

编号：PPRYHP-20260506

核技术利用建设项目

漳州雷大电子辐照有限公司  
扩建 1 台工业电子辐照加速器项目  
环境影响报告表  
(公示稿)

漳州雷大电子辐照有限公司

2026 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

漳州雷大电子辐照有限公司  
扩建 1 台工业电子辐照加速器项目  
环境影响报告表

建设单位名称：漳州雷大电子辐照有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：福建省漳州市芗城区金峰经济开发区（福建康之  
味食品工业公司内）

邮政编码：\*

联系人：\*

电子邮箱：\*

联系电话：\*



## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	upy5a4		
建设项目名称	漳州雷大电子辐照有限公司扩建1台工业电子辐照加速器项目		
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		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	漳州雷大电子辐照有限公司		
统一社会信用代码	91350603MA31L6UL7Q		
法定代表人 (签章)	陆锐锋		
主要负责人 (签字)	吴欣泽		
直接负责的主管人员 (签字)	杨联庆		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	工物研(广州)科技有限公司		
统一社会信用代码	91440106MA59CFKN6J		
<b>三、编制人员情况</b>			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
肖雪珍	12354443512440725	BH011845	肖雪珍
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
肖雪珍	编制评价依据、保护目标与评价标准、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、全文校核	BH011845	肖雪珍
邓嘉璇	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物(重点是放射性废弃物)、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全管理、结论与建议	BH078589	邓嘉璇



中华人民共和国  
环境影响评价工程师  
职业资格证书

Professional Qualification Certificate  
Environmental Impact Assessment Engineer  
The People's Republic of China



持证人签名:  
Signature of the Bearer

管理号:  
File No.: 12354443512440725

姓名:  
Full Name 肖雪珍  
性别:  
Sex 女  
出生年月:  
Date of Birth 1988年03月  
专业类别:  
Professional Type  
批准日期:  
Approval Date 2012年05月27日

签发单位盖章:  
Issued by

签发日期:  
Issued on 2012年09月28日



# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	22
表 3 非密封放射性物质 .....	22
表 4 射线装置 .....	23
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	25
表 6 评价依据 .....	26
表 7 保护目标与评价标准 .....	28
表 8 环境质量和辐射现状 .....	35
表 9 项目工程分析与源项 .....	40
表 10 辐射安全与防护 .....	50
表 11 环境影响分析 .....	73
表 12 辐射安全管理 .....	100
表 13 结论与建议 .....	111
表 14 审批 .....	114

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		漳州雷大电子辐照有限公司扩建 1 台工业电子辐照加速器项目			
建设单位		漳州雷大电子辐照有限公司			
法人代表		*	联系人	*	联系电话
注册地址		福建省漳州市芗城区金峰经济开发区（福建康之味食品工业公司内）			
项目建设地点		福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房工业电子辐照加速器机房			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		*	项目环保投资（万元）	*	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m <sup>2</sup> ）
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<p><b>1.1 建设单位概况</b></p> <p>漳州雷大电子辐照有限公司（下文简称“建设单位”或“公司”）成立于 2018 年 4 月，系雷大辐照连锁性质辐照加工企业，注册资本 1000 万元整，正式运行后员工 20 人。公司位于福建省漳州市芗城区金峰经济开发区（福建康之味食品工业公司内），经营范围（营业执照见附件 2）：核辐射加工；电子、通信与自动控制技术研究服务；其他电子工业专用设备制造；其他科技推广服务业。</p> <p>建设单位于 2019 年 7 月 16 日获得《漳州雷大电子辐照有限公司新建 1 台 10MeV 工业辐照电子加速器项目环境影响报告表》的批复（闽环辐评〔2019〕31 号）（详见附件 8）：建设内容为在漳州市芗城区金峰经济开发区漳州雷大电子辐照有限公司一号厂房内，使用 1 台工业辐照电子直线加速器，最大能量为 10MeV，为 II 类射线装置。于 2021 年 8 月 9 日获得辐射安全许可证（闽环辐证[00384]）（详见附件 7），许可的种类和范围：</p>				

使用II类射线装置。

## 1.2 项目由来

为提升产品产能，满足市场需求，契合公司整体发展规划，公司拟在福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房新增 1 台工业电子辐照加速器（型号为：DZ-10/20；最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，属 II 类射线装置）。该设备主要用于食品、医疗耗材、无纺布的辐照灭菌，开展相关辐照加工业务。本项目为建设单位核技术利用异地扩建项目。

根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）对射线装置分类，本项目使用的工业电子辐照加速器属于 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“生产、使用II类射线装置的；”应编制环境影响报告表。

为此，漳州雷大电子辐照有限公司委托工物研（广州）科技有限公司开展“漳州雷大电子辐照有限公司扩建 1 台工业电子辐照加速器项目”的环境影响评价工作（委托书见附件 1）。在接受委托后，我单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的的环境影响报告表。

## 1.3 项目建设内容及规模

### 1.3.1 建设项目内容

建设单位拟在福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房内建设 1 座工业电子辐照加速器机房（为二层结构，地上一层为辐照室，地上二层为主机室），配套建设调制器机房及控制室。拟购买 1 台工业电子辐照加速器（型号为：DZ-10/20；最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，属 II 类射线装置）主要用于食品、医疗耗材、无纺布等辐照灭菌。

本项目拟使用射线装置信息如表 1-1 所示。

表 1-1 拟使用射线装置信息表

设备名称	型号	数量	加速器粒子类型	最大能量	最大束流强度	电子束方向	用途	类别	工作场所	备注
工业电子辐照加速器	DZ-10/20	1 台	电子	10MeV	2mA	向下	食品、医疗耗材、无纺布等辐照灭菌，辐照加工	II类	福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房内主机室、辐照室	拟购

## 1.4 本项目地理位置及周边环境关系

### 1.4.1 公司地理位置及周边环境关系

本项目位于福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房。公司厂房北侧为 21 幢 102 房；西侧为 17#厂房；东侧为产业园室外道路和厂区边界；南侧为 16#厂房。

### 1.4.2 本项目工作场所与周边环境关系

本项目拟建 1 间加速器机房位于金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房西北侧。21 幢厂房为单层建筑，本项目厂房主要分为四个区域，包括：1、**加速器机房**，两层结构，为核心作业区。上层主要为主机室及其配套辅助工程，用于安装辐照加速器主机、高压电源及控制系统等核心设备。下层为辐照室，用于对传送至此的货物（食品、医疗耗材、无纺布等）进行电子束辐照处理；2、**冷库**，单层结构：用于存放需要低温保存的待辐照物品，例如对温度敏感的无纺布，可有效抑制微生物生长，防止产品变质；3、**已辐照区**，单层结构：用于已消毒的食品、医疗耗材、无纺布存放；**未辐照区**，单层结构：用于暂存待辐照消毒的食品、医疗耗材、无纺布。

辐照室位于一层，北侧约 0.65m 为金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 102 房、约 32m 为 22#厂房，约 25m 为产业园室外道路；西侧相邻冷库，约 12.9m 为产业园室外道路，约 23.8m 为 17#厂房；西北侧约 24m 为 18#厂房，约 45m 为 19#厂房；南侧约 5.5m 为已辐照区，约 14.3m 为产业园室外道路；东侧约 6m 为未辐照区，约 28.8m 为产业园室外道路。

主机室位于二层，西侧相邻设备平台；东侧相邻调制器机房，约 3.6m 为控制室。本项目地理位置见图 1-1，50m 评价范围见图 1-2，厂房平面布局图见图 1-3。



审图号：闽S（2025）204号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制



图1-1 本项目地理位置图



图 1-2 本项目 50m 评价范围图

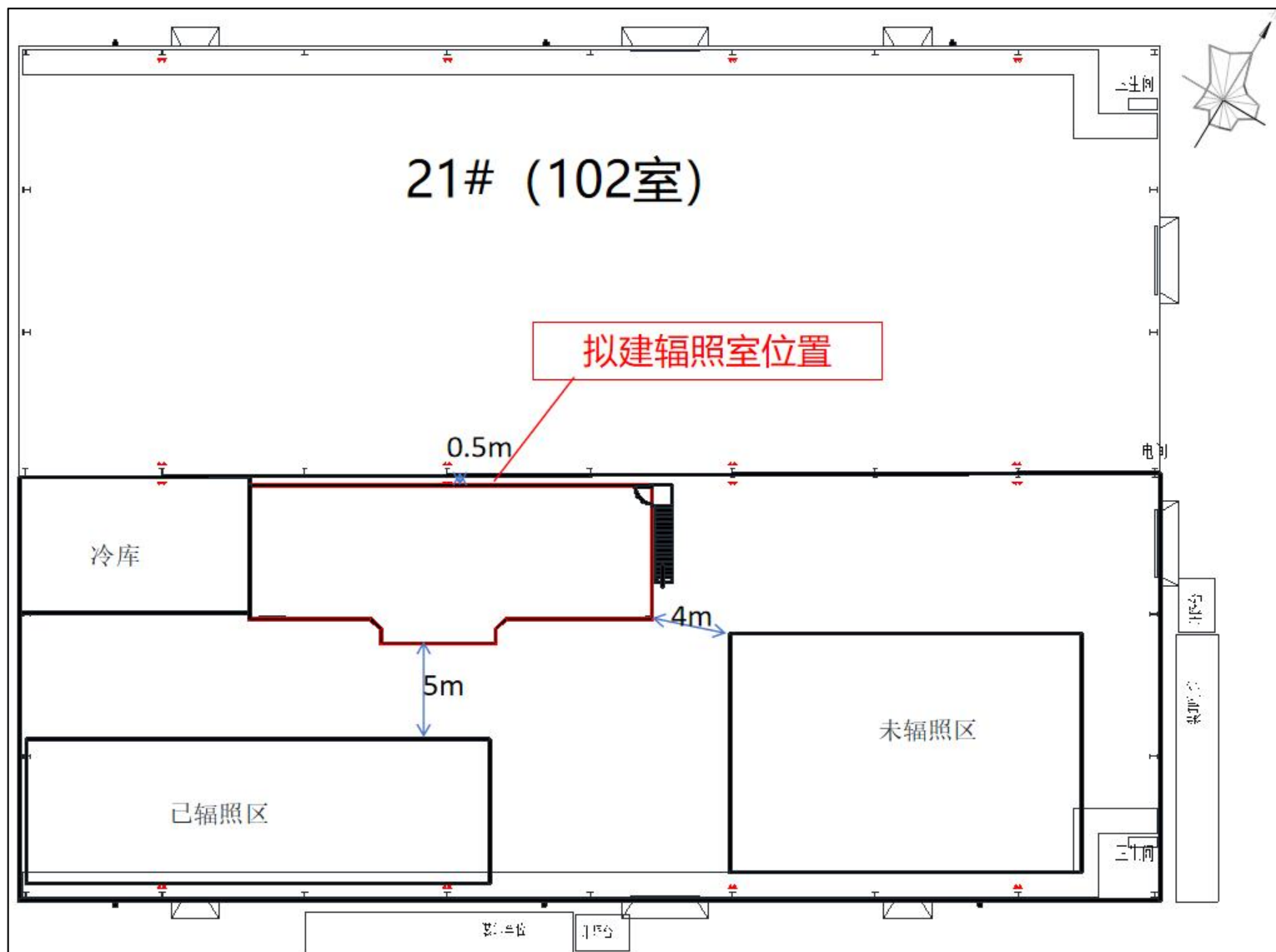


图 1-3 (1) 本项目厂房一层平面布局图

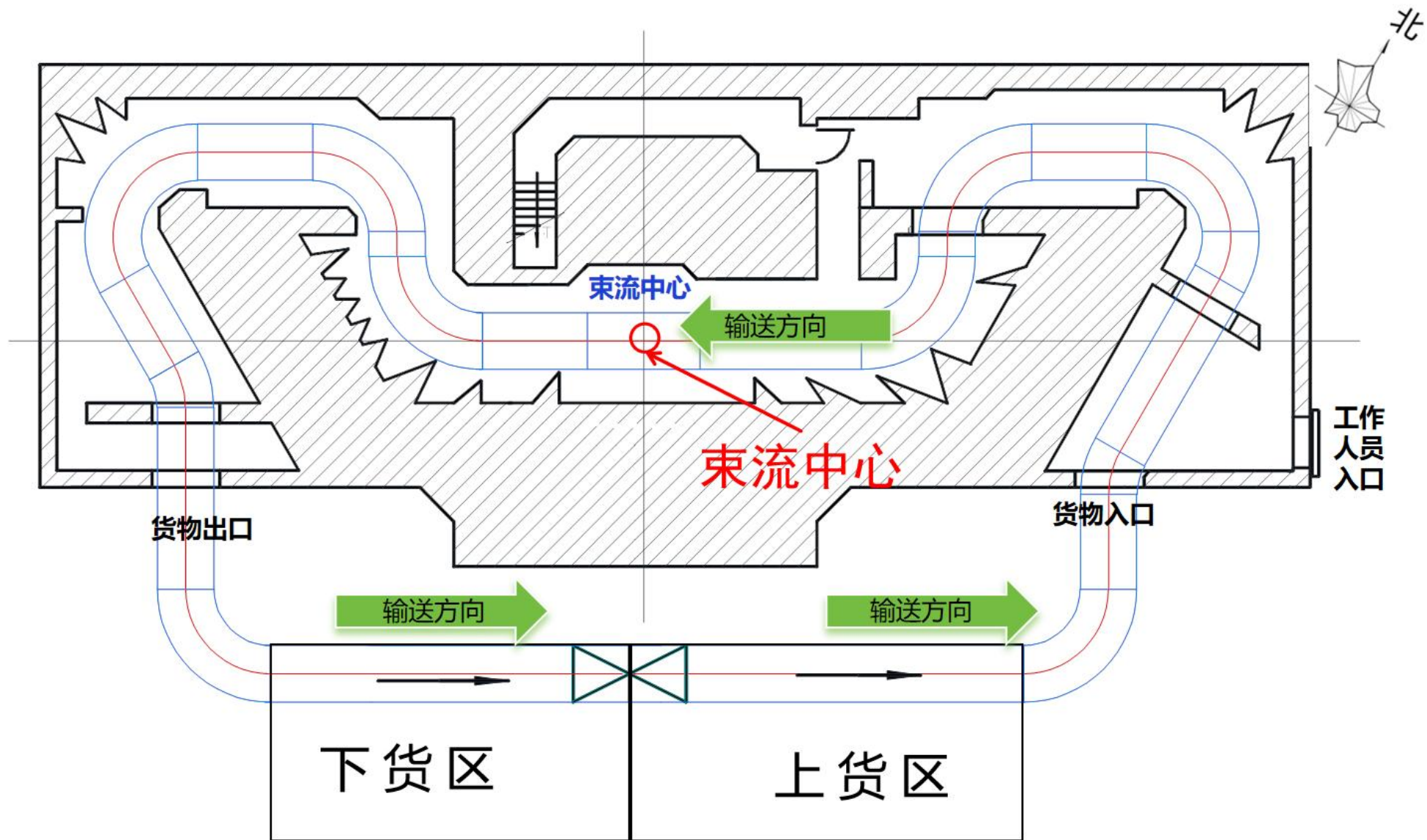


图 1-3 (2) 本项目加速器机房地上一层 (辐照室) 平面布置图

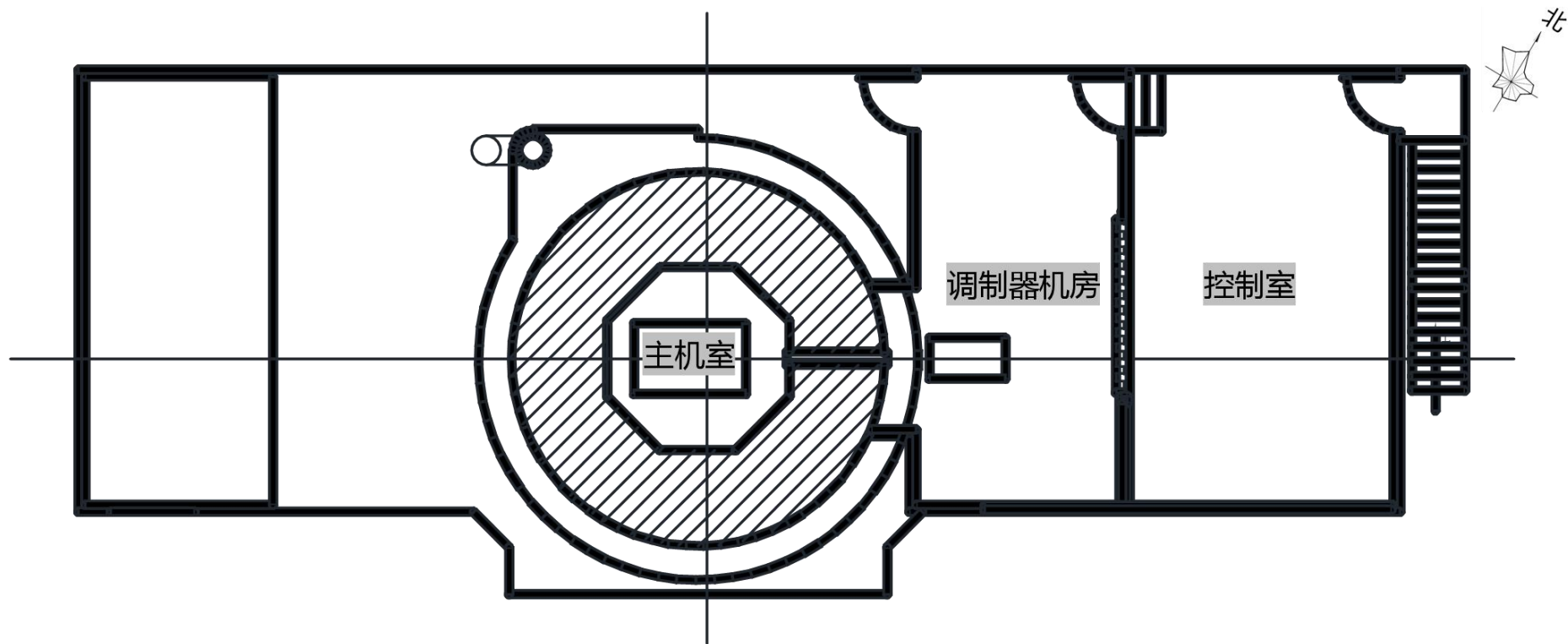


图 1-3 (3) 本项目加速器机房地上二层（主机室）平面布置图

### 1.4.3 项目选址合理性

依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围和保护目标的相关规定:射线装置应用项目的评价范围,射线装置应用项目的评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围。因此本项目以加速器机房实体边界外50m的范围内的区域作为评价范围。

本项目位于福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房工业电子辐照加速器机房,所在地为工业用地。拟建加速器机房实体边界外 50m 区域内有金智谷漳州智能装备产业园 17#厂房~19#厂房、21#~22#厂房,21#101 室厂房的冷库、已辐照区、未辐照区及加速器配套用房,产业园室外道路。50m 评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等敏感区。因此,本项目辐射环境保护目标为公司辐射工作人员、公司内的其他工作人员、50m 评价范围内其他厂房的工作人员及评价范围内道路经过的人员,本项目环境保护目标见表 7-1。

本项目为工业电子辐照加速器核技术利用建设项目,属于核技术应用,污染因子主要为 X 射线。加速器机房采用的混凝土屏蔽,墙体防护厚度充分考虑了辐射效应,能够有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响,故对企业自身及周围环境不会造成明显的影响。

综上所述,项目的建设符合所在区域总体规划,项目的选址是合理可行的。

### 1.4.4 项目平面布局合理性

本项目使用的加速器机房(辐照室及主机室)属于两层结构,且位于岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房西北侧,地上一层为辐照室,地上二层为主机室。从图 1-3 (2)~1-3 (3)可见辐照室与主机室平面布局,辐照室相对独立;主机室东侧为调制器机房与控制室,西侧为平台。加速器机房主体工程建筑是独立、可控的建筑,与产品存放区隔开,既便于产品的输送,又能限制非此区域人员的流动,便于辐射防护和安全管理。从便于辐射管理和满足安全生产的角度看,项目辐射场所的平面布局是合理的。辐照室及主机室剖面见图 1-4,现场周围环境见图 1-5。

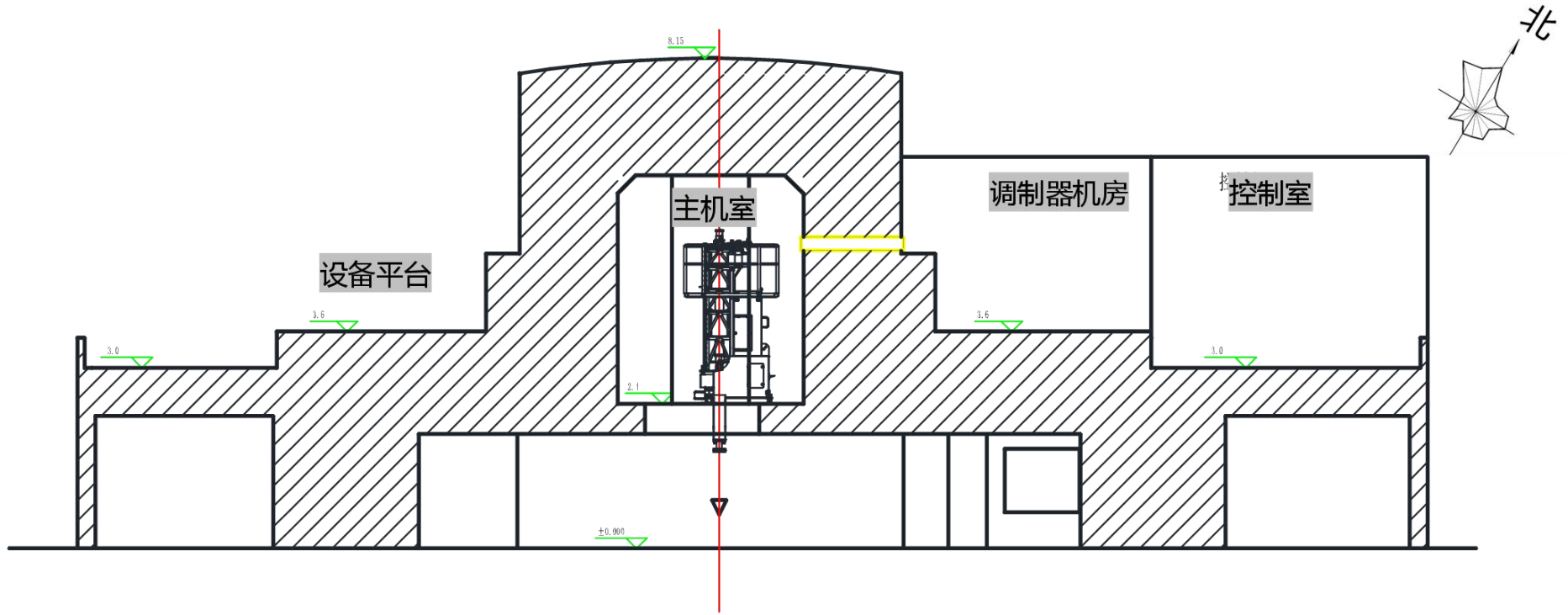
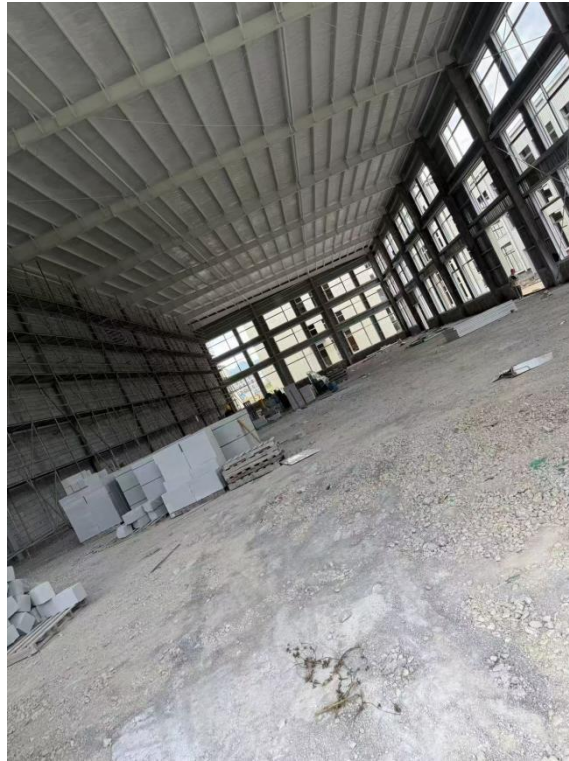


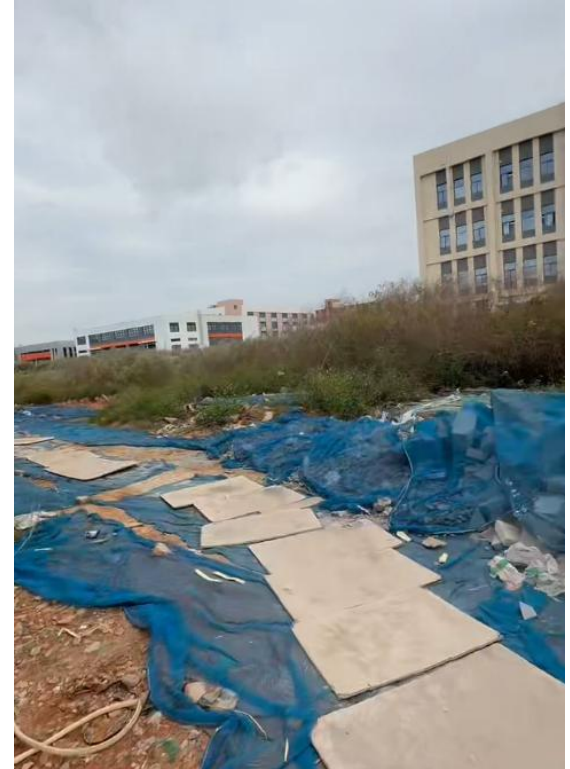
图 1-4 辐照室及主机室剖面（西南—东北方向）



建设单位厂房现状



建设单位厂房北侧现状



建设单位厂房南侧现状



建设单位厂房东侧现状



建设单位厂房西侧现状

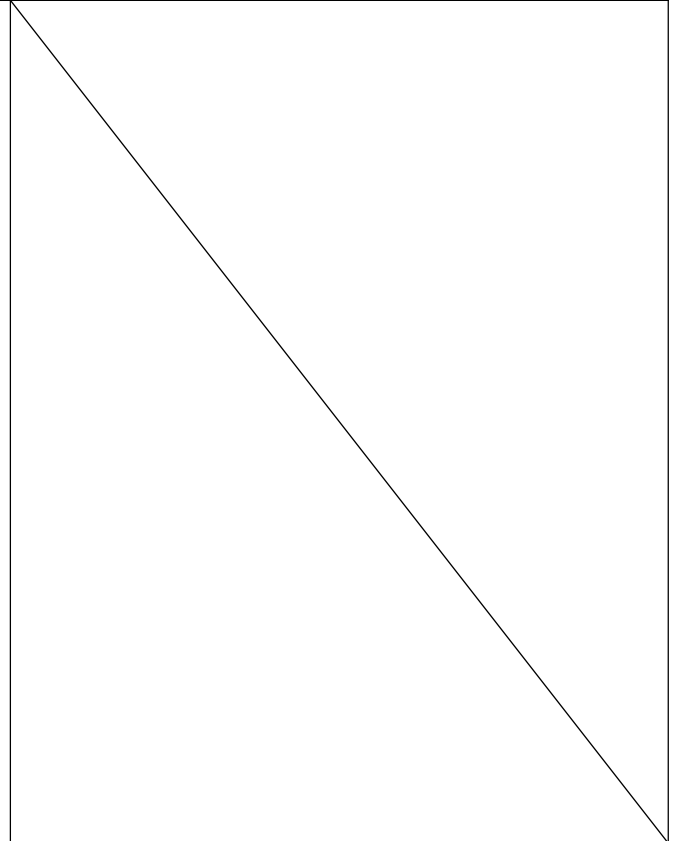


图 1-5 拟建加速器机房周围环境图

## 1.5 本项目产业政策符合性及实践正当性分析

### 1.5.1 产业政策符合性分析

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“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”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目辐照加工过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。因此，本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和当前产业政策。

### 1.5.2 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、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。

本项目的建设将满足企业的生产需求，提高产品质量，创造更大的经济效益和社会效益，对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目管理约束值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求。

## 1.6 本项目与生态环境分区管控符合性分析

### （1）生态保护红线与一般生态空间

根据《漳州市生态环境局关于发布漳州市 2026 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》（漳环综〔2026〕8 号）中 2026 版漳州市生态环境管控分布示意图（详见图 1-6），本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区，本项目不在漳州市生态保护红线内，不涉及漳州市一般生态空间。

### （2）环境质量底线

根据辐射环境质量现状监测结果，本项目拟建厂址周围环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率处于正常本底水平。本项目运行无放射性三废产生，少量的有害气体  $O_3$  和氮氧化物经通风系统排入大气环境，对周围环境产生影响较小，在落实本环评提出的各项污染防治措施后能维持周边环境质量现状不会突破当地环境质量底线。

### （3）资源利用上线

资源利用上限是地区能源、水、土地等资源消耗不得突破的“天花板”。本项目消耗的能源以电能为主，属于清洁能源，同时本项目用地范围属于已规划的工业用地，不涉及耕地及基本农田，符合资源利用上限要求。

### （4）生态环境准入

根据《漳州市生态环境局关于发布漳州市 2026 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》（漳环综〔2026〕8 号）并对照福建省生态环境分区管控数据应用平台导出的生态环境分区管控综合查询报告（详见附件 13），本项目位于漳州高新技术产业开发区环境管控单元（环境管控单元编码 ZH35060420017），为重点管控单元，本项目建设与该管控单元空间布局约束、污染物排放管控、环境风险管控、资源开发效率符合性分析对照情况见表 1-2，本项目所在区域环境管控单元的位置关系见图 1-6。

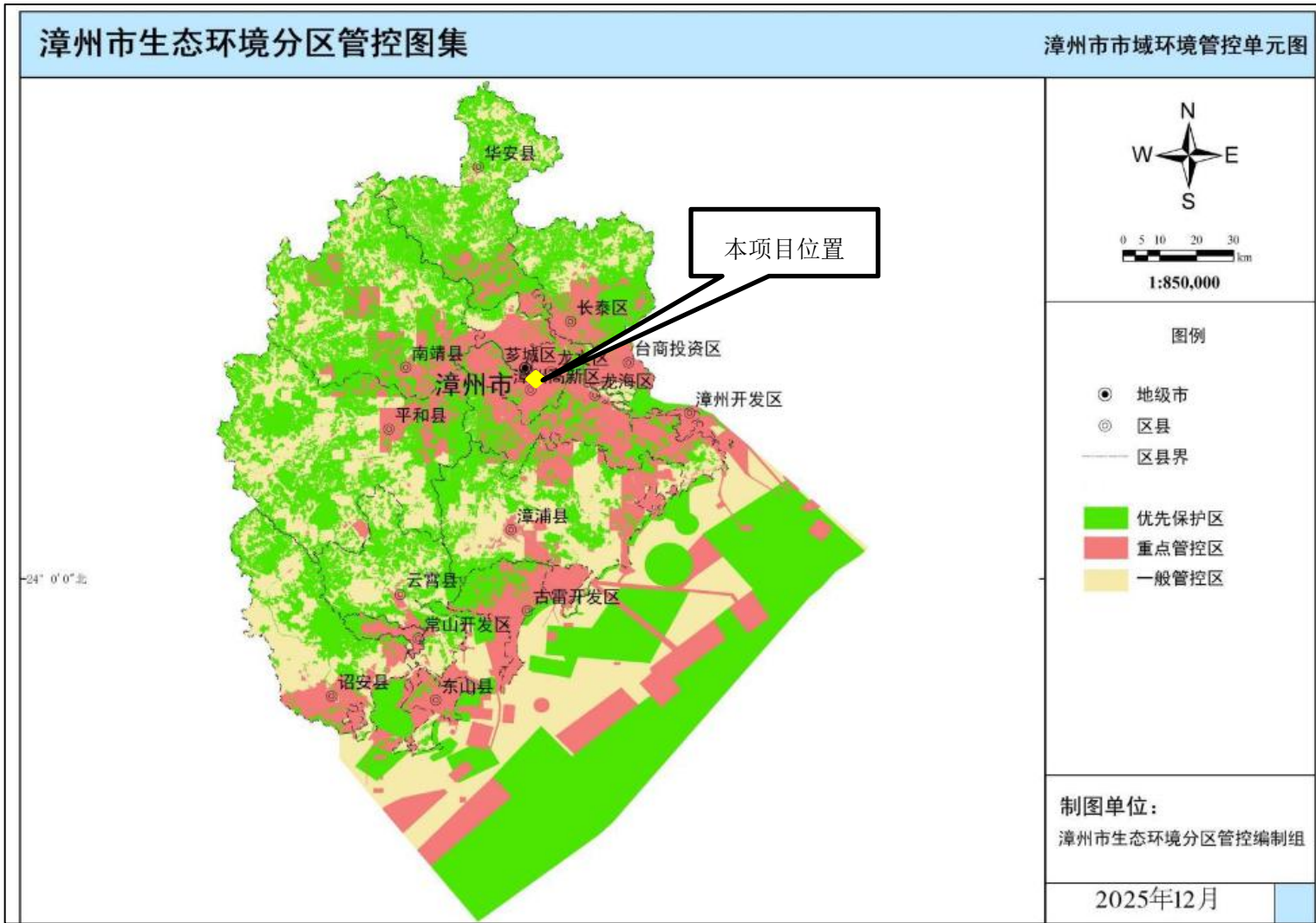


图 1-6 漳州市生态环境管控分布示意图（2026 版）

表 1-2 本项目生态环境准入符合性对照分析清单

类别	“三线一单”的具体要求	项目对应情况介绍	符合性
漳州高新技术产业开发区环境管控单元 (ZH35060420017)	空间布局约束	本项目均不涉及	符合
	污染物排放管控	1-4: 本项目不涉及 5-6: 本项目不涉及废水直接 外排	符合
	环境风险防控	本项目不涉及	符合

		<p>排查治理制度、风险防控体系和长效监管机制。</p> <p>2.应建立企业、片区、区域三级环境风险防控体系，企业、基地分片区设置环境风险事故应急池，分别编制突发环境事件应急预案，成立应急组织机构，加强环境应急管理，定期开展应急演练，全面提升区域环境风险防控和应急响应能力。</p>		
	资源开发效率要求	无	/	/

## 1.7 原有核技术利用项目情况

### 1.7.1 核技术利用项目许可情况

建设单位现持有辐射安全许可证，证书编号：闽环辐证[00384]（见附件7），发证日期：2021年8月9日，有效期至：2026年8月8日，许可种类和范围：使用II类射线装置，辐射安全许可证登记许可使用1台II类射线装置。

### 1.7.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

原有核技术利用项目许可及环保手续履行情况统计见表1-3，环保手续文件见附件8。

表 1-3 现有射线装置一览表

设备名称	型号	类别	数量 (台)	活动种 类	装置状态	环评情况	验收情况	辐射安全 许可情况
辐照加工 电子加速 器	DL-DZ10/20-III型	II类	1	使用	在用	闽环辐评 (2019) 31 号	2022年1月 22日自主 验收	闽环辐证 [00384]

### 1.7.3 原有核技术利用项目回顾性评价

建设单位积极配合各级生态环境主管部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行良好，建设单位运行过程中未曾发生辐射事故。

(1) 建设单位针对原有的核技术利用项目，已制定《关于成立辐射安全与环境保护管理机构的通知》《辐射安全与环境保护管理制度》《岗位职责》《操作规程》《设备检修维护制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射监测方案》《漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急处理预案》（见附件9）。现有制度基本满足目前核技术利用项目开展的需要，在日常工作中严格落实相关制度，至今未出现辐射事故。实践过程中若发现与工作实践不符或采取的防护技术有变化的情况出现，建设单位会立即组织相关人员进行修订，以保持制度的适用性和规范性，最大限度的保护环境和人员免受辐射影响。

(2) 建设单位现有3名辐射工作人员，均已在生态环境部辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）上参加培训，考核合格后方可上岗，培训合格证书在有效期内继续有效（见附件10）。

(3) 辐射工作期间，建设单位要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，所有辐射工作人员接受剂量

监测，建立剂量健康档案并存档，个人剂量计每三个月送检一次，严格按照辐射监测计划对原有核技术利用项目场所进行常规检查，以保护工作人员和控制对周围环境的影响。建设单位已按要求对辐射工作人员开展了个人剂量监测，个人剂量检测结果详见附件 12，个人剂量检测结果统计见下表。建设辐射工作人员年累积受照剂量最大值为 0.80mSv，不超过职业照射年剂量约束值 5mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

表 1-4 建设单位辐射工作人员现有个人剂量检测结果统计表

姓名	2026 年第一季度 (mSv)	2025 年第二季度 (mSv)	2025 年第三季度 (mSv)	2025 年第四季度 (mSv)	累计 (mSv)
梁鑫泳	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
欧阳剑平	0.03	0.10	0.14	0.03	0.3
洪顺南	0.03	0.13	0.15	0.03	0.34

(4) 辐射监测情况

建设单位已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年均委托有资质单位对辐射工作场所进行监测（详见附件 11），监测结果满足相关标准要求；每年对本单位射线装置安全和防护状况进行评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。

**1.8 本项目与原有核技术利用项目依托关系**

(1) 辐射监测设备依托关系说明

建设单位计划为本次项目新配备 1 台便携式辐射剂量率仪和 2 个人剂量报警仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计（新增的 1 名辐射工作人员新增 1 个人剂量计，调配的 3 名辐射工作人员沿用原有项目各自配备的个人剂量计）。

(2) 辐射工作人员依托关系说明

本项目拟新增 1 名辐射工作人员参与本项目辐照加工电子加速器相关工作，调配的 3 名工作人员不再从事原有工作，原有项目加速器运回厂家更新，不运转，不存在兼岗。

(3) 辐射安全管理制度依托关系说明

建设单位已成立辐射环境保护管理小组，制定了《漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急预案》《辐射安全与环境保护管理制度》《辐射防护措施和安全保卫制度》《人员岗位职责》《操作规程》《设备检修维护制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射环境自行监测

方案及年度评估制度》等一系列规章制度。详见附件 9。

## 1.9 辐射安全管理情况

漳州雷大电子辐照有限公司现有辐射工作场所的辐射防护设施运行工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

(1) 建设单位已成立辐射安全与环境保护管理领导小组全面负责单位辐射安全及应急管理工  
作。建设单位已制定《关于成立辐射安全与环境保护管理机构的通知》《辐射安全与环境保护管理制度》《岗位职责》《操作规程》《设备检修维护制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射监测方案》《漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急处理预案》(详见附件 9) 等  
规章制度，并要求工作人员严格按照规章制度要求执行。

(2) 建设单位每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测，监测结果表明，建设单位各辐  
射工作场所周围剂量当量率均符合相关标准要求。

(3) 建设单位现有辐射工作场所加速器设置有钥匙开关、门机联锁、束下装置联锁、信号警示  
装置、巡检按钮、急停装置、剂量联锁、安全警示标识等辐射安全措施。

(4) 建设单位于每年 1 月 31 日前提交上一年度年度评估报告。

(5) 建设单位辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康监护档案情况：

①辐射工作人员培训：建设单位现有辐射工作人员 3 人，均参加了国家核技术利用辐射安全与防  
护培训平台(网址：<http://fushe.mee.gov.cn>)关于辐射安全与防护知识的学习，并取得了考核合格证书。

②建设单位现有辐射工作人员均配有个人剂量计，接受剂量监测，建立个人剂量监测档案并存档，  
根据建设单位最新四个季度(详见附件 12)个人剂量监测结果可知，建设单位辐射工作人员年有效剂  
量均低于 5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)标准要求。

③建设单位现有辐射工作人员均已参加职业健康体检(详见附件 14)，建立了健康体检档案，根  
据体检结果对受检者从事放射工作提出适任性意见。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

### 表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型的加速器

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	工业电子辐照加速器	II	1	DZ-10/20	电子	10MeV	2mA/ 0° 方向: 810Gy/h 90° 方向: 3.84Gy/h	辐照灭菌	福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园21幢101房工业电子辐照加速器机房	20kW
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气体	/	/	/	少量	/	/	通过排风系统排入外环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

## 表 6 评价依据

<p>法律 法规</p>	<p>(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日起施行);</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年修正版),2018年12月29日发布施行;</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》,2003年10月1日起实施;</p> <p>(4)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》,国务院令 449 号,2005年12月1日起施行;2019年修正,国务院令 709 号,2019年3月2日施行;</p> <p>(5)《建设项目环境保护管理条例》,(2017年修订版),国务院令 682 号,2017年10月1日发布施行;</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》,生态环境部令 20 号,2021年1月4日起施行;</p> <p>(7)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021版)》,生态环境部第 16 号令,自 2021 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》,环保部令 18 号,2011年5月1日起施行;</p> <p>(9)《关于发布〈射线装置分类〉的公告》(环境保护部/国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号);</p> <p>(10)《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,原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件,2006年9月26日;</p> <p>(11)《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》,环发〔2012〕77 号,环境保护部文件,2012年7月3日;</p> <p>(12)《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》环境保护部 国环规环评〔2017〕4 号,2017年11月20日施行;</p> <p>(13)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态</p>
------------------	--

	<p>环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《福建省生态环境保护条例》，2022 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉(试行)的通知》(闽环保辐射〔2013〕10 号)，2013 年 3 月 15 日印发；</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，国家发展和改革委员会 2023 年令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(4) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)；</p> <p>(7) 《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)；</p> <p>(8) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-2025)；</p> <p>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(10) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p> <p>(11) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T25306-2010)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的项目有关可研及设计资料；</p> <p>(3) 《辐射防护导论》(方杰主编)；</p> <p>(4) 《辐射防护手册》(第一分册)；</p> <p>(5) 《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社 2015 年 7 月第 1 版)。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则:放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围,甲级取半径 500m 的范围,乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”,确定为漳州雷大电子辐照有限公司工业电子辐照加速器所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围,详见图 1-2。

### 7.2 保护目标

本项目拟建加速器机房实体边界外 50m 区域内有金智谷漳州智能装备产业园 17# 厂房~19# 厂房、21#~22# 厂房,21#101 室厂房的冷库、已辐照区、未辐照区及加速器配套用房,产业园室外道路。50m 评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等敏感区。因此,本项目辐射环境保护目标为公司辐射工作人员、公司内的其他工作人员、50m 评价范围内其他厂房的工作人员及评价范围内道路经过的人员,主要环境保护目标情况见表 7-1。

### 7.3 评价标准

#### (1) 剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)第 4.3.2.1 款,应对个人受到的正常照射加以限制,以保证除该标准 6.2.2 规定的特殊情况外,由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B)中规定的相应剂量限值。

根据其附录 B 第 B1.1.1.1 款:工作人员的职业照射水平不超过“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”;根据第 B1.2.1 款: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“年有效剂量,1mSv”的限值。

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中给出辐射工作人员职

业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB 18871 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。

所以本评价项目取辐射工作人员个人年有效剂量约束值为 5mSv，公众成员个人年有效剂量约束值为 0.1mSv。

## **(2) 屏蔽体外剂量率**

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)4.2.2 辐射屏蔽设计依据：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 $\mu$ Sv/h。

根据上述内容，本报告取辐照机房外人员可达区域屏蔽体外 30cm 处及以外区域的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

## **(3) 工作场所臭氧的控制水平**

根据《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)附录要求：E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 0.3mg/m<sup>3</sup>，以及《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ 2.1-2007)规定工作场所空气中臭氧容许浓度为 0.3mg/m<sup>3</sup>。

## **(4) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)**

### **4.1.2 辐射工作场所的分区**

按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室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。

## **6 电子加速器辐照装置的安全设计**

### **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。

## 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室门和辐照室门联锁。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；

(2) 门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，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；

(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；

(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，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室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；

(5) 巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留；

(6) 防人误入装置。在主机室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；

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、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。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开；

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，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；

(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。

### 6.3.3 通风系统

(1) 主机室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。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。

(3) 辐照室内臭氧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。

(4) 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。

### (5) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)

2.8 从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于 5mSv (0.5rem)。

2.10 加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1mSv (10mrem)。

## 3.2 辐射屏蔽

3.2.1 加速器的屏蔽体厚度必须根据加速粒子的种类、能量和束流强度以及靶材料等综合考虑；按其可能的最大辐射输出进行设计。

3.2.2 加速器的屏蔽体厚度还应根据相邻区域的类型及其人口数确定，使其群体的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平。并必须保证个人所接受的剂量当量不得超过相应的剂量当量限值。

## 3.3 辐射安全系统

3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。

3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。

3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。

3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告

灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，便携式监测仪。气体监测仪等。

3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

### 3.4 通风系统

3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

### （6）《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）

臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m<sup>3</sup>。

### 8.1.3 辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

a) 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<sup>3</sup>；

b) 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；

c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB 18871-2002 和 GB 5172-1985 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5 mSv；公众成员个人年有效剂量限值为 0.1 mSv；

d) 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、紧急停机开关等设置；

e) 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。

f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2-2007 规定的标准要求（见附录 C）。

表 7-1 项目主要环境保护目标

序号	方位	距离加速器机房最近距离 (m)	场所	规模 (人)	年有效剂量 约束值
1	东侧	3.0	控制室	4	5mSv
2	东侧	相邻	调制器机房	2	0.1mSv
3	东侧	4.0	未辐照区	10	
4	东侧	28	产业园室外道路	流动人员	
5	南侧	2.0	上货区与下货区	6	
6	南侧	5.0	已辐照区	10	
7	南侧	14	产业园室外道路	流动人员	
8	西侧	相邻	冷库	5	
9	西侧	相邻	设备平台	0-2	
10	西侧	13	产业园室外道路	流动人员	
11	西侧	23	17#厂房	50	
12	西北侧	24	18#厂房	50	
13	西北侧	45	19#厂房	10	
14	北侧	0.5	金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 102 室	50	
15	北侧	32	22#厂房	20	
16	北侧	25	产业园室外道路	流动人员	

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理位置和场所位置

本项目拟建 1 间加速器机房位于金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房西北侧。21 幢厂房为单层建筑，辐照室位于一层，主机室位于二层，工作场所位置和 50m 评价范围见图 1-2。

### 8.2 环境质量和辐射现状

本项目评价范围内的保护目标见表 7-1，本项目主要的污染因子为电离辐射，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。为掌握建设项目所在地的辐射环境现状情况，于 2025 年 11 月 5 日委托福建华诺普检测技术有限公司对建设项目所在地进行了监测，报告签发日期为 2025 年 11 月 24 日。

### 8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

#### 8.3.1 监测方案

为调查本次建设项目的拟建场地及周围的环境辐射现状水平，对项目拟建场地及周围环境进行环境 $\gamma$ 辐射剂量率水平检测。

- (1) 监测单位：福建华诺普检测技术有限公司
- (2) 监测日期：2025 年 11 月 10 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》HJ61-2021
- (5) 监测工况：辐射环境现状监测
- (6) 监测报告编号：(见附件 5)
- (7) 监测设备检测仪器相关信息见表 8-1。

表 8-1 监测项目及检测仪器一览表

项目	监测方法	仪器	仪器参数
环境 $\gamma$ 辐射 空气吸收 剂量率	《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)	环境级 X、 $\gamma$ 辐射剂量率仪	测量范围：1nSv/h-5Sv/h 能量响应：20keV-7MeV 检定单位：湖南省电离辐射计量站 检定有效期：2025 年 9 月 5 日—2026 年 9 月 4 日

(8) 监测布点

为更充分了解本项目设备周边环境辐射水平现状，参照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)的辐射环境质量监测布点要求，结合项目评价范围、平面布局情况和检测点的可达性及代表性进行布点。本次共布设 12 个监测点位。监测点位布置如图 8-1 所示。



图 8-1 本项目场址监测布点图

### 8.3.2 质量保证措施

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)和《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)中有关辐射环境监测质量保证一般程序和监测机构的质量体系文件(包括质量手册、程序文件、作业指导书)实行全过程质量控制,保证此次监测结果科学、有效。辐射环境监测质量保证主要内容有:

- ①监测机构已通过计量认证;
- ②监测所用仪器已通过计量部门校准和检定,且在校准和检定有效使用期内;
- ③测量实行全过程质量控制,严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行;
- ④监测人员均通过专业的技术培训和考核;
- ⑤监测仪器在使用前、后进行性能检查;
- ⑥监测报告严格实行三级审核制度。

### 8.3.3 监测结果

表 8-2 本项目场址监测结果

点位编号	监测地点	点位描述	场所和地面介质	γ辐射空气吸收剂量率(μGy/h)	
				校准值	标准偏差
1#	拟建加速器机房位置	拟建加速器机房位置	室内泥土地面	0.064	0.003
2#	建设单位厂房内拟建加速器机房西南侧约 5m	现状为在建空厂房	室内水泥地面	0.084	0.003
3#	建设单位厂房内拟建加速器机房东侧约 15m	现状为在建空厂房	室内水泥地面	0.087	0.005
4#	21#厂房东侧室外道路(距拟建加速器机房东侧约 32m)	现状为室外道路	室外泥土地面	0.057	0.001
5#	21#厂房 102 室(距拟建加速器机房北侧约 8m)	现状为在建空厂房	室内沙石地面	0.076	0.003
6#	21#厂房北侧室外道路(距拟建加速器机房北侧约 30m)	现状为室外道路	室外水泥地面	0.090	0.002
7#	21#厂房(距拟建加速器机房北侧约 45m)	现状为在建空厂房	室内沙石地面	0.071	0.002
8#	21#厂房西侧室外道路(距拟建加速器机房西侧约 20m)	现状为室外道路	室外泥土地面	0.083	0.003
9#	17#厂房(距拟建加速器机房	现状为在建	室内水泥	0.091	0.002

	西侧约 37m)	空厂房	地面		
10#	18#厂房(距拟建加速器机房西北侧约 38m)	现状为在建空厂房	室内水泥地面	0.091	0.002
11#	19#厂房(距拟建加速器机房西北侧约 50m)	现状为在建空厂房	室内水泥地面	0.118	0.002
12#	21#厂房南侧室外道路(距拟建加速器机房南侧约 19m)	现状为室外道路	室外泥土地面	0.078	0.003

注：(1) 监测时间：2025 年 11 月 10 日，监测环境条件：22°C/51.4%RH，监测现场天气：晴；  
(2) 监测方式为巡测，在环境γ辐射空气吸收剂量率最大处进行监测；  
(3) 每个监测点测量十次，取平均值；  
(4) 宇宙射线检测经纬度（福州市旗山湖）：经度 119°30'E，纬度 26°07'N，海拔：13.3m，宇宙射线响应值：34.31nSv/h。  
(5) 本项目中心经纬度：经度 117°32'E，纬度 24°33'N，海拔：30m。  
(6) 本项目拟建辐射工作场所环境γ辐射空气吸收剂量率监测结果已扣除宇宙射线响应值，依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中“5.5 结果计算”，计算公式如下：  

$$D_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c$$
式中： $D_{\gamma}$ ——测点处环境γ辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；  
 $k_1$ ——仪器检定/校准因子：查仪器检定证书，校准因子为 0.81；  
 $k_2$ ——仪器检验源效率因子 [ $K_2 = A_0/A$ （当  $0.9 \leq k_2 \leq 1.1$  时，对结果进行修正；当  $k_2 < 0.9$  或  $k_2 > 1.1$  时，应对仪器进行检修，并重新检定/校准），其中  $A_0$ 、 $A$  分别是检定/校准时和测量当天仪器对同一检验源的净响应值（需考虑检验源衰变校正）：如仪器无检验源，该值取 1]；仪器无检验源时，该值取 1；  
 $R_{\gamma}$ ——仪器测量读数值均值（空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393，使用  $^{17}\text{Cs}$  和  $^{60}\text{Co}$  作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20 Sv/Gy 和 1.16Sv/Gy），Gyh；该仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定参考辐射源，换算系数取 1.20 Sv/Gy；  
 $k_3$ ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；  
 $D_c$ ——测点处宇宙射线响应值（由于测点处海拔和经纬度与宇宙射线响应测量所在淡水水面不同，需要对仪器在测点处对宇宙射线的响应值进行修正，具体计算和修正方法参照 HJ61），Gyh；此次本项目的监测地点和福州市旗山湖的海拔及经纬度差别满足《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）8.6.1“如果测点的海拔、经纬度与湖（库）水面相差不大：海拔高度差别 $\leq 200\text{m}$ ，经度差别 $\leq 5^\circ$ ，纬度差别 $\leq 2^\circ$ ，可以不进行宇宙射线的响应值修正，即测点处仪器对宇宙射线的响应值—湖面处仪器对宇宙射线的响应值”，故直接使用福州市旗山湖测得的宇宙射线响应值：34.31nSvh；  
(7) 监测布点示意图见图 1。

## 8.4 监测结果评价

由检测结果可知，漳州雷大电子辐照有限公司拟建工业电子辐照加速器项目场所及其周围环境各测量点的环境γ辐射空气吸收剂量率在 57nGy/h~118nGy/h 之间。根据《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社 2015 年 7 月第 1 版）中漳州市地区γ辐射

空气吸收剂量率调查数据：室外 $\gamma$ 剂量率调查水平为（61.5~399.1）nGyh，室内 $\gamma$ 剂量率调查水平为（102.0~351.7）nGyh，对比可知本项目工作场及周边环境 $\gamma$ 辐射剂量率检测值与调查水平相当。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备和工艺分析

建设单位拟在福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房内建设 1 座工业电子辐照加速器机房（为二层结构，地上一层为辐照室，地上二层为主机室），配套建设调制器机房和控制室。拟购买 1 台工业电子辐照加速器（型号为：DZ-10/20；最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，属类射线装置）主要用于食品、医疗耗材、无纺布等辐照灭菌。公司拟配备的加速器为立式结构，根据设备厂家提供资料，加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 工业电子辐照加速器技术参数

型号	DZ-10/20
厂家	舟山雷大电子科技有限公司
电子束能量	10MeV
束流损失点能量	3MeV
束流损失率	2%
最大束流功率	20kW
最大束流强度	2mA
电子束扫描宽度	300~800mm，可调
主射束方向	垂直向下
照射剂量均匀性	≤±5%
加速器工作方式	连续
束流脉冲宽度	8-16μs
输运线速度	2—30m/min
扫描盒钛窗到束下传输线的距离	60cm
束下传输线与地面的距离	80cm

#### 9.1.1 设备组成

本项目辐照装置组成包括：工业电子辐照加速器主机、水冷系统、辐射安全连锁系统、束下传输系统、测量系统及加速器机房等。

##### 一、工业电子辐照加速器主机

本项目拟使用 1 台 DZ-10/20 型工业电子辐照加速器，根据设备厂家提供的说明书可知电子辐照加速器主体由多个系统组成，按照其功能分为下列系统：加速器聚焦系统、功率源系统、微波系统、真空系统、机械支撑系统、电源系统、控制系统，DZ-10/20 型工业电子辐照加速器主体结构示意图见图 9-1。

图 9-1 DZ-10/20 型工业电子辐照加速器主体结构示意图

---

图 9-2 DZ-10/20 型工业电子辐照加速器实物及结构示意图

### **(1) 加速器聚焦系统**

主要包括：电子枪、加速管、加速管聚焦线圈、速调管聚焦线圈、校正线圈、扫描磁铁。聚焦线圈通过施加一定的电流，使得线圈产生一定的横向磁场，通过该磁场将电子约束在既定的轨道中传输运动，电子通过加速管高频电场的加速，按照设计目标，达到预定能量。

### **(2) 功率源系统**

主要包括：充电柜、放电柜、脉冲变压器、枪灯丝隔离变压器、闸流管、速调管底座。主要为加速电场提供高压高频功率，或者为聚焦导向系统提供额定的电流。

### **(3) 微波系统**

主要包括：固态微波源、速调管、抽气定耦、充气定耦、弯波导、陶瓷窗、吸收负载、微波测量线、固定衰减器、检波器。提供安全可靠的真空隔离、传输用途，以及精度可靠的测量用途。

### **(4) 真空系统**

主要包括：离子泵、离子泵高压线、波纹管、五通管、刮束器、束流变压器、扫描盒、角阀、真空垫片、钛膜。电子的传输建立一个高真空环境，使得电子有效传输且达到预定能量目标。减少束流与气体分子的碰撞而引起的束流损失和防止高频放电。

### **(5) 机械支撑系统**

主要包括：主体支架、波导支架、高压线支架、充气系统、油箱三维调节底座。为加速器直线段提供可靠安全的支撑，能够调节各部件的连接要求，水平调节要求、准直要求、垂直调节要求等。

### **(6) 电源系统**

主要包括：加速管聚焦电源、速调管聚焦电源、扫描电源、离子泵电源、导向电源、真空计、机箱。为聚焦线圈提供符合使用要求的电流，需要做到一定精度上的微调，输出稳定可靠，联锁安全可靠。

### **(7) 控制系统**

主要包括：低压器件、数据服务器、串口服务器、低电平控制器、中控显示屏、工控机、电脑显示器、示波器、控制软件、控制台、监控系统。整个加速器的操控中心，

所有关于加速器的操控、设备联锁、生产监控、各系统状态监控等均由该系统完成。主要分为机器控制与机器联锁。机器控制包括微波功率源系统设备的控制、加速器直线段设备的控制、扫描系统设备的控制、水冷系统设备的控制、束下运输线系统设备的控制及其相关辅助设备的控制；机器联锁包含人身安全联锁与设备安全联锁。

## 二、水冷系统

主要包括：恒温水冷系统、冷却水冷系统、制水机。为加速器各部件设备稳定运行提供制冷热交换保障，保障各系统在可控的工作温度下运行。

## 三、辐射安全联锁系统

主要包括：安全联锁机柜、声光报警器、按钮急停复位开关、拉线开关、门行程开关、电磁锁、钥匙开关、烟雾报警、三色警示灯。该系统充分考虑了各种工况以及突发紧急情况，为设备以及人员的安全提供相应保障。

## 四、束下传输系统

主要包括：控制柜、PLC、变频器、机械装置、不锈钢托盘。为辐射加工提供稳定可靠的传动机制，且可以根据客户要求定制相应符合要求的智能化加工系统，杜绝人为因素的影响。

## 五、测量系统

主要用于项目调试测量使用，以及后期客户定期标定参数所用。

## 六、加速器机房

加速器机房为两层混凝土结构，地上一层为辐照室，地上二层为主机室。

### 9.1.2 工作原理

本项目加速器运行时，电子束从电子枪阴极发射，电子枪阴极被灯丝电源加热后，发射出热电子，经过直流高压加速后注入到加速管的中心轴线上。调制器中的人工线经过高压充电后，通过控制闸流管导通使其对脉冲变压器进行放电，产生高压脉冲作用于速调管上，速调管对来自微波激励源的小功率信号进行放大，产生大功率的微波并通过微波功率传输部件馈入到加速管，在加速管中建立起特殊形态的适合加速电子的微波电磁场。注入到加速管中的电子束经过微波电场的聚束、加速作用，最后形成高能电子束射出加速管。聚焦线圈和导线线圈，用于在加速管中产生特定形态的约束磁场，使加速

过程中电子的运动轨迹始终精确保持在加速管的中心轴线上。扫描磁铁使电子束束斑在货物上来回运动，使货物得到精准均匀辐照。

### 9.1.3 辐照工作流程

本项目对食品、医疗耗材、无纺布进行辐照加工时，辐射工作人员位于加速器机房外（包括主机室、辐照室）采用隔室操作。辐照完成后，经标记包装、质量检验和用户签收等工序或发货或入库暂存。现对辐照加工工艺流程简述如下：

①确认机器无异常故障；

②调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

③将食品/医疗耗材/无纺布放置在传输装置上；

④开机加载高压前，辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪和个人剂量计，携带便携式X-γ辐射剂量率仪，巡视加速器机房（包括辐照室和主机室），进入辐照室和主机室并依次按下位于辐照室和主机室的巡检按钮，巡查有无人员误留，确认无异常后关好防护门。

⑤工作人员现场检查各项安全措施无异常，并通过视频装置查看辐照室、主机室情况，确保无人逗留；

⑥进入控制室开启加速器的辅助系统，冷却系统、通风系统等；

⑦确认相关辅助系统无异常后，启动辐照装置及传输系统，进行辐照加工（本项目主要为人工上货及卸货）。

⑧辐照工作结束，关闭加速器；

⑨由于操作软件自带通风延迟关闭系统（加速器断高压后，操作软件默认通风系统继续运行 15 分钟），辐射工作人员发出加速器断高压指令后，通风系统继续运行 15 分钟后，方可关闭通风系统。

本项目正常情况下，电子加速器会长时间处于开启状态对货物进行辐照。辐照过程中，工作人员不进入机房，只需在控制室内关注相关仪表的参数，无需进入辐照室进行任何操作。整个辐照工艺流程流水线为自动运行，所有需辐照灭菌的食品、医疗耗材、无纺布均需通过传输装置（束下装置）输运到束流中心辐射区进行辐照加工，当传输速度大于线速下限（0.5m/min）速度时检测开关输出信号给加速装置联锁，加速器才可出束，当速度低于线速下限（0.5m/min）时，加速器自动停止。在出束过程中，传输系统

出现故障或停止转动，电子辐照加速器将自动停止出束。

辐照装置工作流程及产污环节见图 9-3。

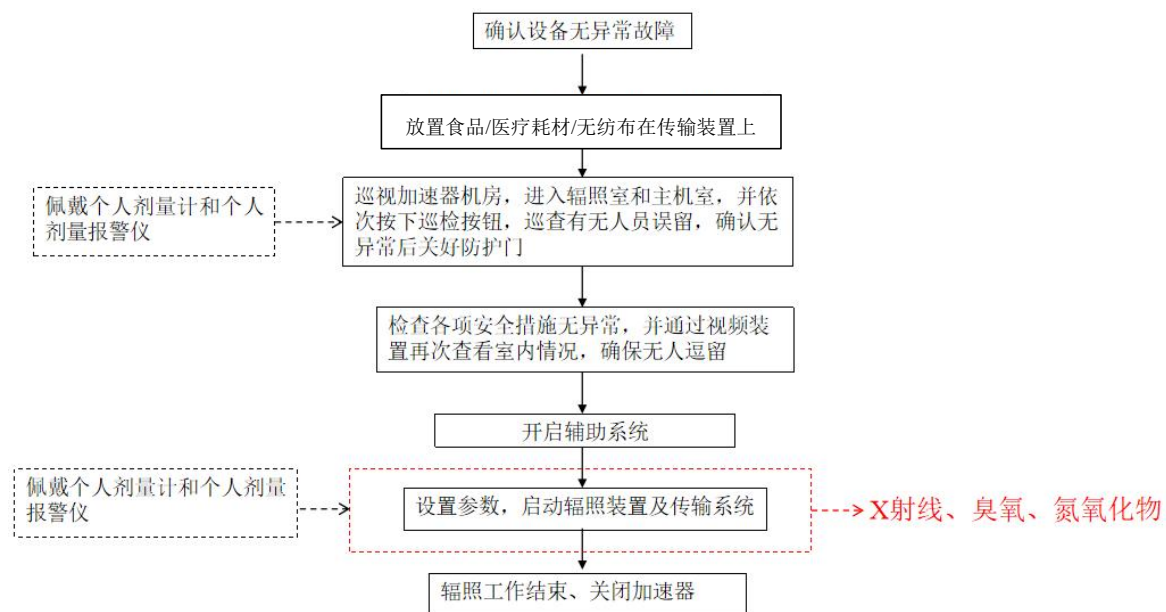


图 9-3 辐照装置工作流程图

#### 9.1.4 产品辐照流程

辐照加工过程中，货物装卸人员不进入辐照机房和主机室，均在机房外传送带处进行装卸货，需辐照加工的产品均通过传输系统输运到束流中心辐射区进行辐照加工。辐照加工流程如下：加速器出束后，货物装卸人员将产品搬运至传送带上由传送带将产品由迷道送入机房内进行辐照，辐照后又随传送带从另一端迷道带出机房。本项目辐照产品无需翻面。辐照完成后，装卸人员将产品搬运下传送带即可。



### 9.1.5 人员配置和工作负荷

根据建设单位提供资料，项目建成投产后，拟配备 4 名辐射工作人员，货物装卸工人为 4 人。电子加速器运行班组人员直接从事电子加速器的运行管理和操作活动，纳入辐射工作人员管理；其余人员不直接参与射线装置的运行或维护，不纳入辐射工作人员管理。

电子加速器运行班组共设置 4 名辐射工作人员，分为两组，每组 2 名辐射工作人员，包括运行值班长 1 人、操作人员 1 人。辐射工作人员主要负责电子加速器的日常运行管理工作，包括加速器的开关机操作、运行巡检、运行状态记录及异常情况处置等。

工业电子辐照加速器每天出束 8h，年工作 250 天，加速器年出束时间为 2000h。项目建成投产后，每组辐射工作人员年工作 250 天，每组辐射工作人员年受照时间为 1000 小时。

除辐射工作人员外，本项目其余人员均不从事射线装置的操作、维护或管理工作，不纳入辐射工作人员管理。货物装卸工人共 4 人，主要在电子加速器辐照装置传送带边界外区域从事货物装卸、转运等辅助作业活动，不进入监督区内，其作业过程中不直接接触射线装置，仅可能处于辐射防护控制范围之外的相关区域，按公众进行辐射防护管理。货物装卸工人每天工作 8 小时，每年工作 250 天，每年工作 2000h。

## 9.2 污染源项描述

本项目拟使用的 DZ-10/20 型工业电子辐照加速器最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，用于食品、医疗耗材、无纺布的辐照灭菌，辐照加速器运行过程中的电子受到辐照产品、地板等材料的阻挡后，产生韧致辐射（X 射线）。由于电子的最大射程与所产生的 X 射线的射程相比很小，因此在电子辐照加速器的屏蔽要求上，只需考虑所产生的 X 射线的屏蔽。建设单位拟使用的电子辐照加速器参数见表 9-1。本项目射线装置参数说明见附件 6。本项目 DZ-10/20 型工业电子辐照加速器最大电子束能量为 10MeV，参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中附录 A 表 A.1 可知当入射电子能量为 10MeV 时，电子入射到高 Z 厚靶（ $Z > 73$ ）上，在距靶 1 米处的 X 射线发射率： $0^\circ$  方向（竖直向下） $450\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ； $90^\circ$  方向  $13.5\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)屏蔽设计依据,评价项目不需要考虑中子和活化问题。本项目主要考虑在电子加速器开机期间,因轫致辐射产生的 X 射线,以及高能射线与空气中的氧分子作用会产生一定量的臭氧、氮氧化物等有害气体。本项目工业电子辐照加速器在正常工况和非正常工况的污染源项分别如下:

### (1) 正常工况

由电子辐照加速器的工作原理可知,电子枪产生的电子经过加速后,会产生高能电子束,高能电子束通过轫致辐射将产生高能 X 射线。这些电子束和 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

评价项目加速器在机房内使用,机房采取了辐射防护设计,在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下,辐照室外的辐射工作人员及公众受到的射线照射可以满足标准要求。

空气在辐射照射下,产生臭氧和氮氧化物等有害气体。建设单位在辐照室拟安装离心通风机,通过风机将出束过程中产生的臭氧、氮氧化物等有害气体可以及时有效的排出辐照室。

### (2) 事故工况

①安全联锁失效:人员可能在防护门未关闭时误入主机室或辐照室,如果此时电子加速器辐照装置处于运行状态,则可能造成误照事故。

②人员未撤离机房出束:辐照室或主机室中仍有其他人员未撤离时,操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器,则会造成机房中人员受误照射;

③维修过程中误操作:设备维护或维修调试过程中,工作人员错误操作,加载高压并出束,则可能造成误照事故。

④加速器故障:设备出现故障时(如直流高压发生器故障),可能导致加速器的加速管外产生射线,造成误照事故。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 工作场所布局

本项目拟建 1 座加速器机房(为二层结构,地上一层为辐照室,地上二层为主机室),配套建设调制器机房与控制室,辐射工作人员位于控制室设置加速器参数,减少对职业人员的照射。

加速器出束时,电子束方向朝向地面,辐照室、主机室无人员停留,辐射工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪不定时在加速器机房周围巡视。

加速器机房南侧为上货区、下货区、已辐照区;东侧为未辐照区;西侧为冷库。加速器主体工程建筑是独立、可控的建筑,与产品存放区隔开,即便于产品的输送,又能限制非此区域人员的流动,便于辐射防护和安全管理。从便于辐射管理和满足安全生产的角度看,项目辐射场所的平面布局是合理的。

### 10.2 场所辐射防护“两区”管理

本项目拟使用的电子辐照加速器放置于福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房工业电子辐照加速器机房内。辐照室、主机室建筑采用混凝土(密度不小于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )防护设计。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018),需要按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定,电子加速器辐照装置的工作场所分为:控制区,如主机室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辐照加速器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。

按照本项目工作特点,结合《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》(HJ979-2018),对生产车间辐射工作场所进行分区,详见图 10-1。

**控制区:**该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施,以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散,并预防潜在照射或限制潜在照射范围。**本项目的控制区包括以门和屏蔽体为界的辐照室、主机室。在加速器运行时,控制区内不得有任何人**

员滞留。控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志、运用管理制度、实体屏障（包括门锁）及安全联锁限制进出控制区。

**监督区：**通过设置黄线和悬挂电离辐射标识来划分监督区，根据本项目设计情况综合考虑。本项目的监督区范围为控制室、调制器机房、冷库、通往控制室的楼梯、走道、传送带边界内的区域与加速器机房屏蔽体外 30cm 处。在该区设置电离辐射标志，警戒线或警示标志，定期检查其辐射剂量率水平。

本项目辐射防护“两区”划分图见图 10-1。

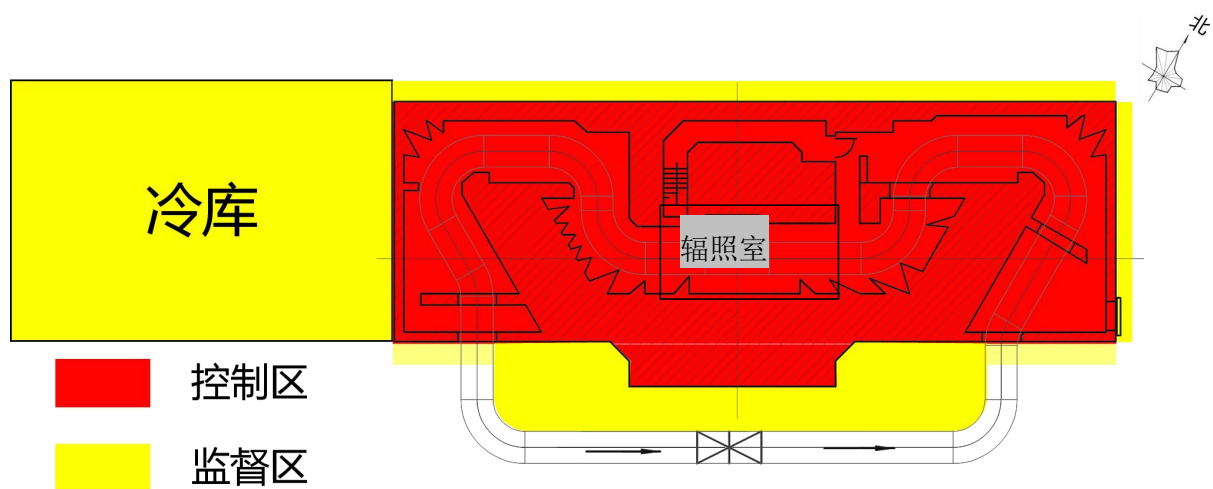


图 10-1.1 地上一层两区划分（俯视）

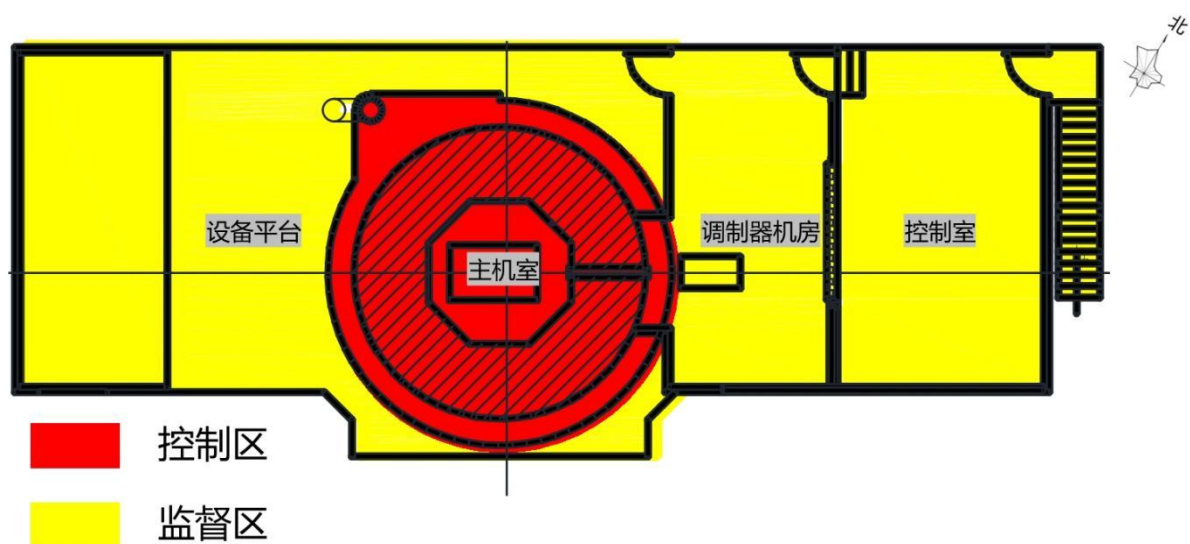


图 10-1.2 地上二层分区图（俯视）

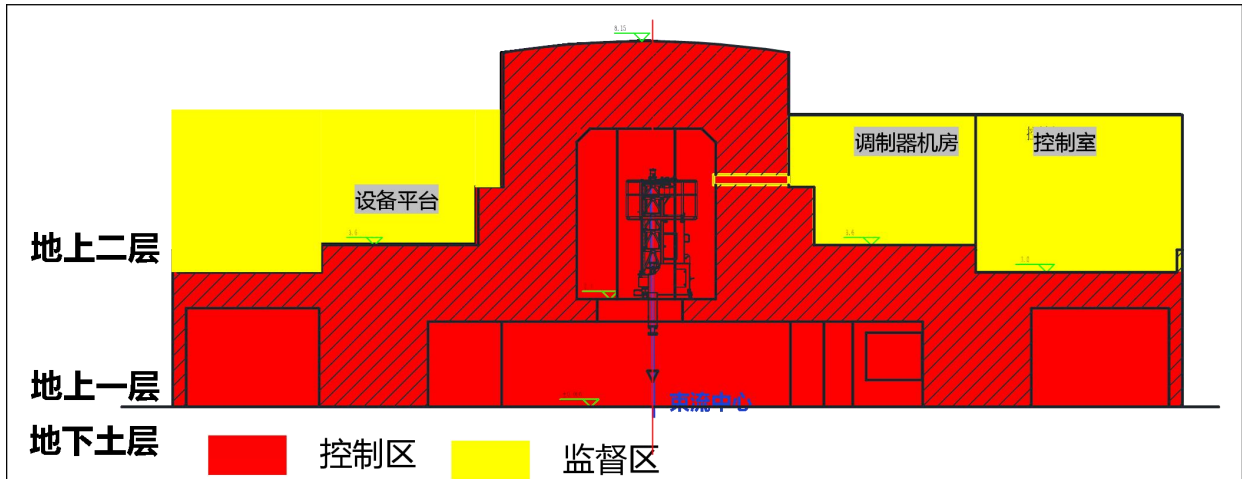


图 10-1.3 加速器工作场所分区图（剖面图，西南—东北向）

### 10.3 场所辐射防护屏蔽设计

#### (1) 辐射工作场所屏蔽

建设单位拟建设的加速器机房为两层混凝土结构（密度不小于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）：地上一层为辐照室，电子束方向垂直向下，有效利用土壤层对射线的屏蔽效果；地上二层为主机室，安装加速器主体及配套建设控制室、调制器机房，辐照室内设有迷道。设备操作人员位于地上二层的控制室，设置加速器参数并监控加速器运行情况，为隔室操作。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留，为防止加速器出束时辐照室及主机室内有人员滞留，每次开启加速器前辐射工作人员需进入辐照室及主机室内进行巡检。

**辐照室：**地上一层辐照室面积约为  $90.1\text{m}^2$ （含迷道），辐照室内部净高  $1.9\text{m}$ ，迷道部分净高为  $2.2\text{m}$ ，容积约为  $192.25\text{m}^3$ 。

**主机室：**地上二层主机室面积约为  $79.7\text{m}^2$ ，高  $3.8\text{m}$ ，容积约为  $302.86\text{m}^3$ 。

加速器配置单元的工程屏蔽防护措施见表 10-1，屏蔽参数及尺寸见图 10-2。

表 10-1 加速器配置单元的工程屏蔽防护措施一览表

射线装置	位置	屏蔽参数	
DZ-10/20 型工业电子辐照加速器	辐照室	辐照室面积约为 90.1m <sup>2</sup> (含迷道), 辐照室内部净高 1.9m, 迷道部分净高为 2.2m, 体积约为 192.25m <sup>3</sup> 。	
		顶部	500mm—1700mm 混凝土
		四周	东墙: 300mm 混凝土
			南墙: 300mm—2900mm 混凝土
			西墙: 300mm 混凝土/迷道 2100mm 混凝土
	北墙: 450mm—3120.61mm 混凝土		
	出入口防护门	1 扇 1mm 厚钢门(人行通道), 手推门, 门洞的尺寸为 900mm(宽)×1900mm(高)	
	主机室	主机室面积约为 79.7m <sup>2</sup> , 高 3.8m, 体积约为 302.86m <sup>3</sup> 。	
		顶部	1906.7mm—1950mm 混凝土
		四周	东墙: 1633mm—2200mm 混凝土
南墙: 1633mm—2450mm 混凝土			
西墙: 1633mm—2200mm 混凝土			
北墙: 1633mm—3350mm 混凝土			



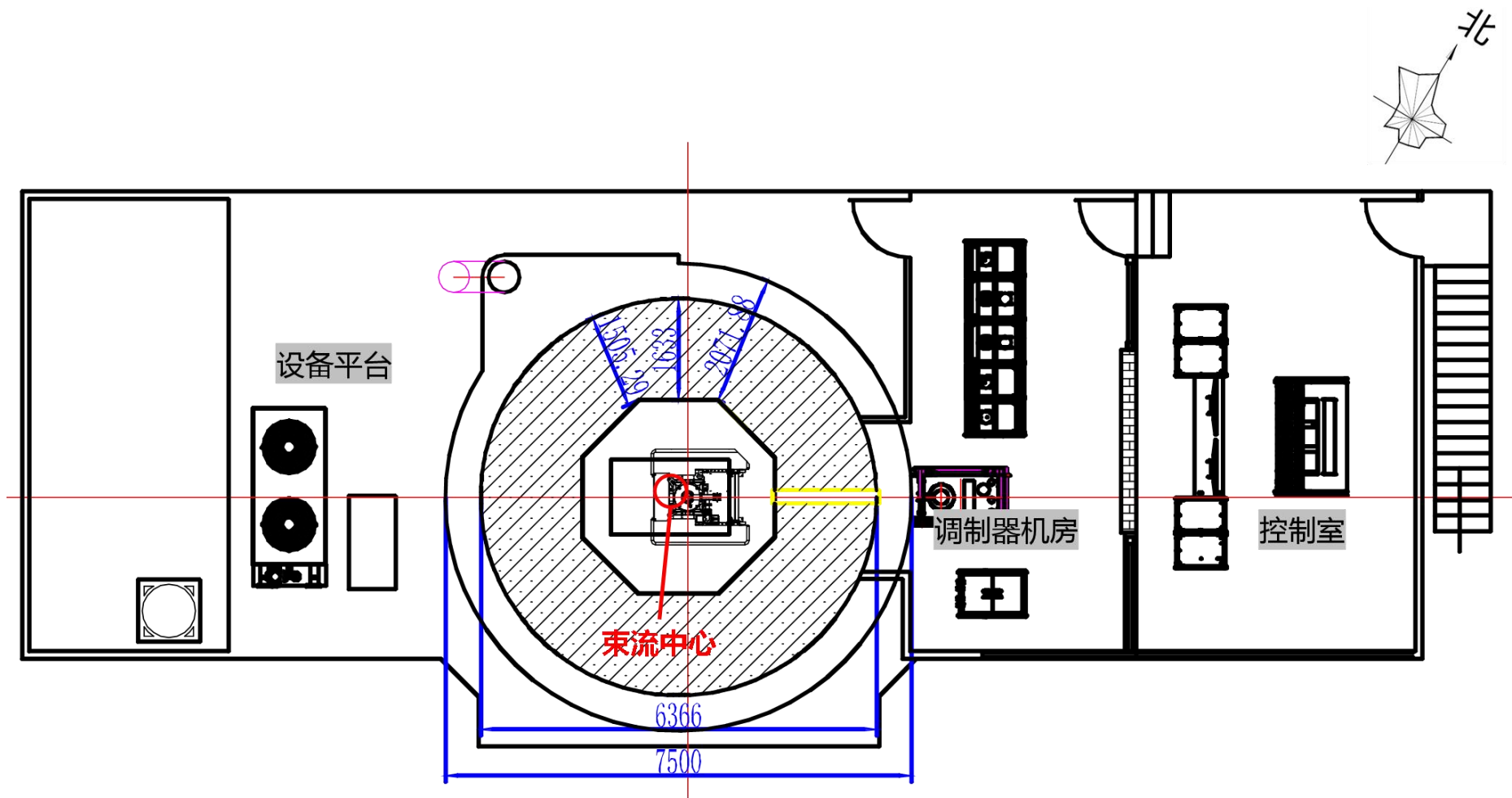


图 10-2.2 地上二层主机室屏蔽参数及尺寸图（平面图，单位 mm）

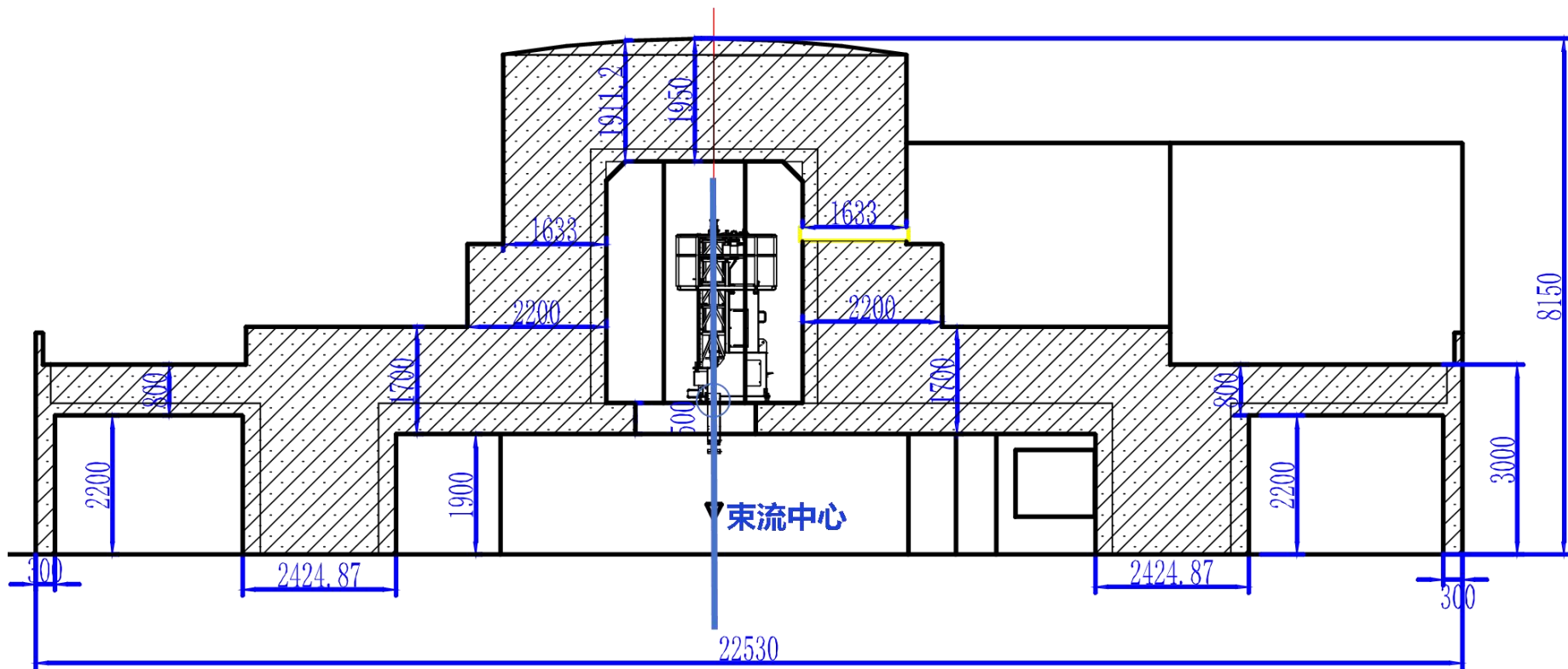


图 10-2.3 辐照室和主机室屏蔽参数及尺寸图（剖面，西南—东北向，单位：mm）

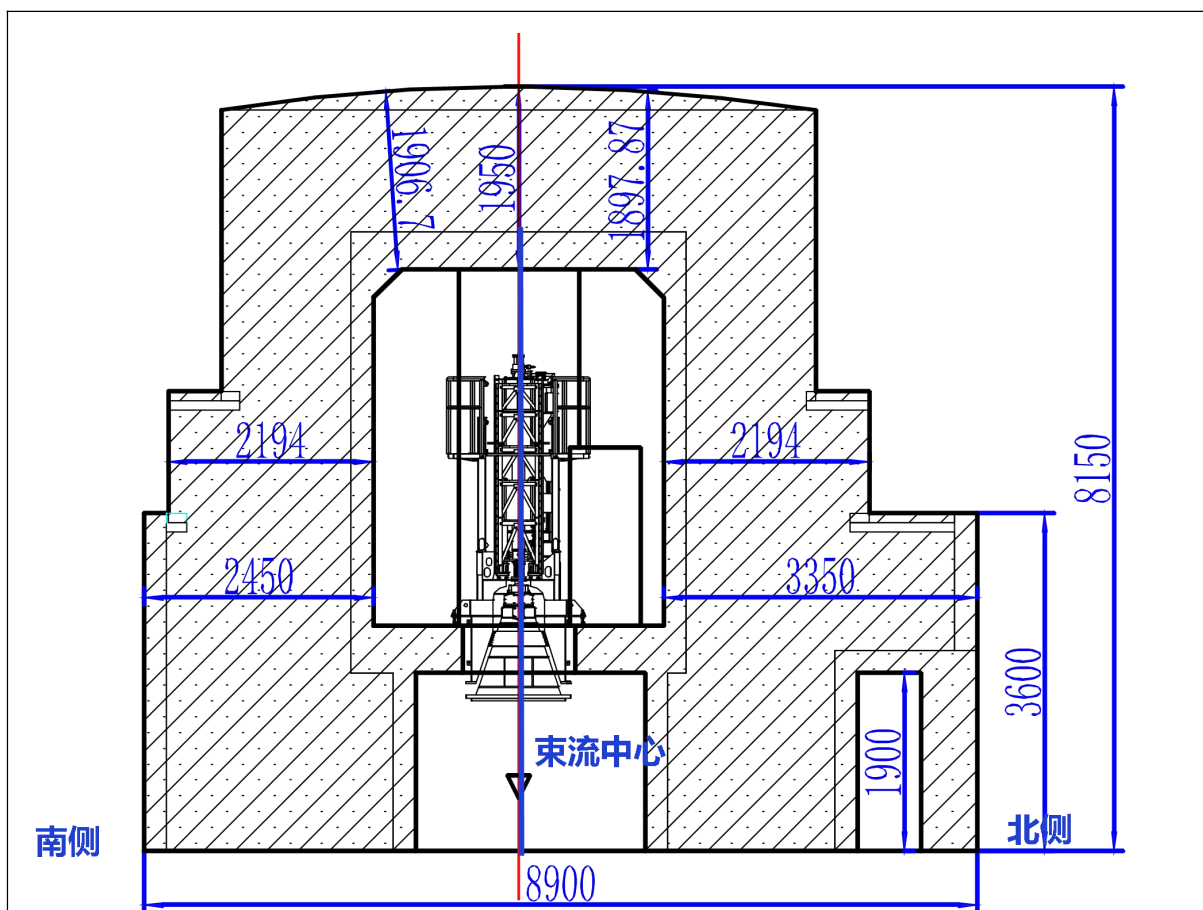


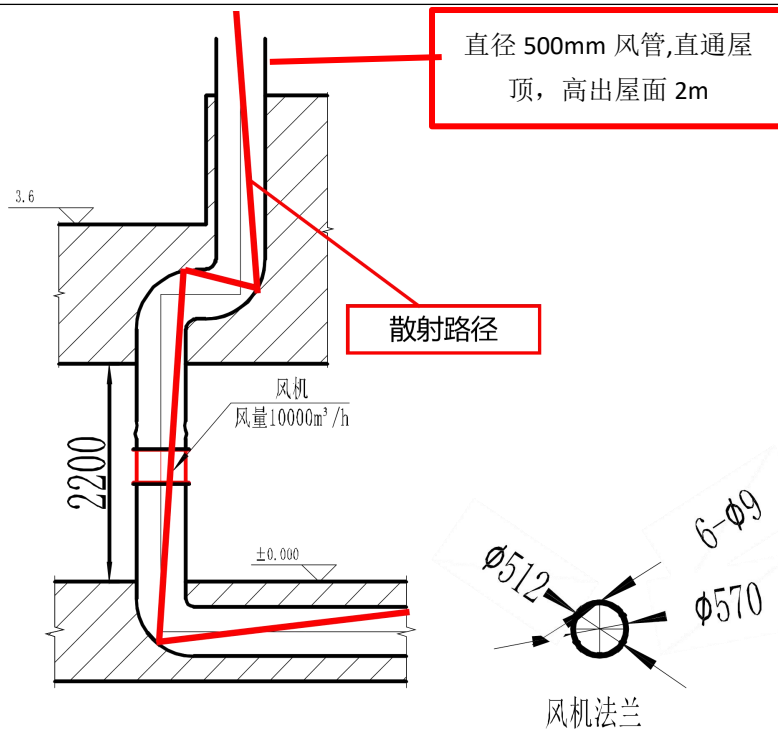
图 10-2.4 辐照室和主机室屏蔽参数及尺寸图（剖面，东南—西北向，单位：mm）

## （2）排风管道走向和穿墙设计

建设单位拟在辐照室地下预埋 500mm 直径风管，管道埋地深为 250mm，排风口位于辐照室扫描窗下方的地面处，可满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“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”的要求。

为避免射线从排风管道泄漏到机房外，排风管道从辐照室地下穿过，延伸至辐照室西侧迷道，并从迷道穿出，随后穿过辐照室顶部混凝土，到达设备平台（设有管径  $\Phi 500$  毫米的 S 型排风管道），废气最终经排风管在高出厂房屋顶 2m 处排出，排风口距地面约 15m。设计风量为  $8000\text{m}^3/\text{h}$ ，设计通风换气次数大于 16 次/h。加速器开机时，加速器机房的废气经风道收集后引至厂房的屋顶排风。射线至少经过 3 次的散射才到管道进出口处，辐射能量已大大降低，射线通过排风管道外漏可忽略不计。

加速器运行期间风机一直保持运行，停机后还将以最大排风量继续运行 15min，辐照室内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气通过排风管道排出，对周围影响较小。通风管道设计见下图 10-3。



排风管截面

图 10-3.1 排风管道设计图（剖面图）

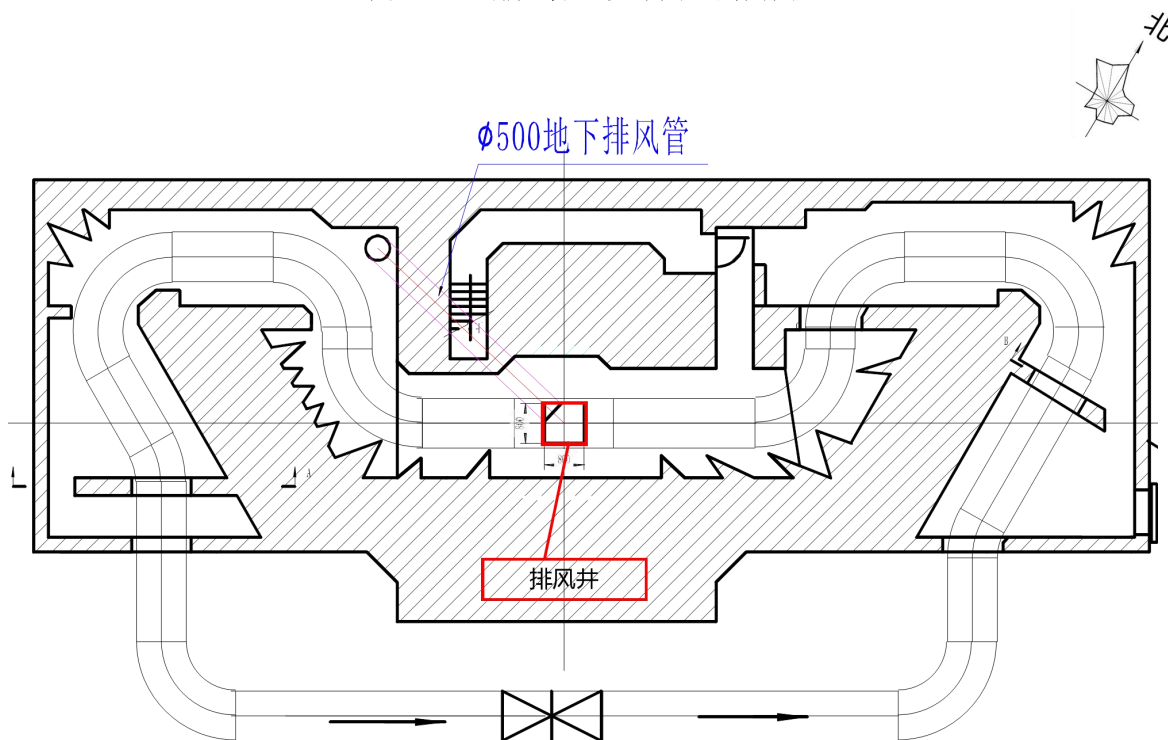


图 10-3.2 排风管道设计图（俯视图）

### (3) 电缆沟设计

电缆由主机室穿东墙连接至调制器机房控制柜，主机室电缆沟布置在主机室东侧，电缆沟位于地面上方 15cm 处，在主机室通过“Z”形穿越屏蔽墙，且转弯角约

135°，避开射线直穿，射线经多次散射后，调制器机房电缆沟处的辐射剂量率可忽略不计，可满足屏蔽体外剂量限值要求。

## 10.4 辐照安全和防护措施

### 10.4.1 加速器固有安全性

①加速器过电压、过电流保护系统：在加速器控制系统中稳压电路对电压、电流进行监控，确保装置自动稳压；过电压、过电流保护功能装置，若由于其他原因导致加速器电压、电流非正常运行，控制系统会自动切断电源。

②加速管真空联锁系统：加速器运行过程中实时监测加速管内的真空度，真空度不满足要求时钛泵将自动保护，同时切断电源，有效保护加速管。

③冷却水联锁系统：冷却水为循环冷却系统，冷却水不排放。加速管安装有水流量监测开关，当加速器中的靶、大功率负载等的冷却水流量不满足要求时，加速器将自动切断高压电源。

### 10.4.2 辐射安全装置

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的规定，在工业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。

本项目拟使用的工业电子加速器辐照装置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，辐照装置设计的辐射安全保护措施和联锁系统符合相关标准规范，满足辐射安全要求。

#### （1）钥匙开关

本项目控制室总控台上设有钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业；钥匙开关处于未闭合状态时，加速器无法加载高压和出束。设备运行过程中，从总控台取出该钥匙加速器高压切断，无法出束，处于停机状态。

加速器开关钥匙与辐照室门、主机室门的开关钥匙为同一把钥匙，当工作人员需

要打开门进入辐照室或主机室时，该工作人员必须携带该加速器的开关钥匙。因此，加速器在开机时由于没有开关钥匙，辐照室门及主机室门无法从外部打开。钥匙开关是辐照室门及主机室门在外部打开的唯一方式。

本项目钥匙开关拟与 1 台便携式辐射监测报警仪通过金属圈相连，建设单位规定只有值班长有权利使用钥匙开关。

本项目辐照室门及主机室门装有电磁锁，电磁锁直连电路并与加速器高压联锁，电磁锁断开，加速器无法加载高压和出束。电磁锁闭合条件如下：门闭合、光电开关/急停开关等复位、所有系统无故障、警示铃响过，启动加速器钥匙开关后自动闭合。电磁锁断开条件如下：高压切断 15min 后自动断开或按下紧急开门按钮。

## **(2) 门机联锁**

辐照室门和调制器机房门与束流控制和加速器高压联锁，均设置了 1 个限位开关，限位开关安装在门顶端，门闭合式闭合，门打开时断开。如果某一门关闭不到位时，加速器不能开启高压出束。加速器运行中，某一门有开启动作，立即切断高压，停止出束，加速器自动停机。

## **(3) 束下装置联锁**

食品、医疗耗材、无纺布通过传输系统自动传输，产品放在传送带上后启动传输系统。加速器控制系统通过控制接口及协议文件对束下装置进行控制。可实现对束下装置进行启动/停止/方向设定/速度设置/速度获取/异常状态监控等功能。目前支持的总线接口协议包括但不限于 modbus RS485/modbus TCP/IP 等。束下装置与加速器控制系统联锁。当传输速度大于线速下限（0.5m/min）时，加速器才可出束，当速度低于线速下限（0.5m/min）时，加速器自动切断高压，无法出束。输运线因故障停止转动时，会给加速器控制系统触发信号，切断高压，电子加速器将自动停止出束。

## **(4) 信号警示装置**

在控制区的出入口处（辐照室和主机室）和控制区内均设有警示铃，用于开机前对主机室和辐照室内人员警示。准备运行警示铃自带红绿闪烁灯，与加速器联锁，加速器开机时警示声音响起、红色灯闪。加速器停机时仅绿色灯亮。在加速器正式启动前，向工作区域内发出声光报警，通知人员迅速撤离。在辐照室和主机室门外将设置电离辐射警示标识。辐照室出入口处拟设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速

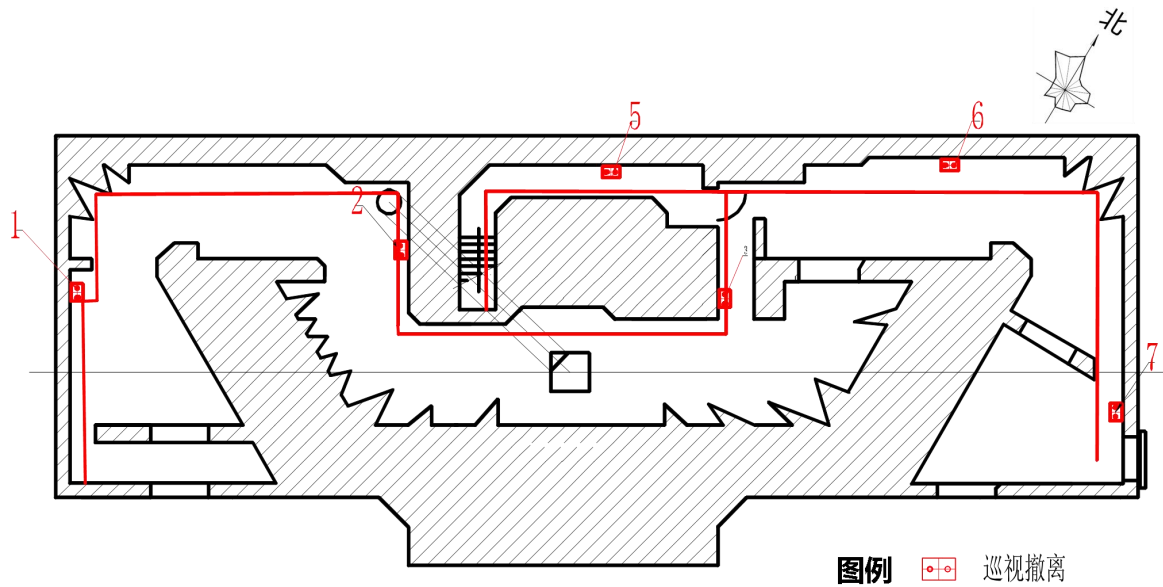
器高压联锁，当加速器启动时，工作状态指示灯亮起。

### (5) 巡视撤离按钮

在加载高压前，需要进入辐照室和主机室，按序按动机房内的“巡视撤离”按钮，巡视撤离按钮与设备高压联锁。

加速器在开机出束前，辐射工作人员需先进入辐照室内和主机室内进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下辐照室内和主机室内的巡视撤离按钮，全部巡视撤离按钮按下后，屏蔽门关闭后，加速器方可启动；若中途停止或不按顺序执行，系统会提示巡视失败，加速器将不能进行出束作业，工作人员必须重新按顺序进行巡视，本项目辐照室和主机室内巡视撤离按钮和巡检路线见图 10-6。

辐照室和主机室：辐照室门口和室内沿墙位置共计 6 个巡视撤离按钮，主机室内沿墙位置共计 1 个巡检按钮，需人工依次按下，在这个过程中进行巡检。从辐照室东南侧防护门进入辐照室→关闭辐照室防护门（防跟随）→按下巡视撤离 1→按下 2 号巡视撤离→按下 3 号巡视撤离→从辐照室内楼梯进入主机室，按 4-5 顺序按下巡视撤离主机室→按 6-7 顺序按下巡视撤离，从辐照室东侧辐照室防护门离开，巡检完成。



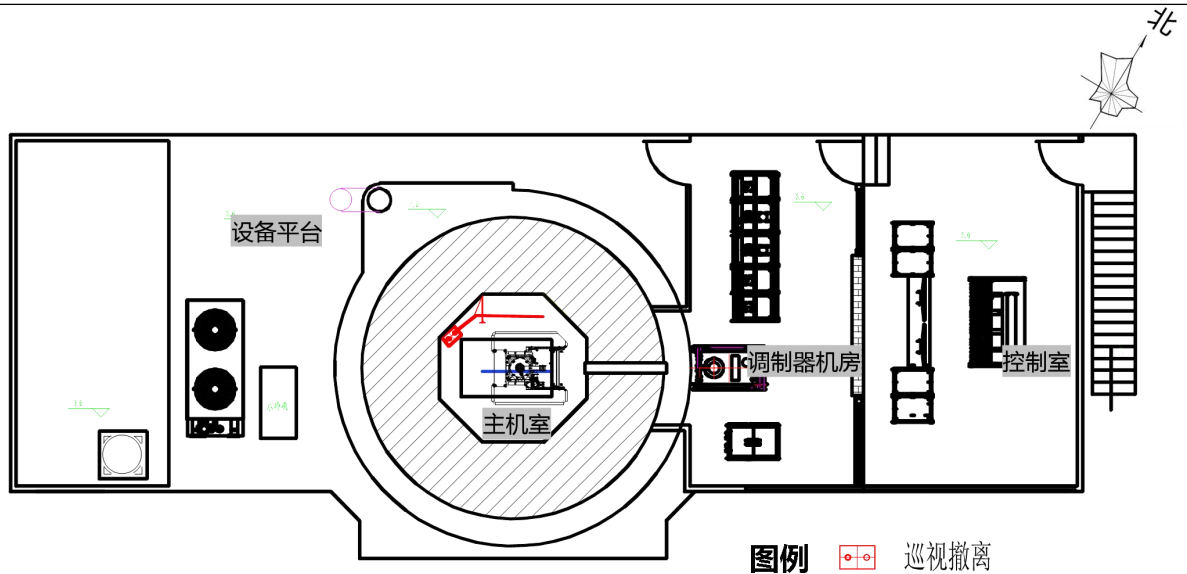


图 10-6 辐照室和主机室内巡检按钮和巡检路径示意图

### (6) 防人误入装置

在一层辐照室迷道出入口处与人员出入口处分别设置有3道相互独立的光电检测器。高度分别为0.5m、1.0m、1.5m，能够完整覆盖由门进入的常规人体高度。光电检测器位于不同水平、垂直位置，防止人员以钻爬、跨越等方式使其功能失效。光电检测器均与加速器联锁。当有人员误入辐照室，身体将任意一处光电检测器信号挡住后，若设备高压处于开启状态，将立即自动关闭高压，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。

### (7) 急停装置

**控制室：**在控制室设置1个急停按钮，以备紧急状态时应用，当工作人员发现任何安全危险时，按下急停按钮，可立即切断高压，停止出束。再次开启加速器需将急停按钮复位。

**辐照室及主机室：**在辐照室内沿墙和门外共计安装16个急停按钮。在主机室内沿墙共计安装1个急停按钮。按下任一急停按钮，可立即切断高压，再次开启加速器需将急停按钮复位。按钮下方贴上“急停”标识和功能说明。

此外，为实现安全冗余性，在辐照室内及迷道墙安装拉线开关。急停拉线开关沿辐照室和主机室设置，能够覆盖整个辐照室区域。拉线开关距地高度为1.5m，并在上方设置明显、醒目的标志，便于人员在紧急情况下快速识别和操作。当紧急情况发生时，人员只需拉下急停拉线开关，即可切断设备高压。拉线开关拉动后，系统将同时

解除已建立的“巡检就绪”状态，需在事故或异常情况处置完成后将拉线开关手动复位，并按照规定重新完成巡检程序，方可恢复设备高压加载条件。

### **(8) 紧急开门装置**

在辐照室门内侧和主机室入口门处拟安装紧急开门装置。连接电磁锁电源，按下紧急开门按钮，电磁锁断开。人员若被困辐照室内时，机房内的人员可通过紧急开门装置，实现在辐照室内的紧急开门（通过紧急开门装置打开防护门不受开关钥匙影响）。防护门打开后，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即切断高压，停止出束。

### **(9) 剂量联锁**

在控制室、辐照室的迷道入口、货物进出口处分别安装 1 个固定 X- $\gamma$ 剂量监测仪探头，剂量显示面板安装在控制室内，监测电子加速器辐照装置运行时环境剂量；固定 X- $\gamma$ 剂量监测仪与辐照室出入口门联锁，当任一监测点处的周围剂量当量率超过设定阈值时（2.5 $\mu$ Sv/h），固定 X- $\gamma$ 剂量监测仪会报警，并将信号传送至控制系统，辐照室的门无法在外部打开，可在内部打开门。

控制室是设备控制及监控的中心，将剂量显示屏设置在此处可以方便操作人员集中进行监控和系统操作，另外控制室通常为辐射水平较低区域，将显示屏设置在此处，可以减少操作人员在高辐射区域停留时间。

### **(10) 烟雾报警**

拟在辐照室内顶部安装 1 个烟雾报警装置，加速器将与火灾烟雾报警系统联锁。在加速器正常出束时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器辐照装置将切断高压，停止出束，通风系统将立即停止运行。在加速器停机状态时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器辐照装置将无法启动进行出束，通风系统将无法开启进行通风换气。

### **(11) 通风联锁**

辐照室通风系统与控制系统联锁，通风系统正常工作后，加速器才能出束；在通风系统未正常工作时，加速器将无法进行出束作业。在加速器正常运行过程中，当通风系统发生故障时，加速器将立即停止出束。该通风系统控制程序设定了时间限制功能，同时接入了电磁锁控制程序，确保通风系统达到预先设定的时间（15min）后才能给电磁锁信号开门。触发急停、光电检测装置和火灾等紧急停机时，门的开启不受

该时间限制。

### **(12) 视频监控**

建设单位拟在一层辐照室内及辐照室外东南两侧共设置 15 个摄像头(室内 12 个;室外东侧 1 个、南侧 2 个);二层主机室内、调制器机房与控制室各设置 1 个监控摄像头。本项目合理布设摄像头位置,可消除盲区,全面覆盖辐照室及主机室内区域,无死角,可实现对室内情况的全面实时捕捉。

监控图像实时显示在控制柜室的显示屏,也可远程实时监管。使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室、主机室及其辅助工程(调制器机房与控制室)情况。如发生意外情况可及时处理,可实时监视是否有未经授权的人员闯入控制区,保障加速器机房设施的安全。监督相关维护工作是否正常进行,以及在出现问题时查看是否存在人为因素影响。

辐射安全防护措施布置见下图 10-7。

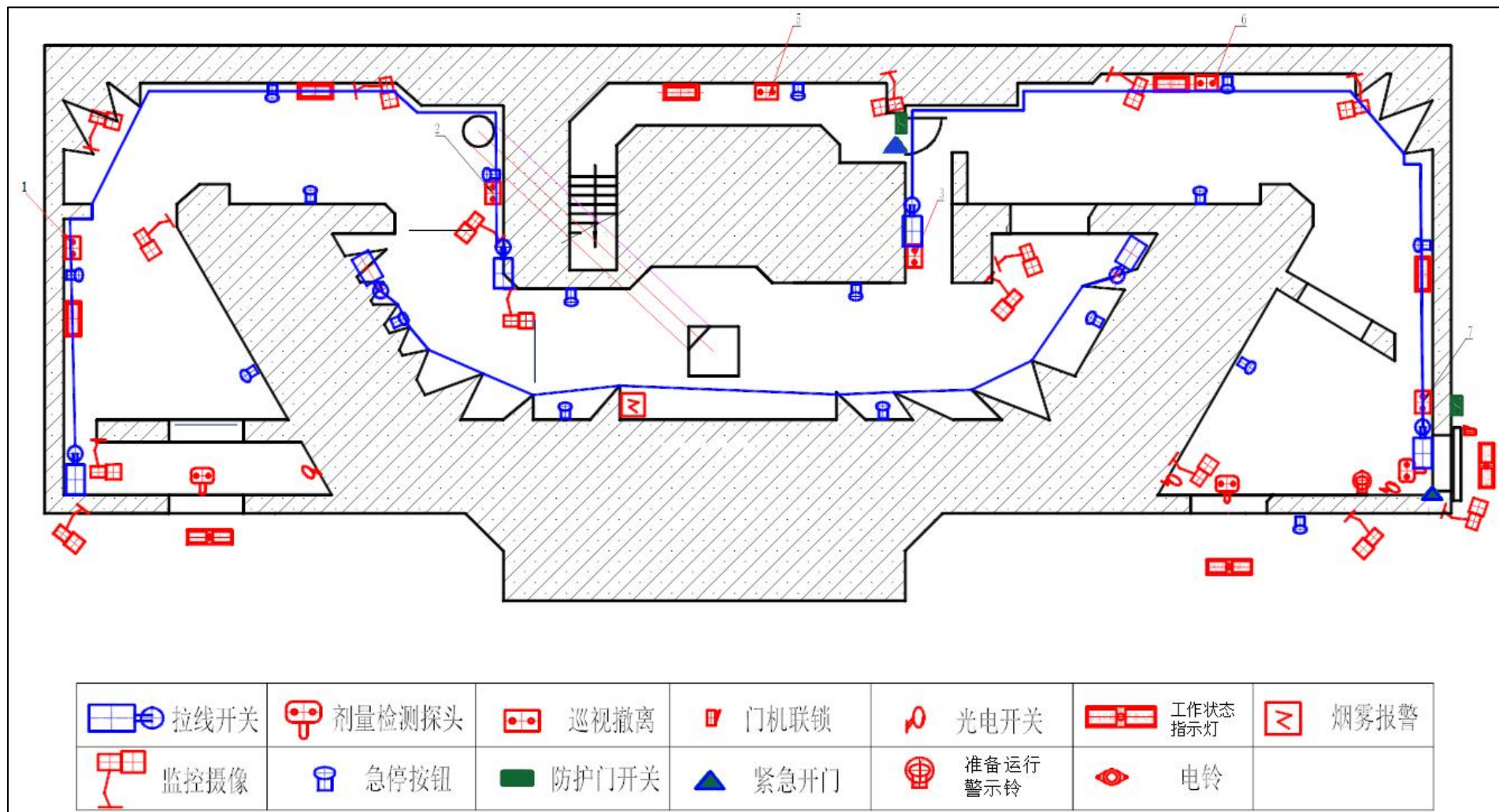


图 10-7 (1) 地上一层辐照室安全设施位置图

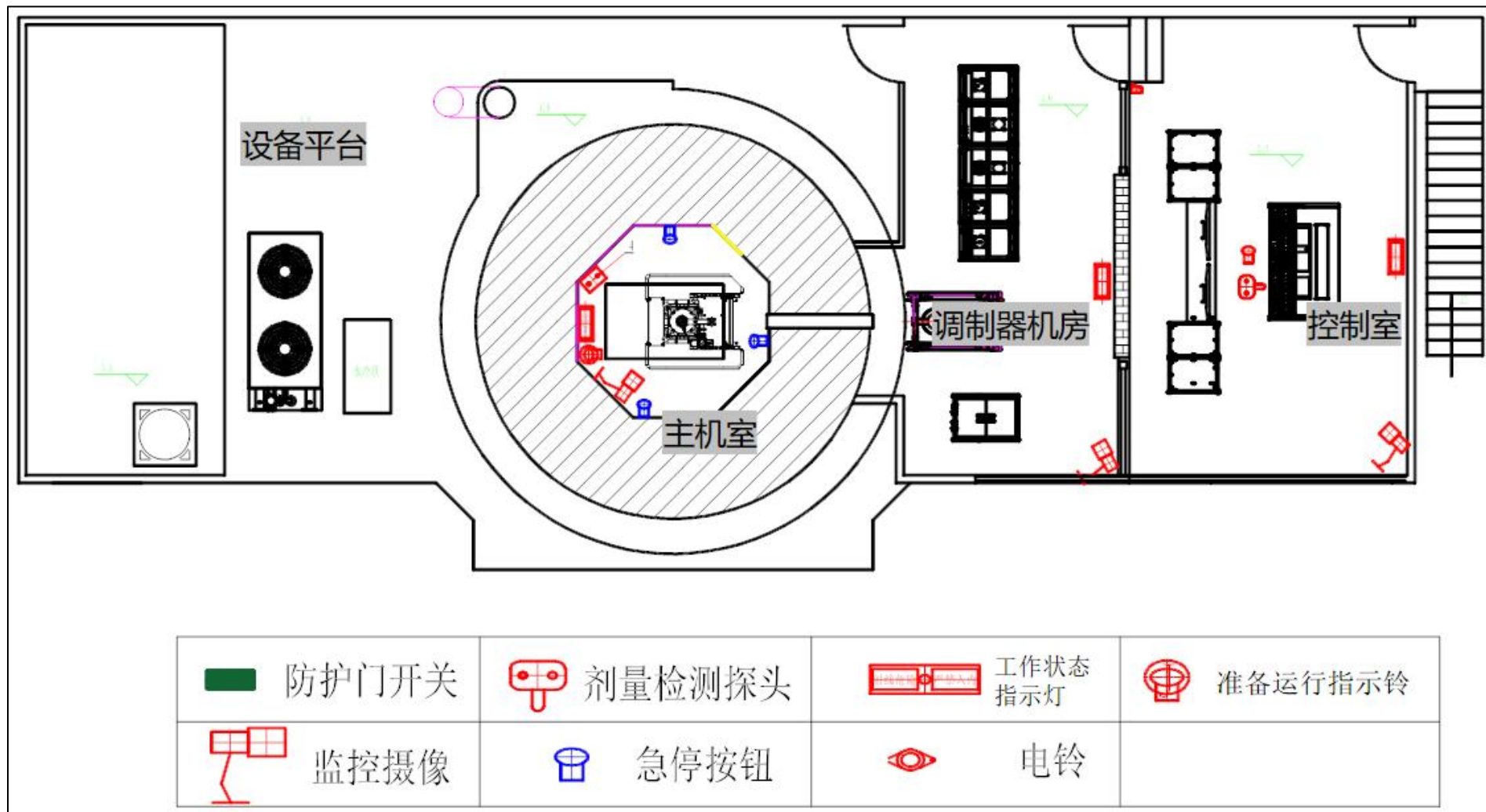


图 10-7 (2) 地上二层主机室安全设施位置图

### 10.4.3 辐射安全联锁

为确保设备的运行安全，防止电子加速器辐照装置周围相关人员误入，减少辐射安全事故的发生，本项目电子加速器辐照装置设计了多重联锁，主要有设备联锁、安全联锁和工艺联锁。

设备联锁系统为开机必备的条件，主要集成在设备平台内，主要由真空系统、过电压、过电流保护系统、水冷系统组成，其中任何一系统出现故障，电子加速器辐照装置系统无法开机；安全联锁为电子加速器辐照装置出束的必要条件，其中有防护门门机联锁、钥匙开关、光电联锁、巡检按钮联锁、急停装置、剂量检测联锁、烟雾报警联锁，用以保障本项目辐射工作人员、检修人员和公众的安全，其中任何一个联锁出现异常，电子加速器辐照装置均会立即停止出束或无法出束；工艺联锁是设备长期连续运行的必需条件，主要由通风系统、束下装置联锁组成，工艺联锁任意一个环节暂停工作，电子加速器辐照装置均立即停止出束。

本项目安全联锁和设备联锁相互关联，任何一个环节出现异常，电子加速器辐照装置均不能出束；安全联锁系统中，联锁彼此关联又相互独立，任何一个联锁出现了异常，均能够立即使电子加速器辐照装置停止出束；本项目在满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）相关要求下，还设置了场所监控系统、设备联锁多重安全措施。因此，本项目具备辐射防护设施设备的多重性、独立性、冗余性。

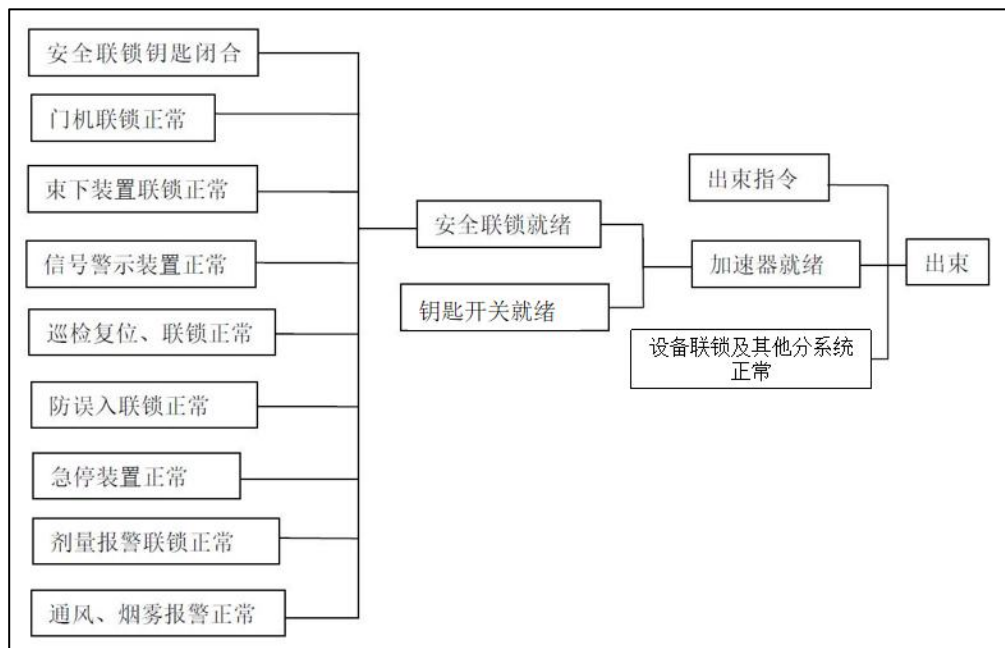


图 10-8 安全联锁逻辑图

#### 10.4.4 辐射监测设施

本项目拟配备 1 台固定式 X- $\gamma$ 剂量监测仪、1 台便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪、2 台个人剂量报警仪，并为辐射工作人员每人配备 1 个人剂量计，要求在加速器工作期间必须佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪，公司将委托第三方检测机构对本单位辐射岗位的工作人员进行个人剂量检测，定期送检，监测周期最长不超过 90 天，个人剂量档案和健康档案终身保存。

个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，可满足辐射工作人员日常工作时的辐射监测和自我防护的要求。个人剂量报警仪将设置阈值（2.5 $\mu$ Sv/h），当个人剂量报警仪报警时，辐射工作人员应立即通过急停按钮或拉线开关，切断设备高压，停止工作，同时阻止其他人进入辐照室和主机室，并立即向辐射工作负责人报告。

表 10-2 辐射监测设备一览表

序号	名称	配备情况	备注
1	个人剂量计	拟配备 4 枚	每名辐射工作人员 1 个
2	个人剂量报警仪器（带剂量显示功能）	拟配备 2 个	每班最多 2 名辐射工作人员，每人佩戴 1 个
3	便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪	拟配备 1 台	用于日常监测
4	固定 X- $\gamma$ 剂量监测仪	拟配备 1 套	在控制室、辐照室的迷道入口、货物进出口处分别安装 1 个固定 X- $\gamma$ 剂量监测仪探头，剂量显示面板安装在控制室内

#### 10.5 相符性分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）相关要求，评价建设单位相关安全措施符合性，具体评价如下表 10-3 所示。

表 10-3 与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）相符性分析

序号	（HJ979-2018）要求	设计情况	相符性
6.2(1)	钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。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；	本项目主机室需从辐照室内楼梯进入，控制室总控台上设有钥匙开关，和辐照室门联锁，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业；从主控台取出该钥匙加速器高压切断，无法出束，处于停机状态。加速器开关钥匙与辐照室门的开关钥	符合

		匙为同一把钥匙，当工作人员需要打开门进入辐照室或主机室时，该工作人员必须携带该加速器的开关钥匙。本项目钥匙开关拟与 1 台便携式辐射监测报警仪通过金属圈相连，建设单位规定只有值班长有权利使用钥匙开关。	
6.2(2)	门机连锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压连锁。辐照室门或主机室门打开时，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；	辐照室门和调制器机房门与束流控制和加速器高压连锁，均设置了 1 个限位开关，限位开关安装在门顶端，门闭合时闭合，门打开时断开。如果某一门关闭不到位时，加速器不能开启高压出束。加速器运行中，某一门有开启动作，立即切断高压，停止出束，加速器自动停机。	符合
6.2(3)	束下装置连锁。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；	加速器控制系统通过控制接口及协议文件对束下装置进行控制。可实现对束下装置进行启动/停止/方向设定/速度设置/速度获取/异常状态监控等功能。目前支持的总线接口协议包括但不限于 modbus RS485/modbus TCP/IP 等。束下装置与加速器控制系统连锁。当传输速度大于线速下限（0.5m/min）时，加速器才可出束，当速度低于线速下限（0.5m/min）时，加速器自动切断高压，停止出束。输运线因故障停止转动时，会给加速器控制系统触发信号，切断高压，电子加速器将自动停止出束。	符合
6.2(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，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室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连锁；	在控制区的出入口处（辐照室和主机室）和控制区内均设有准备运行警示铃。准备运行警示铃自带红绿闪烁灯，与加速器连锁，加速器开机时警示声音响起、红色灯闪。加速器停机时仅绿色灯亮。在加速器正式启动前，向工作区域内发出声光报警，通知人员迅速撤离。辐照室出入口处拟设置“射线危险、严禁入内”工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器高压连锁，当加速器启动时，工作状态指示灯亮起。	符合

6.2(5)	<p>巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。</p>	<p>辐照室和主机室：辐照室门口和室内沿墙位置共计 6 个巡视撤离按钮，主机室内沿墙位置共计 1 个巡检按钮，并与控制台联锁。</p> <p>加速器在开机出束前，辐射工作人员需先进入辐照室内和主机室内进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下辐照室内和主机室内的巡视巡检按钮；若中途停止或不按顺序执行，系统会提示巡视失败，加速器将不能进行出束作业，工作人员必须重新按顺序进行巡视。</p>	符合
6.2(6)	<p>防人误入装置。在主机室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；</p>	<p>辐照室迷道出入口处与人员出入口处分别设有 3 道相互独立的光电检测器。高度分别为 0.5m、1.0m、1.5m，能够完整覆盖由门进入的常规人体高度。光电检测器均与加速器联锁。当有人员误入辐照室，身体将任意一处光电检测器信号挡住后，若高压处于开启状态，将立即自动切断高压，电子加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。</p>	符合
6.2(7)	<p>急停装置。在控制台上和主机室、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。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；</p>	<p>在控制室控制台设置 1 个急停按钮；在辐照室内沿墙和门外共计安装 16 个急停按钮。在主机室内沿墙共计安装 1 个急停按钮。按下任一急停按钮，可立即切断高压，设备停止出束。</p> <p>在辐照室内南墙、迷道墙安装拉线急停开关。拉线开关高度为 1.5m，覆盖辐照室全部区域，触碰拉线，切断设备高压，设备停止出束。</p> <p>在辐照室门内侧和主机室入口门处拟安装紧急开门装置。连接电磁锁电源，按下紧急开门按钮，电磁锁断开。人员若被困辐照室内时，机房内的人员可通过紧急开门装置，实现在辐照室内的紧急开门（通过紧急开门装置打开防护门不受开关钥匙影响）。防护门打开后，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即切断高压，停止出束。</p>	符合
6.2(8)	<p>剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道</p>	<p>在控制室、辐照室的迷道入口、货物</p>	符合

	内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等连锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开；	进出口处分别安装 1 个固定 X-γ 剂量监测仪探头，剂量显示面板安装在控制室内，监测电子加速器辐照装置运行时环境剂量；固定 X-γ 剂量监测仪与辐照室出入口门连锁，当任一监测点处的周围剂量当量率超过设定阈值时（2.5μSv/h），固定 X-γ 剂量监测仪会报警，并将信号传送至控制系统，辐照室的门无法在外部打开，可在内部打开门。	
6.2(9)	通风连锁。主机室、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；	辐照室通风系统与控制系统连锁，通风系统正常工作后，加速器才能出束；在通风系统未正常工作时，加速器将无法进行出束作业。在加速器正常运行过程中，当通风系统发生故障时，加速器将立即停止出束。该通风系统控制程序设定了时间限制功能，同时接入了电磁锁控制程序，确保通风系统达到预先设定的时间（15min）后才能给电磁锁信号开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。	符合
6.2(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。	拟在辐照室内顶部安装 1 个烟雾报警装置，加速器将与火灾烟雾报警系统连锁。在加速器正常出束时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器辐照装置将切断高压，停止出束，通风系统将立即停止运行。在加速器停机状态时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器辐照装置将无法启动进行出束，通风系统将无法开启进行通风换气。	符合

通过以上列表对比分析，可知建设单位拟建设的机房可满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的辐射安全与防护的要求。建设单位应在实际运行中，应定期维护辐射安全措施，确保加速器安全运行。

## 10.6 环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，建设单位将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-4。

表 10-4 环保设施及投资估算一览表

序号	项目	投资金额（万元）
1	辐射加速器机房的土建和防护施工	*
2	辐射安全装置和保护措施（钥匙控制、门机联锁、信号警示装置、巡检按钮、急停装置等）	*
3	通风系统	*
4	个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核	*
5	辐射监测仪器、辐射工作场所及周围环境年度监测	*
合计		*

本项目总投资\*万元，环保投资\*万元，占总投资的\*。今后建设单位在核技术利用项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合建设单位实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时建设单位应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

### 10.7 三废治理

本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。本项目运行期间，主要是加速器在工作状态时机房产生一定量的臭氧和氮氧化物。

加速器在出束时会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物，氮氧化物的产额大约是臭氧的 1/3，主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响。

由于臭氧的密度大于空气，故采用下排风方式排风。排风口位于辐照室扫描窗下方，可以使加速器工作时产生的臭氧及时排出，废气最终经排风管在高出厂房屋顶 2m 处排出（排放高度约 17.8m），风机排风量为 8000m<sup>3</sup>/h，加速器运行期间风机一直保持运行，停机后还将以最大排风量继续运行 15min，辐照室内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气通过排风管道排出外环境，臭氧排入环境大气后，在常温下可自行分解成氧气，对周围影响较小。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目预计主体施工期约 2 个月。由于施工过程中有施工机械噪声、施工扬尘、建筑废渣弃土产生，施工期对项目所在的周围环境质量会有一些影响。

#### (1) 施工噪声

施工噪声主要来源于搅拌机、振捣棒、电锯等施工机具和原材料，其声源强度一般为 70-90dB (A)，混凝土浇灌振捣噪声高达 100dB (A) 以上。所以施工噪声对建设项目本身及周围声环境影响较大。施工单位应按有关规定合理安排进度和工序，夜间停止使用高噪声机具，以减小施工噪声对周围环境的影响。

#### (2) 施工扬尘

施工扬尘主要来自施工作业过程和建筑材料运输，对周围环境空气质量有一定影响。建材运输要尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛撒，及时清扫场地路面渣土，适时洒水降尘，减少施工扬尘对周边环境空气质量的影响。

#### (3) 施工废水

本项目施工期污水主要为施工机械设备清洗用水以及施工人员的生活污水。清洗用水经沉淀后用于场地洒水抑尘等。生活污水依托园区现有化粪池预处理后纳入市政污水管网。

#### (4) 施工固体废弃物

施工过程中，对暂时堆放在工地上的建筑垃圾，应集中存放，并加以覆盖。对于多余的建筑垃圾应采用专用车运输至指定的地点进行处置，严禁随意倾倒。因此，施工期间的固体废弃物不会对周围环境产生影响。

#### (5) 施工过程的屏蔽墙混凝土浇筑要求

土建施工必须符合《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010) 的要求。加速器辐照室混凝土施工过程中，对混凝土剪力墙及屋面屏蔽墙混凝土浇筑应连续整体灌注，避免间断性施工作业，不留施工缝，防止屏蔽墙出现缝隙和气泡等现象，以防出现射线外泄；加速器辐照室地面也要为混凝土地坪；内外墙由水泥砂浆粉刷。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 感生放射性环境影响分析

一般而言，加速器的结构材料、冷却水、辐照室内的空气受到辐射的照射会引起感生放射性，其辐射水平取决于加速粒子的能量、种类、流强、被辐照的材料性质、加速器的运行时间等多种因素。根据 GBZ121 中 7.1 “对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护”及 HJ 979 中 4.2.2 “能量不高于 10MeV 的电子束和能量不高于 5MeV 的 X 射线，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题”。本项目工业电子辐照加速器的最大能量为 10MeV，电子束无法直接引起感生放射性。感生放射性风险主要考虑由中子活化引起，因此不考虑感生放射性。

因此加速器产生的主要污染因素是韧致电离辐射产生的 X 射线及电离产生的臭氧等。本项目为室内辐射作业，通过剂量估算评价职业人员和公众人员受照剂量是否超过国家标准要求。根据工程分析，电子加速器辐照装置正常工况下主要污染物见表 11-1。

表 11-1 加速器正常工况下主要污染物产生情况

射线装置	污染辐射类型	废气
工业电子辐照加速器	韧致辐射产生的 X 射线	臭氧、氮氧化物

### 11.2.2 X 射线辐射影响分析

由于本项目目前处于设计阶段，加速器尚未投入运行，故本评价采用理论计算方法，预测加速器运行产生的 X 射线辐射影响。

#### (1) 源项分析

本项目工业电子加速器运行时，电子束出束方向竖直向下，在辐照室内电子束可能轰击的物质主要有：①传输导轨（不锈钢）；②辐照产品：食品、医疗耗材、无纺布；③混凝土地面等。

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X 射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致 X 射线的发射率也不相同。对于食品、医疗耗材、无纺布、混凝土而言，不锈钢 Z 值大，X 射线发射率也较高，因此本报告保守选取不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

根据设备厂家提供的参数，见附件 6，本项目加速器参数见下表。

表 11-2 本项目加速器设备参数

型号	DZ-10/20
厂家	舟山雷大电子科技有限公司
电子束能量	10MeV
束流损失点能量	3MeV
束流损失率	2%
电子数入射到高 Z 厚靶 (Z>73) 上， 在距靶 1 米处的 X 射线发射率	0°方向 (竖直向下): 450Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> 90°方向: 13.5Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
最大束流功率	20kW
最大束流强度	2mA
电子束扫描宽度	300~800mm
主射束方向	垂直向下
照射剂量均匀性	≤±5%
加速器工作方式	连续

#### a.辐照室源项分析

考虑初级及散射 X 射线能量相差较大，一层辐照室屏蔽墙体外辐射环境主要考虑初级 X 射线，忽略次级及多次散射 X 射线的贯穿透射影响。辐照室迷道口的辐射防护屏蔽评价考虑初级 X 射线贯穿屏蔽墙体后的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线的叠加影响。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)，距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率  $D_{10}$ ，按附录 A 公式计算，见式 11-1：

$$D_{10}=60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

Q——X 射线发射率 (Gy·m<sup>2</sup>·mA<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)；

I——电子束流强度 (mA)；

$F_e$ ——X 射线发射率修正系数。

对于工业电子加速器辐照装置，考虑侧向 (相对电子束 90° 方向) X 射线的屏蔽时，应将 90° 等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 中表 A.4，保守取当入射电子能量为 10MeV 时，90 度方向等效入射电子能量为 6MeV。

根据式 11-1 可计算出本项目电子加速器辐照装置辐照室源项取值，详见表 11-3。

表 11-3 辐照室钨致辐射源项取值

场所	电流 (mA)	方向	修正系数 <sup>1</sup>	距靶1m处的X射线发射率常数 <sup>2</sup> (Gy·m <sup>2</sup> /(mA·min))	D <sub>10</sub> (Gy/h)
地上一层 辐照室	2	90°	0.5	13.5	810

注:

- 1、被辐照的靶材料为“铁、铜”时，90°方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。
- 2、本项目加速器最大电子束能量为 10MeV，参考（HJ 979-2018）中附录 A 表 A.1 可知当入射电子能量为 10MeV 时，电子束入射到高 Z 厚靶（ $Z > 73$ ）上，在侧向 90° 方向距靶 1 米处的 X 射线发射率为  $13.5 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

### b.主机室源项分析

根据设备厂家提供的资料，尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失产生的束流损失辐射场。主机室束流损失率为 2%（0.04mA），束流损失点能量为 3MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中附录 A 表 A.4，保守取当入射电子能量为 3MeV 时，90 度方向等效入射电子能量为 1.9MeV。

根据式 11-1 可计算出本项目工业电子加速器主机室源项取值，见表 11-4。

表 11-4 主机室钨致辐射源项取值

场所	电流 <sup>1</sup> (mA)	方向	修正系数 <sup>2</sup>	距靶 1m 处的 X 射线发射率常数 <sup>3</sup> (Gy·m <sup>2</sup> /(Gy·m <sup>2</sup> /(mA·min)))	D <sub>10</sub> (Gy/h)
地上二层 主机室内	0.04	90°	0.5	3.2	3.84

- 1.根据厂家提供资料，主机室束流损失率 2%： $2 \times 2\% \text{mA} = 0.04 \text{mA}$ 。
- 2.被辐照的靶材料为“铁、铜”时，90°方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。
- 3.根据厂家提供资料，束流损失点能量为 3MeV，主机室束流损失率 2%（0.04mA），束流损失点能量为 3MeV，参考（HJ 979-2018）中附录 A 表 A.1 可知当入射电子能量为 3MeV 时，电子数入射到高 Z 厚靶（ $Z > 73$ ）上，在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为  $3.2 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

### (2) 关注点的选取及估算结果

本项目工业电子辐照加速器机房分为二层，辐照室位于地上一层，加速器主机安装在地上二层主机室内，电子束通过加速管引向地上一层的辐照室内。

根据本项目 X 射线的产生原理，入射高速电子与传输装置钢靶原子核作用，突然受阻减速时产生的具有连续波长（或能量）的 X 射线，产生的 X 射线向四周各个方向照射。

正常出束情况下，主机室和辐照室和无人员居留。由于主机室顶棚与电子束方向呈 180° 方向，该方向上 X 射线还会受到加速器钢筒屏蔽，且加速器开机时主机室顶棚上

方均无人到达。

综合考虑人员可达区域，对比分析屏蔽体随距离加厚区域（如侧墙不同厚度段），优先考虑屏蔽体最薄点，在辐照室和主机室屏蔽墙 30cm 外，选取有代表性的关注点预测分析，关注点分布图见图 11-1。

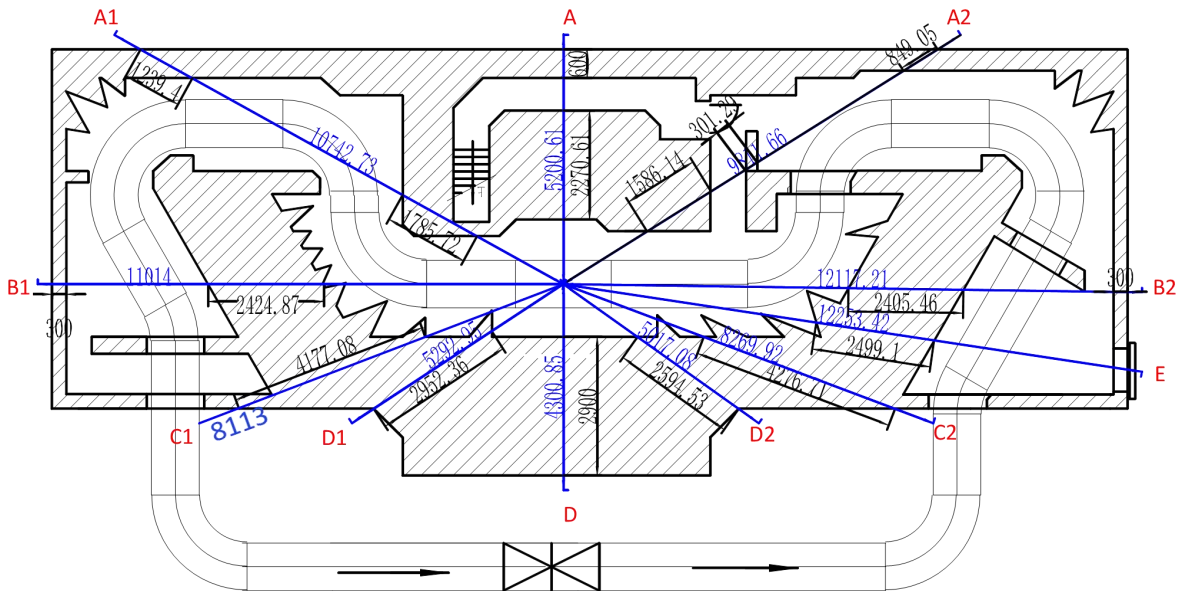


图 11-1 (1) 辐照室外目标关注点 (平面图)

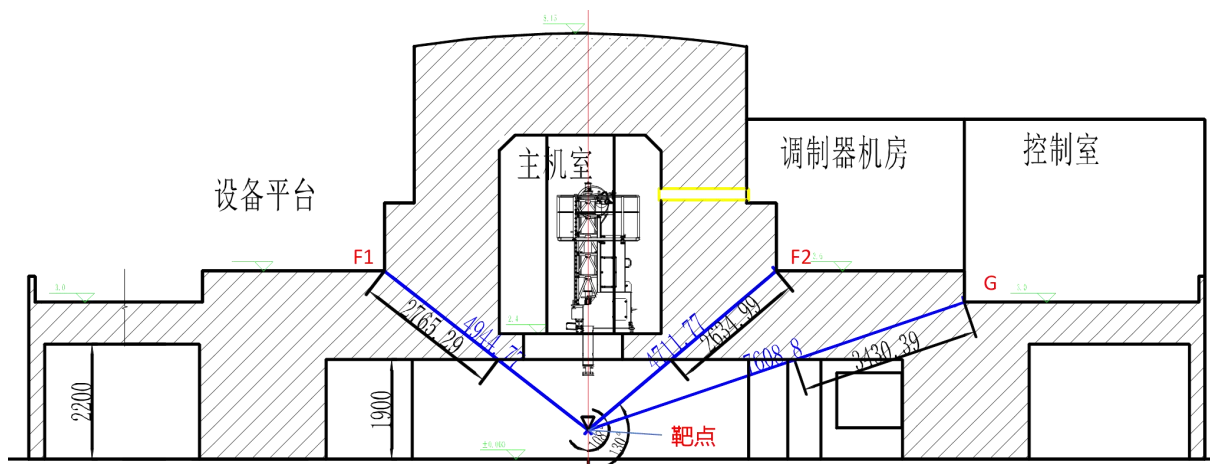


图 11-1 (2) 辐照室目标关注点 (剖视图, 西南—东北方向)

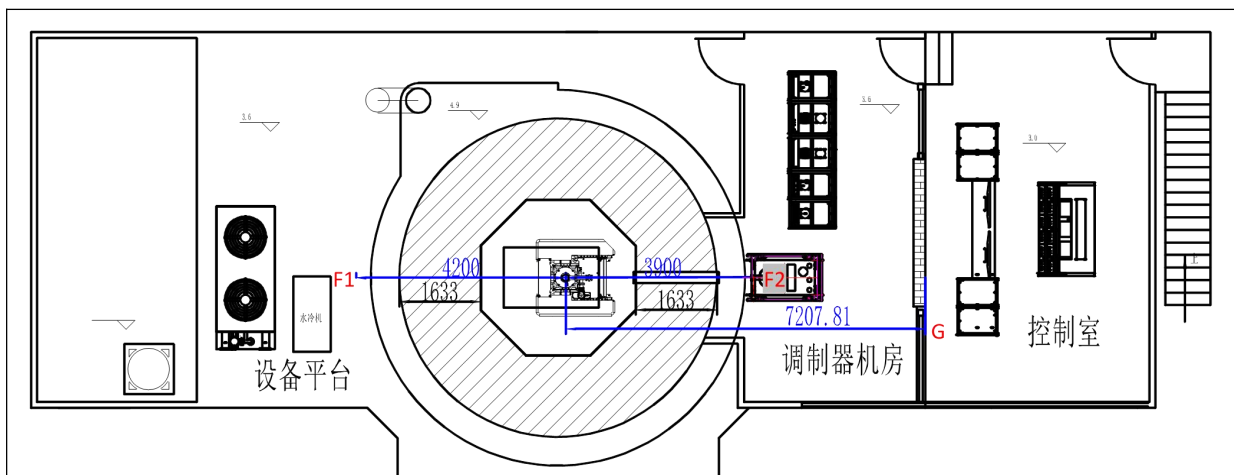


图 11-1 (3) 主机室目标关注点 (剖视图, 西南—东北方向)

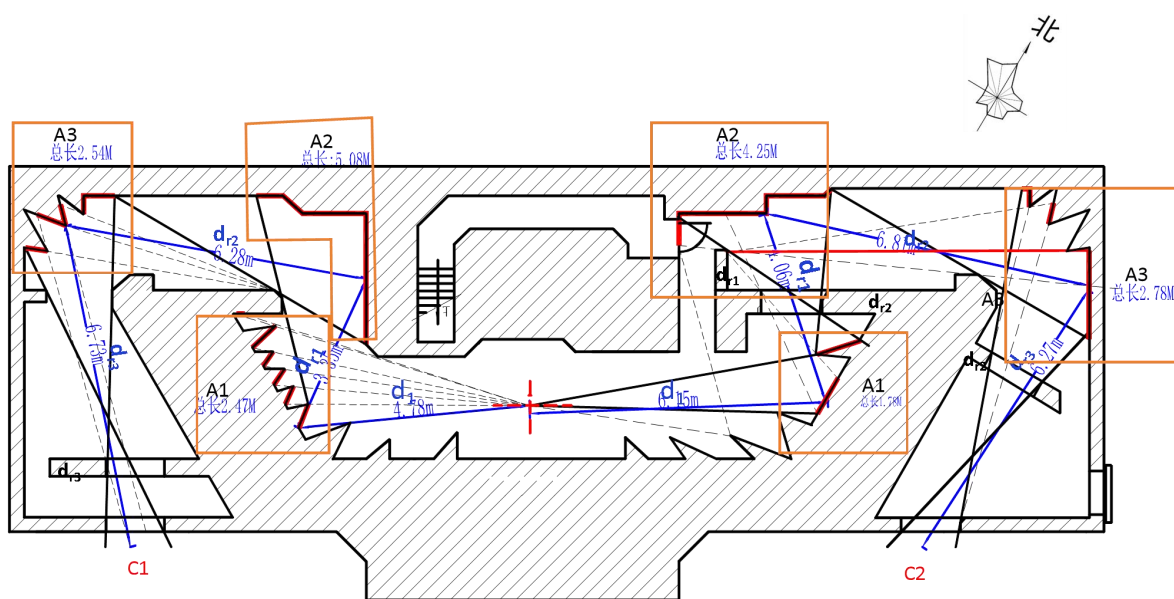


图 11-2 (1) 辐照室散射路径示意图 (平面图)

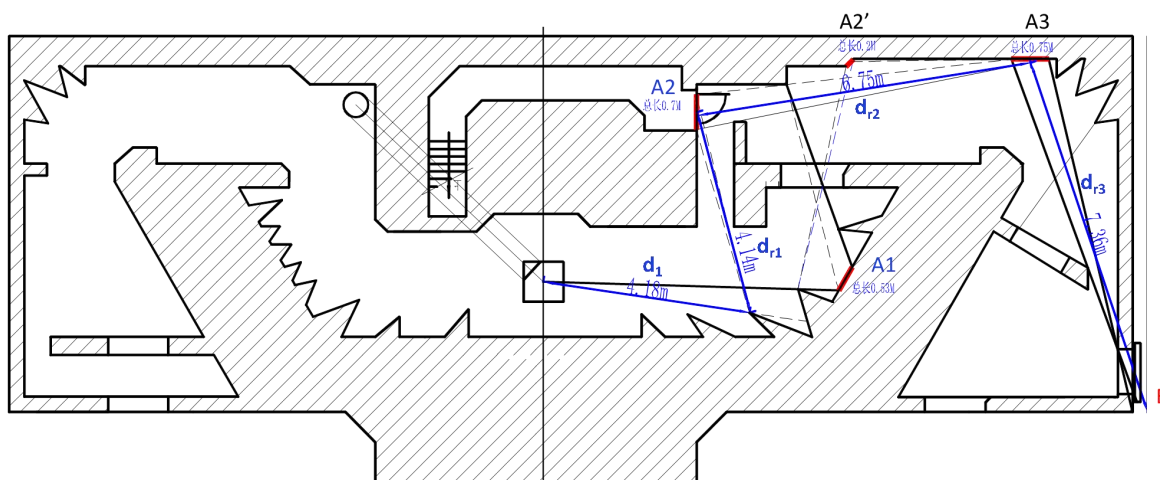


图 11-2 (2) 辐照室散射路径示意图 (平面图)

一层辐照室屏蔽墙体外辐射环境受韧致辐射初级 X 射线和一次散射 X 射线影响，由于韧致辐射初级 X 射线的能量为 6MeV，一次散射 X 射线能量为 0.5MeV，因此屏蔽墙体外辐射环境主要考虑初级 X 射线，忽略一次散射 X 射线的影响。辐照室迷道口与防护门处的辐射防护屏蔽评价考虑初级 X 射线贯穿屏蔽墙体后的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线的叠加影响。

二层主机室内的辐射场由三部分叠加：①一层辐照加速器机房内与入射电子束成 108° 至 130° 方向的韧致辐射初级 X 射线，经辐照加速器机房屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；②一层辐照加速器机房内的 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面 180° 方向散射后的次级 X 射线，通过辐照加速器机房屋顶上的孔洞直接照射入主机室内形成的散射辐射场；③尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的束流损失辐射场。由于沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线能量较低，且会受到加速器底部钢筒屏蔽，因此为简化计算，二层主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内的贯穿辐射场和束流损失辐射场。与一层辐照加速器机房相同，二层主机室屏蔽墙体处防护评价考虑贯穿辐射场和束流损失辐射场的透射叠加影响。

表 11-5 关注点处射线种类一览表

关注点		射线种类	射线能量
一层辐照室	各侧屏蔽墙体外 30cm	辐照室侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线	6MeV
	货物出口外 30cm (C1)、货物进口外 30cm (C2)、防护门外 30cm (E)	辐照室侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线	6MeV
		辐照室多次散射 X 射线	0.5MeV
二层主机室	设备平台 (F1)、调制器机房 (F2)、控制室 (G)	辐照室内与入射电子束成 108° 到 130° 方向的韧致辐射初级 X 射线（保守按侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线计算）	6MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	1.9MeV

### ①直射 X 射线

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 中的相关计算公式，本项目关注点直射 X 射线计算公式见式 11-2。

$$\dot{H}_M = \frac{D_{10}TB_X}{d^2} \quad (\text{式 11-2})$$

其中， $D_{10}$  为辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )；

T 为居留因子，保守估算取 1；

$B_x$  为 X 射线的屏蔽透射比；

d 为 X 射线源与参考点之间的距离 (m)；

$H_M$  为参考点处辐射剂量率；

$$B_X = 10^{-[(S+T_e-T_1)/T_e]} \quad (\text{式 11-3})$$

其中，S 为屏蔽体厚度；

$T_1$  为在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层；

$T_e$  为平衡十分之一值层；

**辐照室十分之一值层：**《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中表 A.4，保守取当入射电子能量为 10MeV 时，90 度方向等效入射电子能量为 6MeV，查《辐射防护导论》图 3.22，可得混凝土的第一个十分之一值层取  $T_1=34\text{cm}$ ，平衡十分之一值层  $T_e=34\text{cm}$ 。

**主机室十分之一值层：**《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中表 A.4，保守取当入射电子能量为 3MeV 时，90 度方向等效入射电子能量为 1.9MeV，根据表 A.2 及 A.3，保守取混凝土的第一个十分之一值层取  $T_1=22.1\text{cm}$ ，平衡十分之一值层  $T_e=20.1\text{cm}$ 。

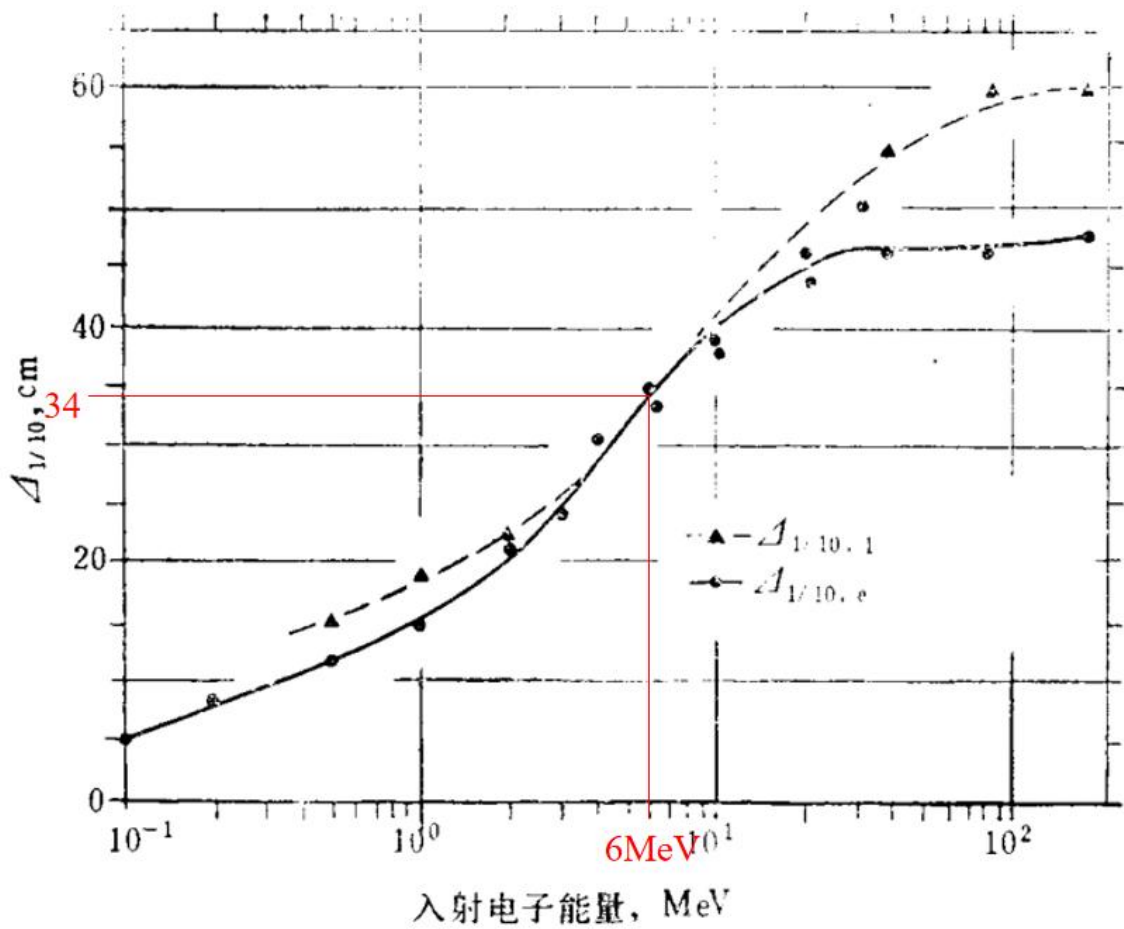


图3.22 混凝土对宽束X射线的剂量当量指数的十倍减弱厚度

图 11-3 宽束 X 射线在混凝土中的什值层

表 11-6 (1) 直射 X 射线导致周围关注点剂量估算结果

计算点位		屏蔽墙体厚度 (cm)	D <sub>10</sub> (μGy/h)	T <sub>1</sub> (cm)	T <sub>e</sub> (cm)	透射系数 B <sub>x</sub>	距离 d(m)	关注点剂量率 (μSv/h)
辐照室	辐照室北侧屏蔽墙外 30cm (A)	287.06	8.10E+08	34	34	3.61E-09	5.20	1.08E-01
	辐照室北侧屏蔽墙外 30cm (A1)	302.51	8.10E+08	34	34	1.27E-09	10.74	8.89E-03
	辐照室北侧屏蔽墙外 30cm (A2)	273.64	8.10E+08	34	34	8.95E-09	9.84	7.48E-02
	辐照室西侧屏蔽墙外 30cm (B1)	272.49	8.10E+08	34	34	9.68E-09	11.01	6.47E-02
	辐照室东侧屏蔽墙外 30cm (B2)	270.55	8.10E+08	34	34	1.10E-08	12.12	6.08E-02
	辐照室南侧货物出口外 30cm (C1)	417.71	8.10E+08	34	34	5.18E-13	8.11	6.38E-06
	辐照室南侧货物进口外 30cm (C2)	427.67	8.10E+08	34	34	2.64E-13	8.27	3.13E-06
	辐照室南侧屏蔽墙外 30cm (D)	290.00	8.10E+08	34	34	2.96E-09	4.30	1.29E-01
	辐照室南侧屏蔽墙外 30cm (D1)	295.24	8.10E+08	34	34	2.07E-09	5.29	6.00E-02
	辐照室南侧屏蔽墙外 30cm (D2)	259.45	8.10E+08	34	34	2.34E-08	5.02	7.52E-01
	辐照室东侧防护门外 30cm (E)	249.91	8.10E+08	34	34	4.46E-08	12.25	2.41E-01
	设备平台 (F1)	276.53	8.10E+08	34	34	7.36E-09	4.94	2.44E-01
	调制器机房 (F2)	263.50	8.10E+08	34	34	1.78E-08	4.71	6.49E-01
控制室 (G)	343.04	8.10E+08	34	34	8.14E-11	7.61	1.14E-03	
主机室	设备平台 (F1)	163.30	3.84E+06	22.1	20.1	5.97E-09	4.20	1.30E-03
	调制器机房 (F2)	163.30	3.84E+06	22.1	20.1	5.97E-09	3.90	1.51E-03
	控制室 (G)	163.30	3.84E+06	22.1	20.1	5.97E-09	7.21	4.41E-04
<p>1.关注点 F1、F2、G 主要由两部分叠加：第一部分为地上一层辐照室内与入射电子束成&gt;90° 方向的初级 X 射线。第二部分为尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失产生的束流损失辐射场。</p> <p>2.对比分析屏蔽体随距离加厚区域（如侧墙不同厚度段），本项目优先考虑屏蔽体最薄点作为关注点。</p>								

结合上表计算结果，F1、F2、G 关注点考虑辐照室内产生的 X 射线与主机室内束流损失产生的 X 射线叠加。

设备平台（F1）的直射 X 射线辐射剂量率为：2.44E-01+1.30E-03=2.46E-01μSv/h；

调制器机房（F2）的直射 X 射线辐射剂量率为：6.49E-01+1.15E-03=6.51E-01μSv/h；

h；

控制室（G）的直射 X 射线辐射剂量率为：1.14E-03+4.41E-04=1.58E-03μSv/h。

## ② 散射 X 射线

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中的相关计算公式，本项目关注点散射 X 射线计算公式见式 11-4。

$$H_0 = \frac{D_{10} a_1 A_1 (a_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 d_{r1} d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \quad (\text{式 11-4})$$

式中， $a_1$  为入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，取  $5 \times 10^{-3}$ ；

$a_2$  为以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数，取  $2 \times 10^{-2}$ ；

$A_1$  为 X 射线入射到第一散射物质的散射面积；

$A_2$  为迷道的截面积；

$d_1$  为 X 射线源与第一散射物质的距离；

$d_{r1}, d_{r2} \cdots d_{rj}$  为沿着迷道长轴的中心线距离；

$j$  为第  $j$  个散射过程。

表 11-6（2） 散射 X 射线导致周围关注点剂量估算结果

计算点位	辐照室南侧货物出口外 30cm (C1)	辐照室南侧货物进口外 30cm (C2)	辐照室东侧防护门外 30cm (E)
$D_{10}(\mu\text{Gy/h})$	8.10E+08	8.10E+08	8.10E+08
$a_1$	5E-03	5E-03	5E-03
$a_2$	2E-02	2E-02	2E-02
$A_1(\text{m}^2)$	2.47*1.9=4.693	1.78*1.9=3.3	0.63*1.9=1.197
$A_2(\text{m}^2)$	5.08*1.9=9.652	4.25*1.9=8.075	(0.7+0.2)*1.9=1.71
$A_3(\text{m}^2)$	2.54*2.2=5.588	2.78*2.2=6.116	0.75*2.2=1.65
$d_1(\text{m})$	4.78	6.	4.18
$d_{r1}(\text{m})$	3.35	4.06	4.14

$dr_2(m)$	6.28	6.81	6.75
$dr_3(m)$	6.73	6.27	7.63
散射次数 j	3 次	3 次	3 次
关注点剂量率 ( $\mu Sv/h$ )	8.95E-01	2.38E-01	6.89E-03
注：辐照室内高 1.9m，迷道的高度为 2.2m。			

### ③关注点周围剂量当量率

屏蔽体外 30cm 处关注点总辐射剂量率见下表。

表 11-7 屏蔽体外 30cm 处关注点总辐射剂量率估算结果

计算点位		直射X射线 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射辐射 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点总辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
辐照室及主机室屏蔽体外表面 30cm 及辅助机房	辐照室北侧屏蔽墙外 30cm (A)	1.08E-01	/	1.08E-01
	辐照室北侧屏蔽墙外 30cm (A1)	8.89E-03	/	8.89E-03
	辐照室北侧屏蔽墙外 30cm (A2)	7.48E-02	/	7.48E-02
	辐照室西侧屏蔽墙外 30cm (B1)	6.47E-02	/	6.47E-02
	辐照室东侧屏蔽墙外 30cm (B2)	6.08E-02	/	6.08E-02
	辐照室南侧货物出口外 30cm (C1)	6.38E-06	8.95E-01	8.95E-01
	辐照室南侧货物入口外 30cm (C2)	3.13E-06	2.38E-01	2.38E-01
	辐照室南侧屏蔽墙外 30cm (D)	1.29E-01	/	1.29E-01
	辐照室南侧屏蔽墙外 30cm (D1)	6.00E-02	/	6.00E-02
	辐照室南侧屏蔽墙外 30cm (D2)	7.52E-01	/	7.52E-01
	辐照室东侧防护门外 30cm (E)	2.41E-01	6.89E-03	2.48E-01
	设备平台 (F1)	2.46E-01	/	2.46E-01
	调制器机房 (F2)	6.51E-01	/	6.51E-01
	控制室 (G)	1.58E-03	/	1.58E-03

注：主机室南侧墙体外 30 厘米处属无人可及区域。

由上表可知，本项目加速器正常运行时，一层辐照室屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为  $8.95\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，不超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。二层主机室屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为  $6.51\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，不超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述，建设单位按照加速器机房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，可满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中规定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的要求。

### （3）天空反散射的影响

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A3.2.1，在现有屏蔽条件下通过天空反散射在周围形成的剂量率为：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} \left( B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3} \right)}{(d_i d_s)^2} \quad (\text{式 11-5})$$

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；

$\Omega$ ——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 P 点的距离（m），本项目取 14.28m。

$$\Omega = 4 \arctan[(a*b)/(c*d)] \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

$a$ ——屋顶长度的一半，m；屋顶长 6.37m。

$b$ ——屋顶室宽度的一半，m；屋顶宽 6.35m。

$c$ ——靶到屋顶表面的距离，m；根据建设单位提供资料，辐照室靶到屋顶表面的距离  $c$  为 7.6m，主机室靶到屋顶表面的距离  $c$  为 5.27m。

$d$ ——靶到辐照室顶棚边缘的距离，m；

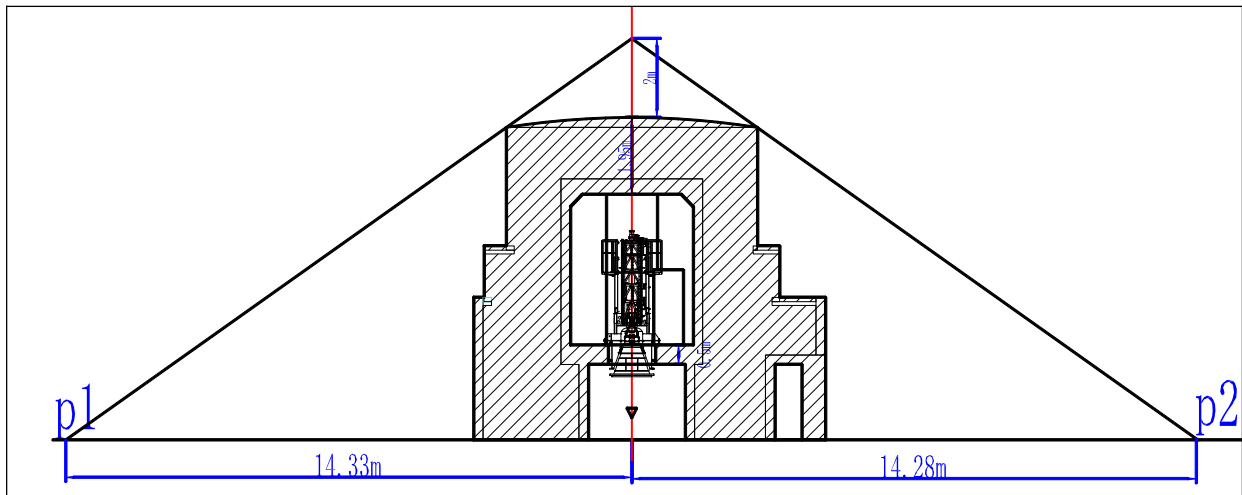


图 11-4 天空反散射示意图

对于二层屋顶，需要综合考虑辐照室和主机室辐射对机房外地面公众（P2 点）的剂量贡献（如图 11-4 所示）。

预测点位天空反散射计算结果见表 11-8。如关注点 P2，需要考虑其天空反散射。主机室屋顶长度的一半  $a$  为 3.185m，宽度的一半  $b$  为 3.175m，辐照室靶到屋顶表面的距离  $c$  为 7.6m，主机室靶到屋顶表面的距离  $c$  为 5.27m，辐照室靶到屋顶边缘的距离  $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$  为 8.83m，主机室靶到屋顶边缘的距离  $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$  为 6.93m。

表 11-8 天空反散射计算参数及结果

位置	D10( $\mu\text{Gy/h}$ )	di(m)	ds(m)	$\Omega$ (Sr)	屏蔽材料及厚度	T <sub>i</sub> (cm)	Te(cm)	B	H ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
辐照室	8.10E+08	9.6	14.28	0.6	244cm 厚混凝土	34	34	6.66E-08	3.69E-05	3.69E-05
主机室	3.84E+06	7.27	14.28	1.08	194cm 厚混凝土	22.1	20.1	2.80E-10	2.76E-09	

根据以上计算结果可知，设备运行时由于天空反散射引起地面剂量率水平为  $3.69\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ ，本项目电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射对机房周围的辐射环境影响很小。

### (3) X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

根据建设单位提供的资料，本项目评价范围内的 17# 厂房为两层建筑，建筑高度为 9.3m；18# 厂房至 19# 厂房则为四层建筑，建筑高度均为 21.4m；21# 厂房至 22# 厂房均为单层建筑，建筑高度均为 13m；根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A.3.2.3 “当加速器近邻有高层建筑时，则 X 射线通过屋顶后侧向散射对建筑物造成辐射影响”。本项目在 50m 评价范围内 18# 厂房楼层多且离加速机房近，因此保守以 18# 厂房作为计算对象进行估算。

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \left[ \frac{(t-T_1)}{T_e} \right]}} \quad (\text{式 11-7})$$

H——X 射线侧向散射周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$D_{10}$ ——靶上方 1 米处 X 射线的吸收剂量率， $\text{Gy/h}$ ；

F——靶上方 1 米处照射野的面积， $\text{m}^2$ ；

$f(\theta)$ ——由 HJ979 表 A.5 中给出的 X 射线的角度分布函数， $\text{m}$ ；

$d_R$ ——从屋顶上方束流中心到关注点的距离， $\text{m}$ ；

t——屋顶的厚度， $\text{m}$ 。

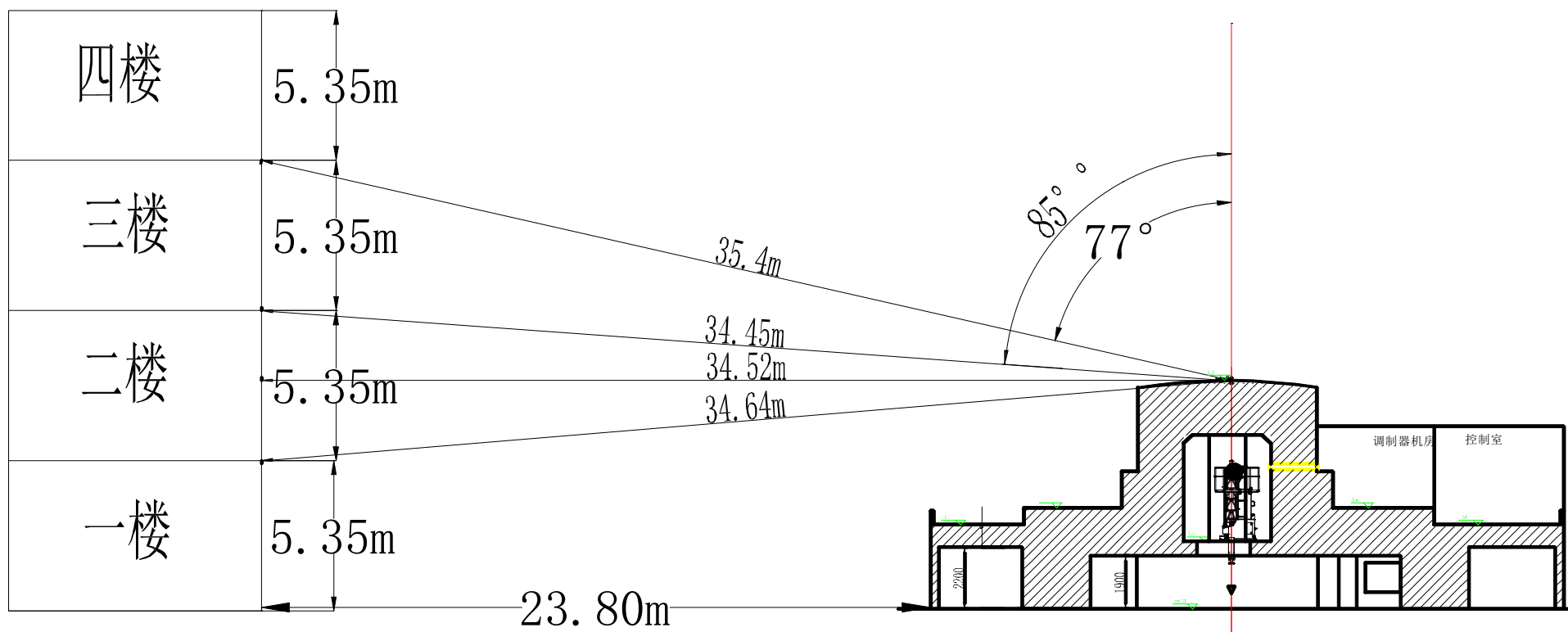


图 11-5 X 射线的侧向散射示意图

表 11-9 X 射线的侧向散射对不同楼层的计算参数及结果一览表

场所	楼层名称	高度	$D_{10}(\mu\text{Gy/h})$	$F(\text{m}^2)$	$f(\theta)$	$dR(\text{m})$	$t(\text{m})$	$T_1(\text{m})$	$T_e(\text{m})$	透射因子 B	$H(\mu\text{Sv/h})$	是否小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$
辐照室	3 楼	5.35	8.10E+08	0.202	0.005	34.45	2.44	0.34	0.34	6.66E-08	4.59E-05	是
	4 楼	5.35	8.10E+08	0.202	0.035	35.4	1.94	0.34	0.34	1.97E-06	1.67E-02	是
主机室	3 楼	5.35	3.84E+06	7.936	0.005	34.45	2.44	0.22	0.201	9.12E-13	1.17E-10	是
	4 楼	5.35	3.84E+06	7.936	0.035	35.4	1.94	0.22	0.201	2.80E-10	4.43E-07	是
注： 1.辐照室 F 保守取束流出口面积，主机室 F 保守取主机室天花板面积（不包含迷道）。 2.主机室顶棚为 1906.7mm—1950mm 混凝土，辐照室顶棚为 500mm—1700mm 混凝土。												

根据表 11-9，本项目工业电子辐照加速器投入运行后，X 射线侧向散射产生的 3~4 楼周围剂量当量率最大为 1.67E-02 $\mu\text{Sv/h}$ 。

### 11.2.3 人员受照剂量估算

根据关注点辐射剂量率估算结果，保守根据各方向的最大剂量，按照“辐射剂量率与距离的平方成反比”，估算评价范围内各方向保护目标的受照剂量率，按照下式对工作人员及公众的年受照剂量进行估算：

$$H=H_0 \times r_g^2 / r_b^2 \quad (\text{式 11-8})$$

$$E=H \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-9})$$

式中：

H——计算点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

E——保护目标的受照剂量， $\text{mSv/a}$ ；

T——居留因子，居留因子的选取参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)附录 A；

t——年照射时间， $\text{h/a}$ 。

#### (1) 辐射工作人员受照剂量估算

根据建设单位提供资料，本项目拟配备辐射工作人员 4 人，分为两组，每组 2 名辐射工作人员，包括运行值班长 1 人、操作人员 1 人。本项目加速器每天连续出束 8h，年工作 250 天，加速器年运行出束时间为 2000h。此外本项目拟配备 4 名搬运工人，搬运工人工作在上货区、下货区。

本项目电子加速器运行时，对工作人员影响的区域主要在二层的控制室，但辐射工作人员在加速器运行时可能会前往加速器机房周围进行巡视，为保守估计，本次取机房周围理论计算结果中的最大值进行预测，居留因子取 1，估算结果详见下表。

表 11-10 辐射工作人员年有效剂量估算

关注点	周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年受照时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
控制室	1.58E-03	1000	1	1.58E-03
机房周围巡视	8.95E-01	1000	1	8.95E-01

根据 2025 年年剂量检测评价报告和 2026 年第一季度（2026 年 1 月 1 日~2026 年 3 月 31 日）个人剂量检测报告（附件 12），从原有项目调配的 3 名辐射工作人员的个人剂量检测值和年受照剂量值如下表所示。

表 11-11 本项目原有的 3 名辐射工作人员在现有项目中的个人剂量检测值及累计年受照剂量  $\text{mSv}$

序号	姓名	2025 年度			2026 年度	累计
		第二季度	第三季度	第四季度	第一季度	
1	梁鑫泳	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
2	欧阳剑平	0.03	0.10	0.14	0.03	0.30
3	洪顺南	0.03	0.13	0.15	0.03	0.34

根据上文计算结果，可知本项目的辐射工作人员的最大总年受照剂量为 1.235mSv。本项目辐射工作人员年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

### （2）邻近区域公众受照剂量估算

根据公式（11-9），本项目辐照加速器机房邻近区域公众成员年有效剂量估算情况见表 11-12。

(2) 公众受照剂量估算

表 11-12 本项目公众年有效剂量一览表

序号	计算点	方向	距离主机室/辐照室最近距离(m)	rg(m)	rb(m)	H <sub>0</sub> (关注点处)( $\mu$ Sv/h)	H(计算点)( $\mu$ Sv/h)	居留因子	年受照时间(h)	年有效剂量(mSv/a)
1	调制器机房	东侧	相邻	0.3	0.3	6.51E-01	6.51E-01	1/40	2000	3.26E-02
2	未辐照区	东侧	4.0	0.3	4.0	6.08E-02	3.42E-04	1	2000	6.84E-04
3	产业园室外道路	东侧	28	0.3	28	6.08E-02	6.98E-06	1/40	2000	3.49E-07
4	上货区与下货区	南侧	2.0	0.3	2.0	8.95E-01	2.01E-02	1	2000	4.03E-02
5	已辐照区	南侧	5.0	0.3	5.0	8.95E-01	3.22E-03	1	2000	6.44E-03
6	产业园室外道路	南侧	14	0.3	14	8.95E-01	4.11E-04	1/40	2000	2.05E-05
7	冷库	西侧	相邻	0.3	0.3	6.47E-02	6.47E-02	1/16	2000	8.09E-03
8	设备平台	西侧	相邻	0.3	0.3	2.46E-01	2.46E-01	1/40	2000	1.23E-02
9	产业园室外道路	西侧	13	0.3	13	6.47E-02	3.45E-05	1/40	2000	1.72E-06
10	17#厂房	西侧	23	0.3	23	6.47E-02	1.10E-05	1	2000	2.20E-05
11	18#厂房	西北侧	24	0.3	24	6.47E-02	1.01E-05	1	2000	2.02E-05
12	19#厂房	西北侧	45	0.3	45	6.47E-02	2.88E-06	1	2000	5.75E-06
13	金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 102 房	北侧	0.5	0.3	0.5	1.08E-01	3.89E-02	1	2000	7.78E-02
14	22#厂房	北侧	32	0.3	32	1.08E-01	9.49E-06	1	2000	1.90E-05
15	产业园室外道路	北侧	25.00	0.3	25	1.08E-01	1.56E-05	1/40	2000	7.78E-07

综上所述，该项目工业电子辐照加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最高为 1.235mSv，评价范围内公众年有效剂量最高 7.78E-02mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

#### 11.2.4 臭氧的环境影响分析

辐照加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生一定量的臭氧（O<sub>3</sub>）和微量氮氧化物（NO<sub>x</sub>）等有害气体，这些气体浓度过高会影响人体健康，氮氧化物的产额大约是臭氧的 1/3，而辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本节主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响。

臭氧的产生及其防护理论估算模式采用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 B 相关公式。

##### (1) 臭氧的产生

平行电子束所致 O<sub>3</sub> 的产生率 P 可以用公式（式 11-10）进行保守的估算：

$$P = 45dIG \quad (\text{式 11-10})$$

其中：

P——单位时间电子束产生 O<sub>3</sub> 的质量（mg/h）；

I——电子束流强度（mA），本项目为 2mA；

d——电子在空气中的行程（cm），本项目辐照室层高 190cm，取 190cm；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O<sub>3</sub> 分子数，保守值可取为 10。

表 11-13 臭氧产生量估算

I(mA)	d(cm)	G	P(mg/h)
2	190	10	1.71E+05

##### (2) 辐照室臭氧的平衡浓度

臭氧平衡浓度 C<sub>s</sub> 为根据公式（式 11-11）进行估算。

$$C_s = P \cdot T_e / V \quad (\text{式 11-11})$$

其中：

P——单位时间电子束产生 O<sub>3</sub> 的质量（mg/h）；

V——辐照室和主机室体积，m<sup>3</sup>，辐照室体积为 192.25m<sup>3</sup>，主机室体积为

302.86m<sup>3</sup> 共 495.11m<sup>3</sup>;

T<sub>e</sub>——对臭氧的有效清除时间 (h);

$$T_e = T_v \times T_d / (T_v + T_d) \quad (\text{式 11-12})$$

T<sub>v</sub>——辐照室换气一次所需时间 (h), 0.06h;

T<sub>d</sub>——臭氧的有效化学分解时间 (h), 约为 50 分钟 (0.83h)。

由以上参数可计算得出, 本项目辐照室内臭氧平衡浓度 C<sub>s</sub> 为 21.85mg/m<sup>3</sup>。

表 11-14 臭氧产生量估算

C <sub>s</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	P(mg/h)	V(m <sup>3</sup> )	T <sub>e</sub> (h)	T <sub>v</sub> (h)	T <sub>d</sub> (h)
20.7	1.71E+05	495.11	0.06	0.06	0.83

### (3) 臭氧的排放

加速器长期正常运行期间, 室内臭氧达到饱和平衡浓度, 通常情况下, 该浓度大大高于 GBZ2.1 规定的工作场所最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>)。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:

$$T = -T_e \ln(C_0/C_s) \quad (\text{式 11-13})$$

其中:

C<sub>0</sub>——臭氧的最高容许浓度, 0.3mg/m<sup>3</sup>;

C<sub>s</sub>——臭氧平衡浓度, mg/m<sup>3</sup>;

T<sub>e</sub>——对臭氧的有效清除时间, h;

根据以上公式对加速器臭氧进行计算结果如下表所示:

表 11-15 本项目臭氧计算参数一览表

T(h)	T(min)	C <sub>0</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	T <sub>e</sub> (h)	C <sub>s</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
0.25	15	0.3	0.06	20.7

根据以上参数可计算得出, 本项目加速器停止工作后, 辐照室内通风系统以通风速率不低于 8000m<sup>3</sup>/h 继续工作, 通过约 15min 的通风排气, 辐照室内的臭氧浓度低于 GBZ2.1-2019 规定的臭氧的最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>), 此时工作人员进入辐照室是安全的。

## 11.3 事故期间的风险分析

本项目在设有实体边界的辐照室内使用射线装置。项目实施期间，可能出现的辐射事故及风险主要源于人员误入或长时间逗留辐照室导致的误照射。事故发生的主要原因在于管理疏漏。因此，辐射工作人员必须严格遵循各项管理制度，恪守设备操作规程。在进行辐射工作前，务必检查是否已按标准落实各项辐射防护措施。同时，定期对辐照室的辐射屏蔽及各项辐射安全措施的性能进行检验，并确保相关安全警示标志完好，以防止人员误入正在运行的辐照室及其他安全事故的发生。

### 11.3.1 可能发生的事故

评价项目可能发生的辐射安全事故如下：

①安全连锁失效：人员可能在防护门未关闭时误入主机室和辐照室，如果此时电子加速器辐照装置处于运行状态，则可能造成误照事故。

②人员未撤离机房出束：辐照室或主机室中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员受误照射；

③维修过程中误操作：设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，加载高压并出束，则可能造成误照事故。

④加速器故障：设备出现故障时（如直流高压发生器故障），可能导致加速器的加速管外产生射线，造成误照事故。

### 11.3.2 辐射事故等级分析

#### (1) 人员位于辐照室内受到误照射

本项目在具有实体边界的辐照机房内使用射线装置。项目开展期间，可能发生的主要事故风险是由人员误入引起的。

假设人员在无个人防护措施且无其他屏蔽措施的情况下误入辐照室，该室内配备了拉线开关和巡检按钮。一旦拉下拉线开关或按下巡检按钮，即可立即停止射线出束。受照时间保守估计按 0.1min 估算。人员受照时距束流中心的距离保守取 10m（光电检测器离束流中心约 10m，均与加速器连锁。当有人员误入辐照室，身体将任意一处光电检测器信号挡住后，若设备高压处于开启状态，将立即自动关闭高压，加速器将立即停止出束），事故剂量估算结果见下表。

**表 11-16 人员位于辐照室内受到误照射情况下剂量估算结果表**

事故类型	人员类型	事故情况	受照时间 (h)	距离 (m)	事故状态下源强 $D_{10}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	受照剂量 (mSv)
人员误入	职业人员	人员位于辐照室内受到误照射	0.0017	10	8.10E+06	0.138

根据《辐射防护导论》中表 2.3 不同照射剂量对人体损伤的估计，结合放射性《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）对事故等级的分类，本项目辐照加速器运行期间人员位于辐照室内受到误照射可能发生的事故为一般辐射事故。

### 11.3.3 应急措施

假若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效的采取以下应急措施：

(1) 一旦发生人员误照射等辐射事故时，操作人员应立即使用最近的紧急停机开关切断设备电源。同时，事故第一发现者应及时向公司的辐射安全事故应急处理小组及上级领导报告。辐射安全事故应急处理小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

(2) 对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

(3) 迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地生态环境主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

(4) 事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

一旦发生辐射事故，公司应立即启动应急预案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化。事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

### 11.3.4 事故预防措施

为了杜绝上述事故的发生，要求建设单位严格执行以下风险预防措施：

(1) 加速器检修工作应交由设备厂家委派专门的工程师进行，并在检修期间做

好防护工作，在一定范围内拉警戒线并设立公告牌，禁止无关人员进入检修工作场所，并在辐照室、主机室的室内、产品进出口等设置紧急制动装置，确保内部人员可以就近停止加速器运行。

(2) 定期检查安全联锁装置及各项辐射防护设施，确保安全联锁装置和各项辐射防护设施正常运行，定期检查防护门是否发生故障，严格按照监测计划进行验收监测、日常监测和年度监测，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

(3) 加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

(4) 严格按照规章制度开展日常工作，采取日检查、月检查和半年检查的方式，结合日常自行监测，确保项目的正常安全开展。

(5) 加强人员培训，定期组织应急演练

辐射工作人员应按要求参加辐射安全与防护培训，考核合格，取得合格证后才可上岗。公司定期组织培训，增强公司内部人员安全意识。定期组织应急演练，演练应急监测及处置能力。实景展现辐射事故预案启动、现场监测、处置、医疗救助全过程，强化应急处置队伍，引起工作人员对辐射事故的重视。

## 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》第十六条第一款：使用I类、II类、III类放射源，使用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。

本项目使用II类射线装置，根据要求应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作，并明确相关人员职责。建设单位已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求成立辐射安全与环境保护管理机构（详见附件9），负责全公司的辐射安全与环境保护监督管理工作，保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。

主要职责包括：

- ①负责公司辐射安全与防护管理工作；
- ②严格按照国家相关规定申请领取许可证，办理登记手续严格按照许可范围开展工作；
- ③定期组织辐射工作人员参加辐射安全与防护相关法律法规的考核学习，并落实辐射工作人员上岗培训计划，定期组织公司内部应急演练；
- ④检查安全环保设施，开展环境监测，对公司使用的辐射装置安全防护情况进行年度评估；
- ⑤组织辐射工作人员进行职业健康体检，实施辐射工作人员的个人剂量监测并做好职业健康体检和个人剂量档案的管理工作；
- ⑥组织对各项有关辐射安全与防护管理规章制度的制定和修订工作，并负责对全公司核技术利用项目过程中相关规章制度、防护措施落实情况进行监督和检查；
- ⑦建立健全的辐射事故应急预案，指定专人负责，落实安全责任制，制定必要的事事故应急措施；
- ⑧定期向生态环境部门和相关主管部门报告安全工作，接受相关部门的检查指导；

在日后的工作实践中，建设单位应根据辐照加速器应用情况及时对相关规章制度进行调整。

## 12.2 辐射安全管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、监测方案等，并有完善的辐射应急措施”。

建设单位制定了一系列规章制度，见表 12-1。

**表 12-1 本项目规章制度**

序号	项目	制度	落实情况
1	综合	辐射安全与环境防护管理制度	落实
2		岗位职责	落实
3		操作规程	落实
4		设备检修维护制度	落实
5		记录表（详细名称见附件 9）	落实
6	人员	辐射工作人员职业健康管理制度	落实
7		辐射工作人员培训制度	落实
8	监测	辐射监测方案	落实
9	应急	漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急预案	落实

注：详见附件 9

公司制定的辐射安全管理制度较全面，应严格按照制度管理公司的核技术利用项目，可以实现安全和规范管理。一旦发生辐射事故时，可以实现迅速和有效的应对，基本满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求。

建设单位应在项目人员确定后将根据具体建设内容制定更加有针对性的操作规程，责任到人，将事故和危害降到最低限度。在建成后的实际运营过程中应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《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》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等法律法规的要求进行细化调整，使之更加合理、完善，具有更强的可操作性和针对性。

### 12.3 辐射工作人员培训

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，应当通过生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

本项目拟配备4名辐射工作人员，其中1名为新聘辐射工作人员，3名为原有项目辐射工作人员，参与培训的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）上参加培训，考核合格后方可上岗；在项目运行过程中按要求定期组织辐射工作人员进行再培训和考核，确保所有辐射工作人员培训合格后上岗。

## 12.4 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

### 12.4.1 个人监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）要求，使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测，建设单位拟为设备操作人员配备个人剂量计和辐射剂量报警仪上岗

（1）监测周期：建设单位应根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）规定进行个人剂量监测，监测周期最长不超过 3 个月。

（2）佩戴位置：剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置。

（3）调查水平：年调查水平为有效剂量 5mSv，单周期的调查水平为 1.25mSv/季度，当个人剂量监测超过调查水平时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关，检测报告及有关调查报告应存档备查。

（4）辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。公司应当将个人剂量档案保存终生。

### 12.4.2 年度监测

使用放射性同位素与射线装置的单位应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，对相关场所进行辐射监测，委托有资质的环境监测机构进行监测。年度监测数据将作为本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

建设单位已委托有资质单位对辐射工作场所进行监测，并在 2025 年对本单位射线装置安全和防护状况进行评估。

### 12.4.3 日常监测和检查

建设单位针对本项目配备 X- $\gamma$ 辐射剂量率仪，个人剂量报警仪。建设单位采取日检查、月检查和半年检查的方式，结合日常自行监测，确保项目的正常安全开展。

### (1) 检查

日检查：建设单位拟每天对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停使用工业电子辐照加速器辐照装置，在排除异常情况后会再次启用加速器。具体检查内容包括：

- ①工作状态指示灯、声光报警装置和应急照明灯；
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况；
- ③个人剂量报警仪和 X- $\gamma$ 辐射剂量率仪工作状态；
- ④视频监控图像显示状况。

月检查：建设单位拟每月对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停使用电子加速器辐照装置，在排除异常情况后会再次启用加速器。具体检查内容包括：

- ①固定式辐射监测仪设备运行状况；
- ②控制柜及其他所有紧急停止按钮；
- ③通风系统的有效性；

④验证安全联锁功能的有效性：安全联锁均为间接或直接切断高压，通过设备信号柜中测定反馈信号，以确认安全联锁功能是否有效。

⑤烟雾报警器功能正常：因烟雾报警系统位于辐照室内部，所以在关机情况下，通过观察烟雾报警器的警示灯，判定烟雾报警器是否正常工作，也可采取引入可靠性烟源的方式对烟雾报警器进行测试。

半年检查：建设单位拟每半年对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停使用电子加速器辐照装置，在采取措施排除异常情况后会再次启用加速器。半年检查为全部安全设备和控制系统运行状况。建设单位承诺将严格落实运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项包括以下内容：

- ①运行工况；
- ②发生的故障及排除方法；
- ③外来人员进入控制区情况；

- ④个人剂量计佩戴情况；
- ⑤个人剂量、工作场所和周边环境的辐射检测结果；
- ⑥检查及维修维护的内容和结果；
- ⑦其他需要记录的内容。

## **(2) 日常检查和自行检测**

日检查：建设单位每天均对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停调试工作，在排除异常情况后会再次启用辐照加速器。具体检查内容包括：

- ①工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况；
- ③个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状态；
- ④视频监控图像显示状况。

月检查：建设单位每月对本项目的加速器设备进行检查，发现异常情况时，将暂停调试工作，在排除异常情况后会再次启用加速器。具体检查内容包括：

- ①辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- ②控制台及其他所有紧急停止按钮；
- ③通风系统的有效性：风机运行过程中声音较大，直接开启风机即可验证风机是否正常工作，建设单位应定期对排风口排风情况进行检测；
- ④验证安全联锁功能的有效性：安全联锁均为间接或直接切断高压，通过设备信号柜中测定反馈信号，以确认安全联锁功能是否有效；
- ⑤烟雾报警器功能正常：通过观察烟雾报警的连锁信号，判定烟雾报警器是否正常工作，通过引入可靠性烟源的方式对烟雾报警器进行测试；
- ⑥辐射自行检测：使用便携式辐射剂量率仪，对加速器机房屏蔽体外进行辐射防护检测。

### **监测内容和要求：**

- ①监测内容：X- $\gamma$ 辐射剂量率
- ②监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

③监测范围：控制区和监督区域及周围环境

④监测频次：1次/月

⑤监测质量保证：

a.制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b.采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中常规监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c.制定辐射环境监测管理制度。

此外，公司需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

表 12-2 辐射监测计划

监测对象	监测类别	监测周期	检测点位	限值	方式	检测依据
周围剂量当量率	年度监测	1次/年	1)通过巡测发现的辐射水平异常高的位置，并进行重点监测； 2) 辐照室和主机室屏蔽体外30cm处，每面墙体至少三个点； 3) 辐照室和主机室门外30cm离地面高度为1m处，辐照室门的左、中、右侧3个点和左侧、右侧和底部门缝各1个点；	不超过2.5μSv/h	委托检测	《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》 (HJ979-2018)
	日常监测	1次/月或检修后	4) 电缆线穿墙处、排风管道穿墙处； 5) 控制室操作位，电缆沟上方、通风管外侧、传送带边界（装卸货区） 6) 周围环境敏感点。		自行检测	
	验收监测	仅竣工验收一次	1)通过巡测发现的辐射水平异常高的位置，并进行重点监测； 2) 辐照室和主机室屏蔽体外30cm处，每面墙体至少三个点；		委托检测	

			3) 辐照室和主机室门外 30cm 离地面高度为 1m 处, 辐照室门的左、中、右侧 3 个点和左侧、右侧和底部门缝各 1 个点; 4) 电缆线穿墙处、排风管道穿墙处; 5) 控制室操作位; 6) 人员经常活动的位置; 7) 50m 范围内人员居留时间较长或人员流动性大的点位。			
职业性外照射个人剂量	个人剂量监测	1 次/季度	/	不超过 5mSv/a, 1.25mSv/季度	委托检测	《职业性内照射个人监测规范》(GBZ 129-2016)

检测异常处理: 一旦发现辐射水平超过 2.5 $\mu$ Sv/h 应立即按下急停按钮, 停止辐射工作, 查找原因, 进行整改。整改好、并经检测确认辐射水平合格后, 方可继续工作。验收监测发现超过控制水平的, 应整改合格后方可通过竣工环境保护验收。

#### 12.4.4 环保竣工环境保护验收

本项目竣工后, 建设单位应严格按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 技术利用》(HJ 1326-2023) 的规定, 进行验收工作。验收流程如下: (1) 建设单位进行验收自查; (2) 开展验收监测, 并编制验收监测报告; (3) 提出验收意见, 编制“其他需要说明的事项”, 形成完整的验收报告, 公开相关信息, 并建立相应的档案。

建设单位须按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序, 自试生产之日起 3 个月内, 申请验收, 对配套建设的环境保护设施进行验收, 编制验收报告。本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后, 方可投入生产或者使用; 未经验收或者验收不合格的, 不得投入生产或者使用。

验收时, 建设单位的验收小组应依据本环评报告, 针对联锁装置、紧急停机开关、辐射安全警示设施、工作场所分区管理等辐射安全防护措施进行核查, 包括上述辐射安全措施的装置位置、使用情况、是否满足环评报告中的设备功能要求等进行核查。若与环评报告不一致, 应立即整改, 在整改完成前, 不得投入使用。

验收时，验收小组需确保已配备相应数量的设备。若相关设备尚未配备，建设单位应立即配备上述设备；在相关设备未配备齐全的情况下，不得将电子加速器辐照装置投入使用。

对本项目进行验收时，可依据下列文件进行：

①关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告，环境保护部文件 国环规环评〔2017〕4号；

②中华人民共和国国务院令 第 682 号，国务院关于修改《建设项目环境保护管理条例》的决定（2017 年 10 月 1 日起施行）；

③《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）；

④本项目环评报告及批复文件。

建设单位在环境保护设施验收过程中，应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，核查落实辐射安全与防护的所有安全措施，保证严格落实环境影响评价过程中的全部安全措施，不得弄虚作假。建设单位将依法向社会公开验收报告。验收一览表见表 12-3 所示：

表 12-3 验收一览表

序号	验收内容		验收要求
1	环保资料		项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告
2	环境管理制度		建立的辐射安全管理机构、确定了相应的安全责任、制定并按照辐射环评文件建议对相应的规章制度进行了补充和完善，在工作过程中落实辐射安全管理制度，具有可操作性，并进行上墙
3	辐射安全与防护措施		钥匙开关、门机连锁、束下装置连锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、通风连锁、烟雾报警器等防护设施。
4	人员要求		辐射工作人员数量配置需满足日常工作需求，辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，考核合格后上岗。
5	辐射监测	个人剂量监测	每名辐射工作人员配置个人剂量计，委托有资质的单位监测，监测周期不超过三个月，并建立辐射工作人员个人剂量档案，长期进行信息跟踪、监控。配备一定数量的个人剂量报警仪。
		监测设备	个人剂量计：1 个/人，共 4 个。 个人剂量报警仪：配备 2 个。 X-γ便携式剂量率仪：配备 1 台。 固定 X-γ剂量监测仪：拟配备 1 台。
6	验收监测		主机室和辐射照室工作场所屏蔽体外 30cm 处进行监测，要求辐

## 12.5 年度评估

建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》编制年度评估报告，年度评估报告应包含以下内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况：对照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）对项目运行与维护情况进行总结；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （五）射线装置台账：包括装置名称、规格型号、类别、用途，使用场所等。
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

## 12.6 辐射事故应急

### （一）事故应急预案内容

根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，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。

### （二）应急措施

若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效采取以下应急措施：

1、发生误照射事故时，工作人员应立即切断电源，立即撤出加速器机房，关闭加速器机房防护门，同时向公司主管领导报告。

2、由应急领导小组按辐射事故应急程序逐级上报地方及省级生态环境主管部门，

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。

3、及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

### （三）其他要求

（1）建设单位每年至少开展 1 次辐射事故（件）应急演练。应急演练前编制演练计划，根据可能发生的辐射事故（件）组织有针对性的演练，采取桌面推演、模拟现场演练等形式，突出练组织、练指挥、练程序、练技术、练处置，不断提升辐射事故（件）的应急处置能力，并对每一次演练认真进行评价和总结。

（2）在预案的实施中，应根据国家发布的相关法规内容，结合公司实际及时对预案做补充修改，使之更能符合实际需要。应急预案应根据建设单位核技术利用变动情况进行及时更新。各相关责任部门要根据条件和环境的变化及时修改、补充和完善预案的内容，确保在紧急情况下按预案要求，有条不紊地开展事故应急救援工作。

为了有效处理项目运行中可能产生的辐射事故，强化辐射事故应急处理责任，最大限度地控制事故危害，公司制定了《漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急预案》（见附件 9）。对照上述要求，《漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急预案》符合辐射事故应急预案内容的要求，可操作性较强，能够满足在发生辐射安全事故时的应急处理需要。在今后预案的实施过程中，应根据国家发布的相关法规内容，结合公司实际及时对预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

项目名称：漳州雷大电子辐照有限公司扩建 1 台工业电子辐照加速器项目

建设单位：漳州雷大电子辐照有限公司

建设性质：扩建

建设单位地址：福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房工业电子辐照加速器机房

建设内容及规模：拟在福建省漳州市高新区圆山大道以东、田下路以南岁金智谷漳州智能装备产业园 21 幢 101 房内建设 1 座工业电子辐照加速器机房（为二层结构，地上一层为辐照室，地上二层为主机室），配套建设调制器机房及控制室。拟购买 1 台工业电子辐照加速器（型号为：DZ-10/20；最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，属 II 类射线装置）主要用于食品、医疗耗材、无纺布等辐照灭菌。本项目拟配备辐射工作人员 4 名，分为两组，每组 2 名辐射工作人员，年工作时间约 250 天。

#### 13.1.2 本项目产业政策符合性分析

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“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”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目辐照加工过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。因此，本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和当前产业政策。

#### 13.1.3 环境影响分析结论

根据理论计算，根据对评价项目的辐射防护设施分析、理论分析，评价项目机房外关注点周围剂量当量率最大为  $8.95E-01\mu\text{Sv/h}$ ，低于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。对环境的影响不可满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求“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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。通过对辐射工作人员和公众的受照剂量分析，辐射工作人员和公众年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

#### 13.1.4 辐射防护措施评价

建设单位拟对本项目的辐射工作场所实行分区管理，将工作场所划分为监督区和控制区，执行对应的管理措施；通过分析，本项目辐照室和主机室的辐射屏蔽设计方案，可以满足辐射防护要求，拟配备和安装的辐射防护设施满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）要求。

#### 13.1.5 辐射安全管理分析结论

管理机构：公司已按要求成立辐射安全与防护管理小组，明确辐射安全防护管理小组的职责，并将加强监督管理。

公司已制定了一系列规章制度，如《辐射安全与环境防护管理制度》《岗位职责》《操作规程》《设备检修维护制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射监测方案》《漳州雷大电子辐照有限公司辐射事故应急处理预案》（见附件 9）。公司应根据项目实际开展情况，不断对各项管理制度进行调整、补充和完善，并在实际工作中严格执行。

人员培训与剂量监测：本项目辐射工作人员将参与辐射安全与防护培训考核，考核成功后上岗，辐射工作人员将佩戴个人剂量计进行工作，且每季度定期送检个人剂量计。此举可有效满足各项核技术利用项目对辐射安全管理的严格标准。

综上所述，评价项目在落实和完善国家相关法规标准要求及本次环评提出的各项辐射安全管理措施后，公司的管理机构、规章制度及辐射工作人员的管理能够满足相关辐射防护标准要求和本项目辐照工作开展的需求。

#### 13.1.6 项目可行性分析结论

综上所述，漳州雷大电子辐照有限公司落实国家相关法规标准要求及本环评提出的各项要求后，本项目正常运行时，对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，对辐射工作人员及周围公众造成的影响满足国家辐射防护标准的要求。从环境保护和

辐射防护的角度论证，该评价项目可行。

### 13.2 承诺

(1) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)及《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)要求，公司应每一季度定期对从事辐射工作的工作人员进行个人剂量监测，辐射工作人员必须正确佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪。

(2) 加强辐射工作人员专业知识学习。定期对参加辐射工作的工作人员进行防护知识与安全培训，考核合格后，方可进行辐照工作。

(3) 按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号)中的相关要求办理辐射安全许可证后方可开展辐照工作，并在每年的 1 月 31 日前提交年度评估报告。

(4) 应定期或不定期针对射线装置的各种管理、操作、保安措施的落实情况进行检查，确保设备的正常。

(5) 建设单位应定期维护全国核技术利用辐射安全申报系统(网址：<http://rr.mee.gov.cn>)，并准确填写本单位所用射线装置的相关信息。

(6) 建设项目正式投产运行前，建设单位应及时组织竣工环保验收。

## 表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公章

经办人

年 月 日

审批意见：

公章

经办人

年 月 日