核技术利用建设项目

苏州瑞高启航新材料有限公司
扩建 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置项目生态环境影响报告表
（公示稿）

苏州瑞高启航新材料有限公司

2026 年 11 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

苏州瑞高启航新材料有限公司

扩建 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置项目生态环境影响报告表

建设单位名称：苏州瑞高启航新材料有限公司

建设单位法人代表（签字或签章）：

通讯地址：太仓市苏州国信集团东润物流工业园

邮政编码：215500　　联 系 人：[redacted]

电子邮箱：/　　联系电话：

目录

表 1　项目基本概况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 5 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 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 ..... - 10 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 16 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 23 -
表 10 辐射安全与防护 ..... - 33 -
表 1　环境影响分析 ..... - 45 -
表 12 辐射安全管理 ..... - 61 -
表 13 结论与建议 ..... - 72 -
表 14 审批 ..... - 72 -

附图
附图 1 项目地理位置示意图
附图 2 厂区平面布局及周围环境示意图
附图 3 一期生产车间平面布置示意图（一层）
附图 4 一期生产车间平面布置示意图（二层）
附图 5 二期生产车间平面布置示意图（一层）
附图 6 二期生产车间平面布置示意图（二层）
附图 7　加速器装置屏蔽结构设计示意图
附图 8 江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询结果图

附件
附件一 环评项目委托书
附件二 扩建二期项目大环评批复
附件三 射线装置使用承诺说明
附件四 公司现有辐射安全许可证复印件
附件五 现有个人剂量监测报告
附件六 现有加速器验收监测报告和验收意见
附件七 辐射环境现状检测报告及检测资质复印件
附件八 生产商辐射安全许可证复印件
附件九 本项目加速器技术参数说明

表 1　项目基本概况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">扩建 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">苏州瑞高启航新材料有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表姓名</td><td>高航</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="3">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省苏州市太仓市大连东路 36 号 13#楼二层</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">太仓市苏州国信集团东润物流工业园
（大连路以北、东亭北路以西）</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>项目环保总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">□新建 □改建 ☑扩建 □其它</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="6">□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="6">□I类（医疗使用） □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="6">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="6">□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="6">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑II类 □III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

1 建设单位基本情况、项目建设规模、任务由来

1.1 建设单位基本情况

苏州瑞高启航新材料有限公司成立于 2023 年 12 月 11 日，公司地址位于太仓市苏州国信集团东润物流工业园内。公司主要经营的业务有：高性能纤维及复合材料制造；高性能纤维及复合材料销售；新材料技术研发；合成材料销售；面料纺织加工；产业用纺织制成品销售；针织或钩针编织物及其制品制造；针纺织品及原料销售（除依法须经批准的项目外，凭营业依法自主开展）等。

1.2 项目规模及任务由来

苏州瑞高启航新材料有限公司已建设一期厂房 62000 平方米，建成后可年产轻量化高强度发泡塑料 2400 吨。另外拟扩建二期厂房 25000 平方米及研发大楼 10000 平方米，购置相关设备，建成后年产高分子弹性体内饰表皮材料 1200 万米，轻量化高强度发泡塑料 1575 万米，离型纸 300 万米，塑料制品 1000 吨及研发高分子新型环保材料。扩建项目（不含研发内容）环评已于 2026 年 6 月 24 日取得苏州市生态环境局的批复（苏环建[2026]85 第 91 号），环评批复复印件见附件二。由于项目产品的辐照加工发展需要，公司已在一期厂房车间内东部靠南使用 1 台 AB1.5-60/1500 型工业电子加速器辐照装置（编号 1 号加速器），本项目拟在一期厂房车间内中部靠南增加 1 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置（编号 2 号加速器），并在扩建的二期厂房车间中部靠东拟增加 1 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置（编号 3 号加速器），两台装置型号完全相同，均为无锡爱邦辐射技术有限公司生产的 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置，用于轻量化高强度发泡塑料进行辐照加工。本项目 2 号加速器位于现有 1 号加速器西侧，间距大于 50m，3 号加速器位于现有 1 号加速器东侧，间距大于 50m。本项目拟配备的 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置的输出粒子为电子，不直接输出 X 射线。该项目两台装置均未购买安装。

公司目前已配备 4 名辐射工作人员和 1 名辐射管理人员。根据公司的安排，本项目扩建的 2 台设备全部到位后，项目拟配备 12 名辐射工作人员开展工作，每台加速器配备 6 名辐射工作人员，公司采用人员两班制，每台加速器每班按辐照出束 8 小时制运行，拟定辐照出束时间为每天共计 16h，每周工作 6 天，每年 48 周，因此本项目每台加速器周辐照时间约为 96h，年辐照出束总时间约为 4608h，每班人员接触辐射时间约 2304h。

该单位本次核技术应用项目情况一览表见下表 1-1 所示，射线装置使用承诺说明见附件三。

表 1-1 本次核技术应用情况一览表

序号	射线装置名称型号	数量	能量（MeV）	电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评情况及审批时间	许可情况
1	AB1.2型自屏蔽工业电子加速器辐照装置（2号加速器）	[redacted]							

2	AB1.2型 自屏蔽工业电子加速器辐照装置 （3号加速器）	[redacted]

根据《中华人民共和国生态环境法典》、《建设项目环境保护管理条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目使用的自屏蔽工业电子加速器辐照装置的分类属于工业辐照用加速器，为II类射线装置，应当编制环境影响评价报告表。受苏州瑞高启航新材料有限公司委托，苏州普瑞菲环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测（委托江苏海尔森检测技术服务有限公司）和评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

苏州瑞高启航新材料有限公司厂区位于太仓市苏州国信集团东润物流工业园内，厂区地理位置图见附图1。厂区东侧为苏昆太上跨桥，南侧隔其他待建企业为大连东路，西侧为半泾北路，北侧为湖川塘路，公司厂区平面布局及周围环境图见附图2。

本项目拟在一期已建生产车间为二层结构，中部靠南增加1台2号加速器，拟建址南侧为厂区道路，隔厂区道路为空地（规划其他待建企业）；东侧、西侧、北侧均为生产车间内场所，楼上为企业一期车间二层生产区域，楼下无建筑，加速器装置周围环境布局图见附图3、附图4。拟在扩建二期生产车间设计为二层结构，在车间中部靠东拟增加1台3号加速器，拟建址东侧为苏昆太上跨桥；西侧、南侧、北侧均为生产车间内场所，楼上为扩建二期车间的二层生产区域，楼下无建筑，加速器装置周围环境布局图见附图5、附图6。两台加速器装置拟建址周围50m范围内均无居民区、学校等敏感点。因此，本项目环境保护目标主要为辐射工作人员及加速器装置拟建址周围评价范围内的公众人员。

3 原有核技术利用项目许可情况

本项目在一期生产车间内现有1台AB1.5-60/1500型工业辐照用加速器（编号1号加速器），已于2025年2月25日取得苏州市生态环境局的环评批复（苏环核评[2025]第7号），并取得辐射安全许可证（苏环辐证[E2830]），种类和范围为使用II类射线装置（见附件四），于2026年3月通过竣工环境保护自主验收（见附件六）。本项目现有核技术利用项目已履行环保手续。

4 现有辐射安全管理情况

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年 1 月 4 日修订），苏州瑞高启航新材料有限公司为满足公司辐射安全与环境保护管理的需求，已成立辐射防护安全管理小组，负责公司辐射安全与环境保护管理工作，目前管理小组可以满足公司日常辐射安全与环境保护管理的要求。

苏州瑞高启航新材料有限公司已制定了一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账管理制度、人员培训计划、个人剂量监测制度、环境剂量监测制度、辐射事故应急预案等，现有辐射安全管理制度基本能满足公司核技术应用项目的管理需要，符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年 1 月 4 日修订）中“应当有健全的操作规程、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”的要求。

现有 4 名辐射工作人员和 1 名辐射防护负责人共同负责 1 号装置的运行工作，辐射工作人员和辐射防护管理人员已通过生态环境部培训平台上的线上考核（其中辐射工作人员考核类别为电子加速器辐照，辐射防护负责人考核类别为辐射安全管理）。公司已安排现有辐射工作人员参加职业健康体检并签订个人剂量检测协议，根据最近两个季度的公司人员个人剂量监测报告，辐射工作人员的个人剂量每个季度的检测结果均低于测量系统最低探测水平（＜0.087mSv），详见附件五。

现有 AB1.5-60/1500 型工业辐照加速器正常工作时的验收监测结果表明加速器机房屏蔽体外 30cm 处 X-γ辐射剂量当量率最大值为 0.15μSv/h，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 2.5μSv/h”的限值要求，详见附件六。

综上，公司目前辐射安全管理情况整体良好。

5 实践正当性

本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加加速器装置拟建址周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设将满足企业的生产需求和提高产品质量，创造更大的经济效益和社会效益，在落实辐射安全与防护管理措施后，其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》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

表 2　放射源

序号	核素名称	总活度（Bq)/ 活度（Bq)×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3　非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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	自屏蔽工业电子加速器辐照装置（2号加速器）	[redacted]								
2	自屏蔽工业电子加速器辐照装置（3号加速器）									

（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、 氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入车间外，大气环境中的臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，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^3；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^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国生态环境法典》2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026 年 8 月 15 日起施行 （2）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修正版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行 （3）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行 （4）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号公布，自 2021 年 1 月 1 日起施行 （5）关于发布《射线装置分类办法》的公告，生态环境部/国家卫生健康委，公告 2026 年第 44 号，2026 年 10 月 14 日起施行 （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版）生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行 （7）《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 （8）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行 （9）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，自 2019 年 11 月 1 日起施行 （10）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （11）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （12）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行 （13）《江苏省辐射污染防治条例》（2026 年修正版），江苏省第十四届人民代表大会常务委员会第二十三次会议，2026 年 8 月 15 日起施行 （14）《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日 （15）《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 （16）《太仓市 2021 年度生态空间管控区域优化调整方案》（太仓市人民政

	府，2021 年 11 月） （17）《江苏省自然资源厅关于太仓市 2021 年度生态空间管控区域优化调整方案的复函》（苏自然资函〔2021〕1587 号） （18）《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 号文 （19）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》 （20）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1 号，2025 年 9 月 21 日起施
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022） （3）《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） （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） （6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） （7）《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025） （8）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）（参考） （9）《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010） （10）《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002） （11）《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）
其他	**与本项目相关附件：** （1）环评项目委托书（附件一） （2）扩建二期项目大环评批复（附件二） （3）射线装置使用承诺书（附件三） （4）公司现有辐射安全许可证复印件（附件四） （5）现有个人剂量监测报告（附件五） （6）现有加速器验收监测报告和验收意见（附件六） （7）辐射环境现状检测报告及检测资质复印件（附件七） （8）生产商辐射安全许可证复印件（附件八） （9）本项目加速器技术参数说明（附件九）

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”相关规定，确定本项目评价范围为本项目每台自屏蔽工业电子加速器辐照装置屏蔽体边界外 50m 区域（详见附图 2）。

保护目标

本项目评价范围内不涉及自然保护区、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）、《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）、《太仓市 2021 年度生态空间管控区域优化调整方案》（太仓市人民政府，2021 年 11 月）及《江苏省自然资源厅关于太仓市 2021 年度生态空间管控区域优化调整方案的复函》（苏自然资函〔2021〕1587 号），本项目评价范围不涉及江苏省国家级生态保护红线，对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。本项目利用加速器产生的电子束进行辐照加工，占用资源少，不会降低管控区的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量。经查询江苏省生态环境分区管控综合服务系统，本项目所在区域属于江苏省太仓高新技术产业开发区，为重点管控单元，项目建设符合该重点管控单元中空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控和资料利用效率要求的准入清单内容，符合生态空间管控的相关要求。查询主要结果见附图 8。

本项目两台加速器装置拟建址周围 50m 范围内没有居民区、学校等环境敏感目标，本项目环境保护目标主要为辐射工作人员及加速器装置拟建址周围评价范围内的公众人员。

表 7-1 本项目装置评价范围内保护目标情况一览表

装置	保护目标分类	方位	保护目标名称	最近距离（m）	规模	应达到的环境保护要求(本项目剂量约束值)mSv/a
自屏蔽工业电子加速器辐照装置（2号加速器））	辐射工作人员	/	加速器操作人员	紧邻	6人（每班3人）	5
	公众	东侧	车间办公室	8~15m	5~10人	0.1
		东侧	生产车间内其他工作人员	15~50m	5~10人	
		北侧	生产车间内通道	25~50m	流动人员	
		西侧	生产车间内其他工作人员	15~50m	3~5人	
		南侧	厂区内通道行人	15~20m	流动人员	
		上方	二楼生产车间内其他工作人员	10~20m	3~5人	
自屏蔽工业电子加速器辐照装置（3号加速器）	辐射工作人员	/	加速器操作人员	紧邻	6人（每班3人）	5
	公众	西北侧	生产车间内其他工作人员	10~50m	5~10人	0.1
		东南侧	生产车间内其他工作人员	10~50m	5~10人	
		西南侧	生产车间内其他工作人员	20~50m	3~5人	
		东北侧	厂区外道路行人	20~50m	流动人员	
		上方	二楼生产车间内其他工作人员	10~20m	3~5人	

备注：①上述距离范围为各场所人员与本项目加速器装置外屏蔽体的距离；

②现有一期车间内运行的1号加速器机房与本项目2号加速器装置屏蔽体的距离超过50m。

评价标准

1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

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

2 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）

4 总体要求

4.1 粒子加速器设施设计、运行和退役期间，都应遵循实践的正当性、剂量限制和潜在照射限制、防护与安全的最优化原则。

4.2 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合GB 18871中剂量限值的相关规定。

4.3 应结合粒子加速器特点和应用场景合理确定剂量约束值，一般情况下，职业照射剂量约束值不超过5 mSv/a，公众照射剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.4 应定期开展粒子加速器辐射工作场所和周围环境辐射水平监测并评估辐射安全与防护措施的有效性。

5 辐射安全与防护设计要求

5.2 辐射工作场所分区

5.2.1 粒子加速器辐射工作场所应分为控制区和监督区。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，主要包括加速器室、束流终端室和放射性废物贮存区域等。与控制区相邻的、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的区域划定为监督区。

5.2.2 控制区、监督区的入口应设置控制区和监督区标识，控制区出入口和其他适当位置还应设置明显的电离辐射警告标志。

5.3 辐射屏蔽

5.3.1 加速器室、束流终端室应设置足够的屏蔽体以达到辐射屏蔽设计目标，并确

保人员受照剂量满足4.3的要求。

5.3.2 应充分利用周边现有环境条件，综合考虑粒子种类、能量、功率、靶材料、工作负荷和周围环境等因素，按可能达到最大运行工况下的辐射源项进行辐射屏蔽设计，同时应充分考虑各种类型的瞬发辐射对周围邻近场所的影响。

5.3.3 确定辐射源项时不仅要考虑正常运行工况，还应考虑异常工况。

5.3.4 选择屏蔽材料时，应根据辐射防护最优化原则，综合考虑所选材料的结构性能、防护性能和稳定性等因素。

5.3.5 风管、电缆和水管等需要贯穿屏蔽体时，贯穿开口宜避开束流前向和全居留场所，采用S型或U型等非直通方式，必要时应增设局部屏蔽体以达到辐射屏蔽设计目标。

5.4 辐射安全联锁系统

5.4.1 加速器室和束流终端室出入口应设有出入管控措施以防止人员未经授权进入。

5.4.2 粒子加速器主要控制系统应利用开关钥匙或具有类似功能的装置控制，并设置控制系统操作人员的权限，确保开关钥匙或装置处于受控状态。

5.4.3 加速器室和束流终端室出入口的门应设置门-机联锁，某区域联锁门未完全关闭时该区域不能供束。

5.4.4 加速器室和束流终端室内部及其各出入口、控制室/台的显著位置，应设有必要数量的急停装置。急停装置周围应设有醒目标识及文字显示。

5.4.5 粒子加速器出束前应对加速器室和束流终端室内人员可达区域进行清场巡检。对于设置清场巡检按钮的场所，应设定清场巡检的顺序和响应时间，未按规定顺序或超出响应时间的清场无效。对于设置分区清场的情况，各分区出入口门应纳入联锁，确保清场完成且联锁门关闭后相应分区联锁方可生效。

5.4.6 粒子加速器工作场所应设置工作状态指示装置。其中，加速器室、束流终端室内部应设有工作状态指示及警示装置，在加速器准备运行前发出警示信号。加速器室和束流终端室出入口应设置与区域内束流状态联锁的工作状态指示装置并配有中文说明。

5.4.7 加速器室和束流终端室内应设紧急开门装置。

5.4.8 辐射安全联锁系统被触发时（如联锁门被打开），应立即切断联锁被触发区域的束流和可能的暗电流，确保区域安全。

5.4.9 辐射安全联锁系统被触发后，必须按照规程查明原因，复核故障设备或恢复系统功能后并通过控制系统才可重新启动束流。

3 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

3.2 电子束辐照装置

按人员可接近辐照装置的情况分为:

Ⅰ类 配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件。

Ⅱ类 安装在屏蔽室（辐照室）内的辐照装置，运行期间借助于入口控制系统防止人员进入辐照室。

（注：本项目使用的电子加速器均属Ⅰ类电子束辐照装置）

5.1.3 Ⅰ、Ⅲ类γ射线和Ⅰ类电子束辐照装置外部的辐射水平检测

沿整个辐照装置表面测量距表面 5cm 处的空气比释动能率，应特别注意装源口样品入口等可能的薄弱部位的测量。测量结果一般应不大于 2.5μGy/h。

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

工作场所空气中化学有害因素的职业接触限值，对于臭氧为 0.3mg/m^3。

5 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中“臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m^3。”

8.1.3 辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

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

b）屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；

c）监督区的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 和 GB5172-2025 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5 mSv；公众成员个人年有效剂量限值为 0.1 mSv；

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

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

f）剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

g）其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2-2007 规定的标准要求（见附录 C）。

7 项目管理目标限值

（1）本项目剂量约束

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）等评价标准，本项目职业人员年剂量约束值取 5mSv/a；公众年剂量约束值取 0.1mSv/a。

（2）本项目剂量率限值

根据《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)要求，确定本项目辐照装置表面测量距表面 5cm 处的空气比释动能率控制水平不大于 2.5μGy/h 的防护要求（本项目装置为《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）中的 I 类电子束辐照装置）。

（3）臭氧浓度

本项目辐照室内臭氧浓度的职业接触限值：0.3mg/m^3。

9 参考资料

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

表 7-3 江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1～72.6	18.1～102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值

[2]本报告取“测值范围”数值，即原野天然γ辐射水平参考范围取（33.1~72.6）nGy/h，道路天然γ辐射水平参考范围取（18.1~102.3）nGy/h，室内天然γ辐射水平参考范围取（50.7~129.4）nGy/h。

表 8　环境质量和辐射现状

1. 项目地理和场所位置

苏州瑞高启航新材料有限公司厂区位于太仓市苏州国信集团东润物流工业园内，厂区地理位置图见附图 1。厂区东侧为苏昆太上跨桥，南侧隔其他待建企业为大连东路，西侧为半泾北路，北侧为湖川塘路，公司厂区平面布局及周围环境图见附图 2。

本项目 2 号加速器装置拟设置于公司一期生产车间内中部靠南，加速器装置拟建址南侧为厂区道路，隔厂区道路为其他待建企业；东侧、西侧、北侧均为一期生产车间内场所，楼上为车间二层生产区域，楼下无建筑，一期生产车间的一层和二层平面布置示意图分别见附图 3、附图 4。本项目 3 号加速器装置拟设置于公司扩建二期生产车间内中部靠东，拟建址东侧隔厂区道路为苏昆太上跨桥；西侧、南侧、北侧均为二期生产车间内场所，楼上为扩建二期车间的二层生产区域，楼下无建筑，二期生产车间的一层和二层平面布置示意图分别见附图 5、附图 6。

加速器装置拟建址周围 50m 范围内均无居民区、学校等敏感点。因此，本项目环境保护目标主要为辐射工作人员及加速器装置拟建址周围评价范围内的公众人员。本项目 2 号加速器装置拟建区域及周围环境现状见图 8-1。本项目 3 号加速器装置拟建区域及周围环境现状见图 8-2。

[redacted]	
加速器装置拟建区域西侧（生产车间内）	加速器装置拟建区域东侧（墙体）



图 8-1 本项目 2 号加速器装置拟建区域及周围环境现状照片



加速器装置拟建区域西侧	加速器装置拟建区域东侧



图 8-2 本项目 3 号加速器装置拟建区域及周围环境现状照片

2. 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价对象：加速器装置拟建址及周围辐射环境

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率

监测点位：在两个加速器装置拟建址周围布置监测点位，共计 15 个监测点位

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

监测项目：γ辐射空气吸收剂量率

监测布点：在两个加速器装置拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-3 和图 8-4 所示。

监测时间：2026 年 04 月 23 日

监测仪器：FH40G 型辐射剂量检测仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：HES053，检定有效期：2025.10.9~2026.10.8）

检测范围：1nSv/h~100μSv/h

能量响应范围：48keV~6MeV

数据记录及处理：开机预热，手持仪器，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γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

3.2 质量保证措施

监测单位：江苏海尔森检测技术服务有限公司，公司已通过资质认定

监测布点质量保证：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

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《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

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，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

3.3 监测结果

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果，监测结果分别见表 8-1 和表 8-2 所示，详细检测结果见附件七。

表 8-1　2 号加速器拟建址周围γ辐射空气吸收剂量率测量结果

测点编号	测点位置描述	检测结果（nGy/h）	标准偏差（nGy/h）	测点位置
[redacted]				

表 8-2　3 号加速器拟建址周围γ辐射空气吸收剂量率测量结果

测点编号	测点位置描述	检测结果（nGy/h）	标准偏差（nGy/h）	测点位置
[redacted]				

注：

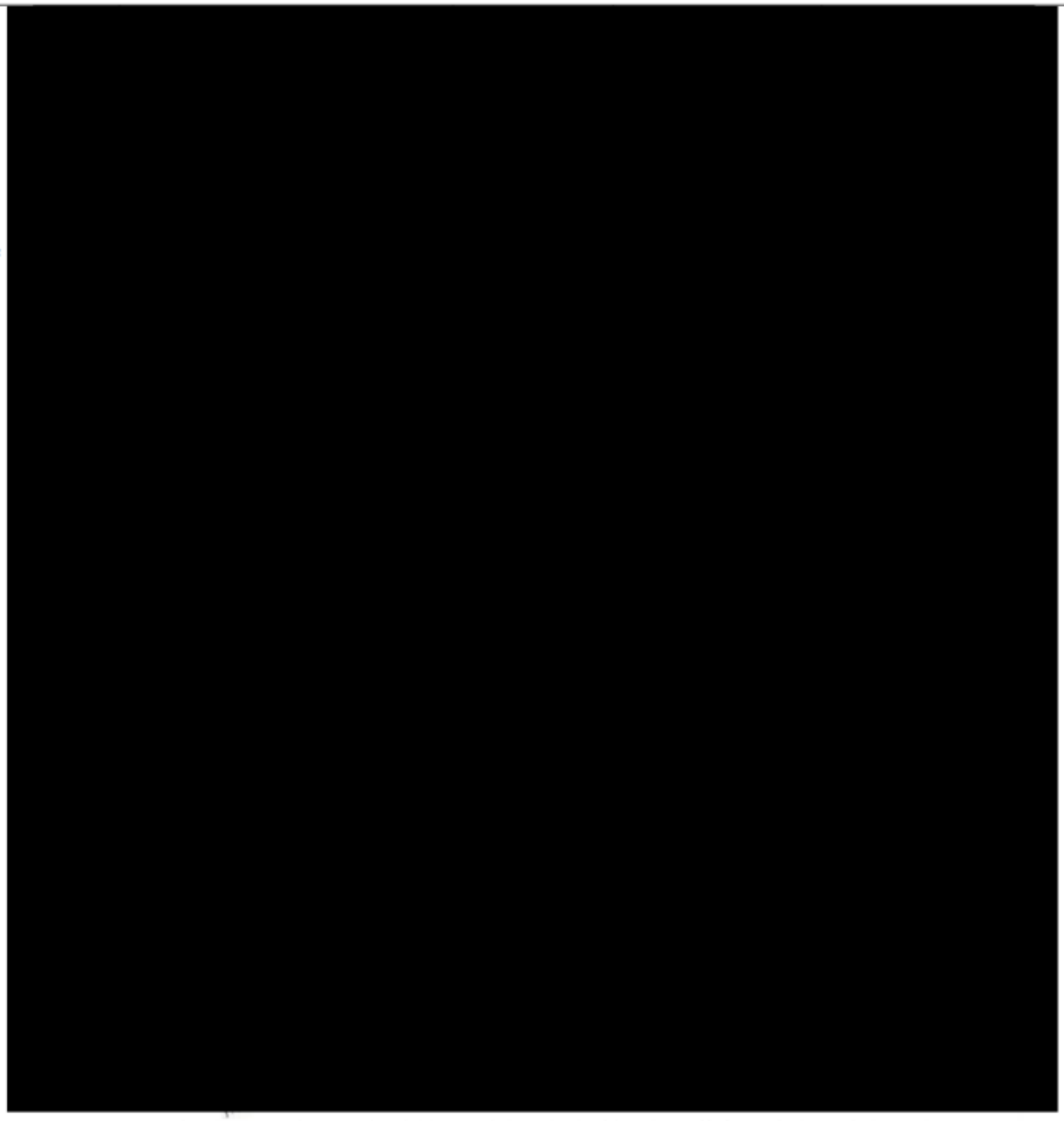


图 8-3 本项目 2 号加速器拟建址及周围环境γ辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

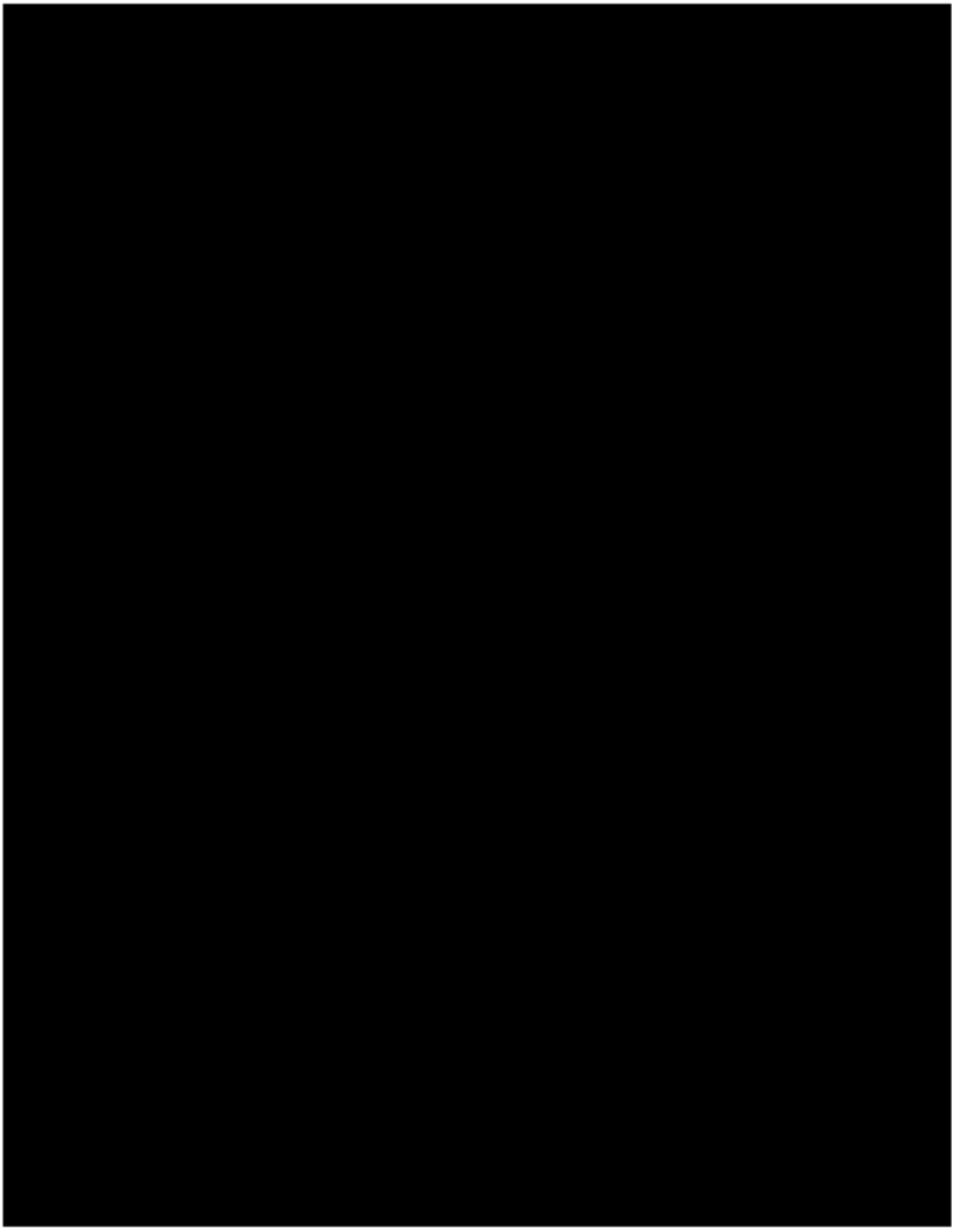


图 8-4 本项目 3 号加速器拟建址及周围环境γ辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

4 环境现状调查结果评价

根据检测结果可知，本项目 2 号加速器拟建址处周围环境γ辐射空气吸收剂量率在（62.0~110）nGy/h 范围内，其中道路为 86.7nGy/h，楼房室内为 62.0~110nGy/h，分别处于江苏省室内、道路环境天然γ辐射剂量率测值范围内。

根据检测结果可知，本项目 3 号加速器拟建址处周围环境γ辐射空气吸收剂量率在（47.9~101）nGy/h 范围内，其中原野 59.3~59.8nGy/h，道路为 47.9nGy/h，楼房室内为 101nGy/h，分别处于江苏省原野、道路及室内环境天然γ辐射剂量率测值范围内。

表 9　项目工程分析与源项

9.1 工程设备与工艺分析

1、工程设备

本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器均采用立式自屏蔽结构，加速器均为三层结构，一层为辐照室，二层为真空机组室平台，三层为加速器钢桶平台，通往二层真空机组平台及三层加速器钢桶平台均设有扶梯（二层扶梯入口设有联锁装置）。辐照室四周设置有辐照室移门、材料进出口防护门，加速器周围布置高频振荡器、控制柜系统、水冷机组等辅助设施。加速器外形结构示意图见图 9-1 所示。外观尺寸为长 4240mm，宽 3890mm，高 8239mm。

本项目加速器为配备有联锁装置的整体自屏蔽装置，主要组成部分包括：电子加速器主机、周边辅助设备、辐射防护和监测、高频振荡器及控制系统等。其中加速器主机由多个系统组成，按照其功能分为下列系统：高压发生器系统、头部电源、电子发射和加速系统、电子光学系统、引出扫描系统、真空系统、冷却系统、钛窗冷却装置、束下装置、自屏蔽结构等。

高频振荡器的电子管、高频变压器和高频电极及其对钢筒、主体之间形成的电容组成一个高频振荡电路，它在两个射频电极之间产生 190kV 以上的高频电压。这一高频电压通过射频电极与主体上的耦合环之间的电容和主体上的整流盒组成并联耦合串联升压系统，在高压电极上产生极高的负直流高压。电子枪发出的电子流在负直流高压的作用下通过加速管时因被加速，成为高能电子。出加速管后经过聚焦和磁扫描器在水平方向进行扫描，然后穿出钛窗对产品进行辐照加工。钢筒内充以氮气和二氧化碳混合气体以保证加速器的高电位梯度。加速器装置主体电路见图 9-2 所示。

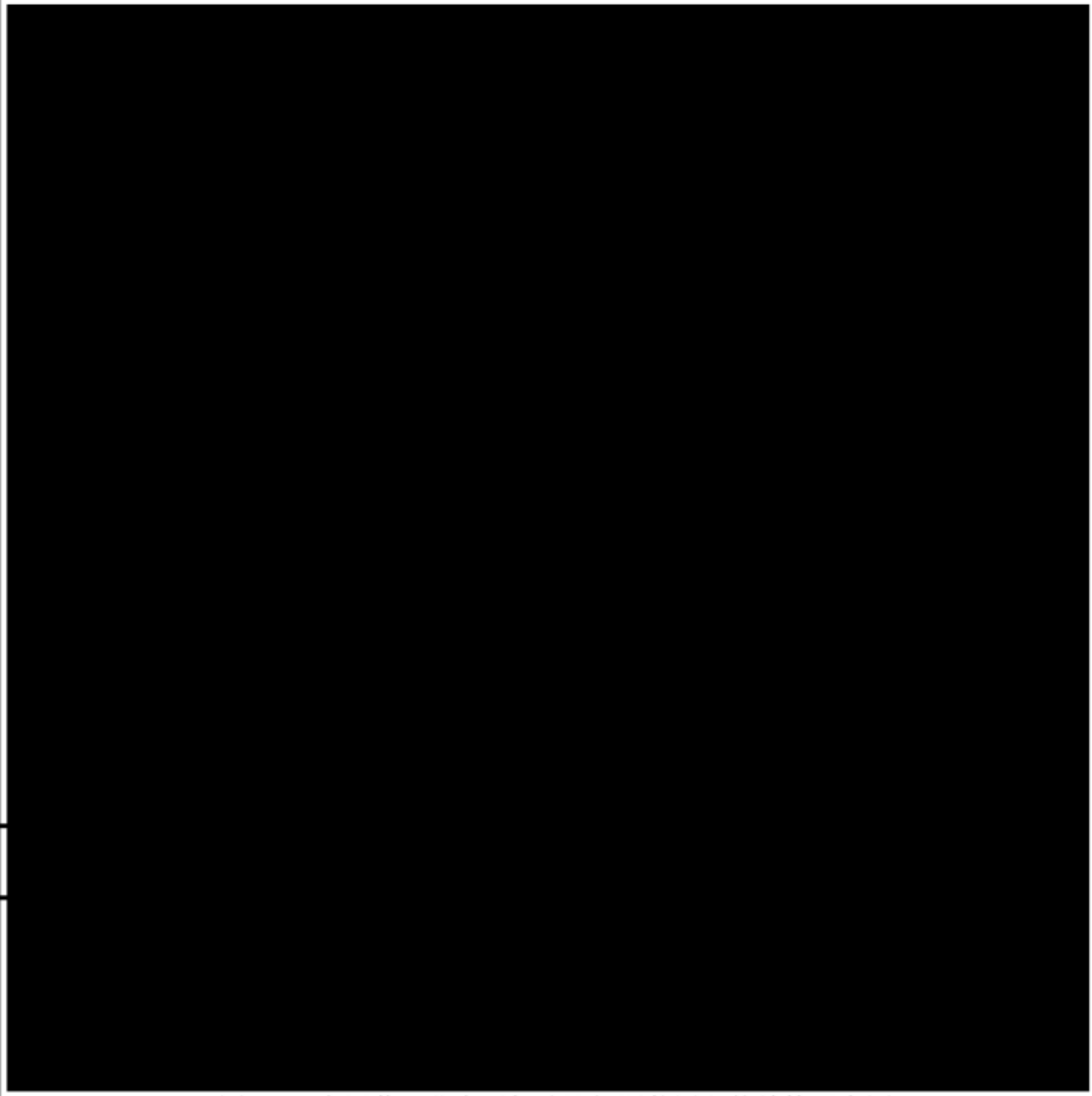


图 9-1　自屏蔽工业电子加速器辐照装置主体结构示意图



图 9-2　加速器主体电路简图

本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置各主要部分概述如下：

（1）高压发生器系统

加速器需要输出 1.2MeV 能量的电子束流，就必须建立 1.2MV 的直流负高压。高压发生器系统功能就是产生和维持电子加速器最高电压。

高压发生器系统功能就是产生和维持电子直线加速器最高电压，主要由高气压钢筒、高频变压器、射频电极、高频整流高压柱体、高压发生器构成。

（2）头部电源

头部电源布置在高频整流高压柱体顶端，主要给电子枪供电。电子直线加速器产生的直流高压就在高压电极（头部）上，它就是加速电子束的高压。高压电极内安装有电子枪，为给处于如此高压下的电子枪灯丝供电，设置了发电机供电，发电机是通过绝缘杆由处在地电位的电动机驱动发电的。头部电源由底板、发电机、灯丝变压器、变阻器组成。

（3）电子发射及加速系统

电子发射及加速系统是电子直线加速器的重要系统，它决定电子束流能量，最大电子

束流等电子直线加速器的基本参数和电子直线加速器的运行可靠性。该系统主要由电子枪、引出系统和加速管组成。

（4）电子光学系统

从电子枪发射出来的电子束流是发散的，若不加以约束，具有能量的电子束轰击电极片或真空管道将造成严重的损坏，失去电子直线加速器应用的目的。电子光学系统的功能就是使从电子枪发射出的电子束流顺利通过加速管、真空管道和扫描窗变成扫描束，引出钛窗供辐照应用。电子光学系统包括初级聚焦（加速管内电子束进口）、聚焦磁透镜。

初级聚焦的工作原理：通过安装在柱体上的一套同位传动装置的伺服电机带动绝缘传动杆转动改变头部的变阻器阻值，进而改变引出电极与电子枪聚焦极电位差，达到聚焦电子束流的目的。

（5）引出扫描系统

电子束穿过聚焦透镜后，进入真空漂移管道、经过扫描磁铁组件时在三角波磁场和正弦波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描，最后经长条形的钛箔窗口引出。这一系统为引出扫描系统，AB1.2 型电子加速器一般 Y 向扫描尺寸在几百毫米到两米左右，X 向扫描尺寸依据辐照工艺需要的电子束流及辐照场宽度确定，但电子束流密度不得超出安全值。

（6）真空系统

真空系统由两大部分组成，第一部分是被抽真空部分，包括电子枪、加速管、漂移管道、扫描室和扫描盒。第二部分是抽真空用的真空机组，通常由旋片式真空泵、分子泵、溅射离子泵、真空管道、真空阀门和真空测量组成。

真空系统的功能就是建立、维持电子发射、加速和引出扫描空间良好的真空度。也只有在良好真空度的条件下，电子束流才能顺利穿越钛窗，实现辐照加工的目的，因为：

①加速器电子枪灯丝工作温度较高，如果在大气状态下则瞬间氧化成粉末；

②电子输运过程中被加速、扫描，若无真空环境或真空度不良，电子团与气体分子碰撞，这种碰撞导致电子散射，束流直径变大，甚至改变方向，打到加速管壁上，同时这种碰撞会损失电子能量；

③在高真空条件下电子枪才能保持稳定、良好的发射能力。

可见优良的真空空间是加速器电子束流正常发射、输送必需条件之一。

（7）冷却系统

电子直线加速器钢筒内电源器件有功率消耗，会使绝缘气体温度上升。真空系统内扫描盒、光栏内壁会受到散射束流轰击，温度升高。分子泵高速运转，需要降温。另外高频振荡器电子管工作阳极需要冷却。可见，为确保电子直线加速器正常运行，必须设置冷却系统，对各需要冷却降温部分输出冷却介质，置换热量。

电子直线加速器上设计了两套独立的冷却系统，一套空调机组冷却钢筒内部，一套冷水机组冷却真空系统部件及振荡器电子管。

（8）钛窗冷却装置

当电子束流通过钛箔时要损耗部分能量，钛箔散热条件差，钛箔上吸收的能量会不断积累以至温度不断升高，很快达到熔化程度，所以钛窗冷却十分重要，钛窗过热烧毁，这是十分危险的事故。

AB1.2 型加速器对钛窗进行冷却的主要方式是风冷，高压离心风机产生的强大气流不断通过吹嘴以 14m/s 的速度掠过钛箔表面，带走钛箔的热量。

启动高压前，必须先启动“钛窗风机”。控制系统设计了安全联锁，在风管道上安装有微压差开关，在风管道内有风流量时，开关触点闭合后，高压可以启动。高压运行中若风管内无风流量，则高压瞬间切断。

2、电子加速器工作原理

辐射加工是指将电子加速器产生的电子线的能量转移给被辐照物质，电离辐射作用到被辐照的物质上，产生电离和激发，释放出轨道电子，形成自由基，通过控制辐射条件，而使被辐照物质的物理性能和化学组成发生变化并能使其成为人们所需要的一种新的物质，或使生物体（微生物等）受到不可恢复的损失和破坏，达到人们所需要的目标。

辐照加速器主要用电子束进行辐照，但加速后电子在运动中受到加速器部件、阻挡板和地板等材料的阻挡后，产生很强的韧致辐射 X 射线，韧致辐射的最大能量为最大可能的电子能量。

本项目采用电子束辐照工作模式：电子束从电子枪阴极发射，通过加速管中的高压电场获得加速，最终从扫描引出装置出束到大气中；辐照样品经过传动系统被传送到扫描窗下进行辐照加工。它最大的特点是基于感应耦合的级联高压发生器所产生的电场来加速电子的。本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置工作原理示意图见图 9-3 所示。

本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置产生的高能电子束，作用于聚烯烃发泡材料内的有机高分子聚合物上，可使其大分子之间发生化学键搭桥，形成三维网状结构（辐照交

联），从而显著改善发泡材料的化学稳定性和热稳定性。



图 9-3 本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置工作原理示意图

3、辐照工作流程

本项目加速器辐照的产品为聚丙烯材料（呈薄膜形态），宽度为 500~1800mm，厚度为 0.7~1.2mm。拟建项目发泡材料进出加速器主要采用收、放卷装置，并配套牵引机、储片架等，待辐照的聚烯烃发泡材料由人工上到自动放卷机上，通过传动生产线传输至辐照室加速器扫描窗下进行扫描，在扫描系统下接受相应电子束射线的辐照，然后通过收放传送装置将产品传输至辐照室外，达到其辐照要求。

整个工艺流程流水线自动操作，每班 3 名辐照工作人员，其中 1 人负责被照物料转移、报工、检测以及加速器装置控制等工作，另外 2 人负责在收放卷区对产品进行收放。

辐照材料的传输系统示意图如图 9-4。



图 9-4 辐照装置传输系统示意图

具体工艺流程及产污环节如下所述：

（1）开机前准备工作流程

①开机前检查设备状态，包括：检查送、排风系统是否正常；钢筒气压正常、钛箔无污染、束流挡板正常；绝缘气体系统、冷却水系统是否正常；供电系统及安全联锁系统是否完好；冷却水泵工作是否正常、水压水温是否正常；设备配备的辐射安全防护设施是否配备完好正常，并做好相应记录。

②开机前工作人员在加速器周围巡查，确认无其他无关人员停留后，加速器才能正常启动。设备检维修工作由生产厂家负责，企业不负责检维修工作。

（2）材料辐照改性工艺操作流程

①第一次开机时，加速器升降平台降下，工作人员从辐照室穿膜以膜胚的形式通过辐照设备的材料进口，由工作人员通过滚轮引导膜胚从出口穿出，将升降平台升起，关闭辐照室。更换材料规格需按上述步骤重新穿膜，运营后膜胚连续进入辐照设备内。

②根据辐照工艺要求，设定加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度，待辐照的膜胚放置于传输系统上，调整收、放系统的位置。

③启动加速器电源，开启传输系统运行开关，膜胚通过放卷系统经滚筒通过材料入口进入辐照室接受辐照处理，收卷系统进行产品收放，匀速前进进行材料的辐照加工；该环节会产生 X 射线、电子束等辐射影响、臭氧（O_3）、氮氧化物（NO_X）等废气以及噪声。

④辐照后的薄膜材料从装置下端的材料出口传出，收卷辐照后的材料。

（4）检验合格后，物料包装出库；不合格物料重新进行辐照。

本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置的辐照加工工艺流程和主要产污环节示意见图 9-5。



图 9-5 本项目电子加速器辐照加工工艺流程和主要产污环节示意图

3、原有工艺不足及改进情况

公司原有项目为 AB1.5 型电子加速器辐照装置，采用混凝土材料进行屏蔽防护，辐照工艺技术较为成熟，加速器主体与材料收放卷区配合运转良好，暂无工艺上不足的问题。公司已建立辐射安全管理小组，且辐射安全管理制度中已针对该加速器的操作流程、辐射安全安全措施等内容进行了规定，现有设备周围的辐射监测结果满足标准要求，对于需要改进的方面，本报告提出若辐射工作人员发生变动，对新增人员应尽快落实上岗培训、岗前体检和个人剂量监测等管理要求。

4、人员组成及工作负荷

本项目 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置均为在线全自动运行装置，公司拟配备 12 名辐射工作人员开展工作，每台加速器配备 6 名辐射工作人员，公司采用人员两班制，每台加速器每班按辐照出束 8 小时制运行，拟定辐照出束时间为每天 16h，每周工作 6 天，每年 48 周，因此本项目每台加速器周辐照时间约为 96h，年辐照出束总时间约为 4608h，每班人员接触辐射时间约 2304h。

9.2 污染源项描述

1 放射性污染源分析

电子加速器产生辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两种。瞬时辐射包括初级辐射和次级辐射。初级辐射指被加速的带电粒子，次级辐射指带电粒子与靶材料或加速器结构材料相互作用产生的 X 射线和中子等。剩余辐射是上述辐射与周围物质相互作用产生的感生放射性材料放出的辐射（如β、γ等），在加速器停机后仍然存在，而且随加速器运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增长而减弱。但是，只有当粒子的能量大于核反应的阈能值，才会产生感生放射性。本项目为电子加速器最大能量 1.2MeV，达不到低能阈值核素 C、H、

O 等发生光核反应的条件，不存在中子屏蔽问题，同时一般不高于 10MeV 的电子加速器不考虑感生放射性问题。

本次核技术利用项目的自屏蔽工业电子加速器辐照装置属于 II 类射线装置，主要技术参数见附件九。

[redacted]

本项目加速器技术参数一览表见表 9-1 所示。

表 9-1 本项目加速器技术参数一览表

序号	设备名称	型号	生产厂家	主要参数
1	自屏蔽工业电子加速器辐照装置	[redacted]		

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。电子束打到机头及其他高 Z 物质时会产生高能 X 射线，X 射线的贯穿能力极强，会对加速器周围环境造成辐射污染。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X射线，对加速器周围产生一定的辐射影响。

本项目使用的加速器加速电子最高的能量为 1.2MeV，故评价时主要考虑加速电子束产生的初级辐射和电子与靶材料以及加速器中的管壁等部件作用产生的 X 射线。

2 非放射性污染源分析

本项目加速器冷却水循环装置使用去离子水，对加速器零部件进行循环冷却，冷却水

设备内循环，不外排。

加速器开机过程中，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（O_3）和氮氧化物（NOx）。其中，臭氧的产额高，毒性高，被吸入后对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一。因此，在考虑有害气体的影响时主要考虑臭氧的影响。

本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后开启移门操作时工作人员受到的影响，需保证辐照室内有害气体浓度满足《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中的职业接触限值要求。加速器辐照室在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物通过排气筒进入外环境，很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下常压下约 50min 可自行分解为氧气。

加速器在运行过程中风机产生的噪声较小，对周围环境几乎无影响，因此噪声不作为本项目的主要污染评价因子。

本项目辐射工作人员会产生少量的生活废水和生活垃圾。生活污水纳入市政污水管网，生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理。

表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

1 项目布局及分区合理性分析

本项目拟配置的 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置均采用立式自屏蔽钢结构，不单独设置机房，2 台加速器均为三层结构，一层为辐照室，二层为真空机组室平台，三层为加速器钢桶平台，通往二层真空机组平台及三层加速器钢桶平台均设有扶梯（二层扶梯入口设有联锁装置）。加速器周围布置高频振荡器、控制柜、收放卷区等辅助设施，装置控制柜拟设于加速器装置旁。整个辐照工艺流程流水线为自动运行，辐射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。加速器工作前，设备操作人员站立控制柜前设置各个系统相应参数，加速器正常出束时，一层辐照室内及上方平台均无人员停留。控制柜与加速器机体（钢屏蔽体）分开单独设置，电子加速器有用线束（定向向下）的照射方向避开了控制柜，区域划分明确，布局基本合理。

本项目 2 号加速器装置及配套收放卷区在一期车间的辐照生产线为南北向布设，收放卷装置位于电子加速器的北侧。本项目 3 号加速器装置及配套收放卷区在拟建二期车间的辐照生产线为东西向布设，收放卷装置位于电子加速器的西侧。

为减小 X 射线对环境的影响，公司按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》（GB18871-2002）和《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）的相应要求，对辐照工作场所划分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，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范围。公司拟将 2 台自屏蔽电子加速器一层辐照室，上方二层真空机组室及加速器钢筒划为控制区，控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志，加速器工作时禁止任何人员进入。只有在加速器停机后，人员才能对设备进行维护。

监督区：与控制区相邻的、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的区域划定为监督区。公司拟将加速器的真空机组室平台（真空机组室外）和加速钢桶平台（加速器钢桶外）区域设为监督区，以及将高频振荡器、控制柜、收放卷区等配套设施周围设置围栏（长约35m，宽约9m的范围）来划分监督区边界，并在二层平台入口门设置高压联锁装置。监督区围栏悬挂清晰可见的警告牌，加速器工作过程中，除辐射工作人员外，其他无关人员不得进入。

本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目 2 台加速器装置辐射防护分区布局示意图见图 10-1 和图 10-2 所示。

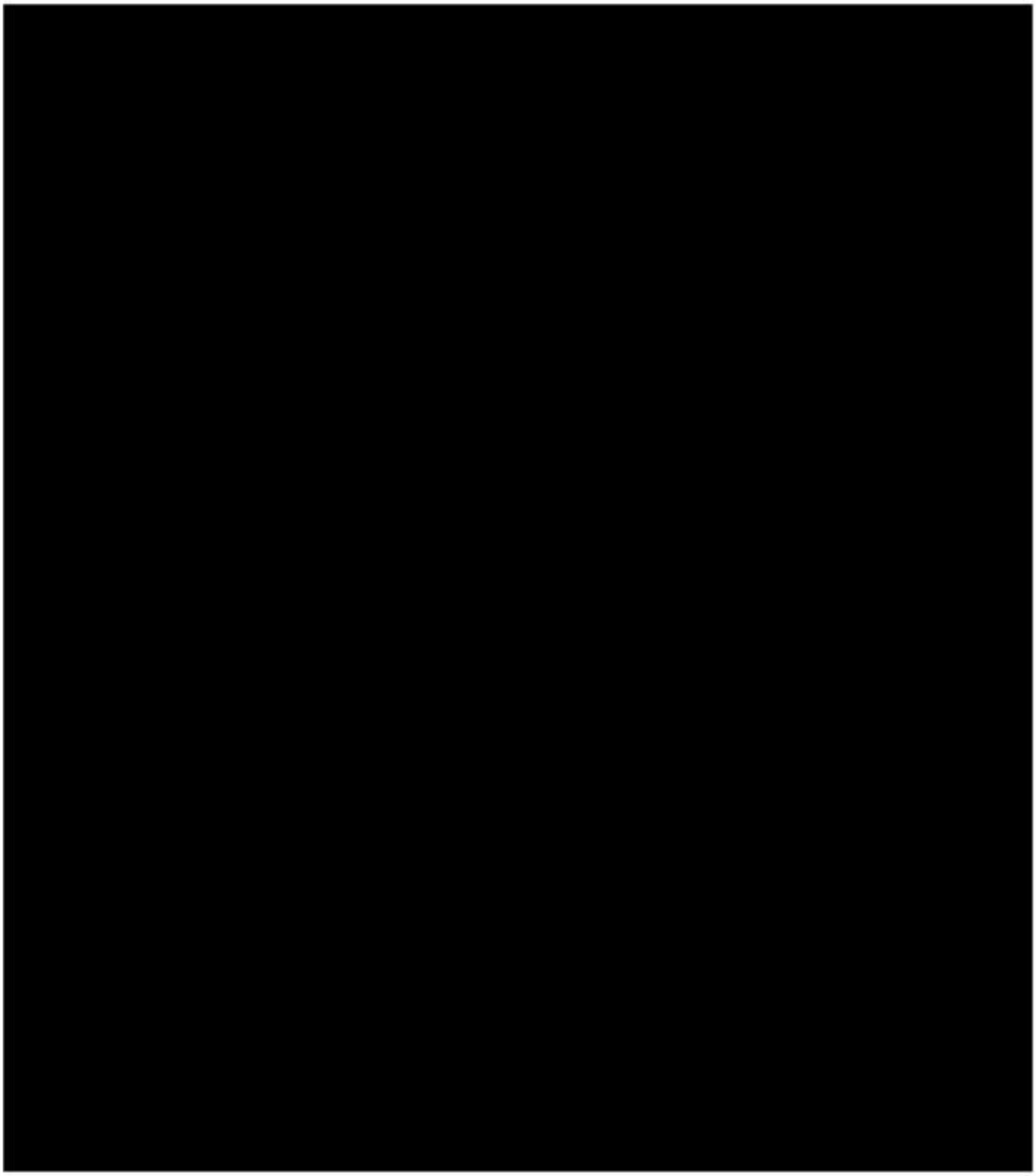


图 10-1　2 号加速器装置一层辐射防护分区示意图（一期车间内）



图 10-2　3 号加速器装置一层辐射防护分区示意图（拟建二期车间内）



图 10-3　2 台加速器装置二层和三层辐射防护分区示意图

2 辐射屏蔽设计

本项目电子加速器结构为简单紧凑的自屏蔽型加速器，工作人员可在现场近距离操作、检修。因主机漏射束流较小，其主机室简化为主机外钢板罩壳，对于电子束辐照过程中产生的 X 射线，电子加速器屏蔽防护主要包括两个部分，一个是下方辐射室（内有扫描窗及束下系统），另一个是与主机钢桶相连的真空机组室。辐照室设有两扇防护门，分别是材料进出口防护门和移门，真空机组室设有一扇门。材料进出口防护门、移门及真空机组室门的开启和关闭都由手动操作依靠液压系统完成（材料进出口防护门设置是方便穿薄膜变向，仅人员手部进入操作；真空机组室门仅在停机检修期间人员进入维护），移门为电动控制通过地面轨道滑动开启和关闭（移门可全部开启，方便人员对辐照室束下系统进行操作或维修）。整个加速器 X 射线的屏蔽材料采用钢板多层组合拼接加以防护，门与墙板、各钢板交接处设计为阶梯接口，各管道进出、风口均设计为迷道式。

本项目两台加速器屏蔽结构完全相同，辐照室四周、底部和顶部的钢板屏蔽厚度分别见表 10-1 所示，加速器主体屏蔽结构示意图见图 10-4 所示。加速器装置完整的屏蔽结构示意图见附图七所示。

从图 10-4 可见，材料进出区（内有滚轴装置）位于辐照室一侧，材料进出辐射室的通道设计成斜穿钢板，辐照室内的材料需要转角三次以上才能进出，该通道设计可对 X 射线起到很好的屏蔽作用。同时也使辐照过程产生的 X 射线主要集中在中间扫描窗附近区域。

表10-1　本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置屏蔽设计参数

位置	各层钢板结构及厚度	总屏蔽厚度（mm）
[redacted]		



图 10-4（1/2）　自屏蔽工业电子加速器辐照装置结构示意图（风机侧方向）



图 10-4（2/2） 自屏蔽工业电子加速器辐照装置结构示意图（材料进出侧方向）

3 辐射安全措施设计

本项自两台自屏蔽工业电子加速器辐照装置设计有相同的辐射安全装置和保护措施。由于正常运行时，辐射工作人员无法进入本项目辐照装置辐照室内部，故辐照室内部未设置巡检按钮、急停装置等安全防护措施。本项目每台加速器配备的辐射安全装置和保护措施主要有：

①门机联锁：辐照室移门、材料进出口防护门及真空机组室防护门均设置门机联锁装置，在任意一扇防护门打开的情况下，加速器不能启动工作，在加速器高压启动后，打开防护门，加速器自动断电停机，其中辐照室移门设置除了门机联锁（设置限位开关），因自重较大同时设有控制电机进行开闭，在加速器开机状态下，移门控制电机是断电状态，无法打开，如果需要打开移门，只能在加速器停机高压束流全部切断后，约 3 分钟后才能恢复移门电机通电，才能开启移门。

另外，一层通往二层平台的护栏入口门设置带有限位开关的插锁，加速器正常运行期间，人员无法到达，若机器运行时被人员触动打开，则加速器自动断电停机，若门没有关闭到位，加速器无法开机。

②在加速器辐照室上方护栏处设置一个工作状态指示灯（三色），并与加速器高压

联锁，红灯表示加速器装置正在运行，以提醒周围工作人员勿靠近。

③通风联锁系统：建设单位对每台加速器设置延迟开门装置，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。

④束下装置联锁系统：加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器自动停机。

⑤当加速器出现以下情况，加速器也会切断高压，这包括：加速器电压及电子流超过正常值、真空度异常、钛窗风压异常、振荡器故障。当出现以下情况，会降束降压情况，这包括：排风机故障、钢桶超温、钢桶断水（空调故障）、机械泵故障等。

⑥钥匙开关：加速器控制柜操作面板上设置钥匙开关，确保操作人员离开时关闭钥匙开关拔掉钥匙后装置无法运转，钥匙由操作人员随身携带，该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用（运行值班长为当班辐射工作人员）。

⑦急停按钮：加速器设置五处急停按钮，分别位于高频振荡器柜面板、控制柜系统面板、束下控制柜面板、真空机组室上方、移门开关控制面板，急停按钮装置周围设有醒目标识及文字显示。根据测试所有急停按钮可以确保在紧急情况下人员处于不同位置时采取束流急停措施的有效性；急停按钮按下后需要手动复位。

⑧信号警示：加速器在辐照室和真空机组室防护门外表面及四周的围栏上设置电离辐射警告标志和中文警示说明，并在防护门开合门缝处粘贴注意防止夹伤的提示语。每台加速器设置两个声光警示灯，一个位于真空机组室防护栏，在加速器开机预热后准备出束前发出报警声，同时红色指示灯闪烁，提示加速器准备出束。另外一个位于移门电控箱开门按钮上方，在每批次材料待辐照前，先按下移门电控箱开门按钮开启移门，此时声光报警装置发出警报声同时红色指示灯闪烁，提示移门被打开，再通过关门按钮将移门关闭到位，报警声停止红色指示灯不再闪烁。移门电控箱人员操作位置可以清楚地看到辐照室内部情况，且控制箱上设置一个急停按钮，移门单程打开（或关闭）到位过程需时约 1~2 分钟。

⑨监测装置：加速器一层辐照室材料进出口防护门、辐照室移门旁及二层主钢桶旁分别设置固定式在线辐射安全报警仪，通过控制柜内显示屏可以实时读取该处的空气吸收剂量率数据，以监测加速器工作期间是否有射线泄漏，固定式在线辐射剂量报

警仪与辐照室电动移门联锁，当任一监测点剂量超过设定的阈值时，会发出声光报警，同时将信号传送到控制系统，辐照室电动移门无法打开，起到安全防护的效果。

⑩防误入：在每台加速器周围设置护栏作为控制区边界，外围设置隔离栏作为监督区边界，设置中文警示说明，防止车间其他非加速器操作人员靠近加速器。

本项目加速器共设有一处工作状态指示灯、五处急停按钮、三处固定式辐射剂量探头、两处声光报警装置，以及一系列安全联锁系统等，辐射安全措施设计可以满足辐射装置安全系统的安全性和冗余性要求。综上，本项目设计可以满足《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-2025）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中安全设施的要求，项目设计安全可行。

上述辐射安全装置和保护设施拟安装位置示意图见图 10-5（1/3）、图 10-5（2/3）、图 10-5（3/3）所示，建议企业注意对辐射安全联锁系统进行定期检查或维修，并做好检查记录。



图 10-5（1/3）加速器安全装置和保护设施拟安装位置示意图（风机侧方向）



图 10-5（2/3）加速器辐射安全装置和保护设施拟安装位置示意图（材料进出侧方向）



图 10-5（3/3）加速器辐射安全装置和保护设施拟安装位置示意图（平面图）

4、设备日常检查和维修维护防护措施

参照《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》(HJ979-2018)的要求，在设备出现故障，或对设备进行维护检修时，需请设备提供方专业的维修维护人员前来进行维修维护操作，杜绝维修维护过程中，由于辐射工作人员不知情，维修维护人员未执行安全措施，导致加速器出束误照射的事故。

维修维护结束后，进行开机调试时，急停按钮在复位后，加速器才能正常启动出束。在设备日常使用过程中，要对设备的相关安全设施、功能进行定期检查，发现异常及时修复或改正，并做好相关记录。

目前，公司已制定日常检修制度，设备投入使用后将根据实际情况补充细化定期检查的相关内容、明确负责人，在工作中严格落实。在实际使用中，落实并严格执行相关措施，确保加速器安全运行。

三废治理

1、废气

自屏蔽工业电子加速器辐照装置在工作状态时，产生的 X 射线会使屏蔽体内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。电子加速器辐照装置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。由于氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以本项目主要考虑臭氧对环境的影响。

每台加速器辐照室设置机械通风系统，本项目加速器的通风系统设计见图 10-6，辐照室内排风口位于辐照室内底部，通过屏蔽体外排风机（排风速率约 5468m^3/h）抽排，将辐照室内废气由排风口抽出并在屏蔽体内经多次变向流通（气流通道设计成迷道形式，3 次以上变向）至屏蔽体外的不锈钢排风管中，最终排入大气中，其外排放口高于本厂房建筑楼顶。通风系统加速器运行期间及停机后一直保持运行。钛窗送风由排风机相邻的送风机（送风速率约 5323m^3/h）通过不锈钢管送入，辐照室内保持微负压状态，臭氧和氮氧化物等废气不会泄漏至车间内。

由于本项目运行过程中，辐射工作人员无法进入辐照室内，且本项目电子能量很低，臭氧产额小，其在辐照室内作用产生的臭氧及氮氧化物浓度较小，臭氧通过排风系统排放至外环境，在常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小。



图 10-6 通风系统设计平面示意图

2、 废水及固废

本项目加速器冷却水循环装置使用去离子水，对加速器零部件进行循环冷却，冷却水设备内循环，不外排。本项目工作人员产生的生活污水接入市政污水管网进入市政污

水处理厂处理。

本项目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。另外，辐照过程中产生的废薄膜材料，与生产过程产生的不合格薄膜材料一起收集后进行资源化回收利用。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置均通过自带屏蔽体进行屏蔽防护，为制式一体化产品，整体到货安装，在车辆运输和拆卸、安装过程中，将产生施工噪声、扬尘和生活垃圾污染，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作业现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫场地，并保持场地一定的湿度；b.路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘；c.对施工机械和车辆燃油造成的废气排放污染，应要求其燃用符合国家标准的高热值清洁燃料，安装尾气净化器，尽量减少废气污染物的排放。

（2）噪声：整个装置安装阶段，拆卸、安装设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）的标准，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。

（3）固体废物：安装人员在安装过程中将产生办公垃圾及生活垃圾，拟收集后交由城市环卫部门处理。

（4）废水：安装人员在安装过程中将生活污水，拟排入城市污水管网。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。该单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期间的影响控制在公司局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1 辐射环境影响分析

1.1 电子加速器辐照室防护效果预测分析

（1）源项分析

电子束产生轫致辐射有以下 2 种情况：正常生产情况下，电子束轰击产品物料，即薄膜（低 Z 靶材料）；空载情况下，电子束打在底部钢材（低 Z 靶材料）上，不同能量电子束轰击不同物料或加速器不同部位时，其轫致 X 射线发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上轫致 X 射线的发射率也不相同。本项目被轰击物质中不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，因此本节选取以不锈钢为轰击靶，来进行辐射防

护评价。

本报告加速器以最大能量出束为计算条件，计算屏蔽体外辐射工作人员、车间其他工作人员（公众）的年受照剂量是否满足辐射防护的要求。

一层加速器辐照室内，加速器电子束朝下，不直接向四周屏蔽墙，因此辐照室辐射影响主要考虑轫致辐射所致，与电子束入射方向呈 90° 的初级 X 射线，即辐照室屏蔽体四周。

本项目加速器主机室简化为壁厚 6cm 钢板的主机罩壳，且仅占辐射室顶部部分面积，而辐照室顶上其余部分设计为人员可达区域（包括真空机组室的钢屏蔽体外护栏之内的平台以及主机钢桶外护栏内的平台），方便检修维护。辐照室顶部平台的辐射场由三部分来源：一是一层辐照室内与入射电子束成 135° 到 180° 方向的轫致辐射初级 X 射线，经过辐照室顶部不完全屏蔽的贯穿辐射场；二是一层辐照室内 0° 方向上产生的轫致辐射初级 X 射线，经辐照室底部 180° 方向散射后次级 X 射线，少量通过辐照室顶部孔洞（约 20cm 直径），到达上面真空机组室内形成的散射辐射场；三是加速器主机内偏离束流主方向的电子束流与在真空机组室与四周钢板作用产生的束流损失辐射场。

由于沿与电子束入射方向 180° 方向的次级 X 射线能量较低，加速器主屏蔽透射线受到加速钢筒的屏蔽，即初级 X 射线经二次屏蔽（主屏蔽体顶和加速钢筒）后，对加速钢筒外的环境影响很小。

由于 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置电子束朝下，不直射向其他侧的屏蔽体，因此本次项目主屏蔽体四周辐射影响主要考虑轫致辐射所致、与电子束入射方向呈 90° 的初级 X 射线，底部则考虑与电子束入射方向呈 0° 的初级 X 射线辐射影响。为简化计算，主屏蔽体顶部辐射防护屏蔽评价，考虑屏蔽体内与入射电子束成 135° 到 180° 方向的轫致辐射初级 X 射线对主屏蔽体顶部考察点的影响。为安全起见，135° 到 180° 方向的发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数。

本项目中两台加速器型号装置的技术参数和屏蔽参数完全相同，因此计算过程按其中 1 台进行预测。

本项目加速器辐照装置辐照室屏蔽体辐射防护屏蔽评价，参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 公式（A-2）对距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率进行计算，计算结果见表 11-1。

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \qquad \text{（式 11-1）}$$

式中：

D_{10}—距离 X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量率，Gy/h；

Q—X 射线发射率，$Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，根据设备厂家提供该电子加速器的技术参数，对 1.2MeV 入射电子能量侧向 90° 取 $0.7Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$；135° 到 180° 方向的发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数；前向 0° 取 $0.8Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$；

I—电子束流强度，mA；

fe—X 射线发射率修正系数，被辐照的靶材料为铁时，90°的修正系数取 0.5，0°的修正系数取 0.7。

[redacted]

表 11-1　电子加速器辐射源项计算结果

辐射源类型	最大电子能量（MeV）	最大电子束流强度（mA）	方向	修正系数 *fe*	距离辐射源 1m 处的 X 射线发射率 Q（$Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$）
[redacted]					

（2）辐照室屏蔽墙体防护计算

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 中的计算公式：

X 射线的屏蔽透射比：$B_x = 1 \times 10^{-6} \times \frac{H_M}{D_{10}T} d^2$

变形得到：$H_M = 1 \times 10^6 \times \frac{D_{10}}{d^2} \times Bx \times T$ （式 11-2）

然后按公式 11-3、11-4 计算出至少需要的十分之一值层个数 n：

$$n = \log 10 \left(\frac{1}{B_x} \right) \qquad \text{（式 11-3）}$$

计算屏蔽体厚度，可以保守地估算为：

$$S = T_1 + (n-1)\,Te \qquad (式\ 11\text{-}4)$$

式中：

D_{10}—距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率，Gy/h；

T—居留因子，在预测目标点的剂量率水平时取 1；

d—X 射线源与参考点之间的距离，m；

S—屏蔽体的厚度，cm；

T_1、Te—分别为第一个十分之一值层厚度和平衡时的十分之一值层厚度，cm；

n—为十分之一值层的个数；

H_M—为关注点的辐射剂量率。

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.4 并根据《辐射防护导论》（方杰主编）P105 图 3.25 分别计算加速器的辐照室、主机室等效入射电子能量见表 11-2 所示，参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.2、A.3 插值计算以及根据《辐射防护导论》（方杰主编）P103 图 3.23 得出等效不同入射电子能量对应的 T1 和 Te 值，见表 11-3 所示。

表 11-2　加速器辐照室、主机室 90° 方向电子的相应等效能量

电子能量	位置	电子加速器
[redacted]		

表 11-3 钢板对相应能量的 X 射线的什值层数值

材质	射线	方向	第一个十分之一值层厚度 T_1（cm）	平衡十分之一层厚度 T_e（cm）
[redacted]				

为预测加速器装置设计方案的屏蔽效果，拟在加速器装置外选取较有代表性的预测目标点进行评价分析，各预测点均位于距离屏蔽体外 5cm 处，关注点位置详见图 11-1 所示。



图 11-1（1/3）加速器计算点位示意图（风机侧方向）



图 11-1（2/3） 加速器计算点位示意图（材料进出侧方向）



图 11-1（3/3） 加速器计算点位示意图（平面）

将相关参数代入公式 11-2，本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置辐照室外的参考点处辐射剂量核算结果见表 11-4 所示。

表 11-4 加速器辐照装置辐照室屏蔽效果核算

参数	通风侧 A 点	通风侧相对侧 B 点	材料进出口侧 C 点	材料进出口侧 C1 点	移门侧 D 点	底侧 E（人员不可达）
[redacted]						

由表 11-4 可知，本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置辐照室四周辐照工作人员可达处辐射剂量率最大值为 0.462μSv/h，加速度装置底部（人员不可

达）处的辐射剂量率约为 1.584μSv/h，考虑到射线到达地面后会发生反散射的作用，仅考虑距离衰减保守估算对加速器周围辐射工作人员可达处（人员离装置底部最近约 2m 处）的辐射剂量率水平贡献值约 0.396μSv/h，再叠加 0.462μSv/h 后，为 0.858μSv/h，可见辐照室四周辐射剂量率水平能够满足《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）中 I 类电子束辐照装置表面外 5cm 处空气比释动能率应不大于 2.5μGy/h 的要求。

（2）加速器真空机组室四周屏蔽影响分析

本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置真空机组室位于辐照室上方，其辐射影响主要考虑加速器辐照室顶部透射线对真空机组室外参考点的辐射影响，即初级 X 射线经辐照室顶部屏蔽后对参考点的影响，依然采用公式（11-1）计算。

为简化计算，考虑主屏蔽体内与入射电子束成 135° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线经过辐照室顶部屏蔽后对周围参考点的影响。为安全起见，135° 到 180° 方向的发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数。

根据上述的计算公式及有关参数，真空机组室四周的屏蔽核算结果见表 11-5。

表 11-5　加速器真空机组室屏蔽效果核算表

参数	F 点（辐照室顶）	G 点（辐照室顶）	H 点（辐照室顶）	I 点（辐照室顶）
[redacted]				

注：①d 即靶点与参考点之间的距离，均为 CAD 中直接测量距离+至参考点外 0.05m；
②真空机组室顶部位于加速器钢筒内，真空机组室底部位于辐照室内，人员无法到达。

由表 11-5 可知，本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置自屏蔽电子加速器辐照装置真空机组室外参考点处的辐射剂量率最大值为 0.338μSv/h，能够满足《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）中 I 类电子束辐照装置表面外 5cm 处空气比释动能率应不大于 2.5μGy/h 的要求。

（3）加速器钢筒四周屏蔽影响分析

本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置加速管位于加速器钢筒内，

[redacted]

表 11-6　加速器钢筒屏蔽效果核算表

参数	筒身 J 点（束流损失）	筒身 J1 点（韧致辐射初级 X 射线对加速钢桶的影响）	上筒盖 K 点（束流损失）	上筒盖 K1 点（韧致辐射初级 X 射线对加速钢桶的影响）
[redacted]				

注：①d 即靶点与参考点之间的距离，均为 CAD 中直接测量距离+至参考点外 0.05m；
②加速器钢筒底部位于真空机组室内，人员无法到达。

由表 11-6 可知，本项目 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置钢桶外参考点处的辐射剂量率最大值 0.701μSv/h，能够满足《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）中 I 类电子束辐照装置表面外 5cm 处空气比释动能率应不大于 2.5μGy/h 的要求。

（4）天空反散射辐射影响分析

根据 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置顶部的辐射剂量率 0.701μSv/h 计算得到因天空反射辐射在装置周围的剂量率约 0.002μSv/h，可见因天空反散射在装置周围的辐射影响很小。

（5）物料进出口辐射防护分析

本项目加速器辐照室均设有迷道式材料进口与出口，由图 11-2 可知辐照室内

X 射线至少经过 3 次散射方能到达物料进出口。根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。” 另外进出材料开口已避开束流前向和全居留场所，采用 S 型等非直通方式，满足《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）中 5.3.5 中的要求。因此，可推断本项目自屏蔽电子加速器辐照装置辐照室材料进出口设计能够满足辐射防护的要求。



图 11-2　加速器辐照装置辐照室材料出口射线路径示意图

（6）通风管道辐射防护分析

由图 10-4 可知，本项目加速器屏蔽体内的 X 射线至少经过 3 次散射后方能到达出风口，根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。” 另外风管贯穿开口已避开束流前向和全居留场所，采用 S 型等非直通方式，满足《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）中 5.3.5 中的要求。因此，可推断本项目自屏蔽电子加速器辐照装置通风系统设计能够满足辐射防护的要求。

综上分析可知，本项目加速器的设计方案可满足加速器投入使用后的辐射屏蔽防护要求。

（7）臭氧的环境影响分析

1）臭氧的产生

本项目 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置 在工作状态时，产生的 X 射线会使辐照室内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中附录 B，臭氧产额估算方法如下：

单位时间（每小时）内电子束生成的 O_3 的量（P）为：

$$P=45\times d\times I\times G \qquad (11\text{-}5)$$

式中，P—单位时间电子束产生 O_3 的质量，mg/h；

I—电子束流强度，mA，本项目为 80mA；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为 10；

d—电子束在空气中的行程，cm，本项目 d=15cm。

由上式计算结果可得辐照室内臭氧产额为 5.4×10^5mg/h。

2）辐照室臭氧的平衡浓度

照射时间很长（即照射时间 t 远远大于 O_3 的有效清除时间 $\overline{T}$ ）情况下 O_3 饱和浓度：

$$C_s=\frac{PT_e}{V} \qquad (11\text{-}6)$$

式中，C_s—辐照室内臭氧平衡浓度，mg/m³；

P—意义同前文；

V—辐照室体积，m³，辐照室体积为 10.69m³；

T_e—臭氧的有效清除时间，h，按公式（11-7）计算。

$$T_e=\frac{T_v\times T_d}{T_v+T_d} \qquad (11\text{-}7)$$

式中，T_d—臭氧的有效分解时间，h，约为 0.83h；

T_v—辐照室通风换气周期，h，辐照室通风换气周期为 0.002h；

由上式计算结果可得加速器辐照室内臭氧平衡浓度约为 101mg/m³。

本项目加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，根据计算结果可知，辐照室内臭氧平衡浓度远高于 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度 0.3mg/m³。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接打开辐照室，风机必须继

续运行。

3）臭氧的排放

关闭加速器后风机运行的持续时间为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \qquad (11\text{-}8)$$

式中，C_0—GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度，C_0=0.3 mg/m^3；

T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h；

经计算得加速器停机后，辐照室内通风系统以通风速率 5468m^3/h 继续工作，加速器通过 0.69min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的最高容许浓度：0.3mg/m^3，因此建议电子加速器停机后，至少进行 0.69min 通风，再允许关闭风机。实际工作过程中，本项目的电子加速器设备在退高压和完全开启移门打开辐照室时间约 3min（退高压后无臭氧产生），在此时间内排风机持续运行，已满足通风时间的要求。

本项目 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置均拟设置机械通风装置，使加速器辐照室内部始终处于负压状态，臭氧和氮氧化物不会从材料进出口等溢出，不会对工作场所产生影响。臭氧通过排风系统排放至车间外，在常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小。

2 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

辐射工作人员和公众年有效剂量的年有效剂量由公式（11-9）进行估算：

$$E_{eff} = \dot{D} \cdot t \cdot T \cdot U \ldots\ldots \qquad (11\text{-}9)$$

式中：E_{eff}—人员年有效剂量，μSv/年；

D—参考点处辐射剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，单位 h；

T—居留因子；

U—使用因子，本项目 U 取 1。

本项目 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置投运后，每台加速器每班按 3 人开展工作。为保守考虑，每班辐射工作人员居留因子均取 1 进行计算，对于公众人员，本项目 50m 评价范围内无居民区，均为工业厂房，评价范围生产车间内非辐射工作人员居留因子取 1 保守计算，内部通道流动人员按照 1/4 计算，车间外道路上的

流动人员按照 1/16 计算。辐射工作人员年有效剂量拟保守取加速器屏蔽体外四周人员可达处的最大辐射剂量率进行计算。加速器运行过程禁止非辐射工作人员进入监督区内，对周围辐射影响最大的区域是本项目辐射工作场所监督区边界外相邻的其他工作场所中活动的人员，故本项目主要考虑的公众保护目标是辐射工作场所相邻环境中的公众。辐射工作人员和公众所受到年有效剂量分别见表 11-7 和 11-8 所示。

表 11-7 加速器辐射工作人员年有效剂量计算结果一览表

装置名称及关注点位置	D（辐射剂量率，μSv/h）	t(年工作时间，h)	T（居留因子）	U（使用因子）	E_{eff}（年有效剂量，mSv）
[redacted]					

表 11-8 加速器周围公众年有效剂量计算结果一览表

装置名称及关注点位置	D（辐射剂量率，μSv/h）	衰减距离（m）	D’（辐射剂量率，μSv/h）	t（年工作时间，h）	T（居留因子）	U（使用因子）	Eeff（年有效剂量，mSv）
[redacted]							



由表 11-7 和表 11-8 可知，本项目加速器装置四周的辐射工作人员年有效剂量最大值约为 1.98mSv/a，公众年有效剂量最大约为 0.031mSv/a，可知本项目人员年有效剂量分别满足辐照职业工作人员年剂量约束值 5mSv/a，公众年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

在实际的工作中，工作人员一般都不会近距离停驻在辐照室附近长期停留，因此以上是偏保守的估算结果，实际情况中工作人员和公众受照累计剂量均低于以上估算值。

3“三废”治理评价

3.1 废气

本项目 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置均拟设置机械通风装置，每台加速器均配备 1 台风量 5468m^3/h 的风机，每小时通风次数超过 511 次，辐照室内部始终处于负压状态，臭氧和氮氧化物不会从材料进出口等溢出，不会对工作场所产生影响。风机将装置内臭氧和氮氧化物通过排风管引至车间外排放，外部排风口拟设于车间顶部外。臭氧通过排风系统排放至外环境，在常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小。

3.2 废水和固废

本项目加速器冷却水循环装置使用去离子水，对加速器零部件进行循环冷却，冷却水设备内循环，不外排。本项目工作人员产生的生活污水接入市政污水管网进入市政污水处理厂处理，对周围环境影响很小。

本项目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，对周边环境影响较小。另外，辐照过程中产生的废薄膜材料，与生产过程产生的不合格薄膜材料一起收集后进行资源化回收利用。

事故影响分析

1 事故情景分析

本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置为一体式，固有安全性良好，只有在开机工作时才产生电子及 X 射线，正常运行工作时人员无法进入辐照室，可能存在的环境风险为：

（1）安全联锁装置或报警系统发生故障的情况下，人员误将正在运行的加速器辐照室门打开，受到误照射。

（2）工作人员进行检修时，设备安全联锁装置失灵以及自屏蔽体损坏等情况，受到误照射。

2 辐射事故预防措施

为防止事故的发生，公司在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平，同时加强管理，尽可能避免辐射事故的发生。针对可能发生的辐射事故，公司拟采取以下预防措施：

（1）自屏蔽工业电子加速器辐照装置操作人员必须严格按照射线装置操作程序进行操作，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。

（2）在每次开启加速器装置前，严格遵守操作规程，检查各项安全联锁系统，同时做好个人的防护，佩戴个人剂量报警仪及个人剂量计。

（3）定期监测加速器装置周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。

（4）定期对公司加速器的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，核实各项管理制度的执行情况，发现加速器联锁装置、安全报警系统等存在问题，必须立即维修，坚决不允许“带病”开机运行。公司将联系自屏蔽电子加速器辐照装置厂家人员进行维修。公司不自行维修，维修人员维修前取下钥匙开关，以防发生辐射事故。

（5）凡涉及对加速器装置进行操作，必须有明确的操作规程，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

（6）保证工作人员持证上岗，定期进行辐射防护知识教育。

（7）设立故障及异常情况下的安全保障控制程序：

a）停电情况下，全部安全联锁系统失去作用，加速器不能开机。

b）计算机控制程序故障，系统能自动停机。

c）人员开启加速器装置时，佩戴个人剂量报警仪，一旦报警仪报警，应立即按下急停开关。通过定期检查确保辐射安全措施正常运行，如有失效必须及时修理。通过日常自行检测及委托年度检测，及时发现辐射异常区域并查明原因进行整改，避免加速器装置周边人员受到异常照射或超剂量照射。

3 辐射事故处置方法

本项目拟使用的自屏蔽工业电子加速器辐照装置属于II类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。公司应根据《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》（原国家环保总局，环发〔2006〕145号）、《江苏省辐射污染防治条例》《江苏省辐射事故应急预案》等要求，发生事故后采取如下方法：

（1）事故情况下立即切断加速器高压控制开关的电源，组织人员保护现场，迅速报告公司安全和保卫部门，并启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要的先期应急处置措施，并做好辐射事故档案记录；

（2）发生人员受照事故时，迅速安排受照人员接受医学检查和救治，建立并保存相应的医疗档案；

（3）辐射事故发生后，积极配合环保、公安等管理机关做好事故调查和善后处理；

（4）对发生事故的加速器装置，请有关供货单位或相关的检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，提出改进意见，并保存记录。

公司在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

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》等法律法规要求，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。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，应对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核，考核不合格的，不得上岗。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》（生态环境部第 57 号公告）的要求，从事辐射工作的人员及辐射防护负责人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通过考核。

苏州瑞高启航新材料有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以制度文件《辐射安全管理机构及职责》明确管理人员及成员职责。公司现已配备 4 名辐射工作人员以及 1 名辐射防护负责人，辐射工作人员及辐射防护负责人均已通过生态环境部培训平台上的线上考核（其中辐射工作人员考核类别为电子加速器辐照，辐射防护负责人考核类别为辐射安全管理），辐射工作人员及辐射防护负责人持有的辐射安全培训合格证书到期后应当参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，通过后方可上岗。本项目拟新增的辐射工作人员应在上岗前参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，通过后方可上岗。

辐射安全管理规章制度

本项目为扩建项目，苏州瑞高启航新材料有限公司已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等规定制定一系列辐射安全管理制度，包括《工业辐照加速器操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《岗位职责》、《检修维护制度》、《射线装置使用登记、台帐管理制度》、《人员培训计划》、《个人剂量监测方案》、《环境剂量监测方案》、《辐射事故应急预案》，符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中“应当有健全的操作规程、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”的要求，目前各项辐射安全管理制度运转良好，基本能满足公司现有核技术应用项目的管理需要。

本项目拟根据自屏蔽工业电子辐照加速器的特点对上述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。现对其提出相应的建议和要求：

操作规程：本项目为自屏蔽工业电子加速器辐照装置，除了明确操作人员的资质条件要求，还要细化操作过程中针对自屏蔽工业电子加速器辐照装置应采取的具体防护措施及操作步骤，重点是工作前的安全检查工作，辐射工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

岗位职责：完善管理人员、操作人员及维修人员的岗位责任，使每一个相关的辐射工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：公司应根据自屏蔽加速器的特点完善辐射防护和安全保卫制度，重点是对自屏蔽工业电子加速器辐照装置的安全防护和维修要落实到个人。

设备检修维护制度：明确自屏蔽工业电子加速器辐照装置各项安全联锁装置及设施在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保加速器的辐射安全设施有效地运转。明确定期对加速器和辐射监测设备进行检查、维护，包括日检查、月检查和半年检查，并建立维修维护记录制度，对运行及维修维护期间进行日志记录；发现问题应及时维修，确保加速器、安全设施、辐射监测仪器等仪器设备保持良好工作状态。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划和健康管理制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，辐射防护负责人及辐射工作人员均拟通过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知识及相关法律法规，辐射防护负责人考核类别为辐射安全管理，辐射工作人员考核类别为电子加速器辐照，考核合格后方可上岗，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。公司对辐射工作人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

台账管理制度：日常工作中落实台账登记到位，加强对加速器的使用时间、使用工况及使用人员等台账信息的管控，做到有据可查。

监测方案：完善制订辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度。发现个人剂量异常的，拟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部门、卫生健康部门调查处理。发现工作场所监测异常的，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部门报告。公司

应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前提交上一年度的评估报告。

辐射事故应急预案：完善在日常工作中对职工进行辐射防护知识的培训和安全意识教育，尽可能避免辐射事故的发生。定期组织应急人员进行应急演练，在演练过程中发现问题能够及时解决。明确应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备，明确辐射事故分类与应急响应的措施。

辐射监测

本项目自屏蔽工业电子加速器辐照装置属于II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器，用于对加速器装置周围的辐射水平进行巡测。

苏州瑞高启航新材料有限公司为本项目拟配备个人剂量报警仪、X-γ辐射剂量率仪和个人剂量计，拟配备辐射监测设备见表 12-1。

表 12-1　拟配备辐射检测设备

设备名称	数量	内容
[redacted]		

苏州瑞高启航新材料有限公司拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测；在开展辐照作业时，公司拟定期对加速器装置周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录；本项目辐射工作人员均拟佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（每 1 个月/次，最长不超过 3 个月/次）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案。同时公司拟定期（两次体检的时间间隔不超过 2 年）安排本项目辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。公司拟对辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前提交上一年度的评估报告。

落实以上措施后，公司安全措施能够满足辐射安全的要求。

辐射监测方案详见下表 12-2 所示。

表 12-2 监测计划表

监测类别	监测因子	监测频率	监测方案	检测方式	控制水平	超标处理方案
验收监测	周围剂量当量率	竣工验收时 1 次	自屏蔽工业电子加速器辐照装置周围屏蔽体表面 5cm 处；电缆口和通风口外 5cm 处；操作位（控制柜）；监督区边界；评价范围内人员活动区域等	委托有资质单位	不大于 2.5μGy/h	立即停止相关工作，查找原因，整改完成后委托有资质的第三方检测机构进行复核，经检测合格后方能继续开展工作。
年度监测		每年 1 次		委托有资质单位	不大于 2.5μGy/h	
日常监测		每月 1 次		自行监测并备档	不大于 2.5μGy/h	
个人剂量监测	个人剂量当量	每季度 1 次	辐射工作人员佩戴个人剂量计，定期送检	委托有资质单位	年有效剂量不超过 5mSv	暂停该辐射工作人员工作，查明原因，规范管理

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告与处理的相关要求，辐射事故应急方案内容应包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备；

（3）辐射事故分级与应急响应措施；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序；

（5）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中的规定，公司已建立相应的《辐射事故应急预案》，成立辐射事故应急处理领导小组，组织、开展放射事件的应急处理救援工作，并对应急处理领导小组职责、事故应急救援应遵循的原则和事故应急处理程序以及应急联络电话进行规定。预案中未明确应急人员的培训计划以及演习计划、物资准备等，尚未针对该预案开展现有加速器装置的辐射事故应急演习工作。

公司应根据上述要求及本项目特点，依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求对辐射事故应急预案进行完善，包括明确人员职责分工，加强应急人员的组织、培训，同时做好与所在市、（县区）辐射事故应急预案和实施程序的衔接，完善辐射事故分类与应急响应措施，配备辐射和环境监测等应急物资，每年定期开展应急培训和演练（每年不少于 1 次），形成记录并保存，使应急人员熟悉事故处置程序，有效执行应急响应、

协同配合，以提高辐射事故应急处置能力。

发生辐射事故时，公司应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生部门报告。事故发生后公司应积极配合生态环境主管部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置及选址合理性分析

苏州瑞高启航新材料有限公司厂区位于太仓市苏州国信集团东润物流工业园内，厂区东侧为苏昆太上跨桥，南侧隔其他待建企业为大连东路，西侧为半泾北路，北侧为湖川塘路。

本项目拟在一期已建生产车间中部靠南增加 1 台 AB1.2 型自屏蔽工业电子加速器辐照装置（2 号加速器），拟建址南侧为厂区道路，隔厂区道路为空地（规划其他待建企业）；东侧、西侧、北侧均为生产车间内场所，楼上为企业一期车间二层生产区域，楼下无建筑。拟在扩建二期生产车间中部靠东增加 1 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置（3 号加速器），拟建址东侧为苏昆太上跨桥；西侧、南侧、北侧均为生产车间内场所，楼上为扩建二期车间的二层生产区域，楼下无建筑。两台加速器装置拟建址周围 50m 范围内均无居民区、学校等敏感点。

1.2 产业政策符合性分析

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类第六项核能中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，故本项目符合国家和地方现行产业政策。

1.3 辐射实践正当性评价

本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加加速器装置拟建址周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设将满足企业的生产需求和提高产品质量，创造更大的经济效益和社会效益，在落实辐射安全与防护管理措施后，其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》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.4 项目分区及布局

公司拟将 2 台加速器装置一层辐照室，上方二层真空机组室及加速器钢筒划为控制区边界，公司拟将真空机组室平台（真空机组室外）和加速钢桶平台（加速器钢桶外）区域，以及在高频振荡器、控制柜、收放卷区等配套设施周围设置围栏来划分监督区边界，并在二层平台入口门设置高压联锁装置。本项目加速器装置辐射防护分区

的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）中关于辐射工作场所的分区规定。

1.5 辐射安全措施

本项目拟设置以下辐射安全措施：①加速器控制柜配备钥匙开关；加速器开机钥匙由专人负责保管；②加速器高频振荡器柜面板、控制柜系统面板、束下控制柜面板、真空机组室上方、移门开关控制面板拟各设 1 个紧急停机按钮；③设有门机联锁，辐照室移门、材料进出口防护门及真空机组室防护门均与束流控制和加速器高压联锁；④加速器装置控制与束下装置的控制拟建立可靠的接口和协议文件；⑤加速器辐照室上方护栏处设置一个工作状态指示灯，加速器真空机组室防护栏和移门电控箱处分别设置声光报警装置；⑥加速器拟设辐射监测系统与剂量联锁装置，拟设 3 个检测探头；⑦加速器通风系统与控制系统联锁； ⑧加速器在辐照室和真空机组室防护门外拟设置电离辐射警告标志；⑨拟将高频振荡器、控制柜、收放卷区等配套设施周围设置围栏来划分监督区，监督区围栏悬挂清晰可见的警告牌，运行期间无关人员不得进入。

在落实以上措施后，本项目辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

1.5 辐射安全管理

公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。公司已制定辐射安全管理制度，并拟在本项目运行前对其进行补充和完善。本项目配备的辐射工作人员在上岗前取得辐射安全培训合格证书或通过生态环境部培训平台上的线上考核。公司同时还应对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并为辐射工作人员建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

公司拟为本项目增配 1 台辐射巡测仪，用于对本项目加速器日常运行时加速器装置周围的辐射水平进行监测。公司还拟为本项目增配 6 台个人剂量报警仪，能够满足审管部门关于仪器配备的要求。

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。

2 环境影响分析结论

2.1 辐射防护效果预测

根据理论预测可知，本项目 2 台加速器装置辐照室、真空机组室及加速器钢筒等的辐射防护设计均能满足防护要求；通风管道和材料进出口设置合理可行，未破坏加

速器屏蔽体的屏蔽效果，辐射屏蔽设计能够满足《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）中 I 类电子束辐照装置表面外 5cm 处空气比释动能率应不大于 2.5μGy/h 的要求。

2.2 保护目标剂量

根据理论预测结果，在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，本项目投入运行后辐射工作人员及加速器装置周围的公众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有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求：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。

2.3 三废处理处置

本项目加速器装置在工作状态时，产生的 X 射线会使辐照室内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目加速器辐照室内拟安装通风装置，本项目臭氧和氮氧化物可通过通风管道排出辐照室并高于车间顶部排放，臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要为办公过程中产生少量的生活废水和办公垃圾，生活污水纳入市政污水管网，生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，对外环境影响较小。

3 可行性分析结论

综上所述，苏州瑞高启航新材料有限公司扩建 2 台自屏蔽工业电子加速器辐照装置项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该公司将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1）该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，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）各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3）项目建设完成后，企业应及时重新申请辐射安全许可证。

4）项目建成后企业应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的有关规定（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）及时进行自主环境保护验收。

辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	投资（万元）
辐射安全管理机构	公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，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的要求。	/
辐射安全和防护措施	加速器一层辐照室：材料进出口防护门侧屏蔽体：外侧由三层钢板组合而成，厚度分别为 80mm，内侧屏蔽体由四层钢板组合而成，厚度分别为 100mm；通风侧屏蔽体外侧由三层钢板组合而成，厚度分别为 80mm，内侧屏蔽体由四层钢板组合而成，厚度分别为 100mm；通风侧的相对侧屏蔽体由四层钢板组合而成，厚度分别为 100mm；移门侧屏蔽体由四层钢板组合而成，厚度分别为 100mm；辐照室顶部（真空机组室底部）蔽体厚度由四层钢板组合而成，厚度分别为 100mm，辐照室底部由五层钢板组合而成，厚度分别为 100mm。二层真空机组室四周由三层钢板组合而成，厚度分别为 80mm，顶部屏蔽体为三层钢板组合而成，厚度分别为 100mm、80mm 和 60mm 钢板。二层加速器钢筒：加速器钢筒壁厚 60mm。	加速器屏蔽体周围参考点的 辐射剂量率均能够满足《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）中 I 类电子束辐照装置表面外 5cm 处空气比释动能率应不大于 2.5μGy/h 的要求；同时满 足《电离辐射防护与辐射源 安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目剂量约束值的要求：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。	列入设备投资
	①加速器控制柜配备钥匙开关；加速器开机钥匙由专人负责保管；②加速器高频振荡器柜面板、控制柜系统面板、束下控制柜面板、真空机组室上方、移门开关控制面板拟各设 1 个紧急停机按钮；③设有门机联锁，辐照室移门、材料进出口防护门及真空机组室防护门均与束流控制和加速器高压联锁；④加速器装置控制与束下装置的控制拟建立可靠的接口和协议文件；⑤加速器辐照室上方护栏处设置一个工作状态指示灯，加速器真空机组室防护栏和移门电控箱处分别设置声光报警装置；⑥加速器拟设辐射监测系统与剂量联锁装置，拟设 3 个检测探头；⑦加速器通风系统与控制系统联锁； ⑧加速器在辐照室和真空机组	满足《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）等相关标准辐射安全设施的相关要求。	50

	室防护门外拟设置电离辐射警告标志；⑨拟将高频振荡器、控制柜、收放卷区等配套设施周围设置围栏来划分监督区，监督区围栏悬挂清晰可见的警告牌，运行期间无关人员不得进入。		
人员配备	公司拟为本项目配备 12 名辐射工作人员，辐射工作人员均应通过辐射安全知识考核后方可上岗 辐射工作人员均开展个人剂量监测，送检周期为 3 个月，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案 辐射工作人员均定期进行职业健康体检，两次体检的时间间隔不超过 2 年，并建立职业健康监护档案	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求。	定期投入
监测仪器和防护用品	本项目拟配备 1 台环境辐射剂量巡测仪和 6 台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器的要求	4
辐射安全管理制度	公司根据相关标准要求，已制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、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、辐照装置使用登记、台账管理制度以及辐射事故应急方案等制度，公司还应根据相关条例、办法以及本报告的要求对制度的内容进行补充，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性	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》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急方案。	/

以上措施必须在项目运行前落实

表 14　审批

下一级环保部门预审意见： 公 章 经办人　　年　月　日
审批意见 公 章 经办人　　年　月　日