

核技术利用建设项目

中创辐电科技（浙江）有限公司电子 加速器高端制造项目环境影响报告表 （报批稿）

中创辐电科技（浙江）有限公司

2025年1月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

中创辐电科技（浙江）有限公司电子 加速器高端制造项目环境影响报告表

建设单位名称： 中创辐电科技（浙江）有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）： _____

通讯地址： 浙江省湖州市南浔区富园路 338 号 4#厂房

邮政编码： 313000 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	6
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据	9
表 7 保护目标与评价标准	12
表 8 环境质量和辐射现状	17
表 9 项目工程分析与源项	22
表 10 辐射安全与防护	30
表 11 环境影响分析	30
表 12 辐射安全管理	63
表 13 结论与建议	69
表 14 审批	73

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中创辐电科技（浙江）有限公司电子加速器高端制造项目			
建设单位		中创辐电科技（浙江）有限公司			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省湖州市南浔区东迁街道东马路 1000 号			
项目建设地点		浙江省湖州市南浔区富园路 338 号 4#厂房一层			
立项审批部门		南浔区发展改革和经济 信息化局	批准文号	2410-330503-04-01- 921023	
建设项目总投资 （万元）		1000	项目环保投资 （万元）	200	投资比例（环保 投资/总投资） 20%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 （m ² ）	1164
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 checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" 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				
1.1.1 建设单位基本情况					
<p>中创辐电科技（浙江）有限公司成立于2024年8月11日，注册地址位于浙江省湖州市南浔区东迁街道东马路1000号，经营范围主要包括技术服务、技术转让；核子及核辐射测量仪器制造；机械电气设备制造；机械电气设备销售；电子元器件与机电组件设备制造；电子（气）物理设备及其他电子设备制造等，公司营业执照见附件1。</p> <p>公司生产的ZCM型电子加速器技术原理来自俄罗斯，由清华大学核技术团队改进，是清华大学工程物理系科研成果孵化，ZCM型加速器的国产化，达到最优设备指标，经过严格的测试，部分零部件的性能优于进口产品，除CPU等计算机用件除外所有设备实现了国产化。</p>					

1.1.2 项目由来及建设规模

1、项目建设情况

公司租赁广能智能装备（浙江）有限公司4#厂房的一层和二层（租赁合同见附件2），拟作为工业电子加速器的生产、研发基地。本项目加速器成品系统部件均委外加工定制，公司购买后仅在厂房内进行组装，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）无需履行一般环境影响评价手续。此外，公司拟在租赁的4#厂房的一层建设2间辐照加速器生产调试机房，年生产、销售30台工业电子加速器，公司生产、销售的工业电子加速器主要用于电线电缆的橡胶、热缩材料、管道防腐包覆片、交联发泡聚乙烯、交联聚乙烯、木塑复合材料等材料的改性、聚四氟乙烯的降解、橡胶辐射硫化、橡胶再生图层固化、粮食辐照、废水废气处理及其它辐照加工。该项目已于2024年10月30日在浙江政务服务网投资在线平台工程审批系统中备案，项目代码为2410-330503-04-01-921023（浙江省企业投资项目备案（赋码）信息表见附件3）。

本项目仅进行工业电子加速器的生产、调试、销售，不进行辐照加工作业，也不接受委外辐照业务。本项目核技术利用情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

序号	射线装置名称 型号	数量 (台)	电子束最大能量 (MeV)	最大束流 强度 (mA)	射线装置类别	工作场所 名称	活动 种类	环评情况	许可情况
1	ZCM-2500/100 型 工业电子加速器	30/年	2.5	40	II	1#、2# 加速器 生产调试 机房	生产、 销售、 使用	新建项目 本次环评	未许可

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，公司应办理环境影响评价手续。

本项目为生产、销售、使用 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。受中创辐电科技（浙江）有限公司的委托，浙江亿达检测技术有限公司承担该单位本项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、公司位置

中创辐电科技（浙江）有限公司位于浙江省湖州市南浔区富园路 338 号，为租赁广能智能装备（浙江）有限公司厂区内 4#厂房的一层和二层，公司地理位置见附图 1。广

能智能装备（浙江）有限公司厂区东侧为富园路、路对过为欣馨家园小区，南侧为乐虹智能科技（浙江）有限公司，西侧为南浔上元产业港，北侧为强华西路、路对过为浙江优科控制技术有限公司。

中创辐电科技（浙江）有限公司租赁的4#厂房为地上四层建筑，位于厂区的西北角，其东侧为厂区内篮球场、景观水池及绿化，东南侧为厂区道路及绿化、1#车间，南侧为厂区道路及绿化、2#车间，西侧为厂区道路及绿化、厂区围墙，北侧为厂区道路及绿化、厂区围墙。公司租赁的4#厂房所在的厂区平面布局及周围环境情况见附图2。

2、本项目位置拟建址及四至关系

本项目1#、2#加速器生产调试机房拟建址位于4#厂房一层的中部，2间机房东西方向相邻而建，西侧的为1#加速器生产调试机房、东侧的为2#加速器生产调试机房。加速器生产调试机房拟建址东侧50m范围依次为厂房内设备组装区、厂区内篮球场及绿化；其东南侧50m评价范围依次为厂区道路及绿化、1#厂房；其南侧50m评价范围依次为厂房内调试控制区、厂区道路及绿化、2#厂房；其西侧50m评价范围依次为厂房内过道和办公区、厂区道路及绿化、南浔上元产业港园区道路；其北侧50m评价范围依次为厂房内辅助设备区、厂区道路及绿化、强华西路；其楼上二层为仓库，三层和四层为广能智能装备（浙江）有限公司的生产车间；其地下无建筑。4#厂房一层平面布局见附图3，二层平面布局见附图4。

1.3 “三线一单”符合性分析

根据浙江省生态环境厅关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知（浙环发〔2024〕18号），生态环境分区管控是以改善生态质量为核心，明确生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，划定生态环境管控单元，在一张图上落实“三线”的管控要求，编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。本项目湖州市生态环境分区管控的符合性判定情况见表1-2。

表 1-2 湖州市生态环境分区管控的符合性分析一览表

生态 保护红线	本项目位于浙江省湖州市南浔区富园路338号，根据《南浔区生态环境分区管控动态更新方案》（浔政办发〔2024〕18号）和湖州市南浔区三区三线图（附图7），本项目不在划定的生态保护红线内，符合生态保护红线的要求。
资源 利用上线	本项目施工过程中用到水资源，用水量均不大，不会超出用水总量目标，符合水资源利用上线。本项目运营过程中主要消耗一定量的电能，消耗量相对区域资源利用总量较少，且项目不使用高耗能、低效率的设备，符合资源利用上线的要求。

<p>环境 质量底线</p>	<p>根据环境质量现状监测结果，本项目拟建址周围环境γ辐射水平属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。</p>
<p>生态环境 准入清单</p>	<p>根据《南浔区生态环境分区管控动态更新方案》（浔政办发〔2024〕18号），本项目所在区域位于湖州市南浔区南浔经济开发区产业集聚重点管控单元（见附图6），环境管控单元编码：ZH33050320006，该管控单元生态环境准入清单如下：</p> <p>①空间布局约束</p> <p>除从管控单元周边迁入的三类企业外，严格控制新建其他三类重污染企业数量和排污总量。优化完善区域产业布局，合理规划布局三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造。加强“两高”项目源头防控。综合条件较好的重点行业率先开展节能降碳技术改造。合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。土壤污染重点监管单位新（改、扩）建项目用地应当符合国家或地方有关建设用地土壤风险管控标准。重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。</p> <p>②污染物排放管控</p> <p>实施污染物总量控制制度，严格执行地区削减目标。新建工业项目污染物排放水平需达到同行业国内先进水平。推进工业集聚区“零直排区”建设，所有企业实现雨污分流，现有工业集聚区内工业企业废水必须经预处理达到集中处理要求，方可进入污水集中处理设施。</p> <p>③环境风险防控</p> <p>严格控制石油加工、化学原料和化学制品制造、医药制造、化学纤维制造、有色金属冶炼、纺织印染等项目环境风险。定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险，落实防控措施。强化工业集聚区应急预案和风险防控体系建设，防范重点企业环境风险。严格污染地块开发利用和流转审批，按照《污染地块土壤环境管理办法》有关规定开展调查、评估、治理与修复等活动。重点管控新污染物环境风险。</p> <p>④资源开发效率</p> <p>推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业、节水标杆园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。</p> <p>本项目不属于重污染企业，不涉及空间布局约束条件中禁止的项目，且不属于高能耗、高污染、高排放产业和低端制造业发展，符合生态环境准入清单相关要求。</p>
<p>综上，本项目建设地点位于湖州市南浔区南浔经济开发区产业集聚重点管控单元，不涉及生态保护红线，不触及环境质量底线和资源利用上线，符合湖州市南浔区环境管控单元生态环境准入清单中要求，符合“三线一单”要求；本项目建设地点用地规划为工</p>	

业用地，项目选址合理。

1.4 产业政策符合性分析

结合国家发展和改革委员会第7号令《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第六项“核能”中第4款的核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策的要求。

1.5 实践正当性评价

本项目生产、销售的工业电子加速器可用于电线电缆的橡胶、热缩材料、管道防腐包覆片、交联发泡聚乙烯、交联聚乙烯、木塑复合材料等材料的改性、聚四氟乙烯的降解、橡胶辐射硫化、橡胶再生图层固化、粮食辐照、废水废气处理及其它辐照加工服务，具有良好的社会效益和经济效益。在做好辐射防护的基础上，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。

1.6 公司现有核技术利用项目许可情况

本项目为中创辐电科技（浙江）有限公司首次开展核技术利用项目，在此之前无核技术利用项目许可情况。

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)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	工业电子加速器	II	30 台/年	ZCM-2500/100	电子	2.5	40mA	辐照加工	1#、2#加速器 生产调试机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	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	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器生产调试机房内产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	由排风系统排至 4# 厂房的楼顶排放，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》（1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015年1月1日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年10月28日通过，中华人民共和国主席令第77号公布，自2003年9月1日起施行；2016年7月2日第一次修正；2018年12月29日第二次修正）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（1998年11月29日中华人民共和国国务院令第253号发布施行；2017年7月16日中华人民共和国国务院第682号令修订，自2017年10月1日起施行）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005年9月14日经国务院令第449号公布，2014年7月29日经国务院令第653号修改，2019年3月2日经国务院令第709号修改）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日经国家环境保护总局令第31号公布，2008年12月6日经环境保护部令第3号修改；2017年12月20日经环境保护部令第47号修改，2019年8月22日经生态环境部令第7号修改，2021年1月4日经生态环境部令第20号修改）；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，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》，环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006]145号文；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》（2017年修订版），环境保护部 国家卫生计生委公告2017年公告第66号公布，自2017年12月5日起施行；</p> <p>(11) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103号，2014年1月1日起施行；</p> <p>(12) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，发改委令第7号，自2024年2月1日起施行；</p> <p>(13) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令</p>
------	--

	<p>第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>（14）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>（15）《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日生成；</p> <p>（16）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（17）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布，根据 2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省林地管理办法〉等 9 件规章的决定》第一次修正，根据 2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省建设项目环境保护管理办法〉的决定》第二次修正，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》第三次修正）；</p> <p>（18）《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》修正）；</p> <p>（19）《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发〔2018〕92 号，2018 年 9 月 18 日起施行；</p> <p>（20）《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2023 年本）>的通知》（浙环发[2023]33 号），2023 年 9 月 9 日起施行；</p> <p>（21）《湖州市生态环境局关于印发<湖州市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（湖环发[2024]8 号），2024 年 5 月 7 日起施行。</p>
技术标准	<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）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（3）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>（6）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）；</p> <p>（7）《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）；</p>

	<p>(8) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)；</p> <p>(9) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)；</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》(GBZ 2.1-2019) (含 2024 年第 2 号修改单)；</p> <p>(11) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) (含 2018 年第 1 号修改单)。</p>
其他	<p>报告附件：</p> <p>附件 1：公司营业执照；</p> <p>附件 2：公司厂房租赁协议；</p> <p>附件 3：浙江省企业投资项目备案（赋码）信息表；</p> <p>附件 4：项目委托书；</p> <p>附件 5：射线装置使用承诺书；</p> <p>附件 6：本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质；</p> <p>附件 7：技术评审会专家意见及修改说明。</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。

本项目为生产、销售、使用 II 类射线装置，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，本项目评价范围应为加速器生产调试机房实体边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，且不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、公司内其他工作人员，广能智能装备（浙江）有限公司和南浔上元产业港内工作人员，以及强华西路上的行人。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标分布

保护目标			方位	距机房最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	加速器生产调试区	加速器生产调试人员	/	/	共 4 名工作人员	5mSv/a
评价范围内公众	厂房内设备组区	公司内其他工作人员	机房东侧	紧邻	约 10 人	0.1mSv/a
	厂区内篮球场及绿化	广能智能装备（浙江）有限公司厂区内其他工作人员		22m	约 130 人/d	
	厂区道路及绿化	广能智能装备（浙江）有限公司厂区内其他工作人员	机房东南侧	12m	约 130 人/d	
	1#厂房	广能智能装备（浙江）有限公司工作人员		35m	约 25 人	
	厂区道路及绿化	广能智能装备（浙江）有限公司厂区内其他工作人员	机房南侧	5m	约 130 人/d	
	2#厂房	广能智能装备（浙江）有限公司工作人员		13m	约 25 人	

厂房内过道和办公区	公司内其他工作人员	机房西侧	紧邻	约 14 人
厂区道路及绿化	广能智能装备（浙江）有限公司厂区内其他工作人员		21m	约 130 人/d
南浔上元产业港园区道路	南浔上元产业港园区内工作人员		43m	约 500 人/d
厂区道路及绿化	广能智能装备（浙江）有限公司厂区内其他工作人员	机房北侧	4m	约 130 人/d
强华西路	路上行人		15m	约 500 人/d
二层仓库	公司内其他工作人员	机房上方	0.2m	约 2 人
三层和四层广能智能装备（浙江）有限公司生产车间	广能智能装备（浙江）有限公司工作人员		5.3m	约 20 人

7.3 评价标准

(1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2。

表 7-2 照射剂量限值

	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

(2) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

(1) 辐射实践的正当性

电子加速器辐照装置的建设立项，必须进行正当性分析，以确定其该项目的正当

性。

(2) 辐射防护的最优化

电子加速器辐照装置的设计和建造要求所有照射剂量都保持在规定限值以内，并在考虑社会和经济因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均应保持在可合理达到的尽量低的水平，即 ALARA 原则。

(3) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

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

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。

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 1 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 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度。

(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空气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。

(3) 《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》（GBZ 2.1-2019）（含 2024 年第 2 号修改单）

工作场所空气中臭氧容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；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 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(4) 其他标准

① 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）

② 《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

③ 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）

④ 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）（含 2018 年第 1 号修改单）

(5) 项目管理目标

综合考虑以上评价标准，确定本项目的管理目标为：

辐射环境剂量率控制水平：加速器生产调试机房外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

辐射剂量控制水平：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 。

(6) 参考资料

① 《辐射防护导论》，方杰主编

② 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

中创辐电科技（浙江）有限公司位于浙江省湖州市南浔区富园路 338 号，为租赁广能智能装备（浙江）有限公司厂区内 4#厂房的一层和二层。本项目 1#、2#加速器生产调试机房拟建址位于 4#厂房一层的中部，2 间机房东西方向相邻而建，西侧的为 1#加速器生产调试机房、东侧的为 2#加速器生产调试机房。加速器生产调试机房拟建址东侧 50m 范围依次为厂房内设备组装区、厂区内篮球场及绿化；其东南侧 50m 评价范围依次为厂区道路及绿化、1#厂房；其南侧 50m 评价范围依次为厂房内调试控制区、厂区道路及绿化、2#厂房；其西侧 50m 评价范围依次为厂房内过道和办公区、厂区道路及绿化、南浔上元产业港园区道路；其北侧 50m 评价范围依次为厂房内辅助设备区、厂区道路及绿化、强华西路；其楼上二层为仓库，三层和四层为广能智能装备（浙江）有限公司的生产车间；其地下无建筑。

本项目加速器生产调试机房拟建址及周围环境现状见图 8-1。





图 8-1 本项目加速器生产调试机房拟建址及周边环境现状图

8.1.2 环境现状检测

根据项目工作原理及特点，项目运行期间主要的环境污染物为 X 射线电离辐射污染，故本项目在进行现状调查时，主要调查本项目加速器生产调试机房拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率。

1、环境现状评价对象、检测因子、检测点位

环境现状评价对象：加速器生产调试机房拟建址及周围辐射环境

检测因子： γ 辐射空气吸收剂量率

检测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中布点原则，在加速器生产调试机房拟建址及周围环境共计布设 16 个 γ 辐射空气吸收剂量率检测点位，确保设立检测点位能够反映本项目拟建址辐射环境现状，具体点位见图 8-2~图 8-4。

2、检测方案

- (1) 检测单位：浙江环安检测有限公司
- (2) 检测报告编号：HAJC24-11-0622
- (3) 检测时间：2024 年 11 月 4 日
- (4) 检测天气：晴；温度：22℃；相对湿度：52%
- (5) 检测仪器：

检测仪器	Gemini-N 便携式 NaI 谱仪
仪器型号/编号	Gemini-N-5050/2024022
检定/校准有效期	2024.09.05-2025.09.04
有效量程	10nSv/h~0.1mSv/h
能量响应	X: 30keV~3MeV、 γ

(6) 检测方法及数据处理：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中的要求进行，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

3、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 6；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目加速器生产调试机房拟建址及周围环境的 γ 辐射水平检测结果见表 8-1，检测点位见图 8-2~图 8-4。

表 8-1 本项目加速器生产调试机房拟建址及周围环境 γ 辐射水平检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)
1	1#加速器生产调试机房拟建址	120	0.3
2	2#加速器生产调试机房拟建址	119	0.4
3	1#加速器生产调试机房拟建址南侧 (1#调试控制区拟建址)	119	0.6
4	1#加速器生产调试机房拟建址西侧 (拟建办公区)	118	0.4
5	1#加速器生产调试机房拟建址北侧 (1#辅助设备区拟建址)	117	0.6
6	2#加速器生产调试机房拟建址东侧 (拟建设备组装区)	118	0.8
7	2#加速器生产调试机房拟建址南侧 (2#调试控制区拟建址)	120	0.4
8	2#加速器生产调试机房拟建址北侧 (2#辅助设备区拟建址)	122	0.4
9	1#加速器生产调试机房拟建址楼上仓库	121	0.5
10	2#加速器生产调试机房拟建址楼上仓库	120	0.5
11	4#厂房东侧篮球场处	116	0.6
12	4#厂房南侧厂区道路处	117	0.6
13	4#厂房西侧厂区道路处	117	0.5
14	4#厂房北侧厂区道路处	116	1.0

15	1#厂房一层西北侧入口处（厂房内）	120	0.4
16	2#厂房一层东北侧入口处（厂房内）	119	0.6

注：①本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为1m，仪器读数稳定后，以10s为间隔读取10个数据；

②依据HJ 1157-2021标准：测量值=读数平均值×校准因子 k_1 ×仪器检验源效率因子 k_2 ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数；校准因子 k_1 为1.12，效率因子 k_2 取1，本项目监测仪器读数为空气比释动能率nSv/h，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数为1.20；

③以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正，环境 γ 辐射空气吸收剂量率=测量值-屏蔽修正因子 k_3 ×测量点宇宙射线响应值 D_c ， k_3 楼房取0.8、平房取0.9、原野和道路取1，仪器对宇宙射线的响应值为12.9nGy/h；

④点号11-14为室外监测点位，其余点号为室内监测点位。

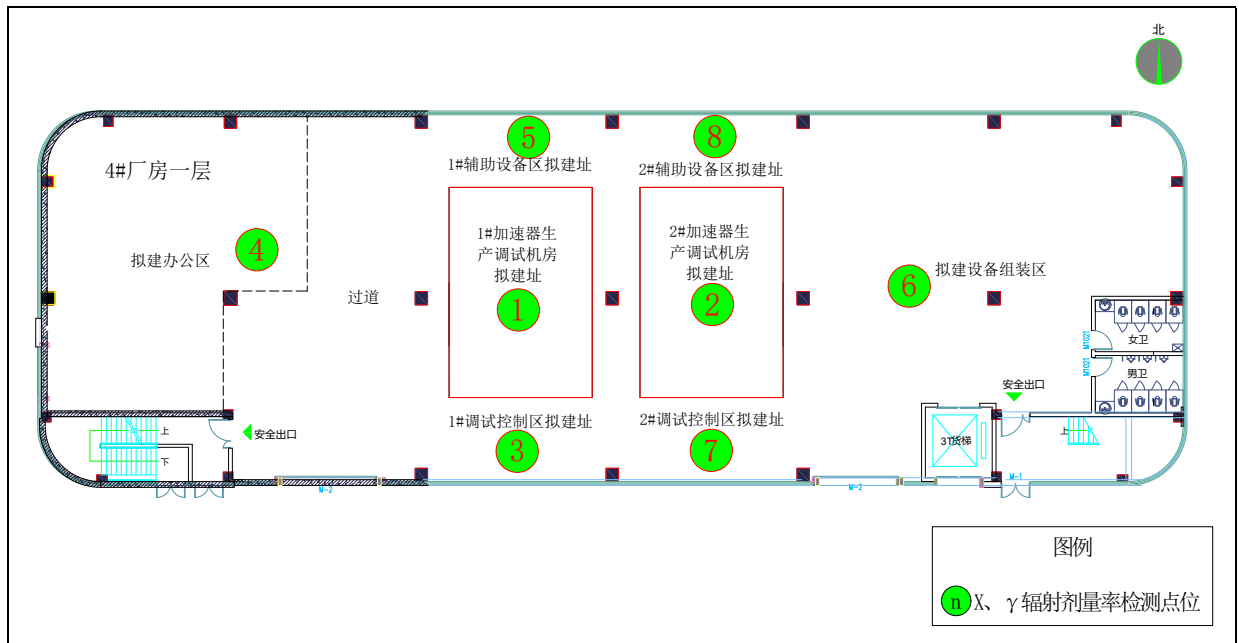


图 8-2 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率检测点位示意图一（4#厂房一层）

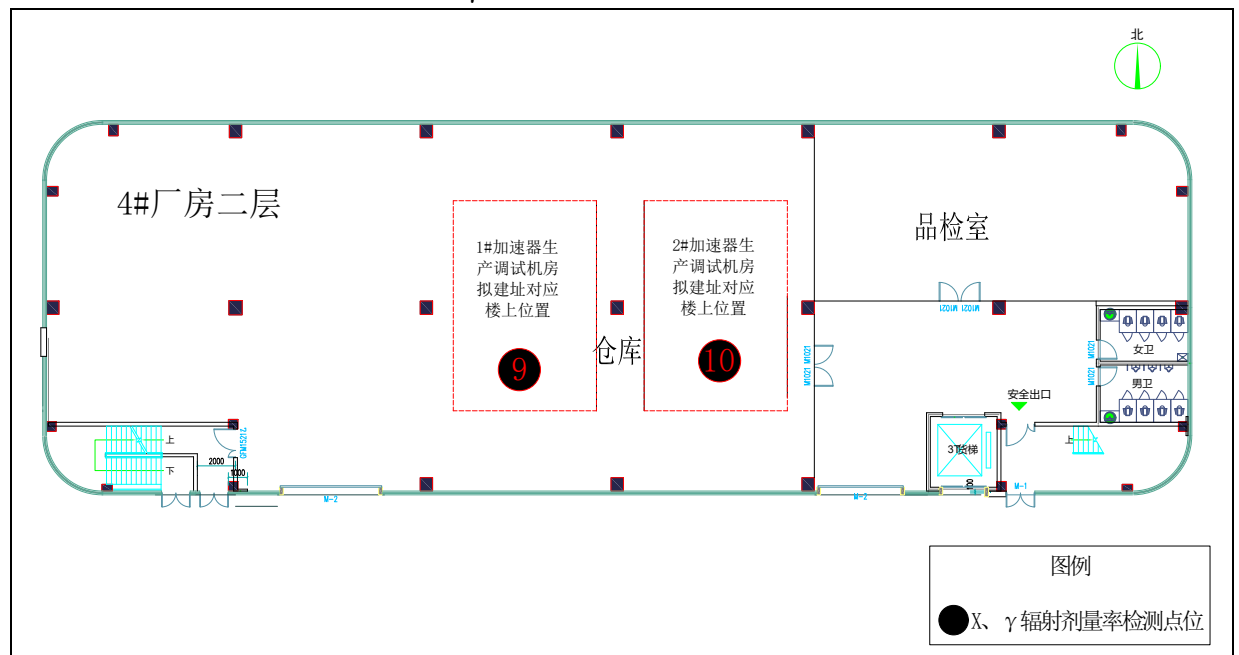


图 8-3 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率检测点位示意图二（4#厂房二层）

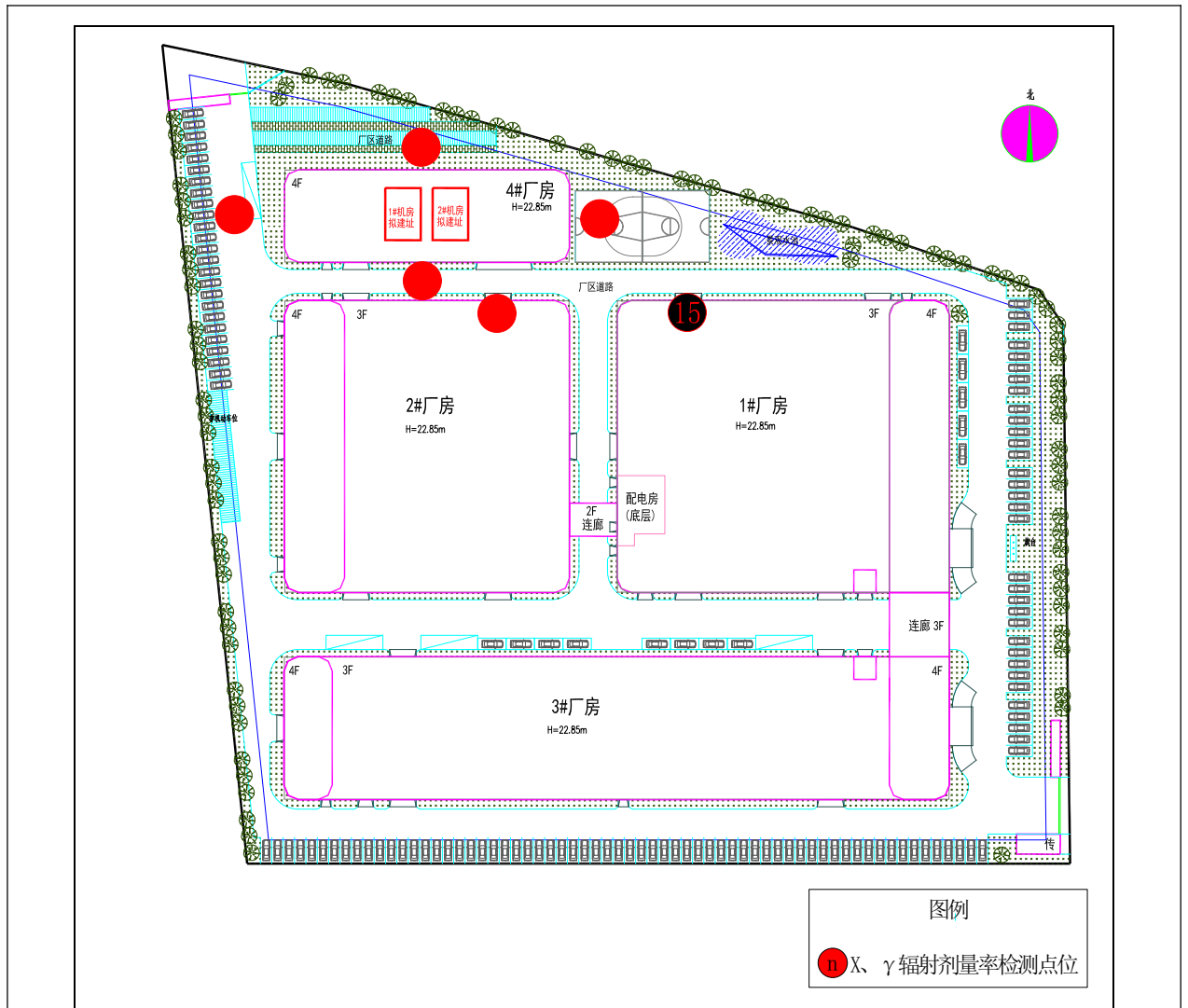


图 8-4 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率检测点位示意图三（4#厂房周围）

根据表 8-1 可知，本项目加速器生产调试机房拟建址及周围环境的室内 γ 辐射空气吸收剂量率为（117~122）nGy/h，室外 γ 辐射空气吸收剂量率为（116~117）nGy/h，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》中湖州地区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率的范围为（40~170）nGy/h，道路上 γ 辐射空气吸收剂量率的范围为（13~139）nGy/h 可知，本项目加速器生产调试机房拟建址及周围环境辐射水平在浙江省湖州市环境天然 γ 辐射空气吸收剂量率范围内，处于正常辐射本底水平范围内。

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 施工期工艺流程及污染源项

本项目加速器生产调试机房为混凝土结构，项目建设内容主要包括机房的土建施工、防护装修等，在此过程中会产生少量的扬尘、废水、固体废弃物以及噪声等，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应采取的污染防治措施如下：

(1) 扬尘

本项目在土建施工和防护装修阶段将产生少量的扬尘，但这方面的影响仅局限在厂区内。在进行施工时采取保持场所清洁、湿润的措施，将减少扬尘对周围环境的影响。

(2) 噪声

本项目在土建施工和防护装修阶段，各类机械、运输车辆将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。但本项目施工量小，机械设备使用较少，对周围环境影响很小。

(3) 废水

本项目在土建施工和防护装修阶段将产生少量的施工废水和施工人员的生活污水，产生的施工废水经处理后回收利用，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，对周围环境影响很小。

(4) 固体废物

本项目在土建施工和防护装修阶段，将产生少量的固体废物，施工单位将对固体废物进行定点堆放，并委托有资质的单位清运，对周围环境影响很小。

本项目施工期工艺流程及产污环节如图 9-1 所示：

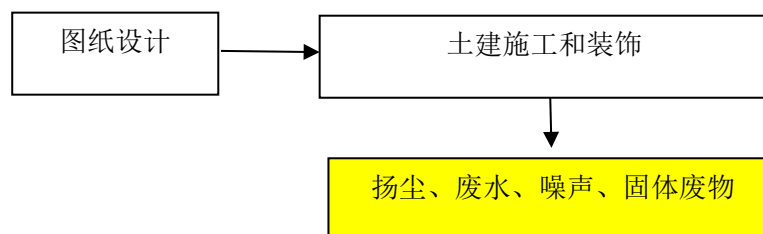


图 9-1 本项目施工期工艺流程及产污环节示意图

项目施工期间对环境存在一定的影响，但无辐射影响，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。公司只要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公司厂房内，对周围环境影响较小。本项目加速器成品系统部件均委外加工定制，公司购买后仅在厂房内进行组装，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）无需履行一般环境影响评价手续。

9.1.2 设备组成及工作方式

1、设备组成

公司拟生产、销售的ZCM-2500/100型工业电子加速器的主要组成部分有：

(1) 高压整流部分。高压整流器是加速器的高压来源，且充当升变压器和感应耦合的级联高压发生器的功能。

(2) 加速管部分。加速管是加速器的重要核心部件，由电子枪和加速管组成。电子枪是加速器的电子源，它产生一定能量，流强和形状要求的电子束，并进入加速管进行加速。电子在加速管中成束并被加速。加速管需要在高真空环境中稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。加速管为加速器里最脆弱的环节，是各类高压型加速器提高端电压的主要限制。

(3) 引出系统。引出系统由带膜片的滑动阀门、聚焦透镜、高频扫描磁铁、低频扫描磁铁、引出室及相应的供电电源组成。电子束经加速管加速后，在加速管出口处的聚焦磁铁聚焦，在扫描引出窗的入口处行程聚集的电子束，调节聚集线圈的电源，使电子束无损地进入扫描引出窗入口；同时，高频磁铁产生沿扫描窗宽度方向上的交变磁场、低频磁场产生沿扫描窗长度方向上的交变磁场，使电子束沿磁场方向扫描，从而均匀的从钛箔引出。

(4) 高压整流器、加速管、引出系统、离子泵、扫描盒联接起来组成一体便是加速器。加速器操作所需辅助设备包括电源系统、控制系统、气体系统、真空系统和冷却系统。

公司拟生产、销售的 ZCM-2500/100 型工业电子加速器技术参数见表 1，加速器钢桶部分高约 4.074m、半径最大约 0.86m，加速器系统结构见图 9-2。

表 9-1 本项目电子加速器技术参数一览表

技术指标	加速器
产品型号	工业电子加速器 ZCM-2500/100
电子束最大能量	2.5MeV
电子束最大流强	40mA
最大束流功率	100kW
扫描宽度	1600mm
扫描窗冷却	提供风冷、水冷配套系统
束流损失率	1%（即电子束流强度为 0.4mA）
束流损失点能量	0.25MeV
电子束照射方向	垂直向下

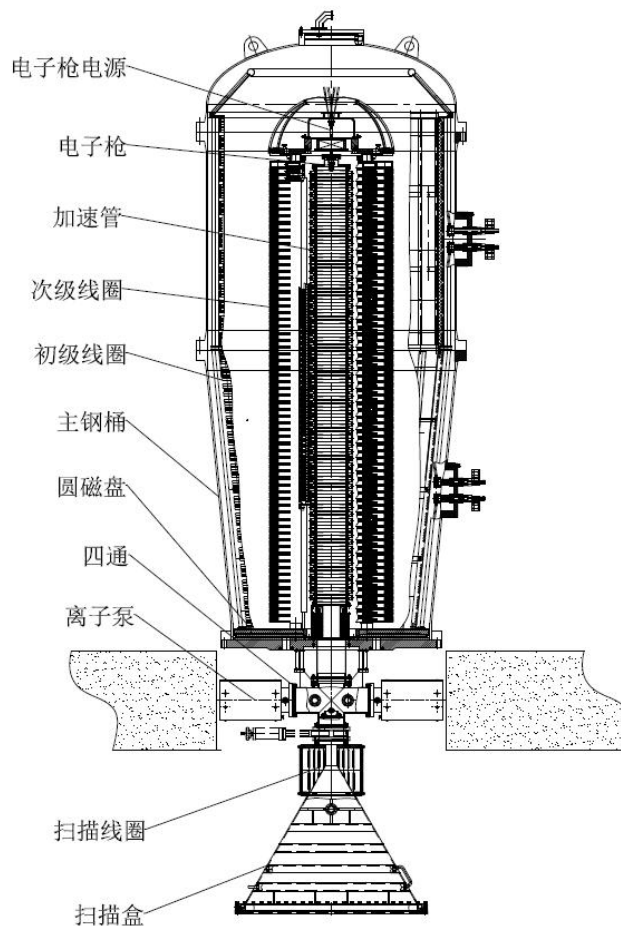


图 9-2 公司拟生产、销售的 ZCM-2500/100 型工业电子加速器系统结构图

2、工作方式

本项目仅外购加速器成品系统部件，在生产调试机房内组装工业电子加速器，并对组装后的加速器进行调试，不进行辐照加工作业。

本项目辐射工作人员负责设备产品在生产调试机房的组装、调试以及在客户单位的安装、调试以及售后维修维护。

本项目加速器调试工作场所拟设置相应的生产调试机房和调试控制室，调试控制室与生产调试机房分开设置，辐射工作人员在调试控制室内通过控制系统对加速器进行出束调试，其采取的是隔室操作的工作方式。在客户单位进行出束调试时，辐射工作人员位于控制室内，采取的也是隔室操作的工作方式。

9.1.3 工作原理、工艺流程及产污环节

1、工作原理

工业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，其工作原理为：电子束从电子枪阴极发射，通过加速管中的高压电场获得加速，最终从扫描引出装置对扫描窗下的货物进行辐照加工。辐照加工技术是利用电离辐射与物质相互作用产生的物理学、化

学和生物学效应，对物质和材料进行加工处理的一种核技术。辐射加工是一种高效的加工技术，具有穿透性强、可在常温下进行、节能、无残毒、无废物、易于控制等特点，因而在传统行业改造，功能材料开发，实现微细加工及三废处理中都具有重要作用，其应用具有重大的经济效益和社会效益。

电子束辐照加工，主要用于医疗用品的灭菌消毒、食品保藏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。

2、工艺流程及产污环节分析

本项目加速器的生产、销售工艺流程及产污环节具体如下：

(1) 生产阶段工艺流程及产污环节分析

a、设备系统部件的购买、组装

公司购买加速器成品系统部件，暂存至4#厂房的二层仓库，购买的各系统部件在品检室经测试合格后，在一层的设备组装区进行部分组装，组装好后，运至生产调试机房。

b、设备的调试

①将加速器安装在机房内固定位置，检查并连接调试控制系统和辅助设备；

②启动上电开关按钮，主控台电脑自行启动，打开加速器软件，检查软件上的显示是否正常；

③确认水路阀门打开，检查水冷机组水位正常，启动水冷机组，检查各水路压力及有无漏水情况；

④携带便携式剂量报警仪巡检机房，检查生产调试机房的工作状态指示灯、门-机连锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施是否正常，并按序按下巡检按钮；

⑤清场、确认无人员滞留后关闭防护门，再次检查软件上的显示是否正常，在主控电脑主界面依次点击“启动变频器”→“启动扫描”→“启动开机报警”，变频器、排风机、钛膜风机开始启动，在此过程中可观察启动前后显示状态的变化，查看监控内有无异常；

⑥在主界面有能量(MeV)、束流(mA)、HF扫描宽度(%)、LF扫描宽度(mm)、LSU聚焦强度(%)5个数值输入框，根据需要输入数值，调节能量与束流

等，在升能量与束流过程中观察主界面参数情况及离子泵真空，温度等情况，并不断调整加速器参数，采集相关数据，完成调试作业，开机出束调试期间会产生电子线、X射线、少量的臭氧和氮氧化物；

⑦调试结束后，在操作主控电脑，逐步降低能量与束流强度，降低后，依次点击关闭加速器、关闭变频器、退出，将加速器软件退出；

⑧依次关闭主控电脑，关闭配电柜、水冷机组、束下传输装置电源，操作结束，10-15分钟后，关闭排风机。

c、辐照实验

①打开加速器的控制界面，检查各相关参数是否正常；

②根据需要对实验材料进行辐照实验，将实验材料放置在扫描盒下方的束下传输装置上；

③对加速器生产调试机房进行安全巡检，确认无人员滞留后关闭防护门，开机出束辐照，达到实验材料所需要的加速器指标（能量、束流）后，关闭加速器，10-15min后，进入辐照室取出实验材料，并对辐照后的实验材料进行分析，开机出束期间会产生电子线、X射线、少量的臭氧和氮氧化物；

⑥当天调试工作结束后，未调试完的加速器放置在生产调试机房内，设备断电并关闭生产调试机房的防护门，控制台钥匙和生产调试机房钥匙由专人保管；

⑦加速器最终调试结束，关机，切断电源，拆机运至仓库。

本项目加速器生产阶段工艺流程及产污环节见图 9-3。

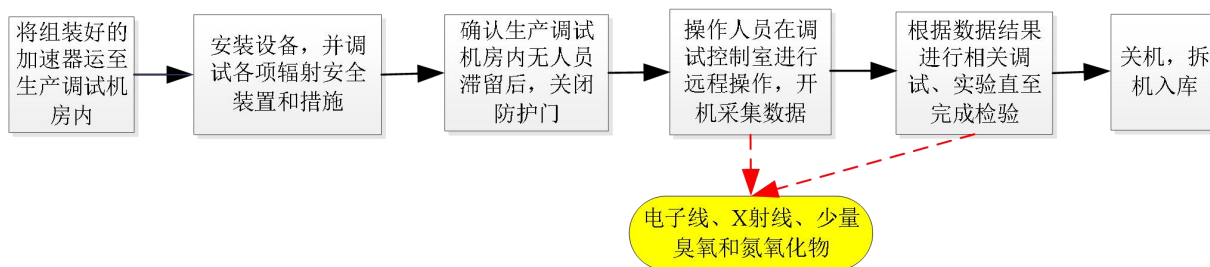


图 9-3 本项目加速器生产阶段工艺流程及产污环节

(2) 销售阶段工艺流程及产污环节分析

①客户提出购买本项目加速器意向，本项目辐射工作人员与客户一起进行技术指标确认并进行商务谈判，确认技术附件及价格等商务条款，确认后签订购买协议；

②公司生产、备货，加速器在生产调试期间会产生电子线、X射线、少量的臭氧和氮氧化物；

③客户具备装机条件后，公司委托运输机构将加速器运抵客户单位指定场地，客户单位进行书面签收；

④本项目辐射工作人员进入客户单位加速器机房，进行加速器的安装；

⑤安装完毕待满足开机调试条件后，本项目辐射工作人员佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪等辐射监测仪器，对机房开机调试条件进行确认，经确认机房屏蔽和相关辐射安全措施满足环境影响评价文件和批复文件要求后，辐射工作人员通过加速器操作系统，进行加速器的相关调试，调试内容主要包括：通电调试、束流调试等，开机出束调试期间会产生电子线、X射线、少量的臭氧和氮氧化物；

⑥调试完成，加速器可正常运行后，经客户验收合格后交付给客户；

⑦对客户单位加速器辐射工作人员进行技术培训，并定期对客户的加速器进行维护和维修。

本项目加速器销售阶段工艺流程及产污环节见图 9-4。

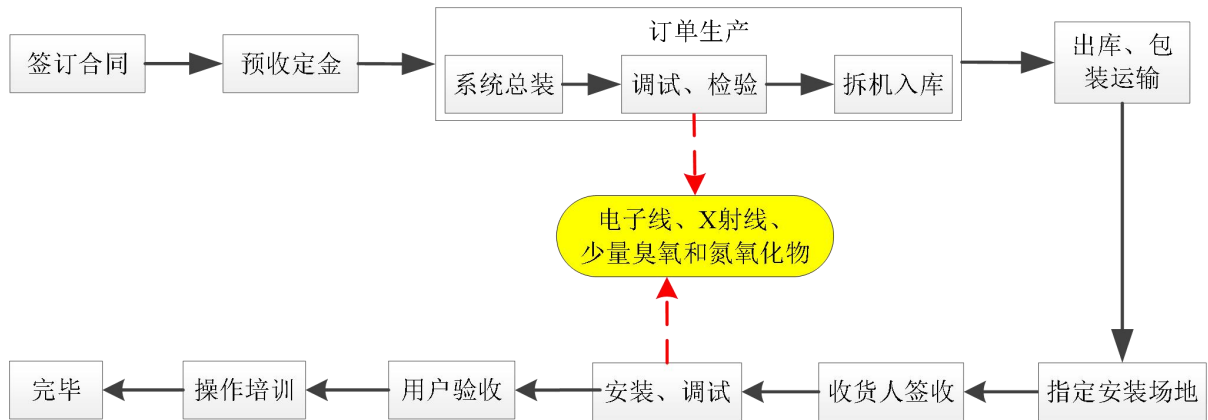


图 9-4 本项目加速器销售阶段工艺流程及产污环节

9.1.4 劳动定员和工作负荷

1、劳动定员

公司拟配备 1 名辐射安全防护专职管理人员，并拟为本项目共配备 4 名辐射工作人员（即加速器调试工作人员），4 名辐射工作人员分为 2 组，每间生产调试机房配备 2 名辐射工作人员，每次生产调试时，2 名辐射工作人员同时在场。

公司生产、销售的工业电子加速器在公司厂区内调试完成后，将拆除各系统装箱发往客户单位，在客户单位进行安装、调试，并对客户单位工作人员进行相关操作培训。本项目辐射工作人员除负责加速器在客户单位的安装、调试外，还负责客户现场的售后维修维护工作，加速器调试人员与客户现场调试人员为同一批工作人员，公司生产的加速器在客户单位进行安装、调试时，客户单位的加速器机房应已通过环境影响评价，且该机房的屏蔽防护能力能满足相关标准要求。

本项目每名辐射工作人员每年在客户单位现场安装、调试加速器数量不超过 15 台，每台加速器开机调试出束时间不超过 1 小时，开机出束调试期间辐射工作人员位于

控制室内；每名辐射工作人员每年在客户单位现场售后维修期间的总开机出束时间不超过 100 小时，开机出束期间辐射工作人员位于控制室内。

2、工作制度

每天工作 8 小时，每年工作 300 天。

3、工作负荷

本项目加速器年生产、销售基本情况见表 9-1。

表 9-1 本项目加速器年生产、销售基本情况一览表

序号	射线装置名称	单台在生产调试机房总调试时间	单台在生产调试机房开机出束调试最大时间	单台在客户单位开机出束调试时间	每名人员在客户单位售后维修开机出束调试时间	产能
1	工业电子加速器	约 20 天	100 小时	1 小时	≤100 小时/年	年生产、销售约 30 台

本项目拟建 2 间加速器生产调试机房，平均分配工作量，每间加速器生产调试机房生产、调试加速器不超过 15 台，则每组辐射工作人员年受照时间不超过 1615h。

9.2 污染源项描述

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。本项目主要污染物如下：

1、放射性污染

本项目电子加速器电子束最大能量为 2.5MeV，最大束流强度为 40mA，最大束流功率为 100kW，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附表 A.1，2.5MeV 侧向 90°方向的 X 射线发射率为 $2.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。电子加速器在加速过程中的束流损失率为 1%（即电子束流强度为 0.4mA），束流损失点的能量为 0.25MeV，根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3 可查得，0.25MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90°的 X 射线发射率为 $0.01\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

电子加速器在进行调试时电子枪发射电子，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。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，对加速器生产调试机房外产生一定的辐射影响。此外，电子束打到机头及其他高 Z 物质时也会产生高能 X 射线，X 射线的贯穿能力极强，会对加速器生产调试机房周围环境造成辐射污染。加速器在调试时产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器开机出束期间，X 射线为本项目主要的污染因素。

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。加速

器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。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。

本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入机房的工作人员的影响，需保证其有害气体职业接触限值满足《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》（GBZ 2.1-2019）中的要求。

（2）本项目辐射工作人员会产生一定量的生活废水和生活垃圾。

（3）加速器配备的水冷系统位于机房北侧的辅助设备区，冷却水均为去离子水，直接外购，不在厂区内制备，正常生产调试情况下冷却水系统循环使用，不外排；维修、事故情况下会外排少量的冷却水。

（4）本项目电子加速器在调试过程中风机会产生噪声，对周围声环境产生一定的影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

1、工作场所布局

本项目 2 间加速器生产调试机房为半地下式混凝土结构，地下为辐照室，地上包括主机室、调试控制室、辅助设备区。其中主机室设有工件门和人员门，工件门用于加速器系统部件的进出，人员门用于生产、调试期间人员的进出；辐照室无防护门，辐照室和主机室之间设有楼梯和地坑下货口，加速器系统部件通过地坑下货口运进辐照室，人员通过主机室的楼梯进入辐照室。本项目工业电子加速器在生产、调试时，调试人员在调试控制室内负责调试加速器运行参数，并通过监控视频等观察机房内外及周边情况，其中一人为值班长，掌控主机钥匙。加速器调试出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。综上所述，本项目加速器生产调试机房的布局合理可行。

2、工作场所分区

本项目拟将加速器生产调试机房的辐照室、主机室作为控制区，在主机室工件门和人员门外及机房周围醒目位置粘贴电离辐射警告标志及中文警示说明，加速器出束调试期间任何人不得进入；拟将调试控制室、辅助设备区（辅助设备区四周设置实体围栏）、工件门外一米区域（地面粘贴地标）作为监督区，并设置监督区标识，加速器出束调试期间无关人员不得进入。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）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目加速器生产调试机房的布局与分区示意图见图 10-1。

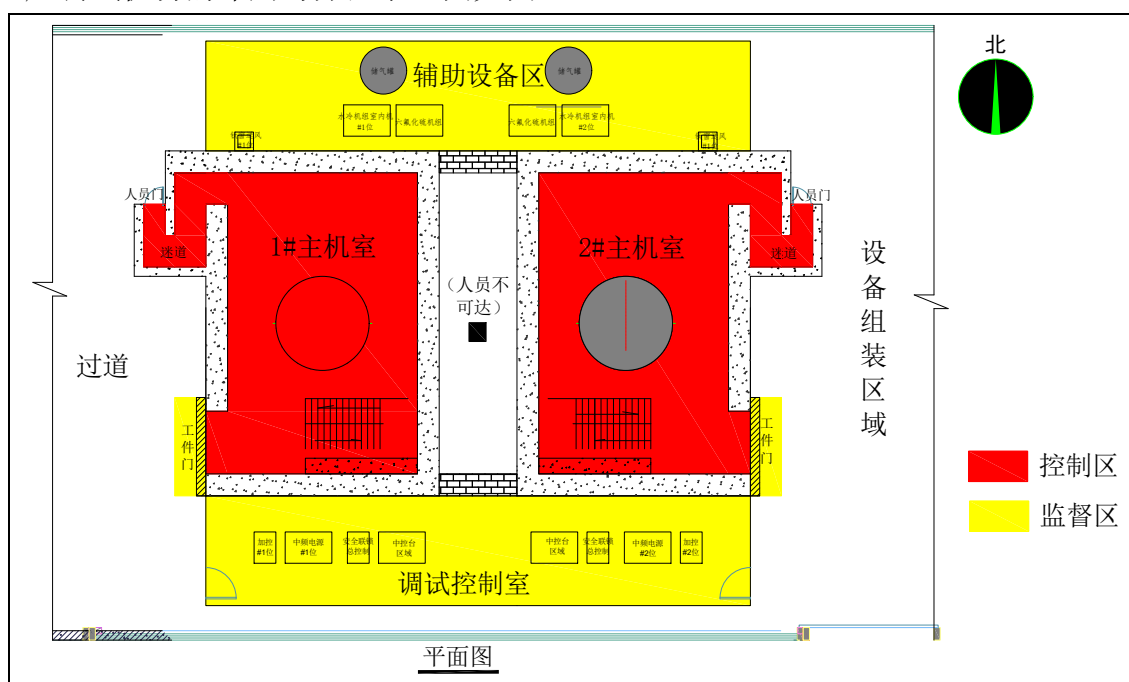


图 10-1-1 本项目加速器生产调试机房布局分区示意图（平面图）

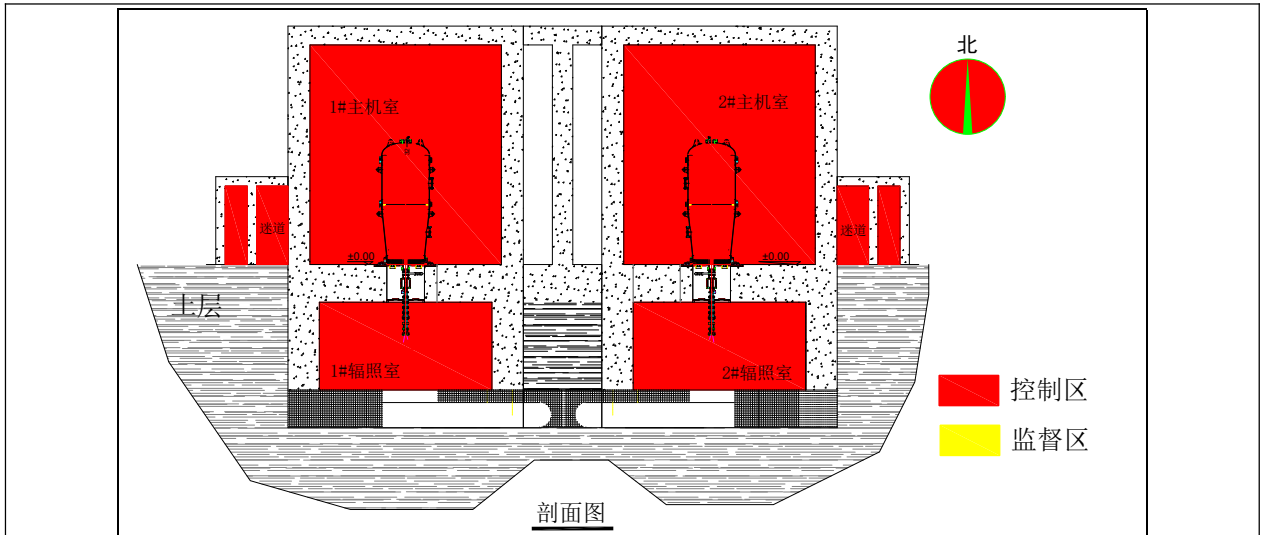


图 10-1-2 本项目加速器生产调试机房布局分区示意图（剖面图）

10.1.2 辐射防护设计

本项目加速器生产调试机房屏蔽防护参数见表 10-1。

表 10-1 本项目加速器生产调试机房屏蔽防护情况一览表

场所	屏蔽体	设计的屏蔽厚度
1#机房辐照室、 2#机房辐照室 (内尺寸: 9.6m×6.1m ×7m)	东墙、西墙	1000mm 砼
	南墙、北墙	1500mm 砼
	顶部	1200mm 砼
1#机房主机室、 2#机房主机室 (内尺寸: 8m×5.5m× 2.8m)	四周墙体	700mm 砼
	迷道墙	300mm 砼
	顶部	600mm 砼
	防护门	工件门: 200mm 钢门 人员门: 普通防盗门
主机室地坑下货口		100mm 滑移钢盖板

注: ①砼密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$, 钢的密度为 $7.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。

②一层层高为 7.8m, 二层层高为 5.1m, 加速器主机室高 7.6m, 主机室顶与一层楼板浇筑在一起, 一层楼板厚度为 200mm 砼。

本项目加速器生产调试机房在工时, 将在加速器生产调试机房所建位置的二楼地板处设置浇筑孔, 由浇筑孔浇筑混凝土, 机房浇筑结束后, 用混凝土填充浇筑孔。

10.1.3 辐射安全和防护措施

1、生产调试机房辐射安全和防护措施

为保障项目安全运行, 避免在加速器生产调试期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故, 本项目加速器生产调试机房拟设置如下辐射安全装置和保护措施, 主要有:

(1) **钥匙控制:** 调试控制室主控台上配备钥匙开关, 钥匙开关控制加速器系统的

运行，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主机室的所有防护门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；钥匙与 1 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值班长使用。

(2) **门机联锁：**主机室的人员门和工件门均与束流控制和加速器高压联锁。任一扇门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中任一扇门被打开则加速器自动停机。门机联锁装置必须性能可靠，其引发加速器停机时必须自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

(3) **束下装置联锁：**电子加速器辐照装置的控制可与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件，若束下传输系统发生故障，将通过 PLC 反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。

(4) **信号警示装置：**主机室人员门和工件门外、辐照室和主机室内安装红绿信号工作状态指示灯和警铃，并与电子加速器辐照装置联锁，加速器开机升高压前警铃响、红灯亮，同时提示“开机禁止入内”，提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场，关机后绿灯亮并提示“关机允许进入”。

(5) **巡检按钮：**在辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员从人员门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，巡检完成后，原路返回退出机房，加速器才能开启高压。

(6) **防人误入装置：**在主机室人员门和工件门的内侧分别设置一套防人误入装置，并与加速器的开、停机联锁。在加速器调试过程中，若人员误入，该装置将发出光电报警，并自动切断加速器电源。

每套防人误入装置均由三道（高度分别为 0.3m、0.8m、1.2m，且不在同一垂直面）防人误入的光电联锁装置组成，建议三道防人误入光电联锁装置从不同的厂家购买，确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。

(7) **急停装置：**在控制台上及辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置急停按钮，并在辐照室、主机室内设置急停拉线开关并覆盖室内全部区域，紧急状态下，拉下急停拉线开关或按下急停按钮，即终止加速器的运行，拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。

急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠，并有中文标识和使用说明。主机室工件门和人员门内侧的急停按钮带有紧急开门功能，以便在事故工况下人员离开控制区。

(8) **剂量联锁：**在调试控制室内以及辐照室内、主机室的迷道内口处安装固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在调试控制室内，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与主机室所有防护门联锁，当任一监测点处的

辐射剂量率超过设定的阈值时，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，主机室防护门无法从外部打开。

(9) **通风联锁：**生产调试机房排风系统与控制系统联锁，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，只有达到预先设定的时间（**环评建议至少 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。

(10) **烟雾报警：**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，加速器能立即停机并停止通风。

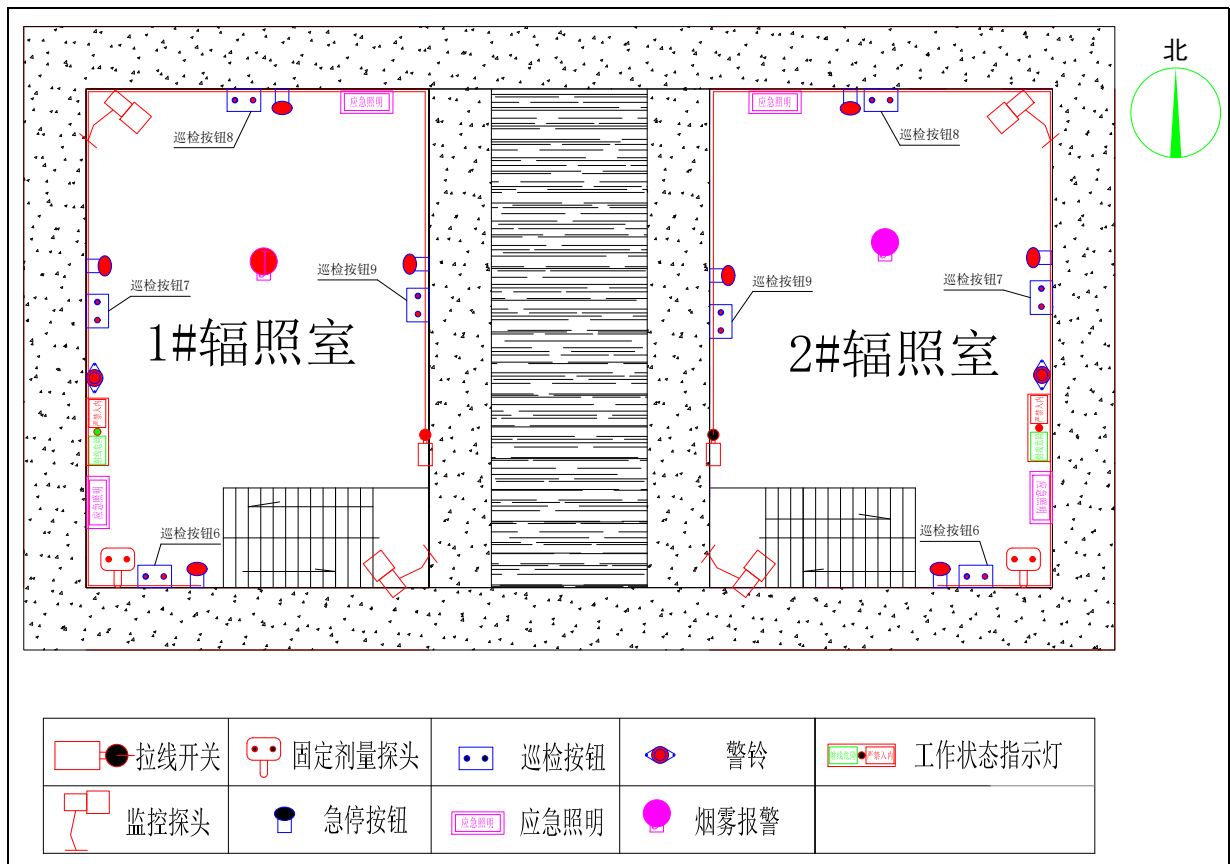
(11) **警告标志：**在主机室人员门和工件门上以及机房周围醒目位置粘贴醒目的、符合 GB18871 规定的“当心电离辐射”警告标志，提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。

(12) **监控系统：**在辐照室内、主机室内、调试控制室内、辅助设备区内、机房人员门和工件门处安装监控探头，监控器设置在调试控制室主控台上，可覆盖监控整个生产调试区域情况以及人员进出机房情况。

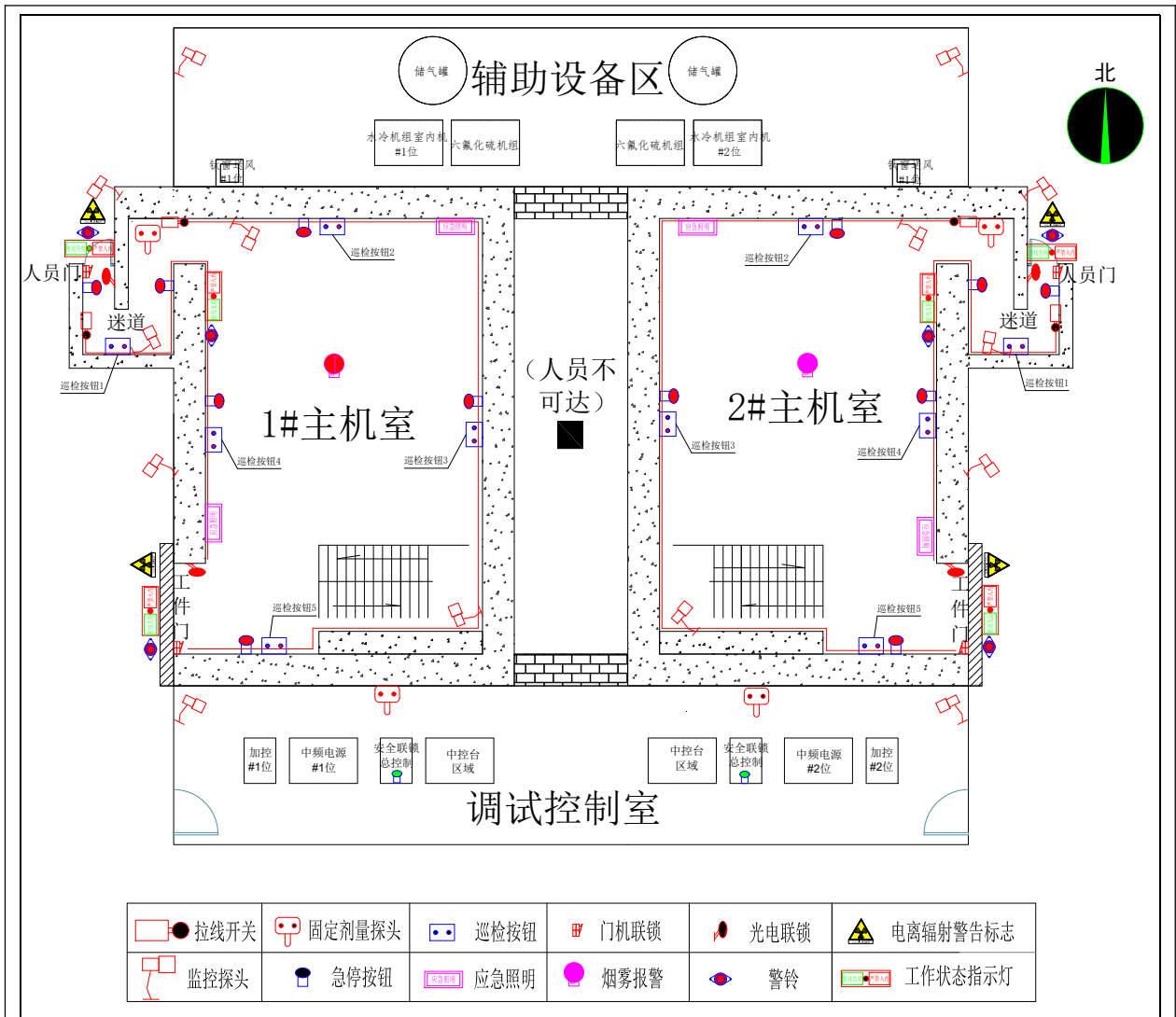
(13) **应急照明系统：**辐照室、主机室内设置应急照明系统。

(14) **其他安全措施：**主机室人员门和工件门处设置钥匙开关，插上钥匙才能打开门，钥匙与 1 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值班长使用。

本项目加速器生产调试机房拟采取的辐射安全和防护措施平面布置图见图 10-2。



10-2-1 辐照室拟采取的辐射安全和防护措施平面布置图



10-2-2 主机室、调试控制室、辅助设备区拟采取的辐射安全和防护措施平面布置图

本项目加速器生产调试机房拟采取的管理措施和辐射安全措施与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-2。

表 10-2 本项目拟采取的管理措施和辐射安全措施与 HJ979-2018 中要求对照情况一览表

序号	HJ979-2018 要求	本项目设计方案	对照结论
1	<p>6.1 联锁要求</p> <p>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。</p> <p>安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。</p> <p>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。</p>	<p>本项目加速器生产调试机房将采取门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置联锁、剂量联锁、通风联锁等联锁系统，安全联锁引发加速器停机时自动切断高压；安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行；安全联锁装置未旁路，设备维护与维修后立即恢复原状。</p>	符合要求

<p>2</p>	<p>6.2 安全设施</p> <p>(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 1 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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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。</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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，</p>	<p>(1) 钥匙控制：调试控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，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主机室的所有防护门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；钥匙与 1 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值班长使用。</p> <p>(2) 门机联锁：主机室的人员门和工件门均与束流控制和加速器高压联锁。任一扇门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中任一扇门被打开则加速器自动停机。门机联锁装置必须性能可靠，其引发加速器停机时必须自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。</p> <p>(3) 束下装置联锁：电子加速器辐照装置的控制可与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件，若束下传输系统发生故障，将通过 PLC 反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。</p> <p>(4) 信号警示装置：主机室人员门和工件门外、辐照室和主机室内安装红绿信号工作状态指示灯和警铃，并与电子加速器辐照装置联锁，加速器开机升高压前警铃响、红灯亮，同时提示“开机禁止入内”，提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场，关机后绿灯亮并提示“关机允许进入”。</p> <p>(5) 巡检按钮：在辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员从人员门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，巡检完成后，原路返回退出机房，加速器才能开启高压。</p> <p>(6) 防人误入装置：在主机室人员门和工件门的内侧分别设置一套防人误入装置，并与加速器的开、停机联锁。在加速器调试过程中，若人员误入，该装置将发出光电报警，并自动切断加速器电源。</p>	<p>符合要求</p>
----------	--	---	-------------

	<p>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；</p> <p>(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。</p>	<p>每套防人误入装置均由三道（高度分别为 0.3m、0.8m、1.2m，且不在同一垂直面）防人误入的光电联锁装置组成，建议三道防人误入光电联锁装置从不同的厂家购买，确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。</p> <p>(7) 急停装置：在控制台上及辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置急停按钮，并在辐照室、主机室内设置急停拉线开关并覆盖室内全部区域，紧急状态下，拉下急停拉线开关或按下急停按钮，即终止加速器的运行，拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。</p> <p>急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠，并有中文标识和使用说明。主机室工件门和人员门内侧的急停按钮带有紧急开门功能，以便在事故工况下人员离开控制区。</p> <p>(8) 剂量联锁：在调试控制室内以及辐照室内、主机室的迷道内口处安装固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在调试控制室内，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与主机室所有防护门联锁，当任一监测点处的辐射剂量率超过设定的阈值时，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，主机室防护门无法从外部打开。</p> <p>(9) 通风联锁：生产调试机房排风系统与控制系统联锁，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，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证机房内的臭氧等有害气体浓度低于允许值。</p> <p>(10) 烟雾报警：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，加速器能立即停机并停止通风。</p>	
3	<p>6.3.1 电气系统</p> <p>(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。</p>	<p>本项目加速器生产调试机房的辐照室、主机室内将设置应急照明系统。</p>	符合要求

4	<p>6.3.2 给水系统</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>	<p>本项目加速器辐照装置配备有水冷机组, 冷却水系统循环使用, 并配备 100KW 的水塔, 可确保一定裕量的水流量和水压。</p>	符合要求
5	<p>6.3.3 通风系统</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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空气与气象资料计算确定。</p>	<p>本项目加速器生产调试机房将设置机械通风系统, 风机排风速率设计为 14400m³/h, 室内吸风口位于辐照室扫描窗下方的地面处, 排风管道从辐照室地下穿过, 埋地 400mm, 管道内径为 800mm, 从两间生产调试机房中间的腔体穿出, 最后从 4# 厂房的北墙外穿出, 经排臭氧烟囱于 4# 厂房的楼顶排放, 排放口不低于 20m, 并高于厂房周边建筑。</p>	符合要求
6	<p>6.3.4 防火系统</p> <p>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。</p>	<p>本项目加速器生产调试机房由混凝土浇筑, 配备有烟雾报警装置和灭火器。</p>	符合要求

综上所述, 本项目加速器生产调试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、警示标志、急停开关等安全设施的要求, 项目设计安全可行。

2、调试过程辐射安全措施

(1) 辐射工作人员应参加相应科目的辐射安全和防护的培训和考核, 通过考核后上岗; 在上岗前还应参加各类专业技能培训, 培训内容主要包括工业电子加速器的原理及其应用、工业电子加速器的辐射安全防护、工业电子加速器的安装调试流程等内容, 确保辐射工作人员具备完成设备安装调试的工作能力。

(2) 在出束调试前, 工作人员应携带便携式剂量报警仪巡检机房, 检查生产调试机房的工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施是否正常, 并按序按下巡检按钮进行清场, 确保机房内无人员滞留后方能出束调试。

(3) 在调试时, 2 名辐射工作人员必须同时在场, 并佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

3、销售过程辐射安全管理措施

(1) 建立生产、销售台账, 并定期上报生态环境管理部门。在与用户签订合同前, 应告知用户使用该电子加速器应进行环境影响评价, 履行相应的环保手续。

(2) 在销售过程中, 应按辐射安全许可证规定的种类和范围从事销售活动, 并按销售台账记录表格进行记录, 记载销售时间、采购商名称、购买台数、记录人、记录时

间、审核人、审核日期等事项，接受生态环境部门的检查。

4、在客户单位维修维护过程辐射安全和防护措施

(1) 在开展维修维护工作前，本项目辐射工作人员佩戴个人剂量计并携带直读式个人剂量报警仪、便携式 γ 剂量率仪等辐射监测仪器，对机房辐射安全措施进行确认，经确认满足环境影响评价文件和批复文件要求，且能正常工作，并对现场进行清场，确保机房内无人员逗留后，方对加速器进行维修维护，同时确认操作台留有客户单位辐射工作人员；无法确认相关辐射安全措施是否有效时，应断电维修。

(2) 在加速器通电情况下进行维修维护时，打开机房防护门，按下急停按钮，控制加速器出束的钥匙由维修人员保管，待维修维护工作结束后，交还给相关负责人，防止误出束照射。

(3) 维修维护时在机房门口设置警戒线和警戒牌，禁止无关人员进入，必要时设专人监管。

(4) 辐射工作人员维修维护过程中穿戴专用工作服、口罩、橡胶手套及鞋套等防护用品。

10.2 三废的治理

1、废气处置措施

本项目运行过程中无放射性废水、废气及放射性固体废物产生。电子加速器在出束状态时，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。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，臭氧的毒性最高，且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内臭氧的产生和排放影响。

本项目加速器生产调试机房的新风均采用自然送风的方式，排风均采用机械排风的方式，排臭氧风机放置在机房的北侧，风机排风速率设计为 14400m³/h，并采用埋地排风管道，管道位于辐照室下方 400mm，管道内径为 800mm，室内吸风口位于辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道从辐照室地下穿过，从两间生产调试机房中间的腔体穿出，最后从 4#厂房的北墙外穿出，经排臭氧烟囱于 4#厂房的楼顶排放，排放口不低于 20m，并高于厂房周边建筑。本项目加速器生产调试机房内产生的臭氧和氮氧化物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。

本项目排风管道采用埋地设计以及在有一定防护能力的密闭腔体内布管，最后从 4#厂房的北墙外穿出，辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口（见图 10-3），根据《辐射防护导论》P189“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上

的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”可知，本项目排风管道的的设计未破坏加速器生产调试机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

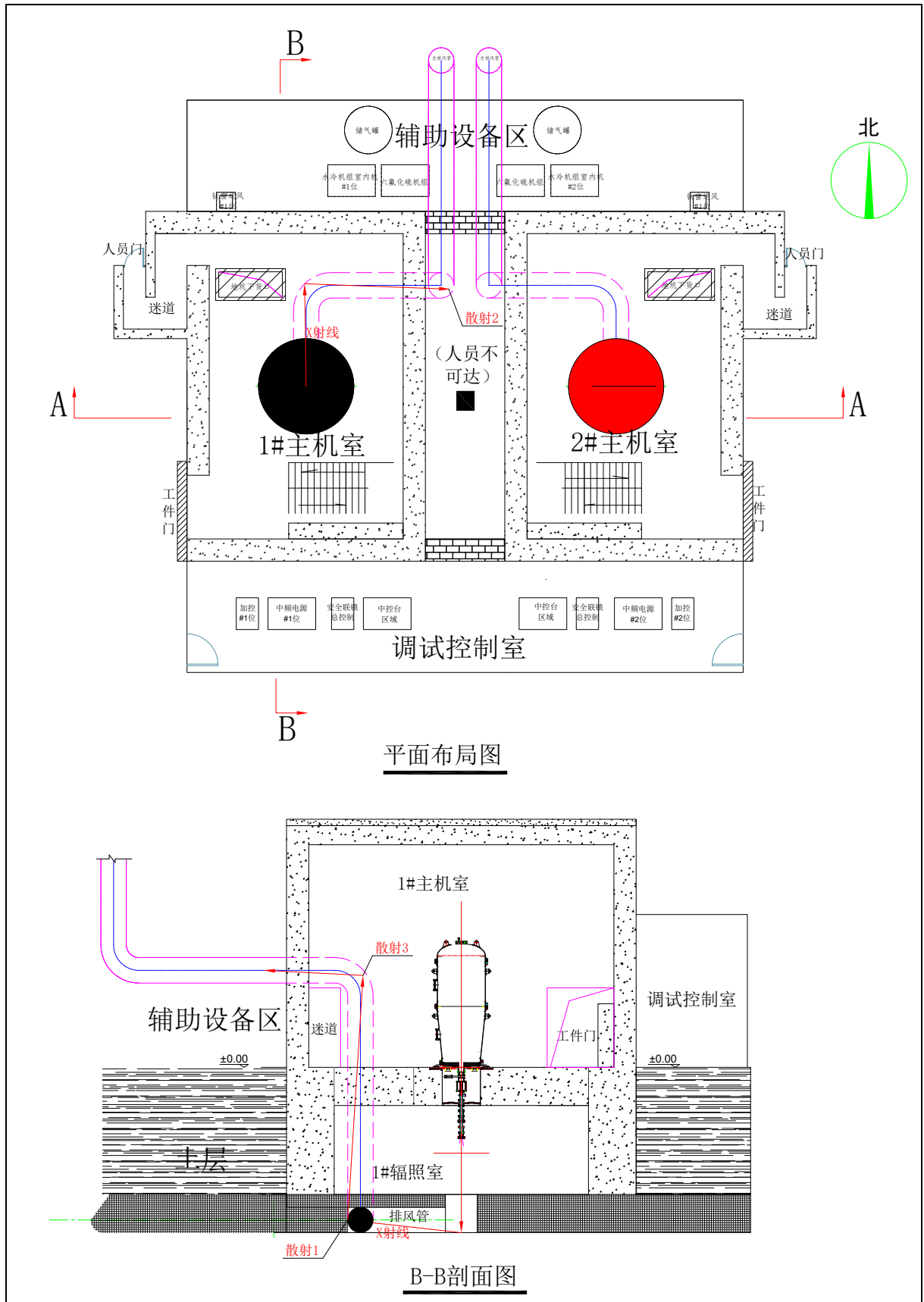


图 10-3 X 射线在排风管道内散射路径图

此外，机房的控制电缆采用埋地电缆沟设计，钛窗风管（内径 150mm）采用埋地设计，水管（内径 40mm）、气管（内径 40mm）、线管（内经 80mm）均采用斜穿墙设计，且水管、气管、线管的管道内经较小，不会破坏加速器生产调试机房的整体屏蔽防护效果。本项目生产调试机房的水管、气管、线管平面布设见图 10-4。

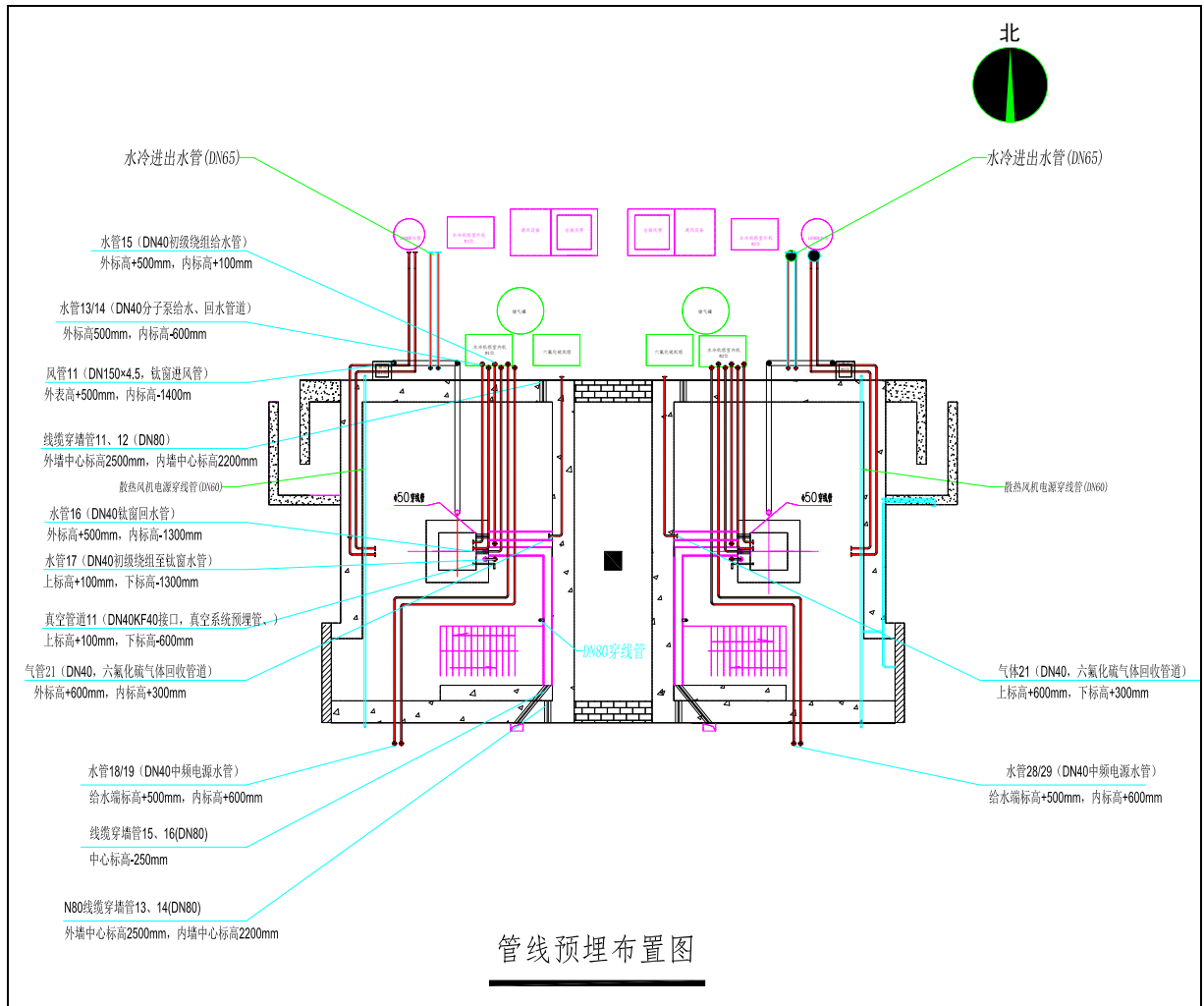


图 10-4 本项目生产调试机房水管、气管、线管平面布设示意图

2、废水处理措施

本项目辐射工作人员产生的生活污水经厂区化粪池处理后排至市政污水管网，满足相关环保要求。维修、事故情况下外排的冷却水收集后倒回至水冷系统，不对外排放，对周围环境影响很小。

3、固体废物处理措施

本项目辐射工作人员产生的少量生活垃圾，将依托公司的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，满足相关环保要求。

4、噪声处理措施

本项目加速器生产调试机房将采用低噪声的风机，并采取基础减震，进行降噪处理，并安装隔声罩，确保能够满足厂界噪声排放标准，对周围环境影响很小。

5、环保措施及投资估算

本项目环保投资估算费用见表 10-3。

表 10-3 本项目环保投资估算费用一览表

类别	环保设施（措施）	投资金额 （万元）
屏蔽防护	生产调试机房的建设施工	100.0
辐射安全措施	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、照明系统等辐射安全措施及通风系统等	85.0
个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护培训	辐射工作人员个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护培训	5.0
监测仪器	1 台便携式辐射监测仪、4 台个人剂量报警仪	2.0
其他	辐射安全规章制度上墙、竣工环保验收	8.0
合计		200.0

本项目总投资约为 1000 万，其中环保投资约为 200 万元，占项目总投资额的 20%。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目加速器生产调试机房为混凝土结构，在建设过程中会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体废物等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

(1) 大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.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；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，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措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。

(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、装修垃圾以及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；装修垃圾和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各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但无辐射影响，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。公司只要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公司厂房内，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、机房墙体屏蔽计算

(1) 估算模式

电子加速器运行时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X射线），X射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。

电子加速器运行时，电子束出束方向朝下，在机房辐照室内电子束可能轰击的物质有3种：

- ①混凝土地面
- ②电子扫描器下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）
- ③辐照产品

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。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。

理论估算模式采用《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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

式中：

D_{10} ——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）；

1×10^6 ——单位转换系数。

D_{10} 计算方法为：

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

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：

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

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

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_c——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。

本项目加速器生产调试机房参考点位见图 11-1。

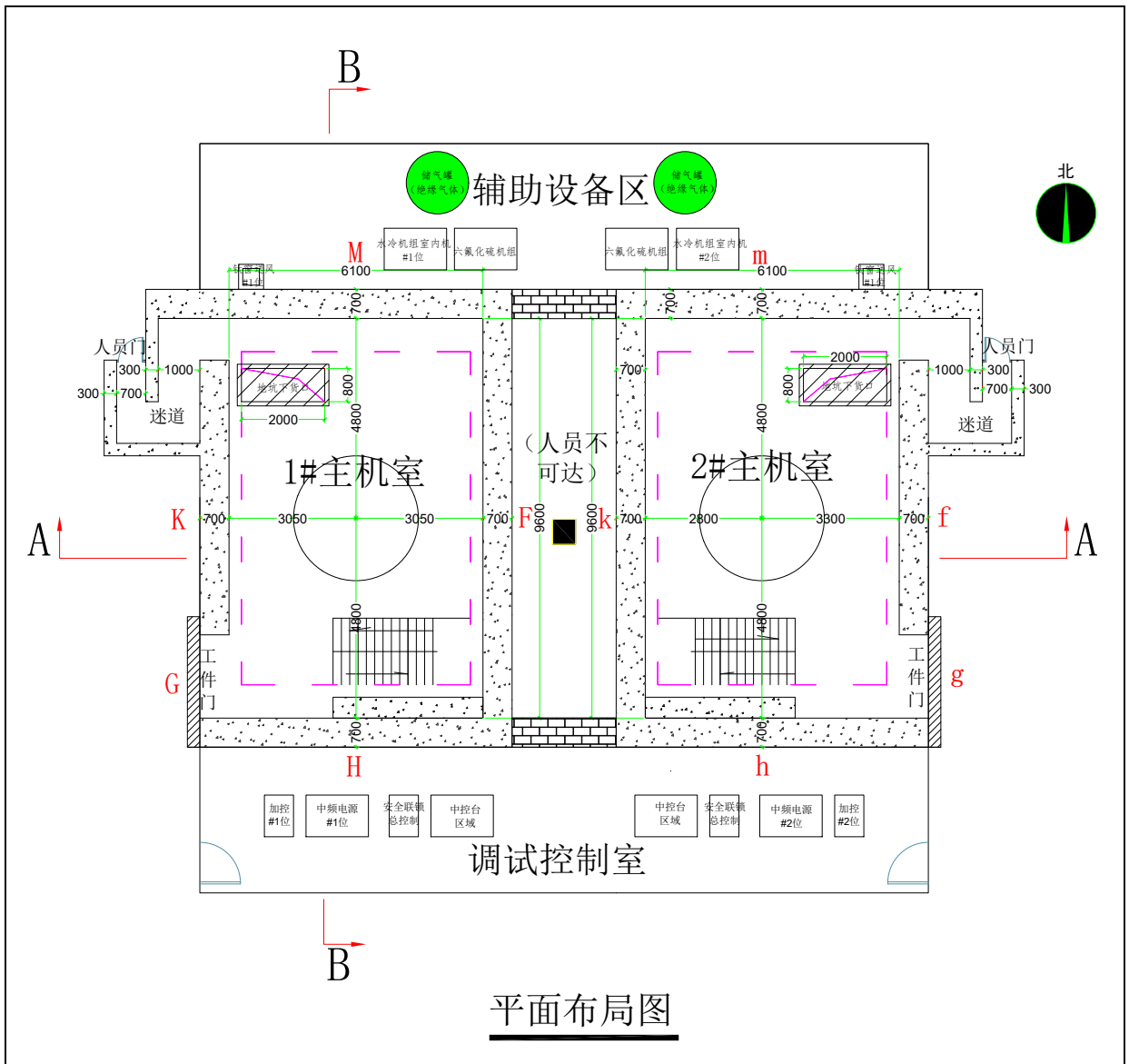


图 11-1-1 本项目加速器生产调试机房参考点位（平面布局图）

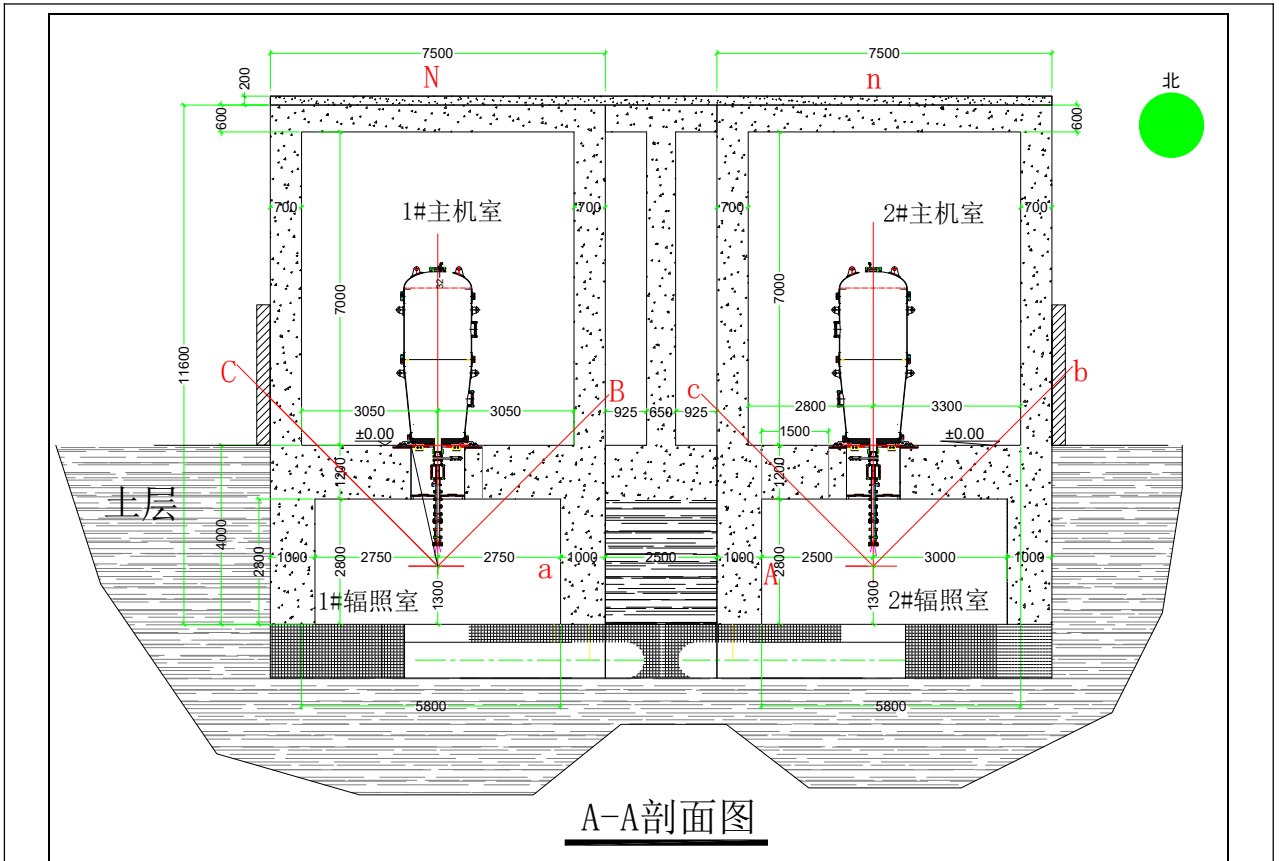
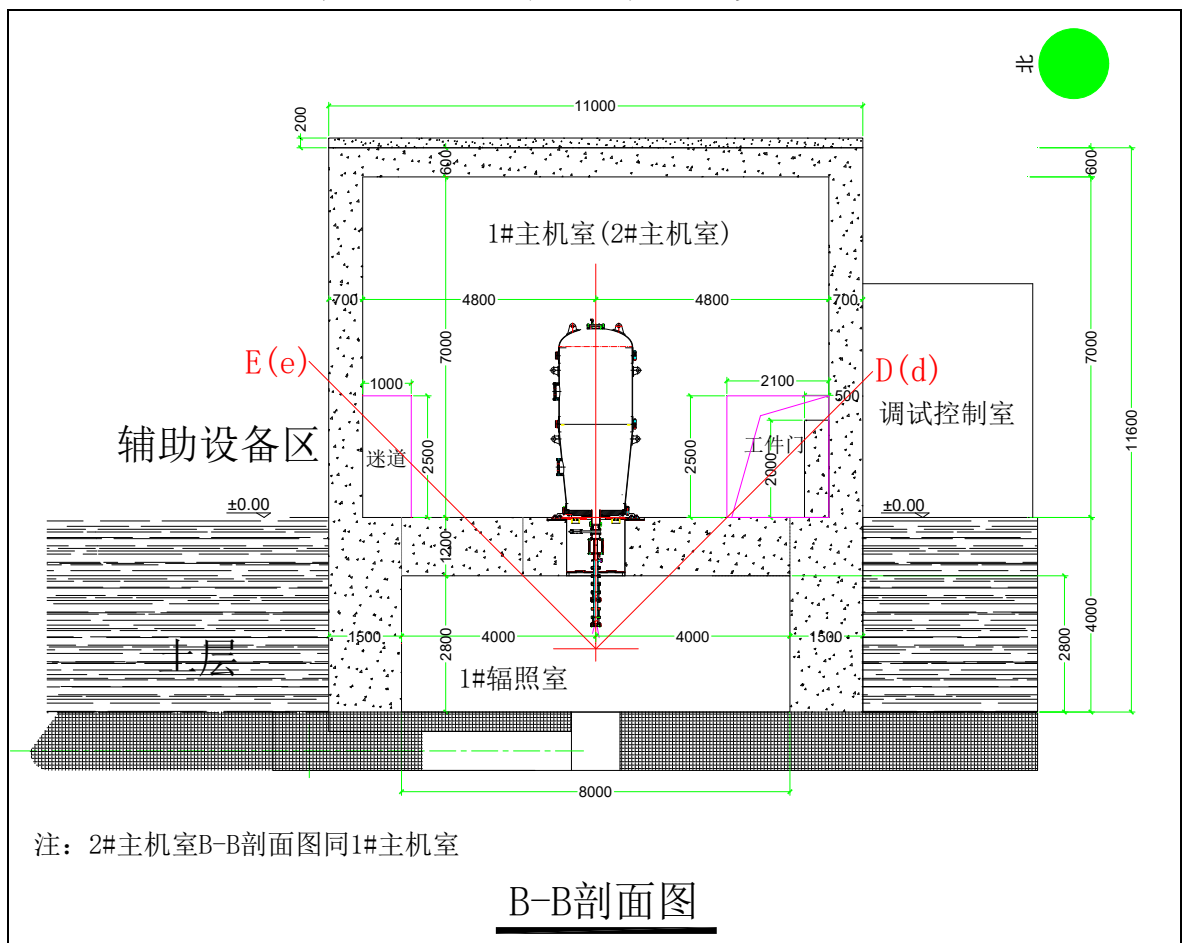


图 11-1-2 本项目加速器生产调试机房参考点位 (A-A 剖面图)



注：2#主机室B-B剖面图同1#主机室

图 11-1-3 本项目加速器生产调试机房参考点位 (B-B 剖面图)

(2) 机房辐照室屏蔽计算结果

机房辐照室屏蔽墙辐射影响主要考虑韧致辐射所致、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）附录 A 表 A.1，2.5MeV 入射电子入射到高 Z 靶上，在距靶 1 米处侧向 90°的 X 射线发射率为 $2.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；被辐照的靶材料为不锈钢时，90°方向的修正系数 f_e 为 0.5。本项目加速器束流强度为 40mA，根据公式 11-2 可计算得出辐照室 D_{10} 为 $3000\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。根据附录 A 表 A.4，2.5MeV 电子在侧向 90°屏蔽能量取相应等效能量为 1.6MeV；根据附录 A 表 A.2 和表 A.3，采用内插法，入射电子能量为 1.6MeV，砼的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=20.74\text{cm}$ 、 $T_e=18.66\text{cm}$ ，钢的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=6.98\text{cm}$ 、 $T_e=6.36\text{cm}$ 。

根据公式 11-1~11-4，本项目加速器生产调试机房辐照室的屏蔽计算结果见表 11-1，参考点位见图 11-1。

表 11-1-1 1#机房辐照室屏蔽效果核算一览表

参数	东墙 (A)
S (cm)	200 砼
T_1 (cm)	20.74
T_e (cm)	18.66
B_x	2.47×10^{-11}
D_{10} ($\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	3000
T	1
d (m)	7.55
H ($\mu\text{Sv/h}$)	1.3×10^{-3}

注：不考虑 1#辐照室与 2#辐照室之间土层的屏蔽防护能力。

表 11-1-2 2#机房辐照室屏蔽效果核算一览表

参数	西墙 (a)
S (cm)	200 砼
T_1 (cm)	20.74
T_e (cm)	18.66
B_x	2.47×10^{-11}
D_{10} ($\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	3000
T	1
d (m)	7.3
H ($\mu\text{Sv/h}$)	1.39×10^{-3}

注：不考虑 1#辐照室与 2#辐照室之间土层的屏蔽防护能力。

(3) 机房主机室屏蔽计算

进入机房主机室内的辐射场主要由三部分叠加：辐照室内与入射电子束呈 165°到 180°方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的**贯穿辐射场**；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**；辐照室内的 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，通过主机室地板孔洞直接照射入主机室形成的**散射辐射场**。

①辐照室 X 射线源对主机室的贯穿辐射影响

辐照室内与入射电子束呈 165°到 180°方向的韧致辐射初级 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 11-2，参考点位见图 11-1。

表 11-2-1 1#机房辐照室 X 射线源对主机室周围的辐射影响核算一览表

参数	东墙 (B) / 西墙 (C)	南墙 (D) / 北墙 (E)	工件门 (G)		北墙 (E)		顶部 (N)
S (cm)	120 砵+70 砵	120 砵+70 砵	120 砵+20 钢		120 砵+10 钢		120 砵+60 砵+20 砵
等效屏蔽 厚度 (cm)	268.7 砵	268.7 砵	169.7 砵+28.3 钢		169.7 砵+14.1 钢		200 砵
T ₁ (cm)	20.74	20.74	20.74	6.98	20.74	6.98	20.74
T _e (cm)	18.66	18.66	18.66	6.36	18.66	6.36	18.66
B _x	5.15×10^{-15}	5.15×10^{-15}	4.62×10^{-14}		7.9×10^{-12}		2.47×10^{-11}
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	3000	3000	3000		3000		3000
T	1	1	1		1		1
d (m)	5.6	8.08	5.6		8.08		10.8
H (μSv/h)	4.93×10^{-7}	2.37×10^{-7}	4.42×10^{-6}		3.63×10^{-4}		6.36×10^{-4}

注：①主机室墙体的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶和主机室墙内约 45°斜穿估算；

②主机室顶的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶和主机室顶内 180°穿墙估算；

③R_{东端}=辐照点到东墙外表面距离 3.75m/cos45° +参考点 0.3m=5.6m；

R_{西端}=辐照点到西墙外表面距离 3.75m/cos45° +参考点 0.3m=5.6m；

R_{南端}=辐照点到南墙外表面距离 5.5m/cos45° +参考点 0.3m=8.08m；

R_{北端}=辐照点到北墙外表面距离 5.5m/cos45° +参考点 0.3m=8.08m。

表 11-2-2 2#机房辐照室 X 射线源对主机室周围的辐射影响核算一览表

参数	东墙 (b)	西墙 (c)	南墙 (d) / 北墙 (e)	工件门 (g)		北墙 (e)		顶部 (n)
S (cm)	120 砵+70 砵	120 砵+70 砵	120 砵+70 砵	120 砵+20 钢		120 砵+10 钢		120 砵+60 砵 +20 砵
等效屏蔽厚 度 (cm)	268.7 砵	268.7 砵	268.7 砵	169.7 砵+28.3 钢		169.7 砵 +14.1 钢		200 砵
T ₁ (cm)	20.74	20.74	20.74	20.74	6.98	20.74	6.98	20.74
T _e (cm)	18.66	18.66	18.66	18.66	6.36	18.66	6.36	18.66

B_x	5.15×10^{-15}	5.15×10^{-15}	5.15×10^{-15}	4.62×10^{-14}	7.9×10^{-12}	2.47×10^{-11}
D_{10} ($Gy \cdot h^{-1}$)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
T	1	1	1	1	1	1
d (m)	5.96	5.25	8.08	5.96	8.08	10.8
H ($\mu Sv/h$)	4.35×10^{-7}	5.6×10^{-7}	2.37×10^{-7}	3.9×10^{-6}	3.63×10^{-4}	6.36×10^{-4}

注：①主机室墙体的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶和主机室墙内约 45°斜穿估算；

②主机室顶的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶和主机室顶内 180°穿墙估算；

③ $R_{东端}$ =辐照点到东墙外表面距离 $4m/\cos 45^\circ$ +参考点 0.3m=5.96m；

$R_{西端}$ =辐照点到西墙外表面距离 $3.5m/\cos 45^\circ$ +参考点 0.3m=5.25m；

$R_{南端}$ =辐照点到南墙外表面距离 $5.5m/\cos 45^\circ$ +参考点 0.3m=8.08m；

$R_{北端}$ =辐照点到北墙外表面距离 $5.5m/\cos 45^\circ$ +参考点 0.3m=8.08m。

②主机室束流损失辐射影响

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，本项目 ZCM-2500/100 型电子加速器在加速过程中的束流损失率为 1%（即电子束流强度为 0.4mA），束流损失点的能量为 0.25MeV；根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3 可查得，0.25MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90°的 X 射线发射率为 $0.01 Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ；被辐照的靶材料为不锈钢时，90°方向的修正系数 f_e 为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室 D_{10} 为 $0.12 Gy \cdot h^{-1}$ 。

参考《辐射防护导论》（方杰编）图 3.25，保守取 0.25MeV 入射电子能量 90°方向上等效入射电子能量约为 0.2MeV；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.2 和表 A.3，采用外推法，入射电子能量为 0.2MeV，铝的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=13.22cm$ 、 $T_e=10.04cm$ ，钢的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=2.78cm$ 、 $T_e=2.28cm$ 。根据公式 11-1~11-4，本项目主机室束流损失辐射影响核算结果见表 11-3，参考点位见图 11-1。

表 11-3-1 1#机房主机室束流损失辐射影响核算一览表

参数	东墙 (F) / 西墙 (K)	南墙 (H) / 北墙 (M)	工件门 (G)	顶部 (N)
S (cm)	70 铝	70 铝	20 钢	60 铝+20 铝
T_1 (cm)	13.22	13.22	2.78	13.22
T_e (cm)	10.04	10.04	2.28	10.04
B_x	2.21×10^{-7}	2.21×10^{-7}	2.8×10^{-9}	2.23×10^{-8}
D_{10} ($Gy \cdot h^{-1}$)	0.12	0.12	0.12	0.12
T	1	1	1	1
d (m)	4.05	5.8	4.05	8.1
H ($\mu Sv/h$)	1.62×10^{-3}	7.89×10^{-4}	2.05×10^{-5}	4.08×10^{-5}

注：辐照点到工件门的距离保守取辐照点到西墙的距离。

表 11-3-2 2#机房主机室束流损失辐射影响核算一览表

参数	东墙 (f)	西墙 (k)	南墙 (h) / 北墙 (m)	工件门 (g)	顶部 (n)
S (cm)	70 砵	70 砵	70 砵	20 钢	60 砵+20 砵
T ₁ (cm)	13.22	13.22	13.22	2.78	13.22
T _e (cm)	10.04	10.04	10.04	2.28	10.04
B _x	2.21×10^{-7}	2.21×10^{-7}	2.21×10^{-7}	2.8×10^{-9}	2.23×10^{-8}
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
T	1	1	1	1	1
d (m)	4.3	3.8	5.8	4.3	8.1
H (μSv/h)	1.44×10^{-3}	1.84×10^{-3}	7.89×10^{-4}	1.82×10^{-5}	4.08×10^{-5}

注：辐照点到工件门的距离保守取辐照点到东墙的距离。

③辐照室 X 射线源对主机室的散射辐射影响

本项目机房辐照室内 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，通过主机室地板孔洞直接照射到主机室顶部（部分散射线照射到加速器钢筒底部，经加速器钢筒屏蔽后，再照射到主机室顶部），对机房顶部产生辐射影响。

沿与电子束入射方向呈 180°方向的次级 X 射线能量较低，根据《辐射防护导论》（方杰编，P188），入射 X 射线若由能量为 0.5~3MeV 电子产生的，180°反射时，用 0.25MeV 的透射比曲线。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，采用外推法，入射电子能量为 0.25MeV 时，砵的 T₁ 和 T_e 值分别为 T₁=13.55cm、T_e=10.35cm，沿与电子束入射方向呈 180°方向的次级 X 射线对主机室外的辐射环境影响见表 11-4，参考点位见图 11-1。

表 11-4 1#、2#机房主机室屏蔽效果核算一览表

参数	1#、2#机房主机室顶部
S (cm)	60 砵+20 砵
T ₁ (cm)	13.55
T _e (cm)	10.35
B _x	3.8×10^{-8}
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	3000
T	1
d (m)	12.1
H (μSv/h)	0.779

2、主机室迷道和防护门辐射影响分析

本项目机房的辐照室未设置迷道和防护门，故本项目只需分析机房的主机室迷道和人员门的辐射影响即可。

(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）：

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

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，查《辐射防护导论》图 6.4；

α_2 —从以后的物质散射出来的 0.25MeV 的 X 射线的散射系数；

A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积， m^2 ，见图 11-2 中的粗体线区域；

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。

(2) 计算结果

①主机室束流损失所致迷道外入口处辐射剂量

本项目 X 射线在主机室的散射路径见图 11-2，由该图可知，X 射线源至少需经 4 次散射后才能到达主机室人员门处，本项目主机室束流损失所致机房主机室迷道外入口处辐射剂量率的计算参数及计算结果见表 11-5。

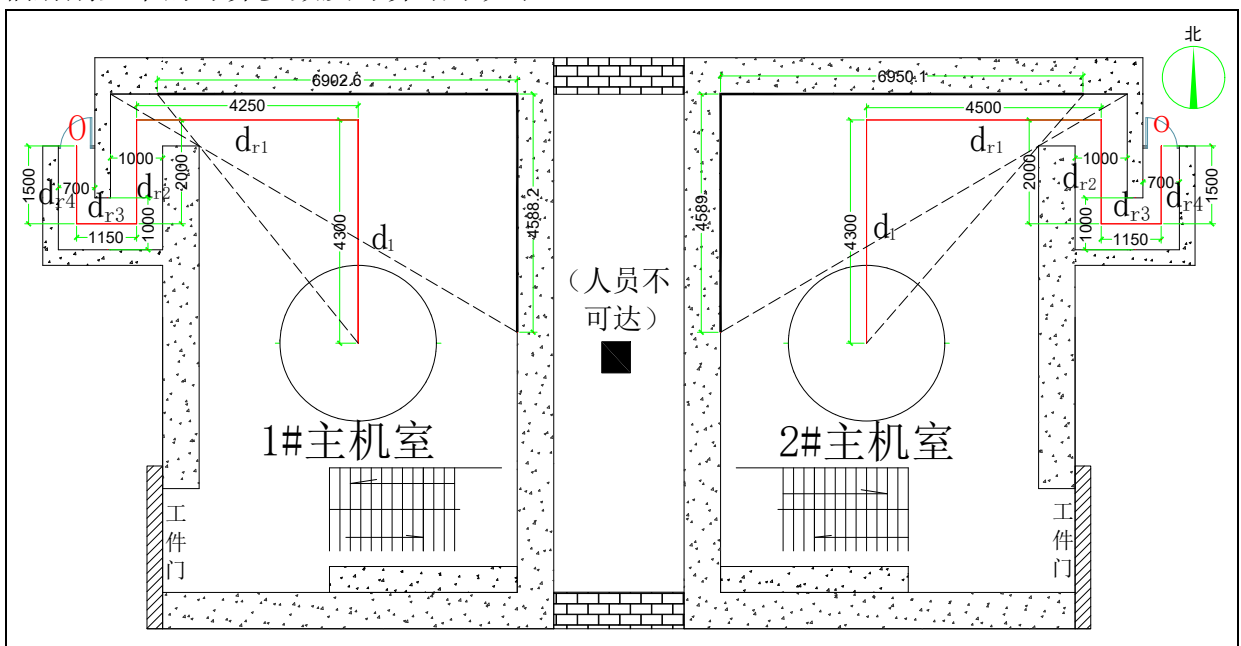


图 11-2 本项目 X 射线在主机室的散射路径示意图

表 11-5 主机室束流损失所致机房主机室迷道外入口处辐射剂量率计算结果一览表

参数	1#机房主机室人员门 (O)	2#机房主机室人员门 (o)
D_{10} (Gy·h ⁻¹)	0.12	0.12
α_1	0.03	0.03
α_2 (α_3, α_4)	0.03	0.03
A_1 (m ²)	80.5	80.8
A_2 (m ²)	2.5	2.5
A_3 (m ²)	2.5	2.5
A_4 (m ²)	1.75	1.75
d_1 (m)	4.3	4.3
d_{r1} (m)	4.25	4.5
d_{r2} (m)	2	2
d_{r3} (m)	1.15	1.15
d_{r4} (m)	1.5	1.5
$H_{1,rj}$ (μSv·h ⁻¹)	0.022	0.019

②辐照室 X 射线源经地面 180°方向散射后所致迷道外入口处辐射剂量

辐照室 X 射线源经地面 180°方向散射后至少需经 5 次散射后才能到达主机室人员门处，本项目辐照室 X 射线源经地面 180°方向散射后所致机房主机室迷道外入口处辐射剂量率的计算参数及计算结果见表 11-6。

表 11-6 辐照室 X 射线源所致机房主机室迷道外入口处辐射剂量率计算结果一览表

参数	1#机房主机室人员门 (O)	2#机房主机室人员门 (o)
D_{10} (Gy·h ⁻¹)	3000	3000
α_1	0.03	0.03
α_2 ($\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$)	0.03	0.03
A_1 (m ²)	4.27	4.27
A_2 (m ²)	80.5	80.8
A_3 (m ²)	2.5	2.5
A_4 (m ²)	2.5	2.5
A_5 (m ²)	1.75	1.75
d_1 (m)	11	11
d_{r1} (m)	4.3	4.3
d_{r2} (m)	6.19	6.36

d_{r3} (m)	2	2
d_{r4} (m)	1.15	1.15
d_{r5} (m)	1.5	1.5
$H_{1,rj}$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.269	0.255

根据表 11-5 和表 11-6 可知，X 射线经迷道散射后，所致 1#机房主机室人员门入口处的辐射剂量率为 0.291 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，所致 2#机房主机室人员门入口处的辐射剂量率为 0.274 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，故本项目机房主机室人员门采用普通防盗门也可满足本项目辐射环境剂量率控制水平：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 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3、天空反散射影响

加速器产生的辐射源通过机房屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至机房周围的地面附近，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）：

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

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）。

B_{xs} 可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法同公式 11-3 和 11-4。

$$\Omega = 4 \text{tg}^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \quad \dots\dots \text{（公式 11-7）}$$

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 $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$ 。

(2) 计算结果

辐照室辐射源： D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上，即 D_{10} 为 $3000\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，砼的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=20.74\text{cm}$ 、 $T_e=18.66\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离主机室屋顶表面中心的距离 c 为 9.7m ，屋顶长度之半 a 为 4.8m 、宽度之半 b 为 3.05m ，根据公式 11-7 可计算得出 $\Omega=0.533\text{Sr}$ 。

主机室辐射源： D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上，即 D_{10} 为 $0.12\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，砼的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=13.22\text{cm}$ 、 $T_e=10.04\text{cm}$ 。主机室辐射源距离主机室屋顶表面中心的距离 c 为 7m ，屋顶长度之半 a 为 4.8m 、宽度之半 b 为 3.05m ，根据公式 11-7 可计算得出 $\Omega=0.912\text{Sr}$ 。

因本项目 1#、2#加速器生产调试机房相邻而建，2 间机房的屏蔽防护厚度及辐射源强相同，X 射线源至机房周围 P 点的距离 d_s 保守取 X 射线源至 2#机房东墙、1#/2#机房南墙、1#机房西墙、1#/2#机房北墙表面 30cm 处的距离。根据公式 11-6，可计算出加速器生产调试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 本项目加速器生产调试机房天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数		2#机房东侧	1#/2#机房南侧	1#机房西侧	1#/2#机房北侧
辐照室辐射源所致天空反散射辐射影响	S (cm)	120 砼+60 砼+20 砼			
	B_{xs}	2.47×10^{-11}	2.47×10^{-11}	2.47×10^{-11}	2.47×10^{-11}
	D_{10} ($\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	3000	3000	3000	3000
	Ω (Sr)	0.533	0.533	0.533	0.533
	d_i (m)	12.5	12.5	12.5	12.5
	d_s (m)	4.3	5.8	4.05	5.8
	H ($\mu\text{Sv/h}$)	2.83×10^{-7}	1.56×10^{-7}	3.19×10^{-7}	1.56×10^{-7}
主机室辐射源所致天空反散射辐射影响	S (cm)	60 砼+20 砼			
	B_{xs}	2.23×10^{-8}	2.23×10^{-8}	2.23×10^{-8}	2.23×10^{-8}
	D_{10} ($\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.12	0.12	0.12	0.12
	Ω (Sr)	0.912	0.912	0.912	0.912
	d_i (m)	9.8	9.8	9.8	9.8
	d_s (m)	4.3	5.8	4.05	5.8
	H ($\mu\text{Sv/h}$)	3.34×10^{-8}	1.84×10^{-8}	3.77×10^{-8}	1.84×10^{-8}
参考点处复合辐射剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	3.16×10^{-7}	1.74×10^{-7}	3.57×10^{-7}	1.74×10^{-7}	

注：①因地坑下货口面积较小，计算天空反散射辐射影响时，辐照室屋顶均保守按混凝土进行计算。

②通过机房屋顶经天空中大气的反散射返回至机房周围时，保守不考虑一层楼板的屏蔽。

根据表 11-7 可知，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所致机房周围辐射剂量率最大为 $3.57 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ，对机房周围的辐射环境影响很小，可忽略不计。

4、X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

距离本项目加速器生产调试机房最近的为南侧 2# 厂房，该 2# 厂房局部为 3 层建筑、局部为 4 层建筑，高于本项目加速器生产调试机房，故需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对 2# 厂房内工作人员造成的辐射影响。

(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 公式（A-8）可计算得出 X 射线侧向散射周围剂量当量率 H（Sv/h）：

$$H = \frac{D_{10} \cdot F \cdot f(\theta) \cdot B_x}{d_R^2} \quad \dots\dots \text{（公式 11-8）}$$

式中：D₁₀、B_x 意义同上。

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）。

(2) 计算结果

厂区内 2# 厂房高度为 22.85m，2# 厂房距离机房辐照室南墙约为 13m，则角度 θ 最小为 tg⁻¹（18.5/15.3）=50.4°（18.5m 为 2# 厂房至加速器束流中心线的距离，15.3m 为 2# 厂房顶至机房主机室屋顶的垂直距离），以下估算中 θ 取 50°。

辐照室辐射源：D₁₀、T₁ 和 T_e 取值同上，即 D₁₀ 为 3000Gy·h⁻¹，砼的 T₁ 和 T_e 值分别为 T₁=20.74cm、T_e=18.66cm，F 取辐照室屋顶的面积 44m²，根据附录 A 表 A.5，角度 θ 为 50° 时，f(θ) 取 0.1，d_R 最小为 18.5/sin50° =24.2m，屋顶的厚度 t 为 200cm 砼（120cm 砼 +60cm 砼+20cm 砼）。

主机室辐射源：D₁₀、T₁ 和 T_e 取值同上，即 D₁₀ 为 0.12Gy·h⁻¹，砼的 T₁ 和 T_e 值分别为 T₁=13.22cm、T_e=10.04cm，F 取主机室屋顶的面积 58.56m²，根据附录 A 表 A.5，角度 θ 为 50° 时，f(θ) 取 0.1，d_R 最小为 24.2m，屋顶的厚度 t 为 80cm 砼（60cm 砼+20cm 砼）。

本项目 1#、2# 加速器产生的 X 射线通过机房主机室顶的侧向散射对 2# 厂房处的辐射影响计算结果见表 11-8。

表 11-8 X 射线通过机房主机室顶的侧向散射辐射影响核算一览表

参数	1#/2#机房辐照室	1#/2#机房主机室
t (cm)	120 砼+60 砼+20 砼	60 砼+20 砼
T ₁ (cm)	20.74	13.22
T _e (cm)	18.66	10.04
B _x	2.47×10 ⁻¹¹	2.23×10 ⁻⁸

D_{10} ($\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	3000	0.12
F (m^2)	44	58.56
θ ($^\circ$)	50	50
f(θ)	0.1	0.1
d_R (m)	24.2	24.2
H ($\mu\text{Sv/h}$)	5.58×10^{-4}	2.68×10^{-5}
复合辐射剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)	5.85×10^{-4}	

根据表 11-8 可知，本项目 1#、2#加速器运行时产生的 X 射线通过机房主机室屋顶的侧向散射所致 2#厂房处辐射剂量率最大均为 $5.85\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ，由此可知，本项目 1#、2#加速器运行时产生的辐射源通过屋顶的侧向散射对 2#厂房处的辐射环境影响很小，可忽略不计。

5、本项目 2 台电子加速器的叠加影响评价

本项目加速器运行所致生产调试机房外辐射剂量率汇总见表 11-9。

表 11-9 本项目加速器运行所致生产调试机房外辐射剂量率汇总表（单位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

		位置	辐射剂量率叠加值	辐射剂量率限值
1#加速器生产 调试机房	辐照室	东墙	1.3×10^{-3}	2.5
	主机室	东墙	1.62×10^{-3}	
		西墙	1.62×10^{-3}	
		南墙	7.89×10^{-4}	
		北墙	1.15×10^{-3}	
		工件门	2.49×10^{-5}	
		人员门	0.291	
		顶部	0.78	
2#加速器生产 调试机房	辐照室	西墙	1.39×10^{-3}	2.5
	主机室	东墙	1.44×10^{-3}	
		西墙	1.84×10^{-3}	
		南墙	7.89×10^{-4}	
		北墙	1.15×10^{-3}	
		工件门	2.21×10^{-5}	
		人员门	0.274	
		顶部	0.78	

根据表 11-9 可知，本项目 1#、2#加速器生产调试机房外辐射剂量率最大均为 $0.78\mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目辐射环境剂量率控制水平：电子加速器辐照装置外人员可达区域

屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。

本项目 2 间加速器生产调试机房相邻而建，当 2 台加速器同时出束调试时，会对机房周围产生叠加辐射影响。根据上述对电子加速器的理论估算结果可知，当 2 台加速器同时出束调试时，机房南侧的调试控制室内叠加辐射剂量率最大为 $1.58 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，机房北侧的辅助设备区内叠加辐射剂量率最大为 $2.3 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，2 间机房的中间腔体（人员不可达）叠加辐射剂量率最大为 $3.46 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，机房顶部的仓库内叠加辐射剂量率最大为 $0.78 \mu\text{Sv/h}$ （两间机房之间有腔体隔开，1#/2#机房的辐照室内 X 射线源需经 1200mm 辐照室顶+700mm 墙体+600mm 主机室顶+200mm 楼板的屏蔽后才能到达 2#/1#机房的顶部，根据辐照室 X 射线源对主机室的贯穿辐射计算方法，1#/2#机房的辐照室内 X 射线源所致 2#/1#机房顶部处的贯穿辐射剂量率最大为 $1.13 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ），仍能够满足本项目辐射环境剂量率控制水平：电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。

11.2.2 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \dots\dots \text{（公式 11-9）}$$

上式中：

D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_a —参考点的周围剂量当量率（Sv \cdot h⁻¹）；

t—参考点处受照时间（h）；

T—居留因子；

U—使用因子，本项目取 1。

1、辐射工作人员年有效剂量评价

根据公式 11-9，本项目辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-10。

表 11-10 本项目辐射工作人员年受照剂量计算结果一览表

保护目标	参考点位置	参考点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用 因子	居留 因子	年照射时间 (h)	年受照剂 量 (mSv)
本项目辐射 工作人员	调试控制室	1.58×10^{-3} (调试控制室内叠加剂量率)	1	1	1500	0.29
	辅助设备区	2.3×10^{-3} (辅助设备区叠加剂量率)	1	1/16		
	客户单位 调试	2.5 (保守取剂量率限值)	1	1	15	
	客户单位 售后维修	2.5 (保守取剂量率限值)	1	1	100	

根据表 11-10 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.29mSv，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、公众年有效剂量评价

根据公式 11-9，本项目周围公众年有效剂量计算结果见表 11-11。

表 11-11 本项目周围公众年受照剂量计算结果一览表

保护目标	参考点位置	参考点处辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	使用因子	居留因子	年照射时间（h）	年受照剂量（mSv）
本项目公众	机房东侧设备组装区	1.44×10^{-3} （2#机房东墙外剂量率）	1	1	1500	2.16×10^{-3}
	机房南侧厂区道路	1.58×10^{-3} （保守取调试控制室叠加剂量率）	1	1/16		1.48×10^{-4}
	机房西侧厂房内过道	1.62×10^{-3} （1#机房西墙外剂量率）	1	1/16		1.52×10^{-4}
	机房北侧厂区道路	2.3×10^{-3} （保守取辅助设备区叠加剂量率）	1	1/16		2.16×10^{-4}
	机房楼上二层仓库	0.78 （机房楼上叠加剂量率）	1	1/16		0.073
	机房楼上三层、四层生产车间	0.01 （经二层 20cm 混凝土楼板屏蔽，及 5.1m 层高的衰减后，计算出三层处叠加剂量率）	1	1		0.015

根据表 11-11 计算结果可知，本项目加速器生产调试机房周围公众年有效剂量最大约为 0.073mSv，本项目 50m 评价范围内其他公众距本项目相对较远，经距离的进一步衰减后，本项目对其辐射影响很小，均能够满足《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：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

此外，本项目在同一客户单位进行维修维护的时间相对该加速器在客户单位运行的时间很短，故在客户单位对加速器进行维修维护过程所致客户单位辐照加速器机房周围公众的年受照剂量可忽略不计。

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：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。

11.3 三废的治理评价

1、废气处理措施评价

本项目运行过程中无放射性废水、废气及放射性固体废物产生。加速器出束调试时产生的 X 射线电离空气会产生臭氧和氮氧化物。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，

臭氧的毒性最高，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本项目主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

(1) 排风管道设置

本项目加速器生产调试机房均拟设置机械通风系统，风机排风速率设计为14400m³/h，室内吸风口位于辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道从辐照室地下穿过，埋地400mm，管道内径为800mm，从两间生产调试机房中间的腔体穿出，最后从4#厂房的北墙外穿出，经排臭氧烟囱于4#厂房的楼顶排放，排放口不低于20m，并高于厂房周边建筑。辐照室内的X射线至少经过3次散射才能到达室外排风口（见图10-3），根据《辐射防护导论》P189“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”可知，本项目排风管道的设计未破坏加速器生产调试机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

(2) 臭氧的产生及其防护

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录B.4“在辐射加工中，只有仅利用X射线的厂房，需要考虑X射线产生的臭氧。而电子束和X射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了”，故本项目只考虑电子束产生的臭氧，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》（HJ979-2018）附录B相关公式。

①机房内臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad \dots\dots \text{（公式 11-10）}$$

式中：

P——单位时间电子束产生臭氧的质量（mg/h）；

I——电子束流强度（mA）；

d——电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5\text{keV/cm}$ 和辐照室尺寸选取，本项目加速器扫描盒出口距离辐照室地面约为130cm，d保守取130cm；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的臭氧分子数，保守值可取为10。

本项目1#、2#加速器生产调试机房臭氧产生率计算参数及计算结果见表11-12。

表 11-12 臭氧产生率计算参数和计算结果

参数	1#、2#加速器生产调试机房
d (cm)	130
G	10
I (mA)	40
P (mg/h)	2.34×10^6

②机房内臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，当长时间出束时，加速器生产调试机房内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = PT_e / V \quad \dots\dots \text{（公式 11-11）}$$

式中：P 意义同上。

C_s ——机房内臭氧平衡浓度（ mg/m^3 ）；

V——辐照室的体积（ m^3 ）；

T_e ——对臭氧的有效清除时间（h）

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

T_v ——辐照室换气一次所需时间（h），本项目加速器生产调试机房的通风系统排风速率设计为 $14400\text{m}^3/\text{h}$ ，1#、2#机房的辐照室体积均为 123.2m^3 ，则机房辐照室换气一次所需时间 T_v 为 $8.56 \times 10^{-3}\text{h}$ 。

T_d ——臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50min。

本项目 1#、2#加速器生产调试机房内臭氧平衡浓度计算参数及计算结果见表 11-13。

表 11-13 臭氧浓度计算参数和计算结果

参数	1#、2#加速器生产调试机房
t_v (h)	8.56×10^{-3}
t_d (h)	0.833
T_e (h)	8.47×10^{-3}
P (mg/h)	2.34×10^6
V (m^3)	123.2
C_s (mg/m^3)	160.9

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 所规定的工作场所最高容许浓度（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ）。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad \dots\dots \text{（公式 11-13）}$$

式中： C_s 、 T_e 意义同上。

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

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 和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 $14400\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作，加速器生产调试机房通过约 0.053h （即 3.2min ）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 1#、2# 机房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 4min 。室内臭氧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。

本项目中氮氧化物产生量要低于臭氧产生量，产额约为臭氧的三分之一，且辐照室内氮氧化物容许浓度要高于臭氧容许浓度，排放时的二级标准中氮氧化物小时浓度限值也高于臭氧。综上所述，若臭氧的排放满足要求，则氮氧化物的排放也能满足要求。因此，本项目氮氧化物的产生及排放对周围大气的环境影响也很小。

2、废水处理措施评价

公司工作人员工作中产生的生活污水经厂区化粪池处理后排至市政污水管网，满足相关环保要求，对环境影响较小。维修、事故情况下外排的冷却水收集后倒回至水冷系统，不对外排放，对周围环境影响很小。

3、固体废物处理措施评价

公司工作人员产生的少量生活垃圾，将依托公司的保洁措施，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。

4、噪声处理措施评价

本项目加速器生产调试机房将采用低噪声的风机，并采取基础减震，进行降噪处理，并安装隔声罩，确保能够满足厂界噪声排放标准，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理要求。

11.4 事故影响分析

本项目生产、销售、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与报告制度的通知》（环发<2006>145号）之规定，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。

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

（1）生产调试机房门-机联锁装置发生故障，人员误入正在出束调试的机房导致误照射；

（2）人员还未全部撤离生产调试机房，即进行出束调试，致使人员受到不必要的照射；

（3）门-机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束调试，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；

（4）生产调试机房的防护门屏蔽受损，泄漏至机房外的射线给机房外人员造成不必要的照射。

2、辐射事故预防措施

针对上述事故风险，应从如下方面准备：

（1）严格执行门-机联锁、急停开关等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案；

（2）一旦发现门-机联锁系统或急停开关等辐射安全措施存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门-机联锁系统、急停开关等辐射安全措施恢复正常后，方能重新投入加速器调试工作；

（3）加强对工作人员安全教育，制定加速器调试操作规程，并张贴在调试控制室的醒目位置，使每个调试人员均可看到该提示，并严格按操作规程操作；

（4）调试工作人员在进行加速器安装、调试时，佩带个人剂量计并携带个人剂量报警仪，并使个人剂量报警仪保持常开状态；同时使用辐射巡测仪定期对生产调试机房周围的辐射剂量进行检测。

3、辐射事故处置措施

（1）如发生误照射，应立即切断电源或按下急停按，确保装置停止工作；

（2）立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

（3）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗；

（4）如发生机房屏蔽受损，应尽快修复，待屏蔽满足要求后，方可重新启用。

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，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，公司应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后立即向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

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；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；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。

公司应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，并以文件形式明确各成员管理职责。公司应组织辐射安全防护专职管理人员以及本项目辐射工作人员参加相应科目的辐射安全和防护的培训和考核，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。同时，公司应为本项目辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。

此外，本项目辐射工作人员上岗前均拟参加各类专业技能培训，培训内容主要包括工业电子加速器的原理及其应用、工业电子加速器的辐射安全防护、工业电子加速器的安装调试流程等内容，确保辐射工作人员具备完成设备安装调试的工作能力。

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，中创辐电科技（浙江）有限公司应针对本项目制定相关的辐射安全管理制度，主要包括《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，现对各项制度的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度，重点是加速器的安全保卫工作，预防辐射安全事故的发生。

操作规程：针对加速器生产调试的具体情况制定操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求以及操作过程中应采取的具体防护措施及步骤，并明确严禁无证人员调试加

速器。

岗位职责：明确辐射管理人员、加速器生产调试人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

设备检修维护制度：明确设备和辐射安全装置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运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

台账管理制度：建立健全的台账制度，并在日常工作中落实到位，对公司生产、调试和销售出的加速器的型号、规格、数量、去向及日期等均需记录在台账上，做到有据可查。

人员培训计划：明确本项目辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：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，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监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，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：针对本项目购置相应的监测设备，明确本项目日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

事故应急方案：针对本项目可能产生的辐射事故制定辐射事故应急方案，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，并完善预案中应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后立即向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

公司制定的管理规章制度应制成大小合适的展板，并粘贴在生产调试机房的醒目位置。本项目辐射工作人员应在公司辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。公司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，使其具有较强的针对性和可操作性。

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，生产、销售、使用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，包括个人剂量报警仪、固定式和便携式辐射监测等设备，对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

公司应配备 1 台便携式辐射监测仪，并为每名辐射工作人员配备 1 台个人剂量报警仪（共 4 台个人剂量报警仪）。以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

12.3.2 监测方案

根据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。公司应根据本项目制定相应的辐射监测计划，本项目监测计划如下：

1、个人剂量和职业健康监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》中的相关要求，公司委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测，并建立辐射工作人员个人剂量档案，并对个人剂量档案终生保存。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射工作人员健康要求及监护规范》中的相关要求，公司组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量照射的放射工作人员的医学随访观察；放射工作人员在岗期间职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数。公司对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并由专人负责管理。

2、工作场所及周围环境监测

（1）竣工环保验收监测

根据《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，本项目竣工后 3 个月内，公司应委托有资质的单位对本项目辐射工作场所的辐射水平进行监测，并按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收。

(2) 年度监测

公司应委托有资质的单位定期对本项目辐射工作场所的辐射水平进行监测，监测频次不少于1次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交。

(3) 企业自主监测

公司应利用自配的便携式辐射监测仪对本项目辐射工作场所进行定期自主监测，并记录档案，监测频次建议不少于1次/季度。

本项目落实上述监测方案后，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，建设项目竣工后3个月内	①生产调试机房四周墙体、顶外30cm； ②生产调试机房防护门外30cm，测门表面和四周门缝； ③操作位、机房周围人员经常活动的位置。	周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h
	年度监测		请有资质单位监测，不少于1次/年		
	日常监测		自主监测，建议不少于1次/季度		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于1次/3个月	/	年有效剂量不超过5mSv

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《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号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为加速器开机误照射，属于一般辐射事故。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，公司应根据本项目制定事故应急方案，应急方案内容应包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 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；
- (4) 应急演练计划；

(5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

中创辐电科技（浙江）有限公司应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

12.5 “三同时” 验收

根据《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，本项目竣工后，公司应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，根据《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）的要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表 12-2。

表 12-2 “三同时”验收一览表

项目	“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	加速器生产调试机房采用混凝土浇筑，工件门为 200mm 钢门，人员门为普通防盗门，具体屏蔽参数见报告中表 10-1。	辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求；辐射工作人员和周围公众年受照剂量满足：职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv。
安全措施	生产调试机房辐射安全措施： 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、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统、照明系统等。	满足《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、警示标志、急停开关等安全设施的要求以及相关辐射安全管理要求。
	调试过程辐射安全措施： 辐射工作人员参加辐射安全和防护培训以及专业技能培训；出束调试前，工作人员携带便携式剂量报警仪巡检机房，确保机房的辐射安全装置和措施正常；调试时，2 名辐射工作人员必须同时在场，并佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。	
	销售过程辐射安全管理措施： 建立生产、销售台账，并定期上报生态环境管理部门；在销售过程中，应按辐射安全许可证规定的种类和范围从事销售活动，并按销售台账记录表格进行记录。	

		维修维护过程辐射安全和防护措施： 辐射工作人员佩戴个人剂量计和辐射监测仪器，清场后方可对加速器进行维修维护；对加速器进行维修维护时，确保加速器不能出束，防止误出束照射；维修维护时在机房门口设置警戒线和警戒牌，禁止无关人员进入，必要时设专人监管；辐射工作人员维修维护过程中穿戴专用工作服、口罩、橡胶手套及鞋套等防护用品。	
人员配备		所有辐射工作人员均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
		所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过3个月）送有资质部门进行监测，公司建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
		所有辐射工作人员均定期（不超过1次/2年）进行职业健康体检，公司建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射工作人员健康要求及监护规范》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品		配备1台便携式辐射监测仪 配备4台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器和防护用品配备的要求。
管理措施	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，并以文件形式明确各成员管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	针对本项目具体情况制定《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度，并在之后的实际工作中落到实处。	
通风措施		加速器生产调试机房设置机械排风系统，风机排风速率为14400m ³ /h，室外排放口不低于20m，并高于4#厂房屋顶。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中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（臭氧的最高容许浓度0.3mg/m ³ ）。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

中创辐电科技（浙江）有限公司拟在租赁的4#厂房的一层建设2间辐照加速器生产调试机房，年生产、销售30台工业电子加速器，公司生产、销售的工业电子加速器主要用于电线电缆的橡胶、热缩材料、管道防腐包覆片、交联发泡聚乙烯、交联聚乙烯、木塑复合材料等材料的改性、聚四氟乙烯的降解、橡胶辐射硫化、橡胶再生图层固化、粮食辐照、废水废气处理及其它辐照加工。

公司生产、销售的工业电子加速器型号为 ZCM-2500/100 型，最大电子束能量为 2.5MeV、最大束流强度为 40mA，属于 II 类射线装置。

2、产业政策符合性和实践正当性评价

结合国家发展和改革委员会第7号令《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第六项“核能”中第4款的核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策的要求。

本项目生产、销售的工业电子加速器可用于电线电缆的橡胶、热缩材料、管道防腐包覆片、交联发泡聚乙烯、交联聚乙烯、木塑复合材料等材料的改性、聚四氟乙烯的降解、橡胶辐射硫化、橡胶再生图层固化、粮食辐照、废水废气处理及其它辐照加工服务，具有良好的社会效益和经济效益。在做好辐射防护的基础上，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、布局合理性评价

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，也不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目 2 间加速器生产调试机房为半地下式混凝土结构，地下为辐照室，地上包括主机室、调试控制室、辅助设备区。其中主机室设有工件门和人员门，工件门用于加速器系统部件的进出，人员门用于生产、调试期间人员的进出；辐照室无防护门，辐照室和主机室之间设有楼梯和地坑下货口，加速器系统部件通过地坑下货口运进辐照室，人员通过主机室的楼梯进入辐照室。加速器调试出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。本项目加速器生产调试机房的布局合理可行。

本项目拟将加速器生产调试机房的辐照室、主机室作为控制区，在主机室工件门和人员门外及机房周围醒目位置粘贴电离辐射警告标志及中文警示说明，加速器出束调试期间任何人不得进入；拟将调试控制室、辅助设备区（辅助设备区四周设置实体围栏）、工件门外一米区域（地面粘贴地标）作为监督区，并设置监督区标识，加速器出束调试期间无关人员不得进入。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）中关于辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目加速器生产调试机房采用混凝土结构屏蔽电子束和 X 射线，其采取的是实体屏蔽方式。根据理论预测可知，本项目加速器生产调试机房的屏蔽厚度均能满足防护要求，场所周围辐射剂量率满足相应剂量率管理限值要求。

5、辐射安全措施评价

本项目加速器生产调试机房拟采取的辐射安全措施主要有：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、照明系统等。本项目拟采取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）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。

本项目调试过程拟采取的辐射安全措施主要有：辐射工作人员参加辐射安全和防护培训以及专业技能培训；出束调试前，工作人员携带便携式剂量报警仪巡检机房，确保机房的辐射安全装置和措施正常；调试时，2 名辐射工作人员必须同时在场，并佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

本项目在销售过程拟采取的辐射安全管理措施主要有：建立生产、销售台账，并定期上报生态环境管理部门；在销售过程中，应按辐射安全许可证规定的种类和范围从事销售活动，并按销售台账记录表格进行记录。满足相关辐射安全管理要求。

本项目在客户单位维修维护过程拟采取的辐射安全和防护措施主要有：辐射工作人员佩戴个人剂量计和辐射监测仪器，清场后方可对加速器进行维修维护；对加速器进行维修维护时，确保加速器不能出束，防止误出束照射；维修维护时在机房门口设置警戒线和警戒牌，禁止无关人员进入，必要时设专人监管；辐射工作人员维修维护过程中穿戴专用工作服、口罩、橡胶手套及鞋套等防护用品。满足相关辐射安全管理要求。

6、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人

员和公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

7、辐射防护监测仪器评价

公司应配备 1 台便携式辐射监测仪，并为每名辐射工作人员配备 1 台个人剂量报警仪（共 4 台个人剂量报警仪）。以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

8、臭氧对环境影响评价

本项目加速器生产调试机房拟设置机械通风系统，风机排风速率设计为 14400m³/h，最终排放口不低于 20m，并高于 4#厂房屋顶。机房内产生的臭氧和氮氧化物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。

在加速器停止出束后，辐照室内通风系统继续工作，通过约 3.2min 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（0.3mg/m³），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 4min。

9、辐射安全管理评价

中创辐电科技（浙江）有限公司应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，并以文件形式明确各成员的管理职责。公司应组织辐射安全和防护专职管理人员以及本项目辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护的培训及考核，并为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。公司应针对本项目具体情况制定辐射安全管理规章制度，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。公司在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，中创辐电科技（浙江）有限公司电子加速器高端制造项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该单位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 建议与承诺

(1) 该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对工作人员的培训，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，使对环境的影响降低到最低。

(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) 建设项目竣工后，公司应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序和标准，根据《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）的要求，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见

经办人

公 章
年 月 日

审批意见

经办人

公 章
年 月 日