

核技术利用建设项目
强核医药核药物小试实验室项目
环境影响报告表

建设单位：强核医药科技（重庆）有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2025年9月

生态环境部监制

编制单位和编制人员情况表

项目编号	k92.js		
建设项目名称	强核医药核药物小试实验室项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	强核医药科技(重庆)有限公司		
统一社会信用代码	91500107M AE6J1W B8E		
法定代表人 (盖章)	翟向伟		
主要负责人 (签字)	洒荣园		
直接负责的主管人员 (签字)	古鸿力		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
肖英	07355543507550272	BH 001035	肖英
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
蒲小洁	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议	BH 001011	蒲小洁

表 1 项目基本情况

建设项目名称		强核医药核药物小试实验室项目				
建设单位		强核医药科技（重庆）有限公司				
法人代表		翟向伟	联系人	古鸿力	联系电话	18*****10
注册地址		重庆市高新区金凤镇凤笙路 14 号附 2 号数字医疗产业园 7 栋 312 室				
项目建设地点		重庆高新区金凤数字医疗产业园 13 号楼				
立项审批部门		重庆高新区改革发展局		批准文号	2507-500356-07-01-151472	
建设项目总投资（万元）		■	项目环保投资（万元）	30	投资比例（环保投资/总投资）	■
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m²）	约 80
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☒ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类		☐ III 类	
		☐ 销售	☐ II 类		☐ III 类	
		☐ 使用	☐ II 类		☐ III 类	
	其他	/				
项目概述（建设单位的简要情况、占地面积、规模和任务的由来）						
1.1 建设单位简介						
强核医药科技（重庆）有限公司（以下简称“强核医药”）成立于 2024 年 12 月 09 日，营业范围主要包括药品生产、药品委托生产；药品进出口；医学研究和试验发展；技术服务等。 公司以发展同位素与辐射技术、服务社会为己任，以成为核技术应用领域国际一流的企业作为发展目标，计划建设一个集自主放射性药物研发生产及提供 CRDMO（合同研究、开发和生产组织模式）服务的综合性基地，涉及医用同位素及核药物自主生产、使用及销售，提供放射性药物从药学研究、非临床研究、临床研究及注册全流程服务。						

续表 1 项目基本情况

1.2 项目由来

根据企业发展规划和市场需求，强核医药拟租用重庆市数字医疗产业园 13 号楼中子科学研究院（重庆）有限公司（以下简称“中子研究院”）部分用房建设强核医药核药物小试实验室项目。该项目建设放射实验室（乙级非密封放射性物质工作场所），开展 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{103}Pd 等 12 种放射性核素药物研发试验，以对未来的制药产业链化提供重要的经验和实践基础。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，该项目的建设应开展环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号）的要求，本项目属于“五十五、核与辐射 172 核技术利用建设项目中的乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，强核医药科技（重庆）有限公司委托重庆宏伟环保工程有限公司对本项目进行环境影响评价。评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和环境状况，并按照国家对核技术利用项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了《强核医药核药物小试实验室项目环境影响报告表》。

1.3 评价思路

（1）数字医疗产业园分为南区和北区两部分，本项目位于南区。整个南区的地下负一层和负二层全部连通，根据高新区规资审查复函[2023]0080 号文件，2023 年 8 月重庆高新区技术开发区管理委员会规划和自然资源局将负一层和负二层部分用房性质由商业办公调整为科研办公，调整用房性质的区域划为 13 号楼，建筑负一层为文件上 13 号楼的二层，建筑负二层为文件上 13 号楼的一层。本项目描述时与建筑现用楼层一致，用 13 号楼负一层和负二层进行描述。

（2）中子研究院在 13 号楼-1F 已建设“药物研究实验室项目”包括分析有机化学前体的非放实验区和分析放射性核素的放射实验区。本次涉及依托其已建放射性废气排气筒、1#一体化污水处理设施、危险废物贮存点等环保设施。具体见可行性分析。

（3）本项目外购可以直接使用的有机前体，本次不对有机前体进行分析。项目北侧相邻配电房不属于本项目建设内容。该配电房属于中子研究院用房，随本次建设时一

续表 1 项目基本情况

起建设。

1.4 建设规模及工程内容

1.4.1 项目组成

强核医药租用重庆市数字医疗产业园 13 号楼负二层中子研究院部分用房建设药物研究实验室，包括放射实验室、缓冲更衣间（卫生通过间）、物流通道、放射性废物暂存间等，开展 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{103}Pd 等 12 种放射性核素药物研发试验。经核算，放射性核素年用量为 $2.38 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量约为 $3.35 \times 10^9\text{Bq}$ ，放射实验室属于乙级非密封放射性物质工作场所。本项目含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 放射性核素分别由 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，其余放射性核素均通过外购获得。

拟建项目总建筑面积约 80m^2 ，总投资为 ■■■ 万元，其中环保投资约 30 万元，占总投资的 ■■■。施工期预计 3 个月。拟建项目组成情况见下表 1-1。

表 1-1 项目组成一览表

序号	类别	项目名称		建设内容	备注
1	主体工程	放射实验室（乙级非密封放射性物质工作场所）		建筑面积约 65m^2 ，主要做放射性核素的标记实验和对标记后的样品进行分析实验。	主体结构依托大楼，内部布局新建
2	辅助工程	辅助用房		建筑面积约 15m^2 ，包括缓冲更衣间（卫生通过间）、物流通道、放射性废物暂存间等	
3	公用工程	供配电系统		依托数字医疗产业园供配电系统，用电来源于市政供电	依托
		给水系统		依托数字医疗产业园给水系统，来源于市政供水。	依托
		排水系统		雨污分流。雨水排入市政雨水管网；放射实验室的放射性废水衰变后与非放射性废水一起依托中子研究院 1#一体化污水处理设施（处理能力 200L/d ，包括放射性废物暂存间的废水箱和水泵）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，与生活污水一并经数字医疗产业园生化池（处理能力 $215\text{m}^3/\text{d}$ ）处理达标后经市政污水管网进入金凤城市污水处理厂处理达标后排入梁滩河。	依托
		通风系统		放射实验室设置全新风系统，包括新风和排风，进行通风换气。	新建
4	储运工程	储存		在放射实验室内设置 1 个储源柜，用于放射性核素的储存。	新建
		运输		放射性核素直接由供货方由车库运至放射实验室东侧物流通道出口处，通过物流通道送到放射实验室内。放射性药物每日最多送药 1 次。	/
5	环保工程	污水处理	放射性废水	放射实验室产生的放射性应急去污废水经专用废水罐收集，放射经衰变满足要求后倒入放射性废物暂存	拟购 2 个专用

续表 1 项目基本情况

				间的废水箱内,用水泵从废水箱内泵入中子研究院已建 1#一体化污水处理设施,经处理达标后再排入数字医疗产业园的生化池。	废水罐,废水管道新建,其余依托
			非放射性废水	放射实验室非放射性实验废水依托中子研究院已建 1#一体化污水处理设施处理后和生活污水一起依托数字医疗产业园的生化池处理达标后经市政污水管网。	
		废气处理	放射性废气	放射实验室拟设 1 套废气主管道,收集手套箱和实验室房间的废气,设计风量为 2800m ³ /h,各分支管道内设置防倒灌装置,并保持负压,其中手套箱废气收集处均拟设置活性炭吸附装置,其余的废气拟另设置 1 套活性炭吸附装置。拟建各废气管道汇总后接入-1F 中子研究院已建放射性废气管道,引至 7 号楼 7F 楼顶经活性炭吸附后通过中子研究院已建排气筒 DA002 高于楼顶排放,排气筒 DA002 (手套箱)排气口位于 7 号楼 7F 楼顶。	新建废气管道,依托中子研究院排气筒
			放射性固废	放射实验室南侧拟设置放射性废物暂存间,放射实验室内拟设置专用收集容器,收集放射性固体废物和放射性废液。每天实验结束后,将放射性废物转移至放射性废物暂存间(面积约 5m ²),衰变达到规定时间要求并监测合格后委托有资质单位处置。	新建
		固废处理	非放射性固废	依托-1F 西北侧中子研究院已建危险废物贮存点(面积约 20m ²),拟配备容器收集(其中废液用密封的容器收集),定期委托有资质单位处置。危险废物和废防护用品妥善保存,做好记录,交有资质单位处理。生活垃圾收集后交环卫部门处置。	依托中子研究院危险废物贮存点
			屏蔽防护	本项目涉及放射性核素操作的实验均在防护手套箱内进行,防护手套箱屏蔽材料是铅,对本项目产生的电离辐射进行屏蔽防护。	新建
6	其他	辐射环境管理		公司拟建立辐射防护管理机构,拟设置专人管理辐射环境,拟制定相应的管理制度和应急预案。	新建

1.4.2 建设方案

根据设计图可知,本项目用房是拟利用-2F 西北侧的回路控制室进行建设,内部根据设计重新布局和建设。内部新建空心砖隔墙,四周墙体依托现有空心砖墙体,顶棚依托现有混凝土楼板;在东侧墙体上开设门洞,设置物流进出门(普通门);南侧依托现有门洞,设置人员进出门(普通门)。根据公司提供的资料,本项目涉及核素操作过程均在防护手套箱内进行,拟建放射实验室四周墙体不再做防护。拟建卫生通过间洗手盆下方设置放射性废水收集罐,放射性废水从产生处直接接入放射性废水收集罐,管道不在室外暴露,不对废水管做防护。

续表 1 项目基本情况

1.4.3 相关设备配置

本项目设备清单见表1-2。

表 1-2 项目设备一览表

T				
T				
T				

续表 1 项目基本情况

备注：屏蔽材质的密度：铅 11.3g/cm³，后文密度同此，不再重复。

1.4.4 主要原辅材料

本项目主要原辅材料消耗情况见表 1-3。

表 1-3 原辅材料一览表

1-4 主要试剂理化性质一览表

1.4.5 劳动定员及工作制度

本项目拟配置 2 名放射工作人员操作放射性核素。本项目工作人员从强核医药劳动定员中调配和培养。强核医药办公室位于 7 号楼。

工作制度：每天工作 8 小时，每年工作 240 天。

1.4.6 工作负荷

根据公司提供的资料，每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。

续表 1 项目基本情况

每天每种核素单次的直接操作时间为 9min，每天操作核素的最大时间为 9×4/60h，每种核素的年最大直接操作时间为 36h。

1.5 项目外环境概况

拟建项目位于重庆高新区新洲大道与凤笙路交口数字医疗产业园 13 号楼负二层。数字医疗产业园 13 号楼上方为数字医疗产业园 7 号楼；东侧紧邻数字医疗产业园地下车库，东侧之外为内部道路，之外为数字医疗产业园 8 号楼；东南侧之外为数字医疗产业园 10 号楼；南侧紧邻数字医疗产业园车库，南侧之外为内部道路，之外为数字医疗产业园 9 号楼；西南侧紧邻数字医疗产业园地下车库，西南侧之外为内部道路，之外为数字医疗产业园 5 号楼 1 单元；西侧紧邻数字医疗产业园地下车库，西侧之外为内部道路，之外为数字医疗产业园 5 号楼 2 单元；北侧紧邻数字医疗产业园内部广场。

数字医疗产业园 13 号楼外环境关系见表 1-5，周围外环境示意图见附图 2。

表 1-5 数字医疗产业园 13 号楼外环境情况一览表

序号	名称	方向	最近水平距离	高差	环境特征
1	地下车库	东	约 0m	约 0m	数字医疗产业园配套设施
	内部道路		约 20m	约+9.6m	数字医疗产业园配套设施
	数字医疗产业园 8 号楼		约 64m	约 0m	7F/-2F，数字医疗产业园其他用房
2	数字医疗产业园 10 号楼	东南	约 76m	约 0m	7F/-2F，数字医疗产业园其他用房
3	地下车库	南	约 0m	约 0m	数字医疗产业园配套设施
	内部道路		约 20m	约+9.6m	数字医疗产业园配套设施
	数字医疗产业园 9 号楼		约 40m	约 0m	7F/-2F，数字医疗产业园其他用房
4	地下车库	西南	约 0m	约 0m	数字医疗产业园配套设施
	内部道路		约 0m	约+9.6m	数字医疗产业园配套设施
	数字医疗产业园 5 号楼 1 单元		约 33m	约 0m	11F/-1F，数字医疗产业园其他用房
5	地下车库	西	约 0m	约 0m	数字医疗产业园配套设施
	内部道路		约 0m	约+9.6m	数字医疗产业园配套设施
	数字医疗产业园 5 号楼 2 单元		约 11m	约+9.6m	11F，数字医疗产业园其他用房
6	内部广场	北	约 0m	约 0m	数字医疗产业园配套设施
7	数字医疗产业园 7 号楼	上方	约 0m	约+9.6m	7F，办公用房（中子研究院和强核医药等）

备注：“+”代表其地面高于数字医疗产业园 13 号楼-2F 地面。

本项目辐射环境保护目标为放射实验区周围 50m 范围内的放射工作人员和公众成员。

续表 1 项目基本情况

1.6 项目选址可行性

(1) 与区域规划及规划环评符合性分析

重庆高新技术产业开发区的四大工业区是指金凤产业园、含谷产业园、白市驿产业园区、涉农物流园区，其中金凤产业园包括金凤电子信息产业园、生物医药园、研发总部园（西部片区）。拟建项目位于重庆高新区新洲大道与凤笙路交叉口处的数字医疗产业园内，属于金凤电子信息产业园范围。根据《重庆高新技术产业开发区规划环境影响报告书》及《关于<重庆高新技术产业开发区规划环境影响报告书>的审查意见》（环审[2019]60号）可知，金凤电子信息产业园是发展笔记本电脑的电池、电源、电阻、电容等电子部件为主的配套产业；检验检测、认证认可、培训等高新技术产业及服务业，以及通讯设备研发生产、计算机软硬件生产、汽车零部件加工等。拟建项目属于科研实验室，不属于禁止引入的工艺、产品，与金凤电子信息产业园产业定位不冲突。

(2) 三线一单符合性分析

对照九龙坡区（本项目所在位置现属于高新区）生态保护红线，本工程不涉及生态保护红线。

根据项目“三线一单检测报告”，本项目位于“ZH50010720001 九龙坡区重点管控单元-莲花滩河吴家大桥”，项目不涉及优先保护单元。根据《重庆市生态环境局关于印发<规划环评“三线一单”符合性分析技术要点（试行）><建设项目环评“三线一单”符合性分析技术要点（试行）>的通知》（渝环函〔2022〕397号）：铁路、公路、长输管线等以生态影响为主的线性建设项目重点分析对优先保护单元的生态环境影响，可不开展重点管控单元、一般管控单元管控要求的符合性分析。

(3) 外环境关系相容性分析

拟建项目位于数字医疗产业园南区的 13 号楼，其 50m 辐射评价范围内均在数字医疗产业园范围内，涉及的环境保护目标主要有拟建项目所在的 13 号楼以及 7 号楼，13 号楼为中子研究院实验用房等，7 号楼为中子研究院办公用房。因此，拟建项目评价范围内无居民楼、学校等环境保护目标。

拟建项目布置在数字医疗产业园 13 号楼负二层，位于建筑的底部，用房独立。拟建项目周围主要为中子研究院的其它科研实验相关用房；因此，拟建项目周围长期停留及活动公众成员较少，有利于减少放射实验区运行对公众成员的影响。另拟建项目用房

续表 1 项目基本情况

为回路控制室，里面主要布置一些电气设备，运行期间无废水废气固废等产生，故无遗留环保问题。

根据辐射环境质量现状监测结果可知，拟建项目所在地环境 γ 辐射剂量率在重庆市 2023 年环境 γ 空气吸收剂量率涨落范围内。

本项目实验室边界外周围 50m 范围内无居民区、医院、学校等环境保护敏感目标，无明显环境制约因素。项目产生的废气、固废、废水（废液）均采用合理可行的处理措施后对周围环境及人员的影响是可以接受的，因此，从环境保护和辐射安全与防护的角度来看，本项目选址是合理的。

1.7 现有核技术利用情况及现有辐射环境问题

（1）现有核技术利用情况

强核医药在 2025 年的《强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）环境影响报告书》中开展了 1 台 I 类射线装置、2 台 III 类射线装置和甲级、乙级非密封放射性物质工作场所各 2 个的环境影响评价，并于 2025 年 5 月 28 日取得了重庆高新区生态环境局核发的《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（辐）环准[2025]27 号），该项目位于重庆高新区巴福镇大田湾（高新区西彭组团 Q7-3/05 地块），目前还在建设中。建设内容包括：

1）射线装置使用场所

项目 1#回旋加速器机房配备 1 台质子回旋加速器，属 I 类射线装置。项目建设 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房各 1 间，分别配置 PET/CT、SPECT/CT 各 1 台，均属 III 类射线装置。

2）非密封放射性物质工作场所

项目甲级非密封放射性物质工作场所包括：①1#回旋加速器机房及药物生产场所，位于 2-2#核药厂房 1F，建设 4 条放射性药物生产线，主要生产工序包括制靶、打靶、分离、纯化、分装等，涉及生产、使用、销售 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物及 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器（由本项目生产的 ^{68}Ge 制备，不开展 ^{68}Ge 销售）。该场所放射性核素日等效最大操作量为 $2.56 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，年最大用量为 $2.14 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，年最大销售量为 $1.20 \times 10^{14}\text{Bq}$ 。②药物生产及质检场所，位于 2-2#核药厂房 2F。药物生产区建设 4 条

续表 1 项目基本情况

药物生产线，利用外购原液经标记、纯化、分装等工序获取放射性药物，涉及生产、使用、销售 ^{99m}Tc 、 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 放射性药物及 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器（由外购的 ^{68}Ge 原液制备，不开展 ^{68}Ge 销售）。质检区使用 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 ^{99m}Tc 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 放射性药物及 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器。药物生产及质检场所放射性核素日等效最大操作量为 $2.33\times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大用量为 $2.45\times 10^{14}\text{Bq}$ ，年最大销售量为 $1.48\times 10^{14}\text{Bq}$ 。

项目乙级非密封放射性物质工作场所包括：①研发实验场所，位于 2-2#核药厂房 3F，使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 ^{99m}Tc 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 放射性药物及 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器。该场所放射性核素日等效最大操作量为 $3.70\times 10^9\text{Bq}$ ，年最大用量为 $6.89\times 10^{12}\text{Bq}$ 。②动物细胞实验场所，位于 2-2#核药厂房 4F，使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{44}Sc 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{99m}Tc 、 ^{103}Pd 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 。该场所放射性核素日等效最大操作量为 $9.59\times 10^8\text{Bq}$ ，年最大用量为 $6.74\times 10^{10}\text{Bq}$ 。

(2) 现有辐射环境问题

本项目拟建址未开展过核技术利用工作，根据现场监测，拟建址的环境 γ 辐射剂量率与重庆市的环境 γ 辐射剂量率无明显差异。因此，拟建址不存在与本项目有关的环境污染情况和环境问题。

1.8 本项目依托情况

2024 年 2 月，中子研究院委托重庆宏伟环保工程有限公司编制了《药物研究实验室项目（重庆）环境影响报告表》，重庆高新区生态环境局以渝（高新）环准[2024]9 号批复了该项目，2025 年 5 月中子研究院完成了该项目的环境保护验收，取得验收意见。该项目包括分析有机化学前体的非放实验区和分析放射性核素的放射实验区两个区域，开展 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 ^{99m}Tc 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{103}Pd 等 12 种放射性同位素药物研发试验。环境保护设施建设情况如下：

(1) 废水

放射实验区废水经自建 1#一体化污水处理设施（处理能力 200L/d）和非放射实验区废水经自建 2#一体化污水处理设施（处理能力 800L/d）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，再与生活污水一并经数字医疗产业园生化池（处理

续表 1 项目基本情况

能力 215m³/d) 处理达标后经市政污水管网进入金凤城市污水处理厂处理达标后排入梁滩河。

放射实验区产生的放射性应急去污废水经专用废水罐收集，经衰变满足要求后进入自建 1#一体化污水处理设施处理达标后，再排入数字医疗产业园的生化池。

(2) 废气

放射实验区设有 2 套废气主管；其中手套箱 1 套，风量为 2800m³/h；所有房间共 1 套，设计风量为 1900m³/h；各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。各套管网将废气通过排风井引至 7 号楼 7F 楼顶，经活性炭吸附后高于楼顶排放，其中手套箱废气收集和排放处均设置活性炭吸附装置。放射性废气设置 2 个排气筒 DA002（手套箱）、DA003（所有房间），排气口均位于 7 号楼 7F 楼顶。

非放实验区设有 5 套排风系统；其中所有通风橱共 1 套，风量为 2500m³/h，废气由通风橱收集引至 7 号楼 7F 顶经活性炭吸附处理后排放；细胞实验室、制剂实验间、合成实验间每个房间各 1 套，分析实验间、储存间共 1 套，单个设计风量为 500m³/h，废气引至北侧室外排放。非放射性废气有组织排放设置 1 个排气筒 DA001，排气口位于 7 号楼 7F 楼顶。

(3) 固体废物

放射实验区北侧设置放射性废物暂存间，建筑面积约 20m²，设置专用收集容器，收集放射性固体废物和放射性废液，衰变达到规定时间要求并监测合格后委托有资质单位处置。

非放实验区南侧设置危险废物贮存点，建筑面积约 20m²，设置容器收集（其中废液用密封的容器收集），定期委托有资质单位处置。危险废物和废防护用品妥善保存，做好记录，交有资质单位处理。纯水系统废反渗透膜、废树脂等，属于一般固废，由厂家更换回收。废外包装物，收集后外售给回收站。生活垃圾收集后交环卫部门处置。

本项目主要依托数字医疗产业园给排水及供配电工程、生化池，依托中子研究院已建药物研究实验室的放射性废气排气筒 DA002、1#一体化污水处理设施、危险废物贮存点。依托情况详见表 1-6。

续表 1 项目基本情况

表 1-6 项目依托可行性分析		
依托工程	依托情况	可行性分析
主体工程	用房	数字医疗产业园 13 号楼主体结构已建成,其使用功能为科研用房。可根据拟建项目的需求进行重新布局,因此,拟建项目依托数字医疗产业园 13 号楼可行。
公用工程	给水	数字医疗产业园 13 号楼用水由市政供水管网供给。因此,拟建项目依托数字医疗产业园供水系统供水可行。
	排水	数字医疗产业园实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网;生活污水经数字医疗产业园的生化池处理后排入市政污水管网。拟建项目位于数字医疗产业园 13 号楼,排水管网已预先埋设。因此,拟建项目依托数字医疗产业园的排水系统排水可行。
公用工程	供电	数字医疗产业园 13 号楼用电由市政电网供给。因此,拟建项目依托数字医疗产业园配电系统供电可行。
环保工程	废气	-1F 中子研究院药物研究实验室放射实验区设有 2 套废气主管;其中手套箱 1 套,所有房间共 1 套,2 套放射性废气管道均引至 7 号楼 7F 楼顶,经活性炭吸附后,通过 2 个排气筒 DA002、DA003 高于楼顶排放。 -1F 已建各分支管道内均设置防倒灌装置,并保持负压,本项目废气经活性炭吸附后通过拟建废气管道接入-1F 已建手套箱废气主管后端,新增风机,不会影响其收集效果。本项目拟使用核素,无挥发性核素,放射性废气产生量小,且本项目拟新增活性炭吸附装置,不会影响现有活性炭吸附装置的处理效率。 因此,本项目放射性废气依托已建排气筒 DA002 和处理装置可行。经与中子研究院协商,由中子研究院对本项目依托的废气排气筒 DA002 可能产生的风险负全部责任。
	废水	1#一体化污水处理设施紧邻本项目拟建址南侧,设计处理能力 200L/d, -1F 已建实验室放射实验区废水排入 1#一体化污水处理设施处理达标后排入数字医疗产业园生化池, 1#一体化污水处理设施剩余处理量为 20L/d,能满足本项目需要。1#一体化污水处理设施采用“预收集沉淀池+污水提升系统+PH 酸碱中和+助凝反应+高效沉淀池+聚丙烯滤棉过滤+臭氧高级氧化+二氧化氯强消杀+增压系统+石英砂活性炭过滤+微滤”工艺,根据验收监测报告,1#一体化污水处理设施的出水水质满足 GB8978-1996 三级标准要求,本项目拟使用核素与-1F 已建实验室使用核素相同,本项目废水污染因子和-1F 已建实验室废水污染因子相同,因此 1#一体化污水处理设施现有处理工艺能够满足对本项目废水的处理需求。因此,项目废水依托 1#一体化污水处理设施处理可行。经与中子研究院协商,由中子研究院对 1#一体化污水处理设施可能产生的风险负全部责任。
	固体废物	项目所在楼上-1F 中子研究院设置 1 个危险废物贮存点(面积约 20m²)。 危险废物贮存点均进行防渗、防腐、硬化处理,并已通过环保验收,危险废物贮存点设计时就考虑了余量。本项目危险废物由强核医药交具备相应类别危险废物处置资质的单位,仅依托暂存。因此,项目依托可行。 拟建项目工作人员产生的生活垃圾依托数字医疗产业园的生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。
由表 1-6 可知,拟建项目主体工程、公用工程、环保工程均可依托数字医疗产业园		

续表 1 项目基本情况

的设施。中子研究院药物研究实验室已完成环保验收，拟建项目环保工程可依托。

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
本项目不涉及。								

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称		理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F		液态 低毒组	使用					简单操作	放射实验室	放射实验室储源柜内
2	⁶⁴ Cu		液态 低毒组	使用					简单操作		
3	⁶⁸ Ge		液态 中毒组	使用					简单操作		
	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器	⁶⁸ Ge	液态 中毒组	使用					源的贮存		
4		⁶⁸ Ga	液态 低毒组	使用					简单操作		
5	⁸⁹ Zr		液态 中毒组	使用					简单操作		
6	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc 发生器	⁹⁹ Mo	液态 中毒组	使用					源的贮存		
7		^{99m} Tc	液态 低毒组	使用					简单操作		
8	¹⁷⁷ Lu		液态 中毒组	使用					简单操作		
9	⁹⁰ Y		液态 中毒组	使用					简单操作		

10	^{225}Ac	液态 极毒组	使用	██████████	██████████	██████████	██████████	简单操作		
11	^{211}At	液态 高毒组	使用	██████████	██████████	██████████	██████████	简单操作		
12	^{103}Pd	液态 中毒组	使用	██████████	██████████	██████████	██████████	简单操作		
合计	/	/	/	---	3.35×10^9	2.38×10^{13}	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。 ^{18}F 未考虑备药量，作为短半衰期核素，到货后直接做实验，因此不考虑备药量。每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。因每天使用核素种类的不确定性，每种核素的年用量按最不利的情况考虑，可能全年 240 天均使用到某种核素，则计算每种核素的年用量时按全年 240 天均使用考虑。本报告计算工作场所的日等效操作量时保守考虑日等效操作量最大的 4 种核素相加。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（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
本项目不涉及。									

（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（mA）	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	
本项目不涉及。													

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（应急去污的淋洗废水）	液态	含微量 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ^{99m} Tc、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁹⁰ Y、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ¹⁰³ Pd等	/	/	25L	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	排入专用废水罐暂存衰变	衰变达标后先排入1#一体化污水处理设施，再排入数字医疗产业园的生化池进一步处理。
放射性废气	气态	含微量 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ^{99m} Tc、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁹⁰ Y、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ¹⁰³ Pd等	/	少量	少量	/	不暂存	工作场所放射性废气收集经活性炭吸附处理后依托中子研究院废气管道引至7号楼7F楼顶再次经活性炭吸附后高于楼顶排放（其中手套箱上方另设活性炭吸附装置）。
放射性固废	报废的发生器	⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga、 ⁹⁹ Mo、 ^{99m} Tc	/	/	约12支	/	暂存在放射性废物暂存间内	由生产厂家回收处理
	放射性废液物	含微量 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ^{99m} Tc、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁹⁰ Y、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ¹⁰³ Pd等	/	/	约240kg/a	$\alpha < 0.08\text{Bq/cm}^2$ $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 辐射剂量率满足环境本底水平	暂存在放射性废物暂存间内	衰变达到规定时间要求后并监测合格后按危险废物交有资质的单位处理。
	试剂容器、一次性移液器枪头、西林瓶、试纸、分离纯化及药物合成用卡套、树脂、实验室去污用品等	含微量 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ^{99m} Tc、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁹⁰ Y、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ¹⁰³ Pd等	/	/	约240kg/a			
	放射实验室废活性炭	含微量 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ^{99m} Tc、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁹⁰ Y、 ²²⁵ Ac、 ²¹¹ At、 ¹⁰³ Pd等	/	/	约80kg/a			

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日修订施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修正施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行，2014 年 7 月 29 日修订实施；中华人民共和国国务院令第 653 号，2014 年 7 月 29 日修订实施；中华人民共和国国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）； (10) 《国家危险废物名录》（2025 年版）； (11) 《放射性废物分类》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； (12) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函[2023]20号； (13) 《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日起修正施行； (14) 《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第338号，2021年1月1日起施行； (15) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行。
------	---

表 6 评价依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (4) 参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (5) 参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (6) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； (7) 《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T830-2024）； (8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (9) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）； (10) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）； (11) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）； (12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； (13) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (14) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。
其他	(1) 评价内容确认函，附件 1； (2) 《监测报告》，附件 3； (3) NCRP147 号报告； (4) ICRP 第 94 号出版物； (5) 《辐射防护导论》； (6) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）； (7) 《Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook-放射性核素和辐射防护数据手册》(2002年)； (8) 《辐射防护技术与管理》； (9) 公司设计资料及其他资料； (10) 《药物研究实验室项目（重庆）环境影响报告表》，2024 年 2 月。

表 7 保护目标与评价标准

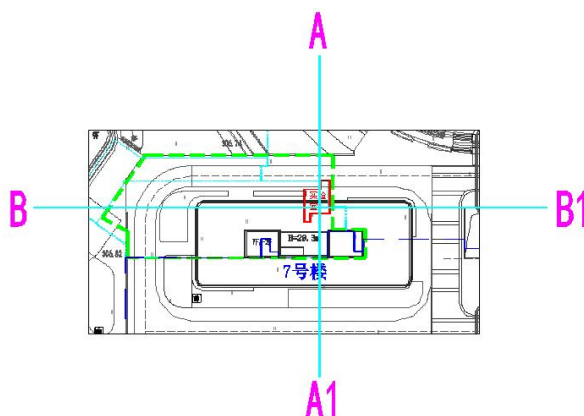
7.1 评价范围

根据本项目放射性核素为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的相关规定，确定以放射实验室控制区边界外 50m 区域作为本项目辐射环境影响评价的范围。

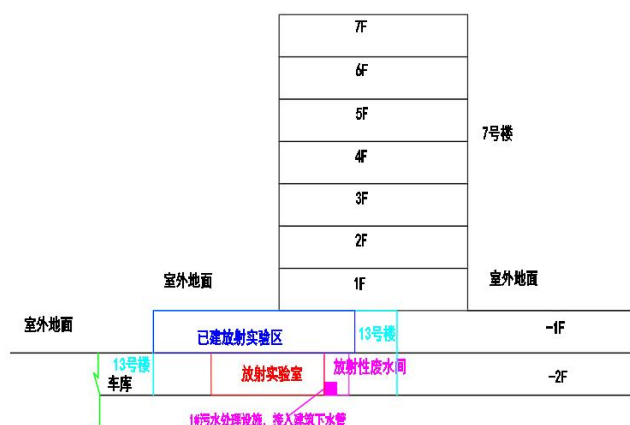
7.2 环境保护目标

拟建项目位于数字医疗产业园 13 号楼的-2F。数字医疗产业园整个南区的地下负一层和负二层全部连通，本次评价将负一层和负二层的环境保护目标单独描述，地面建筑单独描述。

本项目与 7 号楼的位置关系示意图见图 7-1。



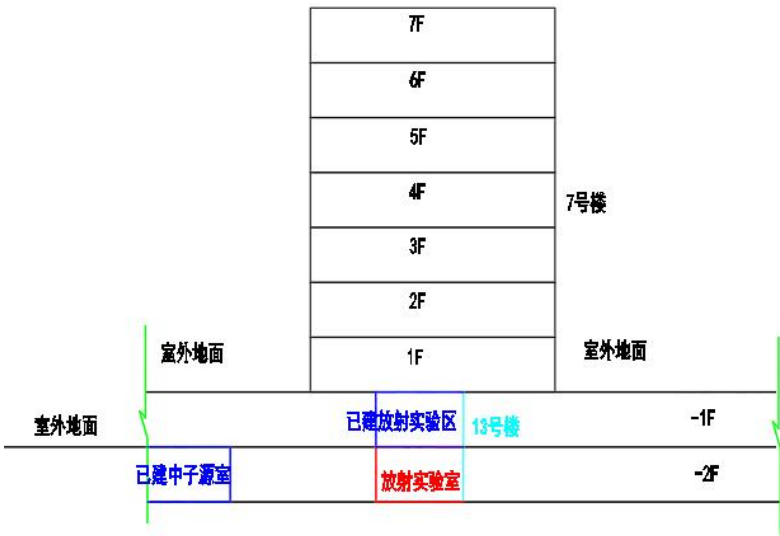
平面示意图



A-A1

A 到 A1 剖面示意图

续表 7 保护目标与评价标准



B 到 B1 剖面示意图

图 7-1 本项目与 7 号楼平立面位置关系示意图

拟建项目放射实验室位于数字医疗产业园 13 号楼-2F。放射实验室控制区东侧为数字医疗产业园进风滤毒室、通道、楼梯、车库等；南侧为放射性废水间、过道、中子源控制室、电梯、车库等；西南侧为储物间、茶水间、电梯、卫生间、衣帽间、能源站等；西侧为微型核电源专业实验室、液态金属技术实验间、工具间、强流中子源专用实验室等；北侧为配电房、通道、车库等；楼上-1F 为核药物工艺间、核药物分析间、通道等，之上为 7 号楼用房及室外通道等。放射实验室控制区东侧地面上为内部道路和绿化等；南侧地面上为内部道路等；西侧地面上为内部道路等；北侧地面上为室外广场。

依托的楼顶废气排放口位置不因本项目建设变化，因此周围敏感目标不会发生变化，本次不再重新评价。

项目地理位置图见附图 1，项目周围环境概况见附图 2，放射实验室周围环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 周围环境保护目标情况表

序号	环境保护目标名称		方向	最近水平距离	最小垂直高差	保护目标特性	影响因素	影响人群
1	-2F	进风滤毒室、内部通道	东	约 0~25m	约 0m	数字医疗产业园辅助用房，约 5 人	电离辐射	公众成员
		楼梯		约 6~10m	约 0m	数字医疗产业园辅助用房，约 5 人		公众成员
		车库等		约 20~50m	约 0m	数字医疗产业园辅助用房，约 10 人		公众成员
2	内部道路和绿化		东	约 0~50m	约+9.6m	产业园内部道路和绿化，约 10 人		公众成员

3	-2F	放射性废水间、过道	南	约 0~15m	约 0m	中子研究院用房, 约 5 人	公众成员
		中子源控制室		约 3~12m	约 0m	中子研究院用房, 约 2 人	公众成员
		电梯、车库等		约 9~50m	约 0m	数字医疗产业园辅助用房, 约 10 人	公众成员
4	内部道路		南	约 20~50m	约+9.6m	产业园内部道路, 约 10 人	公众成员
5	-2F	微型核电源专业实验室、液态金属技术实验间	西	约 0~30m	约 0m	中子研究院用房, 约 5 人	公众成员
		工具间		约 30~32m	约 0m	中子研究院用房, 约 2 人	公众成员
		强流中子源专用实验室等		约 32~50m	约 0m	中子研究院用房, 约 5 人	公众成员
6	-2F	储物间、茶水间、电梯、卫生间、衣帽间、能源站等	西南	约 8~50m	约 0m	中子研究院用房和数字医疗产业园辅助用房, 约 10 人	公众成员
7	内部道路		西	约 0~50m	约+4m	产业园内部道路, 约 10 人	公众成员
8	-2F	配电房、通道、车库等	北	约 0~50m	约 0m	中子研究院用房和数字医疗产业园辅助用房, 约 10 人	公众成员
9	室外广场		北	约 0~50m	约+4m	数字医疗产业园内部广场, 约 10 人	公众成员
10	-1F	核药物工艺间、核药物分析间、通道等	楼上	/	约+4m	中子研究院用房, 约 5 人	公众成员
11	数字医疗产业园 7 号楼 (1F~7F) 及室外通道		楼上	/	约+9.6m	中子研究院和本企业用房, 约 150 人	公众成员

注: +代表其地面高于本项目实验室地面。

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

第 4.3.2.1 款, 应对个人受到的正常照射加以限制, 以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外, 由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B) 中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1 剂量限值 (标准的附录 B)

第 B1.1.1.1 款, 应对任何工作人员的照射水平进行控制, 使之不超过下述限值:

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均), 以 20mSv 作为职业工作人员的剂量约束限值;

b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv。

第 B1.2 款 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的年平均剂量估计值不应超过下述控制值 1mSv。

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限值要求。

工作场所的表面污染控制水平如表 B11（本环评表 7-2）所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平表 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/监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
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

备注：本项目涉及的 α 核素包括高毒性和极毒性，表面污染水平均按不利的极毒性标准来控制。

附录 B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11（本环评表 7-3）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

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。

6.4.3 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款 应按表 C1（本环评表 7-3）将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 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 $\sim 2 \times 10^7$

第 C2 款 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒行组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 C2（本环评表 7-4）和表 C3（本环评表 7-5）。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

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

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

(a) 每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者)；

(b) 每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

(2) 参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的要求规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 $5mSv/a$ ；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 $0.1mSv/a$ 。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu Sv/h$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，

其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- 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/cm^2 、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm^2 。

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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 GB18871 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 。

根据 GB18871 附录 D 和 HJ1188 附录 A，拟建项目涉及的放射性核素 ^{225}Ac 属于极毒组，毒性组别修正因子取 10； ^{211}At 属于高毒组，毒性组别修正因子取 1； ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 属于低毒组，毒性组别修正因子取 0.01；其余属于中毒组，毒性组别修正因子取 0.1。

根据 GB18871 和 HJ1188，拟建项目涉及的放射性核素均为液体， ^{68}Ge 、 ^{99}Mo 属于“源的贮存”，操作方式与放射源状态修正因子取 100；其余放射性核素相关操作均属于“简单的操作”，操作方式与放射源状态修正因子取 1。

（3）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）

对于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：①根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ($9\times 10^5\text{Bq}$)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ($9\times 10^6\text{Bq}$)。②暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。③暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度已降至不高于 10Bq/L 水平，也可以直接排放。医院应做好相应排放记录。

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“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。

(4) 参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。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见表 1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7-6）。

表 7-6 核医学科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	$50\sim 50000$
III	<50

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（本环评见表 7-7），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-7）。

表 7-7 常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ga 、 ^{99}Tcm 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{113}Inm 、 ^{201}Tl	1
C	^{14}C 、 ^3H 、 ^{81}Kr 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 7-8 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
复杂放射性药物制备	0.1

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

(5) 《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）

第七条 豁免或者解控的剂量准则：在合理预见的一切情况下，被豁免的实践或源（或者被解控的物质）使任何个人一年内所受到的有效剂量在 10 μ Sv 量级或更小，而且即使在发生低概率的意外不利情况下，所受到的年有效剂量不超过 1mSv。

(6) 辐射评价标准及相关参数值

1) 年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 要求，放

射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv，公众成员年平均剂量有效剂量不超过 1mSv。参照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

因此，建设单位根据以上相关要求，本项目按照“职业照射的有效剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的有效剂量约束值不超过 0.1mSv/a”执行。另外，手部皮肤当量剂量取其要求的四分之一即 125mSv/a 作为核素操作人员的手部皮肤年当量剂量限值。

2) 项目剂量限值与污染物排放指标

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及其条款咨询的复函、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准以及公司确定的个人剂量管理目标值，确定本项目的评价标准见表 7-9 所示。

表 7-9 辐射评价标准及相关参数汇总表

一、年剂量限值要求			执行依据
分类	年剂量限值（mSv/a）	年剂量管理目标值（mSv/a）	GB18871-2002 参考 HJ1188-2021 及公司管理要求
放射工作人员年剂量	20	5	
放射工作人员手部剂量	500	125	
公众成员年剂量	1	0.1	
二、剂量率控制值			执行依据
放射实验室	控制区	控制区外人员可达处、控制区内用房门、墙壁、顶棚、地板外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。	参考 HJ1188-2021 GBZ120-2020 综合取值
	防护手套箱等	防护手套箱柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h； 防护手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。	
	废物桶、管道、衰变罐等	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。	
三、放射性废物排放			执行依据
放射实验室	放射性废水	槽式衰变处理设施：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；所含核素半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期，可以直接排放，排放口总	GB18871-2002 参考 GBZ120-2020 HJ1188-2021

		$\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ，排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 。本项目设置事故放射性废水的 2 个容器为一备一用，因此参照槽式的衰变时间要求和排放要求。	
	放射性固体废物	收集：每袋废物的表面辐射剂量率$\leq 0.1\text{mSv/h}$，质量不超过 20kg。 排放：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，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。放射性固废暂存时间满足要求后，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/cm^2、β表面污染小于 0.4Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为危险废物处理。	参考 HJ1188-2021 GBZ120-2020
	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：α（极毒性）$\leq 4\text{Bq/cm}^2$，$\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$；监督区：$\alpha$（极毒性）$\leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$，$\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：$\alpha$（极毒性）$\leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$，$\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$； ③手、皮肤、内衣、工作袜：$\alpha$（极毒性）$\leq 4 \times 10^{-2}\text{Bq/cm}^2$，$\beta \leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$。	GB18871-2002 参考GBZ120-2020
四、通风要求			执行依据
放射实验室	防护手套箱及排放口	手套箱等密闭设备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。风速应不小于 0.5m/s。 废气经处理后引至高于本建筑物屋顶并尽可能远离邻近的高层建筑。 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。	参考 HJ1188-2021 GBZ120-2020 辐射函〔2023〕20号

备注：本项目 α 核素表面污染水平均按不利的极毒性标准来控制。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

拟建项目位于重庆高新区新洲大道与凤笙路交叉口，项目地理位置图见附图 1 所示。
拟建项目场所位于重庆市数字医疗产业园 13 号楼内，场所位置见附图 2、附图 4 所示。

8.2 辐射环境现状

为掌握本项目所在位置的辐射环境背景水平，重庆泓天环境监测有限公司于 2025 年 4 月 16 日对本项目拟建场址的环境地表 γ 辐射剂量率背景值进行了监测，监测报告编号为：渝泓环(监)[2025]604 号。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

(1) 监测方法和依据：

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

监测方法	监测依据
仪器法	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

(2) 监测点位选取及合理性

共设 6 个点，具体监测布点见图 8-1。

根据监测布点情况，本次共布设 6 个监测点，其中 1 个监测点位于拟建放射实验室所在位置，还有 5 个监测点分别位于拟建放射实验室的四周。这些监测点布置涉及本项目拟建址和环境保护目标，能够反映本项目所在地及周围的辐射环境背景水平，监测布点合理。

(3) 测定方式

本项目选取的测定方式为即时测量，即用监测仪器直接测量出点位上的对应监测因子的监测结果。

续表 8 环境质量和辐射现状

8.2.4 监测人员及报告审核制度

监测单位具备所监测项目的资质；合理布设监测点位；监测方法采用国家有关部门颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的数量，并做好记录；监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核、审定，最后由授权签字人签发。

8.2.5 监测结果

监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 本项目辐射环境监测结果统计

监测点位	监测点位描述	环境γ辐射剂量率（μGy/h）
☆1	项目拟建地（回路控制室）	0.091
☆2	项目拟建地南侧过道	0.095
☆3	项目拟建地西侧微型核电源专业实验室	0.095
☆4	项目拟建地北侧车库	0.092
☆5	项目拟建地东侧空置房间	0.090
☆6	强核医药科技（重庆）有限公司西北侧室外空坝	0.072

备注：以上监测结果均未扣除宇宙射线的响应值。

由监测统计结果可知，项目所在地的环境γ辐射剂量率监测值在 0.072μGy/h～0.095μGy/h（72nGy/h～95nGy/h）之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书（简化版）》，累积剂量测得的γ辐射空气吸收剂量率全市点位年均值范围为 76.8~93.3nGy/h，平均值 87nGy/h（均未扣除宇宙射线响应值），与之相比较，项目所在地的环境γ辐射剂量率监测值在重庆市环境γ辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目施工期主要为实验室装修和设备安装等施工内容，其工艺流程及产污环节见图 9-1。

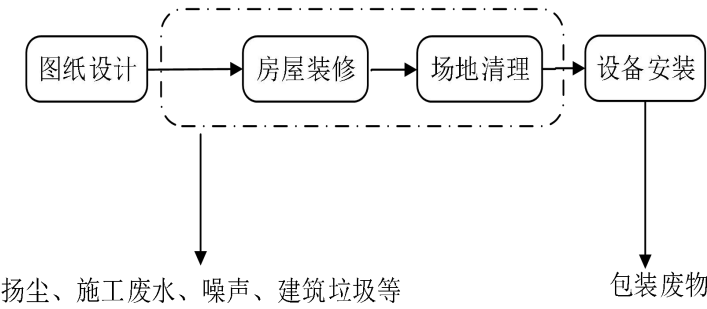


图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图

根据上图可知，本项目施工期主要污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

扬尘：主要为实验室装修时产生的扬尘，本项目工程量小，扬尘产量很少；

噪声：主要来自于实验室装修时施工机械等产生的噪声，本项目工程量小，施工机械主要为小型机械设备，施工噪声较小；

废水：主要为实验室装修时的施工废水以及施工人员产生的少量生活污水，本项目工程量小，废水产生量也很少；

固体废物：主要为实验室装修过程产生的少量建筑垃圾以及施工人员产生的少量生活垃圾。本项目工程量小，预计建筑垃圾共产生约 2t。

9.2 营运期工艺流程及产污环节

9.2.1 整体工艺流程

[Redacted content]

续表 9 项目工程分析与源项

[illegible]

续表 9 项目工程分析与源项

The image shows a document page where almost all content has been redacted with solid black boxes. The redaction covers the top header area, a large central section, and several lines of text at the bottom. Only a few small, empty rectangular spaces remain visible, suggesting that the original text and layout have been completely obscured for security or privacy reasons.

续表 9 项目工程分析与源项

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

续表 9 项目工程分析与源项

[illegible]

续表 9 项目工程分析与源项

[illegible]

续表 9 项目工程分析与源项

[REDACTED]

[REDACTED]

续表 9 项目工程分析与源项

表9-1 工作负荷一览表				
核素名称	放射性化学实验		放射性分析实验	
	最大操作剂量	单次操作时间	最大操作剂量	单次操作时间
¹⁸ F				
⁶⁴ Cu				
⁶⁸ Ge				
⁶⁸ Ga				
⁸⁹ Zr				
^{99m} Tc				
¹⁷⁷ Lu				
⁹⁰ Y				
²²⁵ Ac				
²¹¹ At				
¹⁰³ Pd				

每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。每天每种核素单次的直接操作时间为，每天操作核素的最大时间为，每种核素的年最大直接操作时间为 36h。

9.3 人流、物流规划

(1) 人流规划

工作人员从缓冲更衣间（卫生通过间）出入口通过门禁系统进入→更衣室更换工作服→进入放射实验室→在放射实验室进行实验操作→工作结束后在缓冲更衣间进行污染检测（有污染需进行去污）→更换衣服→离开实验室。

(2) 物流规划

放射性核素进入路径：专用放射性核素运输车辆将放射性核素运由车库送至物流通道外→对货包表面污染和剂量检测→实验室工作人员将办理验收交接手续，记录活度、批次、数量、核素种类、到货时间等信息至台账→将放射性核素通过物流通道转移至放射实验室内→进行放射性核素实验操作。不能立即开展实验的放射性核素，放置在放射实验室内的储源柜中。

(3) 废物路径

放射性废物：本项目放射实验室南侧设置放射性废物暂存间。每日实验完成后，放射性废物收集后，对废物桶表面污染和剂量检测，通过缓冲更衣间，然后到过道，再运

续表 9 项目工程分析与源项

送到拟建放射性废物暂存间，到放射性废物暂存间分类打包、贴标识后进行暂存衰变；更换下来的废活性炭在放射性废物暂存间打包、贴标识后进行暂存衰变。

放射性废物衰变达到相应时间并监测合格后从放射性废物暂存间南侧运出至车库，由车辆直接运出，再后交有资质单位处置。

从以上路径可以看出，放射工作人员和放射性废物共用通道，经错时能分开；放射性核素为单独的通道；做到人员与放射性核素通道相对独立。



续表 9 项目工程分析与源项

9.4 污染源项描述

公司使用的放射性核素性能特性参数见表 9-2。

表 9-2 拟使用放射性核素特性参数表

名称	化学符号		原子序数	质量数	半衰期	衰变常数	衰变类型	衰变能量	衰变子体	衰变常数	衰变子体
碘-131	I	53	53	131	8.02 天	0.0130 天 ⁻¹	β ⁻	0.364 MeV	氙-131m	0.000128 天 ⁻¹	氙-131
碘-129	I	53	53	129	1.57 × 10 ⁷ 年	4.28 × 10 ⁻¹² 年 ⁻¹	β ⁻	0.194 MeV	氙-129m	0.000128 天 ⁻¹	氙-129
铯-137	Cs	55	55	137	30.17 年	3.71 × 10 ⁻² 年 ⁻¹	β ⁻	0.512 MeV	钡-137m	0.000128 天 ⁻¹	钡-137
铯-134	Cs	55	55	134	2.06 年	3.32 × 10 ⁻² 年 ⁻¹	β ⁻	0.656 MeV	钡-134m	0.000128 天 ⁻¹	钡-134
铯-135	Cs	55	55	135	2.3 × 10 ⁶ 年	2.87 × 10 ⁻⁷ 年 ⁻¹	β ⁻	0.250 MeV	钡-135m	0.000128 天 ⁻¹	钡-135
铯-137	Cs	55	55	137	30.17 年	3.71 × 10 ⁻² 年 ⁻¹	β ⁻	0.512 MeV	钡-137m	0.000128 天 ⁻¹	钡-137

续表 9 项目工程分析与源项

■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■

注：EC表示轨道电子俘获；IT表示同质异能跃迁； Γ 表示距源1m处的周围剂量当量率常数； Γ 括号中的数据单位为Gym²/Bq·s，Gy/Sv取1，“—”表示无相关数据；上表数据主要来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H、《辐射安全手册》（潘自强）、《简明放射性核素同位素应用手册》（卢玉楷主编）。

续表 9 项目工程分析与源项

9.4.1 电离辐射

1) α 射线

本项目使用 ^{225}Ac 、 ^{211}At 过程中会产生 α 射线， α 射线的最大能量为 5.8695MeV ， α 射线在空气中、铅中、人体中的射程均很短。因此，本评价不考虑 α 射线外照射和内照射影响。

2) β 射线

本项目使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 过程中会产生 β 射线，其 β 射线能量在 $0.2058\text{MeV}\sim 1.9\text{MeV}$ 之间， β 射线在铅中的射程较短。因此，本项目使用铅屏蔽，能有效屏蔽 β 射线，计算时不考虑 β 射线的影响。

3) γ 射线

本项目使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 过程中会产生 γ 射线，其 γ 射线能量在 $0.0103\text{MeV}\sim 1.713\text{MeV}$ 之间， γ 射线在人体组织中的射程较长，人体皮肤不能有效阻挡 γ 射线进入人体。因此，本项目评价时将考虑 γ 射线的影响。

① ^{225}Ac 的 γ 射线能量弱（ 0.09980MeV ），其主要以 α 射线的辐射影响为主，故放射性核素 ^{225}Ac 的 γ 射线辐射影响忽略不计。

②本项目储存产生 β^+ 的放射性核素 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr ，正电子本身是不稳定的，正电子放射性核素衰变产生的正电子丧失动能后，与物质中的负电子结合，转化为一对运动方向相反、能量均为 0.511MeV 的 γ 光子，正电子与负电子自身消失，这种现象称为湮没反应，所产生的 γ 光子也称湮没辐射。使用正电子药物发生湮没辐射产生 0.511MeV 的 γ 射线。

4) 韧致辐射

本项目使用放射性核素的 β 粒子穿过周围物质时将产生韧致辐射。本项目使用放射性核素出厂时均装在标准玻璃瓶（低原子序数的材料）中，能有效减小韧致辐射，且核素使用过程中均放置于屏蔽罐（铅或钨等高原子序数的材料）中，通过双层材料屏蔽作用下，此时韧致辐射所带来的影响较小。因此，本项目放射性核素重点考虑 γ 射线影响。

5) β 表面污染

放射性核素发生撒泼事故时，不可避免地会引起墙壁、地面等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

续表 9 项目工程分析与源项

6) α表面污染 放射性核素 ^{225}Ac、^{211}At 发生撒泼事故时，不可避免地会引起墙壁、地面等放射性沾污，造成α放射性表面污染。 9.4.2 放射性“三废” (1) 放射性废气 拟建放射实验室开展药物实验的活动过程中，放射性药物制备、分装、实验等操作过程中会产生微量含少量 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga 等 12 种放射性核素的放射性气溶胶废气。 拟建放射实验室废气经 1 套排风系统收集经活性炭吸附后接入-1F 已建废气管道，依托已建管道引至 7 号楼 7 楼顶再经活性炭吸附后高于楼顶排放。 (2) 放射性废水 本项目采用污污分流的方式。本项目与放射性核素直接接触的移液器枪头、西林瓶等均使用 1 次性的，不清洗，少量仪器清洗液收集瓶装后作为固废处理，因此放射实验过程不产生放射性废水。放射实验室清洁采用无水清洁方式，工作人员采用无水酒精或去污剂，利用一次性抹布或拖布对地面或台面进行清洁，一次性抹布或拖布纳入到放射性废物进行管理，不会产生拖地放射性废水。放射工作人员操作实验过程均穿有工作服和防护手套，离开工作场所前对工作服、工作鞋及手部表面污染监测后脱掉防护手套，将污染手套等作为放射性固体废物进行收集暂存，不会产生洗手废水。放射性废水主要来自应急去污产生的废水。 本项目所述放射性废水特指仅在突发人员沾污情况时，需紧急清洁去污，在缓冲更衣间设置应急放射性废水排放点（放射性洗手盆），排水点下方设置排水管，直接连接到旁边放射性废水间的放射性废水收集容器，万一发生泄漏事故后，场所去污产生的应急废水的排放，排水点旁张贴使用说明，且排水点正常情况处于关闭状态，防止误将普通废水排放到放射性废水收集容器。 根据现场调查，缓冲更衣间洗手池下方设置 1 个放射性废水收集容器，另外在放射性废物暂存间配置 1 个备用放射性废水收集容器，单个容积 30L，收集实验室突发放射性污染事故产生的废水。 根据建设单位提供的同类实验室经验数据，本项目每年产生的应急去污废水不超过 25L，产生废水后先排入洗手池下方的收集容器，然后更换收集容器，将事故废水放置

续表 9 项目工程分析与源项

在放射性废物暂存间内暂存衰变，经收集容器衰变满足要求后，倒入放射性废物暂存间的废水箱内，用水泵从废水箱内泵入中子研究院已建 1#一体化污水处理设施，再排入数字医疗产业园生化池。

(3) 放射性废物

①放射性废液

根据实验操作流程，放射性废液主要来自于放射性核素标记和分离纯化等实验过程中产生的含核素的工艺废液和实验后的样品，还有高效液相色谱仪等仪器会直接接触到放射性核素，需要清洗，会产生少量的仪器清洗液，根据建设单位提供的同类实验室经验数据，日产生量约为 1kg。放射性废液拟按核素类别和日期分别收集，每天实验结束后，用专用收集桶（密封收集）运至放射实验室南侧放射性废物暂存间暂存，待衰变满足要求后，作为危险废物再交由有资质单位进行处理。

②放射性固体废物

根据放射实验操作流程，产生的放射性固废主要来源于同位素污染且不再使用的试剂容器、一次性移液器枪头、西林瓶、试纸、分离纯化及药物合成用卡套、树脂、实验室去污用品等。根据建设单位提供的同类实验室经验数据，日产生量约为 1kg。

项目核素制备过程中将产生的废核素发生器和极少量沾污核素的滤膜，实验室全年最多产生约 12 支废核素发生器。

放射性废气处理系统采用活性炭吸附，根据其他已建同类设施的运行情况可知，活性炭 3~6 个月更换一次，本项目新建废气处理的活性炭吸附设施共 3 个（2 台手套箱上方各 1 个，房间废气管道尾端 1 个，废气管网排放口处依托已有，不再计算），每次装填的活性炭滤网共重约 20kg，则废活性炭产生约 80kg/a（按每 3 月更换一次）。

本项目根据实验需要订购所需核素，不会产生未用完的放射性核素。

产生的放射性固体废物拟按核素类别和日期分别收集到放射性废物暂存间暂存，半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天后；半衰期大于 24 小时暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍后；经监测合格后作为危险废物处理。

根据前述分析，放射性固废产生情况见表 9-3。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-3 放射性固体废物产生量统计表

产生来源	污染物种类	产污系数	产污数量	产生量	处理方式	
放射实验室	核素制备	废核素发生器	/	12 支	/	暂存在放射性废物暂存间内，定期（不超过 2 周）由厂家回收
	放射实验	放射性废液	/	约 1kg/d	约 240kg/a	拟按核素类别和日期分别收集在放射性废物暂存间内，半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天后；半衰期大于 24 小时暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍后；经监测合格后作为交有危险废物处理资质的单位处置
		试剂容器、一次性移液器枪头、西林瓶、试纸、分离纯化及药物合成用卡套、树脂、实验室去污用品等	/	约 1kg/d	约 240kg/a	
		放射性废气	废活性炭	/	约 80kg/a	
	小计		/	/	约 560kg/a	/

项目放射性固废衰变满足要求后作为危险废物处理，其危险废物特性见表 9-4。

表 9-4 放射性固废危险废物特性表

危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量 (t/a)	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
实验废液	HW49	900-047-49	0.24	放射实验	液态	有机物、酸性液体	有机物、酸性液体	1d	T	分类收集后送危险废物贮存点暂存后交由有资质单位处置
试剂容器、一次性移液器枪头、西林瓶、试纸、分离纯化及药物合成用卡套、树脂、实验室去污用品等	HW49	900-047-49	0.24	普化实验	固态	玻璃、塑料、有机物	有机物	1d	T	
废活性炭	HW49	900-039-49	0.08	普化实验	固态	活性炭、有机物	有机物	3个月	T	

备注：上述特性等是指放射性衰变达标后的特性。

9.4.3 非放射性“三废”产生量

(1) 废气

γ 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，经放射实验室排风系统排放。

酸雾主要来源于盐酸、硫酸等试剂的操作过程，主要污染物为 HCl 和硫酸雾来计。盐酸、硫酸等原料总使用量为 0.0045t/a，使用量较少，且实验过程时间较短，试剂配制后立即盖好试剂瓶，酸雾产生量很小，本次环评不进行定量评价。经放射实验室排风系

续表 9 项目工程分析与源项

统排放。 (2) 废水 ①生活污水 项目劳动定员 2 人,年工作 240d,用水量按 50L/人.d 计,则项目生活用水量约 0.1m³/d (96m³/a), 排污系数按 90%计, 项目生活污水产生量约为 0.09m³/d (21.6m³/a), 主要污染物浓度为 COD、BOD₅、SS、氨氮。 本项目工作人员生活污水主要是洗手废水和卫生间冲洗废水, 依托-2F 卫生间, 排入数字医疗产业园生化池。 ②实验器具清洗废水 (不含放射性) 每天实验试验结束后, 需要对不涉及放射性的仪器和玻璃器皿进行清洗, 直接接触原辅料的器皿的前两次清洗水作为废液收集, 之后的清洗水排放进入污水管网。根据建设单位经验, 并类比其他实验室项目, 前两次清洗用水量约 0.01m³/d, 全部收集作为危险废物; 第二次及之后清洗用水量为 0.02m³/d, 废水排污系数取 0.9, 则仪器清洗废水排放量为 0.018m³/d。 本项目营运期最大新鲜用水量约 0.03m³/d, 最大排水量约 0.018m³/d。先排入放射性废物暂存间的废水箱, 再经泵抽入中子研究院 1#一体化污水处理, 依托 1#一体化污水处理设施处理后达《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级标准后, 与生活污水 (0.36m³/d) 一并经数字医疗产业园生化池处理达《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级标准, 再进入金凤城市污水处理厂进一步处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 A 标后排入梁滩河。 (3) 固废 ①生活垃圾 本项目营运期产生的固体废物主要为员工生活垃圾, 本项目劳动定员 2 人, 年工作 240d, 每人每天生活垃圾产生量按 0.5kg 计, 则项目生活垃圾产生量约为 1kg/d(0.24t/a)。生活垃圾经袋装化后交环卫部门处置。 ②危险废物 实验废液: 对于盛装化学试剂的器皿, 在器皿残留液体和前两次的冲洗废水为实验
--

续表 9 项目工程分析与源项

废液，实验过程产生的样品废液也作为实验废液。根据类比其他实验室项目及用水量情况，实验废液量约为 $0.01\text{m}^3/\text{d}$ （约 2.4t/a ），属于《国家危险废物名录》中编号为 HW49 的其他废物（代码 900-047-49），倒入放射实验室专用的废液收集容器中，在统一暂存至危险废物贮存点，定期交由有资质的单位处置。

废铅防护用品：放射实验室配置的铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定由公司收集后妥善保存，交由有资质单位处理。

项目固废产生及处置情况详见表 9-5。

表 9-5 危险废物特性表

危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量(t/a)	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
实验废液	HW49	900-047-49	2.4	普化实验	液态	有机物、酸性液体	有机物、酸性液体	1d	T	危险废物贮存点暂存，专用容器储存，交由有资质单位处置
废铅防护用品	/	/	/	/	固态	/	/	/	/	

（4）噪声

本项目各实验仪器设备运行噪声小，具有短暂性和间歇性特点，且随着操作的停止而消失。

9.5 主要污染物产生及预计排放情况汇总

根据以上分析可知，本项目运营期主要污染物产生及预计排放情况见表 9-6 所示。

表 9-6 项目运营期污染物产生情况一览表

污染物	产排污核素/场所/设备	主要污染因子	最大能量/产生量/排放量	处理方式及去向
电离辐射	^{225}Ac 、 ^{211}At	α 射线、 α 表面污染	能量不大于 5.8695MeV	屏蔽体防护
	^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y	β 射线、 β 表面污染	能量不大于 1.9MeV	
	^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At	γ 射线	能量不大于 1.713MeV	
	^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga	轫致辐射	/	

续表 9 项目工程分析与源项

		⁸⁹ Zr、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁹⁰ Y				
放射性三废	废气	放射实验室	含少量 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga 等 12 种放射性核素		少量	经活性炭吸附后引至 7 号楼顶排放。
	废水	放射实验室	含少量放射性核素		约 25L/a	排入放射性废水收集容器衰变后，先依托中子研究院 1#一体化污水处理设施处理，再排入数字医疗产业园生化池。
	固废	放射实验室	废核素发生器	含 ⁶⁸ Ge 、 ⁶⁸ Ga、 ⁹⁹ Mo、 ^{99m} Tc	约 12 支	暂存在放射性废物暂存间内，定期（不超过 2 周）由厂家回收
			放射性废液	含少量放射性核素	约 240kg/a	放射性固体废物拟按核素类别和日期分别收集在放射性废物暂存间内，半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天后；半衰期大于 24 小时暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍后；经监测合格后作为交有危险废物处理资质的单位处置。
			试剂容器、一次性移液器枪头、西林瓶、试纸、分离纯化及药物合成用卡套、实验室去污用品等		约 240kg/a	
			废气处理废活性炭		约 80kg/a	
	非放射性三废	废气	放射实验室	臭氧、氮氧化物、酸雾等		少量
废水		工作场所	生活污水		21.6m³/a	依托数字医疗产业园生化池处理
生产废水		工作场所	实验器皿清洗水		4.32m³/a	放射实验区废水依托中子研究院 1#一体化污水处理设施处理后，再进入数字医疗产业园生化池
固废		工作场所	生活垃圾		0.24t/a	交环卫部门处理
			危险废物		2.4t/a	依托中子研究院危废贮存点暂存，再交由有资质单位处理
			废铅防护用品		/	由公司收集后妥善保存，交有资质的单位处理
噪声		工作场所	噪声		低噪声设备，≤65dB（A）	拟设置在室内，采取建筑隔声、减震等措施

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局

本项目放射实验室位于重庆市数字医疗产业园13号楼负二层，包括放射实验室、缓冲更衣间、物流通道、放射性废物暂存间等，工作人员离开时在缓冲更衣间（卫生通过间）进行污染检测，放射实验室功能房间设计齐全，能满足项目运行的需求。核素运送通道和工作人员通道相互独立。拟建放射实验室周围活动人员较少，减少公众受到的照射。放射实验室设置了门禁系统，可有效防止无关人员进入。

综上所述，拟建项目功能分区明确，符合实验工作的流程。放射工作场所的放射性废气、废水、固废等通过采取有效的处理措施，满足标准的要求。另可以依托中子研究院已建实验废水处理系统、废气处理系统、危险废物贮存点等环保设施，确保拟建项目的正常运行。因此，项目平面布局合理。

10.2 项目工作场所分区

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定：控制区是在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内需要或可能需要采取专门的防护手段或安全措施，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；监督区是未被确定为控制区，通常不需要采取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的区域。

根据上述要求，公司拟对项目工作场所进行分区管理，将工作场所划设为控制区和监督区，限制无关人员受到不必要的照射。

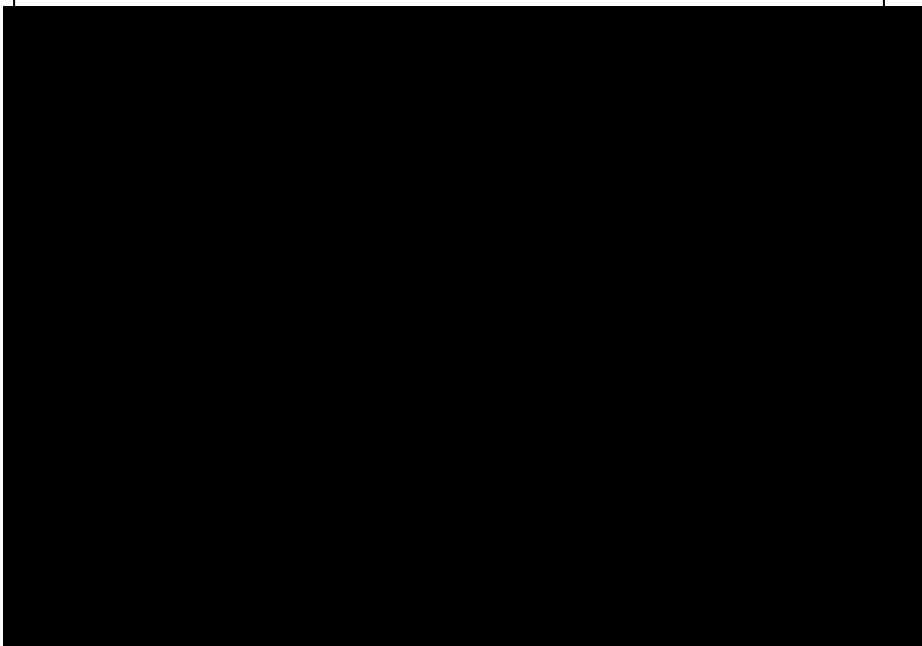
项目用房控制区、监督区具体划设见表 10-1 及图 10-1。

表 10-1 本项目控制区、监督区划分表

分区类型	划分区域
控制区范围	放射实验室、缓冲更衣间、物流通道、放射性废物暂存间
监督区范围	配电房、进风滤毒室、微型核电源专业实验室、放射性废水间等，以及控制区相邻通道和楼上对应区域

备注：分区与其他项目分区重叠的区域，按严格要求执行。

续表 10 辐射安全与防护

	公司拟严格限制无关人员进出控制区，在正常的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制区设墙体、门等实体边界，设置电离辐射警示标志等设施，并在控制区入口设置规范的电离辐射警告标识及标明控制区的标识，限制无关人员随意进入，按要求定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；在监督区入口处的适当位置设立标明监督区的标识（如地面警示贴条），经常对职业照射条件进行监督和评价。 本项目工作场所按照相关要求进行了分区，控制区、监督区和清洁区互不交叉，分区较为合理。 10.3 工作场所分级与分类 （1）非密封源工作场所分级 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关参数和计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下： $\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式修正因子}} \quad (10-1)$ 放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害
--	---

续表 10 辐射安全与防护

的机率也不同，为了便于管理，非密封源工作场所按所用放射性核素日等效最大操作量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。

根据公司提供的放射性核素及每日使用核素种类数量等，每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。因每天使用核素种类的不确定性，本报告计算工作场所的日等效操作量时保守考虑日等效操作量最大的 4 种核素相加，可以计算本项目使用的各放射性核素日等效最大操作量见表 10-2。

表10-2 非密封源工作场所分级核算表

序号	核素名称	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组修正 因子	操作方式修正 因子	日等效操作量
1	^{18}F		0.01	1	
2	^{64}Cu		0.01	1	
3	^{68}Ge		0.1	1	
	^{68}Ge		0.1	100	
4	^{68}Ga		0.01	1	
5	^{89}Zr		0.1	1	
6	^{99}Mo		0.1	100	
7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		0.01	1	
8	^{177}Lu		0.1	1	
9	^{90}Y		0.1	1	
10	^{225}Ac		10	1	
11	^{211}At		1	1	
12	^{103}Pd		0.1	1	
合计：					3.35×10^9

根据项目拟使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，本项目工作场所的日等效最大操作量为 $3.35 \times 10^9 \text{Bq}$ 。根据GB18871-2002的分级，核定本项目工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求，本项目工作场所的房间功能及放射性核素的使用情况对其进行分类，具体见表10-3。

G.2 加权活度计算方法见式（G.1）：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \dots\dots\dots (G.1)$$

续表 10 辐射安全与防护

表10-3 本项目工作场所分类计算								
房间名称	使用核素	非密封性物质操作最大活度（MBq）	毒性权重因子	操作性质	操作性 质修正 因子	该房间操作最大量放 射性核素的加权活度 （MBq）	分类	
放射实 验室	¹⁸ F	■	1	分装	1	■	55500+ 204000+ 740000+ 185000= 1184500	I
	⁶⁴ Cu	■	1	分装	1	■		
	⁶⁸ Ge	■	100	分装	1	■		
	⁶⁸ Ge	■	100	贮存	100	■		
	⁶⁸ Ga	■	1	分装	1	■		
	⁸⁹ Zr	■	100	分装	1	■		
	⁹⁹ Mo	■	100	贮存	100	■		
	^{99m} Tc	■	1	分装	1	■		
	¹⁷⁷ Lu	■	100	分装	1	■		
	⁹⁰ Y	■	100	分装	1	■		
	²²⁵ Ac	■	100	分装	1	■		
	²¹¹ At	■	100	分装	1	■		
	¹⁰³ Pd	■	100	分装	1	■		
放射性 废物暂 存间	¹⁸ F	■	1	废物处理	10	■	55.5+ 204+ 740+ 185+ = 1184.5	II
	⁶⁴ Cu	■	1	废物处理	10	■		
	⁶⁸ Ge	■	100	废物处理	10	■		
	⁶⁸ Ga	■	1	废物处理	10	■		
	⁸⁹ Zr	■	100	废物处理	10	■		
	⁹⁹ Mo	■	100	废物处理	10	■		
	^{99m} Tc	■	1	废物处理	10	■		
	¹⁷⁷ Lu	■	100	废物处理	10	■		
	⁹⁰ Y	■	100	废物处理	10	■		
	²²⁵ Ac	■	100	废物处理	10	■		
	²¹¹ At	■	100	废物处理	10	■		
	¹⁰³ Pd	■	100	废物处理	10	■		

备注：每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。因每天使用核素种类的不确定性，房间的加权活度保守考虑加权活度最大的 4 种核素相加。放射性废物暂存间考虑为每天最大使用量的 1%。

本项目工作场所根据分类要求，房间装修设计情况与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对比分析如下表所示。

续表 10 辐射安全与防护

表10-4 室内表面及装备结构设计防护与标准对照表				
房间	本项目设计	GBZ120-2020 要求	分类	是否符合
放射实验室	地面：地板胶铺设，并延伸上墙 墙面：乳胶漆，易清洗 实验工作台面：不锈钢材质，易清洗 防护手套箱：放射实验室拟设置防护手套箱，密封负压效果好	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接缝无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要 通风：特殊的强制通风 管道：特殊的管道 ^a 盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	I	是
放射性废物暂存间	室内通风：独立机械排风系统 管道：独立通风管、废水管，废水管根据放射实验室布局来布置，尽量短，主管道拟作标记。 清洗及去污设备：拟配置专用洗手池，配置感应式水龙头。	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接缝无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要 通风：良好通风 管道：普通管道 盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	II	是
^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。				
同时，参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求：核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。 根据上表对比分析可知，本项目放射实验室的装修设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对核医学场所室内表面及装备结构要求，同时也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。				
10.4 辐射安全与防护措施 （1）屏蔽措施 ①本项目涉及核素操作过程均在防护手套箱内进行，防护手套箱 1 正面为 80mmPb，侧面为 75mmPb；防护手套箱 2 正面为 75mmPb，侧面为 70mmPb。放射实验室四周墙体均为空心砖，顶棚为 120mm 混凝土。根据后文核算，放射实验室外的周围剂量当量				

续表 10 辐射安全与防护

率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，现有设计屏蔽能力能满足标准要求。

②设置的 2 个 5mmPb 的应急冲洗废水收集容器，一备一用，根据分析，废水衰变设施外的周围剂量当量率小，能满足标准限值要求。

③本项目洗手盆下方设置放射性废水收集罐，放射性废水从产生处直接接入放射性废水收集罐，无暴露于地面的管道。根据分析，管道外考察点处周围剂量当量率小，能满足标准限值要求。

(2) 管理措施

①本项目放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，所有放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。

②所有放射工作人员进入放射性工作场所均需佩戴个人剂量计，同时进入放射性场所需佩戴个人剂量报警仪，并按要求定期进行放射工作人员个人剂量进行检测。

③放射工作人员进入实验室需按流程：穿戴一次性鞋套→更衣→实验室，离开实验室需按流程：脱掉一次性鞋套→更衣→表面沾污监测→离开，若表面沾污监测出线超标情况应须进行去污后监测达标后再离开。

④对于放射性核素的操作在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，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，且严禁工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

⑤每天实验结束后，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，应即时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污擦拭纸按放射性废物管理。

⑥定期对防护手套箱密闭性或通排风系统进行检修。

⑦制定实验计划表，明确每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。

(3) 安全保卫措施

①监控系统

拟在放射实验室工作场所内设置视频监控系统。可为工作人员及操作人员提供必要、直观的图像信息；视频监控系统可对放射实验室进出口进行监控，防止非法人员进

续表 10 辐射安全与防护

入，保障人员、放射性物品的安全。放射实验室视频监控系统主机放置在总控制室，摄像机设置在放射实验室。整个实验室有保卫人员 24h 值守，并采取定期和不定期巡查，确保放射性核素处于安全位置。

②双人双锁及台账管理

本项目使用的储源柜设双人双锁，双锁钥匙由一名安防负责人和一名实验室负责人分别持有，确保放射性物质不被盗窃。

同时，放射性核素原料及放射性废物的来源和去向都有完整记录并长期保存，并由专人进行管理，建设单位还将定期对单位内部所有的放射性物质进行核查，确保“物账”统一。

③人员出入控制

为限制无关人员进入辐射工作场所，在实验室人流出入口设置磁卡门禁系统，防止非授权人员进入，并对进入实验室的授权人员进行统计和管理。把所有持卡人员的姓名、卡号、部门、职务等个人资料输入电脑（或门控器），同时设置每张卡的级别，不同级别的门禁卡可进入场所不同，便完成了感应卡的输入程序。登记完成以后的感应卡，便有了合规进出的权力。辐射工作场所门禁点位设置：辐射工作场所的人流、物流总出入口设置门禁；在不同危险程度的区域交界处设置，如控制区与监督区、监督区与普通区；在放射性物质存放间设置门禁系统和机械门锁。

④放射实验室内拟安装固定式剂量报警仪，对辐射剂量进行监控。

（4）标识设置

①拟在放射实验室出入口处、放射性废物暂存间的门上张贴电离辐射警告标志，在储源柜、放射性废物和放射性废液收集容器的表面设置电离辐射标志。

②拟在放射实验室张贴划分控制区和监督区的标识，同时在地面/墙面设置物品、工作人员的行走箭头标识，指示在工作场所的活动路径。卫生通过间洗手池张贴应急使用标识。

（5）防护用品

放射实验室拟配备的辐射监测仪器和防护用品能够满足辐射安全要求，主要防护用品如铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜、铅围裙、远距离取物夹（剑式机械手）等，辅助防

续表 10 辐射安全与防护

护用品主要包括下列物品：手套、口罩、去污剂、一次性毛巾或吸水纸、镊子等。

监测仪器：本项目拟配备固定式 X- γ 剂量测量仪、个人剂量报警仪，个人剂量计，便携式 X- γ 剂量测量仪，便携式表面污染仪，仪器按要求核验，详见表 10-5。

表 10-5 公司拟配备防护用品及防护措施清单一览表

序号	名称	主要作用	数量	备注
1	铅衣	至少 0.5mm 铅当量，在手套箱旁工作时穿戴	2	拟购
2	铅帽	至少 0.5mm 铅当量，在手套箱旁工作时穿戴	2	拟购
3	铅围脖	至少 0.5mm 铅当量，在手套箱旁工作时穿戴	2	拟购
4	铅围裙	至少 0.5mm 铅当量，在手套箱旁工作时穿戴	2	拟购
5	铅眼镜	至少 0.5mm 铅当量，在手套箱旁工作时穿戴	2	拟购
6	棉工作服	吸附污染液体，避免核素直接接触体表	若干	拟购
7	去污防护用品（去污液、吸水纸等）	事故情况进行表面污染处理	若干	拟购
8	一次性鞋套	隔绝污染，避免核素直接接触体表	若干	拟购
9	乳胶手套	避免放射性核素与手接触通过皮肤进入人体	若干	拟购
检测仪器				
1	固定式 X- γ 剂量测量仪	实时监测场所剂量率水平	3	拟购
2	便携式 X- γ 剂量测量仪	场所环境剂量率监测	1	拟购
3	便携式表面污染仪	场所表面污染监测	1	拟购
4	个人剂量计	用于对人员受照剂量进行检测，委托个人剂量检测后由有资质的单位配发	4	拟购
5	个人剂量报警仪	用于对场所内放射工作人员所受剂量率进行监测，超标时及时报警	5	拟购

10.5 放射性三废的治理

（1）放射性废气

各项涉及放射性的研发实验均在密闭负压防护手套箱内进行。为了控制污染，整个放射实验室拟设置1套放射性废气收集管网，收集包括室内（汇入主管前设置活性炭）和防护手套箱（上方设置活性炭）废气，各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。放射性废气收集至废气主管后接入-1F已建放射性废气管道，再依托1个专用排气筒DA002（内部废气管道各自独立）引至7F楼顶高于楼顶排放。活性炭定期更换。

放射实验室拟设置 1 套废气收集管网，新增 1 台大功率引风机，风机风量为 2800m³/h，能保证废气的收集效果，且能有效预防各区域废气的交叉污染；放射实验室设置 1 套独立的收集管网收集放射实验室内和防护手套箱废气，保证防护手套箱风速不低于 0.5m/s，废气收集处和排放处均设置活性炭吸附，能保证废气得到充分的吸附。因此，

续表 10 辐射安全与防护

项目废气收集管网设置情况和处置方式能满足要求。 (2) 放射性废水 本项目放射实验过程产生的放射性废液作为固废处理，因此放射实验室内下水不考虑放射性废水的排放，只考虑普通实验废水的排放。仅在卫生通过间设置有放射性废水排放口，设置放射性废水洗手盆等应急去污设施，突发人员沾污情况时，人员需在卫生通过间紧急清洁去污，应急状况下产生的放射性废水排入洗手盆下方的 1 个专用收集容器暂存，衰变 10 个半衰期后排入 1#一体化污水处理设施，然后再排入生化池。 本项目放射性废水专用洗手盆采用脚踏式或感应式出水方式，手部非接触开关控制，尽可能减少放射性沾染，并配备洗消处理设备（包括洗消液）。公司拟制定相关管理制度和采取管控措施，控制放射性废水收集口的使用，在收集口设“放射性下水”标识，禁止将普通废水和有机废水排入放射性废水专用收集容器中。洗手盆下方的 1 个专用收集容器，放射性废物间 1 个备用专用收集容器，容积均为 30L，为铅材质，内衬有机涂层，用于收集应急去污废水。收集容器仅用于收集应急情况下放射性沾污去污产生的废水。在充分考虑建设单位提供的其他同类实验室经验数据基础上，去污废水产生量不超过 25L/a。 放射性废水专用收集容器为一备一用，为槽式处理间歇排放工艺，为人工操作管理，拟设置采样口；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；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）；衰变时间不够时，废水经监测合格后再行排放。 本项目发生事故的概率低，收集容器容量为 60L，拟配置收集容器容积和数量可以收集实验室产生的放射性废水。 (3) 放射性固体废物处置 由污染源分析可知，放射实验区放射性固体废弃物主要包括放射性废液、试剂容器、一次性移液器枪头、西林瓶、试纸、分离纯化及药物合成用卡套、实验室去污用品等，以及更换下来的活性炭吸附网、废核素发生器等物品。 项目设置放射性废物暂存间（内空面积约 5m²），本项目工作场所各放射性废物产生点设置放射废物桶，放射性废物每天实验结束后由专人统一收集处理。放射性废物，包括更换下来的废活性炭，收集到放射性废物暂存间分类打包和暂存衰变。半衰期小于
--

续表 10 辐射安全与防护

24 小时，暂存时间超过 30 天后；半衰期大于 24 小时暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍后，并监测合格后作为危险废物交有资质单位处理。废核素发生器定期（不超过 2 周）由厂家回收。半衰期小于 24 小时的可以收集在 1 个容器中，含 ^{68}Ge 的单独收集在 1 个容器中，其余半衰期大于 24 小时的可以收集在 1 个容器中。

放射性废物暂存间拟配置了 3 个固废储存箱和 3 个废液贮存容器，能够满足本项目使用需求。

另外，项目放射性固废应严格采取以下治理措施：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。

②放射性固废应按照危险废物的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

③供收集的专用废物桶应具有外防护层和电离辐射警告标志，废物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。

④内装碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

10.6 项目工作场所服务期满后环保要求

若公司放射实验室（非密封放射性物质工作场）因搬迁等原因不再使用及服务期满后，公司拟按法规标准规定要求实施退役；并承诺对各种原因导致项目不能正常运行时，按规定实施强制退役。拟在退役实施前开展污染调查，编制相应退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善处理放射源与放射性废物，做好退役实施期间的辐射防护安全等工作，确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

10.7 项目建设与相关要求的符合性

本项目建设拟采取的辐射安全与防护措施与主要参考标准：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等相关要求的对比分析情况见表 10-6 所示。

根据表10-6可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足参考标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等相关标准的要求。

表 10-6 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准号	标准要求		项目情况
HJ1188-2021	辐 射 工 作 场所分区	4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。	放射实验室拟按照要求划分控制区和监督区，并按照相应要求进行管理，具体分区情况见表 10-1。
		4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。	放射实验室控制区拟设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处拟设置标明监督区的标志。
	选 址 和 布 局	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	放射实验室拟建设在 13 号楼-2F，该区域与其他区域有物理隔离和单独的人员、物流通道。
		5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	放射实验室控制区依托的排风口位于 7 号楼 7 楼顶，距离下风向最近的 9 号楼约 40m，距离较远，对其影响较小。
	场 所 安 全 措施要求	6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	放射实验室的防护手套箱、工作台台面、墙面、地面等拟设置为不锈钢或者乳胶漆饰面，平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。
HJ1188-2021	场 所 安 全 措施要求	6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	放射实验室为乙级工作场所，拟设置防护手套箱；本项目拟按标准要求配置的必要防护用品见表 10-5。
		6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	放射实验室拟在缓冲更衣间（卫生通过间）内配置表面沾污仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，合格后方可离开。
		6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	放射性核素暂存在放射实验室储源柜内，拟按照要求定期进行辐射水平监测，储源柜设置双人双锁，进入放射实验室的门拟设置门禁，无关人员不能入内。拟建立放射性药物的暂存、使用等台账。
		6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	放射实验室拟配置药品铅罐等，有一定的屏蔽能力；容器表面拟粘贴电离辐射标志。容器在运送时有适当的固定措施。
	密 闭 和 通 风要求	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。	放射实验室工作场所拟设置独立的 1 套通排风系统，气流从清洁区向监督区再向控制区流动，保持工作场所负压和压差，各管道设置防倒灌装置并保持负压，避免交叉污染影响，满足标准要求。
		6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。	放射实验室拟配置防护手套箱，手套箱为密闭设备，设置单独的吸风口，能保持手套箱内为负压，废气通过手套箱上方的活性炭吸附装置吸附后再引至楼顶再经活性炭吸附后高于楼顶排放。
		6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘	本项目防护手套箱有独立的吸风口，设计足够的排风量，能保

标准号	标准要求		项目情况
		-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。	证风速不小于 0.5m/s；本项目废气管道引至 7 号楼高于楼顶排放，尽量远离周围高层建筑。
HJ1188-2021	放射性废物的管理	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。	本项目在各产生放射性固废位置设置放射废物桶，按核素和废物分类要求分类收集和衰变处理。
		7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。	加强管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，不混同处理，并尽量控制和减少放射性废物的产生量。
		7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	放射实验室拟使用贮存衰变的方法处理，待达到解控水平后作为危险废物处理。
		7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	放射实验室拟建立放射性废物管理台账，做好记录存档备查。
		7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。	放射实验室拟配置放射废物桶收集和存储放射性废物，废物桶内拟设置专用塑料袋，放射废物桶有一定的屏蔽能力，桶上粘贴电离辐射标志。
		7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。	放射实验室放射性废物拟按要求对含尖刺及棱角的预先进行包装处理后再装入废物桶，防止刺破废物袋。
		7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。	放射实验室放射废物打包时拟按要求每袋重量不超过 20kg。放射性废物及时密封后送放射性废物暂存间衰变处理。
		7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。	放射实验室运行产生一定量的放射性废物，利用贮存衰变方式处理放射性废物，运营后建设单位拟按照审管部门批准要求操作。
		7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	放射性废物暂存间暂存的放射性废物不含易挥发的放射性核素，所以未单独设置一套管网。放射性废物暂存间的门口设置了电离辐射警告标志，设置了视频监控防盗，能有效防火、防丢失、防漏射线。
		7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。	放射性废物暂存间内配置多个废物桶，分类衰变不同类别、不同核素的废物；容器表面已按照要求注明相应信息，并做好登记。
		7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。	放射性废物暂存间没有存放易燃、易爆、腐蚀性物品。
HJ1188-2021	放射性废物的管理	7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂	放射实验室在产生放射性废物处均按核素分开收集，半衰期低于 24 小时的暂存时间超过 30 天，半衰期大于 24 小时的暂存时间超过其半衰期 10 倍时间，暂存时间满足要求后，经监测合格后作

标准号	标准要求		项目情况
		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。	为危险废物处理。
		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 4 Bq/cm ² 、其他α发射体应小于 0.4Bq/cm ² 。	放射实验室的放射性废物均自行衰变处理达标后作为危险废物交有资质单位处理。
		7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。	放射实验室放射性固废拟安排专人负责管理，建立台账，记录相关信息。
	液态放射性废物的管理	7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。	放射实验室拟在洗手盆下方设置 1 个专用容器收集事故放射性废水，另在放射性废物间放置 1 个专用容器备用。
		7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。	放射实验室产生的放射性废液收集在专用容器中，短半衰期和长半衰期的分别收集，作为放射性废物衰变处置。收集容器上均拟设置电离辐射标志。
	液态放射性废物的管理	7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。	放射实验室拟在缓冲更衣室（卫生通过间）配置洗消处理设备（含洗消液）；缓冲更衣室（卫生通过间）的洗手盆拟选用脚踏式或自动感应式的开关，头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。
		7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	放射实验室卫生通过间的洗手盆下方设置专用容器收集事故放射性废水，放射性废水的收集管道拟直接接入收集罐，废水管段短，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。其管道不用暴露地面，不用再做屏蔽。
		7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	放射实验室拟设置 2 个专用容器（一备一用）收集应急去污的放射性废水，能满足放射性废水的暂存时间要求，能保证废水处理后达标排放。专用容器采用铅罐，坚固、耐酸碱腐蚀，内部进行防渗处理，有无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。
		7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式： 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 GB18871 中 8.6.2	放射实验室拟设置 2 个专用容器（一备一用）收集应急去污的放射性废水，暂存时间超过 10 倍最长半衰期后排放，衰变处理设施排放口的废水能满足标准限值要求。

标准号	标准要求		项目情况
		规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。	
		7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责, 并建立废物暂存和处理台账, 详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。	放射实验室产生的放射性废液拟按要求设置专人管理, 建立废物暂存和处理台账, 详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。
		7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统, 合理组织工作场所的气流, 对排出工作场所的气体进行过滤净化, 避免污染工作场所和环境。	放射实验室拟设置独立的通排风系统, 气流从清洁区到监督区到控制区走向, 手套箱上方设置活性炭过滤装置处理废气。
		7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性, 及时更换失效的过滤器, 更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	本项目拟按厂家推荐时间定期更换活性炭。更换下来的活性炭作为放射性废物衰变处理。
GBZ120-2020	工作场所的放射防护要求	5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则: a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小; b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰; c) 在核医学诊疗工作区域, 控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施, 限制患者或受检者的随意流动, 保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射; d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间, 进行污染检测。	放射实验室涉及核素的操作均在防护手套箱内进行, 防护手套箱有足够厚度的屏蔽体屏蔽, 尽可能减少对外环境的照射水平; 控制区的入口和出口设置门禁等安全措施, 保证无关人员无法进入; 在控制区出口处设置卫生通过间, 并进行污染检测。
		5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。	按要求拟划分控制区和监督区。
		5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级, 并采取相应防护措施。	按照要求拟进行分级, 并拟采取相应防护措施, 见 10.4。
		5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理, 把工作场所分为I、II、III三类。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见表 1。	按照要求拟进行分类, 并拟采取相应的室内表面及装备结构要求, 见 10.3。
GBZ120-2020	工作场所的放射防护要求	5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求, 通风系统独立设置, 应保持核医学工作场所良好的通风条件, 合理设置工作场所的气流组织, 遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计, 保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染, 保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置, 风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置, 排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。	放射实验室工作场所设置独立废气管网收集放射性废气, 气流自非放射区向监督区再向控制区的流向, 其中防护手套箱废气单独收集, 其抽风速率不低于 0.5m/s。各排风管道内保持负压, 各排风支管均设置防倒灌装置和独立的机械排风装置, 避免放射性废气倒灌, 废气引至 7F 楼顶再经活性炭吸附处理后高于楼顶排放, 其中手套箱废气收集处和排放处均设置活性炭吸附装置。项目不使用挥发性核素, 废气中核素浓度低, 经活性炭吸附后外排对环境的影响很小。
		5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	放射性废水收集容器拟使用铅防护。

		5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	控制区的入口拟设置电离辐射警告标志。
		5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	拟配置药品铅罐等放射性物质内部运输、储存、转运的容器，容器表面拟设置电离辐射标志。
	操作中的放射防护要求	6.1.1 个人防护用品及去污用品 开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 ^{68}Ga 、 ^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。	拟为放射工作人员配备符合要求的合适的防护用品和去污用品等。
		6.1.2 辅助用品 根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护手套箱的典型屏蔽厚度参见附录 I。	拟配备药品铅罐、长柄钳、防护手套箱、放射废物桶等辅助用品。
		6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。	操作放射性药物设置有专门场所，使用前在储源柜储存，有专用储存柜和药品铅罐。
GBZ120-2020	操作中的放射防护要求	6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。	放射性药物操作前进行技能练习，做到熟练操作后再进行实际操作。操作时，正确使用个人防护用品。
		6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。	拟制定管理制度，要求控制区内不进食、饮水、吸烟、化妆，不进行无关工作及存放无关物品。
		6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。	设置卫生通过间，其内设置洗手盆，配置表面污染监测设备。工作人员在经卫生通过间离开时洗手后进行表面污染检测，合格后方可离开。
		6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。	拟制定管理制度，从控制区取出物品前进行表面污染检测，达标后方可带离。
		6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。	放射性物质存储在储源柜的药品铅罐内，有一定的屏蔽能力。储源柜放置在放射实验室内，方便取用，每次仅取需要的用量。
		6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。	设置储源柜贮存放射性物质，拟定期进行放射防护监测，无关人员不会入内。
		6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。	贮存和运输放射性物质时拟使用专门容器，取放容器中内容物时，不污染容器。容器在运输时有皮带等固定措施。
		6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	放射性物质在工作场所内全程登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染

标准号	标准要求		项目情况
			擦拭试验结果等。
		6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	放射性药物不再使用时，拟立即送回储源柜安全储存。
		6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。	公司拟制定应急预案，发生放射性物质溢出、散漏事故时，按要求进行处理。
		6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作 ¹³¹ I 的工作人员，宜按照 GBZ129 的要求进行内照射个人监测。	放射实验室放射工作人员拟按要求进行外照射个人监测。
GBZ120-2020		8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。	放射实验室在放射性废物暂存间收集分类打包不同核素的放射性废物。各放射性废物均拟按照核素种类和废物种类分类收集和暂存衰变。
医 用 放 射 性 废 物 的 放 射 防 护 管 理 要 求		8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。	拟单独设置废物储存登记表，按要求记录并存档备案。
		8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。	废水衰变处理设施均布置在拟建放射实验室南侧，为铅罐，耐酸碱腐蚀，涂防渗材料，能防渗和防漏。
		8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人等候室、给药室等位置放置污物桶。	放射废物桶拟设置外防护层和电离辐射警示标志。在放射实验室拟放置放射废物桶。
		8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。	放射废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转至放射性废物暂存间的专用容器中暂存衰变。
		8.7 对注射器和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，然后再装入专用塑料袋内。	对碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，拟先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。
		8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。	拟按标准要求进行处理，每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。
		8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。	放射性废物暂存间设置排风系统收集废气引至楼顶处理排放，

标准号	标准要求		项目情况
			放射性废物暂存间房间门上设电离辐射警告标志。
		8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。	拟设置安全可靠的废物袋、放射废物桶及其他存放废物的容器，并在显著位置标废物类型、核素种类、存放日期等说明。
		8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 。	确保废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 后再行处置。
GBZ128-2019	剂量计的佩戴	5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。	公司拟为本项目每名核素操作人员（分装等）在铅防护衣内外各配置 1 枚个人剂量计，分别在铅围裙外锁骨对应的领口位置和铅围裙内躯干上佩戴剂量计。
		5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为实验室装修和设备安装等施工内容，主要的污染因子有：扬尘、噪声、废水、固体废物等。

本项目工程量小，施工过程中的施工扬尘产量很少，施工场地位于现有数字医疗产业园范围内，主要采取塑料布围封施工区域，洒水抑尘等措施，减少扬尘的扩散，施工扬尘对周围环境影响小。

本项目施工场地位于现有数字医疗产业园范围内，施工机械主要为小型机械设备，施工噪声较小，采取合理安排施工时间，选择低噪声设备和工艺等措施后施工噪声对周围环境影响较小。

本项目工程量小，废水产生量也很少，少量施工废水用于施工场地洒水抑尘，施工人员产生的少量生活污水依托数字医疗产业园现有生化池处理，废水对周围环境影响较小。

固体废物：本项目实验室装修过程中产生的少量建筑垃圾运至建筑垃圾消纳场处置，少量生活垃圾由市政环卫部门收运处理，固体废物均能得到妥善处置，对周围环境影响小。

综上所述，本项目工程量小，施工范围位于现有数字医疗产业园范围内，周围环境保护目标少，项目施工期短，施工期产生的影响随着施工的结束而消失，环境可以接受。

11.2 运行阶段辐射环境影响评价

11.2.1 工作场所屏蔽效能核算

(1) 屏蔽情况

根据公司提供的资料，本项目涉及核素操作过程均在防护手套箱内进行，防护手套箱 1 正面为 80mmPb，侧面为 75mmPb；防护手套箱 2 正面为 75mmPb，侧面为 70mmPb。储源柜屏蔽体为 50mmPb，铅罐屏蔽体为 20mmPb。放射实验室四周墙体均为空心砖，顶棚为 120mm 混凝土。

(2) 计算公式

本次屏蔽核算按点源进行考虑，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中的核算公式：

续表 11 环境影响分析

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \quad (11-1)$$

根据上述公式，已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率 $\dot{H}$ 的核算由公式11-1转换为：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{r^2 \times 10^{\frac{x}{TVL}}} \quad (11-2)$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；

A—单次所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

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

$\dot{H}_p$ —屏蔽墙外30cm关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

r ——参考点与靶点间的距离，单位为米（m）；

（3）计算参数

①本项目使用含 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{103}Pd 等 12 种放射性核素，对于不同核素的辐射屏蔽计算，主要考虑各种不同能量的核素对应的衰减因子或什值层。 ^{64}Cu 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 的 γ 射线绝对强度小，主要为 β 射线影响， β 射线对工作场所外的辐射影响很小； β 射线被周围的其他物质阻挡时会产生轫致辐射，本项目通过铅屏蔽，轫致辐射对工作场所外的辐射影响很小； ^{225}Ac 、 ^{211}At 的 γ 射线绝对强度小，主要为 α 射线影响， α 射线对工作场所外的辐射影响很小； ^{103}Pd 衰变模式为轨道电子俘获， γ 射线绝对强度小，对工作场所外的辐射影响很小；因此，不考虑这几种核素的屏蔽防护计算。 ^{68}Ge 、 ^{99}Mo 为外购的发生器，有自屏蔽，计算时不再考虑。本次计算考虑对屏蔽影响较大的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等核素。

每种核素每天最多操作 1 次，每天最多从事 4 种核素的操作。每次只在防护手套箱内操作 1 种核素，不会同时进行 2 种核素的操作，其余暂不操作的核素暂存在储源柜中。 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 这 4 种核素中，考虑到铅对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的屏蔽效果良好， ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 使用量远小于 ^{18}F 使用量，防护手套箱计算时考虑用量和能量较大的 ^{18}F 来保守估算。储源柜计算时则考虑 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 影响的叠加。

主要预测参数见表11-1所示。

续表 11 环境影响分析

表 11-1 放射性核素相关计算参数一览表			
核素	对于裸源单位放射性活度所致 1m 处的周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$)	TVL, mm	
		铅	混凝土
^{18}F	0.143	16.6	176
^{68}Ga	0.134	16.6	176
^{89}Zr	0.163	31.0	260.5
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	1	110

备注： ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 涉及数据来自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。 ^{89}Zr 铅和混凝土的十分之一值层根据 ANSI/ANS-6.4.2-2006“Specification Radiation Shielding Materials”和 ANSI/ANS-6.4.3-1991“Gamma-Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials”进行插值计算获得。

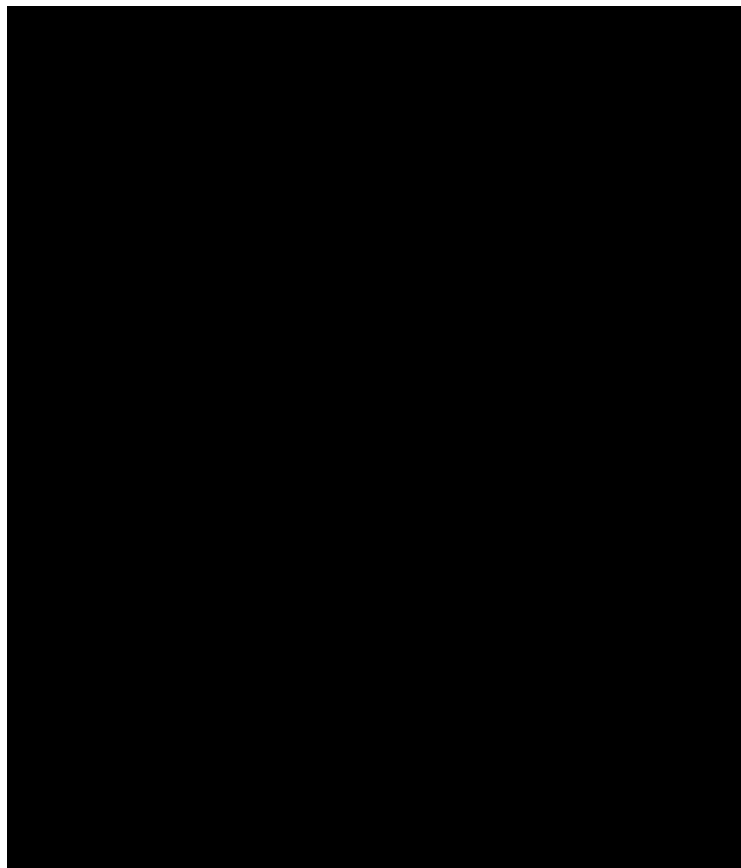
②计算时放射性物质视为“点源”。考虑放射性物质位于防护手套箱内距离操作面（正面）约 20cm，距离侧面约 75cm。考察点为防护手套箱外 5cm 和 30cm。各用房外考察点为四周屏蔽体外 30cm。

③计算时按放射实验室单日最大操作量在 1 个手套箱内，手套箱 2 的屏蔽厚度较小，因此按最不利的考虑，计算手套箱 2 的表面周围剂量当量率；计算放射实验室外周围剂量当量率，按最不利的考虑，假设放射源置于手套箱的最外侧，到各墙体外的距离，考虑手套箱最外侧到各墙体外的最近距离，北侧考虑防护手套箱 1 到墙体外的距离，南侧考虑防护手套箱 2 到墙体外的距离。手套箱内放射源距离地面按 1m 考虑。

④放射性核素置于铅罐中，再存放到储源柜中。计算时放射性物质视为“点源”，考虑放射性物质位于储源柜中央位置。考察点为储源柜外 5cm 和 30cm。储源柜内放射源距离地面按 0.3m 考虑。各用房外考察点为四周屏蔽体外 30cm。标记后的样品，抽取一部分进行分析实验，需要用铅罐从一个防护手套箱转运到另一个防护手套箱，两个手套箱紧邻布置，另抽取样品的活度较低，不再考虑在实验室内的铅罐转运过程。

⑤考虑剂量估算和评价的方便及统一，在屏蔽及设计范畴内，不进行诸物理量与周围剂量当量之间的转换系数修正。

续表 11 环境影响分析



(4) 屏蔽防护效能核算

手套箱和储源柜屏蔽效能核算结果见表 11-2。

表 11-2 手套箱和储源柜屏蔽效能核算结果一览表

设施名称	核素	放射源的最大活度 (MBq)	周围剂量当量率常数	预测距离 (m)	屏蔽材料及厚度	周围剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
手套箱 2	^{18}F		0.143	0.25	防护手套箱正面 75mmPb	3.85	≤ 25
			0.143	0.5	防护手套箱正面 75mmPb	0.96	< 2.5
			0.143	0.8	防护手套箱侧面 70mmPb	0.75	≤ 25
			0.143	1.05	防护手套箱侧面 70mmPb	0.44	< 2.5
储源柜	^{68}Ga		0.134	0.25	铅罐 20mmPb+储源柜 50mmPb	1.23	≤ 25
	^{89}Zr		0.163				
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		0.0303				
	^{68}Ga		0.134	0.5	铅罐 20mmPb+储源	0.31	< 2.5

续表 11 环境影响分析

放射废物通	^{89}Zr	■	0.163	0.5	固废收集桶 20mmPb	0.01	<2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	■	0.0303				
	^{18}F	■	0.143				
	^{68}Ga	■	0.134				
	^{89}Zr	■	0.163				
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	■	0.0303				

备注：周围剂量当量率常数单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。考虑放射性物质位于防护手套箱内距离操作面（正面）约 20cm，距离侧面约 75cm，考察点为屏蔽体外 5cm 和 30cm。储源柜距离考虑放射性物质位于储源柜中央位置，考察点为屏蔽体外 5cm 和 30cm。放射废物桶直径约 40cm，废物分核素收集暂存，考察点为屏蔽体外 30cm。

根据表 11-2 可知，防护手套箱和储源柜外的周围剂量当量率满足评价标准限值要求。即《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中要求保证分装柜柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求保证通风柜和和储源柜人员操作位表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，通风柜和储源柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

放射实验室屏蔽效能核算结果见表 11-3。

表 11-3 放射实验室屏蔽效能核算结果一览表

场所名称	屏蔽体	设施名称	核素	放射源的最大活度（MBq）	周围剂量当量率常数	预测距离（m）	屏蔽材料及厚度	周围剂量当量率（μSv/h）
放射实验室	北墙（配电房、通道）	手套箱	¹⁸ F	████	0.143	1.7	防护手套箱侧面 70mmPb	0.17
		储源柜	⁶⁸ Ga	████	0.134	8.1	铅罐 20mmPb+储源柜 50mmPb	
			⁸⁹ Zr	████	0.163			
			^{99m} Tc	████	0.0303			
	南墙（过道、放射性废水间）	手套箱	¹⁸ F	████	0.143	4.4	防护手套箱侧面 70mmPb	0.24
		储源柜	⁶⁸ Ga	████	0.134	0.6	铅罐 20mmPb+储源柜 50mmPb	
			⁸⁹ Zr	████	0.163			
			^{99m} Tc	████	0.0303			
	西墙（微型核电源专业实验室）	手套箱	¹⁸ F	████	0.143	0.5	防护手套箱侧面 70mmPb	2.08
		储源柜	⁶⁸ Ga	████	0.134	0.7	铅罐 20mmPb+储源柜 50mmPb	
			⁸⁹ Zr	████	0.163			
			^{99m} Tc	████	0.0303			
	东墙（进风滤毒室、通道）	手套箱	¹⁸ F	████	0.143	7.0	防护手套箱正面 75mmPb	0.01
		储源柜	⁶⁸ Ga	████	0.134	6.1	铅罐 20mmPb+储源柜 50mmPb	
			⁸⁹ Zr	████	0.163			

续表 11 环境影响分析

			^{99m}Tc	■	0.0303			
	楼上（核药物 工艺间、核药 物分析间、通 道）	手套箱	^{18}F	■	0.143	3.4	防护手套箱侧面 70mmPb+120mm 混凝土	0.01
		储源柜	^{68}Ga	■	0.134	4.1	铅罐 20mmPb+ 储源柜 50mmPb+120mm 混凝土	
			^{89}Zr	■	0.163			
			^{99m}Tc	■	0.0303			

根据表 11-3 可知，放射实验室外的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足评价标准限值要求。缓冲更衣间和物流通道内不使用放射性核素，因此根据放射实验室外的剂量率计算结果可知，缓冲更衣间和物流通道外人员可达处的周围剂量当量率也均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2 剂量估算

(1) 估算公式

工作人员和公众人员受到的 X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按公式 11-3 进行计算。

$$H_{\text{Er}}=H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-3)$$

式中：

H_{Er} ：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

$H^*_{(10)}$ ：X 或 γ 射线周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t：X 或 γ 射线照射时间，小时。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），中6.2.4 佩戴铅围裙内外两个剂量计时，宜采用式（11-4）估算有效剂量。本项目尚未运营，采用理论预测值进行预测。

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \quad (\text{公式11-4})$$

E-有效剂量中的外照射分量，单位为mSv

α -系数，有甲状腺屏蔽时，取0.79，无屏蔽时，取0.84；

H_u -铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为mSv

β -系数，有甲状腺屏蔽时，取0.051，无屏蔽时，取0.1；

H_o -铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

(2) 放射工作人员剂量估算

A：全身剂量估算

续表 11 环境影响分析

根据工程分析可知，放射性核素实验需要简单的分装、活度测定、标定等，操作非密封放射性药物的放射工作人员年剂量采用理论预测值进行估算，见表 11-4。

表 11-4 操作放射性核素的放射工作人员有效剂量估算表

操作核素	受照来源	操作时间 (h/a)	受照剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		年有效剂量 (mSv/a)
			铅衣外	铅衣内	
^{18}F 等 4 种核素	实验	36×4	3.85	3.6	0.44

备注：①考虑手套箱外 5cm 处剂量率。

②操作所有核素影响均保守按 ^{18}F 计算。

③核素操作人员铅防护用品为 0.5mmPb，铅衣内受照剂量 ^{18}F 考虑减 1.07 倍。

从表 11-4 理论计算得出放射工作人员在相应的屏蔽设施防护后，评价项目放射工作人员可能受到照射的年有效剂量不会超过 5mSv/a，小于项目设定的年有效剂量管理目标值。实际上每天操作的核素种类、次数小于上述估算条件，且有两人分摊工作，实际受到的影响更小。

B：手部剂量估算

核素操作人员手部剂量估算模式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的核算公式（本报告公式 11-2）计算操作时手部处剂量率；再按照公式 11-3 核算手部年当量剂量。

实验时工作人员使用远距离取物夹操作放射性核素，考虑远距离取物夹距离 10cm，则考虑手部距离放射性核素约 30cm，放射性药物按照裸源考虑铅罐屏蔽套屏蔽（20mmPb）。操作放射性核素工作人员的手部受照剂量按照每天最多从事 4 种核素的操作考虑。

操作放射性核素工作人员手部年剂量估算见表 11-5。

表 11-5 核医学操作核素的护士手部年有效剂量估算表

工作场所	操作核素	受照来源	放射源活度 (MBq)	手部受照剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h/a)	手部年有效剂量 (mSv/a)
放射实验室	^{18}F	实验	■	5502.6	36	198.1
	^{68}Ga	实验	■	687.5	36	24.8
	^{89}Zr	实验	■	7.6	36	0.27
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	实验	■	6.2×10^{-17}	36	2.2×10^{-18}
合计						223.1

备注：计算手部剂量时未考虑铅手套屏蔽。

续表 11 环境影响分析

根据劳动定员,在放射实验室拟配置 2 名操作核素的工作人员,其受到的总的手部年有效剂量为 223.1mSv/a, 平均每名受照剂量为 111.6mSv/a。本项目核素操作人员手部受照剂量能满足项目年当量剂量管理目标值 125mSv/a 的要求, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

本项目放射工作人员,不作为其他项目放射工作人员,不考虑叠加影响。

(3) 公众成员剂量估算

工作场所控制区屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6 实验室外公众成员年有效剂量估算表

序号	环境保护目标名称	方向	最近水平距离	最小垂直高差	预测结果μSv/h	停留因子	年有效照射时间 h	年有效剂量 mSv/a
1	进风滤毒室、内部通道	东	约 0~25m	约 0m	0.01	1/8	1920	2.4×10^{-3}
	楼梯		约 6~10m	约 0m	1.95×10^{-3}	1/8	1920	4.68×10^{-4}
	车库等		约 20~50m	约 0m	4.43×10^{-4}	1/16	1920	5.32×10^{-5}
2	内部道路和绿化	东	约 0~50m	约+9.6m	0.01	1/8	1920	2.4×10^{-3}
3	放射性废水间、过道	南	约 0~15m	约 0m	0.24	1/8	1920	0.06
	中子源控制室		约 3~12m	约 0m	0.01	1	1920	0.02
	电梯、车库等		约 9~50m	约 0m	3.52×10^{-3}	1/8	1920	8.45×10^{-4}
4	内部道路	南	约 20~50m	约+9.6m	9.9×10^{-4}	1/8	1920	2.38×10^{-4}
5	微型核电源专业实验室、液态金属技术实验间	西	约 0~30m	约 0m	2.08	1/2	80	0.08
	工具间		约 30~32m	约 0m	5.99×10^{-4}	1/16	1920	7.19×10^{-5}
	强流中子源专用实验室等		约 32~50m	约 0m	5.28×10^{-4}	1/2	1920	5.07×10^{-4}
6	储物间、茶水间、电梯、卫生间、衣帽间、能源站等	西南	约 8~50m	约 0m	7.68×10^{-3}	1/5	1920	3.69×10^{-3}
7	内部道路	西	约 0~50m	约+4m	0.03 (考虑斜线距离)	1/8	1920	0.01
8	-2F 配电房、通道、车库等	北	约 0~50m	约 0m	0.17	1/8	1920	0.04
9	室外广场	北	约 0~50m	约+4m	0.17	1/5	1920	0.08
10	-1F 核药物工艺间、核药物分析间、通道等	楼上	/	约+4m	0.01	1/5	1920	4.8×10^{-3}
11	数字医疗产业园 7 号楼 (1F~7F) 及室外通道	楼上	/	约+9.6m	0.01	1	1920	0.02

注: ①+代表其地面高于本项目实验室地面。

②年工作 240d, 每天 8h, 即工作时间为 1920h, 计算时按最不利的情况, 工作时段一直有源考虑。根据建设单位资料, 微型核电源专业实验室、液态金属技术实验间年使用时间约 80h。居留因子参照 NCRP147 号报告 P31 表 4.1

续表 11 环境影响分析

取值。微型核电源专业实验室、液态金属技术实验间靠近本项目侧区域主要为摆放仪器和过道，居留因子综合考虑取 1/2。核药物工艺间、核药物分析间本身为控制区，公众进入的可能性很小，另上方有过道，居留因子综合考虑取 1/5。

根据估算可知，本项目所致公众的年有效剂量小于相关标准规定的年剂量约束值 0.1mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值要求。

本项目拟建放射性实验室上方有已建的放射实验区，楼上数字医疗产业园7号楼（1F~7F）及室外通道等需考虑叠加影响。根据《药物研究实验室项目（重庆）环境影响报告表》中的表11-6，数字医疗产业园7号楼（1F~7F）及室外通道等处公众成员受已建的放射实验区影响的年附加剂量最大为0.03mSv/a，叠加本项目影响后楼上公众成员年附加剂量最大为0.05mSv/a，仍小于年有效剂量约束值0.1mSv/a。

放射性废物从实验室转运到暂存间的距离很短，所需时间很短，且运输路径公众成员很少，根据表11-2放射废物通外的周围剂量当量率为0.01μSv/h，远小于2.5μSv/h，因此放射性废物运输对公众成员的影响很小，可以忽略不计。

11.2.3 环境保护目标影响分析

放射实验室外 0.3m 处的瞬时剂量率满足国家相关标准要求，根据射线衰减规律，辐射影响与距离的平方进行衰减，即距离

辐射源越远，受到的影响越小。根据表 11-3、11-6 结果可知，本项目周围环境保护目标处周围剂量当量率均处于较低的水平，且估算结果只考虑了距离的衰减，实际上γ射线在传播过程中有墙体、楼板等各种屏蔽体的阻挡，因此，放射实验室控制区外 50m 范围内的各环境保护目标的辐射影响也满足相应标准和要求，对环境保护目标的影响很小。

11.2.4 放射性“三废”影响

（1）放射性废气

本项目放射实验室使用的放射性核素为非气态放射性药物，且操作过程中均不易挥发。

本项目放射实验室拟设置独立的排风系统，工作场所拟设置 1 套废气收集系统，收集经活性炭处理后汇入-1F 已建放射性废气管道的（-1F 手套箱废气管网末端），依托已建管道进入排风井，引至 7 号楼 7F 楼顶再经活性炭处理后高于楼顶排放。各排风支管

续表 11 环境影响分析

均设置防倒灌装置并保持负压，避免放射性废气泄漏。 本项目依托已建排气筒 DA002 和其排气口，排气口周围环境未发生变化，本项目建设后，不会新增排气筒周围的环境敏感目标。项目下风向较近的高层建筑为项目南侧在 9 号楼（约 40m），距离较远；同时，放射实验室内废气均活性炭吸附处理后再排放，活性炭定期更换，吸附效果较好。因此，项目放射实验室产生的放射性废气排放周围环境的影响很小。 强核医药和中子研究院签订协议，中子研究院承诺对废气处理设施的环保安全问题承担全部责任。 （2）放射性废水 放射性废水主要来自应急去污产生的废水。本项目拟在洗手池下方设置 1 个应急去污放射性废水收集容器，另外在放射性废物暂存间配置 1 个备用放射性废水收集容器。根据工程分析核算，每年产生的应急去污废水不超过 25L。拟配置的 2 个应急去污放射性废水收集容器总有效体积为 60L，能够存放事故状态下产生的废水。发生事故沾污时先使用吸水纸等处理，不使用水冲洗，清洗废水主要是洗手水，产生的废水量也很小。另工作人员处理事故时佩戴手套，放射性物质主要沾染在手套上，作为固废处理，因此，这些核素进入废水系统的量非常小，废水中核素含量低。在下次事故发生之前，放射性废水一直在收集容器中衰变，不排放，衰变时间很长。排放时能满足总α不大于 1Bq/L，总β不大于 10Bq/L 的排放浓度要求。 项目的收集容器位于缓冲更衣间和放射性废物暂存间内。收集容器为 5mmPb 铅罐。放射性核素主要进入固废中，废水中放射性核素含量很低，收集容器外的周围剂量当量率能满足要求。 放射性废水排水收集管道尺寸最大为$\Phi 100\text{mm}$，放射性废水管从产生处直接接入收集容器中，放射性废水管很短，不会暴露在外面，且废水中放射性核素含量很低，放射性废水管网人员可达处的周围剂量当量率能满足要求。放射性废水具有流动性，不停留，对周围人员产生的影响很小。 （3）放射性固体废物 本项目产生放射性固体废物拟分类（按不同核素、不同医疗废物类别等）收集在专用放射废物桶内，桶内设专用塑料袋，每天下班由专人统一将桶内的放射性固体废物连

续表 11 环境影响分析

同垃圾袋存放到南侧放射性废物暂存间暂存衰变，半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天后；半衰期大于 24 小时暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍后，待其衰变达到时间要求并监测合格后作为危险废物交有资质单位处理。废核素发生器定期（不超过 2 周）由厂家回收。项目放射性固废得到有效处置，不会对周围环境产生压力，对环境的影响可接受。

11.2.5 非放射性“三废”影响分析

（1）废气影响

γ 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物。放射实验室各用房在保持通风换气的条件下，臭氧和氮氧化物浓度甚小。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流而扩散，不会影响放射实验室外大气环境质量。

本项目酸雾产生量较小，本次环评不进行定量评价，经放射实验室排风系统排放，不会影响放射实验区外大气环境质量。

（2）废水影响

根据工程分析，项目废水主要是生活污水、实验器具清洗废水等，本项目营运期生活污水排放量约 $0.36\text{m}^3/\text{d}$ ，清洗废水排放量约 $0.018\text{m}^3/\text{d}$ 。实验室清洗废水依托中子研究院已建 1#一体化污水处理设施预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，与生活污水一并经数字医疗产业园生化池处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准，再进入金凤城市污水处理厂进一步处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标后排入梁滩河。

1#一体化污水处理设施处理能力 $200\text{L}/\text{d}$ ，目前 1#一体化污水处理设施处理中子研究院已建药物研究实验室放射实验区所有排水，根据《药物研究实验室项目（重庆）环境影响报告表》可知已建药物研究实验室放射实验区排水量约 $0.18\text{m}^3/\text{d}$ ，本项目新增废水排放量约 $0.018\text{m}^3/\text{d}$ ，不会对 1#一体化污水处理设施处理能力产生冲击。

本项目依托一体化污水处理设施拟采用“预收集沉淀池+污水提升系统+PH 酸碱中和+助凝反应+高效沉淀池+聚丙烯滤棉过滤+臭氧高级氧化+二氧化氯强消杀+增压系统+石英砂活性炭过滤+微滤”工艺进行污水处理。

工艺说明：

续表 11 环境影响分析

废水经收集系统自流进入收集预沉淀装置。在液位计的反馈下，通过泵提升至酸碱中和调节，在此需通过 pH 控制仪，利用计量泵准确投加一定量 NaOH 水溶液（或酸液），调节 pH 值至 7~9 之间。

污水自流进入气动紊流搅拌絮凝反应池和气动紊流搅拌助凝反应池加入絮凝剂 PAC 和助凝剂 PAM。PAC 和 PAM 的凝聚和絮凝作用下，反应生成的沉淀物互相凝结，废水存在的悬浮颗粒以及溶于水中的部分无机、有机物质被吸附，形成大块的絮状矾花。废水随即自流进入高效沉淀池，在此絮状矾花依靠重力作用，自然沉降，在沉淀池污泥斗内形成污泥，从而去除废水中的悬浮物、及部分有机物等。沉淀池经过聚丙烯滤棉过滤后自流进入臭氧高级氧化催化反应池，经臭氧高级氧化分解消毒和二氧化氯消毒后。进入石英砂活性多介质吸附，尚未被去除的细小悬浮物、及极少量的有机物等，通过具有巨大孔隙结构和比表面积活性炭的吸附、截留等物理、化学作用等去除，活性炭截留吸附，与微生物降解解吸的过程穿插、交替、循环进行。经过微滤处理后即可达标排放。整个废水处理流程，通过控制柜集中自动控制，消毒池设有浮球液位控制仪，低液位自动停泵，高液位自动启动，可基本实现无人值守。

根据验收监测报告中一体化污水处理设施运行情况来看，现阶段出水水质为《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准，说明该工艺可稳定达标运行，采用的废水处理工艺可行，因此本项目也可依托。

强核医药和中子研究院签订协议，中子研究院承诺对废水处理设施的环保安全问题承担全部责任。

（3）噪声影响

本项目为实验室项目，所有设备均位于室内，主要的高噪声设备为排风系统的风机，采取隔声、消声、减振等措施进行处理，对项目所在区域声环境影响轻微。

（4）固废环境影响

本项目实验产生的实验废液为危险废物，由专用容器（废液密封存放）盛放，依托中子研究院-1F 危废暂存间放置，定期交危废资质单位处理。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由公司收集后妥善保存，交有资质单位处置。生活垃圾委托当地环卫部门清运。

项目产生的固体废物均能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

续表 11 环境影响分析

11.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，该项目属于鼓励类“三十一、科技服务业”中“5、分析、试验、测试以及相关技术咨询与研发服务，智能产品整体方案、人机工程设计、系统仿真等设计服务”和鼓励类“六、核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目”中“4、同位素、加速器及辐照应用技术开发”，故项目的建设符合国家的产业政策。

11.4 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性核素的应用在对疾病的诊断和治疗有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目放射实验室为满足所在地区医疗服务需要建设，具有明显的社会效益；同时也将创造经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，该项目放射性核素的应用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.5 辐射事故影响分析

11.5.1 辐射潜在风险事故类型

①由于管理不善，导致放射性核素保管不善丢失、被盗，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

②由于工作人员操作不熟练或者其他原因造成工作时放射性核素洒漏，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水和处理产生放射性固废。

③放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

续表 11 环境影响分析

④违反管理规定在放射实验室内吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射。

⑤手部有伤仍从事放射性物质操作，也可能造成内照射。

⑥工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，一次性手套等未妥善收集和处置，致使室内受到污染，辐射水平增高。

⑦将裸源直接放在实验室内，导致人员受到意外照射。

⑧事故下的放射性废水未达到衰减时间要求即排放到 1#处理设施处理后排放，对环境产生影响。

⑨活性炭失效，放射性废气直接排放，可能对环境产生影响。

11.5.2 风险事故后

(1) ①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目放射性核素进入放射实验室拟放置在储源柜内，使用时才由放射工作人员从其中拿出来。储源柜拟设置双人双锁，实验室拟设置门禁和视频监控设施，日常无关人员无法进入，因此，①类事故发生概率较低。

^{18}F 用量最大，被盗时考虑裸源，接触距离按0.2m考虑，发现丢失后立即派人找回，因此公众接触时间考虑为30min、60min，该公众成员受到的误照射剂量为99.2mSv、198.4mSv，超过年剂量，属于一般辐射事故。

(2) ②~⑥类事故类事故

②~⑥类事故发生后，以②放射性药物洒漏事故概率较大，且放射性核素事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。

^{18}F 用量最大，本项目可能发生放射性药物洒漏事故的工作环节主要考虑 ^{18}F 操作环节。

放射性核素撒泼后，工作人员及时清洁处理（擦拭、冲洗、检测），直到满足要求为止。清洁完成后及时脱掉沾药衣物。核素撒泼一般发生在使用过程，涉及人员为工作人员。估算参数及结果见表 11-7。

表 11-7 事故剂量核算参数/条件表

核素	裸源 1 米处的周围 剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	撒泼药量 (MBq)	处理距离 (m)		处理/受照时间 (min)		事故剂量 (mSv/次)	
			公众	工作人员	公众	工作人员	公众	工作人员

续表 11 环境影响分析

¹⁸ F	0.143		1	0.2	2	30	0.238	99.2
根据上述核算，¹⁸F核素洒漏时，公众成员和工作人员的受照剂量均超过年剂量限值。 (3) ⑦将裸源直接放在实验室内，导致人员受到意外照射 发现后立即离开该区域，因此误入接触时间考虑为 1min，¹⁸F 用量最大，考虑裸源，距离考虑为 0.2m（最大剂量率为 1.98×10⁵mSv/h），该公众成员受到的误照射剂量为 3.37mSv，超过年剂量限值。 (4) ⑧事故下的放射性废水未达到衰减时间要求即排放到1#处理设施处理后排放，对环境产生影响。 本项目放射性废水只会在事故状态时产生，产生量小，依托的储存容器的有效体积远大于其产生量，因此，发生未达到衰减时间要求排放的几率很小。 (5) ⑨本项目事故状态时可能会产生少量的放射性废气，活性炭失效后，放射性废气直接排放可能对环境造成一定影响。本项目不使用挥发性核素，且活性炭拟定期更换，发生活性炭失效的概率很低。 11.5.3 辐射事故可能引起的电离辐射生物效应 电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此所造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和组织反应（确定性效应）。 随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率(而非其严重程度)与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗								

续表 11 环境影响分析

传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

组织反应以存在阈值剂量并且反应严重程度随剂量增加而加重为特征的细胞群体的损伤。早期组织反应（照射后几个小时到几周）可能具有炎症性质，其发生是细胞渗透性改变和炎症介质释放的结果。随后的组织反应通常是细胞丢失（例如表皮组织黏膜炎和脱皮）的结果，尽管组织的非细胞毒性效应也会在该早期反应中起一定作用。晚期组织反应（照射后几个月到几年）如果是由于靶组织直接损伤（例如分割照射后血管阻塞导致的深层组织坏死）引起的就称为“一般性的”，如果是由严重早期反应（例如作为大面积表皮剥蚀或慢性感染的真皮坏死和严重黏膜溃疡导致的小肠狭窄的结果）引起的就称为“结果性的”。这两种情况并不相互排斥，常常是同时存在。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-8。

表 11-8 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

综上，根据估算，①类辐射事故致周围公众人员受到误照射的剂量最大为 198.4mSv，超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生，根据《辐射防护导论》和《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ 104-2017)，误照人员可能引起不明显和不易察觉的病变，随机性效应发生概率增加。

根据估算，②～⑥类事故致工作人员受到误照射的剂量最大为 99.2mSv，致周围公众人员受到误照射的剂量最大为 0.238mSv，超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生，误照人员可能引起不明显和不易察觉的病变，随机性效应发生概率增加。

续表 11 环境影响分析

根据估算，⑦类辐射事故致周围公众人员受到误照射的剂量最大为 3.37mSv，超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生，误照人员可能引起不明显和不易察觉的病变，随机性效应发生概率增加。

11.5.4 风险防范措施

发生在非密封放射性工作场所的放射事故主要是污染事故，导致人员的照射方式主要是外照射和放射性沾染。针对本项目辐射潜在事故类型，主要的风险防范措施如下：

①加强放射实验室管理，严格按《放射性药品管理办法》制订“放射性药品的保管制度”。

②放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照放射实验室管理要求开展工作。放射工作人员加强操作练习，严格执行操作规程，在放射性核素搬运过程中轻拿轻放，避免药物撒泼和破损。

③定期检查放射实验室的辐射屏蔽和各项辐射安全措施的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免人员误入放射实验室和其它安全事故。

④每年委托检测机构对放射实验室周围辐射水平进行检测，发现异常，及时找到原因，进行补正；定时核查放射实验室监控记录，定时对放射实验室周边进行巡逻，放射实验室外围张贴相关文字和告示，告风险情况。

⑤培植放射工作人员的安全文化素养，提高放射工作人员个人防护意识，在开展工作时正确使用防护用品，佩戴个人剂量计，放射工作人员定期参加辐射安全与防护知识的培训。防护用品不使用时，采用悬挂或平铺方式妥善存放，防止断裂。加强放射工作人员职业健康体检，发现放射工作人员不适合参与放射工作应及时停止工作。

综上，公司采取上述事故预防措施后，辐射事故产生的概率很低，对人员和周围环境的影响很小，辐射事故风险可防可控。

11.6 环保投资估算

本项目环保投资估算共约 30 万，占总投资 █████，具体情况见表 11-9。

续表 11 环境影响分析

表 11-9 项目环保投资一览表			
序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资（万元）
1	辐射安全管理	管理制度建立、修订等，制度上墙，各处标识标牌、警示标志等	2
2	人员	辐射安全与防护培训与考核	3
3	监测仪器和防护用品	固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、个人剂量计等	2
4	辐射防护与安全措施	实验室安装监控系统、门禁系统等	4
5	废气治理措施	废气管道、活性炭吸附	5
6	噪声治理设施	风机减振基座、消声设施等	1
7	废水治理措施	洗手盆、废水管道	2
8	固废治理	危险废物交资质单位处理	1
9	辐射防护设施工程	防护手套箱、放射性废物收集容器、铅罐等	计入设备费用中
10	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等		10
合计			30

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

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，建设单位应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用放射性同位素、射线装置的单位使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

强核医药还未开展过核技术利用项目，还未配置辐射防护与安全管理人员。建设单位承诺项目建成运营前，拟按照上述要求成立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人从事辐射环境管理工作。管理职责范围主要涉及以下几个方面：①全面负责辐射安全防护管理工作。②负责环保手续办理及相关事项，如许可证申领、验收、人员培训、个人剂量送检、体检和辐射安全年度评估等。③负责日常防护设备维护。

12.2 放射工作人员及培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《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》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识，并参加考核，取得辐射安全培训合格证书，持证上岗。考核结果有效期为 5 年，有效期届满的，应当重新参加培训和考核。

本项目拟配置放射工作人员 2 人，包含在公司总劳动定员内。建设单位承诺在项目运营前，经过培训考核合格后，做到持证上岗。放射工作人员拟定期复训，并建立培训档案。

表 12 安全管理（续）

12.3 辐射安全管理制度、档案等

（1）辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，建设单位承诺按照相关规定制定相应的管理制度，包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、安全设施检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、人员健康及个人剂量管理制度、监测方案、辐射事故应急预案、年度评估制度等制度，以及辐射事故应急预案。各项制度应健全，内容齐全。且在项目运营前，拟将操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、辐射事故应急措施等制作后悬挂于辐射工作场所。

另外，建设单位拟在工作中认真落实相关制度，并不断更新和完善。

（2）个人剂量管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立放射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。个人剂量档案应当保存至放射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量计相互传借，不允许将个人剂量计带出项目建设单位。

本项目的放射工作人员尚未确定，在本项目运行前，公司也拟按照管理要求为每名放射工作人员配置个人剂量计，并按照要求进行剂量监测，建立个人剂量档案。

（3）职业健康体检

放射工作人员上岗前，拟进行岗前职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，放射工作人员拟定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。建设单位拟建立和保存放射工作人员的健康档案。

表 12 安全管理（续）

（4）年度评估

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

建设单位拟建立年度评估制度，对辐射防护等进行总结，编制《放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告》，并于每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交。年度评估报告包括放射性同位素台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

（5）档案管理

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、“辐射应急资料”。

建设单位拟按照相关要求建立健全档案制度，对企业的档案进行分类归档。另外，建设单位项目建成运行后，承诺及时组织验收并办理辐射安全许可证，在许可范围内从事辐射活动。

12.4 核安全文化建设

核安全文化是以“安全第一”为根本方针，以维护公众健康和环境安全为最终目标；保障核安全是培育核安全文化的根本目的，而培育核安全文化是减少人因失误的有力措施，是核安全“纵深防御”体系中的重要屏障。

核安全文化是核安全的基础，是从事核技术利用活动单位及其全体工作人员的责任心。对于核技术利用项目核安全文化建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化，核安全文化表现在从事核技术利用活动单位的相关领导与员工及最高管理者应具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识，提高并保持核安全意识。

公司拟建立辐射环境安全管理体系，设立核安全保障机构，明确了单位各层级人员的职责，将良好的核安全文化融汇于运营和管理的各个环节；持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，

表 12 安全管理（续）

凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别单位内部核安全文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①公司组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；

②公司建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

12.5 从事辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（第七条）的相关规定，强核医药从事辐射活动能力评价见表 12-1。

表 12-1 从事辐射活动能力评价

应具备条件	拟落实的情况
（一）使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，辐射专职管理人员尚未定员。建设单位拟按要求定岗定员。
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目放射工作人员尚未到位，项目工作人员从公司劳动定员中调配和培养。公司已制定培训计划，承诺后期会按照制度落实持证上岗。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源放射性药品仓库或设备。	本项目拟配置专用储源柜存放放射性核素，并拟设置监控系统、门禁系统等。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	项目工作场所拟设置电离辐射警告标志、防盗系统、监控系统、分区标识等措施，配置防护用品、个人剂量计、剂量报警仪等设施。
（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	项目拟配备个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪、表面污染监测仪、智能化 X-γ辐射仪等，同时拟配置铅衣服等防护设施和防护用品。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方	建设单位拟制定操作规程、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、监测方案等制度，项目

表 12 安全管理（续）

案等。	运行后拟将相应制度张贴上墙。
（七）有完善的辐射事故应急措施。	建设单位拟制定辐射事故应急措施。
（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	项目运行时将产生放射性“三废”，拟采取相应的处理措施（具体见表 10），保证放射性废物达标排放，对环境的影响可接受。
第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。 贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、放射线泄漏的安全措施。 对放射源还应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多重防护和安全措施，并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。	拟设置放射性废物暂存间，用于专门储存放射性固废，室内无其它易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管。 制定放射性核素领取保管和使用制度、交接班管理制度等。本项目拟配置专用储源柜存放放射性核素，储源柜设置双人双锁、储源柜材质为铅，具有辐射防护能力，具有防火、防水等功能。

从表 12-1 可知，因建设单位尚未开展过核技术利用项目，尚无相应的辐射安全与防护管理机构，放射工作人员和管理人员尚未到位，尚未形成相应的辐射环境管理体系，建设单位承诺全部落实上述各项要求，具备从事本项目辐射活动的能力后办证，本项目方可投入正式运行。

12.6 辐射环境监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，建设单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。

建设单位拟配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及个人剂量进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。

本项目辐射监测内容包括：

（1）个人剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：1 个月测读一次个人剂量计，最长不超过 3 个月，如发现异常可加密

表 12 安全管理（续）

监测频率；

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

（2）工作场所及周围环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：项目建成后、辐射防护设施等发生大的变化等之后进行验收监测，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

表 12-2 项目监测及检查内容一览表

监测地点		监测项目	日常监测频率	限值要求
放射 实验 室	控制区外人员可达处、控制区内用房门、墙壁、顶棚、地板外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。	周围剂量当量率	4 周一次	≤2.5μSv/h
	距离手套箱表面 5cm		4 周一次	≤25μSv/h
	距离手套箱外表面 30cm 处人员操作位，距放射废物收集桶表面 30cm		4 周一次	≤2.5μSv/h
	放射性废物包装袋表面		每次工作结束后	≤0.1mSv/h
	放射性废物包装袋表面		每次处理前（出现放射性药物洒落应及时监测）	本底水平
	放射性核素工作场所墙壁和地面、新建平台地面等	β表面污染	每次工作结束后（出现放射性药物洒落应及时监测）	工作台、设备、墙壁、地面：控制区：α（极毒性）≤4Bq/cm ² ，β≤4×10 ³ Bq/cm ² ；监督区：α（极毒性）≤4×10 ⁻¹ Bq/cm ² ，β≤4Bq/cm ²
	人体手、皮肤、衣服、工作鞋、工作袜等		每次从控制区的高活区经卫生通过间离开	工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：α（极毒性）≤4×10 ⁻¹ Bq/cm ² ，β≤4Bq/cm ² ；

表 12 安全管理（续）

			手、皮肤、内衣、工作袜： α （极毒性） $\leq 4 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^2$ ， $\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ 。
	废物包装外表面	每次解控处理前	$\alpha < 0.08 \text{Bq/cm}^2$ $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$
备注：上述监测中，在屏蔽体外的监测，监测点位主要布置在四周屏蔽体 0.3m 处等。监测点可参考表 11-2 的关注点。			

（3）安全检查

为了确保放射实验室的安全运行，需定期对工作场所各项安全设施进行检查，确保其处于正常状态，检查内容和频率见表 12-3。

表 12-3 工作场所安全措施检查一览表

检查地点	检查项目	日常检查频率
放射实验室	电离辐射警告标志、视频监控系统、通风系统、固定式剂量报警仪、门禁功能等	每日

12.7 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《重庆市辐射污染防治办法》要求，辐射工作单位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。建设单位承诺编制应急预案和制定应急处置措施。

12.7.1 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

根据本报告表 11 分析，放射性核素丢失，单次会造成超剂量照射，属于一般辐射事故。

12.7.2 事故应急方案与措施

（1）事故报告程序和电话

根据《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》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、高新区生态环境局等部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

报告联系电话如下：

表 12 安全管理（续）

公司 24 小时值班电话：18*****10 政务服务便民热线：12345 重庆市卫健委电话：023-67706707 重庆高新区生态环境局：023-68601383 高新区公安局：023-68378110 高新区卫生健康委员会电话：023-68680057 （2）辐射事故应急措施 放射性物质丢失、被盗事故：发生放射性物质丢失、被盗事件后，应第一时间向公司辐射环境管理机构报告，由其及时向重庆高新区生态环境局、公安部门、卫生部门报告，按要求进行追查处置。 放射性物质撒泼事故：发生放射性物质撒泼后，应立即报告辐射环境管理机构，禁止无关人员进入事故区域，禁止事故区域人员随意走动。现场处置的立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，在此基础上用温水仔细清洗污染处，用表面污染监测仪测量污染区，如果α表面污染大于 4Bq/cm²，β表面污染大于 40Bq/cm²，表明该污染区未达到控制标准，这时应继续使用药棉或纸巾擦拭，直到该污染区α表面污染大于 4Bq/cm²，β表面污染小于 40Bq/cm² 为止。处理过程中使用过的吸水纸、纱布、药棉、纸巾等均视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。体表沾污应用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤，去污后经表面污染监测仪测量合格后方能离开。 去污后公司应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发[2002]133号）进行。发生照射事故时，人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，并向重庆高新区生态环境局和卫生主管部门报告。 （3）放射性事故应急处理程序 ①事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报； ②辐射事故应急处置领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处

表 12 安全管理（续）

理方案；

③事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

（4）其他事项

除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作：

①应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成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，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

②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。

③加强公司辐射工作场所的检查和管理工作，认真做好事故预防措施，杜绝其他辐射工作场所辐射事故的发生。

④公司后续还应进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力，减少辐射事故扩大影响的几率。

12.8 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收（调查）报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时申办《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。

本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-4。

表 12-4 本项目环保设施竣工验收要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	环保资料	建设项目的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等	齐全
2	核技术利用工作场所	放射实验室（乙级非密封放射性物质工作场所）。	不超过该范围
3	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量约束值5 mSv/a 公众成员年有效剂量约束值0.1 mSv/a 放射工作人员手部剂量管理目标值 125 mSv/a	GB18871-2002 参照HJ1188-2021 及公司管理要求
4	剂量率控制	①控制区外人员可达处、控制区内用房门、墙壁、顶棚、地板外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。	参照HJ1188-2021 GBZ120-2020

表 12 安全管理（续）

		②防护手套箱：距离屏蔽体外表面5cm处周围剂量当量率应不大于25μSv/h。 ③防护手套箱表面30cm处周围剂量当量率小于2.5μSv/h。		
5	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：α（极毒性）≤4Bq/cm ² ，β≤4×10Bq/cm ² ；监督区：α（极毒性）≤4×10 ⁻¹ Bq/cm ² ，β≤4Bq/cm ² ； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：α（极毒性）≤4×10 ⁻¹ Bq/cm ² ，β≤4Bq/cm ² ； ③手、皮肤、内衣、工作袜：α（极毒性）≤4×10 ⁻² Bq/cm ² ，β≤4×10 ⁻¹ Bq/cm ² 。		GB18871-2002 参照GBZ120-2020
6	辐射防护与 安全措施	①设置电离辐射警告标志，划设控制区和监督区，设置相应的分区标识。 ②放射实验室内表面及装备结构要求满足GBZ120-2020，屏蔽体的防护能力满足要求。 ③设置卫生通过间，工作人员离开时进行表面污染监测，设防盗装置。工作场所设置视频监控等。 ④加强管理，建立完善的放射性核素管理台账。 ⑤拟设置2个放射性废水收集容器（一备一用），分类收集处置事故状态产生的放射性废水。工作场所设置1套放射性废气收集管网收集并设置活性炭吸附装置处理工作场所废气。拟设置放射性废物暂存间收集、贮存产生的放射性废物。 ⑥配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置个人剂量报警仪等，具体见表1-3。		齐全，满足相关要求
7	放射性废物 排放	废气	放射实验区设置1套排风系统，放射性废气引至7号楼顶经活性炭吸附后依托排气筒DA002排放	按要求建设，满足相关要求。
		废水	拟设置2个30L放射性废水收集容器衰变处理后排入1#一体化污水处理，再排入数字医疗产业园生化池。	
		固废	射性固体废物按核素类别和日期分别收集在放射性废物暂存间暂存衰变，半衰期小于24小时，暂存时间超过30天后；半衰期大于24小时暂存时间超过核素最长半衰期的10倍后；经监测合格后作为交有危险废物处理资质的单位处置。废核素发生器定期（不超过2周）由厂家回收。	
8	非放射性废物 排放	废气	设置动力通风装置，并保持良好的通风。	按要求建设，满足相关要求。
		废水	放射实验室废水依托已建1#一体化污水处理设施（处理能力200L/d）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，与生活污水和浓水一并经数字医疗产业园生化池处理	
		固废	生活垃圾依托公司收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由公司收集后妥善保存，交有资质的单位处理。依托-1F危废暂存间，危险废物定期交予有危废处理资质的单位处理。	
9	人员要求	放射工作人员拟参加辐射安全与防护培训并考核合格后上岗。		《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
10	辐射安全管理	有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。		档案管理规范
11	防护用品	每名放射工作人员均配置1枚个人剂量计，配置适宜数量的个人剂量报警仪，具体见报告表1-2对应内容。		GBZ128-2019 参照HJ1188-2021
		配备相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，主要是铅衣，具体见报告表1-2对应内容。		

表 13 结论及建议

根据企业发展规划和市场需求，强核医药租用重庆高新区金凤数字医疗产业园 13 号楼实施“强核医药核药物小试实验室项目”。该项目建设放射实验室（乙级非密封放射性物质工作场所），开展 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{103}Pd 等 12 种放射性核素药物研发试验，以对未来的制药产业链化提供重要的经验和实践基础。

通过开展本项目的分析、对周围环境质量现状调查以及项目的主要污染物对环境的影响分析等工作，得出以下结论。

13.1 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，该项目属于鼓励类“三十一、科技服务业”中“5、分析、试验、测试以及相关技术咨询与研发服务，智能产品整体方案、人机工程设计、系统仿真等设计服务”和鼓励类“六、核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目”中“4、同位素、加速器及辐照应用技术开发”，故项目的建设符合国家的产业政策。

13.2 实践正当性分析

公司非密封放射性物质的使用，研发的放射性核素药物在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 环境质量现状

根据监测可知，本项目拟建位置及周围的环境 γ 辐射剂量率的监测值在 $0.072\mu\text{Gy/h}\sim 0.095\mu\text{Gy/h}$ （ $72\text{nGy/h}\sim 95\text{nGy/h}$ ）之间（未扣除宇宙射线），与重庆市多个点位的 γ 辐射累积剂量平均值 87nGy/h （未扣除宇宙射线）相比无明显差异。

13.4 选址可行性分析

拟建项目位于重庆高新区新洲大道与凤笙路交口数字医疗产业园 13 号楼，其用房相对独立，周围主要为车库、设备用房，故周围活动人员较少，有利于减少放射实验室运行对公众成员的影响。根据辐射环境质量现状监测结果可知，拟建项目所在地环境 γ 辐射剂量率均在重庆市 2023 年环境 γ 空气吸收剂量率涨落范围内。因此，拟建项目选址可行。

续表 13 结论及建议

13.5 布局合理性分析

本项目放射实验室位于重庆高新区金凤数字医疗产业园13号楼负二层，为一个独立的区域，包括放射实验室、缓冲更衣间、物流通道、放射性废物暂存间等，工作人员离开时在缓冲更衣间（卫生通过间）进行污染检测，放射实验室功能房间设计齐全，能满足项目运行的需求。核素运送通道和工作人员通道相互独立。拟建放射实验室周围活动人员较少，减少公众受到的照射。放射实验室设置了门禁系统，可有效防止无关人员进入。

综上所述，拟建项目功能分区明确，符合实验工作的流程，项目平面布局合理。

13.6 辐射防护与安全措施

①分区：本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等的要求进行了分区，按照要求进行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

②屏蔽体防护：本项目放射实验室拟配置防护手套箱，防护手套箱有足够厚度的屏蔽体，各用房、控制区边界屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求。

③辐射安全与防护设施/措施

A：项目人流、物流相对独立；拟在控制区工作人员出入口设置卫生通过间，配备防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；放射实验室设置防盗设施、视频监控装置；放射实验室墙面和地面设计建造为易于去除污染；放射实验室配置通风系统。非密封放射源工作场所辐射安全防护措施符合相关标准规范，亦满足辐射安全要求。

B：控制区出入口门外上方拟设置醒目的电离辐射警告标志；按有关标准要求配备工作人员个人防护用品。

④通风：项目放射实验室设置独立的通排风系统。废气收集经活性炭吸附后再于楼顶排放。

⑤公司拟在项目放射实验室配置个人剂量报警仪、智能化X-γ辐射仪等监测仪器，保证放射工作人员、公众成员的安全。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护的要求。

续表 13 结论及建议

13.7 环境影响分析

(1) 剂量估算结果

通过核算，本项目放射工作人员和公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求（放射工作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/a，手部 125mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）及相关标准的要求。

(2) 环境保护目标影响

根据预测，拟建放射实验室周围环境保护目标的周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

(3) 废气影响

本项目工作时会产生臭氧和氮氧化物等有害气体，实验室设计有通风管道，工作期间应保证机械通风系统的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物浓度，对周围环境影响可接受。本项目放射实验室拟设置独立的排风系统，工作场所拟设置 1 套废气收集系统，收集经活性炭处理后接入-1F 已建放射性废气管道，依托中子研究院已建管道，引至 7 号楼 7F 楼顶再经活性炭处理后高于楼顶排放。活性炭定期更换，吸附效果较好。因此，项目放射实验区产生的放射性废气排放周围环境的影响很小。

(4) 废水影响

本项目事故放射性废水收集在专用容器内，衰变十个半衰期后依托中子研究院 1#一体化污水处理设施处理，再数字医疗产业园生化池处理后达标排放。实放射实验室废水依托中子研究院 1#一体化污水处理预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，与生活污水一并经数字医疗产业园生化池处理达后达标排放。因此本项目废水对周围水环境影响很小。

(5) 噪声影响

本项目拟使用的风机为低噪声设备，噪声源强较小，经墙体隔声和距离衰减后设备噪声对厂界噪声的贡献微小，对项目所在区域声环境影响轻微。

(6) 固废环境影响

本项目产生放射性固体废物拟分类（按不同核素、不同医疗废物类别等）收集在专用放射废物桶内，桶内设专用塑料袋，每天下班由专人统一将桶内的放射性固体废物连同垃圾袋存放到放射性废物暂存间暂存衰变，半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天

续表 13 结论及建议

后；半衰期大于 24 小时暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍后，待其衰变达到时间要求并监测合格后作为危险废物交有资质单位处理。废核素发生器定期（不超过 2 周）由厂家回收。

本项目实验产生的实验废液为危险废物，委托有资质单位处置。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由公司收集后妥善保存，交有资质单位处置。生活垃圾委托当地环卫部门清运。

项目固废合理处置后，对环境的影响较小。

13.8 辐射与环境保护管理

建设单位拟按照相关要求建立辐射环境管理机构，配置辐射环境专职管理人员，制定相应的管理制度，保证辐射工作人员培训合格持证上岗，定期复训；建立辐射工作人员健康档案、个人剂量档案、辐射环境监测档案等，并及时办理辐射安全许可证，在许可范围内从事辐射活动。在今后的工作中，建设单位还应加强核安全文化建设，提高辐射安全管理能力，杜绝辐射事故的发生。

13.9 环境风险

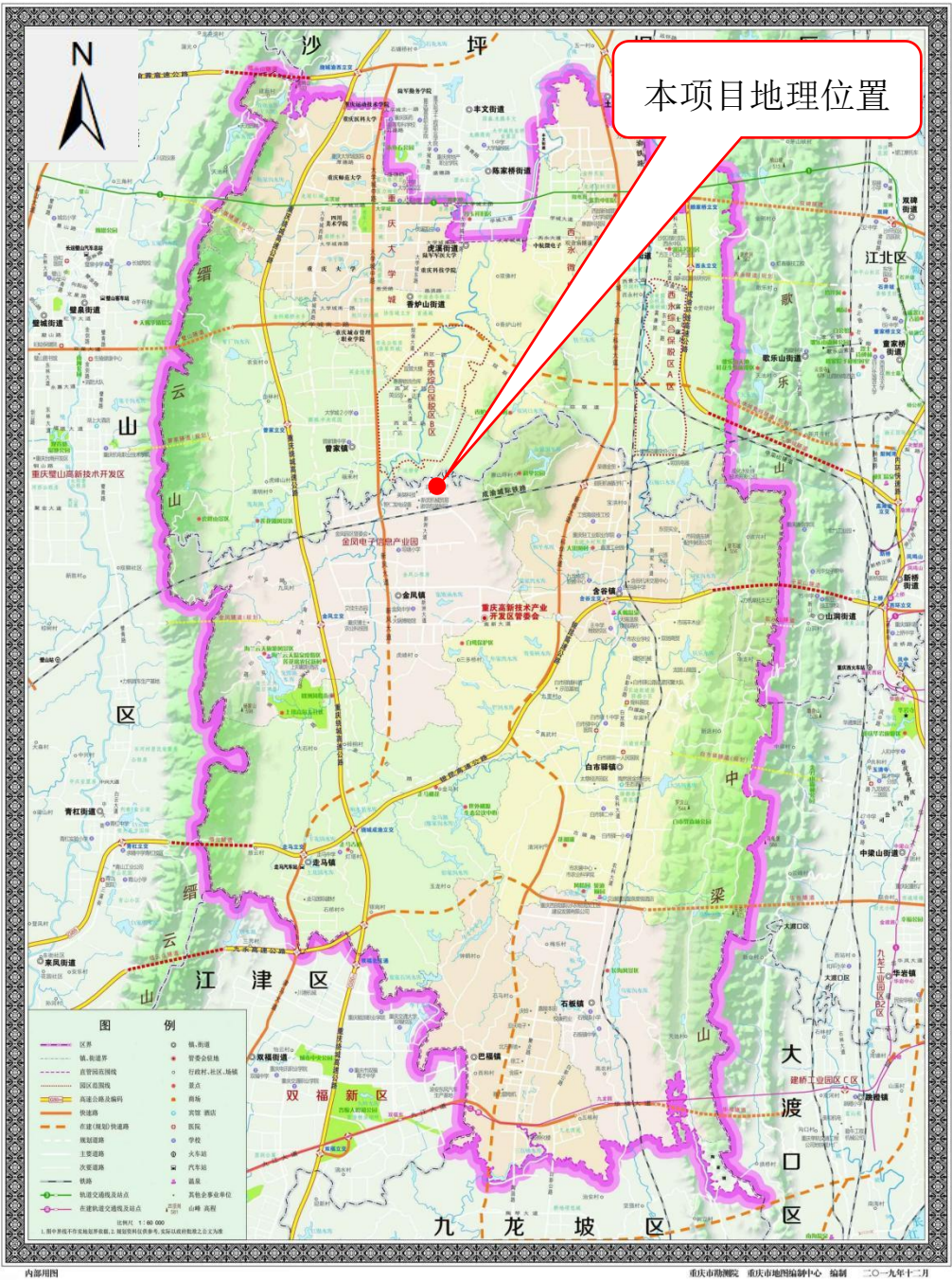
本项目发生的辐射事故主要是放射性核素洒漏污染事故和放射性核素被盗事故，导致人员的照射方式主要是外照射和放射性沾染。根据风险分析结果，属于一般辐射事故，在采取辐射事故预防措施后，辐射事故产生的概率很低，对人员和周围环境的影响很小，辐射事故风险可防可控。

综上所述，强核医药科技（重庆）有限公司拟开展的“强核医药核药物小试实验室项目”在严格按照环评要求进行建设后，运行时对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求；该项目对环境的辐射影响是可接受的。强核医药科技（重庆）有限公司在落实了本环评提出的各项环境保护及污染防治措施的前提下，环境风险可防可控，从环境保护的角度来看，本环评认为该建设项目是可行的。

附图

附图 1 项目地理位置图

重庆高新技术产业开发区直管园地图



附图 1 地理位置图