

报告编号：WKFHP-25112

核技术利用建设项目

嘉兴秦拓偶联药物临床前评价服务及偶联药物

III 研究服务实验室平台建设项目

生态环境影响报告表

（公示稿）

嘉兴秦拓医药科技有限公司

2026 年 9 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

嘉兴秦拓偶联药物临床前评价服务及偶联药物 IIT 研究服务实验室平台建设项目 生态环境影响报告表

建设单位名称：嘉兴秦拓医药科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：单长宇

通讯地址：浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金禾路 1 号 1 幢 320-B 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.....	11
表 3 非密封放射性物质.....	11
表 4 射线装置.....	12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6 评价依据.....	15
表 7 保护目标与评价标准.....	18
表 8 环境质量和辐射现状.....	26
表 9 项目工程分析与源项.....	31
表 10 辐射安全与防护.....	65
表 11 环境影响分析.....	84
表 12 辐射安全管理.....	110
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		嘉兴秦拓偶联药物临床前评价服务及偶联药物 IIT 研究服务实验室平台建设项目					
建设单位		嘉兴秦拓医药科技有限公司					
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金禾路 1 号 1 幢 320-B 室					
项目建设地址		海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢一层					
立项审批部门		海盐县发展和改革局		批准文号		2512-330424-04-01-191468	
建设项目总投资 (万元)		5000		项目环保投资 (万元)		90	
				投资比例(环保投资/总投资)		1.8%	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他				占地面积 (m ²)	
						600	
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
		☐ 使用	☐ I类 (医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
	非密封性放射性物质	☐ 生产	制备 PET 用放射性药物				
		☐ 销售	/				
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙				
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类				
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类				
		☐ 使用	☐ II类 ☐ III类				
	其他	/					

1.1 建设单位简介

嘉兴秦拓医药科技有限公司（以下简称“建设单位”），成立于 2025 年 12 月 16 日，注册地址位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金禾路 1 号 1 幢 320-B 室，是一家主营医学研究和试验发展、化学产品技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让和技术推广的公司。

1.2 项目建设目的和任务由来

当前，我国偶联药物领域面临评价能力分散、核心技术标准受制于人，研发过程多环节割裂、转化链条冗长，结构性矛盾突出，临床前与临床数据脱节导致后期失败的困境。为此，亟需建设一个高水平、专业化的偶联药物临床前评价及 IIT 研究服务实验室平台。嘉兴秦拓医药科技有限公司拟选址海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢一层（租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司 600m² 闲置厂房），建设偶联药物临床前评价及 IIT 研究服务实验室平台。该平台将立足国际规范，为创新药企和科研机构提供兼具专业深度与操作弹性的公共技术支撑，快

速积累中国人群真实数据，探索联合用药、诊疗一体化等前沿方向。依托这一灵活验证通道，平台能够构建涵盖药物结构表征、体外筛选、药理药效、药代动力学、毒理安评及早期临床探索的一体化技术闭环，形成“数据驱动优化、临床反馈研发”的良性迭代机制，从而加速候选分子向注册临床试验转化，保障我国生物医药产业链、供应链与创新链的战略安全，最终实现偶联药物领域核心评价技术与服务能力的自主可控。

该平台以偶联药物（ADC 等）为研究对象，使用 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{177}Lu 、 ^{212}Pb 及 ^{225}Ac 等多种核素开展医学研究与试验。其中， ^{68}Ga 由外购的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其余核素均直接外购。项目工作场所非密封放射性物质的日等效最大操作量为 $9.69 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），项目属于“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”，应编制生态环境影响报告表。

嘉兴秦拓医药科技有限公司委托卫康环保科技（浙江）有限公司承担“嘉兴秦拓偶联药物临床前评价服务及偶联药物 IIT 研究服务实验室平台建设项目（以下简称‘项目’）”的生态环境影响评价工作。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）等规定要求编制了项目生态环境影响报告表。

1.3 项目建设内容和规模

1.3.1 项目概述及方案

项目租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司位于海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢一层的现有厂房（建筑面积 600m^2 ），建设包含热室、放射性质控、放射源库、解剖室、动物标记间等多功能核心区域，并购置 γ 计数器、液体闪烁计数器、HPLC 放射性检测系统、高效液相色谱仪等设备，使用 ^{68}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{14}C 及 ^3H 等核素（其中 ^{68}Ga 由外购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购获取）开展综合性放射性标记药物研发与评价实验。项目建成后，预计每年可具备完成 50 项偶联药物临床前评价服务及 10 项偶联药物研究者发起试验的能力。项目非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量为 $9.69\text{E}+08\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.3.2 项目组成

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		租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司现有厂房，建设包含热室、放射源库、解剖室、放射区废弃物衰变间、公共实验室、放射性质控室、细胞培养室、动物标记间、小鼠饲养室、动物检疫室等多功能核心区域的乙级非密封放射性物质场所。	
辅助工程	办公室		办公室设置于厂区非放区内走廊西侧，整体位于放射性实验区域北侧，用于行政办公与资料存放。	
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		项目采用分级管理、分区管理、辐射安全防护措施、配备个人防护用品和监测仪器、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		应急去污废水经收集至收集池，暂存衰变不少于 120d，经监测达到解控水平并报生态环境主管部门批准后，排入市政污水管网，若监测不达标，则应作为放射性废物委托有资质单位处置；各辐射工作场所产生的含短半衰期核素放射性废液，经专用收集桶分类收集，转运至衰变间贮存衰变，经监测满足清洁解控标准后，作为普通危险废物处置；涉及含长半衰期核素放射性废液，经分类单独收集暂存后作为低放废液委托有资质单位处置。
		非放射性废水		项目实验室产生的废水直接纳入市政污水管网；生活污水经现有化粪池预处理，纳管污水满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后纳入市政污水管网，由海盐县城乡污水处理厂深度处理后排放。
	废气治理	放射性废气		经局部密闭收集后进入专用排风管线，采用活性炭吸附工艺处理，楼顶高空排气筒达标排放。
		非放射性废气		经手套箱/通风橱装置密闭收集后，采用活性炭吸附处理，楼顶高空排气筒达标排放。
	固废治理	放射性废物		分类暂存于放射区废弃物衰变间，面积为 14.65m ² ，短半衰期放射性废物贮存衰变至少 120 天，经监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；长半衰期放射性废物密闭分区存放，定期委托具备放射性废物处置资质单位收运处置。
		非放射性废物	危险废物	设危废暂存间 1 间，面积 5m 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	项目产生的一般工业固体废物在厂区暂存后分类出售综合利用。
		生活垃圾		工作人员产生的生活垃圾，由垃圾桶分类收集，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		设放射源库 1 间，面积 5.87m ² ，内设储源铅罐和储源柜。	
	试剂室		设普通试剂室 1 间，面积 5.50m ² ，用于储存化学试剂。	
依托工程	污水处理		依托海盐秦山核电产业共享开发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

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

表 1-2 项目放射性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	³ H	液态	1.85E+08	1.11E+10	250	外购
2	¹⁴ C	液态	1.85E+08	1.11E+10	250	外购
3	⁶⁴ Cu	液态	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
4	⁶⁸ Ga	液态	7.40E+08	4.81E+10	250	淋洗
5	⁸⁹ Zr	液态	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
6	⁹⁰ Y	液态	1.85E+09	7.40E+10	250	外购
7	^{99m} Tc	液态	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
8	¹¹¹ In	液态	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
9	¹⁷⁷ Lu	液态	1.85E+09	7.40E+10	250	外购
10	²¹² Pb	液态	3.70E+08	1.11E+10	250	外购
11	²²⁵ Ac	液态	3.70E+07	3.70E+09	250	外购

注：由于项目动物实验并非每日均安排实验，保守按所有核素的动物实验均在同一天进行，因此项目日最大操作量以标记合成和化学有机合成实验室日最大操作量进行保守计算；年最大操作量与年操作天数并无直接比例关系。

表 1-3 项目发生器购买规格及最大操作量

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 Ge- ⁶⁸ Ga 发生器)	1.11×10 ⁹	1	1.11×10 ⁹	1.11×10 ⁹

注：1、⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器淋洗效率取 80%，单个发生器每日淋洗 2 次，上午一次，下午一次；

表 1-4 项目原辅材料清单

序号	化学品名称	物理状态	包装规格	预计年消耗量	临时最大储存量
1	乙腈(HPLC 级)	液态	4L/玻璃瓶	50L/年	16L
2	甲醇(分析纯)	液态	4L/玻璃瓶	50L/年	16L
3	无水乙醇	液态	500mL/瓶	50L/年	16L
4	三氟乙酸(TFA)	液态	500mL/瓶	1L/年	0.5L
5	盐酸(分析纯, 37%)	液态	500mL/瓶	3L/年	1L
6	氢氧化钠	固态/颗粒	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
7	二甲基亚砜(DMSO)	液态	500mL/瓶	1L/年	0.5L
8	醋酸铵/醋酸钠	固态/粉末	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
9	冰醋酸	液态	500mL/瓶	1L/年	0.5L
10	抗坏血酸	固态/粉末	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
11	抗坏血酸钠	固态/粉末	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
12	龙胆酸	固态/粉末	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
13	各类氨基酸	固态/粉末	50g/瓶	1kg/年	0.5kg
14	磷酸盐缓冲液	液态	500mL/瓶	50L/年	16L
15	生理盐水	液态	500mL/瓶	50L/年	16L

16	甘露醇	固态/粉末	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
17	甲酸	液态	500mL/瓶	1L/年	0.5L
18	碳酸氢钠	固态/粉末	500g/瓶	0.5kg/年	0.5kg
19	钯碳催化剂 (Pd/C, 含钯 5%~10%)	固态/粉末	100g/瓶	200g/年	100g
20	氢化钠 (NaH, 60%矿物油分散体)	固态/粉末	500g/瓶	300g/年	500g
21	正丁基锂 (n-BuLi, 2.5M 己烷溶液)	液态	500mL/瓶	0.5L/年	0.5L
22	无水四氢呋喃 (THF, 超纯级)	液态	4L/玻璃瓶	25L/年	8L
23	无水 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF)	液态	4L/玻璃瓶	25L/年	8L
24	二氯甲烷 (DCM, 色谱级)	液态	4L/玻璃瓶	70L/年	32L
25	液闪闪烁液 (含二甲苯/伪枯烯等)	液态	5L/塑料桶	10L/年	5L
26	柱层析硅胶粉 (200-300 目)	固态/粉末	1kg/袋	25kg/年	5kg

表 1-5 项目主要原辅材料理化性质表

名称	理化性质
盐酸	分子式为 HCl, 分子量 36.46。沸点-85℃, 密度为 1.0049g/cm³。蒸汽压 30.66kPa/21℃。无色或微黄色发烟液体, 有强烈刺鼻气味, 浓盐酸具有极强的挥发性, 打开容器后会产生酸雾。易溶于水, 也可溶于乙醇和乙醚。盐酸用途广泛, 可用于酸洗钢材, 去除氧化物和锈蚀; 合成化工原料, 制备含氯化合物; 食品加工中调节 pH 和去络; 在冶金与精细化工中生产中间体等。高纯盐酸具有极强的腐蚀性和刺激性, 使用时需要注意安全防护, 避免批复接触和吸入酸雾。 CAS 号: 7647-01-0。
甲醇	分子式为 CH₄O, 分子量 32.04。沸点 64.8℃, 熔点-97.8℃, 密度为 0.79g/cm³, 蒸汽压 13.33kPa/21.2℃, 闪点 11℃。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。 CAS 号: 67-56-1。
乙腈	分子式为 C₂H₃N, 分子量 41.05。沸点 81.1℃, 熔点-45.7℃, 密度为 0.79g/cm³。蒸汽压 13.33kPa/27℃, 闪点 2℃。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, 有引起燃烧爆炸的危险。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。 CAS 号: 75-05-8。
无水四氢呋喃 (THF, 超纯级)	分子式为 C₄H₈O, 分子量 72.11。沸点 66℃, 熔点-108.4℃至-108.5℃, 密度为 0.89g/cm³, 蒸汽压 19.3kPa/20℃, 闪点约-14℃至-21.5℃。无色、透明、易挥发的液体, 具有类似乙醚的刺激性气味, 能与水及绝大多数有机溶剂 (醇、醚、酮、酯、烃类等) 任意比例混溶, 极度危险的易燃液体, 对金属具有腐蚀性, 能够溶解或溶胀许多塑料盒橡胶材料。

	主要用于聚氯乙烯、聚氨酯等树脂的专用溶剂，在有机合成中常用，作为格氏反应、聚合反应及一些还原反应的优秀溶剂。 CAS 号：109-99-9。
无水 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF)	分子式为 C_3H_7NO，分子量 73.10。沸点 $152.8^{\circ}C$，熔点 $-61^{\circ}C$，密度为 $0.9445g/cm^3$ ($25^{\circ}C$)，蒸汽压 $0.49kPa/25^{\circ}C$。无色透明液体，有微弱的胺味。与水 and 多数有机溶剂混溶。易燃，遇明火、高热可引起燃烧爆炸，能与浓硫酸、发烟硝酸剧烈反应甚至发生爆炸。主要用作乙烯树脂、聚丙烯腈等的溶剂，也用于脱漆剂、有机合成等。 CAS 号：68-12-2。
无水二甲基亚砷 (DMSO)	分子式为 C_2H_6OS，分子量 78.13。沸点 $189^{\circ}C$，熔点 $18.45^{\circ}C$，密度为 $1.100g/cm^3$ ($20^{\circ}C$)，蒸汽压 $0.04kPa/20^{\circ}C$。无色透明黏稠液体，几乎无臭，稍带苦味，具有强吸湿性。可与水、乙醇、丙酮、乙醚、苯、氯仿等混溶。遇高热可燃，会产生有毒的硫化物烟气，与酰氯、三氯化磷等卤化物可发生剧烈反应。用作分析试剂、药物溶剂、渗透促进剂及有机合成溶剂等。 CAS 号：67-68-5。

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 项目主要仪器设备清单

序号	设备名称	型号	数量 (台/套)
1	γ 计数仪	2480 Wizard	1
2	液体闪烁计数仪	Tri-Carb 5110	1
3	HPLC 放射性检测系统	Flow-RAM	1
4	TLC 放射性扫描仪	Scan-RAM	1
5	放射性活度计	CRC	3
6	生物安全柜	1500 A2	1
7	CO ₂ 培养箱	Heracel 240i	2
8	纯水系统	Barnstead GenPure Pro	1
9	电子天平	Quintix Pro	3
10	高效液相色谱仪	1260	1
11	热室 (Hot Cell)	FZ-650	2
12	倒置显微镜	DMi8	1
13	小型离心机	Centrifuge 5427 R	2
14	台式高速离心机	Centrifuge CS150NX	2
15	实验室冰箱 (4 $^{\circ}C$)	HXC-1369T	5
16	-20 $^{\circ}C$ 冰箱	DW-30L698	5
17	-80 $^{\circ}C$ 超低温冰箱	86L579BPT	1
18	摇床/摇匀仪	Duomax 1030、Titramax 101	3
19	液氮罐	Locator Plus	1
20	气体麻醉系统	TAIJI 多通道	1
21	加热反应模块/金属浴	Matrix Orbital Delta Plus	5
22	自动细胞计数仪	CountStar	1

23	氮吹/氮气蒸发仪	MultiVap 8 / 12	5
----	----------	-----------------	---

1.4 项目选址及周边环境保护目标

1.4.1 项目地理位置

项目拟建址位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢一层，租用海盐秦山核电产业共享有限公司现有闲置厂房，行政隶属海盐县秦山街道，项目地理位置见附图 1。

1.4.2 项目周边环境关系

项目租赁海盐秦山核电产业共享有限公司现有厂房（共 4 层，上层为闲置空间，无地下层）一层西北侧区域（共租赁 600m²），进行偶联药物临床前评价及 IIT 研究服务实验。

嘉兴秦拓医药科技有限公司北侧为主要出入口，北侧紧邻金源东路（规划建设中），距放射性区域边界约 35m 处为新建园区（建设中）；东侧紧邻海盐秦山核电产业共享有限公司 B 幢其他闲置厂房，距放射性区域边界约 42m 为东侧道路，约 56m 处为浙江景融核科技有限公司；南侧紧邻海盐秦山核电产业共享有限公司 B 幢其他闲置厂房，约 36m 处为南侧道路（金湾路），约 49m 处为海盐加美五金科技有限公司；西侧紧邻海盐秦山核电产业共享有限公司 A 幢闲置厂房，约 92m 处为西侧道路（金禄路）。项目周围环境关系图见附图 2。

1.4.3 生态环境保护目标

项目生态环境保护目标为辐射工作场所实体边界外 50m 内范围内活动的辐射工作人员、公众人员。

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）》，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

搭建偶联药物的临床前评价及研究者发起的临床试验（IIT）研究有助于缓解我国在偶联药物领域评价能力分散、核心技术标准受制于人、创新药物缺乏自主知识产权的困境。放射性核素标记的偶联药物用于临床核医学诊断与治疗，能够达到一般非放射性治疗方法所不能及的精准靶向诊断与一体化治疗效果，对提升重大疾病诊疗水平、保障人民群众身体健康、拯救生命具有不可替代的重要作用。因此，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。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) 生态保护红线符合性分析

根据海盐县秦山街道“三区三线”划定方案，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，项目与海盐县秦山街道“三区三线”位置关系见附图 8。

(2) 环境质量底线符合性分析

根据嘉兴市生态环境局海盐分局发布的《2025 海盐县环境状况白皮书》有关数据和结论，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，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，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，项目符合环境质量底线要求。

(3) 资源利用上线符合性分析

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项目提供水资源保障；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

项目位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢，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），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 7，属于重点管控单元，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		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	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、化纤等重点行业环保准入门槛，控制新增污染物排放量。	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，不涉及居住、医疗

		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。 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。	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。
	污染物排放管控	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。 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。 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。 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。 5、加强土壤和地下水污染防治与修复。 6、重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。	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。
	环境风险防控	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。 2.强化工业集聚区企业环境风险防范设施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。	项目投运前拟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。
	资源开发效率要求	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。	项目水资源能够有效利用，不新增煤炭资源消耗。

由上表可知，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，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 8），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

项目位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢，租用海盐秦山核电产业共享开发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 范围内主要为海盐秦山核电产业共享有限公司其他闲置厂房、海盐加美五金科技有限公司、新建中的园区和道路，周围无学校、居民区、行政办公区、自然保护区、文物保护单位、风景名胜區、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，项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内，故项目的选址合理可行。

1.10 原有核技术利用项目

项目为建设单位首次开展核技术利用项目，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	³ H	液态/低毒/半衰期 12.43a	使用	1.85E+08	1.85E+06	1.11E+10	放射性药物研究与评价	简单操作	放射性有机合成室、合成热室、放射性质控室、动物标记室、细胞培养室、解剖室	放射源库
2	¹⁴ C	液态/中毒/半衰期 5700a	使用	1.85E+08	1.85E+07	1.11E+10		简单操作		放射源库
3	⁶⁴ Cu	液态/低毒/半衰期 12.7h	使用	7.40E+08	7.40E+06	4.81E+10		简单操作		放射源库
4	⁶⁸ Ga	液态/低毒/半衰期 1.13h	使用	7.40E+08	7.40E+06	4.81E+10		简单操作		放射源库
5	⁸⁹ Zr	液态/中毒/半衰期 3.27d	使用	7.40E+08	7.40E+07	4.81E+10		简单操作		放射源库
6	⁹⁰ Y	液态/中毒/半衰期 2.67d	使用	1.85E+09	1.85E+08	7.40E+10		简单操作		放射源库
7	^{99m} Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	7.40E+08	7.40E+06	4.81E+10		简单操作		放射源库
8	¹¹¹ In	液态/中毒/半衰期 2.83d	使用	7.40E+08	7.40E+07	4.81E+10		简单操作		放射源库
9	¹⁷⁷ Lu	液态/中毒/半衰期 6.71d	使用	1.85E+09	1.85E+08	7.40E+10		简单操作		放射源库
10	²¹² Pb	液态/中毒/半衰期 10.64h	使用	3.70E+08	3.70E+07	1.11E+10		简单操作	热室、动物标记室、解剖室、公共实验室	放射源库
11	²²⁵ Ac	液态/极毒/半衰期 9.92d	使用	3.70E+07	3.70E+08	3.70E+09		简单操作		放射源库
12	⁶⁸ Ge (⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器)	液态/中毒/半衰期 288d	使用	1.11E+09	1.11E+06	1.11E+09	淋洗	源的贮存	热室	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》（GB18871-2002）。

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/min)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（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11种核素	/	/	$0.1\text{m}^3/\text{a}$	/	暂存于2个相同体积的并联衰变池罐，每个衰变池罐有效容积 0.5m^3 ，总有效容积 1m^3	收集至衰变池罐暂存衰变不少于120d，经监测达到解控水平并报生态环境主管部门批准后，排入市政污水管网；监测不达标则委托持有放射性废物处置资质的单位统一收运处置。
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）	含 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素废液	/	/	$0.056\text{m}^3/\text{a}$	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，后续转移至放射区废弃物衰变间暂存	转移至放射区废弃物衰变间内贮存衰变超过30天，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。
		含 ^{111}In 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 核素废液	/	/	$0.095\text{m}^3/\text{a}$		集中收集在铅屏蔽废液桶内，后续转移至放射区废弃物衰变间暂存	转移至放射区废弃物衰变间内贮存衰变超过120天，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。
		^{14}C 、 ^3H	/	/	$0.033\text{m}^3/\text{a}$		集中收集在专用废液桶内，后续转移至放射区废弃物衰变间暂存	转移至放射区废弃物衰变间内暂存，建立专属全流程管理台账，定期委托有资质单位固化、整备、处置。
放射性废气	气态（热室、防护手套箱排气）	^{68}Ga 等11种核素	/	/	/	/	不暂存	经机械排风系统集中收集，采用活性炭吸附工艺处理，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11种核素	/	/	727.64kg/a	/	集中收集在铅屏蔽的放射性废物桶内，后续转移至放射区废弃物衰变间暂存	分类收集的放射性固体废物转移至放射区废弃物衰变间贮存衰变至少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。

		含 ¹⁴ C、 ³ H 的放射性 固废	/	/		/		集中收集的放射性固体废物转移至放射区废弃物衰变间贮存，建立专属全流程管理台账，定期委托具备放射性废物处置资质的单位统一收运处置。
动物尸体及组织	固态（注射药物后处死的动物尸体、粪便及组织）	含 ¹⁴ C、 ³ H 等11种核素	/	/	675.184 kg/a	/	收集在放射区废弃物衰变间冷冻冰柜内	含 ¹⁴ C和 ³ H动物尸体及组织类属于不可解控长半衰期放射性固体废物，不进行衰变解控处理，直接交由具备放射性废物处置资质的单位统一专业处置。含其他核素动物尸体及组织经在衰变间冰柜中暂存衰变超过120天后依照《实验动物 环境及设施》(GB14925-2023) 要求委托有资质单位做无害化处理。
废旧发生器	废旧发生器	⁶⁸ Ga、 ⁶⁸ Ge	/	/	1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

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，主席令第七十号，2026 年 8 月 15 日起施行； (2) 《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订），自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版； (3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令第 653 号修订，2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令第 709 号修订），自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版； (4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修正，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修正，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修正，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修正），2021 年 1 月 4 日施行修改版； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (6) 《放射性废物安全管理条例》（2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令第 612 号公布），自 2012 年 3 月 1 日起施行； (7) 《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），自 2018 年 1 月 1 日起施行； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (9) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行； (10) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行； (11) 《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），自 2021 年 3 月 15 日起施行； (12) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕
------	---

	430 号），自 2016 年 3 月 7 日起施行； （13）关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评〔2017〕4 号），自 2017 年 11 月 22 日发布； （14）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号），自 2006 年 9 月 26 日起施行； （15）《国家危险废物名录（2025 年版）》（2024 年 11 月 26 日生态环境部、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； （16）《浙江省生态环境保护条例》（浙江省第十四届人民代表大会常务委员会公告第 51 号），自 2026 年 8 月 15 日起施行； （17）《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版； （18）《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），自 2025 年 2 月 2 日起施行。
技术标准	（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （3）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （5）《辐射事故应急监测技术规范》（HJ 1155-2020）； （6）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）； （8）《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）； （9）《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）； （10）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （11）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；

	(12) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002)； (13) 《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)； (14) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)； (16) 《低、中水平放射性固体废物暂时存储规定》(GB11928-1989)； (17) 《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(HAD 401/16-2023)； (18) 《制药工业大气污染物排放标准》(DB33/310005-2021)。
其他	(1) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编； (2) 《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编； (3) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫； (4) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》； (5) 建设单位提供的其它与项目有关资料； (6) 环评委托书。

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：“以项目实体为中心，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”，并结合项目的实际情况，乙级非密封性放射性物质工作场所，确定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。

项目为报告表项目，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厂界外 500m 范围，声影响评价范围取厂界外 50m 范围，评价范围示意图见附图 2、附图 3。

7.2 生态环境保护目标

7.2.1 辐射生态环境保护目标

根据现场踏勘情况，项目 50m 评价范围内主要为周边工业企业、闲置厂房、道路等，无居民区等环境敏感保护目标。项目生态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，项目生态环境保护目标一览见表 7-1。

表 7-1 项目辐射工作场所主要生态环境保护目标一览表

生态环境 保护目标	所在位置	方位	与控制区边 界最近距离 (m)	规模	剂量约束值 (mSv/a)
职业	辐射工作人员	/	/	5 人	5.0
公众	厂区道路	东侧	约 35	20 人/天	0.1
	B 幢厂房闲置区域	东侧、南侧	紧邻	5 人/天	
	金湾路	南侧	约 36	50 人/天	
	海盐加美五金科技有限公司	南侧	约 49	10 人	
	连廊过道	西侧	紧邻	5 人/天	
	A 幢厂房		约 10	10 人/天	
	办公、非放实验室	北侧	紧邻	5 人	
	金源东路		18	50 人/天	
	在建园区		约 35	20 人/天	
	闲置车间	上方	约 8	5 人/天	

注：1、项目下方为实土，无地下层。

7.2.2 地表水、环境空气、声环境保护目标

(1) 地表水

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ2.3-2018) 规定，水环境保护目标指饮

用水水源保护区、饮用水取水口，涉水的自然保护区、风景名胜区，重要湿地、重点保护与珍稀水生生物的栖息地、重要水生生物的自然产卵场及索饵场、越冬场和洄游通道，天然渔场等渔业水体，以及水产种质资源保护区等。

项目拟建址区域地表水为长澈河，水环境功能属于工业用水区，因此无水环境保护目标。

（2）环境空气

项目周边 500m 范围内主要环境空气保护目标详见下表：

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	李家埝	西北	268	16 户，约 50 人	大气二级

（3）声环境

项目周围 50m 范围建筑物均为工业企业，无声环境保护目标。

7.2.3 地下水、生态环境保护目标

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），生态敏感区包括法定生态保护区、重要生境以及其他具有重要生态功能、对保护生物多样性具有重要意义的区域。其中，法定生态保护区包括：依据法律法规、政策等规范性文件划定或确认的国家公园、自然保护区、自然公园等自然保护地、世界自然遗产、生态保护红线等区域；重要生境包括：重要物种的天然集中分布区、栖息地，重要水生生物的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，迁徙鸟类的重要繁殖地、停歇地、越冬地以及野生动物迁徙通道等。项目周边 500m 范围不涉及以上生态敏感区。

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。

7.3 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，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 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	
项目辐射工作场所	5.0	0.1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

7.3.3 非密封放射性物质工作场所的要求

(1) 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 $\sim 2 \times 10^7$

(2) 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，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 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐射学工作场所	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 $\geq 1/2$)	<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	<25
	固体放射性废物收集桶、暴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

(3) 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，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/cm²

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。

(4) 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，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。

(5) 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，结合项目核素使用情况与废液收集暂存方案，放射性废液排放满足以下要求：

- 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。

c) 含³H、¹⁴C 等超长半衰期不可解控核素的废液，因核素半衰期极长，无法通过短期暂存衰变降至排放限值，不适用上述衰变解控排放条款，采用专用密闭铅罐单独收集、分区密封暂存，建立全流程台账，定期委托具备放射性废物处置资质单位统一收运处置。

（5）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。

（6）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通风橱、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。通风橱、手套箱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 手套箱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，通风橱、手套箱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为通风橱、手套箱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。

7.3.4 非放射性污染物排放标准

(1) 废水

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，并满足《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 7-7 和表 7-8。

表 7-7 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	50 ^①
总磷	3 ^①
动植物油	100

注：①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 7-8 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。

(2) 废气

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。实验室有机废气经手套箱/通风橱收集后，引至屋顶经活性炭吸附处理后排放；动物饲养废气（氨气、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）和臭气浓度有组织排放执行《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。硫化氢和氨排放速率执行《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 7-9、表 7-10。

表 7-9 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	1000mg/m ³		
甲醇	50mg/m ³		
乙腈	20mg/m ³		
氯化氢	10mg/m ³		
氨	10mg/m ³		

表 7-10 恶臭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
氨	20kg/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
硫化氢	1.8kg/h		

非甲烷总烃无组织排放执行《制药工业大气污染物排放标准》（DB33/310005-2021）中表 6 厂区内 VOCs 无组织排放最高允许限值；臭气浓度、氨、硫化氢无组织排放执行《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 7-11。

表 7-11 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）
非甲烷总烃	6mg/m ³	监控点处 1 小时平均浓度 限值	在厂房外 设置监控 点	《制药工业大气污染物排放标 准》（GB37823-2019）
	20mg/m ³	监控点任意一次浓度值		

(3) 噪声

①施工期

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7-12。

表7-12 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

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7-13。

表7-13 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)

（4）固废

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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

项目拟建址位于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢一层（租用秦山核电产业共享有限公司厂房西北侧区域）。

拟建场址东侧为 B 幢其他闲置区域，再往东为厂区道路，南侧为 B 幢其他闲置区域，再往南为金湾路，西侧为 A 幢闲置厂房，再往西为金禄路，北侧为金源东路（规划），再往北为建设中的新园区。

项目地理位置图见附图 1，周边环境关系示意图见附图 2、附图 3，平面布置图见附图 5。

8.2 电离辐射环境现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2025 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，海水中镭-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

项目环境现状评价对象主要为拟建实验室场址及周边环境。

8.2.2 监测因子

根据项目污染因子特征，环境监测因子为 γ 辐射空气吸收剂量率、 α/β 表面污染。

8.2.3 监测点位

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，监测报告及监测资质证书见附件 7。



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 6 月 3 日；

(3) 监测方式：现场监测；

(4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）等；

(5) 监测方法：

①测量 γ 辐射空气吸收剂量率时，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；

②测量 α 、 β 表面污染时使用直接测量方法，在探测器灵敏窗和待检查表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，并密切观察并记录数据。

(6) 监测工况：辐射环境本底；

(7) 天气环境条件：天气：多云；室外温度：29℃；室内温度：29℃；相对湿度：66%；

(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

仪器名称	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	α 、 β 表面污染仪
仪器型号	6150 AD 6/H(外置探头：6150 AD-b/H 主机：6150 AD 6/H)	CoMo-170
仪器编号	167510+165455	9950
生产厂家	Automess	德国 NUVIA
量 程	外置探头：10nSv/h~99.99 μ Sv/h；主机：0.1 μ Sv/h~10mSv/h	α ：0-2500cps； β/γ ：0-20000cps
能量范围	外置探头：20keV-7MeV；主机：60keV-1.3MeV	/
检定证书编号	NJYF-20260350086	2025H21-20-6032754001
检定有效期	2026 年 3 月 2 日~2027 年 3 月 1 日	2025 年 7 月 25 日~2026 年 7 月 24 日
检定单位	浙江省质量科学研究院	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

注：现场监测时使用 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪外置探头

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

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

点位编号	点位描述		γ 辐射空气吸收剂量率(nGy/h)		α 表面污染(Bq/ cm ²)	β 表面污染(Bq/ cm ²)
			平均值	标准差		
1#	实验室拟建址 1	室内	127	3	<N _{D1}	<N _{D2}
2#	实验室拟建址 2	室内	139	2	<N _{D1}	0.05
3#	实验室拟建址 3	室内	129	2	/	/
4#	实验室拟建址 4	室内	141	1	/	/
5#	实验室拟建址 5	室内	133	4	/	/
6#	实验室拟建址 6	室内	134	3	/	/
7#	A 幢闲置厂房	室内	122	1	/	/

8#	连廊过道	室内	103	3	/	/
9#	北侧道路及空地	室外	63	4	/	/
10#	实验室南侧厂房闲置区域	室内	151	3	/	/
11#	厂房南侧厂区道路	室外	72	2	/	/
12#	实验室东侧厂房闲置区域	室内	145	5	/	/
13#	厂房东侧厂区道路	室外	76	4	/	/

注：1、根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）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 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）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、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除测点处宇宙射线响应值 31.0nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，9#、11#、13#点位取 1；其余点位取 0.8。

4、测量 α 、 β 表面污染时使用直接测量方法，在探测器灵敏窗和待检查表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，并密切观察并记录数据，表内结果均已扣除本底值；经计算当地 α 表面污染本底计数率平均值为 0.00cps，该表污检测仪的 α 表面污染测量下限为 0.003Bq/cm²，记为 N_{D1}；经计算当地 β 表面污染本底计数率平均值为 2.62cps，该表污检测仪的 β 表面污染测量下限为 0.032Bq/cm²，记为 N_{D2}；

由上表可知，项目拟建址及周围各监测点位的室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 103nGy/h~151nGy/h，室外 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 63nGy/h~76nGy/h。由《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，嘉兴市建筑物室内 γ 辐射剂量率范围为 76nGy/h~271nGy/h，嘉兴市道路上 γ 辐射剂量率为 28nGy/h~117nGy/h。因此，项目辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。项目拟建址各监测点位 α 表面污染均未检出， β 表面污染最大值为 0.05Bq/cm²，各监测点位的 α 、 β 表面污染水平未见明显异常。

8.3 环境空气质量现状

（1）空气质量达标区判定

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 2025 年基本污染物的全年监测数据，海盐高级中学空气自动监测站为海盐县城区常规国控监测点位，监测数据可代表海盐县全域大气基本污染物环境质量现状，适用于项目环境空气评价。

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	过渡阶段浓度限制/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	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
嘉兴市生态环境局海盐分局/	X: 302484.48 /302002.36 Y: 3378938.62 /337645	SO ₂	年平均质量浓度	60	5	8.3	0	0	达标
			百分位（98%）日平均质量浓度	150	8	5.3	0	0	
		NO ₂	年平均质量浓度	40	24	60	0	0	达标
			百分位（98%）日平均质量浓度	80	58	72.5	0	0	

海盐 高级 中学		PM ₁₀	年平均质量浓度	60	45	75	0	0	达标
			百分位（95%）日 平均质量浓度	120	107	89.2	0	0	
		PM _{2.5}	年平均质量浓度	30	27	90	0	0	达标
			百分位（95%）日 平均质量浓度	60	68	113.3	13.3	0	不达标
		CO	百分位（95%）日 平均质量浓度	4000	800	20	0	0	达标
		O ₃	百分位（90%）8h 平均质量浓度	160	156	97.5	0	0	达标

由表 8-3 监测结果可知，根据《环境空气质量标准》（GB3095-2026），海盐县 2025 年环境空气中 PM_{2.5} 日均值未能达到《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的过渡期二级标准限值，其他指标的日均值和年均值均符合国家《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的过渡期二级标准限值。

8.4 地表水环境质量现状

项目附近地表水体为长湫河。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），长湫河起始断面长山河（东门闸），终止断面长川坝，水环境质量执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准。根据《2025 年海盐县环境状况白皮书》，2025 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。

8.5 声环境质量现状

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的评价。

8.6 生态环境现状

项目选址于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金源东路388号B幢一层（租用秦山核电产业共享有限公司现有厂房），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

项目不涉及。

8.8 地下水、土壤环境现状

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

项目租用已有建筑物，场所装修由出租方完成；项目施工仅设备安装和调试，设备安装和调试不涉及使用放射性同位素，因此施工期影响很小，不作进一步分析。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 工程工艺介绍

项目拟使用 ^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{14}C 和 ^3H 等 11 种核素开展放射性标记药物研发与评价实验，以期具备年完成 50 项偶联药物临床前评价服务及 10 项偶联药物研究者发起试验（IIT）研究服务的能力。其中， ^{68}Ga 由外购的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购。根据细胞摄取实验和小鼠实验安排和批次，项目各核素标记合成拟每周开展 1 次，其中使用 ^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素时，分 2 次开展标记（一般上下午各 1 次），使用 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{14}C 和 ^3H 核素时，开展 1 次标记。

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 各核素操作量及年用量一览表

序号	核素名称	物理状态	单次最大操作量 (Bq)	日操作次数	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	年工作天数	来源
1	^3H	液态	1.85E+08	1	1.85E+08	1.11E+10	250	外购
2	^{14}C	液态	1.85E+08	1	1.85E+08	1.11E+10	250	外购
3	^{64}Cu	液态	3.70E+08	2	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
4	^{68}Ga	液态	3.70E+08	2	7.40E+08	4.81E+10	250	淋洗
5	^{89}Zr	液态	3.70E+08	2	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
6	^{90}Y	液态	9.25E+08	2	1.85E+09	7.40E+10	250	外购
7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	3.70E+08	2	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
8	^{111}In	液态	3.70E+08	2	7.40E+08	4.81E+10	250	外购
9	^{177}Lu	液态	1.85E+09	1	1.85E+09	7.40E+10	250	外购
10	^{212}Pb	液态	3.70E+08	1	3.70E+08	1.11E+10	250	外购
11	^{225}Ac	液态	3.70E+07	1	3.70E+07	3.70E+09	250	外购

注：由于项目各实验非每天都安排，因此年最大操作量与日最大操作量、年工作天数并无直接比例关系；日最大操作量保守按所有核素在同一天操作保守考虑。

表 9-2 发生器购买规格及最大操作量

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}Ge - ^{68}Ga 发生器)	1.11×10^9	1	1.11×10^9	1.11×10^9

注： ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗效率为 80%，每日淋洗 2 次，上午 1 次，下午 1 次；

9.2.2 工程流程及产污环节分析

项目拟采用 ^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{14}C 和 ^3H 等 11 种核素开展放射性偶联药物临床前评价服务及偶联药物 IIT 研究服务相关实验，包括放射性药物标记实验、放射性质控分析实验、细胞放射性摄取实验、动物给药与组织分布及代谢鉴定实验，总体工艺流程及产污环节流程图见图 9-1。

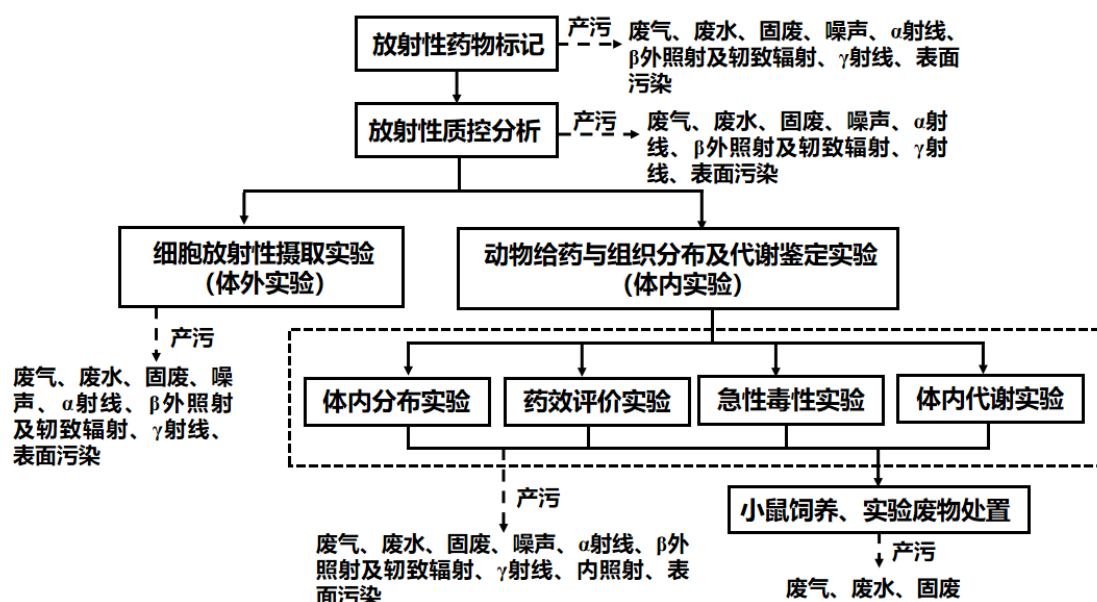


图 9-1 总体工艺流程及产污环节示意图

9.2.2.1 放射性药物标记实验

(1) 核素获取

项目放射性核素标记实验室所用核素，除 ^{68}Ga 核素通过锗镓发生器淋洗获取，其他核素均通过外购获取。

项目拟购置 1 台锗镓发生器（ ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器），置于热室的手套箱内，在手套箱内进行淋洗制备放射性核素 ^{68}Ga 。 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器是一种色谱柱型发生器，其核心工作原理是：母体核 ^{68}Ge 牢固吸附于色谱柱上，其衰变后产生子体核素 ^{68}Ga ， ^{68}Ga 与 ^{68}Ge 的化学性质不同，几乎不被柱吸附。因此，使用 4~5mL 的高纯盐酸淋洗色谱柱时，仅 ^{68}Ga 被洗脱出来，获得 $^{68}\text{GaCl}_3$ 溶液，而 ^{68}Ge 继续留在柱内衰变。由于 ^{68}Ge 持续衰变，便可不断生成新的 ^{68}Ga ，实现子体核素的重复制备。

根据建设单位提供资料，项目拟订购的锗镓发生器一次订购 1 个，规格为 30mCi， ^{68}Ge - ^{68}Ga 的淋洗效率约 80%，淋洗 1 次约耗时 1h，每天淋洗 2 次（上午 1 次，下午 1 次），日最大淋洗出 ^{68}Ga 的活度约为 20mCi（ $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ），但伴随 ^{68}Ge 母体的衰变，每次淋洗量会有所递

减。发生器的预期质保时间取决于使用频率,洗脱的体积等因素,根据厂家提供的数据,发生器的合理质保期为 12 个月。实际工作中,建设根据使用情况,一般 12 个月更换一次,每年最多购买 1 支锗镓发生器,废旧锗镓发生器由厂家回收。

^{68}Ga 和 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 等 9 种外购核素溶液均在热室的手套箱内进行开瓶、标记， ^{14}C 和 ^3H 亦为外购核素溶液，在放射性有机合成实验室的通风柜内进行，整个过程均在密闭容器及防滴漏托盘内进行，以减少气溶胶的产生和避免撒漏。

(2) 放射性化学合成(标记)与分离纯化

① ^{68}Ga 和 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 的标记与分离纯化

一
二
三
四
五
六
七
八
九
十

③ ^3H 的化学合成与分离纯化

A ^3H 催化氢化及氦氖交换反应: 将未标记的非饱和多肽或小分子前体 (如含碳碳双键、

项目放射性药物标记工艺及产污环节流程图见图 9-2。

9.2.2.2 放射性质控分析实验

(1) 实验流程

①全样送检

采用注射器从纯化后的探针产物吸取微量（活度在 $10\mu\text{Ci}$ 以内）放置在铅转运盒，转运到放射性质控实验室进行质控检测。纯化的探针产物则放置在铅转运盒送至各实验室开展各项实

验。

的

0.

的

[

图 9-3 项目放射性质控分析实验工艺流程及产污环节示意图

9.2.2.3 细胞放射性摄取实验

（1）细胞放射性摄取实验的工作原理

偶联药物（如 ADC、RDC 等）的靶向性是其药效的核心。项目通过放射性核素标记实验将放射性核素（ γ 核素、 β 核素、 α 核素）与前体靶向分子共价或螯合连接，形成放射性标记物。放射性标记的偶联药物在化学结构和生物活性上与未标记的药物一致，但可通过放射性信号被高灵敏度仪器追踪。

将标记和未标记的药物分子与细胞表面的特异性受体或抗原结合，部分药物-受体符合通过网络蛋白或小窝蛋白介导的内吞途径进入细胞质或细胞核，完成内化。孵育一段时间后，去除游离的药物并分离结合，通过 γ 计数器或液体闪烁计数器测定细胞结合的放射性活度，以此来反映药物的摄取效率，为后续药效、药代及安全性评价提供关键数据支撑。

（2）分装与细胞加药

项目细胞放射性摄取实验工艺及产污环节流程图见图 9-4。

图 9-4 项目细胞放射性摄取实验工艺流程及产污环节示意图

9.2.2.4 动物给药与组织分布及代谢鉴定实验

9.2.2.4.1 放射性探针体内分布实验

(1) 实验目的

基于项目实验室平台对偶联药物进行临床前评价的需求，放射性探针体内分布实验的核心目的在于：定量评估放射性标记的偶联药物在活体动物（如小鼠）各组织器官中的生物分布特征，从而验证偶联药物的靶向递送能力、揭示其主要代谢与清除途径，并为后续药代动力学、药效评价与安全性评价提供关键数据支撑，进而支持候选偶联药物的筛选、优化以及其向临床应用转化的风险获益评估。

(2) 实验原理

放射性体内分布实验的原理基于放射性示踪技术。将发射 γ 射线或正电子的放射性核素通过化学方法标记至偶联药物分子上，放射性标记不改变药物原有的体内生物学行为。标记后的药物经尾静脉注入动物体内后，药物随血液循环分布至全身各组织。这些核素在衰变时会释放出能够穿透组织的 γ 射线，被体外仪器探测到。由于化学性质不变，标记后的探针在体内的行为与原分子完全相同。在不同时间点处死动物，解剖取出心、肝、脾、肺、肾、肿瘤、骨骼等目标器官，称重后利用 γ 计数器或液体闪烁计数器测量各组织样本的放射性活度。通过计算每克组织的注射剂量百分比（%ID/g），即可定量反映偶联药物在各组织中的相对富集程度，从

而构建出该药物在活体内的时空分布图谱。

(3) 实验操作

项目放射性探针体内分布实验工艺及产污环节流程图见图 9-5。

(1) 实验目的

本实验采用治疗型核素标记的偶联药物作为放射性探针，在荷瘤小鼠模型中通过定量测量肿瘤体积与定性/半定量分析正常组织病理，同时评估其对肿瘤生长的抑制效果及对非病变组织的放射性毒性，进而明确放射性偶联药物的治疗获益与安全性风险，为剂量优化和临床转化提供体内证据。

(2) 实验原理

放射性探针药效评价实验的基本原理是基于治疗型核素发射的 β 或 α 粒子能通过局部高线性能量转移直接或间接诱导肿瘤细胞 DNA 双键断裂，导致细胞死亡。连续测量肿瘤体积可直观反映体内肿瘤效果，其变化值可转化为肿瘤抑制率，从统计学上量化药物在活体中的实际杀伤效果，从而避免了离体分析的干扰，反映了药物在复杂生理环境（包括摄取、分布、滞留、代谢）下的综合疗效。放射性药物可能对非靶器官（尤其是高摄取或辐射敏感器官如肝、肾、骨髓）造成损伤，而组织病理学检查能直接观察到细胞坏死、凋亡、纤维化、炎症等微观变化，是判断放射性毒性风险的“金标准”。

(3) 实验操作

①动物准备：外采携带特定肿瘤的小鼠或免疫缺陷小鼠（Nude、NXG），经记录品系、

项目放射性探针药效评价实验工艺及产污环节流程图见图 9-6。

图 9-6 项目放射性探针药效评价实验工艺流程及产污环节示意图

9.2.2.4.3 放射性探针急性毒性实验

(1) 实验目的

本实验旨在评估放射性探针单次给药后的安全性与毒性风险，明确短期内出现的毒性反应，判断特定剂量下的安全性，并确定未观察到不良效应的水平（NOEL）或未观察到有害效应的水平（NOAEL），为后续临床研究剂量设计提供依据。

(2) 实验原理

本实验基于毒理学的基本原理，通过模拟人体临床单次给药场景，将高剂量或临床拟用剂量的探针一次性给予实验动物。通过观察动物死亡率、中毒症状（如活动减少、体重异常）和尸检组织病理学改变，来判定毒性反应的严重程度。

(3) 实验操作

图 9-7 项目放射性探针急性毒性实验工艺流程及产污环节示意图

9.2.2.4.4 放射性探针体内代谢实验

(1) 实验目的

本实验旨在鉴定放射性探针在动物体内的代谢产物结构及代谢途径，区分探针及其代谢产物经肝脏（胆汁/粪便）与肾脏（尿液）的排泄贡献比例；并通过分期收集尿液、粪便及呼出气体，测定总放射性活度，计算物料平衡回收率（通常要求>90%），以验证给药剂量是否实现完全回收。

(2) 实验原理

本实验通过放射性核素标记的探针标记，利用代谢笼分期收集尿液、粪便及呼出气体，采用液闪计数器（LSC）定量各样本的总放射性活度，计算物料平衡回收率；同时结合放射性高效液相色谱-高分辨质谱（Radio-HPLC-HRMS）对生物样本中的代谢产物进行分离、检测与结构鉴定，从而明确探针的体内生物转化途径及主要清除路径（肝脏/肾脏）。

(3) 实验操作

项目放射性探针体内代谢实验工艺及产污环节流程图见图 9-8。

图 9-8 项目放射性探针体内代谢实验工艺流程及产污环节示意图

9.2.3 小鼠接入 SPF 实验室标准流程

项目外购小鼠由供应公司从工作场所东北侧 2#物流出入口送入，在摄像头下与实验室动物管理员进行“点对点”交接，记录小鼠来源、品种、数量及收货时间，并核对动物质量合格证与检疫合格证，确认无误后登记台账。登记完毕后，小鼠经非放区走廊送至动物检疫室左侧的传递窗（CDC 窗口），传入动物检疫室。专业技术人员在检疫室内对小鼠进行临床观察与检查，记录精神状态、体表外观、五官与排泄、体态与运动、食欲与饮水等情况。随后进入隔离检疫与适应性饲养阶段，时长为 3-7 天。期间，不同来源、不同批次的小鼠严格分开饲养，避免交叉感染；适应饲养结束后的小鼠送入饲养室进行培养，并完成后续实验。

小鼠进入动物检疫室后，所有用品均须严格消毒处理。所用垫料、笼具、水、食物等均从外准备间的超大灭菌箱内灭菌，工作人员由内准备间打开灭菌箱门取出，用于检疫与培养。整个小鼠实验场所严格按照 SPF 级动物实验室标准运行。

人员进入小鼠 SPF 级屏障环境须经严格更衣净化，保持单向流动，禁止逆向返回。进入路线依次为一更、二更及风淋室，退出则通过退缓到达外部区域。屏障系统严禁无关人员进入，所有人员须经登记、培训、健康检查及准入考核后方可进入。

9.2.4 人流和物流路径分析

(1) 人员路径

①放射性实验工作人员路径：放射性实验工作人员由厂区西侧 1#人员出入口进入，沿公区走廊南侧行进，依次抵达更衣室、辐射检测室，完成前置流程后方可进入放射区内各功能房间开展各类放射性实验。

②非放射性实验工作人员：非放射性实验工作人员由厂区西侧 1#人员出入口进入，沿公区走廊北侧行进，转入非放区内走廊，可进入非放区左侧区域、样品接收室、准备室、细胞室等房间开展对应试验工作。完成实验室，原路返回，经辐射监测室监测是否存在污染，如存在污染则在去污淋洗间进行去污，直到监测合格；如不存在污染，则在更衣室更衣后离开。

③动物（小鼠）管理员路径：小鼠管理人员进入 SPF 洁净实验环境需严格遵循单向流动管理要求。小鼠管理人员 A、B 均先由非放区内走廊抵达外准备间，在外准备间完成小鼠饲养耗材、饲喂物资的灭菌预处理工作；随后人员依次进入一更室、二更室、风淋室，经洁净处理后沿洁净内走廊行至内准备间取出灭菌物资，再开展小鼠相关实验操作；全部实验工作完成后，统一经退缓室退出洁净区域。

(2) 动物路径

外采小鼠统一运送至厂区东北侧 2#物流出入口，在此完成点对点交接流程，工作人员核对小鼠品种、数量、来源、动物质量合格证、检疫合格证等全套资料，并对运输笼具外表面实施全面消杀；完成交接消杀后沿非放区内专用走廊转运，通过动物检疫室配套 CDC 专用传递窗送入室内，先在动物检疫室完成小鼠健康检疫与隔离观察工作，之后转运至小鼠饲养室开展标准化分笼饲养，再送入动物标记室完成放射性探针标记给药实验，标记结束后转移至解剖室实施解剖、组织取样操作；解剖取得的离体组织送至公共实验室开展组织实验或代谢鉴定分析；全部实验工作完成后，解剖产生的小鼠尸体、公共实验室留存的含放射性动物组织残体统一收集密封、张贴标识，转运至衰变暂存间内密闭冷藏分区存放。

(3) 放射性核素路径

外购放射性核素由供药企业运送至厂区东北侧 2#出入口，全程在监控摄像下与同位素实验室管理人员完成点对点交接工作，工作人员完整记录核素活度、生产批次、数量、收货时间等关键信息并录入专用管理台账，完成交接后经厂区内专用道路转运存放至放射源库。从放射源库领取核素后可分为两条并行制备作业路线，一是转运至热室开展放射性药物标记工作，二是转运至放射性有机合成室开展放射性化学合成工作，两条路线产出的标记产物全部统一输

送至放射性质控室内完成放化质量检测。经质控检测合格后的放射性探针再分流至两条并行实验区域，其一运送至细胞培养室开展细胞放射性摄取实验；另一路转运至动物标记间开展动物给药、组织分布及代谢鉴定相关实验，放射性探针通过动物标记间西侧配套 CDC 传递窗送入操作区域使用。全部实验操作完成后，废弃放射性实验器材统一收集转运至衰变暂存间分区存放；实验动物尸体、粪便、含放射性动物组织残体密封收纳后转运至衰变暂存间冷藏暂存。

^{68}Ga 由热室淋洗得到并记录活度、批次、数量以及淋洗时间等信息并登记到台账中进行放射性药物标记、质控、细胞放射性摄取实验、动物给药与组织分布及代谢鉴定实验。

如果不能立即开展实验，将放射性物质转移至源库暂存。

(4) 放射性废物转移路径

普通放射性废物路径：各实验房间内产生的普通放射性废物(不含动物尸体和动物垫料)，收集到房间内废物桶中→转移到放射区废弃物衰变间→废物暂存 120d 后→监测→报海盐生态环境局批准→从东北侧 23 物流出入口离开→解控为危险废物送有资质单位处置并详细记录处置台账。

动物尸体路径：将动物尸体和组织，在实验结束后，装入厚塑料袋中→转移放射区废弃物衰变间的冰柜内→废物暂存 120d 后→监测→报海盐县生态环境局批准→从东北侧 2#物流出入口离开→送交有资质单位处置，并详细记录处置台账。

放射区内共计配置 4 个防护当量 20mmPb 脚踏式铅废物桶，放射区废弃物衰变间放置 2 个有效体积约 0.4m³ 的固体废物暂存铅箱，分为两格，共四格，防护当量为 10mmPb，此外，还放置 1 台防护冰柜，用于储存动物组织，可以保障实验室放射性废物衰变后交有资质单位处理。

(5) 非放射性物流路径

非放射性原料进入路径：外购的非放射性原料由供应公司运至工作场所的东北侧 2#物流出入口处→在摄像头下与管理人员办理“点对点”交接手续，并记录批次、数量以及收货时间等信息并登记到台账中→将非放射性原料转移至原辅料库内普通试剂室/危化品室/垫料饲料间内暂存→通过公区内走廊进入非放射性工作场所→配送至非放区各功能房间或经传递窗送至放射区。

非放射性废物流出路径：非放射性废物中，一般废物经房间内废物桶收集后运至园区垃圾回收站，由环卫工人统一清运；纸壳、玻璃容器等可回收物则集中收集至北侧废弃物暂存间处理。

图 9-8 人流物流路径示意图

9.2.5 劳动定员与工作负荷

项目拟新增 5 名辐射工作人员，均须在项目投运前通过辐射安全与防护考核，考核类别“科研、生产及其他”，且上岗前体检合格方可上岗，并为其配备个人剂量计。

项目工作场所拟配备人员情况见表 9-3。

表 9-3 项目工作人员配置及工作负荷

工作人员		工作内容	批次操作时间	年操作批次	年操作时间
放射性化学实验员 (负责: 合成标记实验、放射性质控分析实验)	2 名	热室	120min	750	1500h
		放射性质控	10min	750	125h
		核素转运	5min	750	62.5h
放射性有机合成实验员 (负责: 放射性有机合成标记)	1 名	放射性有机合成	300min	200	1000h
		放射性质控	10min	200	34h
		核素转运	5min	200	17h
放射性药理实验员 (负责: 细胞放实验、动物实验)	2 名	动物标记	15min	910	227.5h
		细胞培养	60min	550	550h
		解剖	30min	910	455h
		公共实验操作	10min	910	152h

注: 上述计算结果均向上取整保守计算。

9.3 源项分析

9.3.1 放射性污染源项

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 9-4。

表 9-4 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
^{111}In	液态	中毒	2.83d	EC	/	/	0.245
^{64}Cu	液态	低毒	12.7h	β^+ , β^- , EC	/	0.653 (β^+) 0.580 (β^-)	0.511, 1.346
^{89}Zr	液态	中毒	3.27d	β^+ , EC	/	0.902	0.511, 0.909
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	低毒	6.02h	IT(同质异能跃迁)	/	/	0.141
^{90}Y	液态	中毒	2.67d	β^-	/	0.9337	/
^{177}Lu	液态	中毒	6.71d	β^-	/	0.498	0.2084
^{225}Ac	液态	极毒	9.92d	α	5.83	/	0.186

^{212}Pb	液态	中毒	10.64h	β^-	/	0.574	0.239
^{14}C	液态	中毒	5700a	β^-	/	0.156	/
^3H	液态	低毒	12.43a	β^-	/	0.0186	/
^{68}Ge (^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器)	液态	中毒	288d	EC	/	0.68	1.465

注：1、 ^{225}Ac 自身仅释放 α 射线，无原生 γ 射线；其子体核素衰变会产生 0.186MeV γ 射线，实验过程存在该 γ 外照射风险。
2、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》等。

9.3.1.1 射线

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。

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、器具擦拭、动物给药等步骤，污染物为上述 11 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。项目使用核素状态为液态， ^{14}C 和 ^3H 放射性核素操作的标记实验均在放射性有机合成室内进行，且反应过程在密闭的反应瓶内，其他液态放射性核素操作的标记实验均在负压手套箱内进行。此外，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 放射性废气

项目运营期间产生的放射性废气主要来自以下工艺环节：①热室内放射性药物标记实验的核素分装过程，会有微量放射性核素挥发；②放射性化合物合成工艺，合成、旋蒸、氮吹环节可能涉及有机 VOCs、 ^3H 蒸汽的挥发和 $^{14}\text{CO}_2$ 气体的产生；③放射性质控工艺，样品处理过程中会产生微量气溶胶；④细胞放射性摄取实验，细胞加药、孵育、洗涤及消化环节可能存在微量放射性核素气溶胶挥发；⑤动物给药与组织分布及代谢鉴定实验工艺，小鼠给药、解剖取样的操作中，可能存在微量放射性核素的气溶胶挥发；⑥锗-镓发生器淋洗操作环节，淋洗、分装过程会释放微量含放射性气溶胶废气。

针对上述环节，项目采取全过程控制措施：所有高活度的放射性操作均在防护手套箱、通

风橱或生物安全柜内完成，并设置排风过滤系统（排风口—风管—过滤器—风机），采用活性炭吸附工艺，经楼顶高空排气筒达标排放。手套箱内操作全程使用密闭容器及防滴漏托盘，最大限度减少气溶胶产生。所有合成、旋蒸、氮吹、柱层析设备均安置于放射性专用通风橱内，橱门开启高度下保持面风速 $>0.5\text{m/s}$ ，若涉及 $^{14}\text{CO}_2$ 气体，还需在通风橱内前置碱液洗涤瓶（NaOH 溶液陷阱等）进行化学吸收截留。实验室排风管路末端配置活性炭吸附装置，用于同时拦截常规有机 VOCs 及附着的放射性气溶胶。

9.3.1.5 放射性废水

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，无日常性放射性废水排放，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，常规营运期无此类废水产生；

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：收集至衰变罐贮存，并建立专属全流程管理台账，定期委托具备放射性废物处置资质的单位统一收运处置。

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（放射源库、放射区废弃物衰变间除外）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，保洁人员严格按制度执行清洁工作。

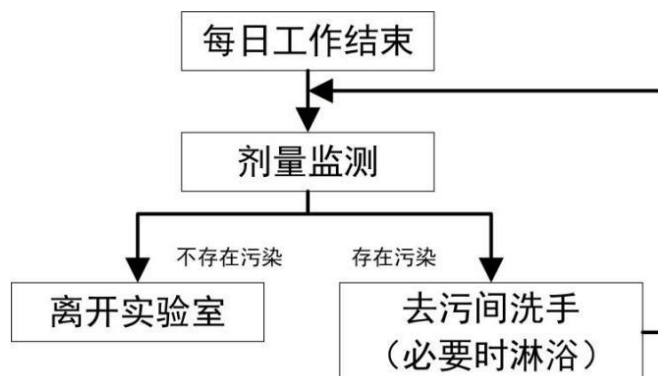


图 9-9 去污流程图

9.3.1.6 放射性废液

项目运营期产生的放射性废液主要包括柱层析洗脱剂、旋蒸冷凝溶剂、反应残液、废闪烁液等，项目使用反应器皿等均一次性使用，使用后作为放射性固废处置，不产生清洗废液。实验室内部不设置任何放射性废液排放口，手套箱或操作台下方设置专属的、带有二次防漏围堰的 HDPE（高密度聚乙烯）防渗收集桶，可将“放射性有机废液”严格分类收集，各环节单次实验废液产生量如下：

（1）放射性药物标记实验

①⁶⁸Ga 放射性药物标记实验

A. 锗镓发生器淋洗废液：锗镓发生器淋洗 1 次产生的废液量约 0.005L，C18 小柱洗涤废液产生量约 0.01L，废液总量约 0.015L；

B. ⁶⁸Ga 标记与分离纯化废液：单批次实验使用前体溶液和缓冲溶液约 0.01L。分离纯化过程纯化水冲洗色谱柱以及乙醇/生理盐水洗脱产生的废液量分别约 0.01L 和 0.002L；

C. 核素放化纯度检测：主要为乙腈/水等混合流动相有机废液，单批次检测废液约 0.02L。

⁶⁸Ga 放射性药物标记实验合计产生废液约 0.057L；

②外购核素放射性药物标记实验

A. 外购核素分装废液：外购核素分装后的微量残留溶液，单核素单批次产生量约 0.002L；

B. ¹¹¹In、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、⁹⁰Y、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac、²¹²Pb 等核素标记与分离纯化废液及反应残液：单批次实验产生放射性废液约 0.022L（同 A-2）；

C. 核素放化纯度检测：单批次检测废液约 0.02L（同 A-3）。

外购核素放射性药物标记实验合计产生废液约 0.044L；

③¹⁴C 相关实验废液：每批次 ¹⁴C 亲核反应后加入酸性/碱性猝灭液单批次使用量约 0.017L，旋转蒸发浓缩产生的有机废液约 0.03L，硅胶柱层析/HPLC 洗脱废液约 0.15L，放化纯度检测废液约 0.003L。合计废液约 0.20L。

④³H 相关实验废液：每批次实验使用的有机溶剂及反应残液约需 0.007L，产生的滤膜洗涤废液、旋转蒸发/氮吹废液以及色谱柱洗脱废液约 0.15L，放化纯度检测废液约 0.003L，合计废液约 0.16L。

（2）放射性质控分析实验

每批次放射性质控分析实验废液主要包括多余样品废液、液相色谱废流动相废液；单批次实验的液相色谱废流动相废液产生量约 0.03L，多余样品废液总量约 0.02L，废液总量约 0.05L。

（3）细胞放射性摄取实验

细胞放射性摄取实验产生的放射性废液主要包括细胞加药孵育后的上清液、洗涤废液、未转移的少量残留的消化液、需液闪测定时含闪烁液及微量样品的有机废液、细胞培养板废液。 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 为 α 核素， ^{90}Y 、 ^{14}C 和 ^3H 为 β 核素，需要使用液体闪烁测定，而 ^{68}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 为 γ 核素，可直接使用 γ 计数仪测量，不需要加入闪烁液，不涉及含闪烁液的有机废液。项目每批次设置一般不超过 100 个孔，保守以 100 个孔考虑。

根据常规实验经验，细胞实验孵育结束后，每孔可吸除约 100 μL 的上清液，共产生 0.01L；每批实验使用预冷的缓冲溶液洗涤细胞 2 次，每孔产生约 100 μL ，共计 0.02L 的洗涤废液；未转移的消化液每板不超过 0.005L；需液闪检测的核素每个放免管约产生 1mL 含闪烁液的有机废液，以最大 100 管考虑，共产生 0.1L，使用 γ 计数仪测定的可忽略不计。因此，废液总量约 0.135L（液体闪烁计数仪检测）或 0.035L（ γ 计数仪检测）。

（4）动物给药与组织分布及代谢鉴定实验

A 放射性探针体内分布实验：单批次实验试剂残液产生量约 0.005L，单批次产生闪烁等检测废液 0.02L，共 0.025L。

B 放射性探针药效评价实验：单批次实验配药残液产生量约 0.005L，单批次产生闪烁等检测废液 0.02L，废液合计约 0.025L。

C 放射性探针急性毒性实验：单批次实验配药残液产生量约 0.005L，单批次产生闪烁等检测废液 0.02L，血液、血浆等生化分析稀释液约 0.005L，废液合计约 0.03L。

D 放射性探针体内代谢实验：单批次实验配药残液产生量约 0.005L，血液、血浆等生化分析稀释液约 0.005L，样品前处理有机溶剂废液约 0.10L，单批次产生闪烁等检测废液 0.02L，代谢物鉴定色谱/质谱等流动相废液约 0.02L，废液合计约 0.15L。

综上，项目实施后放射性废液的产生情况详见表 9-5。

表 9-5 项目产生的放射性废液汇总表

工艺环节	涉及核素	单批次产生量（L/次）	年操作实验批次（次/a）	年废液产生量（L/a）
放射性药物标记实验	^{68}Ga	0.057	100	5.7
	^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.044	200	8.8
	^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 ^{90}Y	0.044	450	19.8
	^{14}C	0.20	50	10
	^3H	0.16	50	8
小计				52.3
放射性质控	^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.05	300	15

分析实验		^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{111}In 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y	0.05	450	22.5	
		^{14}C 、 ^3H	0.05	100	5	
小计					52.5	
细胞放射性 摄取实验		^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.035	300	10.5	
		^{111}In 、 ^{177}Lu 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.035	450	15.75	
		^{14}C 、 ^3H	0.135	100	13.5	
小计					39.75	
动物类 实验	放射性探针体 内分布实验	^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.025	150	3.75	
		^{111}In 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.025	300	7.5	
		^{14}C 、 ^3H	0.025	100	2.5	
	放射性探针药 效评价实验	^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.125	96	12	
	放射性探针急 性毒性实验	^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.03	72	2.16	
		^{111}In 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.03	144	4.32	
	放射性探针体 内代谢实验	^{14}C 、 ^3H	0.15	48	7.2	
	小计					39.43
	含 ^{14}C 、 ^3H 的放射性废液					32.7
含 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素废液					55.91	
含 ^{111}In 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 核素废液					95.37	
合计					184.0	

9.3.1.7 放射性固废

项目运营期间的放射性固废主要来自以下环节，各环节单次实验产生的放射性固废具体如下：

（1）放射性药物标记实验

本实验采用锗镓发生器淋洗 ^{68}Ga ，废锗镓发生器每年更换 1 支，由厂家回收。废 C18 小柱或 PD-10 小柱在 ^{68}Ga 淋洗工艺及核素分离纯化工艺中使用，每次使用后更换，约 0.01kg；其他外购核素原液瓶约 0.1kg；核素获取和分装过程产生的一次性针头、注射器等污染耗材每批次约 0.02kg；防滴漏托盘每季度更换 1 次，年产生约 0.5kg；放化合成与标记工艺每批次产生密封反应瓶、注射器及受污染的垫片/铝箔等，约 0.01kg；分离纯化工艺使用的废乙醇/生理

盐水瓶、废硅胶、废树脂、废滤膜等约 0.02kg;

日常消耗与去污: 每日操作使用的一次性手套、口罩、擦拭纸等约 0.08kg, 年操作 250 天计 20kg; 表面去污每次约 0.05kg, 年发生 50 次计 2.5kg。

(2) 放射性质控分析实验

放射性质控产生的废进样针、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。放化纯度检测工艺每批次产生废液瓶、废层析板/点样板、废毛细吸管、废注射器、废滴管、废放免管等, 约 0.01kg。

(3) 细胞放射性摄取实验

细胞放射性摄取实验产生的放射性固废主要包括一次性离心管、移液器枪头、细胞培养板、放免管、污染的一次性手套、擦拭纸等。每批次使用 2 支离心管, 2g/支, 共约 0.004kg; 使用 100 支移液器枪头, 0.1g/支, 共约 0.01kg; 细胞培养板 2 块, 40g/块, 共约 0.08kg; 放免管 100 支, 1g/支, 共约 0.1kg; 手套、擦拭纸等每批次 0.01kg, 共 0.204kg/批次。

(4) 动物给药与组织分布及代谢鉴定实验

本实验产生的放射性固废主要包括 4 部分: ①废弃实验动物与组织, 包括小鼠尸体、解剖切除的废弃组织 (如骨骼、肌肉等) 以及被放射性标记药物污染的组织; ②动物排泄物与垫料; ③污染耗材与防护用品, 包括注射器、放射性安瓿瓶、放射性棉签、手套、擦拭纸、采血针、解剖耗材、固定后组织块、废弃组织切片、样品瓶等; ④实验室废弃样品, 包括血液、尿液、粪便匀浆液、组织匀浆液等生物样品。不同实验环节具体产生的放射性固废及产量如下:

A 放射性探针体内分布实验

以每周开展 1 批次实验, 每批次实验使用 15~20 只小鼠考虑。每只小鼠体重约 20~30g, 单只小鼠尸体及废弃组织等产生量约 0.025kg, 每批次约产生 0.5kg; 单只小鼠饲养及代谢笼收集的废弃粪便约产生 0.01kg, 每批次约产生 0.20kg; 每批次实验产生的废弃污染物耗材、解剖耗材等约 0.05kg。

B 放射性探针药效评价实验

以每月开展 2 批次实验, 每批次实验使用 20~30 只小鼠考虑。每只小鼠体重约 20~30g, 单只小鼠尸体及废弃组织等产生量约 0.025kg, 每批次约产生 0.75kg; 单只小鼠饲养及代谢笼收集的废弃粪便约产生 0.01kg, 每批次约产生 0.30kg; 每批次实验产生的废弃污染物耗材、解剖耗材等约 0.06kg; 实验后产生的废气组织切片约 0.01kg。

C 放射性探针急性毒性实验

以每月开展 2 批次实验，每批次实验使用 12~15 只小鼠考虑。每只小鼠体重约 20~30g，单只小鼠尸体及废弃组织等产生量约 0.025kg，每批次约产生 0.375kg；单只小鼠饲养及代谢笼收集的废弃粪便约产生 0.01kg，每批次约产生 0.15kg；每批次实验产生的废弃污染物耗材、解剖耗材等约 0.03kg；实验后产生的废气组织切片约 0.054kg。

D 放射性探针代谢鉴定实验

以每月开展 2 批次实验，每批次实验使用 10~20 只大鼠考虑。每只大鼠体重约 50-60g，单只小鼠尸体及废弃组织等产生量约 0.055kg，每批次约产生 1.1kg；单只大鼠饲养及代谢笼收集的废弃粪便约产生 0.01kg，每批次约产生 0.20kg；每批次实验产生的废弃污染物耗材、解剖耗材等约 0.02kg。

(5) 小鼠饲养废垫料

小鼠饲养 6 只一笼，饲养笼具重复利用，笼具垫料每周更换一次，每个笼具产生的废弃垫料约 50g，根据上述实验使用小鼠数量及饲养周期，则每年产生的废垫料约为 250kg。

(6) 通风及废气处理系统

项目放射区共设计 3 套通风系统，每支排风管道均设置有活性炭吸附箱体，每套活性炭装置活性炭填装量为 50kg，每年更换一次，则年废活性炭总量为 150kg，更换下来的活性炭用塑料袋密封后转移到衰变间暂存衰变，至少暂存 120d 后，经监测符合清洁解控标准并经生态环境主管部门批准后解控为危险废物处置。另外放射性有机合成室通风橱设有活性炭过滤装置，活性炭填装量为 10kg，每年更换一次，此部分活性炭用塑料袋密封后转移到衰变间分类贮存，定期委托有放射性废物处置资质的单位处置。

根据厂家推荐更换周期，活性炭高效过滤装置的过滤使用寿命约为 12 个月，为防止过滤装置失效，造成放射性污染事件，公司需每半年对过滤效率进行校核，如有必要需提前更换活性炭过滤介质。

综上，项目实施后放射性固废的产生情况详见表 9-6。

表 9-6 项目产生的放射性固废汇总表

工艺环节		固废类型	涉及核素	每批次产生量（kg/次）	年操作次数（次/a）	年固废产生量（kg/a）
放射性药物标记实验	核素获取分装、标记、分离纯化	C18 小柱	^{68}Ga	0.01	100	1
		废污染耗材	^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.02	750	15
		废反应瓶等		0.01		7.5
		废滤膜/废树脂等		0.02		15
	防滴漏托盘				0.125	4
	日常一次性耗材			0.08	250	20
	表面去污用品			0.05	50	2.5

验	分装、标记、 分离纯化	废污染耗材	^{14}C 、 ^3H	0.02	100	2	
		废反应瓶等		0.01	100	1	
		废滤膜/废树脂等		0.02	100	2	
	污染耗材等			0.08	250	20	
	表面去污用品			0.05	50	2.5	
小计						89	
放射性质控 分析实验	废污染耗材	^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.02	750	15		
	废层析板等		0.01		7.5		
	废污染耗材	^{14}C 、 ^3H	0.02	100	2		
	废层析板等		0.01		1		
细胞放射性 摄取实验	沾染核素实验 耗材	^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.204	750	153		
	沾染核素实验 耗材	^{14}C 、 ^3H	0.204	100	20.4		
小计						198.9	
动物类 实验	放射性探针 体内分布实 验	小鼠尸体及废 弃组织	^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.50	450	225	
		小鼠粪便		0.20		90	
		废污染耗材		0.05		22.5	
		小鼠尸体及废 弃组织	^{14}C 、 ^3H	0.50	100	50	
		小鼠粪便		0.20		20	
		废污染耗材		0.05		5	
	放射性探针 药效评价实 验	小鼠尸体及废 弃组织	^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.75	96	72	
		小鼠粪便		0.30		28.8	
		废污染耗材		0.06		5.76	
		废组织切片		0.01		0.96	
	放射性探针 急性毒性实 验	小鼠尸体及废 弃组织	^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.375	216	81	
		小鼠粪便		0.15		32.4	
		废污染耗材		0.03		6.48	
		废组织切片		0.054		11.664	
	放射性探针 体内代谢实 验	小鼠尸体及废 弃组织	^{14}C 、 ^3H	1.1	48	52.8	
		小鼠粪便		0.2		9.6	
		废污染耗材		0.02		0.96	
	小计						714.924
	小鼠饲养	废垫料	^{68}Ga 、 ^{111}In 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb	0.05kg/次	4500 次	225	
			^{14}C 、 ^3H	0.05kg/次	500 次	25	
小计						250	

⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器 淋洗	废发生器	⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga	/	/	1 个/年
放射区通风系统（3 根风管）		⁶⁸ Ga、 ¹¹¹ In、 ⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr、 ^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac、 ²¹² Pb、 ¹⁴ C、 ³ H	150kg/根	每年更换 1 次	150
通风橱		¹⁴ C、 ³ H	10kg		10
含 ¹⁴ C、 ³ H 放射性固废量					221.26
其他核素放射性固废量					1191.564
合计					1412.824
注：小鼠尸体、废弃组织及粪便共约 675.184kg/a，其余放射性固废约 727.64kg/a，共计约 1412.824kg/a。					

9.3.2 非放射性污染源项

项目主要非放射性污染源项为废水、废气、固废和噪声等，具体如下：

9.3.2.1 废水

项目放射性实验工艺过程产生的废液收集后均作为危废处理，废水主要为实验室台面和地面擦洗废水以及职工生活污水。

（1）浓水

项目所用纯水由自购的纯水机制取，纯水用量需求约 10t/a，产水率约为 70%，则自来水用水量为 14.3t/a，产生的浓水水量为 0.017t/d，4.3t/a。纯水制备浓水污染物浓度较低，主要是少量盐分，预计 COD_{Cr} 的浓度 ≤ 50mg/L，则 COD_{Cr} 产生量为 0.003t/a。

（2）地面清洗废水

项目实验室地清洗频率为每月一次，地面清洗用水标准为 2L/m² 次，实验室总面积约 600m²，则场地清洗废水产生量为 1200L/月，25t/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 0.0072t/a、NH₃-N 为 0.0004t/a。

（3）生活污水

项目劳动定员约为 6 人，年工作约 250 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 9-12。

表 9-12 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	6 人	50L/人·天	0.3t/d	0.9	0.27t/d

项目生活污水产生量约 0.27t/d(67.5t/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 0.024t/a、氨氮为 0.0024t/a。

综上，项目实施后废水的产生情况详见下表。

表 9-13 废水产生情况汇总

类别	排水量 t/a	COD		氨氮	
		mg/L	t/a	mg/L	t/a
浓水	4.3	50	0.0002	/	/
地面清洗废水	25	500	0.0072	30	0.0004
生活污水	67.5	350	0.024	35	0.0024
废水小计	96.8	-	0.031	-	0.003

9.3.2.2 废气

项目实验所用部分溶剂具有挥发性。废气主要来自各环节使用挥发性溶剂产生的有机废气（以非甲烷总烃计），以及动物饲养区产生氨等恶臭废气。

（1）有机废气

项目工艺中所使用的有机溶剂详见下表。

表 9-14 主要溶剂使用情况一览表

序号	名称	形态	年用量 L	密度 g/cm ³	年用量 kg
1	乙腈（HPLC 级）	液态	100	0.786	78.6
2	甲醇（分析纯）	液态	50	0.791	39.55
3	无水乙醇	液态	50	0.789	39.45
4	三氟乙酸（TFA）	液态	1	1.489	1.49
5	二甲基亚砷（DMSO）	液态	1	1.1	1.1
6	冰醋酸	液态	1	1.049	1.05
7	甲酸	液态	1	1.22	1.22
8	正丁基锂（2.5M 己烷溶液）	液态	0.5	0.67	0.34
9	无水四氢呋喃（THF，超纯级）	液态	25	0.889	22.23
10	无水 N,N-二甲基甲酰胺（DMF）	液态	25	0.944	23.6
11	乙酸乙酯（EA）/石油醚（PE）	液态	110	0.785	117.75
12	液闪闪烁液（含二甲苯/伪枯烯等）	液态	10	0.86	8.6
合计					334.98

项目工艺流程中挥发性有机溶剂的年总用量约为 334.98kg，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，则有机废气（以非甲烷总烃计）产生量为 33.5kg/a。根据设计，项目挥发性有机试剂操作场所均设计有手套箱或通风橱等设施，涉及产生有机废气工序均在手套箱或通风橱中进行，且实验室内为微负压环境，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，项目挥发性有机溶剂操作区域排风量为 3500m³/h，产生的废气收集后经活性炭吸附处理，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）有组织排放量为 6.03kg/a，排放速率为 0.003kg/h，排放浓度为 0.86mg/m³；无组织排放量为 3.35kg/a，排放速率为 0.002kg/h。

(2) 酸性废气

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。项目产生酸性废气工序均通过通风柜内进行，废气收集后经活性炭吸附处理后高空达标排放。

(3) 小鼠饲养废气

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。

小鼠饲养室和动物检疫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（ NH_3 、 H_2S 等）。小鼠饲养采用的笼具垫料定期更换，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活性炭吸附处理后屋顶高空排放，小鼠饲养室和动物检疫的面积总和约为 42.48m^2 ，所有房间层高以 2.8m 计，换气次数 >15 次/h，所需风量为 $1784.16\text{m}^3/\text{h}$ ，依据设计单位提供资料，该共用排风管道设计最大风量为 $4500\text{m}^3/\text{h}$ 。

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 9-15 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	$4500\text{m}^3/\text{h}$	80%	400

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

表 9-16 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/a)
				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)	
实验工艺	实验设施	有组织	非甲烷总烃	系数	33.5	活性炭吸附	80	计算法	6.03	0.003	0.86	2000

		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)	/	/	8760
实验工艺	实验设施	无组织	非甲烷总烃	系数	3.35	/	/	/	3.35	0.002	/	2000

表 9-17 大气污染物有组织排放量核算表

序号	排放口位置	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	B 幢厂房内天井 北侧墙体屋顶处	非甲烷总烃	0.86	0.003	6.03
有组织排放总计					
有组织排放总计	非甲烷总烃				6.03

表 9-18 大气污染物无组织排放量核算表

序号	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	
1	实验工艺	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)	6.0mg/m ³	3.35
无组织排放总计						
无组织排放总计		非甲烷总烃				3.35

表 9-19 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	9.38

9.3.2.3 固废

(1) 废包装材料（试剂瓶）

项目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 0.20t/a。根据《国家危险废物名录》(2025 年版)，试剂瓶等为 HW49 其他废物，危废代码 900-041-49，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) 废实验耗材

项目实验所用前体靶向分子由委托方直接提供，人源肿瘤细胞为外采，均在非放射区细胞

室内进行培养与传代。此过程及实验接收、准备等环节产生的离心管、移液枪头、口罩、手套等一次性耗材，用后不清洗，经高温高压灭活后作为危废处理，产生量约 0.5t/a。根据《国家危险废物名录》(2025 年版)，实验耗材为 HW49 其他废物，危废代码 900-047-49，经收集后委托有危险废物处理资质单位回收处理。

(3) 小鼠检疫和饲养耗材

项目外采小鼠在开展放射性实验前，需于动物检疫室和小鼠饲养室各进行一周的检疫与适应性饲养。根据放射性实验小鼠用量及笼具、垫料消耗，非放射区小鼠饲养产生的废垫料约 39.6kg/a、其他一次性耗材约 125kg/a，合计固废约 0.165t/a。根据《国家危险废物名录》(2025 年版)，此部分废物属于 HW01 医疗废物，危废代码 841-001-01，该部分废物经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行无害化处置。

(4) 废反渗透膜

项目实验淋洗、分离纯化及其他色谱分析等工艺涉及纯化水的使用。纯化水由纯水机制备，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 0.001t/a，替换下来的废反渗透膜为一般固废，废反渗透膜统一收集至废弃物暂存间内，由生产厂家回收综合利用或处置。

(5) 一般废包装材料

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 1.0t/a，项目内分类收集、袋装捆扎后，定期运送至园区统一一般固废堆放点，由园区统一委托合规单位综合回收利用。

(6) 废活性炭

项目非放射性区域动物检疫室、风淋室、动物饲养等洁净区域设置独立排风系统，排气口前端设置活性吸附装置，活性炭填装量约 150kg，主要吸附动物饲养产生的恶臭废气，每年更换一次，则废活性炭产生量约 150kg/a。根据《国家危险废物名录》(2025 年版)，废活性炭属于 HW49 其他废物，危废代码 900-039-49，该部分废物经妥善收集后委托有相应资质的危废处置单位进行处置。

(7) 废紫外灯管

项目小鼠饲养室、垫料饲养间、细胞室及洁净区走廊等使用紫外线灯进行消毒，失效后进行更换，UV 灯使用寿命约 1~2 年，更换次数按 1 次/年核算，每次更换下来的 UV 灯管约 15 根，共重约 0.01t/a。根据《国家危险废物名录》(2025 年版)，废紫外灯管为 HW29 含汞废物，危废代码为 900-023-29，经收集后委托有危险废物处理资质单位回收处理。

(8) 生活垃圾

项目实施后全厂工作人员约 6 人，按人均生活垃圾发生量 0.5kg/d 人计，则项目产生生活垃圾约为 0.75t/a，由环卫部门收集处理。

综上，项目各类副产物汇总表见表 9-20。

表 9-20 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	废包装材料	试剂拆包	0.20t/a	固态
2	废实验耗材	准备及实验过程	0.5t/a	固态
3	动物耗材	小鼠饲养	0.165t/a	固态
4	废反渗透膜	纯水制备	0.001t/a	固态
5	一般废包装材料	物料拆包	1.0t/a	固态
6	废活性炭	废气吸附	0.15t/a	固态
7	废紫外灯管	场所消毒	0.01t/a	固态
8	生活垃圾	员工生活	0.75t/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 9-21 项目副产品属性判定表

序号	副产物名称	产生工序	形态	知否属固体废物
1	废包装材料	试剂拆包	固态	是
2	废实验耗材	研发过程	固态	是
3	动物耗材	小鼠饲养	固态	是
4	废反渗透膜	纯水制备	固态	是
5	一般废包装材料	物料拆包	固态	是
6	废活性炭	废气吸附	固态	是
7	废紫外灯管	场所消毒	固态	是
8	生活垃圾	员工生活	固态	是

根据《国家危险废物名录》（2025 年版）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 9-22 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	废包装材料	试剂拆包	是	HW49	900-041-49
2	废实验耗材	研发过程	是	HW49	900-047-49
3	动物耗材	小鼠饲养	是	HW01	841--001-01
4	废反渗透膜	纯水制备	否	/	/
5	一般废包装材料	物料拆包	否	/	/
6	废活性炭	废气吸附	是	HW49	900-041-49
7	废紫外灯管	场所消毒	是	HW29	900-023-29
8	生活垃圾	员工生活	否	/	/

综上所述，项目固体废物分析情况汇总表如表 9-23。

表 9-23 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	废包装材料	试剂拆包	固态	危险固废	900-041-49	0.20t/a
2	废实验耗材	研发过程	固态	危险固废	900-047-49	0.5t/a
3	动物耗材	小鼠饲养	固态	危险固废	841--001-01	0.165t/a
4	废反渗透膜	纯水制备	固态	一般固废	/	0.001t/a
5	一般废包装材料	物料拆包	固态	一般固废	/	1.0t/a
6	废活性炭	废气吸附	固态	危险固废	900-041-49	0.15t/a
7	废紫外灯管	场所消毒	固态	危险固废	900-023-29	0.01t/a
8	生活垃圾	员工生活	固态	/	/	0.75t/a

9.3.2.4 噪声

噪声来源于实验设备运行过程，包括摇床、台式高速离心机、高效液相色谱仪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

项目位于海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢一层内，项目包括公共实验室、更衣室、去污室-淋浴、辐射检测室、热室、放射性质控、动物标记、解剖室、细胞培养室、放射性有机合成室、放射区内走廊、放射区洁净内走廊、清洁间、放射源库、衰变间（尸体污物衰变/笼具垫料衰变/放射区废弃物衰变）、预留实验室、预留间 1 等放射性实验区域以及办公室、会议室、资料室、弱电+UPS 间、气瓶间（惰性）、样品接收、接样窗、公区内走廊、准备室、缓冲间、细胞室、废弃物暂存间、普通试剂室、非放区内走廊、危化品室、垫料饲料间、洁物间、外准备间、内准备间、一更、二更、风淋室、动物检疫、小鼠饲养等非放射性实验区域构成，该厂房一层其他区域及二层为园区方暂未租赁的空闲区域，下方为实土层，无地下停车场。

项目将全部放射性功能房间集中布置，与非放射操作区域物理分隔，配套独立人员、物料、动物单向通行路径，放射区出入口设置专属门禁管控，可实现放射活动与普通实验作业互不干扰，大幅降低放射性物质对非放射性工作区域的影响。建设单位考虑了项目特点和周围环境对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）项目分区管理情况

项目辐射工作场所分区情况见表 10-1，分区示意图见附图 9。

表 10-1 项目控制区与监督区划分情况

控制区	监督区
公共实验室、去污室-淋浴、放射性质控间、放射区有机合成室、细胞培养室、辐射检测室放射源库、解剖室、清洁间、放射区废弃物衰变间、热室、动物标记、放射区内走廊、放射区洁净内走廊、缓冲	排烟机房、更衣室、弱电+UPS 间、资料室、公区内走廊、会议室、非放区内走廊、小鼠饲养室、洁净区内走廊、内部道路

（3）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。

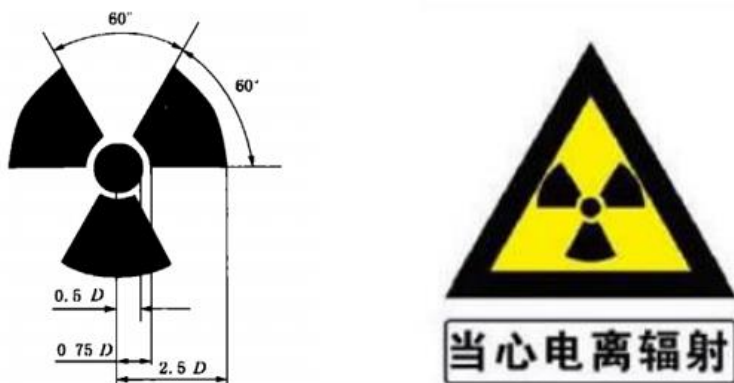


图 10-1 电离辐射的标志（左）与电离辐射警告标志（右）

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标明监督区的标牌；

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

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：

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

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 10-2。

表 10-2 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
^3H	低毒	0.01	1	$1.85\text{E}+08$	$1.85\text{E}+06$	日等效最大操作量 叠加值 $9.69\text{E}+08\text{Bq}$ ，乙级
^{14}C	中毒	0.1	1	$1.85\text{E}+08$	$1.85\text{E}+07$	
^{64}Cu	低毒	0.01	1	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+06$	
^{68}Ga	低毒	0.01	1	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+06$	
^{89}Zr	中毒	0.1	1	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+07$	
^{90}Y	中毒	0.1	1	$1.85\text{E}+09$	$1.85\text{E}+08$	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒	0.01	1	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+06$	
^{111}In	中毒	0.1	1	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+07$	
^{177}Lu	中毒	0.1	1	$1.85\text{E}+09$	$1.85\text{E}+08$	
^{212}Pb	中毒	0.1	1	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+07$	
^{225}Ac	极毒	10	1	$3.70\text{E}+07$	$3.70\text{E}+08$	
^{68}Ge (^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器)	中毒	0.1	100	$1.11\text{E}+09$	$1.11\text{E}+06$	

从表 10-2 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 $9.69\text{E}+08\text{Bq}$ ，对照非密封源工作场所分级标准，项目工作场所应按照乙级工作场所进行管理。

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 10-3。

表 10-3 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 x 核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-4 和 10-5。

表 10-4 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	⁸⁹ Zr、 ⁹⁰ Y、 ¹⁷⁷ Lu、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac	100
B	⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹¹¹ In	1
C	³ H、 ¹⁴ C	0.01

表 10-5 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 10-6 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
放射源库	³ H	0.01	100	1.85E+08	1.85E+04	II
	¹⁴ C	0.01	100	1.85E+08	1.85E+04	
	⁶⁴ Cu	1	100	7.40E+08	7.40E+06	
	⁸⁹ Zr	100	100	7.40E+08	7.40E+08	
	⁹⁰ Y	100	100	1.85E+09	1.85E+09	
	^{99m} Tc	1	100	7.40E+08	7.40E+06	
	¹¹¹ In	1	100	7.40E+08	7.40E+06	
	¹⁷⁷ Lu	100	100	1.85E+09	1.85E+09	
	²¹² Pb	100	100	3.70E+08	3.70E+08	
放射性有机合成室	²²⁵ Ac	100	100	3.70E+07	3.70E+07	III
	³ H	0.01	1	1.85E+08	1.85E+06	
热室	¹⁴ C	0.01	1	1.85E+08	1.85E+06	I
	⁶⁴ Cu	1	1	7.40E+08	7.40E+08	
	⁶⁸ Ga	1	1	7.40E+08	7.40E+08	
	⁸⁹ Zr	100	1	7.40E+08	7.40E+10	
	⁹⁰ Y	100	1	1.85E+09	1.85E+11	
	^{99m} Tc	1	1	7.40E+08	7.40E+08	
	¹¹¹ In	1	1	7.40E+08	7.40E+08	
	¹⁷⁷ Lu	100	1	1.85E+09	1.85E+11	
	²¹² Pb	100	1	3.70E+08	3.70E+10	
	²²⁵ Ac	100	1	3.70E+07	3.70E+09	

放射性质 控	³ H	0.01	1	3.70E+05	3.70E+03	2.62E+08	II
	¹⁴ C	0.01	1	3.70E+05	3.70E+03		
	⁶⁴ Cu	1	1	7.40E+05	7.40E+05		
	⁶⁸ Ga	1	1	7.40E+05	7.40E+05		
	⁸⁹ Zr	100	1	7.40E+05	7.40E+07		
	⁹⁰ Y	100	1	7.40E+05	7.40E+07		
	^{99m} Tc	1	1	7.40E+05	7.40E+05		
	¹¹¹ In	1	1	7.40E+05	7.40E+05		
	¹⁷⁷ Lu	100	1	3.70E+05	3.70E+07		
	²¹² Pb	100	1	3.70E+05	3.70E+07		
	²²⁵ Ac	100	1	3.70E+05	3.70E+07		
动物标记、 公共实验 室、解剖室	³ H	0.01	1	1.85E+08	1.85E+06	4.88E+11	II
	¹⁴ C	0.01	1	1.85E+08	1.85E+06		
	⁶⁴ Cu	1	1	7.40E+08	7.40E+08		
	⁶⁸ Ga	1	1	7.40E+08	7.40E+08		
	⁸⁹ Zr	100	1	7.40E+08	7.40E+10		
	⁹⁰ Y	100	1	1.85E+09	1.85E+11		
	^{99m} Tc	1	1	7.40E+08	7.40E+08		
	¹¹¹ In	1	1	7.40E+08	7.40E+08		
	¹⁷⁷ Lu	100	1	1.85E+09	1.85E+11		
	²¹² Pb	100	1	3.70E+08	3.70E+10		
	²²⁵ Ac	100	1	3.70E+07	3.70E+09		
细胞培养 室	³ H	0.01	1	3.70E+06	3.70E+04	2.61E+09	II
	¹⁴ C	0.01	1	3.70E+06	3.70E+04		
	⁶⁴ Cu	1	1	7.40E+06	3.70E+06		
	⁶⁸ Ga	1	1	7.40E+06	3.70E+06		
	⁸⁹ Zr	100	1	7.40E+06	7.40E+08		
	⁹⁰ Y	100	1	7.40E+06	7.40E+08		
	^{99m} Tc	1	1	7.40E+06	7.40E+06		
	¹¹¹ In	1	1	7.40E+06	7.40E+06		
	¹⁷⁷ Lu	100	1	3.70E+06	3.70E+08		
	²¹² Pb	100	1	3.70E+06	3.70E+08		
	²²⁵ Ac	100	1	3.70E+06	3.70E+08		
衰变间	³ H	0.01	10	3.85E+09	3.85E+06	6.50E+11	I
	¹⁴ C	0.01	10	3.85E+09	3.85E+06		
	⁶⁴ Cu	1	10	1.58E+10	1.58E+09		
	⁶⁸ Ga	1	10	1.58E+10	1.58E+09		
	⁸⁹ Zr	100	10	1.58E+10	1.58E+11		
	⁹⁰ Y	100	10	2.47E+10	2.47E+11		
	^{99m} Tc	1	10	1.58E+10	1.58E+09		
	¹¹¹ In	1	10	1.58E+10	1.58E+09		
	¹⁷⁷ Lu	100	10	1.94E+10	1.94E+11		
	²¹² Pb	100	10	3.55E+09	3.55E+10		

	^{225}Ac	100	10	9.43E+08	9.43E+09		
注：衰变间贮存量核算：以 120 天（4 个月）核素累计使用总量为基数进行折算。							

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 10-7 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等级如表 10-6 所示。嘉兴秦拓医药科技有限公司对于涉及 I、II、III 类三类辐射各类别工作场所均严格按照表 10-7 的对应防护要求落实建设标准：I、II 类辐射工作场所地面采用易清洁、不易渗透的 PVC 等材料，与墙壁接缝做无缝隙处理；III 类辐射工作场所地面采用易清洗材料。墙面及工作台表面均采用易清洁、不易渗透的材质；实验室内控制区不设下水，去污室/淋浴间内设置有非接触式洗手盆和淋浴设施，排水管道在满足需要的情况下尽量缩短长度，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，项目拟采取的辐射屏蔽防护设计方案具体见表 10-8。

表 10-8 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
放射源库	四侧墙体	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板
	防护门	成品电动平开铅防护门 3mmPb
	顶棚	20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+120mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
放射性有机合成室	东侧、西侧、北侧	100mm 彩钢板
	南侧（与热室共用）	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板
热室	四侧墙体	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板
	防护门	成品电动平开铅防护门 3mmPb
	顶棚	20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆
	地坪	250mm 混凝土

动物标记	四侧墙体	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板
	防护门	成品电动平开铅防护门 3mmPb
	顶棚	20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆
	地坪	250mm 混凝土
解剖室	四侧墙体	50mm/100mm 彩钢板
	防护门	50mm 彩钢板
	顶棚	50mm 彩钢板
	地坪	250mm 混凝土
公共实验室	四侧墙体	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板
	防护门	成品电动平开铅防护门 3mmPb
	顶棚	20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆
	地坪	250mm 混凝土
衰变间	四侧墙体	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板
	防护门	成品电动平开铅防护门 3mmPb
	顶棚	20mm 厚硫酸钡板双层铺设+50mm 彩钢板+120mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
注：1、混凝土密度不小于 2.35g/cm ³ ，硫酸钡涂料密度不小于 3.20g/cm ³ ，彩钢板密度不小于 7.80g/cm ³ ，铅密度不小于 11.34g/cm ³ 。硫酸钡防护涂料按密度折算混凝土厚度。		

10.1.6 手套箱/手套箱等屏蔽设计

标记合成的热室内配置专用手套箱，放射性有机合成室配置负压通风橱，小鼠标记在 IVC 笼具中进行，具体屏蔽参数见表 10-9。

表 10-9 手套箱/通风柜等的主要屏蔽设计参数

场所	箱体类型	屏蔽材质及厚度
热室	手套箱 1	65mm 铅
热室	手套箱 2	30mm 铅
有机合成室	通风橱	6mm 玻璃屏挡
细胞间	生物安全柜	/
解剖室、标记室	铅屏风	20mPb
动物标记室	IVC 笼具	5mm 铅
热室、放射性有机合成室、标记室、解剖室	脚踏式铅废物桶	20mm 铅
放射性废物衰变间	固体废物暂存铅箱/2 个共 4 格	10mm 铅
放射性废物衰变间	冰柜铅屏风	10mm 铅
放射性质控室	流动相屏蔽箱	10mm 铅

经下文计算，项目手套箱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。

10.1.7 核素产品包装屏蔽设计

建设单位外购的核素产品，其产品货包按照《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 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$) 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 10-10 核素产品外包铅罐屏蔽设计参数

核素	屏蔽防护
^{64}Cu 、 ^{89}Zr	外包 25mmPb 铅圆柱体罐
^3H 、 ^{14}C 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{111}In 、	外包 10mmPb 铅圆柱体罐
^{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。

10.1.8 辐射安全与防护措施

(1) 气流组织

项目共设置 6 套独立排气系统，分为放射性废气排气系统与非放射性废气排气系统两类，其中放射性废气排气系统共 3 套，非放射性废气排气系统共 3 套；放射性废气排气系统中，放射区主排风管 1 采用支管汇入主管的布置形式，公共实验室、更衣室、放射性质控室、预留实验室、放射性有机合成室、细胞培养室、辐射检测室、放射源库、解剖室、清洁间、衰变间各功能房间分别设置排气支管，各支管沿气流方向汇入放射区主排风管 1 后，废气沿主管输送，经厂房内天井北侧墙体引至屋顶，经排风口 1 前设置的活性炭吸附装置处理后向外排出，配套风机风量为 $3500\text{m}^3/\text{h}$ ；放射区主排风管 2 则从热室直接引至厂房内天井北侧墙体屋顶处，经排风口 2 前设置的活性炭吸附装置处理后向外排出，配套风机风量为 $3500\text{m}^3/\text{h}$ ；放射区主排风管 3 采用支管汇入主管的布置形式，动物标记、预留间 1、放射区洁净内走廊及缓冲各功能房间分别设置排气支管，各支管沿气流方向汇入放射区主排风管 3 后，废气沿主管输送，经厂房内天井北侧墙体引至屋顶，经排风口 3 前设置的活性炭吸附装置处理后向外排出，配套风机风量为 $4500\text{m}^3/\text{h}$ ；放射性有机合成室通风橱排风单独设置排风管道，经通风橱顶部活性炭吸附装置处理后接入主排风管 1。

项目放射区各功能房间新风和排放量设计方案见表 10-11。放射性废气排风管线设计见附图 10。

表 10-11 放射区各功能房间新风和排放量设计方案

功能房间	排风量 (m^3/h)	拟采取处 理措施	排气管路
公共实验室、更衣室、放射性质控、预留实验室、细胞培养室、辐射检测室、放射源库、解剖室、清洁间、衰变间	3500	活性炭吸 附	沿厂房 B 楼内天井 北墙屋顶处排出
放射性有机合成室通风橱（顶部设活性炭吸附装置）， 单独设置管道，接入主管			

手套箱	3500	活性炭吸附	沿厂房 B 楼内天井北墙屋顶处排出
动物标记、预留间 1、放射区洁净内走廊、缓冲	4500	活性炭吸附	沿厂房 B 楼内天井北墙屋顶处排出
注：1、项目单套装置活性炭填装量为 150kg，活性炭碘值大于 800mg/g。			

（2）个人防护措施

①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、工作鞋的 β 放射性核素污染水平超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 α 放射性核素污染水平超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手部、皮肤、内衣、工作袜的 β 放射性核素污染水平超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 α 放射性核素污染水平超过 $0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，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手套箱或通风橱内台面进行，操作和转移核素均采用搪瓷托盘，并铺以吸水性好的内垫吸水纸，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对于热室、放射性质控室、动物标记室、细胞培养室等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

走廊、各实验室、源库、放射性废物库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、通风橱、手

套箱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

放射区内走廊、公共实验室、放射性质控、细胞培养室、放射源库、解剖室、放射性有机合成室、衰变间及热室等位置安装固定式辐射监测仪探头共 9 个，各点位剂量率报警装置探头就近布置在对应各房间的操作工位旁，配套显示控制面板设置在操作人员可视、便于实时读取数据的操作面方位。

(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。

(6) 清场记录

项目所有核素均在指定标记实验室或热室内进行，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。

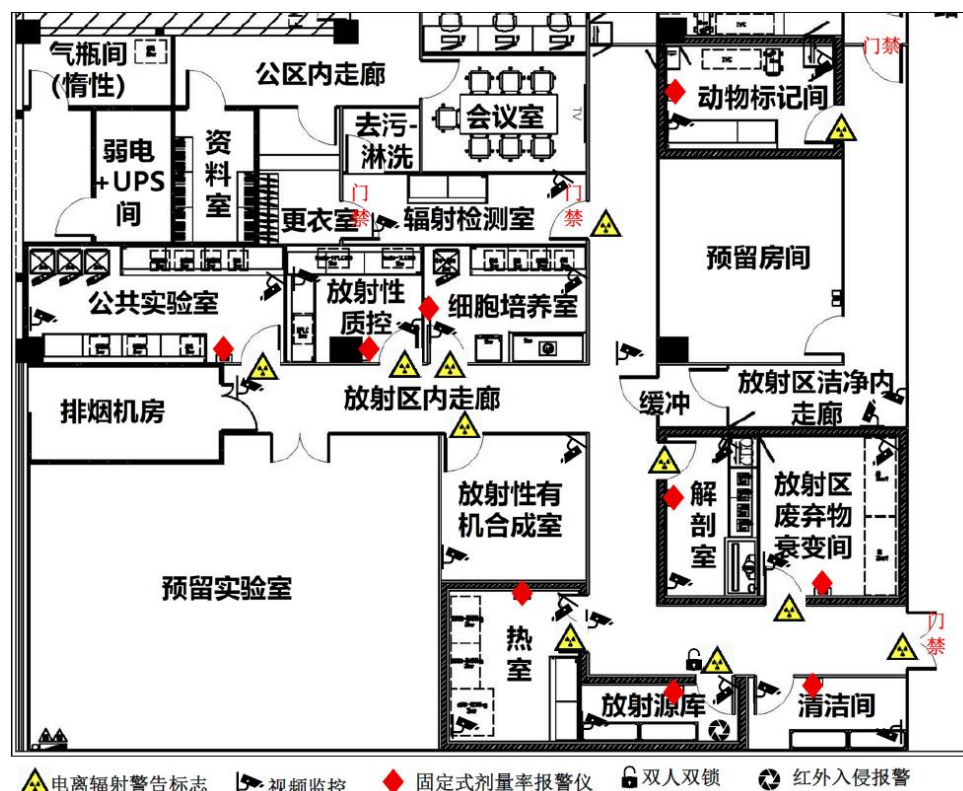


图 10-1 部分辐射安全防护措施分布图

10.1.9 表面污染控制措施

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、合成、分装等操作在手套箱内进行；

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。

10.1.10 放射源库的辐射安全措施

（1）放射性核素应向厂商按需订购，生产厂商根据订购合同，按时定量将放射性核素送达放射源库，使用时工作人员从放射源库内保险箱拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内。

（2）放射源库应结构防火、防盗功能，设保险柜、防盗门、双人双锁，房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志。

（3）应建立放射性核素的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射性核素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

（4）应定期检查放射性核素的实际库存数量及贮存场所。

（5）放射源库内设施和措施应满足“六防（防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏）”的防护要求。

10.1.11 辐射工作场所退役

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。

10.1.12 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，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	防护当量	数量	用途
防护设施	铅屏蔽手套箱	65mmPb	1 个	高活度核素标记、合成
		30mmPb	1 个	
	通风橱（配玻璃防护屏）	6mm 玻璃	2 台	有机合成室， β 射线操作防护

	铅制废物箱	10mmPb	2 个	衰变间
	冰柜	10mmPb	1 个	衰变间，动物尸体暂存
	铅垃圾桶	20mmPb	4 个	实验室放射性废物暂存
	流动相废液桶铅箱	10mmPb	1 个	HPLC 放射性废液屏蔽
	IVC 铅鼠笼屏蔽器	5mmPb	20 个	注射放射性核素的动物屏蔽
	L 型铅防护屏	20mmPb	2 个	动物注射、解剖等操作防护
	铅转运盒	15mmPb	1 个	放射性核素转移
		25mmPb	1 个	
个人防护用品	个人剂量计	/	5 个	职业照射剂量监测
	个人剂量报警仪	/	5 个	重点区域操作人员受辐射及时响应
	铅防护服/铅围裙/铅手套	0.25mmPb	3 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	/	3 套	应急，眼部辐射防护
监测仪器	固定式辐射监测仪	/	9 台	场所实时剂量率监测
	便携式 X- γ 辐射巡检仪	/	1 台	现场巡检、设备检测
	表面污染监测仪	/	2 台	表面污染监测、人员离场监测
应急物品	去污剂、吸水纸、长柄夹具、防护服、防护眼镜/面屏、警戒带等	/	各 1 套	应急使用

10.1.13 热室专项辐射安全防护措施

高活度核素分装、标记全部操作在热室的手套箱内开展，手套箱整体屏蔽当量满足高活度核素外照射屏蔽需求，配套负压排风，避免操作人员近距离直照与气溶胶吸入。手套箱下方设置铅收集桶，及时分类收集产生的放射性废物。

10.1.14 放射性废物衰变间辐射安全防护措施

衰变间设置 2 个固废暂存铅箱和配套 1 个铅屏风冰柜，分别存放固体放射性废物与需要低温保存的实验动物尸体、组织残体及动物粪便；另设有足够数量的套有铅屏蔽的塑料桶用于收纳放射性废液，待放射性废物充分衰变后移交具备处置资质单位统一收运处理。

10.2 放射性“三废”的治理

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

由污染源分析可知项目营运期产生的放射性废水仅为事故工况下淋洗废水。项目在去污室-淋洗设置由 2 个并联单元组成的成品衰变池罐，单个衰变池罐有效容积为 0.5m^3 ，总有效容积为 1m^3 。衰变池罐采用不锈钢材质，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水状态，防止泄漏或超压风险。

项目辐射工作场所各实验室不设下水，各场所产生的放射性废液收集于各房间设置是废液收集桶内，作为放射性废物衰变处置；衰变池罐仅用于收集人员沾污或应急去污产生的去污废水，放射性废水管道采用抗硫酸、耐腐蚀并具有一定防辐射功能的材质，并设置有明显标识。

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。项目共设置 2 个衰变池罐，单个衰变池罐有效容积为 0.5m³（500L），总有效容积为 1m³（1000L），可满足约 10 年的淋洗废水收集需求。

单个衰变池罐收集废液至额定容积后封闭封存，静置衰变，两罐交替轮换使用。若事故去污淋洗废水废液封存满 120 天，取样检测废水放射性活度满足解控排放标准，报生态环境主管部门核准后，通过专用废水管道排入市政污水管网。

若废液中含有 ¹⁴C、³H 等长半衰期核素，仅靠短期静置无法达到解控排放水平，若检测不能满足解控排放标准，则作为放射性废物委托有资质单位处置。

①衰变后的废水如需排放，需监测达标(总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$)，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衰变罐设置有电离辐射警告标志。

10.2.2 放射性废液

柱层析洗脱剂、旋蒸冷凝溶剂、废闪烁液、液相分析过程会产生少量放射性废液。项目产生的废液含有放射性核素为 ³H、¹⁴C、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr、⁹⁰Y、^{99m}Tc、¹¹¹In、¹⁷⁷Lu、²¹²Pb、²²⁵Ac 共 11 种。主要来源于色谱洗脱、检测有机相、反应废液等环节，均为有机放射性废液。

放射性废液根据半衰期长度，将半衰期小于 24h 的含 ⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、^{99m}Tc 核素的放射性废液单独收集贮存超过 30 天后，将半衰期大于 24h 的含 ⁸⁹Zr、⁹⁰Y、¹¹¹In、¹⁷⁷Lu、²¹²Pb、²²⁵Ac 核素的放射性废液单独收集贮存超过 120 天后，经监测废液中总 α 活度浓度小于 1Bq/L、总 β 活度小于 10Bq/L 后并报生态环境主管部门批准后可解控按普通危险废物委托有资质单位处置；含 ³H、¹⁴C 核素的放射性废液则单独收集，定期委托有资质单位固化、整备和处置。

放射性废液采用专用收集桶储存，暂存于衰变间，其中含除 ³H 及 ¹⁴C 核素的专用收集桶放置在 10mmPb 的屏蔽铅箱内贮存。根据估算，其中含 ³H 及 ¹⁴C 核素的放射性废液产生量约 39.43L/a，按半年委托处置一次，则需 2 个 20L 专用收集桶交替使用；含半衰期小于 24h 核素

的放射性废液产生量约 56L/a，按半年委托处置一次，则需 2 个 30L 专用收集桶交替使用；含大于 24h 半衰期核素的放射性废液产生量约 95.37L/a，按每 120 天处置一次，则需 2 个 35L 专用收集桶交替使用。以上按其余实验满负荷运行进行估算，建设单位应根据项目实际运行情况，视情况逐次配置专用收集桶，以满足项目放射性废液收集贮存的需求。

实验室内禁止将普通废水和有机废水排入放射性收集桶中。

为确保放射性废液的有效处理，建设单位应落实以下废液防治措施：

a.建设单位同步建立放射性废液“收集—转运—贮存—检测—处置”全流程管理台账，详细记录废液产生量、转运时间、贮存周期、检测结果及处置单位与去向；

b.结合衰变间门禁管控、辐射监测等措施，确保废液全过程安全可控、达标处置。

10.2.3 放射性废气

由污染源分析可知项目营运期产生的放射性废气主要来自以下工艺环节①热室内放射性药物标记实验的核素分装过程，会有微量放射性核素挥发；②放射性化合物合成工艺，合成、旋蒸、氮吹环节可能涉及有机 VOCs、 ^3H 蒸汽的挥发和 $^{14}\text{CO}_2$ 气体的产生；③放射性质控工艺，样品处理过程中会产生微量气溶胶；④细胞放射性摄取实验，细胞加药、孵育、洗涤及消化环节可能存在微量放射性核素气溶胶挥发；⑤动物给药与组织分布及代谢鉴定实验工艺，小鼠给药、解剖取样的操作中，可能存在微量放射性核素的气溶胶挥发；⑥锆-镓发生器淋洗操作环节，淋洗、分装过程会释放微量含放射性气溶胶废气。

项目操作放射性物质的防护手套箱、通风橱、生物安全柜均设置有排风过滤系统，该系统由排风口、风管、过滤装置和风机组成，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。项目控制区拟设置 3 条放射性废气排风管线，覆盖放射性实验放射性物质操作的各个区域房间，各风机排风口出设置活性炭吸附装置，项目排风管线走向示意图附图 10。

项目放射性废气处理流程为：局部密闭收集→专用排风管道→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：项目采用活性炭吸附装置处理放射性废气，根据废气处理量、环境温湿度、设备运行负荷及厂家运维指引，合理设定活性炭更换周期。排风管道设置压差监测装置，以管道压差变化作为判断活性炭吸附饱和的主要依据，发现饱和立即组织更换。更换下来的废活性炭属于放射性固体废物，作业后及时密封收集，分区单独暂存并建立出入库台账，最终委托具备相应资质的单位收运处置，严禁私自转运、丢弃。

10.2.4 放射性固体废物

项目放射性固体废物主要来源分为实验耗材、动物相关废弃物、废气过滤滤材三类，依据沾染核素半衰期分为可解控短半衰期放射性固废、不可解控长半衰期放射性固废两大类，各房间均配套铅防护放射性废物桶用于现场分类收集：

①可解控短半衰期放射性固体废物：项目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，经贮存衰变超过 120 天后，经监测每袋废物表面辐射剂量率处于环境本地水平，总 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可解控作为危险废物委托有资质单位处置；仅使用短半衰期核素，不涉及长半衰期核素的实验小鼠尸体、组织器官、垫料及排泄物单独密封装袋并标注操作人员、核素种类、产生日期，转运至放射性废物暂存间配套冰柜低温密闭存放，同样经监测每袋废物表面辐射剂量率处于环境本地水平，总 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可解控委托有资质单位处置。

②不可解控长半衰期放射性固体废物：项目放射性有机合成室、动物标记室、细胞培养室、解剖室及公共实验室实验涉及 ^3H 、 ^{14}C 核素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；涉及长半衰期核素的实验小鼠尸体、组织器官、垫料及排泄物单独密封装袋并标注操作人员、核素种类、产生日期，转运至放射性废物暂存间配套冰柜低温密闭存放。不可解控长半衰期放射性固体废物与可解控短半衰期放射性固体废物分类存放，不可解控长半衰期放射性固体废物须交由具备相应资质的单位处置。

项目衰变间拟设置 2 个 10mmPb 的衰变铅箱，每个铅箱分为两格，每格容积约 150L，共 600m^3 。根据源项，项目含 ^{14}C 和 ^3H 核素的放射性固废产生量约 $81.86\text{kg}/\text{a}$ ，容积约 82L；其他含短半衰期核素的放射性固废产生量约 $496.7\text{kg}/\text{a}$ ；铅箱其中一格设置为含长半衰期核素放射性固废贮存专用，每半年或每年委托有资质单位处置 1 格容积可满足贮存需求；另外 3 格交替使用，根据项目使用短半衰期核素最长半衰期，项目放射性固废暂存超过 120 天即可满足解控标准，120 天放射性固废产生量约 166kg，容积约 166L，2 格容积可容纳约 216 天产生的放射性固废量，因此项目设置 2 个 10mmPb 的衰变铅箱容积能够满足项目放射性固废产生量贮存需求。

项目更换的废活性炭由于核素含量较低，由密闭包装袋密封后可放置于不锈钢桶中贮存；动物尸体及组织则分类放置于 10mmPb 的冰柜中保存，解控后定期委托有资质单位处置。

因此项目放射性固废处置措施能够满足项目需求。

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.建设单位严格实行放射性固体废物分类台账管理，对热室产生的短半衰期可解控放射性废物，详细记录废物种类、产生量、衰变贮存时长、监测数据、解控情况及处置去向；对各实验区域产生的长半衰期不可解控放射性废物，重点记录核素类型、辐射活度、产生时间、入库台账、收运资质单位及处置凭证，实现两类放射性废物全流程可溯源、可核查；

b.放射性废物库实行分区存放、分类管控，将可解控短半衰期固废与不可解控长半衰期固废分区贮存，依托衰变间门禁管控、在线监测，全天候监控贮存区域辐射环境，严格规范废物转运、入库操作流程，杜绝混存、交叉污染及放射性泄漏风险；

c.针对项目特殊性放射性废物落实专项管控，对沾染长半衰期核素的实验动物尸体、组织及污染垫料等生物性废物实行专用冰柜低温密闭暂存，单独标识、专项管理；对废活性炭等吸附类放射性固废密封分区存放，严格区分可解控与不可解控废物处置流程，同步保障项目辐射安全与生物安全。

d.放射性废物收集桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后废物袋密封，不破漏，及时转运至废物间的衰变箱内，每袋废物质量不超过 20kg，表面剂量率不超过 0.1mSv/h；对于注射器和破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，再装入专用塑料袋内。

10.3 非放射性“三废”的治理

对于项目非放射性废水、废气、固废及噪声，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，项目营运期产生非放射性废水主要为浓水、实验室地面擦洗废水和职工生活污水。

生活污水经厂区现有化粪池预处理后与其他废水一起纳入市政污水管网，最终由海盐县城乡污水处理厂处理至达标后排入杭州湾。

项目实验过程产生的非放射性废液收集后均作为危废处理，委托具备相应危险废物处置资质的单位进行无害化处置。

10.3.2 废气治理

由污染源分析可知，项目营运期产生的非放射性废气主要为各实验流程工艺中产生的有机废气（以非甲烷总烃计），以及动物饲养区产生的氨等恶臭气体。

项目非控制区排气系统的管路及排风口均与放射性废气排气系统相互独立，无交叉设置，

各类废气分类收集、分路处置排放。项目非放区域的试剂间、危废间、细胞室、外准备间、样品接收等设置 1 套排气系统，风量为 3000m³/h，废气经专用排风管路收集后，引至厂房内天井北侧墙体屋顶处，通过与放射区管路完全独立的排风口，经配套的活性炭吸附装置处理后向外排放。

动物检疫、内准备间、饲养间、动物标记及清洁区走廊等均属于洁净区，设置一套洁净排风系统，风机风量 4500m³/h，风机前端设置活性炭吸附装置处理后排放；控制区内标热室、有机合成室、公共实验室等涉及有机溶剂使用的房间排风设置按照控制区放射性废气排气系统设置。

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。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。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
各实验工艺产生的有机废气	非甲烷总烃	活性炭吸附	90%	80%	可行
动物饲养区废气	臭气浓度				可行

项目控制区均为微负压排风，废气收集率保守按 90%，活性炭吸附装置设计处理总最大风量为 3500m³/h，活性炭装填量 0.15t/a，更换周期为 1 次/年，设计去除效率为 80%，该参数可保证废气稳定达标排放。

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.活性炭过滤装置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活性炭规格及实际使用情况，确定合理的更换周期，更换下来的废活性炭应作为放射性固废进行管理和处置。

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检查维护，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。

10.3.3 固体治理

由污染源分析可知，项目营运期产生的非放射性固废主要为废包装材料（试剂瓶）、废实验耗材、小鼠检疫和饲养耗材、废反渗透膜、一般废包装材料、废活性炭、及生活垃圾等。

上述固废分为一般工业固废和危险废物，分类处置：

①一般工业固废：如废反渗透膜、一般废包装材料，暂存于废弃物暂存间，废反渗透膜由设备原厂厂家上门回收处置，一般废包装材料收集后外售给物资回收单位综合利用；

②危险废物：如废包装材料（试剂瓶）、废实验耗材、小鼠检疫及饲养耗材、沾染危险废物的废活性炭，属于《国家危险废物名录》中危险废物，采用专用危险废物收集桶分类收集，贴标记录，暂存于厂区危废间（符合《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）要求），定期委托有资质的危险废物处置单位进行安全处置；

③生活垃圾：工作人员产生的生活垃圾，出租方厂区统一收集，由环卫部门统一清运。

10.4 噪声的治理

由污染源分析可知项目营运期产生的噪声主要来源于摇床、离心机、液相色谱仪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、摇床）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公共实验室，与其他实验操作区、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。

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

项目总投资约5000万元，估算环保投资90万元，占总投资额的1.6%。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	8
		工作服、口罩、手套等	
4	三废处理设施设备	废水：2 台并联衰变罐、专用放射性废水收集管网、液位与压力监测装置	20
		固废：脚踏式铅废物桶、废物暂存屏蔽铅箱、衰变间低温屏蔽冰柜、IVC 屏蔽笼具	
		废气：负压排风管道、活性炭吸附处理装置	
5	辐射防护设施工程	辐射房间墙体屏蔽施工、顶棚屏蔽施工、防护门安装施工、地坪屏蔽施工	50
6	环境影响评价、验收监测和环境监理		10
总计			90

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

项目施工期及设备安装和调试，施工周期短，施工影响有限。随着施工期结束，施工影响也随之消失，不会对周围环境造成明显影响。

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9-9可知，在项目涉及放射性核素中 ^{225}Ac 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 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手套箱内进行，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，在项目涉及放射性核素中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{64}Cu 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 、 ^{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/cm^3 ；空气密度取 $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$ ，铅密度取 $11.4 \text{g}/\text{cm}^3$ ，有机玻璃密度取 $1.18 \text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度取 $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖的密度取 $1.65 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

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	^3H	^{14}C	^{64}Cu	^{90}Y	^{177}Lu	^{212}Pb
β 射线能量(MeV)	0.0186	0.156	0.653	0.9337	0.498	0.569
空气中射程 (cm)	7.2	60.5	253	362	193	221

铅中射程 (cm)	0.0008	0.007	0.029	0.05	0.022	0.025
有机玻璃中射程 (cm)	0.008	0.067	0.28	0.40	0.21	0.24
混凝土中的射程 (cm)	0.004	0.034	0.14	0.20	0.11	0.12
实心砖中射程 (cm)	0.006	0.048	0.2	0.28	0.15	0.16

由上表可知，项目核素产生的β射线在空气中的射程最大为884cm。考虑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0.1cm，故放射性核素产生的β射线对周围环境影响很小。

除此以外，β射线被物质阻止时会产生韧致辐射，根据《放射卫生学》（P189），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。

$$D=1.49 \times 10^{-6} A \cdot Z \cdot (E/r)^2 \quad (11-2)$$

式中：

D—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在r处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

E—保守按β粒子最大能量代入计算，韧致辐射能量为入射β粒子能量；

A—放射源活度，Ci；

Z—电子屏蔽材料的有效原子序数，根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82，有机玻璃有效原子序数为 5.8。

根据《辐射防护导论》（P134）经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$E = D \cdot 0.1^{(d/TVL)} \quad (11-3)$$

式中：

D—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

d—屏蔽层厚度；

TVL—屏蔽层在β粒子平均能量下的什值层厚度，cm，由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

表 11-2 各核素韧致辐射在不同屏蔽材料中的什值层

核素	E (MeV)	在铅中的什值层 (mm)	在混凝土中的什值层 (mm)	在铁中的什值层 (mm)
³ H	0.0186	0.04	1.3	0.4
¹⁴ C	0.156	2.0	124	18
⁶⁴ Cu	0.653	21	210	52
⁹⁰ Y	0.9337	35.6	260	74
¹⁷⁷ Lu	0.498	16	190	51
²¹² Pb	0.569	20	200	60

注：①所有核素的能量值均取β衰变的最大能量，符合辐射防护领域保守计算原则，数据来源取自中国原子能科学研究院中国核数据中心（CNDC，<http://www.nuclear.csdb.cn/>）；

- ② β 射线产生的韧致辐射屏蔽计算，采用保守估算原则，考虑韧致辐射的最大能量与对应核素 β 衰变的最大能量一致；
- ③各屏蔽材料的什值层厚度，均按照核素 β 射线能量相等的单能 γ 射线参数查表保守取得，数值取自《辐射防护手册》（第三分册）中的图 2.16 几种常用屏蔽材料对宽束 γ 射线的十分之一值层厚度、NCRP Report No.151。

①关注点位

本次评价在辐射剂量估算工作中选取放射源库、衰变间、热室、放射性质控室、动物标记室、细胞培养室、解剖室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，关注点位描述见表 11-3。

表 11-3 项目关注点描述

序号	点位名称	预测点位	点位说明
1	放射源库	房间四侧墙体外侧、防护门外、二层地面上方 30cm 处	用于集中存放高活度放射性核素
2	放射性有机合成室	操作位	开展 ^{14}C 、 ^3H 核素的标记、测活、分装实验
3	热室	操作位、四侧墙体外侧、防护门外、二层地面上方 30cm 处	开展高活度核素标记、测活、分装实验
4	放射性质控	操作位	开展低活度核素检测、质控实验
5	动物标记	操作位	开展放射性动物给药实验
6	细胞培养	操作位	开展放射性标记细胞培养与前处理实验
7	解剖室	操作位	开展放射性动物解剖、组织取样作业
8	公共实验室	操作位	开展放射性实验解剖后器官辐射数值测量作业
9	衰变间	房间四侧墙体外侧、防护门外、二层地面上方 30cm 处	用于集中暂存各类放射性废物

项目关注点位的选取严格遵循以下原则：

a.源库、放射性废物库为放射性物质集中贮存区域，热室、动物标记、解剖室、公共实验室为放射性核素操作核心环节，上述点位是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、标记、实验操作到废物暂存的全流程关键节点，同时涵盖了人员公共活动区域，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：项目实验用核素活度较低，高活度核素操作均在屏蔽的手套箱内进行，低活度在通风橱或工作台且操作位均配置有机玻璃或铅屏风隔离屏蔽罩，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。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。

d.规范符合性：关注点选取优先选择放射性活度集中、操作频次高、人员停留时间长的区域，同时覆盖公共活动区域，确保监测数据能真实反映项目辐射环境安全水平。

②韧致辐射剂量率计算

按照公式（11-2）计算，项目各实验室关注点位韧致辐射剂量率计算结果见表11-4。

根据表11-4计算结果可知，操作不同核素和不同活度核素时，关注点位辐射剂量率均低于2.5μSv/h 的控制目标值，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中对工作场所的防护水平要求。

（3）α、β 表面污染环境影响分析

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手套箱内进行；

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。

11.2.1.2γ 射线影响分析

（1）屏蔽体外剂量率计算公式

由表9-3可知，在项目涉及放射性核素中⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、¹¹¹In、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac、²¹²Pb在衰变过程中、衰变子核会伴生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。

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

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 μSv/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11-3。

表 11-3 各核素的相关参数

核素	E (MeV)	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)		
			铅	混凝土	铁
^{64}Cu	1.346	0.029	43.9	285	84
^{68}Ga	0.511	0.134	16.6	176	56
^{89}Zr	0.397	0.163	15	196	45
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.141	0.0303	1	110	12
^{111}In	0.245	0.077	7	160	31
^{177}Lu	0.2084	0.00475	6	160	27
^{225}Ac	0.186	0.0244	4.3	150	24
^{212}Pb	0.239	0.0392	7	160	30
^{68}Ge	1.465	0.0101	46	300	85

注：1、本表核素周围剂量当量率常数取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1、《辐射安全手册》（潘自强主编）表 6.2；

2、表中铅、混凝土、铁的十分之一值层（TVL）均依据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 I.1 和《辐射防护手册（第三分册）》（潘自强）表 1.12 经内插计算所得。

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

根据表11-5计算结果可知，操作不同核素和不同活度核素时，关注点位辐射剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制目标值，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中对工作场所的防护水平要求。

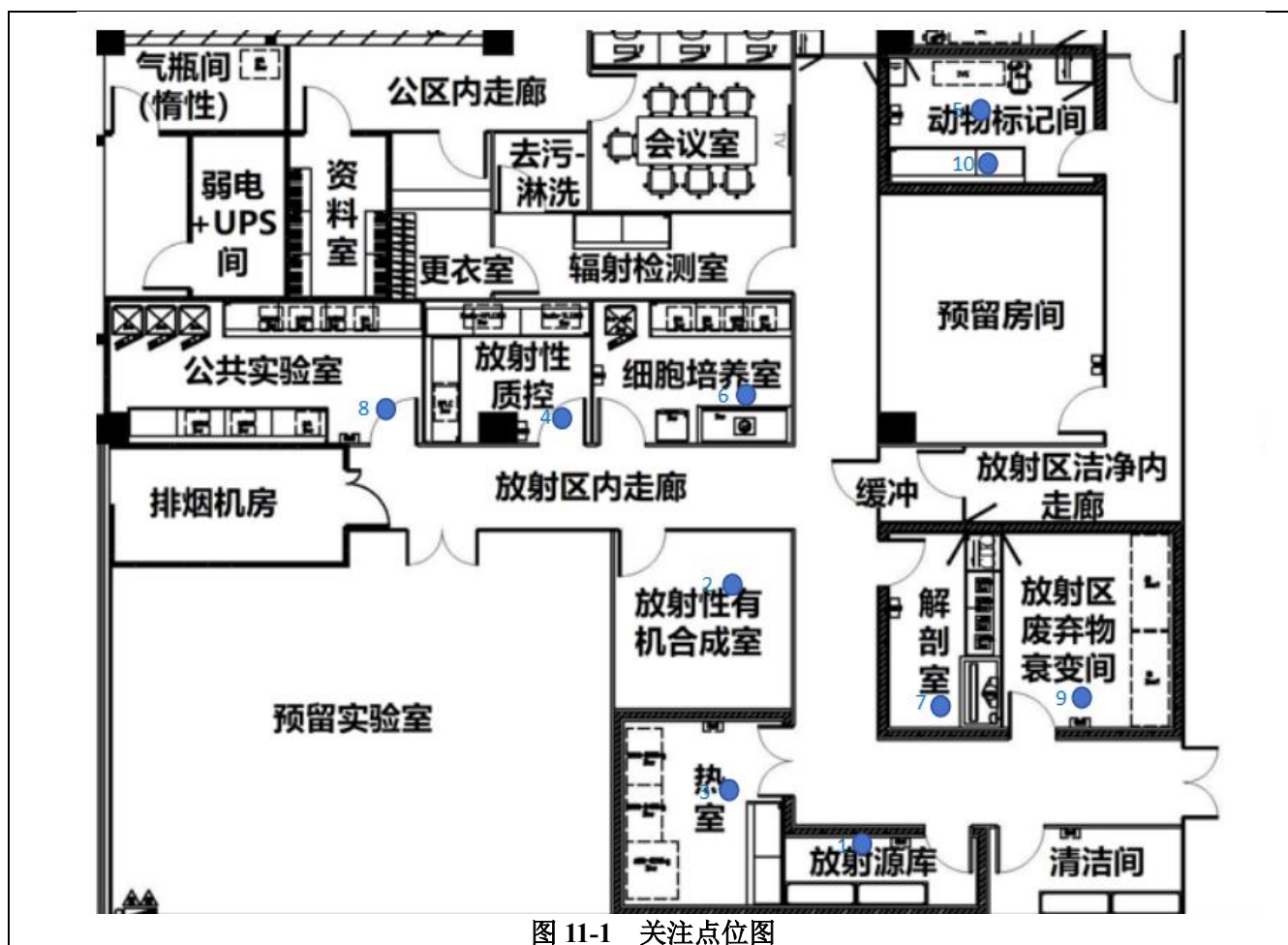


图 11-1 关注点位图

表 11-4 辐射工作区域注点初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 (Ci)	E (MeV)	距离 r(m)	10 ^(-dTVL)	剂量率 ((μSv/h))	小计 (μSv/h)
1#放射源库	四侧墙外 30cm 处	100mm 彩钢板+ 40mm 硫酸钡 +110mm 混凝土	10mm 铅罐	5.8	³ H	0.005	0.0186	0.8	0.00E+00	0.00E+00	3.33E-03
			10mm 铅罐		¹⁴ C	0.005	0.156	0.8	6.37E-13	1.05E-15	
			25mm 铅罐		⁶⁴ Cu	0.02	0.653	0.8	1.27E-04	1.47E-05	
			10mm 铅罐		⁹⁰ Y	0.05	0.9337	0.8	5.46E-03	3.21E-03	
			10mm 铅罐		¹⁷⁷ Lu	0.05	0.498	0.8	3.56E-04	5.96E-05	
			10mm 铅罐		²¹² Pb	0.01	0.569	0.8	1.03E-03	4.51E-05	
	北侧防护门外 30cm 处	3mmPb 铅屏蔽门	10mm 铅罐	5.8	³ H	0.005	0.0186	1.5	0.00E+00	0.00E+00	8.39E-02
			10mm 铅罐		¹⁴ C	0.005	0.156	1.5	3.16E-07	1.48E-10	
			25mm 铅罐		⁶⁴ Cu	0.02	0.653	1.5	4.64E-02	1.52E-03	
			10mm 铅罐		⁹⁰ Y	0.05	0.9337	1.5	4.31E-01	7.22E-02	
			10mm 铅罐		¹⁷⁷ Lu	0.05	0.498	1.5	1.54E-01	7.33E-03	
			10mm 铅罐		²¹² Pb	0.01	0.569	1.5	2.24E-01	2.78E-03	
	上方二层距地面 30cm 处	50mm 彩钢板 +40mm 硫酸钡 +120mm 混凝土	10mm 铅罐	5.8	³ H	0.005	0.0186	8.0	0.00E+00	0.00E+00	1.48E-04
			10mm 铅罐		¹⁴ C	0.005	0.156	8.0	3.04E-10	4.99E-15	
			25mm 铅罐		⁶⁴ Cu	0.02	0.653	8.0	1.05E-03	1.20E-06	
			10mm 铅罐		⁹⁰ Y	0.05	0.9337	8.0	2.37E-02	1.39E-04	
			10mm 铅罐		¹⁷⁷ Lu	0.05	0.498	8.0	3.01E-03	5.04E-06	
			10mm 铅罐		²¹² Pb	0.01	0.569	8.0	6.26E-03	2.74E-06	
2#放射性有机合成室	通风橱外 30cm 处操作位	L 有机玻璃屏	5.8	³ H	0.005	0.0186	0.5	1	5.98E-05	/	
		¹⁴ C		0.005	0.156	1		4.21E-03			
	四侧墙体 外 30cm 处	100 彩钢板		³ H	0.005	0.0186	0.8	0.00E+00	0.00E+00	/	
				¹⁴ C	0.005	0.156		2.78E-06	4.57E-09		
3#热室	热室柜外 30cm 处操作位	65mmPb 热室柜	5.8	⁶⁴ Cu	0.02	0.653	0.5	8.03E-04	2.37E-04	/	
		30mmPb 热室柜	5.8	⁹⁰ Y	0.05	0.9337	0.5	1.44E-01	2.16E-01		
				¹⁷⁷ Lu	0.05	0.498	0.5	1.33E-02	5.72E-03		
				²¹² Pb	0.01	0.569	0.5	3.16E-02	3.54E-03		
放射性	操作位	/	5.8	¹⁴ C	1E-03	0.156	0.5	1	8.41E-06	/	

质控				⁶⁴ Cu	1.0E-3	0.653	0.5	1	1.47E-04	/
				⁹⁰ Y	1.0E-3	0.9337	0.5	1	3.01E-04	/
				¹⁷⁷ Lu	1.0E-3	0.498	0.5	1	8.57E-05	/
				²¹² Pb	1.0E-3	0.569	0.5	1	1.12E-04	/
5#动物 标记	工作台操作位	20mmPb 铅屏风	5.8	¹⁴ C	1E-04	0.156	0.5	1.00E-10	8.41E-15	//
				⁶⁴ Cu	5E-04	0.653	0.5	1.12E-01	1.16E-02	
				⁹⁰ Y	1E-03	0.9337	0.5	2.74E-01	8.27E-03	
				¹⁷⁷ Lu	1E-03	0.498	0.5	5.62E-02	4.82E-04	
				²¹² Pb	1E-03	0.569	0.5	1.00E-01	1.12E-03	
	四侧墙体 外 30cm 处	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸 钡砂浆+110mm 混凝土墙 +20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板	5.8	¹⁴ C	1E-04	0.156	0.8	6.37E-08	5.36E-12	/
				⁶⁴ Cu	5E-04	0.653	0.8	1.98E-03	2.06E-04	
				⁹⁰ Y	1E-03	0.9337	0.8	1.04E-02	3.14E-04	
				¹⁷⁷ Lu	1E-03	0.498	0.8	1.50E-03	1.29E-05	
				²¹² Pb	1E-03	0.569	0.8	3.26E-03	3.65E-05	
	防护门外 30cm 处	3mmPb	5.8	¹⁴ C	1E-04	0.156	3.4	3.16E-02	5.75E-08	/
				⁶⁴ Cu	5E-04	0.653	3.4	7.20E-01	1.62E-03	
				⁹⁰ Y	1E-03	0.9337	3.4	8.24E-01	5.37E-04	
				¹⁷⁷ Lu	1E-03	0.498	3.4	6.49E-01	1.20E-04	
				²¹² Pb	1E-03	0.569	3.4	7.08E-01	1.71E-04	
6#细胞 培养	生物安全 柜 外 30cmc 处 操作位	/		¹⁴ C	1E-04	0.156	0.5	1.00E+00	8.41E-05	/
				⁶⁴ Cu	1E-04	0.653	0.5	1.00E+00	1.47E-03	
				⁹⁰ Y	1E-04	0.9337	0.5	1.00E+00	3.01E-03	
				¹⁷⁷ Lu	1E-04	0.498	0.5	1.00E+00	8.57E-04	
				²¹² Pb	1E-04	0.569	0.5	1.00E+00	1.12E-03	
7#解剖 室	负压解剖 台操作位	20mmPb 铅屏风	82	¹⁴ C	1E-04	0.156	0.5	1.00E-10	1.19E-13	/
				⁶⁴ Cu	5E-04	0.653	0.5	1.12E-01	1.16E-02	
				⁹⁰ Y	1E-03	0.9337	0.5	2.74E-01	1.17E-01	
				¹⁷⁷ Lu	1E-03	0.498	0.5	5.62E-02	6.82E-03	
				²¹² Pb	1E-03	0.569	0.5	1.00E-01	1.58E-02	
8#公共 实验室	操作台操作位	20mm 铅屏风	82	¹⁴ C	1E-04	0.156	0.5	1.00E-10	1.19E-13	/
				⁶⁴ Cu	5E-04	0.653	0.5	1.12E-01	1.16E-02	

					⁹⁰ Y	1E-03	0.9337	0.5	2.74E-01	1.17E-01	
					¹⁷⁷ Lu	1E-03	0.498	0.5	5.62E-02	6.82E-03	
					²¹² Pb	1E-03	0.569	0.5	1.00E-01	1.58E-02	
9#衰变间	四侧墙外 30cm 处	100mm 彩钢板+40mm 硫酸钡+110mm 混凝土	10mm 衰变箱	82	¹⁴ C	0.1	0.156	0.8	6.37E-13	2.96E-13	6.20E-02
					⁶⁴ Cu	4.3E-03	0.653	0.8	6.60E-04	2.31E-04	
					⁹⁰ Y	6.67E-02	0.9337	0.8	5.46E-03	6.06E-02	
					¹⁷⁷ Lu	6.67E-02	0.498	0.8	3.56E-04	1.12E-03	
					²¹² Pb	1.00E-03	0.569	0.8	1.03E-03	6.37E-05	
	防护门外 30cm 处	3mmPb 铅门	10mm 衰变箱	82	¹⁴ C	0.1	0.156	2.7	3.16E-07	1.29E-08	4.72E-01
					⁶⁴ Cu	4.3E-03	0.653	2.7	2.40E-01	7.39E-03	
					⁹⁰ Y	6.67E-02	0.9337	2.7	4.31E-01	4.20E-01	
					¹⁷⁷ Lu	6.67E-02	0.498	2.7	1.54E-01	4.27E-02	
					²¹² Pb	1.00E-03	0.569	2.7	2.24E-01	1.21E-03	
	上方二层 距地面 30cm 处	50mm 彩钢板+20mm 硫酸钡+120mm 混凝土	10mm 衰变箱	82	¹⁴ C	0.1	0.156	8.0	3.04E-10	1.41E-12	2.75E-03
					⁶⁴ Cu	4.3E-03	0.653	8.0	5.42E-03	1.90E-05	
					⁹⁰ Y	6.67E-02	0.9337	8.0	2.37E-02	2.63E-03	
					¹⁷⁷ Lu	6.67E-02	0.498	8.0	3.01E-03	9.51E-05	
					²¹² Pb	1.00E-03	0.569	8.0	6.26E-03	3.87E-06	
10#动物标记	四侧墙体 表面外 30cm 处	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板	5mmPb 饲养盒	82	¹⁴ C	1.00E-04	0.156	0.8	2.02E-10	9.37E-14	3.95E-02
					⁶⁴ Cu	7.50E-03	0.653	0.8	1.14E-03	6.98E-04	
					⁹⁰ Y	3.00E-02	0.9337	0.8	7.54E-03	3.77E-02	
					¹⁷⁷ Lu	3.00E-02	0.498	0.8	7.30E-04	1.04E-03	
					²¹² Pb	6.00E-04	0.569	0.8	1.83E-03	6.80E-05	
	防护门外 30cm 处	3mmPb 铅门	5mmPb 饲养盒	82	¹⁴ C	1.00E-03	0.156	2.7	1.00E-04	4.08E-08	3.24E-01
					⁶⁴ Cu	7.50E-03	0.653	2.7	4.16E-01	2.23E-02	
					⁹⁰ Y	3.00E-02	0.9337	2.7	5.96E-01	2.61E-01	
					¹⁷⁷ Lu	3.00E-02	0.498	2.7	3.16E-01	3.94E-02	
					²¹² Pb	6.00E-04	0.569	2.7	3.98E-01	1.30E-03	
11#核素	转运提盒	15mmPb 转运铅盒		5.8	¹⁴ C	0.005	0.156	0.5	1.00E-10	4.21E-13	/

转运位		25mmPb 转运铅盒		⁶⁴ Cu	0.02	0.653	0.5	1.12E-01	3.29E-02	
		15mmPb 转运铅盒		⁹⁰ Y	0.05	0.9337	0.5	5.24E-01	7.89E-01	
		¹⁷⁷ Lu		0.05	0.498	0.5	2.37E-01	1.02E-01		
		²¹² Pb		0.01	0.569	0.5	3.16E-01	3.54E-02		

注：1、³H 剂量率结果很小，可忽略不计。

2、项目动物注射和解剖在工作台进行，采用局部铅屏风屏蔽；注射时为热室分装好的单支注射器，转运时放置在 20mmPb/50mmPb 的转运铅盒中。因此注射、解剖、公共实验均以单只老鼠注射最大量进行估算。

3、衰变间贮存量核算：以 120 天（4 个月）核素累计使用总量为基数进行折算；其中超长半衰期核素 ¹⁴C 半衰期为 5700a，按 120 天累计使用总量的 100%折算，短半衰期核素 ⁶⁴Cu、²¹²Pb 半衰期不足 24h，按 120 天累计使用总量的 1%折算；其余核素半衰期均超过 24h，按 120 天累计使用总量的 10%折算。

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		屏蔽层		核素	源活度 A (MBq)	周围剂量当量率 常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	距离 r(m)	$10^{-d/\text{TVL}}$	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	小计 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#放射 源库	四 侧 墙 外 30cm 处	100mm 彩钢 板+ 40mm 硫酸钡 +110mm 混凝 土	25mm 铅罐	⁶⁴ Cu	7.40E+02	0.029	0.8	5.98E-05	2.00E-03	5.78E-03
			25mm 铅罐	⁸⁹ Zr	7.40E+02	0.163	0.8	1.88E-05	3.54E-03	
			10mm 铅罐	^{99m} Tc	7.40E+02	0.0303	0.8	1.50E-20	5.25E-19	
			10mm 铅罐	¹¹¹ In	7.40E+02	0.077	0.8	2.09E-06	1.86E-04	
			10mm 铅罐	¹⁷⁷ Lu	1.85E+03	0.00475	0.8	4.02E-07	5.52E-06	
			10mm 铅罐	²¹² Pb	3.70E+02	0.0392	0.8	1.63E-06	3.70E-05	
			10mm 铅罐	²²⁵ Ac	3.70E+01	0.0244	0.8	2.60E-08	3.66E-08	
	北侧防 护门外 30cm 处	3mmPb 铅门	25mm 铅罐	⁶⁴ Cu	7.40E+02	0.029	1.5	2.06E-02	1.96E-01	1.39E+00
			25mm 铅罐	⁸⁹ Zr	7.40E+02	0.163	1.5	1.36E-02	7.29E-01	
			10mm 铅罐	^{99m} Tc	7.40E+02	0.0303	1.5	1.00E-13	9.97E-13	
			10mm 铅罐	¹¹¹ In	7.40E+02	0.077	1.5	1.39E-02	3.52E-01	
			10mm 铅罐	¹⁷⁷ Lu	1.85E+03	0.00475	1.5	6.81E-03	2.66E-02	
			10mm 铅罐	²¹² Pb	3.70E+02	0.0392	1.5	1.39E-02	8.96E-02	
			10mm 铅罐	²²⁵ Ac	3.70E+01	0.0244	1.5	9.48E-04	3.80E-04	
	上方二 层距地 面 30cm	50mm 彩钢板 +40mm 硫酸 钡+120mm	25mm 铅罐	⁶⁴ Cu	7.40E+02	0.029	8.0	4.10E-04	1.37E-04	6.29E-04
			25mm 铅罐	⁸⁹ Zr	7.40E+02	0.163	8.0	2.16E-04	4.07E-04	
			10mm 铅罐	^{99m} Tc	7.40E+02	0.0303	8.0	1.78E-16	6.25E-17	

	处	混凝土	10mm 铅罐	¹¹¹ In	7.40E+02	0.077	8.0	7.43E-05	6.62E-05	
			10mm 铅罐	¹⁷⁷ Lu	1.85E+03	0.00475	8.0	2.48E-05	3.40E-06	
			10mm 铅罐	²¹² Pb	3.70E+02	0.0392	8.0	6.57E-05	1.49E-05	
			10mm 铅罐	²²⁵ Ac	3.70E+01	0.0244	8.0	2.70E-06	3.81E-08	
3#热室	热室柜外 30cm 处操作位	65mmPb 热室柜	⁶⁴ Cu	7.40E+02	0.029	0.5	1.21E-04	1.04E-02	/	
			⁶⁸ Ga	7.40E+02	0.134	0.5	1.21E-04	4.82E-02		
			⁸⁹ Zr	7.40E+02	0.163	0.5	4.64E-05	2.24E-02		
		65mmPb 热室柜+40mmPb 铅罐	⁶⁸ Ge	7.40E+02	0.0101	0.5	5.22E-03	1.56E-01		
			30mmPb 热室柜	^{99m} Tc	7.40E+02	0.0303	0.5	1.00E-30		8.97E-29
		¹¹¹ In		7.40E+02	0.077	0.5	5.18E-05	1.18E-02		
		¹⁷⁷ Lu		1.85E+03	0.00475	0.5	1.00E-05	3.52E-04		
		²¹² Pb		3.70E+02	0.0244	0.5	5.18E-05	3.00E-03		
		²²⁵ Ac		3.70E+01	0.0392	0.5	1.06E-07	3.81E-07		
		4#放射性质控	操作位	/	⁶⁴ Cu	3.70E-01	0.029	0.5		1.00E+00
⁶⁸ Ga	3.70E-01				0.134	0.5	1.00E+00	1.98E-01		
⁸⁹ Zr	3.70E-01				0.163	0.5	1.00E+00	2.41E-01		
^{99m} Tc	3.70E-01				0.0303	0.5	1.00E+00	4.48E-02		
¹¹¹ In	3.70E-01				0.077	0.5	1.00E+00	1.14E-01		
¹⁷⁷ Lu	3.70E-01				0.00475	0.5	1.00E+00	7.03E-03		
²²⁵ Ac	3.70E-01				0.0244	0.5	1.00E+00	5.80E-02		
²¹² Pb	3.70E-01				0.0392	0.5	1.00E+00	3.61E-02		
5#动物标记	操作位	20mmPb 铅玻璃	⁶⁴ Cu	1.85E+01	0.029	0.5	6.24E-02	1.34E-01	/	
			⁶⁸ Ga	1.85E+01	0.134	0.5	6.24E-02	6.19E-01		
			⁸⁹ Zr	1.85E+01	0.163	0.5	4.64E-02	5.60E-01		
			^{99m} Tc	1.85E+01	0.0303	0.5	1.00E-20	2.24E-20		
			¹¹¹ In	1.85E+01	0.077	0.5	1.39E-03	7.92E-03		
			¹⁷⁷ Lu	1.85E+01	0.00475	0.5	4.64E-04	1.63E-04		
			²¹² Pb	1.85	0.0392	0.5	1.39E-03	4.03E-04		
			²²⁵ Ac	1.11	0.0244	0.5	2.23E-05	2.42E-06		
	四侧墙体外 30cmchu	50mm 彩钢板+20mm 厚硫酸钡砂浆+110mm 混凝土墙+20mm 厚硫酸钡砂浆+50mm 彩钢板	⁸⁹ Zr	1.85E+01	0.163	0.8	8.73E-04	4.11E-03		
	防护门	3mmPb	⁸⁹ Zr	1.85E+01	0.163	3.4	6.31E-01	1.65E-01		

	外 30cm 处									
6#细胞培养	通风橱表面外 30cm 处操作位	/		⁶⁴ Cu	3.70E+00	0.029	0.5	1.00E+00	4.29E-01	/
				⁶⁸ Ga	3.70E+00	0.134	0.5	1.00E+00	1.98E+00	
				⁸⁹ Zr	3.70E+00	0.163	0.5	1.00E+00	2.41E+00	
				^{99m} Tc	3.70E+00	0.0303	0.5	1.00E+00	4.48E-01	
				¹¹¹ In	3.70E+00	0.077	0.5	1.00E+00	1.14E+00	
				¹⁷⁷ Lu	3.70E+00	0.00475	0.5	1.00E+00	7.03E-02	
				²¹² Pb	3.70E+00	0.0392	0.5	1.00E+00	5.80E-01	
				²²⁵ Ac	3.70E+00	0.0244	0.5	1.00E+00	3.61E-01	
7#解剖室	负压解剖台操作位	20mm 铅屏风		⁶⁴ Cu	1.85E+01	0.029	0.5	6.24E-02	1.34E-01	/
				⁶⁸ Ga	1.85E+01	0.134	0.5	6.24E-02	6.19E-01	
				⁸⁹ Zr	1.85E+01	0.163	0.5	4.64E-02	5.60E-01	
				^{99m} Tc	1.85E+01	0.0303	0.5	1.00E-20	2.24E-20	
				¹¹¹ In	1.85E+01	0.077	0.5	1.39E-03	7.92E-03	
				¹⁷⁷ Lu	1.85E+01	0.00475	0.5	4.64E-04	1.63E-04	
				²¹² Pb	1.85	0.0392	0.5	1.39E-03	4.03E-04	
				²²⁵ Ac	1.11	0.0244	0.5	2.23E-05	2.42E-06	
8#公共实验室	操作台 外 30cm 处操作位	20mm 铅屏风		⁶⁴ Cu	1.85E+01	0.029	0.5	6.24E-02	1.34E-01	/
				⁶⁸ Ga	1.85E+01	0.134	0.5	6.24E-02	6.19E-01	
				⁸⁹ Zr	1.85E+01	0.163	0.5	4.64E-02	5.60E-01	
				^{99m} Tc	1.85E+01	0.0303	0.5	1.00E-20	2.24E-20	
				¹¹¹ In	1.85E+01	0.077	0.5	1.39E-03	7.92E-03	
				¹⁷⁷ Lu	1.85E+01	0.00475	0.5	4.64E-04	1.63E-04	
				²¹² Pb	1.85	0.0392	0.5	1.39E-03	4.03E-04	
				²²⁵ Ac	1.11	0.0244	0.5	2.23E-05	2.42E-06	
9#衰变间	四侧墙 外 30cm 处	100mm 彩钢板+40mm 硫酸钡+110mm 混凝土	10mm 衰变箱	⁶⁴ Cu	1.60E+02	0.029	0.8	4.79E-04	3.47E-03	2.72E-02
				⁶⁸ Ga	1.60E+02	0.134	0.8	4.79E-04	1.60E-02	
				⁸⁹ Zr	1.60E+02	0.163	0.8	1.88E-04	7.66E-03	
				^{99m} Tc	1.60E+02	0.0303	0.8	1.50E-20	1.14E-19	
				¹¹¹ In	1.60E+02	0.077	0.8	2.09E-06	4.03E-05	
				¹⁷⁷ Lu	2.47E+03	0.00475	0.8	4.02E-07	7.38E-06	
				²¹² Pb	3.73E+00	0.0392	0.8	1.63E-06	3.73E-07	
				²²⁵ Ac	1.23E+00	0.0244	0.8	2.60E-08	1.22E-09	
	南侧防	3mmPb 铅门	10mm 衰变	⁶⁴ Cu	1.60E+02	0.029	2.7	1.65E-01	1.05E-01	1.11E+00
				⁶⁸ Ga	1.60E+02	0.134	2.7	1.65E-01	4.85E-01	

		护门外 30cm 处		箱	⁸⁹ Zr	1.60E+02	0.163	2.7	1.36E-01	4.86E-01	
					^{99m} Tc	1.60E+02	0.0303	2.7	1.00E-13	6.65E-14	
					¹¹¹ In	1.60E+02	0.077	2.7	1.39E-02	2.35E-02	
					¹⁷⁷ Lu	2.47E+03	0.00475	2.7	6.81E-03	1.10E-02	
					²¹² Pb	3.73E+00	0.0392	2.7	1.39E-02	2.79E-04	
					²²⁵ Ac	1.23E+00	0.0244	2.7	9.48E-04	3.90E-06	
		上方二 层距地 面 30cm 处	50mm 彩钢板 +40mm 硫酸 钡+120mm 混凝土	10mm 衰变 箱	⁶⁴ Cu	1.60E+02	0.029	8.0	3.28E-03	2.38E-04	2.24E-03
					⁶⁸ Ga	1.60E+02	0.134	8.0	3.28E-03	1.10E-03	
					⁸⁹ Zr	1.60E+02	0.163	8.0	2.16E-03	8.80E-04	
					^{99m} Tc	1.60E+02	0.0303	8.0	1.78E-16	1.35E-17	
					¹¹¹ In	1.60E+02	0.077	8.0	7.43E-05	1.43E-05	
					¹⁷⁷ Lu	2.47E+03	0.00475	8.0	2.48E-05	4.54E-06	
					²¹² Pb	3.73E+00	0.0392	8.0	6.57E-05	1.50E-07	
					²²⁵ Ac	1.23E+00	0.0244	8.0	2.70E-06	1.27E-09	
	10#动 物标记	四侧墙 体表面 外 30cm 处	50mm 彩钢板 +20mm 厚硫 酸钡砂浆 +110mm 混 凝土墙 +20mm 厚硫 酸钡砂浆 +50mm 彩钢 板	5mmPb 饲 养盒	⁶⁴ Cu	3.7E+02	0.029	0.8	9.58E-04	1.61E-02	1.29E-01
					⁶⁸ Ga	3.7E+02	0.134	0.8	9.58E-04	7.42E-02	
					⁸⁹ Zr	3.7E+02	0.163	0.8	4.05E-04	3.82E-02	
					^{99m} Tc	3.7E+02	0.0303	0.8	1.50E-15	2.63E-14	
					¹¹¹ In	3.7E+02	0.077	0.8	1.08E-05	4.82E-04	
					¹⁷⁷ Lu	1.11E+02	0.00475	0.8	2.74E-06	2.26E-06	
					²¹² Pb	2.22E+01	0.0392	0.8	8.46E-06	1.15E-05	
					²²⁵ Ac	5.55E+00	0.0244	0.8	3.78E-07	7.99E-08	
		防护门 外 30cm 处	3mmPb 铅门	5mmPb 饲 养盒	⁶⁴ Cu	3.7E+02	0.029		3.30E-01	4.85E-01	5.44
					⁶⁸ Ga	3.7E+02	0.134		3.30E-01	2.24E+00	
					⁸⁹ Zr	3.7E+02	0.163		2.93E-01	2.42E+00	
					^{99m} Tc	3.7E+02	0.0303		1.00E-08	1.54E-08	
					¹¹¹ In	3.7E+02	0.077		7.20E-02	2.81E-01	
					¹⁷⁷ Lu	1.11E+02	0.00475		4.64E-02	3.36E-03	
					²¹² Pb	2.22E+01	0.0392		7.20E-02	8.59E-03	
					²²⁵ Ac	5.55E+00	0.0244		1.38E-02	2.56E-04	
	11#核 素转运 位	转运提 盒	/	25mmPb 转 运盒	⁶⁴ Cu	7.40E+02	0.029	0.5	3.12E-02	2.68E+00	/
					⁶⁸ Ga	7.40E+02	0.134	0.5	3.12E-02	1.24E+01	
					⁸⁹ Zr	6.66E+02	0.163	0.5	2.15E-02	9.36E+00	
				15mmPb 转	^{99m} Tc	1.85E+03	0.0303	0.5	1.00E-15	2.24E-13	
					¹¹¹ In	7.40E+02	0.077	0.5	7.20E-03	1.64E+00	

			运盒	¹⁷⁷ Lu	7.40E+02	0.00475	0.5	3.16E-03	4.45E-02	
				²¹² Pb	1.85E+03	0.0392	0.5	7.20E-03	2.09E+00	
				²²⁵ Ac	3.70E+02	0.0244	0.5	3.25E-04	1.17E-02	
注：1、项目动物注射和解剖在工作台进行，采用局部铅屏风屏蔽；注射时为热室分装好的单支注射器，转运时放置在 15mmPb/25mmPb 的转运铅盒中。因此注射、解剖、公共实验均以单只老鼠注射最大量进行估算。										
2、衰变间贮存量核算：以 120 天（4 个月）核素累计使用总量为基数进行折算；其中超长半衰期核素 ¹⁴ C 半衰期为 5700a，按 120 天累计使用总量的 100%折算，短半衰期核素 ⁶⁴ Cu、 ²¹² Pb 半衰期不足 24h，按 120 天累计使用总量的 1%折算；其余核素半衰期均超过 24h，按 120 天累计使用总量的 10%折算。										

表 11-6 辐射工作区域关注点辐射剂量率估算结果

关注点位		核素	韧致辐射($\mu\text{Sv/h}$)	γ 射线辐射($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
1#放射源库	四侧墙外 30cm 处	/	3.33E-03	5.78E-03	9.11E-03
	北侧防护门外 30cm 处	/	8.39E-02	1.39E+00	1.47E+00
	上方二层距地面 30cm 处	/	1.48E-04	6.29E-04	7.77E-04
2#放射性有机合成室	通风橱外 30cm 处操作位	^3H	5.98E-05	/	5.98E-05
		^{14}C	4.21E-03	/	4.21E-03
	四侧墙体外 30cm 处	^{14}C	4.57E-09	/	4.57E-09
3#热室	手套箱外 30cm 处操作位	^{64}Cu	2.37E-04	1.04E-02	1.06E-02
		^{68}Ga	/	4.82E-02	4.82E-02
		^{89}Zr	/	2.24E-02	2.24E-02
		^{68}Ge	/	1.56E-01	1.56E-01
		^{90}Y	2.16E-01	/	2.16E-01
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	8.97E-29	8.97E-29
		^{111}In	/	1.18E-02	1.18E-02
		^{177}Lu	5.72E-03	3.52E-04	6.07E-03
		^{212}Pb	3.54E-03	3.00E-03	6.54E-03
4#放射性质控	工作台操作位	^{225}Ac	/	3.81E-07	3.81E-07
		^{14}C	8.41E-06	/	8.41E-06
		^{64}Cu	1.47E-04	4.29E-02	4.30E-02
		^{68}Ga	/	1.98E-01	1.98E-01
		^{89}Zr	/	2.41E-01	2.41E-01
		^{90}Y	3.01E-04	/	3.01E-04
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	4.48E-02	4.48E-02
		^{111}In	/	1.14E-01	1.14E-01
		^{177}Lu	8.57E-05	7.03E-03	7.12E-03
5#动物标记	工作台操作位	^{212}Pb	1.12E-04	5.80E-02	5.81E-02
		^{225}Ac	/	3.61E-02	3.61E-02
		^{14}C	8.41E-15	/	8.41E-15
		^{64}Cu	1.16E-02	1.34E-01	1.46E-01
		^{68}Ga	/	6.19E-01	6.19E-01
		^{89}Zr	/	5.60E-01	5.60E-01
		^{90}Y	8.27E-03	/	8.27E-03
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	//	2.24E-20	2.24E-20
		^{111}In	/	7.92E-03	7.92E-03
		^{177}Lu	4.82E-04	1.63E-04	6.45E-04
		^{212}Pb	1.12E-03	4.03E-04	1.52E-03
		^{225}Ac	/	2.42E-06	2.42E-06
	四侧墙体外 30cm 处	/	/	4.11E-03	4.11E-03
	防护门外 30cm 处	/	/	1.65E-01	1.65E-01
6#细胞培养	生物安全柜外 30cm 处操作位	^{14}C	8.41E-05	/	8.41E-05
		^{64}Cu	1.47E-03	4.29E-01	4.30E-01
		^{68}Ga	/	1.98E+00	1.98E+00
		^{89}Zr	/	2.41E+00	2.41E+00
		^{90}Y	3.01E-03	/	3.01E-03
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	4.48E-01	4.48E-01
		^{111}In	/	1.14E+00	1.14E+00
		^{177}Lu	8.57E-04	7.03E-02	7.12E-02
		^{212}Pb	1.12E-03	5.80E-01	5.81E-01
		^{225}Ac	/	3.61E-01	3.61E-01
7#解剖室	解剖台操作位	^{14}C	1.19E-13	/	1.19E-13
		^{64}Cu	1.16E-02	1.34E-01	1.46E-01
		^{68}Ga	/	6.19E-01	6.19E-01

		⁸⁹ Zr	/	5.60E-01	5.60E-01
		⁹⁰ Y	1.17E-01	2.24E-20	1.17E-01
		^{99m} Tc	/	7.92E-03	7.92E-03
		¹¹¹ In	/	1.63E-04	1.63E-04
		¹⁷⁷ Lu	6.82E-03	4.03E-04	7.22E-03
		²¹² Pb	1.58E-02	2.42E-06	1.58E-02
		²²⁵ Ac	/	2.24E-20	2.24E-20
8#公共实验室	操作台操作位	¹⁴ C	1.19E-13	/	1.19E-13
		⁶⁴ Cu	1.16E-02	1.34E-01	1.46E-01
		⁶⁸ Ga	/	6.19E-01	6.19E-01
		⁸⁹ Zr	/	5.60E-01	5.60E-01
		⁹⁰ Y	1.17E-01	/	1.17E-01
		^{99m} Tc	/	2.24E-20	2.24E-20
		¹¹¹ In	/	7.92E-03	7.92E-03
		¹⁷⁷ Lu	6.82E-03	1.63E-04	6.98E-03
		²¹² Pb	1.58E-02	4.03E-04	1.62E-02
		²²⁵ Ac	/	2.42E-06	2.42E-06
9#衰变间	四侧墙外 30cm 处	/	6.20E-02	2.72E-02	8.92E-02
	南侧防护门外 30cm 处	/	4.72E-01	1.11E+00	1.58E+00
	上方二层距地面 30cm 处	/	2.75E-03	2.24E-03	4.99E-03
10#小鼠饲养	四侧墙外 30cm 处	/	3.95E-02	1.29E-01	1.69E-01
	防护门外 30cm 处	/	3.24E-01	5.44	5.76E+00
11#核素转运位	转运提盒转运位	¹⁴ C	4.21E-13	/	4.21E-13
		⁶⁴ Cu	3.29E-02	2.68E+00	2.71E+00
		⁶⁸ Ga	/	1.24E+01	1.24E+01
		⁸⁹ Zr	/	9.36E+00	9.36E+00
		⁹⁰ Y	7.89E-01	/	7.89E-01
		^{99m} Tc	/	2.24E-13	2.24E-13
		¹¹¹ In	/	1.64E+00	1.64E+00
		¹⁷⁷ Lu	1.02E-01	4.45E-02	1.47E-01
		²¹² Pb	3.54E-02	2.09E+00	2.12E+00
		²²⁵ Ac	/	1.17E-02	1.17E-02

注：手套箱、通风橱、生物安全柜及工作台每次仅操作一种核算；动物注射、解剖及检测均在手套箱分装成单支后，放在转运提盒中在工作台单支注射，因此动物注射、解剖及检测按每只小鼠单支注射最大量进行计算。

从上表可以看出，项目正常运行时，各手套箱、通风橱、生物安全柜及工作台外30cm 处操作位处辐射剂量率均小于2.5μSv/h；各房间四侧墙体外30cm 处辐射剂量率小于2.5μSv/h，控制区内防护门外30cm 处辐射剂量率小于10μSv/h，满足《核医学辐射安全与防护标准》（HJ1188-2021）中规定的剂量率控制水平。

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：

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

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) 年有效剂量估算

①职业人员

根据业主各实验操作频次及实验时间, 辐射工作人员操作核素所接受的附加有效剂量如下表所示:

表 11-7 项目所职业工作人员有效剂量

关注人员	受照场所	关注点辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间(h)	居留因子	年受照剂量(mSv/a)	人员受照剂量统计(mSv/a)
A	热室	2.16E-01	1500	1	3.24E-01	7.95E-01
	放射性质控	2.41E+00	125	1	3.01E-01	
	核素转运*	2.71E+00	62.5	1	1.69E-01	
B	放射性有机合成室	4.21E-03	1000	1	4.21E-03	4.21E-03
	放射性质控	8.41E-05	34	1	2.86E-06	
	核素搬运	4.21E-13	17	1	7.16E-15	
C	动物标记	6.19E-01	227.5	1	1.41E-01	1.84
	细胞培养	2.41E+00	550	1	1.33E+00	
	解剖室	6.19E-01	455	1	2.82E-01	
	公共实验室	6.19E-01	152	1	9.41E-02	

注: 1、每次实验操作不会同时使用多种核素, 每种核素操作位取最大值进行估算, 其中考虑转运核素较多, 转运操作位取中间值进行估算。

项目职业人员最大受照剂量为1.84mSv/a, 满足项目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安排和调配, 同时在必要条件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

非辐射工作人员以及其他公众禁止进入辐射工作场所, 根据表11-7计算结果, 项目实验室控制区边界外0.3m 处剂量率最大值为8.92E-02 $\mu\text{Sv/h}$ 。项目放射性实验区域周边毗邻用房主要为通行过道、资料室、弱电间、其他闲置厂房, 项目无地下楼层, 因此保守按公众年工作2000h, 居留因子取1/4, 则公众附加受照剂量最大为0.045mSv/h, 小于0.1mSv/h 的剂量约束值要求。

随着距离的增加，50m 范围外其他公众受照剂量会更小，因此公众受照剂量均小于0.1mSv/h的剂量约束值要求。

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

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，远小于项目去污室-淋浴2个衰变罐（每个有效容积为0.5m³）总有效容积1m³，衰变罐可满足约10年的废水收集需求，无暂存溢出风险。

放射性废水经管道收集后送入不锈钢衰变罐暂存衰变，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，且在取得排放许可后，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，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

项目放射性废气为各工艺环节产生的含³H、¹⁴C、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr、⁹⁰Y、^{99m}Tc、¹¹¹In、¹⁷⁷Lu、²¹²Pb、²²⁵Ac 等核素的气溶胶，均通过局部密闭收集（热室、手套箱等）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活性炭吸附装置，放射性试验区三条通过管路的风机最大风量分别为3500m³/h、3500m³/h 和4500m³/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。

项目拟建立健全活性炭吸附装置运维管理制度，通过日常巡检管控设备运行工况，依据相关技术规范及设备厂家技术要求确定活性炭更换周期，常规工况下每年整体更换一次吸附用活性炭；更换产生的废活性炭按照放射性固体废物相关管理要求规范收集、贮存与处置，保障放射性废气处理系统长期稳定运行。经活性炭吸附净化后的放射性废气，气溶胶浓度显著降低，放射性废气经吸附后高空排放，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）规定的公众剂量限值，项目运行对周边居民及区域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

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衰变间低温冰箱暂存，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衰变间，转运过程无辐射泄漏风险。

衰变间具备完善的辐射防护条件，短半衰期核素（ ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{177}Lu 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 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；长半衰期核素（ ^3H 、 ^{14}C ）无法通过静置衰变达到解控水平，全程密闭屏蔽暂存，不开展衰变解控，废液经委托固化整备后和其他放射性固体废物定期交由具备放射性废物处置资质单位处置。

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

项目非放射性废水包括浓水、实验室地面擦洗废水和职工生活污水等，经专用管网收集后送入园内现有化粪池预处理，出水水质满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准，后续纳入市政污水管网，由海盐县城乡污水处理厂处理至《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）要求后排放至杭州湾。

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。化粪池预处理设施可有效去除废水中的悬浮物、有机物等污染物，降低市政污水处理厂处理负荷，经多级处理后的废水污染物排放浓度远低于标准限值，对市政污水管网、污水处理厂运行及杭州湾水环境质量无不利影响，不会改变周边水环境功能类别。

11.2.3.2 废气影响分析

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，采用活性炭吸附工艺处理，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。

项目废气产生源强较低，配套密闭收集+活性炭吸附+高空排放组合治理措施，从源头削减污染物排放、提升高空扩散稀释效果。经定性分析及源强保守估算，废气经治理后非甲烷总烃、恶臭特征污染物排放浓度均可稳定满足《制药工业大气污染物排放标准》(DB33/310005-2021)、《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)对应限值要求。项目运营期废气对区域大气环境质量、周边人群生活环境基本无不利影响。

参考《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)推荐的 AERSCREEN 软件选取主要废气非甲烷总烃进行预测分析，根据预测结果，非甲烷总烃在李家埕的最大落地浓度为 $9.34\text{E-}08\text{mg/m}^3$ ，满足相应的环境质量标准，对大气环境保护目标影响很小。

11.2.3.3 固废影响分析

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：废反渗透膜、一般废包装材料等暂存于厂区一般垃圾堆放点，由厂区统一清运处置，部分可回收材料经分类后回收利用，减少固废产生量，暂存库符合一般工业固废贮存相关要求，无二次污染；

危险废物：废包装材料、废实验耗材、动物耗材、废紫外灯管、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)的衰变间内，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，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

项目营运期噪声主要来源于摇床、离心机、液相色谱仪等设备，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

于工作场所操作区，操作区与办公区物理分隔，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

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）液态危险化学品统一在通风柜内操作，操作人员佩戴耐酸碱手套、防护眼镜，实验台设置防泄漏托盘并配备泄漏应急包，发生少量溅洒时立即停止操作并按规范处置，辐射工作人员进入监督区穿戴工作服、工作鞋帽等防护用品，佩戴个人计量计与个人剂量报警仪，近距离操作按需穿戴铅衣、防护口罩、手套及防护眼镜，专人负责防护用品培训、存放与更新，热室等辐射设备定期检修，严格遵守设备使用年限，出现控制系统故障第一时间切断电源、封闭作业区域并联系厂家维修，防止液态危化品溅洒伤人及设备故障引发辐射污染。

（2）所有辐射工作人员经岗前培训考核合格后方可上岗，定期组织操作复训，编制完善标准化操作规范约束作业行为，辐射工作场所配齐防护面罩、吸水滤纸、纱布、酒精、铅容器等应急去污物资，及时处置药液泄漏，防止因人员误操作、违规操作造成放射性药物洒漏，引发人员意外照射与场地辐射污染。

（3）建立完善放射性核素安全管理制度，安排专人专职管理放射性核素，核素成品、放射性废物出入库全部登记造册，留存完整使用台账，放射工作场所出入口上锁管理，落实日常

巡查机制，防止因场所管控疏漏、保管不到位造成放射性核素丢失，对外界公众及周边环境形成辐射污染。

(4) 完善动物实验室密闭设施，给药标记后的实验动物全程专人看管并定时巡查，一旦出现动物逃逸立即隔离事发区域，由持证辐射工作人员完成捕获与去污处理，防止实验动物跑出实验室，造成无关人员误照射和周边环境辐射污染。

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，事故发生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，然后用棉签等擦抹，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影响损害程度，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。

项目为药物研发与标记合成，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）。

项目涉及的危险品 Q 值计算结果详见下表。

表 11-8 企业危化品暂存量及分布情况（单位：t）

序号	存放单元	危险物质	最大存在数量（ q_n ）	临界量（ Q_n ）	q_n/Q_n
1	危化品室	乙腈	1.26E-02	1.00E+01	1.26E-03
2	危化品室	甲醇	1.27E-02	5.00E+02	2.54E-05
3	危化品室	无水乙醇	1.26E-02	5.00E+02	2.52E-05
4	危化品室	三氟乙酸	7.70E-04	5.00E+01	1.54E-05
5	危化品室	盐酸（37%）	1.19E-03	5.00E+01	2.38E-05
6	危化品室	氢氧化钠	5.00E-04	5.00E+01	1.00E-05
7	危化品室	冰醋酸	5.30E-04	1.00E+01	5.30E-05
8	危化品室	甲酸	6.10E-04	1.00E+01	6.10E-05
9	危化品室	钯碳催化剂	1.00E-04	5.00E+01	2.00E-06

		(Pd/C)			
10	危化品室	氢化钠	5.00E-04	2.00E+02	2.50E-06
11	危化品室	正丁基锂	3.40E-04	1.00E+00	3.40E-04
12	危化品室	无水四氢呋喃 (THF)	7.11E-03	5.00E+01	1.42E-04
13	危化品室	无水 N,N-二 甲基甲酰胺 (DMF)	7.56E-03	5.00E+03	1.51E-06
14	危化品室	乙酸乙酯 / 石 油醚	3.84E-02	5.00E+02	7.68E-05
15	危化品室	液闪闪烁液	4.30E-03	5.00E+02	8.60E-06
合计 (Q)					2.05E-03

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, 项目危险物质数量与临界量比值结果为: $\Sigma q/Q=0.002<1$, 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

项目涉及的危险单元主要为原辅料库、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 11-10。

表 11-9 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	危化品室	乙腈	易燃、有毒、刺激性	泄漏挥发、火灾爆炸	厂区人员、周边大气环境、水环境
2	危化品室	甲醇	易燃、有毒	泄漏挥发、火灾爆炸	
3	危化品室	无水乙醇	易燃、刺激性	泄漏挥发、火灾爆炸	
4	危化品室	三氟乙酸	强腐蚀性、有毒、刺激性	泄漏挥发、腐蚀	
5	危化品室	盐酸 (37%)	强腐蚀性、刺激性	泄漏挥发、腐蚀	
6	危化品室	氢氧化钠	强腐蚀性、刺激性	泄漏溶蚀、腐蚀	
7	危化品室	冰醋酸	腐蚀性、刺激性	泄漏挥发、腐蚀	
8	危化品室	甲酸	强腐蚀性、易燃、有毒、刺激性	泄漏挥发、腐蚀、火灾爆炸	
9	危化品室	钯碳催化剂 (Pd/C)	自燃、易燃	遇空气自燃、火灾爆炸	
10	危化品室	氢化钠	遇水放出易燃气体、腐蚀性	遇水燃烧、腐蚀	
11	危化品室	正丁基锂	自燃、遇水剧烈反应、腐蚀性	遇空气 / 水燃烧、腐蚀	
12	危化品室	无水四氢呋喃 (THF)	易燃、易爆、刺激性	泄漏挥发、火灾爆炸	

13	危化品室	无水 N,N - 二甲基甲酰胺 (DMF)	有毒、可燃、刺激性	泄漏挥发、火灾	
14	危化品室	二甲基亚砷 (DMSO)	可燃、刺激性	泄漏挥发、火灾	
15	危化品室	乙酸乙酯 / 石油醚	易燃、刺激性	泄漏挥发、火灾爆炸	
16	危化品室	液闪闪烁液 (含二甲苯 / 伪枯烯)	易燃、有毒、刺激性	泄漏挥发、火灾爆炸	

(1) 有机物泄漏

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手套箱，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]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，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。

项目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）个人剂量监测

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 3 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）辐射工作人员培训考核

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 年重新参加考核，考核不合格的，不得上岗。

(3) 职业健康体检

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，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

项目为新建项目，建设单位拟按照《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》中要求，使用放射性同位素的单位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。现对其提出相应的要点建议和要求：

(1) 操作规程：针对放射性核素，考虑核素特性，应明确各项目的详细具体步骤，以及操作过程中采取的具体防护措施。重点是：

①严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪或剂量检测仪器正确使用和穿戴个人防护用品；

③伴有强 γ 外照射的操作，应注重提高操作熟练程度，合理使用时间防护、距离防护和屏蔽防护；

④液体放射性药物的分装及注射等操作，应在铺有吸水纸的塑料或不锈钢等易去污的台面上或搪瓷盘内进行；

⑤不应裸手直接进行非密封放射性物质操作和去除放射性污染操作，在非密封开放性工

作场所严禁吸烟、进食；

⑥放射性“三废”的处理，需严格按照操作规程执行。在手套箱或通风橱内进行放射性核素操作前务必提前打开排风装置，保持手套箱/通风橱在整个操作过程中的负压排气状态，避免放射性气溶胶的溢出；手套箱/通风橱通风需在操作前 30 分钟启动，确认负压状态及换气次数达标后，方可开始操作；操作结束后持续通风 30 分钟，再关闭通风系统。所有放射性废物容器需粘贴专用标签，标注内容包括：核素类型、产生日期、活度估算值、废物类别（固/液），标签采用耐辐射材质；

⑦建立清洁卫生制度，明确高活区清洁工具专用，不得拿至其他区（室）使用，以防污染扩散。

（2）**岗位职责：**明确辐射管理人员、放射性同位素原料、放射性“三废”管理人员、放射性核素操作人员等的岗位责任，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：**根据项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度。重点是：

①确保放射性核素的安全保管和使用，定期查验和盘存；

②定期检查相关的辐射安全装置和监测仪器，环境辐射巡测仪、表面沾污仪、个人剂量报警仪等，发现问题及时修理或更换；

③辐射工作人员配备数量足够的铅衣、铅帽、铅眼镜等个人防护用品，在开展辐射工作时正确穿戴；

④辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护并建立个人剂量档案。

（4）**放射性核素使用制度：**建立所有购入核素的使用登记台账，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：**明确重点防护设备、监测仪器、“三废”处理设施等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射防护设备和设施、监测仪器等有效地运转。

（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。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 项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	应制定的制度		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	拟制定
8		去污操作规程	拟制定
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	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，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

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、便携式 X-γ 辐射巡检仪、个人剂量计和个人剂量报警仪。具体见表 12-2。

表 12-2 项目拟配备监测仪器设备一览表

序号	设备名称	数量
1	固定式辐射监测仪	9 台
2	便携式 X- γ 辐射巡检仪	1 台
3	便携式表面沾污仪	2 台
4	个人剂量计	5 枚
5	个人剂量报警仪	5 台

12.3.2 工作场所监测

项目工作场所监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，采用安装固定式辐射监测仪和便携式监测仪表相结合的方式。每年至少进行一次，监测数据记录存档。

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 α 、总 β	1 次

表 12-4 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 α 、总 β 、必要时分析对应核素	/	1 次/年
	废气	控制区各废气排放口	总 α 、总 β 、必要时分析对应核素	2 次/年	1 次/年
	废水	衰变罐	衰变罐总 α 、总 β ，如总 $\alpha > 0.5\text{Bq/L}$ ，总 $\beta > 1.0\text{Bq/L}$ ，应分析应用核素	/	如有应急废水产生处置前
	放射性	铅废物桶表面	γ 辐射空气吸收剂	/	2 次/年

	固体废物		量率和 β 表面污染		
--	------	--	------------------	--	--

12.3.3 个人剂量监测

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。

个人剂量计用于对辐射工作人员的常规个人剂量监测。建设单位为每名辐射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个人剂量计，并携带个人剂量报警仪。个人剂量计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。

12.3.4 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），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	监测点位名称	监测因子	年监测频次
1	废气	废气气排放口	非甲烷总烃、臭气浓度、氨、硫化氢	2
		厂界四周	非甲烷总烃、臭气浓度、氨、硫化氢	2
2	废水	废水排放口	pH 值、COD、BOD ₅ 、SS、NH ₃ -N、TP、TN	1
3	噪声	厂界外 1m 处	等效连续 A 声级	1 次/季度

12.4 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），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，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），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 0.0731t/a、NH₃-N 0.003t/a。

12.5 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。

12.5.1 辐射事故应急响应机构的设置

公司应在项目建成运行前，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。

12.5.2 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，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。

12.5.3 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
辐射监测设备	表面污染仪、	11
	X- γ 辐射巡测仪	
辐射防护用品	铅防护服/铅围裙/铅手套	3 套
	一次性防护衣/手套/面具	若干
	屏蔽铅桶	2 个
	放射性警示牌	1 个
	防护面罩	2 个
	警示绳	100m
救援器材和工具	长柄夹具	2 个
	应急包装容器	1 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
	应急去污用品	1 套

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。

12.5.4 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。

12.5.5 辐射事故上报要求

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，还应向嘉兴市及海盐县公安部门和卫生行政主管部门报告。

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。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

嘉兴秦拓医药科技有限公司拟租用海盐秦山核电产业共享开发有限公司 600m² 的厂房，以偶联药物（ADC）等为原料建设偶联药物临床前评价服务及偶联药物 IIT 研究服务实验室平台。拟建实验室属于乙级非密封性同位素实验室，规划使用 ⁶⁸Ga、¹¹¹In、^{99m}Tc、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、¹⁷⁷Lu、⁹⁰Y、²²⁵Ac、²¹²Pb、¹⁴C、³H 共 11 种放射性核素开展放射性药物标记、放射性质控分析、细胞放射性摄取、动物给药和组织分布及代谢鉴定实验。其中 ⁶⁸Ga 由外购 ⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器淋洗制备，其他核素均外购。项目非密封放射性物质日等效最大操作量为 9.69×10⁸Bq。

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）》，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

搭建偶联药物的临床前评价及研究者发起的临床试验（IIT）研究有助于缓解我国在偶联药物领域评价能力分散、核心技术标准受制于人、创新药物缺乏自主知识产权的困境。放射性核素标记的偶联药物用于临床核医学诊断与治疗，能够达到一般非放射性治疗方法所不能及的精准靶向诊断与一体化治疗效果，对提升重大疾病诊疗水平、保障人民群众身体健康、拯救生命具有不可替代的重要作用。因此，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。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）选址合理性分析

项目选址于浙江省嘉兴市海盐县秦山街道金源东路 388 号 B 幢，租用海盐秦山核电产业共享有限公司现有厂房西北侧区域建设实验室。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，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

项目工作场所采用放射区与非放射区分区设置，二者以实体墙物理隔离，仅通过传递窗传递必要实验用品。放射区位于南侧，集中布置放射源库、热室、放射性有机合成室、细胞培养室、放射性质控室、公共实验室、解剖室、衰变间、动物标记室等，房间顺序契合实验流程。非放射区位于北侧，设有样品接收、准备、细胞室、外准备间、内准备间、动物检疫室、小鼠饲养室等。其中，样品准备与细胞培养传代位于西侧，小鼠检疫与培养位于东侧，可与放射区东侧的小鼠标记、解剖等环节联动，实现实验流程顺畅衔接。放射区集中设置且具备必要屏蔽防护，对非放射区影响较小。整体布局兼顾自身特点与周边环境，便于职业人员集中作业及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

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“彩钢板+厚硫酸钡砂浆+混凝土”等进行屏蔽。项目各辐射工作场所主要采用操作箱体（如热室、手套箱、L型铅防护屏等）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，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。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活性炭吸附箱体。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、销售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，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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内防护门外 30cm 处辐射剂量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱外表面 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，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《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中工作人员的剂量约束值 5mSv/a ，公众的剂量约束值 0.1mSv 的要求

（2）三废影响分析结论

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”：放射性废气为含核素的气溶胶，经局部密闭收集后通过活性炭吸附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；放射性废水包括实验室产生的放射性有机废液和初次洗涤废液，实验室内不设置任何放射性废液排放口，工作台下方设置专属的、带有二次防漏围堰的 HDPE（高密度聚乙烯）防渗收集桶，分类收集后送入放射区废弃物衰变间内的大容量固体废物暂存铅箱内衰变，经衰变后解控后委托有资质单位处置；不满足解控要求则按低放废物委托有资质单位处置。废液暂存期间全程密闭监测、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”：非放射性有机废气及氨类恶臭气体，经密闭收集后采用活性炭吸附工艺处理，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；非放射性废水经园区化粪池预处理达标后纳入市政污水管网，由海盐县城乡污水处理厂深度处理后排放，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，对周边水环境无不利影响；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的影响极小。

③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，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，项目的建设及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，嘉兴秦拓偶联药物临床前评价服务及偶联药物 IIT 研究服务实验室平台建设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和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）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:

经办人：公章

年 月 日

审批意见:

经办人：公章
年月日