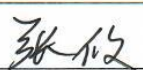

核技术利用建设项目
湖南神通光电科技有限责任公司核技术利用建设项目
环境影响报告表

湖南神通光电科技有限责任公司

二〇一九年四月

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	湖南神通光电科技有限责任公司 核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	环境影响报告表		
一、建设单位情况			
建设单位（签章）	湖南神通光电科技有限责任公司		
法定代表人或主要负责人（签字）			
主管人员及联系电话	易建飞 13687356872		
二、编制单位情况			
主持编制单位名称（签章）	核工业二三〇研究所		
社会信用代码	121000004448853130		
法定代表人（签字）	范立亭		
三、编制人员情况			
编制主持人及联系电话	张攸 18229829076		
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书编号	签字	
张攸	00015008/B271903511		
2. 主要编制人员			
姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
张攸	00015008/B271903511	全文本	
四、参与编制单位和人员情况			

核技术利用建设项目

湖南神通光电科技有限责任公司核技术利用建设项目

环境影响报告表

建设单位名称:湖南神通光电科技有限责任公司

建设单位法人代表:曹清华

通讯地址:湖南省株洲市芦淞区高科园枫溪大道 288 号

邮政编码:412000

电子邮箱:48933307@qq.com

联系人:易建飞

联系电话: 13687356872

目 录

表 1 项目基本概况	1
表 2 放射源	5
表 3 非密封放射性物质	5
表 4 射线装置	6
表 5 废弃物	7
表 6 评价依据	8
表 7 保护目标与评价标准	10
表 8 环境质量和辐射现状	15
表 9 项目工程分析与源项	18
表 10 辐射安全与防护	23
表 11 环境影响分析	31
表 12 辐射安全管理	51
表 13 结论与建议	58
表 14 审批	62

附件

表 1 项目基本情况

建设项目名称		湖南神通光电科技有限责任公司核技术利用建设项目			
建设单位		湖南神通光电科技有限责任公司			
法人代表	曹清华	联系人	易建飞	联系电话	13687356872
注册地址		湖南省株洲市芦淞区高科园枫溪大道 288 号			
项目建设地点		湖南神通光电科技有限责任公司			
立项审批部门		-		批准文号	-
建设项目总投资 (万元)		1200	项目环保投资 (万元)	240	环保投资 比例 20%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²) 150
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V 类		
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III类		
	其他	-			

1.1 项目概述

1、公司简介

湖南神通光电科技有限责任公司成立于 1999 年 10 月 21 日，是一家集研发、制造、销售和服务为一体的国际化高新技术企业，公司注册地址位于湖南省株洲市芦淞区枫溪大道 288 号，公司主要用于生产各类电线电缆产品，主导产品为室内外通信光缆、铁路和轨道交通用电缆、汽车及新能源电动汽车用电线、太阳能光伏电缆、特种电缆、航空航天导线、矿物绝缘防火电缆、辐照交联电缆。

2、 新项目概况

由于公司生产面积有限，生产设备相对偏少、汽车线与电力电缆生产流程不合理、生产环境等不满足今后发展的需要，因此，公司结合市场发展和生产实际情况，新建了

航空新能源用特种线缆智能制造生产基地，此生产基地包括电力电缆车间、汽车线车间、联合厂房、成品仓库、综合楼、食堂及倒班宿舍、门卫、预留厂房等，总建筑面积 89366.60m²。为了提高产品的各项性能，公司拟在航空新能源用特种线缆智能制造生产基地厂房西北角新建两间加速器辐照室，新增 1 台 1.5MeV 电子加速器和 1 台 2.5MeV 电子加速器，公司地理位置示意图见附图 1。

1.2 项目由来

辐照交联是利用电子加速器产生的高能电子束轰击绝缘层，将分子链打断形成高分子自由基，然后高分子自由基重新组合成交联键，从而使原来的线性分子结构变成三维网状的分子结构而形成交联。随着社会的进步，科学的发展和人们环保意识的提高，对辐照交联电线电缆需求量将越来越大。因此，湖南神通光电科技有限责任公司计划实施电子加速器辐照项目，新建两间加速器辐照室，购置 1台2.5MeV 电子加速器和1台 1.5MeV 电子加速器用于电力电缆线辐照。

按照《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）的规定，本项目拟使用的 2 台电子直线加速器属于 II 类射线装置。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号）和《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境保护部令第 1 号），本项目属于名录中“五十、核与辐射”中“191、核技术利用建设项目---生产、销售、使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表。因此，湖南神通光电科技有限责任公司按照国家相关法律法规委托核工业二三〇研究所对公司新建加速器辐照室项目进行核技术利用环境影响评价。评价单位在对本项目拟建场址进行辐射环境质量现场调查的基础上，按照国家有关环境影响报告表的内容和格式，编制该项目的辐射环境影响报告表。

1.3 项目建设规模

- 1、项目名称：湖南神通光电科技有限责任公司核技术利用建设项目。
- 2、建设单位：湖南神通光电科技有限责任公司
- 3、建设地点：株洲市芦松区董航路 2999 号

4、建设内容：湖南神通光电科技有限责任公司拟在公司航空新能源用特种线缆智能制造生产基地西北角新建两间加速器辐照室，新增1台1.5MeV电子加速器和1台2.5MeV电子加速器用于电力电缆线辐照。本次拟环评的射线装置见下表1-1。

表1-1 本次环评设备情况一览表

序号	射线装置名称	数量（台）	最大能量	射线装置分类	使用场所
1	电子直线加速器	1	2.5MeV	II类射线装置	辐照室
2	电子直线加速器	1	1.5MeV	II类射线装置	辐照室

1.4 项目选址

项目位于株洲市芦松区董航路 2999 号，项目地理位置图见附图 1，辐照室分布示意图见图 1-1。



图 1-1 辐照室分布示意图

1.5 工作制度

公司采取全日制工作制度，全年工作 250 天，每周工作 5 天。辐照工序采用 2 班制，每班连续出束时间为 8 小时/天。

1.6 劳动定员

本项目涉及员工 6 名，其中辐射安全管理人员 1 人，辐照操作人员 5 名。

1.7 产业政策分析

本项目为电子加速器辐照应用项目，根据国家发展和改革委员会第 21 号令《产业结构调整指导目录（2011 年本）（修正）》2013 年 5 月实施），本项目属于鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，因此，本项目符合国家产业政策。

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
—	—	—	—	—	—	—	—	—
	以下空白							

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	贮存方式和地点
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	以下空白									

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	2.5MeV 电子直线加速器	II类	1 台	DD2.5	电子	2.5	40mA	辐照加工	辐照室	
2	1.5MeV 电子直线加速器	II类	1 台	DD1.5	电子	1.5	65mA	辐照加工	辐照室	

(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
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	以下空白								

(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	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	以下空白												

表 5 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
—	—	—	—	—	—	—	—	—
以下空白								

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	1、《中华人民共和国环境保护法》（2014年修订，2015年1月1日施行）； 2、《中华人民共和国环境影响评价法》（2016年修订，2016年9月1日施行）； 3、《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003年颁布，2003年10月1日施行）； 4、《建设项目环境保护管理条例》（国务院第682号令，2017年6月21日修订，2017年10月1日起实施）； 5、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第449号令，2019年3月2日修正）； 6、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环保部令第44号，2018年4月28日修订公布，自公布之日起实施）； 7、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第3号，2008年11月21日修订，自公布之日起实施）； 8、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第18号，2011年5月1日起实施）； 9、《射线装置分类办法》（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）； 10、《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（卫生部令第55号2007年11月1日起施行）； 11、《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》（环发[2006]145号，2006年9月26日）。
技术标准	1、《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； 2、《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 3、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）； 4、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 5、《放射工作人员职业健康监护技术规范》（GBZ235-2011）； 6、《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2007）；

	7、《放射工作人员的健康要求》(GBZ98-2017)； 8、《辐射环境监测技术规范》(HG/T61-2001)； 9、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018； 10、《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ158-2003)。
其他	1、李德平 潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》、《辐射防护手册第三分册 辐射安全》，原子能出版社，1987年； 2、《辐射防护》（第11卷，第二期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究,湖南省环境监测中心站，1991年3年） 3、甲方提供的其他资料。

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，并结合项目辐射装置射线传播与距离相关的特性，确定以新建两间电子加速器辐室为中心，50m 为半径的周边区域为本项目评价范围。



图7-1 本项目评价范围

7.2 评价因子

根据本次评价的项目特点及项目实际情况，本项目主要环境影响为 X 射线、臭氧、氮氧化物。本项目评价因子主要为 X 射线。

7.3 环境保护目标

本项目辐照室位于公司航空新能源用特种线缆智能制造生产基地厂房西北部，辐照室北侧为在建工地，南侧为联合厂房、西侧为千亿大道，东侧为电力电缆车间，项目环境保护目标见表7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

污染源	方位	距离	环境特征	预估人数（人）
电子加速器机房	东面	0-50m	联合厂房	约 20 人
	南面	0-50 m	联合厂房	约 20 人
	西面	0-50 m	千亿大道	若干
	北面	0-50m	拟建工地（现为平整场地阶段）	若干
	楼上	/	/	/
	楼下	/	/	/

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

附录 B 剂量限值 and 表明污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 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；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量：1mSv；

b) 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；

c) 眼晶体的年当量剂量, 15mSv;

d) 皮肤的年当量剂量, 50mSv。

(2) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979 -2018

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

(3) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 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。

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1 联锁要求

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

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

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

6.2 安全设施

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

(2) 门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室

门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机；

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

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

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

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

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

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

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

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

6.3.3 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。

(5) 根据以上所列标准，综合考虑本项目各方面要素以及实际的可操作性，本环评采用以下各项标准和剂量控制值，见表7-2。

表 7-2 本环评采用的各项标准和指标

序	项目	控制值	采用的标准
1	年剂量管理目标值	工作人员： $\leq 5\text{mSv}$ 公众成员： $\leq 0.1\text{mSv}$	GB18871—2002 HJ979 -2018
2	辐照室	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 $2.5\mu\text{Sv/h}$	HJ979 -2018

本项目有 2 台电子加速器辐照装置，本次环评对辐射工作人员的剂量限值确定为 $\leq 5\text{mSv/a}$ ，对公众人员的剂量限值确定为 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状：

一、监测点位布置情况

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中有关布点原则，核工业二三〇研究所于 2019 年 1 月 21 日对湖南神通光电科技有限责任公司航空新能源用特种线缆智能制造生产基地拟建辐照室场地及周边环境进行监测，监测内容为地表 γ 辐射剂量率，监测布点示意图见图 8-1。



图 8-1 厂区辐射环境监测布点示意图

二、监测方案及质量保证

1、监测目的

为了了解项目地点天然辐射水平，是否属于湖南省株洲市天然放射性水平，为辐射工作场所建成运行后对环境的影响提供依据。

2、监测依据

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2001）。

3、质量保证

该项目测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考试合格持证上岗，数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

表 8-1 监测所使用的仪器情况

检测仪器	仪器名称	X- γ 剂量率仪
	仪器型号	JB4000 型
	制造单位	上海精博工贸有限公司
	出厂编号	13134
	检定证书编号	hnjln20180106-270
	检定有效期	2019 年 1 月 2—日 2020 年 1 月 1 日
	能量响应范围	在 48keV~3MeV 范围内误差 $\leq\pm 30\%$
	剂量率范围	0.01 μ Gy/h~200.00 μ Gy/h

三、辐射现状监测结果

项目所在场址辐射环境背景监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目所在场址本底监测结果一览表

序号	监测点位	监测结果 (μ Gy/h)	序号	监测点位	监测结果 (μ Gy/h)
1	公司大门口	0.12	6	拟建辐照室场址东侧	0.09
2	公司厂房东侧	0.11	7	拟建辐照室场址东侧电力电缆车间	0.10
3	公司厂房西侧	0.11	8	拟建辐照室场址南侧联合厂房	0.10
4	公司厂房北侧	0.09	9	拟建辐照室场址西侧	0.08
5	拟建辐照室场址处	0.10	10	拟建辐照室场址北侧	0.09

根据《辐射防护》（第 11 卷，第二期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究,湖南省环境监测中心站，1991 年 3 年）中辐射环境结果可知，株洲市 γ 辐射空气吸收剂量率数据见表 8-3。

表 8-3 株洲市 γ 辐射空气吸收剂量率 （单位：nGy/h）

监测项目	原野	道路	室内
γ 辐射平均值	67.6 $\pm$ 18.0	65.5 $\pm$ 21.2	108.5 $\pm$ 17.2
范围	38.8~140.9	33.6~122.4	64.1~167.6

根据表 8-2 中的测量结果，并对比表 8-3 可知，项目所在场址的 X- γ 空气吸收剂量率为 0.08~0.12 μ Gy/h，处于株洲市天然本底辐射范围内，无异常。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1、电子加速器技术参数简述

本项目电子加速器的主要技术参数见表 9-1。

表9-1 公司购买的电子加速器的主要技术参数表

产品型号 技术指标	DD2.5MeV-40mA	DD1.5MeV-65mA
电子束能量	2.5MeV	1.5MeV
电子束能量可调范围	1.8—2.5MeV	1.0—1.5MeV
电子束流强可调范围 (连续可调)	0.5-40mA (2.5MeV 时) 0.5-50mA (1.8MeV 时)	0.5-65 mA (1.5MeV 时) 0.5-55 mA (1.0MeV 时)
能量稳定度	优于 $\pm 2\%$	优于 $\pm 2\%$
束流稳定度	优于 2%	优于 $\pm 2\%$
扫描宽度	1400mm	1600mm
扫描不均匀度	$\leq \pm 10\%$	$\leq \pm 10\%$
负载运行下真空度	优于 $7 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (需在加速器出束工作一段时间后方能达到)	优于 $7 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (需在加速器出束工作一段时间后方能达到)
电能转换效率	约 63%	约 63%
最大束流功率	100KW	100KW
工作方式	可长时间满功率运行	可长时间满功率运行
控制系统	采用西门子 PLC+工控机的全自动计算机控制系统	采用西门子 PLC+工控机的全自动计算机控制系统
绝缘气体系统	使用 SF6 气体作为绝缘气体, 并配备气体回收系统 (2 台共用 1 套回收系统, 储气罐可满足 2 台同时检修)	使用 SF6 气体作为绝缘气体, 并配备气体回收系统 (2 台共用 1 套回收系统, 储气罐可满足 2 台同时检修)
扫描窗冷却	提供风冷、水冷配套系统	提供风冷、水冷配套系统

加速器内部连锁	1)真空系统与高压连锁 2)高频机电源与冷却水连锁 3)钛窗风机、排臭氧风机与高压连锁 4)扫描电流与高压连锁 5)过电压、过电流、钢筒超温、高频机超温与高压连锁 6)辐照厅、加速器厅光电开关、紧急开关与高压连锁	1)真空系统与高压连锁 2)高频机电源与冷却水连锁 3)钛窗风机、排臭氧风机与高压连锁 4)扫描电流与高压连锁 5)过电压、过电流、钢筒超温、高频机超温与高压连锁 6)辐照厅、加速器厅光电开关、紧急开关与高压连锁
---------	---	---

2、工作原理和工艺流程分析

1、设备主要情况

(1) 设备构成

本项目拟购买1 台1.5MeV 电子直线加速器和1 台2.5MeV 电子直线加速器,按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第449 号令)和《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2017 年66 号公告)相关规定,电子直线加速器属于Ⅱ类射线装置。项目拟购电子直线加速器由直流高压发生器、束流加速系统、扫描引出系统、计算机控制系统、SF6 绝缘气体系统和冷却水系统组成。

(2) 电子直线加速器辐照工作原理

由高频振荡管、高频变压器和高频电极及其对钢筒、倍压芯柱之间形成的分布电容组成一个高频振荡器,它在两个高频电极之间产生300kV 以上的高频电压。这一高频电压通过高频电极与芯柱上的半圆电晕环间的分布电容和芯柱内的整流硅堆组成的并联耦合串联升压系统,在高压电极上产生极高的负直流电压。高压电极内的电子枪产生的电子流在此负极性电压作用下通过加速管时得到加速,从加速管中出来的高能电子束经聚焦、导向以及磁扫描器在水平方向进行扫描,然后穿出钛窗对产品进行辐射加工。

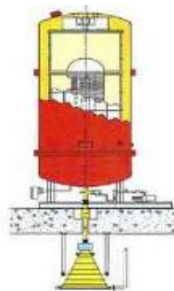


图9-1 加速器原理示意图



图9-2 加速器主机室



图9-3 加速器辐照室

2、辐照工件及工况

(1) 辐照工件

本项目辐照对象主要为电器装备用电线电缆和电力电缆，电器装备用电线电缆截面积 $0.5\sim 10\text{mm}^2$ ，电力电缆截面积 $10\sim 300\text{mm}^2$ 。

(2) 辐照工况

本项目辐照车间为两层建筑，辐照室位于一层，加速器主机位于二层。两台加速器均为连续出束，主射束方向均为定向朝地面。每台加速器采取2班制，每班连续出束时间为8小时/天，年工作250天，则每台加速器年工作时间4000 小时。

(3) 辐照线缆传输方式

本项目辐照线缆经机房外的放线架传送进入辐照室内进行辐照作业，辐照结束后自动从收线架输出。项目辐照线缆进出口分别采取以下方案：线缆从外面穿墙进地坑过线室，向下斜，到达辐照室内墙穿线管，向上斜进辐照室，用外设收放线机和内置束下辊筒带动线缆传动。

3、辐照工艺流程

本项目是利用电子直线加速器产生的电子束作用于电缆线上的塑胶，使塑胶聚合单体、聚合物产生聚合、交联、裂解等效应，从而改变其物理性能，增加机械强度，并使之更加耐热、耐寒、耐劳化。

辐照线缆主要工艺：待辐照线缆从放线机由自动传送系统传送进入辐照室的束下传输装置，接受电子加速器发射的电子束进行照射，受辐照后的线缆继续由自动传送系统传送至辐照室外的收线机。对辐照后的交联线缆进行质检，若其性能指标不合格则需返回继续进行辐照加工。

辐照交联线缆主要工艺流程及产污环节如图9-4。

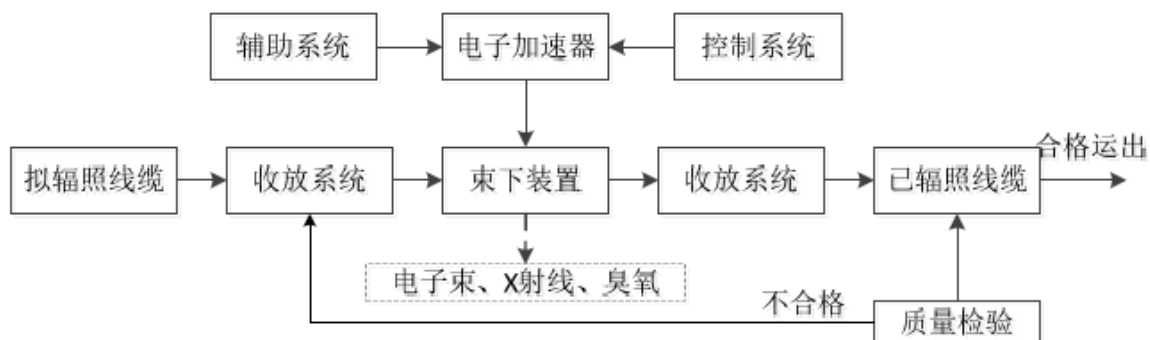


图9-4 辐照工艺流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、建设、安装过程对环境的影响分析

本项目辐照室主体工程已进行了环境影响评价并取得了环评批复（批复见附件9）本环评不再对施工期的环境影响进行评价，设备安装及调试过程中会产生辐射环境影响，因此公司不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在辐照室门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各辐照室必须上锁并派人看守。

二、运行期间正常工况下污染源分析

（1）辐射影响

加速器利用电子束对产品进行辐照，电子在加速过程中，部分电子丢失，它们打在加速管壁上，产生X射线。此外，电子束打到高原子序数物质时也会产生高能X射线。由于X射线的贯穿能力极强，对周围环境辐射造成辐射污染，但该X射线影响关机后即消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能离远弱于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，在加速器开机的时间内，电子束产生的韧致X射线为主要污染因素。

（2）臭氧和氮氧化物

电子加速器开机运行时，产生的X射线与空气中的氧气相互作用产生臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)。其中，臭氧的危害大，产额高，而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的十分之一，且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此，本次评价主要考虑臭氧

的影响。

三、运行期事故工况下污染源分析

(1) 在工作状态误入辐照室工作人员误入控制区，公众人员可能忽视警示标志误入监督区和控制区，由X射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。

(2) 工作人员进入辐照室后未全部撤离，仍有人滞留在机房内，造成有关人员被误照；

(3) 因各种原因（如检修、调试、改变照射角度等）可能无意中将电子加速器的屏蔽块、机架上的屏蔽物等移走，或随意加大照射野，使设备丧失自身屏蔽作用，人员受到不必要的照射。

(4) 检修时，误开机，维修人员受到潜在的照射伤害。

表 10 辐射安全与防护

辐射安全和设施

一、辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定,将辐射场所分为控制区和监督区,以便辐射安全管理和职业照射控制,建设单位应按以下分区对放射性工作场所进行监督管理。

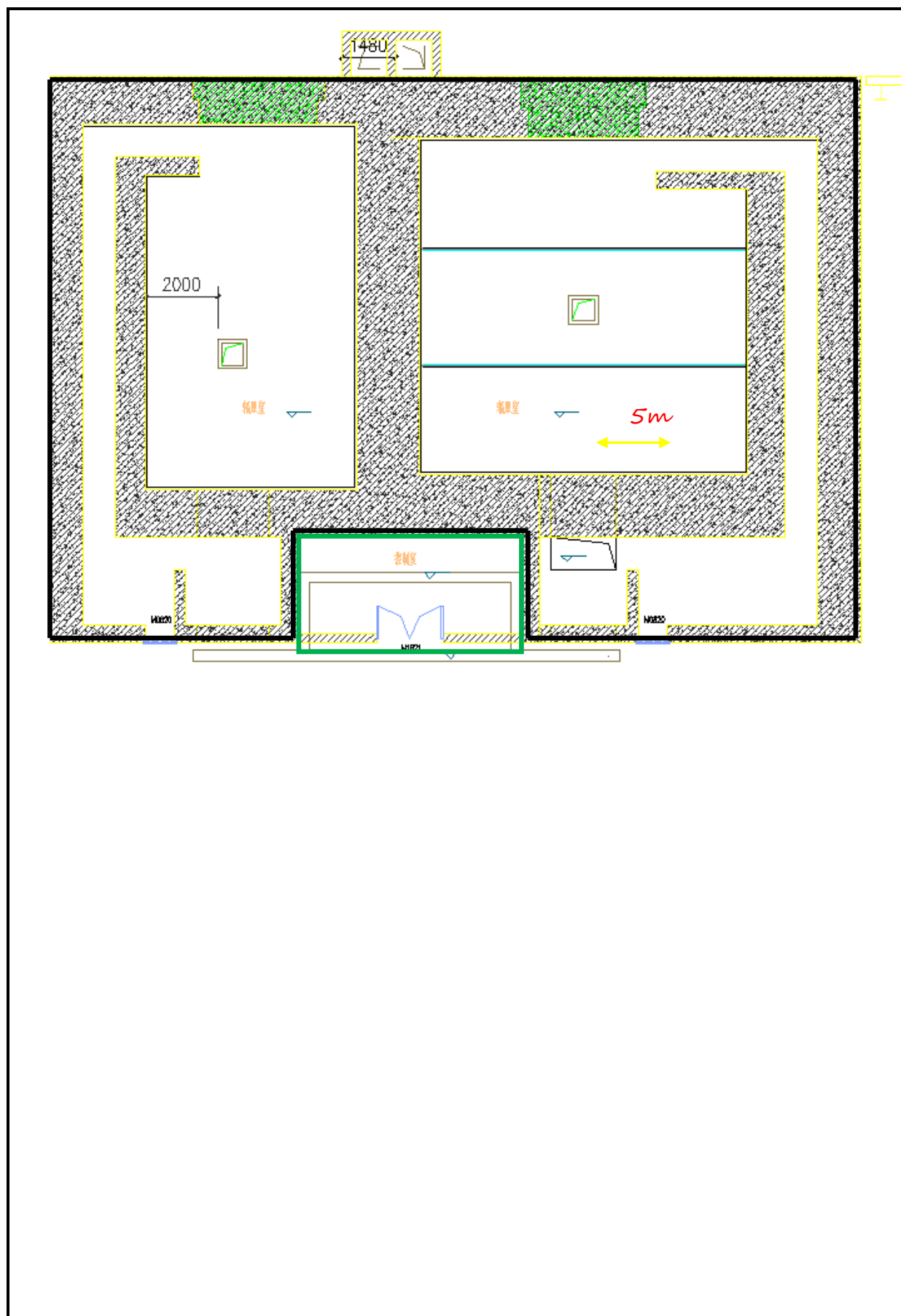
(1) 辐照室

控制区:在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防或限制潜在照射,要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽(包括门锁和连锁装置)限制进出控制区,辐射工作区和非辐射工作区隔开。

监督区:未被确定为控制区,正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施,但要不断检查其职业照射状况的指定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记;并定期检查工作状况,确认是否需要防护措施和安全条件或是否需要更改监督区的边界。本次评价根据国际放射防护委员会对控制区和监督区的定义,结合项目辐射防护和周边环境情况等特点,辐射工作场所两区划分见表 10-1,两区划分示意情况见图 10-1。

表10-1 项目辐射工作场所分区一览表

序号	辐射工作场所	控制区	监督区
1	电子直线加速器辐照室	一层: 1.5MeV 辐照室、2.5MeV 辐照室 二层: 1.5MeV 加速器主机室、2.5MeV 加速器主机室	一层: 控制室 二层: 辅助设备平台区。



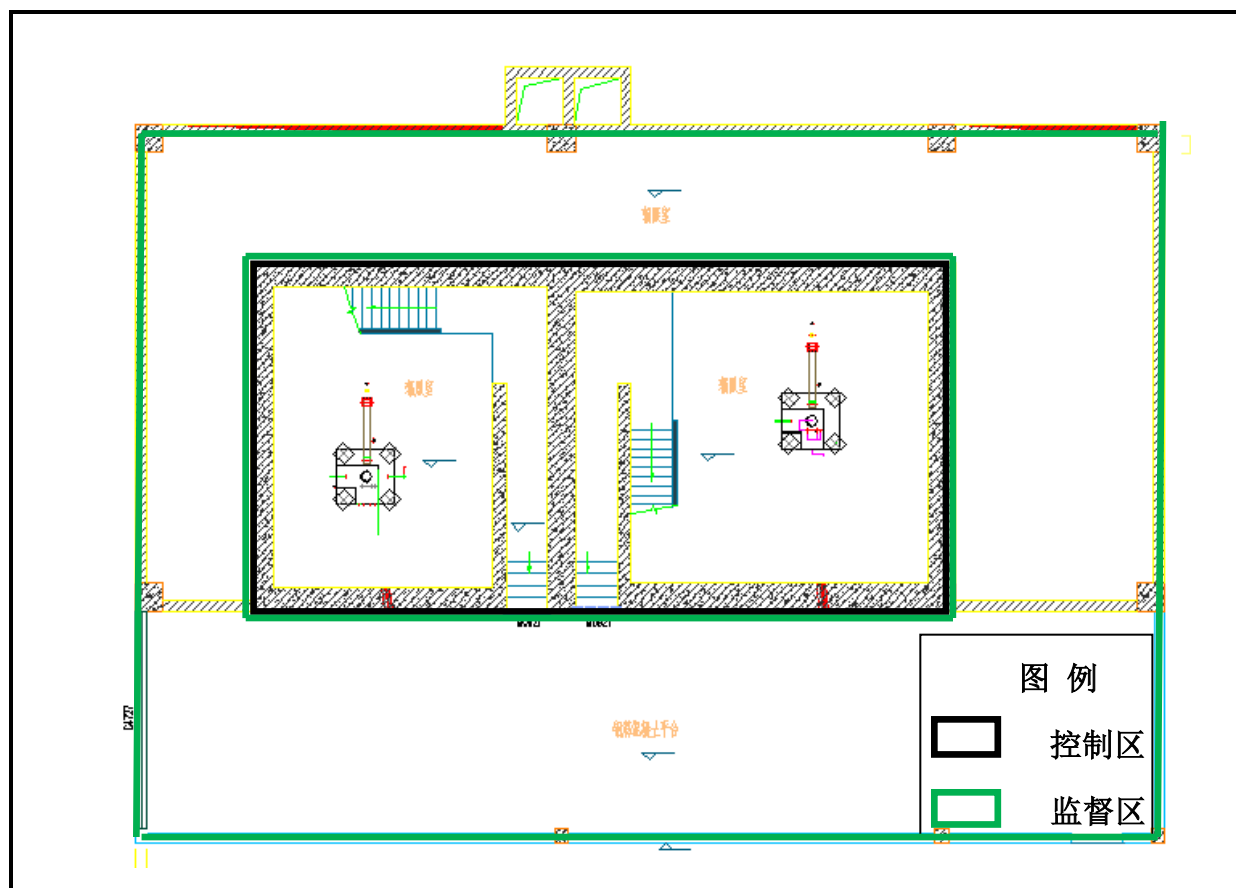


图 10-1 项目辐射防护“两区”划分示意图

二、辐射安全及防护措施

1、设备固有辐射安全性

加速器运行的必要条件是冷却系统风、水工作正常，辐照室送排风启动，加速器室门关闭，高频机柜门关闭，钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度均在规定值以下，真空度好于 $5 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，产品传输正常。除了正常开机的逻辑过程所必须的联锁关系以外，加速器高压（或高频）还与下列条件建立联锁关系：钢筒内弧放电、钢筒风机过热、高频机内部的过热和过流现象、加速器过电压。

加速器采用计算机控制，在控制台上显示的参数有加速器电子束能量、电子束流强、硅堆电流、加速管管流、测量电阻电流、电子管阳极电压、阳极电流、真空度、扫描磁铁电流、聚焦线圈电流、导向线圈电流、电子枪功率调节电位器旋转角度和各测量点的辐射剂量。在控制台上还显示出加速器的工作状态和故障状态。

2、工程屏蔽措施

辐照间采用混凝土墙（密度为 2.35g/cm^3 ）屏蔽防护，具体屏蔽设计见表10-2。

表10-2 工程屏蔽防护措施一览表

射线装置	对应辐射 工作场所	屏蔽墙厚度	迷道（	防护门
2.5MeV 电子直线 加速器	2.5MeV 辐 照室（一 层）	东面混凝土屏蔽墙厚 1m+1.2m，西面 与 1.5MeV 辐照间的辐照室紧邻、共 用混凝土屏蔽墙厚 1.7m，北面混凝土 屏蔽墙厚 1.7m，南面混凝土屏蔽墙厚 1.7m+0.5m，与二层之间的混凝土楼 板厚 1.1m。	设“U”型迷道，迷道 宽 0.9m，迷道内墙 混凝土厚 1m，迷道 外 墙 混 凝 土 厚 1.2m。	5mm 铅 板 +5mm 钢 板
	2.5MeV 主 机室 （二层）	主机室东南北三面混凝土屏蔽墙厚 0.6m，西面墙（与 1.5MeV 辐照间的 主机室东墙共用）混凝土屏蔽墙厚 0.9m，屋顶为 0.4m 厚混凝土楼板。	设“L”型迷道，迷道 宽 0.9m，迷道内墙 0.3m，迷道外墙厚 0.6m。	20mm 钢板
1.5MeV 辐照室	1.5MeV 辐 照室 （一层）	北面混凝土屏蔽墙厚1.3m，南面混凝 土屏蔽墙厚1.3m+0.5m m，西面混凝 土屏蔽墙厚1.7m，东面与2.5MeV辐照 间的辐照室紧邻、共用混凝土屏蔽墙 厚1.7m，与二层之间的混凝土楼板厚 0.8m。	设“U”型迷道，迷道 宽0.9m，迷道内墙 厚1m，迷道外墙厚 1.2m。	5mm 铅 板 +5mm 钢 板
	1.5MeV 主 机室 （二层）	主机室北西南三面混凝土屏蔽墙厚 0.5m，东面墙（与2.5MeV 辐照间的 主机室南墙共用）混凝土屏蔽墙厚 0.9m，屋顶为0.4m 厚混凝土楼板。	设“L”型迷道，迷道 宽 0.9m，迷道内墙 0.3m，迷道外墙厚 0.6m。	20mm 钢板

3、安全防护措施

（1）控制台

加速器控制台能够与电子束系统实现联控，确保加速器系统安全运行。控制系统在下列加速器出现技术故障以及事故紧急状态下，发出报警声和光：①按下紧急制动按钮；

②加速器主机房和辐照室屏蔽门未关闭；③迷宫通道红外光电装置意外断开；④加速器运行前未启动通风设备。

（2）安全联锁保护装置

电子加速器辐照装置拟设置功能齐全、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。

（3）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。在一层的辐照室和二层的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。

11) 视频监控系统

在2.5MeV辐照室、迷道，1.5MeV辐照室和迷道，2.5MeV主机室和1.5MeV主机室内设置视频监视探头，确保室内无死角，视频显示终端设置在控制室内，用于观察辐照室和迷道内否有人员滞留或其他异常情况。

12) 警告标志

每台加速器的辐照室迷道出入口外、加速器主机室防护门外设电离辐射警告标志。

环评要求：①加速器控制台的急停开关按钮位置应醒目；辐照室及主机室内的拉线开关应设置醒目标识，并有中文标识；②电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录F要求（见下图）。



图10-2 电离辐射的标志



图10-3 电离辐射警告标志

4、其他安全防护措施

(1) 送排风系统

本项目涉及的两间辐照室内均设有机械送排风系统，通风系统与加速器联锁，设计排风量均为 $21000\text{m}^3/\text{h}$ ，送风量为 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 。1.5MeV辐照室送风口位于辐照室北侧，排风口位于辐照室西侧，2.5MeV辐照室送风口位于辐照室北侧，排风口位于辐照室东侧，排风管道采取“U”形方式通过地下管道穿过屏蔽墙，经22.8m高排气筒排放，送风管道口

采取“L”形挡板进行屏蔽补偿。二层主机室采用自然排风。

（2）消防系统

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。

5、人员防护

（1）辐射工作人员

为减少辐射工作人员的照射剂量，主要方法有屏蔽防护、时间防护和距离防护，三种防护联合运用、合理调节。

隔室操作：辐射工作人员采取隔室操作方式，通过控制室与机房之间的墙体、铅门等屏蔽X射线，以减弱或消除射线对人体的危害。

时间防护：在满足产品质量要求的前提下，制定最优化的辐照加工方案，每次辐照作业尽可能选择合理可行的低剂量照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间。

距离防护：严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在辐照车间人员通道等醒目位置张贴电离辐射警告标志，并安装工作状态指示灯，限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

个人剂量监测：辐射工作人员均配个人剂量计并要求上班期间必须佩戴，公司应定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

人员培训：辐射工作人员（包括加速器操作人员和辐射管理人员）应在上岗前参加辐射安全与防护培训，并考核合格持证上岗。在辐射工作人员上岗前，公司应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案。

（2）公众的安全防护

周边公众主要依托辐照车间的屏蔽墙体和防护门等屏蔽射线。同时，放射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在辐照车间、迷道防护门外等位置张贴醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，禁止无关人员进入，以增加公众与射线源之间的防护距离，避免受到不必要的照射。

6、防护用品

本项目拟配2台便携式X-γ剂量监测仪，用于工作场所剂量监测。每台加速器工作场

所各配备2台个人剂量报警仪，在人员进入主机室或辐照室时需携带。辐射工作人员需配备个人剂量计，工作期间必须佩带，本项目需配备防护用品见表10-3。

10-3 公司需配备防护用品清单一览表

种类	防护用品名称	单位	数量
需配备防护用品	便携式 X- γ 剂量监测仪	台	2
	固定式辐射监测仪	台	4
	个人剂量报警仪	台	4
	光电报警装置	套	6
	警示灯	个	4
	个人剂量计	个	6
	视频监控系统	套	2
	辐射防护警示标识	/	若干

三废的治理

(1) 臭氧

电子束与空气中的氧气作用将产生少量臭氧。本项目各加速器辐照室均设有机械送排风系统，主排气口拟设置于扫描窗下方的位置，设计排风量均为21000m³/h。风管采取“U”形方式通过地下管道穿过屏蔽墙，经22.8m高排气筒排放。加速器停机后，辐照室内的排风机继续工作，2.5MeV电子加速器辐照室经过约5.18min的通风、1.5MeV电子加速器的辐照室经过约5.96min的通风后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化学有害因素》（GBZ2.1-2007）控制要求（最高容许浓度为0.3mg/m³）。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目辐照室主体工程已进行了环境影响评价并取得了环评批复（批复见附件 9）本环评不再对施工期的环境影响进行评价，设备安装及调试过程中会产生辐射环境影响，因此公司不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在辐照室门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各辐照室必须上锁并派人看守。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响

1、电子束对环境的影响

根据《辐射防护技术与管理》，电子在物质中最大射程可由下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} \times E_{\beta \max} \quad (\text{公式 1})$$

式中：d—最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta \max}$ —电子最大能量，MeV；

项目电子束加速器能量分别为 2.5MeV，1.5MeV，在混凝土（2.35g/cm³）的最大射程约 0.53cm。项目拟建辐照室混凝土墙最薄处厚度分别为 170cm 和 130cm，且电子束方向朝向地面，因此加速器发射的电子束对辐照室外环境的影响可忽略。

2、X 射线辐射影响分析

计算公式

直射 X 射线的屏蔽

1) 确定 X 射线的透射比 B_x

$$B_x = (1 \times 10^{-6}) \left[\frac{H_M d^2}{D_{10} T} \right] \quad (\text{公式 2})$$

式中：

B_x —— X 射线的屏蔽透射比，指在屏蔽体入射面的吸收剂量率，经屏蔽厚度按该透射比减弱，使屏蔽体的出射面剂量率达到所要求的水平；

H_M —— 参考点最大允许周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)；

d —— X 射线源与参考点之间的距离 (m)；

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。

常数 (1×10^{-6}) 为单位转换系数。

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^{-1})

$$D_{10}=60\cdot Q\cdot I\cdot f_e \quad (\text{公式 3})$$

式中：

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

I —— 电子束流强度 (mA)；

f_e ——X 射线发射率修正系数。

2) 屏蔽厚度的求解

用屏蔽材料的十分之一值层来表示屏蔽厚度

$$B_x=10^{-n} \text{ 或 } n=\log_{10}(1/B_x) \quad (\text{公式 4})$$

计算屏蔽体厚度，可以保守地估算为：

$$S=T_1+(n-1)T_e \quad (\text{公式 5})$$

式中：

S —— 屏蔽体厚度(cm)；

T_1 —— 在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层(cm)；

T_e —— 平衡十分之一值层，该值近似于常数(cm)；

n —— 为十分之一值层的个数。

3) 侧向 X 射线的屏蔽

对于电子加速器辐照装置，很多情况下需要考虑侧向（相对电子束 90°方向）X 射线的屏蔽，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入射电子

能量的特性参数，根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。

4) 散射辐射的屏蔽

在加速器装置的屏蔽设计中，有三种情况必须考虑散射辐射：

① 迷道和防护门；

② 天空反散射；

③ 孔道；

① 迷道和防护门

防护电子的迷道，为防止电子在迷道入口处的照射，最简单的屏蔽方法是使迷道路径长度大于电子在空气中的射程，这个长度可以是迷道的直线距离，或者是迷道中最短的各个中间距离之和。

防护 X 射线的迷道，下面的计算方法可保守地估算迷道外入口的剂量率：

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

式中：

1—— 入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

2—— 从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；

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)；

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

j—— 指第 j 个散射过程。

在任何迷道的设计中，沿 X 射线源方向的线路，所设计迷道墙厚度的总和应不小于直射所需屏蔽墙的厚度。

② 天空反散射

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。

天空反散射的计算

根据 NCRP-151 号报告，计算公式为

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} \left(B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3} \right)}{(d_i d_s)^2} \quad (\text{公式 7})$$

式中：

H——在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 (Sv h^{-1})；

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)。

厂房屋顶厚度

屋顶的屏蔽透射比 B_{xs} 为：

$$B_{xs} = 4 \times 10^{-5} \left[\frac{H_M d_i^2 d_s^2}{D_{10} \Omega^{1.3}} \right] \quad (\text{公式 8})$$

式中：

H_M ——P 点所在位置的最大允许周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$)。

计算出屋顶屏蔽透射比 B_{xs} 后，按上述十分之一值层求解法计算出屋顶的屏蔽厚度。

散射线能量可用下式求得

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{0.511} (1 - \cos \theta)} \quad (\text{公式 9})$$

式中： E 为散射后能量，MeV； E_0 为散射前能量，MeV； θ 为散射角，度。

3、辐照室屏蔽计算

(1) 加速器的参数

本项目拟建辐照车间为上下两层建筑，加速器主机安装在二层主机室内，一层为辐照室。建筑全部采用混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）防护设计。一层包括辐照室、控制室，二层包括加速器主机室、设备平台区。辐照车间屏蔽设计具体见表 11-1。

表11-1 本项目加速器机房屏蔽设计

位置		屏蔽材料	屏蔽厚度	
			1.5MeV直线加速器	2.5MeV 直线加速器
一层辐照室	东墙	混凝土	1700 mm	2200 mm
	南墙	混凝土	1800 mm	2200 mm
	西墙	混凝土	1700 mm	1700 mm
	北墙	混凝土	1300 mm	1700 mm
	与二层楼板	混凝土	800 mm	1100 mm
	防护门	铅+钢	5mm 铅+5mm 钢	5mm 铅+5mm 钢
二层加速器主机室	东墙	混凝土	900 mm	600 mm
	南墙	混凝土	500 mm	600 mm
	西墙	混凝土	500 mm	900 mm
	北墙	混凝土	500 mm	600 mm
	二层屋顶	混凝土	400 mm	400 mm
	防护门	钢	20mm 钢	20mm 钢

(2) 辐照装置出束时间

依据产品辐照方案，1.5MeV 电子加速器年有效照射时间为 4000h，2.5MeV 电子加速器年有效照射时间为 4000 小时。项目辐照工作采取 2 班制。

(3) 预测点位及照射途径

各预测点位见图 11-1 所示

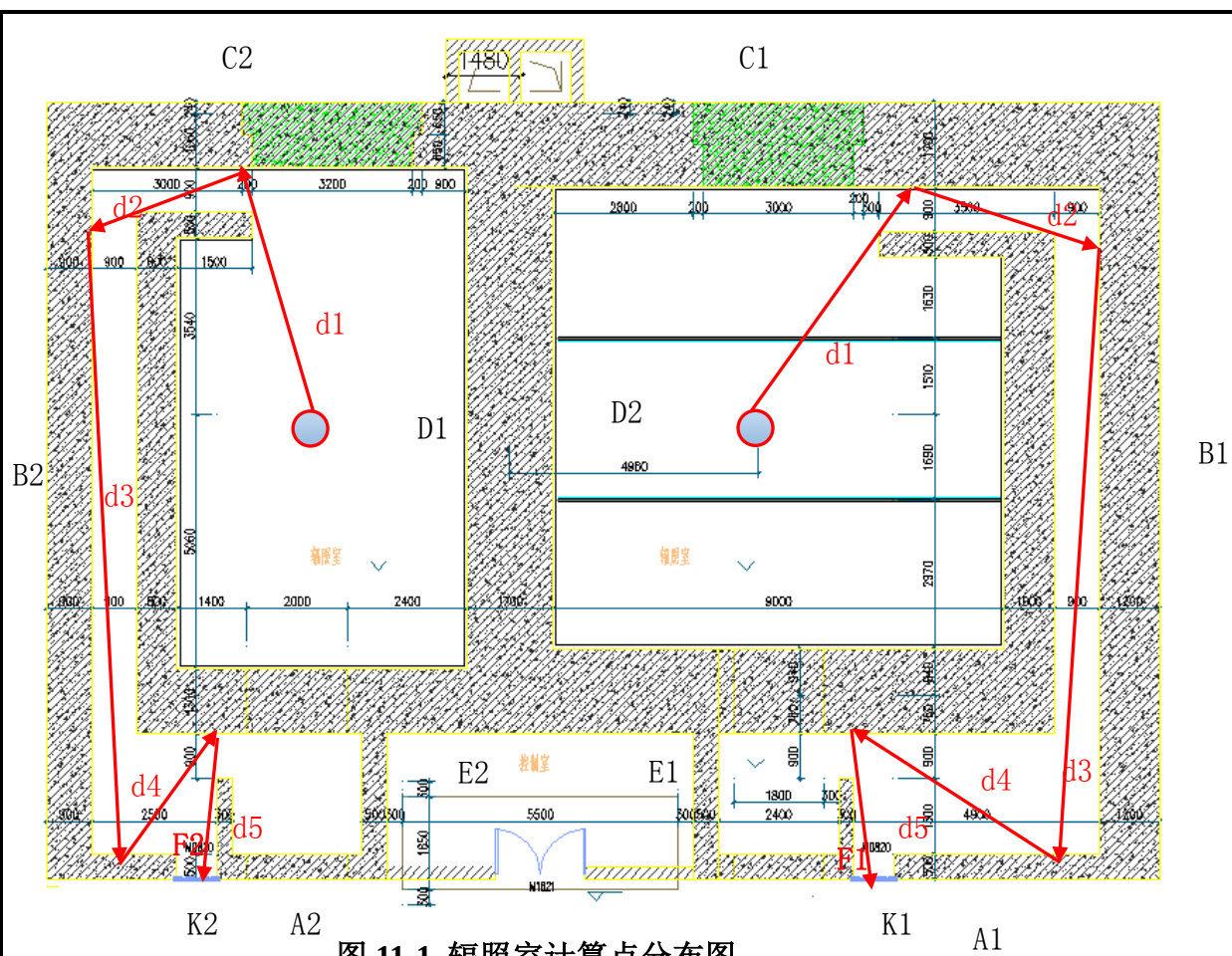


图 11-1 辐照室计算点分布图

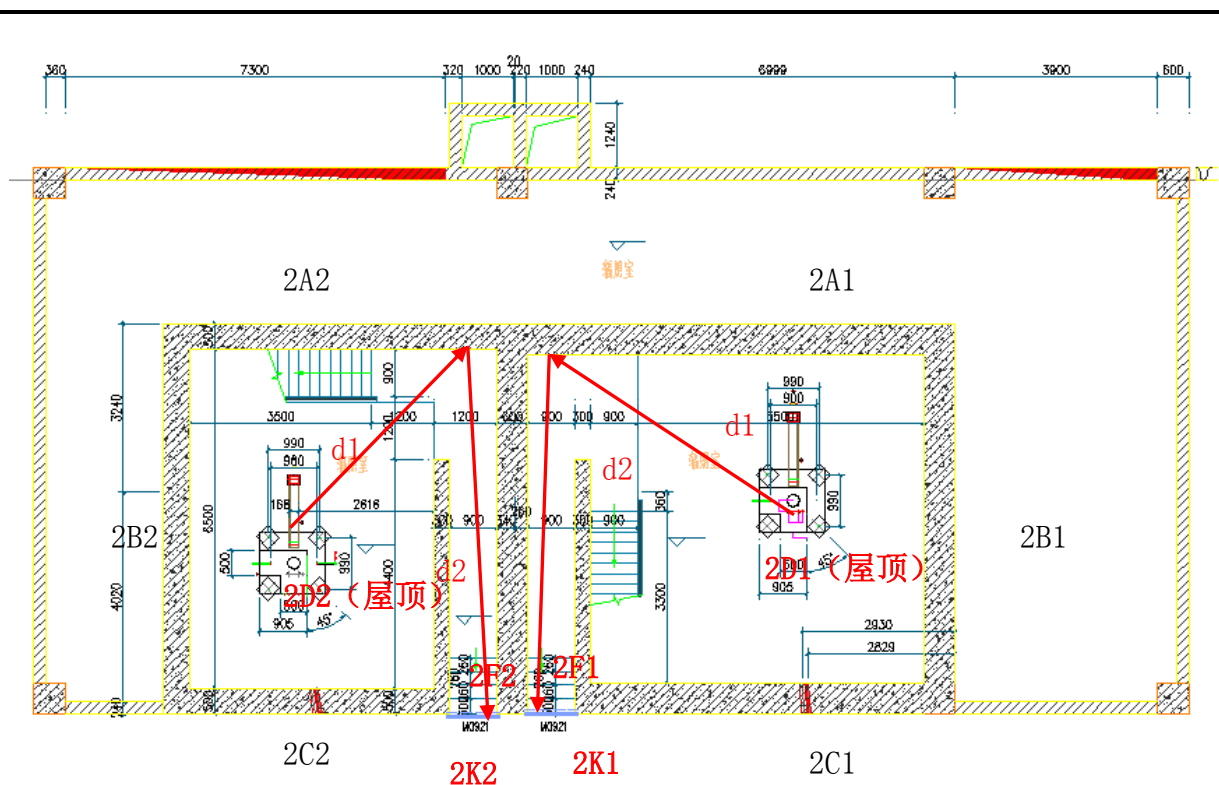


图 11-2 主机室计算点分布图

(4) 屏蔽计算

1) 辐射源项

本项目电子加速器运行时，出束方向朝向地面，在辐照室内电子束可能轰击的物质主要为：①辐照产品，即电线电缆（主要为聚乙烯、聚烯烃、聚氯乙烯等）；②电子扫描器下方的产品传输装置（不锈钢材料）；③辐照室混凝土地面。以上几种物质中不锈钢原子序数 Z 值最大， X 射线发射率最高，故本评价保守以不锈钢为靶材进行评价。偏保守考虑，以下分析均按设备最大工况进行：

2) 屏蔽墙计算

①辐照室X射线发射率

本项目加速器电子束朝下，不直接射向四周墙体，因此辐照室辐射影响主要考虑 X 射线侧向屏蔽。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 附录 A 表 A.1，2.5MeV 在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $2.5\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，保守计算考虑，X 射线发射率修正系数取值为 0.5。1.5MeV 在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $1\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，保守计算考虑，X 射线发射率修正系数取值为 0.5。

2.5MeV 电子加速器束流强度为 40mA，根据公式 2，2.5MeV 辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为 $D_{10}(90^\circ) = 60 \cdot 2.5 \cdot 40 \cdot 0.5 = 3000 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 附录 A 表 A.4，2.5MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 1.6MeV。

1.5MeV 电子加速器束流强度为 65mA，根据公式 2，1.5MeV 辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为 $D_{10}(90^\circ) = 60 \cdot 1 \cdot 65 \cdot 0.5 = 1950 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 附录 A 表 A.4，1.5MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 1MeV。

②加速器主机室（辐照车间二层）

a、2.5MeV 电子直线加速器（最大工况 2.5MeV、40mA）

根据厂家提供的资料，此类型电子加速器在加速过程中的基本不会有束流损失，因此，对于二层加速器主机室内的辐射影响，主要考虑一层辐照室内的与电子束方向呈 $120^\circ \sim 180^\circ$ 方向的韧致辐射。偏安全考虑，对于低 Z 靶在 $120^\circ \sim 180^\circ$ 方向的发射率近似取 90° 方向的发射率常数，由于主机室地板孔洞尺寸小于加速器筒体直径，将受到加速器钢筒屏蔽。保守穿透厚度近似取一层辐照室楼板厚（1100mm 混凝土）。电子加速器束窗到被照物的距离约 40cm，根据公式 2，则 $120^\circ \sim 180^\circ$ 方向的二层主机室内距地板高 1m 处的 X 射线吸收剂量率为 $1.23 \times 10^{-3} \text{ Gy/h}$ 。

b、1.5MeV 电子直线加速器（最大工况 1.5MeV、65mA）

同理，对于 1.5MeV 电子直线加速器，主要考虑一层辐照室内的与电子束方向呈 $120^\circ \sim 180^\circ$ 方向的韧致辐射。偏安全考虑，对于低 Z 靶在 $120^\circ \sim 180^\circ$ 方向的发射率近似取 90° 方向的发射率常数，由于主机室地板孔洞尺寸小于加速器筒体直径，将受到加速器钢筒屏蔽，保守穿透厚度近似取一层辐照室楼板厚（800mm 混凝土）。电子加速器束窗到被照物的距离约 40cm，根据公式 2，则 $120^\circ \sim 180^\circ$ 方向的二层主机室内距地板高 1m 处的 X 射线吸收剂量率为 $3.87 \times 10^{-3} \text{ Gy/h}$ 。

③透射比 B_x 的计算

根据公式 2，其中参考点（距离屏蔽体外侧 0.3 米处）最大允许周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ） H_M 取 2.5，一层辐照室周围居留因子 T 取 1，主机室周围边为设备平台，居

留因子 T 取 1，可计算出 X 射线的透射比 Bx 见表 11-2，

11-2 直射辐射屏蔽透射比计算结果

位置	参考点	位置	距离 d(m)	D_{10} ($Gy\ h^{-1}$)	H_H ($\mu Sv\ h^{-1}$)	T	B_x
2.5MeV 加速器一 层辐照室周围	南墙	A1	9.5	3000	2.5	1	7.52E-08
	东墙	B1	7.9	3000	2.5	1	5.20E-08
	北墙	C1	6.6	3000	2.5	1	3.63E-08
	西墙	D1	6.5	3000	2.5	1	3.52E-08
	控制室	E1	6.8	3000	2.5	1	3.85E-08
2.5MeV 加速器二 层加速器主机室	北墙	2A1	4.05	1.23E-03	2.5	1	3.33E-02
	东墙	2B1	3.6	1.23E-03	2.5	1	2.63E-02
	南墙	2C1	4.05	1.23E-03	2.5	1	3.33E-02
	屋顶	2D1	6.7	1.23E-03	2.5	1	9.12E-02
1.5MeV 加速器一 层辐照室周围	南墙	A2	9.5	1950	2.5	1	1.16E-07
	西墙	B2	5.8	1950	2.5	1	4.31E-08
	北墙	C2	6.6	1950	2.5	1	5.58E-08
	东墙	D2	4.9	1950	2.5	1	3.08E-08
	控制室	E2	6.8	1950	2.5	1	5.93E-08
1.5MeV 加速器二 层加速器主机室	北墙	2A2	4.5	3.87E-03	2.5	1	1.31E-02
	西墙	2B2	3.15	3.87E-03	2.5	1	6.41E-03
	南墙	2C2	3.6	3.87E-03	2.5	1	8.37E-03
	屋顶	2D2	5.3	3.87E-03	2.5	1	1.81E-02

④屏蔽厚度的计算

根据公式 4，采用表 11-2 中的 B_x 值，计算出 n 值。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3

查出混凝土的 T_1 和 T_e 值：对于 2.5MeV 辐照室，入射电子能量为 1.6MeV，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=20.74\text{cm}$ ， $T_e=18.66\text{cm}$ ；对于 1.5MeV 辐照室，入射电子能量为 1MeV，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=18.5\text{cm}$ ， $T_e=15\text{cm}$ 。

根据公式 5 计算出对应混凝土的厚度见表 11-3。

11-3 辐射屏蔽墙厚度计算结果

位置	参考点	位置	B_x	n	混凝土厚度 (m)
2.5MeV 加速器 一层辐照室周围	南墙	A1	7.52E-08	7.12	135.01
	东墙	B1	5.20E-08	7.28	138.00
	北墙	C1	3.63E-08	7.44	140.91
	西墙	D1	3.52E-08	7.45	141.16
	控制室	E1	3.85E-08	7.41	140.43
2.5MeV 加速器 二层加速器主机 室	北墙	2A1	3.33E-02	1.48	29.64
	东墙	2B1	2.63E-02	1.58	31.55
	南墙	2C1	3.33E-02	1.48	29.64
	屋顶	2D1	9.12E-02	1.04	21.48
1.5MeV 加速器 一层辐照室周围	南墙	A2	1.16E-07	6.94	107.55
	西墙	B2	4.31E-08	7.37	113.98
	北墙	C2	5.58E-08	7.25	112.30
	东墙	D2	3.08E-08	7.51	116.18
	控制室	E2	5.93E-08	7.23	111.91
1.5MeV 加速器 二层加速器主机 室	北墙	2A2	1.31E-02	1.88	31.75
	西墙	2B2	6.41E-03	2.19	36.40
	南墙	2C2	8.37E-03	2.08	34.66
	屋顶	2D2	1.81E-02	1.74	29.62

由表 11-3 计算结果和表 11-1 对比可知，本项目电子加速器辐照室及主机室直射辐

射屏蔽墙的设计厚度均大于计算结果，满足防护要求。

本项目两台加速器辐照线缆进出采取地坑穿越方式，产生的射线经地坑多重反射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过地坑外漏对周围的辐射影响可忽略不计。

3) 迷道散射计算

根据公式 9，对于 2.5MeV 的 X 射线可以经计算得出其散射一次后的能量小于 0.5 MeV；对于初级 X 射线，散射系数 α_1 取值 0.015，对于一次散射后的 X 射线散射系数取值为 0.035。辐照室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ) = 3000 \text{ Gy h}^{-1}$

辐照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，根据图 11-1，对于 F1 点： $A_1 = A_2 = 0.9 \times 3.7 = 3.33 \text{ m}^2$ ， $A_3 = A_4 = 2.4 \times 3.7 = 8.8 \text{ m}^2$ ；第一个散射面的散射点保守地取在靠近迷道处。

主机室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ) = 1.23 \times 10^{-3} \text{ Gy h}^{-1}$ ，根据图 11-2，其第一散射面积 $A_1 = 1.2 \times 7 = 8.4 \text{ m}^2$ 。

对于 1.5MeV 的 X 射线可以经计算得出其散射一次后的能量小于 0.5 MeV；对于初级 X 射线，散射系数 α_1 取值 0.015，对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 取值为 0.035。辐照室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ) = 1950 \text{ Gy h}^{-1}$ 。

辐照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，根据图 11-1，对于 F2 点： $A_1 = A_2 = 0.9 \times 3.5 = 3.15 \text{ m}^2$ ， $A_3 = A_4 = 2.4 \times 3.5 = 8.4 \text{ m}^2$ ；第一个散射面的散射点保守地取在靠近迷道处。

主机室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ) = 3.87 \times 10^{-3} \text{ Gy h}^{-1}$ ，根据图 11-2，其第一散射面积 $A_1 = 1.2 \times 5.6 = 6.72 \text{ m}^2$ 。

辐照室和主机室的迷道散射计算结果见表 11-4。

11-4 迷道散射计算结果

位置	参考点	散射次数	路径 d1、d2、dj.....	辐射剂量率 (Gy h ⁻¹)
2.5MeV 加速器一层辐照室周围	F1	4	5.8,3.5,12.1,3.4,3.6	1.83E-07
2.5MeV 加速器二层加速器主机室	2F1	1	5.6,6.9	1.43E-07

1.5MeV 加速器一层辐照室周围	F2	4	4.8,3.2,12.4,2.8,2.8	3.94E-07
1.5MeV 加速器二层加速器主机室	2F2	1	4.7,6.9	3.71E-07

注：图中参考点位于屏蔽门内，还应考虑 X 射线直射剂量的叠加影响。

由表 11-4 可知，2.5MeV 加速器辐照室迷道入口处周围剂量当量率为 $1.83 \times 10^{-7} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，1.5MeV 加速器辐照室迷道入口处周围剂量当量率为 $3.94 \times 10^{-7} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 均小于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，所以，辐照室迷道的设计是合理的。2.5MeV 加速器主机室迷道入口处周围剂量当量率为 $1.43 \times 10^{-7} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，1.5MeV 加速器主机室迷道入口处周围剂量当量率为 $3.71 \times 10^{-7} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 远小于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。如屏蔽设计图所示，本项目辐照室采用了 U 型迷道设计，射线需经过 4 次以上的散射才能到达迷道入口处，辐照室设计为铅钢制防护门，为 5mm 铅+5mm 钢，因此能够保证辐照室迷道入口处的辐射安全；主机室采用了 L 型迷道设计，防护门为钢制防护门，钢厚 20mm，能够满足防护要求。

4) 天空反散射

本项目联合厂房内有一个点位于公众所能达区域，区域居留因子取 1/4，因此该点所在位置的最大允许周围剂量当量率： $H_M = 0.1 \text{mSv} / (8760 \text{h} \times 1/4) = 4.57 \times 10^{-2} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，根据公式 7，屋顶天空反散射计算结果见表 11-5。

11-5 天空反散射计算结果

位置	$D_{10} (\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1})$	$H_M (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1})$	Ω	$d_i (\text{m})$	$d_s (\text{m})$	B_{xs}	所需顶板厚度
2.5MeV 加速器一层辐照室	3000	4.57×10^{-2}	0.18	13	20	3.83E-04	0.65
2.5MeV 加速器二层加速器主机室	1.23×10^{-3}	4.57×10	0.20	8.4	20	3.40E+02	-
1.5MeV 加速器一层辐照室	1950	4.57×10	0.18	11.5	20	4.61E-04	0.54
1.5MeV 加速器二层	3.87×10^{-3}	4.57×10	0.20	7	20	7.50E+01	-

加速器主机室							
--------	--	--	--	--	--	--	--

本项目 2.5MeV 加速器一层辐照室顶板厚度为 1.1m, 1.5MeV 加速器一层辐照室顶板厚度为 0.8m, 均大于计算结果, 满足防护要求。

预测结果

本项目两台电子加速器辐照装置运行期间产生的 X 射线经屏蔽体屏蔽后, 对各预测点所受到的剂量值汇总见下表 11-6。

表 11-6 项目涉及关注点所受剂量预测结果统计表

位置	参考点	位置	关注点所受剂量 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}$)
2.5MeV 加速器一层辐照室周围	南墙	A1	5.55E-03
	东墙	B1	1.68E-05
	北墙	C1	1.15E-02
	西墙	D1	1.19E-02
	控制室	E1	1.08E-02
	防护门	K1	2.09E-03
2.5MeV 加速器二层加速器主机室	北墙	2A1	9.84E-03
	东墙	2B1	1.25E-02
	南墙	2C1	9.84E-03
	屋顶	2D1	4.24E-02
	防护门	2K1	7.00E-02
1.5MeV 加速器一层辐照室周围	南墙	A2	1.33E-02
	西墙	B2	3.56E-02
	北墙	C2	2.75E-02
	东墙	D2	1.08E-04
	控制室	E2	2.59E-02
	防护门	K2	3.22E-03

1.5MeV 加速器二 层加速器主机室	北墙	2A2	2.53E-02
	西墙	2B2	5.16E-02
	南墙	2C2	3.95E-02
	屋顶	2D2	8.47E-02
	防护门	2K2	9.11E-02

由上表可得出，本项目电子加速器辐照室屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率均未超过 2.5 μ Sv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 中的相关要求。

二、工作人员和公众剂量估算及评价

(1) 估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

$$H_{E,r} = D_r \times t \times 10^{-3} (\text{mSv}) \quad (\text{公式 10})$$

其中： $H_{E,r}$ —— X、 γ 射线外照射人均年有效当量剂量，mSv/a；

D_r —— X、 γ 射线空气吸收剂量率， μ Sv/h；

t —— X、 γ 射线照射时间，h/a；

(2) 估算结果

1) 辐射工作人员

本项目两台加速器辐照装置年工作时间均为 4000 h，辐射工作人员及周围公众的剂量估算，计算结果见下表 11-7。

表 11-7 辐射工作人员剂量估算

序号	人员	附加剂量率 (μ Sv/h)	居留因子	出束时间 (h/a)	年受照剂量 (mSv/a)
2.5MeV 加速器	放射工作人员	0.011	1	4000	0.044
	公众	0.012	1/8	4000	0.006
1.5MeV 加速器	放射工作人员	0.026	1	4000	0.104
	公众	0.036	1/8	4000	0.018

从表 11-7 计算结果可知,工作人员受到的最大年剂量值为 0.104mSv/a,低于本评价管理目标值 5mSv/a,公众受到的最大年剂量值为 0.018mSv/a,低于本评价管理目标值 0.1mSv/a,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

三、X 射线电子加速器营运期臭氧环境影响分析

空气在辐射照射下产生臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一,且以臭氧的毒性最高,所以主要是考虑臭氧的产生及其防护。

1、臭氧的产生

平行电子束所致 O₃ 的产生率可以用以下公式进行保守的估算:

$$P=45dIG \quad (\text{公式 11})$$

式中:

P——单位时间电子束产生 O₃ 的质量 (mg/h);

I——电子束流强度 (mA);

d——电子在空气中的行程(cm),应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5\text{KeV/cm}$ 和辐照室尺寸选取,本项目取 100 cm。

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

2、辐照室臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间,臭氧不断产生,考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解(有效化学分解时间约为 50 分钟),辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为。

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad (\text{公式 12})$$

式中:

C(t) ——辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度 (mg/m³);

P——单位时间电子束产生 O₃ 的质量 (mg/h);

T_e——对臭氧的有效清除时间 (h)

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad (\text{公式 13})$$

T_v ——辐照室换气一次所需时间 (h);

T_d ——臭氧的有效化学分解时间 (h), 约为 50 分钟。

此种情况下, $TV \ll T_d$, 因而 $Te \approx TV$ 。当长时间辐照时, 则辐照室内臭氧平衡浓度为:

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (\text{公式 14})$$

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。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, 浓度变化的平衡方程为:

$$dC/dt = -C/T_e \quad (\text{公式 15})$$

当 $t=0$ 时,

$$C = C_s$$

得到浓度随时间的变化公式为: :

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \quad (\text{公式 16})$$

由此可得:

关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad (\text{公式 17})$$

式中:

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

T ——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

表 11-2 臭氧的浓度及换气等待时间计算参数及结果

机房	I (mA)	de(cm)	辐照室 体积 V (m ³)	排风速率 (m ³ /min)	t(min)	臭氧产生 率mg/h	臭氧平均 浓度 (mg/m ³)	通风时 间T (min)
2.5MeV 加速器	40	100	325	350	50	1800000	84.74	5.18
1.5MeV 加速器	65	100	225	350	50	2925000	198.90	5.96

注：因臭氧的分解时间为 **50min**，所以 **t** 取 **50min**。

加速器停机后，辐照室内的排风机继续工作，2.5MeV 电子加速器辐照室需经过约 5.18min 的通风、1.5MeV 电子加速器的辐照室需经过约 5.96min 的通风，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化学有害因素》（GBZ2.1-2007）要求的控制限值（臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m³）。环评要求：加速器停机后，继续排风 10min 以后工作人员才能进入辐照室。

1.5MeV 辐照室和 2.5MeV 辐照室均设有机送排风系统，通风系统与加速器联锁，设计排风量均为 21000m³/h，送风量为 2000 m³/h。1.5MeV 辐照室送风口位于辐照室北侧，排风口位于辐照室西侧，2.5MeV 辐照室送风口位于辐照室北侧，排风口位于辐照室东侧，排风管道采取“U”形方式通过地下管道穿过屏蔽墙，经 22.8m 高排气筒排放，环评要求加速器停机后，继续排风 10min 以后工作人员才能进入辐照室，因臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周边环境空气影响轻微，可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准（8 小时平均浓度限值 0.16mg/m³）。

事故影响分析

1、可能发生的辐射事故

电子直线加速器在开机出束状态下才会产生轫致辐射，关闭电源后就不再产生。对本项目电子直线加速器而言，可能发生的事故主要如下：

（1）在工作状态误入辐照室工作人员误入控制区，公众人员可能忽视警示标志误入监督区和控制区，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。

（2）工作人员进入辐照室后未全部撤离，仍有人滞留在机房内，造成有关人员被

误照；

(3) 因各种原因（如检修、调试、改变照射角度等）可能无意中将电子加速器的屏蔽块、机架上的屏蔽物等移走，或随意加大照射野，使设备丧失自身屏蔽作用，人员受到不必要的照射。

(4) 检修时，误开机，维修人员受到潜在的照射伤害。

2、事故防范措施

电子加速器辐照装置辐射源强较大，如果在工作中忽视安全管理，或安全管理制度和安全操作规程不健全，违章操作，机械失灵，安全装置发生故障，导致工作人员或其他人员误入正在辐照中的辐照室，就有可能受到大剂量的射线照射，出现急性外照射放射损伤，在短时间内酿成重大伤亡事故。这种事故对人员构成的危害较大，严重地损害工作人员的身体健康。防护原则要求一是减少其发生概率，二是减轻其后果。为防止此种事故的发生，本项目采取以下事故防范措施：

(1) 辐射安全管理

①定期认真地对本公司加速器的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

②凡涉及对电子加速器进行操作，必须有明确的操作规程，辐照作业时至少有2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

③每月检查每台加速器辐照室的安全联锁装置（如门机、门灯联锁等），确保安全联锁装置正常运行；

④每月对加速器的安全装置进行维护、保养，对可能会引起操作失灵的关键零配件定期进行更换，确保安全装置正常运行。

(2) 辐射防护措施

①清场巡更系统：在加速器电源启动前，工作人员应进入辐照室、主机室内进行全场巡查、清场，以确保辐照室内无人员停留，方可开启设备电源。

②安全联锁系统：设置了束下传输线安全联锁、加速器紧急停止安全联锁、视频监

控等。

③急停开关联锁系统：由辐照室急停开关和防护门开关等措施共同组成对加速器联锁，即每个组成部分都可以停止加速器的准备或运行状态，所有组成互为冗余系统，以增加加速器紧急停止安全联锁的可靠性。

④钥匙开关：每台加速器控制台上均有钥匙开关，钥匙由加速器操作人员管理，只有当电源钥匙就位后，加速器才能启动出束。

⑤视频监控、声光报警：在辐照室内、迷道内和加速器主机室内设视频监控系统。在辐照室内及主机室入口处设声光报警装置。

⑥剂量监测：每台加速器辐照室内和加速器主机室设固定式剂量监测探头。工作人员进入辐照室内时随身携带个人剂量报警仪。辐射工作人员（包括加速器操作人员和收放线工作人员）在岗从事作业时，须佩戴个人剂量计。辐射工作场所配便携式剂量监测仪，用于工作场所剂量监测。

综上，湖南神通光电科技有限责任公司应加强加速器的安全装置和设施的检查，确保装置安全运行，防止事故发生。并制定周密的应急计划，以便在一旦发生事故时，及时采取有效的安全措施，保证安全。公司必须严格执行相关工作管理制度和规章，杜绝此类事故的发生。

3、事故应急措施

（1）事故报告程序

辐射事故一般报告程序为：发现者报告给公司辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市环保局，并同时向湖南省生态环境厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

株洲市公安局电话：110

株洲市生态环境局电话：12369（24 小时）

湖南省生态环境厅电话：12369、0731-85698110

（2）辐射事故应急措施

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

①关闭直线加速器电源，使其停止运行。

②应尽可能记录现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

③事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

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

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

目前，湖南神通光电科技有限责任公司成立了辐射防护和安全管理领导小组，小组包括组长 1 名，副组长 1 名，组员 5 名，负责对辐射防护相关工作进行控制和管理，辐射防护和安全管理领导小组具体组成见下表：

表 12-1 辐射防护和安全管理领导小组成员一览表

序号	管理人员	姓 名	职务或职称	学历	专/兼职
1	组长	曹清华	法人代表	本科	兼职
2	副组长	潘文欢	安全管理员	本科	兼职
3	成员	朱继业	操作员	本科	兼职
4		周中通	操作员	大专	兼职
5		何振华	检验员	大专	兼职
6		郭成纲	操作员	高中	兼职
7		吴友根	操作员	大专	兼职

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008）修订》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、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”。从湖南神通光电科技有限责任公司目前配置的辐射领导小组人员信息看，小组成员有一定的管理能力，能满足配置要求。

湖南神通光电科技有限责任公司设置的辐射安全与环境保护管理机构职责包括：对湖南神通光电科技有限责任公司放射工作的监督与检查；相关制度的制定、修改与完善；组织辐射工作人员的学习培训；辐射防护知识的宣传教育；辐射事故应急演练；辐射人员的健康体检。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008）修订》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：“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”。湖南神通光电科技有限责任公司已安排本次项目新增辐射工

作人员及辐射工作管理人员参加 2019 年 4 月份的辐射安全与防护培训，环评要求公司按时组织辐射工作人员参加每四年一次的复训。

辐射安全管理规章制度

为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，公司制定了以下管理制度：

- 1、辐射防护和安全保卫制度
- 2、辐射事故应急预案
- 3、辐射安全培训管理制度
- 4、辐照设备检修维护管理制度
- 5、辐射监测计划
- 6、辐射安全培训承诺书

公司还需制订 2.5MeV/1.5MeV 电子加速器安全操作规程、电子加速器操作人员岗位职责、辐射工作人员个人剂量管理制度，并按照国务院令 449 号（2005）《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》、国家环境保护部令 3 号（2008）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等现行要求全面完善和健全各项规章制度并从以下几个方面加强管理。

（1）对电子加速器的安全防护和维修要落实到个人，明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（2）在本项目运行前，各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；辐射工作场所均必须有电离辐射警示标识，辐照室屏蔽门上方必须要有工作指示灯，同时警告标识的张贴必须规范。

（3）明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

（4）加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业，安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

(5) 公司需制定射线装置台帐制度，记载射线装置的名称、型号、射线种类、用途、来源和去向等事项，确定台帐的管理人员和职责，建立台帐的交接制度。

(6) 档案管理

公司应建立完整的辐射安全档案。需要归档的材料应包括以下内容：

①环保部门现场检查记录及整改要求落实情况。

②辐照作业活动期间的相关记录和日志：包括设备检查记录等。

③辐照活动期间异常情况说明以及其它需要记录的有关情况。

(7) 为确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，避免事故的发生，湖南神通光电科技有限责任公司应培育和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，公司应对本项目的辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，每年向发证机关提交上一年度的评估报告。

(8) 湖南神通光电科技有限责任公司应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。

本项目辐射监测计划

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《职业性外照个人监测规范》（GBZ128-2016）等要求，须对个人剂量、诊疗设备、工作场所进行监测。辐射监测内容包括个人剂量与工作场所及周围环境的监测。工作人员配发的个人剂量计，定期进行检测。公司自行组织（需具备相关资质）或委托有资质单位每年对工作场所辐射环境进行一次监测，监测结果做为年度评估的内容，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日前向发证机关提交上一年度的评估报告。此外，公司应根据本项目产生的污染因子特点，制定日常防护监测计划，配备X-γ剂量率仪进行自主监测。

(1) 个人剂量监测

公司应加强辐射工作人员的辐射防护安全管理和教育，提高员工辐射安全防护意识；辐射工作人员工作期间必须按照规定佩戴个人剂量计，未佩戴个人剂量计的工作人员不得上岗，公司需对放射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质

的放射防护技术服务机构承担，个人剂量常规监测周期最长不超过3个月，公司需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括放射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。

（2）工作场所和周围环境辐射监测

使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的单位进行监测。环评要求：①辐射工作场所环境监测结果应记录，并存档备案。②若发现异常情况，立即采取应急措施，停止辐射工作，查找原因。③自查监测结果和工作场所监测结果应作为年度自查评估报告的附件。

（3）防护性能监测

在设备初次投入使用或大修及更换关键组件时，需要委托有资质的单位进行设备防护性能检测，以保证符合有关标准的要求。在使用过程中，需要委托有资质的单位进行设备防护性能检测，检测频次为每年不少一次。

表 12-1 监测计划一览表

监测（检查）项目	具体内容	监测频次	备注
辐射工作人员个人剂量	外照射剂量	三个月为一周期，一年监测四次	X-γ
工作场所及周围环境辐射水平	电子加速器辐照室、主机室四周墙体、天花板、地板、防护门外 30cm 处	每年委托监测 1 次，每个季度自主监测一次	X-γ
设备防护性能	电子加速器	每年委托监测 1 次，设备初次投入使用或大修及更换关键组件监测 1 次，正常使用时每年监测 1 次	---

辐射工作人员健康管理

公司在辐射工作人员上岗前，组织其进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。从事辐射工作期间，定期组织辐射工作人员进行职业健康检查，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。

环评要求：公司应建立和保存辐射工作人员的健康档案。

辐射事故应急

公司已制订《辐射事故应急预案》，但不完善。本评价依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条、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》（环发 [2006]145 号）及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令 第 17 号）的有关规定，建议单位辐射事故应急预案完善如下：

1、事故应急措施的基本任务为：

- （1）立即组织营救受害人员，组织撤离或者采取其他措施保护危害区域的其他人员；
- （2）迅速控制事态，并对事故造成的危害进行监测，确定事故的危害区域、危害性质及危害程度；
- （3）消除危害后果，做好现场恢复；
- （4）查清事故原因，评估危害程度。

2、发生一般事故后，立即封锁现场，迅速查明事故原因，凡能通过切断事故源等处理措施而消除事故的，则以自救为主；发生严重事故后，立即封锁现场，迅速安排受照人员接受医学检查，在指定的医疗机构救治；组织有关人员携带仪器设备赶赴现场进行检测，核实事故情况，估算受照剂量、污染范围和程度，判定事故类型级别，提出控制措施和方案。

3、发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的应急方案，采取必要的应急措施，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和卫生主管部门报告。视事故具体情况，向上级相关管理部门报告。具体辐射事故分级处理和报告制度应严格执行《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《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、公安部、卫生部

环发[2006]145号)的相关要求,此处不再赘述。

4、在事故处理过程中,处理事故的应急人员应佩带个人剂量计。为制止事故的扩大或进行抢救、抢修处理事故的应急人员接受超过正常剂量当量限值的应急照射,按照GB 18871-2002的规定,一次应急事件全身照射的剂量不应超过职业人员最大单一年份剂量限值的10倍。

5、定期进行事故应急演练,对演练效果作出评价,提交演练报告,说明演练过程中发现的问题,列出不符合项,进行整改。

采取以上风险防范措施,严格按照相关法律法规的要求进行管理,定期演习辐射事故应急预案,对发现的问题及时进行整改,可使该项目环境风险影响降至最低。

应急报告程序

一般报告程序为:发现者报告给公司辐射事故应急工作小组成员,由其向市公安局、市环保局,并同时向省环保厅报告,设备被损应同时向公安机关报告,造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下:

湖南省生态环境厅:12369,0731-85698110

株洲市生态环境局:12369(24小时)

株洲市公安局:110

环境保护竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》,项目竣工后,建设单位自主或委托技术机构开展环保竣工验收工作,具体工作见表12-2。

表12-2 环境保护竣工验收一览表

序号	验收内容	验收要求
1	环保文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告等各项文件齐全。
2	环境管理制度、应急措施	成立专门的辐射领导机构,制定相应的规章制度和事故应急预案,具有可操作性,有相应的操作规程,各类制度张贴上墙。

3	放射工作人员管理	1、新增放射工作人员应进行上岗前体检，体检合格后方可从事放射工作，公司应每季度组织对放射工作人员进行个人剂量监测，每 2 年进行放射人员健康体检，并将资料存档管理。 2、新增管理人员和辐射工作人员参加辐射安全知识培训，4 年进行一次复训。
4	防护用品	防护用品按报告中表 10-3 要求落实。
5	辐射屏蔽设计及安全防护措施	1、电子加速器辐照室、主机室按防护设计要求进行建设。 2、电子加速器辐照室、主机室四周墙外、防护门外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。 3、电离辐射警告标志、辐照装置指示灯、门灯联锁装置、紧急停机装置等安全措施按要求配备到位。
6	辐射监测	1、每年委托有资质单位对工作场所周围环境进行常规监测，并向环保部门上交年度评估报告。 2、公司配备相应的自检设备，防护检查仪器及人员，定时进行自检。 3、各机房内不得堆放无关杂物，保持良好的通风。
7	剂量限制	1、辐射工作人员年有效剂量管理目标值不超过 5mSv 2、公众成员年有效剂量管理目标值不超过 0.1mSv
8	废气	1、电子加速器机房设置动力排风装置，保持机房内通风良好。

表 13 结论与建议

结论

1、湖南神通光电科技有限责任公司位于位于湖南省株洲市芦淞区枫溪大道 288 号，为了提高产品的各项性能，公司拟在航空新能源用特种线缆智能制造生产基地新建厂房西北角新建两间加速器辐照室，新增 1 台 1.5MeV 电子加速器和 1 台 2.5MeV 电子加速器，公司地理位置示意图见附图 1。

2、通过对项目周围环境的调查结果表明，该项目场址的环境 X- γ 辐射剂量率接近该地区的本底水平，辐照室门外设有电离辐射标志，并安设有醒目工作指示灯，机房设置有机机械通风系统，通风良好。

3、经过估算，本项目辐照室、主机室墙体、防护门的设计屏蔽厚度能满足《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 2.5 μ Sv/h。。

4、通过剂量估算，辐照室工作人员年附加有效剂量约为 0.104mSv，未超过年有效剂量管理目标值 5mSv/a；对公众人员所致附加年有效剂量最大值为 0.018mSv/a，未超过年有效剂量管理目标值 0.1mSv/a。

5、公司应按报告表中表 10-3 提出的要求增加个人防护用品，配备后能满足公司放射性工作的开展。

6、本项目各加速器辐照室均设有机机械送排风系统，主排气口拟设置于扫描窗下方的位置，设计排风量均为 21000m³/h。加速器停机后，辐照室内的排风机继续工作，2.5MeV 电子加速器辐照室需经过约 5.18min 的通风、1.5MeV 电子加速器的辐照室需经过约 5.96min 的通风，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化学有害因素》（GBZ2.1-2007）要求的控制限值（臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m³）。本项目风道采取“U”形方式通过地下管道穿过屏蔽墙，经 22.8m 高排气筒排放。环评要求加速器停机后，继续排风 10min 以后工作人员才能进入辐照室，因臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周边环境空气影响轻微，可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准（8 小时平均浓度限值 0.16mg/m³）。

7、本项目为电子加速器辐照应用项目，根据国家改革和发展委员会第 21 号令《产业结构调整指导目录（2011 年本） 修正》2013 年 5 月实施），本项目属于鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，因此，本项目符合国家产业政策。

8、实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。辐照交联技术主要由以下优点：①相较普通线缆，辐照交联线缆具有更耐热、重量轻和具有优异的机械物理性能等特点；②相较于化学交联工艺，辐照交联无需加热且可避免过氧化物裂解产生挥发性有机物的污染，更环保。

本项目拟建辐照室设计的混凝土墙体和屏蔽门的防护厚度充分考虑了辐射效应，能够有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响，经屏蔽后对工作人员和公众的照射剂量满足相关标准限值要求。该项目实施后对周围环境的影响满足国家相关标准限值要求，为企业、社会带来利益远大于辐射危害的代价，有利于发展社会经济，符合辐射防护“实践的正当性”原则。因此，本环评认为该项目的实施是正当可行的。

9、选址合理性

拟建电子直线加速器辐照间位于湖南神通光电科技有限责任公司航空新能源用特种线缆智能制造生产基地厂区内，辐照室北侧为在建工地，南侧为联合厂房、西侧为千亿大道，东侧为电力电缆车间，区域人流相对较少，降低了公众受照的可能性。本项目为加速器辐照加工项目，项目建成投运后产生的环境影响主要为电离辐射。项目拟建辐照室设计的混凝土墙体和屏蔽门的防护厚度充分考虑了辐射效应，能够有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响，经屏蔽后对工作人员和公众的照射剂量满足相关标准限值要求。因此，本项目的选址是合理可行的。

10、布局合理性

本项目辐照室为上下两层钢筋混凝土建筑物，一层为辐照作业区、控制室，二层为加速器主机室及设备平台。各功能区分区布设，辐射工作场所与配套用房间采用足够

厚的混凝土屏蔽墙体分隔，防护厚度充分考虑了 X 射线，能够有效降低电离辐射对工作人员和公众的辐射影响。因此，辐照车间的布置便于生产线的安排，又能限制非辐射工作人员的流动，满足分区管理和辐射防护。从便于辐射管理及满足安全生产的角度来看，本项目辐射场所的平面布局是合理的。

综上所述，综上所述，项目属于核技术应用，符合国家产业政策。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。工作人员和公众辐射剂量低于国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的规定和本环评要求的剂量约束值。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行辐射防护的有关规定，本项目从辐射防护以及环境保护角度分析是可行的。

要求

- 1、电子加速器辐照室的土建施工必须符合其建设的要求，辐照室混凝土施工过程中，对混凝土剪力墙及屋面屏蔽墙混凝土浇注应连续整体灌注，避免间断性施工作业，不留施工缝，防止屏蔽墙出现缝隙和气泡等现象，以防出现射线外泄。
- 2、营运期间应加强屏蔽体屏蔽效能的测试，发现监测数据异常，应立即暂停辐射工作，及时查找原因并维修，妥善解决并经检测符合标准要求后方可继续开展辐射工作。
- 3、项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表提出的安全防护措施和相关管理要求。
- 4、辐射工作人员（包括加速器操作人员、收放线操作人员和辐射管理人员）必须参加辐射安全与防护培训，经考核合格后持证上岗。
- 5、公司应按环评要求补充制定相应的操作规程，对各项制度加以完善和补充，将各类制度张贴上墙，并确保各项制度的落实。
- 6、公司应加强对电子加速器辐照室及周围环境的自主监测，保证工作场所周围辐射环境安全。并保存好每次的检测记录。
- 7、公司应按环评报告表10-3的要求，配备相应的防护用品，以满足工作需要。
- 8、辐射工作人员（包括加速器操作人员、收放线操作人员和辐射管理人员）必须参加辐射安全与防护培训，经考核合格后持证上岗。并按时参加每四年一次的复训，并

建立放射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案，并终生保存。放射工作人员调动工作单位时，个人剂量、健康监护档案应随其转给调入单位。

9、公司在取得本次环评报告批复文件后，按要求对机房及工作场所进行建设和改造，机房工作场所达到使用要求后，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年修订，环保部令第 3 号）规定的许可证申请程序，申请办理《辐射安全许可证》。

10、机房建成达到使用要求后，建设单位按照相关要求开展环保验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日