核技术利用建设项目

汉速科技（广汉）有限公司
新建工业电子加速器使用项目
环境影响报告表

（公示本）

汉速科技（广汉）有限公司

2025 年 4 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

汉速科技（广汉）有限公司
新建工业电子加速器使用项目
环境影响报告表

建设单位名称：汉速科技（广汉）有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：四川省德阳市广汉市三亚路三段 1 号

邮政编码：　　联系人：

电子邮箱：　　联系电话：

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">汉速科技（广汉）有限公司新建工业电子加速器使用项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">汉速科技（广汉）有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>邹伟</td><td colspan="2">联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">四川省德阳市广汉市三亚路三段 1 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">四川省德阳市广汉市三亚路三段 1 号远景诚·科创产业园 10#车间</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3"></td><td>批准文号</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☑新建 ☐改建 ☐扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">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>

项目概述

一、建设单位简介

汉速科技（广汉）有限公司（统一社会信用代码：91510681MAE9G07B2Q，以下简称“公司”）成立于 2025 年，由四川汉速科技有限公司全资投资，主要使用电子束辐照技术从事食品、预制菜、中药材、一次性医疗器械等产品的辐照灭菌加工，公司立足广汉辐射川北，为广汉市食品行业和火锅产业的升级发展赋能，为广汉市火锅食材之都的建设提供发展动能，为广汉及周边地区的食品产业升级、产品质量升级提供重要保障。未来，公司将为行业提供全套的食品、食材绿色、健康的消毒灭菌研发和全套辐照工艺方案，极具性价比的辐照加工服务，高品质的辐照质量承诺和省心的物流仓储与代发货服务。

二、项目由来

辐照加工是一种利用电离辐射与物质相互作用所产生的物理、化学和生物效应，对被加工物品进行处理的新型加工技术，其应用领域广泛，包括高分子材料改性、食品保鲜、医疗用品灭菌、环境爱护等多个领域。特别是在食品保鲜和医疗灭菌领域，辐照加工技术具有显著的优势和宽阔的应用前景，随着消费者对食品平安和医疗健康要求的不断提高，辐照加工技术的应用将更加广泛，市场需求将持续增长。

汉速科技（广汉）有限公司根据市场需求及公司发展规划，公司租赁位于四川省德阳市广汉市三亚路三段 1 号的远景诚·科创产业园内 10#车间厂房（租赁合同见附件 2），并拟在该厂房北部内新建 1 座工业电子加速器机房，拟于该机房内新增使用 2 台工业电子加速器（均属II类射线装置）开展辐照加工，为客户单位提供食品、预制菜、中药材、香辛料及调味料等产品的辐照消杀灭菌服务。

三、编制目的

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安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设单位应对该项目进行环境影响评价。

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，汉速科技（广汉）有限公司委托四川瑞迪森检测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）。四川瑞迪森检测技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、收集资料并结合监测单位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。

四、项目概况

项目名称：汉速科技（广汉）有限公司新建工业电子加速器使用项目

项目性质：新建

建设单位：汉速科技（广汉）有限公司

建设地点：四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号远景诚·科创产业园内 10#车间

（一）建设内容与规模

汉速科技（广汉）有限公司租赁位于四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号远景诚 •科创产业园内 10#车间（已建，地上一层建筑，局部为地上 2 层预留办公区）一层北部新建 1 座工业电子加速器机房。

本次拟建的工业电子加速器机房主要由一层辐照室和二层主机室组成，主机室和辐照室通过楼梯连接，同时配套建设控制室、设备间、辐照产品上货区、卸货区及仓库等辅助用房。

本次拟建工业电子加速器机房一层辐照室室内有效使用面积约为 46.48m^2（不含迷道，长 16.6m×宽 2.8m×高 1.8m），其东侧及西侧墙体为 2800mm 厚现浇混凝土，北侧墙体为 2000mm~2500mm 厚现浇混凝土，顶部为 680mm~1350mm 厚现浇混凝土。辐照室东南侧及西南侧分别设置有 1 处“凹”字形迷道（2 处迷道呈东西镜像布局），2 处迷道的中部隔墙为 500mm 厚现混凝土，迷道内墙均为 2150mm~2850mm 厚现浇混凝土，迷道中墙均为 400mm~1000mm 厚现浇混凝土，迷道外墙均为 750mm 厚现浇混凝土，两侧迷道口均设置有人员安全门（不锈钢门）。同时，辐照室南侧拟设置有货物传送系统，待辐照物品经传送带及运输轨道从西南侧迷道入口进入辐照室内进行辐照加工，辐照加工完成的物品经东南侧迷道出口离开辐照室，循环往复自动运行。

工业电子加速器机房二层主机室位于辐照室上方，其室内有效使用面积约为 21.83m^2（不含迷道，长 5.9m×宽 3.7m×高 3.0m），东侧墙体为 1500mm 厚现浇混凝土，南侧、西侧及北侧墙体均为 2000mm 厚现浇混凝土，顶部为 1500mm 厚现浇混凝土。主机室东侧迷道内墙为 1000mm 厚现浇混凝土，迷道外墙为 500mm 厚现浇混凝土，迷道门为人员安全门（不锈钢门）。

本次拟新增使用的 2 台工业电子加速器型号均为 DZ-10/20 型，为立式结构，属于II类射线装置，DZ-10/20 型工业电子加速器生产厂家为宁波粒子东联科技有公司，其最大电子能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，功率为 20kW，该型工业电子加速器为单束机头，电子束照射方向为竖直向下。根据建设单位初步规划，单台工业电子加速器每天出束时间约 16h，年工作 250 天，则单台设备年最大出束时间约为 4000h，两台加速器辐照装置可同时出束运行。

本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1。

表 1-1 汉速科技（广汉）有限公司新建项目情况一览表

序号	射线装置名称	型号	数量	参数	类别	加速粒子	活动种类	主束方向	使用场所
1	工业电子加速器	DZ-10/20	2台	最大电子束能量：10MeV； 最大束流强度：2mA	II	电子	使用	竖直向下	本次新建工业电子加速器机房

（二）项目组成内容及环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模			可能产生的环境问题	
				施工期	运营期
主体工程	工业电子加速器	辐照室		施工废气、施工噪声、施工废水、固体废物、生活污水、生活垃圾	X 射线、电子线、噪声、臭氧及氮氧化物、生活污水、生活垃圾
		主机室			
		射线装置	本次拟新增使用的 2 台工业电子加速器型号均为 DZ-10/20 型，为立式结构，属于II类射线装置，DZ-10/20 型工业电子加速器最大电子能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，功率为 20kW，该型工业电子加速器为单束机头，电子束照射方向为竖直向下。根据建设单位初步规划，单台设备年最大出束时间约为 4000h（两台加速器辐照装置可同时出束运行）。		
辅助工程			配套建设工业电子加速器控制室、设备间、辐照产品上货区、卸货区及仓库等辅助用房。		\
环保工程			1、工业电子加速器机房拟设置排风系统 1 套； 2、本项目产生的生活污水和生活垃圾依托项目所在地厂区已有的污水处理设施和生活垃圾收集设施处理，运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，作为一般固体废物处理。		臭氧、氮氧化物、噪声、生活垃圾、生活污水
公用工程			依托园区已有的给水、供电、通风等配套设施。		
办公生活设施			办公区依托车间厂房内拟建的办公室		

（三）项目依托设施

1、依托办公设施：办公区依托厂房内拟建设的办公室。

2、依托环保设施：本项目产生的生活污水依托项目所在园区已有的污水处理设施处理；本项目产生的生活垃圾依托项目所在园区已有的生活垃圾收集设施处理，运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的产品，作为一般固体废物处理。

（四）主要原辅材料及能耗

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-3。

表 1-3 主要能耗情况表

类别	名称	年最大消耗量	来源	用途
能源	电（度）	80000kW•h/a	市政电网	/
水	生活用水	2000m^3/a	市政管网	/

（五）工作制度及人员配置

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天，每人每天工作 8 个小时，三班倒，根据建设单位初步规划，单台工业电子加速器每天出束时间约 16h，年工作 250 天，两台加速器辐照装置可同时出束运行。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 7 人，包含 1 名辐射安全管理人员，均为新增辐射工作人员，6 名设备操作人员拟分为 3 个工作小组，每组 2 名辐射工作人员，各组人员不交叉，实施轮岗制且平均分配工作时间。后期建设单位也计划持续引进技术熟练的辐射工作人员，建设单位应做好辐射工作人员管理工作。

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

汉速科技（广汉）有限公司租赁位于四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号的远景诚•科创产业园内 10#车间（详见附件 2），该厂房用地性质为工业用地，从周边外环境关系可知，公司周边主要为科创产业园内其他企业厂房，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。公司地理位置示意图及周围环境示意图见附图 1~附图 2。

本次拟建的工业电子加速器机房位于 10#车间厂房北部，其东侧 50m 范围内依次为成品堆放区等 10#车间厂房区域；南侧 50m 范围内依次为上货区、卸货区、10#车间厂房区域（含东南侧为四川中铂新材料有限公司部分区域）、园区室外道路及 11#车间厂房部分区域；西侧 50m 范围内依次为待检区、预留办公区等 10#车间厂房区域、园区室外道路及停车场；北侧 50m 范围内依次为设备区（恒温水冷系统机组）、园区

室外道路及 9#车间厂房部分区域，正上方无建筑，下方为土层。本项目 50m 评价范围内无居民区、无学校等其他环境敏感点，详见附图 3。

本项目仅为 10#车间厂房内部建设，且拟建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽防护及采取相应的治理措施后对辐射工作人员及公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值要求和本报告表的剂量约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

六、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。

本项目的运营可提升工业辐照产能，具有放射实践的正当性，符合国家有关法律法规和当前产业政策。且建设单位已于 2025 年 2 月取得了广汉市发展和改革委员会关于该项目的立项文件（详见附件 3），项目符合现行的产业政策。

七、实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当性的。

本项目的开展，在给企业带来利益同时，对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值，在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求。

八、项目单位核技术应用现状

汉速科技（广汉）有限公司属首次开展核技术利用项目单位。因此，公司须完善本项目的环评及相关手续后，及时向四川省生态环境厅申请辐射安全许可证。

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	2 台	DZ-10/20	电子	10MeV	2mA	辐照加工	本次新建工业加速器机房	本次环评

（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	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，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）《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日发布施行；2014年4月24日修订，2015年1月1日起施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施； （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年修正，国务院令709号，2019年3月2日施行； （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； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》，生态环境部第16号令，自2021年1月1日起施行； （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； （9）《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会2017年第66号公告，2017年12月5日起施行； （10）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行； （11）《四川省辐射污染防治条例》， 2016年6月1日起实施。
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）《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）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （6）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；

	（7）《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）； （8）《辐照加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）； （9）《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017）； （8）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）； （9）《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）； （10）《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）。
其他	（1）《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》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； （2）《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； （3）《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； （4）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告 2019 年第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； （5）《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 日起启用； （6）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号）2024 年 2 月 1 日起施行； （7）四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知，川环函[2016]1400 号；

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射源和**射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围**”，确定为本次新建工业电子加速器机房实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见附图 3。

保护目标

本项目 50m 评价范围内部分区域均涉及 10#车间厂房外，50m 评价范围内无居民区、无学校等其他环境敏感点。因此，本项目辐射环境保护目标为公司辐射工作人员、公司内的其他飞辐射工作人员及 10#车间厂房内外其他公众，详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

保护目标			方位	与屏蔽体最近距离	规模	照射类型	剂量约束值
工业电子加速器	职业人员		控制室、设备间及设备区等	紧邻	6 人	职业	5mSv/a
	公众	厂内	东侧成品堆放区等 10#车间厂房区域	5m	约 5 人	公众	0.1 mSv/a
			南侧上货区及卸货区等 10#车间厂房区域	4m	约 15 人		
			西侧待检区、预留办公区等 10#车间厂房区域	5m	约 10 人		
			北侧室外设备平台	2.5m	约 2 人		
		厂外	南侧园区室外道路	36m	约 20 人，流动人员		
			东南侧四川中铂新材料有限公司	32m	约 20 人		
			西侧园区室外道路及停车场	35m	约 20 人，流动人员		
			北侧园区室外道路	2.5m	约 20 人，流动人员		
			北侧 9#车间厂房部分区域	12m	约 30 人		
			南侧 11#车间厂房部分区域	50m	约 30 人		

注：1.室外道路及通道区域公众多为流动人员；

2.上货区及卸货区等区域内工作人员保守均按照公众考虑。

评价标准

一、执行标准

本项目执行标准如下：

（一）环境质量标准

地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中的III类水域标准；

大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及其修改单中的二级标准；

声环境：执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 3 类标准。

（二）污染物排放标准

废水：执行《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准。

废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）二级标准。

噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中相关标准，营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3 类标准。

固体废物：执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）及其修改单相关标准。

（三）辐射防护标准

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关规定。

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值（摘录部分）

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

2、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）：

重点引用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）内容如下：

“4.2.1 辐射防护原则

……

（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 2.5μSv/h。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。”

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量约束值

（1）职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）4.2.1 中规定辐射工作人员个人年有效剂量约束值为 5mSv/a，建设单位保守按照 HJ 979-2018 标准执行，即辐射工作人员年有效剂量约束值为 5mSv/a。

（2）公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）4.2.1 中规定公众成员个人年有效剂量约束值为 0.1mSv/a，建设单位保守按照 HJ 979-2018 标准执行，即公众年有效剂量约束值为 0.1mSv/a。

2、工作场所周围剂量当量率

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）规定：“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。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。”

3、工作场所臭氧控制水平

根据《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）附录要求：E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 0.3mg/m^3。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

（一）公司厂区外环境关系

汉速科技（广汉）有限公司租赁位于四川省德阳市广汉市三亚路三段 1 号的远景诚·科创产业园内 10#车间厂房西部及北部区域（本项目地理位置图见附图 1），10#车间东南部为已有的四川中铂新材料有限公司区域，公司平面布局示意及外环境关系示意图详见附图 2。

本项目所在 10#车间厂房位于科创产业园西南部，其东侧依次为园区室外道路及 13#车间；南侧依次为园区室外道路及 11#车间；西侧为园区室外道路、停车场及厂界；北侧依次为园区室外道路及 9#车间。平面布局示意及外环境关系示意图详见附图 2。

（二）辐射工作场所外环境关系

本次拟建的工业电子加速器机房位于 10#车间厂房北部，其东侧 50m 范围内依次为成品堆放区等 10#车间厂房区域；南侧 50m 范围内依次为上货区、卸货区、10#车间厂房区域（含东南侧为四川中铂新材料有限公司部分区域）、园区室外道路及 11#车间厂房部分区域；西侧 50m 范围内依次为待检区、预留办公区等 10#车间厂房区域、园区室外道路及停车场；北侧 50m 范围内依次为设备区、园区室外道路及 9#车间厂房部分区域，正上方无建筑，下方为土层，详见附图 3~附图 4。

本项目拟建址及其周围环境现状见图 8-1 至图 8-6。

图 8-1 本项目 10#车间　　图 8-2 本项目 10#车间东侧

图 8-3 本项目 10#车间南侧

图 8-4 本项目 10#车间西侧

图 8-5 本项目 10#车间北侧

图 8-6 本项目工业加速器机房拟建址区域

二、辐射环境现状评价

本项目为 II 类射线装置应用项目，主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价未对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测。

为掌握项目所在地的辐射环境现状，四川瑞迪森检测技术有限公司于 2025 年 3 月 13 日按照标准规范对本次拟建址及周边环境进行了环境 γ 辐射剂量率的布点监测，监测报告见附件 4。

1、监测因子

本项目为工业电子加速器使用项目，根据工程分析项目主要污染因子为工业电子加速器运行时产生的韧致辐射（X 射线）。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取为环境 γ 辐射剂量率作为监测因子。

2、监测内容

对拟建项目周围环境水平进行本底调查。

3、监测方案

（1）监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	备注
环境γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标

（2）监测布点

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，根据本次新建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖新建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。

根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置见图 8-7。

图 8-7 本项目拟建址监测点位示意图

（3）监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备		
	仪器名称	仪器编号	设备参数及检定情况
环境γ辐射剂量率			

4、质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，每次监测必须在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

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，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。

数据复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核后由授权签字人审定签发。

5、比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考四川省生态环境厅发布《2023 年四川省生态环境状况公报》中全省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率分布示意图，其中德阳市范围为：（70~100）nGy/h。

6、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。具体监测结果如下：

表 8-3 工业电子加速器机房拟建址及周围环境γ辐射剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果(nGy/h)	备注
1	拟建址东侧		
2	拟建址南侧		
3	拟建址西侧		
4	拟建址北侧		
5	拟建址内		
6	拟建址东南侧		
7	拟建址东侧室外道路		
8	拟建址东侧 13#车间		
9	拟建址南侧室外道路		
10	拟建址南侧 11#车间		
11	拟建址西侧室外道路		
12	拟建址北侧室外道路		
13	拟建址北侧 9#车间		

注：测量结果未扣除宇宙射线响应值。

由表 8-3 可知，本项目工业电子加速器机房拟建址及周围环境γ辐射剂量率监测值在（76~78）nGy/h 之间，与《2023 年四川省生态环境状况公报》中德阳市环境γ辐射剂量率年均值范围：（70~100）nGy/h 相较，本项目拟建址及其周围辐射环境监测值与德阳市天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

本项目建设内容为一般土建工程，其基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装、工程验收等建设工序以噪声、扬尘、固体废弃物、少量污水和废气等污染物为主，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。

施工期工艺流程及产污情况图示见图 9-1。

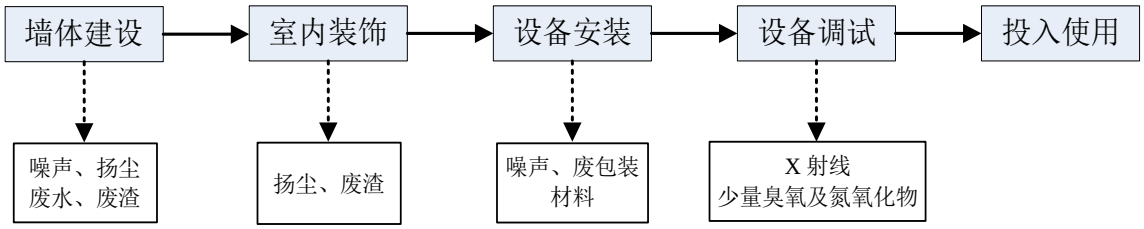


图 9-1 施工期工艺流程图

1、废气

扬尘：土建混凝土浇铸及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。施工机械设备排放的少量无组织废气等。

2、废水

施工期废水主要为建筑施工产生的生产废水及施工人员生活污水。

3、噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声。

4、固体废物

施工中固体废物主要为装修过程中产生的装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，施工垃圾送当地指定的建筑垃圾处置场进行处理，生活垃圾集中暂存，由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

二、营运期工艺分析

（一）工程设备

汉速科技（广汉）有限公司拟在 10#车间厂房北部建设 1 座工业电子加速器机房，并于机房内新增配备 2 台工业电子加速器，本次拟新增的工业电子加速器型号均为 DZ-10/20，属II类射线装置。本项目拟使用的工业电子加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目拟配备的工业电子直线加速器技术参数一览表

型号	DZ-10/20 型
工作场所	
生产厂家	
最大电子线能量	
最大束流强度	
最大束流功率	
束流损失点的能量	
束流损失率	
主射束方向	
电子扫描宽度	
工作方式	

本项目电子加速器由电子枪、加速管、微波系统、高压脉冲调制器、加速器控制系统、束流输运系统、安全联锁系统、真空系统、充气系统、恒温水冷系统以及供配电系统等装置组成。

1、束流分系统

包括电子枪、加速管、闸板阀、五通管、陶瓷管、束流互感器、波纹管、漂移管、限束法兰、扫描磁铁、扫描盒、转换靶（选配）等。

2、电子束流监测系统

电子束流输出强度监测由脉冲电流感应器和分析电路板组成。脉冲电流感应器安装在漂移管陶瓷段外侧，电子束穿过脉冲电流互感器，互感器产生 1 个与电流大小对应的感应电压信号。分析电路将互感器输出的电压信号进行转换，输出到 PLC 中，以便加速器控制系统进行识别显示。

3、真空系统

为了使电子枪能够发射电子，而且电子能够在加速管中沿轴线加速，加速管内必须是真空状态。真空系统包括分布在束流系统上的多个溅射离子泵、真空阀、闸板阀、钛泵电源等组成。

4、充气系统

大功率辐照加速器系统的微波传输系统内部传输的微波功率很大。波导内部必然会建立较强的电场，为防止大功率微波传输系统内的击穿打火，需在波导系统内充高压绝缘气体，以增强耐压能力。

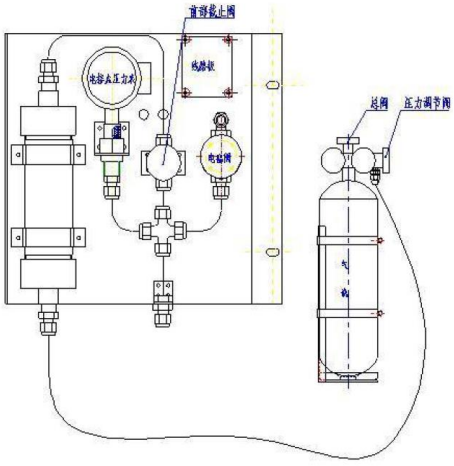


图 9-1 充气系统结构示意图

5、水冷分配系统

大功率水冷机组主要由水箱、水泵、压缩机、热交换器、控制装置等组成。水冷机组用来提供合乎加速器系统要求（温度、流量、压力）的冷却水，冷却水系统是闭路循环系统，通过压缩机来冷却。本系统要求冷却水使用纯净水或去离子水（外购），冷却水循环使用不外排，只定期补充损失水量。

6、货物传送系统

辐照室南侧拟设置有货物传送系统，该系统由传送带及运输轨道组成，待辐照物品在辐照前由装卸工作人员将其搬运至传送带上，货物经运输轨道从西南侧迷道口进入辐照室内进行辐照加工，辐照加工完成的物品经东南侧迷道出口离开辐照室，循环往复自动运行。该货物传送系统与工业电子加速器的束下装置系统设有工艺联锁，当货物传送系统出现故障时电子加速器立即停止出束。

7、控制系统

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

（二）工作原理

辐照电子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。

建设单位主要利用电子加速器进行辐照消毒灭菌，辐射杀菌是一种利用电离辐射或电子束辐照来进行杀菌的方法，其原理是辐射能量可以破坏微生物细胞的 DNA 分子，进而抑制其生长和繁殖，达到杀灭微生物的目的。在辐射杀菌过程中，辐射源会释放出高能电离辐射或电子束，这些辐射能量会穿透到微生物细胞内部，当辐射能量

与微生物细胞内的 DNA 分子相互作用时，会造成 DNA 链断裂，破坏其结构和功能。这使得微生物无法正常复制和传递遗传信息最终导致微生物死亡。

（三）工艺流程及产污环节

本项目工业电子加速器辐照室南侧拟设置有货物传送系统，待辐照物品在辐照前由装卸工将其搬运至传送带上，货物经运输轨道从西南侧迷道口进入辐照室内进行辐照加工，辐照加工完成的物品经东南侧迷道出口离开辐照室，循环往复自动运行。

在进行辐照时，加速器电子枪出束口在辐照室内，辐射工作人员位于辐照室外控制室采用隔室操作，辐照室可为辐射工作人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入辐照室。

本项目工艺流程如下：

（1）产品检验，辐照前对辐照对象按规定程序进行质量检查，检查是否符合辐照要求；

（2）制定辐照方案，根据辐照对象存在问题和辐照目的，以及辐照对象特征和工艺参数等指标确定辐照剂量率和辐照时间；

（3）开机前准备，对现场和辐照装置进行安全检查，通过巡检和监控系统确认所有人员已撤出辐照室和主机室，并确认辐照室和主机室的通风系统和其它安全措施都正常投入工作。操作人员确认出束模式，确认需要出束或禁用的加速器；

（4）开机预热，设备自检，调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

（5）辐射工作人员现场检查各项安全措施无异常，并通过视频监控系统再次查看室内情况，确保无人逗留，确认相关辅助系统运行正常并再次确认无异常情况后，设置运行参数，启动辐照装置；

（6）搬运工作人员将待辐照产品搬运至传送带上，货物自动经运输轨道及迷道进入辐照室；货物经传输系统传输至电子束下方辐照区域，经辐照后，自迷道另一侧出口传出辐照室，完成一轮辐照工作。

（7）辐照完成后，通风设施保持继续工作对辐照室排风换气。卸货区工作人员将已辐照的产品对象从传送带卸下，并运至已辐照货品堆放区存放，待产品抽检合格后批准运出。

本项目正常情况下，加速器开机前，工作人员须进入辐照室和主机室内进行巡查，建设单位的辐射工作人员在工作时，均应携带处于开启状态下的个人剂量报警仪并佩

戴个人剂量计。整个辐照工艺流程流水线自动操作，辐照过程中，辐射工作人员只需在控制室密切关注相关仪表的参数，无需进入辐照室和主机室进行任何操作，另有搬运工作人员在辐照室迷道出、入口对产品进行收放。

本项目工业电子加速器辐照加工工作流程和主要产污环节如图 9-4 所示。

图 9-4 工业电子加速器辐照产品的工作流程和主要产污环节示意图

综上所述，在工业电子加速器开机出束对产品进行辐照的过程中，产生的主要污染为电子束、韧致辐射产生的 X 射线和臭氧、氮氧化物、真空系统及排风机等产生的噪声。

（四）设备工况及人员配置

1、设备运行工况

本次拟新增使用的 2 台工业电子加速器型号均为 DZ-10/20 型，均为立式结构，均属于II类射线装置，该设备最大电子能量为 10MeV，最大束流为 2mA，功率为 20kW，该型工业电子加速器为单束机头，电子束照射方向为竖直向下。

2、人员配置及工作负荷

本项目拟配 7 名辐射工作人员，其中包含 1 名辐射安全管理人员和 6 名设备操作人员，6 名设备操作人员拟分为 3 个工作小组，每组 2 名辐射工作人员，各组人员不交叉，实施轮岗制且平均分配工作时间。

根据建设单位初步规划，单台工业电子加速器每天出束时间约 16h，年工作 250 天，则单台设备年最大出束时间约为 4000h，两台加速器辐照装置可同时运行。在设备运行过程中，每月对设备进行巡检一次。

（五）项目人员流动路径规划

1、工作人员路径

本项目辐射工作人员在开机运行前，需对货物传送系统装置进行检查，然后取出控制室主控台上的钥匙，打开辐照室安全门，沿迷道进入辐照室，并依次按下巡检按钮，确保辐照室内无人逗留后退出；辐照室巡检完毕后经楼梯至二层主机室，打开主机室安全门，沿迷道进入主机室，并依次按下巡检按钮，确保主机室内无人逗留后退出。

巡检过程中，迷道出入口处设有 3 道光电装置可防止人员跟随，巡检过程中，如果有其他人员误入，巡检失效，辐射工作人员需要清场，并重新巡检。巡检结束后进入控制室完成后续相关操作。

2、物流路径

本项目辐照室物品输入和输出均由货物传送系统完成，传送系统传送带的装、卸货区域距离辐照室最近距离为 4.05m，装、卸货工作在此区域将需辐照物品及辐照后的物品从传送系统上载或下载。辐照过后的产品运送至已辐照货品堆放区存放，待产品抽检合格后批准运出，不合格的产品进行重新辐照，辐照后仍然不合格的作为一般固体废物处理。

辐射工作人员路径和物流路径详见图 9-5。

图 9-5 新增工业电子加速器使用项目工作人员及物流路径图

污染源项描述

一、施工期污染源

（一）废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

1、施工场地废水；

2、施工人员生活污水。

（二）扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是机房的建设及墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

（三）固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑及装饰材料等建筑垃圾。

（三）噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

（一）电离辐射

本项目拟使用的 2 台 DZ-10/20 型工业电子加速器最大能量为 10MeV，最大电子束流为 2mA，属于 II 类射线装置。

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。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，对加速器屏蔽体周围产生一定的辐射影响。此外，电子束打到机头及其他高 Z 物质时也会产生高能 X 射线，X 射线的贯穿能力极强，会对加速器屏蔽体周围环境造成辐射污染。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，在加速器开机辐照期间，X 射线辐射为项目主要的污染因素。

本项目使用的电子加速器能量最大为 10MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），不需要考虑所产生的中子防护问题。

（二）非辐射三废

1、固体废物

本项目营运期间，产生的固体废物主要为生活垃圾和不合格产品。生活垃圾依托园区已有生活垃圾处理设施处理，运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，作为一般固体废物处理。

2、废气

本项目产生的废气主要臭氧、氮氧化物等。

本项目射线装置在通电出束过程中，辐照室内的空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的高速电子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。电子束装置屏蔽体在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。

3、废水

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托园区已有的污水处理设施处理。

加速器冷却水循环系统：加速器开机工作时，机器内部件产生大量的热量，通过钢筒冷阱中的冷却水进行冷却。本项目加速器冷却系统使用冷却水循环使用，不外排，损失主要为自然蒸发。

4、噪声

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减震等措施，且本项目属于规划的工业用地，并经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类区标准限值的要求。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局与分区

（一）工作场所布局合理性

汉速科技（广汉）有限公司新建工业电子加速器使用项目选址于四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号远景诚·科创产业园内 10#车间厂房，公司拟于该厂房新建 1 座加速器机房及配套辅助用房，并购置 2 台 10MeV 电子加速器用于辐照灭菌。

2 台加速器安装在同一个机房内，机房为两层混凝土结构，一层为辐照室，二层为主机室、控制室及设备间等辅助用房。加速器装置主要放置于二层主机室，高能电子束经扫描引出系统和辐照室屋顶进源孔进入辐照室扫描盒，控制室位于机房二层主机室南侧，货物传送系统位于机房一层辐照室南侧，详见附图 4。

加速器工作时，操作人员在控制室设置机器参数并监控加速器的运行情况，辐照灭菌物品的收发货工人位于辐照室南侧外装、卸货区。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。10#车间厂房平面布局示意图详见附图 3，本项目拟建址避开了人人员密集区域或人员流动性大的区域，选址及平面布局合理。

（二）两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求，将本项目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：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：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。

2、区域划分

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分：本项目划定工业电子加速器机房辐照室（含迷道）、主机室（含迷道）为控制区，曝光过程中严禁任何人员进入；划定一层迷道外货物传输系统区域、

一层二层连接楼梯、二层除主机室外其它区域为监督区，禁止非辐射工作人员进入。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
工业电子加速器机房	辐照室（含迷道）、二层主机室（含迷道）	一层辐照室南侧迷道外货物传送系统区域、北侧设备区（恒温水冷系统机组）；二层除主机室外其它区域（控制室、设备间、仓库及工具间等）；一层二层连接楼梯区域

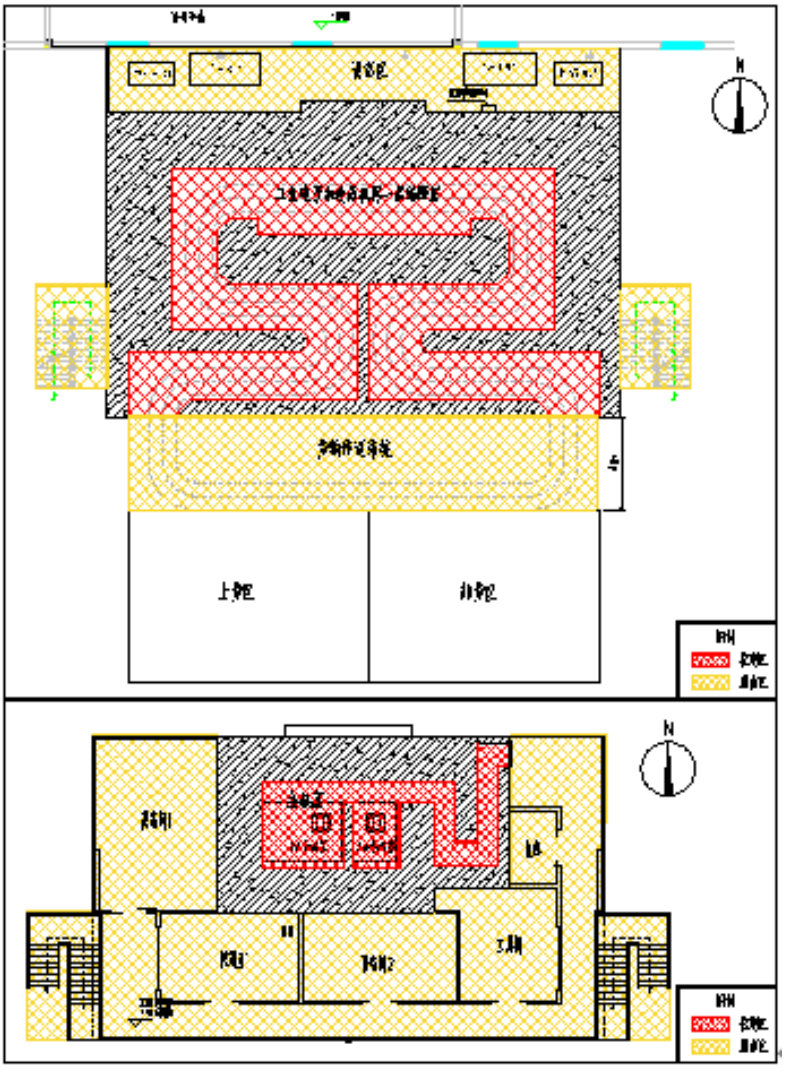


图 10-1 工业电子加速器使用场所两区划分示意图

3、控制区的防护手段与安全措施：

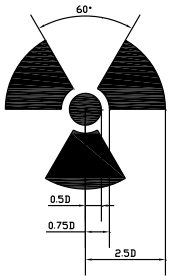
（1）控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-2）。

（2）制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

（3）运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

（4）定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全

措施或该区的边界。



a.电离辐射标志

b.当心电离辐射警告标志

图 10-2 当心电离辐射警告标志

4、监督区防护手段与安全措施

（1）以黄线警示监督区的边界；

（2）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

（3）定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

二、辐射安全及防护措施

（一）工作场所的屏蔽措施

1、辐射防护屏蔽设计方案

本项目工业电子加速器机房屏蔽设计见表 10-2。

表 10-2 工业电子加速器机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
工业电子加速器机房	辐照室	尺寸	
		屏蔽体厚度	
		迷道门	
	二层主机室	尺寸	
		墙体厚度	
		迷道门	

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3；铁（钢）密度不低于 7.4g/cm^3。

本项目加速器主机室电缆管线采用“U”型和斜型路径设计，主机室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达设备间，电缆穿墙的设计未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果满足辐射防护的要求。本项目电子辐照加速器的排风管道采用埋地设计，排风管道辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口，排风管道的设计未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

本项目加速器机房电缆及排风管道穿墙设计如图 10-3 所示。

图 10-3 本项目加速器机房电缆及排风管道穿墙设计图（设备管道预埋图）

（二）辐射安全装置和防护措施

1、设备运行逻辑

本项目新增的 2 台加速器安装在同一个机房内，共用 1 套传输设备、1 套安全设施（含安全联锁）和 1 套控制系统。可单台加速器工作，也可双台加速器同时工作，满足不同辐照加工场景需要。

控制室的主控电脑上，主界面仅有一个出束按钮，控制 2 台加速器（同时控制 1#加速器和 2#加速器）。主控电脑调试器操作界面中设置 1#加速器和 2#加速器的禁用开关，可通过禁用开关控制 1#加速器或 2#加速器禁用，通过该禁用开关实现两加速器同步出束或单独出束。

（2）在各安全联锁和辅助系统运行正常情况下，1#加速器和 2#加速器存在以下运行方式：

1）1#加速器和 2#加速器均未禁用：设备均无故障，在各安全联锁和辅助系统运行正常情况下，同时加载高压，出束。当其中任一加速器发生故障，两台加速器均无法进入高压允许；

2）1#加速器启用，2#加速器禁用：1#加速器设备无故障，在各安全联锁和辅助系统运行正常情况下，下达加载高压指令后，仅 1#加速器单独出束；

3）2#加速器启用，1#加速器禁用：2#加速器设备无故障，在各安全联锁和辅助系统运行正常情况下，下达加载高压指令后，仅 2#加速器单独出束；

4）1#加速器和 2#加速器同时禁用：两台加速器均无法进入高压允许，无法出束。

本项目 2 台加速器设备运行逻辑如图 10-4 所示。

图 10-4 本项目 2 台加速器设备运行逻辑示意图

2、设备固有的安全设施

（1）加速器过电压、过电流保护系统：在加速器控制系统中稳压电路对电压、电流进行监控，确保装置自动稳压；过电压、过电流保护功能装置，若由于其他原因导致加速器电压、电流非正常运行，控制系统会自动切断电源。

（2）加速器束流控制系统：束流不稳定时自动断开电源，停止运行。

（3）加速管真空联锁系统：加速器运行过程中实施监测加速管内的真空度，真空度不满足要求时钛泵将自动保护，同时切断电源，有效保护加速管。

（4）冷却水联锁系统：冷却水为循环冷却系统，冷却水不排放。加速管安装有水流量监测开关，当加速器中的靶、大功率负载等的冷却水流量不满足要求时，加速器将自动切断高压电源，停止运行。

3、辐射安全装置

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的规定，在工业电子加速器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自动切断高压。安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

本项目拟使用的工业电子加速器采取相适应的多层防护与安全措施（即纵深防御），充分体现了冗余性、多元性、独立性的安全原则，辐射安全与防护设施设计包括联锁系统、急停系统等内容，辐照装置设计的辐射安全保护措施和联锁系统符合相关标准规范，满足辐射安全要求。本项目工业电子加速器机房辐射安全与防护设施布置见图 10-5 及图 10-6，安全联锁设施逻辑示意见图 10-7 所示。

工业电子加速器机房辐射安全装置如下：

（1）钥匙控制：本项目工业电子加速器控制室内主控台上设有钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业：钥匙开关处于未闭合状态时，加速器无法开机出束。同时，加速器的主控钥匙开关和辐照室防护门及主机室防护门联锁，如果从控制台上取出钥匙，加速器会自动停机，该钥匙与 1 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调试值班长保管使用。

（2）门机联锁：辐照室防护门和主机室防护门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室防护门或者主机室防护门打开时，加速器不能开机，加速器运行中任一防护门被

打开则加速器自动停机。

（3）束下装置联锁：本项目电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制拟建立可靠的接口和通讯协议。当束下装置（即辐照室货物传送系统）因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器将自动停机。

（4）信号警示装置：在辐照室和主机室的防护门外、辐照室内部和主机室内部均设计有灯光和音响警示。当开机出束前，警示灯将亮起并发出闪烁信号，音响装置将发出警示声音。在辐照室防护门外和主机室防护门外，设计有工作状态指示灯和当心电离辐射警示标识，工作状态指示灯与加速器装置联锁，当加速器启动时，警示灯将亮起并发出闪烁信号，以提醒周围人员勿靠近。

（5）巡检按钮：本项目辐照室和主机室内设有多个巡检按钮，各巡检信号均与加速器控制台联锁。工业电子加速器在开机出束前，辐射工作人员需先进入辐照室和主机室内进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下辐照室和主机室内的巡检按钮，全部巡检按钮按下后，屏蔽门关闭后，加速器方可启动；若中途停止或不按顺序执行，系统会提示巡检失败，加速器将不能进行出束作业，工作人员必须重新按序巡检。加速器在开机过程中，如辐照室内和主机室内任一巡检按钮被触发，加速器会立即停止出束。

（6）防人误入装置：在辐照室和主机室迷道入口紧邻防护门的位置，设计有 3 道相互独立不同高度的光电装置（红外光电感应装置），且并分别与加速器联锁。光电装置安装高度距离地面分别为 0.3m，0.5m 和 1.3m 处，当有人员或者动物误入电子加速器机房，身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断高压，加速器将立即停止也束，同时发出异常情况下的警示声音。

本项目辐照室和主机室迷道口处均设置有人员专用防护门，该防护门与加速器设备联锁并设置有钥匙控制，且该钥匙控制与加速器的主控钥匙开关联锁；辐照室迷道口处的货物运输通道下方设置运输轨道，中部为货物传送带，上方仅预留 0.5m 高的货物进出通道，该货物出入口设计凑，正常情况下人员无法通过传送带进入辐照室（详见图 9-2）。

（7）急停装置：辐照室和主机室的迷道入口处、迷道出口处（屏蔽门旁）均设计有拉线开关，拉线开关距地面高度约 1.3m，当出现紧急情况时，只需拉下拉线开关，则该电子加速器机房内的加速器将立即断电，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕

启，需将拉线开关进行复位，加速器才能重新启动。同时，拟在电子加速器机房内的四面墙壁和迷道墙壁上，距离地面高度约 1.2m 处设置紧急停机按钮，在加速器主控台上同样设计有紧急停机开关，当紧急停机按钮正常时，加速器方可启动进行出束作业；当加速器正常启动出束作业过程中，若按下紧急停机按钮，则该电子加速器机房内的加速器将立即断高压，停止出束。

在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机按钮进行复位，加速器才能重新启动。在电子加速器机房防护门内侧，拟安装紧急开门装置。紧急情况下，机房内的人员只需按下紧急开门按钮，防护门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即停止出束。所有拉线开关及紧急停机开关应设置明显的中文标识，供紧急停止使用。

（8）剂量联锁：本项目拟安装固定式实时辐射剂量率监测系统，监测探头位于辐照室和主机室迷道内，显示面板位于控制室内。主机室和辐照室出入口设置门电磁锁，辐射剂量率监测系统与防护门电磁锁联锁，当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值（预设值为 2.5μSv/h）时，主机室和辐照室的防护门将无法打开。

（9）通风联锁：电子加速器机房通风系统正常工作后，加速器才能出束；在通风系统未正常工作时，加速器将无法进行出束作业。在加速器正常运行过程中，当通风系统发生故障时，加速器将立即停止出束。

（10）排风系统延迟关闭和防护门延迟开启：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：加速器正常停止出束后，排风系统将继续工作至少 6 分钟，在 6 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 6 分钟；正常停止加速器出束后 6 分钟内，即使发出打开电子加速器机房防护门的指令，机房防护门仍然无法打开，直到 6 分钟后方可开启防护门。

（11）烟雾报警：在电子加速器机房辐照室内顶部，拟安装烟雾报警装置。电子加速器将与火灾烟雾报警系统联锁。在加速器正常出束时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器将立即停止出束，通风系统将立即停止运行。在加速器停机状态时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器将无法启动进行出束，通风系统将无法开启进行通风换气。

本项目辐射安全与防护设施布置图见图 10-5 及图 10-6。

图 10-5 辐射安全与防护设施布置图（一层辐照室）

图 10-6 辐射安全与防护设施布置图（二层主机室）

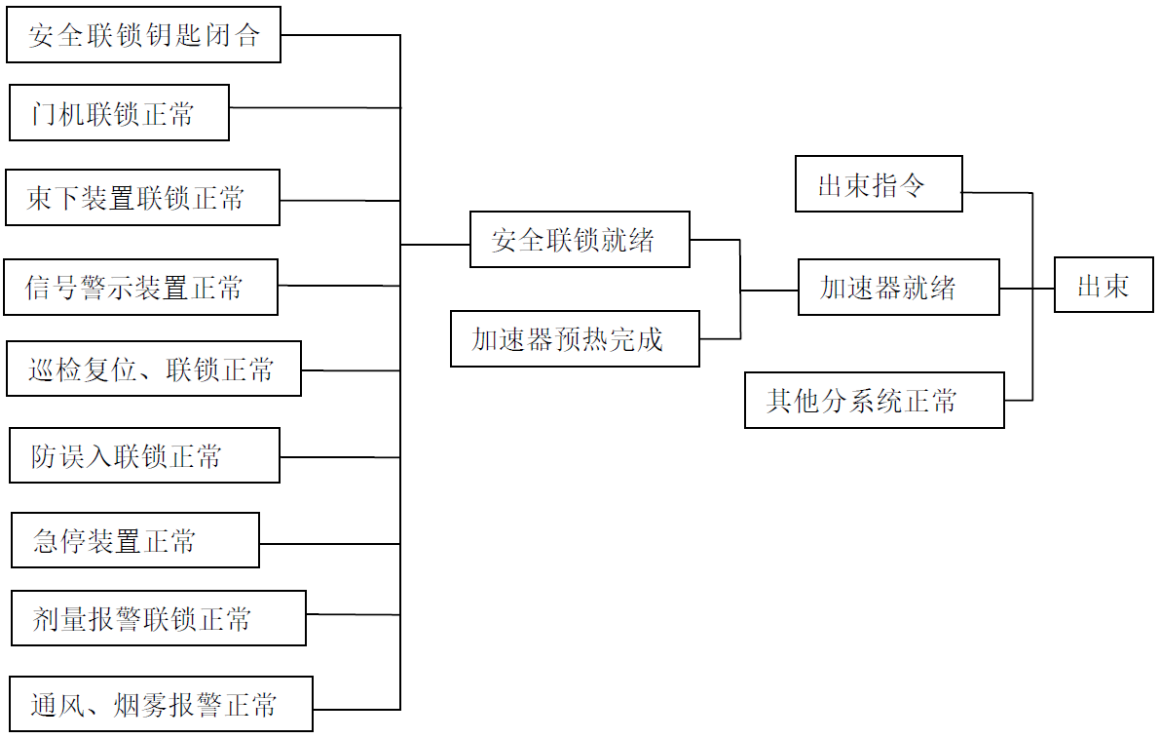


图 10-7 安全联锁设施逻辑示意图

（三）其他辐射安全设施

本项目工业电子加速器除落实了《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的相关要求外，还设计了安全出口指示灯和应急疏散指示灯、应急照明、实时监控系统、货物传送系统、加速器冷却系统、辐射安全控制系统联锁等。

1、安全出口指示灯和应急疏散指示灯

一层辐照室和二层主机室迷道均拟设置发光安全出口指示灯和应急疏散指示灯，便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向，指引人员顺利离开。

2、应急照明

一层辐照室和二层主机室内部均设置应急照明系统，应急照明设备定时检验，保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果。

3、实时监控系统

建设单位在辐照室内拟设摄像监视系统，辐照室内图像实时显示在控制室的监控显示器上，使控制室内的工作人员可清楚地观察到辐照室内的情况，如发生意外情况可及时处理。为避免强辐射场对视频信号的干扰，视频摄像头安装在迷道口，通过反射镜来获取辐照室内图像。

5、加速器冷却系统

工业电子加速器设备将与加速器各管路冷却回水的流量进行联锁，在加速器未出

束时，只有当各管路冷却回水的流量正常时，加速器方可启动进行出束作业；在加速器正常运行后，各管路冷却回水的流量将时时监控，若任意管路的冷却回水流量出现异常，则系统将立即切断该加速器电源，使得机房内的加速器立即停止出束。

6、辐射安全控制系统联锁

工业电子加速器将与该加速器的各控制信号进行联锁。在加速器未出束时，只有当所有控制信号均正常时，加速器方可启动进行出束作业；在加速器正常运行后，将对各控制信号时时监控，若任意控制信号出现异常，则系统将立即切断电源，使得辐照室内的加速器立即停止出束。

7、各辐射安全防护设施的关系

为确保设备的运行安全，防止电子加速器周围相关人员误入，减少辐射安全事故的发生，本项目工业电子加速器设计了多重联锁，主要有设备联锁、安全联锁和工艺联锁。

本项目安全联锁和设备联锁相互关联，任何一个环节出现异常，电子加速器均不能出束，工艺联锁出现异常则电子加速器不能长期连续出束，彼此关联又相互独立；安全联锁系统中，任何一个联锁出现了异常，均能够立即使电子加速器停止出束；拟增设置场所多重钥匙管控、监控系统、设备联锁、工艺联锁多重安全措施。

本项目工业电子加速器机房辐射安全防护措施设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）辐射安全原则符合性分析详见表 10-3。

表 10-3 本项目辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析表

序号	安全原则	本项目加速器机房安全防护设施设计	符合性分析
1	纵深防御		符合
2	冗余性		符合
3	多元性		符合
4	独立性		符合

还需要进一步落实的措施：

（1）在本项目投用后，建设单位应建立《辐射工作场所辐射安全设施维护检修制度》，定期对工业电子加速器装置上的常用设备进行检查，并做好记录，如果发现异常及时修复或者改正，确保辐射安全防护措施的有效性和稳定性；

（2）在控制室及楼梯间增加门锁或者门禁系统，非本项目辐射工作人员不得擅自进出该区域内；

（3）在控制室门口（加速器机房防护门外）和二层主机室区域安装监控探头，以便及时发现无关人员闯入监督区域并及时阻止该行为。

综上所述，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，配备的联锁装置可有效的保护操作人员和公众，减少因人为误入造成辐射安全事故。

（四）监测设备

建设单位拟配备一定数量的个人剂量计，个人剂量报警仪和辐射巡检仪，具体配置详见表 10-4。

表 10-4 监测设备配置情况一览表

序号	名称	数量
1	个人剂量计	每人 1 套
2	个人剂量报警仪	2 台
3	便携式辐射巡测仪	1 台

（五）辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析

本项目工业电子加速器机房辐射安全防护设施设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）符合性分析详见表 10-5。

表 10-5 本项目辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析表

安全设施	HJ 979-2018 标准要求	本项目设置情况	符合性分析
钥匙控制			符合
门机联锁			符合
束下装置联锁			符合
信号警示装置			符合
巡检按钮			符合
防人误入装置			符合
急停装置			符合

剂量联锁		符合
通风联锁		符合
烟雾报警		符合
安全标识		符合
紧急出口指示		符合
应急照明		符合
监测设备		符合

三、辐射安全防护设施对照分析

根据《生态环境部（国家核安全局）核技术利用监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号），将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-6。

表 10-6 本项目辐射安全防护设施对照分析表

序号	项目	具体要求	设计情况	备注
1	出入口控制	入口电离辐射警告标志		满足
2		入口加速器工作状态显示		满足
3		厅门联锁钥匙开关（辐照室、主机室）		满足
4		视频监控系统		满足
5		门内紧急开门按钮		满足
6		紧急出口指示		满足
7		应急照明		满足
8	安全联锁	控制台和加速器厅门同一把钥匙（或钥匙牢固串联）		满足
9		门与加速器高压触发联锁		满足
10		加速器开机前声、光报警		满足
11		辐照室、主机室内固定式辐射剂量监测仪，且与门联锁		满足
12		传输系统与束流联锁		满足
13		通风系统与加速器联锁		满足
14		火灾报警仪、且与通风联锁		满足
15		人员通道 2～3 道防误入装置（光电、红外等）		满足
16		货物进出通道 2～3 道防误入装置		满足
17		控制台上复位确认按钮		满足
18		清场巡更系统		满足
19	紧急停机装置	控制区内醒目位置设置紧急停机按钮（或拉线开关）、并附说明指示		满足
20		控制台紧急停机按钮		满足
21	监测设备	控制区内固定式辐射剂量监测仪		满足
22		个人剂量报警仪		满足
23		个人剂量计		满足
24		便携式辐射剂量监测仪		满足
25	其他	必要急救物资等		满足

综上所述，本项目拟采取的辐射安全措施符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020

发布版）《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）等相关文件的要求，拟建的辐射工作场所及其拟采取辐射安全防护措施是合理可行的。

四、环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，建设单位将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-7。

表 10-7 环保设施及投资估算一览表

项目		规定的措施	数量	金额（万元）
工业电子加速器项目	场所设施			
	联锁装置			
	警示设施			
	紧急设施			
	监测设备			
合计				

本项目总投资*万元，环保投资*万元，占总投资的*%。今后建设单位在核技术利

用项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时建设单位应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

本项目工业电子加速器在运行过程中不产生放射性三废。

1、废气

空气在辐射照射下，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体，其中由于氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此项目主要产生的废气污染物为臭氧。

公司拟在工业电子加速器机房辐照室内均设置排风装置，排风风机设计排风量12000m^3/h，加速器机房排风管道在辐照室内下沉到地下 1.0m，经地下管道到达辐照室外后再上升至地面，沿加速器机房外墙至 10#车间建筑楼顶排放，排气口距离地面13m。辐照室内产生的废气经排风装置引至室外排放，臭氧排入环境大气后，在常温下可自行分解成氧气，不会对环境空气造成明显影响。本项目工业电子加速器排风管道布置图见图 10-8。

图 10-8 工业电子加速器排风管道布置图

2、固体废物

本项目工业电子加速器主要用于食品、预制菜、中药材、香辛料及调味料等产品的辐照消杀灭菌，电子加速器能量较小，不会引起靶物质活化，不产生放射性固体废弃物。在电子加速器运行期间，主要固体废物为生活垃圾和不合格的产品。生活垃圾依托园区已有的生活垃圾处理设施处理，运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，作为一般固体废物处理。

3、废水

本项目在运行期间，产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用，不外排，生活污水依托园区已有的污水处理设施处理。

4、噪声

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减震等措施，且本项目属于规划的工业用地，经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3 类区标准限值的要求。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工阶段的环境影响分析

本项目需新建工业电子加速器机房及其配套用房，对机房进行装修和设备安装等工序的施工，施工期将会产生一定扬尘、噪声、固体废物、装修中产生的废气以及施工人员的生活垃圾和生活污水，在施工期应重点做好以下工作：

扬尘的防治措施：项目通过施工现场封闭施工和采取洒水等措施进行控制；

废水防治措施：施工废水循环使用；生活废水依托厂区临时设施进行处理；

废气防治措施：项目施工现场封闭施工，及时清理，通风换气等措施；

噪声防治措施：选用低噪声设备，合理安排施工时间；

固废防治措施：基础工程挖土方与回填土方在施工场内周转，就地平衡，弃土用于厂区绿地和道路建设，部分土方进行回填使用；建筑垃圾收集后堆放于指定地点并及时清运至住建部门指定的弃渣场；生活垃圾收集后交由环卫部门处理。

机房施工质量的要求：

（1）在建设过程中严格按照施工规范进行施工，在工业电子加速器机房屏蔽体施工过程中，应连续整体浇筑，采取有效措施避免产生孔洞气泡，防止射线泄漏；防护门与墙体、机房顶部与钢桶底部重叠部分不小于缝隙宽度的 10 倍；

（2）穿过机房墙体的各种管道、电缆及轨道不得影响屏蔽墙体的屏蔽防护效果，不得正对工作人员经常停留的地点。

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内局部区域，对周围环境影响较小。

二、设备安装调试期间的环境影响分析

本项目设备安装、调试均应设备厂家专业人员操作，同时加强辐射防护管理，严格限制无关人员靠近，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在工业电子加速器机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物，作为一般固体废物进行处置，不随意丢弃。

运行阶段对环境的影响

汉速科技（广汉）有限公司拟在厂区 10#车间厂房一层北部建设 1 座工业电子加速器机房，并拟于该机房内配备 2 台 DZ-10/20 型工业电子加速器（均属II类射线装置）开展辐照加工，为客户单位提供食品、预制菜、中药材、香辛料及调味料等产品的辐照消杀灭菌服务。

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

一、电子束环境影响分析

根据《辐射防护手册》（第三分册）可知，电子在物质中最大射程可由公式 11-1 进行估算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta max} \cdots\cdots \text{公式 11-1}$$

式中：d—最大射程，cm；

ρ—防护材料的密度，g/cm^3；

$E_{\beta MAX}$—最大电子能量，MeV。

本项目工业电子加速器电子束最大能量约为 10MeV，由公式 11-1 计算得出电子线在混凝土（密度取 2.35g/cm^3）中最大穿透厚度约为 2.13cm，本项目辐照室有效的墙体厚度至少为 75cm，且工业电子加速器产生的电子束均朝向地面。因此，电子束对辐照室外环境的影响可以忽略不计。

二、韧致辐射（X 射线）环境影响分析

本项目 2 台加速器安装在同一机房内，且电子束出束方向均竖直向下，其 0°方向为地面且地下无建筑，故本次评价主要考虑 90°方向机房的四周墙体及 180°方向的加速器机房顶部，同时考虑 2 台设备同时运行的辐射影响。

工业电子加速器运行时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X 射线），X 射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源，电子束影响较小。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），这部分射线为设备层的屏蔽对象。

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传输带；

3）辐照产品：食品、预制菜、中药材、香辛料及调味料等产品。

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，进行辐射防护评价。

（一）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）附录 A 中公式 A.2 计算距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率：

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

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；

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

I—电子束流强度，mA；

f_e—X 射线发射率修正系数。

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

本项目新增配备 2 台工业电子加速器，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.1 可知不同能量入射电子在距靶 1m 处侧向 90°的 X 射线发射率常数，相关参数见表 11-1。

表 11-1 本项目 1#、2#工业电子加速器辐射源项计算参数及计算结果

辐照室相关计算参数表	
型号	**DZ-10/20 型（2 台）**
入射电子能量（MeV）	10.0
90°方向电子的相应等效能量（MeV）	6.0
电子束流强度	2mA
侧向 90°的 X 射线发射率常数 Q	13.5

（$Gy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}$）	
修正因子	0.5
D_{10}（Gy/h）	810
T_1（cm）	混凝土：35.5
T_e（cm）	混凝土：35.5

注：根据 HJ 979-2018 附录 A 和表 A.1~表 A.3，DZ-10/20 型工业电子加速器 90°方向电子的相应等效能量为 6.0MeV，其在混凝土中的第一十分之一值层和平衡十分之一值层保守取 35.5cm。

主机室相关计算参数表	
型号	**DZ-10/20 型（2 台）**
束流损失点的能量（MeV）	1.0
90°方向电子的相应等效能量（MeV）	0.7
束流损失率	4%
束流损失为（即电子束流强度）	0.08mA
侧向 90°的 X 射线发射率常数 Q（$Gy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}$）	0.07
修正因子	0.4
D_{10}（Gy/h）	0.96
T_1（cm）	混凝土：16.5
T_e（cm）	混凝土：13.1

注：根据 HJ 979-2018 附录 A 和表 A.2~表 A.4，当主机室入射电子能量为 1.0MeV 时，等效入射电子能量为 0.7MeV，其在混凝土中的第一十分之一值层和平衡十分之一值层保守取表 A.2~表 A.3 中 0.5MeV~1.0MeV 内插值。

（二）辐照室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

1、直射 X 射线的屏蔽

对于电子加速器辐照装置，很多情况下需要考虑侧向（相对电子束 90°方向）X 射线的屏蔽，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入射电子能量的特性参数，根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。本次在辐照室外选取具有代表性的关注点位进行分析评价，关注点位选取示意图见图 11-1 和图 11-2。

（1）计算模式

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中公式 A-1、A-2、A-3 和 A-4 可以推导得出本次计算相关公式如下：

X 射线透射至墙外关注点处当量剂量率：

$$H_M = \frac{D_{10}·B_X·T}{1×10^{-6}·d^2} \cdots\cdots 公式\ 11\text{-}2$$

式中：H_M—关注点周围剂量当量率，μSv/h；

B_X—X 射线屏蔽透射比；

T—居留因子，推导时居留因子取 1；

d—X 射线源与~~参考~~关注点之间的距离，m；

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；

$$B_X = 10^{-n} \cdots\cdots \text{公式 11-3}$$

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

式中：S—屏蔽体厚度，cm；

T_1—在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

T_e—平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm；

n—为十分之一值层的个数。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中公式 A.2 计算距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率：

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \cdots\cdots \text{公式 11-5}$$

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；

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

I—电子束流强度，mA；

f_e—X 射线发射率修正系数。

（2）计算参数及计算结果

将相关参数代入根据公式 11-2~公式 11-5 后，可得到各个关注点处的辐射剂量率，预测结果见表 11-2。

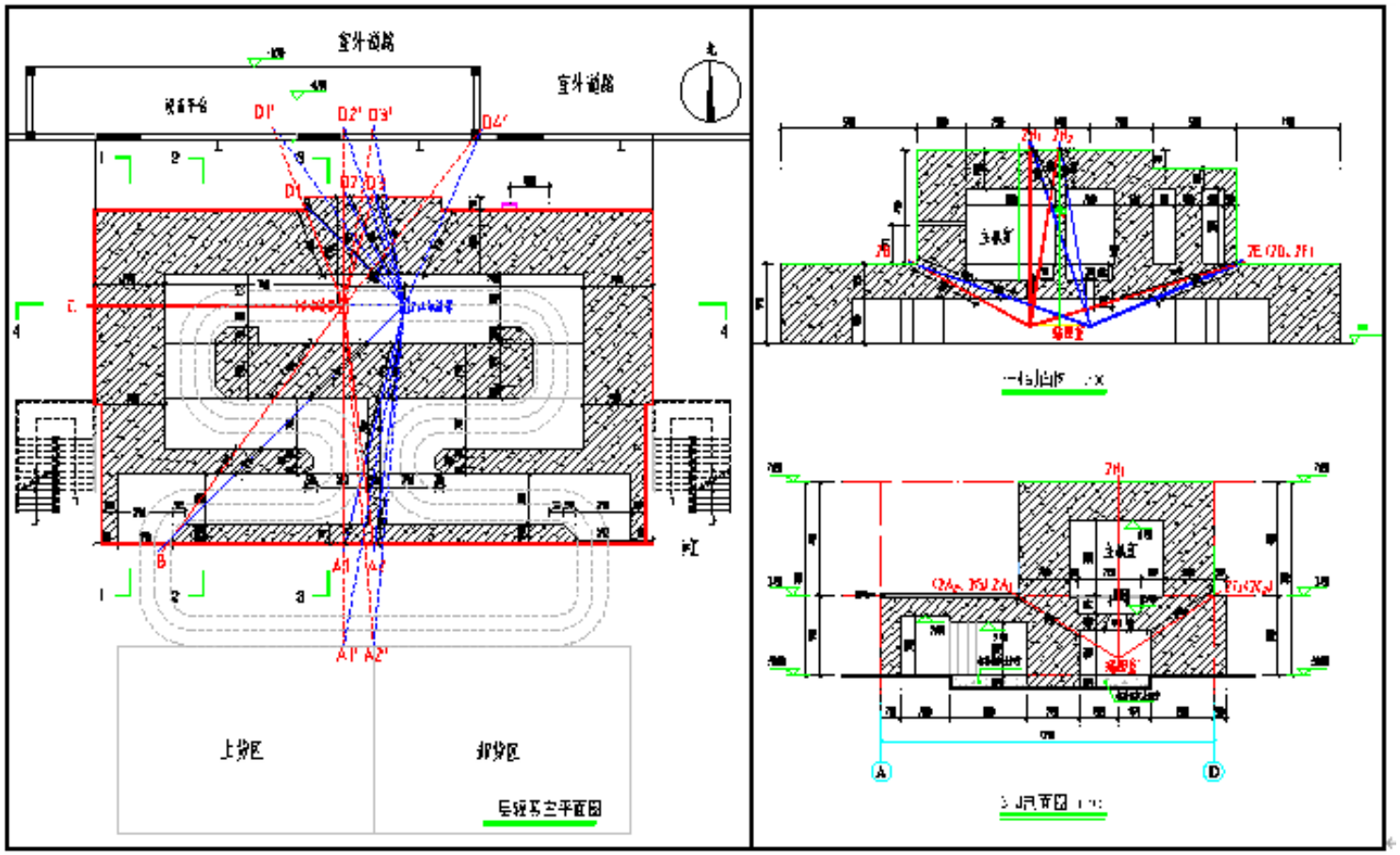


图 11-1 工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图

表 11-2　本项目工业电子加速器机房主机室屏蔽墙外关注点处辐射剂量率计算结果

点位		加速器	D_{10}（Gy/h）	S⑧（cm）	$T_1$④（cm）	T_e（cm）	B_X	d（m）	H_M（μSv/h）
辐照室	A_1 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，传送带	1#加速器							0.058
		2#加速器							
	A_2 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，传送带	1#加速器							1.69E-04
		2#加速器							
	A_1´点：南侧屏蔽体外上货区	1#加速器							0.030
		2#加速器							
	A_2´点：南侧屏蔽体外上/卸货区	1#加速器							0.056
		2#加速器							
	B 点：西南侧迷道口外 30cm 处，上货区	1#加速器							5.07E-05
		2#加速器							
	C 点：西侧屏蔽体外 30cm 处，厂房通道	1#加速器							0.167
		2#加速器							
	D_1 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备区	1#加速器							1.118
		2#加速器							
	D_2 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备区	1#加速器							0.146
		2#加速器							
	D_3 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备区	1#加速器							0.134
		2#加速器							
	D_1´点：10#车间北侧墙外 30cm 处，设备平台	1#加速器							0.371
		2#加速器							
	D_2´点：10#车间北侧墙外 30cm 处，设备平台	1#加速器							0.074
		2#加速器							

	D_3'点：10#车间北侧墙外 30cm 处，设备平台	1#加速器		0.084
		2#加速器		
	D_4'点：10#车间北侧墙外 30cm 处，室外道路	1#加速器		0.266
		2#加速器		
	$2A_1$ 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，控制室	1#加速器		0.720
		2#加速器		
	$2A_2$ 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 2	1#加速器		0.720
		2#加速器		
	2B 点：西侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 1	1#加速器		0.302
		2#加速器		
	$2C_1$ 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备平台	1#加速器		0.276
		2#加速器		
	$2C_2$ 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备平台	1#加速器		0.276
		2#加速器		
	2D 点：东侧迷道口外 30cm 处，平台通道	1#加速器		3.13E-03
		2#加速器		
	2E 点：东侧屏蔽体外 30cm 处，仓库	1#加速器		1.07E-06
		2#加速器		
	2F 点：东侧屏蔽体外 30cm 处，仓库	1#加速器		1.07E-06
		2#加速器		
	2G 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 2	1#加速器		0.720
		2#加速器		
	$2H_1$ 点：顶部屏蔽体外 30cm 处，屋顶②	1#加速器		21.188
		2#加速器		
	$2H_2$ 点：顶部屏蔽体外 30cm 处，	1#加速器		23.976

	屋顶②	2#加速器								

注：①居留因子均取 1；

②*S* 由 CAD 图纸量出；

③辐照室内 2 台加速器机位及机房屏蔽体均呈东西镜像布局，故东南侧迷道口外剂量率同 B 点；东侧屏蔽体外剂量率同 C 点。

由表 11-2 可知，本项目正常运行时，其一层辐照室直射 X 射线在屏蔽体外人员可达处的辐射剂量率均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 的要求（顶部无人员居留）。

2、散射辐射的屏蔽

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A.3 可知，在加速器装置的屏蔽设计中，有三种情况必须考虑散射辐射：迷道和安全门、天空反散射、孔道。本项目管线采用“U”形或斜型穿过屏蔽墙体，排风管预埋于地下，其中连通一层的电缆穿墙处位于辐照室迷道顶棚，辐照室 X 射线散射线要到达该孔洞处需要经过多次散射，穿屏蔽体孔道基本不影响屏蔽墙体防护效果。因此本次散射辐射主要考虑迷道和安全门。本次计算辐照室散射路径示意图见图 11-2。

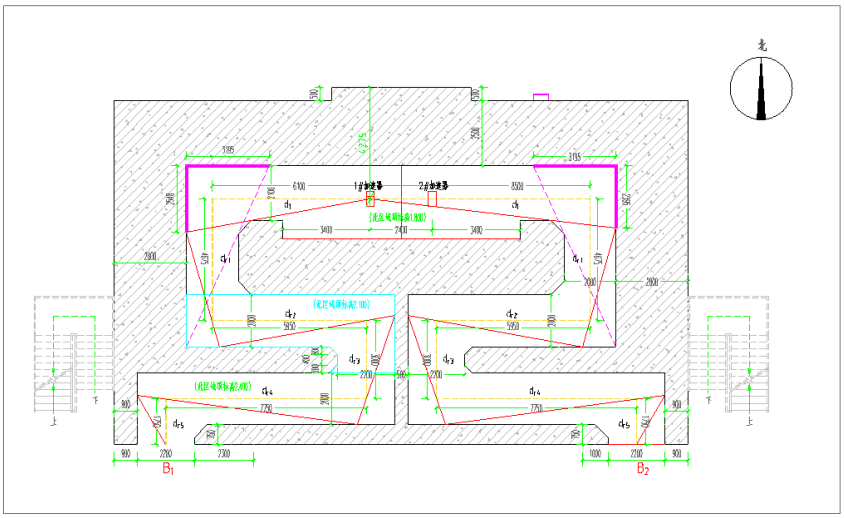


图 11-2 辐照室散射路径示意图

（1）计算公式的选取

防护 X 射线的迷道，按照公式 11-6 可保守地估算迷道外入口的剂量率：

$$H_{1,rj}=\frac{D_{10}\alpha_1 A_1（\alpha_2 A_2）^{j-1}}{（d_1\cdot d_{r1}\cdot d_{r2}\ldots d_{rj}）^2}\cdots\cdots\text{公式 11-6}$$

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，μSv/h；

α_1—入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，取 5×10^{-3}；

α_2—从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程的相同的），取 2×10^{-2}；

A_1—X 射线入射到第一散射物质的散射面积，m^2；

A_2—迷道的截面积，m^2；

d_1—X 射线源与第一散射物质的距离，m；

d_{r1}，d_{r2}…d_{rj}—沿着迷道长轴的中心线距离；

j—第 j 个散射过程。

（2）计算参数及计算结果

本项目辐照室内韧致射线经过 5 次散射方可到达迷道出入口。根据计算公式可知，迷道出入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，具体参数及计算结果见表 11-3。

表 11-3 本项目工业电子加速器机房辐照室迷道散射计算参数及结果一览表

关注点	加速器	散射次数	散射路径 $d_1,d_{r1},d_{r2}\cdots d_{rj}$ (m)	散射面积 $A_1,A_2\cdots A_j$ (m^2)	辐射剂量率 ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	
辐照室迷道入口处 B_1 点	1#加速器					9.41E-05
	2#加速器					
辐照室迷道入口处 B_2 点	1#加速器					9.41E-05
	2#加速器					

本项目工业电子加速器机房辐照室迷道口处需考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口处最终的辐射剂量率估算结果见表 11-4。

表 11-4 工业电子加速器机房辐照室迷道口处辐射剂量率计算结果

位置	直射剂量率（μSv/h）	散射剂量率（μSv/h）	迷道口外剂量率（μSv/h）
辐照室迷道入口处 B_1 点			1.45E-04
辐照室迷道入口处 B_2 点			1.45E-04

根据上表可知，本项目正常运行时，其一层辐照室迷道口处的辐射剂量率均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 的要求。

—（二）主机室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

主机室内的辐射场由三部分叠加：

第一部分为一层辐照室内韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场。

第二部分为尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失产生的束流损失辐射场。

第三部分为一楼辐照室内的 0°方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面 180°方向散射后的次级 X 射线，通过辐照室屋顶上的设备安装孔洞直接照射入辐照室内的

形成的散射辐射场，由于沿与电子束入射方向成 180°方向的次级 X 射线能量较低，同时，由于次级 X 射线将直接照射到加速器底部钢材质结构，受到加速器钢材料屏蔽，最终散射到主机室墙体和顶部的 X 射线极 5 少。

简化计算，主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内加速器束流损失产生的 X 射线对主机室四周墙外的直射辐射影响和辐照室 X 射线源对主机室墙（顶）外关注点的辐射影响，即初级 X 射线经主机室地板、墙体、顶棚等屏蔽体屏蔽后对关注点的影响，依然采用公式 11-2～11-5 进行计算。

结合《辐射防护导论》P71 图 3.3 和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.1，本次计算时，＞90°方向的韧致辐射初级 X 射线发射率常数按 90°方向的发射率常数取值，这样做是偏安全的。

1、直射 X 射线的屏蔽

本项目工业电子加速器机房主机室周围估算点位如图 11-3 所示。

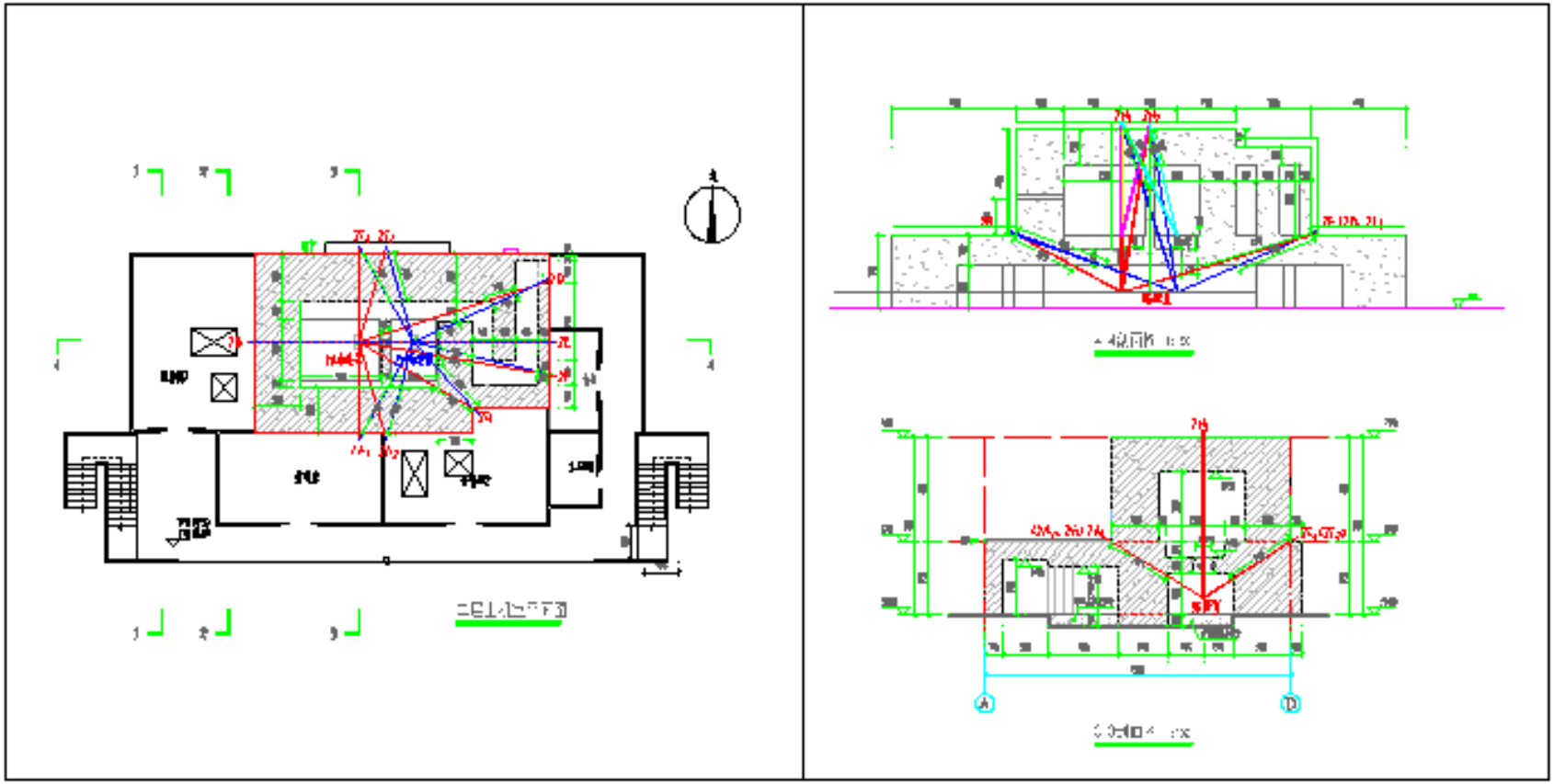


图 11-3 工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图

（2）计算参数及计算结果

将相关参数代入根据公式 11-3~公式 11-5 后，可得到各个关注点处的辐射剂量率，预测结果见表 11-5。

表 11-5　本项目工业电子加速器机房主机室屏蔽墙外关注点辐射剂量率计算结果

点位		加速器	D_{10}⑤（Gy/h）	S（cm）	$T_1$④（cm）	T_e（cm）	B_X	d（m）	H_M（μSv/h）
主机室	$2A_1$ 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，控制室	1#加速器							0.720
		2#加速器							
	$2A_2$ 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 2	1#加速器							0.720
		2#加速器							
	2B 点：西侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 1	1#加速器							0.302
		2#加速器							
	$2C_1$ 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备平台	1#加速器							0.276
		2#加速器							
	$2C_2$ 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备平台	1#加速器							0.276
		2#加速器							

	2D 点：东侧迷道口外 30cm 处，平台通道	1#加速器		3.13E-03
		2#加速器		
	2E 点：东侧屏蔽体外 30cm 处，仓库	1#加速器		1.07E-06
		2#加速器		
	2F 点：东侧屏蔽体外 30cm 处，仓库	1#加速器		1.07E-06
		2#加速器		
	2G 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 2	1#加速器		0.720
		2#加速器		
	$2H_1$ 点：顶部屏蔽体外 30cm 处，屋顶②	1#加速器		21.188
		2#加速器		
	$2H_2$ 点：顶部屏蔽体外 30cm 处，屋顶②	1#加速器		23.976
		2#加速器		

注：①居留因子均取 1；

②*S* 由 CAD 图纸量出；

③各关注点辐射剂量率均已叠加一层辐照室产生的影响（详见表 11-2）。

由上表可知，本项目正常运行时，其二层主机室直射 X 射线在屏蔽体外人员可达处的辐射剂量率均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 的要求（顶部无人员居留）。

2、散射辐射的屏蔽

本项目主机室内韧致射线经过 5 次散射方可到达迷道出入口。根据计算公式可知，迷道、防护门出入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，本次计算主机室散射路径示意图见图 11-4，具体参数及计算结果见表 11-6。

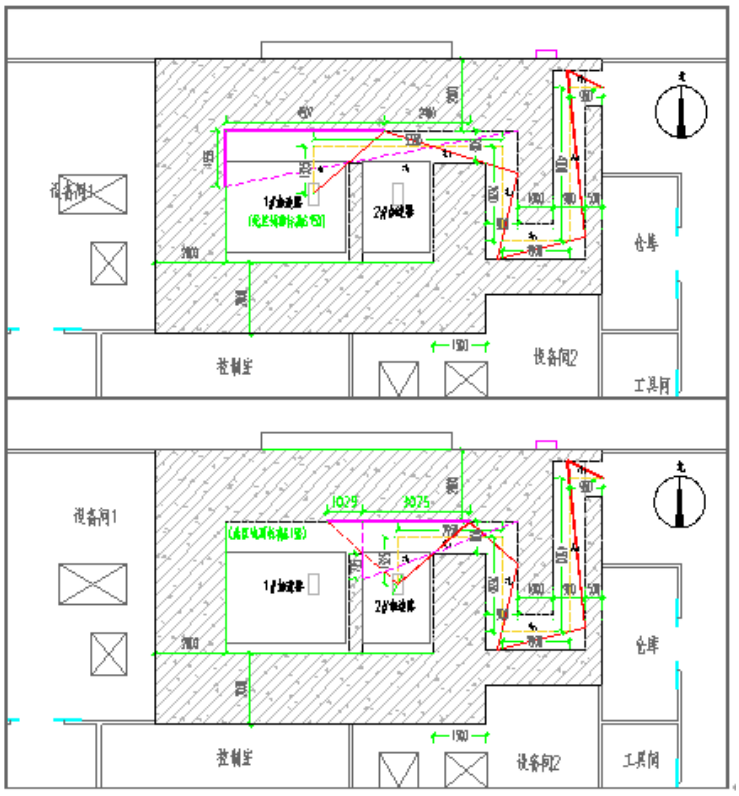


图 11-4 主机室散射路径示意图

表 11-6 本项目工业电子加速器机房主机室迷道散射计算参数及结果一览表

关注点	加速器	散射次数	散射路径 $d_1,d_{r1},d_{r2}\cdots d_{rj}$ (m)	散射面积 $A_1,A_2\cdots A_j$ (m^2)	辐射剂量率 ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)
主机室迷道入口处 2D 点	1#加速器				0.242
	2#加速器				

本项目工业电子加速器机房主机室迷道口处需考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口处最终的辐射剂量率估算结果见表 11-7。

表 11-7 工业电子加速器机房辐照室迷道口处辐射剂量率计算结果

位置	直射剂量率（μSv/h）	散射剂量率（μSv/h）	迷道口外剂量率（μSv/h）
主机室迷道入口处 2D 点			0.245

根据上表可知，本项目正常运行时，其二层主机室迷道口处的辐射剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 的要求。

（三）天空反散射的辐射影响分析

加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。本项目辐照加速器机房周围临近无高层建筑，无需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对周围环境的辐射影响。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A.3.2.1，在现有屏蔽条件下，天空反散射造成的 X 射线周围剂量当量率为：

$$H = \frac{2.5\times10^{-2}\left(B_{XS}D_{10}\Omega^{1.3}\right)}{(d_i d_s)^2}$$……公式 11-7

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

B_{xs}—X 射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω—由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角（Sr）；

d_i—在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m）；

d_s—X 射线源至 P 点的距离（m）。

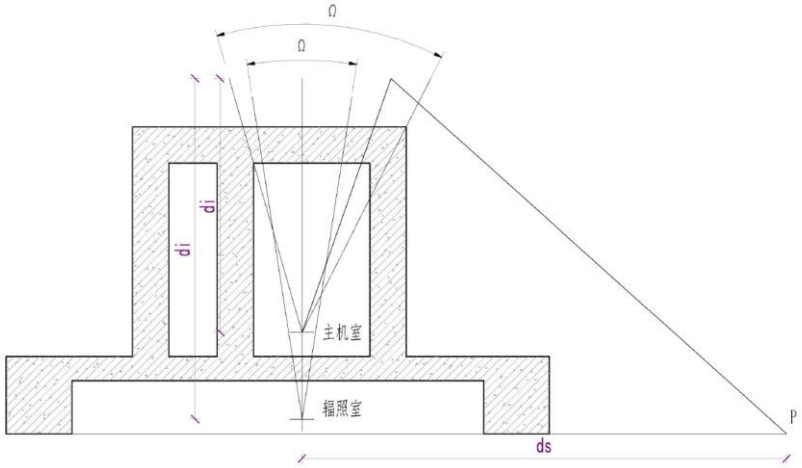


图 11-6 屋顶立角示意图

对于天空反散射，综合考虑辐照室和主机室辐射对参考点的剂量贡献，发射率常数保守取 90°方向的发射率常数，具体计算结果见表 11-8。

表 11-8 天空反散射计算结果

楼层	D_{10}（90°）	d_s	S	B_{xs}	Ω	d_i	H（μSv/h）
一层辐照室							2.25E-07
二层主机室							1.56E-11
合计							2.25E-07

本项目周边最近建筑物居留因子保守取 1，则 P 点最大允许周围剂量当量率为 H_M=0.1mSv/（4000h×1）=2.50E-02μSv/h。根据以上计算结果可知，1 台加速器运行时由于天空反散射引起地面剂量率水平为 2.25E-07μSv/h，2 台加速器同时运行时保守按单台的 2 倍估算，则天空反散射引起地面剂量率水平为 4.50E-07μSv/h，满足上述 P 点最大允许周围剂量当量率。

（四）结果汇总

根据上述计算结果，工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率见表 11-9。

表 11-9 工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率计算结果

关注点位置		辐射剂量率（μSv/h）	限值要求（μSv/h）	是否满足
辐照室	A_1 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，传送带	0.058	2.5	满足
	A_2 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，传送带	1.69E-04	2.5	满足
	A_1'点：南侧屏蔽体外上货区	0.030	2.5	满足
	A_2'点：南侧屏蔽体外上/卸货区	0.056	2.5	满足
	B 点：西南侧迷道口外 30cm 处，上货区	1.45E-04	2.5	满足
	C 点：西侧屏蔽体外 30cm 处，厂房通道	0.167	2.5	满足
	D_1 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备区	1.118	2.5	满足
	D_2 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备区	0.146	2.5	满足
	D_3 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备区	0.134	2.5	满足
	D_1'点：10#车间北侧墙外 30cm 处，设备平台	0.371	2.5	满足
	D_2'点：10#车间北侧墙外 30cm 处，设备平台	0.074	2.5	满足
	D_3'点：10#车间北侧墙外 30cm 处，设备平台	0.084	2.5	满足
	D_4'点：10#车间北侧墙外 30cm 处，室外道路	0.266	2.5	满足
主机室	$2A_1$ 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，控制室	0.720	2.5	满足
	$2A_2$ 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 2	0.720	2.5	满足
	2B 点：西侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 1	0.302	2.5	满足
	$2C_1$ 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备平台	0.276	2.5	满足
	$2C_2$ 点：北侧屏蔽体外 30cm 处，设备平台	0.276	2.5	满足
	2D 点：东侧迷道口外 30cm 处，平台通道	0.245	2.5	满足
	2E 点：东侧屏蔽体外 30cm 处，仓库	1.07E-06	2.5	满足
	2F 点：东侧屏蔽体外 30cm 处，仓库	1.07E-06	2.5	满足
	2G 点：南侧屏蔽体外 30cm 处，设备间 2	0.720	2.5	满足

注：1.辐照室及主机室迷道入口处门外剂量率均未考虑迷道门屏蔽；

2.机房顶部无行车且无人员居留。

由表 11-9 可知，在现有屏蔽设计情况下，本项目工业电子加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率均能满足《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 2.5μSv/h”的剂量限值要求（机房顶部人员不可达）。

（六）电缆沟及排风管道屏蔽效果分析

本项目穿墙管线采用“U”形或斜型穿过屏蔽墙体，排风管预埋于地下，其中连通一层的电缆穿墙处位于辐照室迷道顶棚，辐照室 X 射线散射线要到达该孔洞处需要经过多次散射（至少三次），射线经几次散射后线缆进出口处辐射剂量在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

三、辐射工作人员及保护目标有效剂量计算

（一）辐射工作人员及公众所受年有效剂量分析

辐射工作人员和公众人员受到的 X 射线产生的外照射人均年有效剂量按公式 11-8 进行计算。

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

式中：H_c—关注点的年剂量水平，μSv/a；

$\dot{H}_{c,d}$—关注点处剂量率，μSv/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。

本项目建成投运后，假设电子加速器每天 16 小时持续运行，年运行时间按照 250 天计，则本项目工业电子加速器运行时间为 4000h。本项目辐射工作人员和装卸工作人员计划分为 3 组实施轮岗制且平均分配工作时间，每组 2 名辐射工作人员，则单名辐射工作人员和装卸工作人员年受照时间约 1333.33h。对于公众人员，工业电子加速器运行期间禁止接近监督区，车间内公众年受照时间保守同工作人员（1333.33h）。

将表 11-9 中工业电子加速器机房外各典型关注点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8 计算结果见表 11-10。

表 11-10　工业电子加速器机房周围人员年有效剂量

关注点位置		辐射剂量率（μSv/h）	居留因子	时间（h）	年有效剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）
辐照室	A_1 点：南侧传送带				0.077	0.1
	A_2 点：南侧传送带				2.25E-04	0.1
	A_1'点：南侧上货区				0.040	0.1
	A_2'点：南侧上/卸货区				0.075	0.1
	B 点：西南侧迷道口				1.21E-05	5
	C 点：西侧厂房通道				0.014	0.1
	D_1 点：北侧设备区				0.093	5
	D_2 点：北侧设备区				0.012	5
	D_3 点：北侧设备区				0.011	5
	D_1'：北侧设备平台				0.046	0.1
	D_2'：北侧设备平台				0.009	0.1
	D_3'：北侧设备平台				0.011	0.1
	D_4'：北侧室外道路				0.067	0.1
主机室	$2A_1$ 点：南侧控制室				0.960	5
	$2A_2$ 点：南侧设备间 2				0.960	5
	2B 点：西侧设备间 1				0.403	5
	$2C_1$ 点：北侧设备平台				0.368	5
	$2C_2$ 点：北侧设备平台				0.368	5
	2D 点：东侧迷道口外				0.020	5
	2E 点：东侧仓库				1.43E-06	5
	2F 点：东侧仓库				1.43E-06	5
	2G 点：南侧设备间 2				0.960	5

注：1. 机房顶部无人员居留。

根据上表可知，该项目工业电子加速器机房投入运行后，辐射工作人员所受最大年有效剂量最大为 0.960mSv/a，公司厂区内周围公众年有效剂量最大为 0.077mSv，均满足《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）。

（二）保护目标处公众年有效剂量分析

由于本项目公司厂区内四周环境保护目标距机房墙体相对较远（远大于表面 30cm），故公司厂区内环境保护目标处公众所受的辐射剂量将远小于上述表 11-10 理论计算值，其受年有效剂量同样可以满足本项目剂量约束值要求。

故本项目保守对公司厂区外环境保护目标所受剂量进行理论预测，其年受照时间保守取 4000h/a。公众年有效剂量见表 11-11。

表 11-11 厂房工业电子加速器机房周围保护目标年有效剂量

关注点位置	参照点	与屏蔽体最近距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）	居留因子	时间（h）	年有效剂量（mSv/a）
东南侧四川中铂新材料有限公司	B					1.78E-08
南侧园区室外道路	A_1					1.01E-06
西侧园区室外道路及停车场	C					3.07E-06
北侧园区室外道路	D_4'					0.067
北侧 9#车间厂房部分区域	D_1					2.80E-03
南侧 11#车间厂房部分区域	A_1					8.35E-06

根据上表结果分析知，该项目工业电子加速器机房投入运行后，本项目辐射工作人员所受年有效剂量最大为 0.960mSv；厂区内周围公众所受年有效剂量最大为 0.077mSv；厂区外周围公众所受年有效剂量最大为 0.067mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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）。

四、其他三废影响分析

（一）废气环境影响分析

1、臭氧

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

（1）臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

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

式中：P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I—电子束流强度，mA；本项目存在 2 台加速器同时运行情况，电子束流强度保守取 4mA（2mA×2）；

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=2.5keV/cm 和辐照室尺寸选取，本项目取 100cm；

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：

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

式中：$C（t）$—辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度，mg/m^3；

P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

T_e—对臭氧的有效清除时间，h；

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

式中：T_V—辐照室换气一次所需时间，h；

T_d—臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟。

当长时间辐照时 $T_V<<T_d$，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：

$$C_S=\frac{PT_e}{V}$$ ……公式 11-12

式中：C_S—辐照室内臭氧平衡浓度，mg/m^3；

T_e—对臭氧的有效清除时间，h；

V—辐照室的体积，m^3。

将参数代入以上公式可计算得出工业电子加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度 C_S，其计算结果如下表所示：

表 11-12 本项目工业电子加速器调试机房辐照室内臭氧平衡浓度

参数	工业电子加速器机房辐照室
d（cm）	
I（mA）	
G	
P（mg/h）	
V（m^3）	
排风速率（m^3/h）	
T_e（h）	
C_S（mg/m^3）	

（3）臭氧的排放

由表 11-13 计算结果可知，电子加速器长期正常运行期间，不考虑排风机的排风能力，电子加速器停机时，辐照室内臭氧浓度远高于 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度（0.3mg/m^3）。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：

$$T = -T_e In\frac{C_0}{C_S} \quad \cdots\cdots 公式\ 11\text{-}13$$

式中：C_o—GBZ 2.1 所规定的臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m^3；

T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所须时间，h。

表 11-13 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所须时间

参数	加速器机房辐照室
T_e（h）	
C_0（mg/m^3）	
C_S（mg/m^3）	
T（min）	

由公式 11-13 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，辐照室内排风机以通风速率不低于 12000m^3/h 继续工作，通过约 5.2min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m^3）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，电子加速器停机后必须继续排风约 6min 后，辐射工作人员方可进入辐照室。本项目拟设置的排风口距地面 13m，排风口高度均高于四周建筑物，综上所述本项目臭氧经自然分解对周边环境影响较小。

2、氮氧化物

根据工程分析可知，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，根据估算，辐照室内的氮氧化物能满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ 2.1-2019）的氮氧化物浓度限值（5mg/m^3）要求。而按照臭氧设计要求在停机约 6min 后，辐照室内的氮氧化物浓度将更小，氮氧化物产生和排放对工作场所大气环境的影响很小。

综上所述，本项目运行时所产生的有害气体不会对公众人员造成影响，对周边环境空气影响很小。

（二）废水、固体废物和噪声等环境影响分析

1、废水环境影响分析

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托园区已有的污水处理设施处理后纳入市政污水管网并进入污水处理厂处理。

2、噪声影响分析

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的

风机为低噪声节能排风机，采取基础减震等措施，且本项目属于规划的工业用地，并经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类区标准限值的要求。

3、固体废物环境影响分析

本项目营运期间，产生的固体废物主要为生活垃圾和不合格产品。生活垃圾依托园区已有的生活垃圾处理设施处理，运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，作为一般固体废物处理，对周围环境影响较小。

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见下表。

表 11-14 辐射事故等级划分表

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017），急性放射病发生参考剂量见下表。

表 11-15 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值（Gy）
骨髓型急性放射病	轻度	1.0~2.0
	中度	2.0~4.0
	重度	4.0~6.0
	极重度	6.0~10.0
肠型急性放射病	/	10~50
脑型急性放射病	轻度	>50

二、辐射事故识别

（一）可能发生的辐射事故

本项目工业电子加速器属于II类射线装置，工业电子加速器工作时，发出高能电子束，高能电子束轰击各种材料都会产生韧致辐射（X 射线），X 射线为工业电子加速器辐照装置主要辐射源，故工业电子加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线。根据其工作原理分析，考虑可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

1、安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照事故；

2、机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员受误照射；

3、加速器设备出现故障时(如直流高压发生器故障)，可能导致加速器的高压加速管没有断开高压，仍有“暗电流”，导致加速器产生额外的 X 射线，造成误照事故；

（二）事故工况估算

1、事故假设

（1）假定在事故情况下，装置在运行时人员误入或滞留在辐照室内，人员与电子束最近距离为 1m；根据设备参数，辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为 810Gy/h；

（2）由于机房内安装有监控摄像头，可监视其内部环境，且机房内部及操作台均安装有“紧急停机按钮”或 “拉线开关”，当发生误照射事故时，相关人员可立即按下“紧急停机按钮”并至撤离至机房外，触发“紧急停机按钮”或 “拉线开关”后设备将立即停止出束，整个操作过程约 10s~30s，事故的最长处理时间保守取 1min。

2、剂量估算

根据上述假设的情景下，随着时间的推移，最大可能受到的辐射剂量见下表。

表 11-16 不同时间、距离处人员所受有效剂量情况表（Sv）

时间（s） 距离（m）	5	10	20	30	60
1					
1.5					
2					
2.5					
3					

在以上假设事故情景下，人员误入或者滞留在电子加速器电子束侧向 90°方向，人员与电子束最近距离为 1m 处位置停留 30s，可造成人员最大有效剂量为 6.75Sv/次，其所受剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值（职业照射：20mSv）。

由上表估算结果可见，随着事故状态下人员距离辐射源的距离减少和事故持续时间的增加，人员受照剂量将会随之增加，本项目设置有多重辐射安全措施、急停装置和监控装置等，一旦发生事故能够较快发现和响应处置，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定，射线装置失控导致人员受到超年剂量限值的照射时为一般辐射事故，射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾时为较大辐射事故。

三、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定工业电子加速器操作规程和安全规章制度，并严格落实操作规程等制度的“制度上墙”要求（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员须按照操作规程进行操作，并做好个人防护。

2、每月检查安全联锁装置，确保安全联锁装置正常运行；每月对工业电子加速器的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

3、定期对工业电子加速器采取的安全防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

4、加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

5、制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

6、制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

四、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效的采取以下应急措施：

（1）一旦发生人员误照射等辐射事故时，操作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。同时，事故第一发现者应及时向辐射安全事故应急处理小组及上级领导报告。辐射安全事故应急处理小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

（2）对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

（3）迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地生态环境主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

（4）事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化。事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

五、事故综合防范应对措施

建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，建设单位方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

（1）建立安全管理领导小组，组织管理公司的安全工作；

（2）加强人员的辐射安全与防护专业知识的学习，考试（核）合格、持证上岗；

（3）建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施；

（4）定期检查辐照室的辐射屏蔽和各项辐射安全措施的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免人员误入正在工作中的辐照室和可能发生的其它安全事故；

（5）制定事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免辐射安全事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

根据《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，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。

汉速科技（广汉）有限公司目前已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并已文件形式明确相关辐射项目的管理人员及其职责，详见附件 4。

二、辐射工作人员配置和能力分析

汉速科技（广汉）有限公司拟为本项目配备辐射工作人员 7 名（其中包含 1 名辐射安全管理人员），应根据以下要求完善辐射工作人员的管理工作：

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：http：//fushe.mee.gov.cn）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

在辐射工作人员上岗前，应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。建设单位应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

辐射安全管理规章制度

一、辐射安全综合管理要求

本项目建设单位涉及使用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》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函〔2016〕

1400 号）等，建设单位需具备的辐射安全管理要求见表 12-1。

建设单位应对相关资料进行分类归档放置，建议包括以下八大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“培训档案”“辐射应急资料”，存放在建设单位相关办公室。

二、建立主要规章制度

建设单位可根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》等要求制定一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 辐射安全管理制度制定要求

序号	《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求		制定情况
	制度	具体制度要求	
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作	已制定
2	辐射工作场所安全管理规定	根据单位具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是射线装置运行和维修时辐射安全管理	需制定
3	辐射工作设备操作规程	明确辐射工作人员的资质条件要求、装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施。重点是明确操作步骤、操作过程中必须采取的辐射安全措施。	需制定
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	明确设备维护维修计划、维修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，确保设备保持良好的工作状态。	需制定
5	辐射工作人员岗位职责	明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任	需制定
6	射线装置台账管理制度	明确射线装置的名称、型号、种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对设备的说明书建档保存，确定台帐的管理人员和职责，建立台帐的交接制度	需制定
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	监测方案应包含监测因子、监测内容、监测频次及布点方案，参考本章辐射监测方案	需制定
8	监测仪器使用与校验管理制度	/	需制定
9	辐射工作人员培训制度	明确培训对象、内容、周期、方式及考核的办法等内容。及时组织辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，辐射工作人员须通过考核后方可上岗。	需制定
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	在操作工业电子加速器时，操作人员必须佩戴个人剂量计。建设单位应定期将个人剂量计送交有资质的检测部门进行测量，并建立个人剂量档案	需制定
11	辐射事故应急预案	针对工业电子加速器应用可能产生的辐射事故应制订较为完善的事故应急预案或应急措施。	需制定

建设单位系首次开展核技术利用项目，根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400 号）的要求，建设单位应根据使用射线装置的情况，及时修订和完善规章制度，并按照档案管理的要求分类归档放置。

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，《辐射工作场所安全管理要求》 《辐射工作人员岗位职责》 《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。建设单位应对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且根据国家发布的新的相关法律法规内容，结合公司实际情况及时对各项规章制度进行补充完善，使之更能符合实际需要。

三、年度辐射安全评估制度

建设单位应建立年度辐射安全评估制度，应根据《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告格式》的要求，每年根据实际工作情况编制《安全和防护状况年度评估报告》并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

四、核技术利用辐射安全申报系统要求

根据生态环境部信息化管理要求，辐射工作单位办理辐射安全许可证审批环保手续时需在全国核技术利用辐射安全申报系统进行网上申报。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

一、个人剂量监测

1、个人剂量监测管理要求

辐射工作人员均配有个人剂量计，并要求在开展工作期间必须佩戴个人剂量计。建设单位应按每季度 1 次（一年 4 次）的频率组织辐射工作人员进行个人剂量检测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）及《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号）等要求，建立辐射工作人员个人剂量档案，

将监测结果记录到个人剂量档案中。

个人剂量监测工作应当由具备资质的个人剂量监测技术服务机构承担。

（1）当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

（3）辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案保存终生。

2、个人剂量监测现状

汉速科技（广汉）有限公司系首次开展核技术利用项目，故暂未开展辐射工作人员个人剂量监测工作。

待本项目建成后，汉速科技（广汉）有限公司目应按照相关标准要求组织辐射工作人员进行个人剂量监测并建立辐射工作人员个人剂量档案，将监测结果记录到个人剂量档案中。辐射工作人员剂量监测数据及安全评估应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

二、工作场所监测

建设单位应委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”。

1、年度监测

汉速科技（广汉）有限公司系首次开展核技术利用项目，故暂未开展辐射工作场所的剂量监测工作。

待本项目建成后，公司应按照相关标准要求进行验收检测；投入使用后，公司应委托有监测资质单位每年对工作场所至少监测 1 次，年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

2、自我监测

建设单位应定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为 1~2 次/年。

3、监测内容和要求

（1）监测内容：X-γ 辐射剂量率。

（2）监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 工作场所监测计划建议

场所或设备	监测内容	监测布点位置
工业电子加速器机房	X-γ 辐射剂量率	①通过巡测发现的辐射水平异常高的位置，并进行重点监测； ②加速器机房（辐照室及主机室）屏蔽体外 30cm 处，距离地面 1m 处进行监测； ③加速器机房（辐照室及主机室）迷道门外及门缝四周 30cm 处； ④控制室，线缆穿墙孔外侧、传送带轨道外侧、通风管道外侧。

（3）监测范围：控制区和监督区域及周围环境

（4）监测频次：每年 1~2 次

（5）监测质量保证

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测单位的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②公司应安排专人负责自行监测任务；

③采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

④制定辐射环境监测管理制度。

此外，建设单位需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

五、年度监测报告情况

汉速科技（广汉）有限公司尚未开展过核技术利用项目，故暂未开展辐射工作场所的剂量监测工作。待本项目建成后，应按照相关标准要求委托有监测资质单位对工

作场所至少每年监测 1 次，年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

装置的维护与维修

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视（检查）工业电子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

建设单位须建立与项目有关运行及维修维护记录制度。本项目工业电子加速器由建设单位汉速科技（广汉）有限公司负责运行使用，设备维修由生产厂家负责。

辐射事故应急

一、事故应急预案内容

为了应对生产运行中的事故和突发事件，建设单位拟制订辐射事故应急预案，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，待项目建设完成后建设单位应制定并完善辐射事故应急方案，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。

二、应急措施

若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现射线装置被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生健康部门报告。

（2）发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，立即撤出调试机房，关闭调试机房防护门，同时向公司主管领导报告。

（3）公司根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

（4）事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

（5）最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、其他要求

（1）辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

（2）在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：汉速科技（广汉）有限公司新建工业电子加速器使用项目

项目性质：新建

建设单位：汉速科技（广汉）有限公司

建设地点：四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号

建设内容与规模：

汉速科技（广汉）有限公司租赁位于四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号远景诚 •科创产业园内 10#车间，拟在该厂房一层北部新建 1 座工业电子加速器机房，并拟于该工业电子加速器机房内新增使用 2 台立式结构工业电子加速器开展辐照加工。

本次拟新增使用的 2 台工业电子加速器型号均为 DZ-10/20 型，为立式结构，属于II类射线装置，其最大电子能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，功率为 20kW，该型工业电子加速器为单束机头，电子束照射方向为竖直向下。根据建设单位初步规划，单台工业电子加速器每天出束时间约 16h，年工作 250 天，则单台设备年最大出束时间约为 4000h，两台加速器辐照装置可同时出束运行。

二、项目产业政策符合性结论

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目辐照加工过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。因此，本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和当前产业政策。

三、实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才

是正当性的。

本项目的开展，在给企业带来利益同时，对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值，在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求。

四、项目选址合理性结论

汉速科技（广汉）有限公司租赁位于四川省德阳市广汉三亚路三段 1 号的远景诚·科创产业园内 10#车间厂房，该厂房用地性质为工业用地，从周边外环境关系可知，公司周边主要为科创产业园内其他企业厂房，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。

本次拟建的工业电子加速器机房位于 10#车间厂房北部，其东侧 50m 范围内依次为成品堆放区等 10#车间厂房区域；南侧 50m 范围内依次为上货区、卸货区、10#车间厂房区域（含东南侧为四川中铂新材料有限公司部分区域）、园区室外道路及 11#车间厂房部分区域；西侧 50m 范围内依次为待检区、预留办公区等 10#车间厂房区域、园区室外道路及停车场；北侧 50m 范围内依次为设备区、设备平台、园区室外道路及 9#车间厂房部分区域，正上方无建筑，下方为土层。本项目 50m 评价范围内无居民区、无学校等其他环境敏感点。

本项目仅为 10#车间厂房内部建设，且拟建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽防护及采取相应的治理措施后对辐射工作人员及公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值要求和本报告表的剂量约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目工业电子加速器机房拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率监测值与德阳市天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

六、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量较小，施工时间短，但随着施工结束后影响即可消除。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

（2）水环境影响分析

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托园区已有的污水处理设施处理后纳入市政污水管网并进入污水处理厂处理。

（3）固体废物影响分析

本项目营运期间，产生的固体废物主要为生活垃圾和不合格产品。工作人员产生的生活垃圾经收集后，统一交由当地环卫部门处理；运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，作为一般固体废物处理，对周围环境影响很小。

（4）噪声

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减震等措施，且本项目属于规划的工业用地，并经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3 类区标准限值的要求。

（5）大气环境影响分析

开机出束期间产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧和氮氧化物。臭氧和氮氧化物经排风系统抽取后排放，对周围大气环境影响轻微。

3、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故或较大辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，汉速科技（广汉）有限公司须按相关规定制定《辐射事故应急预案》后能够有效控制并消除事故影响。

七、射线装置使用与安全管理的综合能力

汉速科技（广汉）有限公司拟配置专业的辐射工作人员及辐射安全管理人员，拟建立完善的辐射安全管理机构，有符合国家环境保护标准和安全防护要求的场所、设施和设备；拟建立完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》等要求制定《辐射安全管理规定》及《辐

射工作设备操作规程》等相关管理制度后，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对射线装置的使用和安全管理能力。

八、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量约束值。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度。

2、公司应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：http://fushe.mee.gov.cn）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得辐射安全培训合格证，今后培训时间超过 5 年的辐射工作人员，需进行再培训，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：http://fushe.mee.gov.cn）。

3、公司应于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并上传。

4、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

5、公司须重视控制区和监督区的管理。

6、公司今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址 http://rr.mee.gov.cn），对相关信息进行修改。

7、本次环评射线装置工作场所，日后如有重大变化，应另作环境影响评价。

8、根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》以及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023），建设单位应当按照办法规定的程序

和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用。

“三同时”验收一览表

项目	“三同时”措施	预期效果
辐射安全管理机构		
辐射安全和防护措施		
人员配备		
监测仪器和防护用品		
辐射安全管理制度		