
		退更检测间	140			
		退出气锁	320			
	放废库、源库	缓冲检测间	350	房间全排合并汇入一根管道，由EXU2-4-1排风机引至10号车间三层排风经预过滤及BIBO高效过滤装置处理		
		放废库2	1430			
		放废库1	1510			
		源库	490	房间全排合并汇入一根管道，由EXU2-5-1排风机引至10号车间三层排风经预过滤及BIBO高效过滤装置处理		
成品暂存间	1400					

（3）辐射工作人员辐射防护措施

在涉放操作过程中，辐射工作人员穿有洁净服、橡皮手套和防护口罩等个人防护用品，以减少放射性表面沾污和吸入途径照射。

4.2.1.2 其他辐射安全与防护措施

(1) 放射性工作场所的出入控制措施

本项目辐射工作场所出入设有两道控制措施。

①车间总出入控制：8号车间南侧门厅及10号车间北侧门厅为场所人流总出入口，人员出入口处设有门禁系统，只有被授权的辐射工作人员方能进出各车间。工作人员须通过各楼层的总更衣间，更换工作服再通过门禁系统进入车间内部各辐射工作场所。

②生产线出入控制：为限制无关人员进入辐射工作场所，避免出现车间内各条生产线人员交叉影响，本项目所有生产线分别设置一更和二更，并在人流出入口设门禁系统，仅允许本条生产线有相应权限的工作人员进入。

③离开各车间控制：工作人员均需要首先经过各生产线更衣区的检测间进行表面沾污监测，检测合格的方可更衣离开生产线；然后再经一层总更由车间人流总出入口离开各生产车间。

(2) 放射性原料、成品及放射性固废库房的控制措施

本项目放射性原料是按生产订单，采取即买即用的方式。购入的放射性原料经各车间的货厅接收后，经检测相关表面剂量水平数据登记后，直接转运至各生产线进行生产。若当日不能立即生产，则转入各生产车间对应楼层的原料库进行临时暂存（一般暂存不超过2天）。

项目生产的放射性药品采取即产即卖的方式，产出的成品包装好后在外包间经表面剂量水平监测合格后发出。若当日不能立即运出，则将成品转入各车间专设的成品库暂存（一般暂存不超过2天）临时暂存。生产过程中检出的不合格品直接转入各楼层放射性废物库。

各车间内的各生产线及质检中心产生的放射性固体废物按核素种类由专用容器分类收集，并按照类别暂存至对应楼层的放射性废物暂存库中。

上述各放射性原料、成品及放射性固废库房均设置有视频监控系统，采取双人双锁管理，以确保放射性物质的安全。

(3) 台账管理

本项目拟制定有放射性同位素台账管理制度，对放射性原料及成品的使用、销售、最终去向等信息进行完整记录并长期保存。项目安排专人进行台账管理，并定期进行台账核查，确保“物-账”统一。

(4) 放射性工作场所的安保措施

本项目在厂区内和各放射性工作场所均设置有视频监控系统，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、各生产线、源库、成品暂存间、放射性废物库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。

(5) 防火措施

本项目 8 号车间、10 号车间的建筑设计满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2018）相关要求。各放射性药物生产线、质检区均设置火灾自动报警系统，火灾报警控制器（联动型）设置在门卫室，24 小时有人值守。

放射性原料、成品及放射性固废库房内禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与项目无关的物品，并在场所内人员易于接触的地方配备干粉灭火器。

(6) 防水、防渗措施

本项目各建筑四周设置有雨水排水系统，可有效防止雨水侵入。

生产车间内工作场所地面进行防水、防渗处理，地面采取易去污、可拆除更换的聚乙烯材料敷设，并保证其边缘高出地面约 10cm，墙面与地面交接作圆角处理。同时，放射性原料、成品（含不合格品）和放射性固废均由专用密闭容器盛装，以便洪涝灾害时及时转移。

(7) 防泄漏措施

本项目拟购入的放射性原料来自正规生产厂家，根据出厂时核素浓度不同，由生产厂家采用适宜的铅罐密闭包装，铅罐表面剂量满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）相关标准要求。

各放射性药品生产线及涉放实验室采取的防护工作箱为不锈钢板，四壁夹角之间采用无缝焊接。经预测分析，各防护工作箱的屏蔽设计满足场所辐射防护要求。

(8) 环境监测措施

本项目拟制定详细的监测计划，并按计划定期对放射性工作场所进行监测，监测采取自检及委托有相关资质单位监测的方式，监测计划包括：

个人剂量监测：项目为所有辐射工作人员配有个人剂量计，并定期（每季度至少一次）委托有相应资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，并将检测报告存档保管。

场所辐射水平监测：本项目拟在工作人员进出放射性工作场所出入口（剂量检测间）处设手脚表面污染测量仪（共 7 台），对进出人员进行表面沾污监测。

流出物监测：项目拟在各排口预留取样口用于运营期间的取样监测，1#排口额外安装碘在线监测装置；运营期间拟利用移动式气溶胶监测设备或气溶胶取样设备对总 β 浓度取样进行测量。衰变池暂存的废水在排放前送有资质的单位进行检测后再排放。

过滤器效率监测：项目在过滤机组前后设置压差监测口，用于检定高效过滤装置的过滤效率，当压差高于 2 倍设定值或无压差则立即更换过滤芯，确保高效过滤装置正常运行。

4.2.2 放射性废物暂存间安全防范措施

- （1）各放射性废物间库房安装防盗安全门；
 - （2）各放射性废物间的门设置门锁或门禁装置，非授权不得入内；
 - （3）各放射性废物间设置实体保护设施，实体保护设施的控制应实行双人双锁并联管理。
 - （4）各放射性废物间设置视频安防监控装置；
- 经采取上述措施后，可确保放射性废物暂存间的运行安全。

4.2.3 源库和产品暂存间安全防范

- （1）成品暂存间、原料库内禁止存放易燃易爆和腐蚀性物品；
 - （2）成品暂存间、原料库内和门外走廊安装录像监控设备，录像监控可对暂存间内进行无死角监控。监控室位于公司门卫室内，通过监控装置对暂存间进行 24 小时监控。
 - （3）成品暂存间、原料库防护门采用带屏蔽防护功能的防盗门，实行双人双锁，确保安全；
 - （4）成品暂存间、原料库防护门外张贴醒目的电离辐射警示标志，严禁无关人员入内；
 - （5）成品暂存间、原料库应建立放射性同位素进出台账，建立进入和运出登记制度。
 - （6）建立辐射监测制度，对进入或运出成品暂存间的放射性同位素产品进行表面污染水平和表面剂量率监测，满足运行规程要求方能接收货运出。
- 经采取上述措施后，可确保产品暂存间的运行安全。

4.2.4 非密封放射性物质运输的辐射安全与防护措施

(1) 货包分级

根据《放射性物品分类和名录》（环境保护部公告 2010 年第 31 号），本项目销售的放射性核素产品货包属于Ⅱ级（黄）（外表面上任一点的最高辐射水平 $\leq 0.5\text{mSv/h}$ ）、Ⅰ级（白）型货包（外表面上任一点的最高辐射水平 $\leq 0.005\text{mSv/h}$ ）。

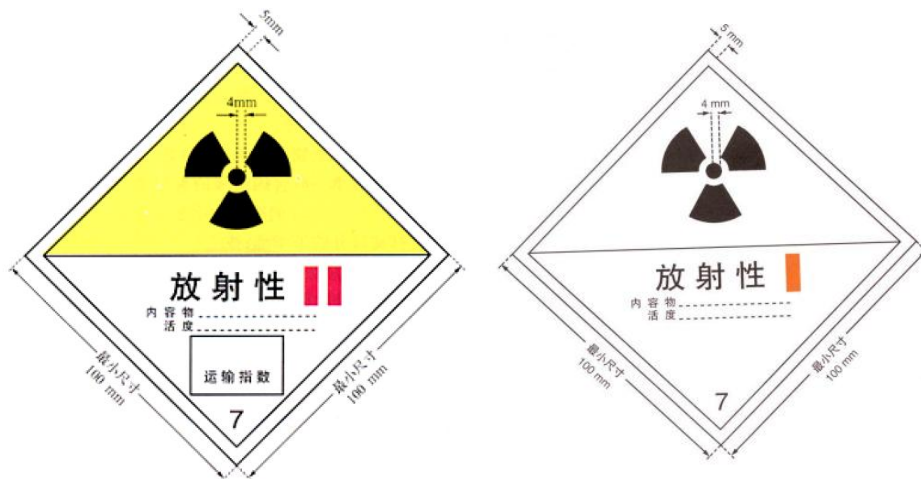


图 4-3 Ⅱ级（黄）标志图

Ⅰ级（白）标志

(2) 运输安全与防护措施

本项目产品采用 A 型货包屏蔽容器，一般出厂货包分为三层包装结构，第一层为与放射性物料直接接触的储液瓶（罐），储液瓶（罐）口有密封胶塞并压有铝盖，在搬运过程中不会发生液体倾洒；第二层包装结构为屏蔽辐射的屏蔽铅罐或铅套；第三层包装结构为缓冲泡沫塑料和铁皮外桶或纸箱，起到保护屏蔽铅罐或铅套不受外力破坏的作用。货包准备好以后在装车前需对每个货包表面 γ 辐射剂量率和 α/β 表面沾污进行监测，并经监测达标后才进行装车，同时根据货包分级在外包装张贴标识。对于例外货包需在包装外张贴“放射性”字样。

4.2.5 辐射安全与防护措施要求对照分析

根据《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》中关于甲级非密封放射性物质操作场所、放射性同位素销售单位的辐射安全防护设施监督要求，四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司拟采取的辐射安全防护措施对照如下：

表 4-7 与甲级非密封放射性物质操作场所的辐射安全与防护措施要求对照一览表

序号	辐射安全防护设施检查项目		设计建造
1	A场所设施	工作场所设置在单独建筑内	已设计
2		场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	拟配备
3		入口处电离辐射警示标志	拟配备
4		卫生通过间	拟配备
5		人员出口污染监测仪	拟配备
6		独立的放射性通风设施（流向）	拟配备
7		排风过滤器	拟配备
8		工作箱或热室（箱内保持合适负压）	拟配备
9		屏蔽防护设施	拟配备
10		防过热或超压保护（有易燃易爆和高温高压操作时）	拟配备
11		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	拟配备
12		负压吸液器械（吸取液体时）	拟配备
13		移动放射性液体时容器不易破裂	拟配备
14		前区有火灾报警仪	拟配备
15		机械手（强外照射操作时）	拟配备
16		放射性下水系统或暂存设施	拟配备
17		放射性下水系统标识	拟配备
18		放射性同位素暂存库或设施	拟配备
19		放射性固体废物暂存设施	拟配备
20		安保设施	拟配备
21		防火设备、应急出口	拟配备
22	B监测设备	固定式辐射监测报警仪	拟配备
23		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配备
24		放射性液态流出物取样监测设备	拟配备
25		放射性气体流出物取样监测设备	拟配备
26		便携式辐射监测仪表（污染、辐射水平等）	拟配备
27		个人剂量计	拟配备
28		个人剂量报警仪	拟配备
29	C防护器材	气衣、面罩等以及专门的送风系统	拟配备
30		防护手套、口罩等个人防护用品	拟配备
31	D应急物资	去污用品和试剂	拟配备
32		应急处理工具	拟配备
33		必备的警示标志和标识线	拟配备
34		灭火器材	拟配备
35		放射性同位素应急包装容器	拟配备

表 4-8 与乙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一览表

序号	辐射安全防护设施检查项目		设计建造
1	A场所设施	入口处电离辐射警示标志	拟配备
2		双人双“锁”	拟配备
3		非法入侵报警装置	拟配备
4		监视系统	拟配备
5		防盗装置	拟配备
6		火灾报警仪	拟配备
7		应急出口	拟配备
8	B监测设	便携式辐射监测仪表（表面污染、辐射水平等）	拟配备

9	备	个人剂量计	拟配备
10		个人剂量报警仪	拟配备
11	C防护器材	合适的屏蔽和个人防护用品	拟配备
12	D应急物资	去污用品和试剂	拟配备
13		应急处理工具	拟配备
14		必备的警示标志和标识线	拟配备
15		灭火器材	拟配备
16		放射性同位素应急包装容器	拟配备

表 4-9 与《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）符合性分析

序号	标准要求	本项目执行情况	对比结果
1	非密封源工作场所应实行严格的分区、分级管理，分区分级管理的措施，应遵循GB18871-2002的要求。	本项目对辐射工作场所进行了控制区和监督区划分，具体见4.1.2。	符合
2	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。	项目拟在控制区出入口张贴辐射警告标志；项目合理设计了人流和物流线路，确保不交叉；项目后期拟制定严格的辐射防护规程和操作规程。	符合
3	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。	本项目非密封源的操作均安排在热室或通风橱内进行。	符合
4	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。储存放射性溶液的容器应由不易破裂的材料制成。	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
5	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。	本项目涉及有可能造成污染的操作均安排在铺有不锈钢等易于去污的工作台面上进行。	符合
6	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。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。	项目拟在高效过滤装置前后设置压差监测口，确保高效过滤装置正常运行；项目设置火灾报警系统，防止因火灾导致气溶胶大量释放。	符合
7	操作非密封源的单位一般应建立放射性废水处理系统，确保产生的废水得到妥善处理。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水。将过处理的废水在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。	短半衰期核素放射性废水暂存衰变经监测达标后排入所在核医疗健康产业园园区污水处理厂处理、长半衰期核素放射性废水定期交由有资质的单位处置，含有有机废水的放射性废水暂存衰变经监测达标后作为危废交由有资质单位处置。	符合
8	产生放射性固体废物的单位应建立固体废物暂存库，确保储存的废物可回取；操作非密封源的单位产生的废物应按要求送指定的废物库暂存，送贮的废物应符合送贮条件。对于半衰期短的废物	本项目在各场所设置放射性废物暂存间，固废经暂存衰变至解控水平后作为一般固废处置或作为危废定期交由有资质单位处置。	符合

可用放置衰变的方法，将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。		
---	--	--

4.3 三废治理

4.3.1 放射性污染物治理措施

4.3.1.1 废气治理措施

(1) 治理措施

本项目各放药生产线、质检中心的排风系统均独立设计，互不干扰，可独立开启，各放射性工作场所排风设计如下：

◆ 放射性药物生产区

放药生产线分布在 8 号车间 1 层、3 层，10 号车间 2 层，各生产车间相对独立，各车间的放射性排风系统均由设备（热室）局排与房间全排两套系统组成，其中：

设备（热室）局排系统：生产线的各热室均设计独立的局排系统，热室内废气经设备自带预过滤后，合并汇入一根主排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预处理+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶 30m 高（8 号车间接 1#排口，10 号车间接 2#排口）排气筒排放。为确保热室密闭性，热室设置微负压，压力在-20Pa 以上，并在热室对外接口内外及主腔防护门处设橡胶密封圈。

房间全排系统：分别在生产线前区（操作区）、生产线后区以及外包区设房间全排系统。其中，生产线后区的排风单独汇入一根主排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预处理+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶 30m 高（8 号车间接 1#排口，10 号车间接 2#排口）排气筒排放；操作前区及控制区其他房间的排风合并汇入一根主排风管道，引至本栋厂房内的排风机房经高效过滤装置（预过滤+BIBO 高效过滤装置或预处理+活性炭+BIBO 高效过滤装置）处理后于屋顶 30m 高（8 号车间接 1#排口，10 号车间接 2#排口）排气筒排放。

◆ 质检中心

本项目质检中心位于 8 号车间三层，其排风系统分为设备（如手套箱、通风柜等）局排与房间全排两套系统，其中：

设备（质谱仪、通风橱等）局排系统：质检区配置的手套箱、通风橱等设备内废气经设备自带预过滤装置过滤后由局排收集再由相应过滤系统（预过滤+活性炭+BIBO

高效过滤装置)净化后,合并汇入一根主排风管道,后于屋顶 1#排气筒(排口高于屋脊 3m,高约 30m 处)排放;

房间全排系统:涉放实验室(液相室、理化间、灭菌室、培养室、准备室、稳定性间、能谱室等)设房间全排系统,房间内气体合并汇入主排风管道,8 号车间引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置处理后于屋顶 30m 高 1#排气筒排放。

◆ 放射性库房

各放射性源库、成品暂存间、放射性废物库均为房间全排系统,其中:

8 号车间:一层的源库、放废库 1/2/3 以及成品暂存间的气体合并汇入一根主排风管道通过过滤装置处理后于屋顶 30m 高 1#排气筒排放,其中一层放废库 3 以及源库引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置处理。其余房间排风引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+BIBO 高效过滤装置处理;一层的铅罐接收检测和铅罐区污染物暂存间的气体合并汇入一根主排风管道,引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+BIBO 高效过滤装置处理后于屋顶 30m 高 1#排气筒排放。三层的放废库 1/2/3 的气体合并汇入一根排风管道通过过滤装置处理后于屋顶 30m 高 1#排气筒排放,其中放废库 2 和放废库 3 的气体引至本栋厂房内的排风机房经预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置处理,放废库 1 的气体至本栋厂房内的排风机房经预过滤+BIBO 高效过滤装置处理。

10 号车间:二层成品暂存间、放废库 1/2/3、源库及其缓冲检测间的房间气体合并汇入一根主排风管道,引至 10 号车间三层经预过滤+BIBO 高效过滤装置(净化效率达 99%)处理后于屋顶 30m 高 2#排气筒排放。

(2) 净化装置及可行性分析

本项目各放射性工作场所的放射性排风系统拟采用 BIBO 高效过滤装置,涉及含碘核素的涉放场所使用预处理+活性炭+BIBO 高效过滤装置。

①BIBO 高效过滤装置

除放药 ^{131}I 口服液生产线、放射质检区、8 号车间一层放废库 3 和源库外,其余房间排风均采用普通高效过滤装置或 BIBO 高效过滤装置。

高效过滤装置主要由过滤器段、风机段组成。其中过滤器单元包含预过滤段、中效过滤段 H8 和高效过滤段 H14。中效过滤段主要用于捕集 $1\sim 5\mu\text{m}$ 的颗粒灰尘及各种悬浮物,过滤效率大于等于 45%;高效过滤段主要用于捕集 $0.5\mu\text{m}$ 以下的颗粒灰尘及

各种悬浮物，过滤效率可达 99.9%。过滤器的滤料为玻璃纤维纸。

袋进袋出过滤器即“具备利用气密袋安全进行更换的条件”的过滤器。其区别于普通高效过滤器的最大特点是安装、更换、检测过滤器时均在 PVC 袋（或高温袋）保护下进行，过滤单元完全不与外界空气接触，从而保证了人员的安全并防止污染环境。

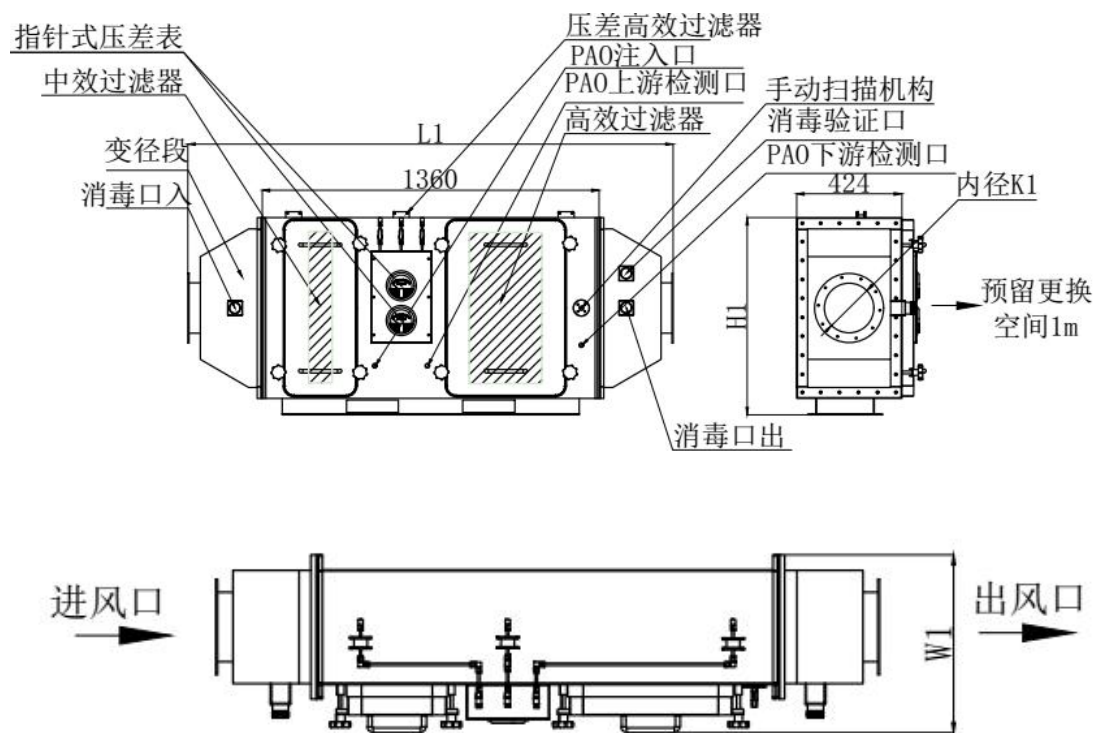


图 4-4 BIBO 型高效过滤器典型外观及结构示意图

②预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤

^{131}I 口服液生产线、放射质检区、8 号车间一层放废库 3 和源库的排风系统拟采用预过滤+活性炭+BIBO 高效过滤装置。该装置沿气流方向依次设置为预过滤段、活性炭吸附段、BIBO 高效过滤器段。各功能段采用非进入式结构，碘吸附段设置有消防喷淋系统。装置整体组成如下所示：

预过滤：为第一级过滤段，用于去除空气中稍大的微粒，滤料为玻璃纤维纸。

活性炭过滤器：用于吸附通风系统中的放射性碘，滤料为浸渍活性炭，碳床厚 51mm，，初阻力 $\leq 310\text{Pa}$ ，过滤效率大于 99%。

BIBO 高效过滤器段：主要是净化从碘吸附器中可能被气流带出的炭粉尘，为净化段最后的屏障。

综上，项目各放射性工作场所均设有通排风系统，并能保证室内负压；各高效过滤器装置与排风系统尾端紧密连接，防止污染物外泄。通过排风后，遗留在室内的放

放射性气体量极少，过滤处理后的放射性气体对周边环境的辐射影响轻微，项目采取的放射性废气治理措施有效可行。

建设单位需定期对过滤器的过滤效率进行校核，一般通过检测过滤器前后的阻力差来判断是否需要更换。如确定初阻力值 ΔP ，一般超过 $2\Delta P$ 作为确认更换的要求，更换下来的过滤器应作为放射性固废进行处理。

4.3.1.2 放射性废水

(1) 收集及治理方式

本项目运行期间产生的放射性废水涉及核素包括 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等 4 种核素，均为极短半衰期核素，各类别放射性废水产量总量分析如下表所示：

表 4-10 不同类别废水总量分析一览表

类别	产生场所	产生总量 (L)	废水比活度 (Bq/L)	总水量 (L)
^{177}Lu	^{177}Lu 注射剂生产线 (8号车间)	10	$1.18\text{E}+11$	80
	^{177}Lu 注射剂生产线 (10号车间)	10	$1.18\text{E}+11$	
	8号车间质检中心	20	$3.70\text{E}+08$	
	^{177}Lu 核素生产线	40	$1.04\text{E}+10$	
^{131}I	^{131}I 口服液生产线	40	$2.96\text{E}+10$	60
	8号车间质检中心	20	$3.70\text{E}+08$	
^{99}Mo	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)发生器生产线	20	$5.55\text{E}+11$	40
	8号车间质检中心	20	$3.70\text{E}+07$	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	8号车间质检中心	25	$3.70\text{E}+08$	25

注1：保守考虑取相应类别中综合考虑半衰期及操作天数最大的核素作为计算依据，废水量以该场所200d最大废水产量。

分类处置方式：按核素种类分类收集放射性废水，在各放药生产线及质检中心涉放实验室放置有 2L 不锈钢桶 (20mmPb) 用于收集产生的放射性废水，其中非有机放射性废水通过铅桶装满后密封并通过小车转运至楼层放废库中暂存衰变，经贮存涉及核素 10 个半衰期后取样检测达标 (总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$)，经主管部门认可后，排入园区污水管网，进入产业园污水处理厂处理；有机放射性废水则通过设置的

2L 不锈钢桶（20mmPb）收集后，转运至该楼层的放废库中暂存衰变达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ ）后，交资质单位处置。

8 号车间及 10 号车间均设有去污专用去污洗手池及淋浴间，用于事故状况下生产线或实验区人员的去污。该去污洗手池及淋浴间产生的去污废水经地漏排入放射性特排管道，经管道收集至衰变池集中处理。

4.3.1.3 放射性固废

根据《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020），本项目放射性固废主要来自各放药生产线、放射性质检的沾污废弃原料瓶、反应瓶、一次性注射器等、含有放射性核素固废等，以及涉放区排风系统高效过滤装置定期更换产生的含有核素的废过滤芯。

（1）固废收集方式

放射性固体废物采取分核素收集、暂存的方式。

8 号车间及 10 号车间各放药生产线的后区（操作区）内拟各设 1 个 2L 不锈钢桶（防护铅当量为 20mmPb），收集生产过程中产生的放射性固体废物。放射质检区的各涉放实验室内拟按需配备 2L 的不锈钢桶（防护铅当量为 20mmPb），收集实验过程中产生的放射性固体废物。待容器装满时由转运小推车就近运至所在各楼层的放射性废物库中的 20L 铅桶暂存衰变。

（2）放射性废物库暂存合理性分析

8 号车间放射性废物库总面积约 207m²，主要暂存 8 号车间产生的放射性废物和回收的 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器。其中，一层放废库 3 主要收集含碘的放射性废物，一层放废库 1、2 主要收集一层非含碘放射性废物；三层放废库 1、2 主要收集三层放药生产线以及质实验室产生的非培养基放废，三层放废库 3 主要收集质检区产生的沾污的培养基。10 号车间二层放射性废物库总面积约 52m²，主要暂存 10 号车间二层产生的放射性废物。

本项目放射性废物库暂存容积分析如下表所示：

表 4-11 放射性废物库库容分析

场所产污		年最大产生量	体积	处置周期	处置周期内所需库容面积	库容合理性分析
8号车间一层放废库 1、2	放药生产线放射性废水	70L	0.07m ³	180天	0.18	满足暂存需求
	放药生产线放射性固废	256kg	0.57m ³	180天	1.35	满足暂存需求

8号车间一层放废库3	¹³¹ I生产线放射性废水	40L	0.04m ³	180 天	0.09	满足暂存需求
	¹³¹ I生产线放射性固废	60kg	0.14m ³	180 天	0.36	满足暂存需求
8号车间三层放废库1、3	放射性固废	222.5kg	0.5m ³	180 天	1.17	满足暂存需求
	放射性废水	65L	0.065m ³	180 天	0.18	满足暂存需求
8号车间三层放废库2	放射性固废(含 ¹³¹ I)	30kg	0.07m ³	180 天	0.18	满足暂存需求
	放射性废水(含 ¹³¹ I)	20L	0.02m ³	180 天	0.09	满足暂存需求
10号车间二层放废库1、2	放射性废水	10L	0.01m ³	180 天	0.09	满足暂存需求
	放射性固废	60kg	0.14m ³	180 天	0.36	满足暂存需求
其他放射性废物	废活性炭过滤芯	840kg	1.87m ³	180天	2	满足暂存需求
	铅罐去污擦拭废纸	50kg	0.12m ³		0.27	满足暂存需求
	废弃材料和沾污衣物	50kg	0.12m ³		0.27	满足暂存需求
	工作人员应急去污擦拭固废	40kg	0.09m ³		0.27	满足暂存需求

注1：年废水及固废产生量见本报告表3-27所列；

注2：根据建设单位提供资料，本项目废滤芯密度约为400-500kg/m³，其他废物参考医疗废物密度国家统计结果平均值488.85kg/m³，本项目各类废物密度综合按450kg/m³计；

注3：废活性炭过滤芯、铅罐去污擦拭废纸、废弃材料和沾污衣物以及工作人员应急去污擦拭固废最大所需库容面积按含¹³¹I的放射性固废处理；

注4：放射性废水及放射性固废使用的铅罐体积约为20L，其尺寸为半径约为0.15m，高约为0.4m的圆柱体，占地面积约0.09m²/个；

注5：废活性炭过滤芯由2m³铅箱收集。

注6：本项目各类放射性核素的固废经过180天暂存衰变后均可解控作为一般固废或危废进行处置。

根据上述库容分析结果8号车间一层放废库1、2中放射性固废暂存所需面积最大为4.34m²（生产线放射性废物1.53m²+其他放射性废物2.81m²），放废库1、2面积满足放射性废物存放需求（65m²>4.34m²）。8号车间一层放废库3中放射性固废暂存所需面积最大为3.26m²（生产线放射性废物0.45m²+其他放射性废物2.81m²），放废库3面积满足放射性废物存放需求（35m²>3.26m²）。8号车间三层放废1、3中放射性固废暂存所需面积最大为4.16m²（生产线放射性废物1.35m²+其他放射性废物2.81m²），放废库1、3面积满足放射性废物存放需求（48m²>4.16m²）。8号车间三层放废2中放射性固废暂存所需面积最大为3.08m²（生产线放射性废物0.27m²+其他放射性废物

2.81m²），放废库 2 面积满足放射性废物存放需求（28m²>3.08m²）。10 号车间二层放废库 1、2 中放射性固废暂存所需面积最大为 3.26m²（生产线放射性废物 0.45m²+其他放射性废物 2.81m²），放废库 1、2 面积满足放射性废物存放需求（52m²>3.26m²）。

（3）固废最终处置去向

产生的放射性固废属于《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》（原环境保护部，2017 年第 65 号）中的极短寿命放射性废物（仅含有核素的半衰期小于 100 天）和低水平放射性废物。

按固废中所含放射性核素的种类、半衰等特性进行分类收集、分别处理：

①仅含有 ¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存时间超过 180 天，经检测辐射剂量满足β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可清洁解控作为一般固废处理。

②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，经检测辐射剂量满足β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可清洁解控作为一般固废处理。

各类放射性固废达清洁解控水平后，最终去向如下：

外购的废 ⁹⁹Mo（^{99m}Tc）发生器单独收集，交发生器生产厂家回收处置。

自产的 ⁹⁹Mo（^{99m}Tc）发生器到达使用期限后在使用方暂存至清洁解控水平后回收拆解作危废处置。

达清洁解控水平的各放药生产线、放射性质检产生的废分装套件（输送软管、输送针头等）、废滴定枪头、废储液瓶、一次性滤膜、不合格产品及废劳保（口罩、手套等），交当地环卫部门清运。

达清洁解控水平的废水相色谱检验样品溶液、混有乙腈的废样品溶液、废过滤器芯等，及短半衰期核素产生的离子交换柱按《国家危险废物名录（2025 版）》中“HW49 其他废物”中“900-047-49 具有危险特性的残留样品”类，达清洁解控水平后交由相应资质单位处理。

此外，参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中固体放射性废物的管理要求，建设单位在营运期还应采取以下措施：

①含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

②放射性废物每袋重量不超过 20kg，装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

③放射性废物暂存间内不同类别的废物应分开存放。放射性废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

④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 β 和 γ 发射体及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm^2 ，其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm^2 。

4.3.2 非放污染治理措施

(1) 废气治理

本项目产生的非放射性废气主要有少量酸雾、挥发性有机物，各生产线辅助区设置有独立的非放射性排风系统，所有非放射性排气管道均引至高处（约 30m）直接排放。

(2) 废水治理

根据污染源项分析，本项目非放废水包括非放工艺用水和生活污水。

治理措施

根据 3.3.3 章节污染源项分析，空铅罐清洗废水产生量约 $2.25\text{m}^3/\text{d}$ ($562.5\text{m}^3/\text{a}$)，实验前空器皿清洗废水产生量约 $0.27\text{m}^3/\text{d}$ ($67.5\text{m}^3/\text{a}$)，洁净服清洗废水产生量约 $1.35\text{m}^3/\text{d}$ ($337.5\text{m}^3/\text{a}$)；生活污水排放量为 $9.22\text{m}^3/\text{d}$ ($2304\text{m}^3/\text{a}$)，生产线清洁废水产生量约 $1.5\text{m}^3/\text{d}$ ($375\text{m}^3/\text{a}$)，纯水制备废水产生量约 $0.7\text{m}^3/\text{d}$ ($175\text{m}^3/\text{a}$)。

生产废水经厂区及园区生产废水管网进入核医疗产业园污水处理厂处理达标后排放。

废水处理措施的可行性

根据《中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划》，本项目生产废水及生活污水经核医疗健康产业园污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入芙蓉溪。

核医疗健康产业园污水处理厂设计生产污水处理能力 $1500\text{m}^3/\text{d}$ （拟分两期建设，一期建设 $500\text{m}^3/\text{d}$ ，二期建设 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ），办公及生活污水沉淀池 1000m^3 。本项目外排的非放工艺废水主要为含少量 SS 的清洗废水和生活污水，水质成分简单，易于处理，且排放的非放类生产废水总量为 $5.64\text{m}^3/\text{d}$ ，生活污水产生量为 $9.22\text{m}^3/\text{d}$ ，只占污水处理厂一期处理能力极小部分。可见，核医疗健康产业园污水处理厂可满足本项目污水处理需求。

综上，核医疗健康产业园污水处理厂从处理工艺到处理能力都能满足本项目排放

污水处理需求，本项目进入核医疗健康产业园污水处理厂处理可行。

（3）噪声治理

项目生产设备均为低噪声设备，主要噪声源于空调机组和通排风机组运行。项目拟采用管道消声（空调系统设置消声器或消声静压箱）、减振安装、增加软管接头和利用建筑物隔声等措施减轻噪声影响。

（4）固废治理

一般固废

生活垃圾：办公区设垃圾桶，生活垃圾袋装收集后，定期交由环卫部门统一收运处置。

非放射性工艺固体废物：本项目非放固废主要包括废包装材料、非放射性沾染的一次性口罩、手套、擦拭物等。建设单位对产生的非放射性固体废弃物实行最大程度的资源化利用和分类处置，对可回收的固体废物交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后交由环卫部门统一收运处置。

危险废物

本项目危险废物主要是有机废液、废酸、废碱、空化学试剂瓶属于《国家危险废物名录（2025 版）》中“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，以及沾染上述物质的一次性实验用品、包装物等”，清洁解控的活性炭过滤器属于《国家危险废物名录（2025 版）》中的“HW49 其他废物-非特定行业-900-039-49 化学原料和化学制品净化过程产生的废活性炭”，该部分危险废物产生量很小，就地存放在相应房间中单独的废物桶中，定期交由有资质单位进行收集处理。

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。

4.4.1 设计阶段对退役设施的考虑

（1）本项目各类同位素生产车间、涉放实验区均设置相对独立的场所，且对于易挥发和易撒漏的放射性物质均局限在空间较小的操作台或热室内操作，尽可能减少非密封放射性物质的扩散，并减小污染区域的面积；

（2）车间地面铺设均采用了易拆性、易去污的环氧自流平地，且墙角作圆角处理，

防止撒漏放射性物质扩散到土壤中；

（3）项目设置了专用放射性固废间和放射性废水处理设施，对放射性废物进行分类、集中处理，并采用先进工艺，尽可能减少“三废”的产生量、处理量、排放量和存量。

4.4.2 退役环保措施

（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文件，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。

5 环境影响分析

5.1 施工期环境影响评价

5.1.1 施工期大气环境影响分析

本项目废气主要来源于土建施工阶段产生的施工扬尘，以及和施工机械废气。

(1) 施工扬尘

施工期大气污染源主要有工程建筑施工及车辆运输产生的施工扬尘，施工扬尘产生主要来源于建筑材料（水泥、砂子、石子等）搬运及堆放、土方挖填及现场堆放、施工运输车辆行驶等。

为了使项目施工期满足《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）要求，尽可能减小对周围大气环境的影响，施工期应做到以下措施：

①施工前须制定控制工地扬尘方案，施工期间接受相关部门的监督检查，采取有效防尘措施。

②施工工艺要求：砂石骨料加工在施工工艺上尽量采用湿法破碎的低尘工艺，施工场地在非雨天时适时洒水，最大程度地减少粉尘污染。

③风速四级以上易产生扬尘时，建议施工单位应暂停土方开挖，采取覆盖堆料、湿润等措施，有效减少扬尘污染。

④及时清运施工废弃物，暂时不能清运的应采取覆盖等措施，工程完毕后及时清理施工场地；

⑤湿法作业：工程围挡、基坑周边、建筑物四周应设置雾状喷淋。

⑥施工必须使用商品混凝土，禁止使用袋装水泥。

⑦施工运输车辆严禁不经过冲洗直接进入城市道路。

⑧建设工地施工现场应沿四周连续设置封闭围挡，做到“十必须”“十不准”。

通过采取合理措施，施工期 TSP 可满足《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020），可将项目施工的影响控制到尽可能小的范围。项目施工期产生的扬尘对环境的影响是暂时的，项目施工结束后，施工扬尘的影响即可消失。

(2) 机械施工废气

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_x 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，加之施工场地开阔，扩散条件良好，因此无需采取特别治理措施。

综上所述，项目的施工将会对项目所在地环境空气质量造成一定的影响，主要影响因子是施工扬尘。施工期通过严格落实施工场地围挡和湿法作业等降尘措施后，TSP可满足《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020），对周围大气环境影响较小。并且，施工期的粉尘影响为暂时性的，项目施工结束后，施工扬尘的影响即可消除。

5.1.2 施工期废水环境影响评价

施工期主要废水包括施工废水及施工人员生活污水。

（1）施工废水

施工期的生产废水主要来源于机械的冲刷、地面和车辆的冲洗以及桩基础施工中排出的泥浆等，该部分废水中的主要污染因子为COD、SS和石油类。项目占地面积较小，经类比分析，预计本项目施工废水的最大产生量约为 5m³/d。通过设置沉淀池对施工废水简易沉淀后重复利用，不外排，对环境几乎无影响。

（2）施工人员生活污水

本项目施工高峰期工人人数可达 50 人左右，由于项目不设施工营地，生活用水量按每人 0.1m³/d 计算，排放系数以 0.8 计，则生活污水排放量为 4.0m³/d，主要污染物为 COD、氨氮、BOD₅ 和 SS。

施工人员生活污水经临时卫生间下水管道接入园区污水管网排入城市污水处理厂处理达标后排放，对地表水环境影响轻微。

5.1.3 施工期声环境影响评价

项目施工期对声环境的影响主要是各种施工机械噪声和车辆行驶的交通噪声。施工过程中，大型机械设备和运输车辆的运行等都将产生较强的噪声。主要机械设备噪声值在 5m 处的源强见表 3-29。

点声源随传播距离增加引起的衰减按下式计算：

$$L_A = L_0 - 20 \lg (r_A / r_0) \quad \dots\dots\dots \text{（式 5-2）}$$

式中：L_A—计算点处的声压级，dB（A）；

L₀—噪声源强，dB（A）；

r₀—参考距离，m；

r_A—声源距计算点的距离，m。

根据各设备噪声源强声级，通过预测得出不同施工机械在不同距离处的噪声预测

值见下表。

表 5-1 主要施工机械噪声预测结果 (dB (A))

序号	声源	距离 (m)								评价标准 dB (A)		达标距离 (m)	
		5	10	20	40	80	120	160	200	昼间	夜间	昼间	夜间
1	液压挖掘机	90	86	80	74	68	64.4	62	60	70	55	63	355
2	轮式装载机	95	91	85	79	73	69.4	67	65	70	55	112	631
3	空压机	92	88	82	76	70	66.4	64	62	70	55	80	447
4	电锤	105	99	93	87	81	77.4	75	73	70	55	282	1600
5	重型运输车	90	86	80	74	68	64.4	62	60	70	55	63	355
6	角磨机	96	90	84	78	72	68.4	66	64	70	55	99	563
7	木工电锯	99	95	89	83	77	73.4	71	69	70	55	178	1000

由上表可知，单台施工机械噪声昼间最远在距声源 282m 以外可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》昼间标准限值（不超过 70dB (A)），夜间在 1600m 以外才可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》夜间标准限值（不超过 55dB (A)）。

施工期的噪声影响是短期的，项目建成后，施工期噪声的影响也随之结束。但是由于施工机械均为强噪声源，施工期间噪声影响范围较大。由项目外环境关系可知，项目周边 500m 范围内有散户住宅，且临近厂区有已建成的企业。为降低施工噪声对周边企业的影响，施工单位应采取以下措施，严格施工期管理，尽可能减小施工噪声对环境的影响：

①严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）对施工阶段的噪声要求。合理安排高噪声施工作业的时间，每天 22 点至次日晨 6 点禁止高噪声机械作业。因特种要求必须连续作业的，须有县级以上人民政府或者有关主管部门的证明，并且及时公告附近企业。

②优化高噪声施工机械布局，选用低噪声设备，以减少施工噪声。

③应注意对施工机械设备的维修和保养，使各种施工机械保持良好的运行状态。

经采取上述有效措施后，可大大降低项目施工噪声对周围环境的影响。

5.1.4 施工期固废影响评价

施工期固体废物主要包括基础开挖产生的弃土和施工建筑垃圾，以及施工人员产生的生活垃圾。

(1) 弃土

用地为政府提供的已平整净地，项目修建标准厂房的建筑物工程量较少，无地下层，因此土石方工程量不大。土建阶段预估土石方产生量约 1000m³，部分用于回填绿化后，产生的少量弃土运往当地建设部门指定场所处理。

(2) 建筑垃圾

建筑垃圾主要来自装修施工作业产生的废砂石和废建材等。根据施工行业经验估算，新建工程按每新建 100m² 建筑产生 0.5t 建筑垃圾计算，总建筑面积 20681.47m²，则建筑垃圾产生量约 103.4t；设备安装阶段废材料产生量约 1t。建筑垃圾收集堆放于指定地点，其中可回收的交由相关单位回收，其余运至当地相关部门指定填埋场处置。

(3) 生活垃圾

本项目施工高峰期工人人数为 50 人，生活垃圾产生量按 0.5kg/人.d 计，产生量为 25kg/d。生活垃圾定点集中收集后，交由环卫部门统一清运处理。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响是暂时性的，将随着施工期的结束而消除。只要工程在施工期严格执行相关环境保护措施，可以使施工期的环境影响降到最低程度。

5.2 运营期环境影响评价

5.2.1 运营期辐射环境影响

5.2.1.1 生产线运行期间贯穿辐射环境影响

本项目涉及使用的核素种类较多，包括β核素和γ核素，其中β核素产生的β粒子在遇到重质材料时会产生韧致辐射，由于本项目各生产线和实验室均采用重质材料铅进行屏蔽，β粒子穿透能量较弱，本次外照射剂量不考虑β射线辐射影响，主要考虑γ射线和韧致辐射的外照射影响。

(1) 职业人员贯穿外照射剂量估算公式

由于生产/质检过程中辐射源尺寸很小，故可视为点源。参考《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）γ射线点源的剂量率计算公式如下：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \tau}{H_p \times r^2}\right) \dots\dots\dots \text{(式 5-1)}$$

$$\text{推导得: } H_p = \frac{A \tau}{r^2} \times 10^{\left(-\frac{x}{TVL}\right)} \dots\dots\dots \text{(式 5-2)}$$

式中：A—放射源活度，MBq；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m²/h·MBq，取自 ICRP 107 数据库；

r—计算点与放射源之间的距离，m；

x —屏蔽层厚度, mm;

TVL —什值层厚度, 取值见 EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER 1,100 RADIONUCLIDES;

$\dot{H}_p$ —屏蔽体外关注点剂量率值, $\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 韧致射线贯穿辐射剂量率计算公式

β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射, 物质的原子序数越高, 所产生的韧致辐射越强。本次评价不考虑 β 射线与空气的相互作用, 保守地认为产生的韧致辐射均为 β 射线与热室箱体材料相互作用的结果。

参考《辐射防护导论》(方杰主编、李士骏主审, P133) 计算在距源 r 米处 β 粒子所致韧致辐射剂量率为:

$$D = \frac{4.58 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho)}{K} \dots\dots\dots \text{(式 5-3)}$$

其中: D —屏蔽体外韧致辐射的空气吸收剂量率, Gy/h ;

A —源的活度, Bq ;

Z —吸收 β 射线的屏蔽材料的有效原子序数;

E_b —韧致辐射的平均能量, 取值为入射 β 粒子的最大能量的 1/3, 单位为 MeV ;

r —预测点与源之间的距离, m ;

(μ_{en}/ρ) —平均能量 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m^2/kg ;

K —屏蔽材料的减弱倍数, K 值取自《辐射防护导论》附表 8:

d —屏蔽层厚度, mm;

TVL —什值层厚度。

(3) 外照射年受照剂量计算

$$E = 1000 \times \sum_i W_{Ri} \cdot W_{Ti} \cdot D_i \cdot t_i \dots\dots\dots \text{(式 5-5)}$$

式中: W_{Ri} —第 i 种放射性核素产生射线的辐射权重因子, 保守取 1;

W_{Ti} —第 i 种放射性核素产生射线的组织权重因子, 保守取 1;

D_i —第 i 种放射性核素屏蔽体外的空气吸收剂量率, Gy/h ;

t_i —第 i 种放射性核素的年操作时间, h 。

5.2.1.1.1 放药生产线

5.2.1.1.1.1 ^{131}I 口服液生产线

本生产线主要进行 ^{131}I 共口服液的生产，每天最大操作 ^{131}I $7.40\text{E}+12\text{Bq}$ ，每天生产 1 批次。

^{131}I 口服液生产期间操作位最大剂量率为 $3.87\text{E}-02\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位最大剂量率为 $3.87\text{E}-02\mu\text{Sv/h}$ ，低于本报告提出的正对操作位低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的剂量约束值。

5.2.1.1.1.2 ^{177}Lu 核素生产线

^{177}Lu 核素溶液生产期间操作位最大剂量率为 $3.83\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位最大剂量率为 $3.83\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ ，低于本报告提出的正对操作位低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的剂量约束值。

5.2.1.1.1.3 ^{177}Lu 注射剂线（8 号车间）

^{177}Lu 注射剂生产期间操作位最大剂量率为 $1.13\text{E}-05\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位最大剂量率为 $3.89\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，低于本报告提出的正对操作位低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的剂量约束值。

5.2.1.1.1.4 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器生产线

^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器生产期间操作位最大剂量率为 $1.11\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位最大剂量率为 $7.43\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ ，低于本报告提出的正对操作位低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的剂量约束值。

5.2.1.1.1.5 锝即时标记药物生产线

本生产线主要进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 锝即时标记药物的生产，每天最大操作 $^{99}\text{Mo}({}^{99\text{m}}\text{Tc})$ $7.40\text{E}+11\text{Bq}$ ，最大生产 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ $6.66\text{E}+11\text{Bq}$ ，每天生产 1 批次。

锝即时标记药物生产期间操作位最大剂量率为 $2.42\text{E}-16\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位最大剂量率为 $1.47\text{E}-16\mu\text{Sv/h}$ ，低于本报告提出的正对操作位低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对操作位低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的剂量约束值。

5.2.1.1.1.6 ^{177}Lu 注射剂线（10 号车间）

质检实验室在实验期间操作位最大剂量率为 $2.17\text{E}+00\mu\text{Sv/h}$ ，低于本报告提出的正对操作位低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5.2.1.1.2 外包及转运过程中的辐射环境影响

本项目产品满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的Ⅱ级（黄）型货包外表面（5cm 处）上任一点的最高辐射水平 $\leq 0.5\text{mSv/h}$ 的要求。

5.2.1.2 生产/质检过程中职业人员的影响分析

5.2.1.2.1 放药生产线

本项目辐射工作人员年最受照剂量为 $3.88\text{E-}01\text{mSv}$ ，低于本评价报告提出的 5mSv/a 的剂量约束值。

5.2.1.2.2 质检中心

本项目质检工作人员年受照剂量约为 $1.68\text{E-}02\text{mSv/a}$ 低于本环评报告提出的 5mSv/a 的剂量约束值。

5.2.1.2.3 楼上或楼下辐射工作人员

8 号车间及 10 号车间为多层建筑，不同楼层的辐射工作场所之间会产生相互影响。根据计算，本项目各生产线热室及质检中心设备操作位剂量率已低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，因此不再对辐射工作场所对其相邻楼层的其他辐射工作人员的辐射影响进行受照射剂量分析。

5.2.1.3 项目运行期间对公众的辐射环境影响

根据项目辐射污染源项及相应的照射途径分析，结合厂区布局及外环境关系可知，各放射性工作场所均设有门禁系统，正常营运期间禁止无关人员进入，故厂房内为职业照射。项目营运期正常工况下产生的放射性废水由建设单位收集贮存，达标排放或交由有资质单位处置。因此，营运期对公众照射剂量估算主要考虑气载流出物所致剂量。同时，本项目位于核医疗产业园内，根据现场踏勘及调查，评价范围内主要为工业企业和居民住宅，范围内公众主要为园区内各企事业单位的工作人员及周边居住人群，其饮用水取自市政供水管网供应。因此，本评价不考虑饮水造成的食入内照射途径，主要以烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气，评价的人群组为幼儿、青少年、成年。

（1）气载流出物源项

根据辐射排风系统设计，8 号车间共设 1 个放射性气载流出物排气筒（距地面约 30m 高）；10 号车间共设 1 个放射性气载流出物排气筒（距地面约 30m 高）。根据本

报告 3.4.1.1 节的放射性气载流出物源项分析，项目正常工况下排放的气载流出物汇总如下。

表 5-2 项目放射性气载流出物分析

序号	生产车间		核素	治理措施	排放量（Bq/a）
1	8号车间	⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发生器生产线	⁹⁹ Mo	经局排全排系统分别收集，再经有效的过滤措施后排放，综合过滤效率保守考虑取99%。	2.22E+09
2		¹⁷⁷ Lu核素生产线	¹⁷⁷ Lu		8.32E+09
			¹⁷⁵ Yb		1.39E+09
3		¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu		2.96E+08
4			¹³¹ I口服液生产线		¹³¹ I
5		质检中心	⁹⁹ Mo		7.40E+04
			¹⁷⁷ Lu		7.40E+05
	¹³¹ I		7.40E+06		
6	10号车间	¹⁷⁷ Lu注射剂生产线	¹⁷⁷ Lu		2.96E+08

注：源项详见报告3.4.1.1章节；

表 5-3 排放速率综合分析

核素	总排放量 (Bq/a)	排放速率 (Bq/s)
^{99}Mo	2.22E+09	7.04E+01
^{177}Lu	8.91E+09	2.83E+02
^{175}Yb	1.39E+09	4.41E+01
^{131}I	1.48E+10	4.70E+02

注：排放速率保守按年均排放考虑。

(2) 气载流出物所致公众剂量估算

①地面空气浓度计算模式

本次评价采用 AERMODSYSTEM 大气预测软件对气载流出物的落地浓度进行预测，AERMODSYSTEM 以 EPA 的 AERMOD 为核心模型开发的界面化大气模拟预测软件，考虑了预测点位当地气象和地形数据，提供了功能较强的数据分析，是一款基于 AERMOD 核心的新一代大气预测软件。

本次评价采用 30m 高排气筒（共 2 个）中心地面投影为原点，预测下风向具有等代表性距离处的气载流出物落地浓度。各核素落地浓度见下表。

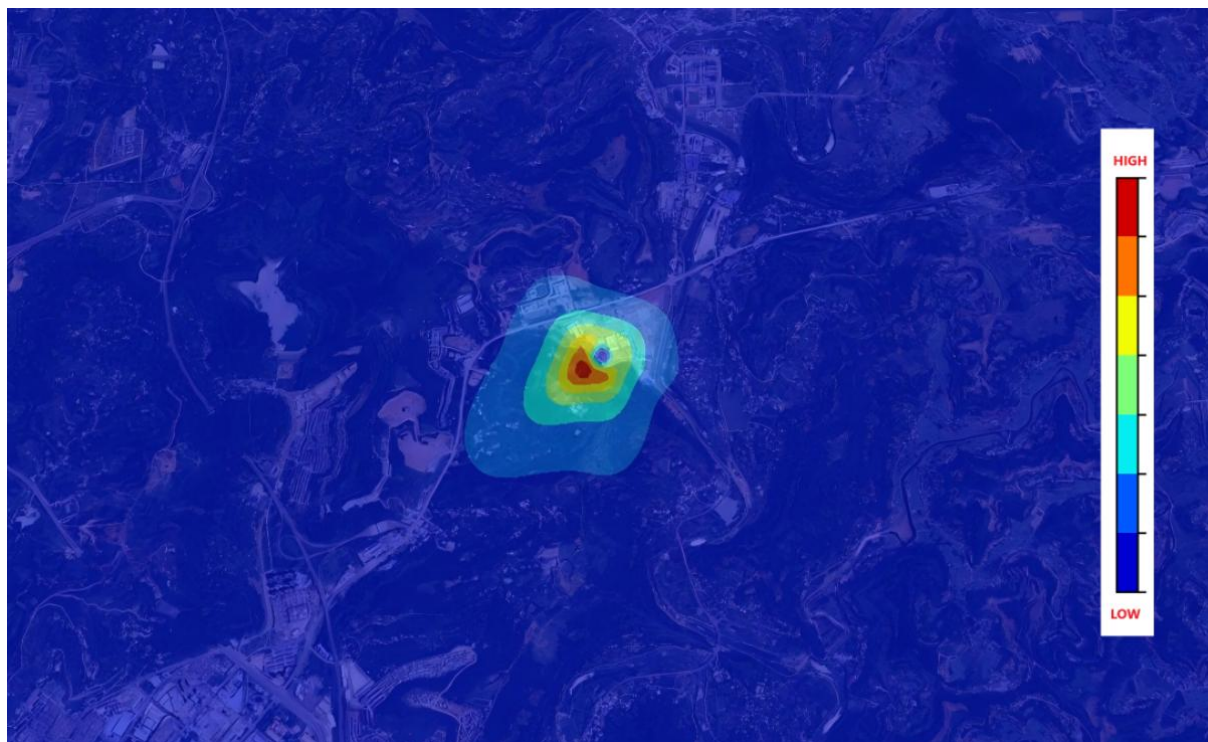


图 5-1 本项目地面落地浓度分布示意图

表 5-4 不同距离处各核素最大地面空气浓度 (Bq/m³)

距离/核素	⁹⁹ Mo	¹⁷⁷ Lu	¹⁷⁵ Yb	¹³¹ I
50	2.87E-05	1.15E-04	1.79E-05	1.91E-04
60	2.98E-05	1.20E-04	1.87E-05	1.99E-04
100	3.05E-05	1.23E-04	1.91E-05	2.04E-04
150	3.34E-05	1.34E-04	2.09E-05	2.23E-04
200	3.75E-05	1.51E-04	2.35E-05	2.51E-04
300	4.54E-05	1.83E-04	2.84E-05	3.03E-04
500	6.78E-05	2.73E-04	4.25E-05	4.53E-04
1000	6.75E-05	2.71E-04	4.23E-05	4.51E-04
1500	1.69E-05	6.79E-05	1.06E-05	1.13E-04
2000	8.03E-06	3.23E-05	5.03E-06	5.36E-05
2500	6.55E-06	2.63E-05	4.10E-06	4.37E-05
3000	5.82E-06	2.34E-05	3.64E-06	3.88E-05

②公众受照剂量估算

◆ 空气浸没外照射

空气浸没外照射采用半无限烟云模式，保守地假设受照个人无屏蔽而且全部时间停留在野外：

$$D_i^{in} = C_{Ai} \cdot DF_{in} \cdot Q_f \dots\dots\dots (式 5-12)$$

式中： C_{Ai} —核素 i 的地面空气浓度，Bq/m³；

DF_{in} —核素 i 的空气浸没外照射有效剂量转换因子，（Sv·a⁻¹）/（Bq·m³）；

Q_f —浸没在 C_{Ai} 浓度下的年时间份额，保守认为 Q_f 取 1。

◆ 地面沉积外照射所致剂量估算模式

采用常规计算模式，不考虑屏蔽和居留时间份额，按下式计算：

$$H_{bi} = 3600 \cdot G_{gi} \cdot K_{br} \cdot g_{bi} \cdot b \dots\dots\dots (式 5-13)$$

$$G_{gi} = (V_d + V_w) Q_i \dots\dots\dots (式 5-14)$$

$$K_{br} = [1 - \exp(-(\lambda_i + \lambda_m) \cdot t_b)] / (\lambda_i + \lambda_m) \dots\dots\dots (式 5-15)$$

式中： H_{bi} —沉积在地面上的放射性核素 i 产生的外照射有效剂量，Sv·a⁻¹；

G_{gi} —放射性核素 i 在地面上的全年平均沉积率，Bq·（m²·s）⁻¹；

V_t —总沉积速度，m/s； $V_t = V_d + V_w = 1000\text{m/d} = 0.0116\text{m/s}$ ；

V_d —干沉积速度，m/s；

V_w —湿沉积速度，m/s；

Q_i —核素 i 的地面空气浓度，Bq/m³；

g_{bi} —放射性核素 i 的地面辐射产生的外照射有效剂量转换因子，（Sv·a⁻¹）/（Bq·m⁻²）；

b —考虑地面粗糙度和渗透到深层土壤的校正因子。保守地取 $b=1$ ；

λ_i —核素 i 的衰变常数，h⁻¹；

λ_m —核素在陆地环境中的去除常数，h⁻¹；

t_b —核素在地面上的沉积时间，h，保守取 30 年。

表 5-5 核素在陆地环境中的去除常数取值

元素	λ_m (h ⁻¹)
----	--------------------------------

阴离子（如TcO ₄ 、Cl ⁻ 、I ⁻ ）	1.4E-03
Sr和Cs	1.4E-04
其余元素（包括非阴离子形态的Tc和I）	0

注：数据来源IAEANA.19 TABLEX

◆ 吸入内照射所致剂量估算模式

$$D_i^{inh} = C_{Ai} R_{inh} DF_{inh} \dots\dots\dots \text{(式 5-16)}$$

式中：

C_{Ai} —核素 i 的地面空气浓度，Bq/m³；

R_{inh} —呼吸率，m³/a；查 IAEANo.19 表 14，成人呼吸率取 8400m³/a，青少年 5500 m³/a，幼儿 1400 m³/a；

DF_{inh} —吸入内照射剂量转换因子，Sv/Bq。

本项目相关核素各种照射剂量转换因子取值汇总见下表

表 5-6 本项目相关核素各照射剂量转换因子

核素	烟云浸没外照射 (Sv·Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·m ³)			地面沉降外照射 (Sv·Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·m ²)			吸入内照射 (Sv/Bq)		
	幼儿	少年	成人	幼儿	少年	成人	幼儿	少年	成人
⁹⁹ Mo	9.55E-15	8.6E-15	7.62E-15	1.64E-16	1.52E-16	1.42E-16	4.8E-09	1.70E-09	9.90E-10
¹⁷⁷ Lu	2.12E-15	1.86E-15	1.62E-15	2.91E-17	2.63E-17	2.24E-17	5.70E-09	1.70E-09	1.20E-09
¹³¹ I	2.15E-14	1.92E-14	1.69E-14	3.03E-16	2.74E-16	2.44E-16	7.20E-08	1.90E-08	7.40E-09
¹⁷⁵ Yb	2.37E-15	2.11E-15	1.85E-15	3.31E-17	2.99E-17	2.64E-17	2.50E-09	9.80E-10	6.50E-10

计算结果见下表：

表 5-7 成人组计算结果一览表（mSv/a）

距离/ 核素	⁹⁹ Mo			¹⁷⁷ Lu			¹⁷⁵ Yb			¹³¹ I		
	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射
50	2.19E-16	2.58E-18	2.39E-07	1.86E-16	6.74E-19	1.16E-06	3.31E-17	1.96E-19	9.77E-08	3.23E-15	1.01E-17	1.19E-05
60	2.27E-16	2.68E-18	2.48E-07	1.94E-16	7.04E-19	1.21E-06	3.46E-17	2.05E-19	1.02E-07	3.36E-15	1.05E-17	1.24E-05
100	2.32E-16	2.74E-18	2.54E-07	1.99E-16	7.21E-19	1.24E-06	3.53E-17	2.10E-19	1.04E-07	3.45E-15	1.08E-17	1.27E-05
150	2.55E-16	3.00E-18	2.78E-07	2.17E-16	7.86E-19	1.35E-06	3.87E-17	2.29E-19	1.14E-07	3.77E-15	1.18E-17	1.39E-05
200	2.86E-16	3.37E-18	3.12E-07	2.45E-16	8.85E-19	1.52E-06	4.35E-17	2.58E-19	1.28E-07	4.24E-15	1.33E-17	1.56E-05
300	3.46E-16	4.08E-18	3.78E-07	2.96E-16	1.07E-18	1.84E-06	5.25E-17	3.12E-19	1.55E-07	5.12E-15	1.60E-17	1.88E-05
500	5.17E-16	6.10E-18	5.64E-07	4.42E-16	1.60E-18	2.75E-06	7.86E-17	4.66E-19	2.32E-07	7.66E-15	2.40E-17	2.82E-05
1000	5.14E-16	6.07E-18	5.61E-07	4.39E-16	1.59E-18	2.73E-06	7.83E-17	4.64E-19	2.31E-07	7.62E-15	2.39E-17	2.80E-05
1500	1.29E-16	1.52E-18	1.41E-07	1.10E-16	3.98E-19	6.84E-07	1.96E-17	1.16E-19	5.79E-08	1.91E-15	5.98E-18	7.02E-06
2000	6.12E-17	7.22E-19	6.68E-08	5.23E-17	1.89E-19	3.26E-07	9.31E-18	5.52E-20	2.75E-08	9.06E-16	2.84E-18	3.33E-06
2500	4.99E-17	5.89E-19	5.45E-08	4.26E-17	1.54E-19	2.65E-07	7.59E-18	4.50E-20	2.24E-08	7.39E-16	2.31E-18	2.72E-06
3000	4.43E-17	5.23E-19	4.84E-08	3.79E-17	1.37E-19	2.36E-07	6.73E-18	4.00E-20	1.99E-08	6.56E-16	2.05E-18	2.41E-06

表 5-8 青少年组计算结果一览表 (mSv)

距离/ 核素	⁹⁹ Mo			¹⁷⁷ Lu			¹⁷⁵ Yb			¹³¹ I		
	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射
50	2.47E-16	2.76E-18	2.68E-07	2.14E-16	7.92E-19	1.08E-06	3.78E-17	2.23E-19	9.65E-08	3.67E-15	1.14E-17	2.00E-05
60	2.56E-16	2.87E-18	2.79E-07	2.23E-16	8.26E-19	1.12E-06	3.95E-17	2.32E-19	1.01E-07	3.82E-15	1.18E-17	2.08E-05
100	2.62E-16	2.94E-18	2.85E-07	2.29E-16	8.47E-19	1.15E-06	4.03E-17	2.37E-19	1.03E-07	3.92E-15	1.21E-17	2.13E-05
150	2.87E-16	3.22E-18	3.12E-07	2.49E-16	9.23E-19	1.25E-06	4.41E-17	2.60E-19	1.13E-07	4.28E-15	1.33E-17	2.33E-05
200	3.23E-16	3.61E-18	3.51E-07	2.81E-16	1.04E-18	1.41E-06	4.96E-17	2.92E-19	1.27E-07	4.82E-15	1.49E-17	2.62E-05
300	3.90E-16	4.37E-18	4.24E-07	3.40E-16	1.26E-18	1.71E-06	5.99E-17	3.53E-19	1.53E-07	5.82E-15	1.80E-17	3.17E-05
500	5.83E-16	6.53E-18	6.34E-07	5.08E-16	1.88E-18	2.55E-06	8.97E-17	5.28E-19	2.29E-07	8.70E-15	2.69E-17	4.73E-05
1000	5.81E-16	6.50E-18	6.31E-07	5.04E-16	1.87E-18	2.53E-06	8.93E-17	5.26E-19	2.28E-07	8.66E-15	2.68E-17	4.71E-05
1500	1.45E-16	1.63E-18	1.58E-07	1.26E-16	4.67E-19	6.35E-07	2.24E-17	1.32E-19	5.71E-08	2.17E-15	6.72E-18	1.18E-05
2000	6.91E-17	7.73E-19	7.51E-08	6.01E-17	2.22E-19	3.02E-07	1.06E-17	6.25E-20	2.71E-08	1.03E-15	3.19E-18	5.60E-06
2500	5.63E-17	6.31E-19	6.12E-08	4.89E-17	1.81E-19	2.46E-07	8.65E-18	5.10E-20	2.21E-08	8.39E-16	2.60E-18	4.57E-06
3000	5.01E-17	5.60E-19	5.44E-08	4.35E-17	1.61E-19	2.19E-07	7.68E-18	4.53E-20	1.96E-08	7.45E-16	2.31E-18	4.05E-06

表 5-9 幼儿组计算结果一览表 (mSv)

距离/ 核素	⁹⁹ Mo			¹⁷⁷ Lu			¹⁷⁵ Yb			¹³¹ I		
	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射	浸没外照射	地面沉积	吸入内照射
50	2.74E-16	2.98E-18	1.93E-07	2.44E-16	8.76E-19	6.60E-07	3.31E-17	1.96E-19	1.63E-08	4.11E-15	1.26E-17	1.93E-05
60	2.85E-16	3.10E-18	2.00E-07	2.54E-16	9.14E-19	6.89E-07	3.46E-17	2.05E-19	1.70E-08	4.28E-15	1.31E-17	2.01E-05
100	2.91E-16	3.17E-18	2.05E-07	2.61E-16	9.37E-19	7.06E-07	3.53E-17	2.10E-19	1.74E-08	4.39E-15	1.34E-17	2.06E-05
150	3.19E-16	3.47E-18	2.24E-07	2.84E-16	1.02E-18	7.69E-07	3.87E-17	2.29E-19	1.90E-08	4.79E-15	1.47E-17	2.25E-05
200	3.58E-16	3.89E-18	2.52E-07	3.20E-16	1.15E-18	8.67E-07	4.35E-17	2.58E-19	2.14E-08	5.40E-15	1.65E-17	2.53E-05
300	4.34E-16	4.72E-18	3.05E-07	3.88E-16	1.39E-18	1.05E-06	5.25E-17	3.12E-19	2.58E-08	6.51E-15	1.99E-17	3.05E-05
500	6.47E-16	7.04E-18	4.56E-07	5.79E-16	2.08E-18	1.57E-06	7.86E-17	4.66E-19	3.87E-08	9.74E-15	2.98E-17	4.57E-05
1000	6.45E-16	7.01E-18	4.54E-07	5.75E-16	2.06E-18	1.56E-06	7.83E-17	4.64E-19	3.85E-08	9.70E-15	2.96E-17	4.55E-05
1500	1.61E-16	1.76E-18	1.14E-07	1.44E-16	5.17E-19	3.90E-07	1.96E-17	1.16E-19	9.65E-09	2.43E-15	7.43E-18	1.14E-05
2000	7.67E-17	8.34E-19	5.40E-08	6.85E-17	2.46E-19	1.85E-07	9.31E-18	5.52E-20	4.58E-09	1.15E-15	3.52E-18	5.40E-06
2500	6.26E-17	6.80E-19	4.40E-08	5.58E-17	2.00E-19	1.51E-07	7.59E-18	4.50E-20	3.73E-09	9.40E-16	2.87E-18	4.40E-06
3000	5.56E-17	6.04E-19	3.91E-08	4.96E-17	1.78E-19	1.34E-07	6.73E-18	4.00E-20	3.31E-09	8.34E-16	2.55E-18	3.91E-06

表 5-10 各核素对不同距离所致剂量统计 (mSv)

距离/ 核素	⁹⁹ Mo			¹⁷⁷ Lu			¹⁷⁵ Yb			¹³¹ I		
	幼儿	青少年	成年	幼儿	青少年	成年	幼儿	青少年	成年	幼儿	青少年	成年
50	1.93E-07	2.68E-07	2.39E-07	6.60E-07	1.08E-06	1.16E-06	1.63E-08	9.65E-08	9.77E-08	1.93E-05	2.00E-05	1.19E-05
60	2.00E-07	2.79E-07	2.48E-07	6.89E-07	1.12E-06	1.21E-06	1.70E-08	1.01E-07	1.02E-07	2.01E-05	2.08E-05	1.24E-05
100	2.05E-07	2.85E-07	2.54E-07	7.06E-07	1.15E-06	1.24E-06	1.74E-08	1.03E-07	1.04E-07	2.06E-05	2.13E-05	1.27E-05
150	2.24E-07	3.12E-07	2.78E-07	7.69E-07	1.25E-06	1.35E-06	1.90E-08	1.13E-07	1.14E-07	2.25E-05	2.33E-05	1.39E-05
200	2.52E-07	3.51E-07	3.12E-07	8.67E-07	1.41E-06	1.52E-06	2.14E-08	1.27E-07	1.28E-07	2.53E-05	2.62E-05	1.56E-05
300	3.05E-07	4.24E-07	3.78E-07	1.05E-06	1.71E-06	1.84E-06	2.58E-08	1.53E-07	1.55E-07	3.05E-05	3.17E-05	1.88E-05
500	4.56E-07	6.34E-07	5.64E-07	1.57E-06	2.55E-06	2.75E-06	3.87E-08	2.29E-07	2.32E-07	4.57E-05	4.73E-05	2.82E-05
1000	4.54E-07	6.31E-07	5.61E-07	1.56E-06	2.53E-06	2.73E-06	3.85E-08	2.28E-07	2.31E-07	4.55E-05	4.71E-05	2.80E-05
1500	1.14E-07	1.58E-07	1.41E-07	3.90E-07	6.35E-07	6.84E-07	9.65E-09	5.71E-08	5.79E-08	1.14E-05	1.18E-05	7.02E-06
2000	5.40E-08	7.51E-08	6.68E-08	1.85E-07	3.02E-07	3.26E-07	4.58E-09	2.71E-08	2.75E-08	5.40E-06	5.60E-06	3.33E-06
2500	4.40E-08	6.12E-08	5.45E-08	1.51E-07	2.46E-07	2.65E-07	3.73E-09	2.21E-08	2.24E-08	4.40E-06	4.57E-06	2.72E-06
3000	3.91E-08	5.44E-08	4.84E-08	1.34E-07	2.19E-07	2.36E-07	3.31E-09	1.96E-08	1.99E-08	3.91E-06	4.05E-06	2.41E-06

表 5-11 项目对不同距离各核素叠加所致剂量合计（mSv/a）

距离/分组	幼儿	青少年	成人
50	2.02E-05	2.14E-05	1.34E-05
60	2.10E-05	2.23E-05	1.40E-05
100	2.15E-05	2.28E-05	1.43E-05
150	2.35E-05	2.50E-05	1.56E-05
200	2.64E-05	2.81E-05	1.76E-05
300	3.19E-05	3.40E-05	2.12E-05
500	4.78E-05	5.07E-05	3.17E-05
1000	4.76E-05	5.05E-05	3.15E-05
1500	1.19E-05	1.27E-05	7.90E-06
2000	5.64E-06	6.00E-06	3.75E-06
2500	4.60E-06	4.90E-06	3.06E-06
3000	4.09E-06	4.34E-06	2.71E-06

由上表可见，正常运行工况下，外排放射性气载流出物所致排气筒下风向 3000m 范围内的公众受照剂量在 $2.71\text{E}-06\sim 5.07\text{E}-05\text{mSv/a}$ 范围，低于本报告提出的公众剂量约束值 0.1mSv/a ；关键人群组为青少年，关键核素为 ^{131}I ，关键途径为吸入内照射。

5.2.1.4 放射性废水环境影响分析

本项目针对放射性废水采取分类收集、集中处理的方式，涉及的核素 ^{177}Lu 、 ^{131}I 等半衰期较短。在各放药及发生器生产线设置有 2L 不锈钢桶（铅当量 20mm）收集生产、质检过程中产生的有机和非有机放射性废水，待容器装满后转运至放射性废物库中暂存。

含有 ^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo 核素的非有机放射性废水，产生量约 $0.08\text{m}^3/\text{a}$ ，通过在生产线及放射质检区设置的放射性废水收集桶（2L，20mmPb）收集，待容器装满后封闭容器通过小推车转运至放射性废物库中的 20L 放射性废水暂存桶（ ^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo 核素非有机放射性废水暂存桶）内暂存其所含核素的 10 个半衰期，并经检测达标后，由主管部门认可后作为非放生产废水通过导管倒入园区生产废水管网进入核医疗产业园污水处理厂处理，最终排入芙蓉溪，对项目周围水环境影响较小。含 ^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo 核素的有机放射性废水，产生量约为 $0.065\text{m}^3/\text{a}$ ，通过设置在放射质检区的放射性废水收集桶（2L，20mmPb）收集后，转运至放射性废物库中的 20L 放射性废水暂存桶（ ^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo 核素有机放射性废水暂存桶）暂存其所含核素的 10 个半衰期，并经检测达标后，交由资质单位处置。

含有 ^{131}I 核素的非有机放射性废水，产生量约 $0.04\text{m}^3/\text{a}$ ，通过在生产线及放射质检区设置的放射性废水收集桶（2L，20mmPb）收集，待容器装满后封闭容器通过小推车转运至放射性废物库中的 20L 放射性废水暂存桶（ ^{131}I 核素非有机放射性废水暂存桶）暂存 180 天，并经检测达标后，由主管部门认可后作为非放生产废水通过导管倒入园区生产废水管网进入核医疗产业园污水处理厂处理，最终排入芙蓉溪，对项目周围水环境影响较小。含 ^{131}I 核素的有机放射性废水，产生量约为 $0.02\text{m}^3/\text{a}$ ，通过设置在放射质检区的放射性废水收集桶（2L，20mmPb）收集后，转运至放射性废物库中的 20L 放射性废水暂存桶（ ^{131}I 核素有机放射性废水暂存桶）暂存 180 天，并经检测达标后，交由资质单位处置。

综上所述，本项目各放药生产线及质检中心产生的放射性废水均通过暂存衰变解控后在主管部分的认可的情况下排放至芙蓉溪或委托外部有资质单位处置，对项目周

边水体环境影响较小。

5.2.1.5 放射性固体废物影响分析

本项目放射性固废主要来自各放药生产线、放射性质检的沾污废弃原料瓶、反应瓶、一次性注射器、含有放射性核素等，以及涉放区排风系统高效过滤装置定期更换产生的含有核素的废过滤芯。按照固废中的核素种类进行分类处置，具体分类情况如下所示。

(1) 含 ^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo 的固废

8 号车间和 10 号车间放药生产线、放射质检区含有 ^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固废由 2L 不锈钢桶（防护铅当量为 20mmPb）收集，收集后转运至工作场所所处楼层的放废库中暂存放射性固废所含核素的 10 个半衰期，并检测达标（ β 表面污染 $< 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表面积剂量率 $\leq 0.1\text{mSv}/\text{h}$ ），经审管部门认可后作为一般固废处置。

(2) 含 ^{131}I 的固废

8 号车间和 10 号车间放药生产线、放射质检区产生的含 ^{131}I 的放射性固废由 2L 不锈钢桶（防护铅当量为 20mmPb）单独收集，收集后转运至工作场所所处楼层的放射性废物库中暂存 180 天，并检测达标（ β 表面污染 $< 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表面积剂量率 $\leq 0.1\text{mSv}/\text{h}$ ）后，经审管部门认可作为一般固废处置。

(3) 其他放射性固废

^{177}Lu 核素生产线生产期间产生的废靶（铝靶+石英靶）采用专用容器收集，存放至 8 号车间 1 层放废库，定期委托有资质的单位处置。

(4) ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器

本项目 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器生产线生产并外售的发生器达到使用年限后，由使用单位将其送回建设单位，接收发生器后，通过小推车将其转移至就近放射性废物库中暂存达到解控水平（ β 表面污染 $< 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表面积剂量率 $\leq 0.1\text{mSv}/\text{h}$ ）后，在放射性废物中拆解回收作为危废交有资质单位处置。

综上所述，本项目放射性固废采取以上措施后可确保有效处置，对周边环境影响是可控的。

5.2.2 运营期非放射性环境影响

5.2.2.1 大气环境影响分析

本项目非放射性废气主要来源于质检中心实验使用的盐酸、磷酸和硝酸等挥发产

生的酸雾，以及乙醇产生的挥发性有机物。由于实验过程中酸性试剂和乙醇等试剂年用量较少，操作过程中酸雾、挥发性有机废气产生量较少，影响轻微。

5.2.2.2 声环境影响分析

(1) 噪声源

本项目噪声主要来源于机房通风系统机组运行噪声。本项目声源强度在 80dB(A) 左右，噪声控制措施主要是设备选型时选用低噪声设备，同时针对不同的噪声源采取减振、房间隔声等降噪措施。本项目主要设备噪声产生情况见下表。

表 5-12 本项目噪声排放一览表

工序/ 生产线	装置	噪声源	声源类型 (频发、 偶发等)	噪声源强		降噪措施		噪声排放值		持续时间/h
				核算方法	噪声值 dB(A)	工艺	降噪效果	核算方法	噪声值 dB(A)	
排风	室内排风机	排风机	频发	类比法	80	隔声、减震、风机进出口设软接头	6	类比法	74	8760
	屋顶排风	排风机	频发	类比法	80	基础减震	2	类比法	78	8760

(2) 预测模式

本次评价通过距离衰减和噪声叠加对噪声值进行预测，预测模式选用点源衰减模式和噪声叠加模式：

A、点声源影响预测公式：

$$L_{(r)} = L_{(r_0)} - 20 \lg(r/r_0) \quad \dots\dots (\text{式 5-17})$$

B、多源叠加公式：

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right) \quad \dots\dots (\text{式 5-18})$$

式中： $L_{(r)}$ ——距离噪声源 r 处的等效 A 声级值，dB(A)；

$L_{(r_0)}$ ——距离噪声源 r_0 处的等效 A 声级值，dB(A)；

r ——预测点距噪声源距离，(m)；

r_0 ——源强外 1m 处；

L ——总等效 A 声级值，dB(A)；

L_i ——第 i 个声源的等效 A 声压级值，dB(A)；

n ——声源数量。

(3) 声环境预测结果与评价

各高噪声源产生噪声经减振、机房隔声及距离衰减后，对东、南、西、北方向的厂界噪声影响预测结果见下表。

表 5-13 项目运行期噪声预测结果 单位：dB(A)

预测结果			预测点	厂界噪声			
				东	南	西	北
工程运行期噪声预测	昼	贡献值	42.2	40.1	44.5	43.9	
		标准值	65				
		超标情况	未超标	未超标	未超标	未超标	
	夜	贡献值	42.2	40.1	44.5	43.9	
		标准值	55				
		超标情况	未超标	未超标	未超标	未超标	
评价标准		《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准（昼 65dBA、夜 55dBA）					

本项目噪声源经减振、机房隔声及距离衰减后，对厂界四周的贡献值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）的 3 类标准，对周边声环境影响轻微。

5.2.2.3 废水环境影响

本项目非放废水包括非放生产废水和生活污水。其中，生产废水包括外购空铅罐在使用前清洗产生的清洗废水、放射性质检区在实验前对器皿清洗产生的清洗废水。

生产废水经厂区污水管网进入核医疗产业园污水处理厂处理达标后排放。生活污水经厂区污水管网进入核医疗产业园污水处理厂处理达标后排放。

根据本报告 3 章节分析可知，本项目外排非放生活污水总量为 9.22m³/d，生产废水产生量为 5.64m³/d，而核医疗产业园污水处理厂为本园区配套污水处理厂，日均处理水量可达到 500m³/d，且污水处理厂设计初已将本项目纳入容量范围，因此本项目废水经预处理后排入园区污水处理厂处理达标后排放是可行的，对区域地表水环境影响轻微。

5.2.2.4 固体废物环境影响

本项目非放射性固体废物包括工作人员产生的生活垃圾，以及放射性药物生产线、放射性药物、质检区产生的各类非放射性固体废物。其中，放射性药物生产线产生的非放射性固废主要是原辅料外包装废材（纸盒、塑料袋等）、产品外包发货环节产生的包装废材（纸箱、泡沫、塑料袋等）、一次性劳保用品（手套、口罩等）；质检区产生的非放射性固废主要是实验用溶液配置过程产生的废有机溶液、废培养基等活性物质、空试剂瓶等。

（1）一般固废

生活垃圾由办公区设置的垃圾桶收集后，定期交由环卫部门统一收运处置。

包装废材、一次性劳保用品（手套、口罩等）等分类收集，如纸箱等可回收的变卖废品收购站处置，不可回收的交市政环卫部门处理。

（2）危险废物

废有机溶剂等属于危险废物，危险废物由专用容器收集暂存于 8 号车间的危废暂存间，须交有资质单位进行处理。

综上，本项目产生的固体废物经妥善处理对周围环境影响较小。

5.2.2.5 地下水环境影响

本项目地下水污染防治措施和对策，坚持“源头控制、分区防治、污染监控、应急响应”的原则。为落实以上原则，本项目已实施清洁生产，最大程度实现了各类废物的循环利用，减少了污染物排放，并根据国家相关规定采取了防止和降低污染物跑、冒、滴、漏的措施，在日常巡检过程中，若发现防渗材料老化，会及时对材料进行维修更换。采用具有防腐蚀、不易破裂的容器作为放射性废水收集罐、放射性固废收集罐、危险废物收集容器，降低污染物跑、冒、滴、漏的风险。

目前，8 号车间及 10 号车间已对不同场所设计了分区防渗措施，其中各车间的放射性原料库及成品库、危废暂存间为重点防渗区，采用等效黏土防渗层 $Mb \geq 6.0m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$ 的措施。各车间的外包区、放药生产线、质检实验室为一般防渗区，采用等效黏土防渗层 $Mb \geq 1.5m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$ 的措施，其余场所为简单防渗区，采用一般地面硬化。

本项目已采取上述地下水防治措施，在项目营运期不会对地下水水质造成影响。

5.3 事故影响分析

5.3.1 事故分级

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）第四十条“根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级”，详见下表。

表 5-14 国务院令第 449 号辐射事故等级分级一览表

事故等级	危险结果
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	放射性物质泄漏，造成大范围（江河流域、水源等）放射性污染事故；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）	放射性物质泄漏，造成局部环境放射性污染事故；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)	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)	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控; 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。

根据《职业外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系,见下表。

表 5-15 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

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

本项目涉及生产、使用和销售非密封放射性物质。根据分析,本项目营运期间可能存在的辐射事故风险隐患如下表:

表 5-16 辐射事故识别一览表

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	8号车间、10号车间的各放药生产线、质检实验室	^{177}Lu 、 ^{131}I 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的4种核素及发生器	非密封放射性物质工作场所	β 射线、韧致辐射、 γ 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。
2	8号车间、10号车间的原料库成品库	所有放射性核素货包	非密封放射性物质	β 射线、韧致辐射、 γ 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 事故影响分析

5.3.3.1 放射性溶液误操作撒漏事故

(1) 事故情景

对于使用密封防护工作箱进行生产的各类生产线，以及使用手套箱的涉放质检进行高中活度实验操作时，放射性溶液撒漏不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。对于在质检，在防护通风橱等半开敞式环境下进行低活度实验操作时，可能会存在因人员误操作而导致放射性溶液撒漏对工作人员手部造成辐射影响。

◆ 假设工作人员因操作失误，导致盛装放射性核素溶液的容器被打翻或破碎，放射性核素溶液均匀溅射在操作人员手部表面，且操作人员未穿戴防护手套。

◆ 假设发生事故时撒漏量为单次实验的最大操作量。

◆ 假设发生事故后，工作人员立即进行去污处理，事故持续时间约 10min。

(2) 事故源强

放射性质检涉及操作的核素有 ^{177}Lu 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性核素。根据放射性核素衰变特性可知，本项目使用核素多为 β 衰变，因此本项目主要考虑 β 衰变核素的影响，根据能量、单次实验操作量等因素综合考虑，本次评价以 ^{131}I 作为代表分析。假设发生撒漏事故时，撒漏量为单次实验最大操作量 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ （放射性质检区，单次实验最大用量为 0.005Ci ）。假设放射性液体均匀洒在手部皮肤表面，受污染皮肤面积保守取 280cm^2 。保守考虑皮肤沾染量为总操作量的 100%，即皮肤沾染量为 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ 。

(3) 事故后果预测

根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing），不同放射性核素溅洒到手部时，每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见下表。

表 5-17 放射性溶液溅洒对手部造成的剂量估算

核素	单次最大操作活度 (Bq)	手部沾染活度 ($\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$)	每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)	全身受照剂量 (mSv)
^{131}I	$1.85\text{E}+08$	$6.61\text{E}+02$	1.62	$1.78\text{E}+01$	$1.78\text{E}-01$

注 1：根据《辐射安全手册》（潘自强主编）表 1.4，皮肤组织权重因子为 0.01，全身受照剂量=皮肤受照剂量/0.01。

注 2：事故中皮肤受照射剂量=单次最大操作活度/受污染皮肤面积*每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的辐射剂量率*事故时间（10min）

由上表可知，工作人员操作时洒漏所致皮肤最大受照剂量为 $1.78\text{E}+01\text{mSv}$ ，未超

过了《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 0.178mSv，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有效剂量 20mSv 限值，属于辐射事件。

5.3.3.2 防护屏蔽箱泄漏

（1）事故情景

假设防护屏蔽箱泄漏时，箱体内排风系统停止工作，气载流出物均匀分布在箱体内，通过泄漏点扩散至操作区，操作区的通排风系统仍正常运行。操作人员在不知情的情况下，在操作区持续进行生产操作。

评价保守考虑，防护屏蔽箱发生泄漏时，泄漏率达到 100%，即工作箱内的气体全部扩散到操作前区。考虑场所生产条件、不同照射途径的影响程度等因素，对于操作位的人员受照途径主要为吸入内照射。

本项目放射性药物生产、质检涉及操作的核素有 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等。根据本报告 3.4.1.1 章节气载流出物源性分析可知，外排气载流出物主要源自放射性药物生产。

事故持续时间保守按每日最大生产操作时间计。

（2）事故后果预测

屏蔽箱体泄漏事故所致职业人员受照剂量计算结果见下表。

表 5-18 屏蔽箱体泄漏事故所致职业人员受照射剂量计算结果

活动	核素	每批次最大操作量 (Bq)	每批次气溶胶最大产生量 (Bq)	核素浓度 (Bq/m ³)	事故持续时间 (h)	吸入剂量转换因子 (Sv/Bq)	操作区房间设计排风量 (m ³ /h)	吸入内照射 (mSv)
^{177}Lu 核素生产线	^{177}Lu	4.26E+12	4.26E+08	1.17E+04	7	1.00E-09	2590	1.97E-04
^{177}Lu 注射剂生产线 (8号车间)	^{177}Lu	1.48E+12	1.48E+08	6.98E+03	7	1.0E-09	3030	5.86E-02
^{131}I 口服液生产线	^{131}I	7.40E+12	7.40E+09	5.35E+05	5.2	7.60E-09	2660	2.54E+01
^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器线	^{99}Mo	1.11E+13	1.11E+09	1.45E+05	6	2.30E-10	3840	7.98E-02
^{177}Lu 注射剂生产线 (10号车间)	^{177}Lu	1.48E+12	1.48E+08	3.39E+04	7	1.0E-09	2180	8.15E-02

注 1：由于同种核素的中试生产线操作量小于正式生产线的操作量，故评价以正式生产线为主。保

守按日最大产生量计。事故持续时间按日最大生产时间计；保守考虑，泄漏到操作区的气载流出物浓度与屏蔽箱内浓度相同；

注 2：根据《γ辐射防护规定》（GB8703-88），成人取 $1.2\text{m}^3/\text{h}$ ；

注 3：核素浓度=每批次气溶胶最大操作量/（事故持续时间*操作区房间设计排风量），吸入内照射=核素浓度*事故持续时间*成人呼吸速率*吸入剂量转换因子

由上表结果可知，防护屏蔽箱泄漏事故状态下，事故持续期间对操作区人员造成的吸入内照射剂量最大为 $2.54\text{E}+01\text{mSv}$ ，高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员剂量限值 20mSv ，符合表 5-19 中对一般辐射事故（IV 级）的描述，故在发生防护屏蔽箱泄漏时，对工作人员影响属于一般辐射事故。

5.3.3.3 过滤系统失效事故影响分析

（1）事故情景假设

项目生产线各热室废气经局排一级活性炭过滤后，再经高效过滤装置处理后由排气筒排放；质检区使用的工作箱（如通风橱）内气体经局排收集后直接经高效过滤装置处理后由排气筒排放。

假设热室局排过滤与高效过滤装置同时失效后，在 24h 内发现并及时更换了过滤器，当天（单日最大操作时间 8h）产生的放射性气载流出物全部排入环境。

（2）事故源项

根据 5.2.5.2.15.2.1.1 节计算结果分析，选取影响最大核素（ ^{131}I ：影响最大）、影响最大途径（吸入内照射）、影响最大人群（青年），作为代表分析。根据 3.4.1.1 节污染源核算， ^{131}I 口服液生产车间最大操作量操作时产生的含 ^{131}I 气体为 $7.4\text{E}+09\text{Bq}$ ，未经过滤全部排入环境。

（3）事故后果预测及评价

在事故工况下，考虑到核素照射途径的影响大小，本次评价主要考虑吸入空气内照射途径对公众造成的影响，计算结果见表。

表 5-20 过滤系统失效事故所致公众受照剂量预测结果

距排放口距离 (m)	落地浓度 (Bq/m^3)	吸入内照射 (mSv)
50	$1.46\text{E}-01$	$1.53\text{E}-02$
60	$1.50\text{E}-01$	$1.57\text{E}-02$
70	$1.57\text{E}-01$	$1.64\text{E}-02$
80	$1.59\text{E}-01$	$1.66\text{E}-02$
100	$1.65\text{E}-01$	$1.72\text{E}-02$
150	$1.64\text{E}-01$	$1.71\text{E}-02$
200	$1.49\text{E}-01$	$1.56\text{E}-02$
250	$1.31\text{E}-01$	$1.37\text{E}-02$
300	$1.15\text{E}-01$	$1.20\text{E}-02$
350	$1.01\text{E}-01$	$1.06\text{E}-02$
400	$8.88\text{E}-02$	$9.28\text{E}-03$

450	7.86E-02	8.21E-03
500	7.01E-02	7.33E-03

根据表可以看出，在过滤器失效状态下，公众最大受照射剂量为 $1.72\text{E-}02\text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 1mSv 的剂量限值及本报告提出的 0.1mSv 的剂量约束值，因此在过滤器失效状态下，排放的气载性流出物对周围公众的辐射影响是可接受的，属于辐射事件。

5.3.3.4 非密封放射性物质丢失/被盗

（1）事故情景假设

由于正常情况下建设单位生产销售的产品或原料不会长时间暂存，因此暂存库内日常不会同时暂存较多货包，也就不可能同时丢失多个货包。本项目放射性药物包括Ⅰ级（白）和Ⅱ级（黄）货包，假设丢失 1 个Ⅱ级（黄）货包，丢失 1 天后找回。事故持续过程中货包按点源考虑，受照人员不考虑任何屏蔽措施。

（2）事故后果估算

根据本项目事故情景假设条件，结合《放射性物品安全运输规程》（GB11806 - 2019），货包表面 5cm 处最大剂量率不超过 $500\mu\text{Sv/h}$ 。距货包 0.3m~1.5m 范围内，不同事故持续时间内的人员受照剂量计算结果见下表。

表 5-21 非密封放射性物质丢失事故下不同时间不同距离处所致人员有效剂量

与货包距离	事故持续不同时间下的有效剂量（mSv）			
	10min	60min	240min	1440min
0.3m	1.11E-01	3.33E-01	1.00E+00	1.33E+00
0.5m	4.00E-02	1.20E-01	3.60E-01	4.80E-01
1m	1.00E-02	3.00E-02	9.00E-02	1.20E-01
1.5m	4.44E-03	1.33E-02	4.00E-02	5.33E-02

由上表可知，丢失 1 个Ⅱ级（黄）货包与货包 0.3m 距离接触 1440min 的情况下，人员所受剂量为 1.33mSv ，属于一般辐射事故。

5.3.4 辐射事故防范及应急措施

5.3.4.1 辐射事故防范

针对项目建设内容和事故风险源项，本项目拟采取的辐射事故防范及应急措施主要包括辐射安全管理、辐射防护设施及措施、事故预防措施三方面。

（1）辐射安全管理

①建设单位已成立辐射防护管理领导小组，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，针对项目特点拟制定辐射安全防护规章制度，并按照制度严格做好落实，并定期检查各种制度的贯彻落实情况。

② 拟制定放药生产操作规程，拟将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置，确保辐射工作人员按操作规程执行，并做好个人防护。

③ 根据项目可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等情况，拟制定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醒目位置。

④ 定期对各热室、通风橱和放射性气体排风过滤装置的安全防护效果和过滤效果等进行检查、检测及维护保养，对发现的隐患或问题立即整改，避免发生辐射事故。

⑤ 根据项目需要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应在其上岗前组织参加辐射安全与防护知识培训考核，确保辐射人员全部持证上岗。

⑥ 加强辐射工作场所控制区和监督区管理，通过“两区”划分和在控制区和监督区进出口附近设置电离辐射警告标识等措施，限制公众在监督区滞留。

(2) 辐射防护设施、措施

针对本项目可能发生的各种辐射事故，建设单位拟采取以下防范措施：

①放射性药物生产线：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放放射性溶液。各放射性药物生产线使用的屏蔽生产工作箱为不锈钢工作台面，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采购符合国家相关质量安全和辐射防护要求的屏蔽箱设备，定期对防护屏蔽箱的气密性、安全性等进行维保检查，发现问题及时进行维修。拟配备移动式气溶胶监测设备，定期开展自行巡测，并定期委托有资质的监测单位进行场所气溶胶监测。

③做好供电保障和备用电源配置，定期检查、维护供配电设备，保证供配电设施的正常运行。

④合理设置并定期检查通排风和过滤净化系统，在放射性废气排放口设人工取样口，定期取样监测，发现异常及时处理，保证净化系统运行正常。

⑤放射性原料、成品库：按要求落实库房屏蔽措施、安全监控及监测设备，做好管理。

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，可减少或避免辐射事故的发生，从而保证项目的正常运营，保障工作人员和公众的健康与安全。

(3) 事故预防措施

①预防放射性溶液泄漏事故

建设单位拟制定严格的放射性物质操作规程，并对上岗人员进行公司内部操作培训，同时辐射工作人员均通过辐射防护与安全培训考核，持证上岗；

②预防屏蔽箱泄漏导致的气溶胶逸散至操作区事故

建设单位拟制定辐射防护设施的维护保养制度，并定期对负压密闭屏蔽箱进行检修，同时为及时发现屏蔽箱泄漏，避免放射性气体逸散到操作间对人员造成误照射。建设单位拟配备移动式气溶胶监测设备或定期委托监测单位对车间放射性气溶胶进行监测；

③预防过滤系统失效事件

建设单位拟制定辐射防护设施的维护保养制度，定期在废气排放口取样进行监测，对过滤装置的过滤效率进行检查，效率达不到使用要求时，及时对过滤器滤芯进行更换；

④非密封放射性物质丢失事件

建设单位拟加强非密封放射性物质管理，拟建立完善的《非密封放射性物质管理台账》，明确放射性同位素的来源去向，同时本项目放射性废物库、原料库、成品库均拟设置 24h 监控系统，并拟设双人双锁，确保放射性同位素不外泄。

实行以上各种安全管理，辐射设施防护及事故预防措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员、公众的健康与安全。

5.3.4.2 安全保卫措施

为确保放射性核素的安全，本项目采用的安全保卫措施如下：

①防火措施：各生产线配备手提式干粉灭火器，各车间内部功能单元之间的墙体设计为不易燃材料，非密封性工作场所四周禁止易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

②防盗措施：公司的放射性核素存放于固定场所并实时监控。

③防抢和防破坏措施：项目运营后，放射性原料库及成品库和放射性废物暂存间

及各个放药车间为保安巡逻重点区域，加强巡视管理，以防遭到不法分子的破坏。

6 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

四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司成立了辐射安全与环境保护领导小组，组长由总经理担任，成员由公司各部门负责人担任。

辐射安全与环境保护领导小组主要职责应涉及以下几方面：

(1) 严格遵守和执行国家及四川省的辐射安全与环境保护的法律、法规；宣传国家和上级主管部门有关射线装置安全使用的方针、政策、法律法规、行业标准，落实安全措施，不断提高职工的劳动保护和安全防护意识；

(2) 接受上级及生态环境主管部门的管理和检查；

(3) 组织制定辐射应急预案。应急期间充分调动人力、物力资源，实施统一指挥，统一行动，最大限度减少辐射危害；

(4) 负责及时向上级和属地有关部门报告单位运营期内发生的辐射事故和事件；

(5) 根据单位辐射设备及防护环境实际情况，制定辐射防护与安全有关制度，并落实实施；

(6) 组织协调制定岗位责任制、安全操作规程，并督促检查有关各项制度与岗位责任制度的落实情况。

(7) 负责组织新上放射项目的安全和环境、职业卫生评价；

(8) 督促辐射工作场所及辐射工作人员个人剂量定期监测等工作，督促辐射工作人员定期参加辐射防护培训及参加职业健康体检，切实保障辐射工作人员及公众的辐射安全；

(9) 定期组织安全检查，发现重大安全隐患及时采取有效措施，防止事故发生。一般安全隐患要提出处理意见，落实整改措施。

6.1.2 辐射工作人员配备情况

本项目建成后拟定 48 名辐射工作人员。根据环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，本项目辐射工作人员应当通过辐射安全与防护考核，并考核合格持证上岗。

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》及《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）等规定：①项目所有辐射工作人员在上岗前，四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作；②所有辐射工作人员应在上岗前参加辐射安全与防护考核，考核合格持证上岗，并且公司应当建立并保存辐射工作人员考核取证档案。

6.2 辐射安全管理规章制度

与《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）对照，四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司辐射安全管理规章制度落实情况如下：

表 6-1 本项目辐射安全管理制度建立情况对照一览

序号	四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲要求的主要规章制度		本项目规章制度落实情况
	制度	具体制度要求	
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位成立了辐射安全与环境保护管理领导小组。
2	辐射工作场所安全管理规定（综合性文件）	根据单位具体情况制定辐射防护和安全保卫制度。	拟针对各生产线、质检中心制定《辐射安全管理规定》。
3	辐射工作设备操作规程	明确辐射工作人员的资质条件要求、装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施。重点是明确操作步骤、出束过程中必须采取的辐射安全措施。	拟制定各生产线操作规程、质检实验操作规程、产品运输操作规程。
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	明确辐射安全和防护设施维修计划、维修记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全和防护设施保持良好的工作状态。	拟针对项目生产及质检采取的辐射安全防护措施特点，制定《辐射安全防护设施维护与维修制度》，定期检修。
5	辐射工作人员岗位职责	明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任。	拟制定《辐射工作人员岗位职责》
6	辐射工作人员个人剂量管理	明确辐射工作人员剂量计佩戴、定期送检和个人剂量档案的管理，以及超约束值和超限值情况的上报和整改内容。	拟制定《辐射工作人员个人剂量管理制度》
7	放射源与射线装置台账管理制度	应记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。	拟制定同位素台账，并安排专人负责台账管理
8	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	对辐射工作场所和周边环境的辐射水平进行监测，明确监测点位、监测频次、监测报告或记录的档案管理。	拟根据本环评提出的环境监测方案，制定辐射工作场所和环境辐射水平监测方案，定期自行监测及每年委托有资质检测单位进行监测，并做好监测记录和档案保存工作。

9	监测仪器使用与校验管理制度	明确监测仪器仪表日常使用和维护保养相关规定。	拟制定。
10	辐射工作人员培训制度	明确培训对象、内容、周期、方式及考核的办法等内容。及时组织辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，辐射工作人员须通过考核后方可上岗。	本项目为新建项目，公司承诺在项目建成时按照有关要求组织所有辐射工作人员通过辐射安全与防护培训考核，确保辐射工作人员持合格证上岗。

本项目为新建项目，四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司应按上表要求制定各项辐射安全管理规章制度，并安排专人监督各项规章制度的执行情况。

根据《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：应将制度中《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，且上墙制度的尺寸不得小于400mm×600mm。

6.3 辐射监测

四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司拟根据《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》（HJ 61-2021）等相关规定，制定有环境监测方案，监测内容包括工作场所监测、流出物监测、环境监测、个人剂量监测。

6.3.1 工作场所监测

对于工作场所监测建设单位应进行定期和不定期监测，项目单位制定的定期监测内容及频次见表。

表 6-2 工作场所辐射环境监测表

工作场所	监测点位	监测项目	监测频次	备注
8号车间、10号车间	①各生产线、质检中心：区域内控制区与监督区内有代表性的点位，如生产车间的操作区、车间外相邻走廊；实验区中涉放人员操作位、与涉放实验室相邻的走廊等。	γ辐射空气吸收剂量率	1次/季	委托有相关检测资质单位
	②各源库、放射性废物库、成品暂存库、收发货厅：放射性废物桶的表面、库房外相邻走廊。		1周/次	自行监测
	③放射性废水衰变池上方			
	8号车间、10号车间的各放射性废气排气筒出口。	总β	1次/年	委托有相关检测资质单位

			1次/月	自行监测
	①各放药生产车间、放射质检区： 核素操作台面、设备表面、涉核生产区或实验区的墙壁与地面。 ②各源库、放射性废物库、成品暂存库、收发货厅： 设施的墙壁和地面、放射性废物桶和包装袋表面。 ③涉放操作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋和帽子等。	β表面污染	1次/年 各生产线、质检中心、涉放操作人员体表及工作服等： 生产区-每批次生产结束后测1次；质检区-每种核素实验结束后测1次。 各源库、放射性废物库、成品暂存库、收发货厅： 每次工作结束后。	委托有相关检测资质单位 自行监测

监测设备：公司自行监测应配备辐射监测仪，并保证仪器的准确性和可靠性。

监测质量保证：①公司应安排专人负责自行监测任务；②制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用有资质监测单位的监测数据与自有监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；③制定辐射环境监测管理制度。

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》及《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）等规定：①辐射工作场所环境监测结果应记录，并存档备案。②若发现异常情况，立即采取应急措施，停止辐射工作，查找原因。③从事自我监测的人员应具有辐射安全及环境监测的相关知识。自查监测结果和工作场所监测结果应作为年度自查评估报告的附件。

6.3.2 流出物监测

6.3.2.1 流出物排放监测

（1）放射性气载流出物监测

本项目外排放射性气载流出物核素包括 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等，项目拟购置气溶胶取样分析系统，以监测并记录放射性气溶胶的排放量和排放浓度。

①监测对象、监测项目

监测对象：放射性气载流出物

监测项目：1#排口：总β、 ^{131}I 的排放量和排放浓度；2#排口：总β

②监测点位

8号车间1个放射性气载流出物排气筒排口处（1#），10号车间1个放射性气载流出物排气筒排口处（2#）。

③监测方法

在各气载流出物排气筒的排放总管上设取样口进行取样监测，取样口设在过滤装

置后端、总排口距屋脊约 3 米处。同时，拟配有气溶胶取样监测设备对放射工作场所进行定期或不定期气溶胶浓度监测、记录。

④监测频次：运行期间自行监测一个季度一次，委托外部资质单位监测一年一次。

（2）液态流出物监测

①监测对象、监测项目

监测对象：放射性废水

监测项目：总 β

②监测点位

放射性衰变池排放口处；废水暂存铅罐排放前取样监测。

③监测方法

采用取样监测的方式，在排放前取样检测分析，水质符合《污水综合排放标准》（GB8978-1996）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的排放要求后，排入厂区污水管网。

④监测频次：每次排放前。

6.3.2.2 过滤器效率监测

每半年对高效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，当在线取样监测数据异常时，及时更换过滤装置。

6.3.3 环境监测

6.3.3.1 辐射环境监测

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中“5.3.1 应用非密封放射性物质”的辐射环境监测要求，本项目辐射环境监测应包括应用前和应用期间两个时段，拟委托有资质单位实施。具体监测计划列于下表。

表 6-3 辐射环境监测内容

监测对象	监测项目	监测点位	监测频次	备注
γ 辐射	γ 辐射空气吸收剂量率	以8号车间、10号车间为中心，半径50~300m以内，详细点位可参照表6-2场所 γ 辐射监测点位。	1次/季	根据HJ61-2021表9要求： 甲级场所1次/季。
土壤	^{131}I 、总 β 等	以8号车间、10号车间为中心，半径50~300m以内。	1次/年	关注项目对环境有影响的应用核素，若核素难以分析，以总放替代

废水	总 β	放射性废水衰变池的排放口	每次排放前	/
废气	总 β 、 ^{131}I 、	放射性废气排放口	1次/年	关注项目对环境有影响的应用核素，若核素难以分析，以总放替代
放射性固废	γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染	8号车间、10号车间内的各放射性固废暂存间内；放射性固废收储容器外表面。	1次/年	/

6.3.3.2 非放环境监测

本项目为放射性药物生产项目，运营期主要环境影响因素为电离辐射，主要非放类环境影响因素为噪声，按照相关导则规范，运营期非放环境监测计划见下表。

表 6-4 非放环境监测内容

监测对象	监测项目	监测点位	监测频次
厂界环境噪声	等效连续A声级	东南西北侧厂界外1m	1次/年

6.3.4 个人剂量监测

本项目建成运行后，每名辐射工作人员均配备个人剂量计。建设单位应定期（每季度一次）将个人剂量片送有资质单位进行检定，并按《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。根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》及《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）等规定：①应为每位辐射工作人员建立个人剂量档案，并终生保存。②对于某一季度个人剂量检测数据超过1.25mSv的辐射工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。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。

6.3.5 监测设备

根据前述监测计划，本项目拟配置的监测设备见下表。

表 6-5 监测设备配置表

序号	监测项目	设备	数量
1	个人剂量	个人剂量计	48个

2	γ 辐射	在线剂量率监测仪	26个
3	β 表面沾污	表面沾污检测（挂墙）	19个
4		手脚沾污检测	7个
5	气溶胶	气溶胶取样系统	1套
6	总 β	液态流出物取样监测设备	1套

6.4 辐射事故应急

建设单位拟制定《辐射事故应急预案》，其内容应包括有目的、使用范围、职责分工、事故处理程序、应急总结、事故预防措施、应急设备及保障、记录与报告、通讯等内容，具体内容如下：

6.4.1 应急响应机构

6.4.1.1 应急组织机构

建设单位成立有辐射事故应急小组，由公司总经理为总指挥、副总经理为副总指挥，成员由辐射安全部经理、综合部负责人、生产负责人和质量负责人等相关人员组成。

6.4.1.2 应急组织机构职责

（1）应急总指挥职责

- ①贯彻落实国家有关应急管理的法律法规；
- ②负责公司辐射事故（事件）的应急响应的指挥。
- ③领导和保证应急预案可随时启动，保证应急响应所需的足够的人力和物资。
- ④发生重大辐射安全事故时，负责及时向有关行业行政主管部门报告。

（2）应急副总指挥职责

- ①总指挥的第一替代人；
- ②协助总指挥工作，负责应急救援人员的调配和组织、应急物资的保障及现场救援工作，对总指挥负责

（3）辐射安全部职责

辐射安全部是公司应急响应活动的日常管理部门，职责如下

- ①负责应急预案的编制和修订；
- ②负责应急事故的受理和接报；
- ③协助应急总指挥实施应急响应工作；
- ④事故发生后赴现场按照应急指挥部的指示进行事故处理；

- ⑤对辐射事故现场进行事故监测，组织事故现场工作人员进行应急处理，控制应急人员受照剂量，划定警戒范围，组织人员疏散等工作；
- ⑥负责辐射监测设备的日常维护和送检；
- ⑦负责组织日常应急演练及应急培训工作；
- ⑧事故发生后向有关监管部门提交报告；
- ⑨参与辐射事故（事件）原因调查，落实上级部门整改要求。

6.4.2 应急响应

（1）应急启动

发生辐射事故时，应立即报告现场专职辐射安全员，并开展现场警戒和处理措施。在接到报告后由应急办公室通知应急总指挥、各相关专业人员，根据应急总指挥指示启动应急程序。

（2）应急响应行动

辐射事故应急小组根据辐射事故类型特点，提供专业技术支持，以便更好地处理放射性物质与恢复环境。

辐射事故应急小组根据现场情况建立事故警戒、控制区，人员进入现场须经批准，离开现场须经辐射监测和去污，保障事故处理人员、设备或物资通畅。

辐射防护人员立即对现场的辐射水平进行监测，检查应急处置人员防护设备，设置环境监测点，开展人员剂量监测和污染监测，根据事故处理进展提供防护建议。

对有急性照射或摄入核素的人员进行医疗救治，为现场事故处理人员提供防护。

立即向生态环境部西南核与辐射安全监督站、四川省生态环境厅、绵阳市生态环境局、当地公安部门、当地政府和集团公司等相关部门报告，并在事故发生后两小时内填写《辐射事故初始报告表》上报西南核与辐射安全监督站和四川省生态环境厅。

根据监管部门的要求填写《辐射事故后续报告表》上报生态环境部西南核与辐射安全监督站和四川省生态环境厅。

（3）应急终止

应急终止需满足以下条件：

- ①事故得到控制，事故影响已经消除；
- ②放射性物质的泄漏或释放已降到规定限值以下；
- ③事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。

应急总指挥确认终止条件和时机，发布应急终止命令。

应急办公室向应急办公室提交辐射事故初始报告表和后续报告表。组织事故原因调查和经验反馈，改进安全措施。

6.4.3 应急物资与保障

根据应急预案的职责分工，准备好应对辐射事故的人力、物力、车辆、通讯和资金保障工作，主要应急装备有：

表 6-6 应急装备器材使用及存放地点

设施名称	主要功能	存放地点
隔离带	防止非应急人员进入	库房
放射性警示牌	警 示	库房
剂量率仪	辐射剂量监测	工作场所
表面污染仪	表面污染监测	工作场所
个人剂量报警仪	辐射剂量监测	工作场所
防护面具	屏蔽和防止吸入放射性物质	工作场所
铅防护服	应急人员防护	工作场所
铅眼镜	应急人员防护	工作场所
铅帽	应急人员防护	工作场所
滤纸/棉纱	吸附液体放射性物质	库房

6.4.4 应急培训与演练

6.4.4.1 培训

承担应急任务的人员每年不低于一次培训辐射事故专项应急预案，熟悉事故类型、危害与处置程序，使之正确理解应急响应要求，有效执行应急响应。应急培训应形成记录并保存。

6.4.4.2 演练

(1) 每年开展不低于一次的针对放射性同位素辐射事故应急演练，使相关人员熟悉应急预案、应急处置方案，并能有序、协调配合；

(2) 每次演练后，针对演练中发现的问题，及时对应急预案加以必要修改和完善，以提高应对突发辐射异常事故的应急处置能力。

6.4.5 小结

四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司结合项目实际情况，制定完善的辐射事故应急预案，预案应满足本项目在运行期间可能发生辐射事故的应急需要，具有针对性和操作性。公司在营运期间，应严格执行各项辐射安全管理规章制度，将安全和防范措施落实到工作实处，防患于未然。

7 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。2023 年 7 月中国核能行业协会发布的《中国核技术应用产业发展报告（2023）》显示，我国核技术应用产业逐步发展，技术转化应用空前活跃，逐步形成专业化、市场化、规模化发展态势。其中经济规模持续扩大，到 2022 年底已接近 7000 亿元（约占 GDP 的 5.7%）年均增长 15%以上，其中工业应用产值占比超过 50%，医用核技术产值占比约 20%。但是，我国核技术应用产业也存在明显短板：医用同位素对外依存度大，放射性药物创新研发投入有待加强，部分领域市场化、产业化培育和发展相对不足。

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），将医用放射性同位素研发作为重点任务，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，医用放射性同位素生产技术和产品的市场需求将持续增长，我国医用放射性同位素的市场发展潜力巨大。同时放射性药物具有独特的特点，在心血管、脑神经、肿瘤等诊断方面具有独特的不可替代的作用；在肿瘤治疗方面相对于化学药、生物药也具有独特的特点，放射性是低剂量药物，研发成本相对较低，研发成功率高于 80%，远高于普药研发成功率 30%。此外，项目的财务核算结果表明各项指标较好，项目达到设计生产能力后平均年利润总额 48643 万元，财务内部收益率为 43.37%（所得税后），总投资回收期为 4.84 年。放射性核素药物由于其高壁垒，建成后投资收益可稳固提高，实现长期盈利，具有较好的经济效益。

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。本项目的生产和经营将覆盖成绵地区，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，项目在中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划内进行，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，项目单位运营期间需用水、电等能源，年耗量见下表。

表 7-1 项目运营期能耗情况

名称	年耗量	来源
电	20万kWh	城市电网
水	4380m ³ /a	市政水网

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下三方面的成本：

（1）建筑场地成本；

（2）设备投资成本；

（3）环保投资：包含环保设施、环境管理、环境监测及事故防范措施等费用，合计投入约 3500 万元，本项目总投资约 30000 万元，环保投资占比约 11.67%。项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资估算见下表。

表 7-2 项目污染防治（辐射防护）措施及环保投资一览表

时段	项目	污染防治措施			投资金额 (万元)
施工期	施工扬尘	洒水抑尘；土方、物料堆场采取覆盖措施；运输车辆运输物料时须封闭严密等。			10.0
	施工废水	设临时沉淀池对施工废水沉淀后重复利用，不外排。施工人员生活污水经临时卫生间下水管道接入园区污水管网排入城市污水处理厂处理达标后排放，对地表水环境影响轻微。			
	噪声	选用低噪声设备；合理安排施工时间；合理布局施工现场；加强施工人员管理。			
	施工固废	建筑垃圾分类收集，及时清运；施工人员产生的生活垃圾定点收集，交由环卫部门清运。			
运营期	8号车间、10号车间	辐射安全防护措施	¹⁷⁷ Lu核素线	进料解靶热室1个，溶解热室1个，分离纯化热室2个、分装灭菌热室1个。	3000
				生产车间拟设2L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）存放放射性废水及放射性固废。	
				放射工作场所出入口设若干电离辐射警告标志。	
				产品配套铅罐。	
			¹⁷⁷ Lu注射剂线（8号车间）	放药生产线配有1个合成热室、1个分装灭菌热室	
				生产车间拟设2L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）存放放射性废水及放射性固废。	
				放射工作场所出入口设若干电离辐射警告标志。	
				产品配套铅罐。	
			¹³¹ I口服液线	放药生产线配有1个进料热室、1个前处理热室、1个配制热室、1个分装热室、1个包装热室	
				生产车间拟设2L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）存放放射性废水及放射性固废。	
				放射工作场所出入口设若干电离辐射警告标志。	
				产品配套铅罐。	
			⁹⁹ Mo(^{99m} Tc)发生器生产线	放药生产线配有2个进料热室、1个配制热室、1个灌注淋洗热室、1个检验热室、1个热柱组装热室、1个防护包装热室	
				生产车间拟设2L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）存放放射性废水及放射性固废。	
				放射工作场所出入口设若干电离辐射警告标志。	
				发生器储存箱。	
			锝即时标记药物生产线	放药生产线配有2个超净工作台、2个屏蔽通风橱	
				生产车间拟设2L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）存放放射性废水及放射性固废。	
				放射工作场所出入口设若干电离辐射警告标志。	
				产品配套铅罐。	
			¹⁷⁷ Lu注射剂生产线（10号车间）	放药生产线配有1个合成热室、1个分装灭菌热室	
				生产车间拟设2L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）存放放射性废水及放射性固废。	
				放射工作场所出入口设若干电离辐射警告标志。	
				产品配套铅罐。	

		应急放射性废水处理设施	设两套埋地式放射性废水处理设施。	
	剂量监测	γ 辐射：26个在线剂量率监测仪。 表面沾污：19台表面污染测量仪（挂墙）；7台手脚沾污污染测量仪（设在各车间及场所人员进出口） 气溶胶监测：1套气溶胶取样设备 液态流出物监测：1套液态流出物取样监测设备。		377
		其他	每个放射性药品生产车间与涉放实验室设置排风系统，排风系统经高效过滤装置处理后经管道至屋顶排放。	50.0
辐射工作人员防护		辐射工作人员配备个人剂量计（每人1个，共计48个）。		8.0
		从事放射性药品生产的辐射工作人员配备个人防护用品（包括铅围裙、铅手套、铅眼镜、特殊口罩等）。		
风险防范措施	辐射工作场所应急物品：应急监测仪器，应急器材，应急警戒、公告用品，应急救护用品等。			5.0
非放射性“三废”治理措施	生活污水：通过园区污水管网排入园区污水处理站。			50.0
	非放气体：设置非放射性通排风系统。			
	生活垃圾：交环卫部门统一清运。			
	危险废物：分类收集暂存于危险废物暂存间，定期交资质单位收集处理。			
合计				3500

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低程度。

（2）项目运营阶段，将产生放射性气载流出物、放射性废水和放射性固废，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气载流出物所致 3km 评价范围内的公众剂量低于本报告提出的剂量约束值 0.1mS/a；电离辐射对辐射工作人员造成的附加剂量值低于本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mS/a）。

运营期间产生的非有机放射性废水通过设置在各放药生产线的放射性废物收集罐收集后暂存衰变，经监测满足排放标准后，排入园区污水管网，最终经园区污水处理厂处理达标后排入芙蓉溪。有机放射性废水通过各放药生产线的放射性废物收集罐收

集后暂存衰变，经监测满足排放标准后，作为危废交有资质单位处置，在对区域地表水环境影响轻微。

运营期间产生的放射性固废按照核素种类分类收集，各种类核素的放射性固体废物暂存衰变其 10 个半衰期后，经检测达标（ β 表面污染 $<0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，外表面剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ），解控作为一般固废处理，不会对项目所在区域环境造成影响。 ^{177}Lu 核素线生产过程中产生的废靶托等放置在废物库中暂存，定期交有资质单位处置。外购的发生器达到使用年限后送回厂家进行回收处置，自产的发生器回收后在放射性废物库中暂存达到解控水平（ β 表面污染 $<0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，外表面剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ）后，在放射性废物库中拆解回收作为危废交有资质单位处置。

7.3 正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于辐射防护“实践的正当性”要求，在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

本项目生产的放射性药品用于临床核医学诊断及治疗可以达到一般非放射性治疗方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，具有明显的经济效益和社会效益。

综上所述，通过对本项目的利益-代价的简要分析，考虑社会、经济、环境各方面的因素，本项目为接受治疗的个人和给社会所带来的利益远大于其引起的辐射影响，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求，项目的实践具有正当性。

8 结论与建议

8.1 项目工程概况

本项目为“核医疗健康产业园放射性药物孵化平台项目”，项目计划总投资 30000 万元。项目总占地面积 19153.34m²，总建筑面积约 20681.47m²，建设 8 号车间放射性核素生产线以及质检中心，共涉及 7 个放射性工作场所，放射性核素生产线主要涉及生产放射性药物以及核素发生器，包括 1 条 ⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线、1 条 ¹⁷⁷Lu 核素生产线、1 条 ¹⁷⁷Lu 注射剂生产线、1 条 ¹³¹I 口服液生产线、镓即时标记药物生产线，质检中心主要为对放射性核素生产线生产的产品进行质检，8 号车间一层共有 5 个非密封放射性物质工作场所：①⁹⁹Mo(^{99m}Tc)发生器生产线，日等效最大操作量 1.11E+12Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；②¹⁷⁷Lu 核素生产线，日等效最大操作量 4.16E+14Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；③¹⁷⁷Lu 注射剂生产线，日等效最大操作量 1.48E+11Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；④¹³¹I 口服液生产线，日等效最大操作量 7.40E+11Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；⑤源库，日等效最大操作量 2.44E+10Bq，甲级非密封放射性物质工作场所。8 号车间三层共有 2 个非密封放射性物质工作场所：①镓即时标记药物生产线，日等效最大操作量 7.40E+09Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；②质检中心，日等效最大操作量 3.77E+09Bq，甲级非密封放射性物质工作场所。

本项目 10 号车间主要建设放射性核素生产线，共涉及 2 个放射性工作场所，分别为①1 条 ¹⁷⁷Lu 注射剂生产线，日等效最大操作量 1.48E+11Bq，甲级非密封放射性物质工作场所；②源库，日等效操作量为 1.48E+09Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

同时，配套建设与生产相关的放射性三废贮存处理设施、包材耗材库等设施。

8.2 辐射安全与防护

8.2.1 电离辐射防护

本项目各同位素生产线、放射质检区配有屏蔽工作箱、手套箱或通风橱等来进行放射性同位素操作期间的屏蔽防护。经预测分析，拟采取的各类屏蔽工作箱防护设计满足相关标准要求，可使辐射工作人员受照剂量满足 GB18871 提出的职业人员剂量照射限值和本报告提出的职业人员剂量约束值。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，尽可能限制放射性污染范围。

8.2.2 放射性“三废”治理

8.2.2.1 放射性废气

项目各放药生产车间和涉放实验室均设有独立的通排风系统，生产工作箱或防护通风橱设有局排系统，房间设有全排系统。8号车间及10号车间废气过滤后的废气引至车间约30m（高于屋脊3m）高烟囱排放。经预测分析，产生的放射性气载流出物经过滤处理后，对周边公众的辐射影响满足GB18871提出的公众剂量照射限值和本报告提出的公众剂量约束值。

8.2.2.2 放射性废水

项目产生的非有机放射性废水由生产车间及涉放实验室内的放射性废水暂存罐收集后，转运至放废库中暂存衰变至解控水平，经审管部门认可后，最终汇入核医疗产业园污水处理厂处理达标后排放，质检等放射性工作场所产生的有机放射性废水经暂存罐收集衰变后，经主管部门认可后，作为危废交有资质单位处置，对区域地表水环境影响轻微。

8.2.2.3 放射性固废

项目各放药生产车线、质检中心产生的固废，按核素种类分类放置于车间的操作区内设置的铅桶内，待容器装满后，由小推车运至所在生产厂房内的放射性废物暂存库暂存，暂存放射性固废中核素10个半衰期，检测合格后向政府主管部门申请解控作为一般固废处置； ^{177}Lu 核素线产生的废靶托等，暂存在放射性废物暂存间内，定期交有资质单位处置； ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)发生器生产线生产销售的发生器达到使用期限后，由用户方送回建设单位，由小推车转移至放射性废物暂存间内衰变至解控水平后进行拆解回收作为危废交有资质单位处置，对项目周围环境影响较小。

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上述基本要求，可以使施工期的环境影响降到最低程度。

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

预测分析表明，项目操作非密封放射性物质所致职业人员受照剂量满足 5mSv/a 管理限值要求；项目通过放射性流出物途径对公众产生辐射影响，放射性气载流出物所致 3000m 范围内公众个人有效剂量最大值低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的 1mSv/a 公众照射剂量限值，也低于本次评价提出的 0.1mSv/a 的公众剂量约束值。项目运行对职业人员和公众的辐射影响很小。

8.3.2.2 非放环境影响分析结论

（1）质检产生的废气通过集气罩收集后通过高效过滤装置处理，对环境空气影响很小。

（2）工艺废水（清洁解控后）、生活污水、洁衣清洗废水等排入厂区污水管网，经园区污水处理厂进行处理达标后排入芙蓉溪，对地表水环境影响较小。

（3）工艺设备及生产噪声通过减震垫及距离衰减的方式降噪后，厂界噪声满足相应标准要求，对周围环境影响较小。

（4）生活垃圾等非放射性固体废物交由市政环卫部门清运，工艺固体废物采取分类收集对可回收的固体废物交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置。危险废物交由有资质的单位处置。

8.4 辐射安全管理

本项目为新建项目，项目建设单位——四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司已成立了辐射安全与环境保护管理机构，负责公司辐射安全与环境保护工作，并按照机构管理职责制定相关内容。公司按相关规定要求及本环评提出的辐射安全管理制度建立要求，制定《辐射安全管理规定》，各放药生产线及实验室、放药运输操作规程，放射性同位素台账管理制度，《辐射工作人员岗位职责》等辐射安全管理制度。

四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司承诺在项目投运前完成所有辐射工作人员的辐射安全与防护考核，确保辐射工作人员考核通过，持证上岗。

本项目拟制定《辐射事故应急预案》，通过对拟定辐射事故应急预案内容的分析，项目辐射事故应急预案是可行的。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和计划。环境监测方案包含工作场所监测计划、

流出物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等，能够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 公众参与

公众本项目建设单位已编制《核医疗健康产业园放射性药物孵化平台项目环境影响公众参与说明》。根据该说明，项目公众参与工作历程如下：

（1）在确定环境影响报告书编制单位后，建设单位于 2025 年 2 月 26 日，在绵阳日报网站上对项目的基本情况等内容进行了公示。

（2）环境影响报告书征求意见稿形成后，建设单位于 2025 年 4 月 18 日，在中国绵阳新闻网上对项目环境影响报告书征求意见稿的相关内容进行了公示。

（3）在环境影响报告书征求意见稿公示期间，分别于 2025 年 4 月 21 日、2025 年 4 月 23 日在报上刊登了项目的公示情况；于 2025 年 4 月 18 日，进行了现场张贴公示。

项目公众参与工作开展期间，未收到与本项目环境影响和环境保护措施等环保方面有关的建议和意见。

8.6 结论

本项目符合国家产业政策，项目在正常工况下可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员及公众照射的剂量限值和管理约束值要求。在坚持“三同时”的原则基础上，采取切实可行的辐射安全和环境保护措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为，项目的建设及运营从辐射安全和环境保护的角度是可行的。

8.7 建议和承诺

8.7.1 建议

（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>）中及时更新本次变更相关信息。

（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) 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,并根据演练反映的问题,总结、完善事故应急预案。

8.7.2 承诺

本项目建设单位——四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司作出以下承诺:

(1) 在项目投运前完成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。并在后续的运营期间,按相关规定对辐射工作人员进行再培训教育。

(2) 放射性核素和发生器产品只销售给持有辐射安全许可证的单位,并在转入单位的辐射安全许可证规定的种类和范围内。

8.8 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,建设单位四川发展核医疗健康产业园实业有限责任公司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平台（网址为 <http://47.94.79.251>），填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，环境保护主管部门对上述信息予以公开。

建设单位应当将验收报告以及其他档案资料存档备查。

表 8-1 项目竣工环境保护验收一览表

场所		设施（措施）		数量	要求
8 号 车间	放药 生产 线	屏蔽设施	热室	19个	铅屏蔽厚度不低于设计 值，箱体正面工作人员操 作位置辐射剂量率≤ 2.5μSv/h
			超净工作台	2个	
			屏蔽通风橱	2个	
			产品防护屏蔽	若干	根据实际需求配置数量、 型号和屏蔽厚度
			发生器储存箱	若干	
			放射性废物收集/转移 铅桶	若干	/
		安全设施	电离辐射警告标识、 “两区”划分	若干	/
			人员出入口门禁系统	5套	满足场所管控要求，正常 使用
		监测和个人 防护用品	γ 个人剂量报警仪	24	所有辐射工作人员配备
			γ 个人剂量计	24	
	洁净工作服、一次性 口罩、手套、表面污 染清洗剂等		若干	/	
	表面沾污监测仪（挂 墙）		15个	各生产车间人员、辐射工 作场所、涉放实验室进出 口配备，监测设备参数满 足响应要求	
	手脚沾污监测仪		5个		
	在线剂量率监测仪		9个		
	气溶胶取样设备		1套	可与其他场所共用，监测 设备参数满足响应要求	
	液态流出物监测		1套		
放射 质 检 区	安全设施	电离辐射警告标识、 “两区”划分	若干	/	
		人员出入口门禁系统	1套	满足场所管控要求，正常 使用	
	监测和个人 防护用品	γ 个人剂量报警仪	15	所有辐射工作人员配备	
		γ 个人剂量计	15		
		洁净工作服、一次性 口罩、手套、表面污 染清洗剂等	若干	/	
		表面沾污监测仪（挂 墙）	2个	各生产车间人员、辐射工 作场所、涉放实验室进出 口配备，监测设备参数满 足响应要求	
		手脚沾污监测仪	1个		
		在线剂量率监测仪	5个		

	源库、成品暂存库	屏蔽设施	墙体屏蔽	/	源库、成品暂存库均为300mm混凝土墙体
		监测和个人防护用品	表面沾污监测仪（挂墙）	2个	监测设备参数满足响应要求
			在线剂量率监测仪	6个	
		安全设施	人员出入口门禁系统	2套	满足场所管控要求，正常使用
			电离辐射警告标识、“两区”划分标识	若干	/
10号车间	放药生产线	屏蔽设施	热室	2个	铅屏蔽厚度不低于设计值，箱体正面工作人员操作位置辐射剂量率≤2.5μSv/h
			产品防护屏蔽	若干	根据实际需求配置数量、型号和屏蔽厚度
			发生器储存箱	若干	
			放射性废物收集/转移铅桶	若干	/
		安全设施	电离辐射警告标识、“两区”划分	若干	/
			人员出入口门禁系统	1套	满足场所管控要求，正常使用
		监测和个人防护用品	γ个人剂量报警仪	4	所有辐射工作人员配备
			γ个人剂量计	4	
			洁净工作服、一次性口罩、手套、表面污染清洗剂等	若干	/
			表面沾污监测仪（挂墙）	4个	各生产车间人员、辐射工作场所、涉放实验室进出口配备，监测设备参数满足响应要求
			手脚沾污监测仪	1个	
			在线剂量率监测仪	2个	
			放射性废物收集/转移铅桶	若干	/
	源库、成品暂存库	屏蔽设施	墙体屏蔽	/	源库、成品暂存库均为300mm混凝土墙体
		监测和个人防护用品	表面沾污监测仪（挂墙）	3个	监测设备参数满足响应要求
			在线剂量率监测仪	4个	
		安全设施	人员出入口门禁系统	3套	满足场所管控要求，正常使用
			电离辐射警告标识、“两区”划分标识	若干	/
	放射性污染治理	放射性废水治理	埋地式放射性废水处理设施	2套	衰变池1、衰变池2
		放射性废气治理	通排风系统	1套	包含8号车间放射性气载流出物排风系统共设有37套高效过滤装置、1个放射性气载流出物排气筒（距地面约30m高）；10号车间放射性气载流出物排风系统共有5套高效过滤装置、

				1个放射性气载流出物排气筒（距地面约30m高）
	放射性固体废物处置	不锈钢桶	若干	放射性固废收贮容器：各放药生产车间设20L不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb），放射质检区、各涉放实验室设20L的不锈钢桶（防护铅当量为20mmPb）
非放射性污染治理	非放射性废水治理	排放至园区污水处理站		
	非放射性废气治理	质检区废气通过集气罩收集，通过排风系统高效过滤装置处理		
		其他非放车间或岗位排风为普通排热、排湿或通风换气		
	非放射性固体废物处置	生活垃圾收集桶	若干	生产垃圾由环卫部门统一收集后处理。
		危险废物收集桶	若干	分类收集暂存在危废间，定期交资质单位收集处理。
综合管理	辐射安全管理机构		/	需要明确辐射安全管理部门及人员职责，且分工明确。
	制度上墙		/	上墙制度的尺寸不小于400mm×600mm
	档案管理		/	主要包括相关规章制度及应急预案、环保手续及辐射安全许可资料、射线装置和非密封放射性物质台账、监测和检查记录、个人剂量及健康档案、培训档案、三废排放记录、辐射应急、运输作业查验（记录）资料等，并由专人进行管理。
	人员配置		/	配置与项目运行相适应的职业人员数量，并根据管理与操作参加相应类别的培训。