

核技术利用建设项目

**电子加速器辐照项目**

**环境影响报告表**

威海市泓淋电力技术股份有限公司

2024年10月

环境保护部监制

核技术利用建设项目  
**电子加速器辐照项目**  
**环境影响报告表**

建设单位名称：威海市泓淋电力技术股份有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：威海经技区浦东路 9-10

邮政编码：264200

联系人

电子邮箱：lijuan@honglincable.com

联系电话

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		电子加速器辐照项目			
建设单位		威海市泓淋电力技术股份有限公司			
法人代表	迟少林	联系人		联系电话	
注册地址		威海经技区浦东路 9-10			
项目建设地点		山东省威海市经济技术开发区九龙路南、金诺路西，新能源产业园 5#车间内西北侧			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	4000	项目环保投资(万元)	50	投资比例(环保投资/总投资)	1.25%
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> )	371.64(辐照室)
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	/			
	<b>1.1 公司简介</b>				
<p>威海市泓淋电力技术股份有限公司成立于 1997 年，坐落于山东省威海市，是一家专业为计算机、家用电器、新能源汽车客户、终端零售市场提供电源线组件产品，并为家用电器、船舶及焊枪等工业设备客户提供精密电器配线、橡胶线特种电缆等产品的企业。公司产品广泛应用于计算机、家用电器、电动工具、特种工业设备、新能源电动汽车、终端零售市场等领域。</p> <p>公司拟建设威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园项目，项目代码：2309-</p>					

371072-04-01-994917, 《威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园项目环境影响报告表》已于 2024 年 8 月 15 日取得威海市生态环境局批复（威环经管表[2024]8-1），主要建设内容为:该项目总投资 100000 万元，位于威海经济技术开发区九龙路南、金诺路西地块，自建厂房，总建筑面积 178492.01m，利用铜杆、拉丝油、PVC、PVC 树脂 PPO、PP、塑化剂、PE 等原辅用料经拉丝、镀锡、造粒、纹线、芯线绝缘押出、编织缠绕、护套押出、打码、交联等工序，年产电子线 336000 万 m、充电线缆 1400 万 m、电力电缆 5400 万 m，本项目辐照室位于新能源产业园 5#车间内西北侧，用于提高电子线、充电线缆、电力电缆等产品的耐热性、载流量、绝缘性能、电气性能、机械强度等。新能源产业园项目目前正在建设中。

本项目所在地理位置示意图见附图 1，本项目周边环境关系影像情况见附图 2，威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园总平面布置图见附图 3。

## 1.2 现有工程规模

### 1.2.1 现有工程规模

公司于 2011 年委托有资质的单位编制完成了《威海市泓淋电力技术股份有限公司电子加速器辐照项目环境影响报告表》，并于 2011 年 8 月 16 日取得了环评批复文件，审批文号为鲁辐环表审（2011）113 号，批复内容为使用 6 台 II 类电子加速器，项目位于威海经济开发区浦东路 9-10，由于生产规模受限，公司只安装了 1 台 ELV-4-1.5 型电子加速器，并于 2015 年 7 月 9 日取得验收批复文件（鲁环验[2015]134 号）。

公司于 2023 年委托山东清朗环保咨询有限公司编制完成了《威海市泓淋电力技术股份有限公司新增电子加速器辐照装置应用项目环境影响报告表》，并于 2023 年 6 月 7 日取得了环评批复文件，批复文号为威环经管表[2023]6-1 号，项目位于威海经技区浦东路 9-10，批复内容为于 2#、3#室内新增 2 台 DG2.0/50/1600mm 型电子加速器，用于厂区电缆辐照，均属于 II 类射线装置，经与企业确认，2 台 DG2.0/50/1600mm 型电子加速器企业已购买，项目正在建设中。

经延续、重新申领等手续，公司现持有威海市生态环境局于 2023 年 8 月 4 日颁发的辐射安全许可证（鲁环辐证 [10069]，有效期至 2028 年 8 月 3 日），公司现有包括 2 台 DG2.0/50/1600 型电子加速器、1 台 ELV 型电子加速器。现有射线装置情况及环保手续履行情况见下表 1-1。

公司辐射安全许可证已许可射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 公司辐射安全许可证已许可射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	数量	类别	工作场所	环评验收情况
1	ELV 型电子加速器	ELV-4-1.5	1 台	II 类	电子加速器车间	鲁辐环表审(2011)113 号, 已验收(鲁环验[2015]134 号)
2	DG2.0 型电子加速器	DG2.0/50/1600	2 台	II 类	电子加速器车间	威环经管表[2023]6-1 号, 正在建设

### 1.2.2 辐射安全管理现状

#### 1. 辐射安全管理机构基本情况

公司已签订辐射安全工作责任书, 法人代表为辐射安全工作第一责任人, 成立了威海市泓淋电力辐射安全与环境保护管理办公室, 指定专人负责射线装置的安全和防护工作。

#### 2. 规章制度制定及落实情况

公司已制定了多项辐射安全管理规章制度, 主要有《电子加速器安全操作规程》、《放射事故责任制度》、《辐照事故应急预案》、《放射事故管理和应急处理办法》、《辐射环境监测管理办法》、《辐照安全装置定期检查维修制度》、《辐照人员培训制度》、《辐射工作人员岗位职责》等, 并严格按照规章制度执行。

#### 3. 个人剂量监测情况

公司现有辐射工作人员均配有个人剂量计, 并委托有资质单位每三个月检测一次, 出具个人剂量检测报告, 并建立了个人剂量档案; 每年组织辐射工作人员进行健康查体, 建立了健康档案;

#### 4. 辐射环境监测情况

公司委托有资质单位对各辐射工作场所周围环境辐射剂量率进行了检测, 各辐照室检测结果均合格, 已按期在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交 2023 年年度评估报告。

#### 5. 辐射事故应急管理情况

公司已制定《辐照事故应急救援预案》, 以保证一旦发生辐射意外事件, 能够立即采取必要的有效的应急响应行动, 妥善处理辐射事故, 保护工作人员和公众的健康与安全。经核实, 公司于 2023 年 9 月 23 日开展应急演练, 有演练记录。

### 1.3 项目建设规模

为提高电子线、充电线缆、电力电缆等产品的耐热性、载流量、绝缘性能、电气性能、机械强度等，公司拟于新能源产业园 5#车间内西北侧新建 2 座南北相邻的辐照室（北侧为 1#辐照室、南侧为 2#辐照室），1#、2#辐照室内部分别安装 DDLH2.5/40-1600、DDLH2.0/50-1600 型加速器各一台，均属 II 类射线装置。辐照电子加速器主要用于电线、电缆的辐照加工。

经现场勘查，本项目各辐照室尚未开工建设。本次评价范围内射线装置情况见表 1-2。

表 1-2 本次评价涉及的射线装置

名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大 能量	额定 电流	最大束 流功率	用途	工作 场所	照射 方向	应用 类型
电子加 速器	II 类	1 台	DDLH2.5/40- 1600	电子	2.5Me V	40mA	100kW	辐照 改性	1#辐照 室	向下 照射	使用
电子加 速器	II 类	1 台	DDLH2.0/50- 1600	电子	2.0Me V	50mA	100kW	辐照 改性	2#辐照 室	向下 照射	使用

### 1.4 选址合理性和实践正当性分析

#### 1.4.1 选址合理性

本项目 2 座辐照室拟建于新能源产业园内，《威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园项目环境影响报告表》已于 2024 年 8 月 15 日取得威海市生态环境局批复（威环经管表[2024]8-1），建设单位考虑了项目特点和项目对周围环境可能存在的影响，将 2 座辐照室集中建设于 5#车间内西北侧，使辐射工作场所相对集中，以便于对射线装置集中管理，并有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰。公司已取得威海市自然资源和规划局颁发的不动产权证书（鲁（2023）威海市不动产权第 0050964 号），用地性质为工业用地，用地性质符合区域土地利用总体规划。

根据厂区布局设计及现场勘查，项目建成后两座辐照室所在位置周围 50m 范围内分布情况：1#辐照室东侧为 1#辐照室控制室、收放卷区、电缆车间，南侧为 2#辐照室、电缆成品仓库、消防通道，西侧为消防车道、停车场、西北侧 30m 处 6#车间，北侧为消防车道、4#车间；2#辐照室东侧为 2#辐照室控制室、收放卷区、电缆车间，南侧为电缆成品仓库、消防通道，西侧为消防车道、停车场、西北侧 30m 处 6#车间，北侧为 1#辐照室、4#车间；辐照室

50m 评价范围无环境保护目标。经下文分析，辐照室周围的辐射水平可满足国家相关要求，经过距离衰减，本项目对周围辐射影响较小。

综上，本项目选址合理。

#### 1.4.2 实践正当性

电子加速器辐照装置能有效提升电线电缆的品质，具有较好的经济效益，满足客户需求，且经后续分析，在保证辐照室辐射屏蔽功能的有效性和辐射安全设施正常运行基础上，项目采取的各项防护措施可满足国家各项标准要求，其产生的辐射危害远小于公司和社会从中取得的利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的辐射防护“实践正当性”的要求。

#### 1.5 产业政策符合性

本项目为使用电子加速器对公司生产的电缆、电线等进行辐照加工。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于鼓励类、限制类和淘汰类，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。

#### 1.6 目的和任务的由来

电子加速器在辐照加工过程中将对周围环境产生一定的辐射影响。根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号），本项目辐照加速器为粒子能量小于 100 兆电子伏的非医用加速器，属于 II 类射线装置；根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172 核技术利用建设项目”中“生产、使用 II 类射线装置的”，应编制环境影响报告表。

为保护环境和公众利益，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定，威海市泓淋电力技术股份有限公司委托我单位对其辐照加速器项目进行辐射环境影响评价。接受委托后，在进行现场调查与核实、辐射环境检测、收集和分析有关资料、预测估算等基础上，依照《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）规范，编制完成了《电子加速器辐照项目环境影响报告表》。

## 表 2 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器	II类	1	DDLH2.5/4 0-1600	电子	2.5MeV	40mA	辐照改性	1#辐照室	向下 照射
2	电子加速器	II类	1	DDLH2.0/5 0-1600	电子	2.0MeV	50mA	辐照改性	2#辐照室	向 下 照射

## 表 3 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
O <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub>	气态	/	/	/	少量	/	/	废气经排风系统排至外环境



表 4 评价依据

<p>法规文件</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015.1.1 施行；</li> <li>2. 《中华人民共和国环境影响评价法》，根据中华人民共和国主席令第 24 号修订，2018.12.29 施行；</li> <li>3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号；2003.10.1 施行；</li> <li>4. 《建设项目环境保护管理条例（2017 修订）》，国务院令第 682 号，2017.10.1 施行；</li> <li>5. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005.12 施行，2014.7.29 第一次修订，2019.3.2 第二次修订；</li> <li>6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境总局令第 31 号，2006.3 施行，2008.12 第一次修订，2017.12 第二次修订，2019.8 第三次修订，2021.1 第四次修订；</li> <li>7. 《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，2011.5.1 施行；</li> <li>8. 《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 号公布，2021.1.1 施行；</li> <li>9. 《关于发布&lt;射线装置分类&gt;的公告》，环境保护部与国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017.12.5 施行；</li> <li>10. 《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》，国家环保总局环发[2006]145 号，2006.9.26 施行；</li> <li>11. 《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第 37 号，2014.5 施行；</li> <li>12. 《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常委会第七次会议，2018.11.30.修订，2019.1.1 施行。</li> </ol>
<p>技术</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《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》</li> </ol>

<p><b>标准</b></p>	<p>(HJ 10.1-2016)；</p> <p>2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>3. 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>4. 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>5. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>6. 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T25306-2010)；</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. 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)；</p> <p>9. 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)。</p>
<p><b>其他</b></p>	<p>1. 威海市泓淋电力技术股份有限公司电子加速器辐照项目环境影响评价委托书；</p> <p>2. 威海市泓淋电力技术股份有限公司提供的辐照室设计图纸等资料；</p> <p>3. 《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》(原子能出版社, 李德平等)；</p> <p>4. 《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》(山东省环境监测中心站, 1989年)。</p>

## 表 5 保护目标与评价标准

### 5.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）规定要求：“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”。

本项目属于射线装置应用，评价范围为 2 座辐照室四周屏蔽墙外 50m 的范围。

### 5.2 保护目标

本项目保护目标为评价范围内活动的职业人员和公众成员。职业人员为辐照室控制室内的操作人员，公众成员包括新能源产业园（4#、5#、6#）车间内工作人员、其他偶然经过的公众人员。

本项目主要保护目标详见表 5-1。

表 5-1 本项目主要保护目标情况

保护目标	人数	方位	距离	环境特征
职业人员	8 人	1#、2#辐照室东侧控制室内辐射工作人员	——	单层混凝土结构
公众成员	约 150 人	5#车间（拟建）	0~50m	2 层彩钢瓦结构（顶部为彩钢板结构），高约 13m
	约 150 人	4#车间（拟建）	20~50m	2 层彩钢瓦结构（顶部为彩钢板结构），高约 13m
	约 150 人	6#车间（拟建）	30~50m	单层彩钢瓦结构（顶部为彩钢板结构），高约 20.5m
	/	其他偶然经过的公众人员	0~50m	——

### 5.3 评价标准

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

标准中附录B规定：

B1 剂量限值：

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

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

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mS。

### 5.3.2 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

4.1 辐射安全要求

4.1.1 安全原则

4.1.1.1 纵深防御

多层防护与安全措施（即纵深防御），以确保当某层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，达到：

- (1) 防防御可能引起照射的事故；
- (2) 减轻可能发生的任何类似事故的后果；
- (3) 在任何这类事故之后，将装置恢复到安全状态。

4.1.1.2 冗余性

采用的物项应多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，在运行过程中万一某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。例如辐照室和主机室的人员出入口应设 3 道及以上连锁。

4.1.1.3 多元性

多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。系统多元性和多重剂量监测可以采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等，例如：辐照室和主机室的人员出入口的安全连锁可以分别采用机械的、电气的、电子的和剂量的连锁。

#### 4.1.1.4 独立性

独立性是指某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。通过功能分离和实体隔离的方法使安全机构获得独立性。为提高系统的独立性，可采取下列措施：

- (1) 保证冗余性（多道联锁）各部件之间的独立性；
- (2) 保证纵深防御各部件之间的独立性；
- (3) 保证多元性各部件之间的独立性；
- (4) 保证安全重要物项和非安全重要物项之间的独立性。

#### 4.1.2 辐射工作场所的分区

按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；

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

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

4.1.4 使用手册、操作规程和应急程序等文件以及关键的安全部件标识和安全标识都应使用中文。

### 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最为 0.1mSv。

#### 4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率

不能超过  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

本标准适用的能量不高于  $10\text{MeV}$  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。

## 5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

### 5.1 屏蔽设计原则

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

### 5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。

## 6 电子加速器辐照装置的安全设计

### 6.1 联锁要求

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

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压；

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

### 6.2 安全设施

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

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

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

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

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

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

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

(8) 剂量联锁：在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，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) 辐照室内的主排气孔应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置；

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

### 5.3.3 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）

#### 2 剂量当量限值

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。

### 3 辐射防护设施的设计原则

#### 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热指示灯。

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。

附录 E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

综上所述，本次评价采用  $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$  作为各辐照室屏蔽体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控制值；采用  $5.0\text{mSv}$  作为职业人员的年管理剂量约束值；采用  $0.1\text{mSv}$  作为公众成员的年管理剂量约束值。

### 5.4 环境天然辐射水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，威海市环境天然  $\gamma$  空



气吸收剂量率见表 5-2。

表 5-2 烟台市环境天然辐射水平 ( $\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ )

监测内容	范 围	平均值	标准差
原 野	2.14~12.05	5.84	1.66
道 路	1.94~20.14	6.49	2.39
室 内	4.56~20.53	10.11	2.71

注：1. 表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989 年。  
2. 本底调查时威海市行政区划隶属于烟台市。

## 表 6 环境质量和辐射现状

### 6.1 项目地理位置

威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园位于山东省威海市九龙路南、金诺路西。本项目 2 座辐照室拟建于新能源产业园厂区内 5#车间内西北侧。

本项目所在地理位置见附图 1，威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园厂区总平面布置见附图 3。本项目 2 座辐照室拟建区域现场勘查情况见图 6-1，四周环境详见表 6-1。

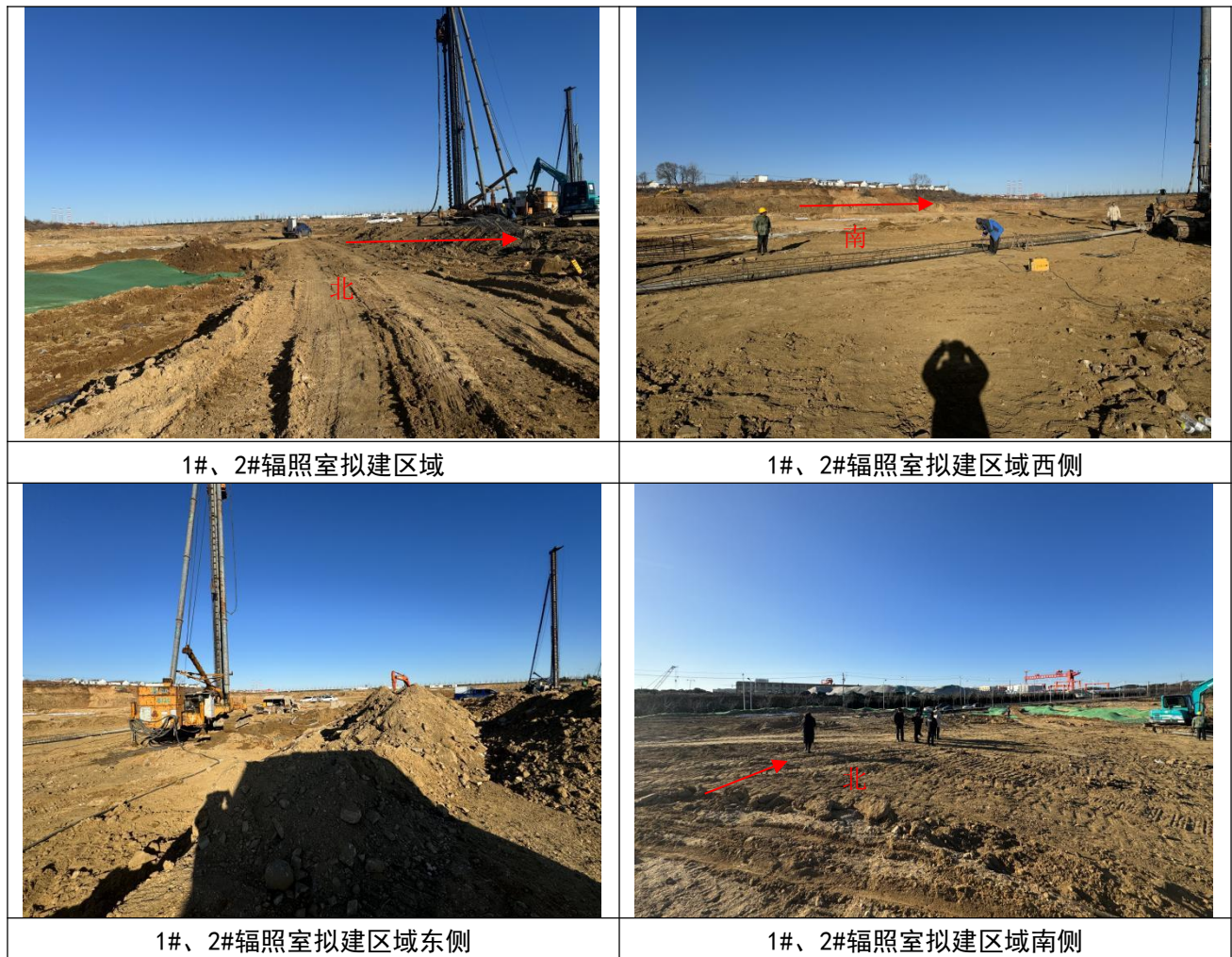


图 6-1 本项目现场勘查照片（2024 年 1 月）

表 6-1 本项目辐照室周围环境一览表

工作场所	方向	周围场所名称 (0~50m)
1#辐照室	东 侧	依次为：1#辐照室控制室、收放卷区、电缆车间
	南 侧	依次为：2#辐照室、电缆成品仓库、消防通道
	西 侧	依次为：西侧为消防车道、停车场、西北侧 30m 处 6#车间
	北 侧	依次为：消防车道、4#车间
	上 方	加速器主机、高频机、冷却水循环系统、气体系统、储气罐
	下 方	土层
2#辐照室	东 侧	依次为：2#辐照室控制室、收放卷区、电缆车间
	南 侧	依次为：电缆成品仓库、消防通道
	西 侧	依次为：消防车道、停车场、西北侧 30m 处 6#车间
	北 侧	依次为：1#辐照室、4#车间
	上 方	加速器主机、高频机、冷却水循环系统、气体系统、储气罐
	下 方	土层

注：上表中辐照室周围各方位信息按照项目建成后布局情况予以列出。

## 6.2 环境质量和辐射环境现状

### 6.2.1 辐射检测方案

本次评价根据项目实际情况制定检测计划，对本项目辐照室拟建区域及周围辐射环境现状进行检测。检测方案如下所示：

#### 1、环境现状评价对象

1#辐照室、2#辐照室拟建区域周围辐射环境现状。

#### 2、检测因子

环境  $\gamma$  辐射剂量率。

#### 3、检测点位

根据《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，由于本项目尚未开工建设，本次评价只进行项目场址现状值检测，在辐照室拟建区域布设 10 个检测点，环境  $\gamma$  辐射剂量率检测布点见附图 2。

### 6.2.2 质量保证措施

### 1、检测单位

本次评价委托具备辐射检测资质的潍坊正沅环境检测有限公司开展检测，该公司已通过生态环境监测资质认定。

### 2、检测仪器

检测仪器为 HD-2005 型便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，设备编号：F12032；测量范围为  $(1 \sim 100000) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，能量响应范围：25keV $\sim$ 3MeV；经中国计量科学研究院检定合格，证书编号：DLj12022-06912，检定有效期至 2024 年 07 月 12 日，在有效期内。

### 3、检测人员

本次由两名检测人员共同进行现场检测，两人均持证上岗。

### 4、检测方法

依据《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方法进行现场测量。将仪器接通电源预热 15min 以上，仪器探头离地 1m，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算平均值和标准偏差。

### 6.2.3 检测时间与条件

2024 年 3 月 14 日，天气：晴；温度：12 $^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度：39%。

### 6.2.4 检测结果

本项目环境  $\gamma$  辐射剂量率检测结果见表 6-2。

表 6-2 1#辐照室、2#辐照室拟建区域及周围环境  $\gamma$  辐射剂量率检测结果

序号	点位描述	检测结果 ( $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ )	
		环境 $\gamma$ 辐射剂量率	标准偏差
A1	1#辐照室拟建区域北侧	9.5	0.3
A2	1#辐照室拟建区域东侧	9.4	0.3
A3	1#辐照室拟建区域南侧	9.2	0.4
A4	1#辐照室拟建区域西侧	9.7	0.3
A5	1#辐照室拟建区域中间位置	9.2	0.2
A6	2#辐照室拟建区域北侧	9.6	0.2
A7	2#辐照室拟建区域东侧	9.3	0.2
A8	2#辐照室拟建区域南侧	8.9	0.2

A9	2#辐照室拟建区域西侧	9.5	0.3
A10	2#辐照室拟建区域中间位置	9.5	0.2
注：1、 $\gamma$ 空气吸收剂量率检测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值（ $2.82 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ）。 2、宇宙射线响应值的屏蔽修正因子：原野及道路取 1.0 平房取 0.9 多层建筑物取 0.8。			

### 6.2.5 辐射环境现状调查结果评价

由表 6-2 的检测数据可知，本项目 2 座辐照室拟建区域室外（A1~A10）环境  $\gamma$  空气吸收剂量率为  $(8.9 \sim 9.7) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，均处于威海市环境天然辐射水平范围内道路  $(1.94 \sim 20.14) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 。

### 6.3 空气环境

根据《威海市 2023 年生态环境质量公报》，全市环境空气质量连续八年达到国家二级标准，继续保持全省第一。威海市 2023 年环境空气年度统计监测结果见表 6-3。

表 6-3 威海市 2023 年环境空气年度统计监测结果(单位： $\text{mg}/\text{m}^3$ )

年度		SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	CO
2023 年	项目	年均值	年均值	年均值	年均值	日最大 8 小时滑动平均值第 90 百分位数	日平均第 95 百分位数
	检测结果	0.005	0.016	0.022	0.041	0.158	0.7
	二级标准	0.060	0.040	0.035	0.070	0.160	4.0

由上表可知，项目所在区域环境空气质量能够达到《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准要求，区域空气环境质量较好。

### 6.4 声环境

根据《威海市人民政府关于印发威海市城市区域声环境功能区划的通知》(威政发〔2022〕24 号)，本项目所在声环境功能区为 3 类。

根据《威海市 2023 年生态环境质量公报》，全市区域声环境昼间平均等效声级为 53.9 分贝，夜间平均等效声级为 42.7 分贝，城市区域昼间、夜间环境噪声总体水平均为“较好”。全市道路交通声环境昼间平均等效声级为 64.8 分贝，夜间平均等效声级为 53.1 分贝，道路交通昼间、夜间噪声强度均为“较好”。

全市各类功能区声环境昼间、夜间平均等效声级均达到相应功能区标准。

本次评价期间，对项目西侧 20m 百尺所村开展了声环境质量现状监测，监测结果见下表。

表 6-4 噪声检测结果

监测时间	编号	监测点位	昼间	夜间
2024.04.24	1#	白尺所村 58 号 东侧	53	44
执行标准及限值	GB12348-2008(2 类)		60	50

注：本项目空气环境、声环境数据均引用《威海市泓淋电力技术股份有限公司新能源产业园项目环境影响报告表》中内容。

## 表 7 项目工程分析与源项

### 7.1 施工期工程分析

本项目 2 座辐照室尚未开工建设，施工期主要内容为辐照室基础工程、主体防护工程以及设备、安全防护设施的安装，产生噪声、扬尘、废水、固体废物等。施工期可能的污染因素主要为常规环境要素，无辐射影响。本项目施工期工艺流程及产污环节见图 7-1。

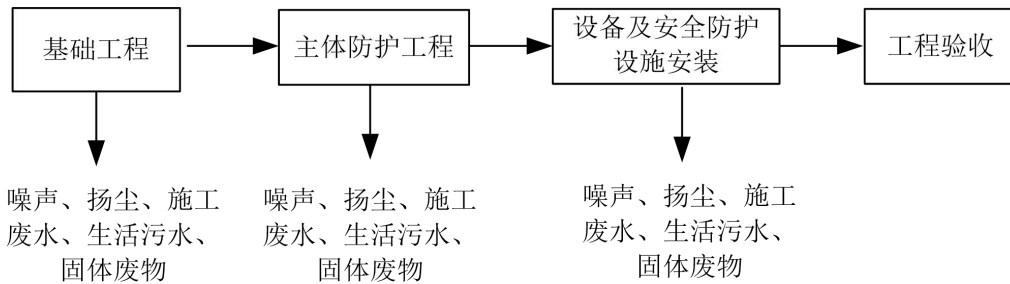


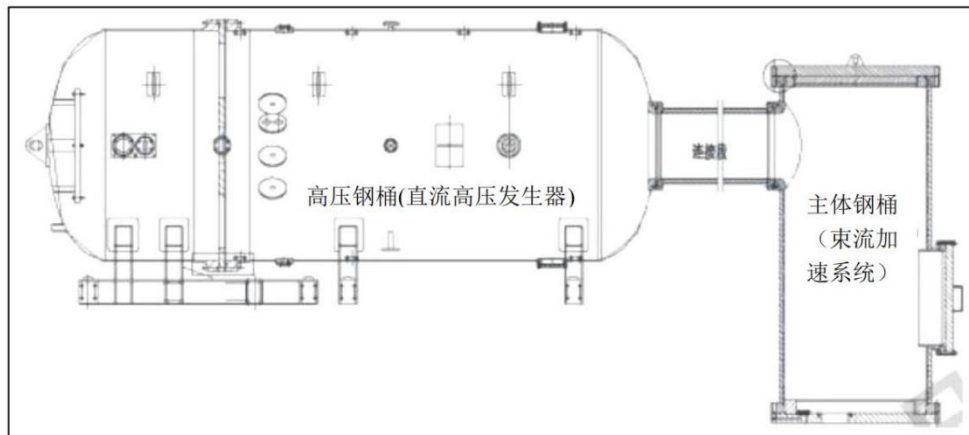
图 7-1 施工期工艺流程及产污环节

### 7.2 营运期工程分析

#### 7.2.1 电子加速器辐照装置简介

##### 1、加速器系统组成

本项目建设 2 座辐照室（1#辐照室、2#辐照室），1#辐照室内安装 1 套 DDLH2.5/40-1600 型电子加速器系统、2#辐照室内安装一套 DDLH2.0/50-1600 型电子加速器。DDLH2.5/40-1600 型、DDLH2.0/50-1600 型电子加速器将主电源与加速器分成两体成直角联接，仅需建设辐照室，加速器主机、冷却水循环系统、气体系统、储气罐等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台。电子加速器整体装置示意图见图 7-2。



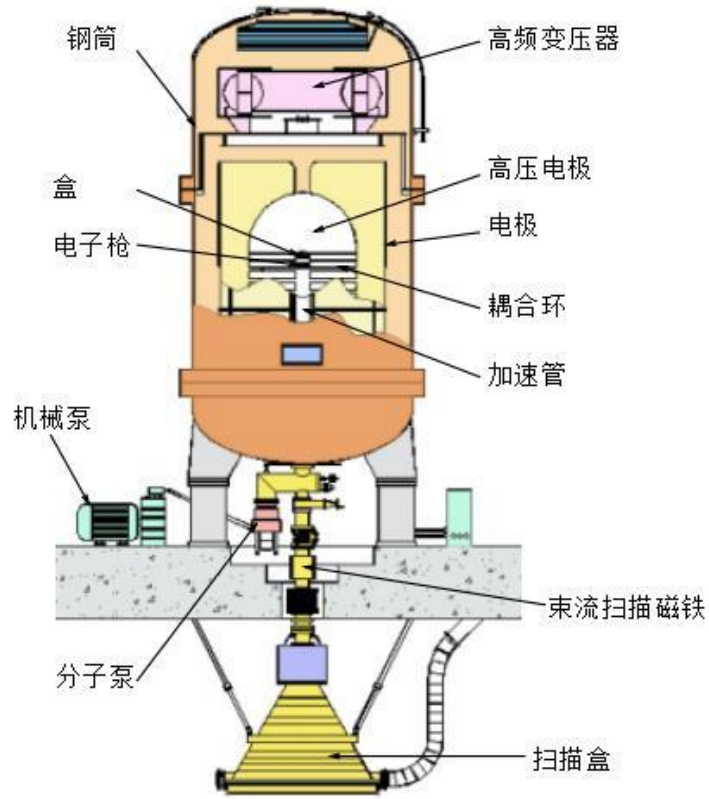


图 7-2 电子加速器整体装置示意图

DD 型 (Dynamitron 型) 电子辐照加速器是一种高频高压电子辐照加速器，用来加速电子，作为工农业生产用的辐照源，它的主体部分由直流高压发生系统（包括高频振荡器、高



频变压器、高频电极、电晕环、整流硅堆、高压球帽等)、电子束加速系统、扫描引出系统、钢筒组成;辅助系统包括计算机控制系统、真空系统、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)气体处理系统、水冷却系统、辐射防护安全联锁及监测系统、束下传输系统等。各部件功能如下:

### (1) 直流高压发生器

**高频振荡器:** 高频振荡器的作用是把电网的电能为工频转换为 120kHz 左右的高频其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。振荡器的基本元件是振荡管。振荡管的供电采用阴极接直流负高压,阳极接直流地电位的模式,从而简化了振荡管的冷却回路。谐振回路由钢筒内的环形自耦变压器(构成回路的电感 L)和半圆筒高频电极与钢筒内壁和倍压芯柱之间的分布电容(构成回路的电容 C)组成。振荡管阳极与环形变压器初级之间通过高频电缆连接。栅极所需的正反馈电压则通过置于钢筒与高频电极之间的耦合电容板取得。

**整流倍压系统:** 整流倍压系统是以两块垂直地固定在钢筒底板上的绝缘板为骨架,在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆,两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。在每个硅堆的连接点上水平地安装一个半电晕环,两列上下整齐排列的半电晕环,构成了整流倍压系统的圆柱外观,并把硅堆屏蔽在其中。对称的两列半电晕环正好与固定在钢筒内壁的两个对称的半圆筒高频电极同轴对应,每个半电晕环与高频电极之间即构成了分布电容 C<sub>se</sub>。

### (2) 束流加速系统

**加速管:** 加速管是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中( $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Pa)稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。加速管的基本单元是长约 300mm 的工艺段,采用先进的金属陶瓷焊接工艺制成。整根加速管由一定数量的工艺段组装而成。由于在制造和装配过程中排除了有机污染,每个焊缝都经过严格的处理和检测,因此这种加速管比用有机胶粘接方法制造的加速管机械强度高,真空性能好,电性能优越,使用寿命也 longer。加速管安装在整流芯柱的中心,顶端与高压球帽相接,底端接地。其电位分布大体与整流柱中的电位分布一致。加速管外侧装有均压电阻链,使其具有独立分压,每个绝缘环还装有保护放电球隙,以防止过电压冲击。倍压整流芯柱图见图 7-3,加速器主机图见图 7-4。

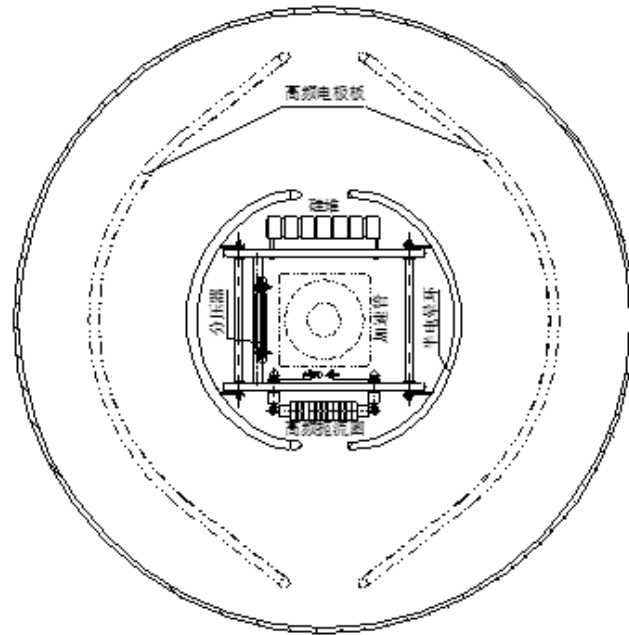
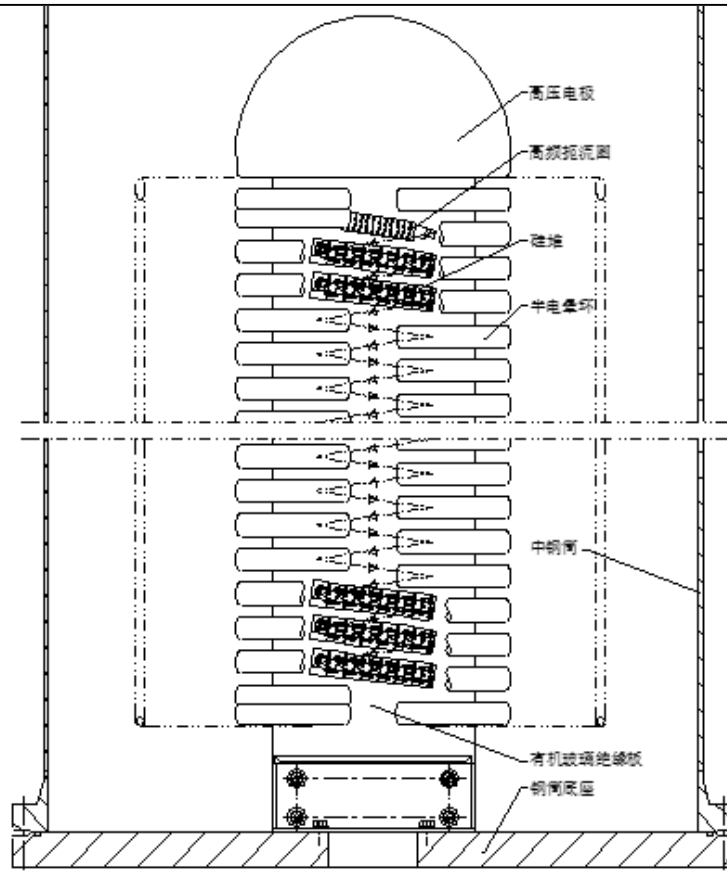


图 7-3 倍压整流芯柱

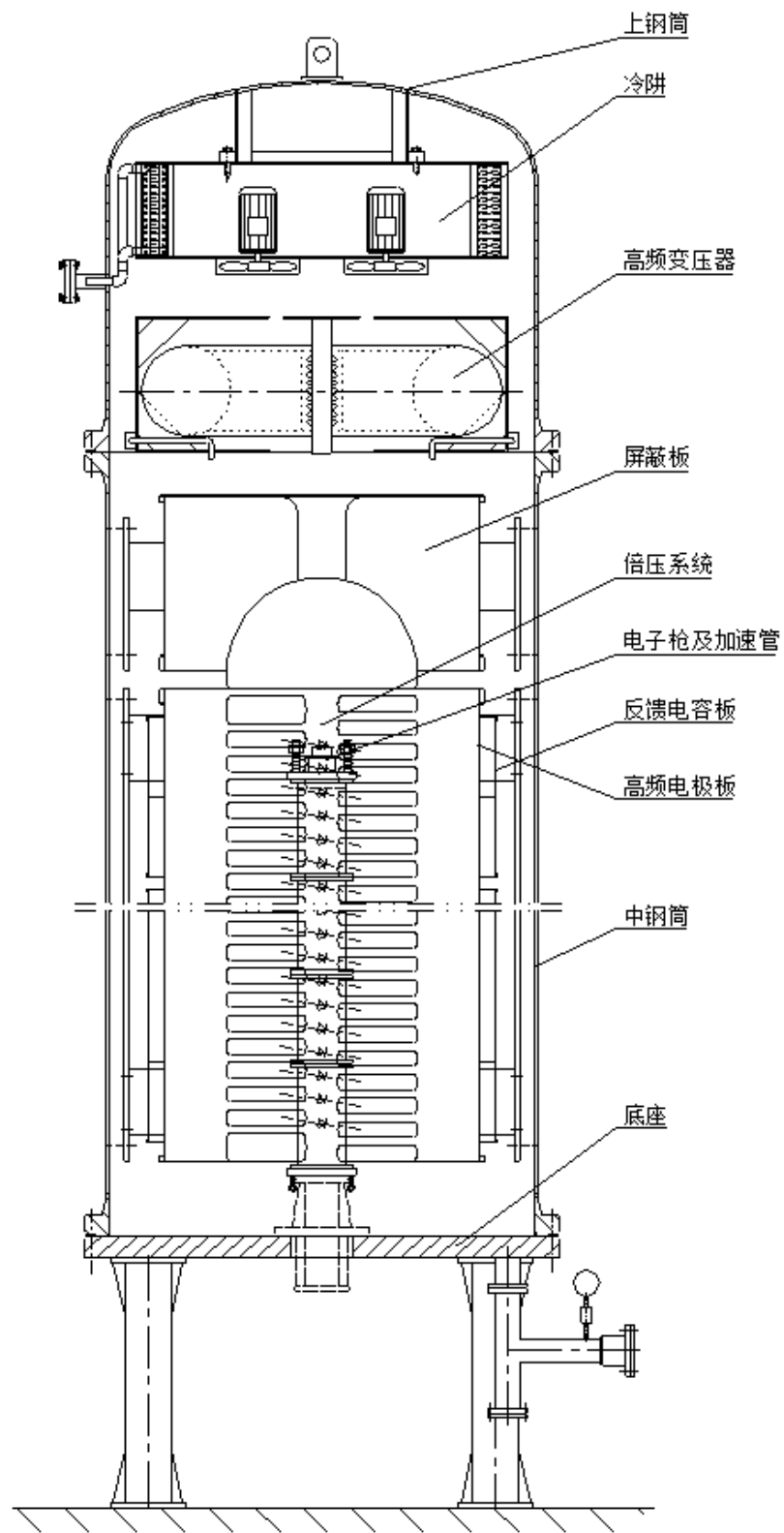


图 7-4 加速器主机

电子枪：加速管的顶端安装电子枪。电子枪采用由钨合金丝绕制的直热式盘香形阴极。阴极加热后发出的电子被加速管上端的引出极（也称吸极）引出成束进入加速管加速。电子枪的供电功率由置于高压球帽内的发电机提供。发电机由固定在钢筒底座上的变频电机通过一根绝缘轴带动。电子枪和加速管图见图 7-5。

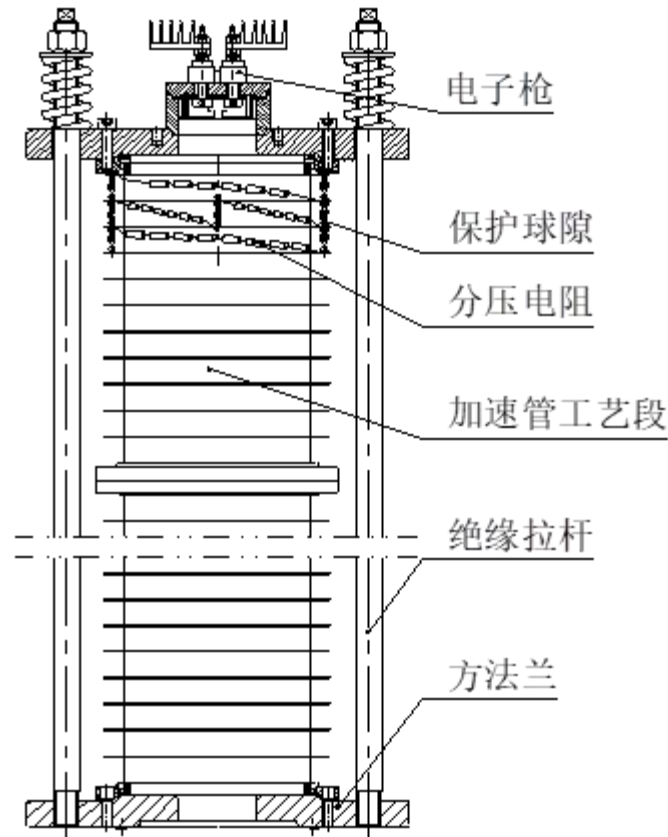


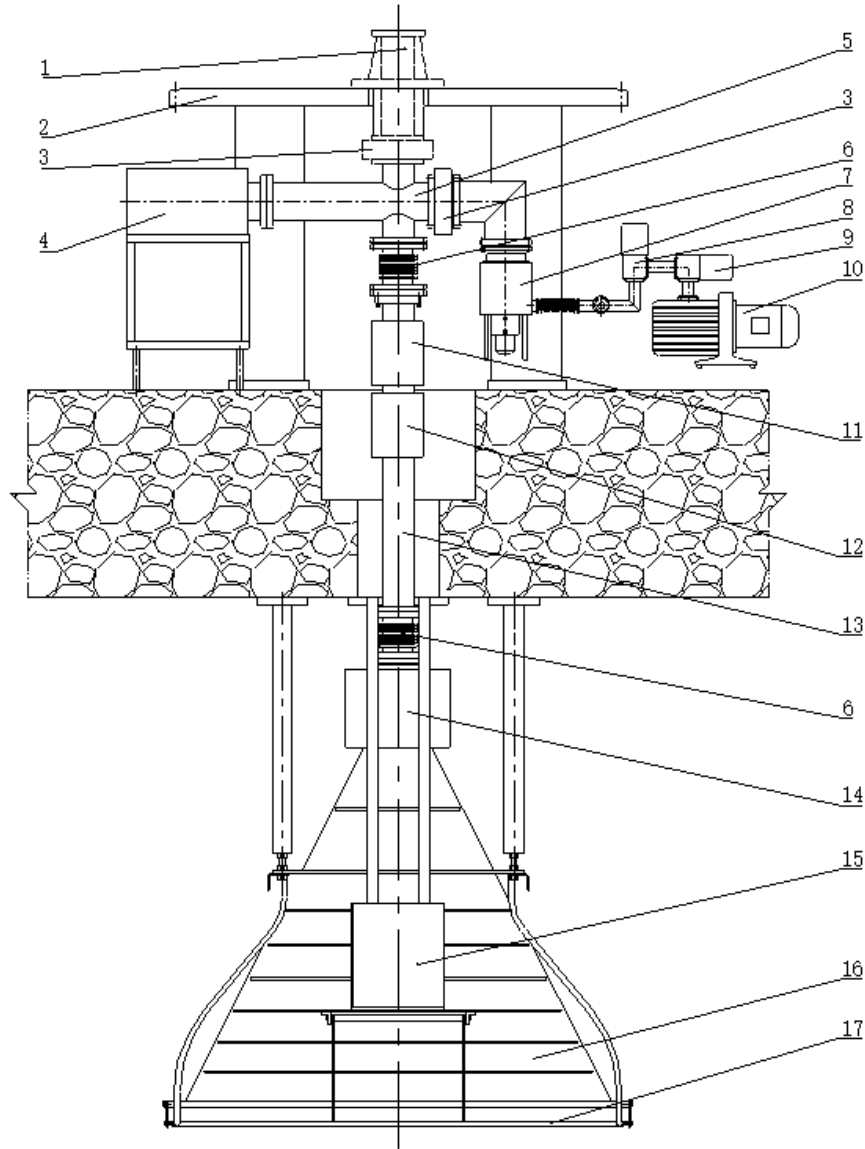
图 7-5 电子枪和加速管

(3) 扫描引出系统：电子束离开加速管后经漂移管进入辐照厅。穿过扫描磁铁组件时，在三角波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描。最后经长条形的钛窗引出。钛箔的厚度既要有足够的强度以抵抗真空压力，又要尽量减少电子束在穿越时的能量损耗。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此沿钛窗安装了一把风刀，针对钛箔进行强风冷却。

(4) 控制系统：控制系统主要针对加速器整体控制，分为机器控制与机器联锁；机器控制包含微波功率源系统设备的控制、加速器直线段设备的控制、扫描系统设备的控制、水冷

系统设备的控制、束下输运线系统设备的控制及其它相关辅助设备的控制；机器联锁包含人身安全联锁与设备安全联锁。

(5) 真空系统：加速器中需要保持较高的真空，主要是为了减少束流与气体分子的碰撞而引起的束流的损失和防止高频放电。目前主要用钛离子泵作为真空获得设备。真空抽气与引出扫描系统见图 7-6。



注：1、加速管支架 2、钢筒底座 3、插板阀 4、溅射离子泵 5、四通 6、波纹管 7、分子泵 8、电磁真空截至阀 9、电磁真空带充气阀 10、机械泵 11、聚焦线圈 12、导向线圈 13、漂移管 14、芯管及扫描线圈 15、气动箱 16、扫描盒 17、束流挡板

图 7-6 真空抽气与引出扫描系统

(6) 水冷系统：本装置主要由二只水箱（常温水箱和低温水箱）、压缩机、冷凝器、蒸发器、水泵、若干阀门、管道、机架和控制系统组成。二只水箱均由压缩机、蒸发器和冷凝器制冷，可分为低温水箱和常温水箱。常温水箱连接一台分子泵专用冷却水泵，由单独的开关控制向分子泵提供冷却水，同时有一路电磁阀通低温水箱，起到联通作用，中和水箱温度，当温度达到要求后，连接低温水箱电磁阀打开，低温水流回低温水箱，因为低温水箱和常温水箱是连通的，所以不会存在水位差。低温水箱主要冷却加速器钢筒内部和高频机柜内部，常温水箱主要冷却高频机电极管和束流吸收板；在每一个回路的回水口处，均安装有流量控制器，当出现断水或水压不够时，流量控制器发出报警信号，防止加速器在无水或欠压的情况下工作，造成加速器的损坏。

## 2、电子加速器工作原理

高频高压型电子加速器的直流高压发生器采用的是电容并联耦合的级联倍压整流电路，它是由 Schenkel 倍加线路发展而来，工作原理为：高频电极与耦合电极（电晕环）之间的构成耦合电容  $C_{se}$ ，整流硅堆（主要元件为二极管）本身及与其并联的分布电容为  $C_{ac}$ ，电路的负载为电子束加速系统。所有一侧的耦合电容  $C_{se}$  形成并联电路，耦合电容间通过整流硅堆连接。高频振荡器从电网取电后产生的低压高频电压馈入 LC 谐振回路后，经由高频变压器升压后传送到两块半圆弧形电极板（高频电极）上，两个高频电极的电位交替变化，通过耦合电容和整流硅堆，从一侧电晕环向另一侧电晕环充电，位于一侧的各级耦合电容同时充电，由于整流硅堆的单向导电性，充电只能向一个方向前行，这样在电路中的每个  $C_{ac}$  上可获得的直流高压  $V_0$ ，并从低电位逐级升高直至整流硅堆链的端部高压球帽处，可以获得  $NV_0$  ( $N$  为电路中整流硅堆的数量) 的直流高压，这也决定了电子束加速系统的最终能把电子束流加速到多大能量。

整个高压倍加电路置于充有高气压的绝缘气体的钢筒内，气体介质既对高频高压也对直流高压提供绝缘。钢筒内壁安装有两个半圆筒形状的金属高频电极，两个电极分别连接于谐振线圈（高频变压器）的两端，形成 LC 振荡电路。外设的高频振荡器为 LC 谐振电路提供低压高频电源。高频电极与钢筒外壳电气绝缘。钢筒中心是由电晕环和整流硅堆组成的多级并联耦合的级联倍压整流电路。电晕环也为半圆环，分别与高频电极相对，交替排列分布。电晕环之间串联连接着整流硅堆。整流硅堆链一端接地，另一端接高压球帽。高压球帽是一个

较大的半圆球形状的金属电极。高压电极为电子束加速系统提供所需的端电压（负高压）。从高压球帽内的电子枪（Electron Gun）产生的电子束流（Electron Beam）在高压球帽提供的负高压作用下通过在高真空环境下的高电压梯度加速管内（High Gradient Beam Tube）时得到加速，从加速管中出来的高能电子束由扫描磁铁在水平和垂直两个方向进行扫描，然后穿过钛窗钛箔（Scanning Horn）对产品进行辐射加工。加速器工作原理图见图 7-7。

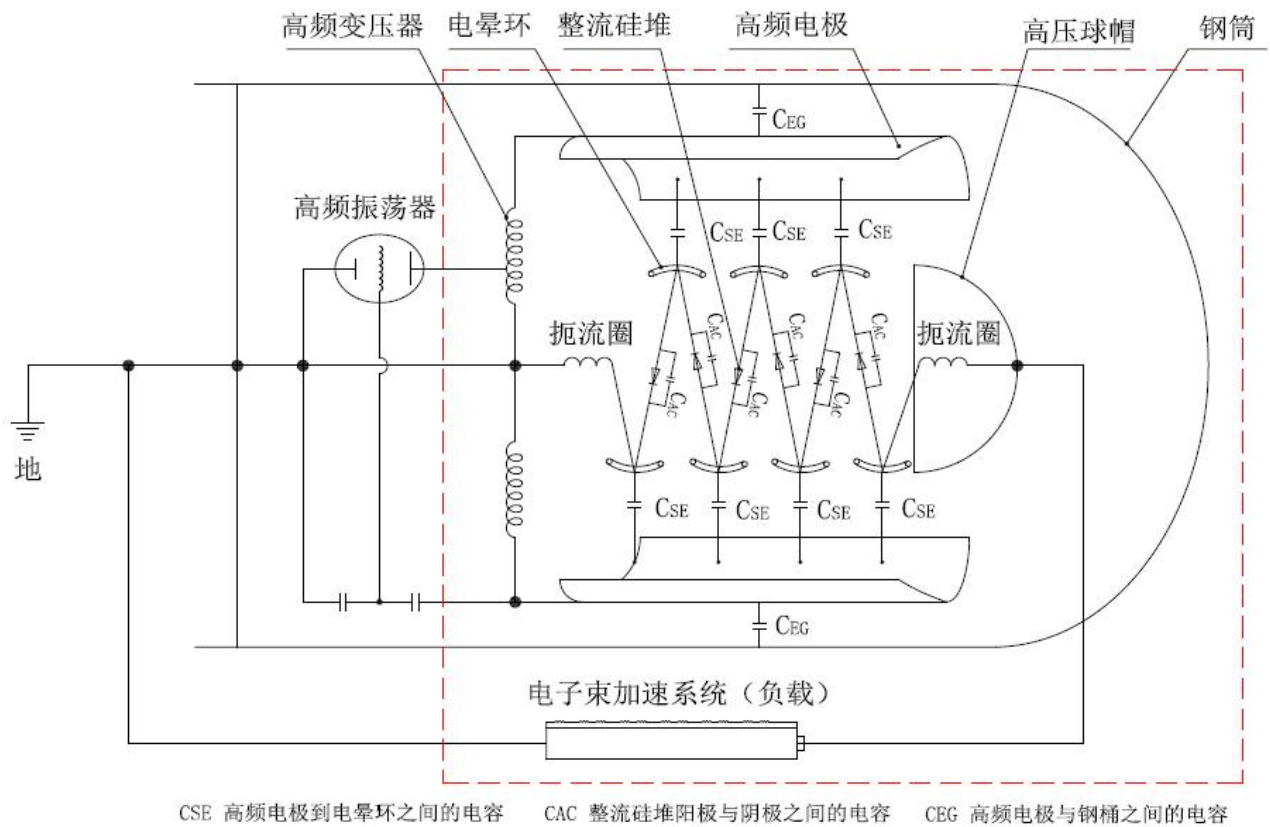


图 7-7 加速器原理图

### 3、主要技术参数

本项目拟采用 DDLH2.5/40-1600 型、DDLH2.0/50-1600 型电子加速器开展辐照加工，该型号设备主要技术指标见表 7-1。

表 7-1 本项目拟购电子加速器辐照装置主要技术指标

型号	DDLH2.0/50-1600	DDLH2.5/40-1600
生产厂家	中广核达胜加速器技术有限公司	中广核达胜加速器技术有限公司
电子束最大能量	2.0MeV	2.5MeV

最大束流功率	100kW	100kW
额定电子束流	50mA	40mA
束流扫描频率	X 方向: 100HZ Y 方向: 1001HZ	X 方向: 100HZ Y 方向: 1001HZ
扫描宽度	1600mm	1600mm
表面扫描不均匀度	±10%	±10%
主射束方向	垂直	垂直
钛窗距辐照物体距离	150mm	150mm
加速器工作方式	连续	连续
束流损失率	1%	1%
束流损失点能量	0.2MeV	0.25MeV

### 7.2.2 工作流程

①辐射工作人员作业前检查门-机联锁装置、信号警示装置等辐射安全防护措施是否正常；

②辐射工作人员进入辐照室内巡视清场，并按照顺序按下全部巡检按钮，巡查有无人员逗留，确认无异常情况后，关闭好防护门；

③调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

④调整收放线系统，将电线电缆等产品放置传输系统上；

⑤在控制室开启冷却系统、通风系统等辅助系统；

⑥确认相关辅助系统运行正常并再次进入辐照室进行检查，确认无异常情况；

⑦启动辐照装置，进行电缆辐照交联。通过传输装置从加速器辐照室货物进口输送进入加速器辐照室，辐照对象通过束下传输装置从加速器辐照室出口传送出，收卷系统进行产品收放；

⑧辐照工作完成后，关闭电子加速器、束下传输装置，加速器停止出束。通风系统持续运行，通风结束后，工作人员方可进入。

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 7-8, 辐照工艺产污环节图见图 7-9。



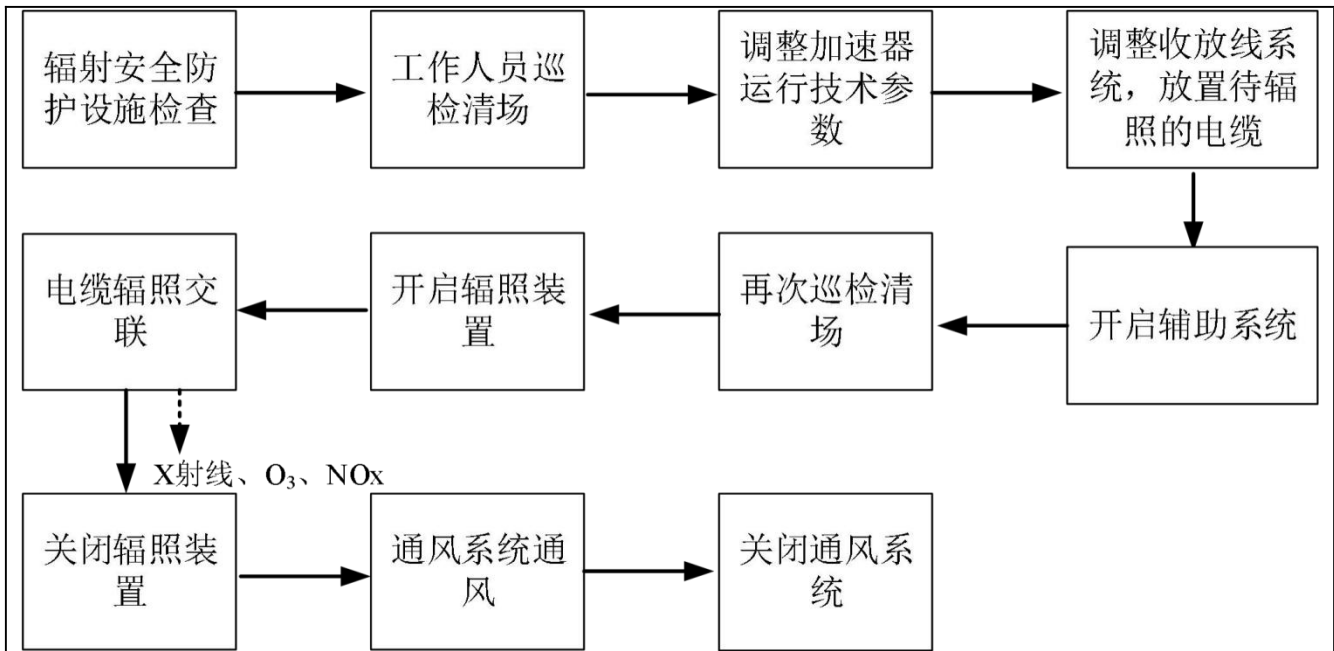


图 7-8 电子加速器辐照工艺流程和主要产污环节示意图

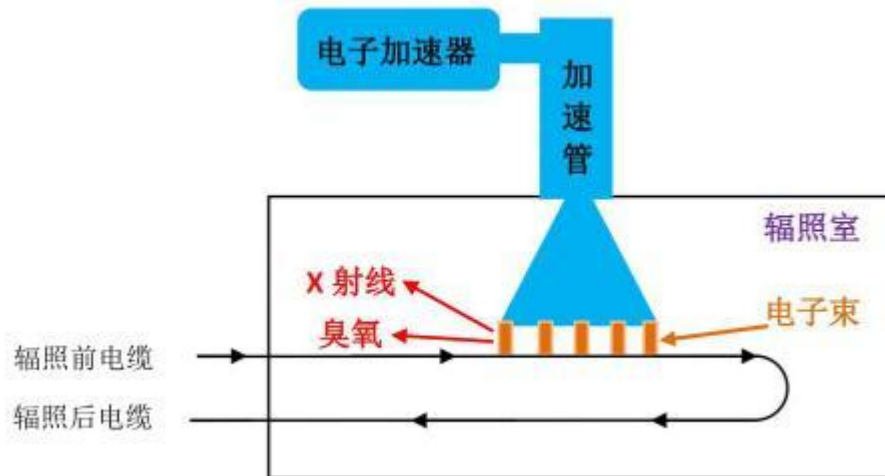


图 7-9 辐照工艺产污环节示意图

### 7.2.3 工作负荷和人员配置

#### 1、工作负荷

根据公司提供资料，本项目电子加速器采用连续作业方式，以最大负荷计，每次最大连续出束 120h（5 天），年运行天数不超过 200 天，因此每台电子加速器年出束时间不会超过 4800h。

#### 2、人员配置

根据公司提供资料，本项目 2 台辐照装置全部运行后拟配备 8 名辐射工作人员，专职负责本项目辐照装置，每一台辐照室配备 4 名工作人员（2 人为 1 班，1 班 12h），专职负责电子加速器的操作，则本项目每位工作人员年受照时间不会超过 2400 小时。

## 7.3 污染源项描述

### 7.3.1 施工期污染因素分析与评价因子

#### 1、噪声

本项目施工期噪声主要来自场地平整、打桩、混凝土浇筑等几个阶段，主要噪声源为打桩机、混凝土搅拌机等各种建筑施工机械运转时的噪声以及建筑材料运输过程中的交通噪声，另外还有装置安装过程产生的一些突发性、冲击性、不连续性的敲打撞击噪声。

#### 2、废水

施工期废水主要来自两个方面：一是施工泥浆废水，二是施工人员的生活废水，施工泥浆废水主要来自混凝土养护。本项目建设内容较为简单，施工期最多时期有约 15 人施工，总施工期约 60 天，用水按每人每天 50L 计算，用水量为  $0.75\text{m}^3/\text{d}$ 。废水产生量以 80% 计，生活污水产生量为  $0.6\text{m}^3/\text{d}$ 。

#### 3、固体废物

固体废物主要是建筑垃圾和施工人员的生活垃圾，生活垃圾以每人每天 0.25kg 计，产生量为  $3.75\text{kg}/\text{d}$ 。

#### 4、扬尘

本项目在建设施工期需进行的打桩、混凝土浇筑等作业，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。

综上，施工期主要环境影响评价因子为：施工噪声、施工废水和生活污水、生活垃圾和建筑垃圾、施工扬尘。

### 7.3.2 营运期污染因素分析与评价因子

#### （一）正常工况

#### 1、X 射线

电子加速器在进行辐照时电子枪发射电子，经加速管加速，在横向扫描磁场的作用下，扫描扩展，成为均匀扫描宽度的电子束，利用电子束对产品进行辐照。电子加速过程中，部

分电子会丢失，打在加速管壁上，可产生 X 射线。此外，电子束打到高原子序数物质时也会产生高能 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，可对周围环境辐射造成辐射污染，但关机后 X 射线影响即消失。在加速器运行过程中，除了由电子束在靶上产生的韧致辐射外，还可能由于其他原因产生某些次级辐射如泄露辐射、散射、反流电子引起的韧致辐射等。

本项目使用的辐照加速器结构所用材料中最主要的元素为铝、铁和铜，另外电子辐照加速器装置可能对水（考虑核素 O）和空气（考虑核素 C, N, O）产生活化。本评价项目的辐照加速器的能量最高为 2.5MeV，根据《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》（原子能出版社，李德平等）给出评价项目主要涉及核素的（ $\gamma$ , n）反应阈能可知，设备运行期间，无需考虑空气和循环水中核素活化问题和感生放射性问题。而对于设备的材料，需考虑  $^{65}\text{Cu}$ （ $\gamma$ , n） $^{64}\text{Cu}$  反应产生的中子，因设备材料中 Cu 的含量低，所以仅产生微量的中子。辐照室为混凝土结构，混凝土内会含有少量的水，可有效屏蔽产生的微量中子，所以无需单独考虑中子辐射影响。

## 2、电子束

电子加速器在运行时可产生高能电子束，因其贯穿能力远弱于 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。

## 3、放射性废物

本项目电子加速器最大电子能量为 2.5MeV，无需考虑中子及感生放射性影响。本项目不产生放射性废气和放射性固体废物。

加速器设备中设计有循环水冷却系统，这部分水可能由于活化而含有较强的放射性。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要为  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，只需放置一定时间其活度就可以衰减到较低的水平。本项目加速器一次冷却水为内循环去离子水，正常运行时在内部不断循环，不外排。当内循环水量低于水位时冷却水系统即自动报警，工作人员可及时补充去离子水，保证系统的正常运行。

## 4、非放射性污染因素分析

### （1）非放射性废气

在加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )，在  $\text{NO}_x$  中以  $\text{NO}_2$  为主。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。本项目 2 座辐照

室均设有专门的通风系统。排风口均位于辐照室辐照区西侧，辐照室内产生的臭氧等非放射性有害气体经通风管道沿通风管道排出，排风管道采用地下“U型”方式穿辐照室西墙后，沿各辐照室西侧架设至5#车间室顶外部，最终经1根15m高排气筒排向外环境。

综上所述，本次评价的评价因子为X射线、电子束、臭氧和氮氧化物，其中X射线为评价重点。

## **(二) 非正常工况**

(1) 多重安全联锁失效，人员可能在入口门未关闭时误入辐照室，如果此时电子加速器处于运行状态，则可能造成误照事故。

(2) 辐照室中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认辐照室中环境便运行电子加速器，则会造成辐照室中人员受误照射。

(3) 设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，接通电源并出束，则可能造成误照事故。

**表 8 辐射安全与防护**

**8.1 项目安全措施**

**8.1.1 项目分区与屏蔽设计**

**1、工作场所布局和分区**

本项目 1#、2#辐照室包括上下两层，一层为 1#、2#辐照室，二层为设备平台。1#、2#电子辐照室均为地面一层混凝土结构，线缆收放卷区及控制室均设于加速器地面一层，加速器主机、冷却水循环系统、气体系统、储气罐等辅助设备均位于辐照室楼顶的二层设备平台上，二层平台四周设置围栏。辐照室入口处设有迷道，控制室分别位于 1#、2#辐照室东北侧和东南侧，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，收放卷工作人员在线缆收放卷区负责电线电缆的收放等工作。本项目辐照室布局合理可行。

公司拟将 1#、2#辐照室一层辐照室、二层设备平台的加速器高压钢桶及主机钢桶边界作为辐射防护控制区边界，在防护门外、辐照室周围及高压钢桶醒目位置处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；将 1#、2#电子加速器控制室、收放卷区及二层设备平台边界及通往二层平台的楼梯作为辐射防护监督区边界，于各出入口处设置电离辐射警示标志及无关人员禁止入内标牌，工作时无关人员不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

本工程 1#、2#辐照室一层平面图见附图 4，1#、2#辐照室二层平面图见附图 5，本项目 1#辐照室剖面图见附图 6，本项目 2#辐照室剖面图见附图 7，本项目 1#、2#辐照室正视图见附图 8。

**2、屏蔽设计**

根据项目设计资料，本项目所用加速器为半自屏蔽式加速器，本项目各辐照室一层辐照室及二层设备平台设计参数表 8-1。

**表 8-1 各辐照室设计参数一览表**

项目		建设内容	屋顶厚度	防护门
1#辐照室	一层辐照室	东墙：控制室部位为 1600 混凝土，其余部分为 1500mm 混凝土（迷道内墙）+800mm 混凝土（外墙）	迷道内墙 1700mm 混凝土、迷道区域 1000mm 混凝土	10mm 铅板+16mm 铁板；门洞长×宽

		南墙：迷道内墙 1000mm 混凝土+迷道外墙 1200mm 混凝土 西墙、北墙：1700mm 混凝土	土	=2.0m*9m；铅 门长×宽 =2.14m*1.2m
	二层加速器钢桶	(1) 主机钢桶：①桶身：16mm 钢板+60mm 铅板+3mm 钢板 ②侧面桶盖：45mm 钢板+70mm 铅板+50mm 钢板 ③上桶盖：70mm 钢板+70mm 铅板+20mm 钢板 ④桶底：80mm 钢板 (2) 连接段：12mm 钢板+40mm 铅板+3mm 钢板 (3) 高压钢桶：14mm 钢板		
2#辐照室	一层辐照室	东墙：控制室部位为 1500 混凝土，其余部分 为 1400mm 混凝土（迷道内墙）+800mm 混凝土 （外墙） 南墙：迷道内墙 900mm 混凝土+迷道外墙 1200mm 混凝土 西墙、南墙：1500mm 混凝土	迷道内墙 1500mm 混凝土、迷道区 域 1000mm 混凝土	10mm 铅板+16mm 铁板；门洞长 ×宽 =2.0m*9m；铅 门长×宽 =2.14m*1.2m
	二层加速器钢桶	(1) 主机钢桶：①桶身：12mm 钢板+40mm 铅板+3mm 钢板 ②侧面桶盖：40mm 钢板+5mm 铅板+55mm 钢板 ③上桶盖：20mm 钢板+80mm 铅板+80mm 钢板 ④桶底：80mm 钢板 (2) 连接段：10mm 钢板+40mm 铅板+3mm 钢板 (3) 高压钢桶：14mm 钢板		

#### 4、通风系统

电子加速器在工作状态时，电子韧致辐射会产生 X 射线会使辐照室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 2 座辐照室均采用自然送风的方式，排风均采用机械排风的方式，臭氧风机均放置在各辐照室的西墙外，风机排风速度的设计值均不低于 14974m<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，排风管道从辐照室的地下穿过，并从辐照室的西墙外穿出，加速器经 15m 高排臭氧烟囱于 5#车间顶部排放，排放口高于车间及周边建筑，排气筒高度能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中关于排风口高度的要求。本项目辐照室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，并从辐照室的南墙外穿出，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辐照室的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

## 5、管线过墙

### (1) 拟辐照电缆穿墙设计

本项目加速器辐照东墙设置电线电缆输送孔道，用于被辐照电线电缆的进出，2 座电子加速器辐照室输送孔道开口高度约 95cm，在东侧内墙采用 63° 斜向下穿墙设计，出口距地面约 30cm，在东侧外墙采用斜穿墙设计，输送孔道开口高度约 50cm，在东侧外墙采用 63° 斜向上穿墙设计，出口距地面约 90cm，整个输送孔道呈“U”型设计。

(2) 建设单位电子加速器辐照室控制电缆从加速器斜向下穿墙后沿辐照室东墙向下后从地下穿出，整个输送孔道呈“S”型设计；束下电缆从地下采用 U 型路径设计，最终穿越屏蔽墙到达辐照室外。射线经多次散射后，电缆穿墙孔道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

### (3) 冷却水管和真空气管设计

加速器扫描系统设置了水冷系统，从二楼冷水机组斜穿墙至加速器钢桶预埋件，穿墙水管采用不锈钢管，水管避开主射线方向，射线经多次（至少三次）散射后，水管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。加速器真空系统主要用于维持加速管和扫描盒内的高真空状态，控制系统设有监测真空度的传感器。在扫描漂移管的一侧设置有用加速器正常工作时，维持真空的机械泵、分子泵、闸板阀和真空硅等。1#、2#加速器真空管从二楼斜穿墙至加速器扫描盒，穿墙真空管采用不锈钢管，真空管避开主射线方向，射线经多次（至少三次）散射后，真空管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。

## 8.1.2 辐射安全和防护措施

### 1、安全防护措施

除工作场所屏蔽设计的安全防范措施外，公司拟采取以下几个方面的安全环保措施。

### (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

辐照室门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门打开时，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，束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，将通过 PLC 反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。

### (4) 信号警示装置

辐照室的出入口和室内出入口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：

本项目辐照室内设有 6 个巡检按钮，各巡检信号均与加速器控制台联锁。工业电子加速器在开机出束前，辐射工作人员需先进入辐照室内进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下辐照室内的巡检按钮，全部巡检按钮按下后，防护门关闭后加速器方可启动；若中途停止或不按顺序执行，系统会提示巡检失败，加速器将不能进行出束作业，工作人员必须重新按序巡检。加速器在开机过程中，如辐照室内任一巡检按钮被触发，加速器会立即停止出束。

### (6) 防人误入装置

本项目在辐照室迷道入口紧邻防护门的位置，设计有 3 道相互独立不同高度的光电装置（红外光电感应装置），且并分别与加速器联锁。光电装置安装高度距离地面分别为 0.4m，



0.85m 和 1.35m 处，当有人员或者动物误入电子加速器辐照室身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，加速器将立即停止束流，同时发出异常情况下的警示声音。

#### (7) 急停装置

本项目在辐照室迷道出口处（防护门旁）设计有拉线开关，拉线开关距地面高度约 1.3m；拉线开关的拉线沿内部墙体围绕一圈布置，在辐照室内的任何位置均可以立即拉动拉线开关。当急停按钮或急停拉线开关动作时，切断加速器主电源断路器，整个加速器系统立即停机。在电子加速器控制柜上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止束流。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。

#### (8) 辐射监测装置

在控制室内以及辐照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门连锁，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，辐照室门无法从外部打开。

#### (9) 通风连锁

辐照室的风机若未开机，加速器也无法开机；若通风量出现异常，将通过 PLC 反馈至主机，加速器断电停机。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

辐照室风道中设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器立即停机并停止通风。

#### (11) 其他安全防护措施

##### ① 监控设备

在辐照室内安装监控探头，可覆盖监控整个辐照室内部情况，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内部情况。

##### ② 紧急出口指示

本项目拟在 5#车间内、各辐照室出口处（疏散通道和主要疏散路线的地面上或靠近地面的墙上），设置紧急出口指示灯。便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向，指引人员顺利离开。

### ③应急照明

本项目拟于各辐照室、控制室设置应急照明系统，应急照明设备应定时检验，保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果。

本项目采取防止开机、防止人员误留、紧急停机、外部警示等多层防护与安全措施，可确保当某一层次的防御措施失效时，由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，符合辐射安全要求中的“纵深防御原则”；各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，如在辐照室迷道内设置了三道光电，符合辐射安全要求中的“冗余性原则”；本项目门锁、电磁锁、拉线开关、门机联锁、剂量探测器等辐射安全设施涉及不同的运行原理和元器件等，辐照工作场所出入口的安全联锁采用了机械的、电子的和剂量的联锁，符合辐射安全要求中的“多元性原则”；本项目各项辐射安全设施均具有独立性，某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用，符合辐射安全要求中的“独立性原则”。安全联锁引发加速器停机时自动切断高压。

综上所述，本项目辐射安全措施及联锁系统设计能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的相关要求及辐射安全防护需求；辐照室外安全联锁设施可控制加速器的出束或停束。只有在所有安全联锁设施都处于正常工作状态时射线源才可出束，任意一个安全联锁设施不正常，射线源不能出束或立即停止出束，因此本项目的辐射安全联锁系统的设计具有可行性，能够保障工作人员免受意外照射。

安全联锁逻辑关系见附图 8-1。

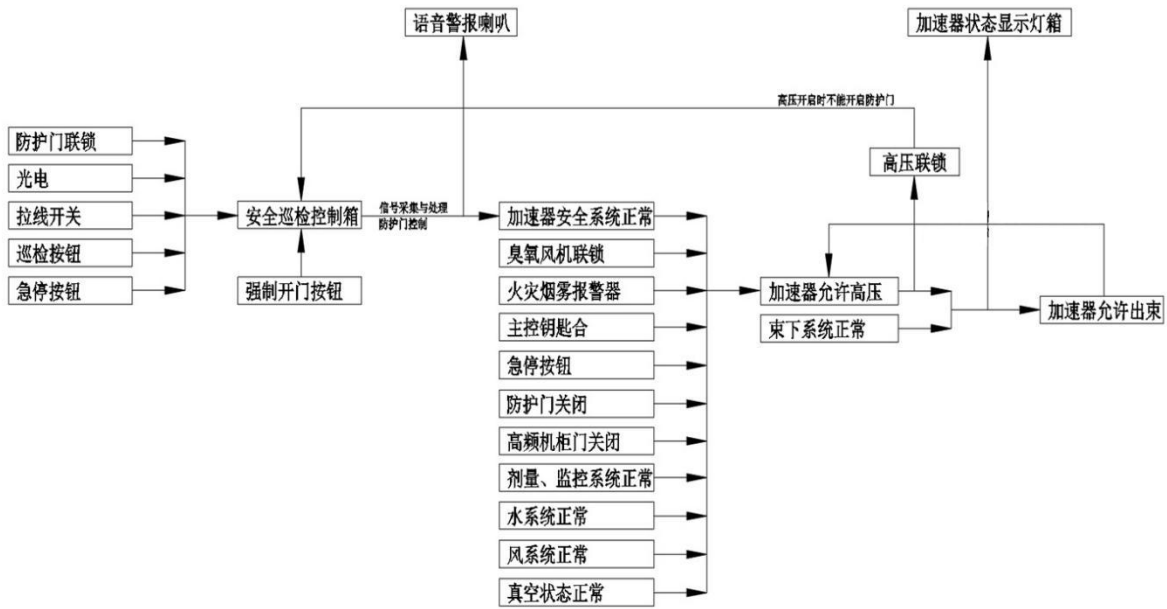


图 8-1 本项目安全联锁逻辑关系图

## 2、其他防护要求

(1) 根据公司提供资料，本项目电子加速器采用连续作业方式，以最大负荷计，每次最大连续出束 120h（5 天），年运行天数不超过 200 天，因此每台电子加速器年出束时间不会超过 4800h。

公司拟配备 8 名具备从事电子加速器辐照技术能力的辐射工作人员，专职进行本项目电子加速器的操作。公司拟尽快组织 8 名辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相关培训并考核合格后上岗。同时后续拟加强辐射工作人员管理，严禁未参加培训的人员从事辐射工作。同时根据工作强度若需增加人员，将按要求参加考核。

(2) 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号，2008）中第十六条第五款要求，企业配备的防护用品和监测仪器需满足电子加速器辐照工作的要求。对从事与放射性和射线装置有关的职业人员要求随身佩戴个人剂量计，以监督个人剂量的变化情况，控制接受剂量，保证职业人员的健康水平。本项目拟配备个人剂量计 8 支（由个人剂量检测单位配发）、个人剂量报警仪 2 部、辐射检测仪器 1 台，在配备相关防护器材后，可满足管理办法要求。本项目配备的监测设备和辐射防护用品具体见表 8-2。

表 8-2 本项目配备的监测设备和辐射防护用品

序号	名称	型号	数量
1	辐射巡检仪	/	1
2	个人剂量报警仪	/	2
3	个人剂量计	/	8
4	固定式剂量率报警仪	/	2

(3) 公司拟建立辐射工作人员个人剂量档案。委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量每三个月进行检测，建立辐射工作人员个人剂量档案，一人一档，由专人负责保管和管理，个人剂量档案终生保存。辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

(4) 定期为辐射工作人员健康查体，建立工作人员健康档案。

(5) 参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中的要求，运营单位拟对电子加速器辐照系统进行日检查、月检查及半年检查，做好日常检修（管理）及记录。如果发现异常及时修复或者改正，确保辐射安全防护措施的有效性和稳定性。

## 8.2 三废的治理

本项目为电子加速器辐照装置应用，在电子加速器运行过程中不产生放射性废气和放射性固体废物。

加速器设备中设计有冷却水循环系统，这部分水可能由于活化而含有较强的放射性。本项目电子加速器冷却水中被活化而形成的放射性核素主要为  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，只需放置一定时间其活度就可以衰减到较低的水平。本项目加速器一次冷却水为内循环水，不外排，当内循环水量低于水位时冷却水系统即自动报警，工作人员可及时补充离子水，保证系统的正常运行；工作人员生活污水经化粪池预处理后排入市政管道；本项目去离子水直接外购、不在辐照 5#车间内制备，本项目不产生离子交换树脂等废物，工作人员生活垃圾产生后由环卫部门定期清运处理。

在加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )，本项目 2 座辐照室均设有专门的通风系统，废气通过排风口、通风管道后分别经 1 根 15m 高排气筒排放。排放后臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气，而臭氧的产额比氮氧化物高一个量级，本次评价只考虑臭氧，只要臭氧能够达到标准，氮氧化物（限值高）也能达标。经下文计算和分析，本项目臭氧最大落地浓度低于《环

境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧日小时平均浓度限值  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），本项目排放的臭氧对周围大气环境影响较小。

本项目对辐照室各机械设备采用等措施，本项目噪声对周围环境影响较小。

## 表9 环境影响分析

### 9.1 建设阶段对环境的影响

#### 1、声环境影响分析

施工期噪声主要来自场地平整、打桩、混凝土浇筑等几个阶段，本项目施工期较短，在施工时严格执行相关要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，且经距离衰减后，对周边环境影响较小。

#### 2、水环境影响分析

施工期废污水主要来自两个方面：一是施工泥浆废水，二是施工人员的生活污水。施工泥浆水主要是在混凝土浇筑，施工设备的维修、冲洗中产生，应设置一定容量的沉淀池，把施工泥浆水汇集入沉淀池充分沉淀后，上清水重复利用，淤泥集中堆放后统一清运。施工泥浆废水不外排，对周围环境影响较小。

施工人员生活污水主要为洗涤废水和粪便污水，含COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>、SS等。总施工期约60天，按施工高峰时总的施工人员约15人，每人每天生活污水产生量以40L计，生活污水产生量仅约0.6m<sup>3</sup>/d，依托厂区内现有卫生间、化粪池收集后排入市政管网，对周边环境影响较小。

#### 3、固体废物

(1) 生活垃圾，施工期间人员日常生活产生的生活垃圾统一放至厂内生活垃圾存放点，由环卫部门定期清运。对周围环境影响较小。

(2) 施工垃圾，施工期间产生的建筑垃圾如果处置不当，由于扬尘和雨水淋洗等原因，会对空气环境和水环境造成二次污染，对周围环境产生不利影响。因此，从环保的角度看，对建筑废弃物的妥善处置十分重要。公司应要求施工单位规范处理，首先弃渣处置必须坚持“先挡后弃”。其次将建筑垃圾分类，尽量回收其中可利用的部分材料，对没有利用价值的，运送到环卫部门指定的建筑垃圾堆埋场，运输时必须采用密封的车箱，不随路散落，也不随意倾倒建筑垃圾，制造新的“垃圾堆场”。在采取措施后，对周围环境影响较小。

#### 4、大气环境影响分析

本项目在建设施工期需进行打桩、混凝土浇筑等作业，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，保持施工场地地面一定的清洁和湿度，减少地面扬尘；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。经采取以上措施后，本项目施工阶段对周边大气环境影响较小。

综上所述，本工程施工期对环境的影响是小范围和短暂的。随着施工期的结束，对环境的影响也逐步消失。

## 9.2 运行阶段对环境的影响

为分析预测电子加速器投入运行后所引起的辐射环境影响，本项目选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 中推荐的预测模式进行理论计算。

经与公司确认，本项目 2 台电子加速器于对应辐照室内独立运行，互不干扰，存在同时运行的可能。本次评价对辐照室的 X 射线屏蔽能力、迷道散射影响、天空反散射影响、侧向散射影响、臭氧排放影响进行对应预测分析，计算过程中采用电子加速器的最高能量和最大束流强度作为计算依据。

### 9.2.1 电子束对周围环境的影响

本项目电子加速器能发射最大能量分别为 2.5MeV、2.0MeV 的电子束，电子在物质中的最大射程可由以下公式估算（公式摘自《辐射防护技术与管理》，P123）。

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \quad (9-1)$$

公式中： $d$ —最大射程，cm；

$\rho$ —防护材料的密度， $g/cm^3$ ；

$E_{\beta\max}$ —电子最大能量，MeV；

电子束的最大能量为 2.5MeV 时，在空气中（ $0.00129g/cm^3$ ）的最大射程约为 968cm，在混凝土中（ $2.35g/cm^3$ ）的最大射程约为 0.53cm；电子束的最大能量为 2.0MeV 时，在空气中（ $0.00129g/cm^3$ ）的最大射程约为 775cm，在混凝土中（ $2.35g/cm^3$ ）的最大射程约为 0.43cm。由于辐照室混凝土墙体厚度均在 100cm 以上，而且电子束方向朝向地面。因此加速器发射的电子束对辐照室外环境的影响可以忽略。

### 9.2.2 X 射线对周围环境的影响

从结构上看，本项目加速器束流向下，高速电子本身不对周围环境产生影响，影响周围环

境需要防护的是电子束作用于辐照材料及周边物体而产生的韧致辐射。由于束流 0° 方向为地面所以无需考虑防护，需要防护的是 90° 方向的辐照室四周墙体和 180° 方向的加速器室顶。

### (1) 1#、2#辐照室周围辐射水平预测

本项目加速器电子束向下照射，有用线束照射方向为辐照室地面，辐照室下方为硬化地面，向下无建筑物，且无法到达，本次评价不再对 0° 有用线束辐照屏蔽防护屏蔽进行核算，主要考虑电子辐照加速器 90° 方向韧致 X 射线影响。

#### ①辐射源强

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 2 种：

①混凝土地面；

②辐照产品，主要为电线电缆，材料为铜等。

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X 射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致辐射（X 射线）的发射率也不相同。

本项目加速器运行时，不锈钢的 Z 值（原子序数）最大，X 射线发射率最高，本次评价选取轰击不锈钢输送带的情况来进行预测。

下述理论计算主要参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）进行计算。本次电子加速器辐照装置的屏蔽计算均以加速器的最高能量和最大束流强度进行计算。加速器最高能量和最大束流强度参数由设备厂商提供。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 中表 A.1 中数值，电子能量 ≤10MeV，靶材料为“铁、铜”时，0° 方向的修正系数为 0.7，90° 方向的修正系数为 0.5。

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-2）计算。

$$D_{10}=60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad (9-2)$$

式中：D<sub>10</sub>——距 X 射线源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h）；

Q——X 射线的发射率，Gy·m<sup>2</sup>·mA<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>；

I——电子束流强，mA；



$f_c$ ——X射线的发射率修正系数。

本项目电子加速器电子束向下照射，不直接射向辐照室四周屏蔽墙，因此辐照室内韧致辐射主要考虑沿与电子束入射方向为 $90^\circ$ 的韧致X射线。根据式9-2，本项目加速器 $90^\circ$ 方向上韧致辐射源强取值及计算结果如下表9-1所示。

表9-1 本项目加速器 $90^\circ$ 方向上韧致辐射源强取值及计算结果

电子能量	方向	X射线的发射率 $\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	束流强度 mA	修正系数	距X射线源1m处吸收剂量率 Gy/h
2MeV	侧向 $90^\circ$	1.6	50	0.5	2400
2.5MeV	侧向 $90^\circ$	2.5	40	0.5	3000

注：1. 本项目加速器入射电子能量最分别为2.0MeV、2.5MeV，根据HJ979-2018表A.1，侧向 $90^\circ$ 方向X射线发射率分别取 $1.6\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $2.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；

2. 本项目加速器束流强度分别为50mA、40mA；

3. 本项目被辐照材料主要考虑铜， $0^\circ$ 方向的修正系数为0.7， $90^\circ$ 方向的修正系数为0.5。

### ②X射线辐射剂量率估算公式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A中的相关计算公式、图表及参数，推导出本项目计算公式。

$$H_M = (1 \times 10^6) \frac{D_{10}}{d^2} B_X T \quad (9-3)$$

式中： $H_M$ ——透射参考点处剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

$B_X$ ——X射线的屏蔽透射比；

$d$ ——X射线源与参考点（计算点间）的距离（m）；

$T$ ——居留因子，当参考点位置为人员全部居留时取值1，部分居留时可取1/4，偶然居留时可取1/16；

常数（ $1 \times 10^6$ ）为单位转换系数， $1 \mu\text{Sv/h} = 1 \times 10^{-6} \text{Sv/h}$ （1Gy相当于1Sv）；

$D_{10}$ ——距X射线源1m处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h）。

$$B_X = 10^{-[(S+T_e-T_1)/T_e]} \quad (9-4)$$

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，cm。

### ③参数选择

依据 HJ979-2018 附录 A 表 A. 4, 2MeV 电子在侧向 90° 方向屏蔽能量取相应等效能量为 1. 3MeV; 根据 HJ979-2018 附录 A 表 A. 2、表 A. 3 及附录 A 示例中的相关内容, 采用内插法, 1. 3MeV 电子能量照射的混凝土对应  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=19. 64\text{cm}$ ,  $T_e=16. 98\text{cm}$ , 2. 5MeV 电子在侧向 90° 方向屏蔽能量取相应等效能量为 1. 6MeV; 根据 HJ979-2018 附录 A 表 A. 2、表 A. 3 及附录 A 示例中的相关内容, 采用内插法, 1. 6MeV 电子能量照射的混凝土对应  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=20. 84\text{cm}$ ,  $T_e=18. 66\text{cm}$ 。

### ④计算结果

1#辐照室周围墙外 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 9-2。参考点示意图见图 9-1。

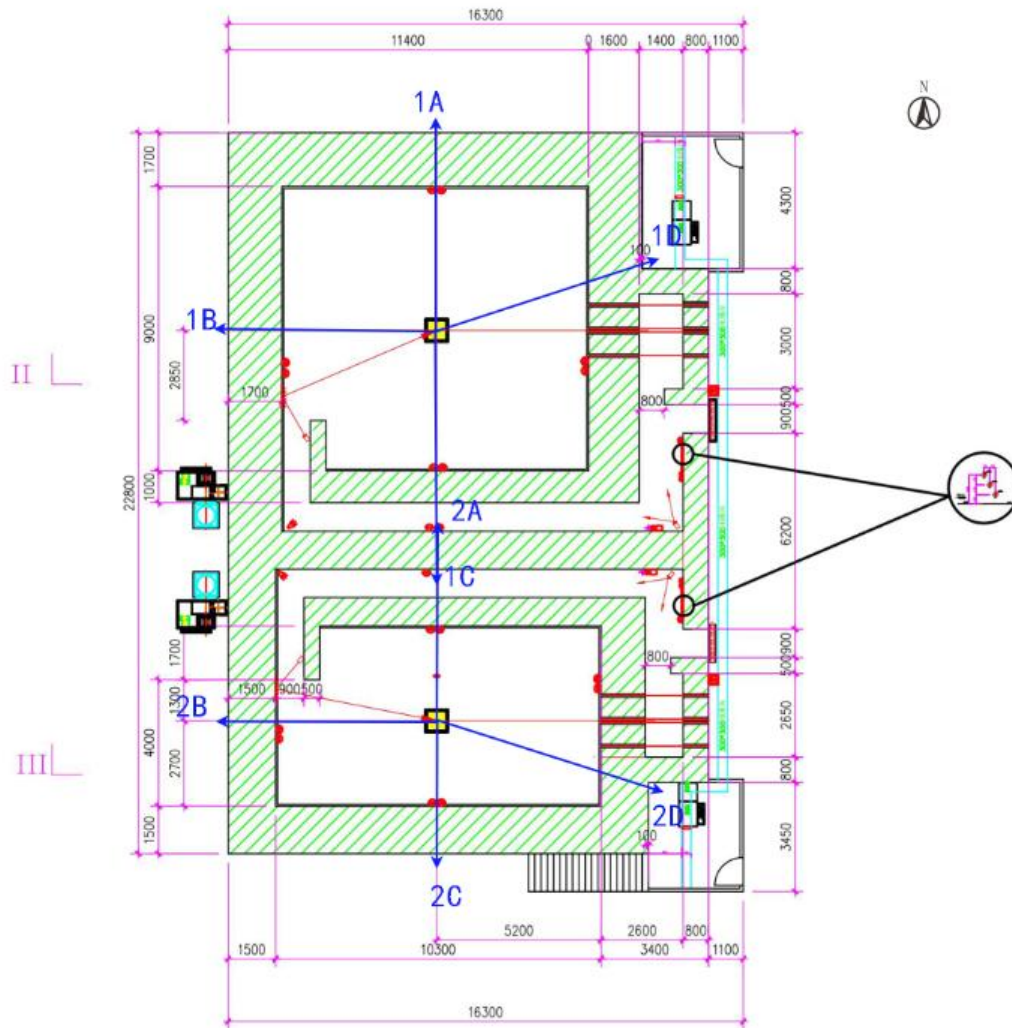


图 9-1 1#辐照室周围 X 剂量率参考点示意图

表 9-2 1#辐照室墙体外参考点处辐射剂量率估算结果

参考点	1A	1B	1C	1D
点位位置	辐照区北墙外 30cm 处	辐照区西墙外 30cm 处	辐照区南墙外 30cm 处	辐照区东墙外 30cm 处
墙体等效厚度 (cm)	170	170	220	177
$D_{0}$ (Gy/h)	3000	3000	3000	3000
$T_{i}$ (cm)	20.84	20.84	20.84	20.84
$T_{e}$ (cm)	18.66	18.66	18.66	18.66
透射系数 Bx	$1.02 \times 10^{-9}$	$1.02 \times 10^{-9}$	$2.12 \times 10^{-12}$	$4.27 \times 10^{-10}$
距离 (m)	6.55	6.9	7.85	7.0
居留因子	1	1	1	1
参考点剂量 ( $\mu$ Sv/h)	0.71	0.64	$1.03 \times 10^{-4}$	0.26

2#辐照室周围墙外 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 9-3。参考点示意图见图 9-1。

表 9-3 2#辐照室墙体外参考点处辐射剂量率估算结果

参考点	2A	2B	2C	2D
点位位置	辐照区北墙外 30cm 处	辐照区西墙外 30cm 处	辐照区南墙外 30cm 处	辐照区东墙外 30cm 处
墙体等效厚度 (cm)	150	150	210	156
$D_{0}$ (Gy/h)	2400	2400	2400	2400
$T_{i}$ (cm)	19.64	19.64	19.64	19.64
$T_{e}$ (cm)	16.98	16.98	16.98	16.98
透射系数 Bx	$2.10 \times 10^{-9}$	$2.10 \times 10^{-9}$	$6.15 \times 10^{-13}$	$9.32 \times 10^{-10}$
距离 (m)	6.3	6.9	4.5	7.2
居留因子	1	1	1	1
参考点剂量 ( $\mu$ Sv/h)	0.13	0.11	$7.29 \times 10^{-5}$	0.04

由表 9-2 可知，1#、2#辐照室四周墙体外 30cm 处的 X 射线剂量率最大值为  $0.71 \mu\text{Sv/h}$ ，满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率限值要求。

## (2) 电子加速器辐照室顶及加速器主机钢桶屏蔽计算

本项目 1#、2#辐照室分别使用的 DDLH2.5/40-1600、DDLH2.0/50-1600 型电子加速器仅需建设辐照室，加速器主机、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备位于辐照室楼顶的设备平台。

1#、2#加速器辐照室顶辐射影响主要考虑韧致辐射所致、与电子束入射方向呈  $109^\circ$  到  $180^\circ$  方向的初级 X 射线。

加速器主机钢桶内的辐射场由三部分叠加：A、辐照室内与入射电子束呈  $109^\circ$  到  $180^\circ$  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；B、辐照室内的  $0^\circ$  方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面  $180^\circ$  方向散射后的次级 X 射线，通过加速器主机钢桶基座的孔洞直接照射入钢桶形成的散射辐射场；C、尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与加速器钢桶作用产生的束流损失辐射场。

沿与电子束入射方向呈  $180^\circ$  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  $0.5\sim 3\text{MeV}$  电子产生的， $180^\circ$  反射时，用  $0.25\text{MeV}$  的透射比曲线。根据《辐射防护导论》图 3.23 和图 3.24 可查得，入射电子能量为  $0.25\text{MeV}$  时，铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=0.2\text{cm}$ 、 $T_e=0.25\text{cm}$ 。

对于上述 B 部分，1#加速器钢筒（12mm 铁板+40mm 铅板+3mm 钢板）和顶板（70mm 钢板+70mm 铅板+20mm 钢板）的透射比  $B_x$  最大为  $8.48 \times 10^{-17}$ ，将其带入公式 9-3 可计算得辐照室 X 射线源对主体钢桶的散射辐射剂量率最大为  $4.29 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ （D10 保守取  $90^\circ$  方向上的值  $3000\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，T 取 1，d 保守取 7.7m（地面至钢桶顶部的距离  $7.4\text{m}+0.3\text{m}=7.7\text{m}$ ））。由此可知，沿与电子束入射方向呈  $180^\circ$  方向的次级 X 射线能量较低，其对室外的辐射环境影响很小。

2#加速器钢筒（12mm 钢板+40mm 铅板+3mm 钢板）和顶板（20mm 钢板+80mm 铅板+80mm 钢板）的透射比  $B_x$  最大为  $7.88 \times 10^{-13}$ ，将其带入公式 9-3 可计算得电子加速器辐照室 X 射线源对主体钢桶的散射辐射剂量率最大为  $3.19 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ （D10 保守取  $90^\circ$  方向上的值  $2400\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，T 取 1，d 保守取 7.2m（地面至钢桶顶部的距离  $6.9\text{m}+0.3\text{m}=7.2\text{m}$ ））。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，其对室外的辐射环境影响很小。

因此，为简化计算，加速器主机钢桶辐射防护屏蔽评价，仅考虑电子加速器运行过程中束流损失辐射场的影响及辐照室内韧致辐射初级 X 射线经过辐照室屋顶屏蔽对室外考察点的影响。

### ①1#、2#电子加速器辐照室屋顶的贯穿辐射影响

为安全起见，109° 到 180° 方向的发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数，预测参数及结果见表 9-4。

表 9-4 电子加速器辐照室顶部贯穿辐射影响计算结果

点位位置	1#电子加速器辐照室顶部		2#电子加速器辐照室顶部	
	墙体等效厚度 (cm)	170 (混凝土)	57.3 (钢)	150 (混凝土)
$D_0$ (Gy/h)	3000	3000	2400	2400
$T_1$ (cm)	20.84	6.98	19.64	6.28
$T_c$ (cm)	18.66	6.36	16.98	5.72
透射系数 $B_x$	$1.02 \times 10^{-9}$	$1.22 \times 10^{-9}$	$2.10 \times 10^{-9}$	$5.51 \times 10^{-9}$
距离 (m)	3.7	3.7	3.7	3.7
居留因子	1	1	1	1
参考点剂量 ( $\mu$ Sv/h)	0.22	0.26	0.36	0.96
	0.58		1.32	

注：①辐照室顶的有效屏蔽厚度保守按韧致辐射在辐照室顶 180° 穿墙估算；

②电子加速器辐照室顶部钢板基座采用最小斜射厚度，1#电子加速器辐照室顶部钢板厚度为 57.3 (钢)，2#电子加速器辐照室顶部钢板厚度为 47.8 (钢)，其他保守采用垂直厚度。

### ②1#、2#加速器束流损失辐射场辐射屏蔽计算

根据厂家提供数据，1#辐照室内电子直线加速器束流损失率为 1% (即电子束流强度为 0.4mA)，束流损失点的能量为 0.25MeV；参考附录 A 表 A.1，0.25MeV 能量下 X 射线发射率保守取 0.5MeV 能量下 90° 方向的值，为  $0.07 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{min} \cdot \text{mA}$ ，修正系数取 0.5。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 9-2 可计算得出  $D_{10}$  为  $0.84 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。对 0.25MeV 入射电子能量可查表 A.4 通过外推法得 90° 方向的初级 X 射线等效

能量为 0.25MeV。

2#辐照室内电子直线加速器束流损失率为 1%（即电子束流强度为 0.5mA），束流损失点的能量为 0.2MeV；参考附录 A 表 A.1，0.25MeV 能量下 X 射线发射率保守取 0.5MeV 能量下 90° 方向的值，为  $0.07\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min} \cdot \text{mA}$ ，修正系数取 0.5。根据公式 9-2 可计算得出 D10 为  $1.05\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。对 0.2MeV 入射电子能量可查表 A.4 通过外推法得 90° 方向的初级 X 射线等效能量为 0.22MeV。

表 9-5 1#电子加速器束流损失屏蔽效果计算结果

参考点	桶身	侧面桶盖	连接段	上桶盖
墙体等效厚度 (cm)	16mm 铁板+60mm 铅板+3mm 钢板	45mm 钢板+70mm 铅板+50mm 钢板	12mm 铁板+40mm 铅板+3mm 钢板	70mm 钢板+70mm 铅板+20mm 钢板
$D_{10}$ (Gy/h)	0.84	0.84	0.84	0.84
$T_1$ (cm)	0.5 (Pb)	0.5 (Pb)	0.5 (Pb)	0.5 (Pb)
$T_e$ (cm)	1.2 (Pb)	1.2 (Pb)	1.2 (Pb)	1.2 (Pb)
透射系数 Bx	$2.61 \times 10^{-11}$	$2.51 \times 10^{-13}$	$2.51 \times 10^{-7}$	$2.51 \times 10^{-11}$
距离 (m)	1.2	1.4	2.6	2.6
居留因子	1	1	1	1
参考点剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$1.46 \times 10^{-5}$	$1.07 \times 10^{-7}$	0.03	$3.12 \times 10^{-8}$

注：本次保守计算，其中桶身、侧面桶盖、连接段及上桶盖忽略钢板屏蔽能力。

表 9-6 2#电子加速器束流损失屏蔽效果计算结果

参考点	桶身	侧面桶盖	连接段	上桶盖
墙体等效厚度 (cm)	12mm 钢板+40mm 铅板+3mm 钢板	40mm 钢板+5mm 铅板+55mm 钢板	10mm 钢板+40mm 铅板+3mm 钢板	20mm 钢板+80mm 铅板+80mm 钢板
$D_{10}$ (Gy/h)	0.105	0.105	0.105	0.105
$T_1$ (cm)	0.5 (Pb)	0.5 (Pb)	0.5 (Pb)	0.5 (Pb)
$T_e$ (cm)	1.2 (Pb)	1.2 (Pb)	1.2 (Pb)	1.2 (Pb)
透射系数 Bx	$2.51 \times 10^{-5}$	$2.51 \times 10^{-9}$	$2.51 \times 10^{-7}$	$2.51 \times 10^{-15}$
距离 (m)	1.4	1.2	2.0	2.0
居留因子	1	1	1	1
参考点剂量	0.01	0.07	0.0065	$6.59 \times 10^{-11}$

( $\mu\text{Sv/h}$ )

注：本次保守计算，其中桶身、侧面桶盖、连接段及上桶盖忽略钢板屏蔽能力。

由表 9-4-表 9-6 可知，1#、2#辐照室电子加速器辐照室屋顶的 X 射线剂量率叠加后最大值为  $2.01 \mu\text{Sv/h}$ ，满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率限值要求。

### (3) 辐照室防护门辐射影响分析

本次对辐照室防护门处进行核算。

#### ①估算公式

$$H_{1,j} = \frac{D_{10} \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \dots d_{rj})^2} \quad (9-5)$$

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 ( $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ )；

$\alpha_1$ ——入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

$\alpha_2$ ——随后从屏蔽层材料表面散射出来的对应 0.5MeV (的) 能量 X 射线的散射系数 (假设对以后所有散射过程是相同的)；

$A_1$ ——X 射线入射到第一散射物质的散射面积， $\text{m}^2$ ；

$A_2$ ——迷道的截面积 (假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在 1-2 之间)， $\text{m}^2$ ；

$d_1$ ——X 射线辐射源到第一反射层的距离，m；

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

$j$  ——指第  $j$  个散射过程。

#### ②参数选择

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附录 A 示例计算中给出，对于能量大于 3MeV 的 X 射线认为其散射一次后的能量为 0.5MeV；对于初级 X 射线，散射系数  $\alpha_1$  取值  $5 \times 10^{-3}$ ，对于一次散射后的 X 射线散射系数  $\alpha_2$  取值为  $2 \times 10^{-2}$ 。

#### ③计算结果

本项目 X 射线在辐照室的散射路线见图 9-2，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，本项目电子加速器辐照室防护门处辐射剂量率的计算参数及计算结果见表 9-7。

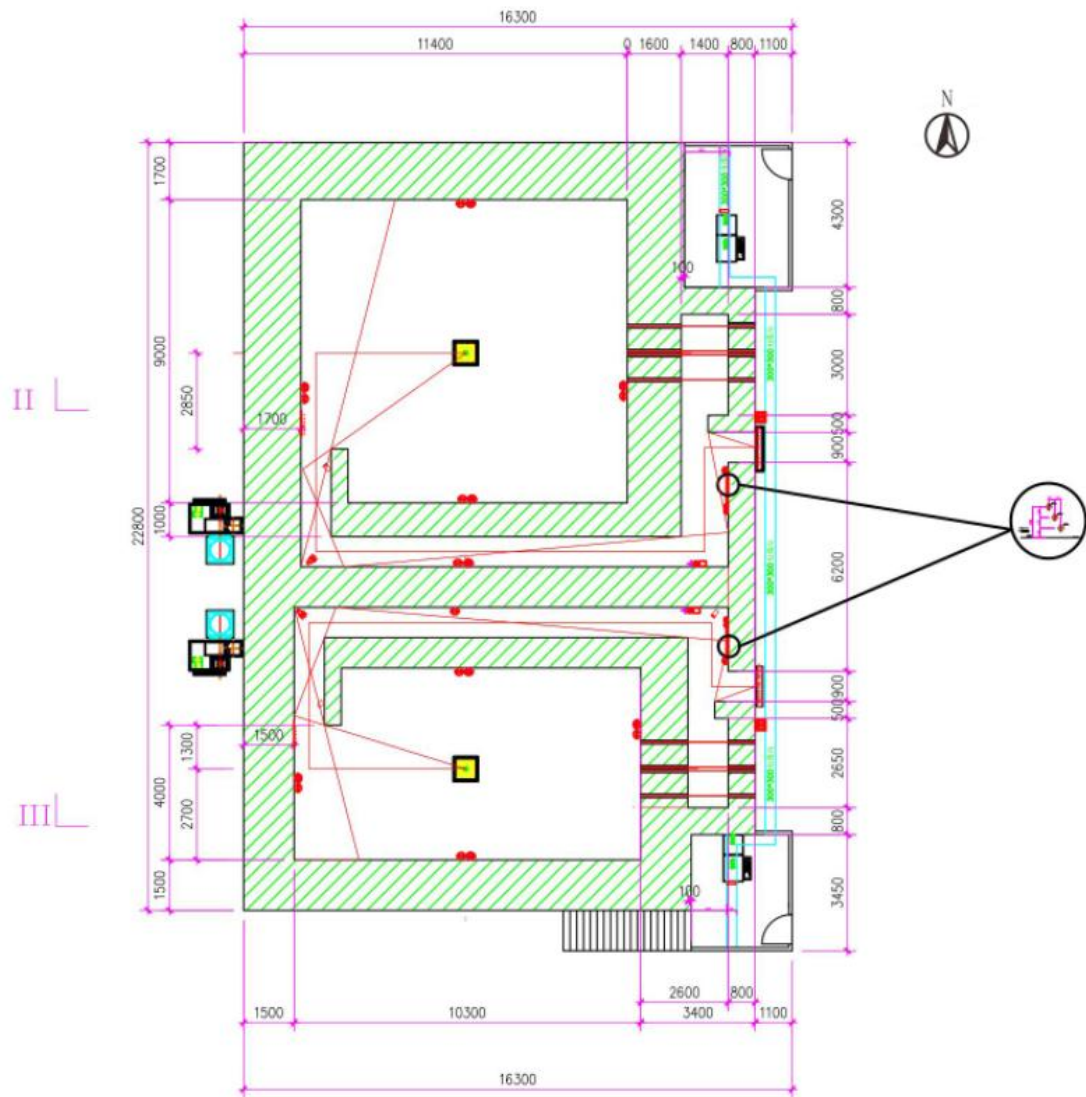


图 9-2 辐照室散射路径示意图

表 9-7 辐照室入口口处辐射剂量率估算结果

辐照室	1#辐照室	2#辐照室
点位位置	迷道出口安全门处	迷道出口安全门处
$D_0$ (Gy/h)	3000	2400
散射系数 $\alpha_1$	0.005	0.005
散射系数 $\alpha_2$	0.02	0.02
散射面积 A1 (m <sup>2</sup> )	23.7	14.8
散射面积 A2 (m <sup>2</sup> )	2.6	2.6



散射面积 A3 (m <sup>2</sup> )	2.6	2.6
散射面积 A4 (m <sup>2</sup> )	4.0	4.0
路径 (m)	6.0, 3.1, 11.4, 3.0, 1.5	5.3, 3.4, 11.7, 1.8, 1.3
参考点剂量 (μ Sv/h)	0.08	0.15

注：根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的计算方式，A<sub>1</sub> 为散射宽度与高度的乘积，则 1# 辐照室出口处 A<sub>1</sub> = (2.8+8.0) × 2.2 ≈ 23.7m<sup>2</sup>，A<sub>2</sub>~A<sub>4</sub> 为迷道宽度与高度的乘积，A<sub>2</sub>=0.9 × 2.9 ≈ 2.6m<sup>2</sup>，A<sub>3</sub>=0.9 × 2.9 ≈ 2.6m<sup>2</sup>，A<sub>4</sub>=1.4 × 2.9 ≈ 4.0m<sup>2</sup>；2# 辐照室出口处 A<sub>1</sub> = (4.3+1.9) × 2.4 ≈ 14.8m<sup>2</sup>，A<sub>2</sub>~A<sub>4</sub> 为迷道宽度与高度的乘积，A<sub>2</sub>=0.9 × 2.9 ≈ 2.6m<sup>2</sup>，A<sub>3</sub>=0.9 × 2.9 ≈ 2.6m<sup>2</sup>，A<sub>4</sub>=1.4 × 2.9 ≈ 4.0m<sup>2</sup>；

根据表 9-7 可知，X 射线经迷道散射后，所致 1#、2# 电子加速器辐照室入口处的辐射剂量率分别为 0.08 μ Sv/h、0.15 μ Sv/h。

表 9-8 本项目 2 台电子加速器叠加辐射影响计算结果

方向	1#辐照室所致辐射剂量 (μ Sv/h)	2#辐照室所致辐射剂量 率 (μ Sv/h)	叠加辐射剂量率 (μ Sv/h)
北侧	0.71	0.13	0.84
南侧	1.03 × 10 <sup>-4</sup>	7.29 × 10 <sup>-5</sup>	1.76 × 10 <sup>-4</sup>
西侧	0.64	0.11	0.75
东侧	0.26	0.04	0.3

根据表 9-8，当相邻辐照室的 2 台电子加速器同时运行时，所致辐照室周围叠加辐射剂量率最大为 0.84 μ Sv/h，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 μ Sv/h。

#### (4) 天空反散射影响

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，考虑辐照室辐射对参考点的剂量贡献。计算时，发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数。

##### ①估算公式

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \quad (9-7)$$

式中：

H 一在距离 X 射线辐射源  $d_s$  处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 (Sv/h)

$B_{xs}$ —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 ( $S_r$ )；

$d_1$ —在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离 (m)；

$d_s$ —X 射线源到 P 点的距离 (m)。

立体角 $\Omega$ 的计算公式如下：

$$\Omega = 4 \tan^{-1} \frac{ab}{cd} \quad (9-8)$$

公式 9-8 出处：《辐射源室屏蔽设计与评价》(王时进主编,北京市放射卫生防护所,2002 年),第 16 页式 1.13。

a、b——辐射源到墙外的最小长度和宽度的一半；

c——辐射源到屋顶表面的距离；

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

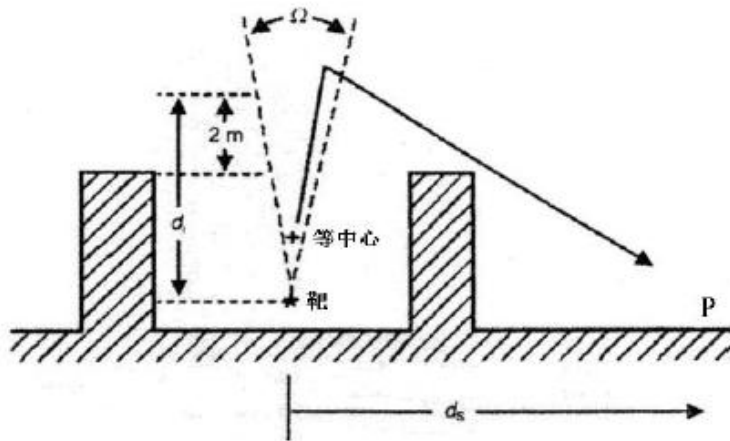


图 9-3 天空反散射示意图

## ②参数的选取

1#辐照室辐射源：D10、T1 和 Te 取值同上，即 D10 为  $3000\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，混凝土的 T1 和 Te 值分别为  $T1=20.84\text{cm}$ ， $Te=18.66\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离 c 为 3.4m，屋顶长度之半 a 为 4.5m、宽度之半 b 为 4.85m，根据公式 9-8 可计算得出  $\Omega=3.4\text{Sr}$ 。

加速器钢桶辐射源：D10、T1 和 Te 取值同上，即 D10 为  $0.84\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，辐射源距离加速器顶部表面中心的距离 c 为 2.3m，屋顶半径 r 为 0.7m，根据公式 9-8 可计算得出  $\Omega=67.7\text{Sr}$ 。

钢桶顶板为 70mm 钢板+70mm 铅板+20mm 钢板钢板。通过公式 9-7 计算可得钢桶周围辐射剂量率最大为  $1.61 \times 10^{-15}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )，因此不考虑钢桶的天空反散射辐射影响。

X 射线源至 1#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#电子加速器辐照室四周墙表面 30cm 处的距离，取值分别为 6.55m、7.85m、6.9m、7.0m，根据公式 11-6，可估算出 1#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 9-9。

表 9-9 1#辐照室天空反散射的 X 射线周围剂量当量率贡献

参数		东侧	南侧	西侧	北侧
辐照室 天空反 散射辐 射影响	墙体等效 厚度 (cm)	170cm 混凝土			
	$D_{10}$ (Gy/h)	3000	3000	3000	3000
	透射系数 $B_x$	$5.47 \times 10^{-9}$	$5.47 \times 10^{-9}$	$5.47 \times 10^{-9}$	$5.47 \times 10^{-9}$
	$\Omega$	3.4	3.4	3.4	3.4
	$d_i$	5.4m	5.4m	5.4m	5.4m
	$d_s$	6.55m	7.85m	6.9m	7.0m
	参考点剂量 率	$2.01 \times 10^{-6}$	$1.12 \times 10^{-9}$	$1.45 \times 10^{-9}$	$1.41 \times 10^{-9}$

可估算出 1#电子加速器辐照室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  $2.01 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ 、 $1.12 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 、 $1.45 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 、 $1.41 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 。

#### 2#辐照室天空反散射辐射影响

辐照室辐射源： $D_{10}$ 、T1 和  $T_e$  取值同上，即  $D_{10}$  为  $2400\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，混凝土的 T1 和  $T_e$  值分别为  $T_1=19.64\text{cm}$ 、 $T_e=16.98\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离  $c$  为 3.4m，屋顶长度之半  $a$  为 5.15m、宽度之半  $b$  为 2.85m，根据公式 9-8 可计算得出  $\Omega=5.4\text{Sr}$ 。

加速器钢桶辐射源： $D_{10}$ 、T1 和  $T_e$  取值同上，即  $D_{10}$  为  $0.105\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，主机室辐射源距离加速器屋顶表面中心的距离  $c$  为 2.0m，半径  $r$  为 0.7m，根据公式 11-7 可计算得出  $\Omega=77.5\text{Sr}$ 。

X 射线源至 2#电子加速器机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#

电子加速器辐照室南表面 30cm 处的距离，取值为 6.55m，通过公式 9-7 计算可得钢桶周围辐射剂量率最大为  $5.81 \times 10^{-18}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )，因此不考虑钢桶的天空反散射辐射影响。

X 射线源至 2#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#电子加速器辐照室四周墙表面 30cm 处的距离，取值分别为 6.3m、6.9m、4.5m、7.2m，根据公式 11-6，可估算出 1#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 9-10。

表 9-10 2#辐照室天空反散射的 X 射线周围剂量当量率贡献

参数		北侧	西侧	南侧	东侧
辐照室 天空反 散射辐 射影响	墙体等效 厚度 (cm)	150cm 混凝土			
	$D_{10}$ (Gy/h)	2400	2400	2400	2400
	透射系数 $B_x$	$2.10 \times 10^{-9}$	$2.10 \times 10^{-9}$	$2.10 \times 10^{-9}$	$2.10 \times 10^{-9}$
	$\Omega$	3.1	3.1	3.1	3.1
	$d_i$	5.4m	5.4m	5.4m	5.4m
	$d_s$	6.3m	6.9m	4.5m	4.2m
	参考点剂量 率	$4.74 \times 10^{-10}$	$3.95 \times 10^{-10}$	$9.30 \times 10^{-10}$	$1.07 \times 10^{-9}$

可估算出 2#电子加速器辐照室屋顶盖板处天空反散射对机房北侧、西侧、南侧、东侧公众所能到达区域 P 点处的辐射影响分别为  $4.74 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ 、 $3.95 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ 、 $9.30 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ 、 $1.07 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 。

表 9-11 本项目 2 台电子加速器同时运行天空反散射叠加辐射影响计算结果

方向	1#辐照室所致辐射剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	2#辐照室所致辐射剂量 率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	叠加辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
北侧	$4.74 \times 10^{-10}$	$1.41 \times 10^{-9}$	$1.88 \times 10^{-9}$
南侧	$9.30 \times 10^{-10}$	$1.12 \times 10^{-9}$	$2.05 \times 10^{-9}$
西侧	$3.95 \times 10^{-10}$	$1.45 \times 10^{-9}$	$1.84 \times 10^{-9}$
东侧	$1.07 \times 10^{-9}$	$2.01 \times 10^{-6}$	$2.01 \times 10^{-6}$

根据表 9-11，当相邻辐照室的 2 台电子加速器同时运行时，所致辐照室周围天空反散射叠加辐射剂量率最大为  $2.01 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，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) X 射线通过顶盖的侧向散射影响

距本项目辐照室最近的建筑物为南侧拟建车间。车间高 13m，为单层建筑，与辐照室高度相当，因此加速器邻近区域无高层建筑，不考虑 X 射线过屋顶后侧向散射对邻近建筑物造成的辐射影响。

#### (6) 其他设计合理性分析

##### ①通风口设计合理性分析

本项目 2 座辐照室均拟设置埋地排风管道，管道直径为 600mm，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，从每组加速器辐照室的西墙外穿出，在公司 5#车间屋顶排放。排风管道避开主射线方向，并采用埋地设计，排风管道未破坏辐照室整体防护效果，满足辐射防护的要求。

##### ②电缆管道、水管道设计合理性分析

本项目加速器电缆管道、水管道设计均避开主射线方向，电缆管道、水管道均采用曲线弯预埋设置，射线均需经至少 3 次散射后方能从管口泄漏，所有电缆道口及水管道口处均做补偿措施，电缆管出口、水管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。

### 9.2.3 有害气体对周围环境的影响

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录B，辐照加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生极少量臭氧( $\text{O}_3$ )和微量氮氧化物( $\text{NO}_x$ )等有害气体。相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为臭氧的1/3，且以臭氧的毒性较高，所以主要考虑臭氧的产生及其防护。

#### 一、臭氧对周围环境影响分析

##### 1、臭氧产生情况分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B，平行电子束所致臭氧的产生率采用式 9-10 进行估算。

$$P = 45 d I G \quad (9-10)$$

式中：

P——单位时间电子束产生 O<sub>3</sub> 的质量 (mg/h)；

I——电子束流强度 (mA)；

d——电子在空气中的行程 (cm)，应结合电子在空气中的线阻止本领  $s=2.5\text{keV/cm}$  和辐射是尺寸选取；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O<sub>3</sub> 分子数，保守值可取为 10。

参照公式 9-1，本项目 1#、2#加速器实际电子束向下引出扫描窗时，距离受照射的辐照材料距离约 10-15cm，具体和导轮的安装及线缆的直径有关，本项目取常用设计的 12cm 进行估算。

表 9-12 各辐照室产生臭氧质量的估算结果

辐照室	I (mA)	d (cm)	G	P (mg/h)
1#辐照室	40	12	10	216000
2#辐照室	50	12	10	270000

## 2、辐照室通风换气计算

本项目 1#辐照室有效容积约为 255.2m<sup>3</sup>，通风量为 14974m<sup>3</sup>/h，设计通风换气次数为 66 次/小时（加速器开机）。平均每次换气需要 1/66h；2#辐照室有效容积约为 197.05m<sup>3</sup>，通风量为 14974m<sup>3</sup>/h，设计通风换气次数为 75 次/小时（加速器开机）。平均每次换气需要 1/75h。

## 3、臭氧的有效清除时间及工作过程中辐照室内 O<sub>3</sub> 的浓度

假设臭氧在辐照室内均匀分布，辐照室内的臭氧平衡浓度随辐照时间 t (min) 的变化计算公式如下：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad (9-11)$$

式中：

C(t)——辐照室内臭氧的浓度，mg/m<sup>3</sup>；

V——辐照室内体积，m<sup>3</sup>；

t——开机运行时间，min；

T<sub>e</sub>——有效清除时间，min。

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad (9-12)$$

式中：

$T_v$ ——换气一次需要的时间，1#辐照室为 1/66h、2#辐照室为 1/75h；

$T_d$ ——臭氧的有效分解时间，取 5/6h。

由上式计算可得，1#辐照室臭氧的有效清除时间为 0.014h、2#辐照室臭氧的有效清除时间为 0.013h。

由于  $T_v \ll T_d$ ， $T_e \approx T_v$ ，在长时间照射的情况下，臭氧浓度达到饱和，其平衡浓度计算公式如下：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (9-13)$$

由上式计算得，1#、2#辐照室内  $O_3$  的平衡浓度分别约 11.10mg/m<sup>3</sup>、17.98mg/m<sup>3</sup>，考虑漏射线和散射线，可以增加 10%，即 12.21mg/m<sup>3</sup>、19.78mg/m<sup>3</sup>，该浓度值高于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中工作场所空气中  $O_3$  的最高容许浓度（0.3mg/m<sup>3</sup>）。由于辐照室内臭氧浓度较大，因此在停止辐照后，人员须于通风一段时间后再进入辐照室内。

根据 HJ979-2018 附录 B，最小通风时间采用式 9-14 进行估算。

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad (9-14)$$

式中：

$T$ ——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h；

$C_0$ ——臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m<sup>3</sup>；

$C_s$ ——12.21mg/m<sup>3</sup>、19.78mg/m<sup>3</sup>。

$T_e$ ：对  $O_3$  的有效清除时间，1#辐照室臭氧的有效清除时间为 0.014h（0.86min）、2#辐照室臭氧的有效清除时间为 0.013h（0.78min）。

由上式计算可得，为 1#室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间约 0.051h（3.1min），2#室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间约 0.054h（3.2min）。本次评价要求，当需要工作人

员需要进入 2 座辐照室内进行检修或维护时，需在停止辐照后通风时间不得低于 0.05h (3.2min) 后再进入，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。在此情况下，可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 规定的限值要求。

#### 4、臭氧排放情况

公司安装通风管道，2 座辐照室内产生臭氧分别经过各自辐照室内排风口、排风管道收集后，最后分别通过 1 根 15m 高排气筒排放。

#### 5、本项目臭氧排放对周围环境的影响分析

##### (1) 气象资料

距离本项目最近的气象站为文登气象站，台站类别属一般站。近 20 年(2001~2020 年) 年最大风速为 12.8/s(2007 年)，极端最高气温和极端最低气温分别为 36.4C(2017 年)和-18.2C(2001 年)，年最大降水量为 1094.8mm(2007 年)，年最小降水量为 504.6mm (2019 年)。

近 20 年风向频率玫瑰图见图 9-4。

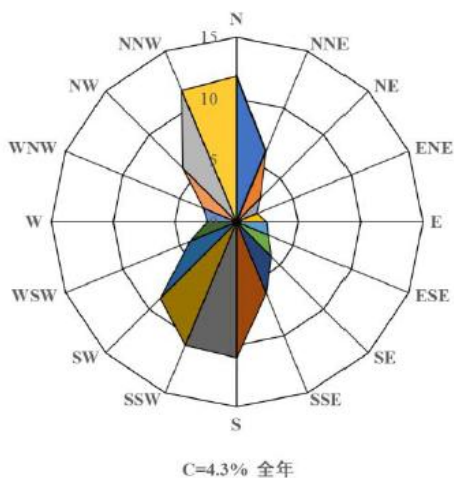


图 9-4 近 20 年 (2001~2020 年) 风向频率玫瑰图

##### (2) 参数选择

本次采用《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2018) 推荐的估算模式 (AERSCREEN) 进行预测，了解臭氧对周围大气环境的影响程度。估算模式所用参数见表 9-14；有组织排放污染物计算参数选取值见表 9-13。



表 9-13 估算模型参数表

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	城市
	人口数（城市选项时）	/
最高环境温度/℃		36.4
最低环境温度/℃		-18.2
土地利用类型		城市
区域湿度条件		中等湿度
是否考虑地形	考虑地形	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	地形数据分辨率/m	—
是否考虑岸线熏烟	考虑岸线熏烟	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	岸线距离/km	—
	岸线方向/°	—

(3) 估算结果

项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低。为分析臭氧排放对周围环境的影响，本项目依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中相关要求，采用附录 A 推荐模型中的 AERSCREEN 估算模式计算项目污染源的最大环境影响，在不考虑臭氧分解的情况下，2 台加速器辐照室产生的臭氧厂界最大落地浓度约  $0.0252\text{mg}/\text{m}^3$  ( $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧日最大 8 小时平均浓度限值  $160\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。此外，臭氧的有效分解时间仅约 50 分钟，排入大气后很快即分解为氧气。

综上所述，本项目排放的臭氧对周围大气环境影响较小。

二、氮氧化物对周围环境影响分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，产生量较小，经排风管道、排气筒排放至外环境，对周围环境产生的影响较小。

9.2.4 水环境影响分析

本项目运营期内不产生生产废水，产生的废水主要是职工生活污水。根据前述计算，本项目生活污水产生量为  $1296\text{m}^3/\text{a}$ ， $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  产生量分别为  $0.389\text{t}/\text{a}$ 、 $0.039\text{t}/\text{a}$ 。污水经

防渗的化粪池处理后排入市政管网，不直接排入外环境，因此本项目运营对周围水环境影响较小。

### 9.2.5 固体废物影响分析

本项目去离子水直接外购、不在厂区内制备，本项目不产生离子交换树脂等废物，项目建成后，固体废物主要为生活垃圾，由环卫部门定期清运。

### 9.2.6 噪声影响分析

本项目主要噪声源为风机等机械设备运转产生的噪声，风机噪声小于等于 65dB (A)。其他设备大部分设置在室内，对机械设备产生的噪声，采用减震、隔音等措施。项目采取的具体噪声控制措施如下：

(1) 选用低噪声设备：充分选用先进的低噪设备，并通过提高设备的安装质量和精度，从源头减轻设备的噪声量；

(2) 对高噪声设备设置减振基础，可采取台基减振、橡胶减振接头以及减振垫等措施，以减小其振动影响；

(3) 注意维护各种生产设备的正常运转，加强主要产噪设备的维护，确保设备处于良好的运转状态，杜绝因设备不正常运转时产生的高噪声现象。

(4) 根据公司提供资料，本项目拟在主机室顶部四周设置声屏障，同时拟在风机等设备处安装消音器、设减震基础、通风管道均采用软性接头，隔声量按照 20dB (A) 考虑，可极大减少风机等设备产生的噪声

通过以上控制措施和距离衰减，噪声影响有效降低，同时考虑到本项目位于威海市泓淋电力技术股份有限公司内，四周无建筑物，顾本项目运行期间噪声对周围环境影响较小。

### 9.2.7 年有效剂量估算

#### 1、年有效剂量估算公式

$$E=H\times T \quad (9-15)$$

式中： $E$ ——年有效剂量当量，Sv/a；

$T$  ——年受照时间，h；

$H$  ——X 剂量率，Gy/h、Sv/h。

#### 2、照射时间确定

根据公司提供资料，本项目电子加速器采用连续作业方式，以最大负荷计，每次最大连续出束 120h（5 天），年运行天数不超过 200 天，因此每台电子加速器年出束时间不会超过 4800h。本项目 2 台辐照装置全部运行后配备 8 名辐射工作人员，每一台辐照室配备 4 名工作人员（2 人为 1 班），专职负责电子加速器的操作，则本项目每位工作人员年受照时间不会超过 2400 小时。

### 3、居留因子

本项目人员居留因子参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）附录 A 不同场所的居留因子，见下表。

表9-14 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		示例	本项目
	典型值	范围		
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周围建筑物中的驻留区	控制室
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室	/
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯	1/20 车间内生产区 1/35 消防车道

### 3、职业人员的年有效剂量

本项目 2 座辐照室配备 8 名辐射工作人员，8 名辐射人员采取二班倒，则每名辐射人员受照射时间为 2400h/a, 对辐射工作人员影响区域主要在控制室及辐照室巡视，根据前文计算，1#辐照室该区域内最大辐射剂量率为 0.23  $\mu$  Sv/h，出现于辐照室东墙外 30cm 处，本次保守以该受照剂量率为计算依据，辐射工作人员的居留因子取 1，由公式 9-15 估算出每班辐射

工作人员的年有效剂量为：

$$H=0.26 \times 1 \times 2400 \div 1000=0.58\text{mSv/a}$$

2#辐照室该区域内最大辐射剂量率为  $0.04 \mu\text{Sv/h}$ ，出现于辐照室东墙外 30cm 处，本次保守以该受照剂量率为计算依据，辐射工作人员的居留因子取 1，由公式 9-15 估算出每班辐射工作人员的年有效剂量为：

$$H=0.04 \times 1 \times 2400 \div 1000=0.096\text{mSv/a}$$

由以上估算结果，本项目辐射工作人员的年有效剂量最大值为  $0.58\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的职业人员  $20\text{mSv/a}$  的剂量限值，也低于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中规定的职业人员  $5\text{mSv/a}$  的管理剂量约束值和本报告提出的  $5\text{mSv/a}$  的管理剂量约束值。

#### 4、公众成员的年有效剂量

本项目所涉及的公众成员主要包括车间普通工作人员、其他偶然经过的公众人员。

本项目公众成员年有效剂量见表 9-15。

表 9-15 本项目公众成员年有效剂量计算结果

场所名称	最大剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子 (T)	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv)
1#辐照室北侧（消防车道）	0.71	1/35	4800	0.007
1#辐照室东侧（车间内生产区）	0.26	1/20	4800	0.062
1#辐照室西侧（消防车道）	0.64	1/35	4800	0.088
2#辐照室东侧（车间内生产区）	0.04	1/20	4800	0.0096
2#辐照室南侧（车间内生产区）	$7.29 \times 10^{-5}$	1/20	4800	$1.74 \times 10^{-5}$
2#辐照室西侧（消防车道）	0.11	1/35	4800	0.015

由以上估算结果可以看出，本项目辐照室周围公众成员的年有效剂量最大为  $0.088\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众成员  $1\text{mSv/a}$  的剂量限值，也低于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）规定的  $0.1\text{mSv/a}$  的管理剂量约束值和本报告提出的  $0.1\text{mSv/a}$  的管理剂量约束值。

#### 9.2.8 运行分析与评价

由上述运行期间分析可以看出，公司在使用拟购电子加速器条件下，正常运行期间：

辐照室运行时辐照室周围及室顶的辐射水平均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率防护限值；在每班

曝光时间 2400 小时/年的条件下，辐射工作人员的年有效剂量不大于 0.58mSv/a，低于本报告提出的 5.0mSv/a 的管理剂量约束值；在曝光时间 4800 小时/年的条件下，公众成员年有效剂量不大于 0.088mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的管理剂量约束值。

总之，本项目各辐照室周围的辐射水平、职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均不大于本报告提出的评价指标，满足国家有关要求。

### 9.3 事故影响分析

#### 1、可能发生的辐射事故

##### (1) 人员误入或误留辐照室

电子加速器在照射时，电子束及其韧致 X 射线在辐照室内形成高剂量率的辐射场，如果在加速器开机状态下有人员误入或误留辐照室内，将造成超剂量照射，严重时可导致人员死亡。这是本项目最主要的安全风险，也是本次风险评价的重点。

##### (2) 操作人员违规操作或误操作

操作人员违规操作或误操作，可能造成周围人员的不必要照射，严重者可能造成辐射损伤甚至危及生命。

##### (3) 通风系统故障或不畅

电子束使空气电离，产生臭氧等有害气体，辐照室内的通风系统故障或者通风换气次数不足，易造成辐照室内臭氧浓度积累，使辐照室内臭氧浓度过高。工作人员进入后，将受到非辐射有害气体的伤害。

(4) 安全联锁装置失效的情况下，防护门未关闭电子加速器工作时门被开启，电子束仍能发射，造成射线外泄，可能对工作人员及公众人员产生较大剂量照射。

(5) 在检修期间，检修人员进入辐照室时未按规定程序，且辐照室内设置的一系列安全装置（如光电装置、门机联锁装置、声光报警装置、监视器、辐照室内的急停开关等）全部失效的情况下，控制室的人员进行开机，可能造成重大辐射事故。

#### 2、辐射事故防范措施

(1) 根据公司提供资料，为防止人员误入或误留辐照室造成辐射事故，本项目加速器辐照室内设置了拉线开关、门机联锁、剂量探测器等多项安全防护设施，各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，辐照室出入口的安全联锁采用

了机械的、电子的和剂量的联锁，各项辐射安全设施均具有独立性，某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。综上所述，本项目辐射安全措施符合辐射安全要求中的“纵深防御”、“冗余性”、“多元性”、“独立性”原则，可有效防止辐射安全事故的发生。本次评价要求建设单位定期巡检各项安全设施，确保各项安全设施均能正常运转。本项目设有多处剂量探头，对辐射水平进行实时监测。

(2) 对操作人员违规操作或误操作的问题，建设单位将提前对操作人员进行专业培训，确保其掌握了本项目加速器的操作流程和技术方法。在项目投运后，建设单位将加强管理，提高操作人员安全意识，禁止未经培训的操作人员操作工业电子加速器。

(3) 为防止通风系统故障或者通风换气次数不足而造成辐照室内臭氧浓度积累，公司将定期对通风系统进行巡检，出现故障时应停止辐照工作，及时联系厂家进行维修。此外，在加速器停止照射后，职业人员将等待一段时间再进入辐照室内，防止室内臭氧浓度过高造成伤害。

(4) 定期检查加速器的安全联锁系统，确保其系统正常运行，出现隐患及时排除。

(5) 第一时间切断加速器主机电源，紧急停止加速器工作，现场人员应迅速撤至安全区域，保护现场，通知防护人员和应急小组。

(6) 本项目在辐照室内装设强力通风装置。

## 10 辐射安全管理

### 10.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 10.1.1 管理机构

按照国家有关射线装置管理的法律法规，威海市泓淋电力技术股份有限公司已成立“威海市泓淋电力辐射安全与环境保护管理办公室”。公司法人作为辐射安全工作第一责任人，统一指挥射线装置运行安全的工作。辐射安全领导小组组长全面负责领导小组工作；副组长负责日常具体工作，及时收集有关工作信息，并向组长汇报；各组员分别分管辐射工作人员健康工作、各部门协调工作、事发现场安全保卫工作以及设备维护人员的监督管理工作。

#### 10.1.2 职业人员

公司拟配备 8 名具备从事电子加速器辐照技术能力的辐射工作人员，专职进行本项目电子加速器的操作。公司拟尽快组织 8 名辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相关培训并考核合格后上岗。同时后续拟加强辐射工作人员管理，严禁未参加培训的人员从事辐射工作。同时根据工作强度若需增加人员，将按要求参加考核。

本次评价要求公司在辐射工作人员成绩报告单到期之前，及时组织工作人员参加核技术利用辐射安全与防护的再培训和再考核。

### 10.2 辐射安全管理规章制度

建设单位威海市泓淋电力技术股份有限公司已制定辐射安全管理规章制度，主要包括《电子加速器安全操作规程》、《辐射事故责任制度》、《辐照事故应急预案》、《放射事故管理和应急处理办法》、《辐射环境监测管理办法》、《辐照安全装置定期检查维修制度》、《辐照人员培训制度》、《辐射工作人员岗位职责》等制度。

建设单位由辐射安全负责人负责宣传贯彻辐射安全的相关政策及法规，制定合理的规章制度及防护措施，对电子加速器辐照工作提出合理建议并进行监督管理，对辐射事故进行处理，对职业人员的工作过程进行管理。

需要上墙的规章制度：《电子加速器安全操作规程》、《辐射工作人员岗位职责》和《辐射事故应急预案》应悬挂于辐射工作场所。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目。

## 10.3 辐射监测

### 10.3.1 辐射监测方案

威海市泓淋电力技术股份有限公司已制定《辐射监测方案》，拟购置辐射检测仪器 1 台，根据监测方案对辐照室周围环境进行监测。《辐射监测方案》中应包括以下内容：

#### 1、场所监测

(1) 监测因子

X( $\gamma$ )空气吸收剂量率。

(2) 监测频次

定期监测：正常情况下，每年进行 1~2 次例行监测。

应急监测：工作场所如发现或怀疑有异常情况，应对场所周围进行应急监测。

(3) 监测范围

辐照室四周边界外 50m 范围内。

(4) 监测布点

监测点主要涵盖以下几处位置：

①通过巡测，发现的辐射水平异常高的位置；

②巡测照辐照室防护门外；

③辐照室四周边界外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个防护面至少测 3 个点；

④人员经常活动的位置，主要包括控制台、环境保护目标处以及其他人员能到达的位置。

#### 2、个人剂量的监督与检测

根据《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）要求，公司拟安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，本项目职业工作人员均应配戴个人剂量计（每人 1 支，由个人剂量检测单位配发），委托有资质的检测机构每三个月检测一次，检测数据填入个人剂量档案。个人剂量档案要做到一人一档，其中应包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。

个人剂量进行年度评估，一旦发现超过剂量约束值，应当立即核实和调查，并采取有效



措施确保辐射工作人员的年有效剂量不超过约束值。

## 10.4 辐射事故应急

### 10.4.1 辐射事故应急预案

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》等法律法规，建设单位修订《辐照事故应急预案》，一旦发生风险事件时，能迅速采取必要有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。《辐照事故应急预案》包括以下内容：

#### 1. 目的

根据国家安全生产法及相关法律法规的要求，保护员工的生命安全，减小财产的损失，使事故发生后能够快速、有效、有序地实施应急救援，特制定公司辐照事故应急预案。

#### 2. 适用范围

辐照紧急情况发生时应对的处理。

#### 3. 职责

3.1 橡缆科:持证上岗，并每年进行应急演练

3.2 设备一科:负责辐照机的安全点检及维护、维修。

#### 4. 作业内容

4.1 本车间的主要潜在危害是加速器电离辐射对人员的伤害。

4.2 辐照中心辐射防护用品及防护设备状况：

4.2.1 加速器屏室:按照国家关于放射防护的有关标准设计建造，符合国家放射防护标准。

4.2.2 安全连锁体系:能够保证在体系未被建立或被解除时，电子加速器处于关闭状态，无辐射产生，确保人员的安全。

4.2.3 辐照中心场地放射性监测设备:中心配备了辐射量测试仪，用于对场地放射性水平的定期监测。

4.2.4 辐照中心个人剂量牌:中心为每位生产操作人员配备了 TLD 个人剂量仪用于对人员

接受辐射剂量的监测，并定期送山东省职业卫生与职业病防治研究院监测。

4.2.5 防护用品:辐照室内配备铅衣、铅帽、镜，应急处理突发事件。

4.4 辐照中心应急救援小组的组成和职责

4.4.1 辐照中心应急救援小组

组长:李先斌(厂务经理)

副组长:袁炳乾 梁洪伟

成员:权明伟 王洪青 陈占华

5.4.2 辐照中心应急救援小组的职责

(1)组长职责:

1. 审批辐照事故应急预案，决定辐照事故应急的启动和终止；
- 2 指挥与协调应急小组进行应急准备与响应，指导辐射事故救援工作；
3. 负责总结与提供应行动报告；

(2)副组长职责

1. 每年按应急救援预案组织相关人员进行演练；
2. 做好辐射防护设备、仪器的定期检查，确保器材的完好；
3. 每6个月对车间所有员工进行辐照安全教育培训；
4. 发生辐射事故时，组织抢、人员救治、事故上报及现场的保护工作；

(3)成员职责

1. 开机前剂量牌的佩带、检查、测量、记录、登记等工作；
2. 每天开机前对设备进行全面点检、检查无误后在进行开机运行。

5.5 应急行动原则

5.5.1 人员受超剂量照射；

5.5.2 放射设备发生机械事故

5.6 应急预案启动

5.6.1 应急状况评价

当出现辐射事故情况时，最初是通过各机台的操作人员发出，一旦出现辐射事故，应立即报告给救援小组的成员，救援小组接到通报后，必须指挥现场人员立即行动，以减缓紧急

情况，包括关断加速器主机电源，防止电离辐射的对人员的持续照射；同时对事故的状况的紧急状态进行评价，一旦将紧急情况判定为预警、现场紧急或全体紧急状态，组长或副组长要立即担负起应急救援总指挥的职责并启动应急救援预案。

#### 5.6.2 预警级

现场操作人员在操作过程中，通过测试剂量仪测试正常生产过程当中的剂量时，发现数值异常，应立即停机进行全面检查，并对操作人员的剂量片、人身进行检测、检查。

#### 5.6.3 现场应急

这个级别的应急包括单个人员的受射事故已经发生，需要对相应加速器设备进行紧急停机并上报生态环境主管部门。

#### 5.6.4 全体应急

这个级别的应急包括发生群体性或持续性的人员受照射的事故已经发生或还在持续发生，需要对辐照中心进行关闭，以保护人员及现场的事故。

### 5.7 应急救援的指挥、控制和行动

5.7.1 在紧急情况发生的初期，由当班主管担任应急指挥，负责评价状况，如果超过应急行级别，须立即确定应急级别，并调动当班人员采取相应的行动，并迅速通知应急小组正副组长，同时根据正副组长的指示，采取正确有效的防护救援行动。

5.7.2 发生预警级状况时，由应急救援行动小组的正副组长再确定此应急级别，同时对怀疑受照射人员采取以下救援行动：

(1) 对怀疑受照射人员进行询问并作相应纪录，初步判断怀疑受照射人员是否受到照射，如果可判定该人员未受到照射，可以对人员进行说明并采取安慰；如果不能判定该人员是否受到照射，则直接采取第二步方案。

(2) 对该人员所佩的LTD量牌马上送威海市卫生局卫生监督所进行受照剂量的测试，以尽快确定该人员是否受到照射，以及接受照射的剂量当量，是否超过了国家法规规定的范围，以决定下一步采取的行动水平。

5.7.3 发生现场应急状况时，由应急救援行动小组的正副组长再确定此级别，同时对受照射人员以及现场等采取以下救行动：

(1) 立即送受照射人员到山东省职业卫生与职业病防治研究院进检查并进行 x 射线超

## 剂量照射的相应治疗

(2) 对受照射人员所处位置、停留时加以及当时及加器当时工作的功率等进行询问并作相应纪录，初步判断受照射人员受到照射的剂量水平，同时组织相关专家对该人员所受到的辐射剂量当量进行再次的评估，以便对人员采取更为准确恰当的治疗。

(3) 对发生人员受照射事故的设备现场进行保护，以便于事故原因的调查和事故的定性。

(4) 24 小时内通报省环保局省卫生监督所管部门事故的状况，等待主管部门对事故的调查。

5.7.4 发生全体应急状况时，应急救援行动小组必须马上启动应急预案，采取以下行动：

(1) 发生群体性或持续性的人员受照射的事故已经发生或还在持续发生，必须立即关断所有加速器的主电源，将现场封闭，并通知保安人员进行把守，以保护现场，便于对事故的分析与定性。

(2) 立即用通讯设备联络山东省职业卫生与职业病防治研究院做好急性放射病的治疗、抢救的准备工作，同时，尽快将受照射人员和可能受照射人员送到山东省职业卫生与职业病防治研究院做治疗和检查

(3) 在 2 小时内，将事故的发生的初步原因以及事故的过程如实上报生态环境、公安、卫生部门。

(4) 对事故进行彻底调查，彻底查明事故原因，同时，对受照射人员要积极救治，以及可能受照人员的受照剂量进行记录。

5.7.5 应急救援行动的防护

(1) 进入已发生辐照事故的屏蔽室内之前，必须确认加速器主电源已经彻底关断，同时，使用辐射剂量测试仪对现场的辐射剂量水平进行测试，以确保辐射水平已经达到安全之后，才能进入辐照屏蔽室采取救援行动，这样，就能尽可能的减少人员接触辐射的危害。

(2) 进入辐照室救援的人员应以本中心的人员为主；

(3) 进入辐照室救援的人员必须配带 LTD 剂量仪，以便事后期对救援人员受照射剂量的追踪评估；

5.7 重新进入：

(1) 在对应急事故情况已经定，同时主管部门对现场新评估认为安全以后，谨慎而有计划的进入先前撤离的危险区域，重新进入的目的是在紧急情况已经确定解除、安全情况下，支援操作人员，使车间恢复生产操作的措施。

(2) 重新进入必须经过严密的评估和部署，同时，进入人员必须配备必要的防护设备与装备。

#### 5.8 应急救援预案通讯联络：

(1) 辐照中心应急救援小组

(2) 威海市生态环境局经济开发区分局

#### 10.4.2 辐射事故培训演习计划

结合公司具体情况，根据《辐照事故应急救援预案》，每年至少有计划、有组织地开展一次辐射事故应急演练。建设单位已于 2023 年 9 月 23 日开展应急演练，并归档保存。

## 表 11 结论与建议

### 11.1 结论

1、威海市泓淋电力技术股份有限公司位于威海经技区浦东路 9-10，为提高电线电缆、电力电缆等产品的耐热性、载流量、绝缘性能、电气性能、机械强度等，公司于新能源产业园 5#车间内西北侧新建 2 座南北相邻的辐照室（由北往南依次为 1#辐照室、2#辐照室），内部分别安装 DDLH2.0/50-1600、DDLH2.5/40-1600 型加速器各一台，照射方向均为向下照射，均属 II 类射线装置。公司配备的电子加速器主要用于电线、电缆的辐照加工。

2、本项目 2 座辐照室拟建于新能源产业园内，建设单位考虑了项目特点和项目对周围环境可能存在的影响，将 2 座电子室集中建设于 5#车间内西北侧，使辐射工作场所相对集中，以便于对射线装置集中管理，并有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰。公司已取得威海市自然资源和规划局颁发的土地证（鲁（2023）威海市不动产权第 0050964 号），用地性质为工业用地。

3、本项目为使用电子加速器对公司生产的电缆线等进行辐照加工。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于鼓励类、限制类和淘汰类，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。

4、根据现状检测结果，本项目 2 座辐照室拟建区域室外（A1~A10）环境  $\gamma$  空气吸收剂量率为  $(8.9\sim 9.7)\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，均处于威海市环境天然辐射水平范围内道路  $(1.94\sim 20.14)\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 。

5、根据理论计算结果，电子加速器运行时各辐照室周围及室顶辐射水平均低于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的剂量率防护限值。在每班曝光时间 2400 小时/年的条件下，辐射工作人员的年有效剂量不大于  $0.58\text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的  $5.0\text{mSv/a}$  的管理剂量约束值；在每班曝光时间 4800 小时/年的条件下，公众成员年有效剂量不大于  $0.098\text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的  $0.1\text{mSv/a}$  的管理剂量约束值。

6、通过估算，在不考虑臭氧分解的情况下，辐照室运行期间臭氧的最大落地浓度为  $0.0252\text{mg/m}^3$  ( $25\mu\text{g/m}^3$ )，低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧 1 小时平均浓度限值  $200\mu\text{g/m}^3$ ），氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，产生量较小，对周围环境产生的影响较小。

7、本项目辐照室内设计有拉线开关、门机联锁、辐射监测装置、光电装置等多项安全防护设施，可满足辐射安全防护要求。

8、公司已制定各项管理规章制度，并在运行过程中将各项安全防护措施落实到位，在按要求制定各项管理规章制度后，可确保工作人员、公众的安全，并能有效应对可能的突发事故（事件）。

9、根据公司提供资料，本项目2台辐照装置全部运行后配备8名辐射工作人员、100名非辐射工作人员，每一台辐照室配备4名工作人员（2人为1班），专职负责电子加速器的操作，则本项目每位工作人员年受照时间不会超过4800小时。

10、本项目拟配备个人剂量计8支（人手1支，由个人剂量检测单位配发）、个人剂量报警仪2部、辐射检测仪器1台，在配备相关防护器材后，可满足管理办法要求。

11、公司拟建立辐射工作人员个人剂量档案。委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量每三个月进行检测，建立辐射工作人员个人剂量档案，一人一档，由专人负责保管和管理，个人剂量档案终生保存。辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

12、本项目的设施较为简单，环境风险因素单一，在根据本次评价要求进一步完善风险防范措施和制定事故应急预案条件下，项目环境风险是可控的。

综上所述，在威海市泓淋电力技术股份有限公司认真落实相关法律法规和本次评价所提出的安全防护措施后，该单位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，从辐射环境保护的角度分析，该项目的运行是安全可行的。

## 11.2 承诺和建议

### 11.2.1 承诺

- 1、严格按照设计方案建设辐照室，并使用拟购型号工业电子加速器。
- 2、加强辐射工作人员的个人剂量监督。
- 3、安排辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核成绩合格后才能上岗。
- 4、尽快制定相关管理规章制度，以满足辐射管理要求，并严格执行各项制度和操作规程。
- 5、设立辐射安全管理机构，由法人作为辐射安全工作第一责任人。
- 6、项目建成后及时申领辐射安全许可证及组织开展竣工环境保护验收工作。

### 11.2.2 建议

- 1、加强对辐射工作人员的教育和培训，避免辐射事故（件）的发生。
- 2、根据实际工作情况不断完善操作规程、管理制度以及应急响应方案。
- 3、对操作人员，要求熟知防护知识，能合理的应用“距离、时间、屏蔽”的防护措施，使公众和工作人员所受到的照射降到“可合理达到的尽量低水平”。



下一级环保部门意见

公 章

经办人签字

年 月 日

审批意见

公 章

经办人签字

年 月 日