

核技术利用建设项目

兴化市雪松仪器仪表有限公司  
新建工业辐照电子加速器项目  
环境影响报告表

兴化市雪松仪器仪表有限公司  
2023 年 6 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 兴化市雪松仪器仪表有限公司 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：兴化市雪松仪器仪表有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号

邮政编码：225722

联系人

电子邮箱

联系电话

# 目录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 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）	- 7 -
表 6	评价依据	- 8 -
表 7	保护目标与评价标准	- 11 -
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	- 32 -
表 11	环境影响分析	- 43 -
表 12	辐射安全管理	- 62 -
表 13	结论与建议	- 66 -
表 14	审批	- 72 -
附图 1	兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目地理位置示意图	- 73 -
附图 2	兴化市雪松仪器仪表有限公司平面布置及周围环境示意图	- 74 -
附图 3	兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目平面布置及周围环境示意图	- 75 -
附图 4	兴化市雪松仪器仪表有限公司拟建 5# 厂房一楼平面布局图	- 76 -
附图 5	兴化市雪松仪器仪表有限公司拟建 5# 厂房二楼平面布局图	- 77 -
附图 6	兴化市雪松仪器仪表有限公司拟建 5# 厂房立面布局示意图	- 78 -
附图 7	兴化市雪松仪器仪表有限公司 1#、2# 加速器机房平面布置示意图	- 79 -
附图 8	兴化市雪松仪器仪表有限公司 1#、2# 加速器机房辐照室纵剖示意图	- 80 -
附图 9	DD <sub>LH</sub> 2.0/50-1600 型工业电子加速器主机钢桶屏蔽设计图	- 81 -
附图 10	江苏省生态空间保护区域分布图	- 82 -
附件 1:	项目委托书	- 83 -
附件 2:	射线装置使用承诺书	- 84 -
附件 3:	本项目投资项目备案证	- 85 -
附件 4:	产权证明	- 86 -
附件 5:	本项目辐射环境本底检测报告	- 87 -
附件 6:	监测单位检验检测机构资质认定证书	- 93 -

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目			
建设单位		兴化市雪松仪器仪表有限公司			
法人代表姓名	章应存	联系人	章应存	联系电话	
注册地址		江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号			
项目建设地点		江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号(拟建 5#厂房一楼最北端)			
立项审批部门		兴化市戴南镇人民政府	批准文号	戴政经备发(2023)18 号	
建设项目总投资 (万元)	3606	项目环保总投资 (万元)	500	投资比例(环保 投资/总投资)	13.8%
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	/			
	<p><b>项目概述:</b></p> <p><b>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</b></p> <p>兴化市雪松仪器仪表有限公司(以下简称“公司”)创建于 1995 年,注册地址位于江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号,公司主要生产液位仪表和压力仪表及其传感器,具有研发、生产各类自动化仪表的雄厚技术力量和良好的加工基础。</p> <p>为提高企业效益,增加产品品种,增加产品的附加值,提高公司市场竞争力,公司拟利用自有厂房(本次新建),新增设备,投资建设“电线电缆工序电子加速器交</p>				

联改性提升生产线”，利用加速器辐照交联工艺生产电线电缆。项目概况：公司拟在厂区东北部新建5#厂房，并在厂房一楼最北端新建2座加速器机房，分别配备中广核达胜加速器技术有限公司生产的2台DD<sub>LH</sub>2.0-50/1600型的工业辐照电子加速器（最大电子束能量2.0MeV，电子束流50mA）用于对线缆进行辐照交联改性，从而改变电缆表层结构，提高电缆的耐热、耐裂和耐老化等性能，提升线缆的生产效率和产品质量，使线缆的用途更加广泛。项目建成后，年产10万吨导线和100万千米电力电缆。公司总平面图详见附图3，5#厂房平面布置图详见附图4~附图5。

兴化市雪松仪器仪表有限公司已对本次拟建项目进行了备案登记，并于2023年2月13日获得了兴化市戴南镇人民政府核准的《江苏省投资项目备案证》，备案证号：戴政经备发（2023）18号，项目代码：2302-321253-89-01-265978，详见附件5。

表 1-1 兴化市雪松仪器仪表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(DD <sub>LH</sub> 2.0/50-1600)	2	2.0	50	II类	5#厂房1#加速器机房、2#加速器机房	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，建设单位兴化市雪松仪器仪表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，兴化市雪松仪器仪表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、项目选址情况

兴化市雪松仪器仪表有限公司位于江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路24号。公

司厂区东侧为领贯电热电气厂及刘东干河，南侧为上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼及民营路，西侧为上海天川仪表兴化永盛分厂厂房，北侧为乡道及上海天川仪表兴化永盛分厂生产车间。本项目地理位置示意图附图 1，兴化市雪松仪器仪表有限公司平面布置及周围环境示意图附图 2。

兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目位于 5#厂房（拟建，地上 3 层建筑）内，5#厂房拟建址土地使用证见附件 4。5#厂房位于厂区东北部，其东侧为厂内空地及围墙，南侧为厂内道路，西侧、北侧均为厂内道路及围墙。兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目平面布置及周围环境示意图附图 3，拟建 5#厂房一楼和二楼平面布局图附图 4、附图 5，拟建 5#厂房立面布局示意图附图 6。

本次新建工业辐照电子加速器项目共拟建 2 座电子加速器机房，2 座机房位于 5#厂房一楼最北端，呈东-西方向并列相邻设置（由东向西依次为 2#、1#机房）。1#、2#电子加速器机房东侧为厂内空地，南侧为线缆收放区，西侧为厂内道路，北侧为楼梯间和厂内道路，正上方为线盘存放仓库，下方为土层。2 座电子加速器机房平面布置示意图附图 7。

本项目 2 座电子加速器机房周围 50m 评价范围东至领贯电热电气厂（最近处 18m），南至上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼（最近处 42m），北至上海天川仪表兴化永盛分厂 1#生产车间（最近处 15m）和待拆除办公楼（最近处 28m），其他为本厂区域。项目周边以工厂、道路为主，周边无居民区、学校等环境敏感目标。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。兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目平面布置及周围环境示意图附图 3。

### 三、实践正当性分析

兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目，对线缆进行辐照交联改性，项目建成后，可形成年产 10 万吨导线和 100 万千米电力电缆的产能，提高线缆的产品品质和档次，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、原有核技术利用项目履行环保手续情况

兴化市雪松仪器仪表有限公司尚未开展过核技术利用项目，未取得过辐射安全许可证。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	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(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	2	DDLH2.0/50-1600型	电子	2.0	50	工业辐照	5#厂房1#加速器机房、2#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 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订版），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》（2017 年修订版），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</p>
------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>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<math>\gamma</math>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>附图：</p> <p>（1）兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目地理位置示意图（见附图 1）；</p> <p>（2）兴化市雪松仪器仪表有限公司平面布置及周围环境示意图（见附图 2）；</p>

(3) 兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目平面布置及周围环境示意图（见附图 3）；

(4) 兴化市雪松仪器仪表有限公司拟建 5# 厂房一楼平面布局图（见附图 4）；

(5) 兴化市雪松仪器仪表有限公司拟建 5# 厂房二楼平面布局图（见附图 5）；

(6) 兴化市雪松仪器仪表有限公司拟建 5# 厂房立面布局示意图（见附图 6）；

(7) 兴化市雪松仪器仪表有限公司 1#、2# 加速器机房平面布置示意图（见附图 7）；

(8) 兴化市雪松仪器仪表有限公司 1#、2# 加速器机房辐照室纵剖示意图（见附图 8）；

(9) DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 型工业电子加速器主机钢桶屏蔽设计图（见附图 9）；

(10) 江苏省生态空间保护区域分布图（见附图 10）。

**附件：**

(1) 项目委托书（见附件 1）；

(2) 射线装置使用承诺书（见附件 2）；

(3) 本项目投资项目备案证（见附件 3）；

(4) 产权证明（见附件 4）；

(5) 本项目辐射环境本底检测报告（见附件 5）；

(6) 监测单位检验检测机构资质认定证书（见附件 6）。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围				
<p>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》（HJ10.1-2016）中“<u>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</u>”，确定本项目评价范围为本次新建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。</p>				
保护目标				
<p>本项目 2 座电子加速器机房周围 50m 评价范围东至领贯电热电气厂（最近处 18m），南至上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼（最近处 42m），北至上海天川仪表兴化永盛分厂 1#生产车间（最近处 15m）和待拆除办公楼（最近处 28m），其他为本厂区域。项目周边以工厂、道路为主，周边无居民区、学校等环境敏感目标。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。详见表 7-1。</p>				
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	控制室和线缆收放处	1#、2#加速器机房南侧	相邻	12 人
其他工作人员	5#厂房	1#、2#加速器机房南侧、上方	1~35m	约 5 人
	仓库、办公楼	5#厂房东南侧	30~50m	约 3 人
	4#厂房	5#厂房南侧	45~50m	约 5 人
	1#、2#、3#厂房	5#厂房西侧	8~50m	约 15 人
评价范围内公众	厂内道路	5#厂房东侧、南侧、西侧、北侧	18~50m	流动人口
	领贯电热电气厂办公楼和厂房	5#厂房东侧	18~50m	约 5 人
	上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼	5#厂房西南侧	42~50m	约 15 人
	乡道	5#厂房北侧	8~15m	流动人口
	上海天川仪表兴化永盛分厂 1#生产车间和待拆除办公楼	5#厂房北侧、西北侧	15~50m	约 3 人

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》（GB18871-2002）：

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	<p>工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：</p> <p>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv；</p> <p>②任何一年中的有效剂量，50mSv；</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，150mSv；</p> <p>④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。</p>
公众照射 剂量限值	<p>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：</p> <p>①年有效剂量，1mSv；</p> <p>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；</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，15mSv；</p> <p>④皮肤的年当量剂量，50mSv。</p>

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	μg/m <sup>3</sup>
		1 小时平均	160	200	

## 二、辐射环境评价标准限值

### 1、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《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 $\mu$ 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。

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 外，周围辐射剂量率应满足：**控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/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、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“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、项目位置、布局和周边环境

兴化市雪松仪器仪表有限公司位于江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号。公司厂区东侧为领贯电热电气厂及刘东干河，南侧为上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼及民营路，西侧为上海天川仪表兴化永盛分厂厂房，北侧为乡道及上海天川仪表兴化永盛分厂生产车间。本项目地理位置示意图见附图 1，兴化市雪松仪器仪表有限公司平面布置及周围环境示意图见附图 2。

兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目位于 5#厂房（拟建，地上 3 层建筑）内。5#厂房位于厂区东北部，其东侧为厂内空地及围墙，南侧为厂内道路，西侧、北侧均为厂内道路及围墙。兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目平面布置及周围环境示意图见附图 3，拟建 5#厂房一楼和二楼平面布局图见附图 4、附图 5，拟建 5#厂房立面布局示意图见附图 6。

本次新建工业辐照电子加速器项目共拟建 2 座电子加速器机房，2 座机房位于 5#厂房一楼最北端，呈东-西方向并列相邻设置（由东向西依次为 2#、1#机房）。1#、2#电子加速器机房东侧为厂内空地，南侧为线缆收放区，西侧为厂内道路，北侧为楼梯间和厂内道路，正上方为线盘存放仓库，下方为土层。2 座电子加速器机房平面布置示意图见附图 7。

本项目 2 座电子加速器机房周围 50m 评价范围东至领贯电热电气厂（最近处 18m），南至上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼（最近处 42m），北至上海天川仪表兴化永盛分厂 1#生产车间（最近处 15m）和待拆除办公楼（最近处 28m），其他为本厂区域。项目周边以工厂、道路为主，周边无居民区、学校等环境敏感目标。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。兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目平面布置及周围环境示意图见附图 3。本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-6。

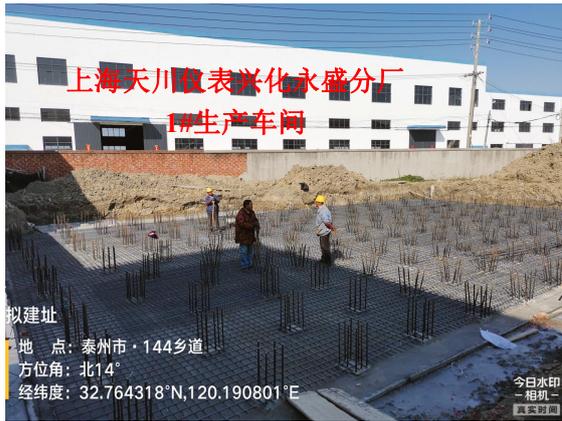


图 8-1 本项目拟建址



图 8-2 本项目拟建址东侧



图 8-3 本项目拟建址南侧



图 8-4 项目拟建址西侧



图 8-5 本项目拟建址北侧



图 8-6 本项目拟建址西北侧

## 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 5,监测结果见表 8-1,监测点位示意图见图 8-7。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

检测仪器：6150 AD6/H+6150 AD-b/H 型 X- $\gamma$ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，  
检定有效期：2022年11月14日~2023年11月13日）

能量范围：60keV~1.3MeV

剂量率范围：1nSv/h~99.9 $\mu$ Sv/h

监测日期：2023年3月2日

天气：多云

温度：（2~12） $^{\circ}$ C

湿度：（38~41）%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6），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。

表 8-1 新建工业辐照电子加速器项目拟建址及其周围 X- $\gamma$ 辐射剂量率测量结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）
1	1#、2#加速器机房拟建址中部（原野）	74

2	拟建址东侧-空地（原野）	81
3	拟建址南侧-待建5#厂房（原野）	74
4	拟建址西侧-围墙（道路）	83
5	拟建址北侧-乡道（道路）	82
6	厂区内1#厂房（室内）	85
7	厂区内2#厂房（室内）	80
8	厂区内3#厂房（室内）	75
9	厂区内4#厂房（室内）	84
10	厂区内仓库（室内）	77
11	厂区内办公楼（室内）	75
12	厂区东侧-领贯电热电器厂办公楼（室内）	84
13	厂区东侧-领贯电热电器厂1#厂房（室内）	73
14	厂区东侧-领贯电热电器厂2#厂房（室内）	74
15	厂区西南侧-上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼（室内）	82
16	厂区北侧-上海天川仪表兴化永盛分厂1#生产车间（室内）	84
17	厂区西北侧-待拆除建筑门前（道路）	74

- 注：1.测量数据已扣除宇宙响应值；  
2.新建工业辐照电子加速器项目拟建址下方为土层，无地下室；  
3.检测时现场为工地，5#厂房尚未建成。

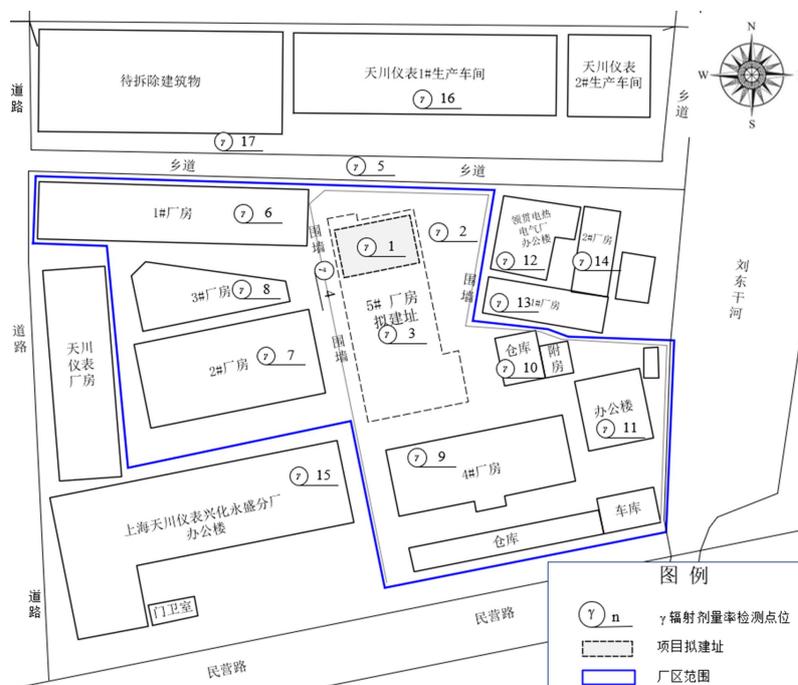


图 8-7 新建工业辐照电子加速器项目拟建址及其周围环境 X-γ 辐射监测点位示意图

由表 8-1 监测结果可知，兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器

项目拟建址及其周围原野 $\gamma$ 辐射剂量率为 74nGy/h~81nGy/h，略高于江苏省原野 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落（29.4nGy/h~71.4nGy/h）；本项目拟建址周围道路 $\gamma$ 辐射剂量率为 74nGy/h~83nGy/h，在江苏省道路 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落（10.2nGy/h~84.0nGy/h）之间；本项目拟建址周围建筑物室内 $\gamma$ 辐射剂量率为 73nGy/h~85nGy/h，在江苏省建筑物室内 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落（47.2nGy/h~131.2nGy/h）之间。

### 三、非辐射环境调查

本项目位于江苏省泰州市兴化市，根据《兴化市 2021 年生态环境质量状况公报》可知，2021 年，兴化市环境空气中臭氧指标年均值（按日最大 8 小时滑动平均值第 90 百分位数统计）为 162 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超过《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准臭氧的 8 小时平均浓度限值 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；兴化市环境空气中二氧化氮指标年均值为 19.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，低于《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准二氧化氮的年平均浓度限值 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

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

兴化市雪松仪器仪表有限公司拟在厂区东北部新建 5#厂房，并在其内新建 2 座工业电子加速器机房，分别配备 1 台型号为 DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 的工业电子加速器，用于实现对线缆产品的交联改性。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	DD <sub>LH</sub> 2.0/50-1600	DD <sub>LH</sub> 2.0/50-1600
工作场所	1#加速器机房	2#加速器机房
类型	高频高型	
结构	卧式半自屏蔽	
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	2.0MeV	
最大束流强度	50mA	
束流损失点能量	0.2MeV	
束流损失	0.5mA（1%损失率）	
电子扫描宽度	1600mm	
能量不稳定	优于±2%	
束流不稳定度	优于±2%	
主射束方向	0°（垂直）	
工作方式	连续	

公司本次购置的电子加速器为半自屏蔽式工业电子加速器，设备主体部分自带屏蔽钢桶，无需设置主机室，故在厂区车间内只建设辐照室，辐照室均位于地面一层，辐照室四周墙体和顶面采用混凝土结构，并设有迷道，防护门采用钢板作为防护。

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、控制系统和屏蔽体等。其系统组成及结构示意图见图 9-1，外观示意图见图 9-2。

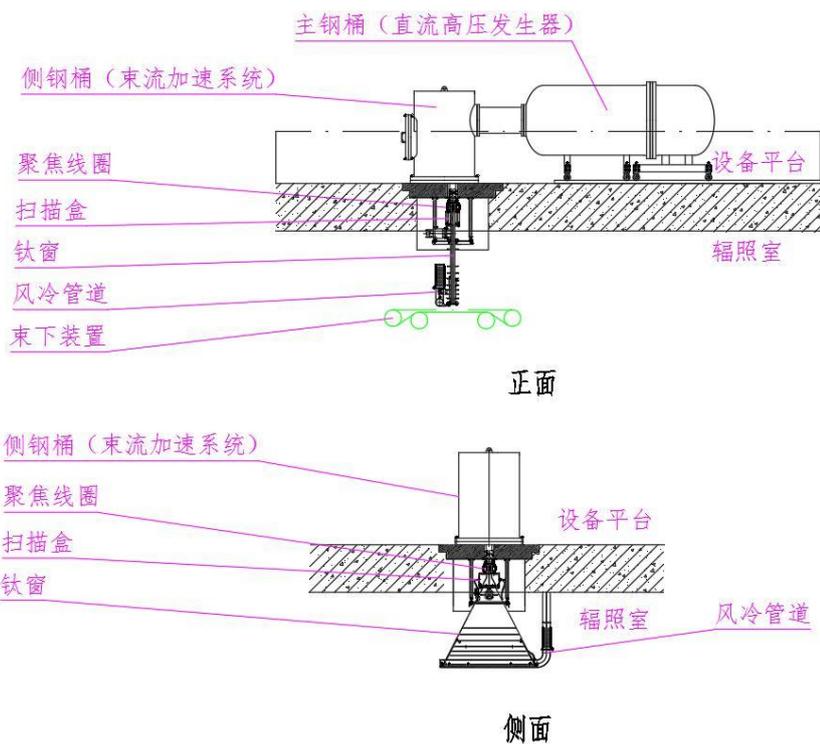


图 9-1 DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 型工业电子加速器主体结构示意图



图 9-2 DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 型工业电子加速器外观示意图

### (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 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  $0\sim 18\text{kV}$ 、 $0\sim 25\text{A}$  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  $0.65\text{MPa}$  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。

## （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（ $10^{-6}\sim 10^{-5}\text{Pa}$ ）

稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场(0~20kV/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 longer。

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。加速器主体见图9-6。

**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0~0.8mm。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。

### (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) 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。

### **(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。

## **二、工作原理及工作流程**

### **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。

本项目使用的高频高压电子加速器，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、工作流程及产物环节

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。

公司电子加速器辐照的产品为电线电缆，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。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收放线处对产品进行收集。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辐射工作人员车间内巡视加速器周边、控制室、放卷处等位置，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视频装置确定无人后再启动加速器；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，电线电缆通过传输装置从加速器辐照室货物进口输送进入加速器辐照室，经辐照后由传输装置从加速器辐照室产品进出口传送出，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。

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。

本项目工业电子加速器用于辐照线缆的工作流程和主要产污环节如图 9-3 所示。

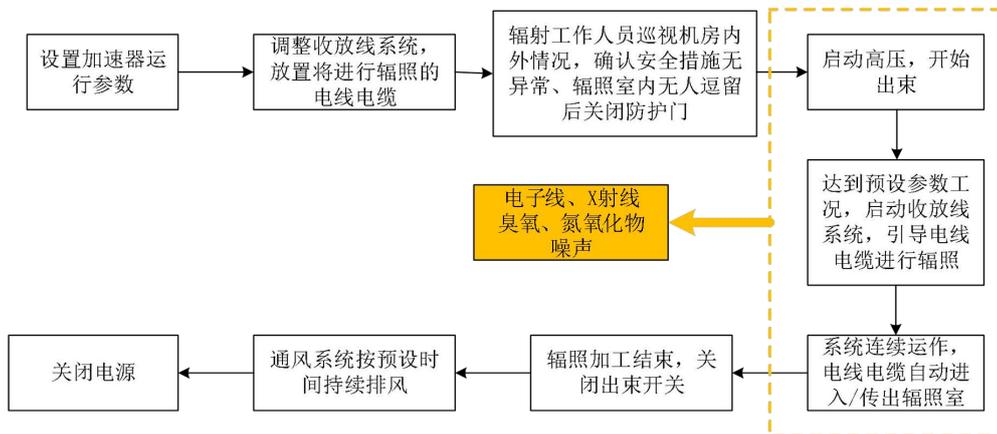
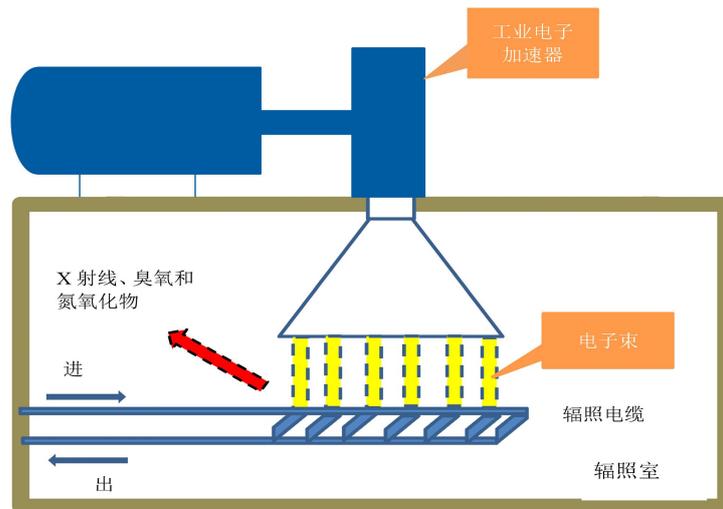


图 9-3 工业电子加速器辐照线缆的工作流程和主要产污环节示意图

### 3、人员配置及工作负荷

本项目实行连续生产方式，3 班运转，每班 8 小时，年工作 350 天，则本项目年开机曝光时间约为 8400h。公司初期拟为本项目配置 12 名辐射工作人员，在项目投运后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。

## 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，均会对辐照室周围环境造成辐射污染。

由于工业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。

当电子能量高于 10MeV 时，会由于 ( $\gamma$ , n) 反应产生光致衰变中子。本项目 2 台工业电子加速器最大能量为 2.0MeV，均未超过 10MeV，因此不用考虑中子和感生放射性问题。本项目电子加速器的技术参数列表详见表 9-1。

## 二、非放射性污染

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。

### 1、废水：

工业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。

### 2、废气：

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。工业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仅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。

### 3、固废：

本项目辐射工作人员会产生一定量生活垃圾。

### 4、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 5# 厂房。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，其对新建 5# 厂房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

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址位于厂区东北部新建 5#厂房一楼北侧，项目建成后拟用于实现对线缆产品的交联改性。本项目 2 座加速器机房均为地上一层混凝土结构，一层为辐照室，辐照室顶部为加速器设备平台（包含自带屏蔽的钢桶、高频机、冷却水循环系统、储气系统、检修平台）。

辐照室建有迷道，且入口并设有钢制防护门；控制室均位于机房南墙外，避开有用线束（垂直向下）的照射。加速器工作时，设备操作人员位于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，电线电缆收发人员位于辐照室南墙线缆进出口外的线缆收发区。加速器出束时，辐照室及顶部加速器设备层内无人员停留，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 2 座加速器机房辐照室（包含迷道）及顶部加速器设备平台加速器侧钢桶、主钢桶附近划分为辐射防护控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在迷道门外设置电离辐射警告标志及中文警示说明、在线缆进出口及顶部加速器设备平台控制区设备上设置电离辐射警示标志等；拟将控制室、顶部加速器设备平台（除加速器主机钢桶附近的控制区外）、线缆收发区作为辐射防护监督区，在控制室门口设置电离辐射警示标志，一层监督区边界地面明显处粘贴警示线及监督区标识，顶部加速器设备平台控制区边界地面明显处粘贴警示线，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。

本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。兴化市雪松仪器仪表有限公司 2 座加速器机房平面布置及辐射防护分区见图 10-1。

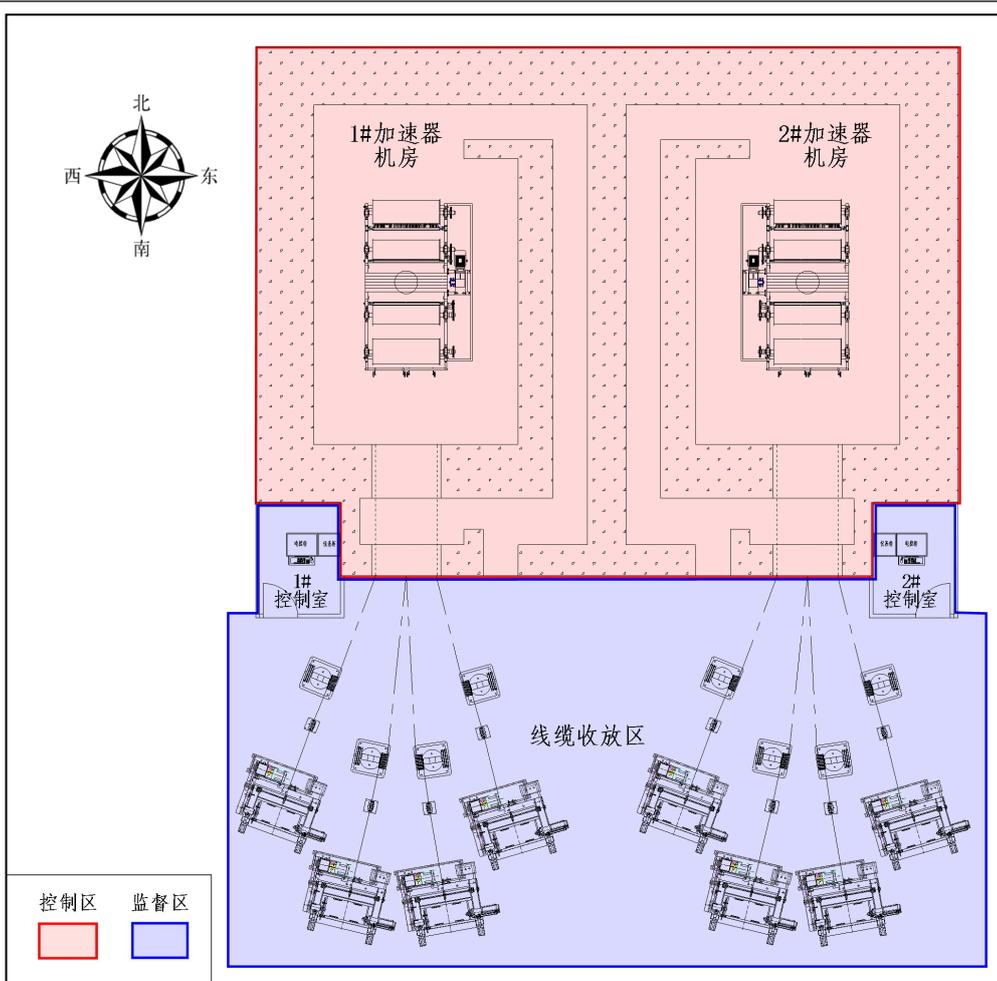


图 10-1 (a) 1#、2#加速器机房辐照室辐射防护分区示意图

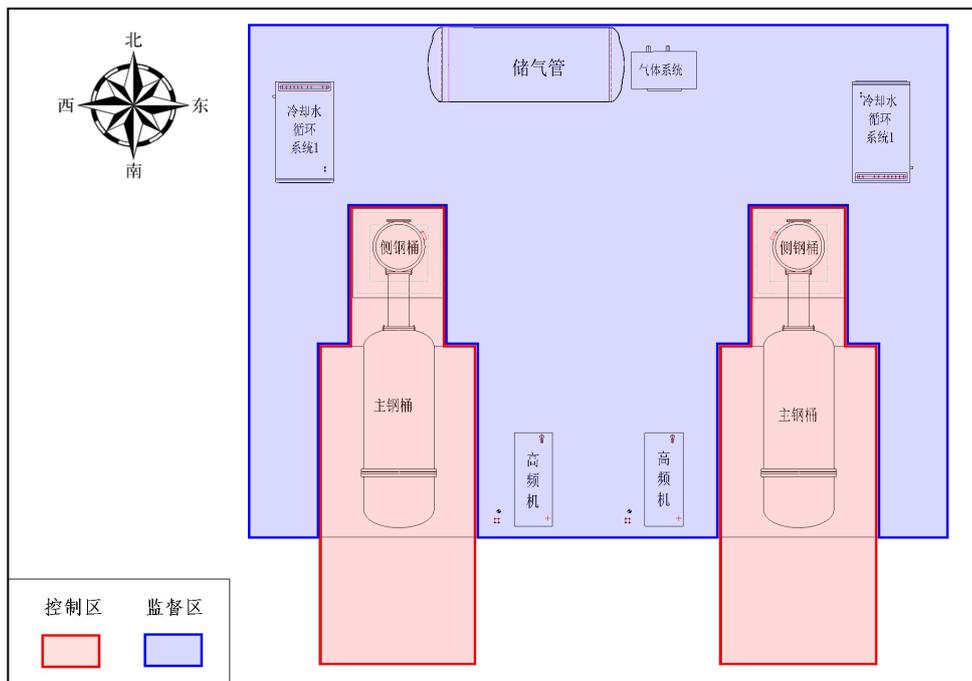


图 10-1 (b) 1#、2#加速器机房顶部加速器设备辐射防护分区示意图

## 二、辐射防护屏蔽设计

本项目2座电子加速器机房位于厂区东北部5#厂房（拟建）的一楼最北端，机房均为地上一层混凝土结构，一层为辐照室，辐照室顶部加速器设备平台包含自带屏蔽的钢桶、高频机、冷却水循环系统、储气系统、检修平台。本项目加速器机房屏蔽设计图见附图6至附图8，具体屏蔽设计参数见表10-1。

表 10-1 加速器机房屏蔽设计参数表

加速器机房	区域	屏蔽体		屏蔽设计（厚度及材质）
1#加速器机房 (DDLH2.0-50/1600 型)	辐照室	东墙	迷道内墙	900mm 砼
			迷道外墙	1000mm 砼
		南墙	迷道内墙	1400mm 砼
			迷道外墙	800mm 砼
			控制室部分	1500mm 砼
		西墙		1500mm 砼
		北墙	迷道内墙	500mm 砼
			迷道外墙	1500mm 砼
		顶部		1500mm 砼
		防护门		28mmPb 铅门
	顶部加速器设备平台	主钢桶		14mm 铅板
		主钢桶与侧钢桶连接段		3mm 钢板+30mm 铅板 +10mm 钢板
		侧钢桶顶部		20mm 钢板+60mm 铅板 +90mm 钢板
		侧钢桶侧壁		3mm 钢板+40mm 铅板 +12mm 钢板
		侧钢桶侧壁检修口		65mm 钢板
		侧钢桶底部		80mm 钢板

2#加速器机房 (DDLH2.0-50/1600 型)	辐照室	东墙		1500mm 砼
		南墙	迷道内墙	1400mm 砼
			迷道外墙	800mm 砼
			控制室部分	1500mm 砼
		西墙	迷道内墙	900mm 砼
			迷道外墙	1000mm 砼
		北墙	迷道内墙	500mm 砼
			迷道外墙	1500mm 砼
		顶部		1500mm 砼
		防护门		28mmPb 铅门
	顶部加速器设备平台	主钢桶		14mm 铅板
		主钢桶与侧钢桶连接段		3mm 钢板+30mm 铅板 +10mm 钢板
		侧钢桶顶部		20mm 钢板+60mm 铅板 +90mm 钢板
		侧钢桶侧壁		3mm 钢板+40mm 铅板 +12mm 钢板
		侧钢桶侧壁检修口		65mm 钢板
侧钢桶底部		80mm 钢板		
线缆孔洞设置	2 台加速器机房辐照室南墙均设置独立的线缆通道,由内至外均为斜坡设计,与地面分别呈 32.7°、148.8°,避开主射线方向			
通风口	2 台加速器机房辐照室北墙均设置独立的通风系统,排风口位于加速器出束窗口正下方,管道通过“U”形埋地穿墙,孔径为 Φ600mm,管线埋地深度为 800mm			
注:混凝土的密度不低于 2.35g/cm <sup>3</sup> ,铅的密度为 11.3g/cm <sup>3</sup> ,钢的密度为 7.9g/cm <sup>3</sup> 。				
<b>三、辐射安全和防护措施</b>				
为确保辐射安全,保障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均设有控制室，控制室内将设置电控柜。电控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防护门开关钥匙，并且辐照室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，防护门无法打开；在防护门打开的情况下，由于开关钥匙在防护门上，此情况下电子加速器必然无法开机出束。兴化市雪松仪器仪表有限公司拟为每台电子加速器的辐射工作人员配备 2 台个人剂量报警仪，其中 1 台个人剂量报警仪与电子加速器的开关钥匙相连，该台个人剂量报警仪由每组当班组长负责保管使用。

(2) **门机联锁**。电子加速器辐照室的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均与该辐照室内的电子加速器联锁。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；在电子加速器正常出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障，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**。拟于辐照室防护门处及内部设置灯光和音响警示信号，用于开机前对辐照室内人员的警示。辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置连锁。

(5) **巡检按钮**。各加速器机房内拟设置 6 个巡检按钮（辐照室四周墙面各 1 个、迷道入口处和迷道内墙面各 1 个），巡检按钮距地面高度约 1.2m，并与电控柜联锁。电子加速器开机前，辐射工作人员进入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) **防人误入装置**。在辐照室紧邻防护门的迷道区域内各设计有 3 道相互独立的光电装置（不同厂家或不同品牌的红外线感应装置）并分别与电子加速器联锁。光电装置安装高度距离地面分别为 0.4m、0.85m 及 1.3m，当有人员、动物误入辐照室，

身体将任意一处红外线挡住后,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,防止在加电子速器开机过程中,人员误入辐照室造成误照射。

(7) **急停装置**。各加速器机房内拟设置 6 个紧急停机开关(辐照室四周墙面各 1 个、迷道入口处和迷道内墙面各 1 个),紧急停机开关距地面高度约 1.2m;在控制室内电控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 1.3m 处,拟安装 1 根拉线开关。当拉线开关正常时,电子加速器方可启动进行出束作业;当电子加速器正常启动出束作业过程中,若拉拽拉线开关,则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压,停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后,需将拉线开关本地复位,电子加速器才能重新启动。在辐照室内靠近防护门距离地面高度约 1.2m 处,设置紧急开门装置,便于人员在紧急情况下撤离辐照室。

(8) **剂量联锁**。在辐照室的迷道内、控制室电控柜上和顶部加速器设备平台主钢桶和侧钢桶的连接段上各拟设置 1 个固定式辐射监测系统探头,与辐照室出入口门等联锁,显示面板位于控制室内。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。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。建设单位的辐射工作人员在工作时,均将携带处于开启状态下的个人剂量报警仪。若出现辐射剂量率超标时,个人剂量报警仪将自动发出警报,提醒辐射工作人员。

(9) **通风联锁**。本项目拟在辐照室设置通风系统与控制系统联锁,辐照室通风系统正常工作后,电子加速器才能出束;在通风系统未正常工作时,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,当通风系统发生故障时,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系统延迟关闭和防护门延迟开启系统,即:电子加速器正常停止出束后,排风系统将工作至少五分钟,在五分钟内,即使对排风系统发出停止工作指令,排风系统仍将有效工作五分钟;正常停止电子加速器出束后五分钟内,即使发出打开辐照室防护门的指令,辐照室防护门仍然无法打开,直到五分钟后方可开启防护门。若电子加速器非正常停止出束,

则排风系统的运行和防护门的开启情况不受限制。

(10) **烟雾报警**。本项目拟在各辐照室顶部设置 1 个烟雾报警装置,遇有火险时,电子加速器应立即停机并停止通风。

(11) **实时摄像监视**。建设单位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,拟在迷道口安装视频摄像头,安装高度距离地面约 2m,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、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;控制室设置有急停按钮	符合
2	冗余性	辐室设置有门机联锁、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	辐照室和控制室设有机械、电气、电子的剂量联锁	符合
4	独立性	辐照室设置有巡检按钮、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 10-2、图 10-3,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

名称	图标	数量	高度	作用（每台设备）
速检按钮		6	1.2m	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。
门内紧急开关		1	1.2m	突发紧急情况，停止加速器运行，强制打开防护门
烟雾报警		1	一层天花板	烟雾报警响起，设备紧急停机
拉线开关		1	1.3m	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
摄像头		1	2m	实时监控束下装置运作状态。
语音报警		2	2m	开机关门后速检语音提示
固定式剂量探头		3	1.2m	显示当前位置剂量情况。
紧停开关		6	1.2m	人员出发任意一处紧停设备都无法开启
光电		3	0.4m、0.85m、1.3m	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
钥匙开关		1	1m	进入迷宫需要插上钥匙方可打开门
状态显示器		1	2.7m	工作状态中屏幕显示（开机、关机、准备）带报警装置

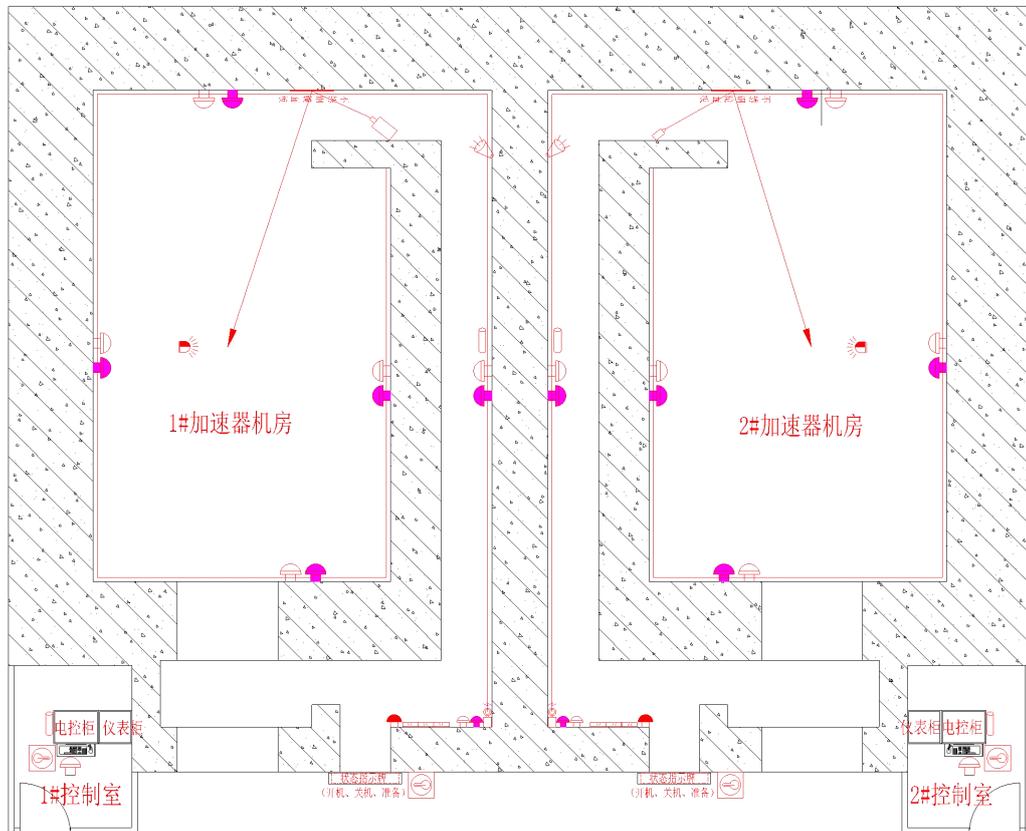


图 10-2 本项目加速器机房一层辐射安全装置示意图

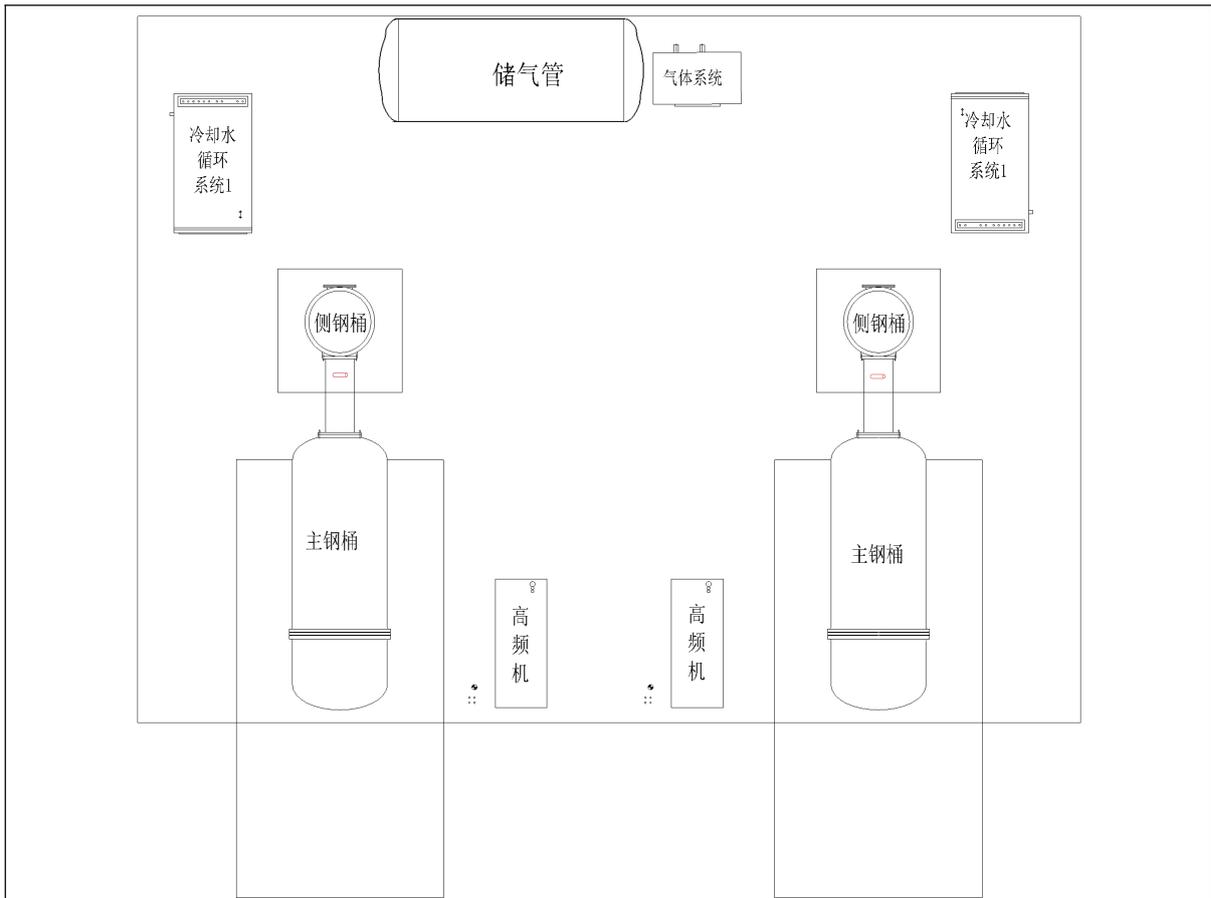


图 10-3 本项目加速器机房顶部加速器设备平台辐射安全装置示意图

#### 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。

兴化市雪松仪器仪表有限公司拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、个人剂量报警仪 4 台。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放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。

#### 1、臭氧和氮氧化物处理

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 2 台工业电子加速器均拟设置独立的机械通风系统，配套风机的设计排风量为 10000m<sup>3</sup>/h，本项目 1#和 2#加速器机房辐照室体积均为 112m<sup>3</sup>，则设计每小时换气次数约为 89 次。

本项目各辐照室内排风口位于加速器出束窗口正下方，通过“U”形埋深地下管道（管道孔径为Φ600mm，管线埋地深度为 800mm）延伸至 5#厂房北墙外地下，再通过垂直地面的排气筒延伸到厂房顶且高出厂房屋脊约 3.5m 的室外排放口（排放口标高 25m，5#拟建厂房标高 21.5m）。电子加速器运行期间通风系统一直保持运行，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通风系统排入厂房外大气中，臭氧常温下约 50 分钟后自动分解为氧气，对环境影响较小。本项目加速器机房排风系统设计如图 10-4、图 10-5 所示。

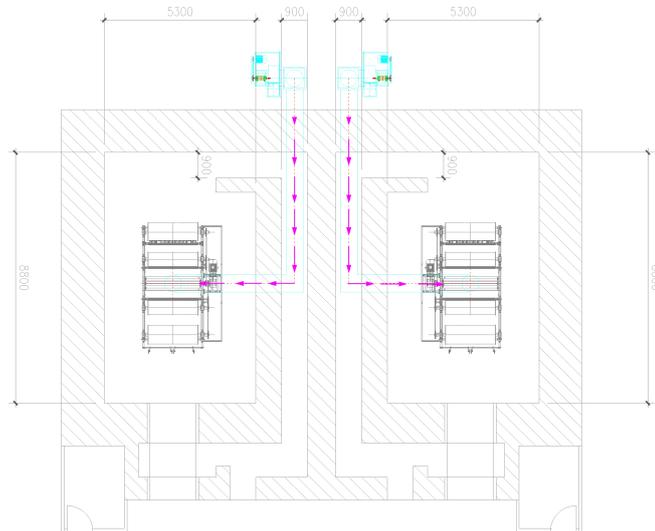


图 10-4 本项目加速器机房通风管道布设示意图（平面图）

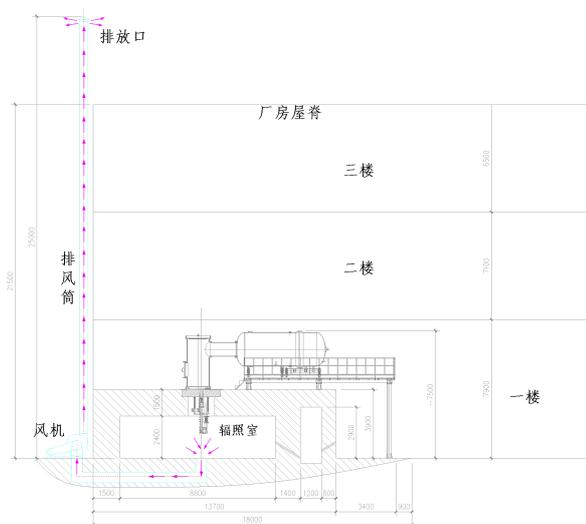


图 10-5 本项目加速器机房通风管道布设示意图（剖面图）

## **2、噪声**

本项目电子加速器运行期间，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，均集中在新建5#厂房。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，其对新建5#厂房以外的噪声影响较小。

## **3、生活废水和垃圾处理**

工业电子加速器冷却采用内循环冷却水系统，不外排；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，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。

表 11 环境影响分析

## 建设阶段对环境的影响

本项目预计主体施工期约为 5 个月，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，如打桩机、混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时需严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

3、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

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

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

## 运行阶段对环境的影响

### 一、辐射环境影响分析

兴化市雪松仪器仪表有限公司拟在江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号公司厂区东北侧 5#厂房（拟建）的一楼最北端新建 2 座电子加速器机房，分别配备型号

为 DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 的电子加速器各 1 台，用于对公司生产的线缆产品进行辐射交联改性。电子加速器运行时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X 射线），X 射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。

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自带的屏蔽钢桶的屏蔽对象。

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：线缆，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。本项目电子束辐照线缆时，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》（HJ979-2018）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

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

式中： $H_M$ —参考点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$B_x$ —X 射线的屏蔽透射比，计算公式见公式 11-3；

$D_{10}$ —距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率， $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，计算公式见公式 11-3；

$T$ —居留因子。当参考点位置为人员全居留时取值 1，部分居留时可取 1/4，偶然居留时可取 1/16；

$d$ —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。

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

式中： $Q$ —X 射线发射率， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

$I$ —电子束流强度， $\text{mA}$ ；

$f_e$ —X 射线发射率修正系数。

在已知加速器机房屏蔽设计的情况下， $B_x$  根据 HJ979-2018 中公式 A-3、公式 A-4 可得：

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

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

式中： $S$ —屏蔽体厚度， $\text{cm}$ ；

$T_1$ —在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层， $\text{cm}$ ；

$T_e$ —平衡十分之一值层，该值近似于常数， $\text{cm}$ 。

$n$ —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  $90^\circ$  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：

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

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，初级 X 射线取 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是相同的），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， $\text{m}^2$ （假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在 1~2 之间）；

$d_1$ —X 射线源与第一散射物质的距离，m；  
 $d_{r1}, d_{r2} \cdots d_{rj}$ —沿着迷道长轴的中心线距离；  
 $j$ —指第  $j$  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
前向 0°入射电子能量	2.0MeV
侧向 90°等效入射电子能量	1.3MeV
电子束流强度	50mA
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> )	1.6
修正系数 $f_e$	0.5
$D_{10}$ (Gy/h)	2400
混凝土 $T_1, T_e$ (cm)	19.73, 17.06*
钢 $T_1, T_e$ (cm)	6.33, 5.77*
铅 $T_1, T_e$ (cm)	2.18, 3.28*

\*：由 HJ 797-2018 中表 A.2、表 A.3 数据作“入射电子能量-混凝土  $T_1$ ”拟合曲线、“入射电子能量-混凝土  $T_e$ ”拟合曲线，再由拟合曲线查取 1.3MeV 对应的  $T_1$ 、 $T_e$ 。

## 3、加速器机房墙体及防护门屏蔽效果计算

### (1) 直射 X 射线的屏蔽计算

2 座加速器机房直射辐射屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率见表 11-2，机房周围估算参考点位见图 11-1~图 11-2。

表 11-2 2 座加速器机房直射辐射屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率一览表

1#加速器机房								
参考点	位置	$D_{10}$ (90°) (Gy·m <sup>2</sup> /h)	屏蔽材料 及厚度 $S^{\text{②}}$ (cm)	$B_x$	$d^{\text{②}}$ (m)	$T^{\text{③}}$	剂量率 (μSv/h)	
辐照室	A1	北墙外 30cm 处 (楼梯间)	2.40×10 <sup>3</sup>	150.0 砼	2.31E-09	6.40	1	1.35E-01

	B1	东墙外 30cm 处 (2#加速器机房迷道)	$2.40 \times 10^3$	190.0 砵	$1.05E-11$	6.00	1	$6.97E-04$
	C1	迷道口 (防护门内 <sup>①</sup> )	$2.40 \times 10^3$	147.1 砵	$3.42E-09$	7.98	1	$1.29E-01$
	D1	南墙外 30cm 处 (线缆收放区)	$2.40 \times 10^3$	220.0 砵	$1.82E-13$	7.90	1	$7.01E-06$
	E1	西南墙外 30cm 处 (1#控制室内)	$2.40 \times 10^3$	156.5 砵	$9.62E-10$	6.26	1	$5.89E-02$
	F1	西墙外 30cm 处 (室外过道)	$2.40 \times 10^3$	150.0 砵	$2.31E-09$	4.20	1	$3.15E-01$
设备平台	G1	顶部外 30cm 处 (设备平台)	$2.40 \times 10^3$	187.6 砵	$1.45E-11$	3.51	1	$2.82E-03$

2#加速器机房

参考点	位置	$D_{10}(90^\circ)$ ( $Gy \cdot m^2/h$ )	屏蔽材料及厚度 $S$ <sup>②</sup> (cm)	$B_x$	$d$ <sup>③</sup> (m)	$T$ <sup>④</sup>	剂量率 ( $\mu Sv/h$ )	
辐照室	A2	北墙外 30cm 处 (室外过道)	$2.40 \times 10^3$	150.0 砵	$2.31E-09$	6.40	1	$1.35E-01$
	B2	西墙外 30cm 处 (2#加速器机房迷道)	$2.40 \times 10^3$	190.0 砵	$1.05E-11$	6.00	1	$6.97E-04$
	C2	迷道口 (防护门内 <sup>①</sup> )	$2.40 \times 10^3$	147.1 砵	$3.42E-09$	7.98	1	$1.29E-01$
	D2	南墙外 30cm 处 (线缆收放区)	$2.40 \times 10^3$	220.0 砵	$1.82E-13$	7.90	1	$7.01E-06$
	E2	东南墙外 30cm 处 (2#控制室内)	$2.40 \times 10^3$	156.5 砵	$9.62E-10$	6.26	1	$5.89E-02$
	F2	东墙外 30cm 处 (室外空地)	$2.40 \times 10^3$	150.0 砵	$2.31E-09$	4.20	1	$3.15E-01$
设备平台	G2	顶部外 30cm 处 (设备平台)	$2.40 \times 10^3$	187.6 砵	$1.45E-11$	3.51	1	$2.82E-03$

注：①为无防护门情况下，该处参考点辐射剂量率估算值；

②屏蔽厚度  $S$  与距离  $d$  均直接由 CAD 图纸上读取；

③保守计算考虑将居留因子全部取为 1；

④屏蔽厚度为多个混凝土墙体叠加。

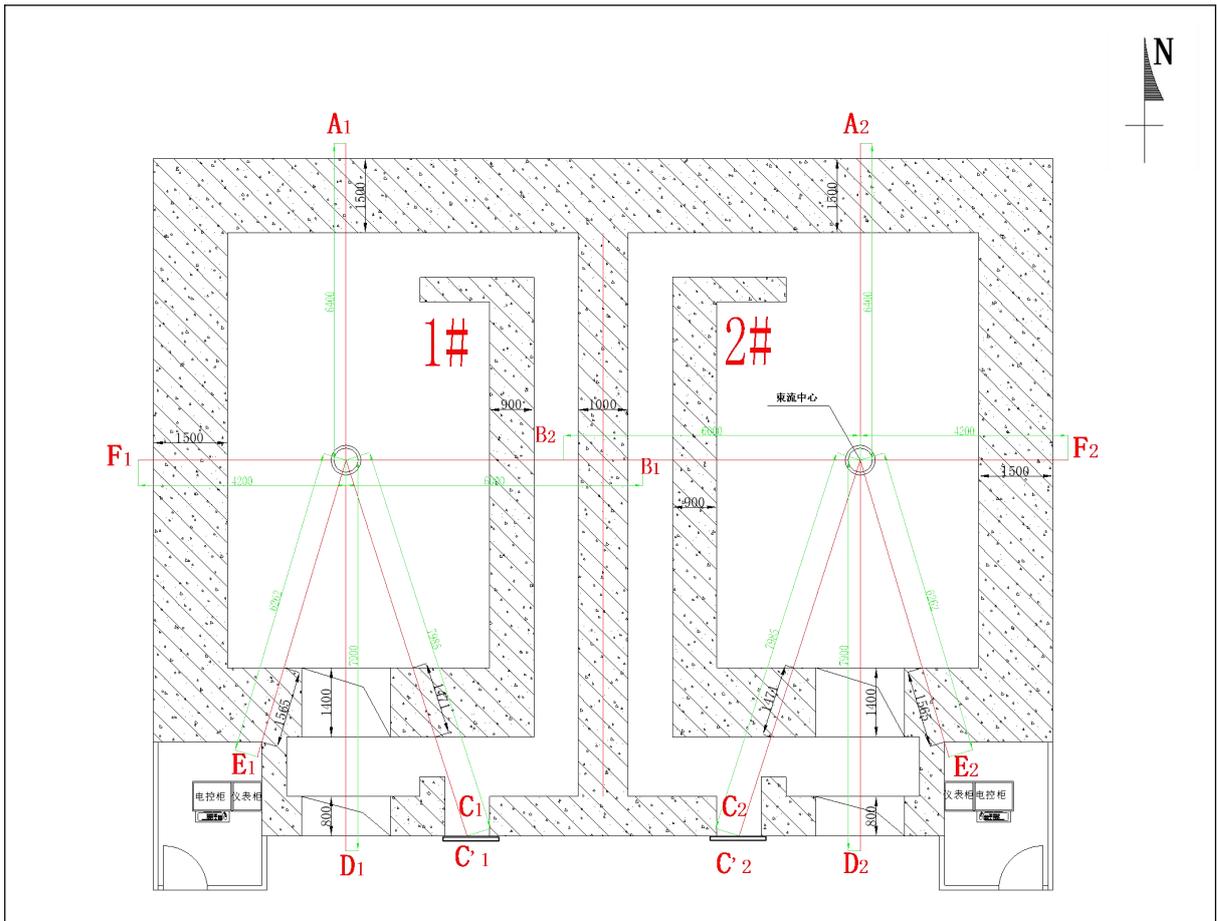


图 11-1 1#、2#加速器机房辐照室周围估算参考点位示意图

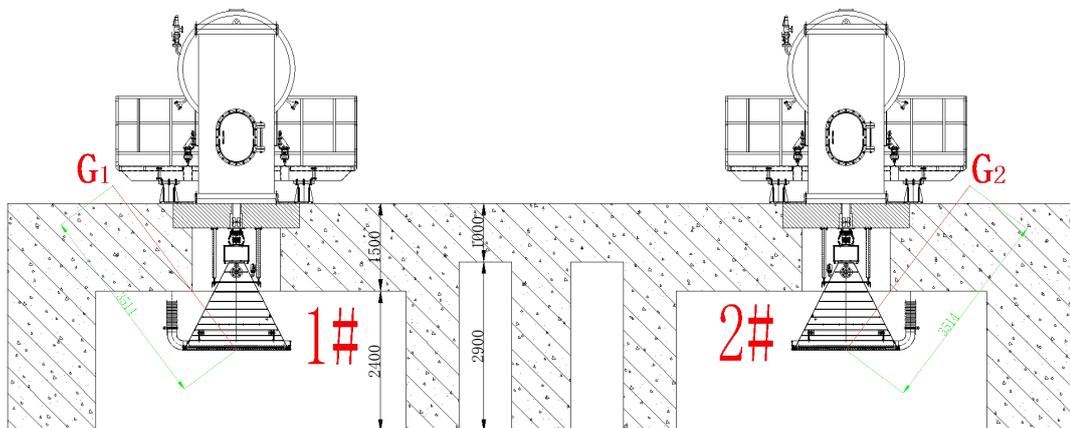


图 11-2 1#、2#加速器机房顶部加速器设备平台周围估算参考点位示意图

## (2) 散射辐射的屏蔽计算

根据加速器机房的迷道设计，辐照室的 X 射线至少经过 4 次散射后可到达迷道口，散射示意图见图 11-3，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 11-3 所示。

表 11-3 2 座加速器机房迷道散射计算参数及结果一览表

参考点	位置	参数选取					迷道口无屏蔽下剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
C1、C2	辐照室迷道口	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	3.49E-07		
		15.01m <sup>2</sup>	2.61m <sup>2</sup>	3.84m <sup>2</sup>	2.61m <sup>2</sup>			
		$d_1$	$d_{r1}$	$d_{r2}$	$d_{r3}$			$d_{r4}$
		4.15m	4.25m	10.35m	1.80m			1.40m

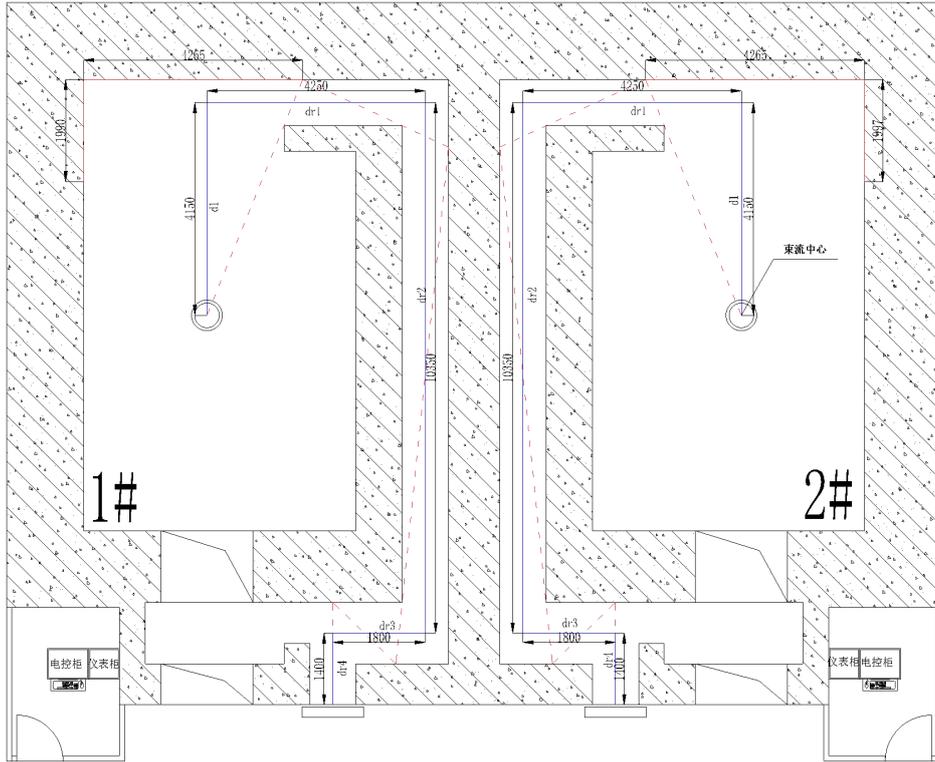


图 11-3 1#、2#加速器机房散射路径示意图

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 11-4。

表 11-4 2 座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 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
C1、C2	辐照室迷道口	1.29E-01	3.49E-07	1.29E-01

由表 11-4 结果可知，本项目 2 座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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，则辐照室人员防护门采用普通门即可满足防护要求。

本项目 2 座加速器机房辐照室防护门均采用 28mm 铅板进行防护，防护门外的辐射剂量率估算结果见表 11-5。

表 11-5 2 座加速器机房防护门外辐射剂量率计算结果

参考点	位置	防护门内侧吸收剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	屏蔽材料及厚度 $S$ (cm)	$B_x$	防护门外侧剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
C'1、C'2	防护门外	1.29E-01	2.8 铅	6.47E-02	8.34E-03

由表 11-5 结果可知，本项目 2 座加速器机房辐照室迷道口经 28mm 铅门屏蔽后的剂量率均为  $8.34\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 等标准中周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的要求。

#### 4、束流加速系统钢桶屏蔽分析

对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，根据建设单位提供资料，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。对于电子主束为 2.0MeV 的加速器，束流损失能量约为 0.2MeV。

DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 型工业电子加速器束流加速系统钢桶使用铅板+钢板作为屏蔽体（详见表 10-1），防护最薄弱处为主钢桶（高压电源系统）与侧钢桶（束流加速器系统）连接段：3mm 钢板+30mm 铅板+10mm 钢板，其对能量为 0.2MeV 的入射电子所致 X 射线的衰减因子可达  $10^{-10}$  量级。因此束流损失受到加速器侧钢桶的进一步屏蔽后对钢桶外的辐射影响很小。

#### 5、X 射线直射到厂房二楼的辐射影响

本项目加速器机房位于公司厂区东北侧 5#厂房（拟建）的一楼，加速器正常运行时机房顶人员不可达，但 3#厂房二楼拟设置为线盘存放仓库，有公司工作人员居留，因此需考虑 X 射线从辐照室直射到厂房二楼的影响。X 射线直射到厂房二楼的参考点辐射剂量率见表 11-6，参考点位示意图见图 11-4。

表 11-6 2 座加速器机房 X 射线直射到厂房二楼的直射辐射剂量率计算结果

参考点	位置	$D_{10}(90^\circ)$ ( $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	屏蔽材料及厚度 $S$ <sup>①</sup> (cm)	$B_x$	$d$ <sup>①</sup> (m)	$T$ <sup>②</sup>	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
H	辐照室正上方 5#厂房二楼地面 30cm 处(线盘存放 仓库)	2400	11 钢板+6 铅 板+165 砷	3.24E-14	6.92	1	1.62E-06

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>保守计算考虑将居留因子全部取为 1。



表 11-7 X 射线的侧向散射计算结果

参考点位置	D <sub>10</sub> (Gy/h)	F (m <sup>2</sup> )	f(θ) (m)	d <sub>R</sub> (m)	t (m)	T <sub>I</sub> (m)	T <sub>e</sub> (m)	剂量率 (μSv/h)
西侧 1#厂房	2400	0.16	0.16	15.97	1.5	0.194	0.167	3.64E-10

由表 11-7 计算结果可知，本项目 2 台加速器独立运行对邻近多层建筑的侧向散射剂量率不超过 3.64E-10μSv/h。故可以预测本项目 2 台加速器同时运行时对邻近多层建筑的侧向散射辐射剂量率同样较小，可以忽略不计。

## 8、结果汇总

表 11-8 2 座加速器机房各参考点理论估算结果汇总

参考点位置			单独运行剂量率 (μSv/h)
1#加速器 机房	A1	北墙外 30cm 处 (楼梯间)	0.14
	B1	东墙外 30cm 处 (2#加速器机房迷道)	6.97E-04
	C1	迷道口 (1#防护门内)	0.13
	C'1	1#防护门外	8.34E-03
	D1	南墙外 30cm 处 (线缆收发区)	7.01E-06
	E1	西南墙外 30cm 处 (1#控制室内)	5.89E-02
	F1	西墙外 30cm 处 (室外过道)	0.31
	G1	顶部外 30cm 处 (设备平台)	2.82E-03
	H	5#厂房二楼地面 30cm 处 (线盘存放仓库)	1.62E-06
2#加速器 机房	A2	北墙外 30cm 处 (室外过道)	0.14
	B2	西墙外 30cm 处 (1#加速器机房迷道)	6.97E-04
	C2	迷道口 (2#防护门内)	0.13
	C'2	2#防护门外	8.34E-03
	D2	南墙外 30cm 处 (线缆收发区)	7.01E-06
	E2	东南墙外 30cm 处 (2#控制室内)	5.89E-02
	F2	东墙外 30cm 处 (室外空地)	0.31
	G2	顶部外 30cm 处 (设备平台)	2.82E-03
	H	5#厂房二楼地面 30cm 处 (线盘存放仓库)	1.62E-06

由表 11-8 可知，本项目 2 座加速器机房屏蔽设计能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的限值要求。

本项目 2 台电子加速器辐照装置东西并列布置，当 2 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，加速器东侧室外空地和领贯电热电器厂的叠加剂量率不会超过  $0.32\mu\text{Sv/h}$  (B1+F2)，加速器南侧线缆收放区的叠加剂量率不会超过  $0.26\mu\text{Sv/h}$  (C1+C2)，加速器西侧室外过道和其他生产区域的叠加剂量率不会超过  $0.32\mu\text{Sv/h}$  (B2+F1)，加速器北侧室外过道和上海天川仪表兴化永盛分厂的叠加剂量率不超过  $0.28\mu\text{Sv/h}$  (A1+A2)，加速器设备平台上叠加剂量率不会超过  $5.63\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$  (G1+G2)，加速器楼上线盘存放仓库叠加剂量率不会超过  $3.25\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$  (H\*2)，加速器控制室叠加剂量率不会超过  $0.12\mu\text{Sv/h}$  (E1+E2)。

因此即使考虑 2 台电子加速器辐照装置的叠加影响，其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。

## 二、保护目标有效剂量评价

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

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 11-5 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。

本项目实行连续生产方式，3 班运转，每班 8 小时，年工作 350 天，则本项目年开机曝光时间约为 8400h。公司初期拟为本项目配置 12 名辐射工作人员，在项目投运后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。周围其他工作人员每日工作 8 小时，年工作 350 天。电子加速器开机时，机房周围可能有公众逗留的时间取 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 11-9。

表 11-9 2 座加速器机房周围人员年有效剂量

参考点		位置	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留 因子	时间 (h)	人员可达处 年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )	人员 类别	目标 管理值 ( $\text{mSv/a}$ )	结论	
1# 加速 器 机 房	A2	北侧	室外过道	0.14	1/16	2000	0.02	公众	0.1	满足
	C'2	南侧	防护门	8.34E-03	1	2000	0.02	辐射工 作人员	5	
	D2		线缆收放区	7.01E-06	1	2000	1.40E-05		5	
	E2		2#控制室	5.89E-02	1	2000	0.12		5	
	F2		东侧	室外空地	0.31	1/16	2000		0.04	
	G2	顶部	设备平台	2.82E-03	1/8	2000	7.04E-04	辐射工 作人员	5	
	H	楼上	5#厂房二楼 线盘存放仓 库	1.62E-06	1/8	2000	4.06E-07	其他工 作人员	0.1	
2# 加速 器 机 房	A2	北侧	室外过道	0.14	1/16	2000	0.02	公众	0.1	满足
	C'2	南侧	防护门	8.34E-03	1	2000	0.02	辐射工 作人员	5	
	D2		线缆收放区	7.01E-06	1	2000	1.40E-05		5	
	E2		2#控制室	5.89E-02	1	2000	0.12		5	
	F2		东侧	室外空地	0.31	1/16	2000		0.04	
	G2	顶部	设备平台	2.82E-03	1/8	2000	7.04E-04	辐射工 作人员	5	
	H	楼上	5#厂房二楼 线盘存放仓 库	1.62E-06	1/8	2000	4.06E-07	其他工 作人员	0.1	

注：保守计算考虑将使用因子全部取为 1。

根据表 11-9 结果分析知，该项目 2 台电子加速器投入运行后，辐射工作人员有效剂量最高为 0.12mSv，周围公众年有效剂量最高为 0.04mSv，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）。

本项目 2 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，2 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 2 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 11-10。

表 11-10 2 座加速器机房周围人员叠加年有效剂量

参考点位置	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留 因子	时间 (h)	人员可达处 年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )	人员 类别	目标 管理值 ( $\text{mSv/a}$ )	结论
控制室	0.12	1	2000	0.24	辐射工 作人员	5	满足
东侧室外空地和领 贯电热器厂	0.32	1/16	2000	0.08	公众	0.1	满足
南侧线缆收放区	0.26	1	2000	0.52	辐射工 作人员	5	满足
西侧室外过道和其 他生产区域	0.32	1/16	2000	0.04	公众	0.1	满足
北侧室外过道和上 海天川仪表兴化永 盛分厂	0.28	1/16	2000	0.04	公众	0.1	满足
顶部设备平台	5.63E-03	1/8	2000	1.41E-03	辐射工 作人员	5	满足
楼上 5#厂房二楼线 盘存放仓库	3.25E-06	1/8	2000	8.12E-07	其他工 作人员	0.1	满足

注：保守计算考虑将使用因子全部取为 1。

由表 11-10 可知，当本项目 2 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 0.52mSv，周围公众叠加年有效剂量最大为 0.08mSv。本项目实际运行时，2 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 2 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）。

### 三、线缆进出口辐射防护及影响分析

本项目 2 台加速器机房辐照室南墙均设置独立的线缆通道，用于被辐照线缆的进出。各加速器机房线缆通道设计完全一致，由内至外均为斜坡设计，与地面分别呈 32.7°、148.8°，详见图 11-5。

本项目线缆通道的设计均避开主射线方向且不破坏屏蔽墙体的整体防护效果，射线最少需经 4 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。”同时参考 D1 点、D2 点处的辐射剂量率可知，本项目加速器机房线缆进出口处辐射剂量在控制范围内，线缆通道的设计能够满足辐射防护要求。

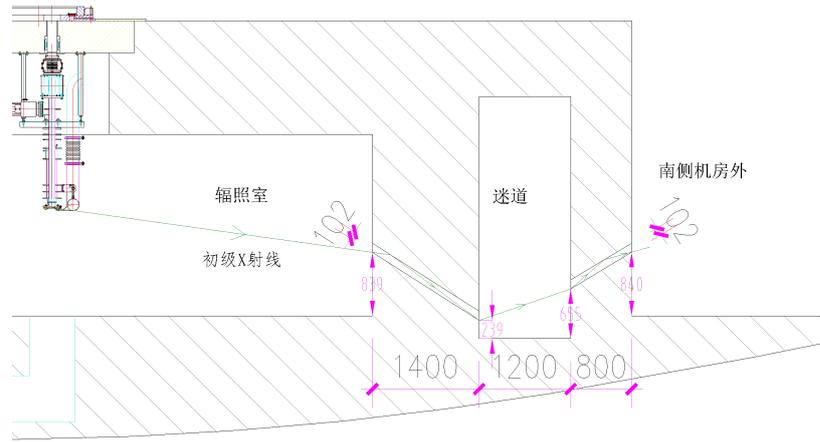


图 11-5 辐照线缆穿墙管道示意

#### 四、通风管道及电缆沟辐射防护及影响分析

对于与加速器相连的冷却水管、设备线缆管道等管道，为了防止辐射经管道的泄漏，管道根据实际情况取“S”形或“U”形，并在地沟的入口或出口盖有一定厚度的屏蔽盖板进行防护补偿。本项目机房内设置“U”形埋地穿墙排风管道，详见图 11-6。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最少需经 3 次散射后才能达到废气排放口。参考《辐射防护导论》（方杰主编）：“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。”，因此本项目管道出口处辐射剂量可以控制在较低水平，能够满足辐射防护的要求。

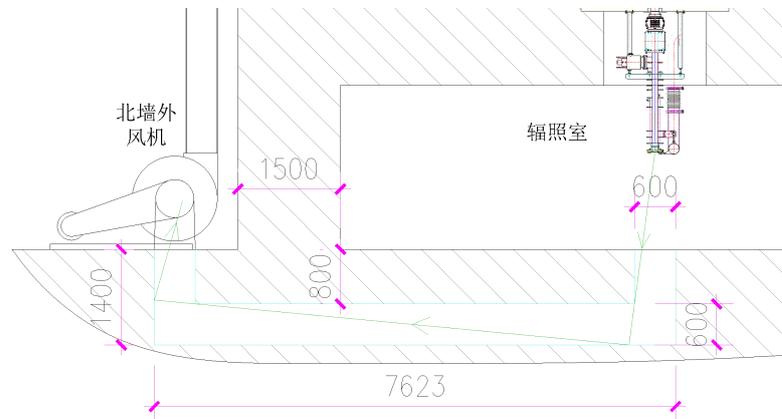


图 11-6 排风管道示意图

## 五、三废影响分析

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。工作人员产生的一般生活垃圾，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。

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防护。

### 1、通风系统设置

本项目 2 台工业电子加速器均拟设置独立的机械通风系统，配套风机的设计排风量为 10000m<sup>3</sup>/h。每座机房设置“U”形埋地穿墙排风管道，排风口位于电子加速器出束窗口正下方，风机位于厂房北墙外，排风管道孔径为 Φ600mm，管道埋地深度约为 800mm，排放口标高 25m。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

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》（HJ979-2018）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：

$$P = 45dIG \quad \text{公式 11-9}$$

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：

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

式中： $C(t)$ —辐照室空气中在  $t$  时刻臭氧的浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$P$ —单位时间电子束产生臭氧的质量， $\text{mg}/\text{h}$ ；

$T_e$ —对臭氧的有效清除时间， $\text{h}$ ；

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

式中： $T_V$ —辐照室换气一次所需时间， $\text{h}$ ；

$T_d$ —臭氧的有效化学分解时间（ $\text{h}$ ），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：

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

式中： $C_S$ —辐照室内臭氧平衡浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$T_e$ —对臭氧的有效清除时间， $\text{h}$ ；

$V$ —辐照室的体积， $\text{m}^3$ 。

本项目 1#和 2#机房为相邻对称式分布，其余屏蔽防护设计与所配置的电子加速器设备型号、参数均完全一致。DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 型工业电子加速器为半自屏蔽设备，电子束最大能量 2.0MeV，最大束流强度 50mA，电子束最大射程 15cm，辐照室容积为 112 $\text{m}^2$ ，设计排风速率为 10000 $\text{m}^3/\text{h}$ 。将参数代入公式 11-9 至 11-12 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)	15
$I$ (mA)	50
$G$	10
$P$ (mg/h)	337500
$V$ ( $\text{m}^3$ )	112
排风速率 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	10000
$T_e$ (h)	0.011
$C_S$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	33.3

### (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 GBZ2.1-2019 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：

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

式中： $C_0$ —GBZ2.1 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)	0.011
$C_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	0.3
$C_s$ (mg/m <sup>3</sup> )	33.3
$T$ (min)	3.1

由公式 11-13 及以上参数计算得出，本项目 DD<sub>LH</sub>2.0/50-1600 型工业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 10000m<sup>3</sup>/h 继续工作，通过约 3.1min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。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。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。

本项目拟设置的排放口位于 5#厂房（拟建）北墙外，排放口标高 25m，高出厂房楼顶 3.5m，排风速率为 10000m<sup>3</sup>/h，2 座加速器机房合计臭氧排放速率为 0.68kg/h（0.34kg/h×2）。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 0.6m，温度为常温，场址周边地形简单，在不利气象条件下（小静风，≤0.5m/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 16.87μg/m<sup>3</sup>；考虑叠加影响，当 2 台加速器同时运行时，臭氧最大落地浓度为 16.87×2=33.74μg/m<sup>3</sup>，满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）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 200μg/m<sup>3</sup>。

本次新建工业辐照电子加速器项目拟建址周边无居民小区、学校等敏感建筑；本项目设置的室外排放口位于5#厂房顶且高出厂房约3.5m，厂房顶部人员不可达，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方案，依照《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康部门报告。

表 12 辐射安全管理

### 辐射安全与环境保护管理机构的设置

兴化市雪松仪器仪表有限公司拟在江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号公司厂区的东北部新建 5#厂房，并在厂房一楼最北端新建 2 座加速器机房，分别配备 1 台 DD<sub>LH</sub>2.0-50/1600 型的工业辐照电子加速器(最大电子束能量 2.0MeV, 电子束流 50mA)用于对线缆进行辐照交联改性。

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。从事辐射工作的人员均应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

兴化市雪松仪器仪表有限公司拟为本项目配备 12 名辐射工作人员，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辐照电子加速器项目制定相关文件，明确公司相关辐射项目的管理人员及其职责。本项目拟配备的辐射工作人员和辐射工作管理人员须通过生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名参加“电子加速器辐照”类、“辐射安全管理”类的学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，并参加考核，考核合格后方可上岗。

### 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”。兴化市雪松仪器仪表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、工作指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

**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《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》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》，辐射工作人员应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

**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，兴化市雪松仪器仪表有限公司拟为本项目配备辐射巡测仪1台和个人剂量报警仪4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) 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。

兴化市雪松仪器仪表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况。

### 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，同时向当地卫生行政部门报告。

表 13 结论与建议

## 结论

### 一、实践正当性

兴化市雪松仪器仪表有限公司拟在江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号公司厂区的东北部新建 5#厂房，并在 5#厂房一楼最北端新建 2 座加速器机房，分别配备 1 台 DD<sub>LH</sub>2.0-50/1600 型的工业辐照电子加速器（最大电子束能量 2.0MeV，电子束流 50mA）用于对线缆进行辐照交联改性。该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射防护“实践正当性”原则。

### 二、选址合理性

兴化市雪松仪器仪表有限公司位于江苏省兴化市戴南镇刘纪村民营路 24 号。公司厂区东侧为领贯电热电气厂及刘东干河，南侧为上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼及民营路，西侧为上海天川仪表兴化永盛分厂厂房，北侧为乡道及上海天川仪表兴化永盛分厂生产车间。

公司新建工业辐照电子加速器项目位于 5#厂房（拟建，地上 3 层建筑）内。5#厂房位于厂区东北部，其东侧为厂内空地及围墙，南侧为厂内道路，西侧、北侧均为厂内道路及围墙。

本次新建工业辐照电子加速器项目共拟建 2 座电子加速器机房，2 座机房位于 5#厂房一楼最北端，呈东-西方向并列相邻设置（由东向西依次为 2#、1#机房）。1#、2#电子加速器机房东侧为厂内空地，南侧为线缆收放区，西侧为厂内道路，北侧为楼梯间和厂内道路，正上方为二楼线盘存放仓库，下方为土层。

本项目 2 座电子加速器机房周围 50m 评价范围东至领贯电热电气厂（最近处 18m），南至上海天川仪表兴化永盛分厂办公楼（最近处 42m），北至上海天川仪表兴化永盛分厂 1#生产车间（最近处 15m）和待拆除办公楼（最近处 28m），其他为本厂区域。项目周边以工厂、道路为主，周边无居民区、学校等环境敏感目标。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。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将 2 座加速器机房辐照室（包含迷道）及顶部加速器设备平台加速器侧钢桶、主钢桶附近划分为辐射防护控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在迷道门外设置电离辐射警告标志

及中文警示说明、在线缆进出口及顶部加速器设备平台控制区设备上设置电离辐射警示标志等；拟将控制室、顶部加速器设备平台（除加速器主机钢桶附近的控制区外）、线缆收放区作为辐射防护监督区，在控制室门口设置电离辐射警示标志，一层监督区边界地面明显处粘贴警示线及监督区标识，顶部加速器设备平台控制区边界地面明显处粘贴警示线，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》（GB18871-2002）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、辐射环境现状评价

兴化市雪松仪器仪表有限公司新建工业辐照电子加速器项目拟建址及其周围原野 $\gamma$ 辐射剂量率为74nGy/h~81nGy/h，略高于江苏省原野 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落（29.4nGy/h~71.4nGy/h）；本项目拟建址周围道路 $\gamma$ 辐射剂量率为74nGy/h~83nGy/h，在江苏省道路 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落（10.2nGy/h~84.0nGy/h）之间；本项目拟建址周围建筑物室内 $\gamma$ 辐射剂量率为73nGy/h~85nGy/h，在江苏省建筑物室内 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落（47.2nGy/h~131.2nGy/h）之间。

### 四、环境影响评价

根据理论估算结果，兴化市雪松仪器仪表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。工作人员产生的一般生活垃圾，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2座加速器机房均拟设置机械通风系统，辐照室内的排风量拟设计为10000m<sup>3</sup>/h。辐照室内排风机以通风速率不低于10000m<sup>3</sup>/h继续工作，通过约3.1min的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于GBZ2.1-2019规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。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。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。

## 五、辐射安全措施评价

本项目 2 座加速器机房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。本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）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。

## 六、辐射安全管理评价

兴化市雪松仪器仪表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。

兴化市雪松仪器仪表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。兴化市雪松仪器仪表有限公司需为本项目配备辐射巡测仪 1 台和个人剂量报警仪 4 台。

综上所述，兴化市雪松仪器仪表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）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2座加速器机房辐照室四侧墙体及顶部均采用混凝土进行辐射防护,防护门均为铅板,详见表10-1;设备主体部分自带屏蔽钢桶。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	480
	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》(HJ979-2018)的相关要求。	
	通风设施:本项目2座加速器机房辐照室均拟设置独立的机械通风系统,设计排风量最大为10000m <sup>3</sup> /h。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)的相关要求。	
人员配备	辐射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
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计,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),并建立放射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	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。	10
	配备个人剂量报警仪4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	/	/	500

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

**表 14 审批**

下一级环保部门预审意见：

经办人

公章

年 月 日

审批意见

经办人

公章

年 月 日