

核技术利用建设项目

福建省龙岩浩远科技有限公司
新增2台工业辐照电子加速器项目
环境影响报告表
(公示版)

福建省龙岩浩远科技有限公司
二〇二五年五月

核技术利用建设项目

福建省龙岩浩远科技有限公司 新增2台工业辐照电子加速器项目 环境影响报告表

建设单位名称: 福建省龙岩浩远科技有限公司
建设单位法人代表(签名或签章): _____
通讯地址: 福建省龙岩市新罗区民园路 19 号 1 檐
邮政编码: 364000 联系人: ***
电子邮箱: / 联系电话: ***

目录

表1 项目基本情况	1
表2 放射源	12
表3 非密封放射性物质	12
表4 射线装置	12
表5 废弃物（重点是放射性废弃物）	13
表6 评价依据	14
表7 保护目标与评价标准	16
表8 环境质量和辐射现状	21
表9 项目工程分析与源项	25
表10 辐射安全与防护	35
表11 环境影响分析	46
表12 辐射安全管理	65
表13 结论与建议	70
表14 审批	73

附件

表1 项目基本情况

建设项目名称	新增2台工业辐照电子加速器项目					
建设单位	福建省龙岩浩远科技有限公司					
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***	
注册地址	福建省龙岩市新罗区民园路19号1幢					
项目建设地点	福建省龙岩市新罗区民园路19号1幢					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资(万元)	2000	项目环保投资(万元)	607	投资比例(环保投资/总投资)	30.35%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²)	1896	
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	/			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
		<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	/				

1.1 项目概述

1、建设单位基本情况

福建省龙岩浩远科技有限公司成立于2025年1月，注册地址位于福建省龙岩市新罗区民园路19号1幢（厂址中心116°59'55.7"E, 25°7'33.7"N）。公司经营涉及工程技术研究试验、技术服务、货物及技术进出口、运输仓储租赁、设备制造销售、技术推广等多类业务。

2、项目由来及建设内容

因公司业务发展需要，福建省龙岩浩远科技有限公司租赁龙岩盛隆硬质合金有限公司位于新罗区龙州工业园内的车间，用于从事辐照加工技术服务。本项目拟在车间内新建2间辐照加速器机房，在2间机房内各配备1台DZ-10/20型工业辐照电子加速器（最大电子束能量为10MeV、最大束流强度为2mA）。高能电子直线加速器是辐照消毒灭菌

领域的主要机型，广泛应用于食品保鲜、化妆品、卫生材料、药品、医疗器械、农副产品的消毒灭菌，进出口食品的检验检疫等各个领域。

本项目为新增2台工业辐照电子加速器项目，拟用于对食品的辐照消毒和灭菌等。具体建设内容见表1-1，核技术利用具体情况见表1-2。

表1-1 本项目建设内容

主要组成		建设内容	备注
主体工程	辐照室	占地面积280m ² ，高2m，混凝土结构，内设迷道，机房北墙设有货物传送带，共1处货物进口和1处货物出口	新建
	主机室	占地面积103.8m ² ，主机室高5m，连接主机室的迷道高3m，均为混凝土结构，迷道出口设有防护门	新建
辅助工程	控制室	位于机房2楼，操作人员工作区域	新建
	配电间	位于机房2楼，配有充电柜和放电柜	新建
	水冷平台	位于机房2楼，共放置4套水冷机组（使用外购去离子水），属于加速器散热设施	新建
	货物存放区	分为已辐照货物存放区和未辐照货物存放区	新建
公用工程	给、排水	循环塔冷却水依托园区现有供水，定期补充，不外排	依托
	供电	依托园区现有供电	依托
环保工程	废气	每间机房各配置1根臭氧排气筒和1台机械排风风机（风机放置于屋顶）	新建
	废水	项目运行无生产废水；员工生活污水依托园区现有化粪池处理后纳入市政管网	依托

注：主体工程为1间加速机房建设内容，本项目2间机房建设内容一致。

表1-2 本项目核技术利用情况一览表

序号	射线装置名称及型号	类别	数量	电子束最大能量(MeV)	最大束流强度(mA)	工作场所名称	备注
1	DZ-10/20电子辐照加速器	II	1	10	2	辐照加速器机房1	新建
2	DZ-10/20电子辐照加速器	II	1	10	2	辐照加速器机房2	新建

本项目机房辐照室、主机室、配套的控制室等辅助用房以及辐照前后的货物暂存均利用租赁的现有车间。本项目拟配备8名工作人员，采取单班制，每台加速器单班拟配备1名控制室操作人员、3名上下货搬运工作人员，每台加速器年开机辐照时间不超过2400h，单名人员年工作时间不超过2400h。

福建省龙岩浩远科技有限公司无其他核技术利用设备应用，本次属公司首次开展核技术利用建设项目。为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，其应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

根据《射线装置分类》（2017年修订版），本项目使用的工业辐照电子加速器属于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年版），应编制环境影响报告表。因此，福建省龙岩浩远科技有限公司委托中检集团福建创信环保科技有限公司开展该项目的辐射环境影响评价工作（委托书见附件1）。评价单位通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察、现场检测等工作的基础上，编制了该核技术利用项目环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、项目车间位置

辐照车间主体为单层建筑，除西北方向为五层办公楼（现状闲置）外，周围均为单层建筑。车间北侧依次为道路、园区内其他企业仓库，东侧依次为道路、园区内其他企业仓库，南侧依次为园区围墙、相邻顺和产业园内其他企业生产车间，西侧依次为园区内办公楼（现状闲置）、门卫、车棚和道路。

本项目地理位置示意见图1-1，车间周围环境情况卫星图见图1-2。

2、加速器机房位置

本项目新增2间电子加速器机房，2间机房东西向相邻建于车间南部，西侧为机房1，东侧为机房2。2间加速器机房北侧由西至东依次为已辐照货物存放区1、未辐照货物存放区、已辐照货物存放区2，西侧和东侧均为楼梯和车间内过道，南侧为非人员停留区域。

本项目加速器机房拟建址所在车间平面布置见图1-3，机房平面布置见图1-4，项目拟建址及周围环境现状见图1-5，项目评价范围内建筑现状见图1-6。

3、项目选址合理性分析

对照龙岩市“三线一单”，本项目位于环境管控单元ZH35080220002龙州工业园区，为重点管控单元。本项目在租赁厂房内新增2间电子加速器机房，不涉及新增土地，符合环境管控单元准入要求。龙岩市生态环境管控单元图见图1-7。

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），“放射源和放射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。”由现场勘查及图1-2可知，本项目50m评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，主要分布有其它工业企业用房，本项目环境保护目标主要是项目辐射工作人员和评价范围内的其它公众。根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，项目选址合理。

1.3 产业政策符合性分析

本项目为使用工业辐照电子加速器为客户提供辐照加工服务，经对照《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于鼓励类的第六项“核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

1.4 实践正当性

本项目的建设和运行满足了企业的发展需求，可降低客户产品的消毒和灭菌成本，提升产品质量，创造更大的经济效益和社会效益。本项目总投资2000万元，其中环保投资607万元，占总投资的30.35%，环保投资额可保证环保措施的落实。本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加辐照加速器机房周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。

因此，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

新罗区地图

基本要素版



审图号: 闽S (2024) 348号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图1-1 本项目地理位置示意图

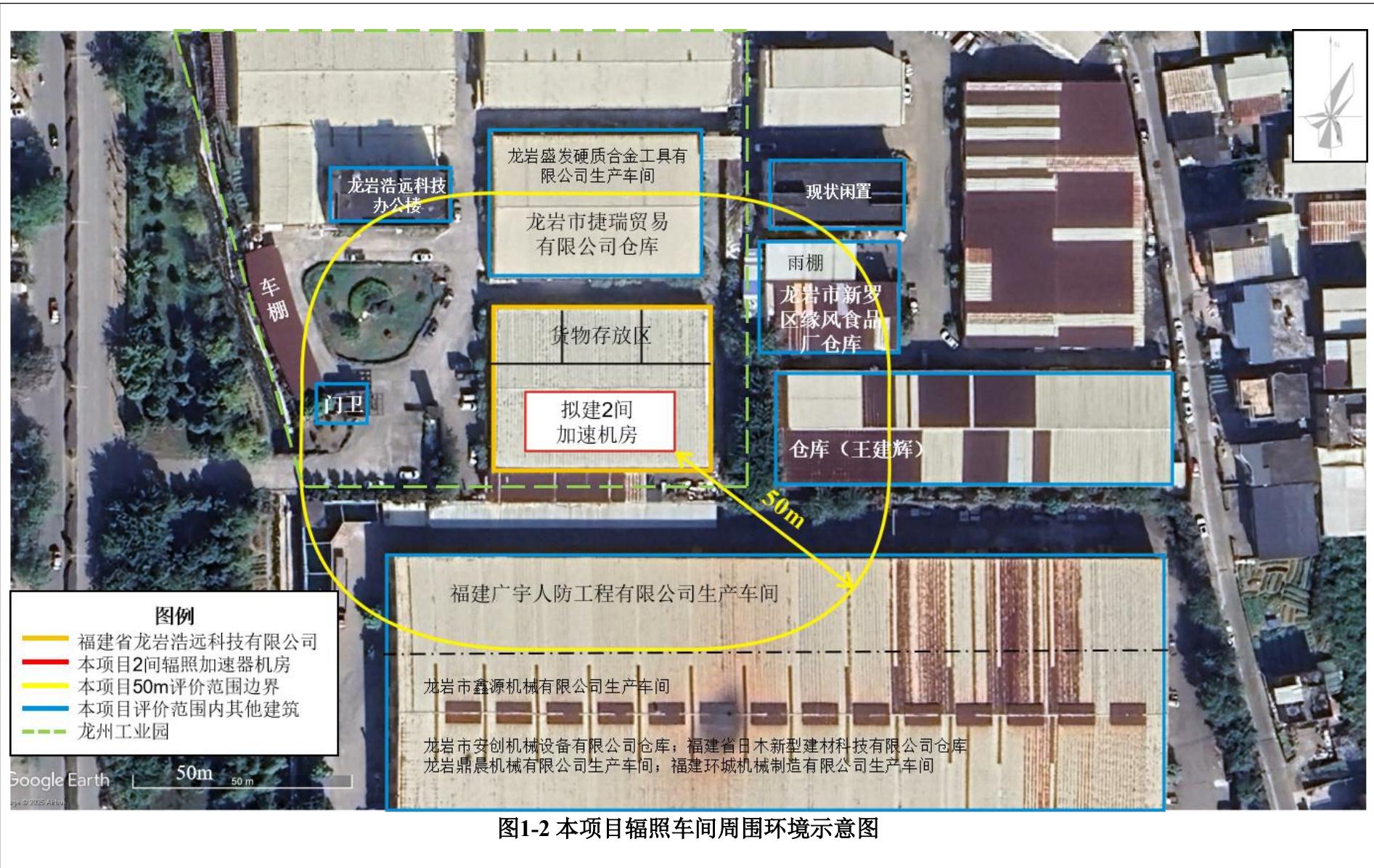
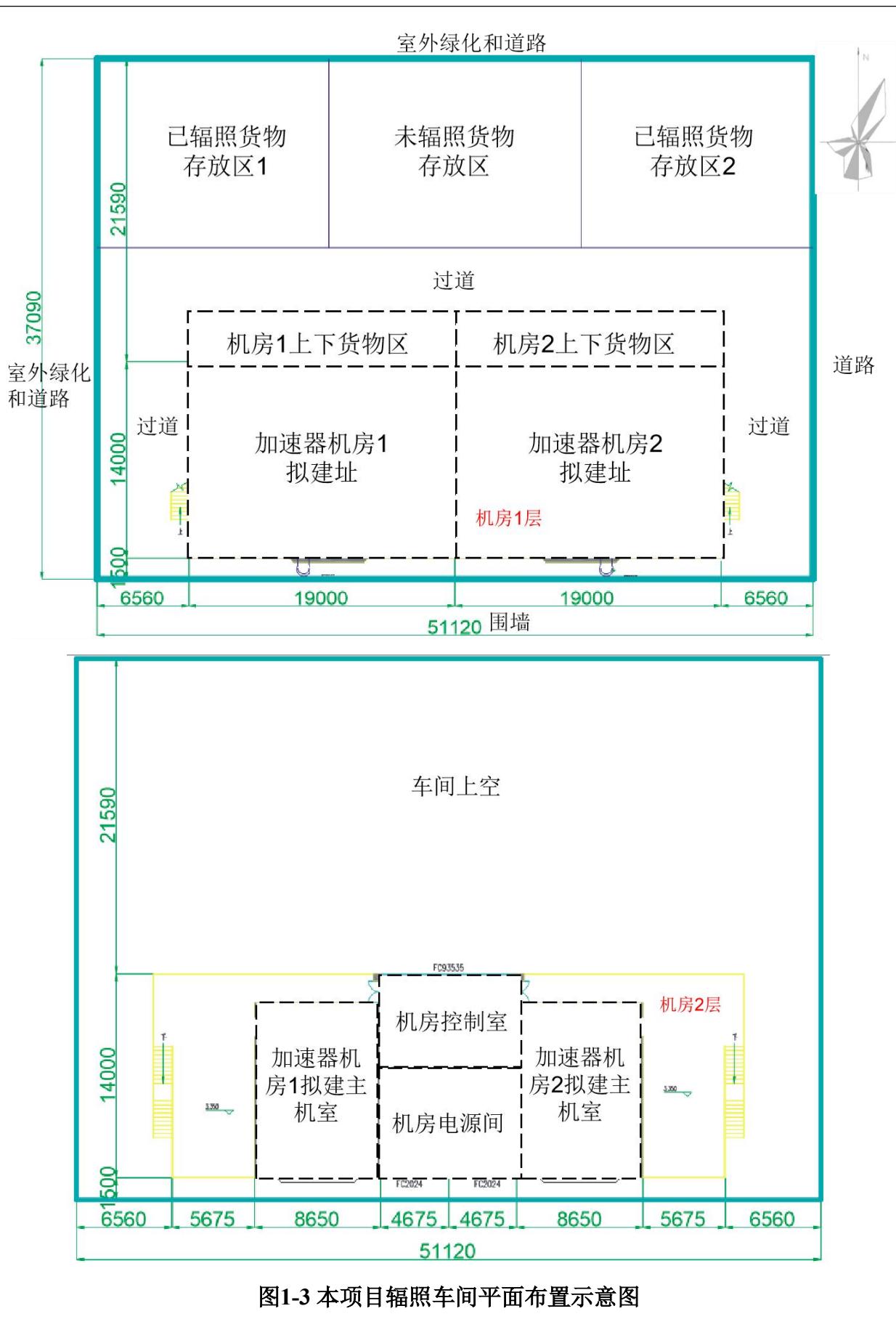


图1-2 本项目辐照车间周围环境示意图



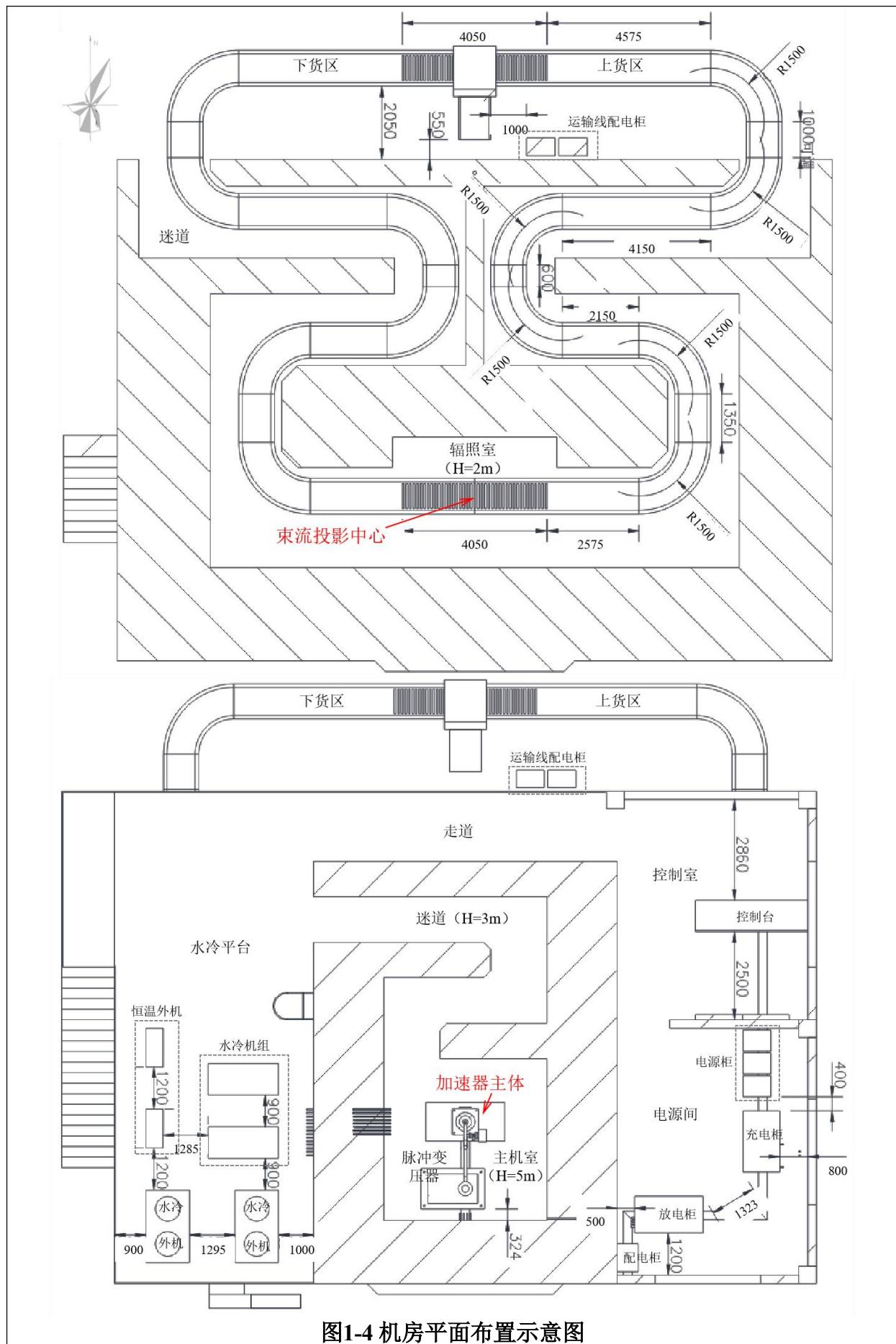


图1-4 机房平面布置示意图



项目所在车间西侧



项目所在车间北侧



项目所在车间东侧



项目所在车间南侧



项目拟建车间

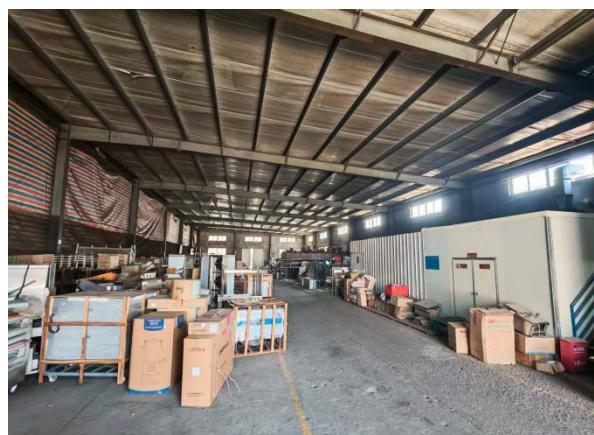


图1-5 项目拟建址及周围环境现状示意图



车间北侧龙岩市捷瑞贸易有限公司仓库



捷瑞贸易仓库内部



车间东北侧龙岩市新罗区缘凤食品厂仓库



车间东北侧未出租厂房（现状闲置）



车间东侧仓库（王建辉）



车间南侧福建广宇人防工程有限公司生产车间



车间西侧门卫和车棚



车间西北侧浩远科技办公楼（现状闲置）

图1-6 项目评价范围内建筑现状示意图

龙岩市“三线一单”图集

龙岩市环境管控单元图

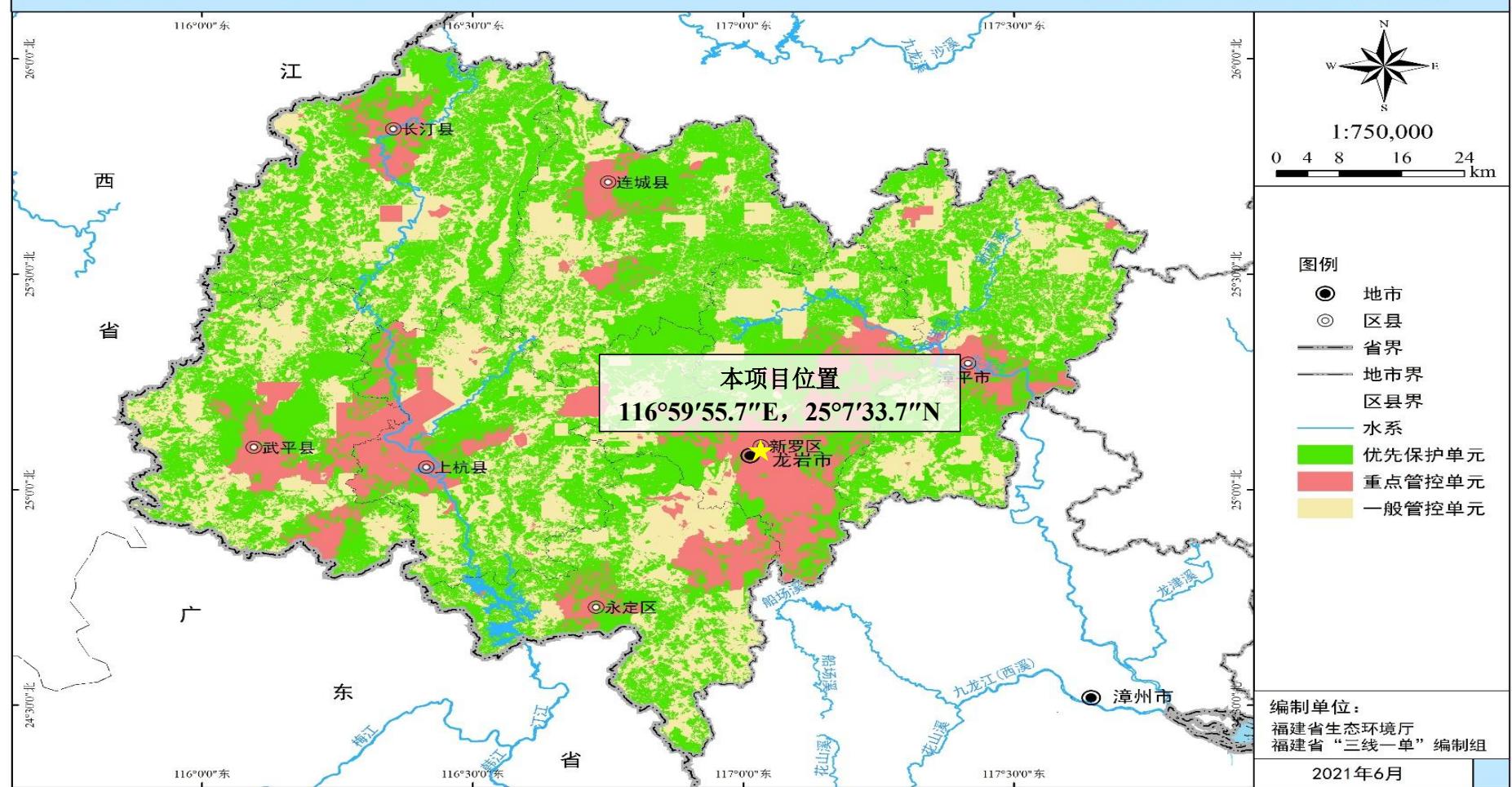


图 1-7 龙岩市生态环境管控单元图

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
本项目不涉及放射源								

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
本项目不涉及非密封放射性物质										

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、教学等各种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	电子辐照加速器系统	II类	1	DZ-10/20	电子	10	2mA	辐照灭菌	辐照室	
2	电子辐照加速器系统	II类	1	DZ-10/20	电子	10	2mA	辐照灭菌	辐照室	

(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X射线机									

(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	
本项目不涉及中子发生器													

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	/	/	少量	少量	/	不暂存	经机房排风系统排至外环境中, 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/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	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015年1月1日起实施；</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日起实施；</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》（2019年修订版），国务院令第709号，2019年3月2日起实施；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院第682号令，2017年10月1日起实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修订版），生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《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，2011年5月1日起实施；</p> <p>(8) 《关于明确核技术利用辐射安全监督有关事项的通知》，环境保护部（环办辐射函[2016]430号）；</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，公告2017年第66号，2017年12月6日起实施；</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》，国家环境保护总局（环发[2006]145号），2006年9月26日起实施；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部部令第16号，2021年1月1日起实施；</p> <p>(12) 《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>(13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019第57号，2020年1月1日起试行；</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>
------	---

技术 标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ2.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)；</p> <p>(7) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GBGB/T 25306-2010)；</p> <p>(8) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)；</p> <p>(9) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(11) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(12) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及其修改单。</p>
其他	<p>参考资料：</p> <p>(1) 《中国环境天然放射性水平》，国家环境保护局，1995；</p> <p>(2) 《福建省环境天然贯穿辐射水平调查》，辐射防护期刊，1991年第11卷第4期。</p> <p>报告附件</p>

表7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围），对于I类放射源或I类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大。”本项目为II类射线装置的使用，射线装置所在场所有实体屏蔽物，故本项目评价范围取2间电子加速器机房实体边界外50m的区域，本项目评价范围示意见图1-2。

7.2 保护目标

本项目主要考虑电子加速器工作时产生的X射线可能对周围环境产生的辐射影响。经现场踏勘，本项目电子加速器机房边界外50m范围内主要有本项目的辐射工作人员、项目车间内其他工作人员、园区内以及相邻园区的工作人员。因此，本项目环境保护目标为本项目辐射工作人员和评价范围内的其他公众，详细情况见表7-1。

表 7-1 项目环评范围内主要关注对象一览表

保护目标	方位	场所名称	与机房最近距离	人员规模	约束值
项目评价范围内公众	主机室东北侧	控制室	/	2人	5mSv/a 0.1mSv/a
	北侧	辐照车间货物上下货区域、辐照货物存放区	3.55~21.59m	6人	
		龙岩市捷瑞贸易有限公司仓库	约 28m	5人	
	东北侧	龙岩市新罗区缘凤食品厂仓库	约 22m	4人	
		辐照车间内过道	紧邻	流动人员	
	东侧	仓库（王建辉）	约 21.5m	2人	
		机房南墙后区域	紧邻	平时无人员居留	
	南侧	福建广宇人防工程有限公司生产车间	约 19.5m	6人	
		辐照车间内过道	紧邻	流动人员	
	西侧	门卫	约 47m	2人	

7.3 评价标准

7.3.1 辐射剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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周围辐射剂量率不超过附录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。

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：

- (1) 辐射工作人员个人年有效剂量为5mSv；
- (2) 公众成员个人年有效剂量为0.1mSv。

因此，本评价项目取辐射工作人员个人年有效剂量为5mSv，公众成员个人年有效剂量为0.1mSv。

7.3.2 周围剂量当量率控制水平

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）4.2.2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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。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。

本标准适用的能量不高于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。

由此确定，本评价项目周围剂量当量率控制水平为机房外30cm不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.3 工作场所臭氧的控制水平

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）要求，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。

《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）规定，工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物时间加权平均容许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间接触容许浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

因此，确定本评价项目加速器停机后，工作人员进入辐照室时，辐照室内的臭氧浓度不应大于 $0.30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.3.4 其他要求

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）要求：

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。

4.1.3 在控制区出入口处和其它必要的地方，应设立醒目的、符合GB18871规定的警告标志。

4.1.4 使用手册、操作规程和应急程序等文件以及关键的安全部件标识和安全标识都应使用中文。

5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

5.1 屏蔽设计原则

电子加速器辐照装置在屏蔽设计时，不仅要考虑最大束流功率时的屏蔽要求，在能量和束流强度可调情况下，还要考虑在最大能量和/或最大束流强度组合下的屏蔽差异。

5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括：辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法参见附录A。对于专用X射线辐照装置，应根据加速器厂商提供的转换靶参数或X射线发射率进行计算。对于既可用于电子束辐照也可用于X射线辐照的辐照装置，应按照电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法计算。

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。

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；

(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其他要求

6.3.1电气系统

(1) 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性；

(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统；

(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统；

(4) 凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。

6.3.2给水系统

(1) 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；

(2) 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。

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；

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录B；

(3) 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；

(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。

6.3.4防火系统

辐照室和主机室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。

表8 环境质量和辐射现状

为了解本项目所在区域周围辐射环境质量现状，我司委托福建科达环境检测技术有限公司于2025年3月13日对加速器机房拟建场所及其周围环境进行 γ 辐射空气吸收剂量率背景水平调查。

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目位于新罗区民园路19号1幢厂房（新罗区龙州工业园内），评价范围内主要为园区内其它工业企业用房，2间电子加速器机房东西向相邻建于车间南部。

本项目地理位置图示意图见1-1，机房拟建址所在车间平面布局见图1-3、1-4，项目拟建址及周围环境现状见图1-5、1-6。

8.2 环境现状评价对象、监测因子及监测点位

评价对象：本项目机房拟建址及周围辐射环境质量现状

监测因子：X- γ 辐射剂量率

监测点位：参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中布点规则，结合现场实际情况，进行布点。主要布点位置为加速器机房拟建址及评价范围内有代表性的人员逗留的位置，共计9个监测点位，布点位置详见表8-1和图8-1。

表8-1 监测点位一览表

序号	监测点位	点位描述
1	辐照车间	辐照加速器机房1拟建址
2		辐照加速器机房2拟建址
3	项目西北侧办公楼	现状为浩远科技办公楼（闲置）
4	项目北侧厂房	现状为捷瑞贸易公司仓库
5	项目东北侧厂房	现状为未出租厂房（闲置）
6	项目东北侧仓库	现状为缘凤食品公司仓库
7	项目东侧仓库	现状为企业仓库（王建辉）
8	项目南侧生产车间	现状为广宇人防生产车间
9	项目西侧门卫	园区入口门卫岗亭

注：除项目车间外，其余监测点位均在建筑外，取与机房拟建址直线距离最近处。

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

（1）监测单位：福建科达环境检测技术有限公司（CMA：211312110453）；

（2）监测时间及气象参数见表8-2；

表8-2 监测时间及气象参数一览表

日期	天气	温度 (°C)	湿度 (%)	风度 (m/s)	风向
2025年3月13日	多云	20~25	51~75	<3.3	西南风

(3) 监测仪器见表8-3;

表8-3 监测仪器信息一览表

仪器名称	便携式高灵敏度X、 γ 辐射剂量率检测仪
仪器型号及编号	MONITOR P2000 (KDSB003)
量程范围	10nGy/h~2mGy/h
能量响应范围	60keV~3.0MeV
检定/校准单位	上海市计量测试技术研究院
检定/校准证书编号	2024H21-10-5605820001
检定有效期	2024年11月18日至2025年11月17日

(4) 监测方法: 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) 和《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)。

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

本项目辐照加速器机房拟建址及周围环境的X- γ 辐射剂量率监测结果见表8-4, 详细监测结果见附件3。

表8-4 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率监测结果一览表

序号	监测点位	点位描述	X- γ 辐射剂量率 (nGy/h)
1	辐照车间	辐照加速器机房1拟建址	—
2		辐照加速器机房2拟建址	—
3	项目西北侧办公楼	现状为浩远科技办公楼(闲置)	—
4	项目北侧厂房	现状为捷瑞贸易公司仓库	—
5	项目东北侧厂房	现状为未出租厂房(闲置)	—
6	项目东北侧仓库	现状为缘凤食品公司仓库	—
7	项目东侧仓库	现状为企业仓库(王建辉)	—
8	项目南侧生产车间	现状为广宇人防生产车间	—
9	项目西侧门卫	园区入口门卫岗亭	—

注: 以上数据未扣除监测仪器本底值(宇宙射线响应值)。

8.4 辐射环境质量现状评价

由表8-4可知, 本项目各监测点辐射剂量率104~161nGy/h, 对照《中国环境天然放射性水平》(国家环境保护局, 1995), 福建省区域原野环境地表 γ 辐射剂量率25.9~334.3nGy/h, 故本项目拟建址及周围环境辐射剂量率均在福建省天然放射性水平区间内。



表9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

本项目2间辐照加速器机房内均拟配置1台DZ-10/20型电子加速器，均为立式结构，该加速器属于高频高能电子直线加速器，高频电场加速的电子，沿直线轨道传输。高能电子直线加速器是辐照消毒灭菌领域的主要机型，广泛应用于食品保鲜、化妆品、卫生材料、药品、医疗器械、农副产品的消毒灭菌，进出口食品的检验检疫等各个领域。

本项目DZ-10/20型加速器由电子枪、加速结构、功率源、微波传输系统、聚焦引导系统、真空系统、水冷系统、联锁控制系统、监测系统、束下系统、支撑系统组成，其基本结构如图9-1所示，技术参数见表9-1。

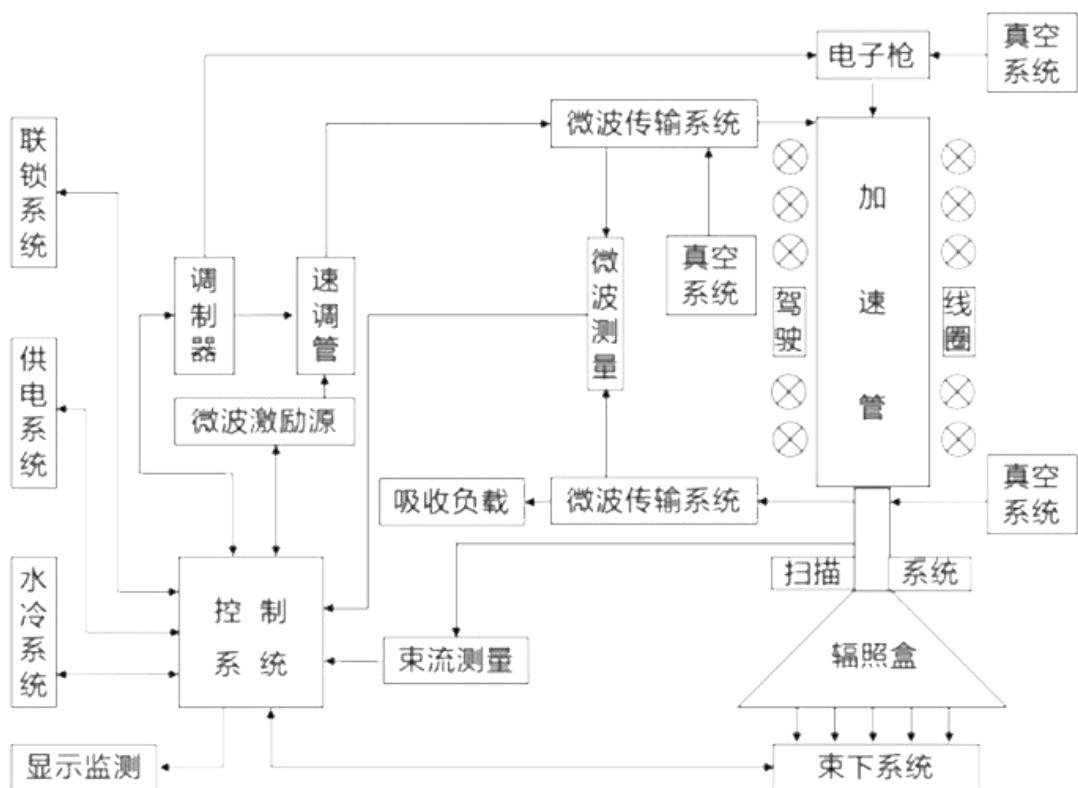


图9-1 电子直线加速器基本结构示意图

1、电子枪

电子枪发射一定直径、发射角度和能量的低能电子束，并且在阴极高压的作用下输入到加速管中，提供需要的电子束流到加速器系统。本型号电子直线加速器采用的是皮尔斯型电子枪，它是由金属—陶瓷封装结构的二极电子枪，具有良好的气密性、牢固性

绝缘性和足够的耐压强度。

电子枪的主要组成为灯丝（热子）、阴极、阳极，如图所示。灯丝加热到一定温度后，阴极会产生热电子。调制器的一路负脉冲高压加到阴极，阳极接地，阴极与阳极之间形成电压差，在阴阳极压差的作用下，阴极发射出的热电子形成电子束加速飞向阳极，经过阳极聚焦，最终穿过阳极孔进入加速管。本型号加速器电子枪的工作电压为50kV，发射束流连续可调。

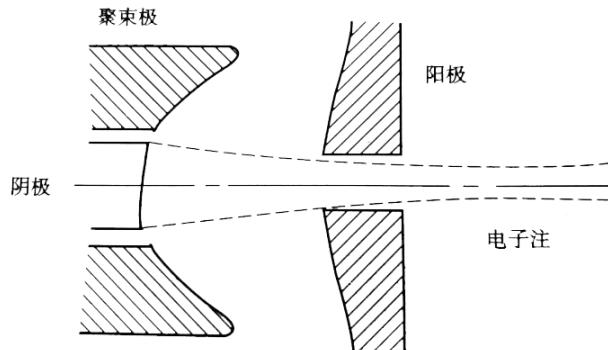


图9-2 二级电子枪结构示意图

2、加速结构

根据电磁场纵向分量的存在与否，电磁波可分为横向电波（TE波），横向磁波（TM波）和横向电磁波（TEM波）。直线加速器中的加速电场是横向磁波（TM波）的TM01模，它在轴上具有很强的电场成分，因此可以与在Z轴上移动的电子束交换能量，从而使电子获得能量并不断加速。

本型号加速器加速结构为行波加速管。行波加速管由沿轴向等距离连续放置的金属圆盘构成，金属圆盘中央带孔、外圆周与波导内壁相连。这些圆盘可视作电抗元件并成为圆波导的周期性负载，利用其周期性负载作用，使在圆柱形波导中空部分传播的电磁场相速慢下来，以实现电子的同步加速。

该行波加速管采用 $2\pi/3$ 模式的等a结构，可获得较高的分路阻抗和较好的通带特性，且便于微波调试，中心工作频率为2856MHz。

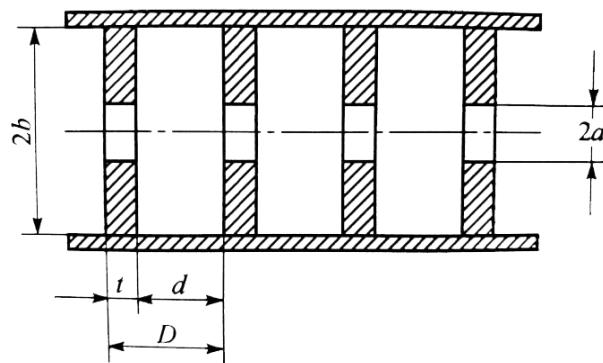


图9-3 行波加速管结构示意图

3、功率源

（1）微波激励源

本型号加速器选用的微波信号源为300kHz~3GHz射频信号源，匹配10MeV行波加速管，微波信号通过固态放大器和可调衰减器后输入速调管。

（2）速调管

本型号选用的是一种配有聚焦线圈和高压底座的多腔速调管。它由谐振腔、电子枪、收集极等组成。它的工作原理是电子经过速度调制进行高功率放大的微波器件。

速调管中，阴极发射电子，加阳极高压加速引出电子形成电子束，电子束在经历速度调制、群聚、激励谐振腔、再调制、再群聚、再激励等反复过程，电子束能量转换成微波，而剩余的能量在最终轰击收集极时转化为热能。

为了保证速调管正常工作，速调管各部分（收集极、管体、线圈、电子枪、输出窗等）均需冷却，分别由油冷、水冷来实现。

（3）调制器

调制器可以产生两路脉冲高压，一路供给电子枪，另一路供给速调管。本型号加速器选配线型脉冲调制器，由直流高压电源、充电变压器、充电整流器、脉冲形成网络（PFN）、放电开关（闸流管）、脉冲变压器、触发器等组成。

直流高压通过充电变压器和整流器向PFN充电，PFN与充电变压器形成串联谐振电路，PFN上充电电压约为直流电源电压的两倍。当触发器向闸流管发出导通信号后，PFN中储存的电量迅速通过脉冲变压器和闸流管放电。脉冲变压器的次级连接功率源，功率源的阻抗近似等于PFN的特征阻抗。因此，放电过程中，PFN上一半的电压加载到脉冲变压器上，为功率源提供大功率强流脉冲。

4、微波传输系统

微波传输系统包括除加速管外的整个微波通道，包括波导、耦合器、定向耦合器、陶瓷窗、吸收负载等微波器件。各器件都有承受额定功率的限值。

微波功率从速调管的输出窗输出后经矩形波导、输入耦合器进入加速管。输入耦合器将矩形波导中的TE10模转换为圆柱形加速管中的TM01模，在加速管中形成加速电场并将能量传递给电子束流。未利用的剩余微波功率，通过输出耦合器、陶瓷窗，在吸收负载（水负载）上被吸收转化为热能。

5、聚焦导引系统

(1) 聚焦系统

聚焦系统的作用是将空间中的电子束聚焦成束。电子在加速管运动的过程中，电子会在高频电场的作用下向横向散焦，并且同等电荷间的相互作用也会导致电子束发散。

为了给空间中电子束聚焦，在加速管外设置了三组可拆卸线圈的螺线管线圈，通过其建立的轴向磁场为电子束聚焦。其中，加速管微波输入附近位置有两组线圈，加速管出口位置设置另一组线圈。

(2) 导向系统

因为机械加工和人工安装会存在误差，电子束的物理中心轨道与机械中心位置可能会有偏差。实际过程中，电子束的物理中心轨道需要与机械位置中心同心，所以需要调整电子束运行轨迹使电子束的物理中心轨道和机械位置中心同心。本加速器使用校正铁线圈对束流进行方向调整，它由两组相互垂直的螺线管线圈组成，位于两组加速管聚焦线圈之间，用来对水平面X、Y两个方向进行导向。

(3) 扫描系统

扫描系统是为了满足辐照要求，让电子束均匀的扫描在辐照货物上。本型号加速器利用扫描磁铁产生类似于三角波的磁场往复扫描，电子束在磁场的作用下发生偏转，形成带形电子束带。电子束带经辐照盒穿过厚度为 $40\mu\text{m}$ 的钛膜后，均匀照射在待辐照货物上。

(4) 辐照盒

偏转磁铁产生的磁场作用于电子束，形成的带状光束通过辐照箱输出，辐照箱是不锈钢制成，为防止真空下内外的巨大气压差变形，辐照箱外表配有多加强筋。照射箱的输出口为 $40\mu\text{m}$ 钛膜，并配有排气扇冷却钛膜。电子束与空气中的氧气电离，在钛膜附近产生少量臭氧。

6、真空系统

电子加速器在运行过程中需要维持较高的真空水平，保证高度真空可以减少电子束流在加速、传输过程中与气体分子的碰撞，从而引起束流损失及高频放电。通常真空度希望优于 10^{-5}Pa 。本项目使用的加速器主要以钛离子泵作为真空获得与维持设备，满功率运行时的真空度应控制在 $10^{-6}\text{Pa}\sim 10^{-7}\text{Pa}$ 。

在速调管输出窗、电子枪、加速管入口和扫描系统上端都配有离子泵。加速管入口配有真空规测量和监测真空度。

7、监测系统

系统运行时，需要实时监测多个部分功能的参数。如：电子枪灯丝电流、调制器高压、束流、微波、真空度、离子流等，还有各系统电源的反馈值。

电压电流为调制器脉冲变压器监测信号。

微波信号分正向微波功率和剩余微波功率，分别指馈入加速管的微波功率和加速管末端输出的微波功率，皆由耦合器输出，经衰减后在示波器上获得波形。

束流测量使用的是束流环（束流变压器），位于加速管末端。当电子束流通过束流环时，会产生脉冲电流，串入一个负载电阻，当电流流过时，会产生电压，其大小正比于束流强度，经标定后可以测定束流强度。

各参数通常经调试后稳定于某一数值，运行时可通过这些参数的监测实时反映调制器、微波功率源、束流等参数的异常。

8、联锁控制系统

（1）控制系统

保证加速器各个系统连接在一起并稳定、高效运行的是控制系统。它由软件和硬件组成。硬件主要由含PLC设备的控制电源和控制电脑组成，软件采用的是自主研发的控制软件，能够对整个系统联锁控制、远程控制和实时通讯。

控制系统含有时序发生器。在加速器运行中，调制器高压和微波信号作为两路输入，需要同步协调加速器正常运行。时序发生器可以延时触发同步两路信号。

（2）联锁系统

辐射安全联锁系统和设备安全联锁系统构成联锁系统。根据国家相关标准，为保护工作人员的人身安全，设立了辐射安全联锁系统。它由急停按钮、拉线开关、巡检按钮、门锁（包括设备间和辐照室的机械锁和电磁锁）、光电保护等装置组成。当其中任何一个安全设施启动时，高压立即关闭。设备安全联锁系统将各系统电源的输出联锁信号接入控制电源以达到联锁的目的。加速器各系统运行正常时，会回送给控制系统一个正常信号，否则，任一分系统出现故障，将自动切断高压，从而保护加速器设备的安全。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，继续通风至少4.4min后才能开门，以保证室内臭氧及氮氧化物等有害气体浓度低于允许值。为防止回送信号相

互干扰，联锁系统的回送信号都通过触点隔离。本项目联锁设置满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）标准要求。

9、水冷系统

恒温系统和冷却系统构成水冷系统。项目设备冷却水使用去离子水，为外购成品，本项目范围内不涉及纯水制备工艺。项目设备冷却水循环使用不外排，定期补充。

加速管需要恒温水系统保持加速结构冷却水温的稳定度。加速结构受温度变化影响很大，温度变化过大会造成微波频率与加速管腔频率不匹配，导致电子加速过程受到影响，1°C的温度变化会引起50kHz的腔频率改变，通常要求维持在±1°C。

加速器在运行过程中，调制器、速调管、吸收负载、加速管聚焦线圈等部件，都会产生大量余热，需要一套稳定并适配功率的水冷系统对加速器相关系统进行冷却。

10、束下系统

束下系统采用垂直束辐照的滚筒式传送结构，上置不锈钢托盘承载产品，辐照加工区采用抗电离辐射和抗氧化锈蚀的全不锈钢结构；可根据用户需要选配自动翻转结构。

11、支撑系统

支撑系统包括加速器主体不锈钢支撑、微波系统铝型材支撑、操作控制台、电源机柜等。

表9-1 本项目新建电子加速器技术参数一览表

技术指标	产品型号
	DZ-10/20
最大束流能量	10MeV
最大束流强度	2mA
最大束流功率	20kW
最大束流脉冲宽度	15μs
扫描宽度	600~900mm
主机室内束流损失点能量	3MeV
电子束流强度	0.1mA
最大束流损失率	5%
束流不稳定度	≤5%
能量不稳定度	≤5%
扫描方向剂量不均匀度	≤5%
主射束方向	向下
加速器工作方式	连续

9.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

1、工作原理

电子加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制，电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束的设备。

工业三相电经调制器输出两路脉冲高压，频率均在数百赫兹。其中一路馈入激励功率源（速调管），由功率源产生高功率微波脉冲，再经微波传输系统馈入加速管并在加速管中建立加速电场；另一路加载到电子枪，引出低能电子束。低能电子束贯穿结构均匀、相速接近光速的行波加速管，受行波电场的作用，并加以聚焦、导向，持续加速电子使之能量达到10MeV，最终经扫描系统展开后从辐照盒射出。当辐照产品经传输系统传送到扫描窗下，高能电子将穿透产品，以达到消毒灭菌等效果。

电子束辐照加工，主要用于物品的灭菌消毒、食品保鲜以及高分子材料的改性。其中辐照灭菌消毒是利用电子束电离辐射穿透力强、能耗低、无毒物残留不污染环境，速度快、操作安全、加工易于控制，且常温下可行的优点，目前在灭菌消毒行业已占据大部分市场份额。食品辐照保鲜技术是指食品在电离辐射作用下，产生物理、化学、生物效应，使之抑制发芽、杀虫灭菌、控制寄生虫感染，以延长货架期，提高卫生质量的方法。高分子材料的改性是指高分子被辐照时发生辐射交联反应而改变性质，提高被辐照产品的隔热性、耐低温性、耐老化性等，最终提高被辐照产品的整体技术指标。

2、工艺流程及产污环节

本项目加速器辐照装置进行辐照货物的工艺流程主要为：

- (1) 判断货物种类，确定所需的辐照剂量范围。
- (2) 技术人员做开机前准备，对现场和辐照装置进行安全检查和巡检，搬运工人准备搬运货物。
- (3) 技术人员根据待辐照货物大小设置机器参数和输运线传输速度。
- (4) 处于辐照室外的搬运工人往输运线上搬运货物，技术人员启动传送滚筒并启动加速器辐照装置开始辐照。辐照室内会产生X射线，同时电子束电离空气产生臭氧、氮氧化物等气态污染物；被辐照的货物本身不产生污染。
- (5) 经过辐照后的货物由传送滚筒自动传送至辐照室外，由搬运工人从传送带上卸货。

(6) 停机后加速器停止出束，不再产生X射线，辐照室内的臭氧、氮氧化物等气态污染物浓度随排风系统继续运行而降低浓度。

整个辐照过程，工作人员不进入辐照室与主机室，均在辐照室外一定距离外的装卸货区进行辐照货品的装、卸，所有需照射加工的货物都是通过输送线运输到束流中心辐射区进行辐照加工。工作人员在辐照装置开启前进入辐照室巡检，此时工作人员携带主控钥匙（连有便携式辐射检测报警仪）进入辐照室，工作人员离开辐照室，进入操作室在主控台插入钥匙后加速器方可启动。

本项目电子加速器辐照加工过程主要产污环节示意图见图9-4。

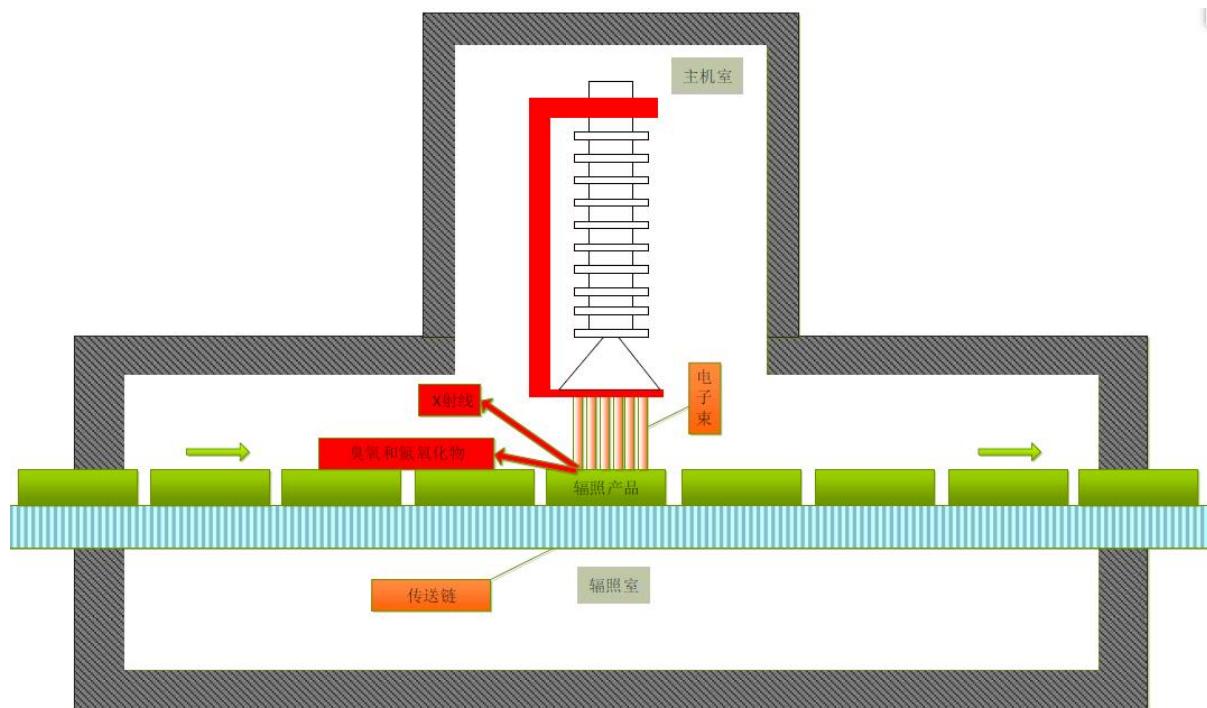


图9-4 本项目辐照加工过程主要产污环节示意图

9.1.3 劳动定员和工作负荷

本项目辐照机房暂定配备8名工作人员，拟采取单班制，每台加速器单班均拟配备1名控制室操作人员、3名上下货及搬运工作人员，每台加速器年开机辐照时间不超过2400h，单名人员年工作时间不超过2400h。

辐照加工全程，操作人员在控制室内设置并监控加速器运行参数和运行情况，属于本项目辐射工作人员；而上下货及搬运工作人员仅在链式传送带旁的上货区、下货区工作并从事货物搬运工作，不从事辐射工作，属于本项目公众，加速器运行期间无人进入辐照室和主机室内。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期污染源

本项目辐照加速器机房为新建建筑，在现有厂房内新建2间混凝土机房。现有厂房高度约为7m，新建机房最高处（主机室）为9.5m，故建设过程中涉及厂房钢结构顶棚局部加高。建设施工时会产生少量的废气、扬尘、噪声、固体废物以及废水等污染物。施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

1、废气

本项目主要采用商品混凝土浇筑，故扬尘产生量较小。建设单位应加强施工场地管理，采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

2、噪声

施工期噪声主要包括施工机械、运输车辆以及土建施工产生的噪声，由于施工范围小，集中在车间内部，噪声对周边环境的影响较小。施工设备应选择低噪声设备。

3、废水

本项目废水主要为施工废水和施工人员产生的生活污水。本项目使用商品混凝土为混凝土搅拌车提供成品，不涉及混凝土搅拌等工艺，故施工废水主要为少量机械设备清洗用水，经沉淀处理后用于场地洒水抑尘等。生活污水依托园区污水处理设施处理。

4、固体废物

本项目固体废物主要为建筑垃圾和施工人员产生的生活垃圾。建筑垃圾应定点堆放，委托有资质的单位清运，并做好清运中的装袋工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。生活垃圾产生量较少，由园区统一收集后，交由环卫部门清运。

9.2.2 运行期污染源

根据工艺流程及产污环节可知，本项目运行过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。项目运行期间污染源主要有放射性污染和非放射性污染。

1、放射性污染

（1）正常工况

加速器在进行辐照时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束，利用电子束对产品进行辐照。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X射线，对加速器机房产生一定的辐射影响。此外，电子束打到高原子序数物质时，由于轫致辐射也会产生高能X射线，X射线的贯穿能力极强，若未完全屏蔽，会对辐照室周围环境造成辐射污染。

辐照加速器的电子出射范围小，易屏蔽，但在运动中受到加速器部件、阻挡板和地板等材料的阻挡后，产生很强的轫致辐射（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，其贯穿能力远弱于X射线，因此在电子加速器的屏蔽要求上，只需考虑所产生的X射线的屏蔽。本项目加速器产生前向0°的轫致辐射照射方向为地面，侧向90°轫致辐射照射方向为辐照室墙体，因评价项目无地下层，所以主要考虑90°方向的轫致辐射。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），对于能量不高于10MeV的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。本项目电子加速器输出电子束能量最高为10MeV，故本项目辐照加速器机房无需考虑中子防护。因此，在加速器开机辐照期间，X射线辐射为项目主要的污染因素。

（2）非正常工况

本项目使用的工业辐照电子加速器属于II类射线装置，自带监测连锁功能，持续监测设备周边剂量，当发现剂量超过正常范围时照射无法启动或立刻停止。因此，本项目在运行过程中发生误照事故导致放射性污染事件的概率很小，可能发生的事故主要是由于管理或人为操作不当而导致的误照事故。

2、非放射性污染

（1）机房内空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。其中臭氧的毒性较高，产额为氮氧化物的三倍，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。加速器机房在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。

（2）本项目电子加速器在运行过程中水冷机组、风机等会产生噪声，对周围声环境产生一定的影响。

（3）本项目辐射工作人员会产生少量的生活污水和生活垃圾。

（4）加速器配备的水冷系统，冷却水均为去离子水，为外购成品，定期补充，正常工作时不外排；加速器事故或检修时可能会外排少量的冷却水。

表10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所分区

1、工作场所布局

本项目新增2间辐照加速器机房均为地上两层混凝土结构。一层为货物辐照区，主要包含辐照室、迷道、上下货物缓冲区，迷道入口处均设有电磁锁上下活动防护门，不开展辐照工作时，安全门关闭并上锁；二层为设备区，主要包含主机室、电源间、控制室和水冷平台。

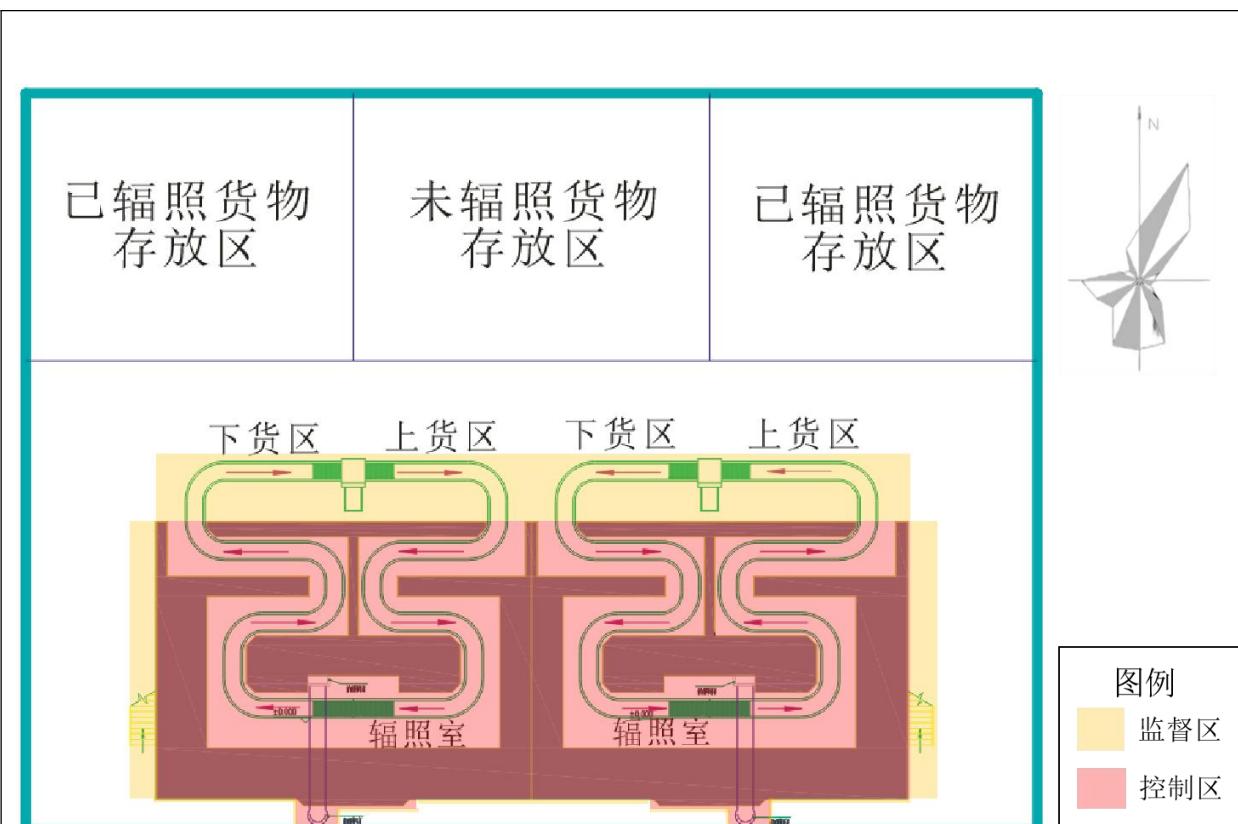
2、工作场所分区

本项目使用的2台工业电子加速器为全屏蔽式加速器。为防X射线对环境的影响，按照《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)等相应的要求对辐照工作场所划分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

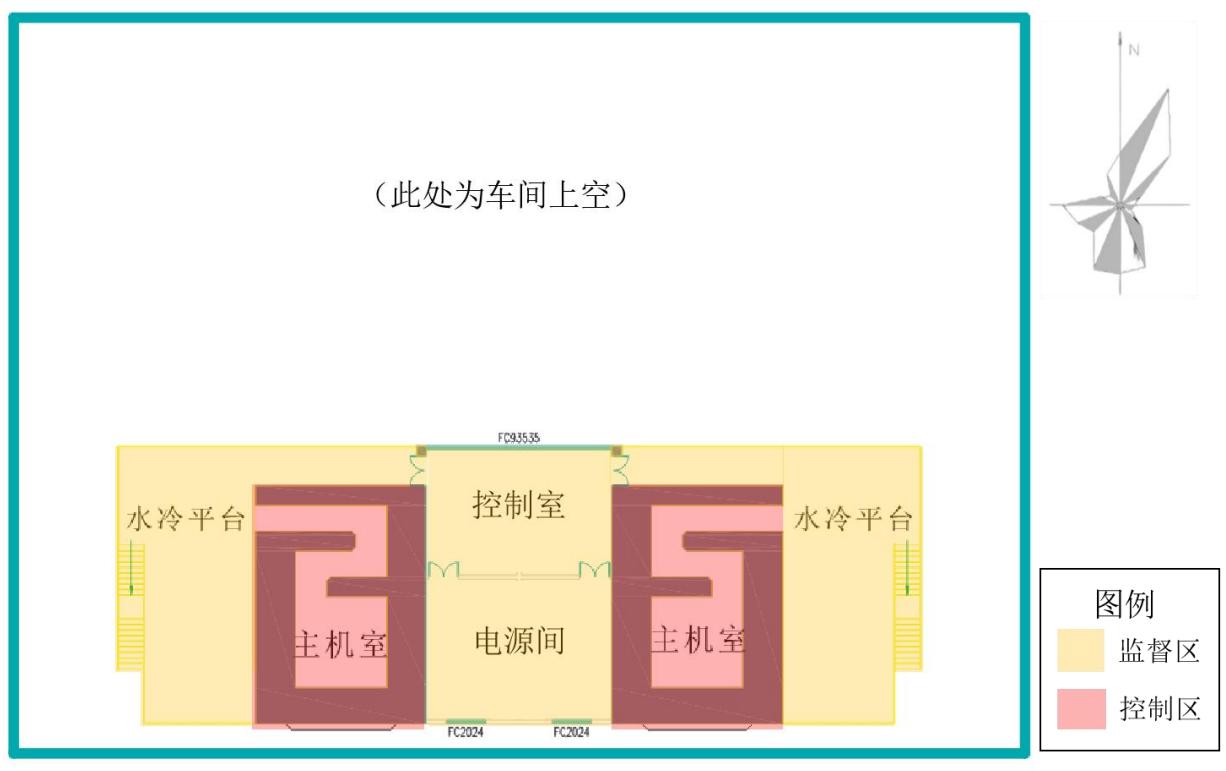
控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。**本项目拟将以屏蔽墙体为界的整个机房（辐照室和主机室，包括迷道和出入口）划为控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在辐照室迷道外、防护门外设置电离辐射警告标志及中文警示说明等。**

监督区：该区域通常不需要专门防护手段或安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价，即在其中连续工作人员一年内受到的辐射照射一般不超过年限值的十分之三、而可能超过十分之一的区域。**本项目拟将一层辐照室北墙外约3.55m（包括上下货区）和南墙外30cm范围内、机房1西墙外和机房2东墙外楼梯、二层主机室周边的控制室、电源间、水冷平台、周围通道均设置为监督区。**一层监督区边界地面明显处粘贴警示线及监督区标识，二层监督区入口处设置监督区警示标志。电子加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员禁止进入。

本项目辐照加速器机房布局分区示意图见图10-1。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中关于辐射工作场所的分区规定。



辐照车间一层



辐照车间二层

图10-1 本项目辐照加速器机房布局分区示意图

10.1.2 辐射防护屏蔽设计

本项目2间辐照加速器机房均使用等级不低于C25的混凝土浇筑而成，建筑地上部分混凝土量约1100m³。本项目辐照加速器机房拟采取的辐射防护屏蔽设计见表10-1，辐照加速器机房平面图和剖面图见图10-2和10-3。

表10-1 本项目辐照加速器机房拟采取的辐射防护屏蔽设计一览表

位置	防护屏蔽参数
辐照加速器机房1 一层辐照室	北墙（迷道外墙） 750mm混凝土
	迷道内墙 1000mm混凝土
	内隔墙 南北向：2000mm混凝土 东西向：2850mm混凝土
	南墙 西部：2600mm混凝土 中部：2900mm混凝土 东部：2600mm混凝土
	西墙 西部+中部：2600mm混凝土 东部：600mm混凝土
	东西之间迷道隔墙 500mm混凝土
	东墙（与机房2西墙相邻） 西部：600mm混凝土 中部+东部：2600mm混凝土
	顶部 1350mm混凝土
	防护门 不锈钢
辐照加速器机房1 二层主机室	北墙（依次由北向南） 北墙1：1000mm混凝土 北墙2：1000mm混凝土 北墙3：1000mm混凝土
	南墙 1800mm混凝土
	西墙 2000mm混凝土
	东墙 2000mm混凝土
	顶部 1100mm混凝土
	防护门 不锈钢+3mm覆铅皮

注：1.辐照加速器机房2与机房1呈左右对称结构，防护屏蔽参数与机房1一致；

2.混凝土密度为2.35t/m³，铅密度为11.34t/m³。

为了防止射线泄漏，辐照加速器机房排风管道采用S形通道设计，管道埋于地下深度≥1m处，尺寸为400mm×1000mm，保证X射线至少需经3次散射才能到达排风管道地面出口外；电气管线均采用预埋方式从水平面或垂直面以斜形或迷宫式穿墙，穿墙管道的开口均避开辐射直射区和人员经常停留的地点，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

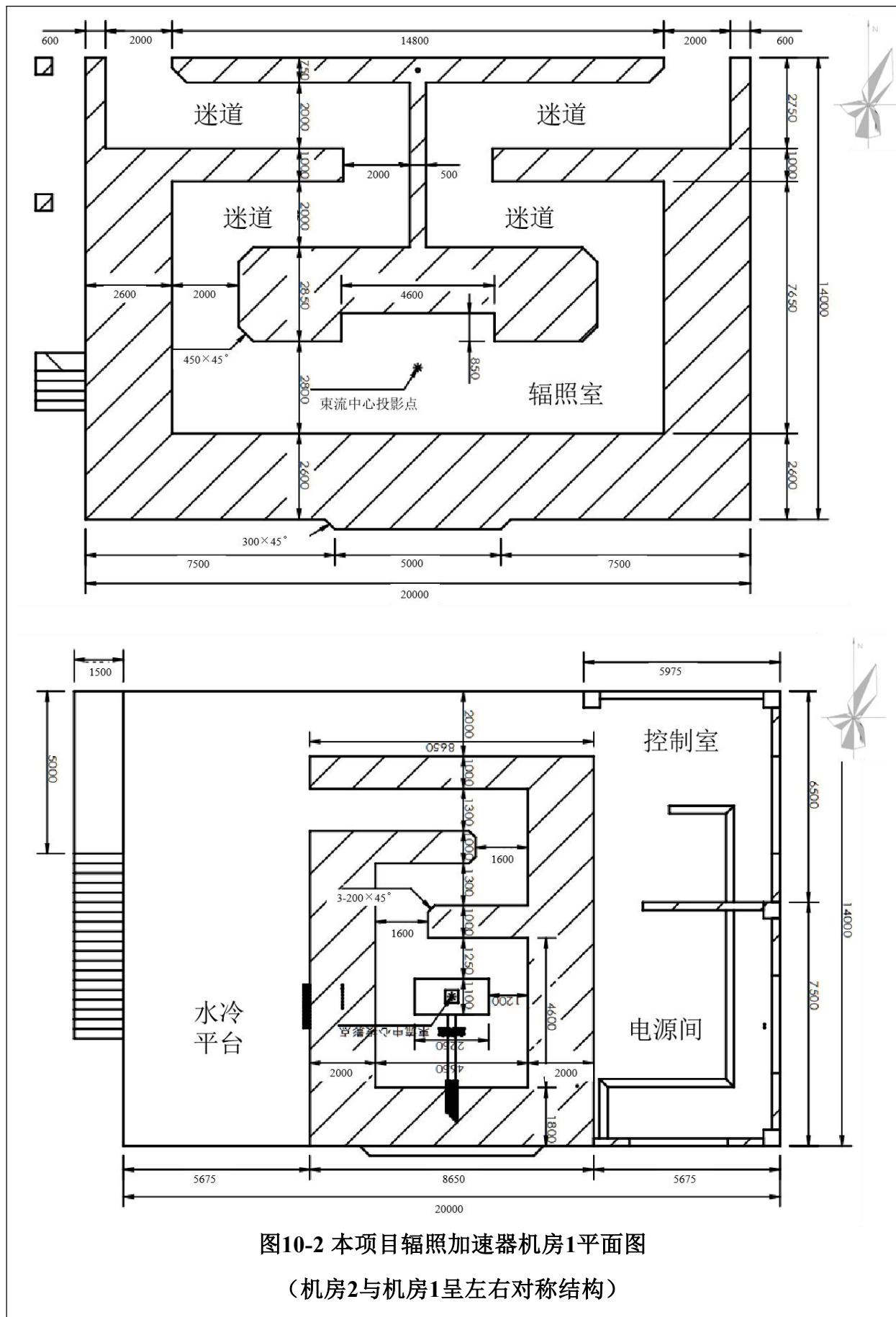


图10-2 本项目辐照加速器机房1平面图

(机房2与机房1呈左右对称结构)

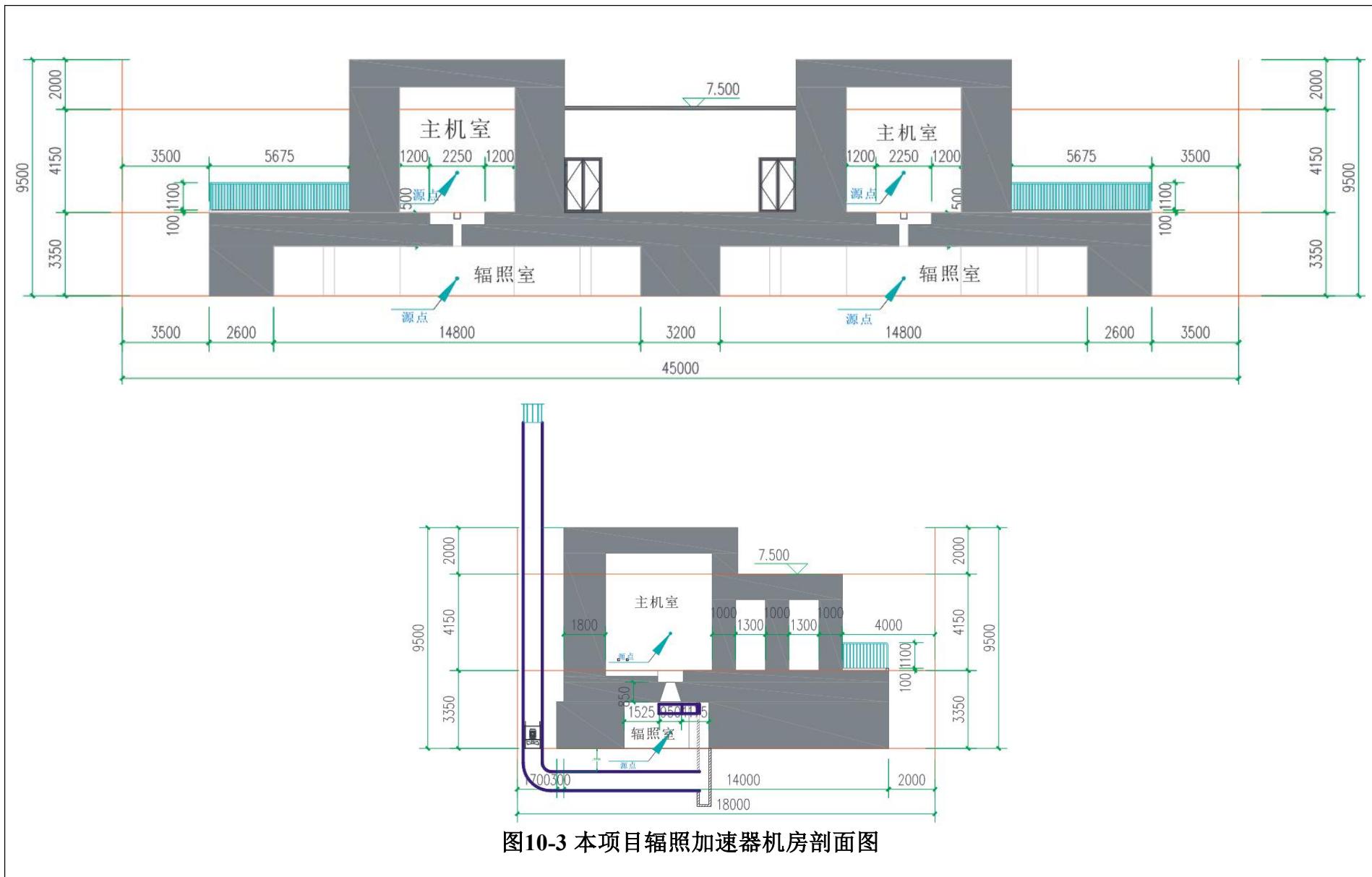


图10-3 本项目辐照加速器机房剖面图

10.1.3 辐射安全和防护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器辐照期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目 2 间辐照加速器机房均设计有相应的辐射安全装置和保护措施，并与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中相关辐射安全要求进行对比，结果详见表 10-2，辐照防护联锁图见图 10-4（图示为机房 1，未做标注处为左右对称，机房 2 与机房 1 布置一致）。

表 10-2 本项目拟设置的辐射安全和防护设施对照评价

序号	辐射安全和防护措施	《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）	本项目每间辐照加速器机房	对比
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。	本项目加速器机房设有，控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机；加速器的主控钥匙开关和辐照室、主机室维修门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；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。	满足
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。	辐照室门、主机室门与束流控制和加速器高压联锁。门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。门机联锁装置性能可靠，其引发加速器停机时可自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机联锁装置不设置旁路，维护与维修后将恢复原状。	满足
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。	电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件，用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统若因故障偏离正常运行状态或停止运行时反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。	满足
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。	辐照室、主机室出入口处设置醒目的“当心电离辐射警告标志”和工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器辐照装置联锁；当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，音响警示装置启动伴有蜂鸣，以提醒周围人员勿靠近。	满足
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。	辐照室内设置6个“巡检按钮”，主机室内设置2个“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器关机后，巡检按钮被触发，加速器无法开启高压，加速器开机前，操作人员需进入辐照室和主机室绕行一圈按序按下全部“巡检按钮”，确认无人员误留，完成巡检流程后，加速器才能开启高压。	满足

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。	在辐照室、主机室人员出入口通道，各设有1套防人误入光电装置（辐照室2套，主机室1套），每套装置均由三道防人误入的光电联锁装置组成，光电装置安装高度覆盖0.3m~1.6m，能够完整覆盖由门进入的常规人体高度。当有人员误入辐照室、主机室，身体将任意一处红外线挡住后，电子加速器将立即断电停机，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在电子加速器开机过程中，人员误入辐照室、主机室造成误照射。	满足
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。	在辐照室、主机室的入口处、迷道和辐照室及主机室内各墙面均设计有紧急停机开关，紧急停机开关距地面高度约1.4m。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。在辐照室入口处，距离地面高度约1.2m处，安装拉线开关。当拉线开关正常时，电子加速器方可启动进行出束作业；当电子加速器正常启动出束作业过程中，若拉拽拉线开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，电子加速器才能重新启动。	满足
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。	在机房内安装一套固定式辐射剂量监测系统，配备3个监测探头（辐照室2个，距地面1.9m，主机室1个，距地面2.6m），数字显示装置安装在控制室内，固定式辐射剂量监测系统与辐照室和主机室维修门联锁，当任一监测点处的辐射剂量率超过设定的阈值时（辐照室 $0.25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，主机室根据实际调试情况设定），固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室和主机室维修门无法打开。	满足
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。	主机室、辐照室内设置通风系统，并与控制系统联锁，当通风系统出现故障或停止运行时，加速器不能启动工作；加速器停机后，至少通风4.4min后才能开门，以保证机房内的臭氧等有害气体浓度低于允许值。	满足
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。	辐照室、主机室内设置烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器立即停机并停止通风。	满足
11	警告标志	/	在辐照室和主机室维修门外、辐照室货物进出门洞外及周围醒目处粘贴醒目的、符合GB18871规定的“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿在其附近停留。	满足

12	监控系统	/	在辐照室和主机室内、维修门和货物进入门洞周围等处安装监控探头，监控器设置在控制室主控台上，可覆盖监控机房内外情况。	满足
----	------	---	---	----

此外，为进一步确保辐照工作中的辐射安全，本项目同时按 HJ979-2018 中相关要求落实电气系统、给水系统、通风系统和防火系统，对比结果详见表 10-3。

表10-3 本项目拟设置的其他要求对照评价

序号	内容	《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)	本项目每间辐照加速器机房	对比结论
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。 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。	本项目位于龙州工业园，供电条件能够满足加速器装置及厂房建设和公用工程的供电要求，能够确保电压电流的稳定度。 主机室、辐照室、控制室均设置有应急照明系统。各供电系统及相关设备均有可靠的接地系统。凡有高压危险的部位，均设置有高压联锁、高压放电保护装置。	满足
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。 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。	根据加速器装置总用水要求，本项目给水系统可提供一定裕量的水流量和水压。 给水系统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。	满足
3	通风系统	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。 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录B。 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。 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。	本项目加速器机房设计有机械排风装置，辐照室内的排气口设置在扫描窗下方的位置，风机排风速率不低于 $12000\text{m}^3/\text{h}$ ，排风管道最终排放口为离地 15m。 经理论估算，排风系统可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，有害气体的排放满足 GB3095 的规定。	满足
4	防火系统	辐照室和主机室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。	辐照室和主机室采取实体屏蔽结构，耐火等级不低于二级，辐照室、主机室内设计有烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器能立即停机并停止通风；同时设计有有效的灭火设施。	满足

综上所述，本项目辐照加速器机房拟采取的辐射安全和防护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中有关安全联锁、工作指示灯、警示标、急停开关等安全设施的要求以及纵深防御、冗余性、多元性、独立性的安全原则，也能满

足《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）等标准中关于安全设施的要求，项目设计安全可行。

10.2 三废的治理

1、废气处置措施

本项目无放射性废气产生。非放射性废气为电子加速器工作时产生的X射线电离机房内空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

本项目2间加速器机房拟各设置1台机械排风装置，风机排风量为12000m³/h，排风管道采用埋地设计，经排气筒引至辐照厂房顶部排放，排放口离地15米。废气排入外环境后，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

2、噪声处理措施

本项目辐照加速器机房将采用低噪声水冷机组、风机等设备，并采取基础减震，进行降噪处理，经墙体隔声和距离的衰减后，设备噪声对周围环境影响很小。

3、废水处理措施

本项目无放射性废水产生。非放射性废水为辐射工作人员产生的少量生活污水，经园区化粪池处理后排至市政污水管网，满足相关环保要求。

本项目循环冷却水定期补充，不外排。本项目电子加速器输出电子束能量最高为10MeV，冷却水活化的水平很低，如遇加速器事故或检修，外排的冷却水可直接作为普通工业废水排入园区的污水处理系统，对周围环境影响很小。

4、固体废物处理措施

本项目无放射性固废产生。非放射性固废为辐射工作人员产生的少量生活垃圾，分类收集后交由环卫部门统一处理，满足相关环保要求。

10.3 环保投资估算

本项目环保投资估算明细见表 10-4。

表 10-4 本项目环保投资明细一览表

序号	项目	数量	投资金额（万元）
1	辐照加速器机房的土建和防护施工	2间	582
2	辐射安全装置和保护措施（钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置等）	2套	8
3	通风系统	2套	10
4	个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核	/	2
5	辐射监测仪器、辐射工作场所及周围环境年度监测	/	5
合计			607

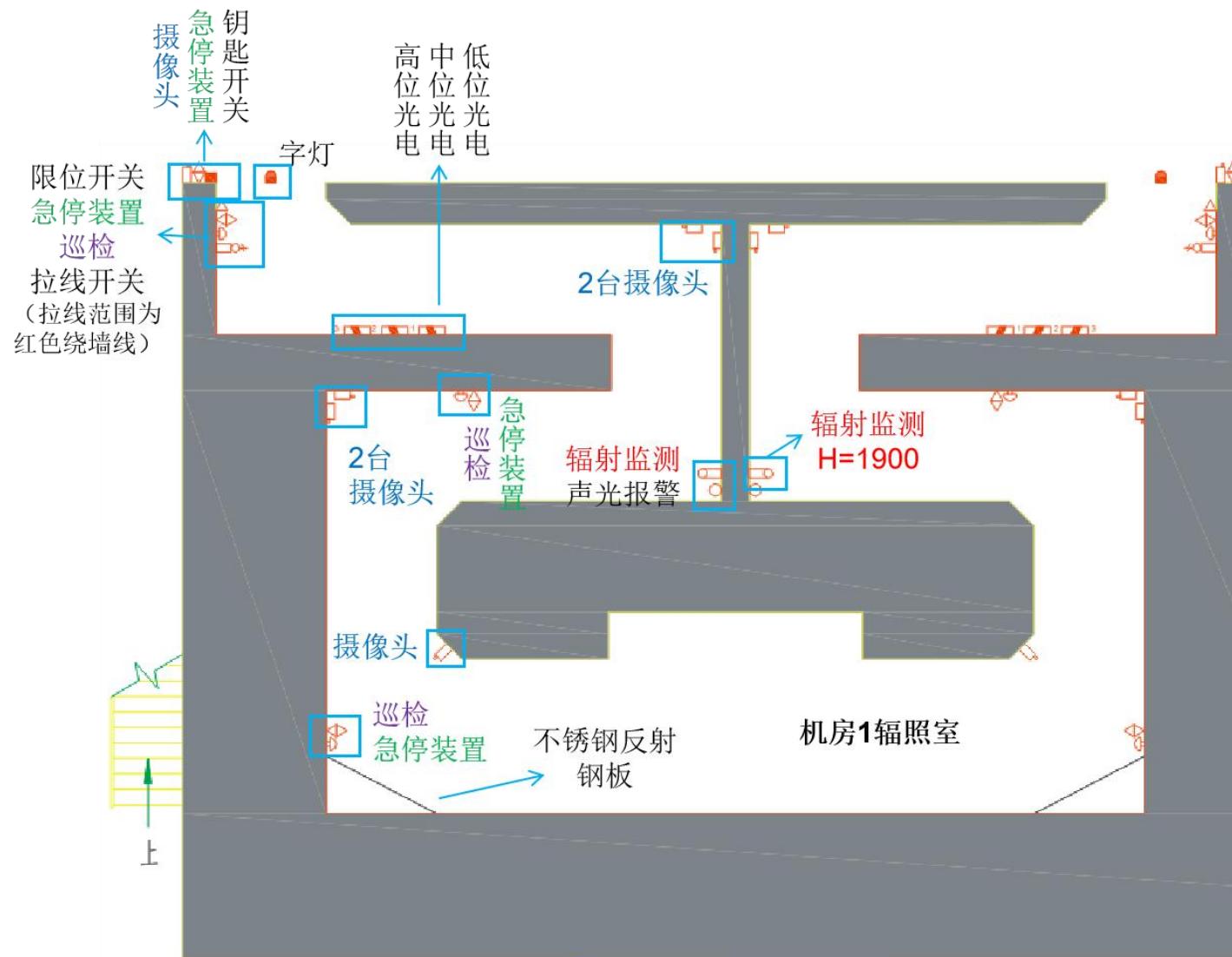


图10-4 本项目电子加速器机房辐照防护连锁图（辐照室）

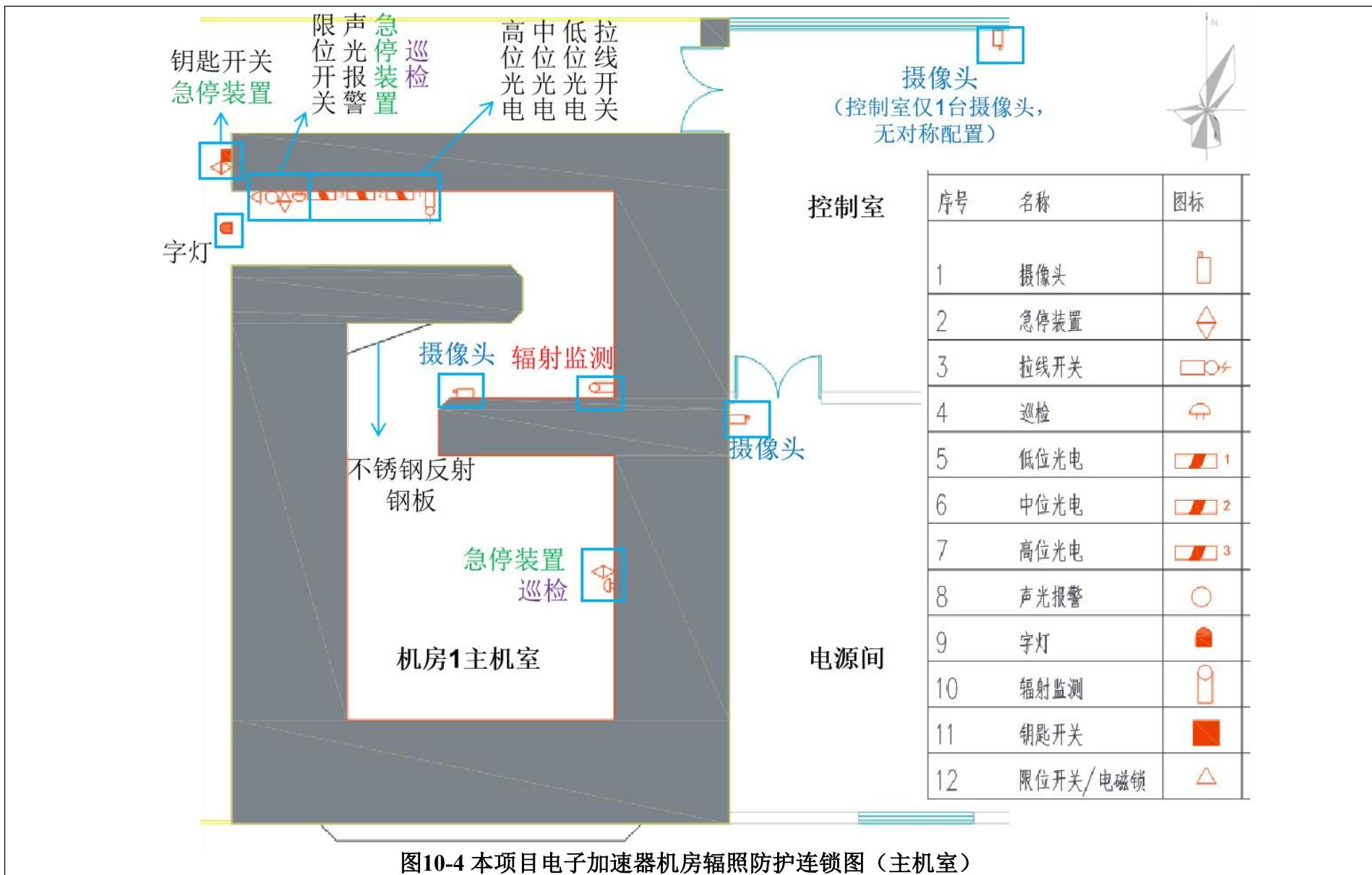


表11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工阶段为新建2间混凝土加速器机房和现有厂房钢结构顶棚的局部加高，在建设阶段会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及拟采取的污染防治措施如下：

1、大气：本项目采用商品混凝土浇筑，机械和运输车辆作业时会产生少量扬尘，但产生的影响仅局限在车间内和施工场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声：本项目施工噪声主要包括施工设备和运输车辆产生的不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用低噪声设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等，保证施工过程对施工场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得相关部门同意。

3、固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾和施工人员产生的生活垃圾。建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

4、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。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。公司计划在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在厂房内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

1、直射X射线辐射影响分析

(1) 估算模式

在电子加速器运行时，电子束出束方向朝下，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生轫致辐射（X射线），X射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。在辐照室内电子束可能轰击的物质有3种：混凝土地面；电子扫描器下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）；辐照产品。不同能量电子束轰击不同物料时，其轫致辐射（X射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上轫致X射线的发射率也不相同。本项目被轰击物质中不锈钢Z值最大，X射线发射率最高，因此本节选取以不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A公式（A-1）可以导出参考点的剂量当量率H（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）：

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

式中：D₁₀——距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率， $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

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，本项目保守取1；

B_x——X射线的屏蔽透射比；

d——X射线源与参考点之间的距离，m。

D₁₀计算方法为：

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad (\text{公式11-2})$$

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可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法为：

$$B_x = 10^{-n} \quad (\text{公式11-3})$$

$$n = (S - T_1)/T_e + 1 \quad (\text{公式11-4})$$

式中：S——屏蔽体厚度，cm；

T₁——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的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；

n——十分之一值层的个数。

(2) 加速器辐照室屏蔽计算结果

辐照室内，加速器电子束方向朝下，不直射向四周屏蔽墙，辐照室地下为土层、人员无法居留，不考虑辐照室底部的屏蔽防护效果；辐照室屏蔽墙辐射影响主要考虑轫致辐射所致、与电子束入射方向呈90°的初级X射线，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入射电子能量的特性参数，根据直射X射线屏蔽的方法进行计算。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附表A.1，10MeV入射电子入射到高Z靶上（ $Z > 73$ ），在距靶1m处侧向90°的X射线发射率Q为 $13.5 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；在本项目可能被辐照的材料中，不锈钢Z值最大，X射线发射率最高，本项目保守考虑，90°方向的修正系数 f_e 为0.5。

本项目新增10MeV电子加速器束流强度为2mA，根据公式11-2，可计算得出辐照室距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率 $D_{10}(90^\circ) = 60 \times 13.5 \times 2 \times 0.5 = 810 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

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.4，10MeV电子在侧向90°屏蔽能量取相应等效能量为6MeV。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附表A.2和附表A.3，采用内插法，入射电子能量为6MeV，混凝土的 T_1 和 T_e 值均为34.2cm。

根据公式11-1~11-4，本项目加速器辐照室墙体的屏蔽计算结果见表11-1，参考点位见图11-1（本项目加速器机房1和机房2为对称设计，以机房1为例标注参考点位）。

表11-1 电子加速器辐照室屏蔽计算一览表

参考点位		S (cm)	n	B_x	d (m)	D_{10} (Gy/h)	T	H_M ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A1	辐照室南墙外30cm	290	8.48	3.31×10^{-9}	5.2	810	1/4	2.48×10^{-2}
A2	辐照室西墙/东墙外30cm	260	7.60	2.50×10^{-8}	10.3	810	1/4	4.77×10^{-2}
A3	辐照室货物出入口外30cm	386.7	11.31	4.93×10^{-12}	12.42	810	1	2.59×10^{-5}
A4	辐照室北墙外30cm	275.7	8.06	8.68×10^{-9}	9.85	810	1	7.25×10^{-2}

注：各参考点到辐射源的距离d和混凝土厚度S均由电子加速器CAD设计图直接得到。

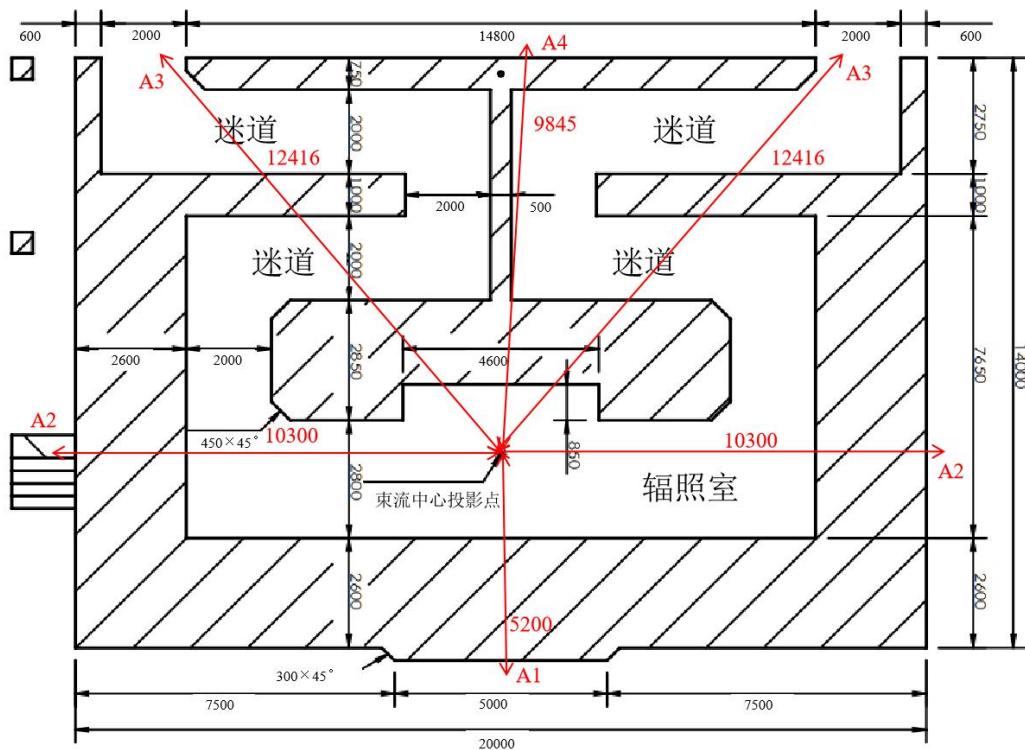


图11-1 加速器辐照室参考点位示意图 (单位: mm)

(3) 加速器主机室屏蔽计算结果

不同类型的电子加速器在加速过程中的束流损失有很大差异, 根据设备厂家提供的资料, 本项目电子加速器在加速过程中的束流损失率为5% (即电子束流强度为0.1mA), 束流损失点的能量为3MeV; 根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附表A.1, 3MeV入射电子在距靶1m处侧向90°的X射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90°方向的修正系数 f_c 为0.5。根据公式11-2可计算得出主机室 D_{10} 为 $=60\times 3.2\times 0.1\times 0.5=9.6\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

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90°屏蔽能量取相应等效能量为1.9MeV, 本项目保守取2MeV。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附表A.2和附表A.3, 入射电子能量为2MeV, 混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为22.1cm、20.1cm。

根据公式11-1~11-4, 本项目加速器主机室束流损失辐射影响核算结果见表11-2, 参考点位见图11-2 (图11-1的剖面图)。

表11-2 加速器主机室墙体屏蔽计算一览表

参考点位		S (cm)	n	B _X	d (m)	D ₁₀ (Gy/h)	T	H _M (μ Sv/h)
B1	主机室南墙外30cm	180	8.86	1.39×10^{-9}	4.9	9.6	1/16	3.34×10^{-5}
B2	主机室西墙(水冷平台)/东墙(电源间)外30cm	200	9.85	1.41×10^{-10}	4.63	9.6	1	6.31×10^{-5}
B3	主机室防护门外30cm	167.7	8.24	5.70×10^{-9}	7.69	9.6	1	9.26×10^{-4}
B4	主机室北墙外(走道)30cm	228.2	11.25	5.58×10^{-12}	7.90	9.6	1	8.58×10^{-7}
B5	主机室东北墙外30cm(控制室)	282.8	13.97	1.07×10^{-14}	6.42	9.6	1	2.49×10^{-9}

注：各参考点到辐射源的距离d和混凝土厚度S均由电子加速器CAD设计图直接得到。

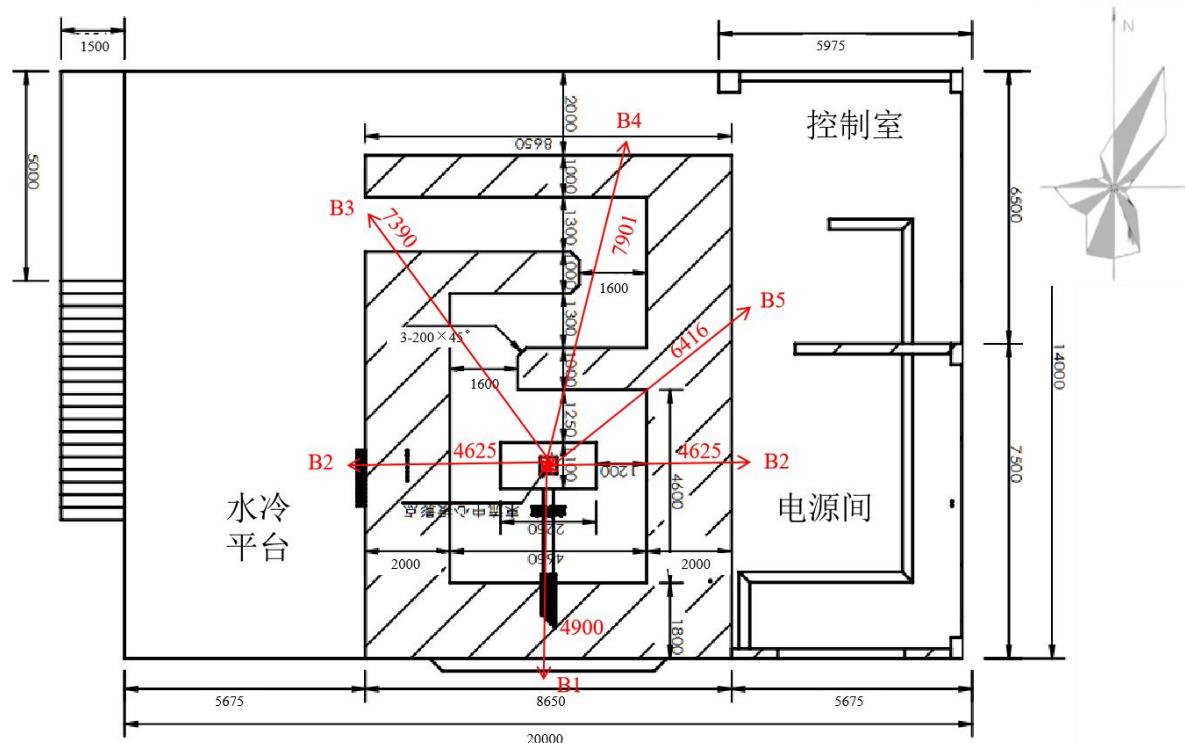


图11-2 加速器主机室参考点位示意图 (单位: mm)

由于主机室防护门采用不锈钢+3mm覆铅皮，需考虑铅防护门的屏蔽作用。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附表A.2和附表A.3，入射电子能量为2MeV，铅的T₁和T_e值分别为3.35cm、4.2cm，计算得n=0.27，B_X=0.532，故B3点位主机室防护门外30cm处，防护门屏蔽前剂量率为 $9.26 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，经屏蔽后剂量率为 $9.26 \times 10^{-4} \times 0.532 = 4.93 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 屋顶屏蔽计算结果

本项目加速器开机时，辐照加速器机房主机室内及屋顶上方均无人到达，因此，对

屋顶直射的防护主要应考虑从一层辐照室X射线源直射到二层主机室周围辅助房间的剂量。辐照室内与入射电子束呈约100°到180°方向的轫致辐射初级X射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的贯穿辐射对主机室周围产生的辐射影响依然采用公式11-1~11-4进行理论计算。计算结果见表11-3，参考点位见图11-3（图11-1的剖面图）。

表11-3 辐照室X射线源对主机室周围的辐射影响计算一览表

参考点位		S (cm)	n	B _X	d (m)	D ₁₀ (Gy/h)	T	H _M (μ Sv/h)
C1	主机室西墙（水冷平台）/东墙（电源间）外30cm	356.4	10.42	3.79×10^{-11}	5.94	810	1	8.71×10^{-4}
C2	主机室南墙外30cm	393.9	11.52	3.04×10^{-12}	5.51	810	1/16	4.86×10^{-6}
C3	主机室北墙外（走道）30cm	325.3	9.51	3.08×10^{-10}	8.36	810	1	3.57×10^{-3}

注：各参考点到辐射源的距离d和混凝土厚度S均由电子加速器CAD设计图直接得到。

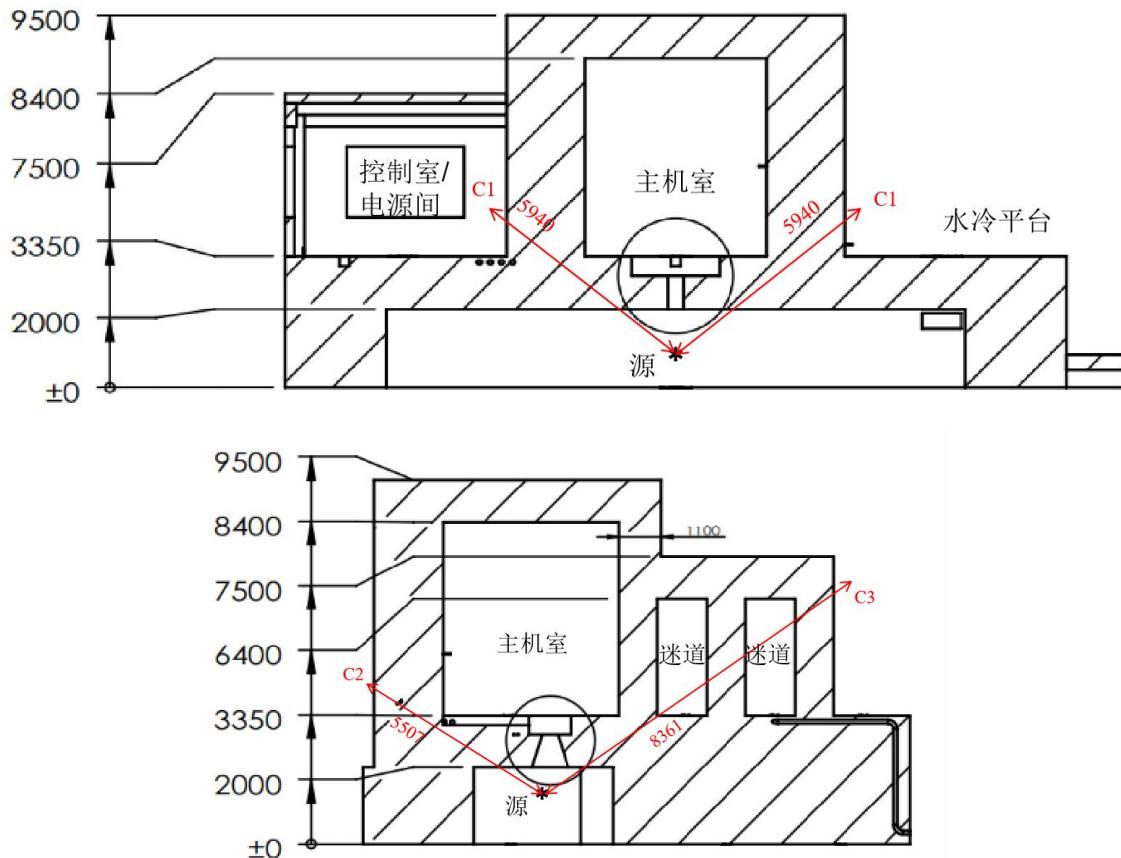


图11-3 加速器屋顶参考点位示意图（单位：mm）

（5）直射X射线汇总

将表11-1~表11-3墙体屏蔽和屋顶屏蔽的直射辐射计算结果汇总得到辐照室及主机室周围参考点的总直射辐射剂量率见表11-4。

表11-4 直射辐射汇总一览表

楼层	参考点	位置	H_M ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
一层电子加速器机房 辐照室周围	A1	机房1/机房2辐照室南墙外30cm	2.48×10^{-2}
	A2	机房1西墙/机房2辐照室东墙外30cm	4.77×10^{-2}
	A3	机房1/机房2辐照室货物出入口外30cm	2.59×10^{-5}
	A4	机房1/机房2辐照室北墙外30cm	7.25×10^{-2}
二层电子加速器机房 主机室周围	B1/C2	机房1/机房2主机室南墙外30cm	3.83×10^{-5}
	B2/C1	机房1主机室西墙/机房2主机室东墙外 30cm (水冷平台) 机房1主机室东墙/机房2主机室西墙外 30cm (电源间)	9.34×10^{-4}
	B3	机房1/机房2主机室防护门外30cm	4.93×10^{-4}
	B4/C3	机房1/机房2主机室北墙外30cm (走 道)	3.57×10^{-3}
	B5	机房1主机室东北墙/机房2主机室西北 墙外30cm (控制室)	2.49×10^{-9}

注：同一参考点位辐射剂量率叠加值。

由表11-4可知，加速器机房辐照室和主机室周围剂量当量率最大 $7.25 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，能满足屏蔽体外剂量当量率不能超过 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

2、迷道散射和防护门屏蔽辐射影响分析

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录A公式(A-5)可计算得出迷道外入口处的剂量当量率 H (Sv/h)：

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10} \cdot (\alpha_1 \cdot A_1) \cdot (\alpha_2 \cdot A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \dots d_{rj})^2} \quad (\text{公式11-5})$$

式中： D_{10} 同上；

$H_{1,rj}$ ——迷道外入口处辐射剂量率， Sv/h ；

α_1 ——入射到第一个散射体的X射线的散射系数；

α_2 ——从以后的物质散射出来的0.5MeV的X射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；

A_1 ——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 ；

d_1 ——X射线源与第一散射物质的距离， m ；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ ——沿着迷道长轴中心线的距离， m ；

j ——第 j 个散射过程。

(2) 计算结果

本项目加速器机房1和机房2为对称设计，以机房1为例标注参考点位。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， $E=0.5\text{MeV}$ ）取值为 2×10^{-2} 。

辐照室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ)=810\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。辐照室迷道散射面积的确定： A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积，之后的散射面积均为迷道宽度与高度的乘积，根据图11-4，X射线源至少需经5次散射后才能到达辐照室货物进出门洞处，散射面积 $A_1=(3.196+3.74) \times 2=13.872\text{m}^2$ ， $A_2=A_3=A_4=A_5=2 \times 2=4\text{m}^2$ 。

主机室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ)=9.6\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，根据图11-5，X射线源至少需3次散射后才能到达主机室防护门处，散射面积 $A_1=1.576 \times 5+2.274 \times 3=14.622\text{m}^2$ ， $A_2=1.6 \times 3=4.8\text{m}^2$ ， $A_3=1.3 \times 3=3.9\text{m}^2$ 。

辐照室和主机室的迷道和防护门散射计算结果见表11-5。

表11-5 X射线散射剂量计算一览表

参考点位		散射次数j	路径 $d_1, d_{r1}, d_{r2}, d_{r3}, d_{r4}, d_{r5}$ (m)	$H_{1,ij}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
D1	1F 辐照室货物出入口外30cm	5	6.4, 4.825, 5.15, 3, 7.15, 1.75	2.47×10^{-3}
D2	2F 主机室防护门外30cm	3	3.45, 3.05, 2.3, 5.85	2.62×10^{-1}

注：由于D1点位的 $d_{r5}/A_2^{1/2} < 1$ ，故该次散射忽略不计。

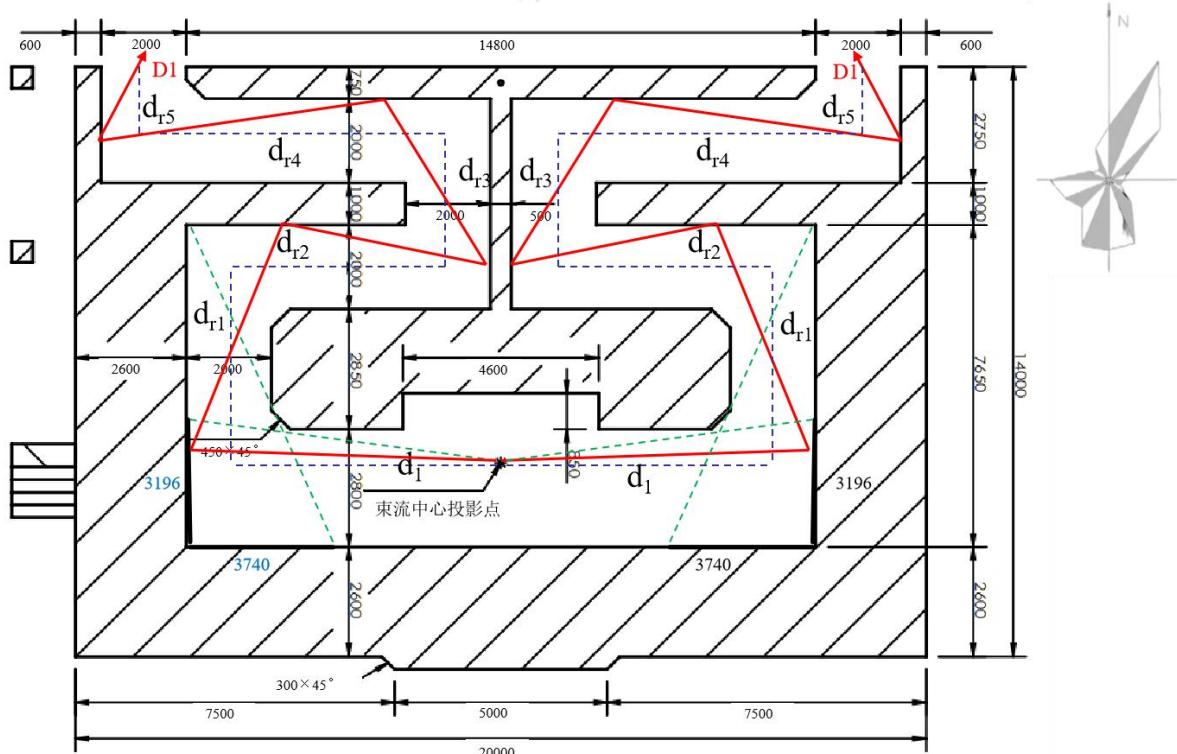


图11-4 辐照室散射参考点位示意图（单位：mm）

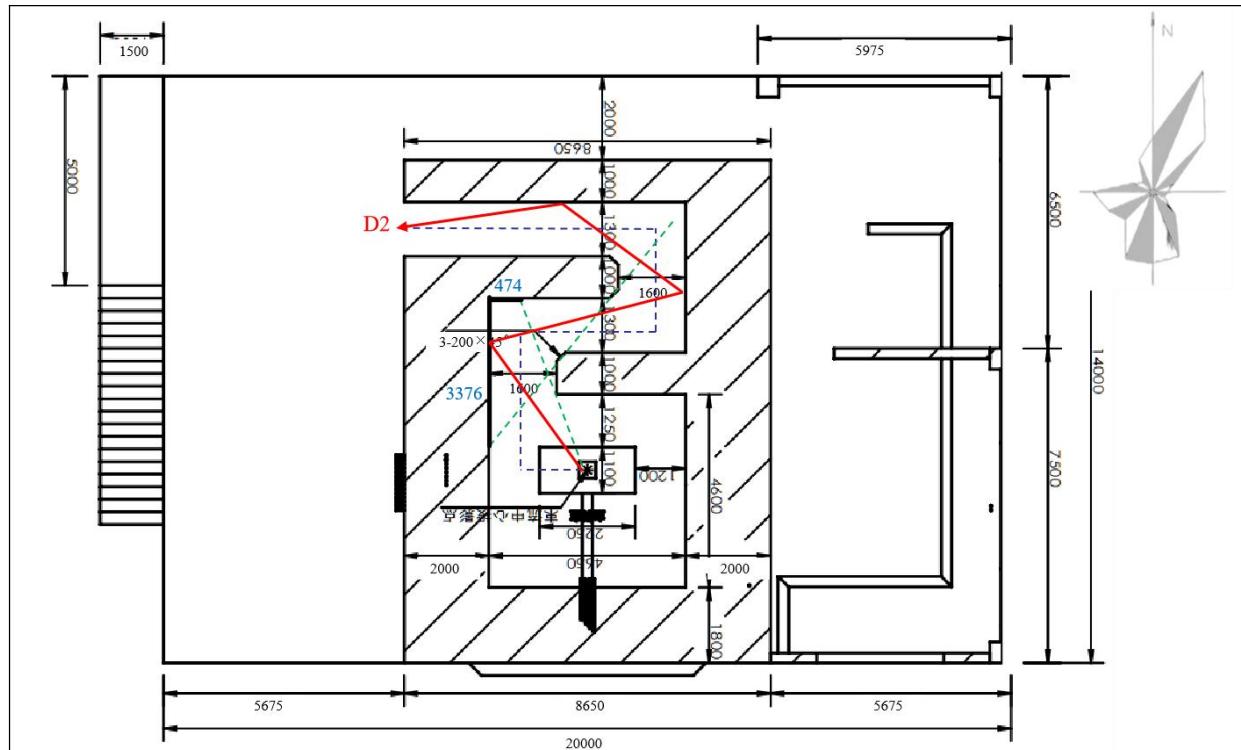


图11-5 主机室散射参考点位示意图 (单位: mm)

由于主机室防护门采用不锈钢+3mm覆铅皮，散射同样需考虑铅防护门的屏蔽作用。计算过程同直射X射线，故D2点位主机室防护门外30cm处，防护门屏蔽前剂量率为 $0.262\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，经屏蔽后剂量率为 $0.14\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(3) X射线总剂量

本项目迷道和防护门外的参考点还需考虑X射线直射剂量的叠加影响，经叠加表11-1、11-2后，总剂量见表11-6。

表11-6 X射线总剂量计算一览表

参考点位		X射线直射剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X射线散射剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X射线总剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A3/D1	1F 辐照室货物出入口外30cm	2.59×10^{-5}	2.47×10^{-3}	2.50×10^{-3}
B3/D2	2F主机室防护门外30cm	4.93×10^{-4}	1.40×10^{-1}	1.40×10^{-1}

由表11-5的计算结果可知, 加速器机房辐照室货物出入口外30cm剂量当量率为 $0.0025\mu\text{Sv}/\text{h}$, 主机室防护门外30cm剂量当量率为 $0.14\mu\text{Sv}/\text{h}$, 均能满足屏蔽体外剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

3、天空反散射辐射影响分析

加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周

围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。对于天空反散射，要综合考虑辐照室和主机室辐射对参考点的剂量贡献，发射率常数保守取90°方向的发射率常数。

（1）估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A公式（A-6）可计算出天空反散射的X射线周围剂量当量率H（Sv/h）：

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

式中：D₁₀意义同上。

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P点的距离（m），本项目取20m。

B_{xs}可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法同B_x。

$$\Omega = 4 \arctan \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \quad (\text{公式11-7})$$

式中：a——屋顶长度之半（m）；

b——屋顶宽度之半（m）；

c——源到屋顶表面中心的距离（m）；

d——源到屋顶边缘的距离（m），且d= (a²+b²+c²)^{1/2}。

（2）计算结果

辐照室辐射源：D₁₀、T₁和T_e取值同上，即D₁₀为810Gy·h⁻¹，混凝土的T₁和T_e值分别为T₁=34.2cm、T_e=34.2cm。辐照室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离c为8.8m，屋顶长度之半a为6m、宽度之半b为4.325m，靶到屋顶边缘的距离d为11.50m，根据公式11-7计算得出Ω=1.00Sr。

主机室辐射源：D₁₀、T₁和T_e取值同上，即D₁₀为9.6Gy·h⁻¹，混凝土的T₁和T_e值分别为T₁=22.1cm、T_e=20.1cm。主机室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离c为4.55m，屋顶长度之半a为6m、宽度之半b为4.325m，靶到屋顶边缘的距离d为8.68m，根据公式11-7可计算得出Ω=2.32Sr。

根据公式11-6，可计算出辐照加速器机房天空反散射对机房周围的辐射影响，核算结果见表11-7。

表11-7 天空反散射计算一览表

楼层	屋顶设计厚度 (混凝土cm)	n	B _{xs}	D ₁₀ (Gy/h)	d _i (m)	d _s (m)	Ω (Sr)	H (μSv/h)
1F辐照室	135	3.95	1.13×10 ⁻⁴	810	10.8	20	1	4.93×10 ⁻²
2F主机室	110	5.37	4.24×10 ⁻⁶	9.6	6.55	20	2.32	1.78×10 ⁻⁴

由表11-7可知，本项目通过屋顶泄漏产生天空反散射的X射线周围剂量当量率最大为4.93×10⁻²μSv/h，满足屏蔽体外剂量当量率不能超过2.5μSv/h的要求。

4、通过屋顶的侧向散射辐射影响分析

根据现场调查及建设单位提供设计资料，本项目辐照车间邻近一栋五层办公楼，可能出现有人员在高于本车间的位置长期逗留的最不利情况，因此需要考虑X射线通过屋顶后侧向散射对周围环境的辐射影响。

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979 2018)附录A，可计算出通过混凝土屋顶X射线的侧向散射周围剂量当量率H(Sv/h)：

$$H = \frac{D_{10} \cdot F \cdot f(\theta)}{d_R^2 \cdot 10^{1 + \left[\frac{t - T_1}{T_e} \right]}} \quad (\text{公式11-8})$$

式中：D₁₀——靶上方1米处X射线的吸收剂量率(Gy/h)；

F——靶上方1米处照射野的面积(m²)；

f(θ)——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)；

T₁、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)。

(2) 计算结果

车间附近的五层办公楼建筑高度约为16m，距离本项目加速器机房内的辐射源水平距离约为56m，本项目机房高度9.5m，计算可得角度θ约为83.5°，保守取80°，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979 2018)附录A.5表格，角度分布函数f(θ)为0.0014，则X射线侧向散射计算结果见表11-8。

表11-8 X射线的侧向散射计算一览表

楼层	D ₁₀ (Gy/h)	F (m ²)	f(θ)	d _R (m)	t (m)	T ₁ (m)	T _e (m)	H (μSv/h)
1F辐照室	810	0.15	0.014	19	1.35	0.342	0.342	5.32×10 ⁻⁷
2F主机室	9.6	6.73	0.014	19	1.1	0.221	0.201	1.06×10 ⁻⁸

由表11-8可知，本项目X射线通过屋顶的侧向散射辐射能够满足周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的限值要求，对机房周围高层建筑的辐射环境影响很小。

5、小结

本项目辐照加速器机房辐射影响理论估算结果汇总见表11-9。

表11-9 本项目辐照加速器机房辐射影响理论估算汇总一览表

位置			H_M ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	周围剂量当量率控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	评价结果
辐照室	A1	机房1/机房2辐照室南墙外30cm	2.48×10^{-2}	2.5	满足
	A2	机房1西墙/机房2辐照室东墙外30cm	4.77×10^{-2}	2.5	满足
	A3/D1	机房1/机房2辐照室货物出入口外30cm	2.50×10^{-3}	2.5	满足
	A4	机房1/机房2辐照室北墙外30cm	7.25×10^{-2}	2.5	满足
主机室	B1/C2	机房1/机房2主机室南墙外30cm	3.83×10^{-5}	/	/
	B2/C1	机房1主机室西墙/机房2主机室东墙外30cm (水冷平台) 机房1主机室东墙/机房2主机室西墙外30cm (电源间)	9.34×10^{-4}	2.5	满足
	B3/D2	机房1/机房2主机室防护门外30cm	1.40×10^{-1}	2.5	满足
	B4/C3	机房1/机房2主机室北墙外30cm (走道)	3.57×10^{-3}	2.5	满足
	B5	机房1主机室东北墙/机房2主机室西北墙外30cm (控制室)	2.49×10^{-9}	2.5	满足

注：同一参考点位辐射剂量率为叠加值。

根据表11-9可知，本项目电子加速器以最大功率运行时，机房辐照室四周屏蔽体外30cm及以外区域人员可达处辐射剂量率最大为 $0.0725\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，主机室四周屏蔽体外30cm及以外区域人员可达处辐射剂量率最大为 $0.14\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求：辐照加速器机房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超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6、叠加影响分析

本项目2间辐照加速器机房东西向并排设置，从西向东依次为机房1和机房2，考虑到机房布局情况和屏蔽情况，需考虑相邻两台加速器同时开机出束时对两间机房一层相邻布置的货物进出门洞和二层机房1东墙和机房2西墙外的叠加影响。

本项目保守取相邻2间机房相应关注点处的最大剂量率进行叠加，根据表11-9可进一步估算得出叠加剂量率，具体见表11-10。

表11-10 本项目2间辐照加速器机房之间的叠加剂量率估算结果一览表

位置		相应参考点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)				叠加后剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
辐照室	机房1东侧货物进出口和机房2西侧货物进出口	A3	2.50×10^{-3}	A3	2.50×10^{-3}	5.00×10^{-3}
主机室	机房1东侧和机房2西侧外(控制室)	B5	2.49×10^{-9}	B5	2.49×10^{-9}	4.98×10^{-9}
	机房1东侧和机房2西侧外(电源间)	B2/C1	9.34×10^{-4}	B2/C1	9.34×10^{-4}	1.87×10^{-3}

由表11-10可知，本项目2间辐照加速器机房叠加后的剂量率最大为 $1.87 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，能满足屏蔽体外剂量当量率不能超过 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

11.2.2 保护目标计量评价

根据《福建省环境天然贯穿辐射水平调查》(辐射防护期刊)1991年第11卷第4期，保护目标有效剂量E (mSv/a) 可以按下式计算：

$$E = H \cdot U \cdot T \cdot t \quad (\text{公式11-9})$$

式中：H——参考点处辐射剂量率， mSv/h ；

U——辐照装置向关注点方向照射的使用因子，本项目取1；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子，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；

t——辐照装置年照射时间，h。

1、辐射工作人员年有效剂量评价

本项目投入运行后，单名辐射工作人员年工作时间不超过2400h。辐射工作人员在控制室居留因子保守取1，根据公式11-9，本项目辐射工作人员年有效剂量计算为 $4.98 \times 10^{-9} \times 1 \times 1 \times 2400 = 1.20 \times 10^{-5} \mu\text{Sv} = 1.20 \times 10^{-8} \text{mSv}$ ，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，即职业人员年有效剂量不超过5mSv。

2、公众年有效剂量评价

将相关参数带入公式11-9，可计算出本项目周围公众的年受照剂量，计算结果见表11-11。

表11-11 本项目周围公众年受照剂量计算结果一览表

位置	场所类型	参考点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	使用因子	居留因子	年照射时间 (h)	年受照剂量 (mSv)
机房1/机房2辐照室南墙外30cm	通道	2.48×10^{-2}	1	1/16	2400	3.72×10^{-3}
机房1西墙/机房2辐照室东墙外30cm	楼梯	4.77×10^{-2}	1	1/16		7.15×10^{-3}
机房1西侧/机房2东侧货物进出口	辐照货物传送通道	2.50×10^{-3}	1	1/16		3.75×10^{-4}
机房1/机房2辐照室北墙外30cm	通道	7.25×10^{-2}	1	1/16		1.09×10^{-2}
机房1东侧/机房2西侧货物进出口 (叠加影响)	辐照货物传送通道	5.00×10^{-3}	1	1/16		7.50×10^{-4}
机房1/机房2北墙外3.55m	货物上下货区域	1.12×10^{-2}	1	1		2.69×10^{-2}
主机室1东侧/主机室2西侧	电源间	1.87×10^{-3}	1	1/16		2.81×10^{-4}
主机室1西墙外30cm/主机室2东墙外30cm	水冷平台	9.34×10^{-4}	1	1/16		1.4×10^{-4}
主机室1/主机室2北墙外30cm	走道	3.57×10^{-3}	1	1/16		5.36×10^{-4}
机房北侧约28m	龙岩市捷瑞贸易有限公司仓库	4.89×10^{-3}	1	1		1.17×10^{-2}
机房2东北侧约22m	龙岩市新罗区缘凤食品厂仓库	4.94×10^{-3}	1	1		1.19×10^{-2}
机房2东侧约21.5m	仓库(王建辉)	5.10×10^{-3}	1	1		1.22×10^{-2}
机房南侧约19.5m	福建广宇人防工程有限公司生产车间	1.13×10^{-3}	1	1		2.70×10^{-3}
机房1西侧约47m	门卫	1.56×10^{-3}	1	1		3.74×10^{-3}

注：根据辐射剂量率与距离的平方成反比，已知车间周围建筑与机房的距离，可估算出车间周围建筑距离源点的距离，进一步计算可得各建筑位置处的辐射剂量率。

根据表11-12可知，本项目评价范围内公众年有效剂量最大约为0.0269mSv，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，即公众年有效剂量不超过0.1mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员及周围公众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，即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。

11.2.3 三废的治理评价

本项目无放射性废气、废水和固体废弃物产生，以下针对非放射性三废排放进行环境影响分析。

1、废气处理措施评价

本项目电子加速器在工作状态时，产生的X射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目辐照加速器机房拟设置机械排风系统，风机排风速率不低于12000m³/h，机房内臭氧和氮氧化物可通过排风系统排入外环境。由于氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，氮氧化物的毒性比臭氧的小，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本报告主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

（1）臭氧的产生

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979 2018）中附录B，平行电子束所致臭氧产生率估算方法如下：

$$P=45 \times d \times I \times G \quad (公式11-10)$$

式中：P——单位时间电子束产生O₃的质量，mg/h；

I——电子束流强度，mA，本项目新建加速器最大值为2mA；

d——电子束在空气中的行程，cm，应结合电子在空气中的线阻止本领s=2.5keV/cm和辐照室尺寸选取，本项目线阻为40m，加速器扫描盒出口距离辐照室地面约为200cm，因此d取200cm；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，保守值可取为10。

由上式计算结果可得辐照室内臭氧产生率P=45×200×2×10=1.8×10⁵mg/h。

（2）辐照室臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约为50分钟），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照室时间t的变化为：

$$C_t = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad (公式11-11)$$

式中：C_t——辐照室空气中t时刻臭氧的浓度，mg/m³；

P——单位时间电子束产生O₃的质量，mg/h；

T_e——对臭氧的有效清除时间，h；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \quad (公式11-12)$$

T_v ——辐照室换气一次所需时间, h;

T_d ——臭氧的有效化学分解时间, h, 约为50分钟。

此种情况下, $T_v \ll T_d$, 因而 $T_e \approx T_v$ 。当长时间辐照时, 则辐照室内臭氧平衡浓度为:

$$C_s = PT_e/V \quad (公式11-13)$$

本项目加速机房的通风系统排风速率不低于 $12000\text{m}^3/\text{h}$, 加速器辐照室体积约为 232m^3 , 则加速器辐照室换气一次所需时间 T_v 为 $1.93 \times 10^{-2}\text{h}$, 根据公式11-12, 计算得 $T_e = (1.93 \times 10^{-2} \times 0.83) / (1.93 \times 10^{-2} + 0.83) = 1.89 \times 10^{-2}\text{h}$, 则本项目加速机房内臭氧平衡浓度 $C_s = 1.8 \times 10^5 \times 1.89 \times 10^{-2} / 232 = 14.66\text{mg/m}^3$ 。

(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《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) 所规定的工作场所最高容许浓度。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, 室内臭氧浓度随时间急剧下降, 浓度变化的平衡方程为:

$$dc/dt = -C/T_e$$

当 $t=0$ 时,

$$C = C_s$$

得到浓度随时间的变化公式为:

$$C = C_s \cdot e^{-\frac{t}{T_e}}$$

由此可得, 关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad (公式11-14)$$

式中: 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。

根据公式11-13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 $12000\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作, 通过约 0.073h (即 4.4min) 的通风排气后, 辐照室内的臭氧浓度可低于GBZ2.1规定的臭氧的最高容许浓度 0.3mg/m^3 , 此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器辐照室拟设置通风联锁装置, 机房内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, 以保证辐照室内臭氧等有害气体浓度

低于允许值，该公司拟采取的通风联锁装置预先设定的时间应不少于4.4min。

本项目加速器机房配备的排臭氧风机排风速率为不低于 $12000\text{m}^3/\text{h}$ ，室内臭氧通过排风系统排入外环境，很快被空气对流和扩散作用稀释，且臭氧在常温下可自行分解为氧气，因此对环境影响很小。

（4）排风管道设置

本项目排风管道采用S形通道设计，管道埋于地下深度 $\geq 1\text{m}$ 处，吸风口位于加速器辐照室扫描窗下方，排风管道从加速器辐照室地下穿过，从加速器机房的南侧地面穿出，在辐照厂房屋顶排放。排风管道避开主射线方向，并采用埋地设计，机房内产生的X射线在排风管道内至少经3次散射才能到达辐照室外，排风管道未破坏电子加速器机房整体防护效果，排风口处辐射剂量率能够满足相关标准要求，排风管道的设置合理可行。

2、噪声处理措施评价

本项目辐照加速器机房将采用低噪声水冷机组、风机等设备，并采取基础减震，进行降噪处理，经墙体隔声和距离的衰减后，设备噪声对周围环境影响很小。

3、废水处理措施评价

本项目辐射工作人员产生的少量生活污水依托园区现有处理设施，经化粪池预处理后排至市政污水管网，满足相关环保要求。本项目电子加速器输出电子束能量最高为10MeV，冷却水活化的水平很低，本项目加速器事故或检修时外排的冷却水可直接作为普通工业废水排入园区的污水处理系统，对周围环境影响很小。

4、固体废物处理措施评价

本项目辐射工作人员产生的少量生活垃圾分类收集后交由环卫部门统一处理，满足相关环保要求，对环境影响较小。

11.3 事故影响分析

本项目使用的工业辐照电子加速器属于II类射线装置，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与报告制度的通知》（环发<2006>145号）规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

11.3.1 本项目可能产生的辐射事故

本项目为使用II类射线装置进行辐照加工，可能发生的辐射事故主要有：

- (1) 开机工作前未按照要求进行巡检，导致工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到超剂量照射；
- (2) 由于工作人员操作失误或安全联锁等装置失灵，开机辐照过程中，工作人员或其他人员误入机房内，致使其受到超剂量照射；
- (3) 束下装置、水冷系统等发生故障，辐照产品由于长时间受照引发火灾；
- (4) 通风联锁失效，加速器停机后，未达到预先设定的时间人员即进入机房，吸入超标准浓度的有害气体造成伤害；
- (5) 电子加速器在调试或检修过程中，不注意防护或他人误开机使人员受到照射；
- (6) 加速器机房屏蔽结构受损，导致屏蔽效果减弱。

公司应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善；加强职工辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

11.3.2 辐射事故预防措施

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度等进行防范。福建省龙岩浩远科技有限公司拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

- (1) 建立辐射安全管理机构，制定完善的辐射安全管理规章制度，并在实际工作中严格执行；
- (2) 对辐射工作场所实行分区管理，划分控制区和监督区，公司加强管理，严禁无关人员进入机房，开机出束期间禁止任何人员进入机房；
- (3) 辐射操作人员按要求参加岗前培训，合格后方可上岗，工作人员须熟练掌握操作技能及辐射防护基本知识，公司加强管理，加强职工安全意识教育；
- (4) 操作人员严格按照操作规程操作，确认机房内无人后方可开始辐照工作，并通过视频监控、声光报警装置进一步确保机房内无人误留；

(5) 辐射工作场所按要求设置门机联锁、急停按钮、视频监控、电离辐射警告标志等辐射安全与防护措施，每次开机出束前工作人员均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性，确保有效后方开始辐照工作；

(6) 公司制定完善的设备维修维护制度，机器调试、检修时严格按照要求操作。

11.3.3 辐射事故应急措施

本项目使用的工业电子加速器属于II类射线装置，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》的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。在发生事故后：

(1) 事故情况下立即切断加速器高压控制开关的电源，组织人员保护现场，迅速报告辐射安全与环境保护管理机构进行事故处理，立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告；2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告；

(2) 发生人员受照事故时，迅速安排受照人员接受医学检查和救治，建立并保存相应的医疗档案；

(3) 辐射事故发生后，积极配合环保、公安等管理机关做好事故调查和善后处理；

(4) 对发生事故的加速器装置，请有关供货单位或相关的检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，提出改进意见，并保存记录。

当发生辐射事故时，公司应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范。

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

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

根据《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》、《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应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。

公司已成立辐射安全与环境保护工作领导小组（见附件4），明确了领导组长和小组组成成员，并明确了领导小组的主要职责包括：要建立健全的安全和防护管理规章制度、辐射事故应急措施，确保放射源和射线装置的使用安全，污水、废气、和固体废物达标排放。做到防范于未燃，扎扎实实抓好安全生产。

表12.1 辐射安全与环境保护工作领导小组

管理人员	姓名	职务
组长	***	业务经理
副组长	***	业务经理
组员	***	生产车间主任
组员	***	生产经理
组员	***	业务经理

12.2.2 辐射工作人员

根据《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等文件要求对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核，考核不合格的，不得上岗；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，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2名辐射操作人员，辐射操作人员招聘后应根据要求在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习本项目相关知识，并在辐射安全与防护培训平台上网络报名参加考核，考核合格，取得培训合格证书，持证上岗。

12.2 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和防护条例》、《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》中的有关要求，福建省龙岩浩远科技有限公司已制定了相关的辐射安全管理制度，主要包括《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》、《监测方案》及《辐射事故应急方案》等，现对公司已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是明确电子加速器的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，并明确电子加速器停机至少5分钟后方可进入辐照室。

岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对本项目新增电子加速器的安全防护和维修要落实到个人。

设备检修维护制度：明确加速器和辐照室、主机室的各项安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。明确每个月定期对加速器和辐射监测设备进行检查、维护，发现问题应及时维修。确保辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器保持良好的工作状态。

射线装置使用登记制度：明确了使用登记和台账记录要求，并在日常工作中落实到位，对公司使用的射线装置的型号、规格、数量及购置日期等均需记录在台账上。

个人剂量监测和职业健康管理制度：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，公司明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，公司建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：明确日常工作的监测项目和监测频次。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置的单位应当对本单位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日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

辐射事故应急措施：针对电子加速器可能产生的辐射污染情况制定事故应急措施，建立辐射事故应急领导小组，明确辐射事故分类与应急响应的措施。当发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取应急措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，应同时向当地卫生行政部门报告。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用II类射线装置的单位应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。

公司拟配备1台辐射报警装置和1台手持式辐射探测仪，用于对本项目加速器日常运行时加速器机房周围的辐射水平的自主监测和预警。放射性工作人员每人配备个人剂量片一片，每季度送检一次；安排每年进行一次职业健康体检。

12.3.2 监测方案

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。

公司已针对本项目制定了相应的监测计划，包括：

- (1) 请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，周期：每年1次；
- (2) 配备专用携带式 γ 剂量率监测仪，对防护门口、产品通道口及电子加速器机房周围工作场所环境辐射水平进行自主监测，并记录成档；
- (3) 所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，每3个月送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案；
- (4) 所有辐射工作人员上岗前均进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症；开展辐射工作后，每年进行一次职业健康体检；必要时可增加临时性体检，并建立个人职业健康档案。

本项目辐射监测计划汇总见表12-2。

表 12-2 辐射监测计划一览表

类别	监测因子	监测点位	监测频次
竣工环保验收监测	周围剂量当量率/γ辐射剂量率	辐照室及主机室防护门外 30cm 处，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外侧，各面屏蔽墙外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房等。	竣工后调试阶段开展竣工环保验收监测
年度监测			1 次/年委托有资质单位监测；每月 1 次企业自行巡测
辐射工作人员	累计计量	辐射工作人员配备个人剂量计，佩戴于左胸前。	1 季度/次，送有资质部门进行监测

12.4 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》中关于应急报告与处理的相关要求，以及《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》的要求，福建省龙岩浩远科技有限公司已针对本项目可能产生的辐射事故情况制定有相应的事故应急方案（附件 6），并且成立了辐射事故应急处理领导小组，明确了小组成员及应急联系电话，明确了小组的职责及工作要求，明确了事故情况下应采取的防护措施和执行程序，以保证有效控制事故、及时制止事故的恶化，做到及时上报，禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

发生辐射事故时，公司应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生部门报告。事故发生后公司应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

建设单位每年至少组织 1 次辐射事故件应急预案的培训。培训的主要内容：法律法规、应急预案、应急监测、辐射防护、应急处置和应急响应程序等。针对辐射事故应急处理的相关应急培训还应包括：如辐射危害和防护的基本知识；可能发生的辐射事故件及其应急处置措施；国内外辐射技术应用中实际发生的典型辐射事故及其应急处理的经验教训；所涉及的应急计划或程序等。

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。

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，并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，有条不紊开展事故应急救援工作。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表如下：

表 12-3 辐射环境保护“三同时”验收清单

污染源或保护源	主要环保措施		验收标准
辐射安全管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，以文件形式明确各成员的管理职责。		
辐射防护措施	<p>本项目加速器机房四周墙体的防护，详见表 10-1。</p> <p>安全防护措施：主要包括钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统、应急照明系统、灭火设施以及其他安全措施等。</p> <p>配备个人剂量计（所有辐射工作人员）、辐射报警装置、手持式辐射探测仪等辐射监测仪器与防护用品。</p> <p>机房辐照室采用埋地排风管道，排风量不低于12000m³/h，排风管道从辐照室地下穿过，由辐照室南侧地面穿出，，排放口离地高度为 15m。</p> <p>机房电线管、冷却水管等管道在穿墙时，采用“Z”型或“L”型或“斜 45 度”等方式，并对管道口进行封堵。</p>		1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 2、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018） 3、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》
人员配备	<p>辐射工作人员必须参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的辐射安全与防护培训，持证上岗。</p> <p>辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作，并建立职业健康监护档案。</p> <p>辐射工作人员配备个人剂量计，个人剂量计每季度送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应终生保存。</p>		
管理措施	<p>制定相关辐射安全管理制度。</p> <p>每年委托有资质的单位对辐射工作场所及周边环境辐射水平进行监测，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p>		
“三废”治理措施	废气	产生的臭氧 O ₃ 和氮氧化物 NO _x 通过机房的通风系统引至楼顶排出。	验收措施落实情况
	固废	无放射性固废产生。生活垃圾经分类收集后委托环卫部门及时清运。	
	废水	无放射性废水产生。生活污水依托现有化粪池处理达标后排入市政管网。	

表13 结论与建议

13.1 结论

本项目位于新罗区民园路 19 号 1 幢厂房（新罗区龙州工业园内），拟在车间内新建 2 间辐照电子加速器机房，在 2 间机房内各配备 1 台 DZ-10/20 电子辐照加速器，其最大电子束能量均为 10MeV、最大束流强度均为 2mA，最大束流功率均为 20kW，属于Ⅱ类射线装置。

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

1、辐射防护措施评价

本项目电子加速器机房采用混凝土屏蔽电子束和 X 射线，为实体屏蔽方式。根据理论预测可知，本项目电子加速器机房的屏蔽厚度均能满足防护要求；辐照产品进出通道、通风管道的设置合理可行，均未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，本项目采取的辐射防护措施满足当前的管理要求。

2、辐射安全措施评价

本项目辐照加速器机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要包括：钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统。本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）等标准中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求，项目设计安全可行。

3、辐射安全管理评价

福建省龙岩浩远科技有限公司已成立辐射安全与防护管理领导小组，并明确了管理职责；公司已制定一系列较完备的辐射安全管理规章制度，在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善；本项目所有辐射工作人员和辐射防护负责人均应根据要求参加辐射安全和防护专业知识的培训，考核合格后上岗；所有辐射工作人员均应进行个人剂量监测和职业健康体检，所有上下货工作人员均应进行个人剂量监测，公司建立人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

经采取上述措施后，满足辐射安全管理要求。

4、辐射防护监测仪器

公司拟配备 1 台手持式辐射探测仪和 1 台辐射报警装置，辐射工作人员和上下货人员均拟配备个人剂量计片，能够满足辐射监测仪器配置要求。

13.1.2 环境影响分析结论

1、辐射环境影响预测

根据理论预测可知，当本项目电子加速器以最大功率运行时，机房辐照室四周屏蔽体外 30cm 及以外区域人员可达处辐射剂量率最大为 $0.0725\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，主机室四周屏蔽体外 30cm 及以外区域人员可达处辐射剂量率最大为 $0.14\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求：辐照加速器机房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超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2、保护目标计量评价

根据理论估算结果可知，本项目投入运行后所致辐射工作人员年有效剂量最大约为 $1.20\times 10^{-8}\text{mSv}$ ，所致周围公众年有效剂量最大约为 0.0269mSv ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员和公众受照剂量限值和本项目管理目标值的要求（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 ）。

3、臭氧和氮氧化物对环境影响评价

本项目辐照加速器机房拟设置机械排风系统，风机排风速率不低于 $12000\text{m}^3/\text{h}$ ，最终排放口不低于 15m，并高于厂房屋顶。辐照加速器机房内臭氧和氮氧化物可通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

在加速器停止工作后，辐照室内通风系统继续工作，通过约 4.4min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$)，此时工作人员进入辐照室是安全的。本项目辐照室内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，公司拟采取的通风联锁装置预先设定的时间应不少于 4.4min。

13.1.3 可行性分析结论

1、产业政策符合性

本项目为使用工业辐照电子加速器为客户提供辐照加工服务，经对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类的第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

2、实践正当性分析

本项目的建设和运行满足了企业的发展需求，可降低客户产品和材料的消毒、灭菌以及改性成本，提升产品和材料质量，创造更大的经济效益和社会效益。本项目总

投资 2000 万元，其中环保投资 607 万元，占总投资的 30.35%，环保投资额可保证环保措施的落实。本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加辐照加速器机房周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。

因此，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址合理性

对照龙岩市“三线一单”，本项目位于环境管控单元 ZH35080220002 龙州工业园区，为重点管控单元。本项目在租赁厂房内新增 2 间电子加速器机房，不涉及新增土地，符合环境管控单元准入要求。本项目评价范围 50m 内有无居民点和学校等敏感目标。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。从辐射环境保护方面论证，本项目选址是合理可行的。

综上所述，福建省龙岩浩远科技有限公司新增 2 台工业辐照电子加速器项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该公司具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议和承诺

1、本评价提出的各项环保设施及辐射防护设施必须落实并正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，将对环境的影响降至最低。

2、项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

3、本项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对辐射工作人员专业知识和业务工作的定期培训，取得考核合格证书后方能上岗，同时按照相关要求给辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，建立个人剂量监测档案；应安排所有辐射工作人员参加职业健康体检，并建立职业健康档案。

4、建设项目竣工后，公司应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序和标准，对配套建设的环境保护设施进行验收，验收期限最长不超过 12 个月。

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