核技术利用建设项目

宁波市搏皓电线电缆有限公司扩建2台工业电子加速器辐照项目环境影响报告表

宁波市搏皓电线电缆有限公司

2021年5月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

宁波市搏皓电线电缆有限公司扩建2台工业电子加速器辐照项目环境影响报告表

建议单位名	称:	.巾搏眙电线中	<u> 地貌有限公司</u>						
建设单位法	人代表(签	名或签章):							
通讯地址: 浙江省慈溪市周巷镇环城西路 818 号									
邮政编码:	315300	_联系人:	刘杰						
电子邮箱:	/	联系电话:	15967838171						

打印编号:1620714768000

编制单位和编制人员情况表

项目编号		nqa1p3					
建设项目名称		宁波市搏皓电线电缆有限公司扩建2台工业电子加速器辐照项目					
建设项目类别		55172核技术利用建设项目					
环境影响评价文件	 类型	报告表					
一、建设单位情况	7						
单位名称(盖章)		宁波市搏皓电线电缆	5有限公司				
统一社会信用代码		91330282MA2834GW	/93				
法定代表人(签章)	戚金权	1/3				
主要负责人(签字)	刘杰	. 唐月子				
直接负责的主管人	员(签字)	刘杰					
二、编制单位情况	7	- FE WILLIAM .					
单位名称(盖章)	(E) E/N	杭州卫康环保科技有限公司					
统一社会信用代码	2	91330108MA2AXDJA8X					
三、编制人员情况	2	KILLE.					
1. 编制主持人	William .						
姓名	职业资	格证书管理号	信用编号	签字			
吴苏源	201805	035330000006	BH002278				
2. 主要编制人员							
姓名	主要	编写内容	信用编号	签字			
吴苏源	全	部章节	BH002278				
			•	•			



目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	7
表 3 非密封放射性物质	7
表 4 射线装置	8
表 5 废弃物(重点是放射性废弃物)	9
表 6 评价依据	10
表 7 保护目标与评价标准	12
表 8 环境质量和辐射现状	19
表 9 项目工程分析与源项	23
表 10 辐射安全与防护	27
表 11 环境影响分析	33
表 12 辐射安全管理	57
表 13 结论与建议	61
表 14 审批	64

附图:

附图 1 宁波市搏皓电线电缆有限公司地理位置图

附图 2 宁波市搏皓电线电缆有限公司厂区平面布局及周围环境示意图

附图 3 本项目 3#、4#电子加速器机房在 3#厂房的平面布局图

附图 4 本项目 3#、4#电子加速器机房平面图

附图 5 本项目 3#、4#电子加速器机房剖面图

附图 6 本项目 3#、4#电子加速器主体钢筒结构示意图

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: 营业执照复印件

附件 4: 公司辐射安全许可证复印件

附件 5: 公司个人剂量检测协议复印件

附件 6: 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质

附件 7: 公司现有核技术利用项目环评批复及验收意见

附件 8: 公司现有辐射工作人员辐射安全与防护培训证书

表 1 项目基本情况

建设	设项目名称	宁波市搏皓	电线电缆有限公	公司扩建2台	3工业电子加	速器			
趸	建设单位		宁波市搏	皓电线电缆	有限公司				
泸	去人代表	戚金权	联系人	刘杰	联系电话	159	67838171		
Ϋ́	注册地址	浙江省慈溪市周巷镇环城西路 818 号							
项目	建设地点	泊	折江省慈溪市周	巷镇环城西	路 818 号 3#	厂房			
立项	页审批部门		/	批准文号	ŗ	/			
	项目总投资 (万元)	850	项目环保投资 (万元)	255	投资比例 投资/总投		30%		
Ŋ	页目性质	□新建	□改建 ■扩建 🛭	占地面积	(m^2)	/			
	计伯利]销售	[]类[][类[][[类]][V类[]V类						
	放射源	□使用	□I类(医疗使用)□II类□III类□IV类□V类						
		<u>□</u> 生产		□制备 PET	用放射性药物	勿			
	非密封放射 性物质]销售			/				
应用 类型	, , , , , ,	□使用		<u> </u>					
		[]生产		□II 类	[]III 类				
	射线装置]销售		□II 类	[]III 类				
		■使用		II类	[]III 类				
	其他			/					

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

1、建设单位基本情况

宁波市搏皓电线电缆有限公司位于慈溪市周巷镇环城西路 818 号,公司成立于 2016 年,是一家专业从事生产标准线盘、电源线、延长线、插头、插座等专业制造商,经营范围包括电线电缆、电源线、电源线插头、连接线、线束、机械设备、通讯设备及配件、塑料制品制造、加工,新塑料造粒,自营和代理货物和技术的进出口。

公司产品已获得德国 VDE、法国 NF、英国 BS、瑞典 SEMKO、欧盟 CS 等安全认证,主要畅销英国、法国、德国、丹麦、瑞典、意大利、美国等欧美市场。

2019年6月4日,宁波市搏皓电线电缆有限公司年产3000万米电线生产线项目取得了宁波市生态环境局慈溪分局的批复,批复文号: 慈环建[2019]104号; 2019年9月12日,公司对该建设项目的主体工程及相关配套环保设施进行了自主竣工环境保护验收; 2019年10月28日,宁波市生态环境局慈溪分局对该建设项目的固体废物污染防治设施进行了竣工环境保护验收,验收文号: 慈环验[2019]536号。公司于2020年在3#厂房新建了2台工业电子加速器用于辐照电线、电缆,该2台工业电子加速器于2020年5月11日取得了宁波市生态环境局的审查意见,文号为: 甬环建表[2020]14号,并于2020年11月30日通过了自主竣工环保验收。

2、项目由来及建设规模

为满足业务发展需求,宁波市搏皓电线电缆有限公司拟将 3#厂房与其西侧闲置库房之间的隔墙打通,将该闲置库房并至 3#厂房,并拟在该闲置库房处扩建 2 间电子加速器机房,分别为 3#加速器机房和 4#加速器机房,其中 3#加速器机房配备 1 台 DD2.0-50/1600 型电子加速器,4#加速器机房配备 1 台 DD2.5-40/1600 型电子加速器。公司配备的电子加速器用于对本公司和其他公司生产的电线、电缆进行辐照加工。

公司拟配备的 DD2.0-50/1600 型和 DD2.5-40/1600 型电子加速器均为卧式结构,将主电源与加速器分成两体成直角联接,加速器主体采用自屏蔽结构,仅需建设辐照室,加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台。本项目具体情况见表 1-1。

序号	射线装置 名称	数量	电子束最 大能量 (MeV)	最大東 流强度 (mA)	类别	工作场 所名称	活动种类	环评情况及 审批时间	备注
1	DD2.0-50/1600 型电子加速器	1	2.0	50	II	3#厂房 3#加速器 机房	使用		束流损失率为 1%,束流损失
2	DD2.5-40/1600 型电子加速器	1	2.5	40	II	3#厂房 4#加速器 机房	使用	本次环评	点能量为最大 能量的 10%

表 1-1 公司核技术应用项目情况一览表

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,其应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

根据《射线装置分类》(2017年修订版),本项目工业电子加速器属工业辐照用加速器,为 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),本项

目属"172 核技术利用建设项目"中的"使用 II 类射线装置",应编制环境影响报告表。宁波市搏皓电线电缆有限公司于 2021 年 1 月 7 日委托杭州卫康环保科技有限公司对本项目进行辐射环境影响评价(见附件 1)。评价单位接受委托后,通过现场踏勘、收集有关资料等工作,结合本项目特点,依据《辐射环境保护管理导则一核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)的相关要求,编制完成了本项目的环境影响报告表,供建设单位上报审批。

3、评价目的

- (1)委托有资质单位对本项目工业辐照加速器机房拟建址及周边环境进行辐射环境本底水平检测,以掌握该场所及周边环境背景水平;
- (2)通过理论计算方法,对拟建的工业电子加速器作业时对周围辐射环境影响进行 预测评价,提出环境污染控制对策;
- (3)对不利影响和存在的问题提出防治措施,把辐射环境影响减少到"可合理达到的尽量低水平":
- (4)提出环境管理和环境监测计划,使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求,为项目运行期辐射环境保护管理提供科学依据。

二、项目周边保护目标及项目选址情况

1、企业地理位置

宁波市搏皓电线电缆有限公司位于慈溪市周巷镇环城西路 818 号,公司地理位置图见附图 1。公司厂区东侧为环城西路,南侧依次为河流、企业路,西侧依次为河流、农田,北侧为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房和恒发健身会所(已停业),公司厂区平面布局及周围环境示意见附图 2。

2、公司 3#厂房位置

公司 3#厂房位于公司的北部,该 3#厂房为单层建筑,其东侧依次为厂区道路、4#厂房,南侧依次为厂区道路、2#厂房,西侧为厂区道路和闲置库房,北侧为厂区围墙。

3、本项目加速器机房拟建位置

本项目加速器机房拟建场所位于 3#厂房的西部, 2 间加速器机房南北并排建造, 3#加速器机房位于 4#加速器的北侧, 3#加速器机房的东侧为电线电缆堆放区, 南侧为 4#加速器机房, 西侧为厂区道路和闲置库房, 北侧为 3#厂房围墙, 楼上、楼下无建筑; 4#加速器机房东侧为电线电缆堆放区, 南侧为 3#厂房围墙, 西侧为厂区道路和闲置库房, 北侧为 3#加速器机房, 楼上、楼下无建筑; 本项目电子加速器机房拟建场所在 3#厂房的位置见附图 3。

4、选址合理性分析

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标,本项目环境保护目标主要是本项目的辐射工作人员、公司内其他工作人员以及厂区西侧农田的劳动者、厂区北侧慈溪市恒发纸箱包装有限公司的工作人员。经辐射环境影响预测,本项目运营过程中产生的电离辐射,经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。同时本项目用地性质属于工业用地,无新增土地,周围无环境制约因素。因此,本项目选址是合理可行的。

三、实践正当性

本项目投入使用不仅满足了企业的生产需求,提高了产品质量,还将给企业带来更多的经济效益和社会效益,在做好辐射防护的基础上,本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害,该项目符合《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、现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1、原有核技术利用项目环保手续情况

宁波市搏皓电线电缆有限公司目前持有的辐射安全许可证编号:浙环辐证[B2972], 许可种类和范围:使用 II 类射线装置,有效期为:2020年09月15日~2025年09月14日, 该单位现有的辐射安全许可证复印件见附件4。

宁波市搏皓电线电缆有限公司现有核技术利用项目环保履行具体情况见表 1-2。

序·	射线装置 名称	数量	电子束最 大能量 (MeV)	最大東 流强度 (mA)	类别	工作场 所名称	活动种类	环评 情况	许可 情况	验收 情况
1	DD2.0-50/1600 型电子加速器	1	2.0	50	II	3#厂房 1#加速器 机房	使用	已环评	已许可	己自主验收
2	DD1.5-60/1600 型电子加速器	1	1.5	60	II	3#厂房 2#加速器 机房	使用	(甬环建表 [2020]14号)	已许可	己自主验收

表 1-2 公司现有核技术利用项目环保履行情况一览表

2、辐射安全管理现状

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

宁波市搏皓电线电缆有限公司已成立了由法人为组长的辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作,并以文件形式明确各成员管理职责,满足环保相关管理要求。

(2) 辐射安全管理规章制度

宁波市搏皓电线电缆有限公司已针对现有核技术利用项目制定了《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》、《射线装置使用登记制度》、《人员培训计划》、《台账管理制度》、《监测方案》、《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度。

该公司制定的辐射安全管理规章制度较完备且具有一定的可行性,基本满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。该公司能够按照规章制度对电线、电缆辐照工作进行管理,辐射工作人员也能够严格按照各项规章制度开展工作,满足环保相关管理要求。

(3) 辐射监测和年度评估

宁波市搏皓电线电缆有限公司已委托有资质单位对现有的 1#、2#加速器进行了验收监测,并向发证机关提交了上一年的辐射安全与防护年度评估报告。

公司已制定监测制度,每年将委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行监测,每年对本单位辐射工作场所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,满足环保相关管理要求。

(4) 个人剂量监测与健康体检

宁波市搏皓电线电缆有限公司已组织辐射工作人员进行了上岗前的体检,现有辐射工作人员均可从事放射工作。此后,公司将定期组织辐射工作人员进行体检,并建立辐射工作人员职业健康监护档案,满足环保相关管理要求。

宁波市搏皓电线电缆有限公司为现有辐射工作人员配备了个人剂量计,并与有资质单位签订了个人剂量检测协议,因公司现有 1#、2#加速器刚投入运行,暂未出个人剂量检测结果,个人剂量检测协议见附件 5。

公司已制定监测制度,将定期将个人剂量计送有资质单位进行个人剂量监测,建立个人剂量档案,确保辐射工作人员年有效剂量不超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a,满足环保相关管理要求。

(5)辐射安全和防护知识培训

宁波市搏皓电线电缆有限公司现有的1名辐射专职管理人员和3名辐射工作人员均已 参加并通过了辐射安全和防护专业知识的培训和考核,满足环保相关管理要求。公司现有 辐射工作人员辐射安全与防护培训证书见附件8,具体情况见表1-3。

表1-3	现有辐射工作人	、员辐射安全与防护培训情况-	- 监表
121-3			リロイン

编号	姓名	性别	培训时间	培训证件编号	备注
1	戚金权	男	2020.1.10	C201912705	管理人员
2	姚华锋	男	2020.1.10	C201912703	辐射工作人员
3	严超杰	男	2020.1.10	C201912702	辐射工作人员
4	俞露	女	2020.1.10	C201912704	辐射工作人员

(6) 运行情况

公司已制定《辐射事故应急预案》,每年定期开展辐射事故应急预案演习,并对演练结果进行总结,及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。经与公司核实,自辐射活动开展以来,各射线装置运行和维护状况良好,未发生过任何辐射事故。

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	工业电 子加速 器	II	1	DD2.0-50/1600	电子	2.0	50mA	工业辐照	3#加速器机房	東流损失率 为 1%, 東流 损失点能量
2	工业电 子加速 器	II	1	DD2.5-40/1600	电子	2.5	40mA	工业辐照	4#加速器机房	为最大能量的10%
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机,包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

J	亨号	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	数	型号	最大管电	最大靶电	中子强	田诠	工作场所	工作场所	用途 工作场所		备注
11, 9	11170	别	量	至与	压 (kV)	流 (µA)	度(n/s)	色		活度(Bq)	贮存方式	数量	田仁
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物 (重点是放射性废弃物)

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放 总量	排放口 浓度	暂存 情况	最终去向
臭氧、 氮氧 化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排 到外环境,臭氧 常温下可自行分 解为氧气,对环 境影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/
								3. 左掛妆丛目田 1

注: 1.常规废弃物排放浓度,对于液态单位为 mg/L,固体为 mg/kg,气态为 mg/m^3 ,年排放总量用 kg。 2.含有放射性的废物要注明,其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3)和 活度(Bq)。

表 6 评价依据

- (1)《中华人民共和国环境保护法》(修订版),国家主席令第9号,2015年1月 1日起施行
- (2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年修正版),国家主席令第24号,自2018年12月29日起施行
- (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》,国家主席令第6号,2003年10月1 日起施行
- (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
- (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
- (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
- (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

(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

- (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
- (10)《射线装置分类》(2017年修订版),环境保护部国家卫生计生委公告 2017年公告第66号公布,自2017年12月5日起施行
- (11) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》的通知,环办[2013]103号,2014年1月1日起施行
- (12)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》,生态环境部部令第9号,2019年11月1日起施行
- (13)《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
- (14)《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
- (15) 《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

法规 文件

境部公告 2019 年第 57 号, 2020 年 1 月 1 日起施行

- (16)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2021年修正版),浙江省人民政府令第388号,2021年2月10日起施行
- (17)《浙江省辐射环境管理办法》(2021 年修正版),浙江省人民政府令第 388 号,2021年2月10日起施行
- (18)《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》浙政办发〔2018〕92号,2018年9月18日起施行
- (19)《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)》,浙环发(2019)22号,2019年12月20日起施行
- (1)《建设项目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)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)
- (4)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)

技术

标准

- (5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)
- (6)《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)
- (7)《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)
- (8)《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)
- (9)《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)
- (10)《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》(GBZ 2.1-2007)
- (11)《环境空气质量标准》(GB3095-2012)

报告附件:

- (1) 项目委托书(附件1)
- (2) 射线装置使用承诺书(附件2)
- (3) 营业执照复印件(附件3)

其他

- (4) 公司辐射安全许可证复印件(附件4)
- (5) 公司个人剂量检测协议复印件(附件5)
- (6) 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质(附件6)
- (7) 公司现有核技术利用项目环评批复及验收意见(附件7)
- (8) 公司现有辐射工作人员辐射安全与防护培训证书(附件8)

表 7 保护目标与评价标准

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》(HJ10.1-2016)的要求,放射源和射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。本项目评价范围为电子加速器机房屏蔽墙体边界外延 50m 的区域,本项目评价范围示意见图 7-1 或附图 2。



图 7-1 本项目评价范围示意图

保护目标

根据附图 2 和附图 3,本项目加速器机房拟建场所位于公司 3#厂房的西部,加速器机房拟建场所东侧 50m 范围依次为本项目拟建加速器机房的电线电缆收放卷系统区、电线电缆堆放区和 1#、2#加速器机房,南侧 50m 范围依次为 3#厂房围墙、厂区道路、2#厂房、1#厂房,西侧 50m 范围依次为厂区道路、闲置库房、厂区围墙、河流和农田,北侧 50m 范围依次为 3#厂房围墙(厂区围墙)、慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标,本项目环境保护目标主要是本项目的辐射工作人员、公司内其他工作人员以及厂区西侧农田的劳动者、厂区北侧慈溪市恒发纸箱包装有限公司的工作人员。本项目周围环境保护目标情况见表 7-1。

表 7-1 本项目周围环境及保护目标情况

名称	方位	场所	主要环境 保护目标	距辐射场所 距离	规模	年有效剂 量约束值
辐射工作 人员	西侧	控制室、收放 卷系统区	设备操作人员和 电线、电缆收放卷 人员	(0.3~15) m	共约8名 工作人员	5mSv/a
	东侧	电线电缆 堆放区	公司内其他工作 人员	(16~42) m	约2名 工作人员	
	7J JVJ	1#、2#加速器 机房工作人员		(43~50) m	约3名 工作人员	
		厂区道路	公司内其他工作 人员 公司内其他工作 人员 农田劳动者	(1~6) m	公司厂区 工作人员	
	南侧	2#厂房		(6~30) m	约 15 名 工作人员	
公众		1#厂房		(42~50) m	约 10 名 工作人员	0.1 mSv/a
		厂区道路		(1~2) m	公司厂区 工作人员	
	西侧	闲置库房		(2~15) m	平时无人逗 留	
		河流和农田		(18~50) m	流动人员	
	北侧	慈溪市恒发纸 箱包装有限 公司厂房	慈溪市恒发纸箱 包装有限公司工 作人员	(3~50) m	约 30 名 工作人员	

评价标准

(1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

工作人员职业照射和公众照射剂量限值:

	剂量限值
职业照射剂量限值	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)

- 2.8 从事加速器工作的全体放射性工作人员,年人均剂量当量应低于 5mSv(0.5rem)。
- 2.10 加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等,对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1mSv(10mrem)。
 - 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。
 - 3.3 辐射安全系统
 - 3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。
 - 3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置,只有门关闭后才能产生辐射。
- 3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点,应安装紧急停机或紧急断束开关,并且这种开关应当有醒目的标志。
- 3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置;在通往辐射区的走廊,出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。
 - 3.3.5 在高辐射区和辐射区,应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安

装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时,该系统的音响和(或)灯光警告装置 应当发出警告信号。

- 3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置,如个人剂量计、可携式监测仪、气体监测仪等。
 - 3.3.7辐射安全系统的部件质量要好,安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。
 - 3.4 通风系统
 - 3.4.1 为排放有毒气体(如臭氧)和气载放射性物质,加速器设施内必须设有通风装置。
- 3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。
 - 3.4.3 通风管道通过屏蔽体时,必须采取措施,保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。
 - (3)《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)
 - 5.1.4 II、IV类γ射线辐照装置和II类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测
 - 5.1.4.1 空气比释动能率的测量位置如下:距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。
- 5.1.4.2 运行中的定期测量应选定固定的检测点,它们必须包括: 贮源水井表面、辐照室各入口、出口,穿过辐照室的通风、管线外口,各屏蔽墙和屏蔽顶外,操作室及与辐照室直接相邻的各房间等。
- 5.1.4.3 测量结果应符合 GB17279 第 5 条(即"对监督区,在距屏蔽体的可达界面 30cm,由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 2.5×10⁻³mSv/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/cm³;
- 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 5 mSv;公众成员个人年有效剂量限值为 0.1 mSv;
- d) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置:
- e) 控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。
 - f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备;

- g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2-2007 规定的标准要求(见附录 C)。
- C.3 有害气体职业接触限值

按照 GBZ 2.1-2007,有害气体职业接触限值如下

- a) 臭氧, 最高容许浓度: 0.3mg/m³"。
- 注:此项限值主要在辐射室,在辐射室,由于射线导致空气电离主要产生臭氧和二氧化氮这两种有害气体。
 - (5)《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 2.5μSv/h。如屏蔽体外为社会公众区域,屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

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) 東下装置联锁。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。東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 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) 排放口的高度应根据 GB3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。

(6)《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》(GBZ 2.1-2007)

工作场所空气中臭氧容许浓度为 0.3mg/m³。

(7)《环境空气质量标准》(GB3095-2012)

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 7-2。

污染物项目	平均时间	浓度	单位		
17条初项目	一个小时间	一级	二级	半江	
	年平均	50	50		
氮氧化物 (NO _x)	24 小时平均	100	100	$\mu g/m^3$	
	1小时平均	250	250		
臭氧(O ₃)	日最大8小时平均	100	160	11.0/m³	
关邦(U3)	1 小时平均	160	200	μg/m³	

表 7-2 环境空气污染物基本项目浓度限值

(8) 项目管理目标

综合考虑以上评价标准,确定本项目的管理目标为:

辐射环境剂量率控制水平: 电子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能超过 2.5μSv/h。

辐射剂量控制水平: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

- ①《辐射防护导论》,方杰主编
- ②根据《浙江省环境天然放射性水平调查报告》,宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为(80~194)nGy/h,道路上 γ 辐射剂量率的范围为(64~128)nGy/h,原野 γ 辐射剂量率的范围为(45~95)nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

宁波市搏皓电线电缆有限公司位于慈溪市周巷镇环城西路 818 号,公司地理位置图 见附图 1。公司厂区东侧为环城西路,南侧依次为河流、企业路,西侧依次为河流、农田,北侧为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房和恒发健身会所(已停业),公司厂区平面布局 及周围环境示意见附图 2。

本项目加速器机房拟建场所位于 3#厂房的西部, 2 间加速器机房南北并排建造, 3#加速器机房位于 4#加速器的北侧, 3#加速器机房的东侧为电线电缆堆放区, 南侧为 4#加速器机房, 西侧为厂区道路和闲置库房, 北侧为 3#厂房围墙, 楼上、楼下无建筑; 4#加速器机房东侧为电线电缆堆放区, 南侧为 3#厂房围墙, 西侧为厂区道路和闲置库房, 北侧为 3#加速器机房, 楼上、楼下无建筑; 本项目电子加速器机房拟建场所在 3#厂房的位置见附图 3。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标,选址合理。本项目拟建场所周围环境现状见图 8-1~图 8-5。



图 8-1 加速器机房拟建场所现状



图 8-3 加速器机房拟建场所南侧



图 8-2 加速器机房拟建场所东侧



图 8-4 加速器机房拟建场所西侧



慈溪市恒发纸箱包 装有限公司厂房

图 8-5 公司厂区北侧慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房

二、环境现状检测

本项目为使用工业电子加速器对电线电缆进行辐照,其种类和范围为使用 II 类射线装置,根据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,主要调查本项目加速器机房拟建场所及周围环境的辐射水平。

1、检测因子

X-γ辐射剂量率

2、检测点位

检测时,根据《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)、《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)等要求,结合现场条件,在加速器机房拟建场所及周围环境共计布点5个检测点位。

3、检测方案

- ①检测目的:加速器机房拟建场所及周围辐射环境现状检测:
- ②检测内容:加速器机房拟建场所及周围环境 X-γ辐射剂量率;
- ③检测单位: 湖州环安检测有限公司
- ④检测日期: 2021年2月20日 天气: 晴,气温: 20℃,湿度: 48%RH
- ⑤检测仪器及编号: RM-2030型 X、γ辐射空气吸收剂量率仪(2019016);
- ⑥能量响应范围: 35keV~3MeV;
- ⑦量程范围: 0.01μSv/h~200μSv/h;
- ⑧检定有效期: 2020.12.07~2021.12.06;

- ⑨布点原则: 在加速器机房拟建场所及周围环境进行布点,共计布点5个;
- ⑩监测方法:检测时,按照《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)、《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)中的要求进行,监测时仪器探头水平距离地面 1m,每组读 10 个数据,取算术平均值计算结果。

4、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 6;
- 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。

5、检测结果及评价

本项目加速器机房拟建场所及周围辐射环境现状检测结果见表 8-1,检测点位见图 8-6,详细检测结果见附件 6。

	7. 1 7 V 1						
序号	检测点位描述	检测结果 (μSv/h)	标准差	备注			
1	加速器机房拟建场所	0.18	0.02				
2	加速器机房拟建场所东侧 3#厂房内	0.17	0.02	检测时,现			
3	加速器机房拟建场所南侧厂区道路	0.19	0.01	有的 1#、2# 加速器正常			
4	加速器机房拟建场所西侧厂区道路	0.18	0.01	运行。			
5	加速器机房拟建场所北侧闲置库房内	0.18	0.01				

表 8-1 加速器机房拟建场所及周围辐射环境检测结果

根据检测结果可知,宁波市搏皓电线电缆有限公司电子加速器机房拟建场所及周围环境辐射水平在($0.17\sim0.19$) μ Gy/h(保守取 Sv/h \approx Gy/h)范围内。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》中宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为($80\sim194$)nGy/h,道路上 γ 辐射剂量率的范围为($64\sim128$)nGy/h 可知,本项目电子加速器机房拟建场所及周围环境辐射水平处于浙江省宁波市环境天然贯穿辐射水平范围。

注: 上表数据未扣仪器宇响值。

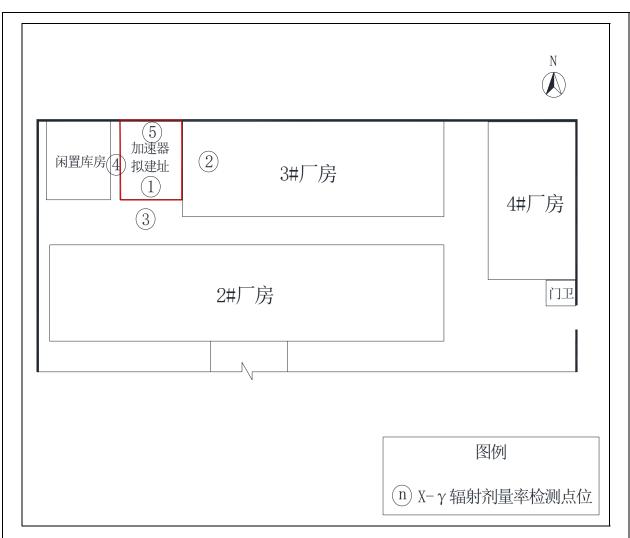


图 8-6 宁波市搏皓电线电缆有限公司电子加速器机房拟建场所及周围环境辐射水平 检测点位图

表9项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、工程设备

宁波市搏皓电线电缆有限公司拟配备的 DD2.0-50/1600 型和 DD2.5-40/1600 型电子加速器均为卧式结构,将主电源与加速器分成两体成直角联接,加速器主体采用自屏蔽结构,仅需建设辐照室,加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台,本项目加速器主体钢筒外观见图 9-1,加速器辐照室和主体钢筒结构示意分别见附图 4、附图 5 和附图 6。





图 9-1 本项目电子加速器主体钢筒外观图

公司拟配备的电子加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目电子加速器技术参数一览表

加速器 技术指标	3#电子加速器	4#电子加速器		
产品型号	DD2.0-50/1600	DD2.5-40/1600		
电子束能量	2.0MeV	2.5MeV		
电子束流强	50 mA	40 mA		
最大東流功率	100kW	100kW		
扫描宽度	1600mm	1600mm		
绝缘气体系统	使用 SF ₆ 气体作为绝缘气体,并配 备气体回收系统	使用 SF ₆ 气体作为绝缘气体,并配 备气体回收系统		
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		
束流损失率	1%(即电子束流强度为 0.5mA)	1%(即电子束流强度为 0.4mA)		
束流损失点能量	为最大能量的 10%(即 0.2MeV)	为最大能量的 10%(即 0.25MeV)		

公司拟为本项目配备 8 名辐射工作人员(3#、4#加速器机房各配备 4 名),采取两班制,每台加速器每班配备 2 名辐射工作人员,并指定其中 1 人为当班运行值班长,辐射工作人员拟从公司现有工作人员中调配或新招聘人员,每台加速器每班工作人员年开机时间不超过 2000h。

二、工作原理

本项目电子加速器主要由三大部分组成:加速器主机、高频振荡器、加速器控制台。 其工作原理为:首先,将低压工频电能,用高频振荡器变成 100kHz 左右的高频电能,输 送给高压发生器;经过高压发生器内高频变压器的作用,变成升压的高频电压;再将此升 压的高频电压加在空间耦合电容上,通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上,此 时每一个耦合环上得到几十千伏的直流高压,由于各级串联,电压叠加,从而在高端获得 很高的电压。加速器电子枪中的灯丝产生的电子云,引入到加了高压的加速管,最终形成 高能电子束,电子束从加速器出口输出,进入扫描空间,利用磁场将成束的电子扫开成一 定的宽度,从薄的金属膜构成的输出窗引出,对运动的被照物件进行辐照。本项目被辐照 产品为电线电缆类产品,以垂直于加速器产生的线状电子束方向通过电子束(即整体辐 照),高分子被辐照时发生辐射交联反应而改变性质,如电线电缆辐照后,提高绝缘、护 套耐温性能、抗张强度,最终提高电线电缆的整体技术指标。

三、工作流程

本项目加速器辐照的产品为电线电缆类产品,需要辐照的电线电缆由放卷系统通过滚轴自动送入加速器辐照室,在扫描系统下接受电子束辐照,辐照完成后通过收卷系统自动连续地输出辐照室,达到产品辐照要求。

整个辐照工艺流程为流水线自动运行,设备操作人员在加速器控制柜前设置、监控加速器各项指标运行参数,收放卷工作人员在收放卷系统区负责电线电缆的收放等工作。本项目电子加速器整体结构及辐照加工工艺流程和主要产污环节示意见图 9-2。

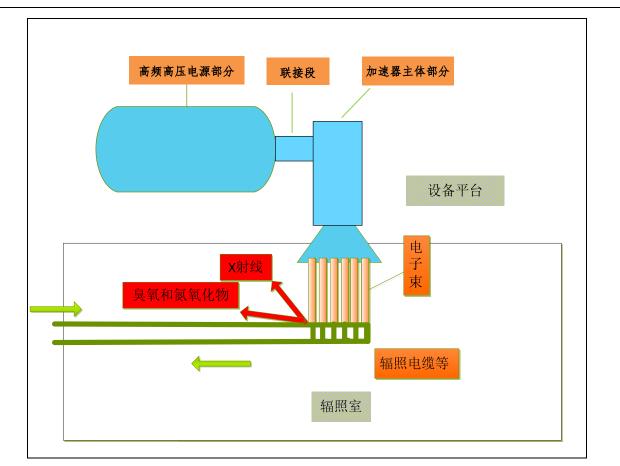


图 9-2 本项目电子加速器整体结构及辐照加工工艺流程和主要产污环节示意图

污染源项描述

(1) 辐射污染源分析

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

电子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,在电子加速器开机辐照期间,X 射线辐射为项目主要的污染因素,故本项目主要考虑 X 射线的辐射影响。

(2) 非辐射污染源分析

电子加速器在使用时,一般会在电子加速器的钢筒内充以适当的 SF6气体作为绝缘介质,同时用于保证加速器的高电位梯度。SF6是一种窒息剂,在高浓度下会使人呼吸困难、喘息、皮肤和黏膜变蓝、全身痉挛,甚至窒息死亡。加速器运行中的放电打火会使 SF6气体分解和电离,分解为 SF4、SOF2和 SO2F2等气体,它们都有强烈的腐蚀性和毒性,其

产生量取决于放电的多少和气体中的含氧量和含水量的多少。

但本项目 SF6气体只在加速器钢筒内使用,在加速器正常运行过程中,加速器钢筒外 无 SF6产生,且加速器设有 SF6泄漏报警装置,在操作台的控制屏上实时显示系统中 SF6 的气体浓度,可及时发现 SF6气体泄漏情况;同时,在储气罐和加速器钢筒之间设有 SF6 处理装置,能够将气体中的水分、空气和含氟气体过滤掉,从而延长电缆辐照设备的使用 寿命,提高电缆辐照设备的运行可靠性。

除此之外,电子加速器在运行时,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,氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一。电子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,如损坏人体机能、引起神经衰弱综合征、肺水肿等,同时能使橡胶等材料加速老化。

综上所述,本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入人员的影响,需保证其有害气体职业接触限值满足 GB/T 25306-2010 的要求。

除此之外,本项目运行期间辐射工作场所内产生的其它常规污染物主要是办公过程产生的生活污水及办公垃圾等。

事故工况下产生的污染物和污染途径与正常工况下基本相同。

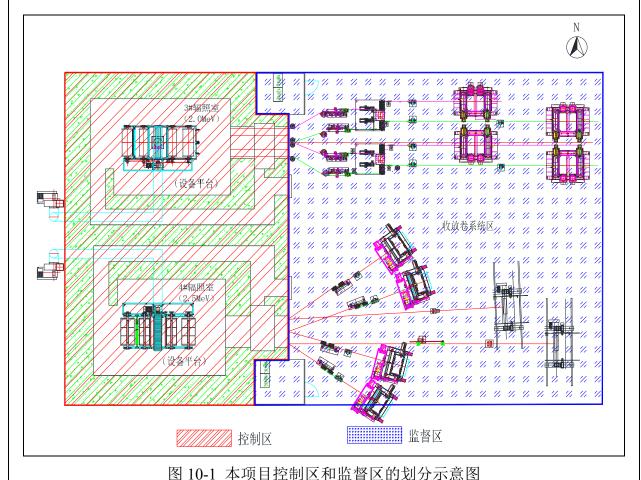
表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

本项目 3#加速器机房位于 4#加速器机房北侧, 3#和 4#加速器机房的辐照室均为混凝土结构,加速器主体均采用自屏蔽结构,加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于相应辐照室楼顶的设备平台上; 3#和 4#加速器机房的辐照室入口处均设有迷道,控制室均位于辐照室东侧,加速器工作时,设备操作人员位于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况,收放卷工作人员在收放卷系统区负责电线电缆的收放等工作。加速器出束时,辐照室内、设备平台上均无人员停留,本项目加速器机房布局合理可行。

公司拟将辐照室、设备平台作为辐射防护控制区,在辐照室、设备平台入口处及机房周围醒目位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明等;将控制室、收放卷系统区作为辐射防护监督区,无关人员不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射工作场所的分区规定。本项目控制区和监督区的划分见图 10-1。



二、辐射防护屏蔽设计

本项目加速器机房辐射防护屏蔽设计见表 10-1。

表 10-1 本项目加速器机房屏蔽设计一览表

杉	几房	屏蔽墙厚度	屋顶厚度	防护门				
3 #加 速器	辐照室	东墙: 迷道内墙 1400mm 砼+迷道外墙 800mm 砼, 控制室部分为 1500mm 砼; 南墙: 迷道内墙 800mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼; 西墙: 1500mm 砼; 北墙: 1500mm 砼	辐照室顶: 1500mm 砼; 迷道顶: 1000mm 砼; 主体钢筒基座: 420mm 钢	40mm 钢				
机房 	加速器 主体钢 筒	筒身: 3mm 钢板+30mm 铅板+12mm 钢板; 侧面筒盖: 10mm 钢板+30mm 铅板+65mm 钢板; 上筒盖: 20mm 钢板+60mm 铅板+90mm 钢板; 筒底: 80mm 钢板; 联接段: 3mm 钢板+30mm 铅板+10mm 钢板						
4#加速器	辐照室	东墙: 迷道内墙 1500mm 砼+迷道外墙 800mm 砼, 控制室部分为 1700mm 砼; 南墙: 1700mm 砼; 西墙: 1700mm 砼; 北墙: 迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼	辐照室顶: 1700mm 砼; 迷道顶: 1000mm 砼; 主体钢筒基座: 540mm 钢	40mm 钢				
机房	加速器 主体钢	筒身: 3mm 钢板+60mm 铅板+12mm 钢板; 侧面筒盖: 10mm 钢板+40mm 铅板+70mm 钢板; 上筒盖: 20mm 钢板+70mm 铅板+70mm 钢板; 筒底 联接段: 3mm 钢板+40mm 铅板+12mm 钢板	; 90mm 钢板;					

本项目加速器主体钢筒与辐照室连接处设有钢板基座,基座位于辐照室顶部的凹槽中,其中,3#加速器主体钢筒的基座为 420mm 钢板,4#加速器主体钢筒的基座为 540mm 钢板。3#加速器主体钢筒底部为 80mm 钢板,使加速器主体钢筒与辐照室连接处的钢板厚度达到 500mm;4#加速器主体钢筒底部为 90mm 钢板,使加速器主体钢筒与辐照室连接处的钢板厚度达到 630mm。本项目加速器主体钢筒与辐照室连接处的结构设计见图 10-2。

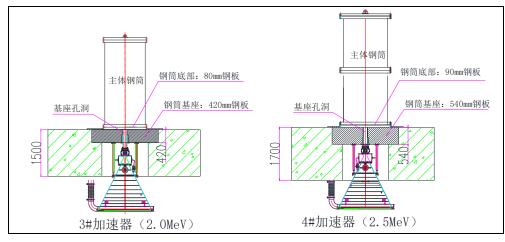


图 10-2 本项目加速器主体钢筒与辐照室连接处的结构设计示意图

三、辐射安全和防护措施分析

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,本项目电子加速器机房拟设置如下辐射安全装置和保护措施,主要有:

- (1) **钥匙控制**: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门联锁。如从控制台上取出该钥匙,加速器自动停机;钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连,在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。
- (2) **门机联锁:** 辐照室门、设备平台楼梯入口处安全门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或设备平台楼梯入口处安全门打开时,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。

门机联锁装置必须性能可靠,其引发加速器停机时必须自动切断高压,门机联锁装置 发生故障时,加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路,维护与维修后必须恢复原状。

- (3) **東下装置联锁:** 电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制进行联锁,用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统若发生故障,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:** 在辐照室出入口处以及内部、设备平台顶部安装红绿信号警灯和警铃,并与电子加速器辐照装置联锁,加速器开机升高压前警铃响、红灯亮,同时提示"开机禁止入内",提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场,关机后绿灯亮并提示"关机允许进入"。
- (5) **巡检按钮**:辐照室内每面墙上均设置一个"巡检按钮",并与控制台联锁。加速器开机前,操作人员进入辐照室按序按动"巡检按钮",巡查有无人员误留,完成巡检流程后,加速器才能开启高压。
- (6)**防人误入装置:**在辐照室人员出入口门处、室内迷道内口处分别设置三道(高度分别为 0.3m、0.8m、1.2m)防人误入的光电联锁装置,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,该装置将发出光电报警,并自动切断加速器电源。
- 三道防人误入光电联锁装置应从不同的厂家购买,确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。
- (7)**急停装置**:在控制台上以及辐照室内每面墙上均设置一个急停按钮,并在辐照室内设置急停拉线开关并覆盖辐照室全部区域,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。辐照室内靠近出入口门处的急停按钮带有紧急开门功能,以便人员离开控制区。

- (8) **剂量联锁:** 在控制室内、辐照室迷道内、加速器主体钢筒上安装固定式辐射监测探头,系统数字显示装置安装在控制室内,以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量; 固定式辐射剂量监测系统与辐照室电动门、设备平台楼梯入口处安全门联锁,当任一监测点剂量超过设定的阈值时,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,辐照室电动门和设备平台楼梯入口处安全门无法打开。
- (9) **通风联锁:** 加速器机房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(环评建议至少 5min)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:** 辐照室设置烟雾报警装置,遇有火险时,加速器能立即停机并停止通风。
- (11) **警告标志:** 辐照室出入口处、设备平台楼梯入口处和周围醒目处设置醒目的、符合 GB18871 规定的"当心电离辐射"警告标志,提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。
- (12) **其他安全措施:** 辐照室出入口处门外设置钥匙开关,插上钥匙才能打开门;设备平台楼梯入口处安全门上锁,只有在设备检修时才打开允许检修人员进入,平时任何人员无法进入设备平台,在运行中钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

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》(HJ979-2018)和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)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。本项目 3#、4#加速器辐照室拟设置的部分辐射安全装置和保护措施布置见图 10-3。

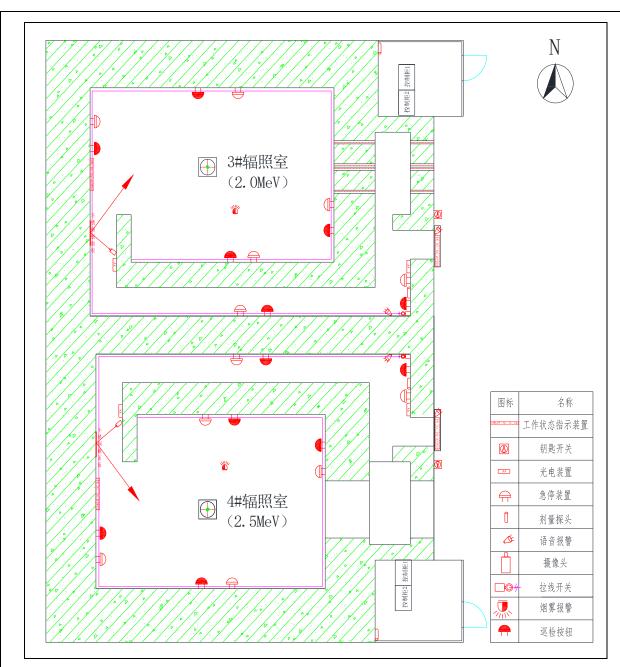


图 10-3 本项目 3#、4#加速器辐照室拟设置的部分辐射安全装置和保护措施布置示意图

三废的治理

(1) 废气处置措施

本项目运行过程中无放射性废水、废气及放射性固体废物产生。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。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。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一,臭氧的毒性最高,且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高,因此本节主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

本项目 3#、4#加速器机房均拟设置新风系统,采用机械进风,风机风量均不小于

2800m³/h,风机和进风口均拟设置于相应机房设备平台处,新风管道内径为 153mm,成 15°斜穿辐照室顶,将新风送至扫描盒用于物料的降温。

本项目 3#、4#加速器机房均拟设置机械排风装置,排臭氧风机放置在辐照室西侧,风机排风速率不低于 13000m³/h,并采用地下式排风管道,管道埋地深为 800mm,管道内径为 600mm,吸风口分别位于 3#、4#辐照室扫描窗下方的地面处,排风管道分别从 3#、4#辐照室地下穿过,从 3#、4#辐照室西墙(迷道处)地下穿出,最终排放口高于 3#厂房的屋顶。本项目 3#、4#加速器机房排风系统的设计见附图 4 和附图 5。

本项目新风管道位于辐照室顶部,并斜穿辐照室顶,排风管道位于辐照室地下,从地下穿出辐照室,且3#、4#辐照室内的X射线至少经过3次散射才能到达进风口和出风口,通风管道的设计未破坏加速器机房整体屏蔽防护效果,满足辐射防护的要求。

本项目 3#、4#加速器机房拟配备的排臭氧风机排风速率不低于 13000m³/h, 辐照室内 臭氧和氮氧化物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。

(2) 废水处理措施

公司工作人员工作中产生的生活污水排至市政污水管网,满足相关环保要求。

(3) 固体废物处理措施

公司工作人员工作中产生的少量办公垃圾,将依托公司的保洁措施,统一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

建设阶段对环境的影响

本项目加速器机房主要为混凝土结构,在建设时将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。本项目在建设阶段对环境的影响及应采取的措施如下:

- (1) 大气:本项目在建设施工期需进行的挖掘地基等作业,各种施工将产生地面扬尘,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:本项目整个建筑施工阶段,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。公司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,以保证施工过程对厂界外环境保护目标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,需取得生态环境部门同意。
- (3)固体废物:本项目施工期间产生的固废主要有挖掘的弃土、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,弃土主要用于公司内的绿化覆土,建筑垃圾应回填或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清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水与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。

本项目混凝土机房在浇筑时,尽量一次性浇筑,避免非一次性浇筑而产生裂缝,导致射线漏射。设备安装后,应由设备厂家工作人员进行调试,本公司人员不参与调试。本项目调试过程是在满足屏蔽防护要求的机房内进行,调试时间较短,调试过程对周围环境辐射影响很小。

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。公司只要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公司厂区内,对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

1、加速器辐照室墙体及加速器主体屏蔽计算

(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电子扫描器下方的辐照产品传输带(不锈钢材料)
- ③辐照产品,主要为电线电缆

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,因此本节选取以不锈钢为轰击靶,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》(HJ979-2018)附录 A 公式(A-1)可以导出参考点的剂量当量率 H(μ Sv/h):

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

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:

Bx-X射线的屏蔽透射比:

d——X 射线源与参考点之间的距离 (m):

1×106——单位转换系数。

D₁₀ 计算方法为:

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

式中:

Q——X射线发射率 (Gy·m²·mA-1·min-1);

I──电子束流强度 (mA);

fe——X射线发射率修正系数。

Bx可用十倍减弱厚度方法计算,计算方法为:

式中:

S——屏蔽体厚度 (cm);

T1——在屏蔽厚度中,朝向辐射源的第一个十分之一值层(cm):

Te——平衡十分之一值层,该值近似于常数 (cm);

n——十分之一值层的个数。

(2) 加速器辐照室屏蔽计算结果

辐照室屏蔽墙辐射影响主要考虑轫致辐射所致、与电子束入射方向呈 90°的初级 X 射线,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。

①3#加速器辐照室屏蔽计算结果

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, 2MeV 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 $1.6 \text{Gy·m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 被辐照的靶材料为不锈钢时,90°方向的修正系数 f_e 为 0.5。本项目 3#加速器束流强度为 50 mA,根据公式 11-2 可计算得出辐照室 D_{10} 为 2400Gy·h^{-1} 。

根据附录 A 表 A.4, 2MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 1.3MeV; 根据附录 A 表 A.2 和表 A.3, 采用内插法,入射电子能量为 1.3MeV,混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =19.64cm、 T_e =16.98cm,铅的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =2.16cm、 T_e =3.23cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.28cm、 T_e =5.72cm。

根据公式 11-1~11-4 及有关计算参数, 3#加速器辐照室的屏蔽核算结果见表 11-1。

表 11-1 3#加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

	3	东墙			سا بند	十ト十年	顶	部
参数	控制室	防护	=]	南墙	西墙	北墙	混凝土	基座钢板
S (cm)	150 砼	140 砼	+4 钢	80 砼+120 砼	150 砼	150 砼	150 砼	50 钢
T ₁ (cm)	19.64	19.64	6.28	19.64	19.64	19.64	19.64	6.28
T _e (cm)	16.98	16.98	5.72	16.98	16.98	16.98	16.98	5.72
B _x	2.1×10 ⁻⁹	2.04>	< 10 ⁻⁹	2.39×10^{-12}	2.1×10^{-9}	2.1×10 ⁻⁹	2.1×10 ⁻⁹	2.27×10 ⁻⁹
$D_{10} \atop (Gy \cdot h^{\text{-}1})$	2400	240	00	2400	2400	2400	2400	2400
Т	1	1		1	1	1	1	1
d (m)	6.1	8	1	6.2	5.8	4.3	3.25	3.25
Η (μSv/h)	0.136	0.0	77	1.49×10 ⁻⁴	0.15	0.273	0.478	0.517

注:R 系墙核制室=辐照点到东墙距离 4.3m+东墙 1.5m+参考点 0.3m=6.1m;

 R_{shiphi} 一辐照点到东墙距离 4.3m+迷道内墙 1.4m+迷道 1.2m+迷道外墙 0.8m+参考点 0.3m=8m;

R_{前=}=辐照点到迷道内墙距离 3m+迷道内墙 0.8m+迷道 0.9m+迷道外墙 1.2m+参考点 0.3m=6.2m;

R 西端 = 辐照点到西墙距离 4m+西墙 1.5m+参考点 0.3m=5.8m;

R_{北端}=辐照点到北墙距离 2.5m+北墙 1.5m+参考点 0.3m=4.3m;

R man=辐照室净高 2.45m-运输轨道 1m+顶部 1.5m+参考点 0.3m=3.25m。

②4#加速器辐照室屏蔽计算结果

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 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 $2.5 \text{Gy·m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 被辐照的靶材料为不锈钢时,90°方向的修正系数 f_e 为 0.5。本项目 4#加速器束流强度为 40mA,根据公式 11-2 可计算得出辐照室 D_{10} 为 3000Gy·h^{-1} 。

根据附录 A 表 A.4, 2.5MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 1.6MeV;根据附录 A 表 A.2 和表 A.3,采用内插法,入射电子能量为 1.6MeV,混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =20.74cm、 T_e =18.66cm,铅的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =2.75cm、 T_e =3.76cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.98cm、 T_e =6.36cm。

根据公式 11-1~11-4 及有关计算参数,4#加速器辐照室的屏蔽核算结果见表 11-2。

表 11-2 4#加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

c. dat	弃	法墙			西墙	北墙	顶	部
参数	控制室	防护	1]]	南墙	四垣	107回	混凝土	基座钢板
S (cm)	170 砼	150 砼	+4 钢	170 砼	170 砼	100 砼+120 砼	170 砼	63 钢
T ₁ (cm)	20.74	20.74	6.98	20.74	20.74	20.74	20.74	6.98
T _e (cm)	18.66	18.66	6.36	18.66	18.66	18.66	18.66	6.36
B_x	1×10 ⁻⁹	3.48×	< 10 ⁻⁹	1×10 ⁻⁹	1×10^{-9}	2.1×10^{-12}	1×10^{-9}	1.56×10^{-10}
$D_{10} \atop (Gy \cdot h^{\text{-}1})$	3000	300	00	3000	3000	3000	3000	3000
T	1	1		1	1	1	1	1
d (m)	6	8		4.5	5.8	6.4	3.25	3.25
Η (μSv/h)	0.084	0.10	63	0.149	0.089	1.54×10 ⁻⁴	0.285	0.044

(3) 加速器主体钢筒屏蔽计算

进入加速器主体钢筒内的辐射场主要由三部分叠加:辐照室内与入射电子束呈 165° 到 180°方向的轫致辐射初级 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°方向上产生的轫致辐射初级 X 射线,经地面 180°方向散射后的次级 X 射线,通过加速器主体钢筒基座的孔洞直接照射入钢筒形成的**散射辐射场**。

①3#加速器主体钢筒屏蔽计算

i、3#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的贯穿辐射影响

辐照室内与入射电子束呈 165°到 180°方向的轫致辐射初级 X 射线,经过辐照室屋顶不完全屏蔽的贯穿辐射对加速器主体钢筒周围产生的辐射影响依然采用公式 11-1~11-4 进行理论估算,计算结果见表 11-3。

R 新聞的 = 辐照点到东墙距离 4m+迷道内墙 1.5m+迷道 1.4m+迷道外墙 0.8m+参考点 0.3m=8m;

R_{南端}=辐照点到南墙距离 2.5m+南墙 1.7m+参考点 0.3m=4.5m;

R 西端 = 辐照点到西墙距离 3.8m+西墙 1.7m+参考点 0.3m=5.8m;

R_{+k=}=辐照点到迷道内墙距离 3m+迷道内墙 1m+迷道 0.9m+迷道外墙 1.2m+参考点 0.3m=6.4m;

R ma=辐照室净高 2.25m-运输轨道 1m+顶部 1.7m+参考点 0.3m=3.25m。

表 11-3 3#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒周围的辐射影响核算一览表

参数	筒身		筒身 筒侧盖		联接段		筒顶	
S (cm)	3 铅+1.5	钢+50 钢	3 铅+7.5	钢+50 钢	3 铅+1.3	钢+50 钢	6 铅+11	钢+50 钢
T ₁ (cm)	2.16	6.28	2.16	6.28	2.16	6.28	2.16	6.28
T _e (cm)	3.23	5.72	3.23	5.72	3.23	5.72	3.23	5.72
B_x	6.83×10 ⁻¹¹		6.1×10 ⁻¹²		7.4×10^{-11}		1.76×10^{-13}	
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	24	00	2400		2400		2400	
Т	1	I	1		1		1	
d (m)	0.9		1.1		1		1	
Η (μSv/h)	0.2	202	0.012		0.178		4.2×	< 10 ⁻⁴

注: 主体钢筒直径为 1.2m。

ii、3#加速器主体钢筒束流损失辐射影响

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 DD2.0-50/1600 型电子加速器在加速过程中的束流损失率为1%(即电子束流强度为 0.5mA),束流损失点的能量为 0.2MeV;根据《辐射防护导论》(方杰编)图 3.3 可查得,0.2MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90°的 X 射线发射率为0.005Gy·m²·mA-¹·min-¹;被辐照的靶材料为不锈钢时,90°方向的修正系数 fe为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室 D10 为 0.075Gy·h-¹。

参考《辐射防护导论》(方杰编)图 3.25, 保守取 0.2MeV 入射电子能量 90°方向上等效入射电子能量为 0.18MeV;根据图 3.23 和图 3.24 可查得,入射电子能量为 0.18MeV,钢的 T₁和 T_e值分别为 T₁=2cm、T_e=1.5cm,铅的 T₁和 T_e值分别为 T₁=0.05cm、T_e=0.1cm。

根据公式 11-1~11-4 及有关计算参数,3#加速器主体钢筒束流损失辐射影响核算结果见表 11-4。

表 11-4 3#加速器主体钢筒束流损失辐射影响核算一览表 筒身 筒侧盖 联接段 筒顶 参数 3 铅+1.5 钢 3 铅+1.3 钢 S (cm) 3 铅+7.5 钢 6 铅+11 钢 T_1 (cm) 0.05 0.05 0.05 0.05 T_e (cm) 0.1 1.5 0.1 1.5 0.1 1.5 0.1 1.5 6.81×10^{-32} 6.81×10^{-36} 9.26×10^{-32} 3.16×10^{-68} B_x $D_{10} (Gy \cdot h^{-1})$ 0.075 0.075 0.075 0.075 Т 1 1 1 1 d (m) 0.9 1.1 1 1 6.31×10^{-27} 4.22×10^{-31} 6.95×10^{-27} 2.37×10^{-63} $H (\mu Sv/h)$

iii、3#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射影响

本项目 3#加速器主体钢筒基座的孔洞尺寸要小于加速器主体筒体直径,辐照室内 0°方向上产生的轫致辐射初级 X 射线,经地面 180°方向散射后的次级 X 射线,通过加速器主体钢筒基座的孔洞直接照射入钢筒形成散射辐射场。

根据《辐射防护导论》(方杰编,P188),入射 X 射线若由能量为 0.5~3MeV 电子产生的, 180° 反射时,用 0.25MeV 的透射比曲线。而 180° 散射的次级 X 射线照射到钢筒区域的铅当量不小于 30mmPb(忽略钢板的屏蔽),根据《辐射防护导论》附图 12 可知,0.25MeV 电子产生的 X 射线对 30mmPb 的透射比约为 1×10^{-11} ,将其带入公式 11-1 可计算得 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射剂量率最大为 $1.39\times10^{-3}\mu$ Sv/h(D_{10} 保守取 90° 方向上的值 2400Gy· h^{-1} ,T 取 1,d 保守取 4.15)。

由此可知,沿与电子束入射方向成 180°方向的次级 X 射线能量较低,经 3#加速器主体钢筒的屏蔽后,其对钢筒外的辐射环境影响很小。

②4#加速器主体钢筒屏蔽计算

i、4#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的贯穿辐射影响

4#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的贯穿辐射影响计算结果见表 11-5。

表 11-5 4#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒周围的辐射影响核算一览表

参数	筒	身	筒侧	削盖	联技	妾段	筒	顶
S (cm)	6 铅+1.5	钢+63 钢	4 铅+8 铂	羽+63 钢	4 铅+1.5	钢+63 钢	7 铅+9 铂	羽+63 钢
T ₁ (cm)	2.75	6.98	2.75	6.98	2.75	6.98	2.75	6.98
T _e (cm)	3.76	6.36	3.76	6.36	3.76	6.36	3.76	6.36
B_x	1.24>	< 10 ⁻¹³	4×	10 ⁻¹³	4.2×	10-12	4.43>	< 10 ⁻¹⁴
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	30	00	3000		3000		30	00
Т	1	I	1		1		1	
d (m)	1		1.2		1.2		1	.2
Η (μSv/h)	0.0	004	8.32×10 ⁻⁴		0.009		9.23	×10 ⁻⁵

注: 主体钢筒直径为 1.4m。

ii、4#加速器主体钢筒束流损失辐射影响

本项目 DD2.5-40/1600 型电子加速器在加速过程中的束流损失率为 1%(即电子束流强度为 0.4mA),束流损失点的能量为 0.25MeV;根据《辐射防护导论》(方杰编)图 3.3可查得,0.25MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为 0.01Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹;被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室 D_{10} 为 0.12Gy·h⁻¹。

参考《辐射防护导论》(方杰编)图 3.25,保守取 0.25MeV 入射电子能量 90°方向上等效入射电子能量约为 0.2MeV;根据图 3.23 和图 3.24 可查得,入射电子能量为 0.2MeV,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =2cm、 T_e =1.6cm,铅的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =0.05cm、 T_e =0.1cm。

根据公式 11-1~11-4 及有关计算参数,4#加速器主体钢筒束流损失辐射影响核算结果 见表 11-6。

表 11-6 4#加速器主体钢筒束流损失辐射影响核算一览表								
参数	筒	筒身		则盖	联接段		筒顶	
S (cm)	6 铅+	1.5 钢	4 铅-	+8 钢	4 铅+	1.5 钢	7 铅-	+9 钢
T ₁ (cm)	0.05	2	0.05	2	0.05	2	0.05	2
T _e (cm)	0.1	1.6	0.1	1.6	0.1	1.6	0.1	1.6
B_x	6.49>	< 10 ⁻⁶²	5.62>	< 10 ⁻⁴⁶	6.49>	< 10 ⁻⁴²	1.33>	< 10 ⁻⁷⁶
D ₁₀ (Gy·h ⁻¹)	0.	12	0.	12	0.	12	0.	12
Т	1	1		1		1		1
d (m)	1		1.2		1.2		1	.2
Η (μSv/h)	7.79>	< 10 ⁻⁵⁷	4.69>	< 10 ⁻⁴¹	5.41>	< 10 ⁻³⁷	1.11>	< 10 ⁻⁷¹

iii、4#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射影响

本项目 4#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射影响计算方法同 3#加速器,根据公式 11-1 可计算得 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射剂量率最大为 1.66×10⁻⁴ μ Sv/h(Bx保守取 1×10⁻¹²,D₁₀保守取 90°方向上的值 3000Gy·h⁻¹,T取 1,d 保守取 4.25)。由此可知,经 4#加速器主体钢筒的屏蔽后,沿与电子束入射方向成 180°方向的 次级 X 射线对钢筒外的辐射环境影响很小。

综上所述,本项目 3#加速器主体钢筒外辐射剂量率最大为 0.719μSv/h(叠加 3#加速器所致辐照室顶部的辐射剂量率 0.202μSv/h),4#加速器主体钢筒外辐射剂量率最大为 0.294μSv/h(叠加 4#加速器所致辐照室顶部的辐射剂量率 0.202μSv/h),满足本项目辐射环境剂量率控制水平:电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h。

此外,由表 11-1~表 11-6 可知,本项目加速器机房设备平台处的辐射剂量率较其他地方明显偏大,但本项目将设备平台划为控制区,在设备平台楼梯入口处设有安全门并上锁,安全门与加速器束流控制和高压联锁,并在设备平台处设置与安全门联锁的固定式辐射监测系统,可有效防止人员误入设备平台而可能导致的超剂量照射。

2、加速器辐照室迷道和防护门辐射影响分析

本项目 3#和 4#电子加速器均为半自屏蔽式加速器,加速器主机为自屏蔽钢筒,未设置迷道,故本项目只需分析加速器辐照室迷道和防护门的辐射影响即可。

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)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):

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10} \cdot (\alpha_1 \cdot A_1) \cdot (\alpha_2 \cdot A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r_1} \cdot d_{r_2} \dots d_{r_j})^2} \qquad \dots \qquad (\, \text{$\stackrel{\triangle}{\boxtimes}$} \, \text{$\stackrel{\triangle}{\boxtimes}$} \, 11-5 \,)$$

式中: D₁₀同上;

 $H_{1,r,i}$ —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,查《辐射防护导论》图 6.4;

 α_2 —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数;

 A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积, m^2 , 见图 11-1 中的粗体线区域;

 A_2 —迷道的截面积, m^2 ;

 d_1 —X射线源与第一散射物质的距离, m;

 d_{r1} , d_{r2} ... d_{rj} —沿着迷道长轴中心线的距离,m。

(2) 计算结果

本项目 X 射线在 3#和 4#加速器辐照室的散射路线见图 11-1,由该图可知,X 射线源至少需经 4 次散射后才能到达辐照室迷道外入口处,本项目 3#和 4#加速器辐照室迷道外入口处辐射剂量率的计算参数及计算结果见表 11-7。

表 11-7 3#和 4#加速器辐照室迷道外入口处辐射剂量率计算结果一览表

参数	3#加速器辐照室	4#加速器辐照室
D_{10} (Gy·h ⁻¹)	2400	3000
α_1	0.008	0.006
α_2 (α_3, α_4)	0.02	0.02
A_1 (m ²)	15.83	14.46
A_2 (m ²)	2.205	2.025
A_3 (m ²)	2.655	2.655
A_4 (m ²)	3.54	4.13
d ₁ (m)	3.55	3.35
d_{r1} (m)	4.25	4.45
d_{r2} (m)	9.85	9.55
d_{r3} (m)	1.8	2
d_{r4} (m)	1.4	1.5
$H_{1,rj}$ (μ Sv·h ⁻¹)	0.359	0.253

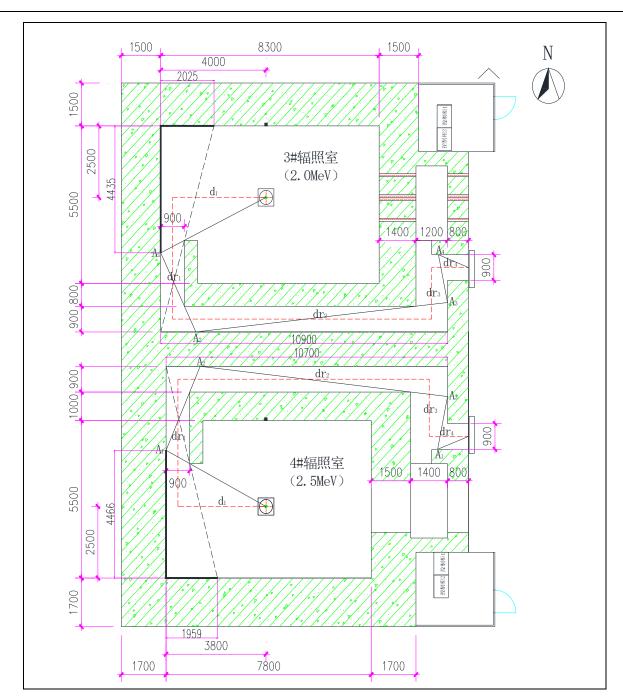


图 11-1 X 射线在 3#和 4#加速器辐照室内的散射路线示意图(单位: mm)

根据表 11-7 可知,X 射线经迷道散射后,所致 3#和 4#加速器辐照室迷道外入口处的辐射剂量率分别为 $0.359\mu Sv \cdot h^{-1}$ 和 $0.253\mu Sv \cdot h^{-1}$ 。

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, X 射线能量为 0.5MeV 时,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =3.8cm、 T_e =3.3cm,可估算出 40mm 钢门的透射比为 0.087,则经迷道散射后的 X 射线再经 40mm 钢门屏蔽后,3#和 4#加速器辐照室入口门处的辐射剂量率分别为 0.031µSv·h⁻¹ 和 0.022µSv·h⁻¹,小于标准中的 2.5µSv·h⁻¹,故本项目加速器辐照室迷道入口处采用 40mm 钢门可满足辐射防护要求。

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加速器主体钢筒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。

由表 11-1~表 11-6 可知, 3#加速器主体钢筒外辐射剂量率最大为 0.719μSv/h (叠加 3#加速器所致辐照室顶部的辐射剂量率 0.202μSv/h), 4#加速器主体钢筒外辐射剂量率 最大为 0.294μSv/h (叠加 4#加速器所致辐照室顶部的辐射剂量率 0.009μSv/h), 故本项目选取计算 3#加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射对机房周围产生的辐射影响。

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)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):

式中: D₁₀ 意义同上。

Bxs——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):

di——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)。

Bxs 可用十倍减弱厚度方法计算,计算方法同公式 11-3 和 11-4。

$$\Omega = 4 t g^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d}$$
 (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

①辐射源通过加速器主体钢筒顶泄漏产生的天空反散射辐射影响

 D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上,即 D_{10} 为 2400 $Gy \cdot h^{-1}$,铅的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =2.16cm、 T_e =3.23cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.28cm、 T_e =5.72cm。辐照室辐射源距离钢筒顶表

面中心的距离 c 为 5.9m,钢筒长度之半 a 和宽度之半 b 均为 0.6m,根据公式 11-7 可计算 得出 Ω =0.04Sr。

X射线源至加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧 P 点的距离 d_s分别取 8m、6.2m、15.3m、4.3m,根据公式 11-6,估算屋顶天空反散射影响,核算结果见表 11-8。

参数	东侧	南侧	西侧	北侧			
S (cm)		6 铅+11 钢+50 钢					
B_{xs}	1.76×10 ⁻¹³	1.76×10^{-13}	1.76×10^{-13}	1.76×10^{-13}			
$D_{10}\ (Gy{\cdot}h^{\text{-}1})$	2400	2400	2400	2400			
Ω (Sr)	0.04	0.04	0.04	0.04			
$d_i\ (m)$	7.9	7.9	7.9	7.9			
d_s (m)	8	6.2	15.3	4.3			
Η̈́(μSv/h)	4.02×10 ⁻¹¹	6.69×10 ⁻¹¹	1.1×10 ⁻¹¹	1.39×10 ⁻¹⁰			

表 11-8 3#加速器主体钢筒顶天空反散射屏蔽效果核算一览表

②辐射源通过辐照室屋顶泄漏产生的天空反散射辐射影响

辐照室: D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上,即 D_{10} 为 $2400Gy \cdot h^{-1}$,混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =19.64cm、 T_e =16.98cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.28cm、 T_e =5.72cm。辐照室辐射源 距离辐照室顶表面中心的距离 c 为 2.95m,辐照室屋顶长度之半 a 和宽度之半 b 分别为 4.15m 和 2.75m,根据公式 11-7 可计算得出 Ω =2.36Sr。

X射线源至加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧 P点的距离 d。分别取 8m、6.2m、15.3m、4.3m,根据公式 11-6,估算屋顶天空反散射影响,核算结果见表 11-9。

	参数	东侧	南侧	西侧	北侧
	多	74.04			-13.04
	S (cm)		150	砼 ·	
X射线源	B_{xs}	2.1×10^{-9}	2.1×10^{-9}	2.1×10 ⁻⁹	2.1×10^{-9}
穿过辐照 室混凝土	$D_{10} (Gy \cdot h^{-1})$	2400	2400	2400	2400
屋顶泄漏	Ω (Sr)	2.36	2.36	2.36	2.36
产生的天 空反散射	d_i (m)	4.95	4.95	4.95	4.95
辐射影响	d _s (m)	8	6.2	15.3	4.3
	Η (μSv/h)	2.46×10 ⁻⁴	4.09×10 ⁻⁴	6.72×10 ⁻⁵	8.5×10 ⁻⁴

表 11-9 3#加速器辐照室屋顶天空反散射屏蔽效果核算一览表

	参数	东侧	南侧	西侧	北侧
	S (cm)		50 4	羽	
X射线源	B_{xs}	2.27×10^{-9}	2.27×10^{-9}	2.27×10^{-9}	2.27×10 ⁻⁹
穿过基座	$D_{10} (Gy \cdot h^{\text{-}1})$	2400	2400	2400	2400
钢板泄漏 产生的天	Ω (Sr)	2.36	2.36	2.36	2.36
空反散射	d_i (m)	4.95	4.95	4.95	4.95
辐射影响	d_s (m)	8	6.2	15.3	4.3
	H (μSv/h)	2.66×10 ⁻⁴	4.42×10 ⁻⁴	7.26×10 ⁻⁵	9.19×10 ⁻⁴
两者取较大	C值 H(μSv/h)	2.66×10 ⁻⁴	4.42×10 ⁻⁴	7.26×10 ⁻⁵	9.19×10 ⁻⁴

从表 11-8 和表 11-9 可知,本项目 3#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周围辐射剂量率最大为 9.19×10⁻⁴μSv/h,由此可推测,4#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周围辐射剂量率小于 9.19×10⁻⁴μSv/h。由此可知,本项目 3#和 4#加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射对机房周围的辐射环境影响很小。

4、X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

本项目 3#加速器机房北侧为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房,该厂房为单层建筑,与本项目加速器所在的 3#厂房高度基本一致; 4#加速器机房南侧为 2#厂房,该厂房为 3层建筑,高于本项目加速器机房;而 3#加速器机房与 2#厂房、4#加速器机房与慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房之间的距离均相对较远,故本项目主要考虑 3#加速器产生的 X射线通过屋顶后侧向散射对慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房内工作人员造成的辐射影响,4#加速器产生的 X射线通过屋顶后侧向散射对 2#厂房内工作人员造成的辐射影响。

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 公式(A-8)可计算得出 X 射线侧向散射周围剂量当量率 H (Sv/h):

$$H = \frac{D_{10} \cdot F \cdot f(\theta) \cdot B_X}{d_R^2} \qquad \qquad \ (\, \triangle \, \vec{\boxtimes} \, 11\text{-}8 \,)$$

式中: D10、Bx 意义同上。

F——靶上方 1 米处照射野的面积 (m^2) :

 $f(\theta)$ ——X 射线的角度分布函数;

d_R——从屋顶上方束流中心到关注点的距离(m)。

(2) 计算结果

1)3#加速器产生的 X 射线通过屋顶的侧向散射对慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房的辐射影响

①辐射源通过加速器主体钢筒顶的侧向散射辐射影响

发射率常数保守取 90°方向的发射率常数; 慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房高度约为 8m,该厂房距离 3#加速器辐照室北墙约为 3m,则角度 θ 最小为 $tg^{-1}(7/1)=81.9$ °(7m 为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房至 3#加速器束流中心线的距离,1m 为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房顶至加速器主体钢筒顶的垂直距离),以下估算中 θ 取 80°。

 D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上,即 D_{10} 为 $2400Gy \cdot h^{-1}$,铅的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =2.16cm、 T_e =3.23cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.28cm、 T_e =5.72cm; F=(2×1×tg8.41°)²=0.087m²,根据附录 A 表 A.5,角度 θ 为 80° 时, $f(\theta)$ 取 0.014, d_R 为 7/sin80° =7.1m,主体钢筒顶部的厚度 t 为 500mm 钢+60mm 铅+110mm 钢。

3#加速器产生的 X 射线通过加速器主体钢筒顶的侧向散射对慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房处的辐射影响核算结果见表 11-10。

参数 主体钢筒 t (cm) 6 铅+61 钢 T_1 (cm) 2.16 6.28 T_e (cm) 3.23 5.72 1.76×10^{-13} B_{x} $D_{10} (Gy \cdot h^{-1})$ 2400 $F (m^2)$ 0.087 θ (°) 80 $f(\theta)$ 0.014 $d_{R}\ (m)$ 7.1 $H (\mu Sv/h)$ 1.02×10^{-8}

表 11-10 X 射线通过加速器主体钢筒顶的侧向散射辐射影响核算一览表

②辐射源通过加速器辐照室屋顶的侧向散射辐射影响

此时,角度 θ 最小为 tg^{-1} (7/4) 60.2° (7m 为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房至 3# 加速器束流中心线的距离,4m 为慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房顶至加速器辐照室屋顶的垂直距离),以下估算中 θ 取 60° 。

 D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上,即 D_{10} 为 2400Gy· h^{-1} ,混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =19.64cm、 T_e =16.98cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.28cm、 T_e =5.72cm; F 取辐照室顶部面积 45.65m²,根据附录 A 表 A.5,角度 θ 为 60° 时, $f(\theta)$ 取 0.065, d_R 为 $7/\sin60$ ° =8.1m,辐照室屋顶的厚度 t 为 1500mm 混凝土或 500mm 钢。

3#加速器产生的 X 射线通过加速器辐照室屋顶的侧向散射对慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房处的辐射影响核算结果见表 11-11。

表 11-11 X 射线通过加速器辐照室屋顶的侧向散射辐射影响核算一览表

参数	辐照室屋顶 (混凝土)	辐照室屋顶 (基座钢板)
t (cm)	150 砼	50 钢
T ₁ (cm)	19.64	6.28
T _e (cm)	16.98	5.72
B_x	2.1×10 ⁻⁹	2.27×10 ⁻⁹
$D_{10} (Gy \cdot h^{-1})$	2400	2400
F (m ²)	45.65	45.65
θ (°)	60	60
f(θ)	0.065	0.065
$d_{R}(m)$	8.1	8.1
Η (μSv/h)	0.228	0.247
两者取较大值 H(μSv/h)	0.2	47

根据表 11-10 和表 11-11 可知,本项目 3#加速器运行时产生的 X 射线通过屋顶的侧向散射所致慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房处辐射剂量率最大约为 0.247μSv/h,而慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房为单层建筑,顶部无人员逗留,故本项目 3#加速器运行时产生的 X 射线通过屋顶的侧向散射所致慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房处辐射影响很小。

2) 4#加速器产生的 X 射线通过屋顶的侧向散射对 2#厂房的辐射影响

①辐射源通过加速器主体钢筒顶的侧向散射辐射影响

发射率常数保守取 90°方向的发射率常数; 2#厂房高度约为 12m, 2#厂房距离 4#加速器辐照室南墙约为 6m,则角度 θ 最小为 tg^{-1} (10.2/5.5)=61.7°(10.2m 为 2#厂房至 4#加速器束流中心线的距离,5.5m 为 2#厂房顶至加速器主体钢筒顶的垂直距离),以下估算中 θ 取 60°。

 D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上,即 D_{10} 为 $3000Gy\cdot h^{-1}$,铅的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =2.75cm、 T_e =3.76cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.98cm、 T_e =6.36cm;F=(2×1×tg8.41°)²=0.087m²,根据附录 A 表 A.5,角度 θ 为 60°时, $f(\theta)$ 取 0.065, d_R 为 $10.2/\sin 60$ °=11.8m,主体钢筒顶部的厚度 t 为 630mm 钢+70mm 铅+90mm 钢。

4#加速器产生的 X 射线通过加速器主体钢筒顶的侧向散射对 2#厂房处的辐射影响核 算结果见表 11-12。

表 11-12 X 射线通过加速器主体钢筒顶的侧向散射辐射影响核算一览表

参数	主体钢筒			
t (cm)	7 铅+72 钢			
T ₁ (cm)	2.75	6.98		
T _e (cm)	3.76	6.36		
B_x	4.43×10 ⁻¹⁴			
$D_{10} (Gy \cdot h^{-1})$	3000			
F (m ²)	0.0	987		
θ (°)	60			
f(θ)	0.065			
d _R (m)	11.8			
Η (μSv/h)	5.4×10 ⁻⁹			

②辐射源通过加速器辐照室屋顶的侧向散射辐射影响

此时,角度 θ 最小为 tg^{-1} (10.2/8.2)=51.2°(10.2m 为 2#厂房至加速器束流中心线的距离,8.2m 为 2#厂房顶至加速器辐照室屋顶的垂直距离),以下估算中 θ 取 50°。

 D_{10} 、 T_1 和 T_e 取值同上,即 D_{10} 为 3000Gy· h^{-1} ,混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =20.74cm、 T_e =18.66cm,钢的 T_1 和 T_e 值分别为 T_1 =6.98cm、 T_e =6.36cm,F 取辐照室顶部面积 42.9m²,根据附录 A 表 A.5,角度 θ 为 50°时, $f(\theta)$ 取 0.1, d_R 为 10.2/sin50°=13.3m,辐照室屋顶的厚度 t 为 1700mm 混凝土或 630mm 钢。

4#加速器产生的 X 射线通过加速器辐照室屋顶的侧向散射对 2#厂房处的辐射影响核算结果见表 11-13。

表 11-13 X 射线通过加速器辐照室屋顶的侧向散射辐射影响核算一览表

参数	辐照室屋顶 (混凝土)	辐照室屋顶 (基座钢板)	
t (cm)	170 砼	63 钢	
T ₁ (cm)	20.74	6.98	
T _e (cm)	18.66	6.36	
B_x	1×10 ⁻⁹	1.56×10^{-10}	
$D_{10} (Gy \cdot h^{-1})$	3000	3000	
F (m ²)	42.9	42.9	
θ (°)	50	50	
f(θ)	0.1	0.1	
d _R (m)	13.3	13.3	
Η (μSv/h)	0.073	0.011	
两者取较大值 Η(μSv/h)	0.073		

根据表 11-12 和表 11-13 可知,本项目 4#加速器运行时产生的 X 射线通过屋顶的侧向散射所致 2#厂房处辐射剂量率最大约为 0.073μSv/h。由此可知,本项目 4#加速器运行时产生的辐射源通过屋顶的侧向散射对 2#厂房处的辐射影响很小。

5、本项目2台电子加速器的叠加影响评价

本项目 2 台电子加速器机房相邻而建,当 2 台加速器同时工作时,会对加速器机房周围产生叠加影响,现对该叠加影响进行辐射影响分析。

根据上述对电子加速器的理论估算结果可知,本项目加速器运行后,3#加速器辐照室和主体钢筒外辐射剂量率最大值位于设备平台处,为 0.719µSv/h,4#加速器辐照室和主体钢筒外辐射剂量率最大值也位于设备平台处,为 0.294µSv/h,考虑 2 台加速器同时运行,则本项目加速器机房设备平台处的辐射剂量率最大为 1.01µSv/h,仍能够满足本项目辐射环境剂量率控制水平:电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5µSv/h。

6、类比分析

公司目前已投入运行 1 台 DD1.5-60/1600 型和 1 台 DD2.0-50/1600 型电子加速器,并按环评要求设置了钥匙控制、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、警告标志等辐射安全和防护措施,验收时各项辐射安全和防护措施均工作正常、有效,满足《电子加速器辐照装置辐射安全

和防护》(HJ979-2018) 中相关要求。

本项目加速器机房与已运行加速器机房均采取了一定厚度相同材质的屏蔽防护措施,根据已运行项目的竣工环境保护验收监测表,当DD1.5-60/1600型电子加速器正常工作时,该加速器机房周围辐射剂量率为(141~158)nSv/h; 当 DD2.0-50/1600型电子加速器正常工作时,该加速器机房周围辐射剂量率为(135~198)nSv/h,均与环境辐射本底水平相差不大。由此可推测,本项目 3#、4#电子加速器运行后,机房周围辐射剂量率也能够满足辐射剂量率控制水平:电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h。

二、辐射工作人员和公众剂量估算及评价

本项目工业电子加速器参考点处年有效剂量按公式11-9计算。

式中, *H*——参考点处辐射剂量率, μSv/h;

U——辐照装置向关注点方向照射的使用因子;

T——人员在相应关注点驻留的居留因子;

t——辐照装置年照射时间, h。

(1) 辐射工作人员剂量估算及评价

本项目每间加速器机房安排 4 名辐射工作人员负责本项目加速器的辐射工作,采取两班工作制,每班 2 名辐射工作人员,并指定其中 1 人为当班运行值班长,单名辐射工作人员年工作时间不超过 2000h。

根据理论估算结果可知,本项目加速器运行后,单名辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.272mSv (取 3#、4#控制室内剂量率较大值 0.136µSv/h,居留因子取 1,工作时间保守取 2000h)。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) 公众剂量估算及评价

本项目加速器机房东侧的电线电缆堆放区距本项目加速器机房最近约 16m, 南侧的 2#厂房距本项目加速器机房最近约 6m, 北侧的慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房内货物堆放区和过道距加速器机房最近约 3m、工作位距加速器机房最近约 8m, 根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系,则东侧电线电缆堆放区处的辐射剂量率为 0.027μGy/h(参考点选取 3#加速器辐照室门表面 30cm 处辐射剂量率 0.077μGy/h 与 4#加速器辐照室门表面 30cm 处辐射剂量率 0.027μGy/h (参考点

选取 4#加速器辐照室南墙表面 30 处的辐射剂量率 0.149μGy/h), 北侧慈溪市恒发纸箱包装有限公司厂房内货物堆放区和过道处辐射剂量率为 0.095μGy/h、工作位处辐射剂量率 为 0.033μGy/h(参考点选取 3#加速器北墙表面 30 处的辐射剂量率 0.273μGy/h)。将相关参数带入公式 11-9,可估算出本项目周围公众的受照剂量,估算结果见表 11-14。

方位	对应位置	辐射剂量率 (μGy/h)	使用 因子	居留 因子	年照射时间 (h)	年受照剂 量(mSv)
3#、4#加速器 机房东侧	电线电缆堆放区	0.027	1	1		0.054
4#加速器机房 南侧	厂区道路	0.149	1	1/16		0.019
	2#厂房	0.027	1	1		0.054
3#、4#加速器 机房西侧	厂区道路	0.15+0.089	1	1/16	年工作时间 约 2000h	0.03
3#加速器机房 北侧	慈溪市恒发纸箱包 装有限公司厂房内 货物堆放区和过道	0.095	1	1/16		0.012
	慈溪市恒发纸箱包 装有限公司厂房内 工作位	0.033	1	1		0.066

表 11-14 本项目周围公众受照剂量计算结果一览表

根据表 11-14 估算结果可知,本项目加速器机房周围公众年有效剂量最大约为 0.066mSv,本项目 50m 评价范围内其他公众距本项目相对较远,经距离的进一步衰减后,本项目对其辐射影响很小,均能够满足《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。

三、三废治理措施评价

1、废气处理措施评价

本项目运行过程中无放射性废水、废气及放射性固体废物产生。加速器工作时产生的 X 射线电离空气会产生臭氧和氮氧化物。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一,臭氧的毒性最高,且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高,因此本项目主要考虑辐照室内 臭氧的产生和排放影响。

(1) 排风管道设置

本项目 3#、4#加速器机房均拟设置地下式排风管道,管道埋地深为 800mm,吸风口分别位于 3#、4#加速器辐照室扫描窗下方的地面处,排风管道分别从 3#、4#加速器辐照室地下穿过,从 3#、4#加速器辐照室西墙(迷道处)地下穿出,最终排放口高于 3#厂房的屋顶。排风管道避开主射线方向,并采用埋地设计,排风管道未破坏加速器机房整体防护效果,满足辐射防护的要求。

(2) 臭氧的产生及其防护

臭氧的产生及其防护理论估算模式采用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》 (HJ979-2018) 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:

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,本项目加速器扫描盒出口距离辐照室地面约为 130cm,d 保守取 130cm;

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,本项目保守取 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 11-15。

 参数
 3#加速器机房

 d (cm)
 130

 G
 10

 I (mA)
 50

 P (mg/h)
 2.925×106

 24#加速器机房

 10

 10

 2.34×106

表 11-15 臭氧产生率计算参数和计算结果

由表 11-15 可知,本项目 3#加速器机房臭氧的产生率为 $2.925 \times 10^6 \text{mg/h}$, 4#加速器机房臭氧的产生率为 $2.34 \times 10^6 \text{mg/h}$ 。

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:

式中: P 意义同上。

Cs——加速器机房内臭氧平衡浓度 (mg/m³);

V——辐照室的体积 (m³);

Te——对臭氧的有效清除时间(h)

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \qquad \dots \quad (\triangle \vec{\pi} 11-12)$$

 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均不低于 $13000 m^3/h$,3#加速器辐照室体积约为 $141 m^3$,4#加速器辐照室体积约为 $125 m^3$,则 3#加速器辐照室换气一次所需时间 T_v 为 $1.08 \times 10^{-2}h$,4#加速器辐照室换气一次所需时间 T_v 为 $9.62 \times 10^{-3}h$ 。

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 11-16。

参数	3#加速器机房	4#加速器机房
t _v (h)	1.08×10 ⁻²	9.62×10 ⁻³
t _d (h)	0.833	0.833
T _e (h)	1.07×10 ⁻²	9.51×10 ⁻³
P (mg/h)	2.925×10^6	2.34×10^{6}
V (m³)	141	125
C _s (mg/m ³)	221.2	178

表 11-16 臭氧浓度计算参数和计算结果

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(0.3mg/m³)。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:

$$T = -T_e \ln \frac{C_o}{C_s} \qquad \dots (\triangle \vec{\mathbf{x}} \ 11-12)$$

式中: Cs、Te意义同上。

C₀——GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度(mg/m³), C₀=0.3mg/m³;

T——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所须时间(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 13000m³/h 继续工作,3#加速器机房通过约 0.07h(即 4.2min)、4#加速器机房通过约 0.06h(即 3.6min)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(0.3mg/m³),此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器辐照室均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,该公司应明确预先设定的时间应不少于 5min。

本项目 3#、4#加速器机房拟配备的排臭氧风机排风速率为不低于 13000m³/h,室内臭氧和氮氧化物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。

(2) 废水处理措施评价

公司工作人员工作中产生的生活污水排至市政污水管网,满足相关环保要求,对环境影响较小。

(3) 固体废物处理措施评价

公司工作人员工作中产生的少量办公垃圾,将依托公司的保洁措施,统一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。

四、电缆管线评价

本项目 3#、4#加速器辐照室东墙设置电线电缆输送孔道,用于被辐照电线电缆的进出,电线电缆的输送孔道布置示意见图 11-2。辐照室东墙上的输运通道均采用斜穿墙设计,开口高度约为 10cm,输送孔道避开主射线方向,且设计有钢结构屏蔽补偿设施,钢结构体四周为 20mm 厚钢板,射线经多次(至少三次)散射后,电线电缆输送孔道进出口处辐射剂量将在控制范围内,能够满足辐射防护的要求。

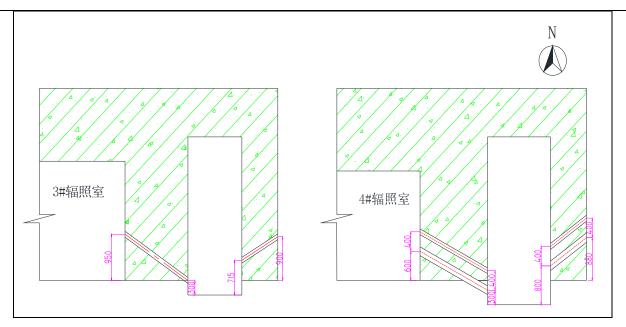


图 11-2 X 射线在加速器辐照室电缆管线穿墙孔道的散射示意图

事故影响分析

本项目可能发生的事故是工作人员误操作或设备安全联锁装置失灵,造成工作人员误 入或滞留在高辐射区内,发生人员超剂量照射事故。

本项目使用的工业电子加速器属于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。为杜绝事故隐患,宁波市搏皓电线电缆有限公司应加强管理,建立并严格按操作规程操作,在每次辐照作业前检查各项安全联锁装置的有效性,确保机房内无人后方可开机,定期监测加速器机房周围的辐射水平,确保工作安全有效运转。

发生辐射事故时,公司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,向属地公安部门和生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的,还应同时向属地卫生健康部门报告。并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求,使用II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构,或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作;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。

宁波市搏皓电线电缆有限公司成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作,并以公司内部文件形式明确辐射安全管理机构和各成员的管理职责,满足环保相关要求。

公司现有辐射工作人员均已参加并通过了辐射防护与安全知识的培训和考核。本项目的辐射工作人员拟从公司现有工作人员中调配或新招聘人员,公司将组织辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台(网址: http://fushe.mee.gov.cn)的报名,并自行培训及参加考核,获得成绩合格单后,方能满足辐射工作人员岗位要求。

辐射安全管理规章制度

宁波市搏皓电线电缆有限公司已根据相关要求,制定了相关的辐射防护管理规章制度,已制定的各项制度重点如下:

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或检测仪器,并明确了加速器停机5分钟后方可进入辐照室。

岗位职责: 明确了管理人员、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。

辐射防护和安全保卫制度:根据具体情况制定了辐射防护和安全保卫制度,重点是对加速器的安全防护和维修要落实到个人。

设备检修维护制度: 明确了加速器和辐照室、设备平台各项安全联锁装置、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。

人员培训计划: 明确了培训对象、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。

监测方案: 明确了监测频次和监测项目,主要包括个人剂量监测和工作场所监测,

监测方式为企业自主监测与有资质单位开展的年度监测。监测结果妥善保存,定期上报生态环境行政主管部门。此外,根据 18 号令,使用射线装置的单位,应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估,并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

辐射事故应急措施: 针对电子加速器可能产生的辐射污染情况制定了事故应急措施,该措施中明确了应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时,公司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,向属地公安部门和生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的,还应同时向属地卫生健康部门报告。并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。

宁波市搏皓电线电缆有限公司制定的辐射安全管理制度具有一定的针对性和可操作性。此外,公司还应根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)对现有的《设备检修维护制度》进行补充和完善,明确日检查、月检查和半年检查的内容和维修记录事项,主要包括:

(1) 日检查

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

- ①工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯;
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况;
- ③个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况。
- (2) 月检查

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

- ①辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况;
- ②控制台及其他所有紧急停止按钮;
- ③通风系统的有效性;
- ④验证安全联锁功能的有效性;
- ⑤烟雾报警器功能正常。
- (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。
- (4) 维修记录事项

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。

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 II 类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器,包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

宁波市搏皓电线电缆有限公司已配备 1 台 FD-3013B 型辐射巡测仪和 3 台 DP802i 型个人剂量报警仪。公司还应为本项目配备 4 台个人剂量报警仪,用于企业对电子加速器机房周围环境辐射水平的自主监测和预警。落实以上措施后,该公司辐射监测仪器的配备能够满足要求。

2、监测方案

宁波市搏皓电线电缆有限公司已根据管理要求,制定了如下监测方案:

- (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) 所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计,并定期(1次/3个月)送有资质部门进行监测,建立个人累积剂量档案;
- (3) 所有辐射工作人员上岗前均进行职业性健康体检,以排除职业禁忌症。开展辐射工作后,均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)公司利用自配备的辐射巡测仪定期(建议每月1次)对电子加速器机房周围环境辐射水平进行自主监测,并记录档案。

宁波市搏皓电线电缆有限公司现有核技术利用项目均已认真落实以上监测方案,现有辐射工作人员均已配备个人剂量计,定期送有资质部门进行个人剂量监测,定期组织辐射工作人员进行健康体检,并已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。该公司已于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度的评估报告。本项目运行后,也应按照该监测方案进行监测。

此外,宁波市搏皓电线电缆有限公司还需补充自主监测,即用自配备的环境辐射巡测仪定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行自主监测,并记录档案,建议每月 1次。

辐射事故应急

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素,辐射事故可分为特别 重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目事故多 为开机误照射,通常情况下属于一般辐射事故。

宁波市搏皓电线电缆有限公司已制定了辐射事故应急预案,应急预案包括以下内容:

- (1) 应急机构和职责分工;
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (3) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备;
- (4) 应急演习计划:
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

宁波市搏皓电线电缆有限公司已制定的应急预案基本有效可行,该公司还应完善应急预案中的具体人员及联系方式。此外,公司还应加强管理,加强职工辐射防护知识的培训,学习结束后应进行总结,积极开展辐射应急演习,发现问题及时解决,并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度,尽可能避免辐射事故的发生,还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等,确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时,公司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,向属地公安部门和生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的,还应同时向属地卫生健康部门报告。并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。

表 13 结论与建议

结论

项目概况: 为满足业务发展需求,宁波市搏皓电线电缆有限公司拟在 3#厂房扩建 2 间电子加速器机房,并配备 1 台 DD2.0-50/1600 型和 1 台 DD2.5-40/1600 型电子加速器用于对本公司和其他公司生产的电线、电缆进行辐照加工。该 2 台电子加速器属 II 类射线装置。

实践正当性评价:本项目投入使用不仅满足了企业的生产需求,提高了产品质量,还将给企业带来更多的经济效益和社会效益,在做好辐射防护的基础上,本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害,该项目符合《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。

选址、布局评价:宁波市搏皓电线电缆有限公司位于慈溪市周巷镇环城西路 818号,本项目加速器机房拟建场所位于 3#厂房的西部,2 间加速器机房南北并排建造,3#加速器机房位于 4#加速器的北侧,3#加速器机房的东侧为电线电缆堆放区,南侧为 4#加速器机房,西侧为厂区道路和闲置库房,北侧为 3#厂房围墙,楼上、楼下无建筑;4#加速器机房东侧为电线电缆堆放区,南侧为 3#厂房围墙,西侧为厂区道路和闲置库房,北侧为 3#加速器机房,楼上、楼下无建筑。本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标,选址合理。

本项目拟配备的 DD2.0-50/1600 型和 DD2.5-40/1600 型电子加速器均为卧式结构,一层为混凝土辐照室,加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台。辐照室入口处建有迷道,控制室位于辐照室东墙外,电子加速器工作时,设备操作人员位于一层的控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况,收放卷工作人员在收放卷系统区负责电线电缆的收放等工作。加速器出束时,辐照室内及设备平台均无人员停留,本项目电子加速器机房布局合理可行。

辐射防护措施评价: 本项目电子加速器辐照室采用混凝土结构、加速器主体钢筒采用铅板+钢板结构屏蔽电子束和 X 射线,其采取的是实体屏蔽方式。根据理论预测可知,本项目加速器辐照室和加速器主体钢筒的屏蔽厚度均能满足防护要求; 电线电缆进出通道、通风管道的设置合理可行,均未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果,该公司拟采取的辐射防护措施满足当前的管理要求。

保护目标剂量评价:根据理论估算结果可知,本项目辐射工作人员和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)和本项目管理目标(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)的剂量限值要求。

辐射安全措施评价:本项目电子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、警告标志等。

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》(HJ979-2018)和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)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。

臭氧对环境影响评价: 本项目加速器机房拟设置机械通风系统,最终排放口高于 3#厂房的屋顶,在加速器停止工作后,辐照室内通风系统继续工作,通过约 5min 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(0.3mg/m³),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,该公司应明确预先设定的时间应不少于 5min。

本项目风机排风速率不低于 13000m³/h,室内臭氧和氮氧化物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。

辐射防护监测仪器:公司已配备 1 台 FD-3013B 型辐射巡测仪,还应为本项目配备 4 台个人剂量报警仪,落实后,该公司辐射监测仪器的配备能够满足要求。

辐射安全管理评价: 宁波市搏皓电线电缆有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作,并以公司内部文件形式明确了各成员的管理职责。公司已制定了相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案,公司现有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并已考核合格,并均已佩戴了个人剂量计和参加了职业健康体检,已按相关要求建立了辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。公司还应组织本项目辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识的培训,并进行个人剂量监测和职业健康体检,建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

总结论:

综上所述,宁波市搏皓电线电缆有限公司扩建 2 台工业电子加速器辐照项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后,将具备其所从事的辐射活动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。

建议与承诺

- (1)根据新的法律法规和行业标准并结合实际工作,不断对规章制度进行补充完善。
- (2)项目运行中,应严格遵循操作规程,加强对辐射工作人员的培训,杜绝麻痹大意思想,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。
- (3)项目取得批复并建成后,公司需及时向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证。
- (4)本项目竣工后,建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序,在3个月内对配套建设的环境保护设施进行验收,编制验收报告,需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的,验收期限可以适当延期,但最长不超过12个月。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后,其主体工程方可投入使用;未经验收或者验收不合格的,不得投入使用。

表 14 审批

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

附表 "三同时"措施一览表

项目	"三同时"措施	预期效果	预计投 资(万元)
辐射安全管理机构	已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作,以文件形式明确各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理要求。	/
辐射安护措施	屏蔽措施: 电子加速器辐照室采用混凝土结构,加速器主体钢筒采用铅板+钢板结构屏蔽电子束和 X 射线,其采取的是具体屏蔽措施见表 10-1。	电子加速器机房外辐射剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中"电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5µSv/h"。 辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《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5mSv,公众年有效剂量不超过0.1mSv。	
	安全措施: 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。	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)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。	251.0
通风措施	加速器机房设置机械通风装置,通过排风装置排出辐照室内臭氧和氮氧化物,风机排风速率不低于 13000m³/h。加速器机房新风管道斜穿过辐照室顶,将新风送至扫描盒用于物料的降温;加速器机房采用地下式排风管道,最终排放口高于 3#厂房的屋顶。	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/m³)。 满足通风管道应不破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果。	

项目	"三同时"措施	预期效果	预计投 资(万元)
人员配备	公司辐射工作人员均应参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中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的管理要求。	1.0
	公司辐射工作人员均应配备个人剂量 计,每3个月定期送检,并建立辐射工 作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测及建立个人剂量监测档案的管理要求。	1.0
	公司辐射工作人员均应定期进行职业健康体检(不少于 1 次/2 年),并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员定期进行职业健康体检及建立职业健康监护档案的管理要求。	1.0
监测仪 器和防 护用品	已配备 1 台环境辐射巡测仪。 还应配备 4 台个人剂量报警仪。	满足《放射性同位素与射线装置安 全许可管理办法》中辐射监测仪器 配置要求。	1.0
辐射安 全管理 制度	对已制定的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台帐管理制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等辐射安全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》中使用射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/

注: "三同时"措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。