

核技术利用建设项目

湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目

环境影响报告表

(送审稿)

湖南中科金素科技有限公司

2025年4月

环境保护部监制

湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目
环境影响报告表

建设单位名称：湖南中科金素科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：陈军

通讯地址：湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道南村 38 号 105 室

邮政编码：421002

联系人：陈军

电子邮箱：

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

项目编号	59p436		
建设项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	湖南中科金素科技有限公司		
统一社会信用代码	91430405MADLMDK001		
法定代表人（签章）	陈军		
主要负责人（签字）	朱荣晖		
直接负责的主管人员（签字）	朱荣晖		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	核工业二三〇研究所		
统一社会信用代码	121000004448853130		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
周真	2015035440350000003512440349	BH008038	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
周真	全本	BH008038	

目 录

表 1 项目基本情况 1

表 2 放射源 18

表 3 非密封放射性物质 18

表 4 射线装置 20

表 5 废弃物 21

表 6 评价依据 23

表 7 保护目标与评价标准 28

表 8 环境质量和辐射现状 40

表 9 项目工程分析与源项 42

表 10 辐射安全与防护 106

表 11 环境影响分析 142

表 12 辐射安全管理 184

表 13 结论与建议 195

表 14 审批 199

附件附图

附件

附件 1 环评委托书

附件 2 项目可行性研究报告专家评审结论书

附件 3 项目立项备案文件

附件 4 项目建设用地规划许可证

附件 5 项目入园申请

附件 6 规划环评审查意见函

附件 7 水、电、蒸汽供应协议

附件 8 放射性废物处置协议

附件 9 监测报告

附件 10 关于项目辐射源强及工作场所分级的说明

附图

附图 1 项目地理位置图

附图 2 项目平面布局图

附图 3 项目周边用地现状

附图 4 医用同位素生产厂房平面布局图

附图 5 辐射工作场所分区图

附图 6 医用同位素生产厂房人流、物流图

附图 7 医用同位素生产厂房送风设计图

附图 8 医用同位素生产厂房排风设计

附图 9 厂区室外给排水管网

表 1 项目基本情况

建设项目名称		湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目			
建设单位		湖南中科金素科技有限公司			
法人代表		陈军	联系人	陈军	联系电话
注册地址		湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道南村 38 号 105 室			
项目建设地点		湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道天友路以东,中核二七二铀业有限责任公司以西,湖南中核金原新材料有限责任公司西北处			
立项审批部门		-		批准文号	-
建设项目总投资 (万元)			项目环保投资 (万元)		环保投资比例 11.5%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²) 7993.85
本项目应用类型	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	/			
	1.1. 项目概述				
1.1.1. 建设单位概况					
湖南中科金素科技有限公司成立于 2024 年 5 月 23 日,注册地位于湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道。湖南中科金素科技有限公司旨在打造一个批量化国产化放射性同位素及相关应用的同位素产品产业基地,成为国产化放射性同位素及相关应用的同位素产品行业的引领者,同时以市场为导向,积极研发新的放射性同位素产品,面向国际国内市场销售、投放放射性同位素及后端产品,发展成为国内外工业、农业、医学和科研等领域核技术应用整体解决方案的供应商。 随着核素治疗技术的快速发展,为了适应市场的需求,响应湖南省委对衡阳产业体					

系关于“核技术应用产业名片”的指示精神，湖南中科金素科技有限公司依托中国科大核学院、中国科大先进技术研究院提供的技术支持，借助衡阳独特的区位优势条件，结合白沙绿岛高新区特色的核工业优势，在白沙绿岛高新区选址建设医用同位素生产和研发基地，利用硝酸钍提取制备医用 α 同位素药物。

2024年5月28日，建设单位完成了《湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目可行性研究报告》的编制并通过了专家评审。同月建设单位已取得珠晖区发展和改革局项目备案（项目编码：2405-430405-04-01-237772），2025年3月建设单位完成了项目变更备案，同月，项目取得了建设用地规划许可证（地字第4304052025YG0001528号），土地性质为二类工业用地，该地块占地7993.85 m²（约12亩）。

1.1.2. 项目由来

湖南中科金素科技有限公司拟在衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区规划建设医用同位素生产和研发基地，建设内容主要包括建设1栋医用同位素生产厂房、1栋危化品库、1栋研发楼以及相关配套辅助设施。根据项目规划，建设单位拟结合市场需求，采取分阶段投产形式逐步扩大产能，以硝酸钍原料投料量计，项目一期原料年最大投料量为100吨，远期最大不超过300吨，本评价仅包括湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目一期中相关核技术利用内容，项目远期规划拟另行评价。

根据建设单位提供的资料，项目一期拟在医用同位素生产厂房内规划建设硝酸钍原料存储及Ra-228分离区、GMP生产及质控区两处乙级非密封放射性工作场以及相应配套的辅助用房，其中：硝酸钍原料存储及Ra-228分离区，主要开展硝酸钍原料中Ra-228的分离及制备、Ra-224/Pb-212发生器回收处置以及放射性产品的包装外售，涉及使用Th-232及其子体、Ra-224及其子体和Pb-212及其子体；GMP生产及质控区内拟设置Th-228分离线、Ra-224分离及发生器生产线、Pb-212分离及标记生产线以及质控和实验室区，涉及使用Th-228及其子体、Ra-224及其子体、Pb-212及其子体，销售Ra-224/Pb-212发生器、Ra-224和Pb-212。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》以及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设单位须对该项目进行环境影响评价。同时，根据《建设项目环境影响

评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目为“建设乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。因此，湖南中科金素科技有限公司委托核工业二三 0 研究所开展环境影响评价工作（委托书见附件 1）。接受委托后，我所成立了该项目的评价组，组织技术人员对项目现场进行了踏勘和调查，并收集和分析了相关资料，在完成辐射环境现状监测、污染源分析等工作的基础上，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）编制完成了本报告表。

1.2. 项目建设规模

- 1、项目名称：湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目
- 2、建设单位：湖南中科金素科技有限公司
- 3、项目性质：新建
- 4、建设地点：湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道天友路以东，中核二七二铀业有限责任公司以西，湖南中核金原新材料有限责任公司西北处
- 5、建设内容：本项目建设内容主要包括建设 1 栋医用同位素生产厂房、1 栋危化品库、1 栋研发楼以及相关配套辅助设施，具体工程组成见下表：

表 1-1 项目工程组成

工程内容		建设内容	备注
主体工程	医用同位素生产厂房	4F 建筑，占地面积 1879.44 m ² ，其中一层~三层主要是项目的硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区域、GMP 生产及质控区、四层为预留生产区域	新建
	研发楼	3F 建筑，占地面积 694.044 m ² ，主要为技术开发和日常办公管理区域	新建
辅助工程	保卫值班室	1F 建筑，占地面积 29.17 m ² ，门卫室及监控中心	
	危化品库	1F 建筑，占地面积 87.9 m ² ，用于存放 GMP 生产及质控区等所用的危险化学品	
公用工程	给水	市政供水	新建
	排水	生产生活废水经处理后最终由吸污车定期抽取至铜桥港污水处理厂进行处理，雨水外排至周边雨水管网，最终至白泉塘自然水体	
	供电	市政供电，厂区设置应急柴油发电机供电	
	蒸汽	外购 272 厂蒸汽	依托
环保工程	辐射防护	辐射屏蔽体、辐射屏蔽设备槽罐、箱室等设备设施	新建
	废水	2 座 75m ³ 化粪池（厂区综合污水处理系统）、放射性废水收集及处理系统	新建
	废气	通风系统及废气净化设施（碱液喷淋塔、高效过滤器）	新建
	固废	一般固废间、危废暂存间、放射性固废暂存间、废滤芯暂存间、放射性固废整备系统	新建
	噪声	选用低噪声设备；风机组、冷水机组、水泵等设备置于机房内，	新建

		利用建筑墙体隔声，采取基础减震、软管连接设计等降噪措施。	
本项目拟在医用同位素生产厂房内规划建设硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区、GMP 生产及质控区两处乙级非密封放射性工作场以及相应配套的辅助用房，具体内容如下： ①硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区：位于生产厂房一层~三层，主要由硝酸钍原料暂存间、Ra-228 分离线用室、中间成品库、发生器回收处理室以及发货大厅等区域组成，为一处乙级非密封放射性工作场所。 a. 硝酸钍原料暂存间：一期最大设计储存 100 吨六水硝酸钍固体原料，硝酸钍原料回收循环使用，原料中钍的占比为 395kg/t（Th-232 的天然丰度近乎 100%，其比活度为 4.07E+03Bq/g，则原料中 Th-232 的活度浓度为 43.5mCi/t）； b. Ra-228 分离线：主要开展硝酸钍原料中 Ra-228 的分离以及 Ra-228/Th-228 发生器制备，每天生产 1 批次，每批次硝酸钍原料投料 1 吨，年最大生产 100 批次，每批次 Ra-228 的产量为 3mCi，年产量为 300mCi，不外售。 c. 发生器回收处理室：主要开展废 Ra-224/Pb-212 发生器的回收处置，日最大处置 10 台，Ra-224/Pb-212 发生器低于出厂活度 10%时回收，按照产品规划，Ra-224/Pb-212 发生器出厂活度最大为 5 mCi/台，年最大销售量为 400mCi，即日最大处置废 Ra-224/Pb-212 发生器 5 mCi，年最大处置 40mCi； d. 发货大厅：主要开展放射性产品外包的去污检测和发货，项目 Ra-224 产品最大产量为 5.39mCi/d，539mCi/a（Ra-224/Pb-212 发生器最大销售量为 400mCi/a，Ra-224 溶液最大销售量为 139mCi/a）、Pb-212 标记药物最大销售量为 15mCi/d、3000mCi/a。 ②GMP 生产及质控区：位于生产厂房三层，由 Th-228 分离线、Ra-224 分离及发生器生产线、Pb-212 分离及标记生产线以及质控和实验室区构成，为一处乙级非密封放射性物质工作场所组成。 a. Th-228 分离线：主要开展 Ra-228/Th-228 发生器淋洗 Th-228 以及 Th-228/Ra-224 发生器制备，每天开展 1 批次，每批次最大淋洗 1 台 Ra-228/Th-228 发生器，年最大开展 100 批次，每批次 Th-228 的产量为 0.49mCi，年产量为 49mCi，不外售； b. Ra-224 分离及发生器生产线：主要开展 Th-228/Ra-224 发生器淋洗 Ra-224，每天开展 1 批次，每批次最大淋洗 11 台 Th-228/Ra-224 发生器，年最大开展 100 批次，每批			

次 Ra-224 的产量为 5.39mCi，年产量为 539mCi，拟根据客户需求制备 Ra-224 溶液或 Ra-224/Pb-212 发生器产品后外售，Ra-224 溶液最大销售量为 139mCi/a，Ra-224/Pb-212 发生器最大销售量为 400mCi/a；

c. Pb-212 分离及标记生产线：主要开展 Ra-224/Pb-212 发生器淋洗 Pb-212，每天开展 1 批次，每批次最大淋洗 4 台 Ra-224/Pb-212 发生器，年最大开展 200 批次，每批次 Pb-212 的产量为 15mCi，年产量为 3000mCi，拟根据客户需求进一步制备成 Pb-212 标记药物产品后外售，Pb-212 标记药物最大销售量为 15mCi/d，Ra-224/Pb-212 发生器最大销售量为 3000mCi/a；

d. 质控及实验室区：主要通过液相、 γ 能谱等检验仪器开展放射性核素的检测、分析与研究，质检取样不超过各区域中间产品和产品核素最大操作量的千分之一，即 Ra-228 日最大操作量为 0.003mCi、Th-228 日最大操作量为 0.00049mCi、Ra-224 日最大操作量为 0.00539mCi、Pb-212 日最大操作量为 0.015mCi，Ra-228、Th-228、Ra-224 年最大开展 100 批次质控检验，Pb-212 年最大开展 200 批次质控检验，活动种类为使用。

综上，本项目主要产品参数如下：

表 1-2 项目产品方案及规模一览表

序号	产品名称	年生产规模	年销售规模	质量参数
1	Ra-224 溶液	5.14E+9Bq (139mCi)	①3.70E+7Bq/瓶, 39 瓶/年 ②1.85E+8Bq/瓶, 20 瓶/年	1) 性状: 溶液; 2) 规格: 1、5mCi/瓶, 10mL/瓶; 3) 放化纯度: >99%。
2	Ra-224/Pb-212 发生器	1.48E+10Bq (400mCi)	①3.70E+7Bq/个, 50 个/年 ②1.85E+8Bq/个, 70 个/年	1) 性状: 固体发生器; 2) 规格: 1、5mCi/个; 3) 放化纯度: >99.9%。
3	Pb-212 标记药物	1.11E+11Bq (3000mCi)	①3.70E+7Bq/瓶, 2000 瓶/年 ②1.85E+8Bq/瓶, 200 瓶/年	1) 性状: 溶液; 2) 规格: 1、5mCi/瓶, 5mL/瓶; 3) 放化纯度: >99.9%。

注：1、本项目产品拟根据订单生产，即产即销，不存储，生产到销售时间较短，故不考虑该过程中核素的衰变；2、本项目产品货包执行《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中相关要求：（1）产品包装为Ⅱ级 A 型货包；（2）货包外表面剂量水平为： $\leq 500\mu\text{Sv/h}$ ；（3）货包外表面污染水平满足 α 表面污染 $\leq 0.4\text{Bq/cm}^2$ 、 β 表面污染 $\leq 4\text{Bq/cm}^2$ ；3、本项目产品拟委托第三方有资质运输单位发货至使用方。

6、工作人员配置及工作负荷：本项目拟配置 50 名工作人员，其中非放射性操作岗 28 人，放射性操作岗 22 人，各岗位人员配置及工作负荷见下表：

表 1-3 项目工作人员配置及工作负荷

岗位	主要工作内容	拟配置工作人员数量	工作时间
非放射性工作岗位（非辐射工作人员）			
行政管理及后勤保障		10 人	合计： 28 人 8h/d, 300d/a
人力资源		2 人	
财务管理		2 人	
销售		2 人	
企业管理		4 人	
采购与物流		3 人	
研发		5 人	
放射性工作岗位（辐射工作人员）			
仓储管理	硝酸钍原料入库、中间产品出入库、产品转运、质控送样	2 人	合计： 22 人 原料入库：0.5h/桶 放射性产品外包：0.5min/个 转运、质检送样：1.5min/次 0.5h/d, 100d/a 0.5h/次, 100d/a 0.5h/次, 100d/a 0.5h/d, 200d/a 1h/d, 200d/a 2.5h/次, 100d/a 0.5h/d, 100h/a 0.5h/d, 300d/a
镭-228 制备	在手套箱内分离、浓缩镭-228 溶液，制备镭-228 发生器	2 人	
钍-228 制备	在手套箱内淋洗镭-228 发生器分离钍-228 溶液，组装发生器	2 人	
镭-224 溶液及发生器制备	在手套箱内淋洗钍-228 发生器，分装镭-224 溶液、组装发生器	2 人	
Pb-212 标记	在手套箱内淋洗镭-224 发生器，铅-212 标记及分装	2 人	
分析实验室	产品质量控制分析相关工作	6 人	
发生器回收	处理退役发生器中的管线等耗材，完成发生器的回收利用	2 人	
放射性废物处理	放射性废物的收集、整备、转运	2 人	
辐射安全管理	定期巡检	2 人	
注：辐射工作人员工作时间指从事放射性工作或近距离接触放射性物质的时间。			

1.3. 周边环境概况

本项目建设用地位于湖南省衡阳市白沙绿岛高新技术产业开发区天友路以东，中核二七二铀业有限责任公司以西，湖南中核金原新材料有限责任公司西北处，项目中心地理坐标为：东经 112°38'9.74"，北纬 26°47'52.15"。项目厂址红线东侧为中核二七二铀业有限责任公司、南侧现为荒地、西侧为天友路，北侧为道路和荒地。项目地理位置见图 1-1，项目周边关系见图 1-2。

项目厂区平面布置相对简单，整体呈东西布局，主要建筑为医用同位素生产厂房、研发楼、保卫值班室、危化品库等四个建筑单体及相应配套辅助设施。保卫值班室拟设置在厂区入口处，位于厂区的西南角；研发楼位于厂区西侧，主要为研发中心及技术研

发工作室；生产厂房位于厂区东侧，本项目涉及的非密封放射性工作场所均位于医用同位素生产厂房内，设有连廊通道连接研发楼；危化品库及柴油发电机组拟临近生产厂房设置，位于生产厂房东南角，项目整体平面布局见图 1-3。

本项目所在医用同位素生产厂房共 4 层，无地下室，其中一层、二层主要为项目的硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区用室和放射性废物暂存及处置设施区域，三层主要为 GMP 生产及质控区用室、四层为预留生产区域。本项目辐射工作场所各楼层的平面布局及其与上下楼层布局详见附图 4。

1.4. 原有核技术利用项目基本情况

湖南中科金素科技有限公司目前无核技术利用项目，本项目为该单位首次开展核技术利用建设项目。

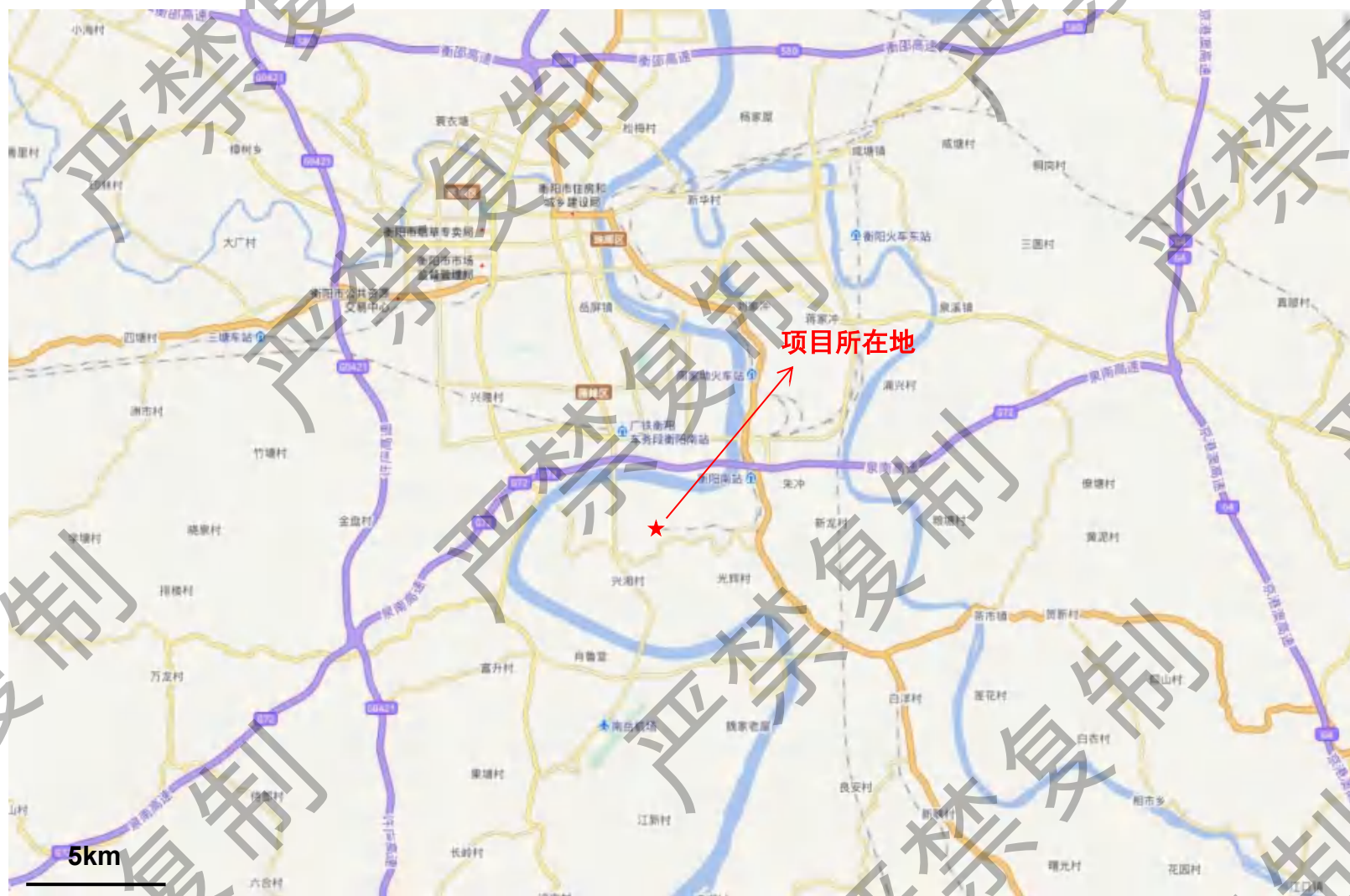


图 1-1 项目地理位置图



图 1-2 项目周边关系图

1.5. 产业政策符合性

1、根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展改革委令 2023 年第 7 号），本项目属于“鼓励类”中“六、核能”中的“4. 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”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

2、本项目不属于国家发展改革委、商务部、市场监管总局印发的《市场准入负面清单（2025 年版）》（发改体改规[2025]466 号）中规定的禁止准入类与许可准入类事项，为准入行业。

1.6. 法律法规及规划符合性分析

1、根据《长江经济带生态环境保护规划》：长江沿线一切经济活动都要以不破坏生态环境为前提，抓紧制定产业准入负面清单，明确空间准入和环境准入的清单式管理要求。提出长江沿线限制开发和禁止开发的岸线、河段、区域、产业以及相关管理措施。不符合要求占用岸线、河段、土地和布局的产业，必须无条件退出。除在建项目外，严禁在干流及主要支流岸线 1 公里范围内新建重化工园区，严控在中上游沿岸地区新建石油化工和煤化工项目。严控下游高污染、高排放企业向上游转移。本项目距离湘江最近距离约为 1.3km，不在长江主要支流岸线 1 公里范围内。不属于石油化工和煤化工项目，放射性废水经处理并检测达标后排入厂区化粪池，与非放射性废水一起经化粪池处理后由吸污车转运至铜桥港污水处理厂，废气经有效处置后排放，对环境影响较小。因此，本项目符合《长江经济带生态环境保护规划》。

2、本项目所在地不属于湘江干流，距离湘江干流约 1.3km，项目在湘江干流两岸各 1 公里范围外，不属于湘江流域内禁止行业；本项目符合国家产业发展政策、通过采用先进生产技术主要污染物处理能达标，本项目建设符合《湖南省湘江保护条例》。

3、本项目不属于《湖南省长江经济带发展负面清单实施细则（试行，2022 年版）》（湖南省推动长江经济带发展领导小组办公室文件第 32 号）中规定的禁止事项。

4、根据《湖南省“十四五”生态环境保护规划》：推动资源高效循环利用。推进工业园区循环化改造，推动企业循环式生产、产业循环式组合，搭建资源共享、废物处理、服务高效的公共平台，促进工业废物资源综合利用、能量梯级利用、水资源循环使用。本项目拟利用园区中核金原副产品作为生产原料制备医用同位素，既有效提高资源利用

率，又有利于促进下游核技术应用产业链发展，符合《湖南省“十四五”生态环境保护规划》的相关要求。

1.7. 与“三线一单”符合性分析

1.7.1. 与“生态保护红线”符合性

根据《湖南省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（湘政发〔2020〕12号）等相关资料，本项目所在的白沙绿岛高新区规划范围南、北、西三面湘江区域均划定为生态红线保护区，主要保护对象为水产种质资源核心区，规划开发边界对湘江沿岸均进行了退让，临江150m范围内未规划建设用地，可确保对湘江生态保护红线内不扰动，避免对生态保护红线造成不利影响。

本项目拟选址于湖南白沙绿岛高新技术产业开发区内，占地性质为二类工业用地，见图1-4。项目占地范围无自然保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水水源地保护区、重点文物保护单位等，无特殊重点生态功能区、禁止开发区等必须实施强制性严格保护区的区域，不涉及生态保护红线内。

1.7.2. 与“环境质量底线”符合性

本项目与区域环境质量底线符合性分析如下：

表 1-4 与环境质量底线符合性分析表

项目	环境质量底线	本项目情况	符合性
大气环境	《环境空气质量标准》（GB3095-2012）2类标准	根据本次环评预测，在采取各项污染防治措施后，项目对大气的环境影响可以接受	符合
地表水环境	（1）饮用水源保护区：衡阳市珠晖区东阳渡镇湘江饮用水源一级保护区、衡南车江水厂饮用水源一级保护区、衡南云集水厂饮用水源一级保护区执行《地表水环境质量》（GB3838-2002）II类水标准 （2）湘江规划范围内其他河段执行《地表水环境质量》（GB3838-2002）III类标准	放射性生产废水经处理后回用，放射性生产废水经监测达标后排入厂区化粪池，与非放射性废水一起由吸污车定期抽取至铜桥港污水处理厂区进行处理，雨水排入白泉塘自然水体，预计项目对周边的水环境影响可以接受	符合
地下水环境	《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中III类标准	本项目采取一系列地下水及土壤污染防治措施后，项目对区域地表水及土壤的环境影响可以接受	符合
土壤环境	《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第一类用地和第二类用地标准		符合
声环境	高新区内工业区属于噪声3类功能区，其它区域属于2类功能区，噪声环境质量执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2、3	在采取一系列减震、隔声、距离降噪后，项目可以做到厂界噪声达标	符合

	类标准，交通干线两侧 35m 内执行 4a 类标准														
综上，本项目预计运营期不会突破区域环境质量底线。 1.7.3. 与“资源利用上线”符合性 本项目占地为工业用地，不涉及基本农田。本项目运营过程中消耗一定量的电、水、蒸汽等资源，本项目不属于“两高”项目，项目使用的自来水来源于市政供水，使用的蒸汽来源于 272 厂，使用的硝酸钍来源于中核金原，使用的硝酸等化学品从市场购置，整体而言，本项目使用的资源较少，符合资源利用上线要求。 1.7.4. 与生态环境准入清单的符合性 本项目位于湖南白沙绿岛高新技术产业开发区内，区域环境管控单元编码：ZH43040520002。根据《湖南省生态环境分区管控总体管控要求暨省级以上产业园区生态环境准入清单》（湘环函〔2024〕26 号），衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区的管控要求及本项目符合性见下表： 表 1-5 与衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区的管控要求符合性情况表 <table> <tr> <th>管控维度</th><th>管控要求</th><th>企业情况</th><th>符合性</th></tr> <tr> <td>空间布局约束</td><td> （1.1）环境影响较大的工业项目尽可能远离集镇、安置小区布局，高新区核准范围外周边新建集中居住区、学校、医院尽量避开工业集中开发区域。 （1.2）区块一：限制气型污染物为主的企业入驻；区块二：已有稀土金属冶炼企业的发展立足于升级改造并严格落实污染物减排。 （1.3）严格做好控规，杜绝在规划的工业用地上新增环境敏感目标。 </td><td> 本项目拟建于区块二的二类工业用地，与集镇、安置小区距离相对较远 </td><td>符合</td></tr> <tr> <td>污染物排放管控</td><td> （2.1）废水：加快高新区污水收集管网及集中处理设施建设，实行雨污分流、污污分流，确保生产生活废水应收尽收，集中纳入污水处理厂处理，逐步解决临近区块二北侧已有的集中居住区的生活废水分散排放问题，高新区企业放射性废水应在企业排放口满足相关行业标准中放射性指标限值要求后，纳入集中污水处理厂处理，做好污水处理厂中水回用管网系统及尾水排放管网的建设，确保其与新建涉废水排放项目同步投入使用。 （2.2）废气：加强高新区大气污染防治，采取有效措施减少污染物排放总量，严格控制无组织排放，加强对企业 VOCs 排放的治理。加大低 VOCs 含量原辅材料的推广使用力度，从源头减少 VOCs 产生。推进使用先进生产工艺设备，减少无组织排放。 （2.3）固体废弃物：建立高新区固废规范化管理体 </td><td> 1、本项目周边暂未建设市政雨水管网，本项目放射性废水经处理达标后，与非放射性废水一起进入化粪池，最终由吸污车定期抽运至铜桥港污水处理厂进行处理； 2、废气：本项目仅少量放射性气溶胶、氮氧化物、NMHC 等产生，拟采取有组织排放方式，废气经废气处置系统处置后可确保污染物达标排放； 3、本项目固废满足减量化、资源化、无害化的处理要求 </td><td>符合</td></tr> </table>				管控维度	管控要求	企业情况	符合性	空间布局约束	（1.1）环境影响较大的工业项目尽可能远离集镇、安置小区布局，高新区核准范围外周边新建集中居住区、学校、医院尽量避开工业集中开发区域。 （1.2）区块一：限制气型污染物为主的企业入驻；区块二：已有稀土金属冶炼企业的发展立足于升级改造并严格落实污染物减排。 （1.3）严格做好控规，杜绝在规划的工业用地上新增环境敏感目标。	本项目拟建于区块二的二类工业用地，与集镇、安置小区距离相对较远	符合	污染物排放管控	（2.1）废水：加快高新区污水收集管网及集中处理设施建设，实行雨污分流、污污分流，确保生产生活废水应收尽收，集中纳入污水处理厂处理，逐步解决临近区块二北侧已有的集中居住区的生活废水分散排放问题，高新区企业放射性废水应在企业排放口满足相关行业标准中放射性指标限值要求后，纳入集中污水处理厂处理，做好污水处理厂中水回用管网系统及尾水排放管网的建设，确保其与新建涉废水排放项目同步投入使用。 （2.2）废气：加强高新区大气污染防治，采取有效措施减少污染物排放总量，严格控制无组织排放，加强对企业 VOCs 排放的治理。加大低 VOCs 含量原辅材料的推广使用力度，从源头减少 VOCs 产生。推进使用先进生产工艺设备，减少无组织排放。 （2.3）固体废弃物：建立高新区固废规范化管理体	1、本项目周边暂未建设市政雨水管网，本项目放射性废水经处理达标后，与非放射性废水一起进入化粪池，最终由吸污车定期抽运至铜桥港污水处理厂进行处理； 2、废气：本项目仅少量放射性气溶胶、氮氧化物、NMHC 等产生，拟采取有组织排放方式，废气经废气处置系统处置后可确保污染物达标排放； 3、本项目固废满足减量化、资源化、无害化的处理要求	符合
管控维度	管控要求	企业情况	符合性												
空间布局约束	（1.1）环境影响较大的工业项目尽可能远离集镇、安置小区布局，高新区核准范围外周边新建集中居住区、学校、医院尽量避开工业集中开发区域。 （1.2）区块一：限制气型污染物为主的企业入驻；区块二：已有稀土金属冶炼企业的发展立足于升级改造并严格落实污染物减排。 （1.3）严格做好控规，杜绝在规划的工业用地上新增环境敏感目标。	本项目拟建于区块二的二类工业用地，与集镇、安置小区距离相对较远	符合												
污染物排放管控	（2.1）废水：加快高新区污水收集管网及集中处理设施建设，实行雨污分流、污污分流，确保生产生活废水应收尽收，集中纳入污水处理厂处理，逐步解决临近区块二北侧已有的集中居住区的生活废水分散排放问题，高新区企业放射性废水应在企业排放口满足相关行业标准中放射性指标限值要求后，纳入集中污水处理厂处理，做好污水处理厂中水回用管网系统及尾水排放管网的建设，确保其与新建涉废水排放项目同步投入使用。 （2.2）废气：加强高新区大气污染防治，采取有效措施减少污染物排放总量，严格控制无组织排放，加强对企业 VOCs 排放的治理。加大低 VOCs 含量原辅材料的推广使用力度，从源头减少 VOCs 产生。推进使用先进生产工艺设备，减少无组织排放。 （2.3）固体废弃物：建立高新区固废规范化管理体	1、本项目周边暂未建设市政雨水管网，本项目放射性废水经处理达标后，与非放射性废水一起进入化粪池，最终由吸污车定期抽运至铜桥港污水处理厂进行处理； 2、废气：本项目仅少量放射性气溶胶、氮氧化物、NMHC 等产生，拟采取有组织排放方式，废气经废气处置系统处置后可确保污染物达标排放； 3、本项目固废满足减量化、资源化、无害化的处理要求	符合												

	系，做好工业固体废物和生活垃圾的分类收集、转运、综合利用和无害化处理。对危险废物应严格按照国家有关规定综合利用或妥善处置，对危险废物产生企业和经营单位，应强化日常环境监管。 (2.4) 建立健全高新区环境空气、地表水、地下水、土壤、放射性等环境要素的监控体系，重点监控东阳渡街道、高新区内外安置小区的环境空气环境质量变化情况，并涵盖 VOCs、铀、钍、γ 辐射剂量率等相关特征污染物监测，加强对重点排放企业的监督性监测，防止偷排漏排。	4、企业拟配置辐射在线系统以及便携式辐射监测设备，以确保厂址内及周围辐射水平正常、污染物达标排放，此外，企业拟定期委托有资质单位开展年度辐射监测	
环境风险防控	(3.1) 高新区应办理突发环境事件应急预案备案，并严格落实应急预案的相关要求，严防环境突发事件发生。 (3.2) 高新区可能发生突发环境事件的污染物排放企业，生产、储存、运输、使用危险化学品的企业，产生、收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的企业等应当编制和实施环境应急预案；鼓励其他企业制定单独的环境应急预案，或在突发事件应急预案中制定环境应急预案专章，并备案。 (3.3) 建设用地土壤风险防控：严格污染地块准入管理。加强对建设用地土壤环境状况调查、风险评估和污染地块治理与修复的监管。	根据环境现状调查，本项目拟建地不属于污染地块。项目建成后，企业拟建立应急组织机构，编制企业突发环境事件应急预案制度并备案，定期开展应急演练。	符合
资源开发效率要求	(4.1) 能源：促进能源结构低碳化，推广使用清洁能源。 (4.2) 水资源：落实水资源消耗总量和强度双控行动，2025 年，珠晖区用水总量 0.9229 亿立方米，万元工业增加值用水量比 2020 年下降 (%) 12.0。 (4.3) 土地资源：提高土地使用效率和节约集约程度，高新区工业用地固定资产投资强度达到 250 万元/亩，工业用地地均税收达到 15 万元/亩。	本项目采取一系列措施减少污染物的产生及排放，并尽量做到资源的回收利用，本项目总投资 10000 万元，占地面积 12 亩，投资强度约 833 万元/亩	符合

1.8. 与规划环评及其审查意见的符合性分析

与规划环评审查意见的符合性分析如下：

表 1-6 与园区规划环评审查意见（湘环评函[2022]92 号）相符性分析表

湘环评函[2022]92 号要求	企业情况	符合性
(一) 严格依规开发，优化空间功能布局。园区在进行国土空间规划和开发建设过程中应充分吸收规划环评对不同功能用地和不同工业用地类别的设置意见，从规划层面提升环境相容性，并按照经核准的园区规划范围开发建设，园区规划用地不得涉及各类法定保护地。作为新设立的园区，园区应从生态环境相容性出发做好空间功能布局，将环境影响较大的工业项目尽可能远离集镇、安置小区布局，同时，园区核准范围外周边新建集中居住区、学校、医院也尽量应避开工业集中开发区域，为工业合理发展扩张预留空间。	本项目位于园区片区二的二类工业用地上，周围无各类法定保护地，周边无新建集中居住区、学校、医院等环境敏感目标。	符合
(二) 严格环境准入，优化园区产业结构。园区产业引进应严格遵循《长江保护法》、《长江经济带发展负面	本项目符合园区企业环境准入要求，满足《长江保护法》、	符合

清单指南》及省、市相关法律法规及政策的要求，落实园区“三线一单”及《报告书》提出的准入条件、生态环境管控清单、行业准入清单等要求。区块一限制气型污染为主的企业入驻；区块二已有稀土金属冶炼企业的发展立足于升级改造并严格落实污染物减排。	《长江经济带发展负面清单指南》、“三线一单”及规划环评提出的各项要求。	
（三）落实管控措施，加强园区排污管理。加快园区污水收集管网及集中处理设施建设，实行雨污分流、污污分流，确保园区生产生活废水应收尽收，集中纳入污水处理厂处理，逐步解决临近区块二北侧已有的集中居住区的生活废水分散排放问题，园区企业放射性废水应在企业排放口满足相关行业标准中放射性指标限值要求后，纳入集中污水处理厂处理，做好园区污水处理厂中水回用管网系统及尾水排放管网的建设，确保其与新建涉废水排放项目同步投入使用，园区后续不得超过污水处理厂的处理能力和排污口审批所规定的废水排放量引进项目。园区应促进能源结构低碳化，推广使用清洁能源，加强园区大气污染防治，采取有效措施减少污染物排放总量，严格控制无组织排放，加强对园区企业 VOCs 排放的治理。建立园区固废规范化管理体系，做好工业固体废物和生活垃圾的分类收集、转运、综合利用和无害化处理。对危险废物应严格按照国家有关规定综合利用或妥善处置，对危险废物产生企业和经营单位，应强化日常环境监管。按要求做好园区内疑似污染地块的治理工作。园区须严格落实排污许可制度和污染物排放总量控制，督促入园企业及时完成竣工环境保护验收工作，推动入园企业开展清洁生产审核。园区应落实第三方环境治理工作相关政策要求，强化对重点产排污企业的监管与服务。	本项目雨污分流、清污分流、项目采取一系列措施减少废水的产生，同时对清净废水尽量回用，项目综合废水由吸污车定期抽取至铜桥港污水处理厂进行处理，项目竣工后，将按照国家要求开展竣工环保验收，并在运行期执行国家和地方的各项环保相关法律法规要求。	符合
（四）完善监测体系，监控环境质量变化状况。结合园区规划的功能分区、产业布局、重点企业分布、特征污染物的排放种类和状况、环境敏感目标分布等，建立健全园区环境空气、地表水、地下水、土壤、放射性等环境要素的监控体系，重点监控东阳渡街道、园区内外安置小区的环境空气环境质量变化情况，并涵盖 VOCs、铀、钍、γ辐射剂量率等相关特征污染物监测，加强对园区重点排放企业的监督性监测，防止偷排漏排。	企业运行后，拟严格按照本次环评确定的监测方案开展自行监测。	符合
（五）强化风险管控，严防园区环境事故。建立健全园区环境风险管理工作长效机制，加强园区环境风险防控、预警和应急体系建设。落实环境风险防控措施，及时完成园区环境应急预案编制和备案工作，推动重点污染企业环境应急预案编制、修订和备案工作，加强应急救援队伍、装备和设施建设，储备必要的应急物资，有计划地组织应急培训和演练，全面提升园区环境风险防控和环境事故应急处置能力。	拟按规定制定企业突发环境事件应急预案并报衡阳市生态环境局备案	符合
（六）做好周边控规，落实拆迁安置计划。严格做好控规，杜绝在规划的工业用地上新增环境敏感目标。构建铀矿冶设施与城镇居住区间的生态廊道，严格落实《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)，铀矿冶设施与居民区的辐射防护最小间隔距离不应小于 300 米的要求。确保园区开发过程中的居民搬迁安置到	本项目不设置防护距离。	符合

位，防止发生居民再次安置和次生环境问题，对于具体项目环评设置防护距离和搬迁要求的，要确保予以落实。		
（七）做好园区建设期生态保护和水土保持。施工期对土石方开挖、堆存及回填要实施围挡、护坡等措施，裸露地及时恢复植被，防止水土流失，杜绝施工建设对地表水体的污染。	本项目拟建于园区二类工业用地，施工期拟按要求做好防止水土流失防护、植被恢复以及污染防治措施。	符合

1.9. 与园区企业准入条件相符性分析

本项目与园区规划环评的企业准入条件、企业准入负面清单符合性如下：

表 1-7 本项目与园区企业准入条件相符性分析表

类别	准入条件	企业情况	符合性
产业导向	1、符合国家及地方产业政策，包括《产业结构调整指导目录》、《外商投资产业指导目录》、《市场准入负面清单》等。 2、符合所属行业有关发展规划。 3、符合衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区规划产业导向。 4、符合规划环评提出的准入清单要求。	根据前述分析，本项目与《产业结构调整指导目录》相符，符合“六 核能——4.核技术应用”相关发展规划，符合白沙绿岛高新区产业定位，符合企业准入清单要求。	符合
规划选址	选址符合衡阳市国土空间规划	本项目位于园区内的二类工业用地	符合
清洁生产	入驻项目生产工艺、装备技术水平、水耗、能耗、污染物排放等应达到国内同行业领先水平。	本项目拟采取先进的生产工艺、装备技术，并尽可能降低水耗、能耗、污染物排放等	符合
环境保护	1、符合行业环境准入要求； 2、项目建设拟排放污染物符合国家、地方规定的污染物排放标准； 3、建设项目新增主要污染物排放量符合总量控制和污染物减排要求； 4、废水集中纳管排放，不得入驻外排涉及重金属废水的企业； 5、VOCs、重金属总量符合区域削减、减量等量置换的要求。	本项目符合园区环境准入要求，各项污染物均可做到达标排放，仅新增少量废气颗粒物，项目综合废水经化粪池处理后由吸污车定期抽取至铜桥港污水处理厂进行处理	符合

表 1-8 园区片区二环境准入负面清单

片区二园区准入负面清单		
类别	行业类别	符合性
产业定位	装备制造：C3411 锅炉及原动设备制造（锅炉及辅助设备制造、能源装备制造等）；C3581 医疗仪器设备及器械制造（医疗诊断、监护及治疗设备制造，医用消毒设备和器具制造等）；C3425 机床功能部件及附件制造（数控机床功能部件等）；C3591 环境保护专用设备制造（大气污染防治设备、水污染防治设备等）。核技术应用：C4120 核辐射加工（核技术与同位素技术的应用、辐照加工产业等）；C4027 核子及核辐射仪器制造（射线测量或检验仪器、辐照加工用仪器设备等）。现代物流：G5442 货运枢纽。	本项目属于核技术应用项目，符合园区产业定位

禁止类	1、C311 炼铁、C312 炼钢、C314 铁合金冶炼、C321 常用有色金属冶炼、C322 贵金属冶炼，铇水冶工序；2、属于《环境保护综合名录（2021 年版）》中“高污染、高环境风险”目录的新材料项目；3、属于《产业结构调整指导目录》（2021 年修订）淘汰类工艺和设备；4、禁止引进电镀中心项目；外排废水中含有重金属的行业和工艺	不涉及
限制类	1、严格限制废水或废气等污染物排放量大的企业和工艺；限制使用油性涂料且用量较大、挥发性有机物排放量大的企业；2、属于《产业结构调整指导目录》（2021 年修订）限制类工艺和设备。	不涉及

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	贮存方式与地点	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	贮存方式和地点
1	Th-232	液态，低毒 半衰期 1.405E+10a	使用	1.61E+11	1.61E+06	1.61E+11	分离 Ra-228	源的贮存	医用同位素生产厂房 硝酸钍原料暂存间	硝酸钍原料暂存间
2		固态，低毒 半衰期 1.405E+10a		1.61E+09	1.61E+07	1.61E+11		简单操作	医用同位素生产厂房 吸附浓缩用室	/
3	Ra-228	固态，极毒 半衰期 5.75a	使用	1.85E+10	1.85E+08	1.85E+10	制备 Ra-228 中间产品	源的贮存	医用同位素生产厂房 硝酸钍原料暂存间	硝酸钍原料暂存间
4		液态，极毒 半衰期 5.75a		1.85E+08	1.85E+09	1.85E+10		简单操作	医用同位素生产厂房 吸附浓缩用室	/
5	Ra-228/Th-228 发生器	固态，极毒 半衰期 5.75a		1.11E+10	1.11E+08	1.11E+10	淋洗 Th-228	源的贮存	医用同位素生产厂房 中间产品库	中间产品库
6	Ra-224/Pb-212 发生器	固态，极毒 半衰期 3.66d	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.48E+10	废发生器处置	源的贮存	医用同位素生产厂房 发生器回收处理间	/
7			销售	5.14E+07	5.14E+04	5.14E+09	/	源的贮存	医用同位素生产厂房 发货大厅	即产即售
8	Ra-224	液态，极毒 半衰期 3.66d	销售	1.48E+08	1.48E+07	1.48E+10	/	源的贮存		即产即售
9	Pb-212	液态，中毒 半衰期 10.64h	销售	5.55E+08	5.55E+05	5.55E+05	/	源的贮存		即产即售
10	Ra-228/Th-	固态，极毒	使用	1.04E+08	1.04E+06	1.04E+10	淋洗 Th-228	源的贮存	医用同位素生产厂房	/

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	贮存方式和地点
	228 发生器	半衰期 5.75a							Th-228 分离区	
11	Th-228	液态, 极毒 半衰期 1.9116a	使用	1.81E+07	1.81E+08	1.81E+09	制备 Th-228 中间产品	简单操作		/
12	Th-228/Ra-224 发生器	固态, 极毒 半衰期 1.9116a	使用	3.63E+09	3.63E+07	3.63E+11	淋洗 Ra-224	源的贮存	医用同位素生产厂房 半成品库	半成品库
13				1.99E+08	1.99E+06	1.99E+10		源的贮存	医用同位素生产厂房	/
14	Ra-224	液态, 极毒 半衰期 3.66d	使用	1.99E+08	1.99E+09	1.99E+10	制备 Ra-224 产品	简单操作	Ra-224 分离及发生器 组装区	/
15	Ra-224/Pb-212 发生器	固态, 极毒 半衰期 3.66d	使用	7.40E+08	7.40E+06	1.48E+11	淋洗 Pb-212	源的贮存	医用同位素生产厂房 Pb-212 分离及标记区	/
16	Pb-212	液态, 中毒 半衰期 10.64h	使用	7.40E+08	7.40E+07	1.48E+11	制备 Pb-212 产品	简单操作		/
17	Ra-228	液态, 极毒 半衰期 5.75a	使用	1.11E+05	1.11E+06	1.11E+07	质检	简单操作	医用同位素生产厂房 质控及放射性实验室 区	/
18	Th-228	液态, 极毒 半衰期 1.9116a	使用	1.81E+04	1.81E+05	1.81E+06	质检	简单操作		/
19	Ra-224	液态, 极毒 半衰期 3.66d	使用	1.99E+05	1.99E+06	1.99E+07	质检	简单操作		/
20	Pb-212	液态, 中毒 半衰期 10.64h	使用	7.40E+05	7.40E+04	1.48E+08	质检	简单操作		/

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)。上表未包含操作过程中核素衰变产生的子体核素。

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 (μ A)	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

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
放射性废气	气态	^{232}Th 及其子体、 ^{220}Rn 等	-	-	7.67E+8Bq	2.08E+1Bq/m ³	不暂存	各槽罐呼吸废气经排风系统收集，经碱喷淋装置处置后由 DA002 排气口排至室外环境；各箱室及工作场所废气经排风系统收集，经高效活性炭过滤装置吸附后由 DA002 排气口排至室外环境
含放射性清洗废水	液态	Th-232 及其子体	-	-	29.8m ³	总α<10Bq/L 总β<10Bq/L	排放至生活废液暂存罐暂存	经检测满足总 α <10Bq/L、总 β <10Bq/L 后排至厂区化粪池
Pb-212 标记废液		Pb-212 及其子体	-	-	2L (Pb-212: 3.70E+10Bq)	-	采用专用废液容器收集后转至固废间暂存	存放 30d 以上时间，且经检测达到清洁解控水平后，作为非放射性有机废液交有资质单位处置
放射性质控废液		Ra-228、Th-228	-	-	150L (Ra-228: 3.62E+5Bq Th-228: 2.22E+6Bq Ra-224: 3.99E+6Bq Pb-212: 2.96E+7Bq)	-	采用专用废液容器分类收集后转至固废间暂存	交由城市放射性废物库及其他有资质单位回收处置
		Ra-224、Pb-212						存放 30d 以上时间，且经检测达到清洁解控水平后，作为非放射性废液交有资质单位处置
放射性废树脂、放射性废水蒸发残渣	固态	^{232}Th 及其子体	-	-	13.0085t (Th-232: 8.64E+7Bq Ra-228: 5.47E+8Bq Th-228 及其子体: 1.59E+8Bq)	-	分类收集、整备后转入固体废物暂存间暂存	交有资质单位处置
废 Ra-224 活性部件		Ra-224 及其子体	-	-	0.12t Ra-224 及其子体: 1.59E+8Bq)	-	固体废物暂存间暂存	存放 30d 以上时间，且经检测达到清洁解控水平后，作为非放射性有机废液交有资质单位处置
其他放射性固体废物（污染劳保用品、工作服、实验容器		^{232}Th 及其子体	-	-	0.26t (Ra-228: 1.45E+6Bq Th-228: 8.88E+6Bq)	-	固体废物暂存间暂存	存放时间满足相应放射性固体废物暂存要求，且经监测达到清洁解控水平后，作为一般废物交有

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
等)					Ra-224: 1.60E+7Bq Pb-212: 1.18E+8Bq)			资质单位处理
放射性通风系统废 旧活性炭滤芯		²³² Th 及其子体	-	-	1t (Th-232 及其子体: 1.88E+11Bq)	-	废滤芯暂存间 收集后转至固 体废物暂存间 暂存	存放时间满足相应放射性固体废物 暂存要求, 且经监测达到清洁 解控水平后, 作为一般废物交有 资质单位处理
厂区综合废水	液 态	-	-	-	808.925m ³	-	化粪池暂存	由吸污车定期清运至白沙洲铜桥 港污水处理厂处理
NOx	气 态	-	-	-	~61.03kg	2.06E-4mg/m ³	不暂存	硝酸储罐呼吸废气经排风系统收 集, 经碱喷淋装置处置后由 DA001 排气口排至室外环境; 各 槽罐呼吸废气经排风系统收集, 经碱喷淋装置处置后由 DA002 排气口排至室外环境; 各箱室及 工作场所废气经排风系统收集, 经高效活性炭过滤装置吸附后由 DA002 排气口排至室外环境
氯化氢		-	-	-	~0.36kg	4.97E-7mg/m ³	不暂存	经高效活性炭过滤装置吸附后由 DA002 排气口排至室外环境
NMHC		-	-	-	10.76kg	2.72E-2mg/m ³	不暂存	经高效活性炭过滤装置吸附后由 DA002~DA006 排气口排至室外 环境
一般固废(废包装 等)	固 态	-	-	-	0.05t	-	一般固废间暂 存	尽量回用, 不能回用的交废品收 购站
危险废物(蒸发残 渣、质控废物、废 劳保用品等)		-	-	-	0.233t	-	分类收集后, 送危废暂存间 进行暂存	定期送有资质的单位进行处理

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, 气态为 mg/m³; 年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明, 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》，1989 年 12 月 26 日发布，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日施行； 2. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日发布，2016 年 7 月 2 日第一次修订；2018 年 12 月 29 日第二次修订，2018 年 12 月 29 日施行； 3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003 年 6 月 28 日发布，2003 年 10 月 1 日起施行； 4. 《中华人民共和国大气污染防治法》2018.10.26 修订、施行； 5. 《中华人民共和国水污染防治法》2017.6.27 修订，2018.1.1 施行； 6. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》2020.4.29 发布，2020.9.1 施行； 7. 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》2021 年修订、2022.6.5 施行； 8. 《中华人民共和国水土保持法》 国家主席第 39 号令 2010.12.25 修订，2011.3.1 施行； 9. 《中华人民共和国长江保护法》，2021 年 3 月 1 日起施行； 10. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令第 253 号发布，2017 年 7 月 16 日国务院令第 682 号修改，2017 年 10 月 1 日起施行； 11. 《放射性药品管理办法》，1989 年 1 月 13 日国务院令第 25 号发布，2024 年 12 月 6 日第四次修订，2025 年 1 月 20 日起施行； 12. 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起实施； 13. 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院令第 562 号，2010 年 1 月 1 日实施； 14. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日国务院令第 449 号公布，2019 年 3 月 2 日国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起施行； 15. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2006 年 1 月 18 日总

	局令第 31 号发布，2017 年 12 月 20 日环境保护部令第 47 号修订，2019 年 8 月 22 日生态环境部令第 7 号修订，2021 年 1 月 4 日生态环境部令第 20 号修订，自公布之日起实施； 16. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 4 月 18 日环保部令第 18 号公布，2011 年 5 月 1 日起施行； 17. 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2020 年 11 月 30 日环境保护部令第 16 号公布，2021 年 1 月 1 日实施； 18. 《辐射工作人员职业健康管理办法》，2007 年 6 月 3 日中华人民共和国卫生部令第 55 号发布，2007 年 11 月 1 日起施行； 19. 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，2017 年 12 月 1 日环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行； 20. 《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》，2019 年 12 月 23 日生态环境部公告 2019 年第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日起施行； 21. 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，2021 年 3 月 12 日生态环境部公告 2021 年第 9 号公告，2021 年 3 月 15 日起实施； 22. 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，2016 年 3 月 7 日，环办辐射函[2016]430 号； 23. 《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》，2006 年 9 月 26 日，环发[2006]145 号； 24. 《核应急管理导则—放射源和辐射技术应用应急准备与响应》，2003 年 2 月 21 日，国防科工委、卫生部发布，科工二司[2003]147 号； 25. 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2023 年 12 月 27 日，国家发展改革委令第 7 号令发布，2024 年 2 月 1 日起施行； 26. 《国家危险废物名录（2025 年版）》； 27. 《长江经济带生态环境保护规划》（环规财 2017 年 88 号）； 28. 《长江经济带发展负面清单指南（试行）（2022 年版）》；

	29. 《危险化学品安全管理条例实施细则》2013.12.7 修正； 30. 《湖南省环境保护条例》2020.1.1 施行； 31. 《湖南省主要水系地表水环境功能区划（DB43/023-2005）》2005.4.12 发布，2005.7.1 施行； 32. 《湖南省生态环境分区管控总体管控要求暨省级以上产业园区生态环境准入清单》（湘环函〔2024〕26 号）； 33. 湖南省人民政府办公厅关于印发《湖南省“十四五”生态环境保护规划》的通知（湘政办发〔2021〕61 号）； 34. 湖南省生态环境厅关于印发《湖南省实验室危险废物环境管理指南》的通知（湘环发〔2021〕12 号）； 35. 国家原子能机构等十二部门关于印发《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026 年）》的通知（国原发〔2024〕5 号）； 36. 《湖南省长江经济带发展负面清单实施细则（试行，2022 年版）》； 37. 《衡阳市“十四五”生态环境保护规划》； 38. 《长江经济带生态环境保护规划》； 39. 《湖南省湘江保护条例》（2023 年修改版）。
技术标准	1. 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； 2. 《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）； 3. 《环境影响评价技术导则—大气环境》（HJ2.2-2018）； 4. 《环境影响评价技术导则—地表水环境》（HJ2.3-2018）； 5. 《环境影响评价技术导则—地下水环境》（HJ610-2016）； 6. 《环境影响评价技术导则—声环境》（HJ2.4-2021）； 7. 《环境影响评价技术导则—生态影响》（HJ19-2022）； 8. 《环境影响评价技术导则—土壤环境（试行）》（HJ964-2018）； 9. 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）； 10. 《污染源源强核算技术指南准则》（HJ884-2018）；

11. 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
12. 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
13. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
14. 《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）；
15. 《辐射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）；
16. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；
17. 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；
18. 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函 2023[20]号）；
19. 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
20. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
21. 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）；
22. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
23. 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；
24. 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；
25. 《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）；
26. 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单；
27. 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
28. 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
29. 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
30. 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）；
31. 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
32. 《施工场地扬尘排放标准》（DB13/2934-2019）；
33. 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
34. 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
35. 《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）；

	36. 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2018）； 37. 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）； 38. 《可免于辐射防护监管的物料中放射性活度浓度》（GB27742-2011）； 39. 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）； 40. 《危险废物收集、运输、处置技术规范》（HJ2025-2012）； 41. 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）； 42. 《危险废物收集贮存运输技术规范》（HJ2025-2012）； 43. 《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）； 44. 《排污单位自行监测技术指南总则》（HJ819-2017）； 45. 《排污许可证申请与核发技术规范制药工业—化学药品制剂制造》（HJ1063-2019）； 46. 《排污许可证申请与核发技术规范 制药工业—生物药品制品制造》（HJ1062-2019）； 47. 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-89）。
其他	1. 项目委托书； 2. 李德平 潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》、《辐射防护手册第三分册 辐射安全》，原子能出版社，1987 年； 3. 《中国环境天然放射性水平》，《中国环境天然放射性水平》编辑委员会，中国原子能出版社，2015 年 7 月； 4. 潘自强编著《辐射安全手册》，科学出版社，2011 年 11 月； 5. 方杰主编《辐射防护导论》，原子能出版社，1988 年； 6. 霍雷、刘剑利等编著《辐射剂量与防护》，电子工业出版社，2015 年； 7. 《Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor Nuclear Facilities 第一卷-实验数据分析》，1994 年 12 月； 8. 《Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment》，IAEA Safety Report Series No.19； 9. 《SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION》，UNSCEAR 2000； 10. 建设单位提供的项目相关资料。

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》（HJ 10.1-2016）中的相关规定，“以项目实体边界为中心，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。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围，对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大）。”

本项目辐射工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所，评价范围取工作场所所在医用同位素生产厂房实体边界外 50m 范围。本项目评价范围示意图见图 7-1。



图 7-1 项目评价范围图

7.2. 保护目标

根据本项目特点，本项目环境保护目标为辐射工作场所内职业工作人员和工作场所周围的其他非辐射工作人员以及公众，项目环境保护目标详见下表：

表 7-1 环境保护目标一览表

工作场所	相对方位	相对距离	环境情况	保护目标	目标人数
医用同位素生产厂房	内部	/	本项目医用同位素生产厂房	辐射工作人员	22 人
			医用同位素生产厂房其他非放射工作间、四层预留生产区域、屋面	公众	约 50 人
	东侧	40~50m	227 厂某厂房	公众	约 20 人
	西侧	17.5~36m	本项目研发楼	公众	约 28 人
	西侧	45~50m	天友路	公众	流动人员
	西南侧	36.4m	本项目保卫值班室	公众	约 3 人
	南侧	0~50m	荒地	公众	流动人员
	北侧	0~50m	道路、荒地	公众	流动人员

注：厂界东侧紧邻的原中盐天友废弃厂房现已拆除，不列入环境保护目标。

7.3. 电离辐射评价标准

7.3.1. 职业工作人员及公众剂量约束值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 标准要求，并参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）第 4.4 款要求，具体如下：

表 7-2 职业照射和公众照射剂量约束值

序号	标准名称	标准限值	本项目剂量约束值
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	B1.1.1.1，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； b）任何一年中的有效剂量，50mSv； B1.2.1 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超过下述限值： a）年有效剂量，1mSv； b）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；	辐射工作人员： 5mSv/a； 公众：0.1mSv/a
2	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）	4.4 剂量限值与剂量约束值 4.4.1 剂量限值 核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医	

		学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。 4.4.2 剂量约束值 4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a； 4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。	

7.3.2. 辐射防护分区

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准要求，具体如下：

表 7-3 本项目辐射防护分区执行标准

序号	标准名称	内容	
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)	控制区	(1) 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。 (2) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。 (3) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序。 (4) 运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。 (5) 定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。
		监督区	(1) 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对照职业照射条件进行监督和评价。 (2) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。 (3) 定期审查该区的条件，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。

7.3.3. 非密封放射性物质工作场所的分级

根据《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标准，详见下表：

表 7-4 非密封源工作场所分级

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 $\sim 2 \times 10^7$
注：日等效最大操作量=实际日操作量 (Bq) × 毒性修正因子/操作方式修正因子。	

7.3.4. 工作场所放射性表面污染控制水平

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2 中的相关标准，本项目工作场所的放射性表面污染控制水平见下表：

表 7-5 工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质（Bq/cm ² ）		β 放射性物质（Bq/cm ² ）
		极毒	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区（高污染子区除外）	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	0.4	0.4	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

7.3.5. 辐射工作场所辐射剂量率控制水平

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）第 6.1 款要求，详见下表：

表 7-6 辐射工作场所辐射剂量率控制水平

序号	标准名称	标准要求	本项目辐射剂量率控制水平
1	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）	6.1 屏蔽要求 6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h。 6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 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 μ Sv/h。	（1）控制区外屏蔽体外 30cm 处：<2.5 μ Sv/h （2）控制区内屏蔽体外 30cm 处： ①居留因子 $\geq 1/2$ ，<2.5 μ Sv/h、②居留因子<1/2，<10 μ Sv/h （3）合成和分装的箱体、通风柜外 30cm 处：①人员操作位，<2.5 μ Sv/h、②非操作位，<25 μ Sv/h

7.3.6. 放射性废水

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 款和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）要求，具体如下：

表 7-7 本项目放射性废水排放标准

序号	标准名称	标准要求
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录： a) 每月排放的总活度不超过 10ALI _{min} （ALI _{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B.1.3.4 和 B.1.3.5 条的规定获得）； b) 每一次排放的活度不超过 1ALI _{min} ，并且每次排放后用不少于

		3 倍排放量的水进行冲洗。		
2	《污水综合排放标准》 (GB8978-1996)	表 1 第一类污染物最高允许排放浓度		
		序号	污 染 物	最高允许排放浓度
		12	总 α 放射性	1Bq/L
		13	总 β 放射性	10Bq/L

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 本项目涉及核素的 ALI_{min} 值见下表:

表 7-8 放射性废水排放导出限值

核素	E_1 (Sv/Bq)	一次排放限值 (Bq)
Th-232	4.2E-05	4.76E+02
Th-228	3.1E-05	6.45E+02
Ac-228	1.6E-08	1.25E+06
Ra-228	2.6E-06	7.69E+03
Ra-224	2.9E-06	6.90E+03
Pb-212	3.3E-08	6.06E+05
Bi-212	3.9E-08	5.13E+05

7.3.7. 放射性固体废物

执行《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)标准要求。参考执行《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188—2021)标准要求, 具体如下:

表 7-9 本项目放射性废气排放管理要求

序号	标准名称	标准要求
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)	8.6.1 注册者和许可证持有者应保证, 由其获准的实践和源向环境排放放射性物质时符合下列所有条件, 并已获得主管部门的批准: a) 排放不超过主管部门认可的排放限值, 包括排放总量限值和浓度限值; b) 有适当的流量和浓度监控设备, 排放是受控的; d) 排放所致的公众照射符合本标准附录 B(标准的附录)所规定的剂量限制要求; e) 已按本标准的有关要求使排放的控制最优化。
2	《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)	7.3 放射性固体废物 7.3.1 产生放射性固体废物较多的单位应当建立固体废物暂存库, 确保储存的废物可回取。 7.3.2 操作非密封源的单位产生的废物(包括废弃的放射源), 应按要求送指定的废物库暂存。送贮的废物应符合送贮条件。 7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法, 待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理, 以尽可能减少放射性废物的数量。
3	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188—2021)	7.2.3 固体放射性废物处理 7.2.3.1 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 0.08 Bq/cm ² 、

		β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处理: 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 7.2.3.2 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 0.1 mSv/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 4 Bq/cm^2、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm^2。 7.2.3.3 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。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 A, 本项目涉及核素的豁免水平见下表:

表 7-10 放射性废物免管活度一览表

核素	免管活度浓度 (Bq/g)	免管活度 (Bq)
Th-232	1	$1\text{E}+3$
Ra-228*	$1\text{E}+1$	$1\text{E}+5$
Ac-228	$1\text{E}+1$	$1\text{E}+6$
Th-228*	1	$1\text{E}+4$
Ra-224*	$1\text{E}+1$	$1\text{E}+5$
Rn-220*	$1\text{E}+4$	$1\text{E}+7$
Pb-212*	$1\text{E}+1$	$1\text{E}+5$
Bi-212*	$1\text{E}+1$	$1\text{E}+5$

7.3.8. 放射性废气

执行《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》(GB1930-2010) 标准要求。参考执行《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188—2021) 标准要求, 具体如下:

表 7-11 本项目放射性废气排放管理要求

序号	标准名称	标准要求
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)	8.6.1 注册者和许可证持有者应保证, 由其获准的实践和源向环境排放放射性物质时符合下列所有条件, 并已获得审管部门的批准: a) 排放不超过审管部门认可的排放限值, 包括排放总量限值和浓度限值; b) 有适当的流量和浓度监控设备, 排放是受控的; d) 排放所致的公众照射符合本标准附录 B(标准的附录)所规定的剂量限制要求; e) 已按本标准的有关要求使排放的控制最优化。
2	《操作非密封源的辐射防	7.4 放射性废气排放

	护规定》(GB11930-2010)	7.4.1 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。 7.4.2 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。
3	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188—2021)	7.4 气态放射性废物的管理 7.4.1 产生气态放射性废物的核医学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。 7.4.2 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。

7.4. 环境质量评价标准

7.4.1. 环境空气

环境空气质量执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准及 2018 修改单的要求,具体标准限值详见下表:

表 7-12 本项目执行的环境空气质量标准

执行标准	污染物名称	取值时间	二级标准	单位
《环境空气质量标准》 (GB3095-2012) 二级标准	SO ₂	年平均	60	μg/m ³
		24 小时平均	150	
		1 小时平均	500	
	NO ₂	年平均	40	
		24 小时平均	80	
		1 小时平均	200	
	CO	24 小时平均	4	mg/m ³
		1 小时平均	10	
	O ₃	日最大 8 小时平均	160	μg/m ³
		1 小时平均	200	
	PM ₁₀	年平均	70	
		24 小时平均	150	
	PM _{2.5}	年平均	35	
		24 小时平均	75	
	TSP	年平均	200	
		24 小时平均	300	
	NO _x	年平均	50	
		24 小时平均	100	
		1 小时平均	250	

7.4.2. 地表水环境

湘江衡南县云集村至雁峰区文昌村段执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类标准,具体见下表:

表 7-13 本项目执行的地表水环境质量标准

序号	项目	单位	限值	标准
1	pH	/	6~9	《地表水环境质量标准》 (GB3838-2002) III类标准
2	DO	mg/L	5	
3	COD	mg/L	20	
4	高锰酸盐指数	mg/L	6	
5	BOD ₅	mg/L	4	
6	NH ₃ -N	mg/L	1.0	
7	总磷(以 P 计)	mg/L	0.2 (湖、库 0.05)	
8	挥发酚	mg/L	0.005	
9	石油类	mg/L	0.05	
10	硫化物	mg/L	0.2	
11	氟化物(以 F ⁻ 计)	mg/L	1.0	
12	LAS	mg/L	0.2	
13	铜	mg/L	1.0	
14	锌	mg/L	1.0	
15	砷	mg/L	0.05	
16	汞	mg/L	0.0001	
17	镉	mg/L	0.005	
18	铬(六价)	mg/L	0.05	
19	铅	mg/L	0.05	
20	镍	mg/L	0.02	
21	镭	mg/L	0.005	
22	铊	mg/L	0.0001	
23	粪大肠菌群	个/L	10000	

7.4.3. 地下水环境

项目所在区域地下水执行《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中III类标准, 详见下表:

表 7-14 本项目执行的地下水环境质量标准 (单位: mg/L)

序号	项目	GB/T 14848-2017 III类标准
1	pH 值	6.5-8.5
2	总硬度(以 CaCO ₃ 计)	≤450
3	溶解性总固体	≤1000
4	耗氧量(COD _{Mn} 法, 以 O ₂ 计)	≤3.0
5	氨氮(以 N 计)	≤0.50
6	挥发性酚类(以苯酚计)	≤0.002
7	氯化物	≤250
8	硫酸盐	≤250
9	硝酸盐(以 N 计)	≤20.0
10	亚硝酸盐(以 N 计)	≤1.00
11	氟化物	≤1.0
12	氰化物	≤0.05
13	总大肠菌群	≤3.0

14	菌落总数	≤100
15	铬（六价）	≤0.05
16	汞	≤0.001
17	砷	≤0.01
18	镉	≤0.005
19	铅	≤0.01
20	铁	≤0.3
21	铊	≤0.0001
22	铜	≤1.00
23	镍	≤0.02
24	锰	≤0.10

7.4.4. 声环境

根据衡阳市生态环境局发布的《衡阳市中心城区声环境功能区划分（2019 版）》，项目所在地属于 3 类声环境功能区，声环境质量执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）3 类标准，昼间限值 65dB(A)，夜间 55dB(A)。

7.4.5. 土壤环境

建设用地执行《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第二类用地风险筛选值标准，农用地执行《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）筛选值要求。

表 7-15 建设用地土壤污染风险筛选值和管制值（基本项目）

序号	污染物名称	筛选值（mg/kg）		管制值（mg/kg）	
		第一类用地	第二类用地	第一类用地	第二类用地
重金属和无机物					
1	砷	20	60	120	140
2	镉	20	65	47	172
3	六价铬	3.0	5.7	30	78
4	铜	2000	18000	8000	36000
5	铅	400	800	800	2500
6	汞	8	38	33	82
7	镍	150	900	600	2000
挥发性有机物					
8	四氯化碳	0.9	2.8	9	36
9	氯仿	0.3	0.9	5	10
10	氯甲烷	12	37	21	120
11	1,1-二氯乙烷	3	9	20	100
12	1,2-二氯乙烷	0.52	5	6	21
13	1,1-二氯乙烯	12	66	40	200
14	顺-1,2-二氯乙烯	66	596	200	2000
15	反-1,2-二氯乙烯	10	54	31	163
16	二氯甲烷	94	616	300	2000
17	1,2-二氯丙烷	1	5	5	47

18	1,1,1,2-四氯乙烷	2.6	10	26	100
19	1,1,2,2-四氯乙烷	1.6	6.8	14	50
20	四氯乙烯	11	53	34	183
21	1,1,1-三氯乙烷	701	840	840	840
22	1,1,2-三氯乙烷	0.6	2.8	5	15
23	三氯乙烷	0.7	2.8	7	20
24	1,2,3-三氯丙烷	0.05	0.5	0.5	5
25	氯乙烯	0.12	0.43	1.2	4.3
26	苯	1	4	10	40
27	氯苯	68	270	200	1000
28	1,2-二氯苯	560	560	560	560
29	1,4-二氯苯	5.6	20	56	200
30	乙苯	7.2	28	72	280
31	苯乙烯	1290	1290	1290	1290
32	甲苯	1200	1200	1200	1200
33	间二甲苯+对二甲苯	163	570	500	570
34	邻二甲苯	222	640	640	640
半挥发性有机物					
35	硝基苯	34	76	190	760
36	苯胺	92	260	211	663
37	2-氯酚	250	2256	500	4500
38	苯并[a]蒽	5.5	15	55	151
39	苯并[a]芘	0.55	1.5	5.5	15
40	苯并[b]荧蒽	5.5	15	55	151
41	苯并[k]荧蒽	5.5	151	550	1500
42	蒽	490	1293	4900	12900
43	二苯[a,h]蒽	0.55	1.5	5.5	15
44	茚并[1,2,3-cd]芘	5.5	15	55	151
45	萘	25	70	255	700

表 7-16 农用地土壤污染风险筛选值（基本项目）

污染项目		风险筛选值（mg/kg）			
		pH≤5.5	5.5<pH≤6.5	6.5<pH≤7.5	pH>7.5
镉	水田	0.3	0.4	0.6	0.8
	其他	0.3	0.3	0.3	0.6
汞	水田	0.5	0.5	0.6	1.0
	其他	1.3	1.8	2.4	3.4
砷	水田	30	30	25	20
	其他	40	40	30	25
铅	水田	80	100	140	240
	其他	70	90	120	170
铬	水田	250	250	300	350
	其他	150	150	200	250
铜	水田	150	150	200	200
	其他	50	50	100	100
镍		60	70	100	190
锌		200	200	250	300

7.5. 污染物排放标准

7.5.1. 废气污染物排放标准

本项目废气污染物执行《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）中表1标准，其中氮氧化物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2新污染源大气污染物排放限值。

表 7-17 本项目执行的废气污染物排放标准

类别	项目	浓度限值	执行标准
废气	颗粒物	30mg/m ³	《制药工业大气污染物排放标准》 (GB37823-2019) 表 1
	NMHC	100mg/m ³	
	氯化氢	30mg/m ³	
	氮氧化物	240mg/m ³ ; 2.85kg/h	《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996) 表 2 新污染源大 气污染物排放限值

7.5.2. 废水污染物排放标准

本项目综合废水经化粪池处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中三级标准及铜桥港污水处理厂进水水质标准后由吸污车抽至铜桥港污水处理厂进行处理。

本项目废水排放标准见下表。

表 7-18 本项目执行的废水污染物排放标准

类别	污染源	项目	浓度限值	执行标准
废水	外排废水	pH	6~9	《污水综合排放标准》 (GB8978-1996) 中三级标准 及铜桥港污水处理厂进水水质 标准
		SS	400mg/L	
		COD	500mg/L	
		氨氮	25mg/L	
		石油类	20mg/L	
		BOD ₅	300mg/L	
		动植物油类	100mg/L	

7.5.3. 噪声排放标准

项目施工期建筑施工噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)、运营期厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中3类标准。

表 7-19 本项目执行的噪声污染物排放标准

类别	污染源	项目	浓度限值	执行标准
噪声	施工期	昼间	70dB (A)	《建筑施工场界环境噪声排放 标准》(GB12523-2011)
		夜间	55dB (A)	
	运行期	昼间	65dB (A)	《工业企业厂界环境噪声排放 标准》(GB12348-2008) 3 类
		夜间	55dB (A)	

7.5.4. 固体废物

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1. 辐射环境现状

为了解本项目核技术应用区域及周围的辐射环境水平，根据项目源项及污染物排放情况，核工业二三 0 研究所工作人员于 2024 年 5 月 31 日、2024 年 10 月 11 日至 10 月 27 日对项目厂址及周围环境辐射水平进行了监测，监测因子包括：环境 γ 辐射剂量率、空气中的总 α 、总 β 、钍射气，土壤中的总 α 、总 β 、钍，地下水中的总 α 、总 β 、钍。

8.1.1. 辐射环境现状监测方案

1、监测因子及监测方法：本项目辐射环境现状监测方案见表 8-1：

表 8-1 本项目辐射环境现状监测方案

序号	监测因子		监测布点	监测/分析方法	监测/采样时间
1	陆地 γ	环境 γ 辐射剂量率	项目场地内均匀布设及周围敏感点（图 8-1）	《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）	2024.5.31
2	土壤	钍（Th）、总 α 、总 β	厂界内及厂界外 200m 范围内（图 8-2）	钍：《土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散 X 射线荧光光谱法》（HJ 780-2015） 总 α 、 β 放射性：参照《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》（EJ/T1075-1998）、《水中总 β 放射性浓度的测定 蒸发法》（EJ/T900-1994）	2024.5.31、2024.10.15
3	大气	钍射气	项目场地内及主导风下风向处布点（图 8-3）	钍射气：参照《环境空气中氡的测量方法》（HJ1212-2021）	2024.10.18、2024.10.19
		总 α 、总 β		总 α 、 β 放射性：参照《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》（EJ/T1075-1998）、《水中总 β 放射性浓度的测定 蒸发法》（EJ/T900-1994）	2024.10.11~2024.10.27
4	地下水	钍（Th）、总 α 、总 β	南陂村井、文家祠堂井、西眉塘井、民主村井、守经塘井（图 8-4）	钍：《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》（HJ 700-2014） 总 α 、 β 放射性：《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》（HJ898-2017）、《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ899-2017）	2024.5.31

5	地表水		钍（Th）、总α、总β	湘江	/		数据引用	
2、监测仪器：本项目辐射环境现状相关现场监测/分析检测仪器信息见表 8-2。								
表 8-2 本项目辐射环境质量现状监测/分析检测仪器相关信息一览表								
序号	监测因子		仪器型号	仪器名称	出厂编号	检定机构	检定证书编号 (检定有效期)	测量范围/检出限
1	陆地γ	环境γ辐射剂量率	主机：FH40G 探头：FHZ672E-10	X、γ辐射空气比释动能率仪		湖南省电离辐射计量站		量程：主机 10nSv/h~1Sv/h 探头 1nSv/h~100μSv/h； 能量响应：主机： 30keV~4.4MeV 探头：40keV~4.4MeV
2	土壤	钍（Th）	AxiosMax 型	X 射线荧光光谱仪		安正计量检测有限公司		Th: 2.1mg/kg
		总α、总β	MPC9604 型	低本底α、β测量仪		湖南省电离辐射计量站		总α: 39.1Bq/kg 总β: 17.8Bq/kg
3	大气	钍射气	RAD17 型	测氡仪		湖南省电离辐射计量站		/
		总α、总β	MPC9604 型	低本底α、β测量仪		湖南省电离辐射计量站		总α: 0.0001Bq/m³ 总β: 0.0004Bq/m³
4	地下水	钍（Th）	Agilent7900	电感耦合等离子体质谱仪		深圳精宇航检测技术有限公司		Th: 0.05μg/L
		总α、总β	MPC9604 型	低本底α、β测量仪		湖南省电离辐射计量站		总α: 0.016Bq/L 总β: 0.028Bq/L
3、质量保证措施：①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。②监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。③每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。④由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。⑤监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。								

8.1.2. 辐射现状监测结果

1、环境 γ 辐射剂量率

本项目厂址内及周围环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3，监测结果可知，本项目厂址内及周围环境 γ 辐射剂量率在（57.4~79.7）nGy/h 范围，本项目 X、 γ 辐射空气比释动能率仪的宇宙射线响应值为 20.6nGy/h，按 HJ1157-2021 中相关公式扣除宇宙射线响应后，项目厂址内及周围环境 γ 辐射剂量率在（36.8~59.1）nGy/h 范围，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月）中衡阳市环境天然本底水平（原野：29.4~147.2nGy/h、道路：31.4~107.2nGy/h）相当。

表 8-3 环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	点位名称	环境 γ 辐射剂量率（nGy/h）	
		测量值	标准差
γ_1	厂址内 1		
γ_2	厂址内 2		
γ_3	厂址内 3		
γ_4	厂址内 4		
γ_5	厂界南侧		
γ_6	厂界东侧		
γ_7	厂界北侧		
γ_8	厂界西侧		
γ_9	厂界西北侧（中盐天友厂界东侧）		
γ_{10}	厂界东北侧（272 厂界西侧）		
γ_{11}	厂界东北侧（272 厂界北侧）		
γ_{12}	厂界南侧（金原厂界南侧）		
γ_{13}	厂界东南侧（金原厂界东侧）		
γ_{14}	厂界南侧（居民点）		
γ_{15}	厂界西南侧（唐家湾 1）		
γ_{16}	厂界西南侧（唐家湾 2）		
γ_{17}	厂界西侧（文家村 1）		
γ_{18}	厂界北侧（文家村 2）		
γ_{19}	厂界西北侧（文家祠堂）		

注：以上监测结果未扣除宇宙射线响应。



图 8-1 环境 γ 辐射水平监测布点图

2、土壤

核工业二三〇研究所于 2024 年 5 月 31 日对本项目厂址外 T1~T3 土壤进行了现场采样，于 2024 年 10 月 15 日对厂址内土壤进行了现场采样，采样布点及检测结果如下：

检测结果表明，厂址内外土壤中 Th（钍）的含量在 15.1~26.8mg/kg 范围，Th-232 的天然丰度近乎 100%，其比活度为 4.07E+03Bq/g，根据计算厂址内外土壤中 Th-232 放

射性比活度在 61.5~109.1Bq/kg 范围，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月）中衡阳地区的调查水平（Th-232：9.69~226.30Bq/kg）相当。厂址内外各监测点总α、总β放射性比活度水平相当，未见异常。

表 8-4 土壤点位检测结果

序号	点位名称	坐标	采样深度	Th (mg/kg)	总α (Bq/kg)	总β (Bq/kg)
T1	厂址南侧（绿化）	E 112.641945 N 26.794189	0~0.2m			
T2	厂址东南侧 （金原绿化带）	E 112.652665 N 26.796706	0~0.2m			
T3	厂址西侧（唐家湾）	E 112.635552 N 26.798338	0~0.2m			
T4	厂址内（表层样）	E 112.3802843 N 26.4703858	0~0.2m			
ZT1	厂址内（柱状样）		0~0.5m			
			0.5~1.5m			
			1.5~3.0m			
ZT2	厂址内（柱状样）		0~0.5m			
			0.5~1.5m			
			1.5~3.0m			
ZT3	厂址内（柱状样）		0~0.5m			
			0.5~1.5m			
			1.5~3.0m			

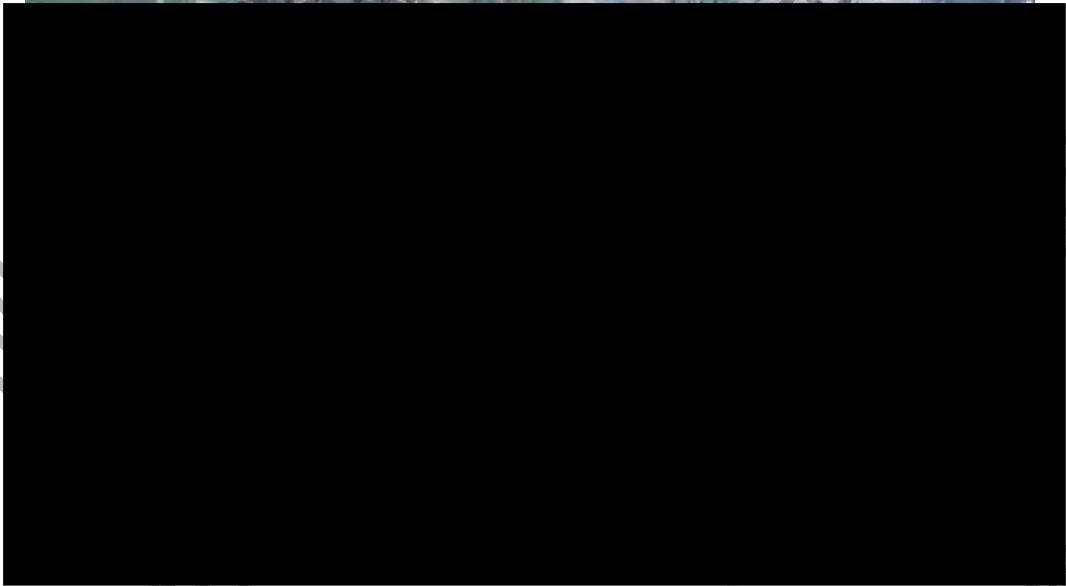


图 8-2 土壤采样布点图

3. 大气

核工业二三〇研究所于 2024 年 10 月 11 日~27 日对本项目厂址内及厂址下风向居民点环境空气中放射性气溶胶进行了现场采样，于 2024 年 10 月 18 日~19 日对铯射气进行了现场监测，采样布点及监测结果如下：

检测结果表明，厂址内、外的总α、总β活度浓度、钍射气浓度水平相当，未见异常。

表 8-5 大气点位监测结果

序号	点位名称	坐标	总α (mBq/m ³)	总β (mBq/m ³)	钍射气 (Bq/m ³)
G1	厂址内	E 112.3882843			
G2	厂址外 西南侧 (民主村)	N 26.1761554			

注：G2 监测点钍射气监测结果引用自《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响评价报告书》，监测时间为 2023 年 12 月 22 日。

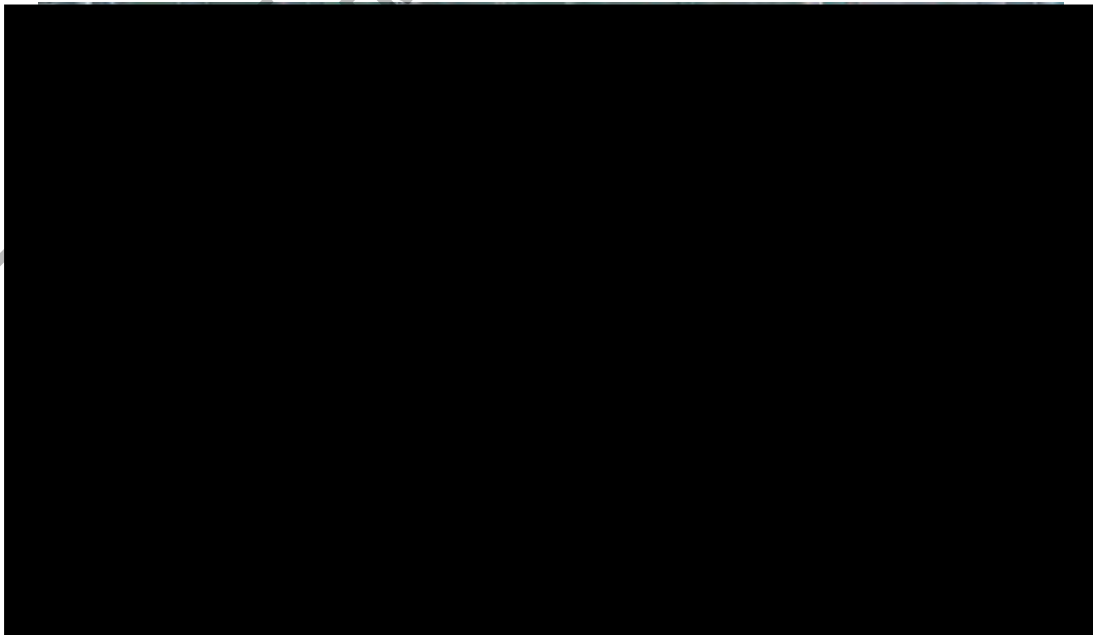


图 8-3 大气采样布点图

4、地下水

核工业二三〇研究所于 2024 年 5 月 31 日对本项目厂址周围 5 处地下水进行了采样送检，检测结果及布点如下：

检测结果表明，各地下水监测点总α、总β活度浓度监测结果均满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）Ⅲ类标准要求（总α放射性≤0.5Bq/L、总β放射性≤1.0Bq/L）；地下水中 Th（钍）浓度未检出。

表 8-6 地下水点位监测结果

序号	点位名称	坐标	Th (μg/L)	总α (Bq/L)	总β (Bq/L)
D1	南陂村井	E 112.61212485			
D2	文家祠堂井	E 112.61212485			

D3	西眉塘井	
D4	民主村井	
D5	守经塘井	

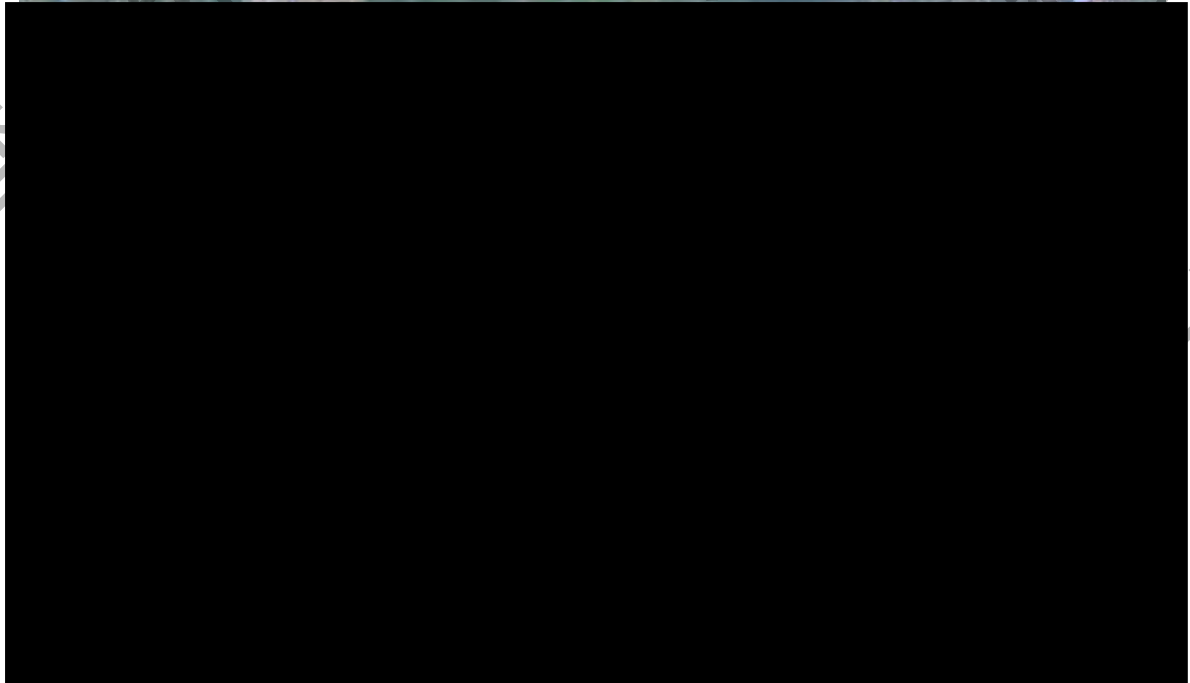


图 8-4 地下水采样布点图

5、地表水

本项目综合废水最终由吸污车定期抽取至铜桥港污水处理厂，处理达标后排至湘江。本次引用《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响评价报告书》中有关数据，详见下表：

检测结果表明，各地表水监测点总 α 、总 β 活度浓度监测结果均满足《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）表 1 标准要求（总 α 放射性 $\leq 0.5\text{Bq/L}$ 、总 β 放射性 $\leq 1.0\text{Bq/L}$ ）；地表水中 Th（钍）浓度与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月）中湘江中游平水期调查水平（Th：0.03~0.07 $\mu\text{g/L}$ ）相当，未见异常。

表 8-7 地表水点位监测结果

序号	点位名称	Th ($\mu\text{g/L}$)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)
1	排放口上游 500m			
2	排放口下游 2000m			
3	第一取水口			

注：以上数据均引用自《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响评价报告书》，监测时间为 2024 年 1 月 5 日。

8.2. 非放射性环境质量现状

为了解本项目区域环境质量现状，根据项目源项及污染物排放情况，本次环境本底监测还针对环境空气质量、土壤环境、地下水环境、地表水环境、声环境质量进行调查和检测。

8.2.1. 环境质量监测方案

1、监测因子及监测方法：本项目环境质量现状监测方案见表 8-8：

表 8-8 本项目环境质量现状监测方案

序号	监测因子		监测布点	监测/分析方法	监测/采样时间
1	噪声	昼、夜等效连续 A 声级（连续监测 2 天）	厂界外 200m 范围内（图 8-5）	《声环境质量标准》（GB3096-2008）、《环境噪声监测技术规范 噪声测量值修正》（HJ 706-2014）	2024.10.16~2024.10.17
2	大气	NOx、TSP	项目场地内及主导风下风向处布点（图 8-3）	《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》（HJ 1263-2022）； 《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》（HJ 479-2009）	2024.10.13~2024.10.19
		GB3095-2012 表 1 基本污染物		/	2024 年空气质量数据
3	土壤	GB36600-2018 表 1 基本因子、pH	厂界内及厂界外 200m 范围内（图 8-2）	全国土壤污染状况详查土壤样品分析测试方法技术规范》（2-1 电感耦合等离子体质谱法）生态环境部（2017）； GB/T 14506.30-2010 硅酸盐岩石化学分析方法第 30 部分：44 个元素量测定； GB/T 22105.1-2008 土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 1 部分：土壤中总汞的测定； HJ 1082-2019 土壤和沉积物 六价铬的测定 碱溶液提取-火焰原子吸收分光光度法； HJ 605-2011 土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法； HJ 962-2018 土壤 pH 值的测定 电位法	2024.10.15+数据引用
4	地下水	水质（HJ610-2016 基	南陂村井、文家祠堂	/	数据引用

		本因子) 水位	井、西眉塘井、民主村井、守经塘井等周边 10 个水井 (图 8-4)		
5	地表水	GB3838-2002 表 1 基本污染物	湘江	/	2024 年地表水质量数据

2、监测仪器：本项目环境质量现状相关现场监测/分析检测仪器信息见表 8-9：

表 8-9 本项目环境质量现状监测/分析检测仪器相关信息一览表

序号	监测因子	仪器型号	仪器名称	出厂编号	检定机构	检定证书编号 (检定有效期)	测量范围/检出限
1	噪声	AWA6228	多功能声级计		浙江省计量科学研究院		25dB(A)—125dB(A)
		AWA6221B	声校准器		浙江省计量科学研究院		声压级：94.0dB(A)
2	土壤	PHS-3E	酸度计 (pH 计)		深圳精宇航检测技术有限公司		/
		Agilent7900	电感耦合等离子体质谱仪		深圳精宇航检测技术有限公司		/
		Kylin S18 型	原子荧光光度计		深圳精宇航检测技术有限公司		/
		TAS-990F	火焰原子吸收分光光度计		深圳精宇航检测技术有限公司		0.5mg/kg
		7890B/5977B	气相色谱-质谱联用仪 (气质联用仪 GC-MS)		深圳精宇航检测技术有限公司		/
3	大气	WRLDN-5900 型	恒温恒湿称重系统		深圳精宇航检测技术有限公司		7μg/m ³
		ME204E	电子天平		深圳精宇航检测技术有限公司		7μg/m ³
		721G	可见分光光度计		深圳精宇航检测技术有限公司		0.003mg/m ³

8.2.2. 环境质量现状监测结果

1、噪声

声环境质量现状监测结果见下表，由表可知厂界四周昼、夜间噪声监测值均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类区标准要求。

表 8-10 噪声监测结果

序号	点位名称	等效连续 A 声级 dB(A)				标准限值 dB(A)		是否达标
		2024-10-16		2024-10-17		昼间	夜间	
		昼间	夜间	昼间	夜间			
Z1	厂界北侧					65	55	达标
Z2	厂界东侧					65	55	达标
Z3	厂界西侧					65	55	达标
Z4	厂界南侧					65	55	达标

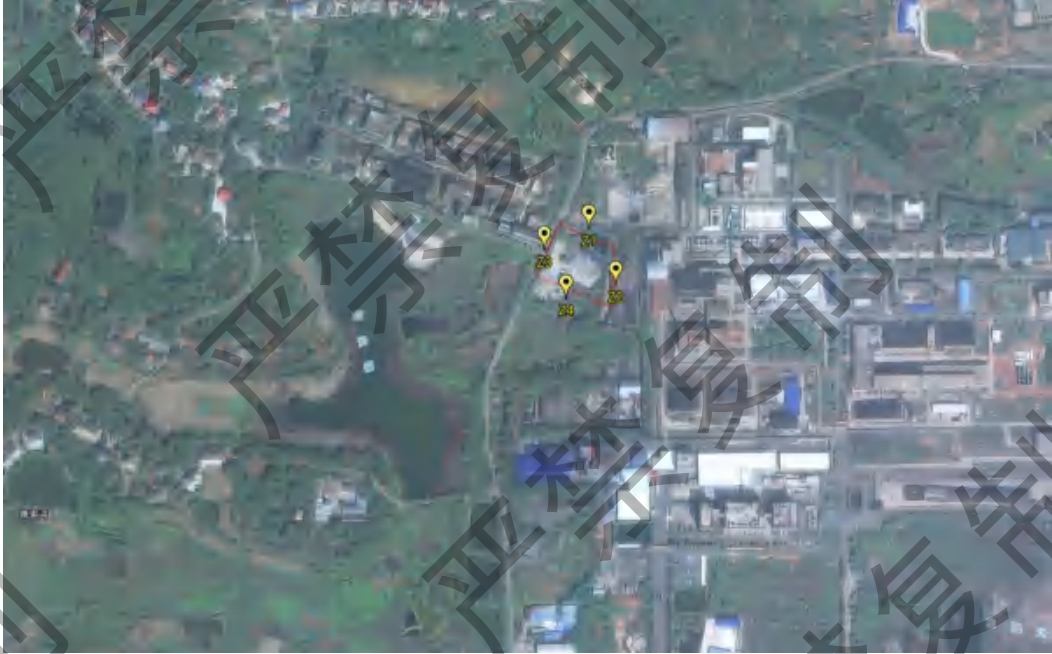


图 8-5 噪声监测布点图

2、环境空气质量

本报告收集了衡阳市生态环境局网站公开发布的《衡阳市 2024 年 12 月及 1-12 月环境质量状况》中衡阳市珠晖区 2024 年环境空气质量常规监测点的监测统计资料，具体数据如下：

表 8-11 项目所在区域空气质量现状评价表

污染物		年评价指标	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
2024 年	SO ₂	年平均质量浓度	9	60	15	达标
	NO ₂	年平均质量浓度	16	40	40	达标

	PM ₁₀	年平均质量浓度	51	70	78.86	达标
	PM _{2.5}	年平均质量浓度	36	35	102.86	不达标
	CO	第 95 百分位数日平均质量浓度	1100	4000	27.5	达标
	O ₃	日最大 8h 平均值第 90 百分位浓度	136	160	85	达标

由上表可见，本项目所在区域 2024 年基本污染物 PM_{2.5} 年均浓度超标，故本项目所在区域为环境空气质量不达标区域。本项目排放的废气不涉及现状超标因子 PM_{2.5}。

根据《衡阳市大气环境质量限期达标规划（2020-2025）》，衡阳市拟以实现环境空气质量达标为核心目标，以细颗粒物污染控制为重点，协同控制臭氧污染，分阶段提升衡阳市环境空气质量。以能源和产业结构调整、固定源、移动源、面源污染治理等为突破口，坚持源头治理、综合防治，倡导绿色低碳生产生活方式，建立政府统领、企业施治、市场驱动、公众参与的大气污染防治新机制，力争在规划期末全市环境空气质量有效改善，重污染天气大幅减少，优良天数逐年提高，实现环境空气质量达标。

此外，本次评价在厂址及民主村各布设 1 个环境空气质量现状检测点，主要针对环境空气污染物 NO_x 进行检测，监测结果表明：G1 厂址和 G2 民主村的 NO_x 日均值均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准要求。

表 8-12 环境空气检测结果一览表

序号		G1	G2
点位名称		厂址内	厂址外 西南侧（民主村）
点位坐标			
监测内容		NO _x	NO _x
监测结果(μg/m ³)			
评价	参考标准(μg/m ³)		
	最大占标率（%）		
	超标率	0	0
	最大超标倍数	/	/
	是否达标	达标	达标

3、土壤

本次评价设置了 6 个土壤检测点位，并于 2024 年 10 月 15 日对项目所在厂址内及厂址南侧点位进行了补充检测，具体见下表：

检测结果表明，厂址外 T2~T3 土壤检测点各评价因子均符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中的风险筛选值；厂址内 ZT1~ZT3、T4 监测点位土壤各评价因子均符合《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第二类用地风险筛选值。

表 8-13 厂址外 T2 土壤检测结果 (单位: mg/kg)

序号		T2			
点位名称		厂址东南侧 (金原绿化带)			
监测结果		监测值 (0~20cm)	筛选值	标准指数	达标情况
检测项目	砷				达标
	镉				达标
	六价铬				达标
	铜				达标
	铅				达标
	汞				达标
	镍				达标
	四氯化碳				达标
	氯仿				达标
	氯甲烷				达标
	1,1-二氯乙烷				达标
	1,2-二氯乙烷				达标
	1,1-二氯乙烯				达标
	顺-1,2-二氯乙烯				达标
	反-1,2-二氯乙烯				达标
	二氯甲烷				达标
	1,2-二氯丙烷				达标
	1,1,1,2-四氯乙烷				达标
	1,1,2,2-四氯乙烷				达标
	四氯乙烯				达标
	1,1,1-三氯乙烷				达标
	1,1,2-三氯乙烷				达标
	三氯乙烯				达标
	1,2,3-三氯丙烷				达标
	氯乙烯				达标
	苯				达标
	氯苯				达标
	1,2-二氯苯				达标
	1,4-二氯苯				达标
	乙苯				达标
	苯乙烯				达标
	甲苯				达标
	间二甲苯+对二甲苯				达标
	邻二甲苯				达标
	硝基苯				达标
	苯胺				达标
	2-氯酚				达标
	苯并[a]蒽				达标
	苯并[a]芘				达标
	苯并[b]荧蒽				达标
	苯并[k]荧蒽				达标
	蒽				达标
	二苯并[α、h]蒽				达标

	茚并[1,2,3-cd]芘	ND	15	/	达标
	萘	ND	70	/	达标

注：以上监测结果引用自《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响评价报告书》，采样时间为 2023 年 12 月 8 日。

表 2.4-1 厂址外 T3 土壤检测结果（单位：mg/kg）

序号	T3			
点位名称	厂址西侧（唐家湾）			
监测结果	监测值（0~20cm）	筛选值	标准指数	达标情况
pH				/
砷				达标
镉				达标
铬				达标
铜				达标
铅				达标
汞				达标
镍				达标

注：以上检测结果引用自《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响评价报告书》，采样时间为 2023 年 12 月 8 日。

表 8-14 厂址内 T4 土壤检测结果（单位：mg/kg）

序号	T4			
点位名称	厂址内			
监测结果	监测值（0~20cm）	筛选值	标准指数	达标情况
pH				/
砷				达标
镉				达标
六价铬				达标
铜				达标
铅				达标
汞				达标
镍				达标
四氯化碳				达标
氯仿				达标
氯甲烷				达标
1,1-二氯乙烷				达标
1,2-二氯乙烷				达标
1,1-二氯乙烯				达标
顺-1,2-二氯乙烯				达标
反-1,2-二氯乙烯				达标
二氯甲烷				达标
1,2-二氯丙烷				达标
1,1,1,2-四氯乙烷				达标
1,1,2,2-四氯乙烷				达标
四氯乙烯				达标
1,1,1-三氯乙烷				达标
1,1,2-三氯乙烷				达标
三氯乙烯				达标

1,2,3-三氯丙烷		达标
氯乙烯		达标
苯		达标
氯苯		达标
1,2-二氯苯		达标
1,4-二氯苯		达标
乙苯		达标
苯乙烯		达标
甲苯		达标
间二甲苯+对二甲苯		达标
邻二甲苯		达标
硝基苯		达标
苯胺		达标
2-氯酚		达标
苯并[a]蒽		达标
苯并[a]芘		达标
苯并[b]荧蒽		达标
苯并[k]荧蒽		达标
蒽		达标
二苯并[α、h]蒽		达标
茚并[1,2,3-cd]芘		达标
萘		达标

表 8-15 厂址内 ZT1 土壤检测结果（单位：mg/kg）

序号		ZT1					
点位名称		厂址内					
监测结果		监测值			筛选值	最大标准指数	达标情况
		0~0.5m	0.5~1.5m	1.5~3.0m			
检测项目	pH						/
	砷						达标
	镉						达标
	六价铬						达标
	铜						达标
	铅						达标
	汞						达标
	镍						达标

表 8-16 厂址内 ZT2 土壤检测结果（单位：mg/kg）

序号		ZT2					
点位名称		厂址内					
监测结果		监测值			筛选值	最大标准指数	达标情况
		0~0.5m	0.5~1.5m	1.5~3.0m			
检测项目	pH						/
	砷						达标
	镉						达标
	六价铬						达标

	铜		达标
	铅		达标
	汞		达标
	镍		达标

表 8-17 厂址内 ZT3 土壤检测结果（单位：mg/kg）

序号		ZT3					
点位名称		厂址内					
监测结果		监测值			筛选值	最大标准指数	达标情况
		0~0.5m	0.5~1.5m	1.5~3.0m			
检测项目	pH						/
	砷						达标
	镉						达标
	六价铬						达标
	铜						达标
	铅						达标
	汞						达标
	镍						达标

4、地表水

本项目纳污水体为湘江,根据衡阳市生态环境局发布的《衡阳市 2024 年 12 月及 1-12 月环境质量状况》，2024 年 1 月-12 月湘江云集水厂断面、城南水厂断面、耒水入湘江口断面水质均为 II 类。

5、地下水

（1）水位：引用《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响报告书》中相关监测结果，见下表：

表 8-18 地下水水位监测结果一览表

序号	点位名称	坐标	水位埋深（m）
D1	南陂村井		
D2	文家祠堂井		
D3	西眉塘井		
D4	民主村井		
D5	守经塘井		
D6	周边水井 1#		
D7	周边水井 2#		
D8	周边水井 3#		
D9	周边水井 4#		
D10	周边水井 5#		

(2) 水质：引用《湖南中核金原新材料有限责任公司独居石生产线技术改造项目环境影响报告书》中相关监测结果，监测时间为 2023 年 12 月 8 日，检测结果表明，各监测点位 pH 值、总硬度（以 CaCO₃ 计）、溶解性总固体、耗氧量（COD_{Mn} 法，以 O₂ 计）、氨氮（以 N 计）、氟化物、氯化物、硝酸盐（以 N 计）、亚硝酸盐（以 N 计）、硫酸盐、挥发酚、氰化物、铬（六价）、细菌总数、钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸根、碳酸氢根、氯离子、硫酸根、砷、汞、镉、铅、铁、锰指标含量未超过《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中的Ⅲ类标准。

表 8-19 地下水水质检测结果一览表

序号	监测项目	pH	总硬度(以CaCO ₃ 计)(mg/L)	溶解性总固体(mg/L)	耗氧量(COD _{Mn} 法, 以 O ₂ 计)(mg/L)	氨氮(以 N 计)(mg/L)	氟化物(mg/L)	氯化物(mg/L)	硝酸盐(以 N 计)(mg/L)	亚硝酸盐(以 N 计)(mg/L)	硫酸盐(mg/L)
D1	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D4	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D5	监测值										
	最大标准指数										

	检出率%										
	超标率%	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	评价标准	6.5-8.5	450	1000	3	0.5	1.0	250	20.0	1.00	250

表 8-20 地下水水质检测结果一览表

断面	监测项目	挥发酚 (mg/L)	氰化物 (mg/L)	铬(六 价)(mg/L)	总大肠菌群 (MPN/100m/L)	菌落总数 (CFU/mL)	钠离子 (mg/L)	钾离子 (mg/L)	钙离子 (mg/L)	镁离子 (mg/L)	碳酸根 (mg/L)
D1	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/
D2	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/
D3	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/
D4	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/
D5	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/
评价标准		0.002	0.05	0.05	3	100	200	/	/	/	/

表 8-21 地下水水质检测结果一览表

断面	监测项目	碳酸氢根 (mg/L)	氯离子 (mg/L)	硫酸根 (mg/L)	砷(mg/L)	汞(mg/L)	镉(mg/L)	铅(mg/L)	铁(mg/L)	锰(mg/L)	石油类

D1	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	/
D2	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	/
D3	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	/
D4	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	/
D5	监测值										
	最大标准指数										
	检出率%										
	超标率%	/	0	0	0	0	0	0	0	0	/
评价标准		/	250	250	0.01	0.001	0.005	0.01	0.3	0.1	/

表 9 项目工程分析与源项

9.1. 工程组成和工程设备

9.1.1. 工程组成

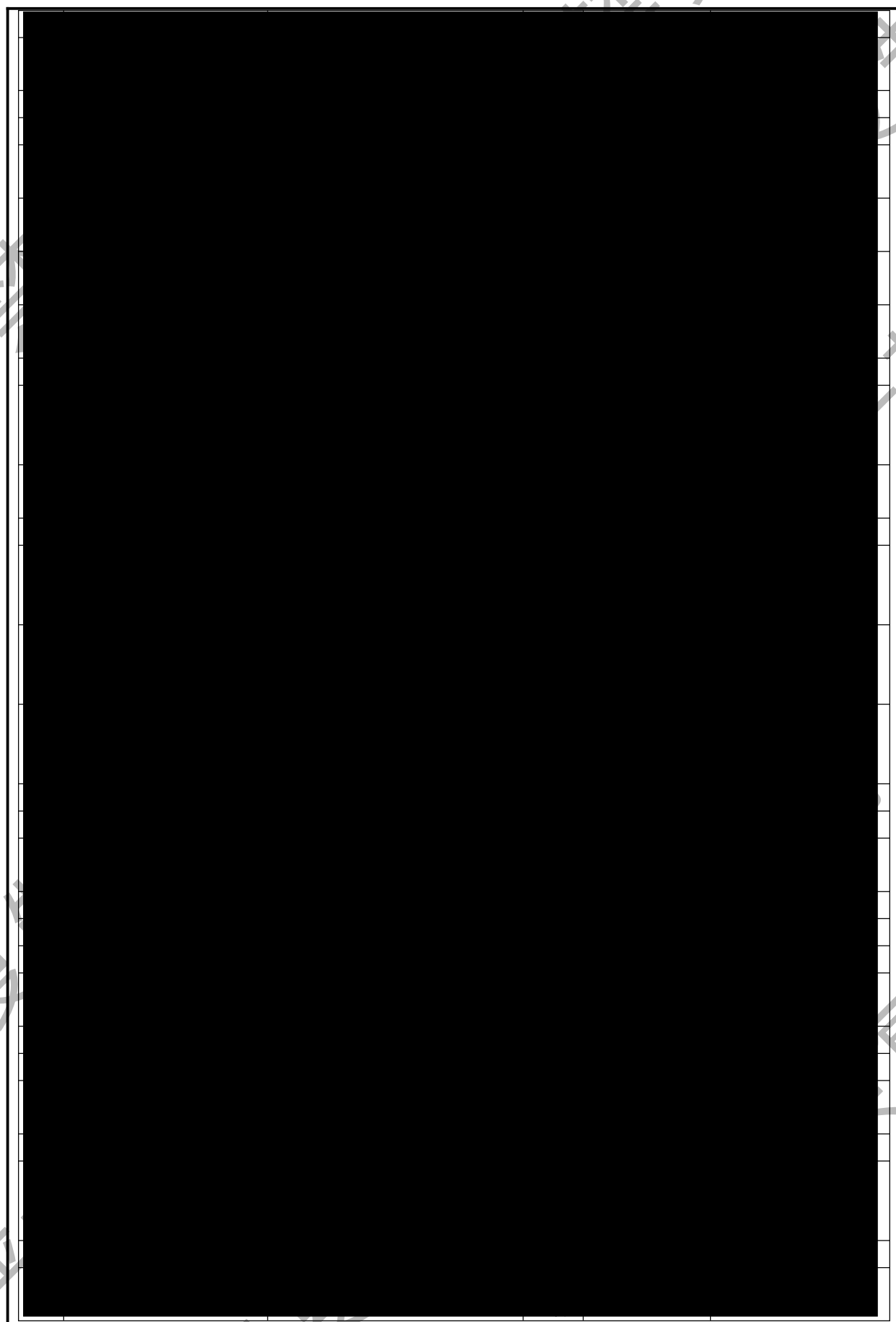
本项目建设内容主要包括建设 1 栋医用同位素生产厂房、1 栋危化品库、1 栋研发楼以及相关配套辅助设施。本项目放射性工作场所位于医用同位素生产厂房一层~三层，主要从硝酸钍（Th-232）原料中利用树脂吸附分离提取其子体核素 Ra-228，并将 Ra-228 作为原料制成 Ra-228/Th-228 核素发生器，待其衰变至一定时间后淋洗分离出子体 Th-228，再次将 Th-228 拟作为原料制成 Th-228/Ra-224 核素发生器制取 Ra-224，Ra-224 拟作为产品外售或进一步制备成 Ra-224/Pb-212 核素发生器后制取 Pb-212 产品。

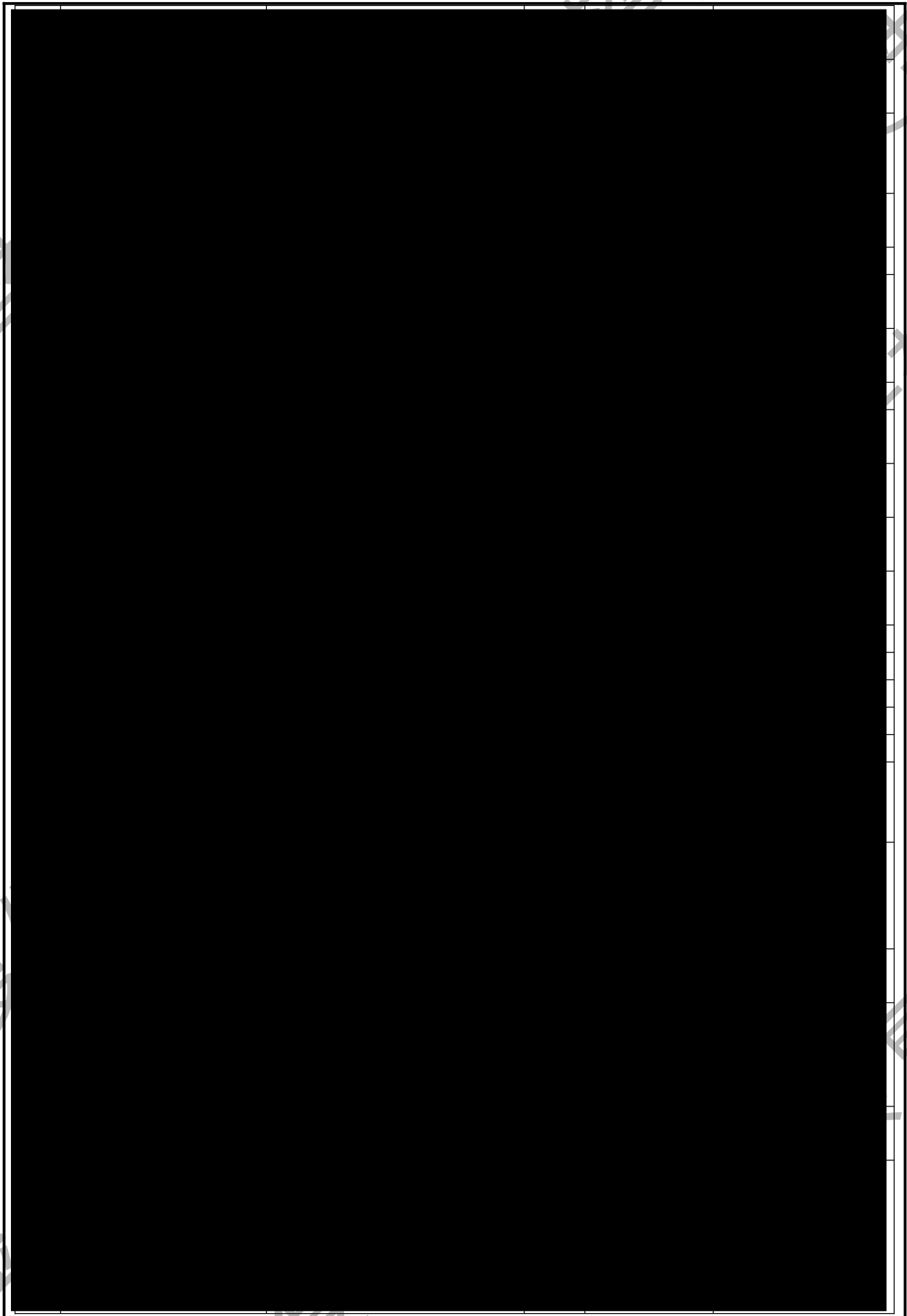
9.1.2. 主要原辅材料

本项目主要原辅材料均为外购，具体如下：

表 9-1 主工艺流程主要原辅材料一览表

序号	原辅材料名称	包装规格	储存场所	最大储存数量	年消耗量 (补充量)	备注
1	六水硝酸钍	桶装，每桶装入 1t	生产厂房			分阶段购入，循环使用，定期补充
2	60%硝酸	硝酸储罐	生产厂房			一次性购入，循环使用、定期补充
3	吸附树脂	吨包	生产厂房			Ra-228 分离用树脂
4		袋装	生产厂房			Ra-228 分离、Th-228 分离、Ra-224 分离、Pb-212 分离用树脂
5	片碱	袋装，ISI 级	生产厂房			/
6	乙醇	500ml/瓶	危化品库			/
7	乙酸	500ml/瓶	危化品库			/
8	乙酸钠	500g/瓶	危化品库			/
9	氢氧化钠	500g/瓶	危化品库			/
10	抗坏血酸	500g/瓶	危化品库			/
11	过氧化氢	500ml/瓶	危化品库			/
12	盐酸 37%	500ml/瓶	危化品库			/
13	甲醇	500ml/瓶	危化品库			/
14	甲醛	500ml/瓶	危化品库			/
15	高锰酸钾	500g/瓶	危化品库			/
16	标记前体溶液	10g/瓶	危化品库			/





B-228	經濟學叢書	100-2000	海濱位+11.4	

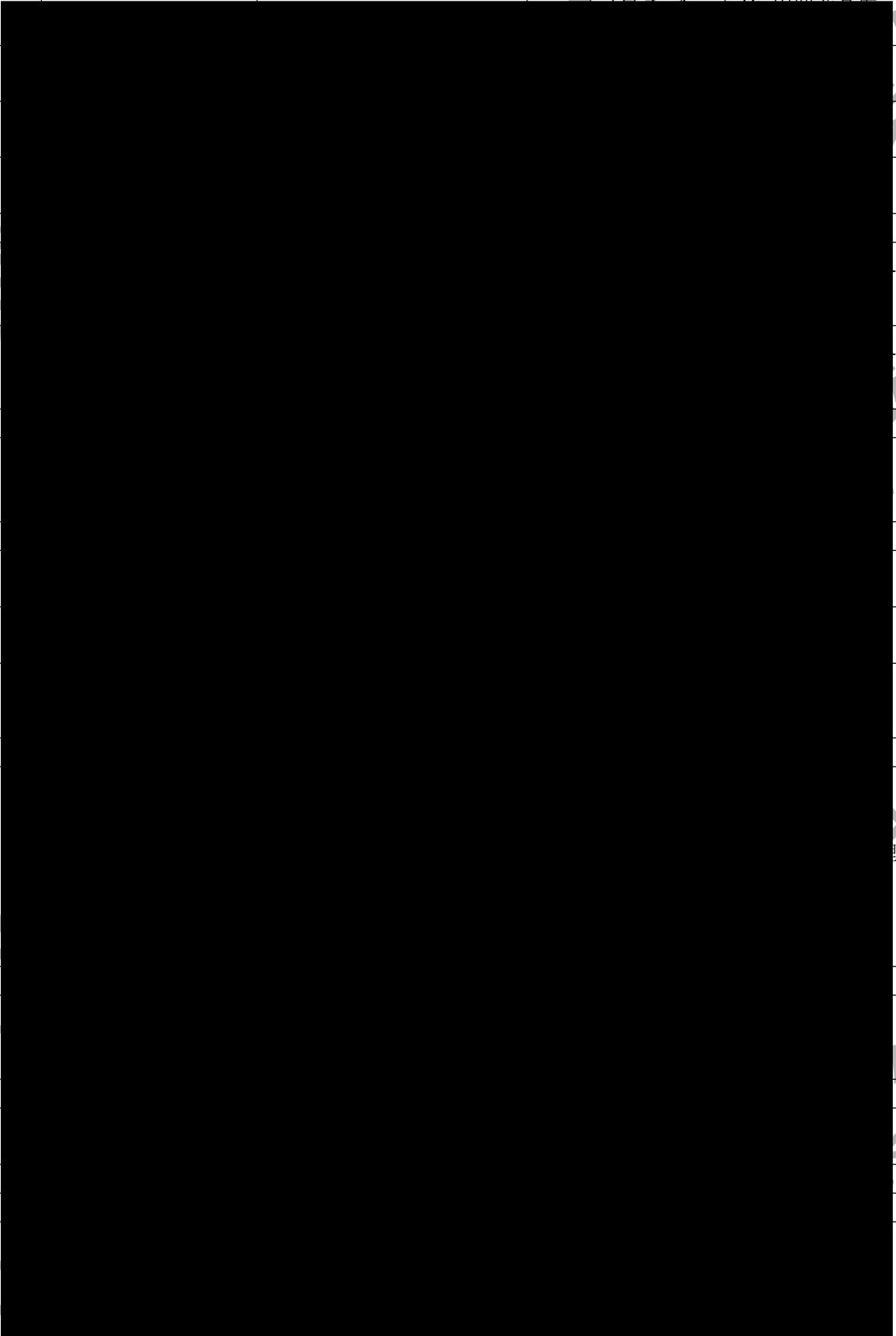
			333.3-4	1F 中间产品库
				
		剪等整備工具		

表 9-3 GMP 生产及质检区设备清单

[illegible]

9.1.4. 公用工程及辅助工程

9.1.4.1. 给水

运行期由园区市政供水管网提供，按照已提供的市政供水管网规划压力，压力不低于 0.30MPa。给水共分为自来水、软水、去离子水 3 部分，企业设置软化水供给系统（双阀双罐软水器）及去离子供给系统用自来水生产软水及去离子水。企业自来水使用情况如下：

表 9-4 企业自来水用量一览表

序号	用水环节	产生系数	指标	用水量 (t/a)	备注
1	生活用水	5L/人·d	50人/天, 300天/年	75	仅考虑生活饮用水, 生活清洁用水 拟使用收集的清净废水
2	废气处理系统 除沫器用水	800L/次	4次/年	3.2	/
3	卫生通过间清	50L/人次	2.2人次/天,	11	考虑每人每天进出辐射工作场所

	洗用水		100 天/年		2 次，其中 5%需要清洁去污
4	洗衣用水	100L/次	50 次/年	5	经监测低于放射性表面污染控制水平后方可清洗
5	控制区清洁用水	1.15m ³ /次	1 次/月，12 次/年	13.8	/
6	制软水	制备率 80%	软水用量 614t/a	767.5	/
7	制去离子水	制备率 75%	去离子水用量 46.27t/a	61.69	/
总计 (t/a)				937.19	/

9.1.4.2. 排水

本项目放射性生产废水经桶内干燥站蒸发后回用于生产，含放射性清洗废水经监测达标后，与非放射性废水一同排入化粪池，定期由吸污车抽至铜桥港污水处理厂处理；无法达标则排至废液处理系统蒸发处置。本项目雨水经雨水管网进入白泉塘自然水体。

9.1.4.3. 供电

市政供电，企业另设置应急柴油发电机提供备用供电，最大应急供电时长按照 8 小时设计。

9.1.4.4. 蒸汽

企业生产用蒸汽由 272 厂提供，年用量 1260 吨。企业不设置蒸汽锅炉。根据设计单位提供的资料，企业蒸汽使用方案如下：

表 9-5 蒸汽使用方案 单位：t/a

序号	用蒸汽工序	蒸汽用量	损失量（蒸发量）	冷凝废水量
1	浓缩器 1	109	66	44
2	浓缩器 2	96	57	38
3	浓缩器 3	22	13	9
4	浓缩器 5	1015	609	406
5	树脂清洗液蒸发槽	18	11	7
总计		1260	756	504

湖南白沙绿岛投资开发有限公司已与中核二七二铀业有限责任公司（简称“272 厂”）签订了水、电、蒸汽供应合作框架协议，272 厂同意在园区水电等能源基础设施未建设前，利用其富余的水、电、蒸汽等为其周边项目提供基础服务。272 厂现有 2 台 35t/h 的循环流化床锅炉，可产蒸汽 70t/h，可以满足本项目蒸汽的使用需要。

9.1.4.5. 燃气及其他

企业运营过程中无需天然气，企业不提供食堂及宿舍，不涉及液化石油气、锅炉等的使用。

9.2. 项目工艺及污染源项分析

9.2.1. 工艺原理及核素特性

钍系为天然放射性衰变系，其衰变历程中主要放射性核素为 $\text{Th-232} \rightarrow \text{Ra-228} \rightarrow \text{Ac-228} \rightarrow \text{Th-228} \rightarrow \text{Ra-224} \rightarrow \text{Rn-220} \rightarrow \text{Po-216} \rightarrow \text{Pb-212} \rightarrow \text{Bi-212} \rightarrow \text{Po-212}$ （或 Tl-208 ，分支比 36%） $\rightarrow \text{Pb-208}$ （稳定），钍系衰变链及衰变链中各核素的放射性特性如下：

表 9-6 钍系核素的放射性特性

核素	比活度 (Bq/g)	半衰期	衰变方式 (分支比, %)	主要射线能量 (MeV) 及分支比			空气比释动能率常数 $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{Bq}\cdot\text{s})$
				α	β	γ	
Th-232	4.07E+03	1.405E+10 a	α (~100) SF (<10E-9)	4.01(76.8%)、 3.95(23%)、 3.83(0.2%)	-	0.059 (0.19%)、0.0126 (0.04%)、0.0123(8.39%)	
Ra-228	1.01E+13	5.75a	β (100)	-	0.0389 (100%)	0.0067 (6.21E-5%)	
Ac-228	8.29E+16	6.15h	β (~100)	-	1.17 (32%)、1.74 (12%)、 2.08 (8%)、1.11 (3.4%)、 1.01 (6.6%)、0.983 (7%)、 0.606 (8%)、0.491 (4.9%)、 0.449 (2.4%)	0.338 (12%)、0.911 (29%)、0.969 (17.5%)、 1.588 (3.71%)	
Th-228	1.92E+13	1.9116a	α (100)	5.42 (72.7%)、5.34 (26.7%)	-	0.084 (1.19%)、0.132 (0.12%)、0.216 (0.27%)	
Ra-224	5.92E+15	3.66d	α (100)	5.45 (4.9%)、5.686 (95.1%)	-	0.241 (3.95%)	
Rn-220	3.41E+19	55.6s	α (100)	6.288 (99.9%)	-	0.55 (0.07%)	
Po-216	1.29E+22	0.145s	α (100)	6.78 (~100%)	-	0.805 (0.002%)	
Pb-212	5.14E+16	10.64h	β (100)	-	0.158 (5.2%)、0.334 (85.1%)、0.573(9.9%)	0.239 (44.6%)、0.3 (3.4%)、0.077 (18%)	
Bi-212	5.40E+17	60.55min	α (36) β (64) 缓发 α	6.09 (9.6%)、6.05 (25%)	1.52 (8%)、2.246 (48.4%)	0.04 (1%)、0.727(11.8%)、 0.785(1.99%)、 1.62(2.75%)	
Po-212	6.44E+27	2.99E-7s	α (100)	8.785 (100%)	-	-	

Tl-208	-	3.053min	β^- (100)	-	1.79(49.3%)、1.52(22.7%)、 1.28(23.2%)	2.614(99.8%)、0.277 (6.8%)、0.5108(21.6%)、 0.583 (85.8%)、0.86(12%)	
Pb-208	-	稳定	-	-	-	-	-

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。

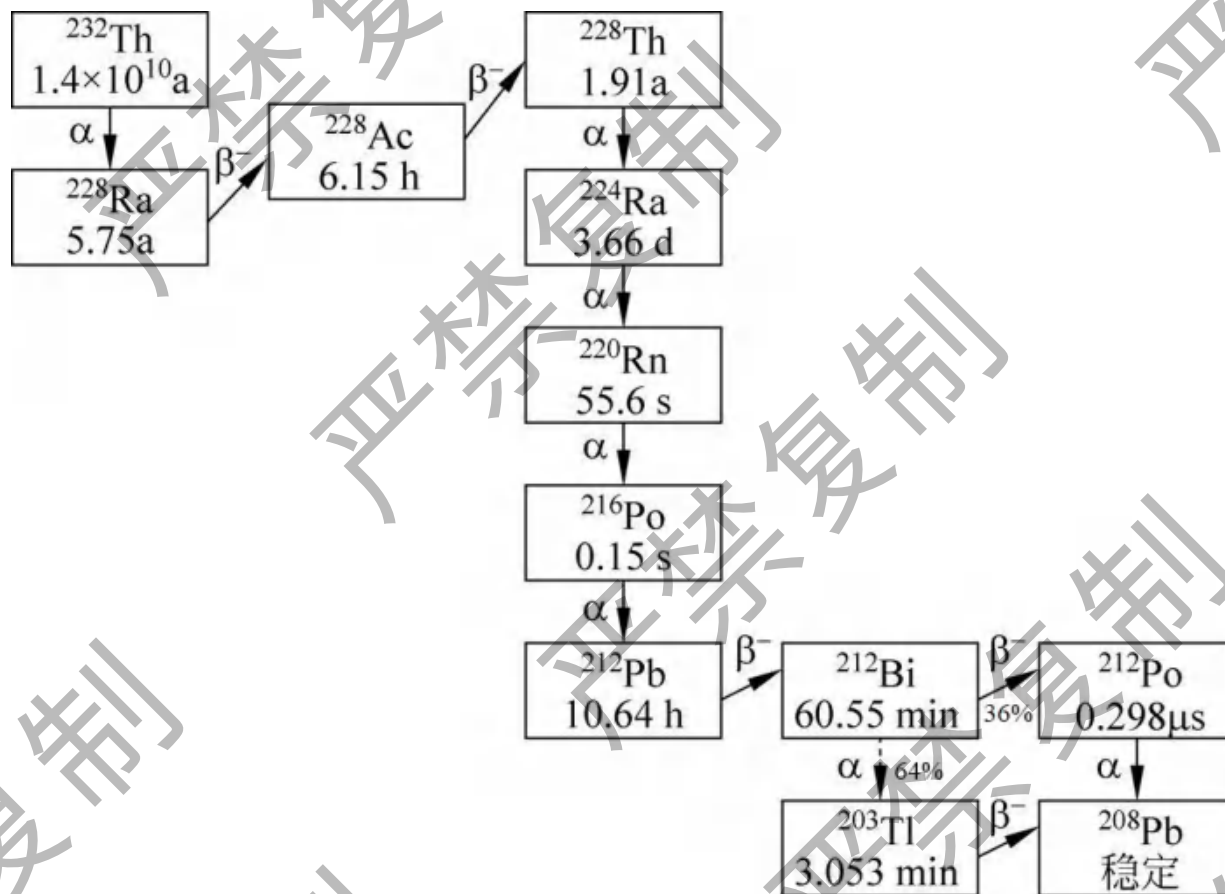


图 9-1 钍系衰变链示意图

9.2.2. 工艺流程

本项目总体工艺流程如下：

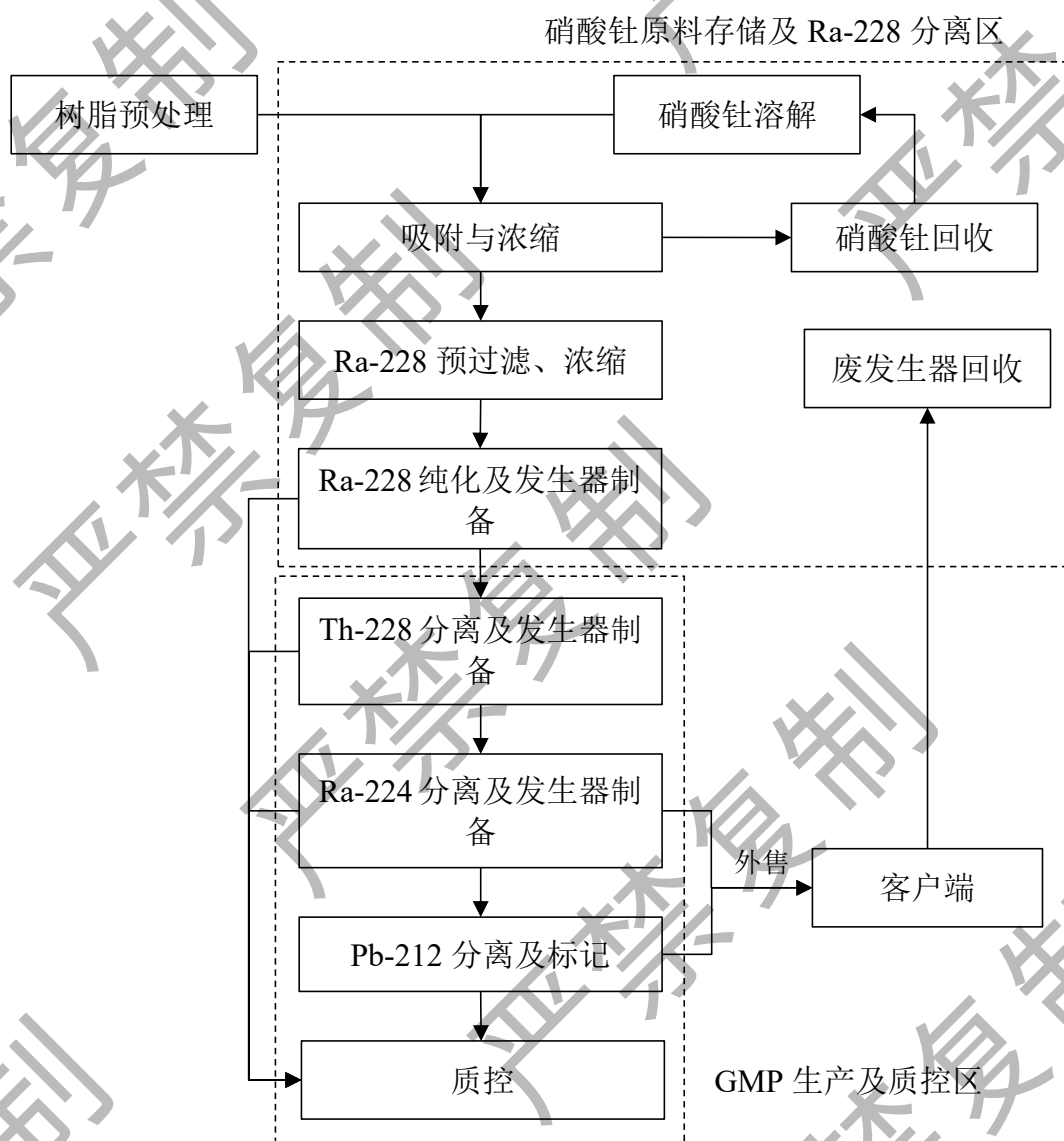
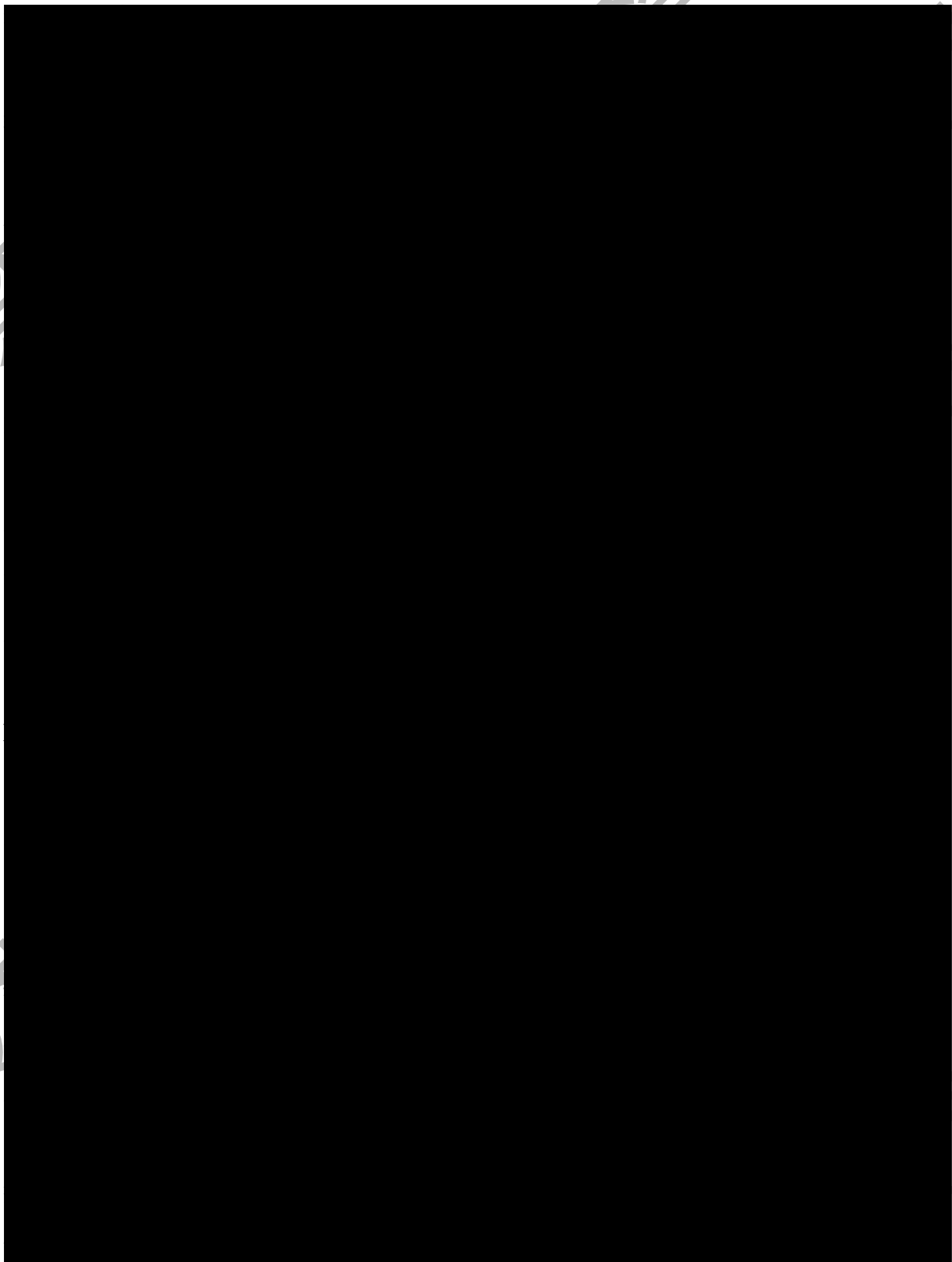


图 9-2 总工艺流程图

9.2.2.1. 硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区工艺流程及产污分析

料	
桶	
用	
酸	



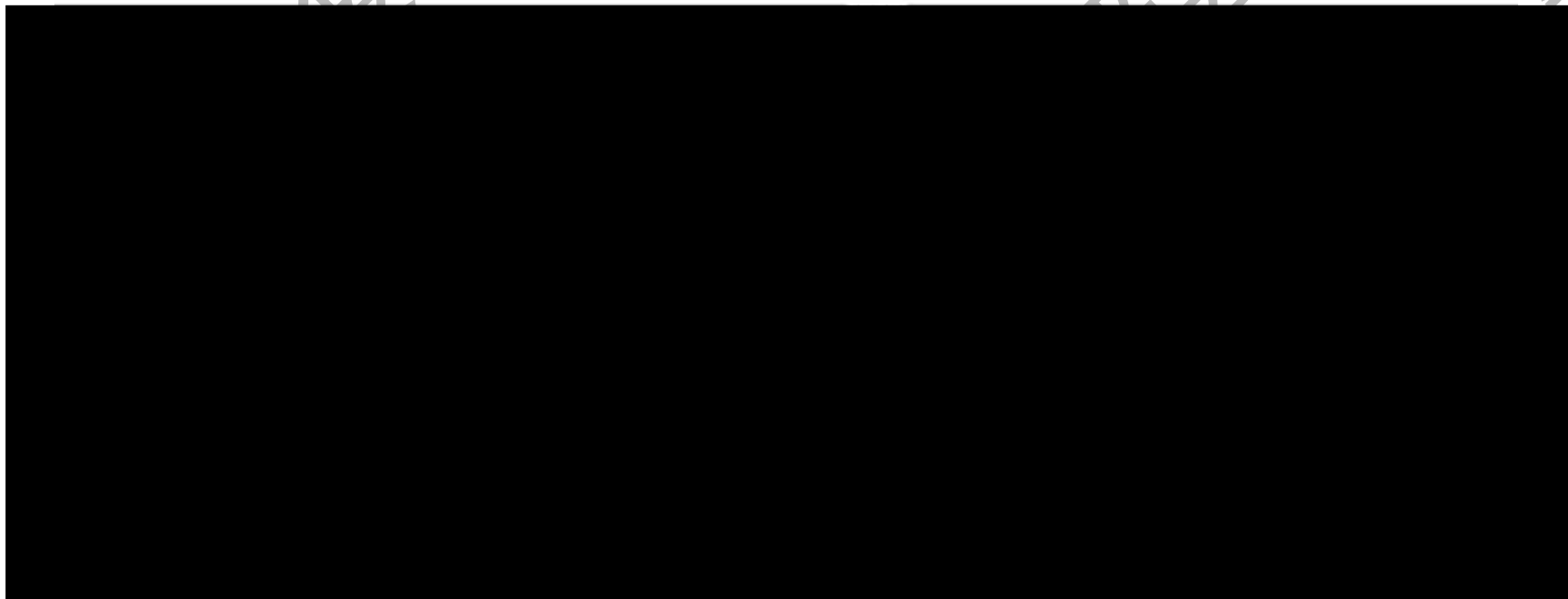


图 9-3 硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区工艺流程及产污分析

根据工艺流程可知，上述各工序主要污染物包括：

- (1) 硝酸钍投料及溶解：主要为硝酸配置及原料溶解过程产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。本项目原材料为六水硝酸钍，其为晶体材料，不起尘，故不考虑原料投料过程中的粉尘。
- (2) 吸附浓缩、硝酸钍回收：主要为吸附浓缩过程和硝酸钍回收过程产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。
- (3) Ra-228 纯化及发生器制备：主要为 Ra-228 纯化及发生器制备过程产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。真空浓缩过程和树脂再生过程还将产生少量真空冷凝废液和树脂再生废液。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射和内照射。

(4) Ra-228 纯化及发生器制备: 主要为 Ra-228 纯化及发生器制备过程产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。真空浓缩过程和树脂再生过程还将产生少量真空冷凝废液和树脂再生废液。此外, 工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射和内照射。

(5) 质控: 质控过程产生的质控废液、质控固废(包装、污染试剂瓶、样品管等), 样品溶液挥发产生的微量氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出, 质控。此外, 工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射。

9.2.2.2. GMP 生产及质控区工艺流程及产污分析





根据工艺流程可知，上述各工序主要污染物包括：

（1）Th-228 分离线：主要为操作 Th-228 淋洗液过程中产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物，真空浓缩过程和树脂再生过程还将产生少量真空冷凝废液。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射和内照射。

（2）Ra-224 分离及发生器制备：主要为操作 Ra-224 淋洗液过程中产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射和内照射。

（3）Pb-212 分离及标记：主要为操作 Pb-212 淋洗液过程中产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射和内照射。

（4）Ra-228 纯化及发生器制备：主要为 Ra-228 纯化及发生器制备过程产生的氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出物。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射和内照射。

（5）质控：质控过程产生的质控废液、质控固废（包装、污染试剂瓶、样品管等），样品溶液挥发产生的微量氮氧化物、放射性气溶胶等气态流出，质控。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射。

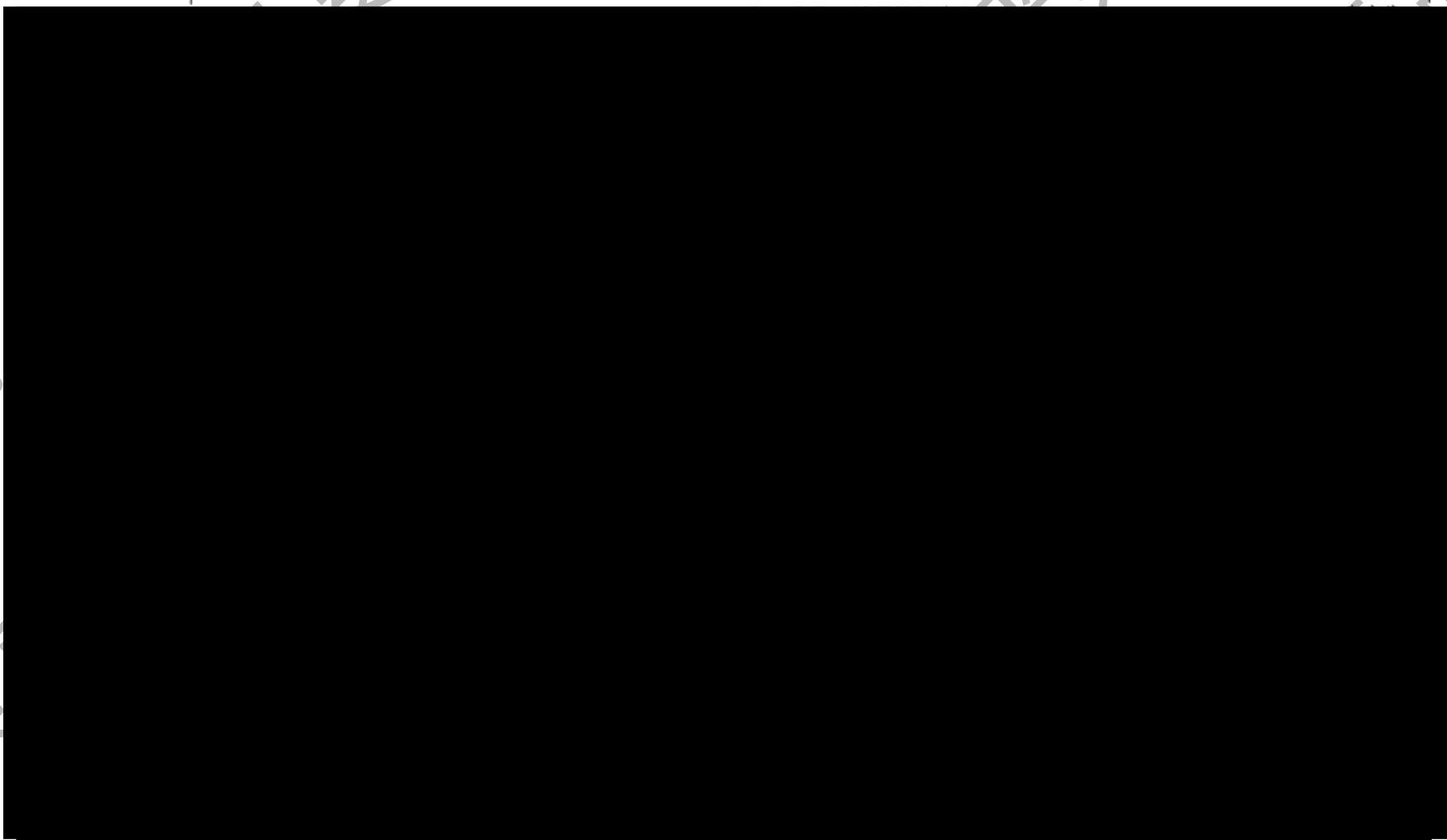


图 9-4 GMP 生产及质控区工艺流程及产污分析

9.2.2.3. 其他工艺流程及产污环节

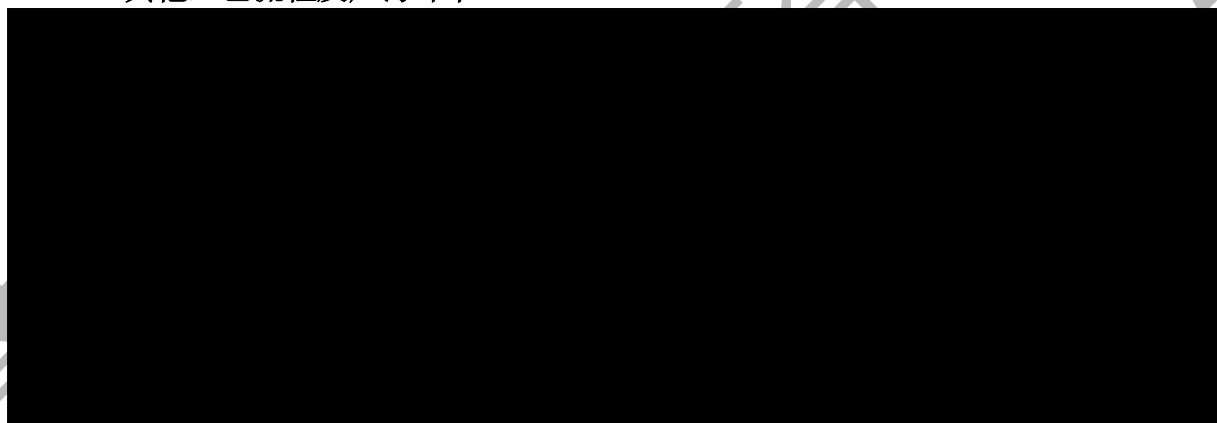


图 9-5 废旧发生器处置工艺流程及产污分析

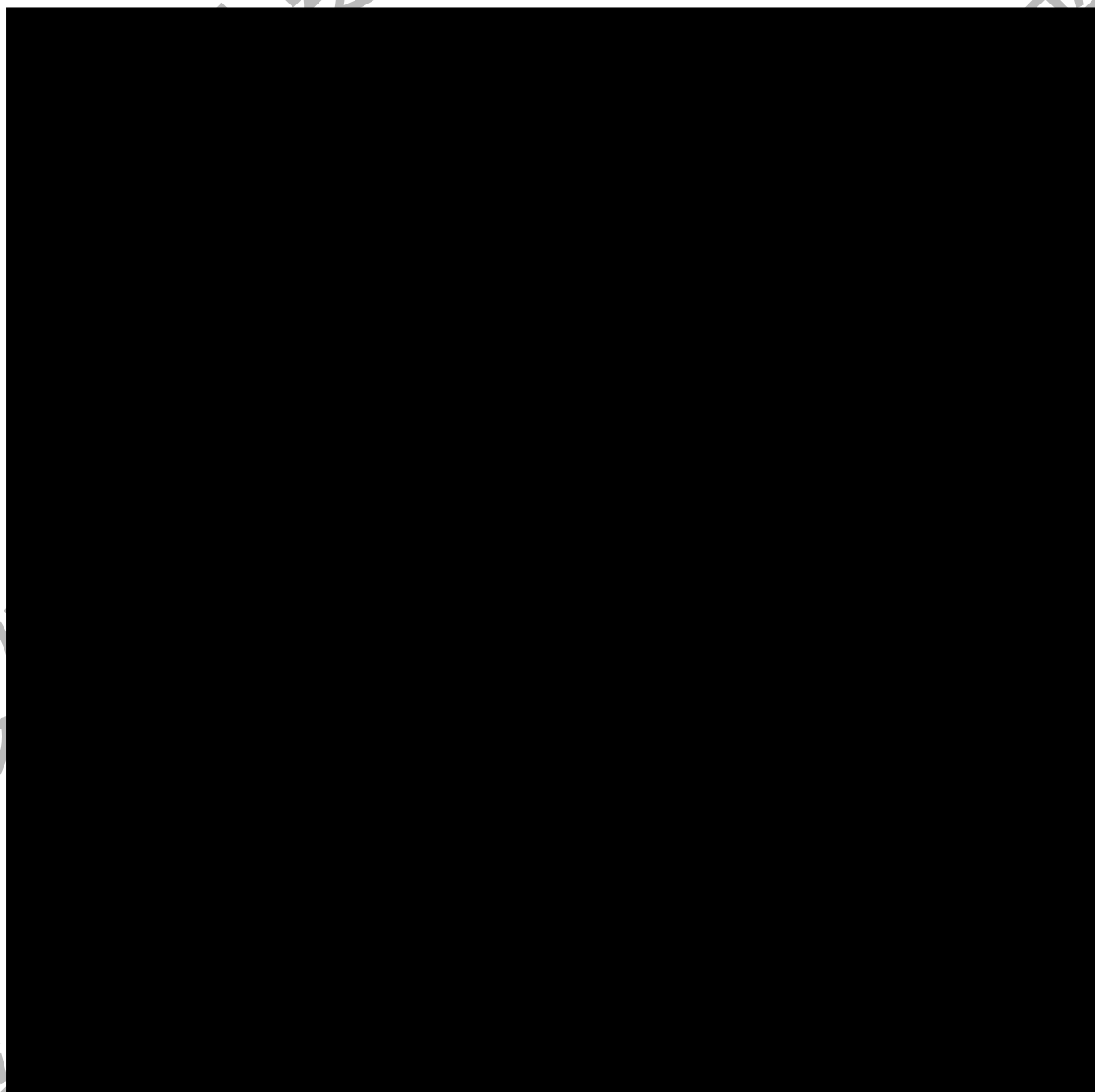


图 9-6 树脂预处理工艺流程及产污分析

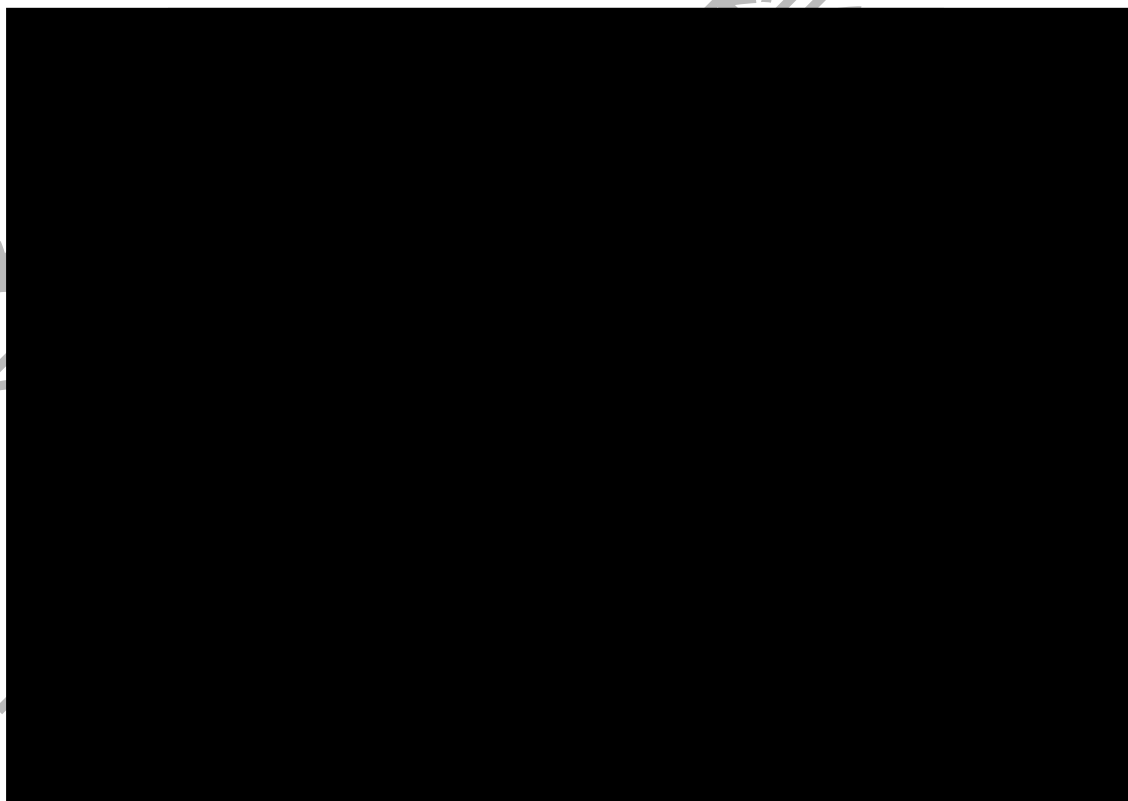


图 9-7 树脂更换工艺流程及产污分析

根据工艺流程可知，上述各工序主要污染物包括：

(1) 废发生器回收：主要为废发生器中拆解的含放射性的废弃活性部件。此外，工作人员近距离操作、转移放射性物料时还可能受到辐射照射造成职业外照射。

(2) 树脂预处理：主要为树脂预处理滤液蒸发残渣（主要为树脂杂质），蒸发废气和蒸汽凝结水。蒸发废气经水蒸气冷凝器冷凝后和蒸汽凝结水一同排入凝结水暂存槽，并进入室外降温池。室外降温池内的凝结水自然蒸发，剩余的进入化粪池定期外排。

(3) 树脂更换：主要为更换下的废树脂和 Ra-228 预过滤和最终净化工序产生的树脂清洗废水。废树脂拟经干燥处置后转入固废暂存间暂存。

9.2.3. 相关平衡

9.2.3.1. 物料平衡

(1) 钍元素平衡

本项目采用六水硝酸钍原材料用于生产，在 1 吨原料中含有 Th 元素 395kg（即 1t 六水硝酸钍原料中钍的占比为 39.5%）。由于 Th-232 为原料中带入，且其半衰期较长，长达 $1.4E+10$ 年，故不考虑其在生产过程中的衰变引起的质量变化。

根据计算，钍元素平衡表如下：

表 9-7 钍元素平衡表

投入	量(kg/批次)	量(kg/a)	去向	量(kg/批次)	量(kg/a)
总计	395	39500	总计	395	39500

根据平衡图可知，每年进入固废中的钍元素为 21.19kg/a，据此计算每年需补充六水硝酸钍约为 $53.7\text{kg/a} = 21.19\text{kg/a} \div 39.5\%$ 。

总钍元素平衡图如下：



图 9-8 总钍元素平衡图 单位 kg/a

(2) 硝酸平衡

本项目硝酸原料分为 2 种，主要是 60%工业级硝酸及 98%的分析纯硝酸，60%工业硝酸经配比后主要用于树脂预处理、吸附浓缩工序等，98%的分析纯硝酸经配比后主要用于 Ra-228 预过滤及后续工序、GMP 生产及质控区。

其中，在树脂预处理过程中，需要使用 10.74t 的 0.1mol/L 硝酸，不过该部分硝酸后续被氢氧化钠溶液中和，中和后的溶液蒸发，水蒸汽冷凝后外排，蒸发产生的盐做固废处理，故该部分硝酸不计入后续的平衡。

本项目放射性生产废液经桶内干燥站处理后回用于硝酸钍溶解槽，不过由于在桶内干燥站蒸发前加入片碱进行中和，故可以认为桶内干燥站冷凝液不含硝酸，故 Ra-228 预处理及其后续工序的硝酸使用也不纳入硝酸平衡。

表 9-8 吸附浓缩工序硝酸平衡 (以纯硝酸计)

[illegible]

硝酸钆及蒸汽冷凝回收工序硝酸平衡表如下:

表 9-9 硝酸钚及蒸汽冷凝回收工序平衡表 (以纯硝酸计)

投入			产出		
名称	量 mol/批次	量 t/a	名称	量 mol/批次	量 t/a
再生磷酸盐回收	18760	118.1880	回收 121.5 磷酸	7880	48.14
					8
					2
					9
总计	31887	200.8881		31887	200.8881

计算总硝酸平衡如下:

根据以上平衡表可知，每年消耗的硝酸为进入废气处理系统、进入 Ra-228 预过滤后续工序及其产物的硝酸，总计为 88mol/d，折合 0.5544t/a（纯硝酸），以 8M 的硝酸计，则为 1.375t/a，以 16M 硝酸计，则为 0.9274t/a。

总硝酸平衡如下：



图 9-9 总硝酸平衡图 单位 t/a

(3) 总物料平衡

1、树脂预处理工序

在 Ra-228 预过滤箱室及其前端工序中所用树脂为外购，需在厂区进行预处理的树脂，根据前文，预处理 1m^3 的树脂需要 1t 的 0.1mol/L 硝酸、1t 的 0.1mol/L 氢氧化钠溶液、1t 的去离子水，则树脂预处理工序平衡如下：

表 9-10 树脂预处理工序平衡表

投入		产出	
名称	量 t/a	名称	量 t/a
0.1			8
			8
			5
总计	45.108	总计	45.108

2、硝酸钍溶解及吸附浓缩工序

吸附浓缩工序平衡表如下：

表 9-11 吸附浓缩工序平衡表

工序	投入		产出	
	名称	量 t/a	名称	量 t/a

[illegible]

表 9-12 吸附浓缩工序总平衡表

投入		产出	
名称	量 t/a	名称	量 t/a
球磨粉	100	三聚氰胺	201.7
			3
			67
总计	1509.05	总计	1509.05

3、硝酸钼回收

硝酸钪回收工序平衡表如下:

表 9-13 硝酸钪回收工序平衡表

投入		产出	
名称	量 t/a	名称	量 t/a
合计	1064.7200	合计	1064.7200

4、蒸汽冷凝回收

蒸汽冷凝回收工序平衡表如下:

表 9-14 蒸汽冷凝回收工序平衡表

投入		产出	
名称	量 t/a	名称	量 t/a
合计	1257.9294	合计	1257.9294

5、Ra-228 及其后续工序、GMP 生产及质控区

Ra-228 及其后续工序中部分直接作为产品外售，还有部分，如 Ra-228 预过滤、最终过滤产生的树脂清洗废水、树脂再生废液、真空浓缩仪产生的硝酸溶液经处理后回用至硝酸钍溶解槽，本次环评对 Ra-228 及其后续工序回用至硝酸钍溶解槽的部分进行平衡计算，如下：

表 9-15 Ra-228 及其后续工序平衡表

工序	投入		产出		备注
	名称	量 kg/a	名称	量 kg/a	
R					
R					
T					



图 9-10 项目总物料平衡表 单位 t/a

9.2.3.2. 核素平衡

本项目原料拟存放衰变 1 年后投入使用，考虑原料生产后仅存在 Th-232 核素，根据建设单位提供的资料，衰变 1 年后，1 吨六水硝酸钍原料中 Th-232 的活度为 43.5mCi（Th-232 半衰期长达 $1.4E+10$ 年，Th-232 衰变 1 年后的活度变化可忽略），子体 Ra-228 活度为 5mCi，Th-228 及其子体活度为 0.78mCi。

根据计算，Th-232 及其子体核素平衡表如下：

表 9-16 Th-232 平衡表

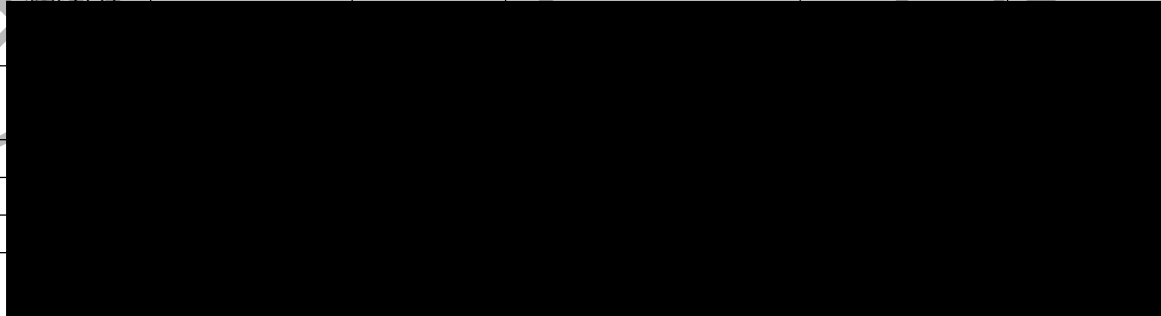
投入	量(mCi/批次)	量(mCi/a)	去向	量(mCi/批次)	量(mCi/a)
					
总计	43.5	4350	总计	43.5	4350

表 9-17 Ra-228 平衡表

投入	量(μCi/批次)	量(mCi/a)	去向	量(μCi/批次)	量(mCi/a)
					

[illegible]

表 9-18 Th-228 及其子体平衡表

投入	量 (μCi/批次)	量 (mCi/a)	去向	量 (μCi/批次)	量 (mCi/a)
总计	780	78	总计	780	78

核素平衡图如下:



图 9-11 核素平衡图 单位 mCi/a

9.2.4. 人流、物流组织

9.2.4.1. 人流

(1) 非控制区：工作人员可通过生产厂房一楼门厅进行身份验证后进入厂房内部非控制区，可通过非控制区楼梯或者电梯分别前往非控制区房间（如消防泵房、通信设

备间纯水制备间等)。

(2) 控制区：工作人员通过门厅，男员工通过一楼卫生出入口更换工作服后进入控制区的各个工作场所；女员工经门厅电梯厅上二楼卫生出入口更换工作服后进入控制区的各个工作场所。进入控制区的人员可根据工作联系梯进入各个场所。

a. 硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区：操作人员及检修人员通过一楼门厅进入生产厂房，通过楼梯或者电梯进入二楼。再通过卫生通过间更换工作服、佩戴防护用品及个人剂量计后进入二楼控制区内各功能用房，控制区内设有电梯和楼梯间，工作人员可通过二楼电梯或者楼梯可达到一楼及三楼各功能用房开展工作，工作结束后需由卫生通过间经检测去污后方可脱下工作服，更换常服离开。

b. GMP 生产区：GMP 区域的操作人员经一楼门厅进入生产厂房，通过一楼非控制区的电梯或者楼梯进入三楼白区走廊，门禁刷卡后进入 GMP 生产区内部白区走廊，各 GMP 生产区域的操作人员通过相应的一更、二更、进气闸间进入相应 GMP 生产区内洁净走道前往相应操作区。工作结束后，经退气闸间、检测间、一更检测去污，更换常服后离开。

c. 质检及实验室区：质检及实验室区的操作人员经一楼门厅进入生产厂房，通过一楼非控制区的电梯或者楼梯进入三楼白区走廊，再通过门禁刷卡后进入 QC 白区走廊，内部设有专有的卫生通过间（工作服间、去污间、检测间等）可进一步进入设计放射性操作的质检及实验室区。

9.2.4.2. 物流

(1) 非控制区：生产厂房所需的主要物料硝酸、树脂需外购，物料运输车经项目厂区西侧大门及厂区道路到达生产厂房西侧。树脂通过一楼门厅送入，经电梯送至二楼新树脂暂存间内暂存。硝酸运输车停靠在生产厂房西侧硝酸暂存及制备间外通过输送泵进入到硝酸暂存槽内。

(2) 控制区：本项目生产厂房所需的硝酸钍原料由供货单位运输车运至生产厂房东侧转运间外，分批次购入，由叉车将原料容器转运至转运间内。在转运间内使用 AGV 小车通过控制区电梯送至二楼硝酸钍原料暂存间内。硝酸钍固体可重复利用，后续只需从硝酸钍原料暂存间内转移原料即可。

GMP 生产区、质检和实验室区所需的试剂均为外购，厂区东南侧拟建设危化品库，

根据使用量从危化品库领取，通过生产厂房一楼东侧发货大厅电梯送入，依次经包装辅材间传递窗、送入总外清间脱包后由各 GMP 生产区外清间送入内部试剂配制间或由传递窗送入质检和实验室区。

吸附树脂：新树脂经树脂处理间处理后，从生产厂房外经生产厂房东侧转运间送至控制区，再经控制区内电梯送至对应功能用房进行树脂加注废树脂经树脂补集箱收集后转运至废液处理间内进行烘干处理，处理后转移至固废整备间包装整备后转入固废暂存间暂存，最终经转运间进行外运。

排风系统废滤芯：排风风机产生的放射性滤芯在三楼废滤芯暂存间暂存后，经电梯转运至一楼的固废整备间进行处理后转入固废暂存间暂存，最终经转运间进行外运。

9.3. 污染源项描述—运行期间正常工况

9.3.1. 废气

根据工艺流程分析可知，本项目废气主要为氮氧化物（硝酸蒸汽）及放射性气溶胶。根据后续分析，本项目废气产生及排放情况如下：

表 9-19 废气产生及排放情况汇总

序号	主要污染物			产生速率（kg/h）	排放速率（kg/h）	年最大排放时间（h/a）	治理措施及去向
1	非放射性废气	NOx	储罐呼吸废气	0.0004	0.000061	8760	经碱液喷淋塔处理后由 DA001 排放
2			蒸汽冷凝回收、吸附浓缩工序、废液处理工序各储罐槽呼吸废气	0.056	0.0084	7200	经碱液喷淋塔处理后由 DA002 排放
3			各箱室挥发废气	2.78E-06	2.78E-06	7200	经高效过滤器处理后由 DA002 排放
4		氯化氢	各箱室废气	4.96E-05	4.96E-05	7200	经高效过滤器处理后由 DA002 排放
5		NMHC	各箱室废气	0.0014	0.0014	7200	经高效过滤器处理后由 DA002 排放
6			监督区生物安全柜	0.0034	0.0034	50	经高效过滤器处理后由 DA003 排放
7			监督区洁净工作台	0.0034	0.0034	50	经高效过滤器处理后由 DA004 排放
8			控制区无菌隔离室	0.0034	0.0034	50	经高效过滤器处理后由 DA005 排放
9			控制区生物安全柜	0.0034	0.0034	50	经高效过滤器处理后由 DA006 排放
序号	主要污染物			产生速率（Bq/h）	排放速率（Bq/h）	年最大排放时间（h/a）	治理措施及去向
1	放射性废气	放射性气溶胶	Th-232	6.71E+02	1.34E+02	7200	各槽罐局排废气经碱液喷淋塔等处理后由 DA002 排放，各箱室局排及控制区功能用房全排废气经高效过滤器处理后由 DA002 排放
			Ra-228	6.85E+03	2.22E+01		
			Ac-228	7.71E+01	1.54E+01		
			Th-228	1.10E+03	3.49E+00		
			Ra-224	4.11E+02	2.80E+00		
			Rn-220	1.99E+09	2.07E+06		
			Po-216	1.20E+01	2.41E+00		
			Pb-212	1.12E+03	3.52E+00		
			Bi-212	1.20E+01	2.41E+00		
			Po-212	7.70E+00	1.54E+00		
			Tl-208	4.33E+00	8.66E-01		

9.3.1.1. 放射性气载流出物

本项目各放射性物料在转移、吸附浓缩、淋洗等操作过程中，均可能形成放射性气溶胶，以上废气均经槽罐和箱室局排以及房间全排引至排风中心，各槽罐局排废气依次经冷凝、水喷淋、碱液喷淋塔处置后排放由 DA002 排气筒引至生产厂房屋面排放口排放，其余各箱室局排以及控制区内房间全排经高效过滤器过滤后排放由 DA002 排气筒引至生产厂房屋面排放口排放。根据《核空气净化系统的现场检验》（EJ/T 791-2014），高效粒子空气过滤器（即 HEPA 过滤器）对主要是 $0.3\mu\text{m}$ 的单分散气溶胶的过滤效率至少为 99.97%，本项目保守取 99.9%；根据同类型项目运行经验，冷凝+水喷淋+碱液喷淋塔对放射性气溶胶的过滤效率至少为 80%，本项目保守取 80%。

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 $3\text{E}-5$ 。保守考虑，本项目操作放射性溶液时，如涉及加温浓缩等操作，各放射性核素进入废气中的占比取最大操作量的 $3.0\text{E}-05$ ，其他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 $1.0\text{E}-06$ 。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。

（1）硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区

根据工程分析，本项目硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区涉及硝酸钍原料暂存间、硝酸钍溶解间、吸附间、浓缩间、高液位槽间、硝酸钍溶液浓缩及分离间等区域，硝酸钍的溶液、吸附、浓缩、回收等均在密封设备槽罐内进行，考虑产生的放射性气溶胶经设备槽罐呼吸口局排系统全部收集。

硝酸钍原料单批次最大投料量为 1 吨，每天操作 1 批次、年操作 100 批次，原料中核素比活度为：Th-232： 43.5mCi/t ；Ra-228 和 Ac-228 均为： 5mCi/t ；Th-228 及其子体均为： 0.78mCi/t 。根据计算，在硝酸钍溶解、吸附、浓缩等工序中，放射性气溶胶的总产生量为 $2.89\text{E}+07\text{Bq/次}$ 、 $2.89\text{E}+09\text{Bq/a}$ ，主要来自 Th-232 及其衰变链中气态子体核素 Rn-220 的影响，气体经过排气系统的冷凝+水喷淋+碱液喷淋塔处理后由 DA002 排气筒排向大气环境，净化效率为 80%，则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总活度为 $5.78\text{E}+08\text{Bq/a}$ 。放射性气溶胶中其余核素的单次总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。

表 9-20 硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区放射性废气产生量

核素	单次最大操作活度 (Bq)	核素挥发率	年操作频次	放射性气溶胶产生量 (Bq/次)	放射性气溶胶产生量 (Bq/a)	处置设施	放射性气溶胶排放量 (Bq/a)

预处理间、Ra-228 分离间箱室内涉及开展 Ra-228 溶液纯化、浓缩操作，Ra-228 的单次最大操作量为 $1.13\text{E}+08\text{Bq}$ ，每天操作 1 批次，年操作 100 批次。在密闭工作箱中纯化、浓缩 Ra-228 溶液时，Ra-228 放射性气溶胶的产生量为 $3.39\text{E}+03\text{Bq/次}$ 、 $3.39\text{E}+05\text{Bq/a}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后由 DA002 排气筒排向大气环境，净化效率为 99.9%，则通过气载途径排入环境的 Ra-228 放射性气溶胶活度为 $3.39\text{E}+02\text{Bq/a}$ ，放射性气溶胶中 Ra-228 核素的单次总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 Ra-228 核素免管活度，其影响基本可忽略。

发生器回收处理间箱室内涉及开展废 Ra-224/Pb-212 发生器拆解、活性部件回收等操作，每天操作 1 批次，每批次最大处置 10 台废 Ra-224/Pb-212 发生器，单台废 Ra-224/Pb-212 发生器中 Ra-224 活度最大为 $1.85\text{E}+7\text{Bq}$ 。考虑处理时处于衰变平衡状态，且拆解时不对发生器吸附柱进行淋洗等操作，仅考虑其中气态子体核素 Rn-220 的逸出。根据计算，在密闭工作箱中拆解回收废 Ra-224/Pb-212 发生器时，放射性气溶胶的总产生量为 $1.85\text{E}+08\text{Bq/次}$ 、 $1.85\text{E}+10\text{Bq/a}$ ，主要来自 Ra-224 衰变产生的气态子体核素 Rn-220 的影响，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后由 DA002 排气筒排向大气环境，净化效率为 99.9%，则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总

表 9-21 预处理间、Ra-228 分离间及发生器回收处理间箱室放射性废气产生量

(2) GMP 生产及质控区

Th-228 分离区箱室内主要操作为从 Ra-228/Th-228 发生器淋洗分离获得 Th-228, 涉及 Ra-228/Th-228 发生器的淋洗以及 Th-228 溶液的浓缩和发生器组装等操作, 每天操作 1 批次, 年操作 100 批次, 每批次最大操作 1 台 Ra-228/Th-228 发生器, Ra-228/Th-228 发生器生产后拟存放衰变 0.5 年后再进行淋洗操作, 根据放射性核素衰变规律, 淋洗时各核素活度为: $A(\text{Ra-228}) = A(\text{Ac-228}) = 2.82\text{mCi}$, $A(\text{Th-228 及其子体}) = 0.49\text{mCi}$ 。根据计算, 放射性气溶胶的总产生量为 $1.81\text{E}+7\text{Bq/次}$ 、 $1.81\text{E}+9\text{Bq/a}$, 主要来自衰变链中气态子体核素 Rn-220 的影响, 气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后由 DA002 排气筒排向大气环境, 净化效率为 99.9%, 则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总活度为 $1.81\text{E}+06\text{Bq/a}$ 。放射性气溶胶中其余核素的单次总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。

Ra-224 分离及发生器组装区箱室内主要操作为从 Th-228/Ra-224 发生器淋洗分离获得 Ra-224，涉及 Th-228 发生器的淋洗以及 Ra-224 的分装和发生器组装等操作，每天操作 1 批次，年操作 100 批次，单次最大操作 11 台 Th-228/Ra-224 发生器，单台发生器最大活度最大为 0.49mCi。Th-228/Ra-224 发生器生产后拟存放衰变一定时间再进行淋洗操作，淋洗时处于衰变平衡状态，即 $A(\text{Th-228}) = A(\text{Th-228 子体})$ 。根据计算，放射性气溶胶的总产生量为 $1.99\text{E}+08\text{Bq/次}$ 、 $1.99\text{E}+10\text{Bq/a}$ ，主要来自衰变链中气态子体核素 Rn-220 的影响，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后由 DA002 排气筒排向大气环境，净化效率为 99.9%，则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总活度为 $1.99\text{E}+07\text{Bq/a}$ 。放射性气溶胶中其余核素的单次总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。

Pb-212 分离及标记区箱室内主要操作为从 Ra-224/Pb-212 发生器淋洗分离获得 Pb-212，涉及 Ra-224/Pb-212 发生器的淋洗以及 Pb-212 的标记和分装等操作，每天操作 1 批次，年操作 200 批次，单次最大操作 2 台 Ra-224/Pb-212 发生器，单台发生器最大活度最大为 10mCi。Ra-224/Pb-212 发生器生产后拟存放衰变一定时间再进行淋洗操作，淋洗时处于衰变平衡状态，即 $A(\text{Ra-224}) = A(\text{Ra-224 子体})$ 。根据计算，放射性气溶胶的总产生量为 $7.40\text{E}+08\text{Bq/次}$ 、 $1.48\text{E}+11\text{Bq/a}$ ，主要来自衰变链中气态子体核素 Rn-220 的影响，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后由 DA002 排气筒排向大气环境，净化效率为 99.9%，则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总活度为 $1.48\text{E}+08\text{Bq/a}$ 。放射性气溶胶中其余核素的单次总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。

质控及实验室区主要操作 Ra-228、Th-228、Ra-224 和 Pb-212 等核素。根据计算，放射性气溶胶的总产生量为 $1.44\text{E}+02\text{Bq/a}$ ，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，且气体经过排气系统的高效过滤器过滤处理后排向大气环境（放射性质控区的无菌室和阳性室内通风柜排风分别由 DA005、DA006 排气筒排出，其余由 DA002 排气筒排出，本次评价保守按全由 DA002

排出考虑），净化效率为 99.9%，则通过气载途径排入环境的放射性气溶胶总活度为 $1.44\text{E-}01\text{Bq/a}$ ，其影响基本可忽略。

表 9-22 GMP 生产及质控区放射性废气产生量

核素	单次最大操作活度 (Bq)	核素挥发率	年操作频次	放射性气溶胶产生量 (Bq/次)	放射性气溶胶产生量 (Bq/a)	处置设施	放射性气溶胶排放量 (Bq/a)
Th-228 分离区							
Ra-224 分离及发生器组装区							
Pb-212 分离及标记区							
质控及实验室区							

(3) 工作人员操作位

预处理间、Ra-228 分离间、发生器回收处理间内箱室以及 GMP 生产区内各箱室均执行 3 级密封箱室要求（小时泄漏率 $\leq 1\text{E-}02\text{h}^{-1}$ ，保守取 $1\text{E-}02\text{h}^{-1}$ ），则操作人员所在的工作箱室前区空气中放射性气溶胶活度浓度计算结果如下：

表 9-23 各箱室泄漏放射性废气量

箱室	关键核素	放射性气溶胶产生量 (Bq/次)	批次最大操作时间 (h)	小时泄漏率 (h^{-1})	箱室通风量 (m^3/h)	放射性气溶胶泄漏量 (Bq/m^3)
预处理间、Ra-228 分离间箱室						$1.69\text{E-}02$
发生器回收处理间箱室						$9.25\text{E+}02$

Th-228 分离区箱室		3.63E+01
Ra-224 分离及发生器组装区箱室		3.99E+02
Pb-212 分离及标记区箱室		2.96E+03

9.3.1.2. 非放射性废气

本项目不涉及化学反应，除吸附浓缩工序工作温度相对较高外，其他工序操作温度均为 20 摄氏度。本项目涉及使用的硝酸浓度为 13mol/L 硝酸（60%硝酸）、8mol/L 硝酸（40%硝酸）、1mol/L 硝酸（6%硝酸），生产线上各相关储罐/槽中硝酸的浓度大约在 6~10mol/L 之间（即 30%~48%）。根据《化工工艺设计手册》（化学工业出版社，中石化上海工程有限公司编）中给出的不同温度、不同硝酸溶度下硝酸溶液的蒸气压，本项目除硝酸原料储罐（60%硝酸）呼吸过程中产生的少量硝酸蒸汽外，其他储罐/槽由于硝酸浓度较低，其产生的硝酸蒸汽相对于浓缩工序产生的硝酸蒸汽而言基本可忽略不计。为便于进行工程分析，本次环评主要考虑硝酸原料储罐（60%硝酸）的大小呼吸废气、浓缩槽的硝酸蒸汽。

（1）硝酸储罐的呼吸废气

由于本项目不涉及化学反应，硝酸暂存及配置相关储罐、树脂预处理相关储罐的废气主要是呼吸废气，呼吸废气又可以分为大呼吸废气、小呼吸废气。

①小呼吸

“小呼吸”过程是由于温度和大气压力的变化引起蒸气的膨胀和收缩而产生的蒸气排出，它出现在罐内液面无任何变化的情况，是非人为干扰的自然排放方式。

由于本项目各生产设备（含硝酸储罐储存设备）均在生产车间内部，温度及大气压变化较小，而且除了硝酸储罐外，其他设备内的溶液硝酸溶度均较低，本次环评仅定量计算硝酸原料储罐的呼吸废气是合理的。

小呼吸废气产生量计算方式如下：

$$L_B = 0.191 \times M \left(\frac{P}{100910 - P} \right)^{0.68} \times D^{1.73} \times H^{0.51} \times \Delta T^{0.45} \times F_P \times C \times K_C$$

式中：

L_B —固定顶罐的呼吸排放量 (kg/a) ;

M —储罐内蒸气的分子量;

P —在大量液体状态下, 真实的蒸气压力 (Pa) ;

D —罐的直径 (m) ;

H —平均蒸气空间高度 (m) ;

ΔT —一天之内的平均温度差 ($^{\circ}\text{C}$) ;

F_P —涂层因子 (无量纲), 根据油漆状况取值在 1~1.5 之间;

C —用于小直径罐的调节因子 (无量纲); 直径在 0~9m 之间的罐体, $C=1-0.0123(D-9)^2$; 罐径大于 9m 的 $C=1$;

K_C —产品因子 (取 1.0)

②大呼吸

“大呼吸”排放是由于人为的装料与卸料而产生的损失。因装料的结果, 罐内压力超过释放压力时, 蒸气从罐内压出; 而卸料损失发生于液面排出, 空气被抽入罐体内, 因空气变成饱和的气体而膨胀, 因而超过蒸气空间容纳的能力。

可由下式估算本项目各工艺设备大呼吸废气的排放:

$$L_W=4.188\times10^{-7}\times M\times P\times K_N\times K_C$$

式中:

L_W —固定顶罐的工作损失 (kg/m³ 投入量) ;

K_N —周转因子 (无量纲), 取值按年周转次数 (K) 确定;

$K\leq 36$, $K_N=1$;

$36<K\leq 220$, $K_N=11.467\times K^{-0.7026}$;

$K>220$, $K_N=0.26$, 其他的同上。

具体计算参数如下表:

表 9-24 60%硝酸储罐小呼吸废气产生量

工艺设备/工序	储罐内蒸气分子量 M (g/mol)	真实蒸气压力 P (Pa)	罐的直径 D (m)	平均蒸气空间高度 H (m)	日均温度差 ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	涂层因子 F_P	调节因子 C	产品因子 K_C
60%硝酸储罐	63	4300	1.5	0.75	12	1.25	0.36	1

计算得到硝酸储罐小呼吸废气产生量为 3.476kg/a。

表 9-25 60%硝酸储罐大呼吸废气产生量如下

工艺设备/工序	储罐内蒸气分子量 M(g/mol)	真实蒸汽压力 P (Pa)	周转因子 K_n	产品因子 K_c
60%硝酸储罐	63	4300	1	1

计算硝酸储罐大呼吸废气产量将为 0.113kg/m^3 投入量。

本项目设置 1 个有效容积 6m^3 的硝酸储罐，生产过程中，虽然绝大部分的硝酸回用于生产，但是仍有少量的硝酸被消耗（或进入大气环境，或进入产品），根据后文计算，年硝酸（60%）消耗量为 0.9274t/a ，折合 0.6769m^3 ，计算硝酸储罐大呼吸废气产生量为 0.0768kg/a 。

综上，计算硝酸暂存及配置相关储罐、树脂预处理相关储罐（A1）呼吸废气产生量为 3.5528kg/a 。该部分呼吸废气收集后经碱液喷淋塔处理，处理效率以 85% 计，则硝酸蒸汽排放量为 0.0005t/a ，假定硝酸蒸汽全部转化为氮氧化物，则得到氮氧化物排放量为 0.000061kg/h ， 0.0005t/a 。

储罐呼吸废气产生及排放方案如下：

表 9-26 储罐呼吸废气产生及排放情况

工艺设备/工序	去向	主要污染物	产生情况		治理措施	治理效率	排放情况		排放时间
			浓度 mg/m^3	速率 kg/h			浓度 mg/m^3	速率 kg/h	
储罐呼吸废气	DA001	氮氧化物	0.8111	0.0004	经碱液喷淋塔处理后排放	85%	0.1217	0.00006	8760

（2）蒸汽冷凝回收工序逃逸废气

根据硝酸平衡，浓缩槽硝酸蒸汽产生量为 200.8881t/a ，进入碱液喷淋塔的硝酸蒸汽为 0.4032t/a ，碱液喷淋塔的处理效率以 85% 计，则硝酸蒸汽排放量为 0.0605t/a 。

表 9-27 蒸汽冷凝回收工序逃逸废气产生及排放情况

工艺设备/工序	去向	主要污染物	产生情况		治理措施	治理效率	排放情况		排放时间
			浓度 mg/m^3	速率 kg/h			浓度 mg/m^3	速率 kg/h	
蒸汽冷凝回收工序	DA002	氮氧化物	0.5617	0.056	经碱液喷淋塔处理后排放	85%	0.0843	0.0084	7200

（3）废液暂存及处理相关储罐产生的硝酸蒸汽

废液暂存及处理过程产生的硝酸来源主要是 Ra-228 预过滤及其后续工序树脂清洗废水、树脂再生废水、真空离心浓缩仪分离出的硝酸溶液，由于以上在蒸发浓缩前加入片碱调节 pH，故可以认为蒸发过程中硝酸蒸汽产生量极少，该部分废气经碱液喷淋处

理后排放，处理效率以 85%计，本次环评不对该部分废气进行定量分析。

(4) 各箱室产生的废气

各箱室产生的废气主要是指 Ra-228 预过滤箱室、Ra-228 最终过滤箱室、发生器回收及处理箱室、Th-228 分离箱室、Ra-224 分离及发生器组装箱室、Pb-212 标记箱室的废气。

以上工序涉及的物质除硝酸外，还有 Pb-212 标记箱室涉及使用盐酸、有机试剂等，故废气成分较为复杂，难以进行精准计算。

总体而言，各箱室含 VOCs 的试剂年使用量约 100kg，按照一般实验室的经验，NMHC 产生量约为含 VOCs 试剂总量的 10%，则预计实验室 NMHC 产生量为 10kg/a。实验室使用盐酸、硝酸还会产生一定的氯化氢、氮氧化物，本项目预计盐酸使用量为 3L/a，98%分析纯硝酸使用量为 200L/a，由于盐酸使用过程中的温度及压力均难以确定，按照 10%的系数，则计算氯化氢气体产生量为 0.357kg/a、同时考虑到 98%分析纯硝酸主要用于配比低浓度硝酸，故预计氮氧化物产生量为 0.02kg/a。

表 9-28 各箱室废气产生及排放情况

工艺设备/工序	去向	主要污染物	产生情况		治理措施	治理效率	排放情况		排放时间
			浓度 mg/m ³	速率 kg/h			浓度 mg/m ³	速率 kg/h	
各箱室	DA002	NMHC	0.0139	0.0014	高效过滤器	--	0.0139	0.0014	7200
		氯化氢	0.0005	4.96E-05		--	0.0005	4.96E-05	7200
		氮氧化物	2.79E-05	2.78E-06		--	2.79E-05	2.78E-06	7200

(5) 质控及实验室区废气

该部分主要是用于开展 GMP 生产区物料的微生物检验、细菌内毒素等检验，设有放射性和非放射性无菌室、放射性和非放射性阳性间等 4 处功能区域，主要使用的挥发性的原辅材料为乙醇、甲醛等，各区域预计年有机试剂使用量为 2L/区、折合 1.7kg，废气主要是 NMHC，以原料使用量 10%计，各区域产生量为 0.17kg/a。

表 9-29 质控区废气产生及排放情况

工艺设备/工序	去向	主要污染物	产生情况		治理措施	治理效率	排放情况		排放时间
			浓度 mg/m ³	速率 kg/h			浓度 mg/m ³	速率 kg/h	
非放射性阳性间生物安	DA003	NMHC	6.8000	0.0034	高效过滤器	--	6.8000	0.0034	50

全柜									
非放射性无菌室洁净工作台	DA004	NMHC	6.8000	0.0034	高效过滤器	--	6.8000	0.0034	50
放射性无菌室无菌隔离室	DA005	NMHC	6.8000	0.0034	高效过滤器	--	6.8000	0.0034	50
放射性阳性间生物安全柜	DA006	NMHC	6.8000	0.0034	高效过滤器	--	6.8000	0.0034	50

9.3.2. 废水

根据工艺流程分析可知，本项目废水主要是为非放射性废水（生活废水和清净废水）、放射性生产废水（树脂再生废液、冷凝液等）以及含放射性的清洁废水。根据后续分析，本项目废水产生及排放情况如下：

表 9-30 废水产生及排放情况汇总

序号	废液类型		产生量	去向
1	厂区综合废水（非放射性废水）	生活废水	600t/a	进入化粪池进行处理
2		清净废水（制去离子水废水、制软水废水、蒸汽冷凝水、树脂预处理蒸发冷凝水）	705.125t/a	约 675t 的清净废水回用于洗手冲厕拖地等、剩余 30.125t 排入化粪池
4	放射性废水	含放射性的清洁废水	16t/a	生活废液储罐收集，经检测达标后排入厂区化粪池，不能达标的，进入桶内干燥站进行处理
5		清洁废水	13.8t/a	
6		树脂再生废液、清洗废水（Ra-228 预处理及其后续工序）	156.52L/a (0.1618t/a)	放射性生产废液储罐收集，定期进入桶内干燥站进行蒸发浓缩，蒸发水蒸汽经冷凝后回用于生产，不外排
7		真空浓缩仪冷凝废液	350.2L/a (0.4877t/a)	放射性生产废液储罐收集，定期进入废液处理系统处理后蒸干，蒸发残渣做放射性固废管理，蒸发废气冷凝液进入硝酸钍溶解工序，不外排

根据上表，得到本项目非放射性废水产生量为 1305.125t/a，其中回用量 675t/a，排放量 630.125t/a；放射性废水产生量为 30.4495t/a，其中放射性生产废水产生量 506.72L/a。均回用于生产，排放量为 29.8t/a，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），放射性废水经处理达标后排放，每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，本环评保守按照 5 倍系数考虑，则企业总废水排放量为 $630.125+29.8+29.8*5=808.925\text{m}^3/\text{a}$ 。

9.3.2.1. 放射性生产废水

放射性生产废水主要来自生产工艺上 Ra-228 预处理及其后续工序的树脂再生废液、清洗废水、真空浓缩仪冷凝液。放射性生产废水拟排入废液暂存间放射性生产废液储罐内，本项目废液暂存间拟设置 2 个（一备一用）有效容积为 3m³的放射性生产废液储罐，废液拟定期排入废液处理系统内蒸干处理（干燥处理能力为 6L/h），蒸干废渣拟作为放射性固体废物转入固废间暂存间暂存、蒸发过程产生的废气拟冷凝收集后进入硝酸钍溶解工序回用。

（1）树脂再生废液、清洗废水

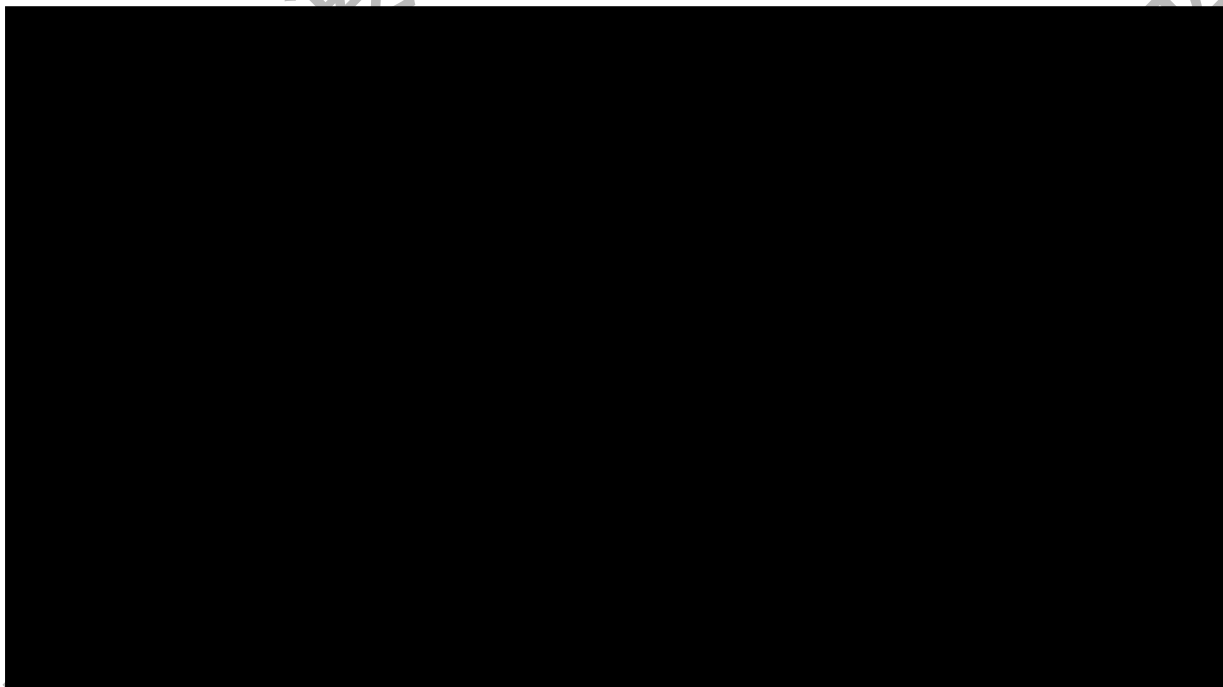


表 9-31 树脂再生废液、树脂清洗废水产生量

序号	废液类型	工艺设备	产生频次	单次废液产生量 (mL)	废液年产生量 (L)	所含核素及其总活度	去向
1	树脂再生废液			1500	150	Th-232：10μCi/次， 1mCi/a； Ra-228：45μCi/次， 4.5mCi/a； Th-228及子体：13.4μCi/ 次，1.34mCi/a	放射性 生产废 液储罐
				5	0.5		
2	树脂清洗废水			3000	6		
				10	0.02		

(2) 真空浓缩仪冷凝废液

本项目拟使用真空浓缩仪对 Ra-228 和 Th-228 溶液进行浓缩，该设备浓缩原理是通过在真空环境下降低溶剂的沸点，从而在较低温度下实现高效蒸发，蒸发的溶剂气体通过冷凝器冷却重新液化为液体，本项目冷凝废液拟排入放射性生产废液储罐内，定期经废液处理系统内蒸干处理，蒸干废渣拟作为放射性固体废物转入固废暂存间暂存、蒸发过程产生的废气拟冷凝收集后进入硝酸钍溶解工序回用。各工序真空浓缩分离硝酸溶液汇总如下：

表 9-32 真空浓缩仪冷凝废液

序号	工作场所/工艺设备	产	单次废液产生量 (mL)	年废液最大产生量(L)	废液中所含核素及其总活度	去向
1	预过滤间/Ra-228 溶液浓缩工作箱		3490	349	Ra-228: 91.5nCi/次, 9.15μCi/a	放射性生产废液储罐
2	Ra-228 分离间/浓缩工作箱		10	1	Ra-228: 90.9nCi/次, 9.09μCi/a	
3	Th-228 溶液浓缩工作箱		2	0.2	Th-228: 14.7nCi/次, 1.47μCi/a	
注：参照《Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor Nuclear Facilities 第一卷-实验数据分析》（1994 年 12 月），考虑真空浓缩过程中核素释放率为 3E-5，且核素经冷凝后全部被收集。						

9.3.2.2. 含放射性清洁废水

含放射性的清洁废水主要来自生产厂房控制区工作人员清洗废水、场所清洁废水。本项目废液暂存间拟设置 2 个有效容积为 5m³ 的生活废液储罐以暂时收集工作场所清洗废液，工作场所清洗废液中核素活度浓度极低，拟经监测达到车间排放标准后直接排放至厂区化粪池，不能达到车间排放标准的，排入废液处理系统处置。

(1) 卫生通过间清洗、洗衣废水

本项目各辐射工作场所入口均设有工作人员卫生通过间，工作人员离开辐射工作场所控制区时，须进行体表放射性污染水平监测，如存在污染拟脱去污染工作服后再进行洗澡、去污，污染工作服拟作为放射性固废处置。根据前文分析，本项目卫生通过间、洗衣间最大用水量为 16m³/a。按照最不利情况全部转化为废水，则卫生通过间、洗衣废

水为 16m³/a。

(2) 工作场所清洗废水

本项目辐射工作场所拟定期清洁，清洁前开展场所放射污染水平监测，如存在污染拟采用擦拭法去污，该区拟每月清洁一次，参考同类型项目的经验，清洁废水一般用水量为 1.15m³/次，13.8m³/a，按照最不利情况全部转化为废水，则工作场所清洁废水产生量为 13.8m³/a。

正常工况下，卫生通过间清洗废水、洗衣废水、控制区清洗废水中核素含量基本可忽略。

9.3.2.3. 非放射性废水

(1) 生活废水（含生产厂房白区卫生间废水）

企业生活用水量为 2.5t/d, 750t/a。按照 0.8 的系数，则生活废水产生量为 2t/d, 600t/a。

(2) 清净废水

本项目清净废水主要是：制去离子水废水、制软水废水、蒸汽冷凝水、树脂预处理蒸发水蒸汽冷凝水。企业制软水废水产生量为 153.5t/a，制去离子水废水产生量为 15.42t/a，蒸汽冷凝废水量为 504t/a，树脂预处理蒸发水蒸汽冷凝水为 32.205t/a，则企业清净废水总产生量为 705.125t/a。企业清净废水尽量回用于办公区的洗手冲厕拖地，剩余排入化粪池，根据前文分析，回用于办公区的洗手冲厕拖地清净废水量为 675t/a，则排入化粪池的清净废水为 30.125t/a。

9.3.3. 固废

根据工艺流程分析可知，本项目固废主要来自生产线上定期更换下的废树脂、质检产生的一次性用品、废液干燥产生的废渣以及外售发生器退役回收后拆解产生的外壳、吸附柱管道等。根据后续分析，本项目固废产生情况如下：

表 9-33 本项目非放射性固废产生情况

序号	名称	固废类型	类别	代码	产生量 t/a	去向
1	废包装袋	一般固废			0.05	一般固废间，尽量回用，不能回用的交废品收购站
2	树脂预处理蒸发残渣	危险废物	HW11	900-013-11	0.123	分类收集后，送企业危废暂存间进行暂存，定期送有资质的单位进行处理
3	监督区实验室及质控室废液	危险废物	HW49	900-047-49	0.02	

4	监督区实验室及质控室废化学试剂	危险废物	HW49	900-999-49	0.02
5	监督区实验室及质控室其他沾染性废物	危险废物	HW49	900-047-49	0.02
6	监督区劳保用品	危险废物	HW49	900-041-49	0.05

表 9-34 项目放射性固体废物产生量

序号	固废类型	年最大产生量	所含核素及其总活度	去向
1	废树脂	12.79t	Th-232: 1.335mCi/a Ra-228: 10.3mCi/a Th-228 及其子体: 2.958mCi/a	200L 钢桶收集, 手推车转运到固废暂存间内暂存, 定期交有资质单位处置
2	放射性生产废液蒸发残渣	0.2185t	Th-232: 0.999mCi/a Ra-228: 4.4955mCi/a Th-228 及其子体: 1.33866mCi/a	200L 钢桶收集, 手推车转运到固废暂存间内暂存, 定期交有资质单位处置
3	废 Ra-224/Pb-212 发生器活性部件	0.12	Ra-224 及其子体: 40mCi/a	200L 钢桶收集, 手推车转运到固废暂存间内暂存, 暂存衰变至清洁解控水平后按照非放射性固废处理
4	Pb-212 标记余液	0.002t	Pb-212: 1Ci/a	废液收集容器收集后, 至放射性固废暂存间暂存, 废液暂存间暂存衰变 30d 后直接解控
5	质控余液	0.15t	Th-228: 0.06mCi/a Ra-228: 0.0098mCi/a Ra-224: 0.1078mCi/a Pb-212: 0.8mCi/a	废液收集容器收集后, 至放射性固废暂存间暂存, 定期交有资质单位处置
4	质控及实验室固废	0.06t	Th-228: 0.24mCi/a Ra-228: 0.0392mCi/a Ra-224: 0.4312mCi/a Pb-212: 3.2mCi/a	200L 钢桶收集, 手推车转运到固废暂存间内暂存, 监测达标做常规废物, 不达标交有资质单位
5	废劳保用品	0.2t	微量放射性	200L 钢桶收集, 手推车转运到固废暂存间内暂存, 监测达标做常规废物, 不达标交有资质单位
6	废通风过滤滤芯	1t	Th-232 及其子体: 1.88E+11Bq/a	过滤器滤芯经收集后转运至废过滤器暂存间存放, 定期交有资质单位处置

9.3.3.1. 放射性固废

(1) 废树脂

本项目需定期对树脂罐内的树脂进行更换, 具体更换频次如下:

表 9-35 废树脂产量计算

序号	位置	频次	单次更换树脂量	平均年产生量	年最大产生量	所含核素及其总活度
1	吸附罐 1				6m ³	Th-232: 1.2mCi/a

2	吸附罐 2		3m ³	Ra-228: 9.8mCi/a
3	吸附罐 3		3m ³	Th-228 及其子体:2.8mCi/a
4	吸附罐 4		300L	
5	预过滤间箱室		9L	Th-232: 0.135mCi/a Ra-228: 0.2mCi/a
6	Ra-228箱室		10ml	Th-228 及其子体: 0.06mCi/a
7	Ra-228/Th-228 发生器		1000ml	Ra-228 及其子体: 3μCi/个, 300μCi/a
8	Th-228/Ra-224/Pb-212 发生器		2000ml	Th-228 及其子体: 0.49μCi/个, 98μCi/a
总计			10.661m ³	12.312m ³

则计算,企业废树脂年平均产生量为 10.661m³,按照质量计则废树脂年平均产生量为 13.18t。

吸附浓缩工序的废树脂产生后,经树脂捕集箱过滤后收集于捕集箱内,并由专用的管道引至桶内干燥站内,Ra-228 预处理及其后续工序产生的废树脂收集后,由专用的通风柜投料口投入到桶内干燥站内,废树脂在桶内干燥站干燥后做放射性固废处理,废树脂产生量为 12.79t/a。

桶内干燥站内残留的废树脂采用机器人进行清理,清理产生的废树脂由 200L 的桶进行收集,收集后暂存于固废暂存间进行暂存。暂存期满的废物需测量是否已达到清洁解控水平,如达到清洁解控水平则作为危险废物进行处理;如不能达到清洁解控水平,则委托具有处理资质的公司进行处理。

(2) 放射性生产废液蒸发残渣(废盐)

放射性生产废液在桶内干燥站蒸发过程中,废树脂不直接接触桶内干燥站的废液,蒸发完成后,干燥站底部会残留少量的固废(废盐),废液中的放射性都残留在该废盐中,故该部分固废为放射性固废。根据前文分析,放射性生产废液蒸发残渣中核素剩余活度为废液初始浓度的 99.9%,即其中各核素活度为 Th-232: 约 0.999mCi/a、Ra-228: 4.4955mCi/a、Th-228 及其子体: 1.33866mCi/a。根据物料平衡,预计桶内干燥站废盐产生量为 0.2185t。

桶内干燥站残留的废盐采用机器人进行清理,清理产生的废盐由 200L 的桶进行收集,收集后暂存于固废暂存间进行暂存。暂存期满的废物需测量是否已达到清洁解控水

平，如达到清洁解控水平则作为危险废物进行处理；如不能达到清洁解控水平，则委托具有处理资质的公司进行处理。

(3) 废 Ra-224/Pb-212 发生器活性部件

本项目 Ra-224/Pb-212 发生器年最大生产 120 个，本项目建设单位拟回收废 Ra-224/Pb-212 发生器，回收时 Ra-224/Pb-212 发生器内 Ra-224 及其子体活度最大为 0.5mCi/个，废发生器拆除后，其中发生器外壳拟回收消毒后再利用，拆除的吸附柱和管线等活性部件拟采用固废转运容器送至固废暂存间处理，约 1kg/个，120kg/a，如不考虑核素暂存时的衰变，则废 Ra-224/Pb-212 发生器吸附柱中 Ra-224 及其子体活度核素的活度为 0.5mCi/个，40mCi/a。废 Ra-224/Pb-212 发生器活性部件在固废暂存间暂存衰变至清洁解控水平后按照非放射性固废处理。

(4) 生产工艺标记余液及质控废液

根据前文分析，本项目开展 Pb-212 标记时拟产生少量未完成标记的余液，上述余液拟采用废液容器集中收集后作为放射性固废暂存衰变 30d 后直接解控；质控和实验室区域废液开展检测后，拟产生少量质控废液，拟采用废液容器分类收集后交有资质单位处置。各类别废液产生情况如下：

表 9-36 生产工艺标记余液及质控废液产生量

序号	名称	工作场所/工艺设备	产生频次	单次废液产生量 (mL)	年废液最大产生量 (L)	废液中所含核素及其总活度	去向
1	标记余液				2	Pb-212: 5mCi/次, 1Ci/a	废液暂存间暂存衰变 30d 后直接解控
2	质控废液				150	Th-228: 0.06mCi/a Ra-228: 0.0098mCi/a Ra-224: 0.1078mCi/a Pb-212: 0.8mCi/a	交有资质单位处置

(5) 控制区内质控及实验室固废

根据《湖南省实验室危险废物环境管理指南》（湘环发〔2021〕12 号），实验室固废有实验室废液、废化学试剂、其他污染性废物。

实验室废液主要指的是放射性标记物生产过程中产生的废液或废渣液混合物，该部

分含有放射性，由于企业产品价值较高，对实验过程管控较为严格，根据初步预计，废液产生量约 20L/a（20kg/a）。

废化学试剂主要是实验过程中剩余的化学试剂，由于实验过程中，各实验过程均提前制定计划，审批后开展，试剂随用随取，故该部分产生量也较少，根据初步预计，废化学试剂约 20L/a（20kg/a）。

其他沾染性废物包括废试剂空瓶、废危化品包装物、其他沾染性废实验用品等，根据初步预计，该部分产生量也不大，约为 40L/a（20kg/a）

故总体而言，质控及实验室固废产生量约 80L/a（60kg/a），由于实验过程中具体生产环节较为复杂，各物料之间、各试剂、试管之间会进行相互倒料，且实验室位于控制区内（绿区内），故可以认为实验室固废均属于放射性固废。根据前文分析，质控及实验室固废中核素为最大操作活度的 20%，即其中各核素活度为 Th-228：0.24mCi/a、Ra-228：0.0392mCi/a、Ra-224：0.4312mCi/a、Pb-212：3.2mCi/a。

实验室放射性固废按照放射性实验室废液、放射性废化学试剂、其他放射性沾染性废物进行分类收集，采用 200L 的钢桶进行收集，并暂存于固废暂存间，暂存期满的废物需测量是否已达到清洁解控水平，如达到则作为危险废物进行处理；如不能达到清洁解控水平，则委托具有处理资质的公司进行处理。

（6）控制区内废劳保用品

生产过程中，若出现人员不慎出现放射性污染或疑似放射性沾污的情况，对于放射性污染或疑似放射性沾污的劳保用品拟直接按照放射性固废进行处理，根据初步预计，该部分劳保用品产生量约为 0.2t/a。

该部分废劳保用品由 200L 的钢桶进行收集，并暂存于固废暂存间，暂存期满的废物需测量是否已达到清洁解控水平，如达到则作为常规废物进行处理；如不能达到清洁解控水平，则委托具有处理资质的公司进行处理。

（7）通风过滤滤芯

本项目废气处理系统排风高效过滤器需定期更换，更换的频次为 1 年 1 次，同时，各辐照场所排风使用大尺寸过滤器，平均更换频次为 1 年 1 次，根据设计单位提供的资料，以上废过滤器滤芯年产生量为 1t/a，过滤器滤芯经收集后转运至废过滤器暂存间存

放。根据前文分析，高效过滤器的吸附效率为 99.9%，即放射性废气总产生量的 99.9% 均富集于废过滤器滤芯，根据估算，其放射性总活度为 $1.88\text{E}+11\text{Bq/a}$ ，主要来自 Rn-220 的贡献。

废过滤器暂存间设有 81 个滤芯存放位，可多层摆放。废滤芯临时在滤芯暂存间暂存后，定期转运至放射性固废暂存间进行暂存衰变。如能衰变达到清洁解控水平则按非放射性固废处理；如经过暂存衰变后无法达到解控水平则暂存期满后委托具有处理资质的公司进行处理。

9.3.3.2. 非放射性固废

(1) 废包装袋

本项目废包装袋主要是指一般化学试剂、树脂的外包装等，废包装袋产生量约 0.05t/a ，为一般固废，收集后尽量回用，不能回用的交废品收购站处理。

(2) 树脂预处理蒸发残渣

根据物料平衡，本项目树脂预处理工序蒸发残渣产生量为 0.123t/a ，该蒸发残渣属于危险废物，收集后送企业危废暂存间进行暂存，定期送有资质的单位进行处理。

(3) 非放射性实验室及质控室固废

根据《湖南省实验室危险废物环境管理指南》（湘环发〔2021〕12 号），实验室固废有实验室废液、废化学试剂、其他沾染性废物。

实验室废液主要指的是废液或废渣液混合物，根据初步预计，废液产生量约 20L/a （ 20kg/a ）。

废化学试剂主要是实验过程中剩余的化学试剂，由于实验过程中，各实验过程均提前制定计划，审批后开展，试剂随用随取，故该部分产生量也较少，根据初步预计，废化学试剂约 20L/a （ 20kg/a ）。

其他沾染性废物包括废试剂空瓶、废危化品包装物、其他沾染性废实验用品等，根据初步预计，该部分产生量也不大，约为 40L/a （ 20kg/a ）。

对于监督区的质控及实验室固废，由于不涉及放射性，故其属于危险废物，收集后交企业危废暂存间进行暂存，定期送有资质的单位进行处理。

(4) 非放射性工作场所废劳保用品

本项目非放射性工作场所劳保用品主要是对非放射性区的工艺设备、管线等进行维保产生的，预计该部分废劳保用品产生量为 0.05t/a，废劳保用品收集后暂存于危废暂存间，定期交有资质的单位处理。

9.4. 非正常运行状态下污染途径分析

9.4.1. 辐射事故

本项目涉及使用和销售非密封放射性物质，涉及操作 Th-232、Ra-228、Th-228、Ra-224、Pb-212 等放射性核素及其子体。根据分析，本项目可能发生的辐射事故见下表。

表 9-37 项目可能发生的辐射事故一览表

活动类型	涉及核素	可能发生的事故	可能事故后果
核素使用	Th-232、Ra-228、Th-228、Ra-224、Pb-212	原料、中间产品丢失、被盗、失控	导致公众误照射
		设备管道、槽罐破裂或人员误操作，导致放射性溶液撒漏	导致职业人员误照射
		通风系统过滤装置吸附达到饱和或过滤系统失效	导致公众误照射
		工作箱室泄漏或负压不足，导致含放射性气溶胶逸散到操作前区	导致职业人员误照射
核素销售	Ra-224、Pb-212	着火	人员伤亡；设备、设施损坏。
		放射性产品货包丢失、被盗、失控	导致公众误照射
		着火	人员伤亡；设备、设施损坏。

根据上表综合分析，结合本项目工艺流程，项目可能发生的最大潜在辐射事故为：

- (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

9.4.2. 非辐射事故

9.4.2.1. 风险调查

根据工程分析，本项目涉及的非辐射的环境风险物质有：

表 9-38 本项目风险物质及分布

序号	名称	危险物质名称	最大存在量	储存位置
1	柴油	油类物质		柴油发电机处
2	乙醇	易燃液态物质		危化品库、GMP 生产区、质控及实验室区
3	乙酸	有毒液态物质		危化品库、GMP 生产区、质控及实验室区
4	盐酸 37%	有毒液态物质		危化品库、GMP 生产区、

				质控及实验室区
5	甲醇	易燃液态物质		危化品库、GMP 生产区、 质控及实验室区
6	甲醛	有毒气态物质		危化品库、GMP 生产区、 质控及实验室区
7	分析纯硝酸 (98%)	有毒液态物质		危化品库、Th-228 预净化、 净化间、GMP 生产区、质 控及实验室区
8	硝酸 (60%)	有毒液态物质		生产厂房 60%硝酸储罐
9	主工艺流程液态 物料 (以硝酸计)	有毒液态物质		主工艺过程其他液态物料 储罐
10	危险废物	健康危险急性毒性物质 (类别 2, 类别 3)		危废暂存间

9.4.2.2. 风险潜势

根据分析，本项目直接判断环境风险潜势为 I，具体初判如下：

表 9-39 项目环境风险 Q 值确定表

序号	名称	最大存在量 q (t)	临界量 Q (t)	q/Q
1	柴油			≈0.000
2	乙醇			≈0.000
3	乙酸			≈0.000
4	盐酸 37%			≈0.000
5	甲醇			0.002
6	甲醛			0.006
7	分析纯硝酸 (98%)			≈0.000
8	硝酸 (60%)			0.540
9	主工艺流程液态物料 (以硝酸计)			0.267
10	危险废物			0.004
总计				0.819

9.4.2.3. 风险识别

综上，本项目可能发生的最大潜在事故为：

(1) 风险物质泄漏、洒落：环境风险物质在贮存、转移或使用过程中，因操作失误或坠落导致包装破损而倾倒地于地面，若得不到及时收集，可能会落入土壤，污染土壤环境和地下水环境。其中柴油、危化品库的危险化学品、硝酸等，若进入雨水管网，则可能对地表水环境造成不利影响。

(2) 火灾爆炸风险：本项目乙醇等为易燃物质，在贮存或使用过程中若操作不当遇到火源可能引发燃烧、爆炸事故，同时厂区研发楼可能电气故障等引发火灾事故，火灾废气对环境空气造成污染。灭火过程产生消防废水处置不当，经雨水管网进入地表水体，可能对水环境产生影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1. 辐射安全与防护

10.1.1. 辐射工作场所选址及布局

根据厂区平面布局图，整个厂区平面布置相对简单，主要建筑为医用同位素生产厂房、研发楼、保卫值班室、危化品库等四个建筑单体及相应配套辅助设施。保卫值班室拟设置在厂区入口处，位于厂区的西南角；研发楼位于厂区西侧，主要为研发中心及技术研发工作室；生产厂房位于厂区东侧，本项目涉及的非密封放射性工作场所均位于生产厂房内，设有连廊通道连接研发楼；危化品库及柴油发电机组拟临近生产厂房设置，位于生产厂房东南角。从平面布置来看，本项目厂区分区明确，工艺生产区集中设置在生产厂房内，配套的辅助设施满足工作需求，生产厂房与厂区其他建筑物之间留有一定的防护距离，且设有实体屏蔽，便于辐射污染的控制及人员的管控，电离辐射对生产厂房区域外工作人员影响也较小，从辐射防护的角度而言，厂区的整体平面布置是合理可行的。

生产厂房共四层，主要为同位素生产设施及放射性废物处置设施区域，其中：一层、二层及局部三层为主要硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区相关用室（主要包括硝酸钍原料暂存间、硝酸钍溶解间、硝酸钍溶液浓缩及离心间、吸附间、浓缩间、高液位槽间、中间产品库、预过滤间、Ra-228 分离室等）、放射性废物处置设施区域（固废暂存间、废液暂存间、废液处理间等）以及相关辅助用室（卫生通过、值班室、通信设备间、树脂处理间、蒸汽引入间、试剂制备间、去离子水制备间、变电所等）；三层主要为 GMP 生产区、质控及放射性实验室区以及暖通设备机房，GMP 生产区设有 Th-228 分离区、Ra-224 分离及发生器组装生产线、Pb-212 分离及标记生产线等 3 种同位素生产线，质控区主要包括放射性以及非放射性实验室、阳性室、培养室和无菌室等；四层主要为预留 GMP 生产区；四层顶部为可上人屋面，局部建设一间高位消防水箱间（兼空调水泵房）。本项目工作场所的平面布局既便于生产操作、满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。因此，从安全生产、环境保护和辐射防护的角度来说，本项目辐射工作场所的平面布局是较为合理的。

10.1.2. 辐射工作场所分区管理

根据国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，将辐射工作场所分为控制区和监督区，便于辐射防护管理和职业照射控制。

（1）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，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。

（2）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指定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作的状况，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。

本项目辐射工作场所分区见表 10-1 和附图 5。

表 10-1 本项目辐射工作场所分区一览表

辐射工作场所		控制区	监督区
生产厂房	硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	一层：浓缩间、预过滤间、Ra-228 分离间、备用间、发生器回收处理间、硝酸钍溶解间、转运间、固废整备间、废液处理间 1、绿区走廊、绿区楼梯间、绿区传递电梯及货梯、废液暂存间、固废暂存间、中间产品库 二层：吸附间、生产工具间、备用间、原料转运车停放间、废液处理间 2、辐防设备用品间、卫生通过（过渡间、男/女工作常服间、去污间、检测间 1、洗衣间、传递仓）、绿区走廊、绿区楼梯间、绿区传递电梯及货梯、硝酸钍原料暂存间、硝酸钍溶液浓缩及离心间 三层：高液位槽间、总外清间、工艺大厅全排及过渡间、半成品库过渡间、绿区走廊、绿区楼梯间、绿区传递电梯及货梯、废滤芯暂存间、半成品库 1、半成品库 2	一层：发货大厅、过渡间、白区走廊以及控制区相邻区域（工具间、蒸汽引入间、变电所、纯化水制备间、循环水泵房等） 二层：过渡间、白区走廊、男/女常服间、男/女淋浴间、生产准备间
	GMP 生产及质控区	三层：辅助区走廊、GMP 生产区各辅助用室（生产前区、进/退气闸间、洁具间、检测间、去污间、废物暂存间、洁净走廊、试剂配制及灭菌间、检测去污间、气闸间、原料外清间、包装出货间、外清间、生产后区、各箱室）、质控及实验室区	三层：白区走廊、发货厅、包装辅材间、GMP 生产区各机柜间、QC 白区走廊、过渡间、常服间、淋浴间、非放质控区（培养室、无菌室、阳性室等）

10.1.3. 辐射工作场所分级

10.1.3.1. 分级依据

1、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录表 C1，非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量大小分为：（1）甲级： $>4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；（2）乙级： $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；（3）丙级：豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

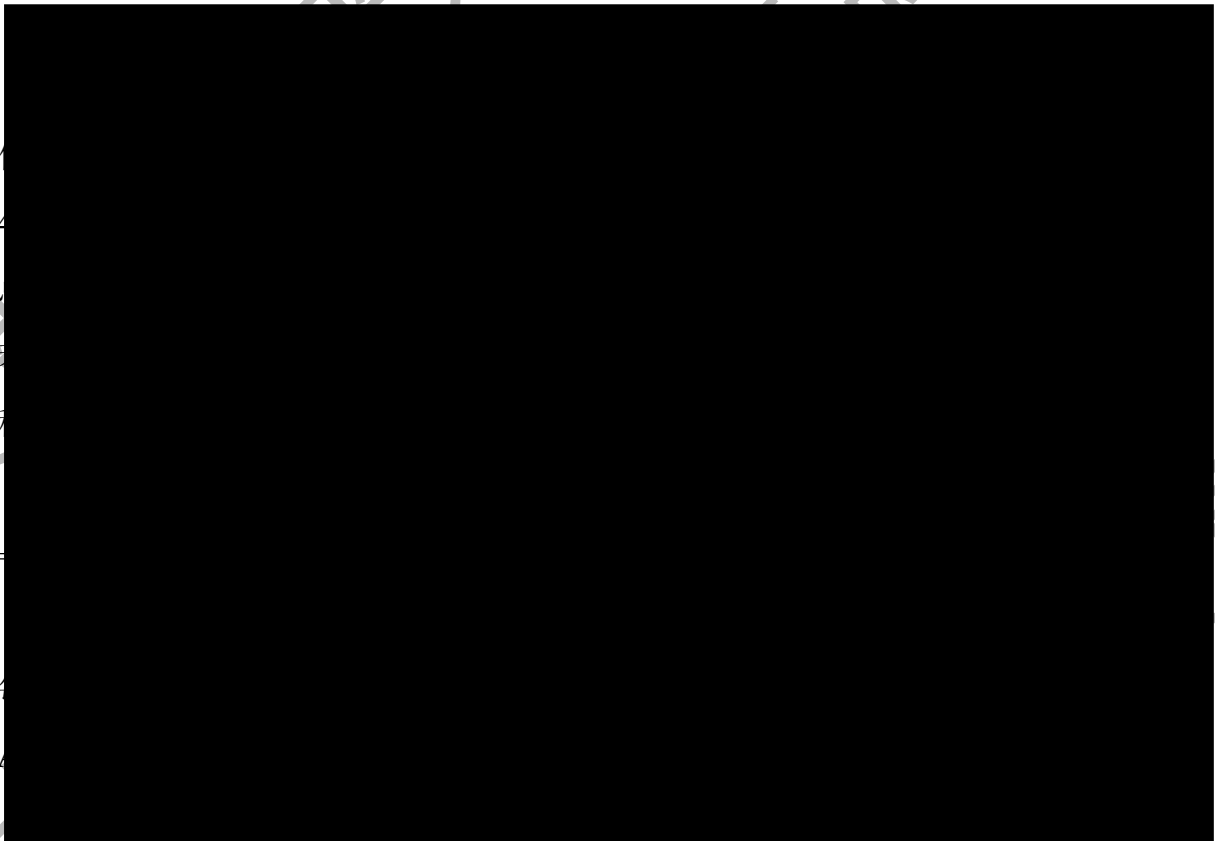
非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量的计算公式如下：

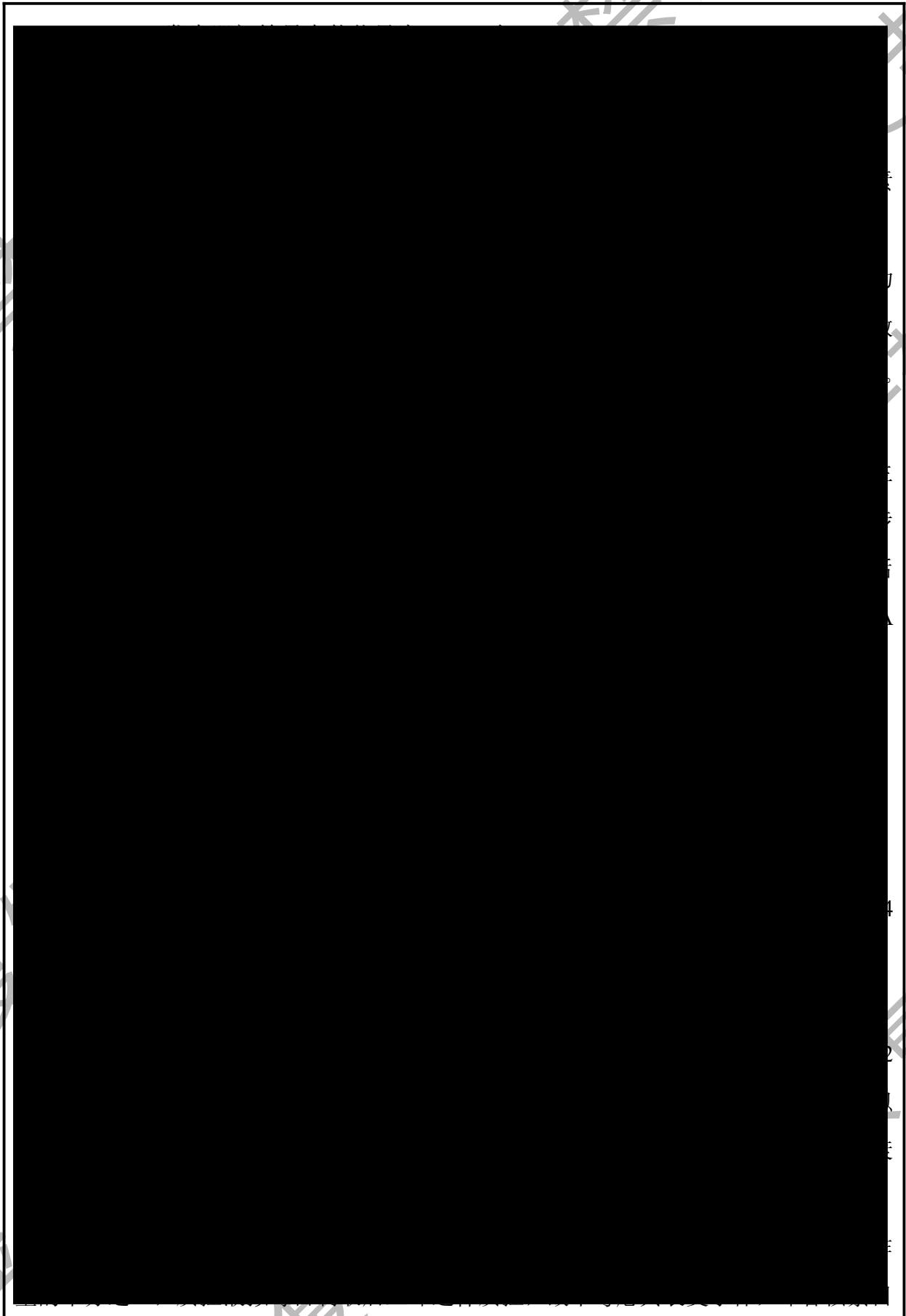
$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{核素实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}}$$

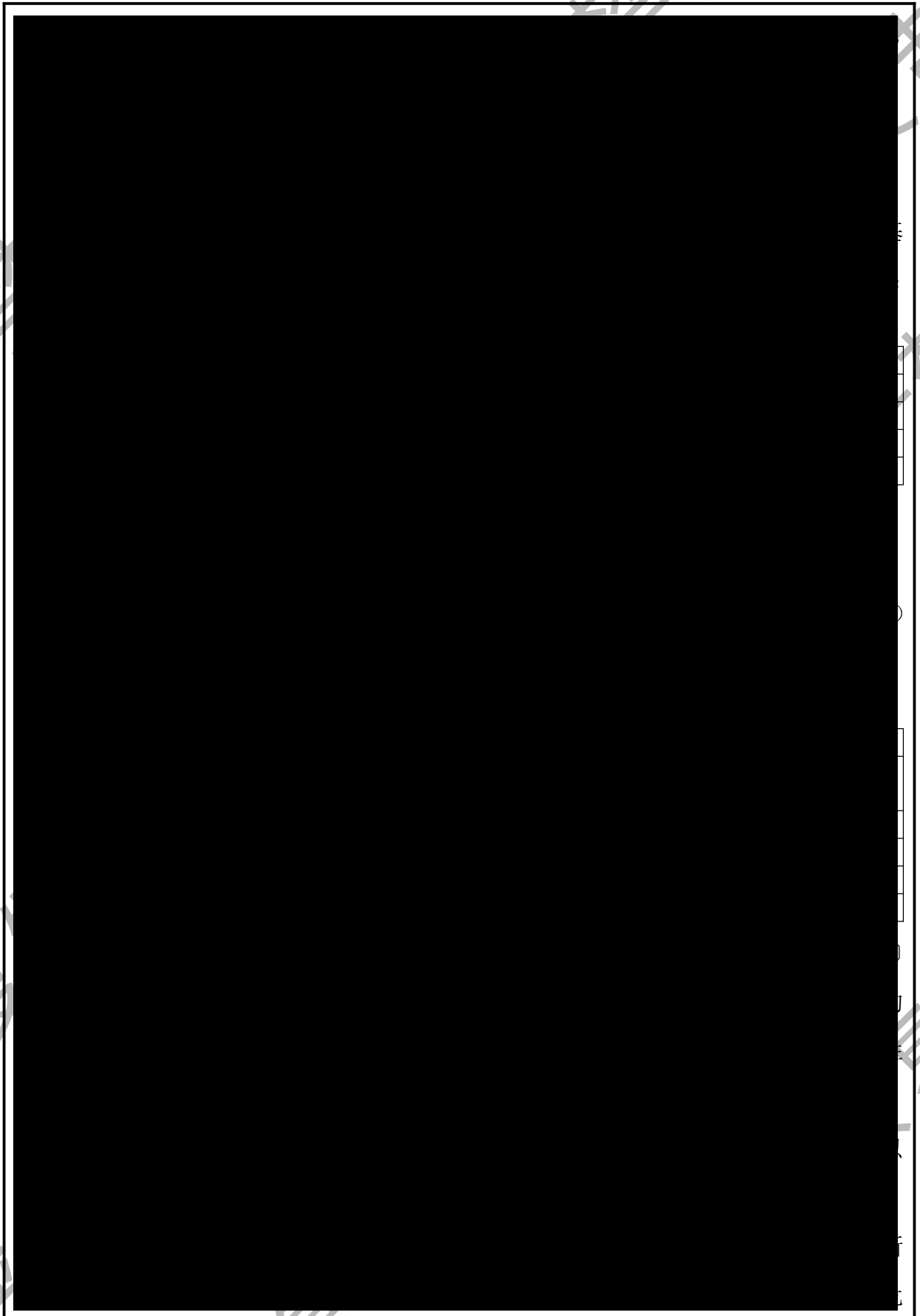
2、根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）中：“（一）满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：1.有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2.工艺流程连续完整；3.有相对独立的辐射防护措施”。

本项目生产厂房1~3层为硝酸钍原料存储及Ra-228分离区，3层主要为GMP生产和质控区，两区之间由实体屏蔽相隔，场所相对独立，不同场所的生产线、涉放实验室各自配有防护工作箱（热室或通风橱等），各区排风分为房间全排和防护工作箱局排，且每个场所内的排风系统可独立开启，互不干扰。因此，按照环办辐射函〔2016〕430号中场所判断依据，本项目生产厂房内辐射工作场所可划分为2个独立的非密封放射性物质场所，分别为硝酸钍原料存储及Ra-228分离区、GMP生产及质控区。

10.1.3.2. 核素操作量











10.1.5.1. 本项目日等效操作量

本项目辐射工作场所分级见下表，根据结果可知，生产厂房的2个非密封放射性物质场所均为乙级，其中：

①硝酸钍原料存储及Ra-228分离区的日等效最大操作量为 $3.13\text{E}+09\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所；

②GMP生产和质控区：日等效最大操作量为 $2.34\text{E}+09\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 10-4 本项目辐射工作场所分级情况

辐射工作场所	核素	物理性质	操作情况	日最大操作活度 (Bq)	年最大操作活度 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作活度 (Bq)
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	Th-232	固体	原料贮存	1.61E+11	1.61E+11	0.01	1000	1.61E+06
	Ra-228			1.85E+10	1.85E+10	10	1000	1.85E+08
	Ac-228			1.85E+10	1.85E+10	1	1000	1.85E+07
	Th-228			2.89E+09	2.89E+09	10	1000	2.89E+07
	Ra-224			2.89E+09	2.89E+09	10	1000	2.89E+07
	Pb-212			2.89E+09	2.89E+09	0.1	1000	2.89E+05
	Bi-212			2.89E+09	2.89E+09	1	1000	2.89E+06
	Th-232	液体	硝酸钍溶液溶解、吸附分离、浓缩	1.61E+09	1.61E+11	0.01	1	1.61E+07
	Ra-228			1.85E+08	1.85E+10	10	1	1.85E+09
	Ac-228			1.85E+08	1.85E+10	1	1	1.85E+08
	Th-228			2.89E+07	2.89E+09	10	1	2.89E+08
	Ra-224			2.89E+07	2.89E+09	10	1	2.89E+08
	Pb-212			2.89E+07	2.89E+09	0.1	1	2.89E+06
	Bi-212			2.89E+07	2.89E+09	1	1	2.89E+07
	Ra-228	固体	Ra-228/Th-228 发生器贮存	1.11E+10	1.11E+10	10	1000	1.11E+08
	Ac-228			1.11E+10	1.11E+10	1	1000	1.11E+07
	Th-228			1.81E+09	1.81E+09	10	1000	1.81E+07
	Ra-224			1.81E+09	1.81E+09	10	1000	1.81E+07
	Pb-212			1.81E+09	1.81E+09	0.1	1000	1.81E+05
	Bi-212			1.81E+09	1.81E+09	1	1000	1.81E+06
	Ra-224	固体	废 Ra-224/Pb-212 发生器拆解	1.85E+08	1.48E+10	10	100	1.85E+07
	Pb-212			1.85E+08	1.48E+10	0.1	100	1.85E+05
	Bi-212			1.85E+08	1.48E+10	1	100	1.85E+06
	Ra-224	固体/液体	包装外售	1.99E+08	1.99E+10	10	100	1.99E+07
	Pb-212		包装外售	5.55E+08	1.11E+11	0.1	100	5.55E+05

3.13E+09

GMP 生产及质 控区	Th-228 分离 区	Ra-228	固体	Ra-228/Th-228 发生器 淋洗	1.04E+08	1.04E+10	10	1000	1.04E+06	2.34E+09
		Ac-228			1.04E+08	1.04E+10	1	1000	1.04E+05	
		Ra-224			1.81E+07	1.81E+09	10	1000	1.81E+05	
		Pb-212			1.81E+07	1.81E+09	0.1	1000	1.81E+03	
		Bi-212			1.81E+07	1.81E+09	1	1000	1.81E+04	
	半成品库	Th-228	液体	Th-228 分装、发生器组 装	1.81E+07	1.81E+09	10	1	1.81E+08	
		Th-228		Th-228/Ra-224/Pb-212 发生器暂存	3.63E+09	3.63E+11	10	1000	3.63E+07	
		Pb-212			3.63E+09	3.63E+11	0.1	1000	3.63E+05	
		Bi-212			3.63E+09	3.63E+11	1	1000	3.63E+06	
	Ra-224 分离 及发生器组 装区	Ra-224			3.63E+09	3.63E+11	10	1000	3.63E+07	
		Th-228	固体	Th-228/Ra-224/Pb-212 发生器淋洗	1.99E+08	1.99E+10	10	1000	1.99E+06	
		Pb-212			1.99E+08	1.99E+10	0.1	1000	1.99E+04	
		Bi-212			1.99E+08	1.99E+10	1	1000	1.99E+05	
		Ra-224	液体	Ra-224 分装、发生器组 装	1.99E+08	1.99E+10	10	1	1.99E+09	
	Pb-212 分离 及标记区	Ra-224	固体	Ra-224/Pb-212 发生器 淋洗	7.40E+08	1.48E+11	10	1000	7.40E+06	
		Bi-212			7.40E+08	1.48E+11	1	1000	7.40E+05	
		Pb-212	液体	Pb-212 标记、分装	7.40E+08	1.48E+11	0.1	1	7.40E+07	
	质控及放射 性实验室区	Ra-228	液体	质检操作	1.11E+05	1.11E+07	10	1	1.11E+06	
		Th-228			1.81E+04	1.81E+06	10	1	1.81E+05	
		Ra-224			1.99E+05	1.99E+07	10	1	1.99E+06	
		Pb-212			7.40E+05	1.48E+08	0.1	1	7.40E+04	

10.1.6. 辐射防护设计

10.1.6.1. 生产厂房

生产厂房为钢筋混凝土框架结构，除特别说明区域，建筑外墙为 250mm 厚蒸压加气混凝土砌块，楼板采用 200mm 混凝土，隔墙采用 200mm 厚蒸压加气混凝土砌块，GMP 区、质控及实验室区隔墙采用 50mm 厚净化岩棉复合金属壁板。

10.1.6.2. 放射性原料库/成品库/废物库屏蔽设计

生产厂房内的硝酸钍原料暂存间、中间产品库、各半成品库、固废暂存间墙体均采用 250mm 厚实心砖墙。

10.1.6.3. 生产装置屏蔽设计

本项目生产厂房内涉及放射性的生产流程主要在槽罐和密封箱室内进行，各生产装置屏蔽体采用不锈钢，具体参数如下：

表 10-5 生产装置屏蔽设计一览表

生产装置名称（位号）		屏蔽设计
硝酸钍溶解间（1F）		
		4cm 不锈钢
		4cm 不锈钢
浓缩间（1F）		
		3.5cm 不锈钢
		3.5cm 不锈钢
		4cm 不锈钢
		4cm 不锈钢
		5cm 不锈钢
		5cm 不锈钢
		5cm 不锈钢
	5cm 不锈钢	
	4cm 不锈钢	
	1cm 不锈钢	
吸附间（2F）		
		4cm 不锈钢
		3.5cm 不锈钢
		3.5cm 不锈钢
		5cm 不锈钢
		5cm 不锈钢
高液位槽间（3F）		
		4cm 不锈钢
		3.5cm 不锈钢
		3.5cm 不锈钢
		5cm 不锈钢
硝酸钍溶液浓缩及离心间（2F）		

浓缩槽 5（401）		5cm 不锈钢
预过滤间（1F）		
		≥15cm 不锈钢
Ra-226 铅酸浓缩工作箱室（双工位）		
Ra-288 分离间（1F）		
		≥15cm 不锈钢
		10.5cm 不锈钢
GMP 生产区（3F）		
Th-228 分离箱室系统		≥17cm 不锈钢
Ra-224 分离及发生器组装箱室系统		≥10.5cm 不锈钢
Pb-212 分离及标记箱室系统		≥17cm 不锈钢
注：根据设计资料，本项目各工作箱室符合《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的 3 级标准，小时泄漏率不大于 10 ⁻² 。		

10.1.6.4. 硝酸钍原料包装屏蔽设计

本项目外购的放射性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 A 型货包进行包装, 原料货包外表面任一点剂量一般不超过 $500\mu\text{Sv/h}$ 。硝酸钍原料采用圆形桶存储, 规格为 1 吨/桶, 包装桶为带盖圆形不锈钢



10.1.6.5. 中间产品及产品屏蔽设计

本项目各类放射性 (中间) 产品货包拟按《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019) 规定的 II 级 A 型货包进行包装, 包装外表面任一点剂量一般不超过 $500\mu\text{Sv/h}$, 包装屏蔽设计见下表:

表 10-6 中间产品及产品屏蔽设计一览表

(中间) 产品名称	(中间) 产品规格	屏蔽设计

Ra-228/Th-228 发生器	3mCi/台	20mm 铅
Th-228 发生器	0.49mCi/台	20mm 铅
Ra-224 溶液	1、5mCi/瓶, 10mL/瓶	5mm 厚铅罐
Ra-224/Pb-212 发生器	1、5mCi/个	50mm 铅
Pb-212 标记药物	1、5mCi/瓶, 5mL/瓶	15mm 厚铅罐

10.1.7. 辐射安全与防护措施

本项目为非密封放射性物质工作场所，工作人员会受到吸入气溶胶的内照射危害。针对辐射危害，通过采取放射性分区、屏蔽设计、设置辐射监测系统、放射性区域通风系统、出入口管理系统、职业照射监测与管理系统，控制工作人员的辐射剂量，保证工作人员的职业安全。

10.1.7.1. 门禁、监控等安防系统

本项目安全防范设计根据《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）及《城市放射性废物库安全防范系统要求》（HAD 802/01-2017）的规定，在厂区周界、周界出入口、放射源存放部位、危险化学品存放部位及其他相关房间设置安全防范措施。

本项目安全防范系统由周界实体屏障、（安防）保卫值班室、出入口控制系统、入侵报警系统、视频复核及监控系统、电子巡更系统、安保通信系统以及供电系统组成。

（1）视频监控系统：本项目厂区内和生产厂房各放射性工作场所均拟设置视频监控系统，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性物质的安全。其中，厂区视频监控主要对厂区出入口、周界、厂内各建筑物出入口进行监控。放射性工作场所视频监控主要对工作场所人员进出门厅、各放射性生产区、质控和实验室区域、发货厅以及放射性原料、中间产品、产品库房及放射性废物处置间等重要涉放场所进行监控；同时，生产厂房内安防保卫值班室安排有安保人员进行 24h 值守，并采取定期、不定期巡查，确保放射性物质的安全。在安防保卫值班室设置监视大屏、磁盘阵列，接入本项目安全防范专用网络，实现本项目高清网络摄像机监控视频图像的实时监控和存储，储存时间不小于 90d。

（2）门禁控制及入侵报警系统：本项目生产厂房的卫生通过间常服间以及与控制区相邻的过渡间对外门均采用甲级防盗安全门，门外侧均设置门禁刷卡系统，门内侧设置 1 套开门按钮及室内 24 小时入侵探测器，门上设置电磁锁，可监测门的启闭状态，人员进入时需刷卡验证通过。生产厂房内部各放射性区域相通的应急疏散门内侧设置玻

璃破碎按钮，门上设置电磁锁，仅能在火灾应急情况下从内部开启。在安防保卫值班室安装紧急报警按钮，在紧急情况由值班人员手动报警。在安防保卫值班室安装声光报警装置，当本项目入侵探测器被触发报警时，向值班人员发出声光报警。

10.1.7.2. 放射性原料、中间产品、产品库房及放射性废物处置间的控制措施

(1) 本项目购入的硝酸钍原料经生产厂房屋东南角转运间接收后，经检测相关表面污染水平数据并记录后，由 AGV 小车转入生产厂房二层硝酸钍原料暂存间暂存。

(2) 项目 GMP 各生产区设置独立的检测去污间和包装发货间，生产的放射性产品在检测去污间经表面污染水平监测合格后，转入包装发货间包装，根据计划由白区走廊通过专用货梯送至一层发货大厅。

(3) 项目各生产线及涉放实验产生的放射性固体废物由专用容器收集后经固废整备间分类收集整备后暂存于固废暂存间暂存。

(4) 项目硝酸钍原料暂存间、中间产品库、半成品库 1、半成品库 2、样品留样间、标准源库、废液暂存间、废液处理间及固废暂存间均设置视频监控系统，采取双人双锁管理，以确保放射性物质的安全。

(5) 固废暂存间拟设置放射性固废整备、转运及贮存系统，废物桶经检测表面污染水平满足废物送储要求后，由固废转运吊车、多功能废物桶搬运车由转运间送有资质单位处置。

(6) 本项目拟制定放射性同位素台账管理制度，对放射性原料及成品的购入、使用、销售、最终去向等信息进行完整记录并长期保存。拟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。

(7) 本项目拟制定放射性废物存储和处置台账管理制度，对放射性废物的产生、处置和最终去向等信息进行完整记录并长期保存，拟安排专人负责管理。

10.1.7.3. 防火措施

(1) 本项目生产厂房各涉放区域均设置火灾自动报警系统，火灾报警控制器（联动型）设置在消防控制室兼安防保卫值班室，24 小时有人值守。

(2) 放射性原料、中间产品、产品库房及放射性废物处置间内禁止储存易燃、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。

10.1.7.4. 防水、防渗、防泄漏措施

(1) 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。

(2) 各放射性工作场所房间地面进行防水、防渗处理，地面采取易去污、可拆除更换的材料敷设，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、中间产品、产品库房及放射性废物处置间拟由专用密闭容器盛装，容器放置位置离地高度大于 80cm，以便洪涝灾害时及时转移。

(3) 本项目放射性物质均被包容在设备、容器、密封箱室内，本项目各放射性工作箱室拟采用不锈钢材质，四壁夹角之间采用无缝焊接，各箱室密封性均需满足《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T 1096-1999）中 3 级密封箱室要求，即小时泄漏率 $\leq 1.0E-02h^{-1}$ 。密封箱室及各设备容器呼吸阀设置有局排系统，密封箱室负压（相对所在房间）为 200Pa~300Pa，各设备容器所在房间为最大压差，往两边逐级递减，以减少放射性物质向工作场所及周围环境的释放。

10.1.7.5. 出入控制

(1) 出入口设置：本项目设置有人流出入口、物流出入口和应急疏散口，辐射工作场所工作人员经卫生通过间出入口进出。

(2) 人流出入控制：生产厂房一层西北侧设有工作人员出入门厅，进入生产厂房的工作人员必须持有岗位作业卡，经值班人员验证后，方可入内。

(3) 工作人员进入控制区需经各卫生出入口脱家常服，穿工作服，佩戴个人防护用品，进入对应放射性生产区；卫生出入口设置有检测间和去污间，工作人员出放射性生产区时，均需在卫生出入口进行表面污染检查，经表面沾污检测合格后，方可脱工作服，若表面污染水平超标则进行淋浴去污，再经检测合格后方可退出。

(4) 物流出入控制：在物流出入口处，利用 α 、 β 表面污染监测仪和便携式 γ 剂量率仪，对准备转移进或转移出厂房的物料容器或放射性废物桶的表面污染和辐射水平进行检测，并进行数量记录，交接记录等。

10.1.8. 通风设计

10.1.8.1. 气流组织和压差设计

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，本项目生产厂房不同非密封放射性工作场所区域采取实体隔离，出入口处设置空气闸门隔开，且控制不同区域之间的负压，使气流从净风区域到污风区域、从低污染区向高污染区流动，减少放射性物质的扩散，总体设计如下：

(1) 本项目通风系统拟按建筑物内的密封分区进行设计，控制区、监督区拟设置独立的排风系统，便于分区调节，确保负压和换气次数。

(2) 放射性污染区或潜在污染区的设计排风量大于送风量，补风量取来自低污染区或非污染区，以确保厂房内空气流动方向在任何情况下为由非污染区到污染区、由低污染区到高污染区，并设置负压监测。

(3) 为确保可靠的气流流向和负压，与安全相关的通风系统正常运行和事故（包括设计基准事故）工况下都拟分别按预先确定的顺序启动、运行和停止。

(4) 为确保通风系统性能可靠，运行中拟连续或定期地进行检查或监测，与辐射安全相关系统的全部必要功能，在就地和值班室（或控制室）设置适当的监测仪表。

表 10-7 生产厂房负压及排风换气设计

辐射工作场所	区域	压强（相对室外）	换气次数
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	非控制区、控制区相邻过渡间、卫生通过间（常服间、过渡间）	$\geq 0\text{Pa}$	满足舒适性要求
	控制区内走廊以及非放射性原料、产品、废物暂存用途的其他功能用房等	-20Pa	2 次-3 次
	中间产品库、硝酸钍原料暂存间、硝酸钍溶液浓缩及离心间、固废暂存间、废液暂存间、半成品库、废滤芯暂存间	-40Pa	3 次-5 次
GMP 生产区	白区走廊、卫生通过间（一更、二更、进/退气闸间、检测间、去污间等）、各 GMP 区内洁净走廊、生产前区、试剂配制间	$\geq 0\text{Pa}$	满足舒适性要求
	各 GMP 区内外清间、检测去污间、包装出货间、原料外清间、废物暂存间、辅助区走廊等	$\geq -20\text{Pa}$	2 次-3 次
	各 GMP 区生产后区	-40Pa	3 次-5 次
	各 GMP 区箱室内	-300Pa	/
质控及放射性实验室区	非放射性质控和实验室区等非控制区、放射性质控和实验室区卫生通过间（如常服间、一更、二更、气闸等）及质控区无菌室、阳性室	$\geq 0\text{Pa}$	满足舒适性要求
	卫生通过间（如工作服间、检测间、去污间）、放射性质控和实验室区内部走廊及各功能用房	-20Pa	2 次-3 次

10.1.8.2. 排风设计

本项目生产厂房拟设置局排风系统和全面排风系统，新风空调送风系统，见附图 7、附图 8，具体如下：

(1) 局部排风系统：

表 10-8 生产厂房局部排风系统设计

暖通系统	编号	风口位置	暖通设备位置及参数	废气总排风口设置
局部排风系统	JP-5/FJ01	A1	设备名称：离心风机 风量：500m³/h 废气处置设施：酸雾塔（氮氧化物吸附效率 90%） 位置：生产厂房屋面	生产厂房屋面西北侧 DA001 排气塔
	K-201/JP-2	A2	设备名称：离心风机 风量：1000m³/h 废气处置设施：酸雾塔 位置：生产厂房三层排风机房	生产厂房屋面西南角 DA002 排气塔
	K-401/JP-1	A3	设备名称：离心风机 风量：1000m³/h 废气处置设施：酸雾塔 位置：生产厂房三层排风机房	
	K-201/JP-1	A4	设备名称：离心风机 风量：2000m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
	J-301/JP-1	A5	设备名称：离心风机 风量：500m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
	J-302/JP-1	A6	设备名称：离心风机 风量：500m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
	J-303/JP-1	A7	设备名称：离心风机 风量：500m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
	J-304/JP-1	A8	设备名称：过滤离心风机箱 风量：500m³/h 废气处置设施：空气过滤器 位置：生产厂房屋面	生产厂房屋面西北侧 DA003 排气口
	J-305/JP-1	A9	设备名称：过滤离心风机箱 风量：500m³/h 废气处置设施：空气过滤器 位置：生产厂房屋面	生产厂房屋面西北侧 DA004 排气口
	J-306/JP-1	A10	设备名称：过滤离心风机箱 风量：500m³/h 废气处置设施：空气过滤器	生产厂房屋面西北侧 DA005

				位置：生产厂房屋面 设备名称：过滤离心风机箱 风量：500m³/h 废气处置设施：空气过滤器 位置：生产厂房屋面	排气口 生产厂房屋面西北侧 DA006 排气口
J-307/JP-1	A11				
(2) 全面排风系统：					
表 10-9 生产厂房全面排风系统设计					
暖通系统	编号	风口位置	暖通设备位置及参数	废气总排风口设置	
全面排风系统	K-201/P-1	B1	设备名称：离心风机 风量：15000m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	生产厂房屋面西南角 DA002 排气塔	
	K-301/P-1	B2	设备名称：离心风机 风量：13000m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房		
	K-401/P-1	B3	设备名称：离心风机 风量：11000m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房四层排风机房		
	K-401/P-2	B4	设备名称：离心风机 风量：6500m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房		
	K-202/P-1	B5	设备名称：离心风机 风量：12700m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房		
	K-302/P-1	B6	设备名称：离心风机 风量：10800m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房		
洁净排风系统	J-307/P-1	B7	设备名称：离心风机箱 风量：1800m³/h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房		
	J-306/P-1	B8	设备名称：离心风机箱 风量：1800m³/h		

			废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
J-301/P-1			设备名称：离心风机箱 风量：7200m ³ /h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
J-302/P-1	B9		设备名称：离心风机箱 风量：7200m ³ /h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	
J-303/P-1			设备名称：离心风机箱 风量：7200m ³ /h 废气处置设施：高效过滤器 位置：生产厂房三层排风机房	

(3) 5套普通送风系统：分别为硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区浓缩间、吸附间、高液位槽间、硝酸钍溶解间、发生器回收处理间等送风（送风量 12700m³/h，送风机组设于二层排风机房）、硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区硝酸钍原料暂存间和硝酸钍溶液浓缩及分离间送风（送风量 10800m³/h，送风机组设于二层排风机房）、硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区其余区域送风（送风量 11000m³/h，送风机组设于三层送风机房）、质控及放射性实验室区送风（送风量 15000m³/h）、排风机房和预留排风机房送风（送风量 15200m³/h，送风机组设于四层送风机房），均采用组合式空调机组。

(4) 7套洁净送风系统：分别为非放射性质控区阳性室送风（送风量 2000m³/h）、非放射性质控区无菌室送风（送风量 2000m³/h）、放射性质控区阳性室送风（送风量 2000m³/h）、放射性质控区无菌室送风（送风量 2000m³/h）、GMP 生产区 Th-228 分离区送风（送风量 8000m³/h）、GMP 生产区 Ra-224 分离及发生器组装区送风（送风量 8000m³/h）、GMP 生产区 Pb-212 分离及标记区送风（送风量 8000m³/h），均采用组合式空调机组，其中放射性质控区阳性室和无菌室送风机组拟设置在生产厂房 4 层送风机房，其余送风机组拟设置在生产厂房 3 层送风机房。

10.1.9. 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、辐射工作人员个人防护等措施。

①生产原料外面的辐射水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的相关要求，原料送达后采用 AGV 小车（即自动导向搬运车）以及机械设备实现原料自动出库、投料、入库。

②非密封放射性物质的操作均在密闭的生产槽罐、和屏蔽工作箱室内进行。生产槽罐采用机械化自动控制，无需近室操作。屏蔽工作箱室均设计有机械手和（或）手套操作孔，通过窥视窗用机械手或铅手套操作放射性物质。屏蔽工作箱的屏蔽设计可使操作人员所在的操作前区的辐射水平满足辐射防护设计要求。

③生产的中间产品和产品采用专用防护容器包装，产品包装容器的屏蔽设计在额定装载量情况下，铅罐外面的辐射水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的相关要求。

10.1.10. 辐射监测系统

（1）辐射水平监测：拟配置 2 台便携式长杆 γ 剂量监测仪、2 台便携式 γ 剂量监测仪，用于正常情况以及检维修工况下对工作场所、设备、物品的 γ 辐射剂量率监测。同时，拟在生产厂房涉放区域及内部走廊设置区域低量程 γ 监测系统，用于实时监测辐射工作场所内 γ 辐射水平。

（2）表面污染监测：拟在生产厂房硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区、GMP 区各生产区、质控和实验室区卫生通过间检测间分别设置手脚污染监测装置，共 6 台，用于工作人员进出辐射工作场所的手脚等表面污染监测；此外，拟配置 2 台便携式 α 、 β 表面污染监测装置，用于正常工况、检维修工况和事故工况下辐射工作场所内的人员、物品和场所的表面污染监测。

（3）气溶胶取样装置：生产厂房拟设置 1 套气溶胶连续监测装置和 1 台氡连续测量仪，并在控制区内用房设置固定式气溶胶取样装置。

（4）个人剂量监测：拟为每名辐射工作人员配置 1 套电子式个人剂量计（报警仪），用于各辐射工作场所工作人员实时外照射剂量监测和报警；为每名辐射工作人员各配置 1 套热释光个人剂量计，用于工作人员累积外照射剂量监测，并按照每 3 月一次，每年 4 次频次由专人负责发放和收集，定期委托有资质单位开展测量。

（5）流出物取样和监测：拟在生产厂房三层工艺大厅全排机房（即“排风机房”）

安装 1 台非放气体监测装置、1 台流出物在线检测装置。

(6) 监测数据的记录与保存：本项目各在线辐射监测数据拟传输至生产厂房中央控制室 DCS 系统，以实现辐射监测数据的远程查看。自主监测数据拟建立辐射监测台账由专人保存。

表 10-10 本项目拟配置的主要监测设备一览表

序号		设备名称	单位	数量
1	辐射水平监测	区域低量程 γ 监测系统	套	1
2		便携式长杆 γ 剂量监测仪	台	2
3		便携式 γ 剂量监测仪	台	2
1	表面污染监测	α 、 β 表面污染监测仪	台	2
2		手脚污染监测装置	台	6
1	空气污染监测系统	气溶胶连续监测装置	套	1
2		钍射气连续监测装置	台	1
3		固定式气溶胶取样装置（就地取样）、（管道取样）	套	1
4		排风系统气溶胶取样装置	套	1
5		移动式气溶胶取样装置	台	2
6		低本底 α 、 β 测量仪	台	1
1	个人剂量监测	个人剂量计报警仪	台	22
2		热释光监测系统（个人剂量计）	/	外委，按 1 个/人配置
3		剂量用品柜	套	1
1	流出物在线监测	流出物在线监测装置	台	1
2		非放气体监测装置	台	1

10.1.11. 辐射安全与管理措施符合性分析

本项目符合《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）要求，具体分析如下：

表 10-11 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	是否符合
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分	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。	本项目拟在控制区和监督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。	本项目放射性药物生产、实验和质检等操作均安排在通风橱、工作箱或手套箱内进行。	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，且在手套箱内。	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液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，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液。 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。	本项目设计有放射性废液暂存罐及废水处理系统，处理达标且监测后再排放。	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。	本项目在生产厂房设置有固体废物暂存库，固废经暂存衰变至解控水平后作为一般固废处置。	符合

10.1.12. 环保投资

项目总投资 [REDACTED] 其中环保投资 [REDACTED] 占比 11.5%，项目环保投资估算表见下表：

表 10-12 项目环保投资估算表

项目		内容	投资金额(万元)
环境保护与安全措施	辐射防护措施	工艺设备防护、产品防护、工作场所防护、个人防护用品等	[REDACTED]
	辐射安全措施	分区管理、安全防范系统、电离辐射警告标志、场所辐射监测系统、其他污染控制措施等	
	气载废物处理措施	施工期废气治理，营运期工作场所、生产线各工艺设备通风系统及其废气处置设施等	
	液体废物处理措施	施工期废液处置，营运期放射性、非放射性废液收集、转移、处理设施	
	固体废物处理设施	施工期固废处置，营运期放射性、非放射性固废收集、转移、处理、贮存设施	
环境保护	环境保护与安全	环境保护管理规定大纲及应急预案、操作规程等	[REDACTED]

与安全管理	全管理	安全管理制度的制定、执行、修订	
	人员培训	工作人员岗前培训、日常培训	
	职业健康管理	个人剂量监测、职业健康检查	
环境监测	仪器设备	辐射监测系统、表面污染测量系统、流出物在线监测系统采购、定期检定、维护	
	委托监测	委托有资质单位定期对工作场所及周围环境进行环境监测	
应急措施	应急物资	应急和救助的装备、物资等	
	应急演练	定期开展事故应急演练	
退役专项经费		项目服务期满后退役相关费用	
		环保投资合计	

10.2. 服务期满后的环境保护措施

10.2.1. 设计阶段对退役实施的考虑

(1) 为保证项目服务期满后（退役后）顺利开展退役工作，建设单位将为本项目的退役设立专项资金账号，退役经费取项目总投资的 1%，专款专用，由财务总监管理。

(2) 在可能被污染的区域尽可能使用光滑、无缝和非吸附性的表面和地面，和/或可除去或可剥离的涂料。

(3) 可能污染的系统和设备，要求预留足够的空间，以便于就地去污和方便拆除作业。

10.2.2. 退役环保措施

项目服务期满前（退役前），公司成立的辐射安全与环境保护管理机构负责项目退役前、退役中以及退役后的辐射安全管理工作。退役前，建设单位需根据要求编制退役方案，并在正式开展退役活动前编制退役环境影响评价，并取得生态环境主管部门许可后才能正式按照方案实施退役活动；退役过程中，公司将编制源项调查报告，实施退役工程；退役后，公司将按照相关法律法规要求，开展项目退役验收工作。未依法完成退役工作的区域，其场址涉嫌放射性污染的，不允许对公众开放，也不得随意进行建筑的拆除或将该场址用作其他用途。

10.3. 三废的治理

10.3.1. 废水

10.3.1.1. 放射性废水

(1) 放射性废水处理方案

根据工程分析可知，拟依据废水产生途径及其放射性活度水平等将放射性废水分为

放射性生产废水和含放射性清洗废水两类分类收集处置。

①放射性生产废水：本项目拟采用蒸发法处理放射性生产废水，生产废水经放射性生产废液储罐收集后定期转入放射性废液处理系统的桶内干燥站进行蒸发浓缩，转化成放射性蒸发残渣（废盐）后作为放射性固体废物处置，蒸发过程产生的蒸汽经冷凝后回用于硝酸钍溶解工序。

参考《压水堆核电厂放射性废液处理系统设计准则》（NB/T20619-2021），针对不含碘的放射性废液，蒸发处理方案的去污因子为：1000（不含洗涤液的废液）和 100（含洗涤液的废液），即经蒸发浓缩后，99.9%的放射性核素均富集于蒸发残渣（废盐），仅 0.1%随蒸汽冷凝后回用于生产，不外排。

②含放射性清洗废水：正常工况下，含放射性清洗废水中核素含量基本可忽略，拟采用生活废液储罐收集后定期进行取样检测，经检测达标后（总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）方可排入企业废水处理系统（化粪池）进行外排，检测不达标则排入放射性废液处理系统进行处置。

本项目放射性废水处理方案如下：

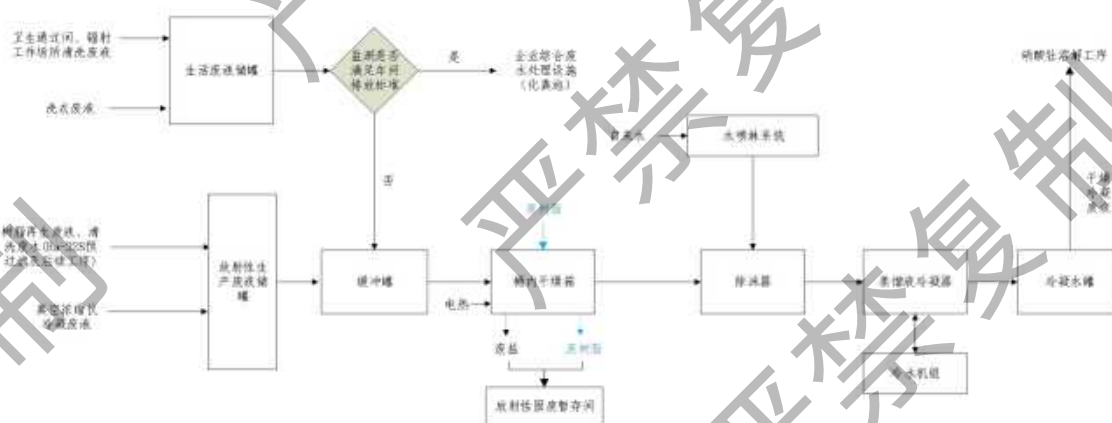


图 10-1 本项目放射性废水处理流程图

（2）放射性废水收集、处理能力合理性分析

本项目放射性废水采取分区、分类收集处理方式，其中：

①放射性生产废水由防护工作箱体内配置的专用废液收集容器临时收贮后，采用防护转运小车将废液收集罐转移至废液处理间 2，由密封废液倒液口排入放射性生产废液储罐内暂存，定期转入废液处理间内放射性废液处理系统的桶内干燥站进行蒸发浓缩处

置。本项目各工作箱室内拟分别配置容量不小于 5L 的不锈钢废液收集罐，废液暂存间内拟设置 2 个 3m^3 的放射性生产废液储罐（1 用 1 备）。根据前文污染源项分析可知，本项目各箱室放射性生产废水单次最大产生量约 4.5L，放射性生产废水年产生量约 0.51m^3 ，则项目配置的废液收集罐容积满足单批次废液临时收贮需要，即单个放射性生产废液储罐最大可储存约 5.88 年的放射性生产废水。正常工况下，本项目拟每年集中处置 1 次放射性生产废液，放射性废液处理系统桶内干燥站的干燥能力为 8L/h ，根据计算放射性废液处理系统桶内干燥站运行 63.34h（约 2.64d）即可完成废液处置。

按照最不利情况，考虑含放射性清洗废水检测不达标需排入放射性废液处理系统，即每年约 30.31m^3 废水需进行处置。按 24h/d ， 300d/a 满负荷运行考虑，放射性废液处理系统桶内干燥站的处理能力最大为 $57.6\text{m}^3/\text{a}$ ，满足废水处置要求。

②含放射性清洗废水由废水产生点下水管直接接入生活废水储罐，本项目拟在废液暂存间内设置 2 个 5m^3 的生活废液储罐（1 用 1 备）。根据前文污染源项分析可知，本项目放射性生活废液年产生量为 29.8m^3 ，即单个储罐最大可储存约 2 个月的废水。

综上，本项目放射性废水处理方案可行，放射性废液收集容器设计容量、处理设施处理效率均满足放射性废水处置要求。

（3）废水的排放及管理要求

综上，本项目仅涉及含放射性清洗废水的排放，最大排放量为 $5\text{m}^3/\text{次}$ ，单次排放时间约 1 小时，即排放流量为 $5\text{m}^3/\text{h}$ ，厂区普通废水管道排放流量按照 $150\text{m}^3/\text{h}$ 进行设计，大于含放射性清洗废水排放流量的 10 倍，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

同时，本项目放射性废水在排放前，本环评还要求建设单位根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，做到以下几点：

- ①废液经监测达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）规定，即总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 。
- ②经审管部门确认
- ③每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\text{min}}$
- ④每一次排放的活度不超过 1ALI_{min} ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进

行冲洗。

10.3.1.2. 非放射性废水

(1) 厂区综合废水处理方案

根据前文污染源项分析可知，本项目综合废水主要是生活废水，清净废水，主要污染因子为 COD、氨氮等，综合废水排放量约 $808.925\text{m}^3/\text{a}$ 。本项目拟在厂区西北侧地下设置采用 2 座 75m^3 化粪池，化粪池总容积为 150m^3 ，最大可以暂存约 2.2 月的综合废水

因项目建设用地周边当前无市政污水管网，建设单位拟每 2 个月委托吸污车对化粪池进行清理，对企业影响有限，化粪池容积设计合理可行。

(2) 依托污水处理厂可行性分析

由于本项目周边未接入市政污水处理管网，故本项目综合废水拟定期清运至白沙洲铜桥港污水处理厂进行处理。

铜桥港污水处理厂位于塑田村一组幸福河北岸，距离本项目较近，其设计污水处理规模 10万 t/d ，其中一期工程为 5万 t/d ，一期工程已于 2010 年 5 月建成试运行。2017 年 5 月铜桥港污水处理厂在一期基础上进行了提质改造，增加了 $5\text{万 m}^3/\text{d}$ 的常规处理能力，形成 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ 的深度处理能力和 $6\text{万 m}^3/\text{d}$ 的中水回用，目前，污水处理厂采用“预处理+A2/O 生化池+二沉池+絮凝沉淀池+V 形滤池+二氧化氯消毒工艺”，污水排放水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准。

本项目综合废水排放量为 $808.925\text{m}^3/\text{a}$ （约 $2.696\text{m}^3/\text{d}$ ），约占该污水处理厂处理规模的 0.03% ，占比较小，且本项目建设单位已与铜桥港污水处理厂签订污水外运意向协议，总体而言，本项目综合废水进入铜桥港污水处理厂可行。

10.3.2. 废气

10.3.2.1. 放射性废气

(1) 废气处理方案

本项目放射性废气处理方案如下：



图 10-2 放射性废气处理工艺流程图

(2) 可行性分析

根据后文分析，本项目放射性废气经处置后排放，排放的放射性核素沉降后造成的对公众的剂量满足本项目剂量限值要求，可以认为本项目废气处理装置设置合理。建设单位应该严格落实通风系统过滤装置性能的检测和维护，按要求定期更换活性炭，更换下来的废活性炭按照放射性固体废物进行处理。

10.3.2.2. 非放射性废气

(1) 废气处理方案

本项目放射性废气主要为硝酸雾废气（氮氧化物）和 NMHC。

硝酸雾废气（氮氧化物）拟采用碱液喷淋法进行处理，属于喷淋塔中和法，参考《排污许可证申请与核发技术规范 电镀工业》（HJ855—2017）表 2 可知，该处理工艺属于可行性技术，参考《污染源源强核算技术指南 电镀》（HJ984-2018），附录 F，采用喷淋塔中和法去除氮氧化物，去除效率参考值 $\geq 85\%$ 。

根据前文污染源项分析可知，本项目 NMHC 产生速率为远低于 2kg/h ，且外排 NMHC 浓度可以满足《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）的要求，故本项目有

机废气经收集后由引风机抽至屋顶排放口直接排放。

项目非放射性废气处理方案如下：

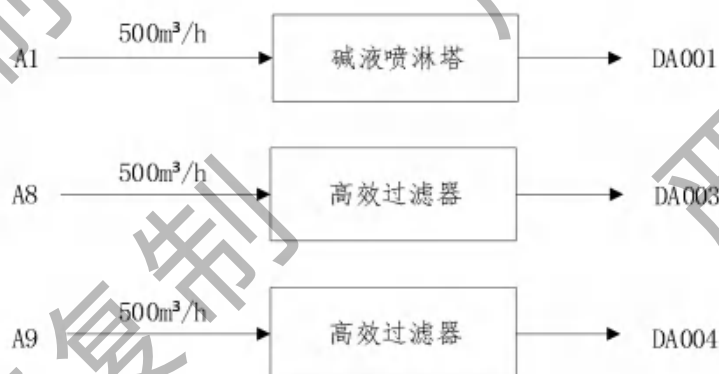


图 10-3 非放射性废气处理工艺流程图

(2) 可行性分析

根据后文分析，本项目氮氧化物和 NMHC 经收集处置后可达标排放，污染物排放浓度分别为《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）和《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）中相关排放限值要求。本项目废气处理装置设置合理。

10.3.3. 固废

10.3.3.1. 放射性固废

(1) 收集及整备

①预处理间、Ra-228 分离间以及 GMP 生产区各箱室/工作场所内各设置 1 个含 10mm 铅的 3.5L 不锈钢桶，收集生产过程中产生的放射性固体废物。

②放射性质检及实验室内各设置 1 个含 5mm 铅的 3.5L 不锈钢桶，用于收集实验过程中产生的放射性固体废物。

③放射性固废转运及贮存系统：包括 1 台 1 吨的固废转运吊车（电动单梁悬挂吊车，含 200L 桶吊具），起升高度 6m，跨度 5.5m；废过滤器芯转运吊车（电动单轨葫芦），起重量 1 吨，起升高度 9m；多功能废物桶搬运车，额定载重量 500kg，提升高度 600mm。

④放射性固废整备系统：1 套废物整备手套箱，手套箱内包括进料舱室、分拣作业工位、液压剪作业工位、往复锯作业工位、压缩及出料工位；带废物压缩装置，处理能力 30kg/h；带废物切割装置，切割厚度不低于 10mm。

(2) 暂存衰变至清洁解控的可行性

①GMP 生产区标记余液：主要为含 Pb-212 的放射性废液，产生量为 $1.85\text{E}+8\text{Bq/次}$ 、 $3.70\text{E}+10\text{Bq/a}$ (0.002t/a)。Pb-212 的半衰期仅为 10.64 小时，可通过自然衰变使放射性核素活度浓度达到解控水平。本项目含 Pb-212 的标记余液拟采用 3L 的废液容器收集，暂存衰变至解控水平，且经检测满足清洁解控要求后作为非放射性固废处置。根据计算，3L 废液容器最大可存放约 300 批次废液，即最多可存放约 1.5 年的 Pb-212 标记余液。根据分析，即使不考虑废液收集过程中核素的衰变，标记余液存放 10 天后，其中 Pb-212 的放射性活度已远低于 GB18871-2002 中 Pb-212 的免管活度 $1.0\text{E}+5\text{Bq}$ 、免管活度浓度 $1.0\text{E}+1\text{Bq/g}$ 。

表 10-13 Pb-212 标记余液衰变

核素	暂存衰变天数 (d)					
	0	5	10	15	20	30
Pb-212 放射性活度 (Bq)	$5.55\text{E}+10$	$2.23\text{E}+07$	$9.00\text{E}+03$	$3.62\text{E}+00$	$1.46\text{E}-03$	$2.37\text{E}-10$
Pb-212 放射性比活度 (Bq/g)	$1.85\text{E}+07$	$7.43\text{E}+03$	$3.00\text{E}+00$	$1.21\text{E}-03$	$4.87\text{E}-07$	$7.90\text{E}-14$

②回收 Ra-224/Pb-212 发生器活性部件：主要为含 Ra-224 及其子体的吸附柱、管线等，产生量为 $1.85\text{E}+8\text{Bq/批次}$ 、 $1.48\text{E}+9\text{Bq/a}$ (10kg/批次 ， 120kg/a)，其中 Ra-224 的半衰期最长，为 3.66 天，可通过自然衰变使放射性核素活度浓度达到解控水平。本项目回收 Ra-224/Pb-212 发生器活性部件拟收集整备后转入固废暂存间暂存衰变至解控水平，且经检测满足清洁解控要求后作为非放射性固废处置。根据分析，每批次 Ra-224/Pb-212 发生器废活性部件存放衰变 40 天后，其中 Ra-224 的放射性活度已低于 GB18871-2002 中 Ra-224 的免管活度 $1.0\text{E}+5\text{Bq}$ 、免管活度浓度 $1.0\text{E}+1\text{Bq/g}$ 。

表 10-14 Ra-224/Pb-212 发生器废活性部件衰变

核素	暂存衰变天数 (d)					
	0	10	15	20	30	40
Ra-224 放射性活度 (Bq)	$1.85\text{E}+08$	$2.78\text{E}+07$	$1.08\text{E}+07$	$4.19\text{E}+06$	$6.31\text{E}+05$	$9.49\text{E}+04$
Ra-224 放射性比活度 (Bq/g)	$1.85\text{E}+04$	$2.78\text{E}+03$	$1.08\text{E}+03$	$4.19\text{E}+02$	$6.31\text{E}+01$	$9.49\text{E}+00$

(3) 固废暂存间设置的合理性

本项目产生的固废经收集后送固废暂存间进行暂存，其收集暂存情况如下：

表 10-15 固废收集暂存情况

序号	放射性固废名称	产生量	收集情况	存放情况
1	废树脂	12.79t/a	55 个 200L 废物桶	至放射性固废暂存间暂存，定期交有资质单位处理 达到清洁解控标准后及时解控
2	放射性生产废水蒸发残渣	0.2085t/a	1 个 200L 废物桶	
3	废 Ra-224/Pb-212 发生器活性部件	0.5t/a	2 个 200L 废物桶	
4	生产工艺标记余液	0.002t/a	1 个 5L 的废液收集桶	
5	质控废液	0.15t/a	1 个 200L 废物桶	至放射性固废暂存间暂存，定期交有资质单位处理
6	控制区质控及实验室废物	0.06t/a	3 个 200L 废物桶	
7	控制区劳保用品	0.2t/a	1 个 200L 废物桶	
8	控制区通风过滤滤芯	1t/a	5 个 200L 废物桶	

由上表可知，本项目放射性固废暂存间 1 年最多新增 65 个 200L 废物桶，本项目固废暂存间共设置固废桶暂存位 430 个，可以满足放射性废物暂存 5 年的要求，本项目放射性废物暂存间规模设置是合理可行的。

10.3.3.2. 危险废物

(1) 本项目拟设置的危险废物暂存间位于研发楼 1 层，不占用生产厂房用地区域，便于危险废物的暂存转运，此外本项目所在地地质结构稳定，危废暂存间底部高于地下水最高水位，不易遭受严重自然灾害影响。因此，危废暂存间选址可行。

(2) 本项目危险废物暂存间采用防渗混凝土，渗透系数 $\leq 10^{-10}$ 厘米/秒，暂存间设置具有泄漏收集功能的托盘，暂存间满足防腐、防渗、防雨淋的要求，在严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）做好运行管理的前提下，本项目危险废物对环境的影响较小。

表 10-16 本项目危废暂存间基本情况如下

序号	贮存场所名称	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	位置	占地面积	贮存方式	贮存能力	贮存周期
1	危废暂存间	树脂预处理蒸发残渣	HW11	900-013-11	研发楼 1 层	5m ²	桶装	最大为 0.2t	1 年
		非放射性实验室及质控室废液	HW49	900-047-49			袋装	最大为 0.2t	1 年
		非放射性实验室及质控室废化学试剂	HW49	900-999-49			袋装	最大为 0.2t	1 年
		非放射性实验室及质控室其	HW49	900-047-49			袋装	最大为 0.2t	1 年

		他沾染性废物							
		非放射性劳保用品	HW49	900-041-49			袋装	最大为0.2t	1年

10.3.3.3. 一般固废

本项目拟设置的一般固废暂存间位于研发楼1层，不占用生产厂房用地区域，便于一般固废的暂存转运，一般固废暂存严格按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB1859-2020）的要求进行设计施工，一般固废收集后尽量回收利用，不能回用的交废品收购站处理，对环境的影响较小。

10.3.4. 放射性废物治理与法律法规符合性

本项目放射性三废的预处理、处理、整备、贮存满足《放射性废物安全管理条例》、《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-89）、《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）的要求，符合性分析如下：

表 10-17 与《放射性废物安全管理条例》符合性分析

条例要求	本项目情况	是否符合
核技术利用单位应当对其产生的不能经净化排放的放射性废液进行处理，转变为放射性固体废物。 核技术利用单位应当及时将其产生的废旧放射源和其他放射性固体废物，送交取得相应许可证的放射性固体废物贮存单位集中贮存，或者直接送交取得相应许可证的放射性固体废物处置单位处置。	本项目桶内干燥站对放射性废液进行处理，转变为放射性固体废物 本项目将放射性固废暂存衰变达到清洁解控水平后按常规工业废物进行处理；如经过暂存衰变后无法达到解控水平则暂存期满后委托具有处理资质的公司进行处理	符合

表 10-18 与《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-89）符合性分析

标准要求	本项目情况	是否符合
废物暂时贮存管理目标是依靠屏障隔离和严格管理，防止放射性物质以不可接受的量释放到环境中，保证公众及职业人员受到的照射不超过相应的剂量当量限值，并保持可以合理达到的尽可能低的水平	本项目放射性固废暂存库的屏蔽设计以满足公众及职业人员受到的照射不超过相应的剂量当量限值为基础，并遵循辐射防护最优化的原则	符合
凡产生放射性固体废物的实践，皆应建立相应的废物暂时贮存设施	本项目设置放射性固废储存设施	符合
废物暂时贮存服务于废物最终处置。	本项目放射性固废储存设施服务于废物最终处置	符合
废物暂时贮存贯彻分类收集、定型	本项目设置2处放射性固废储存场	符合

	包装、安全运输、集中暂存、建立档案、监测管理、限期转运处置等基本原则。	所,并采取一系列措施,确保满足分类收集、定型包装、安全运输、集中暂存、建立档案、监测管理、限期转运处置等基本原则	
	暂时贮存的废物必须在包装和贮存方式上保证其在规定的暂存期内可完整回取。	放射性固废采用桶装或袋装,储存在专用的暂存空间处,可以满足其在规定的暂存期内可完整回取的要求	符合
	在确保安全的同时,要采取有效措施提高废物暂时贮存和最终处置的经济性	本项目放射性固废暂存间确保在安全的前提下,满足废物暂时贮存和最终处置的经济性的要求	符合
	废物暂时贮存期为五年	本项目放射性废物最大暂存周期为5年,为达到清洁解控标准的放射性固废交有资质的单位处理	符合
暂存设施	废物暂时贮存设施除满足放射性设施的有关要求外,并要求废物暂时贮存设施空间利用率高,内存废物可回取、管理方便.并具备必要的抗御意外灾害的能力。	本项目放射性固废暂存间占地面积为107.8 m ² ,内存废物回取、管理方便、暂存间具备抗御意外灾害的能力	符合
	废物暂时贮存设施应采取措施,防止以任何方式向环境带出或泄漏超过相应限值的放射性物质,必要时废物暂时贮存设施须设置相应的排风过滤系统、剂量监测仪表、去污器具及放射性废物净化或固化装置。	本项目放射性固废暂存间设计有实体屏蔽,各出入口拟安装门禁系统,房间内拟设置监控、排风过滤系统、固定式剂量监测系统等,可防止放射性废物向环境泄漏	符合
	为尽可能减少管理和操作人员的受照剂量,废物暂时贮存设施应有合理的区域划分,配置可靠的废物装卸、运输工具。	本项目放射性固废暂存间位于控制区II区,配置了固废转运吊车、多功能搬运车等装卸、运输工具	符合
	必要时应采取有效措施,设置相应的废物减容,包装调整等处理手段,提高暂存设施的经济效益	废树脂、桶内干燥站废盐、GMP实验室固废、控制区废劳保用品等采用200L钢桶暂存后放在暂存间,暂存间设置了废物压缩装置,可以提高暂存设施的暂存能力	符合
运行管理	废物暂时贮存设施的管理人员和操作人员按从事放射性工作人员对待设立专(兼)职人员负责放射防护和环境保护工作。	设置兼职的放射性固废暂存间管理人员,并按照辐射工作人员进行管理	符合
	废物暂时贮存设施运行过程中严格控制收贮废物的放射性比活度不超过设施的防护能力,废物重量及外	拟按照规范要求严格落实	符合

	形尺寸不超过装卸运输能力，所贮存放射性物质总量不超过设计限值的要求。		
	废物暂时贮存设施管理人员应认真做好废物暂时贮存全过程中每一环节的管理工作。	拟按照规范要求严格落实	符合
废物的准运和处置	放射性固体废物在暂存贮存设施内存放至豁免值以下的废物，经检测核实后经主管部门及生态环境部门批准，可作工业废物妥善处理或有限制回收利用。	暂存衰变达到清洁解控水平后按常规工业废物进行处理；如经过暂存衰变后无法达到解控水平则暂存期满后委托具有处理资质的公司进行处理	符合
	放射性固体废物在暂时贮存设施内预定存放期满，其放射性比活度仍在豁免值以上应在国家规定的期限内，将废物转运、处置。		符合

表 10-19 与《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）的符合性

标准要求		本项目情况	是否符合	
预处理（废物处理前的一种或全部的操作，如收集、分拣、化学调制和去污等）	应分类收集放射性废物与非放射性废物、长寿命放射性废物（包括高放废物和α废物）与短寿命放射性废物、可燃废物与不可燃废物、可压实废物与不可压实废物，以避免混杂和交叉污染，简化废物的进一步处理或处置。	本项目拟将产生的废物分类收集，避免混杂和交叉污染	符合	
	收集和分拣操作一般应在专用的设施或设备中进行，并配有必要的通风、防护、检测和监督手段，以减少对工作人员的照射，防止污染扩散。	本项目废物的收集分拣均在专用的容器内进行，或采用机器人进行操作以减少对工作人员的照射	符合	
	应尽量把免管废物、极低放废物和可供再循环、再利用的物料从废物流中分拣出来，以减少废物的处理和处置量。	本项目拟对收集的废物进行进一步分拣，以减少废物的处理和处置量	符合	
	化学调制和去污应符合 8.2 的要求，控制废物的成分和产生量，并满足后续步骤（处理、整备、运输、贮存和处置）的要求。	对于放射性污染地面墙面，本项目优先进行去污，再进行清理，以减少放射性废物的产生量	符合	
	应采取专门措施收集和保存被放射性污染的动物尸体或器官组织，以及其他生物和医疗废物，以防止腐烂和病菌传染。	不涉及	符合	
处理（为了安	废气 的处理	10.2.1.1 应根据放射性废气的特性（如物理和化学特性，放射性核素种类和活度浓度、有机物浓度、气溶胶浓度、含尘量、含湿量、酸碱度	本项目采用喷淋法及高效过滤器去除放射性废气，满足安全、合理、高	符合

全或经济目的而改变废物特性的操作，如衰变、净化、浓缩、减容、从废物中去除放射性核素和改变其组成等。但不包括废物的固定。）		和温度等）和排放限值选择合适的处理工艺（如过滤、吸附和洗涤等），采用安全、高效、二次废物量少和经济的方法和设备。	效、经济等要求	
		为防止污染扩大，应合理组织工艺废气处理系统和放射性工作区通风系统的气流走向，并保持一定的负压和/或换气次数。	本项目设置合理的气流组织，确保满足规范要求	符合
		对从事开放性操作、产生粉尘的操作和超铀元素操作的工作箱、设备室或区域应考虑分别设置独立的排风处理系统，或净化后并入总的排风系统，以防交叉污染和影响通风系统的正常运行	各箱室设置独立排放，并接入总排风系统，系统设置止逆阀防止交叉污染等	符合
		在进行可能引起污染的检修、去污、拆卸操作和发生事故的场所，应考虑设置临时排风装置的可能性。	对于引起污染的检修、去污、拆卸操作和发生事故的场所，设置了全排风系统，并在系统末端设置了相应的过滤装置	符合
		在可能存在易燃易爆气体的地方应设置必要的防火、防爆装置。	设置有	符合
		过滤器、吸附器、洗涤器等要定期检查其净化效率和压力降，并及时更换净化介质或部件	后续将定期更换高效过滤器等设备，确保处理效率满足设计要求	符合
	废液的处理	应根据放射性废液的特性（如物理和化学特性、放射性核素种类和活度浓度、有机物含量、含盐量、悬浮物含量、酸碱度等）和排放限值选择合适的处理工艺（如蒸发、离子交换、膜技术、絮凝沉降、吸附、过滤、离心分离等），采用安全、高效、二次废物量少和经济的方法与设备。	本项目采用蒸发法处理放射性废水，属于安全、高效、二次废物量少和经济的方法与设备	符合
		应合理分类处理不同的放射性废液（如高、中、低放废液，有机与无机废液，工艺与非工艺废液等），以防系统交叉污染、增加处理和整备的复杂性、增加维修和检查的困难。	本项目将放射性废物进行分类收集处理，本项目有机废液做放射性固废处理	符合
		当采用蒸发法净化处理放射性生产废液时，应考虑限制蒸发器加热介质的温度，并设置防爆装置。高放浓缩液接受槽应考虑设置冷却装置和采取防核临界措施。	本项目蒸发器设置了防爆装置，设置了冷凝装置以冷却蒸发废水，本项目不涉及核临界相关内容	符合
		当采用热解焚烧或湿法氧化法处理有机废液时，应考虑设置防火、防爆装置	不涉及相关内容	符合
		从废液中回收易裂变材料时，应考虑核临界安全问题	不涉及相关内容	符合
		应考虑经过处理后净化水复用的可能性及其复	不涉及相关内容	符合

		用的范围，净化水系统应单独设置，并予严格检验和控制使用。		
		应从系统、设备、管道、阀门与管件、焊接与安装、维修等各方面加强管理，防止发生放射性废液污染事故。	拟严格按照要求进行设计施工	符合
	固废的处理	应根据放射性固体废物的特性（如物理、化学和生物特性、放射性核素和活度浓度等）和后续整备、贮存、运输或处置的要求、选择合适的处理工艺，采用安全、高效、二次废物量少、包容性好和经济的方法和设备。	本项目放射性固废分类收集，进行整备后集中贮存，满足清洁解控的及时解控做非放射性固废处理，不能满足要求定期送有资质单位处理	符合
		对固体废物采用焚烧减容处理时，应根据废物特性（如化学成分，热焓、含水率、密度、不可燃物含量等）选择合理的炉型和操作条件，保证燃烧完全，防止炉内架桥、炉篦堵塞和产生有毒物或易爆物。 焚烧系统应设置防火、防爆装置，并设有完善的排气净化系统，并保证排入大气的放射性及其他有害物质低于审管部门规定的限值。 应根据焚烧灰渣的特性对其作进一步处理。应考虑回收其中有用的物质，或直接进行固定、熔融，或暂存在可靠的密封容器内，待整备后送废物处置场处置。	不采用焚烧法处理放射性固废	符合
		当对固体废物采用压实减容处理时，应采取措施收集压实时产生的废液，并防止发生气载污染。必要时，压实前可将废物切割成小块或在桶内预压实，以提高压实的减容比。	不采用压实减容法处理放射性固废	符合
		处理废铅包壳时，应注意防止自燃或燃烧	不涉及废铅包壳	符合
		固体废物处理中应考虑材料的回收和利用	对于废 Ra-224/Pb-212 发生器，进行拆除并回用其未被沾污部分	符合
	其他	废物处理设施应设有完善的防护措施，保证工作人员的辐射安全。处理α废物的系统应安置在相应的密封屏障内，并注意确保核临界安全。	本项目废物处理设施设置有完善的防护措施，保证工作人员的辐射安全，处理α废物的系统（桶内干燥站）正常运行过程中属于密闭状态，且不涉及核临界内容	符合
		应考虑废物浓缩，减容后放射性活度浓度的提高所导致的辐射影响。必要时，应采取适当措施防止对工作人员和公众造成不可接受的照射	不涉及废物的减容	符合

整备（为形成一个适于装卸、运输、贮存和（或）处置的货包而进行的操作，包括把废物转化为固体废物，把废物封装在容器中和必要时提供外包装）		应将放射性废液转变成固体废物，并封闭在容器中。应根据放射性废液的特性（化学组成、放射性核素和活度浓度等）和后续贮存、运输或处置的要求选择合适的固体基质（如水泥、沥青、聚合物、玻璃、陶瓷体等）。	不涉及相关内容	符合
		废物固化时应采用固化产品安全性能好、废物包容量大、减容效果好、操作与维修简单和安全的固化配方、固化工艺与设备。	不涉及相关内容	符合
		埋置或包封固体废物时应选用合适的介质材料，以保证废物体尽可能均匀和密实。特别要考虑某些金属废物（如 Al、Mg、Zr）与碱性水反应产生氢气的可能影响。	不涉及相关内容	符合
		各类废物应选用合适的包装（必要时包括外包装）才能进行贮存、运输和处置，废物容器应符合 GB 11806 和其他有关包装容器标准的规定。废物包装的材料和结构应满足贮存、运输和处置的废物接受准则的要求。	本项目放射性固体废物采用 200L 包装桶进行包装，废物包装的材料和结构委托专业单位进行设计，确保满足 GB11806 的要求	符合
		应尽可能采用标准包装容器（如废物容器、屏蔽容器、运输容器或外包装），以便于装卸、运输贮存和处置。	本项目尽量采用标准包装容器收集放射性固废	符合
		应充分考虑 α 废物包装容器的密闭性。采用高整体容器时，应考虑长期辐照对废物体及容器的影响。	本项目放射性储存容积拟进行密闭性的验证，同时确保满足长期辐照的要求	符合
		废物整备设施的营运者应定期对其废物体和废物包的长期安全性进行评估，以保证在搬运、贮存、运输和处置的正常工作条件下和设定的事故工况下能包容放射性物质。废物体和废物包装的技术特性应根据评估的结果加以改进。	企业仅处理本单位产生的放射性固废，不属于废物整备设施的营运者	符合
废物的贮存	固废的贮存	废物包装容器应由具有制造许可证的单位生产，并按相应标准规定的要求进行检验和验收。	本项目将采购有资质单位设计生产的合格包装容器	符合
		废物应按其放射性活度和所含核素半衰期的不同分类贮存。低、中放固体废物的贮存期一般不宜超过五年。应适时对废物进行相应的处理、整备或处置。	本项目放射性固废分类收集、贮存、最大暂存期不超过 5 年，并视情况对部分放射性固废进行清洁解控	符合
		贮存库的设计和运行应便于废物包的监视、识别、回取和管理。	放射性固废暂存间满足易于废物包的监视、识别、回取和管理的要求	符合

		应根据库址的自然条件（如温度、湿度、空气中腐蚀性成分的含量）和废物特性（如侵蚀性、释热、放射性活度等）采取必需的措施（如通风、除湿、防火、防水、防震、防雷击、防撞击、屏蔽、冷却、实物保护、剂量监测等），保证在规定的贮存期限内废物的安全和容器的完好。必要时，应对废物包进行探测，以便及早发现容器损坏、放射性泄漏或容器内有气体产生。	本项目放射性固废暂存库采取辐射剂量监控，设置通风、除湿等一系列措施，确保固废暂存的安全	符合
		贮存库的设计应考虑适当的冗余度，以满足检修和事故工况下废物量可能增加的需求。贮存库中废物的贮量（体积和放射性总活度）和贮存时间不得超过设计规定或审管部门的要求。对贮存含易裂变材料的废物库，应采取防核临界措施。	固废的暂存库设置了适当的冗余度、满足检修和事故工况下废物量可能增加的需求，本项目不含易裂变废物	符合
		经过贮存衰变，如果废物的放射性活度浓度达到免管或极低放的水平，经审管部门批准可分别按免管废物或极低放废物进行处理或处置。	本项目放射性固废达到清洁解控水平后，将按照规范要求进行解控	符合
		应为检修或退役中产生的大件废物设置贮存场所。贮存场所的设计应考虑废物安全和废物对场地的可能影响，以及废物回取和转运的可能性。拟送贮存场所的废物的表面剂量应达到运输规定要求。	放射性固废暂间预留了大件废物的暂存空间	符合
		贮存库应建立废物档案和出入库登记制度，保证废物始终处于有效监控之下	拟设置放射性固废档案和出入库登记制度，保证废物始终处于有效监控之下	符合
	废液的贮存	废液贮槽的材料应选用经过检验证明能耐所存放废液侵蚀的金属或其他材料。	废液贮槽的设计将确保其满足耐腐蚀的要求	符合
		废液贮存设施应至少有一个备用槽。备用槽的容量至少应与最大槽的容量相等	生活废液储罐、放射性生产废液储罐均为1用1备，且两个储罐容积相等	符合
		废液贮存设施应设置多重安全屏障，如采用双层贮槽、加托盘和多种检漏装置；设置必要的检测仪表（温度、压力、液位、酸碱度等）以及通风、搅拌、转运和取样装置；采取监控废物特性和防止形成燃爆条件等措施。放射性生产废液贮槽还应设置冷却、防核临界和控制气相中氢气浓度的系统。应采取措施保证设施的运行参数保持在可接受的限值内，防止放射性气溶胶和液态流出物超过规定的限值。	废液储罐所在房间地面设置围堰，可以有效收集泄漏的废液、设备加装各种仪表便于及时观察设备状态，放射性生产废液贮存设置了通风系统，可以确保其运行参数处于可接受的状态	符合

表 11 环境影响分析

11.1. 建设阶段对环境的影响

本项目建设阶段主要为土建施工、厂区装修、设备设施安装、场地清理等，该阶段无辐射环境影响，主要的污染因子为施工废气、施工噪声、施工废水、工作人员的生活污水及施工过程产生的建筑垃圾、生活垃圾等固体废物。

11.1.1. 废气等防治措施

主要为项目土建施工产生扬尘及建筑垃圾、建材堆置和运输产生的扬尘、汽车尾气以及装修过程油漆和喷涂产生的少量有机废气。为减少施工废气对外界环境的影响，在施工过程中，施工单位应加强施工现场管理，进行适当的加湿处理。在装修施工中，通过选用合格的、通过国家质量检验的低污染建材，可有效减少有机废气的产生，所产生的少量有机废气经大气扩散后，对当地大气环境质量无明显影响。

11.1.2. 废水防治措施

施工期间产生的废水主要为施工废水及施工人员的生活污水。施工过程中在临时施工区设置沉淀池，施工废水经沉淀池澄清后，循环使用，不外排；施工场地设工地临时移动厕所收集生活污水，定期清运。

11.1.3. 噪声防治措施

施工期噪声主要来自施工现场电钻、电锯、工程车辆等各类机械设备。通过选取噪声低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

11.1.4. 固体废物防治措施

施工期固体废物主要为基础开挖产生的弃土、废石、混凝土块等建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员的生活垃圾。根据《国家危险废物名录》，施工过程中产生的固体废物均属一般固体废物，不属于危险废物。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场处置；生活垃圾、装修垃圾送环卫与城管部门指定地点，施工期固体废物在外运过程中用苫布覆盖，避免沿途遗洒，并按环卫部门指定路线行驶。

11.1.5. 生态环境影响分析

本项目位于衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区，占地为二类工业用地。经现场踏勘，

项目场址内已硬化处理、植被稀疏，均为杂草，未发现需要特殊保护的野生动植物。建设单位应对施工场地和物料堆放场地应采取相应的管理措施和技术措施，项目建成后将在厂区内进行绿化，对裸露土地进行覆盖，降低水土流失和扬尘对周围环境的影响。

本项目施工期对外界的影响随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界环境无明显影响。

11.2. 运行阶段辐射环境影响

本项目涉及使用的 Th-232、Ra-228、Th-228、Ra-224、Pb-212 核素均为天然放射性铀系核素，天然放射性铀系核素主要发生 α 衰变和 β 衰变，衰变过程伴随释放出不同能量的 γ 射线，Th-232 自身衰变产生的 γ 射线能量较低，但其子体衰变产生的 γ 射线能量相对较高，且随着时间推移各子体的活度逐渐增加直至达到平衡状态，故在进行辐射环境影响分析时，还应考虑其子体的辐射影响。

表 11-1 铀系核素的放射性特性

核素	半衰期	衰变方式(分支比, %)	α 粒子最大能量, Mev	β 粒子最大能量, Mev	γ 最大能量, Mev	空气比释动能率常数 Gy·m ² /(Bq·s)
Th-232	1.405E+10 a	α (~100)	4.01(76.8%)	-	0.059 (0.19%)	
Ra-228	5.75a	β (100)	-	0.0389(100%)	0.0067 (6.21E-5%)	
Ac-228	6.15h	β (~100)	-	2.08 (8%)	1.588 (3.71%)	
Th-228	1.9116a	α (100)	5.42 (72.7%)	-	0.216 (0.27%)	
Ra-224	3.66d	α (100)	5.686 (95.1%)	-	0.241 (3.95%)	
Rn-220	55.6s	α (100)	6.288 (99.9%)	-	0.55 (0.07%)	
Po-216	0.145s	α (100)	6.78 (~100%)	-	0.805 (0.002%)	
Pb-212	10.64h	β (100)	-	0.573(9.9%)	0.3 (3.4%)	
Bi-212	60.55min	α (36) β (64) 缓发 α	6.09 (9.6%) 6.05 (25%)	2.246 (48.4%)	1.62(2.75%)	
Po-212	2.99E-7s	α (100)	8.785 (100%)	-	-	
Tl-208	3.053min	β (100)	-	1.79(49.3%)	2.614(99.8%)	

11.2.1. α 射线的辐射影响

当屏蔽材料的厚度等于或大于 α 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 α 粒子完全挡

住。根据《辐射防护手册（第一分册） 辐射源与屏蔽》（P419）， α 粒子在某材料的射程计算公式：

在标准状态下的空气中的射程： $R = 0.323 E_{\alpha}^{3/2}$ （式 11.2-1）

对其他材料： $R' = 3.2 \times 10^{-4} \cdot \frac{R \sqrt{A}}{\rho}$ （式 11.2-2）

式中： R — α 粒子在标态下空气中的射程，cm；

E_{α} — α 粒子的能量，MeV；

R' — α 粒子在某材料中的射程，cm；

ρ —材料密度，g/cm³；

A —某材料的平均质量数。

根据核素放射性特性，其中子体核素 Po-212 衰变时释放的 α 射线能量最大，为 8.785MeV，根据上述公式计算结果见下表：

表 11-2 α 射线最大射程计算结果

α 射线能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 ρ (g/cm ³)	材料的平均质 量数 A	在屏蔽材料中的最大射程 R' (cm)
8.785	不锈钢	6.8	~56	3.00E-03
	铅	11.34	207	3.46E-03
	水	1	18	1.16E-02

由上表可知，钚系元素衰变产生的 α 射线在不锈钢、铅中所能穿透的最大射程仅为几十 μ m 量级，本项目各生产线槽、罐体和箱室等拟采用重质材料不锈钢或铅进行屏蔽，即使不考虑 α 射线在放射源自身以及溶液中水的吸收，本项目各类储源容器和生产设备、箱室设计的辐射屏蔽厚度均远大于 α 射线最大射程，因此可认为 α 射线被完全屏蔽。

11.2.2. β 射线及其韧致辐射的辐射影响

当屏蔽材料的厚度等于或大于 β 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 β 粒子完全挡住。根据《辐射防护手册（第三分册） 辐射安全》（P22）， β 粒子在某材料的射程计算公式为：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \quad (\text{式 11.2-3})$$

式中：

d —— 最大射程, cm;

ρ —— 屏蔽材料密度, g/cm³;

$E_{\beta \max}$ —— β 粒子的最大能量, MeV。

根据核素放射性特性, 其中子体核素 Bi-212 衰变时释放的 β 射线能量最大, 为 2.246MeV, 根据上述公式计算结果见下表:

表 11-3 β 射线最大射程计算结果

β 射线能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 ρ (g/cm ³)	在屏蔽材料中的最大射程 d (cm)
2.246	不锈钢	6.8	1.65E-1
	铅	11.34	9.90E-02
	水	1	1.12E+00
	硝酸钍固体原料	2.8	4.01E-01
	硝酸钍溶液	1.2	9.36E-01

由上表可知, 钍系元素衰变产生的 β 射线在不锈钢、铅中所能穿透的最大射程分别为 1.65mm 和 0.99mm, 本项目各生产线槽、罐体和箱室等拟采用重质材料不锈钢或铅进行屏蔽, 即使不考虑 β 射线在放射源自身以及溶液中水的吸收, 本项目各类储源容器和生产设备、箱室设计的辐射屏蔽厚度 (不小于 5mm) 均大于 β 射线最大射程, 因此可认为 β 射线被完全屏蔽。

β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射, 韧致辐射的份额与物质的原子序数成正比。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 射线与设备或箱室屏蔽体材料相互作用的结果。参考《辐射防护导论》(方杰主编, P132) 计算在距源 r 米处 β 粒子所致韧致辐射剂量率为:

$$\dot{D} = \frac{4.59 \times 10^{-8} \cdot A \cdot Z \cdot \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho)}{K} \quad (\text{式 11.2-4})$$

式中:

D ——屏蔽层中由 β 粒子产生的韧致辐射在 r 米处空气中的吸收剂量率, mGy/h;

A —— β 辐射源的活度, Bq;

Z ——吸收 β 射线的屏蔽材料的有效原子序数, 按铁近似取 26;

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 ——预测点与辐射源的距离, cm;

(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, cm^2/g , 查《辐射防护导论》(方杰主编) 中表 1-2;

K—减弱倍数。

根据核素放射性特性, 其中子体核素 Ac-228、Bi-212、Tl-208 衰变时释放的 β 射线能量较大, 根据上述公式计算无屏蔽时单位活度放射源韧致辐射所致的辐射剂量率计算结果如下:

表 11-4 无屏蔽时单位活度放射源韧致辐射所致的辐射剂量率

核素	β 射线最大能量 (MeV)	β 衰变分支比	A(Bq)	Z	$(\mu_{en}/\rho)_a$ (cm^2/g)	1m 处辐射剂量率 $\mu\text{Gy}/(\text{Bq}\cdot\text{h})$
Ac-228	2.08	~100%	1	26	2.920E-02	1.68E-09
Bi-212	2.246	64%	1	26	2.900E-02	1.24E-09
Tl-208	1.79	100%	1	26	2.954E-02	1.26E-09

表 11-5 屏蔽后各生产线韧致辐射所致各关注点的辐射剂量率

辐射工作场所	关注点	核素	A(Bq)	关注点距源最短距离 r(cm)	1m 处辐射剂量率μGy/（Bq·h）	减弱倍数 K	关注点处辐射剂量率 D（μGy/h）		
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区									
硝酸钍原料暂存间	储源桶外 30cm	Ac-228	1.85E+08	30	1.68E-09	1.31E+00	5mm 不锈钢	2.64	3.19
		Bi-212	2.89E+07	30	1.24E-09	1.29E+00		0.40	
		Tl-208	1.04E+07	30	1.26E-09	1.33E+00		0.15	
硝酸钍溶解间、浓缩间、吸附间、高液位槽间	房间屏蔽体外 30cm	Ac-228	1.85E+08	80	1.68E-09	6.56E+00	3.5cm 不锈钢	0.49	0.57
		Bi-212	2.89E+07	80	1.24E-09	6.03E+00		0.06	
		Tl-208	1.04E+07	80	1.26E-09	7.55E+00		0.02	
发生器回收处理间	箱室外 30cm	Bi-212	1.85E+07	70	1.24E-09	2.19E+02	10.5cm 不锈钢	0.05	0.07
		Tl-208	6.66E+06	70	1.26E-09	4.31E+02		0.02	
GMP 生产区									
Th-228 分离区	箱室外 30cm	Bi-212	1.81E+07	77	1.24E-09	6.18E+03	17cm 不锈钢	0.04	0.05
		Tl-208	6.53E+06	77	1.26E-09	1.84E+04		0.01	
Ra-224 分离及发生器	箱室外 30cm	Bi-212	1.99E+08	70	1.24E-09	2.19E+02	10.5cm 不锈钢	0.50	0.68
		Tl-208	7.18E+07	70	1.26E-09	4.31E+02		0.1	

组装区								8	
Pb-212 分离及 标记区		Bi-212	7.40E+08	77	1.24E-09	6.18E+03	17cm 不锈 钢	1.5 5	2.12
		Tl-208	2.66E+08	77	1.26E-09	1.84E+04		0.5 7	

注：根据《辐射剂量与防护》（霍雷、刘剑利、马永和）中表 6-10，Ac-228、Bi-212、Tl-208 核素β射线韧致辐射在钢中的半减弱层厚度分别为 据此推导 K 值。

11.2.3. γ 射线剂量估算

11.2.3.1. 计算公式

（1）体源剂量率计算

对于硝酸钍原料暂存、硝酸钍溶解吸附分离等工序，辐射源均匀分布在原料桶或反应槽（罐）内，应视为半无限大体源。拟采用 FLUKA 程序建立相应模型模拟本项目辐射工作场所的辐射剂量率分布。

（2）点源剂量率计算

对于 Th-228 分离等后续工序拟 GMP 区在箱室内开展，辐射源尺寸相对很小，故视为点源，参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审，P75、P96）γ射线点源的剂量率计算公式如下

$$H_0 = A \times \Gamma_k \times R^{-2} \quad (\text{式 11.2-5})$$

式中：

H_0 —— 关注点处空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

A —— 放射源的预期最大放射性活度，Bq；

Γ_k ——空气比释动能率常数， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ；

R —— 关注点距辐射源的距离，m。

（3）考虑屏蔽及距离衰减后γ射线剂量率计算

$$H = H_0 \times e^{-\mu d} \times B \times r_l^2 \times R^{-2} = H_0 \times K^{-1} \times r_l^2 \times R^{-2} \quad (\text{式 11.2-6})$$

式中：

H_0 —— 参考点处空气比释动能率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H —— 屏蔽后，关注点处空气比释动能率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r_l —— 参考点距辐射源的距离，m；

R —— 关注点距辐射源的距离，m；

μ —— 放射源对γ射线的线减弱系数， m^{-1} ，查《辐射防护导论》（方杰主编、李士

骏主审)附表1,选择对剂量率贡献最大的2.61MeV γ 射线能量查询相关参数;

B ——积累因子,mm; B 值与源的形状、光子能量、屏蔽介质的原子序数及其厚度等因素有关,当屏蔽层厚度 $d=0$ 时, B 为1,其余情况下 $B>1$,查《辐射防护导论》(方杰主编、李士骏主审)附表6。

K ——减弱倍数,查《辐射防护导论》(方杰主编、李士骏主审)附表8~15。

d ——屏蔽层厚度,mm;

表 11-6 线减弱系数一览表

μ (cm^{-1})		2MeV	3MeV	2.61MeV*
Al	2.7g/cm ³			
Fe	7.9g/cm ³			
Pb	11.3g/cm ³			
水	1g/cm ³			
混凝土	2.35g/cm ³			
不锈钢*	6.8g/cm ³			
加压蒸汽混凝土*	0.45g/cm ³			
硝酸钍原料*	2.8g/cm ³			
实心砖	1.8g/cm ³			

注:以上数据引用自《Chapter 2: Interaction of Radiation with Matter - interaction of Photons with Matter》(NPRE 441, Principles of Radiation Protection, 2021); *2.61MeV 对应参数根据内插法求得,不锈钢、加压蒸汽混凝土、硝酸钍原料、实心砖参数根据已知密度近似材料换算求得。

11.2.3.2.辐射源强及外照射剂量估算

(1) 硝酸钍原料暂存间

本评价采用 FLUKA 程序建立单桶原料桶、单个吨包区及硝酸钍原料暂存间的蒙特卡罗模型,对硝酸钍原料暂存间的外照射影响进行模拟计算,具体如下:

1) 源强:六水硝酸钍 固体 相对密度 2.8g/cm³;桶装 1 吨/桶。每吨六水硝酸钍原料中核素比活度为:Th-232:43.5mCi/t; Ra-228 和 Ac-228 均为:5mCi/t; Th-228 及其子体均为:0.78mCi/t。

2) 原料桶屏蔽设计:不锈钢材质(密度 $\geq 6.8\text{g/cm}^3$,保守取 6.8g/cm³),桶壁及桶底为 5mm 厚不锈钢,顶盖为 20mm 厚不锈钢,桶的半径为 35cm,高为 120cm。

3) 硝酸钍原料暂存间原料存储设计:硝酸钍原料暂存间拟一次建成,远期规划最大存放 300 桶原料,本次评价保守按照远期规划最大设计储存容量进行模拟估算,即设置 10 个吨包区,每个吨包区设 30 个原料桶位,按 6 行 5 列分布。

根据模拟,单桶原料通外剂量率分布如下:

[illegible]

表 11-8 单个吨包区外辐射剂量率衰减表

包区外表面距离 (cm)	辐射剂量率(μSv/h)			
	左右侧面	上下侧面	顶部	底部
0				
5				
30				
100				
200				
300				
400				

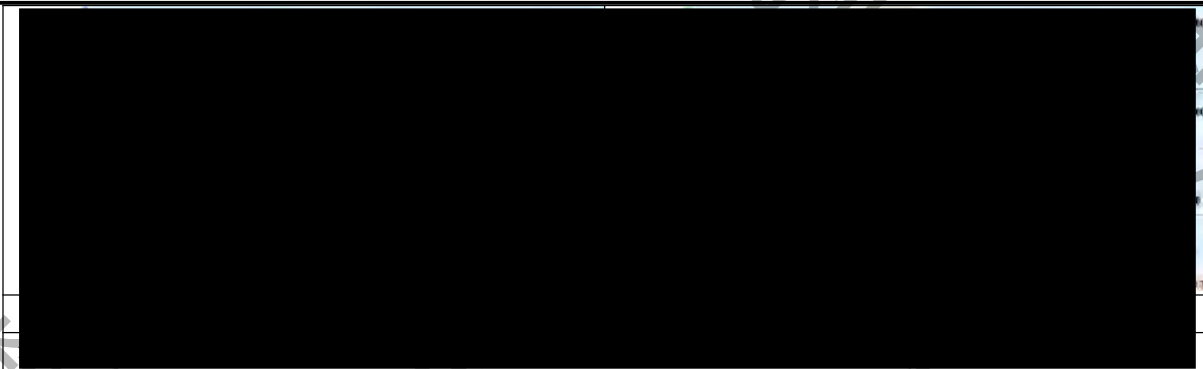


图 11-2 单个吨包区辐射剂量率分布图

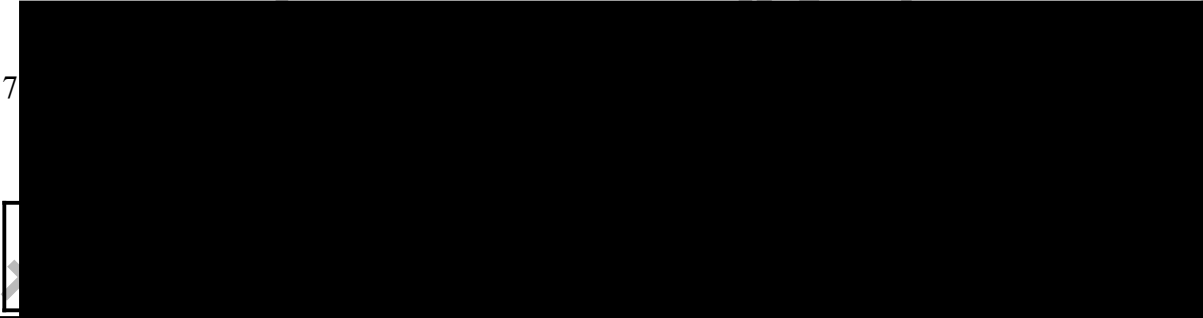
表 11-9 硝酸钍原料暂存间外辐射剂量率衰减表

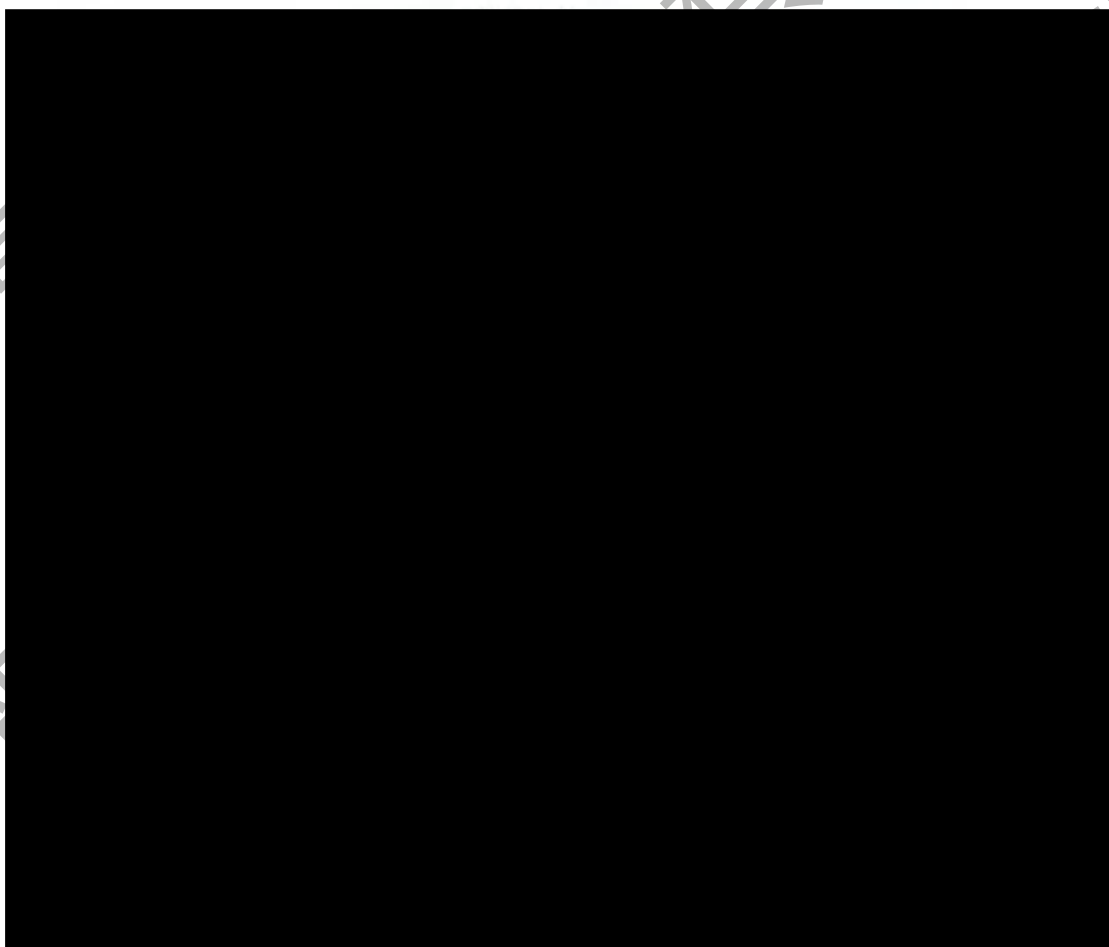
距硝酸钍原料 暂存间屏蔽体 外表面距离 (cm)	辐射剂量率(μSv/h)					
	西墙外	东墙外	北墙外	南墙外	顶板外	地板外
注						

图 11-3 硝酸钍原料暂存间辐射剂量率分布图

根据模拟结果可知本项目硝酸钍原料暂存间屏蔽墙外 30cm 处的剂量率均小于 2.5μSv/h。

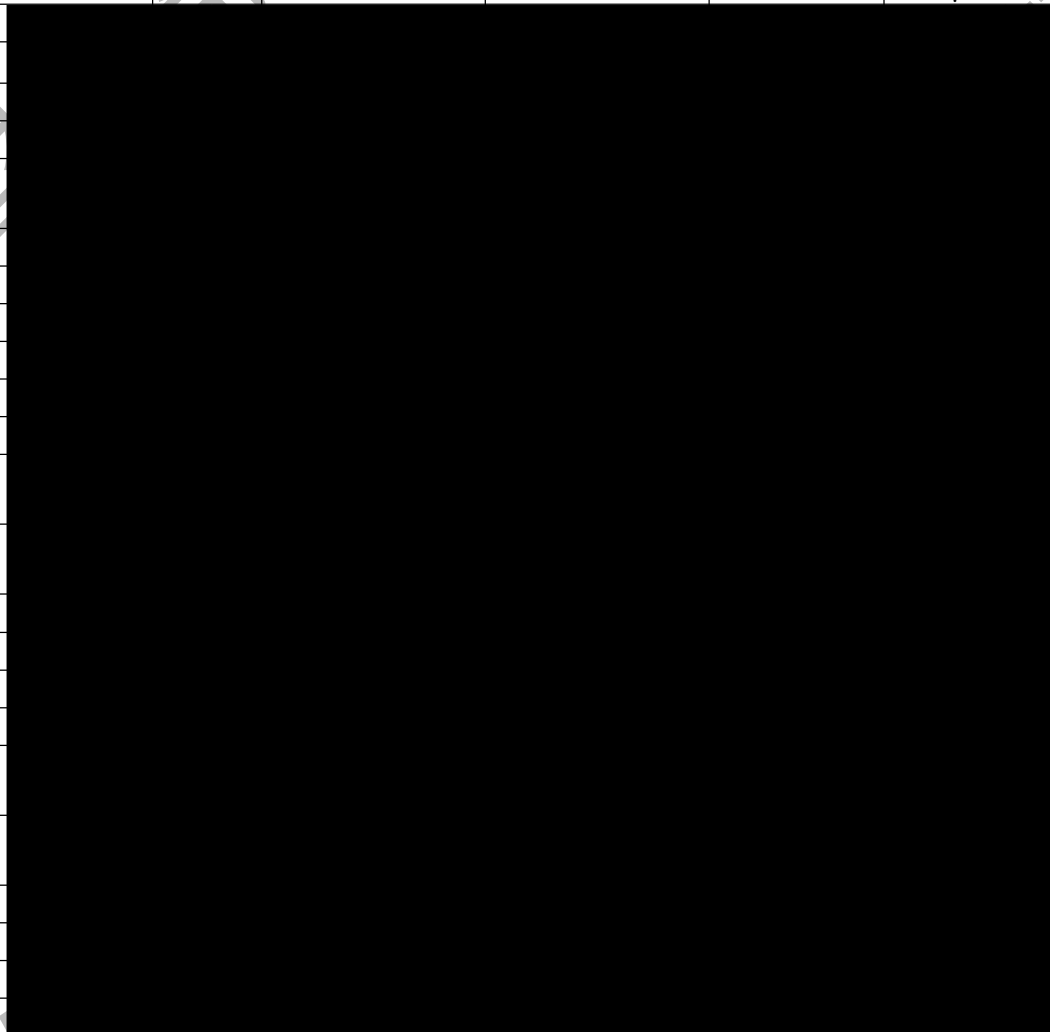
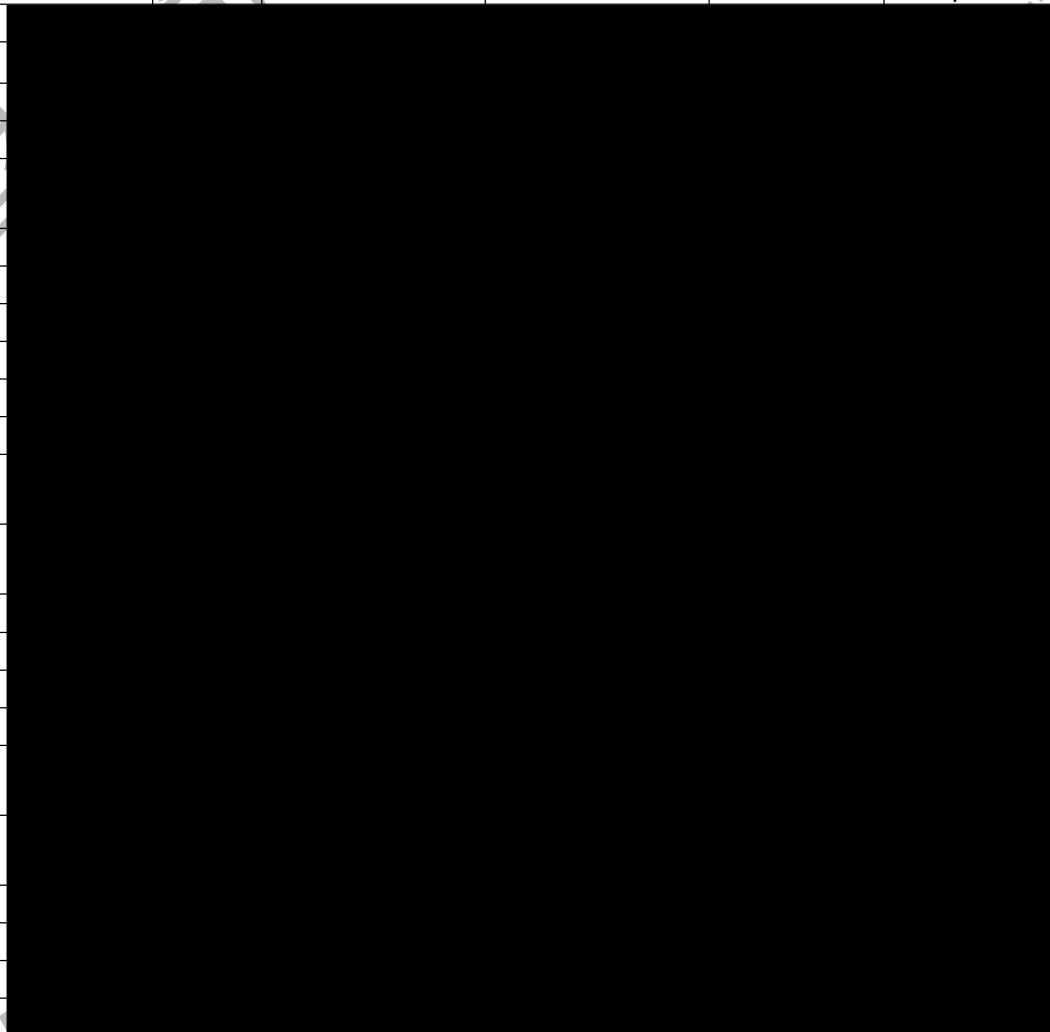
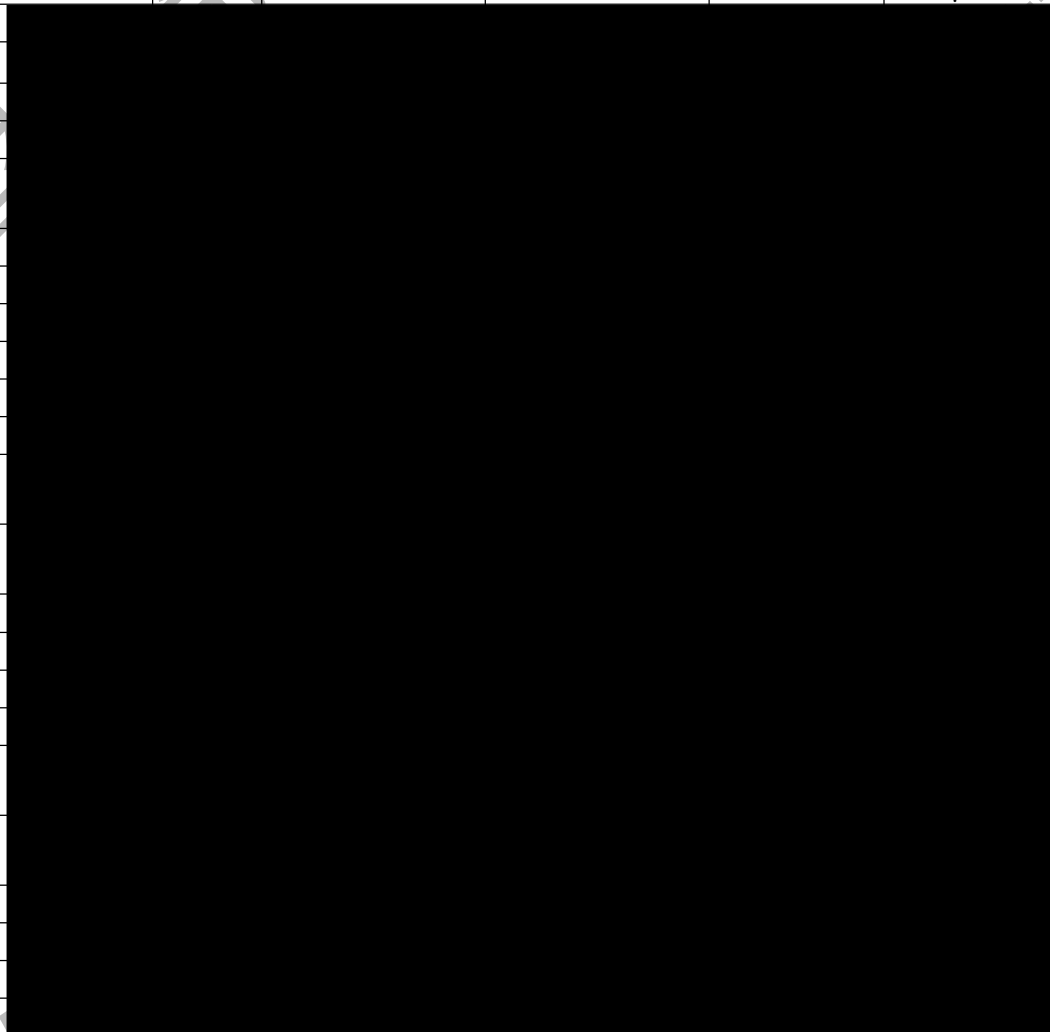
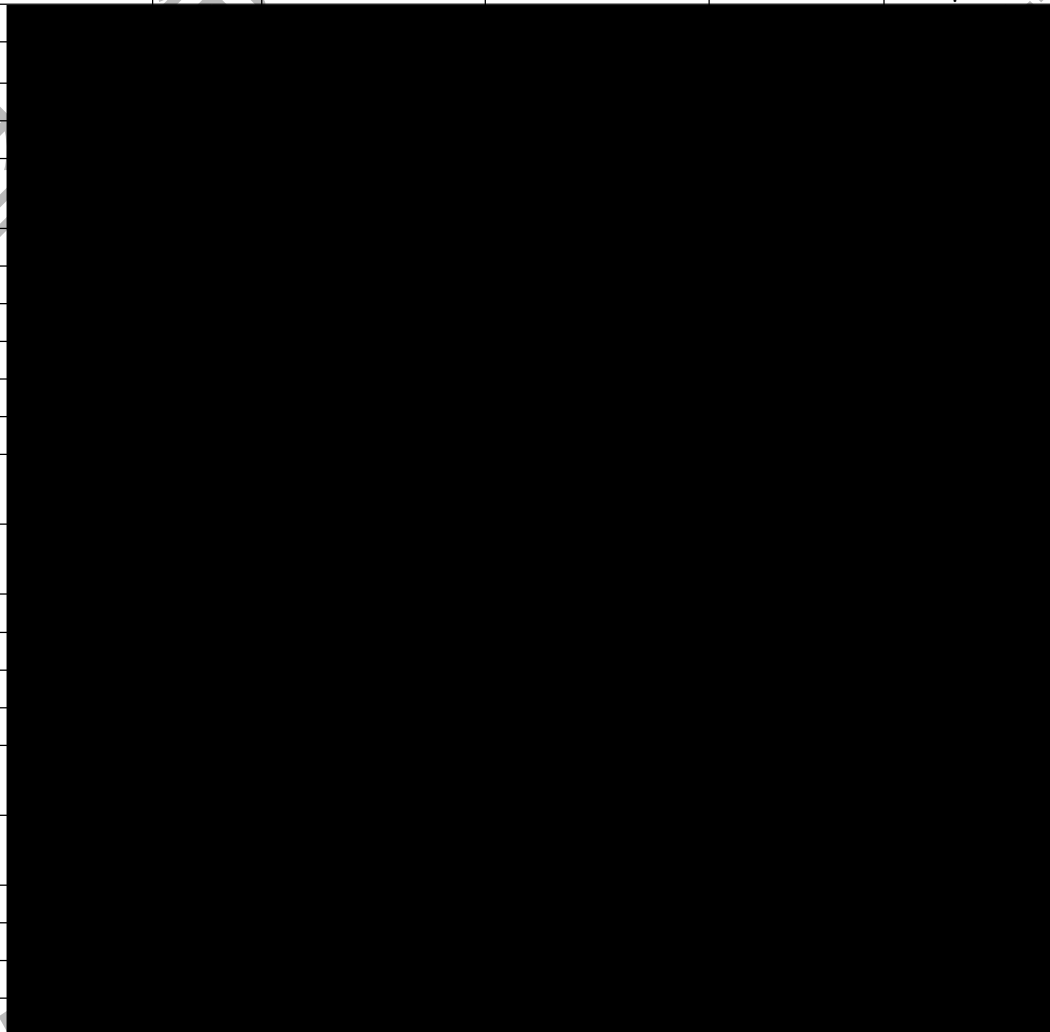
(2) 硝酸钍溶解间、浓缩间、吸附间、高液位槽间、硝酸钍溶液浓缩及离心车间等

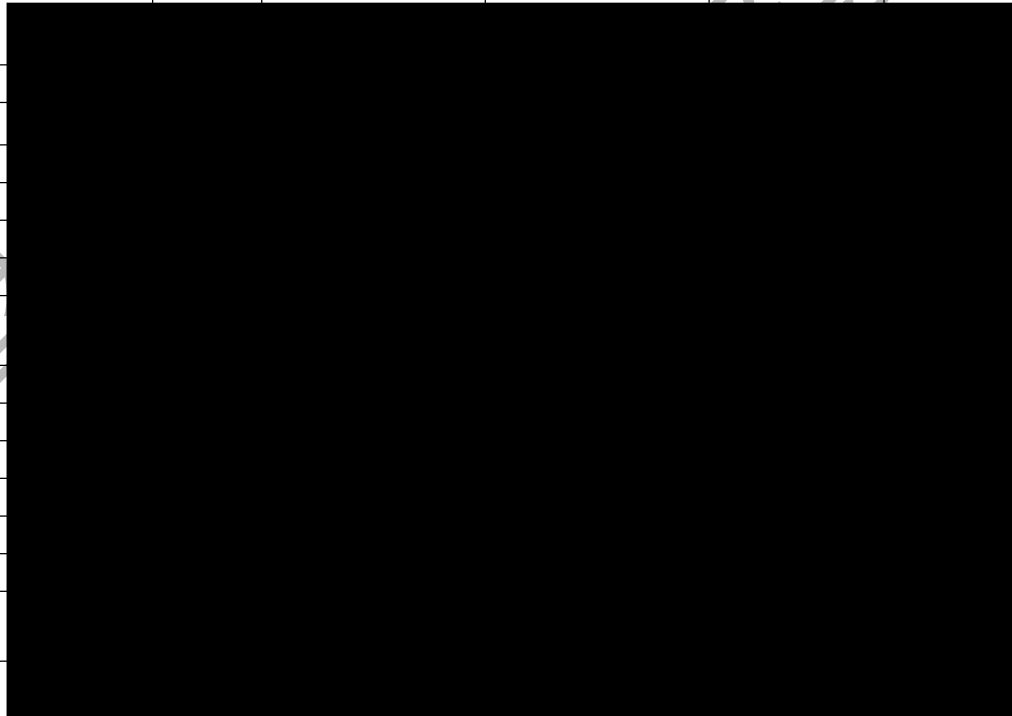




根据式 11.2-6 估算本项目硝酸钍溶解间、浓缩间、吸附间、高液位槽间、硝酸钍溶液浓缩及离心车间等功能用房屏蔽体外 30cm 处的剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，具体如下：

表 11-11 硝酸钍溶解间、浓缩间等功能用房外 30cm 处剂量率

关注点		屏蔽体厚度 d (mm)	μ (cm ⁻¹)	B	关注点距设备表面距离 m	参考点距设备表面距离 m	罐/桶等设备直径 m	参考点剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	关注点剂量率 H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)																		
硝酸钍浓缩与离心间	东墙外 30cm	200 加压蒸汽 混凝土							1.84																		
	南墙外 30cm								0.94																		
	西墙外 30cm								0.94																		
	北墙外 30cm								1.47																		
	防护门外 30cm	4 不锈钢							0.20																		
	顶板外 30cm	200							0.07																		
	地板外 30cm	混凝土							0.43																		
硝酸钍溶解间	东墙外 30cm	200 加压蒸汽 混凝土													1.12												
	南墙外 30cm														1.12												
	西墙外 30cm														0.23												
	北墙外 30cm														1.12												
	防护门外 30cm	4 不锈钢													0.45												
	顶板外 30cm	200 混凝土													0.08												
浓缩间	东墙外 30cm	200 加压蒸汽 混凝土																			1.99						
	南墙外 30cm																				0.29						
	西墙外 30cm																				1.26						
	北墙外 30cm																				0.62						
	防护门外 30cm	4 不锈钢																			0.07						
	顶板外 30cm	200 混凝土																			0.07						
吸附间	东墙外 30cm	200 加压蒸汽 混凝土																									0.94
	南墙外 30cm																										0.17
	西墙外 30cm																										1.51
	北墙外 30cm																										0.30

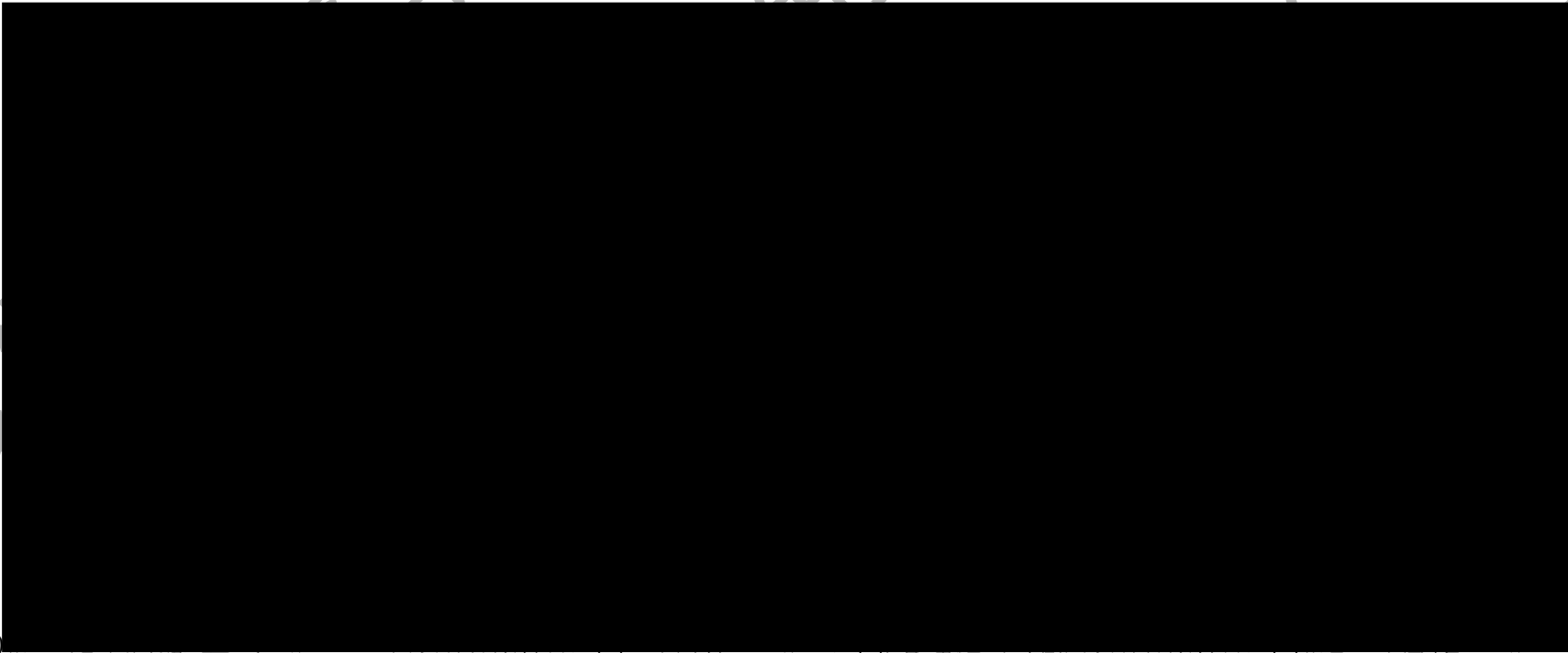
	防护门外 30cm	4 不锈钢		0.14
	顶板外 30cm	200		0.07
	地板外 30cm	混凝土		0.43
高液位 槽间	东墙外 30cm	200 加压蒸汽 混凝土		0.10
	南墙外 30cm			0.17
	西墙外 30cm			0.94
	北墙外 30cm			0.27
	防护门外 30cm	4 不锈钢		0.15
	顶板外 30cm	200		0.23
	地板外 30cm	混凝土		0.43
废液暂 存间	东墙外 30cm	200 加压蒸汽 混凝土		0.19
	南墙外 30cm			0.77
	西墙外 30cm			0.77
	北墙外 30cm			0.94
	防护门外 30cm	4 不锈钢		0.28
	顶板外 30cm	200 混凝土		0.17

(3) 放射性箱室

本评价采用 FLUKA 程序建立本项目放射性箱室的蒙特卡罗模型，模拟时，由一条生产线中多个箱室尺寸相近，模拟时采用其中尺寸较小、屏蔽厚度较薄的箱室进行模拟计算，各主要参数如下：

表 11-12 模拟计算参数一览表

房间名称	核素及辐射源强	工作箱室尺寸(mm)	屏蔽设计	
			箱室	房间
预过滤间				

Ra-228 分离间	
Th-228 分离箱室系统	
Ra-224 分离及发生器组装箱室系统	
Pb-212 分离及标记箱室系统	

注：(a)

图 11-6 箱室模拟模型示意图

表 11-13 箱室外辐射剂量率衰减表

距箱室外表面距离 (cm)	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)		
	长度方向	深度方向	高度方向
预过滤间和 Ra-228 分离间			
0			
5			
30			
100			
Th-228 分离箱室系统			
0			
5			
30			
100			
Ra-224 分离及发生器组装箱室系统			
0			
5			
30			
100			
Pb-212 分离及标记箱室系统			
0			
5			
30			
100			





图 11-7 各箱室模拟剂量率分布示意图

(4) Ra-224/Pb-212 发生器回收室

本项目外售 Ra-224/Pb-212 发生器回收时，发生器中 Ra-224 的活度为 0.5mCi，考虑处理时处于衰变平衡状态，即 $A(\text{Ra-224}) = A(\text{Ra-224 子体})$ ，则处理时废发生器位于回收室箱体中部（距箱体内壁不小于 30cm），回收室箱体外 30cm 处剂量率为：

表 11-14 Ra-224/Pb-212 发生器回收室箱体外 30cm 处剂量率

核素	A(Bq)	空气比释动能率常数 Gy*m ² / (Bq*s)	μ (cm ⁻¹)	d (cm)	B	R (m)	关注点处空气比释动能率 μ Gy/h
Tl-208	1.85E+7*0.36						0.64
Bi-212	1.85E+7						0.12
Pb-212							0.19
Po-216							9.83E-06
Rn-220							4.18E-04
Ra-224							8.61E-03
							0.96

(5) 质控及实验室区域

放射性质控时样品溶液的分装操作拟在放射性实验室通风橱内铅防护屏后进行，通风橱内放置的屏蔽厚度不小于 5mmPb 的铅防护屏，操作人员距源约 0.6m，通风橱内不会同时操作多种核素。由于辐射源尺寸很小，故可视为点源。

表 11-15 质控及实验室区域操作核素外 30cm 处剂量率

核素	A(Bq)	空气比释动能率常数 Gy*m ² / (Bq*s)	μ (cm ⁻¹)	d (cm)	B	R (m)	关注点处空气比释动能率 $\mu\text{Gy/h}$

Pb-212	5.55E+05		0.047
Ra-224	1.99E+05		7.72E-04
Th-228	1.81E+04		3.99E-04

(6) 放射性（中间）产品

本项目放射性（中间）产品拟在生产线上工作箱室中装入铅罐或有辐射屏蔽作用的发生器外壳内，外售的放射性产品拟由本项目工作人员进行外包和检测后方可转运发货大厅由专用运输车辆外售，其他放射性（中间）产品拟由本项目工作人员运输至对应库房存放。外售的放射性产品运输拟委托有资质单位进行，运输过程不会对本单位辐射工作人员受照剂量产生影响。

本项目保守按产品出厂活度估算工作人员在外包装与转运过程中所受的剂量，对于核素发生器拟按照前文分析考虑其子体的辐射影响，保守按达到衰变平衡考虑。外包装时的剂量率取源外 0.3m 处的剂量率，工作人员转运拟采用转运推车，转运时的剂量率取距源 1m 处的剂量率。由于放射性（中间）产品内辐射源尺寸很小，故可视为点源计算。

表 11-16 货包外辐射剂量率

(中间) 产品名称	核素	空气比释动能 率常数 Gy*m ² / (Bq*s)	A(Bq)	μ (cm ⁻¹)	d (cm)	B	关注点处空气比 释动能率 μ Gy/h	
							0.3m	1m
Pb-212 标记药物	Pb-212		1.85E+08				48.59	4.37
Ra-224 溶液	Ra-224		1.85E+08				2.87	0.26
Ra-224/P b-212 发 生器	Ra-224		1.85E+08				73.62	6.63
	Rn-220							
	Po-216							
	Pb-212							
	Bi-212							
	Tl-208		1.85E+08*0.36					
Th-228/R a-224 发 生器	Th-228		1.81E+07				21.23	1.91
	Ra-224							
	Rn-220							
	Po-216							
	Pb-212							
	Bi-212							
	Tl-208		1.81E+07*0.36					
Ra-228/T h-228 发 生器	Ra-228		1.11E+08				129.98	11.70
	Th-228							
	Ra-224							
	Rn-220							
	Po-216							

	Pb-212						
	Bi-212						
	Tl-208		1.11E+08*0.36				

11.2.4. 职业人员受照剂量估算

本项目职业照射考虑的照射途径主要分为外照射、吸入内照射、空气浸没外照射等。

11.2.4.1. 外照射剂量估算

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下：

$$H_d = H \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

H_d ——X、γ射线外照射人均有效剂量当量，mSv/a；

H ——关注点处剂量率，μSv/h 或 μGy/h，剂量转换因子保守取 1；

t ——X、γ 射线照射时间，h/a；

T ——居留因子，职业人员居留因子取 1。

本项目按生产线配置辐射工作人员，各生产线的工作人员定岗管理，工作内容互不交叉，则各生产岗位辐射工作人员所受剂量见下表：

表 11-17 本项目生产过程所致职业人员外照射剂量估算一览表

辐射工作场所	岗位	关注点处辐射剂量率 (μGy/h)		年有效操作 时间 h	职业外照射年剂量 (mSv/a)
		韧致辐射	γ 射线		
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	仓储管理	3.19	7.20	50	0.52
	镭-228 制备	/	0.87	50	0.04
	发生器回收	0.07	0.96	250	0.26
GMP 生产及质控区	钍-228 制备	0.05	1.19	50	0.06
	镭-224 溶液及发生器制备	0.68	0.76	50	0.07
	Pb-212 标记	2.12	2.40	100	0.45
	分析检测岗	/	0.96	100	0.10

本项目放射性产品装入外包装的时间按 0.5min/个计，转运时间按 1.5min/个计，每天 1 批次，放射性中间产品无需外包，制备后直接转运至相应库房，转运时间按 1.5min/批次计，则放射性（中间）产品外包装与转运致职业人员受照射剂量如下：

表 11-18 产品外包转运过程所致职业人员外照射剂量估算一览表

岗位	操作	关注点处辐射剂量率 (μGy/h)	单次操作 时间 (min)	年操作批次	职业外照射年剂量 (mSv/a)

镭-228 制备	Ra-228/Th-228 发生器转运	11.7	1.5	100	0.09	
钍-228 制备	Ra-228/Th-228 发生器转入	11.7	1.5	100	0.06	
	Ra-228/Th-228 发生器转出	11.7	1.5	100		
	Th-228/Ra-224 发生器转出	1.91	1.5	100		
	Th-228/Ra-224 发生器转入	1.91*11	1.5	100		
镭-224 溶液及发生器制备	Th-228/Ra-224 发生器转出	1.91*11	1.5	100	0.20	1.49
	Ra-224/Pb-212 发生器外包	73.62	0.5	120		
	Ra-224/Pb-212 发生器转运	6.63	1.5	120		
	Ra-224 溶液外包	2.87	0.5	59		
	Ra-224 溶液转运	0.26	1.5	59		
Pb-212 标记	Ra-224/Pb-212 发生器转入	0.26*4	1.5	20	1.13	
	Pb-212 标记药物外包	48.59	0.5	2200		
	Pb-212 标记药物转运	4.37	1.5	2200		

11.2.4.2.吸入内照射剂量估算

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 UNSCEAR 2000 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：

$$D_{Rn}=g_{Rn} \cdot t \cdot C_{Rn} \dots \dots \quad (\text{式 11-8})$$

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， $8 \times 10^{-10} \text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})$ （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/m³；

t ——工作人员的有效工作时间，h。

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：

$$D_i^{inh} = C_i \cdot R_{inh} \cdot t \cdot DF_{inh} \dots\dots\dots (式 11-9)$$

式中：

C_A ——空气中放射性物质的活度浓度，Bq/m³；

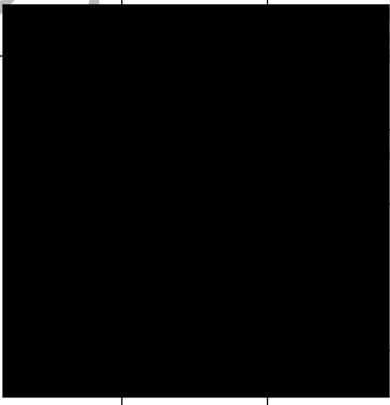
R_{inh} ——呼吸率，m³/a；根据 IAEA No.19 TABLE XIV，对于成人，呼吸率取值为 8400m³/a；

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 11-19 本项目职业人员吸入内照射剂量估算一览表

辐射工作场所	岗位	关键核素	C (Bq/m ³)	剂量转化因子		年有效操作时间 (h)	职业吸入内照射年剂量 (mSv/a)
				g_{Rn}	DF_{inh}		
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	钍-228 制备	Ra-228	3.63E+01				4.53
	发生器回收		3.99E+02				0.08
GMP 生产区	钍-228 制备	Rn-220	2.96E+03				0.12
	钍-224 溶液及发生器制备		3.63E+01				1.45E-03
	Pb-212 标记		3.99E+02				0.03

11.2.4.3. 空气浸没外照射致职业人员受照剂量

$$D_i^{im} = C_i \cdot t \cdot DF_{im} \dots\dots\dots (式 11-10)$$

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 TABLE III.1 取值, 对于 Ra-228 为 0、Rn-220 为 2.20E-17 Sv·m³/(Bq·s)。

表 11-20 本项目职业人员空气浸没外照射剂量估算一览表

辐射工作场所	岗位	关键核素	C_i (Bq/m ³)	DF_{im} (Sv·m ³ /(Bq·a))	年有效操作时间(h)	职业空气浸没外照射年剂量 (mSv/a)
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	镭-228 制备	Ra-228	3.63E+01			0
	发生器回收		3.99E+02			7.90E-06
GMP 生产区	钍-228 制备	Rn-220	2.96E+03			3.52E-05
	镭-224 溶液及发生器制备		3.63E+01			4.31E-07
	Pb-212 标记		3.99E+02			4.74E-06

11.2.4.4.小结

综上, 本项目各生产岗位辐射工作人员所受剂量见下表:

表 11-21 本项目职业人员外照射剂量估算一览表

辐射工作场所	岗位	职业照射年剂量 (mSv/a)				职业照射年剂量约束值 (mSv/a)
		外照射剂量	吸入内照射剂量	空气浸没外照射	合计	
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	仓储管理	0.52+1.49	-	-	2.01	5
	镭-228 制备	0.04	4.53	-	4.57	
	发生器回收	0.26	0.08	7.90E-06	0.34	
GMP 生产区	钍-228 制备	0.06	0.12	3.52E-05	0.18	
	镭-224 溶液及发生器制备	0.07	0.00	4.31E-07	0.07	
	Pb-212 标记	0.45	0.03	4.74E-06	0.48	
分析及实验室区	分析检测岗	0.10	-	-	0.10	

根据估算, 本项目运行后, 职业人员最大受照射剂量为 4.57mSv/a, 满足职业人员剂量约束值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 20mSv

的剂量限值要求。

11.2.5. 公众受照剂量估算

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，本项目生产厂房正常运营期间禁止无关人员进入，故场所内均为职业照射，项目对周边公众的辐射影响主要来自放射性流出物。项目产生的放射性生产废水经自建放射性废水处理设施处理达标蒸发浓缩转为固废暂存，不外排。因此，运营期对公众照射剂量估算主要考虑气载流出物所致剂量。

11.2.5.1. 气载流出物源项

根据排风系统设计，本项目生产厂房共设有 3 个放射性排气筒，排口均设于生产厂房屋面，排口距屋面不小于 3m（距地面不小于 25m），排口之间间距约 35m，故本评价保守考虑，将排气筒归一化考虑。根据本报告 3.3.1.3 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 11-22 放射性气载流出物排放量

核素	放射性气溶胶排放量 (Bq/a)	排放速率 (Bq/h)	治理设施
Th-232	9.66E+05	1.34E+02	各设备槽罐呼吸口设局排系统，废气经冷凝+水喷淋+碱液喷淋塔（处理效率 80%）处理后由 DA002 排放，生产线箱室及控制区各功能用房设排风系统，废气经排风系统高效过滤装置（过滤效率 99.9%）处理后由 DA002 排气筒排放
Ra-228	1.11E+05	2.22E+01	
Ac-228	1.11E+05	1.54E+01	
Th-228	1.74E+04	3.49E+00	
Ra-224	1.73E+04	2.80E+00	
Rn-220	7.65E+08	2.07E+06	
Po-216	1.73E+04	2.41E+00	
Pb-212	1.74E+04	3.52E+00	
Bi-212	1.73E+04	2.41E+00	
Po-212	1.11E+04	1.54E+00	
Tl-208	6.23E+03	8.66E-01	

11.2.5.2. 气载流出物浓度估算

地面空气浓度计算引自 IAEA Safety Reports Series No.19。本次评价保守考虑，排放口高度（ H ）取最低高度，即 25.2m，邻近建筑物最大高度（ H_b ）为 15m（本项目研发楼）， $H < 2.5H_b$ ，所以本项目适用如下计算模式：

（1）下风向距离 $x \leq 2.5\sqrt{A_b}$ 时，下风向距离 x 处核素的地面空气浓度计算模式

$$C_{a,i} = (P_p \cdot Q_i) / (\pi \cdot u_a \cdot H_b \cdot K) \dots\dots\dots \text{（式 11-11）}$$

式中：

$C_{a,i}$ —下风向距离 x 米处核素的地面空气浓度, Bq/m^3 ;

P_p —一年中风吹向接受点, 在扇形方位 P 的时间份额, 单位 1, 保守取 0.25;

Q_i —放射性核素 i 的平均排放率, 单位 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 $2.0m/s$;

H_b —邻近最高建筑物的高度, 单位 m ; 如果该建筑物的宽度大于其高度, 则应用其宽度替代式中的 H_b ; 根据建设单位提供的厂区总图, 周围邻近最高建筑物为本项目研发楼, 高度 $15m$ 、宽度 $33.3m$, 宽度大于高度, 因此, 此处 H_b 取值为 $33.3m$;

K —经验常数, 单位 m ; 取 $K=1m$ 。

(2) 下风向距离 $x > 2.5\sqrt{A_b}$ 时的地面空气浓度计算模式

$$C_{a,i} = (P_p \cdot B \cdot Q_i) / u_a \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

$$B = \frac{12}{2\pi^3} \cdot \frac{1}{x \sum_z} \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

$$\sum_z = (\sigma_z^2 + A_b / \pi)^{0.5} \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

$$\sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \dots\dots\dots \text{(式 11-15)}$$

式中:

P_p — p 风向的风频, 单位 1; 保守取值 0.25;

B —下风距离 x 米处的高斯扩散因子;

σ_z —垂直扩散参数, m ;

A_b —对扩散影响最大的建筑最大面的表面积, 单位 m^2 ; 本项目对扩散影响最大的建筑为本项目研发楼, 其最大表面积取 $15 \times 33.3 = 499.5m^2$;

x —距离排放源的距离, m ;

(3) 浓度计算结果

经计算, 距离排放源不同距离 x 米处, 各核素气溶胶地面空气浓度见下表;

表 11-23 不同距离处各核素地面空气浓度

距排气筒 距离 (m)	地面空气浓度 (Bq/m ³)										
	Th-232	Ra-228	Ac-228	Th-228	Ra-224	Rn-220	Po-216	Pb-212	Bi-212	Po-212	Tl-208
10	7.05E-05	8.12E-06	8.10E-06	1.27E-06	1.26E-06	5.58E-02	1.26E-06	1.27E-06	1.26E-06	8.09E-07	4.55E-07
20	3.51E-05	4.05E-06	4.04E-06	6.32E-07	6.30E-07	2.78E-02	6.30E-07	6.34E-07	6.30E-07	4.03E-07	2.27E-07
30	2.33E-05	2.68E-06	2.68E-06	4.19E-07	4.18E-07	1.85E-02	4.18E-07	4.20E-07	4.18E-07	2.67E-07	1.50E-07
40	1.73E-05	2.00E-06	1.99E-06	3.12E-07	3.11E-07	1.37E-02	3.11E-07	3.13E-07	3.11E-07	1.99E-07	1.12E-07
50	1.38E-05	1.59E-06	1.58E-06	2.47E-07	2.47E-07	1.09E-02	2.47E-07	2.48E-07	2.47E-07	1.58E-07	8.88E-08
60	1.13E-05	1.31E-06	1.30E-06	2.04E-07	2.04E-07	8.99E-03	2.03E-07	2.05E-07	2.03E-07	1.30E-07	7.32E-08
70	9.61E-06	1.11E-06	1.10E-06	1.73E-07	1.72E-07	7.61E-03	1.72E-07	1.73E-07	1.72E-07	1.10E-07	6.20E-08
80	8.30E-06	9.57E-07	9.54E-07	1.49E-07	1.49E-07	6.58E-03	1.49E-07	1.50E-07	1.49E-07	9.52E-08	5.36E-08
90	7.27E-06	8.38E-07	8.36E-07	1.31E-07	1.31E-07	5.76E-03	1.30E-07	1.31E-07	1.30E-07	8.35E-08	4.69E-08
100	6.45E-06	7.43E-07	7.41E-07	1.16E-07	1.16E-07	5.11E-03	1.16E-07	1.16E-07	1.16E-07	7.40E-08	4.16E-08
200	2.71E-06	3.12E-07	3.11E-07	4.87E-08	4.86E-08	2.15E-03	4.86E-08	4.89E-08	4.86E-08	3.11E-08	1.75E-08
300	1.52E-06	1.75E-07	1.74E-07	2.73E-08	2.72E-08	1.20E-03	2.72E-08	2.74E-08	2.72E-08	1.74E-08	9.79E-09
400	9.76E-07	1.13E-07	1.12E-07	1.76E-08	1.75E-08	7.74E-04	1.75E-08	1.76E-08	1.75E-08	1.12E-08	6.30E-09
500	6.86E-07	7.90E-08	7.88E-08	1.23E-08	1.23E-08	5.43E-04	1.23E-08	1.24E-08	1.23E-08	7.87E-09	4.43E-09
1000	2.22E-07	2.56E-08	2.56E-08	4.00E-09	3.99E-09	1.76E-04	3.99E-09	4.01E-09	3.99E-09	2.55E-09	1.44E-09
2000	7.25E-08	8.36E-09	8.34E-09	1.30E-09	1.30E-09	5.75E-05	1.30E-09	1.31E-09	1.30E-09	8.32E-10	4.68E-10
3000	3.81E-08	4.39E-09	4.38E-09	6.86E-10	6.84E-10	3.02E-05	6.83E-10	6.88E-10	6.83E-10	4.37E-10	2.46E-10
4000	2.43E-08	2.80E-09	2.79E-09	4.37E-10	4.36E-10	1.92E-05	4.35E-10	4.38E-10	4.35E-10	2.79E-10	1.57E-10
5000	1.72E-08	1.98E-09	1.97E-09	3.09E-10	3.08E-10	1.36E-05	3.08E-10	3.10E-10	3.08E-10	1.97E-10	1.11E-10

11.2.5.3. 气载流出物剂量估算

(1) 烟云浸没外照射所致剂量估算模式:

$$D_i^{im} = C_{Ai} \cdot Q_f \cdot DF_{im} \dots\dots\dots (式 11-16)$$

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/m³;

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, Sv·m³/(Bq·a); 根据 IAEA No.19 TABLE

III.1 取值。

(2) 地面沉积外照射所致剂量估算模式

$$D_i^{gr} = C_{gr} Q_f DF_{gr} \dots\dots\dots (式 11-17)$$

$$C_{gr} = \frac{d_i (1 - e^{-\lambda_E t_b})}{\lambda_E} \dots\dots\dots (式 11-18)$$

$$d_i = (V_d + V_w) C_{Ai} \dots\dots\dots (式 11-19)$$

式中:

C_{gr} ——核素 i 的地面空气浓度, Bq/m³;

DF_{gr} ——地面沉积外照射剂量转换因子, Sv·m²/(Bq·a); 根据 IAEA No.19 TABLE

III.3 取值;

λ_E ——核素由地表面清除的有效速率常数, $\lambda_E = \lambda + \lambda_s$, 单位 s⁻¹, 分别根据 IAEA

No.19 TABLE X 和 Annex II 取值;

$V_b + V_w$ ——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;

(3) 吸入内照射所致剂量估算模式

$$D_i^{inh} = C_{Ai} R_{inh} DF_{inh} \dots\dots\dots (式 11-20)$$

式中:

C_{Ai} ——核素 i 的地面空气浓度, Bq/m³;

R_{inh} —呼吸率， m^3/a ；根据 IAEA No.19 TABLE XIV，对于成人，呼吸率取值为 $8400m^3/a$ ；

DF_{inh} —吸入内照射剂量转换因子， Sv/Bq ；根据 GB1887-2002 表 B7 吸入内照射剂量转换因子保守取成人组 F、M、S 类中最大值。

(4) $Rn-220$ 吸入内照射剂量估算模式同式 5.2-8，即 $D_{Rn}=g_{Rn} \cdot t \cdot C_{Rn}$ ， t 取 $7200h/a$ 。

表 11-24 表 5.2-24 本项目气载流出物各核素的计算参数

核素	$DF_{im} (Sv \cdot m^3 / (Bq \cdot s))$	$DF_{gr} (Sv \cdot m^2 / (Bq \cdot s))$	$\lambda (s^{-1})$	$\lambda_s (s^{-1})$	$DF_{inh} (Sv/Bq)$
Th-232					
Ra-228					
Ac-228					
Th-228					
Ra-224					
Rn-220					
Po-216					
Pb-212					
Bi-212					
Po-212					
Tl-208					

11.2.5.4. 公众剂量计算结果

本项目各核素由烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射各途径合计所致公众剂量计算结果见下表：

根据估算，本项目运行后，周围公众最大受照射剂量为 $0.067mSv/a$ ，满足公众剂量约束值 $0.1mSv/a$ 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 $1mSv$ 的剂量限值要求。本项目放射性气载流出物所致公众剂量主要来自 $Th-232$ 的吸入内照射途径的贡献。

表 11-25 本项目气载流出物各途径所致公众剂量估算

距排气筒 距离 (m)	Th-232	Ra-228	Ac-228	Th-228	Ra-224	Rn-220	Po-216	Pb-212	Bi-212	Po-212	Tl-208	合计
烟云浸没外照射 (mSv)												
10	7.64E-11	0	2.01E-08	6.00E-12	2.53E-11	3.87E-08	3.81E-14	5.41E-10	1.61E-09	0	3.36E-09	6.45E-08
20	3.81E-11	0	1.00E-08	2.99E-12	1.26E-11	1.93E-08	1.90E-14	2.70E-10	8.04E-10	0	1.67E-09	3.21E-08
30	2.53E-11	0	6.65E-09	1.98E-12	8.37E-12	1.28E-08	1.26E-14	1.79E-10	5.33E-10	0	1.11E-09	2.13E-08
40	1.88E-11	0	4.95E-09	1.48E-12	6.23E-12	9.54E-09	9.38E-15	1.33E-10	3.97E-10	0	8.26E-10	1.59E-08
50	1.49E-11	0	3.93E-09	1.17E-12	4.94E-12	7.56E-09	7.44E-15	1.06E-10	3.15E-10	0	6.55E-10	1.26E-08
60	1.23E-11	0	3.24E-09	9.65E-13	4.08E-12	6.24E-09	6.14E-15	8.71E-11	2.60E-10	0	5.40E-10	1.04E-08
70	1.04E-11	0	2.74E-09	8.17E-13	3.45E-12	5.28E-09	5.20E-15	7.38E-11	2.20E-10	0	4.58E-10	8.79E-09
80	9.00E-12	0	2.37E-09	7.06E-13	2.98E-12	4.56E-09	4.49E-15	6.37E-11	1.90E-10	0	3.95E-10	7.59E-09
90	7.89E-12	0	2.08E-09	6.19E-13	2.61E-12	4.00E-09	3.94E-15	5.59E-11	1.67E-10	0	3.46E-10	6.66E-09
100	6.99E-12	0	1.84E-09	5.49E-13	2.32E-12	3.55E-09	3.49E-15	4.95E-11	1.48E-10	0	3.07E-10	5.90E-09
200	2.94E-12	0	7.73E-10	2.30E-13	9.73E-13	1.49E-09	1.47E-15	2.08E-11	6.20E-11	0	1.29E-10	2.48E-09
300	1.64E-12	0	4.33E-10	1.29E-13	5.45E-13	8.34E-10	8.20E-16	1.16E-11	3.47E-11	0	7.22E-11	1.39E-09
400	1.06E-12	0	2.79E-10	8.31E-14	3.51E-13	5.37E-10	5.28E-16	7.50E-12	2.24E-11	0	4.65E-11	8.93E-10
500	7.44E-13	0	1.96E-10	5.83E-14	2.46E-13	3.77E-10	3.71E-16	5.27E-12	1.57E-11	0	3.27E-11	6.28E-10
1000	2.41E-13	0	6.35E-11	1.89E-14	8.00E-14	1.22E-10	1.20E-16	1.71E-12	5.09E-12	0	1.06E-11	2.04E-10
2000	7.87E-14	0	2.07E-11	6.17E-15	2.61E-14	3.99E-11	3.93E-17	5.57E-13	1.66E-12	0	3.46E-12	6.64E-11
3000	4.14E-14	0	1.09E-11	3.24E-15	1.37E-14	2.10E-11	2.06E-17	2.93E-13	8.73E-13	0	1.82E-12	3.49E-11
4000	2.63E-14	0	6.94E-12	2.07E-15	8.73E-15	1.34E-11	1.31E-17	1.87E-13	5.56E-13	0	1.16E-12	2.22E-11
5000	1.86E-14	0	4.90E-12	1.46E-15	6.17E-15	9.44E-12	9.29E-18	1.32E-13	3.93E-13	0	8.17E-13	1.57E-11
地面沉积外照射 (mSv)												
10	1.68E-04	0	4.47E-07	3.92E-07	2.43E-09	8.50E-10	2.20E-18	4.82E-09	1.29E-08	0	4.35E-10	1.69E-04
20	8.36E-05	0	2.23E-07	1.95E-07	1.21E-09	4.23E-10	1.09E-18	2.40E-09	6.44E-09	0	2.17E-10	8.40E-05
30	5.54E-05	0	1.48E-07	1.29E-07	8.05E-10	2.81E-10	7.26E-19	1.59E-09	4.27E-09	0	1.44E-10	5.57E-05
40	4.13E-05	0	1.10E-07	9.64E-08	5.99E-10	2.09E-10	5.40E-19	1.19E-09	3.18E-09	0	1.07E-10	4.15E-05
50	3.27E-05	0	8.73E-08	7.65E-08	4.75E-10	1.66E-10	4.29E-19	9.41E-10	2.52E-09	0	8.49E-11	3.29E-05

60	2.70E-05	0	7.20E-08	6.31E-08	3.92E-10	1.37E-10	3.53E-19	7.76E-10	2.08E-09	0	7.00E-11	2.71E-05
70	2.29E-05	0	6.10E-08	5.34E-08	3.32E-10	1.16E-10	2.99E-19	6.57E-10	1.76E-09	0	5.93E-11	2.30E-05
80	1.97E-05	0	5.27E-08	4.61E-08	2.87E-10	1.00E-10	2.59E-19	5.68E-10	1.52E-09	0	5.12E-11	1.98E-05
90	1.73E-05	0	4.62E-08	4.04E-08	2.51E-10	8.77E-11	2.27E-19	4.98E-10	1.33E-09	0	4.49E-11	1.74E-05
100	1.53E-05	0	4.09E-08	3.59E-08	2.23E-10	7.77E-11	2.01E-19	4.41E-10	1.18E-09	0	3.98E-11	1.54E-05
200	6.44E-06	0	1.72E-08	1.51E-08	9.35E-11	3.27E-11	8.44E-20	1.85E-10	4.96E-10	0	1.67E-11	6.48E-06
300	3.61E-06	0	9.62E-09	8.43E-09	5.24E-11	1.83E-11	4.72E-20	1.04E-10	2.78E-10	0	9.36E-12	3.63E-06
400	2.32E-06	0	6.19E-09	5.43E-09	3.37E-11	1.18E-11	3.04E-20	6.68E-11	1.79E-10	0	6.02E-12	2.33E-06
500	1.63E-06	0	4.35E-09	3.81E-09	2.37E-11	8.27E-12	2.14E-20	4.69E-11	1.26E-10	0	4.23E-12	1.64E-06
1000	5.29E-07	0	1.41E-09	1.24E-09	7.68E-12	2.68E-12	6.93E-21	1.52E-11	4.08E-11	0	1.37E-12	5.32E-07
2000	1.73E-07	0	4.60E-10	4.03E-10	2.51E-12	8.75E-13	2.26E-21	4.96E-12	1.33E-11	0	4.48E-13	1.73E-07
3000	9.07E-08	0	2.42E-10	2.12E-10	1.32E-12	4.60E-13	1.19E-21	2.61E-12	6.99E-12	0	2.35E-13	9.12E-08
4000	5.78E-08	0	1.54E-10	1.35E-10	8.39E-13	2.93E-13	7.57E-22	1.66E-12	4.45E-12	0	1.50E-13	5.81E-08
5000	4.08E-08	0	1.09E-10	9.54E-11	5.93E-13	2.07E-13	5.35E-22	1.17E-12	3.15E-12	0	1.06E-13	4.10E-08
吸入内照射 (mSv)												
10	6.51E-02	1.09E-03	1.70E-06	4.26E-04	3.61E-05	3.22E-04	0	2.03E-06	3.29E-07	0	0	6.70E-02
20	3.24E-02	5.44E-04	8.48E-07	2.12E-04	1.80E-05	1.60E-04	0	1.01E-06	1.64E-07	0	0	3.34E-02
30	2.15E-02	3.61E-04	5.62E-07	1.41E-04	1.19E-05	1.06E-04	0	6.71E-07	1.09E-07	0	0	2.21E-02
40	1.60E-02	2.69E-04	4.19E-07	1.05E-04	8.89E-06	7.92E-05	0	4.99E-07	8.10E-08	0	0	1.65E-02
50	1.27E-02	2.13E-04	3.32E-07	8.31E-05	7.05E-06	6.28E-05	0	3.96E-07	6.42E-08	0	0	1.31E-02
60	1.05E-02	1.76E-04	2.74E-07	6.85E-05	5.81E-06	5.18E-05	0	3.27E-07	5.29E-08	0	0	1.08E-02
70	8.88E-03	1.49E-04	2.32E-07	5.81E-05	4.93E-06	4.39E-05	0	2.77E-07	4.49E-08	0	0	9.13E-03
80	7.67E-03	1.29E-04	2.00E-07	5.01E-05	4.25E-06	3.79E-05	0	2.39E-07	3.87E-08	0	0	7.89E-03
90	6.72E-03	1.13E-04	1.76E-07	4.40E-05	3.73E-06	3.32E-05	0	2.09E-07	3.40E-08	0	0	6.91E-03
100	5.96E-03	9.99E-05	1.56E-07	3.90E-05	3.31E-06	2.94E-05	0	1.86E-07	3.01E-08	0	0	6.13E-03
200	2.50E-03	4.20E-05	6.54E-08	1.64E-05	1.39E-06	1.24E-05	0	7.80E-08	1.26E-08	0	0	2.57E-03
300	1.40E-03	2.35E-05	3.66E-08	9.16E-06	7.77E-07	6.92E-06	0	4.37E-08	7.08E-09	0	0	1.44E-03
400	9.02E-04	1.51E-05	2.36E-08	5.90E-06	5.00E-07	4.46E-06	0	2.81E-08	4.56E-09	0	0	9.28E-04
500	6.33E-04	1.06E-05	1.65E-08	4.14E-06	3.51E-07	3.13E-06	0	1.97E-08	3.20E-09	0	0	6.52E-04
1000	2.06E-04	3.45E-06	5.37E-09	1.34E-06	1.14E-07	1.02E-06	0	6.41E-09	1.04E-09	0	0	2.11E-04

2000	6.70E-05	1.12E-06	1.75E-09	4.38E-07	3.72E-08	3.31E-07	0	2.09E-09	3.39E-10	0	0	6.90E-05
3000	3.52E-05	5.91E-07	9.20E-10	2.30E-07	1.95E-08	1.74E-07	0	1.10E-09	1.78E-10	0	0	3.62E-05
4000	2.24E-05	3.76E-07	5.86E-10	1.47E-07	1.24E-08	1.11E-07	0	6.99E-10	1.13E-10	0	0	2.31E-05
5000	1.59E-05	2.66E-07	4.14E-10	1.04E-07	8.80E-09	7.83E-08	0	4.94E-10	8.01E-11	0	0	1.63E-05

表 11-26 本项目气载流出物所致公众剂量估算

距排气筒 距离 (m)	公众照射年剂量 (mSv/a)											
	Th-232	Ra-228	Ac-228	Th-228	Ra-224	Rn-220	Po-216	Pb-212	Bi-212	Po-212	Tl-208	合计
10	6.53E-02	1.09E-03	2.17E-06	4.26E-04	3.61E-05	3.22E-04	3.81E-14	2.03E-06	3.44E-07	0.00E+00	3.79E-09	0.067
20	3.25E-02	5.44E-04	1.08E-06	2.12E-04	1.80E-05	1.60E-04	1.90E-14	1.01E-06	1.71E-07	0.00E+00	1.89E-09	0.033
30	2.16E-02	3.61E-04	7.17E-07	1.41E-04	1.19E-05	1.06E-04	1.26E-14	6.72E-07	1.14E-07	0.00E+00	1.25E-09	0.022
40	1.61E-02	2.69E-04	5.34E-07	1.05E-04	8.89E-06	7.92E-05	9.38E-15	5.01E-07	8.45E-08	0.00E+00	9.33E-10	0.017
50	1.27E-02	2.13E-04	4.23E-07	8.32E-05	7.05E-06	6.28E-05	7.44E-15	3.97E-07	6.70E-08	0.00E+00	7.40E-10	0.013
60	1.05E-02	1.76E-04	3.49E-07	6.86E-05	5.81E-06	5.18E-05	6.14E-15	3.27E-07	5.53E-08	0.00E+00	6.10E-10	0.011
70	8.90E-03	1.49E-04	2.96E-07	5.81E-05	4.93E-06	4.39E-05	5.20E-15	2.77E-07	4.68E-08	0.00E+00	5.17E-10	0.009
80	7.69E-03	1.29E-04	2.55E-07	5.02E-05	4.25E-06	3.79E-05	4.49E-15	2.40E-07	4.05E-08	0.00E+00	4.46E-10	0.008
90	6.74E-03	1.13E-04	2.24E-07	4.40E-05	3.73E-06	3.32E-05	3.94E-15	2.10E-07	3.55E-08	0.00E+00	3.91E-10	0.007
100	5.97E-03	9.99E-05	1.98E-07	3.90E-05	3.31E-06	2.94E-05	3.49E-15	1.86E-07	3.14E-08	0.00E+00	3.47E-10	0.006
200	2.51E-03	4.20E-05	8.33E-08	1.64E-05	1.39E-06	1.24E-05	1.47E-15	7.82E-08	1.32E-08	0.00E+00	1.46E-10	0.003
300	1.40E-03	2.35E-05	4.66E-08	9.17E-06	7.77E-07	6.92E-06	8.20E-16	4.38E-08	7.39E-09	0.00E+00	8.16E-11	0.001
400	9.04E-04	1.51E-05	3.00E-08	5.90E-06	5.00E-07	4.46E-06	5.28E-16	2.82E-08	4.76E-09	0.00E+00	5.25E-11	9.30E-04
500	6.35E-04	1.06E-05	2.11E-08	4.15E-06	3.52E-07	3.13E-06	3.71E-16	1.98E-08	3.34E-09	0.00E+00	3.69E-11	6.53E-04
1000	2.06E-04	3.45E-06	6.84E-09	1.35E-06	1.14E-07	1.02E-06	1.20E-16	6.42E-09	1.08E-09	0.00E+00	1.20E-11	2.12E-04
2000	6.72E-05	1.12E-06	2.23E-09	4.39E-07	3.72E-08	3.31E-07	3.93E-17	2.09E-09	3.54E-10	0.00E+00	3.90E-12	6.91E-05
3000	3.53E-05	5.91E-07	1.17E-09	2.31E-07	1.95E-08	1.74E-07	2.06E-17	1.10E-09	1.86E-10	0.00E+00	2.05E-12	3.63E-05
4000	2.25E-05	3.76E-07	7.47E-10	1.47E-07	1.24E-08	1.11E-07	1.31E-17	7.01E-10	1.18E-10	0.00E+00	1.31E-12	2.31E-05
5000	1.59E-05	2.66E-07	5.28E-10	1.04E-07	8.80E-09	7.84E-08	9.29E-18	4.96E-10	8.37E-11	0.00E+00	9.23E-13	1.64E-05

11.3. 运行阶段非放射性污染环境影响分析

11.3.1. 废气影响分析

根据前文污染源项分析，项目正常工况下废气排放参数见下表：

表 11-27 项目正常工况下废气排放参数

编号	名称	排气筒底部中心坐标 (m)		排气筒底部海拔高度 (m)	排气筒高度 (m)	排气筒出口内径 (m)	烟气流速 (m/s)	烟气温度 (°C)	年排放小时数 (h)	排放工况	污染物排放速率 (kg/h)		
		X	Y								NO _x	NMHC	氯化氢
1	硝酸储罐呼吸废气 DA001	60	23	70.14	25	0.12	12.28	25	8760	正常排放	0.0001		
2	蒸汽冷凝回收废气 DA002	74	-12	70.14	25	1.6	13.77	25	7200	正常排放	0.0252	1.39E-03	4.96E-05
3	非放射性阳性间生物安全柜废气 DA003	66	34	70.14	25	0.12	12.28	25	300	正常排放		0.0006	
4	非放射性无菌室洁净工作台废气 DA004	68	33	70.14	25	0.12	12.28	25	300	正常排放		0.0006	
5	放射性无菌室无菌隔离室废气 DA005	72	33	70.14	25	0.12	12.28	25	300	正常排放		0.0006	
6	放射性阳性间生物安全柜废气 DA006	75	32	70.14	25	0.12	12.28	25	300	正常排放		0.0006	

注：以厂区西南侧为坐标原点，确定本项目各排气筒位置

11.3.2. 废水影响分析

本项目废水为间接排放，本次环评主要评价水污染控制和水环境影响减缓措施有效性和依托污水处理设施的环境可行性，相关分析见前文 10.3.1.2. 节。

11.3.3. 声环境影响分析

本项目噪声源强调查如下：

表 11-28 本项目主要噪声设备情况

序号	主要噪声设备名称	源强 dB (A) /1m	数量 个 (台)	运行方式	位置
1	真空水喷射机组	95	2	间歇运行	生产厂房 2F 吸附间
2	不锈钢离心机	85	1	间歇运行	生产厂房 1F 硝酸 钍溶解槽间
3	柴油发电机	95	1	停电时应急供电	室外柴油发电机组
4	循环冷却水冷却塔	85	1	间歇运行	冷却塔
5	各类泵、风机等	60~90	若干	持续运行	生产厂房各功能用房内

本项目评价范围内无声环境保护目标，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）中相关计算公式，本项目厂界噪声预测结果如下：

表 11-29 设备运行对厂界噪声贡献值

厂界方位	预测贡献值		标准	达标情况
东厂界外 1m	昼间	53.77	昼间<65 夜间<55	达标
	夜间	53.76		达标
南厂界外 1m	昼间	53.26		达标
	夜间	53.47		达标
西厂界外 1m	昼间	50.32		达标
	夜间	50.32		达标
北厂界外 1m	昼间	49.25		达标
	夜间	49.25		达标

注：项目全天候运行，故昼间贡献值与夜间贡献值一致

根据上表可知，本项目营运期采取合理的措施后，若主要设备噪声源同时产生作用，考虑自然衰减、室内隔声及设备减振的情况下，预测东、南、西、北厂界昼夜噪声排放值均符合《工业企业厂界噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准要求。

11.3.4. 地下水及土壤影响分析

本项目使用自来水，不抽取使用地下水，同时项目生产生活均位于生产厂房/研发楼内部，不存在初期雨水污染途径，因而，本项目污染物对地下水的影响主要是由于生

产过程中的液态物料或原材料（化学品、柴油等）通过垂直下渗经过表层土进入包气带，进入包气带的污染物在物理、化学和生物作用下经吸附、转化、迁移和分解后输入地下水。因此，包气带土层是连接地面污染物与地下含水层的主要通道和过渡带，既是污染物媒介体，又是污染物的净化场所和防护层。一般说来，包气带土壤粒细而紧密，渗透性差，则污染慢；反之，颗粒大松散，渗透性能良好则污染重。

污染物从污染源进入地下水所经过的路径称为地下水污染途径，地下水污染途径是多种多样的。根据本项目工程特点及所处区域的地质情况，本项目对地下水产生污染的途径主要是渗透污染。渗透污染是导致地下水污染的普遍和主要方式。

本项目采用间接冷却，冷却水基本不受污染，生活污水其污染物浓度较低，故本项目主要考虑医用同位素厂房的原料及液态物料、危化品库的危险化学品、柴油发电机组自带柴油储罐泄漏对地下水的影响。

本项目可能造成的地下水污染途径有以下几种途径：

- ①生产过程中的硝酸溶液或其他液态物料泄漏，对地下水环境造成污染
- ②化粪池池体破损，生活污水下渗污染地下水环境；
- ③柴油在储存过程中泄漏，柴油下渗污染地下水环境。
- ④危险化学品在储存过程中泄漏、下渗污染地下水环境
- ⑤项目废气排放经降水渗透污染地下水。

项目运营期对土壤的影响主要是：

①液态物料、危险化学品、柴油、危险废物等泄漏，通过垂直入渗或地面径流等方式污染土壤；

②项目废气处理设施外排污染物通过大气沉降的方式，进入土壤环境，污染土壤。

②废水处理设施（主要考虑化粪池）底部或侧壁破损（防渗层破裂），废水污染厂区周围土壤环境。

本项目不开采地下水，不会对地下水水位产生影响。本项目工艺废气排气筒共6处，根据本项目工程分析，废气中各污染物的排放速率相对较低，经处理后，各类废气均可以做到达标排放，经大气稀释后，其落地浓度较低，因此，在正常工况下不会由于废气排放导致地下水污染。

项目生产厂房、危化品库、柴油发电机组均按照重点防渗区的要求进行设计施工、同时设置围堰确保泄漏的物料不漏至单元外部，因此渗漏至外环境风险较小。本项目危废暂存间严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的相关要求采取污染防渗措施。因此，在按照相关要求采取必要的防渗、防漏、防雨等措施后，在正常情况下，本项目不会对区域地下水环境造成明显不利的影响。本环评要求建设单位做好厂区地面防渗工作及泄漏物料的收集工作，避免泄漏的物料污染土壤环境。同时，按照高标准严要求建设废水处理设施及废气处理设施，并同时加强废水废气管道及设备的日常检查和维护管理，避免出现泄漏的情况，避免出现废气设施达不到设计处理效率而事故排放的情况，减少事故情况下对土壤环境的影响。

本项目可能造成地下水及土壤污染的主要源项有：生产厂房、危化品库、柴油发电机组，针对可能对地下水造成影响的各环节，污染防治措施按照“源头控制、分区防控、污染监控、应急响应”相结合的原则，从污染物的产生、入渗、扩散、应急响应全阶段进行控制。

（1）源头控制措施

源头控制主要是指在工艺、管道、设备、污水储存及处理构筑物采取相应措施，防止和降低污染物跑、冒、滴、漏，将污染物泄漏的环境风险事故降到最低程度；

本项目采取的源头控制方案有：

1、柴油储罐采用柴油发电机组自带的储存箱，柴油发电机组地上设置，做到泄漏的柴油早发现早处理，同时环绕柴油发电机组设置了收集沟及围堰。

2、危化品库严格按照标准要求设计，仓库内设置了货架，各物料日常储存在专用的货架上，发生泄漏的几率极小。

3、生产厂房进行了严格的划分，同时部分主要储罐及功能用房设置了泄漏检测、剂量检测系统，一旦发生泄漏，可以立即报警，人员可以第一时间进行应急处置，减少泄漏的量。

（2）分区防渗

根据《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016），参照《石油化工工程防渗技术规范》（GB/T50934-2013）中的要求，根据场地特性和项目特征，对厂区

可能泄漏至地面区域污染物的性质和生产单元的构筑方式，将厂区划分为重点防渗区、一般防渗区和简单防渗区。

本项目分区防渗方案及要求如下

表 11-30 分区防渗方案及要求

防渗分区	主要单元	标准要求	本项目方案	是否符合
重点防渗区	危化品库、柴油发电机组、生产厂房、研发楼的危废暂存间	等效黏土防渗层 $Mb \geq 6.0$ ，渗透系数 $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ；或参照 GB18598 执行	危废暂存间按照 GB18598 执行，其他区域地面墙体采用抗渗混凝土；基础层为等效黏土层， $Mb \geq 6m$ ，渗透系数 $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$	符合
一般防渗区	冷却水池、研发楼除危废暂存间的其他区域、保卫值班室、检修棚	等效黏土防渗层 $Mb \geq 1.5m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ；或参照 GB16889 执行	地面采用防渗混凝土，等效黏土防渗层 $Mb > 1.5m$ ， $K < 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ；	符合
非防渗区	除重点防渗区、一般防渗区外的其他区域	/	一般硬化等	符合

本项目分区防控图如下：

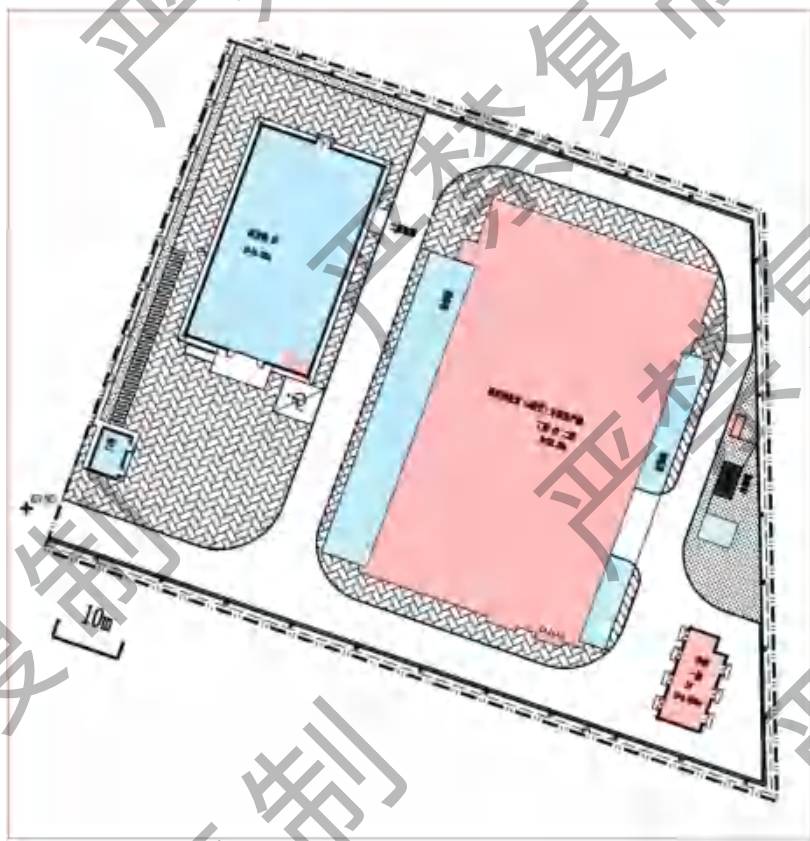


图 11-8 本项目分区防控方案

综上，本项目拟设定的防渗方案满足分区防渗的要求。

(3) 污染监控

1、监测原则及监测计划

见本次环评第十二章，本章节不再重复

2、数据管理

上述监测结果应按项目有关规定及时建立档案，并定期向生态环境部门汇报，对于常规监测数据应该进行公开。如发现异常或发生事故，加密监测频次，改为每天监测一次，并分析污染原因，确定泄漏污染源，及时采取应急措施。

地下水监测委托专业的机构完成。建立有关规章制度和岗位责任制。制定风险预警方案，设立应急设施减少环境污染影响。

为保证地下水监测有效、有序管理，须制定相关规定、明确职责，采取以下管理措施和技术措施。

(一) 管理措施

(1) 防止地下水污染管理的职责属于环境保护管理部门的职责之一。企业环境保护管理部门指派专人负责防治地下水污染管理工作。

(2) 环境保护管理部门应委托具有监测资质的单位负责地下水监测工作，按要求及时分析整理原始资料、监测报告的编写工作。

(3) 建立地下水监测数据信息管理系统，与企业环境管理系统相联系。

(4) 根据实际情况，按事故的性质、类型、影响范围、严重后果分等级地制订相应的预案。在制定预案时要根据本企业环境污染事故潜在威胁的情况，认真细致地考虑各项影响因素，适当的时候组织有关部门、人员进行演练，不断补充完善。

(二) 技术措施

(1) 按照《地下水环境监测技术规范》（HJ/T164-2004）要求，及时上报监测数据和有关表格。

(2) 在日常例行监测中，一旦发现地下水水质监测数据异常，应尽快核查数据，确保数据的正确性。并将核查过的监测数据报告安全环保部门，由专人负责对数据进行分析、核实，并密切关注生产设施的运行情况，为防止地下水污染采取措施提供正确的

依据。应采取的措施如下：

①了解全场生产是否出现异常情况，出现异常情况的装置、原因。加大监测密度，如监测频率临时加密为每天一次或更多，连续多天，分析变化动向，杜绝超标排放。

②周期性地编写地下水动态监测报告；

③定期对污染区的生产装置进行检查。

(4) 应急响应

在企业突发环境事件应急预案中需明确地下水、土壤污染应急处置程序，应急处置程序应包括明确风险事故状态下应采取的封闭、截留等措施等，确保地下水及土壤污染得到及时控制。

11.3.5. 固废影响分析

根据前文分析，项目产生的固体废弃物经分类处理后，处理处置率达 100%，符合国家固体废弃物处理处置政策，不会产生二次污染，不会对环境产生不利影响。在严格按照环境评价规定方式处置的情况下，项目固体废物排放不会对区域环境产生明显影响。

11.4. 辐射事故影响分析

11.4.1. 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 11-31 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)	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故(II级)	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故(III级)	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致 9 人以下（9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故(IV级)	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或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。

11.4.2. 可能发生的辐射事故

根据前文 9.4.1.节分析，本项目可能发生的最大潜在辐射事故为：

- (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

11.4.3. 最大潜在事故影响分析

针对上述最大潜在事故进行分析，并对事故后果进行预测、分析、评价。

11.4.3.1. 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，并被房间内坑内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 11-32 设备管道、槽罐破裂时检维修人员照射剂量估算一览表

辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	C (Bq/m^3)	DF_{inh} (Sv/Bq)	DF_{im} ($\text{Sv}\cdot\text{m}^3/\text{Bq}\cdot\text{s}$)	$t(\text{h})$	职业照射年剂量 (mSv/a)			
					外照射剂量	吸入内照射剂量	空气浸没外照射	合计
75	1			6	0.45	2.42E-01	1.70E-6	0.69

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。

11.4.3.2. 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，为 0.5h。

表 11-33 事故工况下职业人员照射剂量估算参数一览表

辐射工作场所	岗位	关键核素	放射性气溶胶产生量 (Bq/次)	操作区空间体积 (m ³)	单次操作时间 h	C (Bq/m ³)
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	钍-228 制备	Ra-228	3.39E+03	90.63	0.5	3.74E+01
	发生器回收		1.85E+08	64.89	2.5	2.85E+06
GMP 生产区	钍-228 制备	Rn-220	1.81E+06	54.45	0.5	3.32E+04
	钍-224 溶液及发生器制备		1.99E+07		0.5	3.65E+05
	Pb-212 标记		1.48E+08		0.5	2.72E+06

（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 11-34 事故工况下职业人员照射剂量估算结果

辐射工作场所	岗位	关键核素	C (Bq/m ³)	单次操作时间 h	剂量转化因子		职业照射年剂量 (mSv)
					g_{Rn}/DF_{inh}	DF_{im}	
硝酸钍原	钍-228	Ra-228	3.74E+01	0.5			0.05

料存储及 Ra-228 分 离区	制备 发生器 回收		2.85E+06	2.5		5.70
GMP 生产 区	钍-228 制备	Rn-220	3.32E+04	0.5		0.01
	镭-224 溶液及 发生器 制备		3.65E+05	0.5		0.15
	Pb-212 标记		2.72E+06	0.5		1.09

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 5.70mSv，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，在工作箱室泄漏时，不构成辐射事故。

11.4.3.3.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 11-35 过滤系统失效时 24h 内放射性气载流出物排放量（Bq）

辐射工作场所		核素	
		Th-232	Rn-220
硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区	硝酸钍溶液、吸附浓缩	4.83E+04	2.89E+07
	Ra-228 分离	-	-
	发生器回收处理间	-	1.85E+08
GMP 生产及质控区	Th-228 分离区	-	1.81E+07
	Ra-224 分离及发生器组装区	-	1.99E+08
	Pb-212 分离及标记区	-	7.40E+08
放射性气溶胶总排放量（Bq）		4.83E+04	1.17E+09

（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 11-36 过滤系统失效时 24h 事故情况下气载流出物所致公众剂量估算

距排气筒距离 (m)	公众照射年剂量 (mSv/a)				合计
	Th-232		Rn-220		
	烟云浸没外照射	吸入内照射	烟云浸没外照射	吸入内照射	
10	3.14E-12	2.68E-03	4.87E-08	4.92E-04	3.17E-03

20	1.57E-12	1.33E-03	2.43E-08	2.45E-04	1.58E-03
30	1.04E-12	8.85E-04	1.61E-08	1.63E-04	1.05E-03
40	7.73E-13	6.59E-04	1.20E-08	1.21E-04	7.80E-04
50	6.13E-13	5.22E-04	9.51E-09	9.60E-05	6.18E-04
60	5.06E-13	4.31E-04	7.84E-09	7.92E-05	5.10E-04
70	4.28E-13	3.65E-04	6.64E-09	6.71E-05	4.32E-04
80	3.70E-13	3.15E-04	5.74E-09	5.79E-05	3.73E-04
90	3.24E-13	2.76E-04	5.03E-09	5.08E-05	3.27E-04
100	2.88E-13	2.45E-04	4.46E-09	4.50E-05	2.90E-04
200	1.21E-13	1.03E-04	1.87E-09	1.89E-05	1.22E-04
300	6.76E-14	5.76E-05	1.05E-09	1.06E-05	6.82E-05
400	4.35E-14	3.71E-05	6.75E-10	6.82E-06	4.39E-05
500	3.06E-14	2.60E-05	4.74E-10	4.79E-06	3.08E-05
1000	9.92E-15	8.45E-06	1.54E-10	1.55E-06	1.00E-05
2000	3.23E-15	2.76E-06	5.02E-11	5.07E-07	3.26E-06
3000	1.70E-15	1.45E-06	2.64E-11	2.66E-07	1.71E-06
4000	1.08E-15	9.22E-07	1.68E-11	1.70E-07	1.09E-06
5000	7.65E-16	6.52E-07	1.19E-11	1.20E-07	7.72E-07

根据估算，在过滤器失效状态下，公众最大受照射剂量为 $3.17\text{E-}3\text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 1mSv 的剂量限值，因此在过滤器失效状态下，挥发的放射性气载流出物对周围辐射环境影响较小，不构成辐射事故。

11.4.4. 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）火灾、失电

现场备足灭火器材，各工作场所的墙体设计为不易燃材料，加强易燃易爆物品的管理。供电设计留有一定的安全裕量，加强供电电缆和用电设备的检查，加强安全教育。此外，建设单位拟制定配电设施维护保养制度，定期检查，发现问题及时维护保养，保证电源设备正常运行。同时配置 UPS 电源和备用柴油发电机，以保证突然断电情况下各辐射安全防护系统有效运行。

11.5. 非辐射事故影响分析

11.5.1. 可能发生的事故

根据前文 9.4.2.节分析，本项目可能发生的最大潜在事故为：

（1）风险物质泄漏、洒落：环境风险物质在贮存、转移或使用过程中，因操作失误或坠落导致包装破损而倾倒地于地面，若得不到及时收集，可能会落入土壤，污染土壤环境和地下水环境。其中柴油、危化品库的危险化学品、硝酸等，若进入雨水管网，则可能对地表水环境造成不利影响。

（2）火灾爆炸风险：本项目乙醇等为易燃物质，在贮存或使用过程中若操作不当遇到火源可能引发燃烧、爆炸事故，同时厂区研发楼可能电气故障等引发火灾事故，火灾废气对环境空气造成污染。灭火过程产生消防废水处置不当，经雨水管网进入地表水体，可能对水环境产生影响。

11.5.2. 风险分析

（1）泄漏、洒落环境风险分析

柴油贮存于柴油发电机组配套的柴油箱内，柴油发电机组周边设置了围堰，可以收集泄漏的柴油，危险化学品日常储存在专门的危化品库内，危险废物储存在专门的危废

间内,6m³的硝酸储罐放置在专门的功能用房内,房间设置围堰,围堰形成的容积约 8m³,满足单个硝酸储罐内全部硝酸泄漏后的应急收集需要,加之柴油发电机组、危化品库、危废暂存间、生产厂房等均按照重点防渗区进行设计,故本项目水环境风险物质泄漏、洒落事故影响有限。

(2) 火灾

本项目所用乙醇等属于可燃物质。若操作不当引起泄漏遇火源可能会引发火灾爆炸。火灾爆炸燃烧产物中一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、烟雾可能会对厂区周边及下风向环境空气在短时间内产生一定影响,但不存在长期影响。本项目厂区设有消防给水和灭火系统,一旦发生此类事故,建设单位应立即启动事故应急预案,及时安排救援和疏散厂区职工及附近人员,并迅速采取灭火堵漏措施。

本项目生产厂房及危化品库易燃物质极少,基本不考虑大规模的火灾事故,发生小规模火灾事故后,即采用二氧化碳灭火器等进行灭火,不考虑生产厂房的火灾事故。

研发楼等可能出现电气火灾事故,发生火灾事故时需要用水消防灭火,会产生次生消防废水,若消防废水排至雨水管网,可能会造成地表水体的污染。为避免消防废水污染水环境,建设单位应第一时间围堵厂区雨水排口,使消防废水截留在厂区内。如采取措施控制不力,消防废水可能经雨水管网排入周边地表水体,可能会造成地表水体局部污染。

11.5.3. 环境风险防范措施及应急要求

(1) 环境风险防范措施

①定期检查工艺设备及管道的密封性能及强度,及时淘汰出现安全隐患、超期服务的容器。

②每天对厂区设备进行检查,防止因为设备故障而引起火灾。对员工进行上岗培训,使其了解作业中应该注意的具体事项,不允许携带火源进入生产厂房、危化品库及柴油发电机周边区域。

③定期进行安全环保宣传教育及紧急事故模拟演习,提高事故应变能力。

④危险废物均贮存于容器内进行转运,以保证危险废物从产生工艺环节运输到暂存场所的过程中不会散落和泄漏。一旦泄漏,迅速将其转移至其他桶内,泄漏的环境风险

物质及污染的土壤作为危险废物委托有资质单位进行处理。

（2）环境风险应急措施

①泄漏环境事故

迅速撤离泄漏污染区人员至安全区，禁止无关人员进入污染区，并进行隔离严格限制出入。现场人员做好个人防护，迅速将物料容器倾斜，使破损处朝上，防止继续泄漏，然后将其转移至空桶内，对已经泄漏的用消防砂或其他不燃材料进行吸收，将吸收材料收集至应急桶内。最终应急废物委托有资质单位处理。

②火灾环境事故

发现起火，应立即报警，停止相关工作，启动相应事故级别应急预案，及时对周围人员进行疏散，同时利用室内消防设施进行扑救，并应及时与消防、环保等部门取得联系，多方配合尽量将事故损失降到最低。发生小范围火灾事故时，使用干粉灭火器进行灭火，不会产生消防废水。发生大范围火灾事故时（主要是研发楼火灾事故），使用消防栓进行灭火，会产生消防废水，用水泵等抽水设施将废水收集至专用容器内。事故结束后对消防废水进行检测。若消防废水不满足排放要求，则将事故废水交有资质单位处理。

11.5.4. 环境风险事故应急预案

建设单位拟制定完善的突发环境事件应急预案可有效保证应急响应、处置以及救援能力，减少事故对环境和社会造成不良影响。企业将根据《湖南省突发环境事件应急预案管理办法（修订版）》（湘环发〔2024〕49号）的要求编制环境应急预案或申请环境应急预案豁免管理。

11.5.5. 结论

针对项目可能的环境风险，企业将制定针对性的预防措施，可以将项目的辐射事故、非辐射事故发生概率降低到较低的水平。同时在事故情况下启动应急预案，可以将事故影响降到最低。

综上，本项目非辐射事故环境影响是可以接受的。

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

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条，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；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位拟根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，成立辐射安全与环境保护领导小组，组长由安全生产总监担任，成员由公司核安全管理岗位人员担任，并指定至少1名具有本科以上学历的专职人员负责公司辐射安全与环境保护管理工作。

辐射安全与环境保护管理小组主要职责如下：

(1) 严格遵守和执行国家及湖南省的辐射安全与环境保护的法律法规；宣传国家和上级部门有关射线装置和放射性同位素项目安全利用的方针、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辐射防护意识。

(2) 接受上级及属地化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) 负责放射性三废的监督管理和环境保护，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) 根据单位实际情况，制定辐射安全与环境保护有关管理规章制度，制定环境监测计划，并落实实施。

(6) 组织协调有关射线装置和放射性同位素使用部门制定岗位责任制、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) 负责组织新上射线装置和放射性同位素项目的安全和环境影响、职业卫生评价。

(8) 负责辐射工作人员的培训和管理，督促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。

辐射安全与防护工作领导小组应定期开会，总结运营期间的辐射防护管理方面经验，并根据国家相关法规、标准，改进管理规章制度。

12.2. 人员的配置及管理

建设单位拟配备工作人员 50 名，其中非放射性操作岗 28 人（行政管理及后勤保障 10 人、人力资源 2 人、财务管理 2 人、销售 2 人、企业管理 4 人、采购与物流 3 人、研发 5 人），涉及放射性操作岗 22 人（仓储管理 2 人、镭-228 制备 2 人、钷-228 制备 2 人、GMP 生产区 6 人、发生器回收 2 人、分析实验室 6 人、辐射安全管理 2 人）。

辐射工作人员须具备相应的专业技术能力并了解相关安全防护与相关法规知识，严格遵守规章制度和相应安全操作规程。辐射工作人员上岗前应进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。辐射工作人员上岗前还应在生态环境部组织开发的“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”学习相关知识并参加考核，通过考核后方可持证上岗，并根据主管部门要求定期进行再培训和考核。建设单位应为每名辐射工作人员配备一套个人剂量计，个人剂量计应编号定人佩戴，定期送交有资质单位进行检测，建立并完善个人剂量监测及健康档案管理制度。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，建设单位应做好以下工作：

1) 按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测；发现结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

2) 应安排专人负责辐射工作人员职业健康监护和个人剂量监测管理，建立并终生保存辐射工作人员职业健康监护档案和个人剂量档案。职业健康监护档案应当包括个人基本信息、职业史、既往病史、职业照射接触史、历次职业健康体检结论等材料；个人剂量档案应当包括个人基本信息、个人剂量监测结果等材料。

3) 辐射工作人员有权查阅和复制本人的职业健康监护档案和个人剂量档案。辐射工作人员调换单位的,原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供职业健康监护档案和个人剂量档案的复印件并盖章。

12.3. 辐射安全管理规章制度

为保证辐射安全,根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》,生产放射性同位素的单位应当有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、台账管理制度和监测方案等,本评价要求建设单位应制定以下规章制度,主要有:

- 1) 《辐射安全管理组织及职责》;
- 2) 《辐射事故应急预案》;
- 3) 《辐射安全与防护管理规定》;
- 4) 《辐射防护和安全保卫制度》;
- 5) 《放射性同位素存、用登记制度》;
- 6) 《监测方案》;
- 7) 《去污操作规程》;
- 8) 《辐射监测操作规程》;
- 9) 《安全防护设施的维修与维护制度》;
- 10) 《监测仪表使用与校验管理制度》;
- 11) 《辐射工作人员管理制度》;
- 12) 《放射性“三废”管理规定》。

在本项目投入运营前,还将根据项目各工作场所的内容制定相应作业场所生产操作规程,确保项目运行时各项规章制度、操作规程齐全并张贴上墙,警示标志和辐射安全防护设施配置到位。建设单位在执行各项制度时,要明确各岗位人员职责,并在工作中不断总结经验,根据有关管理部门及实际情况对各项制度加以完善和补充,并确保各项制度切实可行。

12.4. 环境监测

为了及早发现和获取可能发生污染与危害的征兆,确保本项目生产安全运行;防止

对环境产生有害的影响和避免对工作人员造成不必要的危害；为采取相应的安全措施提供必要的依据。同时监测数据为生产运行阶段的环境现状提供参考资料；与本底数据进行对照，分析项目运行后对当地环境的影响。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等要求，建设单位应建立必要的监测计划及监测资料档案。本项目监测内容包括：辐射工作场所监测、流出物监测、环境监测、个人剂量监测。

12.4.1. 辐射工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托具有 CMA 资质的环境监测机构进行监测。建设单位拟每年委托有相关资质的辐射监测机构对辐射工作场所进行监测，同时建设单位将配备 X- γ 辐射监测仪、放射性表面污染仪等日常进行自主检测，并做好档案记录。

（1）监测项目： γ 辐射剂量率

监测点位：生产厂房屏蔽体（包括墙体、门）外 30cm 处；放射性产品销售前，按要求进行包装，对包装及运输货车外表面进行监测；放射性废物在每次送交有资质单位处置前，按要求进行包装，对包装外表面进行监测。

监测频次：除特别说明外，建设单位日常进行辐射工作场所自主监测，监测频次不少于 1 次/季度；此外，每年定期委托有资质的单位进行 1 次监测；应急状况及时监测。

（2）监测项目：放射性表面污染（总 α 、总 β ）

监测点位：生产厂房各辐射工作场所工作台面、地面、墙面、相关设备/器皿表面以及辐射工作人员体表；放射性产品销售前，按要求进行包装，对包装及运输货车表面进行监测；放射性废物在每次送交有资质单位处置前，按要求进行包装，对包装表面进行监测。

监测频次：建设单位应在日常操作放射性核素后进行自主监测；此外，每年定期委托有资质的单位进行 1 次监测；应急状况及时监测。

(3) 监测项目：放射性气溶胶（总 α 、总 β ）、铀射气

监测点位：生产厂房各辐射工作场所人员操作区、废气排放口。

监测频次：除特别说明外，建设单位日常进行辐射工作场所自主监测，监测频次不少于 1 次/季度；此外，每年定期委托有资质的单位进行 1 次监测；应急状况及时监测。

表 12-1 辐射工作场所监测一览表

工作场所	监测点位	监测项目	监测频次	监测方式
医用同位素生产厂家	各辐射工作场所控制区屏蔽体外 30cm 处以及区域内控制区与监督区内有代表性的点位，如生产车间的人员操作区、相邻走廊、各放射性原料、中间产品、废物库、收发货厅；放射性废物桶、放射性产品的表面。	γ 辐射空气吸收剂量率	1 次/年	委托有相关检测资质单位
			一季度一次，放射性产品销售前、放射性废物处置前	自主监测
	生产厂房各辐射工作场所人员操作区、各放射性废气排气筒出口	放射性气溶胶、铀射气	1 次/年	委托有相关检测资质单位
			一季度一次	自主监测
	各辐射工作场所工作台面、地面、墙面、相关设备/器皿表面以及辐射工作人员体表；放射性废物桶、放射性产品的表面。	α 、 β 表面污染水平	1 次/年	委托有相关检测资质单位
			每次操作放射性核素后，放射性产品销售前、放射性废物处置前	自主监测

12.4.2. 流出物监测

表 12-2 本项目流出物监测计划

监测类别	监测点位	频次	监测指标	标准
废气	DA001	半年/次	NO _x	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）
	DA002	一季度一次	NMHC、氯化氢	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）、《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）
		在线监测	NO _x 、放射性气溶胶、铀射气	
	DA003	半年/次	NMHC	《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）
	DA004	半年/次	NMHC	《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）
	DA005	半年/次	NMHC、放射性气溶胶、铀射气	《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）
	DA006	半年/次	NMHC、放射性气溶胶、铀射气	《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）
废水	放射性生活废	每次排入厂区化粪池	总 α 、总 β	《污水综合排放标准》

	水储罐排放口	池前		(GB8978-1996) 表 1 标准并满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求
	厂区综合废水排放口	1 季度/1 次	pH、COD、氨氮、SS	《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 中的三级标准及铜桥港污水处理厂进水水质标准
噪声	厂界四周外 1m	1 季度/1 次	dB (A)	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中的 3 类标准

12.4.3. 辐射环境监测

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)，本项目监测项目、监测点位、监测频次见下表：

表 12-3 本项目环境监测计划

监测对象	监测项目	监测点位	监测频率 (次/年)
γ辐射	γ 辐射空气吸收剂量率	以工作场所为中心，半径 50~300m 以内	1
土壤	总α、总β、Th	以工作场所为中心，半径 50~300m 以内	1
废水	总α、总β、Th	放射性生活废液储罐	每次排入厂区化粪池前
废气	总α、总β、钍射气	各放射性废气排放口	1
放射性固体废物	γ辐射空气吸收剂量率和α、β表面污染	固废暂存间或放射性固废收储容器外表面	1~2 次/年，每次处置前

12.4.4. 非放环境监测

本项目环境质量监测如下：

表 12-4 本项目环境质量监测计划表

监测类型	监测点位	监测因子	监测频次
地下水	厂区上游，厂区内、厂区下游的地下水监测井	水位、pH、硝酸盐、亚硝酸盐、石油类、Th、总α、总β等	每季度一次
土壤	生产厂房南侧绿化带处土壤、冷却塔周边土壤（柴油发电间及危化品库中间）、厂区外北侧最近居民点处土壤	pH、石油类	5 年 1 次

12.4.5. 个人监测

建设单位需对辐射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担，常规个人剂量监测的周期应综合考虑工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素，外照射个人剂量监测周期一般为 30 天，最长不应超过 90 天，建设单位需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个

人剂量监测档案包括辐射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。

12.4.6. 排风系统过滤器效率监测

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。

12.5. 辐射事故应急

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，建设单位将制定《辐射事故应急预案》：

（1）建设单位拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《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》等法规的有关规定，开展辐射事故预防与应急处置。

（2）建设单位应对其辐射活动中辐射事故的应急准备与响应负首要责任，必须遵照国家和地方政府有关规定，依据所操作的射线装置以及潜在事故的特性和可能后果，考虑制定辐射事故应急计划或应急程序，并按规定报当地政府部门审查批准或备案。

（3）发生辐射事故时，建设单位应立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

（4）建设单位应切实执行并落实辐射安全管理规章制度，加强实体保卫，切实有效地防止辐射事故（件）的发生。主要履行以下职责：

- ① 全面负责本单位辐射环境和人员安全的管理；
- ② 负责编制和修订本单位辐射突发环境事件应急预案；
- ③ 加强辐射应急队伍建设，购置必要的辐射应急装备器材；
- ④ 负责本单位辐射工作场所和环境的应急监测；
- ⑤ 负责本单位辐射突发环境事件的紧急处置和信息报告；
- ⑥ 对可能造成超剂量照射的人员送到指定医院进行救治；

- ⑦ 负责本单位辐射突发环境事件恢复重建工作，并承担相应的处置经费；
- ⑧ 积极配合行政主管部门的调查处理和定性定级工作；
- ⑨ 负责组织本单位辐射突发环境事件相关应急知识和应急预案的培训，在环境保护行政主管部门的指导下或自行组织演练。

(5) 各类事故报警和联系方式

一般报告程序为：发现者报告给建设单位辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市生态环境局，并同时向省生态环境厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

公安局：110

生态环境部门热线：12345

湖南省卫生健康委员会：0731-84822000

衡阳市卫生健康委员会：8255500

公司辐射事故应急救援办公室/总值班室：

12.6. 从事辐射工作能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第二章第十二条的规定，“辐射工作单位组织编制的环境影响评价文件，除按照国家有关环境影响评价的要求编制或者填报外，还应当包括对辐射工作单位从事相应辐射活动的技术能力、辐射安全和防护措施进行评价的内容”。本报告依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射安全许可证申领单位的要求，对本项目建设单位从事相应辐射活动的技术能力、辐射安全和防护措施等进行分析评价。

12.6.1. 辐射安全与环境保护管理

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，申请者应当设置专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少安排 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。

建设单位应按此要求建立健全辐射安全与环境保护管理机构，配备齐相应资质的专业人员，方可满足要求。

12.6.2. 辐射工作人员培训

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》明确规定，“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”。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，应对从事辐射工作的人员进行辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并进行考核，合格后持证上岗。

目前建设单位相关工作尚在筹备阶段，工作人员尚未落实。建设单位承诺：待辐射工作人员落实后，立即安排所有辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，确保所有辐射工作人员考核合格并取得辐射安全培训证书后方可上岗。

取得辐射安全培训合格证书的人员，若要继续从事辐射工作，应当每 5 年接受一次再培训。

12.6.3. 辐射工作场所

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，“放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施”，“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”。

建设单位应根据环评报告和环评批复的要求进行辐射防护设计，施工过程中落实各项环保措施，经验收合格后投入使用。在此基础上，辐射工作场所的使用满足国家相关生态环境法律法规要求。

12.6.4. 个人防护用品及监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，建设单位应“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。”

本项目各辐射工作场所设计剂量自动监测报警系统，监测报警系统与射线装置的辐射类型与水平相匹配。同时，建设单位拟按要求配备环境监测用辐射监测仪和表面污染仪，监测仪器在灵敏度上满足环境监测要求。所有辐射工作人员每人配备 1 枚个人剂量片，对辐射工作人员的个人剂量进行监测。

12.6.5. 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 年修正）要求，申请者应有辐射事故应急措施。

建设单位应制定完善的《辐射事故应急预案》，应急预案应包括应急组织体系及其职责任务、事故类型及相应应急措施、应急响应程序、发生辐射事故时向相关部门报告的程序、内容以及报告的部门、事故的处理程序以及各部门的联系方式等方面的内容，应具有可操作性，并每年进行一次演习。

12.6.6. 辐射工作能力综合评价

对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的规定，针对建设单位从事申请活动种类的能力进行综合分析评价，结果见下表：

表 12-5 辐射安全工作条件与本项目评价结果对照一览表

序号	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求	评价结果
1	使用I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。	项目单位应按要求建立健全辐射安全与环境保护管理机构，配备相应资质的专业人员，方可满足要求。
2	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。	项目单位拟从事辐射工作的人员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，方可满足要求。
3	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。	设计满足要求
4	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。	设计满足要求
5	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。	设计满足要求
6	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。	拟制定相应制度
7	有完善的辐射事故应急措施。	拟制定辐射事故应急措施
8	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。	设计满足要求

12.7. 环境保护竣工验收

表 12-6 环境保护竣工验收一览表

序号	验收内容	验收要求	依据
1	环保文件	本项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告应齐全。	生态环境部公告 2018 年第 9 号
2	环境管理	成立专门的辐射领导机构，制定相应的规章制度、事故应急预案	国家环境保护

	制度、应急措施	案及相应的操作规程，有关制度上墙，且具有可操作性。		总局令第31号
3	人员要求	①本项目辐射工作人员应按要求配备到位，且具备相应的岗位技能； ②每季度对工作人员进行个人剂量监测，新增辐射工作人员应进行上岗前职业健康体检，在岗期间按照每2年进行1次放射人员健康体检，体检合格方可上岗，相关资料存档管理； ③辐射工作人员应参加辐射安全知识培训，考核专业应与辐射工作人员实际从事工作一致，考核合格后上岗，对于已取得辐射安全培训证书的应按要求再次参加培训和考核。		国家环境保护总局令第31号、生态环境部公告2018年第9号
4	辐射屏蔽设计及安全防护措施	①辐射屏蔽设计：按环评报告中第10.1.6节设计参数落实到位，应满足相应剂量率控制水平； ②分区和辐射警示标识：分区管理，设置电离辐射警告标识及中文说明、分区标识； ③辐射安全与防护措施、通风系统：按环评报告中第10.1.7节设置门禁监控等安防系统、放射性区域通风系统、辐射监测与管理系统等、配置必要的监测设备。 ④监测记录档案管理：应有完整的放射性同位素管理台账、放射性废物处置记录、辐射监测记录等。		GB18871-2002 GB11930-2010
5	三废处理设施	废气	①按环评报告10.1.8节设置通风系统和相应废气处置设施，保持辐射工作场所负压和各区压差，气流流向合理，各区域排风管最终引至项目所在医疗大楼楼顶排放，排放口前端按环评设置活性炭过滤装置。各通风橱/密封工作箱室等设置单独通风系统，顶壁安装活性炭或其他过滤装置。 ②定期开展排风系统过滤器效率监测和过滤装置更换，并做好相关记录。	GB18871-2002 GB11930-2010 HJ1188-2021
		废水	①按要求设置放射性废液储罐、放射性废水处理系统和厂区综合污水处理系统，废水经检测满足车间排放标准后方可排入厂区化粪池； ②相关废水处置、检测记录建立相应管理台账。	GB18871-2002 GB8978-1996 HJ1188-2021
		固体废物	①按要求设置放射性固废暂存间、危险废物暂存间和一般废物暂存间； ②分类收集整备和暂存，定期交有资质单位处置； ③相关固体废物处置、检测记录建立相应管理台账。	GB18871-2002 GB11930-2010 GB18597-2023 GB18599-2020
6	环境监测	①制定环境监测、流出物监测、辐射环境监测计划并严格执行，包括自行监测和委托监测，有资质单位出具的年度监测报告； ②配备相应的自检设备和在线监测设备，防护检查仪器及人员，定时进行自检。 ③相关辐射检测应建立完整档案。		GB18871-2002 HJ61-2021 GB8978-1996 GB12348-2008 GB16297-1996 GB37823-2019
7	电离辐射	个人剂量	①每名辐射工作人员配置个人剂量计，委托有资质的单位监测，监测周期不超过90天，并建立辐射工作人员个人剂量档案，长期进行信息跟踪、监控。 ②辐射工作人员年有效剂量不超过5mSv； ③公众成员年有效剂量不超过0.1mSv。	GBZ128-2019 GB18871-2002
		剂量率控制水平、放射性表面污染	工作场所各屏蔽体外周围剂量当量率满足相应标准要求；辐射工作场所放射性表面污染水平满足相应标准要求	GB18871-2002 HJ1188-2021

表 13 结论与建议

13.1. 辐射安全与防护综合结论

13.1.1. 项目概况

本项目建设内容主要为湖南中科金素科技有限公司建设的 1 栋医用同位素生产厂房、1 栋危化品库、1 栋研发楼以及相关配套辅助设施。建设单位拟在医用同位素生产厂房内规划建设硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区、GMP 生产及质控区两处乙级非密封放射性工作场以及相应配套的辅助用房，其中：硝酸钍原料存储及 Ra-228 分离区，主要开展硝酸钍原料中 Ra-228 的分离及制备、Ra-224/Pb-212 发生器回收处置以及放射性产品的包装外售，涉及使用 Th-232 及其子体、Ra-224 及其子体和 Pb-212 及其子体；GMP 生产及质控区内拟设置 Th-228 分离线、Ra-224 分离及发生器生产线、Pb-212 分离及标记生产线以及质控和实验室区，涉及使用 Th-228 及其子体、Ra-224 及其子体、Pb-212 及其子体，销售 Ra-224/Pb-212 发生器、Ra-224 和 Pb-212。

13.1.2. 实践正当性分析

本项目将在一定程度上实现我国医用 α 放射性同位素自主化生产和供应，推动湖南省、衡阳市及衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区核医疗产业链的完善和快速发展，对我国核医学技术水平提升有积极作用。项目实施后，将产生积极的社会效益、可观的经济效益，同时在采取各种环境保护、环境风险防控措施的前提下，项目对环境的影响是可以接受的，对辐射工作和公众的辐射影响可满足相关剂量限值要求。因此，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

13.1.3. 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”中“六、核能 - 4. 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”。本项目属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.1.4. 选址可行性及布局合理性分析

根据现状监测结果，本项目场址辐射环境质量现状良好。本项目放疗科、回旋制药中心和核医学中心集中设置在医疗大楼地下层，DSA 机房设置在放射科、手术中心内部

一侧，本项目各辐射工作场所相邻区域均无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域以及人员流动性大的商业活动区域，且通过设置实体屏蔽与其他科室分隔，独立成区，便于辐射分区管理及辐射防护控制。本项目放疗科、回旋制药中心、核医学中心、DSA机房、DSA复合手术室内各功能用房配置充足、分区明确、人物分流、满足实际生产工艺、患者诊疗流程及相应标准要求。同时，本项目营运期产生的电离辐射、废水、废气、固体废物等均可得到有效治理，做到达标排放，对环境影响小，从环境保护角度分析，项目选址及布局可行。

13.1.5. 环境影响分析结论

13.1.5.1. 辐射安全与防护

(1) 工作场所分区根据项目的特点，将本项目从事放射性操作的医用同位素生产厂房按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，根据放射性核素使用情况划分为控制区和监督区。

(2) 本项目医用同位素生产厂房内均划定了严格的人流、物流走向，防止人员受到不必要的照射及交叉污染。

(3) 辐射安全与防护措施：本项目医用同位素生产厂房内各辐射工作场所拟设置安全防范系统，防止人员盗窃；生产线各设备槽罐、操作箱室拟采用相应的防护材料进行屏蔽，产品采用适宜的防护包装，防止工作人员受到不当的外照射；各设备槽罐、操作箱室及生产厂房控制区各功能用房均采取合理的通风，降低工作人员内照射风险；各生产单元均采取了相应的表面污染防护措施，并且工作人员均配备了个人防护措施，确保人员辐射安全。

(4) 三废治理措施：本项目废气采用高效过滤系统净化后分别经屋顶排气筒排放，净化效率可达 99.9%；含放射性废液及废水均暂存于专用容器内，蒸干处置，少量含短半衰期废水拟存放衰变，当其放射性活度低于清洁解控水平后，向主管部门申请清洁解控，符合条件后按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求排放；放射性固体废物分别在各操作场所采用屏蔽容器就地收集，经废物整备周转至废物暂存间暂存，定期交有资质单位回收处置。

13.1.5.2. 环境影响分析

(1) 辐射影响分析：经估算，本项目内、外照射所致工作人员年有效剂量总和仍低于建设单位 5mSv/a 管理目标值，满足 GB18871-2002 职业照射剂量约束值的要求。正常运行工况下，公众年受照有效剂量均低于公众年有效剂量限值 0.1mSv/a 的管理目标值，满足 GB18871-2002 公众照射剂量约束值的要求。

(2) 非放射性影响分析：项目非放射性废水排放满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 1 及表 4 三级标准和污水处理厂进水水质要求，经市政污水管网排入污水处理厂；项目产生的大气污染物经处理后，满足相关标准要求高空排放；项目设备采取选用低噪声设备、利用厂房建筑隔声、加装减振基础、配套消声器等措施后，经预测计算厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类区标准要求，对区域声环境影响轻微；固体废物均得到妥善处置，职工生活垃圾等集中收集后运往环卫部门指定地点处置；制水工序产生的废滤芯、过滤器等送至生态环境部门指定地点处置。原料废包材外售综合利用；项目产生的危险废物收集后在试剂库危废品间暂存，定期交由有资质单位处置。项目在设计、建设和运行过程采取本环评提出的各项环境风险防范措施，制订并落实企业突发环境事件应急预案，在此前提下，该项目环境风险可控。

13.1.6. 辐射与环境保护管理

本项目为新建项目，建设单位承诺在项目投运前成立相应的辐射安全与环境管理机构，职责到人，并制定完善的辐射安全与环境管理措施。经与环保部 47 号令、18 号令提出的相关条件对比分析，该公司具备从事放射性活动的技术能力，同时制定相应的安全操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案、应急预案等制度。因此，只要严格执行规定的辐射安全与环境管理制度，本项目的运行安全是有保障的。

13.1.7. 结论

综合以上分析，本项目符合国家产业政策，厂址选择合理，运营过程中产生的污染物均采取了有效的防治措施。项目运营过程中对环境的影响是可以接受的，项目环境风险可控，工作人员职业照射剂量和公众的照射剂量满足剂量约束值的要求，项目具有明显的经济效益。因此，从环境保护和辐射防护角度来讲，本项目的实施是可行的。

13.2. 建议和要求

(1) 建设单位应严格执行工程基本建设程序和“三同时”制度，对重点工程做到精心设计和施工，确保工程质量和发挥设施的功能。

(2) 建设单位应严格落实各项环境保护和辐射防护措施，严格执行规定的各项安全和管理制度，尽可能降低项目运行过程中对环境和相关人员造成的影响。

(3) 建设单位应严格落实放射性工作场所通风系统性能的检测和维护，按要求定期更换过滤装置，做好放射性废物产生及处理记录，详细记录放射性废物产生、处理时间、性质等，避免放射性废物污染环境，并采取双签联单制度。

(4) 建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，制定工作场所和周围环境监测、防护性能监测等相关监测计划以及职业健康监护工作计划，并开展相关培训提升自主检测能力，确保周围环境的辐射安全和职工健康，并加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查。

(5) 建设单位应加强内部管理，明确管理职责，杜绝各类辐射事故的发生，应结合实际情况和监管部门要求制定各项辐射安全管理制度，完善辐射应急预案，要求具有可操作性，并认真落实，严格按照各项规章制度、操作规程执行。

(6) 建设单位应配备必要的个人防护用品及监测设备，加强管理及维护，确保各类防护用品、设备设施均能正常使用。

(7) 建设单位应组织辐射工作人员到有资质的机构进行上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康体检，定期开展个人剂量监测，接受辐射安全防护知识和法规培训，具备相应条件，体检合格且取得辐射安全培训合格成绩单后，方可从事放射工作。建立辐射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案，并终生保存。辐射工作人员调动工作单位时，个人剂量、健康监护档案应随其转给调入单位。明确专门的部门对辐射工作人员统一管理，定期开展辐射防护教育

(8) 建设单位应加强辐射安全与环境保护方面的宣传，做好与当地公众的沟通工作。

(9) 环评取得批复、项目建成且场所达到要求后，及时向相关部门申请办理《辐射安全许可证》。项目投入使用后，建设单位应按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》完成环保竣工验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公 章 年 月 日

环评委托书

核工业二三〇研究所：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，现委托贵所承担“湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目”的辐射环境影响评价工作。

特此委托！

湖南中科金素科技有限公司

2024年5月10日



附件2 项目可行性研究报告专家评审结论书

湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目
可行性研究报告专家评审结论书

项目名称		湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目					
评审日期		2024 年 5 月 26 日					
专家评审意见							
序号	姓名	通过	不通过	序号	姓名	通过	不通过
1		✓		2		✓	
3		✓		4		✓	
5		✓					
评审专家组意见:							
评审最终结论: ☒ 通过 ☐ 不通过							
组长 (签字):							
成员 (签字):							
2024 年 5 月 26 日							

项目编码：2405-430405-04-01-237772

珠晖区发展和改革局

湖南中科金素科技有限公司医用同位素 项目备案的证明

湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目已于 2024 年 5 月 30 日在湖南省投资项目在线审批监管平台备案，项目编码为：2405-430405-04-01-237772，备案主要内容如下：

一、建设单位基本情况：项目建设单位为湖南中科金素科技有限公司，统一社会信用代码：91430405MADLMGK001。

二、项目名称：湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目。

三、建设地点：珠晖区东阳渡街道天友路以东，中核二七二铀业有限责任公司以西，湖南中核金原新材料有限责任公司西北处。

四、建设规模及建设内容：占地约 15 亩，总建筑面积约 8000 平方米，主要建设一栋生产厂房和仓库，建设一条医用同位素分离生产线，主要生产 ^{228}Th 溶液；建设两条发生器组装生产线，分别组装生产 $^{228}\text{Th}/^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ 发生器和 $^{228}\text{Th}/^{224}\text{Ra}$ 发生器；建设一栋研发楼和食堂等相关配套辅助设施。

五、项目总投资额：项目总投资约 10000 万元。

以上信息为项目建设单位通过在线平台填报，备案机关尚未核实项目真实性，其真实性由项目建设单位负责。项目建设单位须通过在线平台如实报送项目开工、建设进度、投资完成情况、竣工投用等基本信息，项目开工前应按季度报告进展情况，开工后应按月报告投资完成情况。我局将依法进行项目监管，处理有关违法违规行为，并向社会公开。

珠 江 区 发 展 和 改 造 局



日

项目编码：2405-430405-04-01-237772

珠晖区发展和改革局

湖南中科金素科技有限公司医用同位素 项目变更备案的证明

湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目项目已于 2025 年 3 月 12 日在湖南省投资项目在线审批监管平台申请备案变更，项目编码为：2405-430405-04-01-237772，变更主要内容如下：

原建设内容：占地约 15 亩，总建筑面积约 8000 平方米，主要建设一栋生产厂房和仓库，建设一条医用同位素分离生产线，主要生产 ^{228}Th 溶液；建设两条发生器组装生产线，分别组装生产 $^{228}\text{Th}/^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ 发生器和 $^{228}\text{Th}/^{224}\text{Ra}$ 发生器；建设一栋研发楼和食堂等相关配套辅助设施。变更为：占地约 12 亩，总建筑面积约 9800 平方米，主要建设一栋生产厂房和仓库，建设一条医用同位素分离生产线，主要生产 ^{224}Ra 溶液；建设一条发生器组装生产线，组装生产 $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$ 发生器；建设一条 ^{212}Pb 标记生产线，主要应用于 ^{212}Pb 药物的前期研发；建设一栋研发

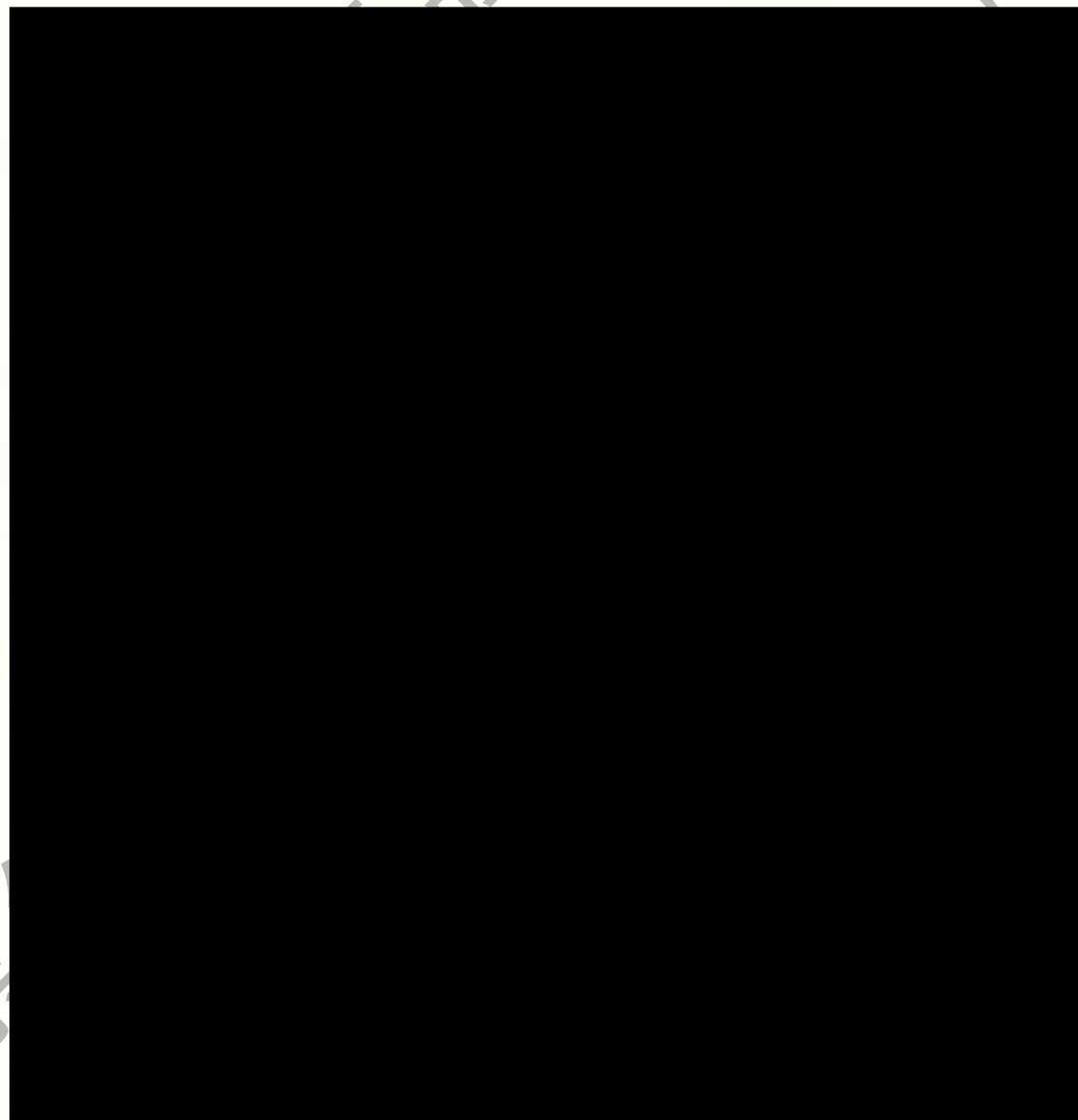
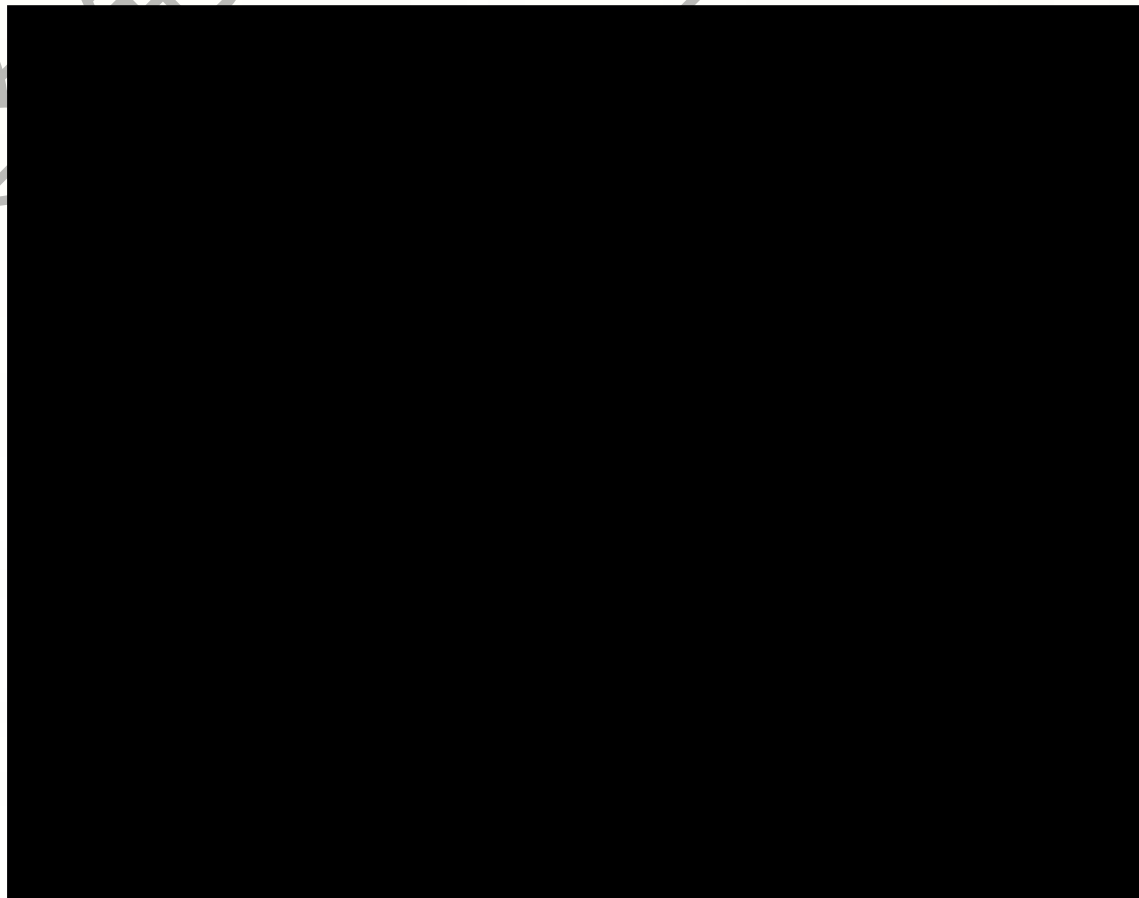
楼等相关配套辅助设施。

原批复其他内容不变。



中华人民共和国
建设用地规划许可证

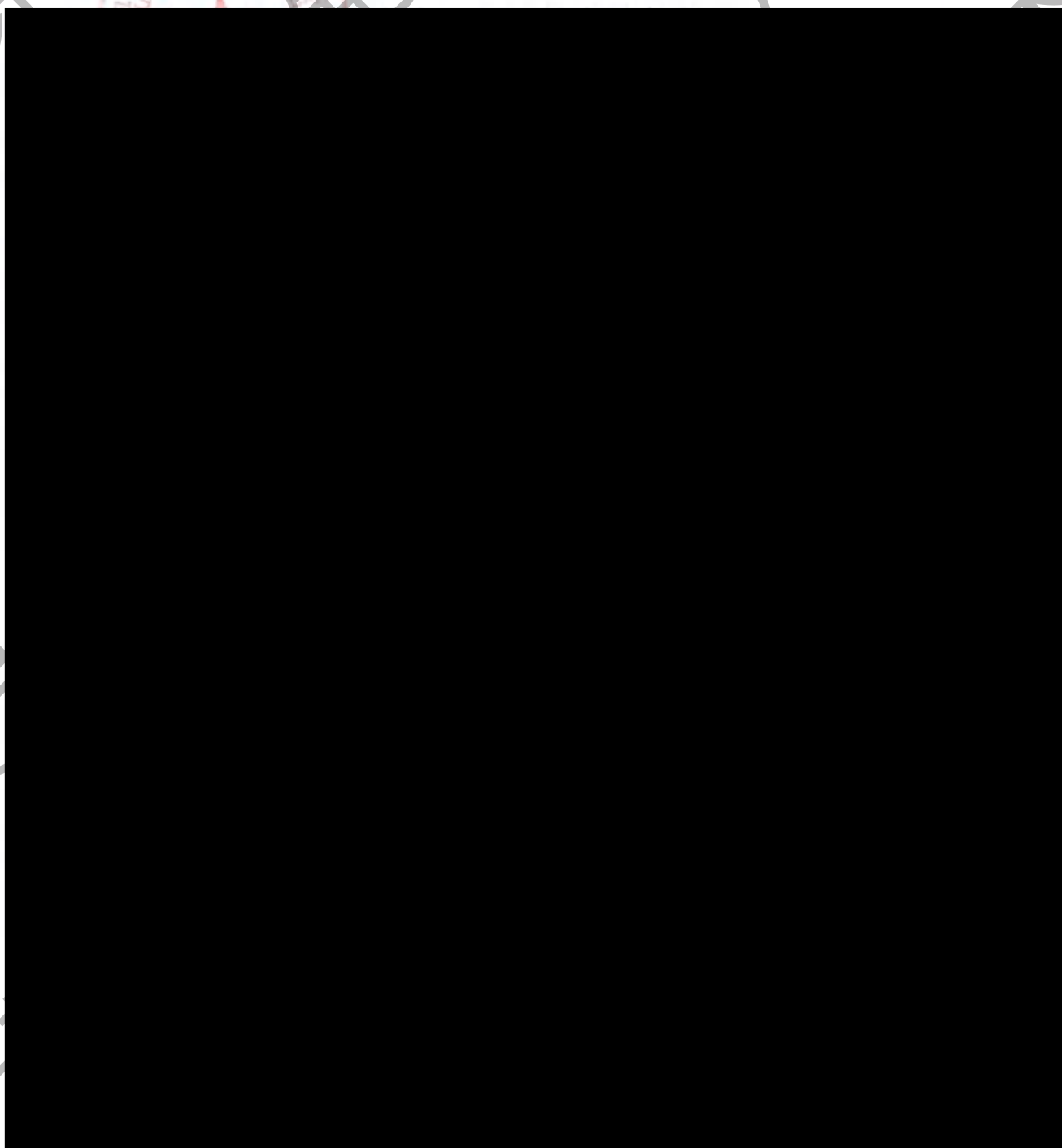
地字第 4304052025YG0001528 号



遵守事项

- 一、本证是经自然资源主管部门依法审核，建设用地符合国土空间规划和用途管制要求，准予使用土地的法律凭证。
- 二、未取得本证而占用土地的，属违法行为。
- 三、未经发证机关审核同意，本证的各项规定不得随意变更。
- 四、本证所需附图及附件由发证机关依法确定，与本证具有同等法律效力。

关于申请湖南中科金素科技有限公司
医用同位素项目入园的报告



湖南省生态环境厅

湘环评函〔2022〕92号

湖南省生态环境厅

关于《衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区总体规划环境影响报告书》审查意见的函

湖南白沙绿岛投资开发有限公司：

你单位《关于申请对衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区总体规划环境影响报告书评审的报告》、衡阳市生态环境局关于衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区的预审意见及相关附件收悉，根据《规划环境影响评价条例》的相关规定，我厅组织相关职能部门和技术专家小组对《衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区总体规划环境影响报告书》（以下简称《报告书》）进行了审查，经研究，提出如下审查意见：

一、衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区（以下简称“园区”）于2021年11月经省人民政府批准并设立为省级产业园区，根据《湖南省人民政府关于设立衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区的批复》（湘政函〔2021〕155号），园区现行规划面积4700公顷，首期核准四至面积630.64公顷，主导产业为装备制造、新材料及核技术应用产业。根据湖南省发展和改革委员会、湖南省自然资

源厅《关于发布湖南省省级以上产业园区边界面积及四至范围目录的通知》(湘发改园区〔2022〕601号),园区核准面积为630.64公顷。园区分为两个区块,区块一规划面积284.07公顷,东至经八路,南至纬三路,西至经四路,北至纬二路、栗塘路,重点发展科研孵化、新材料生产(主要包括磁性材料、金属粉末、3D材料);区块二规划面积346.57公顷,东至京广铁路,南至绿岛大道、纬三路,西至经九路,北至纬一路、栗塘路,重点发展装备制造(主要包括能源装备、环保装备、医疗器械)和核技术应用产业(主要是辐照加工),配套发展现代物流产业。园区总体及各片区具体面积范围与相关坐标信息,以省政府及职能部门核准、认定的信息为准。

根据《报告书》的评价结论、衡阳市生态环境局对规划环评的预审意见及审查小组意见,在地方政府和园区管理机构按环评要求落实各项生态环境保护、产业准入及风险控制要求的前提下,园区发展对周边环境的影响可得到有效控制。

二、园区后续规划建设应做好以下工作:

(一)严格依规开发,优化空间功能布局。园区在进行国土空间规划和开发建设过程中应充分吸收规划环评对不同功能用地和不同工业用地类别的设置意见,从规划层面提升环境相容性,并按照经核准的园区规划范围开发建设,园区规划用地不得涉及各类法定保护地。作为新设立的园区,园区应从生态环境相容性出发做好空间功能布局,将环境影响较大的工业项目尽可能远离集镇、安置小区布局,同时,园区核准范围外周边新建集中居住

区、学校、医院也尽量应避开工业集中开发区域,为工业合理发展扩张预留空间。

(二) 严格环境准入,优化园区产业结构。园区产业引进应严格遵循《长江保护法》、《长江经济带发展负面清单指南》及省、市相关法律法规及政策的要求,落实园区“三线一单”及《报告书》提出的准入条件、生态环境管控清单、行业准入清单等要求。区块一限制气型污染为主的企业入驻;区块二已有稀土金属冶炼企业的发展立足于升级改造并严格落实污染物减排。

(三) 落实管控措施,加强园区排污管理。加快园区污水收集管网及集中处理设施建设,实行雨污分流、污污分流,确保园区生产生活废水应收尽收,集中纳入污水处理厂处理,逐步解决临近区块二北侧已有的集中居住区的生活废水分散排放问题,园区企业放射性废水应在企业排放口满足相关行业标准中放射性指标限值要求后,纳入集中污水处理厂处理,做好园区污水处理厂中水回用管网系统及尾水排放管网的建设,确保其与新建涉废水排放项目同步投入使用,园区后续不得超过污水处理厂的处理能力和排污口审批所规定的废水排放量引进项目。园区应促进能源结构低碳化,推广使用清洁能源,加强园区大气污染防治,采取有效措施减少污染物排放总量,严格控制无组织排放,加强对园区企业 VOCs 排放的治理。建立园区固废规范化管理体系,做好工业固体废物和生活垃圾的分类收集、转运、综合利用和无害化处理。对危险废物应严格按照国家有关规定综合利用或妥善处置,对危险废物产生企业和经营单位,应强化日常环境监管。按要求做好

园区内疑似污染地块的治理工作。园区须严格落实排污许可制度和污染物排放总量控制，督促入园企业及时完成竣工环境保护验收工作，推动入园企业开展清洁生产审核。园区应落实第三方环境治理工作相关政策要求，强化对重点产排污企业的监管与服务。

(四)完善监测体系，监控环境质量变化状况。结合园区规划的功能分区、产业布局、重点企业分布、特征污染物的排放种类和状况、环境敏感目标分布等，建立健全园区环境空气、地表水、地下水、土壤、放射性等环境要素的监控体系，重点监控东阳渡街道、园区内外安置小区的环境空气环境质量变化情况，并涵盖VOCs、铀、钍、 γ 辐射剂量率等相关特征污染物监测，加强对园区重点排放企业的监督性监测，防止偷排漏排。

(五)强化风险管控，严防园区环境事故。建立健全园区环境风险管理工作长效机制，加强园区环境风险防控、预警和应急体系建设。落实环境风险防控措施，及时完成园区环境应急预案编制和备案工作，推动重点污染企业环境应急预案编制、修订和备案工作，加强应急救援队伍、装备和设施建设，储备必要的应急物资，有计划地组织应急培训和演练，全面提升园区环境风险防控和环境事故应急处置能力。

(六)做好周边控规，落实拆迁安置计划。严格做好控规，杜绝在规划的工业用地上新增环境敏感目标。构建铀矿冶设施与城镇居住区间的生态廊道，严格落实《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)，铀矿冶设施与居民区的辐射防护最小间隔距离不应小于300米的要求。确保园区开发过程中的居

民搬迁安置到位，防止发生居民再次安置和次生环境问题，对于具体项目环评设置防护距离和搬迁要求的，要确保予以落实。

（七）做好园区建设期生态保护和水土保持。施工期对土石方开挖、堆存及回填要实施围挡、护坡等措施，裸露地及时恢复植被，防止水土流失，杜绝施工建设对地表水体的污染。

三、加强园区规划环评与项目环评的联动机制，对符合规划环评环境管控要求和生态环境准入清单的具体建设项目，应将规划环评结论作为重要依据，其环评文件中选址选线、规模分析内容可适当简化。园区后续建设中，应适时开展规划环境影响跟踪评价工作。园区规划必须与区域宏观规划相协调，规划发生重大调整或修订的，应当重新或补充开展规划环评工作。

四、园区投资开发公司应在收到本审查意见后 15 个工作日内，将审查通过后的环评报告书送衡阳市生态环境局及珠晖分局。园区建设的日常环境监督管理工作由衡阳市生态环境局及珠晖分局具体负责。



2022 年 10 月 11 日

抄送：湖南省发展和改革委员会，湖南省生态环境事务中心，衡阳市生态环境局，珠晖区人民政府，衡阳市生态环境局珠晖分局，核工业二三〇研究所。

附件7 水、电、蒸汽供应协议

合同编号: 2021 年白沙绿岛合同第00016号

合同编号: ZHEQE/ZH-2021167

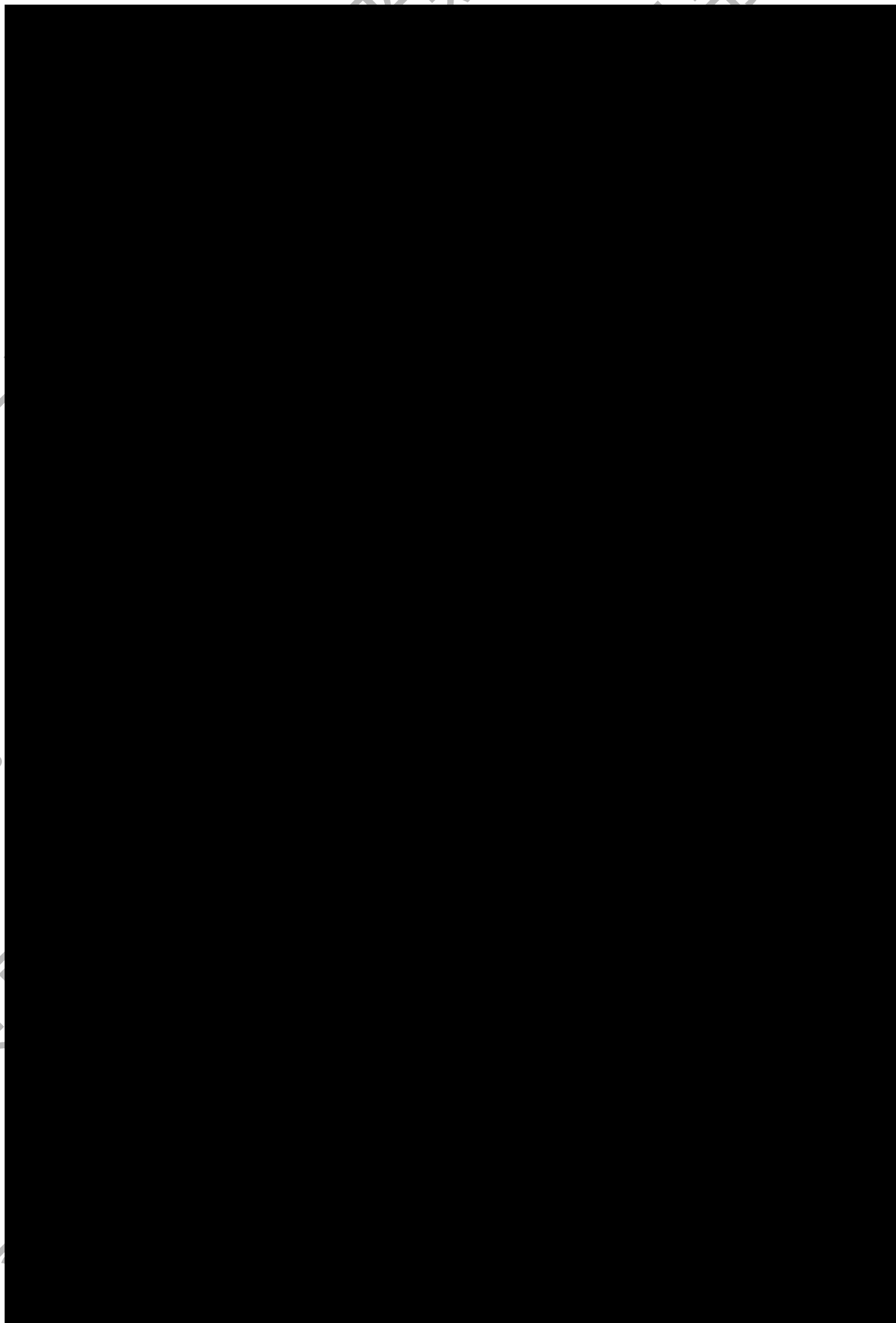
湖南白沙绿岛产业园 二七二铀业周边项目水、电、蒸汽供应

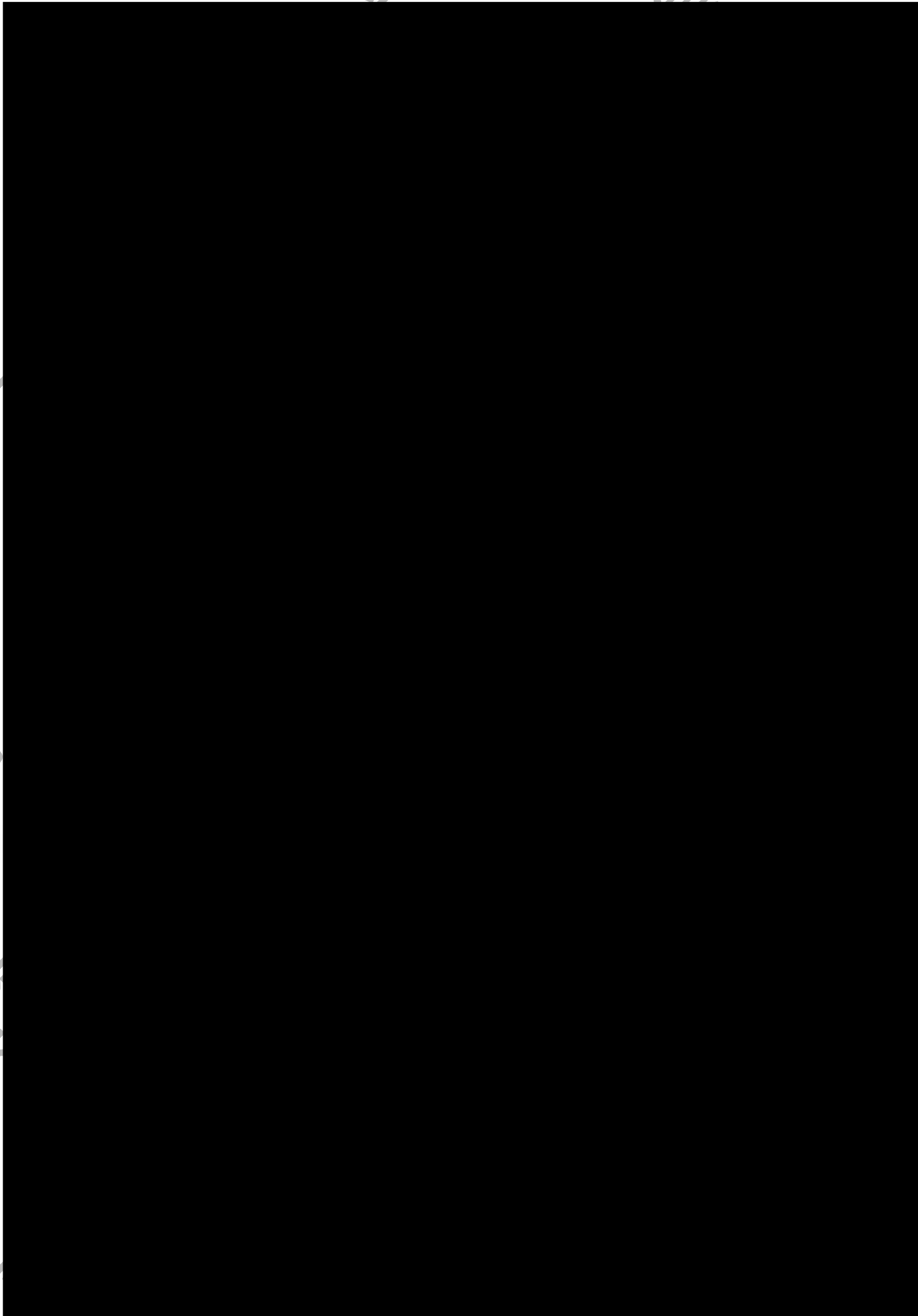
合作框架协议

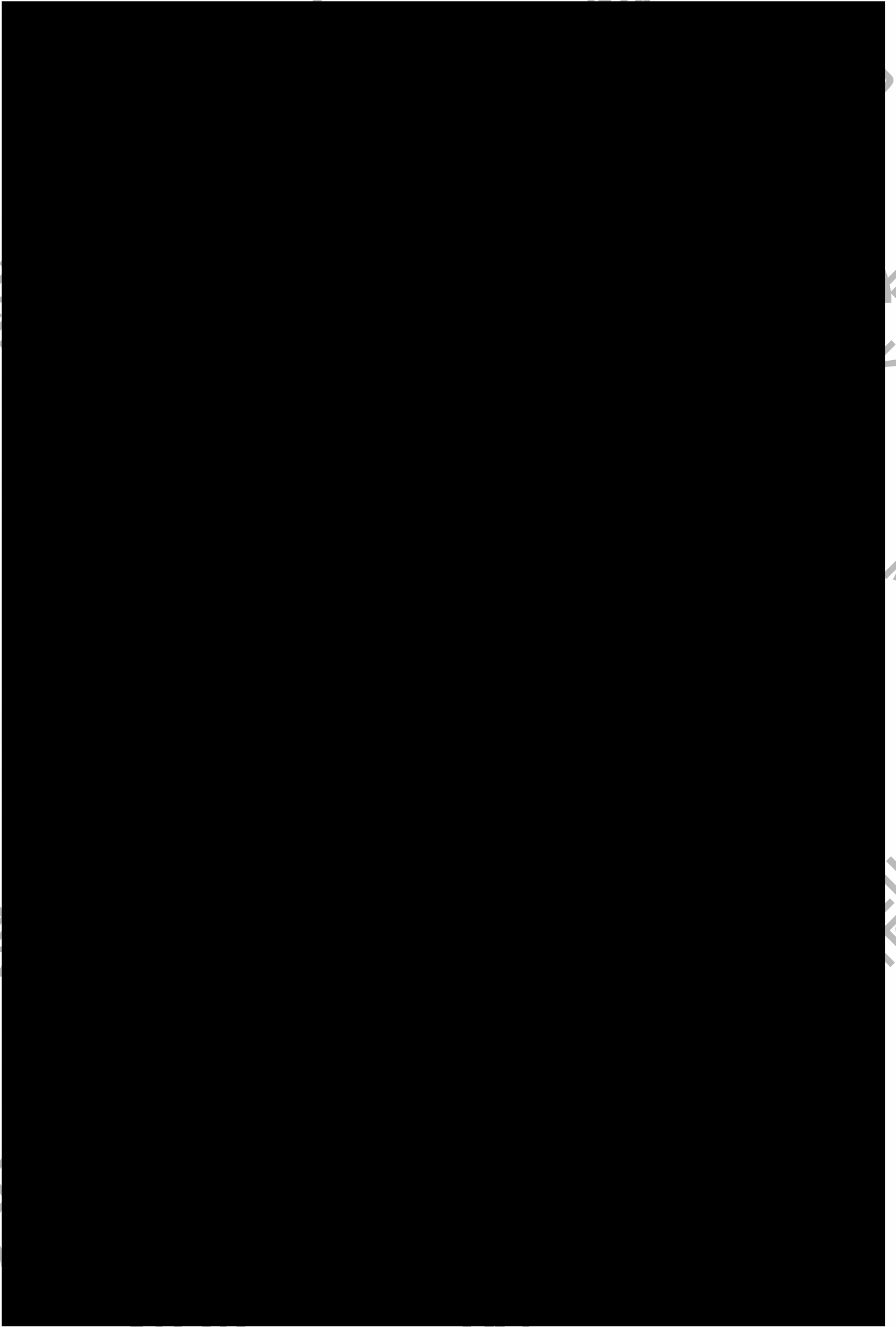
甲方: 湖南白沙绿岛投资开发有限公司

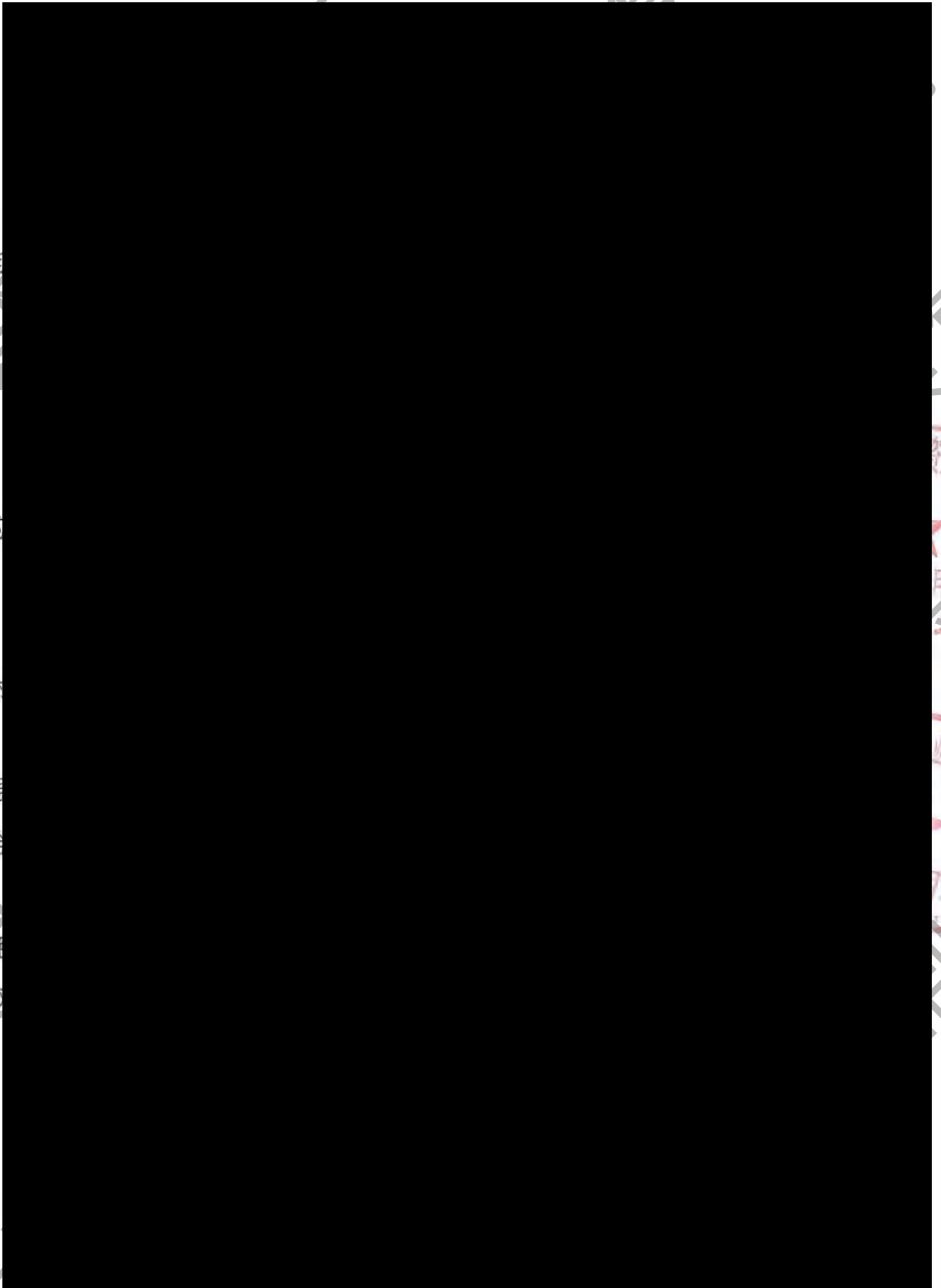
乙方: 中核二七二铀业有限责任公司

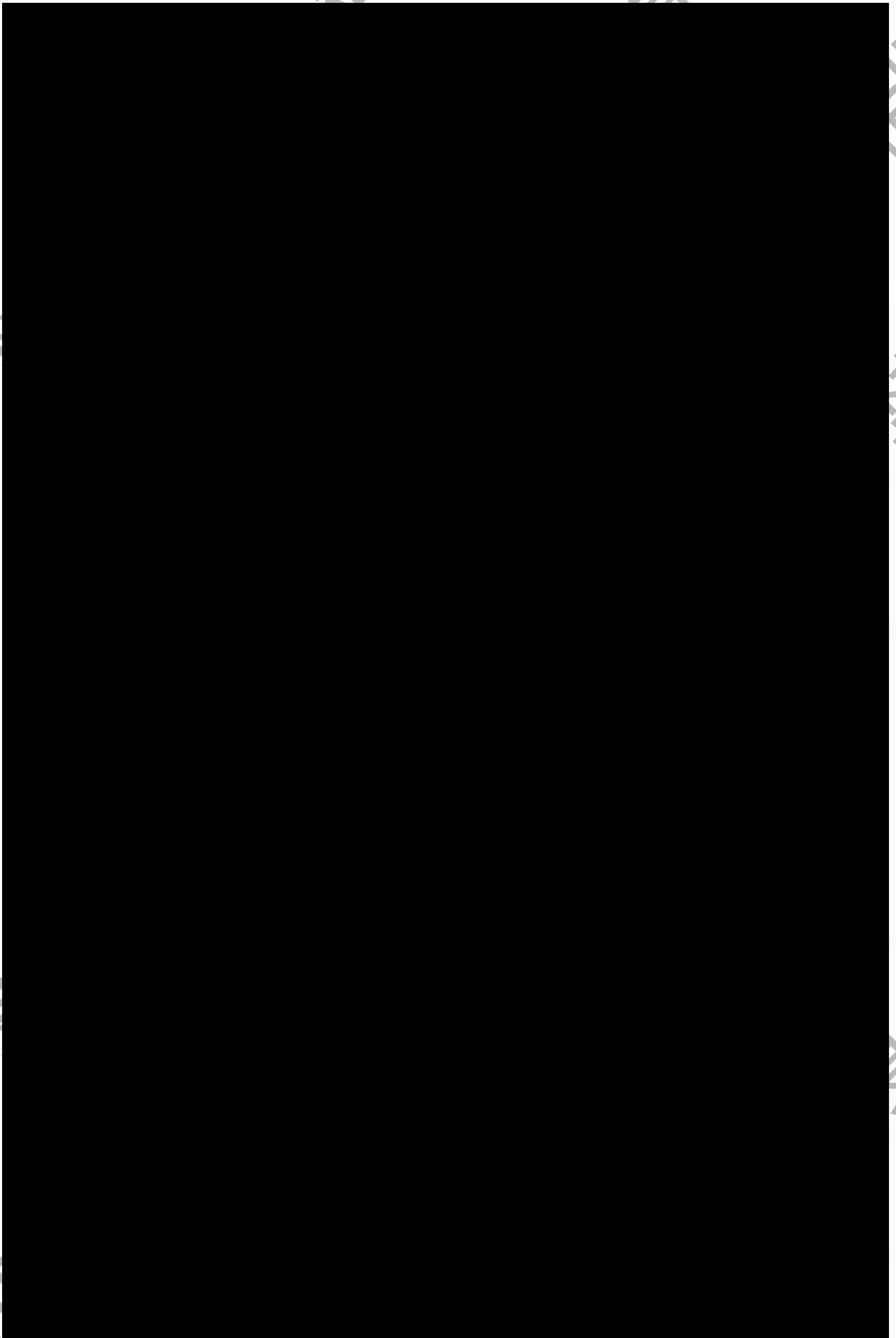
签订地点: 湖南省衡阳市

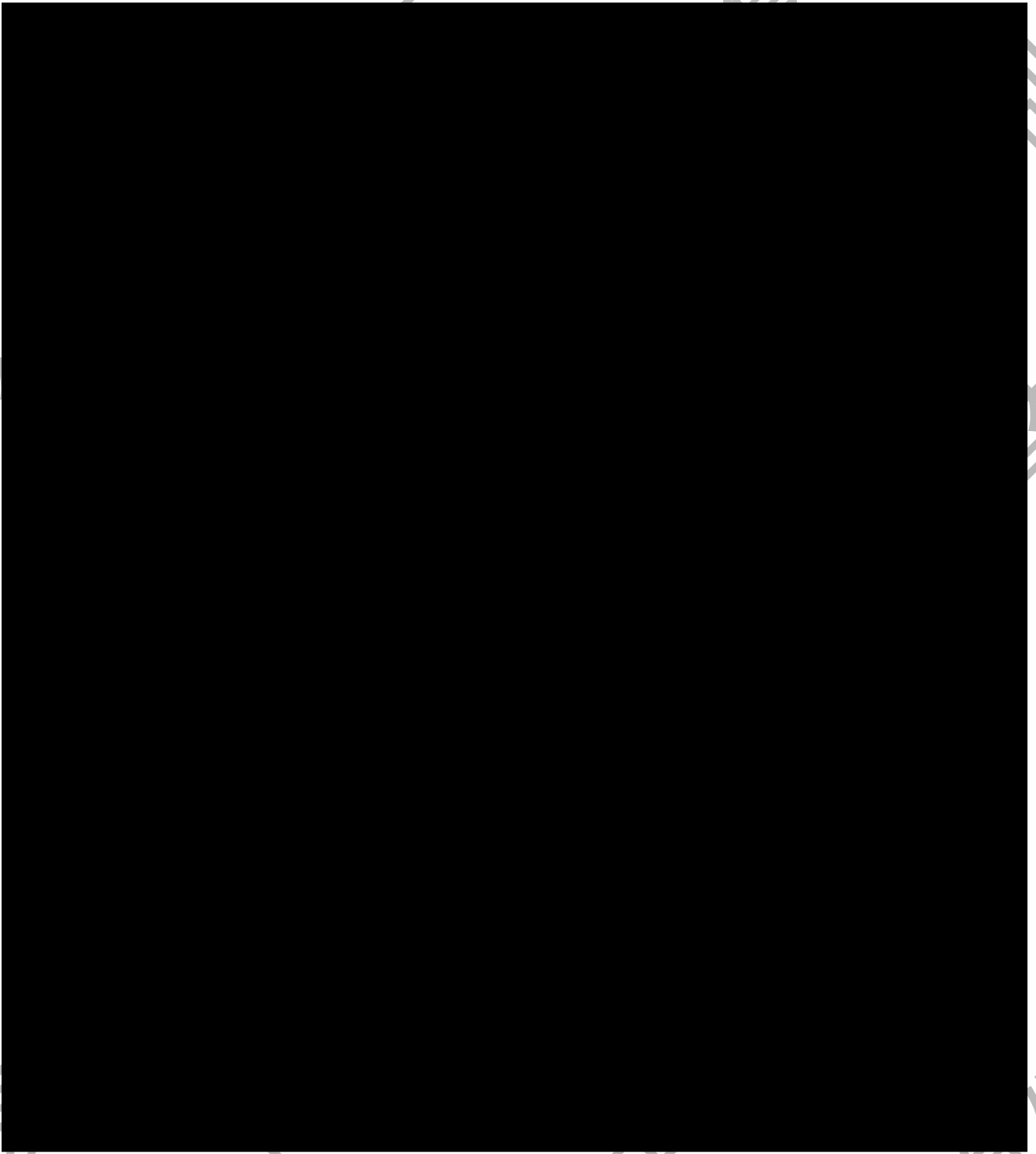












伴生放射性废渣处置

合作意向协议

委托方（甲方）：湖南中科金素科技有限公司

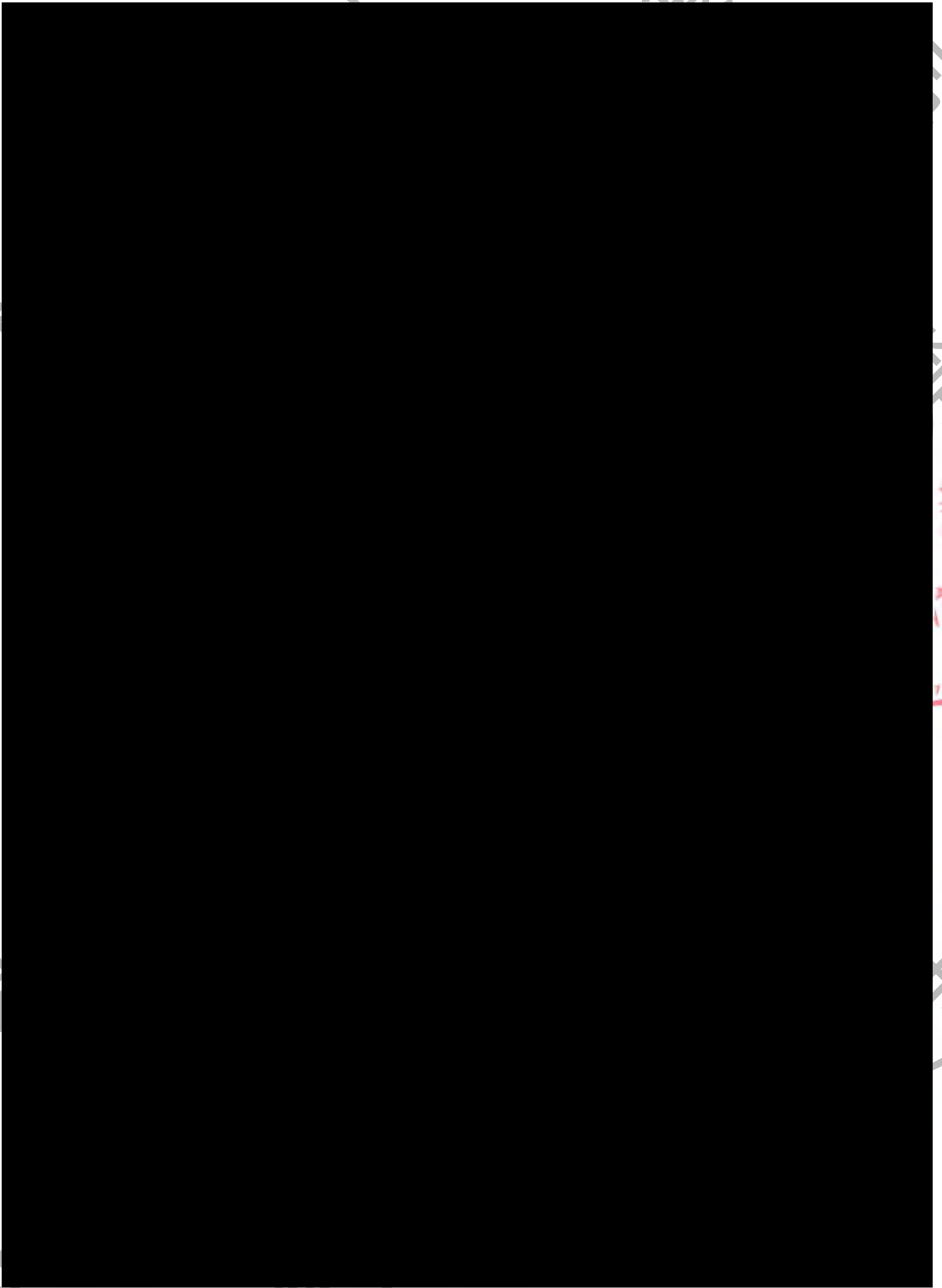
委托方地址：湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道南村 38 号 105 室

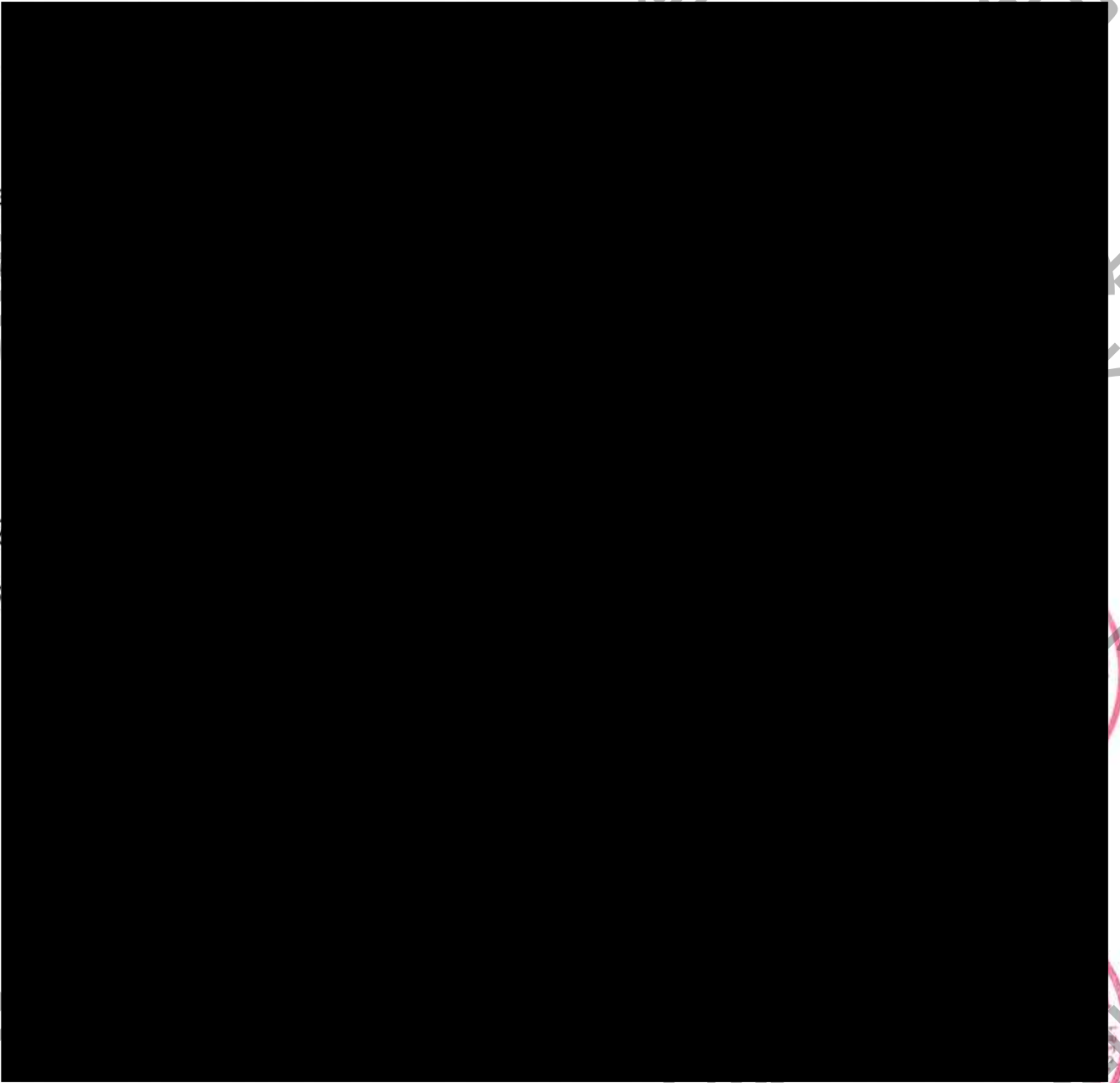
受托方（乙方）：湖南中稀环保科技有限公司

受托方地址：湖南省永州市零陵区黄田铺镇湖南稀土新材料产业园内

日期：2024 年 6 月







核工业二三〇研究所

 监测报告

[核环监]2024-DL0138

项目名称: 湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目
环境质量现状监测（环境 γ 辐射剂量率）

委托单位: 湖南中科金素科技有限公司

监测单位:  核工业二三〇研究所
检测专用章

签发日期: 2024年11月04日

报告编制: 王中旺 审核人: 张攸 签发人: 曹西红

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2024-DL0138

一、项目基本情况

项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测（环境 γ 辐射剂量率）		
委托单位	湖南中科金素科技有限公司		
委托单位地址	衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区天友路以东，中核二七二铀业有限 责任公司以西，湖南中核金原新材料有限责任公司西北处		

监测单位	核工业二三〇研究所	现场监测日期	2024.5.31
监测类别	委托监测	是否分包	否
监测方式	现场监测	分包项目	——

二、监测介质/对象

介质/对象	监测项目	监测数量
环境 γ 辐射剂 量率	环境 γ 辐射剂量率	19个点位*1次

三、监测环境条件

监测日期	天气	温度 (°C)	湿度 (%)
2024年05月31日	多云	20-23	57-63

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2024-DL0138

五、监测结果

表1 本项目环境γ辐射剂量率监测结果

点位	监测点位	监测结果 (nGy/h)	
		测量值	标准差
γ1	厂址内 1		
γ2	厂址内 2		
γ3	厂址内 3		
γ4	厂址内 4		
γ5	厂界南侧		
γ6	厂界东侧		
γ7	厂界北侧		
γ8	厂界西侧		
γ9	厂界西北侧 (中盐天友厂界东侧)		
γ10	厂界东北侧 (272厂界西侧)		
γ11	厂界东北侧 (272厂界北侧)		
γ12	厂界南侧 (金原厂界南侧)		
γ13	厂界东南侧 (金原厂界东侧)		
γ14	厂界南侧 (居民点)		
γ15	厂界西南侧 (唐家湾 1)		
γ16	厂界西南侧 (唐家湾 2)		
γ17	厂界西侧 (文家村 1)		
γ18	厂界北侧 (文家村 2)		
γ19	厂界西北侧 (文家祠堂)		

注1.监测结果未扣除宇宙射线响应值;

注2.监测布点示意图见图1、图2。

(本页以下空白)

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2024-DL0138

附图

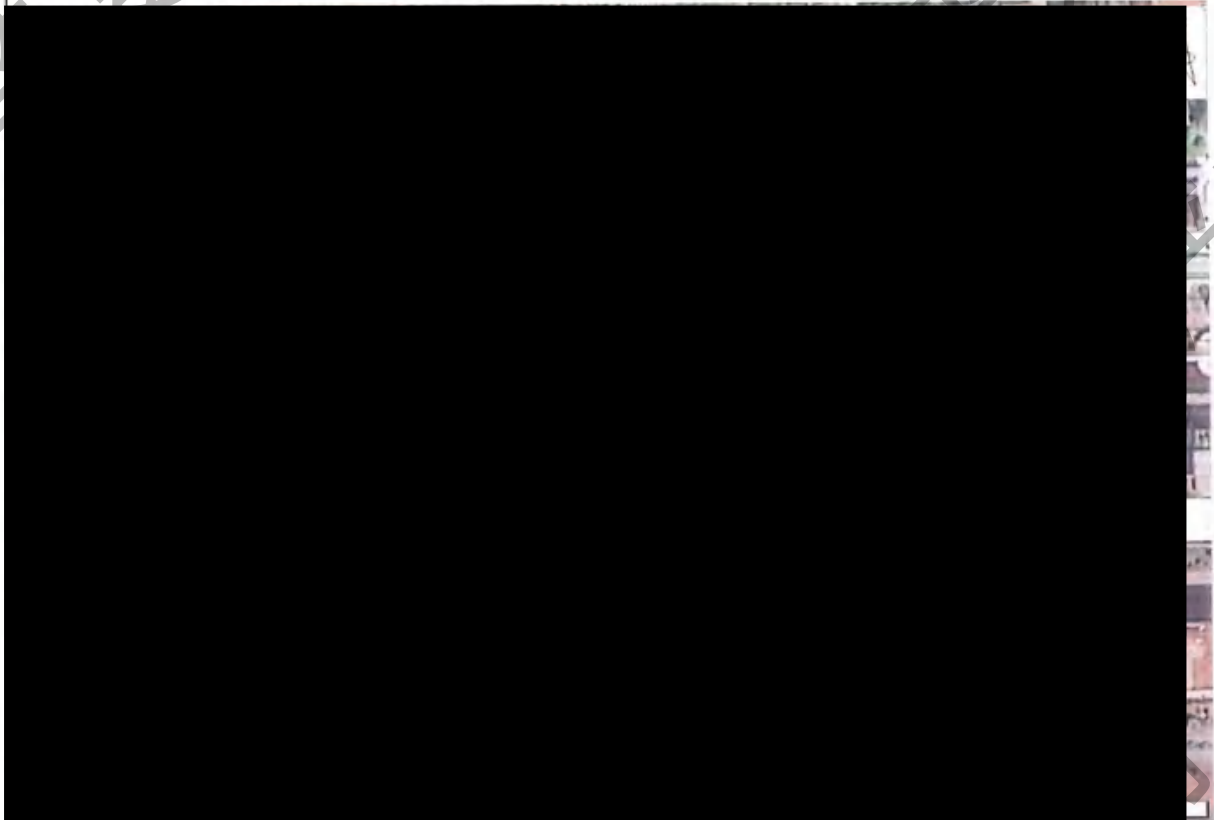


图1 本项目厂区及周边监测布点示意图

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2024-DL0138

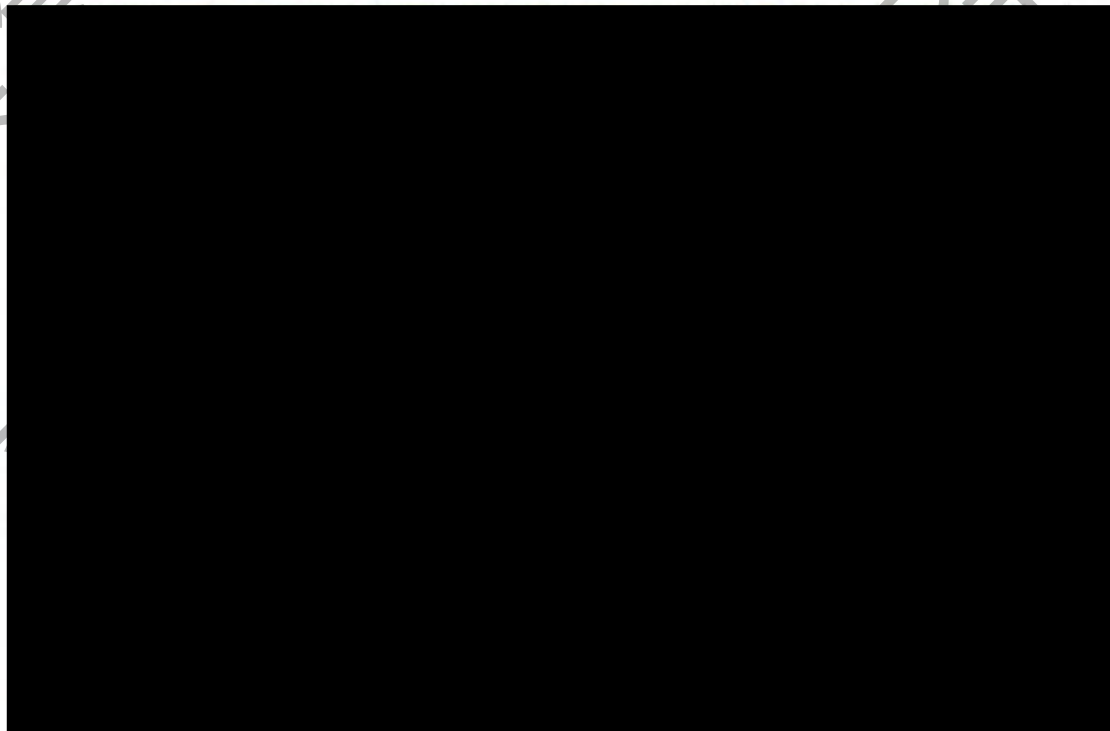


图2 本项目厂区外围监测布点示意图

(报告结束)



核工业二三〇研究所

监测报告

[核环监]2410-018

项目名称: 湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目
环境质量现状监测（钍射气）

委托单位: 湖南中科金素科技有限公司

监测单位: 核工业二三〇研究所
检测专用章

签发日期: 2024年11月08日

报告编制: 王中旺 审核人: 张欣 签发人: 曹西红

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2410-018

一、项目基本情况

项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测 (钍射气)		
委托单位	湖南中科金素科技有限公司		
委托单位地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区天友路以东，中核二七二铀业 有限责任公司以西，湖南中核金原新材料有限责任公司西北处 [REDACTED]		
监测单位	核工业二三〇研究所	现场监测日期	2024年10月18日
监测类别	委托监测	是否分包	否
监测方式	现场监测	分包项目	—

二、监测介质/对象

介质/对象	监测项目	监测数量
空气/钍射气	钍射气	1个点位*1次

三、监测环境条件

监测日期	天气	温度(°C)	湿度(%)
2024年10月18日	阴	25°C~26	65%~72%

核工业二三〇研究所

监测报告

[核环监]2410-018

四、监测方法及仪器设备

监测项目	监测方法名称和代号	使用仪器	方法检测限
钚射气	参考《环境空气中氡的测量方法》HJ1212-2021	测氡仪 /RAD17	-
备注	本报告仅对本次监测数据负责。		

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2410-018

五、监测结果

一、钍射气

表1 厂址内钍射气监测结果

单位: Bq/m³

点位代号	监测点位描述	测量值
G1	厂址内	

注: 监测点位示意图见图1。
(此页以下空白)

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2410-018

附图



图1 监测布点示意图

(报告结束)



分析检测报告

报告批号:

2024-1566

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

土壤

样品数量:

12

报告日期:

2024年12月13日



核工业二一〇研究所

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1566

共 9 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	土壤	样品数量	12
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-16
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	镍、铅、铜、总α、总β、镉、汞、砷、六价铬、氯苯、邻二甲苯、氯仿、氯甲烷、间，对二甲苯、反-1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、氯乙烯、萘、三氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、四氯化碳、乙苯、甲苯、1,2,3-三氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,1-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、苯、苯乙烯、1,2-二氯苯、钼、硝基苯、二苯并[a,h]蒽、苯并[k]荧蒽、苝并[1,2,3-c,d]芘、蒽、苯胺、苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、苯并[a]蒽、2-氯酚、pH共四十九项		

2 检测方法及其仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称	检出限
镍	《全国土壤污染状况详查土壤样品分析测试方法技术规定》（2-1电感耦合等离子体质谱法）生态环境部（2017）	电感耦合等离子体质谱仪	0.02mg/kg
铅	《全国土壤污染状况详查土壤样品分析测试方法技术规定》（2-1电感耦合等离子体质谱法）生态环境部（2017）	电感耦合等离子体质谱仪	0.02mg/kg
铜	《全国土壤污染状况详查土壤样品分析测试方法技术规定》（2-1电感耦合等离子体质谱法）生态环境部（2017）	电感耦合等离子体质谱仪	0.1mg/kg
总α	参照 EJ/T 1075-1998水中总α放射性浓度的测定 厚源法	低本底α、β测量仪	39.4 Bq/kg
总β	参照 EJ/T 900-1994水中总β放射性测定 蒸发法	低本底α、β测量仪	17.8Bq/kg
镉	GB/T 14506.30-2010硅酸盐岩石化学分析方法第30部分：44个元素量测定	电感耦合等离子体质谱仪	0.02mg/kg
汞	GB/T 22105.1-2008土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第1部分：土壤中总汞的测定	原子荧光光度计	0.002mg/kg

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 2 页

检测项目	分析方法	仪器名称	检出限
氯苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0007mg/kg
邻二甲苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0005mg/kg
氯仿	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0011mg/kg
氯甲烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0009mg/kg
间,对二甲苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.001mg/kg
反-1,2-二氯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0012mg/kg
四氯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0008mg/kg
氯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0008mg/kg
苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0004mg/kg
三氯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0011mg/kg
顺-1,2-二氯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0011mg/kg
四氯化碳	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0012mg/kg
乙苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0007mg/kg
甲苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0005mg/kg
1,2,3-三氯丙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0012mg/kg
1,1,1,2-四氯乙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0008mg/kg
1,1,1-三氯乙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0013mg/kg
1,1,2,2-四氯乙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0012mg/kg
1,1,2-三氯乙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.001mg/kg
1,1-二氯乙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0012mg/kg
1,1-二氯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0008mg/kg
二氯甲烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0009mg/kg
1,2-二氯丙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.001mg/kg

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 3 页

检测项目	分析方法	仪器名称	检出限
1,2-二氯乙烷	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0013mg/kg
1,4-二氯苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.001mg/kg
苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0013mg/kg
苯乙烯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0006mg/kg
1,2-二氯苯	HJ 605-2011土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0009mg/kg
钪	HJ 780-2015土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法	X射线荧光光谱仪	2.1mg/kg
硝基苯	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0106mg/kg
二苯并[a,h]蒽	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0081mg/kg
苯并[k]荧蒽	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0088mg/kg
茚并[1,2,3-c,d]芘	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0093mg/kg
蒎	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0098mg/kg
苯胺	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0053mg/kg
苯并[b]荧蒽	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0075mg/kg
苯并[a]芘	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0089mg/kg
苯并[a]蒽	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0098mg/kg
2-氯酚	HJ 834-2017土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱法-质谱法	气相色谱-质谱联用仪	0.0092mg/kg
pH	HJ 962-2018土壤 pH 值的测定 电位法	酸度计 (pH计)	—
砷	GB/T 22105.2-2008土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第2部分: 土壤中总砷的测定	原子荧光光度计	0.01mg/kg
六价铬	HJ 1082-2019土壤和沉积物 六价铬的测定 碱溶液提取-火焰原子吸收分光光度法	火焰原子吸收分光光度计	0.5mg/kg
意见和解释	检测结果低于检出限, 用“ND”表示。		

编制:

赵思琪

审核:

李源

签发:

柳金良

核工业二三〇研究所
检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 4 页

检测结果																				
序号	统一编号	样品原号	样品性质	mg/kg								无量纲								
				钍	砷	汞	镍	铜	镉	铅	六价铬									
1	241566-0001	T4	土壤																	
2	241566-0002	T4-PX	土壤																	
3	241566-0003	ZT1 (0-0.5m)	土壤																	
4	241566-0004	ZT1 (0.5-1.5m)	土壤																	
5	241566-0005	ZT1 (1.5-3.0m)	土壤																	
6	241566-0006	ZT2 (0-0.5m)	土壤																	
7	241566-0007	ZT2 (0.5-1.5m)	土壤																	
8	241566-0008	ZT2 (1.5-3.0m)	土壤																	
9	241566-0009	ZT3 (0-0.5m)	土壤																	
10	241566-0010	ZT3 (0.5-1.5m)	土壤																	
11	241566-0011	ZT3 (1.5-3.0m)	土壤																	
12	241566-0012	ZT3 (0-0.5m)-PX	土壤																	

本页以下空白

核工业二三〇研究所
检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 5 页

序号		统一编号	样品原号	样品性质	检测结果
					Bq/kg
					总 β
					总 α
1		241566-0001	T4	土壤	
2		241566-0002	T4-PX	土壤	
3		241566-0003	ZT1 (0-0.5m)	土壤	
4		241566-0004	ZT1 (0.5-1.5m)	土壤	
5		241566-0005	ZT1 (1.5-3.0m)	土壤	
6		241566-0006	ZT2 (0-0.5m)	土壤	
7		241566-0007	ZT2 (0.5-1.5m)	土壤	
8		241566-0008	ZT2 (1.5-3.0m)	土壤	
9		241566-0009	ZT3 (0-0.5m)	土壤	
10		241566-0010	ZT3 (0.5-1.5m)	土壤	
11		241566-0011	ZT3 (1.5-3.0m)	土壤	
12		241566-0012	ZT3 (0-0.5m)-PX	土壤	

本页以下空白

核工业二三〇研究所

检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 6 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果									
				mg/kg									
				间, 对-二甲苯	邻-二甲苯	苯乙烯	1, 1, 2, 2-四氯乙烷	1, 2, 3-三氯丙烷	1, 1, 1-三氯苯	1, 2-二氯苯	氯甲烷	苯胺	硝基苯
1	241566-0001	T4	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	241566-0002	T4-PX	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

本页以下空白

核工业二三〇研究所

检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 7 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果									
				mg/kg									
				1,2-二氯乙烷	苯	三氯乙烯	1,2-二氯丙烷	甲苯	1,1,2-三氯乙烯	四氯乙烯	氯苯	1,1,1,2-四氯乙烷	乙苯
1	241566-0001	T4	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	241566-0002	T4-PX	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

本页以下空白

核工业二三〇研究所

检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 8 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果								
				mg/kg								
				氯乙烯	1,1-二氯乙烯	二氯甲烷	反-1,2-二氯乙烯	顺-1,2-二氯乙烯	1,1-二氯乙烷	氯仿	1,1,1-三氯乙烷	四氯化碳
1	241566-0001	T4	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	241566-0002	T4-PX	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

本页以下空白

核工业二三〇研究所

检测报告

报告批号: 2024-1566

共 9 页 第 9 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果									
				mg/kg									
				苯并[a]蒽	蒽	苯并[b]荧蒽	苯并[k]荧蒽	苯并[a]芘	苊并[1, 2, 3-c, d]芘	二苯并[a, h]蒽	苯	2-氯酚	
1	241566-0001	T4	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	241566-0002	T4-PX	土壤	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

报告结束



分析检测报告

报告批号:

2024-0703

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

水样、土壤

样品数量:

8

报告日期:

2024年06月28日



核工业二三〇研究所
分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-0703

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目		
客户地址	湖南省衡阳市珠晖区东阳渡街道南村38号105室		
样品类别	水样、土壤	样品数量	8
检测类别	委托检测	委托日期	2024-06-03
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	总α、总β、钍共三项		

2 检测方法及其仪器设备

检测项目	分析方法	使用仪器	检出限
总α	参照 EJ/T 1075-1998《水中总α放射性浓度的测定 厚源法》	低本底α、β测量仪	39.1Bq/kg
总β	参照 EJ/T 900-1994《水中总β放射性测定蒸发法》	低本底α、β测量仪	17.8Bq/kg
钍	HJ 700-2014《水质 65种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》	电感耦合等离子体质谱仪	0.05 μg/L
钍	HJ 780-2015《土壤和沉积物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法》	X射线荧光光谱仪	2.1mg/kg
总α	HJ 898-2017《水质 总α放射性的测定 厚源法》	低本底α、β测量仪	0.016Bq/L
总β	HJ 899-2017《水质 总β放射性的测定 厚源法》	低本底α、β测量仪	0.028Bq/L
意见和解释	水样检测结果低于检出限，用“检出限+L”表示。		

编制：

赵思琪

审核：

李源

签发：

钟春明

核工业二三〇研究所
检测报告

报告批号: 2024-0703

共 3 页 第 2 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果		
				Bq/L		μg/L
				总α	总β	钍
1	240703-0001	D1 (南坡村井)	水样			
2	240703-0002	D2 (文家祠堂井)	水样			
3	240703-0008	D3 (西眉塘井)	水样			
4	240703-0004	D4 (民主村井)	水样			
5	240703-0005	D5 (守经塘井)	水样			

以下空白

核工业二三〇研究所
检测报告

报告批号: 2024-0703

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果		
				mg/kg	Bq/kg	
1	240703-0006	T1 (厂址南侧—绿化)	土壤	总α 总β 总γ		
2	240703-0007	T2 (厂址东南侧—金原绿化带)	土壤			
3	240703-0008	T3 (厂址西侧—唐家湾农田)	土壤			

以下空白



分析检测报告

报告批号:

2024-1607

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

粉尘

样品数量:

1

报告日期:

2025年03月18日



核工业二三〇研究所
分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1607

共 2 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘	样品数量	1
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-21
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	总α、总β共二项		

2 检测方法及设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
总α	参照 EJ/T 1075-1998《水中总α放射性浓度的测定 厚源法》	低本底α、β测量仪/MPC-9604	0.1mBq/m ³
总β	参照 EJ/T 900-1994《水中总放射性测定 蒸发法》	低本底α、β测量仪/MPC-9604	0.4mBq/m ³
意见和解释			

编制：

赵思琪

审核：

李源

签发：

邵春明

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1607

共 2 页 第 2 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果	
				mBq/m ³	
				总 α	总 β
1	241607-0001	ZKJS-HY-G-0104	粉尘		

报告结束





分析检测报告

报告批号: 2024-1691

委托单位: 湖南中科金素科技有限公司

样品类别: 粉尘

样品数量: 1

报告日期: 2025年03月18日



核工业二三〇研究所

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1691

共 2 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘	样品数量	1
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-30
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	总α、总β共二项		

2 检测方法及其仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
总α	参照 EJ/T 1075-1998《水中总α放射性浓度的测定 厚源法》	低本底α、β测量仪/MPC-9604	0.1mBq/m³
总β	参照 EJ/T 900-1994《水中总放射性测定 蒸发法》	低本底α、β测量仪/MPC-9604	0.4mBq/m³
意见和解释			

编制：

赵思琪

审核：

李源

签发：

邵春明

核工业二三〇研究所

检测报告

报告批号: 2024-1691

共 2 页 第 2 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果
1	241691-0001	G2居民点(民主村)	粉尘	总α 总β mBq/m³

报告结束

核工业二三〇研究所



监测报告

[核环监]2410-006

项目名称: 湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目
环境质量现状监测（噪声）

委托单位: 湖南中科金素科技有限公司

监测单位: 核工业二三〇研究所
检测专用章

签发日期: 2024年11月15日

报告编制: 王中旺 审核人: 张攸 签发人: 杨

核工业二三〇研究所

监测报告

[核环监]2410-006

委托单位	湖南中科金素科技有限公司		
监测地点	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区天友路以东，中核二七二铀业有限责任公司以西，湖南中核金原新材料有限责任公司西北处		
监测项目	噪声	监测方式	现场监测
监测时间	2024 年 10 月 16 日-2024 年 10 月 18 日		
监测环境	2024.10.16 天气：阴；温度：22-26℃；湿度：65-75%；风速：0.7-2.1m/s		
	2024.10.17 天气：阴；温度：20-22℃；湿度：65-78%；风速：0.7-2.1m/s		
	2024.10.18 天气：多云；温度：17-21℃；湿度：75-80%；风速：3.4-3.8m/s		
监测依据	1、《声环境质量标准》（GB3096-2008）； 2、《环境噪声监测技术规范 噪声测量值修正》（HJ 706-2014）。		
监测/校准仪器	仪器名称	多功能声级计	声校准器
	仪器型号	AWA6228	AWA6221B
	制造单位	杭州爱华仪器有限公司	杭州爱华仪器有限公司
	出厂编号	101418	2004924
	测量范围	25dB（A）—125dB（A）	声压级：94.0dB（A）
	检定机构	浙江省计量科学研究院	浙江省计量科学研究院
	检定证书编号	JT-20240651114	JT-20240551085
	检定有效期	2024.06.18-2025.06.17	2024.05.17-2025.05.16
备注	本报告仅对本次监测数据负责。		

核工业二三〇研究所
监测报告

[核环监]2410-006

附表1 项目声环境监测结果

点位 代号	检测点位	监测值[Leq]dB(A)			
		10月16日		10月17日	
		昼间	夜间	昼间	夜间
1	厂界北侧				
2	厂界东侧				
3	厂界西侧				
4	厂界南侧				
注：1.本项目监测点位示意图见附图1。					

(本页以下空白)

核工业二三〇研究所 监测报告

[核环监]2410-006

附图1 项目监测点位示意图

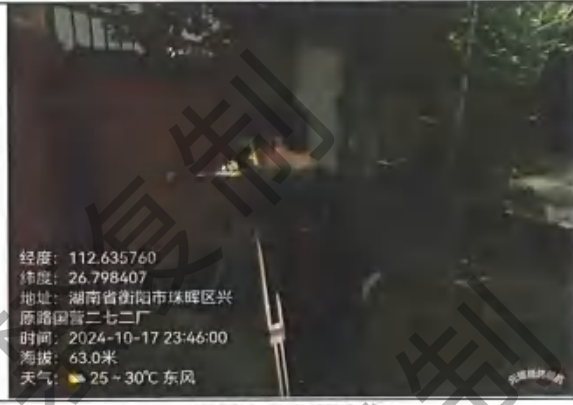
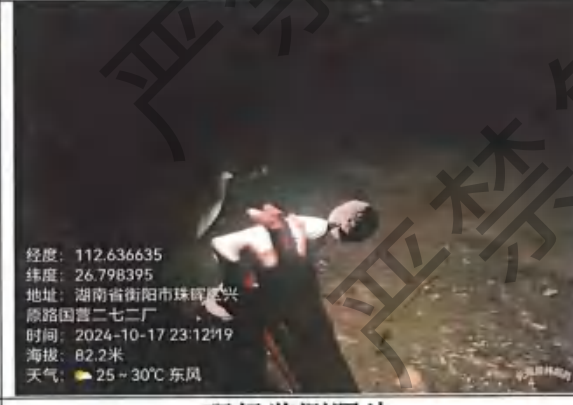


(本页以下空白)

核工业二三〇研究所
监测报告

[核环监]2410-006

附图2 现场监测照片

 经纬度: 112.636601 纬度: 26.798109 地址: 湖南省衡阳市珠晖区兴 原路二七二厂 时间: 2024-10-16 17:10:35 海拔: 63.0米 天气: 22~24℃ 西风	 经纬度: 112.636657 纬度: 26.798027 地址: 湖南省衡阳市珠晖区兴 原路二七二厂 时间: 2024-10-16 15:39:04 海拔: 67.9米 天气: 22~24℃ 西风
现场监测照片	现场监测照片
 经纬度: 112.636657 纬度: 26.798027 地址: 湖南省衡阳市珠晖区兴 原路二七二厂 时间: 2024-10-16 16:01:38 海拔: 68.0米 天气: 22~24℃ 西风	 经纬度: 112.636671 纬度: 26.798703 地址: 湖南省衡阳市珠晖区兴 原路二七二厂 时间: 2024-10-16 23:04:10 海拔: 50.4米 天气: 22~24℃ 西风
现场监测照片	现场监测照片
 经纬度: 112.635760 纬度: 26.798407 地址: 湖南省衡阳市珠晖区兴 原路二七二厂 时间: 2024-10-17 23:46:00 海拔: 63.0米 天气: 25~30℃ 东风	 经纬度: 112.636635 纬度: 26.798395 地址: 湖南省衡阳市珠晖区兴 原路二七二厂 时间: 2024-10-17 23:12:19 海拔: 82.2米 天气: 25~30℃ 东风
现场监测照片	现场监测照片

(报告结束)



231820182527

分析检测报告

报告批号:

2024-1538

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

粉尘、空气

样品数量:

3

报告日期:

2024年11月14日



核工业二三〇研究所

分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1538

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-13
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	恒温恒湿称量系统/WRLDN-5900型	7 μg/m³
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	0.003mg/m³
意见和解释			

编制：赵思琪 审核：李源 签发：柳金良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1538

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果
				mg/m ³
				氮氧化物
1	241538-0002	ZKJS-HY-G-0102	空气	
2	241538-0003	ZKJS-HY-G-0103	空气	

报告结束



分析检测报告

报告批号: 2024-1545

委托单位: 湖南中科金素科技有限公司

样品类别: 粉尘、空气

样品数量: 3

报告日期: 2024年11月14日



核工业二三〇研究所
分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1545

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-14
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法及设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	恒温恒湿称量系统/WRLDN-5900型	7 μg/m ³
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	0.003mg/m ³
意见和解释			

编制： 赵恩祺 审核： 李源 签发： 柳金良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1545

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果	
				mg/m ³	
				氮氧化物	
1	241545-0002	ZKJS-HY-G-0202	空气		
2	241545-0003	ZKJS-HY-G-0203	空气		

报告结束





分析检测报告

报告批号:

2024-1558

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

粉尘、空气

样品数量:

3

报告日期:

2024年11月14日



核工业二三〇研究所
分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1558

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-15
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法及设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	电子天平/ME204E	$7\mu\text{g}/\text{m}^3$
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	$0.003\text{mg}/\text{m}^3$
意见和解释			

编制：

赵恩祺

审核：

李源

签发：

柳金良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1558

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果	
				mg/m ³	
				氮氧化物	
1	241558-0002	ZKJS-HY-G-0302	空气		
2	241558-0003	ZKJS-HY-G-0303	空气		

报告结束



231820182527

分析检测报告

报告批号:

2024-1567

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

粉尘、空气

样品数量:

3

报告日期:

2024年11月14日



核工业二三〇研究所

分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1567

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-16
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法及其仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	电子天平/ME204E	$7\mu\text{g}/\text{m}^3$
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	$0.003\text{mg}/\text{m}^3$
意见和解释			

编制：

赵思琪

审核：

李源

签发：

柳金良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1567

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果		
				mg/m ³		
				氮氧化物		
1	241567-0002	ZKJS-HY-G-0402	空气			
2	241567-0003	ZKJS-HY-G-0403	空气			

报告结束



分析检测报告

报告批号:

2024-1575

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

粉尘、空气

样品数量:

3

报告日期:

2024年11月14日



核工业二三〇研究所
分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1575

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-17
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法及其仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	电子天平/ME204E	7 μg/m ³
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	0.003mg/m ³ (采样体积288L)
意见和解释			

编制： 赵思琪 审核： 李源 签发： 柳金良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1575

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果
				mg/m ³
				氮氧化物
1	241575-0002	ZKJS-HY-G-050 2	空气	
2	241575-0003	ZKJS-HY-G-050 3	空气	

本页以下空白



分析检测报告

报告批号: 2024-1582

委托单位: 湖南中科金素科技有限公司

样品类别: 粉尘、空气

样品数量: 3

报告日期: 2024年11月14日



核工业二三〇研究所
分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1582

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-18
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	恒温恒湿称量系统/WRLDN-5900型	$7\mu\text{g}/\text{m}^3$
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	$0.003\text{mg}/\text{m}^3$
意见和解释			

编制：赵思琪 审核：李源 签发：柳金良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1582

共 3 页 第 3 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果	
				mg/m ³	
				氮氧化物	
1	241582-0002	ZKJS-HY-G-0602	空气		
2	241582-0003	ZKJS-HY-G-0603	空气		

报告结束



分析检测报告

报告批号:

2024-1603

委托单位:

湖南中科金素科技有限公司

样品类别:

粉尘、空气

样品数量:

3

报告日期:

2024年11月14日



核工业二三〇研究所

分析检测专用章

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-1603

共 3 页 第 1 页

1 基础信息

委托单位名称	湖南中科金素科技有限公司		
项目名称	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目环境质量现状监测		
客户地址	湖南衡阳白沙绿岛高新技术产业开发区		
样品类别	粉尘、空气	样品数量	3
检测类别	委托检测	委托日期	2024-10-19
样品来源	检测单位采样	是否分包	否
检测项目	TSP、氮氧化物共二项		

2 检测方法及仪器设备

检测项目	分析方法	仪器名称/型号	检出限
TSP	HJ 1263-2022《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》	电子天平/ME204E	7 μg/m ³
氮氧化物	HJ 479-2009《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》	可见分光光度计/721G	0.003mg/m ³
意见和解释			

编制：

赵思琪

审核：

李源

签发：

柳金良

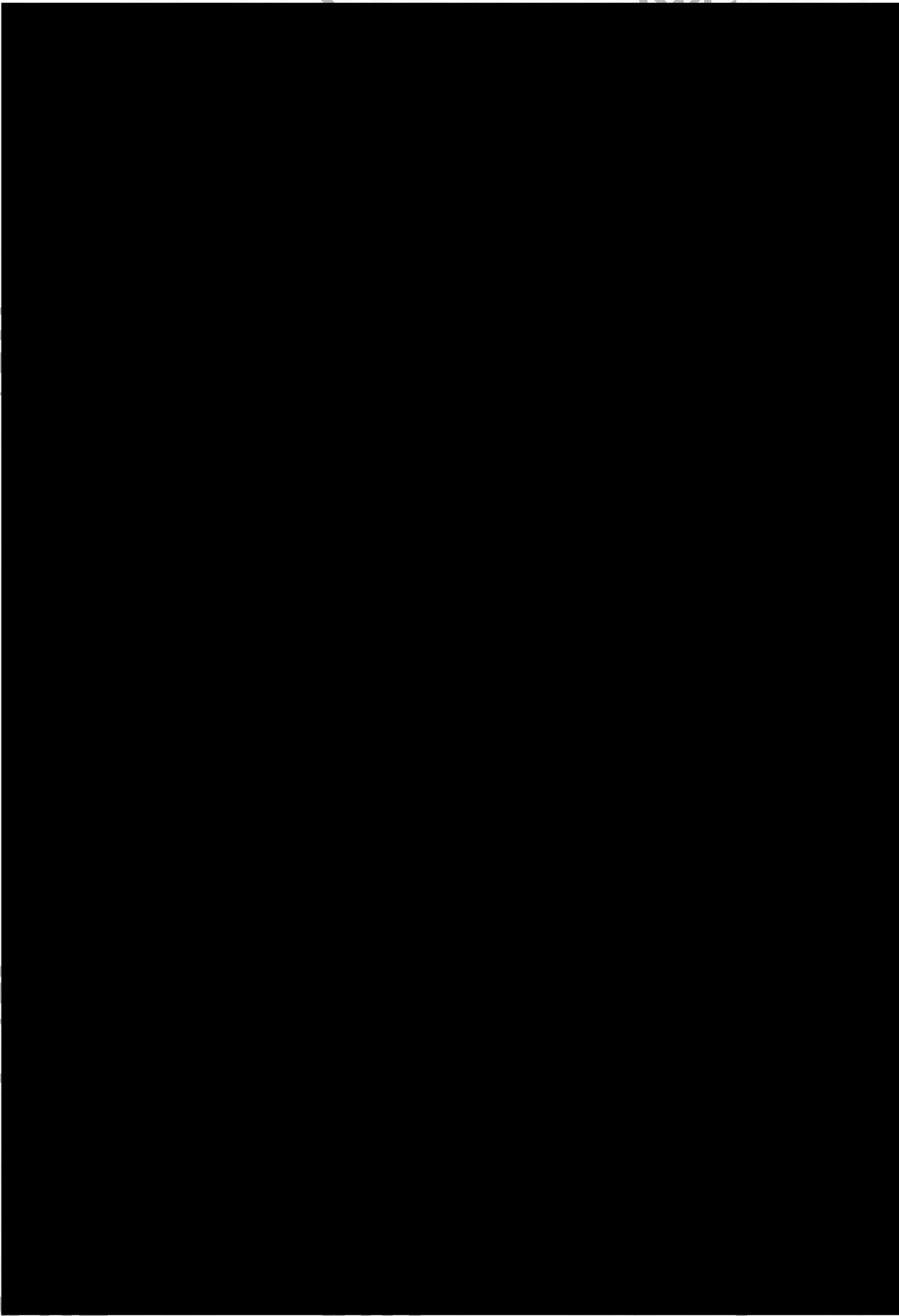
核工业二三〇研究所
分析检测报告

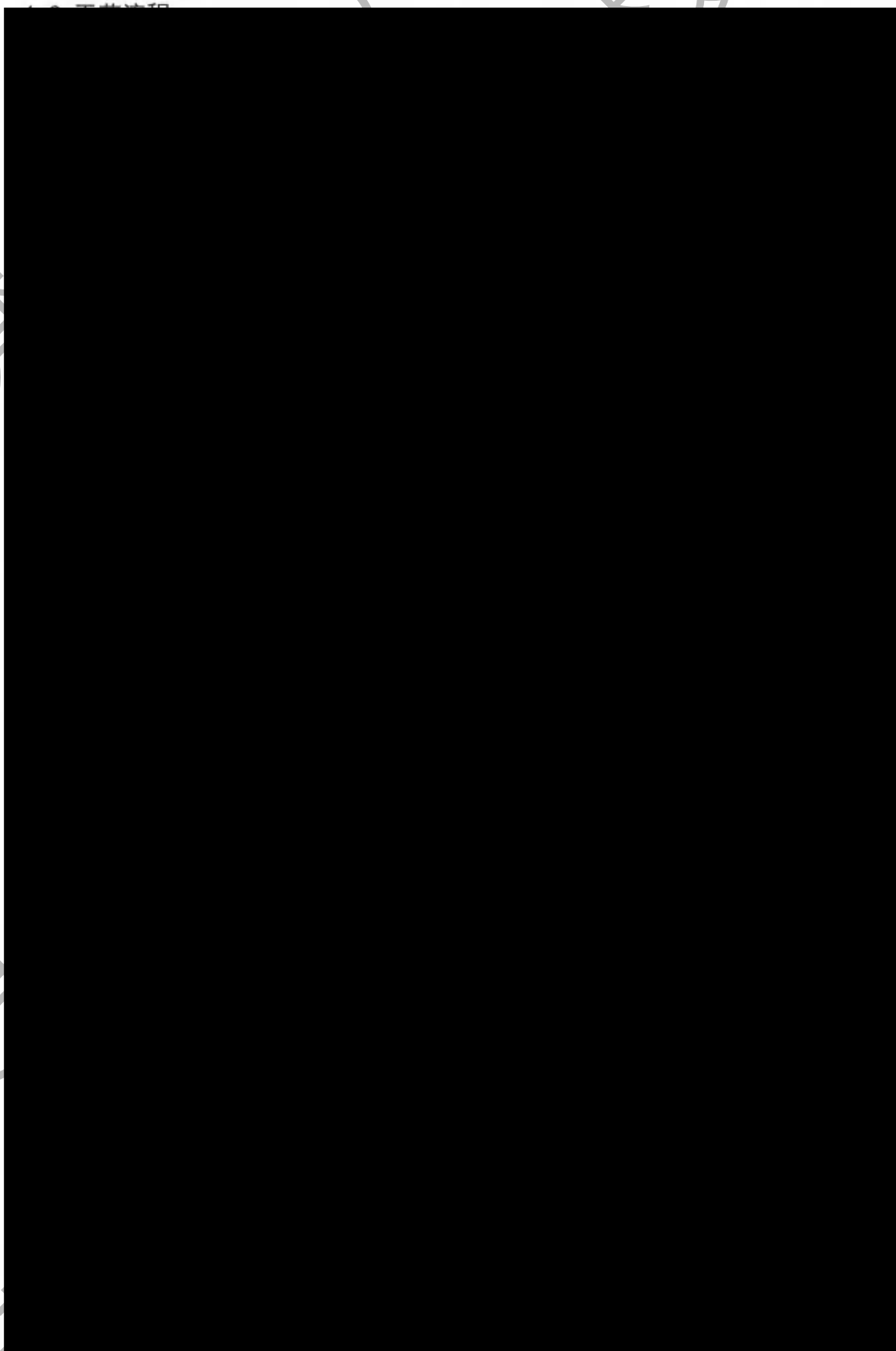
报告批号：2024-1603

共 3 页 第 3 页

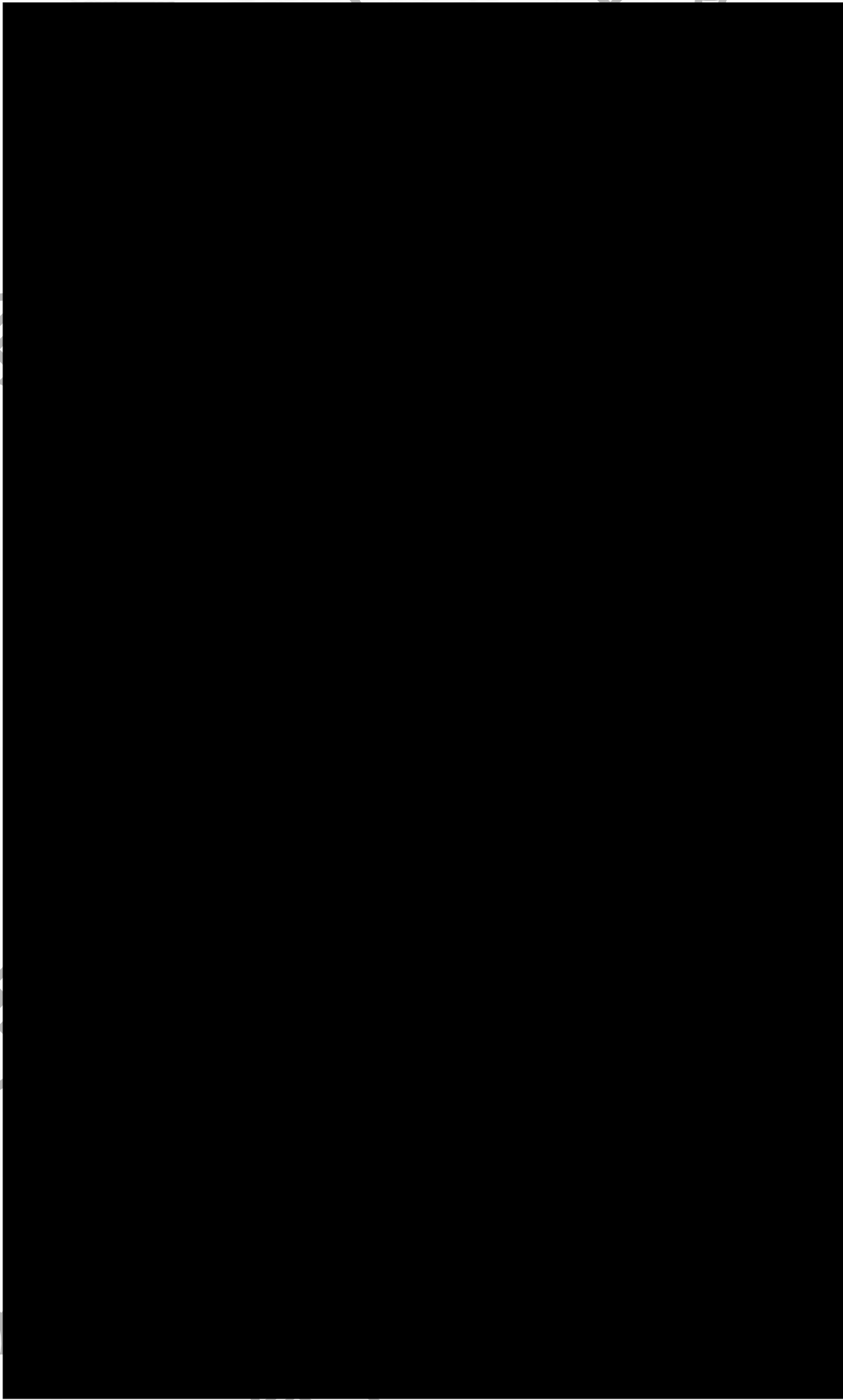
序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果
				mg/m ³
				氮氧化物
1	241603-0002	ZKJS-HY-G-0702	空气	
2	241603-0003	ZKJS-HY-G-0703	空气	

报告结束





平。



年

有

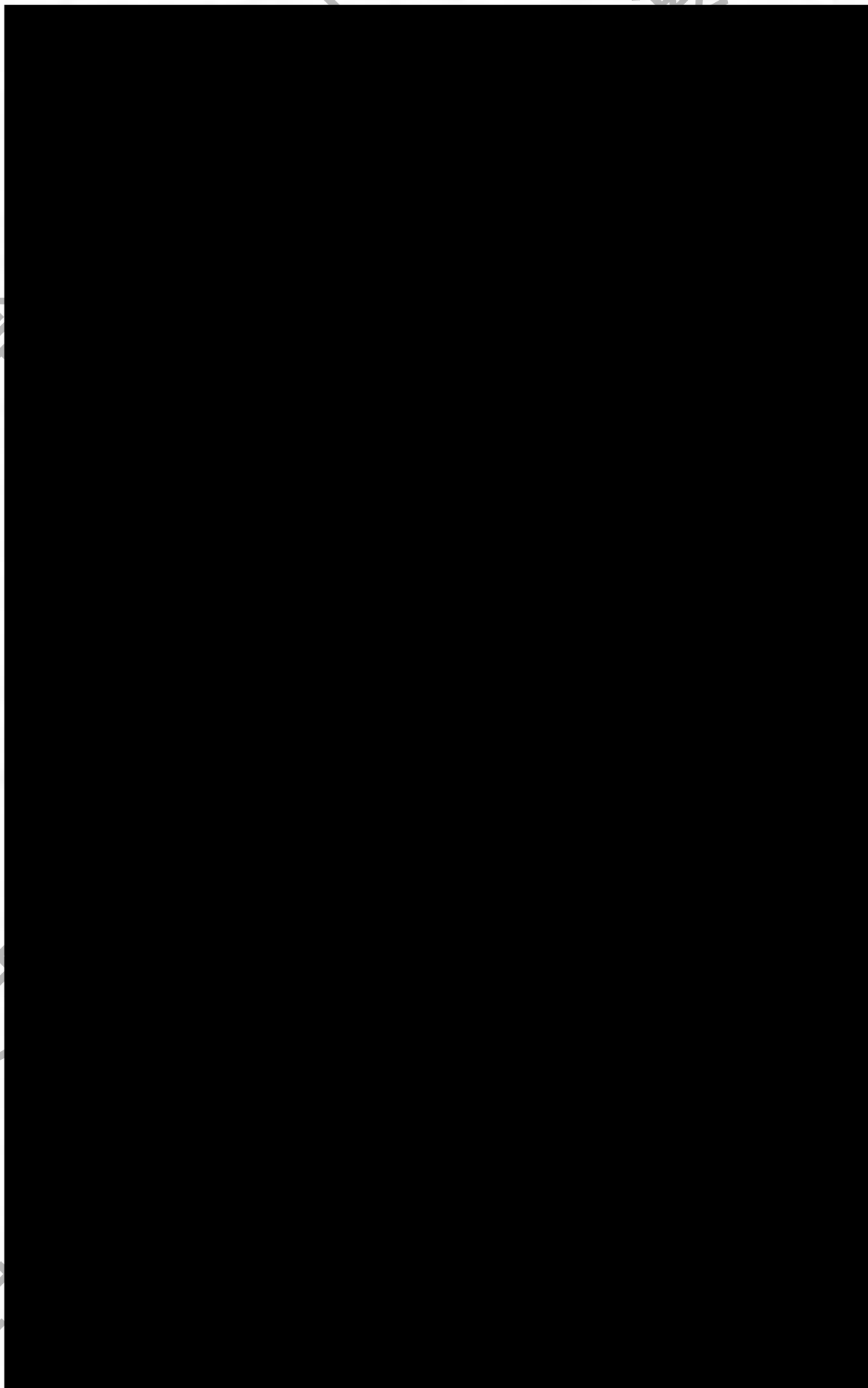
and

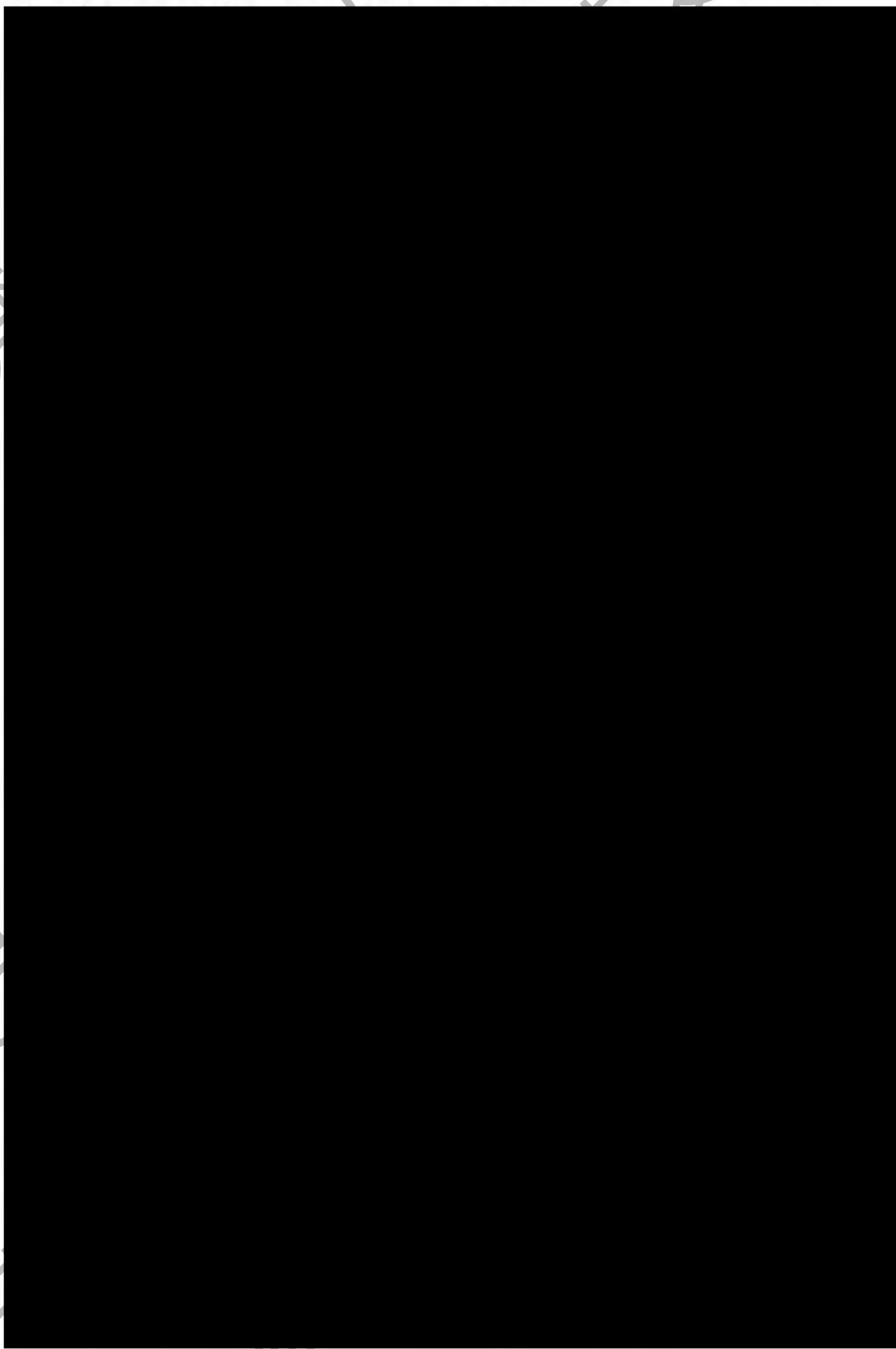
02/

有





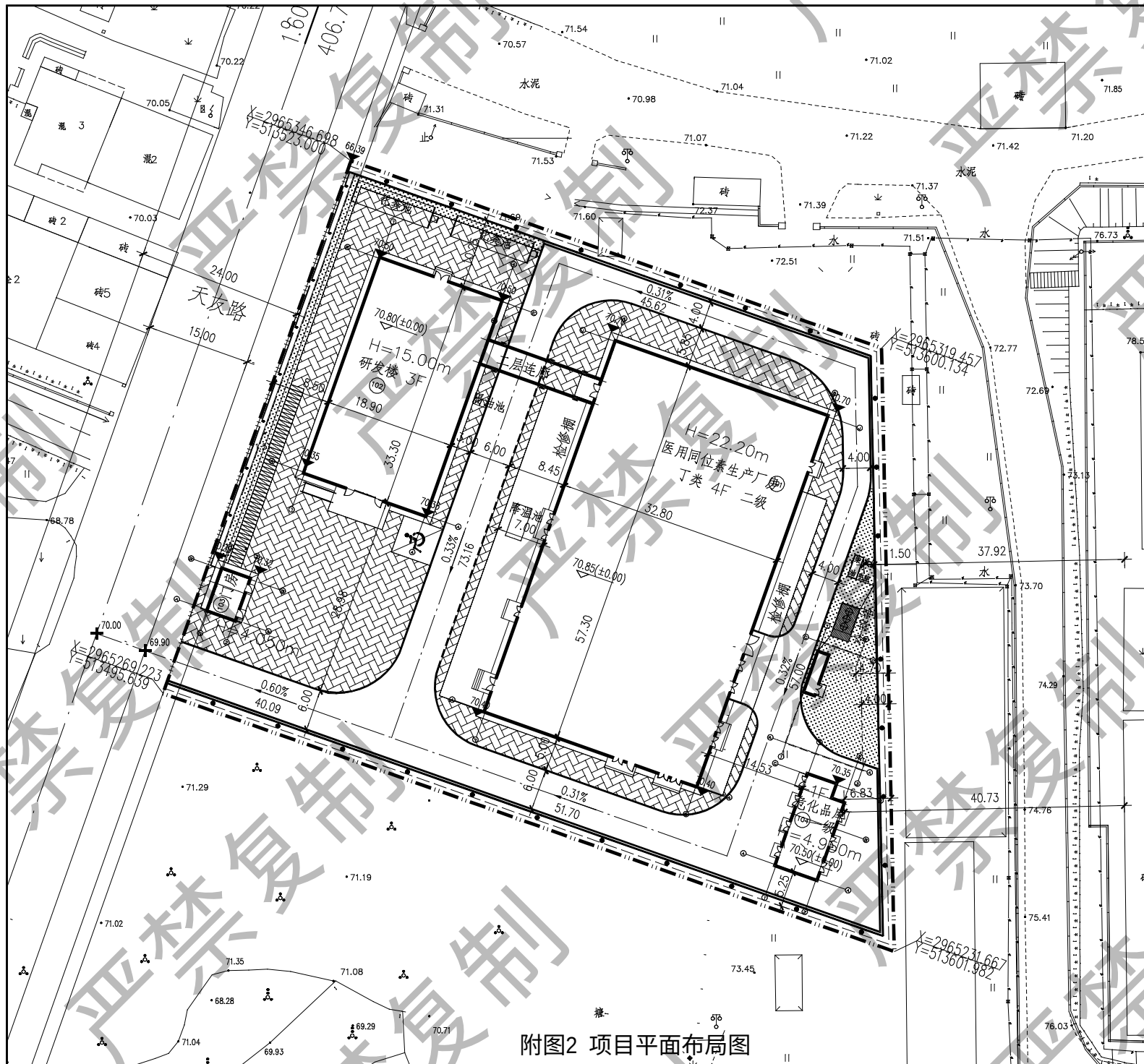








附图1 项目地理位置图



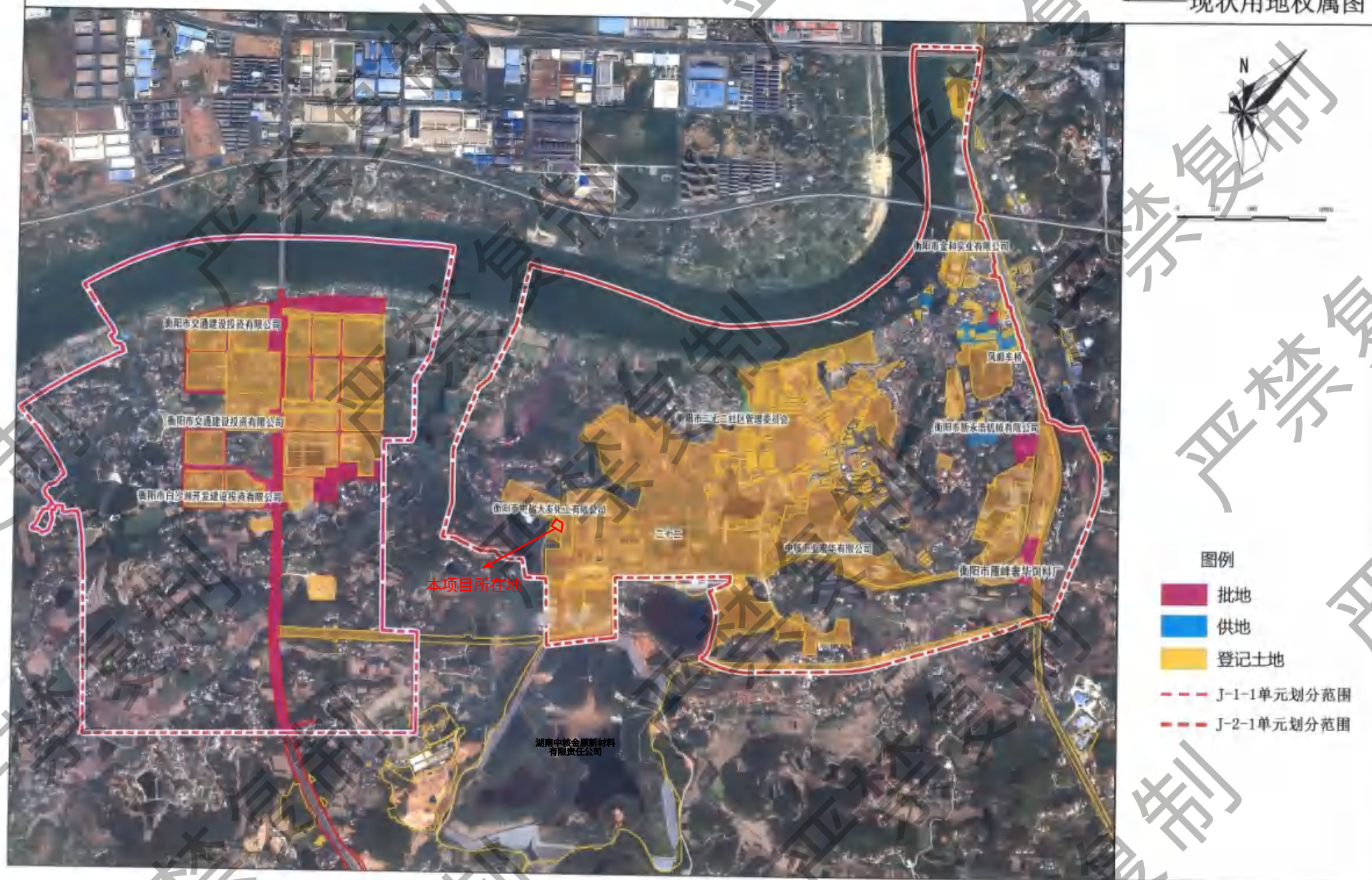
图例

1F	新建建筑物
	新建硬化铺装
	新建绿化
	机动车停车位 (6.0mX2.8m)
	非机动车停车位 (2.0mX0.6m)
69.10 (±0.00)	室内标高
0.30% 95.95	坡度 长度
	新建围栏
	用地范围线
	挡土墙上设围栏
	新建道路
7.07 +	道路标高
7.20 ▼	室外标高

说明:

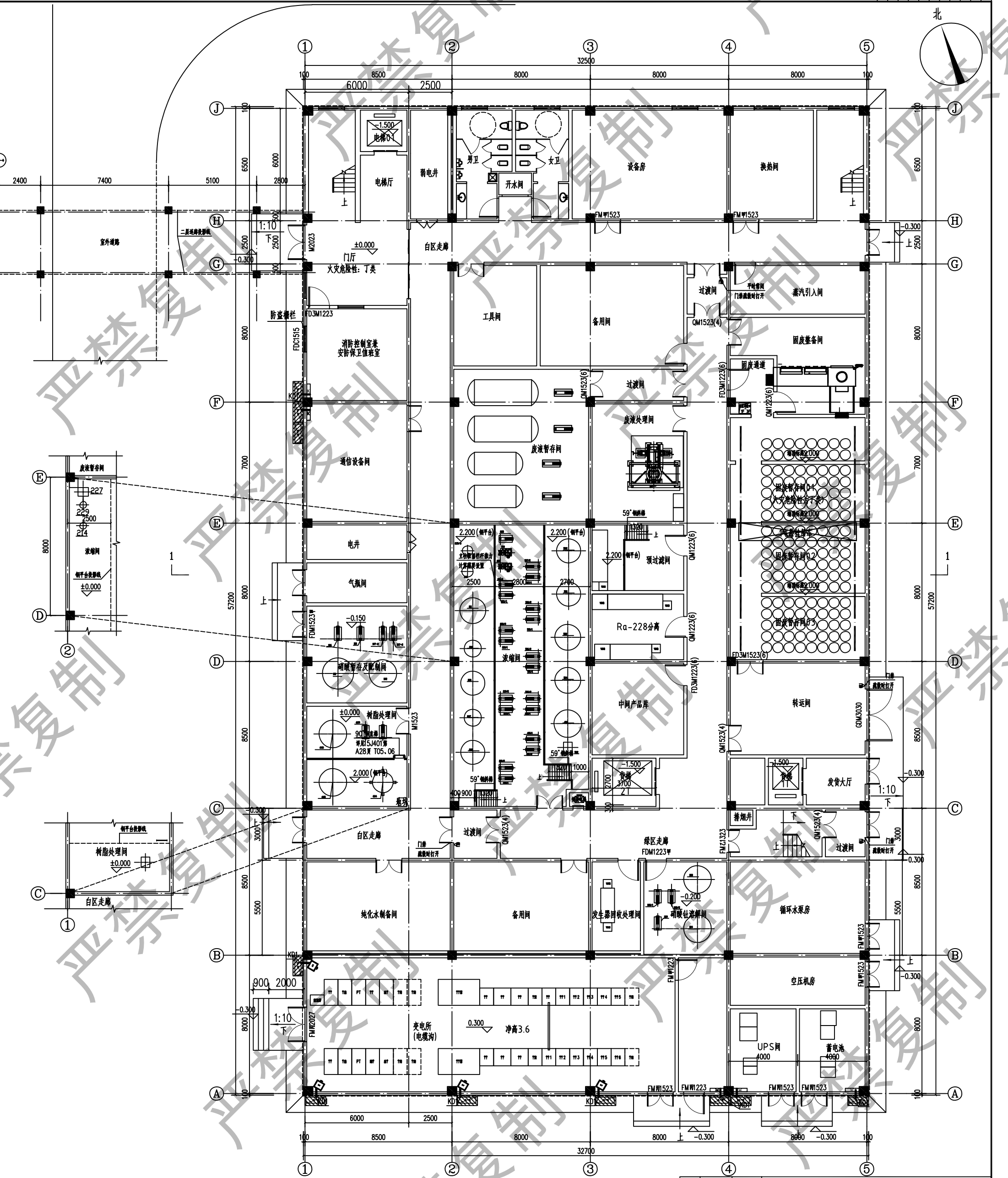
- 1、 本图根据 厂区实测地形图 — 中盐天友化工有限责任公司(土地储备) 2000(5.11范围确认)、衡阳市J-1-1单元、J-2-1单元控制性详细规划、《衡阳市国土空间规划行政技术准则(2020)》及各专业提资编制。
- 2、 本图2000国家大地坐标系,高程系统采用1985国家高程基准。
- 3、 本图所注坐标、标高、尺寸单位均以m计,坐标定位以建筑最外侧轴线交点、道路中心线、围墙中心线为准,尺寸标注以建筑物外墙、道路路缘石内侧为准。
- 4、 因方案还未最终确定,建筑位置可能存在调整,具体施工以最终出版施工图为准。

附图2 项目平面布局图



附图3 项目周边用地现状

附图4.1 医用同位素生产厂房平面布局图—— 1层



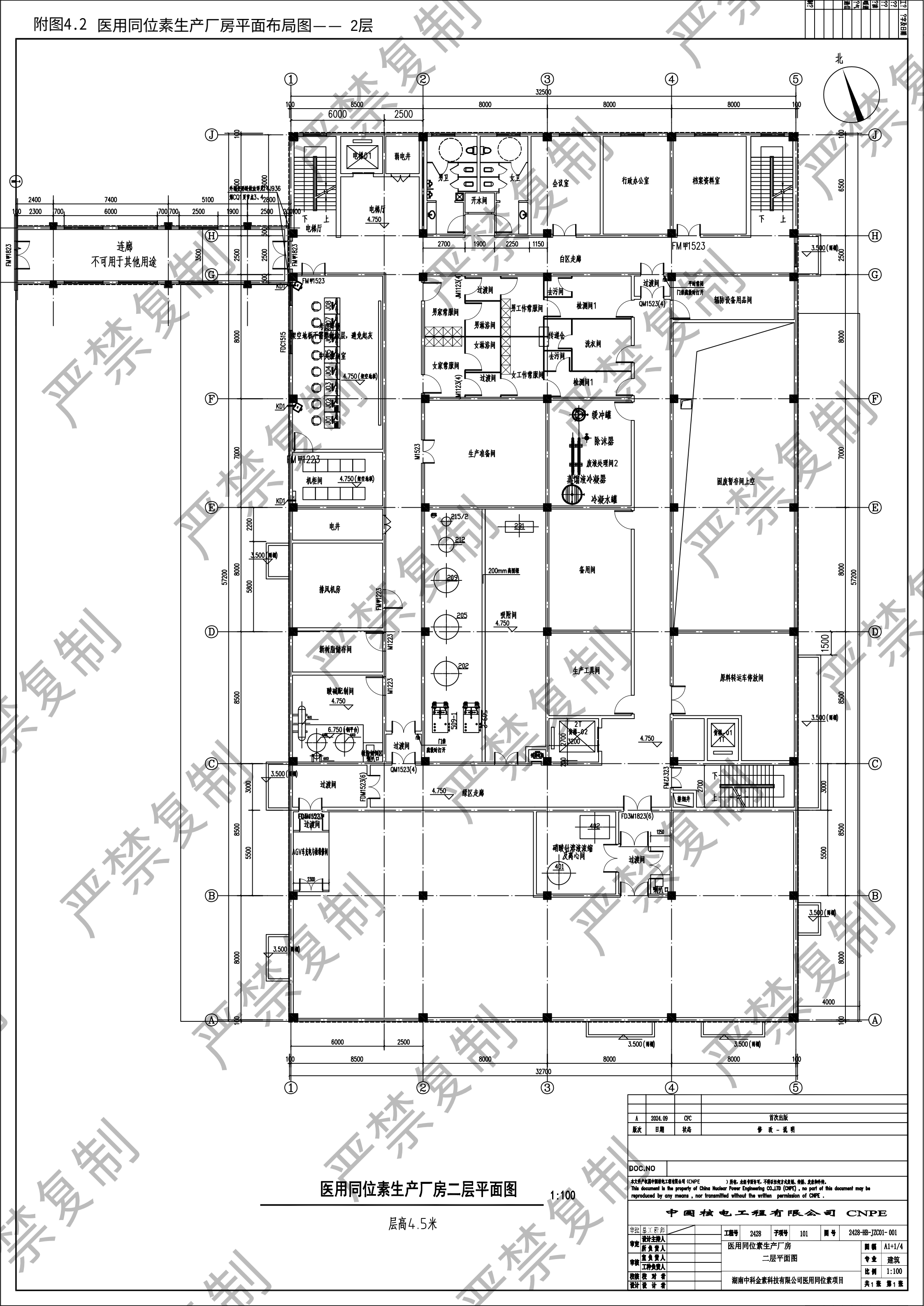
医用同位素生产厂房一层平面图

1:100

层高4.5米

A	2024.09	CFC	首次出版		
版次	日期	状态	修 政 - 说 明		
DOC.NO					
本文档产权属中国核电工程有限公司（CNPE）所有，未经书面许可，不得以任何方式复制、传播、发表和修改。 This document is the property of China Nuclear Power Engineering CO.,LTD (CNPE), no part of this document may be reproduced by any means, nor transmitted without the written permission of CNPE .					
中 國 核 電 工 程 有 限 公 司 CNPE					
审批	总工程师		工程号	2428	子项号 101
	设计主持人		医用同位素生产厂房		图例 A/bj/4
审定	所负责人		首层平面图		专业 建筑
	负责人				比例 1:100
审核	工艺负责人		湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目		共 1 张 第 1 张
校核	校 对 者				
	设计者				

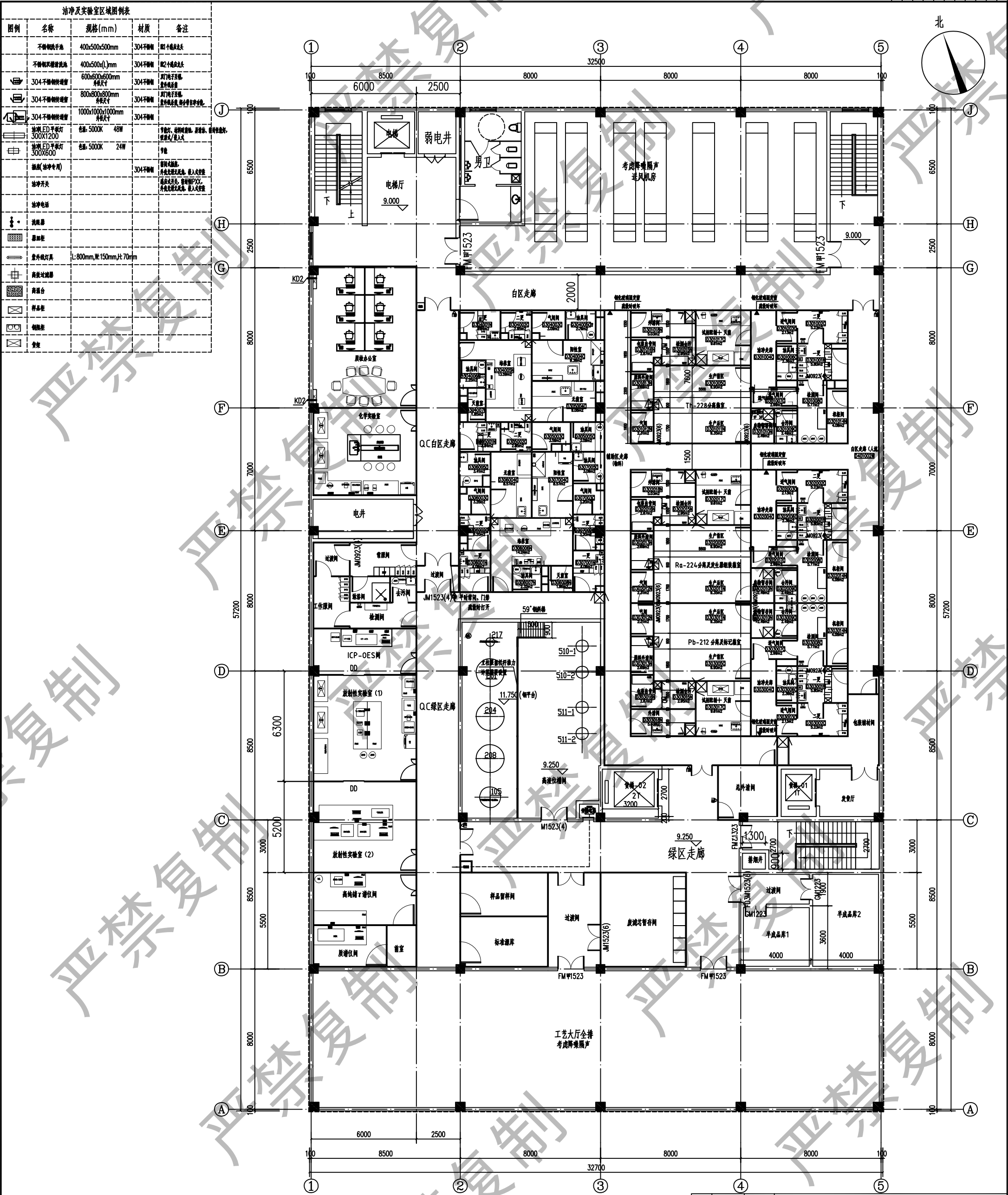
	工?	?字及日期
??		
??		
??排		
喉瀉		
?气		
通信		
第?		



1:100

A	2024.09	CPC	首次出版						
版次	日期	状态	修 改 - 说明						
DOC.NO									
本文件产权属中国核电工程有限公司（CNPE）所有，未经书面授权，不得以任何方式复制、传播、发表和转让。 This document is the property of China Nuclear Power Engineering CO.,LTD (CNPE) , no part of this document may be reproduced by any means , nor transmitted without the written permission of CNPE .									
中国核电工程有限公司 CNPE									
审批	总工程师		工号	2428	子项号	101	图号	2428-HB-JZC01- 001	
审定	设计主持人		医用同位素生产厂房 二层平面图					图幅	A1+1/4
	所负责人							专业	建筑
审核	室负责人		湖南中科金索科技有限公司医用同位素项目					比例	1:100
	工种负责人							共 1 套	第 1 套
校核	校 对 者								
设计	设 计 者								

附图4.3 医用同位素生产厂房平面布局图—— 3层



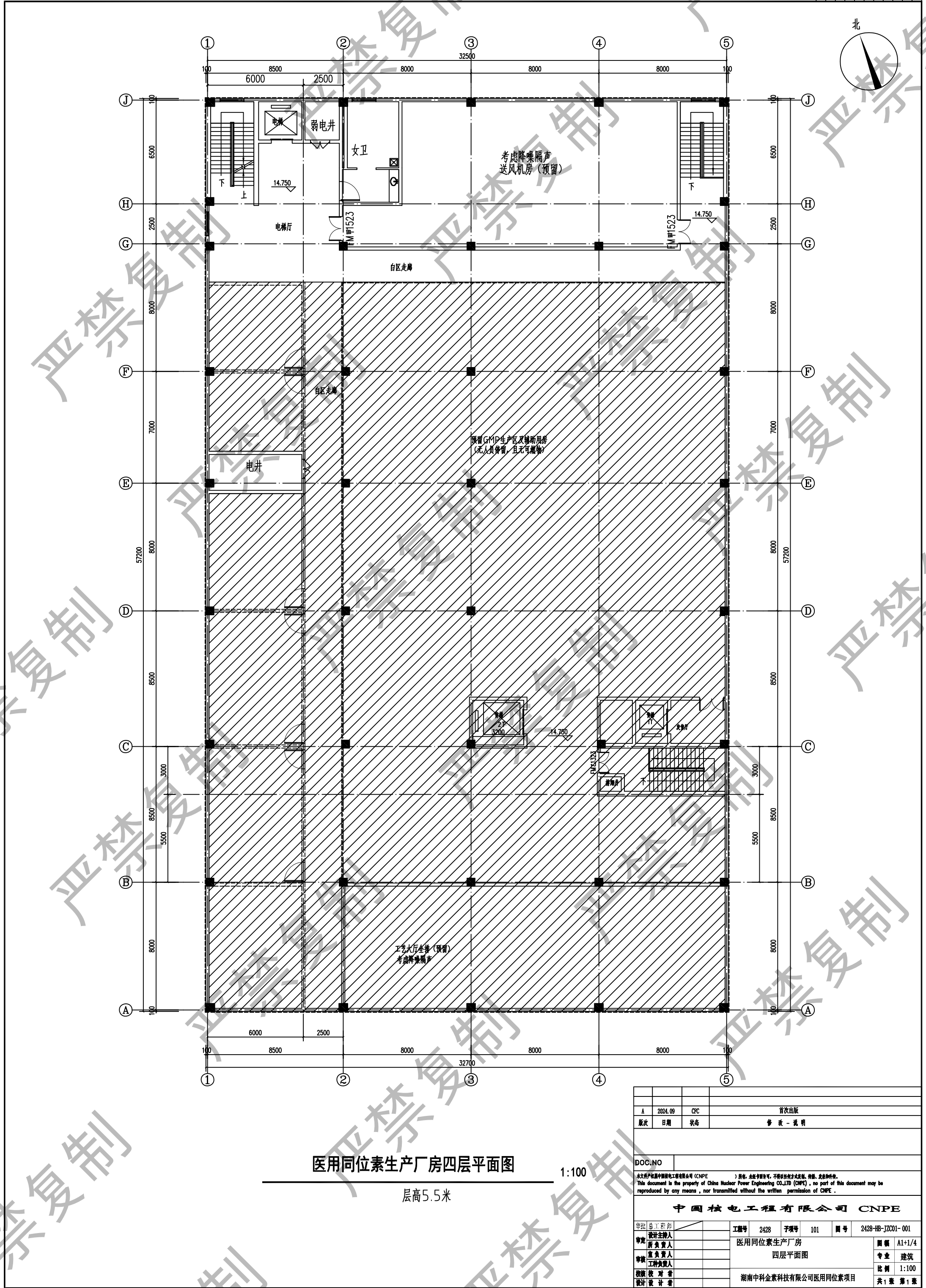
医用同位素生产厂房三层平面图

1:100

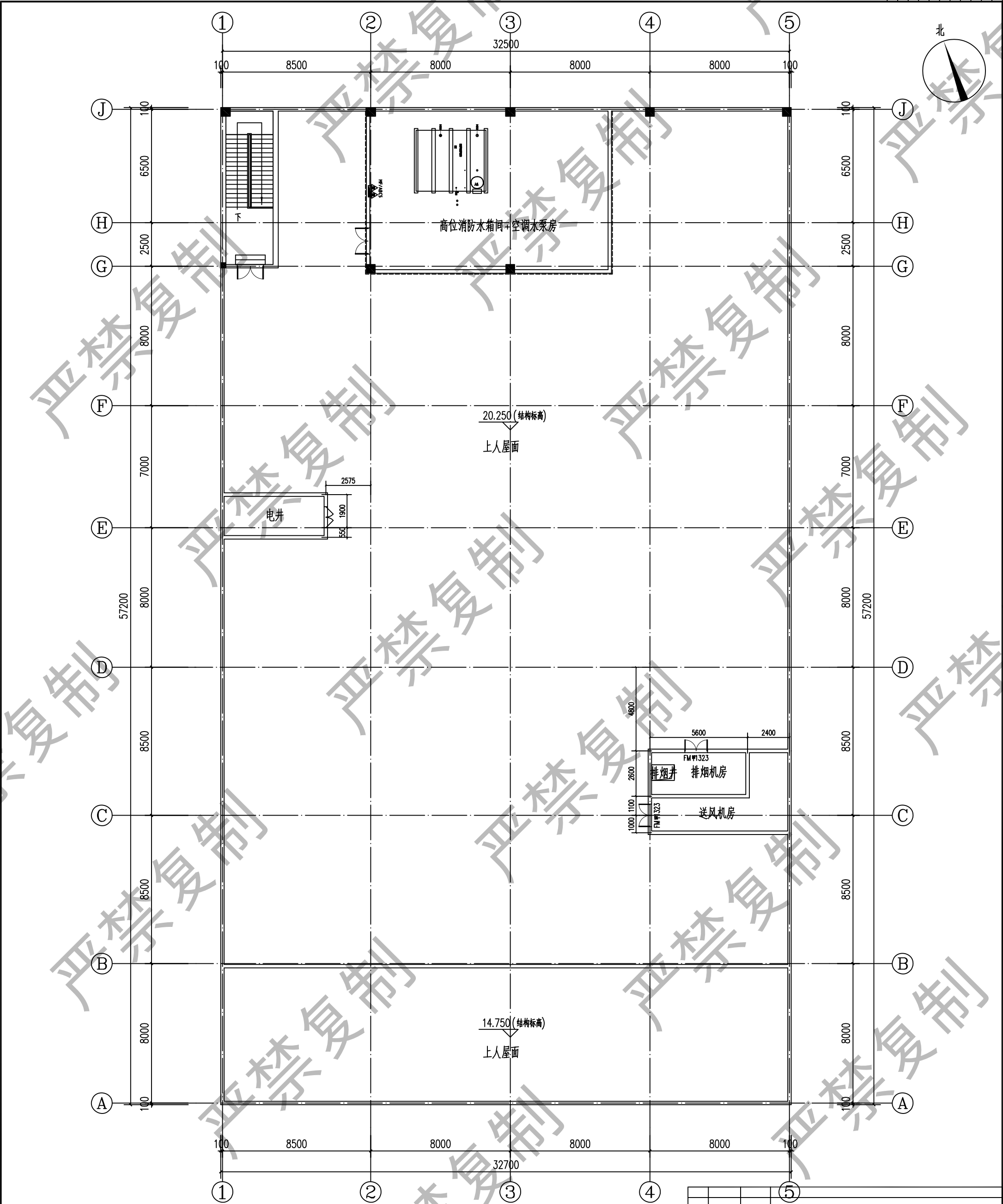
层高5.5米

A	2024.09	CPC	首次出版
版次	日期	状态	修改 - 说明
DOC.NO			
本文件版权属于中核工程技术有限公司 (CNPE) 所有，未经许可，不得以任何方式复制、传播、分发和再版。 This document is the property of China Nuclear Power Engineering CO.,LTD (CNPE), no part of this document may be reproduced by any means, nor transmitted without the written permission of CNPE.			
中国核电工程有限公司 CNPE			
审批 总工程师	工号	2428	子项号 101
设计 设计人	图号	2428-HB-JZC01-001	
审核 负责人	医用同位素生产厂房		图幅 A1+1/4
审核 负责人	三层平面图		专业 建筑
审核 校对人	湖南中科金素科技有限公司医用同位素项目		比例 1:100
设计 设计人			共1张 第1张

附图4.4 医用同位素生产厂房平面布局图—— 4层



附图4.5 医用同位素生产厂房平面布局图—— 屋顶



医用同位素生产厂房屋面平面图

1:100
