

核技术利用建设项目

江苏亨通电力电缆有限公司  
扩建 5 台电子加速器辐照装置项目  
环境影响报告表

江苏亨通电力电缆有限公司

2024 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江苏亨通电力电缆有限公司

扩建 5 台电子加速器辐照装置项目

环境影响报告表

建设单位名称：江苏亨通电力电缆有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省苏州市吴江区七都镇心田湾

邮政编码：215234

联系人：刘\*\*

电子邮箱：liuzx@htgd.com.cn

联系电话：139\*\*\*\*3542

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	- 1 -
表 2 放射源 .....	- 5 -
表 3 非密封放射性物质 .....	- 5 -
表 4 射线装置 .....	- 6 -
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 .....	- 19 -
表 9 项目工程分析与源项 .....	- 24 -
表 10 辐射安全与防护 .....	- 38 -
表 11 环境影响分析 .....	- 56 -
表 12 辐射安全管理 .....	- 85 -
表 13 结论与建议 .....	- 90 -
表 14 审批 .....	- 96 -
附图 1 江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目 .....	- 97 -
地理位置示意图 .....	- 97 -
附图 2 江苏亨通电力电缆有限公司厂区平面布置及周围环境示意图 .....	- 98 -
附图 3 江苏亨通电力电缆有限公司辐照扩能车间平面布置示意图（一楼） .....	- 99 -
附图 4 江苏亨通电力电缆有限公司辐照扩能车间平面布置示意图（二楼） .....	- 100 -
附图 5 江苏亨通电力电缆有限公司辐照扩能车间立面布置示意图（东西方向） .....	- 101 -
附图 6 加速器机房平面设计示意图（1） .....	- 102 -
附图 7 加速器机房平面设计示意图（2） .....	- 103 -
附图 8 加速器机房立面设计示意图（1） .....	- 104 -
附图 9 加速器机房立面设计示意图（2） .....	- 105 -
附图 10 加速器机房立面设计示意图（3） .....	- 106 -
附图 11 加速器钢桶屏蔽设计示意图 .....	- 107 -

附件 1：项目委托书 ..... - 108 -

附件 2：射线装置使用承诺书 ..... - 109 -

附件 3：辐射安全许可证 ..... - 110 -

附件 4：原有核技术利用项目环保手续履行情况 ..... - 113 -

附件 5：立项备案及土地使用证明 ..... - 121 -

附件 6：建设单位营业执照 ..... - 126 -

附件 7：辐射环境现状监测报告 ..... - 127 -

附件 8：江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 ..... - 136 -

附件 9：现有辐射安全管理规章制度 ..... - 143 -

附件 10：辐照车间现有 3#、4#加速器验收检测报告 ..... - 148 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目										
建设单位		江苏亨通电力电缆有限公司 (统一社会信用代码: 91320509628461777A)										
法人代表		王新国		联系人		刘**		联系电话		139****3542		
注册地址		江苏省苏州市吴江区七都镇心田湾										
项目建设地点		江苏省苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号										
立项审批部门		苏州市吴江区行政审批局				批准文号		吴行审备(2024) 98 号				
建设项目总投资 (万元)		****		项目环保总投资 (万元)		****		投资比例(环保 投资/总投资)		28.6%		
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(m²)		2363.8*	
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		/									

\*: 本项目在拟建厂房内建设, 不单独额外占地。

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

江苏亨通电力电缆有限公司(以下简称“公司”)是亨通集团旗下一家重点高新技术企业, 成立于 1999 年, 公司经营范围为研发、生产通信电缆、电力电缆、特种导线、电气装备用电缆、新能源汽车线缆、电缆附件等配件与设备、太阳能发电的投

资运营及相关技术服务、电力能源工程项目的设计等，可研发制造 100kV 及以下各类特种导线、35kV 及以下中低压电缆、光纤复合电缆、电气装备电缆（船缆、风缆、矿缆、光伏电缆等）等产品，建立了一套以中国标准（GB、JB、GJB）、国际电工标准（IEC）以及欧洲标准（EN）、美国标准（ASTM）等国际先进标准为基础的技术保障体系。

江苏亨通电力电缆有限公司分别于苏州市吴江区七都镇人民西路 2288 号和苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号共设有两个厂区，亨通大道 88 号厂区 23#辐照车间内现有 4 台电子加速器辐照装置，用于对公司生产的线缆产品进行辐射交联改性。面对市场快速发展的态势，为扩大产能，公司拟实施“年产节能型环保特种电缆 100 万公里”项目，对亨通大道 88 号厂区进行扩建，于扩建厂区范围内建设 1#综合楼、2#厂房（即辐照扩能车间）、3#厂房及 4#厂房，并于辐照扩能车间内扩建 5 台电子加速器辐照装置，同时将工程布线 8 条产品线调整至新车间，形成无卤布线及光伏产品专业化生产车间。年产节能型环保特种电缆 100 万公里项目备案证及土地使用证见附件 5。

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目为年产节能型环保特种电缆 100 万公里项目的配套建设项目，本项目拟建 5 座加速器机房，南北并列设置；配置 5 台工业电子加速器，由北向南依次为 1#：DD1.5/60-1600、2#：DD2.0/50-1600、3#：DD2.0/50-1600、4#：DD3.0/30-1400、5#：DD4.5/20-1200。

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目基本情况表 1-1。

表 1-1 江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目基本情况一览表

序号	射线装置名称型号	数量	电子线能量 MeV	束流强度 mA	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	用途	环评情况及审批时间
1	DD1.5/60-1600 型电子加速器	1	1.5	60	II 类	辐照扩能车间 1#机房	使用	聚乙烯膜片辐照交联改性	本次环评
2	DD2.0/50-1600 型电子加速器	1	2.0	50	II 类	辐照扩能车间 2#机房	使用		本次环评
3	DD2.0/50-1600 型电子加速器	1	2.0	50	II 类	辐照扩能车间 3#机房	使用		本次环评
4	DD3.0/30-1400 型电子加速器	1	3.0	30	II 类	辐照扩能车间 4#机房	使用		本次环评
5	DD4.5/20-1200 型电子加速器	1	4.5	20	II 类	辐照扩能车间 5#机房	使用		本次环评

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保

其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，江苏亨通电力电缆有限公司需对扩建 5 台电子加速器辐照装置项目进行环境影响评价。

根据《射线装置分类》，工业辐照用加速器属于“**Ⅱ类射线装置**”；根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“**使用Ⅱ类射线装置的**”，应编制环境影响报告表。为此，江苏亨通电力电缆有限公司委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书见附件 1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、收集资料并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

## 二、本项目选址情况及周边保护目标情况

江苏亨通电力电缆有限公司于苏州市吴江区七都镇人民西路 2288 号和苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号共设有两个厂区，扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于亨通大道 88 号厂区辐照扩能车间内。横路港横穿亨通大道 88 号厂区，将厂区分分为东区、西区两个部分，本项目拟建址位于西区部分（以下所述“厂区”均指西区部分）。公司厂区东侧为横路港、河道、鱼塘及农田，南侧为丰田村民居、水塘及农田，西侧为亨通大道，北侧为亨通大道及横路港。本项目地理位置示意图见附图 1，公司厂区平面布置及周围环境示意图见附图 2。

扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于辐照扩能车间，辐照扩能车间东侧拟建厂区道路及停车位，南侧拟建厂区道路及 3#厂房，西侧拟建厂区道路及 1#综合楼，北侧为厂区道路及现有辐照成品仓库、23#辐照车间。辐照扩能车间内部可分为东、西两部分，东部为辐照加工区，厂房为地上一层结构；西区为线缆生产区，厂房为地上二层结构。本项目 5 台加速器南北并列布置于辐照扩能车间东部，由北向南依次为 1#~5#加速器，加速器东侧、南侧均为厂房墙壁，西侧为线缆收发区，北侧为配电房，上方为厂房顶棚，下方为土层。辐照扩能车间平面及立面布置示意图见附图 3 至附图 5。

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目周围 50m 评价范围

均位于公司厂区范围内，项目运行后的主要保护目标为本项目的辐射工作人员、厂内其他工作人员及 50m 评价范围内其他公众等。

### 三、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于苏州市重点管控单元临湖西区工业集聚区（编码：ZH32050920266）内，不在苏州市生态保护红线内，评价范围内不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，能满足重点管控单元的管控要求（详见附件 8，江苏省生态环境分区管控综合查询报告书）。

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

### 四、实践正当性分析

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目，用于对电线、电缆进行辐照加工。项目建成投运后，有利于公司扩大产能，提高电线电缆的产品质量，创造更大的经济效益和社会效益，具备良好的应用前景。在落实本报告提出的辐射安全与防护管理措施后，本项目所产生的环境影响能够得到有效控制，项目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。

### 五、原有核技术利用项目许可情况

江苏亨通电力电缆有限公司现持有辐射安全许可证证书编号为：苏环辐证[E1864]，许可种类和范围为：使用 II 类射线装置，有效期至 2027 年 5 月 31 日，详见附件 3。

公司现有 4 台电子加速器辐照装置为原“新建 4 台电子加速器辐照项目”建设内容，该项目已于 2021 年 7 月 8 日取得苏州市生态环境局的环境影响评价批复，并于 2023 年完成竣工环境保护验收。公司原有核技术利用项目均已履行环保手续（详见附件 4），无历史遗留环保问题。



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 类	1	DD1.5/60-1600	电子	1.5	60	工业辐照	辐照扩能车 间 1#机房	/
2	工业电子加速器	II 类	1	DD2.0/50-1600	电子	2.0	50	工业辐照	辐照扩能车 间 2#机房	/
3	工业电子加速器	II 类	1	DD2.0/50-1600	电子	2.0	50	工业辐照	辐照扩能车 间 3#机房	/
4	工业电子加速器	II 类	1	DD3.0/30-1400	电子	3.0	30	工业辐照	辐照扩能车 间 4#机房	/
5	工业电子加速器	II 类	1	DD4.5/20-1200	电子	4.5	20	工业辐照	辐照扩能车 间 5#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 ( $\mu$ 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	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温下约 50 分钟后自动分解为氧气，对环境 影响较小
氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021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》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；</p> <p>(11) 《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月25日发布；</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10月25日发布；</p> <p>(13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日发布；</p> <p>(14) 《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>(15) 《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5月28日发布；</p> <p>(16) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日起试行；</p> <p>(17) 《生态环境分区管控管理暂行规定》，环环评〔2024〕41号，生态环境部2024年7月8日发布，自公布之日起施行；</p> <p>(18) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布；</p> <p>(19) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年修改，国家发展和改革委员会令 第7号）2024年2月1日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(3) 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(5) 《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>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(10) 《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）；</p> <p>(11) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）；</p> <p>(12) 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）（参考）。</p>
其他	<p>附件：</p> <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书；</p> <p>(3) 辐射安全许可证；</p> <p>(4) 原有核技术利用项目环保手续履行情况；</p> <p>(5) 土地使用证明；</p>

- (6) 建设单位营业执照；
- (7) 辐射环境现状监测报告；
- (8) 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；
- (9) 现有辐射安全管理规章制度。

**附图：**

- (1) 江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目地理位置示意图；
- (2) 江苏亨通电力电缆有限公司厂区平面布置及周围环境示意图；
- (3) 江苏亨通电力电缆有限公司辐照扩能车间平面布置示意图（一楼）；
- (4) 江苏亨通电力电缆有限公司辐照扩能车间平面布置示意图（二楼）；
- (5) 江苏亨通电力电缆有限公司辐照扩能车间立面布置示意图（东西方向）；
- (6) 加速器机房平面设计示意图（1）；
- (7) 加速器机房平面设计示意图（2）；
- (8) 加速器机房立面设计示意图（1）；
- (9) 加速器机房立面设计示意图（2）；
- (10) 加速器机房立面设计示意图（3）；
- (11) 加速器钢桶屏蔽设计示意图。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本项目评价范围为扩建 5 台电子加速器辐照装置项目加速器机房实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于苏州市重点管控单元临湖西区工业聚集区（编码：ZH32050920266）内，不在苏州市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和重点管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、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生态保护目标。

本项目主要考虑加速器工作时可能对周围环境产生的辐射影响。本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、项目周围其他工作人员及公众等。详见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

保护目标	方位	最近距离	人员规模	剂量约束值	备注
辐射工作人员	控制室，线缆收放区	毗邻	10 人	5mSv/a	监督区
公众	周围厂区道路	约 2m	流动人员若干	0.1mSv/a	50m 评价范围内除监督区、控制区以外区域
	南侧，拟建 3#厂房	约 3.4m	约 25		
	西侧，线缆生产区	约 24.7m	约 10 人		
	北侧，现有 23#辐照车间	约 47m	约 3 人		



	北侧，现有辐照成品仓库	约 44m	约 5 人		
本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。					
评价标准					
一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：					
表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值					
对 象		要 求			
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，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特种情况下，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。			
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。					
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。					
二、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）：					
重点引用：					
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 (As Low As Reasonably Achievable) 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 GB 18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

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

## 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。对于即可用于电子束辐照也可用于 X 射线辐照的辐照装置，应按照电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法计算。

## 6 电子加速器辐照装置的安全设计

### 6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

### 6.2 安全设施

（1）钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；

（2）门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机；

（3）束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；

（4）信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁；

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

（6）防人误入装置。在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁；

（7）急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

（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

#### 6.3.3 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 GBZ 2.1 的规定，有害气体的排放应满足 GB 3095 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 GB 3095 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。

## 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。常规日检查项目应至少包括下列内容：

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

#### 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。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。

#### 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来取改正措施。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。

#### 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。记录事项一般不少于下列内容：

- (1) 运行工况；
- (2) 辐照产品的情况；
- (3) 发生的故障及排除方法；
- (4) 外来人员进入控制区情况；
- (5) 个人剂量计佩戴情况；
- (6) 个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；
- (7) 检查及维修维护的内容与结果；
- (8) 其它。

### 三、工作场所臭氧的控制水平

根据《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）规定，工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m<sup>3</sup>。

### 四、项目管理限值

#### 1、人员剂量约束值

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB 18871-2002 及 HJ 979-2018 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) 辐射工作人员年有效剂量为 5mSv；**

**b) 公众成员年有效剂量为 0.1mSv。**

## 2、工作场所内外控制剂量率

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。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。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），本项目电子加速器使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 处，周围剂量当量率应满足：不大于 2.5μSv/h。

## 五、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。

(3) 《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 5 江苏省原野、道路、建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	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
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，表 5 数据不含宇宙射线电离成分；  
2、评价时采用“测值范围”作为辐射环境本底参考范围。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

江苏亨通电力电缆有限公司于苏州市吴江区七都镇人民西路 2288 号和苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号共设有两个厂区，扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于亨通大道 88 号厂区辐照扩能车间内。横路港横穿亨通大道 88 号厂区，将厂区分分为东区、西区两个部分，本项目拟建址位于西区部分（以下所述“厂区”均指西区部分）。公司厂区东侧为横路港、河道、鱼塘及农田，南侧为丰田村民居、水塘及农田，西侧为亨通大道，北侧为亨通大道及横路港。

扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于辐照扩能车间，辐照扩能车间东侧拟建厂区道路及停车位，南侧拟建厂区道路及 3#厂房，西侧拟建厂区道路及 1#综合楼，北侧为厂区道路及现有辐照成品仓库、23#辐照车间。辐照扩能车间内部可分为东、西两部分，东部为辐照加工区，厂房为地上一层结构；西区为线缆生产区，厂房为地上二层结构。本项目 5 台加速器南北并列布置于辐照扩能车间东部，由北向南依次为 1#~5#加速器，加速器东侧、南侧均为厂房墙壁，西侧为线缆收发区，北侧为配电房，上方为厂房顶棚，下方为土层。

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目周围 50m 评价范围均位于公司厂区范围内，项目运行后的主要保护目标为本项目的辐射工作人员、厂内其他工作人员及 50m 评价范围内其他公众等。

本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-5。



图 8-1 项目拟建址现状





图 8-2 拟建址东侧现有厂房



图 8-3 拟建址南侧（3#厂房拟建址）



图 8-4 拟建址西侧（1#综合楼拟建址）



图 8-5 拟建址北侧厂区道路及现有厂房

注：图中所见施工为厂房基础设施施工，本项目加速器尚未开始建设。

## 二、辐射环境现状调查

根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于电子加速器辐照装置拟建址及周围环境进行布点，测量辐射剂量率现状。监测报告详见附件 7，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-6。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

检测仪器：6150AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X- $\gamma$ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2023 年 10 月 30 日~2024 年 10 月 29 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0173796）

能量范围：20keV~7MeV

剂量率范围：1nSv/h~99.9 $\mu$ Sv/h

监测日期：2024 年 8 月 15 日

天气：多云

温度：31℃



湿度：69%RH

监测项目： $\gamma$ 辐射剂量率

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点，于项目拟建址及其周围环境、保护目标等处布点监测。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件7），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为1m。仪器读数稳定后，每个点位读取10个数据，读取间隔不小于10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 $^{137}\text{Cs}$ 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取1.20Sv/Gy。

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员经过考核并持有合格证书，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省天然 $\gamma$ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量，监测结果见表8-1，监测点位示意图见图8-6。

表8-1 扩建5台电子加速器辐照装置项目拟建址及其周围 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	备注
1	电子加速器辐照装置拟建址北部	47	室外道路
2	电子加速器辐照装置拟建址中部	46	室外道路
3	电子加速器辐照装置拟建址南部	50	室外道路
4	电子加速器辐照装置拟建址东侧	46	室外道路
5	电子加速器辐照装置拟建址南侧	49	室外道路
6	电子加速器辐照装置拟建址西侧	37	室外道路
7	电子加速器辐照装置拟建址北侧	54	室外道路
8	电子加速器辐照装置拟建址东侧厂区道路	61	室外道路
9	电子加速器辐照装置拟建址南侧空地 （拟建厂房）	59	室外道路

10	电子加速器辐照装置拟建址西侧空地 (拟建车间)	59	室外道路
11	电子加速器辐照装置拟建址北侧厂区道路	63	室外道路
12	电子加速器辐照装置拟建址北侧现有厂房外	62	室外道路
13	电子加速器辐照装置拟建址北侧辐照成品仓库外	63	室外道路

注：1.电子加速器辐照装置项目拟建址下方为土层，上方为厂房顶棚；

2.测量数据已扣宇宙射线响应值（本次检测所用仪器宇宙射线响应值为 30nGy/h）。环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D}=C_f(E_f\dot{X}-\mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中， $C_f$ 为仪器量程检定/校准因子； $E_f$ 为仪器检验源效率因子； $\dot{X}$ 为现场监测时仪器 $n$ 次读数的平均值（ $n\geq 10$ ）； $\mu_c$ 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，室外道路取 1； $\dot{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值。

由表 8-1 检测结果可知，江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址及其周围道路环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 37nGy/h~63nGy/h，处于江苏省道路 $\gamma$ 辐射剂量率本底水平 18.1nGy/h~102.3nGy/h 范围内。

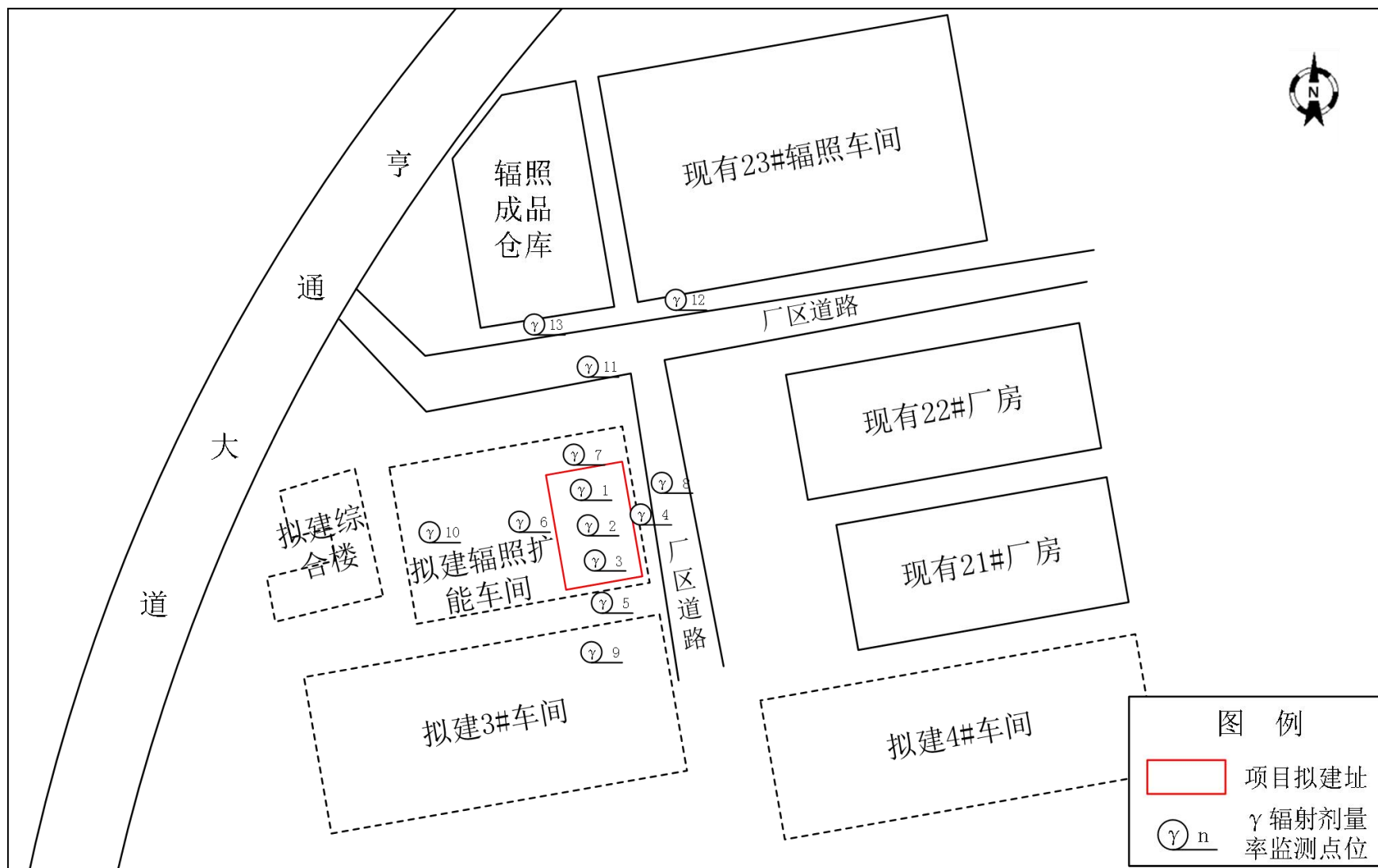


图 8-6 扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址及其周围环境  $\gamma$  辐射剂量率监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

## 工程设备与工艺分析

### 一、工程设备

江苏亨通电力电缆有限公司拟在辐照扩能车间内扩建 5 台电子加速器辐照装置，用于对公司生产的电线电缆进行辐照交联改性。公司初期拟为本项目配置 10 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员。每台工业电子加速器辐照装置安排 1 名加速器操作人员和 1 名收放线人员，实行 8 小时工作制，年工作 250 天。项目投运后，前期预计每台加速器辐照装置年运行总时间不超过 2000h；后期公司将根据工作负荷考虑辐射工作人员增配及轮岗，以保证每名辐射工作人员年最大工作时间不超过 2000h，加速器辐照装置年运行总时间不超过 6000h。

本项目配备的电子加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目配备的电子加速器技术参数一览表

序号	1#	2#、3#	4#	5#
加速器型号	DD1.5/60-1600	DD2.0/50-1600	DD3.0/30-1400	DD4.5/20-1200
数量	1 台	2 台	1 台	1 台
生产厂家	中广核达胜加速器技术有限公司			
最大电子线能量	1.5MeV	2.0MeV	3.0MeV	4.5MeV
最大束流强度	60mA	50mA	30mA	20mA
束流损失点能量	0.15MeV	0.20MeV	0.30MeV	0.45MeV
束流损失 (1%损失率)	0.6mA	0.5mA	0.3mA	0.2mA
主射束方向	0°	0°	0°	0°
电子扫描宽度	1600mm	1600mm	1400mm	1200mm
电子束最大射程 (出束窗口到束下 装置距离)	100mm	100mm	100mm	100mm
工作方式	连续	连续	连续	连续
主体结构型式	卧式 半自屏蔽	卧式 半自屏蔽	立式	立式

本项目拟使用的卧式半自屏蔽型电子加速器辐照装置与立式电子加速器辐照装

置的系统组成基本一致，均由电子加速器、辐照室、传输设备、安全设施和控制系统，以及其他辅助设施 5 部分组成。本项目 DD1.5/60-1600 型、DD2.0/50-1600 型电子加速器为卧式半自屏蔽设备，辐照窗口设于辐照室内，主机设备安装于辐照室顶的设备平台上，控制室设于机房外；DD3.0/30-1400 型、DD4.5/20-1200 型电子加速器为立式设备，辐照窗口设于机房一层辐照室内，主机设备安装于机房二层主机室内，控制室设于机房外。

本项目工业电子加速器的主要组成部分包括：高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、气体处理系统、水冷系统、辐射防护监测系统和控制系统等。

#### （1）直流高压发生器

直流高压发生器由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

高频振荡器的作用是电网的电能为工频转换为 120KHz 左右的高频，其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。

振荡器的基本元件是振荡管。振荡管的供电采用阴极接直流负高压，阳极接直流地电位的模式，从而简化了振荡管的冷却回路。谐振回路由钢筒内的环形自耦变压器（构成回路的电感  $L$ ）和半圆筒高频电极与钢筒内壁和倍压芯柱之间的分布电容（构成回路的电容  $C$ ）组成。振荡管阳极与环形变压器初级之间通过高频电缆连接。栅极所需的正反馈电压则通过置于钢筒与高频电极之间的耦合电容板取得。

环形变压器是高频振荡器的关键部件，它需要在高频、高压和大功率负荷的条件下工作，要求漏磁小、 $Q$  值高，结构牢固，制作和安装的工艺都要求较高。环形变压器的损耗仅次于振荡管，在相当程度上决定了加速器的束功转换效率。钢筒顶端安装有热交换器和风冷系统，把变压器散发的热量带走，并对钢筒内的其他部件进行冷却。

振荡管的直流负高压由可控硅直流稳压电源供电，它由一个工频三相升压变压器和一个三相桥式整流滤波单元组成，可输出 0~18kV、0~25A 的直流负高压。可控硅调节单元置于变压器初级回路中，用来改变初级进线电压从而调节振荡管的直流工作参数，以达到调节加速器端电压和束功的目的。可控硅调节单元还从加速器高压测量单元取得信号，通过计算机控制来稳定加速器的能量。

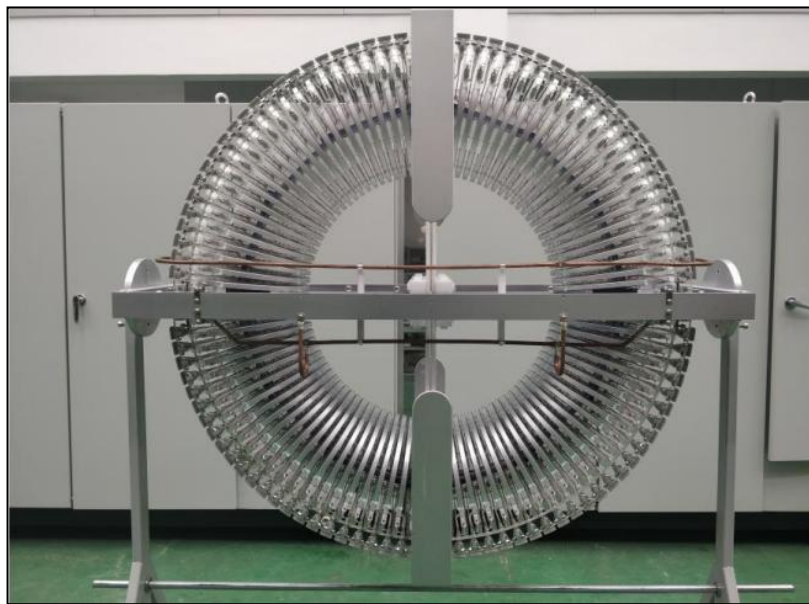


图 9-1 环形高频变压器示意图

整流倍压系统是以两块垂直地固定在钢筒底板上的绝缘板为骨架，在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆，两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。在每个硅堆的连接点上水平地安装一个半电晕环，两列上下整齐排列的半电晕环，构成了整流倍压系统的圆柱外观，并把硅堆屏蔽在其中。对称的两列半电晕环正好与固定在钢筒内壁的两个对称的半圆筒高频电极同轴对应，每个半电晕环与高频电极之间即构成了分布电容  $C_{se}$ 。半电晕环和高频电极之间的尺寸配合精确，其表面平滑光亮。这种几何结构与静电加速器非常相似，其几何设计，必须既满足高频耦合参数的要求，也必须符合高压静电场的场形设计。

硅堆是加速器的关键部件之一。它由整流芯子和带保护球隙的金属屏蔽盒组成，每个硅堆的平均输出电压为  $50\text{kV}$ 。整流芯子由数百只硅二极管串联而成，其电路设计采取了均压和限流措施。

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  $0.65\text{MPa}$  的  $\text{SF}_6$  干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

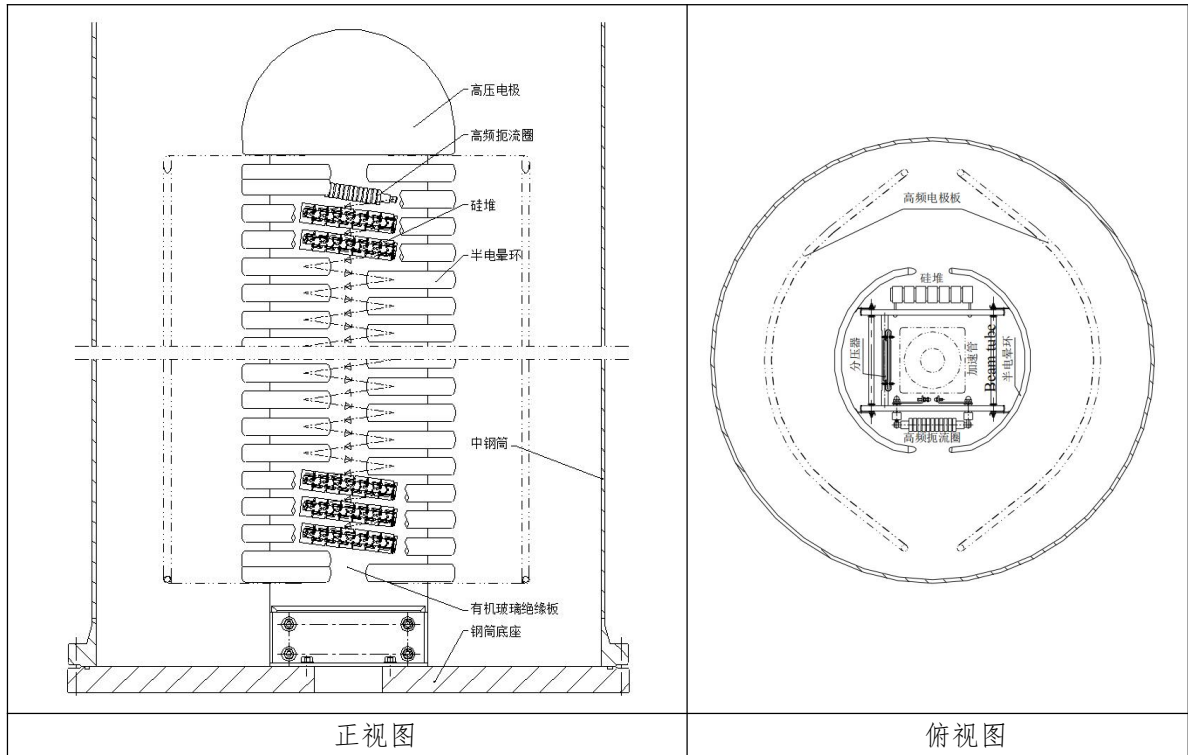


图 9-2 倍压整流芯柱示意图

## (2) 束流加速系统

束流加速系统由加速器管和电子枪组成。

加速管是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中 ( $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{Pa}$ ) 稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场 ( $0 \sim 20 \text{kV/cm}$ )。由于真空中的击穿放电机制复杂，至今还不十分清楚，因此，加速管成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。在制造、运输、安装和运行时均须小心谨慎。

加速管的基本单元是长约 300mm 的工艺段，采用先进的金属陶瓷焊接工艺制成。整根加速管由一定数量的工艺段组装而成。由于在制造和装配过程中排除了有机污染，每个焊缝都经过严格的处理和检测，因此这种加速管比用有机胶粘接方法制造的加速管机械强度高，真空性能好，电性能优越，使用寿命也更长。

加速管安装在整流芯柱的中心，顶端与高压球帽相接，底端接地。其电位分布大体与整流柱中的电位分布一致。加速管外侧装有均压电阻链，使其具有独立分压，每个绝缘环还装有保护放电球隙，以防止过电压冲击。

电子枪加速管的顶端安装电子枪，电子枪采用由钨合金丝绕制的直热式盘香形阴极，钨丝直径  $0 \sim 0.8 \text{mm}$ 。阴极加热后发出的电子被加速管上端的引出极（也称吸极）引出成束进入加速管加速。为了在钛窗处获得所需要的束斑尺寸，电子枪和引出区以

及整根加速管的电场要合理配置，经计算确定。

电子枪的供电功率由置于高压球帽内的发电机提供。发电机由固定在钢筒底座上的变频电机通过一根绝缘轴带动。改变变频电机的工作频率，即可方便快速地改变发电机的转速从而改变电子枪的加热电流，达到调节束流的目的。这样的供电方式，束流和频率单一对应，跟随快，便于和束下装置联动，有利于提高工作效率和辐照产品的质量。

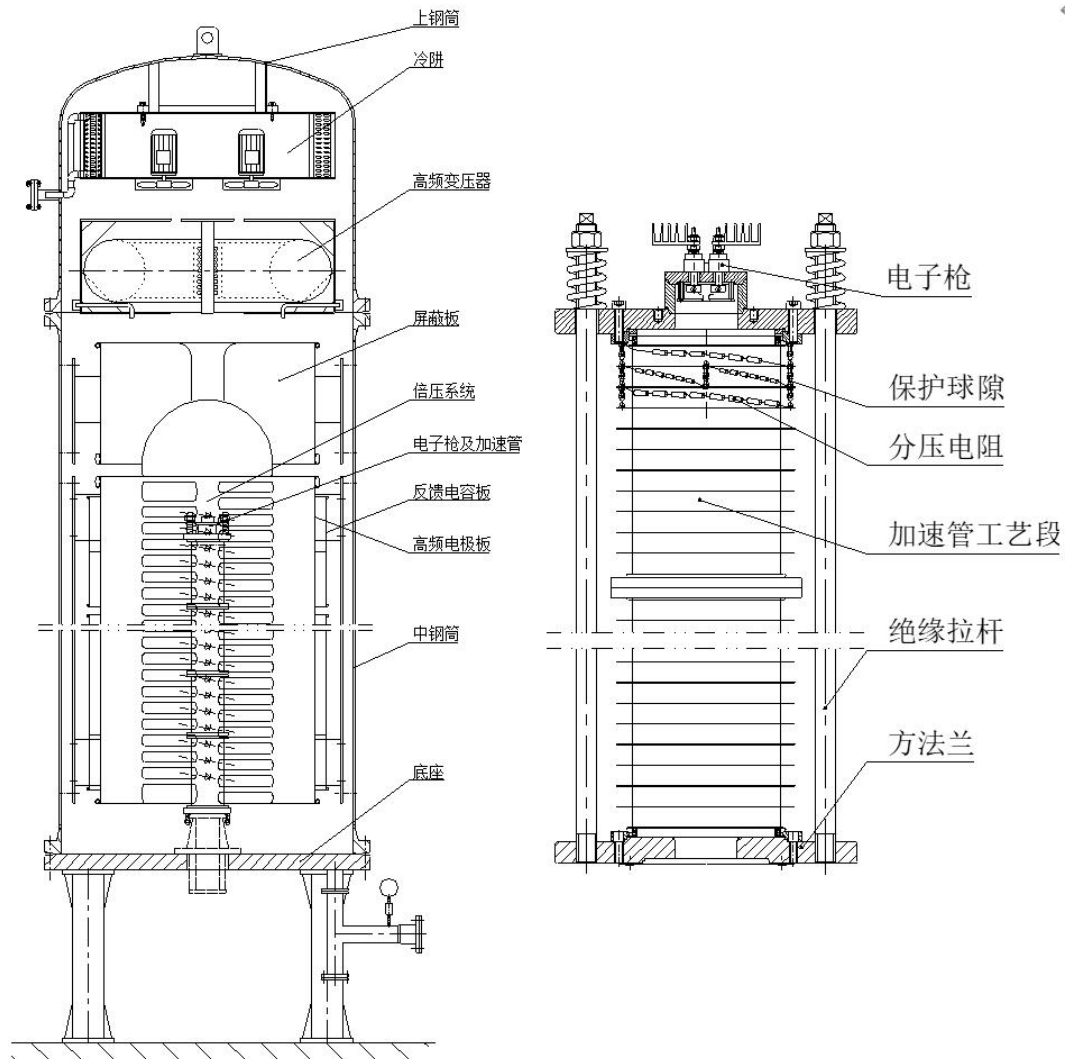


图 9-3 束流加速系统示意图

### (3) 扫描引出系统

电子束离开加速管后经漂移管进入辐照厅。穿过扫描磁铁组件时，在三角波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描。最后经长条形的钛窗引出。钛箔的厚度既要有足够的强度以抵抗真空压力，又要尽量减少电子束在穿越时的能量损耗。本项目拟用电子加速器的钛膜厚度约 0.04mm。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此沿钛窗安装了一把风刀，针对钛箔进行强风冷却。



另外，在加速管出口至扫描磁铁之间的漂移管外面，还安装有聚焦线圈和导向线圈，用以调节束流的聚焦和方向。

#### (4) 真空抽气系统

真空抽气系统安装在主厅钢筒底座下面的四通管两侧，由 FF160/620C 型涡轮分子泵和前级旋片真空泵机组组成。

工作时先启动前级旋片真空泵机组，等到前级真空度达到 5Pa 左右时可启动分子泵机组，如配有离子泵的可先利用分子泵启动离子泵，待后者正常工作后，即可关闭分子泵机组。

真空测量采用 ZDF-V 型系列电阻/电离复合数显式真空计，ZJ-52T 型电阻规用来测量前级真空管路中的低真空度，ZJ-14 型冷规用来测量高真空管路中的真空度，真空计可向控制柜输出连锁信号，以实现与真空度有关的连锁控制。

两个插板阀为真空操作的方便而设。当因某种需要（如更换钛箔）必须对系统放大气时，可以关闭四通上方的插板阀，保持加速管真空状态。

#### (5) 控制系统

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

##### ①加速器启动运行的前提条件是：

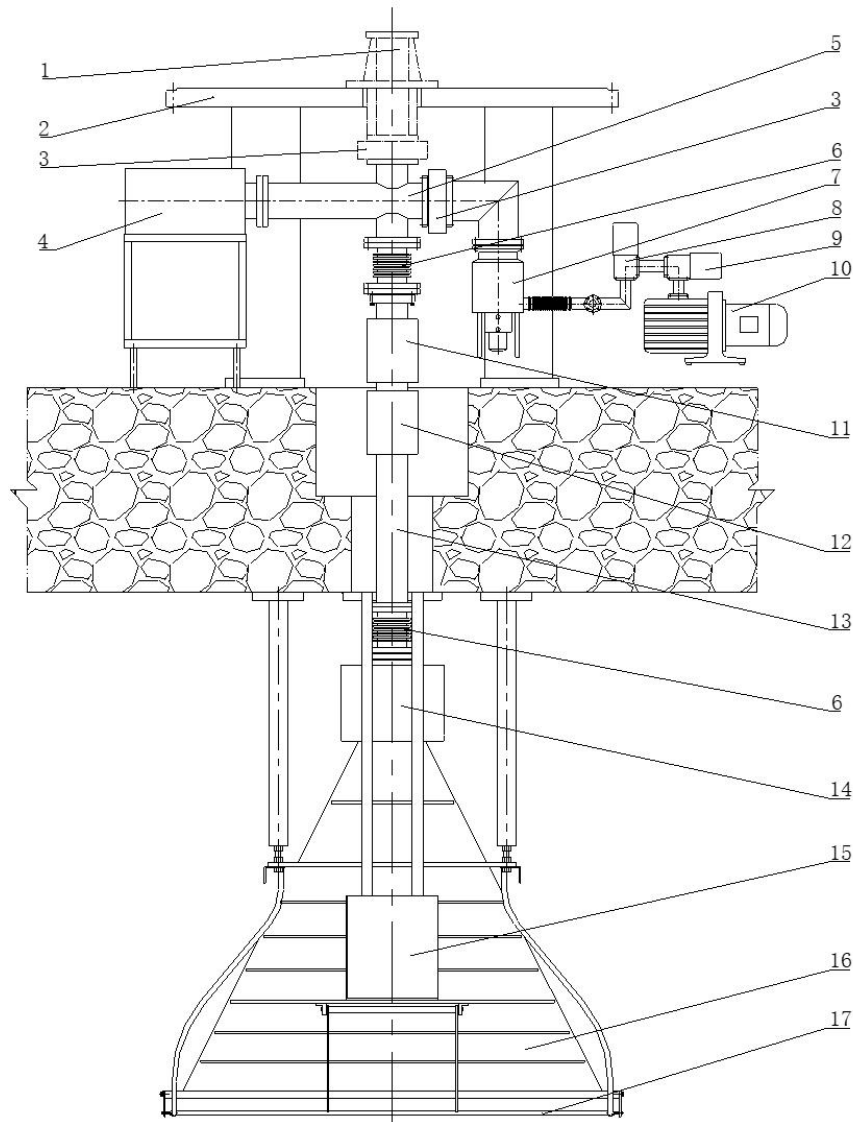
- 冷却系统风、水工作正常
- 加速器厅与辐照厅送排风启动
- 加速器厅与辐照厅防护门关闭
- 高频机柜门关闭
- 钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度达标
- 一般要求真空度好于  $7.5 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

②加速器在运行过程中还与多个参数发生连锁关系，如：钢筒内发生弧放电，钢筒温度超标，高频机内部出现过热和过流，加速器出现过电压等等，当上述参数异常时将自动封闭高频。

③在加速器进入额定工作状态、束下装置运转正常之后，系统可以进入闭环运行以自动稳定加速器的设定参数，并与束下系统的运行联动。例如当样品的移动速度发生变化时，变化信息会立即输入加速器控制系统，实时调整电子枪的加热电流，使加速器的输出束流与束下样品的传输速度变化同步，确保样品的辐照剂量均匀。当束下

暂停或换卷时，束流自动降低或置零等。

④加速器运行时在控制屏上显示的主要参数有：能量，流强，加速管分压电流，高频振荡参数（电子管阳极电压和阳极电流），扫描线圈电流，聚焦线圈电流，导向线圈电流等。当发生故障时，控制屏上将立刻显示故障状态和发生故障的部位。



1、加速管支架 2、钢筒底座 3、插板阀 4、溅射离子泵 5、四通 6、波纹管 7、分子泵 8、电磁真空截至阀 9、电磁真空带充气阀 10、机械泵 11、聚焦线圈 12、导向线圈 13、漂移管 14、芯管及扫描线圈 15、气动箱 16、扫描盒 17、束流挡板

图 9-4 真空抽气与引出扫描系统示意图

#### (6) SF<sub>6</sub> 绝缘气体处理系统

绝缘气体处理系统的功能有二：1) 加速器检修时回收气体，2) 通过气体的循环去除其中的水分和运行中因放电生成的有毒有害分解产物。

该系统的主要部件如下：

①储气筒：为加速器检修时储存 SF<sub>6</sub> 气体用。

②压缩机机组：由无油压缩机、干燥塔、过滤器及相应的管道部件组成，用于将气体向加速器钢筒或向储气筒进行压缩。

③真空泵机组：由真空泵、油过滤器及相应的管道部件组成，用于对钢筒和储气筒抽气。

在加速器检修打开钢筒前，它必须把钢筒内的 SF<sub>6</sub> 抽尽并输送到压缩机的入口以便压入储气筒；在加速器检修完毕灌气之前，它必须将钢筒内的空气抽尽，以保证 SF<sub>6</sub> 的纯度。

上述各部件被紧凑地集成在一个带有控制面板的机箱中，整个系统采用电动执行元件和程序控制，通过面板上的按钮操作，即可按规定自动完成相应的流程步骤，避免误动作。

#### （7）加速器冷却水循环装置

加速器冷却恒温装置是用于冷却恒温加速器工作时关键零部件温度的专用设备。全程采用 PLC 加控制面板方式实现自动控制。并与主控制界面建立通讯，同时能在加速器主控制界面上实现控制及故障报警。主要由 2 只水箱、3 只压缩机、冷凝器、2 只蒸发器、3 台水泵、若干阀门、管道、机架和控制系统组成。2 只水箱均由一只压缩机、蒸发器和冷凝器制冷，可分为低温水箱和常温水箱，低温水箱的制冷量是 78kW，常温水箱的制冷量是 39kW；在低温水箱的回水管上安装有两只电磁阀，并分成两路，一路通低温水箱，一路通常温水箱，如果常温水箱的制冷量不够，连接在低温水箱回水管上的电磁阀关闭，连接常温水箱的电磁阀打开，将低温水箱回水导到常温水箱，中和水箱温度，当温度达到要求后，连接低温水箱电磁阀打开，连接常温水箱电磁阀关闭，低温水流回低温水箱，因为低温水箱和常温水箱是连通的，所以不会存在水位差。低温水箱主要冷却加速器钢筒内部和高频机柜内部，常温水箱主要冷却高频机电极管和束流吸收板；在每一个回路的回水口处，均安装有流量控制器，当出现断水或水压不够时，流量控制器发出报警信号，防止加速器在无水或欠压的情况下工作，造成加速器的损坏。

本项目卧式半自屏蔽型电子加速器辐照装置外观示意图 9-5、主体结构示意图见图 9-6、整体结构示意图见图 9-7，本项目立式电子加速器辐照装置主体结构示意图见图 9-8、整体结构示意图见图 9-9。



注：上图为同类型设备模型。

图 9-5 卧式半自屏蔽型电子加速器辐照装置外观示意图

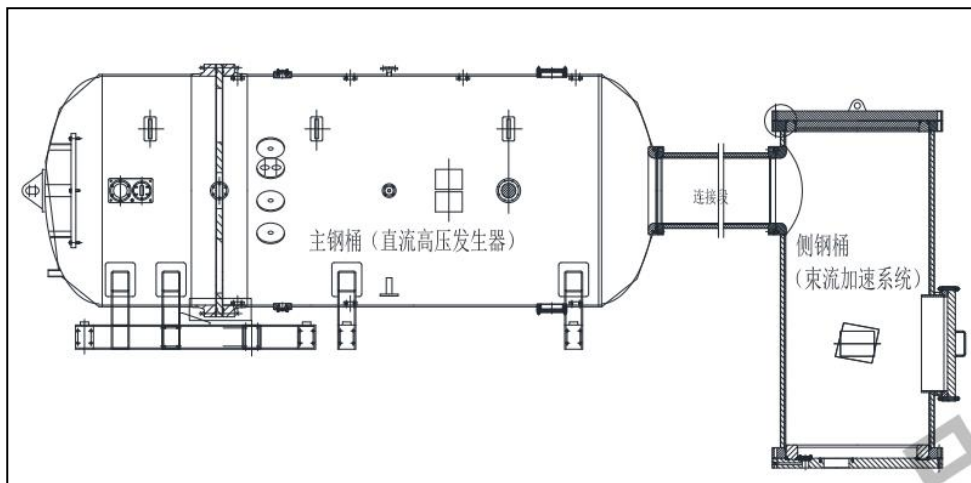


图 9-6 卧式半自屏蔽型电子加速器辐照装置主体结构示意图

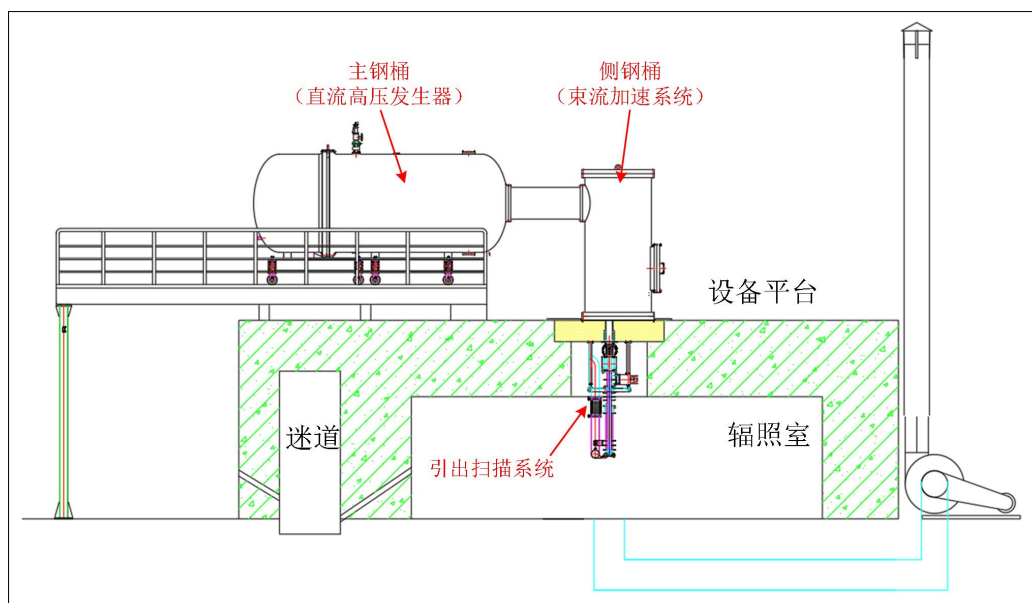


图 9-7 卧式半自屏蔽型电子加速器辐照装置整体结构示意图

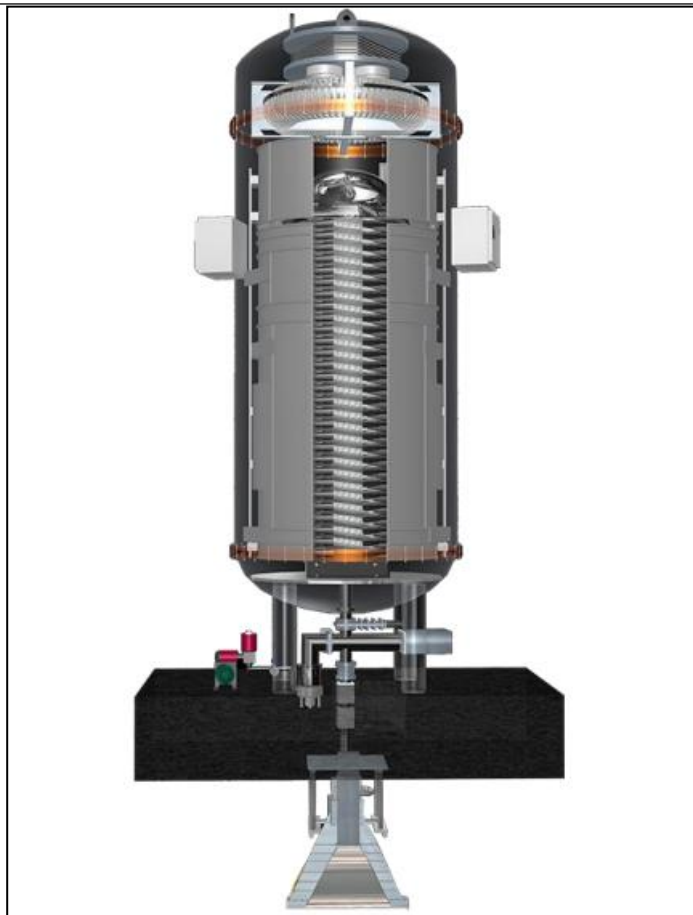
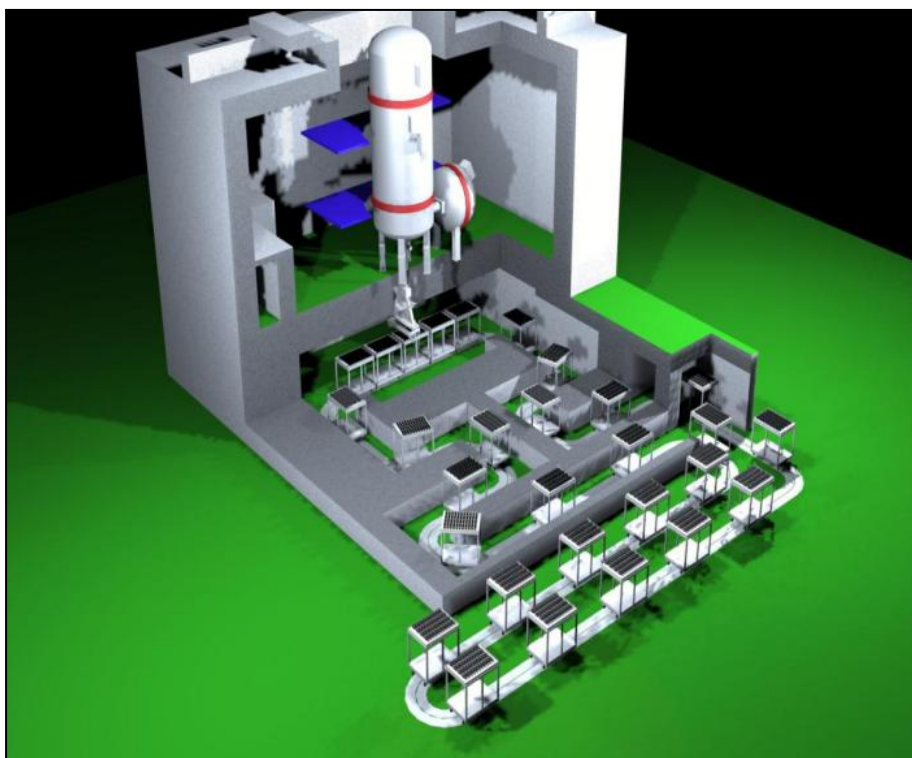


图 9-8 立式电子加速器辐照装置主体结构示意图



注：上图为同类型设备整体结构示意图，其辐照室及束下装置可根据实际应用进行调整。

图 9-9 立式电子加速器辐照装置整体结构示意图

## 二、工作原理及工艺流程

### 1、工作原理

工业辐照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或 X 射线的设备。其工作原理可概括为：首先，将低压工频电能，用高频振荡器变成高频电能，输送给高压发生器；经过高压发生器内高频变压器的作用，变成升压的高频电压；再将此升压的高频电压加在空间耦合电容上，通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上，此时每一个耦合环上得到几十千伏的直流高压，由于各级串联，电压叠加，从而在高端获得很高的电压。加速器电子枪中的灯丝产生的电子云，引入到加了高压的加速管，最终形成高能电子束。电子束从加速器出口输出，进入扫描空间，利用磁场将成束的电子扫开成一定的宽度，从金属膜构成的输出窗引出，对运动的被照物体进行辐照。

本项目被辐照的产品为电线电缆，利用电子束辐照高分子材料发生辐射交联反应而改变性质，电线电缆被辐照后，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。

### 2、工艺流程及产污环节

辐照加工是根据辐照加工产品品种、性质、体积、辐照要求，制定辐照区辐照位置、辐照剂量和辐照时间等技术措施，辐照完成后，经标记包装、质量检验和用户签收等工序或发货或入库暂存。公司主要对生产的电线、电缆进行辐照加工，需要辐照的电线电缆通过其收放架系统进入加速器机房辐照室进行辐照。加速器机房的电线电缆通道内置于辐照室墙体中，电线电缆斜穿过辐照室迷道外墙及迷道内墙进入辐照室。

现对辐照加工工艺流程简述如下：

①调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

②将电线电缆放置传输系统上，调整收、放系统的位置；

③工作人员车间内巡视加速器周边、控制室、放卷处等处，主要由电线电缆传输系统开始巡视，再进入辐照室内进行巡视，巡视确定辐照室内无人且观察辐照室外视频装置确定无人后按下辐照室内巡视按钮，再启动加速器；加速器操作人员与巡视人员为同一人，操作人员按照规章制度进行巡视可确保加速器启动前巡视工作安全；

④工作人员现场检查各项安全措施无异常，并通过视频装置再次查看室内情况，确保无人逗留；

⑤启动辐照装置，通过传输装置从加速器辐照室东侧货物进口输送进入加速器辐照室，辐照对象通过束下传输装置从加速器辐照室东侧产品进出口传送出，收卷系统进行产品收放。辐照过程中会产生 X 射线、臭氧及氮氧化物。

本项目拟使用的 5 台工业电子加速器均用于对公司生产的电线电缆进行辐照，整个辐照工艺流程流水线自动操作，工作人员在加速器机房控制室内操作加速器，另有工作人员在辐照室外线缆收放区对产品进行收放。

本项目电子加速器辐照装置的工作流程和主要产污环节如图 9-10 所示。

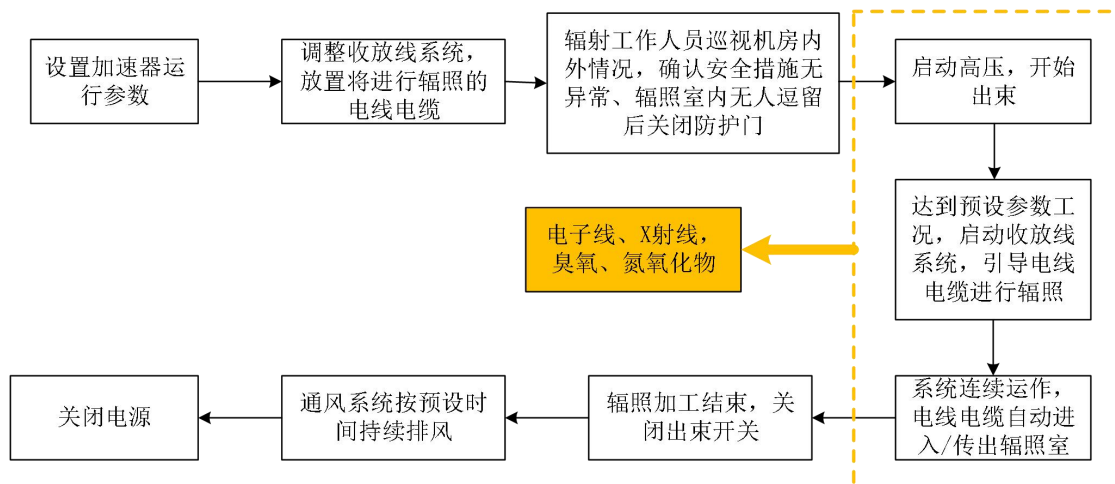


图 9-10 电子加速器辐照装置的工作流程和主要产污环节示意图

## 污染源项描述

### 一、放射性污染

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韧致 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，也会对辐照室周围环境造成辐射污染。

由于电子加速器在运行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。而项目加速器机房下方为土层，上方为生产车间顶棚，故本项目主要考虑相对于电子束 90° 方向的侧向 X 射线屏蔽。

本项目 DD1.5/60-1600 型电子加速器电子束最大能量为 1.5MeV，最大束流强度为 60mA，电子束打到高原子序数靶物质上的 X 射线发射率为 1.0Gy·m<sup>2</sup>/mA·min，靶材料为铜时 90° 方向修正系数  $f_c$  取 0.5，则距 X 射线源 1m 处的吸收剂量率为 3000Gy/h；



DD2.0/50-1600 型电子加速器电子束最大能量为 2.0MeV，最大束流强度为 50mA，电子束打到高原子序数靶物质上的 X 射线发射率为  $1.6\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，靶材料为铜时  $90^\circ$  方向修正系数  $f_e$  取 0.5，则距 X 射线源 1m 处的吸收剂量率为 2400Gy/h；DD3.0/30-1600 型电子加速器电子束最大能量为 3.0MeV，最大束流强度为 30mA，电子束打到高原子序数靶物质上的 X 射线发射率为  $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，靶材料为铜时  $90^\circ$  方向修正系数  $f_e$  取 0.5，则距 X 射线源 1m 处的吸收剂量率为 2880Gy/h；DD4.5/20-1600 型电子加速器电子束最大能量为 4.5MeV，最大束流强度为 20mA，电子束打到高原子序数靶物质上的 X 射线发射率为  $5.7\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，靶材料为铜时  $90^\circ$  方向修正系数  $f_e$  取 0.5，则距 X 射线源 1m 处的吸收剂量率为 3410Gy/h。

表 9-2 本项目 5 台加速器源项参数一览表

加速器序号及型号	1#： DD1.5/60-1600	2#、3#： DD2.0/50-1600	4#： DD3.0/30-1400	5#： DD4.5/20-1200
入射电子能量 (MeV)	1.5	2.0	3.0	4.5
在侧向屏蔽能量取相应等效能量 (MeV)	1.0	1.3	1.9	2.8 <sup>①</sup>
电子束流强度 (mA)	60	50	30	20
侧向 $90^\circ$ 的 X 射线发射率常数 $Q(\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	1.0	1.6	3.2	5.7
修正因子 $f_e$	0.5	0.5	0.5	0.5
侧向 $90^\circ$ 的 $D_{10}$ (Gy/h)	1800	2400	2880	3410

## 二、非放射性污染

### 废水：

本项目运行过程中没有放射性废水产生；电子加速器冷却采用内循环冷却水系统，不外排；本项目辐射工作人员会产生一定量生活污水。

### 废气：

本项目运行过程中没有放射性废气产生。但空气在电子束和强 X 射线电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。电子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。本项目加速器机房设计有通风系统，臭氧和氮氧化物通过通风系统排出机房，很快弥散在大气环境中。臭氧在大气中短时间可自动分解为氧气，而氮氧化物产量一般为臭氧产量的三分之一，这部分废气对周围环境影响较小。本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入人员的影响，需保证其有害气



体浓度满足 GBZ 2.1-2019 规定的有害气体职业接触限值要求。

**固废：**

本项目运行过程中没有放射性固废产生；本项目辐射工作人员会产生一定量生活垃圾。

**噪声：**

本项目运行期间，噪声源主要来自加速器冷却水循环水泵、高频机、风机以及收放线系统的噪声，均集中在辐照扩能车间。公司拟采用低噪声风机，并在安装上述设备时采取减震及实体隔离等措施后，其对辐照扩能车间以外的噪声影响较小，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

项目安全设施

一、工作场所布局及分区

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于江苏省苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号，项目建成后拟用于对公司生产的电线、电缆进行辐照交联改性。

本项目 1#电子加速器（DD1.5/60-1600 型）、2#和 3#电子加速器（均为 DD2.0/50-1600 型）机房均为地上一层混凝土结构，采用混凝土一体浇筑成型，辐照室内布置电子加速器辐照窗，出束方向向下；辐照室顶上为设备平台，布置电子加速器的钢桶、放电柜、电源变频器、气体系统、伺服等辅助设施；加速器控制室设于机房外西侧。本项目 4#电子加速器（DD3.0/30-1400 型）、5#电子加速器（DD4.5/20-1200 型）机房均为地上二层混凝土结构，采用混凝土一体浇筑成型，辐照室内布置电子加速器辐照窗，出束方向向下；主机室内布置电子加速器的钢桶，主机室外布置放电柜、电源变频器、气体系统、冷却系统等辅助设施；加速器控制室设于辐照室外西侧。

加速器辐照室、主机室均设有迷道，迷道口处均设有防护门；辐照产品（电线电缆）通过西墙预留的孔洞进出辐照室；控制室独立于辐照室之外，电子加速器工作时，辐射工作人员于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，线缆收放人员位于机房西南侧的线缆收放区。电子加速器出束时，辐照室、主机室、设备平台上均无人员停留，本项目加速器机房布局合理可行。

为加强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、主机室、设备平台上钢桶围栏区域作为辐射防护控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在辐照室、主机室防护门外设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；拟将控制室、线缆收放区、设备平台上钢桶以外区域、辐照室顶上主机室以外区域、主机室顶部作为辐射防护监督区，控制室门口设置电离辐射警告标志，监督区边界设置围栏并粘贴监督区标识、电离辐射警告标志，通往辐照室顶上设备平台的楼梯口设置隔离门并上锁，电子加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员限制进入。

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》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台

电子加速器辐照装置项目工作场所辐射防护分区见图 10-1 至图 10-2。

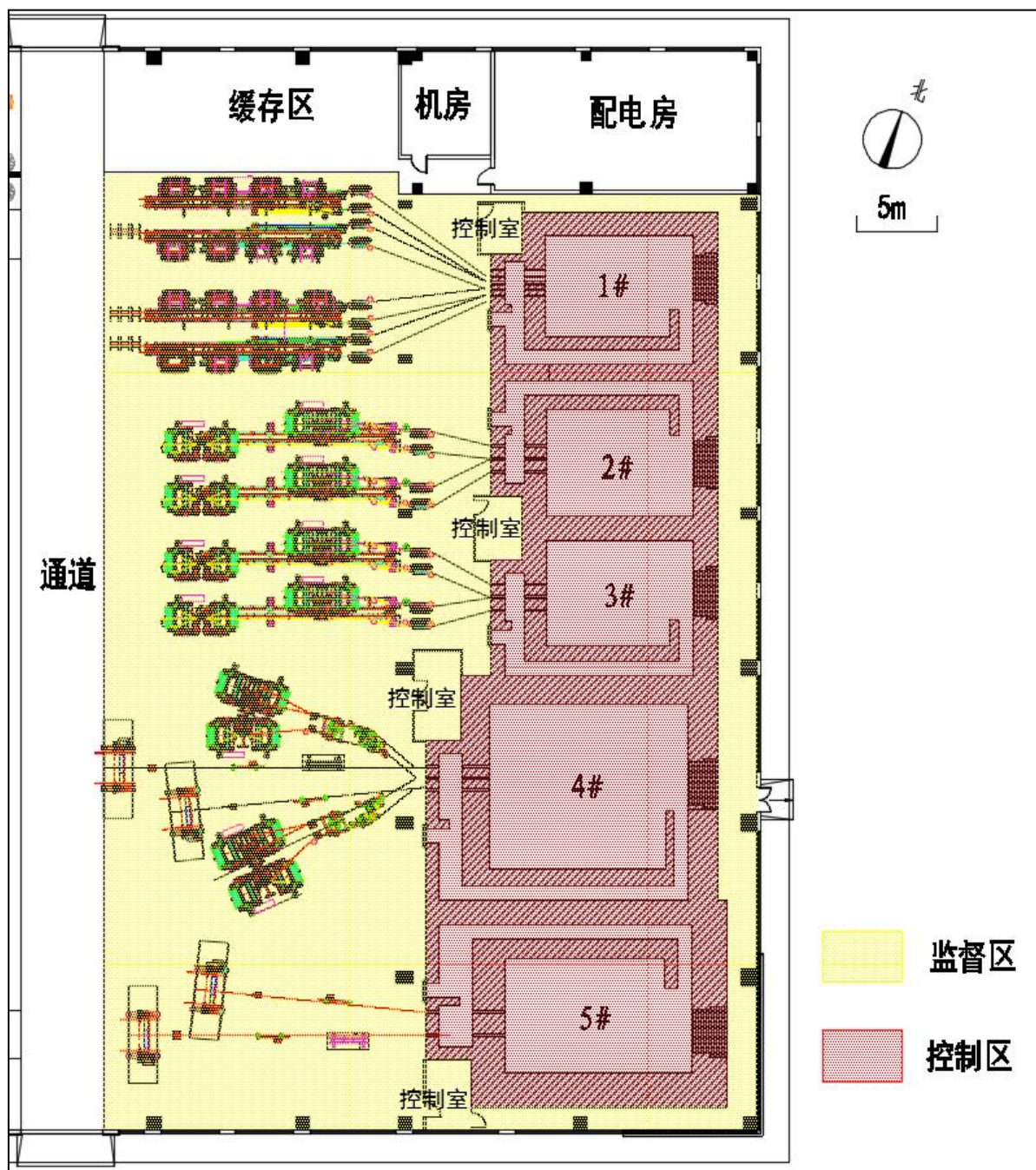


图 10-1 江苏亨通电力电缆有限公司电子加速器辐照装置工作场所辐射防护分区示意图（一层）

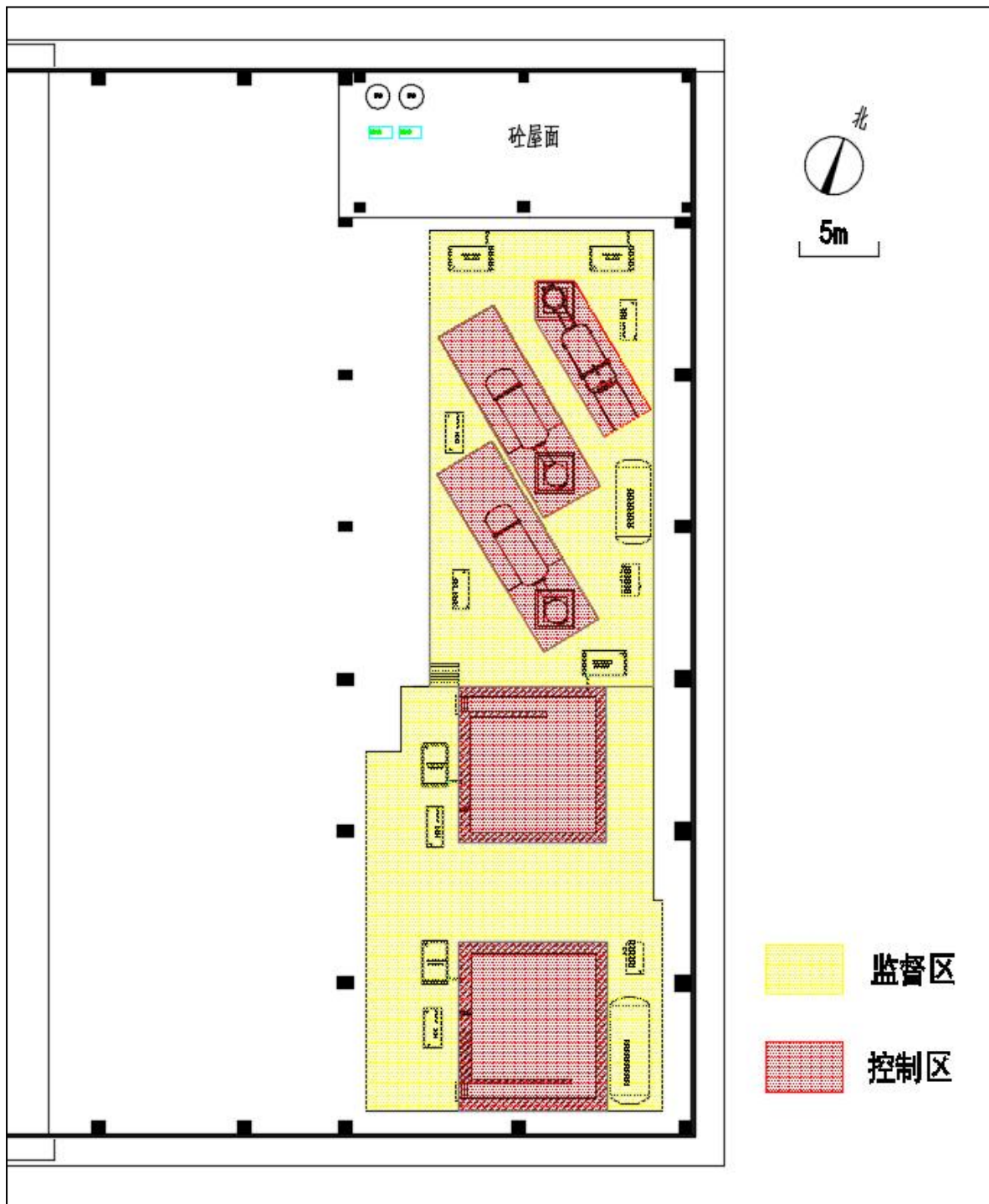


图 10-2 江苏亨通电力电缆有限公司电子加速器辐照装置工作场所辐射防护分区示意图（二层）

## 二、辐射防护屏蔽设计

本项目电子加速器机房位于辐照扩能车间东部，机房采用混凝土一体浇筑成型，其中辐照室东墙预留束下装置的安装运输通道。束下装置安装完成后，通道使用混凝土砌块进行封堵，使其屏蔽效果与墙体一致。加速器机房具体屏蔽设计参数见表 10-1，屏蔽设计图见附图 5、附图 6。

表 10-1 加速器机房屏蔽设计参数一览表

加速器机房	屏蔽体位置		屏蔽材料及厚度
1#加速器机房	东墙	迷道内侧	500mm 混凝土
		迷道外侧	1500mm 混凝土
	南墙	迷道内侧	800mm 混凝土
		迷道外侧	1000mm 混凝土
	西墙	迷道内侧	1300mm 混凝土
		迷道外侧	800mm 混凝土
	北墙	迷道内侧	1400mm 混凝土
	顶部	辐照室部分	1400mm 混凝土
		迷道部分	1000mm 混凝土
	迷道设计		“几”字形迷道，迷道长度 17.2m
	通风管道设计		“U”形埋地通风管道，管道直径 600mm，埋地深度 800mm
	线缆管道设计		线缆通道由外至内均为斜坡设计，与地面分别呈 148°、36° 角，避开主射线方向
2#加速器机房	东墙	迷道外侧	1500mm 混凝土
		迷道内侧	500mm 混凝土
	南墙		1500mm 混凝土
	西墙	迷道外侧	1400mm 混凝土
		迷道内侧	800mm 混凝土
	北墙	迷道外侧	1000mm 混凝土
		迷道内侧	900mm 混凝土
	顶部	辐照室部分	1500mm 混凝土

			迷道部分	1000mm 混凝土	
	迷道设计			“几”字形迷道，迷道长度 16.8m	
	通风管道设计			“U”形埋地通风管道，管道直径 600mm，埋地深度 800mm	
	线缆管道设计			线缆通道由外至内均为斜坡设计，与地面分别呈 148°、23° 角，避开主射线方向	
3#加速器机房	东墙	迷道外侧		1500mm 混凝土	
		迷道内侧		500mm 混凝土	
	南墙	迷道外侧		1800mm 混凝土	
		迷道内侧		900mm 混凝土	
	西墙	迷道外侧		800mm 混凝土	
		迷道内侧		1400mm 混凝土	
	北墙			1500mm 混凝土	
	顶部	辐照室部分		1500mm 混凝土	
		迷道部分		1000mm 混凝土	
	迷道设计			“几”字形迷道，迷道长度 16.8m	
	通风管道设计			“U”形埋地通风管道，管道直径 600mm，埋地深度 800mm	
	线缆管道设计			线缆通道由外至内均为斜坡设计，与地面分别呈 148°、23° 角，避开主射线方向	
4#加速器机房	辐照室	东墙	迷道外侧	1800mm 混凝土	
			迷道内侧	500mm 混凝土	
		南墙	迷道外侧	1500mm 混凝土	
			迷道内侧	1000mm 混凝土	
		西墙	迷道外侧	1700mm 混凝土	
			迷道内侧	800mm 混凝土	
		北墙			1800mm 混凝土
		顶部	主机室部分		1100mm 混凝土
			主机室外部分（不含迷道）		1800mm 混凝土
			迷道部分		1000mm 混凝土

		迷道设计		“几”字形迷道，迷道长度 24.2m
		通风管道设计		“U”形埋地通风管道，管道直径 600mm，埋地深度 800mm
		线缆管道设计		线缆通道由外至内均为斜坡设计，与地面分别呈 148°、35° 角，避开主射线方向
	主机室	东墙		700mm 混凝土
		南墙		700mm 混凝土
		西墙		700mm 混凝土
		北墙	迷道外侧	700mm 混凝土
			迷道内侧	300mm 混凝土
		顶部	除顶盖外	500mm 混凝土
			顶盖	400mm 混凝土
		迷道设计		“L”形迷道设计，迷道长度 7.8m
5#加速器机房	辐照室	东墙	迷道外侧	2150mm 混凝土
			迷道内侧	800mm 混凝土
		南墙		2150mm 混凝土
		西墙	迷道外侧	800mm 混凝土
			迷道内侧	2000mm 混凝土
		北墙	迷道外侧	1500mm 混凝土
			迷道内侧	1200mm 混凝土
		顶部	主机室部分	1450mm 混凝土
			主机室以外部分（不含迷道）	2700mm 混凝土
			迷道部分	1000mm 混凝土
		迷道设计		“几”字形迷道，迷道长度 22.95m
		通风管道设计		“U”形埋地通风管道，管道直径 600mm，埋地深度 800mm
		线缆管道设计		线缆通道由外至内均为斜坡设计，与地面分别呈 148°、23° 角，避开主射线方向
	主机室	东墙		800mm 混凝土
		南墙	迷道外侧	800mm 混凝土



			迷道内侧	300mm 混凝土
		西墙		800mm 混凝土
		北墙		800mm 混凝土
		顶部	除顶盖外	600mm 混凝土
			顶盖	400mm 混凝土
		迷道设计		“L”形迷道设计，迷道长度 8.55m

注：1、所用混凝土的密度不低于  $2.35\text{g/cm}^3$ ；

2、加速器机房详细屏蔽设计见附图 5、附图 6 所示。

本项目所用 DD1.5/60-1600 型（1#）、DD2.0/50-1600 型（2#、3#）工业电子加速器为半自屏蔽装置，其自屏蔽部分屏蔽设计见表 10-2；DD3.0/30-1400（4#）、DD4.5/20-1200（5#）工业电子加速器主机未设计自屏蔽能力，依靠主机室进行辐射屏蔽防护。

表 10-2 DD1.5/60-1600 型、DD2.0/50-1600 型电子加速器钢桶屏蔽设计一览表

序号	加速器型号	屏蔽体位置	屏蔽材料及厚度
1#	DD1.5/60-1600	侧钢桶桶身（上半段）	15mm 钢板+30mm 铅板
		侧钢桶桶身（下半段）	15mm 钢板+40mm 铅板
		侧钢桶顶盖	100mm 钢板+60mm 铅板
		侧钢桶桶底	80mm 钢板
		侧钢桶侧边盖	60mm 钢板+40mm 铅板
		主钢桶与侧钢桶连接段	13mm 钢板+30mm 铅板
2#、3#	DD2.0/50-1600	侧钢桶桶身（上半段）	15mm 钢板+30mm 铅板
		侧钢桶桶身（下半段）	15mm 钢板+40mm 铅板
		侧钢桶顶盖	100mm 钢板+60mm 铅板
		侧钢桶桶底	80mm 钢板
		侧钢桶侧边盖	60mm 钢板+40mm 铅板
		主钢桶与侧钢桶连接段	13mm 钢板+30mm 铅板

注：1、所用铅板的密度不低于  $11.3\text{g/cm}^3$ ，钢板的密度不低于  $7.8\text{g/cm}^3$ ；

2、加速器钢桶详细屏蔽设计见附图 7 所示。

### 三、辐射安全及防护措施

#### 1、辐射安全措施

为确保辐射安全，保障工业电子加速器安全运行，避免在电子加速器辐照期间人员误留或误入辐照室内发生误照事故，或辐照期间人员误上设备平台靠近加速器钢桶可能受到较大剂量照射，本项目的电子加速器辐照装置设计有相应的辐射安全装置和保护措施。主要有：

**(1) 钥匙控制。**本项目的加速器机房设有控制室，控制室内将设置控制柜。控制柜上设计有电子加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动电子加速器进行出束作业；钥匙开关未闭合状态时，电子加速器无法开机出束。同时，电子加速器的开关钥匙也是该加速器机房辐照室和主机室（如有）的人员防护门开关钥匙，并且人员防护门上的钥匙在防护门未关闭上锁的情况下，钥匙是无法取出的。当工作人员需要打开人员防护门进入辐照室时，该工作人员必须携带该电子加速器的开关钥匙。因此，电子加速器在开机出束时，由于没有开关钥匙，人员防护门无法打开；在人员防护门打开的情况下，由于开关钥匙在人员防护门上，此情况下电子加速器必然无法开机出束。江苏亨通电力电缆有限公司拟为本项目每台加速器配备 3 台个人剂量报警仪，其中 1 台个人剂量报警仪与工业电子加速器的开关钥匙绑定，每台加速器的开关钥匙是唯一的且由运行值班长保管使用。

**(2) 门机联锁。**电子加速器辐照室和主机室（如有）人员防护门与电子加速器装置联锁。在防护门未闭合的状态下，电子加速器不能启动工作；在电子加速器高压启动后，一旦防护门被打开，联锁装置将立即切断电子加速器的高压，使电子加速器立即停止出束。通往加速器设备平台的楼梯口设置门禁，只有被授权的本项目辐射工作人员才能开启。

**(3) 束下装置联锁。**辐照室内的传输系统与电子加速器进行联锁，建立可靠的接口和协议文件。电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障（偏离正常运行或停止运行时），将立即切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。

**(4) 信号警示装置。**辐照室、主机室（如有）防护门上、监督区边界处均设置醒目的“当心电离辐射”警告标志；辐照室、主机室（如有）防护门上方、辐照室、主机室（如有）内部均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（如有）防护门上方均拟设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与电子加速器高压连锁。

**（5）巡检按钮。**辐照室内各面侧墙上、迷道墙上均拟设置“巡检按钮”，主机室（如有）内各面侧墙上、迷道墙上均拟设置“巡检按钮”，所有“巡检按钮”均与控制台连锁。电子加速器开机前，辐射工作人员进入主机室（如有）、辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留；未全部按下“巡检按钮”前，电子加速器将不能进行出束作业。每座加速器机房内辐照室各设置 6 个巡检按钮、主机室（如有）内各设置 5 个巡检按钮，安装位置距地面约 1.2m。

**（6）急停装置。**在辐照室的迷道内、辐照室内各面侧墙上均设计有紧急停机开关，每座加速器机房辐照室内共 6 个；在主机室（如有）的迷道内、各面侧墙上均设计有紧急停机开关，每座加速器机房主机室内共 5 个紧急停机开关；在加速器控制室操作台上同样设计有 1 个紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用，紧急停机开关距地面高度约 1.2m。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该机房内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。在辐照室、主机室（如有）的四面墙壁上和迷道内，距离地面高度约 1.3m 处，拟安装拉线开关。当拉线开关正常时，电子加速器方可启动进行出束作业；电子加速器正常启动出束作业过程中，若拉拽拉线开关，则该机房内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，电子加速器才能重新启动。在辐照室、主机室（如有）内靠近防护门处设置紧急开门装置，便于人员在紧急情况下撤离辐照室。辐照室、主机室内的巡检按钮与紧急停机开关为具备 2 项功能的同一个装置，加速器启动前作为巡检按钮依次按下，加速器运行时按下任意一个则立即停机。

**（7）防人误入装置。**5 座加速器机房辐照室及 4#、5#加速器主机室入口通道内均设计有 3 道相互独立的光电感应装置（应采用不同厂家或不同型号的产品）并分别与电子加速器连锁。光电装置安装高度距离地面分别为 0.4m、0.85m、1.3m，当有人员误入辐照室，身体将任意一处将红外线挡住后，若电子加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，电子加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在电子加速器开机过程中，人员误入辐照室造成误照射。

**（8）剂量连锁。**在辐照室迷道内、设备平台上（或主机室迷道内）、控制室内均拟设置固定式辐射监测系统探头，显示面板位于控制室内。通过固定式辐射监测系

统，辐射工作人员可以及时了解电子加速器的工作情况以及辐照室中的辐射水平。迷道内的辐射探测系统与辐照室防护门进行联锁，当显示面板上的辐射剂量率大于预设值（通常设置为  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）时，将发出警告信号，同时辐照室防护门将无法打开。

**（9）通风联锁。**本项目拟在辐照室设置排风机与控制系统联锁，辐照室排风机正常工作后，电子加速器才能出束；在排风机未正常工作时，电子加速器将无法进行出束作业。在电子加速器正常运行过程中，当排风机发生故障时，电子加速器将立即停止出束作业。加速器的控制软件设计有正常停机后排风机延迟关闭系统，即：电子加速器正常停止出束后，排风机将继续工作至少 10min，在 10min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 10min，且在达到此预设时间之前，防护门将不能被开启。若电子加速器非正常停止出束，则排风系统的运行不受限制。

**（10）烟雾报警。**本项目拟在辐照室顶部设置烟雾报警装置，遇有火险时，电子加速器将立即停机并停止通风。

**（11）实时摄像监视。**本项目拟在辐照室内设有摄像监视系统，监控图像实时显示在控制室的监控电视上，使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室内电子加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。为了避免强辐射场对视频信号的干扰，建设单位拟在迷道口安装视频摄像头，通过反射镜来获取辐照室内图像。

根据建设单位提供的辐射安全与防护措施设计，与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）所要求的辐射安全原则符合性进行分析，见表 10-3。

表 10-3 本项目辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析表

序号	安全原则	本项目加速器机房安全防护设施设计	符合性分析
1	纵深防御	辐照室设置有“几”字形迷道；出入口设置门机、门灯联锁；加速器主控钥匙开关和辐照室防护门联锁；加速器控制与束下装置联锁；控制室、迷道、辐照室内设置有急停按钮	符合
2	冗余性	辐照室防护门设置门机联锁，设备平台楼梯口隔离门设置门禁，3 道光电联锁、束下装置连锁、烟雾报警装置，辐照室、设备平台上及控制室均设置剂量监测，辐照室迷道内设置剂量连锁	符合
3	多元性	辐照室设有机械、电气、电子的剂量联锁	符合
4	独立性	辐照室设置有急停开关、拉线开关、光电联锁、剂量联锁等，各联锁装置独立运行	符合

本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的相关要求，在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。

本项目工业电子加速器机房辐射安全装置示意图见图 10-3，各项安全装置图形标志示例见表 10-4。

表 10-4 本项目工业电子加速器机房辐射安全装置标志示例表

名称	图标	作用（每台设备）
状态显示器		工作状态中屏幕显示（开机、关机、准备）带报警装置
钥匙开关		控制台上钥匙就位才能开启加速器；进入迷宫需要插上钥匙方可打开防护门
光电		加速器运行时，有人、动物经过红外线开关，即会立刻停止加速器运行
急停		人员触发任意一处急停设备都无法开启
剂量探头		显示当前位置剂量情况。
语音报警		开机关门前巡检语音提示
摄像头		实时监控束下装置运作状态。
拉线开关		听到警铃声、仍停留在加速器机房内的人员拉下可以终止设备开启
烟雾报警		烟雾报警响起，设备紧急停机
警告标志		电离辐射警告标志，警示电离辐射
紧急开门		紧急情况下打开辐照室门逃生
巡检		开机前须工作人员进入迷宫内巡视是否清场，并按顺序按下开关，否则无法开启加速器。

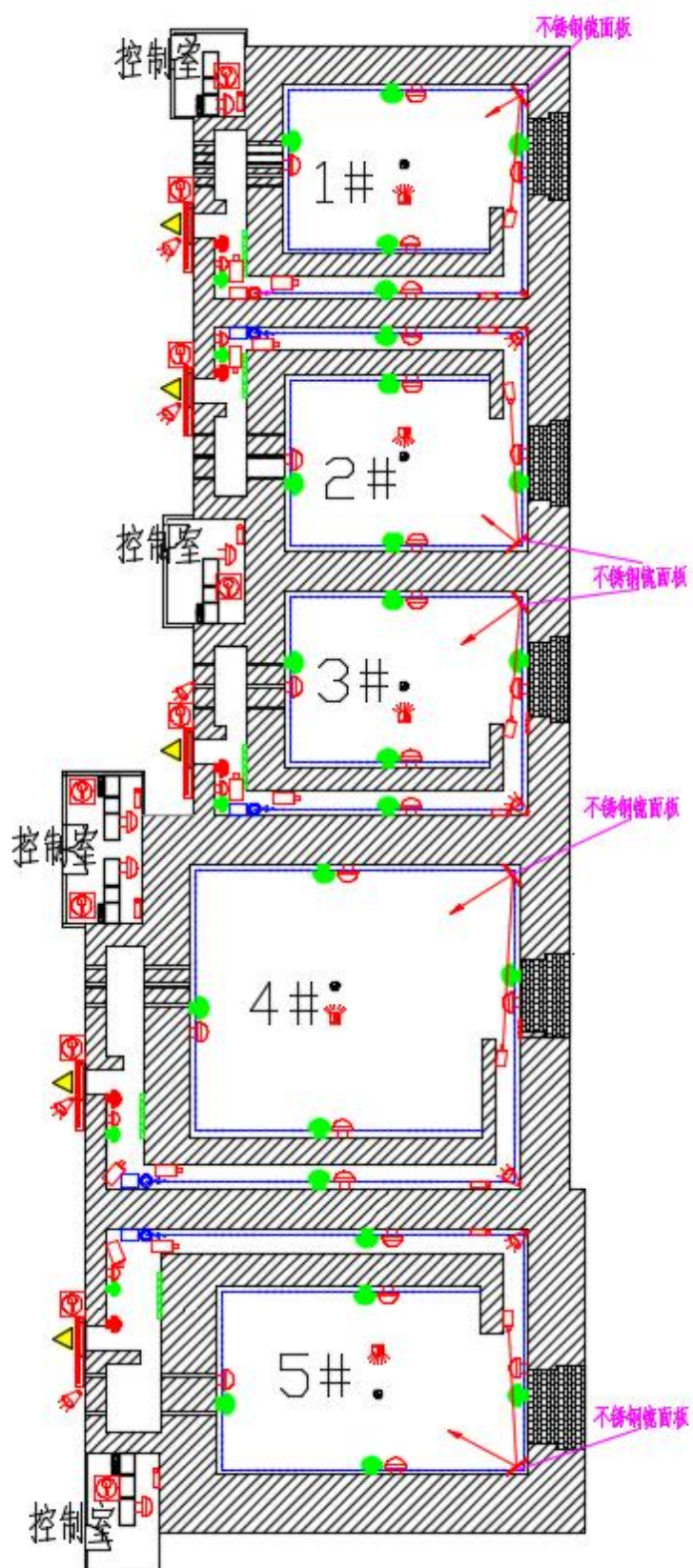


图 10-3 加速器机房辐照室安全装置示意图

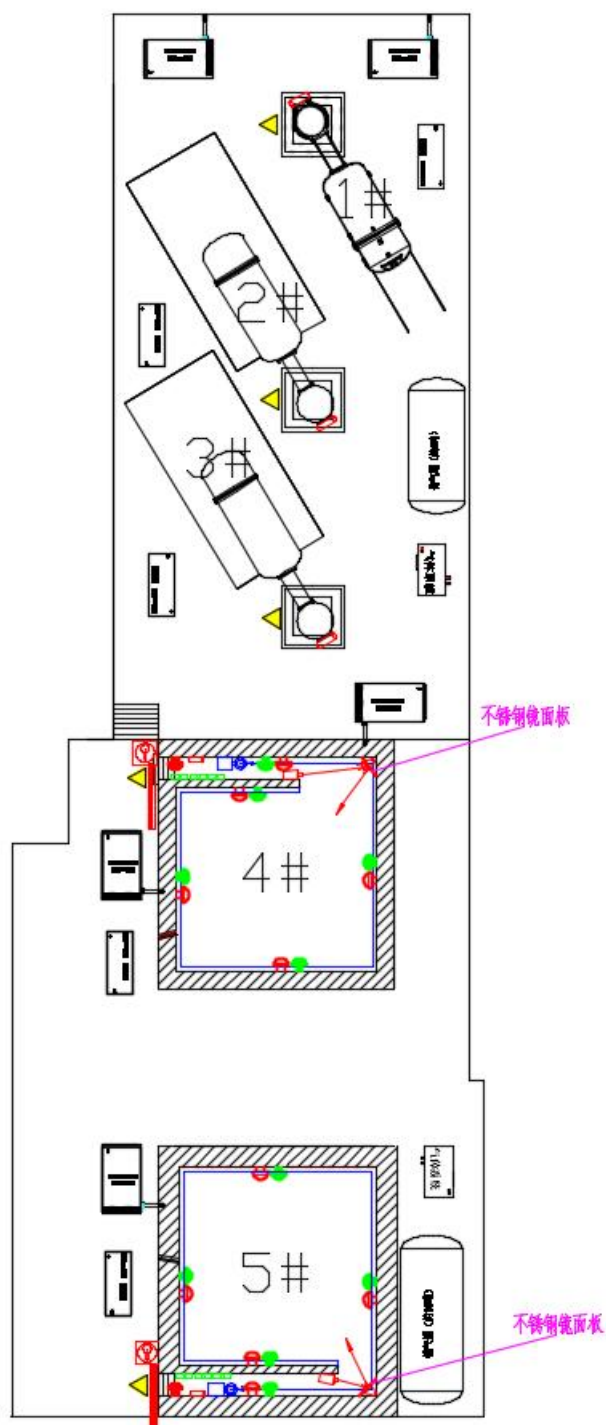


图 10-4 加速器机房主机室、设备平台上安全装置示意图

#### 四、监测仪器和防护用品

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。

江苏亨通电力电缆有限公司已配备辐射巡测仪 1 台，公司拟为本项目增配个人剂量报警仪 10 台用于辐射监测和报警。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监

测累积受照情况。公司拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

### 三废的治理

本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。工作人员产生的普通生活污水，由厂内污水处理设施统一处理。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

电子加速器在工作状态时，高能电子束及其产生的韧致辐射（X 射线）会使辐照室内空气电离从而产生一定量的臭氧和氮氧化物。

本项目工业电子加速器辐照室排风口通过深埋地下风道连接到排气口，辐照室排风口位于加速器出束窗口正下方，风道孔洞直径为 600mm，管道埋地深度约为 800mm，臭氧和氮氧化物通过管道延伸到辐照扩能车间顶且高出车间约 2m 排放至室外（辐照扩能车间屋顶高 28.25m）。加速器运行期间风机一直保持运行，停机后还将以最大排风量继续运行 10min，辐照室内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气通过排风管道排出，对周围影响较小。本项目加速器机房排风系统设计如图 10-5、图 10-6 所示。

电子加速器辐照装置运行期间的噪声主要由臭氧排风机产生，本项目排风机拟采用低噪声风机，安装时采取隔声减噪措施，经辐照扩能车间衰减后，对周围环境影响较小。



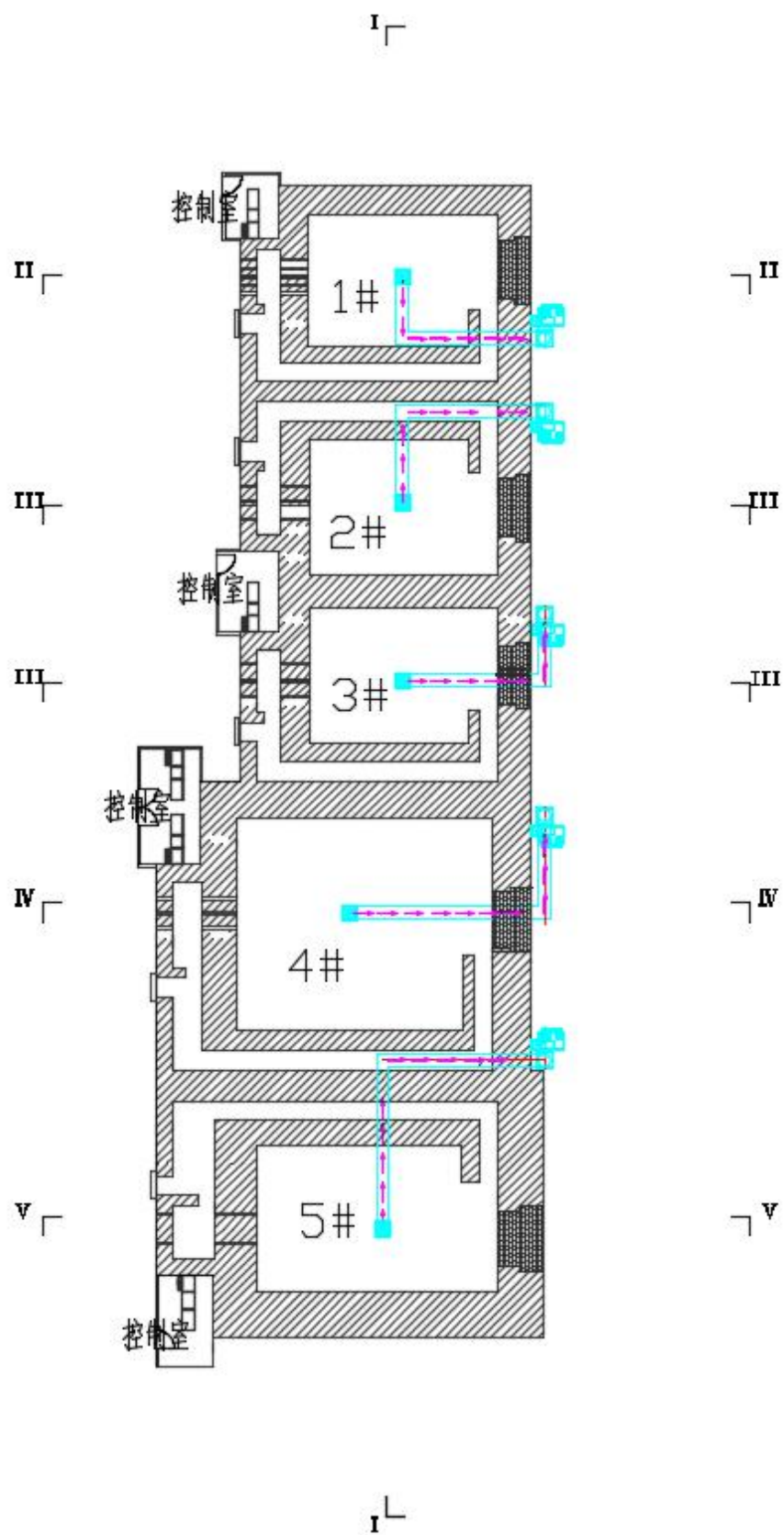


图 10-5 加速器机房排风管道布设示意图（平面）

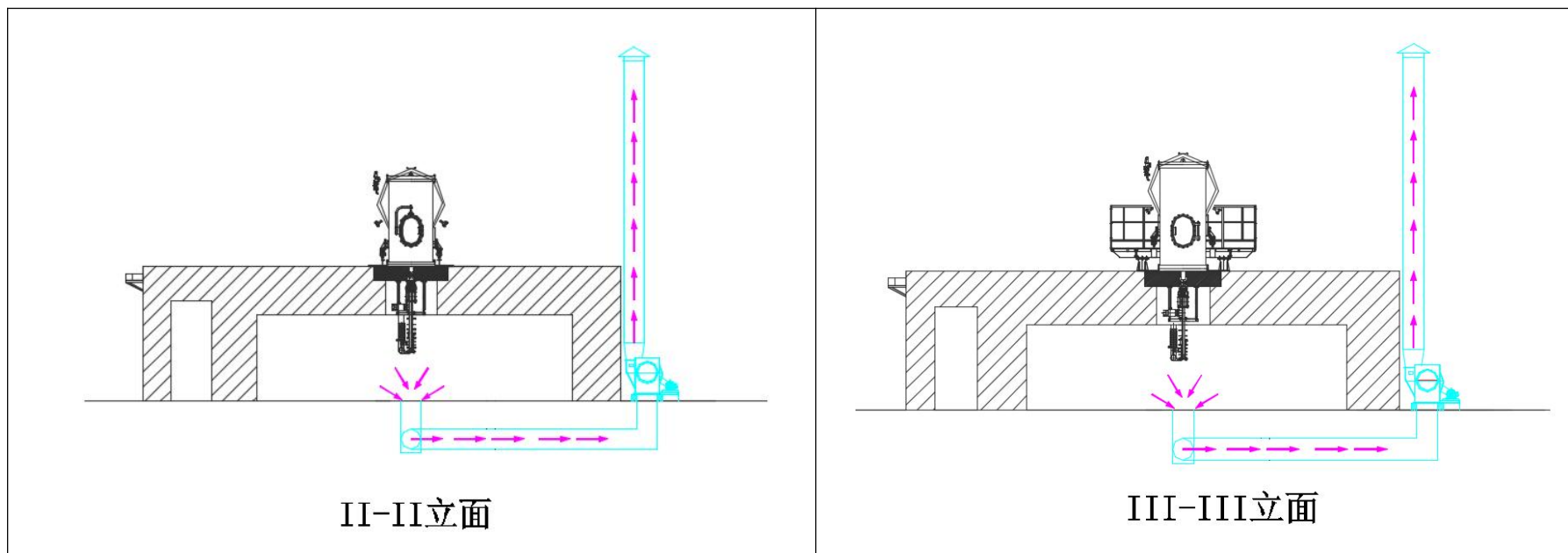


图 10-6 (1) 加速器机房排风管道布设示意图 (立面)

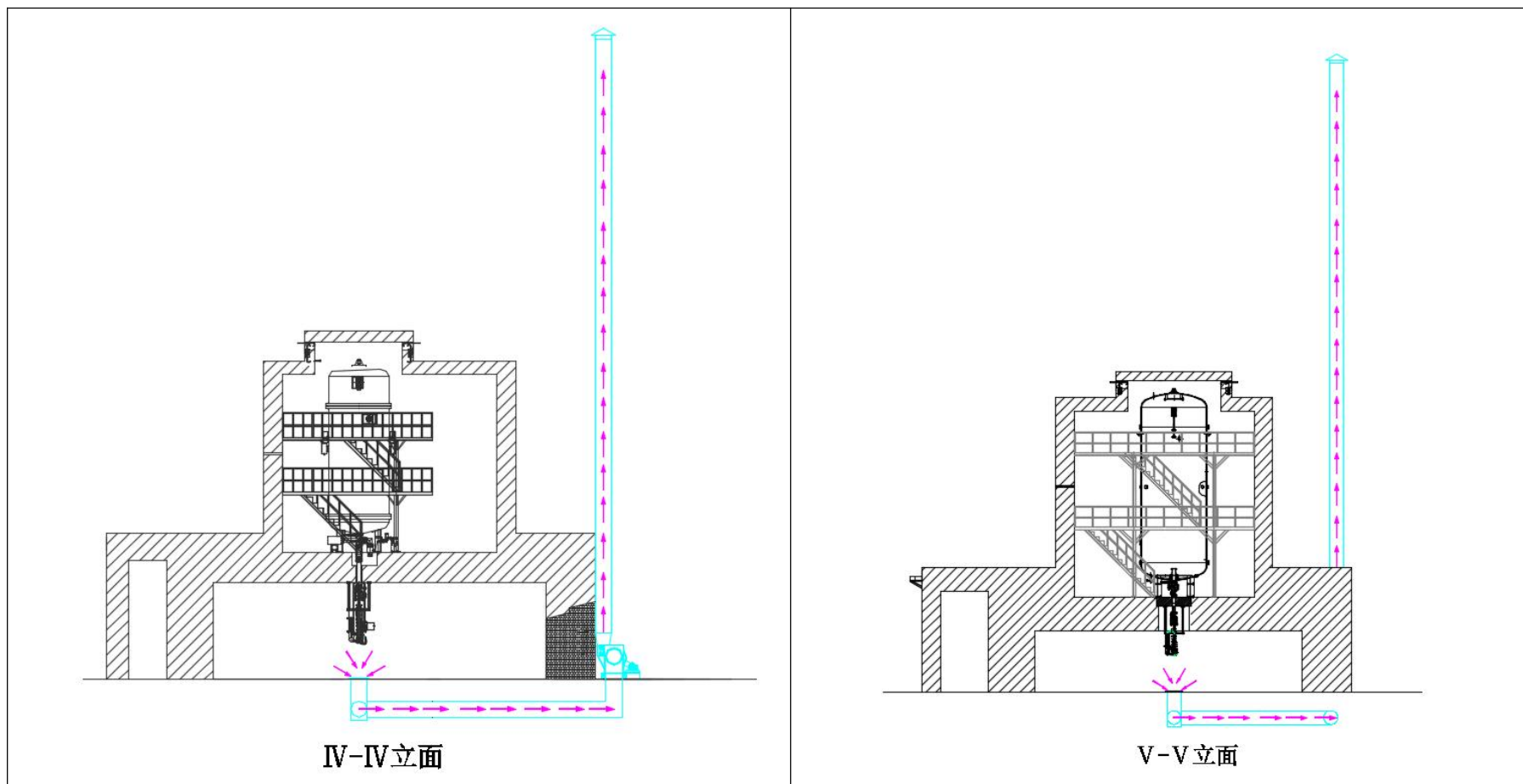


图 10-6 (2) 加速器机房排风管道布设示意图 (立面)

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目加速器机房建设时将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设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的挖掘地基、打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，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：整个建筑施工阶段，如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》（GB 12523-2011）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，回收用于施工场地洒水降尘。

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。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

江苏亨通电力电缆有限公司拟在辐照扩能车间扩建 5 台电子加速器辐照装置，用于对电线电缆的辐照加工。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污染因子。

偏离束流主方向的电子束照射到加速器桶体后产生韧致辐射（X 射线），这部分射线为加速器钢桶或主机室的屏蔽对象。

电子加速器运行时，电子束出束方向竖直向下，在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：

- ①混凝土地面
- ②束下装置结构（多为不锈钢）
- ③辐照产品：产品主要为电线、电缆（多为铜芯）等

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X 射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致 X 射线的发射率也不相同。本项目加速器出束辐照时，3 种轰击物质铜 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铜为轰击靶，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、辐射影响评价模式

### （1）直射 X 射线的屏蔽

直射 X 射线剂量率根据 HJ 979-2018 公式 A-1 可得：

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

式中： $H_M$ —参考点周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

$B_X$ —X 射线屏蔽透射比；

$T$ —居留因子。当参考点位置为人员全居留时取 1，部分居留可取 1/4，偶然居留可取 1/16；计算参考点周围剂量当量率时，全部保守取 1；

$d$ —X 射线源与参考点之间的距离（m）；

常数（ $1 \times 10^{-6}$ ）为单位转换系数；

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

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

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。

在已知加速器机房屏蔽设计情况下， $B_X$  根据 HJ 979-2018 中公式 A-3、公式 A-4 可得：

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

$$n = \frac{S - T_1 + T_e}{T_e} \dots \dots \dots \text{公式 11-4}$$

式中：S—屏蔽体厚度（cm）；

$T_1$ —在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层（cm）；

$T_e$ —平衡十分之一值层，该值近似于常数（cm）；

$n$ —为十分之一值层的个数。

## （2）侧向 X 射线的屏蔽

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。

## （3）迷宫外入口（无防护门情况下）的剂量率估算

防护 X 射线的迷宫，按照公式 11-5 可保守地估算迷宫外入口的剂量率：

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

式中： $H_{1,rj}$ —迷宫出口处（无防护门情况下）的空气吸收剂量率，Sv/h；

$\alpha_1$ —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，参考 HJ 979-2018 取 0.005；

$\alpha_2$ —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程的相同的），参考 HJ 979-2018 取 0.02；

$A_1$ —X 射线入射到第一散射物质的散射面积， $m^2$ ；

$A_2$ —迷宫的截面积， $m^2$ ；

$d_1$ —X 射线源与第一散射物质的距离，m；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —沿着迷宫长轴的中心线距离；

$j$ —第  $j$  个散射过程。

## 2、参数选取

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）选取本次预测计算参数如表 11-1 所列。

表11-1 加速器机房辐照室屏蔽计算相关计算参数表

加速器序号及型号	1#: DD1.5/60-1600	2#、3#: DD2.0/50-1600	4#: DD3.0/30-1400	5#: DD4.5/20-1200
入射电子能量 (MeV)	1.5	2.0	3.0	4.5
在侧向屏蔽能量取相应等效能量 (MeV)				
电子束流强度 (mA)				
侧向 90° 的 X 射线发射率常数 $Q(\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$				
修正因子 $f_e$				
侧向 90° 的 $D_{10}$ (Gy/h)				
混凝土 $T_l, T_e$ (cm)				
铅 $T_l, T_e$ (cm)				

注：①由 HJ 979-2018 中表 A.4 数据作“入射电子能量-等效入射电子能量”拟合曲线，再由拟合曲线查取 4.5MeV 入射电子的 90° 方向等效能量；

②由 HJ 979-2018 中表 A.2、表 A.3 数据作“入射电子能量- $T_l$ ”拟合曲线、“入射电子能量- $T_e$ ”拟合曲线，再由拟合曲线查取 1.3MeV、1.9MeV、2.8MeV 对应的  $T_l$ 、 $T_e$ 。

表 11-2 加速器机房主机室计算相关计算参数表

加速器序号及型号	4#：DD3.0/30-1400	5#：DD4.5/20-1200
束流损失能量 (MeV)	0.3	0.45
束流损失在侧向屏蔽能量取相应等效能量		
束流损失强度 (mA)		
侧向 90° 的 X 射线发射率常数 $Q(\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$		
修正因子 $f_e$		
$D_{10}$ (Gy/h)		
混凝土 $T_l, T_e$ (cm)		
铅 $T_l, T_e$ (cm)		

### 3、加速器机房墙体及防护门屏蔽效果计算

在加速器机房周围取参考点如图 11-1 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-3、表 11-4。

表 11-3 辐照室侧向 X 射线直射辐射屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率一览表

参考点 编号	参考点位置	$S$ (cm 砵)	$B_x$	$D_{10}$ (Gy·m <sup>2</sup> /h)	$d$ (m)	剂量率 $H$ (μSv/h)
A1	1#加速器辐照室 东墙外 30cm					7.52E-03
B1	1#加速器辐照室 南墙外 30cm					7.76E-05
C1	1#加速器辐照室 防护门外 30cm					4.37E-02
D1	1#加速器辐照室 西墙外 30cm					4.70E-07
E1	1#加速器控制室					1.35E-02
F1	1#加速器辐照室 北墙外 30cm					6.61E-02
A2	2#加速器辐照室 东墙外 30cm					7.02E-02
B2	2#加速器辐照室 南墙外 30cm					1.02E-01
C2	2#加速器控制室					1.42E-02
D2	2#加速器西墙外 30cm					2.51E-06
E2	2#加速器辐照室 防护门外 30cm					6.05E-02
F2	2#加速器辐照室 北墙外 30cm					2.91E-04
A3	3#加速器辐照室 东墙外 30cm					7.02E-02
B3	3#加速器辐照室 南墙外 30cm					3.13E-09
C3	3#加速器辐照室 防护门外 30cm					6.49E-02
D3	3#加速器辐照室 西墙外 30cm					2.51E-06
E3	3#加速器控制室					1.42E-02
F3	3#加速器辐照室 北墙外 30cm					1.02E-01
A4	4#加速器辐照室 东墙外 30cm					3.72E-02
B4	4#加速器辐照室 南墙外 30cm					1.01E-05
C4	4#加速器辐照室 防护门外 30cm					1.98E-02



D4	4#加速器辐照室 西墙外 30cm		9.53E-06
E4	4#加速器控制室		1.72E-02
F4	4#加速器辐照室 北墙外 30cm		6.85E-02
A5	5#加速器辐照室 东墙外 30cm		9.42E-02
B5	5#加速器辐照室 南墙外 30cm		2.00E-01
C5	5#加速器控制室		5.92E-02
D5	5#加速器辐照室 西墙外 30cm		1.05E-04
E5	5#加速器辐照室 防护门外 30cm		1.45E-01
F5	5#加速器辐照室 北墙外 30cm		5.31E-04

注：屏蔽厚度  $S$  与距离  $d$  均直接由 CAD 图纸上读取。

表 11-4 主机室侧向 X 射线直射辐射屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率一览表

参考点 编号	参考点位置	$S$ (cm 砼)	$B_x$	$D_{10}$ (Gy·m <sup>2</sup> /h)	$d$ (m)	剂量率 $H$ (μSv/h)
G4	4#加速器主机室 东墙外 30cm					1.43E-03
H4	4#加速器主机室 南墙外 30cm					3.64E-03
I4	4#加速器主机室 西墙外 30cm					3.64E-03
J4	4#加速器主机室 防护门外 30cm					1.24E-03
K4	4#加速器主机室 北墙外 30cm					1.21E-03
G5	5#加速器主机室 东墙外 30cm					5.00E-03
H5	5#加速器主机室 防护门外 30cm					2.54
I5	5#加速器主机室 西墙外 30cm					4.00E-03
J5	5#加速器主机室 北墙外 30cm					5.12E-03

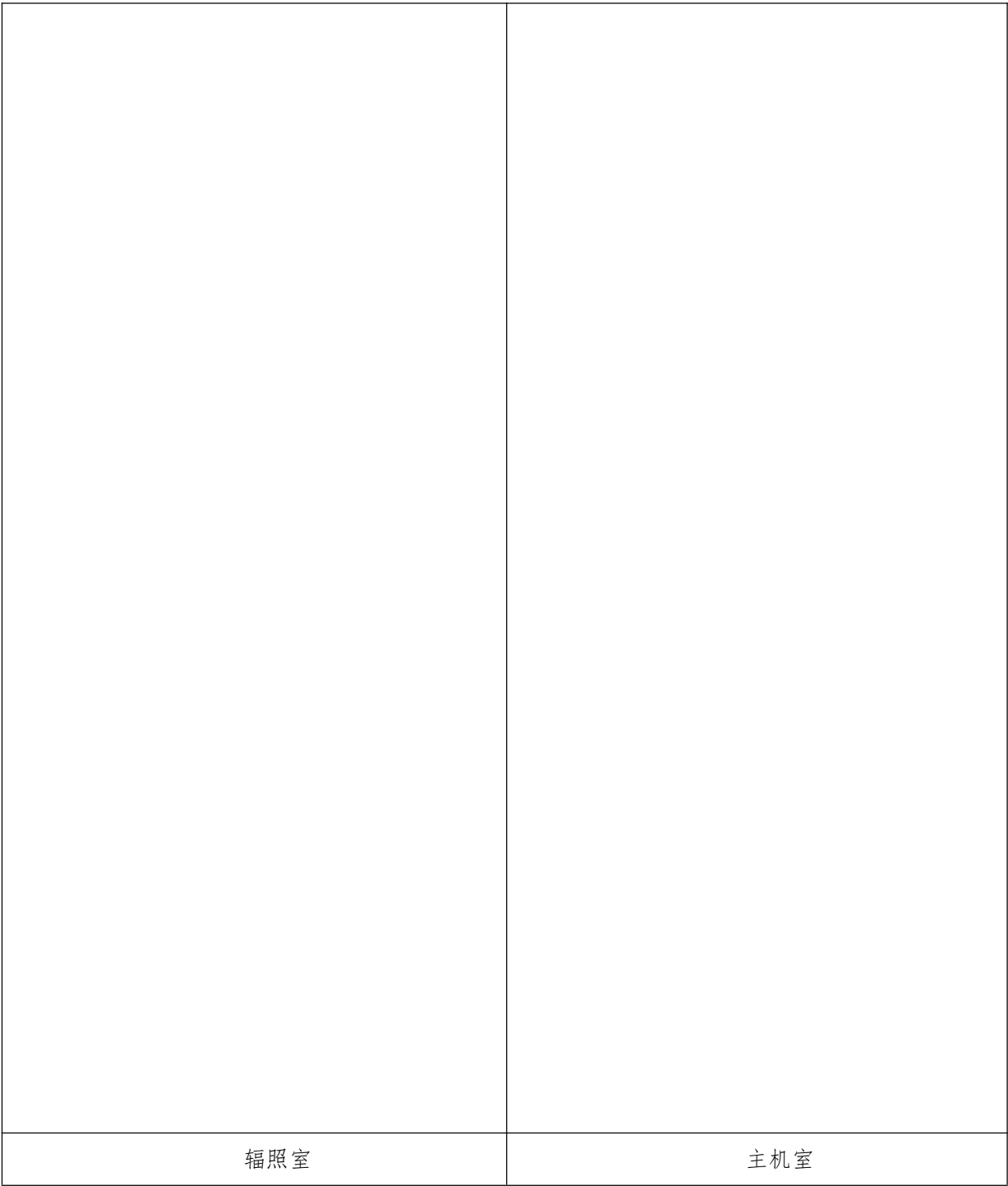


图 11-1 加速器机房辐照室、主机室周围屏蔽计算参考点位示意图

根据加速器机房的迷道设计，辐照室的辐射经过 4 次散射才能达迷道口，主机室的辐射经过 1 次散射达迷道口，散射示意图见图 11-2，迷道散射的散射面积、散射距离等计算参数及剂量率结果见表 11-5、表 11-6。

表 11-5 辐照室迷道散射计算参数及结果一览表

参考点 位置	参数选取	防护门外无屏蔽下 剂量率 (μSv/h)
1#加速器 辐照室迷 道口		1.46E-03
2#加速器 辐照室迷 道口		3.17E-03
3#加速器 辐照室迷 道口		3.17E-03
4#加速器 辐照室迷 道口		5.75E-04
5#加速器 辐照室迷 道口		1.12E-03

表 11-6 主机室迷道散射计算参数及结果一览表

参考点位置	参数选取		防护门外无屏蔽下剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
4#加速器主机室迷道口			17.92
5#加速器主机室迷道口			11.67

加速器机房辐照室、主机室迷道口处考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口的辐射剂量率估算结果见表 11-7。

表 11-7 加速器机房辐照室、主机室迷道口处辐射剂量率计算结果

参考点位置	直射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	迷道口叠加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#加速器机房辐照室迷道口	4.37E-02	1.46E-03	0.05
2#加速器机房辐照室迷道口	6.05E-02	3.17E-03	0.06
3#加速器机房辐照室迷道口	6.49E-02	3.17E-03	0.07
4#加速器机房辐照室迷道口	1.98E-02	5.75E-04	0.02
5#加速器机房辐照室迷道口	1.45E-01	1.12E-03	0.15
4#加速器机房主机室迷道口	1.24E-03	17.92	17.92
5#加速器机房主机室迷道口	2.54	11.67	14.21

由表 11-7 计算结果可知，本项目加速器机房辐照室迷道口在无防护状态下，剂量率均已小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，则辐照室防护门采用普通门即可满足防护要求；4#、5#加速器主机室防护门需要采取补偿防护措施。

根据建设单位提供资料，4#、5#加速器主机室防护门均内衬 10mm 铅板，保守计算考虑，认为散射线能量与直射 X 射线能量一致，4#加速器主机室防护门以 0.3MeV 能量取铅的  $T_1$ 、 $T_e$  为 5.7mm、5.7mm，5#加速器主机室防护门以 0.5MeV 能量取铅的

T<sub>1</sub>、T<sub>e</sub>为 5mm、12mm，计算经防护门屏蔽后的辐射剂量率，计算方法见公式 11-6，计算结果见表 11-8。

$$H = H_0 \bullet B \cdots \cdots \cdots \text{公式 11-6}$$

式中：H—防护门外 30cm 处辐射剂量率，μSv/h；  
H<sub>0</sub>—防护门内侧（即迷道口）处辐射剂量率，μSv/h；  
B<sub>x</sub>—屏蔽因子，使用公式 11-3、11-4 计算。

表 11-8 4#、5#加速器机房主机室防护门屏蔽效果计算一览表

参考点位置	S（mmPb）	B <sub>x</sub>	H <sub>0</sub> （μSv/h）	剂量率 H（μSv/h）
4#加速器机房主机室 防护门外 30cm 处				0.32
5#加速器机房主机室 防护门外 30cm 处				0.55

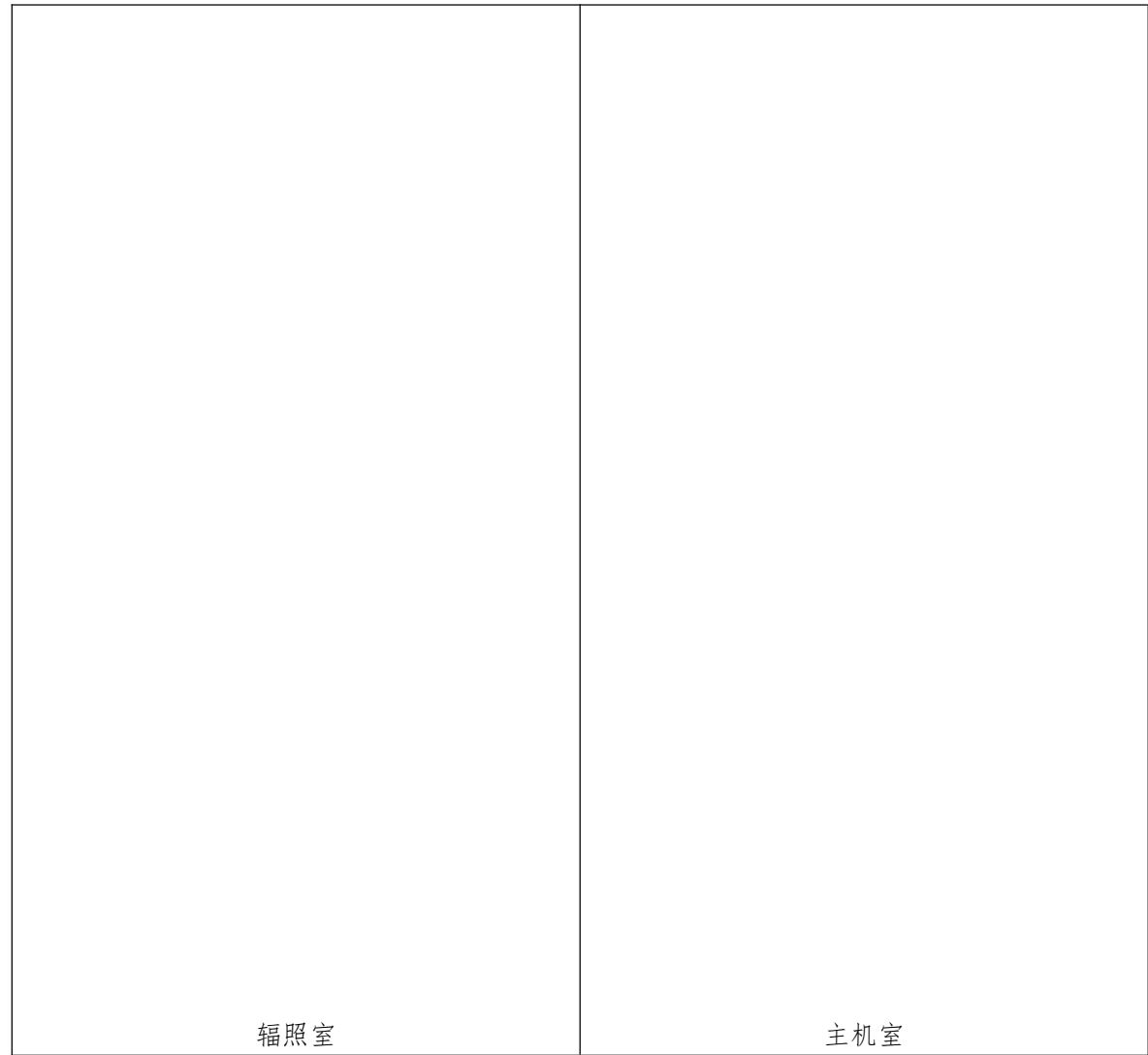


图 11-2 加速器机房辐照室、主机室迷道散射示意图

#### 4、X 射线直射到辐照室顶上的辐射影响

本项目 1#~3#加速器为半自屏蔽加速器，辐照室顶上为设备平台；4#~5#加速器机房辐照室顶上为主机室及主机室外围。主机室顶部及其上方（上方为车间顶棚）均无人到达；加速器日常正常运行时，设备平台及主机室外围无人长期居留，但会有工作人员定期在此区域进行日常巡测工作；设备检修维护时，可能有工作人员在此区域活动。因此主要考虑辐照室 X 射线直射到设备平台及主机室外围的辐射剂量率，计算参数及结果详见表 11-9。

表 11-9 X 射线直射到设备平台及主机室外围辐射剂量率一览表

参考点 编号	X 射线源位置	$S(\text{cm})^*$	$B_x$	$D_{10}$ ( $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$d(\text{m})^*$	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
G1	1#加速器机房 辐照室					2.84E-03
G2	2#加速器机房 辐照室					2.96E-03
G3	3#加速器机房 辐照室					2.96E-03
G4	4#加速器机房 辐照室					7.83E-07
H4						1.26E-04
I4						1.18E-04
K4						9.98E-03
G5	5#加速器机房 辐照室					5.38E-06
I5						8.34E-07
J5						3.87E-07



图 11-3 (1) 辐照室 X 射线直射到设备平台及主机室外围示意图

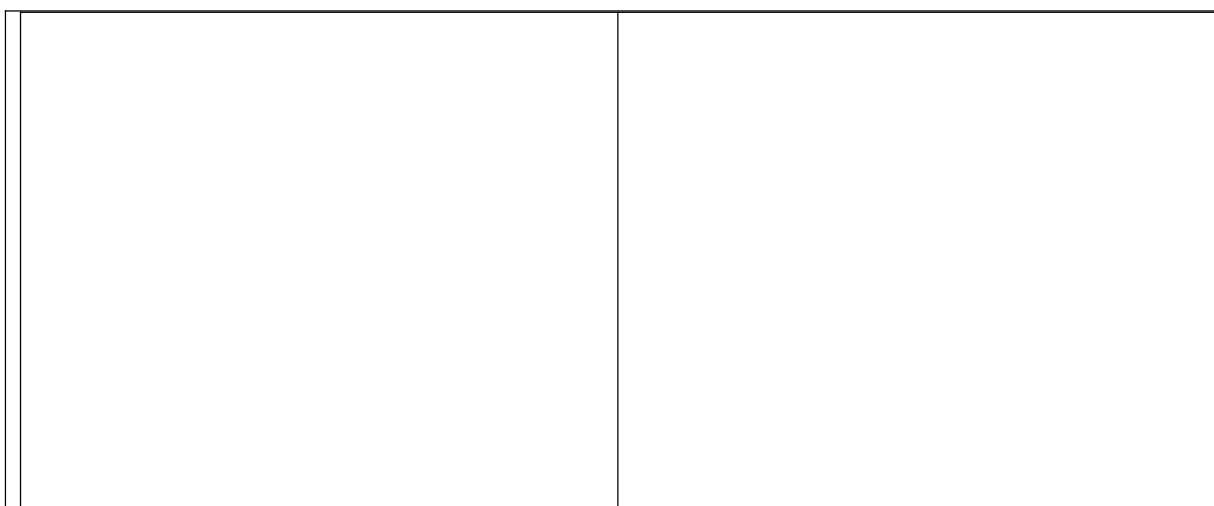


图 11-3 (2) 辐照室 X 射线直射到主机室外围示意图

## 5、加速器设备钢桶屏蔽分析

本项目 1#~3#加速器为半自屏蔽型加速器,对于加速器主体束流加速系统内的束流损失,根据实际运行检测知,当加速管内真空度良好的时候,可以忽略不计,即使在不利工况下,束流损失仅为 1%,束流损失能量为 10%,其产生的 X 射线能量较低。加速器侧钢桶屏蔽计算相关参数如表 11-10 所列,预测计算结果如表 11-11 所列。

表11-10 加速器钢桶屏蔽计算相关计算参数表

参数	1#: DD1.5/60-1600	2#、3#: DD2.0/50-1600
束流损失能量	0.15MeV (10%)	0.20MeV (10%)
束流损失在侧向屏蔽能量取 相应等效能量		
束流损失强度		
侧向 90°的 X 射线发射率常 数 Q (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )		
修正因子 $f_e$		
$D_{I0}$ (Gy/h)		
铅 $T_I$ , $T_e$ (mm)		

表 11-11 加速器侧钢桶侧向 X 射线直射辐射屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率一览表

参考点位置		$S^*$ (mm)	$B_x$	$D_{I0}$ (Gy·m <sup>2</sup> /h)	$d^*$ (m)	剂量率 $H$ (μSv/h)
1#加速器 (DD1.5/6 0-1600)	侧钢桶上半段 侧面 30cm 处					4.86E-27
	侧钢桶下半段 侧面 30cm 处					9.39E-37

	侧钢桶顶盖 30cm 处					1.30E-58
	侧钢桶侧盖 30cm 处					2.98E-37
	主钢桶与侧钢桶连接段表面 30cm 处					2.95E-27
2#、3#加速器 (DD2.0/50-1600)	侧钢桶上半段侧面 30cm 处					2.77E-17
	侧钢桶下半段侧面 30cm 处					9.98E-24
	侧钢桶顶盖 30cm 处					3.72E-39
	侧钢桶侧盖 30cm 处					2.70E-24
	主钢桶与侧钢桶连接段表面 30cm 处					1.16E-17

\*：加速器侧钢桶屏蔽参数详见表 10-2，从保守计算角度出发，仅考虑了铅的屏蔽作用。

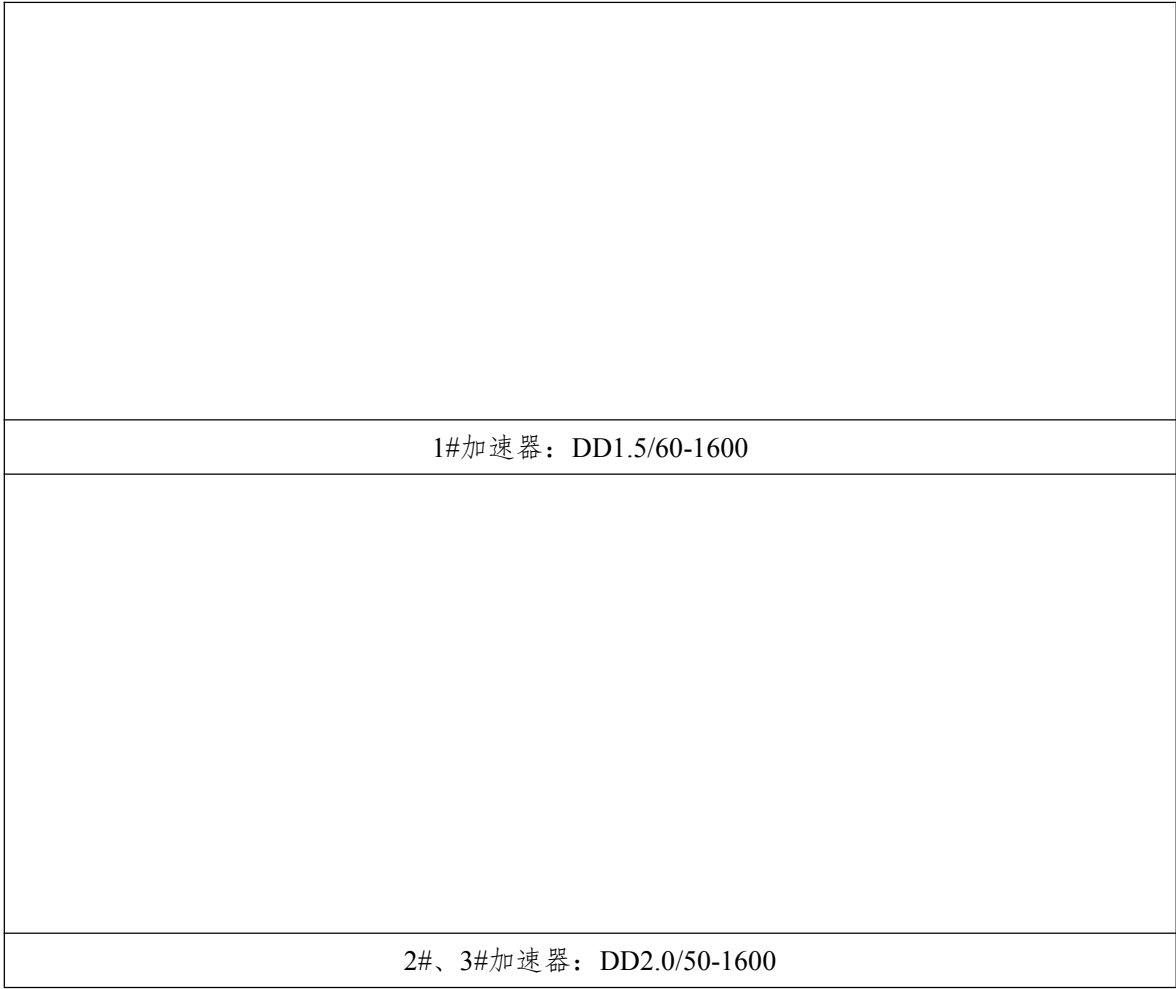


图 11-4 2#加速器侧钢桶屏蔽计算参考点位示意图



## 6、天空反散射的辐射影响

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目 1#~3# 加速器机房从辐照室 X 射线源直射到顶面设备平台的剂量最大为 0.003μSv/h，即使考虑剂量叠加也不会超过 0.01μSv/h。天空反散射的影响远小于 X 射线源直射到顶面设备平台的影响，故即使本项目 1#~3# 加速器同时开机运行，天空反散射所致辐射剂量率将远小于 0.01μSv/h。对于 4#、5# 加速器的天空反散射，采用理论预测计算进行分析，计算模式见公式 11-7，计算结果见表 11-12，天空反散射示意图见图 11-5。

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \dots\dots\dots \text{公式 11-7}$$

式中：H—在距离 X 射线源辐射  $d_s$  处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率，Sv/h；

$B_{xs}$ —X 射线屋顶的屏蔽透射比；

$\Omega$ —由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角（Sr）；

$d_i$ —在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m）；

$d_s$ —X 射线源至 P 点的距离（m）。

表 11-12 4#、5# 加速器天空反散射辐射影响预测计算结果一览表

参考点 序号	$D_{10}$ (Gy·m <sup>2</sup> /h)	屏蔽材料及 厚度（cm）	$B_{xs}$	$d_i$ (m)	$d_s$ (m)	$\Omega$ (Sr)	H (μSv/h)	合计 (μSv/h)
G4							3.95E-06	4.94E-06
							9.86E-07	
I4							2.38E-05	3.59E-05
							1.21E-05	
L4							1.00E-06	1.25E-06
							2.50E-07	
M4							7.23E-06	1.09E-05
							3.67E-06	
G5							5.48E-02	5.48E-02
							9.20E-06	

I5	3.98E-04	4.00E-04
	2.82E-06	
K5	1.17E-04	1.18E-04
	8.30E-07	
L5	1.58E-02	1.58E-02
	2.65E-06	

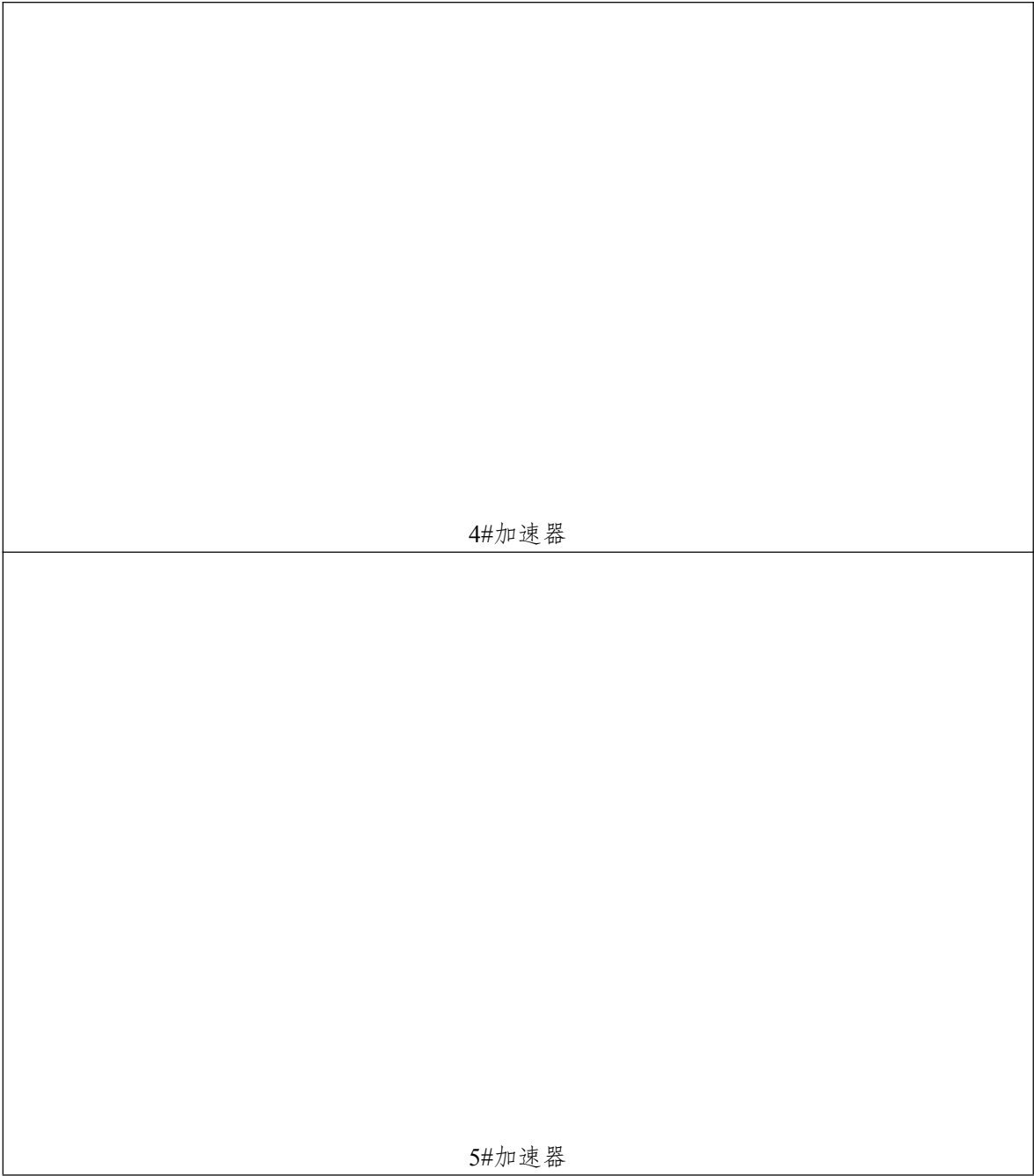


图 11-5 天空反散射示意图

## 7、结果汇总

本项目 1#~3#电子加速器辐照装置为半自屏蔽结构,加速器机房设备平台上均受到辐照室主束及侧钢桶内束流损失的叠加影响,汇总时,设备平台上取辐照室主束所致辐射剂量率和加速器侧钢桶内束流损失所致侧钢桶侧盖 30cm 处辐射剂量率之和; 4#、5#加速器主机室外受到辐照室、主机室直射及天空反散射的叠加影响,汇总时取辐照室主束所致辐射剂量率、主机室束流损失所致剂量率及天空反散射所致辐射剂量率之和。

表 11-13 加速器机房、屏蔽钢桶外理论估算结果汇总

参考点位置		辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#加速器机房	辐照室东墙外 30cm	7.52E-03
	辐照室南墙外 30cm	7.76E-05
	辐照室防护门外 30cm	0.05
	辐照室西墙外 30cm	4.70E-07
	控制室	0.01
	辐照室北墙外 30cm	0.07
	设备平台上 30cm	2.84E-03
2#加速器机房	辐照室东墙外 30cm	0.07
	辐照室南墙外 30cm	0.10
	辐照室防护门外 30cm	0.06
	辐照室西墙外 30cm	2.51E-06
	控制室	0.03
	辐照室北墙外 30cm	2.91E-04
	设备平台上 30cm	2.96E-03
3#加速器机房	辐照室东墙外 30cm	0.07
	辐照室南墙外 30cm	3.13E-09
	辐照室防护门外 30cm	0.02
	辐照室西墙外 30cm	2.51E-06
	控制室	0.03

	辐照室北墙外 30cm	0.10
	设备平台上 30cm	2.96E-03
4#加速器机房	辐照室东墙外 30cm	0.04
	辐照室南墙外 30cm	1.01E-05
	辐照室防护门外 30cm	0.02
	辐照室西墙外 30cm	9.53E-06
	控制室	0.02
	辐照室北墙外 30cm	0.07
	主机室东墙外 30cm	1.44E-03
	主机室南墙外 30cm	3.80E-03
	主机室西墙外 30cm	3.79E-03
	主机室北墙外 30cm	0.01
	主机室防护门外 30cm	0.32
5#加速器机房	辐照室东墙外 30cm	0.09
	辐照室南墙外 30cm	0.20
	辐照室防护门外 30cm	0.15
	辐照室西墙外 30cm	1.05E-04
	控制室	0.06
	辐照室北墙外 30cm	5.31E-04
	主机室东墙外 30cm	0.06
	主机室西墙外 30cm	4.40E-03
	主机室北墙外 30cm	0.06
	主机室防护门外 30cm	0.54

注：2#、3#加速器共用控制室，控制室处辐射剂量率取 2#、3#加速器的贡献值之和。

由表 11-13 可知，本项目加速器机房的屏蔽设计能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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。

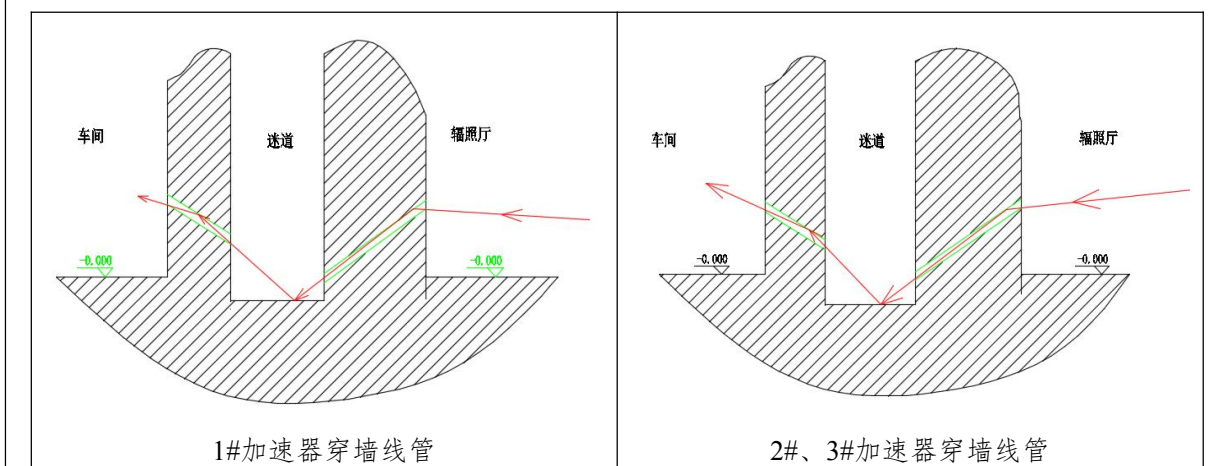
本项目 5 台电子加速器辐照装置拟南北并列布置，当 5 台加速器同时出束运行时，

其对周围环境产生的辐射剂量率存在叠加影响。从保守角度分析，加速器东侧叠加剂量率不会超过  $0.28\mu\text{Sv/h}$  ( $A1+A2+A3+A4+A5$ )，加速器南侧叠加剂量率不会超过  $0.30\mu\text{Sv/h}$  ( $B1+B2+B3+B4+B5$ )，加速器西侧叠加剂量率不会超过  $0.01\mu\text{Sv/h}$  ( $D1+D2+D3+D4+D5$ )，加速器北侧叠加剂量率不会超过  $0.24\mu\text{Sv/h}$  ( $F1+F2+F3+F4+F5$ )，加速器控制室叠加剂量率不会超过  $0.15\mu\text{Sv/h}$  ( $E1+C2+E3+E4+C5$ )，加速器辐照室上方（即设备平台及主机室外围）叠加剂量率不会超过  $0.87\mu\text{Sv/h}$  ( $G1+G2+G3+J4+H5$ )。

由上述分析可知，即使考虑 5 台电子加速器辐照装置同时运行的叠加影响，加速器机房外的辐射剂量率也均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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。

## 8、穿墙线管辐射防护及影响分析

本项目加速器机房辐照室西墙拟设置独立的线缆通道，详见图 11-6。线缆通道由外至内均为斜坡设计，与地面分别呈  $148^\circ$ 、 $36^\circ$ 。线缆通道的设计均避开主射线方向，射线最少需经 3 次散射后才能到达线缆入口处。参考《辐射防护导论》（方杰主编）：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。简单估算是使辐射在迷道中至少经过 3 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 3 次以上的迷道，是能够保证迷道口工作人员的安全。这时，迷道口也只需要采用普通门。”由此推断线缆通道的设计能够满足辐射防护要求。



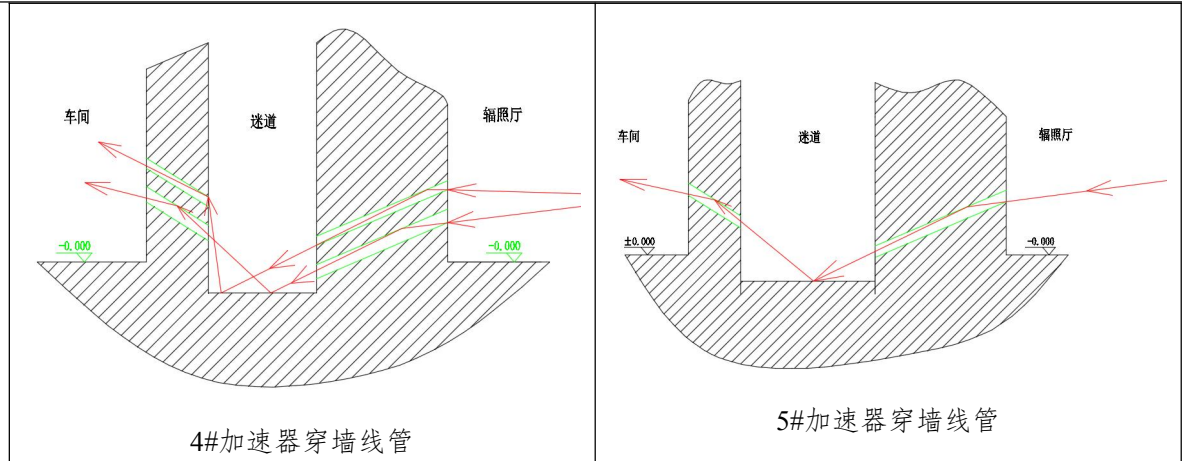


图 11-6 穿墙电缆管道及其散射路径示意图

### 8、通风管道辐射防护及影响分析

本项目加速器机房设置“U”形埋地穿墙通风管道，如图 11-5 所示，辐照室内排风口设于加速器出束口下方，臭氧排放口设于辐照扩能车间楼顶且高出楼顶 2m。本项目通风管道的设计能保证不破坏机房整体防护能力的前提下，又能使进入通风管道的 X 射线能够被多次散射（射线至少需要 3 次散射可到达机房外地面）。参考《辐射防护导论》（方杰主编）：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。简单估算是使辐射在迷道中至少经过 3 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 3 次以上的迷道，是能够保证迷道口工作人员的安全。”因此本项目通过通风管道对外造成的辐射影响较小。

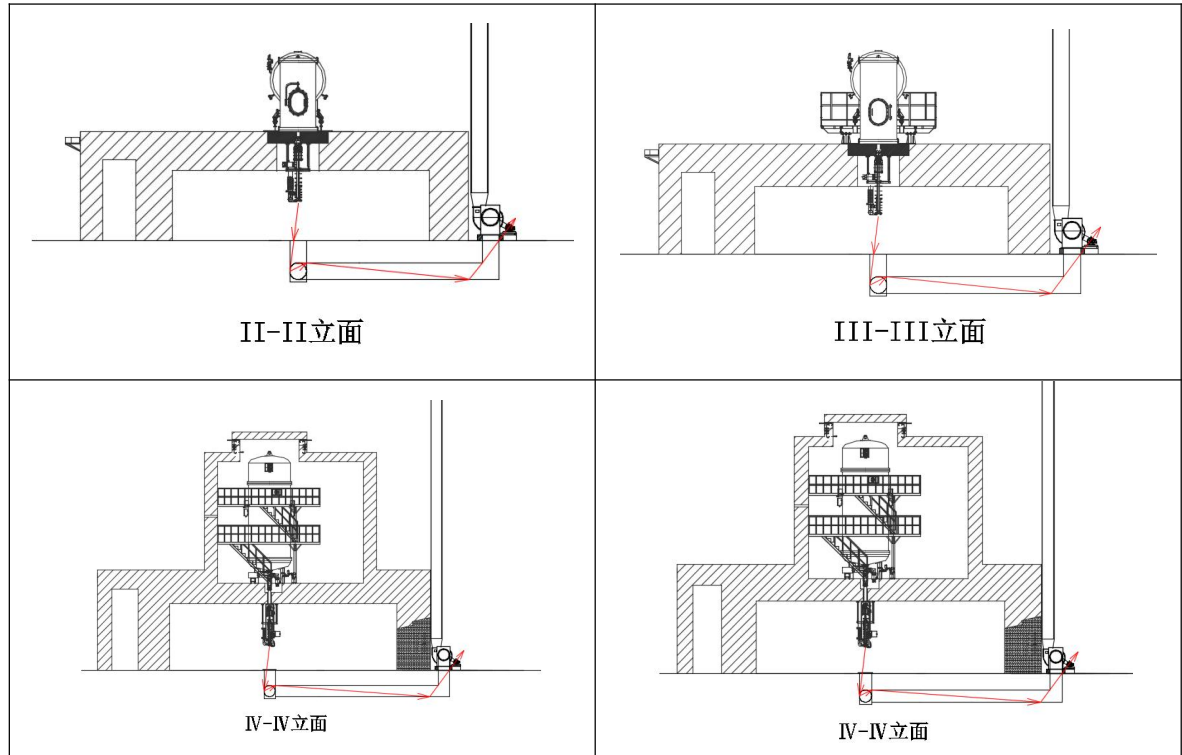


图 11-7（1）通风管道散射路径示意图

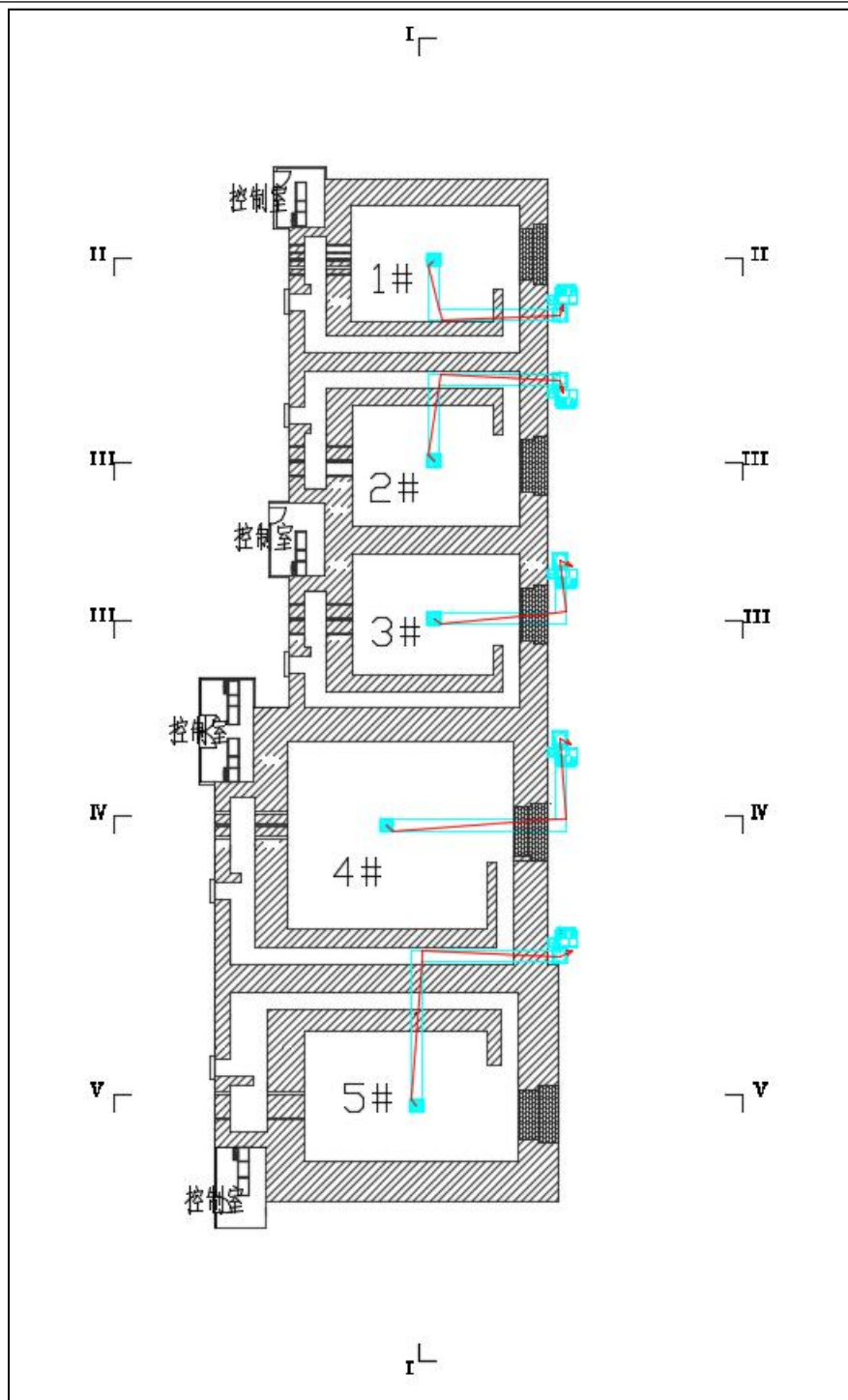


图 11-7 (2) 通风管道散射路径示意图

## 二、保护目标有效剂量评价

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \dots \dots \text{公式 11-8}$$

式中： $H_c$ —参考点的年剂量水平， $\mu\text{Sv/a}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ —参考点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$t$ —辐照装置年照射时间，单位为 h/a；

$U$ —辐照装置向关注点方向照射的使用因子；

$T$ —人员在相应关注点驻留的居留因子。

将表 11-13 加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8。

本项目建成投运后，加速器只在接到工作任务时运行。公司初期拟为本项目配置 10 名辐射工作人员，均为新培训工作人员，可满足项目初期间歇运行的工作负荷。后期公司将根据工作负荷的增加情况考虑辐射工作人员的增配及轮岗，以保证每名辐射工作人员年最大工作时间不超过 2000h。本项目周围公众主要为厂区内其他工作人员，其他工作人员为 8 小时工作制（不轮岗），因此项目周围公众可能逗留的时间也取 2000h。考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-8 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-14。

表 11-14 电子加速器机房周围人员年有效剂量

参考点位置		剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	参考点所在 场所	居留 因子	时间 (h)	人员可达处 年有效剂量 (mSv/a)	目标 管理值 (mSv/a)	结论
1# 电 子 加 速 器 机 房	东墙外	7.52E-03	过道	1/8	2000	1.88E-03	5	满足
	南墙外	7.76E-05	2#加速器辐 照室	1/16	2000	9.70E-06	5	满足
	防护门外	0.05	线缆收放区	1	2000	0.09	5	满足
	西墙外	4.70E-07	线缆收放区	1	2000	9.39E-07	5	满足
	控制室	0.01	控制室	1	2000	0.03	5	满足
	北墙外	0.07	过道	1/8	2000	0.02	5	满足
	顶部	2.84E-03	设备平台	1/16	2000	3.55E-04	5	满足
2# 电 子 加 速 器 机 房	东墙外	0.07	过道	1/8	2000	0.02	5	满足
	南墙外	0.10	3#加速器辐 照室	1/16	2000	0.01	5	满足
	防护门外	0.06	线缆收放区	1	2000	0.13	5	满足
	西墙外	2.51E-06	线缆收放区	1	2000	5.02E-06	5	满足
	控制室	0.03	控制室	1	2000	0.06	5	满足
	北墙外	2.91E-04	1#加速器辐 照室	1/16	2000	3.64E-05	5	满足
	顶部	2.96E-03	设备平台	1/16	2000	3.70E-04	5	满足



3# 电子 加速器 机房	东墙外		0.07	过道	1/8	2000	0.02	5	满足
	南墙外		3.13E-09	4#加速器辐 照室	1/16	2000	3.92E-10	5	满足
	防护门外		0.02	线缆收放区	1	2000	0.04	5	满足
	西墙外		2.51E-06	线缆收放区	1	2000	5.02E-06	5	满足
	控制室		0.03	控制室	1	2000	0.06	5	满足
	北墙外		0.10	2#加速器辐 照室	1/16	2000	0.01	5	满足
	顶部		2.96E-03	设备平台	1/16	2000	3.70E-04	5	满足
4# 电子 加速器 机房	辐 照 室	东墙外	0.04	过道	1/8	2000	9.31E-03	5	满足
		南墙外	1.01E-05	5#加速器辐 照室	1/16	2000	1.26E-06	5	满足
		防护门外	0.02	线缆收放区	1	2000	0.04	5	满足
		西墙外	9.53E-06	线缆收放区	1	2000	1.91E-05	5	满足
		控制室	0.02	控制室	1	2000	0.03	5	满足
		北墙外	0.07	3#加速器辐 照室	1/16	2000	8.56E-03	5	满足
	主 机 室	东墙外	1.44E-03	设备平台	1/16	2000	1.80E-04	5	满足
		南墙外	3.80E-03	设备平台	1/16	2000	4.75E-04	5	满足
		西墙外	3.79E-03	设备平台	1/16	2000	4.74E-04	5	满足
		北墙外	0.01	设备平台	1/16	2000	1.40E-03	5	满足
		防护门外	0.32	设备平台	1/16	2000	0.04	5	满足
5# 电子 加速器 机房	辐 照 室	东墙外	0.09	过道	1/8	2000	0.02	5	满足
		南墙外	0.20	过道	1/8	2000	0.05	5	满足
		防护门外	0.15	线缆收放区	1	2000	0.29	5	满足
		西墙外	1.05E-04	线缆收放区	1	2000	2.09E-04	5	满足
		控制室	0.06	控制室	1	2000	0.12	5	满足
		北墙外	5.31E-04	4#加速器辐 照室	1/16	2000	6.64E-05	5	满足
	主 机 室	东墙外	0.06	设备平台	1/16	2000	7.48E-03	5	满足
		西墙外	4.40E-03	设备平台	1/16	2000	5.50E-04	5	满足

	北墙外	0.06	设备平台	1/16	2000	7.49E-03	5	满足
	防护门外	0.54	设备平台	1/16	2000	0.07	5	满足

由表 11-14 结果分析知，本项目电子加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最高为 0.29mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

公司 5 台电子加速器辐照装置同时出束运行时，对周围人员所致年有效剂量存在叠加影响。实际运行时，5 台电子加速器辐照装置是各自独立运行的，其各自运行时间取决于各自的工作量。本报告保守考虑极端情况，即 5 台电子加速器辐照装置总是同时出束运行的情况，对周围人员叠加年有效剂量进行分析，结果见表 11-15。

表 11-15 电子加速器机房周围人员叠加年有效剂量

参考点位置	叠加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留 因子	时间 (h)	叠加年有效剂量 (mSv/a)	目标管理值 (mSv/a)	结论
控制室	0.15	1	2000	0.29	5	满足
加速器东侧过道	0.28	1/8	2000	0.07	5	满足
加速器南侧过道	0.30	1/8	2000	0.08	5	满足
加速器西侧线缆 收放区	0.01	1	2000	0.02	5	满足
加速器北侧过道	0.24	1/8	2000	0.06	5	满足
设备平台	0.87	1/16	2000	0.11	5	满足

由表 11-5 可知，当本项目 5 台电子加速器辐照装置总是同时运行时，辐射工作人员的叠加年有效剂量最大为 0.29mSv。加速器周围监督区、控制室、设备平台上公众均不可达，参考表 11-15 计算结果，则监督区外东侧厂区道路的公众年有效剂量不会超过 0.07mSv，监督区外南侧厂区道路的公众年有效剂量不会超过 0.08mSv，监督区外西侧车间内通道及其他生产区域（含车间二层）的公众年有效剂量不会超过 0.02mSv，监督区外北侧配电房、机房、缓存区的公众年有效剂量不会超过 0.06mSv，上述均能满足《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（公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv）。实际情况中，5 台电子加速器辐照装置不总是同步运行，且由于其他建筑结构的屏蔽及距离的衰减后，对周围人员的叠加年有效剂量还将进一步降低，远小于上述保守计算结果。

因此即使考虑 5 台电子加速器辐照装置的叠加影响，本项目辐射工作人员及周围公众的年有效剂量也均能满足《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）。

本项目拟建址北侧约 40m 处为公司辐照车间现有 3#、4#加速器机房，当辐照车间 3#、4#加速器与本项目辐照扩能车间加速器同时出束运行时，对辐射工作人员和周围公众存在剂量叠加影响。根据建设单位提供的辐照车间 3#、4#加速器辐射防护检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2022）第 3193 号、瑞森（综）字（2023）第 3056 号，详见附件 10），3#加速器机房南侧最大剂量率为 0.12 $\mu$ Sv/h，4#加速器机房南侧最大剂量率为 0.16 $\mu$ Sv/h，本项目扩建 5 台加速器北侧保守估算叠加剂量率为 0.24 $\mu$ Sv/h，即使不考虑距离引起的剂量衰减，上述 7 台加速器同时出束运行时机房外的辐射剂量率仍能满足不超过 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求。

现有辐照车间与拟建辐照扩能车间之间为厂区道路，处于厂区道路上的公众的年有效剂量会受到现有 3#、4#加速器与本项目 5 台加速器的叠加效果。取现有 3#、4#加速器与本项目 5 台加速器的中间位置，考虑 20m 的距离衰减后，该参考位置的叠加剂量率约为 0.0013 $\mu$ Sv/h。厂区道路上的公众多为公司其他工作人员，年工作时间取 2000h，厂区道路居留因子取 1/8，按公式 11-8 计算得年有效剂量小于 0.001mSv，满足公众的剂量约束值要求。

从保守计算角度出发，不考虑距离引起的剂量衰减来预测辐射工作人员的年有效剂量。根据建设单位提供的辐照车间 3#、4#加速器辐射防护检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2022）第 3193 号、瑞森（综）字（2023）第 3056 号），3#加速器操作位处剂量率为 0.12 $\mu$ Sv/h，4#加速器操作位处剂量率为 0.14 $\mu$ Sv/h，本项目 5 台加速器控制室叠加剂量率为 0.15 $\mu$ Sv/h，则叠加剂量率为 0.41 $\mu$ Sv/h。辐射工作人员年工作时间取 2000，距离因子取 1，按公式 11-8 计算得年有效剂量为 0.82，满足辐射工作人员的剂量约束值要求。

因此即使考虑本项目 5 台加速器与现有 3#、4#加速器的叠加影响，本项目辐射工作人员、3#、4#加速器辐射工作人员及周围公众的年有效剂量也均能满足《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）。

### 三、非辐射环境影响分析

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。工作人员产生的生活污水，由厂区内污水处理设施统一处理后接入市政污水管网。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

电子加速器工作时产生的 X 射线电离空气会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，臭氧的毒性高，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。

### 1、通风系统设置

本项目工业电子加速器辐照室排风口通过深埋地下风道连接到排气口，辐照室排风口位于加速器出束窗口正下方，风道孔洞直径为 600mm，管道埋地深度约为 800mm，臭氧和氮氧化物通过管道延伸到辐照扩能车间顶且高出厂房 2m 排放至室外（辐照扩能车间屋顶高 28.25m），设计排风量为 15000m³/h。公司拟采用低噪声风机，并在安装时设置减震抑噪措施，排风系统噪声对周围环境影响较小。

### 2、臭氧的产生及其防护

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：

$$P = 45dIG \cdots \cdots \text{公式 11-9}$$

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；

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，辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \cdots \cdots \text{公式 11-10}$$

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）；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \dots\dots\dots \text{公式 11-11}$$

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：

$$C_S = \frac{PT_e}{V} \dots\dots\dots \text{公式 11-12}$$

式中： $C_S$ —辐照室内臭氧平衡浓度（mg/m<sup>3</sup>）；

$T_e$ —对臭氧的有效清除时间（h）；

$V$ —辐照室的体积（m<sup>3</sup>）。

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 11-16 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参 数	1#	2#、3#	4#	5#
$d$ （cm）	10	10	10	10
$I$ （mA）	60	50	30	20
$G$	10	10	10	10
$P$ （mg/h）	270000	225000	135000	90000
$V$ （m <sup>3</sup> ）	191.8	190.6	546.7	235.4
排风速率（m <sup>3</sup> /h）	15000	15000	15000	15000
$T_e$ （h）	0.01	0.01	0.03	0.02
$C_S$ （mg/m <sup>3</sup> ）	17.73	14.77	8.62	5.89

### （3）臭氧的排放

由表 11-16 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 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。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：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_S} \dots\dots\dots \text{公式 11-13}$$

式中： $C_0$ —GBZ 2.1 所规定的臭氧的最高容许浓度， $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$T$ —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间（h）。

表 11-17 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参 数	1#	2#、3#	4#	5#
$T_e$ (h)	0.01	0.01	0.03	0.02
$C_0$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	0.3	0.3	0.3	0.3
$C_S$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	17.73	14.77	8.62	5.89
$T$ (min)	3.08	2.93	7.04	2.75

由表 11-17 可知，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于  $15000\text{m}^3/\text{h}$  继续工作，1#~5#加速器机房分别通过约 3.08min、2.93min、2.93min、7.04min、2.75min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度均可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，电子加速器停机后必须继续排风 10min 后，辐射工作人员方可进入辐照室。

加速器工作时线缆收放区线缆孔处于负压状态，辐照室内气体不会通过线缆孔扩散。项目设置的排风口位于辐照扩能车间顶且高出屋顶 2m（辐照扩能车间标高 28.25m，排风口标高约 30m），厂房顶部人员不可达，厂房周围无更高大建筑。5 台加速器排风管道各自独立，臭氧通过高空排放，比较容易扩散，且臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

## 事故影响分析

### 1、事故情景

电子加速器只有在开机曝光时才产生 X 射线，因此，X 射线辐照事故多为开机误照射事故，主要有：

（1）由于安全联锁装置失灵，电子加速器开机辐照时，人员误入机房造成意外照射；

（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（操

作人员未按要求全程陪同检维修人员或检维修结束后不进行巡视等），不注意防护或他人误开机（管理不当使非加速器操作人员进入控制室误开机，或交接班信息传达不到位，下一班工作人员不知道检维修的情况等）使滞留机房内的检维修人员受到照射；

（3）连锁装置失效，加速器故障、异常运行时不能发出警告信号、无法自动停机，此时人员进入机房内造成大剂量照射事故。

## 2、事故后果

由辐射环境影响计算分析可知，本项目加速器机房屏蔽防护效果良好，即使发生事故，机房外的人员也不会遭受大剂量照射；本次对人员误入机房内部的情景进行剂量预测。

假定加速器以最大工况运行，人员误入机房，距加速器出束口 0.5m~2m，滞留时间取 1min、5min、10min、15min、20min、30min。人员所处位置的剂量率计算方法同机房外辐射剂量率计算方法，无屏蔽时屏蔽因子取 1，计算结果见表 11-18。

表 11-18 人员误入机房参考位置剂量率预测结果

参 数	数 据			
侧向 90° 的 $D_{10}$ (Gy/h)	3410			
屏蔽因子 $B_x$	1			
距离 $d$	0.5	1	1.5	2
剂量率 $H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$1.36 \times 10^{10}$	$3.41 \times 10^9$	$1.52 \times 10^9$	$8.53 \times 10^8$

注：选取电子束能量最大、X 射线发射率最大的 5#加速器进行计算。

误入机房人员滞留不同时长受照剂量计算方法同机房外人员有效剂量计算方法，居留因子全部取 1，计算结果见表 11-19。

表 11-19 事故状态下人员受照剂量计算结果（单位：mSv）

参 考 点 位 置 滞留时长	1min	5min	10min	15min	20min	30min
出束口 0.5m 处	2.27E+05	1.14E+06	2.27E+06	3.41E+06	4.55E+06	6.82E+06
出束口 1m 处	5.68E+04	2.84E+05	5.68E+05	8.53E+05	1.14E+06	1.71E+06
出束口 1.5m 处	2.53E+04	1.26E+05	2.53E+05	3.79E+05	5.05E+05	7.58E+05
出束口 2m 处	1.42E+04	7.10E+04	1.42E+05	2.13E+05	2.84E+05	4.26E+05

由表 11-19 计算结果可知，人员误入机房内距离出束口越近、滞留时间越长，受照剂量越大；但即使滞留时间较短、距离出束口相对较远，仍会受到大剂量照射，远超

过人员剂量约束值要求。

### 3、预防事故及减轻事故后果的措施

为防止事故的发生及减轻事故后果，公司在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平。使用过程中要经常定期检查和维护联锁系统及安全保障系统，加速器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

针对以上可能发生的事故风险，公司应制定完善的辐射安全管理制度并严格落实，防范事故的发生；需完善辐射事故应急方案，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，采取必要应急措施，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。



表 12 辐射安全管理

**辐射安全与环境保护管理机构的设置**

江苏亨通电力电缆有限公司拟在辐照扩能车间内扩建 5 台电子加速器辐照装置，用于对公司生产的电线电缆进行辐照加工。电子加速器辐照装置为 II 类射线装置。

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。

江苏亨通电力电缆有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，以文件形式明确管理人员职责。公司应根据本次扩建 5 台电子加速器辐照装置项目制定相关文件，明确公司相关辐射项目的管理人员及其职责。公司初期拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员。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。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员及辐射安全管理人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加“电子加速器辐照”类、“辐射安全管理”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

**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”。江苏亨通电力电缆有限公司已制定《电子加速器操作规程》《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《辐照设备检修维护制度》《射线装置使用登记、台账管理制度》《人员培训计划》《个人剂量监测方案》《辐射环境监测方案》《辐射事故应急预案》等

规章制度，满足公司现有的核技术利用辐射安全管理。公司应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，并将本项目纳入全公司的辐射安全管理当中。现对各项制度提出相应的建议和要求：

**辐射防护和安全保卫制度：**根据公司的具体情况完善辐射防护和保卫制度，重点是电子加速器的运行和维修时辐射安全管理。

**操作规程：**明确辐射工作人员的资质条件要求、电子加速器操作流程和检维修工作流程，及相应操作过程中应采取的具体防护措施、安全措施，重点是明确电子加速器操作步骤以及辐照过程中必须采取的辐射安全措施。

**设备维护检修制度：**明确电子加速器和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备（急停按钮、门机联锁、警示标志、工作状态指示灯等），保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。按照 HJ 979-2018 中相关要求，设备维护检修制度中应明确：

#### 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。常规日检查项目应至少包括下列内容：

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

#### 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。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。

#### 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。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。

#### 4) 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。记录事项一般不少于下列内容：

- ①运行工况；
- ②辐照产品的情况；
- ③发生的故障及排除方法；
- ④外来人员进入控制区情况；
- ⑤个人剂量计佩戴情况；
- ⑥个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；
- ⑦检查及维修维护的内容与结果；
- ⑧其它。

**岗位职责：**明确管理人员、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。

**人员培训计划和健康管理制：**明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，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》，辐射工作人员及辐射防护负责人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。辐射工作人员应定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年，包括岗前体检、在岗体检及离岗前体检），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

**使用登记制度：**公司应建立电子加速器使用登记制度，规范电子加速器的台账管理。严格按照记录表内容进行登记，使所有工作人员的操作记录有据可查。

**监测方案：**公司应制定完善的监测方案，明确监测点位、监测项目和频次，购置相应监测仪器（应至少购置 3 台个人剂量报警仪）并定期送检、校准，其能量响应范围应满足本项目监测需要，并按监测方案对核技术应用场所及周围辐射水平进行监测，同时做好记录分析工作，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保射

线装置的辐射安全，该公司应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

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委托有资质监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全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

## 辐射监测

江苏亨通电力电缆有限公司已配备了1台辐射巡测仪和8台个人剂量报警仪用于辐射防护检测及报警。公司拟为本次扩建项目增配10台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1) 委托有资质的单位定期对项目周围环境X-γ辐射剂量率进行监测，周期：1~2次/年；

2) 辐射工作人员开展个人剂量监测（1次/季度），建立个人剂量档案；

3) 定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录。

江苏亨通电力电缆有限公司已制定《辐射环境监测方案》《个人剂量监测方案》，并按照方案对现有的核技术利用项目进行日常自主监测，每年至少一次委托有资质单位进行年度监测，并对现有辐射工作人员进行个人剂量监测。本项目建设投运后，应一并纳入上述制度的监测范围内。

## 辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，核技术利用单位应建立辐射事故应急方案，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

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辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在公司定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《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》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 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。

江苏亨通电力电缆有限公司已制定《辐射事故应急预案》，满足公司现有的核技术利用项目事故应急，公司已定期开展辐射事故应急演练。公司现有的核技术利用项目投入运行以来，不曾发生过辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、实践正当性

江苏亨通电力电缆有限公司拟在辐照扩能车间内扩建 5 台电子加速器辐照装置，辐照扩能车间 1# 机房配置 1 台 DD1.5/60-1600 型工业电子加速器（参数：1.5MeV/60mA），辐照扩能车间 2#、3# 机房分别配置 1 台 DD2.0/50-1600 型工业电子加速器（参数：2.0MeV/50mA），辐照扩能车间 4# 机房配置 1 台 DD3.0/30-1400 型工业电子加速器（参数：3.0MeV/30mA），辐照扩能车间 5# 机房配置 1 台 DD4.5/20-1200 型工业电子加速器（参数：4.5MeV/20mA），均用于对电线电缆等进行辐照加工。项目拟分两期建设，一期建设 5 座加速器机房，安装 1#、2#、4# 加速器，二期安装 3#、5# 加速器。该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）辐射防护“实践正当性”原则。

二、产业政策相符性

江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台电子加速器辐照装置项目属于“使用 II 类射线装置的”项目，对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、选址合理性

江苏亨通电力电缆有限公司于苏州市吴江区七都镇人民西路 2288 号和苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号共设有两个厂区，扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于亨通大道 88 号厂区辐照扩能车间内。横路港横穿亨通大道 88 号厂区，将厂区分为东区、西区两个部分，本项目拟建址位于西区部分（以下所述“厂区”均指西区部分）。公司厂区东侧为横路港、河道、鱼塘及农田，南侧为丰田村民居、水塘及农田，西侧为亨通大道，北侧为亨通大道及横路港。

扩建 5 台电子加速器辐照装置项目拟建址位于辐照扩能车间，辐照扩能车间东侧拟建厂区道路及停车位，南侧拟建厂区道路及 3# 厂房，西侧拟建厂区道路及 1# 综合楼，北侧为厂区道路及现有辐照成品仓库、23# 辐照车间。辐照扩能车间内部可分为东、西两部分，东部为辐照加工区，厂房为地上一层结构；西区为线缆生产区，厂房为地上二层结构。本项目 5 台加速器南北并列布置于辐照扩能车间东部，由北向南依次为 1#~5# 加速器，加速器东侧、南侧均为厂房墙壁，西侧为线缆收发区，北侧为配

电房，上方为厂房顶棚，下方为土层。

江苏亨通电力电缆有限公司扩建5台电子加速器辐照装置项目周围50m评价范围均位于公司厂区范围内，项目运行后的主要保护目标为本项目的辐射工作人员、厂内其他工作人员及50m评价范围内其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号）和《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于苏州市重点管控单元临湖西区工业聚集区（编码：ZH32050920266）内，不在苏州市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和重点管控单元。本项目为核技术利用项目，能满足一般管控单元的管控要求。本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

为加强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、主机室、设备平台上钢桶内部作为辐射防护控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在辐照室、主机室防护门外设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；拟将控制室、线缆收发区、设备平台上钢桶以外区域、辐照室顶上主机室以外区域、主机室顶部作为辐射防护监督区，控制室门口设置电离辐射警告标志，监督区边界设置围栏并粘贴监督区标识、电离辐射警告标志，通往辐照室顶上设备平台的楼梯口设置隔离门并上锁，电子加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员限制进入。

本项目选址及布局合理，项目工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

#### 四、辐射环境现状评价

江苏亨通电力电缆有限公司扩建5台电子加速器辐照装置项目拟建址及其周围道路环境 $\gamma$ 辐射剂量率为37nGy/h~63nGy/h，处于江苏省道路 $\gamma$ 辐射剂量率本底水平18.1nGy/h~102.3nGy/h范围内。

#### 五、环境影响评价

根据理论估算结果，江苏亨通电力电缆有限公司扩建5台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均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中

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）。

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。工作人员产生的生活污水，由厂区内污水处理设施统一处理后接入市政管网。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

本项目工业电子加速器机房内的空气在辐射照射下会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目加速器机房各设置排风机 1 台，设计排风量均为 15000m<sup>3</sup>/h。为确保安全，加速器设有通风连锁装置，加速器停机后需继续通风 10min 以上，防护门才能被打开，此时辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧的最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境的影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境的影响较小。

## 六、辐射安全措施评价

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、门机连锁、束下装置连锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量连锁、通风连锁、烟雾报警等。本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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。

## 七、辐射安全管理评价

江苏亨通电力电缆有限公司已设立辐射安全管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责。公司已制定可行的辐射安全管理制度，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。

公司需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人职业健康监护档案。江苏亨通电力电缆有限公司已配备 1 台辐射巡测仪，公司拟为本项目增配 10 台个人剂量报警仪。

综上所述，江苏亨通电力电缆有限公司扩建 5 台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。从环境保护角度论证，本项目的建设运行是可行的。

## 建议和承诺



- 1、该项目运行中，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，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、各项安全措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，及时排除事故隐患。
- 4、公司在取得本项目环评批复，且具备辐射安全许可证申请条件后，应及时申请换领辐射安全许可证，并按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）第十二条“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。”的规定时限要求开展竣工环境保护验收工作。

## 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	建立辐射安全与环境保护管理机构,或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。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。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施:本项目电子加速器机房四周墙壁、顶面均采用混凝土进行辐射防护,防护门均为普通铁门,详见表10-1;加速器钢桶采用钢板+铅板进行辐射防护,详见表10-2。	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目标管理值要求。	985
	安全措施:本项目电子加速器均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》(HJ 979-2018)的相关要求。	
	通风设施:本项目电子加速器机房拟各设置排风机1台,设计排风量均为15000m <sup>3</sup> /h。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和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。	10
	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》有关要求。	5
	拟增配个人剂量报警仪10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。	/

总计	/	/	1000
----	---	---	------

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