

核技术利用建设项目
辐照应用研发示范项目
环境影响报告表



建设单位：重庆易瑞科技有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司



编制时间：2025 年 6 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目 辐照应用研发示范项目 环境影响报告表

建设单位名称：重庆易瑞科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：重庆市高新区虎溪街道景阳路 37 号 3 幢 6-1

邮政编码：400000

电子邮箱：zexin.tang@fds.org.cn

联系人：唐泽鑫

联系电话：1510 521



打印编号: 1747724980000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	k92385		
建设项目名称	辐照应用研发示范项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆易瑞科技有限公司		
统一社会信用代码	91500107M AD 8LY 371N		
法定代表人 (盖章)	师雪艳		
主要负责人 (签字)	杨琪		
直接负责的主管人员 (签字)	王新宇		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
刘媛	2014035550350000003511550046	BH 001056	刘媛
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
周欢	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议	BH 042644	周欢

表 1 项目基本情况

建设项目名称		辐照应用研发示范项目			
建设单位		重庆易瑞科技有限公司			
法人代表	师雪艳	联系人	唐泽鑫	联系电话	151*****521
注册地址		重庆高新区虎溪街道景阳路 37 号 3 幢 6-1			
项目建设地点		重庆高新区巴福镇大田湾（高新区西彭组团 Q7-3/05 地块）中子科学基地 4#研发生产厂房 1F			
立项审批部门		重庆高新区改革发展局	批准文号	2502-500356-04-05-214604	
建设项目总投资（万元）		1500	项目环保投资（万元）	55	投资比例（环保投资/总投资） 3.7%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） 2200
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
	项目概述				
1.1 建设单位简介					
重庆易瑞科技有限公司（以下简称“易瑞公司”）成立于 2023 年，位于重庆高新区虎溪街道，是一家以从事科技推广和应用服务业为主的企业。企业注册资本 100 万人民币。其经营范围包括：技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；专业保洁、清洗、消毒服务；食用农产品初加工；包装服务；核子及核辐射测量仪器制造；食品销售（仅销售预包装食品）；农副产品销售。					
1.2 项目由来					
近年来食品、医药等的辐照灭菌需求大幅增长，为了适应市场对辐照灭菌的需求，同时研究辐照技术的其他应用领域和辐照技术开发，易瑞公司拟租用位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块生命科技园 B 区中子科学基地（以下均称科学基地）建设项目 4#					

续表 1 项目基本情况

研发生产厂房 1F 建设“辐照应用研发示范项目”，科学基地由重庆科学城高新产业发展有限公司开发建设，该公司已出具了将 4#厂房 1F 租赁给易瑞公司使用的说明，详见附件。科学基地目前处于建设过程中，部分厂房已建设完成，但还未正式投运。本项目所在的 4#厂房为独立建筑物，除人员生活污水处理依托基地生活污水处理设施外，其余相关运营活动与基地其他区域彼此独立，基地生活污水处理设施正在建设过程中，本项目投运前，该生活污水处理设施将达到使用条件。

科学基地 4#研发生产厂房共四层，其中 2~4F 为其他项目使用用房（目前未确定用途和使用单位），“辐照应用研发示范项目”只使用 4#研发生产厂房 1F。本项目主要新建 2 间辐照室和相关配套用房，并购置 2 台 10MeV 电子加速器用于辐照灭菌，主要满足企业对外提供辐照灭菌服务的需求和辐照技术的研究开发，辐照对象主要为食品、医药、农产品、新材料等。本项目所接收的需辐照货物均为不需要冷藏的成品，不设置冻库，货物均常温保存。

科学基地位于重庆高新区生命科技园 B 区，基地占地 92 亩，规划建设 9 栋单体建筑，目前基地处于建设过程中，本项目所在的 4#研发生产厂房区域目前已开始进行主体结构施工（主要施工部分为大楼承重柱和承重梁等，暂未修建楼板和外墙等结构），本项目辐照用房将在 4#研发生产厂房主体结构建成后，在厂房内对应区域建设。4#研发生产厂房除本项目以外的其他区域暂未确定入驻项目，其环境影响手续待后续根据入驻项目具体情况，进行相应工作，不在本次评价范围内。

根据《射线装置分类》（原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）可知，工业辐照用加速器属于 II 类射线装置。射线装置使用时将会对周围环境产生一定的电离辐射影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》的相关规定，“辐照应用研发示范项目”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）的分类管理要求，本项目属于“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目使用 II 类射线装置的”，应编制环境影响报告表。除辐照加工外，本项目不开展其他产品生产、加工工序。

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》，重庆易瑞科技有限公司委托重庆宏伟环保工程有限公司对本项目进行环境影响评价。评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和

续表 1 项目基本情况

环境状况,并按照国家对核技术利用项目环境影响评价技术规范的要求,编制完成了《辐照应用研发示范项目环境影响报告表》。

1.3 建设规模及工程内容

1.3.1 项目组成

项目所在厂房基本情况:科学基地 4#研发生产厂房共四层,总建筑高度为 23m,其中 1F 层高为 8m,属于本项目使用区域,2F~4F 为预留场地(非本项目单位使用),暂未确定使用功能和布局。根据本项目设计图纸,辐照室整体高度约 9.5m,高于大楼 1F 层高,因此,辐照室主机厅顶棚混凝土会突出厂房 2F 地面。根据本项目设计图纸,厂房北侧(本项目辐照室 2 占地及周边位置)区域 2F~4F 均为采光天井,辐照室 2 的主机厅顶部周围相邻环境临空,其上方为大楼玻璃屋顶(只有采光天井区域为玻璃屋顶,其余区域屋顶为混凝土)。辐照室 1 主机厅顶部周围相邻区域为厂房 2F 地面,顶棚突出地面约 1.5m 高,但周边区域使用围栏围挡,不允许人员进入,也不作为功能用房使用。因此,虽然辐照室主机厅顶棚高于了厂房 2F 地面位置,但实际上,除主机厅顶棚混凝土区域占用厂房 2F 部分空间以外,本项目各功能用房区域均只在厂房 1F 空间内布置,因此描述本项目用房所在空间时,仅考虑了厂房 1F。主机厅突出 2F 地面部分为采用天井和围栏封闭区域,无任何功能作用,也不开放给厂房 2F 未来的使用单位利用。4#厂房平剖面及辐照室平剖面设计情况见附图 4~9。

本项目建设内容:拟建项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 4#研发生产厂房 1F,建设内容包括在 4#厂房 1F 内新建 2 间辐照室,辐照室为两层钢筋混凝土结构,包括下层辐照厅和上层主机厅及其控制室、水冷机房与设备间等,并配置 2 台 10MeV 电子加速器。另在 4#研发生产厂房 1F 除辐照室以外的其他区域布设货物暂存区等配套区域。总建筑面积约 2800m²(包括厂房 1F 占地面积和辐照室上层的主机厅、控制室、水冷机房等用房的建筑面积)。

总投资约 1500 万元,施工期约 12 个月。

食品、药品等辐照产品的生化实验部分委外完成,不属于本项目评价范围。

项目组成见表 1-1。

续表 1 项目基本情况

表 1-1 项目组成一览表				
序号	类别	项目名称	建设内容	备注
1	主体工程	加速器辐照室（辐照厅+主机厅）	在厂房1F新建2座辐照室，分别位于厂房北侧和西侧，辐照室均为两层混凝土结构（下层为辐照厅、上层为主机厅），2间辐照室规格尺寸相同。辐照厅内净空为：14.8m×2.8m×2m，辐照厅出入口设置“工”字型迷道。主机厅内净空为：4.65m×4.6m×5m，主机厅出入口设置Z形迷路。	新建
		设备	拟配置2台电子直线加速器，电子束能量10MeV、电子束流强2mA、扫描宽度600~800mm，属于II类射线装置。项目电子直线加速器设备主机部分安装在辐照厅上方主机厅内。	新购
2	辅助工程	控制室	设置2个控制室，分别位于2间辐照室上层主机厅外侧，面积约34.5m ² 。	新建
		水冷机房、设备间	每间辐照室设置1个水冷机房和1个设备间，均位于上层主机厅外侧，水冷机房面积约49m ² ，设备间面积约38m ² 。	新建
3	储运工程	传输带	需辐照的货物通过自动传输系统，传送至辐照厅内进行辐照。传送带距地面高度为0.7m，钛窗到束下传输带（不锈钢板）距离约0.9m。	新建
		待辐照区、已辐照区、货物临时周转区	在厂房1F除辐照室和电梯间等公用设施以外的区域设置1个待辐照区和2个已辐照区。待辐照区用于堆放待辐照货物，面积约530m ² ；已辐照区用于堆放已辐照货物，面积约500m ² 。货物通过叉车转运。	新建
4	公用工程	供配电系统	依托基地供配电系统，用电来源于市政供电	依托
		给水系统	依托基地给水系统，来源于市政供水	依托
		排水系统	项目工作人员生活污水依托中子科学基地污水处理设施处理达《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后均排入市政污水管网。	依托
		通风系统	每间辐照室内设置1个抽风口，位置位于下层辐照厅地面处，地坪下方设置“U”型风管，经预埋混凝土预制通风管道引至室外（4#厂房顶）排放。辐照室采用自然进风。	新建
5	环保工程	污水处理	生活污水依托科学基地污水处理设施处理后排入市政污水管网，污水处理设施位于基地5#楼，设计日处理能力为290m ³ /d。 正常情况下，设备冷却水循环不外排，辐照室无束下喷淋降温排水。	依托
		废气处理	每间辐照室设置1套机械排风系统，将主机厅和辐照室内产生的臭氧、氮氧化物等废气引至室外排放。每套排风系统安装1台风量约12000m ³ /h的风机，通风换气次数约28.5次/h（考虑主机厅、辐照厅、迷道，容积约420m ³ ），以保证臭氧等有害气体浓度满足GBZ2.1的规定。	新建
		固废处理	生活垃圾等收集后交环卫部门处置。 报废的射线装置去功能化后交按要要求处置，建设单位应做好相应记录并保留手续。	依托 新建
		屏蔽防护	设置足够厚度的混凝土屏蔽墙体、迷道以及铅防护门对本项目电子加速器产生的电离辐射进行屏蔽防护。	新建
6	其他	辐射环境管理	易瑞公司拟设置辐射防护管理机构，安排专人负责辐射防护管理工作，拟制定相应的管理制度和应急预案。	新建

续表 1 项目基本情况

1.3.2 屏蔽防护设计

本项目辐照室的设计情况如下表 1-2 所示。

表 1-2 辐照室屏蔽设计情况一览表

场所	项目	参数
辐照厅 1、2	长×宽×高	外部尺寸：20m×14m×3.4m 内空尺寸：14.8m×2.8m×2m（不含迷道）
	后侧	2600~2900mm 混凝土
	两侧	2600mm 混凝土
	“工”字型迷道	迷道内墙 2000mm 混凝土（长 4.6m）和 1950mm~2850mm 混凝土（两侧凸出部分，合计长 6.2m） 迷道中墙 1000mm 混凝土（长 5.15m+5.15m） 迷道外墙 300~750mm 混凝土（长 14.8m） 迷道两侧的外墙 600mm 混凝土 迷道内墙和外墙之间用 500mm 混凝土分隔
	顶部	1350mm 混凝土 扫描构件穿孔尺寸：上部高 500mm×宽 1100mm×长 2250mm；下部为梯形结构，高 850mm，长 400mm，上边沿宽 400mm，下边沿宽 950mm。具体见附图 6 所示。
	辐照厅进出口的尺寸	门洞尺寸：2m×2m 货物进出门尺寸：传送带下方为支架，传输带上方门尺寸为 1.1m（宽）×1m（高），采用不锈钢材质门，设备运行时，货物进出门打开，设备停运时，货物进出门关闭。 人员进出门尺寸为 0.7m（宽）×1.9m（高），采用不锈钢材质门，设置门机联锁。
主机厅	长×宽×高	外部尺寸：12m×8.65m×6.1m 内空尺寸：4.65m×4.6m×5m（不含迷道）
	后侧	1800mm 混凝土
	两侧	2000mm 混凝土
	迷道	迷道内墙 800~1000mm 混凝土 迷道中墙 600~1000mm 混凝土 迷道外墙 1000mm 混凝土 迷路内空高为 3000mm
	顶部	1100mm 混凝土
	主机厅防护门	门洞尺寸：1.3m×2m（高） 门尺寸：1.5m×2.2m（高） 门材质：铅 门厚度：3mmPb

备注：①以辐照室迷路侧为前侧描述辐照室四周方位。②混凝土（2.35g/cm³），铅（11.3g/cm³）。

1.3.3 相关设备配置

本项目设备清单见表 1-3。

续表 1 项目基本情况

表 1-3 项目设备一览表						
序号	名称	数量	规格型号	用途	参数	放置位置
1	电子加速器	2 套	DZ-10MeV/20kW	辐照灭菌	II类射线装置 电子束能量10MeV、 电子束流强2mA、扫描 宽度600-800mm	设备主要组件安装在主机厅，电子束流加速部分穿过顶棚，下接束流引出组件
2	束下传输系统	2 套	/	货物自动传输	加速器配套系统	辐照厅内外
3	冷却水循环系统	2 套	/	加速器各组件冷却		主机厅旁水冷机房
4	风机	2 个	/	辐照室排风	风量 12000m ³ /h	厂房屋顶上方

1.3.4 工作负荷

本项目主要接受委托为周边地区客户提供食品、医药、农产品、新材料等产品的杀菌保鲜和消毒灭菌服务以及进行辐照加工技术研发，所接收的外来货物均为不需要冷藏的成品，不设置冻库，货物均常温保存，一般为箱货、袋装物等，箱、袋尺寸不一，全年进行辐照加工的货物类型、货物量等均会因市场环境发生变化，存在不确定性。根据建设单位提供的资料可知，在满足电子加速器及束下传输系统限制的条件下，本项目电子加速器年工作 250 天，平均每天最多运行 8h，单台设备年工作时间约为 2000h。

1.3.5 劳动定员

本项目劳动定员 8 人，主要负责加速器操作，以及在辐照厅外的货物装卸操作区进行辐照货物装卸等工作。每组 4 人（两人负责设备操作、巡检，2 人负责货物装卸），每天工作 8 小时，年工作 250 天。

设备的维修由设备厂家负责。除在货物装卸操作区进行辐照货物在传输带上的取放以外，其他如货物转运至本项目厂房内、待辐照区和已辐照区之间的转运等由非辐射工作人员利用叉车完成，该部分人员为公众成员，货物转运至指定放置区域后即离开。

1.4 项目外环境概况

本项目位于科学基地 4#厂房 1F。4#厂房四周均为科学基地内部道路、绿化等，北侧约 30m 为 1#厂房，西侧约 20m 为 3#厂房，南侧约 30m 为 5#厂房，东侧约 15m 为广源路。

项目所在厂房外环境关系见表 1-4 所示。

续表 1 项目基本情况

表 1-4 项目所在厂房周围外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近距离（m）	高差（m）	环境特征
1	户外绿化、道路	四周紧邻		0m	内部道路
2	1#厂房	北侧	约 30m	0m	科学基地建筑，在建
3	3#厂房	西侧	约 20m	0m	科学基地建筑，拟建
4	5#厂房	南侧	约 30m	0m	科学基地建筑，拟建
5	广源路	东侧	约 15m	0m	市政道路

本项目辐射环境保护目标为辐照室周围 50m 范围内的辐射工作人员和公众成员。

1.5 项目选址可行性

项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 4#研发生产厂房 1F，4#厂房为独立区域，共 4 层，其中 1F 仅供本项目使用，2~4F 为预留用房。厂房 2~4F 目前未明确入驻企业，但要求不能作为妇女、儿童等敏感人群长期聚集活动使用。且在 4#厂房建设和运营过程中，不能破坏本项目辐照室混凝土屏蔽结构。

中子科学基地所在区域属于重庆高新区生命科技园 B 区，根据《西部科学城重庆高新技术产业开发区（直管园）规划环境影响报告书》及其审批文件内容可知：生命科技园主导产业定位为：智能网联新能源汽车及核心器件、生物医药等。本项目主要用于食品、医药、农产品、新材料等的辐照杀菌，属相关配套产业，符合生命科技园产业定位。

根据 2024 年高新区管委会《关于研究中子科学基地产业布局相关事宜专题会议纪要》内容：会议明确，一是原则同意《中子科技产业集群规划方案》，支持中子科学基地聚焦中子医药等 3 个优势领域，建设中子源大型科学装置平台等 4 个特色平台，带动先进材料、同位素及制品等 7 个关联产业项目，打造中子科技产业集群。二是根据高新开发集团《关于中子科学研究院载体相关问题专题研究会议纪要》（专题会议纪要 2023-63），明确在确保安全和突破预算限额的前提下，将 4#楼规划布局做一定调整变更，增加屏蔽室及配套设施，用于建设辐照加工应用研发示范项目。因此，本项目属于中子科学基地最新规划内的项目。

根据辐射环境监测结果，本项目拟建地址的环境 γ 辐射剂量率在 2023 年重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。因此，项目整体选址合理。项目 50m 范围内主要为中子科学基地内区域和市政道路等，不涉及医院、学校、集中居住区等环境敏感区。拟建的两间辐照室分别位于厂房 1F 北端和西端，相邻主要为项目用房和户外绿化、

续表 1 项目基本情况

道路等，距离公众成员停留时间较长的区域相对较远，辐照室周围人员活动相对较少，有利于减少项目运行对公众成员的辐射影响。

综上所述，项目选址是可行的。

1.6 与项目有关的原有核技术应用及污染状况

易瑞公司无原有核技术利用项目。

1.7 项目所在用房环保手续情况

中子科学基地建设项目于 2023 年 2 月 10 日取得了重庆高新区改革发展局立项批复，批复文号为渝高新改投〔2023〕69 号，由重庆科学城高新产业发展有限公司负责建设。根据建设方案，基地内主要建设 9 栋单体建筑，然后引入与基地产业定位相符的企业入驻，基地本身按照豁免环评的厂房项目进行建设。

本项目位于科学基地 4#研发生产厂房，后续将根据引入项目情况，分期对厂房内各建设项目进行环境影响评价。

1.8 本项目依托情况

本项目为新建项目，位于科学基地内的 4#研发生产厂房 1F。

表 1-5 项目依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析	结论
公用工程	依托供电、供水等	项目科学基地厂房内，供电、供水设施依托基地公用设施。基地为市政供电，市政管网供水。依托可行。	可行
环保工程	依托污水处理设施	项目无生产废水，仅有少量工作人员生活污水，生活污水排入科学基地新建污水处理设施（设计日处理能力为 290m ³ /d）处理后排入市政污水管网，依托可行。	可行
	依托固废收集系统	生活垃圾依托基地收集系统收集后交市政环卫部门处理。依托可行	可行

由上表可知，本项目供水供电等公用工程、污水处理、固废处理等环保工程依托基地设施可行。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
本项目不涉及。								

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及。										

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器	II 类	2 台	DZ-10MeV/20kW	电子	10MeV	电子束流强度 2mA	杀菌保鲜、消毒灭菌、辐照技术研发	辐照室 1、2 (包括辐照厅和主机厅)	新建

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
本项目不涉及。									

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
本项目不涉及。													

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	通过排风管道引至辐照室屏蔽体外，最终通过风井排放到厂房屋顶上方，排放口离地高度约25m
生活污水	液态	/	/	/	90m ³ /a	/	/	基地生活污水处理设施处理后排入市政污水管网
生活垃圾	固态	/	/	/	1t/a	/	基地生活垃圾暂存点	基地环卫统一处置
报废的加速器及更换的结构部件	固态	/	/	/	/	/	/	去功能化后交接要求处置，建设单位应做好相应记录并保留手续

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

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

表 6 评价依据

法规 文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修正； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）； (9) 关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (10) 《重庆市辐射污染防治办法》（重庆市人民政府令第 338 号），2021 年 1 月 1 日施行； (11) 《重庆市环境保护条例》，2024 年 9 月 28 日第三次修正； (12) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日起施行。
----------	---

表 6 评价 13 依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (4) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979 - 2018)； (5) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T25306-2010)； (6) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)； (7) 《电子辐射工程技术规范》(GB50752-2012)； (8) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)； (9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (10) 《核应急管理导则——放射源和辐射技术应用应急准备与响应》国防委、卫生部，2003 年 2 月 21 日； (11) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (11) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (12) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326—2023)。
其他	(1) 委托书(支撑材料附件 1)； (2) 项目备案证(支撑材料附件 2)； (3) 科学基地立项文件(支撑材料附件 3)； (4) 项目辐射环境监测报告(支撑材料附件 4)； (5) 项目设计等相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目射线装置为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，确定以加速器辐照室为边界外 50m 区域作为本项目辐射环境影响评价的范围。

7.2 环境保护目标

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 4#研发生产厂房 1F，共建设 2 间辐照室，4#厂房 2~4F 为其他项目预留用房。厂房 1F 层高为 8m，辐照室总体高度为 9.5m，因此辐照室上层主机厅顶棚混凝土区域高于厂房 2F 地面，具体情况见前文。项目地理位置图见附图 1，项目周围环境概况见附图 2，加速器辐照室（包括下层辐照厅和上层主机厅）周围环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 辐照室周围环境保护目标情况表

序号	名称	方位	距离	影响人群	基本情况
辐照室 2					
1	控制室 设备间 水冷机房 有顶过道	主机厅相邻	西侧紧邻 西侧紧邻 东侧紧邻 南侧紧邻	辐射工作人员	本项目辅助用房，2 人
2	厂房内过道 户外道路、绿化 1#厂房	北侧	紧邻~1m 约 1~30m 约 30~50m	公众成员	本项目厂房内区域，约 2 人 科学基地户外区域，约 10 人 科学基地在建建筑，约 50 人
3	厂房内过道 户外道路、绿化 3#厂房	西侧	紧邻~1m 约 1~38m 约 38m~50m	公众成员	本项目厂房内区域，约 2 人 科学基地户外区域，约 10 人 科学基地拟建建筑，约 50 人
4	货物装卸操作区、辐照室 1 等 待辐照区、已辐照区、楼梯/电梯间和卫生间等	南侧	紧邻~25m 约 7~35m	辐射工作人员 公众成员	本项目用房，6 人 本项目厂房内区域，约 10 人
5	厂房 2F 户外道路、绿化		距主机厅（不含迷路）约 8~35m（之外为厂房外） 约 35~50m	公众成员	4#厂房预留区域，约 20 人 科学基地户外区域，约 10 人
6	过道、已辐照区等 户外道路、绿化 广源路	东侧	紧邻~11m 约 11~26m 约 26~50m	公众成员	本项目厂房内区域，约 4 人 科学基地户外区域，约 10 人 市政道路，约 50 人
7	厂房 3~4F		上方		4#厂房预留区域，约 50 人

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7-1 辐照室周围环境保护目标情况表					
序号	名称	方位	水平距离	影响人群	环境特征及主要影响人群
辐照室 1					
1	控制室 设备间 水冷机房 有顶过道	2F 主机厅 相邻	南侧紧邻 南侧紧邻 北侧紧邻 东侧紧邻	辐射工作人员	本项目辅助用房, 2 人
2	厂房 2F	2F 主机厅 (不含迷路) 四周	相邻~43m (之外为 厂房外)	公众成员	4#厂房预留区域, 约 20 人
3	厂房内过道 户外道路、绿化 1#厂房	北侧	紧邻~2m 约 2~48m 约 48~50m		本项目厂房内区域, 约 2 人 科学基地户外区域, 约 10 人 科学基地在建建筑, 约 50 人
4	厂房内过道 户外道路、绿化 3#厂房	西侧	紧邻~1m 约 1~20m 约 20~50m		本项目厂房内区域, 约 2 人 科学基地户外区域, 约 10 人 科学基地拟建建筑, 约 50 人
5	过道、卫生间、楼梯/ 电梯间等 户外道路、绿化 5#厂房	南侧	紧邻~10m 约 10~48m 约 48~50m		本项目厂房内区域, 约 4 人 科学基地户外区域, 约 10 人 科学基地拟建建筑, 约 50 人
6	货物装卸操作区、辐照 室 2 等 已辐照区、待辐照区、 楼梯/电梯间等 户外道路、绿化	东侧	紧邻~25m 约 6~35m 约 35~50m	辐射工作人员	本项目用房, 6 人
7	厂房 3~4F	上方		公众成员	本项目厂房内区域, 约 10 人 科学基地户外区域, 约 10 人
					4#厂房预留区域, 约 50 人

备注: ①项目影响因素为电离辐射; ②辐照产品暂存区域包括待辐照区、已辐照区及货物装卸操作区。③除表中特别标明外, 所列水平距离均为辐照厅屏蔽体外表面距各环境保护目标处距离。④厂房 1F 除本项目辐射工作人员外, 还可能有从外运输货物或由 1F 至其他楼层而短暂在该区域驻留的公众成员。⑤本项目用房与环境保护目标均为平层。

7.3 评价标准

7.3.1 辐射评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

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

B1 剂量限值 (标准的附录 B)

续表 7 保护目标与评价标准

第 B1.1.1.1 款, 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), 以 20mSv 作为职业工作人员的剂量约束限值;

b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv。

第 B1.2 款 公众照射

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

(2) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)

本标准适用于辐射加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。自屏蔽辐照装置不适用于本标准。

第 4.2.1 款 辐射防护原则

(3) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中, 辐射防护的剂量约束值规定为:

a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv;

b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

第 4.2.2 款 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。如屏蔽体外为社会公众区域, 屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

(3) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素(一)》(GBZ2.1-2019)

室内: 臭氧浓度的接触限值: 0.3mg/m³; 氮氧化物的接触限值: 5mg/m³。

(4) 辐射评价标准及相关参数值

本环评主要是评价和分析电子加速器辐照工作中产生的电离辐射影响, 相关评价标准及要求见表 7-2 所示。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-2 辐射评价标准及相关参数汇总表			
年有效剂量控制			执行依据
执行对象	辐射工作人员	公众成员	
年剂量限值	20mSv/a	1mSv/a	GB18871-2002
年剂量约束值	5mSv/a	0.1mSv/a	HJ979-2018 等
环境剂量控制			执行依据
电子加速器辐照装置	电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h		HJ979-2018 等
通风要求			执行依据
加速器辐照室	室内臭氧浓度的接触限值：0.3mg/m ³	室内氮氧化物的接触限值：5mg/m ³	GBZ2.1-2019

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

拟建项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 4#研发生产厂房 1F，项目地理位置图见附图 1 所示，项目位于科学基地的位置见附图 2，辐照室位于 4#厂房的位置见附图 4 所示。

8.2 环境质量和辐射现状

为掌握本项目拟建址的辐射环境背景水平，重庆泓天环境监测有限公司于 2024 年 12 月 13 日对本项目拟建场址的环境地表 γ 辐射剂量率背景值进行了监测，监测报告编号为：渝辐(监)[2024]1052 号。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

(1) 监测方法和依据：

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

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

(2) 监测点位选取及合理性

共设 7 个点，具体监测布点见图 8-1。

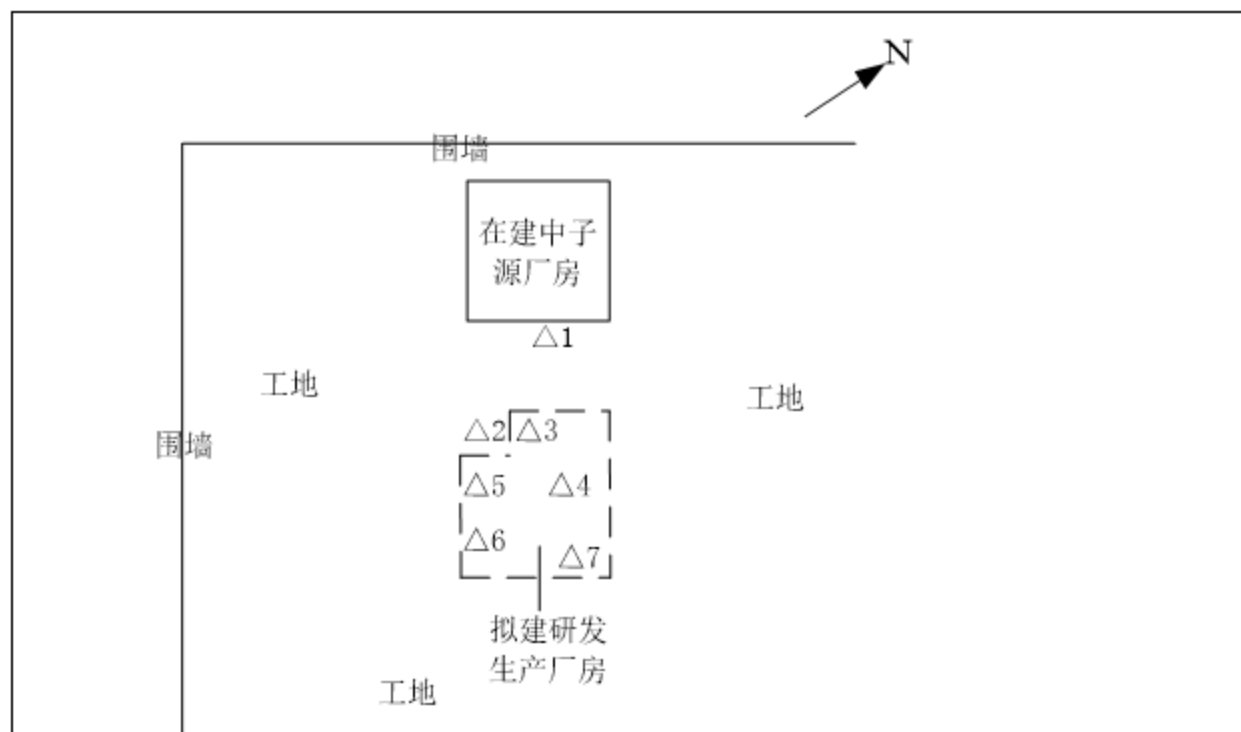


图 8-1 监测点位图

根据监测布点情况，本次监测在本项目辐照室拟建址、敏感目标处均布设了监测点位，各监测点位的布设能够反映本项目拟建址辐射环境水平及邻近环境 γ 辐射水平。因此，项目监测布点合理可行。目前项目拟建区域仅修建了大楼承重柱等结构，无其他建筑物，项目现状环境与监测时基本一致，因此监测数据能反映项目所在区域环境辐射水平。

(3) 测定方式

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

8.2.3 质量保证措施

本项目委托有资质的单位重庆泓天环境监测有限公司进行监测，监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器情况

仪器名称及型号	仪器编号	计量检定/校准证书编号	有效期至	校准因子
环境级 χ 、 γ 辐射 巡检仪 RGM5200	122220300 4005	2024112106273	2025.12.2	1.12

测量范围：1nSv/h-100 μ Sv/h。

续表 8 环境质量和辐射现状

8.2.4 监测人员及报告审核制度

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

8.2.5 监测结果

监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 本项目本底监测结果统计

监测点位	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
$\Delta 1$	拟建中子源厂房旁-邻近建筑物	91
$\Delta 2$	拟建研发生产厂房旁-户外区域	85
$\Delta 3$	拟建研发生产厂房-辐照室 2 区域	84
$\Delta 4$	拟建研发生产厂房-厂房其他区域	79
$\Delta 5$	拟建研发生产厂房-辐照室 1 区域	78
$\Delta 6$	拟建研发生产厂房-厂房其他区域	86
$\Delta 7$	拟建研发生产厂房-厂房其他区域	91

备注：① $1\mu\text{Gy/h}=1000\text{nGy/h}$ 。

②以上监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

③监测时，中子科学基地各厂房均处于建设过程中，无建成投运项目。

由监测统计结果可知，项目拟建址的地表 γ 辐射剂量率监测值在 $78\text{nGy/h}\sim 91\text{nGy/h}$ 之间（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 年重庆市环境 γ 辐射剂量率各点位测量均值范围为 $76.8\sim 93.3\text{nGy/h}$ 、全市各点位年均值为 87.0nGy/h （均未扣除宇宙射线响应值）。项目辐射环境背景调查表明，场址及周围的环境 γ 辐射剂量水平在重庆市天然辐射本底水平的正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目施工期主要为辐照室建设和电子辐照加速器设备安装等施工内容，其工艺流程及产污环节见图 9-1。



图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图

根据上图可知，本项目施工期主要污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

扬尘：主要为辐照室建设和装修时产生的扬尘，本项目工程量小，扬尘产量很少；

噪声：主要来自于辐照室建设和装修时施工机械等产生的噪声，本项目工程量小，施工机械主要为小型机械设备，施工噪声较小；

废水：主要为辐照室建设和装修时的施工废水以及施工人员产生的少量生活污水，本项目工程量小，废水产生量也很少；

固体废物：本项目无地下室，辐照室基础挖方由 4#厂房施工单位在厂房主体建设过程中统一实施。本项目相关固体废物主要为辐照室主体结构建设和装修过程产生的少量建筑垃圾以及施工人员产生的少量生活垃圾。本项目工程量小，预计建筑垃圾共产生约 2t。

9.2 营运期工艺流程及产污环节

9.2.1 设备组成和工作方式

(1) 设备情况

本项目拟使用 2 台 DZ-10MeV/20kW 型电子加速器，用于食品、医药、宠物零食等辐照灭菌。其主要性能参数详见表 9-1。

续表 9 项目工程分析与源项

表9-1 电子加速器主要性能参数

型号	DZ-10MeV/20kW
电子束能量	10MeV
电子束流强	2mA
扫描宽度	600~800mm
最大束流功率	20kW
束下段传送速度	0.5~10m/min
输送线辊道面离地高度	700mm
传送货物宽度	≤700mm
传送货物长度	300~700mm（辊轴间隔中心距≤140mm）
传送货物高度	≤500mm
钛窗距输送带高度	900mm
工作方式	可长时间连续运行

（2）电子加速器结构

本项目电子加速器由电子枪、加速管、微波系统、高压脉冲调制器、加速器控制系统、束流输运系统、安全联锁系统、真空系统、充气系统、恒温水冷系统以及供配电系统等装置组成。电子加速器主要由束流分系统、电子束流监测系统、真空系统、充气系统、水冷分配系统和控制系统等构成。本项目拟购加速器的结构如图 9-2 所示，电子加速器实物外观照片示例如图 9-3 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

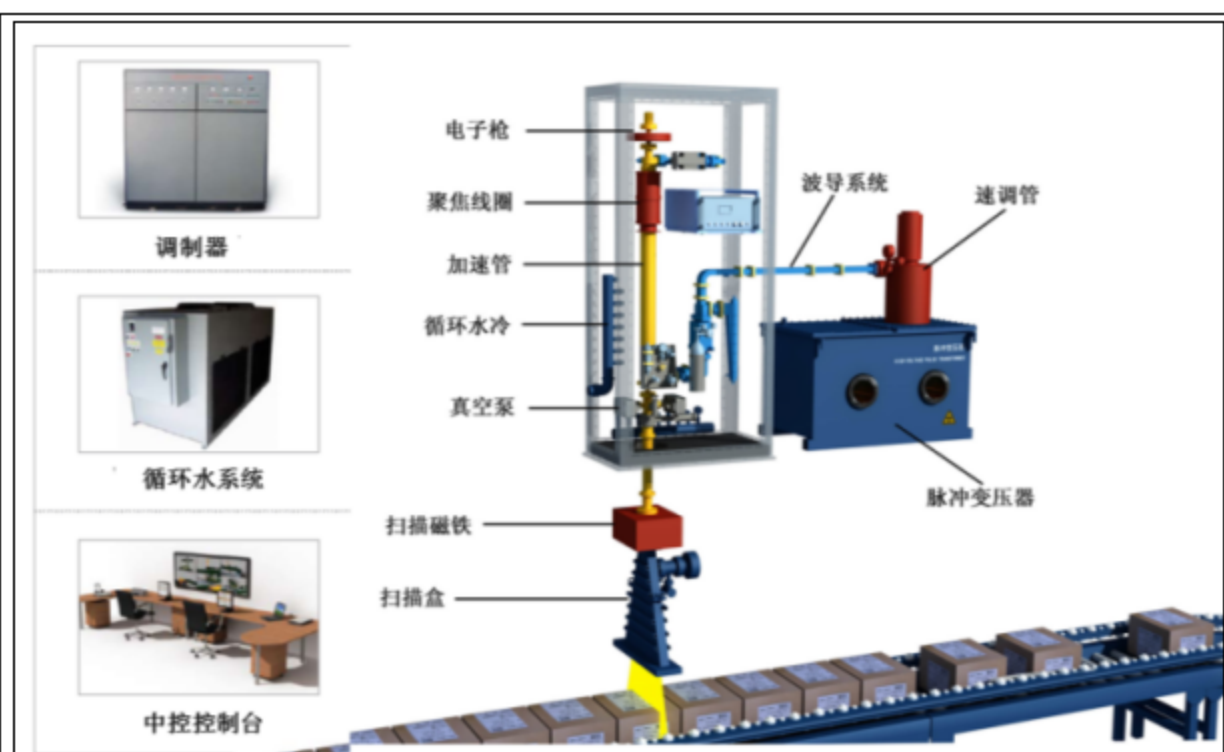


图9-2 本项目电子加速器结构示意图



续表 9 项目工程分析与源项

	
主机厅内加速器实物	冷却系统

图9-3 电子加速器外观照片（示例）

①束流分系统

包括电子枪、加速管、闸板阀、五通管、陶瓷管、束流互感器、波纹管、漂移管、限束法兰、扫描磁铁、扫描盒等。高能电子束的产生、加速和最终引出都是在束流分系统中完成，它虽然是一个整体，但跨越上下两个楼层进行安装和使用，其中电子束产生及加速的部分安装在楼上，通过辐照机头机架进行安装，电子束的扫描和引出部分等安装在下层，它们之间通过穿越楼板的漂移管进行连接。

②电子束流监测系统

大功率辐照加速器需要对其输出电子束流进行实时监测，作为反映加速器工作状态是否正常的重要信号反馈给加速器主控系统，以便控制系统对加速器的运行状态进行实时调控，同时也将加速器输出电子束流的指标进行实时显示。

电子束流输出强度监测由脉冲电流感应器和分析电路板组成。脉冲电流感应器安装在漂移管陶瓷段外侧，电子束穿过脉冲电流互感器，互感器产生一个与电流大小对应的感应电压信号，本系统中设计的电流电压对应关系为 1A 对于 1V 。分析电路则将互感器输出的电压信号进行转换，输出到 PLC 中，以便加速器控制系统进行识别、显示。

③真空系统

为了使电子枪能够发射电子，而且电子能够在加速管中沿轴线加速，加速管内必须是真空状态。电子枪阴极表面材料在高温状态下很容易受气体污染而中毒，中毒则丧失

续表 9 项目工程分析与源项

电子发射能力，所以电子枪对真空的要求优于 10^{-5}Pa 。如果加速管的真空度提高一个量级，可以使电子枪寿命成倍增加。加速管内部微波电场的强度高达 $2\times 10^5\text{V/cm}$ ，必须通过高真空来保障不会出现打火击穿；另一方面，电子束流在加速时必须处于高真空中，不然就会与气体粒子碰撞而损失掉，所以加速管对真空的要求优于 10^{-5}Pa 。漂移段和扫描盒主要是用作电子束流的通道及引出装置，其真空要求主要是防止电子因碰撞而损失，其真空要求没有加速管高，但整个真空系统是连通的，扫描盒内部真空也至少要达到 10^{-4}Pa 。真空系统与束流系统紧密结合在一起，形成一个全密封高真空结构，包括电子枪、加速管、漂移段、扫描盒。真空系统通过加速管上、下微波陶瓷窗与波导中氮气 (N_2) 隔离；通过扫描盒下面的钛膜与大气隔离。在加速器工作的过程中，加速管内部还会有气体分子释放出来，这时需要使用钛离子泵来对高真空进行维持。

真空系统包括分布在束流系统上的多个溅射离子泵、真空阀、闸板阀、钛泵电源等组成。溅射离子泵是由一个不锈钢薄壁圆筒阳极和钛板阴极组成，所以又称钛泵。阴极和阳极间加有几 kV 的直流高压，泵体外包有永久磁铁，它把管内的一些气体分子电离后高速打进阴极被淹埋掉，形成抽气能力。

④充气系统

大功率辐照加速器系统的微波传输系统内部传输的微波功率很大，脉冲功率 5MW ，平均功率 45kW 。波导内部必然会建立较强的电场，为防止大功率微波传输系统内的击穿打火，需在波导系统内充高压绝缘气体，以增强耐压能力。

微波传输系统内部所充的绝缘气体为氮气 (N_2)，其压力必须维持在一个适当的范围，通常在 0.2MPa 左右，如果压强太小，不能起到绝缘效果，如果压强太多又可能损坏波导等微波传输系统器件。充气系统给微波传输系统内部提供绝缘气体并对气压进行实时监测和控制，包括： N_2 高压气瓶、压力调节器、截止阀、干燥器、电接点压力表及监测和连锁保护电路板等，充气系统结构如图 9-4 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

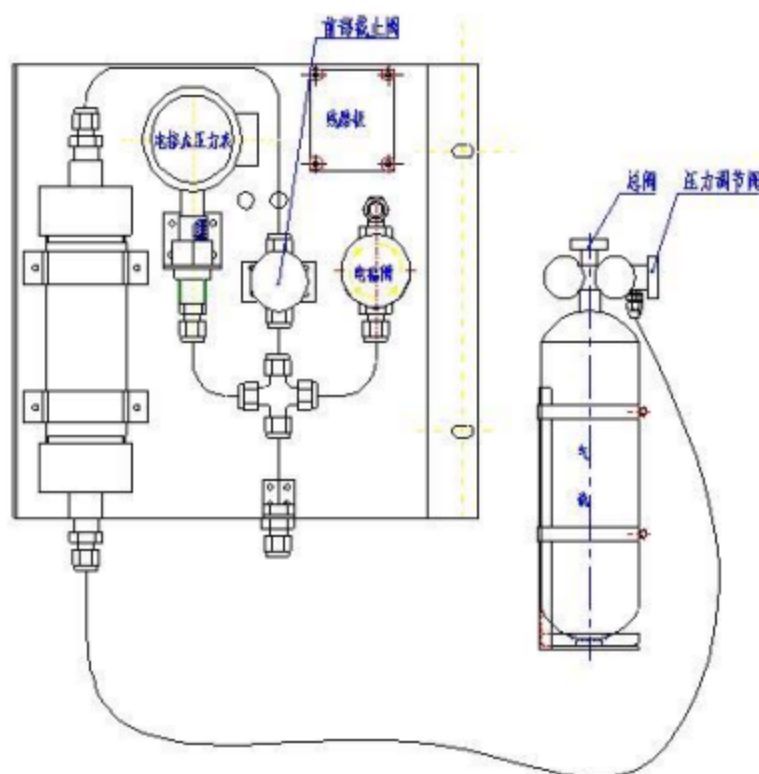


图 9-4 充气系统结构图

本系统正常工作时气压表指示应为 0.2MPa 。当系统工作压力高于 0.22MPa 时，电磁阀开启，系统放气至正常工作压力，电磁阀关闭。当系统工作压力低于 0.18MPa 时，控制台指示“气压”故障，需进行人工充气。初始安装时，波导内有空气，为防止空气中水汽对波导的腐蚀，应先预抽真空，再充气。

⑤水冷分配系统

大功率水冷机组主要由水箱、水泵、压缩机、热交换器、控制装置等组成。水冷机组用来提供合乎加速器系统要求（温度、流量、压力）的冷却水，冷却水系统是闭路循环系统，通过压缩机来冷却。本系统要求冷却水使用纯净水或去离子水（外购），冷却水循环使用不外排，只定期补充损失水量。

⑥束下传输系统

本项目束下装置为传输带型束下装置，束下装置的组成：

- a) 传输装置，包括物料承载机构、物料传输机构、物料装卸机构；
- b) 适配装置，包括物料定位机构、工艺条件保证机构、传输稳定机构；
- c) 计量及监控系统。

续表 9 项目工程分析与源项

⑦控制系统

计算机控制系统的主要功能是：监控加速器的正常运行，实施安全联锁，并与束下装置联动配合。

(3) 工作方式

本项目加速器可长时间满功率运行，每天工作前，工作人员先按要求完成巡检，巡检完成后，开机输入运行参数。非辐射工作人员将货物从待辐照区转运至货物装卸操作区，再由辐射工作人员在货物装卸操作区将货物放至传输系统传输带上，货物经传输系统自动传输进入辐照厅，传输至电子束下方辐照区域进行辐照，货物照射后经传输系统自动传输出辐照厅，在货物装卸操作区由辐射工作人员下货，然后统一再转运到已辐照区。加速器操作工作人员在主机厅旁的控制室内操作。本项目辐照方式为动态辐照、定向照射。

9.2.2 工作原理

辐照灭菌的工作原理：辐照灭菌是利用电子直线加速器的电子束照射来杀死大多数物质上的微生物的一种有效方法。用于灭菌的电子束能通过特定的方式控制微生物生长或杀死微生物。

电子加速器工作原理：电子直线加速器是带电粒子在高频电场加速下，沿直线轨道传输的加速器装置。高频加速电场可以分为行波场和驻波场，加速电场为横磁波 **TM01** 模，在轴线上存在较强的电场分量，因此可以与沿 **Z** 轴方向运动的电子束交换能量，使电子加速。高频变压器和高频电极及其对钢筒、倍压器芯柱之间形成的分布电容组成振荡器，高频振荡器与装在加速器内的槽路线圈、射频电极、反馈电容等所构成的外振荡槽路一起构成高频震荡，产生加速器所需要的高频功率。振荡器工作时，槽路线圈的次级可将高频电压升到 **300kV**。这一高频电压通过高频电极与芯柱上的半圆电晕环间的分布电容和芯柱内的整流硅堆组成的并联耦合串联倍压系统，在高压电极上产生所需的直流电压。从高压电极内的电子枪产生的电子流在此负极性电压作用下通过加速管时得到加速，从加速管中出来的高能电子束由磁扫描器在垂直方向进行扫描，实现灭菌的目的。

电子加速器工作原理流程见图 9-5。

续表 9 项目工程分析与源项

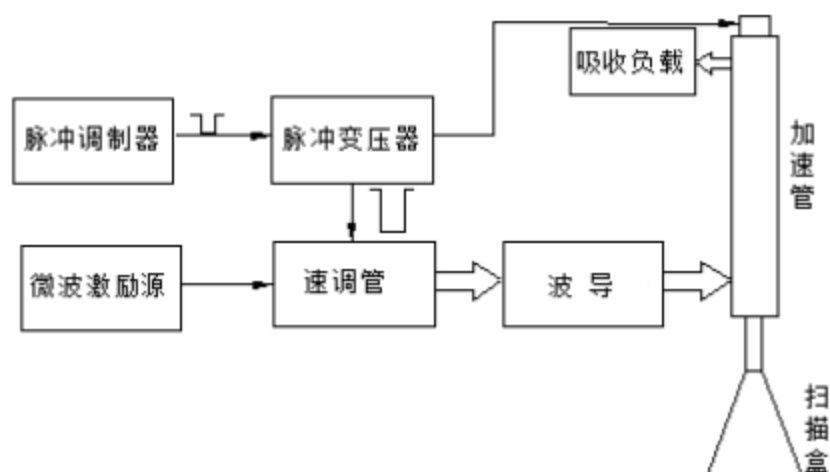


图 9-5 电子加速器工作原理示意图

9.2.3 工艺流程及产污环节

9.2.3.1 辐照加工流程

项目待辐照货物由装卸工人由厂房外运输至待辐照区，辐照前由叉车工将货物转运至货物装卸操作区，再由工人将货物搬运至辐照厅物流进口外传输系统传输带上；根据操作流程经确认，符合开机条件后，进行辐照；货物经传输系统传输至电子束下方辐照区域，经辐照后，自辐照厅迷道经出货口传出，完成一轮辐照消毒灭菌工作。搬运工人将货物从传输带搬下，搬运至已辐照区。辐照加工流程图见图 9-6。

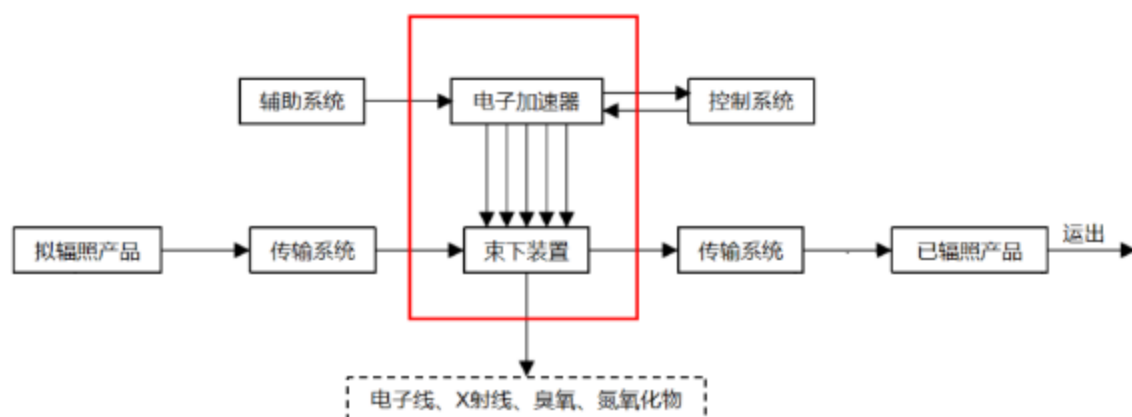


图 9-6 辐照工艺流程示意图

9.2.3.2 电子加速器操作流程

(1) 根据用户要求、产品种类，确定加速器参数、束下传输线的速度；

续表 9 项目工程分析与源项

(2) 搬运货物的辐射工作人员在辐照厅外的货物装卸操作区将未辐照产品放置在束下传输带上, 调整好输送带; 根据产品密度和外包装的尺寸, 大部分产品直接原包装上传送带, 少量需要拆装的就拆了放在长宽高为 $830\text{mm} \times 700\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的特制托盘里。工作人员装卸辐照货物均在辐照室外进行, 不会进入辐照室内。

(3) 进行加速器启动前检查工作。检查通风系统、冷却水系统等是否正常; 供电系统是否完好; 红外探测、门机联锁、巡视撤离系统、防人误入、紧急停机及拉绳开关等安全联锁系统是否完好, 并做好相应记录。

(4) 开机前巡检。辐射工作人员进入辐照厅、主机厅按从迷道入口至出口行走线路, 依次按下巡检按钮, 辐照厅、主机厅内的所有巡检按钮全部按动一遍, 确认无人员停留。并通过视频监控查看, 确认辐照厅内无人员停留。

(5) 启动加速器出束开关。

(6) 发出灯光、声音警示信号, 提醒现场人员注意, 并持续约 30s;

(7) 开始辐照: 束下传输线开始运行, 产品开始接收辐照。此过程会产生电子束、X 射线、臭氧 (O_3)、氮氧化物 (NO_x)。

(8) 根据设定的辐照计划接受足够的辐照剂量后, 已辐照产品由传输系统运出辐照厅, 搬运工将产品搬下, 质检员进行质检, 合格后装车出库。

(9) 关闭通风系统。辐照结束关闭电子加速器、束下传输装置, 而后持续通风一段时间后 (根据后文核算排风时间不少于 6min) 关闭臭氧风机等, 工作人员方可进入。

综上所述, 整个辐照灭菌加工过程, 正常情况下辐照工作人员不必进入辐照厅, 均在辐照厅外一定距离处的货物装卸操作区进行辐照产品的装、卸, 所有需照射加工的产品都是通过传输带输运到辐照厅内的辐射区进行辐照加工。工作人员仅在辐照工作前的准备工作、辐照工作结束后的收尾工作时需进入辐照厅。其中, 准备工作于加速器开机工作前进行, 其主要检查各设备情况, 该工作时间在 5~10 分钟之间; 辐照工作结束后, 工作人员进入辐照厅进行各设备检查, 确保各设备处于正确状态, 该工作时间在 5~10 分钟之间。此外, 每次进入辐照厅的工作人员不得少于 2 人, 尽可能避免因室内监控盲区造成的人员误照射。

9.3 路径规划

本项目辐照室为 2 层建筑, 辐照厅布置在下层, 主机厅和控制室等辅助用房布置在

续表 9 项目工程分析与源项

上层。辐照厅的两个迷路出入口处分别设置 1 个货物出入口和人员出入口，货物入口门和出口门平时保持关闭，但辐照作业中为打开状态，人员入口门和出口门仅在工作人员进入辐照厅内进行巡检和维修时打开，辐照工作中均关闭。主机厅仅在迷路出入口处设置 1 个人员出入口。

(1) 人流路径规划

辐射工作人员进入辐照厅进行巡检等工作时，自辐照厅人员入口门处进入，检查是否有人误留并依次有序按下巡检开关，再原路返回辐照厅人员入口门处完成巡检复位；辐射工作人员经楼梯上主机厅层，经过主机厅人员出入口进入主机厅进行巡检等工作，再原路返回，进入控制室。除巡检外，工作人员进出辐照厅可由人员入口门进，出口门出。

(2) 物流路径规划

根据建设单位设计，辐照厅设置货物传输带，待辐照货物在厂房内待辐照区存放，开展辐照工作前再转移至辐照室货物装卸操作区，由辐射工作人员搬运至传输带上，货物自动经迷道货物入口进入辐照厅，辐照完成后由辐照厅另一侧出口传出，再由人工将货物从传输带卸下，后通过叉车将已辐照货物转移至已辐照区，待装车运出。

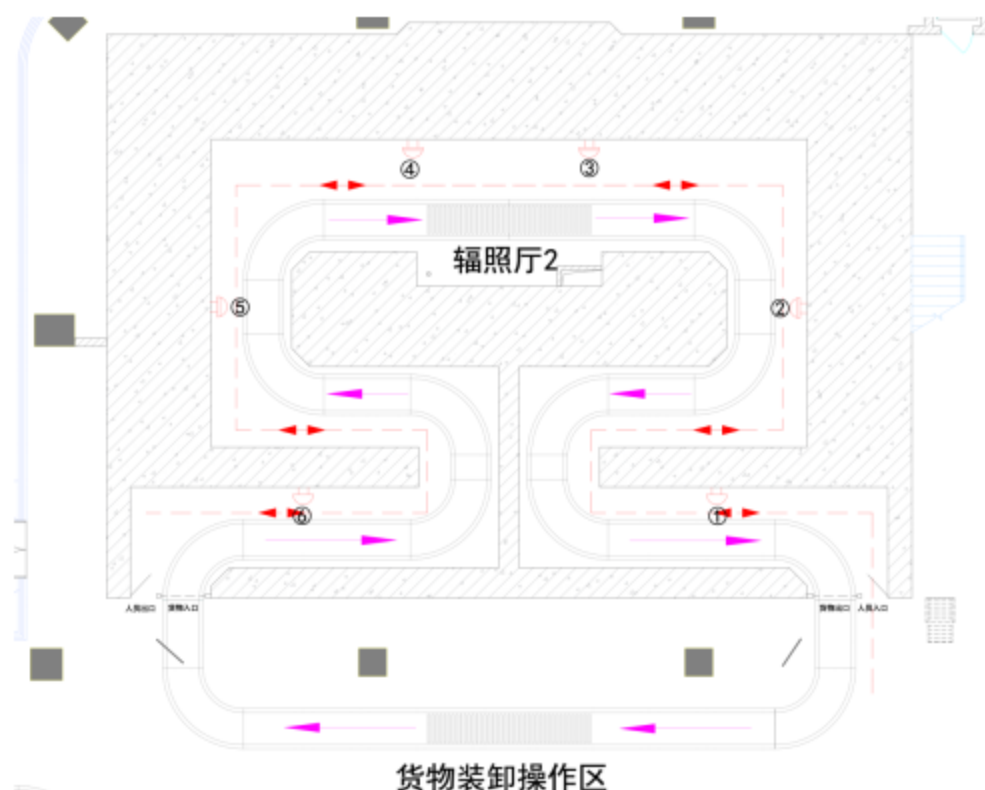


图9-7 辐照厅项目人员巡检、物品传输路径示意图

续表 9 项目工程分析与源项

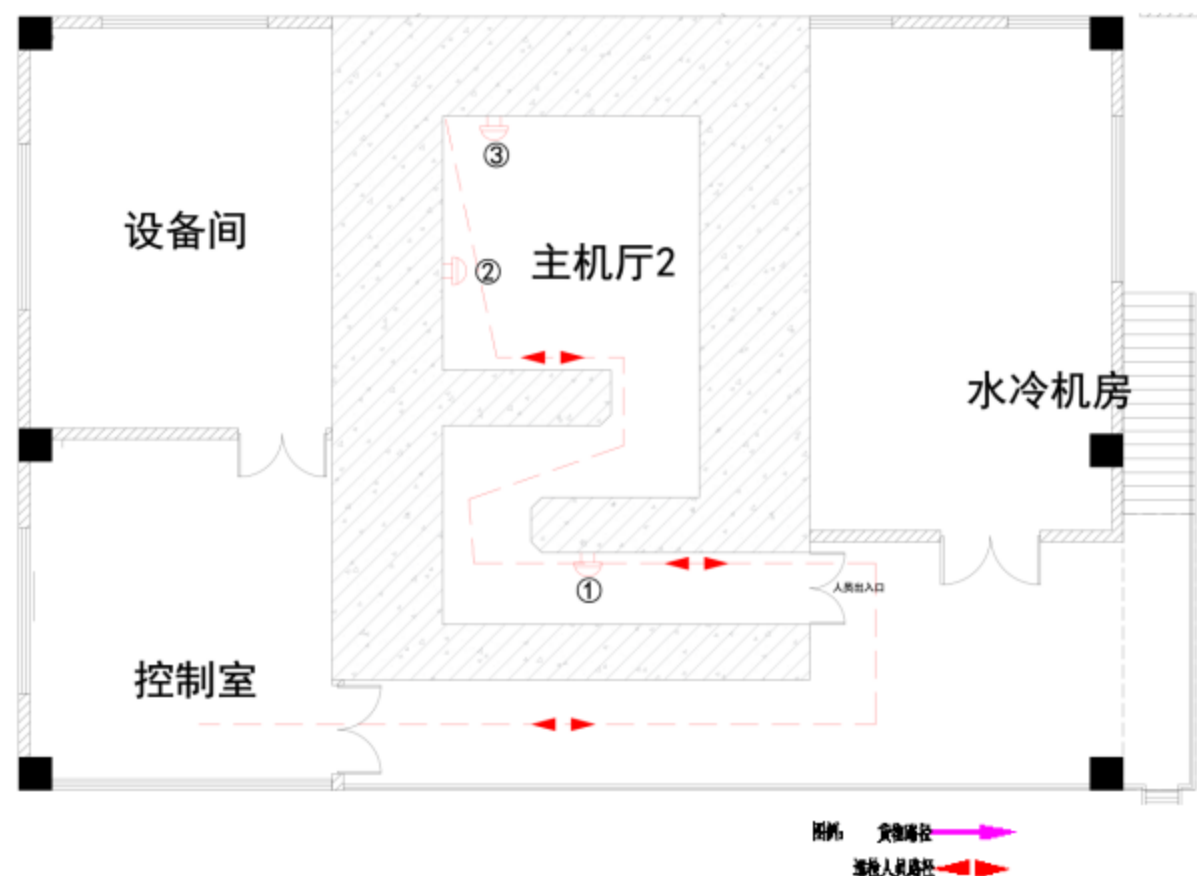


图9-8 主机厅项目人员路径示意图

9.4 污染源项描述

9.4.1 电离辐射

(1) 电子束

加速器运行过程中将电子加速并通过束流引出装置引入加速器机房辐照室，电子对周围环境影响较小。

(2) 韧致辐射（X射线）

电子加速器在运行的过程中，首先对产生的电子进行加速，并经过扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束，电子束竖直地引出后打在辐照物品、束下传输装置（不锈钢）上时产生韧致辐射（初级 X 射线）。同时，电子在加速过程中，部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生少量 X 射线（束流损失引起的 X 射线）。X 射线的贯穿能力很强，是电子加速器辐照装置防护主要考虑的辐射源。

续表 9 项目工程分析与源项

①初级 X 射线

本项目两台电子加速器能量为 10MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A.1，10MeV 入射电子在距高 Z（原子序数 $Z > 73$ ）厚靶 1 米处侧向 90°的 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，根据附录 A 中表 A.4，入射电子能量 90° 方向电子的相应等效能量为 6MeV。

②束流损失所致 X 射线

根据设计资料，本项目加速器束流损失为 2%（即电子束流强度为 0.04mA），主机室束流损失点的能量为 3MeV。根据附录 A 中表 A.1，3MeV 电子束入射到高 Z 厚靶材料上侧向 90°距靶点 1m 处的韧致辐射 X 射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

③散射

由初级 X 射线、束流损失所致 X 射线在各种散射体（辐照物品、设备、地面、机房内壁等）上散射产生的射线。包括一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

（3）其他

本项目辐照装置最高能量为 10MeV，（ γ ，n）的反应小，不会产生中子，不会产生光核反应和感生放射性。因而，不存在加速器结构材料、冷却水和空气的感生放射性以及中子等相应的防护问题。

9.4.2“三废”产生量

（1）废气

空气在辐射照射下产生臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ），根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B 可知，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要是考虑臭氧的产生及其防护。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B.4 可知，在辐射加工中，只有仅利用 X 射线的厂房，需要考虑 X 射线产生的臭氧。而电子束和 X 射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了。因此，本项目只需要计算电子束产生臭氧。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B.1 可知，平行电子束所致 O_3 的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad (9-1)$$

续表 9 项目工程分析与源项

式中：

P ——单位时间电子束产生 O_3 的质量 (mg/h)；

I ——电子束流强度 (mA)；

d ——电子在空气中的行程 (cm)，应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5keV/cm$ ($10MeV/2.5keV/cm=4000cm$) 和辐照室尺寸选取，本项目钛窗出口到束下传输带（吸收板）最大距离约 $90cm$ ，因此，可以确定本项目电子在空气中的行程约 $90cm$ ；

G ——空气吸收 $100eV$ 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为 10。

各参数的取值和计算结果见表 9-2。

表 9-2 电子加速器的 O_3 产额的计算参数和计算结果表

机房	I (mA)	d (cm)	G	P (mg/h)
辐照厅	2	90	10	8.1×10^4

根据表 9-2 可知，本项目 $10MeV$ 电子辐照加速器所致 O_3 的产生率为 $8.1 \times 10^4 mg/h$ 。

氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，因此本项目 $10MeV$ 电子辐照加速器所致氮氧化物的产生率为 $2.7 \times 10^4 mg/h$ 。

(2) 废水

本项目加速器冷却水循环装置使用去离子水，对加速器零部件进行循环冷却，一般情况下不外排，只需定期补加。

营运期废水为生活污水，项目劳动定员 8 人，年工作 250d，用水量按 $50L/人 \cdot d$ 计，则项目生活用水量约 $0.4m^3/d$ ($100m^3/a$)，排污系数按 90%计，项目生活污水产生量约为 $0.36m^3/d$ ($90m^3/a$)，主要污染物浓度为 COD、 BOD_5 、SS、氨氮。

(3) 固废

本项目营运期产生的固体废物主要为员工生活垃圾，本项目劳动定员 8 人，年工作 250d，每人每天生活垃圾产生量按 $0.5kg$ 计，则项目生活垃圾产生量约为 $4kg/d$ ($1t/a$)。

报废的射线装置交厂家回收，建设单位应做好相应记录并保留手续。

(4) 噪声

本项目噪声设备主要为风机，根据设计资料，本项目拟配置 2 台风机，位于厂房顶，拟选用低噪声设备，设备噪声不超过 $65dB(A)$ 。

续表 9 项目工程分析与源项

根据以上分析可知，本项目产生的污染因子情况见表 9-4 所示。

表 9-4 项目污染因子一览表

污染物	污染因子	备注
电离辐射	X 射线、电子线	10MeV 电子辐照加速器 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，电子束最大能量为 10MeV；加速器束流损失为 2%（电子束流强度为 0.04mA），主机室束流损失点的能量为 3MeV
废气	O ₃ 、NO _x	10MeV 电子辐照加速器所致 O ₃ 的产生率为 $8.1\times 10^4\text{mg/h}$ 10MeV 电子辐照加速器所致 NO _x 的产生率为 $2.7\times 10^4\text{mg/h}$
生活污水	COD、SS、NH ₃ -N	90m ³ /a，经过基地污水处理设施处理后接入市政污水管网
固体废物	生活垃圾	1t/a，基地环卫部门统一处置
	报废射线装置和更换的结构件	按要求处置
噪声	噪声	低噪声设备，≤65dB（A）

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 布局合理性

本项目拟建辐照室位于 4#厂房 1F，共建设 2 间辐照室，分别位于厂房北侧和西侧，拟建辐照室四周主要布置待辐照区、已辐照区、货物装卸操作区等与辐照工作相关的区域。拟建两间辐照室均为两层建筑，下层为辐照厅，上层为主机厅，紧邻主机厅设置控制室、设备间、水冷机房等，项目各功能用房齐全。电子束流加速部分穿过辐照厅顶棚，下接束流引出组件，辐照室下方为实土层，上方为厂房其他楼层区域；辐照物品通过自动传输系统进行运输，工作人员在货物装卸操作区上下货物。辐照厅和主机厅内部均拟设置迷道，尽可能减少辐射影响。辐照室四周活动人员主要为辐照工作相关工作人员，其他人员较少，尽可能减少对其他公众成员的影响。货物暂存区域设置在辐照厅周边，便于货物转运。辐照厅的两个迷路口处分别设置独立的货物出、入门和人员出、入门，货物入口门和出口门平时保持关闭，在辐照作业中打开（仅供货物进出），人员入口门和出口门仅在工作人员进入辐照厅内进行巡检和维修时打开，其余时候均关闭。主机厅仅在迷路口处设置 1 个人员出入口。

综上所述，项目整体布局合理。

10.1.2 分区原则

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：这种区域未被确定为控制区，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。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979 - 2018）的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机厅和辐照室及各自出入口以内的区域；

监督区，如设备操作室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

10.1.3 项目区域划分情况

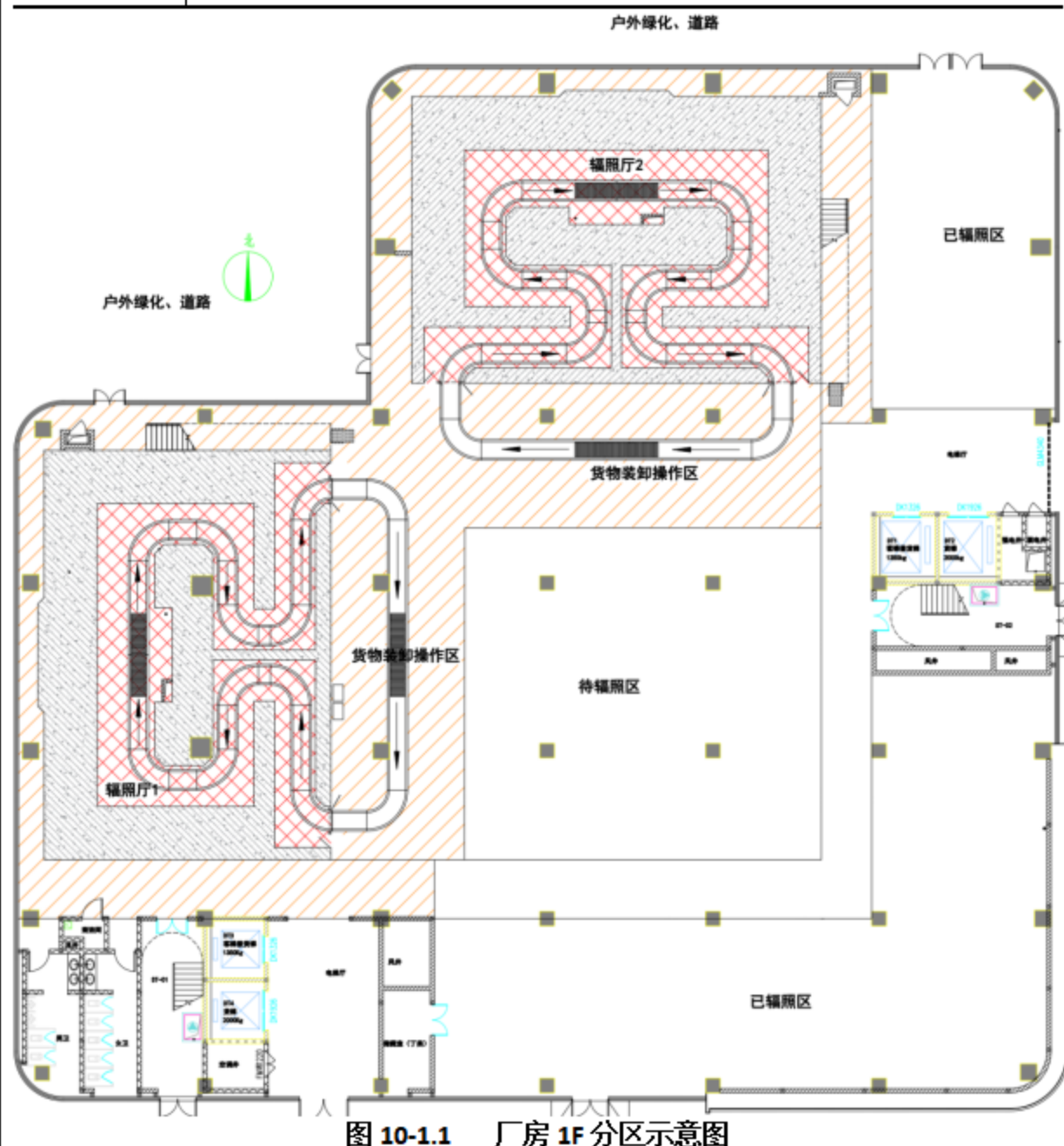
为了加强管理，重庆易瑞科技有限公司拟将本项目工作场所按照《电离辐射防护与

续表 10 辐射安全与防护

辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)等规定划分为控制区和监督区,具体分区情况如下表 10-1,分区布局示意图见图 10-1。

表 10-1 本项目控制区、监督区划分表

分区类型	划分区域
控制区范围	主机厅和辐照厅及各自出入口以内的区域
监督区范围	控制室、水冷机房、设备间、楼梯以及其他与加速器辐照厅、主机厅相邻区域(如本项目货物装卸操作区、厂房内过道区域、主机厅楼顶及相邻区域等)



续表 10 辐射安全与防护

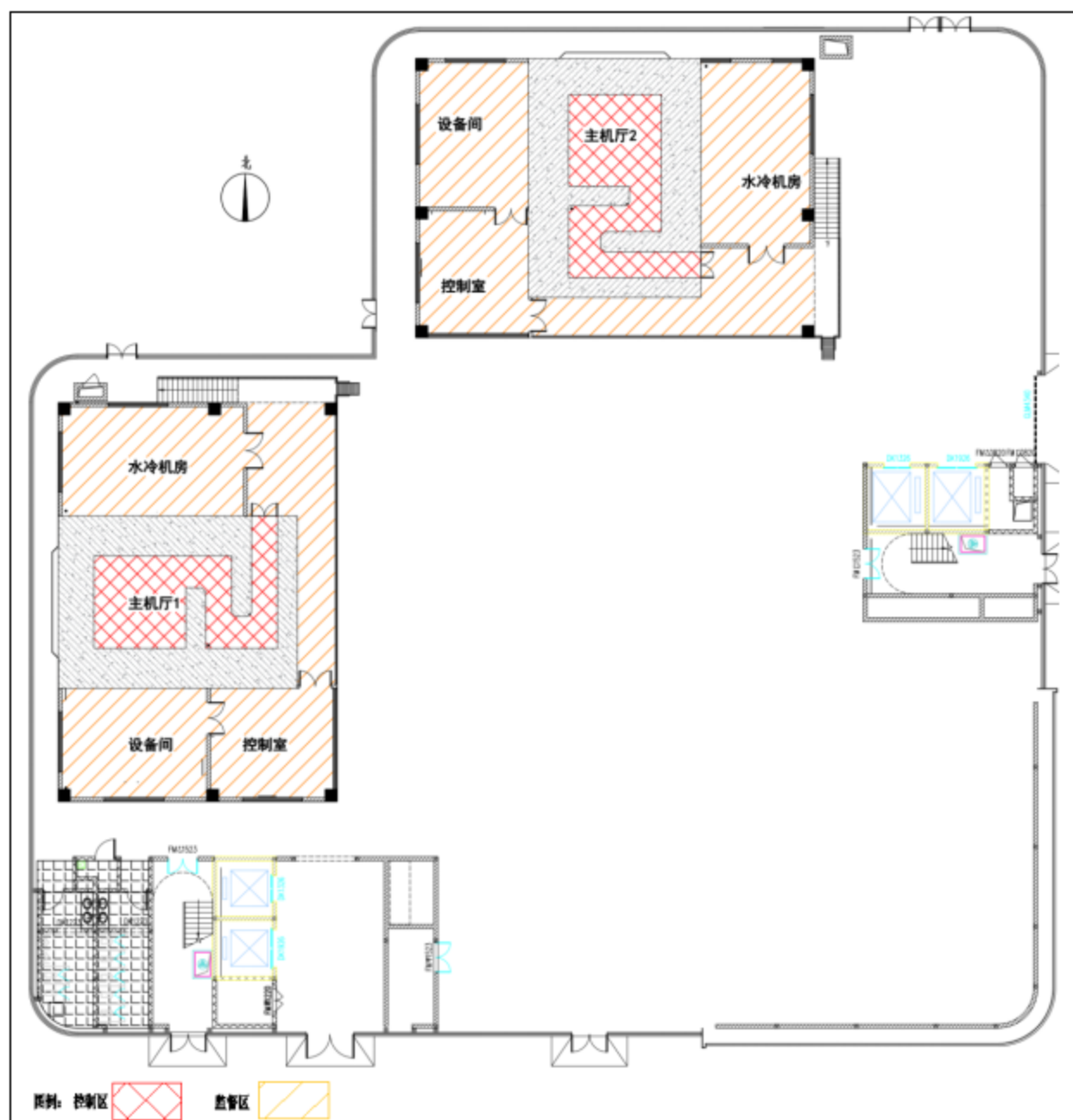


图 10-1.2 上层主机厅分区示意图

拟采取必要的措施加强分区管理，主要措施如下：

①控制区：对控制区进行严格控制，射线装置在运行中严禁任何人进入。在出入口和其他必要的地方设置电离辐射警示标识，设置控制区中文标识。在辐照厅出入口设置货物和人员进出门，在主机厅出入口设置人员进出门，其中人员进出门按照标准要求设置门机联锁，主机厅和辐照厅出入口设置工作状态指示灯，工作场所其余区域按要求设置声光报警装置、摄像头、固定式剂量报警仪等。

②监督区：监督区一般不设置专门管控设施，但需加强周边活动人员管理，设置监

续表 10 辐射安全与防护

督区标识并粘贴中文说明。控制室为工作人员操作仪器时工作场所，禁止非辐射工作人员进入。

③在控制区边界、控制区与监督区之间的穿墙管线等处开展定期监测工作。

10.2 项目工作场所辐射防护屏蔽设计

10.2.1 加速器辐照室辐射防护屏蔽设计

辐照室下层辐照厅内部拟设置“工”字型迷道墙，辐照厅各墙体及迷道墙均为混凝土(密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，下同)结构，辐照厅两侧墙体厚度为 2600mm 混凝土，后侧墙体厚度为 $2600\sim 2900\text{mm}$ 混凝土，迷道内墙厚度为 2000mm 混凝土和 $1950\text{mm}\sim 2850\text{mm}$ 混凝土，迷道中墙厚度为 1000mm 混凝土，迷道外墙厚度为 $300\sim 750\text{mm}$ 混凝土，迷道内墙和外墙之间用 500mm 混凝土分隔，外迷道两侧外墙厚度为 600mm 混凝土，顶部厚度为 1350mm 混凝土；辐照厅内束下装置(传送带)为不锈钢材质；辐照厅出入口门(货物门+人员门)均拟设为普通铁门。

上层主机厅内部拟设置多回迷道，各墙体及迷道墙均为混凝土结构，两侧墙厚度为 2000mm 混凝土，后侧墙厚度为 1800mm 混凝土，迷道内墙、中墙、外墙厚度均为 1000mm 混凝土，顶部厚度为 1100mm 混凝土，主机厅防护门辐射防护设计为厚度 3mmPb 铅门。

经后文核算，辐照室屏蔽体外周围剂量当量率均满足标准限值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

10.2.2 其他辐射防护屏蔽设计

(1) 穿线管、水管等辐射防护屏蔽设计

辐照厅和主机厅内的照明、安全联锁设施(急停拉线开关、声光报警、巡检按钮等)线缆等布设在墙体表面，最终由地坪下方穿过，且该部分线缆尺寸很小，不影响屏蔽防护。辐照厅和主机厅内的排水管，由地面地漏处沿地坪下方混凝土层内布设，最终在地坪下方延伸至辐照室外。主要影响屏蔽防护的管线为主机厅的冷却水管和电讯管线。穿线管、冷却水管等管径均比较小，且采用了埋地或弯形穿墙的方式，对屏蔽基本没有影响。管线穿墙大样见附图8。

1) 冷却水管：

①调速设备冷却水管：管道直径为 30mm ，在离地约 250mm 处，由主机厅后侧墙壁内穿行至靠水冷机房处侧屏蔽墙，最终水平穿出。穿墙处屏蔽体最薄厚度为 1200mm 。

②调制器冷却水管：管道直径为 30mm ，在主机厅地坪下方 500mm 处水平穿过。

续表 10 辐射安全与防护

③加速器冷却水管：管道直径为40mm，在主机厅靠水冷机房处侧屏蔽墙处以垂直方向上为Z形的方式穿过，穿墙处屏蔽体最薄厚度为1200mm。

2) 电讯管线：电讯管线直径为 100mm，均埋设在主机厅地坪下方，从地坪下方水平穿过，并采取 U 形或 Z 形的方式，最终管道出口位于辐照厅迷路外墙中部。

(2) 排风风道辐射防护屏蔽设计

本项目按照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979 - 2018）的规定拟设置机械排风系统，辐照厅地面设置 1 个臭氧排风口，并预埋排风管道，排风管道由辐照厅内地面向下以“U”型穿越，引至辐照室外后，再沿厂房排风井引至厂房屋顶排放。管线穿墙大样见附图 8。

10.3 辐射安全与防护设施

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979 - 2018）的规定，在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

本项目电子辐照加速器拟采取相适应的多层防护与安全措施（即纵深防御），充分体现了冗余性、多元性、独立性的安全原则，辐射安全与防护设施设计包括联锁系统、急停系统等内容，具体如下：

(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关和辐照厅、主机厅门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机。该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

(2) 门机联锁。本项目辐照厅出、入口均设置不锈钢材质门，供辐照工作人员和货物进、出，人员门和货物门相邻设置，但彼此独立。辐照产品经传输系统（输送带）穿过货物出入门，进入辐照厅，辐射工作人员进出辐照厅必须经过人员出入门。人员门除人员出入时均保持关闭，货物出入门在货物进出期间，打开仅供货物进出的开口区域。主机厅设置铅防护门，辐射工作人员进出主机厅必须经过该防护门。辐照厅人员出入门及主机厅门与束流控制和加速器高压联锁。辐照厅人员出入门及主机厅门打开时，加速

续表 10 辐射安全与防护

器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器自动停机，切断高压。

(3) 束下装置联锁。电子加速器的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件，束下装置与加速器设联锁保护，当束下停止或故障后，通过联锁电路立即停止加速器，切断高压。

(4) 声光警示装置。每个辐照厅出入口（2个）和主机厅门外（1个）、辐照厅和主机厅内部（辐照厅迷道内3个、主机厅内部1个）均设置声光报警装置。警铃会在加速器开机前响铃30s，提醒仍在主机厅和辐照厅内的人员立刻离开。一旦加速器开机、运行时，警示灯会亮起。此外，辐照厅出入口（2个）和主机厅门外（1个）均设置三色灯（工作状态指示灯），三色灯与加速器联锁，以显示加速器工作状态：红色，工作中；黄色，待机中；绿色，关机中。

(5) 急停装置。本项目控制室的控制台上1个急停按钮，辐照厅内设置2个拉线开关（入口1个、出口1个）、主机厅内设置1个拉线开关（出入口1个），拉线开关的拉线沿内部墙体围绕一圈布置，在辐照厅和主机厅内的任何位置均可以立即拉动拉线开关。拉线开关与加速器是联锁的。一旦辐照厅、主机厅内有人被关时，可迅速按下急停按钮或拉动拉线开关，关闭加速器，切断高压，离开辐照厅和主机厅。所有急停开关处设置中文提示说明。

(6) 开门装置：主机厅和辐照厅人员门内侧设置开门按钮，可开启相应的主机厅门或辐照厅人员门，以便人员离开，且主机厅门或辐照厅人员门打开，则加速器自动停机并切断高压。

(7) 防人误入装置。主机厅迷路出入口和辐照厅两侧迷路分别设置3道防误入红外开关，3道红外开关位于不同水平位置 and 不同垂直位置，设置高度分别为0.2m、1m、1.5m，以防止人员以钻爬、跨越等方式使其功能失效。每道防人误入装置均保持独立性，并与加速器的开、停机联锁。当检测到有人员/动物通过时，加速器无法启动，或者已启动的加速器高压立即切断，停止出束。

(8) 巡检按钮。辐照厅和主机厅设置巡检系统，巡检系统设置如下：

①每个辐照室设置9个巡检按钮：辐照厅出入口迷道各1个、辐照室墙体4个、主机厅迷道1个，墙体2个，巡检按钮与控制台联锁。加速器开机前，须工作人员进入辐

续表 10 辐射安全与防护

照厅和主机厅内，按图 10-3 中所列巡测按钮次序依次在辐照厅和主机厅内按下“巡检按钮”，巡查有无人员误留，巡检后原路返回，防止其他人员跟随，巡检时，人员拔出控制台钥匙（带有个人剂量报警仪）。巡检人员按照顺序按下全部巡检按钮后才能触发巡检完毕的信号，加速器才能正常启动。只要主机厅或辐照厅人员门被打开过，必须重新巡检后才能开机。

②巡检操作时，巡检人员拿下钥匙开关的钥匙（绑定 1 个剂量报警仪），巡检完成后，巡检人员回到控制室，插入钥匙，才能启动加速器。

（9）剂量联锁。在辐照厅迷道出入口内侧各设置 1 个固定式辐射监测仪探头，在主机厅迷道出入口内侧设置 1 个固定式辐射监测仪探头，固定式辐射监测仪与辐照厅门、主机厅门联锁，在线进行辐射水平检测。当主机厅和辐照厅内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机厅和辐照厅门无法打开。

（10）通风联锁。辐照厅、主机厅通风系统与控制系统进行了联锁，当加速器停机后，只有达到预设的时间，辐照厅、主机厅的门才能打开，以保证臭氧浓度降到允许值才能入内。

（11）烟雾报警。在臭氧风排风管穿墙出口处设有烟雾报警装置，发生火灾时，加速器立即停机，切断高压，并停止通风。为了防止烟雾报警装置被辐照损坏，设置在辐照厅外臭氧风排风管上，能达到为辐照厅烟雾报警的效果。

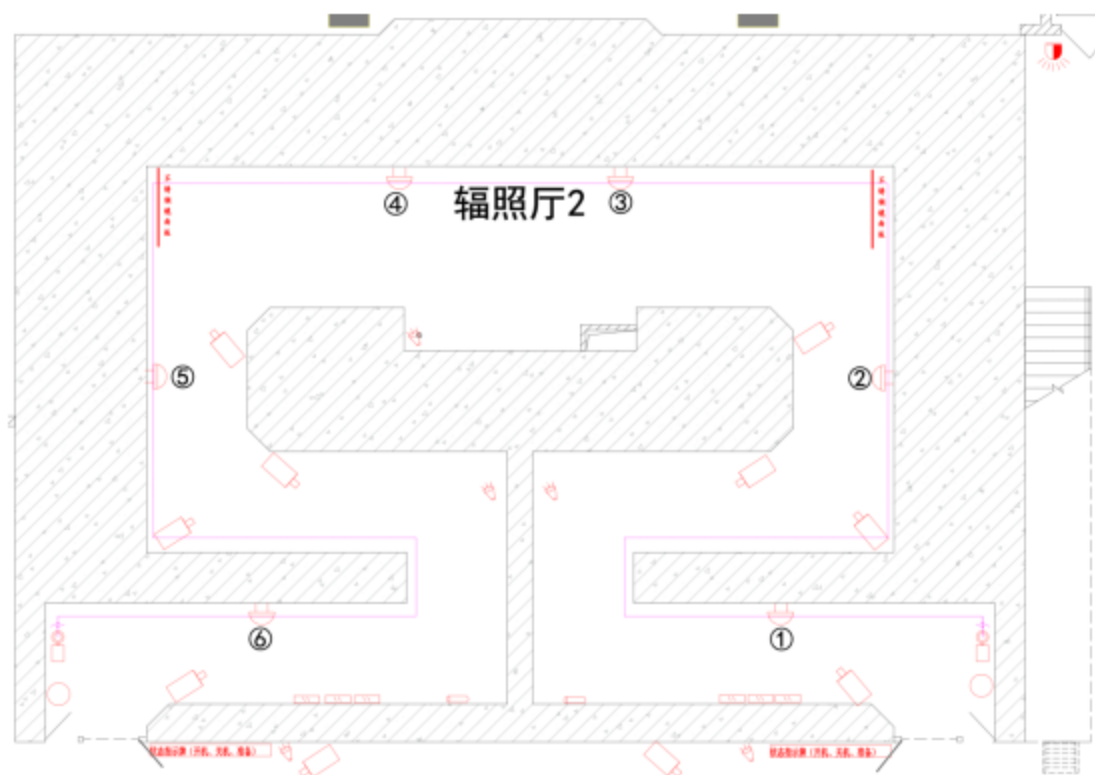
（12）监控系统：在加速器辐照室内及周边安装摄像头，监控人员进入情况。辐照室设置一套监控系统，监控系统设主机一个，摄像头 15 个，具备录像功能。辐照厅入口（1 个）、辐照厅出口（1 个）、辐照厅内（6 个）、辐照厅外（2 个）、主机厅内（2 个）、控制室外过道墙上（1 个）、水冷机房内墙上（1 个）、设备间内墙上（1 个）均设置摄像头。另辐照厅内设置两面不锈钢反射镜，主机厅内设置 1 面不锈钢反射镜。摄像头和反射镜可使加速器操作人员有效监控辐照厅内、主机厅内和辐照加工区域的实际情况，正确操控设备。

（13）应急照明系统。主机厅、辐照厅、控制室应设置应急照明系统，应急照明设备应定时检验，保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果。

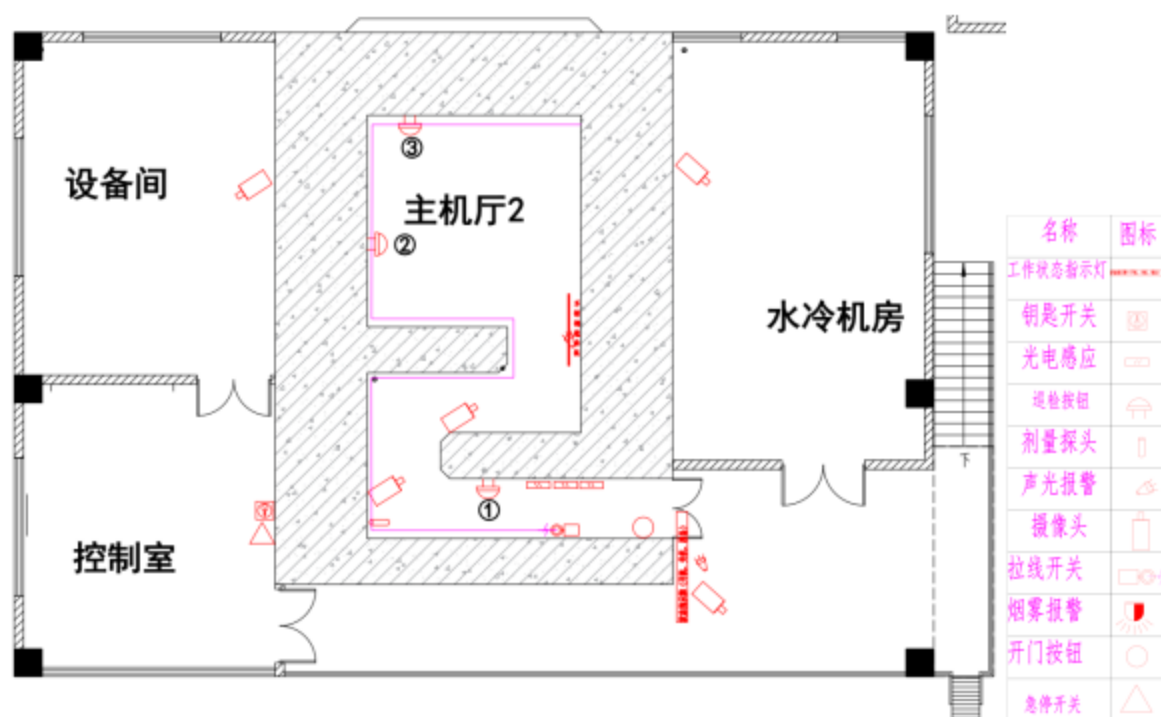
（14）电气系统：辐照室供电系统应按规范设置，保证电压电流稳定，设置可靠

续表 10 辐射安全与防护

的接地系统，涉及高压危险的部位，设置高压联锁、放电保护装置。



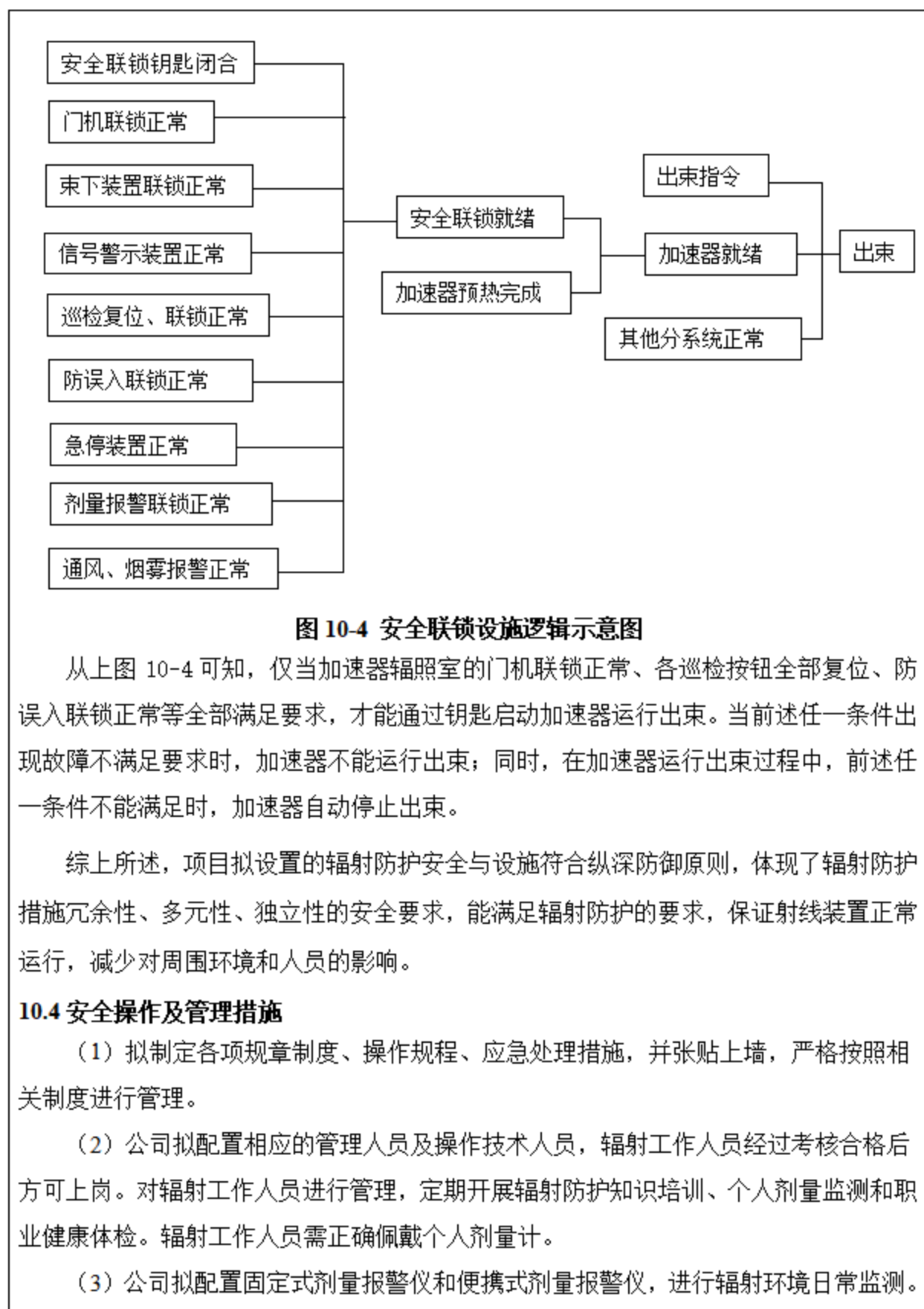
下层辐照厅



上层主机室

图 10-3 辐射安全与防护设施布置示意图

续表 10 辐射安全与防护



续表 10 辐射安全与防护

同时加强对剂量报警仪的维护。

(4) 操作人员应遵守各项操作规程，每天工作前认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。

(5) 在辐照完成后，利用剂量报警仪对辐照室进行检测，再次确定加速器是否处于非照射状态。

10.5 防护设施及监测仪器

根据重庆易瑞科技有限公司提供的资料可知，公司拟配备相关辐射监测仪器及辐射防护措施，详见表 10-2。

表 10-2 公司拟配备监测仪器及防护措施清单一览表

说明	防护用品名称	单位	数量
拟配备监测仪器	固定式剂量率报警仪	套	2 (每套 3 个探头)
	个人剂量计	个	辐射工作人员每人 1 个
	便携式辐射监测报警仪	台	2
	X-γ剂量监测仪	台	1
拟配备防护措施	辐射警示标志	张	若干
	急停按钮	个	每间控制室 1 个
	巡检按钮	个	每间辐照室 9 个
	拉线开关	个	每间辐照室 3 个
	光电开关	套	每间辐照室 3 套
	声光警示信号	个	每间辐照室 7 个
	工作状态指示灯	个	每间辐照室 3 个
	监控系统	套	每间辐照厅内 8 个，主机厅内 2 个，辐照厅及主机厅外 5 各
	开门按钮	个	每间辐照室 3 个
	钥匙开关	个	每间控制室 1 个

10.6 三废的治理

本项目电子辐照加速器在工作过程中不产生放射性三废。

10.7 项目措施与相关要求的符合性分析

项目拟采取的辐射防护措施其与相关标准和规范的相关要求对比情况见表10-3所示。

根据表10-3可知，本项目采取的辐射安全与防护措施满足《辐射加工用电子加速器工程通用规范》GB/T25306-2010、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018的要求。

表 10-3 项目辐射安全与防护设施与标准要求对比情况表

标准名称	标准要求		项目情况
《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)	6.1 联锁要求	在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置,对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。安全联锁装置发生故障时,加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路,维护与维修后必须恢复原状。	本项目拟购置的电子加速器辐照装置设计了满足要求的安全联锁保护装置,对控制区的出入口门(辐照厅的出入口门、主机厅的出入口门)、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。安全联锁引发加速器停机时能自动切断高压。安全联锁装置发生故障时,加速器不能运行。安全联锁装置无旁路,制定维修制度,要求维护与维修后必须恢复原状。
	6.2 安全设施	(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机厅门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙,加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用;	加速器的主控钥匙开关拟与主机厅门和辐照厅门联锁。如从控制台上取出该钥匙,加速器自动停机。该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。
		(2) 门机联锁。辐照室和主机厅的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机厅门打开时,加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机;	辐照厅和主机厅的门拟与束流控制和加速器高压联锁。辐照厅门或主机厅门打开时,加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器自动停机,切断高压。
		(3) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时,加速器应自动停机;	电子加速器的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件,束下装置与加速器设联锁保护,当束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时,通过联锁电路立即停止加速器,切断高压。
		(4) 信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号,用于开机前对主机厅和辐照室内人员的警示。主机厅和辐照室出入口设置工作状态指示装置,并与电子加速器辐照装置联锁;	拟在辐照厅和主机厅门上方、辐照厅和主机厅内部均设置灯光和音响警示信号,巡检启动时,通过语音告知辐照厅内和主机厅内人员离开。辐照厅和主机厅门上方设置工作状态指示灯,工作状态灯与电子加速器联锁。
		(5) 巡检按钮。主机厅和辐照室内应设置“巡检按钮”,并与控制台联锁。加速器开机前,操作人员进入主机厅和辐照室按序按动“巡检按钮”,巡查有无人员误留。	辐照厅和主机厅设置巡检系统,并与控制台联锁。加速器开机前,操作人员进入辐照厅和主机厅按序按动“巡检按钮”,巡查有无人员误留。
		(6) 防人误入装置。在主机厅和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置(一般可采用光电装置),并与加速器的开、停机联锁;	每间辐照室共设置 3 套共 9 道光电开关,包括在辐照厅 2 个迷路各安装光电开关 1 套共 3 道,主机厅迷路安装 1 套共 3 道,每 1 套的 3 道光电开关安装在不同的水平位置,距离地面分别为 0.2 米高、1 米高、1.5 米高,有人员经过时,安全联锁系统动作,加速器无法启动,或者已启动的加速器立即停机。

标准名称	标准要求		项目情况
		(7) 急停装置。在控制台上和主机厅、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机厅和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；	在加速器控制台设置急停按钮，拟在每间辐照厅内设有急停拉线开关 2 个，主机厅内设置急停拉线开关 1 个，拉线沿辐照厅和主机厅内部墙体四周布置覆盖全部区域。当急停按钮或急停拉线开关动作时，切断加速器主电源断路器，整个加速器系统立即停机，切断高压。辐照厅和主机厅内迷路出入口处均设置开门按钮以便人员离开。
		(8) 剂量连锁。在辐照室和主机厅的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机厅的出入口门等连锁。当主机厅和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机厅和辐照室门无法打开；	辐照厅迷道内和主机厅迷道内处安装固定式剂量报警仪探头，并与人员出入口门连锁，显示面板安装在控制室，到达设定阈值后，辐照厅和主机厅人员出入口门无法打开。
		(9) 通风连锁。主机厅、辐照室通风系统与控制系统连锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值；	辐照室的通风装置与控制系统进行了连锁，风机不开，加速器无法启动；当加速器停机后，只有达到预设的时间辐照厅和主机厅的门才能打开，以保证臭氧浓度降到允许值才能入内。
		(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。	拟在辐照厅臭氧风排风管穿墙处设有烟雾报警器，发生火灾时，加速器立即停机，并停止通风。
	6.3.1 电气系统	必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。	供电按照厂家提供要求进行设计。
		主机厅、辐照室、控制室应设置应急照明系统。	项目主机厅、辐照厅和控制室均拟设置应急照明系统。
		各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。	项目设备间拟设置接地系统。
		凡有高压危险的部位，应设置高压连锁、高压放电保护装置。	项目对有高压危险的部位，根据设备运行要求设计相应的要求设置相应的高压连锁、高压放电保护装置。
	6.3.2 给水系统	应根据加速器装置总用水要求，提供有一定裕量的水流量和水压。	本项目加速器用水为冷却用水，经设备自带冷却水循环系统自动控制水量和水压。
		根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。	本项目加速器用水为各组件冷却用水，使用外购去离子水，用水参数由冷却水循环系统自动控制。
	6.3.3 通风系统	主机厅和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应	主机厅和辐照厅拟设置机械通风系统，经过估算，臭氧等气体经过通风系统处理后，室内浓度和排放满足要求

标准名称	标准要求		项目情况
		满足GB3095的规定。	
		辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。	辐照室内排风口拟设置在扫描窗下方位置，满足要求
		排风口的高度应根据GB3095的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。	排风管道最终排放口位于辐照室所在4#厂房顶上方
	6.3.4防火系统	辐照室和主机厅的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。	辐照室内安装烟雾报警器，辐照室墙体采用混凝土材料，耐火等级满足要求，发生火灾时使用厂房内配备的消防栓、灭火器等设施
	7.1装置的维护与维修	辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查(检验)每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。	运行前，拟制定加速器检修制度，定期对设备进行检测和维护
《辐射加工用电子加速器工程通用规范》 GB/T25306-2010	8.1.3辐射防护安全要求	辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于C20，密度不应低于2.35g/cm ³ ；	辐照室墙体拟采用标准混凝土浇筑，强度不低于C20，密度不低于2.35g/cm ³
		屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；	辐照室的整体设计按照厂家提供的要求进行
		控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设施；	辐照室拟设置门机连锁、急停开关、监控等安全装置，在入口处（入口门内）设置强制开门按钮，同时设备自带多重安全联锁系统。
		控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志	辐照室入口处拟设置加速器工作状态显示器和电离辐射警示标志
		剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备	拟配置个人剂量报警仪、固定式报警仪、剂量巡测仪等设备并为辐照工作人员配备个人剂量计，定期进行个人剂量监测

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为辐照室建设和电子辐照加速器设备安装等施工内容，主要的污染因子有：扬尘、噪声、废水、固体废物等。

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

本项目及项目施工占用场地均位于科学基地范围内，施工机械主要为小型机械设备，施工噪声较小，采取合理安排施工时间，选择低噪声设备和工艺等措施后施工噪声对周围环境影响较小。

本项目工程量小，废水产生量也很少，少量施工废水用于施工场地洒水抑尘，施工人员产生的少量生活污水依托科学基地现有污水处理设施处理，废水对周围环境影响较小。

固体废物：本项目辐照室建设过程中基础开挖产生的少量挖方运至园区指定弃土场，少量建筑垃圾运至建筑垃圾消纳场处置，少量生活垃圾由市政环卫部门收运处理，固体废物均能得到妥善处置，对周围环境影响小。

综上所述，本项目工程量小，施工范围位于科学基地用地范围内，周围环境保护目标少，项目施工期短，施工期产生的影响随着施工的结束而消失，环境可以接受。

11.2 运行阶段辐射环境影响评价

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 可知，电子辐照加速器运行中电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X 射线），X 射线是电子加速器辐照装置辐射防护中的主要辐射源，电子束影响较小。

11.2.1 电子束环境影响分析

根据《辐射防护技术与管理》（P123）可知，电子在物质中最大射程可由公式（11-1）估算：

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

续表 11 环境影响分析

式中：

d —最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta\text{MAX}}$ —电子最大能量，MeV；

本项目电子加速器电子束最大能量约为 10MeV，由 11-1 式计算得出电子线在混凝土（密度取 2.35 g/cm³）中最大穿透厚度约为 2.13cm，本项目辐照室有效的墙体厚度至少为 50cm，完全可以屏蔽 10MeV 及以下的电子，而且电子束方向朝向地面，因此，电子束对辐照室外环境的影响可以忽略不计。

11.2.2 韧致辐射（X 射线）环境影响分析

本项目拟建的电子加速器最大电子束能量为 10MeV，最大电子束流强度为 2mA，最大功率为 20kW。拟建辐照室分为二层，加速器安装在上层主机厅内，电子束通过加速管引向下层的辐照厅内。

下层辐照厅周围受初级 X 射线和散射 X 射线影响，初级 X 射线散射后能量衰减且不超过 0.5MeV，远小于初级 X 射线能量。因此辐照厅屏蔽墙体外辐射环境主要考虑初级 X 射线，忽略散射 X 射线和韧致辐射的影响。辐照厅抽风口位于辐照厅角落地面位置，未处于束下直接投照区域内，且通风穿墙区域整体设置在地面下方，抽风口至辐照室外通风井直径的通风管道路径有弯折，未直通，因此，不考虑通风管道穿墙区域的散射。

上层主机室周围辐射场由以下几个部分组成：①尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与加速器结构部件作用产生的束流损失辐射场；②下层辐照室内的韧致辐射初级 X 射线，经辐照厅顶棚不完全屏蔽的贯穿辐射场；③下楼辐照厅 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线经散射后的次级 X 射线，透过辐照厅顶棚进入上层主机厅形成的散射辐射场。由于初级 X 射线散射后的次级 X 射线能量较低，在经过辐照厅顶棚屏蔽之后最终至主机厅的次级 X 射线极少，可忽略不计。设备安装孔直径为 400mm，设备管径为大于 300mm，两端的缝隙为不大于 50mm，缝隙较小且设备安装孔上方安装有设备，下层辐照厅经设备安装孔漏出的 X 射线经设备多次散射后影响较小，可忽略不计。因此，上层主机厅周围辐射影响只考虑 1 层辐照室初级 X 射线的贯穿辐射场和上层主机室加速器束流损失辐射场的叠加影响。

续表 11 环境影响分析

另外, 根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) A.3, 在加速器装置的屏蔽设计中, 迷道和防护门、天空反散射等必须考虑散射辐射。

(1) 辐照室四周墙体直射 X 射线屏蔽计算

①预测公式

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979 - 2018) 附录 A 中公式 A-1、A-2、A-3 和 A-4 可以推导得出本次计算相关公式如下:

①X 射线透射至墙外参考点处周围剂量当量率

$$H_M = 1 \times 10^6 \times \frac{D_{10}}{d^2} B_x T \quad (11-2)$$

式中:

H_M —屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

d —X 源与参考点的距离, m;

T —居留因子。当参考点位置为人员全居留时取值 1, 部分居留时可取 1/4, 偶然居留时可取 1/16。

D_{10} —辐射源距离标准参考点 1m 远处的吸收剂量率, Gy/h;

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad (11-3)$$

式中:

Q —X 射线发射率 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$);

I —电子束流强度 (mA);

f_e —X 射线发射率修正系数。

B_x —屏蔽墙对 X 射线的透射系数, 用下式计算:

$$B_x = 10^{-[(S+T_e-T_1)/T_e]} \quad (11-4)$$

式中:

S —屏蔽墙的厚度, cm;

T_1 —第一个十分之一值层, cm;

T_e —平衡十分之一值层, 该值近似于常数 cm。

②参数选取

1) 辐照厅

续表 11 环境影响分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录A中表A.1可知, 10MeV电子束入射到高Z厚靶材料上侧向 90°距靶点 1m处的韧致辐射X射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

X射线的发射率与靶元素的原子序数相关, 本项目加速器运行时, 电子束照射方向垂直向下, 当被辐照的靶材料为“铁、铜”时, 90度方向上修正系数为 0.5; 当被辐照材料为“铝、混凝土”时, 90度方向上的修正系数为 0.3; 本次保守按照被辐照的靶材料为“铁、铜”时来考虑计算X射线的发射率, 即X射线发射率修正系数 90°方向取值 0.5。

根据公式 11-3 可计算出本项目辐照厅 10MeV 电子束 90°方向距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率为 810Gy/h 。

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录A表A.4, 10MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 6MeV。

2) 主机厅

根据设计资料, 本项目加速器束流损失为 2% (即电子束流强度为 0.04mA), 主机厅束流损失点的能量为 3MeV。根据附录A中表A.1, 3MeV电子束入射到高Z厚靶材料上侧向 90°距靶点 1m处的韧致辐射X射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。X射线发射率修正系数取值同上。

根据公式 11-3 可计算出本项目主机厅加速器电子束 90°方向距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率为 3.84Gy/h 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 表 A.4, 3MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV。

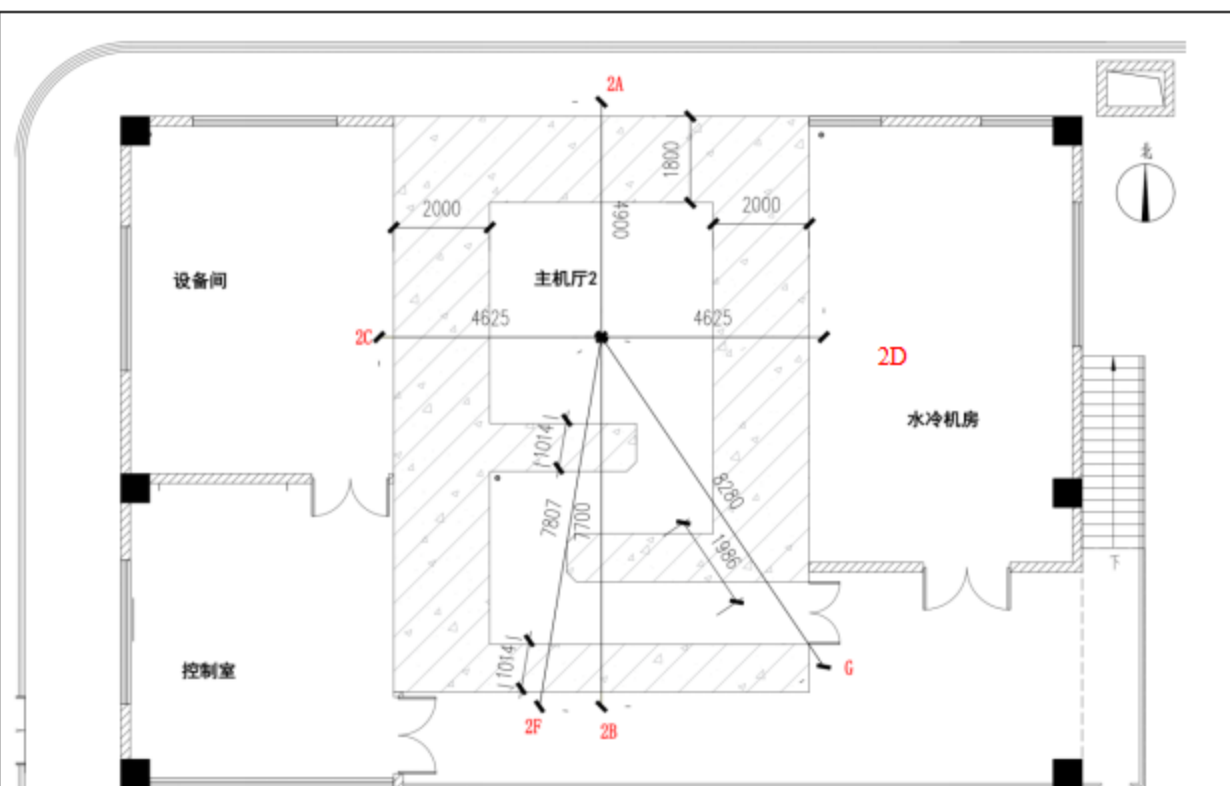
本项目 2 台电子直线加速器各参数一致且 2 座电子加速器辐照机房的平面布局、屏蔽措施等均相同, 故本次仅以其中 1 间机房作为代表进行核算。

综上所述, 本项目辐照室相关计算参数见表 11-1。本项目辐照室直射辐射计算点见图 11-1。

表 11-1 计算相关参数

设备参数	10MeV/2mA/20kW		来源
	辐照厅	主机厅	建设单位拟定
侧向 90°X 射线发射率 Q ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$)	13.5	3.2	HJ979-2018
90° X 射线发射率修正系数	0.5	0.5	HJ979-2018
90° 等效入射电子能量	6MeV	1.9MeV	HJ979-2018
90°方向距靶 1m 处的吸收剂量率 D ₁₀	810Gy/h	3.84Gy/h	计算

续表 11 环境影响分析



上层主机厅直射计算点

图11-1 辐照室直射平面核算示意图

③计算结果

按照公式 11-2 和 11-4 以及加速器辐照室现有屏蔽防护设计方案可以计算出辐照室直射辐射计算点处的剂量率如下表 11-2。

表 11-2 辐照室直射 X 射线各计算点核算结果

楼层	计算点	位置	距离 (m)	居留因子	设计厚度 (cm)	设计厚度下计算点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
辐照厅	A	厂房内过道	5.2	1	290	0.20	≤ 2.5	是
	A1、A2		5.75	1	(304.5)	0.06	≤ 2.5	是
	B1、B2	上下货操作区	9.7	1	(200.5+75.2)	0.15	≤ 2.5	是
	C/D	厂房内过道	10.3	1	260	0.36	≤ 2.5	是
	E、E1	厂房内过道	13	1	(327.6+163.8+75.7)	5.82E-10	≤ 2.5	是
	F、F1	辐照厅迷道口	12.5	1	(258+129)	6.51E-05	≤ 2.5	是
主机	2A	悬空区域	4.9	1	180	2.23E-04	≤ 2.5	是

续表 11 环境影响分析

厅	2B	有顶过道	7.7	1	300	9.67E-11	≤2.5	是
	2C	设备间	4.6	1	200	2.56E-05	≤2.5	是
	2D	水冷机房	4.6	1	120 (扣除冷却水管在墙体内部的穿越长度后, 见附图 8)	0.24	≤2.5	是
	2F	有顶过道	7.8	1	202.8	6.46E-06	≤2.5	是
	G	主机厅迷道口	8.3	1	198.6	9.23E-06	≤2.5	是

备注: ①表中厚度均为混凝土厚度。

②辐照厅地板下为泥土层, 不进行核算; 所有计算点距屏蔽体外表面距离为 30cm。

③() 里面的数值为斜线屏蔽厚度。

④居留因子保守均取 1。

⑤设计厚度已扣除穿墙管线部分。

根据表 11-2 计算, 在现有设计条件下, 加速器辐照室屏蔽体外周围剂量当量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 等标准中周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(2) 辐照室散射辐射计算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 A.3 可知, 在加速器装置的屏蔽设计中, 有三种情况必须考虑散射辐射: 迷道和防护门、天空反散射、孔道。由于本项目屏蔽设计中所有经过屏蔽体的孔道均采用“U”型穿越, 不影响屏蔽体的屏蔽能力, 天空反散射另行计算, 因此辐照室散射辐射主要考虑迷道和防护门。

为防止电子在迷道入口处的照射, 最简单的屏蔽方法是使迷道路径长度大于电子在空气中的射程, 这个长度可以是迷道的直线距离, 或者是迷道中最短的各个中间距离之和, 根据辐照厅迷道设计尺寸, 迷道中最短的各个中间距离之和为约 22m, 远大于电子在空气中的射程。

①预测公式

防护 X 射线的迷道, 可按《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录中式 A-5 即式 11-5 估算迷道外入口的剂量率:

$$H_m = \frac{D_{10} \times \alpha_1 A_1 \times (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 d_{r1} d_{r2} \cdots d_{vj})^2} \quad (11-5)$$

续表 11 环境影响分析

式中：

D_{10} —X 射线源 1m 处的吸收剂量率指数 (Gy/h)；

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线散射系数；(查附录 A 取 5×10^{-3})

α_2 —从随后屏蔽材料层散射出来的 X 射线散射系数(假设对以后所有散射过程是相同的)；(查附录 A 取 2×10^{-2})

A_1 —从 X 射线入射到第一散射物质的散射面积， m^2 ；

A_2 —迷道的截面积 (m^2 ，假设整个迷道截面积近似常数，高宽比在 1~2 之间)；

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离，m；

d_1, d_2, d_j —沿着迷道长轴的中心线距离， $d_j/A_2^{1/2}$ 应在 1~6 之间；

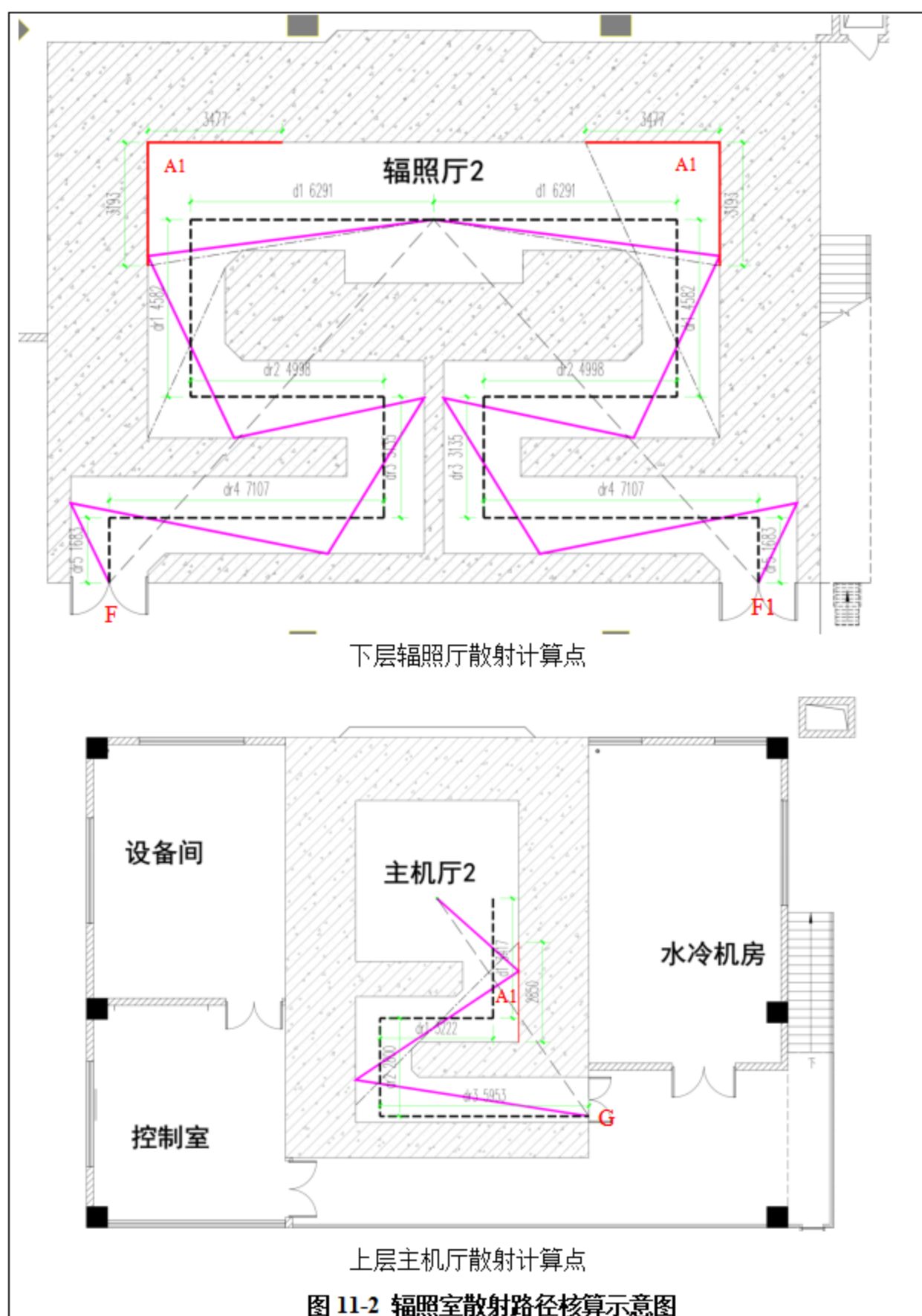
j—表示第 j 次反射过程。

②计算参数

本项目辐照厅内韧致射线至少经过 5 次散射方可到达迷道出入口。本项目主机厅内韧致射线至少经过 2 次散射方可到达迷道出入口。

根据附录 A 公式(A-5),对于能量大于 3MeV 的 X 射线认为其散射一次后的能量均为 0.5MeV；对于初级 X 射线，散射系数 α_1 取值 5×10^{-3} ,对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 (假设一次散射后的反射过程一样， $E=0.5MeV$)取值为 2×10^{-2} 。

续表 11 环境影响分析



续表 11 环境影响分析

③计算结果

根据预测公式可知，迷道入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，具体参数及计算结果见表 11-3。

表 11-3 辐照室迷道散射计算参数表

参考点	位置	散射次数	D_{10} (Gy/h)	A_1 (m^2)	d_1 (m)	A_2 (m^2)	散射路径 ($d_1d_2d_3d_4d_5$)	屏蔽条件 (cm)	辐射剂量率 ($\mu Sv/h$)
F/F1	辐照厅迷道出入口	5	810	13.34	6.29	4	4.58/5/3.13/7.11/1.68	/	7.63×10^{-5}
G	主机厅迷道出口	2	3.84	8.55	3.41	3.9	3.22/2.8/5.95	/	0.38

备注：①辐照厅 A_1 面积为 $(3477mm+3193mm) \times 2000mm$ （辐照厅高）= $13.34m^2$ ； A_2 面积为辐照厅迷路宽 $\times$ 迷路高= $2000mm \times 2000mm=4m^2$ 。

②主机厅 A_1 面积为 $2850mm \times 3000mm$ （主机厅迷路高）= $8.55m^2$ ； A_2 面积为主机厅迷路宽 $\times$ 迷路高= $1300mm \times 3000mm=3.9m^2$ 。

根据表 11-3 计算和结合表 11-2 计算可知，辐照厅和主机厅 X 射线经迷道散射至迷道出口处的剂量率很小，叠加迷道门处直射 X 射线后的周围剂量当量率也能满足评价标准不大于 $2.5\mu Sv/h$ 的要求，无需额外屏蔽防护。

(3) 辐照室屋顶的核算

①辐照室屋顶剂量核算

屋顶厚度首先应考虑直射的防护。

续表 11 环境影响分析

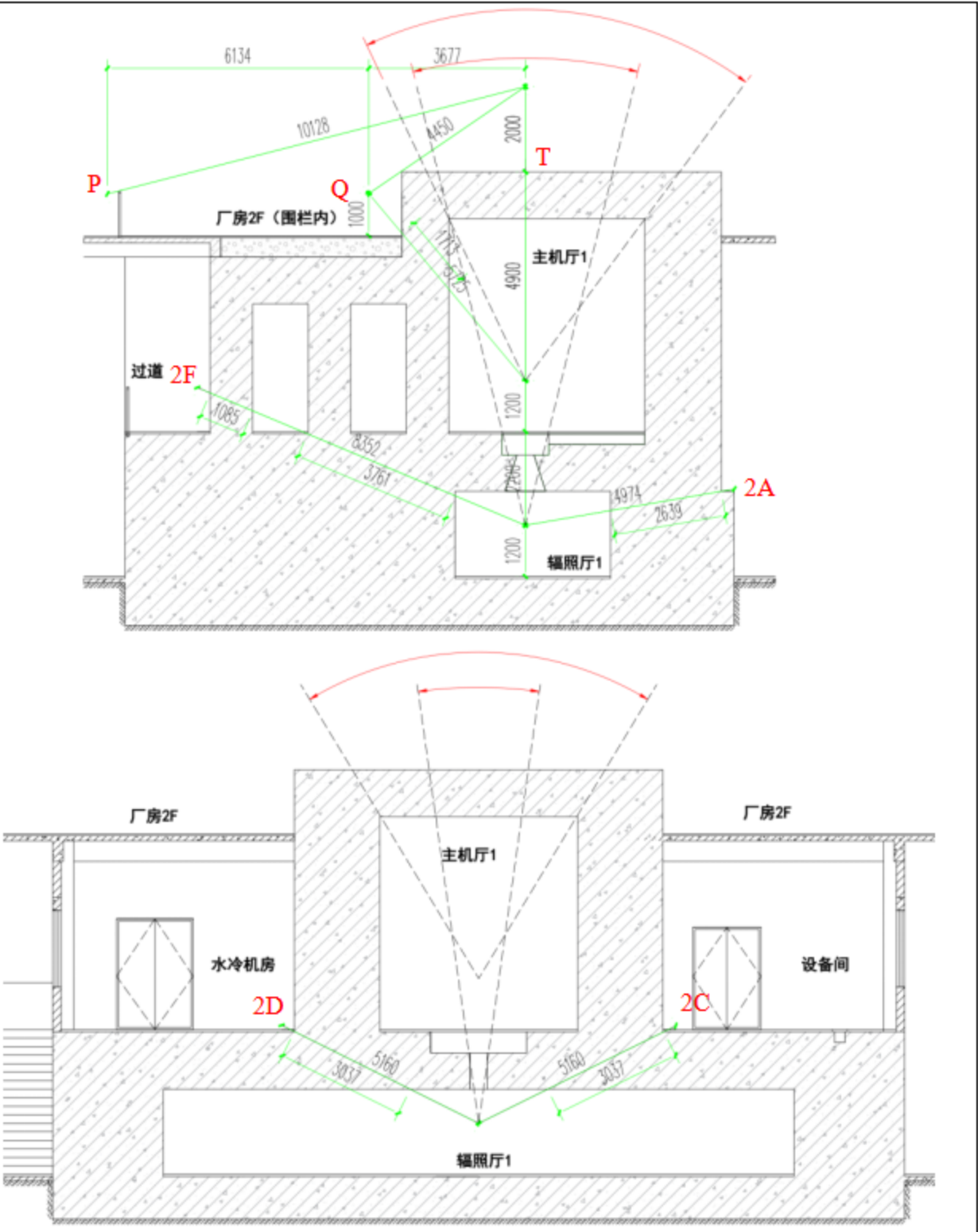


图 11-3 辐照室主机厅外各区域直射及天空散射核算示意图

按照公式 11-2 和 11-4 以及加速器辐照室现有屏蔽防护设计方案可以计算出主机厅周围直射辐射计算点处的剂量率如下表 11-4。

续表 11 环境影响分析

表 11-4 主机厅周围受直射 X 射线各计算点核算结果

楼层	计算点	位置	居留因子	距离 (m)	设计厚度 (cm)	设计厚度下计算点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
主机厅周围	受辐照厅影响							
	2A	悬空区域	1	4.97	(263.9)	1.21	≤ 5	是
	2F	有顶过道	1	8.35	(484.6)	2.60E-07	≤ 5	是
	2C	设备间	1	5.16	(303.7)	0.08	≤ 5	是
	2D	水冷机房	1	5.16	(303.7)	0.08	≤ 5	是
	受主机厅影响							
	Q	厂房 2F	1	5.72	(171.3)	4.43E-04	≤ 5	是
	T	主机厅顶	1	5.2	1100	0.60	≤ 5	是

备注：①表中厚度均为混凝土厚度。

②辐照厅地板下为泥土层，不进行核算；所有计算点距屏蔽体外表面距离为 30cm。

③（）里面的数值为斜线屏蔽厚度。

④居留因子依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A，当参考点位置为人员全居留时取值1，部分居留时可取1/4，偶然居留时可取1/16。

⑤设计厚度已扣除穿墙管线部分。

②天空散射预测公式

对于天空反散射，综合考虑辐照厅和主机厅辐射对参照点的剂量贡献，计算点位见图 11-3。

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \quad (11-6)$$

式中：

H—在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率(Sv/h)；

B_{xs} —X 射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω —由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角(Sr)；

d_i —在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离(m)；

d_s ——X 射线源至参照点的距离(m)。

续表 11 环境影响分析

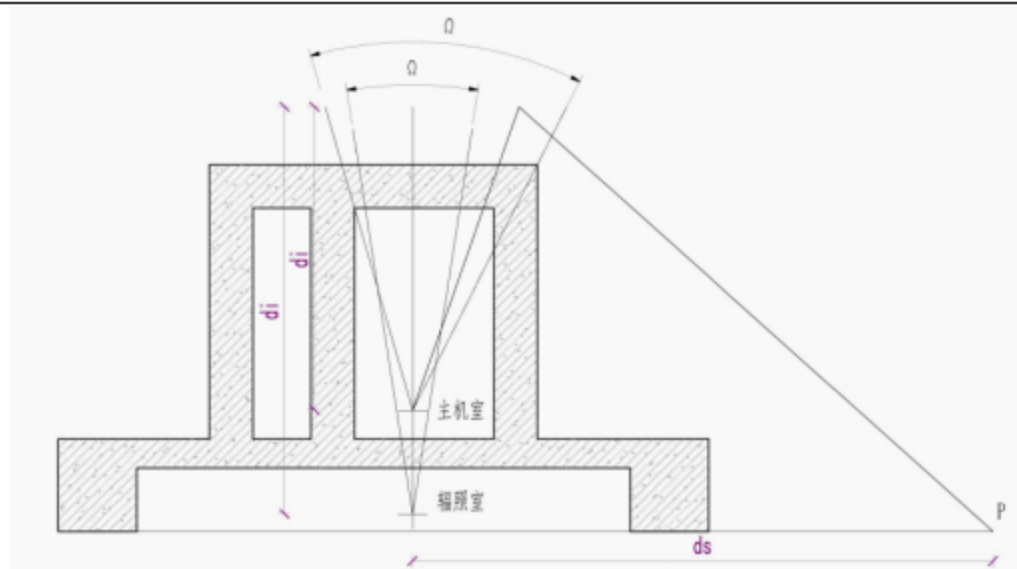


图 11-4 天空散射示意图

根据《γ辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB10252-2009)附录A, 对于图11-5(a)情况, a 、 b 分别为O点至A、B的距离, c 、 d 分别为源点Y点至O、E的距离, 平面OAEB对Y点所张的立体角 Ω 为:

$$\Omega = \arctan \frac{ab}{cd} \quad (11-7)$$

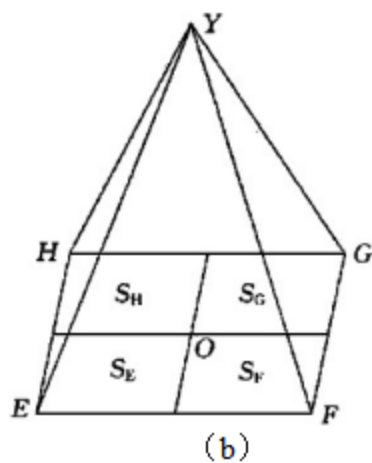
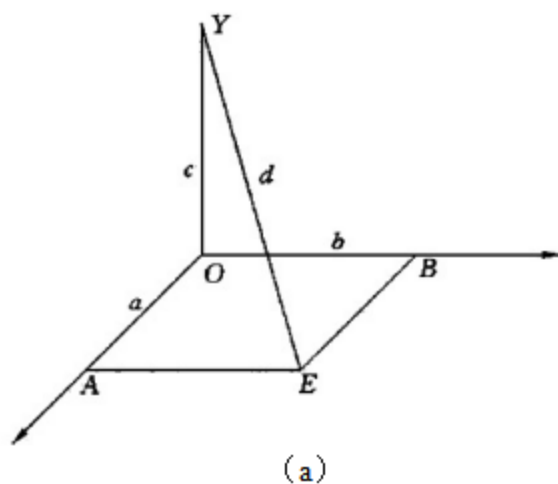


图11-5 源点对屏蔽墙所张立体角

源点对屏蔽墙所张立体角经常为图11-5 (b) 所示的情况, 这可把平面EFGH对Y点所张立体角视为平 S_E 、 S_F 、 S_G 、 S_H 对Y点所张立体角 Ω_E 、 Ω_F 、 Ω_G 、 Ω_H 之和, 如公式(11-8)所示。

续表 11 环境影响分析

$$\Omega = \Omega_E + \Omega_F + \Omega_G + \Omega_H \quad (11-8)$$

根据上述计算公式，源点对辐照室屏蔽墙所张立体角的计算结果见表11-5。

表 11-5 立体角计算结果

序号	a(m)	b(m)	c(m)	d(m)	立体角 Ω
辐照厅	2.5	3.3	10.3	11.1	0.07
	2.5	3.3	10.3	11.1	0.07
	3.9	3.3	10.3	11.5	0.11
	3.9	3.3	10.3	11.5	0.11
合计					0.36
主机厅	3.3	4.2	6.9	8.7	0.23
	3.3	4.2	6.9	8.7	0.23
	5.1	4.2	6.9	9.6	0.31
	5.1	4.2	6.9	9.6	0.31
合计					1.08

根据图11-3， ds_1 取3.68m时，公众能到达区域的最大允许周围剂量当量率为 $H_M=0.1\text{mSv}/(2000\text{h}\times 1/16)=0.8\mu\text{Sv/h}$ 。 ds_2 取9.81m时，公众能到达区域的最大允许周围剂量当量率为 $H_M=0.1\text{mSv}/(2000\text{h})=0.05\mu\text{Sv/h}$ 。

按照公式 11-4 计算 B_{xs} ，再按照公式 11-6 以及辐照室现有屏蔽防护设计方案可以计算出辐照室周围天空散射剂量率，如下表 11-6。

表 11-6 辐照室天空散射核算结果

点位	楼层	D_{10} (Gy/h)	Ω	d_i (m)	d_s (m)	$H_M(\mu\text{Sv/h})$	B_{xs} (设计)	屋顶设计 厚度 (m)	设计厚度下辐 射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
Q	一层辐照厅	810	0.36	10.3	3.68	0.8	1.25E-07	2.45	4.70E-04
	二层主机厅	3.84	1.08	6.9	3.68	0.8	4.24E-06	1.10	6.96E-04
P	一层辐照厅	810	0.36	10.3	9.81	0.05	1.25E-07	2.45	6.61E-05
	二层主机厅	3.84	1.08	6.9	9.81	0.05	4.24E-06	1.10	9.80E-05

根据表 11-6 计算，设计厚度下的辐射剂量率满足对应区域年剂量率要求。

③天空侧向散射预测

本项目电子加速器辐照机房 2 所在区域为 4#厂房采光天井，厂房 3F 和 4F 用房区位于位于辐照室侧上方，需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对其造成的辐射影响。

根据前文计算结果，辐照厅顶棚关注点处周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐照厅顶

续表 11 环境影响分析

棚不考虑侧向散射。侧向散射仅考虑透过主机室顶棚的散射线。主机室顶棚侧向散射，综合考虑辐照室初级 X 射线经过辐照室与主机室之间楼板的贯穿辐射场至主机室顶棚及主机室束流损失辐射至主机室顶棚后，透过主机室顶棚对关注点的侧向散射剂量贡献。

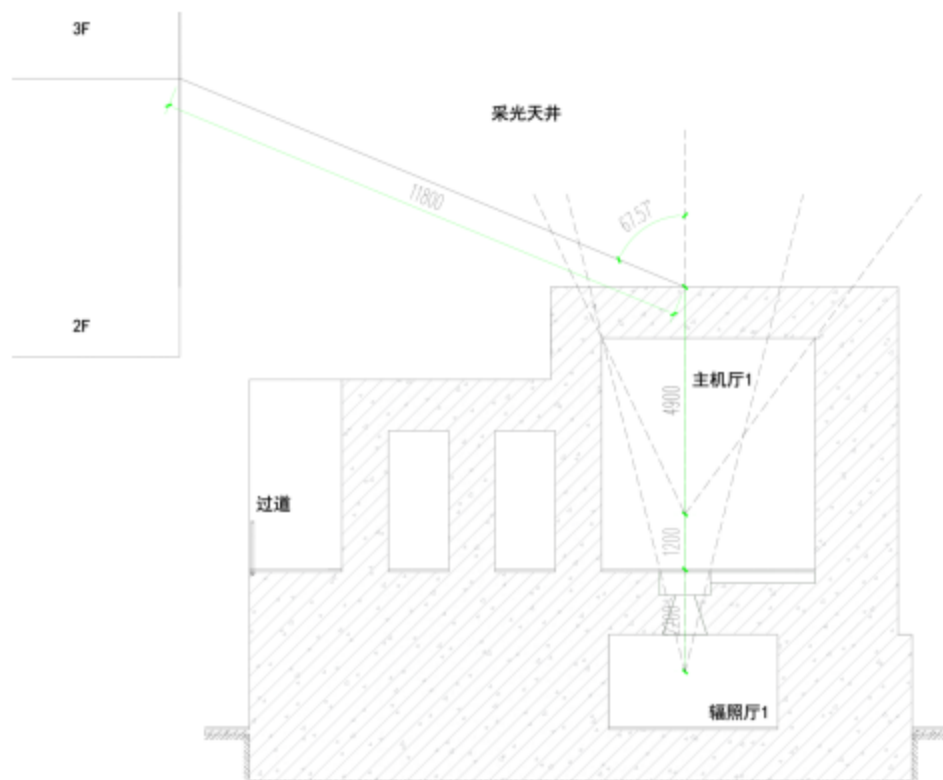


图11-6 侧向散射示意图

通过混凝土屋顶 X 射线的侧向散射可用以下经验公式计算：

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{I + \left[\frac{(t-T_1)}{T_e} \right]}} \quad (11-9)$$

式中：

H —— X 射线侧向散射周围剂量当量率 ($\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$)；

D_{10} —— 靶上方 1 米处 X 射线的吸收剂量率 ($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)；

F —— 靶上方 1 米处照射野的面积 (m^2)；

$f(\theta)$ —— 由表 A.5 中给出的 X 射线的角度分布函数；

d_R —— 从屋顶上方束流中心到关注点的距离 (m)；

t —— 屋顶的厚度 (m)；

T_1 、 T_e 分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层 (m)。

续表 11 环境影响分析

表 11-7 侧向散射核算结果

关注点	D_{10} (Gy/h)	F	θ	$f(\theta)$	d_R (m)	设计厚度 t (cm)	T_1 (cm)	T_e (cm)	设计厚度下 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
4#厂房 3~4F	810	0.25	67.6	0.035	11.8	110+110	35.5	35.5	0.03
	3.84	1.44	67.6	0.035	11.8	110	22.1	20.1	5.89×10^{-3}

备注：F为靶上方1米处照射野的面积，由图上量出。 θ 由图上量出， $f(\theta)$ 来自附录A.3表A.5，办公楼3~4F高于机房顶棚。辐照厅楼板混凝土厚度为1350mm，中间孔洞被设备金属结构件阻挡，因此辐照厅楼板屏蔽厚度主要考虑扣除地面管线沟后的有效厚度，根据设计图纸，扣除管线沟后，最薄处混凝土厚度为1100mm。

根据表 11-7，辐照室侧向散射关注点处周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 屏蔽效核综合结论

根据表 11-2~表 11-7 的计算结果可知，辐照屏蔽体外 30cm 处及其他公众可到达处的剂量率值均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，部分主机厅与辐照厅相连位置，可能同时受到两个区域的辐射影响，另两间辐照室成 L 型分布，虽然未紧邻设置，但两间辐照室下层辐照厅的其中 1 个迷路出口相距很近，其外区域可能存在共同辐射影响，因此也需考虑叠加辐射影响。叠加影响估算结果见表 11-8，从计算结果可以看出，可能受到辐射叠加影响的区域，其剂量率估算结果也满足标准要求。

表 11-8 屏蔽体外叠加辐射剂量率核算结果

点位	辐射来源	辐射类型	剂量率值	叠加结果	评价
2A	下层辐照厅	直射辐射	1.21	1.21	满足标准要求
	上层主机厅	直射辐射	$2.23\text{E-}04$		
2F	下层辐照厅	直射辐射	$2.60\text{E-}07$	$6.72\text{E-}06$	满足标准要求
	上层主机厅	直射辐射	$6.46\text{E-}06$		
2C	下层辐照厅	直射辐射	$8.48\text{E-}02$	0.08	满足标准要求
	上层主机厅	直射辐射	$2.56\text{E-}05$		
2D	下层辐照厅	直射辐射	$8.48\text{E-}02$	0.33	满足标准要求
	上层主机厅	直射辐射	$2.44\text{E-}01$		
Q	下层辐照厅	天空散射	$4.70\text{E-}04$	$1.61\text{E-}03$	满足标准要求
	上层主机厅	天空散射	$6.96\text{E-}04$		
	上层主机厅	直射辐射	$4.43\text{E-}04$		
F	辐照室 1 下层辐照厅迷路出口	直射辐射	$6.51\text{E-}05$	$2.83\text{E-}04$	满足标准要求
		散射辐射	$7.63\text{E-}05$		
	辐照室 2 下层辐照厅迷路出口	直射辐射	$6.51\text{E-}05$		
		散射辐射	$7.63\text{E-}05$		

续表 11 环境影响分析

综上所述，建设单位按照辐照室各防护体设计厚度建设时，保证施工质量，屏蔽体有足够的屏蔽能力，可以保证屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等相关标准要求。

11.2.3 剂量估算

(1) 估算公式

工作人员和公众人员受到的 X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按公式 11-9 进行计算。

$$H_{\text{Er}} = H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-9)$$

式中：

H_{Er} ：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

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

t：X 或 γ 射线照射时间，小时。

(2) 估算结果

本项目各电子辐照加速器年生产 250d，每天最多 8h，年有效运行时间为 2000h。

表 11-9 辐照室外辐射工作人员受照剂量估算

序号	环境保护目标	方位	关注点最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
1	控制室	2F, 参考 2C 点	0.08	2000	1	0.16
	设备间	2F, 2C 点	0.08	2000	1/16	0.01
	水冷机房	2F, 2D 点	0.33	2000	1/16	0.04
	有顶过道	2F, 2F 点	6.72E-06	2000	1/4	3.36E-06
2	辐照室楼梯	D 点	0.36	2000	1/16	0.05
3	货物装卸区	B1 点	0.15	2000	1	0.30

备注：居留因子依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A。主机厅四周相邻区域周围剂量当量率考虑主机厅和辐照厅叠加辐射剂量率。

表 11-10 辐照室外辐射公众受照剂量估算

序号	名称	方位	距离	关注点最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
辐照室 2							
1	厂房内过道	北侧	紧邻	0.20	2000	1/16	0.03
	户外道路、绿化		约 1m	0.14	2000	1/16	0.02
	1#厂房		约 30m	4.43E-03	2000	1	0.01
2	厂房内过道	西侧	紧邻	0.36	2000	1/16	0.05

续表 11 环境影响分析

	户外道路、绿化		约 1m	0.30	2000	1/16	0.04
	3#厂房		约 38m	0.02	2000	1	0.03
3	待辐照区、已辐照区、楼梯/电梯间和卫生间等	南侧	约 7m	0.05	2000	1/16	0.01
	厂房 2F		/	1.64E-04(天空散射)	2000	1	3.28E-04
	户外道路、绿化		约 35m	0.01	2000	1/16	8.68E-04
4	过道、已辐照区/待辐照区等	东侧	紧邻	0.36	2000	1/16	0.05
	户外道路、绿化		约 11m	0.08	2000	1/16	0.01
	广源路		约 26m	0.03	2000	1/16	3.64E-03
5	厂房 3~4F	上方		0.04	2000	1	0.08
辐照室 1							
1	厂房 2F	/	/	1.64E-04(天空散射)	2000	1	3.28E-04
2	厂房内过道	北侧	紧邻	0.36	2000	1/16	0.05
	户外道路、绿化		约 2m	0.25	2000	1/16	0.03
	1#厂房		约 48m	0.01	2000	1	0.02
3	厂房内过道	西侧	紧邻	0.20	2000	1/16	0.03
	户外道路、绿化		约 1m	0.14	2000	1/16	0.02
	3#厂房		约 20m	8.64E-03	2000	1	0.02
4	过道、卫生间、楼梯/电梯间等	南侧	紧邻	0.36	2000	1/16	0.05
	户外道路、绿化		约 10m	0.09	2000	1/16	0.01
	5#厂房		约 48m	0.01	2000	1	0.02
5	已辐照区、待辐照区、楼梯/电梯间等	东侧	约 6m	0.06	2000	1/16	0.01
	户外道路、绿化		约 35m	0.01	2000	1/16	8.68E-04
6	厂房 3~4F	上方		0.04	2000	1	0.08
2 间辐照室叠加辐射影响							
1	过道	辐照厅迷路出口共同影响区域		2.83E-04	2000	1/4	5.66E-04

备注：辐照室上方剂量率选择辐照厅和主机厅天空散射的叠加值，四周区域辐射剂量率选择辐照厅外数值。

根据估算可知，本项目所致辐射工作人员总的年有效剂量最大为 0.3mSv/a，本项目所致辐射工作人员的年有效剂量远小于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等相关标准规定的年剂量约束值 5mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值要求。本项目所致公众的年有效剂量为 0.08mSv/a，小于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等相关标准规定的年剂量约束值 0.1mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值要求。

11.2.4 环境保护目标影响分析

续表 11 环境影响分析

辐照室各屏蔽体外 0.3m 处的瞬时剂量率满足国家相关标准要求, 根据 X 射线衰减规律, 辐射影响与距离的平方进行衰减, 即距离辐射源越远, 受到的影响越小。本项目周围环境保护目标处周围剂量当量率均处于较低的水平, 且估算结果只考虑了距离的衰减, 实际上 X 射线在传播过程中有墙体、楼板等各种屏蔽体的阻挡, 因此, 项目辐照室外 50m 范围内的各环境保护目标的辐射影响也满足相应标准和要求, 对环境保护目标的影响很小。

11.2.5 其他影响分析

(1) 废气

①臭氧

根据工程分析可知, 单台 10MeV 电子辐照加速器所致 O_3 的产生率为 $8.1 \times 10^4 \text{mg/h}$ 。本项目辐照室设计一台风量 $12000 \text{m}^3/\text{h}$ 的风机, 辐照室换气一次所需最长时间约 0.035h, 远小于臭氧的有效化学分解时间 T_d (约 50 分钟), 根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 B 可知, 当辐照室换气一次所需时间 $T_v \ll T_d$ 时, 对臭氧的有效清除时间 $T_e \approx T_v$, 此时辐照室内臭氧平衡浓度为:

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (11-10)$$

根据式 11-10 及本项目辐照室通风设计, 本项目辐照室内臭氧平衡浓度为计算结果见表 11-11:

表 11-11 辐照室内臭氧平衡浓度计算结果

辐照室	臭氧产额	辐照室容积(包括辐照厅、主机厅、迷道)	设计风量	臭氧平衡浓度
10MeV	$8.1 \times 10^4 \text{mg/h}$	约 420m^3	$12000 \text{m}^3/\text{h}$	7mg/m^3

加速器长期正常运行期间, 室内臭氧达到饱和平衡浓度, 根据表 11-10 可知, 该浓度高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度 0.3mg/m^3 。因此, 当加速器停止运行后, 人员不能直接进入辐照室, 风机必须继续运行, 关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad (11-11)$$

式中:

续表 11 环境影响分析

C_0 ——GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度, $C_0 = 0.3\text{mg/m}^3$ 。

T——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

根据式 11-11 及本项目辐照室通风设计, 本项目关闭加速器后风机运行的持续时间计算结果见表 11-12:

表 11-12 关闭加速器后风机运行的持续时间计算结果

辐照室	臭氧平衡浓度	臭氧的最高容许浓度	臭氧的有效清除时间	所需时间
10MeV	7mg/m^3	0.3mg/m^3	0.035h	约 0.11h

根据表 11-12 可知, 关闭加速器后风机运行的持续时间约为 0.11h, 即约 6min 后, 辐照室内的臭氧浓度能满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素 (一)》(GBZ2.1-2019) 的臭氧浓度限值要求。

实际上臭氧很不稳定, 在常温下不断转化成氧气, 或与其他材料和空气中的杂质产生化学反应, 因此其浓度降低速度也将大大加快。为保险起见, 建设单位要求在停机 6min 后操作人员方可被允许进入加速器辐照室内。因此, 辐射工作人员在允许条件下进入辐照室是安全的。

本项目拟设机械排风, 排风量为 $12000\text{m}^3/\text{h}$, 排风管道直径为 800mm, 辐照室内臭氧被引至排风管道内, 最终引至 4#厂房顶排放, 经过大气的稀释和扩散作用浓度迅速降低, 另一部分臭氧通过自然分解, 对周围大气环境影响可接受。

②氮氧化物

根据工程分析可知, 氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一, 根据估算, 关闭加速器后风机运行的持续时间约为 4min 后, 辐照室内的氮氧化物就能满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素 (一)》(GBZ2.1-2019) 的氮氧化物浓度限值 (5mg/m^3) 要求。因此, 按照臭氧要求在关闭加速器后风机持续运行 6min, 辐照室内的氮氧化物浓度将远小于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素 (一)》(GBZ2.1-2019) 的氮氧化物浓度限值要求, 氮氧化物产生和排放对工作场所大气环境的影响很小。

氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一, 氮氧化物的产生率为 $2.7 \times 10^4\text{mg/h}$, 排风量为 $12000\text{m}^3/\text{h}$, 因此, 氮氧化物的排放浓度约为 2.33mg/m^3 , 满足重庆市地方标准《大气污染物综合排放标准》(DB 50/418-2016) 中影响区的排放浓度限值 240mg/m^3 要求。

续表 11 环境影响分析

综上所述，本项目运行时所产生的有害气体不会对公众人员造成影响，对周边环境空气影响很小。

(2) 废水环境影响

本项目加速器冷却水循环水不外排；工作人员生活污水一起依托科学基地新建生活污水处理设施处理后达标排放。因此本项目废水对周围水环境影响很小。

(3) 噪声影响

本项目拟使用的风机为低噪声设备，其噪声值一般低于 65dB(A)，噪声源强较小，本项目位于工业园区内，评价范围内无声环境保护目标，风机噪声对项目所在区域声环境影响轻微。

(4) 固废环境影响

生活垃圾交市政环卫部门统一收集处理。

项目固废得到合理处置，对环境影响较小。

11.3 产业政策符合性分析

本项目的建设是为了食品果蔬保鲜、医用卫生用品灭菌提供服务。公司使用辐照装置满足相关国家法律、法规和标准的要求，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”中“六 核能”中的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

11.4 实践正当性分析

项目利用辐照加工技术开展对食品果蔬保鲜、医用卫生用品灭菌等辐照加工，并进行辐照技术应用研发，为产品生产企业提高产品质量提供服务。加速器辐照加工具有效率高、工艺过程简单、操作方便、低耗能、高效益、高度机械化、自动化、无污染公害、无残留等特点，项目在采取切实可行的辐射安全与环保措施后，不仅可以减少污染物排放量，而且可以产生一定的社会效益和经济效益。通过环评分析、预测和评价，项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内。项目建设严格执行“三同时”，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。

项目对受电离辐射照射个人、企业和社会带来利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中

续表 11 环境影响分析

辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

11.6 事故影响分析

11.6.1 电离辐射引起生物效应

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程。目前仍不清楚，但是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。

这类症状存在阈值效应，其严重程度取决于剂量大小，只有在剂量超过一定的阈值时才能发生，称之为确定性效应，该效应是高水平辐射照射导致细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果。确定性效应常出现在短时间间隔内的高剂量照射的情况（急性照射）。除了受控制的医学照射外，高剂量照射一般不会出现在工作场所。因此，确定性效应一般也不会出现在常规的工作场所，仅在事故情况下被观察到。确定性效应定义为通常情况下存在剂量阈值的一种辐射效应，超过阈值时，剂量越高则效应的严重程度越大。同时不同个体不同组织和器官对射线照射的敏感度差异较大。在非正常情况下，急性大量辐射照射可以造成人或者生物的死亡。

11.6.2 电子加速器辐照室事故风险、后果及预防措施分析

电子加速器是种将电能转换成高能电子束的设备，电子束受开机和关机控制，关机时没有射线发出，因此断电状态下是安全的。本项目电子加速器为 II 类射线装置，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》内容，II 类射线装置事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。在意外情况下，本项目可能出现的辐射事故如下：

（1）人员误照射风险

①由于管理不善或安全联锁失效，在系统出束时，现场工作人员或周围公众成员误入辐射防护区，给上述工作人员或公众成员造成不必要的照射。

②如果在系统工作前有人进入辐照室，而操作人员又没有仔细巡检就开始操作加速器出束则有可能造成人员的误照射。

（2）臭氧事故风险

续表 11 环境影响分析

①由于管理不善或安全联锁失效，辐照室内通风速度或通风时间不够导致加速器停机后，工作人员进入臭氧浓度超标的辐照室造成意外。

②如果加速器工作期间通风系统出现故障导致通风速度降低或停止工作则有可能导致经排气筒排入大气的臭氧浓度升高，同时也可能导致停机后即使等待足够的时间辐照室内的臭氧浓度仍然高于限值水平，从而使进入辐照室的人员吸入过量的臭氧。

(3) 误照射剂量核算

根据上述分析，因各种原因导致电子加速器发生误照射辐射事故，本评价对电子加速器发生误照射剂量进行统一核算和影响分析。

根据前文分析，辐射事故主要是在电子加速器出束过程中无关人员在辐照室内受到误照射。相较之下，工作人员或其他人员（如维修人员）在辐照室内时，距离电子加速器最近，受到的误照射最大。本项目在辐照室内墙四周均设置有拉线，在加速器控制柜上也设有急停按钮，事故时受照人员拉下急停开关的反应时间按 5-30s 计算，则根据电子加速器相关参数，则工作人员或其他人员（如维修人员）受到的误照射剂量见表 11-13 所示。

表 11-13 误照射人员所受辐射剂量情况表

事故情况	距靶 1m 处的吸收剂量率(Gy/h)	受照时间(S)	受到的有效剂量当量(Gy)
人员误入辐照厅	810	5	1.125
	810	10	2.25
	810	15	3.375
	810	20	4.5
	810	30	6.75
人员误入主机厅	3.84	5	0.005
	3.84	10	0.01
	3.84	15	0.015
	3.84	20	0.02
	3.84	30	0.03

本项目事故后果最严重为人员误入辐照厅和主机厅内，距离靶较近，且未及时反应按下急停设施。根据上表核算，电子加速器运行时，无关人员受到误照射，单次照射最大 30s 下受到照射剂量最大约为 6.75Gy。由上述后果分析可知，人员误入主机厅的事故情况下，人员可能受到超过年剂量的照射，可能导致人员随机性效应几率增加，但不会有明显临床指征，但极端情况下，人员误入辐照厅并受到较长时间的照射（30s 及以上），

续表 11 环境影响分析

可能出现更严重后果。根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），该剂量可能造成人员辐射损伤，导致极重度骨髓型急性放射病，甚至死亡。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定“重大辐射事故，是指 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”。本项目两名工作人员一组进行设备操作或巡查，进入辐照厅和主机厅内的人员一次不超过 2 人，因此，本项目发生单次误照射情况下，可能导致重大辐射事故。

（4）辐照室臭氧超标事故

臭氧的强氧化性对人体健康有危害作用，一般认为臭氧吸入体内后，能迅速转化为活性很强的自由基-超氧基，主要使不饱和脂肪酸氧化，从而造成细胞损伤。臭氧可使人的呼吸道上皮细胞脂质过氧化过程中花生四烯酸增多，进而引起上呼吸道的炎症病变，研究表明接触 0.09ppm 臭氧 2 小时后肺活量、用力肺活量和第一秒用力肺活量显著下降；浓度达 0.15ppm 时，80%以上的人感到眼和鼻粘膜刺激，100%出现头疼和胸部不适。由于臭氧能引起上呼吸道炎症、损伤终末细支气管上皮纤毛，从而削弱了上呼吸道的防御功能，因此长期接触一定浓度的臭氧易于继发上呼吸道感染。臭氧浓度在 2ppm 时，短间接接触即可出现呼吸道刺激症状、咳嗽、头疼。

根据前文预测模式，加速器辐照结束后若不继续通风则辐照室内的臭氧浓度为最大为 $3.9\text{mg}/\text{m}^3$ （ $1\text{ppm}\approx 1.96\text{mg}/\text{m}^3$ ），如果工作人员立即进入辐照室，短间接接触即可出现呼吸道刺激症状、咳嗽、头疼。

（5）风险防范措施

①人员误照射

通过技术手段要求操作人员在启动加速器前必须巡视辐照室，同时通过规范的操作制度要求操作员在启动加速器前以及加速器工作工程中通过监控系统实时查看辐照室内的情况，要求工作人员每次上班时首先要检查安全联锁装置和急停开关是否正常；如果联锁装置和急停开关失灵，应立即修复，并严格按照电子加速器操作程序进行生产作业。此外，工作人员进出辐照室必须携带个人剂量报警仪。加强辐照室出入口的管理并加强员工安全教育和培训，尽可能避免人员误照射事故的发生。

②臭氧事故

续表 11 环境影响分析

加速器工作前必须检查臭氧通风系统能否正常工作，若不能正常工作则不能开展辐照加工工作，待维修能正常工作后方可开展。辐照室停机后分别继续排风 6min 后辐照室内臭氧浓度可降至要求的 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。实际工作中，工作人员必须在加速器停机后分别继续排风 6min 后方可进入辐照室。

11.7 环保投资估算

本项目环保投资估算共约 55 万，占总投资 2.75%，具体情况见表 11-15。

表 11-15 项目环保投资一览表

序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资（万元）
1	辐射安全管理	管理制度建立、修订等，制度上墙，各处标识标牌、警示标志等	4
2	人员	辐射安全与防护培训与考核	5
3	监测仪器和防护用品	固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、X-γ剂量监测仪、个人剂量计等	5
4	辐射防护与安全措施	辐照室安装多重联锁装置、紧急停机按钮、警示灯等	10
5	废气治理措施	排气筒、处置	16
6	噪声治理设施	风机减振基座、消声设施等	5
7	辐射防护设施工程	辐照室墙体屏蔽、防护门	计入工程投资
8	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等		10
合计			55

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用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。

公司未开展过核技术利用项目，尚未设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，也未配置技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。因此，建设单位拟在项目建成前按照上述要求成立辐射安全与环境保护管理机构，并指定至少 1 名人员负责统筹协调辐射安全与环境保护管理工作。辐射安全与环境保护管理主要涉及以下几个方面：

①全面负责辐射安全防护管理工作，制定辐射防护安全管理制度。

②负责环保手续办理及相关事项，如许可证申领、人员培训、个人剂量送检、职业健康体检等，并做好个人剂量计监测档案、健康体检档案、培训档案的管理。

③负责日常防护设备维护，制定辐射事故应急预案，编制企业辐射安全年度评估报告。

12.2 辐射工作人员及培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识。

本项目拟配置 8 名辐射工作人员，能满足本项目辐照加工作业需求。建设单位拟按照要求组织辐射工作人员通过辐射防护与安全培训并考核合格后再上岗，并在有效期到期前进行复训和考核。

12.3 辐射安全管理制度、档案等

续表 12 辐射安全管理

(1) 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。

为此，建设单位承诺在项目建成运营前，拟按照相关规定制定相应的管理制度，包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、职业健康及个人剂量管理制度、安全检查制度、监测方案、年度评估等管理制度和辐射事故应急预案。

(2) 个人剂量管理

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

建设单位拟按照规定制定个人剂量管理制度，要求辐射工作人员上岗期间必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，防止个人剂量计遗失和监测结果异常。

(3) 职业健康检查

建设单位拟按照规定制定职业健康管理制度，要求辐射工作人员上岗前应进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作，并且组织上岗后的辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年。

(4) 射线装置台账管理

建设单位拟制定加速器使用登记制度，建立台账记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，确定

续表 12 辐射安全管理

台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度，每天进行辐照工作前应进行基本信息记录。

(5) 年度评估

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

项目建成后，公司拟按要求于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交《年度评估报告》，并在辐射防护管理制度中明确该部分内容。年度评估报告包括射线装置、防护用品及检测仪器台账，辐射安全防护设施的运行维护情况、辐射安全管理制度执行情况、辐射工作人员安全培训管理情况、个人剂量检测情况等方面的内容。对评估检查过程中发现的问题，及时整改，消除安全隐患。

(6) 档案管理

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

公司拟按照规定建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康检查档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果、职业健康检查结果等材料，并根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

12.4 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任感，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单位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。

公司拟建立辐射环境安全管理体系，明确公司各层次人员的职责、不断识别公司内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，拟将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确

续表 12 辐射安全管理

保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①公司拟组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；

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

12.5 辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（第七条）的相关规定，重庆易瑞科技有限公司从事辐射活动能力评价见表 12-1。

表 12-1 从事辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
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。	拟设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，制定至少 1 名人员负责辐射安全与环境保护管理工作。
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	项目所有辐射工作人员尚未到岗，尚未参加培训并考核合格。
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目拟设置警示标志，安装多重联锁装置（门机联锁、通风联锁、束下装置联锁、剂量联锁等）、安装工作状态指示灯、急停开关、巡检按钮、声光警示装置、剂量报警装置等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	建设单位拟配备固定式剂量率报警仪、X-γ剂量监测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计等监测仪器。
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。	建设单位拟制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等制度。
有完善的辐射事故应急措施。	建设单位拟制定辐射事故应急措施。

建设单位承诺全部落实上述各项要求，具备从事本项目辐射活动的的能力，并对本项目进行竣工环境保护验收和办理辐射安全许可后，本项目方可投入正式运行。

12.6 工业加速器的日常检修及检修

续表 12 辐射安全管理

①日检查

加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查,发现异常情况时必须及时修复正常。常规日检查项目应至少包括以下内容:工作状态指示灯、报警灯和照明灯;辐照装置安全联锁控制显示状况;个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状态。

②月检查

加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查,发现异常情况时必须及时修复正常或改正。月检查项目至少应包括:辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况;控制台及其他所有紧急停止按钮;通风系统的有效性;验证安全联锁功能的有效性;烟雾报警器功能正常。

③半年检查

加速器辐照装置上的安全状况应每 6 个月定期进行检查,发现异常情况时必须及时采取改正措施。其检查范围至少应包括:配合年检修的检测;全部设备和控制系统。

④记录

所有的监测、维护作业、修改和改变与辐照装置安全的内容都安全应记录并保存工作日志档案。

12.7 辐射环境监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法规和标准,必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所监测,开展常规的防护监测工作。

公司拟制定辐射监测制度,配备相应监测仪器,并拟委托有资质的单位定期对辐照室周围环境进行监测,按规定要求开展各项目监测,做好监测记录,存档备查。辐射监测内容包括:

(1) 个人剂量监测

对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须正确佩戴个人剂量计,并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。

监测频率:3 个月测读一次个人剂量计;如发现异常可加密监测频率。

(2) 工作场所环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全,项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和

续表 12 辐射安全管理

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存档。

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

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。设备大修后应委托有资质单位进行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

表 12-2 项目监测及检查内容一览表

监测地点	监测项目	日常监测频率	限值要求
辐照室屏蔽体外	周围剂量当量率	每年一次 (涉及设备大修应进行监测)	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$

备注：上述监测中，监测点位主要布置在四周屏蔽体外和防护门外 0.3m 处、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处。

12.8 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）、《重庆市辐射污染防治办法》（重庆市人民政府令第 338 号）要求，申领辐射安全许可证的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急预案或具有针对性与操作性的应急措施。建设单位承诺编制应急预案和制定应急处置措施。

12.8.1 事故分级

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

根据本报告表 11 分析，加速器运行在极端事故情况下，人员可能受到较大剂量的照射，导致严重辐射损伤甚至死亡的重大辐射事故。

12.8.2 事故应急预案与措施

（1）事故报告程序和电话

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆高新区生态环境局等部

续表 12 辐射安全管理

门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(2) 辐射事故应急措施

①本项目设备发生辐射事故时，应立即切断设备电源或者就近按下急停按钮，迅速控制事故发展，消除事故源。

②辐射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量。造成或可能造成人员超剂量照射的，应及时将人员送往指定医院救治。

③负责迅速组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延，防止演变成公共卫生事件。

(3) 辐射事故应急处理程序

①事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报；

②应急管理领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

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

(4) 其他事项

除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作：

①应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

②事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

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

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

12.9 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目建设应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

续表 12 辐射安全管理

设单位应办理辐射安全许可证并按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326—2023）要求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 12-3。

表 12-3 本项目环保设施竣工验收要求一览表

序号	验收内容	本项目验收要求	备注
1	环保文件	环评报告、环评批复、验收监测报告等齐全	/
2	剂量控制	辐射工作人员年有效剂量 $\leq 5\text{mSv}$ 公众成员年有效剂量 $\leq 0.1\text{mSv}$	GB18871-2002 HJ 979-2018 等
3	人员要求	培训合格上岗，定期复训。	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》
4	剂量率控制	屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	HJ 979-2018 等
5	建设内容	2 台 10MeV 电子加速器辐照装置（Ⅱ类射线装置），建设两间辐照室，配套建设货物待辐照区、已辐照区等辅助区域。	不发生重大变动
6	辐射安全防护措施	警示标志、工作状态指示灯设置位置合理，正常工作；安全连锁（门机连锁、通风连锁、束下装置连锁、剂量连锁等）、急停开关、巡检按钮、声光警示装置、剂量报警装置、视频监控系统、烟雾报警器等正常运行。	
7	通风要求	设置通风系统以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定	
8	管理	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	
9	固废	生活垃圾交环卫部门统一处置。报废的射线装置去功能化后交按要要求处置，建设单位应做好相应记录并保留手续。	

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

为了适应市场对辐照灭菌的需求，重庆易瑞科技有限公司拟在重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 4#研发生产厂房 1F 建设“辐照应用研发示范项目”。

建设内容包括在 4#厂房 1F 内新建 2 间辐照室，辐照室为两层钢筋混凝土结构，包括下层辐照厅和上层主机厅及其控制室、水冷机房与设备间等，并配置 2 台 10MeV 电子加速器。另在 4#研发生产厂房 1F 除辐照室以外的其他区域布设货物暂存区等配套区域。总建筑面积约 2800m²（包括厂房 1F 占地面积和辐照室上层的主机厅、控制室、水冷机房等用房的建筑面积）。

总投资约 1500 万元，施工期约 12 个月。

13.2 产业政策符合性分析

本项目的建设是为了对食品果蔬保鲜、医用卫生用品灭菌。公司使用辐照装置满足相关国家法律、法规和标准的要求，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”中“六 核能”中的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

13.3 实践正当性分析

本项目使用辐照装置的目的是为了本项目的建设是为了对食品果蔬保鲜、医用卫生用品灭菌以及研究辐照加工的其他应用，目的明确、理由正当，通过本环评的分析、预测和评价可知该项目实施后对周围环境的影响均远远低于国家相关标准，为企业、社会带来的利益远大于辐射危害的代价，有利于发展社会经济，符合国家产业政策及辐射防护“实践的正当性”原则。因此，本环评认为该项目的实施是正当可行的。

13.4 环境质量现状

根据监测可知，本项目拟建位置及周围的环境 γ 辐射剂量率的监测值 78nGy/h~91nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），与 2023 年重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率无明显差异。项目周围环境的辐射环境质量现状无异常。

13.5 选址可行性分析

项目位于重庆高新区西彭组团 Q7-3/05 地块中子科学基地 4#研发生产厂房 1F，建设 2 间辐照室，辐照室分别位于厂房北侧和西侧一端，厂房无地下室，拟辐照的产品可直接利用传送装置进入加速器辐照室进行辐照，辐照室相邻区域主要为本项目配套用

续表 13 结论及建议

房。综上所述，本评价从环保角度来看，该项目的选址是可行的。

13.6 布局合理性分析

本项目设置 2 间独立辐照室，均为两层钢筋混凝土结构，下层为辐照厅、上层为主机厅，主机厅上方无建筑，辐照厅下方为实土层，人员活动少，有利于辐射防护。每间辐照室分别设 1 个控制室，辐照室厅和主机厅内均设置多道迷路，能有效减轻迷道出口处的屏蔽压力，控制室紧邻辐照室设置，加速器电气设备和水冷等辅助系统放置在主机厅旁。需辐照产品通过自动传输系统进入辐照厅，传输操作区域位于辐照室外侧，最近的操作位距离辐照室约 3m 处。辐照室的整体设计能达到良好的屏蔽防护效果，便于辐照工作的开展。两个辐照室彼此独立，且间隔一段距离。货物待辐照区和已辐照区设置在两间辐照室出入口外邻近区域，便于货物转运。

综上所述，项目整体布局合理。

13.7 辐射防护与安全措施

加速器辐照室四周墙体、顶棚、底板均设置足够厚的屏蔽体进行屏蔽防护，并设置迷道及各种辐射安全与防护设施。

建设单位拟对本项目工作场所进行分区管理，划分为控制区和监督区，并拟采取相应的分区管理措施。控制区范围为辐照厅（包括迷道）、主机厅（包括迷道），监督区范围为控制室、水冷机房、设备间、楼梯、有顶过道以及其他与加速器辐照厅、主机厅相邻区域（如本项目上下货操作区、辐照厅外厂房内过道区域等）。

本项目电子辐照加速器设备自带有多种固有安全性，由计算机控制系统管理，监控加速器的正常运行，实施安全联锁，并与束下装置联动配合。只有当联锁系统正常，真空度和设备温度达标的情况下，加速器才能正常启动。辐照室内外安装紧急停机按钮和急停拉线，设置门机联锁装置、与加速器联锁的工作状态指示灯、声光警示装置、视频监控系統，安装安全巡检按钮、开门按钮、光电开关、拉线开关，烟雾报警器等，在防护门外张贴电离辐射警告等标志，配备符合开展项目要求的个人防护用品及监测仪器设备。

13.8 环境影响分析

（1）剂量估算结果

在严格按照设计厚度和辐射安全与防护设施建设的情况下，并以既定的 10MeV 电

续表 13 结论及建议

子加速器进行运行，加速器辐照室的各屏蔽体均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的屏蔽防护的要求，经过计算，屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，所有穿越防护墙的管道均采用了特殊处理。

通过核算，本项目辐射工作人员和公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求（辐射工作人员 5mSv/a ，公众成员 0.1mSv/a ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）相关标准的要求。

（2）环境保护目标影响

根据预测，拟建加速器辐照室周围环境保护目标处的周围剂量当量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，环境保护目标处公众成员年受照剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求。

（3）废气影响

本项目加速器工作时会产生臭氧和氮氧化物等有害气体，辐照室设计有 U 型地下通风管道，工作期间应保证机械通风系统的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物浓度。此外，工作人员应在电子辐照加速器停机后继续排风约 6min 后方可进入辐照室。臭氧和氮氧化物等有害气体通过排风机引至辐照室外经排气筒高空排放，对周围环境影响可接受。

（4）废水影响

本项目加速器冷却水循环水不外排；工作人员生活污水一起依托基地生活污水处理设施处理后达标排放。因此本项目废水对周围水环境影响很小。

（5）噪声影响

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

（6）固废环境影响

生活垃圾交市政环卫部门统一收集处理。项目固废合理处置后，对环境影响较小。

13.9 风险分析

本项目在运营过程中，存在人员受到误照射的风险，可能发生的最大辐射事故等级

续表 13 结论及建议

为重大辐射事故。通过加强管理、定期检查/监测、树立工作人员防护意识等措施，风险可防可控。

13.10 辐射与环境保护管理

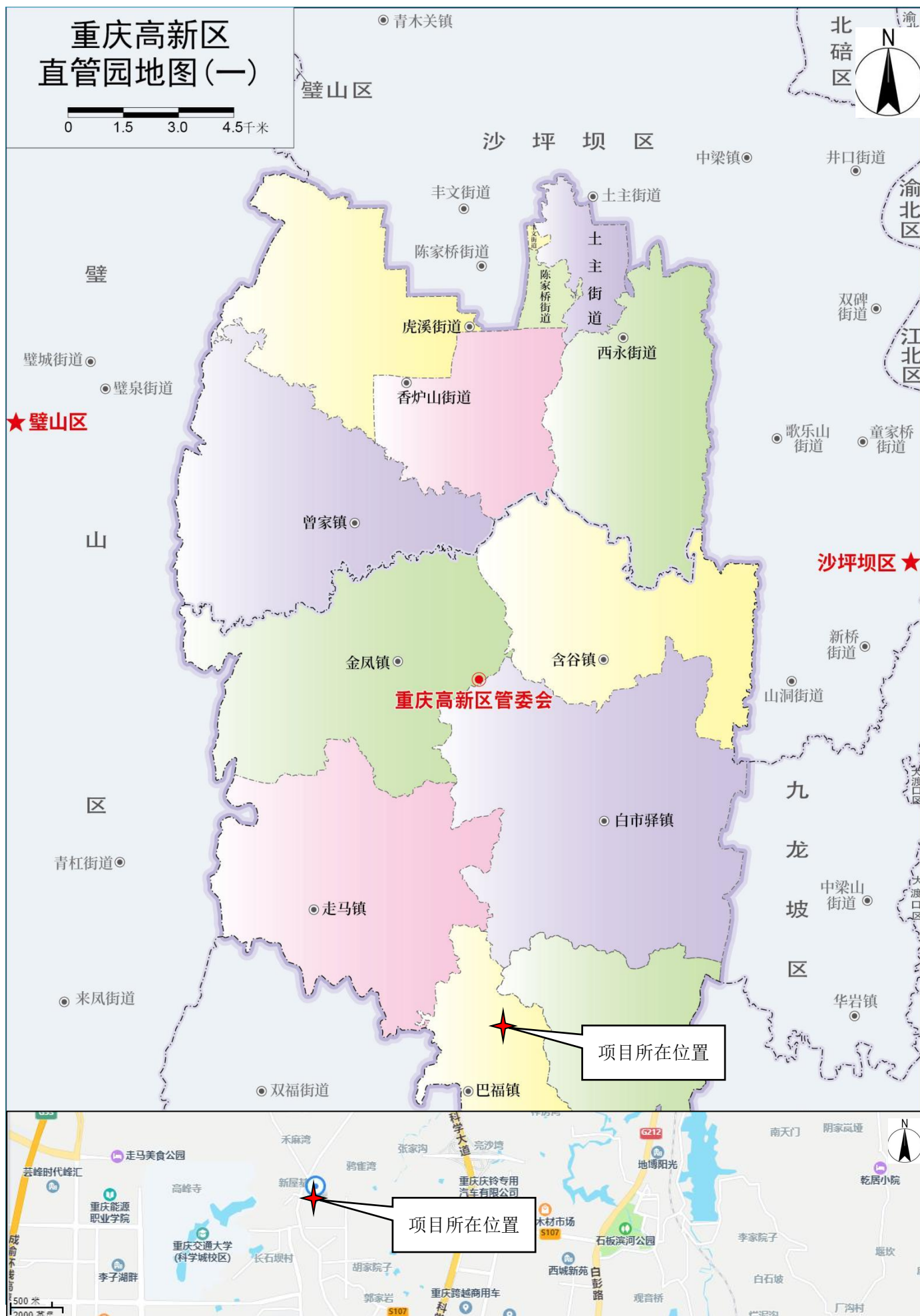
建设单位应按照相关要求建立辐射环境管理机构，配置辐射环境专职管理人员，制定相应的管理制度，保证辐射工作人员持证上岗，定期复训；建立辐射工作人员健康档案、个人剂量档案、辐射环境监测档案等，并及时办理辐射安全许可证，在许可范围内从事辐射活动。在今后的工作中，建设单位还应加强核安全文化建设，提高辐射安全管理能力，杜绝辐射事故的发生。

综上所述，重庆易瑞科技有限公司拟开展的“辐照应用研发示范项目”在严格按照环评要求进行建设后，电子加速器运行时对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求；该项目对环境的辐射影响是可接受的。重庆易瑞科技有限公司在落实了本环评提出的各项环境保护及污染防治措施的前提下，从环境保护的角度来看，本环评认为该建设项目是可行的。

附图

附图 1 项目地理位置图

附图 2 总平面图



附图1 地理位置图



图例:

- 辐射室范围
- 评价范围
- 辐射室排风管道出口
- 基地污水处理设施

附图2 总平面及评价范围环境保护目标分布图