

核技术利用建设项目

陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素

Pb-212 技术研发项目

环境影响报告表

陕西劲草生物医药科技有限公司

二〇二五年九月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目 环境影响报告表

建设单位名称：陕西劲草生物医药科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：陕西省西安市莲湖区北关正街 50 号静安广场第 1 幢 1 单元 9
层 10917 号

邮政编码：710014

联系人：常晓斌

电子邮箱：2239652976@qq.com

联系电话：13389273787

表 1 项目基本情况

建设项目名称		陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目				
建设单位		陕西劲草生物医药科技有限公司				
法人代表	马艳玲	联系人	常晓斌	联系电话	13389273787	
注册地址		陕西省西安市莲湖区北关正街 50 号静安广场第 1 幢 1 单元 9 层 10917 号				
项目建设地点		西安浐灞国际港区内				
立项审批部门		西安浐灞国际港经济发 展改革局	批准文号	2412-610158-04-05-873506		
建设项目总投资 (万元)		500	项目环保投 资(万元)	85	投资比例(环保投资/ 总投资)	17%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m²)	240
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
		☐ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☒ 销售	/			
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙			
	射线 装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类			
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类			
		☐ 使用	☐ II类 ☐ III类			
	其他	研发 Pb-212 技术、销售非密封放射性物质				

1.1 项目概述

1.1.1 项目背景

(1) 建设单位情况

陕西劲草生物医药科技有限公司成立于 2018 年 05 月 10 日，其主要经营范围涉及技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；第一类医疗器械销售；第一类医疗器械租赁；第二类医疗器械销售；第二类医疗器械租赁；仪器仪表销售；技术进出口；实验分析仪器销售；机械设备销售；专用化学产品销售（不含危险化学品）；新兴能源技术研发。许可项目：II、III、IV、V类放射源销售；道路货物运输（不含危险货物）；消毒器械销售；放射性同位素生产；第三类医疗器械经营；第三类医疗器械租赁。且已取得西安市生态环境局《关于同意陕西劲草生物医药科技有限公司重新申请办理辐射安全许可证的批复》（市环辐批复〔2024〕A167 号）。

(2) 项目由来

放射性药物可实现“看得见的精准医疗”，真正地实现“先检测诊断，后精准用药”的个性化精准诊疗，达到诊疗一体，其发展将对新的医疗模式的形成和人类健康有着深远影响。但是我国放射性的药物研发和产业化与发达国家相比差距甚远。截至 2018 年 1 月，美国 FDA 已批准 57 个放射性药物上市，其中 2000 年以后批准了 15 个；而在中国分别为 17 和 3 个，其中近一半已停产，且近 20 年没有新品种上市。美国放射性药物临床研究数量为 467 个，而在中国仅为 18 个。这直接导致了我国患者放射性药物使用频次仅为美国的约 1/25（3:72/1000 人），以及中美放射性药物市场的巨大差异（44:385 亿人民币）。最终导致了我国在精准诊疗方面远远落后于发达国家。

2018 年 10 月，国家卫生健康委员会为深入贯彻落实党的十九大精神、推进健康中国 2030 规划纲要建设和深化医药卫生体制改革、维护和增进人民健康、不断满足人民群众日益增长的医疗服务需求。中华核医学会也在全国县级以上行政区大力推动核医学“一县一科”计划，以分子影像技术核医学为主，推进对心血管疾病、恶性肿瘤等疾病进行精准诊断和个性化治疗，避免过度医疗，节省医疗费用。以上的国家举措表明了对核医学的重视，也提示了核医学在现代医学中的重要作用。国家国防科工局、科技部和生态环境部等八部委联合发布的《医用同位素中长期发展规划（2021-2035）》，规划对医用同位素的研制、生产、放射性药品研发、医保政策、产业布局等重要方面进行了部署。

Pb-212 和 Bi-212 是目前最具应用前景的放射性核素之一，可应用于乳腺癌、胰腺癌以及前列腺癌等多种恶性肿瘤的靶向 α 核素治疗，开发基于 212Pb-PSMA 的靶向 α 疗法（TAT）治疗转移性去势耐受性前列腺癌症患者具有重要意义。目前在发达国家得到了广泛的应用，随着我国核医学事业的不断发展，我国同位素药品行业也在加快发展。但目前国内大型医院、研发机构使用的同位素药品主要依赖国外进口。为缓解我国同位素药品市场的需求压力，突破依赖进口的瓶颈，陕西劲草生物医药科技有限公司拟投资 500 万元建设《陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目》，主要进行 Pb-212 发生器硝酸钍中提取淋洗 Pb-212 的研发，将研发的 Pb-212 原料送交大一附院做动物实验验证科研（研发合作协议见附件 4），并进行非密封放射性物质的销售（不贮存，仅销售），本次仅进行实验研究，后期发生器售卖另行环评。

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》《建设项目环境保护管理条例》等相关法律法规，该项目应编制环境影响评价文件。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）“五十五、核与辐射 172、核技术利用

建设项目乙、丙级非密封放射性物质工作场所”的核技术应用项目，本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，故应编制环境影响报告表。

2025年3月，陕西劲草生物医疗科技有限公司（以下简称“建设单位”）委托中陕核工业集团综合分析测试有限公司（以下简称“评价单位”）编制本项目的环境影响报告表（委托书见附件1）。评价单位接受委托后，组织有关技术人员进行现场踏勘并收集相关资料，依据《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），编制了《陕西劲草生物医疗科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目环境影响报告表》。

（3）编制目的

①通过对建设单位 Pb-212 研发技术实验室进行资料收集、调查分析，并对实验室周边辐射环境进行监测，查明是否存在辐射环境问题。

②通过对本项目 Pb-212 研发技术实验室运行过程中辐射环境影响进行理论估算，确定其对周边环境的影响范围、影响程度，分析建设单位拟采取辐射防护措施的有效性，并提出合理的意见与建议。

③满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定要求，为生态环境主管部门和建设单位的辐射环境管理提供科学依据。

1.1.2 核技术应用情况

（1）项目概况

项目名称：陕西劲草生物医疗科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目

建设单位：陕西劲草生物医药科技有限公司

建设地点：西安浐灞国际港区内



图 1-1 地理位置图

(2) 项目地理位置及周边环境

本项目位于西安浐灞国际港区内，所在地地理位置优越，路网发达，北侧为灞桥堡路，南侧为世博大道，西侧为纺渭路。项目四邻关系简单，北侧、西侧和东侧为空地，东北角 28m 处为空置厂房，南侧和楼顶分别为中陕核工业集团综合分析测试有限公司的办公楼和库房，东南角约 45m 处为祥瑞驾校。地理位置图见图 1-1，四邻关系图见图 1-2，四邻关系现状图见图 1-3。



图 1-2 四邻关系图



东北侧 空置厂房



南侧 祥瑞驾校



北侧 空地



西侧 空地（现测试公司临时停车场）



南侧 中陕核工业集团综合分析测试有限公司（办公楼） 上部 中陕核工业集团综合分析测试有限公司（2F 库房）

图 1-3 四邻关系现状图

（3）项目建设内容和规模

①本项目 Pb-212 技术研发实验室情况

拟对 240 平方米现有库房改造为研发实验室，开展同位素 Pb-212 技术研发，平面布置图见图 1-4。

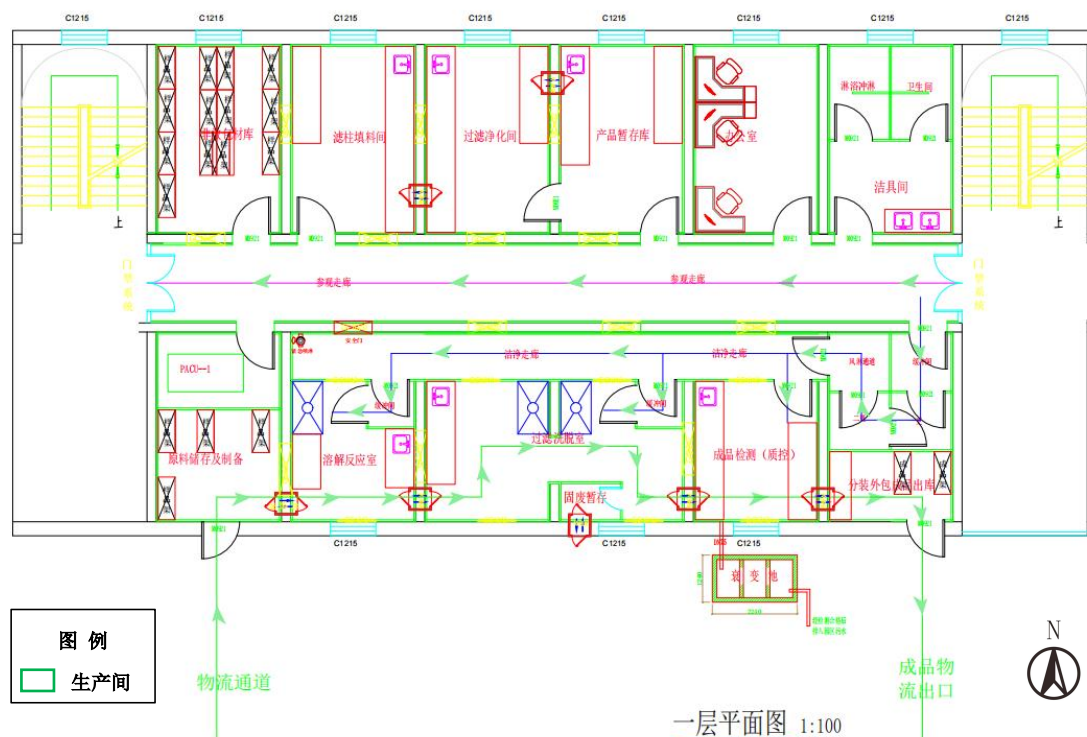


图 1-4 实验室平面布置图

陕西劲草生物医药科技有限公司的放射性核素工作区位于项目占地范围的南侧，房间布置由西到东依次布置原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测间和分装外包成品出库间。其中原料储存间北侧房间安装净化空调，过滤洗脱室南侧设置固废暂存间，分装外包成品出库间北侧设置有一更、二更和缓冲间，同时溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测外连通洁净走廊，方便工作人员进行操作，也可避免辐射污染。

②项目组成

陕西劲草生物医药科技有限公司拟将现有库房改建为 Pb-212 原料研发实验室，使用硝酸钍研发 Pb-212，本项目组成见表 1.1-1。

表 1.1-1 项目组成一览表

名称		建设项目及规模	备注
主体工程	放射性核素工作区	位于实验室场区南侧，占地面积约为 99m ² 。由西到东依次布置原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测间和分装外包成品出库间。进行硝酸钍溶解、过滤、洗脱、分装、检测和稀释等工作。	需改造
	非放工作区	位于实验室场区北侧，占地面积约为 66m ² 。由西到东依次布置非放包材库、滤柱填料间、过滤净化间、产品暂存库。	
辅助工程	检验	位于放射性核素工作区，对研发出的 Pb-212 原料进行检测分装，检测活动委托有资质单位进行。	
	办公	位于非放工作区，员工日常办公间，占地面积 16.5m ² 。	
储运工程	原料库	包括非放包材库和原料储存及制备间。非放包材库主要储存非放材料，包括离子交换树脂、手套、口罩等；原料储存及制备间主要存放硝酸钍，硝酸钍由厂家分装在铅盒内，运输至厂区后贮存在原料储存及制备间的铅柜内。	
	产品暂存库	暂存组装好的 Pb-212 发生器（不含放射性核素）。	
公用工程	给水	给水依托陕核测试公司现有的给水管网。	依托现有
	排水	生活污水依托中陕核测试公司现有的排水系统。	
	供暖	采用分体式空调采暖。	新建
	制冷	采用分体式空调制冷。	新建
环保工程	冲洗废液	废硝酸钍溶液、淋洗废液和检测废液，分别由放射性废液储罐收集，在固废暂存间暂存，定期交给硝酸钍供应商。	新建
	放射性废气	本项目放射性核素工作场所内拟设 2 套排风系统，实现负压通风。其中拟配备的 2 个铅屏蔽手套箱和 1 个铅屏蔽热室设独立的排风系统，铅屏蔽手套箱和铅屏蔽热室顶部拟设过滤装置，通过排风管道引出后，在楼顶经中高效过滤装置处理后高于屋面 3m 排放；原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测间和分装外包成品出库间设 1 套排风系统，在各房间通过排风管道引出至净化空调室处理后排放。	新建
	固体废物	废离子交换树脂和废活性炭：由放射性固体废物储罐分类收集，在固废暂存间暂存，定期交给硝酸钍供应商。	新建

		无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等）：由放射性固体废物储罐分类收集，在固废暂存间暂存，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控处理，否则定期交给硝酸钍供应商。	
--	--	--	--

③本项目依托可行性分析

1) 实验室

建设单位拟将中陕核工业集团综合分析测试有限公司已建成的 1 楼库房改造为 Pb-212 发生器性能研发实验室，放射性核素工作区与其他项目无交叉，所在楼栋有完整的办公、生活设施和供排水管网。因此，本项目依托现有库房的改造方案是可行的。

2) 生活垃圾

本项目共有 8 名员工，生活垃圾产生量约为 $8\text{kg}/\text{d}$ ($0.96\text{t}/\text{a}$)，依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有生活垃圾收集转运设施。中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有生活垃圾收集转运设计收集能力为 50 人产生的生活垃圾，在该办公地点现有员工约 40 人，可以收集本项目员工产生的生活垃圾。因此，本项目生活垃圾依托现有生活垃圾收集系统可行，生活垃圾收集设施现状见图 1-5。



图 1-5 项目依托的生活垃圾收集措施

3) 生活污水

本项目共有 8 名员工，生活污水产生量约为 $0.435\text{m}^3/\text{d}$ ($52.224\text{t}/\text{a}$)，依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有生活污水处理系统。中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有生活污水设计处理能力为 50 人产生的生活污水，在该办公地点现有员工约 40 人，剩余能力可以收集处理本项目员工产生的生活污水。因此，本项目生活污水依托现有生活污水收集处理系统可行。

4) 危险废物

本项目危险废物主要是研发实验产生的废酸，产生量约为 10L/a，依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有危险废物贮存间内的废酸储罐。中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有危险废物贮存间建筑面积约为 20m²，废酸储罐容积约为 24kg，在保证周转频次的前提下，可以暂存本项目产生的危险废物。因此，本项目危险废物暂存依托现有危废贮存间可行，危险废物贮存间见图 1-6。

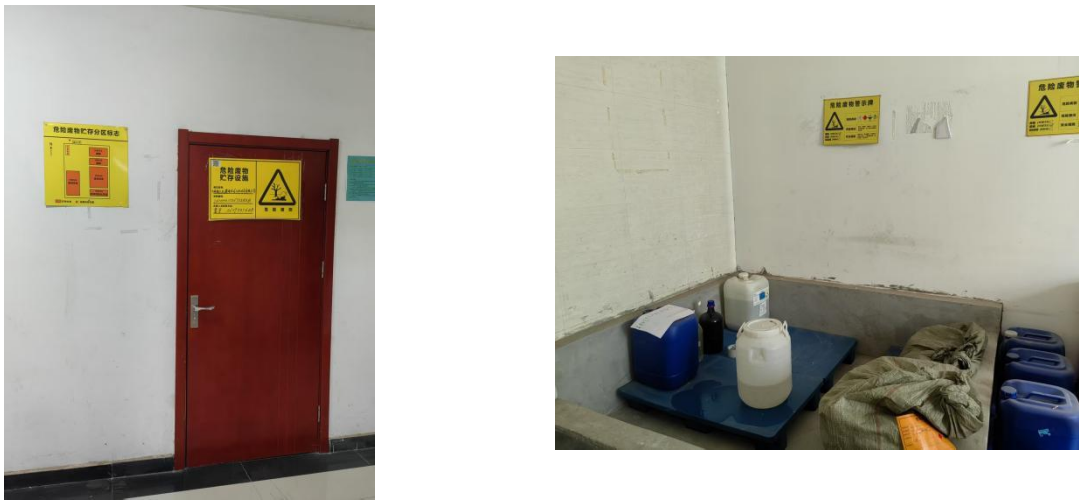


图 1-6 项目依托的危险废物暂存间现状图

③原辅材料清单

表 1.1-4 原辅材料消耗一览表

序号	名称	理化性质	活动种类	日最大用量/操作量	年最大用量/操作量	用途	操作方式
1	硝酸钍	外观为无色晶体,极易溶于水,有强氧化性,有放射性	使用、储存	3kg（7E+6Bq）	200kg	制备硝酸钍溶液	全自动
2	硝酸	具有强氧化性、腐蚀性		10mL	200mL	冲洗离子交换树脂	全自动
3	碳酸钠	白色粉末,强电解质,俗名苏打		1kg	100kg	调节 pH	全自动
4	柠檬酸氢二铵	白色颗粒,溶液呈弱酸性		1kg	100kg	纯化浓缩 Pb-212 原料	全自动

④产品方案

表 1.1-5 Pb-212 研发方案一览表

序号	核素	理化性质	用途	操作方式	单批次操作量	日最大操作量	年工作天数	年最大操作量	储存位置及方式
1	Pb-212	β射线, 100%, 半	治疗性放射性	全自动	1mCi 或 200uCi	1mCi	120	120mCi	铅盒

		衰期 10.622h	核素						
--	--	---------------	----	--	--	--	--	--	--

1.1.3 非密封放射性物质使用情况

根据建设单位提供资料，本项目主要对后续拟生产的 Pb-212 发生器的性能进行研发测试，每批次研发 1mCi 或 200uCi Pb-212 原料，年研发 120 批次。硝酸钍日最大溶解量为 3kg，日最大贮存量为 50kg，日最大淋洗量约 30kg，年最大使用量 200kg。本项目使用的硝酸钍由山东泰奥检测技术有限公司委托四川蜀骏达运业有限公司运输至场区内原料储存及制备间的屏蔽储存柜内，硝酸钍结晶体全程在铅盒内储存，相关手续见附件 5~10。

本项目所研发的钍系衰变链各子体占比情况见表 1.1-6。

表 1.1-6 非密封放射性物质使用情况

(保密)

1.1.4 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，非密封源工作场所按操作的放射性核素日等效最大操作量可分为甲、乙、丙级。具体见表 1.1-7。

表 1.1-7 非密封源工作场所分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4E+9
乙	2E+7~4E+9
丙	豁免活度值以上~2E+7

(1) 日等效操作量

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日常操作量 (Bq) 与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子见表 1.1-8 和表 1.1-9。

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

表 1.1-8 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							
	Th-232	Ra-228	Ac-228	Th-228	Ra-224	Rn-220	Pb-212	Bi-212
极毒	10	10	10	10	10	10	10	10
高毒	1	1	1	1	1	1	1	1
中毒	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

低毒	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
备注：Th-232、Ra-228、Ac-228、Th-228、Ra-224、Pb-212 和 Bi-212 的毒性组别分类来自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 D，Rn-220 的毒性组别分类来自《辐射防护手册 第三分册》(李德平、潘自强主编，原子能出版社，1990 年 3 月第一版) 5.3.1 放射性核素毒性分组。								

表 1.1-9 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	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

(2) 非密封源工作场所分级

根据表 1.1-6 非密封放射性物质使用情况，本项目非密封源工作场所分级计算结果见表 1.1-10。

表 1.1-10 放射性同位素日等效操作量及工作场所分级

核素	毒性组 别因子	操作方式因子	日最大操 作量 (Bq)	日等效操作量 (Bq)	日等效操 作量 (Bq)	场所分 级
Th-232	0.01	10 (贮存，源的贮存， 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×0.01/10	1.16E+5	/
		0.1 (溶解，简单操作， 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×0.01/0.1	7E+6	/
		100 (淋洗，源的贮存， 溶液)	7E+7	7E+7×0.01/100	7E+3	/
Ra-228	10	10 (贮存，源的贮存， 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×10/10	1.16E+8	/
		0.1 (溶解，简单操作， 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×10/0.1	7E+8	/
		100 (淋洗，源的贮存， 溶液)	7E+7	7E+7×10/100	7E+6	/
Ac-228	1	10 (贮存，源的贮存， 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×1/10	1.16E+7	/
		0.1 (溶解，简单操作， 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×1/0.1	7E+7	/
		100 (淋洗，源的贮存， 溶液)	7E+7	7E+7×1/100	7E+5	/
Th-228	10	10 (贮存，源的贮存， 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×10/10	1.16E+8	/
		0.1 (溶解，简单操作， 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×10/0.1	7E+8	/

		表面有污染的固体)				
		100(淋洗, 源的贮存, 溶液)	7E+7	7E+7×10/100	7E+6	/
Ra-224	10	10(贮存, 源的贮存, 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×10/10	1.16E+8	/
		0.1(溶解, 简单操作, 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×10/0.1	7E+8	/
		100(淋洗, 源的贮存, 溶液)	7E+7	7E+7×10/100	7E+6	/
Rn-220	0.1	10(贮存, 源的贮存, 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×0.1/10	1.16E+6	/
		0.1(溶解, 简单操作, 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×0.1/0.1	7E+6	/
		100(淋洗, 源的贮存, 溶液)	7E+7	7E+7×0.1/100	7E+4	/
Pb-212	0.1	10(贮存, 源的贮存, 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×0.1/10	1.16E+6	/
		0.1(溶解, 简单操作, 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×0.1/0.1	7E+6	/
		10(淋洗、分装, 简单操作, 溶液)	1.07E+8	1.07E+8×0.1/1	1.07E+7	/
		1(检测, 简单操作, 溶液)	3.7E+6	3.7E+6×0.1/1	3.7E+5	/
Bi-212	1	10(贮存, 源的贮存, 表面有污染的固体)	1.16E+8	1.16E+8×1/10	1.16E+7	/
		0.1(溶解, 简单操作, 表面有污染的固体)	7E+6	7E+6×1/0.1	7E+7	/
		100(淋洗, 源的贮存, 溶液)	7E+7	7E+7×1/100	7E+5	/
合计					2.65E+9	乙级

备注: 根据《辐射防护手册 第三分册》(李德平、潘自强主编, 原子能出版社, 1990年3月第一版) 5.3.2 部分认为, 粉末料样的称重、溶解、干沉淀的收集与转移属于特别危险的操作, 本项目使用的硝酸钍为结晶体, 可视为固体, 因此硝酸钍溶解操作方式是表面有污染的固体的“特别危险的操作”。根据《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA5-2019) 4.2 部分, 利用钼铯发生器淋洗钨-99m 放射性药物时, 钨-99 的操作视为“贮存”, 放射性药品分装、标记等活动视为“简单操作”, 本项目 Pb-212 的淋洗工艺与之相似, 因此淋洗的操作方式是“源的贮存”, Pb-212 分装的操作方式是“简单操作”。

根据放射性日等效操作量计算结果, 本项目非密封源工作场所分级标准为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.5 人员编制及工作制度

陕西劲草生物医药科技有限公司共有 8 名工作人员, 其中 4 名为辐射工作人员。日工作 6 小时, 年工作 120 天, 其中溶解操作年工作 365 天, 日工作 5 小时。

1.1.6 实践正当性分析

本项目为 Pb-212 发生器性能研发，可提高西北地区核医学的服务质量，具有良好的社会效益和经济效益，本项目经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益要远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求。

1.1.7 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2024 年本）中鼓励类“六、核能 4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，故项目符合国家产业政策。属于《西部地区鼓励类产业目录》（2020 年本）中“陕西省 48.核辐射加工、核辐照产业、放射性同位素生产与研发、轻型辐射屏蔽材料、核级铅材等研发生产”的“放射性同位素研发”项目，同时取得《西安浐灞国际港经济发展改革局关于陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目备案的批复》（西港经发〔2024〕300 号）（见附件 2）。综上所述，项目符合国家和地方产业政策。

1.1.8 选址合理性分析

（1）选址合理性分析

本项目位于西安浐灞国际港中陕核测试公司现有 1 楼库房，该用地取得了西安市国土资源局颁发的不动产权证书，产权用途属于工业用地，符合用地规划（附件 3）；本项目所在建筑已经建成投用，基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。

综上，项目用地性质符合用地规划，基础设施完善，本项目选址是合理的。

（2）本项目外环境关系及布局合理性分析

在本项目的评价范围内，项目北侧、西侧和东侧为空地，东北角 28m 处为空置厂房，南侧和楼顶分别为中陕核工业集团综合分析测试有限公司的办公楼和库房，没有居民区等人员活动密集区域。本项目地理位置图见图 1-1，四邻关系图见图 1-2。

本项目的东侧和西侧是中陕核工业集团综合分析测试有限公司上楼的楼梯，西侧楼梯以西为库房，东侧楼梯以东为玻璃门阻隔的碎样设备间。场区内由西到东依次布置原料储存及制备、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测和分装外包成品出库，所在区域相对独立，涉同位素操作区域和非同位素操作区域有明显的分割界限，能够有效防止交叉污染，工作场所内拟配置一定数量的辐射防护用品和实验装置，工作场所内设有相对独立的工作人员、

放射性同位素和非放路径，且放射性废物运送通道相对便捷。因此本项目的平面布局是合理的。

综上所述，陕西劲草生物医药科技有限公司位于西安浐灞国际港中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有建筑1楼库房，用地性质为工业用地，本项目主要功能为研发，符合产业规划要求。区域交通运输条件较好，无不良地质现象，评价范围内不涉及自然保护区、风景名胜区、集中式饮用水水源保护区等需要特殊保护的区域，项目周围环境 γ 剂量率基本处于当地本底水平。因此，本项目选址较合理。

1.2 原有核技术利用情况

1.2.1 核技术利用现状及相关手续履行情况

建设单位于2022年11月14日办理了辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证〔A2228〕，许可种类和范围：销售Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源，有效期至：2027年11月14日。

1.2.2 辐射安全与管理现状

（1）辐射安全管理机构及制定的制度

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，建设单位应制定的规章制度至少涉及放射事件应急处理预案、辐射防护安全管理制度、质量保证大纲、放射工作人员个人剂量监测管理制度、放射工作人员职业健康管理制度、放射工作人员放射防护培训管理制度、防护用品管理制度、放射诊疗设备质量控制及防护检测制度、DSA机操作规程、放射科档案管理制度等内容。

建设单位制定的放射防护相关制度主要有：①《放射源销售管理制度》；②《放射源销售安全管理制度》；③《放射源销售台帐管理制度》；④《销售放射源工作人员岗位职责》；⑤《人员培训计划、监测方案》。

建设单位制定的放射防护相关制度比较健全，内容可行，具有可操作性，在正常情况下可以保证安全运行，但缺少《辐射安全与环境保护领导小组》。建设单位应在日常工作中加强相关制度的宣贯工作，加强工作人员的操作技能、法律法规和安全防护培训，进一步培养和提高工作人员的专业技术水平和安全防护素质。

（2）现有辐射人员

①职业健康检查和个人剂量监测

根据建设单位提供资料，公司仅从事相关放射源销售工作，设备均从厂家直接送至使用单位，不在公司存放，设备的生产、运输、安装调试等均由厂家全权负责。设备无相关

辐射类排放，对公司所处地区不会产生射线辐射污染。因此，公司不存在个人剂量监测报告和体检报告单。具体情况说明见附件15。

②辐射工作人员培训：现有2名辐射人员已在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核取得《核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单》，成绩合格。培训合格证见附件16。

（3）工作场所监测与环境监测情况

根据建设单位提供资料，公司仅从事相关放射源销售工作，所以设备均从厂家直接送至使用单位，不在我公司存放，设备的生产、运输、安装调试等均由厂家全权负责。设备无相关辐射类排放，对我公司所处地区不会产生射线辐射污染。因此，我公司不存在环保部门出具的监测报告。具体情况说明见附件17。

（4）年度评估报告情况

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年的评估报告。

建设单位已于2025年1月22日向西安市生态环境局莲湖分局提交了2024年度辐射安全与防护状况年度评估报告。

综上所述，建设单位辐射安全管理基本符合相关法律法规的要求，能满足目前运行中的各项管理要求。在从事放射源销售工作过程中，目前未发生过辐射安全事故。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注:放射源包括放射性中子源, 对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
1	Pb-212	半衰期 10.64h, 液态, 中毒	研发、使用	2.33E+8Bq	1.9+6Bq	4.44+9Bq	科研原料	简单操作	实验室	铅柜和铅盒
2	Y-90	半衰期 2.67d; 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+22		/	/	仅销售, 不贮存
3	Cu-60	半衰期 0.387h, 液态, 低毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
4	Ra-224	半衰期 3.66d, 液态, 极毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
5	F-18	半衰期 109.8min, 液态,	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
		低毒								
6	Zr-89	半衰期 78.41h, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
7	Sm-153	半衰期 46.284h, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+12		/	/	仅销售, 不贮存
8	Ac-225	半衰期 10.0d, 固/液态, 极毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
9	At-211	半衰期 7.214h, 液态, 高毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
10	Sc-44	半衰期 3.97h, 液态, 低毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
11	Sc-47	半衰期 3.35d, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
12	Pb-203	半衰期 2.17d, 液态, 低毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
13	Re-188	半衰期 17.0h, 固/液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+11		/	/	仅销售, 不贮存
14	Ho-166	半衰期 26.263h, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+11		/	/	仅销售, 不贮存
15	I-131	半衰期 8.02d, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+11		/	/	仅销售, 不贮存
16	Lu-177	半衰期 6.73d, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+11		/	/	仅销售, 不贮存
17	Th-223	半衰期 2.67d, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
18	I-124	半衰期 4.176d, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
19	Tb-149	半衰期 4.15h, 液态, 中毒	销售	/	/	7.40E+10		/	/	仅销售, 不贮存
	以下空白									

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量(MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器：包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度(Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等）	固体	钍系放射性衰变链子体核素	/	/	200kg	/	放射性固体废物储罐分类收集，在固废暂存间暂存	定期交给硝酸钍供应商
冲洗废液	/	/	/	/	1.632012m ³	/	放射性放射性废液储罐收集，在固废暂存间暂存	定期交给硝酸钍供应商
废活性炭	/	/	/	/	12kg	/	放射性固体废物储罐分类收集，在固废暂存间暂存	定期交给硝酸钍供应商
放射性废气	气体	钍系放射性衰变链子体核素	/	微量	微量	/	不暂存	拟设 2 套排风系统，实现负压通风。其中拟配备的 2 个铅屏蔽手套箱和 1 个铅屏蔽热室拟设独立的排风系统，铅屏蔽手套箱和铅屏蔽热室顶部拟设过滤装置，通过排风管道引出后，在楼顶经中高效过滤装置处理后高于屋面 3m 排放；原料储存及制备

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
								间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测间和分装外包成品出库间设1套排风系统
废离子交换树脂	固体	钍系放射性衰变链子体核素	/	/	10kg	/	放射性固体废物储罐分类收集，在固废暂存间暂存	定期交给硝酸钍供应商

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态单位为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015 年 1 月 1 日； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日； (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》（修订），2018 年 10 月 26 日； (5) 《中华人民共和国水污染防治法》（修订），2018 年 1 月 1 日； (6) 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2019 年 1 月 1 日； (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（修订），2020 年 9 月 1 日； (8) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日； (10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院 709 号令，2019 年 3 月 2 日； (11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订），原国家环境保护总局令第 31 号及生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行； (12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环保部 18 号令，2011 年 5 月 1 日施行； (13) 《放射性废物分类》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日施行； (14) 《陕西省放射性污染防治条例》（修正），2019 年 7 月 31 日； (15) 《放射性废物安全管理条例》，国务院第 612 号令，2012 年 3 月 1 日； (16) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院第 562 号令，2010 年 1 月 1 日； (17) 《陕西省大气污染防治条例》（修正），2019 年 7 月 31 日； (18) 《陕西省固体废物污染环境防治条例》（修正），2019 年 7 月 31 日； (19) 《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）； (20) 《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号），2018 年 6 月 6 日发布； (21) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（原国家环保总局，环发〔2006〕145 号），2006 年 9 月 26 日发布；
------	--

	(22) 《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 2019 年第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日施行； (23) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），2017 年 11 月 20 日； (24) 《放射性物品运输安全许可管理办法》（2021 年修正），生态环境部令第 7 号，2021 年 1 月 4 日； (25) 《放射性物品运输安全监督管理办法》，原环境保护部令第 38 号，2016 年 5 月 1 日施行。
技术标准	(1) 《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）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； (4) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）； (5) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA 5-2019）； (6) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； (7) 《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）； (8) 《核技术利用放射性废物库选址、设计与建造技术规范》（HJ 1258-2022）； (9) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (12) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (13) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；

	(14) 《地下水质量标准》 (GB/T14848-2017) ； (15) 《污水综合排放标准》 (GB8978-1996) ； (16) 《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》 (辐射函〔2023〕20 号) ； (17) 《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB8999-2021) ； (18) 《辐射事故应急监测技术规范》 (HJ1155-2020) ； (19) 《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020) ； (20) 《危险废物贮存污染控制标准》 (GB18597-2023) ； (21) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》 (GBZ2.1-2019) 。
其他	(1) 《西安浐灞国际港经济发展改革局关于陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目备案的批复》 (西港经发〔2024〕300 号) ； (2) 企业提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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）的规定：“1.5……放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”，本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，故确定本项目评价范围为：以辐射工作场所屏蔽体为边界外延 50m 区域，评价范围见图 7-1。



图 7-1 项目现状评价范围图

7.2 保护目标

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），确定本项目评价范围为辐射工作场所实体屏蔽边界外 50m 范围，评价范围内主要有本项目所在建筑、南侧中陕核工业集团综合分析测试有限公司办公楼、南侧祥瑞驾校部分区域以及东北侧空置厂房部分区域。根据本项目确定的评价范围，保护目标包括各工作区域的职业人员和周围公众成员。职业人员为从事放射性同位素操作的工作人员，公众成员为辐射工作场所实体屏蔽边界外 50m 范围内公众。通过 2025 年 3 月 10 日现场踏勘了解项目主要环境保护目标见表 7.2-1。

表 7.2-1 主要环境保护目标一览表

类别	保护对象		人数	相对位置关系		剂量约束值
				方位	与屏蔽体外表面的最近距离(m)	
本项目辐射工作场所内	放射性同位素研发操作人员		4 人	/	/	≤5mSv
本项目辐射工作场所外	其他人员		4 人	N	2.1	≤0.1mSv
本项目辐射工作场所屏蔽体外 50m 范围内	本项目所在实验楼内的中陕核工业集团综合分析测试有限公司员工	一楼西侧楼梯处员工	流动人员	W	约 2.1	
		一楼西侧库房内员工		W	紧邻	
		一楼东侧楼梯处员工		E	约 4	
		一楼东侧碎样设备间内员工		E	约 6.6	
		二楼库房人员		/	紧邻	
		三楼闲置库房		/	约 2.8	
		四楼闲置库房		/	约 5.6	
		五楼闲置库房		/	约 8.4	
		六楼闲置库房		/	约 11.2	
	本项目所在实验楼外的公众	中陕核工业集团综合分析测试有限公司员工	约 40 人	WS	约 14	
		祥瑞驾校（员工）	约 10 人	S	约 45	
		祥瑞驾校（学员）	流动人口	W	约 45	

备注：表中最近距离为环境保护对象与操作室外墙外表面的距离。

根据后文 11.2 章节本项目对周围公众人员的年附加有效剂量估算，项目运行期对周围环境保护目标产生的辐射影响较小，公众人员年附加有效剂量均满足剂量约束值要求。

7.3 评价标准

7.3.1 职业人员和公众剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）”。

本次评价结合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《放射性药

物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA 5-2019)，并参照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)相关要求，综合考虑陕西劲草生物医药科技有限公司的长远发展，为其他辐射设施和实践活动留有余地，本次评价辐射工作人员职业照射剂量约束值取 5mSv/a、公众照射剂量约束值取 0.1mSv/a，详见下表。

表 7.3-1 职业人员和公众剂量限值

类别	职业人员	公众	标准名称及标准号
剂量限值	①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。	①年有效剂量，1mSv。 ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)
	工作人员的剂量约束值宜取 5mSv/a。	公众剂量约束值宜取 0.1mSv/a。	《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA 5-2019)
	一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。	公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。	《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)
本项目剂量约束值	职业照射剂量约束值不超过 5mSv/a。	公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a。	/

7.3.2 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)中“6.2.3 工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B2 所规定的限制要求”，本项目工作场所的放射性表面污染应满足下表要求。

表 7.3-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		β放射性物质	α放射性物质	
			极毒性	其他
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10	4	4×10
	监督区	4	4×10 ⁻¹	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹	4×10 ⁻²	4×10 ⁻²
¹⁾ 该区内的高污染子区除外。				

7.3.3 放射性废气排放管理

参考《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》(EJ380-1989)“10.5 设计上应保障每个房间有足够的换气次数，白区换气次数一般在 2~5 次/h 或自然通风；绿区换气次数为 5~10 次/h；橙区换气次数为 10~20 次/h；红区的换气次数视小室的大小可以 20 次/h~30 次/h”“10.6 甲、乙级实验室工作场所的进风应当经过粗过滤器过滤，并且防止吸进来

自实验室其它部位排出的气体。”“10.7 甲、乙级实验室的排风应经过过滤，红区的排风一般应经二级过滤，为使排风系统可能受到的污染减至最小，应把过滤器直接安装在铅屏蔽手套箱、工作箱和热室的顶壁上。过滤器前后应留取样口，以确定过滤效果”“10.9 风机能力的设计，应留有一定余量。若实验室内有二个或多个排风系统时，这些排风系统的开启和关闭应设计成程序控制”“10.10 需要建立烟囱的实验室，烟囱高度经计算确定，实验室屋顶的废气排出口，须超过周围 50m 范围内最高屋脊 3m 以上”。

综上所述，本次环评要求：铅屏蔽热室和铅屏蔽手套箱换气次数为 25 次/h，固废暂存间换气次数为 20 次/h，原料储存间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测和分装外包成品出库间换气次数为 10 次/h，其他区域换气次数为 5 次/h。2 个铅屏蔽手套箱和 1 个铅屏蔽热室拟设独立的排风系统，顶部拟设过滤装置，通过排风管道引出后，在楼顶经中高效过滤装置处理后高于屋面 3m 排放；原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测间和分装外包成品出库间设 1 套排风系统，进气口设粗过滤器，各房间废气在通过排风管道引出后，在净化空调室处理后排放。且 2 套排风系统的开启和关闭应设计成程序控制。

7.3.4 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

本项目主要进行放射性产品的研发，根据本项目的特点，本次评价按照《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ 380-1989）中相关规定执行；参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和生态环境部辐射源安全监管司《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中操作箱体及场所剂量率控制要求，本次评价以屏蔽防护从严为原则，确定铅屏蔽热室、铅屏蔽手套箱及场所剂量率控制限值如下：

（1）放射性同位素操作的铅屏蔽热室和铅屏蔽手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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）涉及核素操作的功能房间中，工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.5 表面污染解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时（即 0.8Bq/cm^2 ），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用”。

7.3.6 放射性核素的豁免浓度

本项目涉及的部分核素清洁解控活度及比活度见下表。

表 7.3-3 本项目涉及部分放射性核素的清洁解控水平表

核素	清洁解控比活度值/ (Bq/g)	清洁解控活度限值/Bq
Th-232	1E+00	1E+03
Th-228	1E+00	1E+04
Ac-228	1E+01	1E+06
Ra-228	1E+01	1E+05
Rn-220	1E+04	1E+07
Ra-224	1E+01	1E+05
Pb-212	1E+01	1E+05
Bi-212	1E+01	1E+05

备注：以上数据摘自《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）“附录 A 中表 A1”。

根据《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011），评价要求含多种放射性核素的废物，每种放射性核素的活度浓度与其对应活度浓度上限值的比值之和，应满足下列公式：

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1$$

式中：

C_i ——废物中第 i 中放射性核素的活度浓度，Bq/g；

C_{i0} ——第 i 种放射性核素的活度浓度上限值，Bq/g；

N ——废物中放射性核素种类的数目。

7.3.7 放射性废物管理

（1）气载流出物

本项目控制区采用独立的通风系统，气载流出物的排放所致周围公众年剂量值需满足本项目公众年剂量约束值。

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 8.6 条款和《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）8.1.1.3 条款，以导出浓度值的十分之一作为工作场所的气溶胶预期管理水平，作为放射性气溶胶达标排放的评价依据。实验室中气溶胶导出浓度及预期管理水平见表 7.3-4。

表 7.3-4 放射性气溶胶导出浓度及预期管理水平

核素名称	呼吸量 (m ³ /a)	吸入剂量转换系数 (Sv/Bq)	年剂量限值 (mSv/a)	气溶胶导出浓度 (Bq/m ³)	预期管理水平 (Bq/m ³)
Th-232	2400	4.2E-5	5	0.0496	0.00496
Ra-228	2400	2.6E-6	5	0.8013	0.08013
Ac-228	2400	2.5E-8	5	83.3333	8.3333
Th-228	2400	3.9E-5	5	0.0534	0.00534
Ra-224	2400	2.9E-6	5	0.7184	0.07184
Pb-212	2400	1.9E-8	5	109.6491	10.9649
Bi-212	2400	9.3E-9	5	224.0143	22.4014

备注：呼吸量数据来自《核安全综合知识》P389。吸入剂量转换系数来自 GB18871-2002。

(2) 液态流出物

本项目可能产生的放射性废液主要是过滤洗脱和检测过程所产生的放射性废液。

①放射性废液需在固废暂存间进行暂存，定期交给硝酸钍供应商；

②放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

(3) 放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要包括无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等）、废离子交换树脂和废活性炭。

①固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控处理：

1) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

2) 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。

②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 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm²。

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

7.3.8 操作非密封源的相关规定

根据《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010），操作非密封放射性物质应按照以下要求进行落实：

5.1 一般要求

5.1.1 为开展辐射防护管理工作并对职业照射进行控制，非密封源工作场所应实行严格的分区、分级管理，分区、分级管理的措施，应循 GB18871-2002 的要求。

5.1.2 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。

5.1.3 操作非密封源的单位应制定辐射防护大纲并对其实施和评价负全面责任。单位应设立相应的安全与防护机构（或专、兼职安全与防护人员），并用文件的形式明确规定其职责。

5.1.4 应建立安全与防护培训制度，培植和保持工作人员良好的安全文化素养，自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。

5.1.5 辐射工作人员对某些操作程序必要时应事先进行模拟试验、冷试验、热试验，当熟练掌握操作技能后方可正式开展工作。

5.1.6 如果操作过程中发现异常情况，应及时报告，并分析原因，采取措施防止重复发生类似事件。

5.1.7 应定期检查工作场所各项防护与安全措施的有效性，针对不安全因素制定相应的补救措施，并认真落实，确保工作场所处在良好的运行状态。

5.1.8 在原有设施条件下开展新工作（包括工艺流程的重大改变和提高放射性同位素日等效最大操作量），如果计划操作的放射性同位素种类、操作量、操作方式以及防护设施和设备的要求超出原设计规范，应事先向主管部门提交防护与安全分析报告，经主管部门审查批准后方可进行。

5.1.9 如进行存在临界安全问题的操作，应同时遵守国家有关临界安全的规定。

5.2 操作条件

5.2.1 非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风柜、工作箱或铅屏蔽手套箱内进行。

5.2.2 操作过程中使用的设备、仪器、仪表、器械和传输管道等应符合安全与防护要求。

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。

5.2.3 有可能造成污染的操作步骤，应铺在有塑料或不锈钢等易去除污染的工作台面或搪瓷盘内进行。

5.2.4 操作中使用的容器，必要时应在其外面加一个能足以容纳其全部放射性溶液的不易破裂的套桶。

5.2.5 操作易燃易爆物质，或操作中使用高温、高电压和高气压设备时，应有可靠的防止过热或超压的保护措施，并遵守国家有关安全规定。

5.2.6 伴有强外照射的操作，应尽可能缩短操作时间，利用合适的屏蔽或使用长柄操作机械等防护措施。

5.2.7 若需要进行开启密闭工作箱门放入或取出物品及其他危险性较大的操作时，应采取安全与防护措施，并在防护人员监督下进行。

5.2.8 进行污染设备检修时，应当事先拟出计划。主要的工作内容及采取的防护措施，经现场防护人员审查同意并落实辐射防护措施后方可进行。

7.3.9 非放射性标准

(1) 废气

本项目施工期扬尘执行《施工场界扬尘排放限值》（DB61/1078-2017）规定的排放限值。

(2) 废水

本项目生活污水依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司的化粪池预处理后排入市政污水管网，经西安市第十二污水处理厂集中处理。

(3) 噪声

本项目运行期间执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中标准 2 类标准。

施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中规定的排放限值。

(4) 固体废物

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理位置和场所位置

(1) 项目地理位置

本项目位于西安浐灞国际港中陕核工业集团综合分析测试有限公司院内，项目地理位置图见图 1-1。

(2) 项目场所位置

本项目使用的 Pb-212 放射性同位素操作室均位于中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有库房 1 楼，现用途为监测设备库房。

8.1.2 环境质量现状

陕西劲草生物医药科技有限公司委托中陕核工业集团综合分析测试有限公司，对本项目周围及室内辐射环境进行了监测，监测报告见附件 13，具体监测内容如下：

(1) 监测项目：γ辐射剂量率、总α，总β、特征核素。具体见表 8.1-1。

表 8.1-1 监测对象和项目

序号	监测对象	监测项目
1	外照射剂量率	γ辐射空气吸收剂量率
2	空气	总α、总β、Th、212Pb
3	土壤	²³² Th、 ²²⁸ Ra、 ²²⁸ Th、 ²²⁴ Ra、 ²¹² Pb、Pb、总α、总β

(2) 监测仪器

本次监测使用的仪器设备详见表 8.1-2。

表 8.1-2 仪器设备及性能指标

仪器名称	仪器型号	仪器编号	检出限	溯源单位/证书编号	有效期至
X、γ剂量率仪	FH40G-L10+ FHZ672E-10	SHZC-YJ0 03	1nSv/h	中陕核工业集团综合分析测试有限公司 /DLj12024-15222	2025.10.23
电感耦合等离子体质谱仪	iCAP Q	SHZC-CS 020	Th (0.008μg/m ³) Pb (2mg/kg)	中陕核工业集团综合分析测试有限公司/ /824028271-001	2026.02.26
高纯锗伽马能谱仪	GEM-30P	SHZC-CS 020	/	中陕核工业集团综合分析测试有限公司 /824028271-001	2026.07.25
低本底α、β测量仪	HD-2011	SHZC-FS0 2	/	中陕核工业集团综合分析测试有限公司 /824028269-001	2026.07.03

(3) 质量保证

本次环境质量现状监测委托中陕核工业集团综合分析测试有限公司开展，检测单位已取得相应资质，资质证书编号见表 8.1-3。

表 8.1-3 辐射环境现状采样监测情况表

检测单位证书编号	检测时间
182716305045	2025 年 5 月 12 日~2025 年 5 月 28 日
	2025 年 4 月 1 日~2025 年 5 月 23 日

①按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等的要求，实施监测全过程质量控制；

②合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；

③监测分析方法采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员持证上岗；

④所用监测仪器全部经过计量部门检定并在有效期内；

⑤由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；

⑥监测数据严格实行三级审核制度。

(4) 监测方法

本次监测使用的监测方法详见表 8.1-4。

表 8.1-4 辐射环境现状监测方法

序号	监测对象	监测方法
1	γ辐射空气吸收剂量率	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
2	Th	《空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》（HJ 657-2013）及修改单
3	Pb	《土壤和沉积物 12 种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法》（HJ 803-2016）
4	^{232}Th 、 ^{228}Ra 、 ^{228}Th 、 ^{224}Ra 、 ^{212}Pb	《环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法》（GB/T 16145-2022）
5	土壤中总α	《水质 总α放射性的测定 厚源法》（HJ 898-2017） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
6	土壤中总β	《水质 总β放射性的测定 厚源法》（HJ 899-2017） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
7	气溶胶中总α	《水质 总α放射性的测定 厚源法》（HJ 898-2017） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
8	气溶胶中总β	《水质 总β放射性的测定 厚源法》（HJ 899-2017） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）

(5) 监测点位

本项目空气监测点位示意图见图 8-1， γ 辐射空气吸收剂量率监测点位示意图见图 8-2、图 8-3，土壤样品取样点位示意图见图 8-4。

(6) 监测结果

本项目空气监测结果见表 8.1-5， γ 辐射空气吸收剂量率监测结果见表 8.1-6，土壤样品²³²Th、²²⁸Ra、²²⁸Th、²²⁴Ra、²¹²Pb 和总 α 、总 α 、总 β 、Pb 监测结果见表 8.1-7 和 8.1-8。

表 8.1-5 空气监测结果

序号	采样点	总 α (mBq/m ³)	总 β (mBq/m ³)	Th (μ g/m ³)	²¹² Pb (Bq/m ³ $k=2$)
1	研发中心	0.686	1.03	ND	(8.2 $\pm$ 0.5) E-05
2	祥瑞驾校	0.988	1.91	ND	(8.1 $\pm$ 0.5) E-05

备注：研发中心点位即为实验室所在区域。

项目区、祥瑞驾校环境空气样品中总 α 分别为 0.686mBq/m³ 和 0.988mBq/m³，总 β 为 1.03mBq/m³ 和 1.91mBq/m³，Th 未检出，²¹²Pb 检出比活度为 (8.1 $\pm$ 0.5) $\times 10^{-5}$ ~ (8.2 $\pm$ 0.5) $\times 10^{-5}$ Bq/m³。

表 8.1-6 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

序号	监测点	γ 辐射空气吸收剂量 (nGy/h)			
		最小值	最大值	平均值	标准偏差
1	地区西侧紧邻库房	115	118	117	2
2	原料储存及制备	117	126	122	4
3	药物生产间	115	126	120	4
4	成品检测 (质控)	108	126	119	6
5	缓冲间	117	124	120	3
6	洁具间	113	123	118	3
7	办公室	116	127	122	4
8	产品暂存库	119	125	122	2
9	过滤净化间	118	125	121	3
10	滤柱填料间	103	107	104	2
11	非放包材库	133	138	136	2

12	西侧出入口外 1m 处	118	124	121	2
13	参观走廊	118	128	124	3
14	一更墙外 1m 处	112	122	118	4
15	东侧进出口门外 1m 处	108	116	112	3
16	生产区厂界外东侧	87.5	92.5	89.9	2.1
17	生产区厂界外南侧	97.5	107	101	3.5
18	生产区厂界外西侧	85.8	90.0	87.8	1.5
19	生产区厂界外北侧	101	108	105	3
20	生产区上层 2F	118	132	125	5
21	生产区上层 3F	123	129	127	3
22	生产区上层 4F	120	128	123	3
23	生产区上层 5F	125	137	132	5
24	生产区上层 6F	126	131	129	2
25	中陕核工业集团综合分析测试有限公司	95.8	100	98.3	1.8
26	祥瑞驾校	87.5	95.8	91.4	3.0
27	中核西安工程检测有限公司	101	108	104	3
28	本底值	76.8	78.9	78.1	0.7

由表 8.1-6 可知，项目建设场址 γ 辐射剂量率为（103~138）nGy/h，项目建设场址周围各敏感点处 γ 辐射剂量率为（85.8~137）nGy/h，项目建设厂址本底值为（76.8~78.9）nGy/h。

参考《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“西安市 γ 辐射剂量率调查结果（室内：79.0nGy/h~130.0nGy/h，原野：50.0nGy/h~117.0nGy/h，道路：52.0nGy/h~121.0nGy/h）”和陕西省 2024 年西安市辐射环境空气自动站空气吸收剂量率 68.6~86.9nGy/h，本项目所在地 γ 辐射剂量率与西安市天然环境本底调查水平基本一致，属于正常辐射环境本底水平。

表 8.1-7 土壤样品 ^{232}Th 、 ^{228}Ra 、 ^{228}Th 、 ^{224}Ra 、 ^{212}Pb 监测结果

序号	采样点	固体中 γ 核素（活度浓度 Bq/kg $k=2$ ）				
		^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Th	^{224}Ra	^{212}Pb

1	研发中心东侧	54±4	54±4	51±3	51±3	51±3
2	研发中心南侧	47±3	47±3	49±3	49±3	49±3
3	研发中心西侧	51±4	51±4	48±3	48±3	48±3
4	研发中心北侧	47±3	47±3	47±3	47±3	47±3

表 8.1-8 土壤样品总 α 、总 β 、Pb 监测结果

序号	采样点	固体中 γ 核素（活度浓度 Bq/kg $k=2$ ）		
		总 α （Bq/g）	总 β （Bq/g）	Pb（mg/kg）
1	研发中心东侧	0.787	0.989	15
2	研发中心南侧	0.725	0.834	19
3	研发中心西侧	0.811	0.927	14
4	研发中心北侧	0.625	0.844	18

由表 8.1-7 和 8.1-8 可知，本项目实验室四周土壤样品中总 α 监测结果为（0.625~0.811）Bq/g、总 β 监测结果为（0.834~0.989）Bq/g； ^{232}Th 、 ^{228}Ra 、 ^{228}Th 、 ^{224}Ra 、 ^{212}Pb 的监测结果在 47±3~54±4Bq/kg 之间，监测结果波动很小，其中 ^{232}Th 与 2024 年西安市沙坡等 26 个土壤监测点位监测结果基本持平（29.16~52.38Bq/kg）；Pb 的监测浓度在 14~19mg/kg，低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）表 1 的筛选值。



图 8.1 空气中特征核素、总 α 、总 β 监测点位图



图 8.2 厂界外环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位图

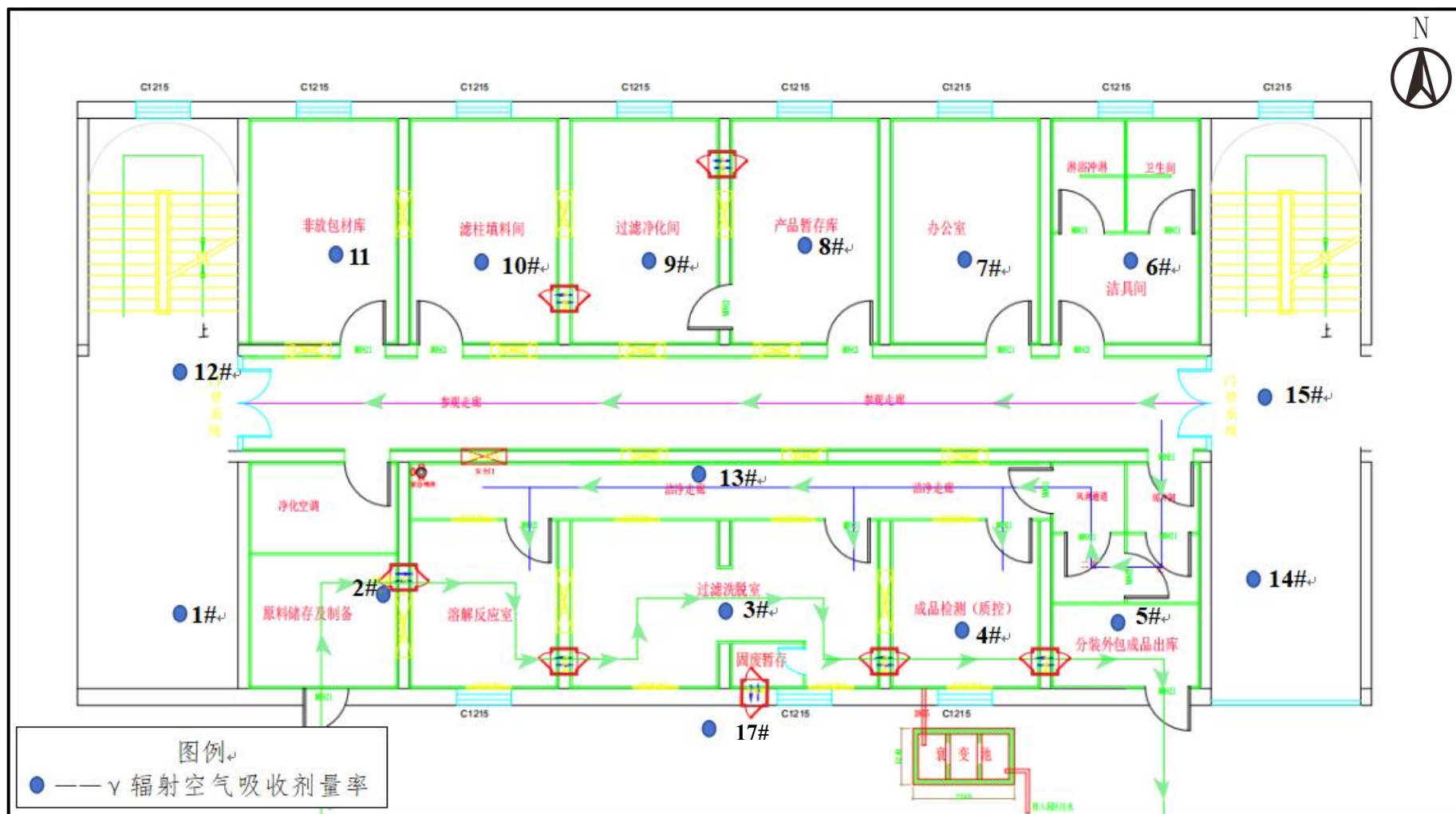




图 8-2 土壤特征核素、总 α 、总 β 监测点位图

表 9 项目工程分析及源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 施工期工艺分析

本项目位于西安浐灞国际港中陕核测试公司现有 1 楼库房，所在建筑已建成，根据现场踏勘，本项目场区外侧墙体为 370mm 的砖混结构，各功能用房内墙体均为 240mm 砖体结构，地面为水泥地面。

(1) 施工方案

本次新建实验室，将场区北侧的房间从左到右依次编号为 1 号~6 号，场区南侧的房间从左到右依次编号为 7 号~12 号，现状平面布置图见 9-1，改造后的平面布置图见 1-4。

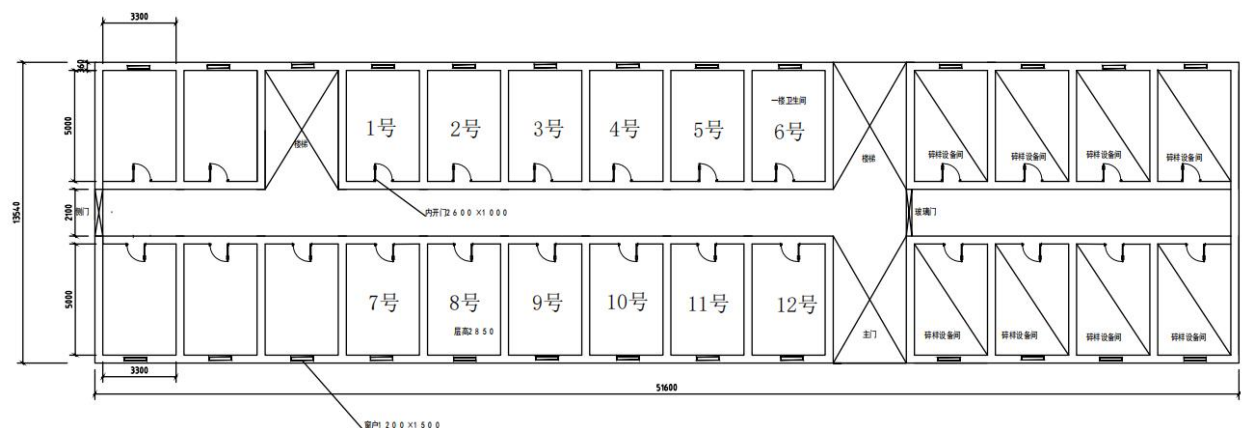


图 9-1 现状平面布置图

主要施工内容有：

- ①1 号房增设货架，作为非放包材库，储存非放物品。
- ②2 号房和 3 号房分别作为滤柱填料间和过滤净化间，2 号房和 3 号房的隔墙上开传递窗；
- ③5 号房购置桌椅板凳作为办公室；
- ④6 号房改造为卫生间，包括洁具区、淋浴冲淋区和蹲位区；
- ⑤7 号房改造为南北两侧，且两侧不相通。其中北侧部分改为净化空间，南侧部分为原料储存及制备间，内部放置屏蔽储存柜，用来储存硝酸钍。其中原料储存及制备间四周墙体和房顶做防辐射处理，刷硫酸钡材料，防护等级 3mmPb 当量，与 8 号房的隔墙设落地传递窗，传递窗尺寸为 600mm×600mm×1200mm；
- ⑥8 号房~11 号房之间的隔墙打断北侧 1200mm，连通设为洁净走廊，洁净走廊两侧砌

50mm 厚净化板隔墙；

⑦8 号房作为溶解反应室，四周墙体和房顶做防辐射处理，刷硫酸钡材料，防护等级 3mmPb 当量，与 9 号房之间隔墙增设传递窗，传递窗尺寸为 500mm×500mm×500mm；

⑧9 号房和 10 号房之间隔墙打通，作为过滤洗脱室，四周墙体和房顶做防辐射处理，刷硫酸钡材料，防护等级 3mmPb 当量。并在原 10 号房的西南角设置固废暂存间（全文称为“固废暂存间”），东侧墙体设置传递窗，传递窗尺寸为 500mm×500mm×500mm；固废暂存间四周墙体和房顶做防辐射处理，刷硫酸钡材料，防护等级 3mmPb 当量，固废暂存间南侧墙壁设置传递窗，传递窗尺寸为 600mm×600mm×1200mm；

⑨11 号房改为成品检测（质检）室，与 12 号房之间墙体设置传递窗，四周墙体和房顶做防辐射处理，刷硫酸钡材料，防护等级 3mmPb 当量；

⑩12 号房改造为南北两侧，且两侧不相通。其中北侧部分改为人流进入洁净走廊之前的缓冲间、一更、二更和风淋通道，南侧改为分装外包成品出库间；

⑪增设不锈钢实验台面、铅柜、通风系统及排风系统、三级衰变池等其他设施。

（2）施工期污染源分析

本项目工程量较小，施工内容相对简单，施工周期较短，产生的污染主要是施工废气、施工废水、施工噪声和固体废物。

①施工废气

施工废气主要是施工时产生的扬尘，集中在拆除阶段，由于拆除工程均在室内，且项目施工期较短，施工期间通过洒水抑尘降低扬尘的影响。

②施工废水

施工期废水主要是施工人员生活污水。依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司化粪池预处理后排入市政污水管网。

③施工噪声

施工噪声主要体现在拆除施工、设备安装等阶段，本项目位于已建成的库房内，通过建筑隔声、选用低噪声施工设备，可降低施工噪声的影响。

④施工固废

本项目施工期的固体废物主要是拆除的建筑垃圾和施工人员生活垃圾。

1）生活垃圾

本项目施工期按每天施工人员 5 人计，每人每天产生生活垃圾 0.5kg，则每天产生 2.5kg。

2) 建筑垃圾

拆除过程将产生建筑垃圾，建筑垃圾产生量约 2.3t。施工结束后由建设单位统一运至建筑垃圾填埋场处置。

根据以上分析，评价认为本项目施工期施工规模小，施工时间短，基本不会对周围环境产生不良影响。

9.1.2 运营期工艺分析

(1) 工艺设备

本项目研发过程中需要用到的主要设备规格见下表。

表 9.1-1 设备一览表

序号	名称	安装位置	类别/型号	单位	数量
1	高压恒流泵(1mCi)	过滤洗脱室	微灵仪器 WL-PP-P1000	台	1
2	工业注射泵		智高流体 SY03B-25ml 六通	台	1
3	工业注射泵		沐辉 SYP-3087-5ml	台	1
4	六通切换阀		沐辉 LV01-PE12-M16RS	个	1
5	探测器		上海夜视非标定制	个	1
6	蠕动泵		雷弗 MF133(软 92#)	台	1
7	铅屏蔽热室		长 2.2m、宽 1.2m、高 2.0m	个	1
8	双层防爆玻璃反应釜	溶解反应室	上海科兴仪器有限公司 RAT-100L(出口接软 92#)	台	1
9	平板过滤器		DN300	个	1
10	铅屏蔽手套箱		长 1.5m、宽 0.8m、高 2.2m	个	1
11	超纯水机	滤柱填料间	Elix Essential 10+ Milli-Q EQ 7000	个	1
12	铅屏蔽手套箱	成品检测	长 1.5m、宽 0.8m、高 2.0m	个	1

(2) 工作原理

利用离子交换树脂对 Pb-212 的吸附作用，从钍系衰变链中分离获得 Pb-212。

①工艺流程及产污环节

辐射工作人员在实验室研发 Pb-212 的操作过程属于半自动化，硝酸钍的溶解和 Pb-212 检测分装在铅屏蔽手套箱内完成，Pb-212 过滤洗脱在铅屏蔽热室内完成，硝酸钍原料和分装后 Pb-212 原料均放入铅盒内进行转移。具体工艺介绍如下。

1) 工艺流程

操作流程及产污见图 9-1。

(保密)

图 9-1 工作流程及产污环节示意图

2) 主要工序介绍

A.预处理：硝酸钍（ $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ）结晶体放置于铅屏蔽手套箱内的溶解反应釜，加入一定量的纯水后开启常温常压搅拌溶解过程。溶解完成后，打开反应器下方阀门，开启过滤器泵，开始过滤去除杂质。

B.吸附：去除杂质的硝酸钍溶液采用泵吸的方式输送至铅屏蔽热室内的发生器储液桶，后采用发生器泵组将原液吸到色谱柱（特制离子交换柱）上。

C.洗脱：采用硝酸溶液、柠檬酸溶液依次洗脱吸附在发生器色谱柱上的原液。

D.纯化：将洗脱液重新上柱，即重复吸附和纯化流程，直到纯度达到要求。

E.配置：滴加一定量的缓冲液，使得溶液pH到目标值。

F.检测分装：在铅屏蔽手套箱内分装Pb-212溶液检测样，并将样品委托有资质单位检测。

综上分析，在操作非密封放射性物质过程中会产生 γ 射线、 α 射线、 β 射线、放射性废水、放射性固废和微量放射性废气。对辐射工作人员和周围保护目标造成外照射；对工作台面、地面等造成表面污染；研发过程产生的放射性固体废物，如废离子交换树脂、无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等）、废活性炭等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水包括废硝酸钍废液、淋洗废液、去污废水、检测废液；在硝酸钍溶解、Pb-212洗脱纯化操作时会产生微量的放射性废气。

3) 人员配置及工作内容分配

表 9.1-2 本项目人员配置及工作负荷一览表

人员配置分类	主要工作内容	每天最多次数	年最多次数	每次操作时间（min）	年最大工作负荷（h）
实验室负责人	巡视、指导	1	120	5	10
放射性同位素管理员	放射性核素的台账管理	1	120	5	10
实验操作人员	领取	1	70	10	11.67
	溶解	1	70	60	70
	淋洗	1	120	360	720
	转移	1	120	10	20
	检测分装	1	120	10	20

(3) 放射性同位素的暂存

根据建设单位提供资料，按照研发计划进行采购，在未开展研发实验使用前，不对货包进行开包，暂存在原料储存及制备间，使用完后进行下一批次的采购，硝酸钍最大暂存

量为 $1.16\text{E}+8\text{Bq}$ ，每年最大使用量为 $4.67\text{E}+8\text{Bq}$ 。

(4) 放射性同位素的转移

本项目采购的硝酸钍和产生的放射性废物均由生产厂家委托运输，研发的Pb-212原料由建设单位委托运输，运输单位由商洛市焯佳达运输有限公司承担，相关手续见附件11~12，运输货包严格按照《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）中规定Ⅰ级（白）的防护要求进行包装运输，货包外表面辐射剂量率最大不超过 $5\mu\text{Sv/h}$ 。其中硝酸钍货包到场后，在原料储存及制备间暂存，涉及研发操作时，转移至铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内进行溶解过滤、洗脱、检测分装等操作。研发过程产生的放射性废液由放射性液体废物储罐收集和放射性固废由放射性固体废物储罐分类收集，收集后转移至固废暂存间暂存，并随每次产品运输车辆运回硝酸钍生产厂家处置。

(5) 清洁去污

器皿清洁及其他物品去污：根据《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中7.1.3要求“应分类收贮废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化”，对同位素实验过程中使用过的器皿，在使用完毕后即刻用恰当溶剂进行少量多次淋洗或者吸水纸擦拭，直至内壁表面污染水平低于 0.8Bq/cm^2 后，可重复再次使用；对于其他放射性污染的工具、设备等可采用擦拭等方式去污后，直至表面污染水平低于 0.8Bq/cm^2 后直接进行再利用，非必要情况下避免使用一次性用品，宜使用可重复利用的，易于去污的器物，减少放射性固体废物的产生量。禁止实验过程中将放射性废物混入非放射性废物中，或将放射性废物混放在各种材料、物品中，从源头控制和减少放射性废物产生量。

场地清洁：放射性同位素实验结束后须对实验台面、实验装置等进行表面污染监测，如存在放射性污染情况须遵照相关规定进行清洁去污，去污一般采用吸水纸或卫生棉进行擦拭，保证控制区内实验台面、地面、实验装置表面污染小于 40Bq/cm^2 。如去污后表面仍不能满足表面污染控制水平，可采用低原子序数等材料进行覆盖。去污物品、沾污手套吸水纸等作为放射性固体废物分类收集，暂存于固废暂存间内。

(6) 放射性同位素的销售

公司在销售放射性同位素的过程中，将严格按照相关法律法规的要求，严格按照销售流程进行销售：

- ①用户与公司签订放射性同位素销售合同；
- ②审查用户具有辐射安全许可证，确认该用户的许可证的有效期和许可的种类和范围

可以满足相关要求；

③与用户签订《非密封放射性物质转让协议》；

④由用户在国家核技术利用辐射安全监管系统中填写转让核素名称和数量，提交审批表申请并打印；

⑤将协议、转让审批表，或审批时要求提供的其他材料连同公司《辐射安全许可证》正副本复印件加盖公司公章后交用户单位，由用户单位去当地省级环保部门办理非密封放射性物质转让审批；

⑥全部手续办理完成后，与用户确定运送放射性核素的时间地点。公司依照用户提前预订告知的放射性药品种类、剂量和数量，与客户协商放射性同位素的配送问题；

⑦公司在进行放射性同位素转移前，需在《非密封放射性物质销售台账》上进行登记确认，做到账物相符；

⑧放射性同位素运输到用户单位后，填写药品交接单。每次的转让活动，双方人员应履行交接手续，并在交接单上签字确认。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期

本项目所在场区仅需简单改造，配置相关设备设施后即可投用，施工期间主要污染源为固体废物、废水、废气和噪声。

（1）固体废物

本项目实验室在改造过程中，产生的固体废物主要为拆除的隔墙等围护结构、包装固废、生活垃圾等。

（2）废水

本项目施工期产生的废水主要为生活污水。

（3）噪声

本项目产生的噪声主要为实验室墙体改造和设备设施安装产生的噪声。

（4）废气

本项目在施工期会拆除部分隔墙等围护结构，再增设部分彩钢板和铅钢结构墙体，主要为拆除和安装过程中产生的扬尘。

9.2.2 运营期

本项目运营期，使用的硝酸钍主要成分为 Th-232，其子体存在多次衰变后才能达到稳定状态。Th-232 的衰变链见下图。

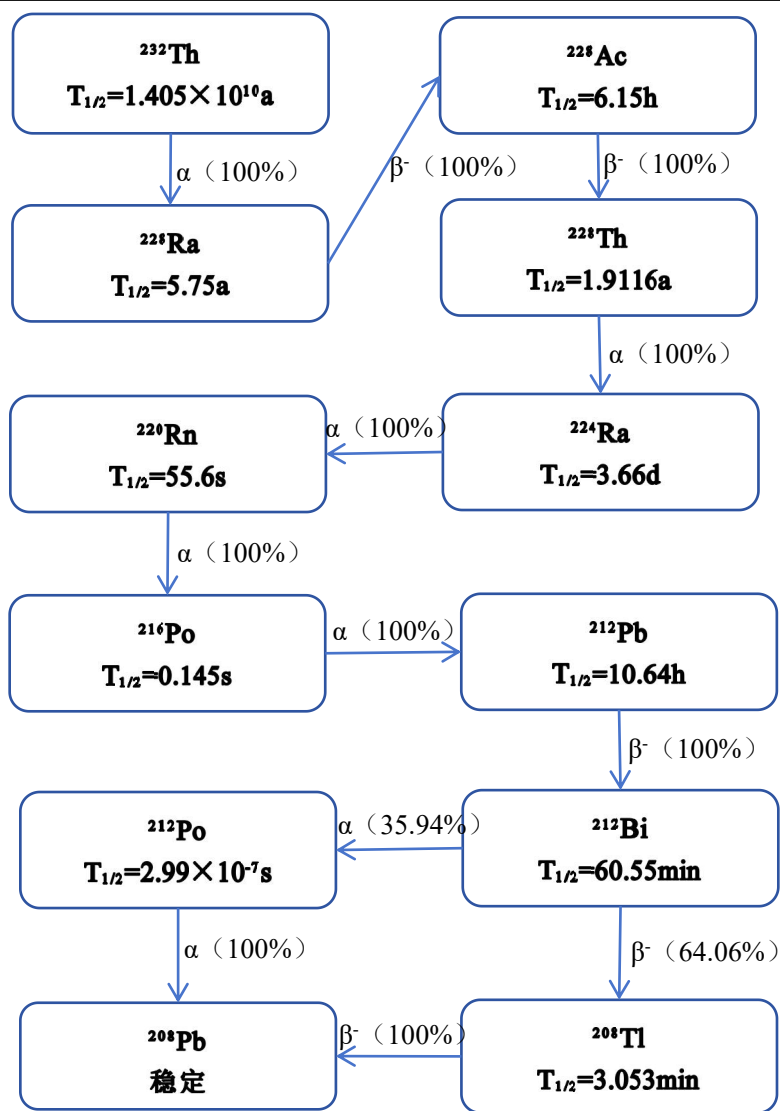


图 9-2 Th-232 衰变链

由上图可知，Pb-212 是钍系衰变链的中间产物之一，半衰期为 10.64h，衰变子体有 Ra-228、Ac-228、Th-228、Ra-224、Rn-220、Po-216、Bi-212、Po-212、Tl208，经过多次衰变，最终生成稳定的 Pb-208。具体衰变情况见表 9.2-1。

表 9.2-1 本项目钍系衰变链一览表

(保密)

注：以上参数引自《辐射安全手册》（潘自强，科学出版社，2011 年 11 月），其中分支比指的是核素自身蜕变的百分比，而非在该系所占的原始百分比。 γ 分支比指的是测出的射线的百分比，而不是跃迁的百分比。

由上表可知，本项目使用的硝酸钍（主要是 Th-232）放射性同位素中 Th232、Th-228、Ra-224、Rn-220、Po-216、Po-212 主要发生 α 衰变，释放能量较低，射线射程较短。

(1) 放射性污染源项

①贯穿辐射

贯穿辐射包括表面污染、韧致辐射和 γ 射线。本项目使用的放射性同位素衰变过程中会释产生 α 和 β 射线，实验操作人员操作非密封放射性物质时，可能出现溢出、滴洒等情况，造成工作台面、地面设备表面和操作器械的表面污染； β 射线被放射性同位素本身以及其他物质阻止时会产生韧致辐射，韧致辐射的强度与 β 射线的能量成正比，与吸收物质的有效原子序数 Z 的平方成正比。本项目放射性同位素一般存放在一定厚度铅质容器内，放射性同位素在铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内操作时，射线受到铅、铁等其他材料会产生韧致辐射。 γ 射线主要考虑衰变子体中产生的 γ 射线带来的影响。

②内照射

放射性同位素经吸入、食入及皮肤伤口侵入等途径可能进入人体，形成内照射。工作人员均在负压铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内操作非密封放射性物质，操作过程中均穿戴个人防护用品，如穿工作服、口罩和防护眼镜，可有效减小人员受到内照射的风险，在规范操作的情况下，对辐射工作人员产生内照射影响很小。

③放射性废水

本项目产生的放射性废水主要是冲洗废液，包括废硝酸钍溶液、淋洗废液和检测废液。

废硝酸钍溶液主要是硝酸钍溶液输送到特制离子交换柱上时截留的部分，产生量约为硝酸钍溶液用量的1%，产生量约为0.4L/次，一年120次，年产生量为0.048m³/a；稀硝酸和柠檬酸溶液将加载到离子交换树脂上的Pb-212淋洗出来的过程产生淋洗废液，产生量约为12L/次，淋洗出来的Pb-212溶液纯化浓缩过程产生的淋洗废液，产生量约为1.2L/次，一年120次，年产生量为1.584m³/a；每批次Pb-212溶液将留样0.1mL进行成品检测，检测后的样品将成为检测废液，产生量约为0.0001L/次，一年120次，年产生量0.000012m³/a。综上所述，冲洗废液产生量最大为13.6001L/次，1.632012m³/a。

本项目产生的放射性废液中含有长半衰期核素子体，由放射性废液储罐收集后暂存至固废暂存间内，定期交给硝酸钍供应商，不外排。

④放射性固体废物

本项目产生放射性固废主要是无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等）、废离子交换树脂和废活性炭等。无法去污的器具产生量较少，无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等）产生量最多为100kg/a；废离子交换树脂半年更换一次，产生量约为10kg/a；通风系统更换下的废活性炭保守按每

年更换 3 次，每次最多 4kg，产生量为 12kg/a。

综上所述，放射性固废产生量约为 122kg/a。

⑤放射性废气

1) 环境空气中放射性废气

根据《Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor Nuclear Facilities 第一卷-实验数据分析》（1994 年 12 月），对于在流动空气中加热水溶液时边界释放量（ARE）为 3E-5。保守考虑，本项目操作放射性溶液时，不涉及加温浓缩等操作，常温条件下各放射性核素进入废气中的占比根据同类型放射性核素生产企业取最大操作量的 1.0E-6。对于核素衰变过程产生的气态子体核素（如 Rn-220）按全部进入废气保守考虑。

本项目所有涉及放射性同位素的操作均在负压的铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内进行。拟在顶部设置过滤装置，经排风管道引至楼顶经中高效过滤装置过滤后高于楼顶排放。铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室顶部过滤装置过滤效率保守按 50%考虑，根据《高效空气过滤器》（GB/T13554-2020）检测要求，按照 GB/T6165 规定的方法检测过滤器过滤效率，高效空气过滤器分为 35、40、45 三类，这三类在额定风量下的效率分别需要达到 $\geq 99.95\%$ 、 $\geq 99.99\%$ 、 $\geq 99.995\%$ ，本项目拟配置中高效空气过滤器过滤效率保守按 90%考虑。则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总活度为 5.78E+08Bq/a。放射性气溶胶中储 Rn-220 外其余核素的单次产生量及年总排放量均远小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 A 中所列的各核素免管活度，其影响基本可忽略。

各操作场所核素的产排量见表 9.2-2。

表 9.2-2 各操作场所核素的排放量表 9.2-2 各操作场所核素的排放量
(保密)

2) 工作人员操作位放射性废气

实验室内各箱室均执行 3 级密封箱室要求（小时泄漏率 $\leq 1E-2h^{-1}$ ，保守取 $1E-2h^{-1}$ ），则操作人员所在的铅屏蔽热室或手套箱前区空气中放射性气溶胶活度浓度计算结果如下：

表 9.2-2 工作人员接触的各核素排放量
(保密)

(2) 非放射性污染源项

①废水

非放射性废水主要是工作人员的生活污水，生活用水参考《陕西省行业用水定额（修

订稿)》(DB61/T943-2020)“行政机关 行政办公中用水定额 68L/人·d”，生活污水产生量为用水量的 80%，本项目共 8 名工作人员，年工作 120d，则生活污水产生量为 0.435m³/d，52.224m³/a，生活污水依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有化粪池预处理后排入市政污水管网，经化粪池处理后排放废水 COD300mg/L、BOD₅180mg/L、SS210mg/L、氨氮 34mg/L，则排放量 COD0.016t/a、BOD₅0.01t/a、SS0.011t/a、氨氮 0.002t/a。

②固体废物

项目运行过程中产生的非放射性固体废物主要是工作人员产生的少量生活垃圾和研发过程中产生的废酸。

生活垃圾：本项目 8 名工作人员，年工作 120d。每人每天产生生活垃圾约 1kg/d，则生活垃圾产生量为 8kg/d，0.96t/a，其产生的生活垃圾依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有的生活垃圾收集系统，采取垃圾桶收集后每日交由市政环卫部门清运。

废酸：研发过程中产生的废酸年产生量约为 10L，属于《国家危险废物名录》（2025 年版）中的 HW49-其他废物，废物代码为 900-047-49，依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有危险废物贮存间的废酸储罐暂存，定期交给有资质单位处置。

③噪声

本项目的噪声源主要为空调设备机房内的风机产生的噪声，无高噪声设备，噪声经设备机房的实体墙体隔声后，可满足噪声环境功能要求，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局、分区

(1) 平面布局

根据现场踏勘，并分析平面布置图等资料，本项目位于一楼，有独立的工作人员通道、物流通道。工作人员通道入口位于场区南部偏东侧，物料通道位于南部偏西侧。场区北部布置非放功能区，场区南部布置放射性操作区，自西向东依次布置有溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测和分装外包成品出库等用房，辐射工作场所四至相邻区域均设置为非辐射工作区。

本项目各功能区相对独立，布局紧凑，辐射工作场所相对集中，便于统一管理。此外，管理措施做到人流、物流错时分开，避免交叉污染，满足辐射防护要求，各场所功能明确，平面布局基本合理。本项目平面布置图详见图1-4。

本项目各功能区及其辅助用房功能详见下表 10.1-1。

表 10.1-1 本项目放射性操作区一览表

区域名称	功能
原料储存及制备间	暂存硝酸钍
溶解反应室	硝酸钍溶解和去杂质等预处理，制备硝酸钍溶液
过滤洗脱室	利用特制的离子交换柱对硝酸钍溶液中 Pb-212 的加载特性，制备 Pb-212 溶液原料
成品检测室	对制备的每批次 Pb-212 溶液原料进行检测料液分装
分装外包成品出库	在此间对研发的 Pb-212 溶液原料的品名、体积、剂量等进行核对检查，无误后对外包表面剂量率进行检测并记录。检测合格后进行外包封箱、贴标、转运
一更	更换工作服
二更	穿戴防护用具
风淋通道	工作人员进入工作区时消毒
缓冲间	在此区域对手部、皮肤暴露部分及工作服、手套、工作鞋帽、工作袜等进行辐射表面污染检测，若发现放射性污染则退回去污，直至检测合格方可离开

(2) 工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第6.4条：“应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制”的要求，划定相应

分区：控制区（辐射工作场所划分的一块区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施）、监督区（未被确定为控制区，通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域）。

根据本项目各功能区的具体功能，按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“辐射工作场所分区”要求，对本项目的工作场所进行分区管理，本项目辐射工作场所具体分区情况见表10.1-2，控制区和监督区的划分图见图10-1。

表 10.1-2 本项目辐射工作场所分区一览表

场所位置	控制区	监督区
一层	原料储存及制备、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测室、固废暂存间	洁净走廊、净化空间、分装外包成品出库间、风淋通道、二更；原料储存及制备、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测室等南侧与中陕核测试公司办公楼外墙之间的空间；原料储存及制备西侧库房
二层	/	仓库

备注：根据第 11 章各屏蔽体外表面周围剂量率估算以及公众人员年附加有效剂量估算结果，本项目各控制区对应楼上的各关注点位周围剂量率处于辐射环境本底水平，公众年附加有效剂量远小于剂量约束限值 0.1mSv/a 要求，故本次未将各控制区对应正上方的区域作为监督区管理。

①场所划分

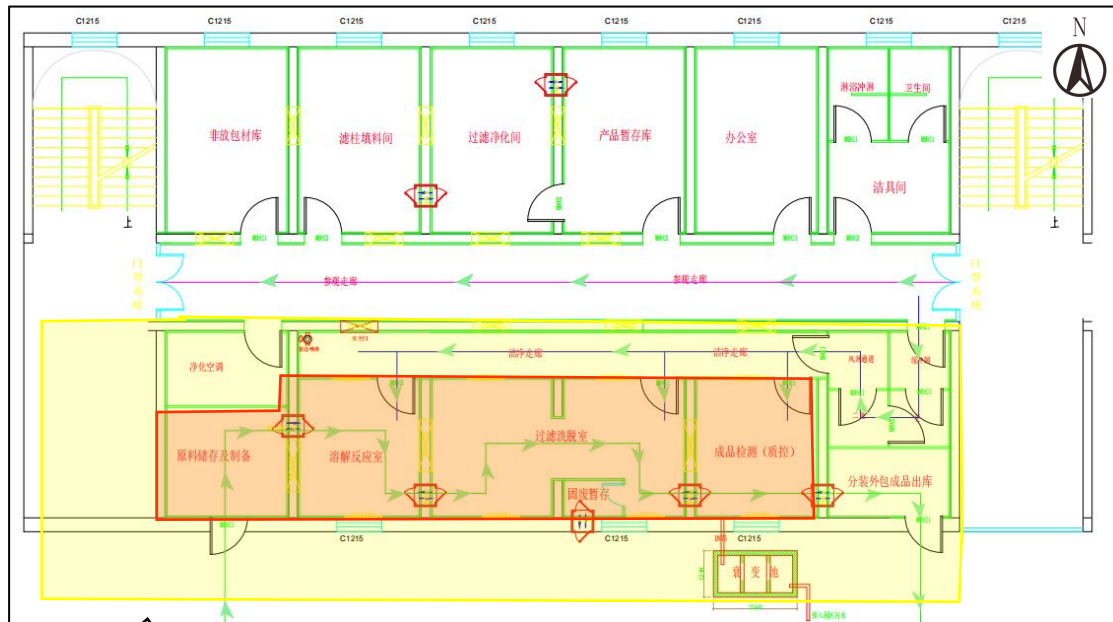
控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区。放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

②防护手段与安全措施

控制区：进出口及其它适当位置处（原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测、固废暂存间、放射性废液（固废）储罐等）设立醒目的警告标志；制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门禁）限制进出控制区；在人员缓冲间拟配备个人防护用品、工作服、表面污染监测仪等；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。

监督区：以黄线警示监督区为边界；在监督区的入口处适当位置设立表明监督区的标牌；定期检查监督区划分的情况，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。



中陕核测试公司
办公楼外墙

控制区 监督区

图 10-1 本项目（一层）控制区、监督区划分示意图

本项目辐射工作场所控制区设置辐射屏蔽和防护措施，入口设置符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志。控制区只有本项目相关辐射工作人员才能进入，未经授权的无关人员不允许进入。控制区的出入口设立风淋通道、一更、二更和缓冲区，为工作人员提供必要的可更换衣物、表面污染监测设备、防护用品和消毒需要等。本项目控制区、监督区划分明确，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射工作场所分区要求。

(保密)

图 10-4 放射性物料出库至研发区转运流向示意图

3) 放射性废物转运路径

(保密)

图 10-5 放射性废物转运流向示意图

本项目设有相对独立的放射性原料库、固废暂存间，布局相对集中，便于统一管理。常规物料和放射性物料分开存放，放射性原料和放射性废物分开存放，不存在交叉污染，可以满足辐射防护要求，本项目人流、物流通道设置基本合理。

10.1.2 非密封放射性工作场所辐射防护设施及措施

(1) 实体屏蔽措施

根据建设单位提供的资料，各功能区内屏蔽防护情况见下表。

表 10.1-3 放射性同位素操作区屏蔽措施情况表

(保密)

备注：各功能区内墙体、地面、顶部的建筑材料具有较好的耐火性能，并具有不易污染、耐化学腐蚀、容易去污等特点。

(2) 其他防护设备和放射性药物成品包装措施

① 防护设备

本项目配备的其他防护设备见下表。

表 10.1-4 各辐射工作场所拟配备的防护设备一览表

(保密)

② 放射性物质分装活度及包装措施

每次运输的 Pb-212 被装在密封容器里，并放置在专用运输箱内。运输时分装活度及包装措施见表。

表 10.1-5 放射性物质运输时分装活度及包装措施

放射性物质	分装活度及包装措施
硝酸钍	内包为 0.3kg 的低原子序数物质包装，活度为 $1.05 \times 10^6 \text{Bq}$ ，外包为 30mmPb 铅盒。铅盒盖子为旋转式卡扣盖子，装入专用运输箱后不易松动
Pb-212 原料	内包为 1mL 的低原子序数物质包装，活度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，外包为 30mmPb 铅盒。铅盒盖子为旋转式卡扣盖子，装入专用运输箱后不易松动

10.1.3 辐射安全与防护措施

(1) 实验室辐射安全措施

① 本项目硝酸钍溶解过滤和 Pb-212 检测分装在铅屏蔽手套箱内操作，Pb-212 洗脱在铅

屏蔽热室内进行操作，实验期间铅屏蔽手套箱和铅屏蔽热室与实验室内各功能区独立排风系统均处于开启状态，保证实验室内微负压环境，防止废气外溢。

②监督区和控制区进出口设有实体边界，并安装有电子门禁系统，进出口适当位置应张贴醒目的且符合GB18871-2002标准规定的电离辐射警告标志，工作区内应设可视化监控系统，至少安装2个监控探头，分布在原料储存及制备间和固废暂存间内，本项目所在区域内的所有监控终端接入监控主机，安装在办公室，监控数据存储容量可以满足30天以上。

③在实验操作过程中，所有涉及核素的操作均在便于去污的铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内易于去污的台面上进行，硝酸钍溶液和Pb-212溶液转移前，采用封闭的铅桶或铅盒，防止撒漏。

④为工作人员配备口罩、防护面罩、防护眼镜、橡胶手套和实验工作服等防护用品，工作人员进入实验室时须正确穿戴工作服、工作鞋（或鞋套）等个人防护装备，并随身佩戴个人剂量计。

⑤在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。工作人员由指定通道进入控制区，严禁将无关物品带入控制区，进入控制区均需先更衣。实验结束后，经配备的辐射监测设备监测，确认无放射性污染方可更衣离开。工作服、工作手套、工作鞋污染水平超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手部、皮肤、内衣、工作袜污染水平超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则应采取去污措施，视污染情况不同，采取去污措施或作为放射性废物处置；工作人员手部或身体受到放射性污染，应洗手去污（必要时淋浴去污）。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

⑥本项目控制区的地面采用易清洗、不易渗透的材料进行处理，实验工作台表面采用表面光滑、易于清洁和去污的材料。

⑦本项目硝酸钍原料储存及制备间实行门禁系统双人双锁单独管理，并采用防盗门，应在防盗门和铅柜醒目的位置张贴电离辐射警示标识。做好同位素贮存、领取、溶解、过滤、分装、使用情况的台账登记，台账至少保存3年。

⑧项目拟设固废暂存间1间，应采用防盗门和安装视频监控设施，门上张贴醒目的电离辐射警示标识，并应设通风系统、排风系统。固废暂存间应满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）中防渗、防风、防雨、防晒、防盗等要求，放射性固体废物和放射性废液应采用专用的收集容器进行分类收集，收集容器外表面张贴电离辐射警示标识、放射性核素类别等信息，建立放射性废物储存和处置台账。

⑨原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、固废暂存间、成品检测间认真做好防水防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”工作。项目实验产生的放射性废液由放射性废液储罐收集后暂存在固废暂存间，定期委托运输交给硝酸钍供应商处理。铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室具有良好的通风条件，每天产生的放射性液体及时分类收集，定期分类处置，不随意转移，减少放射性废液撒漏、污染扩散的风险。

⑩火灾报警系统

一楼安装烟雾报警装置和消防栓，且各个房间功能单元需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2014），同时应在人员易接触的地方配备灭火器。

⑪过滤装置

为防止实验废气中含有的放射性同位素等有害物质进入空气，影响环境大气，建设单位拟在铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室顶部设过滤装置，项目产生的废气经过滤装置过滤后，再进入排风管道内。

⑫通排风系统

在实验室内，原料储存及制备、溶解反应室、过滤洗脱室、固废暂存间、成品检测间等区域内均应设计通排风管道。

⑬辐射剂量报警

拟在原料储存及制备、溶解反应室、过滤洗脱室、固废暂存间、成品检测间等位置安装多探头固定式辐射剂量率报警仪，关注点处辐射剂量率一旦超过设定的辐射剂量率，立即发出报警声，提醒本项目实验操作人员和周围的公众。

⑭其他安全措施

本项目实验室内拟配备2个铅屏蔽手套箱和1个铅屏蔽热室，表面便于去污。

（2） α 、 β 表面污染防治措施

①放射性同位素应具有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②对工作人员进行岗前培训，经过反复验证，使其具备熟练的操作技能；

③本项目工作人员均应进行辐射安全与防护知识的学习，在取得生态环境主管部门组织的辐射防护与安全考核合格成绩单后，持证上岗；

④公司拟制定严格的核素实验操作规程，工作人员应正确穿戴个人防护用品，如工作服、口罩、橡胶口罩、手套等，防止对人员皮肤、肢体表面造成污染；

⑤公司拟在同位素操作间内配备表面污染监测仪和活度检测仪，加强对工作人员相关

监测仪表使用的培训，监测仪表定期进行校准；

⑥操作放射性同位素在易去污的不锈钢材质实验台面上进行，本项目涉及放射性同位素溶解、分装、过滤、洗脱等过程均在负压的专用实验装置内实施，实验装置下衬吸水纸；

⑦辐射工作人员离开控制区前，须仔细对实验台面、铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室、仪器设备、实验装置、工作鞋服和口罩、手套等进行表面污染监测，如存在污染，则按相关规程进行清洁去污。去污用品收集至专门收集桶内，控制区和监督区内表面污染水平应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

（3）人员防护措施

根据《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010），结合本项目实际情况，本项目个人防护应做到以下要求：

①应建立安全与防护培训制度，培植和保持工作人员良好的安全文化素养自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能；

②辐射工作人员对某些操作程序必要时应事先进行模拟试验，当熟练掌握操作技能后方可正式开展工作；

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，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内进行，在任何情况下均不允许用裸露的肢体直接接触放射性物质或进行污染物件的操作；

④实验操作人员在应严格按照实验操作规程在铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室的保护下进行实验操作。

⑤操作过程中使用的设备、仪器、仪表、器械等应符合安全与防护要求。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；

⑥有可能造成污染的操作步骤，应铺在有塑料或不锈钢等易去除污染的工作台面或搪瓷盘内进行；

⑦伴有强外照射的操作，应尽可能缩短操作时间，利用合适的屏蔽防护措施；

⑧进行污染设备检修时，应当事先拟出计划、主要的工作内容、拟采取的防护措施，经现场防护人员审查同意并落实辐射防护措施后方可实施；

⑨公司应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、鞋套、防护衣、口罩、面罩等），并掌握其性能和使用方法，对其性能进行定期检验。

（4）辐射工作场所的退役

本项目非密封放射性物质工作场所作其他用途使用前，建设单位应按照《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021）的要求实施场所退役活动，并根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，及时办理相应的退役环境影响评价手续，确保退役场所满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中限值要求，方可无限制开放使用。

10.2 三废的治理

10.2.1 废气治理

本项目在放射性核素操作过程中会产生放射性废气，放射性同位素操作均在负压铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内进行。拟在顶部设置过滤装置，经排风管道引至楼顶经中高效过滤装置过滤后高于楼顶 3m 排放。

10.2.2 固体废物治理

（1）放射性固废

本项目产生的放射性固废包括过滤洗脱室产生的非离子交换树脂，研发过程中沾有少量放射性核素的无法去污的器具、废包装、沾染的物品（滤纸、擦拭废纸、口罩、手套等），吸附放射性废气产生的废活性炭。

放射性固废分类收集至放射性固废收集容器后，于固废暂存间暂存，定期交给硝酸钍供应商。

（2）一般固体废物

工作人员产生的生活垃圾、废包装材料等依托中陕核测试公司现有非放垃圾收集系统处置。

（3）危险废物

研发过程中产生的废酸年产生量约为 10L，属于《国家危险废物名录》（2025 年版）中的 HW49-其他废物，废物代码为 900-047-49。废酸收集密封在防酸储存桶，暂存在中陕核测试公司的危废贮存库内，最终交给有资质单位处置。

10.2.3 废水治理

（1）放射性废水

放射性废水主要是冲洗废液，包括废硝酸钍溶液、淋洗废液和检测废液，由放射性废液收集容器分类收集后暂存在固废暂存间，定期交给硝酸钍供应商处置。

（2）生活污水

工作人员的生活污水依托中陕核工业集团综合分析测试有限公司现有化粪池预处理后排入市政污水管网。

10.2.4 服务期满后的环境保护措施

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，投入运行后，若将结束本项目的运行，按照相关法律法规要求，应履行相关的退役手续。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），乙级非密封放射性物质工作场所的退役应编制退役环境影响报告表。

针对退役对象，应制定相应的退役计划，退役过程中的相关安全责任由陕西劲草生物医药科技有限公司辐射安全防护领导小组负责，整个退役计划主要为：

- （1）退役前的准备工作，包括源项调查、编制退役方案等；
- （2）对拟退役场所进行辐射环境现状检测，根据检测结果及国家相关标准判断本项目场所是否满足国家相关标准，是否需要采取进一步退役去污措施；
- （3）环评单位对拟退役场所进行辐射环境影响评价，出具环境影响评价报告；
- （4）按照环评要求及环评审批要求实施退役；
- （5）委托有资质单位对拟退役工作场所进行终态验收监测，办理退役审批手续；
- （6）经审管部门批准后，该退役工作场所可无限制开放。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目利用已建好的库房进行改造。施工内容相对简单，改造工程量较小，施工周期较短。施工期采用封闭施工，施工期间主要污染源为固体废物、废水、废气和噪声。

11.1.1 声环境影响分析

施工期间噪声主要来源于室内装修、管沟开挖等施工过程，此外建筑材料及设备运输车辆会产生交通噪声影响。由于本工程位于室内，且施工期间产生的噪声具有阶段性、临时性，因此，施工单位采取有效的噪声污染防治措施后，本项目施工期间对周围环境产生的影响可减小到最低程度。

为降低施工期间对周围声环境的影响，施工单位要加强管理，尽可能选取噪声低、振动小、能耗小的施工机械和设备；合理安排施工时间，场内施工作业禁止在午休（12:00~14:00）及夜间（22:00~6:00）时段进行；运输车辆安排在白天工作时段进行，车辆行经声环境敏感地段时必须限速、禁鸣；保持产噪设备处于正常工况，降低噪声的排放。在采取有效的噪声污染防治措施后，基本能够满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的要求，本项目施工期噪声对周围环境影响可接受。施工噪声随着施工结束而消失，施工结束后对当地声环境质量无影响。

11.1.2 大气环境影响分析

根据本项目工程内容和施工特点，在施工期对周围大气环境影响主要为运输建材、拆除物时产生的扬尘，以及运输车辆排放的尾气。

为减小施工期间上述大气污染对周围环境的影响，施工单位应做到以下几点：①施工现场进行围挡；②加强施工现场运输车辆管理，运输粉状物料及渣土的车辆采取苫盖、密闭等措施，减少沿途抛洒；③加强对所使用车辆和机械的日常维护保养工作，特别注意尾气排放情况，防止冒黑烟和黄烟；④使用柴油机的施工机械其污染物排放量不应超过《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》（GB20891-2014）及其修改单的排放限值；⑤及时清扫施工场地；⑥选用质量合格、通过国家质量检验的低污染建材。项目施工期对当地大气环境影响很小，在施工结束后，上述污染也随之消失。

11.1.3 水环境影响分析

本项目施工期间废水主要为施工人员产生的少量生活污水。施工人员生活污水依托测

试公司现有的排水系统，处理达标后进入市政污水管网。采取以上措施后，施工期废水对外环境的影响是可以接受的。

11.1.4 固体废物影响分析

施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

施工期产生的建筑垃圾主要包括地面开挖产生的弃土渣、拆除的隔断墙废材料、装修固废等，对于可回收利用的应尽量回收再利用，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至建筑垃圾填埋场，并做好运输工作中的装载工作，防止建筑垃圾沿途散落。生活垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。对固体废物从收集、清运到弃置实现严格的全过程管理；设垃圾桶收集生活垃圾。施工单位认真落实上述措施后，对外环境的影响较小。

因此，本项目应合理安排施工时间及施工秩序，对施工场地进行适当的封闭，避免因本项目建设影响中陕核测试公司办公。通过采取相应的污染防治措施后，可将施工期的影响控制在项目局部区域，本项目施工期对外环境的影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目运行后，主要进行硝酸钍（Th-232）制备 Pb-212 溶液原料的研发实验。研发过程中，放射性核素的 Th-232、Th-228、Ra-224、Rn-220、Po-216、Po-212 衰变方式均为 α 衰变（100%），Ra-228、Ac-228、Pb-212、Tl-208 衰变方式均为 β -衰变（100%），Bi-212 的衰变分为 α 衰变（35.94%）和 β -衰变（64.06%）。产生的主要环境影响为 α 射线、 β 射线、 γ 射线、韧致辐射、放射性固体废物、表面污染、放射性废水和放射性废气。

11.2.1 辐射环境影响分析

11.2.1.1 贯穿辐射影响

（1） α 射线的辐射影响分析

本项目使用硝酸钍的钍系衰变链中 Th232、Th-228、Ra-224、Rn-220、Po-216、Po-212 主要发生 α 衰变，衰变过程中会产生 α 粒子。由于 α 粒子的体积比较大、射程较短、带两个正电荷，在暂存、操作过程中有各种材料的屏蔽物质阻挡。因此，它的能量亦散失得较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能隔阻 α 粒子。因此，不考虑其对人体外照射的影响。

（2） β 射线的辐射影响分析

本项目使用硝酸钍的钍系衰变链中 Ra-228、Ac-228、Pb-212、Bi-212（35.93%）和 Tl-208 发生 β -衰变，会产生 β 射线。

参考采用《辐射防护导论》（方杰主编，P127），β粒子在某材料的射程计算公式：

$$d = R / \rho \quad (\text{式 11-1})$$

$$R = 0.412 \times E^{(1.265 - 0.0954 \cdot \ln E)} \quad (0.01 < E < 2.5 \text{ MeV}) \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

d——β粒子的最大射程，cm；

R——β粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm²；

ρ——物质的密度，g/cm³。

R——β粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm²；

E——β射线能量（MeV）。

根据公式（式 11-1）、（式 11-2），可估算出本项目核素衰变发出的β射线在屏蔽材料的射程，预测结果见下表。

表 11.2-1 β射线在不同材料中的射程估算

（保密）

由上表可知，由于β粒子能量较低，穿透能力较弱，在各介质中射线很短。本项目各核素衰变发出的β射线在铅屏蔽材料中的最大射程约为 9.533mm。本项目操作均在 30mmPb 的铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内进行，其发射的β射线对职业人员和公众辐射影响较小。

（3）韧致辐射影响分析

由于β粒子在遇到周围物质（如盛放放射性同位素的玻璃瓶、铅盒、铅屏蔽手套箱等）阻挡时，会产生韧致辐射。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} A Z_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho) \cdot \eta \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

$\dot{D}$ ——屏蔽层中由β粒子所产生的韧致辐射在 r（m）处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料有效原子序数；

μ_{en}/ρ ——韧致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数，m²/kg；

r——参考点到放射源的距离 m；

E_b ——韧致辐射的平均能量，MeV，为最大能量的三分之一；

η ——透射比， $\eta = 10^{-X/TVL}$ 。

因 β 粒子的品质因数 Q 为1，故吸收剂量当量率数值与吸收剂量率相等。简化估算1mGy近似为1mSv，根据公式(11-3)计算可得，核素韧致辐射预测结果见表11.2-2和11.2-3。

(4) γ 外照射剂量率计算公式

本项目同位素操作均在铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内，放射性同位素转移和暂存均置于铅罐或铅盒内，其周围关注点空气比释动能率可近似按照点源模式计算，采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算关注点空气比释动能率。

$$\dot{K}_\alpha = \frac{A \cdot \Gamma_k}{r^2} \cdot \eta \quad (\text{式 11-4})$$

式中： $\dot{K}_\alpha$ ——关注点空气比释动能率，Gy/h；

A ——源活度，Bq；

Γ_k ——空气比释动能率常数，Gy·m²·Bq⁻¹·s⁻¹；

r ——放射源到关注点距离，m；

η ——透射比， $\eta = 10^{-X/TVL}$ 。

根据公式(11-4)计算可得，核素周围剂量率水平预测结果见表11.2-4和11.2-5。

(5) 韧致辐射和 γ 射线叠加影响

叠加韧致辐射和 γ 射线影响后，操作位及周围剂量率水平和各保护目标处的辐射水平分别见表11.2-6和11.2-7。

表 11.2-2 本项目操作位及周围韧致辐射的辐射剂量率水平估算

(保密)

由上表可知，简化估算 1mGy 近似为 1mSv 时，Pb-212 在研发过程中，铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室外人员操作位韧致辐射剂量率最大值为 0.169 μ Sv/h，小于 2.5 μ Sv/h，满足相关标准要求；实验室墙外 30cm 处韧致辐射剂量率最大值为 0.0647 μ Sv/h，门外 30cm 处韧致辐射剂量率最大值为 0.14 μ Sv/h，均小于 2.5 μ Sv/h，满足相关标准要求。

表 11.2-3 本项目韧致辐射致各保护目标处辐射剂量率 单位：Gy/h

(保密)

备注：距离为墙体厚度、边界距离和屏蔽层厚度之和。

表 11.2-4 本项目操作位及周围 γ 射线的辐射剂量率水平估算

(保密)

由上表可知，简化估算 1mGy 近似为 1mSv 时，Pb-212 在研发过程中，铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室外人员操作位 γ 射线辐射剂量率最大值为 0.0108 μ Sv/h，小于 2.5 μ Sv/h，满足相关标准要求；实验室墙外 30cm 处 γ 射线辐射剂量率最大值为 1.41E-3 μ Sv/h，门外 30cm 处 γ 射线辐射剂量率最大值为 8.93E-3 μ Sv/h，均小于 2.5 μ Sv/h，满足相关标准要求。

表 11.2-5 本项目各保护目标处 γ 射线的辐射剂量率 单位：Gy/h

(保密)

备注：距离为墙体厚度、边界距离和屏蔽层厚度之和。

表 11.2-6 本项目操作位及周围辐射剂量率水平叠加估算

(保密)

简化估算 1mGy 近似为 1mSv，由上表可知，Pb-212 在研发过程中，铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室外人员操作位辐射叠加剂量率最大值为 0.1798μSv/h，小于 2.5μSv/h，满足相关标准要求；实验室墙外 30cm 处辐射叠加剂量率最大值为 0.06926μSv/h，门外 30cm 处辐射叠加剂量率最大值为 0.14893μSv/h，均小于 2.5μSv/h，满足相关标准要求。

表 11.2-7 本项目各保护目标处辐射剂量率叠加值 单位：Gy/h

(保密)

(6) 关注点的有效剂量估算

本项目关注点处年最大有效剂量由《辐射防护导论》中公式计算，计算公式如下：

$$D_{Ef} = D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式 11-5})$$

式中：

D_{Ef} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

T ——年工作时间；

T ——居留因子；

U ——使用因子，放射性同位素以点源考虑， U 取 1。

①年最大工作负荷

根据建设单位提供资料，在研发实验过程中各工艺流程对本项目职业人员年最大工作负荷见下表。

表 11.2-8 本项目人员配置和保护目标及工作负荷一览表

主要工作内容	操作人员编号	每天最多次数	年最多次数	每次操作时间(min)	年最大工作负荷(h)
巡视、指导	①	1	120	5	10
放射性核素的台账管理	②	1	120	5	10
领取	②	1	70	10	11.67
溶解	③	1	70	60	70
淋洗	④	1	120	360	720
转移	③	1	120	10	20
检测分装	④	1	120	10	20

中陕核工业集团综合测试有限公司	1	260	480	2080
祥瑞驾校	/	365	1440	8760
本项目非放工作人员	1	120	360	720

备注：本项目共有 4 名辐射工作人员，将各人员分别编号为①、②、③和④。

②年最大有效剂量

表 11.2-9 本项目人员和保护目标的辐射剂量一览表

人员配置分类	主要工作内容	操作人员编号	关心点处最大辐射剂量率 (μSv/h)	年最大工作负荷 (h)	居留因子	各环节最大辐射剂量 (mSv)
实验室负责人	巡视、指导	①	0.1798	10	1	0.001798
放射性同位素管理员	放射性核素的台账管理	②	0.00879	10	1	0.0000879
实验操作人员	领取	②	0.03853	11.67	1	0.00045
	溶解	③	0.013252	70	1	0.00093
	淋洗	④	0.1798	720	1	0.129456
	转移	③	0.0064	20	1	0.000128
	检测分装	④	0.000222	20	1	0.00000444
中陕核工业集团综合测试有限公司员工			2.149E-01	1600	1/5	0.0688
祥瑞驾校			2.299E-5	8760	1	0.0002
本项目非放工作人员			6.974E-03	720	1	0.0050

备注：巡视、指导的最大辐照剂量参考各环节最大剂量值，台账管理参考核素贮存的辐照剂量，公众最大辐照剂量参考各环节最大剂量值；居留因子取值参考 GBZ/T250-240 附录 A 中表 A.1 不同场所与环境条件下的居留因子。

由上表可知，各操作人员的年最大有效剂量见下表。

表 11.2-10 人员的年最大有效剂量

人员		最大辐射剂量 (mSv/a)
工作人员	①	0.001798
	②	0.00054
	③	0.001
	④	0.1295
中陕核工业集团综合测试有限公司员工		0.0894
祥瑞驾校		0.0002
本项目非放工作人员		0.0050

根据上表估算结果，本项目辐射工作人员年最大有效剂量为 0.1295mSv，中陕核工业集团综合分析测试有限公司员工年最大有效剂量为 0.0894mSv，祥瑞驾校的年最大有效剂

量为 0.0002mSv。本项目工作人员、中陕核工业集团综合分析测试有限公司员工和祥瑞驾校年最大有效剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本评价提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a）要求。

本项目拟配备 4 名辐射工作人员，每次实验操作最多 1 名，本次预测考虑了同位素实验室外最近关注点处的所有保护目标，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，能够代表本项目周围保护目标最大可能受到的附加辐射剂量，在项目投入运营后，同位素操作间周围保护目标受照年有效剂量比估算值更低。建设单位应严格要求实验人员按照实验操作程序和辐射防护的要求，根据本项目实验区域的划分开展实验，合理安排体外同位素实验计划和实验方案。

11.2.1.2 内照射的影响分析

放射性核素操作过程中，可能会产生微量放射性气溶胶，被人员吸入引起人员内照射。工作人员通过铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室内操作放射性药物，铅屏蔽手套箱或铅屏蔽热室均带有专用排风管道，保持良好通风，各控制区房间内也均设有放射性废气排风管道，放射性废气经过滤装置处理后，高于建筑屋顶排放。合理控制各场所负压和换气次数，使低污染区气压>高污染区气压，气流由低污染区流向高污染区确保工作场所内通风良好

（1）工作人员内照射剂量分析

①Rn-220 吸入所致职业内照射

根据工程源项分析可知，本项目吸入所致职业内照射的放射性核素主要为 Rn-220，对于 Rn-220 吸入所致职业内照射本次评价参照 UNSCEAR2000 报告提供的参数及计算方法（室内氡贡献的人均有效剂量值公式）对职业人员吸入内照射剂量进行估算：

$$D_{Rn} = g_{Rn} \cdot t \cdot C_{Rn} \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

D_{Rn} ——吸入内照射剂量，Sv/a；

g_{Rn} ——吸入 Rn-220 剂量转换因子， $8E-10Sv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3})$ （根据 GB18871-2002 中表 B2 中的转换系数确定）；

C_{Rn} ——空气中 Rn-220 浓度， Bq/m^3 ；

t ——工作人员的有效工作时间，h。

表 11.2-11 Rn-220 吸入内照射所致工作人员年有效剂量

（保密）

表 11.2-12 Rn-220 吸入内照射所致工作人员年有效剂量

(保密)

②其他核素吸入所致职业内照射

工作人员吸入其他核素污染空气所致内照射剂量计算公式：

$$D_i^{inh} = C_i \cdot R_{inh} \cdot t \cdot DF_{inh} \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

C_i —空气中放射性物质的活度浓度，Bq/m³；

R_{inh} —呼吸率，m³/a；对于成人，呼吸率取值为 1.2m³/h；

DF_{inh} —吸入内照射剂量转换因子，Sv/Bq；根据 GB1887-2002 表 B3 吸入内照射剂量转换因子 F、M、S 类中最大值；

t ——工作人员的有效工作时间，h。

根据上式，本项目工作人员吸入工作场所污染空气所致内照射剂量（不计口罩的过滤效率）计算结果如下：

表 11.2-13 其他核素吸入所致职业内照射年有效剂量

(保密)

注：巡视、指导的 C_i 取各操作环节中的最大值。

表 11.2-14 其他核素吸入内照射所致工作人员年有效剂量

人员		最大辐射剂量 (mSv/a)
工作人员	①	2.42E-4
	②	1.70E-4
	③	1.50E-3
	④	1.74E-2

③空气浸没外照射致职业人员受照剂量

$$D_i^{im} = C_i \cdot t \cdot DF_{im} \quad (\text{式 11-8})$$

式中： D_i^{im} ——空气浸没外照射所致剂量，Sv；

C_i ——空气中放射性物质的活度浓度，Bq/m³；

t ——工作人员的有效工作时间，h；

DF_{im} ——浸没外照射剂量转换因子，Sv · m³ / (Bq · a)，根据 IAEA No.19 取值。

根据上式，本项目工作人员空气浸没外照射致职业人员受照剂量所致内照射剂量计算

结果如下：

表 11.2-15 空气浸没外照射所致职业内照射年有效剂量

(保密)

表 11.2-16 空气浸没外照射所致职业内照射年有效剂量

人员		最大辐射剂量 (mSv/a)
工作人员	①	5.18E-11
	②	6.02E-11
	③	4.69E-10
	④	1.73E-7

(2) 公众所受内照射剂量分析

国际原子能机构 (IAEA) 安全报告 19 号《放射性物质排放至环境的影响评价通用模型》采用简单大气弥散模式估算气态流出物释放点的地面空气浓度，考虑空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射、食入内照射 4 种照射途径对公众成员产生的辐射剂量，以此评价辐射源和实践对公众照射控制的最优化和适当性，由于周围主要是荒地，因此本次评价并不考虑食入内照射途径对公众成员产生的辐射剂量。

①空气中核素浓度

气态流出物释放点的地面空气浓度计算由公式所示：

$$C_A = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (\text{式 11-9})$$

式中：

C_A ——为释放点下风向接收点至排放点距离 300m 处地面空气浓度， Bq/m^3 ；

P_p ——是接收点处风向频率，0.25；

B ——是下风距离 300m 处的高斯扩散因子；

Q_i ——是放射性核素 i 的年平均排放速率， Bq/s ；

u_a ——释放高度上的平均风速，单位 m/s ，取项目所在地多年年平均风速 $2.0m/s$ 。

敏感目标处核素地面浓度见下表。

表 11.2-17 场址外敏感目标素地面核浓度估算 单位： Bq/m^3

(保密)

②公众吸入引起的照射剂量估算

1) 吸入内照射剂量估算模式

$$E_{inh} = C_A \cdot R_{inh} \cdot DF_{inh} \quad (\text{式 11-10})$$

式中:

E_{inh} —公众吸入内照射剂量, Sv/a;

R_{inh} —公众人员呼吸率, m^3/a , 根 IAEA No.19, 对于成人, 呼吸率取值为 $8400\text{m}^3/\text{a}$; ;

DF_{inh} —剂量转换系数, Sv/Bq, 取自 GB18871-2002 附录 B;

表 11.2-18 吸入内照射剂量

(保密)

2) 烟云浸没外照射所致剂量估算模式

$$D_i^{im} = C_{Ai} \cdot Q_f \cdot DF_{im} \quad (\text{式 11-11})$$

式中:

D_i^{im} —烟云浸没外照射所致剂量, Sv;

C_{Ai} —空气中放射性物质的活度浓度, Bq/m^3 ;

Q_f —每年公众受到浸没外照射的时间份额, 取值为 1;

DF_{im} —浸没外照射剂量转换因子, $\text{Sv} \cdot \text{m}^3 / (\text{Bq} \cdot \text{a})$; 根据 IAEA No.19 取值。

表 11.2-19 烟云浸没外照射所致剂量

(保密)

3) 地面沉积外照射所致剂量估算模式

$$E_{gr} = \frac{(V_d + V_w) C_A [1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_s) t_b}]}{\lambda_i + \lambda_s} DF_{gr} Q_f \quad (\text{式 11-12})$$

式中:

C_A —核素 i 的地面空气浓度, Bq/m^3 ;

DF_{gr} —地面沉积外照射剂量转换因子, $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{Bq} \cdot \text{a})$; 根据 IAEA No.19 取值;

λ_i —核素放射性衰变常数, 单位 s^{-1} , 根据 IAEA No.19 取值;

λ_s —除了放射性衰变外由于其他过程的土壤核素活度降低速率常数, 单位 s^{-1} ,

根据 IAEA No.19 取值；

V_d+V_w —总沉积速率，保守取 1000m/d；

t_b —核素释放时间，单位 d，取值 $1.1E+4d$ ；

表 11.2-20 本项目气载流出物各核素的计算参数

(保密)

表 11.2-21 地面沉积外照射所致剂量

(保密)

11.2.1.3 年附加有效剂量叠加估算

本项目所致职业人员和公众年附加有效剂量见表 11.2-22 和 11.2-23。

表 11.2-22 本项目所致工作人员和公众年附加有效剂量

预测点位	类型	外照射所致剂量 (mSv/a)	吸入 Rn220 所致内照射剂量 (mSv/a)	吸入其他核素所致内照射剂量 (mSv/a)	空气浸没外照射所致剂量 (mSv/a)	合计剂量 (mSv/a)
辐射工作人员	①	0.001798	0.0019	2.42E-4	5.18E-11	0.0039
	②	0.00054	0.0011	1.70E-4	6.02E-11	0.0018
	③	0.001	0.0116	1.50E-3	4.69E-10	0.0141
	④	0.1295	0.1344	1.74E-2	1.73E-7	0.2813

表 11.2-23 本项目所致公众年附加有效剂量

敏感点	外照射所致剂量 (mSv/a)	吸入内照射剂量 (mSv/a)	烟云浸没外照射所致剂量 (mSv/a)	地面沉积外照射所致剂量 (mSv/a)	合计剂量 (mSv/a)
中陕核工业集团综合测试有限公司员工	0.0688	0.0285	4.44E-13	2.37E-12	0.0973
祥瑞驾校	0.0002	0.0285	4.44E-13	2.37E-12	0.0287
本项目非放工作人员	0.0050	0.0285	4.44E-13	2.37E-12	0.0335

根据表 11.2-22 和 11.2-23 可知，在正常运行工况下，本项目运行致工作人员所受年附加有效剂量为 0.018mSv~0.2513mSv，低于本次评价提出的工作人员年剂量约束值（5mSv/a）；敏感目标公众所受年附加有效剂量为 0.0287mSv~0.0973mSv，低于本次评价提出的公众年剂量约束值（0.1mSv/a）。

(4) 表面污染影响分析

本项目使用的硝酸钍中钍系衰变链子体较多，辐射工作人员在对放射性同位素操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、口罩、手套等发生放射性沾污，

造成放射性表面污染后，立即采用吸水纸或者卫生棉擦拭。工作人员操作过程中均穿有工作服和防护手套，离开实验室前对工作服及手部经表面污染监测，确认无污染后才可离开体外放射性同位素实验室。如果监测发现存在沾污，应立即进行去污，并将不能去污的口罩、手套等作为放射性固体废物进行收集处置。一般情况下，射线能量低，只要采用相应的防护措施进行去污，经过监测均能够满足相关标准要求后，可以继续使用。建设单位应配备相应的监测仪器，对受污染的工作服、设备、墙壁、地面等应采取适当的去污措施，经监测其表面污染水平不超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作场所的表面污染控制水平的情况下，对周围环境的影响较小

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故风险因素分析

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 4 个等级，详见表 11.3-1。

表 11.3-1 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射源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	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以上（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

本项目属乙级非密封放射性物质工作场所，在放射性同位素的使用过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触非密封放射性物质的人员造成永久性损伤。主要辐射事故风险为：

- （1）设备管道、槽罐破裂；
- （2）工作箱室发生泄漏或箱内负压不足；
- （3）过滤系统失效；
- （4）放射性（中间）产品丢失、被盗、失控；
- （5）运输途中出现车辆受损及放射性药品泼洒等特殊情况。

11.3.1.1 设备管道、槽罐破裂事故

(1) 事故情景假设

单个槽罐破或管道出现单个破口，导致管道/槽罐内放射性溶液全部撒漏，收集后泵送至应急储罐内。管道/槽罐内产生的放射性气溶胶通过破口点扩散至房间内，并被房间内排风系统收集。本项目各涉及放射性生产槽罐、管道的工作场所均设有辐射监测探头和气溶胶采样设备，仅当检修场所内辐射水平 $\leq 75 \mu\text{Sv/h}$ 、空气中气溶胶浓度 $\leq 1\text{Bq/m}^3$ ，检维修人员方前往泄漏区开展检修。

(2) 事故源项

评价保守地认为，在管道/槽罐出现破口时，管道/槽罐内泄露的放射性溶液有少量无法被地坑收集而残存在房间内，导致房间内辐射剂量率最大为 $75\mu\text{Sv/h}$ 、空气中气溶胶浓度最大为 1Bq/m^3 。因而评价主要考虑职业人员所受的外照射剂量、吸入内照射（剂量转换因子取 Th-232 及其子体核素中最大者）及空气浸没外照射（剂量转换因子取 Th-232 及其子体核素中最大者）。职业人员受照剂量由前文相关公式计算，检修人员每次最长检修时间为 6h。

(3) 事故后果预测及评价

根据估算，设备管道、槽罐破裂事故所致职业人员照射剂量结果见下表：

表 11.3-2 设备管道、槽罐破裂时检维修人员照射剂量估算一览表

（保密）

由上表可见在设备管道、槽罐破裂事故状况下，职业人员所受照射剂量最大为 0.69mSv ，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv 的职业照射剂量。因此，对照辐射事故等级分级一览表，在设备管道、槽罐破裂时，不构成辐射事故。本项目检修人员操作时均佩戴有热释光剂量计和电子式个人剂量计，可监控检修期间所受外照射剂量，若工作人员年累计受照剂量接近职业照射剂量约束值，则该年不再从事放射性操作的工作。

11.3.1.2 工作箱室泄漏事故

(1) 事故情景假设

工作箱室泄漏时，内部风机停止工作，放射性气溶胶均匀分布在工作箱室内，并通过泄漏点扩散至操作前区。操作人员在不知情的情况下，在操作前区完整完成一个批次的操作流程。

（2）事故源项

评价保守地认为，在工作箱室发生泄漏时，操作前区的放射性核素活度与工作箱室内放射性气溶胶产生活度相同。由于放射性物质的挥发量较少，因而评价主要考虑职业人员所受的吸入内照射及空气浸没外照射。职业人员吸入内照射有效剂量、空气浸没外照射有效剂量由前文相关公式计算，受照时间 t 为各产品的单批次操作时间。

表 11.3-3 事故工况下职业人员照射剂量估算参数一览表

（保密）

（3）事故后果预测及评价

根据估算，工作箱室泄漏事故所致职业人员照射剂量结果见下表：

表 11.3-4 工作箱室泄漏事故所致职业人员照射剂量

（保密）

由上表可见在工作箱室泄漏事故状况下，职业人员所受照射剂量最大为 15.7816mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）20mSv 的职业照射剂量。因此，对照辐射事故等级分级一览表，在工作箱室泄漏时，不构成辐射事故。

11.3.1.3 过滤系统失效事故

（1）事故情景假设

假定在过滤系统同时失效后 24 小时内发现并更换过滤滤芯，当天产生的放射性物质全部排放到大气中。

（2）事故源项

表 11.3-5 各操作场所核素的排放量

（保密）

（3）事故后果预测及评价

在事故工况下，考虑烟羽吸入途径对公众造成的内照射和空气浸没途径对公众造成的照射，评价采用前文相关公式计算，保守考虑单次事故对公众产生的长期影响，计算结果见下表：

表 11.3-6 本项目所致公众年附加有效剂量

（保密）

根据估算，在过滤器失效状态下，公众最大受照射剂量为 3.56E-8mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 1mSv 的剂量限值，因此在过滤器失

效状态下，挥发的放射性气载流出物对周围辐射环境影响较小，不构成辐射事故。

11.3.2 辐射事故预防措施

针对上述本项目可能发生的潜在事故，拟分别采取以下的事故预防措施。

（1）设备管道、槽罐破裂、工作箱室泄漏事故防范措施

制定辐射防护设施的维护保养制度，并定期对设备管道、槽罐、工作箱室进行维护和检修。建设单位拟在各主要辐射工作场所内设置辐射监测仪以及气溶胶采样装置，便于及时通过场所辐射水平监测结果发现设备管道、槽罐破裂、工作箱室泄漏，避免人员误入或长时间居留造成附加照射。

（2）过滤系统失效事故

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。

（3）放射源丢失、被盗、失控事故

对放射源实施了严密的保卫措施和制度，确保放射源处于受控状态。特别是高活度放射源，存放在有足够屏蔽能力的铅罐内，并有专门的贮存设施，专人负责管理。拟安装报警装置，实行 24 小时全天候保卫制度，并实行严格的登记、领（借）用、归还注销、保管和定期校核与检查等管理制度。因此，在实际情况中，这种放射源丢失、被盗、失控事故几乎不可能发生。同时，项目单位制定了完善的事故应急预案，以将事故不良后果降至最低。

（4）放射性溶液撒漏事故

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。

（5）凡涉及放射性物质操作的台面，均采用易于去污及拆除的材质，当发生液体放射性物质泼洒导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量将放射性核素转移至放射性固废，如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 α 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ （极毒性为 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ），表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于控制区对表面污染的要求为止。

（6）在铅屏蔽手套箱、铅屏蔽热室和储物柜上张贴所允许使用的核素名称及最大活度，

确保辐射工作人员操作时选择了屏蔽满足要求的铅热室/铅屏蔽手套箱。

(7) 实行双人双锁管理的放射性原料库，可参考放射源源库管理要求，安装监控探头。

(8) 与委托运输单位加强沟通及培训，确保其运输人员充分了解并执行运输说明书、辐射监测报告、核与辐射事故应急响应指南、装卸作业方法、安全防护指南等。

(9) 对放射性工作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入，控制区入口设置门禁和电离辐射警告标志等。

(10) 制定和完善放射性同位素安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责管理；放射性原料的入库和放射性核素的出库，都由专人进行登记，设立购买、使用和出库台账。做好日常检查，防止放射性核素被盗、丢失。

(11) 工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗，工作人员须熟练掌握放射性核素操作技能和熟悉辐射防护基本知识，能正确处置意外情况。

(12) 制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少放射性核素洒漏事故的发生。操作过程中，操作者应穿戴防护服、防护眼镜及手套，如果液体溅到皮肤上，立即用清水冲洗。

(13) 加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性“三废”的处理制度，设置放射性废物兼职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理。对储存的放射性废物，在废物袋外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期等的说明，并做好相应的记录。

(14) 各辐射工作场所内配备防护面罩、吸水纸、纱布、去污试剂等应急物资和灭火器材。

公司应加强管理，通过落实上述预防措施，能够有效避免辐射事故的发生或尽量减轻辐射事故的后果。上述辐射防护措施的有效性和检查结果，可在单位年度评估报告中予以落实并确认。

11.3.3 事故应急处理措施

针对以上可能发生的事故风险，建设单位需根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定可行的辐射事故应急方案。若发生上述辐射事故时，现场辐射工作人员应立刻采取下列措施：

(1) 当发生液态放射性核素泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，工作人员应及时关闭相关场所的回风系统保持通风，并及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬

垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 α 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ （极毒性为 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ），表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表B11对于控制区的要求。工作人员脱去受污染的手套及防护工作服，一次性手套作为放射性固体废物处理，防护工作服则放置于指定地点待处理。使用污染监测仪对人员进行监测，若无污染，则人员正常离去若有污染，则人员进行清洗，清洗废水作为放射性事故废水流入放射性废水衰变系统内衰变处理。

（2）若发生放射性核素丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生健康等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗的放射性药物，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染，应划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

（3）当放射性核素或放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度确定工作人员在现场处置的工作时间；现场经监测满足解控要求后再解除警戒。

（4）运输途中出现车辆受损及放射性药品泼洒等特殊情况，建设单位将协助运输单位立即启动相应的事故应急方案，及时与当地公安、生态环境部门电话通报，寻求支援保护，并隔离事故现场，在现场周边设置安全警示标志，提示过往行人和车辆注意避让，建设单位协助运输单位派专业人员配合当地生态环境主管部门，清理受污染现场，并采用监测仪器进行检测，确认安全后方可解除事故警戒。

（5）应尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响；事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

11.3.4 辐射事故报告

依照原国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）中的规定，发生辐射事故时，建设单位应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 449 号令）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正）第十三条第十四条、第十六条规定，建设单位拟设专门的辐射安全与环境保护管理机构：辐射安全领导小组，有 1 名技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，辐射工作人员均需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并考核合格后持证上岗。

按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）建设单位需建设公司的标准化文件，细化明确决策层、辐射防护负责人、放射性工作人员职责，并落实相关管理要求。详见下表：

表 12.1-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）
辐射安全管理部分

管理内容		管理要求
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。
		年初工作安排和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。
		建立辐射安全管理档案。
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。
		了解本岗工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发现异常情况 after，能有效处理。
机构建设		设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。

12.1.2 辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目拟配备辐射工作人员 4 名，项目投运后，根据承担实际实验情况进行调整。

（1）操作人员均需取得相应的资格证书，熟悉专业技术。

（2）建设单位应严格执行辐射工作人员培训制度，组织辐射工作人员及相关管理人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台(<http://fushe.mee.gov.cn>)上参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核，考核通过后方可上岗，需确保在有效期内。

（3）建设单位应为每一名辐射工作人员配备个人剂量计，并定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，且应建立辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量档案管理人员应将每季度的检测结果告知辐射工作人员，如发现结果异常，将在第一时间通知相关人员，查明原因并采取合理可行的措施，杜绝此类事件再次发生。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规文件中相关要求，陕西劲草生物医药科技有限公司应建立健全辐射安全管理制度。

12.2.1 《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》对照分析

为保证辐射安全，针对本次建设内容，建设单位按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）相关要求，建设单位制定更具有针对性和可操作性的辐射安全管理制度，相关要求见下表。

表 12.2-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）

辐射安全管理部分

管理内容	管理要求
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），并建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。
应急演练	结合本单位实际，制定具有可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练。
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。

12.2.2 《核技术利用辐射安全与防护监督检查技术程序》对照分析

对照生态环境部（国家核安全局）制定的《核技术利用辐射安全与防护监督检查技术

程序》，建设单位制定按要求制定规章制度，相关要求见下表。

**表 12.2-2 与核技术利用辐射安全与防护监督检查技术程序对照分析表
(制度部分)**

序号	乙级非密封放射性物质操作场所
1	辐射安全与防护管理大纲
2	非密封放射性物质的管理规定
3	场所分区管理规定
4	物料平衡管理规定
5	操作规程
6	去污操作规程
7	安全防护设施的维修与维护制度
8	安保管理规定
9	监测方案
10	监测仪表使用与校验管理制度
11	辐射工作人员个人剂量管理制度
12	辐射工作人员培训/再培训管理制度
13	辐射事故应急预案
14	放射性“三废”管理规定

根据建设单位提供资料，由于本项目目前处于前期筹建阶段，企业拟在安装完成后，根据研发实验具体情况制定相关的操作规程；企业拟根据各功能区的岗位设置情况，分别制定其岗位职责。

12.2.3 核技术应用能力评价

建设单位根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正）第十六条的相关规定开展研发实验。

表 12.2-3 从事辐射活动能力要求

序号	应具备条件
1	（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。
2	（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。
3	（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。
4	（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

5	（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。
6	（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。
7	（七）有完善的辐射事故应急措施。
8	（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。

12.3 辐射监测

为了保证本项目运行过程的安全，控制和评价辐射危害，拟设置相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射剂量合理尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测。

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正）第十六条第五款，“配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪”。

环评要求：建设单位需保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计和个人剂量报警仪；加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质部门检测一次，做到定期送检，专人专戴；应建立辐射工作人员个人剂量档案；定期组织辐射工作人员体检，建立有辐射工作人员个人健康档案。并按要求配备辐射监测和表面污染监测仪等仪器。

表 12.3-1 监测仪器配置表

（保密）

12.3.2 竣工验收监测

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》要求，建设单位是项目竣工环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，应当按照生态环境管理部门规定的程序和标准及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告；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。

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，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，生态环境主管部门对上述信息予以公开。项目建成后，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月。验收合格后方可投入正常使用。

12.3.3 个人剂量监测

根据本项目特点，个人剂量监测主要为外照射剂量监测。项目建成运行后，公司应开展个人剂量监测和职业健康检查工作，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

（1）外照射剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订）的要求，对辐射工作人员所受辐射剂量进行控制，对所有在职辐射工作人员进行个人剂量监测，并按规定周期送检。

本项目为每个辐射工作人员均配备个人剂量计，辐射工作人员严格按要求佩戴；根据《放射工作人员职业健康管理辦法》中要求，建设单位应委托有资质单位至少每季度对个人剂量计进行 1 次检测，并建立个人剂量档案。职业照射个人剂量档案终生保存。

（2）职业健康检查

建设单位应按照《放射工作人员职业健康管理辦法》中要求，至少每 2 年开展一次辐射工作人员的职业健康检查工作，建立个人职业健康监护档案。

12.3.4 辐射工作场所及周围环境监测计划

按照《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关要求，本项目拟配备便携式 γ 剂量率仪对辐射工作场所辐射剂量水平进行监测；拟配备移动式气溶胶监测仪对放射性工作场所气溶胶浓度进行监测。定期委托有资质单位开展环境质量监测，以便及时掌握周边环境状况。评价建议企业在研发实验室（涉及非密封放射性物质操作）每日工作结束后对操作台面和地面进行表面污染检测，掌握非密封放射性物质工作场所中放射性水平，确保能及时发现异常情况，及时排除事故影响。本项目工作场所辐射水平的监测点位、监测频次等详见下表。

表 12.3-2 辐射环境监测计划表

（保密）

评价要求，建设单位应按照监测计划定期对项目辐射工作场所及周围环境进行日常监测，做好日常监测记录，存档备查。若出现监测结果超出标准限值时，应立即查明原因并采取相应的整改措施，确保其剂量率、表面污染控制水平满足标准要求。

12.3.5 年度监测

本项目建成后，建设单位每年委托有资质的单位对辐射工作场所及周围关注点 γ 辐射剂量率及表面污染进行年度监测，每年至少监测次，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.3.6 职业健康检查

《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）第 5.1.4 条要求：“放射工作人员在岗期间职业健康检查周期按照卫生行政部门的有关规定执行，一般为 1a~2a，不得超

过 2a，必要时，可适当增加检查次数；在岗期间因需要而暂时到外单位从事放射工作，应按在岗期间接受职业健康检查”。第 5.15 条要求：“放射工作人员无论何种原因脱离放射工作时，放射工作单位应及时安排其进行离岗时的职业健康检查，以评价其离岗时的健康状况”。第 7.2 条要求：“放射工作单位应当为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。”

《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 8.2.2 条要求：“职业照射个人剂量档案终生保存。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。”

建设单位拟为辐射工作人员安排岗前、在岗、离岗放射性职业健康检查，在岗检查至少每 2 年进行一次，并建立职业健康监护档案。离职员工的离岗职业健康检查结果为“未见职业相关性损害（放射职业离岗时），无职业性放射性疾病”，可以离岗。

12.3.7 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：“生产销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。”

根据国家以及陕西省地方法律法规要求，建设单位每年对放射性工作场所以及周边环境进行安全和防护状况评估，需要将日常监测、年度监测、个人剂量监测、职业健康检查等内容纳入该年度评估报告，对公司存在的安全隐患及时提出整改方案安全评估报告应于每年 1 月 31 日前报辐射安全许可证发证机关。

12.4 辐射事故应急

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，建设单位制定《辐射事故应急预案》，以加强公司核技术利用项目的辐射安全管理，预防辐射事故的发生、控制或减轻事故后果。

在应急预案中，建设单位应明确应急机构领导小组及其职责，针对可能发生的辐射事故类型，明确报告和处理程序、应采取的应急处置措施、信息报告和联系方式，并配备相应的辐射事故应急物资，如对讲机、电离辐射警示标志、巡检仪、铅防护用品等。日常工作中，安排每年组织一次公司内部辐射事故应急演练。

12.5 项目环保投资及竣工环境保护验收清单

12.5.1 环保投资

本项目总投资 500 万元，环保投资 85 万元，环保投资占总投资的 17%。环保投资主要为辐射安全设施购置费、“三废”污染防治措施费、个人防护用品配置费、人员培训费、个人剂量及职业健康检查费、辐射环境监测费等。本项目环保投资一览表见下表。

表 12.5-1 本项目环保投资估算表 单位：万元

（保密）

12.5.2 竣工环保验收清单

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。按照《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，在项目竣工后，建设单位应自主进行竣工环保验收工作，验收合格后方可投入使用。竣工环境保护验收清单见下表。

表 12.5-2 核技术利用项目竣工环境保护验收清单（建议）

（保密）

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

项目名称：陕西劲草生物医药科技有限公司医用同位素 Pb-212 技术研发项目

建设单位：陕西劲草生物医药科技有限公司

建设性质：新建

建设地点：西安浐灞国际港区内

本项目建设内容与规模：拟对 240 平方米实验室进行改造，开展同位素 Pb-212 技术研发，布设有非放包材库、滤柱填料间、原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测等房间，每天最多溶解 0.3kg 硝酸钍；研发的 Pb-212 日最大操作量为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ 。属于乙级非密封放射性物质工作场所。

13.1.2 实践正当性分析

本项目的建设可为西北地区（主要为陕西省境内和周边距离较近的省市）各医院提供放射性实验原料，建设有利于提高地区核医学的服务质量，在延缓病情、保证病人健康、挽救患者生命方面有十分重要的作用，具有良好的社会效益和经济效益。本项目经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益要远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求。

13.1.3 辐射环境现状

建设单位周围环境的 γ 辐射剂量率，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“西安市 γ 辐射剂量率调查结果（室内：79.0nGy/h~130.0nGy/h，原野：50.0nGy/h~117.0nGy/h，道路：52.0nGy/h~121.0nGy/h）”和陕西省 2024 年西安市辐射环境空气自动站空气吸收剂量率 68.6~86.9nGy/h 相当，辐射环境质量现状无异常，项目所在区域辐射环境质量现状良好。

项目实验室、翔瑞驾校环境空气样品中总 α 分别为 0.686mBq/m³ 和 0.988mBq/m³，总 β 为 1.03mBq/m³ 和 1.91mBq/m³，Th 未检出，²¹²Pb 检出比活度为 $(8.1 \pm 0.5) \times 10^{-5} \sim (8.2 \pm 0.5) \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3$ 。

本项目实验室四周土壤样品中总 α 监测结果为 $(0.625 \sim 0.811) \text{Bq/g}$ 、总 β 监测结果为 $(0.834 \sim 0.989) \text{Bq/g}$ ；²³²Th、²²⁸Ra、²²⁸Th、²²⁴Ra、²¹²Pb 的监测结果在 $47 \pm 3 \sim 54 \pm 4 \text{Bq/kg}$

之间；Pb 的监测浓度在 14~19mg/kg，低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）表 1 的筛选值。

13.1.4 辐射安全设施和措施

本项目投入运行后，各辐射工作场所出入门表面设置电离辐射警告标志，设置门禁，各辐射工作场所内部和出入口处设置视频监控系统，内部设置固定式辐射剂量监测仪。采用双人双锁、电离辐射警告标志、视频监控等辐射安全措施。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求，项目拟对各辐射工作场所进行分区设置，最大程度减少对工作人员、公众的辐射影响。根据辐射工作需要，为辐射工作人员配备相应数量的个人防护用品。

13.1.5 环境影响分析

（1）辐射工作场所剂量率

根据预测计算，本项目各放射性核素操作间、铅屏蔽手套箱、铅屏蔽热室及货包表面的辐射剂量率均满足相应的《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）等标准限值要求。

（2）人员年有效剂量

本项目所致辐射工作人员年附加有效剂量最大约为 0.2513mSv，周围公众年有附加剂量最大约为 0.0973mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本评价提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a）要求。

（3）放射性“三废”影响分析

①各操作间产生的放射性废物分类收集于放射性废物储罐内的专用垃圾袋中，分别收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明核素种类、存放日期等信息），送至固废暂存间暂存，定期交给硝酸钍供应商。通风系统更换的废活性炭集中收集后，暂存在固废暂存间内，定期交给硝酸钍供应商。

②操作间产生的放射性废液进行分类收集，送至固废暂存间暂存，定期交给硝酸钍供应商。

③事故应急产生的去污废水等含有放射性核素的废水排入放射性废水衰变池内衰变，每次排放前需对放射性废水总排口的总 α 、和总 β 进行监测，监测结果经审管部门认可后方

可直接排入污水处理系统。

④操作间设置排风系统，拟设 2 套排风系统，实现负压通风。其中拟配备的 2 个铅屏蔽手套箱和 1 个铅屏蔽热室拟设独立的排风系统，顶部拟设过滤装置，通过排风管道引出后，在楼顶经中高效过滤装置处理后高于屋面 3m 排放；原料储存及制备间、溶解反应室、过滤洗脱室、成品检测间和分装外包成品出库间设 1 套排风系统，在各房间通过排风管道引出后，在净化空调室经中高效过滤装置处理后排放。此外，铅屏蔽手套箱和铅屏蔽热室设置收集支管，然后汇集至排风主管道，各路支管与主管道连接部位设置逆止阀，防止发生气体回流和交叉污染。

综上所述，本项目产生的放射性废物均得到有效控制和处理，对周围环境影响很小。

（4）危险废物

本项目研发和质检过程中产生的废酸收集密封在专用容器中，暂存在中陕核测试公司的危废贮存间内，定期交由有相应危废资质的单位处置。

13.1.6 辐射安全管理

建设单位按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）要求，设置辐射安全防护领导小组，制定各项辐射安全管理规章制度、监测计划和辐射事故应急预案，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。在落实和完善上述各项辐射防护措施及管理要求后，公司将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

13.1.7 总结论

综上所述，本项目的建设符合辐射防护实践正当性原则；本项目严格按照国家有关辐射防护规定执行，在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能合理且低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则。从辐射环境保护角度分析，该项目建设可行。

13.2 建议和承诺

（1）严格按照项目设计和本报告表中提出的安全防护措施和相关管理要求进行建设，确保工程辐射防护效果满足相关标准要求。

（2）不断完善辐射事故应急预案，加强日常演练，提高应急反应、处置能力，尽可能地避免辐射事故发生。

（3）在安装废气过滤系统时，每级活性炭过滤装置应确保吸附效率可达 90%以上。

（4）严格按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号）中相关规定，规范管理与操作，建立健全核技术利用项目各项档案管理，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改。

（5）加强放射性药品和放射性“三废”、危险废物的管理，建立台账制度，存档备查。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日