

核技术利用建设项目

厦门市聚核智能制造有限公司
2 台电子直线加速器项目

环境影响报告表

(公示稿)

厦门市聚核智能制造有限公司 (盖章)

2025 年 2 月

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	10
表 3 非密封放射性物质.....	10
表 4 射线装置.....	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据.....	13
表 7 保护目标与评价标准.....	15
表 8 环境质量和辐射现状.....	22
表 9 项目工程分析与源项.....	25
表 10 辐射安全与防护.....	30
表 11 环境影响分析	43
表 12 辐射安全管理.....	46
表 13 结论与建议.....	61
表 14 审批.....	63

表 1 项目基本情况

建设项目名称	厦门市聚核智能制造有限公司 2 台电子直线加速器项目				
建设单位	厦门市聚核智能制造有限公司				
法人代表	**	联系人	**	联系电话	**
注册地址	福建省厦门市翔安区民安街道洪溪仑头南里 56 号 201 室				
项目建设地址	福建省厦门市翔安区民安大道与新垵西路交叉口东北侧 X2024G02-G 地块				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	**	项目环保投资 (万元)	**	投资比例 (环保投资/总投资)	**%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	**
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
项目概况					
1.1 建设单位基本情况					
厦门市聚核智能制造有限公司成立于 2022 年 12 月 5 日，主营业务为对周边地区各类医疗机构提供硬器械、软器械、医用织物的消毒服务。					
厦门市聚核智能制造有限公司目前未开展核技术利用项目工作，尚未取得辐射安全许可证。					
1.2 项目建设内容					
厦门市聚核智能制造有限公司拟在厦门市翔安区民安大道与新垵西路交叉口东北侧 X2024G02-G 地块建设“厦门市聚核智能制造科技园”，厦门市聚核智能制造科技园总用地面积 23347.53 m ² ，建筑物包括 1#~4#四栋厂房、两个门卫。					

厦门市聚核智能制造有限公司拟在 3#厂房东侧建设“2 台电子直线加速器项目”（本评价项目），3#厂房占地面积 3893.46 m²，拟设 2 座加速器机房及其配套控制室、机柜室、水冷室、品检室、前室、通道、待辐照区、已辐照区等，并拟配置 2 台 DZ-10/20 型电子直线加速器（II 类射线装置，其最大电子束能量、最大电子束流强与最大功率均分别为 10MeV、2mA 与 20kW），为医疗机构提供硬器械、软器械、医用织物的辐照消毒服务。项目设备参数见表 1.1。

表 1.1 设备参数

名称	类别	数量 (台)	电子束最大能 量 (MeV)	最大束流强 度 (mA)	电子束最大 功率 (kW)	工作场所
DZ-10/20 型 电子直线加 速器	II 类	1	10	2	20	3 号厂房加 速器机房 1
DZ-10/20 型 电子直线加 速器	II 类	1	10	2	20	3 号厂房加 速器机房 2

1.3 任务由来

根据《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》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《国务院关于修改部分行政法规的决定》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《建设项目环境影响评价分类管理名录》等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，为切实做好该项目的环境保护工作，厦门市聚核智能制造有限公司委托福建省环安检测评价有限公司对拟建项目进行环境影响评价（见附件 1）。本次环评主要针对厦门市聚核智能制造有限公司 2 台电子直线加速器项目进行环境影响评价。

根据《关于发布射线装置分类办法的公告》《建设项目环境影响评价分类管理名录》等有关规定和厦门市聚核智能制造有限公司提供的资料，项目应编制环境影响报告表。

1.4 项目地理位置及周围环境

厦门市聚核智能制造有限公司位于福建省厦门市翔安区民安大道与新垵西路交叉口东北侧 X2024G02-G 地块，北侧、西侧为道路和空地，西北侧约 127m 处为莲塘村，南侧为空地和池塘，东侧为空置厂房（原为物流园）。

厦门市聚核智能制造有限公司拟建建筑物包括 1#~4#四栋厂房、两个门卫，自北向南依次为 1#厂房、2#厂房、3#厂房、4#厂房。3#厂房为地下一层、地上六层建筑，项目 2 台 DZ-10/20 型电子直线加速器机房位于 3#厂房东侧地下一层和一层。

加速器机房北侧为公司内道路、2#厂房，西侧为 3#厂房内待辐照区，南侧为公司内道路，东侧为公司内道路、4#厂房，上方为仓库，下方为土层。

表 1.2 项目周围场所一览表

名称	位置	北侧	西侧	南侧	东侧	上方	下方
厦门市聚核智能制造有限公司	福建省厦门市翔安区民安大道与新垵西路交叉口东北侧 X2024G02-G 地块	道路和空地	道路和空地	空地和池塘	空置厂房（原为物流园）	/	/
加速器机房	3#厂房东侧，辐照室位于地下一层，主机室位于一层	公司内道路、2#厂房	待辐照区	公司内道路	公司内道路、4#厂房	仓库	土层

项目位置及周围环境现状见图 1.1~图 1.6。

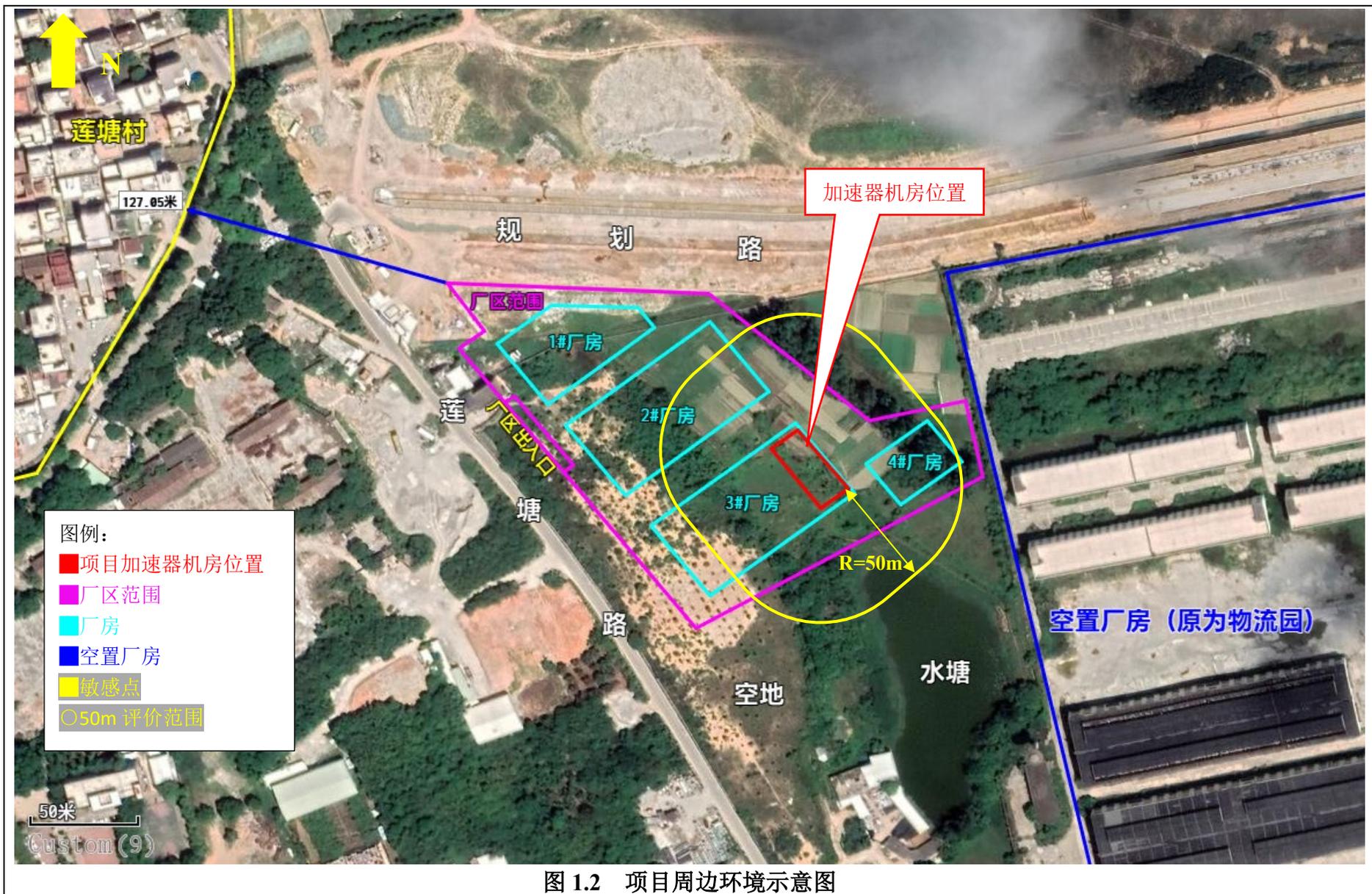
1.5 产业政策符合性分析

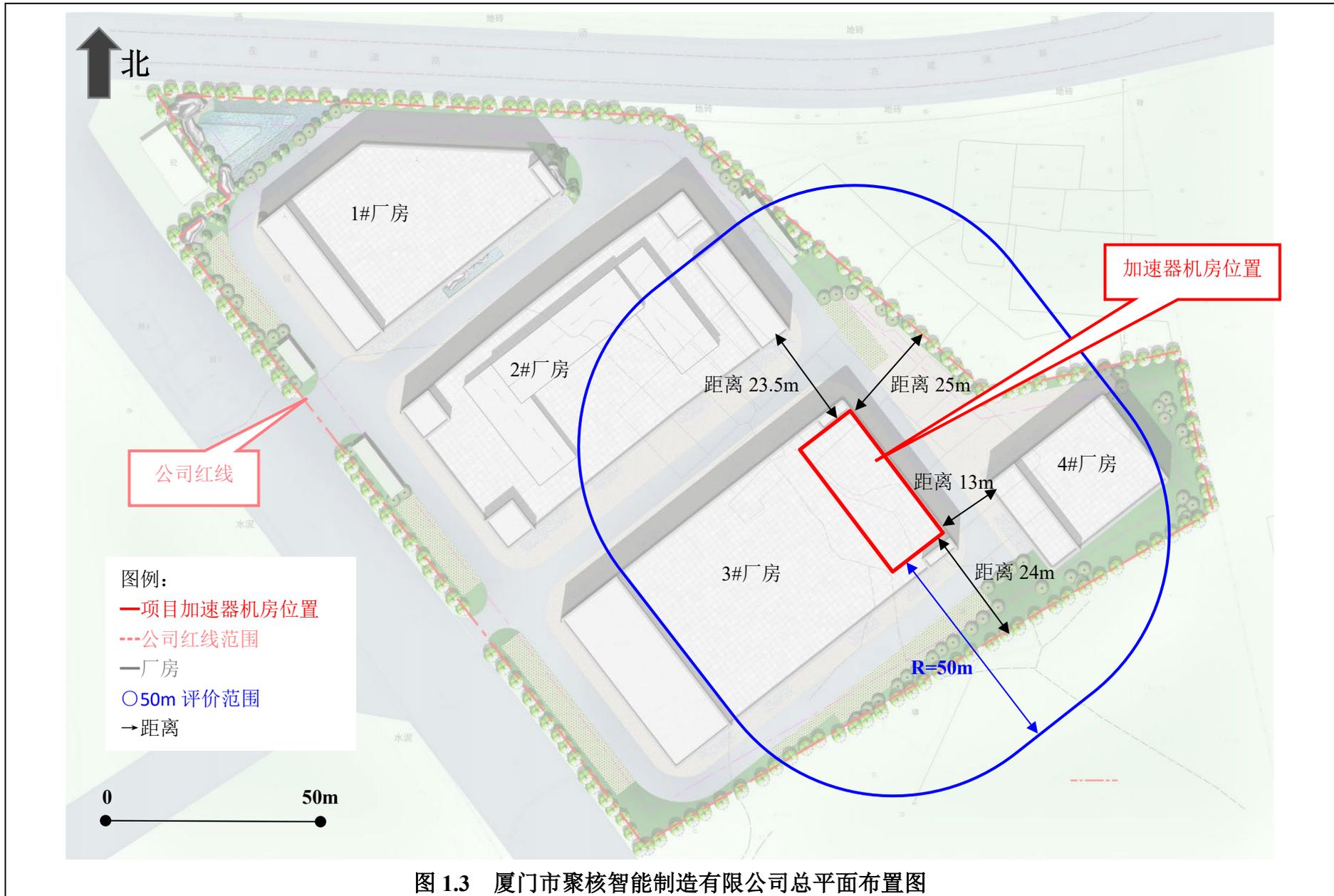
对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“鼓励类”的“六、核能”中“4.核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”，项目建设符合国家现行产业政策。

1.6 实践的正当性分析

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可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。

项目的建设和运行可为企业周边提供辐照消毒供应服务，具有良好的社会效益和经济效益。根据报告分析，项目经辐射防护和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。项目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，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。





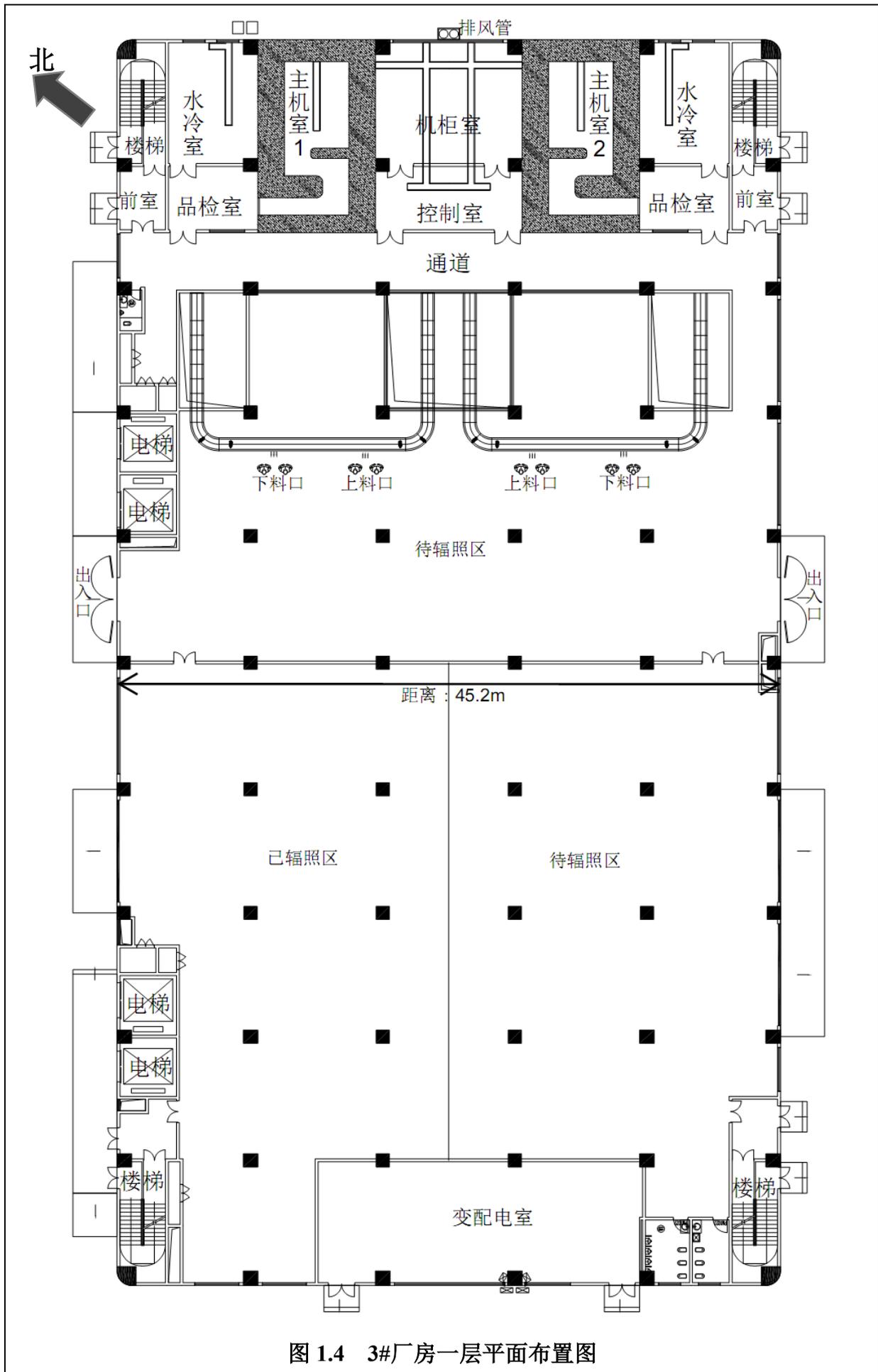


图 1.4 3#厂房一层平面布置图

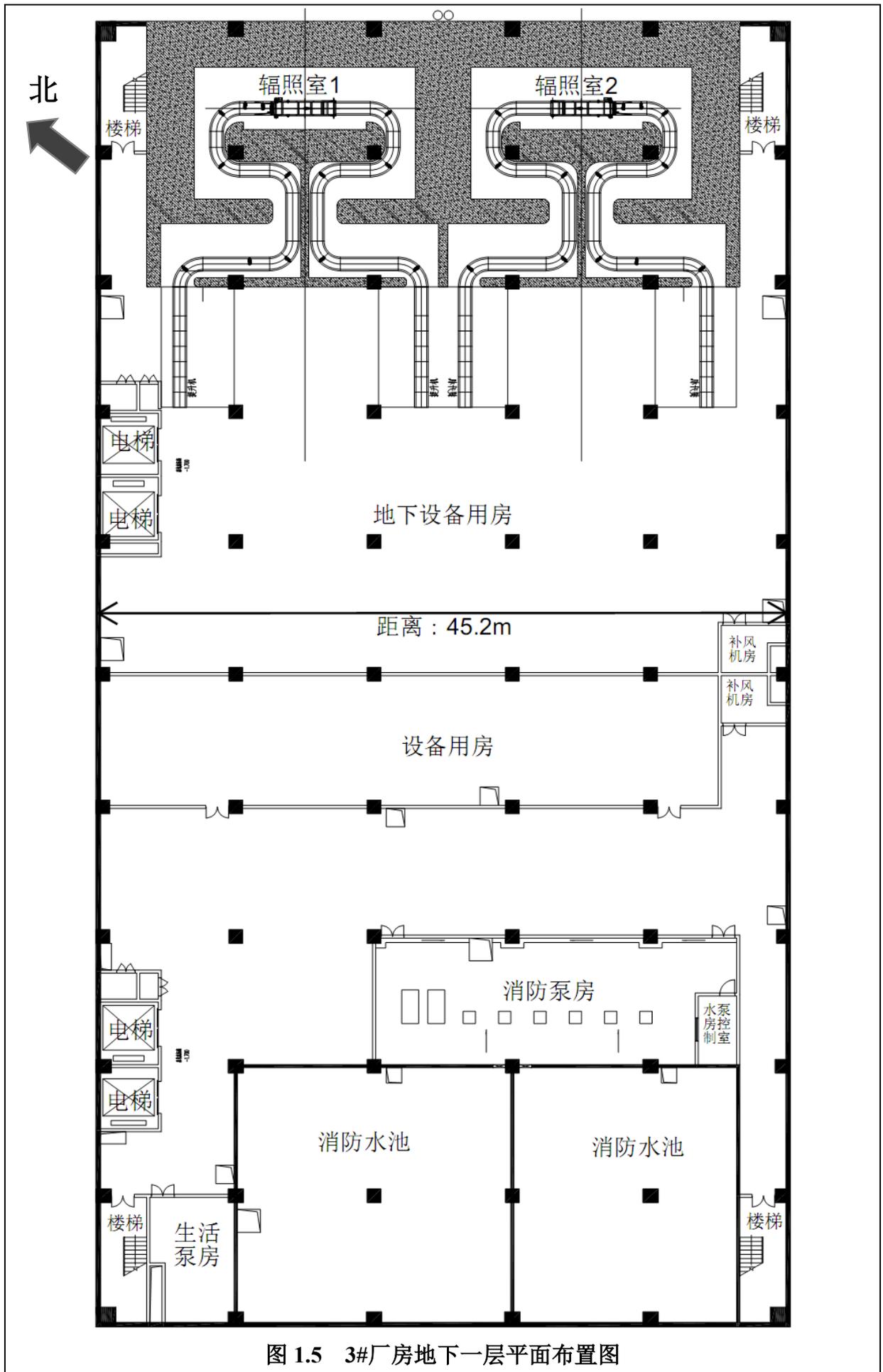




图 1.6 项目及周边环境现状

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活种动类	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	活种动类	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：等效操作量和操作方式见国家标准《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	电子直线加速器	II类	1台	DZ-10/20	电子	10	最大束流强度 2mA	工业辐照	3号厂房加速器机房1	电子束 最大功率 20kW
2	电子直线加速器	II类	1台	DZ-10/20	电子	10	最大束流强度 2mA	工业辐照	3号厂房加速器机房2	电子束 最大功率 20kW

(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	/	/	少量	少量	/	通过排气系统排入大气	经过稀释后，对大气环境基本没有影响
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m³；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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014年修订），2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修订），2018年12月29日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修订），2019年3月2日起实施；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订），2017年10月1日起实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修订），2021年1月4日起实施；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），2021年1月1日起实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011年5月1日起实施；</p> <p>(9) 《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》，国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145号文；</p> <p>(10) 关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号公告，2017年12月6日起实施；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，2019年11月1日起施行；</p> <p>(12) 《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》，2019年11月1日起施行；</p> <p>(13) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，2019年10月25日生成；</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日起施行；</p> <p>(15) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，2024年2月1日起施行；</p> <p>(16) 福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲》（试行）的通知（闽环保辐射〔2013〕10号）。</p>
------	--

<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)；</p> <p>(7) 《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)；</p> <p>(8) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T25306-2010)。</p>
<p style="text-align: center;">其 它</p>	<p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 厦门市聚核智能制造有限公司提供的与本项目相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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）的相关规定，“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 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”，考虑项目的实际情况，本项目射线装置属于 II 类，且装置外有实体边界，因此评价范围为加速器机房边界外 50m 范围。

7.2 保护目标

项目加速器机房 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，评价范围内保护目标主要是辐射工作人员、其他工作人员及周边公众人员。

项目周围环境及主要环境保护目标见表 7.1。

表 7.1 项目周边环境及保护目标

保护目标	保护目标位置描述	方位	最近距离	规模	剂量约束值
辐射工作人员	控制室等辅助房间、加速器机房旁楼梯	辐照室上方，主机室北侧、南侧	紧邻	6 人	5mSv/a
公众	品检室	辐照室上方，主机室两侧北侧、南侧	紧邻	10 人	0.1mSv/a
	公司内道路	北侧	3.3m	流动人员	
	2#厂房	北侧	23.5m	50 人	
	3#厂房内上料口、下料口、待辐照区、已辐照区等	西侧	15m	12 人	
	公司内道路	南侧	3.3m	流动人员	
	公司外空地	南侧	20m	流动人员	
	4#厂房	东侧	13m	50 人	
	公司外空地	东侧	24m	流动人员	
	二层仓库	加速器机房上方	紧邻	流动人员	
	三层仓库	加速器机房上方	5.8m	流动人员	

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

（1）剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值见表 7.2。

表 7.2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
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（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，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%的范围之内。

（2）辐射管理分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.2 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

本标准规定了电子加速器（电子束和 X 射线）辐照装置的辐射安全和防护原则，包括剂量控制、辐射工作场所的划分、辐射屏蔽、安全设计、日常检修（管理）及记录等要求。

本标准适用于辐射加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。自屏蔽辐照装置不适用于本标准。

4 一般要求

4.1 辐射安全要求

4.1.2 辐射工作场所的分区

按照 GB 18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；

监督区，如设备操作室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

4.1.3 在控制区出入口处和其它必要的地方，应设立醒目的、符合 GB18871 规定的警告标志。

4.2 辐射防护要求

(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 GB18871 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达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

本标准适用的能量不高于 10MeV 的电子束和能量不高于 5MeV 的 X 射线，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

5.1 屏蔽设计原则

电子加速器辐照装置在屏蔽设计时，不仅要考虑最大束流功率时的屏蔽要求，在能量和束流强度可调情况下，还要考虑在最大能量和/或最大束流强度组合下的屏蔽差异。

5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括：辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1 联锁要求

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

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

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

6.2 安全设施

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

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

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

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

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

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

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

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的值时，主机室和辐照室门无法打开。

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭等有害气体浓度低于允许值。

(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

6.3 其他要求

6.3.1 电气系统

(1) 必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。

(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。

(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。

(4) 凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。

6.3.2 给水系统

(1) 应根据加速器装置总用水要求，提供有一定裕量的水流量和水压。

(2) 根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。

6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ 2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录 B。

(3) 辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。

(4) 排风口的高度应根据 GB3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。

6.3.4 防火系统

辐照室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

7 日常检修（管理）及记录

7.1.1 日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应至少包括下列内容：

(1) 工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；

(2) 辐照装置安全联锁控制显示状况；

(3) 个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况。

7.1.2 月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序应每月定期进行检查，发现异常情况时必须及时修复或改正。月检查项目至少应包括：

(1) 辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；

(2) 控制台及其他所有紧急停止按钮；

- (3) 通风系统的有效性;
- (4) 验证安全连锁功能的有效性;
- (5) 烟雾报警器功能正常。

7.1.3 半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每 6 个月定期进行检查,发现异常情况时必须及时采取改正措施。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。

7.2 记录

辐照装置营运单位必须建立严格的运行及维修维护记录制度,运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录,记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项一般不少于下列内容:

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

7.3.3 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)

8.1.3 辐射防护安全要求:

- 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 GB 18871-2002 和 GB 5172-1985 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 5mSv ;公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv 。
- d) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全连锁系统和监控、紧急停机开关等装置。
- 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) 按照 GBZ 2.2-2007, 有害气体职业接触限值如下: 臭氧最高容许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.3.4 《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)

5.1.4 II、IV类 γ 射线辐照装置和II类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测

5.1.4.1 空气比释动能率的测量位置如下距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。

5.1.4.2 运行中的定期测量应选定固定的检测点, 它们必须包括: 贮源水井表面、辐照室各入口、出口, 穿过辐照室的通风、管线外口, 各屏蔽墙和屏蔽顶外, 操作室及与辐照室直接相邻的各房间等。

5.1.4.3 测量结果应符合 GB17279 第 5 条(即“对监督区, 在距屏蔽体的可达界面 30cm, 由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 $2.5 \times 10^{-3}\text{mSv}/\text{h}$ ”)。

7.3.5 本项目管理目标

依据辐射评价标准及相关规定, 辐射工作人员的年有效剂量控制取 HJ979-2018 中辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv , 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv , 电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

7.3.6 非放射性污染物评价标准

(1)《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) 臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$, 即工作地点、在一个工作日内、任何时间有毒化学物质均不应超过的浓度。

(2)《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准: O_3 标准为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

项目位于厦门市翔安区民安大道与新垵西路交叉口东北侧 X2024G02-G 地块厦门市聚核智能制造有限公司 3#厂房东侧。现场踏勘时，地块尚未开工建设，为空地。项目位置及周围环境现状见图 1.1~图 1.6。

8.2 环境现状监测

(1) 环境现状评价对象：项目拟建址及周围辐射环境现状。

(2) 监测单位：厦门亿科特检测技术有限公司（CMA：211303100262）。

(3) 监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率。

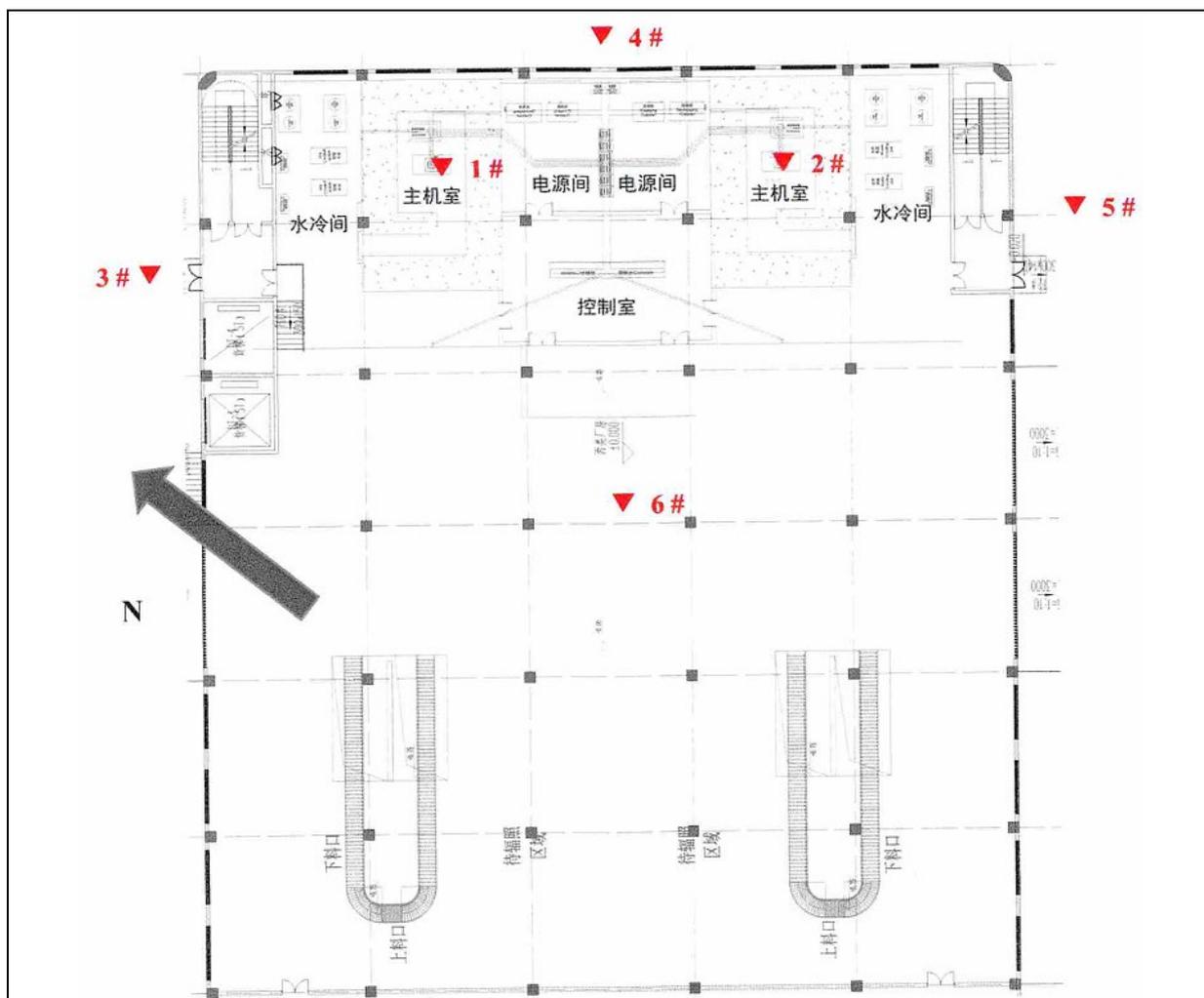
(4) 监测时间：2024 年 11 月 27 日

(5) 监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）“5.3.3.1 应用粒子加速器的辐射环境监测 应用低能电子加速器在运行前对屏蔽墙外 30cm 处的 γ 辐射空气吸收剂量率进行一次监测”和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）有关布点原则进行布点，并结合项目评价范围（加速器机房边界外 50m 范围），在项目设备位置及周围布设点位，调查环境 γ 辐射剂量率，点位布设情况见表 8.1 和图 8.1。

表 8.1 项目 γ 辐射空气吸收剂量率背景水平调查点位及监测结果

编号	监测位置	监测结果 \dot{D} ($\mu\text{Gy/h}$)	标准偏差 ($\mu\text{Gy/h}$)	位置属性
1#	加速器机房 1	**	**	室外
2#	加速器机房 2	**	**	室外
3#	加速器机房北侧	**	**	室外
4#	加速器机房东侧	**	**	室外
5#	加速器机房南侧	**	**	室外
6#	加速器机房西侧	**	**	室外

注：（1）监测时间：2024 年 11 月 27 日，监测环境条件：22.1℃/58.4%RH；（2）监测方式为每个测量点测量十次，取平均值；（3）表中监测数据均已乘以校准因子，校准因子为 1.04（0.657 $\mu\text{Sv/h}$ ），未扣除宇宙射线响应值；（4）天然辐射本底为：0.092~0.119 $\mu\text{Gy/h}$ （已乘以校准因子，校准因子为 1.04（0.657 $\mu\text{Sv/h}$ ））；（5）根据 HJ 1157-2021，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20 Sv/Gy（ ^{137}Cs 作为检定参考辐射源）。



图例：▼ 检测点位

图 8.1 监测点位示意图

(6) 监测仪器参数与规范

监测仪器参数与规范见表 8.2，监测报告见附件 8。

表 8.2 监测仪器参数与规范

仪器设备名称	高灵敏环境级便携式多功能辐射仪
仪器设备型号	6150AD-b
设备编号	XMYKT/JLYQ-0098
生产厂家	AUTOMEES
检定单位	中国辐射防护研究院
检定证书编号	检字第[2024]-L0518
有效期	2024年07月08日至2025年07月07日
测量范围	1nSv/h~99.9μSv/h（探头）0.1μSv/h~1Sv/h（主机）
能量响应范围	20keV~7MeV（探头）45keV~3MeV（主机）
校准因子	1.04（0.657μSv/h）
检测依据	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

8.3 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (5) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。
- (6) 通过国家级计量认证及中国实验室国家认可委员会认可。

8.4 监测结果及分析

监测结果表明，拟建加速器机房及周围监测点位的 γ 辐射剂量率为** $\mu\text{Gy/h}$ ，处于福建省辐射环境本底正常范围（室外（含原野及道路）：0.026~0.399 $\mu\text{Gy/h}$ ，来源于《中国环境天然放射性水平》）。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 电子直线加速器工作原理

辐照灭菌是指利用 γ 射线或能量低于 5MeV 的 X 射线和 10MeV 以下的电子束等电离辐射装置对食品、药品、医疗器械、化妆品等以灭菌为目的的辐射处理。灭菌是指使产品无活微生物的加工。在灭菌加工中，微生物的死亡遵循指数函数的规律，任何单件产品上微生物的存在可用概率表示，该概率可以减少到非常低的数目。辐照灭菌法与化学灭菌法、高压蒸汽灭菌法相比，具有节约能源、污染小、操作安全，可对包装物品和热敏材料进行灭菌，可实现连续自动化生产等优点。电子加速器是使用微波电磁场加速电子的加速器，带电粒子从加速器的真空区被引出后射向辐照室中待辐照产品。

本项目选用的辐照电子加速器的工作原理便是利用电子加速器产生的高能电子束作用于辐照产品，实现灭菌目的。

9.1.2 设备情况

厦门市聚核智能制造有限公司拟新建 2 间加速器机房，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 2 个机房内，2 套传输设备、2 套安全设施（含安全联锁）和 2 套控制系统。可单台加速器工作，也可双台加速器工作，满足不同辐照加工场景需要。

加速器参数见表 9.1。

表 9.1 DZ-10/20 型电子直线加速器设备参数表

项目	参数	项目	参数
型号	DZ-10/20 型	输运线速度偏差	$\leq 2\%$
最大能量 (MeV)	10	束下通过高度	70cm
额定电流 (mA)	2	束流不稳定度	$\leq 5\%$
加速粒子	电子	能量不稳定度	$\leq 5\%$
平均束流强度	0~2mA 连续可调	扫描方向剂量不均匀度	$\leq 5\%$
平均束流功率	0~20kW 连续可调	主机室束流损失率	$\leq 2\%$
束流脉冲宽度	1~15 μ s	主机室束流损失点能量	3MeV
束流重复频率	1~480pps	排风量	12000m ³ /h
扫描宽度	600~900mm	钛窗距离货物传送带高度	70cm
输运线速度	0.5-10m/min 连续可调	主射束方向	向下

9.1.3 工艺简介

项目电子加速器主要由电子枪、加速结构、调制器、功率源、微波传输系统、聚焦

系统、导向系统、偏转系统、真空系统、水冷系统、控制系统等组成。项目工业电子加速器的结构图见图 9.1。加速器在进行辐照时由电子枪发射电子，电子经加速器管加速并经扫描盒扩展成为均匀的有一定宽度的电子束，以对硬器械、软器械、医用织物等进行辐照灭菌保鲜加工服务。

辐照室为钢筋混凝土结构，加速器装置的主要部分安装在 3# 厂房一层主机室内，粒子引出系统位于加速器装置机身正下方，通过一层楼地板伸向地下一层的辐照室。接受辐照的物品通过自动传送系统从入口经迷道进入辐照室，到达粒子引出系统正下方的电子束有用线束范围内进行辐照，之后又经过迷道从辐照室的出口离开辐照室。

辐照加速器需要建设工业辐照专用的辐照室，以屏蔽加速器装置运行时的辐射影响，保证辐照室外工作人员的安全。加速器工作时，设备操作人员位于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，装卸货物的工人位于辐照室外装卸货区。加速器出束时，主机室及辐照室内均无人员停留。

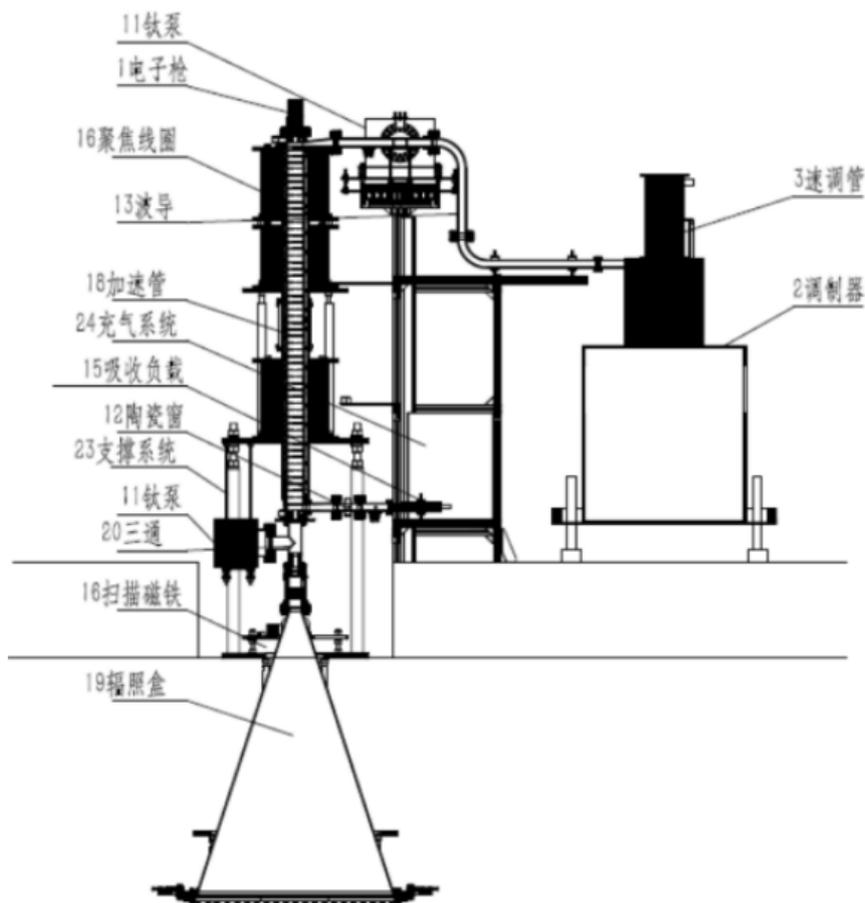


图 9.1 典型电子直线加速器示意图

9.1.4 工作流程

本项目为客户提供多种产品和材料的消毒、灭菌以及改性服务，主要辐照品类包括

9.1.5 工作负荷

本项目初期工作量较小，拟采取单班制，每台加速器年开机辐照时间不超过 2240h；后期工作量增加后，最多采取三班制，每台加速器单班年开机辐照时间不超过 2240h，年总开机辐照时间不超过 6720h。加速器单班拟配备 2 名控制室操作人员（共 6 名操作人员）、6 名上下货及搬运工作人员，单名人员年工作时间不超过 2240h。

辐照加工全程，操作人员在控制室内设置并监控加速器运行参数和运行情况、在机房周围巡视，属于本项目辐射工作人员；而上下货及搬运工作人员仅在链式传送带旁的上料口、下料口工作并从事货物搬运工作，不从事辐射工作，属于本项目公众，加速器运行期间无人进入辐照室和主机室内。

9.2 污染源项描述

9.2.1 辐射污染源分析

本项目拟配备 2 台同型号的电子加速器，电子束最大能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，最大束流功率为 20kW。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（H979-2018）附表 A.1，10MeV 侧向 90° 方向的 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。根据建设单位提供资料（表 9.1），电子加速器在加速过程中的束流损失率为 2%（即电子束流强度为 0.04mA），束流损失点的能量为 3MeV，侧向 90° 方向的 X 射线发射率为 $3.2\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

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，对加速器机房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，会对辐照室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。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），对于能量不高于 10MeV 的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。项目电子加速器输出电子束能量最高为 10MeV，因此无需考虑中子防护。

9.2.2 非辐射污染源分析

(1) 由电子直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物相互作用

用时将产生高能 X 射线，使周围物质电离、激发，与空气作用产生少量臭氧和氮氧化物，通过机房排气系统排入大气，经过稀释后，对大气环境基本没有影响。

(2) 项目工作人员会产生少量的生活污水，生活污水经化粪池处理达标后排入市政污水管网，对周围环境基本没有影响。

项目加速器配备水冷系统，冷却水均为去离子水，存放于单独的密闭水箱中，冷却水循环使用不外排，在调试或维护设备时不会打开水箱，因此，项目不设计放射性废水排放问题。

(3) 项目工作人员会产生少量的生活垃圾，生活垃圾由环卫部门统一清运，对周围环境基本没有影响。

9.2.3 事故工况

项目使用的电子直线加速器属于 II 类射线装置，自带监测连锁功能，持续监测设备周边剂量，当发现剂量超过正常范围时照射无法启动或立刻停止，因此本项目在运行过程中发生误照事故概率很小，可能发生的事故如下：

(1) 由于管理不善或安全连锁失效，在系统出束时，现场工作人员或周围公众成员误入辐射防护区，给上述工作人员或公众成员造成不必要的照射。

(2) 束下装置发生停运、卡顿等故障，辐照产品由于长时间受照引发火灾。

(3) 辐照通道内通风速度或通风时间不够导致加速器停机后，现场维护人员进入臭氧浓度超标的辐照通道造成意外。

(4) 加速器开机工作前未按照要求进行巡检，导致人员误留在辐照室或主机室内，发生人员超剂量照射事故。

(5) 设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，加载高压并出束，可能造成误照事故。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局

项目 2 间加速器机房位于 3# 厂房，为两层混凝土结构，机房一层（位于 3# 厂房地下一层）为辐照室，采用双迷道设计，迷道为“弓”型多折线的方式；机房二层（位于 3# 厂房一层）为主机室，采用“S”型迷道设计，四周包含机柜室、控制室、水冷室、实验室。项目加速器机房顶部为仓库，项目地下为地下一层，下方为土层。

项目加速器工作时，设备操作人员在控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，上下货搬运人员位于 3# 厂房一层的待辐照区域上料口和下料口处，辐照室和主机室内均无人员停留。

2 间辐照室南墙两侧均设置有 2 个货物进出门洞，门洞用于被辐照货物的进出，门洞大部分被链式传送带和被辐照货物占据，人员无法通过门洞进出。

单个货物进出门洞的旁边均设置有一扇维修门进入辐照室，一层品检室设置有一扇维修门进入主机室，正常情况下，人员无需进入辐照室和主机室，维修门主要供加速器停机后检修人员出入对设备进行检修。

综上所述，项目加速器机房布局合理可行。

10.1.2 工作场所分区

为加强核技术应用设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，应对项目划定控制区和监督区进行分区管理。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中关于“辐射工作场所的分区”的要求，电子加速器辐照装置的工作场所控制区包含“如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域”，监督区包含“如设备操作室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域”。

结合定义与现场实际，对项目的控制区和监督区进行划分。

控制区：2 间加速器机房（均含主机室和辐照室及各自出入口以内的区域）。

监督区：2 间加速器机房四周墙体、顶棚和迷道口外 30cm 范围，以及周围的机柜室、控制室、水冷室、品检室。

项目工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的相关要求，项目辐射工作场所分区示意图 10.1、图 10.2。

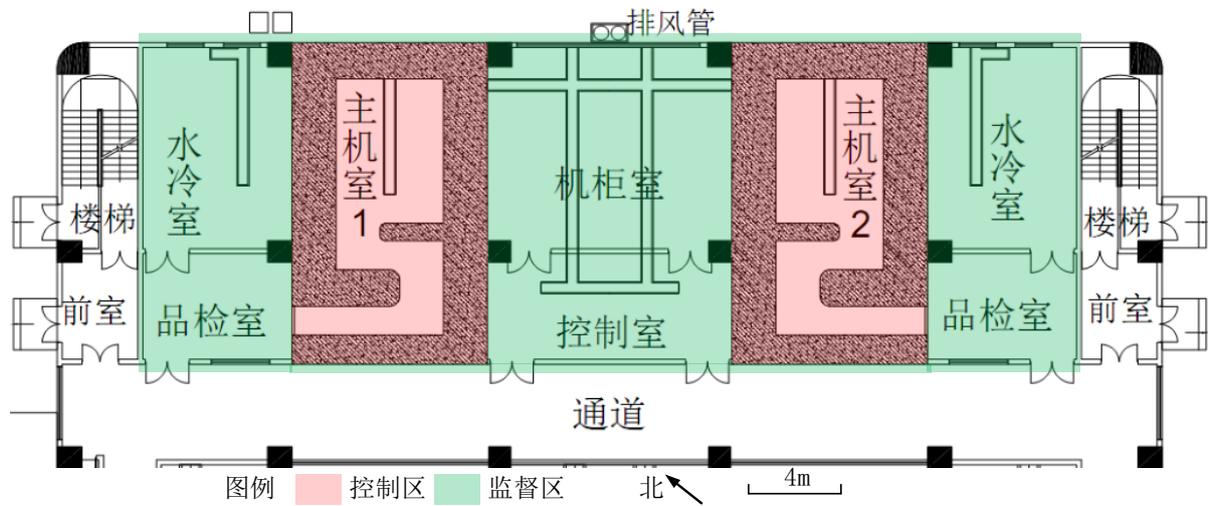


图 10.1 3#厂房一层加速器机房分区情况示意图

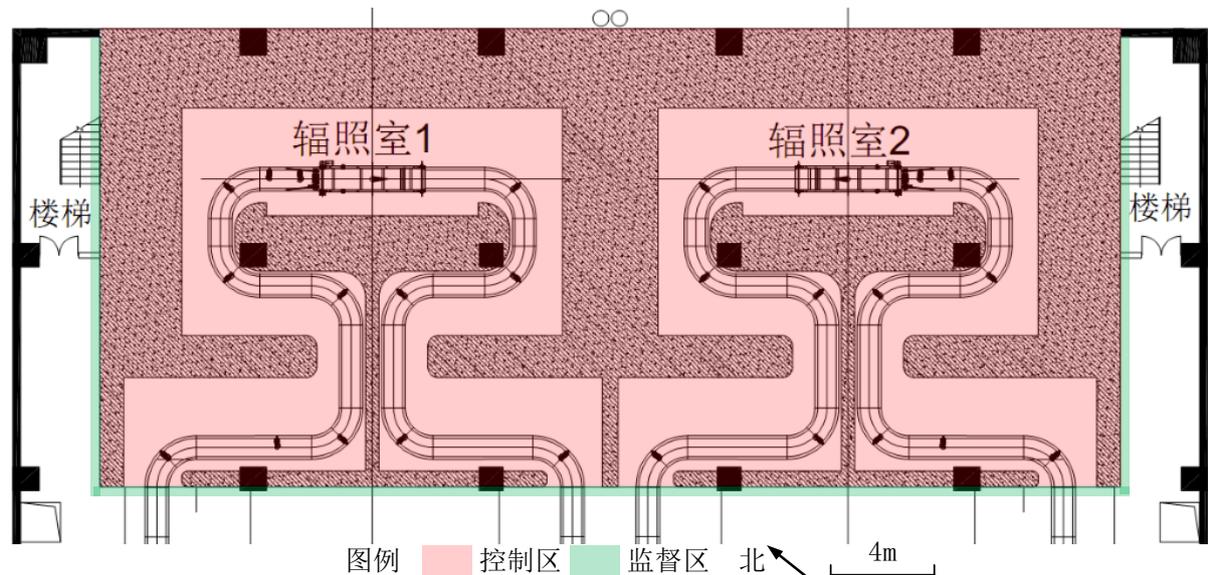


图 10.2 3#厂房地下一层加速器机房分区情况示意图

10.2 工作场所辐射安全和防护

10.2.1 机房结构

根据建设单位提供的资料，项目加速器机房辐射防护方案详见表 10.1。项目单个机房平面及墙体结构示意图 10.3，机房剖面图见图 10.4。

表 10.1 加速器机房屏蔽设计

项目		屏蔽体	屏蔽防护情况
加速器机房 1	主机室 1	北墙	1800mm 混凝土
		南墙	1800mm 混凝土
		西墙	1200mm 混凝土

辐照室 1	东墙	1800mm 混凝土
	迷道墙 1	700mm 混凝土
	迷道墙 2	1500mm 混凝土
	顶棚	2800mm 混凝土
	北墙 1	2800mm 混凝土
	北墙 2	600mm 混凝土
	南墙 1	1800mm 混凝土
	南墙 2	300mm 混凝土
	西墙	2800mm 混凝土
	东墙	1800mm 混凝土
	迷道墙 1	2100mm 混凝土
	迷道墙 2	1600mm 混凝土
	迷道之间隔墙	600mm 混凝土
	顶棚	1500mm 混凝土

注：混凝土密度不低于 2.35t/m³。加速器机房上方二层空置，无人到达。

项目主机室风机（钛膜风机）位于主机室地面，不设置室外排口，通过管道将主机室废气排至辐照室钛窗附近（可同时对钛窗降温）；辐照室内排风口位于钛窗下方的地面，排风管道采用“U”字型穿过墙体（不破坏墙体），管道埋深为 3800mm，管道尺寸为 Φ660mm，单间加速器机房风机排风速率 12000m³/h，排风管道沿东北侧建筑外墙引至厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 38.5m。项目电子加速器辐照装置产生的 X 射线需经过通风管道至少三次散射后才能到达机房外，排风管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

**

图 10.3 一层主机室平面设计图

**

图 10.4 地下一层辐照室平面设计图

**

图 10.5 加速器机房剖面设计图 1

**

图 10.6 加速器机房面设计图 2

**

图 10.7 辐照室排风管道示意图

**

图 10.8 加速器机房排风管道示意图 1

**

图 10.9 加速器机房排风管道示意图 2

10.2.2 项目辐射安全防护措施

为保障项目电子加速器辐照装置的安全运行，避免在项目电子加速器辐照期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，项目机房拟设置如下辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 钥匙控制

项目控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机。加速器的主控钥匙开关和主机室门、辐照室门连锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机。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当班运行值班长使用。

(2) 门机连锁

辐照室和主机室的门与束流控制和加速器高压连锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机且束流装置不能出束。加速器运行中门被打开则加速器自动停机。

门机连锁装置性能可靠，其引发加速器停机时自动切断高压，门机连锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机连锁装置无旁路，维护与维修后恢复原状。

(3) 束下装置连锁

束下传送装置在运行时，会传送电信号给加速器控制系统。当束下传送装置停止运行，电信号消失。加速器控制系统检测到该电信号消失时，则报故障自动停机。

(4) 信号警示装置

在辐照室、主机室出入口和内部多处设置灯光和音响警示装置。在高压出束前发出声光报警，持续打铃 1 分钟，警示主机室和辐照室内人员立即撤出。在辐照室和主机室出入口以及控制台上设计有工作状态指示灯，标识电子加速器工作状态，且带有蜂鸣器，在控制系统收到连锁报警信息时，发出报警信号。

(5) 巡检按钮

辐照室：在辐照室内共设置 8 枚巡检按钮。开机前，操作人员由辐照室入口进入步行至辐照室出口（出口处防护门处于常闭状态），从辐照室出口原路返回辐照室

入口，途中按序按动 8 枚巡检按钮巡查有无人员滞留。

主机室：在主机室内共设置 3 枚巡检按钮。加速器开机前，操作人员进入主机室，由主机室最深处返回迷路入口，按序按动 3 枚巡检按钮巡查有无人员误留巡检按钮与控制台联锁，当所有巡检按钮依次按下后，加速器方可启动。

（6）防人误入装置

辐照室：在辐照室迷道出入口共设置 2 处光电报警装置，每一处光电报警装置均由 3 个不同高度的感应器组成，与加速器的开、停机联锁。当有人员误入辐照室，身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在加速器开机过程中，人员误入辐照室造成误照射。

主机室：在迷道入口设置 1 道光电报警装置，光电报警装置由 3 个不同高度的感应器组成，其工作原理同上。

（7）急停装置

在加速器主控台上设计有 1 处紧急停机开关。辐照室迷道区域及辐照室设有拉线开关。拉线开关和急停按钮组成的紧急停机装置覆盖迷道、辐照室等全部区域。当急停按钮/拉线开关正常时，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，若按下急停按钮或拉拽拉线开关，联锁装置将瞬间切断高压及束流，停止出束。按钮下方贴上“急停”标识和功能说明。

在紧急情况、事故处理完毕后，需将急停按钮/拉线开关本地复位，加速器才能重新启动。主机室和辐照室内拟设置开门装置，以便人员离开主机室和辐照室。

（8）剂量联锁

在辐照室迷道出入口安装 2 台固定式辐射监测仪，在主机室迷道出入口安装 1 台固定式辐射监测仪，显示面板位于主控室内。固定式辐射监测仪与出入口门联锁。当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号，主机室和辐照室门无法打开。

（9）通风联锁

主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，继续通风 10min 后才能开门，以保证室内臭氧及氮氧化物等有害气体浓度低于允许值。

（10）烟雾报警

辐照室设置烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器能立即停机并停止通风。

(11) 警告标志

在辐照室和主机室的门上和周围醒目位置粘贴醒目的、符合 GB18871 规定的“当心电离辐射”警告标志，提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。

(12) 监控系统

在辐照室、主机室、控制室均安装监控摄像头，可全方位覆盖加速器机房内外情况，监控显示屏设置在控制室主控台上，操作人员可通过监控器实时观察加速器机房内外情况。

(13) 冷却水循环系统

项目加速器工作时采用内循环冷却水系统，冷却水循环使用，不外排，损失主要来自于自然蒸发。

(14) 其他安全措施

①机房电线管、冷却水管等管道在穿墙时，采用“Z”型或“L”型或“斜 45 度”等方式，并对管道口进行封堵。

②机房两侧的楼梯入口处设置门锁，只有在设备检修时才打开允许检修人员进入，平时任何非辐射工作人员无法进入机房。

③机房的主机室、辐照室、控制室内均设置应急照明系统。

项目加速器机房的安全联锁设施逻辑示意图见图 10.10，单个加速器机房的安全联锁装置参考位置见表 10.2、表 10.3，单个加速器机房的辐射安全与防护设施布置图见图 10.11、图 10.12。

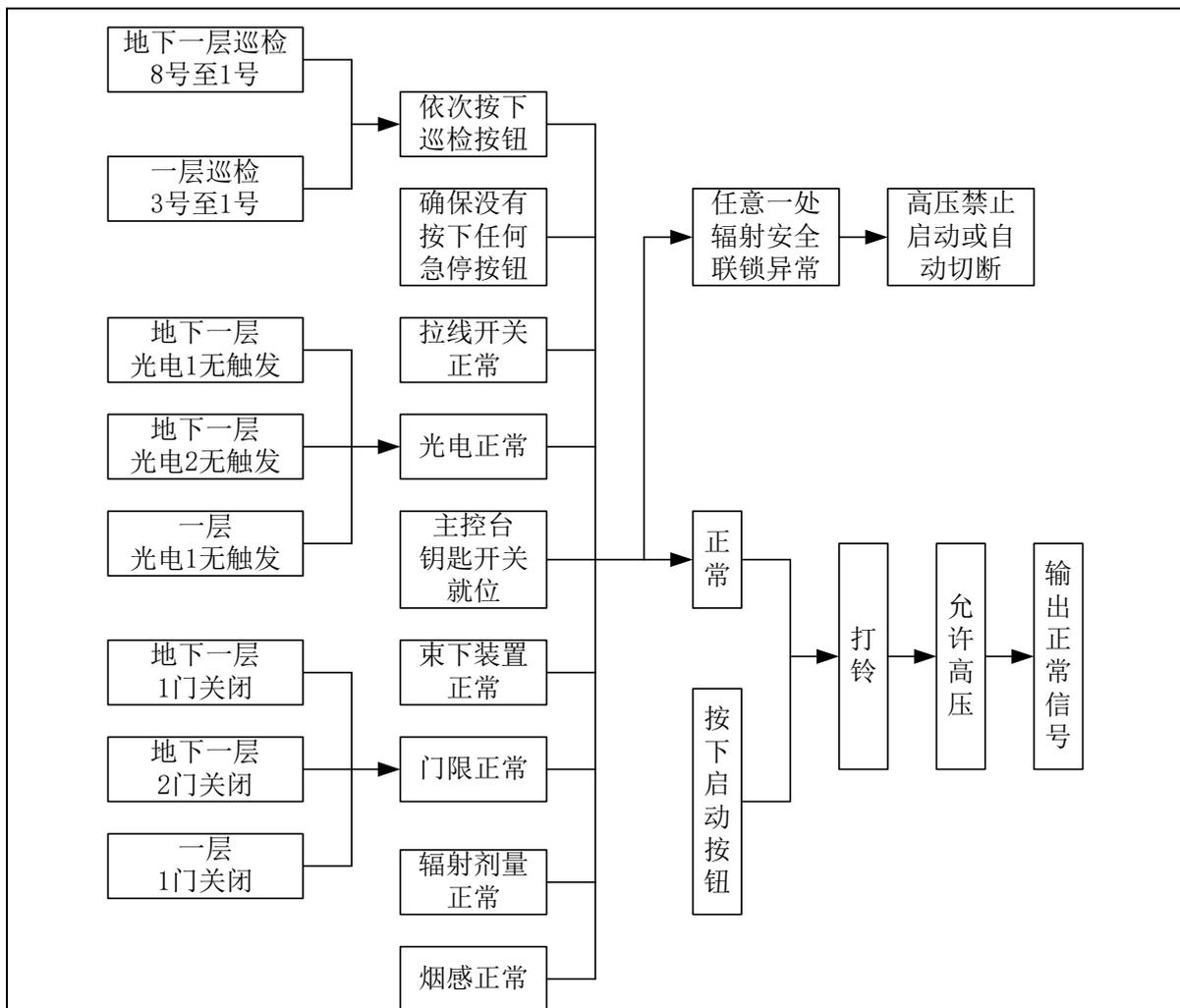


图 10.10 加速器机房的安全联锁设施逻辑示意图

表 10.2 项目辐照室安全联锁装置参考位置一览表

编号	位置	高度	安全防护措施
NO.1	设备间外墙正中	离地 1.6m	声光报警
NO.2、NO.35、NO.44	辐照间内右侧墙、上下料口外侧边墙	离地 1.6m	剂量探头
NO.3、NO.37	上下料口外侧上方墙	离地 2.2m	警示牌
NO.4、NO.36	上下料口外侧边墙	离地 1.75m	摄像头
NO.5、NO.34	上下料口外侧边墙	离地 1.3m	钥匙、急停
NO.6、NO.31	上下料口内第一弯道侧墙	离地 0.3/0.9/1.5m	光电开关，防误入装置
NO.7、NO.30	下料口内第一弯道侧墙	离地 1.2m	拉绳开关
NO.8/9、NO.28/29	上下料口内第一弯道侧墙	离地 1.3m	巡检/紧急开关
NO.10、NO.27	上下料口内第一弯道合适位置	离地 1.75m	摄像头
NO.11、NO.26	第二弯道处墙	离地 1.3m	巡检
NO.12/13、NO.21/22	第三弯道处墙	离地 1.75m	摄像头
NO.14、NO.23	第三弯道处墙	离地 1.3m	巡检

NO.15、NO.24	第三弯道处墙	离地 1.6m	声光报警
NO.16、NO.18	辐照间最内侧弯道墙	离地 1.3m	巡检
NO.17、NO.19	辐照间最内侧弯道墙	离地 1.3m	急停
NO.20、NO.32	辐照室南墙侧墙	离地 1.75m	摄像头
NO.25	辐照间内弧形垛子处墙	离地 1.6m	烟雾报警
NO.38、NO.39	第三弯道处墙	离地 1.75m	摄像头
NO.40、NO.41	第二弯道处墙	离地 1.75m	摄像头
NO.42、NO.43	第一弯道处墙	离地 1.75m	摄像头
NO.45、NO.46	上下料出入口第一弯道侧墙	离地 1.75m	电磁锁、限位开关

表 10.3 项目主机室安全联锁装置参考位置一览表

编号	位置	高度	安全防护措施
NO.1	主机室入口外右侧，距门口边沿 500mm 以上	离地 1.8m	剂量探头
NO.2	主机室入口外右侧，距门口边沿 500mm 以上	离地 1.8m	声光报警
NO.3	主机室入口外右侧，距门口边沿 500mm 以上	离地 1.3m	巡检
NO.4	主机室入口内右侧，距门口边沿 300mm 以上	离地 1.3m	急停开关
NO.5	主机室入口内右侧墙上	离地 0.3/0.9/1.5m	光电开关，防误入装置
NO.6	主机室入口内右侧，过巡检箱	离地 1.2m	拉线开关
NO.7	屏蔽门上方	离地 3.2m	屏蔽门
NO.8	屏蔽门上方	离地 3.2m	警示牌
NO.9	屏蔽门上方	离地 3.2m	声光报警
NO.10	屏蔽门上方	离地 3.2m	警铃
NO.11	主机室内入口对侧墙	离地 1.3m	巡检
NO.12	主机室内入口对侧墙	离地 1.3m	急停
NO.13	主机室内入口对侧墙	离地 1.3m	巡检
NO.14	主机室内入口对向墙	离地 3.1m	摄像头
NO.15	水冷室内入口对向墙	离地 3.1m	摄像头
NO.16	电源室内入口对向墙	离地 3.1m	摄像头
NO.17	控制室内入口对向墙	离地 3.1m	摄像头
NO.18	机柜室内靠近主机室侧墙体	离地 1.8m	剂量探头
NO.19	主机室铅门右侧	离地 1.3m	钥匙
NO.20	主机室铅门右侧	离地 1.3m	急停

**

图 10.11 加速器机房安全连锁装置参考位置示意图 1

**

图 10.12 加速器机房安全连锁装置参考位置示意图 2

10.3 辐射防护措施符合性分析

项目与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中相关全要求的对比评价见表 10.4。

表 10.4 项目拟设置的辐射安全和防护设施对照评价

项目	《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）防护要求	项目加速器机房	符合性
(1) 钥匙控制	加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门连锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。	拟设置。项目控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机。加速器的主控钥匙开关和主机室门、辐照室门连锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机。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当班运行值班长使用。	符合
(2) 门机连锁	辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压连锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机。	拟设置。辐照室和主机室的门与束流控制和加速器高压连锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机且束流装置不能出束。加速器运行中门被打开则加速器自动停机。门机连锁装置性能可靠，其引发加速器停机时自动切断高压，门机连锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机连锁装置无旁路，维护与维修后恢复原状。	符合
(3) 束下装置连锁	电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机。	拟设置。束下传送装置在运行时，会传送电信号给加速器控制系统。当束下传送装置停止运行，电信号消失。加速器控制系统检测到该电信号消失时，则报故障自动停机。	符合
(4) 信号警示装置	在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置连锁。	拟设置。在辐照室、主机室出入口和内部多处设置灯光和音响警示装置。在高压出束前发出声光报警，持续打铃 1 分钟，警示主机室和辐照室内人员立即撤出。在辐照室和主机室出入口以及控制台上设计有工作状态指示灯，标识电子加速器工作状态，且带有蜂鸣器，在控制系统收到连锁报警信息时，发出报警信号。	符合
(5) 巡检按钮	主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台连锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员滞留。	拟设置。 辐照室：在辐照室内共设置 8 枚巡检按钮。开机前，操作人员由辐照室入口进入步行至辐照室出口（出口处防护门处于常闭状态），从辐照室出口原路返回辐照室入口，途中按序按动 8 枚巡检按钮巡查有无人员滞留。 主机室：在主机室内共设置 3 枚巡检按钮。加速器开机前，操作人员进入主机室，由主机室最深处返回迷路入口，按序按动 3 枚巡检按钮巡查有无人员滞留。巡检按钮与控制台连锁，当所有巡检按钮依次按	符合

		下后，加速器方可启动。	
(6) 防人误入装置	在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁。	拟设置。 辐照室：在辐照室迷道出入口共设置 2 处光电报警装置，每一处光电报警装置均由 3 个不同高度的感应器组成，与加速器的开、停机联锁。当有人员误入辐照室，身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在加速器开机过程中，人员误入辐照室造成误照射。 主机室：在迷道入口设置 1 道光电报警装置，光电报警装置由 3 个不同高度的感应器组成，其工作原理同上。	符合
(7) 急停装置	在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区。	拟设置。在加速器主控台上设计有 1 处紧急停机开关，辐照室设有拉线开关，拉线开关和急停按钮组成的紧急停机装置覆盖辐照室全部区域。当急停按钮/拉线开关正常时，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，若按下急停按钮或拉拽拉线开关，联锁装置将瞬间切断高压及束流，停止出束。按钮下方贴上“急停”标识和功能说明。在紧急情况、事故处理完毕后，需将急停按钮/拉线开关本地复位，加速器才能重新启动。主机室和辐照室内拟设置开门装置，以便人员离开主机室和辐照室。	符合
(8) 剂量联锁	在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的值时，主机室和辐照室门无法打开。	拟设置。在辐照室迷道出入口安装 2 台固定式辐射监测仪，在主机室迷道出入口安装 1 台固定式辐射监测仪，显示面板位于主控室内。固定式辐射监测仪与出入口门联锁。当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号，主机室和辐照室门无法打开。	符合
(9) 通风联锁	主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭等有害气体浓度低于允许值。	拟设置。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，继续通风 10min 后才能开门，以保证室内臭氧及氮氧化物等有害气体浓度低于允许值。	符合
(10) 烟雾报警	辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。	拟设置。辐照室设置烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器能立即停机并停止通风。	符合
(11) 警告标志	/	拟设置。在辐照室和主机室的门上和周围醒目位置粘贴醒目的、符合 GB18871 规定的“当心电离辐射”警告标志，提醒无	/

		关人员勿在其附近出入和逗留。	
(12) 监控系统	/	拟设置。在辐照室、主机室、控制室均安装监控摄像头,可全方位覆盖加速器机房内外情况,监控显示屏设置在控制室主控台上,操作人员可通过监控器实时观察加速器机房内外情况。	/
(13) 冷却水循环系统	/	拟设置。项目加速器工作时采用内循环冷却水系统,冷却水循环使用,不外排,损失主要来自于自然蒸发。	/
(14) 其他安全措施	/	①机房电线管、冷却水管等管道在穿墙时,采用“Z”型或“L”型或“斜45度”等方式,并对管道口进行封堵。 ②机房两侧的楼梯入口处设置门锁,只有在设备检修时才打开允许检修人员进入,平时任何非辐射工作人员无法进入机房。 ③机房的主机室、辐照室、控制室内均设置应急照明系统。	/
电气系统	(1) 必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计,确保电压电流的稳定度。 (2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。 (3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。 (4) 凡有高压危险的部位,应设置高压联锁、高压放电保护装置。	拟设置。 (1) 拟按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计,确保电压电流的稳定度。 (2) 主机室、辐照室、控制室均设置有应急照明系统。 (3) 各供电系统及相关设备均有可靠的接地系统。 (4) 凡有高压危险的部位,均设置有高压联锁、高压放电保护装置。	符合
给水系统	(1) 应根据加速器装置总用水要求,提供有一定裕量的水流量和水压。 (2) 根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。	拟设置。 (1) 根据加速器装置总用水要求,项目给水系统可提供一定裕量的水流量和水压。 (2) 给水系统根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。	符合
通风系统	(1) 主机室和辐照室应设置通风系统,以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ 2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。 (2) 臭氧的产生和排放,其计算模式和参数见附录 B。 (3) 辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置,例如扫描窗下方的位置。 (4) 排风口的高度应根据 GB3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。	拟设置。 项目加速器机房设计有机械排风装置,辐照室内的排气口设置在扫描窗下方的位置。 经理论估算,排风系统可保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定,有害气体的排放满足 GB3095 的规定。	符合
防火系	辐照室和主机室的耐火等级应不低	拟设置。	符合

统	于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。	辐照室和主机室采取实体屏蔽结构，耐火等级不低于二级，均设置火灾报警系统及有效的灭火设施。	
日常检修（管理）及记录	<p>日检查</p> <p>电子加速器辐照装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应至少包括下列内容：</p> <p>（1）工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；</p> <p>（2）辐照装置安全联锁控制显示状况；</p> <p>（3）个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状态。</p>	<p>拟设置。</p> <p>公司已制定设备检修维护制度，明确了加速器和辐照室、主机室的各项安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。明确了日检查、月检查和半年检查的内容和维修记录事项，确保辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。</p>	符合
	<p>月检查</p> <p>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：</p> <p>（1）辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；</p> <p>（2）控制台及其他所有紧急停止按钮；</p> <p>（3）通风系统的有效性；</p> <p>（4）验证安全联锁功能的有效性；</p> <p>（5）烟雾报警器功能正常。</p>		
	<p>半年检查</p> <p>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：</p> <p>（1）配合年检修的检测；</p> <p>（2）全部安全设备和控制系统运行状况。</p>		
	<p>记录</p> <p>辐照装置营运单位必须建立严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项一般不少于下列内容：</p> <p>（1）运行工况；</p> <p>（2）辐照产品的情况；</p> <p>（3）发生的故障及排除方法；</p> <p>（4）外来人员进入控制区情况；</p> <p>（5）个人剂量计佩戴情况；</p> <p>（6）个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；</p> <p>（7）检查及维修维护的内容与结果；</p> <p>（8）其它。</p>		

10.2 三废的治理

(1) 废水

项目工作人员会产生少量的生活污水，生活污水经化粪池处理达标后排入市政污水管网。项目加速器工作时采用内循环冷却水系统，冷却水循环使用，不外排，损失主要来自于自然蒸发。

(2) 废气

项目主机室风机（钛膜风机）位于主机室地面，不设置室外排口，通过管道将主机室废气排至辐照室钛窗附近（可同时对钛窗降温）；辐照室内排风口位于钛窗下方的地面，排风管道采用“U”字型穿过墙体（不破坏墙体），单间加速器机房风机排风速率12000m³/h，排风管道沿东北侧建筑外墙引至厂房屋顶排放，排气筒离地高度为38.5m。

项目加速器机房产生的臭氧和氮氧化物通过排风系统排入大气，经过稀释后，对大气环境基本没有影响。

(3) 固废

项目工作人员会产生少量的生活垃圾，生活垃圾由环卫部门统一清运，对周围环境基本没有影响。

10.3 项目环保投资

项目环保投资见表 10.5。

表 10.5 项目环保投资 单位：万元

类别	环保措施	投资金额
辐射防护	加速器机房辐射防护措施、辐射管理措施等	**
防护和监测设备	便携式辐射监测仪、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪等	**
非辐射污染防治	“三废”处理（通排风设置、减振基座，设置专用设备间）	**
其他费用	辐射安全规章制度上墙、环境影响评价、竣工环保验收	**
	每年委托有资质的单位对放射工作场所进行监测	
	开展工作人员辐射安全培训，配备个人剂量计进行个人剂量监测，健康体检	
合计		**

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工噪声环境影响分析

由于施工机械的流动性和作业的间歇性及环境的复杂性，施工边界噪声增量难以定量给出。此外，本项目施工机械噪声源强较大，主要从提出污染防治措施方面降低施工噪声对周围环境的影响。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

施工期易发生的各类扬尘源都属于无组织排放的瞬时面源，其源强大小与扬尘颗粒物的粒径大小、比重以及环境的风速、湿度等因素有关，风速越大、颗粒越小、土沙的含水率越低，扬尘的产生量就越大。施工期各类扬尘的产生高度都比较低，粉尘颗粒也比较大，污染扩散的距离不会很远，其影响主要在施工场地下风向区域。根据以上对污染源的分析，在扬尘点下风向 0~50m 为较重污染带，50~100m 为污染带，100~150m 为轻污染带，150m 以外对大气影响甚微。在干燥、风速大的气候条件下，这种影响更大。

运输车辆道路扬尘强度除了与风速、湿度等因素有关，还与路面状况有关。据实地踏勘，本项目可进出施工区域的主要道路为水泥路面，逢车辆经过时会产生少量粉尘污染，但由于施工规模较小，且在颗粒的重力沉降作用下，对周围环境影响较小。

11.1.3 施工废水

项目施工高峰期所需施工人员约 100 人，用水量按 150L/人·天计算，污水排放系数按 0.8 计算，则排放量约为 12t/d；污染物产生浓度约为：COD 450mg/L、BOD₅ 350mg/L、SS 400mg/L、氨氮 35mg/L。

项目周边有村庄，施工人员施工期生活污水纳入周边村庄污水排放系统；施工产生的工艺废水主要为设备清洗废水，经沉淀处理后，用于场地抑尘，不外排，对周围环境影响较小。

11.1.4 施工固体废物

施工期生活垃圾按 0.5kg/人·d 计，施工人员约 100 人，则施工生活垃圾产生量约为 50kg/d。生活垃圾应置于施工场地内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。

施工建筑垃圾主要包括砂石、石块、碎砖瓦、废木料、废金属、废钢筋等杂物；施

工过程还将产生一定的弃土量；建筑垃圾和弃土应分类存放、加强管理。在此基础上，对周围环境影响小。

11.1.5 其他影响分析

拟购入的设备安装和调试由厂家进行，安装调试的过程中，只要严格按照相关使用说明和管理制度执行，对周围环境辐射影响很小。

因此，本项目施工期环境影响很小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

项目 2 台电子加速器辐照装置位于 3#厂房东部的 2 座加速器机房内，生产线互相独立、同时运行。项目加速器束流向下高速电子本身不对周围环境产生影响，影响周围环境需要防护的是电子束作用于辐照材料及周边物体而产生的韧致辐射。辐照室地下和东侧为土层、人员无法到达，所以不考虑辐照室底部、东侧的防护，本评价主要分析的是 90° 方向的辐照室南、西、北侧墙体和 180° 方向的主机室顶。

电子加速器运行时，电子束出束方向朝下，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电子扫描窗下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）、③辐照产品。

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。本项目被轰击物质中不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，因此本项目选取不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

项目 2 座加速器机房为对称设计，故本评价主要以加速器机房 1 为例，采用加速器的最高能量和最大束流强度，并根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）标准中的相关计算公式进行理论估算。

11.2.2 加速器机房四周屏蔽墙外辐射影响分析

（1）X 射线发射率

项目 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率公式如下：

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

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 表 A.1, 10MeV 入射电子入射到高 Z 靶上, 在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $13.5 \text{ Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。本项目加速器束流强度为 2mA, 根据公式 11-1 可计算得出辐照室 D_{10} 为 810Gy/h。

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.4, 10MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 6MeV。

根据建设单位提供资料(表 9.1), 电子加速器在加速过程中的束流损失率为 2% (即电子束流强度为 0.04mA), 束流损失点的能量为 3MeV。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, 3MeV 入射电子入射到高 Z 靶上, 在距靶 1 米处侧向 90° 方向的 X 射线发射率为 $3.2 \text{ Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。根据公式 11-1 可计算得出主机室 D_{10} 为 3.84Gy/h。

(2) 侧向直射辐射剂量率计算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)附录 A 公式 (A-1) 可以导出参考点的剂量当量率 H ($\mu\text{Sv/h}$):

$$H = \frac{D_{10}\cdot T\cdot B_x}{d^2} (1 \times 10^6) \quad (11-2)$$

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。

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

B_x —X 射线的屏蔽透射比。

d —X 射线源与参考点之间的距离 (m)。

1×10^6 —单位转换系数。

B_x 可用十倍减弱厚度方法计算, 计算方法为:

$$B_x = 10^{-n} \quad (11-3)$$

$$n = (S - T_1) / T_e + 1 \quad (11-4)$$

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);

Te—平衡十分之一值层，该值近似于常数（cm）；

n—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 表 A.2、表 A.3 和附录 A 示例：对于辐照室，入射电子能量为 6MeV，混凝土的 T₁ 和 Te 值均为 35.5cm；对于主机室，入射电子能量为 1.9MeV，混凝土的 T₁ 和 Te 值分别为 22.1cm、20.1cm。加速器机房 1 侧向直射辐射通过屏蔽后关注点和敏感点的剂量率计算结果见表 11.1~表 11.3。

（3）屋顶直射辐射剂量率计算

电子加速器辐照装置开机时，会对其主机室和辐照室的屋顶产生直射辐射。由于本项目加速器机房内的电子加速器辐照装置开机时，其主机室无人到达，以及二层加速器机房正上方无人到达，因此本评价主要考虑从地下一层辐照室 X 射线源直射到一层主机室周围辅助房间（只考虑紧邻主机室的关注点）、三层仓库的剂量，计算方法同公式 11-1，计算结果见表 11.4。

**

图 11.1 辐照室侧向直射辐射关注点位置示意图

**

图 11.2 主机室侧向直射辐射关注点位置示意图

**

图 11.3 加速器机房关注点位置示意图

表 11.1 加速器机房 1 侧向直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

**

表 11.2 加速器机房 1 侧向直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

**

表 11.3 加速器机房 1 侧向直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

**

表 11.4 加速器机房屋顶直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

**

（4）迷道外入口散射辐射剂量率计算

迷道外入口散射辐射剂量率采用下式计算：

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

式中：

$H_{1, rj}$ —迷道外入口散射辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) ;

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数;

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 , 假设整个迷道的截面积近似常数, 高宽之比在 1~2 之间);

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离 (m) ;

$d_{r1}, d_{r2}\cdots d_{rj}$ —沿着迷道长轴的中心线距离, $d_{r1}/A_2^{1/2}$ 的比值应在 1~6 之间;

j —指第 j 个散射过程。

对于能量大于 3MeV 的 X 射线认为其散射一次后的能量均为 0.5MeV, 对于初级 X 射线, 散射系数 α_1 取值 5×10^{-3} , 对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 (假设一次散射后的放射过程一样, $E=0.5\text{MeV}$) 取值 2×10^{-2} 。辐射室迷道散射计算的 D_{10} 为 810Gy/h。

辐射室迷道散射面积的确定: A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积, 之后的散射面积均为迷道宽度与高度的乘积。对于本项目 B、C 点为对称, 面积相同: $A_1=(4.21+4.03)\times 3.30=27.19\text{ m}^2$, $A_2=2.00\times 3.30=6.6\text{ m}^2$, $A_3=2.45\times 3.30=8.08\text{ m}^2$, $A_4=1.85\times 3.30=6.10\text{ m}^2$, $A_5=3.56\times 3.30=11.75\text{ m}^2$, $A_6=2.20\times 3.30=7.26\text{ m}^2$ 。

主机室迷道散射面积的确定: A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积, 之后的散射面积均为迷道宽度与高度的乘积。对于本项目 H 点: $A_1=(4.77+1.24)\times 5.00=30.05\text{ m}^2$, $A_2=1.20\times 5.00=6\text{ m}^2$, $A_3=1.80\times 5.00=9\text{ m}^2$, $A_4=1.20\times 5.00=6\text{ m}^2$ 。

**

图 11.4 辐照室迷道散射辐射关注点位置示意图

**

图 11.5 主机室迷道散射辐射关注点位置示意图

表 11.5 加速器机房迷道散射辐射剂量率计算结果

**

由表 11.6 可知, 项目加速器机房的辐照室迷道入口处周围剂量当量率最大为 $1.38\times 10^{-19}\mu\text{Sv/h}$, 主机室迷道入口处周围剂量当量率最大为 $6.96\times 10^{-9}\mu\text{Sv/h}$, 均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 的要求。因此, 项目加速器机房的辐照室和主机室迷道的设计是合理的, 辐照室和主机室的出入口处无需特别防护, 仅设置普通门即可。

(5) 加速器机房四周关注点的总剂量率

通过上述预测分析, 本项目加速器机房四周各关注点的总剂量率之和结果见表 11.6。

综上所述, 本项目加速器机房的辐照室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为

0.14 μ Sv/h, 主机室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 $5.87 \times 10^{-3} \mu$ Sv/h, 均小于 2.5 μ Sv/h, 满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 的要求。

表 11.6 加速器机房四周各关注点的总剂量率计算结果

**

11.2.3 屋顶天空反散射影响分析

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。对于天空反散射, 要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。

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 A 公式 (A-6) 可知, 天空反散射的 X 射线周围剂量当量率计算公式为:

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

$$B_{xs} = 10^{-\left(\frac{S \times 100 - T_1}{T_e} + 1\right)} \quad (11-7)$$

式中:

H—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 (μ 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)。

$$\Omega = 4 \times \operatorname{tg}^{-1} \frac{a \times b}{c \times d} \quad (11-8)$$

式中:

a—屋顶长度之半 (m);

b—屋顶宽度之半 (m);

c—源到屋顶表面中心的距离 (m);

d—源到屋顶边缘的距离 (m), 且 $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$ 。

(2) 计算结果

辐照室辐射源: 辐照室辐射源距离加速器机房屋顶表面中心的距离 c 为 9.3m, 屋顶长度之半 a 为 6.625m、宽度之半 b 为 4m, 根据式 (11-8) 可计算得出 $\Omega = 0.925$ Sr。

主机室辐射源：主机室辐射源距离加速器机房屋顶表面中心的距离 c 为 7.4m，屋顶长度之半 a 为 6.625m、宽度之半 b 为 4m，根据式 (11-8) 可计算得出 $\Omega=1.291\text{Sr}$ 。

**

图 11.7 天空反散射示意图

本评价将公众所能到达区域 P 点的距离 d_s 保守取 X 射线源至加速器机房辐照室北、南墙表面 30cm 处的距离，即 10.6m。其他因子同上式。项目加速器机房天空反散射屏蔽效果核算情况详见表 11.7。

表 11.7 加速器机房屋顶直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

**

根据表 11.7 可知，本项目电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射致机房外的辐射剂量率为 $7.59 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ ，对机房周围的辐射环境影响很小。

11.2.4 X 射线通过屋顶的侧向散射

根据设计情况，项目加速器机房北侧 23.5m 处为 2#厂房（6 层建筑，高度 32.7m）、东侧 13m 处为 4#厂房（6 层建筑，高度 28.2m），需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对厂房 2#标准化厂房 3 层至 6 层造成的影响。依据《电子加速器辐照装置辐照安全和防护》（HJ979-2018），X 射线通过屋顶的侧向散射计算公式为：

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{\left[\frac{(t-T_1)}{T_c} \right]}} \quad (11-9)$$

式中：

H—X 射线侧向散射周围剂量当量率（Sv/h）；

D_{10} —靶上方 1m 处 X 射线的吸收剂量率，Gy/h；

F—靶上方 1 米处照射野的面积， m^2 ；

$f(\theta)$ —由表 A.5 中给出的 X 射线的角度分布函数；

d_R —从屋顶上方束流中心到关注点的距离，m；

t—屋顶的厚度，m；

T_1 、 T_e —分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层，m。

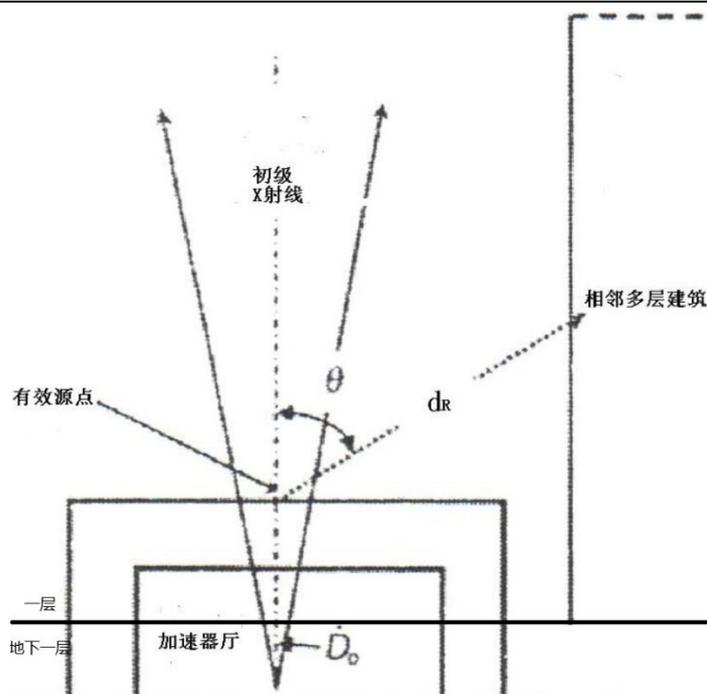


图 11.8 X 射线通过屋顶的侧向散射示意图

表 11.8 X 射线通过屋顶的侧向散射计算结果

**

表 11.9 X 射线通过屋顶的侧向散射计算结果

**

由表 11.8、表 11.9 可知，X 射线通过屋顶的侧向散射对 2#厂房产生的剂量率最大为 $2.49 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 、对 4#厂房产生的剂量率最大为 $1.13 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.5 通风管道及通风口辐射防护影响分析

项目 2 座加速器机房主机室和辐照室内均拟安装机械通风装置，拟设排风管道，两座加速器机房设计参数一致，本项目以加速器机房 1 为代表进行分析。

项目主机室风机（钛膜风机）位于主机室地面，不设置室外排口，通过管道将主机室废气排至辐照室钛窗附近（可同时对钛窗降温）；辐照室内排风口位于钛窗下方的地面，排风管道采用“U”字型穿过墙体（不破坏墙体），管道埋深为 3800mm，管道尺寸为 $\Phi 660\text{mm}$ ，排风管道从辐照室地下穿过，沿东北侧建筑外墙引至厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 38.5m。项目电子加速器辐照装置产生的 X 射线需经过通风管道至少三次散射后才能到达机房外，排风管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

11.2.6 冷却水管、线缆管辐射防护分析

本项目主机室有穿墙的冷却水管、连接加速器主机与电源柜的穿墙电缆管、强弱

电、安全连锁线管等。上述管道在穿墙时采用“Z”型或“L”型或“斜45度”等方式穿过墙体，可使射线在管道内经过多次散射方能穿出墙体，其不破坏墙体的辐射防护，对墙体的屏蔽影响较小。

11.2.7 辐射工作人员和公众年有效剂量分析

(1) 年有效剂量估算公式

个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$H_{\gamma} = D_{\gamma} \times T \times t \times U \quad (11-10)$$

式中： H_{γ} — γ 辐射外照射人均年有效剂量，mSv/a；

D_{γ} — γ 辐射剂量率，mSv/h；

T—居留因子；

t—年工作时间，h；

U—使用因子，本项目保守取 1。

(2) 居留因子

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），不同环境条件下的居留因子见表 11.10。

表 11.10 居留因子选取

场所	居留因子	停留位置
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道

(3) 工作时间

根据厦门市聚核智能制造有限公司提供资料：本项目配备 7 名具有相关专业技术背景人员（辐射工作人员名单及培训合格证书见附件 2），其中 1 人为管理人员（不参与现场操作）、6 人为操作人员，7 名人员均不管理或从事操作其他核与辐射类设备。

(4) 职业人员和公众年有效剂量

a 职业人员

工业加速器工作状态下，对操作人员影响的区域主要在控制室，居留因子取 1。根据建设单位提供资料，每个工作人员每年工作 2240h。

b 公众成员

3#厂房品检室、通道、待辐照区、已辐照区公众居留因子取 1；前室、楼梯、二层以上区域均为仓库，公众居留因子取 1/4；厂内道路公众居留因子取 1/8；其他区域公众

居留因子取 1。本项目电子加速器辐照装置工作时，四周基本无人居留，本评价其他公众人员受照时间按 1 个班的时间计算，即每年 2240h。

辐射工作人员和公众成员的最大年有效剂量见表 11.11。

表 11.12 工作人员和公众最大年有效剂量估算表

**

根据上表，本项目辐射工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.31mSv，对公众照射的年有效剂量值为 0.02mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员和公众受照剂量限值和本项目管理目标值的要求（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）。

11.2.3 三废治理措施

（1）废气

工业辐照电子加速器在工作状态时，电子束会电离空气中的氧气分子产生一定量的臭氧和氮氧化物等有害气体。由于氮氧化物的产额及毒性均远低于臭氧，并且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此主要考虑臭氧的产生及防护。只要臭氧排放达标氮氧化物同样也能够排放达标。

本项目加速器机房的主机室废气通过管道排至辐照室钛窗附近，辐照室内排风口位于钛窗下方的地面，单间加速器机房风机排风速率 12000m³/h。考虑臭氧主要由电子束电离空气产生，而电子束基本上都限制在辐照室内，因此辐照室内臭氧产生量和臭氧浓度应远大于主机室内臭氧浓度。因此，本评价主要计算辐照室内臭氧产生量和通风情况。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B，平行电子束所致臭氧（O₃）的产生率用以下公式进行保守估算：

$$P = 45 \times d \times I \times G \quad (11-11)$$

式中：

P—单位时间电子束产生 O₃ 的质量（mg/h）；

I—电子束流强（mA），本项目为 2mA；

d—电子在空气中的行程（cm），本项目取 100cm；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的辐射能量产生的 O₃ 分子数，保守值可取为 10。

辐照室臭氧的平衡浓度为：

$$C_s = \frac{P \times T_e}{V} \quad (11-12)$$

式中：

C_s —长时间辐照时，辐照室空气中臭氧平衡浓度（ mg/m^3 ）；

T_e —对臭氧的有效清除时间（h），加速器长时间辐照时， $T_e \approx T_v$ ， T_v 为辐照室换气一次所需时间（h）；

V —辐照室体积（ m^3 ）。

本项目每间加速器机房的辐照室体积均为 310m^3 ，排风量为 $12000\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约为 38 次。项目每间加速器机房的辐照室空气中臭氧平衡浓度估算结果见表 11.13。

表 11.13 项目每间加速器机房的辐照室空气中臭氧平衡浓度估算结果

参数	I (mA)	d (cm)	G	T_e (h)	V (m^3)	C_s (mg/m^3)
估算结果	2	100	10	0.026	310	7.55

根据表 11.13 可知，项目加速器长期正常运行期间，室内臭氧的饱和平衡浓度大大高于 GB/T 25306-2010 中规定的工作场所臭氧最高容许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，室内臭氧浓度随时间急剧下降。为确保室内臭氧浓度满足不超过臭氧最高容许浓度，风机继续运行所需的时间见以下公式。

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad (11-13)$$

式中：

C_0 —GBZ 2.1-2019 规定的臭氧的最高容许浓度（ mg/m^3 ）， $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

T —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需的时间（h）。

表 11.14 项目臭氧影响分析计算结果

参数	T_e (h)	C_0 (mg/m^3)	C_s (mg/m^3)	T (h)	T (min)
估算结果	0.026	0.3	7.55	0.084	5.03

由上式计算结果可知，加速器停止工作后，辐照室内通风系统继续以 $12000\text{m}^3/\text{h}$ 的通风量工作，通过 5.03min 的通风排气，辐照室内臭氧浓度可达到《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）中“臭氧最高容许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”，此时，工作人员进入辐照室是安全的。

项目加速器通风系统自带时间限制功能控制程序，确保加速器停机后，通风系统继

续运行预先设定的 6min 后，主机室和辐照室的门锁才能打开，以确保辐照室和主机室内臭氧等有害气体浓度排放至低于允许值。此外，建设单位应加强对辐射工作人员的管理与培训，并在操作规程管理制度中明确：加速器停机至少 10min 后方可进入辐照室及主机室。

(2) 废水

项目工作人员会产生少量的生活污水，生活污水经化粪池处理达标后排入市政污水管网。项目加速器工作时采用内循环冷却水系统，冷却水循环使用，不外排，损失主要来自于自然蒸发。

(3) 固废

项目工作人员会产生少量的生活垃圾，生活垃圾由环卫部门统一清运，对周围环境基本没有影响。

11.3 事故影响分析

项目使用辐照电子加速器属 II 类射线装置，可能发生的事故工况主要有：

(1) 由于管理不善或安全联锁失效，在系统出束时，现场工作人员或周围公众成员误入辐射防护区，给上述工作人员或公众成员造成不必要的照射。

(2) 束下装置发生停运、卡顿等故障，辐照产品由于长时间受照引发火灾。

(3) 辐照通道内通风速度或通风时间不够导致加速器停机后，现场维护人员进入臭氧浓度超标的辐照通道造成意外。

(4) 加速器开机工作前未按照要求进行巡检，导致人员误留在辐照室或主机室内，发生人员超剂量照射事故。

(5) 设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，加载高压并出束，可能造成误照事故。

应对措施：

(1) 操作过程中，设备发生任何故障都要停机，及时通知有关人员进行维修，并做好故障记录，不允许设备带故障运行。

(2) 当发生事故后，事故单位应当立即启动本单位辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，并及时向当地生态环境部门报告；对造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地公安部门和卫生健康部门报告；另外公司应严格按照加速器的工作负荷运行，严禁超负荷运行。应对事故影响人员进行医学检查，确定接触其所受到的辐射剂量水平。

(3) 分析确定发生事故的具体时间及发生事故的原因，写出事故报告，总结原因，吸取教训，采取补救措施。

(4) 本项目的射线装置丢失的机率很小，加速器在非工作情况下不会对环境造成影响。如确实发生丢失现象，应尽快将情况通报公安部门。

预防措施：

(1) 严格按照使用规程合理使用加速器，并定期进行维护保养；

(2) 加速器开始工作前，严格检查辐照室内有无人员，确定辐照室内无人员后再关闭防护门；

(3) 定期对联锁和报警装置进行检查，防止联锁装置和报警系统出现故障，导致防护门无法紧闭，人员误入，从而造成照射事故；

(4) 辐照室划分警戒控制区域，在设备运行时禁止非工作人员入内；

(5) 辐照室中设有紧急停机开关和开门开关，把事故影响降到最低；

(6) 单位制定辐射事故应急制度和辐射事故应急预案，应予以落实。

表 12 辐射安全管理

12.1 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》第十六条第一款的要求，使用II类射线装置的，应当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。

根据法律法规的规定，厦门市聚核智能制造有限公司已组建辐射防护管理领导小组，见附件 3，能够满足本项目的管理需要。

表 12.1 辐射安全管理机构人员组成

序号	成员	姓名	职务/职称	学历	负责范围	备注
1	组长	**	财务部经理	本科	统筹管理、负责人	专职
2	副组长	**	综合部经理	中专	辐射制度的制修订、质检管理、安全管理、工业辐照加速器操作和管理，制定应急计划	专职
3	组员	**	设备部经理	大专	工业辐照加速器操作	专职
4	组员	**	综合部副经理	大专	后勤保障工作	专职

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

厦门市聚核智能制造有限公司已制定《设备操作规程》《设备检修维护制度》《辐射防护与安全保卫制度》《辐射工作人员培训管理制度》《辐射安全管理规章制度》《辐射监测制度》《设备台账制度》《监测仪表使用与校验管理制度》《档案管理制度》等规章制度（详见附件 5）。

厦门市聚核智能制造有限公司制定各项规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第六款的要求，具有可行性。

厦门市聚核智能制造有限公司应严格执行以上的规章制度，责任到人，将放射事故和危害降到最低限度。

12.2.2 人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，公司从事辐射工作人员需要全部参加辐射安全培训并取得合格证书。

厦门市聚核智能制造有限公司拟聘用 7 名取得辐射安全与防护培训合格证书的人员，其中 1 人作为管理人员，6 人作为操作人员，并承诺辐射工作人员每 5 年复训一

次。

12.2.3 健康管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第 29 条要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

按照国家关于健康管理的规定，厦门市聚核智能制造有限公司拟为本项目工作人员配备个人剂量计；对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；同时，拟为辐射工作人员终生保存个人剂量监测档案和职业健康监护档案；在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也将进行健康体检。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用 II 类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

厦门市聚核智能制造有限公司拟为本项目配置 2 台便携式辐射监测仪，用于厂区内加速器机房的定期自行检测，并做好监测记录；配置 2 台个人剂量报警仪、6 枚个人剂量计、5 台固定式剂量率报警仪，供辐射工作人员或场所用于日常辐射工作过程中剂量监测和瞬时辐射剂量率的报警。

本项目辐射工作人员在工作时均需佩戴个人剂量计，并按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并做好档案管理。

12.3.2 工作场所监测

(1) 正式使用前监测

委托有资质的单位对核技术应用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

(2) 自行监测

项目利用监测设备对工作场所定期进行辐射水平监测，并建立监测档案。

(3) 年度监测

每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，对加速器质谱仪的

安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(4) 监测因子

参考《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的相关要求及项目特点，本项目主要监测因子为 X- γ 辐射剂量率。

(5) 监测范围及监测频次（自行监测）

项目工作场所内 X- γ 辐射剂量率监测，每季度 1 次。

(6) 监测布点

主要对辐照室及主机室出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房、区域等。

12.3.3 监测方案

项目运行后辐射环境监测计划见表 12.2。

表 12.2 项目辐射监测计划一览表

监测对象	监测点位及方案	监测因子	监测频次
2 间加速器机房	检查安全联锁	安全	每次使用前
	对辐照室及主机室出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房、区域进行监测	X- γ 辐射剂量率	每季度 1 次自行监测， 每年 1 次委托有资质单位监测
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计	年有效剂量	操作时每季度送检 1 次
项目竣工环境保护验收监测	对辐照室及主机室出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房、区域进行监测	X- γ 辐射剂量率	项目建成后

12.4 辐射事故应急

厦门市聚核智能制造有限公司按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和生态环境主管部门的要求制定《辐射事故应急预案》（附件 4），方案包括如下内容：

(1) 应急管理机构及职责：

- (2) 可能发生的辐射事故/事件类型及应急响应程序；
- (3) 辐射事故/事件报告、调查和处理程序；
- (4) 应急联系方式、培训及演练。

发生辐射事故时，厦门市聚核智能制造有限公司应当立即启动应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、安监局等相关部门报告。

厦门市聚核智能制造有限公司已制定的《辐射事故应急预案》有效可行，能够满足项目开展时的应急事故处理要求。在日后核技术利用项目运行管理过程中，厦门市聚核智能制造有限公司应根据实际工作情况和管理要求，及时更新和完善应急预案。

同时厦门市聚核智能制造有限公司应根据实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情景，演练参与人员等。此外，厦门市聚核智能制造有限公司应加强管理，加强人员辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.3。

表 12.3 建设项目竣工环境保护验收项目一览表

验收项目	验收内容	验收标准
辐射防护措施	加速器机房墙体防护，详见表 10.1。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）相关规定 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv，公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv，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。
	设置钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统、应急照明系统、灭火设施以及其他安全措施。	
	配备固定式剂量报警装置、便携式 X-γ 剂量率仪、个人剂量计、个人剂量报警仪。	
	项目主机室风机位于主机室地面，不设置室外排风口，通过管道将主机室废气排至辐照室钛窗附近；辐照室内排风口位于钛窗下方的地面，排风管道采用“U”字型穿过墙体，单间加速器机房风机排风速率 12000m ³ /h，排风管道沿东北侧建筑外墙引至厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 38.5m。	
管理制度	机房电线管、冷水管管道在穿墙时采用 Z”型或“L”型或“斜 45 度”等方式穿过墙体。 成立辐射安全管理领导小组。	符合《放射性同位素与射线

		<p>安排人员参加辐射安全与防护培训，并取得合格证书。</p> <p>辐射工作人员必须佩戴个人剂量计，包括仪器购买及维修、维护费用和单位项目预留防护资金，建立个人剂量档案和职业健康监护档案并长期保存。</p> <p>个人剂量计检测（3个月1次）和健康体检（2年1次）。</p> <p>制定相关辐射安全管理制度，制度张贴上墙，严格执行。</p> <p>制定《辐射事故应急预案》，如有辐射事故的发生，严格按照《辐射事故应急预案》中规定采取应急措施，及时向生态环境部门报告，并向公安部门和卫生健康部门上报。</p>	<p>《装置安全许可管理办法》相关规定：使用II类射线装置的工作单位，应当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。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全设施。配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。有健全的操作规程、辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、设备检修维护制度、人员健康管理制度、人员培训计划、监测方案等。有完善的辐射事故应急措施。</p>
	环境监测	<p>项目建成后委托有资质的技术服务机构进行验收检测；投入使用后每年至少进行1次常规检测。</p> <p>辐射工作人员必须佩戴个人剂量计，建立个人剂量档案和职业健康监护档案并长期保存。</p>	<p>《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》</p>
废物处理措施	废气	产生的臭氧和氮氧化物通过机房的通风系统引至楼顶排出。	验收措施落实情况
	废水	生活污水经化粪池处理达标后排入市政污水管网。	
	固废	生活垃圾由环卫部门统一清运。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

厦门市聚核智能制造有限公司拟在厦门市翔安区民安大道与新垵西路交叉口东北侧 X2024G02-G 地块建设“厦门市聚核智能制造科技园”，并在园区 3#厂房东侧建设“2 台电子直线加速器项目”。3#厂房占地面积 3893.46 m²，拟设 2 座加速器机房及其配套控制室、机柜室、水冷室、品检室、前室、通道、待辐照区、已辐照区等，并拟配置 2 台 DZ-10/20 型电子直线加速器（II 类射线装置，其最大电子束能量、最大电子束流强与最大功率均分别为 10MeV、2mA 与 20kW），为医疗机构提供硬器械、软器械、医用织物的辐照消毒服务。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

厦门市聚核智能制造有限公司已成辐射防护管理领导小组，制定了完善的规章制度和辐射事故应急预案，拟为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，拟开展辐射工作人员个人剂量计检测和健康体检。项目加速器机房采取的屏蔽防护能满足辐射防护要求，布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ 979-2018）中相关要求对屏蔽防护进行了设计，设置钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统、应急照明系统、灭火设施以及其他安全措施，设置动力排风装置进行通风换气，并配备相应的个人防护用品，满足标准要求。

13.1.3 环境影响分析结论

根据估算结果，本项目加速器机房的辐照室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 0.14μSv/h，主机室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 5.87×10⁻³μSv/h，均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

根据估算结果，本项目辐射工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.31mSv，对公众照射的年有效剂量值为 0.02mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员和公众受照剂量限值和本项目管理目标值的要求

(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)。

13.1.4 可行性分析结论

厦门市聚核智能制造有限公司 2 台电子直线加速器项目, 属于“鼓励类”的“六、核能”中“4.核技术应用: 同位素、加速器及辐照应用技术开发”, 项目建设符合国家现行产业政策。

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可能引起的辐射危害时, 该实践是正当的。项目的建设和运行可为企业周边提供辐照消毒供应服务, 具有良好的社会效益和经济效益。根据报告分析, 项目经辐射防护和安全管理后, 可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。项目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, 因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

综上所述, 厦门市聚核智能制造有限公司 2 台电子直线加速器项目在严格按照国家有关辐射防护规定执行, 采取切实措施做好辐射防护管理工作, 保障人员安全, 并落实本报告表提出的辐射防护措施, 该项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护要求。因此, 从辐射环境保护角度论证, 厦门市聚核智能制造有限公司 2 台电子直线加速器项目是可行。

13.2 建议

(1) 厦门市聚核智能制造有限公司如需增加本报告表所涉及之外的放射源、射线装置或对其使用功能进行调整, 则应按有关要求向生态环境主管部门进行申报, 并采取相应的辐射防护措施。

(2) 本项目环评批复后, 厦门市聚核智能制造有限公司应及时向生态环境主管部门办理辐射安全许可证申领手续, 并及时开展竣工环保验收工作。

(3) 厦门市聚核智能制造有限公司应于每年 1 月 31 日前向生态行政主管部门上报本单位射线装置的安全和防护状况年度评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

经办人

公章

年 月 日