

核技术利用建设项目

常州八益电缆股份有限公司
扩建电子加速器辐照装置项目
环境影响报告表

常州八益电缆股份有限公司
2025年7月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

常州八益电缆股份有限公司 扩建电子加速器辐照装置项目 环境影响报告表

建设单位名称：常州八益电缆股份有限公司（公章）

建设单位法人代表（签字或签章）：

通讯地址：常州市新北区电子科技产业园科技大道18号

邮政编码：213002

联系人

联系电话

电子邮箱

目 录

表1 项目基本概况 1

表2 放射源 5

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 13

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 33

表11 环境影响分析 48

表12 辐射安全管理 68

表13 结论与建议 74

表14 审批 79

附图：

- (1) 附图1 项目地理位置图
- (2) 附图2 项目厂区平面布局图
- (3) 附图3-1 2#加速器机房1层平面图
- (4) 附图3-2 2#加速器机房2层平面图
- (5) 附图3-3 2#加速器机房3层平面图
- (6) 附图3-4 2#加速器机房南北向立面图
- (7) 附图3-5 2#加速器机房东西向立面图
- (8) 附图4 项目所在区域土地利用规划图
- (9) 附图5 项目所在区域生态红线图

附件：

- (1) 附件1 项目委托书
- (2) 附件2 公司营业执照
- (3) 附件3 射线装置使用承诺书
- (4) 附件4 加速器技术参数说明
- (5) 附件5 土地证
- (6) 附件6 辐射环境现状检测报告
- (7) 附件7 公司辐射安全许可证
- (8) 附件8 现有项目辐射安全管理规章制度
- (9) 附件9 现有加速器机房环评及验收批复
- (10) 附件10 现有项目辐射人员培训证书
- (11) 附件11 项目现场踏勘照片

表1 项目基本情况

建设项目名称		扩建电子加速器辐照装置项目					
建设单位		常州八益电缆股份有限公司					
法人代表姓名		朱峰		联系人		联系电话	
注册地址		常州市新北区电子科技产业园科技大道18号					
项目建设地点		常州市新北区创新大道88号					
立项审批部门		/		批准文号		/	
建设项目总投资 (万元)		1200		项目环保总投资 (万元)		150	
				投资比例(环保投资/总投资)		12.5%	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他				占地面积(m ²)	
						1830	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类				
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类				
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备PET用放射性药物				
		<input type="checkbox"/> 销售	/				
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙				
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类				
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类				
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类				
	其他	/					

项目概述

1、建设单位基本情况

常州八益电缆股份有限公司成立于2003年，注册地址位于常州市新北区电子科技产业园科技大道18号，公司现有科技大道厂区（东厂区）和创新大道厂区（西厂区）两个厂区，公司专注于电线电缆产品的研发、制造和服务。公司在特种电缆设计、开发、制造、营销方面名列行业前茅，尤其是在核电站用核级电缆、移动通讯基站电缆、石化行业的仪控、耐火、阻燃电缆等方面具有较强的技术实力和市场基础。在核电领域，公

司为行业内第一批取得国家核安全局颁发准入证书的核级电缆生产商，也是常州市核电装备制造业协会会长单位。

2、项目规模及任务由来

公司计划在创新大道厂区（西厂区）扩建新能源车间并增加线缆产品的产能，现有1#加速器已不能完全满足扩建后线缆的辐照需要，因此在拟建新能源车间东南角建设2#加速器机房（与新能源车间同步建设）。

本项目在2#加速器机房内配备1台CELV15/3.0/50/100-1600型工业电子加速器，设备最大电子束能量为3MeV，最大束流为50mA，最大输出功率为100kW，用于对电线电缆产品进行辐照改性。

本项目2#加速器机房拟配备的CELV15型工业电子加速器是由山西壹泰科电工设备有限公司与俄罗斯新西伯利亚核物理研究院合作生产的一种高压变压器型加速器，是在俄罗斯新西伯利亚核物理研究院于上世纪70年代开发并生产的ELV型加速器的基础上技术改进而来的，这种加速器具有运行稳定可靠，能量范围宽，生产效率高、高品质，运行成本低等优点。

本项目实行三班制（每班工作8h），拟从现有项目预备人员中调配6人（每班2人），作为辐射工作人员进行2#加速器的日常操作及收放线工作。加速器每班实际运行时间约6.5小时（除去更换不同类型线缆造成的停机等待时间），加速器每日开机运行时间保守按20h（年工作300天），则年出束辐照时间约6000小时。

本次核技术利用项目基本情况见下表。

表1-1 本次核技术利用项目情况一览表

序号	射线装置名称	型号	数量	电子束能量MeV	束流强度mA	射线装置类别	工作场所	活动种类	备注
1	工业电子加速器	CELV15/3.0/50/100-1600	1	3	50	II	新能源车间（2#加速器机房）	使用	最大输出功率100kW

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》、《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《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，使用II类射线装置的单位应当在申请许可证前编制环境影响报告表。受常州八益电缆股份有限公司委托，常州苏态安全环保科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、现场勘察、初步分析，并委托江苏玖清玖蓝

环保科技有限公司对本项目2#加速器机房周围环境进行了辐射环境现状监测，在此基础上编制了本项目环境影响报告表。

3、项目周边保护目标及项目选址情况

公司创新大道厂区（西厂区）位于常州市新北区创新大道88号，本项目（2#加速器机房）拟建于西厂区南部新能源车间内（项目地理位置图见附图1）。目前新能源车间暂未建设，2#加速器机房计划与新能源车间一同建设。本项目厂区东侧为创新大道，南侧为森萨塔科技（常州）有限公司，西侧为常州士林汽车零部件有限公司，北侧为新四路（公司厂区周围环境示意图见附图2）。

本项目拟建址周围无高层建筑，50m评价范围内无居民区或学校等环境敏感目标。因此，本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员、50m范围厂区内其他非辐射工作人员及公众、50m范围内森萨塔科技（常州）有限公司公众、50m范围公司外道路及绿化带流动人员等，本项目选址基本合理。

4、现有核技术利用项目许可情况

公司现有核技术利用项目（1#加速器机房）已取得常州市生态环境局核发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[01176]，有效期至2028年7月9日，许可种类和范围：使用II类射线装置（见附件7）。

公司现有核技术利用项目（1#加速器机房）已履行环评及验收手续（见附件9），项目基本情况见表1-2。

表1-2 公司现有核技术利用项目基本情况一览表

序号	射线装置名称	数量	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	验收情况
1	AB2.0/40型高频高压电子加速器	1	2	40	II	1#加速器机房	使用	苏环辐（表）审（2013）149号	苏环辐证[01176]	2014年5月完成验收

公司根据《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》等相关法律法规，已成立了辐射安全管理小组，并制定相关辐射安全管理制度（见附件8），辐射安全体系运行良好，未发生过辐射事故。

表1-3 公司现有辐射安全管理规章制度一览表

序号	文件名称
1	电子加速器安全工作管理规程

2	电子加速器岗位职责
3	辐射防护和安全保卫制度
4	电子加速器检修维护制度
5	辐照装置控制区和监督区管理规定
6	辐照交联工序台账管理制度
7	射线装置台账管理制度
8	个人剂量与辐射环境监测方案
9	人员培训方案
10	辐射事故应急预案

公司现有8名辐射工作人员和6名辐射岗位预备人员，均已通过核技术利用辐射安全与防护考核。公司已委托第三方检测单位对辐射工作人员进行个人剂量监测，定期安排员工进行职业健康体检。

公司依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告”。公司定期委托有资质单位对目前在用的核技术利用项目进行年度检测，每年均按时在全国核技术利用辐射安全申报系统中上传年度评估报告。

5、实践正当性分析

本项目运行期间会产生电离辐射，在采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效控制。本项目的建设将用于电线电缆辐照改性，可创造更大的经济效益和社会效益，经落实辐射安全与防护管理措施后，带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

表2 放射源

序号	核素名称	总活度(Bq)/活度(Bq)×枚数	类别	活度种类	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》（GB18871-2002）。

表4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	工业电子加速器	II类	1台	CELV15/3.0/50/100-1600	电子	3	50	工业辐照	新能源车间 (2#加速器机房)	最大功率 100kW

（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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧（O ₃ ）	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧的有效化学分解时间约50分钟，对环境的影响较小。
氮氧化物（NO _x ）	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，氮氧化物产生量一般为臭氧的三分之一，对环境的影响较小。

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》(2014年修订)，中华人民共和国主席令第9号公布，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年修正版)，中华人民共和国主席令第24号公布，2018年12月29日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第6号，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017年修正版)，国务院令第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版)，国务院令第709号，2019年3月2日起施行；</p> <p>(6) 《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日施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021年修正版)，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第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》国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(11) 《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>(12) 《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11月1日起施行；</p> <p>(13) 《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>(14) 《江苏省辐射污染防治条例》(2018年修正版)，江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第2号，2018年5月1日起施行；</p>
------	--

	<p>（15）《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕，2018年6月9日发布；</p> <p>（16）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布；</p> <p>（17）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布；</p> <p>（18）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕，2020年2月19日发布；</p> <p>（19）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年11月9日；</p> <p>（20）关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>（21）《江苏省自然资源厅关于常州市新北区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2024〕440号）。</p>
--	---

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</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》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(4) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)；</p> <p>(5) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985)；</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(8) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)；</p> <p>(9) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及修改单；</p> <p>(10) 《大气污染物综合排放标准》(DB 32/4041-2021)；</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)。</p>
-------------	---

其他	<p>与本项目相关附件：</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 项目委托书 (2) 公司营业执照 (3) 射线装置使用承诺书 (4) 加速器技术参数说明 (5) 土地证 (6) 辐射环境现状检测报告 (7) 公司辐射安全许可证 (8) 现有项目辐射安全管理规章制度 (9) 现有加速器机房环评及验收批复 (10) 现有项目辐射工作人员培训证书
----	---

表7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <p>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》（HJ 10.1-2016）中“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”相关规定，确定本项目评价范围为本项目2#加速器机房实体边界外50m范围内区域，见附图2。</p>					
<p>保护目标</p> <p>对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号）及《江苏省自然资源厅关于常州市新北区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2024〕440号），本项目评价范围不涉及江苏省生态空间管控区域、江苏省国家级生态保护红线区域或江苏省环境管控单元中的优先保护单元，不占用生态红线区域，不会导致辖区内生态红线区域生态服务功能下降。</p> <p>本项目不涉及《环境影响评价技术导则 生态影响（HJ 19—2022）》定义的生态保护目标（HJ 19—2022中3.4定义的生态保护目标为“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等”）。</p> <p>本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》中第三条第（一）类环境敏感区“国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区”。</p> <p>因此，根据评价范围确定本项目保护目标主要为工作场所的辐射工作人员、50m范围内其他非辐射工作人员或公众。</p>					
<p align="center">表7-1 本项目2#加速器机房周围环境保护目标一览表</p>					
环境保护目标	人员类型	规模	相对拟建址方位	最近距离	剂量约束值
2#加速器机房控制室	职业	1人	西侧	紧邻	5mSv/a
2#加速器机房西侧收放线区域	职业	1人	西侧	5m	
东侧厂区道路行人	公众	流动人员	东侧	3.5m	0.1mSv/a
东北侧门卫室	公众	1人	东北侧	35m	

南侧厂区道路行人	公众	流动人员	南侧	5m	
西侧车间内线缆成圈区域	公众	约2人	西侧	40m	
北侧厂房内缆芯暂存区、护套暂存区	公众	约1人	西北侧	24m	
北侧厂房内挤出线、成缆区	公众	约2人	西北侧	29m	
北侧厂房内配电间、楼梯间	公众	流动人员	北侧	24m	

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射剂量限	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。

除了医疗照射之外，对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和

评价。

2、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

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。

（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。

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到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考虑所产生的中子防护问题。

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可参见附录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

项目所需设置的辐射安全设施包括：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。

6.3 其他要求

6.3.1 电气系统

(1) 必须按加速器装置和厂房建设和公用工程的供电条件，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) 应根据加速器装置的用水要求，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的工艺要求的水质、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。

7 日常检修（管理）及记录

7.1 装置的维护与维修

辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

安全设施的变更，需经设计单位认可，并经监管部门同意后才能进行。

7.1.1 日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。

7.1.2 月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查，发现异常情况时必须及时修复或改正。

7.1.3 半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每6个月定期进行检查，发现异常情况时必须及时采取改正措施。

7.2 记录

辐照装置营运单位必须建立严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。

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

工作场所空气中化学有害因素的职业接触限值，对于臭氧为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4、《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

7.2 环境空气功能区质量要求

一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。对于臭氧，其日最大8小时平均的一级浓度限值为： $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，二级浓度限值为 $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；1小时平均的一级浓度限值为： $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，二级浓度限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。对于氮氧化物，1小时平均的一级浓度

限值为： $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，二级浓度限值为 $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

本项目拟建址属于二类区，臭氧和氮氧化物执行二级浓度限值。

5、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）

8.1.3 辐射防护安全要求辐射防护安全要求如下：

（1）辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于C20，密度不应低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；

（2）屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；

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

（4）控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；

（5）控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。

（6）剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。

6、项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）及《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019），确定本项目的管理目标为：

（1）剂量约束值：

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。

（2）剂量当量率参考控制水平：

电子辐照加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体表面30cm处及外区域周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

7、参考资料

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

（2）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，辐射防护第13卷第2期，1993年3月，江苏省环境监测站。

表7-3 江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

测量位置	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
按点平均标准差	7.0	12.3	14.0

*[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

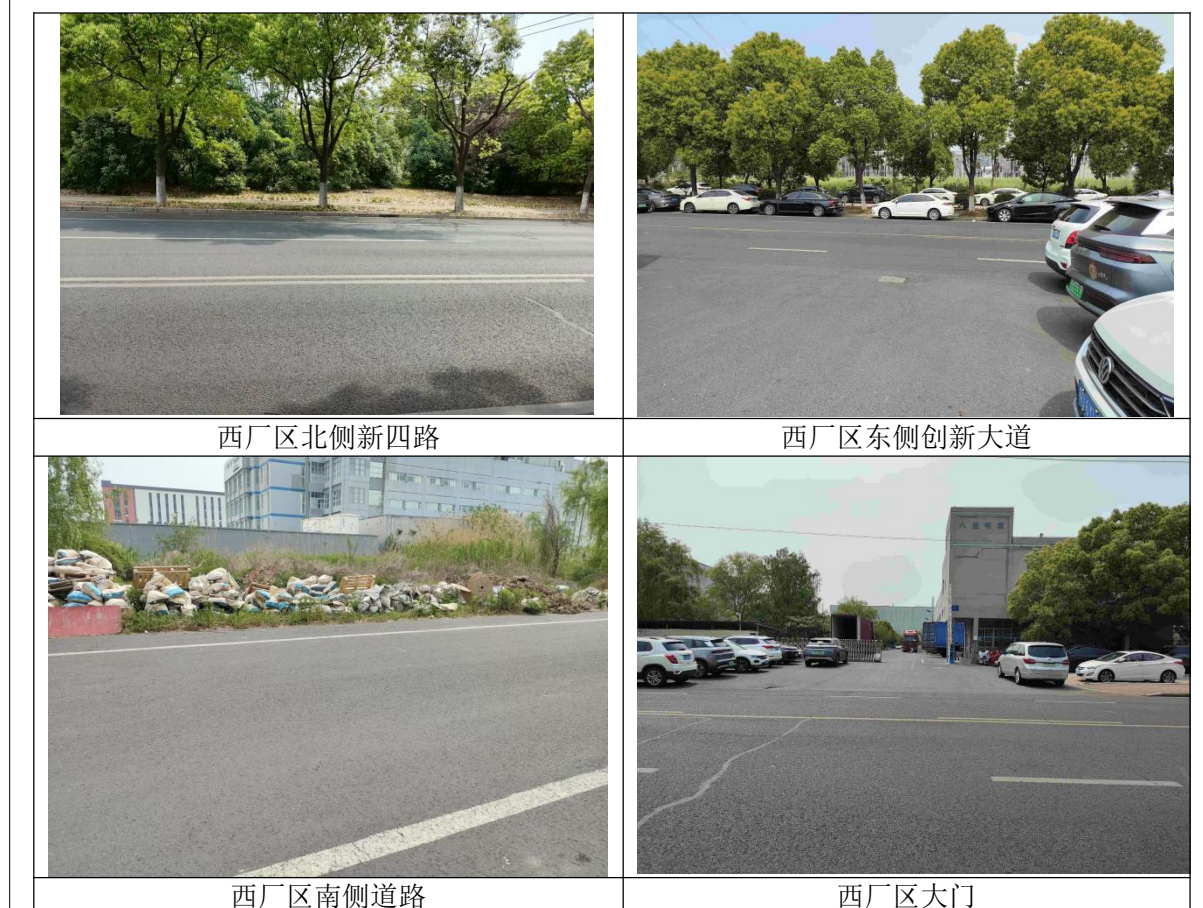
[2]现状评价时，选取测值范围进行评价。

表8 环境质量和辐射现状

1、项目地理和场所位置

本项目拟建加速器机房位于常州市新北区创新大道88号（西厂区），厂区东侧为创新大道，南侧为森萨塔科技（常州）有限公司，西侧为常州士林汽车零部件有限公司，北侧为新四路。本项目2#加速器机房位于拟建的新能源车间东南角，机房西侧车间内依次为线缆收放线区域、线缆成圈和包装区域，机房南侧为3#加速器机房预留空地，机房南侧和东侧（拟建车间边界外）均为厂区内道路，门卫室位于机房东北侧，机房北侧为原有项目厂房。加速器机房周围环境示意图见附图2。

本项目建址周围无高层建筑，50m评价范围内无居民区或学校等环境敏感目标。因此，本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员、50m范围厂区内其他非辐射工作人员及50m范围厂区外公众。本项目加速器机房周围环境现状见下图。



	
西厂区门卫室	西厂区南侧森萨塔科技（常州）有限公司
	
本项目2#加速器机房拟建区域	拟建加速器机房北侧（现有车间南侧）
2、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位	
评价对象：加速器机房周围辐射环境	
监测因子： γ 辐射剂量率	
监测点位：在加速器机房周围布设监测点位，共计9个监测点	
3、监测方案、质量保证措施	
监测方案：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）在拟建加速器机房周围布设 γ 辐射剂量率监测点位。	
质量保证措施：委托的检测单位通过计量认证及获得相关监测资质，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；检测机构所用监测仪器在检定有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验；委托的检测机构检测人员均通过专业的技术培训和考核，并取得检测上岗证；检测报告实行三级审核。	
4、监测结果与环境现状调查结果评价	
监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司	
监测仪器：FH40G+FHZ672E-10多功能环境辐射剂量率仪（设备编号：J0317）	
检定有效期：2024年10月23日～2025年10月22日	

监测日期：2025年5月20日

天气状况：晴

评价方法：参考表7-3江苏省原野、道路、建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率调查结果，评价本项目已建址周围环境辐射水平。

数据记录及处理：每个点位读取10个数据，读取间隔不小于20秒，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值及方差。根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照JJG 393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取1.20Sv/Gy。

监测工况及结果：本项目加速器机房周围 γ 辐射剂量率监测结果见下表，检测点位见下图，检测报告详见附件6。

表8-1 辐射环境现状监测结果一览表 单位：nGy/h

序号	监测点位描述	监测结果	备注
1#	拟建加速器机房中心位置		室外空地
2#	拟建加速器机房东侧		室外道路
3#	拟建加速器机房南侧		室外道路
4#	拟建加速器机房西侧 (拟建车间收发线区域)		室外空地
5#	拟建加速器机房北侧 (拟建车间内)		室外空地
6#	拟建加速器机房北侧 (现有车间南侧外 30cm)		室外道路
7#	拟建加速器机房西侧 (拟建车间线缆成圈区域)		室外空地
8#	拟建加速器机房东北侧 (门卫室外)		室外空地
9#	拟建加速器机房西南侧 (森萨塔公司楼前)		室外空地

注：1.表中结果扣除仪器宇宙射线响应值；

2.楼房对宇宙射线的屏蔽修正因子取0.8，平房对宇宙射线的屏蔽修正因子取0.9，原野、道路对宇宙射线的屏蔽修正因子取1；

3.根据HJ 1157-2021，使用 ^{137}Cs 作为检定校准参考辐射源，换算系数取1.20Sv/Gy。

根据上表监测结果可知，本项目拟建址及周围X- γ 辐射剂量率范围为（42.0~47.3）nGy/h，处于江苏省天然 γ 辐射水平测值范围。



图8-1 本项目辐射环境现状监测布点图

表9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

1、工程设备

本项目2#电子加速器机房为三层混凝土结构，一层为辐照室，二层和三层为主机室，拟配备的CELV15型工业电子加速器是由山西壹泰科电工设备有限公司与俄罗斯新西伯利亚核物理研究院合作生产的一种高压变压器型加速器。

加速器主要组成部分：

（1）高压整流器：高压整流器是加速器高压的来源，且充当升压变压和感应耦合的级联高压发生器的功能，由初级线圈、分级的次级线圈及测量分压器组成。

（2）加速管：加速器部分为电子束的产生和加速提供条件，包含电子枪及加速管。

（3）真空系统：保持加速管和引出装置中的高真空并且在点源关断时真空系统依旧保持真空状态，由钛泵、机械泵、热偶真空传感器及两个钛泵供电电源组成。

（4）引出系统：束流引出系统保证引出加速电子束流，在引出窗尺寸的范围内容均匀分布，由引出室、聚焦透镜、插板阀及扫描装置组成。

加速器辅助设备：

（1）电力电源系统：整个加速器及其全部辅助设备均由电力电源系统供电。该系统包括电源柜及连接电缆，电源柜将设备接到电网上去，并保证回路不受过载影响。

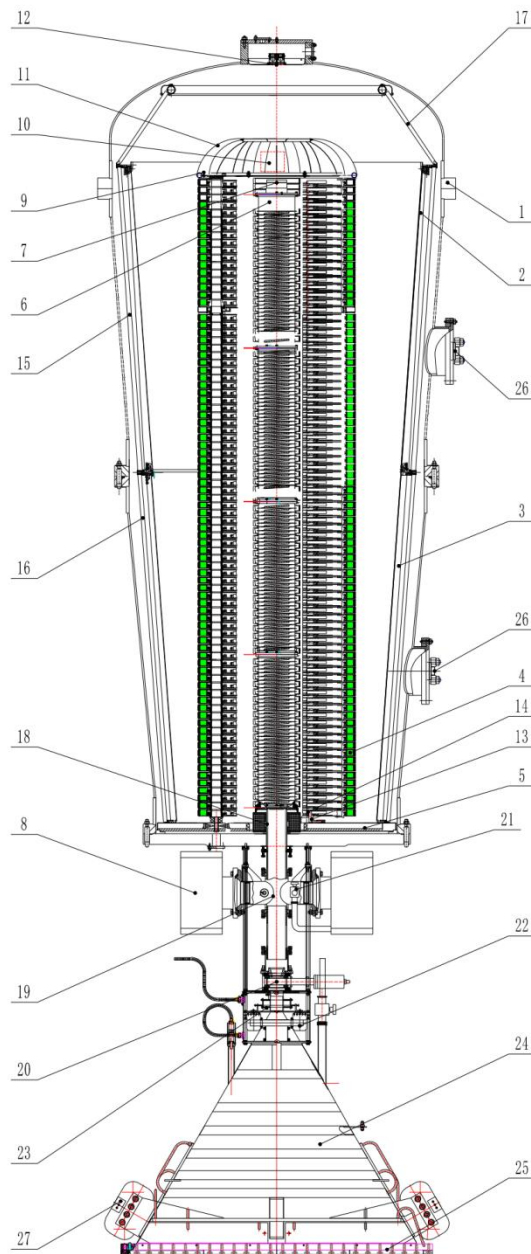
（2）控制系统：控制系统实现加速器自动控制方式工作。全部控制系统装在控制柜中，包括点源供给和测量系统单元、束流参数稳定系统单元及信息测量稳定系统单元，工作人员通过微机键盘设置加速器工作状态全部参数，实现控制及调试。

（3）传输系统：传输系统由主动放线机、放线张力及对中装置、束下牵引装置（辊筒及支架不锈钢材质）、履带式牵引机、收线张力控制器、夹线器、收线机等组成。拟辐照的线缆放到放线区域，连接放线机，线缆通过牵引机由产品走线地坑穿墙进入辐照室，缠绕到束下辊筒，经电子束辐照后由产品走线地坑穿墙出辐照室，进入辐照防护室，然后收到收线机上。

（4）气体系统：气体系统用于储存SF₆气体，并给钢桶容器充SF₆气体。

（5）空气冷却系统：空气冷却系统用来清除引出窗钛箔上的热量。

（6）水冷却系统：水冷却系统用来清除加速器及辅助设备释放出的能量。



CELV-15 电子加速器内部结构

图9-1 CELV-15型工业电子加速器结构示意图

(1—钢筒；2, 3—初级绕组；4—整流柱；5—盘形磁导；6—加速管；7—电子注入器；8—真空系统；9—高压电极座；10—注入器控制单元 (ICU)；11—高压电极；12—能量探测器；13—电容单元；14—第一次级测量电阻；15, 16, 17—磁导组件；18—聚焦透镜；19—十字连接件；20—插板阀；21—阀门；22—低频扫描器；23—高频扫描器；24—引出室；25—引出窗箔；26—初级绕组终端；27—四面辐照系统)

本项目配备的工业电子加速器主要技术参数见下表（加速器技术参数文件详见附件4）。

表9-1 加速器主要性能参数一览表

加速器类型	变压器型
设备型号	CELV15/3.0/50/100-1600
设备结构	立式
最大电子束能量	3MeV
最大束流强度	50mA
束流损失点能量	0.5MeV
束流损失	<1μA
冷却方式	钛箔风冷、腔体水冷
扫描宽度	1600mm
最大束流功率	100kW
绝缘介质	六氟化硫（SF ₆ ）
工作方式	可长时间满功率运行
控制系统	工业计算机

2、工作原理

（1）电子加速器工作原理：

本项目CELV15型工业电子加速器工作原理：工业用的380伏三相电源，经过电源柜的频率变换和控制，变换成400Hz的中频可控制电源，经过特殊的中频电缆，将电能馈送到加速器钢筒主体，在钢筒主体内，经过初级绕组、磁导体、次级绕组的变压器变换，形成20千伏的高电压，经过倍压整流变换，各个次级串接最后在高压终端上形成0.5~3.0MeV的高电压，阴极引出单元和加速管负责粒子的发射和加速。在加速管中要维持高真空状态，才可以减少引出粒子的能量损失，这就用到了高真空系统，包括初级泵，高真空泵（离子泵），真空管道和离子泵电源等。加速的粒子在扫描系统的磁场中，被扫描成980~1600mm宽的粒子束，对运动的被照物体进行辐照。

（2）电线电缆辐照交联工作原理：

辐照交联是利用微波电磁场加速电子，带电粒子从加速器的真空区被引出后射向辐照室中的待辐照产品。利用电子加速器产生的高能电子束作用于电线电缆包裹的铜线上的塑胶，使塑胶聚合单体、聚合物产生引发聚合、交联、接枝及裂解等效应，从而使原来的线性分子结构变成三维网状的分子结构而形成交联，交联后的高聚物其绝缘性、耐高温性、抗张强度等均提高，进而提高其整体技术指标。

3、工艺流程及产污环节

工艺简介：

工业电子加速器辐照加工系统是以电子加速器技术为核心，集辐射防护技术、电

子技术、精密机械、物流输送、软件与控制技术于一体的新型高科技装备。加速器产生高能电子束并将其扫描成一均匀分布的线性束后引出，传输装置承载被检物以辐照工艺需要的相应速度通过辐照区域，经过电子束的辐照，实现辐照工艺所需的处理。本项目主要利用辐照生产交联线缆，交联后的线缆在保持其原有优良电气性能的前提下，大大地提高了实际使用性能。

工艺流程和产污环节：

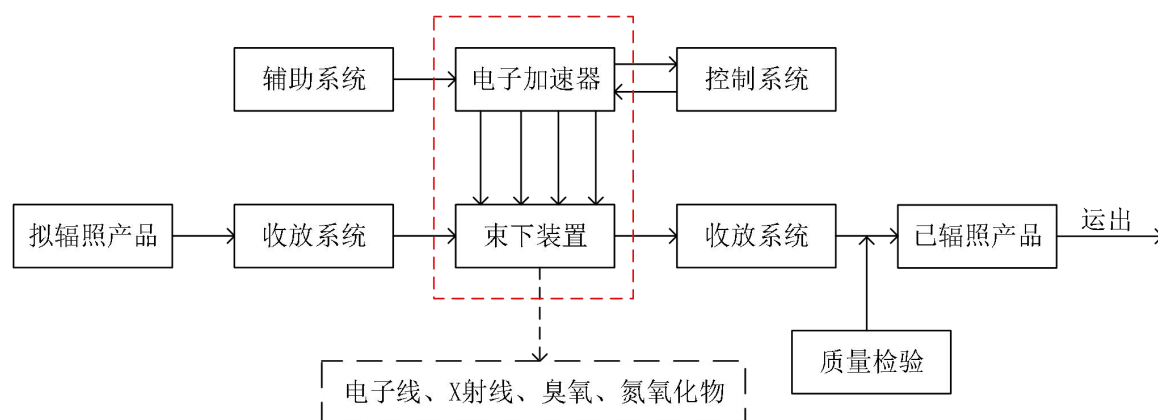


图9-2 本项目电子加速器辐照工艺流程图

线缆辐照加工工艺流程：

（1）辐照准备：半成品线缆进入车间暂存区域，根据待加工线缆抵达时间、数量等条件安排暂存数量及位置。

（2）产品检验：辐照前对辐照对象按规定程序进行质量检查，确认是否符合辐照要求。

（3）制定辐照方案：根据线缆产品功能用途及对象特征和工艺参数等确定辐照剂量率和辐照时间，并计算设定加速器运行参数。

（4）辐照交联：建设单位将拟辐照交联的电线电缆通过线缆传输系统（收放线机）进入辐照室进行辐照交联加工作业。从西侧线缆传输口通过线缆穿墙孔道进入辐照室进行辐照，线缆辐照完成后，通过线缆传输系统将产品传输离开辐照室。具体辐照工作流程如下。

①开机前巡检：

A.检查所有的安全联锁系统、警告灯和剂量仪表等是否正常；

B.启动巡检程序，检查辐照室及主机室是否有人误入。每次电子加速器第一次启动前，辐射工作人员进入辐照室和主机室检查各设备情况，并按巡检流程依次按下巡检按钮。

②开机程序

确保辐照室、主机室内无人员滞留，防护门关闭的前提下加速器操作人员按照加速器开机流程打开设备：

- A.通过监视系统确认电子加速器各系统是否工作正常；
- B.开启电源设备；
- C.开启加速器控制柜工作站电源，进入操作系统；
- D.按操作界面要求，依次启动水冷系统、新风风机、关闭辐照室门等操作。

③根据线缆辐照要求，设置加速器参数，设定辐照剂量、线径以及束下传输线的速度等。

④对待辐照产品（电线电缆）进行辐照：开启束下传动系统开关，然后启动整个辐照生产线，束下传输装置开始牵引，运转到设定的线速度。电子加速器正常运作，电子束作用于电线电缆进行辐照改性，实现产品的辐照交联。加速器开机辐照过程会产生污染物（电子线、X射线、臭氧、氮氧化物）。

⑤当一盘产品交联完成后，进行下盘的操作，完成了产品的交联工序。本项目加速器配置的束下传输系统相同，当一盘产品交联完成后操作下盘产品时仅需在线缆传输区将电线电缆装于放线机上，无需进入辐照室进行操作。

⑥根据工作安排，辐照工作结束后，按照加速器关机流程关闭电子加速器设备、束下传输装置，而后持续通风（排风时间不少于10分钟），待室内臭氧浓度满足相关标准后，工作人员方可进入。

总体上，辐照工作人员仅在辐照工作前的准备工作、辐照工作结束后的收尾工作时需进入辐照室和主机室。其中，准备工作于加速器开机工作前进行，主要检查各设备情况；辐照工作结束后，工作人员进入辐照室进行各设备检查，确保各设备处于正确状态。

（5）辐照交联作业完成后，装卸操作人员将辐照完成的线缆产品从收线架上卸下，运至产品暂存区进行检验后进入包装区进行包装、成缆后外运。

4、工作负荷及出束情况

①人员配备：公司拟为2#电子加速器机房新配备6名辐射工作人员。

②工作机制：6名辐射工作人员，实行三班制（每班2人，其中1人为值班长），日工作时间8小时，年工作300天。

5、原有工艺不足和改进情况

公司西厂区现有1座加速器机房（1#加速器机房），配备1台工业电子加速器用于对生产的线缆进行辐照改性。该项目因机房建设时间较早（2014年完成验收），某些方面不能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的最新要求，因此公司于2019年对原有1#加速器机房进行合规化改造，改造内容包括：1、在迷道出口新增多道防人误入光电开关。2、增加巡检按钮数量。3、控制台更新设备冷却水和风机状态。4、新增剂量联锁和通风联锁。5、辐照室安装应急照明灯。以上改造均已完成，目前处于正常运行状态。

综上所述，原有项目工艺不足已得到及时的改进。

污染源项描述

1、放射性污染源分析

工业电子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。其中辐照室内电子束打到机头及其他高靶物质时会产生轭致X射线，X射线的贯穿能力较强，会对辐照室周围环境造成辐射影响，这部分X射线是本项目的主要X射线来源。此外，电子在加速过程中部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生少量X射线，可能对辐照室周围环境造成辐射污染（本项目电子加速器束流损失极低，实际影响可忽略不计）。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），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。因此本项目辐照加速器机房无需考虑中子防护。

工业电子加速器在运行时产生的高能电子束，电子束的最大射程与所产生的X射线的射程相比很小，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，在电子加速器开机辐照期间，X射线辐射为项目主要的污染因素。

本项目加速器最大电子线能量为3MeV，满功率（100kW）输出时，束流强度为33.33mA，此时 $D_{10}(90^\circ)$ 为3200Gy/h（ D_{10} 表示加速器中距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率，单位为Gy/h。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录A中的表A.1结合公式A-2可以求出）。

根据加速器生产厂商（山西壹泰科电工设备有限公司）提供的数据可知，本项目加速器束流损失点能量为0.5MeV，加速器主机钢桶内几乎不发生束流损失，主机室束流损失数值远小于 $1\mu\text{A}$ ，因此本项目源强主要为辐照室内源强。

本项目主要放射性污染参数来源见下表。

表9-2 本项目放射性污染源参数

参数	数值	来源
设备基础参数	最大电子束能量：3.0MeV	供应商
	最大束流强度：50mA	
	最大输出功率：100kW	
满功率运行下束流强度	33.33mA	
束流损失	<1μA	HJ979-2018
Q (Gy·m ² /mA·min)	3.2	
X射线发射率修正系数	0.5	
等效电子线能量	1.9MeV	
90°方向距靶1m处的吸收剂量率D ₁₀	3200Gy/h	计算

2、非放射性污染源分析

(1) 气体废物

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。加速器辐照室拟设置机械通风系统，臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出辐照室，然后通过加速器机房排气管道延伸至厂房顶部排出，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

(2) 液体废物

本项目不产生放射性液体废物。加速器和束下吸收靶冷却采用循环水冷却，电子加速器采用双循环系统制冷冷却，消耗水量很小，采用自动补水方式，冷水机组为25P+10P组合式，分两组冷冻水，一组用于冷却主钢筒和电抗器；另一组用于冷却钛窗和变频柜。制冷机分两个水箱，容积分别为450L和218L，吸收靶冷却采用开环循环的冷却塔冷却，自来水自动补水。产品喷淋冷却水回收循环利用，不存在废水排放问题。事故状态为水密封漏水，水会微量外排，但因加速器能量低，不会被活化所以不会产生放射性污染问题。本项目辐射工作人员会产生少量生活污水，接管排入常州市江边污水处理厂，对周围环境影响较小。

(3) 固体废物

本项目不产生放射性固体废物。与项目有关的辐射工作人员产生的生活垃圾统一收集后由当地环卫部门统一清运。

(4) 噪声

本项目电子加速器运行期间，噪声源主要来自冷却水循环水泵、高频机、风机。公司在对上述设备采取安装减震及实体隔离等措施后，其对外界的噪声影响较小，不会对周围环境产生明显影响，因此噪声不作为本项目的主要污染评价因子。

表10 辐射安全与防护

项目安全措施

1、项目布局与分区

1.1 布局合理性

本项目拟建的2#加速器机房为三层结构，一层为辐照室，室内布置电子加速器辐照窗，出束方向向下，辐照室设有迷道，入口处设有防护铅门。西墙线缆进出口外设计一间辐射防护室（防止人员靠近电缆线进出口）；二层和三层为主机室及设备平台层，主机室内布置有加速器钢桶，主机室设有迷道，入口处设有防护铅门，设备平台层布置有配电柜、水冷机组、气体系统及变频柜。一层通往二层采用钢结构楼梯。工业电子加速器工作时，辐射工作人员位于一层机房西侧的控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，负责线缆收发的人员位于辐照室西侧的线缆收发区。工业电子加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留，同时控制室与机房分开单独设置，加速器有用线束（定向朝下）的照射方向避开了控制室，因此本项目加速器机房布局合理。

1.2 分区情况

根据《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）的规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

本项目拟将加速器机房辐照室（含迷道）、辐射防护室及二层和三层主机室（含迷道）划为辐射防护控制区。控制区边界拟设置实体屏蔽设施，在控制区边界合适部位如辐照室（或主机室）防护门表面设置电离辐射警告标志及中文警示说明等，加速器工作过程中，任何人不得进入控制区内，辐射工作人员需要进入控制区时，首先应关闭加速器电源，拨下控制台钥匙开关的钥匙，用该钥匙从防护门外的电控柜打开开门开关，防护门打开，人员方可进入。

本项目拟将加速器机房一层加速器控制室、辐照室周边相邻区域、通往二层的钢结构楼梯、二层平台（不包括主机室）、通往三层的钢结构楼梯、三层平台（不包括主机室）划为辐射防护监督区。其中机房一层监督区四至距离为：监督区北边界至机房距离8.4m，监督区西边界至机房距离28.75m，监督区南边界至机房距离10.6m，监督区东边界至机房距离1m；机房二层监督区四至距离为：监督区北边界至机房距离5.65m，监督区西边界至机房距离7.8m，监督区南边界至机房距离2.6m，监督区东边界至机房距离3.2m；机房三层监督区四至距离为：监督区北边界至机房距离2m，监督区西边界至机房

距离2.15m，监督区南边界至机房距离2.35m，监督区东边界至机房距离4.3m。机房控制室拟设置实体边界，门口设置电离辐射警示标志，二层平台其他区域和辐照室西侧收放线区域（包括线盘货架）监督区边界拟设置实体围栏，并在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员严格限制进入。

本项目电子加速器机房平面布置及分区情况见下图。

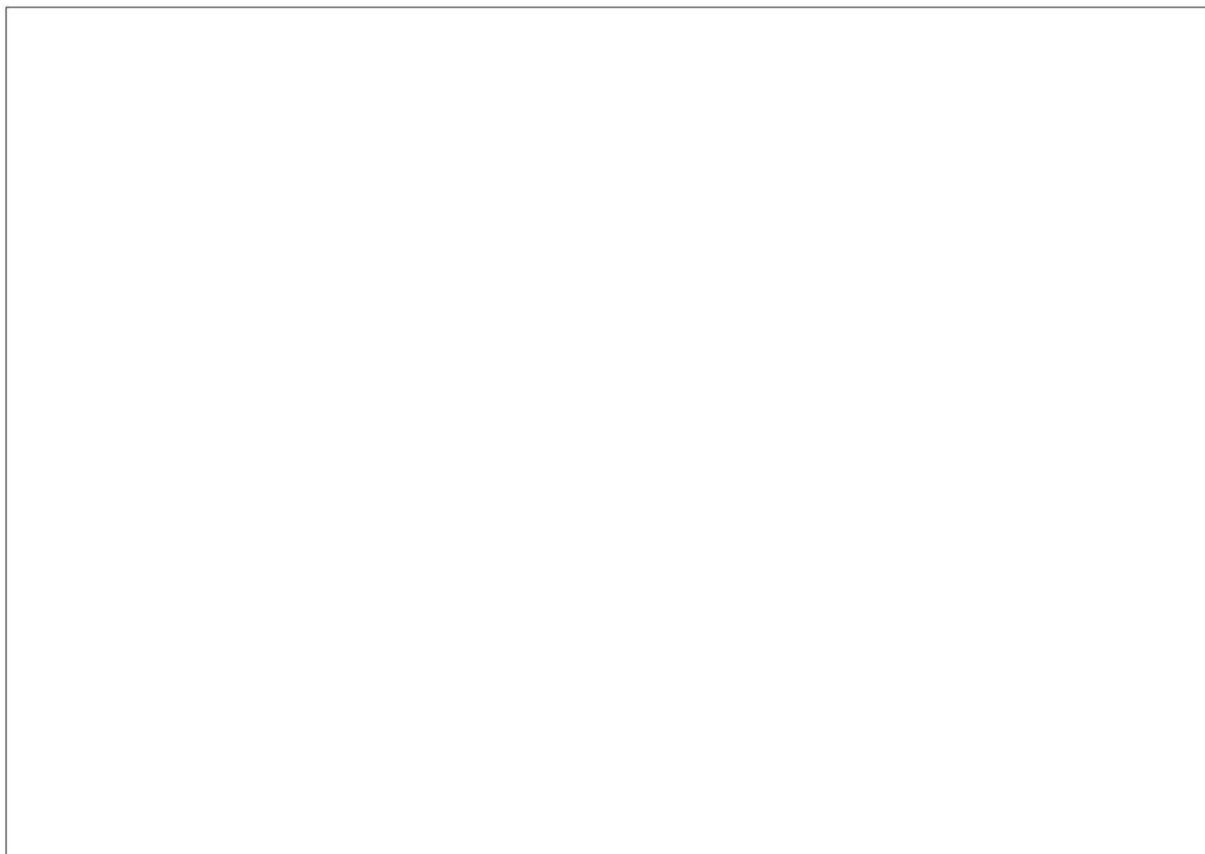


图10-1 2#加速器机房（一层）辐射防护分区图

图10-3 2#加速器机房（三层）辐射防护分区图

综上，本项目辐射工作场所控制区和监督区的划分，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的规定。

2、辐射安全防护措施

2.1 辐射防护屏蔽设计

（1）加速器机房辐射防护屏蔽设计

本项目拟建的2#加速器机房为三层结构，一层为辐照室，二层和三层为主机室。一层辐照室四周墙体（含迷道墙）、辐照室顶部及二层主机室四周墙体（含迷道墙）、三层主机室四周墙体采用混凝土结构，三层主机室顶部采用不锈钢盖板结构。辐照室及主机室的防护门采用铅板结构。本项目工业电子加速器机房屏蔽设计图见附图3，辐照室具体屏蔽设计参数见表10-1。

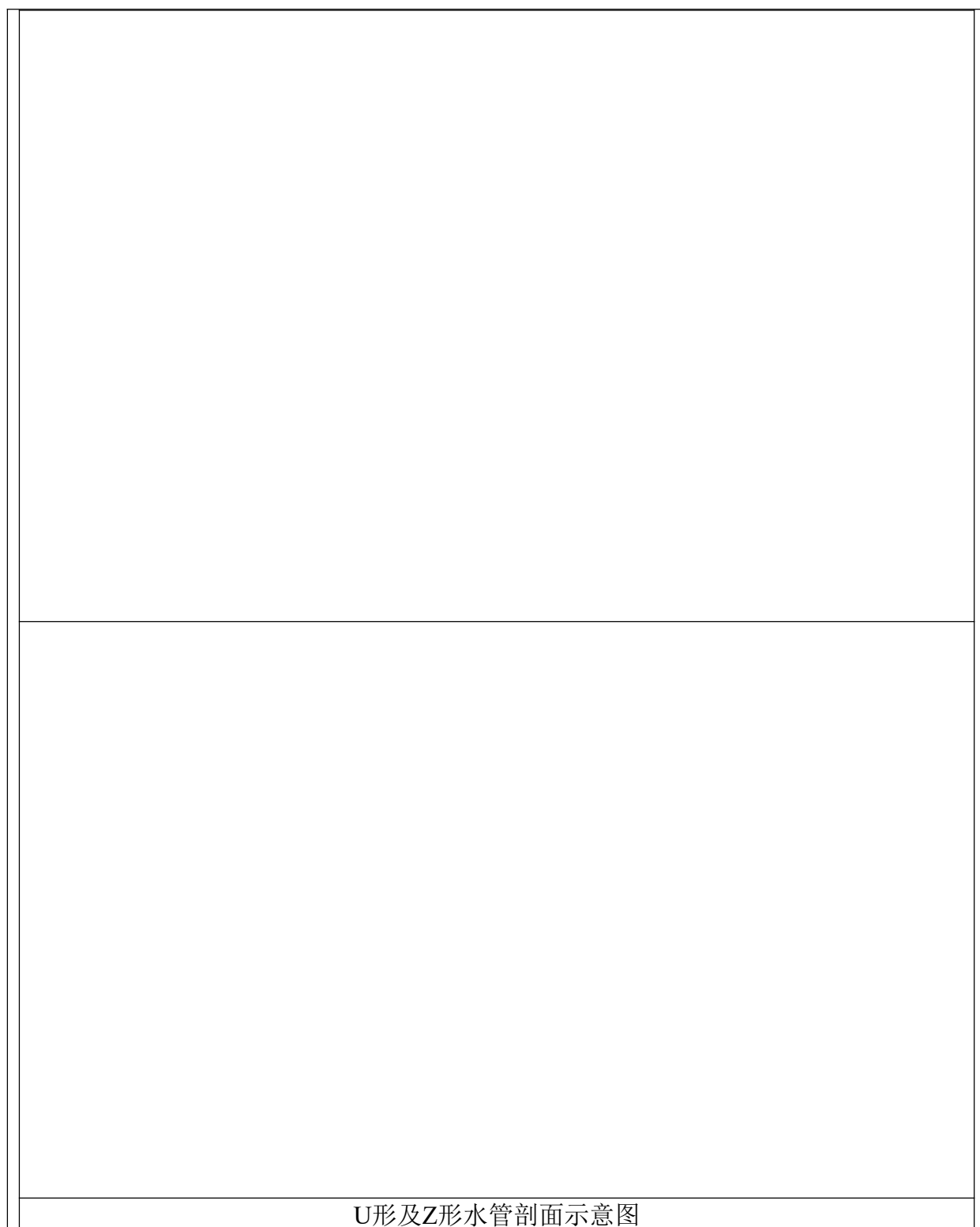
表10-1 本项目2#加速器机房屏蔽设计一览表

加速器机房		位置	屏蔽设计（厚度及材质）
2#加速器机房	一层辐照室	东墙	1800mm混凝土
		南墙	1800mm混凝土
		西侧迷道墙	1800mm混凝土
		西侧外墙	500mm混凝土
		辐照室与控制室之间隔墙	2000mm混凝土
		北侧迷道墙	1200mm混凝土
		北侧外墙	1000mm混凝土
		顶部	1200mm混凝土
		防护门	5mmPb
	二层主机室	东侧迷道墙	600mm混凝土
		东侧外墙	800mm混凝土
		南侧迷道墙	600mm混凝土
		南侧外墙	1000mm混凝土
		西墙	1000mm混凝土
		北墙	1000mm混凝土
		顶部	1000mm混凝土
		防护门	5mmPb
	三层主机室	东墙	500mm混凝土
		南墙	500mm混凝土
		西墙	500mm混凝土
		北墙	500mm混凝土
		顶部	200mm不锈钢

(2) 穿墙管道（风管、水管、电管等）辐射防护屏蔽设计

本项目所有不锈钢预埋管均超出地面200mm（便于焊接），其中一楼不锈钢水管（排水管和自来水供水管除外），均采用“U”型埋敷，二楼水管除辐照室钛窗冷却水管和吸收靶水管采用“Z”型预埋外，其余均采用“U”型方式敷设；六氟化硫预埋管采用“U型敷设”，钛窗和束下风机穿线管采用“U”型敷设，束下设备穿线管全部采用“Z”型敷设。均不影响辐照室屏蔽墙体防护效果。

机房一层和二层穿墙风管设计布局

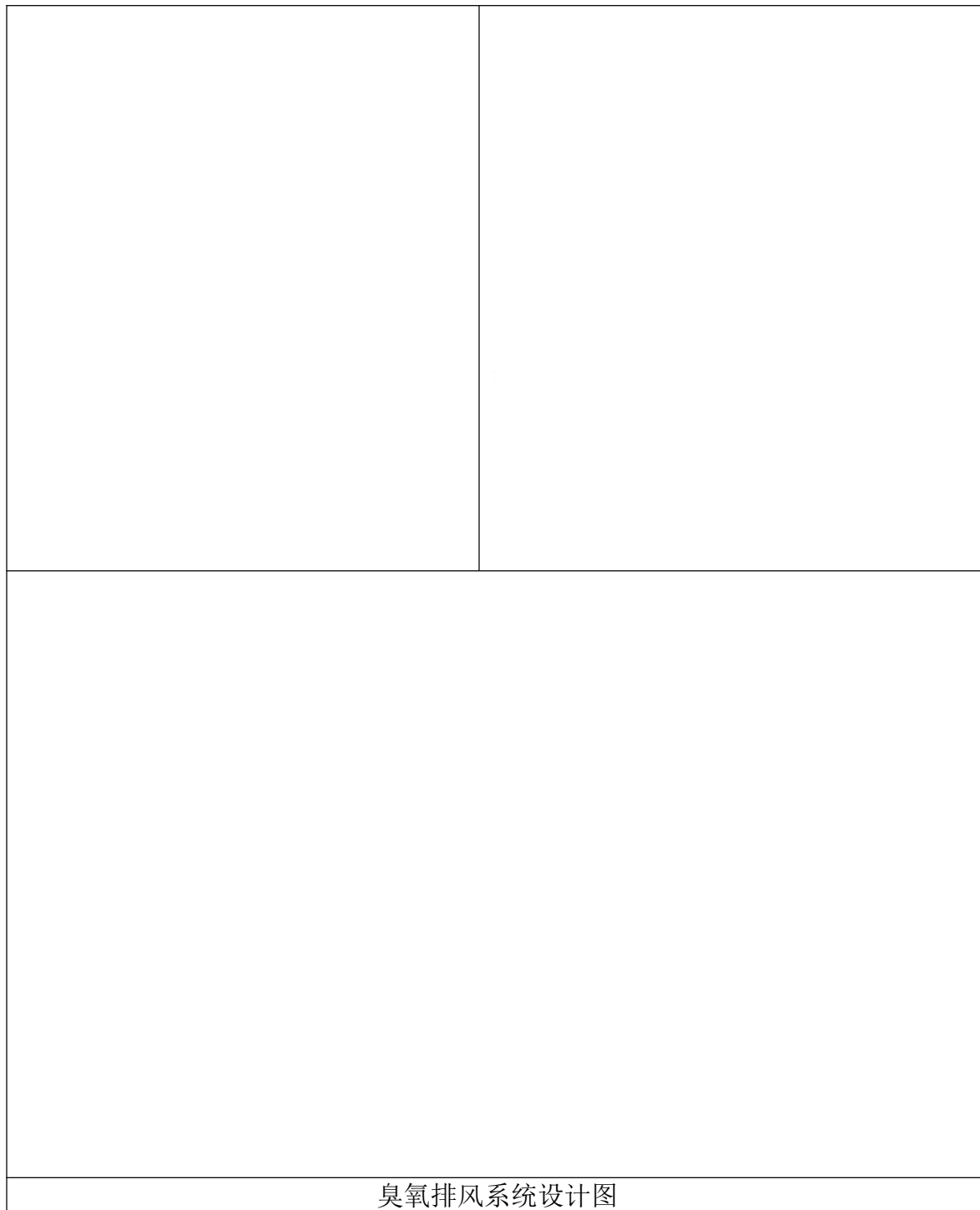


机房穿墙电管设计布局

Z形电管剖面示意图

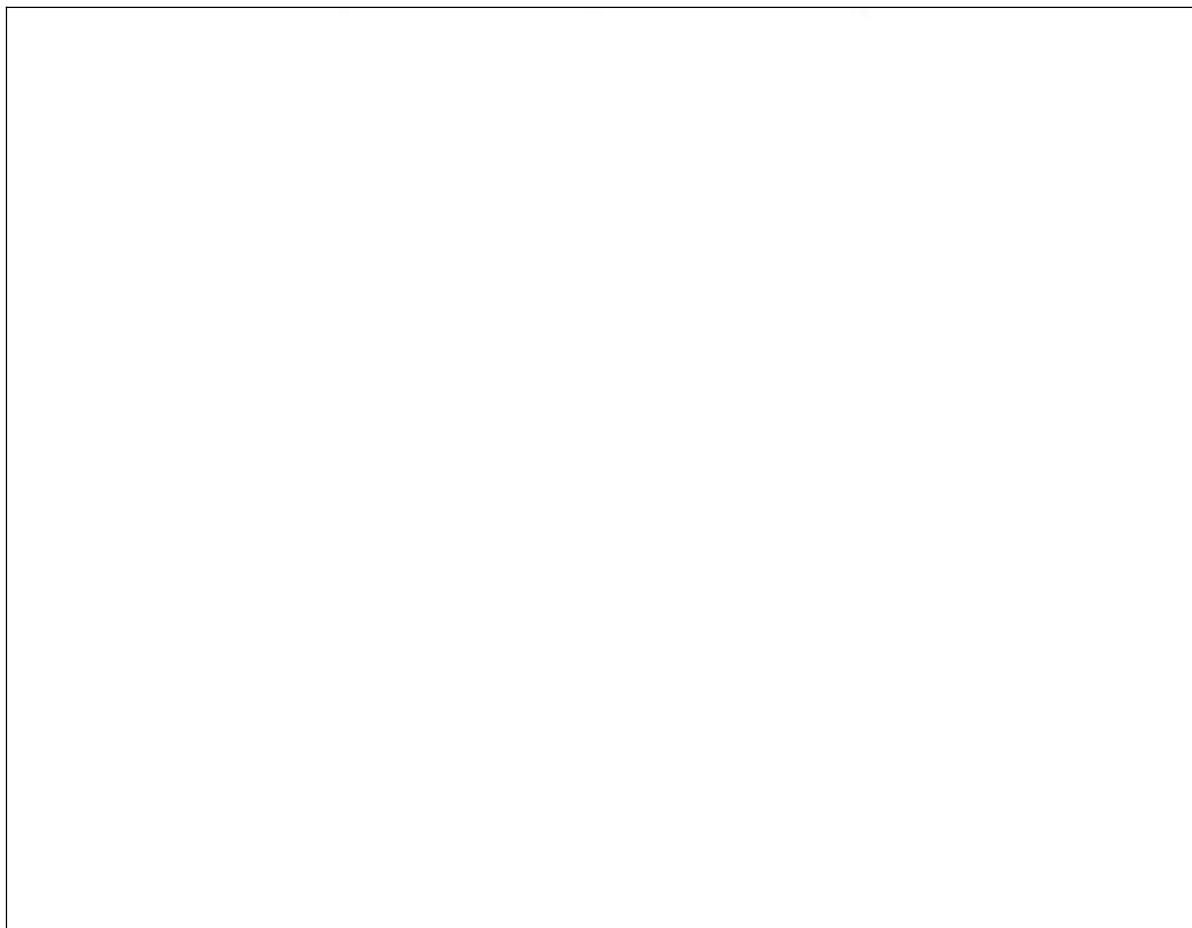
(3) 臭氧排风管道辐射防护屏蔽设计

本项目按照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的规定拟设置机械排风系统，2#加速器机房辐照室地面设置2个臭氧排风口，排风管道为预制混凝土管道，均由辐照室内南北两侧地面向下以“U”型铺设，再以“U”型穿越东侧墙体，风道直径为800mm，引至辐照室外，然后设置风机抽排，最后经26m高的排气筒高空排放。



（4）设备预留洞辐射防护屏蔽设计

根据建设单位提供的设计方案可知，本项目2#加速器机房辐照室东墙设有设备预留洞，预留洞外层尺寸5400mm（宽）×900mm（厚）×2750mm（高），预留洞内层尺寸4500mm（宽）×900mm（厚）×2300mm（高），待设备进入辐照室后再浇筑混凝土封堵，预留洞四周错缝设计（错缝宽度450mm），防止射线泄漏。



设备预留洞剖面示意图

（5）辐照线缆进出口辐射防护屏蔽设计

辐照线缆进出通过束下传输系统实现机械化操作，操作人员距离辐照室外墙约5m，根据辐照室平面布置图及剖面图可知，辐照线缆进出口在同一侧墙体，2#辐照室辐照线缆从西墙以夹角18°斜向下穿进，经管材传动装置进入迷道内，在辐射防护室内墙以夹角27°斜向上穿进，防护室内墙穿进高度高于辐照室西墙穿进高度，形似U形，可避免射线直接照射。

线缆进出孔剖面示意图

2.2 辐射安全措施设计

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

本项目电子辐照加速器采取了相适应的多层防护与安全措施（即纵深防御），充分体现了冗余性、多元性、独立性的安全原则，辐射安全与防护设施设计包括联锁系统、急停系统等内容。装置联锁接口采用Modbus-RTU协议（RS-485接口），硬件配置12路24V DC光耦隔离信号（包括急停、门禁、冷却系统、剂量检测等），联锁触发至辐射源完全停止的响应时间 $\leq 50\text{ms}$ ，关键信号采用双通道独立回路，符合IEC 61508 SIL2级以上安全完整性等级。辐照装置设计的辐射安全保护措施和联锁系统符合相关标准规范，满足辐射安全要求。

本项目辐射安全与防护设施设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-

2018) 相关要求对照见下表。

表10-2 辐射安全与防护措施一览表

标准要求	本项目设计
<p>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。</p>	<p>加速器的主控钥匙开关和辐照室、主机室迷道门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机，该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。</p>
<p>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>辐照室、主机室与辐射防护室的门均设置钥匙开关，且与束流控制和加速器高压联锁。其中任何一扇门打开时，加速器都不能开机。加速器运行中门被打开则加速器自动停机且切断高压系统。</p>
<p>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>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，束下装置与加速器设联锁保护。当束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器自动停机且切断高压系统。</p>
<p>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>在辐照室、主机室出入口及内部设置灯光和音响警示信号，用于开机前对辐照室内人员的警示。辐照室、主机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。当加速器准备完成，具备出束条件后黄灯亮、报警鸣响，持续至少30s后方开机出束，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示；开机出束后红灯亮、同时LED屏提示“开机禁止入内”，关机后绿灯亮，同时LED屏提示“关机允许进入”。</p>
<p>巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。</p>	<p>巡检系统设置如下： ①在2#加速器机房内不同位置共设有15个巡检按钮，并与控制台联锁。其中1层辐照室内（包括迷道）共设置5个巡检按钮，防护门外设置1个巡检按钮，辐照室西侧辐射防护室设置2个巡检按钮；2层主机室内（包括迷道）共设置5个巡检按钮，防护门外南侧设置1个巡检按钮；3层主机室外设置1个巡检按钮。加速器开机前，操作人员进入辐照室和主机室巡查各仪表、按钮、拉绳、钛膜等器件状态，按序按动巡检按钮，只有每个巡检按钮分别被按下和拨起，安全联锁系统才能被建立，安全系统无法建立时，加速器无法启动，整个巡检系统采用PLC控制，必须按照程序设定流程进行巡检，各输入点具有自诊断功能，各输出连锁点具有防短接检测功能。 ②巡检操作时，巡检人拿下钥匙开关的钥匙，拿下钥匙后安全系统就被破坏，巡检完成后，插入钥匙，才能启动安全系统；钥匙上相连一台有效的剂量报警仪。 ③当开始巡检时，警铃开始报警，巡检须确认辐照室、主机室内无人逗留。当安全联锁系统建立好后</p>

	，警铃声消失，警灯开始闪烁；加速器开机时，有开机声音警示。
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1层辐照室和2层主机室迷道入口内不同水平位置、不同高度处各设置4组光电开关，作为防人误入安全联锁装置。防人误入光电开关装置与电子加速器高压系统及出束装置联锁，当装置检测到人员经过时，安全联锁系统立即响应，加速器无法启动，或者已启动的加速器立即停机且切断高压系统。
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。	在辐照室迷道入口和出口处各设置一个急停拉线开关，并在2层机房内设置一个拉线开关，开关的拉线沿内部墙体围绕一圈布置，在机房内的任何位置均可以就近拉动拉线开关。当拉动急停拉线开关时，会切断加速器高压系统，整个加速器系统立即停机。主机室和辐照室内设置开门机构，以便人员离开控制区。
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。	在一层辐照室和二层主机室迷道内均安装固定式辐射监测仪，并与辐照室的出入口门联锁。当辐照室内辐射水平高于仪器设定阈值时，辐照室的门无法打开。当剂量报警装置未打开、固定式辐射剂量监测仪及探头断电、掉线等无法正常工作的情况下，联锁装置自动切断高压系统，加速器出束装置无法启动。
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。	辐照室的通风装置与控制系统联锁，当加速器停机后，只有达到预先设定的时间后（预设时间10min），辐照室的门才能打开，以保证臭氧等有害气体浓度低于允许值。
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。	辐照室一层天花板设置烟雾报警装置，发生火灾时，加速器立即停机，并停止通风。

其他安全与防护措施设计如下：

（1）监控系统：在加速器机房内外安装摄像头，监控人员进入情况。每套监控系统设主机1个，摄像头4路，具备录像功能，主机设在控制室内，摄像头分别监控辐照室迷道门口、辐照室内、迷道通道及二楼设备区和主机室、三楼平台和主机室。

（2）二层设备区辐射安全与防护措施：根据设备厂家提供的2#加速器机房辐射防护设计参数以及后文核算结果，在设备正常运行期间二层设备区、三层平台周围剂量当量率均能满足评价标准不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，因此二层设备区和三层平台不再设置联锁装置，但为防止人员误入或接受不必要的辐照，二层设备区和三层平台入口设置专用门锁，由值班班长保管。根据公司辐照工作制度，设备开机前巡检时应同时检查二层设备区和三层平台，确保无人逗留。

（3）在辐照室和主机室内外醒目位置设置若干电离辐射警告标志。辐照室和主机

室内疏散通道和主要疏散路线的地面上或靠近地面的墙上应设置发光的紧急出口指示标志，并配备应急电源，便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向，指引人员顺利离开机房。

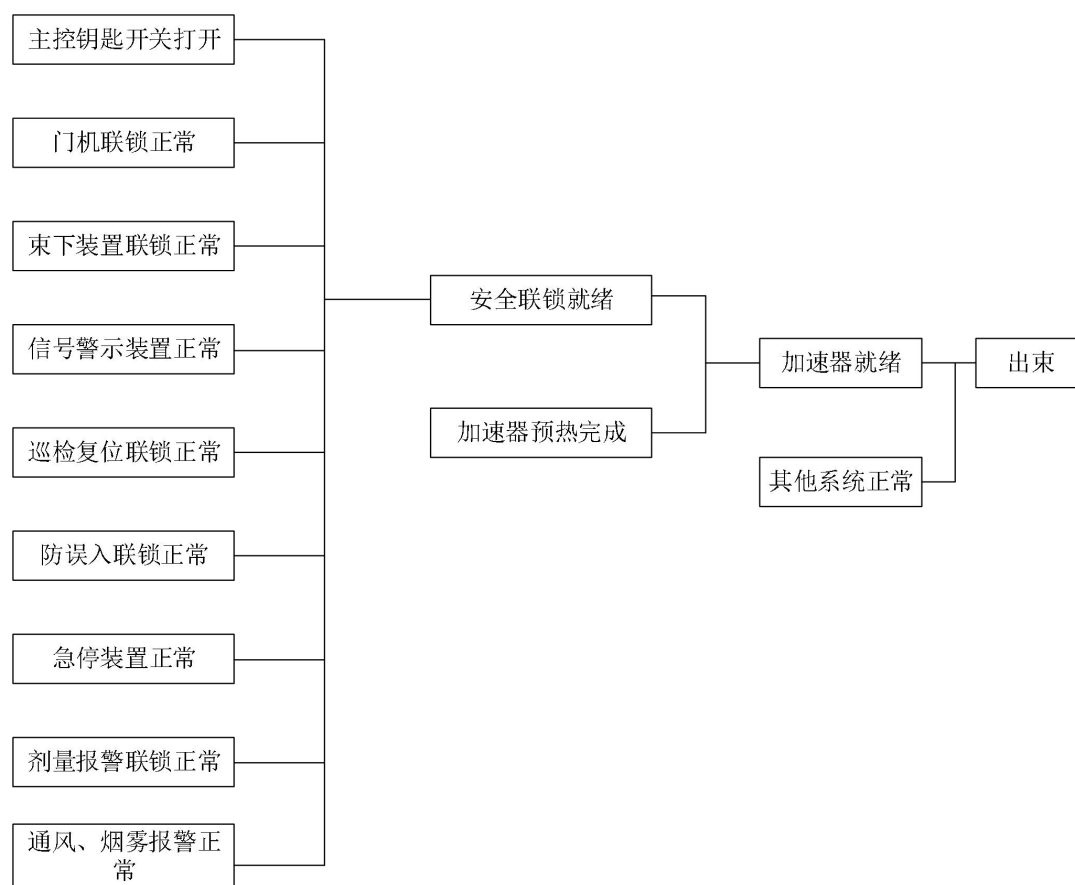


图10-4 安全联锁设施逻辑示意图

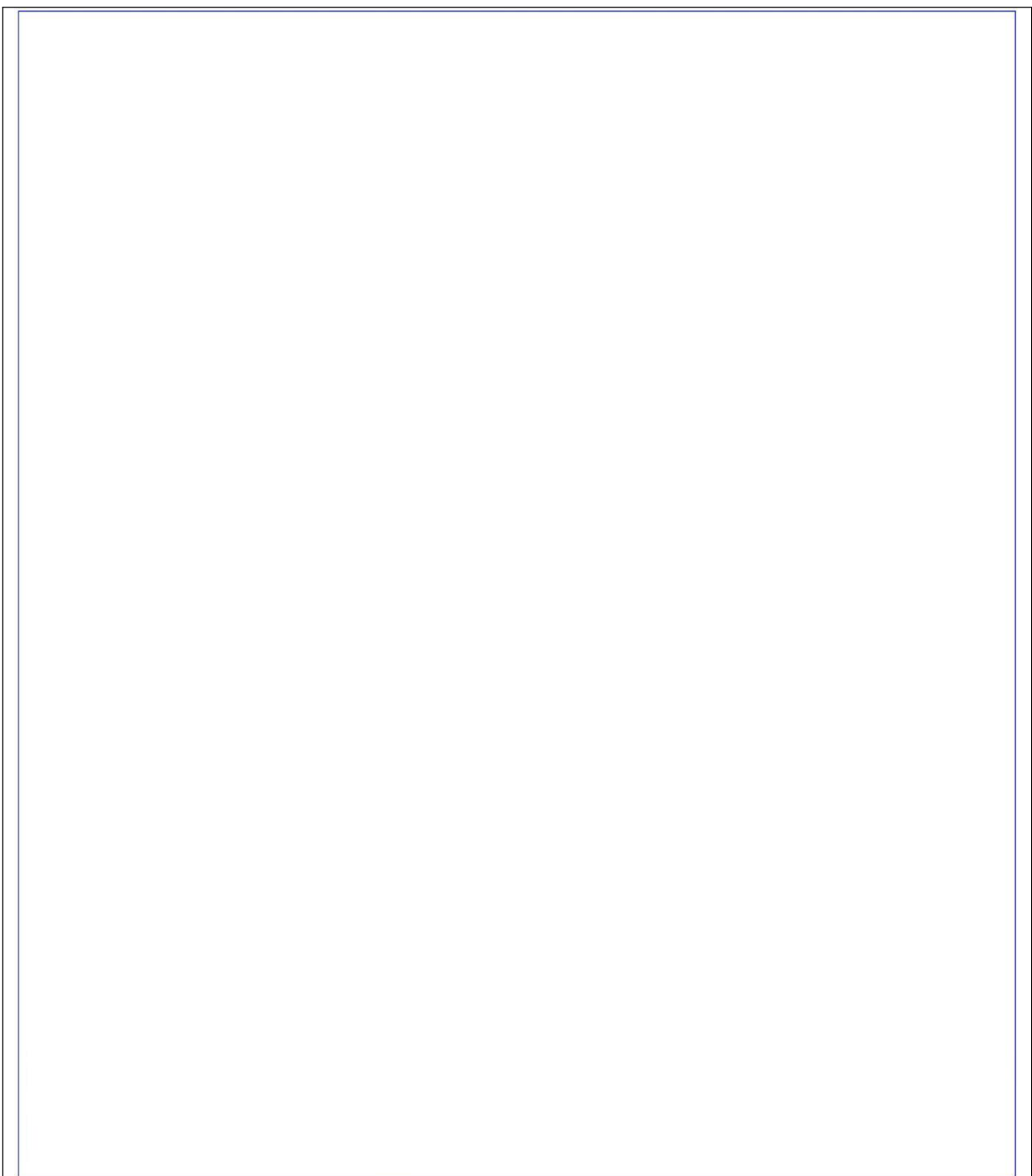


图10-5 2#加速器机房一层安全防护设施分布图

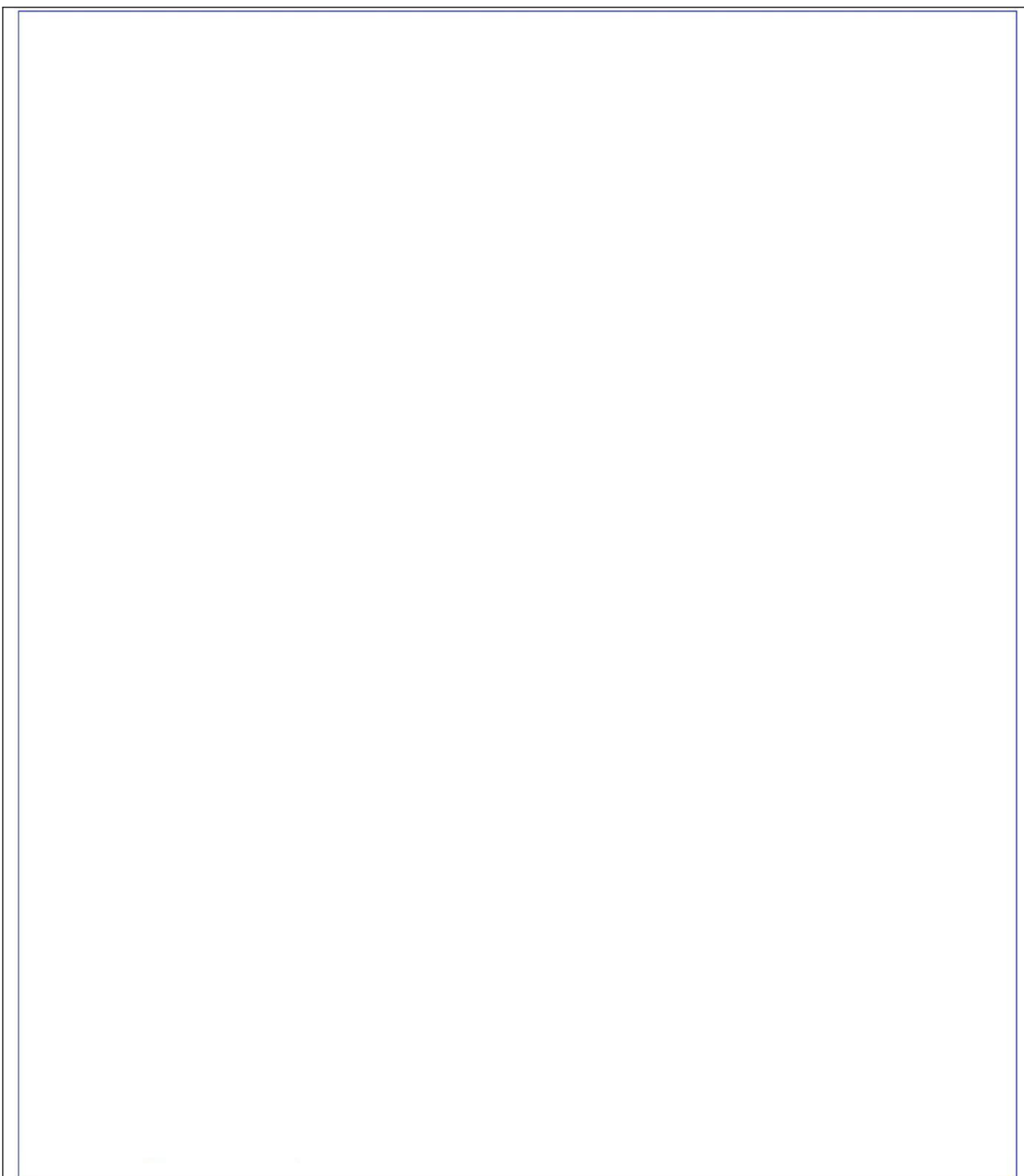


图10-6 2#加速器机房二层安全防护设施分布图

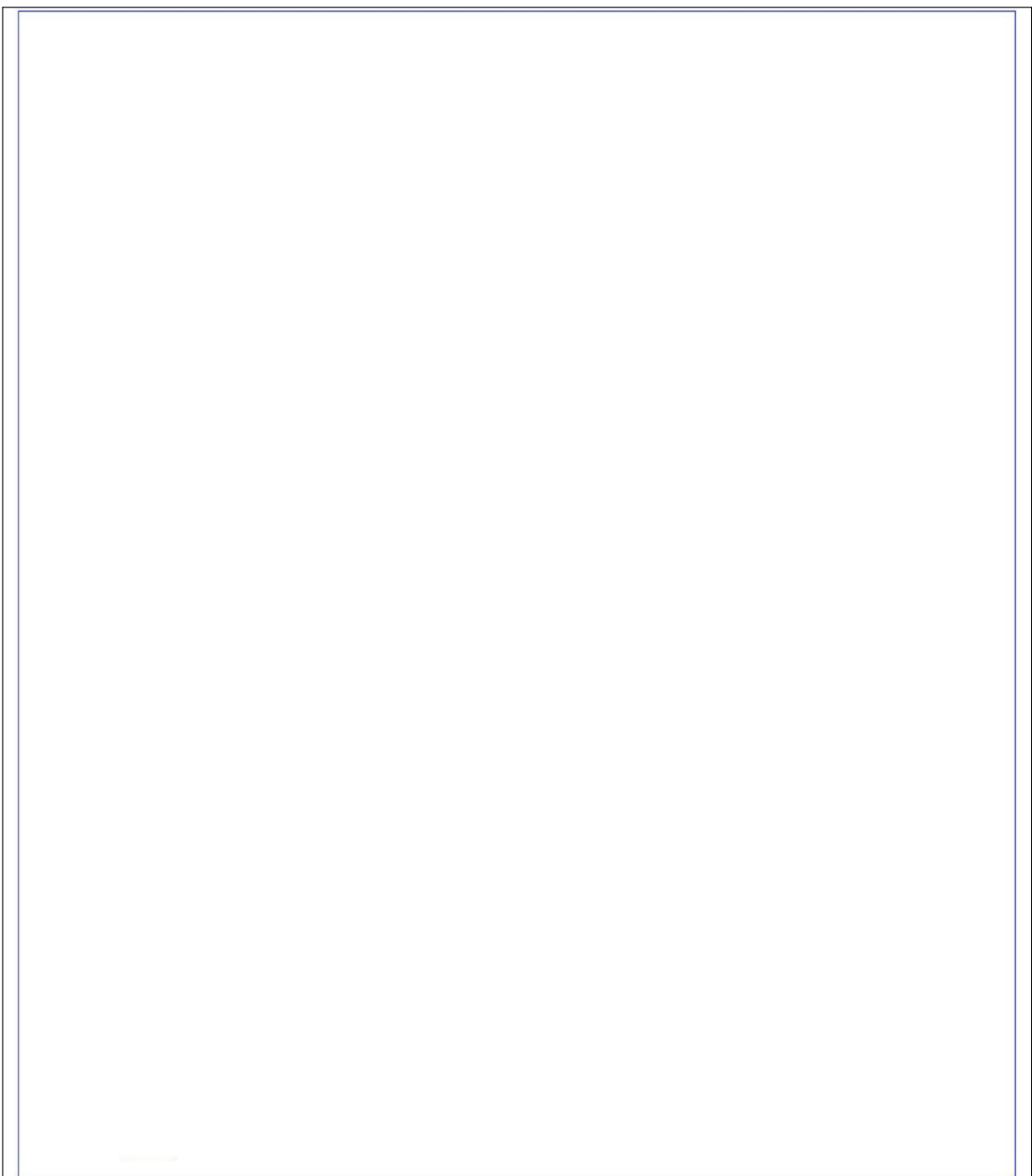


图10-7 2#加速器机房三层安全防护设施分布图

10.3 辐射安全原则分析

对照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中4.1辐射安全设计原则，本项目加速器主要考虑纵深防御、冗余性、多元性及独立性原则。

（1）纵深防御

“应对电子加速器辐照装置的应用及其潜在照射的大小和可能性采取相适应的多层防护与安全措施（即纵深防御），以确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正”。

对照标准要求：本项目加速器设置了门机联锁、信号指示联锁、剂量联锁及通风联锁，另外还设置了拉线开关、巡检按钮及开关门等安全装置，以上措施均可确保在某一层次的安全措施突然失效时，可由其他防御措施弥补及纠正，从而保证装置及人员的安全。

（2）冗余性

“采用的物项应多于为完成某一安全功能所必需的最少数目的物项，在运行过程中万一某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能”。

对照标准要求：本项目在辐照室内拟设计多道不同品牌且相互独立的光电装置，在一层和二层迷道入口处分别安装光电开关（一层和二层各4组），有人员经过时，安全联锁系统动作，加速器无法启动，或者已启动的加速器立即停机。

在一层和二层迷道内分别设置固定式辐射监测仪（一层和二层各一个探头），当剂量超标，并有人经过时，安全联锁系统立即响应，切断加速器主接触器电源，加速器停机；当剂量报警装置未打开时，加速器无法启动；且如果辐照室和主机室内辐射水平高于仪器设定阈值时，主机室和辐照室的门无法打开。

通过以上措施，可有效防止在电子加速器开机过程中，人员进入辐照室造成误照射。

（3）多元性

“多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。系统多元性和多重剂量监测可以采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等”。

对照标准要求：辐照室和主机室设置了门机联锁、信号指示联锁、剂量联锁、通风联锁及光电联锁，辐照室防护门的安全联锁分别采用机械的、电气的、电子的和剂量的联锁。

（4）独立性原则

“独立性是指某一安全部件发生故障时，不会造成其他安全部件的功能出现故障 或失去作用。通过功能分离和实体隔离的方法使安全机构获得独立性”。

对照标准要求，本项目加速器设置多道联锁，分别与加速器实现联锁，能够实现各联锁之间的独立性，保证各部件之间的独立性，保证纵深防御的独立性，达到不会因为某一部分安全措施发生故障，造成其他安全措施失效。

10.4 辐射安全用品

根据企业提供的资料，本项目拟配备的辐射监测仪器及辐射安全设施详见下表。

表10-2 本项目拟配置监测仪器及安全设施一览表

说明	用品名称	单位	数量
拟配置监测仪器	个人剂量计	个	6
	个人剂量报警仪	个	6
	便携式辐射监测报警仪（巡测仪）	台	1
拟配备辐射安全设施	电离辐射警告标志	张	若干
	巡检按钮	个	15（一层辐射防护室2个，一层辐照室6个，2层主机室6个，三层主机室1个）
	急停装置	个	3（拉线开关）
	光电开关	组	8（每组两个，按上下不同高度安装，其中一层辐照室入口4组，二层主机室入口4组）
	声光报警装置	个	2（一层辐照室和二层主机室各1个）
	烟雾报警器	个	1（一层辐照室内）
	固定式辐射监测仪探头	个	2（一层辐照室和二层主机室各1个）
	信号显示牌	个	2（一层辐射防护室外和二层主机室防护门外各1个）
	开机报警喇叭	个	1（一层辐射防护室外）
	门机联锁装置	个	3（一层辐照室1个，防护室1个，二层主机室1个）
	监控探头	个	6

10.5 三废的治理

放射性废物：本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。

非放射性废物：本项目非放射性废物包括废水、废气、噪声和固废，具体治理措施如下。

(1) 废水：本项目水冷却系统由制冷机和冷却塔组成，其中冷水机组为25P+10P组合式，分两组冷冻水，一组用于主钢筒和电抗器冷却；另一组冷却钛窗冷却和变频柜冷却，两路流量分别为7m³/h和3m³/h。制冷机水为循环水，用自来水补充，消耗不大；冷却塔冷却制冷机组和束下吸收靶，为常温水冷却，用自来水补充，年度检修时水箱会清洗换水并将水箱中水排入雨水口。项目辐射工作人员产生的生活污水接管排入常州市江边污水处理厂。

(2) 废气：本项目电子加速器所有高频高压和直流高压的部件都安装在压力钢筒内，充以0.65MPa的SF₆干燥绝缘气体，使得加速器主机具有足够安全的绝缘强度，主机内部无臭氧及氮氧化物产生。加速器在工作状态时，产生的电子束流会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。根据加速器厂商提供的相关参数显示，本项目工业加速器主机束流损失点能量最大仅为0.5MeV，束流损失小于1μA，接近于0，主机室地面设置有通往辐照室的钛窗风管和束下风管。主机室内产生极少的臭氧和氮氧化物一并汇入辐照室内的排风装置。因此本项目主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

本项目加速器机房的辐照室内设计了独立的通风管道对辐照室进行换气排风，辐照室内束下装置西侧设置进风口，排风管道垂直向下到达距离地面1.5米深后，变为水平方向引到辐照室东侧外，然后再变为垂直于地面的风管，最后到达厂房顶部至少3m高处排放。地下通风管道为U型，在不破坏机房墙体屏蔽的情况下，利用风机将辐照室内臭氧和氮氧化物抽出，最终排入大气中。由于排风管道采用U型埋地设计，射线至少需要经过3次散射才会到达排放口，因此排放口的辐射剂量可以控制在较低水平，能够满足辐射防护的要求。本项目2#加速器机房的辐照室内配备一台离心式高压风机，风机的最大排风量约为12000m³/h，加速器运行期间及停机后风机一直保持运行，辐照室内保持负压状态。本项目2#加速器机房辐照室内部体积约为310m³，则每小时换气次数约为39次。臭氧和氮氧化物通过排风管道排放至室外，臭氧在常温常压下约50分钟可自行分解为氧气。

（3）噪声：本项目电子加速器运行期间，噪声源主要来自冷却水循环水泵、高频机、风机。公司在对上述设备采取安装减震及实体隔离等措施后，其对外界的噪声影响较小，不会对周围环境产生明显影响。

（4）固废：本项目拟设置6名辐射工作人员，每人每天工作8小时，年工作时间300天，每日约产生3kg固体废物（生活垃圾），生活垃圾年产生量约为0.9t，统一收集后由当地环卫部门集中清运。

表11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目建设阶段包括加速器机房及辅助用房土建施工、加速器和附属设施的安装调试。土建施工时对环境会产生如下影响：

（1）大气：本项目在建设施工期需进行混凝土浇筑等作业，施工过程将产生地面扬尘，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：

- ①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- ②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；
- ③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：预留束下设备吊装洞重新浇筑阶段，如混凝土搅拌机、卷扬机及载重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。在施工时需严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

（3）固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，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。

（4）废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

建设单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在公司厂内局部区域，对周围环境影响较小。

运营阶段对环境的影响

1、辐射环境影响分析

本项目2#加速器机房为三层混凝土结构，一层为辐照室，二层和三层为主机室。工业电子加速器运行时，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射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。

加速器辐照室的屏蔽主要考虑初级X射线对辐照室四周屏蔽墙产生的辐射影响（保守取初级X射线90°方向的相应参数）、初级X射线对辐照室顶部产生的辐射影响（保守取初级X射线90°方向的相应参数）。

根据生产厂商提供的资料，本项目工业加速器主机束流损失点能量最大仅为0.5MeV，束流损失小于1μA，接近于0，主机室内束流损失辐射场对主机室外的辐射影响很小，主机室的屏蔽主要考虑初级X射线经辐照室顶部的贯穿辐射对四周屏蔽墙的辐射影响（保守取初级X射线90°方向的相应参数）。

电子加速器运行时，电子束出束方向朝下，辐照室内电子束可能轰击的物质有三种：

- （1）混凝土地面；
- （2）电子扫描窗下方的不锈钢吸收板；
- （3）辐照产品：产品材料主要为电线电缆。

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射发射率不同。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。本项目电子束辐照线缆时，3种轰击物质中不锈钢Z值（原子序数）最大，X射线发射率最高，因此本报告保守选取不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定工业电子加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

1.1 辐射影响评价模式

- （1）直射X射线的屏蔽

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

式中：H_M—参考点周围剂量当量率，μSv/h；

B_X—X射线屏蔽透射比；

T—居留因子；

d—X射线源与参考点之间的距离，m；

D₁₀—距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率，Gy/h。

$$B_X = 10^{-n} \dots\dots \text{公式11-2}$$

$$n = \frac{S - T_1 + Te}{T_e} \dots\dots \text{公式 11-3}$$

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；

Te—平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm；

n—为十分之一值层的个数。

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot fe \dots\dots \text{公式11-4}$$

式中：Q—X射线发射率，Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹；

I—电子束流强度，mA；

fe—X射线发射率修正系数。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录A中表A.1中给出的数据是电子束打高Z靶的数据，通常被辐照的物质很少为高Z材料，因此需要对靶进行修正。被辐照的靶材料为“铁、铜”时，0°方向的修正系数fe为0.7，90°方向的修正系数fe为0.5；被辐照的靶材料为“铝、混凝土”时，0°方向的修正系数fe为0.5，90°方向的修正系数fe为0.3。

对于电子加速器辐照装置，很多情况下需要考虑侧向（相对电子束90°方向）X射线的屏蔽，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。

（2）迷道外入口的剂量率估算

防护X射线的迷道，按照公式11-5可保守地估算迷道外入口的剂量率：

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

式中： H_1 ， r_j —迷道出口处的空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

D_{10} —距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率（ $\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$ ），参考公式11-4；

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的能量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（假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在1~2之间）， m^2 ；

d_1 —X射线辐射源到第一反射层的距离，m；

$dr_1, dr_2\dots dr_j$ —沿着迷道长轴的中心线距离，m； $dr_j/A_2^{1/2}$ 的比值应在1~6之间；

j —指第 j 个散射过程。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A，对于能量大于3MeV的X射线其散射一次后能量为0.5MeV，本项目加速器能量不大于3MeV，保守以3MeV进行计算。对于初级X射线，散射系数 α_1 取值为 5×10^{-3} ；对于一次散射后的X射线散射系数 α_2 取值为 2×10^{-2} 。

（3）剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000年报告附录A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下：

$$H_E = H \cdot t \cdot U \cdot K \cdot T \cdot 10^{-3} \dots \dots \text{公式11-6}$$

式中： H_E —X射线外照射人均年有效剂量当量率， mSv/a ；

H —关注点的剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

t —X射线照射时间，h；

U —使用因子取1；

T —居留因子；

K —转换系数取1。

1.2 辐照室计算参数选取及结果

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A中表A.1，3.0MeV

电子束入射到高Z厚靶材料上侧向90°距靶点1m处的韧致辐射X射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

本项目被辐照的靶材料为铁（电子扫描窗下方的不锈钢吸收板），90°方向的修正系数 f_{fe} 取0.5。

本项目计算参数保守取加速器以最大输出功率100kW运行时的工况（电子线能量为3MeV，束流强度为33.33mA）。根据公式11-3可计算出本项目3.0MeV电子束90°方向距离X射线辐射源1m处的标准参考点吸收剂量率约为3200Gy/h。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A表A.4，3.0MeV电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为1.9MeV。

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

表11-1 加速器辐照室吸收剂量率计算参数一览表

参数	数值				来源
设备基础参数	电子束能量3.0MeV，束流强度50mA				建设单位及设备厂家拟定
Q（Gy·m ² /mA·min）	3.2				HJ979-2018
X射线发射率修正系数	0.5				
等效电子线能量	1.9MeV				
90°方向距靶1m处的吸收剂量率D ₁₀	3200Gy/h				计算
什值层（TVL）cm	1.9MeV				根据HJ979-2018表A.2和表A.3数据采用线性内插法推算
	类别	混凝土	铁	铅	
	T ₁	21.76	7.52	3.2	
	Te	19.74	6.84	4.09	

1.2.1 辐照室四周屏蔽体屏蔽效果计算

本项目在对加速器机房辐照室的直射屏蔽效果进行预测时，主要考虑辐照室四周屏蔽体的屏蔽效果。

辐照室直射辐射屏蔽预测点位示意图见下图，计算参数及参考点辐射剂量率见下表。

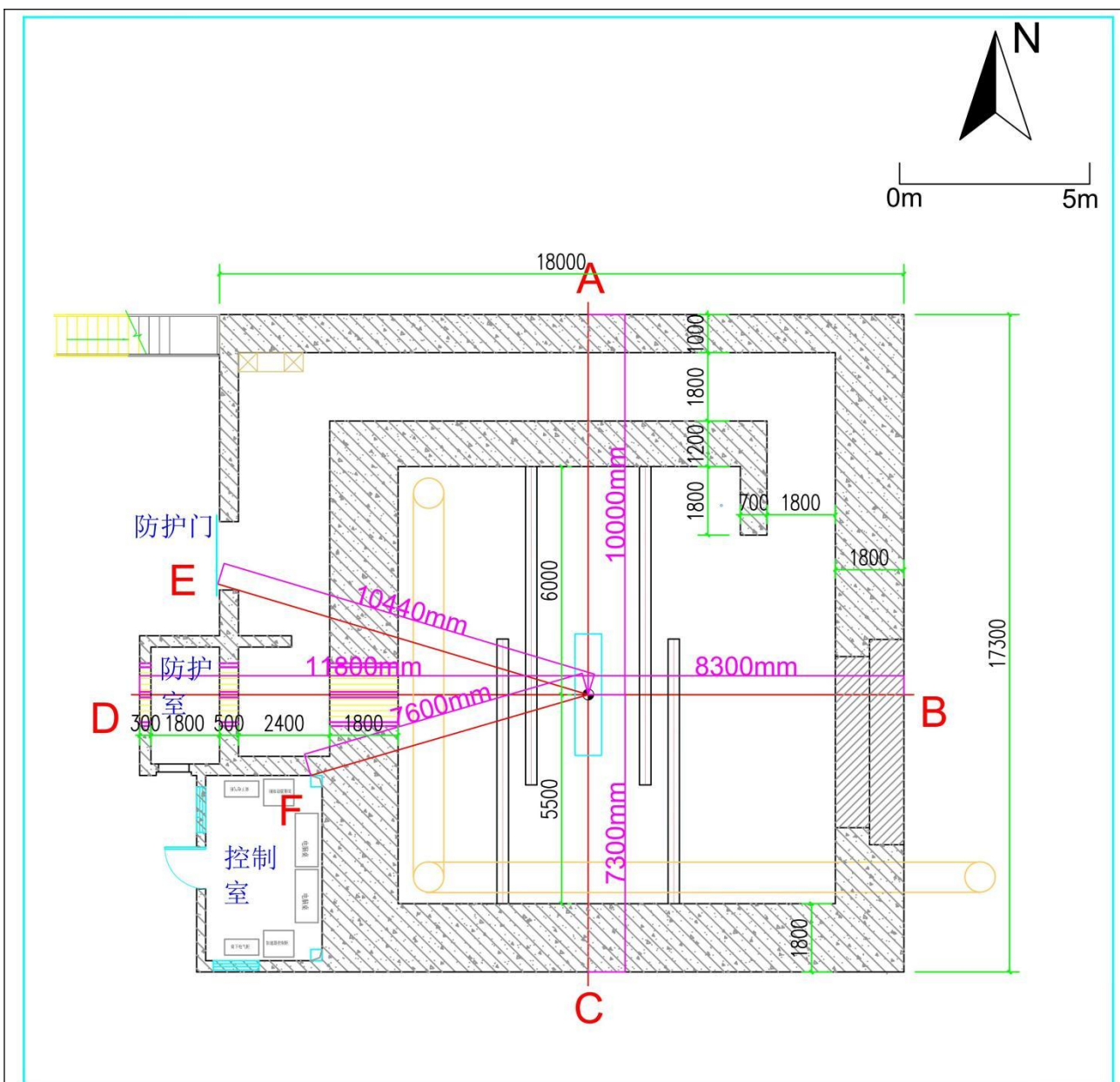


图11-1 辐照室直射四周屏蔽体体关注点示意图

表11-2 辐照室直射辐射计算参数及参考点剂量率一览表

关注点参数	2#加速器辐照室（3.0MeV/33.33mA）					
	A点 辐照室北墙外	B点 辐照室东墙外	C点 辐照室南墙外	D点 辐照室西侧防 护室外	E点 辐照室迷道 出口防护门 内侧	F点 辐照室西侧控 制室内
D_{10} （90°） （Gy/h）						
S（cm）						
T_1 （cm）						
T_e （cm）						
B_x						
T（保守取1）						
d（m）						
H_M （ $\mu\text{Sv/h}$ ）						

注：屏蔽厚度S与计算距离d均按CAD设计图量取，除E点外，其他关注点计算距离d均按靶点至屏蔽体外表面距离+0.3m。

1.2.2 辐照室反散射屏蔽效果计算

辐照室在辐照窗正下方产生的韧致辐射至少需经过4次散射后方可到达迷道出口处，散射示意图见下图，迷道散射面积、散射距离等计算参数及剂量率结果见下表。

表11-3 辐照室迷道散射计算参数及结果一览表（不考虑防护门）

关注点	散射参数					防护门内侧辐射剂量率（μSv/h）
一层辐照室迷道口	A ₁ （m ² ）		A ₂ （m ² ）		A ₃ （m ² ）	A ₄ （m ² ）
	d ₁ （m）	dr ₁ （m）	dr ₂ （m）	dr ₃ （m）	dr ₄ （m）	

注：A₂=A₃=1.8*2.4=4.32m²，A₄=2.4*2.8=6.72m²。

本项目加速器机房迷道口处考虑X射线直射剂量率和迷道散射剂量率的叠加影响，迷道口的辐射剂量率估算结果见下表。

表11-4 辐照室迷道出口处辐射剂量率计算结果（不考虑防护门）

关注点	直射剂量率（μSv/h）	散射剂量率（μSv/h）	迷道出口剂量率（μSv/h）
辐照室迷道出口			

由表11-4的预测结果可以看出，在加速器辐照室出入口未采取屏蔽措施时的辐射剂量率约为 $3.01 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，小于2.5μSv/h的剂量限值要求。

辐照室迷道口考虑防护门屏蔽效果计算：

根据建设单位提供资料，2#加速器辐照室迷道出口处防护门内衬5mm铅板。根据HJ 979-2018附录A表A.2及A.3，对于散射X射线，迷道口散射线能量保守按其散射一次后的能量（0.5MeV），铅的T₁和T_e值分别为T₁=0.5cm，T_e=1.2cm；对于直射X射线，铅的T₁和T_e值分别为T₁=3.2cm，T_e=4.09cm。则经防护门屏蔽后的辐射剂量率计算方法及计算结果如下。

$$H=H_0 \cdot B_x \cdots \cdots \text{公式11-7}$$

式中：H—防护门外30cm处辐射剂量率，μSv/h；

H₀—防护门内侧（即迷道口）处辐射剂量率，μSv/h；

B_x—屏蔽透射因子，使用公式11-3、11-4计算。

表11-5 辐照室迷道出口处辐射剂量率计算结果（考虑防护门）

关注点	S（mmPb）	T ₁ （cm）	T _e （cm）	B _x	H ₀ （μSv/h）	H _M （μSv/h）
辐照室迷道出口 防护门外30cm处 （散射）						
辐照室迷道出口 防护门外30cm处 （直射）						
合计						

综上，2#加速器机房辐照室墙体及迷道出口外30cm处的辐射剂量率均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”的剂量限值要求。

1.3 主机室屏蔽效果计算

1.3.1 主机室周围辐射场分析

主机室内的辐射场由三部分叠加：辐照室内韧致辐射产生的初级X射线，经过辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；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，通过辐照室屋顶上的孔洞直接照射入主机室内形成的散射辐射场；尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与加速器钢筒作用产生的束流损失辐射场。

（1）由于沿与电子束入射方向成180°方向的次级散射X射线能量较低，当穿过孔洞后，将直接照射到加速器钢筒底部，由于主机室地板孔洞尺寸要小于加速器筒体直径，该散射线将受到加速器底部钢筒及主机室墙体的进一步屏蔽后，对主机室外的辐射影响很小。

（2）根据加速器生产厂商（山西壹泰科电工设备有限公司）提供的数据可知，本项目2#加速器束流损失点能量为0.5MeV，损失点束流强度小于1μA，考虑0.5MeV下入射电子能量在90°方向的X射线对关注点的影响。

（3）二层和三层主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑与入射电子束成105°到180°方向的韧致辐射初级X射线经过辐照室屋顶屏蔽对室外关注点的影响。

1.3.2 主机室束流损失辐射场屏蔽计算

主机室钢桶束流损失点90°方向的X射线发射率保守按照0.5MeV入射电子能量在90°方向的X射线发射率取值，即 $0.07\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，则 $D_{10}=60\times 0.07\times 1\times 10\times 0.5=2.1\times 10^{-3}\text{Gy/h}$ 。对0.5MeV入射电子能量可查表A.4通过线性外推法得90°方向的初级X射线等效能量约为0.4MeV。主机室束流损失计算参数及屏蔽效果估算结果如下。

表11-6 加速器主机室吸收剂量率计算参数一览表

参数	数值	来源
设备束流损失	损失点能量0.5MeV，束流损失强度 $<1\mu\text{A}$	设备厂商
$Q\text{（Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min）}$	0.07	HJ979-2018
X射线发射率修正系数	0.5	
等效电子线能量	0.4MeV	
90°方向距靶1m处的吸收剂量率 D_{10}	$2.1\times 10^{-3}\text{Gy/h}$	计算

什值层（TVL）cm	0.4MeV				根据HJ979-2018表A.2和表A.3数据采用线性外推法推算
	类别	混凝土	铁	铅	
	T ₁	14.54	3.46	0.3	
	Te	11.28	2.96	0.92	

在对主机室钢桶束流损失的直射屏蔽效果进行预测时，主要考虑二层主机室四周屏蔽体的屏蔽效果。辐照室直射辐射屏蔽预测点位示意图见下图，计算参数及参考点辐射剂量率见下表。

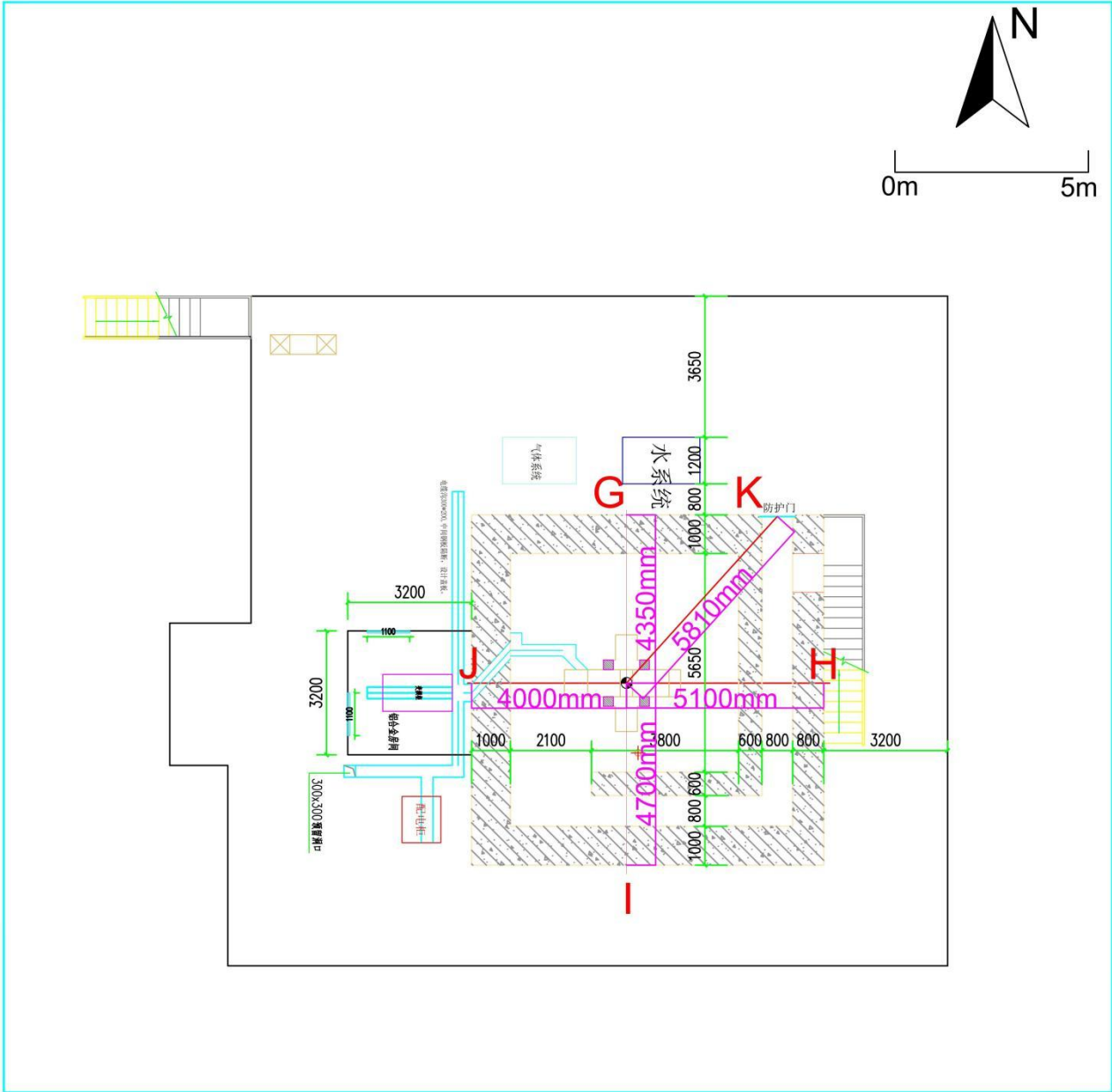


图11-3 二层主机室四周直射屏蔽体关注点示意图

表11-7 主机室（二层）直射辐射计算参数及参考点剂量率一览表

关注点参数	2#加速器机房二层主机室				
	G点 二层主机室北墙 外	H点 二层主机室东墙 外	I点 二层主机室南墙 外	J点 二层主机室西墙 外	K点 二层主机室迷道 出口防护门内侧
D_{10} (90°) (Gy/h)					
S (cm)					
T_1 (cm)					
T_e (cm)					
B_x					
T (保守取1)					
d (m)					
H_M (μSv/h)					

注：屏蔽厚度S与计算距离d均按CAD设计图量取，关注点计算距离d均按辐射源至屏蔽体外表面距离+0.3m。

1.3.3 二层主机室反散射屏蔽效果计算

二层主机室设有迷道，加速器钢桶束流损失产生的射线至少需经过2次散射后方可到达迷道出口。散射示意图见下图，迷道散射面积、散射距离等计算参数及剂量率结果见下表。

表11-9 主机室迷道出口处辐射剂量率计算结果（不考虑防护门）

关注点	直射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	散射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	迷道出口剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
主机室迷道出口			

由表11-4的预测结果可以看出，在二层主机室迷道出口未采取屏蔽措施时的辐射剂量率约为 $1.42 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量限值要求。二层机房迷道出口拟设置防护门（内衬5mm铅），经防护门屏蔽后，辐射剂量率可进一步降低（小于 $1.42 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ）。

综上，二层主机室四周墙体及迷道出口防护门外30cm处的辐射剂量率均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的剂量限值要求。

1.3.4 主机室贯穿辐射场屏蔽计算

机房二层和三层主机室周围受到的贯穿辐射影响主要包括：辐照室内的X射线穿过辐照室顶部（主机室地板）对主机室周围的影响。为安全起见，本项目 105° 到 180° 方向的发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数，预测点位见下图。本项目加速器机房主机室屏蔽墙贯穿辐射剂量预测参数及结果见下表。

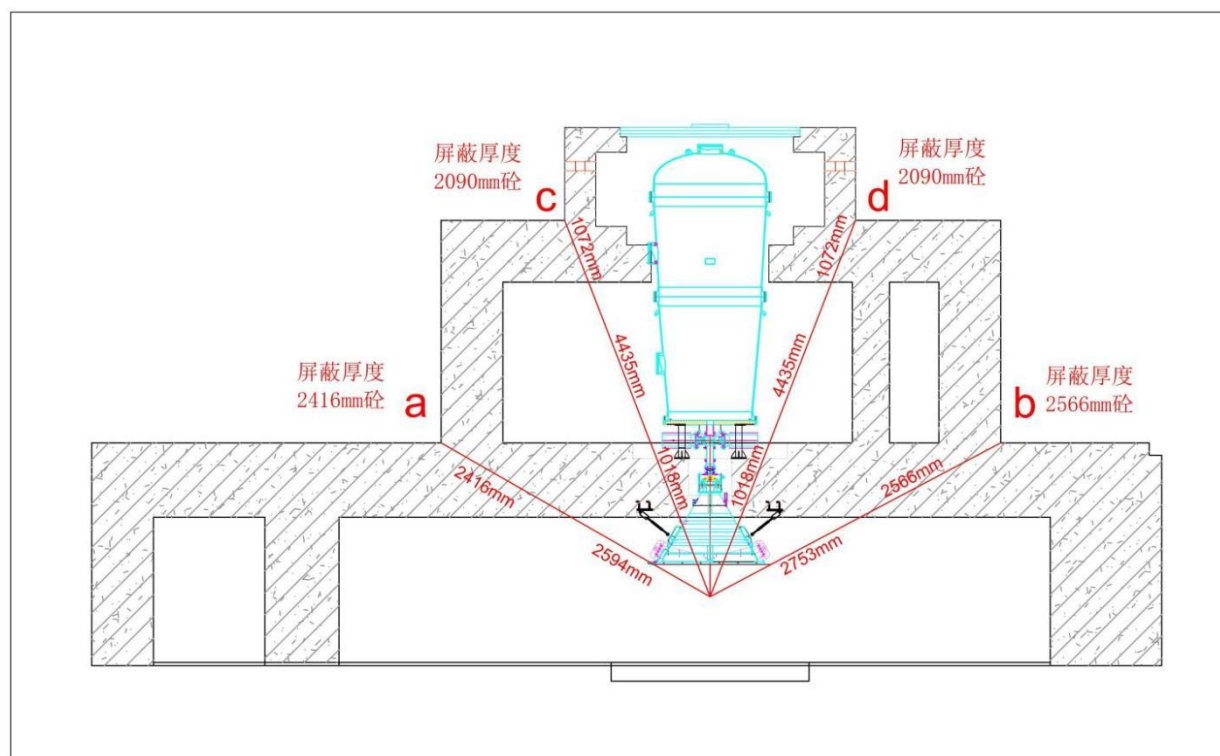


图11-5 主机室周围辐射剂量预测示意图（南北向立面）

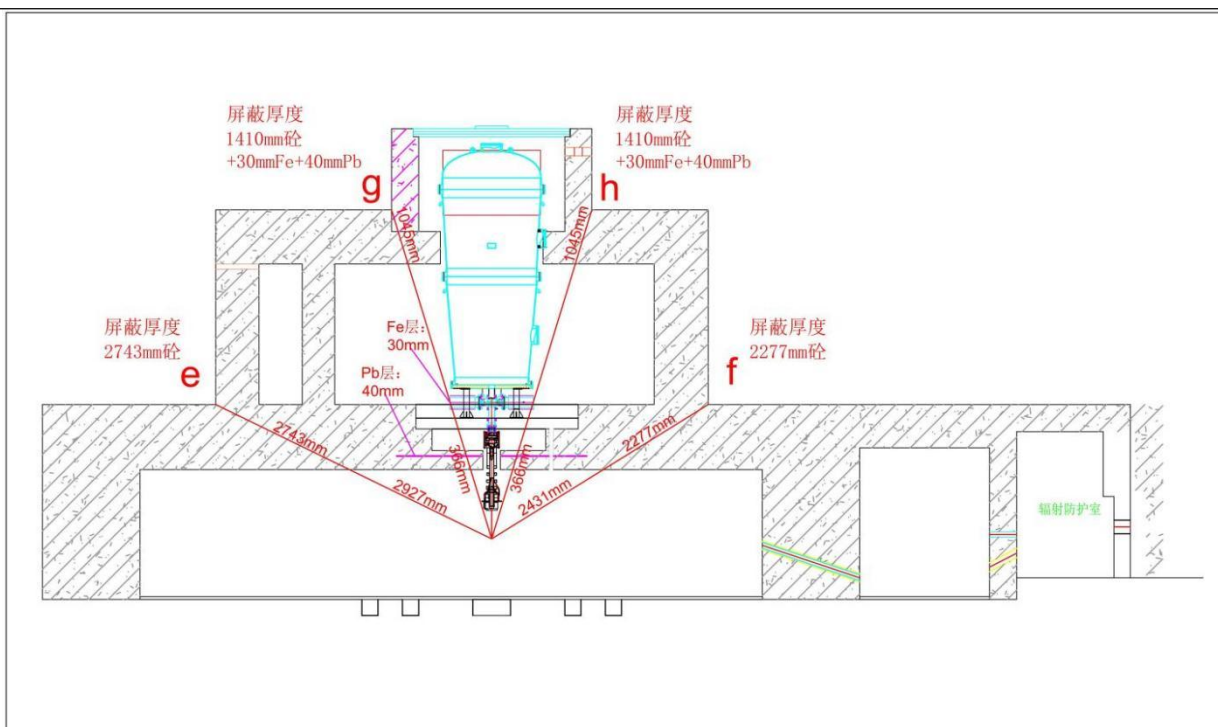


图11-6 主机室周围辐射剂量预测示意图（东西向立面）

表11-10 主机室周围贯穿辐射计算参数及参考点剂量率一览表

关注点参数	2#加速器主机室（3.0MeV/33.33mA）							
	a 二层主机 室北墙外	b 二层主机 室南墙外	c 三层主机 室北墙外	d 三层主机 室南墙外	e 二层主机 室东墙外	f 二层主机 室西墙外	g 三层主机 室东墙外	h 三层主机 室西墙外
D_{10} （90°） （Gy/h）								
S（cm）								
T_1 （cm）								
T_e （cm）								
B_x								
T（保守取1）								
d（m）								
H_M （ μ Sv/h）								

注：屏蔽厚度S与计算距离d均按CAD设计图量取，其中计算距离d均按靶点至屏蔽体外表面距离。

由上表预测结果可知，辐照室内的X射线穿过辐照室顶部（主机室地板）对主机室周围影响的最高剂量率为0.331 μ Sv/h，加速器主机室周围能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“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”的剂量限值要求。

1.3.5 机房束流损失与贯穿辐射的叠加影响

机房束流损失辐射剂量与辐照室屋顶贯穿辐射剂量的叠加情况如下。

表11-11 主机室周围束流损失及贯穿辐射叠加剂量率一览表

关注点位置	剂量率 μ Sv/h	关注点位置	剂量率 μ Sv/h	剂量率叠加值 μ Sv/h
G点 二层主机室北墙外		a点 二层主机室北墙外		
H点 二层主机室东墙外		e点 二层主机室东墙外		
I点 二层主机室南墙外		b点 二层主机室南墙外		
J点 二层主机室西墙外		f点 二层主机室西墙外		

由上表叠加预测结果可知，机房二层主机室四周关注点叠加剂量率符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“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”的剂量限值要求。

1.4 天空反散射及屋顶侧向散射的分析

由表11-5中主机室顶部关注点最高剂量率为0.331 μ Sv/h，能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“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”的剂量限值要求。主机室顶部关注点剂量率预测值较小，通过主机室屋顶的韧致辐射（X射线）对周围地面关注点的天空反散射影响很小，且本项目建址周围无高层建筑，因此不再进行X射线穿过屋顶后的侧向散射影响预测计算。

2、辐射工作人员和公众剂量分析

本项目周围无高层建筑，50m评价范围内无居民区或学校等环境敏感目标。因此本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员、50m范围厂区内其他非辐射工作人员及50m范围厂外公众。

本项目实行三班制，加速器年开机曝光时间约为6000h，每班辐射工作人员年工作时间

为2000h。2#加速器机房周围其他工作人员和公众年受照时间保守取2000h。计算结果见下表。

表11-12 加速器运行时周围辐射工作人员及公众年有效剂量一览表

辐射源	参考点位置	人员类型	居留因子	剂量率* ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv/a)
2#加速器机房	辐照室西墙外30cm（控制室）人员	职业	1		
	辐照室西墙外30cm人员	职业	1/4		
	辐照室北墙外30cm人员	职业	1/4		
	辐照室西侧防护门外30cm人员	职业	1/4		
	辐照室西墙外5m人员（收放线区）	职业	1		
	现有车间南侧外30cm人员 （距离加速器27m）	公众	1/4		
	辐照室西墙外线缆成圈区人员 （距离加速器40m）	公众	1		
	辐照室东墙外厂区道路行人 （距离加速器10m）	公众	1/4		
	辐照室东北侧门卫室人员 （距离加速器41m）	公众	1		
	森萨塔公司西南侧人员 （距离加速器45m）	公众	1/4		

注：*剂量率根据前文预测结果或采用相同方法补充预测得出。

由上表计算结果可知，本项目2#加速器机房辐照室及主机室周围辐射工作人员及公众的年受照剂量均能够满足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的剂量约束值要求。

综上所述，本项目电子加速器投入运行后，辐射工作人员及周围公众年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目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）。

3、线缆进出口管道辐射环境影响分析

本项目加速器机房一层辐照室设有线缆进出线孔，线缆通过“—”型和“一”型导管（分别与水平面呈162°和27°）分别穿过辐照室和辐射防护室墙体，由图11-4可知辐照室内的X射线至少经过3次以上的散射路径才会到达出口。根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以

上散射才能到达出口处。实例也证明，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”。因此，本项目加速器辐照室线缆进出口管道设计能够满足辐射防护的要求。

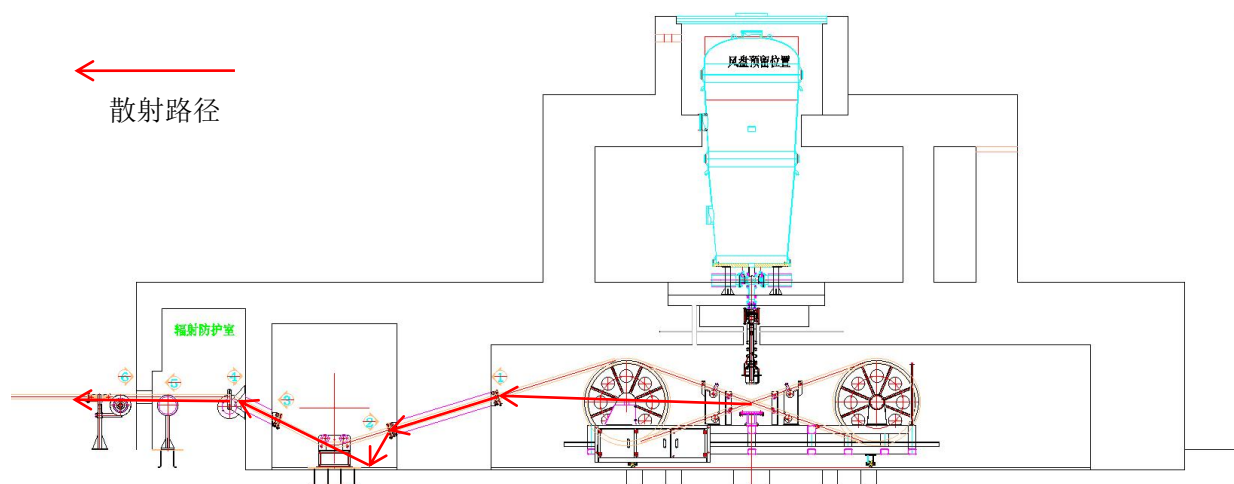


图11-7 线缆进出孔处X射线散射路径示意图

4、通风管道辐射环境影响分析

本项目加速器机房的辐照室和二层主机室内设计了独立的“U”型通风管道进行换气排风，辐照室内束下装置下方北侧设置进风口，二层主机室设置排风管通往辐照室。加速器束下装置的正下方设置不锈钢吸收板，不锈钢板的面积大于吸风口管道的截面积，使射线不会垂直射入吸风口内，电子线在线缆或者不锈钢吸收板处由韧致辐射产生的X射线至少会在辐照室内墙或地面散射1次后才能以较小的入射角度进入吸风口。由图11-5可知辐照室内的X射线至少经过3次以上的散射路径才会到达出口。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。实例也证明，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”。因此，本项目加速器辐照室通风管道设计能够满足辐射防护的要求。

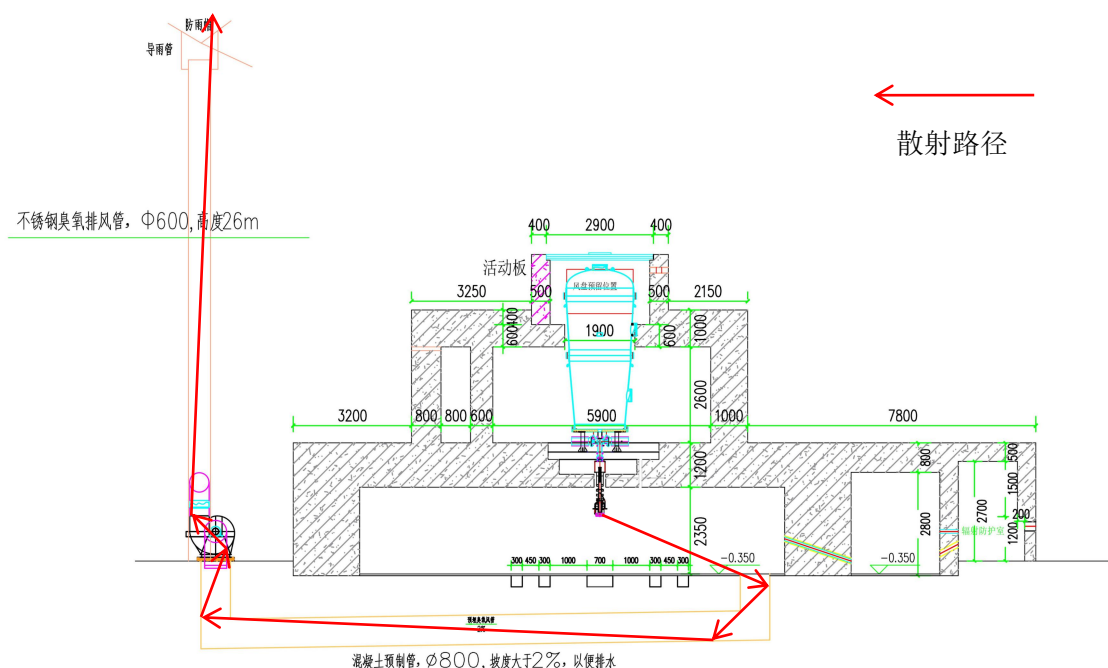


图11-8 通风管道处X射线散射示意图

5、穿墙管道辐射环境影响分析

本项目一楼不锈钢水管（排水管和自来水供水管除外）均采用“U”型埋敷，二楼水管除辐照室钛窗冷却水管和吸收靶水管采用“Z”型预埋外，其余均采用“U”型方式敷设；六氟化硫预埋管采用“U型敷设”，钛窗和束下风机穿线管采用“U”型敷设，束下设备穿线管全部采用“Z”型敷设。

采用Z形或U形敷设可通过多次折弯形成物理屏障，避免管道与墙体之间形成直通缝隙，防止高能射线沿直线路径泄漏至非控制区域，同时折弯设计可使射线在穿透过程中发生多次散射，增加射线与屏蔽材料（如铅、混凝土）的相互作用次数和时间，从而提升总衰减效果，管道本身的金属材质（如钢）可结合铅层等防护材料，进一步吸收次级辐射。因此，本项目加速器穿墙水管等设计能够满足辐射防护的要求。

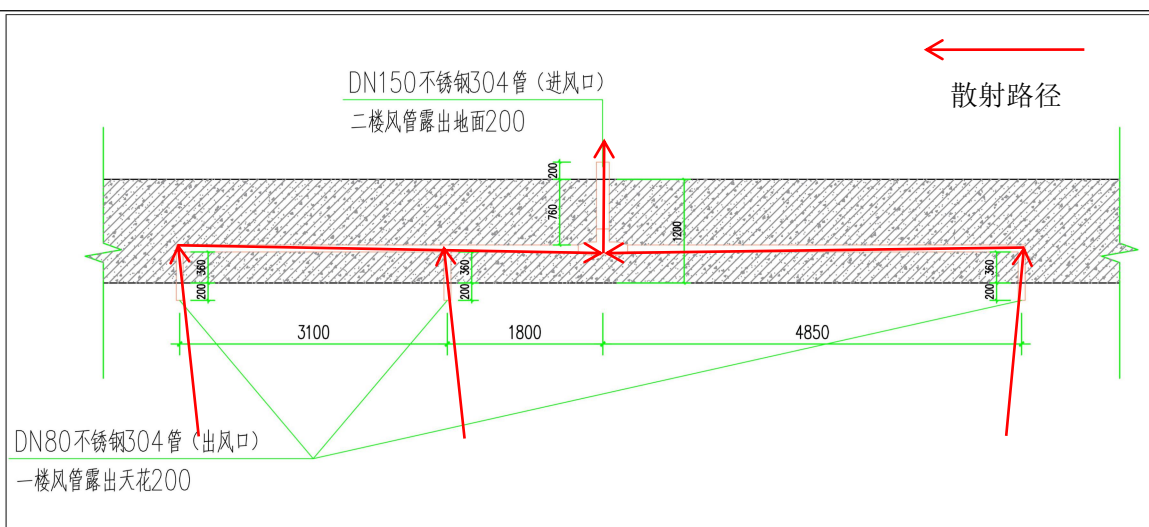


图11-9 穿墙管道X射线散射示意图

6、非辐射环境影响分析

加速器运行期间，噪声源主要来自冷却水循环水泵、高频机、风机，对上述设备安装减振及实体隔离等措施，再经过距离衰减后，噪声对厂界外声环境影响较小。

加速器和束下吸收靶冷却采用循环水冷却，电子加速器采用双循环系统制冷冷却，消耗水量很小，采用自动补水方式，水质净化安装在制冷机内部，定期清理，吸收靶冷却采用开环循环的冷却塔冷却，自来水自动补水。产品喷淋冷却水回收循环利用，不存在废水排放问题。

加速器在工作时，电子束流会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。氮氧化物的产额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臭氧的产生及其处理方式。

本项目加速器机房的辐照室内设计了独立的通风管道对辐照室进行换气排风，辐照室内束下装置东侧设置进风口，排风管道垂直向下到达距离地面1.5米深后，变为水平方向引到辐照室东侧的烟囱处，然后再变为垂直地面的风管，最后到达车间外距离地面至少26米处高空排放。地下通风管道为U型，在不破坏机房墙体屏蔽的情况下，利用风机将辐照室内臭氧和氮氧化物抽出，最终排入大气中。

6.1 臭氧的产生及其防护

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

(1) 臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45 \cdot d \cdot I \cdot G \cdots \cdots \text{公式11-8}$$

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；按50mA预测；

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，取48.6cm（辐照窗至不锈钢吸收靶的距离）；

G—空气吸收100keV辐射能量产生的臭氧分子数，保守值可取为10。

(2) 辐照室臭氧的平衡浓度

在电子加速器正常运行期间，臭氧不断产生，辐照室内臭氧的浓度随辐照时间t的变化按下式计算。

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \cdots \cdots \text{公式11-9}$$

式中：C（t）—辐照室空气中在t时刻臭氧的浓度，mg/m³；

P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

T_e—对臭氧的有效清除时间，h。

$$T_e = T_v \cdot T_d / (T_v + T_d) \cdots \cdots \text{公式11-10}$$

式中：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。

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

$$C_s = P \cdot T_e / V \cdots \cdots \text{公式11-11}$$

式中：C_s—辐照室内臭氧平衡浓度，mg/m³；

T_e—对臭氧的有效清除时间，h；

V—辐照室内部体积，m³。

将参数代入以上公式计算得出，本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度C_s如下表所示：

表11-13 加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

辐照源	d (cm)	I (mA)	G	P (mg/h)	V (m³)	排风速率 (m³/h)	Te (h)	Cs (mg/m³)
2#加速器 辐照室								

注：臭氧计算时保守取最大束流。

(3) 臭氧的排放

由表11-13计算结果可知，电子加速器长期正常运行期间，不考虑排风机的排风能力，电子加速器停机时，辐照室内臭氧浓度远高于GBZ2.1-2019所规定的工作场所最高容许浓度（0.3mg/m³）。因此，当电子加速器停止运行后，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：

$$T = -Te \cdot \ln (C_0/Cs) \dots\dots \text{公式11-12}$$

式中：C₀—GBZ2.1所规定的臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m³；

T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h。

表11-14 使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参数取值	Te (h)	C ₀ (mg/m³)	Cs (mg/m³)	T (min)
2#加速器辐照室				

根据上表计算结果，当加速器停止运行后风机至少需继续运行8.53min以上，人员才能进入辐照室，本项目保守取10min。

(4) 臭氧对大气环境的影响分析

辐照加速器在运行过程中，在不断产生臭氧的同时，臭氧又通过自身的分解和强制通风排出室外而减少，长时间运行后，辐照室内空气中臭氧的浓度会达到稳定饱和值。辐照机房臭氧长期稳定的排放速率Q，是辐照室空气中臭氧的平衡浓度Cs和机房风机排风量L决定，本项目加速器机房臭氧长期稳定排放速率Q（g/s）=Cs×L/（3600×1000）。另外加速器机房臭氧长期稳定排放烟气流速（m/s）应为风机流量除以通风管道的截面积（管径为0.6m，室外高度为26m），为11.79m/s。在分析臭氧排放对周围环境的影响时，以此排放速率及烟气流速来预测臭氧落地浓度。

排放的臭氧的最大落地浓度增量，采用《环境影响评价技术导则--大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的估算模式AERSCREEN计算（点源，高斯扩散模型）。将加速器机房排气筒的臭氧排放速率、排放浓度，以及排气筒参数分别代入大气估算模式AERSCREEN程序，估算模型

参数及预测结果见下表。

表11-15 本项目点源（臭氧）排放参数表及预测结果

废气类型	排放速率（g/s）	烟气流速（m/s）	1h最大落地浓度(μg/m ³)	最大落地距离（m）
O ₃				

由上表预测数据可知，2#加速器机房运行时排放的臭氧的占标率为23.92%，最大落地浓度为47.84μg/m³，小于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级浓度限值O₃的1小时平均浓度限值200μg/m³。臭氧的有效分解时间为50分钟，因此本项目机房O₃的排放对周围大气环境的影响较小。

与现有项目（1#加速器机房）臭氧排放的叠加影响：现有项目1#加速器机房使用的加速器最大电子束能量为2MeV（小于本项目2#加速器），年出束时间与本项目基本相当，臭氧排放1h最大落地浓度不会超过本项目（小于47.84μg/m³），因此叠加后1h最大落地浓度不会超过95.68μg/m³，低于200μg/m³的限值。

综上所述，本项目按要求设置通风设施后，废气治理措施能够满足相关要求。

事故影响分析

1、潜在事故分析

本项目加速器的辐照室计划配备多重安全联锁装置，包括门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁、防人误入装置安全联锁，并设置了拉线开关、巡检按钮、开门开关等安全装置，以上措施满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）关于纵深防御、冗余性、多元性、独立性的辐射安全原则，均可确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，有效提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。因此正常情况下发生辐射事故的概率很低，但安全联锁部分或全部失效后，装置的纵深防御能力会降低，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。

项目可能发生的事故情形如下：

（1）由于安全联锁装置失灵，电子加速器开机辐照时，防护门未完全闭合，人员误入或加速器运行中门被打开时加速器不能自动停机，造成意外照射；

（2）机器调试、检修时误照射。装置在调试或检修过程中，责任者脱离岗位，不注意防护或外来人参与时误开机使人员受到照射。

（3）巡检系统失效、人员误入、检维修期间联锁失灵、屏蔽受损等潜在事故造成误照射。

一旦发生误照事故，处理步骤包括：

（1）立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，辐射工作人员立即就近按下急停按钮，同时公司配电房内工作人员接到通知后第一时间通过远程操作，断开加速器供电总电源阀，停止射线装置出束。

（2）及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

（3）及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划地进行处理，缩小事故影响，减少事故损失。

（4）事故处理后应收集资料，及时总结报告。建设单位对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的医学检查及结果；采取的纠正措施；事故的可能原因；为

防止类似事件再次发生所采取的措施。

2、辐射事故预防措施

(1) 定期检查辐照室的联锁装置、巡检按钮、报警灯、电笛、通风系统和冷却水系统等安全设施及其他各项辐射安全与防护设施，保证各项辐射安全与防护设施的正常运行。相关辐射安全与防护设施出现故障或失效时，应停止辐照装置的运行并及时维修，严禁设备带故障运行。

(2) 做好设备的保养维护工作，定期进行维护维修。

(3) 制定详细的安全管理制度和安全操作规程，严格按照操作规程进行作业，确保安全。

(4) 加强辐射工作人员的辐射安全教育和培训，确保辐射工作人员具备良好的辐射安全文化素质和专业知识。

(5) 设备调试、检修有外来人员参与时，应注意防护，责任者全程陪同，做好钥匙开关的保管工作。

针对以上可能发生的事故风险，公司应制定根据事故工况情况，针对性提出企业应完善相关处置、预防措施相关内容，对应完善辐射事故应急相关内容和辐射事故应急方案，依照《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发〔2006〕145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康部门报告。

3、非辐射事故处置方法及预防措施

主机室加速器钢桶内的SF₆在电弧及电晕的作用下会分解产生低氟化合物，这些化合物会引起绝缘材料的损坏，且这些低氟化合物是剧毒气体。

当该气体产生泄漏时，人员应迅速撤离现场，并开启车间内的排风装置。如发现人员中毒应及时就医。

应根据现场情况合理配备相应防护用品，包括护目镜及防毒面罩等。

表12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用Ⅱ类射线装置的单位，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，并以文件形式明确管理人员职责。

公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。公司已根据现有加速器制定相关文件，明确公司相关辐射项目的管理人员及其职责，后续应将新增的辐射工作人员纳入管理。公司拟为本项目配备6名辐射工作人员，从事辐射工作的人员均应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告2019年第57号）：“自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核（现有项目辐射安全管理人员未进行培训考核）。公司辐射工作人员、辐射安全管理人员和原有项目辐射安全管理人员均应参加辐射安全和防护的考核，其中辐射工作人员考核类别为“电子加速器辐照”，辐射安全管理人员考核类别为“辐射安全管理”，通过考核后方能从事本项目辐射工作。考核合格的人员，每5年接受一次再考核（公司现有项目辐射工作人员培训考核证书见附件10）。

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》的有关要求，使用射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。

公司已制定相关制度，并在以后的实际工作中不断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。

现有项目规章制度执行落实情况：

公司现有项目已按要求制定辐射安全相关的规章制度，包括：加速器操作规程、辐射防护人员岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、加速器安全装置定期检查与维护制度、人员培训计划、射线装置台账管理制度、个人剂量与辐射环境监测方案、辐射事故应急预案。公司已按要求落实以上制度。

本项目各项规章制度建议和要求如下：

（1）辐射防护和安全保卫制度：公司已制定《辐射防护和安全保卫制度》，明确了加速器运行时辐射安全管理内容，还应补充完善加速器维修时辐射安全管理内容。

（2）操作规程：公司已制定《加速器操作规程》，明确了加速器开机前检查程序、开机操作程序及停机操作程序内容及要点，还应补充明确辐射工作人员的资质条件要求。

（3）设备维修制度：公司已制定《加速器安全装置定期检查与维护制度》，明确在加速器检修维修过程中以及发生故障时采取的措施，以及相关责任人员的职责。还应确保剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

（4）岗位职责：公司已制定《辐射防护人员岗位职责》，明确了管理人员、辐射工作人员、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，并层层落实。

（5）人员培训计划和健康管理制：公司已制定《辐射工作人员培训计划》，明确了培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并补充对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据18号令及《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》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

（6）异常上报制度：应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在1小时内向县（市、区）或者设区的市环境保护行政主管部门报告。应当对辐射工作人员进行个人剂量监测，建立个人剂量档案，发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起5日内报告发证的环境保护、卫生部门调查处理。

（7）使用登记制度：公司已制定《射线装置台账管理制度》，明确了射线装置的登记内容及使用人员，后续应将本项目2#加速器纳入管理范围。

（8）监测方案：公司已制定《辐射环境监测方案》，明确了监测频次和监测项目，后续应将本项目2#加速器纳入管理范围。

本项目还应重点关注以下内容：

①将本项目加速器及拟配备的工作人员纳入监测方案中；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

③对发生辐射事故处理进行全程监测；

④公司应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

⑤委托有资质检测单位对本公司的射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至国家核技术利用申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

现有制度根据上述要求更新完善后具有较高的可行性和可操作性。

辐射监测

现有项目辐射监测情况：公司现有项目每年开展一次辐射环境剂量监测，每季度开展一次个人剂量监测，此外每班工作人员在开展工作前均按要求对加速器机房进行一次辐射工作环境检测，所有监测报告都已留档。

本项目建成后，还应落实以下辐射监测要求。

1、监测方案

①个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求，公司应安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，拟为本项目辐射工作人员佩戴个人剂量计，并委托有资质的检测机构进行检测（送检周期一般为一个月，最长不应超过三个月），检测数据填入个人剂量档案。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修正本）》的规定，个人剂量档案内包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，应当长期保存；根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第18号）的规定，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

②工作场所辐射水平监测

本项目建成投产后，公司应定期（不少于1次/年）请有资质的单位对本项目辐射工作场

所和周围环境的辐射水平进行监测；在开展调试工作时，公司应定期对辐射工作场所及周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录。辐射监测方案见表12-1。

表12-1 辐射监测方案表

监测对象	监测因子	监测方式	监测周期	监测点位
2#加速器机房	X- γ 辐射剂量率	竣工验收监测	1次	辐照室屏蔽体外30cm、主机室屏蔽体外30cm，每侧至少3个点； 公众可达的监督区边界处； 其余应关注位置：监督区内人员经常活动的位置，比如控制室、收放线工位，穿墙管线外30cm等。
		辐射年度检测，需委托有资质第三方监测	至少1次/年	
		自行监测	1次/季度	

③职业健康监测

根据《放射工作人员职业健康管理辦法》：

a.辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。

b.建设单位应当组织上岗后的辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

c.辐射工作人员脱离工作岗位时，建设单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

2、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，开展工业辐照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。

公司现有项目已配备1台X- γ 辐射剂量巡测仪，拟为本项目新配备6台个人剂量计、6台个人剂量报警仪、1台便携式辐射监测报警仪。项目运行后应定期对检测系统周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

项目运行后应定期对装置周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。辐射剂量巡测仪及个人剂量报警仪应根据项目实际运行情况，合理设定报警阈值。若在作业过程中，辐射剂量巡测仪或者报警仪突然发生报警，应立刻切断控制台供电电源，装置停止曝光，查找原因并及时纠正错误，如果发生人员长时间受照的情况，还应及时安排人员就医并上报主管部门。

公司还应定期检查装置配备的辐射防护措施及监测仪器状态，及时盘点数量，发现配备的监测仪器无法满足项目要求时，应及时维修或补充。

落实以上措施后，本项目所配备的监测仪器能够满足相关管理要求。

辐射装置的维护与维修

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视（检查）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

一、日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应包括以下内容：

- （1）工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- （2）辐照装置安全连锁控制显示状况；
- （3）个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状态。

二、月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查，发现异常情况时必须及时修复或改正，月检查项目至少应包括：

- （1）辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- （2）控制台及其他所有紧急停止按钮；
- （3）通风系统的有效性；
- （4）验证安全联锁功能的有效性；
- （5）烟雾报警器功能正常。

三、半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每6个月定期进行检查，发现异常情况时必须及时采取改正措施。其检查范围至少应包括：

- （1）配合年检修的检测；
- （2）全部安全设备和控制系统运行状况，辐照装置营运单位必须建立与项目有关的运行及维修维护记录制度。

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，公司针对辐照加速器项目可能产生的辐射事故情况已经制定了事故应急方案，目前公司执行的应急预案内容主要涵盖了以下内容：

(1) 应急机构和职责分工。已明确事故应急救援指挥机构的组成、职责及分工。

(2) 应急人员的组织、培训。已明确应急人员的组织、培训、应急演练。

(3) 应急响应措施。已明确发生辐射事故时应采取的控制措施和事故发生后采取的步骤内容。

还应对照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，修改补充完善以下内容：

(1) 应急和救助的装备、资金、物资准备。

(2) 辐射事故分级。

(4) 辐射事故调查、报告和处理程序。

(5) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，在两小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告。根据《江苏省辐射污染防治条例》要求，在事故发生后一小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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。

公司现有项目已按照辐射事故应急预案的要求定期开展了应急演练，现有项目此前未发生过辐射安全事故。本项目建成后，在以后的工作中需要不断对应急预案进行完善，并加强应急演练，使其具有较强的针对性和可操作性。

落实以上要求后，该公司的辐射事故应急措施能够满足辐射安全的要求。

表13 结论与建议

结论

1、实践正当性分析

公司在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将辐射产生的影响降至尽可能小。本项目的建设将用于电线电缆的辐照改性，可创造更大的经济效益和社会效益，经落实辐射安全与防护管理措施后，带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

2、辐射安全与防护分析结论

2.1 项目位置及选址合理性分析

本项目位于常州市新北区创新大道88号，厂区东侧为创新大道，南侧为森萨塔科技（常州）有限公司，西侧为常州士林汽车零部件有限公司，北侧为新四路。本项目2#加速器机房位于拟建的新能源车间东侧，机房西侧车间内依次为线缆收放线区域和线缆成圈和包装区域，机房南侧车间外为厂区内道路，机房东侧车间外为厂区内道路、门卫室和创新大道，机房北侧新能源车间外为原有项目厂房。本项目建址周围无高层建筑，50m评价范围内无居民区或学校等环境敏感目标，项目选址合理。

2.2 项目分区及布局分析

本项目2#加速器机房为二层结构，一层为辐照室，二层和三层为主机室。一层辐照室四周墙体（含迷道墙）、辐照室顶部及二层主机室四周墙体（含迷道墙）采用混凝土结构，三层主机室顶部采用不锈钢盖板。辐照室及主机室的防护门采用铅板结构。本项目加速器工作场所布局合理。

本项目拟将加速器机房辐照室（含迷道）、辐射防护室及二层和三层主机室（含迷道）划为辐射防护控制区，控制区边界拟设置实体屏蔽设施，在控制区边界合适部位如辐照室（或主机室）防护门表面设置电离辐射警告标志及中文警示说明等，加速器工作过程中，任何人不得进入控制区内，辐射工作人员需要进入控制区时，首先应关闭加速器电源，拔下控制台钥匙开关的钥匙，用该钥匙打开防护门外的电控柜开关，防护门打开，人员方可进入。本项目拟将加速器机房一层加速器控制室、辐照室周边相邻区域（其中3#机房预留位置本次不建设，暂设为监督区）、通往二层的钢结构楼梯、二层平台（不包括主机室）、通往三层的钢结构楼梯、三层平台（不包括主机室）划为辐射防护监督区，控制室门口设置电离辐射警

示标志，控制室拟设置实体边界，二层平台其他区域和辐照室西侧收放线区域（包括线盘货架）监督区边界拟设置实体围栏，并在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员严格限制进入。两区划分符合《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。

2.3 辐射环境现状评价

本项目拟建2#加速器机房周围道路处的 γ 辐射剂量率为（42.0~47.3）nGy/h之间，检测结果处于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率测值范围内。

2.4 辐射安全措施

本项目加速器机房拟设计安装的辐射安全装置和保护措施主要包括：加速器控制柜配备有钥匙开关，钥匙参与加速器开机前的巡检及控制加速器系统的运行，钥匙与一台便携式辐射监测报警仪相连，如从控制台上取出该钥匙，加速器会自动停机；加速器辐照室、主机室、辐射防护室都设置了防护门且与加速器高压联锁；加速器辐照室设置了束下装置与加速器的安全联锁；辐照室防护门外设置工作状态指示灯及信号牌，在主机室防护门外设置信号牌，在辐照室及主机室内均设置电笛，工作状态指示灯、信号牌及电笛与加速器高压联锁；辐照室及主机室不同位置设置巡检按钮（辐照室内部4个、辐照室迷道2个、辐照室防护门外1个、辐射防护室1个、辐射防护室防护门外1个，主机室内部5个、主机室防护门外1个），只有每个巡检按钮分别被按序按下和拔起，安全联锁系统才能被建立；加速器机房辐照室防护门内侧及主机室防护门内侧各设置4组相互独立的光电开关，均与电子加速器联锁；辐照室及主机室墙上安装拉线开关并覆盖全部区域，拉线开关与加速器联锁；辐照室的迷道及主机室内设置固定式辐射监测系统探头，与加速器实现剂量联锁；辐照室内设置排风机与控制系统联锁；辐照室内设置烟雾报警装置，并与通风系统联锁；辐照室及主机室内设置视频监控装置，保证全覆盖。辐照室及主机室防护门表面拟张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中相关要求，项目设计安全可行，落实以上措施后，能够满足辐射安全的要求。

2.5 辐射安全管理

公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。同时在本项目运行前，根据工作实际，进一步完善适合本单位的辐射安全管理制度。本项目辐

射工作人员将通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，通过培训平台报名并参加考核，考核合格后上岗；辐射工作人员将开展职业健康监护和个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。公司现有厂区已配备1台环境辐射剂量巡测仪，将为本项目加速器配备6台个人剂量计、6台个人剂量报警仪、1台便携式辐射监测报警仪（巡测仪）。

落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

3、环境影响分析结论

3.1 辐射防护影响预测

根据理论预测结果，本项目运行后，2#加速器机房周围的辐射剂量率能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的辐射剂量率控制水平。

3.2 保护目标剂量

根据理论估算结果，公司扩建工业电子加速器辐照装置项目在做好防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的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》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：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。

3.3 三废处理处置

本项目运行过程中没有放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。

本项目加速器机房的辐照室内将配备一台离心式高压风机，风机的最大排风量约为12000m³/h，辐照室每小时换气次数约为39次。在加速器停止工作后，通风装置继续工作10min，辐照室内的臭氧浓度可低于GBZ2.1-2019规定的臭氧的最高容许浓度（0.3mg/m³）。本项目噪声源采取安装减振及实体隔离等措施后，对外界的影响较小。水冷机组冷却水循环使用不对外排放。工作人员产生的生活污水拟排入城市污水管网，生活垃圾收集后将交由城市环卫部门处理。

3.4 可行性分析结论

综上所述，公司扩建电子加速器辐照装置项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该公司将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

（1）该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，避免意外事故造成公众和职业人员的附加影响。

（2）各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

（3）定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

（4）根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》第十二条规定，除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过3个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过12个月。建议建设单位在本项目环保设施竣工后应及时进行竣工环保验收。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	公司已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确了管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	0
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目2#加速器机房四周墙壁、顶面均采用混凝土进行辐射防护，防护门均为5mm铅当量。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	40
	安全措施：本项目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、烟雾报警等。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)的相关要求。	
	通风设施：本项目2#加速器机房拟设置排风机1台，设计排风量为12000m³/h。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)的相关要求。	
人员配备	辐射工作人员和辐射安全管理人员均应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	5
	辐射工作人员随身佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪1台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	3
	拟增配备：个人剂量计6台、个人剂量报警仪6台、便携式辐射监测报警仪1台。		
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	2
总计	/	/	50

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人

公 章

年 月 日

审批意见

经办人

公 章

年 月 日