

核技术利用建设项目

厦门同威辐照有限公司

2 台工业辐照电子加速器项目

环境影响报告表

厦门同威辐照有限公司

2024 年 7 月

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	6
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据	9
表 7 保护目标与评价标准	11
表 8 环境质量和辐射现状	17
表 9 项目工程分析与源项	19
表 10 辐射安全与防护	24
表 11 环境影响分析	32
表 12 辐射安全管理	56
表 13 结论与建议	63
表 14 审批	67

附件

附件 1：项目委托书

附件 2：射线装置使用承诺书

附件 3：本项目辐射环境本底检测报告、检测单位资质认证证书、检测仪器检定证书和现场检测照片

附件 4：粒子应用项目合作意向书

附件 5：关于成立辐射安全与防护管理领导小组的通知

附件 6：本项目辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案

表 1 项目基本情况

建设项目名称		厦门同威辐照有限公司 2 台工业辐照电子加速器项目			
建设单位		厦门同威辐照有限公司			
法人代表	周芳琛	联系人	陈善瑜	联系电话	/
注册地址		厦门火炬高新区（翔安）产业区同龙二路 942 号 425-53			
项目建设地点		厦门市同集中路 1666 号古龙工业园			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		5000	项目环保投资（万元）	525	投资比例（环保投资/总投资） 10.5%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ） 约 470
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	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

厦门同威辐照有限公司成立于 2024 年 3 月，注册地址位于厦门火炬高新区（翔安）产业区同龙二路 942 号 425-53。公司已与厦门古龙食品有限公司签订合作意向书（见附件 4），租赁其位于厦门市同集中路 1666 号古龙工业园的第一果蔬车间，将其改造为辐照车间，用于从事辐照加工技术服务。

1.1.2 项目由来及建设规模

因公司业务发展的需要，厦门同威辐照有限公司拟在辐照车间内新建 2 座辐照加速器机房，在机房内各配备 1 台同威信达技术（江苏）股份有限公司生产的 IS1024 型工业辐照电子加速器（最大电子束能量为 10MeV、最大束流强度为 2.4mA），为客户提供

多种产品和材料的消毒、灭菌以及改性服务，主要辐照品类包括医疗器械、中药保健品、日化用品、食品（冻品、宠物食品、调味品）、珠宝玉石、木材等。

本项目核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

序号	射线装置名称型号	数量	电子束最大能量 (MeV)	最大束流强度 (mA)	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况
1	IS1024 型工业辐照电子加速器	1	10	2.4	II	辐照加速器机房 1	使用	新建项目本次环评
2	IS1024 型工业辐照电子加速器	1	10	2.4	II	辐照加速器机房 2	使用	新建项目本次环评

厦门同威辐照有限公司无其他核技术利用设备应用，本次属公司首次开展核技术利用建设项目。为保护环境和公众利益，防止辐射污染，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》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，其应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

根据《射线装置分类》（2017 年修订版），本项目工业辐照电子加速器属于 II 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受厦门同威辐照有限公司的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察、现场检测等工作的基础上，编制了该核技术利用项目环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、公司及辐照车间位置

厦门同威辐照有限公司注册地址位于厦门火炬高新区（翔安）产业区同龙二路 942 号 425-53，辐照车间位于厦门市同集中路 1666 号古龙工业园，为租赁场所。本项目地理位置示意图 1-1。

辐照车间位于古龙工业园东部，主体为单层建筑，北部和东部局部为双层建筑。辐照车间东侧依次为园区绿化和道路、园区围墙、道路，南侧依次为园区绿化和道路、厦门古龙食品有限公司第一包装车间、货车停车场，西侧依次为园区绿化和道路、景观湖和厦门古龙食品有限公司第二包装车间，北侧依次为园区绿化和道路、厂房附属设施、厦门古龙食品有限公司制罐车间。公司辐照车间周围环境情况见图 1-2，卫星图见图 1-3。

2、辐照加速器机房位置

本项目 2 间辐照加速器机房拟建址位于辐照车间西部，2 间机房南北向相邻设置，

南侧为机房 1，北侧为机房 2。2 间辐照加速器机房东侧 50m 范围依次为辐照车间内辐照货物存放区、楼梯间等、室外厂房附属设施，南侧 50m 范围依次为辐照车间内过道、园区绿化和道路、厦门古龙食品有限公司第一包装车间，西侧 50m 范围依次为辐照车间内过道、园区绿化和道路、景观湖和厦门古龙食品有限公司第二包装车间，北侧 50m 范围依次为辐照车间内过道、园区绿化和道路、制罐车间，楼上、楼下无建筑。本项目辐照加速器机房拟建址所在辐照车间一层平面布局见图 1-4，二层平面布局见图 1-5。项目拟建址及周围环境现状见图 1-6。

3、项目选址合理性分析

由现场勘查及图 1-2、1-3 可知，本项目 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，项目周围无环境制约因素，根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址合理。本项目环境保护目标主要是项目辐射工作人员、公司其他工作人员、工业园内的工作人员。

1.3 产业政策符合性分析

本项目为使用工业辐照电子加速器为客户提供辐照加工服务，经对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类的第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

1.4 代价利益分析

本项目的建设和运行满足了企业的发展需求，可降低客户产品和材料的消毒、灭菌以及改性成本，提升产品和材料质量，创造更大的经济效益和社会效益。本项目总投资 5000 万元，其中环保投资 525 万元，占总投资的 10.5%，环保投资额可保证环保措施的落实。本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加辐照加速器机房周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.5 项目环保投资

本项目环保投资明细见表 1-2。

表 1-2 本项目环保投资明细一览表

序号	项目	投资金额（万元）
1	辐照加速器机房的土建和防护施工（包括维修门的订制及安装等）	490
2	辐射安全装置和保护措施（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、急停装置等）	8
3	通风系统	10
4	个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核	2
5	辐射监测仪器、辐射工作场所及周围环境年度监测	5
6	辐射安全规章制度上墙、环境影响评价、竣工环保验收	10
合计		525



图 1-1 本项目地理位置示意图

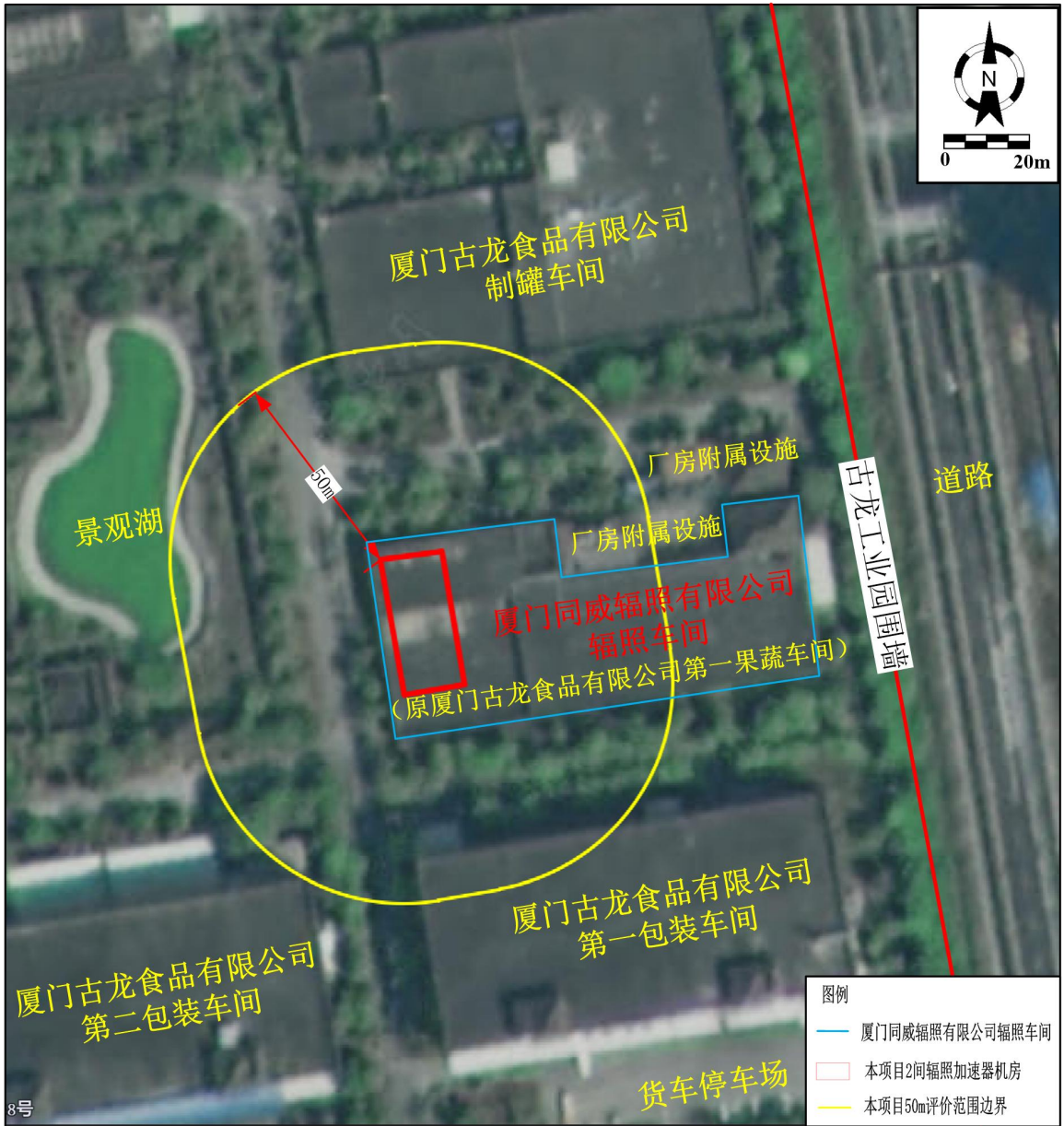


图 1-3 厦门同威辐照有限公司辐照车间周围环境卫星图

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	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	工业辐照电子加速器	II	1 台	IS1024	电子	10	最大束流强度 2.4mA	辐照加工	辐照加速器机房 1	电子束最大功率 24kW
2	工业辐照电子加速器	II	1 台	IS1024	电子	10	最大束流强度 2.4mA	辐照加工	辐照加速器机房 2	电子束最大功率 24kW
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	经机房排风系统排至外环境中，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/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》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），自 2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《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 日起施行</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令 第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行</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，2017 年 12 月 5 日起施行</p> <p>(11) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，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》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，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》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，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，2020 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(15) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展和改革委员会 2023 年令 第 7 号，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，2013年3月15日印发</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）</p> <p>(6) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-1985）</p> <p>(7) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）</p> <p>(8) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）</p> <p>(9) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》（GBZ 2.1-2019）</p> <p>(11) 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及 2018 年第 1 号修改单</p>
其他	<p>报告附件：</p> <p>(1) 项目委托书（附件 1）</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书（附件 2）</p> <p>(3) 本项目辐射环境本底检测报告、检测单位资质认证证书、检测仪器检定证书和现场检测照片（附件 3）</p> <p>(4) 粒子应用项目合作意向书（附件 4）</p> <p>(5) 关于成立辐射安全与防护管理领导小组的通知（附件 5）</p> <p>(6) 本项目辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案（附件 6）</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 II 类射线装置，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）的要求，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。故本项目评价范围取 2 间辐照加速器机房实体边界外延 50m 的区域，本项目评价范围示意图 1-2 和 1-3。

7.2 保护目标

本项目 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，环境保护目标主要是项目辐射工作人员、公司其他工作人员、工业园内的工作人员。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标分布

环境保护目标名称	方位	场所名称	距机房最近距离	规模	保护要求
本项目辐射工作人员	辐照室上方，主机室东侧、南侧、北侧	控制室等辅房	0m	共 12 人	年剂量不超过 5mSv/a
项目评价范围内公众	东侧	辐照车间内货物上下货及翻面区、辐照货物存放区、楼梯间等	约 2.5m	共 18 人	年剂量不超过 0.1mSv/a
		厂房附属设施	约 32m	平时无人居留	
	南侧	辐照车间内过道	紧邻	流动人员	
		园区绿化和道路	约 10m	流动人员	
		厦门古龙食品有限公司第一包装车间	约 39m	约 20 人	
	西侧	辐照车间内过道	紧邻	流动人员	
		园区绿化和道路、景观湖	约 5m	流动人员	
	西南侧	厦门古龙食品有限公司第二包装车间	约 50m	约 20 人	
	北侧	辐照车间内过道	紧邻	流动人员	
		园区绿化和道路	约 5m	流动人员	
厦门古龙食品有限公司制罐车间		约 44m	约 20 人		

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），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 年照射剂量限值

	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，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

(2) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）

3.2 辐射屏蔽

3.2.1 加速器的屏蔽体厚度必须根据加速粒子的种类、能量和束流强度以及靶材料等综合考虑；按其可能的最大辐射输出进行设计。

3.2.2 加速器的屏蔽体厚度还应根据相邻区域的类型及其人口数确定，使其群体的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平。并必须保证个人所接受的剂量当量不得超过相应的剂量当量限值。

(3) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）

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 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ”）。

(4) 《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

辐射防护安全要求如下：

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

b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；

c) 监督区的辐射剂量水平应符合 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、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；

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

f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。

(5) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

(1) 辐射实践的正当性

电子加速器辐照装置的建设立项，必须进行正当性分析，以确定其该项目的正当性。

(2) 辐射防护的最优化

电子加速器辐照装置的设计和建造要求所有照射剂量都保持在规定限值以内，并在考虑社会和经济因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均应保持在可合理达到的尽量低的水平，即 ALARA 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 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 处以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。

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 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运行值班长使用；

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

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

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

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

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

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

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

机室和辐照室门无法打开；

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

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

6.3 其他要求

6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB 3095 的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录 B。

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

(4) 排风口的高度应根据 GB 3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近空气与气象资料计算确定。

(6) 《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》(GBZ 2.1-2019)

工作场所空气中臭氧容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物时间加权平均容许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间接触容许浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(7) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 及 2018 年第 1 号修改单

4.2 环境空气功能区质量要求

一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。一、二类环境空气功能区质量要求见表 7-3。

表 7-3 环境空气污染物基本项目浓度限值

污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
		一级	二级	
氮氧化物 (NO _x)	年平均	50	50	μg/m ³
	24 小时平均	100	100	
	1 小时平均	250	250	
臭氧 (O ₃)	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m ³
	1 小时平均	160	200	

本项目位于二类区，适用二级浓度限值。

(8) 项目管理目标

综合考虑以上评价标准，本项目管理目标为：

辐射环境剂量率控制水平：辐照加速器机房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超过 **2.5 μ Sv/h**。

辐射剂量约束值：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。

(9) 参考资料

《中国环境天然放射性水平》，国家环境保护局，1995 年

福建省厦门市环境天然 γ 辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

类别	原野	道路	室内
测值范围	72.7~85.6	78.2~129.4	161.9~193.5
均值 \pm 标准差	80.2 \pm 5.8 (按点平均)	94.9 \pm 23.3	177.2 \pm 14.2 (按点平均)

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，以测值范围作为参考值。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

厦门同威辐照有限公司注册地址位于厦门火炬高新区（翔安）产业区同龙二路 942 号 425-53，辐照车间位于厦门市同集中路 1666 号古龙工业园，本项目 2 间辐照加速器机房拟建址位于辐照车间西部。本项目地理位置示意图 1-1，辐照车间周围环境情况见图 1-2，卫星图见图 1-3，辐照车间一层平面布局见图 1-4，二层平面布局见图 1-5。

8.1.2 环境现状检测

根据本项目工作原理及特点，项目运行期间主要的环境污染物为 X 射线电离辐射污染，项目在进行现状调查时，主要调查本项目辐照加速器机房拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率。

1、环境现状评价对象、检测因子、检测点位

环境现状评价对象：本项目拟建址及周围辐射环境

检测因子： γ 辐射剂量率

检测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点，在项目拟建址及周围环境共计布设 8 个 γ 辐射剂量率检测点位，具体点位见图 8-1。

2、检测方案

(1) 检测单位：江苏辐环环境科技有限公司（CMA 证书编号：231012341512）

(2) 检测时间：2024 年 5 月 14 日

(3) 检测天气：晴

(4) 检测仪器：

仪器名称：多功能射线检测仪

仪器型号：BG9512PG03

仪器编号：1TR5GSKW

能量响应范围：25keV~3MeV

量程范围：10nGy/h~200 μ Gy/h

检定单位：江苏省计量科学研究所

检测证书编号：Y2023-0066647

检定有效期：2023.6.1~2024.5.31

(5) 检测方法：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中的要求进行，检测时仪器探头水平距离地面 1m，每个检测点位读 10 个数据，读数间隔

10s, 取算术平均值计算结果

3、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证, 具备有相应的检测资质和检测能力, 其计量认证证书及检测能力证书见附件 3;

②委托的检测机构制定有质量体系文件, 所有活动均按照质量体系文件要求进行, 实施全过程质量控制;

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定, 并在检定有效期内;

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核;

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查;

⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目辐照加速器机房拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率检测结果见表 8-1, 检测点位见图 8-1, 详细检测结果见附件 3。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	建筑物	检测结果 (nGy/h)	标准差	备注
1	辐照加速器机房 1 拟建址	平房	163	2.5	本底检测
2	辐照加速器机房 2 拟建址	平房	162	2.1	
3	辐照加速器机房 1 拟建址东侧	平房	162	2.1	
4	辐照加速器机房 1 拟建址南侧	平房	163	1.9	
5	辐照加速器机房 1 拟建址西侧	平房	162	2.8	
6	辐照加速器机房 2 拟建址东侧	平房	169	3.2	
7	辐照加速器机房 2 拟建址北侧	平房	164	2.1	
8	辐照加速器机房 2 拟建址西侧	平房	164	2.7	

注: 上表数据已扣除监测仪器宇宙射线响应值 (13nGy/h)。

根据表 8-1 可知, 本项目辐照加速器机房拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率为 (162~169) nGy/h, 处于《中国环境天然放射性水平》中福建省厦门市室内 γ 辐射空气吸收剂量率正常范围内 ((161.9~193.5) nGy/h)。

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 工程设备

本项目 2 间辐照加速器机房内均拟配备 1 台 IS1024 型电子加速器，该加速器属于返波加速器，是清华大学与同威信达公司共同研制的具有自主知识产权的高新技术产品。其综合了行波加速结构建场时间短、功率反射小和驻波加速器尺寸小、不需要或需要很小的聚焦磁场等优点，效率高，特别适合于高能大功率辐照系统的应用。

本项目电子加速器系统从功能上分为控制及高压脉冲调制器、微波、束流、水冷、风冷 5 大分系统，每一个功能单元则由若干个模块构成。各分系统功能如下：

(1) 控制及高压脉冲调制分系统

高功率脉冲调制器是大功率辐照加速器的重要部件，其主要功能是将市电转化为微波源所需要的脉冲高压，是加速器系统的脉冲功率源。10MeV/24kW 大功率电子直线加速器所配套的调制器采用高频充电技术的线性脉冲调制器，使体积减少、重量降低，同时由于放电过程中充电部分完全断开，消除了闸流管贯通等故障隐患，系统可靠性大大提高。

(2) 微波分系统

微波分系统实现了微波的产生和传输。微波输出单元中的速调管是系统的微波功率源，其主要功能是将脉冲高压转换为微波功率。速调管作为高能辐照加速器系统的微波功率源具有输出功率大、增益高、寿命长及稳定性好等优点。

(3) 束流分系统

束流分系统是辐照加速器的核心，常称为辐照机头，其主要功能是产生电子束流并利用微波功率将其加速到额定能量后再引出。电子枪和加速管是束流分系统的核心部件，与扫描盒、真空泵连接在一起，形成高真空密封的空间。电子枪在枪灯丝的加热和枪高压的电场作用下发射电子束流，电子束流进入加速管并在其内部受到微波功率的加速而获得高能量，被加速的电子束从加速管出口通过漂移段进入扫描盒，受到安装在扫描盒上部的扫描磁铁作用被扫描成扇形，最后在扫描盒底部的引出窗引出，产生束流，从而可以对受辐照物品进行辐照加工。

(4) 水冷分系统

水冷分系统由热交换单元，恒温单元，水路分配单元三部分组成。水冷分系统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，冷却水的温度控制通过无氟制冷剂在压缩机和冷凝器中的循环来实现。

(5) 风冷分系统

风冷分系统由鼓风及输送单元和风力检测单元构成，鼓风及输送单元产生风力，并将冷却风送往钛膜和扫描磁铁，主要功能是对钛膜及扫描磁铁这两个关键部件进行实时冷却。

本项目电子加速器辐照装置的结构示意图见图 9-1，技术参数见表 9-1。

9.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

1、工作原理

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的设备。

辐照加工技术是利用电离辐射与物质相互作用产生的物理学、化学和生物学效应，对物质和材料进行加工处理的一种核技术。辐照加工是一种高效的加工技术，具有穿透性强、可在常温下进行、节能、无残毒、无废物、易于控制等特点，因而在传统行业改造，功能材料开发，实现微细加工及三废处理中都具有重要作用，其应用具有重大的经济效益和社会效益。

电子束辐照加工，主要用于物品的灭菌消毒、食品保鲜以及高分子材料的改性。其中辐照灭菌消毒是利用电子束电离辐射穿透力强、能耗低、无毒物残留不污染环境，速度快、操作安全、加工易于控制，且常温下可行的优点，目前在灭菌消毒行业已占据大部分市场份额。食品辐照保鲜技术是指食品在电离辐射作用下，产生物理、化学、生物效应，使之抑制发芽、杀虫灭菌、控制寄生虫感染，以延长货架期，提高卫生质量的方法。高分子材料的改性是指高分子被辐照时发生辐射交联反应而改变性质，提高被辐照产品的隔热性、耐低温性、耐老化性等，最终提高被辐照产品的整体技术指标。

2、工艺流程及产污环节

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，主要辐照品类包括医疗器械、中药保健品、日化用品、食品（冻品、宠物食品、调味品）、珠宝玉石、木材等。本项目辐照加工工作流程包括：

(1) 入厂：装载待辐照产品的货车通过物流通道进入辐照车间。

(2) 验货：在进货口卸货、验货、登记、确认。

(3) 加速器辐射安全设施检查及参数设置：辐射工作人员首先检查加速器各项辐照安全措施，满足开机条件后，根据用户要求、产品种类，计算辐照剂量，设置加速器

运行参数、束下传输线的速度。

(4) 待辐照产品上货：待辐照产品搬运至上下货工位旁的“上货区”，上货工位工作人员将待辐照产品依次紧密放置于自动循环运行的链式传送带上。

(5) 产品辐照：批量产品经循环链式传送带自动传送至辐照室内，依次在钛窗下接受电子束辐照。

(6) 送出辐照室：辐照结束后，由循环链式传送带自动送出辐照室。

(7) 产品翻面：对于需要双面辐照的产品，在循环链式传送带翻面区由自动翻面装置进行翻面操作。

(8) 产品辐照：继续由循环链式传送带送至辐照室内，依次在钛窗下接受电子束辐照。

(9) 已辐照产品下货：达到辐照所需剂量的产品，由循环链式传送带自动送出辐照室，由下货工位工作人员搬下自动链式传送带，放在“下货区”，后由搬运人员运至“已辐照货物存放区”。

(10) 剂量检验确认：辐射工作人员取样检验，确认货物接受了预定辐照剂量，出具合格证。

(11) 出厂：在出货口确认、验货、装车出厂。

在产品辐照和产品翻面辐照过程中，辐照室内电子束流及其打在束下装置上产生的X射线是本项目主要的辐射污染物，同时电子束电离空气产生的臭氧和氮氧化物是本项目主要的气态污染物。

本项目电子加速器辐照加工工艺流程及产污环节见图 9-2，示意图见图 9-3。

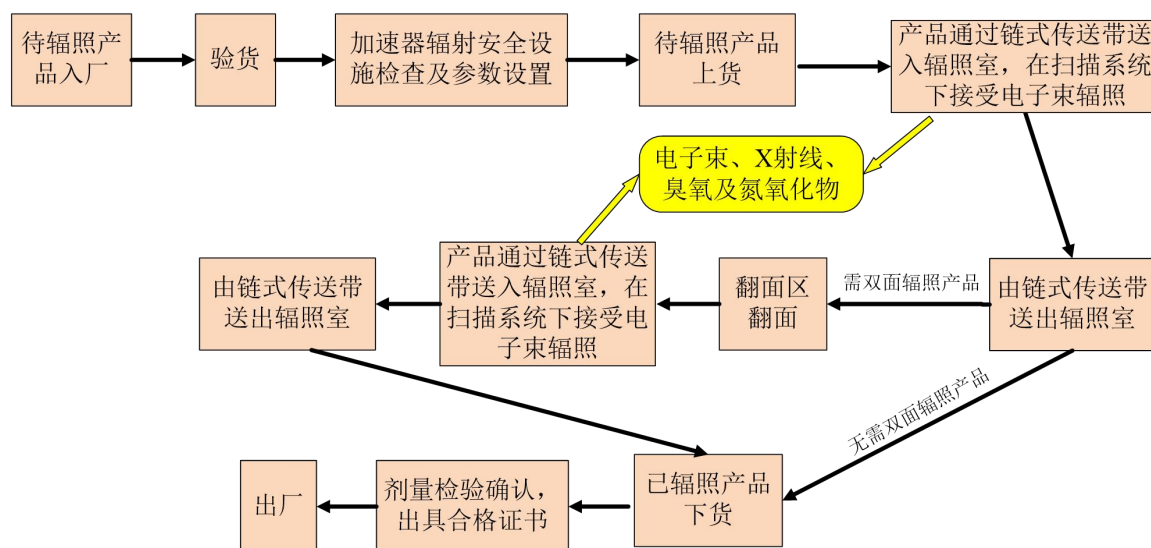


图9-2 本项目辐照加工工艺流程及产污环节示意图

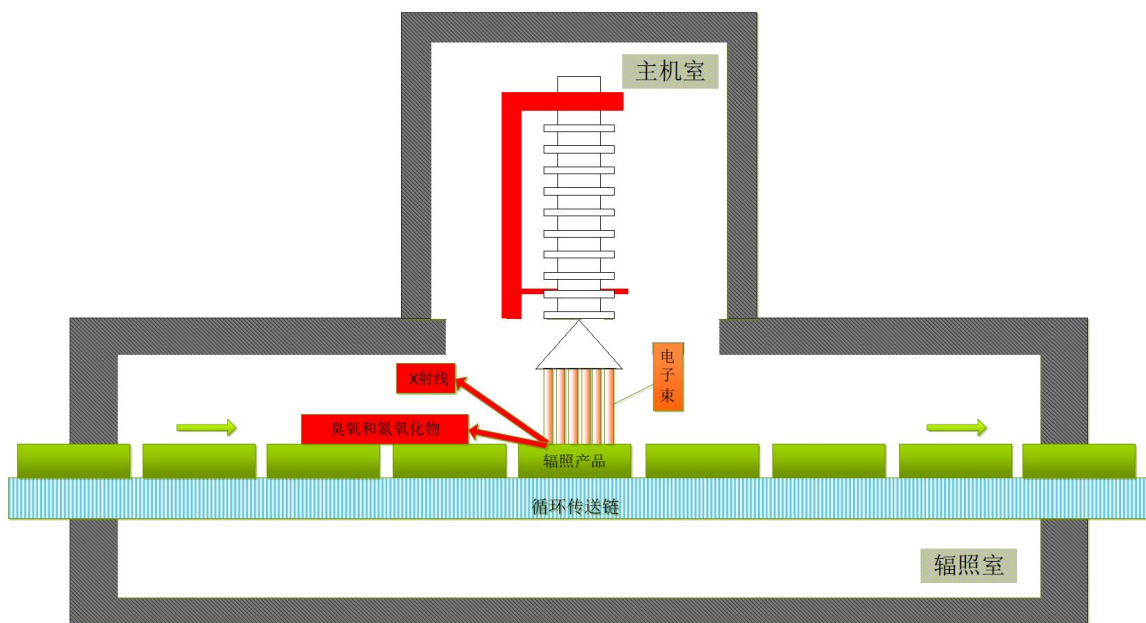


图9-3 本项目辐照加工主要产污环节示意图

9.1.3 劳动定员和工作负荷

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2400h；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2400h，年总开机辐照时间不超过7200h。每台加速器单班均拟配备2名控制室操作人员、3名上下货及搬运工作人员，单名人员年工作时间不超过2400h。

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货区、下货区、翻面区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 施工期污染源

本项目辐照加速器机房为新建建筑，机房尚未开始建设，建设施工时会产生少量的废气、扬尘、噪声、固体废物以及废水等污染物。施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

9.2.2 运行期正常工况污染源

根据工艺流程及产污环节可知，本项目运行过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。本项目主要污染物如下：

1、放射性污染

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 2.4mA，最大束流功率为 24kW。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附表 A.1，10MeV 侧向 90°方向的 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。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 0.048mA），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。

本项目电子加速器输出电子束能量最高为 10MeV，韧致辐射产生的 X 射线的最大能量为 10MV。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），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。因此本项目辐照加速器机房无需考虑中子防护。

2、非放射性污染

（1）机房内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。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，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。加速器机房在良好通风条件下，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。

本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入机房的工作人员的影响，需保证其有害气体职业接触限值满足《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》（GBZ 2.1-2019）中的要求。

（2）本项目电子加速器在运行过程中水冷机组、风机等会产生噪声，对周围声环境产生一定的影响。

（3）本项目辐射工作人员会产生少量的生活污水和生活垃圾。

（4）加速器配备的水冷系统，冷却水均为去离子水，定期补充，正常工作时不外排；加速器事故或检修时可能会外排少量的冷却水。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目2间辐照加速器机房均为地上两层混凝土结构，一层均包括辐照室、辐照输送系统（即从迷道自动进出的货物链式传送带），二层均包括主机室、控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、吊装平台，辐照室、主机室和控制室等辅房均分开设置。电子加速器工作时，加速器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，每班指定一人为运行值班长，掌控主机钥匙；上下货及搬运工作人员仅在链式传送带旁的上货区、下货区、翻面区工作并从事货物搬运工作，不从事辐射工作。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。

单间辐照室东墙南部和北部均设置有1个货物进出门洞，门洞处拟设置安全门，不开展辐照工作时，安全门关闭并上锁，开展辐照工作时，安全门打开，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，二层主机室设置有一扇维修门，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，本项目辐照加速器机房的布局合理可行。

(2) 工作场所分区

公司拟将2间辐照加速器机房的辐照室、主机室划为控制区，在辐照室和主机室维修门外、辐照室货物进出门洞外及周围醒目处设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，加速器工作期间禁止任何人员进入辐照室和主机室；拟将2间机房辐照室东墙外3m（包括上下货和翻面区）和西墙外30cm范围内（在地面画线并标识监督区）、机房1南墙外和机房2北墙外楼梯、二层控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、吊装平台划为监督区，并在醒目处设置表明监督区的标牌，加速器工作时无关人员不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目辐照加速器机房布局分区示意图见图 10-1。

10.1.2 辐射防护设计

本项目辐照加速器机房拟建址为租赁场所。本项目辐照加速器机房拟采取的辐射防

护屏蔽设计见表 10-1，机房结构见图 10-2。

表 10-1 本项目辐照加速器机房拟采取的辐射防护屏蔽设计一览表

机房		屏蔽体	屏蔽设计参数
辐照加速器机房 1	辐照室	北墙	
		西墙	
		南墙	
		内隔墙	
		迷道内墙	
		迷道外墙	
		南北迷道之间隔墙	
		屋顶	
		维修门	
	主机室	北墙	
		南墙	
		东墙	
		西墙	
		屋顶	
		维修门	
辐照加速器机房 2	辐照室	北墙	
		西墙	
		南墙	
		内隔墙	
		迷道内墙	
		迷道外墙	
		南北迷道之间隔墙	
		屋顶	
		维修门	
	主机室	北墙	
		南墙	
		东墙	

	西墙	
	屋顶	
	维修门	

为了防止射线泄漏，辐照加速器机房排风管道采用迷宫式，管道尺寸为800mm×800mm，布置在地面下1.3m处，X射线至少需经3次散射才能到达排风管道地面出口外；加速器辐照室维修门处设置直径为25mm的穿线管，其余管线均采用预埋方式从水平面或垂直面以斜形或迷宫式穿墙，穿墙管道的开口均避开辐射直射区和人员经常停留的地点，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

10.1.3 辐射安全和防护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在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，本项目2间辐照加速器机房均设计有相应的辐射安全装置和防护措施（部分设施平面布置示意图10-3），本项目与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中相关辐射安全要求的对比评价见表10-2。

表10-2 本项目拟设置的辐射安全和防护设施对照评价

辐射安全和防护措施	《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）	本项目每间辐照加速器机房	对比结论
(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。	加速器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辐照室、主机室维修门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机。 辐照室和主机室维修门外设置钥匙开关，插上钥匙才能打开门。 主控钥匙、辐照室及主机室门钥匙均与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运行值班长使用。	满足
(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。	辐照室维修门、主机室维修门与束流控制和加速器高压联锁。门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。门机联锁装置性能可靠，其引发加速器停机时可自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机联锁装置不设置旁路，维护与维修后将恢复原状。	满足
(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	电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件，用于将辐照货物送至辐射束下的传	满足

	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。	输系统若因故障偏离正常运行状态或停止运行时，将通过 PLC 反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。	
(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。	辐照室两扇维修门之前的东墙外均安装红黄绿信号警示灯、LED 屏和音响，辐照室内部、主机室维修门外、主机室内部均安装红黄绿信号警示灯和音响，并与电子加速器辐照装置联锁。加速器准备完成、具备出束条件后黄灯亮，开机出束后红灯亮、音响响、同时 LED 屏提示“开机禁止入内”，关机后绿灯亮、音响停止，同时 LED 屏提示“关机允许进入”。	满足
(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。	辐照室内设置 6 个“巡检按钮”，主机室内设置 5 个“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器关机后，巡检按钮被触发，加速器无法开启高压，加速器开机前，操作人员需进入辐照室和主机室绕行一圈按序按下全部“巡检按钮”，确认无人员误留，完成巡检流程后，加速器才能开启高压。	满足
(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。	在辐照室内南、北迷道内口和出口、主机室内迷道外口均设置一套防人误入装置（辐照室内共 4 套、主机室内 1 套），并与加速器的开、停机联锁。在加速器工作过程中，若人员误入辐照室或主机室，相应的防人误入装置将发出光电报警，并自动切断加速器电源。 每套防人误入装置均由三道防人误入的光电联锁装置组成，能够完整覆盖地面至 1.8m 高度范围。 环评建议每套装置的一道防人误入光电联锁装置从不同的厂家购买，确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。	满足
(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。	加速器控制室主控台上设置 1 个急停按钮，辐照室、主机室内设置急停拉线开关并覆盖全部区域，紧急状态下，拉下急停拉线开关或按下急停按钮，即终止加速器的运行，拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠，并有中文标识和使用说明。 辐照室 2 扇维修门、主机室 1 扇维修门内侧各设置一个门开关，并设置中文标识和使用说明，事故工况下人员可按下此开关打开维修门离开机房。	满足
(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	在机房内安装一套固定式辐射剂量监测系统，配备 2 个监测探头，分别位于辐照室和主机室迷道内，数字显示装置安	满足

	锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开。	装在控制室内，固定式辐射剂量监测系统与辐照室和主机室维修门联锁，当任一监测点处的辐射剂量率超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室和主机室维修门无法打开。	
(9) 通风联锁	主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。	主机室、辐照室内设置通风系统，并与控制系统联锁，当通风系统出现故障或停止运行时，加速器不能启动工作；加速器停机后，只有达到预先设定的时间（ 环评建议至少 5.3min ）后才能开门，以保证机房内的臭氧等有害气体浓度低于允许值。	满足
(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。	辐照室、主机室内设置烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器立即停机并停止通风。	满足
(11) 警告标志	/	在辐照室和主机室维修门外、辐照室货物进出门洞外及周围醒目处粘贴醒目的、符合 GB18871 规定的“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿在其附近停留。	/
(12) 监控系统	/	在辐照室和主机室内、维修门和货物进出门洞周围等处安装监控探头，监控器设置在控制室主控台上，可覆盖监控机房内外情况。	/

综上所述，本项目辐照加速器机房拟采取的辐射安全和防护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求以及纵深防御、冗余性、多元性、独立性的安全原则，也能满足《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）等标准中关于安全设施的要求，项目设计安全可行。

此外，为进一步确保辐照工作中的辐射安全，公司拟根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中相关要求对电子加速器进行日常维护与维修，同时按要求落实电气系统、给水系统、通风系统和防火系统，本项目与 HJ 979-2018 中相关要求的对比评价见表 10-3。

表 10-3 本项目电子加速器的日常维护与维修、其他要求对照评价

项目内容	《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）	本项目拟采取措施	对比结论
其他要求	<p>6.3.1 电气系统</p> <p>(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。</p> <p>(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。</p> <p>(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。</p>	<p>(1) 本项目位于古龙工业园，供电条件能够满足加速器装置及厂房建设和公用工程的供电要求，能够确保电压电流的稳定度。</p> <p>(2) 主机室、辐照室、控制室均设置有应急照明系统。</p> <p>(3) 各供电系统及相关设备均有可靠的接地系统。</p>	满足

	(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。	(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。	
	<p>6.3.2 给水系统</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>	<p>(1) 根据加速器装置总用水要求, 本项目给水系统可提供一定裕量的水流量和水压。</p> <p>(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。</p>	满足
	<p>6.3.3 通风系统</p> <p>(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 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。</p> <p>(2) 臭氧的产生和排放, 其计算模式和参数见附录 B。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>	<p>本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, 风机排风速率不低于 14400m³/h, 排风管道最终排放口为 13.3m, 高于厂房屋顶 7.3m。</p> <p>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。</p>	满足
	<p>6.3.4 防火系统</p> <p>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。</p>	辐照室和主机室采取实体屏蔽结构, 耐火等级不低于二级, 辐照室、主机室内设计有烟雾报警装置, 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; 同时设计有有效的灭火设施。	满足
日常检修(管理)及记录	<p>7.1.1 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>	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。	满足
	<p>7.1.2 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>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。</p> <p>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。</p>		
--	--	--	--

10.2 三废的治理

(1) 废气处置措施

本项目2间辐照加速器机房均拟采取自然进风，拟设置机械排风装置，风机排风速率不低于14400m³/h，采用迷宫式地下排风管道，从地面下1.3m处穿过西墙，未破坏机房屏蔽效果，室内吸风口位于加速器辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道最终排放口为13.3m，高于厂房屋顶7.3m。辐照加速器机房内臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出室外，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

(2) 噪声处理措施

本项目辐照加速器机房将采用低噪声水冷机组、风机等设备，并采取基础减震，进行降噪处理，经墙体隔声和距离的衰减后，设备噪声对周围环境影响很小。

(3) 废水处理措施

本项目辐射工作人员产生的少量生活污水经园区化粪池处理后排至市政污水管网，满足相关环保要求。

本项目电子加速器输出电子束能量最高为10MeV，冷却水活化的水平很低，本项目加速器事故或检修时外排的冷却水可直接作为普通工业废水排入园区的污水处理系统，对周围环境影响很小。

(4) 固体废物处理措施

本项目辐射工作人员产生的少量生活垃圾将依托公司的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，满足相关环保要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐照加速器机房为实体屏蔽结构，在建设阶段会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及拟采取的污染防治措施如下：

（1）大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：**a.**及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；**b.**车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；**c.**施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得相关部门同意。

（3）固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

（4）废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。公司计划在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在厂房内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

11.2.1.1 加速器辐照室及主机室直射 X 射线的屏蔽计算

(1) 估算模式

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，主要为医疗器械、中药保健品、日化用品、食品（冻品、宠物食品、调味品）、珠宝玉石、木材等

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X 射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致 X 射线的发射率也不相同。本项目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。理论估算模式采用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 相关公式。

根据 HJ 979-2018 附录 A 公式（A-1）可以导出参考点的剂量当量率 H （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

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（ $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

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。

D_{10} 计算方法为：

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

式中：

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

I——电子束流强度 (mA)；

f_c ——X 射线发射率修正系数。

B_x 可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法为：

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

$$n=(S-T_1)/T_c+1 \quad \dots\dots \text{（公式 11-4）}$$

式中：

S——屏蔽体厚度 (cm)；

T_1 ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层 (cm)；

T_c ——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。

(2) 加速器辐照室屏蔽计算结果

辐照室内，加速器电子束朝下，不直射向四周屏蔽墙，辐照室地下为土层、人员无法居留，不考虑辐照室底部的屏蔽防护效果；辐照室屏蔽墙辐射影响主要考虑韧致辐射所致、与电子束入射方向呈 90° 的初级 X 射线，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。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附表 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_c 为 0.5。本项目加速器束流强度为 2.4mA，根据公式 11-2 可计算得出辐照室 D_{10} 为 $972\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

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《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附表 A.2 和附表 A.3，采用内插法，入射电子能量为 6MeV，混凝土的 T_1 和 T_c 值均为 34.2cm。

根据公式 11-1~11-4，本项目加速器辐照室墙体的屏蔽计算结果见表 11-1，参考点位见图 11-1（本项目加速器机房 1 和机房 2 为对称设计，以机房 1 为例标注参考点位）。

表 11-1 加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

参数	2 间机房辐照室东墙					机房 1 辐照室南墙/ 机房 2 辐照室北墙		2 间机房辐照室西墙		机房 1 辐照室北墙/ 机房 2 辐照室南墙		
	点位 1 (人员维修门)	点位 2 (货物进 出门洞)	点位 3	点位 4 (货物进 出门洞)	点位 5 (人员维修门)	点位 6	点位 7	点位 8	点位 9	点位 10	点位 11	点位 12
S (cm)												
等效混凝土厚度 (cm)	427.6	377.7	309	496.0	464.3	252.6	248.7	309.8	286.6	464.7	414.5	426.3
T ₁ (cm)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
T _e (cm)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
B _x	3.14E-13	9.04E-12	9.22E-10	3.14E-15	2.65E-14	4.11E-08	5.35E-08	8.74E-10	4.17E-09	2.58E-14	7.59E-13	3.43E-13
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	972	972	972	972	972	972	972	972	972	972	972	972
T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
d (m)	13.546	12.831	12	14.399	14.712	9.885	9.41	3.2	3.369	8.79	8.843	8.938
H (μSv/h)	1.66E-06	5.34E-05	6.22E-03	1.47E-08	1.19E-07	4.09E-01	5.87E-01	8.30E-02	3.57E-01	3.25E-07	9.43E-06	4.17E-06

(3) 加速器主机室屏蔽计算

进入加速器主机室内的辐射场主要由三部分叠加：辐照室内与入射电子束呈约 100° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的**贯穿辐射场**；尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的**束流损失辐射场**；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，直接照射入主机室形成的**散射辐射场**。

本项目加速器开机时，辐照加速器机房主机室内及屋顶上方均无人到达，因此，对屋顶直射的防护主要应考虑从一层辐照室 X 射线源直射到二层主机室周围辅助房间的剂量。

①辐照室 X 射线源对主机室的贯穿辐射影响

辐照室内与入射电子束呈约 100° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的贯穿辐射对主机室周围产生的辐射影响依然采用公式 11-1~11-4 进行理论计算，计算结果见表 11-2，参考点位见图 11-2（图 11-1 的剖面图）。

表 11-2 辐照室 X 射线源对主机室周围的辐射影响核算一览表

参数	2 间机房主机室东墙			2 间机房主机室西墙		机房 1 主机室南墙/ 机房 2 主机室北墙		机房 1 主机室北墙/ 机房 2 主机室南墙
	点位 13	点位 14	点位 15 (控制室)	点位 16	点位 17	点位 18	点位 19	点位 20
S (cm)								
等效混凝土 厚度 (cm)	298.1	335.5	684.0	371.5	346.1	578.7	570.9	354.0
T ₁ (cm)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
T _e (cm)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
B _x	1.92E-09	2.95E-10	1.27E-19	1.37E-11	7.60E-11	1.20E-17	2.03E-17	4.45E-11
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	972	972	972	972	972	972	972	972
T	1	1	1	1	1	1	1	1
d (m)	4.378	4.889	8.884	3.985	6.073	7.827	8.039	4.918
H (μSv/h)	9.74E-02	1.20E-02	1.57E-12	8.39E-04	2.00E-03	1.90E-10	3.05E-10	1.79E-03

②主机室束流损失辐射影响

不同类型的电子加速器在加速过程中的束流损失有很大差异，根据本项目电子加速器生产厂家提供的资料，本项目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 0.048mA），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）附表 A.1，3MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90°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_c 为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室 D_{10} 为 $4.61\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

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.4，3MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV，本项目保守取 2MeV。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附表 A.2 和附表 A.3，入射电子能量为 2MeV，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=22.1\text{cm}$ 、 $T_e=20.1\text{cm}$ 。

根据公式 11-1~11-4，本项目加速器主机室束流损失辐射影响核算结果见表 11-3，参考点位见图 11-3。

表 11-3 加速器主机室束流损失辐射影响核算一览表

参数	2 间机房主机室东墙		机房 1 主机室南墙/ 机房 2 主机室北墙	机房 1 主机室维修门/ 机房 2 主机室维修门	2 间机房主机室西墙	机房 1 主机室北墙/ 机房 2 主机室南墙
	点位 21	点位 22 (控制室)	点位 23	点位 24	点位 25	点位 26
S (cm)						
等效混凝土厚度 (cm)	144	144	200.9	136.5	117.9	257.4
T ₁ (cm)	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1
T _e (cm)	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
B _x	8.57E-08	8.57E-08	1.28E-10	2.03E-07	1.72E-06	1.96E-13
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61
T	1	1	1	1	1	1
d (m)	3.7	8.6	7.7	7.767	3.2	4.7
H (μSv/h)	2.89E-02	5.34E-03	9.95E-06	1.55E-02	7.74E-01	4.09E-08

③辐照室 X 射线源对主机室的散射辐射影响

本项目辐照室内 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，直接照射到主机室顶部，对机房顶部产生辐射影响。

沿与电子束入射方向呈 180°方向的次级 X 射线能量较低，根据《辐射防护导论》（方杰编，P188），入射 X 射线若由能量为 3~10MeV 电子产生的，180°反射时，用 0.5MeV 的透射比曲线。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附表 A.2 和附表 A.3，入射电子能量为 0.5MeV 时，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=15.2\text{cm}$ 、 $T_e=11.9\text{cm}$ ，则主机室顶部的透射比 B_x 为 2.21×10^{-11} ，将其带入公式 11-1 可计算得加速器辐照室 X 射线源对主机室顶部外 30cm 的散射辐射剂量率最大为 $4.39\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ （ D_{10} 取 90° 方向上的值 $972\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ， T 取 1， d 保守取 7m），可忽略不计。

④主机室叠加剂量

综上，叠加以上三部分辐射影响后，可估算得出本项目加速器主机室外总辐射剂量率，具体见表 11-4。

表 11-4 加速器主机室外辐射剂量率汇总表（单位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

位置		贯穿辐射影响	束流损失辐射影响	散射辐射影响	叠加值
2 间机房 主机室东墙外 30cm	电气设备室	9.74E-02 (点位 13)	2.89E-02 (点位 21)	/	1.26E-01
2 间机房主机室东墙外 控制室		1.57E-12 (点位 15)	5.34E-03 (点位 22)	/	5.34E-03
机房 1 主机室南墙 /机房 2 主机室北 墙外 30cm	吊装平台	3.05E-10 (点位 19)	9.95E-06 (点位 23)	/	9.95E-06
机房 1 主机室维修 门/机房 2 主机室 维修门外 30cm	吊装平台	3.05E-10 (点位 19)	1.55E-02 (点位 24)	/	1.55E-02
2 间机房主机室西 墙外 30cm	临空（无人居 留）	2.00E-03 (点位 17)	7.74E-01 (点位 25)	/	7.76E-01
机房 1 主机室北墙 /机房 2 主机室南 墙外 30cm	管通设备室	1.79E-03 (点位 20)	4.09E-08 (点位 26)	/	1.79E-03

注：各位置处辐射剂量率保守取理论估算最大值。

11.2.1.2 加速器机房迷道和维修门辐射影响分析

本项目加速器辐照室和主机室设计有迷道，辐照室迷道口设计有货物进出门洞和维修门，主机室迷道口设计有维修门。维修门和货物进出门洞外剂量主要由两部分组成：

①X 射线直射剂量，②X 射线散射剂量。

(1) X 射线直射剂量

根据表 11-1、11-4 估算结果，X 射线直射剂量对维修门和货物进出门洞外关注点造

成的辐射剂量见表 11-5。

表 11-5 X 射线直射剂量结果一览表

参数	辐照室北侧维修门	辐照室北侧货物进出门洞	辐照室南侧维修门	辐照室南侧货物进出门洞	主机室维修门
	点位 1	点位 2	点位 5	点位 4	点位 19 和点位 24
H ($\mu\text{Sv/h}$)	1.66E-06	5.34E-05	1.19E-07	1.47E-08	1.55E-02

(2) X 射线散射剂量

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-5) 可计算得出迷道外入口处的剂量当量率 H (Sv/h) :

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

式中: D_{10} 同上;

$H_{1,rj}$ —迷道外入口处辐射剂量率, Sv/h;

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数, 根据 HJ 979-2018 取 0.005;

α_2 —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数, 根据 HJ 979-2018 取 0.02;

A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积, 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;

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —沿着迷道长轴中心线的距离, m;

j —第 j 个散射过程。

②计算结果

本项目加速器机房 1 和机房 2 为对称设计, 以机房 1 为例标注参考点位。X 射线在加速器辐照室的散射路线见图 11-4, 在加速器主机室的散射路线见图 11-5, 由该图可知, X 射线源至少需经 5 次散射后才能到达辐照室货物进出门洞/维修门处, 至少需 4 次散射后才能到达主机室维修门处, 本项目加速器机房迷道外门洞/维修门外关注点处辐射剂量率的计算参数及计算结果见表 11-6。

表 11-6 X 射线散射剂量计算结果一览表

参数	辐照室北侧维修门	辐照室北侧货物进出门洞	辐照室南侧维修门	辐照室南侧货物进出门洞	主机室维修门
	点位 1	点位 2	点位 5	点位 4	点位 24
D_{10} (Gy·h ⁻¹)	972	972	972	972	4.61
α_1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
α_2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
α_3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
α_4	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
α_5	0.02	0.02	0.02	0.02	/
A_1 (m ²)	11.48	11.48	10.975	10.975	35.1
A_2 (m ²)	5	5	4.875	4.875	7.77
A_3 (m ²)	4.75	4.75	4.75	4.75	4.921
A_4 (m ²)	6.625	6.625	6.625	6.625	4.81
A_5 (m ²)	6.5	6.5	6.5	6.5	/
d_1 (m)	4.49	4.49	6.485	6.485	3.449
d_{r1} (m)	5.55	5.55	5.55	5.55	3.612
d_{r2} (m)	4.21	4.21	4	4	2.705
d_{r3} (m)	4.35	4.35	4.35	4.35	5.315
d_{r4} (m)	6.097	4.71	5.9	4.525	1.55
d_{r5} (m)	2.1	2.1	2.1	2.1	/
$H_{1,rj}$ (μSv/h)	2.67E-04	4.48E-04	1.41E-04	2.40E-04	1.54E-02

(3) X 射线总剂量

根据表 11-5、11-6 可进一步估算得出维修门和货物进出门洞外的总剂量，估算结果见表 11-7。

表 11-7 维修门和货物进出门洞外关注点总剂量计算结果一览表

参数	辐照室北侧维修门外 30cm	辐照室北侧货物进出门洞外 30cm	辐照室南侧维修门外 30cm	辐照室南侧货物进出门洞外 30cm	主机室维修门外 30cm
	点位 1	点位 2	点位 5	点位 4	点位 24
X 射线直射剂量 (μSv/h)	1.66E-06	5.34E-05	1.19E-07	1.47E-08	1.55E-02
X 射线散射剂量 (μSv/h)	2.67E-04	4.48E-04	1.41E-04	2.40E-04	1.54E-02

X 射线总剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.69E-04	5.01E-04	1.41E-04	2.40E-04	3.09E-02
---------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------

11.2.1.3 天空反散射影响

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）可计算出天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 H （Sv/h）：

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

式中： D_{10} 意义同上。

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），本项目取 20m。

B_{xs} 可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法同公式 11-3 和 11-4。

$$\Omega = 4 \text{tg}^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \quad \dots\dots \text{（公式 11-7）}$$

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： D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上，即 D_{10} 为 $972 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=34.2\text{cm}$ 、 $T_e=34.2\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离 c 为 6.7m，屋顶长度之半 a 为 5.9m、宽度之半 b 为 3.15m，根据公式 11-7 可计算得出 $\Omega=0.293\text{Sr}$ 。

主机室辐射源： D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上，即 D_{10} 为 $4.61 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=22.1\text{cm}$ 、 $T_e=20.1\text{cm}$ 。主机室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离 c 为 4.206m，屋顶长度之半 a 为 5.9m、宽度之半 b 为 3.15m，根据公式 11-7 可计算得出 $\Omega=0.559\text{Sr}$ 。

根据公式 11-6，可计算出辐照加速器机房天空反散射对机房周围的辐射影响，核算结果见表 11-8。

表 11-8 辐照加速器机房天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数		关注点 (X 射线源外 20m)
辐照室辐射源所致天空反散射辐射影响	S (cm)	
	等效混凝土厚度 (cm)	234
	T ₁ (cm)	34.2
	T _e (cm)	34.2
	B _{xs}	1.44E-07
	D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	972
	Ω (Sr)	0.293
	d _i (m)	8.7
	d _s (m)	20
	H (μSv/h)	2.34E-05
主机室辐射源所致天空反散射辐射影响	S (cm)	
	等效混凝土厚度 (cm)	130.1
	T ₁ (cm)	22.1
	T _e (cm)	20.1
	B _{xs}	4.24E-07
	D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	4.61
	Ω (Sr)	0.559
	d _i (m)	6.206
	d _s (m)	20
	H (μSv/h)	1.49E-06
参考点处复合辐射剂量率 H (μSv/h)		2.49E-05

根据表 11-8 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所致机房外的辐射剂量率为 2.49E-05μSv/h，对机房周围的辐射环境影响很小。

11.2.1.4 X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

本项目辐照加速器机房高度为 7.75m，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。

11.2.1.5 小结

本项目辐照加速器机房理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 辐照加速器机房理论估算结果汇总一览表

位置		剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考 控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果	
辐照室	2 间机房北侧维修门外 30cm	点位 1	2.69E-04	2.5	满足
	2 间机房北侧货物进出门洞外 30cm	点位 2	5.01E-04	2.5	满足
	2 间机房东墙外 30cm	点位 3	6.22E-03	2.5	满足
	2 间机房南侧货物进出门洞外 30cm	点位 4	2.40E-04	2.5	满足
	2 间机房南侧维修门外 30cm	点位 5	1.41E-04	2.5	满足
	机房 1 南墙/机房 2 北墙外 30cm	点位 6/点位 7	5.87E-01	2.5	满足
	2 间机房西墙外 30cm	点位 8/点位 9	3.57E-01	2.5	满足
	机房 1 北墙/机房 2 南墙外 30cm	点位 10/点位 11/ 点位 12	9.43E-06	2.5	满足
主机室	2 间机房维修门外 30cm	点位 24	3.09E-02	2.5	满足
	2 间机房东侧控制室	点位 22	5.34E-03	2.5	满足
	2 间机房东墙外 30cm	点位 21	1.26E-01	2.5	满足
	机房 1 南墙/机房 2 北墙外 30cm	点位 23	9.95E-06	2.5	满足
	2 间机房西墙外 30cm (临空, 无人居留)	点位 25	7.76E-01	/	/
	机房 1 北墙/机房 2 南墙外 30cm	点位 26	1.79E-03	2.5	满足

根据表11-9可知, 本项目电子加速器以最大功率运行时, 机房辐照室四周屏蔽体外30cm及以外区域人员可达处辐射剂量率最大为**5.87E-01 $\mu\text{Sv/h}$** , 主机室四周屏蔽体外30cm及以外区域人员可达处辐射剂量率最大为**1.26E-01 $\mu\text{Sv/h}$** , 主机室西墙外30cm人员不可达处辐射剂量率最大为**7.76E-01 $\mu\text{Sv/h}$** , 满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求: 辐照加速器机房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超过2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.1.6 叠加影响

本项目2间辐照加速器机房南北向并排设置, 从南向北依次为机房1、机房2, 考虑到机房布局情况和屏蔽情况, 需考虑相邻两台加速器同时开机出束时对两间机房相邻布置

的一层货物进出门洞和维修门外、二层机房1北墙和机房2南墙外的叠加影响。

本项目保守取相邻2间机房相应关注点处的最大剂量率进行叠加，根据表11-9可进一步估算得出叠加剂量率，具体见表11-10。

表 11-10 2 间辐照加速器机房之间的叠加剂量率估算结果一览表

位置		相应关注点处辐射剂量率 (μSv/h)		叠加剂量率 (μSv/h)
辐照室	机房 1 北侧维修门和机房 2 南侧维修门外 (通道)	机房 1: 2.69E-04 (点位 1)	机房 2: 1.41E-04 (点位 5)	4.10E-04
	机房 1 北侧货物进出门洞和机房 2 南侧货物进出门洞外 (通道)	机房 1: 5.01E-04 (点位 2)	机房 2: 2.40E-04 (点位 4)	7.41E-04
主机室	机房 1 北侧和机房 2 南侧外 (管道设备室)	机房 1: 1.79E-03 (点位 26)	机房 2: 1.79E-03 (点位 26)	3.58E-03

根据表 11-10 可知，本项目 2 间辐照加速器机房之间的叠加剂量率最大为 3.58E-03μSv/h，仍能满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求（不大于 2.5μSv/h）。

11.2.2 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \dots\dots \text{（公式 11-8）}$$

上式中：

D_{Eff} —参考点人员有效剂量 (Sv)；

K_a —参考点的周围剂量当量率 (Sv·h⁻¹)；

t—参考点处受照时间 (h)；

T—居留因子；

U—使用因子，本项目取 1。

1、辐射工作人员年有效剂量评价

本项目投入运行后，单名辐射工作人员年工作时间不超过 2400h。根据公式 11-8，本项目辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-11。

表 11-11 本项目辐射工作人员年受照剂量计算结果一览表

位置	场所类型	参考点处辐射剂量率 (μSv/h)	使用因子	居留因子	年照射时间 (h)	年受照剂量 (mSv)
主机室东侧	控制室	5.34E-03	1	1	单人年工作时间不超过 2400h	1.28E-02
主机室东墙外 30cm	电气设备室	1.26E-01	1	1/16		1.89E-02
机房 1 主机室南墙/机房 2 主机室北墙外 30cm	吊装平台	9.95E-06	1	1/16		1.49E-06

主机室维修门外 30cm	吊装平台	3.09E-02	1	1/16		4.64E-03
机房1主机室北墙/ 机房2主机室南墙 外30cm	管通设备室	3.58E-03（2间机 房的叠加影响）	1	1/16		5.37E-04
机房1辐照室北墙/ 机房2辐照室南墙 外30cm	机房2辐照室/ 机房1辐照室	9.43E-06	1	1/16		1.41E-06

根据表 11-11 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大约为 **1.89E-02mSv**，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

2、公众年有效剂量评价

将相关参数带入公式 11-8，可计算出本项目周围公众的年受照剂量，计算结果见表 11-12。

表 11-12 本项目周围公众年受照剂量计算结果一览表

位置	场所类型	保护目标处辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用 因子	居留 因子	年照射时 间 (h)	年受照剂 量 (mSv)
2 间机房辐照室北 侧维修门外 30cm	通道	2.69E-04	1	1/16	单班年工作 时间不超过 2400h	4.04E-05
2 间机房辐照室北 侧货物进出门洞外 30cm	辐照货物传送通道	5.01E-04	1	1/16		7.52E-05
2 间机房辐照室东 墙外 30cm	辐照货物传送通道	6.22E-03	1	1/16		9.33E-04
2 间机房辐照室南 侧货物进出门洞外 30cm	辐照货物传送通道	2.40E-04	1	1/16		3.60E-05
2 间机房辐照室南 侧维修门外 30cm	通道	1.41E-04	1	1/16		2.12E-05
机房 1 辐照室南墙/ 机房 2 辐照室北墙 外 30cm	楼梯	5.87E-01	1	1/16		8.81E-02
2 间机房辐照室西 墙外 30cm	通道	3.57E-01	1	1/16		5.36E-02
机房 1 辐照室北侧 维修门和机房 2 辐 照室南侧维修门外 (叠加影响)	通道	4.10E-04	1	1/16		6.15E-05
机房 1 辐照室北侧 货物进出门洞和机 房 2 辐照室南侧货 物进出门洞外 (叠 加影响)	通道	7.41E-04	1	1/16		1.11E-04
2 间机房辐照室东 墙外 2.5m	辐照车间内货物上 下货及翻面区	4.44E-03	1	1		1.07E-02

机房 1 南侧约 40m	厦门古龙食品有限公司第一包装车间	2.16E-02	1	1	5.18E-02
机房 1 西南侧约 50m	厦门古龙食品有限公司第二包装车间	1.39E-02	1	1	3.34E-02
机房 2 北侧约 44m	厦门古龙食品有限公司制罐车间	1.85E-02	1	1	4.44E-02

根据表 11-12 可知，本项目评价范围内公众年有效剂量最大约为 **8.81E-02mSv**，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员及周围公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.3 三废的治理评价

1、废气处理措施评价

本项目电子加速器在工作状态时，产生的 X 射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目辐照加速器机房拟设置机械排风系统，风机排风速率不低于 14400m³/h，机房内臭氧和氮氧化物可通过排风系统排入外环境。由于氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，氮氧化物的毒性比臭氧的小，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本报告主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

（1）臭氧的产生及其防护

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B.4 “在辐射加工中，只有仅利用 X 射线的厂房，需要考虑 X 射线产生的臭氧。而电子束和 X 射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了”，故本项目只考虑电子束产生的臭氧，臭氧的产生及其防理论估算模式采用《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加速器机房内臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad \dots\dots \text{（公式 11-9）}$$

式中：

P——单位时间电子束产生臭氧的质量（mg/h）；

I——电子束流强度（mA）；

d——电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5keV/cm$ 和辐照室尺寸选取，本项目线阻为 40m，加速器扫描盒出口距离辐照室地面约为

180cm，因此 d 取 180cm；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，保守值可取为 10。

本项目加速器机房臭氧产生率计算参数及计算结果见表 11-13。

表 11-13 臭氧产生率计算参数和计算结果

参数	加速器机房
d (cm)	180
G	10
I (mA)	2.4
P (mg/h)	1.944×10^5

由表 11-13 可知，本项目加速器机房臭氧的产生率为 $1.944 \times 10^5 \text{mg/h}$ 。

②加速器机房内臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，当长时间辐照时，加速器机房内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = PT_c / V \quad \dots\dots \text{（公式 11-10）}$$

式中：P 意义同上。

C_s ——加速器机房内臭氧平衡浓度 (mg/m^3)；

V——辐照室的体积 (m^3)；

T_c ——对臭氧的有效清除时间 (h)

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad \dots\dots \text{（公式 11-11）}$$

T_v ——辐照室换气一次所需时间 (h)，本项目加速器机房的通风系统排风速率不低于 $14400 \text{m}^3/\text{h}$ ，加速器辐照室体积约为 345m^3 ，则加速器辐照室换气一次所需时间 T_v 为 $2.4 \times 10^{-2} \text{h}$ 。

T_d ——臭氧的有效化学分解时间 (h)，约为 50min。

本项目加速器机房内臭氧平衡浓度计算参数及计算结果见表 11-14。

表 11-14 臭氧浓度计算参数和计算结果

参数	加速器机房
t_v (h)	2.4×10^{-2}
t_d (h)	0.833
T_e (h)	2.33×10^{-2}
P (mg/h)	1.944×10^5
V (m^3)	345

C_s (mg/m^3)	13.13
----------------------------------	-------

③臭氧的排放

加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，通常情况下，该浓度大大高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$)。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，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad \dots\dots \text{（公式 11-12）}$$

式中： C_s 、 T_e 意义同上。

C_0 ——GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 (mg/m^3)， $C_0=0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

T ——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

根据公式 11-12 和以上参数可计算得出，本项目加速器停止工作后，辐照室内通风系统以通风速率不低于 $14400\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作，加速器机房通过约 0.088h （即 5.3min ）的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$)，此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器辐照室拟设置通风联锁装置，机房内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，以保证辐照室内臭氧等有害气体浓度低于允许值，该公司拟采取的通风联锁装置预先设定的时间应不少于 **5.3min**。

（2）臭氧排放对大气环境的影响分析

辐照加速器在运行过程中，在不断产生臭氧的同时，臭氧又通过自身的分解和强制通风排出室外而减少，长时间运行后，辐照室内空气中臭氧的浓度会达到稳定饱和值。

辐照室臭氧长期稳定的排放速率 Q ，是由辐照室空气中臭氧的平衡浓度 C_s 和臭氧风机排风量 L 决定的，辐照室臭氧长期稳定的排放速率 $Q = C_s \times L / 3600 = 13.13\text{mg}/\text{m}^3 \times 14400\text{m}^3/\text{h} \div 3600\text{s}/\text{h} = 52.52\text{mg}/\text{s}$ 。在分析臭氧排放对周围环境的影响时，以此排放速率预测臭氧落地浓度。

排放的臭氧造成的最大落地浓度，采用《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的估算模式 AERSCREEN 计算（点源，高斯扩散模型），将加速器机房排气筒的臭氧排放速率、排放浓度以及排气筒参数分别代入大气估算模式 AERSCREEN 程序，计算结果见表 11-15。

表 11-15 本项目加速器机房臭氧排放大气估算模型 AERSCREEN 计算参数及结果

排气筒臭氧稳定排放速率 Q (g/s)	0.05252
排气筒高度 (m)	13.3

排气筒内径 (m)	0.8
废气排放温度 (K)	288.15
臭氧风机排风量 (m ³ /h)	14400
排放口烟气流速 (m/s)	6.25
项目所在区域	城市
城区人口	532.7 万
最大 1h 落地浓度 (μg/m³)	29.75
最大 8h 落地浓度 (μg/m³)	26.77
最大落地浓度点与点源之间距离 (m)	25

根据表 11-15 可知，本项目单台电子加速器臭氧排放的最大 1h 落地浓度为 29.75μg/m³、最大 8h 落地浓度为 26.77μg/m³，两台电子加速器同时运行时，臭氧排放的最大 1h 落地浓度为 59.5μg/m³、最大 8h 落地浓度为 53.54μg/m³，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。本项目臭氧的排放能够满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准要求（O₃的 1 小时浓度限值 200μg/m³、8 小时浓度限值 160μg/m³）。

氮氧化物产生量要低于臭氧产生量，产额约为臭氧的三分之一，且辐照室内氮氧化物容许浓度要高于臭氧容许浓度，排放时的二级标准中氮氧化物小时浓度限值也高于臭氧。由此可知，本项目氮氧化物的排放也能满足要求。

（3）排风管道设置评价

本项目排风管道采用地下迷宫式，从地面下 1.3m 处从辐照室西墙穿出，排风管道最终排放口不低于 13.3m，并高于厂房屋顶。机房内产生的 X 射线在排风管道内至少经 3 次散射（散射示意图 1-6）才能到达辐照室外，根据《辐射防护导论》P189“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，可推断排风口处辐射剂量率能够满足相关标准要求，排风管道的设置合理可行。

2、噪声处理措施评价

本项目辐照加速器机房将采用低噪声水冷机组、风机等设备，并采取基础减震，进行降噪处理，经墙体隔声和距离的衰减后，设备噪声对周围环境影响很小。

3、废水处理措施评价

本项目辐射工作人员产生的少量生活污水经园区化粪池处理后排至市政污水管网，满足相关环保要求。

本项目电子加速器输出电子束能量最高为 10MeV，冷却水活化的水平很低，本项目加速器事故或检修时外排的冷却水可直接作为普通工业废水排入园区的污水处理系统，

对周围环境影响很小。

4、固体废物处理措施评价

本项目辐射工作人员产生的少量生活垃圾将依托公司的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，满足相关环保要求，对环境影响较小。

11.3 事故影响分析

本项目使用的工业辐照电子加速器属于II类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145号）之规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

11.3.1 本项目可能产生的辐射事故

本项目为使用II类射线装置进行辐照加工，可能发生的辐射事故主要有：

- (1) 开机辐照过程中工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到照射；
- (2) 由于安全联锁等装置失灵，开机辐照过程中，工作人员或其他人员误入机房内，致使其受到照射；
- (3) 束下装置、水冷系统等发生故障，辐照产品由于长时间受照引发火灾；
- (4) 通风联锁失效，加速器停机后，未达到预先设定的时间人员即进入机房，吸入超标准浓度的有害气体造成伤害；
- (5) 机器调试、检修时误照。电子加速器在调试或检修过程中，责任者脱岗，不注意防护或他人误开机使人员受到照射。

11.3.2 辐射事故预防措施

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等进行防范。厦门同威辐照有限公司拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

- (1) 建立辐射安全管理机构，制定完善的辐射安全管理规章制度，并在实际工作过程中严格执行；
- (2) 对辐射工作场所实行分区管理，划分控制区和监督区，公司加强管理，严禁无关人员进入机房，开机出束期间禁止任何人员进入机房；
- (3) 辐射操作人员按要求参加岗前培训，合格后方可上岗，工作人员须熟练掌握操作技能及辐射防护基本知识，公司加强管理，加强职工安全意识教育；
- (4) 操作人员严格按照操作规程操作，确认机房内无人后方可开始辐照工作，并通过视频监控、声光报警装置进一步确保机房内无人误留；
- (5) 辐射工作场所按要求设置门机联锁、急停按钮、视频监控、电离辐射警告标志等辐射安全与防护措施，每次开机出束前工作人员均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性，确保有效后方开始辐照工作；
- (6) 公司制定完善的设备维修维护制度，机器调试、检修时严格按照要求操作。

11.3.3 辐射事故应急措施

公司已针对本项目可能出现的事故，按照《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》的格式和要求，制定了切实可行的辐射事故应急预案，以备辐射事故发生时，有序处置应对辐射事故。此外，项目运行后，公司将积极开展辐射应急演练，通过演练，能够检验制定的应急措施是否可行。本项目辐射事故应急措施如下：

表 11-16 本项目辐射事故应急措施一览表

可能发生的辐射事故	应急措施
<p>①开机辐照过程中工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到照射；</p> <p>②由于安全联锁等装置失灵，开机辐照过程中，工作人员或其他人员误入机房内，致使其受到照射。</p>	<p>①立刻切断电源，确保射线装置停止工作；</p> <p>②机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内；</p> <p>③对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治；</p> <p>④发现上述事故者应立即报告公司辐射事故应急处理领导小组，由应急领导小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门；</p> <p>⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。</p>
<p>束下装置、水冷系统等发生故障，辐照产品由于长时间受照引发火灾。</p>	<p>①立刻切断电源，确保射线装置停止工作，并关闭机房内通风系统；</p> <p>②立即安排专业人员使用灭火器灭火；</p> <p>③机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内；</p> <p>④对可能受到火灾影响的人员，应及时将其送至医疗机构接受检查、救治；</p> <p>⑤发现上述事故者应立即报告公司辐射事故应急处理领导小组，由应急领导小组上报当地生态环境部门和公安部门；</p> <p>⑥事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。</p>
<p>通风联锁失效，加速器停机后，未达到预先设定的时间人员即进入机房，吸入超标准浓度的有害气体造成伤害。</p>	<p>①人员立即退出机房，并关闭机房门；</p> <p>②机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止人员入内；</p> <p>③对可能受到有害气体影响的人员，应及时将其送至医疗机构接受检查、救治；</p> <p>④发现上述事故者应立即报告公司辐射事故应急处理领导小组，由应急领导小组上报当地生态环境部门和公安部门；</p> <p>⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。</p>
<p>机器调试、检修时误照。电子加</p>	<p>①立刻切断电源，停止检修工作，确保射线装置停止工作；</p>

速器在调试或检修过程中，责任者脱岗，不注意防护或他人误开机使人员受到照射。

- ②机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内；
- ③对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治；
- ④发现上述事故者应立即报告公司辐射事故应急处理领导小组，由应急领导小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门；
- ⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。

11.3.4 辐射事故报告

根据原国家环保总局《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》，以及《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》的要求，当发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，及时制止事故的恶化，同时应尽快将事故情况电话告知当地生态环境部门和公安部门，并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

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》、《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素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；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作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；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，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，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。

公司已成立辐射安全与防护管理领导小组（具体见附件5），明确了生产部门经理为组长（兼辐射防护负责人），明确了领导小组组成成员，并明确了领导小组管理职责，职责主要包括：

- （1）贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规相关文件精神；
- （2）负责公司辐射安全与环境保护管理；
- （3）组织制定公司辐射安全与环境保护管理办法，做好管理工作；
- （4）组织人员参加辐射事故应急演练；
- （5）安排从事辐射工作的辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习和考核；
- （6）定期检查辐射安全设施，开展辐射安全环保监测，对公司射线装置安全与防护情况进行年度评估；
- （7）监督辐射工作人员的职业健康检查，个人剂量监测，并做好相应资料的档案管理工作；
- （8）定期向生态环境和主管部门报告安全工作，接受生态环境监督、监测部门的检查指导。

12.2 辐射安全与防护培训

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和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《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》等法律法规要求，对直接从事生产、

销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核，考核不合格的，不得上岗；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，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，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。

公司拟配备 1 名辐射防护负责人，本项目拟配备 12 名辐射操作人员，辐射防护负责人已参加并通过“辐射安全管理”辐射安全与防护考核，辐射操作人员招聘后也应根据要求在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习本项目相关知识，并在辐射安全与防护培训平台上网络报名参加考核，考核合格，取得培训合格证书，持证上岗。辐射工作人员考核类别应为“电子加速器辐照”。

在今后的工作中公司还应不断加强对职业人员的有关技能和辐射安全防护知识的再教育或培训，进一步提高对专业技能和放射防护工作重要性的认识。

12.3 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，厦门同威辐照有限公司已制定了相关的辐射安全管理制度，主要包括《操作规程》、《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，现对公司已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

操作规程：明确了操作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤，明确了电子加速器的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪。

岗位职责：明确了管理人员、操作人员、维修人员等相关人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确了自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况制定了辐射防护和安全保卫制度，对电子加速器的安全防护和维修落实到个人。

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。

射线装置使用登记制度：明确了使用登记和台账记录要求，并在日常工作中落实到位，对公司使用的射线装置的型号、规格、数量及购置日期等均需记录在台账上。

人员培训计划：制定了人员培训计划，明确了辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测和职业健康管理制：明确了辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确了个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确了辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立了个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：制定了辐射环境监测方案，明确了日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的评估报告。

事故应急预案：根据《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》等要求，公司已针对本项目可能发生的辐射事故，制定了辐射事故应急预案，成立了单位法人为领导的辐射事故应急领导小组，并明确了小组成员及相关职责；明确了本项目可能发生的辐射事故，事故情况下应采取的防护措施和执行程序、事故报告和详细的联络报告电话等；明确了内部培训要求、修订要求、应急演练的频次要求等，定期对辐射应急相关人员进行培训；明确了根据本单位实际情况，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。

公司已制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足本项目对辐射安全管理规章制度的需求。在日后的运行管理过程中，公司应根据实际辐射工作情况，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，及时对辐射安全规章制度进行更新完善，提高制度的针对性和可操作性，做到所有辐射工作都有章可循，有制度保障。

12.4 辐射监测

1、监测仪器

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，包括个人剂量报警、便携式辐射监测等设备。

公司拟为本项目配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪，用于辐射工作场所及周围人员活动

区域的自行检测；拟为本项目配备 10 台个人剂量报警仪（2 台加速器，单台加速器当班工作的 2 名辐射操作人员和 3 名上下货人员每人携带 1 台，其中 1 台与主控钥匙、辐照室及主机室门钥匙相连并由运行值班长使用），用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警；本项目辐射工作人员和上下货人员均拟配备个人剂量计，用于工作过程中累积剂量的监测。

以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的监测仪器配备要求。

2、监测方案

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。厦门同威辐照有限公司已针对本项目制定了相应的监测计划，包括：

（1）请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，周期：每年 1~2 次；

（2）辐射工作人员和上下货人员佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（3）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

（4）利用自配备的辐射监测仪器对公司的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录档案。

本项目运行后，应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	辐照加速器机房屏蔽体外表面 30cm 处以及机房周围人员可达区域	周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h
	年度监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ辐射剂量率	建议每月 1 次		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	辐射工作人员年受照剂量不超过 5mSv，上下货人员年受照剂量不超过 0.1mSv

12.5 辐射事故应急

厦门同威辐照有限公司已针对本项目制定了辐射事故应急预案，成立了单位法人领导的辐射事故应急处理领导小组，明确了小组成员及应急联系电话，明确了小组的职责及工作要求，明确了事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通。

公司已制定的辐射事故应急预案基本能够满足本项目开展时的应急事故处理要求。

在日后的运行管理过程中，公司应根据实际辐射工作情况和管理要求，及时对辐射事故应急方案进行更新完善。同时公司应根据本单位实际情况，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，公司应加强管理，加强职工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及周围环境的辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

根据原国家环保总局《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》，以及《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》的要求，在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，按规程处理和控制在最小范围，最大限度减少对人员安全和周围环境的影响，同时应尽快将事故情况电话告知当地生态环境部门和公安部门，并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向当地卫生健康部门报告。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

12.6 建设项目竣工环境保护验收项目一览表

厦门同威辐照有限公司 2 台工业辐照电子加速器项目应严格落实环保“三同时”制度，即建设项目辐射防护和安全措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。该项目竣工后，应按有关要求进行竣工环保验收。

表 12-2 本项目竣工环境保护验收项目一览表

验收项目	验收内容	验收标准及要求
辐射安全管理机构	成立辐射安全与防护管理领导小组，并明确管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规中辐射安全管理的要求。

辐射工作场所分区	将 2 间辐照加速器机房的辐照室、主机室划为控制区，将 2 间机房东墙外 3m（包括上下货和翻面区）和西墙外 30cm 范围内（在地面画线并标识监督区）、机房 1 南墙外和机房 2 北墙外楼梯、二层控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、吊装平台划为监督区。	满足《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》（HJ 979-2018）中的分区要求。
辐射安全和防护措施	<p>屏蔽措施： 辐照加速器机房采取实体屏蔽措施，具体屏蔽参数见表 10-1。穿墙管道不破坏机房的整体屏蔽效果。</p>	<p>（1）屏蔽措施满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和本项目辐射环境剂量率控制水平：辐照加速器机房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超过 2.5μSv/h。 （2）项目辐射工作人员、周围公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。</p>
	<p>安全措施： 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。</p>	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）等标准中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求。
通风措施	辐照加速器机房设置机械排风系统，风机排风速率设计值不低于 14400m ³ /h，室外排放口不低于 13.3m，并高于厂房屋顶。通风联锁装置预先设定的时间不少于 5.3min。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中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 GBZ2.1 的规定（臭氧的最高容许浓度 0.3mg/m ³ ）。
人员配备	辐射防护负责人和辐射工作人员，上岗前均应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习本项目相关知识，通过该培训平台报名并参加考核，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《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》等法律法规中人员培训要求。

	所有辐射工作人员和上下货人员均配备个人剂量计，并定期（不超过3个月/次）送有资质部门进行监测，公司建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
	所有辐射工作人员均定期（不超过1次/2年）进行职业健康体检，公司建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品	公司配备1台便携式X-γ剂量率仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器配备的要求。
	本项目配备10台个人剂量报警仪。	
辐射安全管理制度	已制定了一系列辐射安全管理规章制度，主要包括：《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》。 其还应在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规中辐射安全管理的要求，满足本项目辐射工作需要。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 可行性分析结论

一、项目概况

因公司业务发展的需要，厦门同威辐照有限公司拟在辐照车间内新建 2 座辐照加速器机房，在机房内各配备 1 台同威信达技术（江苏）股份有限公司生产的 IS1024 型工业辐照电子加速器，为客户提供多种产品和材料的消毒、灭菌以及改性服务，主要辐照品类包括医疗器械、中药保健品、日化用品、食品（冻品、宠物食品、调味品）、珠宝玉石、木材等。

本项目 2 台 IS1024 型工业辐照电子加速器最大电子束能量均为 10MeV、最大束流强度均为 2.4mA，最大管功率均为 24kW，属于 II 类射线装置。

二、产业政策符合性评价

本项目为使用工业辐照电子加速器为客户提供辐照加工服务，经对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类的第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

三、代价利益分析

本项目的建设及运行满足了企业的发展需求，可降低客户产品和材料的消毒、灭菌以及改性成本，提升产品和材料质量，创造更大的经济效益和社会效益。本项目总投资 5000 万元，其中环保投资 525 万元，占总投资的 10.5%，环保投资额可保证环保措施的落实。本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加辐照加速器机房周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、选址、布局合理性评价

厦门同威辐照有限公司辐照车间位于厦门市同集中路 1666 号古龙工业园，本项目 2 间辐照加速器机房拟建址位于辐照车间西部。本项目周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，项目周围无环境制约因素，根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址合理。

本项目2间辐照加速器机房均为地上两层混凝土结构，一层均包括辐照室、辐照输送系统（即从迷道自动进出的货物链式传送带），二层均包括主机室、控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、吊装平台，辐照室、主机室和控制室等辅房均分开设置，加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。本项目辐照加速器机房的布局合理可行。

公司拟将2间辐照加速器机房的辐照室、主机室划为控制区，在辐照室和主机室维修门外、辐照室货物进出门洞外及周围醒目处设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，加速器工作期间禁止任何人员进入辐照室和主机室；拟将2间机房东墙外3m（包括上下货和翻面区）和西墙外30cm范围内（在地面画线并标识监督区）、机房1南墙外和机房2北墙外楼梯、二层控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、吊装平台划为监督区，并在醒目处设置表明监督区的标牌，加速器工作时无关人员不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中关于辐射工作场所的分区规定。

13.1.2 辐射安全与防护结论

一、辐射防护措施评价

本项目辐照加速器机房采取实体屏蔽措施，穿墙管道不破坏机房的整体屏蔽效果。根据理论预测可知，本项目辐照加速器机房的辐射防护设计能满足辐射防护要求。

二、辐射安全措施评价

本项目辐照加速器机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要包括：钥匙控制、门机联锁、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。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）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）等标准中中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求，项目设计安全可行。

三、辐射安全管理评价

厦门同威辐照有限公司已成立辐射安全与防护管理领导小组，并明确了管理职责；公司已制定一系列较完备的辐射安全管理规章制度，在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善；本项目所有辐射工作人员和辐射防护负责人均应根据要求参加辐射安全和防护专业知识的培训，考核合格后上岗；所有辐射工作人员均应进行个人剂量监测和职业健康体检，所有上下货工作人员均应进行个人

剂量监测，公司建立人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

采取上述措施后，将满足辐射安全管理要求。

四、辐射防护监测仪器

公司拟配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪，本项目拟配备 10 台个人剂量报警仪，辐射工作人员和上下货人员均拟配备个人剂量计，能够满足辐射监测仪器配置要求。

13.1.3 环境影响分析结论

一、辐射环境影响预测

根据理论预测可知，当本项目电子加速器以最大功率运行时，机房辐照室四周屏蔽体外 30cm 及以上区域人员可达处辐射剂量率最大为 $5.87E-01\mu\text{Sv/h}$ ，主机室四周屏蔽体外 30cm 及以上区域人员可达处辐射剂量率最大为 $1.26E-01\mu\text{Sv/h}$ ，主机室西墙外 30cm 人员不可达处辐射剂量率最大为 $7.76E-01\mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求：辐照加速器机房外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以上区域周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

二、保护目标剂量评价

根据理论估算结果可知，本项目投入运行后所致辐射工作人员年有效剂量最大约为 $1.89E-02\text{mSv}$ ，所致周围公众年有效剂量最大约为 $8.81E-02\text{mSv}$ ，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 ）。

三、臭氧和氮氧化物对环境的影响评价

本项目辐照加速器机房拟设置机械排风系统，风机排风速率不低于 $14400\text{m}^3/\text{h}$ ，最终排放口不低于 13.3m，并高于厂房屋顶。辐照加速器机房内臭氧和氮氧化物可通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

在加速器停止工作后，辐照室内通风系统继续工作，通过约 5.3min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ），此时工作人员进入辐照室是安全的。本项目辐照室内通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值，公司拟采取的通风联锁装置预先设定的时间应不少于 5.3min。

可行性结论：

综上所述，厦门同威辐照有限公司 2 台工业辐照电子加速器项目在落实本报告所提

出的各项污染防治和管理措施后，该公司具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

(1) 该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对工作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

(2) 项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

(3) 建设项目竣工后，公司应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序和标准，对配套建设的环境保护设施进行验收，验收期限最长不超过 12 个月。

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