

核技术利用建设项目

电子加速器应用项目

环境影响报告表

(报批稿)

温州赛德电气科技有限公司
四川省核工业辐射测试防护院
(四川省核应急技术支持中心)

2019年05月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

电子加速器应用项目
环境影响报告表

建设单位名称：温州赛德电气科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：温州瓯江口产业集聚区瓯帆路 266 号

邮政编码：325000 联系人：张小锐

电子邮箱：/ 联系电话：*****

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 射线装置.....	3
表 3 评价依据.....	4
表 4 保护目标与评价标准.....	6
表 5 环境质量和辐射现状.....	8
表 6 项目工程分析与源项.....	10
表 7 辐射安全与防护.....	19
表 8 环境影响分析.....	29
表 9 辐射安全管理.....	37
表 10 结论.....	41

附图

附图 1 项目地理位置示意图

附图 2 项目平面布置图

附图 3 项目周围环境概况图

附件

附件 1 温州市企业投资项目预备案通知书，[2014]4 号

附件 2 年产 7 万台草坪护理机器人和 12 万只智能断路器工业项目环境影响报告
表审批意见的函，温瓯新环建[2014]7 号

附件 3 营业执照

附件 4 委托书，2018 年 11 月 29 日

附件 5 检测报告

附件 6 专家意见及修改索引

表 1 项目基本情况

建设项目名称	电子加速器应用项目				
建设单位	温州赛德电气科技有限公司				
法人代表	郑丽云	联系人	张小锐	联系电话	*****
注册地址	温州瓯江口产业集聚区瓯帆路 266 号				
项目建设地点	温州瓯江口产业集聚区瓯帆路 266 号				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	800	项目环保投资（万元）	80	投资比例（环保投资/总投资）	10%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	/
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		
	其它	无			
<p>公司概况：</p> <p>温州赛德电气科技有限公司成立于 2014 年，注册资金 1000 万元，经营范围：配电开关控制设备、高低压电器及成套电控设备、机电设备、电子元件、仪器仪表、变压器的研发、制造、加工、销售。</p> <p>任务由来：</p> <p>温州赛德电气科技有限公司已于 2014 年委托温州瑞林环保科技有限公司编制了《年产 7 万台草坪护理机器人和 12 万只智能断路器工业项目环境影响报告表》，2014 年 8 月 22 日，温州市环境保护局瓯江口新区分局以“温瓯新环建[2014]7 号”对本项目做出了批复。</p> <p>为满足生产发展的需要，拟在厂区内建设 3 间辐照室，并配置型号</p>					

DD4.0MeV-25mA、型号 DD2.5MeV-20mA、型号 DD2.0MeV-50mA 的电子加速器各一台，用于各种电缆及热缩套管的辐照改性。经与建设单位核实，公司年工作天数约 350 天，本项目电子加速器工作人员实行三班制运转，每班工作人员工作 8h。电子加速器不连续运转，每工作两个小时后，停机至少两小时进行通风、收放线检查等工作，年辐照时间约 4000 小时。

经与建设单位核实，5 年内辐射活动规模为：3 间辐照室，配备 3 台电子加速器（型号 DD4.0MeV-25mA、型号 DD2.5MeV-40mA、型号 DD2.0MeV-50mA 各一台）。

由于电子加速器在使用过程中产生的 X 射线将对环境产生电离辐射影响。根据国家有关建设项目环境管理规定，本项目应编制辐射环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，温州赛德电气科技有限公司于 2018 年 11 月 29 日正式委托四川省核工业辐射测试防护院对本项目进行辐射环境影响评价。

我单位在对该公司辐照室拟建址进行辐射环境背景检测的基础上，按照《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），编制该项目的辐射环境影响报告表。2019 年 3 月 20 日，温州市环境保护设计科学研究院对本项目主持召开了技术评估会，温州市生态环境局、环评单位、建设单位相关代表和三名特邀专家。经过专家评审，我单位在专家评审意见基础上，对环评报告相关内容进行了修改、补充和完善，形成该报批稿，提请审批。

项目地理位置：

公司西侧为温州瑞莱克斯保健器材有限公司，北侧为纬二路，南侧为纬三路，东侧为纵二路。拟建 3 间辐照室位于公司西北侧车间七北侧，其北侧、西侧、东侧为厂区空地，南侧为车间。公司西南侧有员工宿舍，项目落成后有员工入住，与本项目距离约为 140m。本项目 50m 范围内无民房住宅等环境敏感目标。地理位置示意图见附图 1，平面布置图见附图 2，周围环境概况图见附图 3。

表 2 射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器	II类	1	DD4.0MeV-25mA	电子	4.0	25	辐照改性	辐照室	/
2	电子加速器	II类	1	DD2.5MeV-40mA	电子	2.5	40	辐照改性	辐照室	/
3	电子加速器	II类	1	DD2.0MeV-50mA	电子	2.0	50	辐照改性	辐照室	/

表 3 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》，生态环境部，2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，2005 年；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部令第 44 号，2017 年 9 月 1 号起实施；</p> <p>(6) 关于修改《建设项目环境影响评价分类管理名录》部分内容的决定，生态环境部令第 1 号，2018 年 4 月 28 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2006 年 03 月；</p> <p>(8) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定，国家环保部令 第 3 号，2017 年 12 月 20 日起实施；</p> <p>(9) 《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 4 月；</p> <p>(10) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，省政府令第 364 号，2018 年 3 月；</p> <p>(11) 《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月；</p> <p>(12) 《射线装置分类》，环境保护部，国家卫生计生委，2017 年第 66 号令，2017 年 12 月，</p>
------	---

<p>技术标准</p>	<p>(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》(HJ10.1—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)《粒子加速器辐射防护标准》(GB5172-85)</p> <p>(4)《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018), 生态环境部, 2019年3月1日起实施。</p>
<p>其它</p>	<p>附件 1 温州市企业投资项目预备案通知书, [2014]4 号</p> <p>附件 2 年产 7 万台草坪护理机器人和 12 万只智能断路器工业项目环境影响报告表审批意见的函, 温瓯新环建[2014]7 号</p> <p>附件 3 营业执照</p> <p>附件 4 委托书, 2018 年 11 月 29 日</p> <p>附件 5 检测报告</p> <p>附件 6 专家意见及修改索引</p>

表 4 保护目标与评价标准

评价范围

本项目污染为能量流污染，根据能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 的相关规定，确定以加速器辐照室周围 50m 作为评价范围。

保护目标

环境保护目标为车间七加速器辐照室周围活动的辐射工作人员以及公司内的其他非辐射工作人员和公众成员。

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

①防护与安全的最优化

4. 3. 3. 1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

②剂量限制

第 4. 3. 2. 1 款，应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6. 2. 2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1 剂量限值（标准的附录 B）

第 B1. 1. 1. 1 款，应对任何工作人员的照射水平进行控制，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；本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。

第 B1. 2 款，公众照射

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；本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

(2) 《粒子加速器辐射防护标准》(GB5172-85)。

本规定适用于加速粒子的单核能量低于 100MeV 的粒子加速器(不包括医疗用加速器和象密封型中子管之类的可移动加速器)设施。

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 5 mSv。

2.10 加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1 mSv。

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 0.3mg/m³。

综合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中职业照射管理限值为 5mSv，公众照射管理限值为 0.25mSv 和《粒子加速器辐射防护标准》(GB5172-85)中对关键居民组的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1 mSv，因此，本项目职业工作人员年人均剂量当量应低于 5mSv，公众成员年人均剂量当量应低于 0.1mSv。

表 5 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1. 辐射环境现状

(1) 检测目的

掌握温州赛德电气科技有限公司加速器辐照室拟建址及其周围背景 X- γ 辐射剂量率水平，为环境影响评价提供基础数据。

(2) 检测内容

根据污染因子分析，建设单位委托杭州旭辐检测技术有限公司于 2018 年 12 月 3 日对加速器辐照室拟建址及其周围进行了辐射环境背景水平的现场检测。检测因子为 X- γ 辐射剂量率。

(3) 检测点位

按照《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》的要求，结合现场条件，对加速器辐照室拟建址及其周围进行布点检测。检测点位布点详见图 5-1。

(4) 检测仪器与规范

检测仪器的参数与规范见表 5-1。

表 5-1 X、 γ 辐射剂量当量率仪参数与规范

仪器名称	X、 γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	451P
生产厂家	(美) Fluke Biomedical
能量响应	>25 keV
量程	0~50mSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号: 2018H21-20-160416800) 有效期: 2018 年 10 月 17 日~2019 年 10 月 16 日
监测规范	电离辐射防护与辐射源安全基本标准 GB18871-2002 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993

(5) 质量保证措施

- a、合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- b、检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗。

- c、检测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d、由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- e、检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。
- f、检验检测机构具有资质认定计量认证证书。

(6) 检测结果

本次评价的温州赛德电气科技有限公司加速器辐照室拟建址及其周围的辐射环境背景水平检测结果见表 5-2。

表 5-2 加速器辐照室拟建址及其周围辐射环境背景检测结果^{*}

检测点位号	点位描述	检测结果 (μSv/h)	
		平均值	标准差
▲ 1	拟建辐照室东侧	0.12	0.01
▲ 2	拟建辐照室南侧	0.11	0.01
▲ 3	拟建辐照室西侧	0.11	0.01
▲ 4	拟建辐照室北侧	0.12	0.01

^{*}检测结果未扣除宇宙射线的响应；

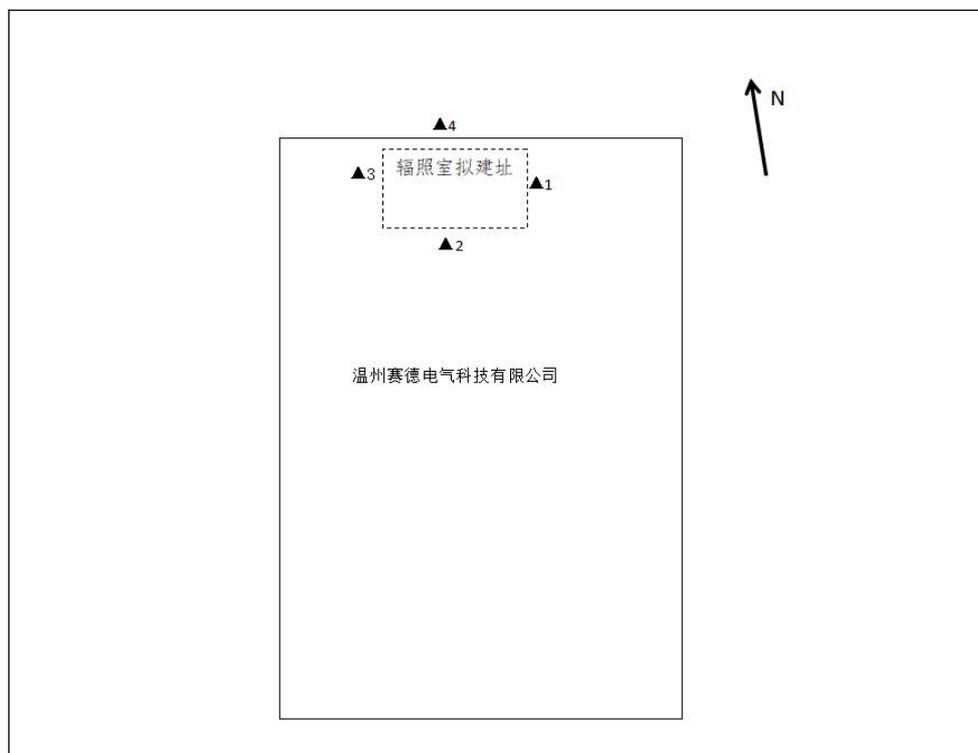


图 5-1 加速器辐照室拟建址及其周围检测位点示意图

由表 5-2 的检测结果可知，该公司加速器辐照室拟建址各检测点位的辐射剂量率在 0.11~0.12 $\mu\text{Sv/h}$ 之间。根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查报告》，可知温州市室外的辐射剂量率在 0.041~0.148 $\mu\text{Sv/h}$ 之间。可见，该拟建址的辐射本底水平未见异常。

表 6 项目工程分析与源项

6.1 工程设备和工艺分析

6.1.1 设备概述

加速器由直流高压发生器、电子束加速与扫描引出系统、计算机控制系统以及真空、气体处理、水处理等辅机系统组成。各主要部分概述如下：

1、直流高压发生器。

由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

(1) 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高频，其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。其主要特色如下：

1、电子管振荡采用特殊设计的负高压线路把直流高压和高频输出隔离，可防止因直流电容损坏时出现的直流高压。自洁性能：防止在冷却水套中形成水垢，电子管无需定期清理水垢。

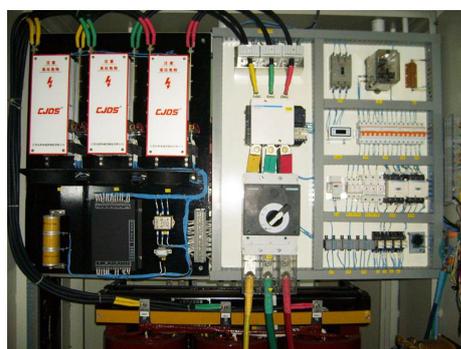
2、直流高压增加双 LC 滤波电路，使输出电压的脉动系数明显下降，电源功率输出的稳定性和质量达到国外同类产品的性能。

3、采用由锁相环稳频压控振荡器、移位寄存器分频、时基电路和 GAL 器件组成的脉冲列调制和输出电路，这一新颖的线路使得可控硅交流调压系统的稳压精度优于 1%，响应速度更快。

4、采用了风冷可控硅，使得机柜结构更安全、可靠、紧凑。



高频振荡器



高频振荡器可控硅交流调压系统

振荡器的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。振荡管阳极与高频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。

高频变压器是高频振荡器的关键部件，其性能为：

1、能在高频、高压和大功率负荷的条件下工作。

2、变压器线饼漏磁小、Q 值高。

3、结构紧凑、牢固，由完整详细的制作和安装工艺保证其质量。

4、基于特制线饼技术及合理的屏蔽、匀场设计，大大降低了运行损耗，提高了加速器的束功转换效率。

钢筒顶端安装有热交换器和风冷系统，把变压器散发的热量带走，同时也对钢筒内的其他部件进行冷却。

(2) 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只半电晕环，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_{se} 。半电晕环和电极之间的尺寸配合精确，其表面平滑光亮。这种几何结构与静电加速器非常相似，其几何设计，既满足高频耦合参数的要求，也符合高压静电场的场形设计。

硅堆是加速器的关键部件之一。它由整流芯子和带保护球隙的金属屏蔽盒组成，每个硅堆的平均输出电压为 50KV。整流芯子由数百只硅二极管串联而成，其电路设计采取了均压和限流措施。

2、束流加速系统。由加速管和电子枪组成。

(1) 加速管



高频变压器



整流倍压系统

加速管工艺段由 95 氧化铝陶瓷环与钛电极在真空炉内一次钎焊成型，属于等电压梯度、高压型加速管。

(2) 电子枪

加速管的顶端安装电子枪。电子枪阴极由 0.8mmW-Re 合金丝绕制成盘香形，直径约 $\Phi 8$ ；阴极发射的电子流由热丝加热电流决定。这种工作方式可以最大限度地提高热丝的工作寿命，而且控制和调节十分简便。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。合理配置引出区的尺寸和电位分布，使之与加速管及其后的束流传输系统匹配，可以在钛窗处获得所需要的束斑尺寸。

电子枪由置于高压球帽内的发电机供电。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。改变变频电机的工作频率，即可方便快速地改变发电机的转速从而改变电子枪的加热电流，达到调节束流的目的。



电子枪灯丝



电子枪



电子枪灯丝供电系统

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。我们取 0.04mm。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。同时考虑到用户有可能使用反射磁铁，因此扫描窗外表面配水冷却回路。

4、控制系统

计算机控制系统的主要功能是：监控加速器的正常运行，实施安全连锁，并与束下装置联动配合。

(1) 加速器启动运行前的安全保护连锁有：

a、符合国家安全标准，满足环境评价所要求的全部连锁信号。具体包括：

加速器启动与工作时，有警灯、警铃提示信号

门信号与高压连锁（包括迷宫光电，主厅防护门、辐照厅防护门及高频柜门的关闭连锁）

主厅、辐照厅内均设有高压紧停按钮。

剂量检测报警系统

b、冷却系统风、水工作正常连锁

c、振荡器电源与水冷却连锁（包括水流量、水压及水温保护连锁）

d、钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度保护连锁

e、扫描窗冷却风机、排臭氧风机与高压连锁保护

f、扫描电流与高压连锁保护（扫描电流可根据能量变化自动调节也可手动）

g、真空度好于 5×10^{-3} Pa 连锁保护。分子泵与水冷却有连锁保护，机械泵、分子泵、溅射离子泵在界面上有运行显示及停机警示。

h、加速器启动加高压准备延时 3 分钟。

(2) 加速器在运行过程中连锁保护：

a、钢筒超温、振荡管超温、高频机柜超温、可控柜超温、主变压器超温等都会自动切断高压。

b、高频机内部出现线路过流和阳极过流，加速器出现过电压等高频过载时自动封闭高频。

(3) 在加速器进入额定工作状态、束下装置运转正常之后，系统可以进入闭环运行以自动稳定加速器的设定参数，并与束下系统的运行联动。例如当样品的移动速度发生变化时，变化信息会立即输入加速器控制系统，实时调整电子枪的加热电流，使加速器的输出束流与束下样品的传输速度变化同步，确保样品的辐照剂量均匀。当束下暂停或换卷时，束流自动降低或置零等。

(4) 加速器运行时在控制屏上显示的主要参数有：能量，流强，加速管分压电流，高频振荡参数（电子管屏极电压和屏极电流），扫描磁铁电流，聚焦线圈电流，导向线圈电流等。当发生故障时，控制屏上将立刻显示故障状态和发生故障的部位。

(5) 此控制系统还具有主要参数的显示、存储和打印功能。

5、真空抽气系统

真空抽气系统安装在主厅钢筒底座下面的四通管两侧，由涡轮分子泵和溅射离子泵机组组成。推荐运行时先启动分子泵机组，然后利用分子泵启动离子泵，待后者正常工作后，即可关闭分子泵、机械泵机组。

真空测量采用 B-A 规数显式真空计，真空计可向控制台输出连锁信号，以实现与真空度有关的连锁控制。

6、SF₆绝缘气体处理系统

绝缘气体处理系统的功能有二：1) 加速器检修时回收气体，2) 通过气体的循环去除其中的水分和运行中因放电生成的有毒有害分解产物。

该系统的主要部件如下：

(1) 储气筒为加速器检修时储存 SF₆ 气体用。

(2) 压缩机机组，由无油压缩机、干燥塔、过滤器及相应的管道部件组成，用于将气体向加速器钢筒或向储气筒进行压缩。

(3) 真空泵机组

由真空泵、油过滤器及相应的管道部件组成，用于对钢筒和储气筒抽气。

SF₆ 气体虽是无毒无害气体，但由于其密度比空气大，如泄露，容易沉积在室内底层，当其在空气中的比重达到一定程度，容易造成人员窒息。本项目辐照室机房设有通风装置和气体压力报警装置，如出现泄漏，压力报警装置会发出警告。

7、主钢筒、储气钢筒

钢筒和储气罐的生产加工均以 GB150-89《钢制压力容器》为标准，焊接人员均持有国家权威机构颁发的资格证书，焊接后做无损检测，做水压测试，由苏州技术监督局检验监测出厂，均有按《压力容器安全技术监察规程》要求制作的合格证明文件，包括监检证明文件。

8、加速器冷却水循环装置

工作条件

1. 电源:3 相、380V、50HZ
2. 配备 50T 冷却水塔

工作原理与组成

加速器冷却恒温装置是用于冷却恒温加速器工作时关键零部件温度的专用

设备。主要由 2 只水箱、2 只压缩机、冷凝器、2 只蒸发器、2 台水泵、若干阀门、管道、机架和控制系统组成。

6.1.2 电子加速器工作原理及电线电缆辐照交联的工作原理

电子加速器的工作原理：由钢筒外的高频振荡管和钢筒内的高频变压器、高频电极及其对钢筒、倍压器芯柱之间形成的分布电容组成一个高频振荡器，它在两个高频电极之间产生高频电压。这一高频电压通过高频并激倍加电路在高压电极上产生负极性直流高压。从高压电极内的电子枪产生的电子束流在此负高压作用下通过束流加速系统得到加速，再通过扫描引出系统穿过钛窗对产品进行辐射加工。

其原理示意图见图 6-1，电子加速器实物参考照片见图 6-2 和图 6-3。

电线电缆辐照交联的工作原理：辐照交联又称物理交联，是利用电子加速器产生的高能量电子束流，轰击绝缘层，将聚乙烯高分子链打断，被打断的每一个断点称为自由基。自由基不稳定，相互之间要重新组合，重新组合后由原先的链状分子结构变成三维网状的分子结构，形成致密层。电线电缆绝缘辐射交联的改性是由其交联密度所决定的，调整辐照剂量可控制绝缘的交联密度，进一步控制材料的改性和提高。主要导致的性能变化包括：电学性能的变化；辐射导致绝缘介电常数、介电损耗正切和介电强度的变化；辐射交联导致材料机械强度增加，冷流和抗蠕变性能提高，弹性模量增大；辐射导致绝缘重要的变化是耐热性、耐溶剂性的变化，耐开裂性的变化和提高。

在辐照交联工艺中主要有辐照剂量、电子束能量、束流及辐照速度等重要工艺参数，与绝缘层的厚度及生产速度等相关。聚乙烯达到所需要的交联度的辐照剂量，通常在 200-400KGY。为了提高辐射加工的效率，减少不利的副效应，可以在体系中添加敏化剂或多官能团单体，用来提高体系的辐射交联 G 值。电子的穿透深度（能力）是由加速电压来控制的。电线电缆绝缘辐射加工用的电子能量为 0.3-5MeV，功率几十 kW 到 150kW 的电子加速器。

电线电缆挤包绝缘层后卷绕在线盘上，用束下传输装置将绝缘线芯引入辐照交联厅辐照区，进行电子线束辐照，辐照后再用收线装置将交联后的绝缘线芯引出并卷绕在线盘上。工艺流程见图 6-4。

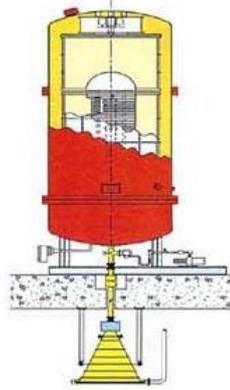


图 6-1 高频高压电子加速器原理示意图



图 6-2 加速器主机室



图 6-3 加速器辐照室

6.1.3 辐照工艺流程

线缆辐照工艺流程见图 6-4:

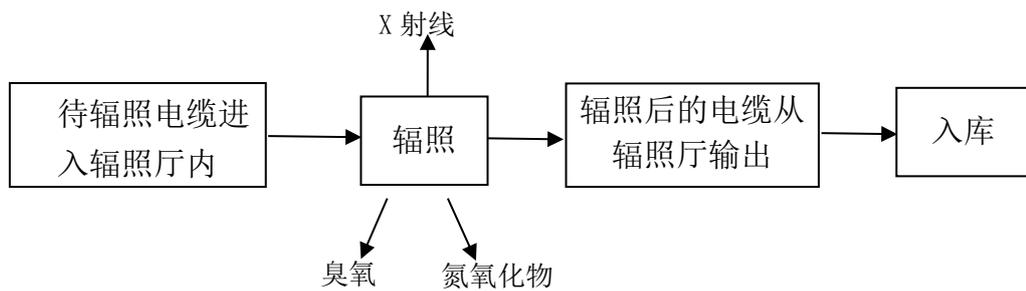


图 6-4 加速器辐照工艺流程图

如图所示，温州赛德电气科技有限公司辐照的产品主要为电缆和热缩套管，待辐照的材料通过收放线装置经斜孔进入辐照厅，辐照结束后受照材料自动收线输出，辐照期间操作工人可在辐照室和主机室外的控制区和收放线区进行工作。

6.2 污染源项描述

电子加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流。电子束虽然占据的体积小，但是能量非常集中。电子束的贯穿能力相对于 X 射线比较弱，加速器四周的混凝土墙可将其完全屏蔽。

电子加速器运行产生的高能电子束受到靶物质（被辐照物和传送装置）的阻挡，产生韧致辐射，即产生高能 X 射线。该 X 射线是随机器的开关而产生和消失。由于本项目拟建电子加速器输出的能量为 4.0MeV, 2.5MeV 和 2.0MeV 电子束所产生的 X 射线，可不必考虑感生放射性问题。本工程每台加速器都设置独立的机房，因此不存在辐照设施之间的交叉污染。在加速器工作时，X 射线与空气发生电离作用产生臭氧和氮氧化物。因此，在开机期间，X 射线成为加速器污染环境的主要因子，其次为臭氧和氮氧化物。

表 7 辐射安全与防护

7.1 项目安全设施

7.1.1 加速器辐照室概况

本项目拟建的 3 间加速器辐照室位于厂区西北侧。加速器机房土建工程分为上、下两层，下层是辐照室（主射朝下），上层为主机室，其中辐照加工区位于辐照室内。其中 2.0MeV 和 2.5MeV 辐照室线材进出仅通过线材进出口由管材传动装置进出，4.0MeV 辐照室不仅有线材通过线材进出口由管材传动装置进出，有时也会有工人将线材用推车推入辐照室内堆积进行辐照，故 4.0MeV 辐照室出入口采用多层迷道防护。辐照室及主机室平面图及立面图见图 7-1~图 7-4。设计屏蔽情况见表 7-1 和表 7-2。

表 7-1 辐照室设计屏蔽情况一览表

项 目	4.0MeV 辐照室	2.5MeV 辐照室	2.0MeV 辐照室
辐照室室内尺寸	长、宽、高分别约为 10.22m、7.72m 和 4.9m，面积 78.9m ²	长、宽、高分别约为 9m、8.2m 和 5.0m，面积 73.8m ²	长、宽、高分别约为 6.92m、6.6m 和 5.0m，面积 45.7m ²
各屏蔽墙厚度	北侧：2200mm 混凝土墙 南侧：2200mm 混凝土墙 西侧：2200mm 混凝土墙 东侧：2000mm 混凝土墙 迷道内墙 800mm 混凝土 迷道外墙 900mm 混凝土	东侧：2200mm 混凝土墙 南侧：1700mm 混凝土墙 北侧：1700mm 混凝土墙 西侧：1300mm 混凝土墙 迷道内墙 1000mm 混凝土 迷道外墙 1500mm 混凝土	北侧：1500mm 混凝土墙 南侧：1500mm 混凝土墙 东侧：1500mm 混凝土墙 西侧：1300mm 混凝土墙 迷道内墙 900mm 混凝土 迷道外墙 1000mm 混凝土
天棚厚度	顶棚厚 1450mm 混凝土	顶棚厚 1100mm 混凝土	顶棚厚 900mm 混凝土
出入口	/	80mm 的钢门，入口处有门机连锁，光电连锁安全装置	80mm 的钢门，入口处有门机连锁，光电连锁安全装置
迷道	宽 1.6m，如图 7-1 所示	迷道宽 0.9m，迷道长 17.5m，如图 7-1 所示	迷道宽约 0.9m，迷道长 13.7m，如图 7-1 所示
通风设施	地下 U 型通道，机械通风	地下 U 型通道，机械通风	地下 U 型通道，机械通风

表 7-2 主机室设计屏蔽情况一览表

项 目	4.0MeV 辐照室	2.5MeV 辐照室	2.0MeV 辐照室
主机室尺寸	长、宽、高分别约为 12.9m、6.8m 和 18m	长、宽、高分别约为 8.4m、7.4m 和 6m	长、宽、高分别约为 7.82m、5.6m 和 5.5m
各屏蔽墙厚度	1000mm 混凝土墙	700mm 混凝土墙	600mm 混凝土墙
天棚厚度	800mm 混凝土	500mm 混凝土	500mm 混凝土
出入口	80mm 的钢门，入口处有门机连锁，光电连锁安全装置	80mm 的钢门，入口处有门机连锁，光电连锁安全装置	80mm 的钢门，入口处有门机连锁，光电连锁安全装置
迷道	迷道宽约 0.9m，长约 4.7m，迷道内墙 300mm 混凝土墙	迷道宽约 0.9m，长约 5m，迷道内墙 300mm 混凝土墙	迷道宽约 0.9m，长约 4m，迷道内墙 300mm 混凝土墙
通风设施	机械通风	机械通风	机械通风

7.1.2 线材进出口防护情况

线材进出均在辐照室完成，且通过 1 套管材传动装置实现机械化操作，操作人员距离辐照室外墙约 20m，由图 7-1、图 7-3 可知，线材进出口在同一侧墙体，线材从外墙穿进经管材传动装置再以夹角 30° 方向穿进，见图 7-3（1）、图 7-3（2）和图 7-3（3）。

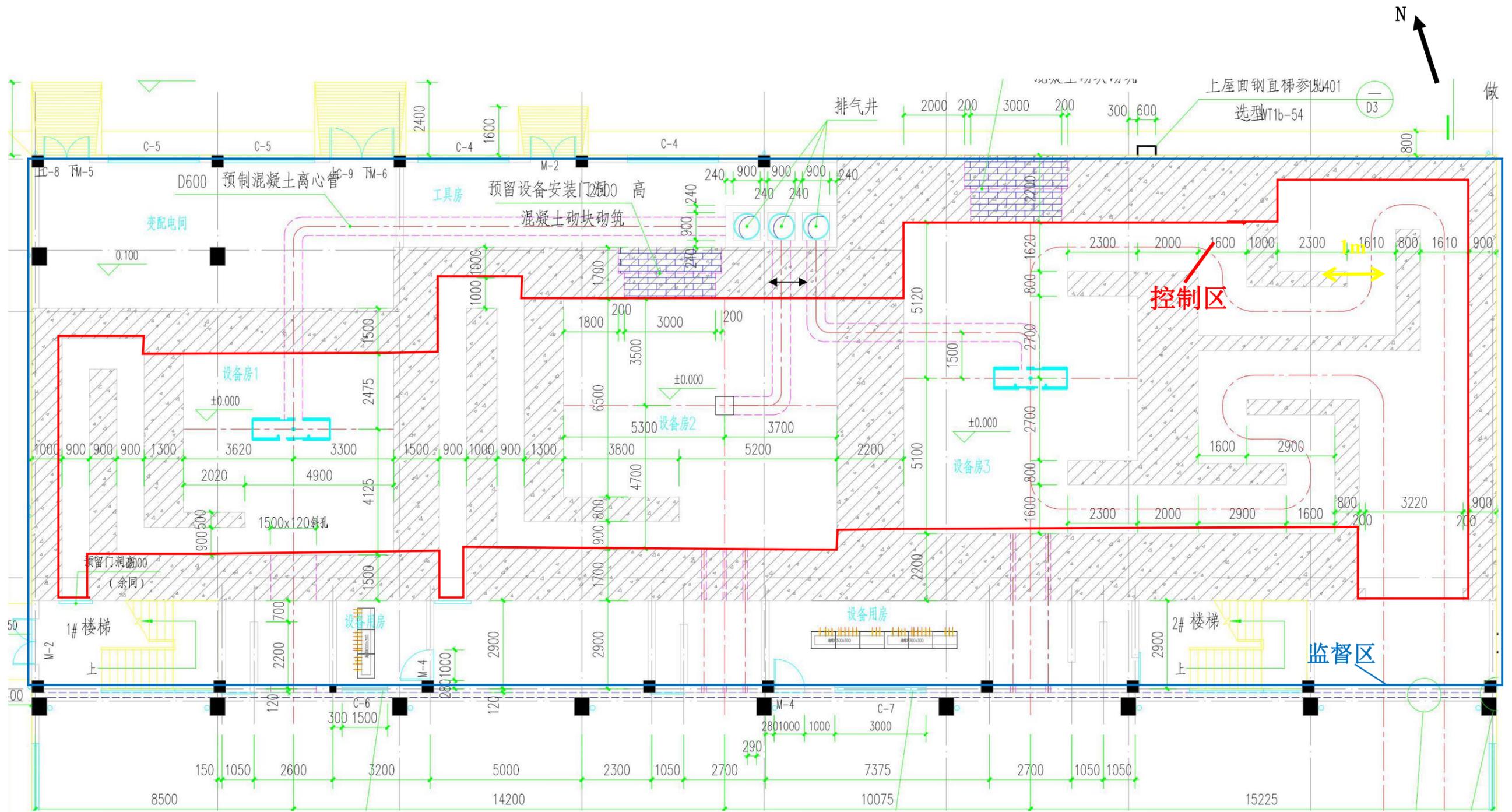


图 7-1 一层辐照室平面图

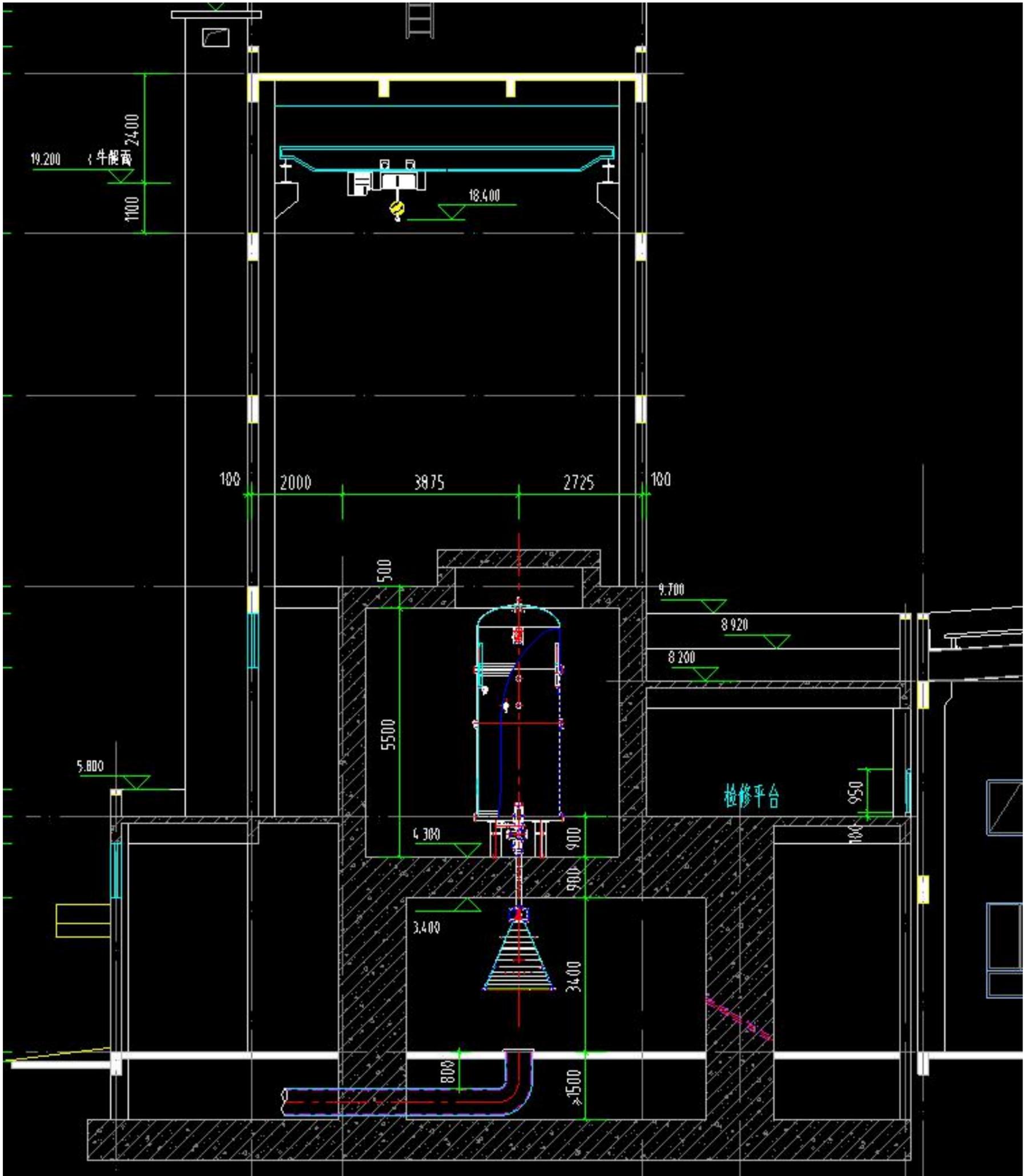


图 7-3 (1) 2.0MeV 辐照室穿线孔示意图

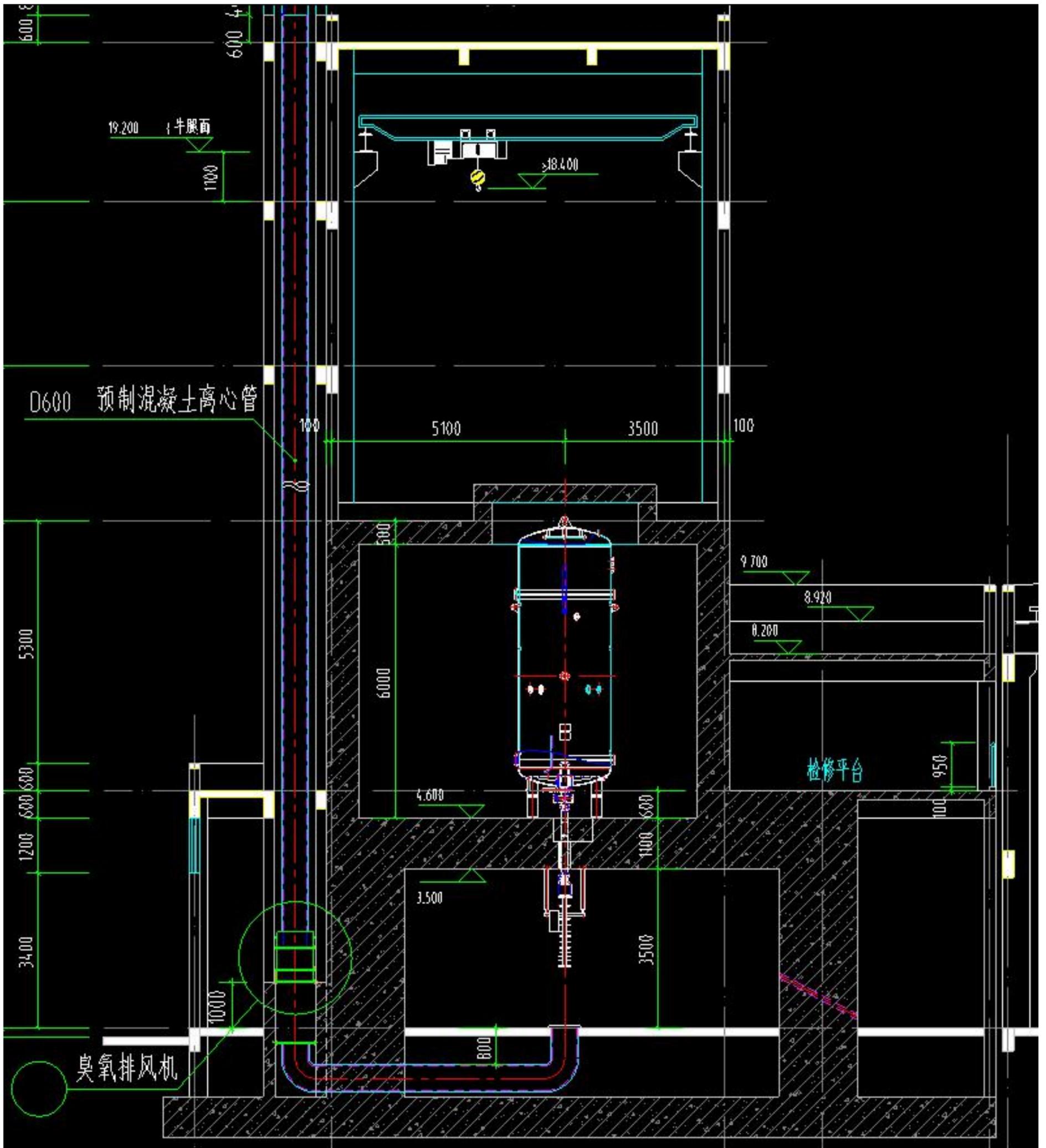


图 7-3 (2) 2.5MeV 辐照室穿线孔示意图

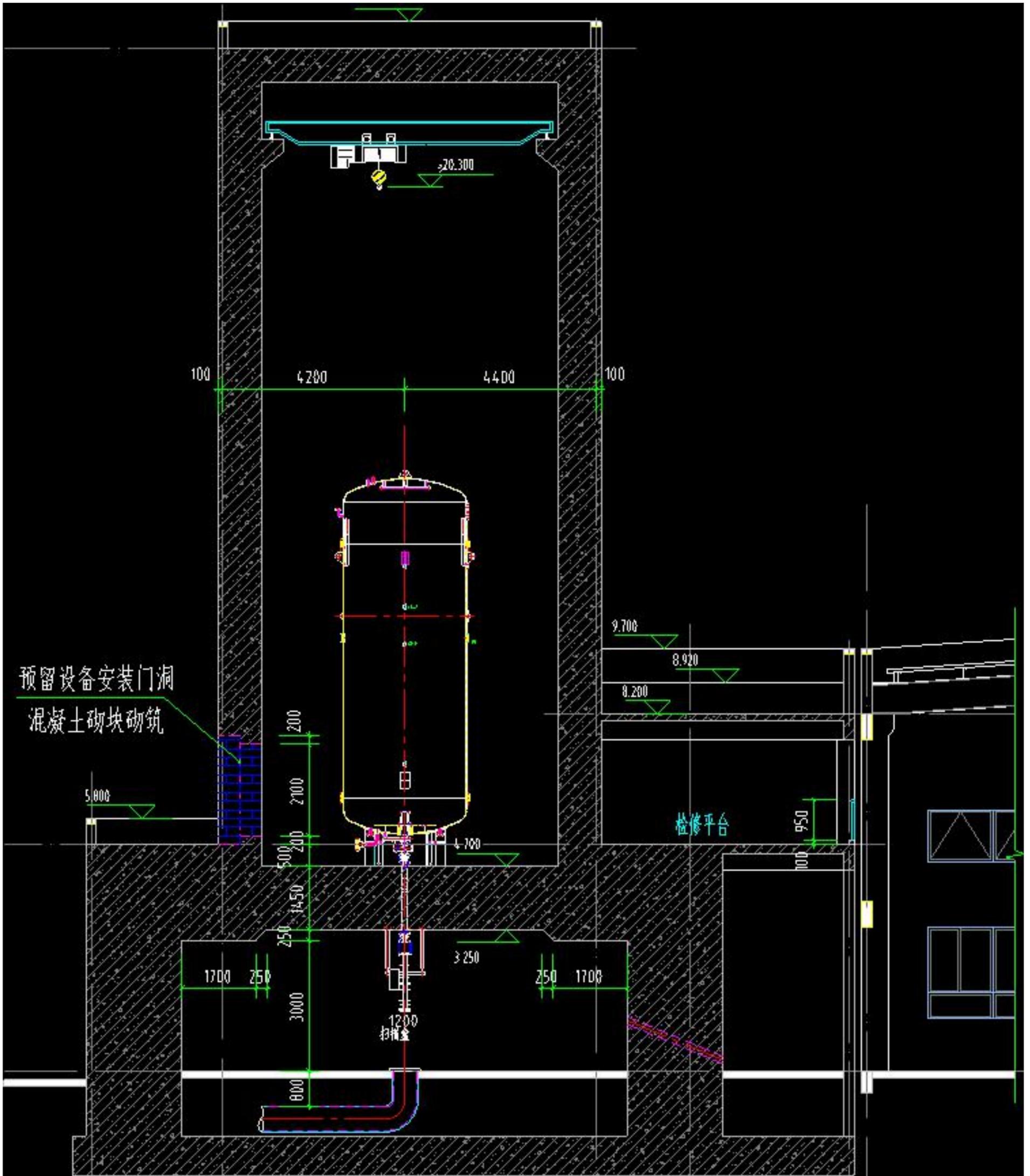


图 7-3 (3) 4.0MeV 辐照室穿线孔示意图

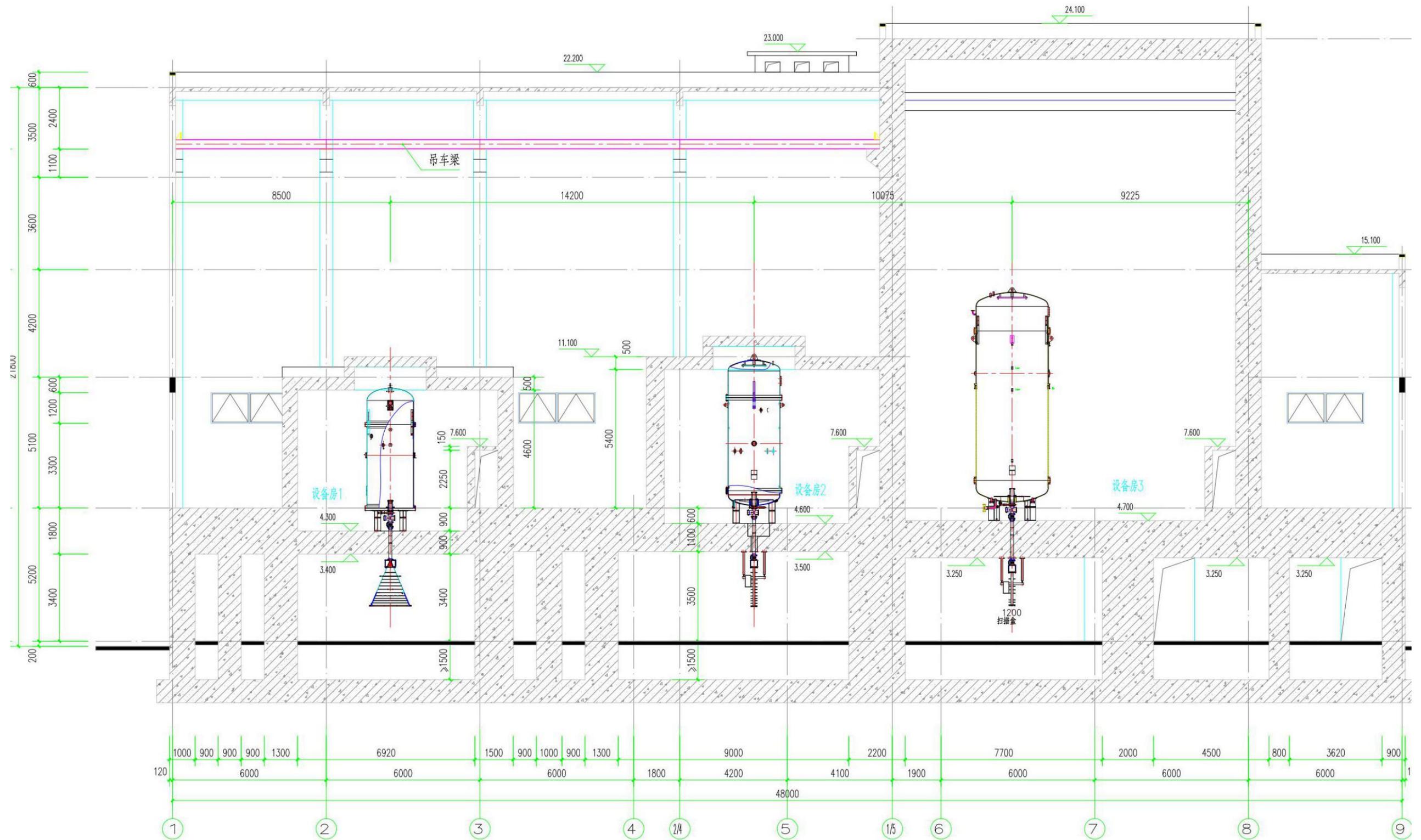


图 7-4 东西向剖面图

7.1.3 污染防治措施

根据本项目初步设计方案可知，可以具备以下污染防治措施：

（一）辐射屏蔽设计与施工

辐照室和主机室均设置迷道，四周均采用相当厚度的钢筋混凝土墙，根据本报告中理论预测分析已能满足本项目的辐射防护要求。

辐照室与主机室须严格按照设计图纸的布局构造、屏壁厚度进行施工。

（二）安全联锁

为了保证加速器正常运行，避免人员误入主机室和辐照室时发生误照射事故。本项目将采用加速器安全联锁系统，体现“即使装置出现故障，仍能保证该系统安全”的原则。

（1）防护门联锁：防护门采用门机联锁装置，门打开时，通过门上的限位联锁装置切断加速器电源，防止人员误照，为第一道安全防护措施。门机联锁装置运行正常。光电装置：辐照室和主机室迷宫口均装有光电装置，并发出光、电报警，并自动切断加速器电源。

（2）红外感应系统联锁：每间电子加速器辐照室迷道的入口各设有一道幕帘式红外感应系统。当有人误入时通过红外感应系统自动切断加速器电源，防止产生误照，见附图 4。

（3）紧急停机开关：每个辐照室墙上设有 7 个紧急停机开关，每个主机室墙上设有 5 个紧急停机开关，见附图 4、附图 5。

（4）信号系统：在辐照室和主机室的出入门外都有双色信号灯，直接告知工作状态，并与联锁装置连接。

（5）实时摄像监视系统：在辐照室内安装实时摄相监视器，使操作位上工作人员能清楚地观察到辐照室内情况，见附图 4。

（6）声光警示系统：电子加速器辐照室外设有警铃和灯光警示装置，加速器开机前 15 秒前警铃鸣，灯光闪。

（7）信号指示系统：电子加速器辐照室防护门处设置信号装置，用红、绿两种颜色的灯，分别显示运行、停机等不同状态。

（8）剂量率监测系统：电子加速器辐照室防护门口设有剂量率实时监测系统。

(三) 其他

(1) 加速器辐照室周围均须设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，主机室和辐照室迷道入口外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

(2) 各项辐射环境管理制度须张贴于工作现场处。

(3) 主机室和辐照室均设置机械通风设施，工作期间应保证机械通风的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

(4) 公司须给每个辐射工作人员配备个人剂量计并按时检测。同时，公司还应为每个辐射工作人员配备个人剂量报警仪，当辐射水平超过预设值时能发出轰鸣警告声。

(5) 辐照室的风机排放量最大分别为 13000m³/h，保证通风次数大于 3-4 次/h，停机后继续排风 10 分钟，排风口高度高于屋面 0.4m 以上。

(6) 在主机室和辐照室内设置复位开关，每次开机运行前由加速器控制人员进入主机室和辐照室进行巡检并依次打开复位开关，确保主机室和辐照室内无人员滞留时方可开机。

(7) 为防止臭氧和氮氧化物对工作人员的影响，公司应配备防护服和口罩或面罩，工作人员进入加速器机房前应该穿戴。

(8) 对辐照室和主机室进行分区管理：将主机室和辐照室及各自出入口以内的区域划为控制区，将设备操作室、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划为监督区，见图 7-1 和图 7-2。

7.2 三废的治理

辐照室设计有机械通风设备，工作期间应保证机械通风的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

表 8 环境影响分析

8.1 建设阶段对环境的影响

由于本项目电子加速器只有在开机时才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。在加速器辐照室建设过程中，加速器未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响。

8.2 运行阶段对环境的影响

本项目通过理论计算的评价方法来预测拟建三台加速器辐照室建成投入使用后的辐射环境影响。

8.2.1 屏蔽能力计算

下述计算主要参考《辐射防护导论》（方杰主编，原子能出版社，1991年）。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°方向的各侧墙体和 180°方向的屋顶。

A、辐照室屏蔽墙防护能力计算模型

一楼加速器辐照室内，加速器电子束朝下，不直射向四周屏蔽墙，因此辐照室辐射影响主要考虑韧致辐射所致、与电子束入射方向呈 90°的初级 X 射线。

加速器机房一楼辐照室的辐射防护屏蔽评价，采用《辐射防护导论》第 101 页，3.50 公式的修正，即考虑沿与电子束入射方向为 90°的初级 X 射线的屏蔽计算。

参考点的剂量当量指数率公式为：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot \delta_a \cdot \eta_x}{1.67 \times 10^{-2} \cdot r^2} \quad (8-1) \text{ 式}$$

其中： \dot{H} —参考点剂量率，Sv/h；

I —电子束流强，mA；

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

1.67×10^{-2} —与 1min 相当的小时数；

r —参考点到靶的距离，m；

η_x —透射比，无量纲，是 X 射线在屏蔽层中的透射比，可用十倍减

弱厚度 $\Delta_{1/10,1}$ 方法计算，其计算公式为：

$$\eta_X = \frac{1}{10^n} \quad (8-2) \text{ 式}$$

$$n = (d - \Delta_{1/10,1}) / \Delta_{1/10,e} + 1 \quad (8-3) \text{ 式}$$

其中：n—减弱倍数；

d—设计的屏蔽层厚度；

$\Delta_{1/10,1}$ —靠近辐射源的第一个十倍减弱厚度，cm；

$\Delta_{1/10,e}$ —平衡十倍减弱厚度，cm。

B、主机室屏蔽墙防护能力计算模型

辐照室内产生的韧致辐射能够通过一二楼间的预设孔洞（二楼主机与一楼扫描装置连接处）直接照射到二楼加速器主机的钢制外壳顶部，该处散射的X射线照射到主机室的屏蔽墙上，因此主机室四侧墙体的防护性能主要考虑上述散射射线的影响。而到达主机室顶的X射线至少经过了两次散射，因此计算时主要考虑二次散射射线的影响。

$$\dot{H} = \frac{\eta_X \cdot I \cdot \delta_a \cdot \prod_i (\alpha_i \cdot A_i)}{1.67 \times 10^{-2} \cdot r^2 \cdot \prod_i d_i^2} \quad (8-4) \text{ 式}$$

其中： \dot{H} —参考点剂量率，Sv/h；

η_X —透射比，无量纲；

I—电子束流强，mA；

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

α_i —第i次反射的反射系数，无量纲；

A_i —第i次反射时的散射面积， m^2 ；

1.67×10^{-2} —与1min相当的小时数；

r—辐射源到反射点的距离，m；

d_i —第i次反射时，反射点到参考点的距离，m。

散射线能量可有下式求得：

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos \theta)} \quad (8-5) \text{ 式}$$

其中： E —散射后能量，MeV；

E_0 —散射前能量，MeV；

θ —散射角，度。

C、辐射工作人员年剂量估算：

$$H_{ER} = \dot{H} \cdot T \cdot q \quad (8-6) \text{ 式}$$

q —居留因子，无量纲；

T —年工作时间；

D、计算参数选取

①4.0MeV 加速器参数

向下出射的电子束能量为 4.0MeV，查图 3.3（第 71 页）得方向 90°发射率常数为： $4.0 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。由于电子束下方是电缆等辐照材料和地面混凝土，根据《辐射防护导论》表 3.1 进行修正后，90°发射率常数为 $2.0 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。查图 3.25（第 105 页）得，等效入射电子能量为 2.4 MeV，查图 3.22（第 103 页）可知其对应的混凝土 $\Delta_{1/10,1}=26\text{cm}$ 、 $\Delta_{1/10,e}=24\text{cm}$ ，查图 3.23（第 103 页）得，钢 $\Delta_{1/10,1}=8.3\text{cm}$ 、 $\Delta_{1/10,e}=8.8\text{cm}$ 。

②2.5MeV 加速器参数

向下出射的电子束能量为 2.5MeV，根据《辐射防护导论》第 71 页图 3.3，电子束垂直投射高 $Z (>73)$ 厚靶上产生的 X 射线发射率常数得方向 90°发射率常数为 $3.0 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。由于电子束下方是电缆等辐照材料和地面混凝土，根据《辐射防护导论》第 72 页表 3.1 进行修正后，90°发射率常数为 $1.5 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。查图 3.25 得，等效入射电子能量为 1.1MeV，查图 3.22 可知其对应的混凝土 $\Delta_{1/10,1}=22\text{cm}$ 、 $\Delta_{1/10,e}=21\text{cm}$ ，查图 3.23 得，钢 $\Delta_{1/10,1}=7.8\text{cm}$ 、 $\Delta_{1/10,e}=6.9\text{cm}$ 。

③2.0MeV 加速器参数

向下出射的电子束能量为 2.0MeV，根据《辐射防护导论》第 71 页图 3.3，电子束垂直投射高 $Z (>73)$ 厚靶上产生的 X 射线发射率常数得方向 90°发射率

常数为 $2.5 \text{ Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。由于电子束下方是电缆等辐照材料和地面混凝土，根据《辐射防护导论》第 72 页表 3.1 进行修正后， 90° 发射率常数为 $1.25\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。查图 3.25 得，等效入射电子能量为 1.0MeV ，查图 3.22 可知其对应的混凝土 $\Delta_{1/10,1}=21\text{cm}$ 、 $\Delta_{1/10,e}=20\text{cm}$ ，查图 3.23 得，钢 $\Delta_{1/10,1}=7.6\text{cm}$ 、 $\Delta_{1/10,e}=6.8\text{cm}$ 。

180° 方向射向主机室的 X 射线发射率比 90° 方向的 X 射线发射率小一个量级，散射线的能量由 (8-4) 式求得，根据散射线能量和主机室屏蔽墙厚度可查得相应透射比。

本项目电子加速器年辐照时间约 4000 小时，工作人员实行三班制运转。

E、屏蔽效果核算结果

根据上述计算模型和相关参数， 4.0MeV 加速器辐照室和主机室的屏蔽效果核算结果分别见表 8-4 和表 8-5； 2.5MeV 加速器辐照室和主机室， 2.0MeV 加速器辐照室和主机室的屏蔽效果核算结果分别见表 8-6、表 8-7 和表 8-8、表 8-9。电子加速器开启时，操作人员在距离辐照室 20m 外工作，且辐照室周围及顶棚人员活动很少，辐射工作人员居留因子取 $1/16$ 。

表 8-4 4.0MeV 辐照室主屏蔽墙屏蔽效果核算结果

项目 参数	北墙	东墙	南墙	西墙	辐照室顶棚上
混凝土厚度 d (cm)	220	200+80+90	220	220	145
居留因子 q	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16
r (m)	7.3	15	7.3	6.4	1.8
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	4.64×10^{-8}	1.10×10^{-8}	4.64×10^{-8}	6.03×10^{-8}	7.62×10^{-7}
年剂量 (mSv)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
管理限值	公众 0.1mSv, 辐射工作人员 5mSv				
符合性	符合	符合	符合	符合	符合

注： 4.0MeV 辐照室设置了迷道，迷道设计成弯曲结构，防止 X 射线散射，其 X 射线至少需散射 5 次才能到达出口，迷道口外将安装一普通卷帘门，设有光电联锁安全装置，其防护性能能满足要求。

表 8-5 4.0MeV 主机室屏蔽效果核算结果

项目 参数	东墙	南墙	西墙	北墙	迷道口防护门	顶棚
混凝土墙厚 d (cm)	100	100	100	100	钢 80mm	80
居留因子 q	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16

散射系数 a	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015/0.035	0.015/0.035
散射面积 A (m ²)	122.4	232.2	122.4	232.2	2.025	87.72
r (m)	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	24.2
d (m)	19.5	19.5	19.5	19.5	17	27
\dot{H} (μSv/h)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
年剂量 (mSv)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
管理限值	公众 0.1mSv, 辐射工作人员 5mSv					
符合性	符合	符合	符合	符合	符合	符合

表 8-6 2.5MeV 辐照室主屏蔽墙屏蔽效果核算结果

项目 参数	北墙	西墙	南墙	东墙	辐照室顶 棚上	迷道口 防护门
混凝土厚度 d (cm)	170	130+100+ 150	170	220	110	钢 80mm
居留因子 q	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16
r (m)	6.4	10.9	6.4	5.8	2.1	6.4
\dot{H} (μSv/h)	3.93×10^{-7}	1.35×10^{-7}	3.93×10^{-7}	4.78×10^{-7}	3.65×10^{-6}	2.37×10^{-8}
年剂量 (mSv)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
管理限值	公众 0.1mSv, 辐射工作人员 5mSv					
符合性	符合	符合	符合	符合	符合	符合

注：2.5MeV 辐照室设置了迷道，迷道设计成弯曲结构，防止 X 射线散射，其 X 射线至少需散射 4 次才能到达出口，迷道口外将安装一钢门，设有光电联锁安全装置，其防护性能能满足要求。

表 8-7 2.5MeV 主机室屏蔽效果核算结果

项目 参数	南墙	西墙	北墙	东墙	迷道口 防护门	顶棚
混凝土墙厚 d (cm)	70	70	70	70	钢 80mm	50
居留因子 q	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16
散射系数 a	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015/ 0.035	0.015/ 0.035
散射面积 A (m ²)	50.4	44.4	50.4	44.4	2.025	62.16
r (m)	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28	12
d (m)	14.1	14.1	14.1	14.1	13.1	14.9
\dot{H} (μSv/h)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
年剂量 (mSv)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
管理限值	公众 0.1mSv, 辐射工作人员 5mSv					
符合性	符合	符合	符合	符合	符合	符合

表 8-8 2.0MeV 辐照室主屏蔽墙屏蔽效果核算结果

项 目 参 数	北墙	西墙	南墙	东墙	辐照室顶 棚上	迷道口 防护门
混凝土厚度 d (cm)	150	130+90+ 100	150	150	90	钢 80mm
居留因子 q	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16
r (m)	3.9	8.5	3.9	4.8	2	3.9
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	8.73×10^{-6}	1.84×10^{-6}	8.73×10^{-6}	5.77×10^{-6}	3.32×10^{-5}	1.98×10^{-7}
年剂量 (mSv)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
管理限值	公众 0.1mSv, 辐射工作人员 5mSv					
符合性	符合	符合	符合	符合	符合	符合

注：2.0MeV 辐照室设置了迷道，迷道设计成弯曲结构，防止 X 射线散射，其 X 射线至少需散射 4 次才能到达出口，迷道口外将安装一钢门（路径图见图 7-1⑤），设有光电联锁安全装置，其防护性能能满足要求。

表 8-92.0MeV 主机室屏蔽效果核算结果

项目参数	东墙	南墙	北墙	西墙	迷道口 防护门	顶棚
混凝土墙厚 d (cm)	60	60	60	60	钢 80mm	50
居留因子 q	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16
散射系数 a	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015/ 0.035	0.015/ 0.035
散射面积 A (m ²)	30.25	43.01	43.01	30.25	2.025	43.01
r (m)	9.36	9.36	9.36	9.36	9.36	11.3
d (m)	13.4	13.4	13.4	13.4	12.3	14.2
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
年剂量 (mSv)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
管理限值	公众 0.1mSv, 辐射工作人员 5mSv					
符合性	符合	符合	符合	符合	符合	符合

由表 8-4 至表 8-9 可知，辐射工作人员的附加年有效剂量当量将低于年剂量管理限值 5mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，其辐照室和主机室屏蔽墙设计厚度能够满足辐射防护的要求。而加速器运行时，公众成员不会靠近加速器辐照室，故不会受到额外的辐射照射。

8.2.3 辐照室臭氧影响分析

空气在强电离辐射的作用下会产生一定量臭氧，该公司已经设计安装有排风装置，辐照室排风最大量约为 13000m³/h，当加速器运行过程中，排风装置开启排风以降低加速器设施内的臭氧浓度。根据《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录 E 提供的臭氧计算公式计算如下。

①假设辐照期间靶室有通风、臭氧无分解，且在辐照室内均匀分布，则浓度

C_0 为:

$$c_0 = 2.79 \times \frac{Id}{V} \left(1 - e^{-\frac{\nu}{V}t} \right) \text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (8-7) \text{式}$$

其中: I —电子束流强度, mA(4.0MeV 取 25, 2.5MeV 取 20, 2.0MeV 取 50);

d —电子束在空气中的径迹长度, cm (4.0MeV 取 2500, 2.5MeV 取 1000, 2.0MeV 取 800);

t —辐照时间, s(取 28800, 即 8 小时);

V —靶室体积, m^3 (4.0MeV 取 161, 2.5MeV 取 281, 2.0MeV 取 281);

ν —排气速率, m^3/s (取 13000)。

计算结果: 4.0MeV, 2.5MeV 和 2.0MeV 辐照室的臭氧饱和浓度分别为 $238\text{mg}/\text{m}^3$, $319\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $253\text{mg}/\text{m}^3$ 。根据臭氧和氮氧化物的产率比为 1: 0.48, 所以氮氧化物的浓度分别为: $114\text{mg}/\text{m}^3$, $153\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $167\text{mg}/\text{m}^3$ 。

②加速器停机后, 辐照室内 t 时刻臭氧浓度 C 为:

$$c = c_0 \cdot e^{-\frac{\nu}{V}t} \text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (8-8) \text{式}$$

其中: t —停机后的等待时间, s;

其他符号的意义同 (8-7) 式。

由 (8-7)、(8-8) 式可计算得, 按照公司设计的辐照室排风能力 (排风量为 $13000\text{m}^3/\text{h}$), 4.0MeV, 2.5MeV 和 2.0MeV 机房停机后分别继续排风 420s, 450s 和 460s 后辐照室内臭氧浓度可降至要求的 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。实际工作时, 公司可在加速器停机后继续排风 10min 以保护工作人员。

8.3 加速器运行辐射事故分析

电子加速器是一种将电能转换成高能电子束的设备, 电子束受开机和关机控制, 关机时没有射线发出。因此, 检修方便, 断电状态下也较为安全。在意外情况下, 可能出现的辐射事故如下:

(1) 工作人员或其他人员在防护门关闭前尚未撤离辐照室, 电子加速器运行可能产生误照射。应在辐照室防护门内与控制室设置有人工紧急停机及开门按钮, 只要未撤离人员了解该按钮的作用, 可避免此类事故的发生。因此, 在加速器机房内应设置此按钮醒目的指示和说明, 便于在紧急情况下使用。

(2) 安全连锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器辐照室。只有当连锁装置发生故障情况时，工作人员强行运行电子加速器机，才可能发生此类事故。为避免此类事故的发生，要求工作人员每次上班时首先要检查防护门上的连锁装置是否正常。如果连锁装置失灵，应立即修复，并严格按照电子加速器操作程序进行生产作业。

表 9 辐射安全管理

9.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

按照《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》及环境保护主管部门的要求，该公司必须成立辐射防护管理机构，制订辐射环境管理规章制度，并在取得相应的《辐射安全许可证》后射线装置方可正式使用。具体如下：

一、管理机构

该公司必须制定《放射防护安全管理机构及职责》。内容包括：

①该公司应确定本单位辐射工作安全责任人，设置以行政主管领导为组长的辐射防护领导机构，并指定专人负责射线装置运行时的安全和防护工作。

②辐射防护领导机构应规定各成员的职责，做到分工明确、职责分明。

③辐射防护领导机构应加强监督管理，切实保证各项规章制度的实施。

9.2 安全管理规章制度

(1) 该公司必须制定《辐射安全管理工作制度》。内容应包括：

a. 该公司须按法律法规要求，尽快向生态环境部门申请办理《辐射安全许可证》，领取许可证且办理登记手续后方可从事许可范围内的放射工作，需改变许可登记内容或终止放射工作时，必须按规范向审批部门办理变更或注销手续。

b. 该公司在从事辐射操作前，须制订《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》、《辐射工作安全责任书》等规章制度；同时该公司须组织辐射工作人员进行上岗培训和辐射安全防护知识的培训，并进行个人剂量检测和职业健康检查。

(2) 该公司必须制定《操作规程》。

a. 凡涉及对射线装置进行的操作，都有应有明确的操作规程（包括开机检查、门机连锁检查等一系列工作），操作人员必须按操作规程进行操作。

b. 操作人员必须熟悉电子加速器的性能和使用方法，并做好相应的个人防护，操作规程应张贴在操作人员可看到的显眼位置，防止误操作。

(3) 该公司必须制定《岗位职责》。

该公司必须制定电子加速器操作人员的岗位职责。

(4) 该公司必须制定《辐射防护和安全保卫制度》。

a. 射线装置的使用场所，应有门—机连锁安全装置、开机工作警示灯，电

离辐射警示标志及中文警示说明等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

b. 建立射线装置的档案和台账，贮存、使用射线装置时及时进行登记、检查，做到帐物相符。

(5) 该公司必须制定《设备检修维护制度》

对可能引起操作失灵的关键零配件及时进行更换。设备检修时禁止开启电子加速器，待检修完毕，开启电子加速器，确认检修完成。

(6) 该公司须制定《自行检查和年度评估制度》

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

(一) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；

(二) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；

(三) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训（以下简称“辐射安全培训”）情况；

(四) 场所辐射环境检测和个人剂量检测情况及检测资料；

(五) 辐射事故及应急回应情况；

(六) 核技术利用项目新建、改建、扩建情况；

(七) 存在的安全隐患及其整改情况；

(八) 其它有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

a. 定期对加速器辐照室的安全装置和防护措施、设施的安全防护效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患，必须立即进行整改，避免事故的发生。

如每天进行门-机联锁安全装置、工作指示灯和电离辐射标志检查，每月核实规章制度执行情况，每季度进行个人剂量档案归档及检查，每两年进行身体健康档案归档及检查等。

b. 该公司应当编写电子加速器使用的安全和防护状况年度评估报告，其中年度评估报告需包括每年的常规检测报告，于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告，接受行政机关的监督检查。

9.3 辐射监测

一、该公司须定期（每年一次）请有资质的单位对加速器辐照室周围环境进行辐射环境监测，建立监测技术档案。监测资料每年年底向当地生态环境局上报备案。

（1）监测频度：每年常规监测一次。

（2）监测范围：加速器辐照室屏蔽墙外、迷道入口处、辐照线材进出口、工作人员操作室以及周围其他评价范围等。

（3）监测项目：X- γ 辐射剂量率。

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

二、公司辐射工作人员佩带的个人剂量计须每三个月送有资质的单位检定一次，并建立完整的个人剂量档案。

9.4 辐射事故应急

为有效预防和及时控制突发放射性事故，规范放射工作防护管理和突发放射性事故的应急处置工作，提高应对辐射事故的能力，切实保障工作人员及公众的生命安全，根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院第 449 号令）、其它有关法律、法规的规定和职能管理部门要求，企业必须结合自身实际，建立《辐射事故应急预案》。

对突发放射性事故，企业应坚持以预防为主、防治结合、严格管理、安全第一的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时要不断完善应急反应机制，增强应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。

（一）组织机构及职责

①由辐射防护领导机构全面负责辐射事故的应急处理，保障事故处理的有效性、快捷性。

②由总经理或行政主管领导担任总指挥。其职责：听取事故情况汇报，并组织放射防护安全管理领导小组会议，制定处理方案，并及时向生态环境部门、卫生部门和公安部门报告。

③辐射防护领导机构其它成员在总指挥的统一领导下，开展事故现场救援、调查处理和善后处理工作。

（二）应急处置程序

①发生放射性事故时，现场工作人员应立即采取切断射线装置电源、并报告公司领导。

②公司领导接到报告必须立即赶往现场，并采取封闭现场等有效措施，防止事故的进一步扩大和蔓延，2小时内填写辐射事故初始报告表，明确事故类型（丢失、被盗、误照射等），并根据事故类型及时（两小时内）向当地生态环境、卫生、公安等职能部门报告。

③生态环境部门接到事故报告后立即赶赴现场，进行处理，企业应积极配合，做好相关工作。

④事故发生后，企业应认真配合生态环境部门进行调查。

（三）还需包括辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。

（四）该公司应每年至少组织一次事故应急演练，演习报告存盘。

9.5 安全培训及健康管理

（1）该公司须组织从事辐射操作的工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次复训。辐射安全复训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验回馈等内容。不参加再培训的人员或者复训考核不合格的人员，其辐射安全培训合格证书自动失效。

（2）辐射工作人员均须配备个人剂量计，个人剂量计每3个月到有资质的单位监测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理：个人剂量档案应终身保存。

（3）该公司须组织辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，并每两年进行一次职业健康检查，建立个人健康档案。在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行放射性职业健康体检。

表 10 结论

10.1 实践的正当性

温州赛德电气科技有限公司拟建 3 间辐照室，并配备 3 台电子加速器（DD4.0MeV-25mA、DD2.5MeV-40mA、DD2.0MeV-50mA 电子加速器各 1 台），利用其开展对各种电缆的辐照改性工作，从而提高产品的质量与性能。其加速器运行所至辐射工作人员和周围公众成员的剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。因而，只要按规范操作，该公司使用加速器是符合辐射防护“正当实践”原则。因此，该项目使用电子加速器的目的是正当可行的。

10.2 选址合理性

公司西侧为温州瑞莱克斯保健器材有限公司，北侧为纬二路，南侧为纬三路，东侧为纵二路。拟建 3 间辐照室位于公司西北侧车间七北侧，其北侧、西侧、东侧为厂区空地，南侧为车间。本项目 50m 范围内无民房住宅等环境敏感目标。从辐射环境保护方面论证，本项目选址是合理可行的。

10.3 辐射环境影响分析

通过理论计算分析，本项目建成后，辐射工作人员的附加年有效剂量当量将低于年剂量管理限值 5mSv，公众成员不会受到额外的辐射照射，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

10.4 污染防治措施

公司在辐照室运行前需落实以下污染防治措施：

（1）防护门连锁：防护门采用门机连锁装置，门打开时，通过门上的限位连锁装置切断加速器电源，防止人员误照，为第一道安全防护措施。门机连锁装置运行正常。光电装置：辐照室和主机室迷宫口均装有光电装置，并发出光、电报警，并自动切断加速器电源。

（2）红外感应系统连锁：每间电子加速器辐照室迷道的入口各设有一道幕帘式红外感应系统。当有人误入时通过红外感应系统自动切断加速器电源，防止产生误照，见附图 4。

（3）紧急停机开关：每个辐照室墙上设有 7 个紧急停机开关，每个主机室墙上设有 5 个紧急停机开关，见附图 4、附图 5。

(4) 信号系统：在辐照室和主机室的出入门外都有双色信号灯，直接告知工作状态，并与联锁装置连接。

(5) 实时摄像监视系统：在辐照室内安装实时摄相监视器，使操作位上工作人员能清楚地观察到辐照室内情况，见附图 4。

(6) 声光警示系统：电子加速器辐照室外设有警铃和灯光警示装置，加速器开机前 15 秒前警铃鸣，灯光闪。

(7) 信号指示系统：电子加速器辐照室防护门处设置信号装置，用红、绿两种颜色的灯，分别显示运行、停机等不同状态。

(8) 剂量率监测系统：电子加速器辐照室防护门口设有剂量率实时监测系统。

(9) 加速器辐照室周围均须设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，主机室和辐照室迷道入口外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

(10) 各项辐射环境管理制度须张贴于工作现场处。

(11) 主机室和辐照室均设置机械通风设施，工作期间应保证机械通风的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

(12) 公司须给每个辐射工作人员配备个人剂量计并按时检测。同时，公司还应为每个辐射工作人员配备个人剂量报警仪，当辐射水平超过预设值时能发出轰鸣警告声。

(13) 辐照室的风机排放量最大分别为 $13000\text{m}^3/\text{h}$ ，保证通风次数大于 3-4 次/h，停机后继续排风 10 分钟，排风口高度高于屋面 0.4m 以上。

(14) 在主机室和辐照室内设置复位开关，每次开机运行前由加速器控制人员进入主机室和辐照室进行巡检并依次打开复位开关，确保主机室和辐照室内无人员滞留时方可开机。

(15) 为防止臭氧和氮氧化物对工作人员的影响，公司应配备防护服和口罩或面罩，工作人员进入加速器机房前应该穿戴。

(16) 对辐照室和主机室进行分区管理：将主机室和辐照室及各自出入口以内的区域划为控制区，将设备操作室、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划为监督区，见

图 7-1 和图 7-2。

10.5 辐射环境管理制度

该公司在从事辐射操作前，必须制订《辐射安全管理机构成立文件》、《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《使用场所安全措施》、《岗位职责》、《操作规程》、《使用登记制度》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《辐射事故应急方案》等规章制度。

10.6 安全培训及健康管理

所有辐射工作人员经培训考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并须佩带个人剂量计，每 3 个月检测一次，建立个人剂量档案。辐射工作人员上岗前须进行体检，并每两年进行一次职业健康检查，建立个人健康档案。在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行放射性职业健康体检。

10.7 结论

综上所述，温州赛德电气科技有限公司在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，新建的 3 间加速器辐照室开展辐照工作时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

下一级生态环境部门预审意见：

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

经办人

公章

年 月 日