

检索号	2020-HP-0091
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

嘉兴恒创辐照科技有限公司年产 100 万  
公里辐照线缆加工建设项目环境影响  
报告表

嘉兴恒创辐照科技有限公司

2020 年 8 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 嘉兴恒创辐照科技有限公司年产 100 万 公里辐照线缆加工建设项目环境影响 报告表

建设单位名称： 嘉兴恒创辐照科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址： 浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村 2 幢 1 层

邮政编码： 314000 联系人： 金凌芳

电子邮箱： / 联系电话： 13906837875

# 编制单位和编制人员情况表

项目编号			
建设项目名称	嘉兴恒创辐照科技有限公司年产 100 万公里辐照线缆加工建设项目		
建设项目类别	50_191 核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）		
环境影响评价文件类型	报告表		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称（盖章）	嘉兴恒创辐照科技有限公司		
统一社会信用代码	91330424MA2CY73PXD		
法定代表人（签章）	巢希		
主要负责人（签字）	金凌芳		
直接负责的主管人员（签字）	金凌芳		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称（盖章）	江苏辐环环境科技有限公司		
统一社会信用代码	913201003393926218		
<b>三、编制人员情况</b>			
<b>1. 编制主持人</b>			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	
<b>2. 主要编制人员</b>			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
符晶晶	全文编写	BH005877	



持证人签名:

Signature of the Bearer

2015035320350000003510320304

管理号:  
File No.

姓名: 符晶晶  
Full Name  
性别: 女  
Sex  
出生年月: 1984年10月  
Date of Birth  
专业类别: /  
Professional Type  
批准日期: 2015年05月  
Approval Date

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2015 年 10 月 12 日

Issued on



编制主持人职业资格证书 (复印件)

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		嘉兴恒创辐照科技有限公司年产 100 万公里辐照线缆加工建设项目				
建设单位		嘉兴恒创辐照科技有限公司				
法人代表	巢希	联系人	金凌芳	联系电话	13906837875	
注册地址		浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村 2 幢 1 层				
项目建设地点		浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村嘉兴创奇电缆有限公司厂区内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		1500	项目环保投资 (万元)	198	投资比例(环保 投资/总投资)	
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m <sup>2</sup> )	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射 性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				
	<p><b>项目概述</b></p> <p><b>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</b></p> <p><b>1、建设单位基本情况</b></p> <p>嘉兴恒创辐照科技有限公司成立于 2020 年 1 月 10 日,是由嘉兴创奇电缆有限公司投资成立的一家辐照公司,公司经营范围包括:辐照电线电缆、电线电缆及配件、热缩管的制造、加工、批发、零售;电线电缆及配件、热缩管、电子产品、薄膜产品、高分子材料的辐照技术服务;医疗器械及一次性医疗用品的辐照灭菌;宠物用品、玩具、化妆品的辐照灭菌;农副产品、食品、水产品、成药、保健食品的辐照灭菌;食品包装材料用包装袋的辐照灭菌。</p>					

公司位于浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村嘉兴创奇电缆有限公司厂区内，为租用嘉兴创奇电缆有限公司厂区内地块，并在租赁地块内建设一幢单层的辐照厂房，该辐照厂房已于2020年6月17日进行了建设项目环境影响登记备案，备案号为202033042400000208，公司土地租赁协议见附件4，辐照厂房建设项目环境影响登记表见附件5。

## 2、项目由来及建设规模

因业务发展需要，嘉兴恒创辐照科技有限公司拟在辐照厂房的西部新建4间电子加速器机房，每间机房各配备1台电子加速器，用于对客户的电线、电缆进行辐照加工，预计年产100万公里辐照线缆。

本项目电子加速器机房在辐照厂房内由北往南依次分别为1#电子加速器机房、2#电子加速器机房、3#电子加速器机房和4#电子加速器机房，其中1#电子加速器机房和2#电子加速器机房为第一组，3#电子加速器机房和4#电子加速器机房为第二组，两组加速器机房的布局及屏蔽防护设计相同，1#电子加速器机房和3#电子加速器机房各配备1台DD3.0-30/1600型电子加速器，2#电子加速器机房和4#电子加速器机房各配备1台DD2.0-50/1600型电子加速器。

本项目为公司首次开展核技术利用项目，本项目具体情况见表1-1。

表1-1 公司核技术应用项目情况一览表

序号	射线装置名称	数量	电子束最大能量 (MeV)	最大束流强度 (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	DD3.0-30/1600型电子加速器	1	3.0	30	II	1#电子加速器机房	使用	新建项目 本次环评	束流损失率为1%，束流损失点能量为最大能量的10%
2	DD2.0-50/1600型电子加速器	1	2.0	50	II	2#电子加速器机房	使用		
3	DD3.0-30/1600型电子加速器	1	3.0	30	II	3#电子加速器机房	使用		
4	DD2.0-50/1600型电子加速器	1	2.0	50	II	4#电子加速器机房	使用		

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。

本项目为使用II类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018年版），应编制环境影响报告表。受嘉兴恒创辐照科技有限公司的委托，江苏辐环环境科技

有限公司承担该单位本次核技术应用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察（委托江苏核众环境监测技术有限公司对项目拟建址及周围环境进行辐射环境现状监测）等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。

## 二、项目周边保护目标及项目选址情况

嘉兴恒创辐照科技有限公司位于浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村嘉兴创奇电缆有限公司厂区内，公司地理位置图见附图 1。

嘉兴创奇电缆有限公司东侧为经二路，南侧为盐沈线，西侧为海盐万达汽车配件股份有限公司，北侧为道路。

嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房拟建场址位于嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地，其东侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、2#车间和 3#办公楼，南侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、厂区围墙，西侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地、厂区围墙，北侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、1#车间。嘉兴恒创辐照科技有限公司周围环境见附图 2。

嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房为独栋单层厂房，本项目电子加速器机房拟建场址位于辐照厂房的西部，由北往南依次分别为 1#电子加速器机房、2#电子加速器机房、3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房，其中 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房为第一组，3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房为第二组，两组加速器机房相距约 7m。本项目电子加速器机房拟建场址东侧为辐照厂房的电线电缆存放区，南侧为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路，西侧为嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地，北侧为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路，楼上、楼下无建筑。嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房平面布局示意图见附图 3。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，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嘉兴创奇电缆有限公司、海盐万达汽车配件股份有限公司的工作人员和盐沈线上的行人。

## 三、实践正当性

本项目投入使用不仅满足了电线电缆生产厂家的辐照需求，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，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。

**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	DD3.0-30/1600	电子	3.0	30mA	工业辐照	1#电子加速器机房	束流损失率为 1%，束流损失点能量为最大能量的 10%
2	工业电子加速器	II	1	DD2.0-50/1600	电子	2.0	50mA	工业辐照	2#电子加速器机房	
3	工业电子加速器	II	1	DD3.0-30/1600	电子	3.0	30mA	工业辐照	3#电子加速器机房	
4	工业电子加速器	II	1	DD2.0-50/1600	电子	2.0	50mA	工业辐照	4#电子加速器机房	

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	/	/	/	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。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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<sup>3</sup>, 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<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订版), 2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正本), 2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(修订本), 国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日发布施行</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版), 国务院令第 709 号, 2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2019 年修正版), 2019 年 8 月 22 日施行</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2018 年修正本), 生态环境保护部令第 1 号公布, 自 2018 年 4 月 28 日起施行</p> <p>(8) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 国家环境保护总局文件, 环发[2006]145 号文</p> <p>(9) 《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</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环境保护部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》, 环办[2013]103 号, 2014 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(12) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 38 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(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</p> <p>(15) 《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》, 环办辐射函[2019]853 号</p> <p>(16) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》, 浙江省人民政府令第 364 号, 2018</p>
-------------	---

	<p>年3月1日起施行</p> <p>(17)《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第289号，2012年2月1日起施行</p> <p>(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</p> <p>(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</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)</p> <p>(2)《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)</p> <p>(4)《环境地表<math>\gamma</math>辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)</p> <p>(5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>(6)《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)</p> <p>(7)《<math>\gamma</math>射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)</p> <p>(8)《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)</p> <p>(9)《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)</p> <p>(10)《工作场所有害因素职业接触限值·化学因素》(GBZ 2.1-2019)</p> <p>(11)《环境空气质量标准》(GB3095-2012)</p>
<p>其他</p>	<p>报告附件：</p> <p>(1) 项目委托书（附件1）</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书（附件2）</p> <p>(3) 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质（附件3）</p> <p>(4) 公司土地租赁协议（附件4）</p> <p>(5) 公司辐照厂房建设项目环境影响登记表（附件5）</p> <p>(6) 建设项目立项文件（附件6）</p>

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，评价范围应为电子加速器机房屏蔽墙体边界外延 50m 的区域，故本项目评价范围保守以两组加速器机房的东墙和西墙以及 1#电子加速器机房的北墙、4#电子加速器机房的南墙为边界，外延 50m 的区域。本项目评价范围示意图见图 7-1 或附图 2。

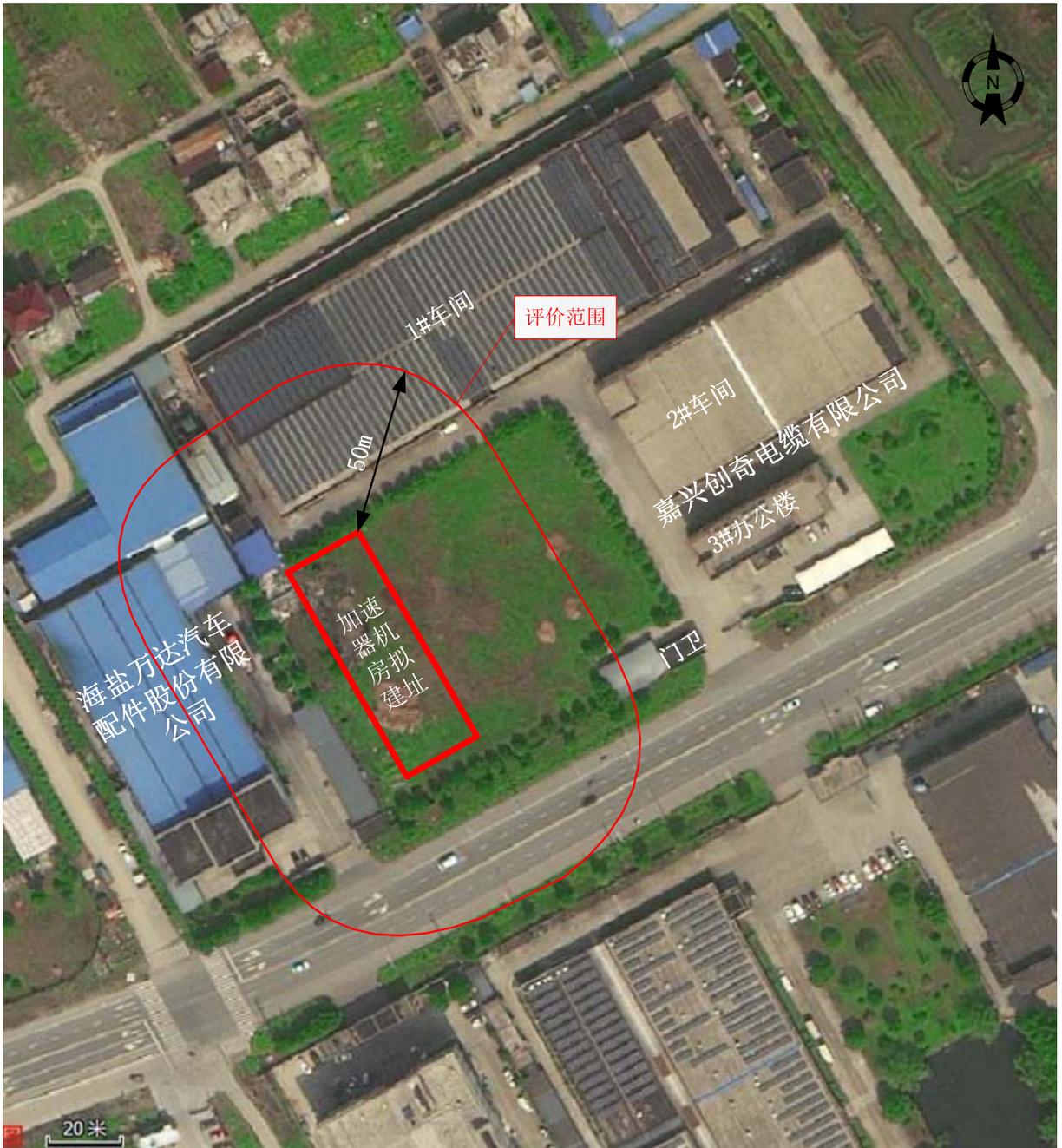


图 7-1 本项目评价范围示意图

## 保护目标

嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房位于嘉兴创奇电缆有限公司厂区内，为独栋单层厂房。本项目电子加速器机房拟建场址位于辐照厂房的西部，其东侧 50m 评价范围内依次为辐照厂房的电线电缆收放卷系统区、电线电缆存放区，南侧 50m 评价范围内依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、盐沈线，西侧 50m 评价范围内依次为嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地、海盐万达汽车配件股份有限公司厂区，北侧 50m 评价范围内依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、1#车间。

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嘉兴创奇电缆有限公司、海盐万达汽车配件股份有限公司的工作人员和盐沈线上的行人。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	距加速器机房最近距离	规模	年有效剂量约束值
辐射工作人员	东侧	控制室	控制室操作人员	0m	16 名工作人员	5mSv/a
公众	东侧	电线电缆收放卷系统区	公司内其他工作人员	5m	约 24 名工作人员	0.1 mSv/a
		电线电缆存放区		30m		
	南侧	嘉兴创奇电缆有限公司厂区道路	嘉兴创奇电缆有限公司工作人员	7m	约 20 名工作人员	
		盐沈线	路上行人	18m	流动人员	
	西侧	嘉兴创奇电缆有限公司预留空地	嘉兴创奇电缆有限公司工作人员	1m	约 20 名工作人员	
		海盐万达汽车配件股份有限公司厂区	海盐万达汽车配件股份有限公司工作人员	9m	约 25 名工作人员	
	北侧	嘉兴创奇电缆有限公司厂区道路	嘉兴创奇电缆有限公司工作人员	2m	约 20 名工作人员	
		嘉兴创奇电缆有限公司 1#车间		13m		

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

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

##### 8.1.3 辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

- a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C20，密度不应低于  $2.35 \text{g/cm}^3$ ；
- b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；
- c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB/18871-2002 和 GB/5172-1985 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 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： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”。

b) 二氧化氮，时间加权平均容许浓度： $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间接触容许浓度： $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

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  $5\text{mSv}$ ；

b) 公众成员个人年有效剂量为  $0.1\text{mSv}$ 。

#### 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  $30\text{cm}$  处及以外区域周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。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  $10\text{MeV}$  的电子束和能量不高于  $5\text{MeV}$  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) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；

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

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

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

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

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

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

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

## 6.3 其他要求

### 6.3.3 通风系统

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

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

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

**(7) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)**

**(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超过  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

**辐射剂量控制水平：**职业人员年有效剂量不超过  $5\text{mSv}$ ，公众年有效剂量不超过  $0.1\text{mSv}$ 。

**(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》，嘉兴地区建筑物室内  $\gamma$  辐射剂量率的范围为 (76~271) nGy/h，道路上  $\gamma$  辐射剂量率的范围为 (28~117) nGy/h，原野  $\gamma$  辐射剂量率的范围为 (39~62) 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

嘉兴恒创辐照科技有限公司位于浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村嘉兴创奇电缆有限公司厂区内，公司地理位置图见附图 1。

嘉兴创奇电缆有限公司东侧为经二路，南侧为盐沈线，西侧为海盐万达汽车配件股份有限公司，北侧为道路。

嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房拟建场址位于嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地，其东侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、2#车间和 3#办公楼，南侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、厂区围墙，西侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地、厂区围墙，北侧依次为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路、1#车间。嘉兴恒创辐照科技有限公司周围环境见附图 2。

嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房为独栋单层厂房，本项目电子加速器机房拟建场址位于辐照厂房的西部，由北往南依次分别为 1#电子加速器机房、2#电子加速器机房、3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房，其中 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房为第一组，3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房为第二组，两组加速器机房相距约 7m。本项目电子加速器机房拟建场址东侧为辐照厂房的电线电缆存放区，南侧为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路，西侧为嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地，北侧为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路，楼上、楼下无建筑。嘉兴恒创辐照科技有限公司辐照厂房平面布局示意图见附图 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。本项目电子加速器机房拟建场址周围环境现状见图 8-1~图 8-4。



图 8-1 电子加速器机房拟建场址现状



图 8-2 电子加速器机房拟建场址东侧



图 8-3 电子加速器机房拟建场址西侧



图 8-4 电子加速器机房拟建场址北侧

## 二、环境现状评价对象、检测因子和检测点位

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，主要调查本项目电子加速器机房拟建场址及周围环境的辐射水平。

环境现状评价对象：电子加速器机房拟建场址及周围的辐射环境

检测因子：X- $\gamma$  辐射剂量率

检测点位：电子加速器机房拟建场址及周围环境共计布点 6 个

## 三、检测方案、质量保证措施、检测结果

### 1、检测方案

①检测目的：电子加速器机房拟建场址及周围辐射环境现状检测；

②检测内容：电子加速器机房拟建场址及周围环境 X- $\gamma$  辐射剂量率；

③检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司；

④检测日期：2020 年 4 月 3 日      天气：阴

⑤检测仪器及编号：AT1123 型辐射检测仪（55045）；

⑥能量响应范围：15keV~3MeV；

⑦量程范围：50nSv/h~10Sv/h；

⑧检定有效期：2019.6.21~2020.6.20；

⑨布点原则：在电子加速器机房拟建场址及周围环境进行布点，共计布点 6 个；

⑩监测方法：按照《环境地表  $\gamma$  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。

## 2、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；
- 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检测设备均通过计量部门检定合格，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检测报告实行三级审核。

## 3、检测结果及评价

本项目电子加速器机房拟建场址及周围辐射环境现状检测结果见表 8-1，检测点位见图 8-5，详细检测结果见附件 3。

表 8-1 电子加速器机房拟建场址及周围辐射环境检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 (nSv/h)	备注
1	第一组电子加速器机房拟建场址	124	/
2	第二组电子加速器机房拟建场址	121	
3	电子加速器机房拟建场址东侧预留空地	122	
4	电子加速器机房拟建场址南侧厂区道路	119	
5	电子加速器机房拟建场址西侧预留空地	125	
6	电子加速器机房拟建场址北侧厂区道路	117	

注：上表数据未扣除检测仪器宇宙射线响应值。

根据检测结果可知，嘉兴恒创辐照科技有限公司电子加速器机房拟建场址及周围环境辐射水平在（117~125）nSv/h 范围内。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》中嘉兴地区建筑物室内  $\gamma$  辐射剂量率的范围为（76~271）nGy/h，道路上  $\gamma$  辐射剂量率的范围为（28~117）nGy/h 可知，本项目电子加速器机房拟建场址及周围环境辐射水平基本处于浙江省嘉兴市环境天然贯穿辐射水平。

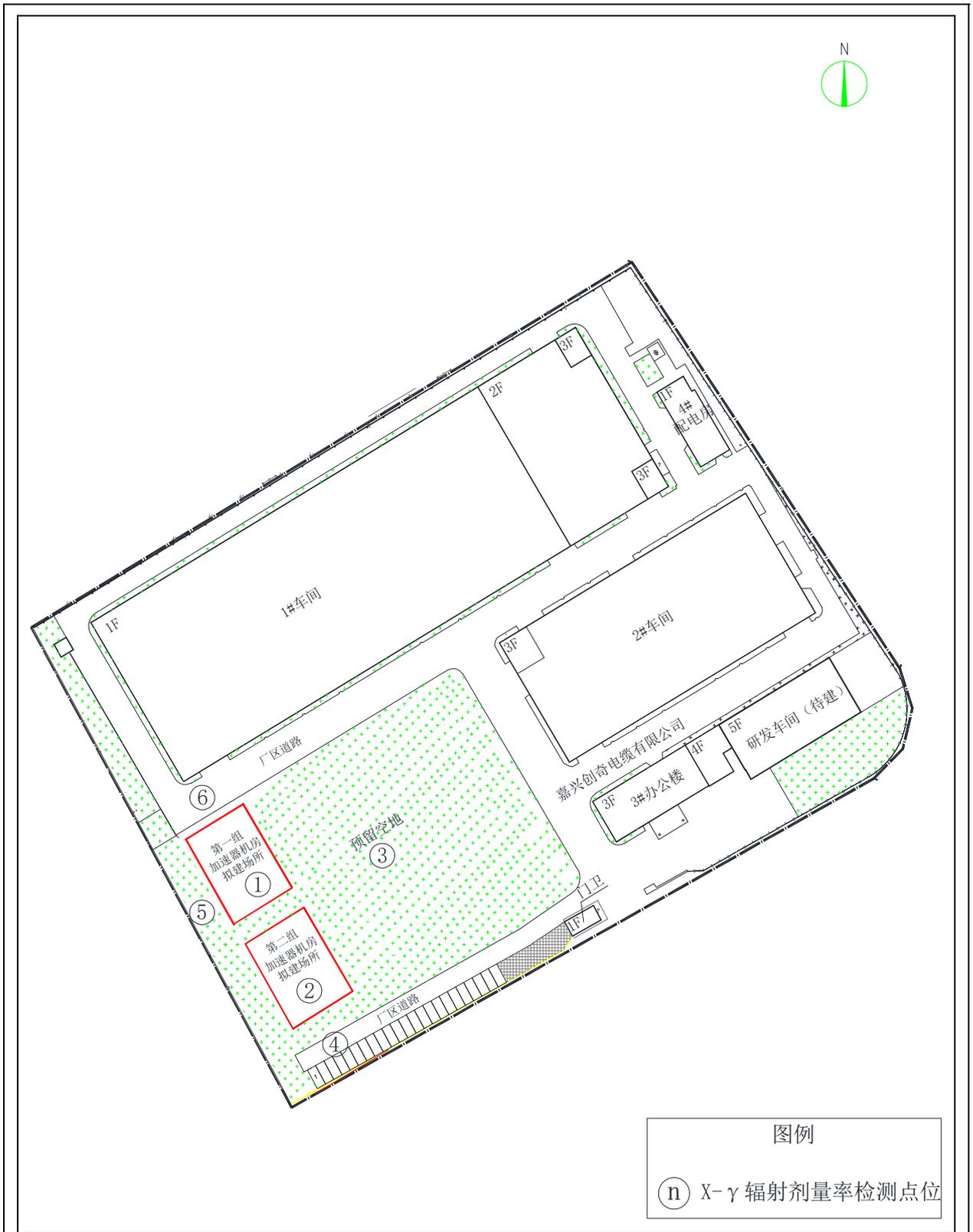


图 8-5 嘉兴恒创辐照科技有限公司电子加速器机房拟建场址及周围环境辐射水平检测点位图

## 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

嘉兴恒创辐照科技有限公司拟在辐照厂房西部新建 4 间电子加速器机房，由北往南依次分别为 1#电子加速器机房、2#电子加速器机房、3#电子电子加速器机房和 4#电子加速器机房，其中 1#电子加速器机房和 3#电子加速器机房各配备 1 台 DD3.0-30/1600 型电子加速器，2#电子加速器机房和 4#电子加速器机房各配备 1 台 DD2.0-50/1600 型电子加速器。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	1#、3#电子加速器	2#、4#电子加速器
产品型号	DD3.0-30/1600	DD2.0-50/1600
电子束能量	3.0MeV	2.0MeV
电子束流强	30 mA	50 mA
最大束流功率	90kW	100kW
扫描宽度	1600mm	1600mm
绝缘气体系统	使用 SF <sub>6</sub> 气体作为绝缘气体，并配备气体回收系统	使用 SF <sub>6</sub> 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 0.3mA）	1%（即电子束流强度为 0.5mA）
束流损失点能量	为最大能量的 10%（即 0.3MeV）	为最大能量的 10%（即 0.2MeV）

本项目拟配备的 DD3.0-30/1600 型和 DD2.0-50/1600 型电子加速器均为立式结构，机房为混凝土结构，共包括两层：一层为辐照室、二层为主机室；冷却水循环系统、气体系统等辅助设备位于二层的设备平台。

公司拟为本项目共配备 16 名辐射工作人员，每间加速器机房配备 4 名辐射工作人员，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，辐射工作人员均为新招聘人员，每台加速器每班年开机时间不超过 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。常见立式电子加速器整体装置示意图 9-1。

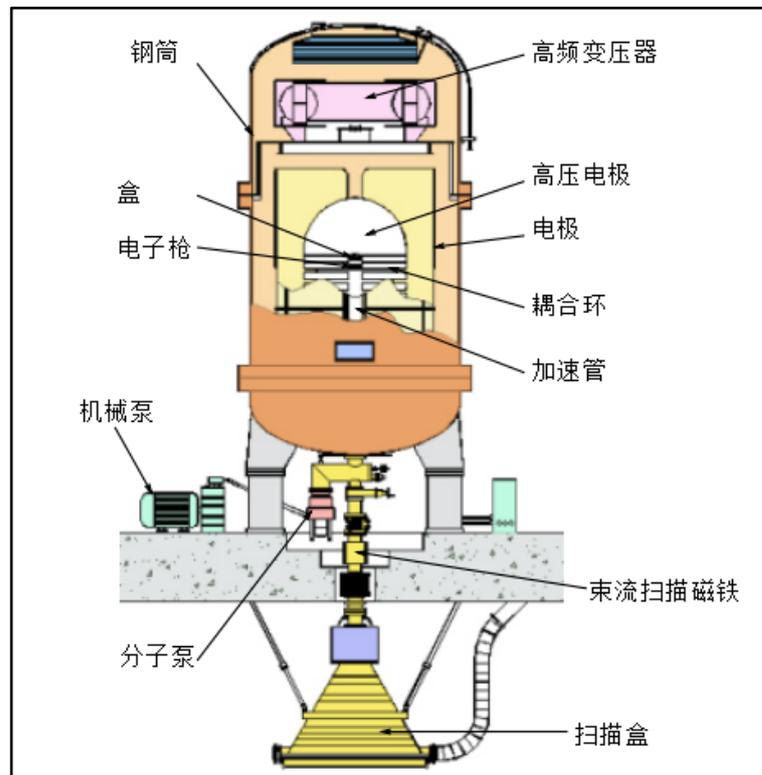


图 9-1 常见立式电子加速器整体装置示意图

### 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，辐射工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。

本项目工业电子加速器辐照加工工艺流程和主要产污环节示意图 9-2。

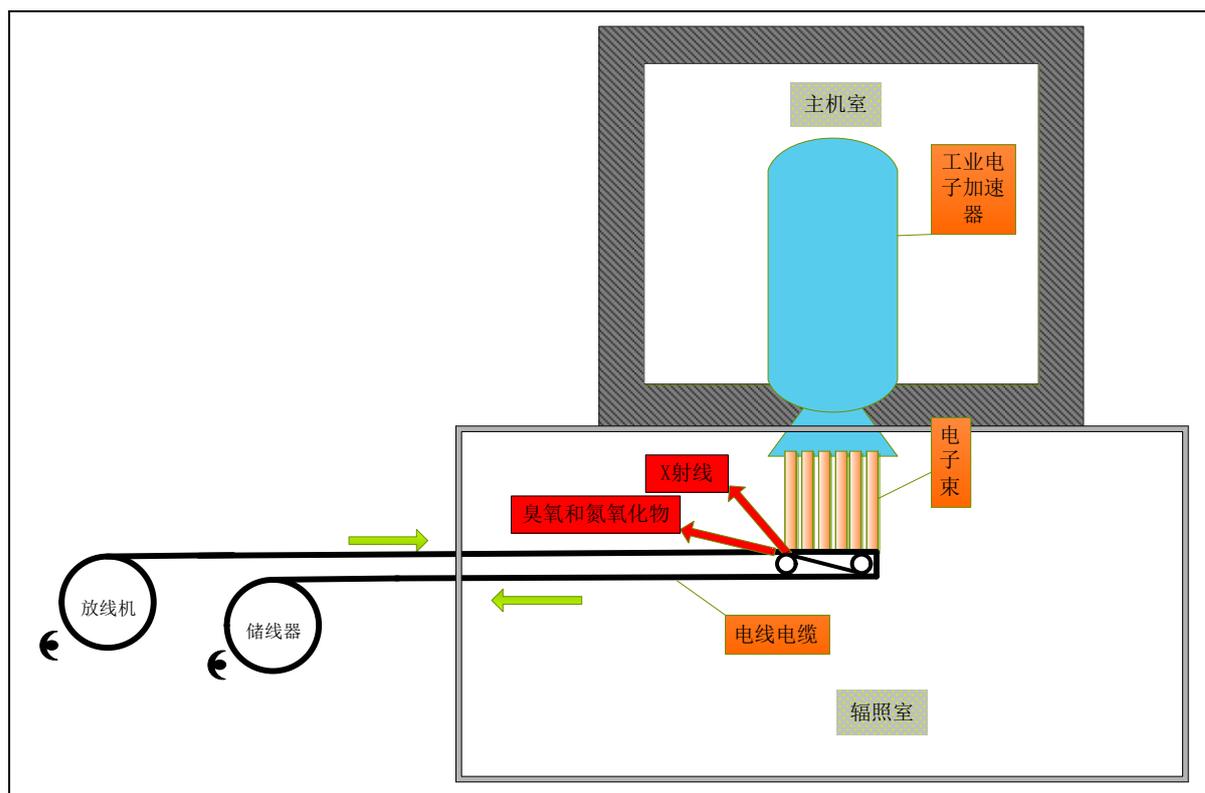


图 9-2 本项目工业电子加速器辐照加工工艺流程和主要产污环节示意图

## 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，会对电子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。

### 2、非辐射污染源分析

#### (1) 废气

本项目电子加速器在运行时，空气在强电离辐射的作用下，会使机房内产生一定量的臭氧和氮氧化物。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。而氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，影响较臭氧的小。

除此之外，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 SF<sub>6</sub> 气体作为绝缘介质，用于保证加速器的高电位梯度。SF<sub>6</sub> 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。电子加速器运行中的放电打火会使 SF<sub>6</sub> 气体分解和电离，分解为 SF<sub>4</sub>、SOF<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 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 SF<sub>6</sub> 气体只在加速器钢筒内使用，在电子加速器正常运行过程中，加速器钢筒外无 SF<sub>6</sub> 产生，且加速器设有 SF<sub>6</sub> 泄漏报警装置，在操作台的控制屏上实时显示系统中 SF<sub>6</sub> 的气体浓度，可及时发现 SF<sub>6</sub> 气体泄漏情况；同时，在储气罐和加速器钢筒之间设有 SF<sub>6</sub> 处理装置，能够将气体中的水分、空气和含氟气体过滤掉，从而延长电子加速器的使用寿命，提高电子加速器的运行可靠性。

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。

#### (2) 废水

本项目运行期间产生的废水主要是工作人员办公过程产生的生活废水；加速器水冷系统的冷却水为循环使用，不外排。

#### (3) 噪声

本项目运行期间产生的噪声主要是风机在运行时产生的噪声。

#### (4) 固体废物

本项目运行期间产生的固体废物主要是工作人员办公过程产生的办公垃圾等。

**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 4 间电子加速器机房均为地上两层混凝土结构，辐照室位于一层，主机室位于二层，辐照室和主机室入口处均建有迷道；控制室均位于加速器辐照室的东侧，冷却水循环系统、气体系统等辅助设备位于二层的设备平台。电子加速器工作时，辐射工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，辐照室及主机室内均无人员停留，本项目电子加速器机房布局合理可行。

公司拟将辐照室、主机室作为辐射防护控制区，在辐照室、主机室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、设备平台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。

**二、辐射防护屏蔽设计**

本项目 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房为第一组，3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房为第二组，两组加速器机房的布局及屏蔽防护设计相同，本项目电子加速器机房辐射防护屏蔽设计见表 10-1，电子加速器机房结构示意图见附图 4、附图 5 和附图 6。

表 10-1 本项目电子加速器机房屏蔽设计一览表

机房		屏蔽墙厚度	屋顶厚度	防护门
1#、3# 电子加速器 机房	一层 辐照室	东墙：控制室部分为 1800mm 砼，其余部分为 1800mm 砼+500mm 砼； 南墙：迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼； 西墙、北墙：1800mm 砼	1100mm 砼	20mm 钢
	二层 主机室	东墙、南墙、西墙：700mm 砼； 北墙：迷道内墙 300mm 砼+迷道外墙 700mm 砼	500mm 砼，顶部 盖板：400mm 砼	10mm 铅
2#、4# 电子加速器 机房	一层 辐照室	东墙：控制室部分为 1500mm 砼，其余部分为 1500mm 砼+500mm 砼； 南墙、西墙：1500mm 砼； 北墙：迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼	900mm 砼	20mm 钢
	二层 主机室	东墙、西墙、北墙：600mm 砼； 南墙：迷道内墙 300mm 砼+迷道外墙 600mm 砼	500mm 砼，顶部 盖板：400mm 砼	10mm 铅

注：砼的密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>。

本项目 1#、3#电子加速器辐照室门洞宽 1.2m、防护门宽 1.5m，主机室门洞宽 0.9m、防护门宽 1.2m；2#、4#电子加速器辐照室门洞宽 1m、防护门宽 1.3m，主机室门洞宽 0.9m、防护门宽 1.2m，防护门与墙体左右各搭接 0.15m，上下各搭接 0.1m，确保防护门与墙体的搭接距离大于缝隙的 10 倍，防止射线泄漏。

### 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、主机室门联锁。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、主机室门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) **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：**辐照室的出入口和室内、主机室的出入口和室内安装红绿信号灯和警铃，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：**在辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置一个“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和主机室按序按动“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、主机室的迷道外口和迷道内口处分别设置一套防人误入装置，并与加速器的开、停机联锁。在加速器工作过程中，若人员误入辐照室或主机室，该装置将发出光电报警，并自动切断加速器电源。

每套防人误入装置均由三道（高度分别为 0.3m、0.8m、1.2m）防人误入的光电联锁装置组成，三道防人误入光电联锁装置建议从不同的厂家购买，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**：在控制台上及辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置一个急停按钮，并在辐照室、主机室内设置急停拉线开关并覆盖室内全部区域，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、主机室迷道外口处的急停按钮带有紧急开门功能，以便在事故工况下人员离开控制区。

(8) **剂量联锁**：在控制室内以及辐照室、主机室的迷道外口处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门、主机室门联锁，当任一监测点处的辐射剂量率超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室门、主机室门无法从外部打开。

(9) **通风联锁**：电子加速器机房排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 7min**）后才能开门，以保证机房内的臭氧等有害气体浓度低于允许值。

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

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

(12) **监控系统**：在辐照室、主机室内安装监控探头，可覆盖监控整个辐照室、主机室内部情况，监控器设置在控制室主控台上，操作人员可通过监控器实时观察辐照室、主机室内部情况。

(13) **其他安全措施**：辐照室、主机室的出入口门外设置钥匙开关，插上钥匙才能打开门，在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。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。

综上所述，本项目电子加速器机房拟采取的辐射安全和防护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(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。

本项目两组加速器机房采取的辐射安全和防护措施相同，本项目电子加速器机房拟采取的部分辐射安全和防护措施平面布置图见图 10-1。

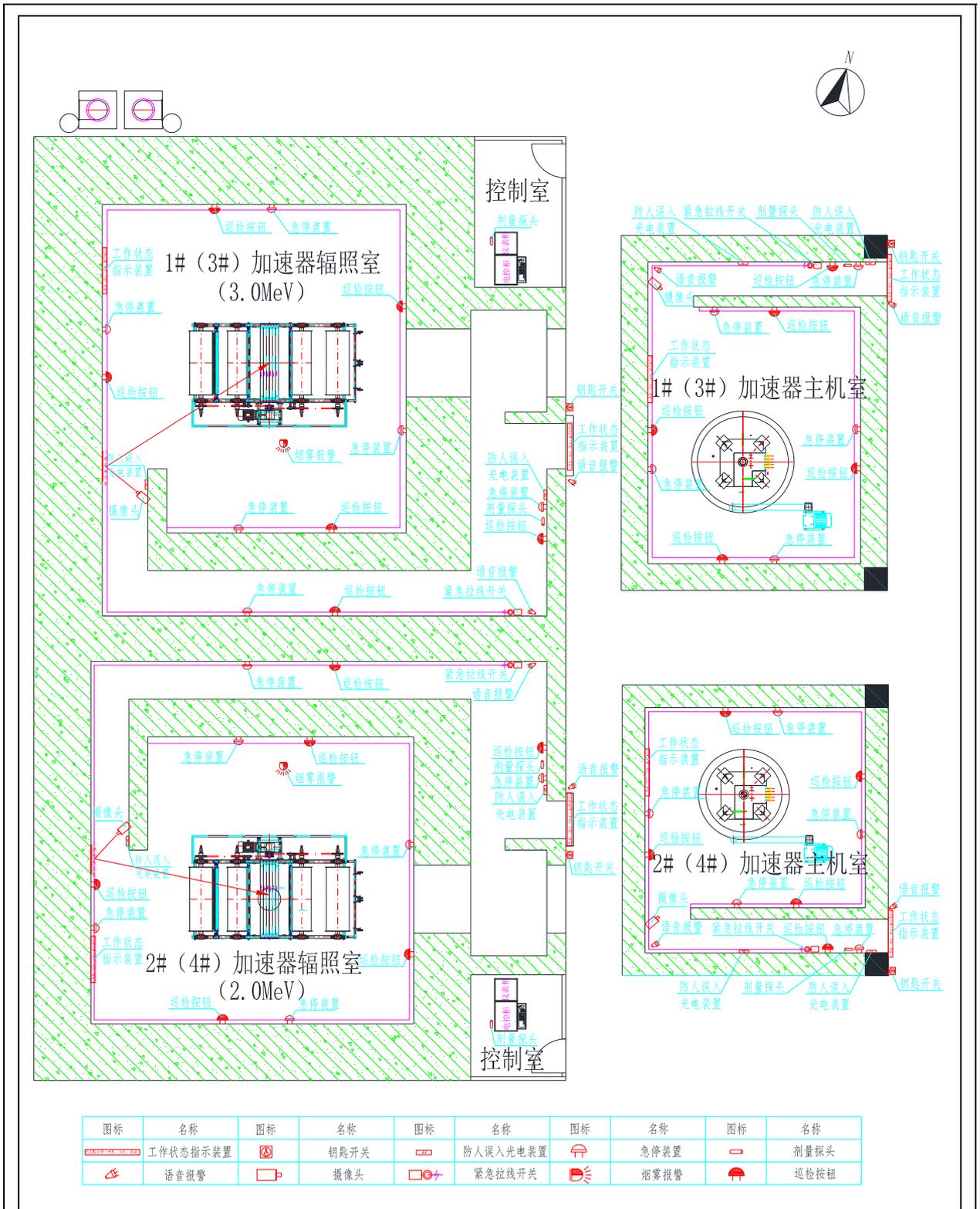


图 10-1 本项目电子加速器机房拟采取的部分辐射安全和防护措施平面布置图

### 三废的治理

#### 1、废气处理措施

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，因此本项目主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

本项目电子加速器机房的新风均采用自然送风的方式，排风均采用机械排风的方式，排臭氧风机放置在每组加速器机房的北墙外，风机排风速率的设计值不低于 18000m<sup>3</sup>/h，并采用埋地排风管道，管道埋地深为 800mm，管道内径为 600mm，室内吸风口位于辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道从每组加速器机房的辐照室地下穿过，并从每组加速器机房的北墙外穿出，经排臭氧烟囱于公司辐照厂房顶部排放，排放口高于厂房周边建筑。本项目电子加速器机房内产生的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。

本项目排风管道采用埋地设计，并从每组加速器机房的北墙外穿出，辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口，排风管道的设计未破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。本项目排风管道的设计见附图 4 和附图 5。

此外，电子加速器主机室内设置机械泵，将主机室内的空气机械压缩成冷却风送至扫描盒用于物料的降温，通风管道内径为 159mm，呈 30° 斜穿辐照室顶，未破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果。

#### 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、噪声处理措施

本项目电子加速器机房将采用低噪声的风机，噪声一般在（70~75）dB，且风机安置在砖砌的风机房内，电子加速器机房风机产生的噪声不大于生产车间其他设备产生的噪声，对周围环境影响很小。

#### 4、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**

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

(2) 噪声：本项目整个建筑施工阶段，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体废物主要有挖掘的弃土、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，弃土主要用于厂区内的绿化覆土，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、混凝土养护产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。公司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

本项目 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房为第一组，3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房为第二组，两组加速器机房的布局及屏蔽防护设计相同，且配置的电子加速器技术参数也相同，故本项目以第一组的 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房为例进行辐射环境影响分析。

#### 1、电子加速器机房墙体屏蔽计算

##### (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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

式中：

$D_{10}$ ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（ $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

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

$B_x$ ——X 射线的屏蔽透射比；

d——X 射线源与参考点之间的距离（m）；

$1 \times 10^6$ ——单位转换系数。

$D_{10}$  计算方法为：

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

式中：

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

I——电子束流强度 (mA)；

$f_e$ ——X 射线发射率修正系数。

$B_x$  可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法为：

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

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

式中：

S——屏蔽体厚度 (cm)；

$T_1$ ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层 (cm)；

$T_e$ ——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韧致辐射所致、与电子束入射方向呈  $90^\circ$  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。

#### ①1# (3#) 电子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, 3.0MeV 入射电子入射到高 Z 靶上，在距靶 1 米处侧向  $90^\circ$  的 X 射线发射率为  $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；被辐照的靶材料为不锈钢时， $90^\circ$  方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。本项目 1# (3#) 电子加速器束流强度为 30mA，根据公式 11-2 可计算得出辐照室  $D_{10}$  为  $2880\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

根据附录 A 表 A.4, 3.0MeV 电子在侧向  $90^\circ$  屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV；根据附录 A 表 A.2 和表 A.3, 入射电子能量为 1.9MeV, 混凝土的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=21.8\text{cm}$ 、 $T_e=19.7\text{cm}$ 。

将相关参数带入公式 11-1~11-4, 1# (3#) 电子加速器辐照室的屏蔽核算结果见表 11-1。

表 11-1 1# (3#) 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

参数	东墙 (控制室)	南墙	西墙	北墙
S (cm)	180 砵	100 砵+120 砵	180 砵	180 砵
$T_1$ (cm)	21.8	21.8	21.8	21.8
$T_e$ (cm)	19.7	19.7	19.7	19.7
$B_x$	$9.32 \times 10^{-10}$	$8.69 \times 10^{-12}$	$9.32 \times 10^{-10}$	$9.32 \times 10^{-10}$

$D_{10}$ (Gy·h <sup>-1</sup> )	2880	2880	2880	2880
T	1	1	1	1
d (m)	5.7	8.2	6.5	6.3
H (μSv/h)	<b>0.083</b>	<b>3.72×10<sup>-4</sup></b>	<b>0.064</b>	<b>0.068</b>

注：①辐照点至控制室的距离保守取辐照点至辐照室东墙的垂直距离。

②R<sub>东墙</sub>=辐照点到东墙距离 3.6m+东墙 1.8m+参考点 0.3m=5.7m;

R<sub>南墙</sub>=辐照点到迷道内墙距离 4.5m+迷道内墙 1m+迷道 1.2m+迷道外墙 1.2m+参考点 0.3m=8.2m;

R<sub>西墙</sub>=辐照点到西墙距离 4.4m+西墙 1.8m+参考点 0.3m=6.5m;

R<sub>北墙</sub>=辐照点到北墙距离 4.2m+北墙 1.8m+参考点 0.3m=6.3m。

### ②2# (4#) 电子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 1.6Gy·m<sup>2</sup>·mA<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数 f<sub>e</sub> 为 0.5。本项目 2# (4#) 电子加速器束流强度为 50mA, 根据公式 11-2 可计算得出辐照室 D<sub>10</sub> 为 2400Gy·h<sup>-1</sup>。

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<sub>1</sub> 和 T<sub>e</sub> 值分别为 T<sub>1</sub>=19.64cm、T<sub>e</sub>=16.98cm。

将相关参数带入公式 11-1~11-4, 2# (4#) 电子加速器辐照室的屏蔽核算结果见表 11-2。

表 11-2 2# (4#) 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

参数	东墙 (控制室)	南墙	西墙	北墙
S (cm)	150 砵	150 砵	150 砵	100 砵+120 砵
T <sub>1</sub> (cm)	19.64	19.64	19.64	19.64
T <sub>e</sub> (cm)	16.98	16.98	16.98	16.98
B <sub>x</sub>	2.1×10 <sup>-9</sup>	2.1×10 <sup>-9</sup>	2.1×10 <sup>-9</sup>	1.59×10 <sup>-13</sup>
D <sub>10</sub> (Gy·h <sup>-1</sup> )	2400	2400	2400	2400
T	1	1	1	1
d (m)	5.6	5.1	6.5	7.8
H (μSv/h)	<b>0.161</b>	<b>0.194</b>	<b>0.119</b>	<b>6.26×10<sup>-6</sup></b>

注：①辐照点至控制室的距离保守取辐照点至辐照室东墙的垂直距离。

②R<sub>东墙</sub>=辐照点到东墙距离 3.8m+东墙 1.5m+参考点 0.3m=5.6m;

R<sub>南墙</sub>=辐照点到南墙距离 3.3m+南墙 1.5m+参考点 0.3m=5.1m;

R<sub>西墙</sub>=辐照点到西墙距离 4.7m+西墙 1.5m+参考点 0.3m=6.5m;

R<sub>北墙</sub>=辐照点到迷道内墙距离 4.3m+迷道内墙 1m+迷道 1m+迷道外墙 1.2m+参考点 0.3m=7.8m。

### (3) 电子加速器主机室屏蔽计算

进入电子加速器主机室内的辐射场主要由三部分叠加：辐照室内与入射电子束呈165°到180°方向的韧致辐射初级X射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的**贯穿辐射场**；尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的**束流损失辐射场**；辐照室内的0°方向上产生的韧致辐射初级X射线，经地面180°方向散射后的次级X射线，通过主机室地板孔洞直接照射入主机室形成的**散射辐射场**。

#### ①1#（3#）电子加速器主机室屏蔽计算

##### A、1#（3#）电子加速器辐照室X射线源对主机室的贯穿辐射影响

辐照室内与入射电子束呈165°到180°方向的韧致辐射初级X射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的贯穿辐射对主机室周围产生的辐射影响依然采用公式11-1~11-4进行理论估算，1#（3#）电子加速器辐照室X射线源对主机室的贯穿辐射影响计算结果见表11-3。

表11-3 1#（3#）电子加速器辐照室X射线源对主机室周围的辐射影响核算一览表

参数	东墙	南墙	西墙	北墙	顶部	顶部盖板
S (cm)	110 砵+70 砵	110 砵+70 砵	110 砵+70 砵	110 砵+30 砵 +70 砵	110 砵+50 砵	110 砵+40 砵
等效屏蔽厚度 (cm)	254.6 砵	254.6 砵	254.6 砵	297 砵	160 砵	150 砵
T <sub>1</sub> (cm)	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
T <sub>e</sub> (cm)	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
B <sub>x</sub>	$1.52 \times 10^{-13}$	$1.52 \times 10^{-13}$	$1.52 \times 10^{-13}$	$1.07 \times 10^{-15}$	$9.66 \times 10^{-9}$	$3.11 \times 10^{-8}$
D <sub>10</sub> (Gy·h <sup>-1</sup> )	2880	2880	2880	2880	2880	2880
T	1	1	1	1	1	1
d (m)	5.67	5.11	4.83	8.79	10.7	11.6
H (μSv/h)	$1.37 \times 10^{-5}$	$1.68 \times 10^{-5}$	$1.88 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-8}$	<b>0.243</b>	<b>0.665</b>

注：①主机室墙体的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶和主机室墙内约45°斜穿估算；

②主机室顶的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶和主机室顶内180°穿墙估算；

③R<sub>东墙</sub>=辐照点到东墙外表面距离  $3.8\text{m}/\cos 45^\circ$  +参考点0.3m=5.67m；

R<sub>南墙</sub>=辐照点到南墙外表面距离  $3.4\text{m}/\cos 45^\circ$  +参考点0.3m=5.11m；

R<sub>西墙</sub>=辐照点到西墙外表面距离  $3.2\text{m}/\cos 45^\circ$  +参考点0.3m=4.83m；

R<sub>北墙</sub>=辐照点到北墙外表面距离  $6\text{m}/\cos 45^\circ$  +参考点0.3m=8.79m；

R<sub>顶</sub>=辐照室净高3.5m-辐照点高度1.3m+辐照室顶1.1m+主机室净高6.6m+主机室顶0.5m+参考点0.3m=10.7m；

R<sub>顶部盖板</sub>=辐照室净高3.5m-辐照点高度1.3m+辐照室顶1.1m+主机室盖板处净高7.6m+顶部盖板厚0.4m+参考点0.3m=11.6m。

### B、1#（3#）电子加速器主机室束流损失辐射影响

本项目 DD3.0-30/1600 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 0.3mA），束流损失点的能量为最大能量的 10%（即 0.3MeV）；根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3 可查得，0.3MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90°的 X 射线发射率为  $0.015\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；被辐照的靶材料为不锈钢时，90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室  $D_{10}$  为  $0.135\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

参考《辐射防护导论》（方杰编）图 3.25，保守取 0.3MeV 入射电子能量 90°方向上等效入射电子能量约为 0.25MeV；根据图 3.22 可查得，入射电子能量为 0.25MeV，砼的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=13\text{cm}$ 、 $T_e=9\text{cm}$ 。

将相关参数带入公式 11-1~11-4，1#（3#）电子加速器主机室束流损失辐射影响核算结果见表 11-4。

表 11-4 1#（3#）电子加速器主机室束流损失辐射影响核算一览表

参数	东墙	南墙	西墙	北墙	顶部	顶部盖板
S (cm)	70 砵	70 砵	70 砵	30 砵+70 砵	50 砵	40 砵
$T_1$ (cm)	13	13	13	13	13	13
$T_e$ (cm)	9	9	9	9	9	9
$B_x$	$4.64\times 10^{-8}$	$4.64\times 10^{-8}$	$4.64\times 10^{-8}$	$2.15\times 10^{-11}$	$7.74\times 10^{-6}$	$1\times 10^{-4}$
$D_{10}$ ( $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ )	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135
T	1	1	1	1	1	1
d (m)	4.1	3.7	3.5	6.3	6.9	7.8
<b>H (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>	<b><math>3.73\times 10^{-4}</math></b>	<b><math>4.58\times 10^{-4}</math></b>	<b><math>5.12\times 10^{-4}</math></b>	<b><math>7.33\times 10^{-8}</math></b>	<b>0.022</b>	<b>0.222</b>

注：R<sub>东墙</sub>=辐照点到东墙距离 3.1m+东墙 0.7m+参考点 0.3m=4.1m；

R<sub>南墙</sub>=辐照点到南墙距离 2.7m+东墙 0.7m+参考点 0.3m=3.7m；

R<sub>西墙</sub>=辐照点到西墙距离 2.5m+西墙 0.7m+参考点 0.3m=3.5m；

R<sub>北墙</sub>=辐照点到迷道内墙距离 4.1m+迷道内墙 0.3m+迷道 0.9m+迷道外墙 0.7m+参考点 0.3m=6.3m；

R<sub>顶</sub>=主机室净高 6.6m-束流损失点 0.5m+主机室顶 0.5m+参考点 0.3m=6.9m；

R<sub>顶部盖板</sub>=主机室盖板处净高 7.6m-束流损失点 0.5m+顶部盖板厚 0.4m+参考点 0.3m=7.8m。

### C、1#（3#）电子加速器辐照室 X 射线源对主机室的散射辐射影响

本项目辐照室内 0°方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面 180°方向散射后的次级 X 射线，通过主机室地板孔洞直接照射到加速器钢筒底部，由于主机室地板孔洞尺寸要小于加速器筒体直径，将受到加速器钢筒屏蔽后，再通过主机室顶部盖板屏蔽后，对机房顶部产生辐射影响。

沿与电子束入射方向呈 180°方向的次级 X 射线能量较低, 根据《辐射防护导论》(方杰编, P188), 入射 X 射线若由能量为 0.5~3MeV 电子产生的, 180°反射时, 用 0.25MeV 的透射比曲线。根据《辐射防护导论》图 3.22 和图 3.23 可查得, 入射电子能量为 0.25MeV 时, 砼的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=13\text{cm}$ 、 $T_e=9\text{cm}$ , 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2.1\text{cm}$ 、 $T_e=1.9\text{cm}$ , 则加速器钢筒(壁厚约 10cm)和顶部盖板(厚度 40cm)的透射比  $B_x$  为  $3.79 \times 10^{-15}$ , 将其带入公式 11-1 可计算得 1#(3#) 电子加速器辐照室 X 射线源对主机室的散射辐射剂量率最大为  $8.11 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$  ( $D_{10}$  保守取 90° 方向上的值  $2880\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $T$  取 1,  $d$  保守取 11.6m)。由此可知, 沿与电子束入射方向呈 180°方向的次级 X 射线能量较低, 其对主机室外的辐射环境影响很小。

### ②2#(4#) 电子加速器主机室屏蔽计算

#### A、2#(4#) 电子加速器辐照室 X 射线源对主机室的贯穿辐射影响

2#(4#) 电子加速器辐照室 X 射线源对主机室的贯穿辐射影响计算结果见表 11-5。

表 11-5 2#(4#) 电子加速器辐照室 X 射线源对主机室周围的辐射影响核算一览表

参数	东墙	南墙	西墙	北墙	顶部	顶部盖板
S (cm)	90 砼+60 砼	90 砼+30 砼+60 砼	90 砼+60 砼	90 砼+60 砼	90 砼+50 砼	90 砼+40 砼
等效屏蔽厚度 (cm)	212.1 砼	254.6 砼	212.1 砼	212.1 砼	140 砼	130 砼
$T_1$ (cm)	19.64	19.64	19.64	19.64	19.64	19.64
$T_e$ (cm)	16.98	16.98	16.98	16.98	16.98	16.98
$B_x$	$4.63 \times 10^{-13}$	$1.45 \times 10^{-15}$	$4.63 \times 10^{-13}$	$4.63 \times 10^{-13}$	$8.16 \times 10^{-9}$	$3.17 \times 10^{-8}$
$D_{10}$ ( $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ )	2400	2400	2400	2400	2400	2400
T	1	1	1	1	1	1
d (m)	5.67	7.09	4.83	4.4	9.2	10.1
<b>H (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>	<b><math>3.46 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>6.94 \times 10^{-8}</math></b>	<b><math>4.76 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>5.74 \times 10^{-5}</math></b>	<b>0.231</b>	<b>0.745</b>

注: ①主机室墙体的有效屏蔽厚度保守按轭致辐射在辐照室顶和主机室墙内约 45°斜穿估算;

②主机室顶的有效屏蔽厚度保守按轭致辐射在辐照室顶和主机室顶内 180°穿墙估算;

③ $R_{\text{东墙}} = \text{辐照点到东墙外表面距离 } 3.8\text{m}/\cos 45^\circ + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 5.67\text{m};$

$R_{\text{南墙}} = \text{辐照点到迷道外墙外表面距离 } 4.8\text{m}/\cos 45^\circ + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 7.09\text{m};$

$R_{\text{西墙}} = \text{辐照点到西墙外表面距离 } 3.2\text{m}/\cos 45^\circ + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 4.83\text{m};$

$R_{\text{北墙}} = \text{辐照点到北墙外表面距离 } 2.9\text{m}/\cos 45^\circ + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 4.4\text{m};$

$R_{\text{顶}} = \text{辐照室净高 } 3.4\text{m} - \text{辐照点高度 } 1.3\text{m} + \text{辐照室顶 } 0.9\text{m} + \text{主机室净高 } 5.4\text{m} + \text{主机室顶 } 0.5\text{m} + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 9.2\text{m};$

$R_{\text{顶部盖板}} = \text{辐照室净高 } 3.4\text{m} - \text{辐照点高度 } 1.3\text{m} + \text{辐照室顶 } 0.9\text{m} + \text{主机室盖板处净高 } 6.4\text{m} + \text{顶部盖板厚 } 0.4\text{m} + \text{参考点 } 0.3\text{m} = 10.1\text{m}。$

### B、2#（4#）电子加速器主机室束流损失辐射影响

不同类型的电子加速器在加速过程中的束流损失有很大差异，根据本项目电子加速器生产厂家提供的资料，本项目 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最大能量的 10%（即 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  $0.005\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；被辐照的靶材料为不锈钢时，90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室  $D_{10}$  为  $0.075\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

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 3.22 可查得，入射电子能量为 0.18MeV，砼的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=11\text{cm}$ 、 $T_e=8\text{cm}$ 。

将相关参数带入公式 11-1~11-4，2#（4#）电子加速器主机室束流损失辐射影响核算结果见表 11-6。

表 11-6 2#（4#）电子加速器主机室束流损失辐射影响核算一览表

参数	东墙	南墙	西墙	北墙	顶部	顶部盖板
S (cm)	60 砼	30 砼+60 砼	60 砼	60 砼	50 砼	40 砼
$T_1$ (cm)	11	11	11	11	11	11
$T_e$ (cm)	8	8	8	8	8	8
$B_x$	$7.5 \times 10^{-8}$	$1.33 \times 10^{-11}$	$7.5 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-8}$	$1.33 \times 10^{-6}$	$2.37 \times 10^{-5}$
$D_{10}$ ( $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ )	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
T	1	1	1	1	1	1
d (m)	4.1	5.1	3.5	3.2	5.7	6.6
<b>H (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>	<b><math>3.35 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>3.85 \times 10^{-8}</math></b>	<b><math>4.59 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>5.49 \times 10^{-4}</math></b>	<b>0.003</b>	<b>0.041</b>

注：R<sub>东墙</sub>=辐照点到东墙距离 3.2m+东墙 0.6m+参考点 0.3m=4.1m；

R<sub>南墙</sub>=辐照点到迷道内墙距离 3m+迷道内墙 0.3m+迷道 0.9m+迷道外墙 0.6m+参考点 0.3m=5.1m；

R<sub>西墙</sub>=辐照点到西墙距离 2.6m+西墙 0.6m+参考点 0.3m=3.5m；

R<sub>北墙</sub>=辐照点到北墙距离 2.3m+北墙 0.6m+参考点 0.3m=3.2m；

R<sub>顶</sub>=主机室净高 5.4m-束流损失点 0.5m+主机室顶 0.5m+参考点 0.3m=5.7m；

R<sub>顶部盖板</sub>=主机室盖板处净高 6.4m-束流损失点 0.5m+顶部盖板厚 0.4m+参考点 0.3m=6.6m。

### C、2#（4#）电子加速器辐照室 X 射线源对主机室的散射辐射影响

本项目 2#（4#）电子加速器辐照室 X 射线源对主机室的散射辐射影响计算方法同 1#（3#）电子加速器。根据公式 11-1 可计算得 2#（4#）电子加速器辐照室 X 射线源对主

机室的散射辐射剂量率最大为  $8.92 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$  ( $B_x$  保守取  $3.79 \times 10^{-15}$ ,  $D_{10}$  保守取  $90^\circ$  方向上的值  $2400 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $T$  取 1,  $d$  保守取  $10.1 \text{m}$ )。

## 2、电子加速器机房迷道和防护门辐射影响分析

### (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):

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

式中:  $D_{10}$  同上;

$H_{1,rj}$ —迷道外入口处辐射剂量率, Sv/h;

$\alpha_1$ —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;

$\alpha_2$ —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,  $\text{m}^2$ ;

$A_2$ —迷道的截面积,  $\text{m}^2$ ;

$d_1$ —X 射线源与第一散射物质的距离, m;

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

### (2) 计算结果

#### ①1# (3#)、2# (4#) 电子加速器辐照室迷道和防护门辐射影响计算结果

本项目 X 射线在 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器机房的散射路线见图 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入口处, 本项目 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器辐照室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 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器辐照室入口处辐射剂量率计算结果一览表

参数	1# (3#) 电子加速器辐照室	2# (4#) 电子加速器辐照室
$D_{10}$ ( $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ )	2880	2400
$\alpha_1$	0.005	0.008
$\alpha_2$ ( $\alpha_3, \alpha_4$ )	0.02	0.02
$A_1$ ( $\text{m}^2$ )	39.9	23.4
$A_2$ ( $\text{m}^2$ )	4.2	3.4
$A_3$ ( $\text{m}^2$ )	5.16	4.3
$A_4$ ( $\text{m}^2$ )	8.6	8.6
$d_1$ (m)	3.8	4.2

$d_{r1}$ (m)	6.1	5.8
$d_{r2}$ (m)	10.1	10.5
$d_{r3}$ (m)	3.9	3.7
$d_{r4}$ (m)	1.5	1.5
$H_{1,rj}$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	<b>0.457</b>	<b>0.224</b>

根据表 11-7 可知, X 射线经迷道散射后, 所致 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器辐照室入口处的辐射剂量率分别为  $0.457\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  和  $0.224\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

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  $T_1=3.8\text{cm}$ 、 $T_e=3.3\text{cm}$ , 可估算出 20mm 钢门的透射比为 0.351, 则经迷道散射后的 X 射线再经 20mm 钢门屏蔽后, 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器辐照室入口防护门处的辐射剂量率分别为  $0.16\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  和  $0.079\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ , 小于标准中的  $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ , 故本项目电子加速器辐照室入口处采用 20mm 钢门可满足辐射防护要求。

#### ②1# (3#)、2# (4#) 电子加速器主机室迷道和防护门辐射影响计算结果

由图 11-1 可知, X 射线源经 1 次散射即可到达主机室入口处, 本项目 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器主机室入口处辐射剂量率的计算参数及计算结果见表 11-8。

表 11-8 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器主机室入口处辐射剂量率计算结果一览表

参数	1# (3#) 电子加速器主机室	2# (4#) 电子加速器主机室
$D_{10}$ ( $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ )	0.135	0.075
$\alpha_1$	0.03	0.04
$A_1$ ( $\text{m}^2$ )	7.34	5.98
$d_1$ (m)	4.85	3.75
$d_{r1}$ (m)	5.7	5.8
$H_{1,rj}$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	<b>38.9</b>	<b>37.9</b>

根据表 11-8 可知, X 射线经迷道散射后, 所致 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器主机室入口处的辐射剂量率分别为  $38.9\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  和  $37.9\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

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, 铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=0.5\text{cm}$ 、 $T_e=1.2\text{cm}$ , 可估算出 10mm 铅门的透射比为 0.038, 则经迷道散射后的 X 射线再经 10mm 铅门屏蔽后, 1# (3#) 和 2# (4#) 电子加速器主机室入口防护门处的辐射剂量率分别为  $1.47\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  和  $1.44\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ,

小于标准中的  $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，故本项目电子加速器主机室入口处采用 10mm 铅门可满足辐射防护要求。

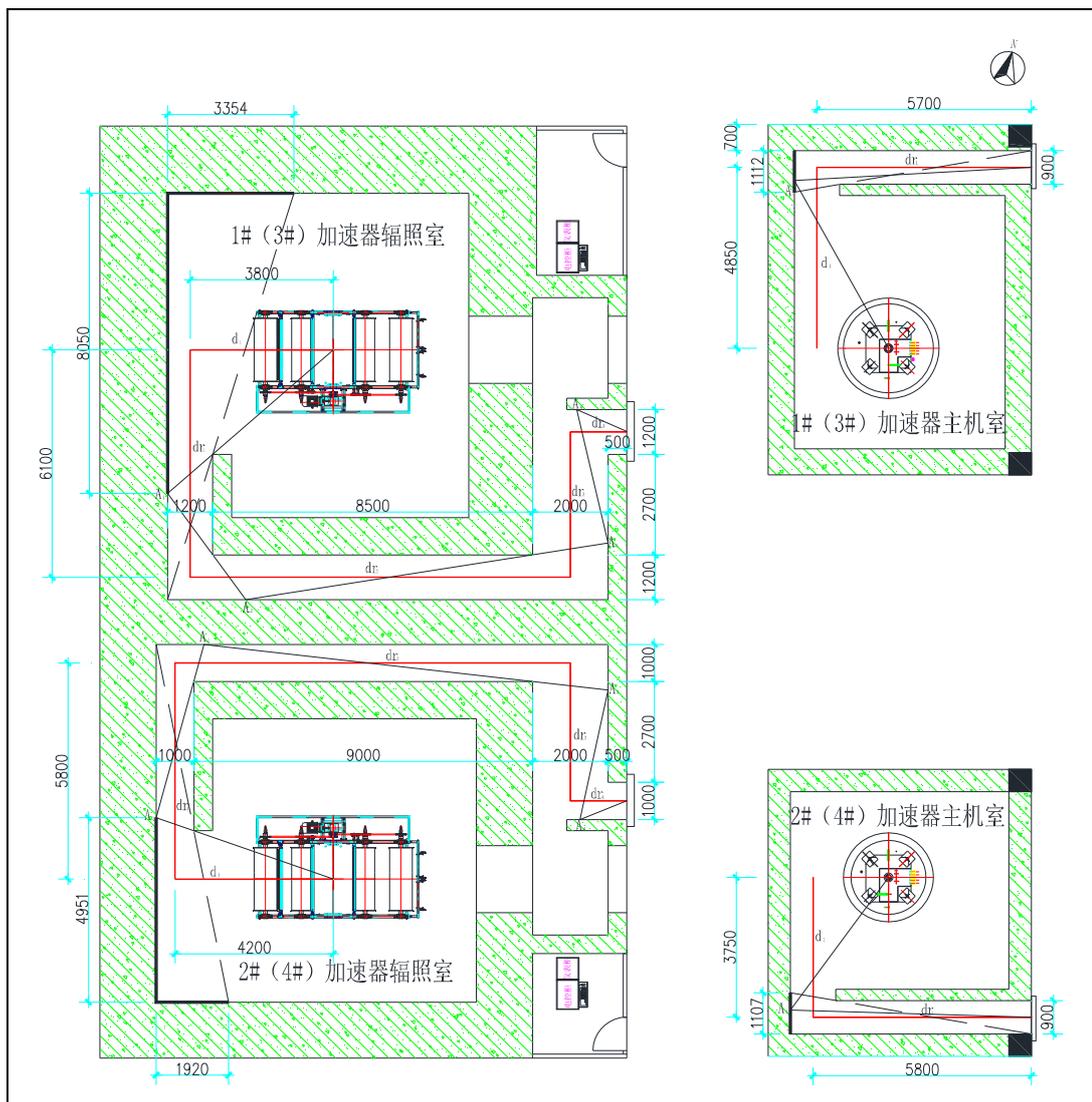


图 11-1 X 射线在电子加速器机房内的散射路线示意图（单位：mm）

### 3、小结

根据上述计算结果，本项目电子加速器对机房周围辐射影响汇总见表 11-9。

表 11-9 本项目电子加速器对机房周围辐射影响汇总一览表（单位： $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）

场所		1# (3#) 电子加速器机房	2# (4#) 电子加速器机房
辐照室	东墙	0.083	0.161
	南墙	$3.72 \times 10^{-4}$	0.194
	西墙	0.064	0.119
	北墙	0.068	$6.26 \times 10^{-6}$
	防护门	0.16	0.079

主机室	东墙	$3.87 \times 10^{-4}$	$3.7 \times 10^{-4}$
	南墙	$4.75 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-8}$
	西墙	$5.31 \times 10^{-4}$	$5.07 \times 10^{-4}$
	北墙	$1.13 \times 10^{-7}$	$6.06 \times 10^{-4}$
	顶部	0.265	0.234
	顶部盖板	0.887	0.786
	防护门	1.47	1.44

根据表 11-9，本项目 1#（3#）电子加速器机房外参考点处辐射剂量率最大为  $1.47 \mu\text{Sv/h}$ ，2#（4#）电子加速器机房外参考点处辐射剂量率最大为  $1.44 \mu\text{Sv/h}$ ，均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  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

#### 4、叠加辐射影响分析

本项目 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房相邻而建，3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房相邻而建，当相邻机房的 2 台电子加速器同时工作时，会对电子加速器机房东侧和西侧产生叠加辐射影响，叠加辐射影响计算结果见表 11-10。

表 11-10 本项目 2 台电子加速器叠加辐射影响计算结果

	1#（3#）电子加速器所致机房 辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	2#（4#）电子加速器所致机房 辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	叠加辐射剂量率 （ $\mu\text{Sv/h}$ ）
东侧	0.083	0.161	0.244
西侧	0.064	0.119	0.183

根据表 11-10，当相邻机房的 2 台电子加速器同时运行时，所致电子加速器机房周围叠加辐射剂量率最大为  $0.244 \mu\text{Sv/h}$ ，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  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

#### 5、天空反散射辐射影响

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。对于天空反散射，要综合考虑辐照室和主机室辐射对参考点的剂量贡献。计算时，发射率常数保守取  $90^\circ$  方向的发射率常数。

### (1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(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):

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

式中:  $D_{10}$  意义同上。

$B_{xs}$ ——X 射线屋顶的屏蔽透射比;

$\Omega$ ——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)。

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

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

式中:

a——屋顶长度之半 (m);

b——屋顶宽度之半 (m);

c——源到屋顶表面中心的距离 (m);

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

### (2) 计算结果

#### ①1# (3#) 电子加速器机房天空反散射辐射影响

**辐照室辐射源:**  $D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上, 即  $D_{10}$  为  $2880 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ , 砼的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=21.8 \text{cm}$ 、 $T_e=19.7 \text{cm}$ 。辐照室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离  $c$  为  $10.4 \text{m}$ , 屋顶长度之半  $a$  为  $4.35 \text{m}$ 、宽度之半  $b$  为  $4 \text{m}$ , 根据公式 11-7 可计算得出  $\Omega=0.56 \text{Sr}$ 。

**主机室辐射源:**  $D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上, 即  $D_{10}$  为  $0.135 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ , 砼的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=13 \text{cm}$ 、 $T_e=9 \text{cm}$ 。主机室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离  $c$  为  $7.1 \text{m}$ , 屋顶长度之半  $a$  为  $3.4 \text{m}$ 、宽度之半  $b$  为  $2.8 \text{m}$ , 根据公式 11-7 可计算得出  $\Omega=0.64 \text{Sr}$ 。

X 射线源至 1# (3#) 电子加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧公众所能到达区域 P 点的距离  $d_s$  保守取 X 射线源至 1# (3#) 电子加速器辐照室四周墙表面  $30 \text{cm}$  处的距离, 取值分别为  $8.1 \text{m}$ 、 $8.2 \text{m}$ 、 $6.5 \text{m}$ 、 $6.3 \text{m}$ , 根据公式 11-6, 可估算出 1# (3#) 电子加速器机房天空反散射对机房周围的辐射影响, 核算结果见表 11-11。

表 11-11 1# (3#) 电子加速器机房天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数		东侧	南侧	西侧	北侧
辐照室 天空反 散射辐 射影响	S (cm)	110 砙+50 砙			
	$B_{xs}$	$9.66 \times 10^{-9}$	$9.66 \times 10^{-9}$	$9.66 \times 10^{-9}$	$9.66 \times 10^{-9}$
	$D_{10}$ ( $Gy \cdot h^{-1}$ )	2880	2880	2880	2880
	$\Omega$ (Sr)	0.56	0.56	0.56	0.56
	$d_i$ (m)	12.4	12.4	12.4	12.4
	$d_s$ (m)	8.1	8.2	6.5	6.3
	H ( $\mu Sv/h$ )	$3.24 \times 10^{-5}$	$3.16 \times 10^{-5}$	$5.04 \times 10^{-5}$	$5.36 \times 10^{-5}$
主机室 天空反 散射辐 射影响	S (cm)	50 砙			
	$B_{xs}$	$7.74 \times 10^{-6}$	$7.74 \times 10^{-6}$	$7.74 \times 10^{-6}$	$7.74 \times 10^{-6}$
	$D_{10}$ ( $Gy \cdot h^{-1}$ )	0.135	0.135	0.135	0.135
	$\Omega$ (Sr)	0.64	0.64	0.64	0.64
	$d_i$ (m)	9.1	9.1	9.1	9.1
	$d_s$ (m)	8.1	8.2	6.5	6.3
	H ( $\mu Sv/h$ )	$2.69 \times 10^{-6}$	$2.63 \times 10^{-6}$	$4.18 \times 10^{-6}$	$4.45 \times 10^{-6}$
参考点处复合辐射剂量率 $\dot{H}(\mu Sv/h)$	$3.51 \times 10^{-5}$	$3.42 \times 10^{-5}$	$5.46 \times 10^{-5}$	$5.81 \times 10^{-5}$	

同理，可估算出 1# (3#) 电子加速器机房屋顶盖板处天空反散射对机房东侧、南侧、西侧、北侧公众所能到达区域 P 点处的辐射影响分别为  $1.18 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 、 $1.15 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 、 $1.82 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 、 $1.94 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 。

#### ②2# (4#) 电子加速器机房天空反散射辐射影响

**辐照室辐射源：** $D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上，即  $D_{10}$  为  $2400 Gy \cdot h^{-1}$ ，砙的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=19.64cm$ 、 $T_e=16.98cm$ 。辐照室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离  $c$  为  $8.9m$ ，屋顶长度之半  $a$  为  $4.25m$ 、宽度之半  $b$  为  $3.8m$ ，根据公式 11-7 可计算得出  $\Omega=0.27Sr$ 。

**主机室辐射源：** $D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上，即  $D_{10}$  为  $0.075 Gy \cdot h^{-1}$ ，砙的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=11cm$ 、 $T_e=8cm$ 。主机室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离  $c$  为  $5.9m$ ，屋顶长度之半  $a$  为  $2.9m$ 、宽度之半  $b$  为  $2.65m$ ，根据公式 11-7 可计算得出  $\Omega=0.73Sr$ 。

X 射线源至 2# (4#) 电子加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧公众所能到达区域 P 点的距离  $d_s$  保守取 X 射线源至 2# (4#) 电子加速器辐照室四周墙表面  $30cm$  处的距离，

取值分别为 8.1m、5.1m、6.5m、7.8m，，根据公式 11-6，可估算出 2#（4#）电子加速器机房天空反散射对机房周围的辐射影响，核算结果见表 11-12。

表 11-12 2#（4#）电子加速器机房天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数		东侧	南侧	西侧	北侧
辐照室 天空反 散射辐 射影响	S (cm)	90 砵+50 砵			
	$B_{xs}$	$8.16 \times 10^{-9}$	$8.16 \times 10^{-9}$	$8.16 \times 10^{-9}$	$8.16 \times 10^{-9}$
	$D_{10}$ ( $Gy \cdot h^{-1}$ )	2400	2400	2400	2400
	$\Omega$ (Sr)	0.27	0.27	0.27	0.27
	$d_i$ (m)	10.9	10.9	10.9	10.9
	$d_s$ (m)	8.1	5.1	6.5	7.8
	$H$ ( $\mu Sv/h$ )	$1.15 \times 10^{-5}$	$2.89 \times 10^{-5}$	$1.78 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-5}$
主机室 天空反 散射辐 射影响	S (cm)	50 砵			
	$B_{xs}$	$1.33 \times 10^{-6}$	$1.33 \times 10^{-6}$	$1.33 \times 10^{-6}$	$1.33 \times 10^{-6}$
	$D_{10}$ ( $Gy \cdot h^{-1}$ )	0.075	0.075	0.075	0.075
	$\Omega$ (Sr)	0.73	0.73	0.73	0.73
	$d_i$ (m)	7.9	7.9	7.9	7.9
	$d_s$ (m)	8.1	5.1	6.5	7.8
	$H$ ( $\mu Sv/h$ )	$4.06 \times 10^{-7}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$6.3 \times 10^{-7}$	$4.37 \times 10^{-7}$
参考点处复合辐射剂量率 $\dot{H}(\mu Sv/h)$	$1.19 \times 10^{-5}$	$2.99 \times 10^{-5}$	$1.84 \times 10^{-5}$	$1.28 \times 10^{-5}$	

同理，可估算出 2#（4#）电子加速器机房屋顶盖板处天空反散射对机房东侧、南侧、西侧、北侧公众所能到达区域 P 点处的辐射影响分别为  $8.63 \times 10^{-6} \mu Sv/h$ 、 $2.18 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 、 $1.34 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 、 $9.3 \times 10^{-6} \mu Sv/h$ 。

综上所述，本项目 1#（3#）、2#（4#）电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射所致机房周围辐射剂量率最大分别为  $5.81 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 、 $2.99 \times 10^{-5} \mu Sv/h$ 。由此可知，本项目电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射对机房周围的辐射环境影响很小。

## 6、X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

根据现场调查，本项目电子加速器机房高度约为 12.6m，周围临近无高层建筑，

无需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对周围环境的辐射影响。

## 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 11-8 计算。

$$E=\dot{H}\cdot U\cdot T\cdot t \quad \dots\dots \text{(公式 11-8)}$$

式中， $\dot{H}$ ——参考点处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

本项目每间电子加速器机房安排 4 名辐射工作人员负责加速器的辐射工作，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，本项目电子加速器运行后，1#、3#电子加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.166mSv（取 1#（3#）加速器控制室内辐射剂量率 0.083 $\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取 1，工作时间保守取 2000），2#、4#电子加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.322mSv（取 2#（4#）加速器控制室内辐射剂量率 0.161 $\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取 1，工作时间保守取 2000），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

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系，可估算出电子加速器机房东侧收放卷系统和电线电缆存放区处的辐射剂量率分别为 0.01 $\mu\text{Sv/h}$ 、 $3\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ （参考点选取 1#（3#）、2#（4#）电子加速器机房东墙表面叠加辐射剂量率 0.244 $\mu\text{Sv/h}$ 、距离分别取 5m、30m）；电子加速器机房南侧厂区道路和盐沈线道路处的辐射剂量率分别为 0.004 $\mu\text{Sv/h}$ 、 $6\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ （参考点选取 4#电子加速器机房南墙表面辐射剂量率 0.194 $\mu\text{Sv/h}$ 、距离分别取 7m、18m）；电子加速器机房西侧预留空地和海盐万达汽车配件股份有限公司厂房处的辐射剂量率分别为 0.183 $\mu\text{Sv/h}$ 、0.002 $\mu\text{Sv/h}$ （参考点选取 1#（3#）、2#（4#）电子加速器机房西墙表面叠加辐射剂量率 0.183 $\mu\text{Sv/h}$ 、距离分别取 1m、9m）；电子加速器机房北侧厂区道路和 1#车间处的辐射剂量率分别为 0.017 $\mu\text{Sv/h}$ 、 $4\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ （参考点选取 1#电子加速器机房北墙表面辐射剂量率 0.068 $\mu\text{Sv/h}$ 、距离分别取 2m、13m）。将相关参数带入公式 11-8，可估算出本项目周围公众的年受照剂量，估算结果见表 11-13。

表 11-13 本项目周围公众受照剂量计算结果一览表

方位	关注对象	辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	使用 因子	居留 因子	年照射时间 (h)	年受照剂 量 (mSv)
电子加速器 机房东侧	辐照厂房收放卷系 统区处工作人员	0.01	1	保守取 1	4000 (每间电子 加速器机房 2 班人员, 每班 每天工作 8h)	0.04
	辐照厂房电线电缆 存放区处工作人员	$3 \times 10^{-4}$	1	1/16		$7.5 \times 10^{-5}$
电子加速器 机房南侧	嘉兴创奇电缆有限 公司厂区道路处 厂区工作人员	0.004	1	1/16		0.001
	盐沈线道路处行人	$6 \times 10^{-4}$	1	1/16		$1.5 \times 10^{-4}$
电子加速器 机房西侧	嘉兴创奇电缆有限 公司预留空地 厂区工作人员	0.183	1	1/16		0.046
	海盐万达汽车配件 股份有限公司厂房 处工作人员	0.002	1	保守取 1		0.008
电子加速器 机房北侧	嘉兴创奇电缆有限 公司厂区道路处 厂区工作人员	0.017	1	1/16		$4.3 \times 10^{-3}$
	嘉兴创奇电缆有限 公司 1#车间处 工作人员	$4 \times 10^{-4}$	1	保守取 1		$1.6 \times 10^{-3}$

根据表 11-13 估算结果可知, 本项目周围公众年有效剂量最大约为 0.046mSv, 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、臭氧的排放评价

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。电子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

本项目电子加速器机房均拟设置埋地排风管道，管道埋地深为 800mm，吸风口位于加速器辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道从加速器辐照室地下穿过，从每组加速器机房的北墙外穿出，在公司辐照厂房屋顶排放。排风管道避开主射线方向，并采用埋地设计，排风管道未破坏电子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）电子加速器机房内臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

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

式中：

P——单位时间电子束产生臭氧的质量（mg/h）；

I——电子束流强度（mA）；

d——电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领  $s=2.5keV/cm$  和辐照室尺寸选取，本项目加速器扫描盒出口距辐照室地面约为 130cm，d 保守取 130cm；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，本项目保守取 10。

本项目电子加速器机房臭氧产生率计算参数及计算结果见表 11-14。

表 11-14 臭氧产生率计算参数和计算结果

参数	1#（3#）电子加速器机房	2#（4#）电子加速器机房
d（cm）	130	130
G	10	10
I（mA）	30	50
<b>P（mg/h）</b>	<b><math>1.76 \times 10^6</math></b>	<b><math>2.93 \times 10^6</math></b>

由表 11-14 可知，本项目 1#（3#）电子加速器机房臭氧的产生率为  $1.76 \times 10^6 mg/h$ ，2#（4#）电子加速器机房臭氧的产生率为  $2.93 \times 10^6 mg/h$ 。

### （2）电子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，电子加速器机房内臭氧平衡浓度为：

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

式中：P 意义同上。

$C_s$ ——加速器机房内臭氧平衡浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )；

V——辐照室的体积 ( $\text{m}^3$ )；

$T_e$ ——对臭氧的有效清除时间 (h)

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

$T_v$ ——辐照室换气一次所需时间 (h)，本项目电子加速器机房排风系统的排风速率设计值均不低于  $18000\text{m}^3/\text{h}$ ，1# (3#) 加速器辐照室体积约为  $365\text{m}^3$ ，2# (4#) 加速器辐照室体积约为  $328\text{m}^3$ ，则 1# (3#) 加速器辐照室换气一次所需时间  $T_v$  为 0.02h，2# (4#) 加速器辐照室换气一次所需时间  $T_v$  为 0.018h；

$T_d$ ——臭氧的有效化学分解时间 (h)，约为 50min。

本项目电子加速器机房内臭氧平衡浓度计算参数及计算结果见表 11-15。

表 11-15 臭氧浓度计算参数和计算结果

参数	1# (3#) 电子加速器机房	2# (4#) 电子加速器机房
$t_v$ (h)	0.02	0.018
$t_d$ (h)	0.833	0.833
$T_e$ (h)	$1.95 \times 10^{-2}$	$1.76 \times 10^{-2}$
P ( $\text{mg}/\text{h}$ )	$1.76 \times 10^6$	$2.93 \times 10^6$
V ( $\text{m}^3$ )	365	328
$C_s$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	<b>93.9</b>	<b>157.1</b>

### (3) 臭氧的排放

加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，通常情况下，该浓度大大高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度 ( $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ )。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

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

式中： $C_s$ 、 $T_e$  意义同上。

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

T——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

将相关参数带入公式 11-12，可估算出电子加速器关闭后，为满足工作场所内臭氧浓度低于最高容许浓度，风机需持续运行的时间，计算结果见表 11-16。

表 11-16 风机需持续运行时间

参数	1# (3#) 电子加速器机房	2# (4#) 电子加速器机房
$C_s$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	93.9	157.1
$T_e$ (h)	$1.95 \times 10^{-2}$	$1.76 \times 10^{-2}$
<b>T (h)</b>	<b>0.112</b>	<b>0.11</b>

根据表 11-16 可知，本项目加速器停止工作后，辐照室内排风系统以排风速率不低于  $18000\text{m}^3/\text{h}$  继续工作，1# (3#) 电子加速器机房通过约 0.112h (即 6.72min)，2# (4#) 电子加速器机房通过约 0.11h (即 6.6min) 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 ( $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ )，此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目电子加速器辐照室均拟设置通风联锁装置，机房内排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 **7min**。

本项目电子加速器机房拟配备的排臭氧风机排风速率设计值不低于  $18000\text{m}^3/\text{h}$ ，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。

#### 四、电缆管线评价

本项目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，电线电缆输送孔道的布置见图 11-2。输送孔道开口高度约 10cm，在东侧内墙采用  $30^\circ$  斜穿墙设计，出口距地面约 30cm，在东侧外墙采用直穿墙设计，孔道距地面约 130cm，整个输送孔道呈“U”型设计。同时，输送孔道避开主射线方向，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。

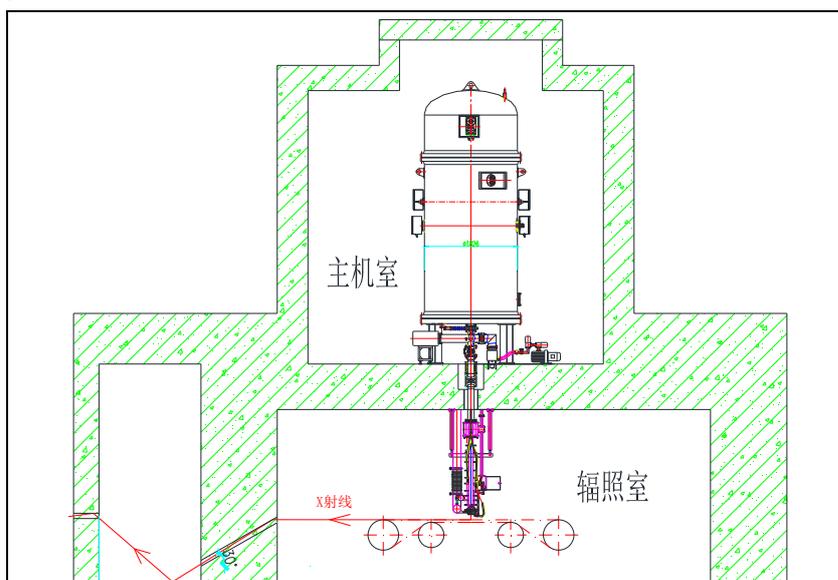


图 11-2 X 射线在加速器辐照室电缆管线输送孔道的散射示意图

## 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，嘉兴恒创辐照科技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，定期监测电子加速器机房周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。

当发生辐射事故时，该单位应当立即向当地 110 社会应急联动中心报告，并按本单位辐射事故应急预案启动相应级别的应急响应，采取必要的先期处置措施。

**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》、《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》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；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

嘉兴恒创辐照科技有限公司拟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辐射安全管理机构和各成员的管理职责。其中，辐射安全管理机构的职责应包括：

- (1)全面负责公司辐射安全管理工作；
- (2)认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合公司实际情况制定安全规章制度并检查监督实施；
- (3)负责辐射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；
- (4)检查安全环保设施，开展环保监测，对本项目安全防护情况进行年度评估；
- (5)实施辐射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；
- (6)编制辐射事故应急预案，并妥善处理有可能发生的辐射事故；
- (7)定期向生态环境部门报告安全工作，接受生态环境部门的监督和检查。

本项目辐射工作人员均为新招聘人员，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.mec.gov.cn>）进行报名，自主学习并参加考核，通过考核后上岗，方能满足辐射工作人员岗位要求。

**辐射安全管理规章制度**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、台账管理制度等，并有完善的辐射事故应急措施。

嘉兴恒创辐照科技有限公司应根据相关要求，制定相关的辐射防护管理规章制度，

在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对公司应制定的各项制度提出以下要求和建议：

**操作规程：**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，重点是明确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，并明确电子加速器停机 7 分钟后方可进入辐照室。

**岗位职责：**明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位职责，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：**根据企业的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对电子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：**明确加速器和辐照室、主机室的各项安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

**人员培训计划：**明确培训对象、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。

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

**辐射环境监测方案：**购置环境辐射巡测仪等设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置的单位应当对本单位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日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

**台账管理制度：**建立健全的台账制度，并在日常工作中落实到位，对公司使用的射线装置的型号、规格、数量及购置日期等均需记录在台账上，禁止射线装置外借。

**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事故应急措施，依据《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号文）的要求，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。当发生辐射事故时，该单位应当立即向当地 110 社会应急联动中心报告，并按本单位辐射事故应急预案启动相应级别的应急响应，采取必要的先期处置措施。

## 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。

公司应为本项目配备 1 台辐射巡测仪和 8 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。

嘉兴恒创辐照科技有限公司应根据相关规定为每名辐射工作人员配备个人剂量计，对所有辐射工作人员进行个人剂量监测，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并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。

### 2、监测方案

嘉兴恒创辐照科技有限公司应根据管理要求，制定如下监测方案：

(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（不少于 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。

公司制定并落实上述监测方案后，方能满足辐射管理要求。

## 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。

嘉兴恒创辐照科技有限公司应制定辐射事故应急预案，应急预案应包括以下内容：

(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。

公司在日常工作中应加强对职工进行辐射防护知识的培训和安全意识教育，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在以后实际工作中不断完善辐射安全管理制度。

当发生辐射事故时，该单位应当立即向当地 110 社会应急联动中心报告，并按本单位辐射事故应急预案启动相应级别的应急响应，采取必要的先期处置措施。

表 13 结论与建议

**结论**

**项目概况：**嘉兴恒创辐照科技有限公司拟在辐照厂房的西部新建 4 间电子加速器机房，用于对客户的电线、电缆进行辐照加工，预计年产 100 万公里辐照线缆。本项目 4 间电子加速器机房中，1#电子加速器机房和 3#电子加速器机房各配备 1 台 DD3.0-30/1600 型电子加速器，2#电子加速器机房和 4#电子加速器机房各配备 1 台 DD2.0-50/1600 型电子加速器。该 4 台电子加速器均属 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电线电缆生产厂家的辐照需求，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，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：**嘉兴恒创辐照科技有限公司位于浙江省嘉兴市海盐县沈荡镇中钱村嘉兴创奇电缆有限公司厂区内，公司辐照厂房拟建场址位于嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地。本项目电子加速器机房拟建场址位于辐照厂房的西部，其中 1#电子加速器机房和 2#电子加速器机房为第一组，3#电子加速器机房和 4#电子加速器机房为第二组，电子加速器机房拟建场址东侧为辐照厂房的电线电缆存放区，南侧为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路，西侧为嘉兴创奇电缆有限公司的预留空地，北侧为嘉兴创奇电缆有限公司的厂区道路，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 4 间电子加速器机房均为地上两层混凝土结构，辐照室位于一层，主机室位于二层，辐照室和主机室入口处均建有迷道；控制室均位于加速器辐照室的东侧，冷却水循环系统、气体系统等辅助设备位于二层的设备平台。加速器工作时，辐射工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，辐照室及主机室内均无人员停留，本项目电子加速器机房布局合理可行。

**辐射防护措施评价：**本项目电子加速器机房采用混凝土结构屏蔽电子束和 X 射线，其采取的是实体屏蔽方式。根据理论预测可知，本项目电子加速器机房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、监控系统等。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:** 本项目电子加速器机房拟设置机械排风系统, 室外排放口位于辐照厂房屋顶, 并高于周边建筑。在加速器停止工作后, 电子加速器机房的排风系统继续工作, 通过约 7min 的通风排气, 辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 ( $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ), 此时工作人员进入辐照室是安全的。本项目电子加速器机房的排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, 以保证机房内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

本项目排臭氧风机排风速率设计值不低于  $18000\text{m}^3/\text{h}$ , 机房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。

**辐射安全管理评价:** 嘉兴恒创辐照科技有限公司应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各成员的管理职责。公司应制定相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案, 组织辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核, 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监测档案和职业健康监护档案。

**辐射防护监测仪器:** 公司应为本项目配备 1 台辐射巡测仪和 8 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。

#### 总结论:

综上所述, 嘉兴恒创辐照科技有限公司年产 100 万公里辐照线缆加工建设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, 避免意外事故的发生。

## 建设项目竣工验收

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。

建设单位应公开相关验收信息，向所在地县级以上生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时使用。

验收报告公示期满后5个工作日内，**建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台**，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息。

本项目建设竣工后，嘉兴恒创辐照科技有限公司应按照上述要求尽快开展竣工环保验收工作，本项目竣工环保验收“三同时”检查内容见附表。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人

公 章  
年 月 日

审批意见

经办人

公 章  
年 月 日

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	<p>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。</p>	<p>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。</p>	1.0
辐射安全和防护措施	<p><b>屏蔽措施：</b></p> <p>1#、3#电子加速器辐照室东墙控制室部分为 1800mm 砼，其余部分为 1800mm 砼+500mm 砼；南墙为迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼；西墙、北墙为 1800mm 砼；顶部为 1100mm 砼；门为 20mm 钢门。</p> <p>1#、3#电子加速器主机室东墙、南墙、西墙为 700mm 砼；北墙为迷道内墙 300mm 砼+迷道外墙 700mm 砼；顶部为 500mm 砼，顶部盖板为 400mm 砼，门为 10mmPb 铅门。</p> <p>2#、4#电子加速器辐照室东墙控制室部分为 1500mm 砼，其余部分为 1500mm 砼+500mm 砼；南墙、西墙为 1500mm 砼；北墙为迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼；顶部为 900mm 砼，门为 20mm 钢门。</p> <p>2#、4#电子加速器主机室东墙、西墙、北墙为 600mm 砼；南墙为迷道内墙 300mm 砼+迷道外墙 600mm 砼；顶部为 500mm 砼，顶部盖板为 400mm 砼，门为 10mmPb 铅门。</p> <p><b>安全措施：</b></p> <p>主要包括钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统。</p>	<p>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 2.5<math>\mu</math>Sv/h”。</p> <p>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 0.1mSv。</p>	190.0
通风措施	<p>电子加速器机房设置机械排风系统，通过排风系统排出机房内臭氧和氮氧化物，风机排风速率设计值不低于 18000m<sup>3</sup>/h。</p> <p>电子加速器机房采用埋地排风管道，室外排放口位于辐照厂房屋顶，并高于周边建筑。</p>	<p>满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定（臭氧的最高容许浓度 0.3mg/m<sup>3</sup>）。</p>	

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资(万元)
人员配备	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报名，自主学习并参加考核，通过考核后上岗。	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
	辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检（不少于 1 次/3 个月），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的管理要求。	1.0
	辐射工作人员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》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。	1.0
监测仪器和防护用品	配备 1 台环境辐射巡测仪。	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。	3.0
	配备 8 台个人剂量报警仪。		
辐射安全管理制度	制定健全的操作规程、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。	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。	1.0

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。