

编号：ZFHK-FS23210012

核技术利用建设项目

高性能微型核电池自主研发与产业化建设项目

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

## 高性能微型核电池自主研发与产业化建设项目 环境影响报告书

建设单位名称：中子科学（重庆）研究院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：重庆高新区虎溪街道沙坪坝大学城中路 36 号 2 幢 3-19

邮政编码：401331

联系人：刘超

电子邮箱：

联系电话：

# 目 录

目 录.....	3
第一章 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.....	19
1.4 评价标准.....	23
1.5 评价范围和保护目标.....	26
第二章 自然环境与社会环境状况.....	29
2.1 自然环境状况.....	29
2.2 社会经济状况.....	32
2.3 辐射环境质量现状.....	33
2.4 区域环境质量现状.....	44
2.5 选址适宜性评价.....	45
第三章 建设项目工程分析.....	47
3.1 项目规模与基本参数.....	47
3.2 工程设备与工艺分析.....	53
3.3 污染源项.....	63
3.4 放射性三废.....	66
3.5 项目产排污统计.....	69
第四章 辐射安全与防护.....	71
4.1 场所布局与屏蔽.....	71
4.2 辐射安全与防护措施.....	75
4.3 三废的治理.....	82
4.4 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析.....	88
4.5 服务期满后的环境保护措施.....	90
第五章 环境影响分析.....	91
5.1 建设阶段对环境的影响.....	91
5.2 运行阶段对环境的影响.....	92

5.3 事故影响分析 .....	108
第六章 辐射安全管理 .....	114
6.1 机构与人员 .....	114
6.2 辐射安全管理规章制度 .....	115
6.3 辐射监测 .....	117
6.4 辐射防护与污染防治设施设备的安全检查 .....	122
6.5 辐射事故应急 .....	122
6.6 年度评估报告 .....	125
6.7 核安全文化建设 .....	125
6.8 从事辐射活动能力评价 .....	126
6.9 竣工环保验收 .....	127
第七章 利益-代价简要分析 .....	130
7.1 利益分析 .....	130
7.2 代价分析 .....	130
7.3 正当性分析 .....	131
第八章 公众参与 .....	132
第九章 评价结论与建议 .....	133
9.1 项目工程概况 .....	133
9.2 选址可行性及布局合理性 .....	133
9.3 辐射安全与防护 .....	134
9.4 环境影响分析 .....	134
9.5 事故风险分析结论 .....	135
9.6 辐射安全管理 .....	135
9.7 公众参与 .....	136
9.8 总结 .....	136
9.9 建议和承诺 .....	136

# 第一章 概述

## 1.1 项目名称、地点

项目名称：高性能微型核电池自主研发建设项目

建设地点：重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 1#中子源厂房 4F、6F 和-1F，其地理位置图见附图 1-1。

建设单位：中子科学（重庆）研究院有限公司

项目规模：本项目拟在4F建设1处甲级非密封放射性物质工作场所，开展DT中子管充氘/氚实验，主要建设微源实验室，以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房（配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用）；拟在6F建设1处甲级非密封放射性物质工作场所，开展镅源和氚源电池测试实验，主要建设镅工艺实验室、器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房；-1F建设放射性废液暂存室2以及放射性废液暂存室1（与二期配套甲级非密场所项目共用）、放射性固体废物暂存室2、放射性固废暂存室1（与二期配套甲级非密场所项目共用）。

DT中子管充氘/氚实验，每年进行50次实验，每次使用10Ci氚。镅源和氚源电池测试实验，每年进行10次镅源电池测试实验，每次使用38.4Ci镅，年使用量384Ci镅；每年进行10次氚源电池测试实验，每次使用20Ci氚，年使用量200Ci氚。

建设周期：施工期预计 3 个月。

## 1.2 项目概况

### 1.2.1 建设单位概况

中子科学（重庆）研究院有限公司（以下简称“中子研究院”）成立于 2022 年 9 月 28 日，注册地位于重庆高新区虎溪街道沙坪坝大学城中路 36 号 2 幢 3-19，主要从事中子科技基础与应用基础研究、技术开发和产业转化。

### 1.2.2 项目由来

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#中子制药厂房、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#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，具体见附件 4。

中子科学基地 1#、2#和 3#规划引进核技术利用项目，其中 1#中子源厂房由中子科学（重庆）研究院有限公司使用，开展中子科学研究院（重庆）科研平台建设二期项目，2#中子制药厂房拟开展硼中子药物和核药物生产等相关项目（不属于中子研究院），3#中子治疗厂房拟开展 BNCT 等医疗装备研发制造项目（不属于中子研究院）。

中子科学基地 4#、5#楼为预留工业厂房目前未规划引进项目。6#楼为运维服务中心，7#楼为核科学博物馆（原规划为研发生产厂房），8#楼科学研究院作为中子基地办公大楼，9#楼为库房。

中子技术广泛应用于医疗健康（中子治疗、同位素药物生产等）、同位素生产等领域。加速器型中子发生器具有通电才出中子等独特的优点，具有良好的市场前景。根据发展规划和市场需求，中子科学（重庆）研究院有限公司已租用重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 1#中子源厂房-1F~4F、6F 作为科研实验用房开展中子科学研究院（重庆）科研平台建设项目。

1#中子源厂房为地上七层，地下一层，高 50m。1#中子源厂房-1F-7F 均为中子科学（重庆）研究院有限公司科研实验用房，因本项目仅涉及-1F~4F、6F，因此重庆科学城高新产业发展有限公司提供的场地使用说明仅涉及-1F~4F、6F。5F、7F 属于中子科学（重庆）研究院有限公司预留厂房（为远期预留科研用房及其配套用房，不作为长居留办公场所）。

中子研究院拟在 1#中子源厂房-1F~3F 实施“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）”（简称“中子源装置项目”），该项目主要建设中子屏蔽室，并在中子屏蔽室内配置 1 台 DD 中子发生器（自研）、1 台 DT 中子发生器（自研）、1 台 DT 中子管（自研）开展中子技术科研实验以及相关技术验证，该项目已另行委托编制环境影响报告表，该项目 2024 年 2 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准〔2024〕38 号”进行了批复。

中子研究院已在 1#中子源厂房-1F 和 4F 部分用房开展“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）”（简称“二期

配套甲级非密场所项目”），进行中子管充气。该项目已另行委托编制环境影响报告书，该项目2024年8月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准〔2024〕93号”进行了批复，该项目在2025年3月通过生态环境部辐射安全许可证重新申请审批，证书编号为“国环辐证[00557]”，该项目目前尚未开展运行，因此还未开展环境影响评价竣工验收。

根据中子源装置项目规划，拟在4F对DT中子管进行充氙气混合气实验，年充氙为50次，每次使用10Ci氙。根据规划，拟在6F建设一个专业化的核素电池实验室，专注于同位素电池的高效放射源研发与测试。该实验室通过精密封装工艺将放射性同位素（如 $^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 等）与半导体换能器件高效集成，利用同位素衰变释放的 $\alpha/\beta$ 粒子激发半导体换能器件产生电能，以实现高稳定性、长寿命核电池研发。6F涉及镅源核素电池制备，年制备量10个，每个活度为38.4Ci，每个电池由120枚镅源片组成；另外涉及氙源核素电池制备，年制备量10个，每个电池活度为20Ci，每个电池由250枚氙源片（0.08Ci）组成。

本项目4F使用的氙核素依托二期配套甲级非密场所项目购入的氙化铯（固态），因此4F场所内涉及 $^3\text{H}$ 和 $^{238}\text{U}$ 放射性核素的贮存和操作。

本项目6F以氧化镅（固态粉末）形式购入镅核素，6F的氙源以氙源片的形式购入，因此6F场所内涉及 $^3\text{H}$ 和 $^{241}\text{Am}$ 放射性核素的贮存和操作。氧化镅年使用量为384Ci，考虑到实验过程损失，氧化镅年备货量为500Ci，一次购入一年用量，贮存在1个铅密封罐中。氙核素年使用量为200Ci，一次购入一年用量，贮存在1个铅密封罐中。

根据《建设项目环境评价分类管理名录》（2021年版），1#中子源厂房基建内容属于“四十四、房地产业97标准厂房，不涉及环境敏感区”，属于环评豁免范围；本次评价的核技术利用项目主要内容为拟依托1#中子源厂房4F主要建设微源实验室，以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房（配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用）；6F建设镅工艺实验室及器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房；-1F建设放射性废液暂存室2以及放射性废液暂存室1（与二期配套甲级非密场所项目共用）、放射性固体废物暂存室（与二期配套甲级非密场所项目共用）、固废暂存间（与二期配套甲级非密场所项目共用）。本项目4F涉及使用 $^3\text{H}$ 核素（以氙化铯为氙源），6F涉及使用 $^3\text{H}$ 核素（以

氚源片形式购入)和 $^{241}\text{Am}$ 核素(以氧化镅为镅源),为甲级非密封放射性物质工作场所(场所分级核算详见后文表3-4);-1F操作的 $^{241}\text{Am}$ 密封源,为操作II类密封源。据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定,该项目的建设应开展环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(生态环境部令第16号)的要求,本项目属于“五十五、核与辐射”中“172.核技术利用建设项目-甲级非密封放射性物质工作场所”,应编制环境影响报告书。为保护环境,保障公众健康,严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》,中子科学(重庆)研究院有限公司委托中辐环境科技有限公司对本项目进行环境影响评价。评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集,结合项目特点、性质、规模和环境状况,并按照《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,编制完成了本项目环境影响报告书。

### 1.2.3 本项目基本情况

由于中子科学基地1#中子源厂房中子屏蔽室内配置1台DD中子发生器(自研)、1台DT中子发生器(自研)、1台DT中子管(自研)开展中子技术科研实验以及相关技术验证。为满足DT中子管的不同科研需求,DT中子管所需氘氚混合气需要中子研究院自行研发制备,因此中子研究院拟在4F开展DT中子管充氘氚混合气实验。同时,为促进核电池的发展,解决我国核电池产品中的关键问题,在6F开展制造镅源核素电池和氚源核素电池实验。本项目建筑面积约为700m<sup>2</sup>,为新建项目,项目具体内容为:

4F主要建设微源实验室,以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房(配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用);6F建设镅工艺实验室及器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房;-1F建设放射性废液暂存室2以及放射性废液暂存室1(与二期配套甲级非密场所项目共用)、放射性固体废物暂存室(与二期配套甲级非密场所项目共用)、固废暂存间(与二期配套甲级非密场所项目共用)。本项目4F辐射工作场所放射性核素的日等效操作量为 $3.73 \times 10^{14}\text{Bq}$ ,为甲级非密封放射性物质工作场所,6F辐射工作场所放射性核素的日等效操作量为 $3.28 \times 10^{17}\text{Bq}$ ,为甲级非密封放射性物质工作场所。

## 1.2.4 劳动定员及工作制度

根据中子研究院提供的资料，本项目建成后，中子研究院拟新增辐射工作人员 2 名负责 DT 中子管充氘氚混合气实验相关工作，包括 DT 中子管充氘氚混合气实验与转运，以及氘源与废物运送工作；拟新增辐射工作人员 4 名负责制造镅源核电池和氘源核电池实验；6 名辐射工作人员均为本项目专职辐射工作人员，不兼岗中子研究院其他辐射工作。本项目辐射工作人员实行 8h 工作制度，年工作日为 250 天。

以上项目拟根据中子研究院后期实验需求新增工作人员，本项目辐射工作人员不兼岗。

## 1.2.5 区域规划及产业政策符合性

### (1) 产业政策符合性分析

本项目属于中子技术科研实验配套项目，根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造。因此项目的建设符合国家产业政策。

### (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) 规划政策符合性

根据《重庆高新区生命科技园 A 区、B 区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 21.48km<sup>2</sup>，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 9.39km<sup>2</sup>，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 1# 中子源厂房，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。本项目为中子研究院甲级非密封放射性物质工作场所，本项目为中子源科学装置实验室项目所需DT中子管进行充氘氚混合气实验和开展镅源和氚源电池制备、测试实验，便于中子研究院开展中子技术科研实验以及相关技术验证，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。

#### (4) 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。

表 1-1 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工业园区内	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	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	本项目位于中子科学基地工业园区内	符合
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标准的，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 <sub>2</sub> 、PM <sub>2.5</sub> 。本项目不排放 NO <sub>2</sub> 、PM <sub>2.5</sub> ，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	符合
	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	本项目不产生工业废水	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	生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级限值后排入市政污水管网。经市政污水管网进入重庆九龙园区工业污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入肖家河，经大溪河汇入长江	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	本项目不涉及	符合

	炼业（铜、铅锌、镍钴、锡、铋和汞冶炼）、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		
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；放射性固废贮存于放射性固体废物暂存室，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；一般固废定期交物资回收单位综合利用；放射性固废贮存于放射性固体废物暂存室，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
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	中子研究院已为一期项目制定《科研平台一期辐射事故应急预案》。本项目建成后，拟根据本项目特点，重新制定《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	本项目不涉及涉水突发环境事件，不涉及有毒有害气体，本项目含氡废气经监测低于限值后排放	符合
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	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	符合
	第二十条 新建、扩建“两高”项目应采用先进适用的工	本项目不属于两高类项	符合

	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	目	
	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	本项目涉及含镉电解液、少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水（作为放射性废液在放射性废液暂存室暂存池内贮存，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理）	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	本项目涉及含镉电解液、少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水（作为放射性废液在放射性废液暂存室暂存池内贮存，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理）	符合

### (5) 园区“三线一单”符合性分析

#### ①本项目与园区位置关系

本项目位于生命科技园 B 区内，根据《重庆高新区生命科技园 A 区、B 区规划环境影响报告书》中内容，该园区位于重庆市高新区，属于《西部科学城重庆高新区“三线一单”生态环境分区管控调整方案研究报告》中工业城镇重点管控单元-九龙坡片区（重点管控单元，管控单元编码：ZH50010720001）。

#### ②本项目与园区生态环境管控要求符合性分析

本项目位于生命科技园 B 区，且《重庆高新区生命科技园 A 区、B 区规划环境影响报告书》中已开展园区规划与“三线一单”生态环境分区管控的符合性分析。本项目与园区生态环境分区管控方案要求符合性分析详见表 1-2。

表 1-2 与园区生态环境管控要求符合性分析一览表

分类	环境准入要求	本项目情况	是否符合
空间布局约束	B 区 1.临近重庆交通大学双福校区、福城东苑、九龙西苑公租房的工业用地，应引入环境影响较小的项目	本项目为核技术利用项目，项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足辐射安全防护要求的屏蔽和防护及管理措施后，对周围环境较小	符合
	2.规划区涉及环境保护距离的工业企业应通过选址或调整布局，将防护距离严格控制在园区边界或用地红线内，防护距离内不能存在居民、学校等环境保护目标	本项目不涉及环境保护距离	符合

		3.通过改造提升、集约布局、关停并转等方式对“散乱污”企业分类治理。对产业定位不相符、布局不合理、装备水平低、环保设施差的小型污染企业进行全面排查，制订综合整治方案	本项目属于中子技术科研实验配套项目（中子技术广泛应用于医疗健康、同位素生产等领域），位于生命科技园B区范围内，符合生命科技园B区产业定位	符合
		4.禁止新建和扩建燃煤火电、化工、水泥、采（碎）石场、烧结砖瓦窑以及燃煤锅炉等项目。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(2021年版)》“高污染”产品名录执行）。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	本项目不属于燃煤火电、化工、水泥、采（碎）石场、烧结砖瓦窑以及燃煤锅炉等项目	符合
		5.规划区现有化学制品制造、涉硫化工艺的橡胶制造企业不得进行扩建，后续适时搬迁	本项目不涉及	符合
		6.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，尽量布置新一代信息技术、先进制造业、生命健康产业中环境影响较小的项目，减少对居住区等环境敏感点的影响	本项目为核技术利用项目，项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足辐射安全防护要求的屏蔽和防护及管理措施后，对周围环境较小	符合
污 染 物 排 放 管 控	B 区	1.严格执行大气污染物特别排放标准限值要求	本项目严格执行大气污染物特别排放标准限值要求	符合
		2.禁止引入《实验室生物安全通用要求》（GB19489-2008）中生物安全防护水平为四级的生物医药研发项目	本项目不涉及	符合
		3.避免引入用水量、排水量大的项目	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	符合
		4.入区企业应按照国家有关规定对工业污水进行预处理：相关标准规定的第一类污染物及其他有毒有害污染物，应在车间或车间处理设施排放口处理达标；其他污染物应预处理满足行业排放标准、地方排放标准、综合排放标准中间接排放要求或排污单位与依托的集中污水处理系统责任单位的协商值要求	生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网。本项目放射性废液收集后，不外排，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理	符合
		5.新建、改建、扩建涉VOCs排放的项目，要加强源头控制，使用低（无）VOCs含量的原辅料，加强废气收集，安装高效治理设施。涉及恶臭和异味气体排放的，	本项目不涉及VOCs排放	符合

		应强化恶臭、异味气体收集和治理		
		6.新建“两高”项目应按照《关于加强重点行业建设项目区域削减措施监督管理的通知》要求制定配套区域污染物削减方案，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	本项目不属于“两高”项目	符合
		7.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；放射性固废贮存于放射性固体废物暂存室，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
		8.除可引入以核医药为特色的化学原料药产业外，规划区禁止引入化学原料药制造	本项目不属于化学原料药制造项目	符合
		9.燃气锅炉应采用低氮燃烧技术，确保废气排放满足《锅炉大气污染物排放标准》（DB50/658-2016）及修改单中标准限值要求	本项目不设置燃气锅炉	符合
环境 风险 防控	B 区	1.禁止引入《企业突发环境事件风险分级方案》（HJ941-2018）中规定的重大环境风险等级的工业项目	本项目不属于重大环境风险等级项目	符合
		2.在园区或企业发展过程中，根据实际变化情况，园区管委会或企业应编制并定期修订规划区风险评估报告及应急预案	中子研究院已为一期项目制定科研平台一期辐射事故应急预案。本项目建成后，拟根据本项目特点，重新制定辐射安全事故应急预案	符合
		3.涉及入渗途径影响的，应根据相关标准规范要求，对设备设施采取相应的防渗措施	本项目暂存池具有防渗功能	符合
		4.入驻企业严格限制使用列入《优先控制化学品名录（第一批）》、《优先控制化学品名录（第二批）》和《中国严格限制的有毒化学品名录》（2020年）的化学品	本项目不涉及	符合
		5.依法应当开展土壤污染状况调查或风险评估而未开展或尚未完成调查评估的地块，以及未达到土壤污染风险评估报告确定的风险管控、修复目标的建设用地地块，不得开工建设与风险管控修复无关的项目	本项目所在地不涉及土壤污染	符合
		6.加强对放射性装置的申报登记和许可证管理，从源头控制和防范安全隐患。规范放射性物品运输和废旧放射源安全管理，推动废旧放射源回收再利用。强化放射源、射线装置、高压输变电及移动通讯基站等辐射环境管理，全面提升区域辐射安全水平	项目在取得辐射安全许可的前提下从事核技术利用项目。项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足辐射安全防护要求的屏蔽和防护及管理措施后，对周围环境较小	符合
资源	B 区	1.企业新建、改扩建项目不得采购使用能效低于《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平》准	本项目涉及设备均为节能设备	符合

利用效率	入水平的产品设备准入水平，鼓励使用达到节能水平、先进水平的产品设备		
	2.实施能源领域碳达峰碳中和行动，发展壮大清洁能源产业，推动能源清洁低碳安全高效开发利用，促进重点用能领域能效提升	本项目主要能源为电能	符合
	3.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	符合
	4.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”项目	符合
	5.禁止新建燃煤、重油等高污染燃料的工业项目	本项目不涉及	符合
	6.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。引导区域工业布局 and 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	本项目涉及含钼电解液、少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水	符合

本项目所在区域优势明显，且不受“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”约束，选址合理，符合“三线一单”相关准入要求。

综上所述，本项目符合重庆高新区生命科技园 A 区、B 区规划环评及园区“三线一单”生态环境管控要求。

### (6) 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，且《重庆高新区生命科技园 A 区、B 区规划环境影响报告书》已取得重庆高新区生态环境局审查意见（渝高新环函〔2023〕35 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表 1-3。

表 1-3 与园区生态环境管控要求符合性分析一览表

审查意见要求	本项目情况	是否符合
（一）严格生态环境准入 强化规划环评与“三线一单”的联动，主要管控措施应满足重庆市及规划区域“三线一单”生态环境分区管控要求。优化产业发展方向，落实环境准入清单，严格建设项目环境准入，规划区包含的建设项目应满足《重庆市工业项目环境准入规定（修订）》以及《报告书》确定的生态环境管控要求	本项目符合重庆市“三线一单”管控要求和重庆高新区生命科技园 A 区、B 区规划环评及园区“三线一单”生态环境管控要求	符合
（二）强化生态环境空间布局约束 规划区在引入涉及环境保护距离的项目时，应优化选址和总平布局，环境保护距离应控制在工业产业区边界以内（可按照渝环办〔2020〕188 号中相关规定延伸范围）。加强入园企业污染防治措施和优化布局，A 区白含智能制造产业区、白市驿智能制造产业区临近居住区一侧以及 B 区临交通大学、居住区、学校一	本项目位于工业园区内，本项目属于中子技术科研实验配套项目（中子技术广泛应用于医疗健康、同位素生产等领域），位于生命科技园 B 区范围内，符合生命科技园 B 区产业定位。本项目不涉及环境保护距离	符合

<p>侧布局轻污染企业。A区东侧临重庆白市驿城市花卉市级森林自然公园的工业用地布局轻污染企业，应优先引入颗粒物、VOCS等污染物排放量较低的项目，现有排放大气污染物的项目应加强废气收集处理效率，降低对大气环境的影响。A区临马家沟水库一侧地块开发与运营期间应强化水污染防治，不得贮存以及排放影响马家沟水库饮用水安全的物质，加强饮用水源地保护</p>		
<p>(三) 加强污染排放管控 1. 水污染排放管控 规划区内各企业废水经预处理后接入市政污水管网排入集中污水处理厂。规划区内企业废水中第一类污染物及其他有毒有害污染物应在车间或车间处理设施排放口处理达标，其他污染物应处理满足其行业排放标准或地方排放标准或综合排放标准中的间接排放限值要求，城镇（园区）污水处理厂对进水有要求的，污染物排放应满足与其对应的污水处理厂协商限值要求。A区废水接入白含污水厂集中处理，尾水排入梁滩河。白含污水厂出水中COD、NH<sub>3</sub>-N、TP、TN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，其他污染因子执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准；B区污废水接入九龙园C区污水处理厂，出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准 鉴于目前梁滩河、大溪河水环境容量有限，规划区应避免引入用水量、排水量大的项目，以保证水环境容量能够支撑规划区的发展需求高度重视地下水污染防治，采取源头控制为主的原则，落实分区、分级防渗措施，防止规划实施对区域地下水环境的污染。定期开展地下水跟踪监测，根据监测结论及时完善相应的地下水污染防治措施，确保地下水环境质量不恶化</p>	<p>生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网。经市政污水管网进入重庆九龙园区工业污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准后排入肖家河，经大溪河汇入长江</p>	符合
<p>2. 大气污染物排放管控 优化能源结构，禁止新建、扩建使用高污染燃料的项目，采用先进工艺，提高能源综合利用效率；加强源头收集与治理，优先采用全密闭措施，无法全密闭时应尽可能提高收集效率，尽量减少无组织排放；强化监督管理，保证企业废气处理设施有效目正常运行，确保工艺废气达标排放及满足总量控制要求；涉及挥发性有机污染物排放的项目应优先使用低(无)VOCs含量的原辅材料；现有燃气锅炉应加快推进低氮燃烧改造，新建锅炉应采用低氮燃烧技术；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；规划区应通过优化用地布局和强化环境准入等方式减少大气污染物对周边敏感目标的影响</p>	<p>本项目不使用高污染燃料，不涉及有机废气。本项目主要涉及放射性废气，放射性含氡废气经监测低于限值后排放</p>	符合
<p>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应尽量远离居住、学校等敏感区域，满足相应环境防护距离要求。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。科学设定建筑物与交通干线的噪声防护距离，严格落实规划</p>	<p>本项目噪声源主要3台排风机，安装于1#中子源厂房屋面，中子研究院拟采用低噪声设备</p>	符合

区内交通主干道两侧的防护绿化带要求		
<p><b>4.固体废物排放管控</b></p> <p>一般固体废物应以企业自行回收利用为主，遵循资源化、减量化、无害化原则，减少固体废物产生量，最大限度减轻工业固体废物造成的二次污染。危险废物应当委托具有相应危险废物经营资质的单位处置，严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）《危险废物转移管理办法》（生态环境部公安部交通运输部部令第23号）相关要求收集、贮存和转运，严格按照“土十条”要求落实污染防治措施，避免对土壤和地下水造成污染。规划区工业企业关闭或搬迁，土地再开发利用前，应按照国家和我市有关规定开展场地环境风险调查评估，并视评估结果实施污染场地治理修复工作</p>	<p>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室，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</p>	符合
<p><b>5.辐射污染管控</b></p> <p>规划区引进核医药项目应优化选址布局，尽可能远离环境敏感目标。强化辐射工作场所分区管理，落实核与辐射安全防护加强放射性“三废”产生、贮存、排放或处置、运输全过程管理；严格控制放射性“三废”的排放</p>	<p>本项目电离辐射评价范围涉及已拆迁或规划待拆迁居民点，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、行政办公等环境敏感点。本项目放射性废液经暂存池收集后，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。放射性固废存于-1F放射性固体废物暂存室，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理/生产厂家更换和回收</p>	符合
<p><b>6.加强碳减排</b></p> <p>按照碳达峰、碳中和相关政策要求，规划区及企业建立碳排放管理制度，开展碳排放管理，推动减污降碳协同共治。鼓励规划区工业企业采用先进工艺，提高能源综合利用效率，从源头减少和控制温室气体排放，促进规划区产业绿色低碳循环发展</p>	<p>本项目采用电能等清洁能源</p>	符合
<p><b>(四)强化环境风险</b></p> <p>规划区应建立健全环境风险防范体系，完善区域层面环境风险防范措施，及时编制环境风险评估及应急预案。加强对企业环境风险源的监督管理，相关企业尤其是涉及危险化学品的企业应严格落实各项环境风险防范措施，防范突发性环境风险事故发生</p>	<p>中子研究院已为一期项目制定《科研平台一期辐射事故应急预案》。本项目建成后，拟根据本项目特点，重新制定《辐射事故应急预案》</p>	符合
<p><b>(五)资源利用效率</b></p> <p>严格控制规划区天然气和新鲜水消耗总量，规划实施不得突破有关部门制定的能源和水资源利用上限，确保规划实施后区域大气和水环境质量保持稳中向好转变。严格准入新建项目，清洁生产水平不得低于国内先进水平标准</p>	<p>本项目涉及含镅电解液、少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水。本项目采用电能等清洁能源，涉及设备均为节能设备</p>	符合

### (7) 区域“三线一单”符合性

根据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 1-4 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	管控类别	管控要求	本项目情况	是否符合
重点管控单元，主城区总体管控方向，高新区总体管控要求	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	本项目位于工业园区内，属于中子技术科研实验配套项目，评价范围涉及已拆迁或规划待拆迁居民点，无科教、医院等环境敏感点	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	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	生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网。经市政污水管网进入九龙园区工业污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准后排入肖家河，经大溪河汇入长江。本项目不使用高污染燃料，不涉及有机废气	符合

		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Ⅳ类标准		
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。生活污水依托“中子科学基地建设”化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网。本项目放射性废液收集后，不外排，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理	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	本项目涉及含镅电解液、少量生活用水以及事故情况下的冲洗、清洁用水。本项目采用电能等清洁能源，涉及设备均为节能设备	符合

### （8）与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。

## 1.2.7 项目外环境关系及选址合理性分析

### （1）项目周边外环境

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 1#中子源厂房。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产业为国电投核素同创（重庆）科技有限公司，其他

四周当前暂无明确入驻产业及其他规划内容，现有周边居民点均已拆迁或已规划待拆迁，仅地块东北及西北侧剩余待拆迁的钟鹤村零星散户。本项目西侧约 780m 处为重庆交通大学科学城校区。

1#中子源厂房东侧为室外道路和规划道路广源路；南侧为室外道路，隔路为中子科学基地 4#研发生产厂房；西侧为室外道路，隔路为中子科学基地 2#中子制药厂房；北侧为室外道路和规划道路景文支路。

## **(2) 项目选址合理性分析**

中子研究院所在地块性质为工业用地，本项目的建设均在中子科学基地范围内，不新增用地，符合城市总体规划和土地利用规划。本项目为DT中子管制备和核素电池制备、测试，本项目选址于中子源装置项目楼上，与其集中布置于1#中子源厂房，减小影响范围，具有方便放射性物质转移等工艺方面的优势。本项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理可行。

### **1.2.8 建设单位原有核技术利用项目情况**

#### **(1) 原有核技术利用项目许可情况**

中子研究院目前持有的辐射安全许可证（附件 3），编号为：国环辐证[00557]，种类和范围：销售、使用 V 类放射源；使用 II 类射线装置；使用非密封放射性物质，甲级、乙级非密封放射性物质工作场所，发证日期：2025 年 3 月 13 日，有效期至：2029 年 8 月 22 日。

#### **(2) 原有核技术利用项目环保手续履行情况**

根据中子研究院辐射安全许可证及已取得环评批复项目可知，中子研究院在重庆高新区共有 2 个场地开展核技术利用项目。重庆高新区金凤镇新洲大道与凤笙路交口数字医疗产业园开展使用、销售放射源项目、中子研究院科研平台一期项目和药物研究实验室项目（重庆）；重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 1#中子源厂房开展中子科学研究院（重庆）科研平台建设二期项目。两个场所的地理位置见附图 1-3。

#### **1) 重庆高新区金凤镇新洲大道与凤笙路交口数字医疗产业园**

①中子研究院在重庆市高新区凤笙路数字医疗产业园 13 号楼开展使用、销售放射源项目，进行V类放射源  $^3\text{H}$  的使用和销售，并在 13 号楼负一层建设同位素库房，目前已办理建设项目环境影响评价登记备案（202350019300000060），并办理了辐射安

全许可证。

表 1-5 放射源环保履行情况一览表

序号	活动种类和范围					备案号
	辐射活动场所名称	核素	类别	活动种类	总活度（贝可）/ 总活度（贝可）× 枚数	
1	同位素 库房	H-3	V类	销售、使用	1.85E+13*5	环境影响评价登记表备案号： 202350019300000060
2		H-3	V类	销售、使用	3.7E+11*10	
3		H-3	V类	销售、使用	3.7E+12*10	
4		H-3	V类	销售、使用	9.25E+11*60	

②中子研究院在重庆市高新区凤笙路数字医疗产业园 13 号楼开展药物研究实验室项目（重庆），在负一层和负二层建设放射性实验区（放射化学实验室、放射化学分析实验室、放射性废物间、放射性废水间等）和非放射性实验区（细胞室、分析室、危废暂存间等），开展  $^{18}\text{F}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{103}\text{Pd}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ （ $^{68}\text{Ga}$ ）等 13 种放射性同位素药物研发试验。该项目放射性核素年用量为  $2.22 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量约为  $2.09 \times 10^9\text{Bq}$ ，放射实验区属于乙级非密封放射性物质工作场所。2024 年 2 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准〔2024〕9 号”进行了批复，并办理了辐射安全许可证。

表 1-6 放射性同位素情况一览表

序号	核素名称	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途
1	Cu-64	使用	1.11E+8	1.11E+6	2.78E+10	教学科研
2	Ac-225	使用	1.85E+8	1.85E+9	4.63E+10	教学科研
3	Tc-99m	使用	1.85E+9	1.85E+7	4.63E+11	教学科研
4	Pd-103	使用	1.85E+8	1.85E+7	4.63E+10	教学科研
5	Lu-177	使用	1.85E+9	1.85E+8	4.63E+11	教学科研
6	Ge-68（Ga-68）	使用	1.85E+9	1.85E+6	4.63E+11	其他
7	Zr-89	使用	3.7E+7	3.7E+6	9.25E+9	教学科研
8	Y-90	使用	1.85E+8	1.85E+7	4.63E+10	教学科研
9	Ga-68	使用	1.85E+8	1.85E+6	4.63E+10	教学科研
10	Ge-68	使用	3.7E+8	3.7E+7	9.25E+10	教学科研
11	At-211	使用	1.85E+7	1.85E+7	4.63E+9	教学科研
12	Mo-99（Tc-99m）	使用	1.85E+9	1.85E+6	4.63E+11	其他
13	F-18	使用	1.85E+8	1.85E+6	4.63E+10	教学科研

③中子研究院在重庆市高新区凤笙路数字医疗产业园 13 号楼开展中子研究院科研

平台一期项目，在负一层和负二层建设中子屏蔽室以及控制室、衣帽间、工具间、风机房等配套用房，并在中子屏蔽室内配置 1 台 DD 中子发生器（自研）开展中子技术科研实验以及相关技术验证。2023 年 9 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准（2023）52 号”进行了批复，并办理了辐射安全许可证。目前该项目已投入运营。

## 2) 重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 1#中子源厂房

①中子研究院在重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 1#中子源厂房开展中子科学研究院（重庆）科研平台建设二期项目，其中中子科学研究院（重庆）科研平台建设二期项目（中子源科学装置实验室部分）在中子科学基地 1#中子源厂房-1F~3F 建设中子屏蔽室及其配套用房，并在中子屏蔽室内配置 1 台 DD 中子发生器（自研）、1 台 DT 中子发生器（自研）、1 台 DT 中子管（自研）开展中子技术科研实验以及相关技术验证。2024 年 2 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准（2024）38 号”进行了批复。目前该项目主体结构正在建设中（本项目 1 台 DT 中子管供该项目使用，计划与本项目同时建成并投入使用），均尚未开展工作。

②中子研究院已在 1#中子源厂房-1F 和 4F 部分用房开展中子科学研究院（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），并进行中子管充气。该项目已另行委托编制环境影响报告书，并办理了辐射安全许可证。该项目 2024 年 8 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准（2024）93 号”进行了批复。目前该项目已办理辐射安全许可证，尚未开展工作。

表 1-7 放射性同位素情况一览表

序号	核素名称	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
1	H-3	使用	2.59E+14	2.59E+12	1.85E+14	其他
2	U-238	使用	1.40E+10	1.40E+8	1E+10	其他
3	H-3	使用	3.7E+13	3.7E+14	1.11E+14	教学科研
4	U-238	使用	2E+9	2E+10	6E+9	教学科研

综上所述，中子研究院正式投入运营的核技术利用项目 2 个，已办理辐射安全许可证未正式投入运营的项目一个，项目运营后，会及时开展自主竣工环境保护验收。未建成的核技术利用项目建成后及时开展自主竣工环境保护验收并重新申领辐射安全许可证。因此原有核技术利用项目不涉及辐射环境问题，无遗留环保问题。

## 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》（1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015年1月1日施行；

(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年10月28日第九届全国人民代表大会常务委委员会第三十次会议通过；2016年7月2日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议第一次修正；2018年12月29日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修正），2018年12月29日施行；

(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003年6月28日第十届全国人民代表大会常务委委员会第三次会议通过），2003年10月1日施行；

(4) 《建设项目环境保护管理条例》（1998年11月29日中华人民共和国国务院令 第253号发布，根据2017年7月16日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》修订），2017年7月16日施行；

(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号公布），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》（2005年9月14日中华人民共和国国务院令 第449号公布，根据2014年7月29日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第一次修订根据，2019年3月2日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订），2019年3月2日施行；

(7) 《放射性废物安全管理条例》（2011年11月30日国务院第183次常务会议通过，2011年12月20日中华人民共和国国务院令 第612号公布），2012年3月1日施行；

(8) 《中华人民共和国核材料管制条例》（1987年6月15日国务院发布），1987年6月15日施行；

(9) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017年第65号）2017年11月30日施行；

(10) 《放射性物品运输安全管理条例》（2009年9月7日国务院第80次常务会议通过，2009年9月14日中华人民共和国国务院令 第562号公布），2010年1月1日起施行；

(11) 《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，根据2019年8月22日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第

一次修正，根据 2021 年 1 月 4 日《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》第二次修正），2021 年 1 月 4 日起施行；

（12）《环境影响评价公众参与办法》（2018 年 7 月 16 日生态环境部部令第 4 号公布），2019 年 1 月 1 日施行；

（13）《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环境保护部环发〔2012〕77 号），2012 年 7 月 3 日施行；

（14）《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），2016 年 3 月 7 日施行；

（15）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行；

（16）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修正，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修正，2019 年 7 月 11 日经生态环境部令第 7 号修改，2020 年 12 月 25 日经生态环境部令第 20 号修改），2021 年 1 月 4 日施行修改版；

（17）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号），2006 年 9 月 26 日施行；

（18）《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；

（19）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），2021 年 3 月 15 日施行；

（20）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行。

### **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，根据 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《关于修改部分地方性法规的决定》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，根据 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，根据 2022 年 9 月

28日重庆市第五届人民代表大会常务委员会第三十七次会议第三次修正），2022年11月1日施行；

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

(3) 《重庆市生态环境局关于印发<重庆市辐射污染防治“十四五”规划（2021-2025年）>的通知》（渝环〔2022〕27号），2022年3月11日施行；

(4) 《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；

(5) 《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。

### 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) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；

(4) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-89）；

(5) 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

(6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；

(7) 《表面污染测定第2部分：氚表面污染》（GB/T14056.2-2011）

(8) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）；

(9) 《辐射事故应急监测技术规范》（HJ1155-2020）；

(10) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（参考）；

(11) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（参考）；

(12) 《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）；

(13) 《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2023）；

(14) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；

(15) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）；

(16) 《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)。

### 1.3.4 产业政策

(1) 《产业结构调整指导目录(2024年本)》(2023年12月27日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号公布),自2024年2月1日起施行;

(2) 《市场准入负面清单(2022年版)》(发改体改规〔2022〕397号)。

### 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) 《重庆高新区生命科技园A区、B区规划环境影响报告书》及其审查意见;
- (3) 《2023年重庆市辐射环境质量报告书(简本)》;
- (4) 中子研究院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 剂量限值及辐射剂量约束值

#### (1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》(GB18871-2002)

##### ①职业照射

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

a) 由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均),  
20mSv;

##### 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。

提出本次评价如下剂量约束值:

职业照射个人受照剂量约束值取5mSv/a;

公众照射个人受照剂量约束值取0.1mSv/a。

## 1.4.2 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

### C1 非密封源工作场所分级

应按表 C1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 C1 非密封源工作场所的分级

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

## 1.4.3 剂量率控制水平

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

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  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，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  $10 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 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  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

## 1.4.4 工作场所表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

### 6.2.3 表面放射性污染的控制

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

#### B2 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如表 B11 所列。

f) 氡和氟化水的表面污染控制水平，可为表 B11 中所列数值的 10 倍。

表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型	$\alpha$ 放射性物质 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )		$\beta$ 放射性物质 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )
	极毒性	其他	

工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>(1)</sup>	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10 <sup>-1</sup>	4×10 <sup>-1</sup>	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-1</sup>
<sup>(1)</sup> 该区内的高污染子区除外				

### 1.4.5 污染物浓度

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 A 表 A.1 作为申报豁免基础的豁免水平：放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度，评价项目使用核素免管浓度值见表 A.1。

表 A.1 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（与本项目相关核素摘录）

核素	活度浓度/（Bq/g）	活度/Bq
<sup>3</sup> H	1E+06	1E+09
<sup>241</sup> Am	1E+00	1E+04

### 1.4.6 密封源分类

根据《放射源分类办法》（国家环保总局公告 2005 年第 62 号）。

#### 二、放射源分类表

放射源分类表

核素名称	I 类源 (贝可)	II 类源 (贝可)	III 类源 (贝可)	IV 类源 (贝可)	V 类源 (贝可)
Am-241	≥6×10 <sup>13</sup>	≥6×10 <sup>11</sup>	≥6×10 <sup>10</sup>	≥6×10 <sup>8</sup>	≥1×10 <sup>4</sup>

### 1.4.7 汇总表

表 1-8 项目主要评价标准及相关要求汇总表

序号	项目	控制值	采用的标准
1	年剂量管理目标值	辐射工作人员：5mSv 公众人员：0.1mSv	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及中子研究院管理规定
2	辐射工作场所屏蔽体外剂量率	屏蔽体外剂量率控制水平为 2.5μSv/h 热室及工作箱屏蔽体外 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h	参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学放射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
3	非密封放射性物质工作场所分级	本项目 4F 和 6F 工作场所日等效最大操作量均大于 4E+09Bq，均为甲级非密封放射性物质工作场所	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

4	工作场所分级工作场所表面污染控制水平	工作台、设备、墙壁、地面：控制区 $\alpha \leq 4\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta \leq 4 \times 10^2\text{Bq/cm}^2$ ；监督区 $\alpha \leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$ ； 工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区 $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$ ；手、皮肤、内衣、工作袜 $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
5	废物豁免	$^3\text{H}$ 活度浓度小于 $1\text{E}+06\text{Bq/g}$ ，活度小于 $1\text{E}+09\text{Bq}$ ； $^{241}\text{Am}$ 活度浓度小于 $1\text{E}+00\text{Bq/g}$ ，活度小于 $1\text{E}+04\text{Bq}$	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
6	废物包装外表面	每袋废物的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv/h}$ 废物包装体外表面的污染控制水平 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$	参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）
7	废气排放	排放活度浓度限值 $4 \times 10^7\text{Bq/m}^3$ 年累计排放活度限值 $2 \times 10^8\text{Bq}$	鉴于目前无相关含氟、镅废气排放标准，含氟废气结合氟排放测量仪探测下限，根据中子研究院管理规定进行设定；含镅废气经活性炭吸附后排放。经后文分析，该活度浓度的含氟、含镅废气排放对公众的影响可接受

## 1.5 评价范围和保护目标

### 1.5.1 评价范围

根据本项目的实际情况及《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）规定，本项目属于甲级非密封放射性物质工作场所项目，本项目辐射环境评价范围为以项目实体边界为中心，半径 500m 的区域。评价范围示意图见图 1-1。

### 1.5.2 保护目标

本项目辐射环境保护目标详见表 1-6 和图 1-1，本项目电离辐射评价范围涉及已拆迁或规划待拆迁居民点，无自然保护区、风景名胜和文物古迹等需要特殊保护的敏感对象，无学校、医院、行政办公等环境敏感点。本项目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。根据项目所在区域土地利用规划，项目地块东侧未来入驻产业为国电投核素同创（重庆）科技有限公司，其他当前暂无明确入驻产业及其他规划内容。

表 1-8 本项目电离辐射评价范围内的环境保护目标情况

区域		环境保护目标名称	方向	最近距离	高差	影响人数	人员类别	保护要求
中子科学基地内	1#中子源厂房	4F						
		本项目辐射工作场所内	/	/	/	2人	职业人员	5mSv/a

	缓冲间 1、工作人员走道	东侧	紧邻	同层	4 人	职业人员	5mSv/a	
	涉核货厅、前室 1、楼梯间、客梯前室		2-11m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	氚工艺实验室 1、应急洗消、检测室、更衣室、缓冲间 2/3/4/5、淋浴间 1/2、走道	南侧	紧邻	同层	4 人	职业人员	5mSv/a	
	预留实验室 2/3、一般货厅、物流接收、物流暂存、一般库房、UPS 间、通风机房、换热机房、露台	南侧	0-37m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	露台	西侧	0-8m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	楼梯间、前室 2	北侧	0-15m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	中子屏蔽室 3F 配套设备间、预留用房、走道、耗材间	下方	/	-15m	8 人	公众	0.1mSv/a	
	预留用房	上方	/	+5m	约 20 人	公众	0.1mSv/a	
	6F							
	本项目辐射工作场所内	/	/	/	2 人	职业人员	5mSv/a	
	走道、消防电梯前室、前室	东侧	0-9m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	走道、预留用房	南侧	0-27m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	走道、空调机房	西侧	6-16m	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	架空区域	北侧	紧邻	同层	/	/	/	
	预留用房	下方	/	-15m	约 20 人	公众	0.1mSv/a	
	预留用房	上方	/	+5m	约 20 人	公众	0.1mSv/a	
	-1F							
	楼梯间、前室	东侧	紧邻	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	走道、预留用房、固废暂存间	南侧	紧邻	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
	预留用房	西侧	紧邻	同层	流动人员	公众	0.1mSv/a	
中子屏蔽室 1F 配套通道、更衣室、缓冲间	上方	/	+5m	8 人	公众	0.1mSv/a		
基地内其余 2#-9#厂房、道路等区域	四周	紧邻	-15m	约 200 人	公众	0.1mSv/a		
中子科学基地外	国电投核素同创（重庆）科技有限公司（在建）	东侧	56m	-15m	约 200 人	公众	0.1mSv/a	
	钟鹤村 1	东北侧	150m	-15m	约 6 户，约 20 人，均已拆迁	公众	0.1mSv/a	
	钟鹤村 2	东北侧	270m	-15m	约 10 户，约 30 人	公众	0.1mSv/a	
	钟鹤村 3	北侧	180m	-15m	约 10 户，约 30 人	公众	0.1mSv/a	
	钟鹤村 4	西北侧	330m	-15m	约 6 户，约 20 人，均已搬迁	公众	0.1mSv/a	

注：①+代表其地面高于本项目用房地面，-代表其地面低于本项目用房地面；②本项目评价范围内周边居民点均规划拆迁。截止 2024 年 6 月，钟鹤村 1 房屋已拆迁；钟鹤村 2/3 规划待拆迁，尚有居民居住；钟鹤村 4 无居民居住，房屋未拆迁。



## 第二章 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

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 1#中子源厂房，地理位置图见附图 1-1，保护目标位置示意图见图 1-1。1#中子源厂房东侧为室外道路和规划道路广源路；南侧为室外道路，隔路为 4#研发生产厂房；西侧为室外道路，隔路为 2#中子制药厂房；北侧为室外道路和规划道路景文支路。

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°17'~110°11'，北纬 28°10'~32°13'之间，纵横幅度东西长 470km，南北宽 450km，幅员面积 82269km<sup>2</sup>，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。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 313.5km<sup>2</sup>，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。

#### 2.1.2 地质构造

根据《重庆高新区生命科技园 A 区、B 区规划环境影响报告书》可知（2.1.2 章节~2.1.7 章节均引用该报告相关内容），本项目地块位于观音峡冲断背斜与北碚向斜之间。根据区域地质资料，场区内无断层通过，在规划区场区外侧岩石露头上测得岩层产状 270°~274°∠8°~11°。岩体中见两组裂隙，L1：66-72°∠54-57°，优势产状为 70°∠56°，裂隙局部张开度 2 mm~10mm，间距 1.5~4.0m，无充填，裂面较平直，延伸 2~6m；L2：166-174°∠68-75°，优势产状为 170°∠71°，裂隙局部张开度 2 mm~5mm，间距 1~5m，无充填，裂面粗糙，延伸 2~5m，结合程度一般。主要的构造形迹有：观音峡冲断背斜（38）、北碚向斜（41）和温塘峡背斜（42）。

#### 2.1.3 区域水文地质条件

##### （1）地层岩性

本项目地块地层结构简单，分布均匀，评价区地层为第四系全新统人工填土层

( $Q_4^{ml}$ )，第四系全新统残坡积层 ( $Q_4^{el+dl}$ )，侏罗系上统蓬莱镇组 ( $J_{3p}$ )，侏罗系上统遂宁组 ( $J_{3s}$ )，侏罗系中统沙溪庙组 ( $J_{2s}$ )，侏罗系中统下沙溪庙组 ( $J_{2xs}$ )，侏罗系中下统自流井组 ( $J_{1-2z}$ ) 和三叠系上统须家河组 ( $T_{3xj}$ ) 不存在液化土层。主要岩性包括砂岩、泥岩和灰岩，岩层从新到老分布。

## (2) 地下水类型及富水性

本项目地块及其周边地区浅层地下水按其赋存条件、含水层的水理性质和水力特征分为松散岩类孔隙水、碎屑岩层间裂隙水和基岩（红层）裂隙水。

松散岩类孔隙水 (Q)：含水岩组岩性主要为第四系粉质粘土、砂土层等，主要零星分布于沟谷、斜坡上的残坡积层与河流沿岸的冲洪积层中。地下水受堆积层厚度、补给条件影响大，多属季节性潜水，主要接受地表水、降水及邻近含水层的补给，并向地形低洼地带排泄。但因出露面积小，分布零星，水量较小。根据水文地质现场调查及钻孔资料，该类地下水富水性极弱，单井涌水量小于  $100\text{ m}^3/\text{d}$ ，水量贫乏。具有就地补给，就地排泄，径流排泄途径短的特点。

碎屑岩层间裂隙水：主要赋存于背斜两翼单斜脊状低山区出露的三叠系须家河组 ( $T_{3xj}$ ) 砂岩地层中。该类地下水出露区地质构造具单斜特征，以单斜状低山为主，含水层为一套河湖沼泽相沉积碎屑岩。该含水岩组中砂岩占总厚度的 95%。砂岩间夹分布稳定的页岩和煤层，因而赋存在砂岩中的地下水具层间承压水性质。含水层出露区多 NNE 和 NWW 向的陡倾裂隙，且层面裂隙发育，这些构造裂隙是地下水储存和运移的空间和通道，控制着地下水的分布规律和富水程度。该含水岩组中的裂隙率平均为 2.82%，孔隙度为 5%，泉流量一般  $0.01\sim 1\text{L/s}$ ，单井涌水量  $50\sim 200\text{T/d}$ ，是区域有供水意义的地下水类型。该地下水类型主要为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水和  $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$  型水，矿坑中常见硫酸碳酸盐型水，矿化度均小于  $0.5\text{g/L}$ 。

基岩（红层）裂隙水：广泛赋存于侏罗系中-下统自流井组 ( $J_{1-2z}$ )、沙溪庙组 ( $J_{2s}$ )、侏罗系上统蓬莱镇组 ( $J_{3p}$ ) 和上统遂宁组 ( $J_{3s}$ ) 砂岩等地层中。评价区基岩裂隙水为风化带裂隙水，主要分布于侏罗系上统蓬莱镇组 ( $J_{3p}$ ) 和上统遂宁组 ( $J_{3s}$ ) 砂、泥岩地层中，基岩风化裂隙在浅层近地表较发育，随着向地下延伸，风化裂隙逐渐不发育，因此风化裂隙水由浅层风化网状裂隙发育形成，为潜水。据区域水文地质资料和现场民井、机井情况调查，评价区基岩裂隙水主要为风化网状裂隙水亚类，由于基岩的裂隙在岩层中所能占有的赋存空间有限，因此富水性相对较差。由于该含水层（组）埋藏较松散岩类孔隙水深，不易受地表水影响，富水性随季节变化影响较小，

地下水动态变化小。

### 2.1.4 区域地震

根据《西彭组团 Q7-3/05, Q18-1/05 号地块场地地震安全性评价报告》(重庆润银工程勘察设计有限公司, 2023 年 8 月), 本项目所在区域地震空间分布不均匀, 主要集中在工程场地的西南侧; 区域内地震活动深度总体较浅, 属于浅源地震; 近场区范围内未记录到破坏性地震, 以中小地震活动为主近场区内地震对工程场地的最大影响烈度为 V 度; 项目所在区域地壳结构简单未见明显的差异活动, 地壳相对稳定。项目工程抗震设防烈度为 6 度, 设计地震分组为第一组, 设计基本地震加速度为 0.05g。

### 2.1.5 气候气象

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°C, 1 月平均气温 7.9°C, 极端最低气温 -1.8°C(1955 年 1 月 11 日); 7 月平均气温 28.3°C, 极端最高气温 43.0°C(2006 年 8 月 15 日)。最低月均气温 5.2°C(1977 年 1 月), 最高月均气温 32.4°C(2006 年 8 月)。平均气温年较差 6.3°C, 最大日较差 18.7°C(2011 年 5 月 18 日)。无霜期年平均约 340 天, 年平均日照时数 962.7 小时。年平均降水量 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)。

### 2.1.6 水文特征

本项目地块接纳水体主要涉及大溪河流域, 跳蹬河水库、三百梯水库、肖家河属于大溪河的二级支流, 均无水域功能。

大溪河发源于重庆市江津区北虎峰山, 南流经双溪、亨堂而入团结水库, 进入九龙坡区, 出库后曲折东流, 过元明场、马冈垭, 左纳石板沟; 又东至石岗, 穿过成渝铁路, 南流汇入长江。大溪河全流域面积 197.35km<sup>2</sup> (重庆高新区境内流域面积 46km<sup>2</sup>), 主河道长 45.02km (重庆高新区境内约 2.6km), 河床平均坡降为 3.98‰。大溪河流域内多年平均降水量 1093.00mm, 最多年降水量为 1357.70mm, 最少年降水量为 785.80mm, 雨量比较充沛, 但年际、年内变化较大。

## 2.1.7 生态环境

### (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，森林资源主要分布在山区，主要有马尾松、杉、柏、青杠、丝栗、樟、楠竹等乔灌木 140 多种，曾列为国家楠竹基地县（市）之一。经济作物主要有油菜、花生、芝麻、烟叶、甘蔗。经济林木主要有蚕桑、茶叶、柑桔、油菜籽。

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、梨、枇杷、柑橘、竹等物种。

### (2) 动物

本项目地块属于重庆主城区范围，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。

### (3) 土壤

本项目地块土壤成土母岩以中生代中期的侏罗纪各组岩层为主，中生代早期的三叠纪各组岩层次之，新生代第四纪的近代沉积更次之。成土母质有紫色泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩、砂岩、灰岩、砂页岩，形成为水稻土、潮土、紫色土、石灰土 4 种土类。以紫色土和水稻土为主，占耕地的 91.52%。森林土壤分为三个土类，以酸性黄壤土为主，中性紫色土和石灰钙质土次之。

## 2.2 社会经济状况

2022 年，重庆高新区全年实现地区生产总值 706.13 亿元，按可比价格计算比上年增长 5.9%。按产业分，第一产业增加值 4.69 亿元，增长 1.7%；第二产业增加值 455.83 亿元，增长 9.5%；第三产业增加值 245.62 亿元，下降 0.1%。三次产业结构为 0.7:64.6:34.7。三次产业对经济增长的贡献分别为 0.2%、100.5%、-0.7%。

2022 年末常住人口 63.94 万人，比上年末增加 0.89 万人。其中，城镇人口 57.26 万人，占常住人口比重（常住人口城镇化率）为 89.55%，比上年提高了 2.08 个百分点。年末户籍总户数 13.48 万户，比上年末增加 0.42 万户。户籍总人口 31.61 万人，增加

1.01 万人。其中，城镇人口 20.61 万人，增加 0.96 万人；男性人口 15.39 万人，增加 0.48 万人。全年农业转移人口落户城镇 0.46 万人。全年人口出生率为 9%，死亡率为 3%，人口自然增长率 6%，出生婴儿性别比为 1.06:1（男/女）。城镇新增就业人员 3.74 万人。城镇登记失业人员实现就业人数 0.84 万人，就业困难人员再就业人数 0.29 万人。年末全区共有各类市场主体 69245 户，比上年末增长 17.02%。其中，内资企业 27825 户，外商投资企业 199 户，个体工商户 41067 户，农民专业合作社 154 户。

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

## 2.3 辐射环境质量现状

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核技术利用项目为“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）（该项目 2024 年 2 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准〔2024〕38 号”进行了批复）”、“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（该项目 2023 年 11 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准〔2023〕57 号”进行了批复）”“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）（该项目 2024 年 8 月重庆高新区生态环境局以“渝（高新）环准〔2024〕93 号”进行了批复，已建成并办理辐射安全许可证国环辐证[00557]，未投运营。）”。其中中子源装置项目主要污染因子为中子、 $\gamma$ 射线、感生放射性废气、氡气、活化冷却水、放射性固废（废靶及零部件、废弃分子筛）、臭氧和氮氧化物，重庆创新医用同位素项目主要污染因子为射线装置产生的中子、 $\gamma$ 射线、放射性废气（感生放射性废气）、放射性废液（活化冷却水）、放射性固废（活化部件、靶片）、臭氧和氮氧化物，非密封放射性物质产生的 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 射线、 $\gamma$ 射线、表面污染、含  $^{225}\text{Ac}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{82}\text{Sr}$ 、 $^{68}\text{Ge}$  的放射性三废。配套甲级非密封放射性物质工作场所项目主要污染因子为 $\beta$ 射线、韧致辐射、放射性废气（含氡废气）、放射性废水（含氡的放射性清洗废水）、放射性固废（废弃的分子筛、废弃的氟化铀罐体和事故情况沾污废物）。

本项目主要污染因子为 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 射线、韧致辐射、表面污染、放射性废气（含氡、含镭废气）、放射性废水（含氡的放射性清洗废水、含镭电解液及清洗废水）、放射性固废（废弃的分子筛、废弃的氟化铀罐体、废弃的氧化镭罐体和事故情况沾污废物）。

### 2.3.1 环境现状评价的对象、监测因子

本次辐射环境监测根据本项目的辐射污染来源，选取项目拟建场所及周边环境的 X- $\gamma$ 辐射剂量率、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染为主要监测对象，以及环境介质中的放射性为主要监测对象。

### 2.3.2 辐射现状评价对象（外照射）

中子研究院委托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辐射现场监测（见附件 8）。

#### 2.3.2.1 监测因子

X- $\gamma$ 辐射剂量率、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染

#### 2.3.2.2 监测点位

监测期间，项目地块为空地，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，且在地块边界及周围环境状况不一致的区域布设监测点，共计布设 42 个监测点，监测点位见图 2-1 和图 2-2。

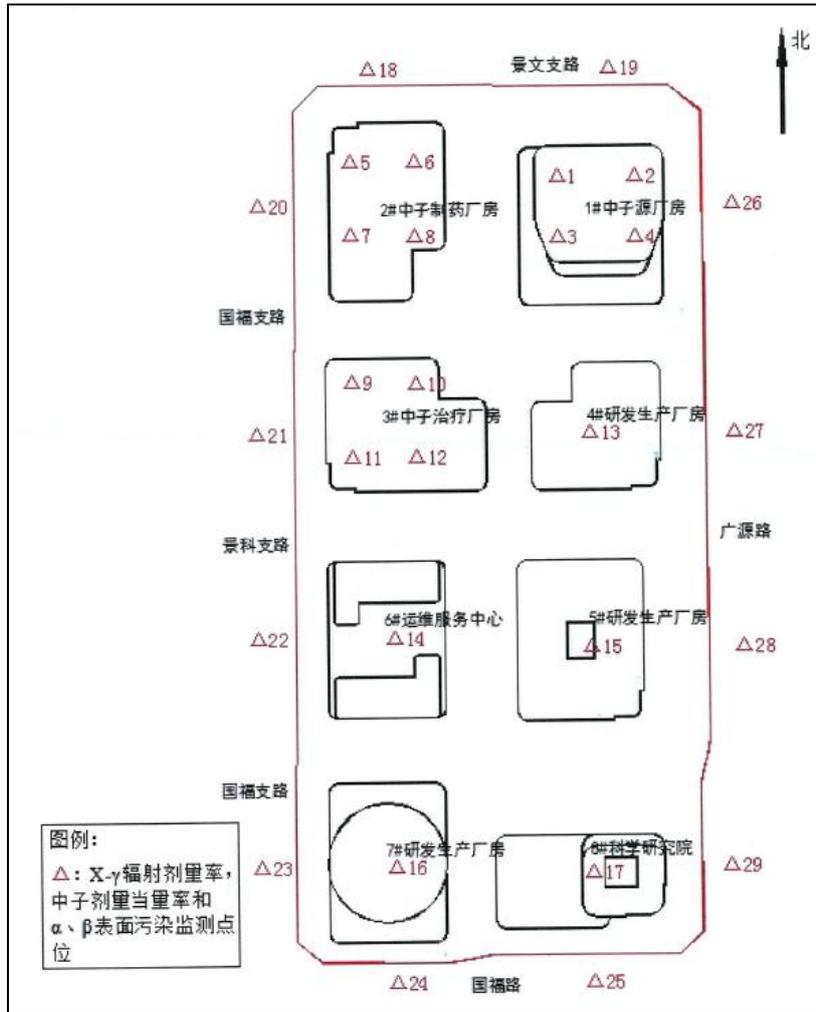


图 2-1 本项目辐射质量现状监测点位图 (1)

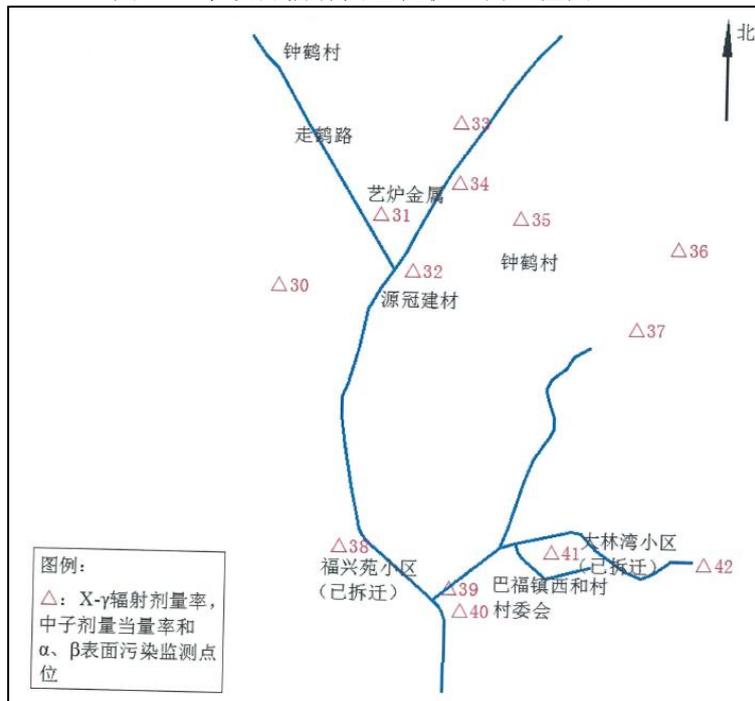


图 2-2 本项目辐射质量现状监测点位图 (2)

### 2.3.2.3 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2月
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：《辐射环境检测技术规范》（HJ61-2021）、《表面污染测定第1部分：β发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）
- (5) 监测工况：监测时，本项目未建
- (6) 监测设备

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
α、β表面 沾污仪	LB 124	10-11359	检定字第 202306002838 号	2024.6.12	/

### 2.3.2.4 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。

### 2.3.2.5 监测结果

各监测点位的 X-γ辐射剂量率监测结果见表 2-2，各监测点位的α、β表面污染监测结果见表 2-3。

表 2-2 本项目拟建场所及周边 X-γ 辐射剂量率现状监测结果

监测点编号	监测点位置	X-γ辐射剂量率监测结果		
		平均值(nSv/h)	标准差	修正值 (nGy/h)
Δ1	1#中子源厂房	97.3	3.9	92.4
Δ2	1#中子源厂房	90.6	3.5	86.0
Δ3	1#中子源厂房	101	7	95.9
Δ4	1#中子源厂房	90.4	0.9	85.9
Δ5	2#中子制药厂房	79.1	3.3	75.1

监测点编号	监测点位置	X-γ辐射剂量率监测结果		
		平均值(nSv/h)	标准差	修正值 (nGy/h)
Δ6	2#中子制药厂房	88.2	2.0	83.8
Δ7	2#中子制药厂房	99.9	5.0	94.9
Δ8	2#中子制药厂房	76.6	6.0	72.8
Δ9	3#中子治疗厂房	106	1	100
Δ10	3#中子治疗厂房	99.1	0.7	94.1
Δ11	3#中子治疗厂房	107	5	102
Δ12	3#中子治疗厂房	105	3	99.8
Δ13	4#研发生产厂房	108	4	103
Δ14	6#运维服务中心	119	3	113
Δ15	5#研发生产厂房	99.2	4.0	94.2
Δ16	7#研发生产厂房	106	4	101
Δ17	8#科学研究院	81.4	0.9	77.3
Δ18	红线北侧外围	93.4	2.6	88.7
Δ19	红线北侧外围	86.4	1.3	82.0
Δ20	红线西北侧外围	97.8	2.9	92.9
Δ21	红线西侧外围	92.4	2.7	87.8
Δ22	红线西侧外围	97.6	6.0	92.7
Δ23	红线西南侧外围	93.2	1.9	88.6
Δ24	红线南侧外围	88.4	5.4	84.0
Δ25	红线南侧外围	96.2	0.8	91.4
Δ26	红线东北侧外围	107	2	102
Δ27	红线东侧外围	89.9	1.8	85.4
Δ28	红线东侧外围	89.2	4.8	84.7
Δ29	红线东南侧外围	95.8	3.6	91.0
Δ30	居民散户	102	6	96.7
Δ31	艺炉金属厂房门口	73.6	1.6	69.9
Δ32	源冠建材公司门口	77.1	0.5	73.2
Δ33	钟鹤村居民楼	95.9	3.1	91.1
Δ34	钟鹤村居民楼	78.1	1.6	74.2
Δ35	钟鹤村居民楼	91.8	4.1	87.2
Δ36	钟鹤村居民楼	95.5	1.3	90.8
Δ37	钟鹤村居民楼	93.5	0.6	88.8
Δ38	福兴苑小区（已拆迁）	66.7	2.8	63.4
Δ39	巴福镇西河村委会门口	88.6	1.9	84.2
Δ40	敬老院门口	81.8	0.9	77.7
Δ41	大林湾小区（已拆迁）	80.6	0.5	76.6
Δ42	居民散户	85.3	1.8	81.1

注：修正值=测量值×校准因子÷1.2Sv/Gy。

表 2-3 本项目拟建场所及周边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 <sup>2</sup> )
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

序号	测量位置	项目	表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
		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
		β	<0.1
Δ7	2#中子制药厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ8	2#中子制药厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ9	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ10	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ11	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ12	3#中子治疗厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ13	4#研发生产厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ14	6#运维服务中心	α	<0.05
		β	<0.1
Δ15	5#研发生产厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ16	7#研发生产厂房	α	<0.05
		β	<0.1
Δ17	8#科学研究院	α	<0.05
		β	<0.1
Δ18	红线北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ19	红线北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ20	红线西北侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ21	红线西侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ22	红线西侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ23	红线西南侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ24	红线南侧外围	α	<0.05
		β	<0.1
Δ25	红线南侧外围	α	<0.05
		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

序号	测量位置	项目	表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
		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/cm<sup>2</sup>) = 平均值 (cps) ÷ 表面发射率响应 ÷ 探测窗面积 (cm<sup>2</sup>) ÷ 平面源效率 (S<sup>-1</sup>·Bq<sup>-1</sup>) ;  
2. “<” 后数值为仪器探测限。

### 2.3.2.6 环境现状调查结果的评价

根据上表，本项目拟建场址及周围环境 X-γ辐射剂量率为 63.4nGy/h~113.0nGy/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）》，2023年重庆市各点位年均值范围为 67.6~119.1nGy/h，重庆市 2023年环境地表γ空气吸收剂量率平均值为 87.0nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），可见项目拟建场所及周围场所的环境 X-γ辐射剂量率处于当地天然辐射正常涨落范围内，辐射环境质量现状无异常。

本项目拟建辐射工作场所及周围场所α、β表面污染均未检出，未见异常。

### 2.3.3 辐射现状评价对象（环境介质的放射性）

中子研究院委托重庆市辐射环境监督管理站于 2024 年 2~3 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（见附件 8，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）科技有限公司紧邻，为同一地下水系，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 $\alpha$ 、水中总 $\beta$ 放射性活度浓度进行了监测。

### 2.3.3.1 监测因子

表 2-4 监测对象和项目

序号	监测对象	监测项目	备注
1	气溶胶	$^3\text{H}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度	委托监测
2	地表水	$^3\text{H}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度	委托监测
3	底泥	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度	委托监测
4	土壤	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度	委托监测
5	地下水	$^3\text{H}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度	数据引用

### 2.3.3.2 监测点位



图 2-3 拟建场址及周边环境介质（土壤、底泥、气溶胶、地表水）样品取样点位示意图

### 2.3.3.3 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2~3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 $\alpha$ 放射性的测定厚源法》（HJ898-2017）、《水质总 $\beta$ 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 $\gamma$ 放射性核素的测定 滤膜压片/ $\gamma$ 能谱》（HJ1149-2020）、《环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》（GB/T16145-2022）。

(5) 监测工况：监测时，本项目未建成

(6) 监测设备

表 2-5 仪器设备

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号
气流式低本底 $\alpha/\beta$ 计数器	LB4200	13000126	DLhd2023-02019
液闪谱仪	SIM-MAXLSA3000	050CB800056	DLhd2023-02394
高纯锗 $\gamma$ 谱仪	GEM-C7080-LB-C-HJ	58-P43199A	DLhd2023-02017
高纯锗 $\gamma$ 谱仪	GEM-C65-LB-C	61-P43537B	DLhd2023-02393
高纯锗 $\gamma$ 谱仪	GEM-SP9430-LB-C	62-P52139A	DLhd2023-03263
高纯锗 $\gamma$ 谱仪	BE5030P	13435	DLhd2023-02015

### 2.3.3.4 监测结果

#### 2.3.3.4.1 土壤

土壤样品分析测量结果见表 2-6。土壤总 $\alpha$ 分析结果在 0.549~0.869Bq/g（549~869Bq/kg）范围内，总 $\beta$ 分析结果在 0.831~0.982Bq/g（831~982Bq/kg）范围内，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 $\alpha$ 活度浓度为 600Bq/kg，总 $\beta$ 活度浓度为 1020Bq/kg。因此，本项目拟建场址土壤中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度在重庆市土壤放射性本底波动范围内。

表 2-6 土壤样品分析结果

序号	样品编号	样品点位	检测项目	结果
1	202402WGT003	中子科学基地 1#厂房拟建位置	总 $\alpha$	0.552Bq/g
			总 $\beta$	0.831Bq/g
2	202402WGT004	中子科学基地 2#厂房拟建位置	总 $\alpha$	0.667Bq/g
			总 $\beta$	0.933Bq/g
3	202402WGT006	钟鹤村居民楼	总 $\alpha$	0.869Bq/g
			总 $\beta$	0.982Bq/g

4	202402WGT008	福兴苑小区 (已拆迁)	总 $\alpha$	0.549Bq/g
			总 $\beta$	0.846Bq/g

### 2.3.3.4.2 底泥

拟建场址底泥样品分析测量结果见表 2-7。监测结果表明，底泥总 $\alpha$ 分析结果为 0.729Bq/g，总 $\beta$ 分析结果为 0.900Bq/g。

表 2-7 底泥样品分析结果

序号	样品编号	样品点位	检测项目	结果
1	202402WGQ010	项目北侧地表水底泥	总 $\alpha$	0.729Bq/g
			总 $\beta$	0.900Bq/g

### 2.3.3.4.3 地表水

拟建场址地表水样品中放射性分析测量结果见表 2-8。监测结果表明，水样  $^3\text{H}$  分析结果为  $<0.791\text{Bq/L}$ ，水样总 $\alpha$ 分析结果为  $0.033\text{Bq/L}$ ，总 $\beta$ 分析结果在  $0.523\text{Bq/L}$ 。

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 $\alpha$ 活度浓度在  $0.011\sim 0.040\text{Bq/L}$  范围内，总 $\beta$ 活度浓度在  $0.076\sim 0.145\text{Bq/L}$  范围内。因此，本项目拟建场址周边地表水气中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度在重庆市地表水放射性本底波动范围内。

表 2-8 地表水水样样品分析结果

序号	样品编号	样品点位	检测项目	结果
1	202402WSB009	项目北侧地表水	$^3\text{H}$	$<0.791\text{Bq/L}$
			总 $\alpha$	$0.033\text{Bq/L}$
			总 $\beta$	$0.523\text{Bq/L}$

### 2.3.3.4.4 气溶胶

拟建场址气溶胶样品中放射性分析测量结果见表 2-9。监测结果表明，气溶胶  $^3\text{H}$  在  $<6.76\sim <16.7\text{mBq/m}^3$  范围内，气溶胶总 $\alpha$ 分析结果在  $0.085\sim 0.098\text{Bq/m}^3$  范围内，气溶胶总 $\beta$ 分析结果在  $0.032\sim 0.034\text{Bq/m}^3$  范围内。

根据《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），2022 年重庆市水蒸气中氚活度浓度  $<\text{MDC}$  ( $13.4\text{mBq/m}^3\text{-空气}$ )。因此，本项目拟建场址气溶胶  $^3\text{H}$  活度浓度在重庆市大气放射性本底波动范围内。

表 2-9 气溶胶样品分析结果

序号	样品编号	样品点位	项目	测量结果
1	202402WQR014	中子科学基地 1# 厂房拟建位置	总 $\alpha$	$0.098\text{Bq/m}^3$
			总 $\beta$	$0.034\text{Bq/m}^3$

	202402WQH016		$^3\text{H}$	$< 10.0\text{Bq/m}^3$
2	202402WQR015	中子科学基地2#厂房拟建位置	总 $\alpha$	$0.085\text{Bq/m}^3$
	202402WQH017		总 $\beta$	$0.033\text{Bq/m}^3$
3	202402WQR012	钟鹤村居民楼	$^3\text{H}$	$< 16.7\text{Bq/m}^3$
	202402WQH013		总 $\alpha$	$0.098\text{Bq/m}^3$
4		福兴苑小区 (已拆迁)	总 $\beta$	$0.034\text{Bq/m}^3$
	202402WQR011		$^3\text{H}$	$< 6.76\text{Bq/m}^3$
	202402WQH018		总 $\alpha$	$0.093\text{Bq/m}^3$
			总 $\beta$	$0.032\text{Bq/m}^3$
			$^3\text{H}$	$< 16.1\text{Bq/m}^3$

### 2.3.3.4.5 地下水

受中国原子能科学研究所的委托，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氚、水中总 $\alpha$ 、水中总 $\beta$ 放射性活度浓度进行了监测。



图 2-3 拟建场址及周边环境介质（地下室）样品取样点位示意图

拟建场址地下水样品中放射性分析测量结果见表 2-10。监测结果表明，水样  $^3\text{H}$  分析结果为  $< 0.856\sim 0.864\text{Bq/L}$ ，水样总 $\alpha$ 分析结果为  $0.0265\sim 0.0719\text{Bq/L}$ ，总 $\beta$ 分析结果在  $0.477\sim 0.525\text{Bq/L}$ 。

根据《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）和《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），2022年重庆市地下水总 $\alpha$ 活度浓度为0.060Bq/L（2023年未提供地下水总 $\alpha$ 活度浓度数据），2023年重庆市地下水总 $\beta$ 活度浓度为0.036Bq/L。因此，本项目拟建场址周边地下水气中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 活度浓度在重庆市地下水放射性本底波动范围内。

表 2-10 地下水水样样品分析结果

序号	样品编号	样品点位	检测项目	结果
1	202310WSX042	高新区巴福场镇	$^3\text{H}$	0.864Bq/L
			总 $\alpha$	0.0719Bq/L
			总 $\beta$	0.477Bq/L
2	202310WSX043	高新区巴福中学	$^3\text{H}$	<0.856Bq/L
			总 $\alpha$	0.0265Bq/L
			总 $\beta$	0.525Bq/L

## 2.4 区域环境质量现状

### 2.4.1 环境空气质量现状

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。SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、O<sub>3</sub>年均浓度值及污染指数统计结果见表 2-11。

表 2-11 2023 年九龙坡区环境空气质量状况

污染物	年评价指标	现状浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	标准值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大浓度 占标率	达标情况
SO <sub>2</sub>	年日均值	8	60	13.3%	达标
NO <sub>2</sub>		42	40	105%	不达标
PM <sub>10</sub>		60	70	85.7%	达标
PM <sub>2.5</sub>		36	35	102.9%	不达标
CO	24h 平均值	1500	4000	37.5%	达标
O <sub>3</sub>	日最大 8h 平均值	152	160	95%	达标

根据以上数据分析，项目所在区域 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、CO、O<sub>3</sub> 满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准，NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> 不满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），本项目所在区域为环境空气质量不达标区，超标因子为 NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub>。

### 2.4.2 地表水环境质量现状

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

区工业污水处理厂，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 2025 年 3 月，除 2023 年 7 月和 2024 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

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 2-12 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

根据国电投公司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 选址适宜性评价

项目所在区域地壳结构简单未见明显的差异活动，地壳相对稳定；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，项目选址位于规划工业园内，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，项目选址不涉及饮用水水源保护区等保护目标，区域周

边社会环境相对简单，且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，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，本项目选址适宜开展所涉及的核技术利用活动。

## 第三章 建设项目工程分析

### 3.1 项目规模与基本参数

#### 3.1.1 项目概况

中子科学（重庆）研究院有限公司拟租用重庆高新区西彭组团Q7-3/05地块中子科学基地1#中子源厂房-1F-4F、6F作为科研实验用房，利用4F、6F和-1F部分用房开展高性能微型核电池自主研发建设项目。

本项目4F主要建设微源实验室，以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房（配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用）；6F建设铯工艺实验室及器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房；-1F建设放射性废液暂存室2以及放射性废液暂存室1（与二期配套甲级非密场所项目共用）、放射性固体废物暂存室2以及放射性固体废物暂存室1（与二期配套甲级非密场所项目共用）、固废暂存间（与二期配套甲级非密场所项目共用）。

4F微源实验室内进行DT中子管充氙氙混合气实验，每年进行50次实验，每次使用10Ci氙；6F铯工艺实验室利用氧化铯粉末进行铯源片制备，铯源片年制备量1200个，通过6F组装生产线将铯源片封装成铯源核素电池，铯源核素电池年制备量10个；同时利用6F组装实验室将氙源片封装成氙源核素电池，氙源核素电池年制备量10个。综上本项目辐射工作场所放射性核素日等效最大操作量为 $3.73 \times 10^{14} \text{Bq}$ 和 $3.28 \times 10^{17}$ ，项目为甲级非密封放射性物质工作场所。经与中子研究院核实，4F微源实验室内进行DT中子管充氙氙混合气实验与二期配套甲级非密场所项目不同时开展。

表 3-1 项目基本组成表

类别	项目	建设内容	备注
4F DT 中子管充氙氙混合气实验			
主体工程	微源实验室	微源实验室位于 4F，建筑面积 96.6m <sup>2</sup> ，内设 DT 中子管充氙氙混合气装置，用于 DT 中子管充氙氙混合气实验	新建
辅助工程	检测室	检测室位于 4F，建筑面积 50.9m <sup>2</sup> ，用于中子研究院自行开展工作场所空气氙活度检测实验	依托配套甲级非密封放射性物质工
	应急洗消间	应急洗消间位于 4F，建筑面积 15.6m <sup>2</sup> ，用于工作人员出入工作场所时表面污染监测和应急情况下工作人员清洗并设置放射性废液管道	

	更衣室、缓冲间、淋浴间	男女更衣室、缓冲间 2/3/4/5、淋浴间 1/2 位于 4F，建筑面积 54.6m <sup>2</sup> ，用于工作人员进出工作场所时气密服的穿脱	作场所项目
	净化室	净化室位于 4F，建筑面积 41.3m <sup>2</sup> ，内设氡净化系统，用于含氡废气净化（与中子源装置项目共用，中子源装置项目与本项目充氡氡混合气实验不同时进行，不存在两股含氡废气互相稀释排放的情况，氡净化系统能够满足项目运行时放射性废气的处理需求）	
	应急物资室	应急物资室位于 4F，建筑面积 35.3m <sup>2</sup> ，用于摆放应急物资	
	洁具间	洁具间位于 4F，建筑面积 22m <sup>2</sup> ，用于摆放事故情况下使用的洁具并设置放射性废液管道	
	放射性固体废物暂存室	放射性固体废物暂存室位于-1F，建筑面积 38.94m <sup>2</sup> ，存放充氡氡混合气实验产生的固体放射性废物（与中子源装置项目共用，放射性固体废物暂存室满足本项目及中子源装置项目委托处置前的暂存需求）	
	放射性废液暂存室	放射性废液暂存室位于-1F，建筑面积 69.25m <sup>2</sup> ，利用暂存池存放应急洗消产生的放射性废液（与中子源装置项目共用，放射性废液暂存室满足本项目及中子源装置项目委托处置前的暂存需求）	
	固废暂存间	固废暂存间位于-1F，建筑面积 43.56m <sup>2</sup> ，存放废活性炭等一般固废	
储运工程	库房	库房位于 4F，建筑面积 88.8m <sup>2</sup> ，用于储存氟化铀原料、成品氡靶和 DT 中子管，每瓶氟化铀和每个 DT 中子管各配备 1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板屏蔽防护容器，分别存于 2 个保险柜内。库房内配备专用的转运小车，用于转运氟化铀原料和 DT 中子管，以及废弃氟化铀	
	电子台账室	电子台账室位于 4F，建筑面积 9m <sup>2</sup> ，用于氟化铀及 DT 中子管出入库登记	
	一般库房	一般库房位于 4F，建筑面积 77.4m <sup>2</sup> ，用于储存非核原辅材料	
环保工程	废气处理	含氡废气通过单独管道连接至净化室氡净化系统，经氡净化系统处理后单独设置一条排风管线，排风系统风机风量 200m <sup>3</sup> /h，废气经排风机和排风管道引至屋顶，高于屋面 3m 排放（排风口高 53m，与中子源装置项目共用）	依托
		微源实验室单独设置一条排风管线，排风系统风机风量 10000m <sup>3</sup> /h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放	新建
		应急洗消间、检测室、应急物资室、洁具间、库房、电子台账室、预留化学实验室 1/2、预留实验室 1 等各功能房间单独设置一条排风管线，排风系统风机风量 15000m <sup>3</sup> /h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放	依托
	废液处理	放射性废液在放射性废液暂存室暂存池内贮存，不外排，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理（与中子源装置项目共用）	依托
工作人员生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池（日处理规模 290m <sup>3</sup> /d）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级限值后排入市政污水管网		依托	

	固废处理	放射性固废存于放射性固体废物暂存室，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理（与中子源装置项目共用）	依托
		排风系统产生的废活性炭作为一般固废处理，暂存于固废暂存间，定期交物资回收单位综合利用	依托
		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	依托
6F 铯源和氚源电池测试实验			
主体工程	铯工艺实验室	铯工艺实验室位于 6F，建筑面积 28.85m <sup>2</sup> ，利用氧化铯粉末在铯源片电镀装置进行铯源片制备	新建
	电池封装区	电池封装区位于 6F，建筑面积 115.02m <sup>2</sup> ，通过组装产线将铯源片/氚源片封装成铯源核素电池/氚源核素电池	新建
辅助工程	器具清洗室	器具清洗室位于 6F，建筑面积 14.54m <sup>2</sup> ，用于摆放事故情况下使用的洁具并设置放射性废液管道	新建
	洗消间	洗消间位于 6F，建筑面积 14.04m <sup>2</sup> ，用于应急情况下工作人员清洗并设置放射性废液管道	新建
	更衣室、缓冲间、淋浴间、辐射检测室	男女更衣室、缓冲间、淋浴间、辐射检测室位于 6F，建筑面积 52.41m <sup>2</sup> ，用于工作人员出入工作场所时表面污染监测、工作人员进出工作场所时气密服的穿脱和应急情况下工作人员清洗并设置放射性废液管道	新建
	预留区域	为远期实验室扩建预留的区域	新建
储运工程	台账记录间	台账记录间位于 6F，建筑面积 12.08m <sup>2</sup> ，用于氧化铯原料、氚源片及成品电池出入库登记	新建
	电池储存区	电池储存区位于 6F，建筑面积 33.41m <sup>2</sup> ，用于储存氧化铯原料、氚源片及成品电池，每瓶氧化铯配备 3mmPb 铅罐，氚源片配备 1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板屏蔽防护容器，分别存于 2 个保险柜内。库房内配备专用的转运小车，用于转运氧化铯原料、氚源片和成品电池，以及废弃氧化铯	新建
环保工程	废气处理	铯工艺实验室铯源片电镀装置单独设置一条排风管线，排风系统风机风量 10000m <sup>3</sup> /h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放；电池封装区手套箱均单独设置排风管线，风系统风机风量 10000m <sup>3</sup> /h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放	新建
		铯工艺实验室、器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等各功能房间单独设置一条排风管线，排风系统风机风量 15000m <sup>3</sup> /h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放	新建
	废液处理	放射性废液在-1F 放射性废液暂存室 2 暂存池内贮存，不外排，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理	新建
		工作人员生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池（日处理规模 290m <sup>3</sup> /d）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级限值后排入市政污水管网	依托
固废处理	放射性固废存于-1F 放射性固体废物暂存室，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理（与中子源装置项目共用）	依托	

		排风系统产生的废活性炭作为一般固废处理，暂存于固废暂存间，定期交物资回收单位综合利用	依托
		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	依托
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；生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池（日处理规模 290m <sup>3</sup> /d）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级限值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

### 3.1.2 基本参数

本项目利用氟化铀作为氚源，氟化铀在加热高温下分解释放出氚气，其中<sup>238</sup>U为储氢材料，不参与充氚混合气实验过程。单瓶氟化铀内初始<sup>3</sup>H含量为 $3.7 \times 10^{13}$ Bq（1000Ci），<sup>238</sup>U含量为 $2 \times 10^9$ Bq（54mCi）。拟利用氧化镅作为镅源制备镅源片，每年使用氧化镅含量为 $1.42 \times 10^{13}$ Bq（384Ci），考虑到实验过程损失，氧化镅年备货量为 $1.85 \times 10^{13}$ Bq（500Ci）；每年使用的氚源核素电池使用的氚源片中<sup>3</sup>H含量为 $7.4 \times 10^{12}$ Bq（200Ci）。拟使用放射性物质的情况见下表。本项目使用放射性物质拟由有相关核材料许可证和供应能力的单位供应，并且中子研究院在使用本项目放射性物质前需办理核材料许可证。

表 3-2 本项目涉及的非密封放射性物质特性

核素名称	理化性质	半衰期	毒性分组	衰变模式	最大能量
<sup>3</sup> H	气态	12.35a	低毒	β-	β 18.6keV
<sup>238</sup> U	固体（粉末）	4.5×10 <sup>9</sup> a	低毒	α	γ 0.112MeV
<sup>3</sup> H	固态	12.35a	低毒	β-	β 18.6keV
<sup>241</sup> Am	固体（粉末）	432.2a	极毒	α	α 5.4MeV、 γ59.5keV

备注:本项目利用氟化铀作为氚源，氟化铀在高温下加热分解释放出氚气，<sup>238</sup>U为储氢材料，不参与充氚混合气实验过程；氟化铀罐体内<sup>238</sup>U为固体粉末，粉末沉积于罐体底部，且罐体内部设置滤网，可防止<sup>238</sup>U粉末进入反应容器。且<sup>238</sup>U为α衰变，在衰变过程中会产生α粒子，α粒子穿透能力弱，经罐体的屏蔽就能达到防护要求，因此本次评价不考虑<sup>238</sup>U的外照射和内照射辐射影响

根据中子研究院规划，本项目微源实验室每年进行 50 次充氚混合气实验，每次使用 10Ci 氚；镅工艺实验室内利用氧化镅粉末进行镅源片制备，镅源片年制备量 1200 个，每个镅电池使用 120 个镅源片，1 天最多制备 1 个镅源核素电池，镅源核素电池年制备量 10 个；同时利用 6F 组装实验室将氚源片封装成氚源核素电池，每个氚电池使用 250 个氚源片，1 天最多制备 1 个氚源核素电池，氚源核素电池年制备量 10

个。实验产品方案见表 3-3。

表 3-3 本项目实验产品主要参数一览表

名称	核素名称	理化性质	次数/个数	单次活度	用途
DT 中子管	$^3\text{H}$	固态	50 次	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)	用于 1F 中子源装置项目试验
镅源核素电池	$^{241}\text{Am}$	固态	10 个	$1.42 \times 10^{12} \text{Bq}$ (38.4Ci)	电池使用
氚源核素电池	$^3\text{H}$	固态	10 个	$7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ (20Ci)	电池使用

注：本项目 DT 中子管用于中子源装置项目开展中子技术科研实验以及相关技术验证，且氚原料价格昂贵，因此如在充气氚混合气实验过程中出现失误，制备出不能满足活度需求的次品 DT 中子管，中子研究院也不作为废靶考虑，仍可用于中子技术科研实验以及相关技术验证，因此本项目不产生废 DT 中子管

根据中子研究院规划，本项目需要使用 1 瓶氚化铀（1000Ci）和 1 个铅密封罐（含 500Ci 氧化镅）。

本项目氚化铀使用“二期配套甲级非密场所项目”储备的 5 瓶氚化铀。5 瓶氚化铀分别放于屏蔽容器内，经专人在电子台账室核对、交接登记台账信息后，存于库房保险柜中。每次进行 DT 中子管充气氚混合气实验时，从库房保险柜中取出 1 瓶氚化铀，并在电子台账室登记后，运至微源实验室作为氚源进行 DT 中子管充气氚混合气实验，使用完成后运回库房。

因  $^{241}\text{Am}$  核素半衰期长，结合中子研究院需求，本项目保守按一年供一次氧化镅，一次供应 1 罐氧化镅考虑。1 罐氧化镅放于屏蔽容器内，经专人在电子台账室核对、交接登记台账信息后，存于电池储存区保险柜中。每次进行镅源片制备时，从电池储存区保险柜中取出 1 罐氧化镅，并在台账记录间登记后，运至镅工艺实验室作为镅源进行镅源片制备，使用完成后运回电池储存区。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于非密封放射性物质工作场所分级的相关规定（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），本项目日最大等效操作量计算见下表。

表 3-4 非密封放射性工作场所放射性同位素日等效最大操作量计算表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	操作方式修正因子	毒性组别修正因子	日等效最大操作量 (Bq)		用途	操作场所
$^3\text{H}$	$3.7 \times 10^{13}$	$2.96 \times 10^{14}$	0.001 特别危险的操作	0.01 低毒	$3.7 \times 10^{14}$	$3.73 \times 10^{14}$	充气氚混合气实验	4F 微源实验室
$^3\text{H}$	$2.59 \times 10^{14}$		1 源的贮存	0.01 低毒	$2.59 \times 10^{12}$		贮存	

$^{238}\text{U}$	$2 \times 10^9$	$1.6 \times 10^{10}$	0.001 特别危险 的操作	0.01 低毒	$2 \times 10^{10}$		充气 氦混 合气 实验	
$^{238}\text{U}$	$1.4 \times 10^{10}$		1 源的贮存	0.01 低毒	$1.4 \times 10^8$		贮存	
$^{241}\text{Am}$	$1.85 \times 10^{13}$	$1.85 \times 10^{13}$	0.001 特别危险 的操作	10 极毒	$1.85 \times 10^{17}$	$3.28 \times 10^{17}$	制铯 源片 实验	6F 铯 工艺实 验室
$^{241}\text{Am}$	$1.42 \times 10^{12}$	$1.42 \times 10^{13}$	0.001 特别危险 的操作	10 极毒	$1.42 \times 10^{17}$		制铯 源核 素电 池	6F 电 池封 装区

备注：①每次制备时使用 1 瓶氟化铀，可通过控制氟化铀加热温度和反应容器内压力，因此  $^3\text{H}$  和  $^{238}\text{U}$  日最大操作量保守 1 瓶氟化铀中最大量考虑，其余量均按贮存考虑。②每次制备铯源片时使用 1 瓶氧化铯，考虑到实验过程损失，因此  $^{241}\text{Am}$  日最大操作量保守 1 瓶氧化铯中最大量考虑。③氟化铀加热释放氟气，氧化铯加热释放少量氧化铯气体，因此  $^3\text{H}$  进行充气氦混合气实验和  $^{241}\text{Am}$  进行制源片实验的操作方式按“特别危险的操作”的气体进行考虑，操作方式修正因子取 0.001； $^3\text{H}$  不加热时，为氟化铀固体（粉末）， $^{241}\text{Am}$  不加热时，为氧化铯固体（粉末），因此  $^3\text{H}$  和  $^{241}\text{Am}$  贮存的操作方式按“源的贮存”的粉末进行考虑，操作方式修正因子取 1。④ $^{238}\text{U}$  为固体储氢材料，氦释放时需对其进行加热操作，因此充气氦混合气实验时  $^{238}\text{U}$  的操作方式按“特别危险的操作”的粉末进行考虑，操作方式修正因子取 0.001； $^{238}\text{U}$  贮存的操作方式均按“源的贮存”的粉末进行考虑，操作方式修正因子取 1

由上表可知，本项目实施后，4F 工作场所日等效最大操作量为  $3.73 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，6F 工作场所日等效最大操作量为  $3.28 \times 10^{17}\text{Bq}$ ，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，4F 工作场所和 6F 工作场所均属于甲级非密封放射性工作场所。

### 3.1.3 主要原辅材料

本项目主要原辅材料见表 3-5。

表 3-5 主要原辅材料情况

名称	物理状态	规格	年用量	包装方式	储存场所	使用工序
氟化铀	固体	$^3\text{H}$ 含量： $3.7 \times 10^{13}\text{Bq}/\text{瓶}$ (1000Ci/瓶) $^{238}\text{U}$ 含量： $2 \times 10^9\text{Bq}/\text{瓶}$ (54mCi/瓶)	1 瓶	罐体	库房	充气氦混合气实验
氧化铯	固体	$1.42 \times 10^{13}\text{Bq}$ (384Ci)	1 罐	罐体	电池储存区	制铯源片
氩气	气态	40L/瓶	1 瓶	瓶装	一般库房	充气氦混合气实验
氦气	气态	40L/瓶	1 瓶	瓶装	一般库房	设备检漏
分子筛	固体	/	270kg	罐体	净化室	含氟废气净化

备注：铯源片由氧化铯原料制备而成

### 3.1.4 主要工艺设备

本项目主要工艺设备表 3-6。

表 3-6 主要工艺设备情况

序号	名称	数量	安装位置	备注
1	手套箱	1 套	4F 微源实验室	确保核素操作处于全密封状态下
2	充氙氙混合气装置	1 套	4F 微源实验室	用于 DT 中子管充氙氙混合气
3	氙净化系统	1 套	4F 净化室	对项目运行过程中产生的放射性气体进行净化（中子源装置项目与本项目共用）
4	镅源片电镀装置	1 套	6F 镅工艺实验室	利用氧化镅粉末进行镅源片制备
5	回流炉	1 套	6F 电池封装区	源片回流烘干
6	键合机	1 套	6F 电池封装区	用于执行源片半导体键合工艺
7	植球机	1 套	6F 电池封装区	用于执行半导体器件植球工艺
8	封装机	1 套	6F 电池封装区	用于器件整体封装
9	手套箱	3 套	6F 镅工艺实验室、 电池封装区	确保核素操作处于全密封状态下
10	屏蔽罩	1 套	6F 电池封装区	确保核素操作处于全密封状态下

## 3.2 工程设备与工艺分析

### 3.2.1 设备组成











### 3.2.3 工作负荷

本项目拟配备 2 名辐射工作人员负责 DT 中子管充氙氙混合气实验，拟配备 4 名辐射工作人员负责铯源核素电池和氙源核素电池测试实验，均为本项目专职辐射工作人员，不兼岗中子研究院其他辐射工作。

表 3-8 DT 中子管充氙氙混合气实验各涉源环节工序人员配置及操作时间

工作步骤	涉源环节	单次最长操作时间	日操作次数	年工作天数	年工作时间	工作人员数量(人)
<b>DT 中子管充氙氙混合气实验</b>						
氙源转运、原料准备	2) : ①	5min	1 次	50 天	250min	2 人
充氙氙混合气过程	2) : ②~③	4h	1 次	50 天	200h	
DT 中子管质检、转运	4) ~5)	5min	1 次	50 天	250min	
废物转运	5)	5min	/	10 天	50min	
氙气净化处理	3)	2h	1 次	50 天	100h	该过程为自动化，工作人员不参与
注：涉源环节序号同“DT 中子管充氙氙混合气实验”。						

表 3-9 铯源和氙源电池测试实验各涉源环节工序人员配置及操作时间

工作步骤	涉源环节	单次最长操作时间	年工作时间	工作人员数量(人)	
铯源片制备	(1) : ①~⑦	10h	1000h	1 人	
封装	器件堆叠	(2) : ③~④	40h	800h	3 人
	回流	(2) : ⑤~⑥	10h	200h	
	入壳	(2) : ⑦	8h	160h	
	键合	(2) : ⑧~⑨	2h	40h	
	封焊	(2) : ⑩	0.2h	4h	
激光打标	(3)	0.2h	4h		
电池转运	(4)	5min	100min		

### 3.2.4 人流和物流路径规划

本项目工作场所分别设置相对独立的人员和物流通道。人流和物流路径规划图见

附图 12 和附图 13，具体路线设置描述如下：

#### **3.2.4.1 DT 中子管充氖氟混合气实验**





### 3.3 污染源项

#### 3.3.1 建设阶段

本项目建设阶段主要为对 1#中子源厂房 4F 和 6F 本项目工作场所建设和工作用房装修（含辐射安全设施安装、设备安装调试等）。

##### （1）扬尘和装修废气

施工过程中会产生扬尘，扬尘主要来自施工过程中建筑材料现场搬运及堆放产生的扬尘、切割打磨装饰材料产生的粉尘、建筑垃圾清理及堆放产生的扬尘，具有分布面广、源强难以确定的特点。另外，装修过程会产生装修废气，主要来自于油漆及涂料。

##### （2）建筑垃圾、生活垃圾

施工期固体废物主要包括建筑垃圾和施工人员产生的生活垃圾。施工过程将会产生大量建筑垃圾，本项目建筑面积约为 500m<sup>2</sup>，建筑垃圾按 1.3t/100m<sup>2</sup> 计，则本项目建筑垃圾产生量约 6.5t。施工人员的生活垃圾按人均 1.0kg/d 的产生量估算，施工人员

以 10 人计，施工时间约 3 个月，则本项目生活垃圾产生量为 0.9t。

### (3) 噪声

施工期噪声主要来自于各类机械、运输车辆的噪声，噪声源强约为 75~90dB。

### (4) 废水

施工期废水排放主要包括施工人员的生活污水。生活污水在此期间按日均施工人员以 10 人计，生活用水量按 50L/人·d 计，则日生活用水量为 500L/d。废水产生量以耗水量的 90%计，施工时间约 3 个月，则生活污水产生量为 40.5m<sup>3</sup>。

### (5) 设备的安装、调试

本项目设备的安装、调试由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，本项目工作场所内不存在放射性物质，因此不存在电离辐射。安装过程会产生少量包装材料及其他固体废物。

施工期间可能产生的污染物主要为施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾以及施工人员生活污水和施工人员生活垃圾；装修施工期间的污染物主要包括废气、废水、噪声及废弃的装修材料等；设备安装期间的主要污染物为包装材料及其他固体废物等。

## 3.3.2 运营期

### (1) 核素的辐射特性简介

<sup>3</sup>H 核素的半衰期为 12.35a，纯β衰变，最大β粒子能量为 18.6keV，低毒。

<sup>241</sup>Am 核素的半衰期为 432.2a，α衰变，最大γ能量为 59.5keV，剧毒。

### (2) 辐射源项分析

本节重点对项目污染因子识别和污染源项进行分析。

#### 1) 电离辐射

##### ①α射线

本项目 <sup>241</sup>Am 核素衰变过程中会产生α射线，α射线在空气中、人体组织中的射程均很短，穿不透皮肤表层。

因此，本评价简单评价α射线外照射影响。

##### ②β射线

本项目 <sup>3</sup>H 核素衰变过程中会产生β射线，β射线在人体组织中的射程较短，人的身体完全能够阻挡β射线，同时人体皮肤也能有效阻挡β射线进入人体。

因此，本次简单评价β射线的影响。

### ③ $\gamma$ 射线

本项目  $^{241}\text{Am}$  核素衰变过程中会产生 $\gamma$ 射线， $\gamma$ 射线在人体组织中的射程较长，人体皮肤不能有效阻挡 $\gamma$ 射线进入人体。因此，本项目评价时将考虑 $\gamma$ 射线的影响。

### ④韧致辐射

本项目拟使用的核素  $^3\text{H}$  衰变方式为 $\beta^-$ ，在衰变过程中释放 $\beta$ 射线， $\beta$ 射线穿透力很弱，在屏蔽物质内辐射距离较短，不会对环境产生明显影响，但 $\beta$ 射线被阻止时会产生韧致辐射，韧致辐射不可以忽略。

## 2) $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染

反应容器和手套箱均为密封装置，正常情况下中子管充气过程中极少量氦气泄漏，会引起墙壁、地面、工作服等产生放射性沾污，造成 $\beta$ 放射性表面污染；镅源电池测试实验过程中极少量镅源泄漏撒泼造成 $\alpha$ 放射性表面污染。

## 3) 放射性三废

本项目放射性物质操作过程中产生放射性三废的相关源项见本章 3.4 节。

### (3) 非放射性污染分析

#### ①废水

本项目非放射性废水主要为辐射工作人员生活污水，工作人员生活污水根据《重庆市城市生活用水定额（2017年修订版）》，常驻工作人员日常生活用水按 100L/（人·d）计，则生活污水产生量约 0.6m<sup>3</sup>/d、150t/a。辐射工作人员产生的生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网。

#### ②固体废物

本项目非放射性固体废物主要为辐射工作人员产生的生活垃圾以及排风系统废活性炭（经下文分析，①和②排风系统活性炭所吸附的  $^3\text{H}$  含量远小于  $^3\text{H}$  的豁免活度  $1\times 10^9\text{Bq}$ ，因此①和②排风系统废活性炭不作为放射性固废考虑）。

生活垃圾产生量按 0.5kg/（人·d）计，则生活垃圾产生量约 3kg/d、0.75t/a。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。

本项目①和②废气排风管线采用高效活性炭过滤装置。活性炭 3~6 个月更换一次，本项目共有 2 套高效活性炭过滤装置，每次装填的活性炭滤网共重约 10kg，则废活性炭产生约 40kg/a（按每 3 个月更换一次）。本项目活性炭不吸附重金属等有毒有害物

质，因此不作为危险废物考虑，废气处理系统产生的废活性炭属于一般固废。

### ③噪声

本项目设置 2 条排风管道，配备 2 台排风机，安装于 1#中子源厂房屋面，风机工作时将产生一定的噪声，中子研究院拟采用低噪声设备，噪声值约 65dB(A)~70dB(A)。

## 3.4 放射性三废

### 3.4.1 放射性废液

#### (1) DT 中子管充氘氚混合气实验

根据 DT 中子管充氘氚混合气实验的工艺流程分析可知，本项目正常运行过程中不产生放射性废液。本章节仅考虑在事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，对工作场所和工作人员身体去污产生的放射性清洗废水的源强。

中子研究院根据类似项目运行经验提供相关资料，事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，工作场所清洗废水产生量为 50L/次（主要考虑微源实验室清洁去污），身体清洗废水产生量为 50L/次。事故情况下本项目放射性清洗废水产生量为 100L/次。根据中子研究院的设计规划，即使在事故情况下产生放射性废液，可通过放射性废液管线收集至放射性废液暂存室暂存池（2 用 1 备）内存储。定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

放射性废液处理前由有放射性固体废物处置和贮存资质单位在放射性废液暂存室内进行固化。固化流程为先通过放射性废液管道将废液引出暂存池，储存在专用容器中，使用水泥固化（一定比例废液混合水泥）的方式进行固化，固化后作为放射性固体废物进行运输和处理。

#### (2) 镅源和氚源电池测试实验

根据镅源和氚源电池测试实验的工艺流程分析可知，本项目在镅源片制备过程中会产生废电镀液为放射性废液。根据中子研究院提供相关资料，一组设备一次用电镀液 50ml，一天做 4 次，则一天产生 200ml，每年则产生 2L 废电镀液。其它工艺流程仅考虑在事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，对工作场所和工作人员身体去污产生的放射性清洗废水的源强。

中子研究院根据类似项目运行经验提供相关资料，事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，工作场所清洗废水产生量为 50L/次（主要考虑镅工艺实验室清洁去污），身体清洗废水产生量为 50L/次。事故情况下本项目放射性清洗废水产生量为

100L/次。根据中子研究院的设计规划，电镀液和事故情况下产生放射性废液，可通过放射性废液管线收集至放射性废液暂存室暂存池（2用1备）内存储。定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

放射性废液处理前由有放射性固体废物处置和贮存资质单位在放射性废液暂存室内进行固化。固化流程为先通过放射性废液管道将废液引出暂存池，储存在专用容器中，使用水泥固化（一定比例废液混合水泥）的方式进行固化，固化后作为放射性固体废物进行运输和处理。

### 3.4.2 放射性固体废物

#### （1）DT 中子管充氘氚混合气实验

由工艺流程分析可知，本项目 DT 中子管充氘氚混合气实验产生的放射性固体废物主要为氚净化系统中废弃的分子筛和废弃的氚化铀罐体，另外考虑事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氚表面活度测量仪使用后含氚试纸。根据中子研究院提供资料，氚净化系统中分子筛约 7-8 年更换一次，单个分子筛重量 270kg；每 2 年产生 1 瓶废弃的氚化铀罐体，单瓶重量 0.5kg，年产生量为 0.25kg/年。事故情况下本项目放射性固体废物产生量为 2kg/次。

废弃的氚化铀罐体装入屏蔽容器中，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。氚净化系统中废弃的分子筛由氚净化系统生产厂家（中国工程物理研究院）更换和回收。事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氚表面活度测量仪使用后含氚试纸收集至应急洗消间废物桶内，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

本项目 DT 中子管用于中子源装置项目 DT 中子发生器开展中子技术科研实验以及相关技术验证，且氚原料价格昂贵，因此如在 DT 中子管充氘氚混合气过程中出现失误，制备出不能满足活度需求的次品 DT 中子管，中子研究院也不作为废 DT 中子管考虑，仍可用于中子技术科研实验以及相关技术验证，因此本项目不产生废 DT 中子管。

#### （2）镅源和氚源电池测试实验

由工艺流程分析可知，本项目镅源和氚源电池测试实验产生的放射性固体废物主要为废弃的镅源罐体以及事故状态时去污产生的抹布、吸水纸、手套、工作人员沾污的防护服、口罩等。根据中子研究院提供资料，每年产生 1 瓶废弃的镅源罐体，单瓶重量 0.5kg，年产生量为 0.5kg/年。事故情况下本项目放射性固体废物产生量为 2kg/次。

废弃的镅源罐体装入屏蔽容器中，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。事故状态时去污产生的抹布、吸水纸、手套、工作人员沾污的防护服、口罩等收集至洗消间废物桶内，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

### 3.4.3 放射性废气

本项目 DT 中子管充氙氡混合气过程中产生的放射性废气主要为反应容器内剩余的少量含氙气体以及 DT 中子管充氙氡混合气过程中氙气通过反应容器壁渗透至手套箱的部分。

DT 中子管充氙氡混合气实验结束后先用氟化铀将反应容器中残余的氙气吸附回收，根据《氙工艺》P36 描述：反应容器中大量的氙可以被铀吸附回收，回收后反应容器中仅有 0.13Pa 的残存气体。反应容器体积约为 11L，假设每次实验后滞留的 0.13Pa 的残存气体均为氙气，实验结束后恢复常温 25℃（298K），利用气体方程  $PV=nRT$  计算（R 为摩尔气体常数 8.314J/(mol·K)），得 n 为  $5.8 \times 10^{-7}$  mol。氙的摩尔质量为 3g/mol，氙的活度约为 9600Ci/g，并保守按照 2 倍考虑，得每次实验结束反应容器滞留氙量约为  $3.34 \times 10^{-2}$  Ci，每年 50 次实验，共计约 1.67Ci（ $6.18 \times 10^{10}$ Bq）。

反应容器采用对氙及其同位素具有低渗透率的 316L 不锈钢。根据《氙工艺》P10~P11 公式 1-10 可知，渗透的氙气体积  $V = \frac{S \cdot t \cdot \varphi \cdot (P1^{0.5} - P2^{0.5})}{d}$ 。其中 S 为反应容器表面积 4240cm<sup>2</sup>，t 按照每次充氙氡混合气实验 4h 计算，P1 为手套箱内压力（在一个大气压以下即 0.1MPa），P2 为反应容器内压力（实验状态下保持 0.02MPa），d 为反应容器厚度 0.6cm， $\varphi$  为氙在钢中渗透系数  $1 \times 10^{-16}$  cm<sup>3</sup>·cm/(cm<sup>2</sup>·s·Pa<sup>0.5</sup>)。经计算渗透的氙气体积为  $3.11 \times 10^{-6}$  cm<sup>3</sup>，气体摩尔体积 22.4L/mol，氙的摩尔质量为 3g/mol，氙的活度约为 9600Ci/g，并保守按照 2 倍考虑，得每次实验结束反应容器渗透氙量约为  $8 \times 10^{-6}$  Ci，每年 50 次实验，共计约  $4.0 \times 10^{-4}$  Ci（ $1.48 \times 10^5$ Bq）。

反应容器中每次实验产生约 11L 废气，手套箱每次实验产生 340L 废气，每年进行 50 次实验共产生约 17.55m<sup>3</sup> 废气。

综合上述，每年开展 50 次充氙氡混合气实验，共产生的含氙废气量约 17.55m<sup>3</sup>，总活度约为  $6.18 \times 10^{10}$ Bq。手套箱内和反应容器内的放射性废气经管道接入净化室内氙净化系统，净化吸附后排放。

镅源片制备环节含有 <sup>241</sup>Am 的溶液加热反应过程中会产生一定量的 <sup>241</sup>Am 气溶胶。

由于金属核素不易挥发，参考放药行业生产经验， $^{241}\text{Am}$  气溶胶释放量保守按操作量的 0.01% 计。镅源片制备环节一天  $^{241}\text{Am}$  的最大操作量为 38.4Ci ( $1.42 \times 10^{12}\text{Bq}$ )，则镅源片制备环节含  $^{241}\text{Am}$  废气产生量均为  $1.42 \times 10^8\text{Bq/d}$ 。

### 3.5 项目产排污统计

项目产生的污染因子源强分析总体情况见表 3-11 所示。

表 3-11 本项目污染物情况统计表

污染物	污染因子	产生量	处理方式
$^3\text{H}$	$\beta$ 射线、韧致辐射	最大 $\beta$ 粒子能量为 18.6keV $^3\text{H}$ ( $3.7 \times 10^{13}\text{Bq}$ ) 的 $\beta$ 射线在钢(铁)为吸收介质时，韧致辐射为 $3.80 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$	屏蔽防护
$^{241}\text{Am}$	$\alpha$ 粒子、 $\gamma$ 射线	最大 $\alpha$ 粒子能量为 5.4MeV，最大 $\gamma$ 粒子能量为 59.5keV	屏蔽防护
放射性废液	事故情况下含氟、镅废水	100L/次	本项目放射性废液经暂存池收集后，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理
	电镀液	2L/年	
放射性废气	含氟废气	$6.18 \times 10^{10}\text{Bq/a}$ (产生量) $2 \times 10^8\text{Bq/a}$ (排放量)	经氟净化系统净化处理后，由排风井(位于预留化学实验室 2 西北角处)经排风机和排风管道引至屋顶，高于屋面 3m 排放(高 53m)
	含镅废气	/	经镅废气处理装置处理后，由排风井经排风机和排风管道引至屋顶，高于屋面 3m 排放(高 53m)
放射性固体废物	废弃的氟化铀	每年产生 0.5 瓶，0.25kg/年	存于-1F 放射性放射性固体废物暂存室，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理
	废弃的氧化镅	每年产生 1 瓶，0.5kg/年	存于-1F 放射性放射性固体废物暂存室，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理
	废弃的分子筛	约 7-8 年更换一次，单个分子筛重量 270kg	净化室氟净化系统中废弃的分子筛需要更换时，提前联系生产厂家(中国工程物理研究院)，直接由氟净化系统生产厂家更换和回收。
	事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氟表面活度测	2kg/次	存于-1F 放射性放射性固体废物暂存室，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理

	量仪使用后含氟试纸		
	事故状态时去污产生的抹布、吸水纸、手套、工作人员沾污的防护服、口罩等	2kg/次	
非放射性污染物	生活垃圾	0.75t/a	交环卫部门处置
	废活性炭	0.04t/a	暂存于固废暂存间，定期交物资回收单位综合利用。
	生活废水	150t/a	经化粪池预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网

## 第四章 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

中子科学（重庆）研究院有限公司拟利用重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 1#中子源厂房-1F-4F、6F 作为科研实验用房开展中子科学研究院（重庆）科研平台建设三期项目。1#中子源厂房为地上七层，地下一层建筑，高 50m，5F、7F 属于中子科学（重庆）研究院有限公司预留厂房（为远期预留科研用房及其配套用房，不作为长居留办公场所）。中子科学基地平面图见附图 3，1#中子源厂房剖面图见附图 4。

-1F 为中子源装置项目、配套甲级非密封放射性物质工作场所项目与本项目共用的放射性废液和放射性固体废物暂存区域。-1F~3F 为中子源装置项目中子屏蔽室及配套辅助用房。本项目拟在 4F 建设 1 处甲级非密封放射性物质工作场所，开展 DT 中子管充气/氙实验，主要建设微源实验室，以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房（配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用）；拟在 6F 建设 1 处甲级非密封放射性物质工作场所，开展镅源和氙源电池测试实验，主要建设镅工艺实验室、备品备件区、电池封装区、电池储存区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房；-1F 建设放射性废液暂存室 2 以及放射性废液暂存室 1（与二期配套甲级非密场所项目共用）、放射性固体废物暂存室 2 以及放射性固体废物暂存室 1（与二期配套甲级非密场所项目共用）、固废暂存间（与二期配套甲级非密场所项目共用）。-1F~4F、6F 平面图见附图 5~附图 9。

本项目拟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。1#中子源厂房北侧为核材料进出口，场所北侧为涉核物料运输路线，使核材料转运路线相对较短，且设置专门的涉核货梯，用于涉核原辅料和放射性固体废物的运输，4F、6F 设置涉核原辅料及产品专用库房，-1F 设放射性废液间和放射性固体废物暂存室。人员路线拟设于场所的中部，拟设置人员电梯，并在入口处设置应急洗消间和更衣室、缓冲间、淋浴间等卫生通过设施，拟设置多个人脸识别装置（门禁系统）。南侧布设非核物料运输路线，设置专门的物料货梯。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防火门（见附图 10），人员无法

通过出入口进入工作场所。

4F 和 6F 为甲级非密封放射性物质工作场所，涉及放射性同位素操作的功能用房布局相对集中，人流、物料通道独立，路线清晰，且涉核原辅料和放射性废物路径相对较短。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空排放。涉核物料进出口、人员进出口等多处设置人脸识别、监控装置，便于工艺的开展，也能避免工作人员和公众受到不必要的照射。拟建项目位于工业园区内，拟将项目非密封源场所所在 1#中子源厂房设于厂区东北侧，即位于厂区下风向，而办公区拟设于厂区南侧，以减少项目对公众的影响。

项目上述设置布局利于辐射防护安全控制。从辐射防护与环境保护角度，项目的布局总体合理可行。

#### 4.1.2 工作场所分区

##### (1) 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。

本项目为甲级非密封放射性物质工作场所，参考《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-89）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对分区的具体示例，同时考虑辐射防护要求并结合中子源装置项目两区划分，将辐射工作场所划分为白区（一区）、绿区（二区）、橙区（三区）及红区（四区），本项目辐射防护分区原则及控制措施见表 4-1。

表 4-1 辐射工作场所分区原则及控制措施一览表

区域名称	控制措施
监督区	a) 采用适当的手段划出监督区的边界； b) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
控制区	a) 采用实体边界划定控制区； b) 在源的运行或开启只是间歇性的或仅是把源从一处移至另一处的情况下，采用与主导情况相适应的方法划定控制区，并对照射时间加以规定； c) 在控制区的进出口及其他适当位置处设电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

区域名称	控制措施
	d) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序； e) 运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。

## (2) 本项目分区管理情况

上述分区原则，结合本项目情况，进行辐射工作场所防护区域划分，结果见下表4-2，分区管理情况示意图见附图12和附图13。

表 4-2 辐射工作场所分区管理一览表

区域名称	功能用房/区域		
	4F	6F	-1F
监督区	预留实验室1（及缓冲间6）、预留化学实验室1/2、更衣室、缓冲间1/2/3/4/5、淋浴间、涉核货厅、楼梯间、前室1/2、走道、预留实验室2、露台、4F控制区对应楼上预留区域（5F）、4F控制区对应楼下预留机房区域（3F）	预留用房、走道、淋浴间、洗衣间、更衣室、辐射监测1/2、风淋室	更衣室、放射性废液暂存室和放射性固体废物暂存室南侧走道、楼梯间、预留用房、吊装区、缓冲间、-1F控制区对应楼上区域（1F）
控制区	应急洗消间、检测室、应急物资室、洁具间、电子台账室、走道、微源实验室、净化室、库房、氚工艺实验室、靶片吸氚装置内部、净化室氚净化系统内部	消洗间、走道、器具清洗室、台账记录间、技术间1/2、锯工艺实验室、电池封装区、预留用房、尾气处理设备区、电池储存区、锯工艺实验室锯源片电镀装置内部	辐射检测室、放射性废液暂存室和放射性固体废物暂存室入口外走道、放射性废液暂存室、放射性固体废物暂存室、放射性废液暂存室暂存池内部区域

控制区拟设置电离辐射警示标志、人脸识别设备、监控装置等设施，限制无关人员随意进入，以控制正常照射和防止污染扩散，以及防止(或限制)潜在照射；拟在监督区边界处设置监督区标识、门禁，防止无关人员受到不必要的照射，并定期检查辐射水平，进行经常性监督和评价。

参考《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-89）中相关规定结合上述分区情况，中子研究院应对工作场所的墙壁和顶棚落实下述装修要求：

- 1) 地面应采用塑料覆面，特别要注意塑料接缝处焊接的平整，对与设备、套管及墙壁的连接处要做成圆角，并有一定高度。
- 2) 设计上各区按规定的颜色区分开并设区级标志。

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白区，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，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标

准》（GB18871-2002）的相关要求。

### 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场所分为三级。

表 4-3 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

本项目非密封放射性物质加权活度计算结果见下表。

表 4-4 本项目非密封放射性物质加权活度计算结果

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（Bq）	总加权活度（Bq）	场所分类
库房	<sup>3</sup> H	0.01	100	2.96×10 <sup>14</sup>	2.96×10 <sup>10</sup>	2.98×10 <sup>10</sup>	II
	<sup>238</sup> U	1	100	1.6×10 <sup>10</sup>	1.6×10 <sup>8</sup>		
微源实验室	<sup>3</sup> H	0.01	0.1	3.7×10 <sup>14</sup>	3.70×10 <sup>13</sup>	3.72×10 <sup>13</sup>	I
	<sup>238</sup> U	1	0.1	2×10 <sup>10</sup>	2×10 <sup>11</sup>		
镅工艺实验室	<sup>241</sup> Am	10	0.001	1.85×10 <sup>17</sup>	1.85×10 <sup>21</sup>	1.85×10 <sup>21</sup>	I
电池封装区	<sup>241</sup> Am	10	0.001	1.42×10 <sup>17</sup>	1.42×10 <sup>21</sup>	1.42×10 <sup>21</sup>	I
电池储存区	<sup>241</sup> Am	10	100	2.84×10 <sup>12</sup>	2.84×10 <sup>11</sup>	2.84×10 <sup>11</sup>	I
净化室	<sup>3</sup> H	0.01	10	1.85×10 <sup>14</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>	I
放射性固体废物暂存室	<sup>3</sup> H <sup>①</sup>	0.01	10	3.33×10 <sup>12</sup>	3.33×10 <sup>9</sup>	3.38×10 <sup>11</sup>	I
	<sup>238</sup> U <sup>①</sup>	1	10	1.8×10 <sup>10</sup>	1.8×10 <sup>9</sup>		
	<sup>3</sup> H <sup>②</sup>	0.01	10	3.33×10 <sup>14</sup>	3.33×10 <sup>11</sup>		
放射性废液暂存室	/	/	/	/	/	/	I <sup>③</sup>

注：①放射性固体废物暂存室按照一年的氟化铀消耗量考虑，<sup>238</sup>U 不参与中子管充气，因此不考虑损耗，<sup>3</sup>H 按照剩余 1%考虑；②因放射性固体废物暂存室还需暂存 1F 中子源装置项目放射性固体废物，主要为废氟元件，因此放射性固体废物暂存室还需考虑废氟元件暂存；其暂存量按 3 年产生量考虑；③氟净化系统处理能力可满足累计最大 <sup>3</sup>H 净化量 5000Ci，因此净化室和氟净化系统内源强按 5000Ci <sup>3</sup>H 考虑；④放射性废液暂存室内暂存 4F 事故情况下产生的放射性废液以及 1F 循环使用的冷却水，该部分放射性核素活度难以定量，因此参照放射性固体废物暂存室按照 I 类场所进行管理；⑤<sup>238</sup>U 为低毒，毒性权重因子参照 <sup>18</sup>F 进行取值。

本项目工作场所根据分类要求，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 4-5 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

工作场所	分类	标准要求	设计方案	结论
微源实验室	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 通风：特殊的强通风 管道：特殊的管道 <sup>a</sup> 盥洗及去污：洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	地面：PVC 地板胶铺设并延伸上墙 墙面：墙体表面均为彩钢板 分装柜：氚工艺实验室配备靶片吸氚装置，装置手套箱表面为不锈钢，并单独连接氚净化系统处理放射性废气 室内通风：设置多套排风系统 管道：设置专用放射性废液排水管道 盥洗及去污：设置应急洗消间，配置专用洗手盆，配备洗消设备	符合
镅工艺实验室	I			符合
净化室	I			符合
放射性固体废物暂存室	I			符合
放射性废液暂存室	I			符合
库房	II	结构屏蔽：不需要 地面：易清洗 表面：易清洗 分装柜：不必须 通风：一般自然通风 管道：普通管道 盥洗及去污：洗手盆 <sup>b</sup>		符合

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

从上表可知，本项目工作场所设计符合《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

本项目场所内各房间墙体为正常轻质砖结构，地面均进行防水防渗透处理，均铺设防滑聚氯乙烯卷材，具有易除污的作用。聚氯乙烯卷材接缝处保持平整，且上铺到墙面 1.2m 处，对于墙面连接处做成圆角（整个实验区域的墙面，包含走廊）。

## 4.2 辐射安全与防护措施

### 4.2.1 操作场所安全设施

在 4F 设置专用的放射性物品库房用于储存氟化铀罐体和成品中子管。库房内配置 2 个保险柜分别存放氟化铀罐体和成品中子管，保险柜设置双人双锁。库房出入门设置红外报警装置，设置人脸识别装置及电控锁，无关人员无法进入。

在 6F 设置专用的电池储存区用于储存氧化镅罐体和氡源片。库房内配置 2 个保险柜分别存放氧化镅罐体和氡源片，保险柜设置双人双锁。库房出入门设置红外报警装置，设置人脸识别装置及电控锁，无关人员无法进入。

在-1F 设置专用的放射性固体废物暂存室用于暂存本项目放射性固体废物。放射性固体废物暂存室出入门设置人脸识别装置及电控锁，无关人员无法进入。

原料氟化铀、氧化镅、氡源片，废弃氟化铀、氧化镅、氡源片，成品 DT 中子管、核素电池的收发均由专人完成，并在电子台账室登记，确保放射性物质的安全管理。库房为耐火墙体，耐火极限>3h，库房门为甲级防火门，配置灭火设备。

库房的安保和管理措施应符合核材料管控要求，并在使用本项目放射性物质前需办理核材料许可证。

### ②电离辐射警告标志和电离辐射标志

库房门外、微源实验室门外、镅工艺实验室门外、净化室门外、放射性固体废物暂存室门外、放射性废液暂存室门外、DT 中子管充气氡混合气装置外、电解槽外、氡净化系统外拟设置电离辐射警告标志并附中文说明。

在氟化铀屏蔽容器表面、氧化镅屏蔽容器表面、DT 中子管屏蔽防护容器表面、核素电池屏蔽防护容器表面、库房保险柜表面、放射性固体废物收集桶表面张贴规范的电离辐射标志。

### ③氡气测量装置

1.靶片吸氡装置手套箱内设置 1 台手套箱氡测量仪（壁挂式氡气测量仪）。反应容器和手套箱均为密封系统，是工作场所事故情况下发生氡泄漏的主要来源，因此对手套箱气体中的氡活度浓度进行实时连续监测。

手套氡测量仪设声光报警，报警阈值为  $1.5 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ （正常完成一次中子管充气反应容器渗透到手套箱的  $^3\text{H}$  活度为  $4.14 \times 10^6 \text{Bq}$ ，手套箱体积为 340L，因此设定报警阈值为  $1.5 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ （ $4.14 \times 10^6 \text{Bq}/340\text{L} \approx 1.2 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ ，且手套氡测量仪探测下限远低于该值），高于此浓度时认为反应容器发生泄漏）。发出警报时，工作人员立即停止加热并停止中子管充气，氟化铀进行氡气吸附，手套箱及反应容器内废气排至氡净化系统。待废气处理完成后，对反应容器进行检修。

2.靶片制备时，微源实验室内 DT 中子管充气氡混合气装置手套箱旁室内摆放 1 台便携式测氡仪。对微源实验室内空气中的氡气活度浓度进行连续监测，可及时发现手套箱氡气泄漏等异常情况，以便及时采取措施。

便携式测氚仪设声光报警，报警阈值为  $5 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$ （根据《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）附录 B 表 B.1，且便携式测氚仪探测下限低于该值）。发出警报时，工作人员立即停止加热并停止中子管充气，氟化铀进行氚气吸附，手套箱及反应容器内废气排至氚净化系统。撤离氚工艺实验室，启动辐射事故应急预案。

3.净化室内氚净化系统内设置 4 台氚排放测量仪（由厂家直接安装于氚净化系统内）。为了评价含氚废气经氚净化系统净化后活度浓度是否满足排放要求，以及测量氚净化系统含氚废气排放活度及累计总排放量。

4.中子研究院拟配备 1 台空气中氚取样器和 1 台超低本底液体闪烁谱仪，用于自行监测周围环境（水、大气等）氚含量监测和工作人员体液的检测（测量尿氚，开展内照射监测）。

#### ④辐射监测

在应急洗消间内配备 1 台手持式辐射巡测仪用于工作场所和 DT 中子管充气氚混合气装置周边辐射剂量监测，配备 1 台氚表面活度测量仪用于工作人员表面污染监测。

#### ⑤视频监控系统

4F 北侧放射性物品涉核货厅处及涉核货厅西侧缓冲间 1 内处各设置 1 个摄像头，走廊位置设置 4 个摄像头（其中 1 个正对电子台账室）。6F 北侧放射性物品涉核货厅处及涉核货厅西侧处各设置 1 个摄像头，走廊位置设置 4 个摄像头（其中 1 个正对台账记录间）。-1F 放射性固体废物暂存室内设置 1 个摄像头，走廊位置设置 2 个摄像头。摄像头可监控每间房间的进出情况，监视及回放图像能清晰显示人员的体貌特征及活动状况。

#### ⑥1#中子源厂房出入口管理

中子研究院在 1#中子源厂房周围设置实体屏障，采用链式钢丝网，竖直部分高度 2.6m，顶部加装向外倾斜  $45^\circ$  的斜撑，长度 800mm，上附 6 道带刺钢丝。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。

#### ⑦工作场所管理措施

工作人员进出口拟设于场所的中部，并在入口处设置应急洗消间和更衣室、缓冲间、淋浴间等卫生通过设施，工作人员需在更衣室换鞋脱衣，在缓冲间穿棉质连体放射性污染防护服、棉质口罩、棉质帽子、眼镜，在身体裸露部位（防护服与手套，口罩等连接处）涂抹凡士林，佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，在应急洗消间进行工

作前表污监测，工作结束后，在应急洗消间进行工作后表污监测，合格后方可原路离开。

涉核原辅料、产品、DT中子管及核素电池制备过程中产生的放射性固体废物由工作人员通过北侧涉核物料转运路线转运，转运前后均对其包装表面进行表面污染监测，监测合格后才可以进行转运。

1#中子源厂房4F和6F工作场所涉核物料进出口、人员进出口等多处设置人脸识别，工作人员通过以上进出口，需确认身份后方可进出。4F和6F工作场所其余各处因消防要求设置有防火常闭门，人员无法通过常闭门进入工作场所。

#### ⑧放射性废液管线及暂存池设施

在应急洗消间、洁具间各设置下水口来收集含氚、含镭放射性废液，放射性废液管道均在降板层内敷设，场所内收集的废液经管道汇集后直接连入-1F放射性废液暂存室内暂存池。-1F放射性废液暂存室内设置3个成品不锈钢暂存池，具有可靠的防泄漏功能。三个暂存池分别为1#暂存池（有效容积2m<sup>3</sup>）、2#暂存池（有效容积4m<sup>3</sup>）、3#暂存池（为备用暂存池，有效容积4m<sup>3</sup>）。

### 4.2.2 辐射防护设施和个人防护用品

根据本项目辐射安全防护要求，中子研究院拟为本项目各辐射工作场所配备防护设备，同时为本项目辐射工作人员配备个人防护用品。

本项目拟配备的防护设备具体见表4-6所示，个人防护用品及监测设备见表4-7所示。

表4-6 本项目拟配备的防护设备

序号	装置	屏蔽材料及厚度	设置场所
1	DT中子管充氚混合气装置	手套箱顶部及四侧由内到外为3mm钢板+2mm铅板+1mm钢板，底部由内到外为3mm钢板+2mm铅板+2mm钢板，铅玻璃由内到外为8mm钢化玻璃+10mm铅玻璃+5mm钢化玻璃，铅手套为2mmPb	微源实验室1个
2	氚净化系统	其中分子筛外壳为15mm钢	净化室1个（与配套甲级非密封放射性物质工作场所项目、中子源装置项目共用）
3	保险柜	3mm钢板	库房2个
4	氚化铀屏蔽容器	1mm钢板+2mm铅+1mm钢板	库房8个（与配套甲级非密封放射性物质工作场所项目共用）

5	中子管屏蔽容器	1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	库房 2 个
6	废物桶	1mm 钢板+3mm 铅+1mm 钢板	放射性固体废物暂存室 2 个、应急洗消间 1 个
7	电镀装置手套箱	手套箱顶部及四侧由内到外为 3mm 钢板+3mm 铅板+1mm 钢板，底部由内到外为 3mm 钢板+3mm 铅板+2mm 钢板，铅玻璃由内到外为 8mm 钢化玻璃+10mm 铅玻璃+5mm 钢化玻璃，铅手套为 2mmPb	镟工艺实验室 1 个
8	手套箱	手套箱顶部及四侧由内到外为 3mm 钢板+3mm 铅板+1mm 钢板，底部由内到外为 3mm 钢板+3mm 铅板+2mm 钢板，铅玻璃由内到外为 8mm 钢化玻璃+10mm 铅玻璃+5mm 钢化玻璃，铅手套为 2mmPb	封焊机 1 个
9	屏蔽外壳	顶部及四侧由内到外为 3mm 钢板+3mm 铅板+1mm 钢板构成，有两个观察窗材质为 4mm 钢化玻璃+10mm 铅玻璃+2mm 钢化玻璃	回流炉 1 个，键合机 1 个
10	电池器件屏蔽容器	1mm 钢板+3mm 铅+1mm 钢板	6F 电池储存区 2 个
注：铅密度不低于 11.3g/cm <sup>3</sup> ，铅玻璃密度不低于 4.2g/cm <sup>3</sup> ，钢化玻璃密度不低于 2.6g/cm <sup>3</sup> ，钢密度不低于 7.9g/cm <sup>3</sup> 。			

表 4-7 个人防护用品及监测设备一览表

序号	设备及材料名称	数量	设置场所	型号	备注
1	手持式辐射巡测仪	1 台	应急洗消间	6150AD 6/H	依托配套甲级非密封放射性物质工作场所项目
2	氡表面活度测量仪	1 台	应急洗消间	TYNE SAM 7001B	
3	手套箱氡测量仪（壁挂式氡气测量仪）	1 台	微源实验室	/	新增
4	便携式测氡仪	1 台	微源实验室	/	新增
5	氡排放测量仪	4 台	净化室	/	依托配套甲级非密封放射性物质工作场所项目
6	空气中氡取样器	1 台	检测室	志探仪器 ZST-3	
7	超低本底液体闪烁谱仪	1 台	检测室	SIM-MAX LSA3000	
8	个人剂量计	10 枚	工作人员随身佩戴	/	新增
9	个人剂量报警仪	10 枚	工作人员随身佩戴	DMC3000	新增
10	棉质连体放射性污染防护服、橡胶防护手套、棉质口罩、棉质帽子、防护眼镜等	若干	缓冲间	/	新增

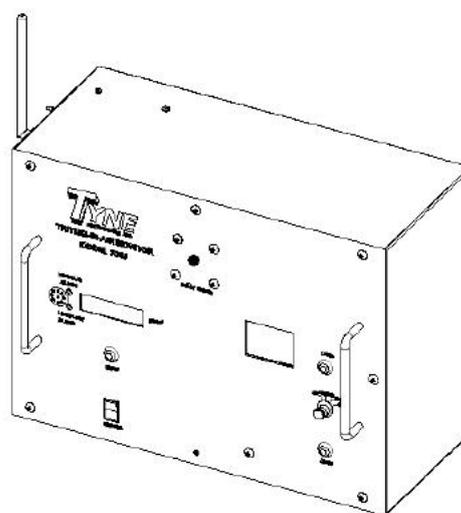
表 4-8 依托配套甲级非密封放射性物质工作场所项目氡监测仪器相关信息

序号	设备及材料名称	型号	用途	量程范围	测量方法
1	氡表面活度测量仪	TYNE SAM 7001B	表面污染监测	0~6×10 <sup>4</sup> Bq/dm <sup>2</sup>	使用试纸对物体表面采样，测量采样后试纸表面污染

序号	设备及材料名称	型号	用途	量程范围	测量方法
2	手套箱氡测量仪（壁挂式氡气测量仪）	TYNE Model 7065	氡气活度浓度监测	$7.4 \times 10^3 \sim 3.7 \times 10^{10} \text{Bq/m}^3$	直读
3	便携式测氡仪	志探仪器 ZPH-3	氡气活度浓度监测	$3.7 \times 10^4 \sim 3.9 \times 10^{10} \text{Bq/m}^3$	直读
4	氡排放测量仪	/	氡气活度浓度监测	$6.8 \times 10^5 \sim 3.7 \times 10^{14} \text{Bq/m}^3$	直读
5	空气中氡取样器	志探仪器 ZST-3	空气中氡取样	/	/
6	超低本底液体闪烁谱仪	SIM-MAX LSA3000	液体中氡监测	1Bq/L	直读



便携式测氡仪



手套箱氡测量仪（壁挂式氡气测量仪）



氡表面活度测量仪



空气中氡取样器

图 4-3 拟依托配置相关氡监测仪器

### 4.2.3 辐射安全防护措施的可行性

结合生态环境部（国家核安全局）《甲级非密封放射性物质操作场所 监督检查技术程序》（2020发布版）中相关检查内容，将本项目拟采取的上述防护措施汇总对照分析如下。

表 4-9 本项目设计阶段拟采取的安全防护措施汇总表

序号	检查项目	设计内容	符合情况
1	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	已设计 符合
2		场所分区的管控措施及标识	已设计 符合
3		电离辐射警告标志	已设计 符合
4		卫生通过间	已设计 符合
5		通风系统完整性及效能	已设计 符合
6		排风过滤器	已设计 符合
7		密封箱室	已设计 符合
8		屏蔽防护设施	已设计 符合
9		防过热或超压保护	已设计 符合
10		防止放射性液体操作造成污染的措施	不涉及 /
11		机械手或其他远距离操作工具	已设计 符合
12		火灾报警仪	拟配备 符合
13		放射性废水处理系统及标识	已设计 符合
14		放射性物料与成品暂存场所或设施	已设计 符合
15		放射性固体废物暂存场所或设施	已设计 符合
16		安保设施	已设计 符合
17		防火设备、应急出口	已设计 符合
18	B 监测设备	人员出口污染监测仪	拟配备 符合
19		固定式辐射监测报警仪	不适配本项目核素 /
20		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	拟配备 符合
21		气载放射性流出物取样监测设备	拟配备 符合
22		便携式辐射监测仪	拟配备 符合
23		个人剂量计	拟配备 符合
24		个人剂量报警仪	拟配备 符合
25	C 防护用品	个人辐射防护用品	拟配备 符合
26	D 应急物资	去污用品和应急物资	拟配备 符合
27		合适的灭火器材	拟配备 符合
28		放射性同位素应急容器	拟配备 符合

从表 4-9 可见，本次环评涉及的辐射设备、工作场所及其人员拟采取的辐射安全措施符合生态环境部（国家核安全局）《甲级非密封放射性物质操作场所 监督检查技术程序》（2020 发布版）的要求。

### 4.2.4 项目安全设施可行性小结

本项目有固定的辐射工作场所，且场所均拟设置相应的辐射安全和防护措施。本项目辐射工作场所拟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）等相关法规标准的要求。

综上所述，本项目辐射工作场所配备的氡气测量仪器能够实时监测工作场所内和排放口处氡气活度浓度，能够及时发现氡气泄漏情况确保工作人员和公众的安全。本项目采用的屏蔽材料和防护厚度经后文核算可知，能有效屏蔽其辐射源产生的 $\beta$ 射线及其产生的韧致辐射，拟采取的相关控制措施能够有效的控制表面污染，拟对辐射工作场所采取的相应辐射安全与防护措施符合相关要求。故本项目的安全设施是合理可行的。





制备的 3~5 个 DT 中子管使用结束后，中子研究院根据相关实验数据制定下一步的 DT 中子管制备计划，再次进行 DT 中子管制备。1F 中子源装置项目 DT 中子发生器相关科研实验、4F 二期配套甲级非密场所项目与 4F 本项目 DT 中子管制备均不同时进行。因此当 1 层 DT 中子发生器靶系统产生的氙气或 4 层二期配套甲级非密场所项目产生的氙气在氙净化系统进行净化处理时，本项目不进行 DT 中子管制备，无 DT 中子管制备废气排至氙净化系统，不存在三股含氙废气互相稀释排放的情况。

另外，中子研究院在排放限值的基础上，根据中子源装置项目产生的含氙废气体积（约 0.07L）、二期配套甲级非密场所项目产生的含氙废气体积（约 5m<sup>3</sup>）和本项目含氙废气体积（约 17.55m<sup>3</sup>），设定年累计排放活度限值为  $4 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ （如废气未经处理就低于排放限值，则按排放限值的活度浓度进行计算） $\times 18.55 \text{m}^3 = 7.42 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

综合上述，氙净化系统能够满足本项目、中子源装置项目及二期配套甲级非密场所项目运行时放射性废气的处理需求，因此本项目放射性废气处理方案可行。

### 4.3.2 放射性废液处理措施

#### （1）放射性废液处理工艺流程

根据本项目的工艺流程分析可知，本项目正常运行过程中不产生放射性废液。本章节仅考虑在事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，对工作场所和工作人员身体去污产生的放射性废液的源强。

根据镅源和氙源电池测试实验的工艺流程分析可知，本项目在镅源片制备过程中会产生废电镀液为放射性废液。根据中子研究院提供相关资料，一组设备一次用电镀液 50ml，一天做 4 次，则一天产生 200ml，每年则产生 2L 废电镀液。其它工艺流程仅考虑在事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，对工作场所和工作人员身体去污产生的放射性清洗废水的源强。

中子研究院根据类似项目运行经验提供相关资料，事故情况下导致工作场所和工作人员身体沾污，工作场所去污废液产生量为 50L/次（主要考虑氙工艺实验室清洁去污），身体去污废液产生量为 50L/次。事故情况保守按照 1 次/年的产生频率。根据中子研究院的设计规划，以上放射性废液在放射性废液暂存室暂存池（2 用 1 备）内贮存，定期（根据实际废水的产生量来定，不超过 3 年处理一次）委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

放射性废液处理前进行固化，固化后作为放射性固体废物进行运输和处理，放射性废液处理方案可行。

## (2) 暂存池设计

### ①暂存池设计

-1F 放射性废液暂存室内设置 3 个成品不锈钢（材质为 304 不锈钢，厚度不低于 1.5mm）暂存池。放射性废液暂存室裙脚及地面采取防漏、防渗、防腐措施，基础防渗层用厚度在 2 毫米以上的高密度聚乙烯或其他人工防渗材料组成，渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s。

三个暂存池分别为 1#暂存池（有效容积 2m<sup>3</sup>）、2#暂存池（有效容积 4m<sup>3</sup>）、3#暂存池（为备用暂存池，有效容积 4m<sup>3</sup>）。

### ②废液管道设计

在 4F 应急洗消间、洁具间各设置下水口来收集含氡放射性废液，在 6F 器具清洗室、消洗间设置下水口来收集含氡、镭放射性废液，放射性废液管道材质均为 304 不锈钢，在降板层内敷设，场所内收集的废液经管道汇集后直接连入暂存池。设有专门的放射性废液管道，可将放射性废液引出暂存池至专用容器，便于放射性废物处理单位在放射性废液暂存室内进行固化、回收等操作。阀门和管道的连接设计无死区，并标识水流走向，因此，本项目放射性废液管道设计合理。放射性废液走向见附图 16。

### (3) 放射性废液处理可行性分析

放射性废液通过放废下水管道优先排入 1#暂存池，待装满 1.5m<sup>3</sup>时，系统自动控制打开 1#暂存池电动阀门，通过管道泵将放射性废液转入 2#暂存池。3#暂存池作为备用，如发生重大事故后 1#暂存池和 2#暂存池无足够空间暂存放射性废液。则可以在 2#暂存池放射性废液达到 4m<sup>3</sup>时，系统自动关闭 2#暂存池阀门，1#暂存池放射性废液转入 3#暂存池。

根据前文分析，事故情况下本项目放射性废液年产生量为 100L。因本项目与中子源装置项目、二期配套甲级非密场所项目共用放射性废液处理设施，还需要考虑中子源装置项目、二期配套甲级非密场所项目放射性废液产生量。根据《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）环境影响报告表》可知，中子源装置项目放射性废液主要为 DT 中子发生器、DD 中子发生器、DT 中子管等设备循环使用的冷却水（冷却水中含有 <sup>3</sup>H），年产生量为 1.4m<sup>3</sup>；根据《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）环境影响报告书》可知，二期配套甲级非密场所项目放射性废液主要为事故情况下放射性废液，每次产生量为 0.1m<sup>3</sup>

放射性废液暂存池总容积为  $5.5\text{m}^3$ （不考虑备用池）。根据中子研究院规划，预计放射性废液每 3 年处理一次，则暂存池内放射性废液三年共  $4.206\text{m}^3$ 。考虑期间若发生两次辐射事故产生的 200L，暂存池内放射性废液为  $4.406\text{m}^3$ ，放射性废液暂存池仍能满足暂存要求，且本项目设置有备用暂存池，有较大的余量。

根据上述分析，本项目暂存池的设计能够满足本项目事故情况下产生的废液及中子源装置项目、二期配套甲级非密场所项目运行时放射性废液的处理需求，同时还考虑了一定的设计冗余，本项目放射性废液经暂存池收集后，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。因此本项目放射性废液处理方案可行。

### 4.3.3 放射性固体废物处理措施

由工艺流程分析可知，本项目中子管制备产生的放射性固体废物主要为氙净化系统中废弃的分子筛，废弃的氟化铀罐体，另外考虑事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氙表面活度测量仪使用后含氙试纸。分子筛约 7-8 年更换一次，单个分子筛重量 270kg，每年产生 3 瓶废弃的氟化铀罐体，单瓶重量 0.5kg，年产生量为 1.5kg/年。事故情况保守按照 1 次/年的产生频率，则本项目事故情况下放射性固体废物年产生量为 2kg。

本项目微源实验室中子管制备完成后废弃的氟化铀罐体装入屏蔽容器中，事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氙表面活度测量仪使用后含氙试纸收集至应急洗消间废物桶内，及时转送至放射性固体废物暂存室，放射性固体废物暂存室设置废物桶，废物桶表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。放射性固体废物暂存室出入口设置人脸识别装置及电控锁，无关人员无法进入。放射性固体废物暂存室门上张贴电离辐射警告标志，并根据消防要求设置防火措施。放射性固体废物暂存室内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。废弃的氟化铀罐体和事故情况下产生的放射性固体废物定期（预计每 3 年处理一次）委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

净化室氙净化系统中废弃的分子筛需要更换时，提前联系生产厂家（中国工程物理研究院），直接由氙净化系统生产厂家更换和回收。

本项目镅源和氙源电池测试实验产生的放射性固体废物主要为废弃的镅源罐体以及事故状态时去污产生的抹布、吸水纸、手套、工作人员沾污的防护服、口罩等。根据中子研究院提供资料，每年产生 1 瓶废弃的镅源罐体，单瓶重量 0.5kg，年产生量为 0.5kg/年。事故情况下本项目放射性固体废物产生量为 2kg/次。

废弃的镅源罐体装入屏蔽容器中，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。事故状态时去污产生的抹布、吸水纸、手套、工作人员沾污的防护服、口罩等收集至洗消间废物桶内，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

本项目与配套甲级非密封放射性物质工作场所项目、中子源装置项目共用放射性固体废物暂存室，根据《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）环境影响报告表》可知，该项目放射性固废为DT中子发生器和DD中子发生器产生的废靶片及零部件，以及DT中子管报废后拆解产生的若干零部件，该部分放射性固体废物体积量极小。1#中子源厂房-1F放射性固体废物暂存室容积约175m<sup>3</sup>，满足本项目、配套甲级非密封放射性物质工作场所项目及中子源装置项目产生的放射性固废委托处置前的暂存需求。因此本项目放射性固体废物处理方式可行。

#### 4.4 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）等相关要求对比情况见表4-10所示。

表4-10 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表

		标准要求	项目情况
5 安全 操作	5.1 一般 要求	5.1.1 为开展辐射防护管理工作并对职业照射进行控制，非密封源工作场所应实行严格的分区、分级管理，分区、分级管理的措施，应遵循GB18871-2002的要求。	本项目为甲级非密封放射性物质工作场所，参考《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-89）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对分区的具体示例，同时考虑辐射防护要求，将辐射工作场所划分为白区（一区）、绿区（二区）、橙区（三区）及红区（四区）
		5.1.2 宜在辐射工作场所的醒目位置悬挂（张贴）辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规程和操作规程。	库房门外、微源实验室门外、镅工艺实验室门外、净化室门外、放射性固体废物暂存室门外、放射性废液暂存室门外、DT中子管充气氙混合气装置外、电解槽外、氙净化系统外拟设置电离辐射警告标志并附中文说明。 在氟化铀屏蔽容器表面、氧化镅屏蔽容器表面、DT中子管屏蔽防护容器表面、核素电池屏蔽防护容器表面、库房保险柜表面、放射性固体废物收集桶表面张贴规范的电离辐射标志。
		5.1.3 操作非密封源的单位应制定辐射防护大纲并对其实施和评价负全面责任。单位应设立相应的安全与防护机构（或专、兼职安全与防护人员），并用文件的形式明确规定其职责。	中子研究院已成立辐射安全与环境保护管理小组，为满足本项目甲级非密封放射性物质工作场所的管理要求，中子研究院拟调整辐射安全与环境保护管理小组成员，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。
		5.1.4 应建立安全与防护培训制度，培植和保持工作人员良好的安全文化素养，自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。	中子研究院已有一定从事核技术利用项目的相关实践活动的经验，已建立的一些辐射安全管理制度体现了核技术利用项目辐射安全管理的共同点，现有辐射安全管理比较完善。
	5.2	5.2.1 非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风柜、工作箱或手套箱内进行。	DT 中子管制备是在 DT 中子管充氘氚混合气装置中进行。DT 中子管充氘氚混合气装置由反应容器、储氢罐、真空泵组及管道、加热及恒温系统与手套箱组成。镅核素源片制备是在电解槽中进行。电解槽由槽体、加热系统与手套箱组成。手套箱顶部及四侧由内到外为 3mm 钢板+2mm 铅板+1mm 钢板，底部由内到外为 3mm 钢板+2mm 铅板+2mm 钢板，铅玻璃由内到外为 8mm 钢化玻璃+10mm 铅玻璃+5mm 钢化玻璃，铅手套为 2mmPb。
7 放射 性 废 物 管 理	7.2 放 射 性 废 液	7.2.1 操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相关控制应遵循 GB18871-2002 的要求；不允许利用生活污水下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。	在应急洗消间、洁具间各设置下水口来收集含氘、镅放射性废液，放射性废液管道均在降板层内敷设，场所内收集的废液经管道汇集后直接连入暂存池。-1F 放射性废液暂存室内设置 3 个成品不锈钢暂存池，具有可靠的防泄漏功能。三个暂存池分别为 1#暂存池（有效容积 2m <sup>3</sup> ）、2#暂存池（有效容积 4m <sup>3</sup> ）、3#暂存池（为备用暂存池，有效容积 4m <sup>3</sup> ）。
		7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。	暂存池材质为 304 不锈钢，厚度不低于 1.5mm，具有可靠的防泄漏防破损性能。放射性废液暂存室裙脚及地面采取防漏、防渗、防腐措施，基础防渗层用厚度在 2 毫米以上的高密度聚乙烯或其他人工防渗材料组成，渗透系数≤10 <sup>-10</sup> cm/s。
		7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。	本项目放射性废液经暂存池收集后，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。
	7.3 放 射 性 固 体 废 物	7.3.1 产生放射性固体废物较多的单位应当建立固体废物暂存库，确保储存的废物可回取。	放射性固体废物收集后，存于-1F 放射性固体废物暂存室废物桶内。
		7.3.2 操作非密封源的单位产生的废物（包括废弃的放射源），应按要求送指定的废物库暂存。送贮的废物应符合送贮条件。	废弃的氟化铀、氧化镅和事故情况下工作人员沾污的防护服等委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理，废弃的分子筛需要更换时，提前联系生产厂家（中国工程物理研究院），直接由氟净化系统生产厂家更换和回收。
	7.4 放 射 性 气 排 放	7.4.1 对工作场所放射性废气或气溶胶的排放系统，应经常检查其净化过滤装置的有效性。	建设单位定期维护氟净化系统，并委托生产厂家对分子筛进行更换
		7.4.2 凡预计会产生大量放射性废气或气溶胶而可能污染环境的一次性操作，亦应采取有效的防护与安全措施和监测手	微源实验室 DT 中子管充氘氚混合气装置内废气通过单独管道连接至净化室氟净化系统。氟净化系统设置 2 级净化循环装置，

	段。	每级净化循环装置由缓冲罐、增压泵、储气罐、净化系统组成。废气经氚净化系统净化后排放。
--	----	--

据表 4-10 可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）等的要求。

## 4.5 服务期满后的环境保护措施

本项目非密封放射性物质工作场所服务期满后，中子研究院需根据相关要求实施场所退役。

### 4.5.1 设计阶段对退役实施的考虑

(1) 采用便于退役拆除的模块化建造方式；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；

(2) 项目设置专用放射性固废暂存库和放射性废液暂存室，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。

### 4.5.2 退役环保措施

中子研究院需根据要求编制退役方案，并在正式开展退役活动前编制退役环境影响评价文件，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。

在退役过程中需先进行源项调查，对无法达到解控水平的设施、设备需先进行去污工作，对无法去污的需进行集中暂存收集衰变或交由资质单位进行回收处理。

实施退役工作人员应作为辐射工作人员进行管理，并做好个人防护。

退役工作完成后，退役单位应按照国家相关规定，委托有资质的监测单位，对去污后的场所进行终态验收监测，组织进行退役环保验收。

### 4.5.3 退役目标

拟建项目在选址、设计、建造和运行阶段拟考虑便于退役的措施，并收集保存相关资料、记录。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。

项目在退役实施前开展污染调查，编制相应退役方案、制定退役目标；退役活动首先安全、妥善处理涉核物料与放射性废物，重点做好退役产生放射性废物的管理及退役实施期间的辐射安全防护等工作，确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

## 第五章 环境影响分析

### 5.1 建设阶段对环境的影响

本项目对-1F、4F和6F内房间进行布局施工建设，在项目的建设过程中，中子研究院拟采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。

#### 5.1.1 噪声污染及环保措施分析

本项目施工建设阶段的噪声主要来自工作场所内部隔断墙体建设、建筑装饰、设备安装等阶段，但项目的建设期短暂，对周围环境影响随着施工结束而消除。建设阶段加强环保措施，尽可能采取有效的减噪措施，避免在同一时间集中使用大量的动力机械设备，加强对施工噪声的治理，合理安排施工时间：22:00-6:00禁止施工作业，以免影响附近尚存居民点居民的休息。

#### 5.1.2 大气污染物排放及环保措施分析

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

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

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

#### 5.1.3 废水排放及环保措施分析

本项目在施工期会产生施工废水和施工人员的生活污水。施工废水经沉淀处理后可回用于施工，不外排；施工人员的生活污水依托“中子科学基地建设项目”施工营地废水处理设施处理后达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后进入九龙园区工业污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准后排入肖家河，经大溪河汇入长江，对水环境影响很小。

## 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建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。建设阶段产生的固体废物妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。对固体废物从收集、清运到弃置实现严格的全过程管理；设垃圾桶收集生活垃圾。施工单位认真落实上述措施后，施工期产生的固体废物可实现资源化利用或无害化处置，不会造成二次污染。施工期固废经妥善处置，对环境影响可接受。

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

## 5.1.5 设备安装调试期间的环境影响分析

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

## 5.2 运行阶段对环境的影响

### 5.2.1 场所辐射水平

#### (1) $\beta$ 射线辐射环境影响分析

本项目拟使用的核素  $^3\text{H}$  衰变方式为 $\beta^-$ ，在衰变过程中释放 $\beta$ 射线。根据《辐射安全手册》（潘自强主编）和《辐射防护导论》（方杰主编）， $\beta$ 射线在介质中的射程按式 5-1 计算， $\beta$ 射线的屏蔽厚度按式 5-2 计算，核素衰变产生的 $\beta$ 射线在各介质中的所需屏蔽厚度计算结果见下表。

$$R=0.412E_{max}^{(1.265-0.0954\ln E_{max})} \quad (\text{式5-1})$$

$$d=R/\rho \quad (\text{式5-2})$$

式中：

$R$ —— $\beta$ 射线在介质中射程， $\text{g}/\text{cm}^2$ ；

$\rho$ ——介质的密度， $\text{g}/\text{cm}^3$ ，空气密度取  $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$ ，钢的  $7.9 \text{g}/\text{cm}^3$ ，钢化玻璃密度取  $2.6 \text{g}/\text{cm}^3$ ；

$E_{max}$ —— $\beta$ 射线的最大能量，MeV；

$d$ —— $\beta$ 射线的屏蔽厚度，cm。

表 5-1 核素衰变产生的 $\beta$ 射线在各介质中的所需屏蔽厚度

核素	$\beta$ 射线能量 (MeV)	空气中射程 (cm)	钢中射程 (cm)	钢化玻璃中射程 (cm)
$^3\text{H}$	$1.86 \times 10^{-2}$	0.45	$7.46 \times 10^{-5}$	$2.25 \times 10^{-4}$

由上表可知，本项目使用的 $^3\text{H}$ 核素衰变产生的 $\beta$ 射线在各屏蔽材质中射程极小。表明，通过本项目防护设施、工作人员个人防护用品的屏蔽， $\beta$ 射线对辐射环境影响可接受。

## (2) $\beta$ 表面污染分析

$\beta$ 表面污染的影响主要来源于氚气泄漏造成设备、墙壁、地面、工作服等产生放射性沾污，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 $\beta$ 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，中子研究院拟采取以下防护措施：

①辐射工作人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

②氚气吸附全过程密闭在靶片吸氚装置内；

③定期对靶片吸氚装置进行检漏；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物品；

⑤严格按照分区情况进行管理，禁止无关人员进入；

⑥工作结束后，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，及时进行去污，经检测符合标准要求后方可重新开展业务。

## (3) 韧致辐射

### ①计算公式

$^3\text{H}$ 核素为纯 $\beta$ 衰变核素， $\beta$ 粒子被自身源物质及源周围的其他物质阻止时产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》，对 $\beta$ 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。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 5-3})$$

式中：

$H_r$ ——距离屏蔽层源  $r$  米处的辐射剂量率，Sv/h；

$r$ ——参考点与屏蔽层的距离，m；取各屏蔽容器、设备中心点至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，空气、玻璃、钢（铁）的  $Z_e$  取自《辐射防护导论》表 4.4；空气取 7.36，玻璃取 10.6，钢（铁）取 26；

$E_b$ ——韧致辐射的平均能量  $E_b$  是入射  $\beta$  粒子的最大能量的 1/3，即  $E_b = E_{\max}/3$ ，本项目为  $6.2 \times 10^{-3} \text{MeV}$ ；

$\mu_{en}/\rho$ ——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， $\text{m}^2/\text{kg}$ ，取自《辐射防护导论》附表 1；对于  $^3\text{H}$  取 2.242；

$q$ ——参考点所在区域相应的居留因子，保守均取 1；

$\eta$ ——透射比，根据式 5-4 计算。

$$\eta = 10^{-(X/TVL)} \quad (\text{式 5-4})$$

式中：

$X$ ——屏蔽厚度，mm；

$TVL$ ——什值层，mm。本项目  $^3\text{H}$  韧致辐射的平均能量为  $6.2 \times 10^{-3} \text{MeV}$ （6.2keV），因此保守取《辐射防护导论》表 3.5 最小能量 50kV 对应什值层，因此本项目铅的什值层取 0.18mm；混凝土的什值层取 13mm。

## ②关注点选取

关注点布置在 DT 中子管充氚混合气装置、氚净化系统以及库房、微源实验室、净化室和放射性固废暂存间各功能用房外表面 30cm 处。关注点布置图见图 5-1 和图 5-2。

## ③源强取值

库房：根据中子研究院规划，库房内年最大贮存量为 8 瓶氚化铀。中子研究院根据实验需求，库房内最多存有 500CiDT 中子管。氚化铀原料和 DT 中子管均各自存放在屏蔽容器中。同时考虑配套甲级非密封放射性物质工作场所项目中制备的氚靶，因此库房内源强按 8 瓶氚化铀、4 枚 500Ci 氚靶、10 枚 100Ci 氚靶和 500CiDT 中子管考虑。

微源实验室：DT 中子管充氚混合气过程均在手套箱内完成，单次 DT 中子管充氚混合气过程中，仅使用 1 瓶氚化铀，且单次仅使用 10Ci 的氚。因此微源实验室和中子管充氚混合气装置内源强按 1 瓶氚化铀和 10Ci 氚考虑。

净化室：净化室内设置 1 套氚净化系统用于吸附净化含氚废气。根据氚净化系统设计参数可知，氚净化系统处理能力可满足累计最大  $^3\text{H}$  净化量 5000Ci。因此净化室和氚净化系统内源强按 5000Ci  $^3\text{H}$  考虑。

放射性固废暂存间：放射性固废暂存间内暂存本项目产生的废弃氟化铀和事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氟表面活度测量仪使用后含氟试纸。本项目与氟靶装置项目共用放射性固体废物暂存室，放射性固废暂存间内还需暂存氟靶装置项目放射性固体废物，主要为废氟靶。放射性固废暂存间内放射性固废一般3年委托处理一次，因此放射性固废暂存间内源强按  $3 \times 3 + 1 \times 3 = 12$  瓶废弃氟化铀、事故情况下沾污的防护服等（氟活度按不超过单次使用量的1%计，即  $10 \times 3 = 30\text{Ci } ^3\text{H}$ ）和废中子管（保守按照初始活度计，即  $500 \times 3 = 1500\text{Ci } ^3\text{H}$ ）。

根据上述公式和源强参数，本项目  $^3\text{H}$  产生韧致辐射剂量率预测结果见下表。

表 5-2 工作场所各关注点辐射剂量率

序号	位置	屏蔽材料 <sup>®</sup>	$A$ (Bq)	$Z_e$	$E_b$ (MeV)	$r$ (m)	$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ (m <sup>2</sup> /kg)	$q$	$\eta$	辐射剂量率 (μSv/h)
1	氟化铀屏蔽容器表面	1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	10μSv/h <sup>①</sup>	/	/	0.5	/	/	7.74E-12	7.74E-13
2	DT 中子管屏蔽容器表面	1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	3.7E+11	26	6.2×10 <sup>-3</sup>	0.5	2.242	1	7.74E-12	1.18E-09
3	库房外 30cm 处	1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	10μSv/h <sup>①</sup> *8	/	/	5.2	/	/	7.74E-12	3.82E-9
		1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	1.30E+14	26	6.2×10 <sup>-3</sup>	5.2	2.242	1	7.74E-12	
4	库房上方 30cm 处	150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	10μSv/h <sup>①</sup> *8	/	/	4.3	/	/	2.24E-23	1.62E-20
		150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	1.30E+14	26	6.2×10 <sup>-3</sup>	4.3	2.242	1	2.24E-23	
5	库房下方 30cm 处	150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	10μSv/h <sup>①</sup> *8	/	/	5.7	/	/	2.24E-23	9.20E-21
		150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	1.30E+14	26	6.2×10 <sup>-3</sup>	5.7	2.242	1	2.24E-23	
6	中子管充氘氙混合气装置表面	3mm 钢板+2mm 铅板+1mm 钢板	10μSv/h <sup>①</sup>	/	/	0.9	/	/	7.74E-12	3.63E-08
		3mm 钢板+2mm 铅板+1mm 钢板	3.7E+13	26	6.2×10 <sup>-3</sup>	0.9	2.242	1	7.74E-12	
7	工作人员操作处	8mm 钢化玻璃+10mm 铅玻璃 <sup>®</sup> +5mm 钢化玻璃	10μSv/h <sup>①</sup>	/	/	0.9	/	/	7.74E-12	1.48E-08
		8mm 钢化玻璃+10mm 铅玻璃 <sup>®</sup> +5mm 钢化玻璃	3.7E+13	10.6	6.2×10 <sup>-3</sup>	0.9	2.242	1	7.74E-12	
8	微源实验室外 30cm 处	3mm 钢板+2mm 铅板+1mm 钢板	10μSv/h <sup>①</sup>	/	/	4.2	/	/	7.74E-12	2.62E-10
		3mm 钢板+2mm 铅板+1mm 钢板	3.7E+13	26	6.2×10 <sup>-3</sup>	10.6	2.242	1	7.74E-12	

9	微源实验室上方 30cm 处	150mm 混凝土+3mm 钢板+2mm 铅板+1mm 钢板	10 $\mu$ Sv/h <sup>①</sup>	/	/	4.3	/	/	2.24E-23	4.60E-21
			3.7E+13	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	4.3	2.242	1	2.24E-23	
10	氡净化系统表面	15mm 钢板 <sup>③</sup>	1.85E+14	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	0.9	2.242	1	7.74E-12	1.81E-07
11	净化室外 30cm 处	15mm 钢板 <sup>③</sup>	1.85E+14	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	4.2	2.242	1	7.74E-12	8.33E-09
12	净化室上方 30cm 处	150mm 混凝土+15mm 钢板 <sup>③</sup>	1.85E+14	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	4.3	2.242	1	2.24E-23	2.30E-20
13	放射性废物暂存室外 30cm 处	1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	10 $\mu$ Sv/h <sup>①</sup> *12	/	/	3.3	/	/	7.74E-12	4.22E-09
		1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	1.11E+12	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	3.3	2.242	1	7.74E-12	
		1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	5.55E+13	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	3.3	2.242	1	7.74E-12	
14	放射性废物暂存室上方 30cm 处	150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	10 $\mu$ Sv/h <sup>①</sup> *12	/	/	4.3	/	/	2.24E-23	7.18E-21
		150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	1.11E+12	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	4.3	2.242	1	2.24E-23	
		150mm 混凝土+1mm 钢板+2mm 铅+1mm 钢板	5.55E+13	26	6.2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	4.3	2.242	1	2.24E-23	

注：①氡化铀和废弃氡化铀罐体外表面（距表面 5cm 处）辐射剂量率源强按照厂家提供参数 10 $\mu$ Sv/h 进行计算；②10mm 铅玻璃等效为 2mmPb；③参考《放射防护实用手册》表 6.14，15mm 钢板保守等效为 2mmPb，其余设备的钢保守不考虑其屏蔽效果；④根据前文描述，考虑本项目各功能用房顶棚和地坪混凝土屏蔽效果，不考虑四侧墙体及门的屏蔽防护效果。

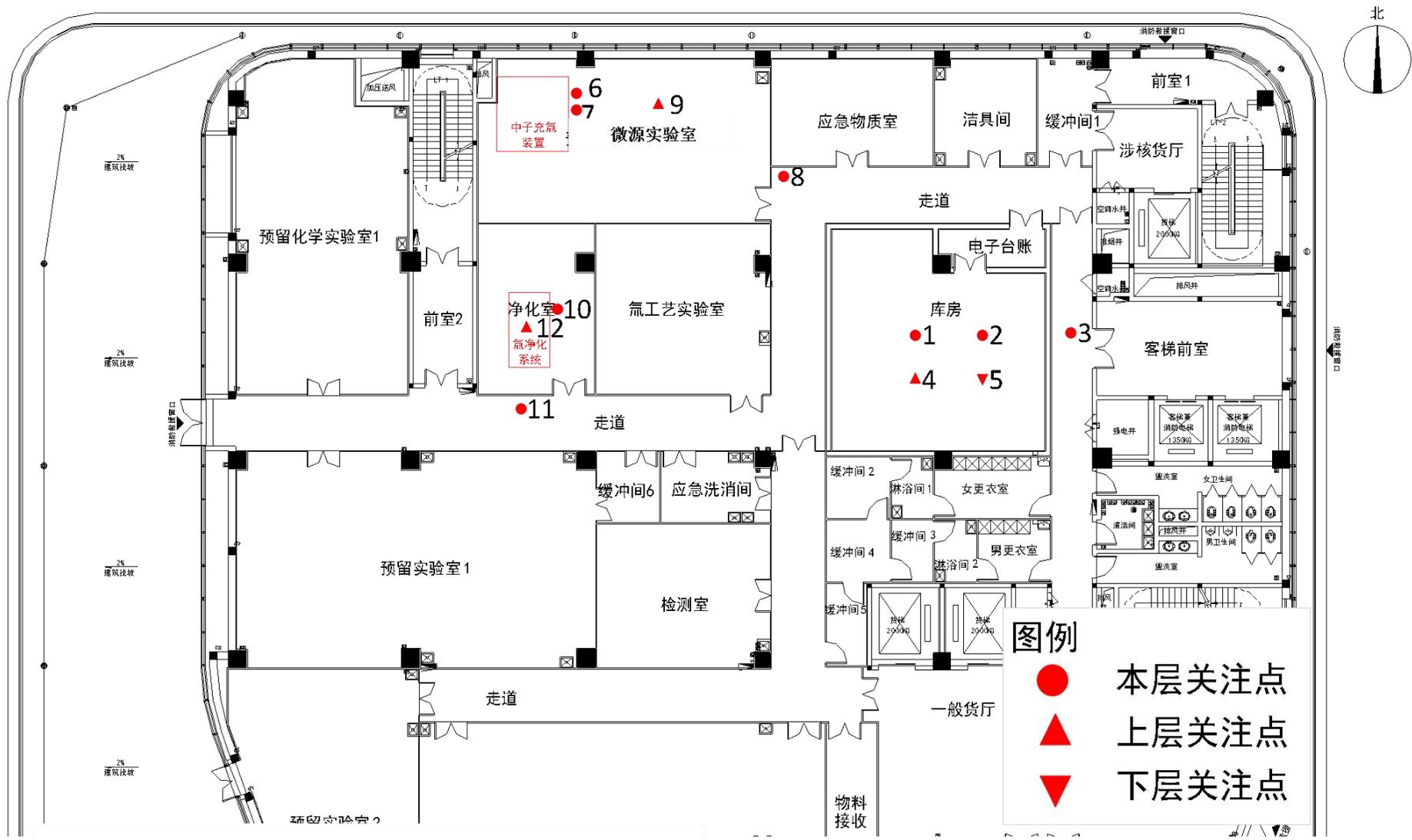


图 5-1 4F 关注点位图



图 5-2 -1F 关注点位图

#### ④韧致辐射影响小结

由上表可知，氟化铀屏蔽容器表面、氟靶屏蔽容器表面、分子筛铅废物桶表面、靶片吸氙装置、氙净化系统外表面 30cm 处周围剂量当量率均满足《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 $\mu$ Sv/h；固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

库房、微源实验室、净化室外表面 30cm 处周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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 $\mu$ 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 $\mu$ Sv/h”的要求。

#### （4）放射性核素产生的 $\alpha$ 粒子辐射环境影响分析

放射性核素  $^{241}\text{Am}$  为  $\alpha$  衰变，在衰变过程中会产生  $\alpha$  粒子。由于  $\alpha$  粒子的体积比较大，又带两个正电荷，很容易就可以电离其他物质。因此，它的能量亦散失得较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能阻隔  $\alpha$  粒子。因此不考虑其对人体的辐射影响。

#### （5） $\gamma$ 射线辐射环境影响分析

##### 1) 估算方法及参数

$^{241}\text{Am}$  半衰期为 432ad，为  $\alpha$  衰变核素，衰变产生 5.486MeV 的  $\alpha$  射线，此外也有较低几率产生 59.5keV 的  $\gamma$  射线。由于本项目配置的手套箱屏蔽材料采用铅， $\alpha$  粒子穿透能量较弱，因此，主要考虑  $\gamma$  射线外照射影响。

将操作的源片视为“点状辐射源”，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法，根据式（I.1）转换可得出计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-x/TVL} \quad (\text{式 5-4})$$

式中：

$\dot{H}$ ——关注点剂量率（ $\mu$ Sv/h）；

A——放射源的最大活度（MBq）；

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

$r$ ——关注点与放射源间的距离 (m) ;

$x$ ——屏蔽厚度 (mm) ;

TVL—— $\gamma$ 射线的十分之一值层厚度 (mm) 。

表 5-3 使用放射性核素工作场所辐射屏蔽计算参数

核素名称	铅什值层厚度 mm ( $\rho=11.3\text{t}/\text{m}^3$ )	混凝土什值层厚度 mm ( $\rho=2.35\text{t}/\text{m}^3$ )	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
$^{241}\text{Am}$	0.161	12.85	0.03528

注：① $^{241}\text{Am}$ 的 TVL 取值参考《辐射防护手册第三分册》（潘自强主编）中的表 2.12 几种常用屏蔽材料对宽束 $\gamma$ 射线的半值层和十分之一值层厚度。② $^{241}\text{Am}$  剂量当量率常数取值参考《辐射安全手册》表 6.2。

### ②关注点选取

关注点布置在电镀槽手套箱、镟工艺实验室/电池封装区和电池储存区各功能用房外表面 30cm 处。关注点布置图见图 5-3。

### ③源强取值

电镀槽手套箱：单次使用 38.4Ci 的氧化镧，因此镟工艺实验室内源强按 38.4Ci 的氧化镧考虑。

电池储存区：根据中子研究院规划，库房内年最大贮存量为 500Ci 氧化镧。

镟工艺实验室/电池封装区：氧化镧电镀过程均在手套箱内完成，单次使用 38.1Ci 的氧化镧。因此镟工艺实验室内源强按 38.4Ci 的氧化镧考虑。

根据上述公式和源强参数，本项目 $^{241}\text{Am}$ 产生辐射剂量率预测结果见下表。

表 5-4 工作场所各关注点辐射剂量率

序号	位置	屏蔽材料 <sup>®</sup>	A (Bq)	r (m)	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
1	电镀槽手套箱表面	3mm 铅	1.42E+12	0.5	4.66E-14
2	镟工艺实验室上方 30cm 处	150mm 混凝土+3mm 铅	1.42E+12	4.3	1.34E-27
3	镟工艺实验室下方 30cm 处	150mm 混凝土+3mm 铅	1.42E+12	5.7	7.61E-28
4	电池封装区外 30cm 处	3mm 铅板	1.42E+12	1.4	5.94E-15
5	电池储存区外 30cm 处	3mm 铅	1.85E+13	1.9	4.20E-14
6	电池储存区下方 30cm 处	150mm 混凝土+3mm 铅	1.85E+13	4.3	1.74E-26

7	电池封装外 30cm 处	3mm 铅	1.85E+13	1.9	4.20E-14
8	工作人员操作 处	3mm 铅板	1.42E+12	0.9	1.44E-14

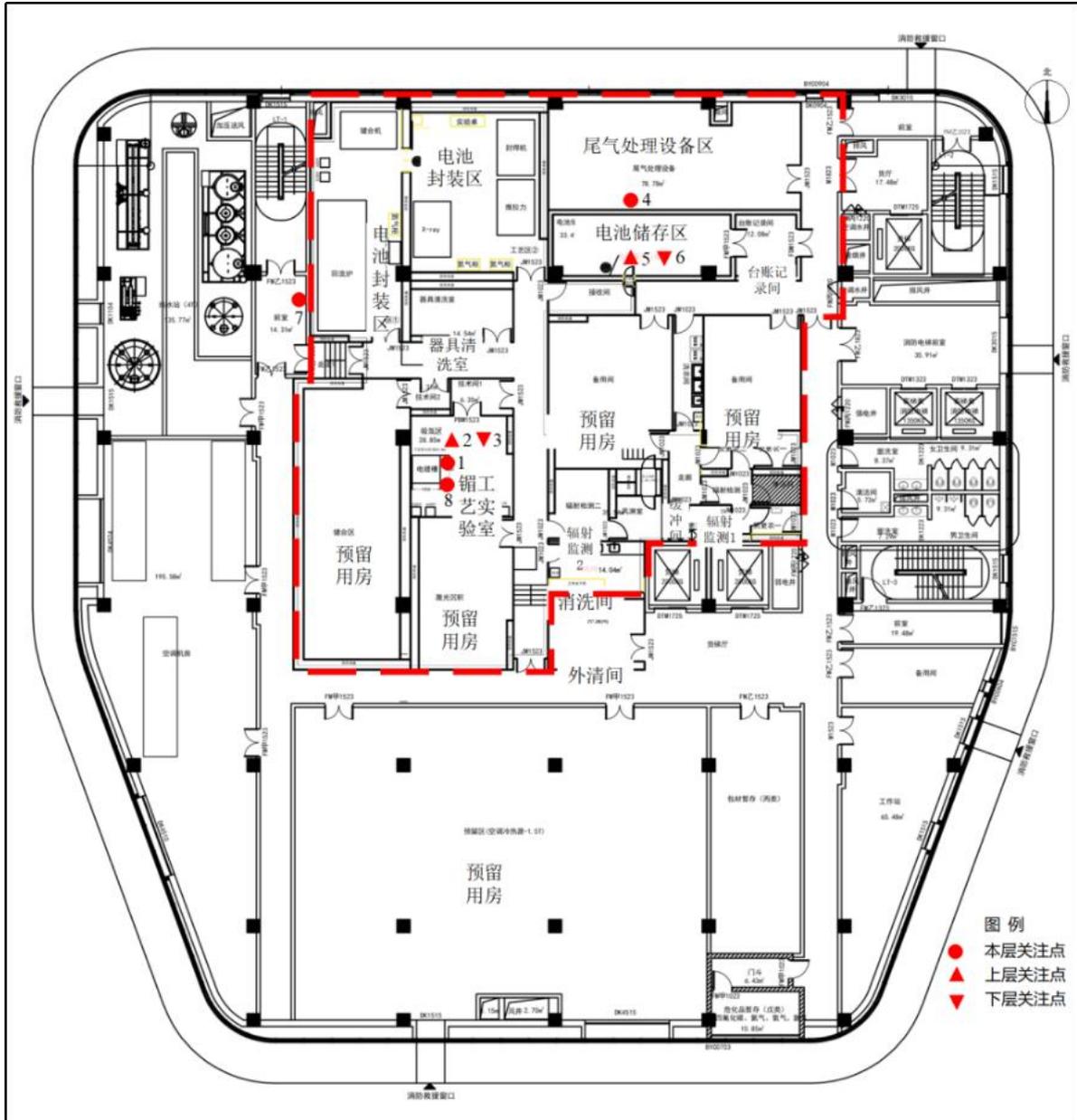


图 5-3 6F 关注点位图

## (6) 放射性三废对环境的影响

### ①放射性废气

项目所在地主导风向为东北偏东方向，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 100m，3#中子治疗厂房高 23m，低于排放口 30m。院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。经后文估算，本项目气载流出物所致公众最大值低于其剂量约束值，含氙废气排入环境中经空气稀释后，放射性废气中的氙浓度将更低，项目正常运行时，对周围公众与环境的影响是可以接受的。

## ②放射性废液

本项目正常运行工况下产生的放射性废液和事故情况下，导致工作场所和工作人员身体沾污，对工作场所和工作人员身体去污产生的放射性清洗废水。

-1F 放射性废液暂存室内设置 3 个成品不锈钢暂存池，具有可靠的防泄漏功能。三个暂存池分别为 1#暂存池（有效容积 2m<sup>3</sup>）、2#暂存池（有效容积 4m<sup>3</sup>）、3#暂存池（为备用暂存池，有效容积 4m<sup>3</sup>），经前文核算，暂存池容积可满足本项目事故情况下产生的废液及中子源装置项目运行时放射性废液的处理需求。放射性废液不外排，定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。放射性废液处理时进行固化，作为放射性固体废物进行处理，因此放射性废液处理方案可行，环境影响可接受。

## ③放射性固体废物

本项目微源实验室 DT 中子管充氙氙混合气完成后废弃的氙化铀罐体装入屏蔽容器中，事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氙表面活度测量仪使用后含氙试纸收集至应急洗消间废物桶内，及时转送至放射性固体废物暂存室，放射性固体废物暂存室设置废物桶，废物桶表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。废弃的辐源罐体装入屏蔽容器中，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。事故状态时去污产生的抹布、吸水纸、手套、工作人员沾污的防护服、口罩等收集至洗消间废物桶内，转运至放射性固废暂存间内暂存，委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

放射性固体废物暂存室出入口设置人脸识别装置及电控锁，无关人员无法进入。放射性固体废物暂存室门上张贴电离辐射警告标志，并根据消防要求设置防火措施。放射性废物库内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。公司拟设放射性废物处理管理专项工作人员，废弃的氙化铀罐体和事故情况下产生的放射性固体废物委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。

净化室氙净化系统中废弃的分子筛需要更换时，提前联系生产厂家（中国工程物理研究院），直接由氙净化系统生产厂家更换和回收。

综上，本项目设置放射性固体废物暂存室，放射性固体废物处理方案可行，项目运行期放射性废物按要求进行收集、暂存和处理，经妥善处置，对环境的影响可接受。

## 5.2.2 人员受照剂量

### 5.2.2.1 外照射

由β射线辐射环境影响分析可知，本项目中子管充气工艺配套屏蔽设施能够完全屏蔽β射线，因此β射线不会对工作人员和公众造成辐射照射，但考虑<sup>3</sup>H韧致辐射对工作人员及公众产生的影响。

#### (1) 预测模式

人员的年有效剂量参考《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

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

式中：

$D_{Eff}$ ——辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

$D_r$ ——辐射剂量率，μSv/h；

$t$ ——年工作时间，h；

$T$ ——居留因子；

$U$ ——使用因子，放射性核素以点源考虑，U取1。

#### (2) 辐射工作人员年有效剂量

本项目辐射工作人员年有效剂量估算结果详见下表。

表 5-5 辐射工作人员年有效剂量估算结果

岗位	工作步骤	年工作时间	辐射剂量率 (μSv/h)	年有效剂量 (mSv)	
4FDT 中子管充气氙混合气实验	氙源运输	250min	7.74E-13 (1#)	3.23E-15	3.01E-09
	充气氙混合气过程	200h	1.48E-08 (7#)	2.96E-09	
	中子管运输	250min	1.18E-08 (2#)	4.92E-11	
	废物运输	50min	7.74E-13 (1#)	6.45E-16	
镱源和氙源电池测试实验	镱源片制备	1000h	4.66E-14 (1#)	4.66E-14	4.66E-14
	封装	1404h	4.66E-14 (1#)	6.54E-14	6.57E-14
	激光打标	4h	4.66E-14 (1#)	1.86E-16	
	电池转运	100min	4.66E-14 (1#)	7.77E-17	

根据上表可知，本项目投入运行后，受外照射影响，DT 中子管充气氙混合气实验辐射工作人员年有效剂量最大值为  $3.01 \times 10^{-9} \text{mSv}$ ；镅源和氙源电池测试实验辐射工作人员年有效剂量最大值为  $6.57 \times 10^{-14} \text{mSv}$ ，以上估算的年有效剂量，都是在最大瞬时剂量率为源强、最大工作负荷的前提下计算所得，在实际操作过程中，工作人员不会时时处于最大辐射水平位置，因此，实际所接受的年有效剂量将比计算结果要小。

### (3) 公众年有效剂量分析

根据中子研究院提供的运行管理制度可知，正常运行情况下，1#中子源厂房为封闭管理，内部无公众人员。

根据本项目的工艺流程分析可知，年充气氙混合气 50 次，年工作时间较短，因此不考虑充气氙混合气时对公众的影响。本项目按照放射性废物暂存室外 30cm 处辐射剂量率来分析 1#中子源厂房周围保护目标处的公众年有效剂量，且保守不再考虑建筑的屏蔽以及距离衰减。

公众受照时间保守以  $24\text{h} \times 365\text{d} = 8760\text{h}$  考虑，居留因子取 1。本项目公众年有效剂量分析结果见下表。

表 5-6 公众年有效剂量估算结果

关注目标	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
500m 范围内公众	4.42E-09	8760	3.87E-08	3.87E-08
	4.20E-14	8760	3.68E-13	

根据上述分析可知，本项目投入运行后，受外照射影响，公众年有效剂量最大值为  $3.87 \times 10^{-8} \text{mSv}$ 。

## 5.2.2.2 内照射

### (1) 预测模式

参考《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 附录 J 中“从事  $^{131}\text{I}$  治疗的工作人员摄入放射性核素所致待积有效剂量”计算公式：

$$E(\tau) = A_0 e(\tau) \quad (\text{式 5-6})$$

式中：

$E(\tau)$ —待积有效剂量，单位为毫希沃特 (mSv)；

$A_0$ —放射性核素摄入量，单位为贝可 (Bq)；

$e(\tau)$ —每单位摄入量引起的待积累有效剂量，单位为毫希沃特每贝可 (mSv/Bq)。根据《职业性内照射个人监测规范》(GBZ 129-2016) 附录 E 表 E.1 保

守考虑  $^3\text{H}$  吸入的  $e(\tau)$  为  $4.1 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ ,  $^{241}\text{Am}$  吸入的  $e(\tau)$  为  $3.9 \times 10^{-5} \text{Sv/Bq}$

$$A_{0\text{吸}} = C_{\text{空}} B_{\text{空}} t \quad (\text{式 5-7})$$

式中:

$A_{0\text{吸}}$ —通过呼吸道的摄入量, 单位为贝可 (Bq);

$C_{\text{空}}$ —放射性核素在空气中的活度浓度, 单位为贝可每立方米 ( $\text{Bq/m}^3$ );

$B_{\text{空}}$ —呼吸率, 单位为立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ( $B_{\text{空}}$ 值成年人取  $0.83 \text{m}^3/\text{h}$ );

$t$ —在放射性核素工作场所的累积时间, 单位为小时 (h)。

## (2) 职业人员

### ①DT 中子管充氙氙混合气实验

整个 DT 中子管充氙氙混合气过程需要约 4 小时, 该过程中工作人员在微源实验室内监控充氙氙混合气装置内各项参数以及各个氙监测仪器监测数据。根据手套箱密封性可知, 手套箱泄漏率低于  $0.05 \text{vol\%/h}$ 。

假设从反应容器渗透到手套箱的氙全部停留并经过手套箱泄漏,  $1.48 \times 10^5 \text{Bq} \times 0.05 \text{vol\%/h} \times 4 \text{h} = 2.96 \times 10^2 \text{Bq}$  (远小于  $^3\text{H}$  的豁免活度  $1 \times 10^9 \text{Bq}$ )。实验室体积  $500 \text{m}^3$ , 则氙工艺实验室内空气中氙的活度浓度为  $0.592 \text{Bq/m}^3$ 。

计算得本项目投入运行后, 受  $^3\text{H}$  核素内照射影响, 职业人员年有效剂量最大值为  $5.92 \text{Bq/m}^3 \times 4.1 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq} \times 4 \text{h} \times 0.83 \text{m}^3/\text{h} \times 50 \text{次} = 4.03 \times 10^{-6} \text{mSv}$ 。

### ②镗源和氙源电池测试实验

镗源片电镀过程年约工作 1000h, 由 1 人完成, 该过程中工作人员在镗工艺实验室内完成。根据手套箱密封性可知, 手套箱泄漏率低于  $0.05 \text{vol\%/h}$ 。

假设从电镀槽渗透到手套箱的镗全部停留并经过手套箱泄漏,  $1.42 \times 10^8 \text{Bq} \times 0.05 \text{vol\%/h} \times 8 \text{h} = 5.68 \times 10^5 \text{Bq}$ 。实验室体积  $150 \text{m}^3$ , 则镗工艺实验室内空气中  $^{241}\text{Am}$  的活度浓度为  $3.79 \times 10^3 \text{Bq/m}^3$ 。

计算得本项目投入运行后, 受  $^{241}\text{Am}$  核素内照射影响, 职业人员年有效剂量最大值为  $3.79 \times 10^3 \text{Bq/m}^3 \times 3.9 \times 10^{-5} \text{Sv/Bq} \times 1000 \text{h} \times 0.83 \text{m}^3/\text{h} = 0.123 \text{mSv}$ 。

## (3) 公众

含氙废气经氙净化系统处理后, 排放口放射性废气中氙的活度浓度低于  $4 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ , 废气经排风机和排风管道引至屋顶, 高于屋面 3m 排放。因此本项目排放的含氙废气考虑公众的内照射影响。

放射性核素在空气中的活度浓度参照《环境影响评价技术导则大气环境》

(HJ2.2-2018) 中推荐模型 AERSCREEN 估算得出最大落地活度浓度，估算结果见下表。

本项目排气筒高度为 53m，排气筒管径为 25mm，氚排放活度浓度为  $4 \times 10^7 \text{Bq/m}^3$ ，排风量为  $200 \text{m}^3/\text{h}$ ，排放强度为  $8 \times 10^9 \text{Bq/h}$ 。

采用 SCREEN 估算模式来预测  $^3\text{H}$  核素排放的环境影响，预测参数和结果见下表。

表 5-7 排气筒排放预测参数和结果

项目	排气筒
污染源类型	点源
排放强度 (Bq/h)	$8 \times 10^9$
排气筒高度 (m)	53
排气筒出口内径 (m)	0.025
排风量( $\text{m}^3/\text{h}$ )	200
烟气温度 (K)	293
环境温度 (K)	293
最大落地活度浓度 ( $\text{Bq/m}^3$ )	63.1
最大落地距离 (m)	175

表 5-8 本项目公众内照射剂量

操作核素	$C_{\text{空}}$ ( $\text{Bq/m}^3$ )	$B_{\text{空}}$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	t (h)	e ( $\tau$ ) ( $\text{mSv/Bq}$ )	有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
$^3\text{H}$	63.1	0.83	8	$4.1 \times 10^{-8}$	$1.73 \times 10^{-5}$

根据上述分析可知，本项目投入运行后，受  $^3\text{H}$  核素内照射影响，公众年有效剂量最大值为  $1.73 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 。

综合以上外照射和内照射个人年有效剂量计算结果，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为  $0.123 + 6.57 \times 10^{-14} = 0.123 \text{mSv}$ ，低于本评价提出的职业人员年剂量约束值  $5 \text{mSv}$ ；本项目公众年有效剂量为  $3.87 \times 10^{-8} + 1.73 \times 10^{-5} = 1.73 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，低于本评价提出的公众人员年剂量约束值  $0.1 \text{mSv}$ 。

## 5.2.5 非放射性“三废”环境影响分析

### (1) 废水

本项目非放射性废水主要为辐射工作人员生活污水，生活污水 ( $0.2 \text{m}^3/\text{d}$ ) 经中子科学基地化粪池预处理达《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015) B 级限值后排入市政污水管网。化粪池设计处理能力  $290 \text{m}^3/\text{d}$ ，可以满足本项目产生的生活污水处理需求。且 1#中子源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 1#中子源厂房产生的废水，因此本项目生活污水依托中子科学基地污水处理设施可行。

废水经市政污水管网进入九龙园区工业污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入肖家河，经大溪河汇入长江。本项目废水对九龙园区工业污水处理厂冲击负荷较小，对地表水环境影响较小。

### （2）固体废物

本项目非放射性固体废物主要为辐射工作人员产生的生活垃圾以及排风系统废活性炭。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。排风系统产生的废活性炭经前文分析，不作为放射性废物考虑，属于一般固废，存于固废暂存间，定期交物资回收单位综合利用。

综上所述，本项目拟采取处置方案符合国家固体废物“资源化、减量化、无害化”基本原则，固废处置措施可行，在落实上述固废处置措施后，项目产生的固体废物均能得到妥善处置，环境影响可接受。

### （3）噪声

本项目位于工业园区范围内，周围声环境不敏感，本项目噪声源主要 2 台排风机，安装于 1#中子源厂房屋面，中子研究院拟采用低噪声设备，噪声值约 65dB(A)~70dB(A)，对周围环境影响很小。

## 5.3 事故影响分析

### 5.3.1 辐射事故类型

本项目涉及使用的非密封放射性物质为： $^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 。根据分析，本项目可能发生的辐射事故如下：

（1）DT 中子管充气氙混合气时，中子管充气氙混合气装置的反应容器和手套箱均破损，导致大量氙气泄漏至氙工艺实验室。

（2）发生氙净化系统分子筛失效，使得含氙废气未经处理直接外排。

（3）镅源片制备时，镅源片电镀装置的反应容器和手套箱均破损，导致大量含镅电解液泄漏至镅工艺实验室。

（4）放射性物品丢失、被盗、失控。

### 5.3.2 风险事故后果分析

#### 5.3.2.1 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此所造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和确定性效应（组织反应）。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率（而非其严重程度）与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在剂量阈值。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

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

不同照射剂量的损伤估计情况见下表。

表 5-9 不同照射剂量对人体损伤的估计

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25 0.25~0.5 0.5~1	/		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化，可能有血液学的变化 机能变化，血液学变化，但不伴有临床症状
1~2	骨髓型	轻度	乏力，不适，食欲减退

2~4 4~6 6~10	急性 放射病	中度	头昏、乏力、食欲减退、恶心，1h~2h后呕吐、白细胞数短暂上升后下降
		重度	1h后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞数明显下降
		极重度	1h内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降
10~50	肠型急性放射病	频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高	
>50	脑型急性放射病	频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退	
注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）和《辐射防护导论》P33。			

### 5.3.2.2 事故分级

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

表 5-10 辐射事故等级分级一览表

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

### 5.3.2.3 事故后果

(1) DT中子管充氙氙混合气时，DT中子管充氙氙混合气装置的反应容器和手套箱均破损，导致大量氙气泄漏至微源实验室事故：

DT中子管充氙氙混合气装置手套箱内设置1台手套箱氙测量仪（壁挂式氙气测量仪），对手套箱内对手套箱气体中的氙活度浓度进行实时连续监测。如手套箱内反应容器破损氙气泄漏至手套箱，氙气浓度超出设定的阈值，手套箱氙测量仪发出警报。工作人员立即停止加热并停止DT中子管充氙氙混合气，氟化铀进行氙气吸附，手套箱及反应容器内废气排至氙净化系统，且手套箱内保持负压，内部气体不会扩散至微源实验室。因此同时出现反应容器和手套箱均破损，氙气泄漏至微源实验室事故的概率较低。如发生该事故，氙气泄漏会对职业人员造成内照射影响。职业人员吸入量保守按照单罐氟化铀最大量的1‰考虑。根据（式5-6）进行计算，则职业人员内照射影响为0.666Sv。职业人员的受照剂量超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生；在事故工况下人员的误照射，可能导致机能变化，血液学变化（但不伴有临床症状），

以及可能增加随机性效应的发生概率。

(2) 发生氙净化系统分子筛失效，使得含氙废气未经处理直接外排事故：

本项目 DT 中子管充氙氙混合气产生的放射性废气主要为反应容器内剩余的少量含氙气体以及实验条件下氙气通过反应容器壁渗透至手套箱的部分，该部分废气通过氙净化系统处理后排放，且氙净化系统配备 4 台氙排放测量仪，废气经第 1 级净化循环装置净化系统处理后氙活度浓度，仍不满足排放要求时，废气自动排入第 2 级净化循环装置，当净化后的废气活度浓度低于排放限值时方可排放。因此出现该事故的概率较低。如发生该事故，考虑该未经处理的含氙废气对公众的内照射影响。事故情况下该部分放射性废气未经净化处理后排放，则根据源项分析可知，排放口放射性废气中氙的浓度为  $1.74 \times 10^{10} \text{Bq}/5 \text{m}^3 = 3.48 \times 10^9 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

根据前文（式 5-6）、（式 5-7）计算以及 AERSCREEN 估算得出最大落地活度浓度，则受  $^3\text{H}$  核素内照射影响，公众年有效剂量最大值为  $3.73 \times 10^{-4} \text{mSv}$ 。公众人员受到的辐射剂量未超过公众年剂量约束值，不会导致辐射损伤。

(3) 镅源片制备时，镅源片电镀装置的反应容器和手套箱均破损，导致大量含镅电解液泄漏至镅工艺实验室事故：

本项目镅源片制备产生的放射性废液主要为反应容器内剩余的电解液，该电解液在使用完后收集至镅工艺实验室废液桶内。在事故发生后，工作人员立即停止加热并停止镅源片制备，去污时佩戴有效的个人防护用品。可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。防止再漏，将剩余含镅电解液转移到实验室内废液桶中，迅速用干的脱脂棉或其他吸水材料将洒出的放射性溶液吸干，控制污染的扩散。如发生该事故，含镅电解液泄漏会对职业人员造成外照射影响。职业人员触碰量保守按照单日氧化镅最大量的 1‰ 考虑。根据（式 5-6）进行计算，则职业人员外照射影响为 0.666Sv。职业人员的受照剂量超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生；在事故工况下人员的误照射，可能导致机能变化，血液学变化（但不伴有临床症状），以及可能增加随机性效应的发生概率。

(4) 放射性物品丢失、被盗、失控事故：

中子研究院在 1#中子源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。1#中子源厂房 4F 工作场所涉核物料进出口、人员进出口等多处设置人脸识别。

本项目放射性物质进入 4F 工作场所后，拟放置在库房内，且存放在保险柜中，保险柜设置双人双锁。库房出入门设置红外报警装置，设置人脸识别装置及电控锁，无关人员无法进入。放射性物质使用前由辐射工作人员从其中拿出来。发生放射性物质被盗的可能性极低。如工作人员发现放射性物质被盗，上报公安机关，找到放射性物质，公众受照时间一般不会超过 24 小时。按照丢失 1 瓶氟化铀进行事故分析，放射性物质找回时间按 24 小时考虑，根据（式 5-5）进行计算，则公众照射影响为 0.24mSv。公众人员受到的辐射剂量超过公众年剂量约束值，但未超过剂量限值，不会导致较严重的辐射损伤，但可能增加随机性效应的发生概率。

### 5.3.3 预防措施

针对上述本项目可能发生的 4 种最大潜在事故，拟分别采取以下的事故预防措施。

#### （1）中子管充氙氙混合气装置氙气泄漏事故防范措施

①制定《设备检修维护制度》，定期对 DT 中子管充氙氙混合气装置进行维护和检修；

②为及时发现 DT 中子管充氙氙混合气装置泄漏，避免氙气逸散到微源实验室对人员造成误照射，DT 中子管充氙氙混合气装置手套箱内设置 1 台手套箱氙测量仪（壁挂式氙气测量仪），微源实验室内 DT 中子管充氙氙混合气装置手套箱旁室内摆放 1 台便携式测氙仪。对 DT 中子管充氙氙混合气装置和工作场所室内空气中的氙气活度浓度进行连续监测，可及时发现氙气泄漏等异常情况，以便及时采取措施。

③DT 中子管充氙氙混合气装置铅手套定期更换，避免老化。

#### （2）过滤系统失效事故

①制定《设备检修维护制度》和《监测方案》，定期对氙净化系统分子筛的净化效率和氙排放测量仪进行检查；

②当净化效率达不到使用要求时，停止岗位操作，及时对氙净化系统内分子筛进行更换；

③分子筛设计和氙排放测量仪采购时，应加强质保控制。

#### （3）镅源片电镀装置电解液泄漏事故防范措施

①制定《设备检修维护制度》，定期对镅源片电镀装置进行维护和检修；

②为及时发现镅源片电镀装置泄漏，避免电解液泄漏到镅工艺实验室对人员造成误照射，镅工艺实验室内电解槽手套箱旁室内摆放 1 台固定式辐射监测报警仪。对镅源片电镀装置和工作场所室内辐射剂量进行连续监测，可及时发现电解液泄漏等异常

情况，以便及时采取措施。

③镭源片电镀装置铅手套定期更换，避免老化。

#### **(4) 放射性物品丢失、被盗、失控事故**

①中子研究院对放射性物品实施严密的安全保卫措施和制度，设置专门的库房和保险柜，库房出入门设置红外报警装置，设置人脸识别装置及电控锁，入口通道处设置摄像头，无关人员无法进入，确保放射性物品处于受控状态；

②放射性物品均存放在有足够屏蔽能力的防护罐内，并存放于专门的保险柜，保险柜设置双人双锁，并由专人负责管理；

③4F、6F 库房内及出入口拟安装摄像头和红外报警装置，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。

## 第六章 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

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用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。

中子研究院已成立辐射安全与环境保护管理小组，小组负责建立中子研究院各项辐射管理制度，建立射线装置、密封源、非密封放射物质的管理台账，管理中子研究院辐射安全许可证及各项辐射工作。

辐射安全与环境保护管理小组负责中子研究院日常辐射安全管理，负责设备的日常完好、管理各类台账，负责操作人员的培训，持证上岗，个人剂量的定期检测和人员体检，组织辐射事故安全应急演练，保护环境安全等。

该辐射安全与环境保护管理小组工作内容涵盖射线装置和放射性物质的管理与使用等相关部门，明确了组成人员及相关职责，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。

另外，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。

目前的辐射安全与环境保护管理小组未设置辐射防护负责人、辐射环境监测与评价专职人员，因此为满足本项目甲级非密封放射性物质工作场所的管理要求，中子研究院拟调整辐射安全与环境保护管理小组成员，明确辐射防护负责人和辐射环境监测与评价专职人员，且该两个辐射安全关键岗位由2名注册核安全工程师担任。

#### 6.1.2 辐射工作人员配备计划

本项目拟配备6名辐射工作人员负责氚源运输、DT中子管充气氚混合气实验、DT中子管运输、废物运输、镅源核素电池、氚源核素电池制作等工作，为本项目专职

辐射工作人员，不兼岗中子研究院其他辐射工作。

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，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用培训平台报名并参加考核。

中子研究院按照相关法律标准和本单位制定的规章制度落实人员培训，组织辐射工作人员参加“科研、生产及其他”类别辐射安全防护培训考核，合格后方可上岗。

## 6.2 辐射安全管理规章制度

### 6.2.1 现有制度落实情况和可行性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，中子研究院必须培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生。同时，《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。有完善的辐射事故应急措施。

根据中子研究院提供的辐射防护工作管理制度，目前已针对科研平台一期核技术项目制定的辐射防护工作制度有：辐射防护和安全保卫管理规定、<sup>3</sup>H密封源安全操作规程、辐射工作人员岗位职责、辐射防护设施检修维护管理制度、辐射工作人员培训管理制度、自行检查和年度评估制度、实验室辐射监测方案、密封源使用登记制度、放射源台账管理制度、辐射工作人员培训计划、科研平台一期辐射事故应急预案，具体见附件9。

中子研究院已有一定从事核技术利用项目的相关实践活动的经验，已建立的一些辐射安全管理制度体现了核技术利用项目辐射安全管理的共同点，现有辐射安全管理比较完善。

### 6.2.2 辐射安全规章制度名录

中子研究院原有制度均为科研平台一期项目使用和销售V类放射源<sup>3</sup>H、使用II类射线装置制定，本项目科研平台二期项目为甲级非密封放射性物质工作场所，为保障本项目运行的辐射安全，保护工作人员、公众和环境，中子研究院承诺在依托原有辐射安全管理制度的基础上，根据本项目核技术利用项目的特点，完善项目相关中子管充气工艺规程、个人剂量管理制度、辐射监测方案及放射性废物处理规程等辐射安全

与放射性污染防治管理制度，完善并拟执行的辐射安全规章制度名称和主要内容见表 6-1。

表 6-1 辐射安全管理制度名录

序号	制度	主要内容
1	防护安全工作规定	依据防护安全方针，建立各级领导、职能部门、技术人员、一线操作人员等对防护安全层层负责的制度
2	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
3	放射性同位素台账管理制度	按《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定，建立保管、领用、贮存、台账管理制度，明确专职管理人员和职责，明确放射性物质的名称、型号、射线种类、用途、来源、储存位置、去向等事项
4	辐射人员培训管理规程	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
5	设备检修维护制度	结合本项目设备情况，制定辐射工作相关设备的操作人员上岗要求、设施设备运行条件、操作程序、安全管理措施、维护保养、检修、故障处理等基本要求
6	辐射安全与环境保护管理机构与职责	结合本项目人员、工作内容，明确辐射安全与环境保护相关管理机构、人员、职责范围和主要工作内容
7	辐射工作场所安全保卫制度	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
8	辐射安全岗位职责	结合本项目内容，完善中子研究院辐射安全管理人员、辐射工作人员、辐射监测人员、检维修人员等的资质条件、岗位职责和基本要求
9	辐射监测方案	将本项目纳入监测管理要求，方案明确辐射工作场所和周边环境的辐射水平监测管理要求，规定监测位置、频率、内容、监测结果及档案管理等
10	放射性废物处理管理规程	明确放射性三废物的产生、收集、暂存、处理、运输、流出物监测与排放等各个环节的管理目标和基本要求
11	辐射监测仪表使用与校验管理制度	明确监测仪器仪表日常使用、维护保养与定期校验等相关规定
12	职业健康管理程序	明确职业健康体检及档案的管理流程
13	辐射安全应急与事件事故管理	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作流程和事件事故调查处理程序、责任认定、处理结论
14	DT 中子管充气氙混合气实验、镅源核电	明确参与工作在岗人员配置、工作人员的穿着要求，DT 中子管充气氙混合气实验、镅源核电、氙源核电的各个环节操作的具体步骤、注意事项以及完成 DT 中子管制备、镅源核电、氙源核电制备后的

池、氚源核电池工艺规程	监测、去污要求。明确 1F 中子源装置项目 DT 中子发生器相关科研实验与 4F、6F 本项目 DT 中子管制备、铳源核电池、氚源核电池制备不同时进行
-------------	---

中子研究院拟在项目投运前根据上表要求，制定、完善辐射安全管理制度，并通过相关的质量保证审查程序，确保制度的适用和有效。

新增辐射工作人员在正式上岗前应熟悉各自岗位的操作工艺，熟练掌握操作流程，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》，中子研究院拟配备监测仪器设备见表6-2所示。

表 6-2 本项目拟配备监测仪器设备一览表

序号	设备及材料名称	数量	设置场所	型号	备注
1	手持式辐射巡测仪	1 台	4F 应急洗消间	6150AD 6/H	依托
2	氚表面活度测量仪	1 台	4F 应急洗消间	TYNE SAM 7001B	依托
3	手套箱氚测量仪（壁挂式氚气测量仪）	1 台	4F 微源实验室	TYNE Model 7065	新增
4	便携式测氚仪	1 台	4F 微源实验室	志探仪器 ZPH-3	新增
5	氚排放测量仪	4 台	4F 净化室	/	依托，由厂家直接安装于氚净化系统内
6	空气中氚取样器	1 台	4F 检测室	志探仪器 ZST-3	依托
7	超低本底液体闪烁谱仪	1 台	4F 检测室	SIM-MAX LSA3000	依托
8	固定式辐射监测报警仪	4 台	6F 铳工艺实验室、回流键合区、键合封焊区	/	新增
9	固定式氚测量仪	1 台	6F 回流键合区	/	新增
10	$\alpha$ 表面污染仪	1 台	6F 检测室	/	新增
11	氚表面污染测量仪	1 台	6F 检测室	/	新增

序号	设备及材料名称	数量	设置场所	型号	备注
12	辐射环境巡检仪	1台	6F检测室	/	新增
13	手脚污染监测仪	1台	6F检测室	/	新增
14	个人剂量计	6枚	工作人员随身佩戴	/	新增
15	个人剂量报警仪	2枚	工作人员随身佩戴	/	新增

本项目为使用非密封放射性物质  $^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$ ，新增与本项目相适应的监测仪器，能够满足项目开展的使用需求。监测仪器定期送有资质单位进行校准/检定，校准/检定合格后方可使用。因此，本项目拟配备的监测仪器能满足项目辐射防护和环境保护的要求。

### 6.3.2 监测方案

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。

目前中子研究院暂未有核技术利用项目正式投入运营，因此暂未开展监测。

#### (1) 环境及工作场所监测

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

①验收监测：验收时监测一次，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门。项目防护设施发生变化、项目设备大修或者更换后进行验收监测。

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

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改，监测仪器按照规定定期送有资质单位进行检定。监测因子及执行标准限值如下表 6-3 所示。

#### (2) 个人剂量监测（外照射）

按照《放射工作人员职业健康管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》的相

关要求，中子研究院委托有资质的单位定期（预计 3 个月一次，一年监测 4 个周期）对所有辐射工作人员进行个人剂量监测，并安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，并对职业照射个人监测档案终生保存。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。

中子研究院拟为每名辐射工作人员配置 1 枚个人剂量计和 1 枚个人剂量报警仪，若辐射工作人员个人剂量单次监测数据超过 1.25mSv，开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于全年累计监测数值超过 5mSv 的辐射工作人员，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关。此外，中子研究院在每年上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

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 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	超出参考水平采取的行动
自行监测	外照射剂量率	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	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 500 米评价范围内保护目标	1 次/季度	项目所在地环境本底水平	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求。
委托监测	外照射剂量率	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	同上	1 次/年	项目所在地环境本底水平	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求。
	放射性气溶胶活度浓度	$^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$	厂区边界 4 个方位	1 次/年	项目所在地环境本底水平	查找原因，进行整改，重点关注氙净化系统的处理效率，运行过程及时更换分子筛，保证废气处理效果
	环境土壤生物样品	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$	厂区边界 4 个方位	1 次/年	项目所在地环境本底水平	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	外照射剂量率	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	操作位、四周屏蔽墙外 30cm、防护门、楼上距地 30cm、放射性固体废物暂存室外、放射性废液暂存室外、铅废物桶表面等	每次工作时	不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求
	内照射剂量	内照射	工作人员体液（测量尿氙、尿锶）	每次 DT 中子管制备、镅源核电池、氙源核电池制备结	叠加外照射剂量职业人员年有效剂量不超过 $5\text{mSv/a}$	查找原因，进行整改，重点关注 DT 中子管充氙混合气、镅源片电镀装置密封性，定期检修维护保证密封处理效果

				束后连续监测七天		
	表面污染水平	$\beta$ 表面污染水平	工作台、设备、墙壁、地面	1次/季度	控制区 $\beta \leq 4 \times 10^2 \text{Bq/cm}^2$ ；监督区 $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$	进行擦拭，直至符合标准
			工作人员的工作服、手套、工作鞋	每次工作结束后	控制区/监督区 $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$	
			手、皮肤、内衣、工作袜	每次工作结束后	$\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$	
	放射性气溶胶活度浓度	$^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$	放射性废气排放口	每次工作时	根据监测结果估算内照射剂量，叠加外照射剂量公众年有效剂量不超过 $0.1 \text{mSv/a}$	查找原因，进行整改，重点关注氙净化系统的处理效率，运行过程及时更换分子筛，保证废气处理效果
委托监测	外照射剂量率	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	同自行监测点位	1次/年	不超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$	及时查找原因，进行整改直至监测符合要求
	表面污染水平	$\beta$ 表面污染水平	工作台、设备、墙壁、地面	1次/年	控制区 $\beta \leq 4 \times 10^2 \text{Bq/cm}^2$ ；监督区 $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$	进行擦拭法直至符合标准
	放射性气溶胶活度浓度	$^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$	同自行监测点位	1次/年	根据监测结果估算内照射剂量，叠加外照射剂量公众年有效剂量不超过 $0.1 \text{mSv/a}$	查找原因，进行整改，重点关注氙净化系统和镅废气处理装置吸附镅的处理效率，运行过程及时更换分子筛和活性炭，保证废气处理效果

## 6.4 辐射防护与污染防治设施设备的安全检查

(1) 中子研究院拟制定设备检修维护制度，定期检查 DT 中子管充气氙混合气装置、镅源片电镀装置、氙气测量装置、库房安保措施的有效性和稳定性。

常规日检查项目：库房内红外报警装置有效性检查，工作场所内视频监控、人脸识别装置、电控锁有效性检查。

月检查项目：DT 中子管充气氙混合气装置、镅源片电镀装置密封性检查，氙净化系统氙气净化过滤装置的有效性，活性炭吸附镅的有效性，库房灭火设备有效性检查。

(2) 中子研究院拟制定辐射监测仪表使用与校验管理制度，定期检查氙气测量装置的有效性和准确性。

每次开始进行 DT 中子管、镅源核电池、氙源核电池制备前，检查氙气测量装置、手持式辐射巡测仪、氙表面活度测量仪等监测仪器能否正常运行；每季度对氙气测量装置进行维护；每年对氙气测量装置进行检定。

## 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。

中子研究院已制定《科研平台一期辐射事故应急预案》，本项目运行后，将根据新增的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。结合新增项目辐射事故情景，制定应急响应和善后工作流程和事件事故调查处理程序、责任认定、处理结论。按要求重新制定后的《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。

### 6.5.1 辐射事故应急响应机构

中子研究院已设置应急救援小组，小组组成如下：

组长：杨琪(法人委托人)

组员：王伟，唐泽鑫，程俊峰，方远瀚

小组承担中子研究院应急救援的日常管理工作及事故情况下的应急指挥工作。小

组职责如下：

- (1) 组织对本单位辐射事故应急预案的编写、修订；
- (2) 对事故现场的应急救援活动进行统一部署，对应急救援工作中的重大事项进行决策；
- (3) 检查应急救援物资的准备情况，事故状态下批准调用备有应急物资，必要时批准向友邻单位申请支援；
- (4) 向上级汇报和友邻单位通报事故情况；
- (5) 组织事故调查，总结应急救援经验教训等。

本项目运行后，中子研究院应根据人事变动情况及时调整机构组成。

### **6.5.2 辐射事故应急预案及应急人员的培训演习**

#### **(1) 现有执行情况**

中子研究院现有核技术利用项目未投入使用，暂未进行应急演练。

#### **(2) 培训**

中子研究院现有辐射事故应急预案中已规定的应急响应指挥部和各专业组人员均需要接受全面的培训，了解国家和地方对辐射应急准备和响应的要求和相关基本知识、了解各应急岗位的基本职责，掌握本岗位的技能要求，培训方式包括参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台和本单位组织的相关培训。

承担应急任务的人员每年应至少参加一次本项目辐射事故专项应急预案的培训学习，熟悉事故类型、危害与处置程序，使之正确理解应急响应要求，有效执行应急响应。应急培训应形成记录并保存。

#### **(3) 演练**

计划每年一次开展针对中子管充气辐射事故专项应急预案的应急演练，使相关人员熟悉应急预案、应急处置方案，并能有序、协调配合；

每次演练后，针对演练中发现的问题，及时对应急预案加以必要修改和完善，以提高应对突发辐射异常事故的应急处置能力。

### **6.5.3 典型辐射事故应急处置措施**

(1) DT 中子管充气氙混合气时，DT 中子管充气氙混合气装置的反应容器和手套箱均破损，导致大量氙气泄漏至微源实验室。

当便携式测氚仪发出警报，工作人员立即停止 DT 中子管制备，撤离微源实验室。微源实验室室内排风系统关闭，开启手套箱与氚净化系统联通处的阀门，将微源实验室和手套箱内废气排至氚净化系统内，直至便携式测氚仪停止警报。

工作人员在应急洗消间内监测沾污情况，将沾污的防护服、口罩等以及氚表面活度测量仪使用后含氚试纸作为放射性固废处理，工作人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，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。

(2) 发生氚净化系统分子筛失效，使得含氚废气未经处理直接外排。

发现氚气未经处理排放后立即关闭氚净化系统停止排放，第一时间向中子研究院辐射安全与环境保护管理小组报告。

在事故发生后，对周边空气中氚活度浓度进行监测，估算周围公众人员受照剂量，根据受照剂量判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发〔2002〕133 号）进行。发生照射事故时，人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，并在 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。

(3) 镅源片制备时，镅源片电镀装置的反应容器和手套箱均破损，导致大量含镅电解液泄漏至镅工艺实验室。

在事故发生后，应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。防止再漏，将剩余含镅电解液转移到别的安全容器中，迅速用干的脱脂棉或其他吸水材料将洒出的放射性溶液吸干，控制污染的扩散。若少量洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。用药棉或纸巾擦抹时，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。若大量镅电解液洒漏，中子研究院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。工作人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，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) 放射性物品丢失、被盗、失控。

发生放射性物品丢失、被盗、失控事件后，第一时间向中子研究院辐射安全与环境保护管理小组报告，由其及时向重庆市生态环境局、重庆高新区生态环境局、公安

等部门报告，按要求进行追查处置。

## 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》（环保部第 18 号令）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 日前向生态环境主管部门提交上一年度的评估报告。

中子研究院拟由专人负责编制年度评估报告，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。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。

中子研究院已建立安全管理体系，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》第十六条规定了建设单位从事辐射活动应具备相应的条件。中子研究院从事的辐射活动能力评价见表 6-5。

表 6-5 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	中子研究院已成立辐射安全与环境保护管理小组，为满足本项目甲级非密封放射性物质工作场所的需求，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，并由注册核安全工程师担任
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10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（ <a href="http://fushe.mee.gov.cn">http://fushe.mee.gov.cn</a> ）的辐射防护与安全培训并考核合格。中子研究院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，设置人脸识别装置及电控锁，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	本项目微源实验室使用DT中子管充氘氚混合气装置来进行DT中子管制备，镅工艺实验室使用镅源片电镀装置来进行镅源片制备；DT中子管充氘氚混合气装置和镅源片电镀装置的屏蔽设计和密闭设计满足相关标准要求。中子研究院在1#中子源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。1#中子源厂房4F、6F工作场所涉核物料进出口、人员进出口等多处设置人脸识别，无关人员无法进入
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	辐射工作场所配备手持式辐射巡测仪、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染测量仪、氚排放测量仪等相应监测仪器。每名辐射工作人员配置1枚个人剂量计和1枚个人剂量报警仪。
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	中子研究院原有制度均为科研平台一期项目使用和销售V类放射源 $^3\text{H}$ 、使用II类射线装置制定，本项目为甲级非密封放射性物质工作场所，为保障本项目运行时的辐射安全，中子研

应具备条件	拟落实的情况
	究院拟根据本项目特点建立本项目相关的制度后方满足要求
有完善的辐射事故应急措施	中子研究院已制定科研平台一期辐射事故应急预案，本项目运行后，将根据新增的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。结合新增项目辐射事故情景，制定应急响应和善后工作流程和事件事故调查处理程序、责任认定、处理结论。按要求重新制定后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、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	放射性废液和放射性固废定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处置，放射性废气经氡净化系统或活性炭处理后高空排放

根据上表可知，中子研究院目前具备的能力如下：

- (1) 成立了辐射安全与环境保护管理机构，有领导分管、安全机构健全。
- (2) 辐射工作场所拟设置的防护设施效能符合辐射防护要求。
- (3) 事故应急预案可行，辐射安全规章制度较全，基本适应现行辐射工作需要。

中子研究院将根据上述对照分析情况，在项目建成前明确辐射工作人员完成培训确保考核合格，进一步完善制度，本报告认为中子研究院已具备使用本项目非密封放射性物质和综合管理能力。

## 6.9 竣工环保验收

根据《建设项目环境保护管理条例》和《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），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。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。本工程竣工环境保护验收一览表见表 6-6。

表6-6 环保设施竣工验收内容和要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	建设内容	4F主要建设微源实验室，以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房（配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用）；6F建设镅工艺实验室及器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房；-1F建设放射性废液暂存室2、放射性固体废物暂存室2，以及放射性废液暂存室1、放射性固体废物暂存室1和固废暂存间（与二期配套甲级非密场所项目共用）。 4F微源实验室内利用氡气进行DT中子管制备，DT中子管年制备量5个；6F镅工艺实验室利用氧化镅粉末进行镅源片制备，镅源片年制备量1200个，通	不发生 重大变更

		过6F组装产线将镅源片封装成镅源核素电池，镅源核素电池年制备量10个；同时利用6F组装产线将氙源片封装成氙源核素电池，氙源核素电池年制备量10个。项目为甲级非密封放射性物质工作场所		
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、个人剂量监测管理制度、人员健康管理规定、设备保养制度、人员培训计划、监测方案、应急预案等。		齐全
4	电离辐射	剂量管理目标值	辐射工作人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ 公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$	GB18871-2002及中子研究院管理规定
		屏蔽体外剂量率控制	屏蔽体外剂量率控制水平为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 热室及工作箱屏蔽体外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《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
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：靶片吸氙装置手套箱顶部及四侧由内到外为3mm钢板+2mm铅板+1mm钢板，底部由内到外为3mm钢板+2mm铅板+2mm钢板，铅玻璃由内到外为8mm钢化玻璃+10mm铅玻璃+5mm钢化玻璃；镅源/氙源电池实验区域手套箱顶部及四侧由内到外为3mm钢板+3mm铅板+1mm钢板，底部由内到外为3mm钢板+3mm铅板+2mm钢板，铅玻璃由内到外为8mm钢化玻璃+10mm铅玻璃+5mm钢化玻璃；3.操作场所安全设施：设置专用的放射性物质贮存场所，并配备相应的安全措施，配备氙气监测装置和辐射监测仪器。4.配套设施：工作人员出入口设置应急洗消间和更衣室、缓冲间、淋浴间等卫生通过设施，工作场所内配备洁具间。5.安保措施：1#中子源厂房4F、6F工作场所涉核物料进出口、人员进出口等多处设置人脸识别，无关人员无法进入。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，设置人脸识别装置及电控锁		
6	人员要求	按照要求组织辐射工作人员培训及复训，考核合格后上岗，考核成绩在有效期内。需要佩戴个人剂量及按时组织体检		
7	放射性三废处理设施	废水	放射性废液在放射性废液暂存室暂存池（2用1备）内贮存，定期（根据实际废水的产生量来定，不超过3年处理一次）委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。 -1F放射性废液暂存室内设置3个成品不锈钢（材质为304不锈钢，厚度不低于1.5mm）暂存池。放射性废液暂存室裙脚及地面采取防漏、防渗、防腐措施，基础防渗层用厚度在2毫米以上的高密度聚乙烯或其他人工防渗材料组成，渗透系数 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$	
		废气	（1）①微源实验室、净化室单独设置一条排风管线，在各功能房间排风口处设置止回阀防止放射性气体倒吸，排风系统风机风量 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，废气由排风井（位于微源实验室西北角处）经高效活性炭过滤装置（处理效率99%）过滤后高于屋顶3m排放；②应急洗消间、检测室、应急物资室、洁具间、库房、电子台账室、预留化学实验室1、预留实验室1单独设置一条排风管线，在各功能	

8	三废处理设施		<p>房间排风口处设置止回阀防止放射性气体倒吸，排风系统风机风量15000m<sup>3</sup>/h，废气由排风井（位于货梯南侧）经高效活性炭过滤装置（处理效率99%）过滤后高于屋顶3m排放；③微源实验室DT中子管充氙氙混合气装置内废气通过单独管道连接至净化室氙净化系统，经氙净化系统处理后单独设置一条排风管线，排风系统风机风量200m<sup>3</sup>/h，废气由排风井（位于微源实验室西北角处）经排风机和排风管道引至屋顶，高于屋面3m排放（排风口高53m）</p> <p>（2）镅工艺实验室镅源片电镀装置单独设置一条排风管线，排风系统风机风量10000m<sup>3</sup>/h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶3m排放；电池封装区手套箱均单独设置排风管线，风系统风机风量10000m<sup>3</sup>/h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶3m排放</p> <p>镅工艺实验室、预留用房、器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等各功能房间单独设置一条排风管线，排风系统风机风量15000m<sup>3</sup>/h，废气由排风井经高效活性炭过滤装置过滤后高于屋顶3m排放</p>
		固体废物	<p>本项目微源实验室DT中子管制备完成后废弃的氙化铀罐体装入屏蔽容器中，镅工艺实验室镅源片制备完成后废弃的氧化镅罐体装入屏蔽容器中，事故情况下工作人员沾污的防护服、口罩等以及氙表面活度测量仪使用后含氙试纸收集至应急洗消间废物桶内，及时转送至放射性固体废物暂存室，放射性固体废物暂存室设置废物桶，废物桶表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。废弃的氙化铀罐体和事故情况下产生的放射性固体废物定期（预计每3年处理一次）委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理。</p> <p>净化室氙净化系统中废弃的分子筛需要更换时，提前联系生产厂家（中国工程物理研究院），直接由氙净化系统生产厂家更换和回收</p>
		废水	<p>生活污水依托“中子科学基地建设项目”化粪池（日处理规模290m<sup>3</sup>/d）预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准、氨氮参照执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级限值后排入市政污水管网</p>
		固体废物	<p>生活垃圾收集后交由市政环卫部门处置。排风系统废活性炭属于一般固废，废活性炭暂存于-1F固废暂存间，定期交物资回收单位综合利用</p>
		噪声	<p>本项目噪声源主要1台排风机，安装于1#中子源厂房屋面，中子研究院拟采用低噪声设备</p>

## 第七章 利益-代价简要分析

### 7.1 利益分析

#### 7.1.1 社会效益

DT中子管是一种重要的实验设备，广泛应用于核物理、材料科学、生命科学等领域的研究。随着科学技术的不断进步，对DT中子管设备性能和功能的需求也越来越高，为DT中子管行业的发展提供了动力。随着科技的不断发展和应用领域的扩展，DT中子管的需求可能会不断增加，投资规模可能会相应扩大。

中子研究院拟建设一条专业化的实验室产线，专注于同位素电池的封装技术研发与生产重点面向辐致光伏电池的封装需求。该产线以实现高稳定性、长寿命同位素能源转化为目标，通过精密封装工艺将放射性同位素(如氚、钷等)与辐致光伏半导体材料高效集成，利用同位素衰变释放的 $\beta$ 粒子激发光伏材料产生电能。产线设计涵盖高功率密度封装、辐射源安全处理、辐射屏蔽结构优化及电池性能检测等核心环节，确保在严格辐射防护标准下实现电池的小型化、高能量密度、高稳定性输出及低环境泄漏风险，为航空航天、深海探测、医疗植入设备等特殊场景提供安全可靠的微型化核能供电解决方案。

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

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，随着中子研究院业务范围的进一步扩大，可使更多的核技术从业人员参加工作，为保障社会安定起到积极作用。随着中子技术的发展，也将为中子研究院创造更大的经济效益。

### 7.2 代价分析

项目产生的负面环境影响主要为电离辐射，通过采取环保措施，其影响在一定程度上将得以减轻或消除。项目拟设计建造辐射防护与安全设施以尽量降低对工作人员和公众的辐射影响，环评分析，项目对工作人员和公众的辐射环境影响很小，满足国家相关标准要求。

项目的经济代价主要包括设备设施投资和环保投资等成本，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。项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资

和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得社会效益和经济效益的同时，具备环境效益。

### 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。”通过利益和代价的简要分析，考虑经济、社会、环境各方面的因素，项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害等代价，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”。

## 第八章 公众参与

本项目按照《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，公众参与过程中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《高性能微型核电池自主研发与产业化建设项目环境影响评价公众参与说明》。

## 第九章 评价结论与建议

### 9.1 项目工程概况

本项目4F主要建设微源实验室，以及库房、电子台账室、净化室、检测室、应急洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房（配套用房与二期配套甲级非密场所项目共用）；6F建设镅工艺实验室及器具清洗室、电池封装区、电池储存区、尾气处理设备区、台账记录间、辐射检测室、洗消间、更衣室、缓冲间、淋浴间等配套用房；-1F建设放射性废液暂存室2、放射性固体废物暂存室2，以及放射性废液暂存室1、放射性固体废物暂存室1和固废暂存间（与二期配套甲级非密场所项目共用）。4F微源实验室内利用氚气进行DT中子管制备，DT中子管年制备量5个。6F镅实验室内利用氧化镅粉末进行镅源片制备，源片年制备量1200个。项目为甲级非密封放射性物质工作场所。

项目主要污染源项为操作非密封放射性物质过程产生的 $\alpha$ 射线、 $\beta$ 射线、 $\beta$ 表面污染、韧致辐射和放射性三废。项目通过配置靶片吸氚装置、氚化铀屏蔽容器和氚靶屏蔽容器等专门的防护设备对电离辐射进行屏蔽防护，设置净化室、放射性废液暂存室和放射性固体废物暂存室用于处理本项目产生的放射性三废。

该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 1#中子源厂房。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。

本项目为中子研究院中子源装置项目配套甲级非密封放射性物质工作场所，为其DT中子发生器制备所需氚靶，本项目选址于中子源装置项目楼上，与其集中布置于1#中子源厂房，减小影响范围，具有方便放射性物质转移等工艺方面的优势。本项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理可行。

本项目拟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。1#中子源厂房北侧为核材料进出口，场所北侧为涉核物料运输路线，使核材料转运路线相对较短，且设置专门的涉核货梯，用于涉核原辅料和放射性固体废物的运输，4F拟

设涉核原辅料专用库房，-1F 设放射性废液间和放射性固体废物暂存室。人员路线拟设于场所的中部，拟设置人员电梯，并在入口处设置应急洗消间和更衣室、缓冲间、淋浴间等卫生通过设施，拟设置多个人脸识别装置（门禁系统）。南侧布设非核物料运输路线，设置专门的物料货梯。

该层为单一的中子管充气甲级非密封放射性物质工作场所，涉及放射性同位素操作的功能用房布局相对集中，人流、物料通道独立，路线清晰，且涉核原辅料和放射性废物路径相对较短。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空排放。涉核物料进出口、人员进出口等多处设置人脸识别、监控装置，便于工艺的开展，也能避免工作人员和公众受到不必要的照射。拟建项目位于工业园区内，拟将项目非密封源场所所在 1#中子源厂房设于厂区东北侧，即位于厂区下风向，而办公区拟设于厂区南侧，以减少项目对公众的影响。

### 9.3 辐射安全与防护

本项目氚工艺实验室使用靶片吸氚装置来进行中子管充气，靶片吸氚装置的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，设置专门的库房和保险柜，库房出入口设置红外报警装置；工作场所各通道和主要用房设置人脸识别装置及电控锁，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较低水平，放射性三废处理方案可行。

本项目配备了手持式辐射巡测仪、氚表面活度测量仪、手套箱氚测量仪（壁挂式氚气测量仪）、便携式测氚仪、氚排放测量仪等监测仪器，保证辐射工作人员、公众成员的安全。

### 9.4 环境影响分析

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，辐射工作场所周围辐射剂量率水平满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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  $10\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

在运行过程中，叠加内照射和外照射及中子源装置项目辐射影响，本项目辐射工作人员有效剂量最大值为  $0.123\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的  $20\text{mSv/a}$  的职业照射剂量限值，也低于本次评价确定的  $5\text{mSv/a}$  职业照射剂量约束值。

本项目 500m 范围内公众有效剂量最大值为  $1.73\times 10^{-5}\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的  $1\text{mSv/a}$  公众照射剂量限值，也低于本次评价确定的  $0.1\text{mSv/a}$  的公众剂量约束值。

本项目放射性废气经氡净化系统处理后排放，放射性废液和放射性固废定期委托有放射性固体废物处置和贮存资质单位处理，放射性三废处理方案可行，对环境的影响可接受。

## 9.5 事故风险分析结论

本项目可能产生的辐射事故为氡气泄漏、含氡废气未经处理直接外排和放射性物品丢失等辐射事故，引起人员的外照射和内照射影响，项目可能导致的辐射事故等级为一般辐射事故。本项目在采取相应措施后风险可防可控。中子研究院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，进一步完善并认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

## 9.6 辐射安全管理

管理机构：中子研究院成立了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。为满足本项目甲级非密封放射性物质工作场所的需求，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：中子研究院已为科研平台一期核技术项目制定了一系列辐射防护工作制度。中子研究院根据本项目科研平台二期项目甲级非密封放射性物质工作场所目开展的情况，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。

中子研究院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，中子研究院管理机构、规章制度、辐射监测方案及辐射工作人员的管理均可满足本项目对辐射安全管理的要求。

## 9.7 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、现场张贴公告等方式进行了公众参与，在报批前公示期间未收到其他社会公众、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《高性能微型核电池自主研发与产业化建设项目环境影响评价公众参与说明》。

## 9.8 总结

综上所述，中子科学（重庆）研究院有限公司拟开展的“高性能微型核电池自主研发与产业化建设项目”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。中子研究院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，故从辐射安全和环境保护的角度考虑，本项目的建设是可行的。

## 9.9 建议和承诺

### 9.9.1 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。

### 9.9.2 承诺

为保护环境，保障人员健康，中子研究院承诺：

- (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) 安排新增辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护培训，考核合格上岗。
- (3) 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。
- (4) 接受生态环境主管部门的监督检查。

(5) 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。

(6) 靶片吸氡装置和氡净化系统投入使用前，严格检查其设备质量，确保靶片吸氡装置的密封性和氡净化系统的处理效率。

(7) 制定中子管充气工艺流程并严格执行，明确 1F 中子源装置项目 DT 中子发生器相关科研实验与 4F 本项目中子管不同时进行。

(8) 严格落实各项辐射安全措施和安保措施，保证项目的安全运行。