

编号：ZFHK-FS23210013

核技术利用建设项目

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

（公示稿）



生态环境部监制

核技术利用建设项目

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



建设单位名称：强核医药科技（重庆）有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：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

邮政编码：401329

联系人：古鸿力

电子邮箱：

联系电话：

目录

第 1 章 概述.....	1
1.1 项目名称、地点.....	1
1.2 项目概况.....	1
1.3 编制依据.....	17
1.4 评价标准.....	20
1.5 评价等级.....	28
1.6 评价范围和保护目标.....	31
第 2 章 自然环境与社会环境状况.....	34
2.1 自然环境状况.....	34
2.2 社会经济状况.....	37
2.3 辐射环境现状.....	37
2.4 区域环境质量现状.....	52
2.5 场址适宜性评价.....	56
第 3 章 建设项目工程分析.....	57
3.1 项目规模与基本参数.....	57
3.2 工程设备与工艺分析.....	70
3.3 施工期污染源项分析.....	75
3.4 运营期非放射性污染源项.....	77
3.5 运营期辐射污染源项.....	88
3.6 运营期放射性废弃物.....	92
第 4 章 辐射安全与防护.....	95

4.1 场所布局与屏蔽.....	95
4.2 辐射安全与防护措施.....	102
4.3 三废的治理.....	115
4.4 服务期满后的环境保护措施.....	122
第 5 章 环境影响分析.....	124
5.1 建设阶段对环境的影响.....	124
5.2 运行阶段辐射环境的影响.....	129
5.3 运行期非辐射影响分析.....	167
第 6 章 辐射安全管理.....	176
6.1 机构与人员.....	176
6.2 辐射安全管理规章制度.....	177
6.3 辐射监测.....	178
6.4 噪声监测.....	183
6.5 辐射事故应急.....	183
6.6 年度评估报告.....	185
6.7 核安全文化建设.....	186
6.8 从事辐射活动能力评价.....	186
6.9 竣工环保验收.....	188
第 7 章 利益-代价简要分析	192
7.1 利益分析.....	192
7.2 代价分析.....	193
7.3 正当性分析.....	194
第 8 章 公众参与.....	195

第 9 章 结论与建议..... 196

9.1 项目工程概况..... 196

9.2 选址可行性及布局合理性..... 197

9.3 辐射安全与防护..... 198

9.4 环境影响分析..... 198

9.5 事故风险分析结论..... 200

9.6 辐射安全管理..... 200

9.7 总结..... 200

9.8 建议和承诺..... 200

中福环境科技有限公司

第1章 概述

1.1项目名称、地点

项目名称：强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）

建设地点：重庆高新区巴福镇大田湾（高新区西彭组团 Q7-3/05 地块）2-2#核药厂房（地块中心坐标：东经 106.329578°，北纬 29.424390°），地理位置见图 1

项目性质：新建

1.2项目概况

1.2.1建设单位情况

强核医药科技（重庆）有限公司（以下称“强核医药公司”）于 2024 年 12 月成立，营业执照见附件 2，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。

1.2.2项目由来

随着分子影像学在生物医学研究领域的迅猛发展，放射性药物的研究已成为现代医学诊断和治疗疑难疾病不可或缺且不可替代的高新技术手段。目前放射性药物产业的投资环境理想、专业领域技术成熟，且已经形成了一定规模的市场基础，总体正处于供不应求、需大力投资建设的发展阶段。因此，本项目的发展前景非常广阔。

国家、地方均积极推进放射性同位素、核技术利用项目的开展。2016 年党中央、国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》，为全面提升人民健康水平和身体素质，《纲要》明确，到 2030 年，我国主要健康指标进入高收入国家行列；到 2050 年，建成与社会主义现代化国家相适应的健康国家。加大医用同位素发展力度，不断壮大医疗、公共卫生领域的应用规模，充分发挥其在诊断、治疗心血管病、恶性肿瘤等严重威胁人类健康重大疾病中不可替代的作用，是实现我国健康领域

治理能力现代化的重要举措。

为加快引进培养中子应用产业，搭建以中子科学为核心，培育引进产业链相关企业，形成中子产业新高地，重庆科学城高新产业发展有限公司（以下简称“科学城公司”）在重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块开展“中子科学基地建设项目”，中子科学基地建设项目总规划 9 栋单体建筑，包括 1#中子源厂房、2#制药厂房（分为 2-1#化药厂房和 2-2#核药厂房两个区域，本项目位于 2-2#核药厂房）、3#中子治疗厂房、4#研发生产厂房、5#研发生产厂房、6#运维服务中心、7#研发生产厂房、8#中子科学研究院、9#库房。

重庆高新区改革发展局于 2023 年 2 月 10 日同意“中子科学基地建设项目”立项，批复文号为渝高新改投〔2023〕69 号（附件 3）。中子科学基地建设项目由科学城公司牵头建设，其作为建设阶段的责任主体，负责建设期间的环境保护和辐射安全管理工作，落实项目施工期、设备安装调试阶段各项污染防治措施。项目建设完成后，交付给“强核医药科技（重庆）有限公司”运营使用。以强核医药公司为主体申请领取辐射安全许可证，由科学城公司牵头、强核医药公司参与，共同负责项目的竣工环境保护验收。

项目通过竣工环境保护验收后，由本项目建设单位负责核技术利用项目运营期的辐射工作人员的培训、个人剂量监测、辐射工作场所监测、辐射安全管理制度制定与落实等辐射安全管理工作。

强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）计划在 2-2#核药厂房（以下简称“2-2#厂房”）负一层至四层开展核技术利用项目，建设 1#回旋加速器机房及生产场所、药物生产及质检场所、研发实验场所、动物细胞实验场所以及公辅工程、储运工程和环保工程。本项目涉及核技术利用建设项目和专业实验室、研发（试验）基地中的其他，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172.核技术利用建设项目——生产放射性同位素；使用 I 类、III 类射线装置的；甲级、乙级非密封放射性物质工作场所；销售非密封放射性物质”和“四十五、研究和试验发展 98——专业实验室、研发（试验）基地中的其他”，建设内容涉及名录中两个及以上项目类别的，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定，因此，本项目环境影响评价类别为环

境影响报告书。

强核医药科技（重庆）有限公司委托中辐环境科技有限公司承担本项目的环
境影响报告书编制工作（附件 1）。环评单位接受委托后，随即组织专业人员开展
资料收集、现场踏勘和辐射环境现状监测的委托监测等工作，并与建设单位进行
多方咨询交流，反复核实，在进行工程分析的基础上，结合工程的具体情况以及
辐射危害特征，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》（HJ10.1-2016）的要求，编制了本项目的环境影响报告书。

2-2#核药厂房 1F 预留的 2#回旋加速器机房及配套生产线、4F 和-1F 其余预留
实验室、预留化学实验室、预留用房为远期预留科研用房及其配套用房，暂不启
用，建设单位将根据发展及资金配置情况，在项目建设前对照《建设项目环境影
响评价分类管理名录》按要求开展环境影响评价工作，因此，本项目不包括上述
内容。

2-1#化药厂房由其他单位负责运营（建设单位暂未确定），待建设单位确定后，
将由确定的建设单位对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》按要求开展环
境影响评价工作，因此，本项目不包括上述内容。

1.2.3 本项目基本情况

强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）（项目代码：
2412-500356-04-02-748515）位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块 2-2#核药厂房
（地上 4 层，地下 1 层），占地面积为 2609 平方米，分两阶段建设，本次评价内
容为第一阶段（以下简称“本项目”）。

本项目建筑面积为 11735 平方米，建设 1#回旋加速器机房及生产场所、药物
生产及质检场所、研发实验场所、动物细胞实验场所及配套公辅工程、储运工程
和环保工程。共涉及 2 个甲级非密封放射性物质工作场所、2 个乙级非密封放射性
物质工作场所、1 台 I 类射线装置、2 台 III 类射线装置。按楼层从低到高，项目主
要包括：

一层 1#回旋加速器机房及生产场所，属 1 个甲级非密封放射性工作场所，建
设 1 间 1#回旋加速器机房、4 条药物生产线（分为 1-1 生产线至 1-4 生产线）及相
关辅助用房，在 1#回旋加速器机房内安装使用 1 台质子回旋加速器（最大能量为
30MeV，最大束流强度 750 μ A，属 I 类射线装置），经制靶、打靶、分离、纯化、
分装等工序进行 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共 7 种放射性核素的生

产、使用和销售。

二层药物生产及质检场所，属 1 个甲级非密封放射性工作场所，建设生产区（包括 4 条药物生产线，分别为 2-1 生产线至 2-4 生产线）、质检区及相关辅助用房，在生产区外购钼铈发生器 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 及 ^{68}Ge 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 5 种核素原液，经淋洗、标记、纯化、分装等工序进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ge 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 6 种放射性核素的生产、使用和销售；在质检区对 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 11 种本单位生产的放射性核素开展质检。

三层研发实验场所，属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设实验室（分为涉核实验区和普通实验区）及配套用房，使用 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 共 14 种放射性核素开展标记物质研究开发工作。

四层动物细胞实验场所，属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、分装室、注射室、血液生化实验室、放射性动物饲养室、留观室及相关辅助用房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），在 SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 、 ^{44}Sc 共 13 种放射性核素用于非临床药代动力学及药理性、毒理性实验和非临床阶段的动物实验（实验对象为实验大鼠、小鼠、豚鼠、兔子、犬类，均为 SPF 级（无特定病原体动物）实验动物）。

项目总投资约万元，其中环保投资约 xx 万元。

1.2.4 区域规划及产业政策符合性

（1）产业政策符合性分析

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类“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。项目经重庆高新区改革发展局以“xxxx”备案，因此，项目的建设符合国家及地方产业

政策。

(2) 市场准入政策符合性分析

《市场准入负面清单（2022年版）》（发改体改规〔2022〕397号）指出“未经许可，不得从事涉核、放射性物品生产、运输和经营”，许可准入措施为“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的辐射安全许可”。因此，拟建项目在取得辐射安全许可的前提下，可从事涉核、放射性物品生产、运输和经营。

(3) 《重庆市发展和改革委员会关于印发重庆市产业投资准入工作手册的通知》（渝发改投资〔2022〕1436号）、《重庆市发展和改革委员会、重庆市经济和信息化委员会关于严格工业布局和准入的通知》（渝发改工〔2018〕781号）、《四川省、重庆市长江经济带发展负面清单实施细则（试行，2022年版）》（川长江办〔2022〕17号）符合性分析

根据《重庆市产业园区规划环境影响评价与建设项目环境影响评价联动实施方案（试行）》（渝环规〔2022〕2号），位于已进行规划环评产业园的项目，可直接引用规划环评已经论述的相关法律法规及环保政策符合性的结论，项目环评着重分析与新颁布实施的法律、法规及环保政策的符合性。

本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）内，《重庆高新区西彭组团 Q 标准分区（部分）（巴福片区）规划环境影响报告书》已通过重庆高新区生态环境局的审查并取得了审查意见函（渝高新环函〔2021〕073号）。故本项目可直接引用园区规划环评结论。

本项目为医用同位素特别是先进治疗、诊断用同位素的生产与研发项目，经后文分析，与园区、区域产业政策相符，符合《重庆市发展和改革委员会关于印发重庆市产业投资准入工作手册的通知》（渝发改投资〔2022〕1436号）、《重庆市发展和改革委员会、重庆市经济和信息化委员会关于严格工业布局和准入的通知》（渝发改工〔2018〕781号）、《四川省、重庆市长江经济带发展负面清单实施细则（试行，2022年版）》（川长江办〔2022〕17号）等文件相关要求，因此不再对上述文件进行重复分析。

(4) 与《重庆市生物医药产业“十四五”规划》符合性

表1-1 与《重庆市生物医药产业“十四五”规划》符合性分析

序号	管理要求	符合性分析
1	(二) 基本原则。 坚持系统推进。全面提升生物医药产业链供应链现代化水平，优化产业布局和区域布局，推动产业绿色化发展。	项目建设可提升同位素研发产业链现代化水平，符合规划要求。
2	(三) 发展目标。 三、重点任务 2.提升化学药产业技术水平。围绕急性传染性疾病及恶性肿瘤、心脑血管、呼吸系统、神经系统等重大疾病领域，大力开发特色原料药、高质量仿制药、高端制剂、临床短缺药物，提升化学原料药绿色发展水平。 ……核医药领域，以专用加速器技术为重点，推动创新型靶向抗癌的同位素类药物、医用同位素设备等产品开发，推进高端加速器项目建设。	项目产品属于靶向抗癌的同位素类药物、同步开展医用同位素药物研发，符合规划。

由上表可知，本项目符合《关于印发重庆市生物医药产业“十四五”规划的通知》（渝经信医药〔2022〕12号）相关要求。

(5) 土地利用规划的符合性

项目选址位于重庆高新区西彭组团Q标准分区Q7-3/05地块，用地性质为M2工业用地，项目用地性质符合土地利用规划要求。

(6) 规划政策符合性

根据《西部科学城重庆高新技术产业开发区（直管园）规划环境影响报告书》及其审查意见可知，原高新区西区中的白市驿产业园、石板组团（涉农物流园）整合为生命科技园A区，原九龙园区C区启动区、西彭组团Q标准分区（部分）（原九龙园区拓展区（巴福片区））整合为生命科技园B区。

生命科技园A区规划面积21.48km²，产业定位为：汽摩整车及零部件、智能装备、新材料，生物药及化学药制剂研究及制造、医疗器械；生命科技园B区规划面积9.39km²，产业定位为：汽摩整车及零部件、智能装备、新材料，新能源及新型储能，核医药、生物药及化学药制剂研究及制造、医疗器械。

本项目位于重庆高新区西彭组团Q7-3/05地块2-2#核药厂房，用地依托“中子科学基地建设项目”，用地范围位于重庆高新区生命科技园B区。本项目主要进行医用同位素特别是先进治疗、诊断用同位素的生产与研发，可以满足医疗健康（中子治疗、同位素药物生产等）、同位素生产等技术研发及应用的需求，为核医药研

究及制造进行配套研发服务，符合生命科技园 B 区产业定位。

(7) 重庆市“三线一单”符合性分析

本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块，根据《重庆市“三线一单”生态环境分区管控调整方案（2023 年）》，本项目位于重点管控单元，与重庆市生态环境分区管控方案符合性分析结果见下表。

表1-2 与重庆市生态环境分区管控方案符合性分析一览表

管控类型	管控要求	本项目情况	是否符合
空间布局约束	第一条 深入贯彻习近平生态文明思想，筑牢长江上游重要生态屏障，推动优势区域重点发展、生态功能区重点保护、城乡融合发展，优化重点区域、流域、产业的空间布局。	本项目位于中子科学基地内，符合园区产业定位。	符合
	第二条 禁止在长江干支流、重要湖泊岸线一公里范围内新建、扩建化工园区和化工项目。禁止在长江干流岸线三公里范围内和重要支流岸线一公里范围内新建、改建、扩建尾矿库、冶炼渣库、磷石膏库，以提升安全、生态环境保护水平为目的的改建除外。禁止在长江、嘉陵江、乌江岸线一公里范围内布局新建重化工、纸浆制造、印染等存在环境风险的项目。	本项目为核技术利用项目，不涉及化工项目和尾矿库项目。	符合
	第三条 禁止在合规园区外新建、扩建钢铁、石化、化工、焦化、建材、有色、制浆造纸等高污染项目（高污染项目严格按照《环境保护综合名录》“高污染”产品名录执行）。禁止新建、扩建不符合国家石化、现代煤化工等产业布局规划的项目。新建、改建、扩建“两高”项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，满足重点污染物排放总量控制、碳排放达峰目标、生态环境准入清单、相关规划环评和相应行业建设项目环境准入条件、环评文件审批原则要求。	本项目不属于两高类项目。	符合
	第四条 严把项目准入关口，对不符合要求的高耗能、高排放、低水平项目坚决不予准入。除在安全或者产业布局等方面有特殊要求的项目外，新建有污染物排放的工业项目应当进入工业集聚区。新建化工项目应当进入全市统一布局的化工产业集聚区。鼓励现有工业项目、化工项目分别搬入工业集聚区、化工产业集聚区。	本项目涉及设备均为节能设备，不属于两高项目。本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块 2-2# 核药厂房，用地依托“中子科学基地建设项目”，用地范围位于重庆高新区生命科技园 B 区。	符合
	第五条 新建、扩建有色金属冶炼、电镀、铅蓄电池等企业应布设在依法合规设立并经过规划环评的产业园区。	本项目不属于新建、扩建有色金属冶炼、电镀、铅蓄电池项目。	符合
	第六条 涉及环境防护距离的工业企业或项目应通过选址或调整布局原则上将环境防护距离控制在园区边界或用地红线内，提前合理规划项目地块布置、预防环境风险。	本项目不涉及环境防护距离。	符合
	第七条 有效规范空间开发秩序，合理控制空间开发强度，切实将各类开发活动限制在资源环境承载能力之	本项目位于中子科学基地内，用地性质符合土地利	符合

管控类型	管控要求	本项目情况	是否符合
	内,为构建高效协调可持续的国土空间开发格局奠定坚实基础。	用规划要求。	
污染物排放管控	第八条 新建石化、煤化工、燃煤发电(含热电)、钢铁、有色金属冶炼、制浆造纸行业依据区域环境质量改善目标,制定配套区域污染物削减方案,采取有效的污染物区域削减措施,腾出足够的环境容量。严格按照国家及我市有关规定,对钢铁、水泥熟料、平板玻璃、电解铝等行业新建、扩建项目实行产能等量或减量置换。国家或地方已出台超低排放要求的“两高”行业建设项目应满足超低排放要求。加强水泥和平板玻璃行业差别化管理,新改扩建项目严格落实相关产业政策要求,满足能效标杆水平、环保绩效 A 级指标要求。	本项目不涉及。	符合
	第九条 严格落实国家及我市大气污染防治相关要求,对大气环境质量未达标地区,新建、改扩建项目实施更严格的污染物排放总量控制要求。严格落实区域削减要求,所在区域、流域控制单元环境质量未达到国家或者地方环境质量的,建设项目需提出有效的区域削减方案,主要污染物实行区域倍量削减。	本项目所在区域大气环境质量不达标,超标因子为 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 。本项目运营期不产生颗粒物和氮氧化物,因此不涉及总量控制要求。	符合
	第十条 在重点行业(石化、化工、工业涂装、包装印刷、油品储运销等)推进挥发性有机物综合治理,推动低挥发性有机物原辅材料和产品源头替代,推广使用低挥发性有机物含量产品,推动纳入政府绿色采购名录。有条件的工业集聚区建设集中喷涂工程中心,配备高效治污设施,替代企业独立喷涂工序,对涉及喷漆、喷粉、印刷等废气进行集中处理。	本项目不涉及。	/
	第十一条 工业集聚区应当按照有关规定配套建设相应的污水集中处理设施,安装自动监测设备,工业集聚区内的企业向污水集中处理设施排放工业废水的,应当按照国家有关规定进行预处理,达到集中处理设施处理工艺要求后方可排放。	本项目产生的放射性废液(除 ^{68}Ge)通过衰变池进行暂存,暂存时间满足清洁解控要求后,半衰期小于 24 小时的排入园区污水处理站进一步处理,半衰期大于 24 小时的,监测达标(总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L)并经生态环境主管部门认可后,按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放排入园区污水处理站进一步处理,含 ^{68}Ge 废液暂存委托有资质的单位进行处理。	符合
	第十二条 推进乡镇生活污水处理设施达标改造。新建城市生活污水处理厂全部按照一级 A 标及以上排放标准设计、施工、验收,建制镇生活污水处理设施出水水质不得低于一级 B 标排放标准;对现有截留制排水管网实施雨污分流改造,针对无法彻底雨污分流的老城区,尊重现实合理保留截留制区域,合理提高截留倍数;对新建的排水管网,全部按照雨污分流模式实施建设。	本项目不涉及。	/

管控类型	管控要求	本项目情况	是否符合
	第十三条 新、改、扩建重点行业（重有色金属矿采选业（铜、铅锌、镍钴、锡、锑和汞矿采选）、重有色金属冶炼业（铜、铅锌、镍钴、锡、锑和汞冶炼）、铅蓄电池制造业、皮革鞣制加工业、化学原料及化学制品制造业（电石法聚氯乙烯制造、铬盐制造、以工业固废为原料的锌无机化合物工业等）、电镀行业）重点重金属污染物排放执行“等量替代”原则。	本项目不涉及。	/
污染物排放管控	第十四条 固体废物污染环境防治坚持减量化、资源化和无害化的原则。产生工业固体废物的单位应当建立健全工业固体废物产生、收集、贮存、运输、利用、处置全过程的污染环境防治责任制度，建立工业固体废物管理台账。	本项目工作人员生活垃圾依托“中子科学基地建设项目”生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理；一般固废定期交物资回收单位综合利用；放射性固废存于放射性固体废物暂存库，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位/生产厂家回收处理。	符合
	第十五条 建设分类投放、分类收集、分类运输、分类处理的生活垃圾处理系统。合理布局生活垃圾分类收集站点，完善分类运输系统，加快补齐分类收集转运设施能力短板。强化“无废城市”制度、技术、市场、监管、全民行动“五大体系”建设，推进城市固体废物精细化管理。	本项目工作人员生活垃圾依托“中子科学基地建设项目”生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理；一般固体废物定期交物资回收单位综合利用；放射性固废存于放射性固体废物暂存库/动物尸体冷冻暂存库暂存，满足清洁解控水平的废物，处死的动物尸体或解剖的组织器官在清洁解控后应交给有相应资质单位集中作无害化处理；达到清洁解控水平后动物实验产生的废医用器具以及废过滤芯作为危险废物管理，交有相应资质单位处理，其他固体废物清洁解控后作为一般固体废物处理；无法解控的定期交给有资质的单位/生产厂家处理。	符合
环境风险防控	第十六条 深入开展行政区域、重点流域、重点饮用水源、化工园区等突发环境事件风险评估，建立区域突发环境事件风险评估数据信息获取与动态更新机制。落实企业突发环境事件风险评估制度，推进突发环境事件风险分类分级管理，严格监管重大突发环境事件风险企业。	本项目拟根据项目特点制定《突发环境事件风险应急预案》和《辐射事故应急预案》。	符合
	第十七条 强化化工园区涉水突发环境事件四级环境风	本项目不涉及涉水突发环	符合

管控类型	管控要求	本项目情况	是否符合
	险防范体系建设。持续推进重点化工园区（化工集中区）建设有毒有害气体监测预警体系和水质生物毒性预警体系。	境事件，本项目位于重庆高新区生命科技园B区，园区定位为新能源及新型储能，核医药、生物药及化学药制剂研究及制造、医疗器械，不属于化工集中区。	
资源利用效率	第十八条 实施能源领域碳达峰碳中和行动，科学有序推动能源生产消费方式绿色低碳变革。实施可再生能源替代，减少化石能源消费。加强产业布局和能耗“双控”政策衔接，促进重点用能领域用能结构优化和能效提升。	本项目主要能源为电能，所有能源为清洁能源，不涉及化石能源。	符合
	第十九条 鼓励企业对标能耗限额标准先进值或国际先进水平，加快主要产品工艺升级与绿色化改造，推动工业窑炉、锅炉、电机、压缩机、泵、变压器等重点用能设备系统节能改造。推动现有企业、园区生产过程清洁化转型，精准提升市场主体绿色低碳水平，引导绿色园区低碳发展。	本项目主要能源为电能，为清洁能源。	符合
	第二十条 新建、扩建“两高”项目应采用先进适用的工艺技术和装备，单位产品物耗、能耗、水耗等达到清洁生产先进水平。	本项目不属于两高类项目。	符合
	第二十一条 推进企业内部工业用水循环利用、园区内企业间用水系统集成优化。开展火电、石化、有色金属、造纸、印染等高耗水行业工业废水循环利用示范。根据区域水资源禀赋和行业特点，结合用水总量控制措施，引导区域工业布局和产业结构调整，大力推广工业水循环利用，加快淘汰落后用水工艺和技术。	本项目仅涉及少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水，不涉及大量用水。	符合
	第二十二条 加快推进节水配套设施建设，加强再生水、雨水等非常规水多元、梯级和安全利用，逐年提高非常规水利用比例。结合现有污水处理设施提标升级扩能改造，系统规划城镇污水再生利用设施。	本项目仅涉及少量生活用水以及去污清洁用水，不涉及大量用水。	符合

(8) 区域“三线一单”符合性

本项目位于重庆高新区西彭组团Q7-3/05地块中子科学基地，根据重庆市“三线一单”智检服务出具的报告，本项目所在地属于“高新区工业城镇重点管控单元-九龙坡部分”（单元代码ZH50010720003），本项目与区域“三线一单”符合性分析见下表。

表1-3 与区域生态环境管控要求符合性分析一览表

执行的市级总体管控要求	管控类别	管控要求	本项目情况	是否符合
重点管控单元，主城区总	空间布局约束	1. 按照“关停取缔一批、治理改造一批”的原则，对环境问题突出又无法	本项目位于工业园区内，为核技术利用	符合

执行的市级 总体管控要求	管控类别	管控要求	本项目情况	是否符合
体管控方向， 高新区总体 管控要求		彻底整治的企业依法关停；对符合空间规划、产业规划且具备升级改造条件的企业，实施治理改造后，纳入日常监管。2. 紧邻居住、科教、医院等环境敏感点的工业用地在引入工业项目时，应优化用地和项目布局，减少对居住区等环境敏感点的影响。3. 禁止引入单纯电镀企业。	项目，评价范围现有周边居民点均为规划待拆迁点，无科教、医院等环境敏感点。建设单位不属于单纯电镀企业。	
重点管控单元，主城区总体管控方向， 高新区总体 管控要求	污染物排放管控	1.加强工业废水处理设施运行监管，九龙园区 C 区污水处理厂按要求设置事故池并适时启动该污水厂扩建工程。2.推进金凤污水处理厂建设，其尾水均执行《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB50/963-2020）。3.梁滩河流域原则上不开展工业用水取水，若需取水应进行水资源及水环境影响论证。4.含病原微生物或药物活性成分的实验室废水、动物房废水等，应单独收集并进行灭菌、灭活预处理后，再与其他废水一并进入污水处理系统处理。5.制药、电子设备制造、包装印刷、家具制造及其他产生含挥发性有机物废气的生产和服务活动，应当在密闭空间或者设备中进行，并按照规定安装、使用污染防治设施，保持正常运行；无法密闭的，应当采取措施减少废气排放。6.加大工业节水力度，提倡和鼓励企业进行中水回用，发展循环经济，以减少新鲜水用量、提高工业用水重复利用率。7.加快实施雨污分流工程，城镇新区建设均应实行雨污分流，实施巴福、石板、走马镇老场镇雨污分流改造，难以改造的应采取截流、调蓄和治理等措施。到 2025 年，规模 500t/d 以上的城镇生活污水处理设施安装在线监测设施。8.汽车维修企业对容易产生 VOCs 的涂装作业要在密闭的空间进行，并按照规定安装、使用污染防治设施；含 VOCs 物料转移应采用密闭容器等；在进行油漆的调配时，应采取有效收集措施并在密闭的调漆间中操作；前处理、中涂、喷涂、流平、烘干等工序及喷枪清洗等作业区域，应在密闭空间中操作，所产生的废气遵循“应收尽收”的原则，科学	实验动物拟采购无特定病原体的实验动物，未注射放射性药物的实验动物饲养过程产生的吸附有动物尿液的垫料及粪便，达到清洁解控水平的动物粪便、尸体及组织器官，定期交资质单位进行无害化处理。 本项目产生的实验废水不含病原微生物或药物活性成分，第一遍清洗液作为危险废物交给有资质的单位处理；第二、三遍清洗液及其他含有放射性核素的实验废水由衰变池收集后，暂存满足解控要求后与其他非放工艺废水与生活污水依托“中子科学基地建设项目”污水处理站处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网。 本项目不使用高污染燃料、不属于汽车维修企业、不属于餐饮企业。 本项目产生的废气主要为放射性废气，	符合

执行的市级 总体管控要 求	管控类别	管控要求	本项目情况	是否符 合
		设置废气收集管道集中收集,并导入VOCs 处理系统。9.餐饮企业产生特殊气味并对周边敏感目标造成影响时,应采取有效除味措施。10.继续加强梁滩河流域水资源、水环境、水生态统筹治理,推进河流水环境质量改善。11.推进白含污水处理厂(三期)建设,出水水质执行地表水准 IV 类标准。	另外生产、实验操作过程中伴随少量酸雾(硫酸、盐酸等)、TVOC,动物饲养恶臭气体,生产、质检、实验操作均在密闭箱体或罐体内进行操作,其他均拟设置独立的排风系统对废气进行收集,由活性炭过滤装置净化后,高于屋面 3m 排放。	
重点管控单元,主城区总体管控方向,高新区总体管控要求	环境风险 防控	1.土壤污染重点监管单位生产经营地的用途变更或者其土地使用权收回、转让的,应当依法开展土壤污染状况调查,编制土壤污染状况调查报告。2.金凤高新技术产业园、生命健康园在园区发展过程中,根据园区实际情况,应编制并定期修订园区环境风险评估报告及应急预案,并在重庆高新区生态环境局备案。同时完善环境风险应急体系建设。3.工业集聚区内的项目对水环境存在安全隐患的,应当建立车间、工厂和集聚区三级环境风险防范体系。	本项目不涉及土壤污染。建设单位拟制定《辐射事故应急预案》,衰变池、危废暂存间拟采取防渗措施,采取措施后,不会对周围地下水产生影响。	符合
重点管控单元,主城区总体管控方向,高新区总体管控要求	资源开发 效率要求	1.新建、改建、扩建工业项目清洁生产水平应达到国内先进水平。2.禁止新建、改扩建采用高污染燃料的项目和设施。严格执行高污染燃料禁燃区规定。3.以国家、重庆市发布的产业用水定额为指导,强化区内企业节水管理。	本项目为核技术利用项目,不属于工业项目,不属于使用高污染燃料项目。 本项目仅涉及少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水,涉及设备均为节能设备。	符合

(9) 园区规划环境影响报告书审查意见符合性分析

本项目位于生命科技园 B 区,《西部科学城重庆高新技术产业开发区(直管园)规划环境影响报告书》已取得重庆市生态环境局审查意见(渝环函(2024)581 号)。本项目与园区规划环境影响报告书审查意见符合性分析详见下表。

表1-4 与园区规划环境影响报告书审查意见符合性分析一览表

审查意见要求	本项目情况	符合性
--------	-------	-----

审查意见要求	本项目情况	符合性
(一) 严格生态环境准入 强化规划环评与生态环境分区管控的联动，主要管控措施应符合重庆市及高新区生态环境分区管控要求。严格建设项目环境准入，入驻工业企业需符合国家和重庆市相关产业、环境准入要求以及《报告书》制定的生态环境管控要求。	本项目符合重庆市“三线一单”管控要求和《西部科学城重庆高新技术产业开发区（直管园）规划环境影响报告书》及园区“三线一单”生态环境管控要求。	符合
(二) 空间布局约束 合理布局有防护距离要求的工业企业，规划范围内梁滩河、莲花滩河河道外绿化缓冲带按《重庆市水污染防治条例》等相关要求控制。建议未开发工业用地与居住用地之间设置一定的控制带，避免产城融合矛盾。生命科技园 A 区东侧临近白市驿城市花卉市级森林公园的工业用地布置污染影响相对较小的非生产性设施，规划工业用地涉及歌乐山风景名胜区一类区 300m 缓冲带，环境空气质量应满足一类环境空气质量功能区标准要求。白市驿县级自然保护区内建设活动应严格执行《中华人民共和国自然保护区条例》管控要求。	本项目位于生命科技园 B 区内，选址不涉及生命科技园 A 区、白市驿县级自然保护区。本项目主要进行医用同位素特别是先进治疗、诊断用同位素的生产与研发，符合生命科技园 B 区产业定位。本项目不涉及防护距离。	符合
(三) 污染排放管控 1. 大气污染物排放管控。 规划区采用天然气、电力等清洁能源，禁止燃煤和重油等高污染燃料。入驻企业生产废气应采用高效的收集措施和先进的污染防治设施，确保工艺废气稳定达标排放。涉及挥发性有机物排放的项目应从源头加强控制，优先使用低（无）VOCs 含量的原辅料，并严格按照国家及重庆市关于挥发性有机物治理的相关要求落实污染防治措施。严格控制工业企业粉尘无组织排放，加强工业企业臭气、异味的污染防治，确保厂界达标，减轻对周边环境敏感目标的影响。加强对施工、道路扬尘的治理和监管。区域餐厨、机动车维修业等服务业经营者应当使用清洁能源，安装油烟、废气等净化设施，确保大气污染物达标排放，预防臭气扰民。加快推进与规划土地利用性质不符的现存工业企业搬迁或污染治理设施升级改造，提高废气收集及处理效率，减少区域产城融合矛盾。	本项目不使用高污染燃料。 本项目产生的废气主要是放射性废气，另外生产、实验操作过程中伴随少量酸雾（硫酸、盐酸等）、TVOC，动物饲养恶臭气体，生产、质检、实验操作均在密闭箱体或罐体内进行操作，其他均拟设置独立的排风系统对废气进行收集，由活性炭过滤装置净化后，高于屋面 3m 排放。	符合
2. 水污染排放管控 规划区实施雨污分流制，后续应加快完善规划区雨污管网建设，确保污水得到有效收集和彻底实现雨污分流。西永微电园、西永综保区产业片区废水进入西永污水处理厂；金凤高技术产业园 A 区、B 区、C 区产业片区进入土主污水处理厂、金凤污水处理厂、白含污水处理厂；生命科技园 A 区、B 区、C 区产业片区废水分别进入白含污水处理厂（A 区）、九龙园区污水处理厂（B 区）、走马乐园污水处理厂（C 区）。西永污水处理厂、土主污水处理厂、白含污水处理厂尾水执行《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB50/963-2020）表 1 重点控制区域标准限制，其它未规定污染因子执行《城镇污水处理厂污染物排放标	本项目主要产生放射性废液，涉及第一类污染物（总 α、总 β），废水在衰变池内暂存至满足解控水平进行清洁解控，无法满足解控水平的外委有资质单位处理。另外涉及产生少量生活污水以及冲洗、清洁废水，依托“中子科学基地建设项目”污水处理站预处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网。不属于大用水量、排水量项	符合

审查意见要求	本项目情况	符合性
准》(GB18918-2002)一级 A 标准,尾水排入梁滩河。金凤污水处理厂尾水 COD、BOD、氨氮、TP 四项指标达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV 类标准,其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级标准的 A 标准,尾水排入莲花滩河。九龙园区污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 A 标准后排入肖家河。走马乐园污水厂出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 A 标准,尾水排放至大溪河。 规划区污水有行业排放标准的预处理达行业标准中的间接排放标准,其中电子行业涉重废水达直排标准,无行业标准的预处理达《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准或污水处理厂接管要求。高新区内各集中式污水处理厂应结合区内企业入驻情况及污废水处理需求适时启动扩建工程,以满足规划区污废水处理需求。金凤污水处理厂、白含污水处理厂规划建设废水回用系统,提高工业用水重复利用率,减少废水排放量。	目。 厂区内拟设置雨污分流。	符合
3.噪声污染管控 合理布局企业噪声源,高噪声源企业选址和布局尽量远离居住等声环境敏感目标;入驻企业应优先选择低噪声设备,采取消声、隔声、减振等措施,确保厂界噪声达标。合理规划建筑布局和采取相应的隔声降噪措施,加强区域施工噪声治理措施和监管,减轻规划区交通噪声和施工噪声影响。	本项目噪声源主要是排风机,安装于厂房屋面,通过采用低噪声设备、减震等措施后,厂界噪声满足标准限值要求。	符合
4.固体废物排放管控 鼓励企业自行回收利用一般工业固体废物,按照减量化、资源化、无害化原则,加强一般工业固体废物综合利用和处置。危险废物产生单位严格落实危险废物环境管理制度,做好危险废物管理计划和管理台账,对企业危险废物收集、贮存、运输、利用、处置各环节进行全过程环境监管。	本项目工作人员生活垃圾依托“中子科学基地建设项目”生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理;一般固废定期交物资回收单位综合利用或委托有资质单位进行无害化处理;危险废物暂存于负一层的危险废物暂存库暂存,定期交由有相应资质单位处理。 放射性固废存于放射性固体废物暂存库/动物尸体冷冻暂存库暂存,满足清洁解控水平的废物,处死的动物尸体或解剖的组织器官在清洁解控后应交给有相应资质单位集中作无害化处理;达到清洁解控水平后动物实验产生的废医用器具以及废过滤芯作为危险废物管理,交有相应资质单位处理,其他固体废物清洁解控后作为一般固体废物处理;	符合

审查意见要求	本项目情况	符合性
	无法解控的定期交给有资质的单位/生产厂家处理。	
5.土壤、地下水污染防治。 按源头防控的原则，可能产生地下水、土壤污染的企业，应严格落实分区、分级防渗措施，防范规划实施对土壤、地下水环境造成污染。定期开展土壤、地下水跟踪监测，根据监测结果完善污染防治措施，确保规划区土壤、地下水环境质量稳定达标。腾退的工业企业土地用途变更为住宅用地、公共管理与公共服务用地的，严格执行土壤污染防治法的相关要求。	本项目不涉及土壤、地下水污染。建设单位拟制定《辐射事故应急预案》，衰变池、危废暂存间等拟采取防渗措施，采取措施后，不会对土壤和地下水产生影响。	符合
（四）强化环境风险 规划区应完善环境风险防范体系，三大产业片区应按要求编制、修订突发环境事件风险评估和应急预案，定期开展应急演练。各产业片区应按照《报告书》要求尽快建设片区级事故池和雨水切换阀，片区级事故池建成前，不得新建环境风险潜势Ⅲ级及以上的项目。加强对企业环境风险源的监督管理，相关企业应严格落实各项环境风险防范措施，建立企业、镇街、平台公司与高新区管委会之间的环境风险联动机制，防范突发性环境风险事故发生。	本项目建成后，建设单位拟制定《突发环境事件风险应急预案》和《辐射安全事故应急预案》，并拟按计划1年开展一次应急演练。	符合
（五）温室气体排放管控 规划区能源主要以天然气和电力为主，按照碳达峰、碳中和和相关政策要求，统筹抓好碳排放控制管理和生态环境保护工作，推动实现减污降碳。督促规划区企业采用先进的生产工艺，提高能源综合利用效率，从源头减少和控制温室气体排放，推动减污降碳协同共治，促进规划区产业绿色低碳循环发展。	本项目采用电能等清洁能源，涉及设备均为节能设备。	符合
（六）规范环境管理 加强日常环境监管，执行建设项目环境影响评价和固定污染源排污许可制度。规划区应建立环境空气、地表水、地下水、土壤等环境要素的监控体系，落实环境跟踪监测计划，适时开展环境影响跟踪评价；规划范围、规模及结构、布局等方面进行重大调整，应重新进行规划环境影响评价。 规划区拟引入的建设项目，应结合规划环评提出的指导意见做好环境影响评价工作，加强与规划环评的联动，重点做好工程分析、污染物允许排放量测算和环保措施可行性论证等内容。规划环评中规划协调性分析、环境质量现状、污染源调查等符合要求的资料可供建设项目环评共享。	本项目严格按照法律法规要求，执行建设项目环境影响评价和固定污染源排污许可制度。	符合

1.2.5项目外环境关系

本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地，中子科学基地东侧为规划道路广源路，南侧为规划道路国福路，西侧为规划道路国福支路，北侧

为规划道路景文支路。中子科学基地东侧未来入驻企业为国电投核素同创（重庆）科技有限公司，其他四周相邻地块当前暂无明确入驻企业及其他规划内容。

公司所在建筑位于中子科学基地内 2-2#核药厂房，地理位置见附图 1。根据现场踏勘情况并结合园区用地规划图可知，本项目所在的 2-2#核药厂房东侧为室外道路，隔路为 1#中子源厂房；南侧为室外道路，隔路为 3#中子治疗厂房；西侧为国福支路，隔路为空地，规划为工业用地；北侧为 2-1#化药厂房、景文支路，隔路为规划工业用地。项目周边环境关系见附图 6。

周围现有居民点仅地块东北及西北侧剩余待拆迁的钟鹤村零星散户。距离本项目最近的学校为西南侧约 678m 处的重庆交通大学科学城校区。

1.2.6 现有核技术利用项目环保手续履行情况

公司此前未从事过核技术利用相关活动，本次为首次申请环境影响评价审批。

1.2.7 中子科学基地及周围已批复核技术利用项目

本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 2-2#核药厂房。经调查，本项目评价范围 500m 内，现已批复 4 个核技术利用项目。

1.3编制依据

1.3.1法律、法规

(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2014 年), 自 2015 年 1 月 1 日起施行;

(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第 48 号 2016 年修订, 2016 年 9 月 1 日起施行) 及《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》(第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议, 2018 年 12 月 29 日);

(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年), 自 2003 年 10 月 1 日起实施;

(4) 《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), 自 2017 年 10 月 1 日起施行;

(5) 《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;

(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 709 号, 2019 年), 自 2019 年 3 月 2 日起施行;

(7) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号, 2012 年), 自 2012 年 3 月 1 日起施行;

(8) 《放射性物品运输安全管理条例》(中华人民共和国国务院令第 562 号, 2010 年), 自 2010 年 1 月 1 日起施行;

(9) 《放射性物品运输安全监督管理办法》(2016 年 3 月 14 日, 环境保护部令 第 38 号公布自 2016 年 5 月 1 日起施行);

(10) 《放射性物品运输安全许可管理办法》(2010 年 9 月 25 日, 环境保护部令 第 11 号公布, 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);

(11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令 第 18 号), 2011 年 5 月 1 日起施行;

(12) 《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 日第一次修改, 2017 年 12 月

20 日第二次修改，2019 年 8 月 22 日第三次修改，2021 年 1 月 4 日第四次修改)；

(13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号)，2020 年 1 月 1 日起施行；

(14) 《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)；

(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430 号，2016 年 3 月 7 日发布。

1.3.2 地方法规及规划

(1) 《重庆市环境保护条例》(1998 年 5 月 29 日重庆市第一届人民代表大会常务委员会第九次会议通过，2007 年 5 月 18 日重庆市第二届人民代表大会常务委员会第三十一次会议第一次修订，2010 年 7 月 23 日重庆市第三届人民代表大会常务委员会第十八次会议第一次修正，2017 年 3 月 29 日重庆市第四届人民代表大会常务委员会第三十五次会议第二次修订，2018 年 7 月 26 日重庆市第五届人民代表大会常务委员会第四次会议第二次修正，2022 年 9 月 28 日经重庆市第五届人民代表大会常务委员会第三十七次会议修订)，重庆市人民代表大会常务委员会公告〔五届〕第 202 号，2022 年 11 月 1 日施行修订版；

(2) 《重庆市辐射污染防治办法》(渝府令〔2020〕338 号)，自 2021 年 1 月 1 日起施行；

(3) 《重庆市生态环境局关于印发<重庆市“三线一单”生态环境分区管控调整方案(2023 年)>的通知》，渝环规〔2024〕2 号，2024 年 3 月 19 日施行；

(4) 《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)，2022 年 8 月 11 日施行。

(5) 《重庆高新区管委会关于印发重庆高新区生态环境保护“十四五”规划和二〇三五年远景目标的通知》(渝高新发〔2021〕20 号)；

(6) 《重庆高新区辐射事故应急预案》(渝高新办发〔2023〕50 号)，2023 年 12 月 18 日；

(7) 《重庆市建设项目环境影响评价文件分级审批目录》(2024 年修订)(渝环规〔2025〕2 号)。

1.3.3 环境保护相关导则及标准

- (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》(HJ10.1-2016);
- (2) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018);
- (3) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021);
- (4) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ2.3-2018);
- (5) 《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ19-2022);
- (6) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018);
- (7) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);
- (8) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)
- (9) 《声环境质量标准》(GB3096-2008);
- (10) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002);
- (11) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008);
- (12) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011);
- (13) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996);
- (14) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996);
- (15) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);
- (16) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》(GB11928-89);
- (17) 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019);
- (18) 《放射性物质运输包装质量保证》(GB/T15219-2009);
- (19) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);
- (20) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);
- (21) 《辐射事故应急监测技术规范》(HJ1155-2020);
- (22) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)(参考);
- (23) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)(参考);
- (24) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》(EJ380-89)(参考);
- (25) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023);
- (26) 《核技术利用设施退役》(HAD401/14-2021);
- (27) 《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(HAD401/16-2023);

- (28) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85);
- (29) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023);
- (30) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA5-2019);
- (31) 《动物X射线诊断辐射防护与安全要求》(T/ACEF117-2023)。

1.3.4产业政策

- (1) 《产业结构调整指导目录(2024年本)》(国家发展和改革委员会 令 第7号);
- (2) 《市场准入负面清单(2022年版)》(发改体改规〔2022〕397号);
- (3) 《四川省、重庆市长江经济带发展负面清单实施细则(试行,2022年版)》。

1.3.5相关文件及技术资料

- (1) 项目环境影响评价委托书;
- (2) 《中子科学基地建设项目可行性研究报告》(重庆敏航工程管理有限公司,2023年9月)(渝高新改投〔2023〕453号);
- (3) 《中子科学基地建设项目初设报告》(重庆市设计院有限公司,2023年5月)(渝高新改投〔2023〕453号);
- (4) 《辐射防护手册(第一分册)》(原子能出版社,李德平、潘自强编著);
- (5) 《辐射防护手册(第三分册)》(原子能出版社,李德平、潘自强编著);
- (6) 《辐射安全手册》(科学出版社,潘自强主编);
- (7) 《RADIATION PROTECTION DESIGN GUIDELINES FOR 0.1-100MeV PARTICLE ACCELERATOR ACILITIES》(NCRP REPORT No.51);
- (8) 《2023年重庆市辐射环境质量报告书(简化版)》;
- (9) 建设单位提供的与本项目相关的管理制度和其他技术资料。

1.4评价标准

1.4.1电离辐射标准

1.4.1.1剂量限值与剂量约束值

- (1) 剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

①职业照射

4.3.2.1 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。

B1.1.1.1 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), 20mSv;

b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv;

②公众照射

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a) 年有效剂量, 1mSv;

(2) 剂量约束值

参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021), 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。

综上, 本次评价采用剂量约束值为:

职业照射个人剂量约束值取不超过 5mSv/a;

公众照射个人剂量约束值取不超过 0.1mSv/a。

(3) 手部年当量剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 B, d) 四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。

本项目手部年当量剂量限值取不超过 500mSv/a。

1.4.1.2 剂量率控制水平

参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)与《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA5-2019)中关于工作场所屏蔽要求, 结合本项目工艺特点, 以屏蔽防护从严为原则, 确定本项目剂量率控制目标值如下:

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

等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

此外，根据文献《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》（吴青彪等，南方能源建设，2016 年第 3 卷第 3 期），同时参考日本 J-PARC 以及中国散裂中子源的辐射防护设计，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5.5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性。因此，本次评价以“ 5.5mSv/h ”作为各辐射工作场所地板外表面与土壤交界处的剂量率控制水平。

1.4.1.3 货包表面放射性控制水平

《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）

5.3 辐射水平限值

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

5.4 表面污染水平限值

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

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

1.4.1.4 工作场所表面污染控制水平

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.2.3 款：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（报告表 1-5）所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如下表所列。

表1-5 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型	α 放射性物质 (Bq/cm^2)		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
	极毒性	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	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				

1.4.1.5放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

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;

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/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm²。

1.4.1.6放射性废液

(1) 核素半衰期小于 24h 的放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

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;

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。

(2) 核素半衰期大于 24 小时的放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

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。

1.4.1.7 放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统, 合理组织工作场所的气流, 对排出工作场所的气体进行过滤净化, 避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性, 及时更换失效的过滤器, 更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函[202320 号]):

三、关于独立通风要求

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

1.4.2 非辐射标准

1.4.2.1 环境质量标准

(1) 环境空气

根据《重庆市环境空气质量功能区划分规定》(渝府发〔2016〕19 号), 项目所在区域属于二类功能区。 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准。氯化氢、硫酸、氨、硫化氢、甲苯、甲醇、

丙酮参照执行《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)“附录 D 其他污染物空气质量浓度参考限值”；非甲烷总烃 1 小时平均浓度限值参照河北省地方标准《环境空气质量 非甲烷总烃限值》(DB13/1577-2012) 进行分析。各评价指标具体标准值见下表。

表1-6 环境空气质量标准限值

序号	污染物项目	平均时间	单位	浓度限值		执行标准
				一级	二级	
1	SO ₂	年平均	μg/m ³	20	60	《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）
		24 小时平均	μg/m ³	50	150	
		1 小时平均	μg/m ³	150	500	
2	NO ₂	年平均	μg/m ³	40	40	
		24 小时平均	μg/m ³	80	80	
		1 小时平均	μg/m ³	200	200	
3	CO	24 小时平均	mg/m ³	4	4	
		1 小时平均	mg/m ³	10	10	
4	O ₃	日最大 8 小时平均	μg/m ³	100	160	
		1 小时平均	μg/m ³	160	200	
5	PM ₁₀	年平均	μg/m ³	40	70	
		24 小时平均	μg/m ³	50	150	
6	PM _{2.5}	年平均	μg/m ³	15	35	
		24 小时平均	μg/m ³	35	75	
7	氯化氢	1h 平均	μg/m ³	50		《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）“附录 D 其他污染物空气质量浓度参考限值”
		日平均	μg/m ³	15		
8	硫酸	1h 平均	μg/m ³	300		
		日平均	μg/m ³	100		
9	氨	1h 平均	μg/m ³	200		
10	硫化氢	1h 平均	μg/m ³	10		
11	甲苯	1h 平均	μg/m ³	200		
12	甲醇	1h 平均	μg/m ³	3000		
		日平均	μg/m ³	1000		
13	丙酮	1h 平均	μg/m ³	800		
14	非甲烷总烃	1 小时平均	mg/m ³	1.0	2.0	《环境空气质量标准 非甲烷总烃限值》(DB13/1577-2012)

(2) 地表水

本项目所在区域地表径流经肖家河、大溪河汇入长江。根据《重庆市人民政府批转重庆市地表水环境功能类别调整方案的通知》(渝府发〔2012〕4 号)，长江

主城区段（大溪河口~明月沱）执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水质标准，与本项目相关的主要指标限值见下表。

表1-7 与本项目相关的地表水环境质量评价标准（mg/L）

序号	标准值分类项目	Ⅲ类
1	总氮≤	1.0
2	化学需氧量（COD）≤	20
3	氨氮（NH ₃ -N）≤	1.0
4	总磷≤	0.2

（3）声环境

本项目位于重庆高新区巴福镇，根据《重庆市生态环境局关于印发<重庆市中心城区声环境功能区划分方案>（2023年）的函》（渝环〔2023〕61号），本项目所在区域为3类声功能区，执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准，限值详见下表。

表1-8 声环境质量标准 单位：dB（A）

类别	适用区域	昼间	夜间
3类	3类声环境功能区	65	55

1.4.2.2 污染物排放标准

（1）废气

本项目产生的非放射性废气主要是放射性药物生产、实验、研发过程伴随产生的废气，NMHC、苯及苯系物、氯化氢、硫化氢、氨参考执行《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）表2特别排放标准限值要求；GB37823-2019未规定的硫酸雾、甲醇污染物执行重庆市《大气污染物综合排放标准》（DB50/418-2016）表1标准限值要求；恶臭污染物执行《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）；详见表1-9至表1-12。

表1-9 《制药工业大气污染物排放标准》（GB 37823-2019） 单位：mg/m³

序号	污染物项目	大气污染物最高允许排放浓度（mg/m ³ ）	无组织排放监控点浓度限值（mg/m ³ ）	污染物排放监控位置
1	NMHC	100	—	车间或生产设施排气筒
2	苯	4	—	
3	苯系物	60	—	
4	氯化氢	30	—	

序号	污染物项目	大气污染物最高允许排放浓度 (mg/m ³)	无组织排放监控点 浓度限值 (mg/m ³)	污染物排放监 控位置
5	硫化氢	—	0.2	
6	氨	30	—	

表1-10 大气污染物排放限值 (DB50/418-2016)

序号	污染物项目	大气污染物最高允许排 放浓度 (mg/m ³)		与排气筒高度对应的大气污 染物最高允许排放速率 (kg/h)		无组织排放监控 点浓度限值 (mg/m ³)
				20m	30m	
1	硫酸雾	/	45	2.6	8.8	1.2
2	甲醇	/	190	8.6	29	12

表1-11 《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB37822-2019) 表 A.1

污染物项目	排放限 值, mg/m ³	特别排放限 值, mg/m ³	限值含义	无组织排放监控位置
NMHC	10	6	监控点处 1h 平均浓度值	在厂房外设置监控点
	30	20	监控点处任意一次浓度值	

表1-12 《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)

序号	控制项目	单位	二级(新扩改建)
1	NH ₃	mg/m ³	1.5
2	H ₂ S	mg/m ³	0.06
3	臭气浓度	无量纲	20

(2) 废水

本项目产生生活污水、清洗废水及非放工艺废水进入中子科学基地污水处理站处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级标准后排入市政污水管网。

表1-13 污水综合排放标准 (GB8978-1996) 单位: mg/L (除 pH, pH 无单位)

pH	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	SS	总 α	总 β
6~9	500	300	/	400	1	10

注: 总 α 和总 β 排放限值执行 GB8978-1996 一类污染物排放标准, 单位 Bq/L。

(3) 噪声

施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011), 运营期厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中的 3 类标准, 具体标准限值详见下表。

表1-14 噪声排放标准 单位：dB (A)

标准	厂界（边界） 声环境功能区类别	时段	
		昼间	夜间
《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）	3 类	65	55
《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）	/	70	55

（4）固体废物

①一般固体废物：一般固废采用包装工具（罐、桶、包装袋等）贮存，其存储、处置应满足《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（修订）中的有关规定，贮存过程应满足相应防渗漏、防雨淋、防扬尘等环境保护要求，不得形成二次污染。

②危险废物：危险废物管理执行《国家危险废物名录》（2025 年版），危险废物贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023），危险废物转移按照《危险废物转移管理办法》（生态环境部、公安部、交通运输部令第 23 号）执行转移联单制度。

1.5评价等级

1.5.1大气环境影响评价等级

依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中 5.3 节工作等级的确定方法，结合项目工程分析结果，选择正常排放的主要污染物及排放参数，采用附录 A 推荐模型中的 AERSCREEN 模式计算项目污染源的最大环境影响，然后按评价工作分级判据进行分级。

主要污染物的最大浓度占标率计算如下：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \times 100\%$$

式中：

P_i ——第 i 污染物的最大地面空气质量浓度占标率，%；

C_i ——采用估算模型计算出的第 i 个污染物的最大 1h 地面空气质量浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

C_{0i} ——第 i 个污染物的环境空气质量标准， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。选用 GB3095 中 1h 平均质量浓度的二级浓度限值；对该标准中未包含的污染物，适用 5.2 确定的各评价因子

1h 平均质量浓度限值。对仅有 8h 平均质量浓度限值、日平均质量浓度限值或年平均质量浓度限值的，可分别按 2 倍、3 倍、6 倍折算为 1h 平均质量浓度限值。

大气环境影响评价工作等级的划分判据见下表。

表1-15 评价工作级别

评价工作等级	评价工作分级依据
一级	$P_{\max} \geq 10\%$
二级	$1\% \leq P_{\max} < 10\%$
三级	$P_{\max} < 1\%$

根据导则推荐的估算模式 AERSCREEN 计算，估算模型参数见表 1-16，点源参数见表 1-17，主要污染源计算参数及结果见表 1-18。

表1-16 估算模型参数一览表

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	城市
	人口数（城市选项时）	57.47 万人
最高环境温度/°C		42
最低环境温度/°C		-4.0
土地利用条件		城市
区域湿度条件		80%
是否考虑地形	考虑地形	☒ 是 ☐ 否
	地形数据分辨率/m	90
是否考虑岸线熏烟	考虑岸线熏烟	☐ 是 ☒ 否
	岸线距离/km	/
	岸线方向/°	/

表1-17 点源参数表

排放口名称	排放口编号	排气筒底部中心坐标（°）		排气筒底部海拔高度/m	排气筒高度/m	排气筒出口内径/m	烟气流速（m/s）	烟气温度/°C	排放工况	排放速率（kg/h）	
		经度	纬度								
动物饲养区排放口	PF-4-4	106.329578	29.424390	409	27	0.4	13.3	25	正常排放	NH ₃	1.65E-04
										H ₂ S	4.69E-05

表1-18 主要污染源计算参数及结果一览表

污染源		评价因子	评价标准（μg/m ³ ）	C _{max} （mg/m ³ ）	P _{max} （%）	D _{10%} （m）	评价等级
点源	PF-4-4	氨（NH ₃ ）	200	2.57E-08	0	<1%	三级
		硫化氢（H ₂ S）	10	7.34E-09	0.01	<1%	三级

综合以上分析，本项目 $P_{\max}$ 为 $0.01\% < 1\%$ ，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）分级判据，确定本项目大气环境影响评价工作等级为三级。

1.5.2 地表水环境影响评价等级

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），建设项目地表水环境影响评价等级按照影响类型、排放方式、排放量或影响情况、受纳水体环境质量现状、水环境保护目标等综合确定。

根据本项目特点，施工生产废水在施工场地设置施工废水隔油池和沉淀池，将施工过程中产生的废水经隔油、沉淀处理后回用，不外排；运营期废水依托中子科学基地污水处理站处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，属于间接排放。根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）中表 1 水污染影响型建设项目评价等级判定表，确定本项目地表水环境评价等级为三级 B。本次仅对地表水环境影响作简要分析。

1.5.3 地下水环境影响评价等级

根据《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）附表 A 地下水环境影响评价行业分类表，本项目为核技术利用项目，根据对地下水环境影响程度，参考相近行业分类“医药，单纯药品分装、复配”，项目类别为 IV 类，由 HJ610-2016 “4.1 IV 类建设项目不开展地下水影响评价”，本项目不开展地下水环境影响评价。

1.5.4 声环境影响评价等级

本项目区域声环境质量执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类标准，建设项目建设前后评价范围内声环境保护目标噪声级增量在 3dB(A) 以下（不含 3dB(A) ），且受影响人口数量变化不大，按照《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）的要求，确定本项目噪声评价等级为三级。

1.5.5 生态环境影响评价等级

本项目选址位于经“渝环函〔2024〕581 号”批准规划环评的产业园（重庆高新区生命科技园 B 区），且符合规划环评要求（符合性分析见表 1-4），不涉及生态敏感区，根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）“6.1.8 位于已批准规划环评的产业园区内且符合规划环评要求、不涉及生态敏感区的污染影响类建设项目，可不确定评价等级，直接进行生态影响简单分析”，因此，本项目不确定评价等级，直接进行生态影响简单分析。

1.5.6土壤环境影响评价等级

本项目为核技术应用行业，根据《环境影响评价技术导则土壤环境（试行）》（HJ964-2018），本项目属于“其他行业”，项目类别为IV类，由 HJ964-2018“4.2.2IV类建设项目可不开展土壤环境影响评价”，因此，本项目不开展土壤环境影响评价。

1.5.7环境风险评价等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），本项目涉及酸碱、有机溶剂等原辅料存放，根据建设项目涉及的物质和工艺系统的危险性以及所在地的环境敏感程度，结合事故下的环境影响途径，按照下表确定评价工作等级。

表1-19 建设项目环境风险评价等级

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 ^a
^a 是相对于详细评价工作内容而言，在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明。见附录 A。				

经后文计算，本项目风险物质储量与附录 B 规定的临界量之比 $Q=0.023<1$ ，环境风险潜势为 I，对环境风险开展简单分析。

1.6评价范围和保护目标

1.6.1声环境影响评价范围及保护目标

（1）评价范围

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）：“满足一级评价的要求，一般以建设项目边界向外 200m 为评价范围；二级、三级评价范围可根据建设项目所在区域和相邻区域的声环境功能区类别及声环境保护目标等实际情况适当缩小”。本项目声环境影响评价等级为三级，项目所在区域为 3 类声功能区，周边无声环境保护目标，因此，确定评价范围为厂界外 50m 范围。

（2）保护目标

本项目 50m 声环境影响评价范围内为道路、1#中子源厂房、2-1#化药厂房、3#中子治疗厂房和规划工业用地，无学校、养老院、医院、密集居民区等声环境保护目标。

1.6.2 电离辐射环境评价范围及保护目标

(1) 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016):“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围,甲级取半径 500m 的范围,射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在实体屏蔽物边界外 50m 的范围,对于 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”,本项目为甲级放射性药物生产工作场所、使用 I 类射线装置,综合本项目气载流出物所致周围公众最大年受照剂量不超过公众年剂量约束值 (0.1mSv/a),确定本项目评价范围为本项目辐射工作场所所在建筑四周边界向外 500m 范围内的区域,评价范围示意图见附图 6。

(2) 保护目标

根据项目所在区域土地利用规划,本项目电离辐射评价范围现状区域无自然保护区、风景名胜和文物古迹等需要特殊保护的环境敏感对象,无学校、医院等环境敏感点,项目地块东侧为国电投核素同创(重庆)科技有限公司(在建),其他当前暂无明确入驻企业及其他规划内容,现有周边居民点均规划待拆迁,目前暂无拆迁完成时限,因此仍作为本项目环境保护目标考虑,辐射环境影响评价范围主要环境保护目标为评价范围内本项目辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员以及公众成员,本项目辐射环境保护目标详见表 1-20。

表1-20 本项目电离辐射评价范围内环境保护目标一览表

名称	方位	最近距离 (m)	规模	人员类别	保护要求
2-2#核药厂房	/	/	77	职业	$\leq 5\text{mSv/a}$
	/	/	19	公众	$\leq 0.1\text{mSv/a}$
中子科学基地内其余 1#中子源厂房、2-1#化药厂房、3#中子治疗厂房、4#研发生产厂房、5#研发生产厂房、6#运维服务中心、7#研发生产厂房、8#中子科学研究院、9#库房、道路等区域	四周	9.0	约 200 人	公众	$\leq 0.1\text{mSv/a}$
钟鹤村 1 (规划拆迁)	东侧	225	约 20 人	公众	$\leq 0.1\text{mSv/a}$
国电投核素同创(重庆)科技有限公司(在建)	东侧	126	约 200 人	公众	$\leq 0.1\text{mSv/a}$

名称	方位	最近距离 (m)	规模	人员 类别	保护要求
钟鹤村 2（规划拆迁）	东北侧	363	约 30 人	公众	$\leq$ 0.1mSv/a
钟鹤村 3（规划拆迁）	北侧	227	约 30 人	公众	$\leq$ 0.1mSv/a
钟鹤村 4（规划拆迁）	北侧	335	约 30 人	公众	$\leq$ 0.1mSv/a

中福环境科技有限公司

第2章 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 项目地理位置

重庆市位于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带，中国经济发达的东部地区与资源富集的西部地区的结合部，长江上游三峡库区及四川盆地东南部。地跨东经 $105^{\circ}17'$ ~ $110^{\circ}11'$ ，北纬 $28^{\circ}10'$ ~ $32^{\circ}13'$ 之间，纵横幅度东西长 470km，南北宽 450km，幅员面积 82269km²，地界东邻湖北省、湖南省，南靠贵州省，西连四川省泸州市、内江市、遂宁市，北接四川省广安地区、达川地区和陕西省。

重庆高新区地处西部槽谷地带，缙云山、中梁山纵贯南北，长江、嘉陵江相向奔流。地处东经 $106^{\circ}15'$ ~ $106^{\circ}35'$ 、北纬 $29^{\circ}15'$ ~ $29^{\circ}35'$ 之间，东接渝中区，南靠九龙坡区，西邻江津区、璧山区，北与沙坪坝区接壤，与南岸区、巴南区隔江相望。全域东西间最大距离约 14.8km，南北间最大距离约 25.6km，幅员面积 313.5km²，包括西永微电子产业园区全域；沙坪坝区西永街道、虎溪街道、香炉山街道、曾家镇 4 个街道（镇）全域；九龙坡区金凤镇、含谷镇、走马镇、白市驿镇、巴福镇、石板镇 6 个镇全域。

本项目所在地块位于重庆高新区，与周边区域的联动作用较强，可达性较高。距离市中心、江北国际机场、重庆西站、规划中高铁枢纽及中西部航空枢纽等地点 30 分钟到 1 小时车程。区域交通承东启西，布局“2+4”客运枢纽，周边有成渝中线、兰渝、昆渝等 5 条高铁，渝自、渝华、渝遂三条城际铁路及 5 条市域铁路、35 座隧道贯穿东西、10 条轨道交通内畅外联。

本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 2-2#核药厂房，地理位置图见附图 1。2-2#核药厂房东侧为室外道路，隔路为 1#中子源厂房；南侧为室外道路，隔路为 3#中子治疗厂房；西侧为国福支路，隔路现状为空地，规划为工业用地；北侧为 2-1#化药厂房、景文支路，隔路为规划工业用地。

2.1.2 地形地貌

重庆市地势由南北向长江河谷逐级降低，西北部和中部以丘陵、低山为主，东南部靠大巴山和武陵山两座大山脉，坡地较多，有“山城”之称。总的地势是东南部、东北部高，中部和西部低，由南北向长江河谷逐级降低。

根据《中子科学基地建设项目初设报告》（重庆市设计院有限公司，2023 年 5

月)，拟建场地原始地貌为构造剥蚀浅丘地貌，场地呈现北高南低的态势，坡度 10-20°，局部大于 20°。场地现状标高 393m 至 407m，相对高差 14m，场地内多为素填土，局部粉质粘土，堆积时间大于 10 年，现状边坡高度最大为 7m。

2.1.3地质

根据《中子科学基地建设项目初设报告》（重庆市设计院有限公司，2023 年 5 月），本项目拟建场址位于北碚向斜南东翼，区内新构造运动不强烈，表现为大面积缓慢间歇性抬升，无断层及构造破碎带通过，地层连续，区域地质环境稳定。区内岩层呈单斜产出，岩层产状：307°∠28°，层面结合状况分离，层面光滑局部略有起伏，张开度小于 3mm，层面间大部分无充填，仅局部偶见泥质或泥夹岩屑充填，结合很差，层面为软弱结构面。场地地质构造简单，无断层通过。

2.1.4地震和土壤

根据《中子科学基地建设项目初设报告》（重庆市设计院有限公司，2023 年 5 月），拟建场地内无危岩崩塌、滑坡、泥石流等不良地质作用，勘察范围内主要上覆土层为素填土、粉质粘土，无粉土、砂土分布，不存在粉土、砂土的液化、震陷等岩土地震稳定性问题。根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），九龙坡区的地震基本烈度为 VI 度（6 度）。在抗震设防烈度 6 度情况下，可不考虑地震液化和软土震陷方面的地震稳定性问题。场地无临空面及软弱夹层等，横向扩展可能较小。

2.1.5水文

2.1.5.1地表水

九龙坡区的地表水属长江水系，主要河流有大溪河、跳蹬河和桃花溪，均不通航。长江在西彭罗家院流入九龙坡区至铜罐驿黄金堡出境后，又于九龙上游村入区境至谢家湾出境，流程约 33km；大溪河发源于九龙坡区的走马镇上花园水库，自北向南流经江津双福新区后进入团结水库库区，经团结水库坝址，后自西北向东南进入九龙彭镇、陶家镇，于九龙坡区铜罐驿的下游注入长江。河道全长 41.5km；跳蹬河发源于沙坪坝区歌乐山狮子岩，流经覃家岗镇进入本区华岩镇，由大渡口区跳蹬镇小南海注入长江。全长 15.25km；桃花溪为境内河流，发源于石桥镇唐家堡，经九龙街道鱼鳅浩注入长江。全长 15.79km。

本项目所在区域内地表水多为水库、小河流，东南侧约 600m 存在一条河流

——张家河沟，为季节性水体，其流量较小。

2.1.5.2地下水

根据《中子科学基地建设项目初设报告》（重庆市设计院有限公司，2023年5月），拟建区位于城外郊区，第四系覆盖层厚度局部较厚，基岩为海相沉积碎屑岩。场地地下水主要覆存于土层孔隙和基岩风化网状裂隙中，按含水介质可分为第四系松散堆积层孔隙水、基岩裂隙水（包括风化带裂隙水和构造裂隙水）。第四系松散层孔隙水地下水标高 391.40m~394.85m，地下水主要分布范围位于拟建地块西侧及南侧。构造裂隙水主要分布于厚层块状砂岩层中，勘察期间未发现该类地下水。

2.1.6气象

本项目地块地处亚热带，属中亚热带湿润季风气候。其特点是冬暖夏热，雨量充沛但多集中在5~9月，热量资源丰富，且光、热、水同季，夏季气温高，湿度大，冬季日照少，霜雪少，风速小等。多年平均气温18.4℃，1月平均气温7.9℃，极端最低气温-1.8℃（1955年1月11日）；7月平均气温28.3℃，极端最高气温43.0℃（2006年8月15日）。最低月均气温5.2℃（1977年1月），最高月均气温32.4℃（2006年8月）。平均气温年较差6.3℃，最大日较差18.7℃（2011年5月18日）。平均年降水量1108.2毫米，年平均降雨日数为151天，最长达179天（1954年），最少为124天（1987年）。极端年最大雨量1508.0毫米（1998年），极端年最少雨量738.2毫米（1958年）。降雨集中在每年5月至9月，6月最多。本项目地块全年主导风向为ENE（东北偏东方向）。

2.1.7生态环境

2.1.7.1植被

本项目地块地属中亚热带偏湿性常绿针阔叶混交林亚热带，规划区域范围内受人类活动影响，无原生植物分布，植物全是人工种植的农作物以及林木等，农作物种类主要为：小麦、玉米、大豆、马铃薯、红薯、胡豆、油菜等以及蔬菜类，林木种类主要为梨、枇杷、柑橘、竹等物种。

2.1.7.2动物

本项目地块受长期的人为干扰，包括城市开发建设，农田耕种及各种旅游活动、道路交通建设活动，境内国家野生动物较少。两栖动物中列入《重庆市重点

保护水生野生动物名录》的 2 种，即泽蛙和黑斑蛙；爬行动物中列入《重庆市重点保护水生野生动物名录》的有 1 种，即乌龟，为人工养殖；鸟类中列入《重庆市重点保护陆生野生动物名录》的有 1 种，即黑水鸡。

2.2 社会经济状况

2.2.1 社会发展状况

根据重庆高新区直管园第七次全国人口普查结果，高新区直管园 10 镇街（不含 L 分区）常住人口为 57.47 万人。

根据重庆高新区·数据发布，截至 2023 年下半年，重庆高新技术产业开发区户籍人口总数为 32.61 万人，其中，城镇人口 21.6 万人。

2.2.2 经济发展状况

根据重庆高新区·数据发布，2023 年，高新区直管园实现地区生产总值 764.4 亿元、增长 8.3%。其中，第一产业增加值 5.0 亿元、增长 4.8%；第二产业增加值 496.1 亿元、增长 8.6%；第三产业增加值 263.3 亿元、增长 7.9%。规上工业增加值增长 0.2%，固定资产投资增长 21.7%，社会消费品零售总额增长 8.6%。

本项目评价范围内居民区主要为钟鹤村，目前大部分区域已完成拆迁，仅剩余零星散户待拆迁。

2.3 辐射环境现状

本项目为核技术利用项目，对环境的影响主要为辐射影响，对环境空气质量、地表水环境质量、声环境质量影响很小，因此，大气、地表水和声环境只进行简单的现状调查，本次重点针对评价区域开展了辐射环境的现状监测评价。

本项目评价范围内已批复 4 个核技术利用项目，所有项目均在建设中，目前项目周围无电离辐射源。

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对应用非密封放射性物质项目以及加速器项目在申请前的辐射环境监测要求，选取项目拟建场址及周边环境的 X- γ 辐射剂量率、中子剂量当量率、 α 、 β 表面污染以及环境中与项目相关的放射性核素含量为主要监测对象。

2.3.1 辐射现状评价对象（外照射）

（1）监测因子

X- γ 辐射剂量率、中子剂量当量率、 α 、 β 表面污染。

(2) 监测点位及合理性分析

本次评价引用重庆市辐射环境监督管理站于 2024 年 2 月对拟建场址及周边进行了现状监测，现状监测期间，项目所在地块为空地，环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可达性的条件下，在项目所在地块均匀布设监测点（ $\Delta 5$ - $\Delta 8$ ）、中子科学基地内拟建其他厂房（ $\Delta 1$ - $\Delta 4$ 、 $\Delta 9$ - $\Delta 17$ ）、地块边界及周围其他关注位置布设监测点（点位 $\Delta 18$ - $\Delta 42$ ），共计布设 42 个监测点，监测点位能较好地代表本项目周围辐射环境现状水平，因此监测点位布置合理。监测点位见图 2-1 和图 2-2。

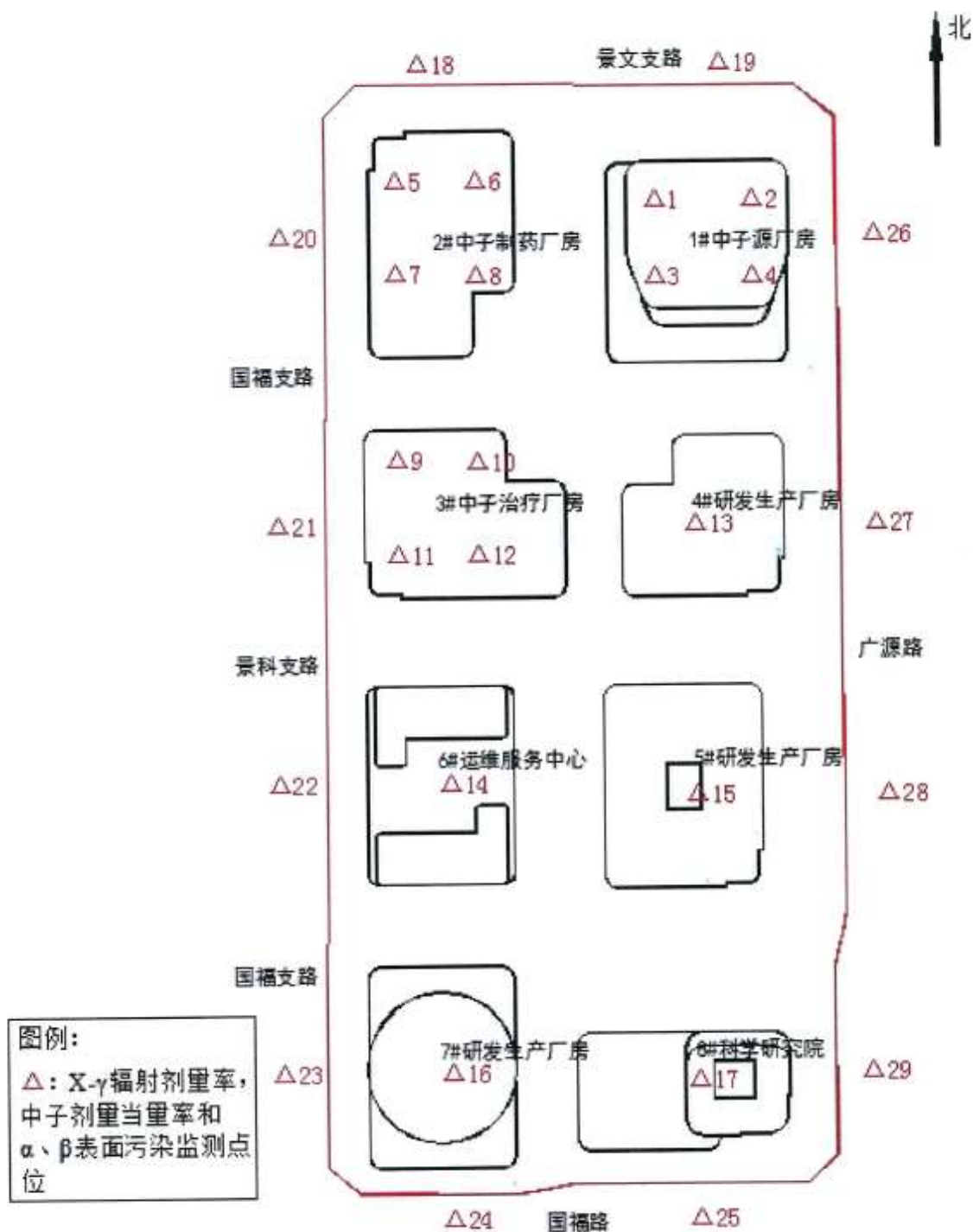


图 2-1 本项目辐射质量现状监测点位图 (1)

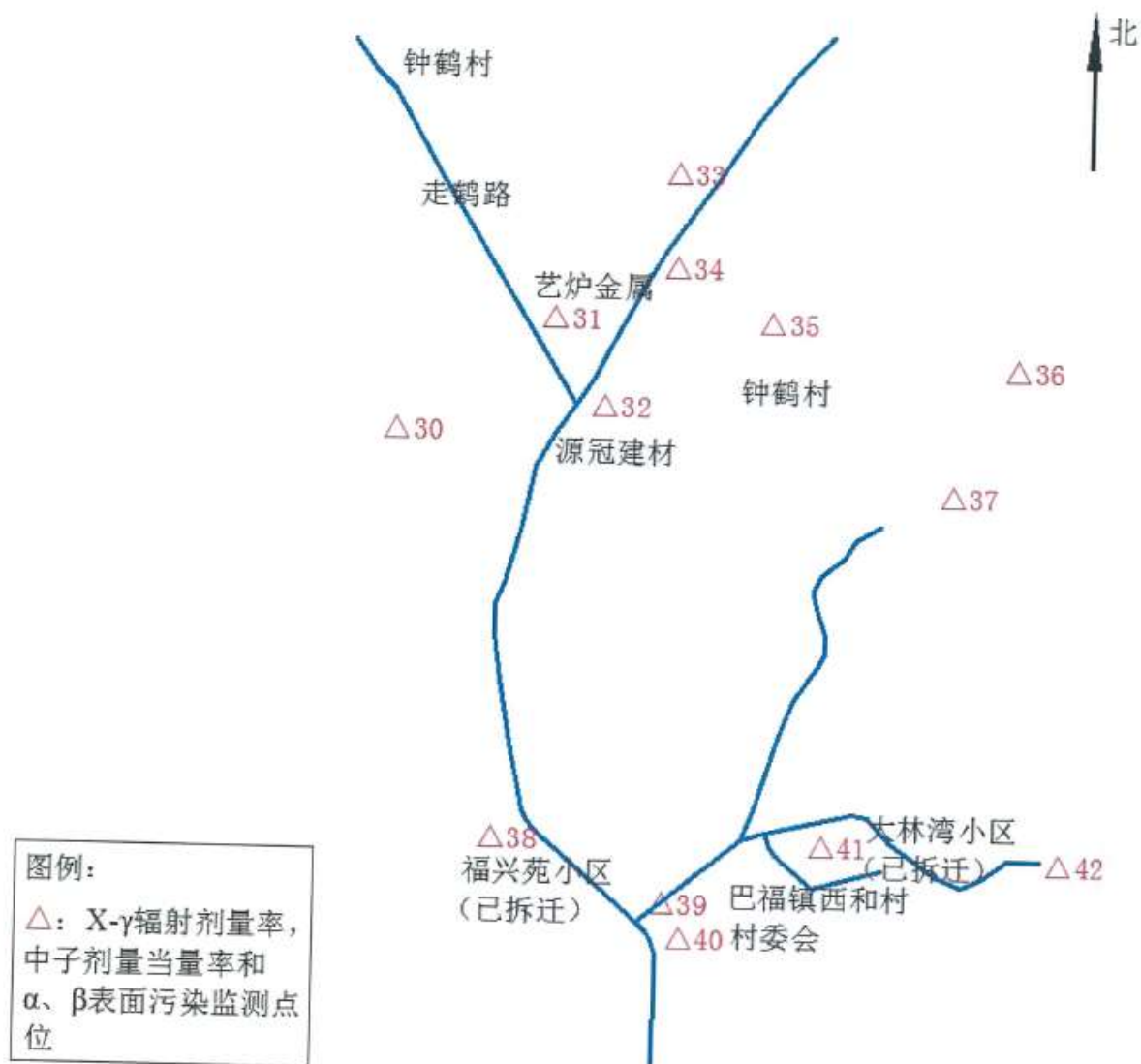


图 2-2 本项目辐射质量现状监测点位图（2）

（3）监测方案

- a) 监测单位：重庆市辐射环境监督管理站
- b) 监测日期：2024 年 2 月
- c) 监测方式：现场检测
- d) 监测依据：《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《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/T14056.1-2008）
- e) 监测工况：监测时，本项目未建设，项目范围内没有其他相关电离辐射源
- f) 监测设备，见表 2-1。

表2-1 仪器设备及性能指标

仪器名称	仪器型号	仪器编号	计量检定证书 编号	有效期至	校准因 子
x、 γ 辐射 巡检仪	FH40G-L10+ FHZ672E-10	030930+0508	2023052502355	2024.6.1	1.14
中子周围 剂量当量 仪	FH40G-L10+ FHT762	031176+10612	DLjs2023-01859	2024.6.26	1.085
α 、 β 表面 沾污仪	LB 124	10-11359	检定字第 202306002838 号	2024.6.12	/

(4) 质量保证措施

- ①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- ②监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- ③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。
- ⑤由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- ⑥监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

(5) 辐射现状监测与评价

各监测点位的 X- γ 辐射剂量率及中子剂量当量率监测结果见表 2-2； α 、 β 表面污染监测结果见表 2-3。

表2-2 X- γ 辐射剂量率及中子剂量当量率监测结果

监测点 编号	监测点位置	X- γ 辐射剂量率监测结果			中子剂量当量 率监测结果 (nSv/h)
		平均值 (nSv/h)	标准差	修正值 (nGy/h)	
$\Delta 1$	1#中子源厂房	97.3	3.9	92.4	<1
$\Delta 2$	1#中子源厂房	90.6	3.5	86.0	<1
$\Delta 3$	1#中子源厂房	101	7	95.9	<1
$\Delta 4$	1#中子源厂房	90.4	0.9	85.9	<1
$\Delta 5$	2#中子制药厂房	79.1	3.3	75.1	<1
$\Delta 6$	2#中子制药厂房	88.2	2.0	83.8	<1

监测点 编号	监测点位置	X-γ 辐射剂量率监测结果			中子剂量当量 率监测结果 (nSv/h)
		平均值 (nSv/h)	标准差	修正值 (nGy/h)	
Δ7	2#中子制药厂房	99.9	5.0	94.9	<1
Δ8	2#中子制药厂房	76.6	6.0	72.8	<1
Δ9	3#中子治疗厂房	106	1	100	<1
Δ10	3#中子治疗厂房	99.1	0.7	94.1	<1
Δ11	3#中子治疗厂房	107	5	102	<1
Δ12	3#中子治疗厂房	105	3	99.8	<1
Δ13	4#研发生产厂房	108	4	103	<1
Δ14	6#运维服务中心	119	3	113	<1
Δ15	5#研发生产厂房	99.2	4.0	94.2	<1
Δ16	7#研发生产厂房	106	4	101	<1
Δ17	8#科学研究院	81.4	0.9	77.3	<1
Δ18	红线北侧外围	93.4	2.6	88.7	<1
Δ19	红线北侧外围	86.4	1.3	82.0	<1
Δ20	红线西北侧外围	97.8	2.9	92.9	<1
Δ21	红线西侧外围	92.4	2.7	87.8	<1
Δ22	红线西侧外围	97.6	6.0	92.7	<1
Δ23	红线西南侧外围	93.2	1.9	88.6	<1
Δ24	红线南侧外围	88.4	5.4	84.0	<1
Δ25	红线南侧外围	96.2	0.8	91.4	<1
Δ26	红线东北侧外围	107	2	102	<1
Δ27	红线东侧外围	89.9	1.8	85.4	<1
Δ28	红线东侧外围	89.2	4.8	84.7	<1
Δ29	红线东南侧外围	95.8	3.6	91.0	<1
Δ30	居民散户	102	6	96.7	<1
Δ31	艺炉金属厂房门口	73.6	1.6	69.9	<1
Δ32	源冠建材公司门口	77.1	0.5	73.2	<1
Δ33	钟鹤村居民楼	95.9	3.1	91.1	<1

监测点 编号	监测点位置	X-γ 辐射剂量率监测结果			中子剂量当量 率监测结果 (nSv/h)
		平均值 (nSv/h)	标准差	修正值 (nGy/h)	
Δ34	钟鹤村居民楼	78.1	1.6	74.2	<1
Δ35	钟鹤村居民楼	91.8	4.1	87.2	<1
Δ36	钟鹤村居民楼	95.5	1.3	90.8	<1
Δ37	钟鹤村居民楼	93.5	0.6	88.8	<1
Δ38	福兴苑小区 (已拆迁)	66.7	2.8	63.4	<1
Δ39	巴福镇西河村委会门 口	88.6	1.9	84.2	<1
Δ40	敬老院门口	81.8	0.9	77.7	<1
Δ41	大林湾小区 (已拆迁)	80.6	0.5	76.6	<1
Δ42	居民散户	85.3	1.8	81.1	<1

注：“<”后数值为仪器探测限。

根据上表，本项目拟建辐射工作场址及周围环境的室外 X-γ 辐射剂量率为 63.4nGy/h~113nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）。根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书（简化版）》（重庆市生态环境局，2024 年 9 月），2023 年重庆市室外 X-γ 辐射剂量率年均值为 76.8nGy/h~93.3nGy/h，平均值为 87.0nGy/h（均未扣除宇宙射线响应值），可见项目拟建场址及周围场所的 X-γ 辐射剂量率与当地本底水平相当。

本项目拟建辐射工作场址及周围环境 neutron 辐射剂量当量率均小于检测下限。

表2-3 本项目拟建场址及周围环境 α、β 表面污染现状监测结果

序号	测量位置	项目	表面污染 (Bq/cm ²)
Δ1	1#中子源厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ2	1#中子源厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ3	1#中子源厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ4	1#中子源厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ5	2#中子制药厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ6	2#中子制药厂房	α	<0.05

序号	测量位置	项目	表面污染 (Bq/cm ²)
		β	<0.1
$\Delta 7$	2#中子制药厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 8$	2#中子制药厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 9$	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 10$	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 11$	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 12$	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 13$	4#研发生产厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 14$	6#运维服务中心	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 15$	5#研发生产厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 16$	7#研发生产厂房	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 17$	8#科学研究院	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 18$	红线北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 19$	红线北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 20$	红线西北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 21$	红线西侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 22$	红线西侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 23$	红线西南侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 24$	红线南侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
$\Delta 25$	红线南侧外围	α	<0.05

序号	测量位置	项目	表面污染（Bq/cm ² ）
		β	<0.1
Δ26	红线东北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ27	红线东侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ28	红线东侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ29	红线东南侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ30	居民散户	α	<0.05
		β	<0.1
Δ31	艺炉金属厂房门口	α	<0.05
		β	<0.1
Δ32	源冠建材公司门口	α	<0.05
		β	<0.1
Δ33	钟鹤村居民楼	α	<0.05
		β	<0.1
Δ34	钟鹤村居民楼	α	<0.05
		β	<0.1
Δ35	钟鹤村居民楼	α	<0.05
		β	<0.1
Δ36	钟鹤村居民楼	α	<0.05
		β	<0.1
Δ37	钟鹤村居民楼	α	<0.05
		β	<0.1
Δ38	福兴苑小区 （已拆迁）	α	<0.05
		β	<0.1
Δ39	巴福镇西河村委会门口	α	<0.05
		β	<0.1
Δ40	敬老院门口	α	<0.05
		β	<0.1
Δ41	大林湾小区（已拆迁）	α	<0.05
		β	<0.1
Δ42	居民散户	α	<0.05
		β	<0.1

备注：1.表面污染（Bq/cm²）=平均值（cps）÷表面发射率响应÷探测窗面积（cm²）÷平面源效率（S⁻¹·Bq⁻¹）；
2.“<”后数值为仪器探测限。

由表 2-3 的监测结果可知, 本项目拟建场址及周围各监测点 α 、 β 表面污染监

测值均小于检测下限。

2.3.2 辐射现状评价对象（环境介质中与项目相关的放射性核素含量）

本次引用重庆市辐射环境监督管理站于 2024 年 2 月~3 月对拟建场址及周边进行了辐射环境样品（气溶胶、地表水、底泥、土壤）取样实验室分析，选用与本项目相关的监测数据）。

本项目东侧与国电投核素同创（重庆）科技有限公司相邻，为同一地下水系。根据现状调查可知，东侧国电投核素同创（重庆）科技有限公司重庆创新医用同位素项目、本项目所在中子科学基地内 1#中子源厂房中子科学研究院（重庆）科研平台建设二期项目（中子源科学装置实验室部分）和 1#中子源厂房中子科学研究院（重庆）科研平台建设二期项目（配套甲级非密封放射性物质工作场所部分）均尚未建成，未投入运行。因此本章节地下水相关监测数据引用《国电投核素同创（重庆）科技有限公司重庆创新医用同位素项目环境影响报告书（上册）》中相关章节内容数据。重庆市辐射环境监督管理站于 2023 年 10 月对重庆创新医用同位素项目拟建厂址地下水中氡、水中总 α 、水中总 β 放射性活度浓度进行了监测。

（1）监测因子

考虑到本项目核素特性及污染物排放途径，结合 HJ61-2021 表 9 中“只关注可能对环境有影响的应用核素”的要求，确定监测因子，本项目环境介质的监测因子见表 2-4。

表2-4 监测对象和项目

序号	监测对象	监测项目	备注
1	土壤	总 α 、总 β 、 ^{68}Ge 、 ^{225}Ac 、 ^{99}Mo 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 活度浓度	数据引用
2	底泥	总 α 、总 β 、 ^{68}Ge 、 ^{225}Ac 、 ^{99}Mo 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 活度浓度	数据引用
3	气溶胶	总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{68}Ge 、 ^{225}Ac 、 ^{99}Mo 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 活度浓度	数据引用
4	地表水	总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{68}Ge 、 ^{225}Ac 、 ^{99}Mo 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 活度浓度	数据引用
5	地下水	总 α 、总 β 、 ^3H 活度浓度	数据引用

（2）监测点位及合理性分析

本项目拟建区域及周围环境状况较为单一，根据本项目照射途径以及人为活动情况，本项目引用土壤监测点位 4 个，分别为拟建厂址中央、项目西北侧居民区和项目西南侧居民区；底泥监测点 1 个，在拟建 2#场址中央；气溶胶监测点位 4 个，分别在拟建场址位置、东侧 2#厂房拟建位置、厂址上、下风向；地表水点

位 1 个，在拟建场址北侧最近地表水；地下水点位 2 个，在巴福场镇和巴福中学，监测点位能较好地代表本项目拟建场址及周围环境辐射现状水平，监测点位布设合理。监测点位布置情况见图 2-3 和图 2-4。

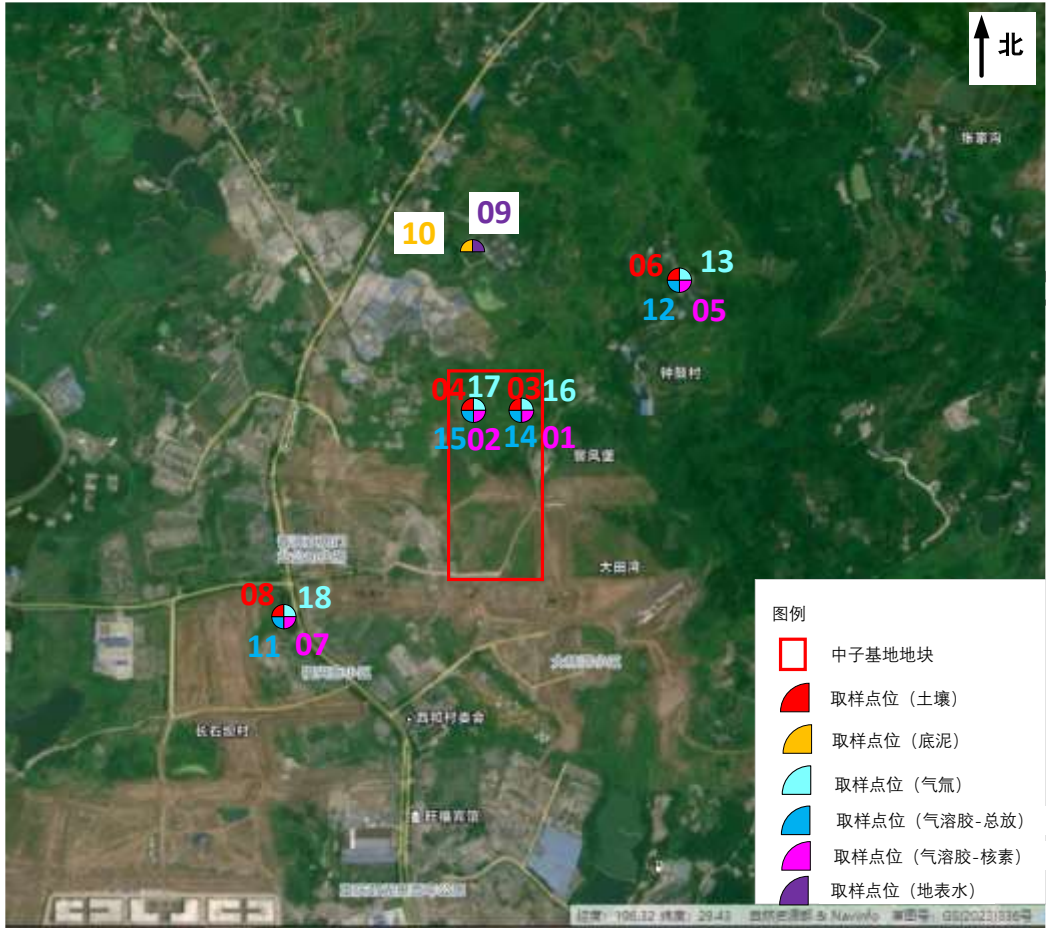




图 2-4 拟建场址及周边环境介质（地下水）样品取样点位示意图

(3) 监测方案

①监测单位：重庆市辐射环境监督管理站

②监测日期：2024 年 3 月

③监测方式：环境样品取样实验室分析

④监测依据：《水质总 α 放射性的测定厚源法》（HJ898-2017）、《水质总 β 放射性的测定厚源法》（HJ899-2017）、《水中氡的分析方法》（HJ1126-2020）、《环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素的测定 滤膜压片/ γ 能谱法》（HJ1149-2020）、《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T16145-2022）

④ 监测工况：监测时，拟建场址为空地

⑥监测设备：仪器设备统计于表 2-5

表2-5 仪器设备信息一览表

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号
气流式低本底 α/β 计数器	LB4200	13000126	DLhd2023-02019
液闪谱仪	SIM-MAXLSA3000	050CB800056	DLhd2023-02394
高纯锗 γ 谱仪	GEM-C7080-LB-C-HJ	58-P43199A	DLhd2023-02017
高纯锗 γ 谱仪	GEM-C65-LB-C	61-P43537B	DLhd2023-02393

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号
高纯锗 γ 谱仪	GEM-SP9430-LB-C	62-P52139A	DLhd2023-03263
高纯锗 γ 谱仪	BE5030P	13435	DLhd2023-02015

(4) 质量保证措施

①根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、《水质总 α 放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017)、《水质总 β 放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017)、《水中氚的分析方法》(HJ1126-2020)、《环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素的测定 滤膜压片/ γ 能谱法》(HJ1149-2020)、《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T16145-2022) 制定监测方案及实施细则。

②严格按照监测单位《质量手册》开展工作。

③监测人员经考核并持有合格证书上岗。

④监测仪器已经计量部门检定，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑤合理布置监测点位，采样点具有代表性。

⑥由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

⑦建有完整的文件资料，仪器检定证书、检测方案、点位布局图、原始数据、统计处理程度等全部保留，以备复查。

⑧监测报告实行三级审核制度。

(5) 土壤监测结果及评价

土壤样品分析测量结果见表 2-6。

表2-6 土壤样品分析结果

点位 序号	点位名称	监测结果(Bq/g)		监测结果 (Bq/kg)				
		总 α	总 β	^{68}Ge	^{225}Ac	^{99}Mo	^{89}Zr	^{177}Lu
03	中子科学基地 1# 厂房拟建位置	0.552	0.831	<7.68	<1.71	<2.67	<0.787	<2.74
04	中子科学基地 2# 厂房拟建位置	0.667	0.933	<8.41	<1.65	<2.84	<0.862	<2.58
06	钟鹤村居民楼	0.869	0.982	<8.75	<1.82	<3.93	<1.10	<2.90
08	福兴苑小区 (已拆迁)	0.549	0.846	<8.26	<1.70	<3.76	<1.05	<2.76

根据上表结果可知，土壤总 α 监测结果在 0.552Bq/g~0.869Bq/g (552Bq/kg~869Bq/kg)，总 β 监测结果在 0.831Bq/g~0.982Bq/g

(831Bq/kg~982Bq/kg), 土壤中 ^{68}Ge 监测结果在 $<7.68\text{Bq/kg} \sim <8.75\text{Bq/kg}$ 、 ^{225}Ac 监测结果在 $<1.65\text{Bq/kg} \sim <1.82\text{Bq/kg}$ 、 ^{99}Mo 监测结果在 $<2.67\text{Bq/kg} \sim <3.93\text{Bq/kg}$ 、 ^{89}Zr 监测结果在 $<0.787\text{Bq/kg} \sim <1.10\text{Bq/kg}$ 、 ^{177}Lu 监测结果在 $<2.58\text{Bq/kg} \sim <2.90\text{Bq/kg}$ 。

根据《重庆市环境质量报告书(2006-2010年)》(重庆市环境保护局, 2011年3月), 2006年重庆市土壤中总 α 活度浓度为 600Bq/kg , 总 β 活度浓度为 1020Bq/kg 。因此, 本项目拟建场址土壤中总 α 、总 β 活度浓度在重庆市土壤放射性本底水平正常波动范围内。

(6) 底泥监测结果及评价

拟建场址底泥样品分析测量结果见表 2-7。

表2-7 底泥样品分析结果

点位序号	点位名称	监测结果 (Bq/g)		监测结果 (Bq/kg)				
		总 α	总 β	^{68}Ge	^{225}Ac	^{99}Mo	^{89}Zr	^{177}Lu
10	项目北侧地表水底泥	0.729	0.900	<7.10	<1.79	<3.15	<0.923	<3.00

根据上表结果可知, 底泥总 α 监测结果为 0.729Bq/g , 总 β 监测结果为 0.900Bq/g , 底泥中 ^{68}Ge 监测结果 $<7.10\text{Bq/kg}$ 、 ^{225}Ac 监测结果 $<1.79\text{Bq/kg}$ 、 ^{99}Mo 监测结果 $<3.15\text{Bq/kg}$ 、 ^{89}Zr 监测结果 $<0.923\text{Bq/kg}$ 、 ^{177}Lu 监测结果 $<3.00\text{Bq/kg}$ 。

(7) 气溶胶监测结果及评价

拟建场址气溶胶样品中放射性分析测量结果见表 2-8。

表2-8 气溶胶样品分析结果

点位序号	点位名称	监测结果 (Bq/m ³)		监测结果 (mBq/m ³)					
		总 α	总 β	^3H	^{68}Ge	^{225}Ac	^{99}Mo	^{89}Zr	^{177}Lu
01、14、16	中子科学基地1#厂房拟建位置	0.098	0.034	<10.0	<5.38	<1.34	<1.87	<0.219	<1.54
02、15、17	中子科学基地2#厂房拟建位置	0.085	0.033	<16.7	<7.91	<1.43	<2.94	<0.372	<1.62
05、12、13	钟鹤村居民楼	0.098	0.034	<6.76	<5.55	<1.61	<2.45	<0.297	<1.94
07、11、18	福兴苑小区(已拆迁)	0.093	0.032	<16.1	<7.68	<1.39	<3.04	<0.347	<1.63

根据上表结果可知，总 α 监测结果在 $0.085\text{Bq/m}^3\sim 0.098\text{Bq/m}^3$ ，总 β 监测结果在 $0.032\text{Bq/m}^3\sim 0.034\text{Bq/m}^3$ ，气溶胶中 ^3H 监测结果在 $<6.76\text{Bq/m}^3\sim <16.7\text{Bq/m}^3$ 、 ^{68}Ge 监测结果在 $<5.38\text{Bq/m}^3\sim <7.91\text{Bq/m}^3$ 、 ^{225}Ac 监测结果在 $<1.34\text{Bq/m}^3\sim <1.61\text{Bq/m}^3$ 、 ^{99}Mo 监测结果在 $<1.87\text{Bq/m}^3\sim <3.04\text{Bq/m}^3$ 、 ^{89}Zr 监测结果在 $<0.219\text{Bq/m}^3\sim <0.372\text{Bq/m}^3$ 、 ^{177}Lu 分析结果在 $<1.54\text{mBq/m}^3\sim <1.94\text{mBq/m}^3$ 。

根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书（简本）》（重庆市生态环境局，2024 年 9 月），2023 年重庆市水蒸气中氡活度浓度为 $13.9\text{mBq/m}^3\sim 30.2\text{mBq/m}^3$ 。因此，本项目拟建场址气溶胶 ^3H 活度浓度在重庆市大气放射性本底波动范围内。

（8）地表水监测结果及评价

拟建场址地表水样品中放射性分析测量结果见表 2-9。

表2-9 水样样品分析结果

点位序号	点位名称	监测结果（Bq/L）							
		总 α	总 β	^3H	^{68}Ge	^{225}Ac	^{99}Mo	^{89}Zr	^{177}Lu
09	项目北侧地表水	0.033	0.523	<0.791	<4.02	<1.57	<1.51	<0.177	<2.71

根据上表结果可知，水样总 α 监测结果为 0.033Bq/L ，总 β 监测结果为 0.523Bq/L ，地表水中 ^3H 监测结果 $<0.791\text{Bq/L}$ 、 ^{68}Ge 监测结果 $<4.02\text{Bq/L}$ 、 ^{225}Ac 监测结果 $<1.57\text{Bq/L}$ 、 ^{99}Mo 监测结果 $<1.51\text{Bq/L}$ 、 ^{89}Zr 监测结果小于 0.177 和 ^{177}Lu 监测结果 $<2.71\text{Bq/L}$ 。

根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书（简本）》（重庆市生态环境局，2024 年 9 月），2023 年重庆市地表水总 α 活度浓度在 $0.011\text{Bq/L}\sim 0.040\text{Bq/L}$ 范围内，总 β 活度浓度在 $0.076\text{Bq/L}\sim 0.145\text{Bq/L}$ 范围内。因此，本项目拟建场址周边地表水中总 α 、总 β 活度浓度在重庆市地表水放射性活度浓度正常本底波动范围内。

（9）地下水监测结果及评价

拟建场址地下水样品中放射性分析测量结果见下表。

表2-10 地下水水样样品分析结果

点位名称	检测项目	结果（Bq/L）
巴福场镇	^3H	0.864
	总 α	0.0719
	总 β	0.477
巴福中学	^3H	<0.856

	总 α	0.0265
	总 β	0.525

监测结果表明，水样 ^3H 分析结果为 $<0.856\text{Bq/L} \sim 0.864\text{Bq/L}$ ，水样总 α 分析结果为 $0.0265\text{Bq/L} \sim 0.0719\text{Bq/L}$ ，总 β 分析结果在 $0.477\text{Bq/L} \sim 0.525\text{Bq/L}$ 。

根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书（简本）》（重庆市生态环境局，2024 年 9 月），2023 年重庆市地下水总 β 活度浓度为 0.036Bq/L ；由于《2023 年重庆市辐射环境质量报告书（简本）》中无地下水总 α 活度浓度数据，因此引用《2022 年重庆市辐射环境质量报告书（简本）》（重庆市生态环境局，2023 年 9 月）数据，2022 年重庆市地下水总 α 活度浓度为 0.060Bq/L ，总 β 活度浓度为 0.066Bq/L 。综上，本项目拟建场址周边地下水中总 α 、总 β 活度浓度在重庆市地下水放射性本底水平正常波动范围内。

2.4 区域环境质量现状

2.4.1 环境空气质量现状

（1）区域环境空气达标区判定

本次评价引用《2023 年重庆市生态环境状况公报》九龙坡区环境质量状况的监测数据，本项目所在的区域为环境空气二类功能区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准及 2018 年修改单中的二级标准要求。 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 CO 、 O_3 年均浓度值及污染指数统计结果见下表。

表2-11 2023 年九龙坡区环境空气质量状况

污染物	评价指标	现状浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二级标准限值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)	达标情况
$\text{PM}_{2.5}$	年平均质量浓度	36	35	102.9%	不达标
PM_{10}	日平均浓度	60	70	85.7%	达标
SO_2	日平均浓度	8	60	13.3%	达标
NO_2	日平均浓度	42	40	105.0%	不达标
CO	24 小时平均值第 95 百分位数	1500	4000	37.5%	达标
O_3	最大 8 小时平均值第 90 百分位数	152	160	95.0%	达标

由以上数据可知项目所在区域 SO_2 、 PM_{10} 、 CO 、 O_3 满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准及 2018 年修改单中的二级标准要求， NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 不满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准，本项目所在区域为环

境空气质量不达标区，超标因子为 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 。

根据《重庆高新区生态环境保护“十四五”规划和二〇三五年远景目标》，到2025年，环境空气质量优良天数比率力争达到320天及以上，细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）年平均浓度不超过35微克/立方米，氮氧化物、挥发性有机物排放总量下降率完成市级下达目标。到2025年，产业结构调整深入推进，生产生活方式绿色转型成效显著，环境质量持续改善，主要污染物排放总量持续减少，环境风险得到有效管控，生态系统质量和稳定性进一步提升，城乡人居环境明显改善，生态环境治理体系和治理能力现代化水平明显提升，人与自然和谐共生的高品质生活宜居区建设取得重大进展。该规划规定了“十四五”期间，大气环境保护五大方面重点任务和措施：（1）实施空气质量分区精细化管理。严格落实“臭氧前体物控制区”和“臭氧高值控制区”相关管控要求，协同控制和削减挥发性有机物（ VOC_s ）、氮氧化物（ NO_x ）等臭氧前体物排放强度，加强臭氧污染时段的错峰调控，切实有效防控臭氧污染。强化“三线一单”对涉气企业空间布局的约束作用，加强对城市建成区等大气环境受体敏感区、辖区西北侧和南侧等大气环境布局敏感区的管控，确保项目引进符合大气环境空间布局的环境要求。加强白市驿监测点上风向含谷镇、金凤镇氮氧化物（ NO_x ）排放强度控制和削减，加强虎溪监测点与沙坪坝区交界区域氮氧化物（ NO_x ）和挥发性有机物（ VOC_s ）的协同控制。（2）狠抓工业污染治理。深化工业锅炉和窑炉综合整治，完成121台锅炉低氮改造。推进园区废气深度治理；加强生产经营活动中废气控制；深化挥发性有机物整治，全面执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》，新建、改建、扩建涉挥发性有机物（ VOC_s ）排放的项目。（3）深化交通污染防控。大力优化调整交通运输结构；严格实施柴油货车及高排放车辆限行；强化机动车和非道路移动器械排放管理。加大新能源汽车推广力度。（4）持续扬尘污染控制。（5）加强生活污染治理。

在高新区范围内执行以上整治措施后，可改善区域环境质量达标情况。

（2）特征评价因子

本项目涉及氯化氢、硫酸雾、非甲烷总烃等，本次评价引用《高新区生命科技园A、B、C区环境影响评价监测》中监测数据。

①引用监测布点、因子及频率

表2-12 环境空气监测点位置及监测因子

点位编号	点位名称	监测因子	监测时间/频率
------	------	------	---------

Q1	重庆交通大学（双福校区）	氯化氢、硫酸雾、非甲烷总烃等	2023 年 5 月 11 日~17 日，连续监测 7 天，监测小时值
Q2	巴福镇（巴福小学）		

② 评价方法

采用最大占标率对环境空气质量现状进行评价。公式如下：

$$P_i = C_i / C_{0i} * 100\%$$

式中：

P_i ——第 i 种污染物的占标率，%；

C_i ——第 i 种污染物的实测浓度， mg/m^3 ；

C_{0i} ——第 i 种污染物的评价标准值， mg/m^3 。

③ 监测结果

环境空气现状监测及评价结果见下表。

表2-13 环境空气质量现状监测及评价结果

监测点 及监测项目		1 小时浓度， mg/m^3			
		浓度范围	标准限值	最大占标率（%）	最大超标倍数
Q2 重庆交通大学（双福校区）	氯化氢	ND	0.05	/	/
	硫酸雾	0.005~0.016	0.3	5.33	0
	氨	0.03~0.06	0.2	30	0
	硫化氢	ND	0.01	/	/
	甲苯	ND	0.2	/	/
	甲醇	ND	3.0	/	/
	丙酮	ND	0.8	/	/
	非甲烷总烃	0.11~0.90	2.0	45	0
Q3 巴福镇（巴福小学）	氯化氢	ND	0.05	/	/
	硫酸雾	0.005~0.009	0.3	3	0
	氨	0.03~0.06	0.2	30	0
	硫化氢	ND	0.01	/	/
	甲苯	ND	0.2	/	/
	甲醇	ND	3.0	/	/
	丙酮	ND	0.8	/	/
	非甲烷总烃	0.13~0.81	2.0	40.5	0

由上表可知，监测点中氯化氢、硫酸、硫化氢、甲醇、甲苯、丙酮均未检出；氨 1 小时平均浓度最大值为 $0.06\text{mg}/\text{m}^3$ ，最大占标率 30%；硫酸雾 1 小时平均浓度

最大值为 0.016mg/m³，最大占标率 5.33%，均满足《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录 D 其他污染物空气质量浓度参考限值。

项目所在区域监测点位非甲烷总烃 1 小时平均浓度最大值为 0.90mg/m³，最大占标率 45%，满足参照执行的河北省地方标准《环境空气质量非甲烷总烃限值》（DB13/1577-2012）。

2.4.2地表水环境质量现状评价

本项目所在区域属于大溪河流域，大溪河最后进入长江，本项目废水进入九龙园 C 区污水处理厂，废水处理后排入肖家河，经大溪河流入长江，下游长江监测断面为丰收坝断面。根据重庆市生态环境局发布的 2023 年 3 月至 2024 年 5 月重庆市水环境质量状况，除 2023 年 7 月长江丰收坝断面水质类别为Ⅲ类，其余月份水质类别均为Ⅱ类。

2.4.3声环境质量现状评价

根据《声环境质量标准》（GB3096-2008）、重庆市生态环境局关于印发《重庆市中心城区声环境功能区划分方案（2023 年）》的函（渝环〔2023〕6181 号），本项目所在区域为 3 类声环境功能区。本项目东侧隔路紧邻国电投核素同创（重庆）科技有限公司，因此本章节数据引用《国电投核素同创（重庆）科技有限公司重庆创新医用同位素项目环境影响报告书（下册）》中相关章节内容数据。

国电投核素同创（重庆）科技有限公司在厂界外设置了 3 个声环境质量现状监测点位，分别位于国电投公司东北侧厂界外 44m 处居民房屋（即本项目东侧厂界处东北侧 150m 处居民点），国电投公司西侧厂界处（即本项目东侧厂界处），国电投公司南侧厂界处（即本项目南侧厂界处）。

表2-14 声环境质量现状监测结果

监测点位编号	监测点位位置	监测时间	监测结果（dB（A））	
			昼间	夜间
N1#	国电投公司东北侧厂界外 44m 处居民房屋（即本项目东侧厂界处东北侧 150m 处居民点）	2023.4.24	48	37
		2023.4.25	46	46
N2#	国电投公司西侧厂界处（即本项目东侧厂界处）	2023.4.24	57	43
		2023.4.25	44	42
N3#	国电投公司南侧厂界处（即本项目南侧厂界处）	2023.4.24	51	36
		2023.4.25	49	42

根据声环境质量现状监测结果，项目所在区域声环境满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类声环境功能区环境噪声限值要求。

2.5场址适宜性评价

本项目位于重庆高新区西彭组团Q7-3/05地块中子科学基地。

综合分析本项目地形地貌及地震土壤现状资料，本项目所在区域地壳结构简单未见明显的差异活动，场地整体稳定，地质和地震条件良好，没有影响放射性同位素和射线装置安全使用的颠覆性因素。

结合本项目特征辐射污染因子和电离辐射环境影响评价范围，项目选址不涉及生态保护红线、饮用水水源保护区等保护目标，评价范围内植被环境受人类活动影响较大，多以城市绿化乔灌木等人工植被为主，无天然林，无重点保护的珍稀、濒危动植物及古树名木，无明显制约项目建设的自然环境因素。

项目选址位于已批复的产业园区内，根据园区规划，“南制造”聚焦健康智造园（包括巴福大健康产业园和石板大健康产业园），以高端制造为核心的健康智造园（巴福）承接创新药、疫苗、中药院内制剂、高值耗材和高端影像设备等的创新成果产业化项目，规划区主要布局生物制药、化学药品制剂、中成药、医疗器械、医药包材等产业。本项目属于医用放射性同位素生产，为园区主导产业之一，项目符合园区的产业规划。

公司所在地块的用地性质为工业用地，项目的建设均在用地红线范围内，符合城市总体规划和土地利用规划。

评价范围内无学校、医院、行政办公等环境敏感点，且本地块周边规划企业为同类型核医药产业公司，区域周边社会环境相对简单，且项目采用一定的辐射防护安全设施与措施、放射性污染防治等措施，对周围环境的辐射影响较小。

环境现状调查结果表明，项目拟建场址及周围环境的辐射水平均处于当地天然本底正常波动范围内。

综上所述，项目评价范围内无明显环境制约因素，项目的建设与周边环境相容，辐射环境水平属于区域辐射本底水平，因此，从环境保护和辐射安全角度分析，项目选址合理。

第3章 建设项目工程分析

3.1项目规模与基本参数

3.1.1项目建设内容

强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）（项目代码：）位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块 2-2#核药厂房（地上 4 层，地下 1 层），占地面积为 2609 平方米，分两阶段建设，本次评价内容为第一阶段（以下简称“本项目”）。

本项目建筑面积为 11735 平方米，主要建设 1#回旋加速器机房及生产场所、药物生产及质检场所、研发实验场所、动物细胞实验场所等以及公辅工程、储运工程和环保工程。项目共涉及 2 个甲级非密封放射性物质工作场所、2 个乙级非密封放射性物质工作场所、1 台 I 类射线装置、2 台 III 类射线装置。项目总投资约 xx 万元，其中环保投资约 xx 万元。

下文将按楼层从低到高，进一步介绍本项目各层的建设内容：

3.1.1.1 一层：1#加速器机房及放射性药物生产区域

（1）1#加速器机房区域

一层 1#回旋加速器机房及生产场所，属 1 个甲级非密封放射性工作场所，建设 1 间 1#回旋加速器机房、4 条药物生产线及配套用房，主要包括 1-1 车间至 1-4 车间、后区 1~4、洗消间、去污间、洁具间、机房配套控制室、设备间、生产线配套换鞋更衣、更洁净衣、脱包准备间。在 1#回旋加速器机房内安装使用 1 台质子回旋加速器（最大能量为 30MeV，最大束流强度 750 μ A，属 I 类射线装置），经制靶、打靶、分离、纯化、分装等工序制备放射性核素原料（ ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 共 7 种）。

本项目涉及的射线装置（加速器）建设规模见表 3-1，1-1 生产线生产 ^{68}Ge ，1-2 生产线生产 ^{18}F ，1-3 生产线生产 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{103}Pd ，1-4 生产线生产 ^{68}Ge 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ，各生产线拟生产的核素种类、每批次生产时间、单次最大产能及年最大产量见表 3-2。

表3-1 本项目涉及的射线装置（加速器）建设规模一览表（略）

表3-2 回旋加速器核素生产规划一览表（略）

3.1.1.2 二层：药物生产及质检场所

二层药物生产及质检场所，属 1 个甲级非密封放射性工作场所，可分为药物生产区和质检区，其中质检区主要对自产产品和研发品进行相关质检，按功能划分为常规质检区（非放区域）、质检区（涉放区域）两个功能区。

生产区主要由 4 条药物生产线及相关辅助用房组成，主要包括 2-1 车间至 2-4 车间、后区 1~后区 4、脱包准备间 1~脱包准备间 4、洁具间 1~洁具间 4、去污缓冲间 1~去污缓冲间 4、更衣 1~更衣 4、换鞋洗手 1~换鞋洗手 4、包装间 1~包装间 2 及配套去污间、放射性原料库、回收清洗间、放射性废物库。考虑到一层生产场所建设周期较长、市场需求较大结合及公司发展，二层生产场所前期外购钼得发生器及其他核素原液，经淋洗、标记、纯化、分装等工序进行 ^{99m}Tc 、 ^{68}Ge 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 6 种放射性药物的生产、使用和销售。生产线的生产规划详见表 3-3。

常规质检区（非放区域）：由液相室、气相室、红外/紫外室、理化间、试剂室、标液室、留样室、准备室、培养室、微生物限度室、高温室、稳定性室、天平室、洁具室、更衣间等用房组成，主要开展一般理化检验、细菌内毒素检验、pH 值检验等相关检验，场所不涉及操作非密封放射性物质。

质检区（涉放区域）：由放化实验室、气相火焰原子吸收室、液相薄层扫描室、NaI 计数器室、闪液分析室、留样室、样品暂存间、内毒素室、培养室 1、培养室 2、渗透压检测室及配套缓冲、更衣、去污缓冲间组成，在质检区（涉放区域）使用 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{99m}Tc 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 11 种放射性药物，开展放射性活度检测、放射性化学纯度检测和放射性核纯检测等相关检验。另外一层二层各生产线生产的药物将按要求留取一定量在留样室贮存，质检场所核素的使用及留样贮存规划详见表 3-4 和表 3-5。

表3-3 二层各生产线核素操作量一览表

序号	核素名称	产线名称	单批次操作量(Bq/批)	生产时间(h/批)	日最多生产次数(次/日)	日最大操作量(Bq)	年生产天数(天/年)	年最大用量(Bq)	备注
1	^{99}Mo (^{99m}Tc)	2--1 生产线	3.70E+10	0.5	1	3.70E+10	300	1.85E+12*	/
2	^{99m}Tc		3.33E+10	0.5	1	3.33E+10	300	9.99E+12	/

3	⁶⁸ Ge	2--2 生产线	8.51E+10	0.5	1	8.51E+10	100	8.51E+12	/
4	¹⁷⁷ Lu	2--3 生产线	1.85E+11	0.5	4	7.40E+11	300	2.22E+14	/
5	²¹¹ At	2--4 生产线	7.40E+08	0.5	2	1.48E+09	300	4.44E+11	每日最多生产 1 种核素
6	²²³ Ra		7.40E+08	0.5	2	1.48E+09	300	4.44E+11	
7	²²⁵ Ac		7.40E+08	0.5	2	1.48E+09	300	4.44E+11	

表3-4 质检场所核素的使用规划一览表

序号	核素名称	单次最大质检操作量 (Bq)	日最大操作次数 (次)	日最大质检操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大用量 (Bq)
1	⁶⁸ Ge	3.70E+09	2	7.40E+09	30	2.22E+11
2	⁶⁸ Ga	3.70E+09	2	7.40E+09	300	2.22E+12
3	¹⁸ F	7.40E+09	2	1.48E+10	300	4.44E+12
4	⁶⁴ Cu	1.85E+09	1	1.85E+09	50	9.25E+10
5	^{99m} Tc	1.85E+09	2	3.70E+09	300	1.11E+12
6	¹⁰³ Pd	7.40E+08	1	7.40E+08	40	2.96E+10
7	⁴⁴ Sc	1.48E+09	1	1.48E+09	10	1.48E+10
8	⁸⁹ Zr	3.70E+08	1	3.70E+08	10	3.70E+09
9	¹⁷⁷ Lu	9.25E+09	4	3.70E+10	300	1.11E+13
10	²¹¹ At	3.70E+07	2	7.40E+07	300	2.22E+10
11	²²³ Ra	3.70E+07	2	7.40E+07	300	2.22E+10
12	²²⁵ Ac	3.70E+07	2	7.40E+07	300	2.22E+10

表3-5 留样贮存规划一览表

序号	核素名称	单次最大留样量 (Bq)	日最大操作次数 (次)	日最大留样操作量 (Bq)	年操作天数 (天)	年最大用量 (Bq)
1	⁶⁸ Ge	3.70E+09	2	7.40E+09	30	2.22E+11
2	¹⁸ F	7.40E+09	2	1.48E+10	300	4.44E+12
3	⁶⁴ Cu	1.85E+09	1	1.85E+09	50	9.25E+10
4	^{99m} Tc	1.85E+09	2	3.70E+09	300	1.11E+12
5	¹⁰³ Pd	7.40E+08	1	7.40E+08	40	2.96E+10
6	⁴⁴ Sc	1.48E+09	1	1.48E+09	10	1.48E+10
7	⁸⁹ Zr	3.70E+08	1	3.70E+08	10	3.70E+09
8	¹⁷⁷ Lu	9.25E+09	4	3.70E+10	300	1.11E+13

9	²¹¹ At	3.70E+07	2	7.40E+07	300	2.22E+10
10	²²³ Ra	3.70E+07	2	7.40E+07	300	2.22E+10
11	²²⁵ Ac	3.70E+07	2	7.40E+07	300	2.22E+10

3.1.1.3 三层：研发实验场所

三层研发实验场所（非放区域），属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，由仪器室 1~2、药物制剂实验室、光谱分析室、留样室、稳定性考察室 1~2、天平室、标本接收室、色谱分析室、核素工艺冷实验室组成，使用不含放射性物质试剂开展研发练习、试验。

三层研发实验场所（涉放区域）：由放射性分析室 1~3、热实验室 1~3、后区 1~3、理化实验室、细胞室、洁具间、天平室、放射性原料库、放射性废物库及配套紧急冲淋、去污监测、卫生缓冲间等用房组成。使用放射性核素 ⁶⁸Ge、¹⁸F、⁶⁴Cu、^{99m}Tc、¹⁰³Pd、⁴⁴Sc、⁸⁹Zr、¹⁷⁷Lu、²¹¹At、²²³Ra、²²⁵Ac、⁶⁸Ga、⁶⁷Cu、²¹²Pb 共 14 种核素，每日操作核素种类不超过 4 种，开展标记物标记、吸附、分离等研发实验等研究开发工作。

本区域具体放射性核素操作量情况见表 3-6。

表3-6 研发实验场所放射性核素操作量一览表

序号	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	年最大操作天 数(天)	年最大用量 (Bq)	工作场所
1	⁶⁸ Ge	7.40E+09	100	7.40E+11	三层研发 实验场所， 每日最多 使用 4 种 核素
2	¹⁸ F	7.40E+09	100	7.40E+11	
3	⁶⁴ Cu	7.40E+09	100	7.40E+11	
4	^{99m} Tc	7.40E+09	100	7.40E+11	
5	¹⁰³ Pd	1.85E+09	100	1.85E+11	
6	⁴⁴ Sc	1.48E+08	100	1.48E+10	
7	⁸⁹ Zr	7.40E+07	100	7.40E+09	
8	¹⁷⁷ Lu	1.48E+10	100	1.48E+12	
9	²¹¹ At	7.40E+07	100	7.40E+09	
10	²²³ Ra	7.40E+07	100	7.40E+09	
11	²²⁵ Ac	7.40E+07	100	7.40E+09	
12	⁶⁸ Ga	7.40E+09	100	7.40E+11	
13	²¹² Pb	7.40E+09	100	7.40E+11	
14	⁶⁷ Cu	7.40E+09	100	7.40E+11	

3.1.1.4 四层：动物实验场所

四层动物细胞实验场所（非放区域）由细胞培养室、细胞分析检测室、样品准备间、洗消灭菌间、样品储存间及备用实验室组成，开展非临床药代动力学及药理性、毒理性实验。

四层动物细胞实验场所（涉放区域），属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、分装室、注射室、血液生化实验室、放射性动物饲养室、留观室、解剖室、洁具间及配套控制室、卫生缓冲区，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{44}Sc 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 开展非临床阶段的动物显像，在 SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展非临床阶段的动物显像，另外，使用放射性核素 ^{103}Pd 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{212}Pb 用于药理性、毒理性实验。本项目涉及的射线装置规模见表 3-7，该场所每日最多操作 4 种放射性核素。

表3-7 射线装置规模一览表

序号	装置名称	类别	数量 (台)	型号	最大管电 压 (kV)	最大管电 流 (mA)	用途	工作场所
1	PET/CT	III类	1	待定	100	1	显像	四层 PET/CT 机房
2	SPECT/CT	III类	1	待定	100	1	显像	四层 SPECT/CT 机 房

3.1.1.5 项目主要建设内容汇总

本次评价主要建设内容汇总见下表。

表3-8 本次评价主要建设内容一览表

类别	项目	建设内容	备注
主体工程	2-2#厂房，建筑长 44.0 米，宽 44.0 米，占地面积为 1744.84	一层回旋加速器及药物生产场所，属 1 个甲级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 1#加速器机房，在机房内使用 1 台回旋加速器（最大能量为 30MeV，最大束流强度 750 μA ，属 I 类射线装置），配套建设 4 条生产线，用于 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共 7 种放射性药物的生产； 二层药物生产及质检场所，属 1 个甲级非密封放射性物质工作场所，建设生产场所（包括 4 条药物生产线，分别为 2-1 车间至 2-4 车间）、质检区及相关辅助用房，在生产区外购钼铈发生器 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）及	新建

类别	项目	建设内容	备注
	平方米，建筑高度 23.95 米，共 4 层	其他核素原液，经淋洗、标记、纯化、分装等工序进行 ^{99m}Tc、^{68}Ge、^{177}Lu、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac 共 6 种放射性药物的生产、使用和销售；在质检区对 ^{68}Ge、^{68}Ga、^{18}F、^{64}Cu、^{103}Pd、^{44}Sc、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{177}Lu、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac 共 12 种核素开展质检； 三层研发实验场所，属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设放射性实验室及配套用房，使用放射性核素 ^{68}Ge、^{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 共 14 种核素开展标记物质研究开发工作； 四层动物实验场所，属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、分装室、注射室、血液生化实验室、放射性动物饲养室、留观室及相关辅助用房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属Ⅲ类射线装置），在 SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属Ⅲ类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F、^{64}Cu、^{103}Pd、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{177}Lu、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{68}Ga、^{67}Cu、^{212}Pb、^{44}Sc 共 13 种核素用于非临床药代动力学及药理性、毒理性实验和非临床阶段的动物实验（实验对象为实验大鼠、小鼠、豚鼠、兔子、犬类，均为 SPF 级（无特定病原体动物）实验动物）。	
辅助工程	值班室	拟设 1 间值班兼门岗室，位于 1F 人员入口处，面积约 12.3m ² 。	新建
	危废暂存间	拟设 1 间危废暂存间，位于 -1F，面积约 13.4m ² ，用于暂存危险废物。	新建
	放射性固体废物暂存库	拟在 -1F 集中设 3 间放射性固体废物暂存库，分为 1 间长半衰期（建筑面积为 138m ² ）、2 间短半衰期（建筑面积分别为 38m ² 、39m ² ）。在 2F~4F 每层东南角各设置 1 间放射性废物暂存库，面积分别为 28.7m ² 、28.7m ² 和 16m ² 。	新建
	衰变池和放射性废液浓缩室	衰变池和放射性废液浓缩室位于 -1F，衰变池分为长半衰期衰变池（四级并联，有效容积分别为 58.65m ³ +57.75m ³ +57.75m ³ +57.75m ³ ）、短半衰期衰变池（四级并联，有效容积分别为 31.5m ³ +31.5m ³ +31.5m ³ +31.5m ³ ）和备用应急池（2 级并联，有效容积分别为 48.43m ³ +48.15m ³ ），1 间浓缩室（13m ² ）用于暂存含 ^{68}Ge 放射性废液。	新建
	动物尸体冷冻暂存库	拟设 1 间动物尸体冷冻暂存库，位于 4F 东南角，面积约 20.5m ² ，用于暂存含有放射性核素的废弃动物组织、尸体。	新建
储运工程	非放原料库	拟设 4 间非放原料库，分别位于 1F~4F 各层东侧物料入口旁，面积分别为 60m ² 、32m ² 、32m ² 、14m ² ，用于储存生产、质检、研发、实验用的非放原辅料。	新建
	化学品暂存间	拟设 2 间化学品暂存间，分别位于 3F~4F 实验区西侧角落，面积分别为 5m ² 、4m ² ，用于储存实验和检测化学品。	新建
	放射性原料库	拟设 3 间，生产研发使用的放射性原料按订单计划采购，部分长半衰期放射性原料可能需分批次使用，暂存于 2 楼至 4 楼的放射性原料库内，面积均为 15.1m ² ，采取双人双锁管理，领用登记。	新建
	成品暂	拟设 1 间成品暂存库，位于 1F 西南角，面积 24m ² ，用于放射性药	新建

类别	项目	建设内容	备注
	存库	物成品暂存，采取双人双锁管理，领用登记。	
	储源室	拟设 1 间储源室，位于 4F 动物实验场所内西侧，面积约 7.2m ² ，内设保险柜，用于储存临时存放的放射性药品，采取双人双锁管理，领用登记。	新建
公用工程	给水	由市政供水，依托“中子科学基地建设项目”供水管网。	依托
	排水	雨污分流。雨水排入市政雨水管网；生活污水、不沾染放射性的废水及满足清洁解控水平的废液依托中子科学基地污水处理站处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网。	依托
	供配电	由市政供电，依托“中子科学基地建设项目”供配电系统。	依托
环保工程	废气处理措施	放射性废气： 本项目辐射工作场所拟共设置 58 套独立的放射性废气排风系统，不与监督区及清洁区共用排风系统。 回旋加速器机房内拟设置 1 套独立的排风系统，经独立排风管线通至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器净化后，高于屋面 3 米排放。 生产箱体、质检、研发及实验区域的 27 个手套箱均设置单独的排风系统，共设置 27 套独立的放射性废气排风系统，每套排风系统的风速不低于 0.5m/s，箱体顶壁各拟设置活性炭过滤器，所有放射性废气排风系统均经独立排风管线通至屋面，高于屋面 3m 排放。 其余辐射工作场所共设置 30 套放射性废气排风系统，所有放射性废气排风系统均经独立排风管线通至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器净化后，高于屋面 3m 排放。 非放废气： 非放废气主要是放射性药物生产和实验过程伴随产生少量盐酸和硫酸、乙醇等物质产生少量的挥发性有机物以及动物房临时饲养产生的恶臭；回旋加速器、PET/CT 和 SPECT/CT 运行电离产生的微量臭氧和氮氧化物，均由独立的废气管线收集后，经活性炭过滤器净化后引至所在楼屋顶，高于屋面 3m 排放。	新建
	废液处理措施	放射性废液： 放射性废液（除含 ⁶⁸Ge）储存在负一层衰变池内，衰变满足暂存时间要求后，半衰期小于 24h 的解控排放，大于 24h，需监测达标（总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L）并经生态环境主管部门认可后，方可按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放；含 ⁶⁸Ge 放射性废液收集后在负一层放射性废液浓缩室暂存，定期委托有资质的单位处理。 雨水： 排入厂区雨水管网，汇入市政雨水管网； 非放废水： 生活污水、不沾染放射性的废水及满足清洁解控水平的废液依托中子科学基地污水处理站处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网。	依托
	固废处理措施	放射性固废： 由专用桶装容器分类收集，暂存于放射性废物暂存间内，按其	新建

类别	项目	建设内容	备注
		核素衰变特性分类处理，对于不可解控的放射性固体废物定期委托有资质的单位处置。 生活垃圾： 设垃圾桶，生活垃圾分类收集后，运至生活垃圾收集点暂存，定期交当地环卫部门统一清运。 一般固废： 主要为设备维修产生的废零件、纯水制备产生的废反渗透膜，分类收集，交回收单位处理。 未注射放射性药物的实验动物饲养过程产生的吸附有动物尿液的垫料及粪便，以及达到清洁解控水平的动物粪便、尸体及组织器官，定期交资质单位无害化处理。 危险废物： 本项目产生的实验废液、废实验器材、废培养基、废紫外灯管、制靶废液、（清洁解控后的）废活性炭和（清洁解控后的）废医用器具等危险废物，暂存在负一层危险废物暂存库，定期交有资质的单位处理。	
	噪声防治措施	选用低噪声设备，并采取基础减震、软管连接设计等降噪措施。	新建
	防渗措施	各实验室的地面应采取防腐防渗措施，并设置托盘以防止化学试剂渗漏，放射性废物暂存库、衰变池、放射性浓缩室按照重点防渗区，参照《石油化工工程防渗技术规范》（GB/T50934-2013）采用抗渗等级不低于 P8 的防渗混凝土等防腐防渗措施，设置警示标识标牌。	新建

3.1.2 工作场所分级

（1）工作场所判定依据

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）规定，满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

①有相对独立、明确的监督区和控制区分；②工艺流程连续完善；③有相对独立的辐射防护措施。

根据项目的工艺流程以及各楼层平面布置及辐射“两区”划分情况可知，不同楼层之间均设有物理隔离，各场所相对独立；不同楼层工作场所均各自配有专用的屏蔽工作箱室，质检、研发及动物实验场所各自配有专用的手套箱、防护屏风等防护措施；彼此生产工艺之间不存在工艺流程上的连续性。

从工艺流程来看，相同楼层中，一层回旋加速器生产区域和各生产线，一层4条生产线均从同一加速器生产核素，并利用相同走廊、包装室。二层共用走廊、包装室；三层和四层辐射工作场所集中布置，入口卫生缓冲区、去污间、洁具间、

原料库、废物库均存在一定关联。

因此，按照环办辐射函〔2016〕430号场所判断依据，本次将一层至四层分别划为非密封放射性物质工作场所进行管理，共计4个非密封放射性物质场所。

（2）分级判定依据

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C非密封源工作场所的分级规定，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）与该核素毒性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。非密封放射性物质工作场所的分级判据如表3-9。

表3-9 非密封放射性物质工作场所的分级判据

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 $\sim 2 \times 10^7$

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录A以及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）确定毒性分组。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C确定操作方式与放射源状态修正因子。

（3）各工作场所等级计算结果

工作场所的等级以在此场所操作的所有核素的日等效最大操作量叠加之和来确定。本项目非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量核算结果及工作场所分级情况见表3-10。

表3-10 本项目日等效最大操作量核算结果及工作场所分级情况

序号	活动种类和范围													备注
	辐射活动场所名称	场所等级	核素名称	物理状态	活动种类	用途	实际日最大操作量(贝克)	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量(贝克)	年最大用量(贝克)	
1	一层 1#回旋加速器机房及生产场所	甲级 (2.64E+12Bq)	⁶⁸ Ge (⁶⁸ Ga)	固态/液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	8.51E+10	中毒	0.1	特别危险的操作	0.01	8.51E+11	2.98E+12	¹⁸ F 每日都生产, 包括其内, 每日最多生产 5 种核素。
2			⁶⁸ Ga	液态	生产、使用	放射性药品生产	8.51E+10	低毒	0.01	特别危险的操作	0.01	8.51E+10	2.98E+12	
3			¹⁸ F	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	7.40E+11	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+09	2.22E+14	
4			⁶⁴ Cu	固态/液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.33E+11	低毒	0.01	特别危险的操作	0.01	1.33E+11	7.98E+12	
5			^{99m} Tc	固态/液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	2.22E+11	低毒	0.01	特别危险的操作	0.01	2.22E+11	1.11E+13	
6			¹⁰³ Pd	固态/液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.33E+11	中毒	0.1	特别危险的操作	0.01	1.33E+12	6.65E+12	
7			⁴⁴ Sc	固态/液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.48E+10	低毒	0.01	特别危险的操作	0.01	1.48E+10	1.48E+11	
8			⁸⁹ Zr	固态/液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.48E+10	中毒	0.1	特别危险的操作	0.01	1.48E+11	1.48E+11	
1	二层药物生产及质检场所	甲级 (2.38E+11Bq)	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	液态	使用	放射性药品生产	3.70E+10	中毒	0.1	贮存	100	3.70E+07	1.85E+12	\
2			^{99m} Tc	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	3.33E+10	低毒	0.01	简单操作	1	3.33E+08	9.99E+12	钼铈发生器生产所得
3			⁶⁸ Ge (⁶⁸ Ga)	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	8.51E+10	中毒	0.1	简单操作	1	8.51E+09	8.51E+12	\

序号	活动种类和范围													备注
	辐射活动场所名称	场所等级	核素名称	物理状态	活动种类	用途	实际日最大操作量（贝克）	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量（贝克）	年最大用量（贝克）	
4			⁶⁸ Ga	液态	生产、使用	放射性药品生产	8.51E+10	低毒	0.01	简单操作	1	8.51E+8	8.51E+12	\
5			¹⁷⁷ Lu	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	7.40E+11	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+10	2.22E+14	\
6			²¹¹ At	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.48E+09	高毒	1	特别危险的操作	0.1	1.48E+10	4.44E+11	每日最多生产1种核素
7			²²³ Ra	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.48E+09	极毒	10	特别危险的操作	0.1	1.48E+11	4.44E+11	
8			²²⁵ Ac	液态	生产、使用、销售	放射性药品生产	1.48E+09	极毒	10	特别危险的操作	0.1	1.48E+11	4.44E+11	
9			⁶⁸ Ge	液态	使用	质检	7.40E+09	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+08	7.40E+11	\
10			⁶⁸ Ga	液态	使用	质检	7.40E+09	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+07	2.22E+12	\
11			¹⁸ F	液态	使用	质检	1.48E+10	低毒	0.01	简单操作	1	1.48E+08	4.44E+12	\
12			⁶⁴ Cu	液态	使用	质检	1.85E+09	低毒	0.01	简单操作	1	1.85E+07	9.25E+10	\
13			^{99m} Tc	液态	使用	质检	3.70E+09	低毒	0.01	简单操作	1	3.70E+07	1.11E+12	\
14			¹⁰³ Pd	液态	使用	质检	7.40E+08	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+07	2.96E+10	\
15			⁴⁴ Sc	液态	使用	质检	1.48E+09	低毒	0.01	简单操作	1	1.48E+07	1.48E+10	\
16			⁸⁹ Zr	液态	使用	质检	3.70E+08	中毒	0.1	简单操作	1	3.70E+07	3.70E+09	\
17			¹⁷⁷ Lu	液态	使用	质检	3.70E+10	中毒	0.1	简单操作	1	3.70E+09	1.11E+13	\
18			²¹¹ At	液态	使用	质检	7.40E+07	高毒	1	简单操作	1	7.40E+07	2.22E+10	\
19			²²³ Ra	液态	使用	质检	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08	2.22E+10	\
20			²²⁵ Ac	液态	使用	质检	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08	2.22E+10	\
21			⁶⁸ Ge	液态	使用	留样	7.40E+09	中毒	0.1	贮存	100	7.40E+06	2.22E+11	\
22			¹⁸ F	液态	使用	留样	1.48E+10	低毒	0.01	贮存	100	1.48E+06	4.44E+12	\

序号	活动种类和范围													备注
	辐射活动场所名称	场所等级	核素名称	物理状态	活动种类	用途	实际日最大操作量（贝克）	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量（贝克）	年最大用量（贝克）	
23			⁶⁴ Cu	液态	使用	留样	1.85E+09	低毒	0.01	贮存	100	1.85E+05	9.25E+10	\
24			^{99m} Tc	液态	使用	留样	3.70E+09	低毒	0.01	贮存	100	3.70E+05	1.11E+12	\
25			¹⁰³ Pd	液态	使用	留样	7.40E+08	中毒	0.1	贮存	100	7.40E+05	2.96E+10	\
26			⁴⁴ Sc	液态	使用	留样	1.48E+09	低毒	0.01	贮存	100	1.48E+05	1.48E+10	\
27			⁸⁹ Zr	液态	使用	留样	3.70E+08	中毒	0.1	贮存	100	3.70E+05	3.70E+09	\
28			¹⁷⁷ Lu	液态	使用	留样	3.70E+10	中毒	0.1	贮存	100	3.70E+07	1.11E+13	\
29			²¹¹ At	液态	使用	留样	7.40E+07	高毒	1	贮存	100	7.40E+05	2.22E+10	\
30			²²³ Ra	液态	使用	留样	7.40E+07	极毒	10	贮存	100	7.40E+06	2.22E+10	\
31			²²⁵ Ac	液态	使用	留样	7.40E+07	极毒	10	贮存	100	7.40E+06	2.22E+10	\
1	三层研发实验场所	乙级 (3.70E+09Bq)	⁶⁸ Ge	液态	使用	实验、研发	7.40E+09	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+08	7.40E+11	每日使用核素不超过4种
2			¹⁸ F	液态	使用	实验、研发	7.40E+09	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+11	
3			⁶⁴ Cu	液态	使用	实验、研发	7.40E+09	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+11	
4			^{99m} Tc	液态	使用	实验、研发	7.40E+09	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+11	
5			¹⁰³ Pd	液态	使用	实验、研发	1.85E+09	中毒	0.1	简单操作	1	1.85E+08	1.85E+11	
6			⁴⁴ Sc	液态	使用	实验、研发	1.48E+08	低毒	0.01	简单操作	1	1.48E+06	1.48E+10	
7			⁸⁹ Zr	液态	使用	实验、研发	7.40E+07	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+06	7.40E+09	
8			¹⁷⁷ Lu	液态	使用	实验、研发	1.48E+10	中毒	0.1	简单操作	1	1.48E+09	1.48E+12	
9			²¹¹ At	液态	使用	实验、研发	7.40E+07	高毒	1	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+09	
10			²²³ Ra	液态	使用	实验、研发	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08	7.40E+09	
11			²²⁵ Ac	液态	使用	实验、研发	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08	7.40E+09	
12			⁶⁸ Ga	液态	使用	实验、研发	7.40E+09	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+11	
13			²¹² Pb	液态	使用	实验、研发	7.40E+09	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+08	7.40E+11	

序号	活动种类和范围													备注
	辐射活动场所名称	场所等级	核素名称	物理状态	活动种类	用途	实际日最大操作量（贝克）	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量（贝克）	年最大用量（贝克）	
14			^{67}Cu	液态	使用	实验、研发	$7.40\text{E}+09$	中毒	0.1	简单操作	1	$7.40\text{E}+08$	$7.40\text{E}+11$	
1	四层动物细胞实验场所	乙级 ($9.59\text{E}+08\text{Bq}$)	^{18}F	液态	使用	实验	$5.55\text{E}+08$	低毒	0.01	简单操作	1	$5.55\text{E}+06$	$1.78\text{E}+10$	每日使用核素不超过4种
2			^{64}Cu	液态	使用	实验	$1.48\text{E}+08$	低毒	0.01	简单操作	1	$1.48\text{E}+06$	$5.92\text{E}+09$	
3			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	使用	实验	$7.40\text{E}+07$	低毒	0.01	简单操作	1	$7.40\text{E}+05$	$1.48\text{E}+09$	
4			^{103}Pd	液态	使用	实验	$1.48\text{E}+08$	中毒	0.1	简单操作	1	$1.48\text{E}+07$	$5.92\text{E}+09$	
5			^{44}Sc	液态	使用	实验	$1.48\text{E}+08$	低毒	0.01	简单操作	1	$1.48\text{E}+06$	$5.92\text{E}+09$	
6			^{89}Zr	液态	使用	实验	$1.48\text{E}+08$	中毒	0.1	简单操作	1	$1.48\text{E}+07$	$5.92\text{E}+09$	
7			^{177}Lu	液态	使用	实验	$1.33\text{E}+08$	中毒	0.1	简单操作	1	$1.33\text{E}+07$	$2.22\text{E}+09$	
8			^{211}At	液态	使用	实验	$4.44\text{E}+07$	高毒	1	简单操作	1	$4.44\text{E}+07$	$7.40\text{E}+08$	
9			^{223}Ra	液态	使用	实验	$4.44\text{E}+07$	极毒	10	简单操作	1	$4.44\text{E}+08$	$7.40\text{E}+08$	
10			^{225}Ac	液态	使用	实验	$4.44\text{E}+07$	极毒	10	简单操作	1	$4.44\text{E}+08$	$7.40\text{E}+08$	
11			^{68}Ga	液态	使用	实验	$3.70\text{E}+08$	低毒	0.01	简单操作	1	$3.70\text{E}+06$	$1.48\text{E}+10$	
12			^{212}Pb	液态	使用	实验	$4.44\text{E}+07$	中毒	0.1	简单操作	1	$4.44\text{E}+06$	$7.40\text{E}+08$	
13			^{67}Cu	液态	使用	实验	$2.66\text{E}+08$	中毒	0.1	简单操作	1	$2.66\text{E}+07$	$4.44\text{E}+09$	

注：根据 ^{68}Ge 核素特性，其衰变产生子体核素 ^{68}Ga ，由于母体的半衰期比子体的半衰期长得多，母子体之间的放射性平衡为长期平衡，考虑子体核素 ^{68}Ga 活度和母体活度相同。

由上表可知，本项目实施后，一层 1#回旋加速器机房及生产场所的场所日等效最大操作量为 $2.64 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，二层药物生产及质检场所工作场所日等效最大操作量为 $2.38 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，均大于 $4 \times 10^9\text{Bq}$ ，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定，属于甲级非密封放射性工作场所；三层研发实验场所的场所日等效最大操作量为 $3.70 \times 10^9\text{Bq}$ ，四层动物细胞实验场所的场所日等效最大操作量为 $9.59 \times 10^8\text{Bq}$ ，均属于 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9\text{Bq}$ 范围，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定，属于乙级非密封放射性工作场所。

3.2 工程设备与工艺分析

为了更加清晰地对本项目工程设备与工艺进行分析，根据本项目的特点，从工艺流程连续完整的角度，本章节分为涉放工程（章节见 3.2.1 至 3.2.3）和非放工程分别进行分析，劳动定员及项目涉及的人流和物流的路径规划汇总于 3.2.4 节和 3.2.5 节。

3.2.1 一层工艺流程

略

3.2.2 二层至四层工艺流程

3.2.2.1 射线装置工作原理

PET/CT 和 SPECT/CT 产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见下图。

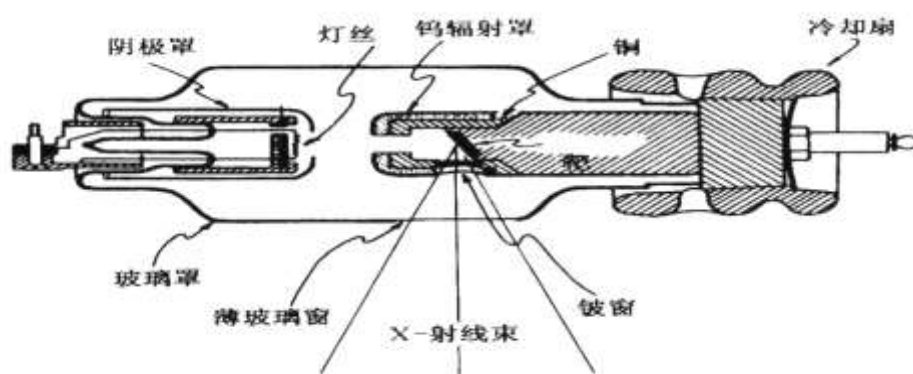


图3-1 典型 X 射线管结构图

3.2.2.2 PET/CT 设备组成

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography, PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为代谢显像。

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（Computer Tomography, CT）组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平

成像的影像技术。PET/CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变的信息。

3.2.2.3 SPECT/CT 设备组成

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography, 单光子发射型计算机体层显像) 是一种利用放射性核素的检查方法，其显像利用放射性同位素示踪原理和单光子探测技术，在分子水平显示活体动物组织器官的功能改变、细胞代谢、分子结合与信息传递等生物学特征和生化代谢过程。

计算机断层扫描 (Computed Tomography, 简称 CT) 是利用组织对 X 射线吸收率的差异，可清晰显示活体动物组织结构和解剖学形态改变。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 有机地组合在一起，通过计算机进行连接并经特殊软件处理后可进行图像融合的多学科影像系统。SPECT/CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。

3.2.2.4 工艺流程

略

3.2.3 放射性药物产品方案及销售流程

略

3.2.4 劳动定员

根据建设单位提供的资料，本项目建成后，拟新增辐射工作人员共 56 人。依据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》(环办辐射函〔2019〕853 号) 要求，建设单位承诺将积极组织项目拟定的辐射工作人员在上岗前参加相对应专业类别的辐射安全和防护考核，确保所有辐射工作人员考核通过持证上岗。

3.2.5 人流和物流规划

本项目共涉及 4 个非密封放射性物质场所，分别设有相对独立的人员和物流通道，下文分场所对路径规划进行介绍：

3.2.5.1 一层加速器一机房及放射性药物制备区

①回旋加速器设备操作工作人员路线：

2-2#厂房东侧主门厅进入→更衣区（工作服）→工作区走廊→回旋加速器机房控制室→工作结束后，原路离开。

②各生产线药物操作人员路线

2-2#厂房东侧主门厅进入→走廊→换鞋、更衣区（日常服）→走廊→换鞋、更洁净衣（洁净服）→缓冲→相应的 1-1 车间至 1-4 车间→工作结束后→洗消间（配有表面污染仪，若监测出现身体沾污则将进行去污，并经再次监测合格后离开）→缓冲→更洁净衣→换鞋→走廊→门厅出。

③放射性原料路线

靶材料流出通道：

1#回旋加速器机房的加速器→专用传输管路→生产车间后区的热室的合成仪内。

④产品通道

各生产线药物→包装间→由厂区西南侧大门离开，委托有资质的运输单位进行药物运输。

若因天气、订单变化等原因产品需临时暂存，其路线为：生产热实验室→传递窗→外包间→涉核走廊→成品暂存库。

已发运不合格品召回通道/退货通道：则由车间一层西北端进入→不合格品库。

⑤污物路线

a)回旋加速器机房→走廊→负一层放射性废物库。

b)各生产线→放射性固体废物→生产线专用放射性废物收集桶→定期转运至负一层放射性废物库暂存→暂存至满足解控水平后→由西南侧出口运离。

3.2.5.2 二层药物生产及质检场所

①工作人员路线

生产人员：厂房东侧主门厅进入→乘专用电梯上二层→男总更/女总更（工作服）→各生产线的换鞋洗手→更衣→去污缓冲→2-1 车间至 2-4 车间前区→工作结束后→去污缓冲（配有表面污染监测仪和去污设备）→更衣→换鞋洗手→男总更/女总更（工作服）→二层客梯厅→乘客梯至一层→大厅出。

质检人员：厂房东侧主门厅进入→乘专用电梯上二层→男总更/女总更（工作服）→卫生缓冲间→质检区相应房间→工作结束后→卫生缓冲间去污区（表面污染监测。若人体沾污，则进入去污区去污至表污达标后并能退出）→男总更/女总更（工作服）→二层客梯厅→乘客梯至一层→大厅出。

②放射性原料流入通道

由车间一层西北端接收进入→一层西北端涉核货梯→二层涉核货梯厅→二层涉核走廊→各生产区后区。

若放射性原料需要暂存，则由厂房一层西北端进入后进行二层→经检测登记后存放在二层放射性原料库内暂存。

非放射性原料流入通道：厂房东侧仓库货厅进入→非放货梯上二层→非放货厅→脱包准备间→传递窗→2-1 车间至 2-4 车间。

③产品通道

放射性产品流出通道：生产热实验室→传递窗→外包间→涉核走廊→成品货梯电梯厅→乘涉核货梯至一层→厂房西侧出货。

若因天气、订单变化等原因产品需临时暂存，其路线为：各生产线生产车间前区→传递窗→外包间→涉核走廊→成品货梯电梯厅→乘涉核货梯至一层→成品暂存库（一层）。

已发运不合格品召回通道/退货通道：则由厂房一层西北端进入→不合格品库。

④污物路线

各生产线/质检功能用房手套箱→2-1 车间至 2-4 车间后区→工作区走廊→二层放射性废物库→定期转移至负一层放射性废物库。

3.2.5.3 三层研发实验场所

①工作人员路线

厂房东侧主门厅进入→乘专用电梯上三层→男总更/女总更（工作服）→卫生缓冲间→相应实验室→工作结束后→卫生缓冲间去污监测区（表面污染监测。若人体沾污，则进入去污区去污至表污达标后方能退出）→男总更/女总更（工作服）→三层客梯厅→乘客梯至一层→大厅出。

②药物路线

一层西南侧入口→一层涉核货梯→三层涉核货梯厅→三层涉核走廊→放射性原料库→各实验室。

③污物路线

实验室固废桶收集→工作区走廊→三层放射性废物库→定期转移至负一层放射性废物库。

3.2.5.4 四层动物实验场所

①工作人员路线

放射性工作人员进入和退出放射性工作场所需按照规定的路线行进：

厂房东北侧主门厅进入→乘客梯至四层→四层前室→男总更/女总更（常服）→走廊→动物实验场所换鞋→更衣→各实验室或饲养室→工作结束后→动物实验场所工作走廊→污物检测室，洗消间（表面污染监测。若人体沾污，则进入洗消间去污至表污达标后方能退出）→缓冲→更衣→换鞋→走廊→男总更/女总更→乘专用电梯至一层→东侧主门厅出。

②动物路线

非放饲养室→治疗室打麻醉→注射室注射药物→涉放饲养室→相应机房→留观兼安乐死室→解剖室→动物尸体暂存库。

③放射性药物路线

一层西南侧入口→一层涉核货梯→四层涉核货梯厅→四层涉核走廊→放射性原料库→储源室→分装室。

④污物路线

分装注射产生的放射性固体废物就近暂存在分装室固废桶内；注射药物后的动物产生的排泄物及吸水纸做放射性固体废物处理→当天工作结束，第二天上班前，由辐射工作人员将其转移至东南角的放射性废物暂存库暂存→定期转移至负一层放射性废物库暂存。

3.2.6原辅材料

略

3.2.7工艺设备汇总

略

3.3施工期污染源项分析

本项目施工环节主要包括：地基开挖的土方工程、地基建的基础工程、主体结构建设工程、工作场所的表面装饰工程、设备的安装调试等，施工期主要环境污染因子包括废气、废水、噪声、固体废物等。施工期工艺流程如下图所示。

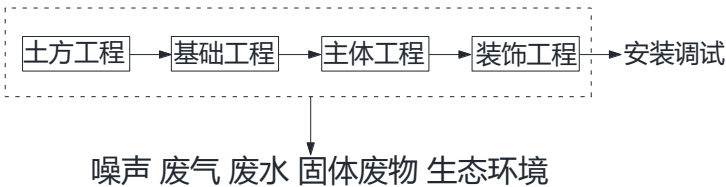


图3-2 施工期产污流程图

3.3.1废气

本项目施工期的废气主要来自于施工建筑材料的运输、装卸、堆放及搅拌过程中产生的扬尘；施工机械以及运输车辆产生的废气；装修废气。

3.3.2废水

施工期的废水包括施工废水及施工人员生活污水。

施工废水包括土方阶段排水、结构阶段混凝土养护排水及各种车辆冲洗废水等。施工废水排放量约 5m³/d。废水主要含石油类污染物和大量悬浮物。

施工高峰期人数可达 100 人左右，生活用水量按每人 0.1m³/d 计算，排放系数以 0.8 计，生活污水产生量为 8m³/d。

3.3.3噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有载重汽车、振荡机、电锯、电钻、点焊机、吊车等，根据《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ2034-2013）附录 A，这些机械的噪声一般在 72.5dB（A）~96dB（A）之间，各施工阶段的主要噪声源及噪声级见下表。

表3-11 施工中各阶段主要噪声源统计表

施工阶段	设备名称	声压级[dB(A)]	离声源距离（m）
土方阶段	压路机	85	5
	电动挖掘机	83	5
	推土机	85.5	5
	重型运输车	86	5
基础阶段	静力压桩机	72.5	5

施工阶段	设备名称	声压级[dB(A)]	离声源距离 (m)
结构阶段	混凝土振捣器	84	5
	商砼搅拌车	87.5	5
	电锯	96	5
	空压机	90	5
装修阶段	风镐	90	5
	云石机	93	5
	振动夯锤	96	5

3.3.4 固体废物

本项目施工期固体废物包括基础开挖产生的弃土、建筑垃圾及施工人员的生活垃圾。

根据设计单位提供的资料，本项目土建阶段预估土石方产生量约 30000m³，用于回填绿化用约 20000m³，产生弃土 10000m³，弃土运往当地建设部门指定填埋场处置。

建筑垃圾主要为施工作业产生的废砂石、废建材等。根据《建筑垃圾处理技术标准》（CJJ/T134-2019）估算，单位面积工程垃圾产生量基数 500t/10⁴m²，本项目建筑面积 11735m²，则建筑垃圾产生量约 58.7t。

本项目施工高峰期工人人数为 100 人，生活垃圾产生量按 0.5kg/人·d 计，产生量为 50kg/d。施工周期约 6 个月，生活垃圾产生量为 9t/a。

3.3.5 生态环境

在土地开挖过程中，会导致土地构型破坏，植被破坏，土壤流失，土层变薄，土壤发生层次缺失，局部蓄水固土的功能丧失，从而导致水土流失。

水土流失是指土壤在降水侵蚀力作用下的分散、迁移和沉积的过程。影响水土流失的因素较多，主要包括降雨、土壤、植被、地形地貌以及工程施工等因素。就本项目而言，影响施工期水土流失的主要因素是降雨和工程施工。

降雨是发生水土流失的最直接和最重要的自然因素。降雨对裸露地表的影响表现在两个方面：一是雨滴对裸露地表的直接冲溅作用，二是雨水汇集形成地表径流的冲刷作用，这种作用在暴雨时表现得更为集中和剧烈，往往引起较大强度的水土流失。因此在挖、填土施工时，应尽量避免雨季。

工程因素主要指人类的各项开发建设活动，它通过影响引起水土流失的各项自然因素而起作用，是促进水土流失加剧的重要因素。

3.4运营期非放射性污染源项

3.4.1废气

根据工艺流程分析可知，项目运营期产生的非放射性废气主要为放射性药物生产、研发分析实验伴随产生的微量酸性气体、有机废气以及动物饲养过程产生的恶臭。

(1) 酸雾

酸雾主要来源于盐酸、硫酸等试剂的操作过程，主要来自一层生产线溶解组装环节使用酸液；二层生产线淋洗液等稀释配制；三层、四层实验调节 pH 值使用酸液等工序，污染物以盐酸、硫酸雾来计。盐酸、硫酸原料总使用量为 0.008t/a，使用量较少，且操作、实验过程时间较短，酸雾产生量很小，涉及酸雾操作的环节均在密闭的手套箱内进行，由手套箱收集后，经活性炭过滤器净化处理后高于屋面 3 米排放。本次环评不进行定量评价。

(2) 有机废气

有机废气主要来自于药物前体研发检测分析、普通细胞实验时，样品制备、试剂配备时使用少量的乙酸乙酯、甲苯、甲醇等物质进行研究实验，由于使用有机试剂使用总量为 0.315t/a，使用量很小，为间断性排放，所有操作均在手套箱或通风橱等密闭设施内进行，由手套箱或通风橱收集后，经活性炭过滤器净化处理后高于屋面 3 米排放。本次环评不进行定量评价。

(3) 生物气溶胶

生物气溶胶主要来自细胞室、血液生化实验室的动物组织、细胞实验，可能产生生物气溶胶的操作均在 B2 生物安全柜中进行，生物安全柜自带的高效过滤器对粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上的气溶胶去除效率达到 99.99%，可确保排出的废气中不含生物气溶胶。

(4) 动物实验恶臭

本项目四层动物实验场所涉及动物实验，涉及动物饲养、解剖、手术，期间会产生恶臭气体；因解剖、手术时间较短，恶臭产生量较小，因此，本次评价主要针对动物饲养时产生的恶臭气体进行定量分析。

恶臭气体会刺激嗅觉器官，长时间吸入会令人产生头痛等不良反应。恶臭物质的溢出和扩散较为复杂，故很难进行准确定量分析，且臭气污染物的影响是人的一种主观感受，因此恶臭气体以 NH_3 和 H_2S 表征。

参考《养猪场恶臭影响量化分析及控制对策研究》，仔猪 NH_3 产生源强为 $0.7\text{g}/\text{头}\cdot\text{d}$ ，

H₂S 产生源强为 0.2g/头·d，根据实验动物的重量折算污染物产生量，具体见下表。

表3-12 本项目实验动物饲养污染物产生情况一览表

使用场所	动物种类	重量选取 (g/只)	年消耗量 (只)	折合猪数量 (只)	年饲养天数 (d)	污染物产生量 (kg/a)	
						NH ₃	H ₂ S
四层实验室	小鼠	约 20	xx	5	xx	0.098	0.028
	大鼠	约 200	xx	14	xx	0.274	0.078
	豚鼠	约 200	xx	3	xx	0.059	0.017
	兔	约 2000	xx	34	xx	0.333	0.095
	犬	约 5000	xx	43	xx	0.421	0.12
合计						1.19	0.34

本项目动物饲养区房间设有全排系统，房间内的气体收集至屋顶，经活性炭吸附处理后高于屋面 3 米排放，保守不考虑活性炭过滤器对恶臭气体的处理效率，则正常工况实验动物饲养，恶臭污染物产、排情况见下表。

表3-13 正常工况实验动物饲养恶臭污染物产、排情况

排放口编号	风量 (m³/h)	污染物因子	产生情况			排放情况			年排放 时间 (h)
			产生量 (t/a)	产生速率 (kg/h)	产生浓度 (mg/m³)	排放量 (t/a)	排放速率 (kg/h)	排放浓度 (mg/m³)	
PF-4-4	6400	NH ₃	1.19E-03	1.65E-04	2.57E-08	1.19E-03	1.65E-04	2.57E-08	7200
		H ₂ S	3.40E-04	4.72E-05	7.34E-09	3.38E-04	4.69E-05	7.34E-09	
		臭气 浓度	≤4000（无量纲）			≤2000（无量纲）			

3.4.2污、废水

项目产生的污、废水主要为生活污水、洗衣/洗鞋废水、动物实验笼具/仪器清洗废水、非放场所地面清洁废水、制备纯水产生的浓水、实验配制用水、实验清洗废水、高温高压灭菌器废水、动物用水、生产线清洗废水、其他涉核项目废水，本项目污、废水具体产、排情况见下文。

(1) 生活污水

本项目共拟定 56 名员工。根据《重庆市城市生活用水用水定额》(渝水〔2018〕66 号)，生活用水量按 110L/(人·d) 计，则每天用水量为 6.16m³，排放系数取 0.8，年工作天数 300 天，生活污水产生量为 1479m³/a(4.93m³/d)，主要污染物因子为 COD、BOD₅、SS、氨氮。

(2) 洗衣/洗鞋废水

拟在一层洁净区洗衣中心设置容量工业洁净洗衣机和洗鞋机各 1 台。每次洗衣用水

0.5m³，每天洗衣不超过 3 次。洗鞋每次用水 0.3m³，产生废水约 0.3m³，每天洗鞋不超过 2 次。清洗用水为 2.10m³/d，排放系数取 0.8，废水排放量为 1.68m³/d（504m³/a）。

（3）动物实验笼具/仪器清洗废水

拟在四层动物实验场所配套清洗机用于动物实验笼具/仪器清洗，每次用纯化水 0.5m³，工业蒸汽每次用量 0.02m³，每次产生清洗用水为 0.52m³/次，排放系数取 0.8，每周清洗 1 次，每年工作 50 周，算得 21.00m³/a。

（4）非放场所地面清洁废水

非放区域地面清洁采用拖把进行，产生地面清洁废水。根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），地面清洁用水标准为 2.0L/m²·次，需要清洁的总建筑面积保守按照 11735.66m²考虑，则地面清洁用水量为 23.47m³/次，排放系数取 0.8，地面清洁废水产生量为 18.78m³/次，每周拖地清洁 1 次，每年工作 50 周，折算 939.0m³/a。

（5）制备纯水产生的浓水

项目设有 5 台纯水制备器，采用“过滤+反渗透+消毒”组合工艺制备纯水，主要用于试剂配制、实验前仪器器皿润洗和实验后器皿清洗、产品配制，日生产纯水（0.49m³/d），年工作 300 天，年生产纯水 148.5m³/a，纯水制备率为 70%，新鲜水用量为（0.71m³/d）212.08m³/a。纯化水机制水将产生浓水，浓水产生量为 0.21m³/d（63.6m³/a）。

（6）实验配制用水

本项目实验过程中使用的盐酸、硫酸、碳酸钠需要加入纯水配制或稀释，实验室试剂配制纯水用水量为 0.01m³/d，年工作 300 天，年用水产生量为 3m³/a。

（7）实验清洗废水

二层至四层实验室会对实验器具进行清洗。清洗分三次。第一次清洗废水作为废液，按危险废物交有资质单位处理；第二、三次清洗废水排入园区污水处理站处理。每天第一次清洗时间 1 分钟，第二、三次清洗时间 5 分钟，参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），实验室化验水嘴（鹅颈）设计流量：0.2L/秒，年工作 300 天，则实验室第一次清洗水为 0.07m³/d（21m³/a），按危险废物交有资质单位处理。第二、三次清洗用水 0.36m³/d（108m³/a）。

（8）高温高压灭菌器废水

本项目对实验室所用直钳、弯钳等非一次性耗材灭菌及废弃样品灭活均采用高压灭菌器灭菌之后，根据建设单位提供资料，实验室高压灭菌器每天产生废水量约 0.02m³/d，年工作 300 天，年废水产生量 0.24t/a，收集后按危险废物交有资质单位处理。

(9) 动物用水

动物用水为纯水，动物饲养过程中饮用水指标为小鼠 7ml/天，实验室内在养小鼠数量为 80 只；大鼠和豚鼠饮用水指标为 100mL/天，实验室内在养大鼠和豚鼠数量合计 72 只；兔子饮用水指标为 150mL/天，实验室内在养兔子数量为 24 只；犬饮用水指标为 500mL/天，实验室内在养犬数量为 3 只。经计算，动物饮水量为 $0.013\text{m}^3/\text{d}$ ， $4.69\text{m}^3/\text{a}$ （按 365 天计）。一部分生长吸收，一部分进入粪便中作为放射性固废处置。

(10) 生产线清洗废水

引用 3.6.1 节结论，放射性废水产生量为 $0.04\text{m}^3/\text{d}$ ，排入衰变池或使用专门容器收集暂存，可达解控要求的排入园区污水处理站处理，无法解控的定期委托有资质的单位处理。

(11) 其他涉核项目废水

引用后文分析结论（详见 3.6.2 节），其他放射性废水产生量为 $2.52\text{m}^3/\text{d}$ ，排入衰变池或使用专门容器收集暂存，可达解控要求的排入园区污水处理站处理，无法解控的定期委托有资质的单位处理。

综上所述，本项目污、废水排放情况统计于下表。

表3-14 本项目污、废水排放情况一览表

序号	用水项目	新鲜水 (m^3/d)	日废水产生量 (m^3/d)	年产生量 (m^3/a)
1	生活污水	6.16	4.93	1479.00
2	洗衣/洗鞋废水	2.10	1.68	504.00
3	动物实验笼具/仪器清洗废水	0.52	0.42	21.00
4	非放场所地面清洁废水	23.47	18.78	939.00
5	制备纯水产生的浓水	0.70	0.21	63.00
6	实验配置用水	0.01	0.00	0.00
7	实验清洗废水	0.07	0.07	21.60
	实验清洗废水	0.36	0.36	108.00
8	高温高压灭菌器废水	0.02	0.02	6.00
9	动物用水	0.01	0.00	0.00
10	生产线清洗废水	0.04	0.04	12.00
11	其他涉核项目废水	2.52	2.52	216.70
汇总		35.98	29.03	3369.70

本项目水平衡图如下图所示。

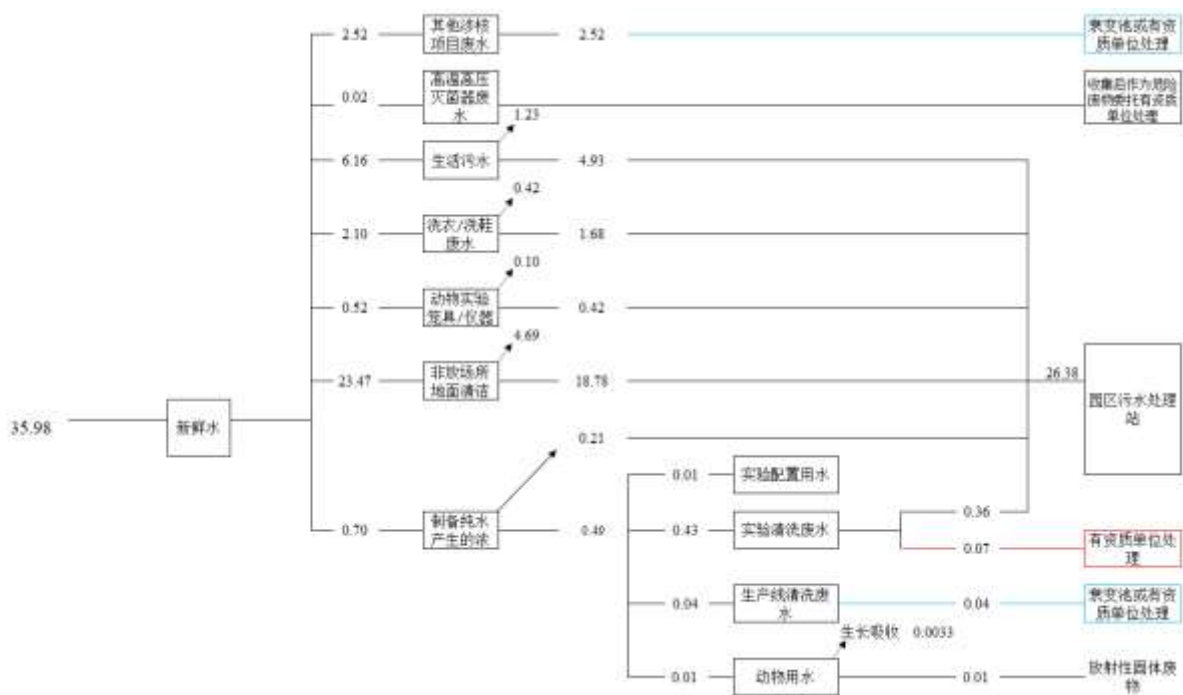


图3-3 本项目水平衡图 (m³/d)

3.4.3 固体废物

(1) 生活垃圾

生活垃圾按 0.5kg/(人·d) 计，劳动定员 56 人，则生活垃圾产生量为 28kg/d，年工作天数 300 天，年产生量为 8.4t/a。

(2) 一般固体废物

① 本项目营运期产生的一般固体废物主要为设备维修产生的废零件，产生量约 0.05t/a；

② 纯水制备产生的废反渗透膜，产生量约为 0.2t/a；

③ 未沾污的废包装材料，产生量约为 2t/a。

④ 未注射药物的实验动物产生的粪便与收集有尿液的垫料，产生量约 5t/a。

废零件、废反渗透膜、废包装材料统一收集后定期交回收单位处理，沾污垫料委托有资质的单位做无害化处理。

(3) 危险废物

① **实验废液**：对于盛装化学试剂的器皿，在器皿残留液体和前一次的冲洗废水为实验废液，实验过程产生的样品废液也作为实验废液。根据建设单位提供的资料，产生量为 21t/a。实验废液属于《国家危险废物名录》中 HW49 其他废物——900-047-49，经实验室设置的专用收集桶统一收集暂存于危废暂存间，定期交有资质的单位处置，不外排。

②**废实验器材**：实验室在进行操作时由于工作人员和客观因素会导致装有试剂的实验器材、试管、移液管等实验器材的破损。根据建设单位提供的资料，产生量为 0.05t/a，属于《国家危险废物名录》中 HW49 其他废物——900-041-49，分类收集后暂存于危废暂存间，交有资质单位处理。

③**废培养基**：实验完后产生废培养基，根据建设单位提供的资料，废培养基产生量约 0.01t/a，属于《国家危险废物名录》中 HW01 医药废物——841-001-01，经高温高压灭菌后暂存于危险废物暂存间，定期交由有资质的单位处置。

④**废紫外灯管**：本项目实验室使用紫外线消毒，该过程会产生一定量的废紫外灯管，根据建设单位提供的资料，废紫外灯管产生量约 0.01t/a。属于《国家危险废物名录》中 HW29 含汞废物——900-023-29，更换后交由有资质的单位处置。

⑤**制靶废液**：本项目固体靶核素需进行制靶，制靶废液产生量约为每批次 100mL，年产生总量为 0.0215t/a，属于《国家危险废物名录》中 HW17 表面处理废物——336-057-17、336-062-17，分类收集后暂存于危废暂存间，定期委托有相关危废资质的单位处置。

⑥**废滤芯**：生物安全柜中配置的高效过滤器滤芯定期更换，根据建设单位提供的资料，产生量为 0.5t/a，属于《国家危险废物名录》中 HW49 其他废物——900-041-49，收集后暂存于危废暂存间，交有资质单位处理。

⑦**废活性炭**：废气处理系统产生的废活性炭（清洁解控后），根据建设单位提供的资料，产生量为 22.68t/a，属于《国家危险废物名录》中 HW49 其他废物——900-039-49，收集后暂存于危废暂存间，交有资质单位处理。

⑧**动物实验产生的废医用器具**：动物实验使用的穿刺针、载玻片等废弃医用器具（清洁解控后），根据建设单位提供的资料，产生量最大为 0.06t/a，属于《国家危险废物名录》中 HW01 医疗废物——841-002-01，清洁解控后，后交有相应资质单位处理。

综上所述，本项目危险废物汇总见表 3-15。

3.4.4 噪声

本项目运营期主要的噪声源为空调离心风机、变压设备、空压机、空调外机和排风机。本项目拟采用经国家产品检验合格的设备，各类设备的噪声源强参考《环境噪声与振动控制工程技术导则》(HJ2034-2013)附录 A，主要噪声设备源强及治理措施见表 3-16 和表 3-17。

表3-15 本项目危险废物汇总表

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	21	研发实验	液态	有机物、酸性液体	有机物、酸性液体	1d	T	密封袋或密封箱收集，密闭转运，在危险废物暂存间贮存，交由有资质单位处置
废试剂瓶、废实验器具	HW49	900-041-49	0.05	研发实验	固态	玻璃、塑料、有机物	有机物	1d	T	
废培养基	HW01	841-001-01	0.01	细胞实验	固态	细胞组织	感染性废物	1个月	In	
废紫外线灯管	HW29	900-023-29	0.01	紫外线消毒	固态	汞	汞	3个月	T	
制靶废液	HW17	336-057-17、 336-062-17	0.0215	制作靶片	液态	重金属	金、铜	1周	T	
废滤芯	HW49	900-041-49	0.5	废气处理	固态	吸附的生物气溶胶	生物气溶胶	1年	In	
废活性炭	HW49	900-039-49	22.68	废气处理	固态	活性炭、有机物	有机物	1年	T	
废医用器具	HW01	841-002-01	0.06	动物实验	固态	穿刺针、载玻片	损伤性医疗废弃物	1d	In	

表3-16 本项目工业企业噪声源强调查清单（室外）

序号	声源名称	型号	空间相对位置 m			声功率级 dB (A)	声源控制措施	运行时段
			X	Y	Z			
1	排风机 1	/	3.4	12.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
2	排风机 2	/	8.5	21.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
3	排风机 3	/	8.5	17.6	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
4	排风机 4	/	3.5	7.6	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
5	排风机 5	/	16.7	39.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
6	排风机 6	/	31.2	21.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
7	排风机 7	/	1.4	18.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
8	排风机 8	/	13.6	4.5	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
9	排风机 9	/	29.3	30.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
10	排风机 10	/	21.9	58.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
11	排风机 11	/	8.5	12.1	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
12	排风机 12	/	27.8	38.5	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
13	排风机 13	/	22.7	32.4	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
14	排风机 14	/	31.2	17.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
15	排风机 15	/	31.2	13.2	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
16	排风机 16	/	29.5	38.5	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
17	排风机 17	/	37.8	30.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
18	排风机 18	/	3.8	24.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
19	排风机 19	/	12.7	11.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
20	排风机 20	/	15.9	11.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
21	排风机 21	/	31.2	9.1	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
22	排风机 22	/	3.8	37.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天

序号	声源名称	型号	空间相对位置 m			声功率级 dB (A)	声源控制措施	运行时段
			X	Y	Z			
23	排风机 23	/	3.8	32.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
24	排风机 24	/	16.8	19.4	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
25	排风机 25	/	21.9	23.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
26	排风机 26	/	1.4	27.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
27	排风机 27	/	26.1	33.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
28	排风机 28	/	33.4	30.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
29	排风机 29	/	33.4	28.4	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
30	排风机 30	/	9.1	58.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
31	排风机 31	/	18.7	58.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
32	排风机 32	/	3.8	30.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
33	排风机 33	/	20.3	58.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
34	排风机 34	/	3.8	15.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
35	排风机 35	/	8.5	15.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
36	排风机 36	/	13.1	15.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
37	排风机 37	/	16.6	14.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
38	排风机 38	/	16.4	17.1	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
39	排风机 39	/	13.0	18.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
40	排风机 40	/	22.6	15.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
41	排风机 41	/	39.5	30.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
42	排风机 42	/	36.7	39.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
43	排风机 43	/	31.4	39.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
44	排风机 44	/	34.6	40.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
45	排风机 45	/	33.5	40.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
46	排风机 46	/	26.7	16.7	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天

序号	声源名称	型号	空间相对位置 m			声功率级 dB (A)	声源控制措施	运行时段
			X	Y	Z			
47	排风机 47	/	23.9	11.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
48	排风机 48	/	8.5	12.2	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
49	排风机 49	/	7.6	7.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
50	排风机 50	/	11.2	1.4	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
51	排风机 51	/	17.9	23.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
52	排风机 52	/	21.6	11.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
53	排风机 53	/	20.7	15.4	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
54	排风机 54	/	21.9	58.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
55	排风机 55	/	24.6	38.5	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
56	排风机 56	/	27.6	33.0	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
57	排风机 57	/	33.4	31.9	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
58	排风机 58	/	34.2	6.8	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
59	排风机 59	/	20.0	5.3	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
60	排风机 60	/	31.2	16.2	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
61	排风机 61	/	8.5	10.4	24.5	70	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
62	空调外机	/	11.0	46.6	24.5	80	低噪声设备、基础减振、风机进出口设软接头	0:00-24:00, 300 天
注①：以 2-2#厂房西南角为坐标原点，正东方向为 X 轴，正北方向为 Y 轴，垂直向上方向为 Z 轴，考虑空间相对位置，表中所列 X、Y、Z 值均是相对于该坐标系而言； ②：排风机位于室外，外层设置百叶罩，隔声取 10dB(A)。								

表3-17 本项目工业企业噪声源强调查清单（室内）

序号	建筑名称	声源名称	型号	声源源强	声源控制措施	空间相对位置/m			距室内边界距离/m	室内边界噪声级/dB (A)	运行时段	建筑物插入损失/dB (A) ①	建筑物外噪声	
				声源声功率级/dB (A)		X	Y	Z					声压级/dB (A)	建筑物外距离 (m)
1	2-2#厂房二层空调机房	空调离心风机	/	80	选用低噪声设备、减振、设在室内，安装消声器等	14.5	55.6	7.5	2.4	62.7	0:00-24:00， 300 天	35	21.7	1
2	2-2#厂房三层空调机房	空调离心风机	/	80	选用低噪声设备、减振、设在室内，安装消声器等	4.5	55.6	14.0	1.8	69.7	0:00-24:00， 300 天	35	28.7	1
3	2-2#厂房三层变配电房	配电设备	/	85	选用低噪声设备、减振、设在室内，安装消声器等	20.4	55.6	14.0	3.1	74.5	0:00-24:00， 300 天	35	33.5	1
4	2-2#厂房四层空调机房	空调离心风机	/	80	选用低噪声设备、减振、设在室内，安装消声器等	6.4	55.0	18.9	1.8	69.6	0:00-24:00， 300 天	35	28.6	1
5	2-2#厂房四层空压机房	小型空压机	/	100	选用低噪声设备、减振、设在室内，安装消声器等	44.2	38.6	18.9	2.1	89.8	0:00-24:00， 300 天	35	48.8	1

注 1：建筑物插入损失参考《环境噪声控制工程》，洪宗辉主编，高等教育出版社，距室内边界距离及建筑物距离均以最近距离计，建筑物外噪声使用《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）附录 B 公式进行换算；

注 2：以 2-2#厂房西南角为坐标原点，正东方向为 X 轴，正北方向为 Y 轴，垂直向上方向为 Z 轴，考虑空间相对位置，表中所列 X、Y、Z 值均是相对于该坐标系而言。

3.5运营期辐射污染源项

(1) 质子

本项目回旋加速器加速粒子为质子。质子的穿透性很弱（在物质中的射程很短，仅为同等能量电子射程的几十分之一到百分之一），很容易被物质阻挡，其外照射防护在本项目中可不作考虑。

(2) 中子

回旋加速器出束打靶期间产生的中子主要来源于两种途径，一种为质子加速过程和通过准直器时损失打在铝质真空管壁和铝质准直器上发生 $^{27}\text{Al}(\text{p}, \text{n})^{27}\text{Si}$ 核反应的中子；另一种为质子射束轰击靶材料时发生 (p, n) 核反应，在生成放射性同位素的同时产生中子。

(3) α 、 β 、 γ 射线、X 射线

回旋加速器生产放射性核素 (p, n) 反应所释放的大量中子与靶周围部件、准直器、屏蔽体等物质相互作用将释放出 γ 射线、中子俘获产生 γ 射线及核素产生的 γ 射线。

小动物 PET/CT、SPECT/CT 出束时会产生 X 射线，造成外照射影响。

生产及实验使用的放射性核素会产生 α 、 β 射线及伴生 γ 射线、韧致辐射，会对与之接触的辐射工作人员造成外照射影响。

(4) α 、 β 表面污染

放射性药物的生产、质检、实验等活动过程中，不可避免地会引起设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 α 、 β 表面污染。

(5) 感生放射性

回旋加速器运行时的感生放射性主要来源于初始粒子与加速器部件相互作用产生，以及束流损失产生的次级中子引起的感生放射性。感生放射性强度取决于加速器粒子的能量、种类、流强、加速器运行时间、被照材料性质等因素。

回旋加速器运行产生的感生放射性不会对屏蔽体外的环境有贯穿辐射影响，其主要是对回旋加速器停机后，需要进入机房进行检查维修的工作人员造成辐射影响，以及排放到环境中的空气活化物质对周围公众造成的辐射影响。

本项目考虑加速器运行对结构部件、空气、冷却水及混凝土的感生放射性。

a) 加速器结构部件的感生放射性

加速器结构部件的感生放射性主要是初始粒子直接与结构材料相互作用产生，产生

部位集中在束流损失较大的部位，如束流管、偏转磁铁、结构材料，其主要材质为不锈钢、铝或铜。根据 FLUKA 程序模拟，加速器结构部件中半衰期较长的感生放射性核素种类及核素特征见下表。

表3-18 加速器结构部件中半衰期较长的感生放射性核素种类及核素特征

部位	材质	感生放射性核素	半衰期	辐射类型
束流管、偏转磁铁、结构材料	铝	^{22}Na	2.6a	EC、 β^+
		^{24}Na	15.0h	β^- 、 γ
	不锈钢	^{55}Fe	2.7a	EC
		^{56}Co	77.2d	EC、 β^+
		^{51}Cr	22.7d	EC
	铜	^{58}Co	70.85d	EC、 β^+
		^{61}Co	1.6h	β^- 、 γ
		^{64}Cu	12.8h	β^+ 、 γ
		^{65}Zn	243d	EC、 β^+

根据建设单位提供的资料，回旋加速器维护期间，产生的放射性废靶膜、碳膜等加速器活化部件约 10kg/a，根据建设单位提供的最大工况，通过 FLUKA 程序模拟设备连续运行 1 年，停机时刻加速器活化部件的放射性活度，计算结果见下表。

表3-19 加速器结构部件中的主要感生放射性产物计算结果（略）

由上表可知，停机后时加速器活化部件各核素活度与相应的豁免活度之比和大于 1，主要贡献核素为 ^{55}Fe 、 ^{56}Co ，其半衰期均较长，因此，加速器活化部件应作为放射性固废处理，暂存于回旋加速器机房内铅废物桶，最终交由有资质单位处理。

b) 空气活化产物

回旋加速器运行时，空气活化产物主要通过热中子俘获 ($n, 2n$)、(γ, n) 反应和散裂反应而产生，产生的核素主要是 ^3H （半衰期 12.3a）、 ^7Be （半衰期 53.3d）、 ^{13}N （半衰期 10min）、 ^{16}N （半衰期 7.13s）、 ^{17}F （半衰期 64s）和 ^{41}Ar （半衰期 1.83h）。它们对人体的危害是放射性气体浸没外照射和吸入引起的内照射，对半衰期极短的核素（如 ^{16}N 、 ^{17}F ），无论是向外排放还是工作人员进入机房前，它们都会衰变到可以忽略不计，可以不考虑。根据 FLUKA 程序模拟结果，长半衰期核素 ^3H 和 ^7Be 的产生率较低（比豁免活度低 2 个数量级），可不必考虑。因此，只需考虑 ^{13}N 和 ^{41}Ar 两种放射性核素。

①空气感生放射性静态饱和浓度

本次评价根据建设单位提供的最大工况，利用 FLUKA 程序计算了无通风的情况下，

模拟设备连续运行 1 年空气感生放射性静态饱和活度和活度浓度，结果见下表。

表3-20 机房内感生放射性气体静态饱和活度和活度浓度（略）

②考虑通风情况下，空气感生放射性动态饱和浓度

根据《加速器保健物理》(H.W.帕特森, R.H.托马斯)P296 公式(12)和 NCRP NO.144 报告 P345 公式(6.25~6.27)，在考虑通风的情况下，装置连续运行 t 时间后，停机时刻各场所内空气感生放射性动态饱和浓度可由下式计算，计算结果见表 3-21。

$$C_t = \frac{\lambda}{\lambda + r_1} C_{sat} \quad (\text{式 3-1})$$

式中，

C_t 为考虑通风的情况下，装置运行 t 时间后，停机时刻房间内空气中感生放射性动态饱和浓度， Bq/m^3 ；

C_{sat} 为不考虑通风的情况下，装置运行 t 时间，停机时刻房间内空气中感生放射性静态饱和浓度， Bq/m^3 ；

λ 为放射性核素的衰变常数， s^{-1} ； $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ；

r_1 为正常运行时房间内的换气次数， s^{-1} 。

表3-21 考虑通风的情况下空气感生放射性动态饱和浓度计算结果（略）

③排入环境的空气感生放射性核素

根据 NCRP NO.144 报告“6.3.1.4 节”，回旋加速器运行 t 时间向周围环境排放的感生放射性气体总活度可由下式计算。

$$Q_t = \int_0^t C_t R_t dt = \int_0^t \frac{\lambda}{\lambda + r_1} C_{sat} (1 - e^{-(\lambda + r_1)t}) R_t dt = \frac{\lambda}{\lambda + r_1} C_{sat} R_t \int_0^t (1 - e^{-(\lambda + r_1)t}) dt = \frac{\lambda}{\lambda + r_1} C_{sat} R_t \left(t - \frac{1}{\lambda + r_1} + \frac{e^{-(\lambda + r_1)t}}{\lambda + r_1} \right) \quad (\text{式 3-2})$$

式中：

Q_t 为运行 t 时间向周围环境排放的感生放射性气体的总活度， Bq ；

t 年出束时间， s ；本项目为 7200h；

R_t 为正常运行状态下的通风速率， cm^3/s ；

其余同式 3-1。

机房内全年通风，排入环境前经活性炭过滤系统，处理效率达 99.9%，由此可计算出运行期间每年排入环境的空气感生放射性核素活度和年平均排放速率，见下表。

表3-22 运行期间每年排入环境的空气感生放射性核素和年均排放速率

核素名称	Qt (Bq)	年均排放速率 (Bq/s)
^{13}N	3.06E+09	1.18E+02
^{41}Ar	5.31E+09	2.05E+02

c) 冷却水的感生放射性

正常运行期间,冷却水在闭路冷却系统管路中循环使用,不外排。维保或事故状态可能需要排除冷却水,以便进行设备检修,冷却水经专门的管道排入备用衰变池暂存。

通过 FLUKA 程序模拟,中子与冷却水中的氧发生散裂反应,主要产生 ^3H (半衰期 12.3a)、 ^{14}C (半衰期 5730a)、 ^{13}N (半衰期 10min)、 ^{16}N (半衰期 7.13s)、 ^{15}O (半衰期 2min)、 ^{17}F (半衰期 64s)、 ^{18}F (半衰期 109.8min)等放射性核素。其中 ^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{15}O 、 ^{17}F 、 ^{18}F 的半衰期很短,停机后,这些核素将迅速衰变,活度会很快降低。因此,冷却水中的感生放射性核素主要考虑半衰期较长的 ^3H 、 ^{14}C 。

本次评价利用 FLUKA 程序对回旋加速器冷却回路中的感生放射性进行了模拟计算,计算时使用的参数如下:

①束流损失:根据建设单位提供的最大工况下进行模拟,其束流损失列于表 5-18;

②模型简化:本项目回旋加速器冷却水路主要用于对离子源、偏转磁铁以及靶的冷却,考虑到离子源产生的粒子初始能量极低,在离子源附近没有较为集中的束流损失,因此主要考虑偏转磁铁和靶冷却水的感生放射性,设定上将直径 5cm 的水管紧贴在偏转磁铁和靶的附近,模拟水流经的情形。

取回旋加速器连续运行 1 年,模拟停机时及 1 天后偏转磁铁冷却水和靶冷却水计算结果列于表 3-23。

表3-23 冷却水感生放射性计算结果(略)

由上表可知, ^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{15}O 、 ^{17}F 、 ^{18}F 的半衰期很短,停机一天后,这些核素将迅速衰变,活度会很快降为 0Bq,半衰期大于 24 小时的 ^3H 和 ^{14}C 的感生放射性活度低于单次排放限值 1ALImin。

d) 土壤和地下水感生放射性

根据 FLUKA 程序模拟,地坪外表面与土层接触的边界处剂量率最大为 304 $\mu\text{Sv/h}$,瞬发剂量率小于文献《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》(南方能源建设 2016 年第 3 卷 第 3 期)中 5.5mSv/h 的土壤活化的剂量率限值,可不考虑对土壤和地下水感生放射性影响。

(6) 放射性三废

本项目放射性核素操作过程中产生放射性三废的相关源项见本章 3.6 节。

(7) 臭氧、氮氧化物

O₃ 和 NO_x 是当光子能量低于(γ , n)反应的阈能时, 光子对空气的辐照而产生, 其产生量与带电粒子的质量密切相关, 是电子加速器环境影响评价中需要考虑的因素。对本项目的质子加速器而言, 其辐射场主要为中子辐射, 光子产额很小。且质子的质量比电子的质量高几个量级。因此, 对质子加速器, 其 O₃ 和 NO_x 产生量很小, 可以不用考虑。

3.6运营期放射性废弃物

3.6.1放射性固体废物

本项目放射性固废主要来自回旋加速器设备维修更换产生的废弃部件、各放射性药物生产线(1-1 车间至 1-4 车间、2-1 车间至 2-4 车间)生产产生的沾硅胶、树脂、滤膜、过滤柱及废旧 ⁹⁹Mo (^{99m}Tc) 发生器; 二层质检区质检产生的沾污废物、回收清洗间回收的废旧锗镓发生器拆卸后产生的沾染放射性废液的废旧树脂; 三层研发实验场所实验产生的沾污废物、四层动物实验场所实验产生的沾污废物及动物尸体组织、动物尸体, 以及放射性排风系统高效过滤装置定期更换产生的废过滤器滤芯。按放射性固废中所含放射性核素的种类、半衰期、活度水平等特性进行分类收集、分别处理, 根据建设单位提供的资料, 本项目放射性固废产生量及处理措施列于下表。

表3-24 放射性固体废物产生量一览表(略)

3.6.2放射性废液

根据建设单位提供的资料, 经工程分析可知, 本项目产生的放射性废液主要是工艺废水、人员去污废水、器皿和托盘清洗废水、场所去污废水, 以及回旋加速器的意外泄漏冷却水。具体废水量如下:

表3-25 本项目放射性废液产生情况一览表(略)

3.6.3放射性废气

放射性药物分装和质检过程中产生微量废气, 以上过程均是在密闭的系统进行的, 手套箱均设置有独立的排风系统, 柜体顶壁和排放口前安装活性炭过滤器, 废气经过滤后排放。核素进入废气中的释放份额按照 1.0E-06 考虑, 活性炭过滤系统处理效率达 99.9%, 具体放射性废气产生及排放情况见下表。

表3-26 本项目放射性废气产生情况汇总一览表

场所	核素名称	日最大排放量 (Bq/d)	年工作天数 (d/a)	年排放量 (Bq/a)	处理措施及去向
加速器机房	^{13}N	/	300	$3.06\text{E}+09$	由专用排风管道井引至屋顶(4F), 经活性炭过滤后排放, 排放高度大于 27m。
	^{41}Ar	/	300	$5.31\text{E}+09$	
1-1 生产线至 1-4 生产线	^{68}Ge	$8.51\text{E}+01$	300	$2.55\text{E}+04$	由专用排风管道井引至屋顶(4F), 经活性炭过滤后排放, 排放高度大于 27m。
	^{18}F	$7.40\text{E}+02$	300	$2.22\text{E}+05$	
	^{64}Cu	$2.66\text{E}+02$	300	$7.98\text{E}+04$	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$2.22\text{E}+02$	300	$6.66\text{E}+04$	
	^{103}Pd	$1.33\text{E}+02$	300	$3.99\text{E}+04$	
	^{44}Sc	$1.48\text{E}+01$	300	$4.44\text{E}+03$	
	^{89}Zr	$1.48\text{E}+01$	300	$4.44\text{E}+03$	
2-1 生产线至 2-4 生产线	^{99}Mo	$3.70\text{E}+01$	300	$1.11\text{E}+04$	由专用排风管道井引至屋顶(4F), 经活性炭过滤后排放, 排放高度大于 27m。
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$3.33\text{E}+01$	300	$9.99\text{E}+03$	
	^{68}Ge	$8.51\text{E}+01$	300	$2.55\text{E}+04$	
	^{177}Lu	$7.40\text{E}+02$	300	$2.22\text{E}+05$	
	^{211}At	$1.48\text{E}+00$	300	$4.44\text{E}+02$	
	^{223}Ra	$1.48\text{E}+00$	300	$4.44\text{E}+02$	
	^{225}Ac	$1.48\text{E}+00$	300	$4.44\text{E}+02$	
质检场所	^{68}Ge	$3.70\text{E}+00$	300	$1.11\text{E}+03$	由专用排风管道井引至屋顶(4F), 经活性炭过滤后排放, 排放高度大于 27m。
	^{18}F	$1.48\text{E}+01$	300	$4.44\text{E}+03$	
	^{64}Cu	$1.85\text{E}+00$	300	$5.55\text{E}+02$	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85\text{E}+00$	300	$5.55\text{E}+02$	
	^{103}Pd	$7.40\text{E}-01$	300	$2.22\text{E}+02$	
	^{44}Sc	$1.48\text{E}+00$	300	$4.44\text{E}+02$	
	^{89}Zr	$3.70\text{E}-01$	300	$1.11\text{E}+02$	
	^{177}Lu	$3.70\text{E}+01$	300	$1.11\text{E}+04$	
	^{211}At	$7.40\text{E}-02$	300	$2.22\text{E}+01$	
	^{223}Ra	$7.40\text{E}-02$	300	$2.22\text{E}+01$	
三层研发实验场所	^{68}Ge	$7.40\text{E}+00$	300	$2.22\text{E}+03$	由专用排风管道井引至屋顶(4F), 经活性炭过滤后排放, 排放高度大于 27m。
	^{18}F	$7.40\text{E}+00$	300	$2.22\text{E}+03$	
	^{64}Cu	$7.40\text{E}+00$	300	$2.22\text{E}+03$	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40\text{E}+00$	300	$2.22\text{E}+03$	
	^{103}Pd	$1.85\text{E}+00$	300	$5.55\text{E}+02$	
	^{44}Sc	$1.48\text{E}-01$	300	$4.44\text{E}+01$	
	^{89}Zr	$7.40\text{E}-02$	300	$2.22\text{E}+01$	
	^{177}Lu	$1.48\text{E}+01$	300	$4.44\text{E}+03$	
	^{211}At	$7.40\text{E}-02$	300	$2.22\text{E}+01$	

场所	核素名称	日最大排放量 (Bq/d)	年工作天数 (d/a)	年排放量 (Bq/a)	处理措施及去向
	²²³ Ra	7.40E-02	300	2.22E+01	
	²²⁵ Ac	7.40E-02	300	2.22E+01	
	⁶⁸ Ga	7.40E+00	300	2.22E+03	
	²¹² Pb	7.40E+00	300	2.22E+03	
	⁶⁷ Cu	7.40E+00	300	2.22E+03	
四层动物细胞实验场所	¹⁸ F	5.55E-01	300	1.67E+02	由专用排风管道井引至屋顶(4F)，经活性炭过滤后排放，排放高度大于 27m。
	⁶⁴ Cu	1.48E-01	300	4.44E+01	
	^{99m} Tc	7.40E-02	300	2.22E+01	
	¹⁰³ Pd	1.48E-01	300	4.44E+01	
	⁴⁴ Sc	1.48E-01	300	4.44E+01	
	⁸⁹ Zr	1.48E-01	300	4.44E+01	
	¹⁷⁷ Lu	1.33E-01	300	3.99E+01	
	²¹¹ At	4.44E-02	300	1.33E+01	
	²²³ Ra	4.44E-02	300	1.33E+01	
	²²⁵ Ac	4.44E-02	300	1.33E+01	
	⁶⁸ Ga	3.70E-01	300	1.11E+02	
	²¹² Pb	4.44E-02	300	1.33E+01	
	⁶⁷ Cu	2.66E-01	300	7.98E+01	

第4章 辐射安全与防护

4.1场所布局与屏蔽

4.1.1工作场所布局

(1) 厂房总体布局合理性分析

建设单位拟利用重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 2-2#核药生产厂房-1F~4F 开展本项目。2-2#厂房为矩形独栋 5 层（地下 1 层，地上 4 层）建筑物。负一层为放射性废物库和放射性废液衰变间、一层为加速器生产区及相关核素热室、二层为外购药物生产及质检场所、三层为研发实验场所、四层为动物实验场所，建筑占地面积为 1744.84 平方米，建筑高度为 23.95 米，楼房四周均为厂外走道。

整个场所在一层设计 1 个放射性原料及产品出入口、1 个放射性废物出入口、1 个工作人员出入口、1 个非放射性原料入口，其中东北侧为人流主出入口，东南侧为放射性废物出口，西侧的 1 个出入口为原料及产品出入口，方便本项目物料、成品运输，同时也方便人员进出，厂区布局合理。

(2) 辐射工作场所平面布局合理性分析

由 2-2#厂房总体设计可知，2-2#厂房拟设置独立的工作人员路线、涉核物料运输路线、涉核废弃物路线和非核物料运输路线，四者相对独立地分布在厂房的三个角落，设立独立的电梯串联各楼层。

根据生产工艺流程及人流物流分离的设计思路，工作人员路线入口拟设于厂房东北角，入口处设置专用的门禁系统，进入厂房后，拟设置专用的人员电梯，方便工作人员进入相应楼层工作，辐射工作场所入口处设置应急洗消间和更衣室、缓冲间、淋浴室等卫生通过设施，方便工作人员进出去污监测。

非核物料出入口设置在厂房东侧，入口处设置专用的门禁系统，进入厂房后，拟设置非放货梯连接各楼层。

厂房南侧的 2 个出入口为涉核物料进出口，所有涉核原料及产品从厂房西南角运输，入口处设置专用的门禁系统，拟设置非涉核货梯连接各楼层。所有涉核废弃物均从厂房东南角出入口进行运输，入口处设置专用的门禁系统，拟设置非涉核货梯连接各楼层，货梯旁边设置放射性废物暂存库，使得场所生产的放射性固体废物运输线相对较短，-1F 设置放射性废液间和放射性固体废物暂存室，便于

将固体废物最终转移至废物库暂存。

正常工作期间，工作人员和物料仅能通过以上路径进入工作场所，工作场所其余出入口均为消防要求所设常闭门，人员无法通过出入口进入工作场所。

一层 1#回旋加速器机房及配套控制室、设备间、4 条药物生产线（分别为 1-1 生产线至 1-4 生产线）及配套换鞋更衣、更洁净衣、缓冲间、洗消间、去污间、洁具间、脱包准备间。每条生产线空间相对独立，不同车间之间人员通过换鞋更衣、更洁净衣、缓冲间等进行出入管控。

二层至四层分别药物生产及质检场所、三层研发实验场所、四层动物细胞实验场所，均涉及辐射及普通实验区，均根据电梯设置情况，将北侧集中布置为非辐射工作场所，南侧集中布置为辐射工作场所，两个区域之间执行严格的人物流管理，通过设置更衣/辐射检测去污通道和设备，以及人员进入权限措施等极大程度避免了放射性污染扩散。

综上所述，2-2#厂房各层、各生产线的辐射工作场所相对独立，具备独立的辐射检测和去污通道，实现了人流、物流互不干扰，放射性原料及放射性废物运输路径较为短捷，各楼层的平面布局既便于生产与研发实验的工艺需求，又便于辐射分区管理和辐射安全防护。因此，从辐射防护角度而言，本项目核药厂房各楼层平面布置合理。

4.1.2 工作场所分区

（1）辐射工作场所分区原则

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“6.4 辐射工作场所分区”规定，将辐射工作场所分为控制区和监督区。

控制区：为需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域，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范围。

监督区：为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的区域。

（2）本项目分区管理情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定并结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，本项目辐射工作场所分区情况见下表 4-1。

表4-1 辐射工作场所分区管理一览表

区域名称	功能用房/区域
监督区	负一层：检修通道、配电间、走廊、解控房间、前室、报警阀间、楼梯间 一层：1#回旋加速器机房配套控制室、设备间、机房东侧缓冲、更衣、换鞋、南侧走廊等；1-1 车间至 1-4 车间配套的换鞋洗手、更洁净衣、缓冲、洗消间、脱包准备间及污物监测间；值班兼门岗室、清洁间、楼梯间、不合格品库及走廊西侧墙外 30cm 区域、产品暂存清洗间及铅罐清洗间南侧墙外 30cm 区域 二层：2-1 车间至 2-4 车间配套的脱包准备间 1~4、换鞋洗手间 1~4、更衣间 1~4、去污缓冲间 1~4、污物监测及洗消间、空调机房、楼梯间、危化品暂存间、灭菌间（非放）及走廊、高温室、去污间及卫生缓冲间、缓冲、更衣、换鞋间、涉放培养室 2、内毒素等实验区域东侧墙外 30cm 区域 三层：卫生缓冲间、紧急冲淋、去污监测、更衣、缓冲、仪器室 1、走廊、留样室、稳定性考察室 1、2、标本接收室、去污室 1、2、卫生缓冲间、楼梯间 四层：PET/CT 和 SPECT/CT 配套控制室、卫生缓冲间及更衣间、灭菌间、样品接收间、缓冲间、更衣间、污物检测室、洗消间、非放治疗室及隔离室、非放血液生化实验室、SPECT/CT 机房北侧走廊、毒理室东侧走廊楼梯间
控制区	负一层：长半衰期放射性废物库、短半衰期放射性废物库 1~2、备用衰变池 1~2、衰变池 1~4（长半衰期）、衰变池 1~4（短半衰期）、放射性废液浓缩室 一层：1#回旋加速器机房内部、1-1 车间~1-4 车间、后区 1~4 和洁具间 1~4、包装间及洁具间、样品暂存间、不合格品库、产品暂存库、铅罐暂存间及铅罐清洗间、涉核废弃物货厅及货梯、涉核货厅及货梯、涉核走廊及缓冲间 二层：生产区（2-1 车间~2-4 车间、后区 1~4、洁具间 1~5、包装间 1 和 2、污洗间、清洗灭菌室、放射性原料库、回收清洗间、空调机房、放射性废物库、涉核废弃物货厅及货梯、涉核货厅及货梯、涉核走廊）；涉放质检区（放射性实验室、稳定性实验室、放化实验室、气相火焰原子吸收室、液相薄层扫描室、高纯锗 NaI 计数器室、闪液分析室、渗透压检测室、热释光测量室、内毒素室、缓冲、培养室 1~2、无菌隔离间、阳性对照间；留样室 1~2、样品暂存间、样品接收间；灭菌室、洁具间、仪器间） 三层：准备室、细胞室、热实验室 1~3 及后区 1~3、天平室、洁具间、预留实验室、放射性分析室 1~3、理化实验室、放射性原料库、放射性废物库、维修工具间、空调机房、涉核废弃物货厅及货梯、涉核货厅及货梯、涉核走廊 四层：SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、储源室、固废室、分装室、注射室、卫生缓冲间、留观及安乐死室、准备室、解剖室、取材及标本室、污物清洗间；血液生化实验室、毒理室、放射性动物饲养室 1~5、治疗室、隔离室、放射性原料库、笼具暂存间、空调机房、动物尸体冷冻室、放射性废物库、涉核废弃物货厅及货梯、涉核货厅及货梯、涉核缓冲间及走廊

本项目分区管理采用以工作场所实体边界内对不同区域进行划定，并结合项目实际情况，对控制区外四周相邻区域划分为监督区，落实防护手段及安全措施，可较好地预防或限制潜在照射，分区划分比较合理。

（3）分区管控要求

①控制区管控要求

A、在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合 GB18871-2002 附录 F 规定的警告标识，并在地面用红色线条标识“控制区”的边界。B、制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序。C、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体控制（包括门锁、门禁等）限制进出控制区。D、工作人员要进入控制区高放射性场所，携带有个人剂量报警仪；E、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

②监督区管控要求

A、监督区范围内限制非职业人员进入；B、在地面用黄色线条标识“监督区”的边界；C、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；D、建设单位需定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续开展工作。

4.1.3 工作场所分类

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，将工作场所分为 I、II、III 等三类，见下表。

表4-2 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

计算操作最大量放射性核素的加权活度用的放射性核素毒性权重因子和不同操作性质的修正因子分别见表 4-3 和表 4-4，各工作场所加权活度及工作场所分类结果表 4-5。

表4-3 本项目涉及的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	^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{68}Ge 、 ^{177}Lu 、 ^{99}Mo 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 、 ^{89}Zr 、 ^{103}Pd	100
B	^{18}F 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 、 ^{44}Sc 、 ^{64}Cu	1
C	^3H	0.01

表4-4 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

本项目非密封放射性物质加权活度计算结果见下表。

表4-5 本项目非密封放射性物质加权活度计算结果

场所名称	核素名称	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (MBq)	加权活度 (MBq)	总加权活度 (MBq)	工作场所分类
一层 1#回旋加速器机房及生产场所	^{68}Ge	100	0.1	8.51E+04	8.51E+07	2.30E+08	I
	^{18}F	1	0.1	7.40E+05	7.40E+06		
	^{64}Cu	1	0.1	2.66E+05	2.66E+06		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	0.1	2.22E+05	2.22E+06		
	^{103}Pd	100	0.1	1.33E+05	1.33E+08		
二层药物生产区	^{99}Mo	100	1	1.33E+05	1.33E+07	9.84E+07	I
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	1.48E+04	1.48E+04		
	^{68}Ge	100	0.1	1.48E+04	1.48E+07		
	^{177}Lu	100	0.1	3.70E+04	3.70E+07		
	^{223}Ra	100	0.1	3.33E+04	3.33E+07		
二层质检区	^{68}Ge	100	10	3.70E+03	3.70E+04	4.22E+05	I
	^{18}F	1	10	1.48E+04	1.48E+03		
	^{64}Cu	1	10	1.85E+03	1.85E+02		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	1.85E+03	1.85E+02		
	^{103}Pd	100	10	7.40E+02	7.40E+03		
	^{44}Sc	1	10	1.48E+03	1.48E+02		
	^{89}Zr	100	10	3.70E+02	3.70E+03		
	^{177}Lu	100	10	3.70E+04	3.70E+05		
	^{211}At	100	10	7.40E+01	7.40E+02		
	^{223}Ra	100	10	7.40E+01	7.40E+02		
	^{225}Ac	100	10	7.40E+01	7.40E+02		
三层研发实验场所	^{68}Ge	100	10	7.40E+03	7.40E+04	2.23E+05	I
	^{89}Zr	100	10	7.40E+01	7.40E+02		
	^{177}Lu	100	10	1.48E+04	1.48E+05		

场所名称	核素名称	毒性权重因子	操作性修正因子	日操作最大活度 (MBq)	加权活度 (MBq)	总加权活度 (MBq)	工作场所分类
	²²³ Ra	100	10	7.40E+01	7.40E+02		
四层动物细胞实验场所	²¹¹ At	100	1	4.44E+01	4.44E+03	1.36E+04	II
	²²³ Ra	100	1	4.44E+01	4.44E+03		
	²²⁵ Ac	100	1	4.44E+01	4.44E+03		
	⁶⁷ Cu	1	1	2.66E+02	2.66E+02		

根据本项目工作场所分类情况，各房间装修设计情况与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对比分析见下表。

表4-6 不同辐射工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

工作场所	分类	标准要求	设计方案	结论
一层 1# 回旋加速器机房及生产场所	I		屏蔽结构：回旋加速器机房、放射性废物库、放射性原料库、放射性产品库、放射性不合格品库等功能用房采取实体屏蔽，各生产线及实验室内拟采用定制操作箱、手套箱、产品铅罐等措施进行屏蔽防护 地面：地面拟铺设 PVC 地板胶铺设并延伸上墙，保证连接处无缝隙	符合
二层药物生产区	I	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接触无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要	表面：设备的表面、工作台台面等平整光滑、易于清洗、去污 分装柜：各生产线均配置密闭操作箱、实验室配置手套箱	符合
三层研发实验场所	I	通风：特殊的强通风 管道：特殊的管道 ^a 盥洗及去污：洗手盆 ^b 和去污设备	室内通风：各生产线均配置密闭操作箱、实验室配置手套箱拟设立单独排风管道，安装独立风机，设置止回阀，保证通风效果。其余工作场所设计多套强制排风系统，整体设计由低活区向高活区设计，排风系统连接独立排风管道，安装独立风机，可满足室内通风要求 管道：设置专用放射性废水排水管道，大水流管道处将按要求设有标记，以便维修检测 盥洗及去污：一层至三层均拟设置污洗间、洗消间等盥洗及去污场所，配置专用洗手盆，配备洗消设备，洗手盆均拟设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制	符合
四层动物细胞实验场所	II	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接触无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要 通风：良好通风 管道：普通管道 盥洗及去污：洗手盆 ^b 和去污设备	屏蔽结构：PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、分装室、注射室、储源室、放射性废物库、放射性原料库、动物饲养室等功能用房采取实体屏蔽，分装室内采用手套箱进行屏蔽防护 地面：地面拟铺设 PVC 地板胶铺设并延伸上墙，保证连接处无缝隙 表面：设备的表面、工作台台面等平整光滑、易于清洗、去污 分装柜：拟在分装室配置手套箱 室内通风：分装室的手套箱拟设立单独排风管道，安	符合

工作场所	分类	标准要求	设计方案	结论
		备	装独立风机，设置止回阀，保证通风效果。其余工作场所设计多套强制排风系统，整体设计由低活区向高活区设计，排风系统连接独立排风管道，安装独立风机，可满足室内通风要求 管道：设置专用放射性废水排水管道，大水流管道处将按要求设有标记，以便维修检测 盥洗及去污：设置洗消间和去污清洗间，配置专用洗手盆，配备洗消设备，洗手盆均拟设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制	
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				

从上表分析可知，本项目各辐射工作场所设计均符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对室内表面及装备结构的要求。

4.1.4屏蔽设计方案

4.1.4.1辐射防护屏蔽设计

本项目辐射工作场所屏蔽设计情况见下表。

表4-7 本项目辐射工作场所屏蔽设计一览表（略）

4.1.4.2回旋加速器机房排风管线穿墙设计方案

回旋加速器机房通风管道采用“Z”型设计穿过机房屏蔽墙，通过多次折返的设计，增加通风管道中泄漏射线的散射次数，新风口于机房西北侧位置进行穿墙，排风口于东北侧位置进行穿墙，机房内穿墙口最低距地高度为 2.85m。同时，为了补偿风管对屏蔽墙体的削弱，本项目拟在机房外穿墙口处设置厚混凝土挡体对穿墙部位进行屏蔽补偿，根据蒙特卡洛模拟结果，当设备以最大运行工况工作时，新、排风口处周围剂量当量率最大值分别为 2.33 μ Sv/h、1.61 μ Sv/h，说明本项目采取的屏蔽补偿措施可以保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

4.1.4.3回旋加速器核素传输通道屏蔽设计

略

4.1.4.4电缆沟穿墙设计方案

控制电缆均采用地沟穿墙，埋深为 400mm，结构地板上方回填 400mm 厚回填土，在回填土层内预先敷设 200mm $\times$ 200mm 不锈钢地沟槽，电缆沟从地沟槽内穿过，地沟槽通过“U”型穿墙设计穿过回旋加速器机房到达配套设备间，沟槽盖板为 5mm 不锈钢。

4.1.4.5生产设备屏蔽措施

略

4.1.4.6生产原料屏蔽

本项目拟购放射性原料均从有资质的单位购入，所有放射性原料均保存在足够的屏蔽防护罐内，专用原料防护罐由原料供应单位提供。根据建设单位提供的资料，将要求原料供应单位按照II级（黄）来运输，货包外表面上任一点的最高辐射水平 H 为 $0.005 < H \leq 0.5 \text{mSv/h}$ ，满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），专用原料防护罐均满足标准要求。

4.1.4.7产品包装屏蔽设计

本项目放射性药物产品也均采用铅罐进行屏蔽，并按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的II级 A 型货包进行包装（外表面任意一点的最高辐射水平 $0.005 < H \leq 0.5 \text{mSv/h}$ ）。

项目出厂货包分为四层包装结构：第一层为与放射性药物直接接触的储液瓶/注射器，瓶口有密封胶塞并压有铝盖，在搬运过程中不会发生液体倾洒；第二层包装为屏蔽辐射照射的铅罐或铅套；第三层包装为缓冲泡沫塑料；第四层为外包铁皮桶或纸箱。第三层和第四层主要为保护屏蔽铅罐不受外力破坏。货包打包好后，在发货前需对每个货包表面 γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面沾污进行监测，经监测达标后方可发货，并按货包分级在外包装张贴标识。

4.2辐射安全与防护措施

4.2.1加速器的辐射安全与防护措施

4.2.1.1加速器固有安全性

（1）全自动启动生产系统，可以自动启动、监控优化参数，达到最高级别的自动化生产规程。

（2）在回旋加速器出束前，会对磁铁电流、高频腔压、靶压、冷却氦气气压进行测量，如果实测值达不到预设值，或者各个设备冷却水单独一路的流量达不到最低值，此时系统将无法开启离子源，从而预防事故的发生。

（3）回旋加速器运行时，系统实时监控靶压以及冷却氦气气压，在正常运行情况下，靶压和冷却氦气气压保持在一定范围内，一旦靶膜破裂或氦冷却循环回

路泄露（表现为压力骤降），此时系统将立刻关闭离子源电源、高频功率源输出及磁铁电源输出，从而停止打靶，防止产生过量的感生放射性或避免对加速器内部器件构成破坏。

（4）加速器将设置登录页面，所有进行加速器操作的人员均将设置不同的登录名和密码。

4.2.1.2 安全装置设施

（1）安全装置设置原则

纵深防御原则：即多级防御，将人为因素降至最低限度，以便在万一发生事故或故障时得到必要的补偿或校正。这里所指的“人为因素”包括不携带剂量率报警装置进入辐照室，关门不巡视等，减少人为因素是指尽量通过技术手段的方法而非管理手段来保证安全，达到：防止可能引起照射事故；减轻可能发生事故的后果；在任何事故之后，恢复到安全状态。

冗余性：采用比完成某一安全功能所必需的最少数目物项更多物项，以防在运行过程中某一道物项失败或不起作用时导致其整体丧失功能。

多元性：用于提高装置的可靠性，可以采用不同的运行原理，不同的物理变量，不同的运行工况，不同的元器件等。

独立性：指某一安全部位发生故障时，不会造成其他安全部件的功能故障或失去作用。多道联锁各部件之间完全独立，多级防御各部件之间也是完全独立的。

（2）场所安全装置设置

加速器安全措施布置情况见表 4-8，回旋加速器安全联锁逻辑图见图 4-5。

表4-8 加速器安全装置布置一览表

安全装置	数量（套）	位置
门-灯联锁	1	加速器机房入口醒目位置
声光报警	1	加速器机房门口
语音播报	1	加速器机房内
门-剂量联锁（固定式 X- γ 剂量率监测系统）	2	机房内靠近打靶位
固定式 X- γ /中子剂量报警仪	1	东、北、南侧防护墙外
通风联锁	1	加速器机房防护门
钥匙控制	1	控制室
紧急停机按钮	5	机房内四侧墙上各 1、控制室 1 个

紧急开门按钮	1	回旋加速器机房内门口处
清场巡检按钮	4	机房内四侧角落各 1
视频监控装置	4（防辐射）+1	机房内四侧角落各 1、设备间对着防护门 1 个

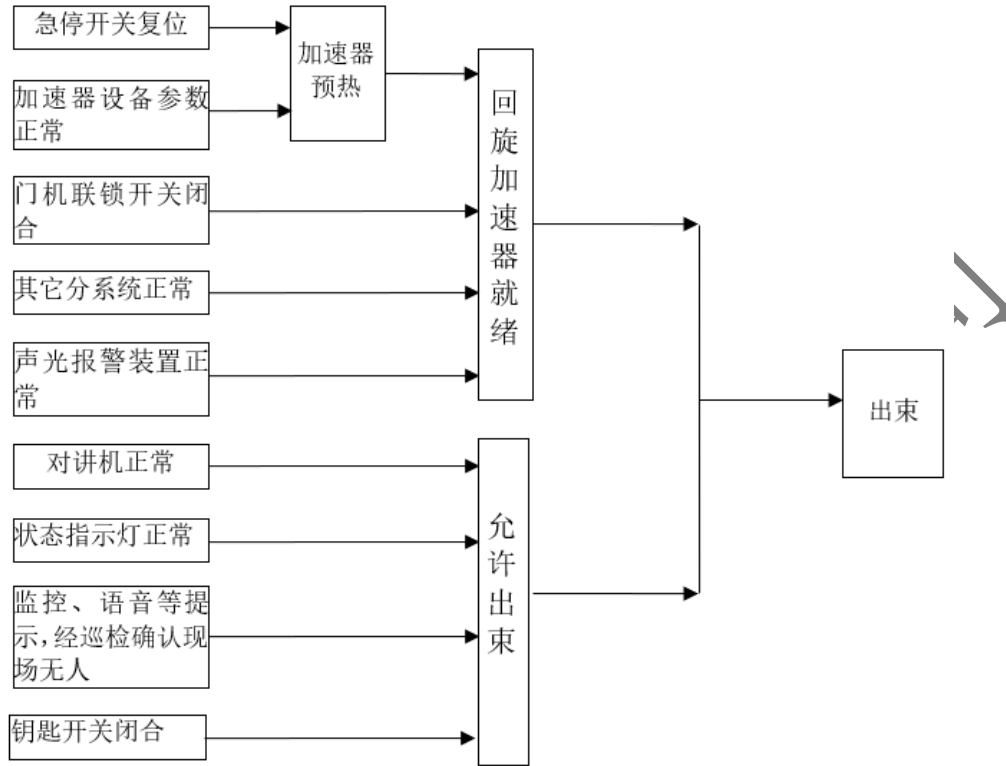


图4-1 本项目回旋加速器安全联锁逻辑图

4.2.2非密封放射性物质工作场所辐射安全与防护措施

非密封放射性物质在操作过程中为保护职业人员主要采取的辐射安全与防护措施包括：气流组织及净化通排风、个人防护措施。

4.2.2.1场所气流组织及净化通排风

本项目为同时满足 GMP 洁净区正压气流组织要求及放射性物质操作区域负压气流组织要求，各放射性药物生产场所以邻近缓冲间为最高压力区，压差往两边邻近连通房间逐级递减，可保证放射性废气局部流动方向为：生产线其余功能→前区→生产屏蔽箱→排风管道，避免放射性废气扩散。同时为保持局部区域的负压环境，各控制区内采用不锈钢全焊接密封圆管，并设置独立排风管道，放射性排风管道设置有与风机联动的电动阀门，过滤器后端设置有止回阀，外界气流无法进入特排管道。各房间、工作箱和手套箱压差是通过控制送、排风风量差实现，各房间、工作箱和手套箱排风支管设置定风量阀，恒定风量实现压差的稳定性。本项目各生产箱体、手套箱采取局部的独立排风，涉及放射性房间采取全排

措施排风。

4.2.2.2个人防护措施

(1) 本项目辐射工作人员上岗前均进行辐射安全与防护知识培训，并在学习考核合格后上岗，同时各生产线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。

(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，同时进入回旋加速器机房需佩戴个人剂量报警仪，并按要求定期进行辐射工作人员个人剂量进行检测。

(3) 辐射工作人员进入生产区需按流程：一次换鞋→一次更衣（穿工作服）→消毒→二次换鞋→二次更衣（穿洁衣、戴口罩和手套）→生产区，离开生产区需按流程：一次换鞋→一次更衣（脱洁衣）→表面沾污监测→二次更衣（换家服）→二次换鞋→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。

(4) 对于放射性核素的分装过程中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，且严禁工作人员在辐射工作场所内进食、饮水和吸烟。

(5) 每天进行实验结束后，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) 定期采用移动式气溶胶监测系统对场所进行室内气溶胶采样，若出现气溶胶异常应及时进行场所热室/手套箱密闭性或通排风系统检修。

(7) 对于放射设备的检修和维护时，如生产箱体的开箱检修或过滤器的滤芯的更换时，应做好个人防护措施（如佩戴口罩、手套、个人剂量报警仪等），同时对于辐射剂量率高值区应根据实际情况采取必要的屏蔽措施或采取轮换操作减少受照时间。

4.2.3运输过程的辐射安全与防护措施

本项目产品拟采用 A 型货包屏蔽容器，一般出厂货包分为四层包装结构，第一层为与放射性物料直接接触的储液瓶/注射器，储液瓶口有密封胶塞并压有铝盖，在搬运过程中不会发生液体倾洒，第二层包装结构为屏蔽辐射照射的屏蔽铅罐或

铅套，第三层包装结构为缓冲泡沫塑料，第四层为铁皮外桶或纸箱，起到保护屏蔽铅罐或铅套不受外力破坏的作用。货包准备好以后在装车前需对每个货包表面 γ 辐射剂量率和 α/β 表面沾污进行监测，并经监测达标后才进行装车，同时根据货包分级在外包装张贴标识。运输过程委托第三方有资质单位根据国家相关法律法规要求运输至客户单位，由第三方单位负责运输过程中的辐射安全。

4.2.4 安全保卫措施

4.2.4.1 防盗、防丢失、防破坏措施

(1) 监控系统

为满足生产需要、改善生产条件和加强安全生产措施，本项目在各个放射性工作场所和厂区内分别设置视频监控系统。可为工作人员及操作人员提供必要、直观向走廊区域设置有安全门，紧急情况下工作人员可进行破门逃生。

视频监控系统可对厂区进出口、重要厂房进出口进行监控，防止人员非法进入，保障生产人员、放射性物品的安全。加速器视频监控系统主机放置在控制室，摄像机设置在加速器机房内、对着防护门及外围走廊等区域；非密封放射性物质工作场所视频监控系统主机放置在一层中制室，摄像机设置在门厅、生产/研发线热实验室、放射性实验室、涉核货厅、放射性废物暂存库及放射性原料库等。

整个 2-2# 厂房有保卫人员 24h 值守，并采取定期和不定期巡查，确保放射性同位素处于安全位置。

(2) 双人双锁及台账管理

本项目使用的放射性原料库、放射性废物暂存库、产品库、储源室均设置双人双锁钥匙由一名安防负责人和一名生产负责人分别持有，确保放射性物质不被盗窃。同时，放射性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，在一层各处人流出入门设置磁卡门禁系统，防止非授权人员进入，并对进入厂房的授权人员进行统计和管理。把所有持卡人员的姓名、卡号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：①辐射工作场所的人流、物流总出入口设置门禁；②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；③在放射性原料库、放射性废物暂存库、成品暂存库、储源室设置门禁系统和机械门锁。

4.2.4.2防火措施

为及早发现和通报火灾，防止和减少火灾对生产造成的危害，根据《火灾自动报警系统设计规范》，2-2#厂房内按二级保护对象设置火灾自动报警系统。火灾报警控制器（联动型）设置在中控室，在厂房内火灾危险的房间或区域内设置离子型感烟探测器或感温探测器连续进行监测，一旦发生火灾，立即自动发出火灾报警信号，包装室、控制室、值班室等位置设置手动报警按钮及声光报警器。火灾报警系统各种设备之间均采用总线制式的探测报警连线，所有报警信号、反馈信号均传送至火灾报警控制器，由中控室值班人员进行判断确认，然后采取消防联动措施进行灭火及人员疏散。同时考虑各生产场所布局的复杂性，在各生产线通向走廊区域设置有安全门，紧急情况下工作人员可进行破门逃生。

4.2.4.3防水（防渗）措施

本项目加速器机房内、各生产线辐射工作场所、质检场所、实验场所均拟铺设防水、防渗材质，其中地面铺设1.5mm自流坪环氧胶泥+1.5mm聚氨酯防水涂膜层，墙角铺设2mm厚同质透芯抗菌PVC+5mm自流坪环氧，高出地面20mm，并作圆角处理，该材质具有易去污、易拆除、耐水性、耐油性、耐酸碱性等特点，且受辐照后不易老化。

本项目负一层设计有衰变池，衰变池建筑材料使用C30抗渗混凝土（密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），抗渗等级P8，内壁刷聚氨酯防水涂料后批荡20mm水泥砂浆保护层，耐酸碱腐蚀，各衰变池均设置液位报警，避免废液溢出或超压。

4.2.4.4防射线泄漏措施

本项目加速器机房、生产车间和实验场所已设计有实体屏蔽设施（见4.1.4章节），同时建设单位还需制定严密的监测计划，定期或不定期对辐射工作场所进行辐射环境监测（监测计划6.3章节）。为防止射线泄漏，各辐射工作场所还根据需求安装固定式剂量报警仪，当发生射线泄漏，辐射剂量率超过阈值时（ $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）将触动报警装置，提示人员进行应急处理。

4.2.5辐射安全与防护措施要求对照分析

本项目辐射工作场所可分为加速器工作场所、非密封放射性物质工作场所、Ⅲ类非医用射线装置辐射工作场所，结合《生态环境部监督检查技术程序》中相关检查内容，将本项目在设计阶段拟采取的上述防护措施汇总于表 4-9-到表 4-13。

表4-9 加速器机房辐射安全防护措施要求及本项目设计情况一览表

序号	项目	要求	项目设计内容	符合情况
1	A 工作指示和警示	入口有电离辐射警告标志	加速器机房门口张贴电离辐射警告标志	符合
2		入口有加速器工作状态显示	加速器机房门口拟设置运行状态显示指示灯	符合
3		灯光和声音报警指示装置	加速器机房门口拟设置灯光和声音报警指示装置	符合
4		门内紧急开门按钮（指示、说明）	机房门拟设置 1 个紧急开门按钮，并在按钮旁边张贴指示说明	符合
5		紧急出口标志及应急照明	拟在热室、走廊、出口设置紧急出口标识，标识接通应急电源，自带常绿荧光，可提供应急照明	符合
6	B 安全联锁	控制台和大厅门钥匙控制	加速器机柜设置钥匙，由工作人员保管，控制室操作台拟设置登录页面，防止非工作人员操作	符合
7		门与加速器束流联锁	拟设置加速器束流与防护门联锁	符合
8		门与加速器高压触发联锁	加速器高压启动后，若防护门意外打开，加速器自动断电停机	符合
9		辐射报警灯与加速器出束状态联锁	防护门上方报警灯与加速器出束流装置联锁，当束流强度超过面板设定值时，报警灯自动报警	符合
10		辐射剂量与门联锁	拟将辐射剂量与门联锁	符合
11		清场巡更系统与门联锁	拟将清场巡更系统与门联锁	符合
12		束流阻挡器（如有）位置与束流联锁	不涉及	/
13		靶厅门与束流阻挡器（如有）位置联锁	不涉及	/
14	C 场所设施	控制台上复位确认按钮	拟在控制室控制台上设复位确认按钮	符合
15		大厅内有清场巡更系统	拟在机房内四个角落各设置 1 个清场巡更按钮，只有当工作人员沿着既定路线完成清场巡更，并依次按下按钮，清场巡更完成后，加速器才能启动	符合
16		大厅内有紧急停机按钮	加速器机房四侧墙体各设置拟设置 1 个紧急停机按钮	符合
17		按钮位置醒目及文字说明	4 个紧急停机按钮拟设为红色醒目样式，旁边设置文字说明	符合
18		控制台有紧急停机按钮	控制室的控制台拟设紧急停机按钮	符合
19		紧急停机按钮能自锁及复	紧急停机按钮设置自锁，并需由负责人确	符合

序号	项目	要求	项目设计内容	符合情况
		位	认接触事故状态后，方能复位	
20	D 监测设备	控制区内固定式辐射剂量监测仪	加速器机房内拟设置固定式 γ 、中子辐射剂量监测仪	符合
21		气溶胶监测仪或采样装置（气态靶）	拟配备移动式气溶胶取样监测设备	符合
22		放射性气体监测仪或采样装置（气态靶）	不涉及气态靶	/
23		个人剂量报警仪（ γ ）	在一层入口配置个人剂量报警仪（ γ ）	符合
24		个人剂量计（ γ 、中子）	拟为每名辐射工作人员配置 1 枚个人剂量计（ γ ），为每名加速器操作人员额外配置 1 枚个人剂量计（中子）	符合
25		便携式 γ 剂量测量仪	拟在一层入口设置 1 个便携式 γ 剂量测量仪	符合
26		便携式表面污染仪	拟在一层入口设置 1 个便携式表面污染仪	符合
27	E 其他	强活化部件应有专门贮存容器和存放地点，容器表面应有电离辐射标志	回旋加速器机房内配置 1 个专用的铅箱用来暂存更换下来的活化部件，铅箱表面张贴电离辐射标志	符合
28		排风过滤净化系统	加速器机房设置单独的通风系统，排风次数详见表 4-16	符合
29		灭火器材	工作场所设计阶段已考虑消防要求，在热室北侧、热室南侧一更室南侧各设置 1 个灭火器	符合

表4-10 甲级非密封放射性物质操作场所辐射安全措施要求及本项目设计情况一览表

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
1	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	各工作场所的功能合理设置，按照 GB18871 要求落实分区管控。	符合
2		场所分区的管控措施及标识	控制区边界及实体入口处拟张贴警戒线与相应区域的文字标识；工作场所入口门拟设置密码控制，仅有公司生产人员能够进出。	符合
3		电离辐射警告标志	控制区入口均拟张贴设置电离辐射警告标志并附中文说明。	符合
4		卫生通过间	各生产车线入口均拟设置卫生缓冲区。	符合
5		通风系统完整性及效能	拟配置多套独立的排风系统，所有生产线手套箱均设置独立排风，功能用房内保持局部负压，排风经活性炭过滤装置过滤后高于屋面 3 米排放。	符合
6		排风过滤器		符合
7		密封箱室	各生产线拟配置密闭生产手套箱。	符合
8		屏蔽防护设施		符合
9		防过热或超压	各生产线的箱体均配置恒温空调，防止过热；各	符合

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
		保护	生产线均为自动生产线，核素溶解、淋洗、标记、分装均在密闭西林瓶内，由自动化设备自动吸取药液进行生产。	
10		防止放射性液体操作造成污染的措施		符合
11		机械手或其它远距离操作工具	各生产手套箱均拟配置机械手进行药物操作。	符合
12		火灾报警仪	工作场所内拟设置满足消防要求的火灾报警仪。	符合
13		放射性废水处理系统及标识	新建放射性废液衰变池和废液管道，衰变池井盖上方设置电离辐射警告标志并附中文说明。	符合
14		放射性物料与成品暂存场所或设施	在 2-2#楼 1 层南端设有专用的产品暂存库、不合格品库，在 2 层至 4 层南端设有专用的放射性原料库，各类放射性物料均配置专用的贮存容器，各库房设置双人双锁，入口通道处设置摄像头，无关人员无法进入。	符合
15		放射性固体废物暂存场所或设施		符合
16		安保设施	①公司门口拟设计 1 间值班兼门岗室，配置值守人员，仓库安排专人负责，双人双锁，对进出存放场所人员进行检查、制止非法侵入。 ②公司进出大门拟使用防盗安全门。 ③生产场所控制区出入口拟设置明显的电离辐射警告标志。 ④中控室拟独立设置，设置防盗安全门，窗口设置防盗栅。 ⑤公司厂区出入口和装卸区域拟各设置 1 个摄像头，监视及回放图像能清楚辨别进出人员的体貌特征和进出车辆的车型及车牌号。	符合
17		防火设备、应急出口	功能用房隔墙均采用 50mm 夹岩棉彩钢板，生产设备采用铅、不锈钢等材质，均不属于易燃材料，厂区内禁止存放易燃物品。工作场所位于 1 层，在场所西北侧和东南侧均设有应急专用出口。	符合
18	B 监测设备	人员出口污染监测仪	拟在各生产车间入口处的洗消间各配置 1 台 α 、 β 表面沾污仪，工作人员监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）方可离开。	符合
19		固定式辐射监测报警仪	新增 1 套在线监测系统，在各生产车间室内安装 1 个置固定式剂量率探头，当探测到剂量率超过设置阈值时（ $0.5\mu\text{Sv/h}$ ），则有声光报警，提醒工作人员撤离。	符合
20		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配置 1 台气溶胶取样监测设备。	符合
21		气载放射性流出物取样监测设备	拟配备移动式气溶胶取样监测设备。	符合

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
22		便携式辐射监测仪	拟在一层、二层入口配置 1 台手持式辐射巡测仪。	符合
23		个人剂量计	拟为每名辐射工作人员配备个人剂量计。	符合
24		个人剂量报警仪	拟在一层、二层入口各配置 1 台个人剂量报警仪。	符合
25	C 防护用品	个人辐射防护用品	在每条生产线的入口各配置了 1 套铅帽、防护铅眼镜、防护铅衣 (0.5mmPb)。	符合
26	D 应急物资	去污用品和应急物资	各生产线入口的洗消间、去污间、紧急冲淋区域的盥洗水盆、淋浴头采用脚踏式开关。头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水并配备去污剂。拟在各生产线及工作场所控制区入口配置手套、口罩等用品。	符合
27		合适的消防器材	工作场所内拟配置满足消防要求的消防栓，区域内禁止烟火。	符合
28		放射性同位素应急容器	拟配置足够数量及屏蔽厚度的铅砖。	符合

表4-11 乙级非密封放射性物质操作场所辐射安全措施要求及本项目设计情况一览表

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
1	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	各工作场所的功能合理设置，按照 GB18871 要求落实分区管控。	符合
2		场所分区的管控措施及标识	控制区边界及实体入口处拟张贴警戒线与相应区域的文字标识；工作场所入口门拟设置密码控制，仅有公司生产人员能够进出。	符合
3		电离辐射警告标志	控制区入口均拟张贴设置电离辐射警告标志并附中文说明。	符合
4		卫生通过间	三层、四层辐射工作场所入口均拟设置卫生缓冲区。	符合
5		通风系统完整性及效能	拟配置多套独立的排风系统，所有手套箱均设置独立排风，功能用房内保持局部负压，排风经活性炭过滤装置净化后高于屋顶 3m 排放。	符合
6		密封箱室	非密封放射性物质的操作均在密闭手套箱内进行。	符合
7		屏蔽防护设施		符合
8		防过热或超压保护	不涉及。	/
9		防止放射性液体操作造成污染的措施	辐射工作人员进行岗前培训，操作放射性核素时戴手套避免手部沾污。	符合
10		机械手或其它远距离操作工具	拟配置一次性镊子用以操作事故状态下去污产生的固废。	符合
11		火灾报警仪	工作场所内拟设置满足消防要求的火灾报警仪。	符合

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
12		放射性废水处理系统及标识	新建放射性废液衰变池和废液管道，衰变池井盖上方设置电离辐射警告标志并附中文说明。	符合
13		放射性物料与成品暂存场所或设施	在 1#楼 1 层西北角设有专用的放射性药品暂存库、放射性原料库、放射性成品库和放射性不合格品库，各类放射性药品均配置专用的贮存容器，各库房设置双人双锁，入口通道处设置摄像头，无关人员无法进入。	符合
14		放射性固体废物暂存场所或设施		符合
15		安保设施	①公司门口拟设计 1 间值班兼门岗室，配置值守人员，仓库安排专人负责，双人双锁，对进出存放场所人员进行检查、制止非法侵入。 ②公司进出大门拟使用防盗安全门。 ③生产场所控制区出入口拟设置明显的电离辐射警告标志。 ④中控室拟独立设置，设防盗安全门，窗口设置防盗栅。 ⑤公司厂区出入口和装卸区域拟各设置 1 个摄像头，监视及回放图像能清楚辨别进出人员的体貌特征和进出车辆的车型及车牌号。	符合
16		防火设备、应急出口	功能用房隔墙均采用 50mm 夹岩棉彩钢板，生产设备采用铅、不锈钢等材质，均不属于易燃材料，厂区内禁止存放易燃物品。工作场所位于 1 层，在场所西北侧和东南侧均设有应急专用出口。	符合
17	B 监测设备	人员出口污染监测仪	拟在控制区入口的洗消间各配置 1 台 α 、 β 表面沾污仪，工作人员监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）方可离开。	符合
18		固定式辐射监测报警仪	新增 1 套在线监测系统，在各高活区安装 1 个置固定式剂量率探头，当探测到剂量率超过设置阈值时（0.5 μ Sv/h），则有声光报警，提醒工作人员撤离。	符合
19		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配备移动式气溶胶取样监测设备。	符合
20		便携式辐射监测仪	拟在三层、四层入口各配置 1 台手持式辐射巡测仪。	符合
21		个人剂量计	拟为每名辐射工作人员配备个人剂量计。	符合
22		个人剂量报警仪	拟在三层、四层入口各配置 1 台个人剂量报警仪。	符合
23	C 防护用品	个人辐射防护用品	在三层、四层入口各配置了 1 套铅帽、防护铅眼镜、防护铅衣（0.5mmPb）。	符合
24	D 应急物资	去污用品和应急物资	各控制区入口的洗消间、去污间、紧急冲淋区域的盥洗水盆、淋浴头采用脚踏式开关。头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水并配备去污剂。拟在各生产线及工作场所控制区入口配置手套、口罩等用品。	符合
25		合适的灭火器	工作场所内拟配置满足消防要求的消防栓和灭火	符合

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
		材	器，区域内禁止烟火。	
26		放射性同位素 应急容器	拟配置足够数量及屏蔽厚度的铅砖。	符合

表4-12 III类非医用射线装置辐射安全措施要求及本项目设计情况一览表

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
1	A 场所设施	屏蔽、隔离防护设施	机房设置实心砖墙，顶棚和地板设置混凝土屏蔽，防护门和防护窗均不低于 5mmPb	符合
2		电离辐射警告标志	2 间机房防护门入口均拟张贴电离警示标志	符合
3		辅助防护用品	每间机房均配备防护用品和辅助防护设施	符合
4		机器工作状态显示	2 间机房防护门上方均拟设置工作状态指示灯	符合
5	B 监测设备	环境辐射水平监测仪表（生产单位）	三层拟配 1 台 X-γ 辐射剂量率巡测仪	符合
6		个人剂量计	每名辐射工作人员配 1 枚个人剂量计	符合
7	C 其他	灭火器材	拟配备满足消防要求的灭火器材	符合

表4-13 放射性同位素销售单位辐射安全措施要求及本项目设计情况一览表

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
1	A 放射性同位素暂存场所	出入口处电离辐射警告标志	厂房出入口拟张贴电离辐射警告标志	符合
2		双人双“锁”	放射性原料库、放射性产品暂存库、不合格品库均配置双人双“锁”	符合
3		非法入侵报警装置	工作场所入口门拟设置密码控制并设置报警装置，仅有公司生产人员能够进出，当有人员非法入侵时，报警装置自动报警	符合
4		监控系统	公司厂区出入口和装卸区域拟各设置 1 个摄像头，监视及回放图像能清楚辨别进出人员的体貌特征和进出车辆的车型及车牌号	符合
5		火灾报警仪	工作场所内拟设置满足消防要求的火灾报警仪	符合
6	B 监测设备	便携式监测仪	拟配置满足使用需求的便携式监测仪	符合
7		个人剂量报警仪	拟配置满足使用需求的个人剂量报警仪	符合
8		个人剂量计	拟为每名辐射工作人员配备个人剂量计	符合
9	C 防护器材	满足要求的屏蔽措施	药品贮存在铅屏蔽容器内，产品包装屏蔽设计见表 4-9	符合
10		个人防护用品	在每条生产线的入口各配置了 1 套铅帽、防护铅眼镜、防护铅衣（0.5mmPb）	符合

序号	要求内容		本项目设计情况	符合情况
11	D 应急物资	应包括但不限于以下用品：去污用品和试剂、应急处理工具、必备的警示标志和标识线、灭火器材等	工作场所控制区入口配置手套、口罩、警示标志和标识线等用品；在工作场所内拟配置满足消防要求的灭火器	符合

4.2.6放射性药物包装、销售

①建立台账

建立放射性同位素药物生产、销售台账，并定期上报；销售给用户时，核对对方辐射安全许可证，务必保证在许可的范围内。

②放射性药物的包装设施

建设单位拟从有资质的单位购买运输容器，所有药品均使用符合辐射安全要求的运输容器进行运输。包装容器上张贴规范的电离辐射标志。包装分内包装和外包装两部分，外包装贴有商标、标签、说明书和放射性药物标志等，内包装贴有标签。标签注明药物品名、放射性比活度、装量等。

③放射性药物包装后监测

经包装后的容器，采用表面污染监测仪和巡检仪对放射性药物包装表面污染和辐射水平实施监测，记录监测结果，编制监测报告，达到运输规范要求后才能外包运输。

④其他

建设单位将委托有资质的运输单位进行放射性药品的运输。根据《放射性物品运输安全管理条例》，运送前需编制并向运输人员提交运输说明书、表面剂量辐射监测报告、核与辐射事故应急响应指南、装卸作业方法、安全防护指南等。运输说明书应当包括放射性物品的品名、数量、物理化学形态、危害风险等内容。

⑤如遇极端天气等无法及时送至用户时，可能带回公司短暂储存于公司放射性成品库，待条件具备后及时送达。

4.2.7表面污染控制措施

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

①对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；

②操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，取药、质检等在手套箱内进行；

③如有洒落等操作，工作人员戴上一次性手套用棉球、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。

4.2.8项目安全设施可行性小结

本项目有固定的辐射工作场所，且场所均设有相应的辐射安全和防护措施，辐射工作场所设置的各项辐射安全和防护措施符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关文件的要求。

4.3三废的治理

4.3.1放射性固废

本项目产生的放射性固体废物主要为回旋加速器维修产生废弃部件；废旧^{99m}Mo（^{99m}Tc）发生器；各生产线、质检和实验产生的沾污耗材及清洁废物；质检产生的废培养基；动物实验产生的动物尸体组织、动物尿液粪便的垫料、垫纸、废医用器具以及废弃过滤芯。

（1）放射性固废收集

①各生产线箱体内、质检区箱体内、质检区、实验操作手套箱、动物饲养室、分装室、注射室、解剖室产生沾污废物的场所均拟配置放射性废物收集桶，用于分类收集产生的沾染核素的放射性固废。②放射性废物按核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等进行分类收集；③放射性固废收集桶内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，并及时转运至放射性废物库进行衰变处置；④对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其它包装材料中，然后再装入专用塑料袋内；⑤每袋废物的表面剂量不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。⑥严格建立放射性固体废物收集、暂存、转运台账管理台账，明确放射性废物的来源、去向及监测结果，安排专职部门及人员进行管理。⑦用

来收集放射性固体废物的铅废物桶和废物坑盖板上均贴上电离辐射警告标志。

(2) 放射性固体废物临时贮存和最终处理

1) 回旋加速器机房内配置 1 个放射性废物收集桶 (50mmPb), 维护期间, 产生的放射性废靶膜、碳膜等加速器活化部件, 作为放射性固废收集, 定期交有资质单位处理。

2) 废旧 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器连同原包装容器暂存于长半衰期废物暂存库内, 由原供货商回收处理。

3) 各生产线、质检和实验产生的沾污耗材及清洁废物所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物 (^{18}F 、 ^{44}Sc 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu) 由放射性废物桶收集后, 转运至短半衰期放射性废物库的地坑 (短半衰期地坑共) 内, 暂存超过 30 天。所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物 (^{177}Lu 、 ^{89}Zr 、 ^{103}Pd 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac), 收集后, 在同层放射性废物库暂存一段时间后, 再转入负一层长半衰期废物库暂存 180 天, 超过核素最长半衰期的 10 倍 (170 天) 后, 满足解控要求后作为一般固体废物处理, 培养基按危险废物委托有资质单位处理。含核素 (^{68}Ge) 的放射性固体废物, 收集后转入负一层长半衰期废物库暂存, 定期交有资质单位处置。

4) 处死的动物尸体或解剖的组织器官等收集袋装, 置于四层的动物尸体冷冻暂存库暂存, 沾染注射放射性药物的动物尿液粪便的垫料、垫纸分类收集后在负一层废物库, 根据核素半衰期暂存 1-6 个月, 根据《实验动物环境及设施》(GB14925-2023) 要求, 达清洁解控的动物尸体、器官组织及垫料垫纸等应交给有相应资质单位集中作无害化处理。动物实验产生的废医用器具 (如穿刺针、载玻片等) 收集、经打包, 根据所含核素种类分别存放在暂存于负一层长 (或短) 半衰期放射性废物暂存库, 暂存达清洁解控水平后作为危险废物 (属于 HW01 医疗废物——841-002-01), 交有相应资质单位处理。

5) 废滤芯经收集、经打包后存放在暂存于负一层长半衰期放射性废物暂存库, 12 个月后做表面污染检测和清洁解控处理后作为危险废物 (属于 HW49 其他废物——900-039-49) 交给有相应资质单位处理。

6) 意外状况下产生的不合格品和预期不再销售的退货, 与防护包装暂存于不合格品/退货库, 根据核素半衰期在 1-6 月后清洁解控后作为一般固体废物处理。

7) 放射性废物暂存库内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

8) 放射性固体废物分别暂存满相应时间后，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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 可进行清洁解控。

综上所述，本项目放射性固体废物收集和贮存措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中固体废物放射性废物的管理要求。

4.3.2 放射性废水

（1）放射性废水收集及管道设计

根据核素特性，本项目通过专门的长半衰期废水管道和短半衰期废水管道分别收集放射性废液；在回旋加速器机房设置专门管道连接至应急衰变池，收集事故状态的冷却水；另配置专门的废液收集桶和废液罐用于收集、暂存含 ^{68}Ge 废液；。

由建设单位提供的设计图纸可知，本项目洗消间、洁具间、去污缓冲间均拟建 1 个洗手池或应急喷淋头，配置上水口，并同时配备应急去污工具箱。

在一层回旋加速器机房设置下水口，由专门管道连接至应急衰变池。

在 1-2 车间配套洁具间、洗消间和缓冲间；二层 2-1 车间配套去污缓冲间和洁具间；三层热实验室 3；四层涉放饲养室 2 设置下水口，由短半衰期废水管道来收集短半衰期放射性废液，最终排入短半衰期衰变池。

在一层 1-3 车间至 1-4 车间配套洁具间、洗消间和缓冲间、包装区配套洗消间和洁具间、场所总入口洗消间；二层 2-3 车间至 2-4 车间及清洗灭菌室配套去污缓冲间（洗消间）和洁具间、质检区配套去污间和洁具间；三层紧急冲淋间、去污间 1 和 2、热实验室 1 和 2、洁具间；四层卫生缓冲间、污物清洗间、涉放饲养室 4 和 5、洗消间和污物检测间设置下水口，由长半衰期废水管道来收集长半衰期放射性废液，最终排入长半衰期衰变池。

在 1-1 车间和 1-4 车间配套洁具间、洗消间和缓冲间以及 2-2 车间配套去污缓冲间（洗消间）和洁具间各配置 1 个 20L 废水收集桶（ 10mmPb ）用以收集含 ^{68}Ge 废液，废液定期转移至负一层放射性浓缩室的废液罐（10 个，均外包 10mmPb ，单个废液罐体积为 50L）。

本项目的放射性废水管道拟采用加厚不锈钢管，管道转弯处采取无接头、平滑转弯设计，无死区，并标识水流走向，便于检测和维修。管道水平段均在降板

层内敷设，未暴露于地面，采用 3-5° 倾斜设计，以避免放射性废水集聚，立管布置在人员不易到达的角落位置，外包 10mm 铅皮。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于放射性废水管道的相关要求。因此，本项目放射性废液管道设计合理。

（2）衰变池设计

本项目衰变池和浓缩室均位于负一层地下室内，地下室四周和下方均为岩土层，上方为 1.3 米厚覆土，再上方为绿化，选址已避开人员集中活动区域。从辐射防护的角度分析，衰变池选址合理。

考虑到本项目辐射工作场所内操作的核素半衰期及应急需求，衰变池分为长半衰期衰变池、短半衰期衰变池和备用应急池，长半衰期衰变池、短半衰期衰变池用于暂存生产及操作过程产生的除 ^{68}Ge 外的放射性废水，备用应急池用于暂存回旋加速器事故冷却水和其他应急废水，1 间浓缩室（13m²）用于暂存含 ^{68}Ge 放射性废水。长半衰期衰变池内设 4 个衰变分池（命名为衰变池 1 至 4）并联，短半衰期衰变池内设 4 个衰变分池（命名为衰变池 5 至 8）并联，备用应急衰变池内拟设 2 个衰变分池（命名为备用衰变池 1 和 2），各衰变池尺寸及容积参数见下表。

表4-14 衰变池尺寸及容积参数一览表

参数	衰变池 1	衰变池 2	衰变池 3	衰变池 4	衰变池 5	衰变池 6	衰变池 7	衰变池 8	备用衰变池 1	备用衰变池 2
长（m）	8.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	4.28	4.28
宽（m）	2.3	2.75	2.75	2.75	1.5	1.5	1.5	1.5	3.85	3.75
高（m）	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
有效水深（m）	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
有效容积（m ³ ）	58.65	57.75	57.75	57.75	31.50	31.50	31.50	31.50	49.43	48.15

衰变池六面均采用 300mm 混凝土，混凝土为 C30 抗渗混凝土（密度为 2.35g/cm³），抗渗等级 P8，内壁刷聚氨酯防水涂料后批荡 20mm 水泥砂浆保护层，耐酸碱腐蚀，可确保辐射防护安全。衰变池检修口尺寸为 800mm×800mm，屏蔽板为外侧两面各 2mm 不锈钢板内夹 3mm 厚铅板并上锁，并在盖板表面设置电离辐射警告标志和警示标语，最低高度距地 3.4m。每个衰变分池均设置液位计，避免废液溢出或超压。每个衰变分池排水管线终端均预设取样口。综上分析，本项目衰变池的设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放

射防护要求》(GBZ120-2020)关于衰变池设计的相关要求。

(3) 放射性废液治理措施及可行性分析

①放射性废液处理流程

以长半衰期衰变池为例，共配置 4 个衰变分池（衰变池 1 至 4），放射性废液管道控制阀门采用电磁阀自动控制废液通过重力流入衰变池，先进入衰变池 1，达到预设水位后，电磁阀自动关闭衰变池 1 的进水阀门并打开衰变池 2 的进水阀门，放射性废液流入衰变池 2。此时衰变池 1 不再收集废液，已收集的放射性废液进行封闭暂存衰变，以此类推，当最后衰变池 4 到达控制液位时，衰变池 1 已封闭暂存满另三个分池的时间，排放衰变池 1 的废水。

②废液达标性分析

根据源项、衰变池及废水罐设计数据对放射性废液暂存时间进行核算，结果见下表。

表4-15 放射性废液暂存时间核算一览表（略）

由上表可知，①短半衰期废液暂存时间为 630 天，大于 30 天，表明短半衰期衰变池容积较为充裕，在满足现有规模的需求下，还考虑了二阶段使用需求，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中“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”的条件，因此，本项目短半衰期放射性废液暂存超过 30 天可直接解控排放。②长半衰期废液暂存时间为 369 天，大于放射性废液中所含核素最长半衰期的 10 倍（170 天），满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中“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”的条件，排放前，委托有资质的单位对放射性废水检测，监测结果满足标准要求（总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L）并经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

③含 ^{68}Ge 放射性废水由废液罐收集后，暂时时间无法满足解控要求，定期委托有资质的单位处理。

为保障该衰变池的长效可靠运行，建设单位将在项目运行前，安排专人负责放射性废液的暂存和处理，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。

4.3.3 放射性废气

根据设计单位的提供资料，本项目拟建 2-2#楼辐射工作场所设置了 58 套独立的放射性废气排风系统及过滤装置，与工作场所内普通室内废气处理管线分开设置，回旋加速器机房、各生产线、质检区、研发实验场所、动物实验场所、放射性废物暂存库、衰变池的排风系统均独立设计，互不干扰，可独立开启，拟采取的放射性废气治理措施具体情况设置如下：

(1) 回旋加速器机房

回旋加速器机房内设置 1 套独立的负压排风系统，机房内的排风口与新风口呈对角设置，采用上送风、下排放设计。3 处新风口拟设在机房天花板东端，4 处排风口设置在机房内西端距离地面约 20cm，新风口和排风口的设计位置合理。排风量为 5250m³/h，活性炭过滤器净化效率达 99.9%，排风系统单独由一根 27m 高的排风管道高出屋面排放（编号 PF-1-J6）。

(2) 一层及二层药物生产线

一层的 4 条放射性生产线和二层的 4 条放射性生产线共设置 19 套独立的排风系统，不与监督区及清洁区共用排风系统。

8 条生产线内部热室箱体均为密闭箱体，各设置 1 套独立排风系统，排风系统编号对应为 PF-1-J1 至 PF-1-J4、PF-2-J1 至 PF-2-J4，均采用全排，箱体内部控制为负压-50~-150Pa，合成、分装时产生的放射性气体，箱体排风速度不低于 0.5m/s，箱体顶壁设置活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，分别经独立排风立管通至屋面，高于屋面 3 米排放。

各生产线涉及的功能房间为全排，为同时满足 GMP 洁净区正压气流组织要求及放射性物质负压气流组织要求，各生产线以进入气锁为最高压力区，压差往两边邻近连通房间逐级递减，以保证放射性气溶胶局部流动方向为：生产线其余功能→前区→生产屏蔽箱→排风管道。生产线除热室箱体外的功能用房共设置 11 套独立的排风系统，排风系统编号对应为 PF-1-1 至 PF-1-5、PF-2-1 至 PF-2-5 和 PF-2-11，房间均控制为负压，负压值在-20Pa~-5Pa，控制气流方向由低污染区到高污染区。11 套排风系统收集的废气分别经独立排风立管排至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，高于屋面 3 米排放。

(3) 二层质检区

二层质检区共设置 7 套独立的排风系统。其中微生物准备室、放化实验室、放射性实验室的 3 个手套箱均为密闭箱体，各设置 1 套独立排风系统，排风系统

编号对应为 PF-2-7、PF-2-8、PF-2-12，均采用全排，箱体内部控制为负压，箱体排风速度不低于 0.5m/s，箱体顶壁设置活性炭过滤器净化（过滤效率不低于 99.9%）后，分别经独立排风立管通至屋面，高于屋面 3 米排放。

其余涉放房间为全排，结合 GMP 洁净区要求，共设置 4 套独立的排风系统，排风系统编号对应为 PF-2-6、PF-2-9、PF-2-10 和 PF-2-13，房间控制为负压，负压值在-20Pa~-5Pa，控制气流方向由低污染区到高污染区。4 套排风系统收集的废气分别经独立排风立管排至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，高于屋面 3 米排放。

（4）三层放射性研发实验场所

三层研发实验场所共设置 13 套独立的排风系统。其中 11 个实验室手套箱均为密闭箱体，各设置 1 套独立排风系统，排风系统编号对应为 PF-3-2 至 PF-3-12，均采用全排，箱体内部控制为负压，箱体排风速度不低于 0.5m/s，顶壁设置活性炭过滤器净化（过滤效率不低于 99.9%）后，分别经独立排风立管通至屋面，高于屋面 3 米排放。

其余涉放房间为全排，共设置 2 套独立的排风系统，排风系统编号对应为 PF-3-1 和 PF-3-13，房间控制为负压，负压值在-20Pa~-5Pa，控制气流方向由低污染区到高污染区。2 套排风系统收集的废气分别经独立排风立管排至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，高于屋面 3 米排放。

（5）四层动物实验场所

四层动物实验场所共设置 10 套独立的排风系统。其中分装室手套箱、解剖室手套箱、标本室手套箱、血液生化实验室手套箱、毒理室手套箱共 5 个均为密闭箱体，各设置 1 套独立排风系统，排风系统编号对应为 PF-4-1 至 PF-4-3、PF-4-8、PF-4-10，均采用全排，箱体内部控制为负压，箱体排风速度不低于 0.5m/s，顶壁设置活性炭过滤器净化（过滤效率不低于 99.9%）后，分别经独立排风立管通至屋面，高于屋面 3 米排放。

其余涉放实验室（注射室、配液室、血液生化室、解剖室等）与动物 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房采用房间全排，共设置 5 套独立的排风系统，排风系统编号对应为 PF-4-4 至 PF-4-7、PF-4-9，房间控制为负压，负压值在-20Pa~-5Pa，控制气流方向由低污染区到高污染区。5 套排风系统收集的废气分别经独立排风立管排至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，高于屋

面 3 米排放。

(6) 负一层放射性废物库及衰变池

负一层辐射工作场所共设置 4 套独立的排风系统，放射性废物暂存区域、衰变池区域、放射性浓缩室、解控区域各单独设置 1 套排风系统，排风系统编号对应为 PF-B-1 至 PF-B-4。4 套排风系统收集的废气分别经独立排风立管排至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，高于屋面 3 米排放。

(7) 放射性原料库、放射性废物库及货厅

放射性原料库（2F 至 4 层）、放射性废物库（1F 至 4F）及涉核货厅（1F 至 4F）、涉核废弃物货厅（1F 至 4F）各设置 1 套独立排风系统，排风系统编号对应为 PF-M1 至 PF-M4。4 套排风系统收集的废气分别经独立排风立管排至屋面，经由屋面设置的活性炭过滤器（过滤效率不低于 99.9%）净化后，高于屋面 3 米排放。

本项目所有放射性废气排放口（合计 60 个排放口）均位于 2-2#楼屋顶，高于屋面 3 米（排放高度为 27m）。放射性废气排放口尾部安装防雨帽，过滤装置入口和出口处各拟设置压力计，拟预留气溶胶人工取样口，取样口参考《固定源废气监测技术规范》（HJ/T397-2007）要求设置。

建设单位将在项目运行前安排专人每 3 个月对过滤装置入口和出口压差进行检查，确保压差低于厂家推荐值，确保过滤装置的有效性，若发现压差高于厂家推荐值或活性炭外观变灰、表面出现疏松或破裂，则需及时联系活性炭厂家人员做进一步研判，确认是否需要更换活性炭。

本项目各废气管线及涉及功能用房、排风量设计情况见下表。

表4-16 放射性废气设计一览表（略）

4.4 服务期满后的环境保护措施

本项目辐射工作场所不再运行及服务期满后，建设单位拟按法规标准规定要求实施退役；建设单位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。

4.4.1 设计阶段对退役实施的考虑

(1) 本项目 2-2#楼为非密封放射性物质操作场所，对于易洒漏的放射性物质均局限在较小的操作台或手套箱内操作，尽可能减少非密封放射性物质的扩散，

并减小污染区域的面积；

(2) 非密封放射性物质工作场所地面铺设采用易拆性、易去污的材质，且墙角作圆角处理，防止洒漏放射性物质扩散；

(3) 项目设置专用放射性固废暂存库和放射性衰变池，对放射性废物进行集中暂存，尽可能减少“三废”的产生量、处理量、排放量和存留量。

4.4.2 退役目标及计划

核技术利用设施退役的最终目标为原则上实现留存建（构）筑物和场址残留放射性达到无限制开放水平，退役产生的各类废物和物料得到安全处理和处置，退役过程中产生的气、液态流出物达标排放。

本项目涉及生产放射性同位素、使用 I 类射线装置、甲级、乙级非密封放射性物质工作场所，待服务期满后，建设单位应对辐射工作场所进行监测，若存在放射性污染，根据《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）中“五十五、核与辐射”中“173、核技术利用项目退役—生产放射性同位素的（制备 PET 用放射性药物的除外）；甲级非密封放射性物质工作场所”，应编制项目退役环境影响报告书，并取得生态环境主管部门审批后才能正式按照方案实施退役活动。

第5章 环境影响分析

5.1建设阶段对环境的影响

5.1.1大气污染物影响分析

本项目施工期的废气主要来自于施工建筑材料的运输、装卸、堆放及搅拌过程中产生的扬尘；施工机械以及运输车辆产生的废气；装修废气。

5.1.1.1运输扬尘

根据有关调查显示，施工工地的扬尘主要是由运输车辆行驶产生，与道路路面及车辆行驶速度有关，约占扬尘总量的 60%。在完全干燥情况下，可按经验公式计算：

$$Q = 0.123 \times \left(\frac{v}{5} \right) \left(\frac{w}{6.8} \right)^{0.85} \left(\frac{p}{0.5} \right)^{0.75} \quad (\text{式5-1})$$

式中：

Q——汽车行驶的扬尘产生量，kg/（km·辆）；

V——汽车行驶速度，km/h；

W——汽车载重量，t；

P——道路表面粉尘量，kg/m²。

一辆载重 5t 的卡车，通过一段长度为 500m 的路面时，不同表面清洁程度，不同行驶速度情况下产生的扬尘量见表 5-1 所示。

表5-1 不同车速和地面清洁程度时的汽车扬尘 单位：kg/km.辆

P (kg/m ²) 车速 (km/h)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0
5	0.0283	0.0476	0.0646	0.0801	0.0947	0.1593
10	0.0566	0.0953	0.1291	0.1602	0.1894	0.3186
15	0.0850	0.1429	0.1937	0.2403	0.2841	0.4778
20	0.1133	0.1905	0.2583	0.3204	0.3788	0.6371

由表 5-1 可知，在同样路面清洁情况下，车速越快，扬尘量越大；而在同样车速情况下，路面清洁度越差，则扬尘量越大。根据类比调查，一般情况下，施工场地、施工道路在自然风作用下产生的扬尘所影响的范围在 100m 以内。

抑制扬尘的一个简单有效的措施是洒水。如果在施工期内对车辆行驶的路面

实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70%左右。表 5-2 为施工场地洒水抑尘的试验结果。由该表数据可以看出对施工场地实施每天洒水 4~5 次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可将 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。

表5-2 施工场地洒水抑尘试验结果 单位：mg/m³

距离		5m	20m	50m	100m
TSP 小时平均浓度	不洒水	10.14	2.89	1.15	0.86
	洒水	2.01	1.40	0.67	0.60

5.1.1.2装卸、堆放和搅拌扬尘

施工扬尘的另一种重要产生方式是建筑材料露天装卸、堆放和搅拌作业，这类扬尘的主要特点是受作业时风速大小的影响显著。施工场地设置统一的围挡，禁止高空抛撒建筑垃圾，防止施工过程中易生尘物料、渣土的外溢。在大风干燥易扬尘的天气条件，应停止土方开挖、装卸等产生作业，对散料堆场采用水喷淋防尘或用篷布遮盖散料堆，是抑制这类扬尘的一种很有效的手段。

5.1.1.3汽车尾气

项目施工过程中用到的施工机械，它们以柴油为燃料，都会产生一定量废气，包括 CO、THC、NO_x 等，考虑其排放量不大，影响范围有限，施工单位应选用符合国家卫生防护标准的施工机械和运输工具，确保其废气排放符合国家有关标准。加强对机械设备的养护，减少不必要的空转时间，以控制尾气排放，可以认为其对环境的影响比较小。

综上所述，施工期间建设单位只要按照国家规定的施工期污染防治文件相关条款的要求，做到文明施工、清洁施工和科学施工，施工期产生的大气污染物可得到有效控制，不会对项目所在区域大气环境造成影响。

5.1.1.4装饰废气

在房屋的装修过程中，装饰工程用油漆和喷涂等施工时有机溶剂挥发，主要为甲醛还有微量的苯系物等，属无组织排放，对装修人员的健康会造成影响。

装修须选择符合国家标准的合格的油漆和涂料产品，并加强管理，最大限度地防止跑、冒、滴、漏现象发生，减少原材料浪费带来的废气排放。装修过程中注意室内通风，保证空气流通，降低污染物浓度。建议施工管理人员应督促施工人员戴口罩施工，防止工人吸入有害气体，损伤身体健康。项目在装修完毕后，不能急于投入使用，应先找有资质的室内环境检测部门进行检测，如发现有污染

超标处，须经治理达标后方可投入使用。

综上所述，施工期间建设方只要按照国家规定的施工期污染防治文件相关条款的要求，做到文明施工、清洁施工和科学施工，并按照本环评所提要求及建议采取必要的防治措施，施工期产生的大气污染物可得到有效控制，不会对项目所在区域大气环境造成明显影响。

5.1.2 施工期水环境影响分析

本项目在施工期会产生施工废水和施工人员的生活污水。施工废水临时隔油池、临时沉淀池，施工废水采用隔油池、沉淀池处理后可回用于施工，不外排；施工人员的生活污水依托“中子科学基地建设项目”施工营地正在用的废水处理设施处理后达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，对水环境影响很小。

5.1.3 噪声污染及环保措施分析

（1）源强分析

项目施工期噪声主要来源于施工现场各类机械设备作业噪声。施工阶段使用的施工机械一般是移动式的，其噪声源也不会是固定的，并且在施工期间往往会有几种施工机械同时作业，导致施工噪声叠加现象，参考《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ2034-2013）常见施工设备噪声源，各施工阶段的主要噪声源及噪声级见表 3-11。

（2）预测模式

户外声传播衰减包括几何发散（ A_{div} ）、大气吸收（ A_{atm} ）、地面效应（ A_{gr} ）、屏障屏蔽（ A_{bar} ）、其他多方面效应（ A_{misc} ）引起的衰减。考虑几何发散衰减和屏障屏蔽衰减时，预测点 r 处的声压级为：

$$L_A(r) = L_A(r_0) - 20 \lg(r/r_0) - A_{bar} \quad (\text{式5-2})$$

式中：

$L_A(r)$ ——距声源 r 处的声级，dB(A)；

$L_A(r_0)$ ——参考位置的声级，dB(A)；

r_0 ——参考位置与点声源之间的距离，m；

r ——预测点与点声源之间的距离，m；

A_{bar} ——障碍物屏蔽引起的衰减，dB(A)。

同一阶段不同时使用多台高噪声设备。为了解本项目施工期产生的最大噪声值对外环境的影响程度，考虑不同阶段多台噪声设备叠加后预测对某位置的总声压级。

根据声环境导则 HJ2.4 中的噪声预测要求，本次评价采用声源叠加计算公式计算多台设备同时运转时总声压级，计算公式如下：

$$L_A = 10 \lg (10^{0.1L_{eq1}} + 10^{0.1L_{eq2}}) \quad (\text{式5-3})$$

式中：

L_A ——“合成等效”声级值，dB(A)；

L_i ——第 i 个噪声源的噪声值，dB(A)；

n ——声源个数。

(3) 预测结果及影响分析

施工期主要噪声设备不同距离处噪声预测结果见表 5-3。

表5-3 各类建筑施工机械在不同距离处的噪声预测值表

噪声源	距声源不同距离处的噪声值，dB (A)							
	10m	20m	30m	50m	80m	100m	150m	200m
压路机	64	58	54	50	46	44	40	38
电动挖掘机	62	56	52	48	44	42	38	36
推土机	64	58	55	51	46	44	41	38
重型运输车	65	59	55	51	47	45	41	39
静力压桩机	51	45	42	38	33	31	28	25
混凝土振捣器	63	57	53	49	45	43	39	37
商砼搅拌车	66	60	57	53	48	46	43	40
电锯	75	69	65	61	57	55	51	49
空压机	69	63	59	55	51	49	45	43
风镐	69	63	59	55	51	49	45	43
云石机	72	66	62	58	54	52	48	46
振动夯锤	75	69	65	61	57	55	51	49

多台设备同时运转时，距离预定地点的总声压级预测值见下表。

表5-4 多台设备同时运转到达预定地点的总声压级

机械名称	距声源不同距离处的噪声值，dB (A)							
	10m	20m	30m	50m	80m	100m	150m	200m
土方阶段	70	64	60	56	52	50	46	44

基础阶段	51	45	42	38	33	31	28	25
结构阶段	77	71	67	63	59	57	53	51
装修阶段	77	71	67	63	59	57	53	51

项目夜间不进行施工，根据《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），施工期昼间噪声限值为 70dB（A），由上表预测结果可知，保守考虑多台高噪声设备同时运行下，昼间施工场界噪声贡献值达标距离在 30m 外。

为减少施工噪声对周围环境影响，施工单位须选择噪声低的施工作业方法和工艺，合理布置施工场地，尽可能远离场界，尽量采用低噪声机械，并注意对施工机械定期进行维修保养，使机械设备保持最佳工作状态。在运输材料时，还应协调好车辆通行的时间，避免交通堵塞，运输要采取减速缓行、禁止鸣笛等措施，减少对沿途居民的影响。

本项目厂界外 50m 以内无声环境保护目标，项目施工期噪声影响是暂时性的，在采取相应的管理措施后可减至最低，并将随着施工期的结束而消失。

5.1.4 固体废物影响及环保措施分析

建设阶段产生的固体废物主要为开挖产生的弃土、建筑垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。建设阶段产生的固体废物妥善分类收集处理。

开挖的土石方填方集中堆放，四周设置排水沟。工程建设完成后及时用于绿化回填，最大程度地缩短堆存时间，减少水土流失。无法回填的土石方弃土运往当地建设部门指定填埋场处置。

建筑垃圾由施工单位按照《重庆市城市建筑垃圾管理办法》（渝城管局发〔2024〕4号）全部运至建筑垃圾填埋场处置，妥善处理，防止污染环境。

施工场地内设垃圾桶收集施工人员产生的生活垃圾，统一收集后交由市政环卫部门处理。对固体废物从收集、清运到弃置实现严格的全过程管理。

施工单位认真落实上述措施后，施工期产生的固体废物可实现资源化利用或无害化处置，不会造成二次污染。施工期固废经妥善处置，对环境影响可接受。

5.1.5 生态环境影响分析

本项目在重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地进行建设，永久及施工临时占地位于中子科学基地地块内，不会对其他土地造成影响。本项目施工时间较短，不会对周围植被产生破坏。本项目附近人类生产活动频繁，分布在该区域的野生动物较少，主要以蛙类及鸟类等常见小型野生动物，未发现珍稀保护野

生动植物。根据本项目特点，对野生动物的影响主要发生在施工期。随着工程的开工，施工机械、施工人员的进场，施工中产生的噪声可能干扰现有野生动物的生存环境，但本项目土建施工工期短，因此本项目施工对野生动物的影响为暂时性的。施工完成后，部分野生动物仍可以到原栖息地附近区域栖息。因此，本项目施工对当地的动物不会产生明显影响。

5.1.6 设备安装调试期间的环境影响分析

生产设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，本项目生产车间内不存在非密封放射性物质，设备不会出束运行，非密封放射性工作场所不进行带核素实验，因此不存在电离辐射。设备安装完成后，需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

5.1.7 施工管理及要求

本目前期由重庆科学城高新产业发展有限公司牵头建设，通过竣工环境保护验收后，移交给本项目建设单位即“强核医药科技（重庆）有限公司”使用。项目移交时，应注意将施工档案（包含隐蔽工程的设计图、图片、影像等资料）、验收意见等一并移交。

5.2 运行阶段辐射环境的影响

5.2.1 场所辐射水平

5.2.1.1 α 、 β 表面污染分析

β 表面污染的影响主要来源于放射性药物操作时打翻、洒漏造成设备仪器表面、台面、地面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 α 、 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，公司应采取以下防护措施：

- ①操作放射性核素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②不允许用裸露的手直接接触放射性核素或进行污染物的操作；
- ③严格按照分区情况进行管理，禁止无关人员进入；

④当天工作结束后，应进行辐射水平和表面污染检测，如发现表面污染水平超过 GB18871-2002 规定限值，应及时进行去污，经检测符合标准要求后方可重新开展业务。

5.2.1.2α 射线辐射环境影响分析

当屏蔽材料的厚度等于或大于 α 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 α 粒子完全挡住。根据《辐射防护手册（第一分册）》（李德平、潘自强，原子能出版社），α 粒子在机体组织和水中的射程可按下列公式计算：

$$R=0.323E\alpha^{3/2} \quad (\text{式5-4})$$

$$R'=0.00122R \quad (\text{式5-5})$$

式中：

R ——α 粒子在标态下空气中的射程，cm；

$E\alpha$ ——α 粒子的能量，MeV；

R' ——α 粒子在某材料中的射程，cm。

本项目拟使用 ^{223}Ra 、 ^{211}At 、 ^{225}Ac ，其中 α 粒子能量最大值为 5.8695MeV，根据式 5-4 和式 5-5 可计算得，对于组织或水，最大射程为 $5.6 \times 10^{-3}\text{cm}$ ，只要辐射工作人员戴上手套就足以完全屏蔽。因此，只要辐射工作人员按照操作流程规范操作，正常运行过程中不会对辐射工作人员及公众造成附加辐射影响。本次评价不再考虑 α 射线所致外照射影响。

5.2.1.3β 射线辐射环境影响分析

根据《辐射安全手册》（潘自强主编）和《辐射防护导论》（方杰主编），β 射线在介质中的射程按式 5-6 计算，β 射线的屏蔽厚度按式 5-7 计算。

本项目涉及的 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 衰变产生 β 射线，核素衰变产生的 β 射线在各介质中的所需屏蔽厚度计算结果见下表。

$$R=0.412E_{\max}^{1.265-0.954\ln E_{\max}} \quad (\text{式5-6})$$

$$d=R/\rho \quad (\text{式5-7})$$

式中：

R ——β 射线在介质中射程，g/cm²；

ρ ——介质的密度，g/cm³，有机玻璃密度取 1.18g/cm³，铅密度取 11.34g/cm³，塑料密度取 1.4g/cm³；

$E_{\max}$ ——β 射线的最大能量，MeV；

d ——β 射线的屏蔽厚度，cm。

表5-5 核素衰变产生的 β 射线在各介质中的所需屏蔽厚度

核素	F-18	Cu-64	Sc-44	Zr-89	Lu-177	Ra-223	Ga-68	Mo-99	Cu-67	Pb-212	屏蔽体 最小厚度 (cm)
β 射线能量 (MeV)	0.63	0.65	1.474	0.902	0.2058	0.427	1.9	1.21	0.561	0.335	/
铅中的射程 (cm)	0.02	0.02	0.05	0.03	4.53E-04	0.01	0.06	0.04	0.01	2.91E-03	0.5
铅玻璃中的射程 (cm)	0.04	0.05	0.14	0.09	1.00E-03	0.02	0.15	0.12	0.03	0.01	0.5
塑料中的射程 (cm)	0.13	0.14	0.42	0.26	4.00E-03	0.05	0.45	0.36	0.10	0.02	0.5

由上表可知，本项目使用的核素衰变产生的 β 射线在各屏蔽材质中射程有限，各屏蔽材料最小厚度均大于 β 射线的射程，通过本项目防护设施、工作人员个人防护用品的屏蔽， β 射线对辐射环境影响可接受。

5.2.1.4 韧致辐射影响分析

强 β 粒子被高原子序数材料阻挡时会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》，对 β 辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。屏蔽计算时，Gy可视为Sv。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式5-8})$$

式中：

H_r ——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r ——参考点与屏蔽层的距离，m；本项目假设辐射源点位于各柜体、罐体、放射性废物收集桶中心，根据各生产设备的尺寸参数，取中心点至设备外关注点的距离作为预测 r ；

A ——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数，有机玻璃 Z_e 取自《辐射防护导论》表 4.4，为 5.85；

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

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ，取自《辐射防护导论》附表 1；

q ——参考点所在区域相应的居留因子；

η ——透射比，根据式 5-9 计算。

$$\eta = 10^{-(X/TVL)} \quad (\text{式5-9})$$

式中：

X ——屏蔽厚度，mm；

TVL ——什值层，mm，取自 NCRP151 附表 A， ^{68}Ga 和 ^{44}Sc 铅的什值层均为 16.6mm。

由核素特性可知，本项目涉及大部分核素光子能量大于其 β 射线能量，由于 γ 射线穿透能量远大于平均能量为 E_b 的韧致辐射，当屏蔽措施能满足屏蔽 γ 射线时，也能满足屏蔽该核素 β 射线产生的韧致辐射。因此，以 β 射线能量较大的 ^{68}Ga 、 ^{44}Sc 为例进行分析。本项目韧致辐射剂量率预测结果见下表。

表5-6 韧致辐射剂量率预测结果

序号	核素	屏蔽材料 (mmPb)	A (Bq)	E_b (MeV)	r (m)	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	η	辐射剂量 率(μSv/h)	控制 水平 (μSv/h)	评价
1	⁶⁸ Ga	150	2.96E+09	0.633	0.5	2.953E-03	9.20E-10	3.45E-09	2.5	达标
2	⁴⁴ Sc	120	1.48E+10	0.491	0.5	2.953E-03	5.90E-08	6.66E-07	2.5	达标

由上表结果可知，本项目β射线能量较大的核素产生韧致辐射剂量率已较小，后续外照射剂量分析时，不再予以考虑。

5.2.1.5 小动物PET/CT和 SPECT/CT X 射线影响分析

本项目拟使用 1 台小动物PET/CT 和 1 台 SPECT/CT 用于动物显像。2 间机房辐射防护设计相同，四周墙体均为 370mm 实心砖墙（密度 1.65g/cm³），屋顶板及地板均为 300mm 混凝土（密度 2.35g/cm³），观察窗与机房进出防护门的防护铅当量均为5mmPb。与《动物 X 射线诊断辐射防护与安全要求》（T/ACEF117-2023）中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见表 5-7。

表5-7 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护与防护要求对照分析结果

机房类型	要求机房内最小单边长度 (m)	要求铅当量 (mmPb)	本项目最小单边长 (m)	本项目设计情况 (mmPb)		评价
PET/CT 机房与 SPECT/CT 机房	3	4.1	3.7	墙体	4.6	满足
				顶棚	4.8	满足
				地板	4.8	满足
				门窗	5.0	满足

由上表对照结果可知，本项目小动物 PET/CT 机房与小动物SPECT/CT机房设计的有效使用面积、机房内最小单边长度，以及机房四周墙体、屋顶板、地板及防护门、观察窗的防护铅当量均满足《动物 X 射线诊断辐射防护与安全要求》（T/ACEF117-2023）的要求，可以满足机房屏蔽体外表面 0.3m 处机房的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h 的要求。经机房屏蔽后，X 射线对人员附加剂量可忽略。

5.2.1.6 生产质检及实验过程 γ 射线外照射影响分析

(1) 预测模式

将生产的核素、合成的药品、注射药物后的动物作为点源，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I计算公式预测核素工作场所的屏蔽体外瞬时剂量率，计算公式见式5-10。

$$H_{\gamma}=A \cdot \Gamma \cdot R^{-2} \cdot 10^{-(X/TVL)}$$
（式5-10）

式中：

H_γ ——屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A ——放射源活度， MBq ；

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

R ——关注点与源点之间的距离， m ；

X ——屏蔽厚度， mm ；

TVL ——半值层， mm 。

(2) 1层生产线辐射环境影响预测及评价

①生产线操作箱体外环境影响分析及评价

1-2 生产线生产 ^{18}F ，1-3 生产线生产 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{103}Pd ，1-4 生产线生产 ^{68}Ge 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ，每条生产线每次只生产一种核素，本项目以每批次最大产能为源强，对各核素生产过程均进行分析，生产过程箱体表面辐射剂量率预测参数及计算结果见表 5-8。

表5-8 一层生产线生产过程箱体表面辐射剂量率预测结果一览表

位置描述	核素名称	剂量率（μSv/h）		控制水平（μSv/h）
靶件接收箱外 30cm（正面）	⁶⁸ Ge	0.0E+00	2.8E-08	2.5
	⁶⁸ Ga	2.8E-08		
	⁵⁷ Co	1.2E-197		
靶件接收箱外 30cm（其他面）	⁶⁸ Ge	0.0E+00	2.9E-05	25
	⁶⁸ Ga	2.9E-05		
	⁵⁷ Co	1.2E-147		
分装箱外 30cm（正 面）	⁶⁸ Ge	0.0E+00	4.2E-02	2.5
	⁶⁸ Ga	4.2E-02		
分装箱外 30cm（其 他面）	⁶⁸ Ge	0.0E+00	3.3E-01	25
	⁶⁸ Ga	3.3E-01		
1-2 车间箱外 30cm （正面）	¹⁸ F	1.1E+00		2.5
1-2 车间箱体外 30cm（其他面）	¹⁸ F	2.2E+00		25
1-3 车间箱体外 30cm（正面）	⁶⁴ Cu	7.9E-05		2.5
	^{99m} Tc	1.9E-131		2.5
	¹⁰³ Pd	1.1E-165		2.5
1-3 车间箱体外	⁶⁴ Cu	1.6E-04		25

位置描述	核素名称	剂量率（μSv/h）		控制水平 （μSv/h）
30cm（其他面）	^{99m} Tc	1.9E-126		25
	¹⁰³ Pd	1.9E-159		25
1-4 车间箱体外 30cm（正面）	⁶⁸ Ge	0.0E+00	1.2E-05	2.5
	⁶⁸ Ga	1.2E-05		
	¹⁰³ Pd	3.8E-155		2.5
	⁴⁴ Sc	3.4E-04		2.5
	⁶⁴ Cu	3.2E-04		2.5
	⁸⁹ Zr	2.1E+00		2.5
1-4 车间箱体外 30cm（其他面）	⁶⁸ Ge	0.0E+00	2.4E-05	25
	⁶⁸ Ga	2.4E-05		
	¹⁰³ Pd	6.7E-149		25
	⁴⁴ Sc	6.7E-04		25
	⁶⁴ Cu	6.3E-04		25
	⁸⁹ Zr	3.0E+00		25

由上表结果可知, 1 层生产线设备箱体外表面 30cm 处的人员操作位置的周围剂量当量率最大为 $2.1\mu\text{Sv/h}$, 非正对人员操作位表面的周围剂量当量率最大为 $3.0\mu\text{Sv/h}$, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

②生产线控制区外环境影响分析及评价

根据表 5-8 预测结果可知, 1-4 车间箱体 (其他面) 使用 ^{89}Zr 核素时, 箱体表面剂量率最大, 根据平面设计图可知, ^{89}Zr 所在箱体中心距房间边界控制区外 30cm 最短距离为 1.6m, 可算得车间房间外各关注点剂量率最大值为 $0.37\mu\text{Sv/h}$; 其余箱体表面关注点辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离成反比关系的规律可知, 距离辐射源越远, 辐射剂量率越低, 因此这些箱体所在房间控制区边界实体屏蔽体外各关注点小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 因此, 1 层生产线房间外 30cm 各关注点均能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 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 $10\mu\text{Sv/h}$ ”。

(3) 二层生产线辐射环境影响预测及评价

本项目以每批次最大产能为源强进行核算，生产过程箱体外表面辐射剂量率预测参数及计算结果见下表。

表5-9 二层生产线生产过程箱体外表面辐射剂量率预测结果一览表

位置描述	核素名称	剂量率 (μSv/h)		控制水平 (μSv/h)
2-1 车间箱体外 30cm	^{99m} Tc	3.1E-17		2.5
2-2 车间箱体外 30cm	⁶⁸ Ge	0.0E+00	3.0E-02	2.5
	⁶⁸ Ga	3.0E-02		
2-3 车间箱体外 30cm	¹⁷⁷ Lu	2.5E-01	2.5E-01	2.5
2-4 车间合成箱体 外 30cm	²¹¹ At	1.4E-51		2.5
	²²³ Ra	5.5E-05		2.5
	²²⁵ Ac	5.7E-49		2.5
2-4 车间分装箱体 外 30cm	²¹¹ At	2.7E-21		2.5
	²²³ Ra	1.5E-02		2.5
	²²⁵ Ac	2.8E-20		2.5

由上表结果可知，各箱体表面 30cm 处人员操作位置的周围剂量当量率最大为 2.5E-01μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h”的要求，根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离成反比关系的规律可知，距离辐射源越远，辐射剂量率越低，因此这些箱体所在房间控制区边界实体屏蔽体外各关注点小于 2.5μSv/h，因此，2 层生产线房间外 30cm 各关注点均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的剂量率控制水平。

(4) 质检区辐射环境影响预测及评价

根据质检区拟使用的核素种类及每种单次最大操作量对质检区屏蔽箱体进行核算，屏蔽箱体屏蔽参数为 50mmPb，箱体表面 30cm 处辐射水平预测结果见表 5-10。

表5-10 质检箱体表面辐射水平预测结果

位置描述	核素名称	剂量率 (μSv/h)	控制水平 (μSv/h)
箱体外 30cm	⁶⁸ Ge	1.9E-01	2.5
	⁶⁸ Ga		2.5

位置描述	核素名称	剂量率 (μSv/h)	控制水平 (μSv/h)
箱体外 30cm	¹⁸ F	8.0E-01	2.5
箱体外 30cm	⁶⁴ Cu	2.0E-02	2.5
箱体外 30cm	^{99m} Tc	1.8E-58	2.5
箱体外 30cm	¹⁰³ Pd	3.8E-74	2.5
箱体外 30cm	⁴⁴ Sc	1.6E-01	2.5
箱体外 30cm	⁸⁹ Zr	2.2E+00	2.5
箱体外 30cm	¹⁷⁷ Lu	2.8E-10	2.5
箱体外 30cm	²¹¹ At	2.4E-63	2.5
箱体外 30cm	²²³ Ra	1.7E-07	2.5
箱体外 30cm	²²⁵ Ac	3.2E-60	2.5

由上表结果可知,质检区手套箱外表面 30cm 处的人员操作位置的周围剂量当量率最大为 2.2μSv/h,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h”的要求,根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离成反比关系的规律可知,距离辐射源越远,辐射剂量率越低,因此这些箱体所在房间控制区边界实体屏蔽体外各关注点小于 2.5μSv/h,因此,质检区房间外 30cm 各关注点均能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)规定的剂量率控制水平。

(5) 研发实验场所辐射环境影响预测及评价

①操作箱体外辐射环境影响分析及评价

研发线使用核素较多,主要用于研发,每天只生产 4 种核素,屏蔽箱体屏蔽参数均为 30mmPb,本次对屏蔽参数一致的工作箱选取 4 种核素(能量较大或用量较大)进行分析,箱体外辐射水平预测结果见下表。

表5-11 研发手套箱表面剂量率

位置描述	核素名称	剂量率 (μSv/h)	控制水平 (μSv/h)
50mmPb 手套箱箱体外 30cm (正面)	¹⁸ F	8.0E-01	2.5
	⁴⁴ Sc	1.6E-01	2.5
	⁸⁹ Zr	2.2E+00	2.5
	⁶⁸ Ga	3.8E-01	2.5
50mmPb 手套箱箱体外 30cm (其他面)	¹⁸ F	3.2E+00	2.5
	⁴⁴ Sc	6.2E-01	2.5
	⁸⁹ Zr	4.2E+00	2.5

	^{68}Ga	1.5E+00	2.5
30mmPb 手套箱箱体外 30cm（正面）	^{18}F	6.4E-02	2.5
	^{44}Sc	1.2E-01	2.5
	^{89}Zr	1.6E+00	2.5
	^{68}Ga	6.0E-02	2.5
30mmPb 手套箱箱体外 30cm（其他面）	^{18}F	2.6E-01	2.5
	^{44}Sc	5.0E-01	2.5
	^{89}Zr	3.1E+00	2.5
	^{68}Ga	2.4E-01	2.5

由上表结果可知，设备外表面 30cm 处的人员操作位置的周围剂量当量率最大为 $2.2\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率最大为 $4.2\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

②工作场所（热实验室）边界外关注点辐射环境影响分析及评价

根据表 5-11 预测结果可知，使用 ^{89}Zr 核素时，50mmPb 手套箱箱体外 30cm 处的人员操作位置的周围剂量当量率最大。根据平面设计图可知， ^{89}Zr 所在箱体中心距房间边界控制区外 30cm 最短距离为 2.0m，可算得工作场所边界外关注点剂量率最大值为 $0.67\mu\text{Sv/h}$ ；操作其他核素及其余箱体表面关注点辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离成反比关系的规律可知，距离辐射源越远，辐射剂量率越低，因此这些箱体所在房间控制区边界外各关注点小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，因此，3 层研发实验场所房间外 30cm 各关注点均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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）动物实验辐射环境影响预测及评价

动物实验使用核素较多，每日仅开展 4 种核素操作，屏蔽箱体屏蔽参数为 30mmPb，本次选取能量较大或用量较大的 4 种核素为代表进行分析，箱体外辐射水平预测结果见表 5-12。其余辐射工作场所屏蔽体外 30cm 处、顶棚上方距地 30cm、下方距地 1.7m，以影响最大的 ^{18}F 为代表进行辐射水平预测，结果见表 5-13。

表5-12 分装室手套箱表面辐射水平预测结果一览表

位置描述	核素名称	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
箱体外 30cm	^{18}F	1.65E+00	2.5
箱体外 30cm	^{44}Sc	1.28E-01	2.5
箱体外 30cm	^{89}Zr	8.00E-01	2.5
箱体外 30cm	^{68}Ga	1.55E-01	2.5

由上表结果可知,设备外表面 30cm 处的人员操作位置的周围剂量当量率最大为 $1.65\mu\text{Sv/h}$, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

表5-13 辐射工作场所屏蔽体外 30cm 辐射水平预测结果一览表

位置描述		核素名称	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
扫描机房	墙外 30cm	^{18}F	1.53E-01	2.5
	门外 30cm	^{18}F	8.70E-01	2.5
	窗外 30cm	^{18}F	1.02E+00	2.5
	顶棚上方距地 30cm	^{18}F	1.86E-02	2.5
	下方距地 1.7m	^{18}F	3.61E-02	2.5
饲养室	墙外 30cm	^{18}F	3.52E-02	2.5
	门外 30cm	^{18}F	8.45E-01	2.5
	顶棚上方距地 30cm	^{18}F	5.57E-02	2.5
	下方距地 1.7m	^{18}F	1.08E-01	2.5
储源室、分装室、注射室	墙外 30cm	^{18}F	1.80E-01	2.5
	门外 30cm	^{18}F	1.96E+00	2.5
	顶棚上方距地 30cm	^{18}F	1.86E-02	2.5
	下方距地 1.7m	^{18}F	3.61E-02	2.5
	注射窗表面 30cm	^{18}F	1.14E+00	2.5
留观兼安乐死室、准备室、解剖室、取材标本室	墙外 30cm	^{18}F	1.80E-01	2.5
	门外 30cm	^{18}F	1.29E+00	2.5
	顶棚上方距地 30cm	^{18}F	1.86E-02	2.5
	下方距地 1.7m	^{18}F	3.61E-02	2.5

位置描述		核素名称	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
动物尸体暂存库	墙外 30cm	^{18}F	1.47E-01	2.5
	门外 30cm	^{18}F	6.18E-01	2.5
	顶棚上方距地 30cm	^{18}F	5.57E-02	2.5
	下方距地 1.7m	^{18}F	1.08E-01	2.5
治疗室、隔离室	墙外 30cm	^{18}F	2.59E-01	2.5
	门外 30cm	^{18}F	1.20E+00	2.5
	顶棚上方距地 30cm	^{18}F	1.86E-02	2.5
	下方距地 1.7m	^{18}F	3.61E-02	2.5

由上表结果可知,辐射工作场所关注点在保守估算的情况下,注射窗表面 30cm 剂量率为 $1.14\mu\text{Sv/h}$, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求;控制区边界实体屏蔽体外各关注点处剂量率最大值为 $1.96\mu\text{Sv/h}$, 位于注射室防护门外 30cm 处,表明各关注点的辐射水平均满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求。

(7) 成品发货与仓储管理辐射环境影响预测及评价

根据建设单位拟配置的产品罐体屏蔽情况及单个产品规格对产品表面剂量率水平进行预测, 预测结果见下表。

表5-14 产品表面辐射剂量率预测结果

序号	产品名称	表面剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器	3.87E+02	500
2	^{68}Ge 溶液	3.86E+02	500
3	^{18}F 注射液	1.03E+02	500
4	^{64}Cu 注射液	2.09E+01	500
5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射液	2.24E-01	500
6	^{103}Pd 注射液	5.41E-03	500
7	^{44}Sc 注射液	3.99E+01	500
8	^{89}Zr 注射液	2.88E+02	500
9	^{177}Lu 注射液	1.78E-04	500
10	^{211}At 注射液	2.40E-03	500
11	^{223}Ra 注射液	1.67E+02	500

12	²²⁵ Ac 注射液	4.08E-03	500
----	-----------------------	----------	-----

由上表可知，各产品铅罐表面的周围剂量当量率均满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的Ⅱ级 A 型货包包装外表面任意一点的最高辐射水平 $H \leq 0.5 \text{mSv/h}$ 的要求。

②工作场所（包装室）边界外关注点辐射环境影响分析及评价

根据建设单位拟配置的产品罐体屏蔽情况及单个产品规格，当预测距离保守按 1 米考虑时，关注点辐射剂量率最大值 $0.97 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $10 \mu\text{Sv/h}$ ”。

（8）放射性固体废物暂存库及废物桶表面剂量率分析

本项目不同操作箱体/房间均配置放射性废物收集桶用于收集放射性废物，一般收集一周工作产生的废物后，于下一次工作前转运至放射性固废间。

残留在容器、注射器、耗材等沾污废物上核素总量以日单次最大操作量的 5% 考虑，处死后的动物以动物最大注射药量的 100% 考虑，考虑时间的衰变，则本项目各固废桶表面 30cm 辐射水平预测结果见表 5-15。

表5-15 固废桶表面辐射剂量率预测结果一览表

位置	涉及核素	总活度（Bq）	转移时固废桶 表面剂量率（μSv/h）	
1-1 生产线固废箱	⁶⁸ Ge	4.19E+09	3.65E-65	1.00E-42
	⁶⁶ Ga	7.49E-36	1.00E-42	
1-2 生产线固废箱	¹⁸ F	4.17E+06	5.96E-01	
1-3 生产线固废箱	⁶⁴ Cu	1.21E+07	3.51E-01	3.51E-01
	^{99m} Tc	7.00E+08	8.48E-09	
	¹⁰³ Pd	6.38E+09	2.62E-10	
1-4 生产线固废箱	⁶⁸ Ge	1.61E+08	6.50E-300	2.22E+00
	⁶⁸ Ga	5.16E-82	5.38E-91	
	¹⁰³ Pd	2.09E+07	1.53E-56	
	⁴⁴ Sc	5.11E-17	1.10E-25	
	⁶⁴ Cu	7.22E+01	1.63E-08	
	⁸⁹ Zr	5.50E+07	2.22E+00	
2-1 生产线固废箱	⁶⁸ Ge	2.53E+10	2.20E-64	2.30E-04
	⁶⁸ Ga	1.72E+03	2.30E-04	

位置	涉及核素	总活度 (Bq)	转移时固废桶 表面剂量率 (μSv/h)	
2-2 生产线固废箱	^{99m} Tc	4.50E+08	5.45E-04	
2-3 生产线固废箱	¹⁷⁷ Lu	1.57E+11	3.01E-01	
2-4 生产线固废箱	²¹¹ At	8.18E+06	1.58E-16	9.12E-01
	²²³ Ra	3.60E+08	9.12E-01	
	²²⁵ Ac	3.51E+08	3.88E-14	
质检区固废箱 1	¹⁸ F	4.17E+03	5.96E-04	4.57E-01
	⁴⁴ Sc	6.01E+05	1.67E-01	
	⁶⁸ Ga	1.50E+01	2.01E-06	
	⁶⁴ Cu	9.98E+06	2.89E-01	
质检区固废箱 2	⁸⁹ Zr	3.07E+07	2.39E+00	2.39E+00
	¹⁰³ Pd	1.93E+08	4.46E-43	
	¹⁷⁷ Lu	3.34E+07	6.41E-08	
	²²³ Ra	3.48E+07	2.79E-04	
质检区固废箱 3	⁶⁸ Ge	2.20E+08	1.91E-66	2.01E-06
	⁶⁸ Ga	1.50E+01	2.01E-06	
实验区固废箱 1	¹⁸ F	4.70E+00	6.72E-07	1.07E+00
	⁴⁴ Sc	1.92E+03	5.33E-04	
	⁶⁸ Ga	6.04E-05	8.09E-12	
	⁶⁴ Cu	3.69E+07	1.07E+00	
实验区固废箱 2	⁸⁹ Zr	1.01E+07	2.11E+00	2.13E+00
	¹⁰³ Pd	4.63E+08	6.02E-24	
	¹⁷⁷ Lu	2.84E+09	5.45E-03	
	²²³ Ra	1.70E+07	1.02E-02	
实验区固废箱 3	⁶⁸ Ge	2.20E+09	1.91E-65	8.09E-12
	⁶⁸ Ga	6.04E-05	8.09E-12	
注射室固废箱 1	¹⁸ F	3.53E-01	5.04E-08	3.90E-02
	⁴⁴ Sc	1.92E+03	5.33E-04	
	⁶⁸ Ga	3.02E-06	4.04E-13	
	⁶⁴ Cu	1.33E+06	3.85E-02	
注射室固废箱 2	⁸⁹ Zr	2.02E+07	2.18E+00	2.18E+00
	¹⁰³ Pd	3.71E+07	1.53E-12	
	¹⁷⁷ Lu	2.55E+07	4.90E-07	
	²²³ Ra	1.02E+07	3.45E-04	
解剖室固废箱 1	¹⁸ F	2.78E+08	3.67E-01	7.85E-01
	⁴⁴ Sc	7.40E+07	1.89E-01	
	⁶⁸ Ga	1.85E+08	2.29E-01	

位置	涉及核素	总活度 (Bq)	转移时固废桶 表面剂量率 (μSv/h)	
	⁶⁴ Cu	1.33E+08	3.56E-02	
解剖室固废箱 2	⁸⁹ Zr	7.40E+07	1.18E+00	1.18E+00
	¹⁰³ Pd	7.40E+07	4.50E-38	
	¹⁷⁷ Lu	6.66E+07	1.89E-07	
	²²³ Ra	2.22E+07	1.11E-04	
血液生化实验室固废箱 1	¹⁸ F	3.53E-01	5.04E-08	2.93E-03
	⁴⁴ Sc	1.92E+03	5.33E-04	
	⁶⁸ Ga	3.02E-06	4.04E-13	
	⁶⁴ Cu	1.33E+06	2.40E-03	
血液生化实验室固废箱 2	⁸⁹ Zr	2.02E+07	2.18E+00	2.29E+00
	¹⁰³ Pd	3.71E+07	1.53E-37	
	¹⁷⁷ Lu	2.55E+07	4.90E-07	
	²²³ Ra	1.02E+07	1.09E-01	

由上表分析结果可知，本项目放射性废物收集桶表面 30cm 辐射剂量率最大值为 2.39μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)“固体放射性废物收集桶表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h”的要求。实际运行时，生产及操作过程的最大使用量、频次将不会超过理论计算的情景，因此，实际运行过程中对周围环境的影响将更小。

解剖室产生的固废在处理结束后，转移至动物尸体暂存库内暂存，引用表 5-13 结果可知，动物尸体暂存库屏蔽体外辐射剂量率满足相应控制水平要求。

根据表 5-11 预测结果可知，半衰期小于 24 小时的核素，在处理前经过至少 1 天的衰变后，活度已降至较低水平，将所有环节（除解剖室）产生的废物影响进行简单相加，所得剂量率为 2.16μSv/h，短半衰期废物暂存库地坑上方采取 10mm 铅盖板（不低于废物收集桶厚度），墙体、门、顶棚采取了实心砖、铅板及混凝土屏蔽，经过屏蔽及距离衰减后，房间外辐射剂量率将进一步降低，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/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 10μSv/h”。

长半衰期废物暂存库拟暂存含 ⁶⁸Ge、⁸⁹Zr、¹⁰³Pd、¹⁷⁷Lu、²²³Ra、²²⁵Ac、⁶⁷Cu 的放射性固体废物，分析各核素的操作量及核素特性，选择影响最大的四种核素，考虑叠加所含核素最长半衰期 10 倍（170 天）内的辐射影响。长半衰期废物暂存

库地坑上方采取 15mm 铅盖板，墙体、门、顶棚采取了实心砖、铅板及混凝土屏蔽，经过屏蔽及距离衰减后，根据设计图纸，取距屏蔽体外最近距离进行分析，废物暂存库屏蔽体外辐射剂量率预测结果见下表。

表5-16 长半衰期废物暂存库屏蔽体外辐射剂量率预测结果一览表

位置描述		核素名称	剂量率 (μSv/h)	
长半衰期废物暂存库	墙外 30cm	⁸⁹ Zr	2.74E-01	2.77E-01
		¹⁰³ Pd	3.77E-46	
		¹⁷⁷ Lu	2.10E-06	
		²²³ Ra	3.42E-03	
	门外 30cm	⁸⁹ Zr	1.44E+00	1.49E+00
		¹⁰³ Pd	1.66E-21	
		¹⁷⁷ Lu	2.61E-05	
		²²³ Ra	4.58E-02	
	顶棚上方距地 30cm	⁸⁹ Zr	9.98E-02	1.03E-01
		¹⁰³ Pd	1.57E-38	
		¹⁷⁷ Lu	2.59E-06	
		²²³ Ra	3.43E-03	

长半衰期废物暂存库房间外 30cm 各关注点最大值为 1.49μSv/h，均能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/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 10μSv/h”。

5.2.1.7回旋加速器影响分析

本报告书根据建设单位提供的回旋加速器机房屏蔽设计方案，利用 FLUKA4-2.0 程序，建立工作场所屏蔽计算模型，利用蒙特卡罗方法模拟放射性核素生产场所的剂量分布，对本项目辐射防护屏蔽防护设计方案进行分析和评价。

FLUKA 是由意大利 INFN 实验室开发（现由 INFN 和 CERN 各自维护和改进）的模拟粒子输运及与物质相互作用过程的大型通用蒙特卡罗程序，可由 FLUKA.cern 官网注册后免费下载使用。目前该程序主要应用于质子和电子加速器及靶站的设计、量热学、辐射活化、辐射剂量学、探测器设计、宇宙射线、中微子物理、高能物理模拟、放射线治疗等领域。可模拟包括中子、电子、质子在内的 60 余种不同的粒子及重离子。

(1) 计算模型

根据建设单位提供的设计图纸、屏蔽施工方案、屏蔽材料及计算时使用的源项和模型素组成等,本次采用 FLUKA 蒙卡模拟软件建立了回旋加速器工作场所建筑模型。

根据设计单位提供的材料,回旋加速器六面的屏蔽体材料为密度为 2.35g/cm^3 的混凝土,元素组成列于下表。加速器机房地板下方土壤元素组成选用《Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling》中推荐元素,密度保守取 1.0g/cm^3 ,如下表所示。

表5-17 屏蔽计算时使用的混凝土和土壤成分

元素	混凝土（密度 2.35g/cm^3 ）	土壤（密度 1.0g/cm^3 ）
	含量（质量比）	含量（质量比）
H	0.01	0.0238
O	0.529107	0.599
Al	0.033872	0.08
Si	0.337021	0.297
C	0.001	—
Mg	0.002	—
Ca	0.044	—
Na	0.01	—
K	0.013	—
Fe	0.014	—

（2）束流损失点模型及运行工况选择

H^- 在被引出后,需要经过剥离膜,剥离成 H^+ ,剥离后的 H^+ 经准直后方可传输用于打靶,这个过程不可避免的在剥离膜和准直器等结构上存在束流损失,剥离膜的效率非常高,所以这个过程可以简单的认为束流是完全损失在准直器上的。最后束流通过传输线,在靶材上完全损失。

根据上述过程,结合厂家提供的设备信息,参考《强流回旋加速器中束流损失和辐射场研究》中对同类加速器的分析,可以得到本项目的束流损失位置、靶材、强度和损失方式如下表所示。

表5-18 束流损失位置、靶材、强度和损失方式

略

本项目回旋加速器共生产 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共 7 种核素。根据建设单位提供资料,回旋加速器运行时的打靶工况见下表。

表5-19 回旋加速器拟使用的靶材料及打靶工况指标

略

(3) 关注点描述

根据建设单位提供的平面布局设计图以及项目选址周围环境的具体情况等因素，综合考虑确保安全和人员可到达等因素，选择机房墙 30cm 外、门外 30cm 处、顶棚上方距顶棚外表面 30cm 处以及地坪处，其中墙外和门外关注点距地 1.7m，点位描述见表 5-20。

表5-20 回旋加速器机房外关注点一览表

关注点	点位描述	对应区域	居留因子
A	东南侧墙外 30cm 处	值班兼门岗室	1
B	东墙外 30cm 处	更衣	1/16
C	东墙外 30cm 处	缓冲	1/16
D	南墙外 30cm 处	走廊	1/4
E	西墙外 30cm 处	2#预留机房	1/2
F	北墙外 30cm 处	设备间	1/40
G	门外 30cm 处	设备间	1/40
K	机房西北侧控制室	控制室	1
M	顶棚上方距顶棚外表面 30cm 处	微生物限度室、准备室、阳性对照间、无菌隔离间换鞋更衣间	1/4
N	地坪处	岩土层	/
H	固体靶下距地 1.7 米处	走廊	1/4
P1	排风口	设备间	1/40
P2	新风口	设备间	1/40

(4) 场所周围剂量当量率计算结果

根据束流损失点分析，回旋加速器机房屏蔽设计蒙特卡罗模拟保守采用双束流模式下的束流损失参数。本项目最大运行工况下，回旋加速器机房周围关注点的周围剂量当量率模型预测结果见表 5-21。

表5-21 回旋加速器机房关注点周围剂量当量率模拟计算结果

关注点	点位描述	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
A	东南侧墙外 30cm 处（值班兼门岗室）	0.002	2.5	达标
B	东墙外 30cm 处（更衣室）	0.022	2.5	达标
C	东墙外 30cm 处（缓冲）	0.702	2.5	达标
D	南墙外 30cm 处（走廊）	0.589	2.5	达标
E	西墙外 30cm 处（预留 2#加速器机房）	0.202	2.5	达标
F	北墙外 30cm 处（设备间）	0.094	2.5	达标
G	门外 30cm 处（设备间）	0.168	2.5	达标
K	机房西北侧控制室	0.067	2.5	达标
M	顶棚上方距顶棚外表面 30cm 处（微生物准备室）	0.066	2.5	达标
H	固体靶下距地 1.7 米处（走廊）	0.550	2.5	达标

(5) 场所周围剂量当量率预测结果小结

由上表结果可知，在考虑最大运行工况的条件下，回旋加速器机房外各关注点的周围剂量当量率最大值为 $0.702\mu\text{Sv/h}$ ，位于东墙外 30cm 处（缓冲），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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) 冷却水的感生放射性

回旋加速器运行时，次级中子与冷却水中的氧发生核反应产生感生放射性核素。正常运行期间，冷却水在冷却系统管路中循环使用，不外排。维保期间可能需要排除冷却水，以便进行设备检修，冷却水经单独的排管道排入备用衰变池暂存。通过 FLUKA 程序模拟设备以最大运行工况连续运行 1 年，模拟停机 1h 及 1 天后管道表面 1 米处剂量率分别为 $22.4\mu\text{Sv/h}$ 和 $0.03\mu\text{Sv/h}$ 。冷却水管线维修由设备厂家进行，根据上述分析结果，冷却水管意外破裂或维修维护冷却水管应先在停机 1 天后再处理，维修人员进入加速器机房等辐射水平较高的区域前，应进行

工作场所辐射监测，制定工作计划，经建设单位批准后方可进入工作。

(7) 加速器结构部件的感生放射性

加速器结构部件的感生放射性主要是初始粒子直接与结构材料相互作用产生，产生部位集中在束流损失较大的部位，如束流管、偏转磁铁、结构材料，其主要材质为不锈钢、铝或铜。通过 FLUKA 程序模拟设备以最大运行工况连续运行 1 年，模拟停机 1h 及 1 周后部件表面 1 米处剂量率分别为 $3.7 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ 和 $217 \mu\text{Sv/h}$ 。

加速器结构部件维修由设备厂家进行，根据上述分析结果，部件维修维护应至少停机 1 周后再处理，维修人员进入加速器机房等辐射水平较高的区域前，应进行工作场所辐射监测，制定工作计划，经建设单位批准后方可进入工作。

中辐环境科技有限公司

5.2.2 人员受照剂量

5.2.2.1 职业人员受照剂量分析

建设单位拟采用以销定产的形式进行产品的销售，接到用户订单后进行生产，根据销售订单，将产品货包从成品库中区域，委托有资质单位进行运输。产品货包离开厂区后，运输过程中的辐射安全由运输单位负责，严格执行我国有关《放射性物品运输安全管理条例》《放射性物品安全运输规程》等相关法规标准。销售过程中建设单位辐射工作人员不会受到辐射影响，运输过程中相关运输人员的受照剂量计管理由运输单位进行管理。

回旋加速器设备故障、冷却水管线维修、活性炭过滤器更换、非解控放射性固废委外处理，均由设备厂家或有资质的单位进行，维修人员进入加速器机房等辐射水平较高的区域前，应进行工作场所辐射监测，制定工作计划，经建设单位批准后方可进入工作。建设单位应制定严格的维修维护制度，在维修设备、更换活性炭期间做好配合工作，不得私自进行处理。

根据本项目的岗位设置及人员工作内容，对本项目辐射工作人员进行人员年有效剂量分析。分析本项目运行时的辐射照射途径，药物生产、传输、转运过程全程在核素传输管线、手套箱或西林瓶等密闭设备中，管线、箱体内部保持负压，并且本项目涉及核素均为非易挥发性核素，因此对于辐射工作人员受照分析，可不考虑内照射的影响，仅分析外照射影响。

根据 3.2.4 劳动定员及各岗位工作内容可分析得各岗位人员的年最大工作时间，综合分析工作操作位置，以最大工作时间对各岗位人员的年有效剂量进行分析，另外对可能长时间近距离接触药物的岗位的人员手部剂量进行单独分析。

(1) 预测模式

人员外照射年有效剂量参考《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式5-11})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D_r ——辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子。

(2) 回旋加速器操作员年有效剂量预测

根据建设单位提供的回旋加速器岗位配置情况可知，加速器配置固定岗位操作员，位于加速器控制室内工作。操作员为 3 班制，每班时间保守考虑为 2400h/a，居留因子取 1，根据表 5-21 可知，控制室处辐射剂量率为 $0.067\mu\text{Sv/h}$ ，利用式 5-11 可算得人员年有效剂量： $0.067 \times 2400 \times 1 \times 10^{-3} = 0.16\text{mSv/a}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束值不大于 5mSv/a 要求。

(3) 生产员、质检员及研发员年有效剂量分析

根据建设单位提供的工作负荷和人员配置，分析本项目各场所的涉源操作环节，职业人员居留因子取 1，结合箱体表面剂量率预测结果可算得生产员、质检员及研发员的年有效剂量，预测结果见下表。

表5-22 生产员、质检员及研发员年有效预测结果一览表

工序及受照时间			辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv)
环节		年受照时间 (h/a)		
1-1 生产线	生产	60	2.80E-08	2.20E-02
	锗镓发生器 拆卸回收	517.5	4.25E-02	
1-2 生产线	生产	1200	1.10E+00	1.32E+00
1-3 生产线	生产	280	7.90E-05	7.58E-01
	安装靶件	8.3	9.10E+01	
1-4 生产线	生产	90	2.10E+00	2.55E-01
	研发实验	50	1.31E+00	
2-1 生产线	生产	150	3.10E-17	4.65E-18
2-2 生产线	生产	50	3.00E-02	1.50E-03
2-3 生产线	生产	600	2.50E-01	1.50E-01
2-4 生产线	生产	300	5.50E-05	1.65E-05
质检		150	2.20E+00	3.30E-01

考虑到回旋加速器机房与二层质检区相邻，因此二层质检区工作人员将一定程度上受到一层回旋加速器运行的影响，叠加两个区域的综合影响，由表 5-21 可知，回旋加速器机房正上方辐射剂量率为 $0.066\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取 1，则质检工作人员总年有效剂量为 $3.30\text{E}-01 + 0.066 \times 300 \times 10^{-3} = 3.40 \times 10^{-1}\text{mSv}$ 。

由上表结果可知，各生产线、质检及研发辐射工作人员的年有效剂量最大值为 1.32mSv/a ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束值不大于 5mSv/a 要求。上述分析是基于 1 名辐射工作人员完成该岗位所有工作时所

受到的年有效剂量，实际工作中，1-1 生产线、2-1 生产线均配置多人轮岗工作，年有效剂量将低于预测结果。

(4) 动物实验研究员年有效剂量分析

根据动物实验工艺流程可知，动物实验涉及药物分装注射、转移、摆位、扫描、解剖实验、血液实验、处理废物、动物尸体处理，根据建设单位提供的资料可知，拟 1 名射线装置操作员进行射线装置扫描工作，考虑所有诊断的叠加影响；拟配置 8 名研究员开展工作，考虑到进行大动物实验时，单只动物用药量较大、检查用时较长，对人员影响较大，因此，下文保守以单名辐射工作人员全部开展大动物实验为代表，保守以前文计算得影响最大的 ^{18}F 为代表，对职业人员年有效剂量进行核算。满负荷工况下，根据建设单位配备的防护用品核算各操作环节人员操作位的辐射剂量率，计算结果见下表。

表5-23 各环节人员操作位剂量率一览表

环节	核素名称	系数 μSv·m²/MBq·h	源强(MBq)	防护用品	距离(m)	辐射剂量率 (μSv/h)
分装	引用表 5-13 箱体外 30cm 操作位计算结果					1.65E+00
注射	引用表 5-14 注射窗表面 30cm 操作位计算结果					1.14E+00
转运	¹⁸ F	0.143	1.85E+02	10mm 铅笼	1	6.61E+00
摆位	¹⁸ F	0.143	1.85E+02	0.5mm 铅衣	1	2.47E+01
解剖实验	¹⁸ F	0.143	1.85E+02	30mm 铅手套箱	0.6	1.15E+00
血液生化实验	¹⁸ F	0.143	1.85E+01	10mm 铅屏风	0.6	1.84E+00
动物尸体处理	¹⁸ F	0.143	1.85E+02	0.5mm 铅衣	1	2.47E+01
废物处理	¹⁸ F	0.143	2.96E+01	0.5mm 铅衣	1	3.95E+00
扫描	引用表 5-14 扫描机房观察窗外 30cm 操作位计算结果					1.02E+00
注 1：根据建设单位提供的资料，血液生化实验获取少量注射后动物血液或细胞组织，药量保守按照最大注射量的 10%考虑；						
注 2：沾污废物中核素总量以日最大操作量的 5%考虑，即（2.22E+02）×5%=1.11E+02MBq。						

由年工作时间及各操作环节的辐射水平可分析得动物研究员、操作员年有效剂量，计算结果见下表。

表5-24 动物实验研究员、操作员年有效剂量核算表

环节	年受照时间(h/a)	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	
分装	10	1.65E+00	1	0.02	1.41
注射	3.75	1.14E+00	1	0.00	
转运	15	6.61E+00	1	0.10	
摆位	7.5	2.47E+01	1	0.19	

解剖实验	150	1.15E+00	1	0.17
血液生化实验	150	1.84E+00	1	0.28
动物尸体处理	25	2.47E+01	1	0.62
废物处理	7.5	3.95E+00	1	0.03
扫描	2400	1.02E+00	1	2.45

由上文分析可知，动物实验研究员年有效剂量为 1.41mSv/a，主要贡献来自动物尸体处理环节，建议在满足试验方向需求的情况下，实验结束后在饲养室继续饲养一段时间，待动物体内核素活度降低后再进行解剖，可降低辐射工作人员年受照剂量。设备操作员年有效剂量为 2.45mSv/a，均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束值不大于 5mSv/a 要求。建设单位应根据具体的工作负荷，合理安排工作人员的工作量，必要时应增加辐射工作人员数量进行轮岗以减少单名人员受照。

（5）包装员年有效剂量分析

包装员主要的工作环节为使用小推车转运、对产品进行外包装及辐射水平监测，以每种核素包装外 0.5 米处辐射剂量率为源强，对人员年有效剂量进行分析，年有效剂量预测结果见表 5-25。

以产品包装表面辐射剂量率对人员手部剂量进行分析，手部剂量分析见后文“（7）职业人员手部照射剂量预测分析”章节。

表5-25 包装员年有效剂量分析一览表

环节		年受照时间 (h/a)	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	
一层转运、包装	⁶⁸ Ge	26.8	3.87E+00	1	1.04E-01	1.20E+00
	¹⁸⁸ Re	1000.0	1.03E+00	1	1.03E+00	
	⁶⁴ Cu	143.8	2.09E-01	1	3.01E-02	
	^{99m} Tc	200.0	2.24E-03	1	4.48E-04	
	¹⁰³ Pd	240.3	5.41E-05	1	1.30E-05	
	⁴⁴ Sc	3.3	3.99E-01	1	1.32E-03	
	⁸⁹ Zr	13.3	2.88E+00	1	3.83E-02	
二层转运、包装	⁶⁸ Ge	76.7	3.87E+00	1	2.97E-01	9.65E-01
	^{99m} Tc	180.0	2.24E-03	1	4.03E-04	
	¹⁷⁷ Lu	800.0	1.78E-06	1	1.42E-06	
	²¹¹ At	400.0	2.40E-05	1	9.60E-06	

	²²³ Ra	400.0	1.67E+00	1	6.68E-01	
	²²⁵ Ac	400.0	4.08E-05	1	1.63E-05	

由上表可知，包装员的年有效剂量最大值为 1.20mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束值不大于 5mSv/a 要求。实际操作过程中，一层每日最多生产 5 种核素，二层每日最多生产 4 种核素，报告保守以所有药物的贡献进行预测，实际运行中包装员的年有效剂量将低于理论预测结果。

（6）安全员年有效剂量分析

由安全员的工作内容可知，其主要负责门岗值班、原料接收、日常辐射巡检、放射性废物解控。安全员的年有效剂量计算结果见下表。

表5-26 安全员年有效剂量分析

环节	年受照时间 (h/a)	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	
门岗值班	2000	0.002	1	4.00E-03	1.67E-01
原料接收	30	5	1	1.50E-01	
巡检	6	1.96	1	1.18E-02	
放射性固废解控	5	0.20	1	1.00E-03	

上表结果为一名辐射工作人员完成所有工作时所受的年有效剂量，安全员拟配置 3 人，3 人轮岗，则单名安全员的年有效剂量最大值为 5.57×10^{-2} mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束值不大于 5mSv/a 要求。

（7）职业人员手部照射剂量预测分析

综合分析各岗位的工作内容可知，包装员包装过程手部近距离接触药物、接触时间较长，受照较大，以该岗位为代表对职业人员手部剂量进行分析，以产品包装表面辐射剂量率为源强，职业人员手部照射剂量预测分析结果见下表。

表5-27 职业人员手部照射剂量预测分析一览表

环节		年受照时间 (h/a)	产品表面辐射剂量率 (μSv/h)	年手部当量剂量 (mSv)	
⁶⁸ Ge	一层包装	2.7E+01	3.9E+02	1.1E+01	1.18E+02
¹⁸ F		1.0E+03	1.0E+02	1.0E+02	
⁶⁴ Cu		1.4E+02	2.1E+01	2.9E+00	
^{99m} Tc		2.0E+02	2.2E-01	4.4E-02	
¹⁰³ Pd		2.4E+02	5.4E-03	1.3E-03	
⁴⁴ Sc		3.3E+00	4.0E+01	1.3E-01	

环节		年受照时间 (h/a)	产品表面辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年手部当量剂量 (mSv)	
^{89}Zr		1.3E+01	2.9E+02	3.8E+00	
^{68}Ge	二层包装	7.7E+01	3.9E+02	3.0E+01	9.80E+01
$^{99\text{m}}\text{Tc}$		1.8E+02	2.2E-01	4.0E-02	
^{177}Lu		8.0E+02	1.8E-04	1.4E-04	
^{211}At		4.0E+02	2.4E-03	9.6E-04	
^{223}Ra		4.0E+02	1.7E+02	6.8E+01	
^{225}Ac		4.0E+02	4.1E-03	1.6E-03	

由上表结果可知，本项目职业人员年手部当量剂量最大值为 $1.18\text{E}+02\text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv 要求。

（8）本项目与周围其他项目对辐射工作人员的叠加影响分析

本项目辐射工作人员除了受到本项目辐射影响外，还会受到中子源科学装置实验室项目、中子源科学装置配套甲级非密封放射性物质工作场所项目、医疗装备研发制造基地建设项目和重庆创新医用同位素项目的影响。对于上述项目，本报告引用已批复环评中对公众的影响结论进行分析。

中子源科学装置实验室项目对公众的影响主要为外照射，中子屏蔽室西侧屏蔽体外辐射剂量率最大为 $0.08\mu\text{Sv/h}$ ，该项目距离本项目边界最近直线距离约 31.2 米，根据外照射剂量率随着距离的平方呈反比的衰变规律，该项目对本项目人员影响可忽略，因此可不考虑该项目与本项目之间的叠加影响。

中子源科学装置配套甲级非密封放射性物质工作场所项目对公众影响主要为气载流出物的辐射影响，该项目的气载流出物所致公众年有效剂量最大值为 $2.59 \times 10^{-2}\text{mSv}$ 。

医疗装备研发制造基地建设项目公众的影响主要为外照射，该项目运行时，对 2-2# 厂房人员年有效剂量最大值为 $1.07 \times 10^{-2}\text{mSv}$ 。

重庆创新医用同位素项目对公众影响主要为气载流出物的辐射影响，该项目气载流出物所致公众年有效剂量最大值为 $7.91 \times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

本项目辐射工作人员年有效剂量最大值为 2.45mSv ，为动物实验操作员，综合叠加其他项目影响后，职业人员年有效剂量为 $2.59 \times 10^{-2} + 1.07 \times 10^{-2} + 7.91 \times 10^{-3} + 2.45 = 2.49\text{mSv}$ ，仍低于本评价提出的职业人员年剂量约束值 5mSv 。

5.2.2.2 公众受照剂量分析

(1) 外照射影响分析

本项目运行时，2-2#厂房进出口均实行管控，公众无法进入厂房内部，各生产车间内拟配备足够的屏蔽防护措施，放射性核素对箱体表面关注点的剂量率均满足标准要求，根据设计单位提供的图纸测量可知，屏蔽体距厂房外最近关注点最短距离为 8 米，经至少 8 米的距离衰变及其他房间隔断墙体屏蔽后，至厂房外人员可达处的辐射剂量率较小，外照射剂量分析时，不予以考虑。本项目主要考虑回旋加速器对周围公众的外照射影响。分析周围公众类型，以北侧最近的 2-1#厂房（厂房内功能用房主要为技术实验间、生产间、缓冲、洁具间、库房等，居留因子取 1/2）和东侧最近的室外道路（居留因子取 1/40）为代表。

进行公众外照射影响分析时，保守选取蒙卡模拟结果北侧和东侧模拟边界最大值，机房北侧最大值为 $3.0 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，以此为源强计算机房北侧 2-1#厂房处公众年有效剂量，东侧最大值为 $1.5 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，以此为源强计算室外道路处公众年有效剂量。公众受照时间按 2000h 考虑，利用式 5-11 可算得公众年有效剂量，结果如下：

$$2-1\text{#厂房公众: } 3.0 \times 10^{-2} \times 2000 \times 1/2 \times 10^{-3} = 3.0 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$$

$$\text{厂房外室外道路公众: } 1.5 \times 10^{-1} \times 2000 \times 1/40 \times 10^{-3} = 7.6 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$$

(2) 气载流出物影响分析

本项目产生的放射性废水经自建放射性废水处理设施处理达标后排入园区污水站处理达标后进入城市污水管网，受纳水体下游无饮用水源区。因此，运营期对公众照射剂量估算主要考虑气载流出物所致空气浸没外照射和吸入内照射。

① 气载流出物源项分析

由 3.6.3 放射性废气源项分析可知，排入环境的放射性废气核素种类较多，综合分析放射性气载流出物产生量、半衰期、照射途径及其剂量转换因子， ^{13}N 、 ^{41}Ar 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{103}Pd 、 ^{177}Lu 和 ^{223}Ra （每日仅生产 1 种 α 核素，以全部生产影响最大的 ^{223}Ra 进行估算）比其他核素气载流出物产生的辐射影响高出至少 4 个数量级，因此可以认为这些放射性核素为主要贡献核素，项目重点对其进行分析。

② 地面空气浓度计算

本报告使用 IAEA NO.19 《Generic Models for Use in Assessing the Impact of

Discharges of Radioactive Substances to the Environment》中简单稀释模式估算地面空气浓度。

根据建设单位提供的设计资料，本项目放射性废气排放口高度（H）为 27m，邻近建筑物（距排放口东侧约 55m）最大高度（H_b）为 39.6m，H<2.5H_b，所以本项目采用如下计算模式：

1) 下风向距离 $x \leq 2.5 \sqrt{A_b}$ （113m 以内）的地面空气浓度计算公式（式 5-12）

$$C_{a,i} = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_b K} \quad (\text{式5-12})$$

式中：

$C_{a,i}$ 为距离排风口 x 米处核素 i 的地面空气浓度，Bq/m³；

P_p 为一年中风吹向接收点所在扇形方位 P 的时间份额；

Q_i 为放射性核素 i 的年均排放率，Bq/s；

u_a 为释放高度上年平均风速，m/s；

H_b 为临近最高建筑物的高度，m；如果该建筑物的宽度大于其高度，则应用其宽度代替式中的 H_b ；

K 为经验常数，m；

x 为距离排放口水平距离，m；

A_b 为对扩散影响最大的建筑物最大面的表面积，m²。

2) 下风向距离 $x > 2.5 \sqrt{A_b}$ （113m 以外）的地面地面空气浓度计算公式（式 5-13 至式 5-16）

$$C_{a,i} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (\text{式5-13})$$

$$B = \frac{12}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x \sum z} \quad (\text{式5-14})$$

$$\sum z = (\sigma_z^2 + A_b / \pi)^{0.5} \quad (\text{式5-15})$$

$$\sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \quad (\text{式5-16})$$

式中：

B 为在下风距离 x 处的高斯扩散因子，由式 5-14 计算；

σ_z 为垂直扩散参数, m;

其余字母含义同式 5-12。

距离排放源不同距离 x 米处, 各关注点处地面空气浓度计算结果列于下表。

表5-28 各关注点处地面空气浓度计算结果, Bq/m³

距离排风口 距离 (m)	≤113	200	300	400	500
¹³ N	9.96E-02	5.43E-03	3.38E-03	2.36E-03	1.76E-03
⁴¹ Ar	1.73E-01	9.42E-03	5.86E-03	4.09E-03	3.05E-03
¹⁸ F	3.28E-05	1.79E-06	1.11E-06	7.77E-07	5.79E-07
⁶⁴ Cu	1.70E-06	9.28E-08	5.78E-08	4.03E-08	3.00E-08
⁶⁸ Ge	2.06E-09	1.12E-10	6.97E-11	4.87E-11	3.63E-11
⁶⁸ Ga	1.22E-05	6.66E-07	4.15E-07	2.89E-07	2.16E-07
^{99m} Tc	5.99E-06	3.26E-07	2.03E-07	1.42E-07	1.06E-07
¹⁰³ Pd	5.30E-08	2.89E-09	1.80E-09	1.25E-09	9.35E-10
¹⁷⁷ Lu	1.86E-07	1.01E-08	6.31E-09	4.40E-09	3.28E-09
²²³ Ra	4.38E-10	2.39E-11	1.48E-11	1.04E-11	7.72E-12

③空气浸没外照射和吸入内照射计算

空气浸没外照射剂量可由式 5-17 计算:

$$H_A = t \cdot S_f \cdot C_{a,i} \cdot G_A \cdot T \quad (\text{式5-17})$$

式中:

H_A 为空气浸没照射所致年受照剂量, Sv/a;

t 为年受照时间, s;

S_f 为建筑物屏蔽因子;

$C_{a,i}$ 为核素 i 的空气浓度, Bq/m³;

G 为各放射性核素的空气浸没外照射剂量转换因子, Sv/(s·Bq·m⁻³);

T 为居留因子, 本报告保守取 1。

吸入内照射剂量可由式 5-18 计算:

$$H_{h,i} = t \cdot C_{a,i} \cdot u \cdot g_{h,i} \cdot T \quad (\text{式5-18})$$

式中:

$H_{h,i}$ 为年吸入内照射待积有效剂量, Sv/a;

t 为年受照时间, h/a;

$C_{a,i}$ 为核素 i 的空气浓度, Bq/m³;

u 为公众个人正常情况下的呼吸率, m³/h;

$g_{h,i}$ 为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子, Sv/Bq;

T 为居留因子, 本报告保守取 1。

空气浸没外照射和吸入内照射累计所致公众年有效剂量计算结果列于下表。

表5-29 空气浸没外照射和吸入内照射导致公众年有效剂量计算结果

与排风口距离 (m)	空气浸没外照射 (mSv/a)	吸入内照射 (mSv/a)	合计 (mSv/a)
≤113	5.08E-04	1.31E-05	5.21E-04
200	2.77E-05	7.13E-07	2.84E-05
300	1.72E-05	4.44E-07	1.77E-05
400	1.20E-05	3.10E-07	1.23E-05
500	8.96E-06	2.31E-07	9.19E-06

(3) 本项目与周围其他项目对公众的叠加影响

本项目公众除了受到本项目辐射影响外, 还会受到中子源科学装置实验室项目、中子源科学装置配套甲级非密封放射性物质工作场所项目、医疗装备研发制造基地建设项目和重庆创新医用同位素项目的影响。对于上述项目, 本报告引用已批复环评中对公众的影响结论进行分析。

中子源科学装置实验室项目对公众主要为外照射影响, 其对室外道路上公众的年有效剂量最大值 4.10×10^{-3} mSv。

中子源科学装置配套甲级非密封放射性物质工作场所项目对公众影响主要为气载流出物的辐射影响, 该项目气载流出物所致公众年有效剂量最大值为 2.59×10^{-2} mSv。

医疗装备研发制造基地建设项目公众的影响主要为外照射, 其对室外道路上公众的年有效剂量最大值 7.27×10^{-3} mSv。

重庆创新医用同位素项目对公众主要为气载流出物的辐射影响, 该项目气载流出物所致公众年有效剂量最大值为 7.91×10^{-3} mSv。

根据前文分析, 本项目外照射所致公众年有效剂量最大值为 3.00×10^{-2} mSv, 气载流出物所致公众年有效剂量最大值 5.21×10^{-4} mSv。保守考虑, 取各个项目受照射剂量的最大值进行叠加, 为 $4.10 \times 10^{-3} + 2.59 \times 10^{-2} + 7.27 \times 10^{-3} + 7.91 \times 10^{-3} + (3.00 \times 10^{-2} + 5.21 \times 10^{-4}) = 7.57 \times 10^{-2}$ mSv, 仍低于本评价提出的公众人员年剂量约束值

0.1mSv。

中福环境科技有限公司

5.2.3放射性三废对环境的影响

5.2.3.1放射性固体废物

本项目按固废中所含放射性核素的种类、半衰期、活度水平等特性进行分类收集、分别处理。本项目各层辐射工作场所均设置有铅垃圾桶和放射性废物间。放射性废物先收集至各相关工作场所的专用铅桶或罐内，再转送负一层放射性废物库。

铅桶或罐内放置专用塑料袋；对碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏。

将废物分类转移至放射性废物库时，每袋放射性固废须注明核素种类、转入时间，做好台账记录。

回旋加速器产生的放射性废靶膜、碳膜等加速器活化部件，在机房内暂存3-5年后，再交由有资质单位处置；废旧发生器连同原包装容器暂存于长半衰期废物暂存库内，由原供货商回收处理；其他放射性固体废物按固废中所含放射性核素的种类、半衰期、活度水平等特性进行分类收集、分别处理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），暂存满足相应的时间要求后，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/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²的，对废物清洁解控后作为一般固体废物处理；无法解控的定期交给有资质的单位/生产厂家处理；处死的动物尸体或解剖的组织器官在清洁解控后应交给有相应资质单位集中作无害化处理；达清洁解控水平后动物实验产生的废医用器具以及废过滤芯作为危险废物管理，交由相应资质单位处理。

综上，本项目设有专用的放射性废物暂存库及放射性固体废物处理工艺流程，项目运行期放射性废物按要求进行收集、暂存和处理后不会对环境造成影响。

5.2.3.2放射性废液

本项目拟在负一层集中建设放射性废水衰变池用于收集暂存放射性废液。拟建长半衰期衰变池、短半衰期衰变池和备用衰变池。

根据“4.3 三废的治理”分析可知，短半衰期废水（¹⁸F、^{99m}Tc）暂存时间为630天，超过30天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的“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”的要求，放射性废液暂存满30天后排入园区污水处理站进一步处理，不会对周围环境造成影响。长半衰期废水（¹⁰³Pd、⁴⁴Sc、⁸⁹Zr、⁶⁴Cu、¹⁷⁷Lu、²¹¹At、²²³Ra、²²⁵Ac、²¹²Pb、⁶⁷Cu）在负一层

长半衰期衰变池暂存 369 天，超过所含核素最长半衰期的 10 倍（170 天），衰变满足暂存时间要求后，监测达标（总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L）并经生态环境主管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放排入园区污水处理站进一步处理，不会对周围环境造成影响。

含 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 放射性废液收集后在负一层放射性废液浓缩室暂存，定期委托有资质的单位处理，不会对周围环境造成影响。

根据建设单位提供的资料，项目建设完成后，将在衰变池区域上方设置隔离围栏，并张贴规范的电离辐射警告标志，避免人员在衰变池上方停留。

5.2.3.3 放射性废气

回旋加速器机房、各生产线、质检区、研发实验场所、动物实验场所、放射性废物暂存库、衰变池的排风系统均独立设计，互不干扰，可独立开启，共设置有 58 套独立的放射性废气排风系统，密闭设备的顶壁安装活性炭过滤器，所有排风系统经高于 2-2# 厂房屋面 3 米（27m）排放，周围没有高层建筑，排放符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相应要求。

活性炭过滤装置的过滤使用寿命一般为 8~12 个月，建设单位拟每季度对过滤效率进行校核，以防止过滤装置失效，造成放射性污染事故。

项目所在地主导风向为北风，排放口主导风向下风向为 3#中子治疗厂房及院内绿化和道路，3#中子治疗厂房距离本项目水平距离约 28m，3#中子治疗厂房高 23m，低于排放口 3m。中子科学基地外下风向目前为空地，当前暂无明确入驻产业及其他规划内容。经估算，本项目气载流出物所致公众年有效剂量最大值（ $5.21 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ），与周围其他拟投入运行的核技术利用项目影响叠加后，所致公众年有效剂量最大值（ $7.57 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ），低于公众剂量约束值（ 0.1mSv/a ），放射性废气排入环境中经空气稀释后，放射性废气浓度将更低，项目正常运行时，对周围公众与环境的影响是可以接受的。

5.2.4 事故影响分析

5.2.4.1 辐射事故类型

本项目涉及 I 类、III 类射线装置、甲级、乙级非密封放射性物质。根据分析，本项目可能发生的辐射事故如下：

- （1）回旋加速器误照射；
- （2）液态放射性物质泄漏；

- (3) 固体靶卡靶或停靶；
- (4) 放射性溶液洒漏沾染手部；
- (5) 防护屏蔽箱泄漏；
- (6) 排风系统意外断电导致防护屏蔽箱内气溶胶泄漏；
- (7) 过滤系统失效。

5.2.4.2 辐射事故剂量估算

(1) 回旋加速器误照射

① 事故情景

本项目回旋加速器机房内设 1 台回旋加速器，质子束最大能量为 30MeV。假设回旋加速器以最大工况运行。假设检修人员或误入（滞留）人员在未采取任何屏蔽防护措施下，处于机房内隔墙后。

② 受照剂量预测

根据蒙卡程序计算结果，加速器机房内两堵间隔墙后辐射剂量率为 $4.66\text{E}+6\mu\text{Sv/h}$ ，由于机房内安装有出束提醒并在人员易接触的位置设置有“紧急制动”按钮，只要误入人员按下此按钮就可以停机，误照射时间保守按 60s 考虑，计算回旋加速器不同照射时间人员受照剂量，人员有效剂量根据式 5-11 计算，计算结果见下表。

表5-30 不同照射时间人员有效剂量估算结果

受照时间（s）	10	20	30	40	50	60
有效剂量（mSv）	13	26	39	52	65	78

③ 事故后果判定

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《重庆高新区管委会办公室关于印发重庆高新区辐射事故应急预案的通知》（渝高新办发〔2023〕50 号），当职业人员受照剂量为 78mSv，其危害后果属“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”，事故等级为“一般辐射事故”。

因此，回旋加速器误照射可能导致一般辐射事故。

(2) 液态放射性物质泄漏事故后果影响分析

① 事故情景

以单批次生产产额最大的氟-18 为代表进行核算，生产场所为加速器机房，当氟-18 发生泄漏时，泄漏体积最大为 7mL，泄漏量为 10Ci。

②受照剂量预测

a) 由于加速器机房设计有防渗措施，泄漏的氟-18 不会对土壤和地下水影响造成，同时氟-18 的半衰期相对较短，墙体屏蔽厚度为 2.8m 混凝土，通过场所封闭衰变和后续去污措施，不会造成较大影响。

b) 若存在工作人员误入情况，以 1 米距离进行考虑，计算不同照射时间人员受照剂量，人员有效剂量根据式 5-11 计算，计算结果见下表。

表5-31 液态放射性物质泄漏不同照射时间人员受照剂量计算结果

受照时间 (min)	1	3	5	10	20	23
个人有效剂量 (mSv)	8.82E-01	2.65E+00	4.41E+00	8.82E+00	1.76E+01	2.03E+01

③事故后果判定

若事故持续发生 23min，职业人员受照剂量达 20.3mSv，致职业人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业人员年受照射剂量 20mSv/a 限值，其危害后果属“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”，事故等级为“一般辐射事故”。

因此，液态放射性物质泄漏可能导致一般辐射事故。

(3) 固体靶卡靶或停靶事故后果影响分析

①事故情景

当发生卡靶时，辐照后的放射性固体靶将滞留于管道中，会对周围辐射环境造成影响。

②受照剂量预测

假设传输的放射性固体原料未发生衰变，加速器固体靶传输通道距地 3m (关注点设置距地 1.7m，预测距离取 1.3m)，周围采用 75cm 的铅盖板进行包盖，经计算预测点处辐射剂量率为 23.9 μ Sv/h，人员停留时间保守考虑一天工作时间 8h，其最大受照剂量为 0.19mSv。

若工作人员私自打开铅盖板进行处置，裸源 1 米处剂量率将达到 298.34mSv/h，持续 4.1min，人员受照剂量达 20.4mSv。

③事故后果判定

因此，固体靶卡靶或停靶事故，若工作人员私自打开铅盖板处理，持续时间超过 4.1min，职业人员受照剂量达 20.4mSv，致职业人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业人员年受照射剂量 20mSv/a 限值，其危

害后果属“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”，事故等级为“一般辐射事故”。

(4) 放射性溶液洒漏沾染手部事故

①事故情景

对于使用密封防护工作箱、防护罐体进行药物生产、包装，其操作过程主要使用机械臂进行，放射性溶液意外洒漏不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。

涉放质检、研发与动物实验过程中，存在工作人员用手部转移、注射低活度药液，放射性溶液意外洒漏可能会沾染手部，对工作人员手部造成辐射影响。因此，主要分析该情形的辐射影响。

假设实验过程中，工作人员因操作失误，导致盛装放射性核素溶液的容器被打翻或破碎，放射性核素溶液均匀溅射在操作人员手部表面，且操作人员未穿戴防护手套。

假设发生事故时洒漏量为单次实验的最大操作量。

②受照剂量预测

质检、研发实验、动物实验共涉及操作 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 等共13种核素，根据放射性核素衰变能量、单次实验操作量等因素综合考虑，选取 β 射线能量较大、单次操作量较大的 ^{18}F 放射性核素溅洒到手部时，假设有单次最大操作量的5%洒在手上，对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量分析如下。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）（P121~P124），由于放射性溶液在手部的沾染厚度要远小于手部宽度，因此被污染的面积可视为无限大面源。手部吸收剂量由下式计算：

$$D = 2.89 \times 10^{-7} v \cdot E \cdot \alpha \cdot \sigma \left[c \left(1 + \ln \frac{c}{vr} \right) \cdot e^{-1(vr/c)} + e^{-1/vr} \right] \quad (\text{式5-19})$$

$$\alpha = \left[3c^2 - (c^2 - 1)e \right]^{-1} \quad (\text{式5-20})$$

$$v = \frac{18.6}{(E_{\max} - 0.036)^{1.37}} (2 - 9R) \quad (\text{式5-21})$$

式中：

D ——表皮基底处所产生的吸收剂量，Gy/h；

c ——常数； $0.5 \leq E \leq 1.5\text{MeV}$ ，取1.5； ^{18}F 的 β 射线能量最大为0.63MeV，故 c 取

1.5, 算得 $\alpha=0.3$;

E —— β 粒子的平均能量, MeV;

$E_{\max}$ —— β 粒子的最大能量, MeV;

R —— β 粒子平均能量与理论平均能量比值;

σ ——皮肤表面的污染物的面比活度, Bq/cm²;

r ——皮肤基底层平均深度;

按上述公式计算, 假设事故处理持续时间为 1.3min, 则操作人员在事故中手部皮肤吸收剂量 505mGy, 光子的辐射权重因数取 1, 则手部皮肤当量剂量为 505mSv。

③事故后果判定

发生放射性溶液洒漏使得人员手部沾污时, 在及时去污的情况下, 对工作人员影响不构成辐射事故, 属于辐射事件。

若事故持续时间超过 1.3min, 将超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中对四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值。其危害后果属“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”, 事故等级为“一般辐射事故”。

5.2.4.3 预防措施

本项目采取的事故防范措施主要包括辐射安全管理和辐射防护设施、措施两方面:

(1) 辐射安全管理

①建设单位承诺成立辐射防护管理领导小组, 负责全公司的辐射安全管理工作。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规要求, 针对项目特点, 制定辐射安全防护制度、放射性同位素和射线装置操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训计划和剂量健康管理制度、辐射事故应急预案等, 并定期检查各种制度的贯彻落实情况。

②制定操作规程, 并将其张贴在操作人员可看到的显眼位置。

③根据可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定辐射事故应急预案和事故应急响应程序, 并将辐射事故应急预案和应急响应程序悬挂于辐射工作场所适当醒目位置。辐射事故应急预案包括应急机构组织与职责、应急响应程序、应急联系电话、条件保障等。

④定期对各屏蔽工作箱、射线装置和涉放气体排风过滤装置的安全防护效果、过滤效果等进行检测或检查, 对发现的安全隐患立即进行整改, 避免事故的发生。

⑤定期对各屏蔽工作箱、射线装置和涉放气体排风过滤装置进行维护保养，对可能引起操作失灵的关键零配件及时更换，并建立维护维修台账。

⑥加强辐射工作人员的管理。定期组织辐射工作人员参加辐射安全与防护知识学习，对于新增辐射工作人员，在其上岗前组织参加辐射安全与防护知识培训考核，确保辐射人员持证上岗。定期组织辐射工作人员进行上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康体检，并分别建立辐射工作人员个人剂量检测、职业健康管理、培训管理档案。

⑦在运营期间加强控制区和监督区管理，通过“两区”划分，在控制区和监督区进出口附近设电离辐射警示标志等措施。加强公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

(2) 辐射防护设施、措施

针对上述本项目可能发生的 4 种影响程度最大的辐射事故，拟分别采取以下的事故预防措施。

(a) 放射性溶液洒漏

①项目拟采用合适的负压吸液器械吸取液体，采用不易破裂的材料制成的容器储存放射性溶液；

②各放射性药物生产线使用的屏蔽生产工作箱为不锈钢工作台面，质检、研发与动物实验过程中在屏蔽箱体内部或操作台面设置搪瓷盘和吸水垫纸，以防溶液洒漏。

(b) 手套箱泄漏事故防范措施

①制定《设备检修维护制度》，采购符合国家相关质量安全和辐射防护要求的设备，定期对防护屏蔽箱的气密性、安全性等进行维保检查，发现问题及时进行维修；

②为及时发现手套箱泄漏，避免放射性气体逸散到操作间对人员造成误照射，建设单位将在生产车间内配置辐射水平在线监测系统和报警装置，当辐射水平超过设定的阈值 ($2.5\mu\text{Sv/h}$)，报警装置自动报警，提示人员离开工作场所；

③手套定期更换，避免老化；

④定期委托有相关资质的监测单位进行场所气溶胶监测。

(c) 过滤系统失效事故

①制定《设备检修维护制度》和《监测方案》，定期对过滤装置的过滤效率进行检查；

②当效率达不到使用要求时，停止岗位操作，及时对过滤器滤芯进行更换；

③过滤器设计和采购时，应加强质保控制；

④从市政 10kV 电网取得满足二级负荷供电的两回路 10kV 电源，在断电时可以快

速切换；

⑤过滤装置设在线监测系统，当过滤器失效时将显示故障提示进行检修。

(d) 放射性药品丢失、被盗、失控事故

①公司对放射性药品实施了严密的安全保卫措施和制度，确保放射性药品处于受控状态；

②放射性药物均存放在有足够屏蔽能力的防护罐内，并有专门的贮存设施，专人负责管理；

③拟安装摄像头和报警装置，实行 24 小时全天候保卫制度，并实行严格的登记、领（借）用、归还注销、保管和定期校核与检查等管理制度。因此，在实际情况中，这种放射性药物的丢失、被盗、失控事故几乎不可能发生；

④制定辐射事故应急预案，并将在本项目运行前，结合项目具体操作流程和人员组织架构进一步完善辐射事故应急预案，以将事故不良后果降至最低；

⑤一旦发生放射性同位素失控导致人员超剂量照射，事故发生者应立即报告辐射安全防护管理领导小组，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》。

综上，建设单位在严格落实以上各项事故防范措施的前提下，可减少或避免放射性事故的发生概率，从而保证项目的正常运营，保障工作人员和公众的健康与安全。

5.3 运行期非辐射影响分析

5.3.1 大气环境影响分析

5.3.1.1 废气影响分析

本项目非放射性废气主要来源于放射性药物生产线、研发线和实验室使用的盐酸和硫酸等挥发产生的酸雾、乙醇等产生的挥发性有机物以及动物房临时饲养产生的恶臭、回旋加速器运行电离产生的微量臭氧和氮氧化物。

臭氧、氮氧化物的产生与带电粒子的质量关系密切，回旋加速器设备屏蔽体内的质子引出薄窗直接射向靶材料，窗与靶的距离小于 1cm，在短路径上产生的臭氧和氮氧化物很少，且回旋加速器机房相对其他区域为负压，经排风系统的换气，机房内的臭氧和氮氧化物得到有效清除，排入环境中经空气稀释后，空气中臭氧和氮氧化物浓度将更低，对外环境影响较小。

由于生产、质检及研发实验过程中不涉及开发液面的操作，液体转移由移液器或密闭传输管路进行，且酸性试剂和乙醇等试剂年用量较少，操作过程中酸雾、挥发性有机废气产生量较少，可以忽略。因此主要针对动物房临时饲养产生的恶臭（以 H_2S ）进行估算，采用 AERSCREEN 估算模式计算其占标率及最远距离 D10%得知，最大占标率小于 1%。据评价工作等级划分的相关判据，则项目大气评价工作等级确定为三级。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）要求，三级评价项目不进行进一步预测与评价。

5.3.1.2 废气处理措施可行性分析

根据设计单位提供的资料，本项目拟将恶臭气体收集经活性炭吸附处理后排放，动物饲养区域风机风量为 $6400\text{m}^3/\text{h}$ ，活性炭是一种主要由含碳材料制成的外观呈黑色，内部孔隙结构发达、比表面积大、吸附能力强的一类微晶质碳素材料。活性炭材料中有大量微孔，1 克活性炭比表面积高达 $700\sim 1000\text{m}^2/\text{g}$ 。当气体分子进入其微孔后，利用“范德华引力”，分子间相互吸引，更多的气体分子不断被吸引进来，直至空隙填满。恶臭气体采用活性炭吸附处理后在楼顶经 PF-4-4 排放口排放。建设单位在项目运行后，加强活性炭管理和更换维护频次，废气处理后对周围环境影响较小，处理措施从经济、技术上可行。

5.3.2 废水影响分析

根据工程分析，项目产生的污、废水主要为生活污水、洗衣/洗鞋废水、动物实验笼具/仪器清洗用水、非放射场所地面清洁用水、纯水制备用水、实验配制用水、实验清洗用水、动物用水、生产线清洗用水、其他涉核项目用水。

（1）治理措施

本项目新增废水约 $29.03\text{m}^3/\text{d}$ （ $3369.70\text{m}^3/\text{a}$ ），拟依托中子科学基地污水处理站进行处理（放射性废液经衰变池预处理后，暂存满足暂存时间要求后，监测达标（总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L ）并经生态环境主管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式排入园区污水处理站），污水处理站处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网。

（2）本项目废水依托园区污水处理站可行性分析

2-2#厂房与中子科学基地统一规划建设，中子科学基地污水处理设施在设计时已考虑 2-2#厂房产生的废水量及水质处理需求。

园区污水处理站位于 2#楼东侧，拟采取混凝气浮+A/O+MBR 工艺处理废水，设计

处理能力 120m³/d，拟设计的进水水质具体指标见表 5-32，将在本项目投入运行前完成建设。

表5-32 园区污水处理站进水水质指标，单位：mg/L（除 pH，pH 无单位）

项目	pH	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	SS
本项目污染物浓度	6~9	325	150	30	200
园区污水处理站设计进水水质	6~9	650	200	45	240

本项目新增废水主要含有 COD_{Cr}、NH₃-N 等，水质简单，能达到进水水质要求，污水排放量为 29.03m³/d，占园区污水处理站总处理能力的（120m³/d）的 21.5%，处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网；园区污水处理站处理能力、处理工艺、稳定达标排放等均能满足处理要求，因此本项目非放射性废水依托中子科学基地污水处理设施可行。本项目产生的废水进入中子科学基地污水处理站处理，对区域地表水环境影响轻微。

5.3.3 噪声影响分析

（1）噪声源强

本项目噪声源为空调离心风机、变压设备、空压机、空调外机和排风机，本项目噪声源列于表 3-16 和表 3-17。

（2）噪声治理措施

建设单位拟采购低噪声运行设备、采用管道消声（空调系统设置消声器或消声静压箱）、减振、增加软管接头、建筑物隔声等措施减轻噪声影响。

（3）预测方法

评价将声源看为点源，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）工业噪声预测计算模式，具体如下：

①室外的点声源在预测点产生的声级计算基本公式

声源处于半自由场时，点源户外传播声级衰减计算模式（仅考虑几何衰减）采用如下公式进行计算：

$$LA(r)=LAW-20lgr-8 \quad (\text{式5-22})$$

式中：

LA(r)——距声源 r 处的 A 声级，dB(A)；

LAW——点声源处计权声功率级 A 声级，dB；

r——预测点距声源的距离，m。

②室内声源等效为室外声源计算基本公式

根据《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021)中“附录 B.1.3 室内声源等效室外声源声功率级计算方法”，室内声源等效为室外声源可按如下步骤进行。

根据式 5-23 计算某一室内声源靠近围护结构处产生的 A 声级：

$$L_{p1} = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (\text{式5-23})$$

式中：

L_{p1} ——靠近开口处（或窗户）室内 A 声级，dB；

L_w ——点声源声功率级（A 计权或倍频带），dB；

Q——指向性因素；通常对无指向性声源，当声源放在房间中心时，Q=1；

R——房间常数； $R = Sa / (1 - \alpha)$ ，S 为房间内表面面积， m^2 ；

α 为平均吸声系数；

r——声源到靠近围护结构某点处的距离，m。

根据式 5-24 计算室外 A 声级：

$$L_{p2} = L_{p1} - (TL + 6) \quad (\text{式5-24})$$

式中：

L_{p1} ——靠近开口处（或窗户）室内 A 声级，dB；

L_{p2} ——靠近开口处（或窗户）室外 A 声级，dB；

TL——隔墙（或窗户）的 A 声级的隔声量，dB。

根式 5-23 计算结果，代入式 5-24 算得 L_{p2} 。

根据式 5-25 计算等效的室外声源：

$$L_w = L_{p2(T)} + 10 \lg S \quad (\text{式5-25})$$

式中：

L_w ——中心位置位于透声面积（S）处的等效声源的倍频带声功率级，dB；

$L_{p2(T)}$ ——靠近围护结构处室外声源的声压级，dB；

S——透声面积， m^2 。

③叠加影响公式

$$L_{eq} = 10 \lg (10^{0.1L_{eq1}} + 10^{0.1L_{eq2}}) \quad (\text{式5-26})$$

式中：

L_{eq} ——预测点的等效声级，dB(A)；

L_{eq1} ——1 号声源在预测点的等效声级，dB(A)；

L_{eq2} ——2 号声源在预测点的等效声级，dB(A)。

(4) 预测结果及达标分析

预测点设置在厂界外 1m、高度 1.2m 处，拟建项目厂界预测结果见下表。

表5-33 拟建项目厂界预测结果一览表 单位：dB (A)

预测点位名称	本项目噪声贡献值		噪声标准值		超标和达标情况	
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
东厂界外 1m 处	50.2	50.2	65	55	达标	达标
南厂界外 1m 处	49.4	49.4	65	55	达标	达标
西厂界外 1m 处	49.8	49.8	65	55	达标	达标
北厂界外 1m 处	48.5	48.5	65	55	达标	达标

由上表可知，项目建成后厂界噪声昼、夜间各厂界影响值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》3 类标准要求。本项目评价范围内无声环境保护目标，噪声对项目所在区域声环境影响轻微。

5.3.4 固体废物环境影响分析

(1) 非放射性固废产生及处理方案

生活垃圾：设垃圾桶，生活垃圾分类收集后，运至生活垃圾收集点暂存，由环卫部门统一收运处置。

一般固体废物：设备维修产生的废零件、纯水制备产生的废反渗透膜，分类收集，交回收单位处理；未注射放射性药物的实验动物饲养过程产生的吸附有动物尿液的垫料及粪便，以及达到清洁解控水平的动物粪便、尸体及组织器官，定期交资质单位无害化处理。

危险废物：实验废液、废实验器材、废培养基、废紫外灯管、制靶废液、（清洁解控后的）废活性炭和（清洁解控后的）废医用器具等危险废物，暂存在负一层危险废物暂存库，定期交有资质的单位处理。

(2) 危险废物贮存场所设计与管理措施

本项目设置危废暂存间 1 个，该区域拟按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中相关要求与设计与管理：

①场所进行防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐处理。

②按危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

③场所内地面与墙面裙脚应采取表面防渗措施，表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容。

④危险废物贮存前对危险废物类别和特性与危险废物标签等危险废物识别标志的一致性进行核验，确保同预定接收的危险废物一致，并登记。贮存期间，按国家有关标准和规定建立危险废物管理台账并保存。

⑤定期检查危险废物的贮存状况，及时清理贮存设施地面，更换破损泄漏的危险废物贮存容器和包装物，保证危险废物的防雨、防风、防扬尘等设施功能完好。

⑥贮存设施运行期间，按国家有关标准和规定建立危险废物管理台账并保存。

⑨建立贮存设施环境管理制度、管理人员岗位职责制度、设施运行操作制度、人员岗位培训制度等。

⑦建立贮存设施全部档案，包括设计、施工、验收、运行、监测和环境应急等，按国家有关档案管理的法律法规进行整理和归档。

(3) 危险废物转移控制措施

①企业拟按国家有关规定办理危险废物申报转移的“五联单”手续，厂内暂存时间不得超过1年。

②在交有资质单位处理时，拟严格按照《危险废物转移联单管理办法》填写危险废物转移联单，并由双方单位保留备查。在转移危险废物前，按照国家有关规定报批危险废物转移计划；经批准后，向移出地生态环境主管部门申请领取联单。在危险废物转移前三日内报告移出地生态环境主管部门，并同时向接收地生态环境主管部门。

③拟指定专人负责固废和残液的收集、贮运管理工作。

⑤建设单位与处置单位对危险废物交接时，拟按危废联单制管理要求，交接运输，要求交接和运输过程皆处于生态环境主管部门的监督之下进行。

(4) 识别标志

危废暂存间应按《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ1276-2022)设置识别标志。

小结：采取以上措施后，项目产生的固体废物均得到有效处置，不会对外环境造成二次污染。

5.3.5其他环境风险分析

5.3.5.1评价依据

(1) 风险调查

根据企业提供的资料和《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)附录B、《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2018),本项目危险物质使用和储存情况见下表。

表5-34 本项目涉及的危险物质使用情况

储存场所	名称	最大存储量(kg)	临界量 (t)	Q
危化品暂存间	盐酸	4	7.5	0.023<1
	乙醇	100	500	
	乙酸乙酯	100	10	
	甲苯	50	10	
	浓硫酸	4	10	
	丙酮	50	10	
	甲醇	10	10	
	乙酸	5	10	
气瓶间	氢	0.01	10	1E-6<1

(2) 环境风险潜势初判及评价等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)附录C和上表结果,一层~四层危化品暂存间以及一层气瓶间的危险物质数量与临界量的比值 $Q<1$,风险潜势为I。因此,本项目使用危险物质的环境风险仅进行简单分析。

5.3.5.2环境敏感目标概况

项目评价范围内现状主要为空地,地块东侧为国电投核素同创(重庆)科技有限公司(在建),其他地块为规划工业工地,当前暂无明确入驻企业及其他规划内容,项目周围无环境敏感目标。

5.3.5.3环境风险识别

本项目涉及使用少量的盐酸、硫酸、乙醇等,根据物质的特性,环境风险类型分为泄漏、火灾和爆炸三种类型,本项目风险识别汇总见下表。

表5-35 本项目环境风险识别表

风险源分布情况	风险源	主要风险物质	环境风险类型	环境影响途径	可能受影响的环境敏感目标
---------	-----	--------	--------	--------	--------------

风险源分布情况	风险源	主要风险物质	环境风险类型	环境影响途径	可能受影响的环境敏感目标
危化品暂存间和气瓶间	风险物质泄漏、易燃品管理不善可能发生火灾爆炸	乙醇、乙酸乙酯、甲苯、丙酮、甲醇、氢等	泄漏、火灾、爆炸	环境空气、地下水、地表水	无

5.3.5.4环境风险分析

①工作人员使用的化学试剂瓶罐破裂，化学试剂发生泄漏，进而对操作人员带来毒性、腐蚀性等不利影响。由于化学试剂瓶、罐均在项目 2-2#厂房建筑物内部，项目针对化学试剂制定严格的安全操作管理规定，最大限度地杜绝化学试剂瓶罐破裂泄漏现象的发生，不会对项目外环境带来显著不利影响。

②氢气可能发生的风险事故主要是物料遇火引发火灾和爆炸以及火灾爆炸过程中次生的燃烧烟气对环境的影响。气瓶间内氢气的储存方式、方法与储存数量必须符合国家有关规定，并由专人管理，出入库，必须进行核查登记，并定期检查库存，项目针对化学试剂制定严格的安全操作管理规定，存放化学试剂的危化品暂存间远离明火，控制相应室内的温度，将化学试剂发生火灾爆炸的机会降至最低，不会对项目外环境带来显著不利影响。

5.3.5.5环境风险防范措施及应急要求

①项目总平面布置严格执行《建筑防火通用规范》（GB 55037-2022），厂房内按要求配备防毒面具、防护服等应急救援器材，危化品库配置并辅助泡沫枪、消火栓及小型移动式灭火器材等灭火器、防护用品，厂房内严禁烟火、携带火种，明显位置张贴防火安全警示标志，落实安全管理责任；原辅材料的运输车辆配备消防器材；

②危化品暂存间、气瓶间的储存设备和安全设施应当定期检测；

③化学试剂的购买、储存、保管、使用等需按照相关规定管理执行。化学试剂必须储存在危化品暂存间、气瓶间内，其储存方式、方法与储存数量必须符合国家有关规定，并由专人管理，出入库，必须进行核查登记，并定期检查库存；

④各实验室的地面采取防腐防渗措施，并设置托盘以防止化学试剂渗漏，放射性废物暂存库、衰变池、放射性浓缩室、危废暂存间按照重点防渗区，参照《石油化工工程防渗技术规范》（GB/T50934-2013）采用抗渗等级不低于 P8 的防渗混凝土，设置警示标识标牌；

⑤制定环境污染事故发生的工作计划、消除事故隐患的实施及突发性事故应急办法

等，并进行演练，项目一旦出现突发事故，必须按事先拟定的应急方案进行紧急处理。

5.3.5.6分析结论

本项目不存在重大危险源。项目发生风险几率很小，通过加强管理、采取有效措施，加强对全体员工防范事故风险能力的培训，制定事故应急预案、运营后定期开展演练，落实环境风险防范措施等，可有效降低风险发生的几率和造成的影响。项目风险管理措施有效、可靠，环境风险可接受。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录 A，简单分析基本内容详见下表。

表5-36 项目环境风险简单分析内容表

建设项目名称	强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）			
建设地点	重庆市	高新区	西彭组团 Q 标准分区	Q18 地块
坐标	经度	东经 106.329578°	纬度	北纬 29.424390°
主要危险物质及分布	项目涉及重大危险源的物质为乙醇、乙酸乙酯、甲苯、丙酮、甲醇、氢气，储存于危化品暂存间和气瓶间。			
环境影响途径及危害后果（大气、地表水、地下水等）	实验试剂可能发生的事故为包装桶破损引发试剂泄漏，氢气可能发生的风险事故主要是物料遇火引发火灾和爆炸以及火灾爆炸过程中次生的燃烧烟气对环境的影响。			
风险防范措施要求	①项目总平面布置严格执行《建筑防火通用规范》（GB 55037-2022），厂房内按要求配备防毒面具、防护服等应急救援器材，危化品库配置并辅助泡沫枪、消火栓及小型移动式灭火器材等灭火器、防护用品，厂房内严禁烟火、携带火种，明显位置张贴防火安全警示标志，落实安全管理责任；原辅材料的运输车辆配备消防器材； ②危化品暂存间、气瓶间的储存设备和安全设施应当定期检测； ③化学试剂的购买、储存、保管、使用等需按照相关规定管理执行。化学试剂必须储存在危化品暂存间、气瓶间内，其储存方式、方法与储存数量必须符合国家有关规定，并由专人管理，出入库，必须进行核查登记，并定期检查库存； ④各实验室地面采取防腐防渗措施，并设置托盘以防止化学试剂渗漏，放射性废物暂存库、衰变池、放射性浓缩室、危废暂存间按照重点防渗区，参照《石油化工工程防渗技术规范》（GB/T50934-2013）采用抗渗等级不低于 P8 的防渗混凝土，设置警示标识标牌； ⑤制定环境污染事故发生的工作计划、消除事故隐患的实施及突发性事故应急办法等，并进行演练，项目一旦出现突发事故，必须按事先拟定的应急方案进行紧急处理。			
填表说明（列出项目相关信息）	建设规模：项目占地面积为 2609 平方米，一阶段主要建设 1#回旋加速器机房并配套 4 条药物生产车间，新增 4 条外购核素生产线、质检、研发及实验场所，主要新增生产设备及产线包括 1 台 30MeV 强流质子回旋加速器、同位素生产线等。			

第6章 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十三条第一款：建设单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。

本项目属于新建项目，建设单位承诺在项目建成时按照有关规定成立辐射安全与环境保护管理机构，由该机构负责全公司的辐射安全与环境保护工作，辐射安全与环境保护管理机构组成如下：

组长：公司法定代表人

副组长：各楼层主管人员担任

成员：各生产线、质检区域、实验区域、安保部门、后勤保障部门的负责人

机构主要职责应涉及以下几方面：

①严格遵守和执行国家及重庆市辐射安全与环境保护的法律、法规；宣传国家和上级安全部门有关射线装置安全使用的方针、政策、法律法规、行业标准，落实安全措施，不断提高职工的劳动保护和安全防护意识；

②接受上级及当地主管部门的管理和检查；

③组织制定辐射应急预案。应急期间充分调动人力、物力资源，实施统一指挥，统一行动，最大限度减少辐射危害；

④负责及时向上级和属地有关部门报告单位运营期内发生的辐射事故和事件；

⑤根据单位辐射设备及防护环境实际情况，制定辐射防护与安全有关制度，并落实实施；

⑥组织协调射线装置使用单位制定岗位责任制、安全操作规程，并督促检查有关各项制度与岗位责任制度的落实情况。严防差错事故的发生；

⑦负责组织新上核技术利用项目的安全和环境、职业卫生评价；

⑧督促辐射工作场所及辐射工作人员个人剂量定期监测等工作，督促辐射工作人员定期参加辐射防护培训及参加职业健康体检，切实保障辐射工作人员及公众的辐射安全；

⑨定期组织安全检查，发现重大安全隐患及时采取有效措施，防止事故发生。

一般安全隐患要提出处理意见，落实整改措施。

在运营期间，辐射安全与防护工作领导小组应定期开会，总结营运期间的辐射防护管理方面经验，并根据国家相关法规、标准，及时改进管理规章制度，并应根据人事变动情况及时调整机构组成。在落实上述机构组成及机构职责后，建设单位拟成立的辐射安全与环境保护管理机构能够满足辐射安全与环保管理工作的要求。

6.1.2 辐射工作人员配备计划

本项目拟新增辐射工作人员 56 名，岗位设置合理，辐射工作人员数量能满足项目开展需求。

根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）的相关要求，自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，应当通过国家核技术利用培训平台报名并参加考核。

建设单位应按照相关法律标准落实人员培训，确保本项目新增辐射工作人员在项目投运前在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台完成辐射安全培训，取得成绩合格单后上岗，工作期间，按要求及时进行再培训。

6.1.3 关键岗位注册核安全工程师要求

根据国家核安全局文件《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发[2015]40 号）的规定，按“使用半衰期大于 60 天的放射性同位素且场所等级达到甲级的单位，辐射安全关键岗位两个，分别为辐射防护负责人、辐射环境监测与评价专职人员，每岗最少在岗人数 1 名”执行。

6.2 辐射安全管理规章制度

与《监督检查技术程序》对照，建设单位辐射安全管理规章制度建立要求如下：

表6-1 本项目辐射安全管理制度建立情况对照一览

序号	检查项目		成文制度要求
1	A 综合	辐射安全与防护管理大纲	明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作。明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任。
2	B 放射性物质	非密封放射性物质的管理规定	应明确参与工作在岗人员配置、工作人员的穿着要求，生产的各个环节操作的具体步骤、注意事项以及完成生产后的监测、去污要求。

序号	检查项目		成文制度要求
3		物料平衡管理规定	拟制定同位素、射线装置台账，并安排专人负责台账管理
4	C 场所管理	场所分区管理规定	根据报告书分区要求和分区分管划分情况制定管理要求。
5		操作规程	明确辐射工作人员的资质条件要求、装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施。 重点是明确操作步骤、出束过程中必须采取的辐射安全措施。
6		安保管理规定	根据 GB18871-2002 的要求，将本项目辐射工作场所实行分区管理，完善辐射防护、安全保卫、人员和物品出入等管理要求。
7		去污操作规程	明确去污时间、频次、用品及去污应达到的控制水平。
8		安全防护设施的维修与维护制度	明确射线装置维修计划、维修记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保射线装置保持良好的工作状态。
9	D 监测	监测方案	根据本环评提出的环境监测方案，制定辐射工作场所和环境辐射水平监测方案，定期自行监测及每年委托有资质检测单位进行监测，并做好监测记录和档案保存工作。
10		监测仪表使用与校验管理制度	制定不同仪器的检定依据、检定周期、监测因子、存取要求。
11	E 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	明确培训对象、内容、周期、方式及考核的办法等内容。及时组织辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，辐射工作人员须通过考核后方可上岗。
12		辐射工作人员个人剂量管理制度	明确辐射工作人员剂量限值、剂量计佩戴及检定、个人剂量档案、剂量事故事件处理等管理。
13	F 应急	辐射事故应急预案	根据人员组织架构和本项目的工作职责，更新应急和事件事故的管理机构、人员和职责。结合项目辐射事故情景，制定应急响应和善后工艺流程和事件事故调查处理程序、责任认定、处理结论。
14	G 三废	放射性“三废”管理规定	结合本项目内容，参考《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》（HAD401/16-2023），明确放射性废物的产生、收集、暂存、处理、流出物监测与排放等各个环节的管理目标和基本要求。

本项目为新建项目，建设单位应按上表要求制定各项辐射安全管理规章制度，并安排专人监督各项规章制度的执行情况，确保制度的适用和有效。

新增辐射工作人员应在正式上岗前应熟悉各自岗位的操作工艺，熟练掌握操作技艺，明确各自岗位职责，尽量避免因操作不熟练、职责不清而导致辐射安全事故。

6.3 辐射监测

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。

建设单位可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周围环境进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。

6.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，建设单位拟配备监测仪器设备见表所示。

表6-2 拟配备监测仪器设备一览表（略）

拟配备的辐射监测仪器设备的相关要求如下：

- 1) 仪表应能适应脉冲辐射剂量场测量；
- 2) 中子及 γ 射线检测仪表的能量响应应分别适合机房外的中子及 γ 射线的辐射场；
- 3) 仪表宜能够测量辐射剂量率和累积剂量；
- 4) 尽可能选用对中子响应低的 γ 射线剂量仪和对 γ 射线响应低的中子剂量仪；
- 5) 仪表需经剂量检定并在检定有效期内使用。

项目本项目辐射监测总体包括工作场所监测、个人剂量监测和环境监测。工作场所监测采用自行监测和委托监测相结合的方式；环境监测以自行巡测结合委托监测的方式进行监测；个人剂量监测采取委托监测。

6.3.2 环境监测

本项目环境监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，监测数据记录存档，具体环境监测计划列于表 6-3。

6.3.3 工作场所监测

本项目工作场所监测包括自行监测和委托监测两种。其中，自行监测采用固定式在线区域辐射监测和巡测相结合的方式，具体监测计划列于表 6-4。

6.3.4 个人监测

工作人员工作时严格按照要求佩戴个人剂量计，至少每三个月委托有资质的

单位测定一次。建设单位对本项目辐射工作人员建立个人剂量监测档案。

表6-3 本项目环境监测计划表

监测方式	监测对象		监测项目	监测点位	监测频次	参考水平	超出参考水平采取的行动
自行监测	外照射	便携式仪表巡测	γ 辐射空气吸收剂量率、中子周围剂量当量率	本项目建筑墙体外 500m 范围内四个方位，每隔 50m 布设一个点，本项目 500m 评价范围内保护目标	次/季度	周围剂量当量率所处于环境本底水平	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求。
委托监测	外照射		γ 辐射空气吸收剂量率、中子周围剂量当量率	同上	1 次/年	周围剂量当量率所处于环境本底水平	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求。
	放射性废气		总 α 、 β	放射性废气排放口	1 次/年	处于环境本底水平	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求。
	环境土壤样品		项目相关放射性核素活度浓度	厂区下风向 50~300m 土样	1 次/年	处于环境本底水平	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求。

表6-4 本项目辐射工作场所监测计划表

监测类别	监测方式	监测内容	监测项目	监测点位	监测频次	参考水平	超出参考水平采取的行动
自行监测	固定式仪表监测	外照射剂量率	γ 辐射周围剂量当量率	1-1 生产线至 1-4 生产线生产车间内、2-1 生产线至 1-4 生产线生产车间内 回旋加速器机房北侧、东侧、南侧墙上	实时	$<2.5\mu\text{Sv/h}$	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求
	便携式仪表监测	外照射剂量率		生产线、质检区、研发实验场所、动物实验场所: ①操作人员操作工位处。 ②四周屏蔽墙外 30cm、防护门、楼上距地 30cm、楼下距地 170cm。 ③放射性废物库、放射性原料库、成品库; 衰变池上方地面。 ④放射性废物收集桶表面等。 ⑤加速器机房穿墙管线等屏蔽相对薄弱处。	1 次/2 周	箱外正面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率 $<2.5\mu\text{Sv/h}$, 非正对人员操作位表面的周围剂量当量率 $<25\mu\text{Sv/h}$; 放射性废物桶表面 30cm 周围剂量当量率 $<2.5\mu\text{Sv/h}$; 控制区边界外 $<2.5\mu\text{Sv/h}$;	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求
		外照射剂量率	X- γ 辐射周围剂量当量率	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房: ①操作人员操作工位处。 ②机房四周墙体外 30cm、离地面高度 1m 处。 ③机房防护门外 30cm、离地面高度 1m 处、楼下距地 170cm, 以及防护门的左、中、右 3 个点和门缝四周。 ④其他人员经常活动的位置, 如与机房相邻的用房, 以及机房正下方的用房等。	1 次/月	$<2.5\mu\text{Sv/h}$	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求
		外照射剂量率	中子周围剂量当量率	①回旋加速器操作人员操作工位处。 ②加速器机房穿墙管线等屏蔽相对薄弱处。 ③四周屏蔽墙外 30cm、防护门、楼上距地 30cm。	1 次/月	$<2.5\mu\text{Sv/h}$	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求
		表面污染水平	α 表面污染水平	①2-4 生产线工作场所、三层、四层涉及使用 α 核素工作场所 (操作位、工作台、墙壁、地面等); ②工作服、手套、工作鞋; ③工作人员手、皮肤、内衣、工作袜。	每天工作结束后	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平, 见表 1-5	使用擦拭法直至符合标准

监测类别	监测方式	监测内容	监测项目	监测点位	监测频次	参考水平	超出参考水平采取的行动
		表面污染水平	β 表面污染水平	①辐射工作场所（操作位、工作台、墙壁、地面等）； ②工作服、手套、工作鞋； ③工作人员手、皮肤、内衣、工作袜。	每天工作结束后	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平，见表 1-5	使用擦拭法直至符合标准
		放射性固体废物	剂量率&表面污染	固废垃圾袋表面	运输前	周围剂量当量率所处环境本底水平、 α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ²	在放射性废物暂存库继续衰变，直至符合解控水平
委托监测	委托监测	外照射剂量率	X- γ 辐射周围剂量当量率、中子周围剂量当量率	同自行监测点位	1 次/年	<2.5 μ Sv/h	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求
		表面污染水平	α 、 β 表面污染水平	同自行监测点位	1 次/年	α 表面污染< 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染<0.8Bq/cm ²	进行擦拭法直至符合标准
	委托监测	放射性废水	总 α 、 β 活度浓度	衰变池废水取样点	排放前	总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L	在衰变池贮存直至排放符合要求
	委托监测	放射性废气	放射性气溶胶活度浓度	放射性废气排放口	1 次/年	所致公众年有效剂量不超过 0.1mSv/a	查找原因，进行整改，重点关注废气过滤装置的处理效率，运行过程及时更换过滤器，保证废气处理效果

6.4噪声监测

参考《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ819-2017），建设单位应按照最新的监测方案开展检测活动，可根据自身条件和能力，利用自有人员，场所和设备自行监测，也可委托其他有资质的检测机构代其开展自行监测，结合拟建项目排污特点，本项目噪声监测计划，见下表。

表6-5 噪声监测计划表

类别	监测点位	监测项目	监测频率	执行标准
噪声	四周厂界	昼间、夜间 噪声	验收时一次，以后 每季度一次	执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》 （GB 12348-2008）3类标准。

6.5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》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）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；
- （3）辐射事故分级与应急响应措施；
- （4）辐射事故的调查、报告和处理程序。

6.5.1辐射事故应急响应机构

建设单位拟设置辐射安全应急响应机构，由公司法定代表人担任组长，由注册核安全工程师、质量管理工程师担任副组长，由各生产线组长担任成员，全面负责、监督公司辐射安全管理工作。拟成立的应急响应机构人员组成如下：

- 组 长：公司法定代表人
- 副组长：注册核安全工程师、质量管理工程师
- 成 员：各生产线组长

本项目运行后，建设单位应根据人事组成情况建立辐射事故应急响应机构。

6.5.2典型辐射事故应急处置措施

建设单位拟依据可能发生的辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围制定辐射事故应急预案和事故应急响应程序，一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，按照应急响应程序做好应对。

根据本项目开展情况和可能发生的辐射事故，针对不同类型辐射事故，拟采取的应急处理措施如下：

(1) 回旋加速器误照射辐射事故应急措施

①工作人员定期检查辐射安全防护措施有效性，如果出现人员误入射线装置机房或滞留在机房内，误入或滞留人员、操作人员可以通过紧急停机按钮停止出束并通知同工作场所的工作人员离开，通知辐射事故应急处理领导小组；

②应急处理领导小组启动应急处理预案，小组讨论及确定隔离区，保护好现场。同时，检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查；

③并在 2 小时内向重庆市生态环境局、重庆高新区生态环境局和卫生主管部门报告；

④配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生原因，进行调查处理和责任追究；

⑤当发生故障的射线装置修复后，必须经有资质的单位进行检测合格并报生态环境、卫生等行政主管部门批准后方可解除应急状态；

⑥恢复正常的工作秩序，召集相关人员总结事故的经验教训，及时修订相关的管理体系和文件，杜绝同类事故的再次发生。

(2) 非密封放射性物质药物洒漏辐射事故应急措施

①由于操作不慎导致放射性药物洒漏，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。

②工作人员应戴上口罩，铅手套，铅衣服等个人防护用品，拿镊子用防渗吸水纸或药棉进行吸附擦拭，标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。擦拭过程应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区，最后用表面沾污仪监测污染区，如果放射性表面污染水平超出相应的控制水平，表明该污染区未达到解控标准，这时应用药棉或纸巾擦拭至该污染区表面污染水平满足相关控制水平为止。

③负责人立即组织处理，进行初步评价，迅速估算受照人员的照射剂量，根据事故后果及时按程序上报。

④处置过程中产生的废物按放射性废物分类收集、衰变。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

(3) 放射性药物丢失、被盗事故应急措施

①相关责任人应立即报告辐射应急领导小组，启动辐射事故应急预案，采取

应急措施，按照《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》，规定时限内填报《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、重庆高新区生态环境局、公安等部门，配合生态环境部门辐射事故应急响应、调查处理和定性定级工作，协助公安部门监控追缴丢失、被盗的非密封放射性物质。

②分析、确定被盗、丢失的具体时间及原因，并及时将信息提供相关部门。

根据有关线索，组织人员协同相关部门进行查找。在查找过程中，事故处理人员须携带个人剂量报警仪和辐射监测仪器，以防受到不必要的照射。对放射性同位素丢失前的存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，应按辐射剂量率大小划定警戒线，并设置放射性污染标识，撤离警戒区域内的所有人员，限制无关人员靠近，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场进行处理。经监测满足解控要求后再解除警戒。

③事故处理后应收集资料，及时总结报告。对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

6.5.3 应急人员的培训及演练

建设单位拟制定《辐射事故应急预案》，制定内容将涵盖应急人员的培训内容及要求，建设单位拟每年进行一次应急培训，培训学习内容包括：辐射事故与应急培训、放射性物品运输辐射事故应急响应培训，实验室安全培训、表面污染测量及其去污操作（含人体、地面去污）培训等。建设单位计划每一年组织员工进行应急演练1次。

6.6 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条和《重庆市辐射污染防治办法》第十三条的规定，建设单位应对其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。

建设单位拟在运行后，安排专人负责组织年度评估工作，对评估检查中发现的问题或不足及时整改，消除安全隐患，并按规定编写提交年度评估报告，评估

报告主要包括以下内容：

- (1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (2) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (3) 辐射工作人员变动及接受辐射安全与防护考核情况；
- (4) 放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；
- (5) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (6) 辐射事故及应急响应情况；
- (7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (8) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (9) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

6.7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的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企业核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者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。

建设单位拟在项目运行前建立安全管理体系，承诺完善核安全保障机构，进一步明确单位各层级人员的职责，将良好的核安全文化融汇于生产（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，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化的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。

6.8从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定了建设单位从事辐

射活动应具备相应的条件。建设单位从事的辐射活动能力评价见下表。

表6-6 从事辐射活动能力的评价

应具备条件	拟落实的情况
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；依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任。	建设单位拟成立辐射安全与环境保护管理小组，满足本项目甲级非密封放射性物质工作场所的需求，在项目运行前明确辐射安全关键岗位，并配备至少2名注册核安全工程师。
从事放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。	本项目新增56名辐射工作人员，辐射工作人员及时参加国家核技术利用辐射防护与安全培训平台（ http://fushe.mee.gov.cn ）的辐射防护与安全培训并考核合格。建设单位督促辐射工作人员在实际开展工作过程中按时接受再培训。
使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	辐射工作场所设计有相应的屏蔽措施和相应的安全措施。放射性物质放置在库房内，且存放在保险柜中，保险柜设置双人双锁。库房出入口设置红外报警装置，厂房出入口、控制区入口均设置磁卡门禁系统，无关人员无法进入。
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	拟在厂房周围设置实体屏障，在主出入口设置车辆通道和人员通道并设置出入口控制措施，实现对进出厂区人员的身份验证、授权管理、出入管控及车辆的车牌记录、出入管控。厂房工作场所涉核物料进出口、人员进出口等多处设置磁卡门禁系统，无关人员无法进入。 回旋加速器设置多重联锁和急停措施、PET/CT和SPECT/CT设置急停措施，可避免误照射。
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，包括个人剂量计。	辐射工作场所拟配备固定式 γ 辐射监测仪、固定式中子剂量率仪、手持式辐射巡测仪、 α 、 β 表面污染测量仪、便携式中子剂量率仪等相应监测仪器并配置足够的个人防护用品，并为每名辐射工作人员配置1枚个人剂量计。
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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟按要求制定并落实操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、台账管理制度和监测方案等规章制度。
有完善的辐射事故应急措施。	拟根据新增的人员组织架构和本项目的工作职责，制定应急和事件事故的管理机构、人员和职责。结合新增项目辐射事故情景，制定应急响应和善后工艺流程和事件事故调查处理程序、责任认定、处理结论。按要求制定的辐射事故应急预案可满足本项目建成后辐射事故突发时的应急需求。
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	①对于放射废气，建设单位拟设计独立排风系统和过滤系统，最终经过滤后的废气引至楼顶排放，

应具备条件	拟落实的情况
达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	按监测计划落实监测； ②对于放射性废液，拟建设衰变池和放射性废液浓缩室，分类收集，含短半衰期小于 24h 的核素废液收集、衰变超过 30 天后清洁解控排入园区污水处理站；半衰期大于 24h 核素（除 ^{68}Ge）衰变超过 10 倍半衰期后，并经监测达标后排入园区污水处理站；含 ^{68}Ge 废液收集到废液桶中，在放射性废液浓缩室暂存，达到一定量后交有资质单位进行处理； ③对于放射性固废，拟建设有放射性固废暂存库，分类收集衰变，经监测达标后，根据固废类型作为一般固体废物或危险废物处理。

待项目建成后，由建设单位建立完善相应的辐射安全管理体系，建立《报告书》提出的管理制度并有效执行，在此基础上，评价认为建设单位具备使用本次评价的 I 类、III 类射线装置、甲级、乙级非密封放射性物质工作场所的能力。

6.9 竣工环保验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目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。同时，项目建成后，应及时申请领取《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。并按要求办理排污许可登记。建设项目正式投产运行前，建设单位进行自主竣工环保验收。本项目环保设施竣工环境保护验收一览表见下表。

表6-7 环保设施竣工环境保护验收一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	建设内容	一层回旋加速器及药物生产场所，属 1 个甲级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 1#加速器机房，在机房内使用 1 台回旋加速器（最大能量为 30MeV，最大束流强度 750μA，属 I 类射线装置），配套建设 4 条生产线，用于 ^{68}Ge、^{18}F、^{64}Cu、^{103}Pd、^{44}Sc、^{89}Zr、$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共 7 种放射性药物的生产； 二层药物生产及质检场所，属 1 个甲级非密封放射性物质工作场所，建设生产场所（包括 4 条药物生产线，分别为 2-1 车间至 2-4 车间）、质检区及相关辅助用房，在生产区外购钼铈发生器 ^{99}Mo（$^{99\text{m}}\text{Tc}$）及其他核素原液，经淋洗、标记、纯化、分装等工序进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$、^{68}Ge、^{177}Lu、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac 共 6 种放射性药物的生产、使用和销售；在质检区对 ^{68}Ge、^{68}Ga、^{18}F、^{64}Cu、^{103}Pd、^{44}Sc、^{89}Zr、$^{99\text{m}}\text{Tc}$、^{177}Lu、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac 共 12 种核素开展质检； 三层研发实验场所，属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设放射性实验室及配套用房，使用放射性核素 ^{68}Ge、^{18}F、^{64}Cu、^{103}Pd、^{44}Sc、^{89}Zr、$^{99\text{m}}\text{Tc}$、^{177}Lu、^{211}At、^{223}Ra、^{225}Ac、^{68}Ga、^{67}Cu、^{212}Pb 共 14 种核素开展标记物质研究开发工作；	不发生 重大变更

序号	验收内容	验收要求		备注
		四层动物实验场所，属 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、分装室、注射室、血液生化实验室、放射性动物饲养室、留观室及相关辅助用房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），在 SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 、 ^{44}Sc 共 13 种核素用于非临床药代动力学及药理性、毒理性实验和非临床阶段的动物实验（实验对象为实验大鼠、小鼠、豚鼠、兔子、犬类，均为 SPF 级（无特定病原体动物）实验动物）。		
2	环保资料	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
3	辐射环境管理	有辐射环境管理机构，设专人负责，制度上墙。制度包含操作规程、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、辐射监测方案、放射性三废处理相关制度、辐射事故应急预案等，制度建立要求见表 6-1		齐全
4	电离辐射	剂量约束值	辐射工作人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ 公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$	参照 HJ1188-2021
		手部剂量限值	手部年当量剂量 $\leq 500\text{mSv/a}$	GB18871-2002
		屏蔽体外剂量率	控制区内房间屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ； 手套箱、操作箱等屏蔽结构外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；	参照 HJ1188-2021
		表面污染	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（报告表 1-5）所规定的限制要求	GB18871-2002
		货包辐射水平及表面污染水平	货包或集合包装的外表面上任一点的最高辐射水平应不超过 2mSv/h ； β 和 γ 发射体表面污染水平不超过 4Bq/cm^2 ； 所有其他 α 发射体表面污染水平不超过 0.4Bq/cm^2 。	GB11806-2019
5	辐射安全防护措施	1.辐射工作场所分区：将辐射工作场所按控制区、监督区划分，并设置明显分区标识，设置电离辐射警告标志和中文警示说明； 2.屏蔽设计方案：辐射工作场所采取实心砖、混凝土、铅板、铅玻璃等进行屏蔽，各功能用房应满足表 4-7 屏蔽要求；生产操作设备及产品防护均采用定制铅操作箱或铅罐； 3.操作场所安全设施：回旋加速器机房设置门机联锁、急停按钮、紧急开门按钮、巡检按钮、对讲、视频监控设施等措施；非密封放射性物质工作场所（生产线、质检场所、实验场所等区域）设置门禁系统、对讲、视频监控设施、门灯联锁、工作状态指示灯等安全措施； 4.配套设施：工作人员出入口设置应急洗消间及卫生通过间（更衣室、缓冲间、淋浴间等）并配置监测仪器。		
6	人员要	1.按照要求组织辐射工作人员培训，考核合格后上岗，考核成绩在有效期内。		

序号	验收内容	验收要求	备注
	求	2.需要佩戴个人剂量及按时组织体检。	
7	环保工程	废水 放射性废液: 放射性废液(除含 ⁶⁸ Ge)储存在负一层衰变池内,衰变满足暂存时间要求后,半衰期小于24h的解控排放,大于24h,需监测达标(总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L)并经生态环境主管部门认可后,方可按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放;含 ⁶⁸ Ge放射性废液收集后在负一层放射性废液浓缩室暂存,定期委托有资质的单位处理。 雨水: 排入厂区雨水管网,汇入市政雨水管网。 非放废水: 生活污水、不污染放射性的废水及满足清洁解控水平的废液依托中子科学基地污水处理站处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政污水管网。	
		废气 放射性废气: 本项目辐射工作场所拟共设置58套独立的放射性废气排风系统,不与监督区及清洁区共用排风系统。 回旋加速器机房内拟设置1套独立的排风系统,经独立排风管线通至屋面,经由屋面设置的活性炭过滤器净化后,高于屋面3米排放。 生产箱体、质检、研发及实验区域的27个手套箱均设置单独的排风系统,共设置27套独立的放射性废气排风系统,每套排风系统的风速不低于0.5m/s,箱体顶壁各拟设置活性炭过滤器,所有放射性废气排风系统均经独立排风管线通至屋面,高于屋面3米排放。 其余辐射工作场所共设置30套放射性废气排风系统,所有放射性废气排风系统均经独立排风管线通至屋面,经由屋面设置的活性炭过滤器净化后,高于屋面3米排放。 非放废气: 非放废气主要是放射性药物生产和实验过程伴随产生少量盐酸和硫酸、乙醇等物质产生少量的挥发性有机物以及动物房临时饲养产生的恶臭、回旋加速器、PET/CT和SPECT/CT运行电离产生的微量臭氧和氮氧化物,均由独立的放射性废气管线收集后,经活性炭过滤器净化后引至所在楼屋顶,高于屋面3米排放。	
		固体废物 放射性固废: 由专用桶装容器分类收集,暂存于放射性废物暂存间内,按其核素衰变特性分类处理,对于不可解控的放射性固体废物定期委托有资质的单位处置。 生活垃圾: 设垃圾桶,生活垃圾分类收集后,运至生活垃圾收集点暂存,定期交当地环卫部门统一清运。 一般固废: 主要为设备维修产生的废零件、纯水制备产生的废反渗透膜,分类收集,交回收单位处理。 未注射放射性药物的实验动物饲养过程产生的吸附有动物尿液的垫料及粪便,以及达到清洁解控水平的动物粪便、尸体及组织器官,定期交资质单位无害化处理。 危险废物: 本项目产生的实验废液、废实验器材、废培养基、废紫外灯管、制靶	

序号	验收内容	验收要求		备注
			废液、（清洁解控后的）废活性炭和（清洁解控后的）废医用器具等危险废物，暂存在负一层危险废物暂存库，定期交有资质的单位处理。	
		噪声防治措施	选用低噪声设备，并采取基础减震、软管连接设计等降噪措施。	
		防渗措施	各实验室的地面应采取防腐防渗措施，并设置托盘以防止化学试剂渗漏，放射性废物暂存库、衰变池、放射性浓缩室、危废暂存间按照重点防渗区，参照《石油化工工程防渗技术规范》（GB/T50934-2013）采用抗渗等级不低于 P8 的防渗混凝土，设置警示标识标牌。	

中福环境科技有限公司

第7章 利益-代价简要分析

7.1 利益分析

7.1.1 社会效益

随着我国社会经济的迅速发展，人民生活水平有了很大提高，医疗卫生条件得到进一步改善。然而，肿瘤（特别是恶性肿瘤）依然是国民健康水平进一步提高的主要障碍。

医用同位素是核医学诊疗的物质基础，利用医用同位素药物对心脑血管、恶性肿瘤、神经退行性等重大疾病进行诊断治疗，具有不可替代的优势：在诊断方面，医用同位素药物可提供人体分子水平血流、功能和代谢等信息，对尚未出现形态结构改变的病变进行早期诊断；在治疗方面，医用同位素药物可利用其放射性杀伤病变组织，实现微小病灶的精准清除，达到较好的治疗效果。

本项目生产的产品可用于神经内分泌肿瘤、前列腺癌治疗等癌症诊断治疗，核医学治疗药物有效延长肿瘤患者的生存时间、提高患者的生活质量。因此，本项目的建设将具有较好的社会效益。

7.1.2 经济效益

据 Frost & Sullivan 数据显示，我国放射性药物年复合增速仅次于生物药，预计未来 5 年我国放射性药物行业市场规模年复合增长率将达到 21.4%，于 2023 年达到 78.1 亿元，是 2018 年的 2.63 倍。然而目前在全球市场中，中国市场占比仅为 6%，北美市场达到 40%。与发达国家相比，我国放射性药物使用率仍较低，市场空间十分可观。

目前，放射性药物已经发展了 100 多年。在早期的发展中，放射性药物一直主要作为重要的癌症诊断药物被开发使用。近年来，随着放射性化学、核医学、分子生物学技术的发展和多学科交叉融合，放射性药物已经成为全球药物研发的热门领域。

据统计，2020 年中国核药行业规模达 13.4 亿美元，2017-2020 年复合增速 9.9%，未来几年预计保持 10.5% 稳健增速，于 2026 年规模有望超过 24 亿美元。

现阶段， ^{68}Ge (^{68}Ga) 发生器、 ^{223}Ra 注射液、 ^{177}Lu 注射液等多为进口放射性药物，运输跨度大，衰变损耗大，价格昂贵。本项目建成后，将放射性药物国产化，售价将大为降低，可为患者提供更加优惠的放射性药物。同时本项目可积极

推进医药同位素药物生产，加快核医学特色学科的建设，更好地服务于重大疾病的核医学诊疗。

本项目建成后，有利于就业或再就业，本项目的发展为社会提供了一定就业机会，随着公司业务范围的进一步扩大，可使更多的医疗从业人员参加工作，为保障社会安定起到积极作用。

7.2 代价分析

7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑两个方面，一是资源，二是能源。

资源方面，项目在巴福大健康产业园内进行，故评价项目无土地、农作物和其他经济作物征购问题，也不存在新建道路问题，项目运行依托整个产业园区的基础设施，不单独建设供水、排水系统，故社会损失可忽略。

能源方面，运营过程中消耗一定量的电能、水资源，项目资源消耗量相对区域资源利用量较少，符合资源利用上线要求。

7.2.2 环境代价

本项目产生的负面环境影响主要为电离辐射，但通过采取措施，可以将其影响控制在国家相关标准限值以内。虽然本工程的施工和运营会对周围环境产生一定的影响，但采取一定的环保措施后，这些影响在一定程度上将得以减轻或消除。

7.2.3 经济代价

经济代价主要包括以下三方面的成本：

- (1) 建筑场地成本；
- (2) 设备投资成本；
- (3) 环保投资：包含环保设施、环境管理、环境监测及事故防范措施等费用，合计投入约 xx 万元，本项目总投资约 xx 万元，环保投资占比约 1.55%。项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资估算见下表。

表 7-1 项目污染防治措施及环保投资一览表

序号	污染防治措施	投资金额(万元)
1	施工扬尘防治措施：洒水抑尘；土方、物料堆场采取覆盖措施；运输车辆运输物料时须封闭严密等。	xx
2	设临时隔油池、临时沉淀池对施工废水沉淀后重复利用，不外排。施工人员生活污水经卫生设施收集接入园区污水管网。	xx
3	选用低噪声设备，采取有效的隔声减振措施；合理安排施工时	xx

序号	污染防治措施	投资金额(万元)
	间；合理布局施工现场；加强施工车辆管理和施工人员管理。	
4	建筑垃圾分类收集，及时清运；生活垃圾定点收集，交由环卫部门清运。	xx
5	辐射防护材料的购买及辐射工作场所的屏蔽防护建设等	xx
6	个人防护用品和辅助防护设施的购置	xx
7	辐射监测仪器购买和维护	xx
8	监控和对讲装置、工作指示灯及警示标志、剂量报警仪等辐射安全设施和措施	xx
9	个人剂量监测、场所监测和年度监测	xx
10	辐射安全培训、职业健康检查	xx
11	事故风险应急投资及应急演练	xx
合计		xx

7.3正当性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“4.3.1 实践的正当性 4.3.1.1 对于一项实践，只有在考虑了社会、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。”通过对本项目的利益和代价的简要分析，考虑经济、社会、环境各方面的因素，利益大于代价，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的“实践的正当性”，说明本项目满足正当性要求。

第8章 公众参与

本项目参照《环境影响评价公众参与办法》的要求，主要通过网络公示、报纸媒体公示、现场张贴告示的方式进行了公众参与，至意见反馈期间均未收到反馈社会公众、国家机关、社会团体、企事业单位以及其他组织的反馈意见。本项目公众参与的开展情况详见《强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）环境影响评价公众参与说明》。

中辐环境科技有限公司

第9章 结论与建议

9.1 项目工程概况

本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块 2-2#核药厂房（地上 4 层，地下 1 层），占地面积为 2609 平方米，分两阶段建设，本次评价内容为第一阶段。

本项目建筑面积为 11735 平方米，主要建设 1#回旋加速器机房及生产场所、药物生产及质检场所、研发实验场所、动物细胞实验场所以及公辅工程、储运工程和环保工程。项目共涉及 2 个甲级非密封放射性物质工作场所、2 个乙级非密封放射性物质工作场所、1 台 I 类射线装置、2 台 III 类射线装置。按楼层从低到高，项目主要包括：

一层 1#回旋加速器机房及生产场所，一层涉及 1 个甲级非密封放射性工作场所，建设 1 间 1#回旋加速器机房、4 条药物生产线（分为 1-1 生产线至 1-4 生产线）及相关辅助用房，在 1#回旋加速器机房内安装使用 1 台质子回旋加速器（最大能量为 30MeV，最大束流强度 750 μ A，属 I 类射线装置），经制靶、打靶、分离、纯化、分装等工序进行 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共 7 种放射性核素的生产、使用和销售。

二层药物生产及质检场所，二层涉及 1 个甲级非密封放射性工作场所，建设生产区（包括 4 条药物生产线，分别为 2-1 生产线至 2-4 生产线）、质检区及相关辅助用房，在生产区外购钼铱发生器 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）及其他核素原液，经淋洗、标记、纯化、分装等工序进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ge 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 6 种放射性药物的生产、使用和销售；在质检区对 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 共 11 种放射性核素开展质检。

三层研发实验场所，三层涉及 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设放射性实验室及配套用房，使用 ^{68}Ge 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{44}Sc 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 共 14 种放射性核素开展标记物质研究开发工作。

四层动物细胞实验场所，四层涉及 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，建设 1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、分装室、注射室、血液生化实验室、放射性动物饲养室、留观室及相关辅助用房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属 III 类射线装置），在

SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 100 千伏，最大管电流为 1 毫安，属Ⅲ类射线装置），使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{103}Pd 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ga 、 ^{67}Cu 、 ^{212}Pb 、 ^{44}Sc 共 13 种放射性核素用于非临床药代动力学及药理性、毒理性实验和非临床阶段的动物实验（实验对象为实验大鼠、小鼠、豚鼠、兔子、犬类，均为 SPF 级（无特定病原体动物）实验动物）。

本项目总投资约 xx 万元，其中环保投资约 xx 万元。

本项目主要污染源项为 α 射线、 β 射线、 α 表面污染、 β 表面污染、X射线、韧致辐射、 γ 射线、中子和放射性三废，通过配置手套箱、产品罐和原料罐等专门的防护设备对电离辐射进行屏蔽防护，设置放射性固体废物暂存库、衰变池、放射性废液浓缩室、独立的放射性废气处理系统用于处理本项目产生的放射性三废。

本项目符合国家现行产业政策和当地规划，项目能够带来良好的社会效益和产生较好的经济效益；在采取了设计的辐射安全防护措施以及三废治理措施后，项目运行所产生的辐射危害是很小的，满足国家标准要求。因此，该项目具有实践的正当性。

9.2 选址可行性及布局合理性

本项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 2-2#厂房。综合分析本项目地形地貌及地震土壤现状资料，本项目所在区域地壳结构简单未见明显的差异活动，场地整体稳定，地质和地震条件良好，没有影响放射性同位素和射线装置安全使用的颠覆性因素。项目位于规划工业区内，评价范围内无学校、医院、行政办公等环境敏感点，且本地块周边规划企业为同类型核医药产业公司，区域周边社会环境相对简单，项目采用一定的屏蔽防护与辐射安全措施、放射性污染防治等措施后，对周围环境的辐射影响较小，综合分析，本项目选址可行。

本项目位于独栋建筑内，整个场所在一层设置独立的工作人员路线、涉核物料运输路线和非核物料运输路线出入口，方便本项目物料、成品运输，同时也方便人员进出，厂区布局合理。各层、各生产线的辐射工作场所相对独立，具备独立的辐射检测和去污通道，实现了人流、物流互不干扰、放射性原料及放射性废物运输路径较为短捷，各楼层的平面布局既便于生产与研发实验的工艺需求，又便于辐射分区管理和辐射安全防护。工作过程中产生的放射性废液和放射性固体废物分类分区域暂存，放射性废气经净化后高于屋面 3 米排放，周围无其他高层建筑，综合分析，本项目工作场所布局合理。

9.3 辐射安全与防护

本项目打靶、生产、合成、质检等过程均在专门定制的设备及箱体内进行，其屏蔽设计和密闭设计满足相关标准要求，可使对操作人员的辐射影响满足国家标准要求并达到较低水平；工作场所合理划定分区进行管理，人流与物流路径分离，可尽量限制放射性污染范围和防止交叉污染。

放射性物品实施严密的安全保卫措施和制度，设置专门的放射性产品库和储藏室进行暂存，出入门设置红外报警装置；工作场所各通道和主要用房设置磁卡门禁系统及电控锁，入口通道处设置摄像头，无关人员无法进入。

针对运行产生的放射性废气、废液和固体废物，本项目拟设置收集、暂存、处理设施，对环境和人员的辐射影响满足国家标准要求并达到较低水平，放射性三废处理方案可行。

本项目拟配备足够的监测仪器，保证辐射工作人员、公众成员的安全。

9.4 环境影响分析

9.4.1 辐射环境影响分析结论

根据本报告对本次核技术利用项目运行过程中，对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常情况下，辐射工作场所周围、操作箱体表面、货包表面辐射剂量率水平和表面污染水平满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）等标准要求。

在运行过程中，叠加本项目及周围其他项目辐射影响，职业人员有效剂量最大值为 2.49mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的 20mSv/a 的职业照射剂量限值，也低于本次评价确定的 5mSv/a 职业照射剂量约束值。职业人员手部当量剂量大值为 $1.18 \times 10^2\text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的 500mSv/a 的手部年当量剂量限值。公众有效剂量最大值为 $7.57 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的 1mSv/a 公众照射剂量限值，也低于本次评价确定的 0.1mSv/a 的公众剂量约束值。

本项目放射性废气经活性炭吸附处理后在 2-2#核药厂房高于屋面 3 米排放。对放射性废液进行分类暂存和处理，对于无法满足解控水平的放射性废液定期委托有资质的单位处置。对放射性固体废物进行分类暂存和处理，对于不可解控的

放射性固体废物定期委托有资质的单位处置。放射性三废处理方案满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的相关要求,放射性三废处理方案可行,不会对周围环境造成影响。

9.4.2非放环境影响分析结论

(1) 废气影响

本项目非放射性废气主要来源于放射性药物生产线和实验室使用的盐酸和硫酸等挥发产生较少的酸雾、使用乙醇等物质产生较少的挥发性有机物以及动物房临时饲养产生的恶臭、回旋加速器、PET/CT 和 SPECT/CT 运行电离产生的微量臭氧和氮氧化物。

所有废气经专门的通风管道收集引 2-2#楼楼顶经活性炭处理后高于屋面 3 米排放。活性炭吸附效果较好,定期更换活性炭确保吸附效果,实验室酸性气体、有机废气等对周围环境空气影响较小。

(2) 废水影响

本项目非放工艺废水及生活污水依托中子科学基地污水处理站处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政污水管网,因此本项目废水对周围水环境影响很小。

(3) 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,采取消声、减振等措施后,项目厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)3类排放标准要求,对项目所在区域声环境影响轻微。

(4) 固废环境影响

生活垃圾经分类收集后,委托当地环卫部门清运。废零件、废反渗透膜、废包装材料等一般固体废物统一收集后定期交回收单位处理。未注射放射性药物的实验动物饲养过程产生的吸附有动物尿液的垫料及粪便,以及达到清洁解控水平的动物粪便、尸体及组织器官,定期交资质单位进行无害化处理。实验废液、废实验器材、废培养基、废紫外灯管、制靶废液、(清洁解控后的)废活性炭和(清洁解控后的)废医用器具等危险废物,由专用容器收集暂存于负一层设置的危废暂存间,定期委托有资质单位处置。

9.5事故风险分析结论

本项目可能产生的辐射事故为回旋加速器误照射、液态放射性物质泄漏、固体靶卡靶或停靶等辐射事故，可能导致一般辐射事故。本项目在采取相应措施后风险可防可控。建设单位制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，在项目运行前，根据人员组织架构进一步完善并认真贯彻实施，可满足本项目建成后辐射事故应急需求。

9.6辐射安全管理

管理机构：建设单位拟成立辐射安全与环境保护管理机构、辐射事故应急机构，明确机构各成员的职责，并将加强监督管理。为满足本项目核技术利用项目的需求，调整辐射安全与环境保护管理小组成员，并配备辐射安全关键岗位两个。

规章制度：建设单位拟为本项目制定一系列辐射防护工作制度。不断对各项管理制度进行调整、补充和完善，并在以后的实际工作中落实执行。

建设单位将安排新增辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，考核合格后方可上岗。辐射工作人员将按要求佩戴个人剂量计上岗，个人剂量计按要求定期送检。在此基础上本项目辐射工作人员的配置满足要求。

本项目拟设置相应的辐射剂量监测手段并拟制定相应的监测制度。包括工作人员个人剂量监测、工作场所的监测、流出物监测和环境监测，满足本项目需求。

综上所述，建设单位在严格落实管理机构、规章制度、辐射监测方案及辐射工作人员的管理后，可满足本项目对辐射安全管理的要求。

9.7总结

综上所述，强核医药科技核药物研发生产项目（一期部分）在严格按照环评中的要求进行建设后，项目运行期间对人员和周围环境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以接受的，本项目在采取相应措施后风险可防可控。建设单位在落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护能力，故从辐射安全 and 环境保护的角度考虑，本项目的建设是可行的。

9.8建议和承诺

9.8.1建议

认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，加强核与辐射安全知识宣传，不

断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

9.8.2 承诺

为保护环境，保障人员健康，建设单位承诺：

- （1）加强对相关放射防护法规的学习，提高辐射安全防护观念和水平。
- （2）项目严格按照本次报批内容进行建设，项目竣工后，按照国家相关法律法规尽快进行验收。若发生变动，将按要求办理相关环保手续。
- （3）接受生态环境主管部门的监督检查。
- （4）按要求于每年 1 月 31 日前向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。

中辐环境科技有限公司