

核技术利用建设项目

江苏黎彬新材料科技有限公司  
新建工业辐照电子加速器项目环境  
影响报告表

江苏黎彬新材料科技有限公司

2023年4月

生态环境部监制

## 核技术利用建设项目

# 江苏黎彬新材料科技有限公司 新建工业辐照电子加速器项目环境 影响报告表

建设单位名称：江苏黎彬新材料科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：东台市高新区锦丰路南侧

邮政编码：224200                      联系人：

电子邮箱：                                      联系电话：

## 《建设项目环境影响报告表》编制说明

《建设项目环境影响报告表》由具有从事环境影响评价资质的单位编制。

1.项目名称——指项目立项批复时的名称，应不超过 30 个字（两个英文字段作一个汉字）；

2.建设地点——指项目所在地详细地址，公路、铁路应填写起止地点；

3.行业类别——按国标填写；

4.总投资——指项目投资总额；

5.主要环境保护目标——指项目周围一定范围内集中居民住宅区、学校、公司、保护文物、风景名胜区、水源地和生态敏感点等，应尽可能给出保护目标、性质、规模和距厂界距离等；

6.结论与建议——给出本项目清洁生产、达标排放和总量控制的分析结构，确定污染防治措施的有效性，说明本项目对环境造成的影响，给出建设项目环境可行性的明确结论。同时提出减少环境影响的其他建议；

7.预审意见——由行业主管部门填写答复意见，无主管部门项目，可不填；

8.审批意见——由负责审批该项目的生态环境行政主管部门批复。

# 目 录

表 1 项目基本情况.....	- 1 -
表 2 放射源.....	- 4 -
表 3 非密封放射性物质.....	- 4 -
表 4 射线装置.....	- 5 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	- 6 -
表 6 评价依据.....	- 7 -
表 7 保护目标与评价标准.....	- 10 -
表 8 环境质量和辐射现状.....	- 18 -
表 9 项目工程分析与源项.....	- 22 -
表 10 辐射安全与防护.....	- 29 -
表 11 环境影响分析.....	- 41 -
表 12 辐射安全管理.....	- 59 -
表 13 结论与建议.....	- 63 -
表 14 审批.....	- 67 -
附图 1 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器项目地理位置示意图.....	- 68 -
附图 2 江苏黎彬新材料科技有限公司联合厂房平面布置及周围环境示意图.....	- 69 -
附图 3 江苏黎彬新材料科技有限公司新建加速器机房及其周围环境示意图.....	- 70 -
附图 4 江苏黎彬新材料科技有限公司联合厂房剖面（南—北）示意图.....	- 71 -
附图 5 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器机房正视侧视示意图.....	- 72 -
附图 6 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器机房俯视示意图.....	- 73 -
附图 7 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器机房剖面示意.....	- 74 -
附图 8 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图.....	- 75 -
附件 1：项目委托书.....	- 76 -
附件 2：射线装置使用承诺书.....	- 77 -
附件 3：本项目投资项目备案证.....	- 78 -
附件 4：本项目辐射环境本底检测报告.....	- 90 -
附件 5：监测单位检验检测机构资质认定证书.....	- 95 -

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目			
建设单位		江苏黎彬新材料科技有限公司 (统一社会信用代码: )			
法人代表	张玉青	联系人	张玉青	联系电话	
注册地址		东台市东台镇团北村六组			
项目建设地点		东台市高新区锦丰路南侧公司联合厂房内			
立项审批部门		东台市行政审批局	批准文号	东行审投资备〔2022〕796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)	7.69%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m <sup>2</sup> )	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	<b>项目概述</b>				
<b>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</b>					
江苏黎彬新材料科技有限公司(以下简称“公司”)成立于 2022 年,注册地址位于东台市东台镇团北村六组。公司占地面积约 35 亩,新增建筑面积约 31426 平方米,公司致力于高档 POF 热收缩膜的生产,预计年产能超 30000 吨。					
因公司业务需要,江苏黎彬新材料科技有限公司拟在东台市高新区锦丰路南侧新建联合厂房,并在厂房内新建 12 座工业加速器机房,并配备 12 台工业辐照电子					

加速器（型号均为：AB1.2-35/1200，电子束能量：1.2MeV，电子束流 35mA），用于开展 POF 热收缩膜辐照工作。

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目核技术应用情况详见表 1-1。

表 1-1 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目情况一览表

序号	射线装置名称型号	数量（台）	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	环评情况及审批时间	许可情况	备注
1	工业电子加速器（AB1.2-35/1200 型）	12	1.2	35	II	联合厂房内	使用	本次环评	未许可	/

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，建设单位江苏黎彬新材料科技有限公司需对该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，江苏黎彬新材料科技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

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位于东台市高新区锦丰路南侧联合厂房内。联合厂房东侧为规划道路，南侧为江苏辰泓新材料有限公司，西侧为荒地及老海洋河，北侧为锦丰路。江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位置示意图附图 1，公司联合厂房周围环境及平面布置示意图附图 2。

新建工业电子加速器项目拟建址位于联合厂房北部，本项目 12 座加速器机房由东至西一字排列，中间隔着主人流、物流通道，拟建址东侧为联合厂房墙壁，南侧为物料拉伸塔区域，西侧联合厂房墙壁，北侧为物料挤出机区域。拟建址上方为生

产车间顶棚，下方为土层。江苏黎彬新材料科技有限公司项目机房平面布局及周围环境情况见附图3。

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目周围 50m 评价范围内南侧在公司联合厂房内、东侧为规划道路、西侧为荒地及老海洋河、北侧为锦丰路，评价范围内无学校、居民区等环境敏感目标，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、其他工作人员和周围公众等，详见附图2。

### 三、实践正当性分析

江苏黎彬新材料科技有限公司本次新建电子加速器辐照装置，用于对 POF 热收缩膜进行辐照。项目建成后，可形成年产能超 30000 吨的 POF 热收缩膜产能，进一步扩大公司生产规模，提高公司产品质量，扩大潜在业务范围，可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。

### 四、“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。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），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图7。

### 五、原有核技术利用项目许可情况

江苏黎彬新材料科技有限公司为新建公司尚未开展核技术利用项目，未取得辐射安全许可证。本项目属于新建项目，是公司首次开展核技术利用项目。

**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 (台)	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	12	AB1.2-35/1200	电子	1.2	35mA	工业辐照	新建加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
										/

(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
臭氧和氮氧化物	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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），2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 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〈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》，生态环境部部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(15) 《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〕74号，2018年6月9日发布；</p>
------	---

	<p>(16) 《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>(17) 《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>(18) 《江苏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>(19) 《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>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) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(5) 《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>(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) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(10) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)。</p>
<p>其他</p>	<p><b>参考资料：</b></p> <p>(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。</p> <p>(2) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编。</p> <p>(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。</p> <p><b>附图：</b></p> <p>(1) 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 江苏黎彬新材料科技有限公司联合厂房平面布置及周围环境示意图；</p> <p>(3) 江苏黎彬新材料科技有限公司新建加速器机房及其周围环境示意图</p> <p>(4) 江苏黎彬新材料科技有限公司联合厂房剖面示意图；</p>

(5) 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器机房正视及侧视示意图；

(6) 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器机房俯视示意图；

(7) 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业加速器机房剖面示意图；

(8) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。

**附件：**

(1) 项目委托书；

(2) 射线装置使用承诺书；

(3) 本项目投资项目备案证；

(4) 本项目辐射环境本底检测报告；

(5) 监测单位检验检测机构资质认定证书。

## 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新建 12 台工业辐照电子加速器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

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目周围 50m 评价范围内南侧在公司联合厂房内、东侧为规划道路、西侧为荒地及老海洋河、北侧为锦丰路，评价范围内无学校、居民区等环境敏感目标，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、其他工作人员和周围公众等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标一览表

保护目标分类	保护目标名称	方位	距离 (m)	规模
本项目辐射工作人员	工业电子加速器	北侧	相邻	24 人
其他工作人员	东侧	联合厂房	1~25m	约 3 人
	南侧		1~50m	约 15 人
	西侧		1~25m	约 3 人
	北侧		5~32m	约 5 人
评价范围内公众	东侧	规划道路	25~50m	流动人口
	西侧	荒地	25~50m	流动人口
	北侧	锦丰路	32~50m	流动人口

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。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)，本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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、引用标准

#### 1、《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； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
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； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv； ④皮肤的年当量剂量，50mSv。

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。

#### 2、《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 $\mu$ 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。

## 3、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>。

## 4、《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）

### 4 环境空气功能区分类和质量要求

#### 4.1 环境空气功能区分类

环境空气功能区分为二类：一类为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通混合区、文化区、工业区和农村地区。

#### 4.2 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。一、二类环境空气功能区质量要求见表 1 和表 2。

表 1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
4	臭氧	日最大 8 小时平均	100	160	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
		1 小时平均	160	200	

### 二、辐射环境影响评价标准限值

#### 1、个人剂量管理限值

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(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  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。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)，本项目电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 外及外区域周围剂量当量率应满足：**控制目标值不大于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。**

### 三、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 $\gamma$ 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
均值 $\pm 3s$	29.4~71.4	10.2~84.0	47.2~131.2

注: ①测量值已扣除宇宙射线响应值;

②评价时采用“均值 $\pm 3s$ ”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

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位于东台市高新区锦丰路南侧联合厂房内。联合厂房东侧为规划道路，南侧为江苏辰泓新材料有限公司，西侧为荒地及老海洋河，北侧为锦丰路。江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位置示意图附图 1，公司联合厂房周围环境及平面布置示意图见附图 2。

新建工业电子加速器项目拟建址位于联合厂房北部，本项目 12 座加速器机房由东至西一字排列，中间隔着主人流、物流通道，拟建址东侧为联合厂房墙壁，南侧为物料拉伸塔区域，西侧联合厂房墙壁，北侧为物料挤出机区域。拟建址上方为生产车间顶棚，下方为土层。江苏黎彬新材料科技有限公司联合厂房布局、加速器机房及周围环境见附图 2~附图 4 所示。

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目周围 50m 评价范围内南侧在公司联合厂房内、东侧为规划道路、西侧为荒地及老海洋河、北侧为锦丰路，评价范围内无学校、居民区等环境敏感目标，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、其他工作人员和周围公众等。本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-5。



图 8-1 工业辐照电子加速器项目拟建址



图 8-2 工业辐照电子加速器项目拟建址东侧



图 8-3 工业辐照电子加速器项目拟建址南侧



图 8-4 工业辐照电子加速器项目拟建址西侧



图 8-5 工业辐照电子加速器项目拟建址北侧

## 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, 于本次新建工业辐照电子加速器项目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 4, 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: FH40G+FHZ672E-10 型多功能辐射测量仪 (设备编号: NJRS-103, 检定有效期: 2022 年 1 月 20 日~2023 年 1 月 19 日, 检定单位: 江苏省计量科学研究院, 检定证书编号: Y2022-0001788)

能量范围: 40keV~4.4MeV

剂量率范围: 1nSv/h~100 $\mu$ Sv/h

监测日期: 2022 年 11 月 24 日

天气: 多云

温度: (10~15)  $^{\circ}$ C

湿度: (54~63) %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。

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 5），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：监测人员均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 新建工业辐照电子加速器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)
1	工业辐照电子加速器项目拟建址	55
2	工业辐照电子加速器项目拟建址东侧 (联合厂房南部)	56
3	工业辐照电子加速器项目拟建址东侧 (规划道路)	64
4	工业辐照电子加速器项目拟建址南侧 (江苏辰泓新材料公司)	63
5	工业辐照电子加速器项目拟建址西侧 (空地)	62
6	工业辐照电子加速器项目拟建址北侧 (锦丰路)	60

注：1.测量结果已扣除宇宙射线响应值；  
2. FH40G+FHZ672E-10 型多功能辐射测量仪的宇响值为 13.4 nGy/h；  
3.监测点位见图 8-6。



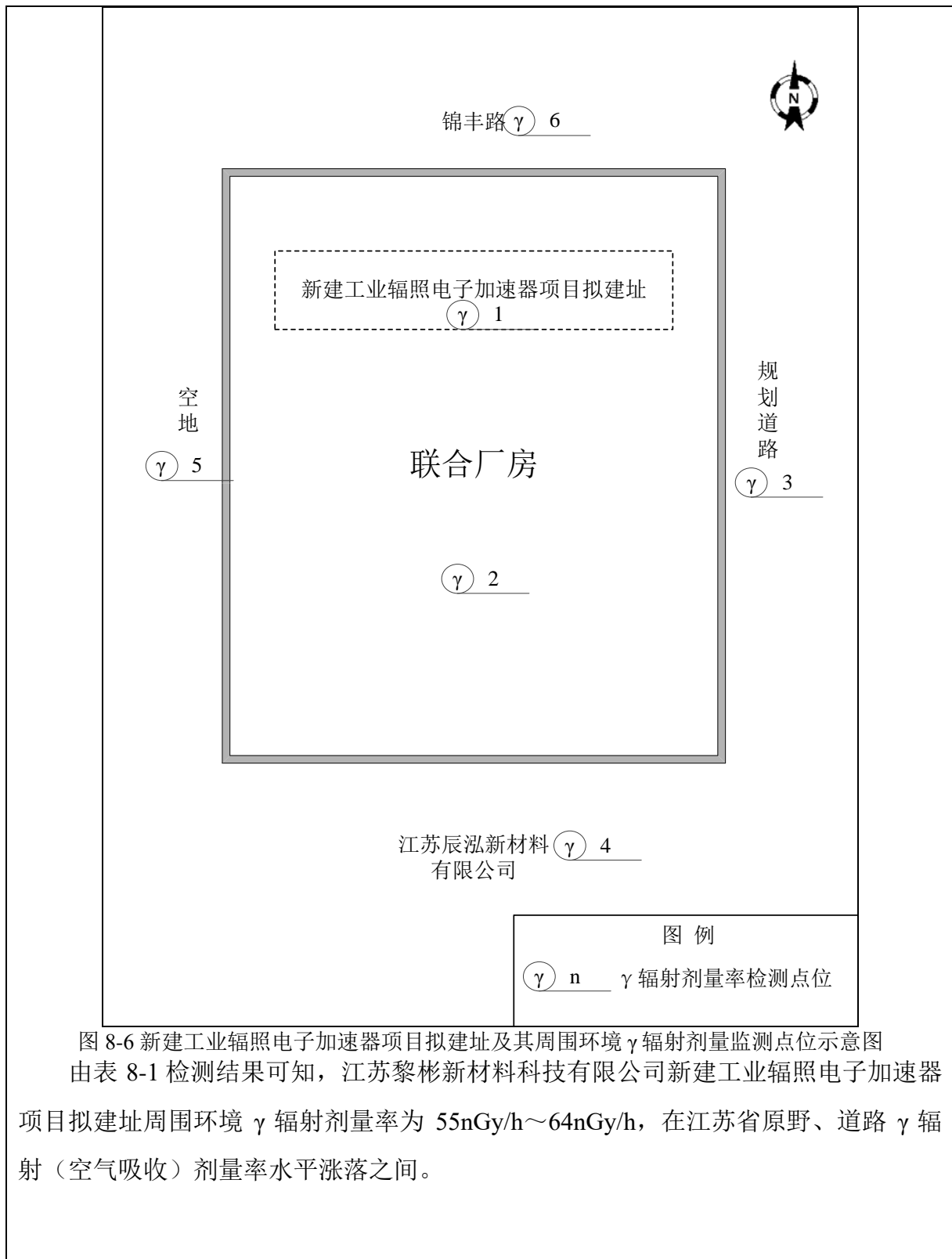


图 8-6 新建工业辐照电子加速器项目拟建址及其周围环境  $\gamma$  辐射剂量监测点位示意图  
 由表 8-1 检测结果可知，江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址周围环境  $\gamma$  辐射剂量率为 55nGy/h~64nGy/h，在江苏省原野、道路  $\gamma$  辐射（空气吸收）剂量率水平涨落之间。

## 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

江苏黎彬新材料科技有限公司拟在东台市高新区锦丰路南侧新建联合厂房，并在厂房内新建 12 座工业加速器机房，并配备 12 台工业电子加速器（型号均为：AB1.2-35/1200，电子束能量：1.2MeV，电子束流 35mA），用于开展辐照加工。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

型号	AB1.2-35/1200
厂家	无锡爱邦辐射技术有限公司
电子束能量	1.2MeV
束流损失点能量	0.35MeV
束流损失率	0.5%
最大束流功率	40KW
额定电子束流	35mA
扫描宽度	1.2m
能量不稳定性	小于 5%
束流不稳定性	小于 5%
主射束方向	0°
加速器工作方式	连续

本项目拟使用的工业电子加速器辐照装置由电子加速器、束下传输设备、安全设施 and 控制系统，以及其他辅助设施 5 部分组成。电子加速器安装在机房内，机房一层为辐照室，二层为主机室，控制柜设于机房外。公司初期拟为本项目配置 24 名辐射工作人员，均为新招人员。项目投运后，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。

#### 1、电子加速器

本项目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。电子加速器主体结构示意图 9-1。

## 1.1 高压系统

高压系统即直流高压发生器，其由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

**高频振荡器**的作用是把电网的电能由工频转换为高频，其性能决定着加速器的最大束功转换效率。

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  $0\sim 18\text{kV}$ 、 $0\sim 25\text{A}$  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。

**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 0.65MPa 的氮气干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

## 1.2 束流加速系统

束流加速系统由加速器管和电子枪组成。

**加速器管** 是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中 ( $10^{-5}\sim 10^{-6}$  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。

## 1.3 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。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。

#### **1.4 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氮气气体用。

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，它必须把钢筒内的氮气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。

#### **2.5 冷却系统**

电子加速器运行时，脉冲变压器、调速管、耦合腔、加速管等均会由于长时间运行产生高温，为延长设备使用寿命，保障加速器安全连续运行，必须对其进行采取冷却降温措施。冷却系统通过布设管道，使蒸馏水不断流过发热部件，从而带走热量，并在散热器部分将蒸馏水携带的热量散出。冷却后的蒸馏水经水泵再次对发热部件进行冷却，以此持续循环运作。冷却系统的蒸馏水为闭式循环，不对外排放。

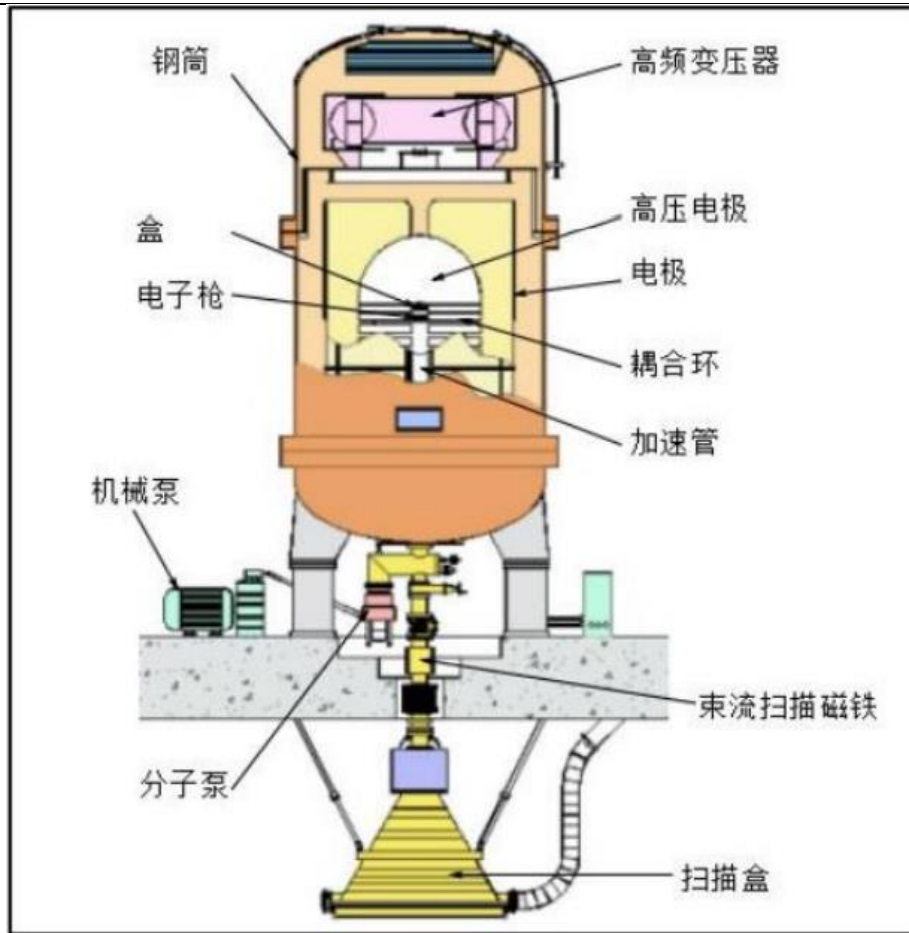


图 9-1 本项目工业电子加速器主体结构示意图

## 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，经加速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 POF 热收缩膜，利用电子束辐照高分子材料发生辐射交联反应可改变材料性质，进而提高其整体技术指标。

### 2、工艺流程及产污环节

本项目辐照加工工作流程主要为：需要辐照的 POF 热收缩膜由挤出/拉伸系统通过滚轴自动送入 加速器辐照室，在扫描系统下接受电子束辐照，辐照过程中会产生 X 射线、电子束、臭氧、氮氧化物及噪声等。辐照完成后通过挤出/拉伸系统自动连续地输出辐照室，达到产 品辐照要求。整个辐照工艺流程流水线为自动运行，工作人员在加速器控制柜前设置、 监控加速器各项指标运行参数，在挤出/拉伸系统区控制 POF 热收缩膜的收放设置等工作：

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 9-2 所示。

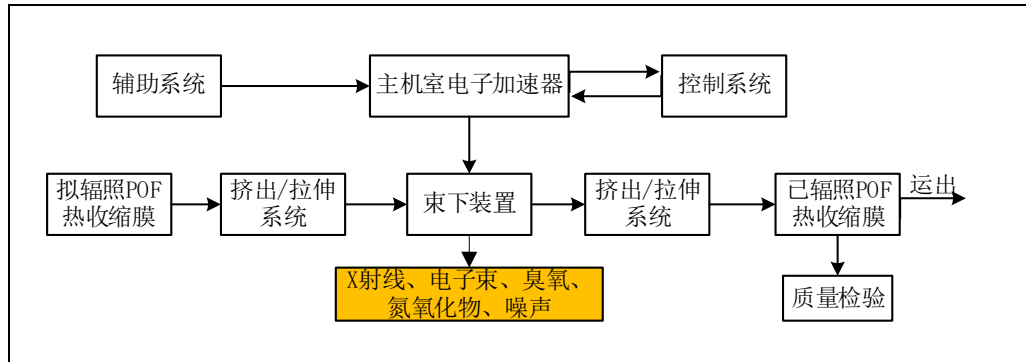


图 9-2 电子加速器辐照装置的工作流程和主要产污环节示意图

## 污染源项描述

### 一、放射性污染

#### X 射线：

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 射线屏蔽和天空反散射影响。

本项目所用 AB1.2-35/1200 型工业电子加速器，辐照室电子束最大能量 1.2MeV，束流强度 35mA，根据 HJ 979-2018 中表 A.1 插值取得，辐照室 X 射线发射率为  $0.61\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；主机室束流损失点能量 0.35MeV，束流损失强度

0.175mA，根据 HJ 979-2018 中表 A.1 插值取得，主机室 X 射线发射率为  $0.024\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

## 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 GB/T 25306-2010 及 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，均集中在厂房内部。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，其对厂房内部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**

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位于东台市高新区锦丰路南侧联合厂房内，项目建成后拟用于对 POF 热收缩膜进行辐照。

本项目电子加速器机房为地上二层混凝土结构，采用混凝土一体浇筑成型。辐照室位于一层，室内布置电子加速器辐照窗，出束方向向下；二层为主机室，布置电子加速器的钢桶以及放电柜，水冷机柜及震荡柜等辅助设施布置于二层平台上的电气设备室内。加速器控制柜设于辐照室北墙外。

加速器辐照室建有迷道，迷道口处设有人员防护门。电子加速器工作时，辐射工作人员于控制柜设置机器参数并监控加速器运行情况。电子加速器出束时，辐照室、主机室内均无人员停留，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一层辐照室、二层主机室为辐射防护控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在辐照室迷道外、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；拟将动力柜和控制柜所在区域、加速器机房二层平台、加速器机房顶作为辐射防护监督区，控制柜上设置电离辐射警示标志，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，通往加速器二层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。江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目工作场所辐射防护分区见图 10-1 至图 10-2。

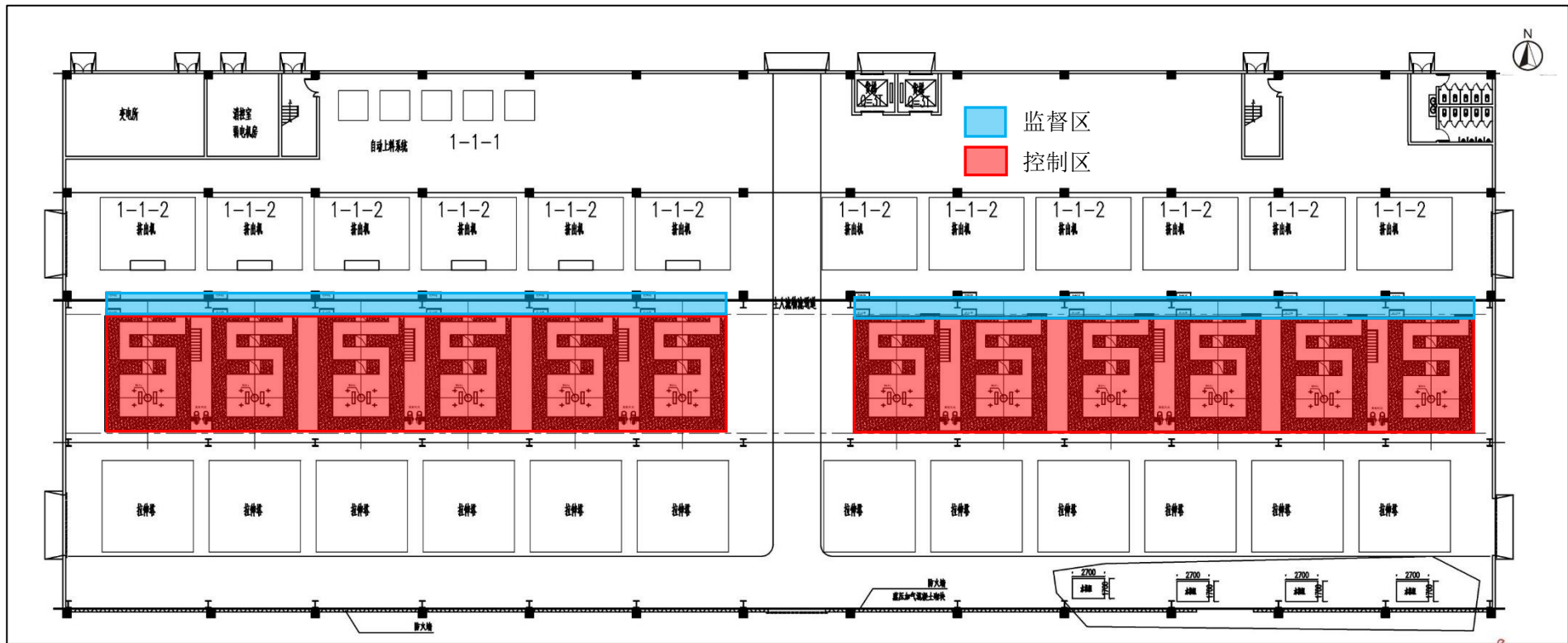


图 10-1 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目工作场所辐射防护分区示意图（一层）

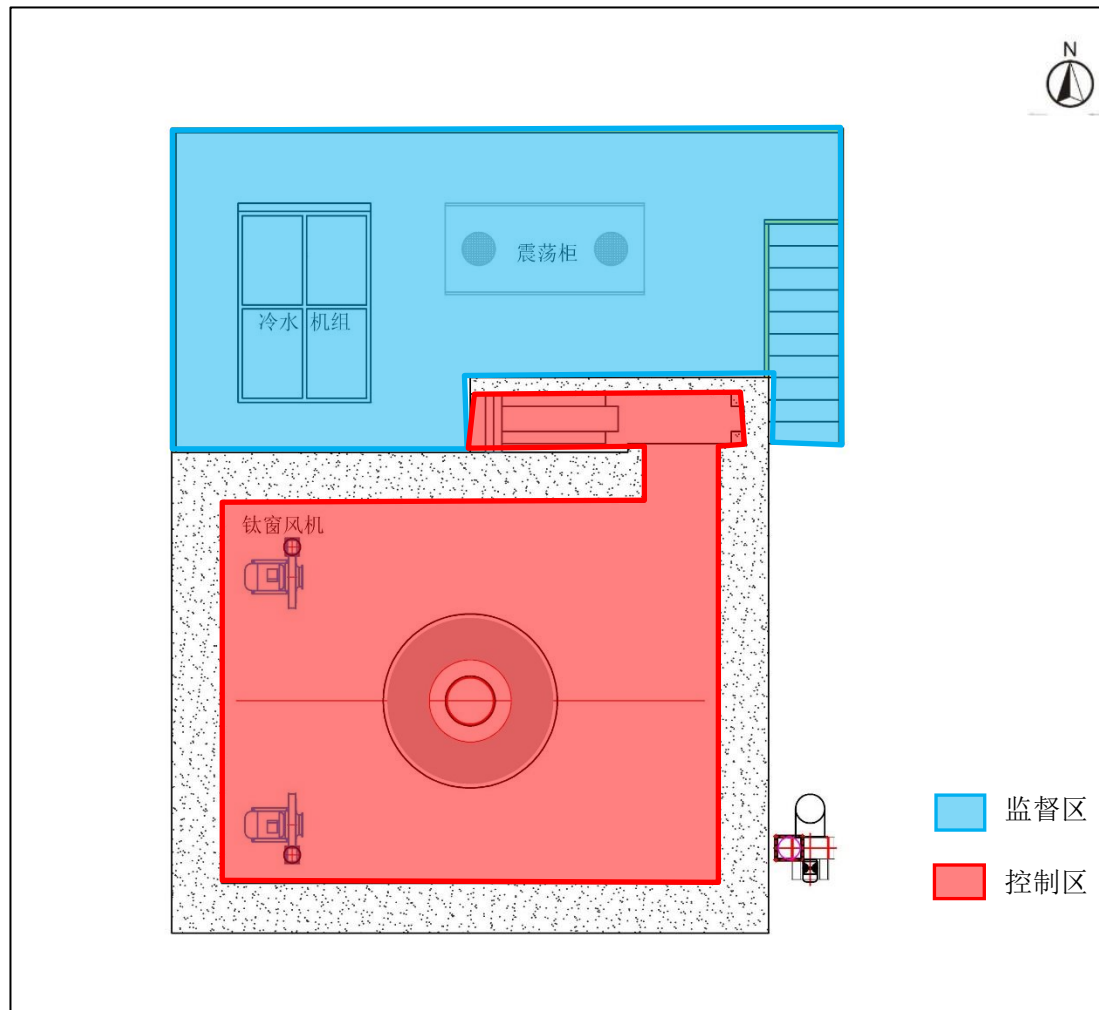


图 10-2 江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目工作场所辐射防护分区示意图（二层局部）

## 二、辐射防护屏蔽设计

本项目电子加速器机房位于公司联合厂房内北部，为地上二层混凝土结构，一层为辐照室，二层为主机室。加速器机房辐照室和主机室采用混凝土一体浇筑成型。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 至附图 7。

表 10-1 加速器机房屏蔽设计参数表

加速器机房	防护区域	屏蔽体		屏蔽材料及厚度
扩建加速器机房	一层辐照室	东侧	迷道口处	400mm 混凝土
			屏蔽墙	1200mm 混凝土
		南侧	屏蔽墙	1200mm 混凝土
		西侧	屏蔽墙	1200mm 混凝土
		北侧	迷道外墙	500mm 混凝土
			迷道内墙（北）	1000mm 混凝土
			迷道内墙（南）	1200mm 混凝土
		顶部	设备安装部分	500mm 混凝土
			迷道部分	500mm 混凝土
		防护门		
	二层主机室	东侧	迷道部分	900mm 混凝土
				450mm 混凝土
			主机室部分	900mm 混凝土
		南侧	屏蔽墙	900mm 混凝土
		西侧	屏蔽墙	900mm 混凝土
		北侧	迷道外墙	300mm 混凝土
			迷道内墙	900mm 混凝土
			主机室部分	900mm 混凝土
		顶面	迷道部分	400mm 混凝土
				500mm 混凝土
	主机室部分		500mm 混凝土	
防护门			600mm 混凝土外包铁门	

注：1、所用混凝土的密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>；  
2、加速器机房详细屏蔽设计见附图 5 至附图 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，本项目的所有电子加速器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柜，控制柜拟设置在机房北墙外。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的人员防护门开关钥匙，并且辐照室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。江苏黎彬新材料科技有限公司拟为本项目加速器的辐射工作人员配备 24 台个人剂量报警仪，其中每台工业电子加速器的开关钥匙均与 1 台个人剂量报警仪相连。

通往加速器二层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。

**(2) 门机联锁。**电子加速器辐照室人员防护门、主机室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。

**(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。**辐照室迷道口处、主机室防护门处设置醒目的“当心电离辐射警告标志”，辐照室防护门上方、辐照室内、主机室防护门上方、主机室内均设

置工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器高压连锁，当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，音响警示装置启动伴有蜂鸣，以提醒周围人员勿靠近。

**(5) 巡检按钮。**一层辐照室、二层主机室内均拟设置“巡检按钮”，并与控制柜上的控制台连锁。电子加速器开机前，辐射工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；未按下“巡检按钮”前，电子加速器将不能进行出束作业。

**(6) 急停装置。**在一层辐照室和二层主机室的入口处、迷道和室内各墙面均设计有紧急停机开关，紧急停机开关距地面高度约 1.4m；在电子加速器控制柜上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。在迷道及辐照室内的四面墙壁上，距离地面高度约 1.4m 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，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，电子加速器才能重新启动。在辐照室、主机室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、主机室。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。**加速器机房一层辐照室、二层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 0.5m、1m、1.5m，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，人员误入辐照室或主机室造成误照射。

**(8) 剂量连锁。**在辐照室迷道内、主机室迷道内均拟设置固定式辐射监测系统探头，显示面板位于控制柜内。辐射探测系统与辐照室、主机室防护门进行连锁，当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号，同时辐照室、主机室防护门将无法打开。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、主机室中的辐射水平。

**(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 5min，在 5min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 5min，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柜的监控电视上，使在控制柜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 10-2。

表 10-2 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“S”型迷道；出入口设置门机、高压与工作 状态指示灯联锁；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；控制柜设置有急停按钮	符合
2	冗余性	辐照室设置有门机联锁、3 道光电联锁、剂量联锁、束下装 置连锁、烟雾报警装置	符合
3	多元性	辐照室和主机室设有机械、电气、电子的剂量联锁	符合
4	独立性	辐照室设置有巡检、急停开关和拉线开关等，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、图 10-4，各项安全装置图形标志示例见表 10-3。

表 10-3 本项目工业电子加速器机房辐射安全装置标志示例表

21#	主机室紧急开门按钮	1	1.0"	主机室—控制室
20#	辐照室紧急开门按钮	1	1.0"	辐照室—控制室
19#	烟雾报警	1	1.0"	辐照室顶—控制室
18#	臭氧风机联锁	1	1.5"	臭氧风机—控制室
17#	辐射监测仪	2	1.0"	辐照（主机）室迷道—控制室
16#	摄像头	2	1.0"	辐照（主机）室迷道—控制室
15#	光电报警	3	1.0"	主机室迷道—控制室
14#	光电报警	3	1.0"	辐照室迷道—控制室
13#	急停按钮(巡检, 拉线)	6	1.0"	主机室—控制室
12#	急停按钮(巡检, 拉线)	6	1.0"	辐照室—控制室
11#	门. 警铃. 警灯 钥匙开关	2	1.5"	主机室门(迷道)—控制室
10#	门. 警铃. 警灯 钥匙开关	2	1.5"	辐照室门(迷道)—控制室
9#	接线箱	1	2"	主机室—辐照室
8#	接线箱	1	2"	接线箱—排线沟
7#	接线箱	1	2"	接线箱—排线沟
6#	接线箱	1	2"	接线箱—排线沟
5#	接线箱	1	2"	接线箱—排线沟
4#	振荡器管	1	2"	振荡器—控制室
3#	离心风机管	1	1.5"	加速器主机室—排线沟
2#	加速器反馈电缆	1	1"	振荡器—加速器主钢筒
1#	加速器高频供电电缆	1	2"	振荡器—加速器主钢筒
序号	名称	数量	口径(英寸)	备注



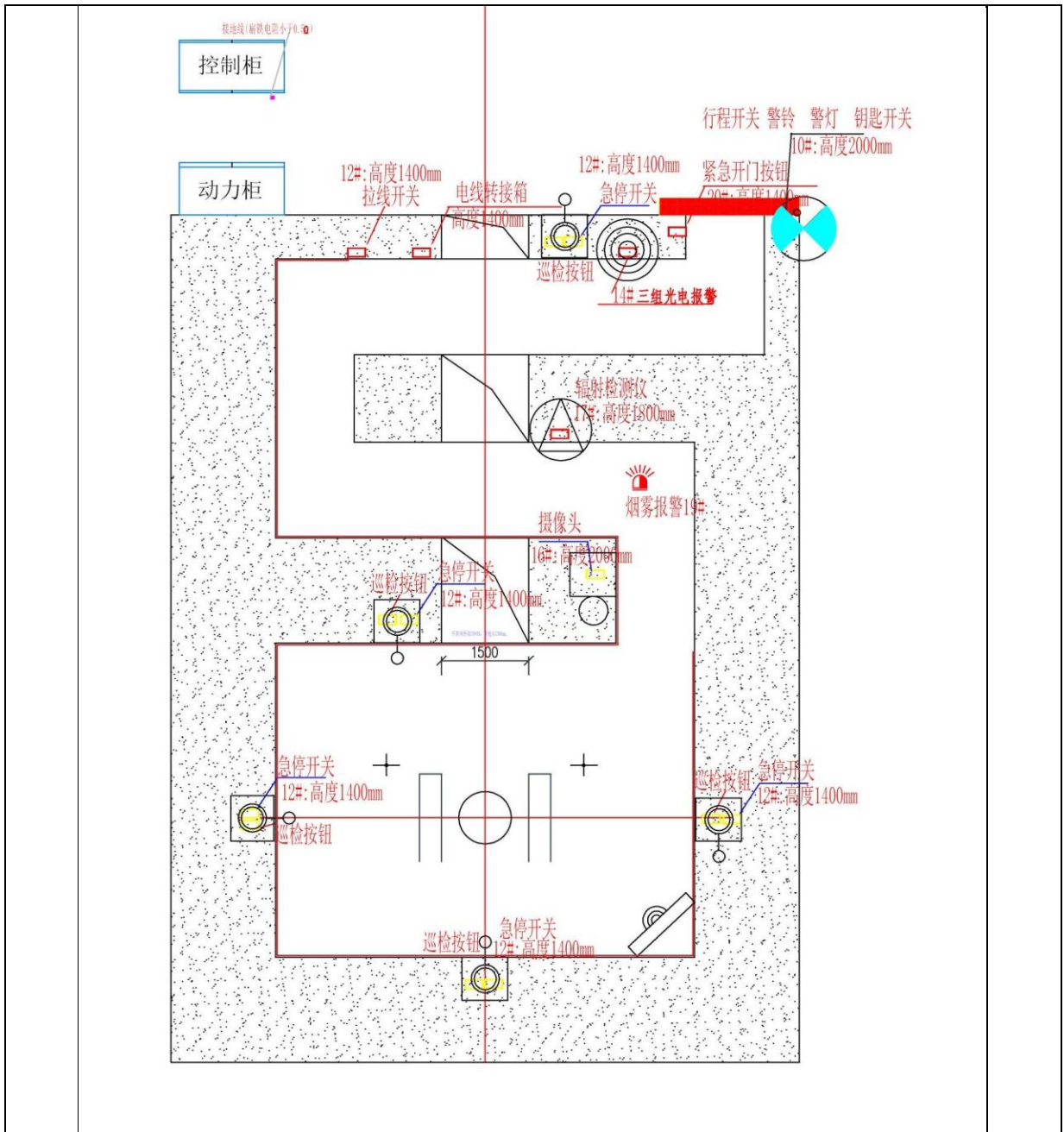


图 10-3 本项目加速器机房辐照室（一层）安装装置示意图



### 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，由园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，经分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

本项目电子加速器在工作状态时，高能电子束产生的韧致辐射（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，排风口内径为 276mm，管道埋地深度为 1100mm，臭氧和氮氧化物通过管道延伸到车间顶且高出车间约 5m 排放至室外（车间高 15.58m），排风系统设计最大排风量为 15000m<sup>3</sup>/h。加速器运行期间风机一直保持运行，停机后还将以最大排风量继续运行 5min，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。

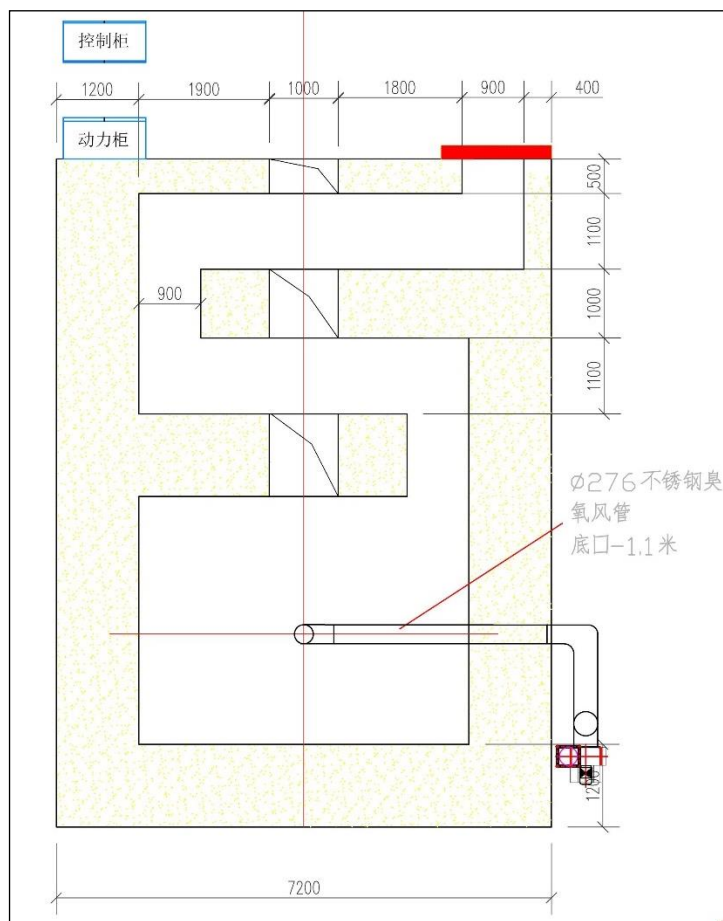


图 10-5 加速器机房通风管道布设示意图（平面图）

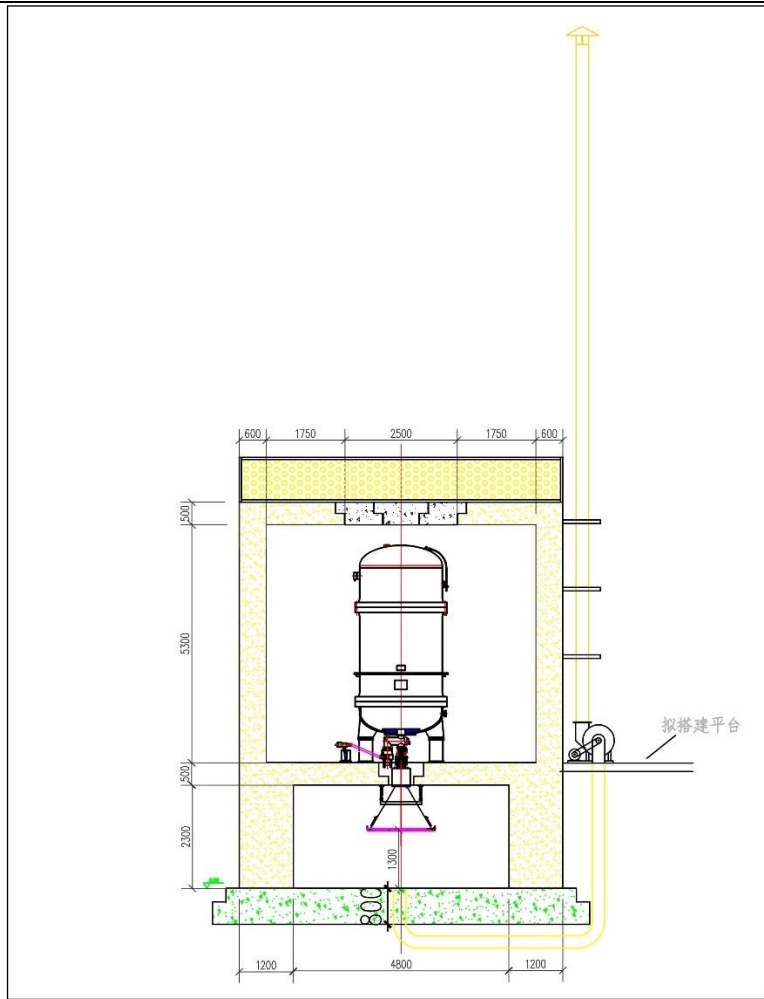


图 10-6 本项目加速器机房通风管道布设示意图（剖面图）

**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，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**

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位于东台市高新区锦丰路南侧联合厂房内，项目建成后拟用于对 POE 热收缩膜进行辐照。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电子扫描窗下方的不锈钢阻挡板；
- ③辐照产品：POF 热收缩膜，主要为聚乙烯、聚烯烃、聚氯乙烯等。

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。

由于本项目新建 12 座加速器机房布局、每座加速器机房配备加速器型号和性能参数及采取的屏蔽防护相关措施均相同，所以本次仅对西侧第一座加速器机房进行预测计算，再考虑叠加影响。

## 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居留保守取 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）迷道外入口（无防护门情况下）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：

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

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

$\alpha_1$ —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， $\text{m}^2$ ；

$A_2$ —迷道的截面积， $\text{m}^2$ ；

$d_1$ —X 射线源与第一散射物质的距离，m；

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

$j$ —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 加速器机房屏蔽计算相关计算参数表

参数	新建工业辐照电子加速器	
	一层辐照室	二层主机室
入射电子能量	1.2MeV	束流损失能量 0.35MeV
在侧向屏蔽能量取相应等效能量	0.8MeV	0.35MeV
电子束流强度	35mA	0.175mA
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> )	0.61*	0.024*
修正因子 $f_e$	0.5	0.5
$D_{10}$ (Gy/h)	640.5	0.126
混凝土 $T_1, T_e$ (cm)	按等效入射电子能量 0.8MeV 以插值法取 17.2, 13.8	按等效入射电子能量 0.35MeV 以插值法取 14.2, 10.7

\*按 HJ 979-2018 表 A.1 数据作“入射电子能量-侧向 90°X 射线发射率”拟合曲线，再由拟合曲线取得相应数据

### 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、图 11-2 所示，对加速器机房外辐射剂量率进行预测计算，结果见表 11-2、表 11-3。

表 11-2 加速器机房一层辐照室侧向 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	位置	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>1)</sup>	$B_x$	$d$ (m) <sub>1)</sub>	T	剂量率 $H$ ( $\mu$ Sv/h) <sub>3)</sub>	
新建 加速器 机房	A	东侧墙外 30cm 处	640.5	120 混凝土	3.55E-09	3.9	1	0.18
	B	南侧墙外 30cm 处	640.5	120 混凝土	3.55E-09	3.1	1	0.28
	C	西侧墙外 30cm 处	640.5	120 混凝土	3.55E-09	3.9	1	0.18
	D	北侧墙外 30cm 处	640.5	270 混凝土	4.80E-20	7.2	1	7.06E-13
	E	北墙外 30cm 处 (动 力柜)	640.5	260 混凝土	2.55E-19	7.79	1	3.20E-12
	F	防护门外 30cm 处 <sup>2)</sup>	640.5	234 混凝土	1.95E-17	7.84	1	2.42E-10
	G	东侧墙外 30cm 处 (楼 梯处)	640.5	166.4 混凝土	1.54E-12	5.29	1	4.20E-05

注：<sup>1)</sup>：屏蔽厚度  $S$  与距离  $d$  均直接由 CAD 图纸上读取；

<sup>2)</sup>：为无防护门时，该参考点处辐射剂量率估算值；

<sup>3)</sup>：查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B1，本项目辐照室



在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 0.8MeV, Sv/Gy 取值为 1.19。

表 11-3 加速器机房二层主机室侧向 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	位置	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>1)</sup>	$B_x$	$d$ (m) <sub>1)</sub>	T	剂量率 $H$ ( $\mu$ Sv/h) <sub>2)</sub>	
新建加速器机房	H	东墙侧外 30cm 处	0.126	60 混凝土	5.24E-06	3.9	1	5.60E-02
	I	南侧墙外 30cm 处	0.126	60 混凝土	5.24E-06	3.1	1	8.87E-02
	J	西侧墙外 30cm 处	0.126	60 混凝土	5.24E-06	3.9	1	5.60E-02
	K	北侧墙外 30cm 处	0.126	60 混凝土	5.24E-06	3.3	1	7.83E-02
	L	东墙外 30cm 处 (楼梯处)	0.126	90 混凝土	8.24E-09	5.48	1	4.46E-05

注: <sup>1)</sup>: 屏蔽厚度  $S$  与距离  $d$  均直接由 CAD 图纸上读取;

<sup>2)</sup>: 查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B1, 本项目主机室在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 0.35MeV, 通过插值, Sv/Gy 取值为 1.29。

本项目加速器开机时, 主机室及其屋顶上方均无人到达, 因此, 对屋顶的直射防护主要考虑 X 射线从一层辐照室直射到二层水冷机组和震荡柜放置位置的剂量。

加速器机房辐照室 X 射线直射到主机室周围的剂量率见表 11-4。

表 11-4 加速器机房辐照室 X 射线直射到主机室周围屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率一览表

参考点	位置	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm) <sup>1)</sup>	$B_x$	$d$ (m) <sub>1)</sub>	T	剂量率 $H$ ( $\mu$ Sv/h) <sub>2)</sub>	
新建加速器机房	K	二层主机室北侧墙外 30cm 处	640.5	135.3 混凝土	2.77E-10	4.21	1	1.19E-02

注: <sup>1)</sup>: 屏蔽厚度  $S$  与距离  $d$  均直接由 CAD 图纸上读取;

<sup>2)</sup>: 查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B1, 本项目辐照室在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 0.8MeV, Sv/Gy 取值为 1.19。

表 11-5 主机室外辐射剂量率汇总表

参考点	位置	辐照室 X 射线直射所致剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	主机室 X 射线直射所致剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	主机室外合计剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	
扩建加速器机房	H	东墙侧外 30cm 处	/	5.60E-02	5.60E-02
	I	南侧墙外 30cm 处	/	8.87E-02	8.87E-02
	J	西侧墙外 30cm 处	/	5.60E-02	5.60E-02
	K	北侧墙外 30cm 处	1.19E-02	7.83E-02	9.02E-02
	L	东墙外 30cm 处 (楼梯处)	/	4.46E-05	4.46E-05



图 11-2 本项目加速器机房二层主机室屏蔽计算参考点位示意图

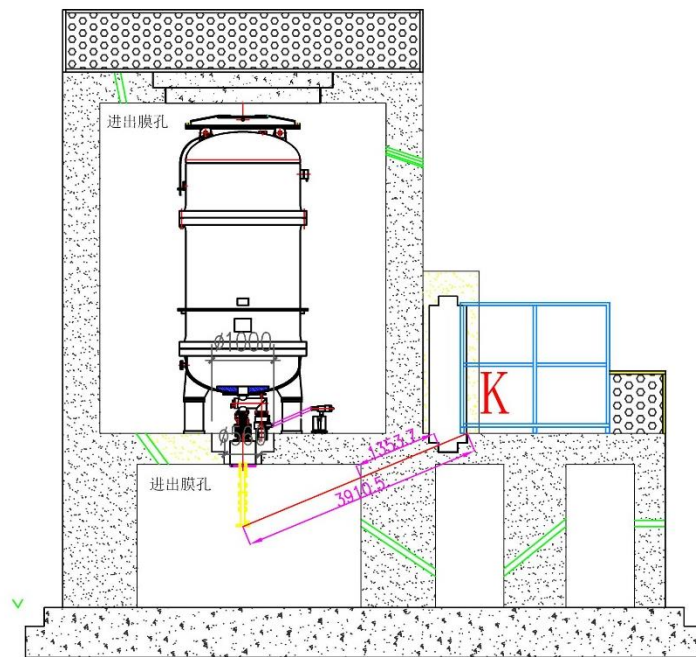


图 11-3 本项目加速器机房辐照室 X 射线直射到主机室周围屏蔽计算参考点位示意图  
(南北向剖面)

根据加速器机房设计，本项目仅辐照室设计有迷道，主机室无迷道设计，机房辐照室的辐射经过不同方向的 4 次散射可到达迷道门口，散射示意图见图 11-4，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 11-6 所示。

表 11-6 加速器机房迷道散射计算参数及结果一览表

位置	参数选取						迷道口无屏蔽下剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
辐照室迷道口	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>		2.62E-03
	16.35m <sup>2</sup>	2.07m <sup>2</sup>	2.53m <sup>2</sup>	2.07m <sup>2</sup>	2.53m <sup>2</sup>		
	d <sub>1</sub>	d <sub>r1</sub>	d <sub>r2</sub>	d <sub>r3</sub>	d <sub>r4</sub>	d <sub>r5</sub>	
	1.95m	3.74m	3.9m	2.11m	4.7m	1.05m	

本项目加速器机房迷道口处考虑 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 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
F	辐照室迷道口	2.42E-10	2.62E-03	2.62E-03

由表 11-7 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，剂量率分别为 2.62E-03 $\mu\text{Sv/h}$ ，则辐照室人员防护门采用普通门即可满足防护要求，辐照室人员进出口不设防护也能满足防护要求。

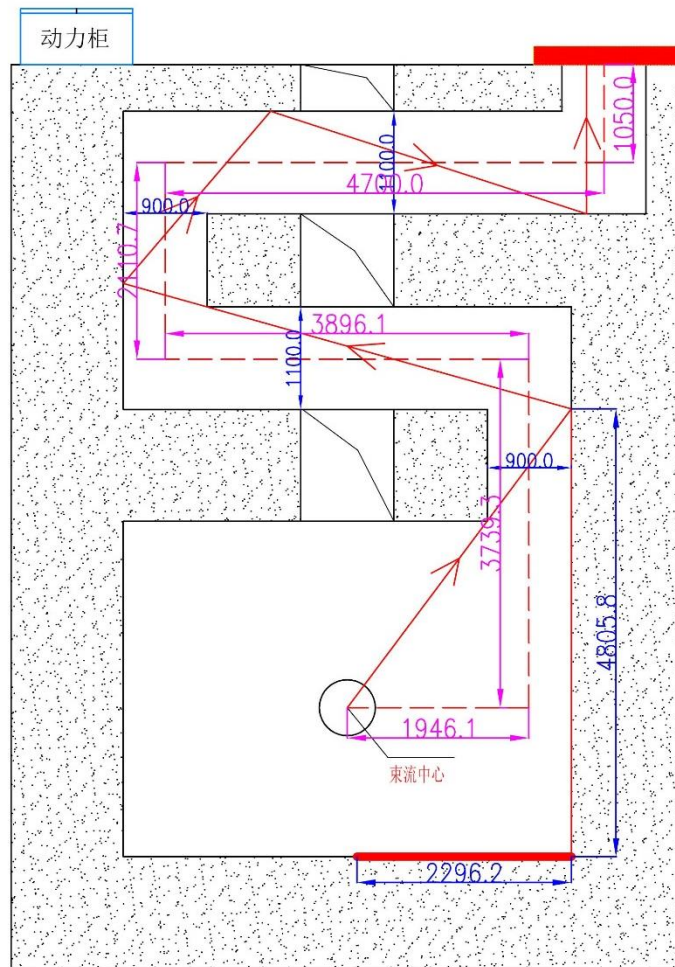


图 11-4 本项目加速器机房辐照室迷道散射路径示意图

#### 4、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。根据 HJ 979-2018，天空反散射计算公式如下：

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

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

$B_{xs}$ — $X$  射线的屋顶屏蔽的透射比；

$D_{10}$ —在距离  $X$  射线辐射源 1m 处的吸收剂量率 ( $Gy \cdot h^{-1}$ )；

$\Omega$ —由  $X$  射线辐射源与屏蔽墙对向的立体角 ( $Sr$ )；

$d_i$ —在屋顶上方 2m 处距离靶的垂直距离 (m)；

$d_s$ — $X$  射线辐射源至参考点的距离 (m)。

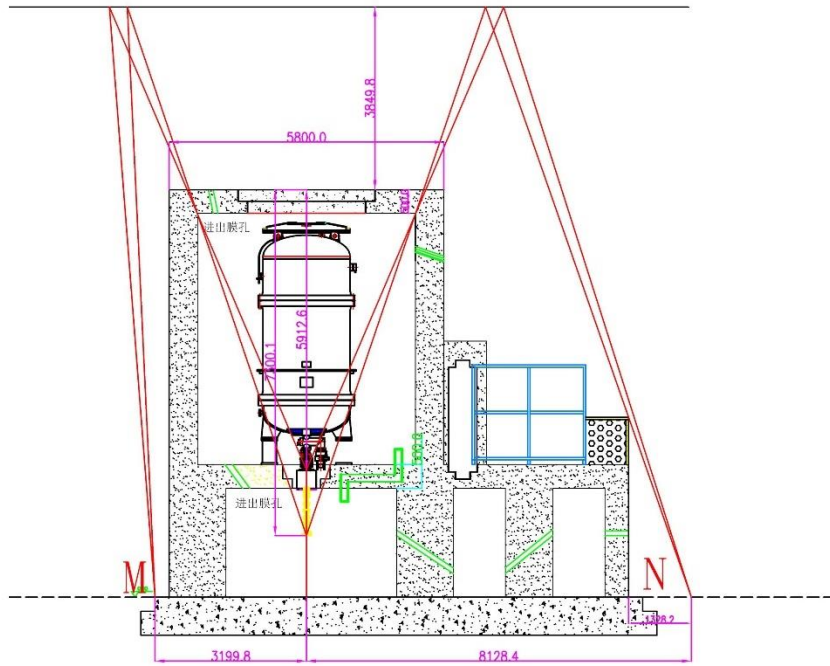


图 11-5 本次新建加速器机房天空反散射示意图

表 11-8 屋顶天空反散射计算结果

参考点	X 射线源位置	$D_{10}$ (Gy/h)	$\Omega$	$d_i$ (m)	$d_s$ (m)	$B_{xs}$	参考点处周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
M	辐照室	640.5	0.66	9.3	3.2	1.00E-07	1.05E-03
N		640.5	0.66	9.3	8.13	1.00E-07	1.62E-04
M	主机室	640.5	0.92	7.91	3.2	4.47E-05	1.98E-04
N		640.5	0.92	7.91	8.13	4.47E-05	3.07E-05

由表 11-8 计算结果可知，本项目加速器机房屋顶天空反散射所致剂量率在加速器机房北侧地面不超过  $1.93\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ ，在加速器机房南侧地面不超过  $1.25\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ 。

加速器所在生产车间为单独一层建筑，无临近高大建筑，因此不用考虑 X 射线通过屋顶的侧向散射对周围建筑的影响。

## 5、结果汇总

表 11-9 加速器机房各侧墙体、迷道口、楼上理论估算结果汇总

参考点位置		辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
新建加速器机房	一层辐照室	东侧墙外 30cm 处	0.18
		南侧墙外 30cm 处	0.28

		西侧墙外 30cm 处	0.18
		北侧墙外 30cm 处	7.06E-13
		北墙外 30cm 处（动力柜）	3.20E-12
		防护门外 30cm 处	2.42E-10
		东墙外 30cm 处（楼梯处）	4.20E-05
	二层主机室	东墙侧外 30cm 处	5.60E-02
		南侧墙外 30cm 处	8.87E-02
		西侧墙外 30cm 处	5.60E-02
		北侧墙外 30cm 处	9.02E-02
		东墙外 30cm 处（楼梯处）	4.46E-05
	天空反散射	南侧墙外 30cm 处（参考点 M）	1.25E-03
		北侧墙外 1.33m 处（参考点 N）	1.93E-04

由表 11-9 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 2.5 $\mu$ Sv/h”的剂量限值要求。

本项目考虑叠加影响，保守估算工业加速器机房北侧及南侧剂量率叠加方式为各机房外北侧或南侧剂量率及天空反散射辐射剂量率的叠加，机房外辐射剂量率叠加影响点位见图 11-6。O、P 点辐射剂量率叠加： $(2.42E-10+1.93E-04) \times 6=1.16E-03\mu$ Sv/h，Q、R 点辐射剂量率叠加： $(0.28E+1.25E-03) \times 6=1.68\mu$ Sv/h；O、P 点距 S 点距离约 16m，则 S 点辐射剂量率叠加： $1.16E-03 \times 2/16/16=9.06E-06\mu$ Sv/h；Q、R 点距 T 点距离约 16m，则 T 点辐射剂量率叠加： $1.68 \times 2/16/16=1.31E-02\mu$ Sv/h；U、W 点由于机房屏蔽作用，仅考虑与点位相邻机房一侧的辐射剂量率均为： $0.18\mu$ Sv/h；V 点仅考虑其东侧及西侧相邻机房在该点位的辐射剂量率叠加： $0.18 \times 2=0.36\mu$ Sv/h，均满足《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 $\mu$ Sv/h”的剂量限值要求。





电子加速器		北墙外 (动力柜)	3.20E-12	动力柜	1	2000	6.40E-12	5	满足
		防护门外	2.42E-10	防护门	1	2000	4.84E-10	5	满足
		东墙外 (楼梯口)	4.20E-05	楼梯口	1/8	2000	1.05E-05	5	满足
	二层主机室	东墙侧外	5.60E-02	二层平台	1/8	2000	1.40E-02	5	满足
		南侧墙外	8.87E-02	临空	1/8	2000	2.22E-02	5	满足
		西侧墙外	5.60E-02	二层平台	1/8	2000	1.40E-02	5	满足
		北侧墙外	9.02E-02	防护门口	1/8	2000	2.23E-02	5	满足
		东墙外 (楼梯处)	4.46E-05	楼梯处	1/8	2000	1.12E-05	5	满足

根据表 11-10 结果分析知，该项目电子加速器投入运行后，辐射工作人员有效剂量最高为 0.07mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv/a）。

由表 11-10 和表 7-1，结合辐射工作人员年有效剂量，周围公众距离本项目最近距离为 25m，根据距离平方反比定律，本项目年有效剂量最大值小于 0.001mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

考虑剂量叠加，保守估算本项目 12 台工业加速器同时运行，辐射工作人员所受年有效剂量最大约为  $0.07 \times 12 = 0.84\text{mSv/a}$ ，周围公众年有效剂量小于 0.01mSv/a，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（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、穿墙设计辐射防护及影响分析

本项目加速器机房主机室与机房外电气设备之间预埋“U”形穿墙线管、水管，控制线缆再从电气设备连接到控制柜（从机房外走线），墙线管、水管均不破坏机房屏蔽墙体的整理防护效果。本项目辐照产品 POF 热收缩膜进出路径的穿墙穿设计避开主射线方向且部破坏屏蔽墙体的整体防护效果，射线最少需经过 4 次散射后才能到达机房外。穿墙线管、水管及辐照产品进出口布设示意如图 11-7 所示。

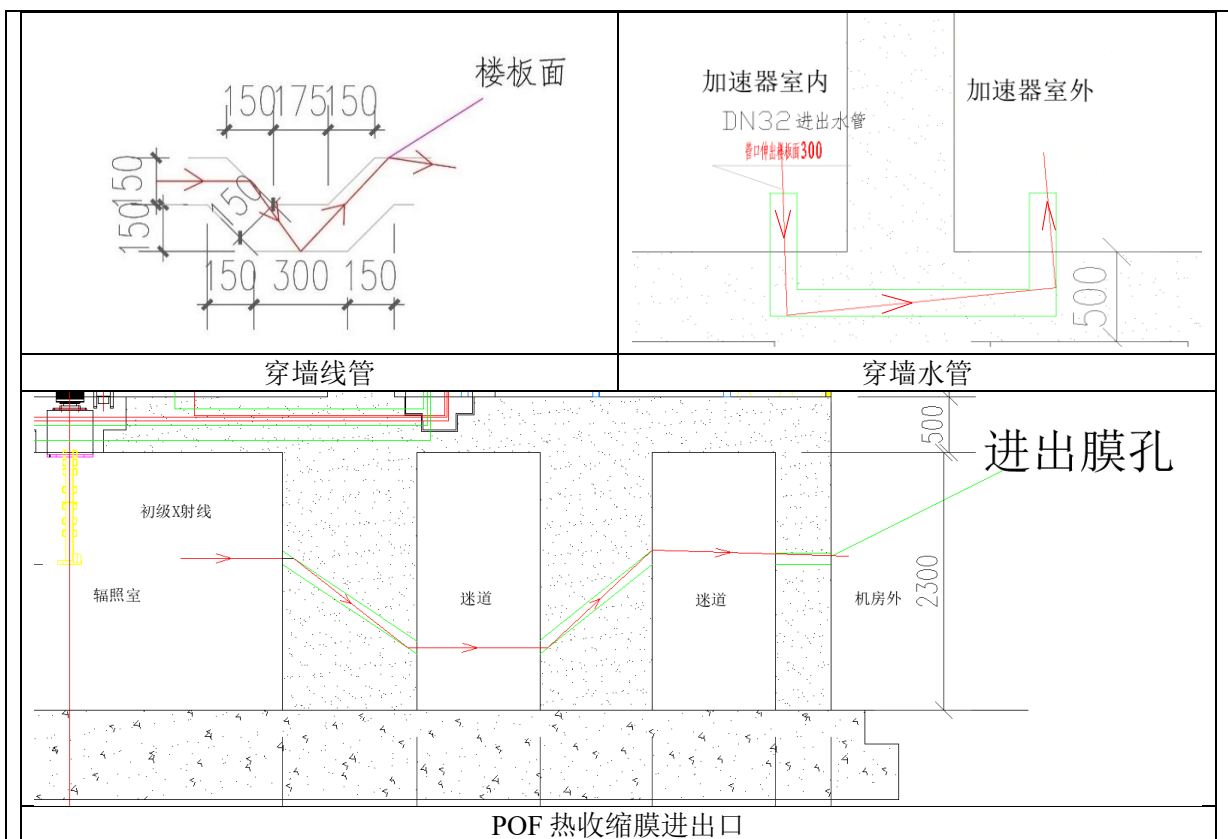


图 11-7 穿墙线管、水管及辐照产品进出口散射路径

#### 四、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，通风管道平面、立面布设示意图 10-5、图 10-6 所示。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。因此本项目通风管道辐射防护效果良好，通过通风管道对外造成的辐射影响较小。

#### 五、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。工作人员产生的普通生活污水，由厂内污水处理设施统一处理后接入市政污水管网。工作人员产生的一般生活垃圾，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。

##### 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，排风口尺寸直径为 276mm，管道埋地深度为 1100mm，臭氧和氮氧化物通过管道延伸到生产车间顶且高出车间 2~5m 排放至室外（车间高 15.58m），排风系统设计最大排风量为 15000m<sup>3</sup>/h。公司拟采用低噪声风

机，安装于水机组室内，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：

$$P = 45dIG \dots\dots\dots \text{公式 11-7}$$

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；取 10cm (窗口至传输带上被辐照物体表面的距离)

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：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \dots\dots\dots \text{公式 11-8}$$

式中：C(t)—辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度 (mg/m<sup>3</sup>)；

P—单位时间电子束产生臭氧的质量 (mg/h)；

T<sub>e</sub>—对臭氧的有效清除时间 (h)；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \dots\dots\dots \text{公式 11-9}$$

式中：T<sub>V</sub>—辐照室换气一次所需时间 (h)；

T<sub>d</sub>—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<sub>V</sub> << T<sub>d</sub>，因而 T<sub>e</sub> ≈ T<sub>V</sub>。当长时间辐照时，辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_S = \frac{PT_e}{V} \dots\dots\dots \text{公式 11-10}$$

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

T<sub>e</sub>—对臭氧的有效清除时间 (h)；

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 11-11 本项目加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度

参数	数据
$d$ (cm)	10
$I$ (mA)	35
$G$	10
$P$ (mg/h)	157500
$V$ (m <sup>3</sup> )	72.63
排风速率 (m <sup>3</sup> /h)	15000
$T_e$ (h)	0.0048
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	10.44

### (3) 臭氧的排放

由表 11-11 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：

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

式中： $C_0$ —GBZ 2.1 所规定的臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m<sup>3</sup>；

$T$ —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

表 11-12 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	数据
$T_e$ (h)	0.0048
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	0.3
$C_S$ (mg/m <sup>3</sup> )	10.44
$T$ (min)	1.0

由公式 11-12 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，排风机以通风速率不低于 15000m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 1min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度

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 5min 后, 辐射工作人员方可进入辐照室。

项目设置的排风口位于厂房楼顶, 排风口标高 20m, 高出加速器所在厂房楼顶 5m, 排风速率为  $15000\text{m}^3/\text{h}$ , 单座加速器机房臭氧排放速率为  $0.16\text{kg}/\text{h}$ 。使用 AERSCREEN 模型结合以上参数, 计算本项目臭氧排放最大落地浓度。排气筒内径 0.28m, 温度为常温, 场址周边地形简单, 在不利气象条件下 (小静风,  $\leq 0.5\text{m}/\text{s}$ ), 且不考虑臭氧自然分解, 经预测计算, 单个机房臭氧最大落地浓度为  $14.52\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 考虑叠加影响, 当 12 台加速器同时运行时, 臭氧最大落地浓度为  $14.52 \times 12 = 174.24\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中臭氧二级标准的浓度限值要求, 即 1 小时平均浓度不大于  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。项目拟建址周边无居民小区、学校等敏感建筑; 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

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, 防护门未完全闭合, 人员误入, 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, 不注意防护或他人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, 处理的步骤是:

①立即消除事故源, 防止事故继续蔓延和扩大, 即第一时间断开电源, 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、有计划的进行处理, 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。

预防措施：

①定期检查辐照室的联锁装置、紧急停机开关、报警灯、蜂鸣器、通风系统和冷却水系统等安全设施及其它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。

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预案，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，立即启动事故应急预案，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预案，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**

江苏黎彬新材料科技有限公司拟在东台市高新区锦丰路南侧新建联合厂房，并在厂房内新建 12 座工业加速器机房，并配备 12 台工业辐照电子加速器（型号均为：AB1.2-35/1200），用于开展 POF 热收缩膜辐照工作。

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。

江苏黎彬新材料科技有限公司拟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。公司应根据本次新建工业电子加速器辐照项目制定相关文件，明确公司相关辐射项目的管理人员及其职责。公司拟为本项目配备 24 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。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防护负责人须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加“电子加速器辐照”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”。江苏黎彬新材料科技有限公司应制定相关制度，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制定辐射防护和保卫制

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及操作过程中应采取的具体防护措施，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，确保电子加速器、安全措施（急停按钮、门机联锁、警示标志、工作状态指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

检维修期间在未确认电子加速处于安全受控状态，不得进行检修。

**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。

**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：**明确监测频次和监测项目。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。

## 辐射监测

根据辐射管理要求，江苏黎彬新材料科技有限公司拟为本项目配备辐射巡测仪 2 台和个人剂量报警仪 24 台，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- $\gamma$  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），建立个人剂量档案；

3) 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。

江苏黎彬新材料科技有限公司须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

## 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》（HJ979-2018），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

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，建立辐射事故应急预案，辐射事故应急预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、辐射应急演练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预案，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 13 结论与建议**

**结论**

**一、实践正当性**

江苏黎彬新材料科技有限公司拟在东台市高新区锦丰路南侧新建联合厂房，并在厂房内新建 12 座工业加速器机房，并配备 12 台工业辐照电子加速器（型号均为：AB1.2-35/1200，电子束能量：1.2MeV，电子束流 35mA），用于开展 POF 热收缩膜辐照工作。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。

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位于东台市高新区锦丰路南侧联合厂房内。联合厂房东侧为规划道路，南侧为江苏辰泓新材料有限公司，西侧为荒地及老海洋河，北侧为锦丰路。

新建工业电子加速器项目拟建址位于联合厂房北部，本项目 12 座加速器机房由东至西一字排列，中间隔着主人流、物流通道，拟建址东侧为联合厂房墙壁，南侧为物料拉伸塔区域，西侧联合厂房墙壁，北侧为物料挤出机区域。拟建址上方为生产车间顶棚，下方为土层。

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目周围 50m 评价范围内东侧为规划道路、西侧为荒地及老海洋河、北侧为锦丰路，评价范围内无学校、居民区等环境敏感目标，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、其他工作人员和周围公众等。

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；拟将控制柜及动力柜所在区域、机房二楼平台等作为辐射防护监督区，电子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。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。本项目选址及布局基本合理。

**三、产业政策相符性分析**

本项目新建工业辐照电子加速器项目，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家和江苏省现行的产业政策。

**四、辐射环境现状评价**

江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址周围环境  $\gamma$  辐射剂量率为 55nGy/h~64nGy/h，在江苏省原野和室内  $\gamma$  辐射（空气吸收）剂量率水平涨落之间。

## 五、环境影响评价

根据理论估算结果，江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器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目标管理值要求（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。工作人员产生的普通生活污水，由厂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。本项目加速器机房内排风机设计最大排风量为 15000m<sup>3</sup>/h。本项目电子加速器停止工作后，辐照室内排风机以通风速率不低于 15000m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 1min 的通风排气，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>）。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 5min 以上，防护门才能被打开。臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

## 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

江苏黎彬新材料科技有限公司拟按规定成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。公司应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。

江苏黎彬新材料科技有限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；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。江苏黎彬新材料科技有限公司需为本项目配备辐射巡测仪 2 台和个人剂量报警仪 24 台。

综上所述，江苏黎彬新材料科技有限公司新建工业辐照电子加速器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，本项目的建设和运行是可行的。

### **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）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。公司拟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。	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。	980
	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：本项目每座电子加速器机房均拟设置排风机1台，设计排风量最大为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	拟配备辐射巡测仪2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。	10
	拟配个人剂量报警仪24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。