

核技术利用建设项目

放射性药品研发中心项目

环境影响报告表

(公示稿)

嘉兴景嘉航药业有限公司

2026年7月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

放射性药品研发中心项目 环境影响报告表

建设单位名称：嘉兴景嘉航药业有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省嘉兴市海盐县秦山街道海盐县金禾路1号1幢309-A
室

邮政编码：314000 联系人：

电子邮箱： 联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	10
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	13
表 7 保护目标与评价标准	16
表 8 环境质量和辐射现状	25
表 9 项目工程分析与源项	31
表 10 辐射安全与防护	60
表 11 环境影响分析	77
表 12 辐射安全管理	108
表 13 结论与建议	119
表 14 审批	124

表 1 项目基本情况

建设项目名称		放射性药品研发中心项目			
建设单位		嘉兴景嘉航药业有限公司			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省嘉兴市海盐县秦山街道海盐县金禾路 1 号 1 幢 309-A 室			
项目建设地点		浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号浙江景融核科技有限公司 1# 厂房			
立项审批部门		海盐县经济和信息化局	批准文号	2509-330424-07-02-192158	
建设项目总投资 (万元)		2000	项目环保投资 (万元)	63	投资比例 (环保投资/总投资) 3.15%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	租用浙江景融核科技有限公司现有厂房, 建筑面积 500m ²
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

1.1 项目建设单位情况

嘉兴景嘉航药业有限公司 (以下简称“建设单位”), 注册地位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道海盐县秦山街道金禾路 1 号 1 幢 309-A 室, 是杭州景嘉航生物医药科技有限公司的全资子公司, 是一家聚焦新型的靶向放射性药物的研发, 处于临床研究阶段的创新药公司。

1.2 项目建设目的和任务由来

与发达国家相比较，国内放射性药物相关产业起步较晚，总体上与国际先进水平有巨大差距，临床用放药品种少，缺乏原创新药。放射性核素及核素药物创新技术能力较弱，缺少自主知识产权的创新药物，新型放射性药物主要采用从国外购买授权许可国内上市模式，难以满足行业长期可持续发展需求和人民日益增长的诊疗需求。

为此，嘉兴景嘉航药业有限公司拟租用浙江景融核科技有限公司现有厂房，建设具备多功能核心区域的乙级非密封放射性物质场所，使用 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等核素，开展放射性药物研发用于临床实验，其中 ^{68}Ga 由外购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购。本项目非密封放射性物质日等效最大操作量为 $3.52 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目包含乙级非密封放射性物质工作场所，属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

嘉兴景嘉航药业有限公司委托卫康环保科技（浙江）有限公司承担“放射性药品研发中心项目（以下简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位组织相关技术人员进行了现场踏勘、资料收集和辐射环境现状委托监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）等规定要求编制了本项目环境影响报告表。

1.3 项目建设内容和规模

1.3.1 项目概况及方案

本项目租用浙江景融核科技有限公司现有厂房（建筑面积 500m^2 ），建设包含放射性标记实验室、放射性检测实验室、细胞研究室、动物研究室等多功能核心区域的乙级非密封放射性物质场所。项目购置国产合成热室、放射性活度计、高效液相色谱、 γ 计数器等设备，使用 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等核素（其中 ^{68}Ga 由外购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购）开展放射性药物研发实验。

1.3.2 项目组成

本项目主要组成情况见表 1-1。

表 1-1 项目组成一览表

工程类别		工程内容		
主体工程	实验室	租用浙江景融核科技有限公司现有厂房，建设包含放射性标记实验室、放射性检测实验室、细胞研究室、动物研究室等多功能核心区域的乙级非密封放射性物质场所，使用 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等核素开展放射性药物研发。		
公用工程	给水	自来水由市政自来水管网供给，纯水由纯水机采用膜反渗透法制备获得。		
	排水	实行雨污分流，放射性废水与非放射性废水分质收集、分质处理。		
	供电	由市政电网供电。		
环保工程	辐射防护		本项目采用分级管理、分区管理、辐射安全防护措施、配备防护设备用品和监测仪器、设置辐射安全管理机构和制定相关规章制度等措施，能够有效控制辐射影响。	
	废水治理	放射性废水	仅为应急去污淋洗废水，经专用屏蔽管道收集后送入不锈钢衰变罐暂存衰变至少十个半衰期后，经检测达标并经监管部门确认后，通过专用管道排入市政污水管网。	
		非放射性废水	生活污水先排入浙江景融核科技有限公司现有化粪池预处理，其余生产类非放射性废水经收集后一并汇入市政污水管网。所有废水最终输送至海盐县城乡污水处理厂处理，出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）相关要求，达标后排入杭州湾。	
	废气治理	放射性废气	经收集后进入专用排风管线，采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理，楼顶高空排气筒达标排放。	
		非放射性废气	经通风柜/集气装置局部密闭收集后，采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”处理，楼顶高空排气筒达标排放。	
	固废治理	放射性废物		分类暂存于放射性废物库，面积约为 28.6m ² ，贮存衰变至少 120 天后，经检测满足清洁解控标准后按普通危险废物委托有资质单位处置。
		非放射性废物	危险废物	设危险废物库 1 间，面积约 6m ² ，设置密闭容器收集，定期委托有资质单位收集处置。
			一般工业固废	不单独设置一般工业固废库，产生的一般工业固废经分类收集后，委托厂区统一清运至合规的一般固废收集点，由厂区统筹处置。
		生活垃圾		工作人员产生的生活垃圾，由厂区统一收集，由环卫部门统一清运。
	噪声		采取隔声降噪措施。	
储运工程	源库	设源库 1 间，面积 6.4m ² ，内设储源铅罐和储源柜。		
	试剂间	设试剂间 1 间，面积 5m ² ，用于储存化学试剂。		
依托工程	污水处理	依托浙江景融核科技有限公司现有化粪池和海盐县城乡污水处理厂。		

1.3.3 原辅材料用量

本项目放射性同位素使用规模见表 1-2，发生器使用情况见下表 1-3，本项目原辅材料清单见表 1-4。

表 1-2 各核素操作量及操作时间一览表

序号	核素名称	物理状态	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	年最大使用天数	来源
1	⁶⁸ Ga	液态				淋洗
2	¹⁷⁷ Lu	液态				外购
3	¹⁶¹ Tb	液态				外购
4	²¹² Pb	液态				外购
5	²²⁵ Ac	液态				外购
6	⁸⁹ Zr	液态				外购
7	²¹¹ At	液态				外购
8	²²³ Ra	液态				外购

表 1-3 发生器购买规格及大操作量

发生器名称	单个规格(Bq/柱)	年用量(柱/年)	日最大操作量(Bq)	年最大用量 (Bq)
⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器				

注：⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器淋洗效率取 80%，单个发生器每日淋洗 2 次。

表 1-4 原辅材料清单

序号	材料名称	规格型号	预计用量	临时储存量	用途说明
1	多肽前体	1mg/支	1000mg/年	200mg	前体溶液配制
2	醋酸钠三水合物	500g/瓶	500g/年	500g(1 瓶)	放射性标记
3	冰醋酸	500g/瓶	500g/年	500g(1 瓶)	放射性标记
4	0.1mol/L 盐酸溶液	250mL/瓶	2.5L/年	2.5L(10 瓶)	放射性标记
5	抗坏血酸	100g/瓶	100g/年	100g(1 瓶)	放射性标记
6	龙胆酸	100g/瓶	100g/年	100g(1 瓶)	放射性标记
7	二乙烯三胺五醋酸	100g/瓶	100g/年	100g(1 瓶)	放射性标记
8	醋酸铵	500g/瓶	200g/年	500g(1 瓶)	放射性标记
9	乙醇	500mL/瓶	5L/年	1000mL(2 瓶)	清洗容器
10	甲醇	4L/瓶	20L/年	4L(1 瓶)	HPLC 流动相
11	乙腈	4L/瓶	100L/年	8L(2 瓶)	HPLC 流动相
12	磷酸	500mL/瓶	1L/年	500mL(1 瓶)	HPLC 流动相
13	氢氧化钠	500g/瓶	200g/年	500g(1 瓶)	放射性标记
14	三氟乙酸	250mL/瓶	250mL/年	250mL(1 瓶)	HPLC 流动相
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					

表 1-5 本项目主要原辅材料理化性质表

名称	理化性质
乙醇	分子式为 C ₂ H ₆ O，分子量 46.07。沸点 78.3℃，熔点-114.1℃，密度为 0.79g/cm ³ ，蒸汽压 5.33kPa/19℃，闪点 12℃。无色液体，有酒香。与水混溶，可混溶于醚、氯仿、甘油等多数有机溶剂。易燃，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。遇明火、高热能引起燃烧爆炸。与氧化剂接触发生化学反应或引起燃烧。在火场中，受热的容

	<p>器有爆炸危险。其蒸气比空气重，能在较低处扩散到相当远的地方，遇明火会引着回燃。用于制酒工业、有机合成、消毒以用作溶剂。</p> <p>CAS号：64-17-5。</p>
甲醇	<p>分子式为 CH_4O，分子量 32.04。沸点 64.8°C，熔点 -97.8°C，密度为 $0.79\text{g}/\text{cm}^3$，蒸汽压 $13.33\text{kPa}/21.2^\circ\text{C}$，闪点 11°C。无色澄清液体，有刺激性气味。溶于水，可混溶于醇、醚等多数有机溶剂。易燃，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸，与氧化剂接触发生化学反应或引起燃烧。在火场中，受热的容器有爆炸危险。其蒸气比空气重，能在较低处扩散到相当远的地方，遇明火会引着回燃。主要用于制甲醛、香精、染料、医药、火药、防冻剂等。</p> <p>CAS号：67-56-1。</p>
乙腈	<p>分子式为 $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$，分子量 41.05。沸点 81.1°C，熔点 -45.7°C，密度为 $0.79\text{g}/\text{cm}^3$。蒸汽压 $13.33\text{kPa}/27^\circ\text{C}$，闪点 2°C。无色液体，有刺激性气味，与水混溶，溶于醇等多数有机溶剂。易燃，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。遇明火、高热或与氧化剂接触，有引进燃烧爆炸的危险。与氧化剂能发生强烈反应。用于制维生素 B1 等药物，及香料、脂肪酸萃取等。</p> <p>CAS号：75-05-8。</p>
三氟乙酸	<p>分子式为 $\text{C}_2\text{HF}_3\text{O}_2$，分子量 114.02。沸点 72.4°C，熔点 -15.4°C，密度为 $1.53\text{g}/\text{cm}^3$，蒸气压 $14.23\text{kPa}/25^\circ\text{C}$。无色发烟液体，有强烈刺激性气味，与水、醇、醚、丙酮等混溶。具强腐蚀性、强刺激性；能腐蚀皮肤、黏膜，遇明火、高热可燃，燃烧产生有毒氟化物烟气。</p> <p>CAS号：76-05-1。</p>

1.3.4 主要设备清单

实验室拟配备主要仪器设备清单见表 1-6。

表 1-6 本项目主要仪器设备清单

序号	设备名称	型号	数量（台/套）
1			2
2			1
3			1
4			1
5			3
6			3
7			1
8			1
9			1
10			1
11			1
12			4
13			2
14			1
15			1
16			1
17			1
18			3
19			1
20			1
21			2

1.4 项目选址及周边环境保护目标

1.4.1 项目地理位置

本项目拟建址位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号浙江景融核科技有限公司内，行政隶属海盐县秦山街道，本项目地理位置见附图 1。

浙江景融核科技有限公司东侧为主要出入口，外部无名道路，隔路为嘉兴坤博新能源装备制造有限公司；南侧为金湾路，隔路为博弥特机械有限公司、商紧公寓、南锋精密五金制品有限公司；西侧为浙江智丹科技有限公司；北侧为空地，规划用地性质为工业用地。周边环境关系见附图 2。

1.4.2 项目周围环境关系

本项目租赁浙江景融核科技有限公司北侧现有 1#厂房（地上一层，地下一层）部分区域，租赁面积 500m²。项目所在位置东侧 13m 为内部道路，约 31m 为浙江景融核科技有限公司东边界；南侧 30m 为内部道路，约 34m 为浙江景融核科技有限公司 2#厂房；西侧紧邻 1#厂房西部区域，约 47m 为内部道路；北侧紧邻内部道路，约 11m 为浙江景融核科技有限公司北侧边界，约 15m 为规划工业用地（目前为空地），楼下为停车场，楼上夹层为空调房。以上距离均为地面投影，各侧取距离辐射工作场所最近的距离进行描述。

地下一层衰变间南侧约 32m 为浙江景融核科技有限公司 2#厂房；北侧约 3.3m 为生活水泵房、约 12m 为消防水泵房；东侧约 8m 为停车位；西侧紧邻消防水池及楼梯。

综上，本项目辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外 50m 范围内主要为浙江景融核科技有限公司内部道路及绿化、内部建筑物（厂房）。总平面布局见附图 3。

1.5 产业政策符合性分析

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”项目第六款“核能”第 4 条核技术应用中的“同位素、加速器及辐照应用技术开发”类项目，为鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.6 实践正当性分析

本项目的建设用于放射性药品研发，缓解放射性核素及核素药物创新技术能力较弱、创新药物缺少自主知识产权的困境。放射性药品用于临床核医学诊断及治疗可以达到一般非放射性治疗方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，本项目的实践是必要的。

建设单位在正确使用和管理放射性核素的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至

尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.7 海盐县生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

（1）生态保护红线

根据海盐县秦山街道“三区三线”划定方案，本项目所在区域属于城镇开发边界内，评价范围内不涉及当地饮用水源保护区、自然保护区等生态保护区，不涉及海盐县生态保护红线，本项目与海盐县秦山街道“三区三线”位置关系见附图 6。

（2）环境质量底线

根据嘉兴市生态环境局海盐分局发布的《2024 海盐县环境状况白皮书》有关数据和结论，本项目所在区域大气环境属达标区。根据辐射环境现状监测结果，本项目拟建场址及周围环境辐射环境质量现状属于正常本底范围，监测数据辐射剂量率均未见异常。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，本项目运行不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求。因此，本项目符合环境质量底线要求。

（3）资源利用上线

本项目主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比量较小，市政自来水管网有能力为本项目提供水资源保障；本项目主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网，且利用效率高。总体而言，符合资源利用上线的要求。

（4）生态环境准入清单

本项目位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号，根据《海盐县人民政府办公室关于印发<海盐县生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（盐政办发〔2024〕22 号），本项目所在地属于“浙江省嘉兴市海盐县秦山街道产业集聚重点管控单元（环境管控单元编码：ZH33042420002）”，详见附图 5，属于重点管控单元，本项目生态环境管控单元准入清单符合性分析见表 1-7。

表 1-7 生态环境管控单元准入清单符合性一览表

环境管控单元名称	生态环境准入清单		本项目相符性分析
浙江省嘉兴市海盐县秦山街道产业集聚重点管控单元 ZH33042420002	空间布局约束	<ol style="list-style-type: none"> 1.根据产业集聚区块的功能定位，实施分区差别化的产业准入条件。 2.优化产业布局和结构，合理规划布局三类工业项目，控制三类工业项目布局范围和总体规模，鼓励对现有三类工业项目进行淘汰和提升改造。 3.提高电力、化工、印染、造纸、化纤等重 	本项目为核技术利用项目，不属于电力、化工、印染、造纸、化纤等重点行业，满足产业集聚区功能定位和分区差别化产业准入条件。项目选址位于规划的工业功能区内，不

		<p>点行业环保准入门槛，控制新增污染物排放量。</p> <p>4.新建涉 VOCs 排放的工业企业全部进入工业功能区，严格执行相关污染物排放量削减替代管理要求。</p> <p>5.合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生态绿地等隔离带。</p>	<p>涉及居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业企业之间已设置防护绿地、生态绿地等隔离带，符合空间布局约束要求。</p>
	污染物排放管控	<p>1.严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。</p> <p>2.新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平，推动企业绿色低碳技术改造。</p> <p>3、新建、改建、扩建高耗能、高排放项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，强化“两高”行业排污许可证管理，推进减污降碳协同控制。</p> <p>4、加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，深化工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。</p> <p>5、加强土壤和地下水污染防治与修复。</p> <p>6、重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。</p>	<p>项目运行过程中污染物简单，排放量较小，在落实本报告提出的各项污染防治措施基础上，“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。</p>
	环境风险防控	<p>1.定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险。</p> <p>2.强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制；加强风险防控体系建设。</p>	<p>本项目建立企业辐射事故应急体系。运营期间，加强环境监管。采取上述措施并加强管理的情况下，可避免辐射事故发生。</p>
	资源开发效率要求	<p>推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业、节水型工业园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。</p>	<p>本项目水资源能够有效利用，不新增煤炭资源消耗。</p>

由上表可知，本项目的实施符合“浙江省嘉兴市海盐县秦山街道产业集聚重点管控单元”的相关管控措施要求。

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、不会突破环境质量底线和资源利用上线、符合准入清单内管控措施要求。

1.8 “三区三线”符合性分析

根据自然资源部办公厅《关于依据“三区三线”划定成果报批建设项目用地用海有关事宜的函》（自然资办函〔2022〕2072号）规定，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海报批的依据。其中“三区”具体指城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应应在城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基

本农田保护红线、生态保护红线三条控制线。

对照项目三区三线位置图（附图 6），本项目位于城市集中建设区，属于城镇开发边界内，在现有厂房内实施建设，用地性质为工业用地，项目选址及评价范围均不涉及永久基本农田保护红线和生态保护红线，符合海盐县“三区三线”划定方案的要求。

1.9 选址合理性分析

本项目位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号，租用浙江景融核科技有限公司现有厂房建设，不新增用地，且周围无环境制约因素，项目辐射工作场所 50m 范围内主要为浙江景融核科技有限公司内部道路及绿化、内部建筑物（厂房），无学校、居民区、行政办公区、自然保护区、文物保护单位、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。经辐射环境影响分析，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施后，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内，故本项目的选址合理可行。

1.10 原有核技术利用项目许可情况

本项目为建设单位首次开核技术利用项目，无原有核技术利用项目。

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	贮存方式与地点
1	⁶⁸ Ga	1.13h/液态/低毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、精密仪器室	标记室 ⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器
2	¹⁷⁷ Lu	6.71d/液态/中毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、细胞操作间、SPET-PET/CT 间、解剖室、放射性饲养间、精密仪器室	源库
3	¹⁶¹ Tb	6.91d/液态/中毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、放射性饲养间、精密仪器室	源库
4	²¹² Pb	10.6h/液态/中毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、放射性饲养间、精密仪器室	源库
5	²²⁵ Ac	10.0d/液态/极毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、放射性饲养间、精密仪器室	源库
6	⁸⁹ Zr	3.27d/液态/中毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、精密仪器室	源库
7	²¹¹ At	7.21h/液态/高毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、放射性饲养间、精密仪器室	源库
8	²²³ Ra	11.4d/液态/极毒	使用				放射性药物研发	简单操作	标记室、SPET-PET/CT 间、解剖室、放射性饲养间、精密仪器室	源库
9	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器	液态/中毒/288d	使用				淋洗	源的贮存	标记室	热室

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/PET/CT	III类	1	待定	80	0.5	影像诊断	SPECT/PET/CT 间	/

(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（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态（应急去污淋洗废水）	⁶⁸ Ga 等 8 种核素	/	/	0.1m ³ /a	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	暂存于 3 个相同体积的并联衰变池罐，每个衰变罐有效容积 2m ³ ，总有效容积 6m ³	经衰变至少 120 天后，经检测达标并经监管部门确认后，通过专用管道排入市政污水管网
放射性废液	液态（实验过程中产生的放射性有机废液和无机废液）	⁶⁸ Ga 等 8 种核素	/	/	1.37m ³ /a	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	集中收集在铅屏蔽废液桶内，后续转移至放射性废物库暂存	集中收集的废液转移至放射性废物库贮存衰变至少 120 天后，经监测达标并由生态环境主管部门批准后，按危险废物交有资质的单位处置
放射性废气	气态（热室、防护通风橱排气）	⁶⁸ Ga 等 8 种核素	/	/	/	/	不暂存	采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理，楼顶高空排气筒达标排放
放射性固废	固态（废放射性污染耗材、C ₁₈ 小柱、废活性炭和过滤器等）	⁶⁸ Ga 等 8 种核素	/	/	818.5kg/a	/	集中收集在铅屏蔽的放射性废物桶内，后续转移至放射性废物库暂存	集中收集的放射性废物转移至放射性废物库贮存衰变至少 120 天后，经监测符合清洁解控要求并由生态环境主管部门批准后，按危险废物交有资质的单位处置
动物尸体及组织	固态（注射药物后处死的动物尸体及组织）	⁶⁸ Ga 等 8 种核素	/	/	152kg/a	/	收集在放射性废物库冷冻冰柜内	收集的动物尸体及组织在放射性废物库冷冻冰柜贮存衰变至少 120 天后，经监测符合清洁解控要求并由生态环境主管部门批准后，交有资质的单位处置
废旧发生器	废旧发生器	⁶⁸ Ga、 ⁶⁸ Ge	/	/	2 个	/	不暂存	交由发生器生产厂家回收

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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》，中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(5) 《中华人民共和国水污染防治法（2017 年修订）》，中华人民共和国主席令第七十号，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《中华人民共和国大气污染防治法（2018 年修订）》，中华人民共和国主席令第十六号，2018 年 10 月 26 日起施行；</p> <p>(7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020 年修订）》，中华人民共和国主席令第四十三号，2020 年 9 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法（2021 年修订）》，中华人民共和国主席令第一〇四号，2022 年 6 月 5 日起施行；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修订）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号公布，2021 年 12 月 1 日生态环境部令第 38 号修订，2011 年 5 月 1 日起施行，2021 年 12 月 1 日修订施行；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021 年 12 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《放射性药品管理办法（2022 年修订）》，国务院令第 752 号，2022 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(13) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第 612 号公布，2012 年 3 月 1 日起施行；</p>
------------------	---

	<p>(15) 《国家危险废物名录（2025年版）》，生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第36号公布，2025年1月1日起施行；</p> <p>(16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日施行；</p> <p>(17) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(18) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，国家发展和改革委员会令第7号，2024年2月1日起施行；</p> <p>(19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行；</p> <p>(20) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告2021年第9号，2021年3月15日起施行；</p> <p>(21) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评〔2017〕4号，2017年11月22日发布；</p> <p>(22) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2021年省政府令第388号修订，2021年2月10日修订；</p> <p>(23) 《浙江省辐射环境管理办法》，2021年省政府令第388号修订，2021年2月10日修订；</p> <p>(24) 浙江省生态环境厅关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024年本）》的通知，浙环发〔2024〕67号，浙江省生态环境厅，2024年12月31日发布，2025年2月2日起实施；</p> <p>(25) 《海盐县人民政府办公室关于印发<海盐县生态环境分区管控动态更新方案>的通知》，盐政办发〔2024〕22号，海盐县人民政府办公室，2024年10月22日印发。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2) 《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）》（试行）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p>

	<p>(6) 《辐射事故应急监测技术规范》（HJ 1155-2020）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(8) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>(9) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）；</p> <p>(10) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA5-2019）；</p> <p>(11) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）；</p> <p>(12) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(13) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(14) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(15) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）；</p> <p>(16) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；</p> <p>(17) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；</p> <p>(18) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）；</p> <p>(19) 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）；</p> <p>(20) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；</p> <p>(21) 《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）；</p> <p>(22) 《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）；</p> <p>(23) 《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）；</p> <p>(24) 《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）；</p> <p>(25) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；</p> <p>(26) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）。</p>
其他	<p>(1) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编；</p> <p>(2) 《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编；</p> <p>(3) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫；</p> <p>(4) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》；</p> <p>(5) 建设单位提供的其它与本项目有关资料；</p> <p>(6) 环评委托书。</p>

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）的规定：“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”，并结合本项目的实际情况，确定本项目辐射环境评价范围取核技术利用工作场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

本项目为报告表，参照《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）》（试行），大气环境影响评价范围取项目边界外 500m 范围，声影响评价范围取边界外 50m 范围，评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

7.2.1 辐射环境保护目标

根据现场踏勘情况，本项目 50m 评价范围内主要为内部道路及绿化、内部建筑物（厂房），无居民区等环境敏感保护目标。本项目环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员及评价范围内活动的其他公众，本项目环境保护目标一览见表 7-1。

表 7-1 本项目辐射工作场所主要环境保护目标一览表

辐射场所	环境保护目标	方位	距场所控制区边界外最近距离 (m)	规模	人员类别	剂量约束值 (mSv/a)
建设单位内部	辐射工作人员	一层	/	7 人	职业人员	5
	建设单位非辐射工作人员	一层	紧邻	20 人	公众人员	0.1
建设单位外部	地下一层停车场	地下一层	紧邻	50 人	公众人员	
	1#厂房西部区域	西侧	紧邻	30 人	公众人员	
	2#厂房	南侧	8m	50 人	公众人员	
	内部道路公众	南侧	紧邻	50 人	公众人员	
		东侧	紧邻		公众人员	
北侧		紧邻	公众人员			
规划工业用地	北侧	15m	5 人	公众人员		

7.2.2 地表水、大气、声环境保护目标

本项目废水纳管，不涉及饮用水水源保护区，无地表水环境保护目标。项目周围 50m

范围建筑物为建设单位厂房，无声环境保护目标。主要环境空气环境保护目标见表 7-2。

表 7-2 主要环境空气环境保护目标

序号	保护目标名称	相对位置	最近距离 (m)	规模	保护级别
1	首荡村	西北	356	16 户，约 50 人	大气二级
2	兰田庙	东北	445	9 户，约 30 人	大气二级

7.2.3 地下水、生态环境保护目标

本项目边界外 500m 范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。本项目租赁现有标准厂房，不新增用地，无须调查生态环境保护目标。

7.3 放射性评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

(1) 职业照射

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（但不可做任何追溯性平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

(2) 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- 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。

7.3.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常应在公众照射剂量限值的 10%-30%范围之内。同时参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)结合项目实际情况，并遵循辐射防护最优化的原则，本项目工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值取值情况见表 7-3。

表 7-3 本项目剂量约束值

场所名称	剂量约束值(mSv/a)		取值依据
	职业照射	公众照射	
项目工作场所	5.0	0.1	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

7.3.3 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）附录 C 中的相关规定，非密封放射性物质工作场所的分级见表 7-4。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

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

7.3.4 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《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)中相关规定，本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-5。

表 7-5 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐射工作场所	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处(人员居留因子 $>1/2$)	<2.5
	控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $<1/2$)	<10
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处 人员操作位	<2.5
	放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处	<2.5
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处	<2.5

7.3.5 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）相关规定，本项目辐射工作场所的放射性表面污染控制水平详见表 7-6。

表 7-6 辐射工作场所的放射性表面污染控制水平 单位： Bq/cm^2

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

¹⁾该区内的高污染子区除外。

7.3.6 辐射工作场所的分区

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）中相关规定，本项目

辐射工作场所的分区应满足以下要求：

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 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或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 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，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.7 放射性物品安全运输要求

根据《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019），本项目放射性物品安全运输要求应满足以下要求：

5.3 辐射水平限值

5.3.1 货包或集合包装的外表面任一点的最高辐射水平应不超过 2mSv/h。

5.4 表面污染水平限值

应使任何货包外表面的非固定污染保持在实际可行的尽量低的水平，在常规运输条件下，这种污染不得超过下述限值：

- a) 对 β 或 γ 发射体以及低毒性 α 发射体为 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；
- b) 对所有其他 α 发射体为 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

5.5 运输指数和临界安全指数限值

任何货包或集合包装的运输系数应不超过 10，任何货包或集合包装的临界安全指数应不超过 50，按独家使用方式运输的拖运货物除外。

7.1 货包分类

根据放射性内容物的特性、活度水平、比活度和运输方式对货包进行分类。具体分为：例外货包、工业货包、A 型货包、B（U）型货包、B（M）型货包、C 型货包。此外还有易裂变材料货包和六氟化铀货包。

7.1.1.2 例外货包外表面任一点的辐射水平不得超过 $5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

8.4.2.3 应按下述要求控制货物集装箱的装载及货包、集合包装和货物集装箱的存放；

b) 在常规运输条件下，运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过 2mSv/h，在距运输工具外表面 2m 处的辐射水平应不超过 0.1mSv/h。

8.5.1 货包、集合包装和货物集装箱应按照表 7-7 中规定的条件并按下述要求划分为 I 级（白）、II 级（黄）或 III 级（黄）。

表 7-7 货包、集合包和货物集装箱的分级

运输指数 (TI)	外表面上任一点的最高辐射水平 H (mSv/h)	分级
0 ^a	$H \leq 0.005$	I 级 (白)
$0 < TI \leq 1^a$	$0.005 < H \leq 0.5$	II 级 (黄)
$1 < TI \leq 10$	$0.5 < H \leq 2$	III 级 (黄)
$10 \leq TI$	$2 < H \leq 10$	III 级 (黄) ^b

注：a 若测得的 TI 值不大于 0.05，此数值可取为零。

b 除集合包装外，需按独家使用方式运输。

7.3.8 放射性废液排放

根据《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)中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况放射性废水排放满足以下要求：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.9 放射性固废处理

参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

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 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²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；

c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

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0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于0.4Bq/cm²。

7.3.10 辐射工作场所通风要求

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，核医学工作场所通风要求如下：

6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

参考《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）：

三、关于独立通风要求

核医学标准第6.3.4节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

7.4 非放射性评价标准

7.4.1 废水排放

本项目非放射性废水经预处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后纳入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准，主要污染物满足《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）表1排放限值要求后排入杭州湾，具体标准限值见表7-8和表

7-9。

表 7-8 污水综合排放标准
(1) 第一类污染物最高允许排放浓度

污染物名称	浓度限值
总α放射性	1Bq/L
总β放射性	10Bq/L

(2) 第二类污染物最高允许排放浓度 单位: mg/L, pH 除外

污染物名称	三级标准
pH 值	6~9
化学需氧量 (COD _{Cr})	500
五日生化需氧量 (BOD ₅)	300
悬浮物 (SS)	400
氨氮 (以 N 计)	35 ^①
总氮	70 ^①
总磷	8 ^①
动植物油	100

注: 氨氮、总磷、总氮纳管标准执行《工业企业废水氮、磷污染物间接排放限值》(DB33/887-2025) 表 1 规定的限值。

表 7-9 城镇污水处理厂污染物排放标准 单位: 除 pH 值外, mg/L

污染物名称	一级 A 标准	执行标准
pH 值	6~9	GB18918-2002
悬浮物(SS)	10	
五日生化需氧量	10	
石油类	1	
动植物油	1	
化学需氧量 (COD _{Cr})	40	DB33/2169-2018
氨氮	2(4)*	
总氮	12(15)*	
总磷	0.3	

*注: ()内数值为每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日执行。

7.4.2 废气排放

项目废气主要为实验室有机废气, 涉及有机试剂种类较多, 但挥发性有机物使用量较小, 统一以非甲烷总烃作为表征污染物。实验室有机废气经通风橱收集后, 引至屋顶经“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”处理后排放; 动物饲养废气(氨气、H₂S、臭气浓度)同样引至屋顶, 经相同工艺处理后排放。

实验室有机废气（以非甲烷总烃计）、臭气浓度的有组织排放执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）表 1 中规定的排放限值。氨、甲醇、乙腈的有组织排放执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）中表 2 “大气污染物特征项目最高允许排放限值”中的排放限值标准。硫化氢执行《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）表 2 中 30m 高排气筒排放限值。详见表 7-10、表 7-11。

表 7-10 废气污染物排放标准限值(有组织)

污染物项目	标准值	污染物排放监控位置	排放标准来源
非甲烷总烃	60mg/m ³	车间或生产设施排气筒	《制药工业大气污染物排放标准》 (DB33/310005-2021)
臭气浓度	1000 (无量纲)		
氨	10mg/m ³		
甲醇	50mg/m ³		
乙腈	20mg/m ³		
氯化氢	10mg/m ³		

表 7-11 废气污染物排放标准限值(有组织)

污染物项目	标准值	污染物排放监控位置	排放标准来源
硫化氢	1.8kg/h	车间或生产设施排气筒	《恶臭污染物排放标准》 (GB14554-93) 30m 高排气筒

臭气浓度、氨、硫化氢无组织执行《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）中表 1 的排放限值，氯化氢无组织排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表 2 的无组织排放监控浓度限值，详见表 7-12。

表 7-12 废气污染物排放标准限值(无组织)

污染物项目	无组织排放监控限值	监控点	排放标准来源
臭气浓度	20 (无量纲)	周界外浓度最高点	《恶臭污染物排放标准》 (GB14554-93)
氨	1.5mg/m ³		
硫化氢	0.06mg/m ³		
氯化氢	0.2mg/m ³		《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996)

企业厂区内非甲烷总烃（实验室有机废气）无组织排放监控点浓度执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）表 6 规定的排放限值，详见表 7-13。

表 7-13 厂区内非甲烷总烃无组织排放限值 (mg/m³)

污染物项目	监控点限值	限值含义	无组织排放监测位置
NMHC	6	监控点处 1h 平均价浓度值	在厂房外设置监控点
	20	监控点处任意一次浓度值	

7.4.3 固废处理

本项目一般固体废物贮存、处置参照执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020) 要求进行处理处置。危险废物的贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023) 有关规定。

7.4.4 噪声

①施工期

本项目施工期噪声执行《建筑施工噪声排放标准》(GB12523-2025)，具体指标详见表7-14。

表7-14 建筑施工场界环境噪声排放限值

昼间	夜间
70dB(A)	55dB(A)

②运营期

本项目运营期噪声排放标准执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 中3类标准，具体指标参见表7-15。

表7-15 厂界环境噪声排放限值

标准名称	标准类别	标准限值	
		昼间	夜间
《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB 12348-2008)	3类	65dB(A)	55dB(A)

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目拟建址位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号浙江景融核科技有限公司 1#厂房内。

拟建场址东侧为浙江景融核科技有限公司内部道路，南侧为内部道路，再往南为 2#厂房，西侧为 1#厂房西部，再往西为内部道路，北部为内部道路，再往北为空地。本项目拟建址位于 1#厂房东部，拟建址地下室一层为停车场、消防水泵房、生活水泵房、衰变间，一层为包含放射性标记实验室、放射性检测实验室、细胞研究室、动物研究室等多功能核心区域，夹层为空调机房。

本项目地理位置图见附图 1，周边环境关系示意图见附图 2，平面布置图见附图 3。

8.2 电离辐射环境现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2024 年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境 γ 辐射剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和新安江水库中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水天然放射性核素浓度处于本底水平，总 α 、总 β 活度浓度符合《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的 III 类水质标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 、总 β 活度浓度处于本底水平。近岸海域海水、海底沉积物和海洋生物中人工放射性核素活度浓度未见异常，海水中锶-90 和铯-137 等人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.2.1 评价对象

本次监测目的为了解项目拟建地及周围辐射环境背景水平。

8.2.2 检测因子

本次现状辐射环境仅布设 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位，未开展空气、土壤、水体放射性核素活度浓度监测，主要原因如下：

（1）本项目为非密封放射性物质实验室，所有放射性标记、淋洗等涉核操作均在热室、负压通风橱内密闭完成，配套放射性废液、放射性固体废物分类收集、衰变暂存设施，正常工况下不存在放射性气溶胶、放射性粉尘向外环境无组织排放途径，场外环境无

人工放射性核素污染风险，仅需摸清区域 γ 辐射天然本底基线。

(2) 本次监测为场址建设前本底调查，场地无放射性历史使用痕迹，不存在人工放射性核素沉积污染；同时根据《浙江省生态环境状况公报（2024年）》，嘉兴区域空气、土壤、地表水、地下水人工放射性核素活度浓度均未见异常，整体介质放射性水平稳定处于天然本底区间，无需开展介质放射性核素采样分析。

(3) 按照《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）相关要求，新建非密封放射性工作场所辐射环境现状评价，核心监测指标为环境 γ 辐射空气吸收剂量率，用于建立项目建设前天然辐射本底对照值，满足辐射环境现状评价基础数据需求。

(4) 项目评价范围内无伴放射性废物贮存/处置单位、过往涉核生产企业，不存在外源人工放射性污染来源，无增加介质放射性监测的必要性。

8.2.3 检测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求以及布点的代表性原则，根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布点监测，点位分布情况见图 8-1，检测报告及检测资质证书见附件七。

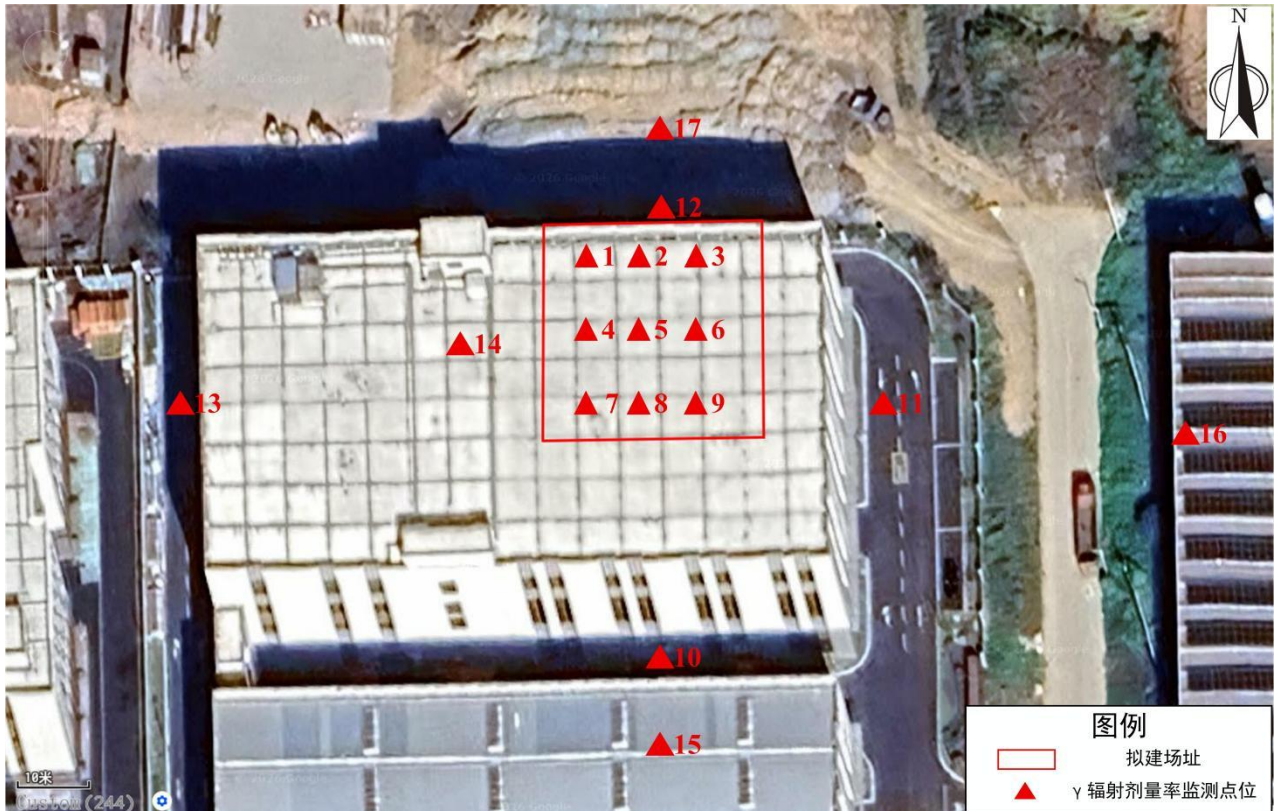


图 8-1 监测点位示意图

8.2.4 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司；
- (2) 监测时间：2026年1月22日；
- (3) 监测方式：现场检测；
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等；
- (5) 监测方法：仪器探头离地1m，待仪器读数稳定后，通常以约10s的间隔读取数据；
- (6) 监测工况：辐射环境本底；
- (7) 天气环境条件：天气：晴；室外温度：6℃；室内温度：8℃；相对湿度：62%；
- (8) 监测仪器：该仪器在检定有效期内，相关设备参数见表8-1。

表 8-1 监测仪器的参数与规范

检测仪器	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H (外置探头：6150 AD-b/H 主机：6150 AD 6/H)
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量程	外置探头：10nSv/h~99.99 μ Sv/h； 主机：0.1 μ Sv/h-10mSv/h
能量范围	外置探头：20keV-7MeV； 主机：60keV-1.3MeV
鉴定证书编号	2025H21-20-5773017001
鉴定证书有效期	2025年2月28日至2026年2月27日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 Cf	1.06
探测限	10nSv/h

注：监测时使用外置探头监测

8.2.5 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发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 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；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

8.2.6 监测结果及分析

本项目辐射环境本底监测结果详见表8-2。

表 8-2 X- γ 辐射剂量率监测结果

监测点编号	监测点位	γ 辐射空气吸收剂量率(nGy/h)	
		平均值	标准差
▲1	拟建场址点位 1#	121	3
▲2	拟建场址点位 2#	113	2

▲3	拟建场址点位 3#	123	2
▲4	拟建场址点位 4#	118	1
▲5	拟建场址点位 5#	121	3
▲6	拟建场址点位 6#	113	3
▲7	拟建场址点位 7#	119	1
▲8	拟建场址点位 8#	123	2
▲9	拟建场址点位 9#	122	2
▲10	拟建场址南侧内部道路	122	1
▲11	拟建场址东侧内部道路	125	1
▲12	拟建场址北侧内部道路	124	1
▲13	拟建场址西侧内部道路	121	1
▲14	1#厂房西部	117	1
▲15	2#厂房	120	1
▲16	嘉兴坤博新能源装备制造有限公司	124	3
▲17	拟建场址北侧外部空地	124	2

注：1、据《环境辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中第 5.4 条款，本次测量时，测量时仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；

2、根据《环境辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中第 5.5 条款，本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy；

3、辐射空气吸收剂量率均已扣除测点处宇宙射线响应值 25.5nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，▲1~▲9、▲14~▲16 点位取 0.8，▲10~▲13、▲17 点位取 1。

由上表可知，本项目拟建场址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围在 0.113 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.125 $\mu\text{Gy/h}$ 之间；其中室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围在 0.113 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.124 $\mu\text{Gy/h}$ 之间；室外 γ 辐射空气吸收剂量率范围在 0.121 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.125 $\mu\text{Gy/h}$ 之间。

根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，嘉兴市道路上 γ 辐射空气吸收剂量率范围 0.028 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.117 $\mu\text{Gy/h}$ 之间，室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 0.076 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.271 $\mu\text{Gy/h}$ 之间。

综上所述，本项目拟建场址及周围 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。

8.3 环境空气质量现状

(1) 空气质量达标区判定

本项目位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号，根据《浙江省环境空气质量功能区划分方案》（见附图 12），项目所在区域的大气环境划为二类功能区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）表 1 中过渡阶段二级标准限值（自本标准实施之日起至

2030年12月31日止)。

(2) 基本污染物环境质量现状

为了解评价区域内基本污染物环境质量现状，本环评收集了海盐县环境空气常规监测站 2024 年基本污染物的全年监测数据。

监测结果见表 8-3。

表 8-3 海盐县基本污染物环境质量现状

点位名称	监测点位坐标/m		污染物	年评价指标	①评价标准/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	现状浓度/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率/%	超标倍数	超标频率/%	达标情况
	X	Y								
嘉兴市生态环境局海盐分局/海盐高级中学	302484.48/30202.36	3378938.62/337645	SO ₂	年平均	60	6	10	0	0	达标
				日平均	150	8	5.3	0	0	
			NO ₂	年平均	40	25	62.5	0	0	达标
				日平均	80	63	78.8	0	0	
			PM ₁₀	年平均	60	46	76.6	0	0	达标
				日平均	120	115	95.8	0	0	
			PM _{2.5}	年平均	30	28	93.3	0	0	达标
				日平均	60	73	121.7	0.22	5.0	超标
			CO	日平均	4000	1000	25	0	0	达标
			O ₃	日最大 8 小时平均	160	148	92.5	0	0	达标

注：①根据生态环境部及浙江省生态环境厅通知：2026年3月1日至2030年12月31日期间审批的建设项目，应基于获取的基准年环境质量现状数据，按照新标准中“过渡阶段浓度限值”进行达标判定，不再以旧标准评价的基准年环境质量公告或环境质量报告结论为准。

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中的有关规定：城市环境空气质量达标情况评价指标为 SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO 和 O₃，六项污染物全部达标即为城市环境空气质量达标。由上表可知，2024 年海盐县环境空气质量中 SO₂、NO₂、PM₁₀、CO 和 O₃ 年评价指标和 PM_{2.5} 年评价质量浓度值均达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）表 1 中过渡阶段二级标准限值，PM_{2.5} 日平均浓度未达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）表 1 中过渡阶段二级标准限值，因此项目所在区域属于不达标区。

8.4 地表水环境质量现状

本项目附近地表水体为白洋河。根据《浙江省人民政府关于浙江省水功能区水环境功

能区划分方案（2015）的批复》（浙政函（2015）71号），白洋河起始断面长秦桥，终止断面柴子头桥上250米，水环境质量执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准。根据《2024年海盐县环境状况白皮书》，2024年，12个监测断面水质全部达标且符合水环境功能区要求。其中，II类水质2个，占16.7%；III类水质10个，占83.3%；无IV类及以下水质断面。报告表明盐平塘考核断面水质达到水环境功能区要求，即《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的IV类标准。

8.5 声环境质量现状

本项目边界外周边50米范围内无声环境保护目标，因此不进行声环境质量现状监测。

8.6 生态环境现状

本项目位于浙江景融核科技有限公司厂房内，未新增用地且用地范围内无生态环境保护目标，因此不进行生态环境质量现状的评价。

8.7 电磁辐射环境现状

本项目不涉及。

8.8 地下水、土壤环境现状

本项目不存在土壤、地下水污染途径，无土壤、地下水保护目标，不开展现状调查。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目利用已有建筑物，施工期主要包括拟建辐射工作场所墙体的砌筑，墙面、地面及顶面的装修施工，施工过程中会产生废气、废水、噪声及固废，施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

(1) 扬尘

主要为辐射工作场所装修时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘和装修废气。

(2) 废水及防治措施

施工期间产生的废水主要为施工人员的生活污水。

(3) 噪声及防治措施

主要来自于设备安装以及室内装修产生的噪声。

(4) 固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

9.2 营运期工程分析

9.2.1 设备组成

本项目拟使用 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等核素，开展放射性药物研发，其中 ^{68}Ga 由外购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购。

本项目放射性同位素使用规模见表 9-1，发生器使用情况见表 9-2。

表 9-1 各核素操作量及操作时间一览表

序号	核素名称	物理状态	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	年最大使用天数	来源
1	^{68}Ga	液态				淋洗
2	^{177}Lu	液态				外购
3	^{161}Tb	液态				外购
4	^{212}Pb	液态				外购
5	^{225}Ac	液态				外购
6	^{89}Zr	液态				外购
7	^{211}At	液态				外购
8	^{223}Ra	液态				外购

表 9-2 发生器购买规格及大操作量

发生器名称	单个规格(Bq/柱)	年用量(柱/年)	日最大操作量(Bq)	年最大用量 (Bq)
^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器				

注： ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗效率取 80%，单个发生器每日淋洗 2 次。

9.2.2 工艺流程及产污环节分析

本项目放射性药物研发流程如下：首先将多肽前体经水溶解后配制成前体溶液，随后利

用 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等放射性同位素，开展放射性标记工艺、质量控制分析实验、细胞亲和力检测实验、动物成像实验、生物分布实验及药效实验等 6 类放射性研发实验。

本项目工艺及产污流程图见图 9-1。

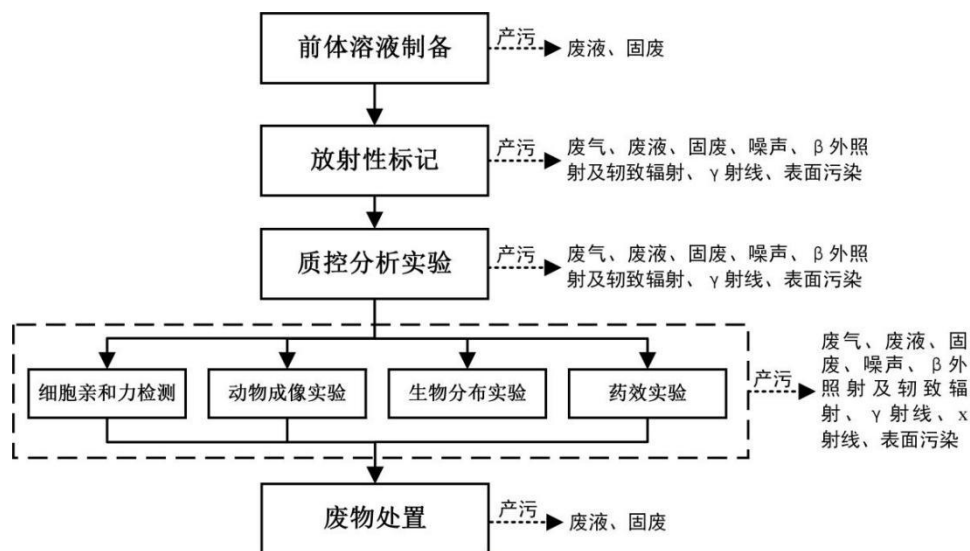


图 9-1 本项目工艺流程及产污环节图

9.2.2.2.1 放射性标记工艺

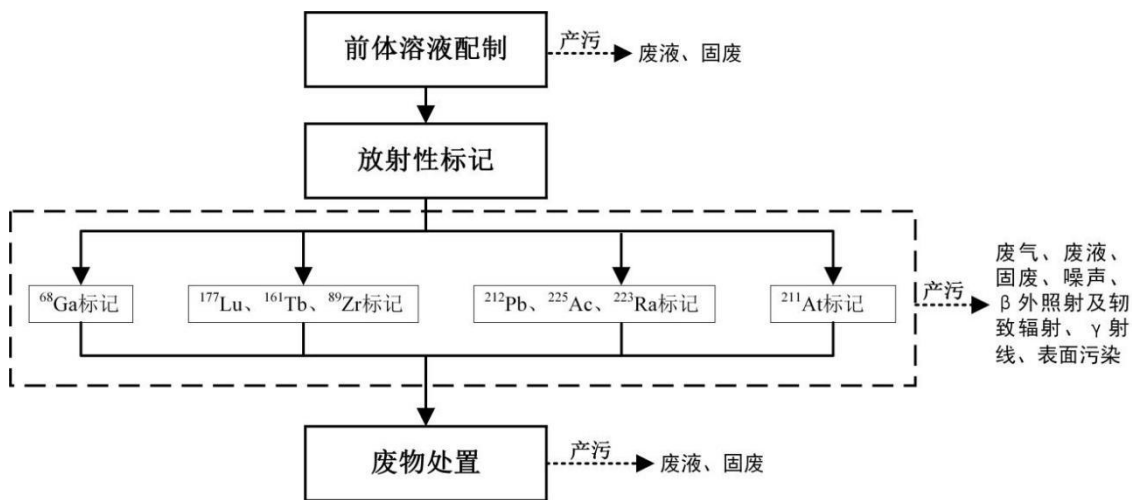
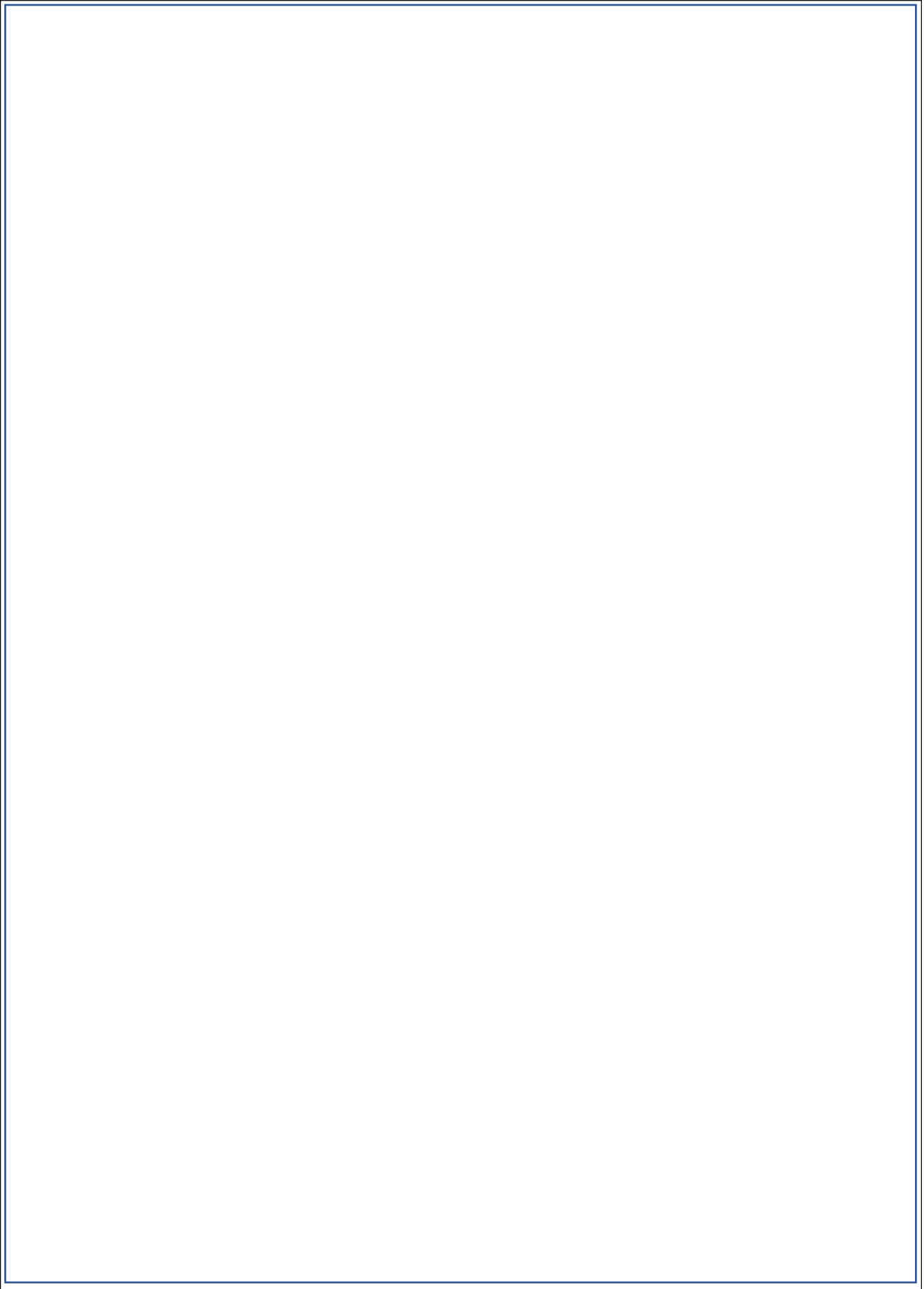


图 9-2 放射性标记工艺流程及产污环节图

(1) 标记工艺流程



(2) 核素使用量

放射性标记工艺各核素使用量见表 9-3。

表 9-3 放射性标记工艺各核素使用量一览表

序号	核素名称	单次最大用量(Bq)	每日最大实验次数	日最大用量 (Bq)	年实验天数	年最大用量 (Bq)
1	^{68}Ga					
2	^{177}Lu					
3	^{161}Tb					
4	^{212}Pb					
5	^{225}Ac					
6	^{89}Zr					
7	^{211}At					
8	^{223}Ra					

9.2.2.2.2 质控分析实验

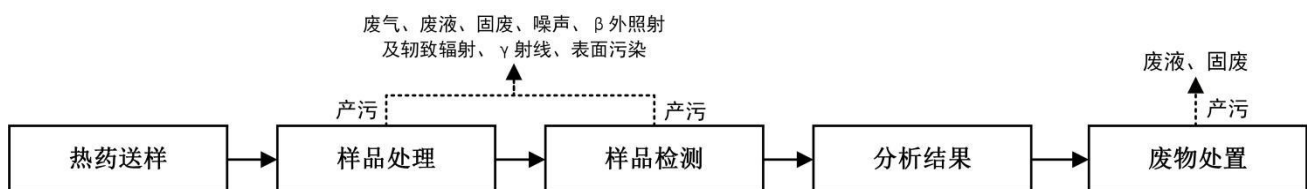


图 9-3 质控分析实验工艺流程及产污环节图

(1) 实验流程:

① 取样送检

标记工艺人员将标记好的热药装入样品管，放入屏蔽铅罐，从热室的传递窗转移给分析人员，并做好送样台账登记，确保每一批次标记样品均送检。

② 样品处理

分析人员接收样品后，在热药专用通风橱内，在有铅玻璃和铅板屏蔽保护条件下进行样品处理。

③ 样品检测

处理好的样品，从屏蔽铅罐中放入液相进样盘，待进样器吸取样品后，将剩余样品转移至屏蔽铅罐。

④出分析结果

样品检测完毕，分析人员将检测结果反馈给送样人员。

(2) 核素使用量

质控分析实验各核素使用量见表 9-4。

表 9-4 质控分析实验各核素使用量一览表

序号	核素名称	单次最大用量(Bq)	每日最大实验次数	日最大用量 (Bq)	年实验天数	年最大用量 (Bq)
1	⁶⁸ Ga					
2	¹⁷⁷ Lu					
3	¹⁶¹ Tb					
4	²¹² Pb					
5	²²⁵ Ac					
6	⁸⁹ Zr					
7	²¹¹ At					
8	²²³ Ra					

9.2.2.2.3 细胞亲和力检测实验

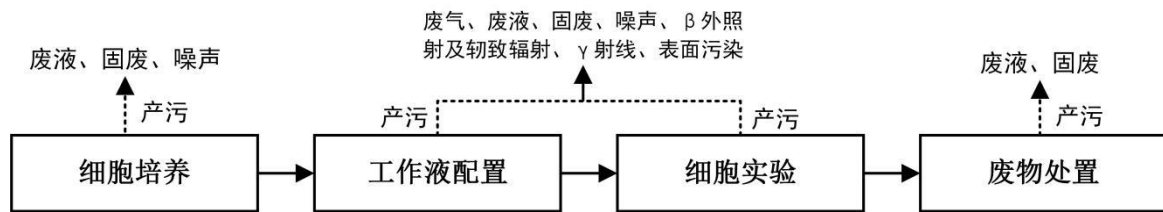


图 9-4 细胞亲和力检测实验工艺流程及产污环节图

的待测化合物工作液。

(4) 实验内容

(5) 核素使用量

细胞亲和力检测实验各核素使用量见表 9-6。

表 9-6 细胞亲和力检测实验各核素使用量一览表

序号	核素名称	单次最大用量(Bq)	每日最大实验次数	日最大用量 (Bq)	年实验天数	年最大用量 (Bq)
1	^{177}Lu					

9.2.2.2.4 动物成像实验

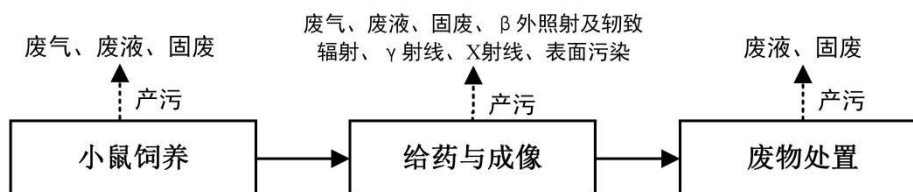


图 9-5 动物成像实验工艺流程及产污环节图

(1) 小鼠饲养

肿瘤模型小鼠购买，待小鼠肿瘤长到合适大小后开始成像实验。

(2) 药物标记

根据实验需求，选择待测化合物进行放射性标记，HPLC 检测 RCP 合格后，按实验需要

配制成所需的浓度，备用。

注：本环节产污特征已在“放射性标记工艺、质控分析实验”章节中详述，本实验不再重复分析。

（3）给药和成像

根据小鼠肿瘤大小进行分组，每只小鼠给药体积 200 μ l，荷瘤小鼠分别在给药后 1h、4h、24h、48h、72h 将小鼠麻醉后进行 SPECT/PET/CT 成像，用软件对小鼠 PET 成像数据进行圈值，获得在不同时间点时小鼠体内的组织分布及代谢数据。

（4）SPECT/PET/CT 工作原理

小动物三模态成像系统是一款集成了小动物 PET、SPECT 以及 CT 三种成像模式的一体化成像系统。该系统突破了单一成像技术的局限性，将不同核素标记分子的分布、代谢、受体表达等信息与经典形态、结构、密度等信息互补融合，是目前经济、高效的互补组合之一。

SPECT 系统：SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)是单光子发射计算机断层扫描成像的简称，是目前临床应用最广泛的核医学功能影像设备。通过检测动物体内放射性药物衰变产生的 γ 光子生成断层图像，其工作原理基于 γ 照相机探头将射线转化为电信号，利用不同角度的投影数据经计算机重建三维图像。该技术在发展中逐步与 X 线 CT 整合形成 SPECT/CT 设备，实现功能代谢与解剖结构图像同机融合成像。

PET 系统：PET (Positron Emission Computed Tomography) 是正电子发射型计算机断层成像的简称，是核医学领域先进的分子影像技术。其原理是将含有正电子核素的放射性药物注射到动物体内，药物会根据它本身的生化特征和动物的新陈代谢功能分布到动物的不同器官组织。核素发生衰变产生正电子，正电子遇负电子湮灭产生一对相反方向发射的 γ 光子，被探测器环探测到后传输至符合模块进行符合处理，生成一个 PET 的符合事件。大量符合事件的数据传送到服务器进行图像重建，重建出反应放射性核素在动物体内分布的图像。

CT 系统：CT (Computed Tomography) 是 X 射线计算机断层成像的简称，其原理是采用 X 射线发生器发出 X 射线扫描被检测物体，由探测器接收透过被检测物体的 X 射线，X 射线在探测器内部转变为可见光后，由光电转换为电信号，再经模拟/数字转换器转为数字信号，输入计算机处理并最终得到 CT 影像。

成像结束后，将小鼠安乐死，平均单次实验小鼠 6 只，每年 180 次实验，每只小鼠 25g，每年共产生有核素动物尸体 27kg。

（5）核素使用量

动物成像实验各核素使用量见表 9-7。

表 9-7 动物成像实验各核素使用量一览表

序号	核素名称	单次给药最大用量(Bq)	每次实验小鼠数量(只)	每日最大实验次数	日最大用量(Bq)	年实验天数	年最大用量(Bq)
1	⁶⁸ Ga						
2	¹⁷⁷ Lu						
3	¹⁶¹ Tb						
4	²¹² Pb						
5	²²⁵ Ac						
6	⁸⁹ Zr						
7	²¹¹ At						
8	²²³ Ra						

9.2.2.1.5 生物分布实验



图 9-6 生物分布实验工艺流程及产污环节图

(1) 小鼠模型

肿瘤模型小鼠购买，待小鼠肿瘤长到合适大小后开始实验。

(2) 药物标记

生物分布实验各核素使用量见表 9-8。

表 9-8 生物分布实验各核素使用量一览表

序号	核素名称	单次给药最大用量(Bq)	每次实验小鼠数量(只)	每日最大实验次数	日最大用量(Bq)	年实验天数	年最大用量(Bq)
1	⁶⁸ Ga						
2	¹⁷⁷ Lu						
3	¹⁶¹ Tb						
4	²¹² Pb						
5	²²⁵ Ac						
6	⁸⁹ Zr						
7	²¹¹ At						
8	²²³ Ra						

9.2.2.1.6 药效实验



图 9-7 药效实验工艺流程及产污环节图

(1) 小鼠模型

肿瘤模型小鼠购买，待小鼠肿瘤长到合适大小后开始成像实验。

(2) 药物标记

根据实验需求，选择待测化合物进行放射性标记，HPLC 检测 RCP 合格后，按实验需要配制成所需的浓度，备用。

注：本环节产污特征已在“放射性标记工艺、质控分析实验”章节中详述，本实验不再重复分析。

(3) 给药和肿瘤大小测量

根据小鼠肿瘤大小进行分组，每只小鼠给药体积 200μl，每周测量 2 次肿瘤体积并称重，同时每天观察动物状态，最后制作生存曲线。

平均单次实验小鼠 36 只，每年 50 次实验，每只小鼠 25g，每年共产生有核素动物尸体 45kg。

(4) 核素使用量

药效实验各核素使用量见表 9-9。

表 9-9 动物药效实验各核素使用量一览表

序号	核素名称	单次给药最大用量(Bq)	每次实验小鼠数量(只)	每日最大实验次数	日最大用量(Bq)	年实验天数	年最大用量(Bq)
1	¹⁷⁷ Lu						
2	¹⁶¹ Tb						

3	^{212}Pb					
4	^{225}Ac					
5	^{211}At					
6	^{223}Ra					

9.2.3 人流和物流的路径分析

本实验室严格遵循辐射防护与生物安全双重要求，采用人流与物流物理隔离、清洁-半污染-污染梯度防护的设计思路，人员出入口与物料出入口彻底分离，通过更衣、缓冲、气锁、传递窗等多级防护构建清晰的功能分区与防护屏障，同时实现放射性物料与废物流转路径最短化，有效降低辐射暴露风险，保障各实验功能区独立运行，从根源上避免人流与物流的交叉污染及内部人员交叉流动带来的安全隐患。

本项目人流、物流路径规划如下：

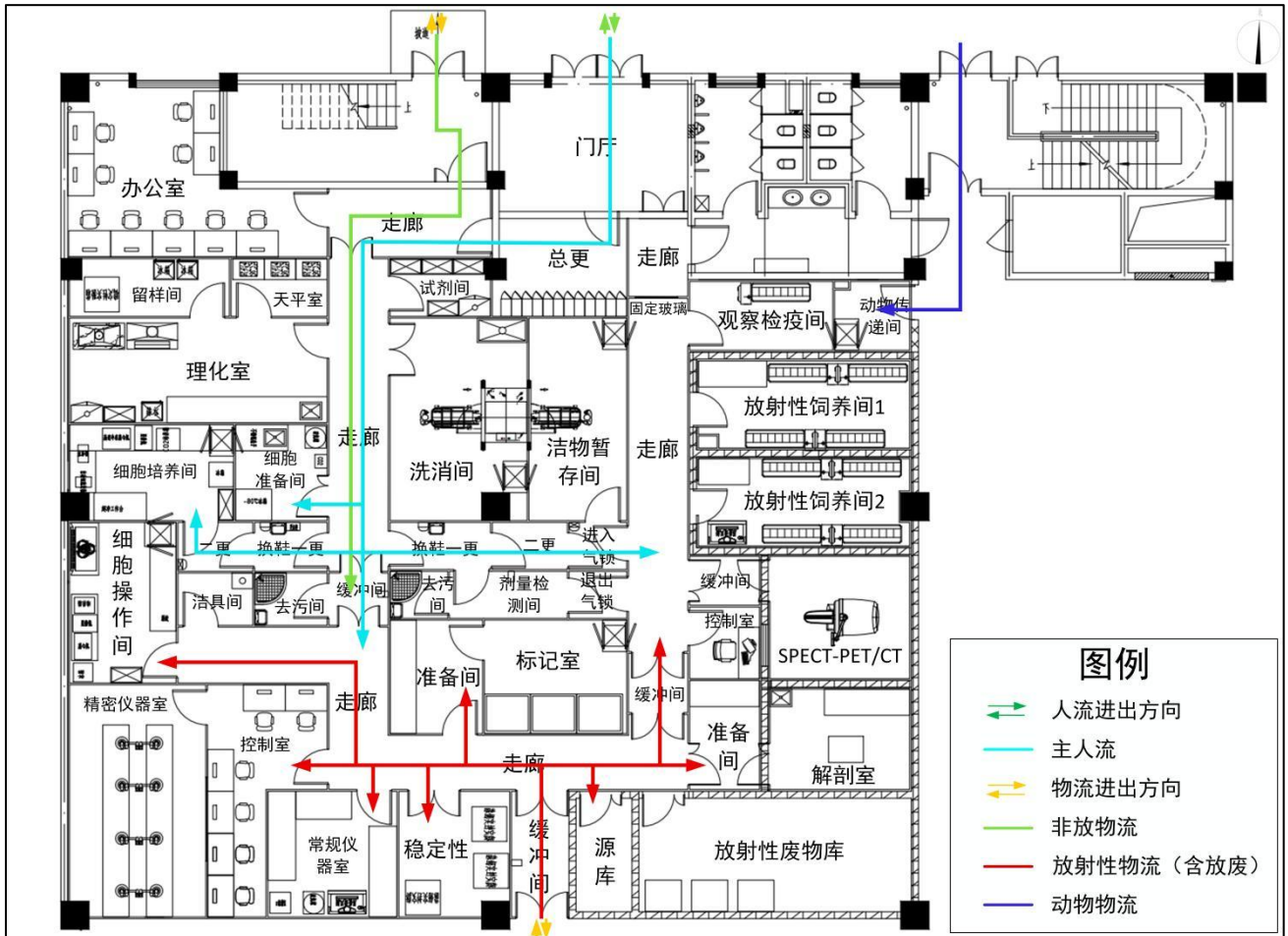


图 9-8 本项目人流和物流路径图

(1) 人员路径

主入口：人员从北侧门厅入口进入→总更→通过走廊进入对应功能区。

a. 细胞培养人员：总更→走廊→细胞准备间→细胞培养区一更、二更→换衣后进入细胞培养间开展实验；实验结束后→二更、一更更衣→离开细胞培养区。

b.放射性动物实验人员：总更→走廊→动物实验区一更、二更→进入气锁→进入动物实验区开展实验；实验结束后，经退出气锁→污染监测→动物实验区二更、一更→离开动物实验区。

c.其它辐射工作人员:总更→走廊→缓冲间→进入放射性工作场所→在其他功能房间等进行实验操作→工作结束后在检测去污间进行污染监测(有污染需进行去污)→离开放射性工作场所。

(2) 小动物路径

小动物从东侧楼梯间进入→动物传递间→观察检疫间→放射性饲养间 1/2 暂养→给药后开展动物实验，实验后动物尸体/组织经专用通道送入放射性废物库暂存。

(3) 放射性同位素转移路径

放射性同位素由供药公司运至南侧物流出入口→在摄像头下与管理人员完成“点对点”交接（登记活度、批次、数量、收货时间）→转移至源库暂存→经传递窗/专用通道送入标记室合成标记药物→样品检测合格后，分配至细胞实验区/动物实验区开展实验；若暂不开展实验，继续在源库暂存。

(4) 放射性废物转移路径

普通放射性废物：各功能区产生的普通放射性废物（不含动物尸体/垫料）→收集至房间废物桶→经走廊/传递窗转移至放射性废物库暂存 120d→监测合格→报海盐县生态环境局批准→从南侧物流出口运出→解控后送有资质单位处置（详细记录处置台账）。

动物尸体/组织废物：实验结束后，将动物尸体/组织装入厚塑料袋密封→经专用通道转移至放射性废物库冰柜暂存 120d→监测合格→报海盐县生态环境局批准→从南侧物流出口运出→送交有资质单位处置（详细记录处置台账）。

(4) 非放射性物流路径

非放射性原料进入：非放射性原料运至北侧物流出入口→“点对点”交接登记→转移至试剂间等原辅料暂存区→经走廊/传递窗配送至各功能房间。

非放射性废物流出：非放射性废物收集至房间废物桶→转移至危险废物库→从北侧物流出口运出处置。

9.2.4 劳动定员与工作负荷

本项目拟配备辐射工作人员 7 名，其中 2 名辐射工作人员负责放射性标记，2 名辐射工作人员负责质控分析实验，1 名辐射工作人员负责细胞实验，2 名辐射工作人员负责动物实验，

均为新增辐射工作人员。辐射工作人员在项目投入运行前参加辐射安全与防护考核并通过考核；项目运行前安排本项目7名辐射工作人员进行上岗前体检，且体检结果为可从事辐射岗位工作方可上岗，并为新增辐射工作人员配备个人剂量计。

本项目工作场所拟配备人员情况见表9-10。

9-10 本项目工作场所拟配备人员一览表

工作人员	工作内容	日操作时间	年工作天数	年操作时间	岗位人数
放射性标记人员	原料转运	15min	50~300d	12.5~75h	
	放射性标记	8h	50~300d	400~2400h	
	废物转运	5min	50~300d	4.2~25h	
质控分析人员	质控分析实验	8h	50~300d	400~2400h	
细胞实验人员	细胞亲和力检测实验	4h	50d	200h	
动物实验人员	小鼠给药	12~72min	30~80d	6~96h	
	动物成像实验	4h	40~80d	160~320h	
	生物分布实验	4h	40~80d	160~320h	
	药效实验	4h	30~100d	120~400h	

9.3 污染源项描述

9.3.1 放射性污染源项

本项目主要放射性污染源项是射线、表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废等，具体如下。

各放射性同位素特征表见表9-11。

表9-11 放射性同位素特征表

核素名称	物理状态	毒性类别	半衰期	衰变类型	α 最大能量 (MeV)	β 最大能量 (MeV)	γ 最大能量 (MeV)
^{68}Ga	液态	低毒	1.13h	β^+	/	1.899	0.511
^{177}Lu	液态	中毒	6.73d	β^-	/	0.498	0.2084
^{161}Tb	液态	中毒	6.91d	β^-	/	0.520	0.0746
^{212}Pb	液态	中毒	10.64h	β^-	/	0.569	0.239
^{225}Ac	液态	极毒	10.0d	α	5.83	/	/
^{89}Zr	液态	中毒	3.27d	β^+ , EC		0.902	0.511, 0.909
^{211}At	液态	高毒	7.21h	α , EC	5.87	/	/
^{223}Ra	液态	极毒	11.4d	α	5.77	/	/
^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器	固态	中毒	228d	EC	/	/	0.00925

注：放射性核素参数数据来源于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《辐射防护手册》《辐射防护导论》《辐射安全手册》等。

9.3.1.1 射线

本项目使用的放射性核素衰变过程中会产生 α 粒子、 β 射线、 γ 射线，以及 β 射线被其他物质阻止时会产生韧致辐射。小动物 SPECT/PET/CT 运行时会产生 X 射线。

9.3.1.2 表面污染

放射性核素使用和操作过程中，会造成工作台、实验设备、墙壁、地面、防护服、手套等物品的表面沾污，形成 α 表面污染和 β 表面污染。污染环节主要包括放射性药物配制、实验操作、器具清洗、动物给药等步骤，污染物为上述 8 种放射性核素。

9.3.1.3 内照射

放射性核素经摄入、吸入或经皮肤、伤口等渗入可能进入人体，进而产生内照射。本项目使用核素状态均为液态，所有涉及放射性核素操作的标记实验均在负压手套箱或热室内进行，工作人员操作过程全程均穿戴个人防护用品，如穿工作服、口罩和防护眼镜等，进入污染区须戴过滤型呼吸器或活性炭口罩，可有效防止职业人员的内照射，在规范操作的情况下，辐射工作人员产生的内照射影响很小。

9.3.1.4 放射性废水

本项目放射性废水仅在突发人员沾污应急场景下产生，实验室控制区内不设下水，无日常放射性废水排放，具体产生与处置情况如下：

①产生场景：仅突发人员沾污时，在淋洗间紧急清洁去污的应急喷淋淋洗废水，常规运营期无此类废水产生；

②产生量预估：按年最大应急淋洗 2 次测算，年产生应急淋洗去污废水不超过 100L；

③处置方式：废水经专用排水管道收集至衰变罐，经衰变至少 120d 后，委托具备资质的监测单位开展活度浓度检测，检测达标并经监管部门确认后，通过专用管道排入市政污水管网。

辐射工作人员操作时均穿戴实验工作服、工作鞋及乳胶手套，离开工作场所前需对防护用品及手部进行表面污染监测，污染手套按放射性固体废物收集暂存；工作人员经表面污染检查确认无污染后方可离开，一般情况下无洗手、淋浴废水产生。

实验室日常清洁（源库、放射性废物库除外）由专职保洁人员每周开展 1 次，保洁人员不作为辐射工作人员管理，建设单位需对其开展核素相关知识培训。清洁工作需在当日实验结束后进行，且需经实验室工作人员完成场所表面污染检测并确认达标后开展；若存在污染，先由辐射工作人员去污，再由保洁人员清洁。因保洁时无核素操作且场所污染水平达标，保洁产生的少量清洁废水不作为放射性废水管理。建设单位需建立实验室保洁规章制度。

度，保洁人员严格按制度执行清洁工作。

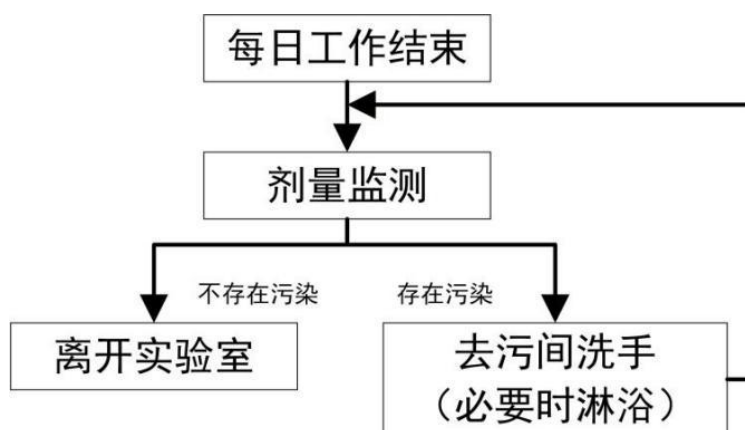


图 9-9 去污流程图

9.3.1.5 放射性废液

本项目营运期产生的放射性废液主要来自以下工艺环节，各环节单次实验废液产生量如下：

(1) 放射性标记工艺

核素标记过程中反应废液、未反应试剂残液、C₁₈小柱洗涤废液，以及实验器具的清洗废液；单次实验的反应废液、未反应试剂残液产生量约 0.05L，C₁₈小柱洗涤废液产生量约 0.01L，清洗废液产生量约 0.5L，废液总量约 0.56L。

(2) 质控分析实验

液相进样盘/屏蔽铅罐等设备清洗废液、多余样品废液、液相废液等；单次实验的液相进样盘/屏蔽铅罐等设备清洗废液产生量约 0.11L，多余样品废液量约 0.02L，液相废液量约 0.02L，废液总量约 0.15L。

(3) 细胞亲和力检测实验

细胞实验后的培养液废液、放射性配体残液、96孔板洗板废液以及实验器具清洗废液；单次实验的细胞培养液废液产生量约 0.06L，放射性配体残液产生量约 0.02L，96孔板洗板废液及实验器具清洗废液产生量约 0.32L，废液总量约 0.40L。

(4) 动物类实验（成像/生物分布/药效）

小鼠给药后的给药配液残液、给药器清洗废液、实验操作台的清洗废液；单次实验的给药配液残液产生量约 0.05L、给药器清洗废液及实验操作台的清洗废液产生量约 0.20L，废液总量约 0.25L。

综上，本项目实施后放射性废液的产生情况详见下表。

表 9-12 实验过程产生的放射性废液汇总表

工艺环节	涉及核素	每日产生量 (L/次)	年操作次数 (次/a)	年废液产生量 (L/a)	年废液产生量 (m ³ /a)
放射性标记工艺	⁶⁸ Ga	0.56	1200	672	0.67
	¹⁷⁷ Lu	0.56	300	168	0.17
	¹⁶¹ Tb	0.56	200	112	0.11
	²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ⁸⁹ Zr、 ²¹¹ At、 ²²³ Ra	0.56	50	28	0.03
小计				980	0.98
质控分析实验	⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ⁸⁹ Zr、 ²¹¹ At、 ²²³ Ra	0.15	1950	292.5	0.29
细胞亲和力检测实验	¹⁷⁷ Lu	0.40	50	20	0.02
动物类实验	成像实验 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ⁸⁹ Zr、 ²¹¹ At、 ²²³ Ra	0.25	180	45	0.05
	生物分布实验 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ⁸⁹ Zr、 ²¹¹ At、 ²²³ Ra	0.25	160	40	0.04
	药效实验 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ²²³ Ra	0.25	50	12.5	0.01
合计				1370	1.37

9.3.1.5 放射性废气

本项目涉及 ⁶⁸Ga、¹⁷⁷Lu、¹⁶¹Tb、²¹²Pb、²²⁵Ac、⁸⁹Zr、²¹¹At、²²³Ra 共 8 种放射性同位素，⁶⁸Ga 由 ⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器淋洗得到 ⁶⁸GaCl₃，其余 7 种是金属元素，均以液态化合物形式存在。理论上讲，只有 ⁶⁸Ga 在淋洗过程中会有少量放射性废气产生，其他核素不易挥发，故不必考虑挥发性问题。

本项目营运期产生的放射性废气主要来自以下工艺环节①放射性标记工艺：核素标记反应、C₁₈小柱淋洗过程中，含 ⁶⁸Ga、¹⁷⁷Lu、¹⁶¹Tb 等放射性核素的气溶胶挥发；②质控分析实验：热药样品检测、进样针清洗等操作中，微量放射性核素随气溶胶挥发。③细胞亲和力检测实验：放射性配体与细胞孵育、96孔板洗板过程中，微量放射性核素气溶胶挥发；④动物类实验（成像/生物分布/药效）：小鼠给药、解剖取样等操作中，含放射性核素的气溶胶挥发。

本项目操作放射性物质的热室、防护通风橱、生物安全柜以及实验室均设置有排风过滤系统，该系统由排风口、风管、过滤器和风机组成，各管道放射性废气采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理，楼顶高空排气筒达标排放。

9.3.1.6 放射性固废

本项目营运期产生的放射性固废主要来自以下工艺环节，各环节单次实验废气产生量如

下：

(1) 放射性标记工艺

核素标记反应、C18 小柱淋洗等操作，产生的废注射器、移液枪头、手套、滤纸等一次性污染耗材，以及使用后的废 C18 小柱；单次实验的废污染耗材约 0.05kg，废 C18 小柱约 1 件（单件质量约 0.01kg）。

(2) 质控分析实验

热药样品检测、进样针清洗等操作，产生的废进样针、污染样品瓶、检测滤纸等一次性耗材；单次实验的废污染耗材约 0.02kg。

(3) 细胞亲和力检测实验

实验过程涉及细胞培养、96 孔板孵育与洗板等操作，产生废弃培养细胞混合物，废培养瓶、96 孔过滤板、移液管等实验耗材；单次实验产生的废弃培养细胞混合物约 0.01kg，沾染放射性的废实验耗材约 0.08kg。

(4) 动物类实验（成像/生物分布/药效）

小鼠给药、解剖取样等操作，产生的小鼠尸体、污染手术器械、解剖耗材等；单次实验的废污染耗材约 0.05kg，小鼠尸体及组织约 0.15~0.9kg（单次实验小鼠数量 6-36 只，每只小鼠 25g）。

小鼠饲养 6 只一笼，每个笼具产生的废弃垫料约 100g，每年实验小鼠数量约 5400 只，折算全年涉及笼位 900 笼；则每年产生的废垫料约 90kg。

受污染笼具先作为放射性固体废物密闭存放于放射性废物库进行衰变贮存，待辐射监测达标豁免后，转运至洗消间完成彻底清洗消毒，合格后可回收重复利用；若衰变后仍未达到豁免水平，则继续贮存或按放射性废物规范处置。

(5) 通风及废气处理系统

本项目每支放射性废气排放管道均设置有中效+高效过滤器+活性炭吸附单元，每套活性炭装置活性炭填装量为 20kg，共 10 套，每半年更换一次，则年废活性炭总量为 400kg；每套过滤器重量为 1.5kg，每年更换 1 次，共 10 套，则年废滤材总量为 15kg。更换下来的滤芯和活性炭用塑料袋密封后转移到放射性废物库暂存衰变，至少暂存 120d 后，经检测并经生态环境主管部门批准后解控为危险废物处置。

(6) 废旧发生器

每年计划最多使用 2 个 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器，废旧发生器由供货公司在送新发生器时回收。

综上，本项目实施后放射性固废的产生情况详见下表。

表 9-13 实验过程产生的放射性固废汇总表

工艺环节	固废类型	涉及核素	每日产生量 (kg/次)	年操作次数 (次/a)	年固废产生量 (kg/a)	
放射性标记工艺、 放射性药物标记合成	废污染耗材	^{68}Ga	0.05	1200	60	
		^{177}Lu	0.05	300	15	
		^{161}Tb	0.05	200	10	
		^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	0.05	250	12.5	
	废 C18 小柱	^{68}Ga	0.01	50	0.5	
		^{211}At	0.01	50	0.5	
小计					98.5	
质控分析实验	废污染耗材	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	0.02	1950	39	
细胞亲和力检测实验	废弃培养细胞混合物	^{177}Lu	0.01	50	0.5	
	废污染耗材	^{177}Lu	0.08	50	4	
动物类实验	成像实验	废污染耗材	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	0.05	180	9
		小鼠尸体及组织		0.15		27
	生物分布实验	废污染耗材	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	0.05	160	8
		小鼠尸体及组织		0.5		80
	药效实验	废污染耗材	^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	0.05	50	2.5
		小鼠尸体及组织		0.9		45
	小鼠饲养	废弃垫料	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	/	/	90
	通风及废气处理系统	废滤材、废活性炭	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra	/	/	415
^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗	废发生器	^{68}Ge 、 ^{68}Ga	/	/	/	
合计					818.5	

9.3.1.7 核素平衡

本次核素物料平衡核算不考虑放射性核素自身衰变，仅按核素活度投入与产出的物料流向进行守恒计算，遵循“总投入量=各工序使用量+废物产生量”的物料平衡原则，不包含衰

变损失项。

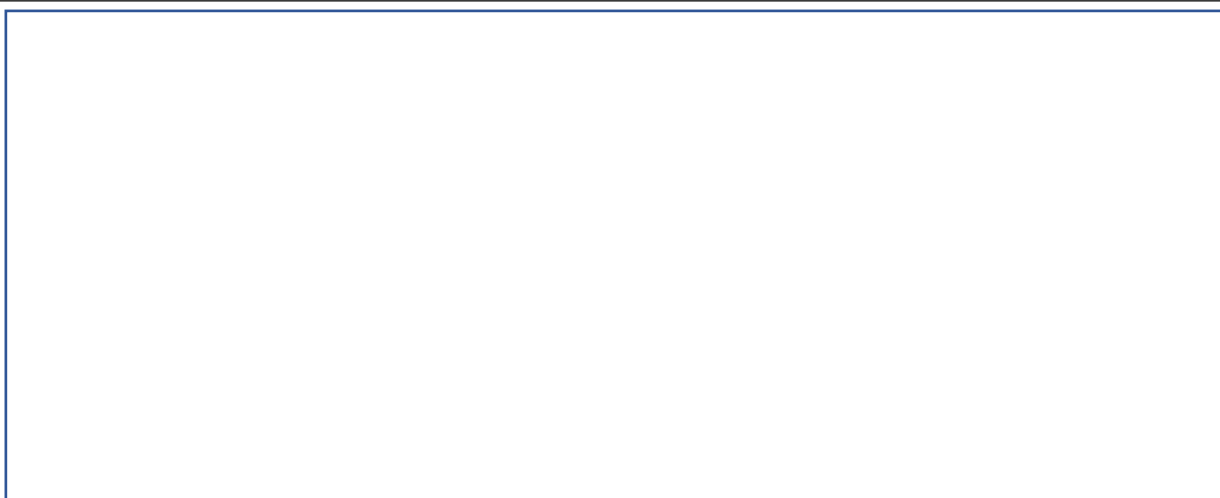
实验室研究环节涉及 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 共 8 种放射性核素。投入的核素全部用于放射性标记工艺，标记完成后，按实验需求分配至质控分析、细胞亲和力检测、动物成像、生物分布、药效实验等后续研发工序；各实验环节产生的放射性废气、废水、固体废物，为总投入量扣除各实验工序用量后的剩余部分，全部纳入放射性废物管理体系，经收集、暂存衰变后交由有资质单位处置，实现研发环节核素物料闭环平衡。

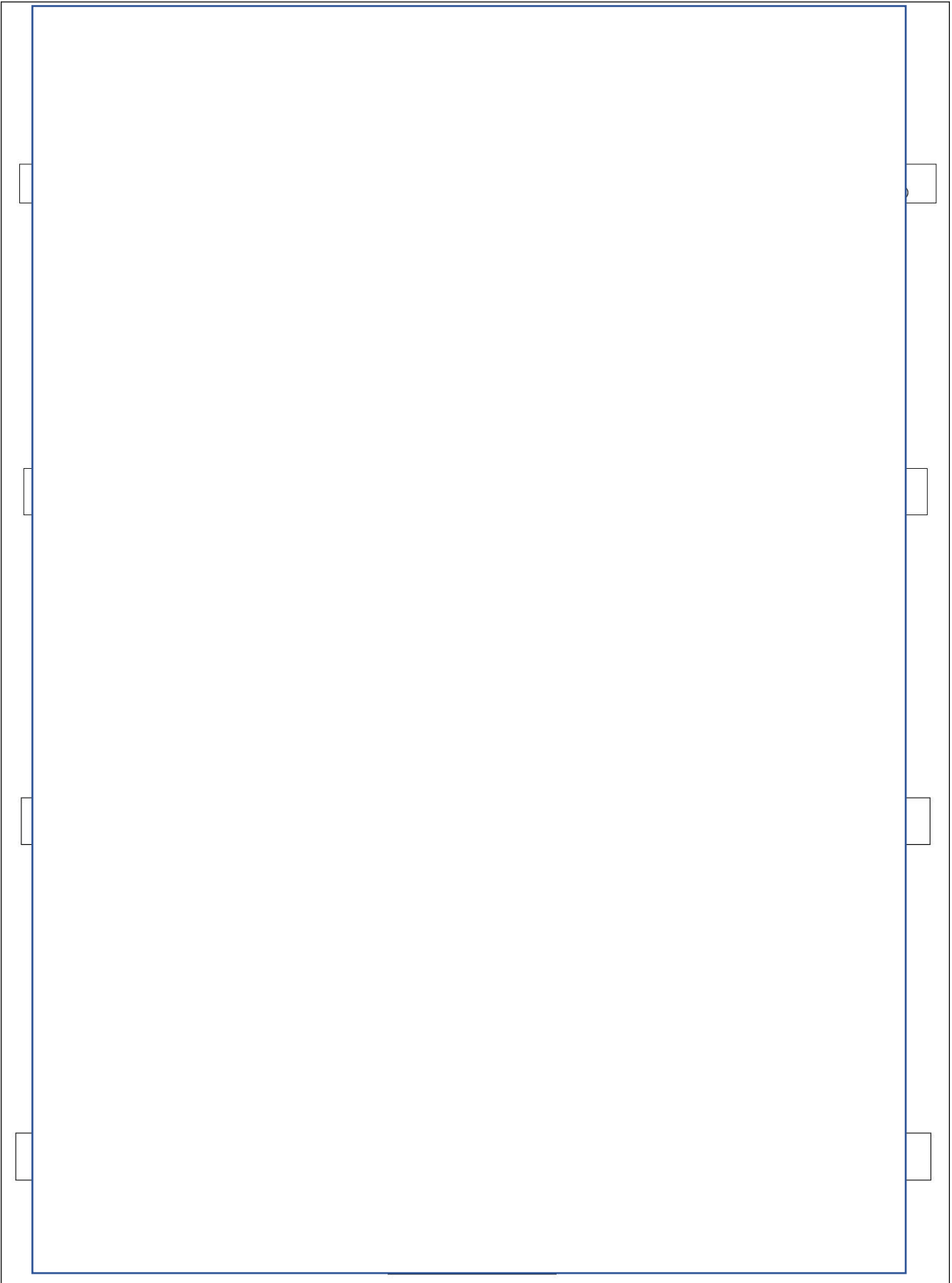
本项目各核素物料平衡分别见表 9-16，各核素物料平衡图见图 9-10。

表 9-14 本项目各核素物料平衡表

核素名称	日核素投入量 (Bq)	日核素使用量 (Bq)							
		放射性标记工艺用量 (Bq)	标记后去向用量 (Bq)						
			质控分析实验用量 (Bq)	细胞亲和力检测实验用量 (Bq)	动物成像实验用量 (Bq)	生物分布实验用量 (Bq)	药效实验用量 (Bq)	标记废液 (Bq)	放射性废物
^{68}Ga									
^{177}Lu									
^{161}Tb									
^{212}Pb									
^{225}Ac									
^{89}Zr									
^{211}At									
^{223}Ra									

注：放射性标记工艺用量=日核素投入量





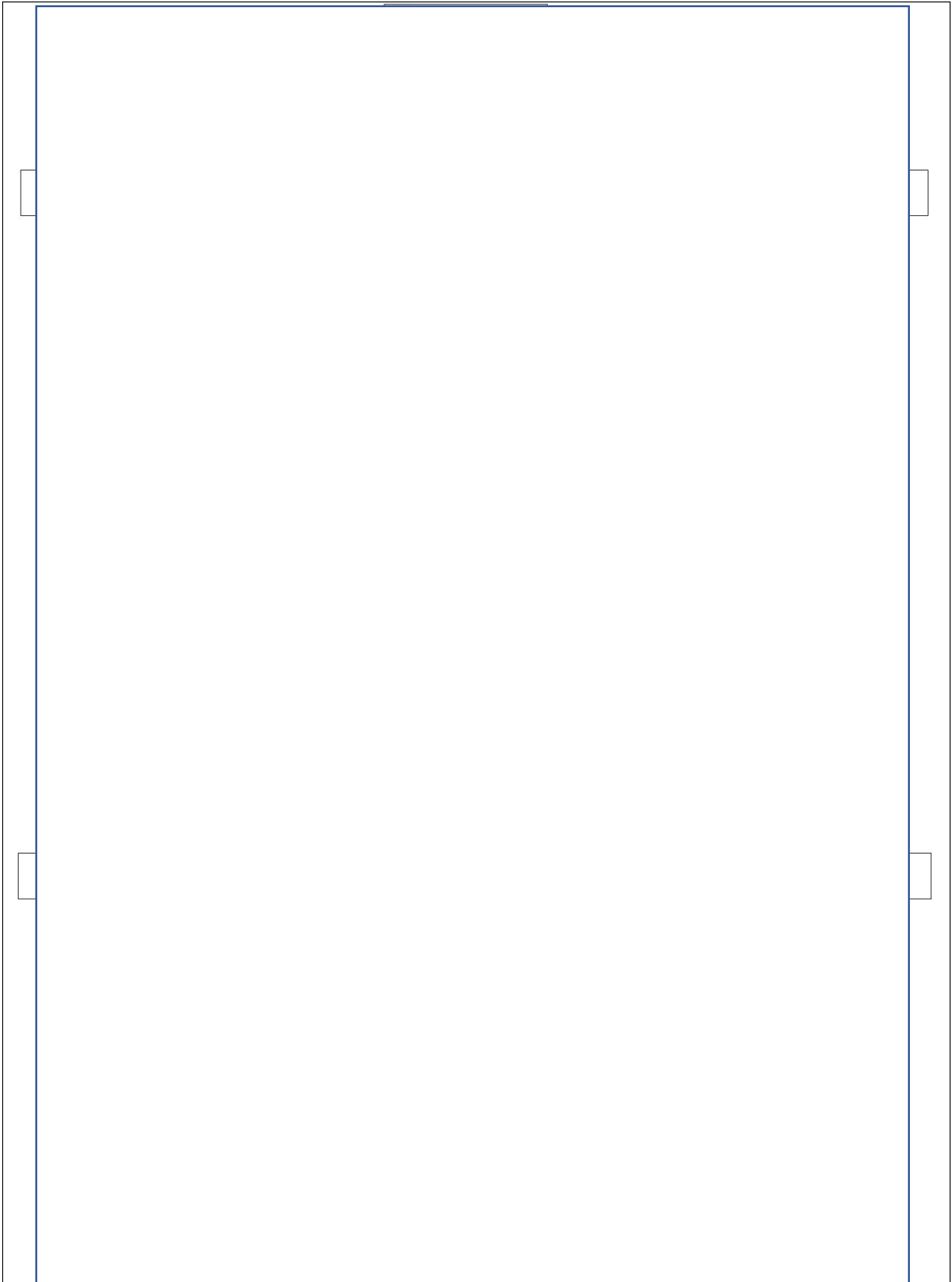


图 9-10 本项目各核素平衡图

9.3.2 非放射性污染源项

本项目主要非放射性污染源项是废水、废气、固废、噪声等，具体如下。

9.3.2.1 废水

废水主要为浓水、仪器等器皿的后道清洗废水、实验室台面和地面擦洗废水、职工生活污水。多肽前体溶液配制、流动相配制过程产生的废液收集后均作为危废处理。

(1) 浓水

项目实验配套纯水由厂区纯水机自产，全年自来水总取水量为 5.7t/a，纯水系统产水率约 70%，可制备纯水 4t/a，配套产生纯水制备浓水 1.7t/a。

其中，制备的纯水分为两部分：

2.5t/a 用于多肽前体、流动相配制等实验消耗，随实验废液单独收集作为危废处置，不进入综合废水；

1.5t/a 用于实验器具后道漂洗，形成后道清洗废水，全部汇入综合废水系统。

浓水污染物以无机盐类为主，有机污染负荷极低，原水侧 COD_{Cr} ≤ 50mg/L，浓水 COD_{Cr} 产生总量 0.00009t/a；该部分浓水全部纳入综合废水管网统一收集、预处理后纳管排放。

(2) 实验器具清洗废水

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制结束后需对实验器具进行清洗，由于实验器具内壁可能粘附有少量的化学试剂等化学物质，因此，通常将实验器具的第一道清洗废水及实验废液作为危废处置（第一道清洗废水及实验室废液量约为 10L/d（2.5t/a）），收集后委托有资质单位处理。经统计估算，后续产生的实验器具清洗废水由纯水及额外自来水共同供给清洗，全年产生量约 26.5t/a（其中纯水来源 1.5t/a，自来水来源 25t/a），水质简单，pH 在 6-9 左右，COD_{Cr} 浓度约 500mg/L，NH₃-N 约为 35mg/L，则项目清洗废水中主要污染物的产生量 COD_{Cr} 为 0.013t/a、NH₃-N 为 0.001t/a。

(3) 地面清洗废水

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制实验场地位于理化室，清洗频率为每天一次，地面清洗用水标准为 2L/m² 次，理化室面积约 22m²，则场地清洗废水产生量约为 44L/d，16t/a。类比同类项目实验室地面清洗废水，COD_{Cr} 浓度约 500mg/L、氨氮浓度约 30mg/L，则各污染物的产生量 COD_{Cr} 为 0.008t/a、NH₃-N 为 0.0005t/a。

(4) 笼具清洗废水

沾染放射性的小鼠饲养笼具在放射性废物库完成衰变贮存，经辐射监测达标解除放射性管控后，转运至洗消间集中清洗；笼具含粪便、饲料残渣及微量放射性多肽残留，清洗工序包含预冲洗、洗涤剂刷洗、多道清水漂洗，综合用水定额取 2L/个·次，项目配套笼具共 900 个，每周集中清洗 1 次，年运行 52 周。核算笼具清洗废水日产生量约 342.86L/d，年产生量 94t/a。类比同类动物实验室洗消废水水质，COD_{Cr} 浓度约 400mg/L，氨氮浓度约 25mg/L；经核算，COD_{Cr} 年产生量 0.037t/a，NH₃-N 年产生量 0.002t/a。

(5) 生活污水

项目劳动定员约为 27 人，年工作约 300 天，不设食堂和宿舍。根据《建筑给水排水设计规范》，不住宿员工日用水量按 50L/d 计算，项目生活污水产生及排放量见表 9-15。

表 9-15 项目生活污水产生及排放量统计

内容	人数	用水系数	用水量	排水系数	排水量
员工日常生活	27 人	50L/人·天	1.35t/d	0.9	1.2t/d

本项目生活污水产生量约 1.35t/d(360t/a)排水水质类比城市生活污水水质监测结果，COD_{Cr} 浓度约 350mg/L，NH₃-N 浓度约 35mg/L，则各污染物的产生量 COD_{Cr} 为 0.126t/a、氨氮为 0.0126t/a。

综上，本项目实施后废水的产生情况详见表 9-16，水平衡图见图 9-11。

表 9-16 废水产生情况汇总

类别	排水量 t/a	纳管排放量				排环境量			
		COD		氨氮		COD		氨氮	
		mg/L	t/a	mg/L	t/a	mg/L	t/a	mg/L	t/a
浓水	1.7	50	0.00009	/	/	40	0.02	2(4)*	0.001 (0.002)
实验器具清洗废水	26.5	500	0.013	35	0.001				
地面清洗废水	16	500	0.008	30	0.0005				
笼具清洗废水	94	400	0.037	25	0.002				
生活污水	360	350	0.126	35	0.0126				
废水小计	498.2	-	0.184	-	0.0161				

注：()内数值为每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日执行。

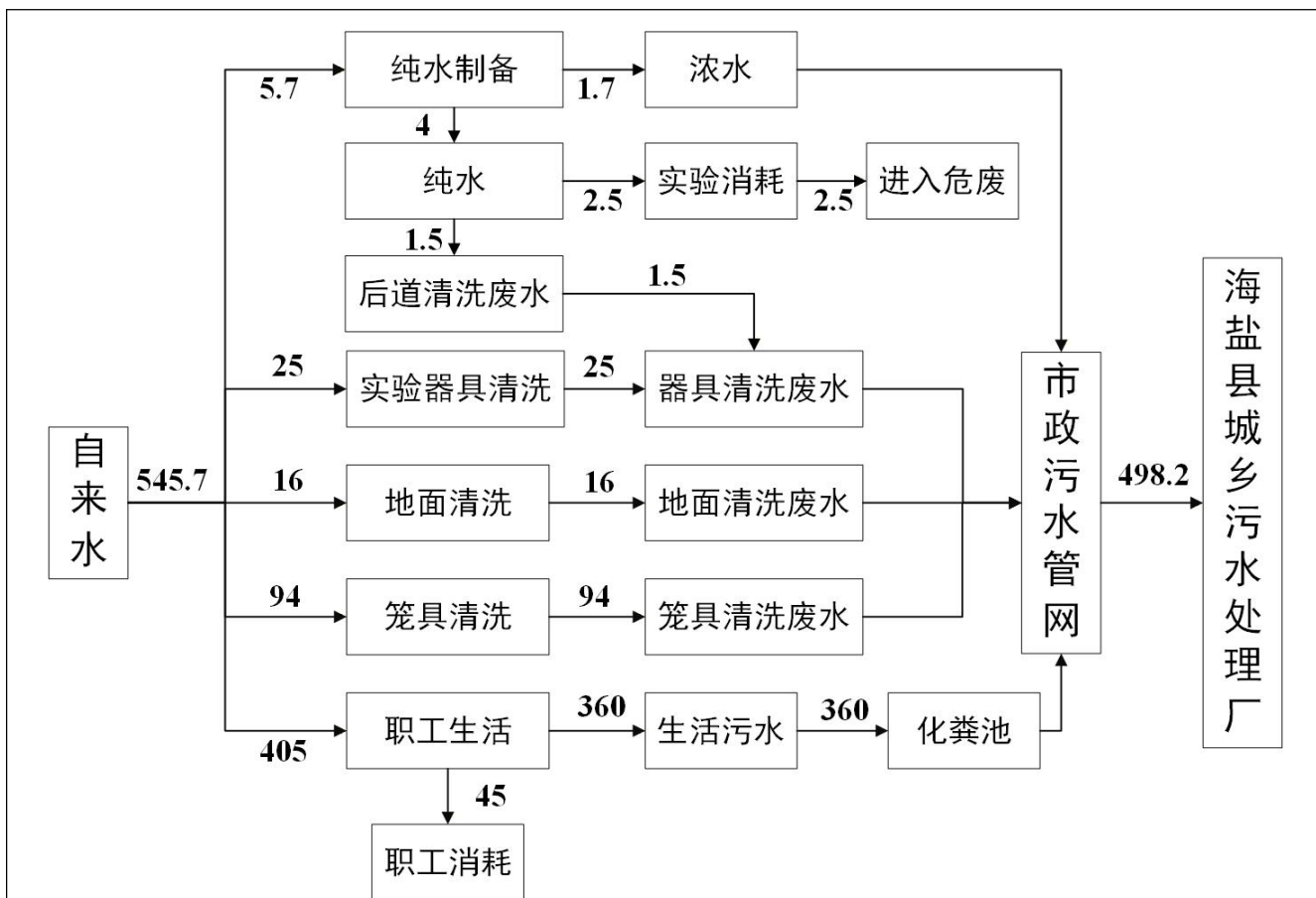


图 9-11 非放射性水平衡图 (m³/a)

9.3.2.2 废气

废气主要为实验产生的有机废气（以非甲烷总烃计），动物饲养区产生废气为氨等恶臭。

(1) 有机废气

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制等非放射性实验、放射性实验过程中用到多种溶剂，部分溶剂具有挥发性，其中放射性标记工序采用金属浴加热反应（加热 10~25min），加热条件会显著提升溶剂、弱酸的饱和蒸气压，强化挥发性气体释放，主要挥发性有机溶剂及酸性挥发物来源如下：

①常温工序（多肽前体配制、流动相配制、放射性实验）：乙醇、甲醇、乙腈、冰醋酸常温自然挥发；

②加热工序（放射性标记金属浴加热反应）：体系内残留乙醇、甲醇、乙腈等受热大量挥发。

主要使用的挥发性有机溶剂详见下表。

表 9-17 主要溶剂使用情况一览表

序号	名称	用途	形态	年用量 L	密度 g/cm ³	年用量 kg
1	乙醇	容器清洗、溶液配制挥发	液态	5	0.789	3.9
2	甲醇	HPLC 流动相配制、使用	液态	20	0.791	15.8
3	乙腈	HPLC 流动相配制、使用	液态	100	0.786	78.6
4	三氟乙酸	HPLC 流动相配制、使用	液态	0.25	1.489	0.4
5	冰醋酸	放射性标记实验、溶液配制	液态	0.476	1.050	0.5
合计						99.2

本项目挥发性有机溶剂的年总用量约为 99.2kg，根据《空气污染物排放和控制手册工业污染源调查与研究第二辑》，实验中挥发性有机物的最大可能挥发量参照使用量（含溶剂）的 10% 计算，考虑本项目多道放射性标记工序存在金属浴加热工况，加热会加剧溶剂挥发，本次评价已区分常温、加热两类操作工况核算挥发量，整体有机废气（以非甲烷总烃计）产生量约为 9.9kg/a。根据设计，实验室均设计有通风橱等设施，涉及产生有机废气工序均在通风橱中进行，实验过程均关闭通风橱的玻璃门，因此废气收集率比较高，在 90% 以上，本次评价取 90%。依据设计单位提供资料，理化室通风橱排风管道设计最大风量为 1800m³/h，标记室热室排风管道设计最大风量为 1000m³/h，常规仪器室通风橱排风管道设计最大风量为 1800m³/h，产生的废气收集后经“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”处理，处理后高排气筒达标排放。本次评价去除效果取 80%，则有机废气（非甲烷总烃）有组织排放量约为 1.8kg/a，排放速率为 0.00075kg/h，排放浓度为 0.163mg/m³；无组织排放量为 1kg/a，排放速率为 0.0004kg/h。

（2）酸性废气

本项目盐酸等酸性物料使用量较少，且反应温度一般较低，仅产生极少量酸性废气，本环评不做定量分析。本项目产生酸性废气工序均通过通风柜内进行，废气收集后经“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”处理后高空达标排放。

（3）小鼠饲养房废气

小鼠饲养过程中，动物皮肤、粪尿、垫料发酵等会散发异味，对人体无直接危害，但会刺激嗅觉等器官，长时间吸入会令人产生头痛等不良反应。

小鼠饲养间会产生一定量恶臭气体，主要来源于小鼠饲养过程中鼠粪、尿、垫料等散发的恶臭气体(NH₃、H₂S 等)。小鼠饲养采用的笼具定期清洗，垫料定期更换，维持小鼠饲养间环境卫生，臭气由房间排风系统送至屋顶经“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”处理后屋顶

高空排放，饲养区约为 14.6m²（单个饲养间面积约为 7.3m²），层高 2.8m 计，换气次数 >15 次/h，所需风量为 613.2m³/h，依据设计单位提供资料，小鼠饲养间房间排风管道设计最大风量为 940m³/h，满足所要求。

根据同类项目类比调查，动物房臭气浓度一般 <2000，活性炭吸附对臭气的去除率在 80%左右，则动物房臭气浓度产排情况如下：

表 9-18 饲养间臭气浓度产排情况

工序	污染物	产生量	处理措施	装置风量	处理效率	排放量
饲养间	臭气浓度	2000	活性炭吸附	940m ³ /h	80%	400

综上，按照《污染源源强核算技术指南》（HJ884-2018）的要求，汇总本项目废气产排情况见下表。

表 9-19 项目废气污染源源强核算结果及相关参数一览表

工序	装置	污染源	污染物	污染物产生		治理措施		污染物排放			排放时间/h	
				核算方法	废气产生量(kg/a)	工艺	效率/%	核算方法	废气排放量/(kg/a)	排放速率(kg/h)		排放浓度(mg/m ³)
实验阶段	实验设施	有组织	非甲烷总烃	系数	8.9	中效过滤 + 高效过滤 + 活性炭吸附	80	计算法	1.8	0.00075	0.163	2400
		有组织	氯化氢	/	少量			/	少量	/	/	
小鼠饲养	饲养间	有组织	臭气浓度	/	2000 (无量纲)			/	/	/	400 (无量纲)	/
实验阶段	实验设施	无组织	非甲烷总烃	系数	1	/	/	/	1	0.0004	/	2400
			氯化氢	/	少量	/	/	/	少量	/	/	

表 9-20 大气污染物有组织排放量核算表

序号	排放口编号	污染物	核算排放浓度/ (mg/m ³)	核算排放速率/ (kg/h)	核算年排放量/ (kg/a)
一般排放口					
1	DA001, DA002, DA003	非甲烷总烃	0.00075	0.163	1.8
2		氯化氢	/	/	少量
3	DA004	臭气浓度	/	/	400 (无量纲)
有组织排放总计					
有组织排放总计	非甲烷总烃				1.8
	氯化氢				少量
	臭气浓度				400 (无量纲)

表 9-21 大气污染物无组织排放量核算表

产污环节	污染物	主要污染防治措施	国家或地方污染物排放标准		年排放量 (kg/a)
			标准名称	浓度限值	
实验阶段	非甲烷总烃	加强密闭	《制药工业大气污染物排放标准》 (DB33/310005-2021)	4.0mg/m ³	1
	氯化氢	加强密闭	《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996)	0.2mg/m ³	少量
无组织排放总计					
无组织排放总计	非甲烷总烃				1
	氯化氢				少量

表 9-22 大气污染物年排放量核算表

序号	污染物	年排放量 (kg/a)
1	非甲烷总烃	2.8
2	氯化氢	少量
3	臭气浓度	少量, 无量纲

9.3.2.3 固废

(1) 实验废液

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制等非放射性实验过程中化学试剂使用、相关溶液配制、实验器具道清洗过程中均会产生废液（第一清洗废水及实验室废液），本项目实验室废液产生量约为 2.5t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

(2) 废包装材料（试剂瓶）

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制等非放射性实验过程中化学试剂使用后会产生废

包装材料，主要为沾染了化学试剂的玻璃瓶和塑料瓶等，化学试剂废包装材料产生量预计约为 2.7t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

(3) 废样品

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制等非放射性实验过程中，会出现不确定因素导致最终样品质量不达标，样品经检测不达标后即收集作为废样品；样品保存过程中样品变质也会产生废样品，废样品的产生量预计约为 0.02t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

(4) 废实验耗材

本项目多肽前体溶液配制、流动相配制等非放射性实验过程中使用的离心管、移液枪头、口罩、手套等均为一次性耗材，因此会产废，使用后不清洗，直接作为危废处理。本项目废实验耗材产生量约为 0.5t/a，经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

(5) 废反渗透膜

项目纯水机运行一段时间后，因反渗透膜老化或膜破损等原因，制备的纯水水质无法满足生产需求，因此反渗透膜需定期更换，废反渗透膜产生量约为 0.03t/a，替换下来的废反渗透膜为一般固废，由生产厂家回收综合利用或处置。

(6) 一般废包装材料

本项目一般物料拆包产生的未沾染有毒性、感染性危险废物的包装材料为一般固废，主要为废纸箱、废塑料等。一般废包装材料产生量约为 1.5t/a，收集后综合利用。

(7) 废过滤器

本项目理化室通风橱设有一套独立废气排放管道，排放管道设置有中效过滤+高效过滤器+活性炭吸附单元，单套系统配套过滤器重量为 1.5kg，每年更换 1 次，则年废滤材总量为 0.0015t/a。废过滤器属于危险废物（HW49/900-039-49），经收集后委托有资质单位处置。

(8) 废活性炭

本项目理化室通风橱单台设计风量 1800m³/h，整套废气处理系统总风量 < 5000m³/h，依据《浙江省分散吸附 - 集中再生活性炭法挥发性有机物治理体系建设技术指南》附录 A，风量 Q < 5000m³/h、低浓度有机废气工况下，单次活性炭最少装填量 0.05t（50kg），按 500 小时使用周期，全年更换 5 次，年产生废活性炭 0.25t。废活性炭属于危险废物（HW49/900-039-49），收集密封后委托有资质单位处置。

(9) 生活垃圾

本项目实施后全厂工作人员约 27 人，按人均生活垃圾发生量 0.5kg/d·人计，则本项目产生生活垃圾约为 4.35t/a，由环卫部门收集处理。

表 9-23 各类副产物汇总表

序号	副产物名称	产生工序	预计产生量	形态
1	实验室废液	研发过程	2.5t/a	液态
2	废包装材料	试剂拆包	2.7t/a	固态
3	废样品	研发过程	0.02t/a	固态
4	废实验耗材	研发过程	0.5t/a	固态
5	废反渗透膜	纯水制备	0.03t/a	固态
6	一般废包装材料	物料拆包	1.5t/a	固态
7	废过滤器	废气处理	0.0015t/a	固态
8	废活性炭	废气吸附	0.25t/a	固态
9	生活垃圾	员工生活	4.35t/a	固态

根据《固体废物鉴别标准通则》（GB34330-2017）对上述副产物的属性进行判断，结果如下表。

表 9-24 项目副产品属性判定表

序号	副产物名称	产生工序	形态	是否属固体废物
1	实验室废液	研发过程	液态	是
2	废包装材料	试剂拆包	固态	是
3	废样品	研发过程	固态	是
4	废实验耗材	研发过程	固态	是
5	废反渗透膜	纯水制备	固态	是
6	一般废包装材料	物料拆包	固态	是
7	废过滤器	废气处理	固态	是
8	废活性炭	废气吸附	固态	是
9	生活垃圾	员工生活	固态	是

根据《国家危险废物名录》（2025 版）及《危险废物鉴别标准》，判定上述固体废物是否属于危险废物，判定结果如下表。

表 9-26 危险固废属性判定表

序号	副产物名称	产生工序	是否属危险废物	废物类别	废物代码
1	实验室废液	研发过程	是	HW49	900-047-49
2	废包装材料	试剂拆包	是	HW49	900-041-49
3	废样品	研发过程	是	HW49	900-047-49
4	废实验耗材	研发过程	是	HW49	900-047-49
5	废反渗透膜	纯水制备	否	/	/
6	一般废包装材料	物料拆包	否	/	/
7	废过滤器	废气处理	是	HW49	900-041-49
8	废活性炭	废气吸附	是	HW49	900-041-49

9	生活垃圾	员工生活	否	/	/
---	------	------	---	---	---

综上所述，本项目固体废物分析情况汇总如下表 9-25。

表 9-25 固体废物分析结果汇总表

序号	副产物名称	产生工序	形态	属性	废物代码	预计产生量
1	实验室废液	研发过程	液态	危险固废	900-047-49	2.5t/a
2	废包装材料	试剂拆包	固态	危险固废	900-041-49	2.7t/a
3	废样品	研发过程	固态	危险固废	900-047-49	0.02t/a
4	废实验耗材	研发过程	固态	危险固废	900-047-49	0.5t/a
5	废反渗透膜	纯水制备	固态	一般固废	/	0.03t/a
6	一般废包装材料	物料拆包	固态	一般固废	/	1.5t/a
7	废过滤器	废气处理	固态	危险固废	900-041-49	0.0015t/a
8	废活性炭	废气吸附	固态	危险固废	900-041-49	0.25t/a
9	生活垃圾	员工生活	固态	/	/	4.35t/a

9.3.2.4 噪声

噪声来源于实验设备运行过程，包括冻干机、离心机、振荡器等设备运行时产生的中低频噪声，设备运行时噪声强度为 60~75dB(A)，单台设备日均运行时长约 4~6h，多台设备不同时运行，实验室内噪声叠加后峰值不超过 80dB(A)，年运行时长约 1500~2200h。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局及合理性

本项目位于浙江景融核科技有限公司厂房内，本项目一层由放射性标记实验室、放射性检测实验室、细胞研究室、动物研究室等多功能核心区域构成，一层夹层为空调机房，下方为负一层为浙江景融核科技有限公司地下停车场、生活水泵房、消防水泵房、衰变间、危废间等构成。

本项目放射性工作场所周围均为其相关工作区域，对非放射性工作场所影响较小。建设单位考虑了本项目特点和周围环境对本项目可能存在的影响，使职业人员集中作业，便于对非密封放射性物质工作场所集中管理，有利于辐射防护和环境保护。

各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，因此本项目布局比较合理。

10.1.2 分区原则和两区划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），为了便于辐射防护管理和职业照射控制，应把辐射工作场所分为控制区和监督区。

（1）分区原则

根据 GB 18871-2002 的要求，“两区”划分原则与依据如下：

A、控制区

①注册者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或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

②确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

③对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

B、监督区

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，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

(2) 本项目分区管理情况

本项目辐射工作场所分区情况见表 10-1，分区示意图见附图 8。

表 10-1 本项目控制区与监督区划分情况

控制区	监督区
放射性废物库、源库、标记室、精密仪器室、控制室、常规仪器室、理化室、稳定性试验间、细胞操作间、动物传递间、观察检疫间、放射性饲养小鼠间（1、2）、解剖室、准备间、去污间、剂量检测间、退出气锁、细胞实验洁具间、SPECT/PET/CT 间、各实验室缓冲间、中间走廊、衰变间缓冲间、衰变间、危废间	总更、北侧走廊、洁物暂存间、细胞准备间、细胞培养间换鞋一更、二更、细胞培养间、动物实验室换鞋一更、二更、进入气锁

(3) 本项目“两区”管控要求

①控制区防护手段与安全措施

- a. 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合图 10-1 规定的电离辐射警告标志；
- b. 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；
- c. 运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；限制的严格程度应与预计的照射水平和可能性相适应；
- d. 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。

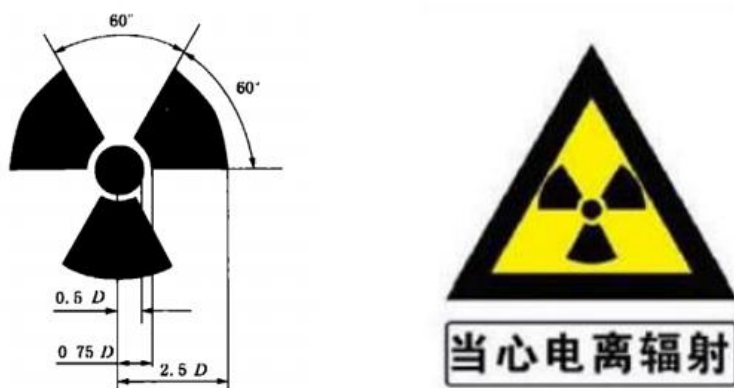


图 10-1 电离辐射的标志（左）与电离辐射警告标志（右）

②监督防护手段与安全措施

- a. 采用适当的手段划出监督区的边界；
- b. 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c. 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。

10.1.3 辐射工作场所的分级

(1) 日等效最大操作量计算方法

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法,可以计算出各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算公式如下:

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (10-1)$$

(2) 操作方式修正因子选取

操作方式修正因子依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录表C3选取。

表 10-2 操作方式与放射源状态修正因子

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

根据《辐射防护册第三分册》第143-144页,各种操作类型的具体方式可以举例如下:

①贮存:把盛装在容器内的放射性溶液、样品和废液等密封后存放于工作场所的通风柜、手套箱、样品架、工作台和专用贮存柜内等属贮存操作。这类操作可能的危害最小。

②很简单的操作:例如少量稀溶液的合并、分装或稀释,污染不严重的器皿和工具等的洗涤等。这类操作,会有少量的放射性物质散布开来,主要是要防止洒漏。

③简单的操作:例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离,萃取或反萃取,离子交换,色层分离,吸移或滴定放射性溶液等。这类操作,可能会有较多的放射性物质散布开来,除了会有表面污染外,还会有空气污染出现。

④有特别危险的操作:例如对溶液加热蒸馏或蒸发,热烤烘干,强放溶液的取样或转移,粉末料样的称重、溶解、干沉淀物的收集与转移等。操作过程中均会产生少量气体或气溶胶。更危险的操作还有干式操作和发尘操作,例如破碎研磨样品,粉末物质剧烈混合或包装等。因此这类操作,不发生意外时并不一定有较多的放射性物质散布开来,但发生事故的几率较多,而且后果较严重。

本项目使用核素均为液态，操作涉及取样、转移、离子交换等操作，因此本项目标记和试验过程操作方式为简单操作，操作因子取 1。

(3) 核素日等效操作量计算与工作场所分级

建设单位提供的保守规划的实际日最大操作量见表 3。根据 GB18871-2002 附录 C 中表 C2、C3 查得的各核素的毒性因子和操作方式与放射源状态修正因子，根据式 (10-1) 计算得到的本项目核素日等效操作量结果，对照非密封源工作场所分级标准确定的分级结果，具体见表 10-3。

表 10-3 非密封源工作场所分级

核素名称	毒性	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所分级
⁶⁸ Ga	低毒					日等效最大操作量叠加值 3.52×10 ⁹ Bq，乙级
¹⁷⁷ Lu	中毒					
¹⁶¹ Tb	中毒					
²¹² Pb	中毒					
²²⁵ Ac	极毒					
⁸⁹ Zr	中毒					
²¹¹ At	高毒					
²²³ Ra	极毒					
⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器	中毒					

从表 10-3 可见，根据使用放射性核素的类型和用量，可得到工作场所各核素日等效最大操作量叠加值 3.52×10⁹Bq，对照非密封源工作场所分级标准，本项目工作场所为乙级工作场所。

10.1.4 工作场所分类情况

参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 10-4。

表 10-4 辐射工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度, MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度= (计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子) /操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-5 和 10-6。

表 10-5 常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ga、 ⁹⁹ Tc ^m 、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ¹¹³ In ^m 、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ⁸¹ Kr ^m 、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.1

表 10-6 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理：闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

表 10-7 非密封放射性物质（核素）加权活度

试验类型	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日最大操作量 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	场所分类
源库	¹⁷⁷ Lu					II
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					
	²¹¹ At					
标记室	²²³ Ra					I
	⁶⁸ Ga					
	¹⁷⁷ Lu					
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					
	²¹¹ At					
精密仪器室	²²³ Ra					II
	⁶⁸ Ga					
	¹⁷⁷ Lu					
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					
细胞操作间	¹⁷⁷ Lu					II
放射性小鼠饲养间	²²³ Ra					I
	⁶⁸ Ga					
	¹⁷⁷ Lu					
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					

SPECT/PET/CT 间	⁶⁸ Ga					II
	¹⁷⁷ Lu					
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					
	²¹¹ At					
	²²³ Ra					
解剖室	⁶⁸ Ga					II
	¹⁷⁷ Lu					
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					
	²¹¹ At					
	²²³ Ra					
放射性废物库	⁶⁸ Ga					II
	¹⁷⁷ Lu					
	¹⁶¹ Tb					
	²¹² Pb					
	²²⁵ Ac					
	⁸⁹ Zr					
	²¹¹ At					
	²²³ Ra					

*注：源库放射性同位素源活度按日最大操作量计，放射性废物库按日最大操作量 5%计。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表。

表 10-8 不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

通过计算分析，项目各类辐射工作场所均为I类、II类场所。嘉兴景嘉航药业有限公司应按表 10-7 的要求，按I类工作场所用房建设，在辐射工作场所的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶，与墙壁接缝无缝隙；墙面采取易清洁不易渗透的材质；工作台表面采用易清洗材料；实验室内控制区不设下水，淋浴间内设置有洗手盆和淋浴，排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

10.1.5 辐射屏蔽防护设计方案

根据建设单位提供的资料，本项目拟采取的辐射屏蔽防护设计方案具体见表 10-9。

表 10-9 本项目辐射屏蔽防护设计

场所名称	屏蔽体	辐射场所主要屏蔽材料及厚度
解剖室、SPECT/PET/CT 间、放射性饲养间 1、放射性饲养间 2	四侧墙体	200mm 混凝土实心砖+50mm 彩钢板
	门	10mm 铅屏蔽门
	顶棚	150mm 混凝土+50mm 彩钢板
	地坪	300mm 混凝土
放射性废物库、源库	四侧墙体	200mm 混凝土实心砖
	门	10mm 铅屏蔽门
	顶棚	150mm 混凝土
	地坪	300mm 混凝土
其余场所	四侧墙体	50mm 彩钢板
	门	50mm 彩钢板
	顶棚	50mm 彩钢板
	地坪	300mm 混凝土

注：表中“50mm 彩钢板”仅为建筑装饰/密封围护材料，不具备辐射屏蔽功能，不计入辐射屏蔽厚度。

10.1.6 热室/通风柜等屏蔽设计

非密封放射性物质操作均在热室/通风橱/生物安全柜内进行，小鼠在 IVC 笼具中饲养，具体屏蔽参数见下表。

表 10-10 热室/通风橱/生物安全柜等主要屏蔽设计参数

场所	箱体类型	屏蔽材质及厚度
标记室	热室	
放射性饲养间 2	通风橱	
细胞操作间	生物安全柜	
解剖室、精密仪器室	通风橱	
放射性饲养间	IVC 笼具	

经下文计算，本项目热室箱/通风橱的屏蔽设计使操作人员所在的操作位的辐射水平满足辐射防护设计要求。

10.1.6 核素产品包装屏蔽设计

建设单位外购、内部转运的核素，其货包按照《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的 II 级 A 型货包（货包外表面任一点的辐射水平不超过 2mSv/h， β 表面污染不超过 4Bq/cm²， α 发射体为 0.4Bq/cm²）进行包装和管理。核素铅罐容器的屏蔽防护及产品规格见下表。

表 10-11 核素铅罐屏蔽设计参数

核素	屏蔽防护	备注
⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ²²³ Ra	外包 10mmPb 铅圆柱体罐	外购、内部转运
⁸⁹ Zr	外包 25mmPb 铅圆柱体罐	外购、内部转运

^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器	发生器自带 40mmPb 屏蔽，外包 40mmPb 铅当量圆柱体桶铅当量圆柱体桶	/
---	--	---

经下文计算，铅罐的屏蔽设计使核素在转运过程中，对转运工作人员及涉及的公众的辐射水平满足辐射防护要求。

10.1.7 辐射安全与防护措施

(1) 气流组织

本项目为同时满足洁净区正压气流组织要求及放射性物质操作区域负压气流组织要求，各放射性药物生产场所以邻近缓冲间为最高压力区，压差往两边邻近连通房间逐级递减，可保证放射性废气局部流动方向为：屏蔽箱→排风管道，避免放射性废气扩散。同时为保持局部区域的负压环境，各控制区内采用不锈钢全焊接密封圆管，并设置独立排风管道，放射性排风管道设置有止回阀，外界气流无法进入排风管道。各房间、热室和手套箱压差是通过控制送、排风风量差实现，各房间、热室和手套箱排风支管设置定风量阀，恒定风量实现压差的稳定性。本项目各热室采取局部的独立排风，涉及放射性房间采取全排措施排风，放射性废气排风管线设计见附图 7。

(2) 个人防护措施

①本项目辐射工作人员上岗前均进行辐射安全与防护知识培训，并在学习考核合格后上岗，同时各实验室制定严格的操作制度，所有辐射工作人员在上岗均先进行冷试验操作，并熟悉操作流程后才能正式开展放射性物质的操作生产，并尽可能缩短操作时间。

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

③辐射工作人员进入控制区需按流程：换鞋→更衣→控制区，离开控制区需按流程：换鞋→更衣→表面沾污监测→离开，若表面污染水平监测超过控制水平，应进行去污后监测达标后再离开。控制区出入口卫生通过间拟配备辐射监测设备和去污设施。公司拟为辐射工作人员配备口罩、橡胶手套和实验工作服以及应急使用的呼吸性面罩等防护用品。工作服、工作手套、工作鞋污染水平超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手部、皮肤、内衣、工作袜污染水平超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则应采取去污措施，视污染情况不同，采取去污措施或作为放射性废物处置；工作人员手部或身体受到放射性污染，应洗手去污(必要时淋浴去污)。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

④对于放射性核素的操作过程均在便于去污的通风橱或热室内台面进行，操作和转移核素均采用搪瓷托盘，并铺以吸水性的内垫吸水纸，以防止放射性药液洒漏造成操作台

污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在辐射工作场所内进食、饮水和吸烟。

⑤每天进行操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应及时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污废水和擦拭纸等均需按放射性废物管理。

⑥对于辐射剂量率高值区应根据实际情况采取必要的屏蔽措施或采取轮换操作减少受照时间。

（3）视频监控系统

门厅、走廊、各实验室、源库、放射性废物库、SPECT/PET/CT 间及其控制室等拟设置视频监控系统，实现场所治安防控“全覆盖、无死角”，便于及时观察和了解实验室的情况。控制区进出口及内部防护门、热室、通风橱等设备表面应张贴醒目的且符合 GB18871-2002 标准规定电离辐射警告标志；控制区和监督区设置有醒目标识。

（4）剂量率检测报警装置

标记室、细胞操作间、放射性饲养间 1、放射性饲养间 2、SPECT/PET/CT 间、精密仪器室、常规仪器室、稳定性试验间、准备间等位置安装固定式辐射监测仪探头共 9 个。

（5）人员出入控制

为限制无关人员进入辐射工作场所，在人流出入口设置门禁系统，防止非工作人员进入，并对进入厂房的工作人员进行统计和管理。把所有工作人员的姓名、岗位信息等个人资料输入电脑，同时设置不同工作人员门禁的级别，不同级别的工作人员可进入场所不同。辐射工作场所门禁点位设置：①辐射工作场所的人流、物流总出入口设置门禁；②小动物 SPECT/PET/CT 间及其控制室。

（6）清场记录

本项目所有核素均在指定实验室内进行，每次实验结束后必须执行严格的清场程序，确保设备和工作场所内未遗留与本次放射性实验有关的物料，确认无误后方可进行下一场实验。同时，建设单位应保存详细的清场记录。

10.1.8 表面污染控制措施

本项目工作人员在对放射性药物的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。为控制表面污染，需采取的措施如下：

①对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；

②操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，标记等操作在热室/通风橱内进行；

③如有洒落等操作，工作人员戴护膝型面罩或活性炭口罩，和一次性手套用棉球、滤纸将其擦拭处理，擦拭后产生的废棉球、滤纸、手套按固体放射性废物收集至放射性废物桶内暂存；

④工作人员进出工作场所需更衣，放射性操作之后对工作台面、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查，若监测结果超出控制水平，则需去污，直至监测合格后才能离开。

在严格落实以上措施的情况下，可有效避免表面污染带来的辐射影响。

10.1.9 放射性核素外购、包装与运输

本项目实验室使用的放射性同位素原料由有资质的放射性物品运输单位负责运输，放射性物品运输应满足《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)的要求，确保运输安全。

①建立台账

建立放射性同位素采购与使用台账，详细记录核素原料的入库时间、名称、活度、类别、数量、供货单位名称、供货单位资质文件编号、领用时间、领用数量、使用用途、记录人、记录时间、审核人、审核日期等事项，接受生态环境主管部门的检查。

②放射性核素的包装

建设单位拟从有资质的单位购买核素原料，核素原料均使用符合《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)的要求辐射安全要求的运输容器进行运输至建设单位。

10.1.10 辐射工作场所退役

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

10.1.11 其他防护设施、个人防护用品和监测仪器

参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中的相关要求，本项目工作场所配置相应的防护设施、个人防护用品和监测仪器，主要配置情况见表 10-12。

表 10-12 拟配置的防护设施、个人防护用品和监测仪器一览

类别	设备/用品名称	数量	用途
防护设施	铅屏蔽热室	3 个	高活度核素标记
	铅屏蔽通风橱	3 个	中低活度核素操作

	生物安全柜	1 个	中低活度核素操作
	铅废物桶	若干	放射性固废暂存
	转运铅罐	若干	核素转运
个人防护用品	个人剂量计	7 套	职业照射剂量监测
	个人剂量报警仪	7 台	现场照射剂量实时报警
	铅防护服/铅围裙/铅手套	1 套	操作人员外照射防护
	一次性防护衣/手套/口罩	若干	防止污染及内照射
	防护眼镜/面屏	1 套	眼部辐射防护
监测仪器	固定式辐射监测仪	9 台	场所实时剂量监测
	便携式 X- γ 辐射巡检仪	2 台	现场巡检、设备检测
	表面污染监测仪	2 台	表面污染监测、人员离厂监测

10.2 放射性“三废”的治理

本项目核素操作和实验过程会产生放射性废水、废液、废气及固体废物，建设单位将按“分质分类、源头管控”原则，实施以下针对性治理措施。

10.2.1 放射性废水

由污染源分析可知本项目营运期产生的放射性废水仅为淋洗废水。项目在地下一层西侧设置衰变间，内设一组由 3 个并联单元组成的衰变罐系统，单个衰变罐有效容积为 2m³，总有效容积为 6m³。衰变罐采用不锈钢材质，具备良好的耐腐蚀性和密封性，设置液位显示器和压力传感器，用于实时监测罐内废物状态，防止泄漏或超压风险。

本项目工作场所产生的放射性废水通过专用管道统一收集，经管道排入衰变罐。放射性废液管道采用抗硫酸、耐腐蚀并具有一定防辐射功能的材质，裸露部分采用镀锌钢管并用 2mm 厚铅皮包裹进行屏蔽防护，并设置明显标识。

本项目放射性核素日操作量小，单次淋洗废水量按 50L、年最大应急 2 次估算，年最大废水量为 100L。单个衰变罐有效容积为 2m³（2000L），可满足约 20 年的淋洗废水收集需求。

废水收集暂存方式：当 A 罐收集满后，液位传感器信号触发控制系统，将废水抽到 B 罐进行衰变，当 B 罐收集满后，将废水抽到 C 罐再次接纳废水，依次循环。A 罐衰变超过 120d 后，经检测满足解控要求并经生态环境主管部门批准后，经专用管道排入市政污水管网。

①衰变后的废水需监测达标(总 α <1Bq/L、总 β <10Bq/L)，并经生态环境主管部门核准后，方可按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

②建立有衰变罐排放台账，设专人管理。台账将记录每次排放时间、排放量及监测结

果情况并妥善保存。

③衰变罐和衰变间防护门、墙体设置有电离辐射警告标志，并设置门禁管控，防止无关人员驻留和进入。

④为避免运营期可能造成地下水污染，本项目衰变间地面采用 C30 抗渗混凝土建设。

10.2.2 放射性废液

放射性药物标记、细胞实验、动物实验过程会产生少量放射性废液。本项目产生的废液含有放射性核素为 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 和 ^{223}Ra 共 8 种。主要来源于药物标记试剂和药品放射分析时的色谱流动相，均为有机放射性废液。

根据估算，放射性废液年产生量约 1370L/年。

放射性废液用 20L 塑料废液桶收集(外套 10mmPb 铅桶)，暂存于放射性废物库。为了防止破裂和泄漏，将废物桶暂存于不锈钢铅防护箱内。废物暂存至少 120d 后，经监测满足解控要求并报生态环境主管部门批准后按照危险废物处置。

10.2.3 放射性废气

由污染源分析可知本项目运营期产生的放射性废气主要来自以下工艺环节①放射性标记工艺：核素标记反应、 C_{18} 小柱淋洗过程中，含 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 等放射性核素的气溶胶挥发；②质控分析实验：热药样品检测、进样针清洗等操作中，微量放射性核素随气溶胶挥发。③细胞亲和力检测实验：放射性配体与细胞孵育、96 孔板洗板过程中，微量放射性核素气溶胶挥发；④动物类实验（成像/生物分布/药效）：小鼠给药、解剖取样等操作中，含放射性核素的气溶胶挥发。

本项目操作放射性物质的热室、屏蔽通风橱、生物安全柜以及实验室均设置有排风过滤系统，该系统由排风口、风管、过滤器和风机组成，各管道放射性废气经吸附处理后汇总至总排风口在楼顶排入大气。本项目拟设置 10 支放射性废气排风管线，风机前端各设置 1 套“中效过滤器+高效过滤器+活性炭吸附”装置，本项目排风管线走向示意图见图 9。

本项目放射性废气治理核心为密闭收集+“中效+高效过滤器+活性炭吸附”理，处理流程为：局部密闭收集→专用排风管道→中效+高效过滤器→活性炭吸附→高空排放。经处理后的废气，对周围环境的影响非常小。

为确保放射性废气处理系统的有效运行，建设单位应落实以下废气防治措施：

a.过滤器的更换应根据不同季节和气候、温湿度条件下的过滤效率变化，结合生产厂家设计的高效滤材规格及实际使用情况，确定合理的更换周期，更换下来的废滤材应作为放

射性固废进行管理和处置。本次评价建议在排风管道内设置压差计，可根据管道内的压差情况判断过滤器是否需要更换。

b.为保证过滤效率满足要求，建设单位需委托设备厂家定期根据设备特性进行过滤器检查维护，每半年对过滤器的过滤效率进行校核，确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施等。

10.2.4 放射性固体废物

放射性固体废物主要来源于实验用品，如一次性移液器枪头，西林瓶，试纸等，小动物尸体及组织，饲养动物垫料和过滤系统滤材等。

每个房间放置一个铅防护放射性废物桶，收集放射性废物；

①普通放射性固体废物：实验使用的一次性移液器枪头，西林瓶，试纸等先收集在场所放射性废物桶中，储满后转移至放射性废物库的废物箱内。定期履行解控手续，解控后按照危险废物处置。

②实验动物尸体废物：在放射性废物库配置了冷冻冰柜，用于存放实验动物尸体和组织器官。动物试验结束后，工作人员将动物收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，置于冷冻冰柜内暂存、衰变。定期履行解控手续，解控后的动物尸体依照《实验动物环境及设施》(GB14925-2010)要求按照危险废物交有资质单位处置。

③放射性污染的动物垫料及排泄物收集装袋，收集袋表面标明核素名称和密封贮存日期，暂存在放射性废物库配置的冰柜中。定期履行解控手续，解控后按照危险废物交有资质单位处置。

④更换下来的滤芯和活性炭用塑料袋密封，袋上标明储存日期，转移到放射性废物库暂存衰变待储存超过 120d 后，履行解控手续，解控后按照危险废物处置。

⑤废旧发生器交由供货厂家回收。

为确保放射性固废的有效处理，建设单位应落实以下固废防治措施：

a. 建设单位同步建立放射性固体废物“收集—转运—贮存—检测—处置”全流程管理台账，详细记录固废产生量、种类、转运时间、贮存周期、检测结果及处置单位与去向，确保每一批次放射性固废均可追溯；

b.结合放射性废物库门禁管控、实时辐射监测措施，对固废贮存环境及转运过程进行监控，防止放射性物质泄漏或人员误操作；

c. 针对生物性放射性固废（小鼠尸体、器官等），建立专项管理要求，实行低温暂存、分类管理，确保生物安全与辐射安全双重可控。

10.3 非放射性“三废”的治理

本项目工作场所操作核素及动物实验过程中会产生非放射性废水、废液、废气及固废，建设单位拟采取以下三废的治理措施。

10.3.1 废水治理

由污染源分析可知本项目营运期产生非放射性废水主要为浓水、仪器等器皿的后道清洗废水、实验室台面和地面擦洗废水、笼具清洗废水和职工生活污水。

项目设置专用管网对各类非放射性废水进行分类收集：职工生活污水先排入浙江景融核科技有限公司现有化粪池预处理，其余生产类非放射性废水经收集后一并汇入市政污水管网。所有废水最终输送至海盐县城乡污水处理厂处理，出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）相关要求，达标后排入杭州湾。

10.3.2 废气治理

由污染源分析可知，本项目营运期产生的非放射性废气主要为本项目多肽前体溶液配制、流动相配制等非放射性实验过程中产生的有机废气（以非甲烷总烃计），以及动物饲养区产生的氨等恶臭气体。

活性炭吸附设备属于较为成熟的污染治理措施，活性炭吸附对非甲烷总烃、恶臭气体有良好的吸附能力，吸附速率快，处理程度高，效果稳定，是目前物理吸附中最为常用的吸附剂之一。本项目产生的有机废气（以非甲烷总烃计），以及动物饲养区产生的氨等恶臭气体均采用采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺，根据《排污许可证申请与核发技术规范总则》（HJ942-2018），项目采用活性炭吸附为可行的处理工艺。根据《2020年挥发性有机物治理攻坚方案》，“采用活性炭吸附技术的，应选择碘值不低于 800 毫克/克的活性炭，并按设计要求足量添加、及时更换。”要求企业采用碘值不低于 800 毫克/克的活性炭，并按设计周期进行更换，确保吸附效果。本项目废气治理设施见表 10-13。

表 10-13 项目废气主要治理措施一览表

产污环节	污染物	治理措施	收集率	处理率	是否为可行技术
实验室有机废气	非甲烷总烃	中效过滤+高效过滤+活性炭吸附	90%	80%	可行
动物饲养区废气	臭气浓度				可行

本项目非放射性废气收集率为 90%，活性炭吸附装置设计处理最大风量为 1800m³/h，活性炭装填量 0.05t/a，更换周期为 5 次/年，设计去除效率为 80%，该参数可保证废气稳定达标排放。

废气经处理后，有机废气可满足《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/ 310005-2021）要求，氨等恶臭气体可满足《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-93）相关要求。

10.3.3 固体治理

由污染源分析可知，本项目营运期产生的非放射性固废包括一般固废、危险废物和生活垃圾，应分类收集、暂存和处理、处置。根据《一般工业固体废物贮存、处置场污染物控制标准》（GB18599-2001）及其修改单，一般固废不得露天堆放，暂存点做好防雨防渗防风防漏措施。建设单位应加强各类危险废物的收集、贮存，各类固废严禁露天堆放，设置专用危废间，避免因日晒雨淋产生二次污染，严格按照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）及其修改清单和《浙江省固体废物污染环境防治条例》中的相关规定进行储存和管理，然后定期委托有资质的单位进行处理。

（1）一般固废

根据《一般工业固体废物贮存、处置场污染物控制标准》（GB18599-2001），一般固废不得露天堆放，暂存点做好防雨防渗防风防漏措施，并完善一般固废识别标志。建立健全一般固体废物产生、收集、贮存、运输、利用、处置全过程的污染环境防治责任制度，建立工业固体废物管理台账，如实记录产生工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等信息，实现工业固体废物可追溯、可查询。企业应当向所在地生态环境主管部门提供工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等有关资料，以及减少工业固体废物产生、促进综合利用的具体措施，并执行排污许可管理制度的相关规定。

（2）危险废物

A 贮存过程

根据《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023），企业须设立独立的危险废物暂存场所并做好标识，要求如下：

①做好相应标识，并设置人员定时检查；

②应建有堵截泄漏的裙脚，地面与裙脚要用坚固防渗的材料建造，须有耐腐蚀的硬化地面；

③应有隔离设施和防风、防晒、防雨设施。

B 运输过程

①根据危险废物的成分，用符合国家标准的耐腐蚀、不易破损、变形和老化的容器贮存，并在运输过程中加强监管，避免固体废物散落、泄漏情况的发生。

②本项目危险废物由有资质的处置单位负责运输。原则上危废运输不采取水上运输，采用汽车运输须不上高速公路、避开人口密集、交通拥挤地段，车速适中，做到运输车辆配备与废物特征、数量相符，兼顾安全可靠性和经济合理性，确保危废收集运输正常化。

③危险废物的转移应遵从《危险废物转移联单管理办法》及其他有关规定的要求，并禁止在转移过程中将危险废物排放至环境中。

(3) 生活垃圾

本项目工作人员产生的生活垃圾，由厂区统一收集，环卫部门统一清运

本项目固体废物处置符合国家技术政策，各类固废都得以合理安全处置，对周围环境的影响不大，但是本环评仍然要求企业对固废不能随意处理和乱堆乱放。在生产过程中要注意对危险废物的收集和储运，必须切实做好固废的分类工作，切实按照本环评提出的方案进行处置。

10.4 噪声的治理

由污染源分析可知本项目营运期产生的噪声主要来源于冻干机、离心机等设备运行时产生的中低频噪声，设备运行噪声 60~75dB(A)，采取以下降噪措施，确保厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准：

①设备降噪：选用低噪声型设备，对高噪声设备（如离心机、冻干机）加装减振垫、消声器，降低设备振动和空气动力性噪声；

②布局降噪：将高噪声设备集中布置于设备间/仪器室，与操作区、办公区分隔，利用墙体进行隔声；

③管理降噪：合理安排设备运行时间，避免多台高噪声设备同时运行，降低噪声叠加效应；定期对设备进行维护保养，确保设备正常运行，避免因设备故障产生异常噪声。

本项目主要声源在经过上述隔声降噪措施及距离衰减后，对周边声环境影响较小。

10.5 投资概算一览表

本项目总投资约2000万元，估算环保投资63万元，占总投资额的3.15%。项目环保投资估算见表10-14。

表 10-14 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	预计投资（万元）
1	辐射安全管理	辐射安全管理机构：成立辐射安全管理领导小组	1
		辐射安全管理制度：制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急预案等	
2	人员考核	辐射工作人员参加辐射安全与防护考核	1
3	监测仪器与防护用品	固定式辐射监测仪、环境辐射巡测仪、便携式表面沾污仪、个人剂量计和个人剂量报警仪等	13
		工作服、口罩、手套等	
4	三废处理设施设备		20
5	辐射防护设施工程		25
6	环境影响评价、验收监测和环境监理		3
总计			63

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

建设单位对浙江景融核科技有限公司厂房内部进行布局施工建设，在项目的建设过程中，建设单位拟采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。

(1) 噪声污染及环保措施分析

本项目施工建设阶段的噪声主要来自工作场所内部隔断墙体建设、建筑装饰、设备安装等阶段，但项目的建设期短暂，对周围环境影响随着施工结束而消除。建设阶段加强环保措施，尽可能采取有效的减噪措施，避免在同一时间集中使用大量的动力机械设备，加强对施工噪声的治理，合理安排施工时间，夜间禁止施工作业，以免影响附近尚存居民点居民的休息。

(2) 大气污染物排放及环保措施分析

本项目建设阶段产生的扬尘主要包括：运输车辆的道路扬尘等。施工中采取必要扬尘污染防治措施后（如施工场界设置围栏等屏障、运输及露天堆放材料加盖篷布、施工现场洒水抑尘等），施工扬尘对大气环境影响不大。

施工机械的废气和运输车辆尾气，因施工区废气有一定扩散条件，短时对区域环境空气有一定影响，但不会造成污染性影响。通过加强对施工机械的保养，严格尾气排放可将废气影响减至最低。

装修过程中产生的废气污染物相对较少，采用“环保型”油漆及涂料，装修工程中加强通风或室内空气净化措施，可将装修废气的影响降至最低，对区域环境空气质量影响较小。

(3) 废水排放及环保措施分析

本项目在施工期会产生施工废水和施工人员的生活污水。施工废水经沉淀处理后可回用于施工，不外排；施工人员的生活污水依托浙江景融核科技有限公司现有化粪池处理后排入市政管网，对水环境影响很小。

(4) 固体废物影响及环保措施分析

建设阶段产生的固体废物主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。建设阶段产生的固体废物妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。对固体废物从收集、清运到弃置实

现严格的全过程管理；设垃圾桶收集生活垃圾。施工单位认真落实上述措施后，施工期产生的固体废物可实现资源化利用或无害化处置，不会造成二次污染。施工期固废经妥善处置，对环境的影响可接受。

因此，本项目合理安排施工时间及施工场地的秩序，对施工场地进行适当的封闭。由于本项目对外界的影响是暂时的，随着施工结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目建设阶段对周围环境影响较轻，不会对区域环境质量和周边敏感目标产生影响。

11.1.2 设备安装调试期环境影响分析

本项目设备的安装、调试委托设备厂家专业人员进行，建设单位不自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，本项目工作场所内不存在非密封放射性物质，因此不存在电离辐射。设备安装完成后，需及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

11.2.1.1 α 射线、 β 射线和表面污染影响分析

(1) α 射线辐射环境影响分析

由表9-3可知，在本项目涉及放射性核素中 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 在衰变过程中会产生 α 粒子，由于 α 粒子的体积比较大、射程较短、带两个正电荷，同位素位暂存、操作过程中有各种材料的屏蔽物质阻挡。因此，它的能量亦散失得较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能隔阻 α 粒子。因此，不考虑其对人体外照射的影响。

当 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 核素不慎吸入，可对人体造成内照射影响。建设单位拟通过管理措施禁止人员在辐射工作场所内饮食，工作人员工作期间穿戴防护服及防护口罩，涉及放射性核素的操作须在通风橱内进行，工作场所设置良好的通风，避免放射性核素的累积。通过以上措施，可有效避免放射性核素内照射影响。

(2) β 射线辐射环境影响分析

由表9-3可知，在本项目涉及放射性核素中 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 在衰变过程中会产生 β 射线，根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫）， β 射线在介质中的射程按下列公式（式11-1）计算，计算结果见表11-1。

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{MAX} \quad (11-1)$$

式中：d：β射线在介质中射程，cm；

ρ：介质的密度，g/cm³；空气密度取1.29×10⁻³g/cm³，铅密度取11.4g/cm³，有机玻璃密度取1.18g/cm³，混凝土密度取2.35g/cm³，实心砖的密度取1.65g/cm³。

E_{MAX}：β射线的最大能量，MeV。

表 11-1 核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

核素	¹⁷⁷ Lu	¹⁶¹ Tb	²¹² Pb
β射线能量(MeV)	0.498	0.520	0.569
空气中射程 (cm)	193.02	201.55	220.54
铅中射程 (cm)	0.02	0.02	0.02
有机玻璃中射程 (cm)	0.21	0.22	0.24
混凝土中的射程 (cm)	0.11	0.11	0.12
实心砖中射程 (cm)	0.15	0.16	0.17

由上表可知，本项目核素产生的β射线在空气中的射程最大为220.54.0cm。考虑本项目非密封源工作场所设置了足够的空间，且有墙体和铅罐进行屏蔽，同时各核素β射线在铅中的射程最大为0.08cm，故放射性核素产生的β射线对周围环境影响很小。

(3) α、β表面污染环境的影响分析

α、β表面污染的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的α、β表面污染水平达到 GB18871-2002规定的要求，拟采取以下防护措施：

- ①操作放射性同位素的辐射工作人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②所有涉及放射性核素的操作须在通风橱内进行；
- ③质控时吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ④禁止用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑤放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员如有污染应进行淋浴，监测合格后方可离开工作场所；
- ⑥放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志。

11.2.1.2 周围剂量率水平估算

(1) 关注点位

本次评价在辐射剂量估算工作中选取源库、放射性废物库、SPECT/PET/CT 间、放射性

饲养间、标记室、细胞操作间、解剖室、精密仪器室、地下室停车场的人员停留位置及各操作位作为剂量估算关注点位，关注点位见图11-1。

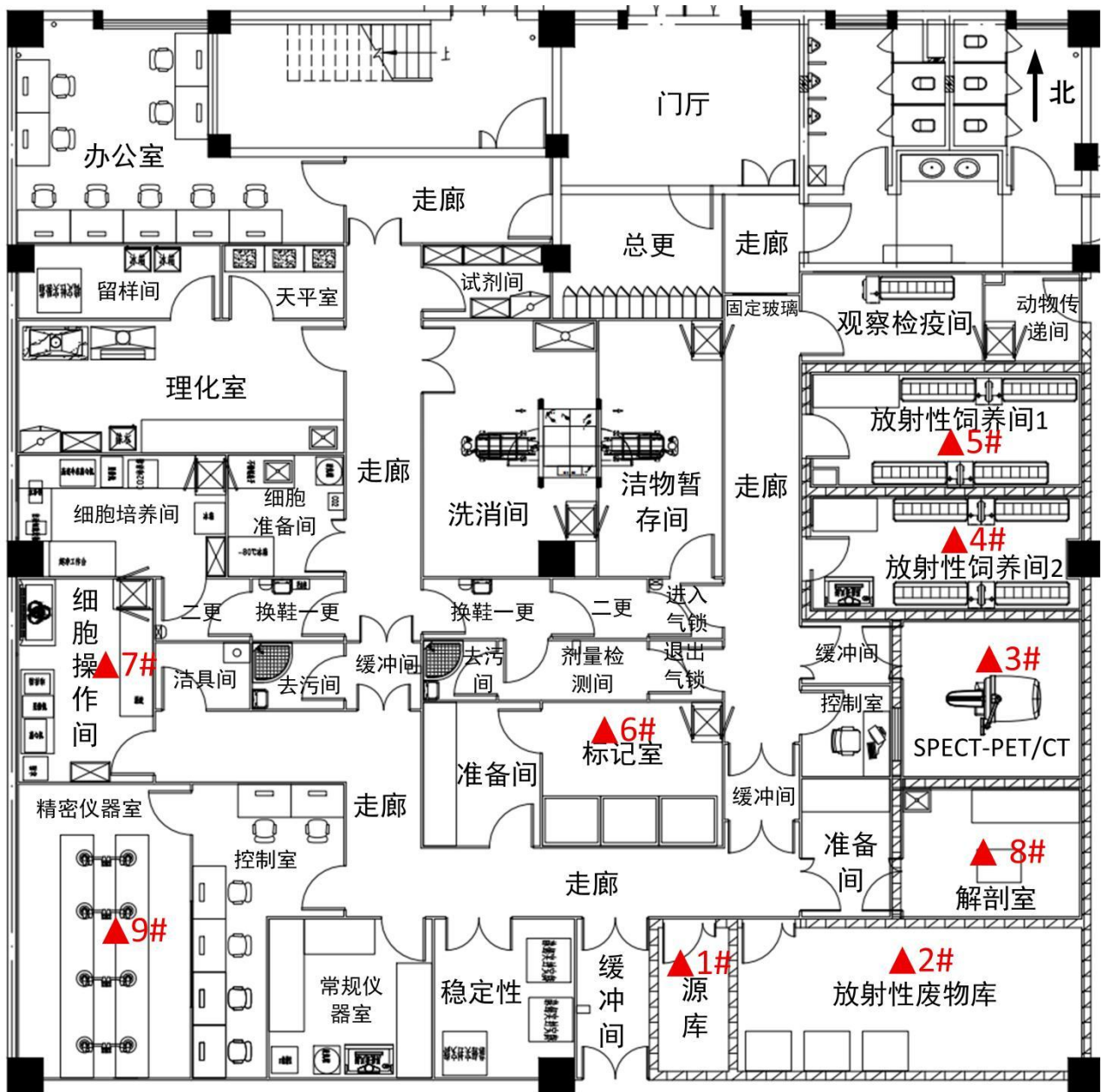


图 11-1 关注点位图

本项目关注点位的选取合理性分析如下：

a.源库、放射性废物库为放射性物质集中贮存区域，SPECT/PET/CT间为成像高活度核素操作区域，标记室、精密仪器室、解剖室为放射性核素操作核心环节，上述点位是本项目外辐射水平最高、潜在影响最显著的区域，符合“优先关注活度集中、操作频繁、剂量贡献大的区域”的原则。

b.空间与功能代表性：各关注点覆盖了放射性物质从贮存、研发、制备、实验操作到废

物暂存的全流程关键节点，同时涵盖了地下停车场等人员公共活动区域，可全面反映项目不同功能区的辐射环境特征，避免监测盲区。

c.屏蔽与衰减合理性：本项目实验用核素活度较低，且操作位均配置有铅屏蔽，实验室墙体亦具备一定屏蔽能力，经双重屏蔽后，实验室外环境辐射水平已接近天然本底水平。地下停车场作为项目内人员活动频繁的公共区域，虽辐射影响微弱，但仍纳入监测范围以验证屏蔽效果、保障公众接触安全；在此基础上，本次评价不再额外考虑各实验室对项目外环境的辐射影响，关注点位设置符合“辐射贡献显著、监测效率最优”的技术要求。

(2) 韧致辐射剂量率估算

β 射线被物质阻止时会产生韧致辐射，根据《辐射防护导论》，韧致辐射采用下列公式（式11-2）进行计算，屏蔽计算时，Gy可视为Sv。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (11-2)$$

式中：

H_r ——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r ——参考点与屏蔽层的距离，m；

A ——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数；

E_b ——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的1/3，即 $E_b = E_{max}/3$ ，MeV；

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，取自《辐射防护导论》附表1； ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{89}Zr 空气质量能量吸收系数分别为 $2.966 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $2.672 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $2.407 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $2.872 \times 10^{-3} m^2/kg$ 、 $2.966 \times 10^{-3} m^2/kg$ ；

q ——参考点所在区域相应的居留因子，均取1；

η ——透射比，通风橱前透射比根据公式 $\eta = 10^{-(d/TVL)}$ 得出（其中TVL屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度，cm，各核素在不同屏蔽材料中的什值层见表11-2。

表 11-2 各核素在不同屏蔽材料中的什值层

核素	E_b (MeV)	在铅中的什值层 (cm)	在混凝土中的什值层 (cm)
^{177}Lu	0.166	0.28	12.8
^{161}Tb	0.173	0.31	13.2
^{212}Pb	0.190	0.48	14.3

注：什值层根据核素的平均能量由 NCRP REPORT No.151 P158 页 Fig,A1a.查得。

按照公式（11-2）计算，本项目各关注点位韧致辐射剂量率计算结果见表11-3。

表 11-3 辐射工作区域关注点致辐射剂量估算结果

关注点位		屏蔽层	屏蔽物质原子序数 Z_e	核素	源活度 A (Bq)	E_b (MeV)	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	距离 r(m)	总 η	剂量率 ((μ Sv/h))	小计 (μ Sv/h)
1#源库	西侧墙外 30cm 处		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	1.2	7.35E-06	3.37E-06	8.20E-06
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	1.2	1.82E-05	4.10E-06	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	1.2	3.30E-04	7.28E-07	
	南侧墙外 30cm 处		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	2.2	7.35E-06	1.00E-06	2.44E-06
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	2.2	1.82E-05	1.22E-06	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	2.2	3.30E-04	2.16E-07	
	东侧墙外 30cm 处		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	1.2	7.35E-06	3.37E-06	8.20E-06
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	1.2	1.82E-05	4.10E-06	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	1.2	3.30E-04	7.28E-07	
	北侧防护门外 30cm 处		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	2.2	7.20E-08	9.83E-09	7.83E-08
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	2.2	3.53E-07	2.38E-08	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	2.2	6.81E-05	4.47E-08	
地下停车场距地面 170cm 处		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	3.3	1.22E-06	7.38E-08	1.88E-07	
			¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	3.3	3.17E-06	9.48E-08		
			²¹² Pb		0.111	2.872E-03	3.3	6.59E-05	1.92E-08		
2#放射性废物库	西侧墙外 30cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	3.8	7.35E-06	1.30E-07	3.16E-07
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	3.8	1.82E-05	1.58E-07	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	3.8	3.30E-04	2.81E-08	
	南侧墙外 30cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	2.2	7.35E-06	4.26E-07	1.04E-06
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	2.2	1.82E-05	5.18E-07	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	2.2	3.30E-04	9.19E-08	
	东侧墙外 30cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	2.2	7.35E-06	4.26E-07	1.04E-06
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	2.2	1.82E-05	5.18E-07	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	2.2	3.30E-04	9.19E-08	
	北侧防护门外 30cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	3.8	7.20E-08	1.27E-09	1.02E-08
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	3.8	3.53E-07	3.08E-09	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	3.8	6.81E-05	5.80E-09	
地下停车场距地面 170cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	3.3	1.22E-06	2.86E-08	7.27E-08	
			¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	3.3	3.17E-06	3.67E-08		
			²¹² Pb		0.111	2.872E-03	3.3	6.59E-05	7.44E-09		
4#放射	通风橱外		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	0.6	4.39E-06	1.31E-08	/
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	0.6	1.45E-05	5.31E-08	

性小鼠 饲养间 2	30cm 操 作位			²¹² Pb		0.111	2.872E-03	0.6	7.50E-04	1.32E-06	
6#标记 室	热室外 30cm 操 作位		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	0.6	6.11E-24	1.12E-23	/
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407E-03	0.6	1.08E-21	9.74E-22	
				²¹² Pb		0.111	2.872E-03	0.6	2.87E-14	2.54E-16	
7#细胞 培养间	安全柜外 30cm 操 作位		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672E-03	0.6	2.68E-04	1.17E-07	/
9#精密 仪器室	通风橱外 30cm 操 作位		10.6	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.672×10 ⁻³	0.6	7.20E-08	1.32E-10	/
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.407×10 ⁻³	0.6	3.53E-07	7.99E-10	
				²¹² Pb		0.111	2.872×10 ⁻³	0.6	6.81E-05	6.01E-08	
原料转 运位	转运车表 面 30cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.67E-03	1.0	2.68E-04	1.77E-04	/
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.41E-03	1.0	5.95E-04	1.94E-04	
				²¹² Pb		0.111	2.87E-03	1.0	8.25E-03	2.62E-05	
废物转 运位	转运车表 面 30cm 处		82	¹⁷⁷ Lu		0.166	2.67E-03	1.0	2.68E-04	8.86E-06	/
				¹⁶¹ Tb		0.194	2.41E-03	1.0	5.95E-04	9.69E-06	
				²¹² Pb		0.111	2.87E-03	1.0	8.25E-03	1.31E-06	
*注：表中“50mm 彩钢板”仅为建筑装饰/密封围护材料，不具备辐射屏蔽功能，不计入辐射屏蔽厚度；源库放射性同位素、放射性原料转运源活度按日最大操作量计；放射性废物库、放射性废物转运源活度按日最大操作量5%计；衰变间内仅为应急淋洗废水，源活度很小，忽略不计。											

(3) γ 射线辐射剂量率估算

由表9-3可知，在本项目涉及放射性核素中 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{89}Zr 在衰变过程中或发生湮灭辐射时会产生 γ 射线。

γ 射线影响屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式见式11-3。辐射剂量率估算见下式。

$$H=10^{-X/\text{TVL}} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (11-3)$$

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X——屏蔽体厚度，单位为 cm；

TVL—— γ 射线的十分之一值层厚度，cm；

A——所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ——距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

R——参考点与放射源间的距离，m。

各核素的相关参数见表11-4。

表 11-4 各核素的相关参数

核素	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (cm)	
		铅	混凝土
^{68}Ga	0.134	1.66	17.6
^{177}Lu	0.0048	0.6	15.5
^{161}Tb	0.0108	0.075	6.1
^{212}Pb	0.0392	0.7	16.2
^{89}Zr	0.194	2.6	23..2

注：①， ^{68}Ga 与 ^{18}F 主要光子能量相近，因此TVL参考 ^{18}F 的TVL；其余核素的TVL值根据各核素能量由NCRP Report No. 151查得。② ^{68}Ga 的剂量率常数取值参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），其余核素的剂量率常数取值参考《辐射安全手册》和《辐射防护手册》推出。

按照公式（11-3）计算，本项目各关注点位 γ 射线辐射剂量率计算结果见表11-5。

(4) 韧致辐射、 γ 射线叠加剂量估算

本项目各关注点位的实际剂量率由 γ 射线经屏蔽衰减后的剂量率与韧致辐射经屏蔽衰减后的剂量率共同叠加而成。本次评价在分别核算两类辐射剂量贡献的基础上，开展叠加效应分析，结果详见表11-6。

表 11-5 辐射工作区域关注点 γ 射线辐射剂量率估算结果

关注点位		屏蔽材料及厚度	核素	源活度 A (Bq)	距离 r (m)	周围剂量当量率 常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	$10^{-X/TVL}$	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	小计 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#源库	西侧墙外 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		1.2	0.0048	3.07E-04	1.89E-02	1.24E+00
			¹⁶¹ Tb		1.2	0.0108	2.44E-17	1.36E-15	
			²¹² Pb		1.2	0.0392	2.17E-03	1.09E-02	
			⁸⁹ Zr		1.2	0.194	2.43E-02	1.21E+00	
	南侧墙外 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		2.2	0.0048	3.07E-04	5.64E-03	3.69E-01
			¹⁶¹ Tb		2.2	0.0108	2.44E-17	4.03E-16	
			²¹² Pb		2.2	0.0392	2.17E-03	3.25E-03	
			⁸⁹ Zr		2.2	0.194	2.43E-02	3.60E-01	
	东侧墙外 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		1.2	0.0048	3.07E-04	1.89E-02	1.24E+00
			¹⁶¹ Tb		1.2	0.0108	2.44E-17	1.36E-15	
			²¹² Pb		1.2	0.0392	2.17E-03	1.09E-02	
			⁸⁹ Zr		1.2	0.194	2.43E-02	1.21E+00	
	北侧防护门 外 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		2.2	0.0048	3.59E-05	6.59E-04	1.31E+00
			¹⁶¹ Tb		2.2	0.0108	2.15E-27	3.56E-26	
			²¹² Pb		2.2	0.0392	1.39E-03	2.08E-03	
			⁸⁹ Zr		2.2	0.194	8.83E-02	1.31E+00	
地下停车场 距地面 170cm 处		¹⁷⁷ Lu		3.3	0.0048	6.95E-05	5.67E-04	6.02E-02	
		¹⁶¹ Tb		3.3	0.0108	5.61E-19	4.11E-18		
		²¹² Pb		3.3	0.0392	5.24E-04	3.49E-04		
		⁸⁹ Zr		3.3	0.194	8.99E-03	5.93E-02		
2#放射性废物 库	西侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga		3.8	0.134	1.82E-02	4.40E-02	6.12E-02
			¹⁷⁷ Lu		3.8	0.0048	3.07E-04	9.45E-05	
			¹⁶¹ Tb		3.8	0.0108	2.44E-17	6.76E-18	
			²¹² Pb		3.8	0.0392	2.17E-03	5.45E-05	
			⁸⁹ Zr		3.8	0.194	6.87E-02	1.71E-02	
	南侧墙外		⁶⁸ Ga		2.2	0.134	1.82E-02	1.31E-01	1.83E-01
			¹⁷⁷ Lu		2.2	0.0048	3.07E-04	2.82E-04	

	30cm 处		¹⁶¹ Tb	2.2	0.0108	2.44E-17	2.02E-17	6.12E-02
			²¹² Pb	2.2	0.0392	2.17E-03	1.63E-04	
			⁸⁹ Zr	2.2	0.194	6.87E-02	5.09E-02	
	东侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga	3.8	0.134	1.82E-02	4.40E-02	
			¹⁷⁷ Lu	3.8	0.0048	3.07E-04	9.45E-05	
			¹⁶¹ Tb	3.8	0.0108	2.44E-17	6.76E-18	
			²¹² Pb	3.8	0.0392	2.17E-03	5.45E-05	
	北侧防护门 外 30cm 处		⁸⁹ Zr	3.8	0.194	6.87E-02	1.71E-02	
			⁶⁸ Ga	2.2	0.134	6.24E-02	4.49E-01	
			¹⁷⁷ Lu	2.2	0.0048	3.59E-05	3.30E-05	
			¹⁶¹ Tb	2.2	0.0108	2.15E-27	1.78E-27	
	地下停车场 距地面 170cm 处		²¹² Pb	2.2	0.0392	1.39E-03	1.04E-04	
			⁸⁹ Zr	2.2	0.194	2.50E-01	1.85E-01	
			⁶⁸ Ga	3.3	0.134	4.93E-03	1.58E-02	
			¹⁷⁷ Lu	3.3	0.0048	1.94E-10	7.89E-11	
	3# SPECT/PET/CT 间	东侧墙外 30cm 处		¹⁶¹ Tb	3.3	0.0108	2.60E-52	
²¹² Pb				3.3	0.0392	1.41E-07	4.68E-09	
⁸⁹ Zr				3.3	0.194	1.59E-03	5.23E-04	
⁶⁸ Ga				2.6	0.134	7.31E-02	2.68E-02	
北侧墙外 30cm 处			¹⁷⁷ Lu	2.6	0.0048	5.12E-02	3.64E-04	1.01E-01
			¹⁶¹ Tb	2.6	0.0108	5.26E-04	1.56E-05	
			²¹² Pb	2.6	0.0392	5.83E-02	6.25E-04	
			⁸⁹ Zr	2.6	0.194	1.37E-01	7.29E-02	
西侧防护门 外 30cm 处			⁶⁸ Ga	2.6	0.134	1.17E-02	4.31E-03	2.01E-02
			¹⁷⁷ Lu	2.6	0.0048	1.25E-03	8.87E-06	
			¹⁶¹ Tb	2.6	0.0108	5.26E-14	1.56E-15	
			²¹² Pb	2.6	0.0392	2.82E-03	3.02E-05	
西侧墙外 30cm 处			⁸⁹ Zr	2.6	0.194	2.96E-02	1.57E-02	2.36E-01
			⁶⁸ Ga	3.2	0.134	2.50E-01	6.05E-02	
			¹⁷⁷ Lu	3.2	0.0048	5.99E-03	2.81E-05	
			¹⁶¹ Tb	3.2	0.0108	4.64E-14	9.06E-16	
		²¹² Pb	3.2	0.0392	3.73E-02	2.64E-04	2.01E-02	
		⁸⁹ Zr	3.2	0.194	5.00E-01	1.75E-01		
		⁶⁸ Ga	2.6	0.134	1.17E-02	4.31E-03		
		¹⁷⁷ Lu	2.6	0.0048	1.25E-03	8.87E-06		
		¹⁶¹ Tb	2.6	0.0108	5.26E-14	1.56E-15		
		²¹² Pb	2.6	0.0392	2.82E-03	3.02E-05		
		⁸⁹ Zr	2.6	0.194	2.96E-02	1.57E-02		
		⁶⁸ Ga	2.6	0.134	1.17E-02	4.31E-03		

	南侧墙外 30cm 处	⁸⁹ Zr	2.6	0.194	2.96E-02	1.57E-02	2.01E-02
		⁶⁸ Ga	2.6	0.134	1.17E-02	4.31E-03	
		¹⁷⁷ Lu	2.6	0.0048	1.25E-03	8.87E-06	
		¹⁶¹ Tb	2.6	0.0108	5.26E-14	1.56E-15	
		²¹² Pb	2.6	0.0392	2.82E-03	3.02E-05	
	地下停车场 距地面 170cm 处	⁸⁹ Zr	2.6	0.194	2.96E-02	1.57E-02	2.14E-02
		⁶⁸ Ga	3.3	0.134	1.97E-02	4.49E-03	
		¹⁷⁷ Lu	3.3	0.0048	1.16E-02	5.11E-05	
		¹⁶¹ Tb	3.3	0.0108	1.21E-05	2.22E-07	
		²¹² Pb	3.3	0.0392	1.41E-02	9.37E-05	
4#放射性小鼠 饲养间 2	通风橱外 30cm 操作位	⁶⁸ Ga	0.6	0.134	1.25E-01	8.60E-01	/
		¹⁷⁷ Lu	0.6	0.0048	4.64E-04	1.86E-04	
		¹⁶¹ Tb	0.6	0.0108	1.00E-20	9.00E-21	
		²¹² Pb	0.6	0.0392	7.20E-03	2.90E-02	
		⁸⁹ Zr	0.6	0.194	3.53E-01	1.90E+00	
	西侧防护门 外 30cm 处	⁶⁸ Ga	2.9	0.134	1.25E-01	3.68E-02	1.88E-01
		¹⁷⁷ Lu	2.9	0.0048	4.64E-04	2.65E-06	
		¹⁶¹ Tb	2.9	0.0108	1.00E-20	2.38E-22	
		²¹² Pb	2.9	0.0392	7.20E-03	6.21E-05	
		⁸⁹ Zr	2.9	0.194	3.53E-01	1.51E-01	
	北侧墙外 30cm 处	⁶⁸ Ga	0.7	0.134	3.65E-02	1.85E-01	8.98E-01
		¹⁷⁷ Lu	0.7	0.0048	3.97E-03	3.89E-04	
		¹⁶¹ Tb	0.7	0.0108	1.13E-10	4.62E-11	
		²¹² Pb	0.7	0.0392	1.12E-02	1.66E-03	
		⁸⁹ Zr	0.7	0.194	9.71E-02	7.11E-01	
	东侧墙外 30cm 处	⁶⁸ Ga	2.9	0.134	3.65E-02	1.08E-02	5.23E-02
		¹⁷⁷ Lu	2.9	0.0048	3.97E-03	2.26E-05	
		¹⁶¹ Tb	2.9	0.0108	1.13E-10	2.69E-12	
		²¹² Pb	2.9	0.0392	1.12E-02	9.70E-05	
		⁸⁹ Zr	2.9	0.194	9.71E-02	4.14E-02	
南侧墙外 30cm 处	⁶⁸ Ga	0.7	0.134	3.65E-02	1.85E-01	8.98E-01	
	¹⁷⁷ Lu	0.7	0.0048	3.97E-03	3.89E-04		
	¹⁶¹ Tb	0.7	0.0108	1.13E-10	4.62E-11		
	²¹² Pb	0.7	0.0392	1.12E-02	1.66E-03		
	⁸⁹ Zr	0.7	0.194	9.71E-02	7.11E-01		
地下停车场		⁶⁸ Ga	3.3	0.134	9.87E-03	2.25E-03	1.41E-02

	距地面 170cm 处		¹⁷⁷ Lu		3.3	0.0048	8.98E-04	3.96E-06	
			¹⁶¹ Tb		3.3	0.0108	2.60E-12	4.77E-14	
			²¹² Pb		3.3	0.0392	2.72E-03	1.81E-05	
			⁸⁹ Zr		3.3	0.194	3.60E-02	1.19E-02	
5#放射性小鼠 饲养间 1	西侧防护门 外 30cm 处		⁶⁸ Ga		2.9	0.134	1.25E-01	3.68E-02	1.88E-01
			¹⁷⁷ Lu		2.9	0.0048	4.64E-04	2.65E-06	
			¹⁶¹ Tb		2.9	0.0108	1.00E-20	2.38E-22	
			²¹² Pb		2.9	0.0392	7.20E-03	6.21E-05	
			⁸⁹ Zr		2.9	0.194	3.53E-01	1.51E-01	
	北侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga		0.7	0.134	3.65E-02	1.85E-01	8.98E-01
			¹⁷⁷ Lu		0.7	0.0048	3.97E-03	3.89E-04	
			¹⁶¹ Tb		0.7	0.0108	1.13E-10	4.62E-11	
			²¹² Pb		0.7	0.0392	1.12E-02	1.66E-03	
			⁸⁹ Zr		0.7	0.194	9.71E-02	7.11E-01	
	东侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga		2.9	0.134	3.65E-02	1.08E-02	5.23E-02
			¹⁷⁷ Lu		2.9	0.0048	3.97E-03	2.26E-05	
			¹⁶¹ Tb		2.9	0.0108	1.13E-10	2.69E-12	
			²¹² Pb		2.9	0.0392	1.12E-02	9.70E-05	
			⁸⁹ Zr		2.9	0.194	9.71E-02	4.14E-02	
	南侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga		0.7	0.134	3.65E-02	1.85E-01	8.98E-01
			¹⁷⁷ Lu		0.7	0.0048	3.97E-03	3.89E-04	
			¹⁶¹ Tb		0.7	0.0108	1.13E-10	4.62E-11	
			²¹² Pb		0.7	0.0392	1.12E-02	1.66E-03	
			⁸⁹ Zr		0.7	0.194	9.71E-02	7.11E-01	
地下停车场 距地面 170cm 处		⁶⁸ Ga		3.3	0.134	9.87E-03	2.25E-03	1.41E-02	
		¹⁷⁷ Lu		3.3	0.0048	8.98E-04	3.96E-06		
		¹⁶¹ Tb		3.3	0.0108	2.60E-12	4.77E-14		
		²¹² Pb		3.3	0.0392	2.72E-03	1.81E-05		
		⁸⁹ Zr		3.3	0.194	3.60E-02	1.19E-02		
6#标记室	热室外 30cm 操作位		⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生 器		0.6	0.134	3.03E-05	4.18E-02	/
			⁶⁸ Ga		0.6	0.134	1.21E-04	2.35E-01	
			¹⁷⁷ Lu		0.6	0.0048	3.59E-15	8.86E-13	
			¹⁶¹ Tb		0.6	0.0108	2.15E-87	4.78E-85	
			²¹² Pb		0.6	0.0392	5.18E-10	1.04E-08	

			⁸⁹ Zr		0.6	0.194	1.10E-02	2.20E+00	
7#细胞操作间	通风橱外 30cm 操作位		¹⁷⁷ Lu		0.6	0.0048	5.99E-03	3.52E-04	/
8#解剖室	通风橱外 30cm 操作位		⁶⁸ Ga	0.6		0.134	2.50E-01	3.50E-01	/
			¹⁷⁷ Lu			0.0048	5.99E-03	2.40E-04	
			¹⁶¹ Tb			0.0108	4.64E-14	4.18E-15	
			²¹² Pb			0.0392	3.73E-02	4.06E-03	
			⁸⁹ Zr			0.194	5.00E-01	1.35E+00	
9#精密仪器室	通风橱外 30cm 操作位		⁶⁸ Ga	0.6		0.134	6.24E-02	4.30E-01	/
			¹⁷⁷ Lu			0.0048	3.59E-05	8.86E-06	
			¹⁶¹ Tb			0.0108	2.15E-27	1.20E-27	
			²¹² Pb			0.0392	1.39E-03	2.80E-03	
			⁸⁹ Zr			0.194	8.83E-02	8.80E-01	
原料转运位	转运车表面 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		1.0	0.0048	5.99E-03	5.32E-01	/
			¹⁶¹ Tb		1.0	0.0108	4.64E-14	3.71E-12	
			²¹² Pb		1.0	0.0392	3.73E-02	2.70E-01	
			⁸⁹ Zr		1.0	0.194	1.77E-01	1.27E+01	
废物转运位	转运车表面 30cm 处		⁶⁸ Ga		1.0	0.134	3.12E-02	1.09E+00	/
			¹⁷⁷ Lu		1.0	0.0048	2.78E-06	1.24E-05	
			¹⁶¹ Tb		1.0	0.0108	4.64E-34	1.85E-33	
			²¹² Pb		1.0	0.0392	2.68E-04	9.73E-05	
			⁸⁹ Zr		1.0	0.194	1.77E-01	6.34E-01	

*注：源库放射性同位素源活度按日最大操作量计；放射性废物库按日最大操作量 5%计；衰变间内仅为应急淋洗废水，源活度很小，忽略不计；由于 ⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器自带铅防护，因此不考虑发生器母体核素的辐射影响，主要考虑其淋洗子体的辐射影响，淋洗出来的 ⁶⁸Ga 在 10mmPb 铅罐内。

表 11-6 辐射工作区域关注点总剂量率估算结果

关注点位		屏蔽材料及厚度	核素	源活度 A (Bq)	韧致辐射剂量率 (μSv/h)	γ射线剂量率 (μSv/h)	总剂量率 (μSv/h)	小计 (μSv/h)	
1#源库	西侧墙外 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		3.37E-06	1.89E-02	1.89E-02	1.24E+00	
			¹⁶¹ Tb		4.10E-06	1.36E-15	4.10E-06		
			²¹² Pb		7.28E-07	1.09E-02	1.09E-02		
			⁸⁹ Zr		/	1.21E+00	1.21E+00		
	南侧墙外 30cm 处			¹⁷⁷ Lu		1.00E-06	5.64E-03	5.64E-03	3.69E-01
				¹⁶¹ Tb		1.22E-06	4.03E-16	1.22E-06	
				²¹² Pb		2.16E-07	3.25E-03	3.25E-03	
				⁸⁹ Zr		/	3.60E-01	3.60E-01	
	东侧墙外 30cm 处			¹⁷⁷ Lu		3.37E-06	1.89E-02	1.89E-02	1.24E+00
				¹⁶¹ Tb		4.10E-06	1.36E-15	4.10E-06	
				²¹² Pb		7.28E-07	1.09E-02	1.09E-02	
				⁸⁹ Zr		/	1.21E+00	1.21E+00	
	北侧防护门外 30cm 处			¹⁷⁷ Lu		9.83E-09	6.59E-04	6.59E-04	1.31E+00
				¹⁶¹ Tb		2.38E-08	3.56E-26	2.38E-08	
				²¹² Pb		4.47E-08	2.08E-03	2.08E-03	
				⁸⁹ Zr		/	1.31E+00	1.31E+00	
地下停车场距地面 170cm 处			¹⁷⁷ Lu		7.38E-08	5.67E-04	5.67E-04	6.02E-02	
			¹⁶¹ Tb		9.48E-08	4.11E-18	9.48E-08		
			²¹² Pb		1.92E-08	3.49E-04	3.49E-04		
			⁸⁹ Zr		/	5.93E-02	5.93E-02		
2#放射性废物库	西侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga		/	4.49E-01	4.49E-01	6.34E-01	
			¹⁷⁷ Lu		1.30E-07	3.30E-05	3.31E-05		
			¹⁶¹ Tb		1.58E-07	1.78E-27	1.58E-07		
			²¹² Pb		2.81E-08	1.04E-04	1.04E-04		
	南侧墙外 30cm 处			⁸⁹ Zr		/	1.85E-01	1.85E-01	1.63E-02
			⁶⁸ Ga		/	1.58E-02	1.58E-02	1.63E-02	

		¹⁷⁷ Lu		4.26E-07	7.89E-11	4.26E-07		
		¹⁶¹ Tb		5.18E-07	9.55E-53	5.18E-07		
		²¹² Pb		9.19E-08	4.68E-09	9.66E-08		
		⁸⁹ Zr		/	5.23E-04	5.23E-04		
	东侧墙外 30cm 处	⁶⁸ Ga		/	4.31E-03	4.31E-03	4.53E-01	
		¹⁷⁷ Lu		4.26E-07	4.49E-01	4.49E-01		
		¹⁶¹ Tb		5.18E-07	3.30E-05	3.35E-05		
		²¹² Pb		9.19E-08	1.78E-27	9.19E-08		
	北侧防护门外 30cm 处	⁸⁹ Zr		/	1.04E-04	1.04E-04	2.01E-01	
		⁶⁸ Ga		/	1.85E-01	1.85E-01		
		¹⁷⁷ Lu		1.27E-09	1.58E-02	1.58E-02		
		¹⁶¹ Tb		3.08E-09	7.89E-11	3.16E-09		
	地下停车场距地面 170cm 处	²¹² Pb		5.80E-09	9.55E-53	5.80E-09	4.54E-01	
		⁸⁹ Zr		/	4.68E-09	4.68E-09		
		⁶⁸ Ga		/	5.23E-04	5.23E-04		
		¹⁷⁷ Lu		2.86E-08	4.31E-03	4.31E-03		
3# SPECT/PET/CT 间	东侧墙外 30cm 处	¹⁶¹ Tb		3.67E-08	4.49E-01	4.49E-01	1.01E-01	
		²¹² Pb		7.44E-09	3.30E-05	3.30E-05		
		⁸⁹ Zr		/	1.78E-27	1.78E-27		
		⁶⁸ Ga		/	2.68E-02	2.68E-02		
	北侧墙外 30cm 处	¹⁷⁷ Lu		/	3.64E-04	3.64E-04	2.01E-02	
		¹⁶¹ Tb		/	1.56E-05	1.56E-05		
		²¹² Pb		/	6.25E-04	6.25E-04		
		⁸⁹ Zr		/	7.29E-02	7.29E-02		
	西侧防护门外 30cm 处	⁶⁸ Ga		/	4.31E-03	4.31E-03	2.36E-01	
		¹⁷⁷ Lu		/	8.87E-06	8.87E-06		
		¹⁶¹ Tb		/	1.56E-15	1.56E-15		
		²¹² Pb		/	3.02E-05	3.02E-05		
			⁸⁹ Zr		/	1.57E-02	1.57E-02	
			⁶⁸ Ga		/	6.05E-02	6.05E-02	
			¹⁷⁷ Lu		/	2.81E-05	2.81E-05	
			¹⁶¹ Tb		/	9.06E-16	9.06E-16	
		²¹² Pb		/	2.64E-04	2.64E-04		
		⁸⁹ Zr		/	1.75E-01	1.75E-01		

	西侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga	/	4.31E-03	4.31E-03	2.01E-02
			¹⁷⁷ Lu	/	8.87E-06	8.87E-06	
			¹⁶¹ Tb	/	1.56E-15	1.56E-15	
			²¹² Pb	/	3.02E-05	3.02E-05	
			⁸⁹ Zr	/	1.57E-02	1.57E-02	
	南侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga	/	4.31E-03	4.31E-03	2.01E-02
			¹⁷⁷ Lu	/	8.87E-06	8.87E-06	
			¹⁶¹ Tb	/	1.56E-15	1.56E-15	
			²¹² Pb	/	3.02E-05	3.02E-05	
			⁸⁹ Zr	/	1.57E-02	1.57E-02	
	地下停车场距地面 170cm 处		⁶⁸ Ga	/	4.49E-03	4.49E-03	2.14E-02
			¹⁷⁷ Lu	/	5.11E-05	5.11E-05	
			¹⁶¹ Tb	/	2.22E-07	2.22E-07	
			²¹² Pb	/	9.37E-05	9.37E-05	
			⁸⁹ Zr	/	1.68E-02	1.68E-02	
4#放射性小鼠 饲养间 2	通风橱外 30cm 操作位		⁶⁸ Ga	/	8.60E-01	8.60E-01	2.79E+00
			¹⁷⁷ Lu	1.31E-08	1.86E-04	1.86E-04	
			¹⁶¹ Tb	5.31E-08	9.00E-21	5.31E-08	
			²¹² Pb	1.32E-06	2.90E-02	2.90E-02	
			⁸⁹ Zr	/	1.90E+00	1.90E+00	
	西侧防护门外 30cm 处		⁶⁸ Ga	/	3.68E-02	3.68E-02	1.88E-01
			¹⁷⁷ Lu	/	2.65E-06	2.65E-06	
			¹⁶¹ Tb	/	2.38E-22	2.38E-22	
			²¹² Pb	/	6.21E-05	6.21E-05	
			⁸⁹ Zr	/	1.51E-01	1.51E-01	
	北侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga	/	1.85E-01	1.85E-01	8.98E-01
			¹⁷⁷ Lu	/	3.89E-04	3.89E-04	
			¹⁶¹ Tb	/	4.62E-11	4.62E-11	
			²¹² Pb	/	1.66E-03	1.66E-03	
			⁸⁹ Zr	/	7.11E-01	7.11E-01	
	东侧墙外 30cm 处		⁶⁸ Ga	/	1.08E-02	1.08E-02	5.23E-02
			¹⁷⁷ Lu	/	2.26E-05	2.26E-05	
			¹⁶¹ Tb	/	2.69E-12	2.69E-12	
			²¹² Pb	/	9.70E-05	9.70E-05	

	南侧墙外 30cm 处		⁸⁹ Zr	/	4.14E-02	4.14E-02	8.98E-01
			⁶⁸ Ga	/	1.85E-01	1.85E-01	
			¹⁷⁷ Lu	/	3.89E-04	3.89E-04	
			¹⁶¹ Tb	/	4.62E-11	4.62E-11	
			²¹² Pb	/	1.66E-03	1.66E-03	
	地下停车场距地面 170cm 处		⁸⁹ Zr	/	7.11E-01	7.11E-01	1.41E-02
			⁶⁸ Ga	/	2.25E-03	2.25E-03	
			¹⁷⁷ Lu	/	3.96E-06	3.96E-06	
			¹⁶¹ Tb	/	4.77E-14	4.77E-14	
			²¹² Pb	/	1.81E-05	1.81E-05	
5#放射性小鼠 饲养间 1	西侧防护门外 30cm 处		⁸⁹ Zr	/	1.19E-02	1.19E-02	1.88E-01
			⁶⁸ Ga	/	3.68E-02	3.68E-02	
			¹⁷⁷ Lu	/	2.65E-06	2.65E-06	
			¹⁶¹ Tb	/	2.38E-22	2.38E-22	
			²¹² Pb	/	6.21E-05	6.21E-05	
	北侧墙外 30cm 处		⁸⁹ Zr	/	1.51E-01	1.51E-01	8.98E-01
			⁶⁸ Ga	/	1.85E-01	1.85E-01	
			¹⁷⁷ Lu	/	3.89E-04	3.89E-04	
			¹⁶¹ Tb	/	4.62E-11	4.62E-11	
			²¹² Pb	/	1.66E-03	1.66E-03	
	东侧墙外 30cm 处		⁸⁹ Zr	/	7.11E-01	7.11E-01	5.23E-02
			⁶⁸ Ga	/	1.08E-02	1.08E-02	
			¹⁷⁷ Lu	/	2.26E-05	2.26E-05	
			¹⁶¹ Tb	/	2.69E-12	2.69E-12	
			²¹² Pb	/	9.70E-05	9.70E-05	
	南侧墙外 30cm 处		⁸⁹ Zr	/	4.14E-02	4.14E-02	8.98E-01
			⁶⁸ Ga	/	1.85E-01	1.85E-01	
			¹⁷⁷ Lu	/	3.89E-04	3.89E-04	
			¹⁶¹ Tb	/	4.62E-11	4.62E-11	
			²¹² Pb	/	1.66E-03	1.66E-03	
地下停车场距地面 170cm 处		⁸⁹ Zr	/	7.11E-01	7.11E-01	1.41E-02	
		⁶⁸ Ga	/	2.25E-03	2.25E-03		
		¹⁶¹ Tb	/	4.77E-14	4.77E-14		

			²¹² Pb		/	1.81E-05	1.81E-05	
			⁸⁹ Zr		/	1.19E-02	1.19E-02	
6#标记室	热室外 30cm 操作位		⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器		/	4.18E-02	4.18E-02	/
			⁶⁸ Ga		/	2.35E-01	2.35E-01	
			¹⁷⁷ Lu		1.12E-23	8.86E-13	8.86E-13	
			¹⁶¹ Tb		9.74E-22	4.78E-85	9.74E-22	
			²¹² Pb		2.54E-16	1.04E-08	1.04E-08	
			⁸⁹ Zr		/	2.20E+00	2.20E+00	
7#细胞操作间	通风橱外 30cm 操作位		⁸⁹ Zr		1.17E-07	3.52E-04	3.52E-04	/
8#解剖室	通风橱外 30cm 操作位		⁶⁸ Ga		/	3.50E-01	3.50E-01	/
			¹⁷⁷ Lu		/	2.40E-04	2.40E-04	
			¹⁶¹ Tb		/	4.18E-15	4.18E-15	
			²¹² Pb		/	4.06E-03	4.06E-03	
			⁸⁹ Zr		/	1.35E+00	1.35E+00	
9#精密仪器室	通风橱外 30cm 操作位		⁶⁸ Ga		/	4.30E-01	4.30E-01	/
			¹⁷⁷ Lu		1.32E-10	8.86E-06	8.86E-06	
			¹⁶¹ Tb		7.99E-10	1.20E-27	7.99E-10	
			²¹² Pb		6.01E-08	2.80E-03	2.80E-03	
			⁸⁹ Zr		/	8.80E-01	8.80E-01	
原料转运位	转运车表面 30cm 处		¹⁷⁷ Lu		1.77E-04	5.32E-01	5.32E-01	/
			¹⁶¹ Tb		1.94E-04	3.71E-12	1.94E-04	
			²¹² Pb		2.62E-05	2.70E-01	2.70E-01	
			⁸⁹ Zr		/	1.27E+01	1.27E+01	
废物转运位	转运车表面 30cm 处		⁶⁸ Ga		/	1.09E+00	1.09E+00	/
			¹⁷⁷ Lu		8.86E-06	1.24E-05	2.13E-05	
			¹⁶¹ Tb		9.69E-06	1.85E-33	9.69E-06	
			²¹² Pb		1.31E-06	9.73E-05	9.86E-05	
			⁸⁹ Zr		/	6.34E-01	6.34E-01	

从叠加核算结果来看， γ 射线为各关注点位辐射剂量率的主要贡献因子；韧致辐射因产额较低，且经屏蔽后衰减显著，仅在少数近距离操作点位存在微量贡献，多数区域其剂量率远低于 γ 射线，对总剂量率的影响可忽略不计；对于无 β 衰变的核素，仅考虑 γ 射线的剂量贡献。

各关注点位叠加后的总剂量率均处于较低水平：SPECT/PET/CT间、热室、源库、废物库等核心区域总剂量率满足相关辐射防护要求，地下停车场等公共活动区域总剂量率接近天然本底水平；13#原料转运位、14#废物转运位经铅罐/铅桶、铅转运车屏蔽后，叠加总剂量率远低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制目标。

综上，本项目各区域 γ 射线与韧致辐射叠加后的总剂量率可控，叠加效应未造成辐射水平显著升高，现有屏蔽措施可有效衰减两类辐射，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规范要求，对工作人员及周边公众的辐射影响处于可接受范围。

（4）X射线影响分析

本项目拟使用一台 SPECT/PET/CT 用于小鼠显像，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响。

①预测模式

A.屏蔽透射因子预测公式

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录C中C.1.2，对给定的铅厚度，不同管电压X射线辐射在屏蔽材料中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值见表C.2~表C.3，按下式计算屏蔽透射因子：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$

式中：B：不同屏蔽材料的屏蔽透射因子；

α 、 β 、 γ ：不同屏蔽材料对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X：屏蔽材料厚度。

本项目 SPECT/PET/CT 最大管电压为 80kV，GBZ 130-2020 附录 C 未直接给出 80kV 的屏蔽拟合参数，本次计算采用 70kV 与 90kV 参数线性插值法获取 80kV 的 α 、 β 、 γ 拟合参数，计算结果偏安全，符合辐射防护最优化原则，屏蔽透射因子计算如表 11-7 所示。

表 11-7 屏蔽透射因子计算表

位置	关注点	屏蔽材料	α	β	γ	B
3#SPECT/PET/CT 间	东侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	0.046575	0.14165	0.42685	2.81E-04
			0.556	3.3555	0.6291	
T 间	北侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	0.046575	0.14165	0.42685	2.81E-04
			0.556	3.3555	0.6291	

	西侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	0.046575	0.14165	0.42685	2.81E-04
			0.556	3.3555	0.6291	
	西侧防护门外 30cm 处	10mm 铅屏蔽门	4.218	21.16	0.68035	3.44E-20
	南侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	0.046575	0.14165	0.42685	2.81E-04
			0.556	3.3555	0.6291	

B. 泄漏辐射剂量估算

在给定屏蔽物质厚度 X 时，屏蔽体外关注点的泄漏辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式 11-2 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2}$$

式中： \dot{H} ——关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

B——屏蔽透射因子；

R——距辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L ——根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》P23 页：“（77）用于诊断目的的每一个 X 线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1 米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h ”，故本项目保守取值为 $1000\mu\text{Gy/h}$ 。

C. 计算结果

关注点的辐射剂量率估算结果见表 11-8

表 11-8 SPECT/PET/CT 间屏蔽体外关注点辐射剂量率估算结果

位置	关注点	屏蔽材料	距离 (m)	H_L ($\mu\text{Gy/h}$)	B	辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
3#SPECT/PET/CT 间	东侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	2.6	1000	2.81E-04	4.16E-02
	北侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	2.6	1000	2.81E-04	4.16E-02
	西侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	2.6	1000	2.81E-04	4.16E-02
	西侧防护门外 30cm 处	10mm 铅屏蔽门	3.2	1000	3.44E-20	3.36E-18
	南侧墙外 30cm 处	200mm 混凝土实心砖 +50mm 彩钢板	2.6	1000	2.81E-04	4.16E-02

由上表计算结果可知，SPECT/PET/CT 运行时，CT 所致的附加剂量率最大值为 $0.0416\mu\text{Sv/h}$ ，与表 11-6 SPECT/PET/CT 间外关注点辐射剂量率估算结果叠加后，SPECT/PET/CT 间外的剂量率仍满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

11.2.1.3 个人剂量估算

(1) 年有效剂量估算公式

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff} = D_r \cdot t \cdot T \cdot U \dots \dots \dots \text{式 (11-4)}$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子，保守取1；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取1。

(2) 辐射工作人员工作负荷

辐射工作人员工作负荷见表11-9。

表 11-9 辐射工作人员定员及工作负荷表

工作人员	工作内容	日操作时间	年工作天数	年操作时间	岗位人数
放射性标记人员	原料转运	15min	50~300d	12.5~75h	
	放射性标记	8h	50~300d	400~2400h	
	废物转运	5min	50~300d	4.2~25h	
质控分析人员	质控分析实验	8h	50~300d	400~2400h	
细胞实验人员	细胞亲和力检测实验	4h	50d	200h	
动物实验人员	小鼠给药	12~72min	30~80d	6~96h	
	动物成像实验	4h	40~80d	160~320h	
	生物分布实验	4h	40~80d	160~320h	
	药效实验	4h	30~100d	120~400h	

(3) 年有效剂量估算

①职业人员

辐射工作人员年有效剂量计算见表11-10。

表 11-10 本项目职业工作人员有效剂量

关注对象或操作环节		参考点位	核素	最大剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年操作 时间 (h)	居留 因子	人员年有 效剂量 (mSv/a)
放射性 标记人 员	原料转 运	原料转运位	^{177}Lu	5.32E-01	75	1	1.74
			^{161}Tb	1.94E-04	50		
			^{212}Pb	2.70E-01	12.5		
			^{89}Zr	1.27E+01	12.5		
	放射性 标记	6#标记室 热室外 30cm 操作位	^{68}Ga	2.35E-01	2400		
			^{177}Lu	8.86E-13	2400		
			^{161}Tb	9.74E-22	1600		
			^{212}Pb	1.04E-08	400		
			^{89}Zr	2.20E+00	400		
			^{68}Ga	1.09E+00	75		
废物转	废物转运位	^{68}Ga	1.09E+00	75			

	运		¹⁷⁷ Lu	2.13E-05	75		
			¹⁶¹ Tb	9.69E-06	50		
			²¹² Pb	9.86E-05	12.5		
			⁸⁹ Zr	6.34E-01	12.5		
质控分析人员	质控分析实验	9#精密仪器室 通风橱外 30cm 操作位	⁶⁸ Ga	4.30E-01	2400	1.39	
			¹⁷⁷ Lu	8.86E-06	2400		
			¹⁶¹ Tb	7.99E-10	1600		
			²¹² Pb	2.80E-03	400		
			⁸⁹ Zr	8.80E-01	400		
细胞实验人员	细胞亲和力检测实验	7#细胞操作间 通风橱外 30cm 操作位	¹⁷⁷ Lu	3.52E-04	400	1.41E-04	
动物实验人员	小鼠给药	4#放射性小鼠饲养间 2 通风橱外 30cm 操作位	⁶⁸ Ga	8.60E-01	35	0.18	
			¹⁷⁷ Lu	1.86E-04	78		
			¹⁶¹ Tb	5.31E-08	19.5		
			²¹² Pb	2.90E-02	10.5		
			⁸⁹ Zr	1.90E+00	10.5		
	动物成像实验	3# SPECT/PET/CT 间西侧 墙外 30cm 处	⁶⁸ Ga	4.31E-03	280		
			¹⁷⁷ Lu	8.87E-06	240		
			¹⁶¹ Tb	1.56E-15	80		
			²¹² Pb	3.02E-05	20		
			⁸⁹ Zr	1.57E-02	40		
	生物分布实验	8#解剖室通风橱外 30cm 操作位	⁶⁸ Ga	3.50E-01	280		
			¹⁷⁷ Lu	2.40E-04	240		
			¹⁶¹ Tb	4.18E-15	20		
			²¹² Pb	4.06E-03	20		
			⁸⁹ Zr	1.35E+00	20		
	药效实验	4#放射性小鼠饲养间 2 通风橱外 30cm 操作位	¹⁷⁷ Lu	1.86E-04	80		
¹⁶¹ Tb			5.31E-08	40			
²¹² Pb			2.90E-02	20			

由表11-8可知，本项目职业人员最大受照剂量为1.74mSv/a，满足本项目5mSv/a 剂量约束限值要求。在后期实际过程，建设单位需根据实际情况进行人员工作调整和调配，同时在必要条件下新增辐射工作人员进行轮换工作，以达到受照剂量最优化及尽可能小的原则，确保职业人员年受照剂量不超过5mSv/a 剂量约束值。

②公众人员

公众人员年有效剂量计算见表11-11。

表 11-11 本项目公众人员有效剂量

环境保护目标	最近关注点	最近关注点 辐射剂量率 (μ Sv/h)	距最近关 注点距离 (m)	年照射时 间	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
建设单位非辐射工作人员	7#	3.52E-04	4.5	2400	1	1.50E-05
地下一层停车场	4#	1.37E-01	3.3	2400	1/16	1.89E-03
1#厂房西部区域	7#	1.76E+00	8.5	2400	1	2.10E-02
2#厂房	1#	3.69E-01	34	2400	1	3.71E-03
内部道路公众	5#	1.66E+00	12	2400	1/16	2.49E-03
规划工业用地	5#	1.66E+00	27	2400	1/16	1.67E-04

由表11-9可知，本项目后公众外照射所致最大年有效剂量为0.02mSv/a，满足本项目0.1mSv/a 剂量约束限值要求。

11.2.2 放射性“三废”影响分析

11.2.2.1 放射性废水影响分析

本项目营运期放射性废水仅为淋洗废水，产生量极小，按单次50L、年最大应急2次核算，年最大废水量仅100L，远小于项目地下一层衰变罐总有效容积6m³，衰变罐可满足约20年的废水收集需求，无暂存溢出风险。

放射性废水经专用屏蔽管道收集后送入不锈钢衰变罐暂存衰变，管道采用耐腐蚀防辐射材质并做2mm 铅皮屏蔽，衰变罐配备液位、压力监测装置，全程密闭无泄漏，不会对厂区土壤、地下水造成辐射污染。应急淋洗废水经足够时间衰变后，委托有资质单位检测，活度浓度满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 限值要求，经生态环境主管部门确认后，通过专用管道排入市政污水管网，经海盐县城乡污水处理厂进一步处理后排放至杭州湾。

项目拟建立严格的废水管理台账，衰变后废水需经检测达标并经监管部门核准后方可排放，全过程可追溯、可管控。综上，本项目放射性废水经“专用收集+衰变处理+达标排放”后，对周边水环境、土壤环境及生态系统的辐射影响极小，可满足相关标准要求。

11.2.2.2 放射性废气影响分析

本项目放射性废气为各工艺环节产生的含⁶⁸Ga、¹⁷⁷Lu、¹⁶¹Tb 等核素的气溶胶，均通过局部密闭收集（热室、通风橱等）进入专用排风管线，无组织逸散量极低。每支排风管线风机前端均设置“中效+高效过滤器+活性炭吸附”装置，最大设计风量8520m³/h，单个通风橱最大排风量1800m³/h，可高效截留废气中的放射性气溶胶颗粒，过滤后的废气经高空排放，气溶胶去除效率满足放射性废气治理相关要求。

项目拟制定完善的过滤器运维管理制度，通过管道压差计实时监测过滤效果，结合温湿度变化及厂家要求确定更换周期，每半年校核过滤效率，更换的废滤材作为放射性固废规范处置，确保废气处理系统长期稳定运行。经处理后的放射性废气，气溶胶活度浓度大幅降低，高空排放后经大气扩散、稀释，对项目周边大气环境的辐射剂量贡献极低，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的公众剂量限值，对周边居民及生态环境的辐射影响可忽略不计。

11.2.2.3 放射性固废影响分析

本项目放射性固废包括一次性污染耗材、废 C18小柱、小鼠尸体、废滤材等，均遵循“源头分类、密闭收集、专桶暂存、衰变减容、解控处置”原则管控，无随意丢弃、混排现象。一般性放射性固废采用 $\geq 2\text{mm}$ 不锈钢密闭桶收集，生物性固废（小鼠尸体/器官）用专用生物安全密封桶收集并转入废物库低温冰箱暂存，所有收集容器设辐射+生物双重警示标识，由专人通过铅屏蔽转运车密闭转移至放射性废物库，转运过程无辐射泄漏风险。

放射性废物库具备完善的辐射防护条件，短半衰期核素（ ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 等）经自然衰变后，委托有资质单位检测，达标后按普通危废/医疗废物处置。项目建立了固废全流程管理台账，落实废物库门禁、实时辐射监测措施，对生物固废实行低温暂存专项管理，确保辐射安全与生物安全双重可控。

本项目放射性固废从收集、转运、贮存到处置各环节均规范管控，无外排污染，衰变及处置过程不会对厂区及周边土壤、地下水、大气造成辐射污染，对周边环境及人群的辐射影响极小，符合放射性固体废物管理相关标准要求。

11.2.3 非放射性“三废”影响分析

11.2.3.1 废水影响分析

本项目非放射性废水包括浓水、实验器具清洗水、地面清洗废水、笼具清洗水、职工生活污水等，其中生活污水先排入浙江景融核科技有限公司现有化粪池预处理，其余生产类非放射性废水经收集后一并汇入市政污水管网。所有废水最终输送至海盐县城乡污水处理厂处理，出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）相关要求，达标后排入杭州湾。

项目实验过程产生的非放射性废液未随废水外排，全部作为危险废物收集并委托有资质单位无害化处置，避免了有毒有害污染物进入水环境。

11.2.3.2 废气影响分析

本项目非放射性废气为实验室有机废气（非甲烷总烃）及动物饲养区氨类恶臭气体，废气经通风柜、集气装置等密闭收集，收集效率高，无组织排放得到有效控制，收集后经排风管道送至屋顶，采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理。其中，过滤工艺可去除废气中的颗粒物，活性炭吸附可高效吸附非甲烷总烃、氨等污染物，处理后的废气通过高空排气筒达标排放。

经上述工艺处理后，有机废气排放浓度满足《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）要求，氨等恶臭气体排放浓度、厂界浓度满足《恶臭污染物排放标准》（GB

14554-93) 相关要求。高空排放方式增大了废气扩散范围,有效降低了项目周边区域的污染物落地浓度,厂界及敏感点处的非甲烷总烃、氨浓度均远低于标准限值,无明显异味,对周边大气环境质量及人群生活环境无不利影响。

11.2.3.3 固废影响分析

本项目非放射性固废按一般工业固废、危险废物、生活垃圾分类收集、规范处置,实现固废减量化、无害化、资源化,无固废外排污染。

一般工业固废:项目不单独设置一般工业固废库,产生的废反渗透膜、一般废包装材料等一般工业固废经分类收集后,委托厂区统一清运至合规的一般固废收集点,由厂区统筹处置。

危险废物:实验废液、污染废包装材料、废实验耗材、废活性炭等,采用专用危废收集桶分类收集、贴标记录,暂存于符合《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)的地下一层危险废物库,定期委托有资质单位安全处置,危废收集、暂存、转运全过程密闭,无泄漏、无流失,不会对土壤、地下水造成污染;

生活垃圾:由厂区统一收集后交由环卫部门清运,符合城市生活垃圾处置管理要求,无随意堆放现象。

项目对各类固废均建立了完善的收集、暂存、处置管理制度,固废暂存区域做防渗、防扬散处理,危险废物转移执行五联单制度,全过程可追溯。

综上,本项目非放射性固废经分类处置后,对厂区及周边土壤、地下水、大气环境无不利影响,固废处置方式符合国家及地方相关标准要求。

11.2.4 噪声影响分析

本项目营运期噪声主要来源于冻干机、离心机风机等设备,设备运行噪声值为60~75dB(A),均为中低频噪声,项目通过设备降噪、布局降噪、管理降噪等措施进行噪声治理,降噪效果显著。

首先,选用低噪声型设备,对离心机、冻干机等高噪声设备加装减振垫、消声器,有效降低设备振动噪声和空气动力性噪声,从源头减少噪声产生;其次,将所有高噪声设备集中布置于设备间/仪器室,与操作区、办公区物理分隔,利用墙体、楼板的隔声作用,阻断噪声传播;最后,合理安排设备运行时间,避免多台高噪声设备同时运行,降低噪声叠加效应,并定期对设备进行维护保养,防止设备故障产生异常噪声。

经上述降噪措施处理后,设备噪声经墙体隔声、距离衰减后,厂界噪声值可满足《工业

企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准要求，项目周边无噪声敏感点，设备运行噪声对厂区工作人员及周边声环境无明显不利影响，不会改变周边声环境功能类别。

11.2.5 辐射事故影响分析

11.2.5.1 事故风险因素

本项目主要风险物质为放射性核素和实验中使用的危险化学品。由于用量不大，暂存量很小，不构成重大风险源。主要风险事故类型如下。

（1）由于操作不慎，有少量的液态危险化学品溅洒。

（2）由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物洒漏，造成意外照射和辐射污染。

（3）由于未锁好工作场所进出口的大门或放射性核素保管工作不到位致使放射性核素丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

（4）给药后实验动物管理不当，跑出动物实验室后对周边无关人员造成误照射和对周围环境造成辐射污染。

11.2.5.2 事故防范措施

（1）制定和完善放射性核素安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性核素管理；放射性核素成品和放射性废物的出入库都由专人进行登记，设立使用台账。做好日常检查，防止放射性核素被盗、丢失。

（2）工作人员进行岗前培训合格后方可上岗，工作人员须熟练掌握操作技能和熟悉辐射防护基本知识。制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。此外，针对液态危险化学品操作，明确在通风柜内进行，佩戴耐酸碱手套、防护眼镜，实验台设置防泄漏托盘，配备泄漏应急包，一旦发生少量溅洒，立即停止操作并按规范处置。

（3）一旦出现热室等核素生产设备控制系统出现故障，工作人员应立即切断电源、关闭热室区域，尽快联系厂家专业人员维修。项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械事故造成辐射污染，严禁超期使用。

（4）辐射工作人员做好个人防护，工作人员进入监督区必须穿戴工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，同时应佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。在近距离操作放射性核素时根据具体情况穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。公司有专人负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

(5) 辐射工作场所配备防护面罩、吸水滤纸、纱布、酒精、抹布、铅容器等应急物资。

(6) 事故废水应急收集与处置措施

①应急收集能力配置：标记热室、理化通风橱、动物饲养间、放射性操作台面底部全部设置一体式防泄漏托盘，所有涉核操作区域地面做防渗环氧地坪，工作区门口设置截流围挡；厂区配套专用放射性事故应急收集桶，单桶有效容积50L，共设置4个，总应急收集容积200L，可完全容纳单次最大放射性药液、危险化学品大面积洒漏产生的污染废水，具备充足事故废水收容能力，杜绝污染废水外流至普通排水管网。

②事故废水收集流程：若发生放射性药液、含化学品废液大面积洒漏，操作人员立即隔离涉污区域，使用吸水滤纸、纱布吸附液态污染物，所有吸附耗材、冲洗污染地面产生的清洗废水全部转入专用放射性应急收集桶，严禁直接排入实验室常规下水管道。

③续处置要求：收集后的事故污染废水单独密闭存放于放射性废液衰变暂存库，分区标识、建立台账；根据核素半衰期分类衰变贮存，衰变达标后，按放射性废液管理规范委托有资质单位收运处置；若为不含放射性的危险化学品溅洒废水，单独收集后作为危险废液交由危废处置单位处置。

④配套防控：定期检查防渗地坪、泄漏托盘有无破损，应急收集桶、吸附耗材定期补充，每年组织含废液泄漏、废水收集处置内容的辐射应急演练，确保操作人员熟练掌握事故废水收容、转运流程。

11.2.5.3 辐射工作场所应急措施

(1) 当发生放射性核素丢失事故时，事故发现者应立即报告辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》；协助公安、生态环境和卫生主管部门对丢失放射性核素进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

(2) 由于操作不慎，导致核素泄漏，货包破损等情况，当事人应立即通知应急办公室，通知时应说明放射性核素、活度、污染范围描述、货包破损情况等基本信息，并做好现场隔离与保护措施；若遇有燃烧、爆炸或可能危及放射性货包的事件时，应迅速将货包移至安全位置并设专人看管。由监测人员使用合适的仪表测量辐射水平及污染状况，确定人员的可达性；确定去污方案，准备去污物资，监测人员划定污染范围，指导去污人员进行去污。监测现场情况，污染程度、面积大小、现场辐射水平等，如果现场剂量率气溶胶浓度较高时，应

关闭通风系统以及门窗以防治污染扩散至室外污染环境，待衰变至人员可达时，根据现场实际情况制定去污方案；当人员可达时，应迅速用吸水纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，然后用棉签等擦拭，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区，并用表面污染监测仪测量污染区，如果工作场所控制区的 α 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ （极毒性 α 放射性物质）、 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ （其他 α 放射性物质）以及 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时继续用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染满足标准要求。擦拭物收集至放射性固体废物桶中，作为放射性固体废物进行处理。最后工作人员撤离现场，工作人员按照9.2章节辐射工作人员人流路径规划离开工作场所。

（3）因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸水纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，可先用高锰酸钾的饱和溶液洗涤，再用酸性亚硫酸钠进行洗涤。

（4）放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间；现场经监测满足解控要求后再解除警戒。

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

11.2.5 环境风险影响分析

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危险、有害因素，建设项目建设和运行期间可能发生的突发性事件或事故（一般不包括人为破坏及自然灾害），引起有毒有害和易燃易爆等物质泄漏，所造成的人身安全与环境的影响程度，提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使建设项目事故率、损失和环境影响达到可接受水平。

项目为药物研发，原辅料相对于工业生产用量较少，主要为易燃易爆化学试剂等，不构成重大风险源，经对照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018），重点关注的危险物质为乙腈、甲醇和危险废物等，因此本章主要对其可能产生的环境污染风险，以及在储存和使用过程中可能存在的对环境及人体健康的危害进行分析，并提出防范措施。

11.2.5.1 危险物质数量及临界值比值

单元内存在的危险物质为多品种时，按下式计算，若满足下面公式， $Q>1$ 则划分为重大

危险源:

$$Q=q_1/Q_1+q_2/Q_2+\dots+q_n/Q_n$$

式中: q_1, q_2, \dots, q_n —每种危险物质最大存在量 (t);

Q_1, Q_2, \dots, Q_n —每种物质的临界量 (t)。

本项目涉及的危险品 Q 值计算结果详见下表。

表 11-12 企业危化品暂存量及分布情况

序号	存放单元	危险物质	最大贮存量 q (t)	临界量 Q (t)	q/Q
1	试剂间	冰醋酸	0.0005	10	0.00005
2	试剂间	甲醇	0.01582	10	0.002
3	试剂间	乙醇	0.000789	500	0.000002
4	试剂间	乙腈	0.00786	10	0.0008
5	试剂间	三氟乙酸	0.000372	10	0.00004
8	试剂间	磷酸	0.0005	10	0.00005
9	试剂间	氢氧化钠	0.0005	50	0.00001
10	试剂间	盐酸	0.002975	7.5	0.0004
11	危险废物库	危险废物	8.16	25	0.33
合计					0.33

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)附录 B, 经过鉴别, 本项目危险物质数量与临界量比值结果为: $\Sigma q/Q=0.33 < 1$, 当 $Q < 1$ 时, 该项目环境风险潜势为 I。根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018), 风险潜势为 I, 可开展简单分析。

11.2.5.2 环境风险识别

本项目涉及的危险单元主要为试剂间、危险废物库以及研发实验室, 环境危险单元可能引发的环境风险事故识别如下, 见下表 11-13。

表 11-13 建设项目环境风险识别表

序号	危险单元	主要危险物质	环境风险类型	环境影响途径	可能受影响的环境敏感目标
1	试剂间	冰醋酸	腐蚀性、刺激性	泄漏挥发、腐蚀	厂区人员、周边大气环境、水环境
2	试剂间	甲醇	易燃、有毒	泄漏挥发、火灾爆炸	
3	试剂间	乙醇	易燃	泄漏挥发、火灾爆炸	
4	试剂间	乙腈	易燃、有毒	泄漏挥发、火灾爆炸	
5	试剂间	三氟乙酸	强腐蚀性、有毒	泄漏挥发、腐蚀	
8	试剂间	磷酸	腐蚀性	泄漏腐蚀	
9	试剂间	氢氧化钠	强腐蚀性	泄漏腐蚀	
10	危险废物库	危险废物	危险废物	火灾爆炸	

(1) 有机物泄漏

本项目中由于有机物容器、接头密闭不严或人为破坏、操作失误, 发生有机物泄漏, 会对大气造成污染。一旦遇到明火、高温、雷电和静电放电等点火源, 极易引发火灾和爆炸。

(2) 火灾爆炸

部分有机物在储存时，可能产生轻组分挥发，其密度比空气重的部分，容易滞留在地表、水沟、下水道及凹坑等低处，并且贴地面流向远处，与空气混合可形成爆炸性混合物，遇明火或高热易引起燃烧、爆炸等重大事故。

11.2.5.3 环境风险管理

(1) 化学品安全管理制度

建立公司化学品定期汇总登记制度，定期登记汇总的化学品种类和数量存档、备查并报当地环境保护行政主管部门。

(2) 实验室设计安全防范措施

①项目初步设计重点考虑储存、设备的安全可靠性。存储空间、设备设计中预留有足够的安全余量。

②对实验工艺过程隔离管理，加强密封性。操作台尽可能采用安装通风橱，做好作业人员防护措施。

③加强通风及设备维修，杜绝设备连接点的跑、冒、滴、漏。

④对部分危险实验设备、气体储存设施增设快速隔断装置，一旦出现异常，立即切断供材。保证供水和水压。

⑤建立一套完好的操作记录，建立实验设备运行台账，发现问题及时解决。

(3) 贮存过程中的安全防范措施

试剂设置专门的试剂仓库并定期检查，危废设置专门的暂存场所，针对危废类别选用合适的包装容器，危废暂存前需检查包装容器的完整性，严禁将危废暂存于破损的包装容器内，以免物料泄漏污染周围环境，同时对危废暂存区域进行定期检查，以便及时发现泄漏事故并进行处理。所有储运设施及设备、工艺管线等均设有防雷、防静电措施。危废仓库应设置收集槽或托盘，确保事故情况下的泄漏污染物、消防水可以收集。要严格遵守有关贮存的安全规定，具体包括《仓库防火安全管理规则》、《建筑设计防火规范》、《易燃易爆化学物品消防安全监督管理办法》等。

(2) 使用过程防范措施

生产过程事故风险防范是安全生产的核心，要严格采取措施加以防范，尽可能降低事故概率。项目生产和安全管理中要密切注意事故易发部位，必须要做好运行监督检查与维修保养，防祸于未然。

(3) 废气非正常排放的防范措施

应及时巡查废气处理设施的运行情况，保证处理效率。

(4) 应急预案

预防是防止事故发生的根本措施，但也应有应急措施，一旦发生事故，处置是否得当，关系到事故蔓延的范围和损失大小。本环评建议企业根据《企业事业单位突发环境事件应急预案管理办法（试行）》（环发[2015]4号）和《浙江省突发环境污染事故应急预案编制导则（2015）》的相关要求编制应急预案。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，本项目为使用乙级非密封放射性物质工作场所，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。

此次为建设单位首次开展核技术利用项目，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》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规，成立辐射安全与防护管理领导小组。管理领导小组职责应包括以下内容：

- （一）组织制定并落实辐射安全防护管理制度；
- （二）定期组织对放射工作场所、设备和人员进行放射防护检测、监测和检查；
- （三）组织本机构辐射工作人员接受专业技术，辐射防护知识及有关规定的培训和健康检查；
- （四）制定放射事故应急预案并组织演练；
- （五）记录本机构发生的放射事故并及时报告生态环境主管部门。

在日常管理过程中，若辐射安全与防护管理领导小组成员发生变动，建设单位应及时更新、调整管理机构的人员组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）个人剂量检测

建设单位拟为新增辐射工作人员配置个人剂量计和个人剂量报警仪。使用个人剂量报警仪可及时知道自身所处环境的辐射水平，避免在不知情的情况下长时间在高辐射剂量率水平的工作场所滞留。个人剂量计每三个月送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应当终生保存。

（2）辐射安全与防护培训考核

根据《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》、《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）要求，所有辐射工作人员必须通过生态环境部举办的辐射安全和防护专业知识培训及相关法律法规的培训和考核，尤其是新进的、转岗的人员，必

须到国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行报名和参加“科研、生产及其他”的培训考核并取得成绩单，经考核合格后方可上岗。上岗后每 5 年参加重新参加考核，考核不合格的，不得上岗。

(3) 职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应当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，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离工作岗位时，建设单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

建设单位拟组织新增辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，并建立个人健康档案。

12.1.3 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，本项目正式开展后，建设单位应当对其放射性同位素的辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.2 辐射安全管理规章制度

本项目为新建项目，建设单位已按照《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许可管理办法》要求，建立健全操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施，并具备放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力与可行处理方案。结合公司已制定《放射性废物管理规程》《放射性工作场所安全管理规程》《放射性去污操作规程》，对本项目辐射安全管理提出如下要求：

(1) 操作规程：针对项目使用放射性核素特性，明确各环节详细操作步骤与防护措施，重点如下：①严格按照规定流程操作，防止放射事故发生。②辐射工作人员必须佩戴个人剂量计与个人剂量报警仪，正确使用与穿戴个人防护用品。③强 γ 外照射操作，合理采用时间防护、距离防护、屏蔽防护，提高操作熟练度。④液体放射性药物分装、注射等操作，在铺有吸水纸的易去污台面内进行。⑤严禁裸手直接操作非密封放射性物质与去污作业；开放性工作场所严禁吸烟、进食、饮水、化妆。⑥放射性“三废”严格按 SMP-FA-006《放射性废物管理规程》执行。放射性操作在热室/通风橱内进行，操作前提前 30 分钟启动排风，确认负压与换气次数达标后方可操作；操作结束后继续通风 30 分钟再关闭系统。放

射性废物铅桶粘贴耐辐射专用标签，注明核素类型、产生日期、活度估算值、废物类别（固/液）。⑦执行清洁卫生制度，高活区清洁工具专用，不得跨区使用，防止污染扩散；发生污染时按 SOP-FA-001《放射性去污操作规程》处理。

（2）岗位职责：明确辐射管理人员、放射性同位素原料、放射性固废、放射性衰变池管理人员、放射性药物操作人员、放射性药物外销人员等的岗位责任，并落实到人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

（3）辐射防护和安全保卫制度：结合项目实际制定，重点如下：①放射性核素专人保管、专用场所存放，定期核查，确保账物相符。②定期检查环境辐射巡测仪、表面沾污仪、个人剂量报警仪、通风系统、屏蔽设施等，故障及时维修更换。③为辐射工作人员配备足量合格个人防护用品，作业时必须正确穿戴。④按规定开展个人剂量监测与职业健康检查，建立并长期保存个人剂量档案与健康档案。⑤放射性工作场所按《放射性工作场所安全管理规程》实行控制区、监督区分区管理，设置明显警示标识与区域边界，严格人员准入。

（4）放射性核素使用登记制度：建立所有购入核素及外销的使用登记台账，从购入到使用均有据可查，并有专人管理，确保正确无误，账物相符。

（5）设备检修维护制度：明确设备在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工作安全装置有效地运转。

（6）人员培训制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

（7）监测方案：辐射监测主要包括环境监测、场所监测以及个人剂量监测及相关记录档案等内容，以及外销放射性药物托运货包的自行监测。公司辐射环境监测方案应包括上述内容，并明确监测频次、监测项目、监测仪器和相关监测资料的归档等。

（8）事故应急措施：针对公司的核技术应用项目情况，对可能发生的辐射污染情况制定事故应急方案，该方案要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，能有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证上报渠道通畅。

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	应制定的制度		本项目情况
1	A 综合	辐射安全与防护管理大纲	拟制定
3	B 放射性物质	非密封放射性物质的管理规定	拟制定
4		物料平衡管理规定	拟制定
5	C 场所管理	场所分区管理规定	拟制定

6		操作规程	拟制定
7		安保管理规定	已制定
8		去污操作规程	已制定
9		安全与防护设施等维修与维护制度	拟制定
10	D 监测	监测方案	拟制定
11		监测仪表的使用和校验管理制度	拟制定
12	E 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	拟制定
13		辐射工作人员个人剂量管理制度	拟制定
14	F 应急	辐射事故/事件应急预案	拟制定
15	G 三废	放射性“三废”管理制度	已制定
16	I 贮存、运输和监测	暂存场所管理制度	拟制定
17		放射性货包监测制度	拟制定

公司应在项目运行前，按以上要求制定的符合项目实际情况的辐射安全管理制度，以满足本项目运行期的管理要求。并在项目建成后将《辐射安全与防护管理大纲》《场所分区管理规定》、《操作规程》和《辐射事故应急响应程序》及应急联系电话等制作标牌，悬挂于辐射工作场所。项目运行后，公司应根据规章制度内容认真组织实施，并根据国家发布的新的相关法规内容，结合公司的实际情况及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

12.3 辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作开非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测、流出物（废物）监测、环境监测。建设单位拟制定辐射环境监测方案并据此执行辐射监测工作及建立辐射环境监测档案，由专职辐射安全管理人员管理。

12.3.1 监测仪器

本项目拟配备的主要监测设备包括固定式辐射监测仪、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量计和个人剂量报警仪。具体见表 12-2。

表 12-2 拟配备监测仪器设备一览表

序号	设备及材料名称	数量
1	固定式辐射监测仪	9 个
2	环境辐射巡测仪	2 台
3	便携式表面沾污仪	2 台
4	个人剂量计	7 枚
5	个人剂量报警仪	7 台

12.3.2 工作场所监测

公司可委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向生态环境主管部门上报备案。

依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），项目在运行前及运营期间应按规范要求开展辐射监测，并将每次监测结果记录存档备查。

表 12-3 项目运行前监测计划

工作场所	监测对象	监测范围	监测项目	委托监测
辐射工作场所	γ辐射	以工作场所为中心，半径 50m 以内	γ辐射空气吸收剂量率	1 次
	土壤	以工作场所为中心，半径 50m 以内	总放	1 次

表 12-4 本项目运行期间辐射监测计划

工作场所	监测对象	监测范围	监测项目	自行监测	委托监测
辐射工作场所	γ辐射	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	γ辐射空气吸收剂量率	1 次/季	1 次/年
	表面污染	控制区内地面、墙面、工作台面、通风橱表面、铅废物桶表面、各类设备仪器表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	β表面污染	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
	土壤	以工作场所为中心，半径 50m 以内	总放	/	1 次/年
	废气	控制区各废气排放口	总放	2 次/年	1 次/年
	废水	衰变罐	衰变罐总α、总β，如总α>0.5Bq/L，总β>1.0Bq/L，应分析应用核素	/	如有应急废水产生处置前
	放射性固体废物	铅废物桶表面	γ辐射空气吸收剂量率和β表面污染	/	2 次/年
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	H _p (10)	/	1 次/季度

12.3.3 个人剂量监测

本项目辐射工作人员个人剂量监测采取累积式个人剂量计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。

个人剂量计用于对放射性工作人员的常规个人剂量监测建设单位为每名放射性工作人员配备了个人剂量计，进入辐射工作场所人员必须佩戴双剂量计（个人剂量计和个人剂量报警仪），委托有资质的单位监测，监测周期不超过三个月。发现个人剂量监测结果异常

的，应立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

个人剂量报警仪能够实时显示工作人员工作时的受照剂量和场所的剂量率水平，能够进行实时剂量预警。

建设单位安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终生保存。

此外，建设单位对放射工作人员进行健康体检，两次体检的时间间隔不超过 2 年。建立个人健康档案，档案中详细记录历次体检报告结果及其评价处理意见，并妥善长期保存。

12.4 非放射性环境要素监测

根据《排污单位自行监测技术指南总则》（HJ819-2017），本项目非放射性环境要素监测计划详见表 12-5。

表 12-5 非放射性环境要素监测计划表

序号	环境要素	监测点位	监测点位名称	监测因子	年监测频次
1	废气	有组织废气排放口、厂界四周	气排放口、厂界四周	有组织：非甲烷总烃、氨、甲醇、乙腈、氯化氢、硫化氢	2
				无组织：非甲烷总烃、臭气浓度、氨、硫化氢	2
2	废水	废水总排放口	废水排放口	pH 值、COD、BOD ₅ 、SS、NH ₃ -N、TP	1
3	噪声	厂界外 1m 处	厂界外 1m 处	等效连续 A 声级	1 次/季度

12.5 排污许可证管理和总量控制

根据《固定污染源排污许可分类管理名录》（2019 年版），本项目不属于名录中第 1 至 107 类行业的排污单位，也不属于名录第 109 至 112 类规定的锅炉、工业炉窑、表面处理、水处理等通用工序。综上所述，本项目无需纳入排污许可证管理。

根据《关于印发〈浙江省建设项目主要污染物总量准入审核办法（试行）〉的通知》（浙环发[2012]10 号），本项目为非工业项目，不需要进行总量削减替代。项目建议企业总量控制值为 COD 0.076t/a、NH₃-N 0.008t/a。

12.6 竣工环保验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机

构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.7 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，公司应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

12.7.1 辐射事故应急响应机构的设置

公司应在本项目建成运行前，成立辐射事故应急处理小组，由项目辐射安全相关负责人担任组长，负责辐射事故应急处置工作的组织、指挥和协调。辐射事故应急处理小组下设技术处置组、安全保卫组、后勤保障组和医疗救助及善后处置组等四个专业响应组，分别由相应部门人员组成：

技术处置组：负责辐射监测、确定污染范围、划定控制区域；相应防护装备（服装、器具等）预备。

安全保卫组：负责维护现场秩序、人员出入控制等。

后勤保障组：负责应急响应物资的准备，应急期间的通讯、交通、水电等的保障。

医疗救助与善后处置组：负责事故人员的初步救治、安抚；设施的恢复等善后工作；对事故的基本情况定性定量描述，对整个事故进行评估，进行工作总结。

12.7.2 辐射事故应急预案

为了应对辐射事故和突发事件，建设单位应按要求制定《辐射事故应急预案》；根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，本项目建成后，应编制辐射事故应急预案，预案应当包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）辐射事故分级；
- （3）辐射事故响应；
- （4）辐射应急事故解除；
- （5）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （6）辐射事故应急人员培训和演练计划。

在今后预案实施过程中，应根据国家新发布的相关法规内容，结合建设单位实际及时

对预案进行补充修改，使之更符合实际需要。

12.7.3 应急物资与保障

建设单位拟配备一定的应急设施设备，主要包括通讯设备、运输工具、辐射监测设备、辐射防护用品、救援器材和工具等，详见表 12-6。

表 12-6 辐射应急响应物质保障

类型	应急物资	数量
通讯工具	2 个	2 个
运输工具	手推车	2 个
辐射监测设备	详见表 12-2	
辐射防护用品	铅衣	3 套
	铅手套	3 副
	屏蔽铅桶	3 个
	放射性警示牌	1 个
	防护面罩	3 个
	警示绳	100m
救援器材和工具	长柄夹具	2 个
	放射性同位素应急包装容器	1 个
	放射性事故应急收集桶	4 个
	吸水滤纸、纱布、胶带、酒精	若干
去污用品和试剂	铅防护桶用于应急包装	1 个

应定期检查应急物资器材的性能状况及有效期，确保一旦发生辐射事故，能立即启动辐射事故应急预案，并采取相应的应急措施

12.7.4 应急人员的培训演习计划

定期进行应急培训，熟悉各类辐射事故应急响应程序、辐射防护的基本知识、应急救援的操作技能、人员和场所去污的基本知识和操作技能、辐射监测仪表的性能和操作。定期进行辐射事故应急演练，对每一次演练应认真进行评价和总结。应以模拟辐射事故应急响应的形式进行应急演练，并设计不同情景的假想辐射事故进行演练，还应对应急响应中各项具体操作技能进行练习。

12.7.5 辐射事故上报的要求

一旦发生辐射事故，现场工作人员应立即停止工作同时报告公司辐射事故应急小组，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，且向嘉兴市生态环境局、嘉兴市生态环境局海盐分局报告。对于造成或可能造成人员超剂量照射的，还应向海盐县、嘉兴市公安局和卫生行政主管部门报告。

12.8 辐射活动能力对照分析

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中关于应用放射性同位素单位使用条件的规定，结合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序的相关要求》中的相关要求，结合项目实际，对公司从事辐射活动能力进行分析评估，并就不足之处提出完善要求。

12.8.1 辐射安全管理基本要求

本项目涉及使用放射性同位素，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，公司需具备的辐射安全管理基本要求见表 12-7。

12-7 辐射安全管理基本要求汇总对照分析表

序号	辐射安全管理要求	落实情况	环评要求
1	从事使用放射性同位素与射线装置的单位，应持有有效的辐射安全许可证	暂未持有辐射安全许可证	严格落实本次环评报告表和批复提出的各项环保措施，并在取得环评批复后及时向发证机关申领辐射安全许可证
2	辐射工作单位应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员	公司暂未成立放射防护管理领导小组	成立放射防护管理领导小组，配备专职辐射安全管理人员，明确岗位职责，完善管理架构
3	辐射工作人员应参加专业培训机构辐射安全知识和法规的培训并持证上岗	公司拟组织辐射工作人员参加生态环境部辐射安全与防护培训平台在线培训，并考核合格后上岗	制定人员培训计划，公司需积极组织本项目辐射工作人员参加生态环境部辐射安全与防护培训平台进行在线培训，并严格落实《辐射工作人员培训制度》
4	辐射工作单位应针对可能发生的辐射事故风险，制定相应辐射事故应急预案。特别应做好放射源的防火、防水、防盗、防抢、防破坏、防射线泄漏的实体保卫及防护措施	公司暂未制定辐射事故应急预案；拟设置相应的实体保卫及防护措施	尽快编制辐射事故应急预案并组织演练；严格落实放射源“六防”实体保卫与防护措施，定期检查维护
5	辐射工作单位应建立健全辐射防护、安全管理规章制度及辐射工作单位基础档案	公司暂未完善相关的规章制度	建立并完善辐射防护、安全管理、台账管理、应急处置等全套规章制度，建立辐射工作单位基础档案并规范管理
6	需配置必要的辐射防护用品和监测仪器并定期或不定期地开展工作场所及外环境辐射剂量监测，监测记录应存档备查	公司拟配置 2 台便携式 X-γ 辐射监测仪，7 台个人剂量报警仪，4 台表面污染监测仪，配备 7 套个人剂量计	做好监测记录并存档
7	辐射工作单位应作好辐射工作人员个人剂量监测和职业健康检查，建立健全个人剂量档案和职业健康监护档案	公司拟制定辐射人员个人剂量监测制度与健康管理制度	项目投入运行后将剂量计定期送检，建立个人剂量档案和职业监控档案，并长期保存

8	辐射工作单位应建立放射性同位素与射线装置销售、购入、保管、使用台帐，做到帐物相符	公司对拟购放射性同位素做好相关准备工作	拟建立放射性核素购入、保管、使用台帐
9	辐射工作单位应提交有效的年度辐射环境监测报告	/	项目运行后，按期向发证机构提交《辐射安全与防护年度评估报告》
10	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	公司拟设置“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”废气处理装置；专用放射性废水收集管道；配备专门收集放射性废液及放射性固废的铅桶	落实放射性三废处理设施建设与运维，确保放射性废气、废液、固体废物达标排放/规范处置

12.8.2 辐射安全管理综合要求

本项目涉及使用放射性同位素，根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序的相关要求》中的相关规定，公司需具备的辐射安全管理综合要求见表 12-8。

表 12-8 辐射安全防护设施汇总对照分析表

序号	检查项目		安全控制措施设计情况	评价
1*	A 场所 设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	场所控制区与监督区划分合理，拟张贴电离辐射标志	符合
2*		场所门外电离辐射警示标志	场所门外拟张贴电离辐射标志	符合
3*		独立的通风设施（流向）	拟设计独立通风系统	符合
4*		有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级以上场所）	拟配备负压通风橱	符合
5		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	实验台拟使用易去污材料	符合
6*		放射性同位素暂存库或设施	项目设有放射性同位素源库	符合
7*		放射性固体废物收集容器和放射性标识	拟配备铅废物桶，且贴有放射性标识	符合
8		安全保卫设施（贮存场所必须）	视频监控，110 联网	符合
9*	B 监测 设备	便携式辐射监测仪（污染、辐射水平等）	配备表面污染检测仪	符合
10*		个人剂量计	配备个人剂量计	符合
11		个人剂量报警仪	配备个人剂量报警仪	符合
12	C 放射 性废 物和 废液	放射性下水系统及标识	拟设特殊下水系统并贴有标识	符合
13*		放射性固体废物暂存间（设施）	设有放射性废物库	符合
14		废物暂存间屏蔽措施	设有放射性废物库，放射性废物暂存于专用铅桶密闭暂存。	符合
15		废物暂存间通风系统	拟设计独立的通风管道	符合
16*	D 防护 器材	个人防护用品	拟配备乳胶手套、防护工作服、防护工作鞋、口罩等个人防护用品	符合
17*		放射性表面去污用品和试剂	拟配备放射性表面去污用品和试剂	符合

18		灭火器材	拟设置灭火器和消防栓等消防器材，实验室内设置火灾报警仪	符合
19*	E 库房	入口处电离辐射警示标志	拟设置电离辐射警告标志	符合
20*		双人双“锁”	拟设置双人双“锁”	符合
21*		非法入侵报警装置	/	/
22		监视系统	拟设置视频监控且与 110 联网	符合
23*		防盗装置	拟采取防盗措施	符合
24		火灾报警仪	拟设置火灾报警仪	符合
25		应急出口	拟设置应急出口	符合
26*	F 应急 物资	应急处理工具（如剑式机械手等）	/	/
27*		灭火器材	拟配备灭火器、消火栓等灭火装置	符合
28*		放射源应急包装容器	拟设放射性同位素应急包装容器	符合
注：加*的项目是重点项。				

12.8.3 结论

建设单位具备的能力分析如下：

- （1）建设单位拟成立辐射安全管理机构、健全辐射安全管理规章制度与档案体系。
- （2）拟配备与乙级非密封放射性工作场所相匹配的辐射工作人员。
- （3）辐射工作场所的拟设置的防护设施效能符合辐射防护要求。
- （4）拟编制辐射事故应急预案，将逐步健全完善辐射安全规章制度。

通过以上分析，建设单位按照本环评提出的辐射安全防护设施和管理制度进行完善后，公司具备乙级非密封放射性物质工作场所的综合管理能力。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

嘉兴景嘉航药业有限公司拟租用浙江景融核科技有限公司现有厂房，建设具备多功能核心区域的乙级非密封放射性物质场所，使用 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{89}Zr 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等核素，开展放射性药物研发用于临床实验，其中 ^{68}Ga 由外购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购。本项目非密封放射性物质日等效最大操作量为 $3.52 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

13.1.2 产业政策分析结论

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”项目第六款“核能”第 4 条核技术应用中的“同位素、加速器及辐照应用技术开发”类项目，符合国家产业政策。

13.1.3 实践正当性分析结论

本项目的建设用于放射性药品研发，缓解放射性核素及核素药物创新技术能力较弱，创新药物缺少自主知识产权的困境。放射性药品用于临床核医学诊断及治疗可以达到一般非放射性治疗方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，本项目的实践是必要的。

建设单位在合理布置辐射工作场所、采取符合要求的辐射安全防护措施和制定落实辐射安全管理规章制度的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

13.1.4 辐射安全与防护分析结论

（1）选址合理性结论

本项目选址于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金湾路 158 号，依托浙江景融核科技有限公司现有厂房建设。项目周边 50m 范围内主要为企业内部道路、绿化及厂房，无学校、居民区、行政办公区等环境敏感点分布，环境制约因素极小。经辐射环境影响分析，本项目在落实各项辐射防护与管理措施后，对周边环境的辐射影响可控制在可接受范围内，选址符合相关辐射防护规范及城市规划要求，选址合理可行。

(2) 布局合理性结论

本项目位于浙江景融核科技有限公司厂房内，一层放射性标记实验室、放射性检测实验室、细胞研究室、动物研究室等多功能核心区域，一层夹层为空调机房，负一层为浙江景融核科技有限公司地下停车场、生活水泵房、消防水泵房、衰变间、危废间等等辅助设施。放射性工作场所周边均为相关工作区域，对非放射性工作场所影响较小。项目布局考虑了自身特点与周边环境影响，便于职业人员集中作业和非密封放射性物质工作场所的集中管理，有利于辐射防护与环境保护；各功能分区明确，既有机联系又互不干扰，布局合理。

(3) 辐射安全防护措施结论

辐射屏蔽防护设计：厂房内部根据各功能布局主要采用彩钢板进行隔离，部分区域采用实心砖进行屏蔽。本项目各辐射工作场所主要采用操作箱体（如热室、屏蔽通风橱等）及铅箱、铅桶、铅罐等进行屏蔽，能够满足项目辐射防护要求。

辐射防护相关措施：对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的电离辐射警告标志，限制无关人员进入。建设单位拟制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴相应的个人防护用品。为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备 X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，本项目辐射工作场所辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。本项目辐射工作场所拟设置电离辐射警告标志、建立台账、视频监控系统等；设置有一套满足要求的并联衰变罐组、铅桶、放射性废气专用排风管线及“中效+高效过滤器+活性炭吸附”装置。相关辐射防护措施能够满足项目运行需求。

(4) 辐射安全管理结论

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》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规，成立辐射安全与防护管理领导小组。使用放射性药物的应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施，此外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。需对辐射工作人员进行了职业健康监护，并建立职业健康检查档案和个人剂量监测档案。

13.1.5 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

经理论预测分析，本项目辐射工作场所运行时控制区实体边界外 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，通风橱外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点位的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，对周围辐射环境影响较小。

经理论估算，本项目辐射工作场所辐射工作人员和周围公众所受年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值要求，也满足《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA5-2019）中工作人员的剂量约束值 5mSv/a ，公众所受年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

(2) 三废影响分析结论

本项目营运期产生的放射性三废、非放射性三废及噪声，均依托针对性的治理措施实现了规范化管控、无害化处理，各污染物经处理后排放/处置均满足国家及地方相关标准要求，对项目厂区及周边大气、水、土壤、声环境的影响极小，不会改变周边环境功能区划，辐射剂量贡献及污染物排放浓度均处于安全可控范围，具体结论如下：

1) 放射性三废：放射性废水仅为淋洗废水，产生量极小，经专用屏蔽管道收集后送入大容量衰变罐暂存衰变，达标并经监管部门核准后排入市政污水管网，全程密闭监测、无泄漏风险，对水环境及生态系统辐射影响可忽略；放射性废气为含核素的气溶胶，经局部密闭收集后通过“中效+高效过滤器+活性炭吸附”组合工艺处理后高空排放，过滤器运维管理完善，气溶胶去除效率高，大气扩散后对周边公众辐射剂量贡献远低于国标限值；放射性固废按“源头分类、密闭收集、衰变减容、解控处置”原则管控，一般性固废与生物性固废分类暂存、专用转运，短半衰期核素自然衰变达标后按普通危废/医疗废物处置，全流程可追溯、无外排污染，对厂区及周边环境无辐射危害。整体而言，项目放射性三废治理措施技术可行、管理到位，辐射环境影响处于安全可控水平。

2) 非放射性三废：生活污水先排入浙江景融核科技有限公司现有化粪池预处理，其余生产类非放射性废水经收集后一并汇入市政污水管网，最终所有废水输送至海盐县城乡污水处理厂处理。实验非放射性废液全部作为危废处置，无有毒有害污染物外排，对杭州湾水环境无不利影响；非放射性有机废气及氨类恶臭气体，经密闭收集后采用“中效过滤+高效过滤+活性炭吸附”组合工艺处理，高空排气筒达标排放，污染物收集效率、处理效率

高，厂界及敏感点污染物浓度远低于标准限值，无明显异味，对周边大气环境质量无不良影响；非放射性固废严格按“一般工业固废、危险废物、生活垃圾”分类处置，一般工业固废统一清运、部分回收利用，危险废物规范暂存并委托有资质单位安全处置，生活垃圾由环卫部门清运，各类固废暂存区域做好防渗、防扬散处理，无二次污染，对土壤、地下水环境无不利影响。项目非放射性三废治理遵循分质分类、无害化处置原则，处置方式符合国标要求，污染物排放对周边环境影响极小。

噪声项目运营期噪声为设备运行产生的中低频噪声，通过选用低噪声设备、加装减振消声设施、高噪声设备集中布置、合理管控运行时间等多重降噪措施，有效降低了噪声产生与传播，经墙体隔声、距离衰减后，厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准要求，且项目周边无噪声敏感保护目标，设备运行噪声对厂区工作人员及周边声环境无明显不利影响。

综上，本项目已针对运营期各类污染物制定了完善、可行的治理措施，各项防治措施可确保污染物达标排放/规范处置，污染物排放对周边大气、水、土壤、声环境的影响均处于安全可控范围，无明显环境风险，项目的建设运营在污染物治理及环境影响方面均符合国家及地方生态环境保护相关要求。

13.1.6 可行性分析结论

综上所述，放射性药品研发中心项目选址符合国家相关法律法规及规划，平面布局合理可行。建设单位在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其场所内辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，职业人员和公众年有效剂量满足相关标准要求，运营期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

建设单位应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 严格按照本报告的建设规模、屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施

及装置、三废治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 落实各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(5) 严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 本项目环评审批后，及时申领辐射安全许可证；项目竣工后，按照国家相关法律法规尽快自主组织竣工环保验收。

(7) 按要求每年向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。

(8) 接受生态环境主管部门的监督检查

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

公章

经办人（签字）： 年 月 日

审批意见：

公章

经办人（签字）： 年 月 日