

核技术利用建设项目

年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活
用品，1 万吨食品、药材项目
环境影响报告表

（公示稿）

浙江环乙辐照科技有限公司

2021 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活
用品，1 万吨食品、药材项目
环境影响报告表

建设单位名称： 浙江环乙辐照科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）： 王晟赟

通讯地址： 浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号

邮政编码： 313219 联系人： 王**

电子邮箱： / 联系电话： 151*****

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	5
表 3 非密封性放射物质	5
表 4 射线装置	6
表 5 废弃物	7
表 6 评价依据	8
表 7 保护目标与评价标准	10
表 8 环境质量和辐射现状	17
表 9 项目工程分析与源项	20
表 10 辐射安全与防护	24
表 11 环境影响分析	30
表 12 辐射安全管理	46
表 13 结论与建议	52
表 14 审批	55

表 1 项目基本情况

建设项目名称		年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活用品，1 万吨食品、药材项目			
建设单位		浙江环乙辐照科技有限公司			
法人代表	王晟赞	联系人	王**	联系电话	151*****
注册地址		浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号			
项目建设地点		浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号			
立项审批部门		德清县经济和信息化局	批准文号	2020-330521-41-03-169429	
建设项目总投资(万元)		2300	项目环保投资(万元)	600	投资比例(环保投资/总投资)
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积(m ²)
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III类		
	其他				
	1.1 建设单位基本情况及项目由来 浙江环乙辐照科技有限公司成立于 2020 年 09 月 16 日，注册地址为浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号，公司经营范围：一般项目：工程和技术研究和试验发展；第一类医疗器械生产；第一类医疗器械销售；第二类医疗器械销售；通用设备制造（不含特种设备制造）；通用设备修理；技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；电子元器件与机电组件设备销售；金属材料销售；普通货物仓储服务（不含危险化学品等需许可审批的项目）；装卸搬运；国内货物运输代理；互联网销售（除销售需要许可的商品）；消毒灭菌服务(除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动)。许可项目：第二类医疗器械生产；消毒器械销售(依法须经批准的项目须经批准				

的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以审批结果为准)。现公司拟投资 2300 万元，租用位于浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号浙江环乙灭菌技术有限公司 2000 平方米空闲厂房用于年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活用品，1 万吨食品、药材项目，新建电子加速器机房，购置电子束辐照灭菌设备（1 台 DZ-10/20 型电子加速器）。

根据原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号《关于发布射线装置分类的公告》，辐照用加速器属于 II 类射线装置；对照生态环境部部令第 16 号《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”：“172. 核技术利用建设项目”：“使用 II 类射线装置”，应编制辐射环境影响报告表，并及时向有权限的生态环境主管部门申领辐射安全许可证。为此，浙江环乙辐照科技有限公司委托浙江问鼎环境工程有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。我单位在现场踏勘的基础上，依据《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）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.2 项目建设规模

浙江环乙辐照科技有限公司拟租用浙江环乙灭菌技术有限公司位于浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号的闲置厂房年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活用品，1 万吨食品、药材。公司拟在西南侧新建电子加速器机房，并配备 1 台 DZ-10/20 型电子加速器。电子加速器机房共 2 层，1 层为辐照室，2 层为主机室，机房周围配套设置设备房、控制室及等其他功能用房。设备参数详见表 4。

1.3 评价目的

- （1）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- （2）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境行政主管部门的管理提供依据；
- （3）通过项目辐射环境影响评价，为建设单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- （4）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；
- （5）评价项目的可行性，从环境保护角度为生态环境主管部门和建设单位进行辐

射环境管理提供科学依据。

1.4 项目选址和周围环境概况

1.4.1 地理位置

浙江环乙辐照科技有限公司租用浙江环乙灭菌技术有限公司位于浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号厂房。厂区周围环境状况如下：厂区东侧为浙江环乙灭菌技术有限公司和浙江深汇印业有限公司；南侧为浙江深汇印业有限公司；西侧为河道，隔河道为浙江有东电梯配件有限公司；北侧为浙江环乙灭菌技术有限公司。项目地理位置见附图 1，周围环境概况图见附图 2。

1.4.2 电子加速器机房位置

本项目电子加速器机房位于浙江环乙辐照科技有限公司的南侧，电子加速器机房共二层，其中一层为辐照室，二层为主机室。电子加速器机房东侧为浙江环乙灭菌技术有限公司和浙江深汇印业有限公司；南侧为浙江深汇印业有限公司；西侧为河道，隔河道为浙江有东电梯配件有限公司；北侧为本公司厂区和浙江环乙灭菌技术有限公司。电子加速器机房所在位置示意图见图 1-1。



图 1-1 电子加速器机房位置示意图

1.5 实践正当性

本项目投入使用不仅满足了医疗器械等生产厂家的辐照需求，提高了产品质量，还将给企业带来更多的经济效益和社会效益，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封性放射物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各类型加速器

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 台	DZ-10/20	电子	10	2mA	灭菌消毒及 改性	电子加速器机 房	--
	以下空白									

(二) X 射线，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物

名称	状态	核素 名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口 活度	暂存情况	最终去向
臭氧和 氮氧化物	气体	—	—	少量	少量	少量	不暂存	排入大气，臭氧在常温 常压下可自行分解为 氧气
以下空白								

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订本），2015 年 1 月 1 日实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订本），2018 年 12 月 29 日实施； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 修订），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日实施； (6) 《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》（2019 年修订），中华人民共和国环境保护部令第 3 号，2017 年 12 月 20 日起实施； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起实施； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部 令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起实施。 (9) 《关于发布射线装置分类的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育 委员会公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日实施； (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》国家环境保护总局，环发（2006）145 号，2006 年 9 月 26 日起实施； (11) 《浙江省辐射环境管理办法》，浙江省人民政府令第 289 号，2012 年 2 月 1 日起实施； (12) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项 目清单（2015 年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件 的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知， 浙环发（2015）38 号，2015 年 9 月 23 日起实施。 (13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，浙江省人民政府令第 364 号， 2018 年 3 月 1 日起实施。
------	---

技 术 标 准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ2.1-2016)； (2) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； (3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)； (4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (5) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)； (6) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002) (7) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T25306-2010)； (8) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)； (9) 《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)； (10) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及其2018年修改单。
其 他	(1) 建设单位营业执照，见附件1； (2) 其他技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“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”等相关规定，确定本项目评价范围为电子加速器机房边界外 50m 范围内的区域，电子加速器机房周围环境及评价范围示意图详见附图 2。

7.2 保护目标

本项目主要考虑电子加速器工作时产生的 X 射线可能对周围环境产生的辐射影响。经现场踏勘，拟建电子加速器机房边界外 50m 范围内主要有浙江环乙灭菌技术有限公司、浙江深汇印业有限公司和浙江有东电梯配件有限公司，无居民点和学校等环境保护目标。因此，本项目环境保护目标为辐照室周围活动的辐射工作人员、辐射工作场所周边的其他非辐射工作人员和公众成员，详细情况见表 7-1。

表 7-1 项目环评范围内主要关注对象一览表

场所位置	保护对象		规模	与辐照室相对方位	与辐照室相对距离	年剂量约束值
本公司厂区	职业人员	辐射工作人员	6 人	二层控制室	6.65m	5mSv
	公众成员	其他非辐射工作人员	—	北侧上下货区	15m	0.1mSv
浙江环乙灭菌技术有限公司	公众成员	公众成员	—	东侧、北侧	25m	0.1mSv
浙江深汇印业有限公司	公众成员	公众成员	—	南侧	30m	0.1mSv
浙江有东电梯配件有限公司	公众成员	公众成员	—	西侧	50m	0.1mSv

7.3 评价标准

7.3.1 《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。

4.3.3 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）。

4.3.3.2 防护与安全最优化的过程，可以从直观的定性分析一直到使用辅助决策技术的定量分析，但均应以某种适当的方法将一切有关因素加以考虑，以实现下列目标：

a) 相对于主导情况确定出最优化的防护与安全措施，确定这些措施时应考虑可供利用的防护与安全选择以及照射的性质、大小和可能性；

b) 根据最优化的结果制定相应的准则，据以采取预防事故和减轻事故后果的措施，从而限制照射的大小及受照的可能性。

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。

本项目取四分之一，即 5 mSv 作为工作人员的辐射剂量约束值。

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。

本项目取四分之一，即 0.25 mSv 作为公众成员的辐射剂量约束值。

7.3.2 《粒子加速器辐射防护标准》（GB5172-1985）

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 5mSv。

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 0.1mSv。

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、靶厅的门均需安装连锁装置，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螺旋式红色警告灯及音响警告装置，在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪。气体监测仪等。

3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

3.4 通风系统

3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

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/m^3 。

7.3.3 《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

本标准适用于各种类型的 γ 源辐照装置和能量小于或等于 10MeV 的电子加速器辐照装置。

5.1.4II、IV类 γ 射线辐照装置和II类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测。

5.1.4.1 空气比释动能率的测量位置如下：距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。

5.1.4.2 运行中的定期测量应选定固定的检测点，它们必须包括：贮源水井表面、辐照室各入口、出口，穿过辐照室的通风、管线外口，各屏蔽墙和屏蔽顶外，操作室及与辐照室直接相邻的各房间等。

5.1.4.3 测量结果应符合 GB 17279 第 5 条（即“对监督区，在距屏蔽体的可达界面 30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ”）。

7.3.4 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）

本标准适用于能量为 0.15MeV~15MeV 的各类辐射加工用电子加速器工程。

8.1.3 辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

- a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C20，密度不低于 2.35g/cm^3 ；
- b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商的土建工艺指导数据；
- c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 和 GB5172-85 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv，公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv；
- d) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；
- e) 控制区和监督区及其入口处应设置电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志；
- f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；
- g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2-2007 规定的标准要求。

C.3 有害气体职业接触限值

按照 GBZ 2.1-2007,有害气体职业接触限值如下

- a) 臭氧，最高容许浓度： 0.3mg/m^3 。
- b) 二氧化氮，时间加权平均容许浓度： 5mg/m^3 ，短时间接触容许浓度： 10mg/m^3 。

注：此项限值主要在辐照室，在辐照室，由于射线导致空气电离主要产生臭氧和二氧化氮这两种有害气体。

7.3.5 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

本标准适用于辐照加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。自屏蔽辐照装置不适用于本标准。

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。

4.2.1 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限值规定为：

a）辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；

b）公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处级以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

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；

（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

6.3.1 电气系统

(1) 必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。

(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。

(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。

(4) 凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。

6.3.2 给水系统

(1) 应根据加速器装置总用水要求，提供有一定裕量的水流量和水压。

(2) 根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。

6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录 B。

(3) 辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。

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

6.3.4 防火系统

辐照室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

7.3.6 项目管理目标

综合上述，本项目选取标准如下：

①以 5mSv 作为工作人员的辐射剂量约束值；

②以 0.1mSv 作为公众的辐射剂量约束值；

③电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处级以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

浙江环乙辐照科技有限公司租用浙江环乙灭菌技术有限公司位于浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号厂房新建电子加速器机房。本项目电子加速器机房位于浙江环乙辐照科技有限公司的南侧，电子加速器机房共二层，其中一层为辐照室，二层为主机室。电子加速器机房东侧为浙江环乙灭菌技术有限公司和浙江深汇印业有限公司；南侧为浙江深汇印业有限公司；西侧为河道，隔河道为浙江有东电梯配件有限公司；北侧为本公司厂区和浙江环乙灭菌技术有限公司，详见附图 2。

8.2 环境质量和辐射现状

为了掌握企业电子加速器机房拟建地的辐射环境背景水平，为辐射环境影响评价提供基础数据，委托湖州环安检测有限公司于 2020 年 12 月 31 日对项目拟建厂址及周边环境进行了辐射环境背景监测。

1、监测因子

X- γ 辐射剂量率。

2、监测布点

根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）等要求，结合现场条件，对本项目电子加速器机房拟建址及周围进行监测布点，共布设 4 个监测点位，具体见图 8-1。

3、监测仪器及规范

监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 射线剂量率监测仪器参数与规范

项目	内容
仪器名称	X、 γ 辐射剂量率仪
型号规格	AT1121
仪器编号	2018003
量程	50nSv/h~10nSv/h、10nSv~10Sv
校准有效期	2020.11.25-2021.11.24

4、质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经校对、校核，最后由技术总负责人审定。

5、监测结果

表 8-2 拟建辐照室 X- γ 辐射剂量率背景值监测结果

检测地址	浙江环乙辐照科技有限公司拟建址		
检测点编号	检测点位置	辐射剂量率 (nSv/h)	
		平均值	标准偏差
▲1	项目东侧	104	3
▲2	项目南侧	98	3
▲3	项目西侧	101	2
▲4	项目北侧	105	3

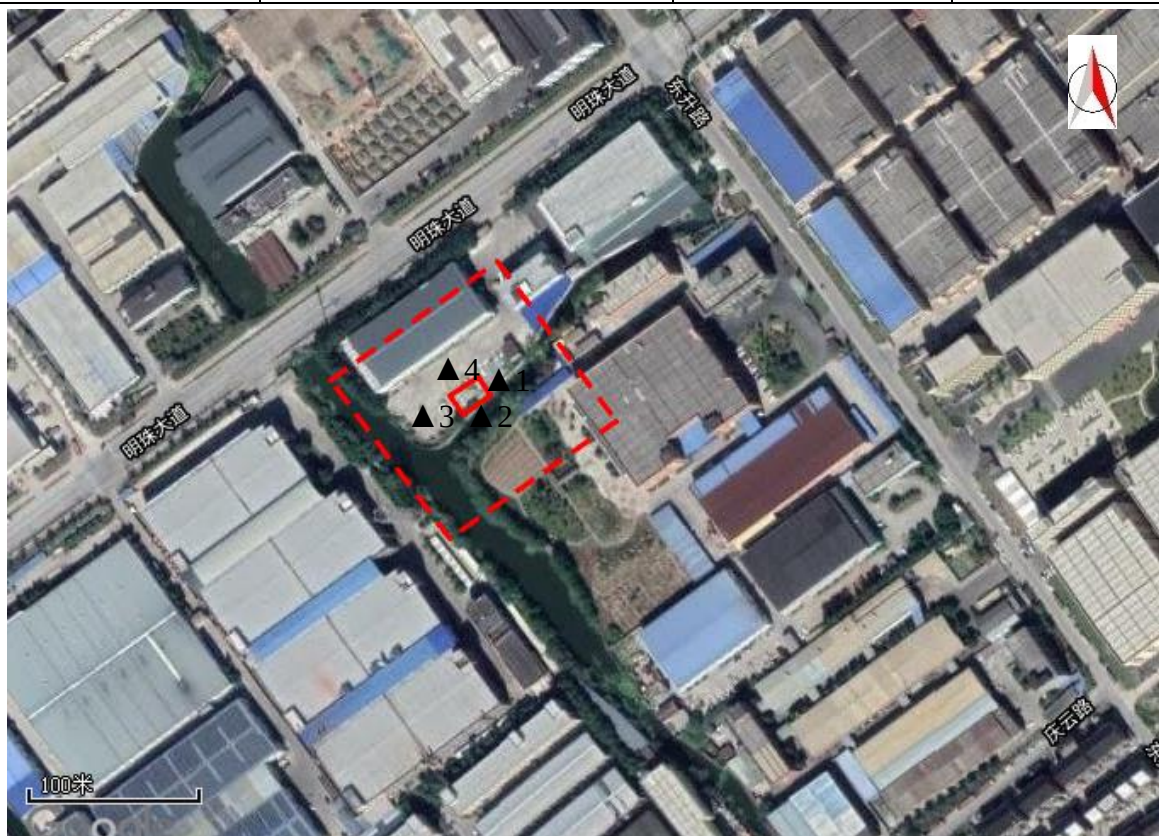


图 8-1 环境现状监测布点图

6、现状监测评价

由表 8-2 监测结果可知，加速器拟建址及厂界 γ 辐射剂量率在 98~105nGy/h 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，湖州市 γ 辐射剂量率在 40~170nGy/h 之间。可见，本拟建址各检测点位地表 γ 辐射剂量率在其范围内，辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 工作原理

利用电子枪发射电子，在微波功率源的加速管中加速，电子加速到所需能量，获得高能电子束经输运系统传输到扫描段，扫描线圈产生的磁场将电子束流在一个固定的角度内循环往复的偏转扫描，扩大电子束出射的宽度，最后，经钛窗输出的电子束以扫描方式完成货物的辐照加工。加速器产生的高能电子束照射可以使一些物质产生物理、化学和生物学效应，并能有效地杀灭病菌、病毒等。

加速器配备的微波功率源系统脉冲调制器产生两路高压脉冲，一路高压脉冲加载到电子枪阴极上，引出电子束并注入加速管；另一路高压脉冲送入微波功率源（速调管），功率源产生的高功率微波脉冲经传输波导馈入加速管，在加速管中建立加速电场；电子束在加速管中受到加速电场的同步加速，同时聚焦线圈产生的磁场约束电子束流始终沿着加速管中心传输，并保持小的束团直径，直至其能量达到 10MeV；加速管出射的 10MeV 电子束经输运系统传输到扫描段，扫描线圈产生的磁场将电子束流在一个固定的角度内循环往复的偏转扫描，扩大电子束出射的宽度；最后，经钛窗输出的电子束以扫描方式完成货物的辐照加工。

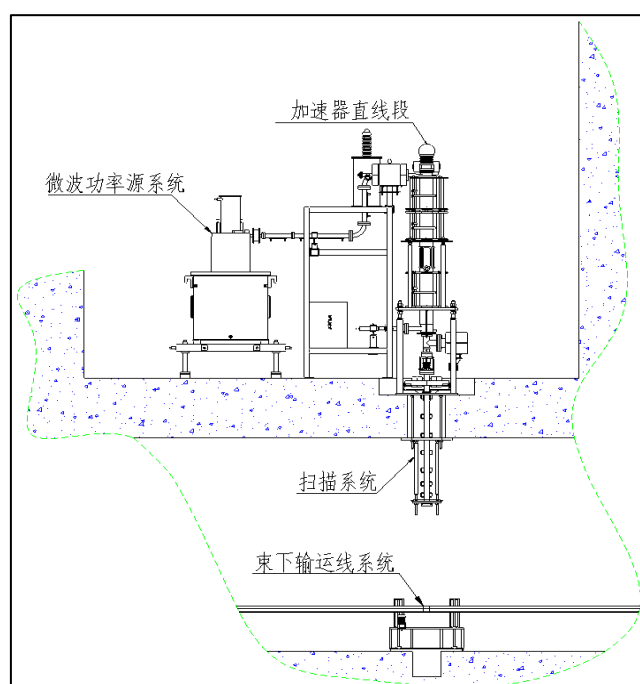


图 9-1 加速器主体示意图

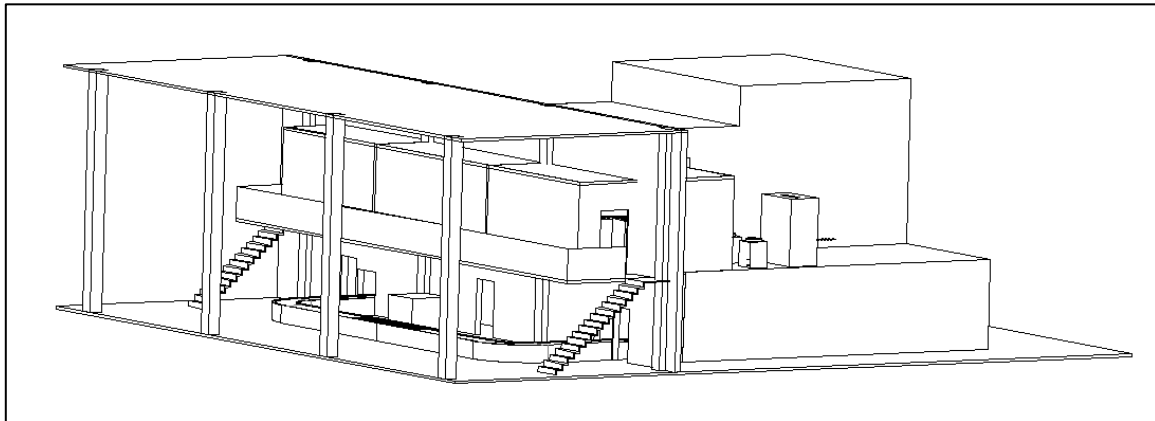


图 9-2 电子加速器机房效果图

9.1.2 电子加速器组成

本项目 DZ-10/20 型辐照电子加速器主要由微波功率源系统、加速系统、扫描系统、水冷系统、束下输运线系统及控制系统等构成。

(1) 微波功率源系统

微波功率源系统包括高压脉冲调制器、速调管、速调管聚焦线圈、速调管聚焦线圈电源、微波信号源与固体放大器、波导传输、微波功率测量元件，相关真空系统与配套的控制系統。

(2) 加速系统

加速直线段包括电子枪、S 波段加速管、输入输出耦合器、水套、聚焦线圈、聚焦线圈电源、校正线圈组，校正线圈组电源，吸收负载、刮束器、束测元件及配套的控制系統。

(3) 扫描系统

扫描系统包括扫描磁铁、扫描磁铁电源、辐照盒及配套的控制系統。

(4) 水冷系统

水冷系统是指该加速器本体的设备用水，主要包括加速管和吸收负载的恒温水，加速管聚焦线圈、速调管收集极、速调管管体、速调管聚焦线圈、调制器等非恒温水等。

(5) 束下输运线系统

束下输运线系统由多段受控的传动/输运装置组成，分为传动结构、驱动结构及配套的控制系統。

(6) 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、加速系统设备的控制、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。

9.1.3 电子加速器辐照工艺流程

本项目加速器主要对医疗器械、生活用品，食品和药材等进行辐照加工，本项目拟采用传送带对辐照产品进行传输，辐照产品从辐照室北侧货物通道出入口的东侧上货口传输进入辐照室，经过辐照加工后从货物通道口的西侧货物下货口输出，在货物通道进出口处送入及送出的传输带平行设置，为设防护门，货物传输路线图见图 9-3。

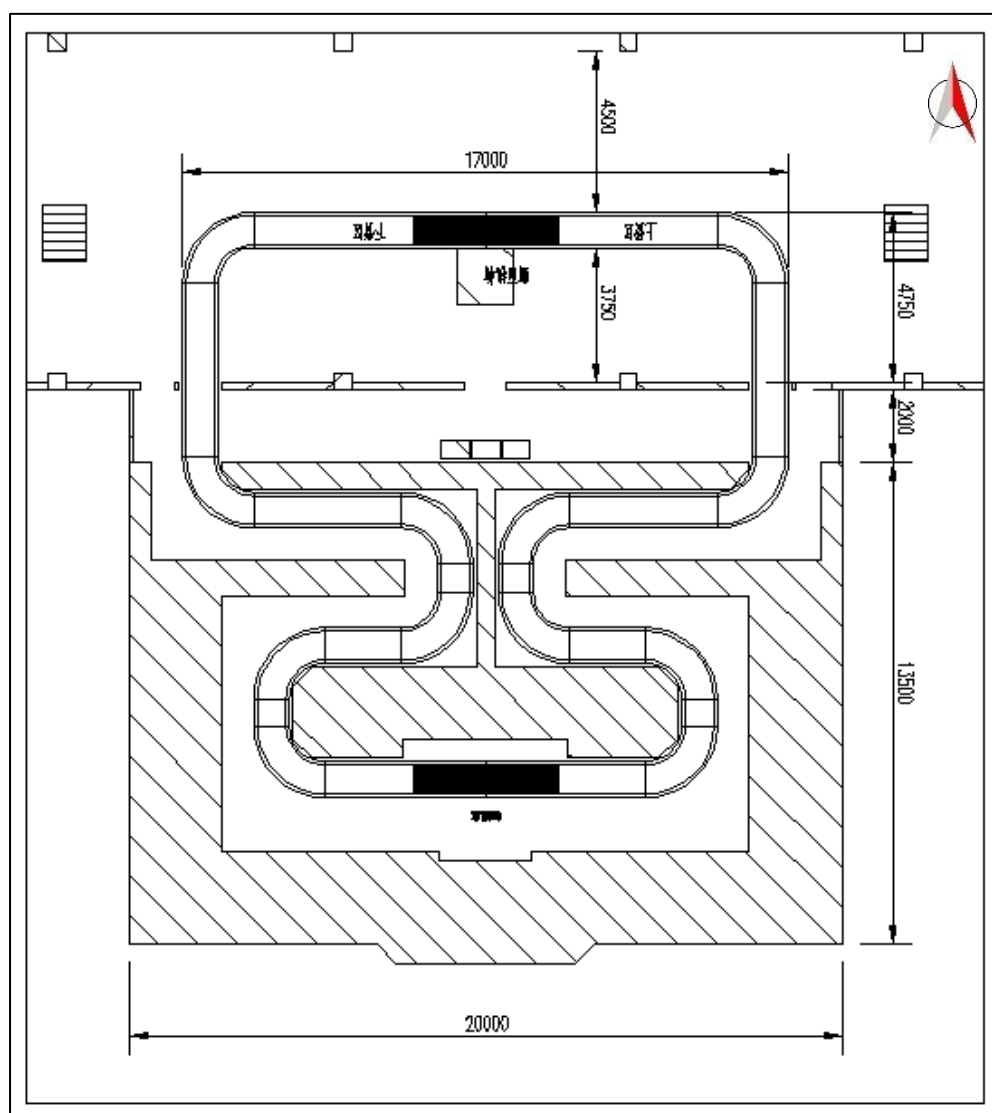


图 9-3 本项目货物传输路线图

9.1.4 工作人员及工作班制

本项目电子加速器机房安排 6 名辐射工作人员负责加速器的辐照工作，采取三班工作制，每班 2 名辐射工作人员，并指定其中 1 人为当班运行值班长，年工作 330 天，每天最长出束时间 24h，单名辐射工作人员年工作时间不超过 2640h。

9.2 污染源项描述

1、电子束、X 射线

加速器利用电子束对产品进行辐照，电子在加速器过程中，部分电子丢失，它们打在加速管壁上，产生 X 射线。此外，电子束打到高原子序数物质时也会产生高能 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境辐射造成辐射污染，但该 X 射线影响关机后即消失。根据《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018），能量不高于 10MeV 的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能离远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽，因此，在加速器开机的时间内，电子束产生的韧致 X 射线为主要污染因素。

2、臭氧和氮氧化物

电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 (O₃) 和氮氧化物 (NO_x)。其中，臭氧的危害大，产额高，毒性大，而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的十分之一，且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此，在考虑有害气体的影响时仅考虑臭氧的影响。

综上所述，本次环境影响评价的评价重点为 X 射线、臭氧。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所分区

为防止 X 射线对环境的影响，公司按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）等相应的要求，对辐照工作场所划分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。本项目控制区为辐照室和其加速器主机室及各自出入口以内的区域。控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志。

监督区：该区域通常不需要专门防护手段或安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价。以上货区、下货区、控制室、电源间、水冷室及平台区域作为监督区边界等。在该区设置电离辐射标志，经常进行剂量监督，确认是否需要专门的防护措施。

本项目辐射工作场所分区管理示意图见附图 5-1~附图 5-2。本项目控制区和监督区划分表见表 10-1。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。

表 10-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区划分

分区	控制区	监督区
区域划分	辐照室、主机室、迷道和出入口	上货区、下货区、控制室、电源间、水冷室及平台区域、辐照室周边 30cm 范围内二楼辅助设施区域
管理要求	在加速器开机情况下，任何人不得进入控制区，边界周围醒目位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明	在加速器开机情况下，其他公众人员禁止进入监督区

10.1.2 辐射防护屏蔽设计

本项目新建电子加速器机房屏蔽防护方案详见表 10-2。

表 10-2 电子加速器机房屏蔽防护方案

名称	方位	屏蔽设计方案
辐照室 (尺寸：长 13.4m、 宽 20m、高 2m)	东	2600mm 钢筋混凝土
	南	2600mm 钢筋混凝土、2850mm 钢筋混凝土
	西	2600mm 钢筋混凝土

主机室 (尺寸:长 11.55m、 宽 8.65m、高 6.15m)	北	750mm 钢筋混凝土(外墙)、2000mm 钢筋混凝土(内墙)
	顶层	1350mm 钢筋混凝土
	东	2000mm 钢筋混凝土
	南	1800mm 钢筋混凝土
	西	2000mm 钢筋混凝土
	北	1000mm 钢筋混凝土、1000mm 钢筋混凝土、500mm 钢筋混凝土
	顶层	1100mm 钢筋混凝土
	底层	1350mm 钢筋混凝土
注:钢筋混凝土密度 2.35t/m ³		

10.1.3 辐射安全和防护措施

为保障电子加速器安全运行,避免在加速器辐照期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故,本项目电子加速器机房拟设置如下辐射安全装置和防护措施,主要有:

(1) 钥匙控制:控制室主控台上配备钥匙开关,钥匙开关控制加速器系统的运行,钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机;加速器的主控钥匙开关和辐照室门、主机室门连锁。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) 门机连锁:辐照室门、主机室门与束流控制和加速器高压连锁。辐照室门或主机室门打开时,加速器不能加高压且束流装置不能出束流;加速器运行中门被打开则加速器自动停机。

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

(3) 束下装置连锁:电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制进行连锁,用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统若发生故障,将通过 PLC 反馈至主机,主机束流将自动停止、加速器自动停机。

(4) 信号警示装置:辐照室的出入口和室内、主机室的出入口和室内安装红绿信号警灯和警铃,并与电子加速器辐照装置连锁,加速器开机升高压前警铃响、红灯亮,同时提示“开机禁止入内”,提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场,关机后绿灯亮并提示“关机允许进入”。

(5) 巡检按钮:在辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置一个“巡检按钮”,并与控制台连锁。加速器开机前,操作人员进入辐照室和主机室按序按动“巡检按钮”,

巡查有无人员误留，完成巡检流程后，加速器才能开启高压。

（6）防人误入装置：在辐照室、主机室的迷道外口和迷道内口处分别设置一套防人误入装置，并与加速器的开、停机联锁。在加速器工作过程中，若人员误入辐照室或主机室，该装置将发出光电报警，并自动切断加速器电源。每套防人误入装置均由三道（高度分别为 0.6m、1.0m、1.2m）防人误入的光电联锁装置组成，三道防人误入光电联锁装置建议从不同的厂家购买，确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。

（7）急停装置：在控制台上及辐照室、主机室的四周墙壁和迷道墙上均设置一个急停按钮，并在辐照室、主机室内设置急停拉线开关并覆盖室内全部区域，紧急状态下，拉下急停拉线开关或按下急停按钮，即终止加速器的运行，拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。

急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠，并有中文标识和使用说明。辐照室、主机室迷道外口处的急停按钮带有紧急开门功能，以便在事故工况下人员离开控制区。

（8）剂量联锁：在控制室内以及辐照室、主机室的迷道外口处安装固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在控制室内，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与辐照室门、主机室门联锁，当任一监测点处的辐射剂量率超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室门、主机室门无法从外部打开。

（9）通风联锁：电子加速器机房排风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间（环评建议至少 2min）后才能开门，以保证机房内的臭氧等有害气体低于允许值。

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

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

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

(13) 其他安全措施：辐照室、主机室的出入口门外设置钥匙开关，插上钥匙才能打开门，在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。设备平台楼梯入口处安全门上锁，只有在设备检修时才打开允许检修人员进入，平时任何人员无法进入设备平台。

本项目辐射安全联锁装置详见表 10-3，位置详见图 10-1~图 10-3。

表 10-3 本电子加速器机房辐射安全设计

序号	名称	辐照室数量	主机室数量	用途
E	急停	8	3	紧急停机
T	拉线开关	2	1	紧急停
S	复位	6	2	开机前巡视
O1	低位光电	2	1	防人员误入
O2	中位光电	2	1	防人员误入
O3	高位光电	2	1	防人员误入
A	声光报警	2	1	提示即将开机
W	字灯	2	1	显示设备工作状态
R	辐射探头	2	1	监测射线泄露
K	电子锁	2	1	开关门
L	限位开关及电磁锁	2	1	门状态显示

综上所述，本项目电子加速器机房拟采取的辐射安全和防护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求，项目设计安全可行。

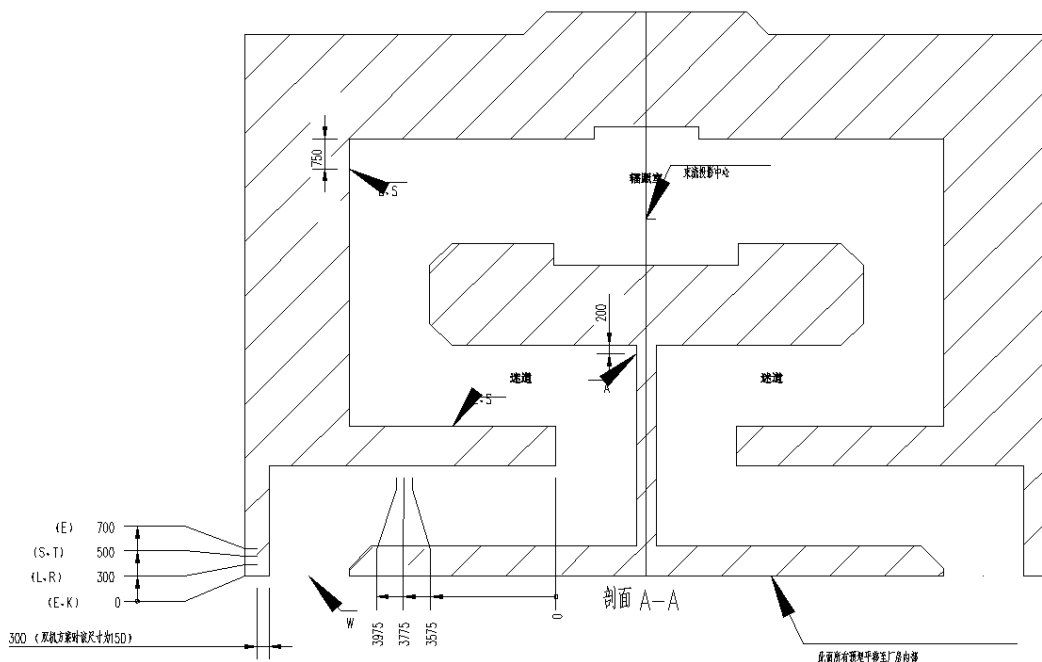


图 10-1 辐照室辐射防护装置位置示意图

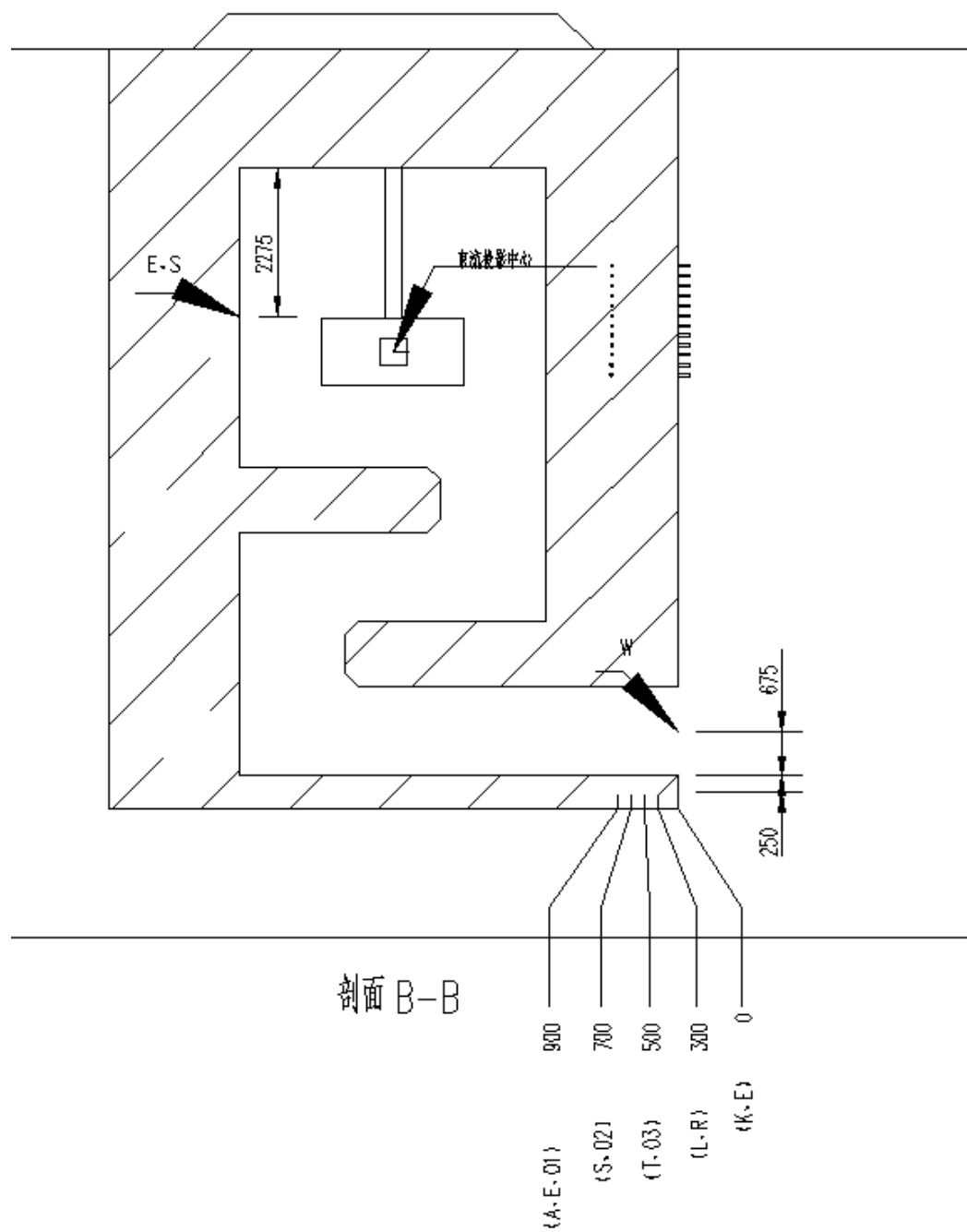


图 10-2 主机室辐射防护装置位置示意图

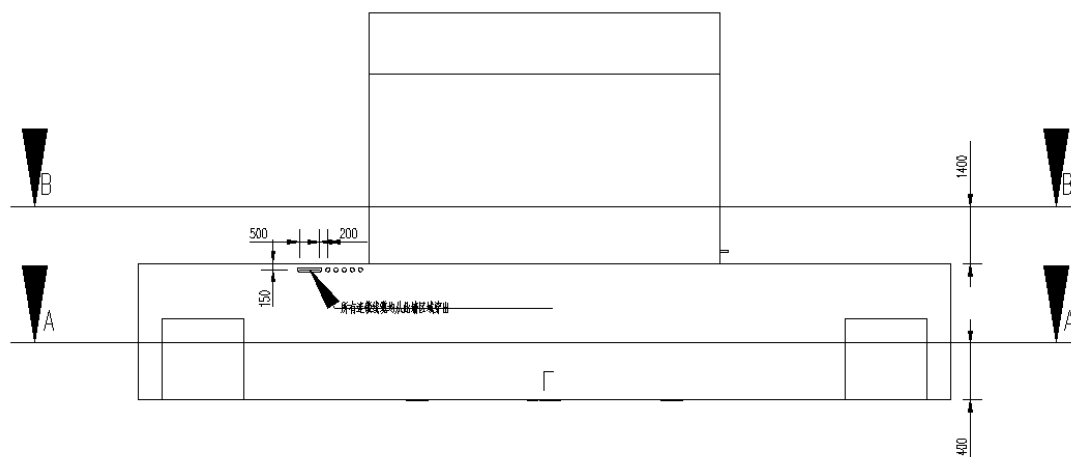


图 10-3 防护装置位置示意图

10.2 三废的治理

本项目电子加速器拟配套循环冷却水系统，循环冷却水定期补充，不外排。项目在运行过程中，没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。

加速器运行时电子束在空气中穿行过程与空气相互作用而产生臭氧和氮氧化物等气体，本项目电子加速器机房辐照室废气经过专用管道收集、风机抽排后经过 15m 高的排气筒排放，辐照室排风风量不低于 15000m³/h。

经计算（详见后文臭氧和氮氧化物环境影响分析章节），辐照室内臭氧经过约 2min，室内臭氧浓度方可达到《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中臭氧二级标准 0.30mg/m³ 限值要求。

由于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，对周边环境影响轻微。

要求工作期间应保证排气孔机械通风的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物浓度。本项目排风管道采用埋地设计，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电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目电子加速器机房主要为混凝土结构，在建设时将会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目在建设阶段对环境的影响及应采取的措施如下：

（1）大气

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

（2）噪声

本项目整个建筑施工阶段，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。公司在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523—2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，以保证施工过程对厂界外环境保护目标的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得当地主管部门同意。

（3）固体废物

本项目施工期间产生的固体废物主要有挖掘的弃土、建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，弃土主要用于厂区内的绿化覆土，建筑垃圾应回填或堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

（4）废水

本项目施工期污水主要为各种施工机械设备清洗用水和施工现场清洗、建材清洗、混凝土养护产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收

利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。公司只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在公司厂区内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 电子环境影响分析

电子在物质中的最大射程采用如下公式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \dots\dots\dots \text{公式 (11-1)}$$

式中：

d —— β 射线射程，cm；

ρ ——屏蔽材料密度，g/cm³，本项目钢筋混凝土密度为 2.35g/cm³；

$E_{\beta\max}$ —— β 粒子最大能量，MeV，本项目电子最大能量为 10MeV。

经上式计算，本项目加速器电子在钢筋混凝土中最大穿透厚度为 2.13cm。本项目机房屏蔽厚度远超过电子射程，完全可屏蔽 10MeV 电子，因此，电子对机房外的环境影响可忽略不计。

12.2.2 X 射线环境辐射环境影响分析

12.2.1.1 电子加速器机房墙体屏蔽计算

(1) 估算模式

电子加速器运行时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X 射线），X 射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。电子加速器运行时，电子束出束方向朝下，在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：

①混凝土地面

②电子扫描器下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）

③辐照产品，主要为待消毒的医疗器械等。

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 X 射线的发射率也不相同。本项目被轰击物质中不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，因此本节选取以不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

理论估算模式采用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A

公式（A-1）可以导出参考点的剂量当量率 H （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

式中：

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

d ：X 射线源于参考点之间的距离（m）；

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

常数（ 1×10^6 ）为单位转换系数。

D_{10} ：距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（ Gy h^{-1} ），计算方法为：

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad \text{公式 (11-3)}$$

式中：

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

I ：电力束流强度（mA）；

f_e ：X 射线发射率修正系数。

B_x 可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法为：

$$B_x = 10^{-n} \quad \dots\dots\dots \text{公式 (11-4)}$$

$$n = (S - T_1) / T_e + 1 \quad \dots\dots\dots \text{公式 (11-5)}$$

式中：

S ：屏蔽体厚度（cm）；

T_1 ：在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层（cm）；

T_e ：平衡十分之一值层，该值近似于常熟（cm）；

n ：为十分之一值层的个数。

（2）加速器辐照室屏蔽计算结果

辐照室屏蔽墙辐射影响主要考虑韧致辐射所致、与电子束入射方向呈 90° 的初级 X 射线，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入射电子能量的特性参数，根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.1，10MeV

入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率分别为 $13.5\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ 。

加速器运行时，电子束照射方向朝下，电子束可能轰击的物质有：不锈钢材料、辐照室混凝土地面及医疗器械等。上述几种物质不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，本项目保守考虑，90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。

本项目 10MeV 电子加速器束流强度为 2mA，根据公式（11-2），辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 D_{10} （90°）为 810Gy h^{-1} 。

根据附录 A 表 A.4，10MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 6MeV；根据附录 A 表 A.2 和表 A.3：

入射电子能量为 6MeV，混凝土的 T1 和 Te 值分别为 $T_1=35.5\text{cm}$ 、 $T_e=35.5\text{cm}$ 。

将相关参数带入公式 11-1~11-4，辐照室辐射影响核算结果见表 11-1。

表 11-1 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

楼层	参考点	设计厚度 S (混凝土 cm)	T1 (cm)	Te (cm)	n	B _x
一层 辐照室	A1（辐照室正后方）	285	35.5	35.5	8.03	9.37E-09
	A2（辐照室侧后方）	260	35.5	35.5	7.32	4.74E-08
	A3（辐照室侧面）	260	35.5	35.5	7.32	4.74E-08
	A4（辐照室正前方）	255	35.5	35.5	7.18	6.56E-08

表 11-1 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表（续上表）

楼层	参考点	距离 d (m)	D ₁₀ (Gy h ⁻¹)	T	B _x	H _M (μSv·h ⁻¹)
一层 辐照室	A1（辐照室正后方）	5.15	810	1	9.37E-09	0.29
	A2（辐照室侧后方）	5.52	810	1	4.74E-08	1.26
	A3（辐照室侧面）	10.0	810	1	4.74E-08	0.38
	A4（辐照室正前方）	8.93	810	1	6.56E-08	0.67

（3）电子加速器主机室屏蔽计算

根据加速器厂家提供的数据，本项目电子加速器束流损失为 2%（即电子束流强度为 0.04mA），束流损失点的能量为 3MeV。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.1，3MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率分别为 $3.2\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ 。

加速器运行时，电子束照射方向朝下，电子束可能轰击的物质有：不锈钢材料、辐照室混凝土地面及医疗器械等。上述几种物质不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，本项目保守考虑，90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。

加速器束流强度为 0.04mA，根据公式（11-2），辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的

标准参考点的吸收剂量率 D_{10} (90°) 为 3.84Gy h^{-1} 。

根据附录 A 表 A.4，3MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV；
根据附录 A 表 A.2 和表 A.3：

入射电子能量为 3MeV，混凝土的 T1 和 Te 值分别为 $T1=22.1\text{cm}$ 、 $Te=20.1\text{cm}$ 。

将相关参数带入公式11-1~11-4，主机室束流损失辐射影响核算结果见表11-2。

表 11-2 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

楼层	参考点	设计厚度 S (混凝土 cm)	T1 (cm)	Te (cm)	n	B_x
二层 主机室	B1（主机室正后方）	180	22.1	20.1	8.86	1.39E-09
	B2（主机室侧面）	200	22.1	20.1	9.85	1.41E-10
	B3（控制室）	150	22.1	20.1	12.34	4.59E-13

表 11-2 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表（续上表）

楼层	参考点	距离 d (m)	D_{10} (Gy h^{-1})	T	B_x	H_M ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)
二层 主机室	B1（主机室正后方）	4.6	3.84	1	1.39E-09	2.53E-04
	B2（主机室侧面）	4.33	3.84	1	1.41E-10	2.89E-05
	B3（控制室）	7.42	3.84	1	4.59E-13	3.02E-03

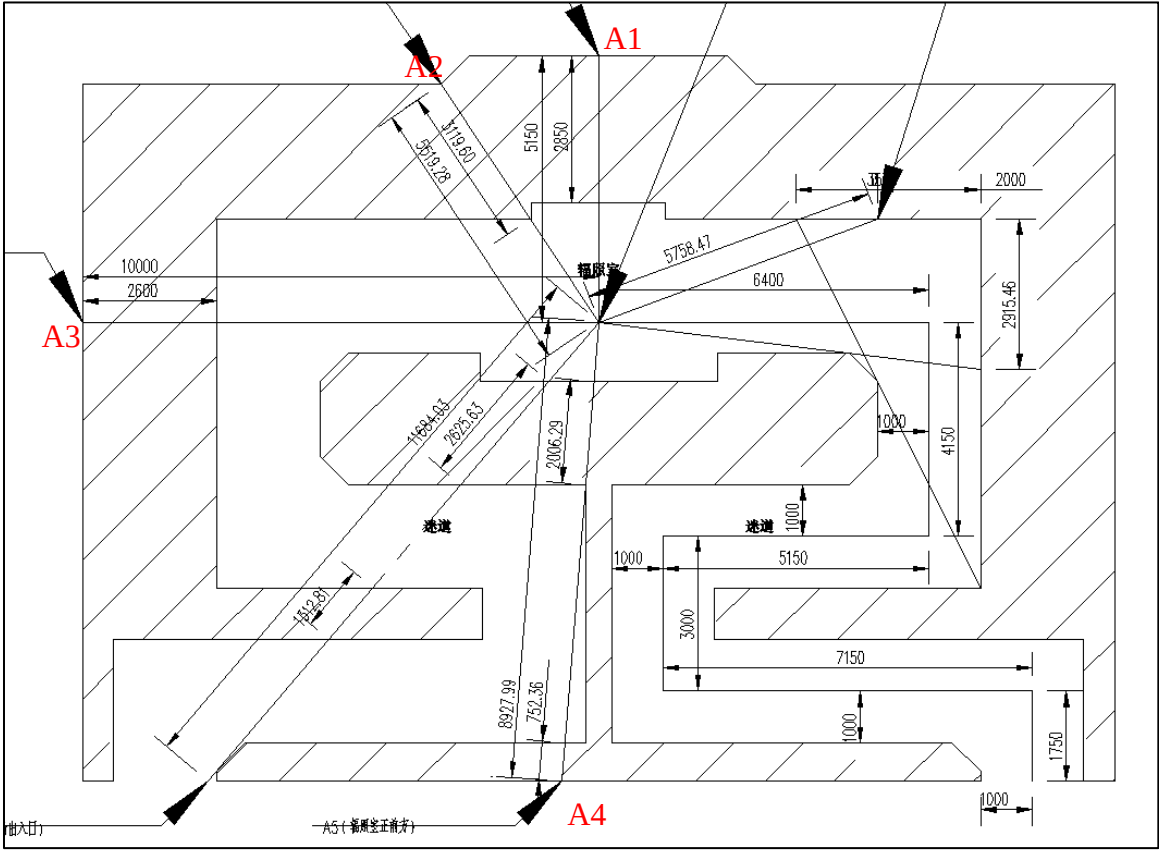


图 11-1 辐照室预测点位示意图

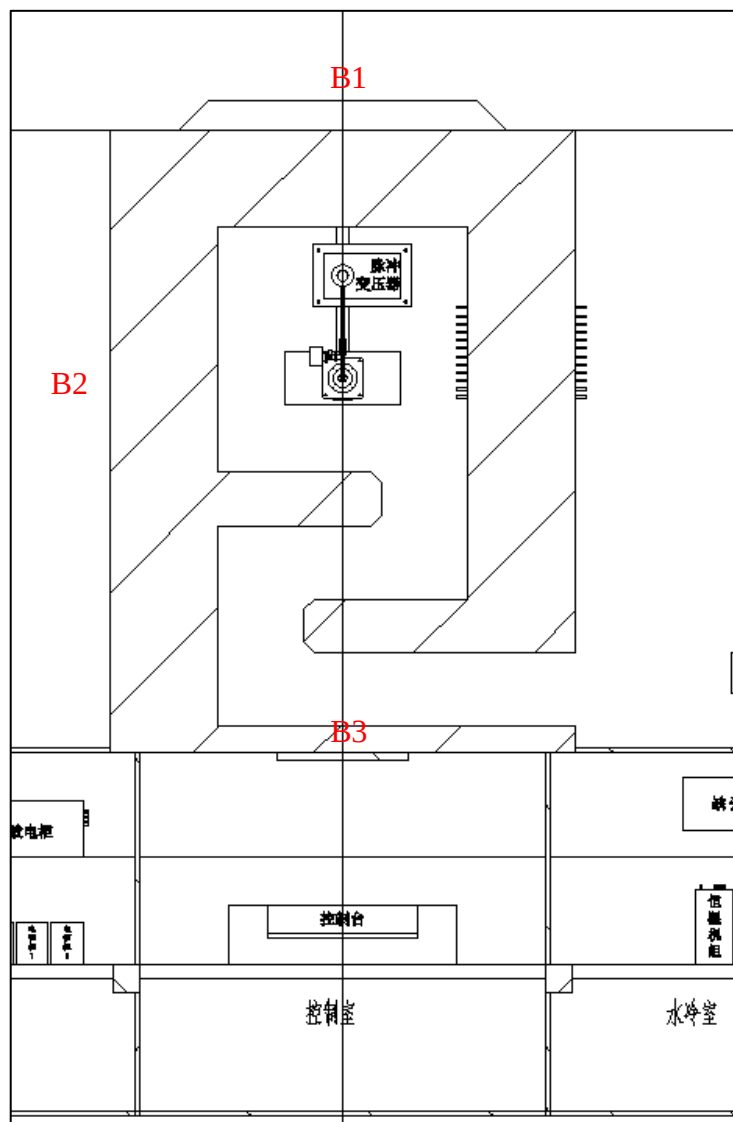


图 11-2 主机室预测点位示意图

12.2.1.2 电子加速器机房迷道和防护门辐射影响分析

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 公式（A-5）可计算得出迷道外入口处的剂量当量率 H （Sv/h）：

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10} \cdot (\alpha_1 \cdot A_1) \cdot (\alpha_2 \cdot A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \dots d_{rj})^2} \quad \dots\dots \text{（公式 11-6）}$$

式中：

$H_{1,rj}$ 迷道外入口处辐射剂量率，Sv/h；

α_1 ：入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；查《辐射防护导论》图 6.4；

α_2 ：从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数；

A_1 : X 射线入射到第一散射物质的散射面积 (m^2) ;

A_2 : 迷道的截面积 (m^2 , 假设整个迷道的截面积近似常数, 宽高之比在 1~2 之间) ;

d_1 : X 射线源与第一散射物质的距离 (m) ;

$d_{r1}, d_{r1} \dots d_{rj}$: 沿着迷道长轴的中心线距离 (m) 。

(2) 计算结果

本项目 X 射线在电子加速器机房的散射路线见图散射预测路径详见图 11-3~图 11-4, 辐照室对于加速器产生的 X 射线, 认为其散射一次后的能量均为 0.5MeV; 对于初级 X 射线, 散射系数 α_1 取值为 5×10^{-3} , 对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 (假设一次散射后的反射过程一样, $E=0.5MeV$) 取值为 2×10^{-2} 。加速器辐照室迷道散射计算的 D_{10} (90°) 取值 $810Gy \cdot h^{-1}$, 加速器辐照室迷道散射计算的 D_{10} (90°) 取值 $3.84Gy \cdot h^{-1}$ 。

辐照室及主机室的迷道散射计算结果见表 11-3。

表 11-3 迷道散射计算结果

楼层	参考点	散射次数	散射面积 A_1 (m^2)	迷道截面积 A_2, A_3, A_4, A_5 (m^2)	路径 $d_1, d_{r1} \dots d_{rj}$	辐射剂量率 ($\mu Sv \cdot h^{-1}$)
辐照室 (1F)	A5	5	13.06	4, 4, 4, 4	7.55, 4.25, 5.23, 4.5, 4.0, 2.35	4.30E-05
主机室 (2F)	B4	3	9.36	3.2, 3.2, 3.2	4.95, 4.25, 3.65, 3.55,	9.59E-03

由表 11-3 可知, 辐照室入口处周围剂量当量率最大为 $4.30 \times 10^{-5} \mu Sv \cdot h^{-1}$, 远小于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu Sv \cdot h^{-1}$, 所以, 辐照室迷道的设计是合理的。

主机室入口处周围剂量当量率最大为 $9.59 \times 10^{-3} \mu Sv \cdot h^{-1}$, 远小于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu Sv \cdot h^{-1}$, 所以, 主机室迷道的设计是合理的。

本项目辐照室的迷道设计使射线至少经过三次以上散射后方能到达迷道口。根据《辐射防护导论》(方杰主编, P189): “迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法, 是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。实例也证明, 如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道, 是能保证迷道口工作人员的安全。这时, 迷道口也只需要采用普通门”, 因此本项目辐照室和主机室迷道外安装普通钢门可满足辐射防护的要求。

	B3（控制室）	3.02E-03
	B4（主机室出入口）	9.59E-03

根据表 11-4，本项目子各电子加速器机房外参考点处辐射剂量率均能够满足本项目辐射环境剂量率控制水平：电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。

12.2.1.5 天空反散射辐射影响

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

（1）估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 公式（A-6）可计算出天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 H（Sv/h）：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} \cdot D_{10} \cdot \Omega^{1.3})}{(d_i \cdot d_s)^2} \dots\dots \text{（公式 11-7）}$$

式中：D₁₀ 意义同上。

B_{xs}——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω——由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角（Sr）；

d_i——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m）；

d_s——X 射线源至 P 点的距离（m）。

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

（2）计算结果

表 11-5 电子加速器机房天空反散射屏蔽效果核算一览表

关注点	受照类型	D ₀ (Gy/h)	S (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	B _x	Ω	d ₁ (m)	d ₂ (m)	H _m (μSv/h)
P	辐照室天空反散射辐射影响	810	85	35.5	35.5	4.03E-03	0.05	10.8	20	3.56E-02
	主机室天空反散射辐射影响	3.84	110	22.1	20.1	4.24E-06	0.27	6.55	20	4.32E-03
	合计									3.99E-02

本项目电子加速器机房安排 6 名辐射工作人员负责加速器的辐射工作，采取三班工作制，每班 2 名辐射工作人员，并指定其中 1 人为当班运行值班长，单名辐射工作人员年工作时间不超过 2640h。

根据理论估算结果可知，本项目电子加速器运行后，每名电子加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.008mSv（二层加速器控制室内辐射剂量率 0.003 μ Sv/h，居留因子取 1，使用因子取 1，工作时间保守取 2640h），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

（2）公众剂量估算及评价

本项目非辐射工作人员主要位于一层的上下货区，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系，可估算出电子加速器机房上下货区辐射剂量率为 0.24 μ Sv/h（参考点选取电子加速器机房正前方辐射剂量率 0.67 μ Sv/h、距离取 15m）；电子加速器机房南侧深汇印业处辐射剂量率为 0.096 μ Sv/h（参考点选取电子加速器机房侧后方辐射剂量率 1.26 μ Sv/h、距离取 25m）；电子加速器机房西侧有东电梯处辐射剂量率为 0.003 μ Sv/h（参考点选取电子加速器机房侧后方辐射剂量率 1.26 μ Sv/h、距离取 50m）；电子加速器机房北侧环乙灭菌处辐射剂量率为 0.06 μ Sv/h（参考点选取电子加速器机房正前方辐射剂量率 0.67 μ Sv/h、距离取 30m）；电子加速器机房东侧环乙灭菌处辐射剂量率为 0.04 μ Sv/h（参考点选取电子加速器机房侧面辐射剂量率 0.38 μ Sv/h、距离取 30m）。

将相关参数带入公式 11-8，可估算出本项目周围公众的年受照剂量，估算结果见表 11-6。

表 11-6 本项目周围公众受照剂量计算结果一览表

方位	关注对象	辐射剂量率 (μ Gy/h)	使用 因子	居留 因子	年照射时间 (h)	年受照剂 量 (mSv)
电子加速器 机房正前方 (北侧)	上下货区工 作人员	0.24	1	1/16	2640	0.0396
	环乙灭菌工 作人员	0.06	1	1/16	2640	0.0099
电子加速器 机房南侧	深汇印业工 作人员	0.096	1	1/16	2640	0.0158
电子加速器 机房西侧	有东电梯工 作人员	0.003	1	1/16	2640	0.0005
电子加速器 机房东侧	环乙灭菌工 作人员	0.04	1	1/16	2640	0.0066

根据表 11-6 估算结果可知，本项目周围公众年有效剂量最大约为 0.0396mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员及周围公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.3 臭氧的排放评价

非辐射环境影响主要为辐照室空气在辐射照射下产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要考虑臭氧的产生及其防护。

1、臭氧的产生

平行电子束所致 O₃ 的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad \text{公式 (11-9)}$$

式中：

P：单位时间电子束产生 O₃ 质量（mg/h）；

I：电子束流强度，mA；

d：电子束在空气中的行程（cm）（保守取值100cm）；

G：空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，保守估算取为10。

根据式（11-9），可以估算出本项目辐照室臭氧的产生率分别为 9×10^5 mg/h。

2、辐照室臭氧的平衡浓度

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

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad \text{公式 (11-10)}$$

式中：

C（t）：辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度（mg/m³）；

P：单位时间电子束产生 O₃ 的质量（mg/h）；

V：辐照室体积（m³）（取 76.96）；

Te: 对臭氧的有效清除时间 (h)

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

式中:

Tv: 辐照室换气一次所需时间 (h);

Td: 臭氧的有效化学分解时间 (h), 约为 50 分钟。

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

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \text{ 公式 (11-12)}$$

本项目电子加速器机房通风系统排风速率 $15000\text{m}^3/\text{h}$, 加速器辐照室换气一次所需时间 Tv 为 $5.13 \times 10^{-3}\text{h}$ 。

由上述公式和参数, 则本项目辐照室 Cs 分别为 $59.99\text{mg}/\text{m}^3$, 该浓度值大于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2007) 中工作场所空气中 O_3 的最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$, 对工作人员是危险的。

3、臭氧的排放

加速器长期正常运行期间, 室内臭氧达到饱和平衡浓度, 通常情况下, 该浓度大大高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度。因此, 当加速器停止运行后, 人员不能直接进入辐照室, 风机必须继续运行, 室内臭氧浓度随时间急剧下降, 浓度变化的平衡方程为:

$$dc/dt = -C/T_e \text{ 公式 (11-13)}$$

当 $t=0$ 时,

$$C = C_s \text{ 公式 (11-14)}$$

得到浓度随时间的变化公式为:

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \text{ 公式 (11-15)}$$

由此可得:

关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \text{ 公式 (11-16)}$$

式中：

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

T：为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间（h）。

计算得，本项目加速器停止工作后，辐照室内通风系统以通风速率不低于 $15000\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作，电子加速器机房通过约 0.027h （ 1.62min ）的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ），此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器辐照室均拟设置通风联锁装置，机房内通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证辐照室内臭氧等有害气体浓度低于允许值，该公司应明确预先设定的时间应不少于 2min 。

本项目加速器机房拟配备的排臭氧风机排风速率为不低于 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，室内臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

4、排风管道设置

本项目电子加速器机房拟设置埋地排风管道，管道埋地深为 800mm ，吸风口位于加速器辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道从加速器辐照室地下穿过，在公司辐照厂房屋顶排放。排风管道避开主射线方向，并采用埋地设计，排风管道未破坏电子加速器机房整体防护效果，满足辐射防护的要求。

11.2.4 输送管线评价

本项目加速器辐照室设置辐照产品输送孔道，用于被辐照产品的进出，整个输送孔道呈“C”型设计。同时，输送孔道避开主射线方向，射线经多次（至少三次）散射后，辐照产品输送孔道进出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

11.3 事故影响分析

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

本项目使用的工业电子加速器属于 II 类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145号）之规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。为杜绝

事故隐患，公司应加强管理，建立并严格按操作规程操作，在每次辐照作业前检查各项安全联锁装置的有效性，确保机房内无人后方可开机，定期监测电子加速器机房周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。

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

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等法律法规要求，使用 II 类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效：

必须制定《放射防护安全管理机构及职责》。内容包括：

（1）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。

浙江环乙辐照科技有限公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以公司内部文件形式明确辐射安全管理机构和各成员的管理职责。其中，辐射安全管理机构的职责应包括：

（1）全面负责公司辐射安全管理工作；

（2）认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合公司实际情况制定安全规章制度并检查监督实施；

（3）负责辐射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；

（4）检查安全环保设施，开展环保监测，对本项目安全防护情况进行年度评估；

（5）实施辐射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；

（6）编制辐射事故应急预案，并妥善处理有可能发生的辐射事故；

（7）定期向生态环境部门报告安全工作，接受生态环境部门的监督和检查。

本项目辐射工作人员均为新招聘人员，公司将组织辐射工作人员通过国家核技术利

用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）进行报名，自主学习并参加考核，通过考核后上岗，方能满足辐射工作人员岗位要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、台账管理制度等，并有完善的辐射事故应急措施。浙江环乙辐照科技有限公司应根据相关要求，制定相关的辐射防护管理规章制度，在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对公司应制定的各项制度提出以下要求和建议：

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是明确电子加速器的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，并明确电子加速器停机 2 分钟后方可进入辐照室。

岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对电子加速器的安全防护和维修要落实到个人。

设备检修维护制度：明确加速器和辐照室、主机室的各项安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

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

辐射环境监测方案：购置环境辐射巡测仪等设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置的单位应当对本单位射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

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

辐射事故应急措施：针对电子加速器可能产生的辐射污染情况制定事故应急措施，依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）的要求，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。当发生辐射事故时，该单位应当立即向当地 110 社会应急联动中心报告，并按本单位辐射事故应急预案启动相应级别的应急响应，采取必要的先期处置措施。

12.3 日常巡检（管理）及记录

必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

1、日检查

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

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

2、月检查

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

- （1）辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- （2）控制台及其他所有紧急停止按钮；

- (3) 通风系统的有效性;
- (4) 验证安全联锁功能的有效性;
- (5) 烟雾报警器功能正常。

3、半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况应每 6 个月定期进行检查,发现异常情况时必须及时采取改正措施。其检查范围至少应包括:

- (1) 配合年检修的检测;
- (2) 全部安全设备和控制系统运行状况。

4、记录

公司必须建立严格的运行及维修维护记录制度,运行及维修维护期间应按规定完成运行日志的记录,记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项一般不少于下列内容:

- (1) 运行工况;
- (2) 辐照产品的情况;
- (3) 发生的故障及排除方法;
- (4) 外来人员进入控制区情况;
- (5) 个人剂量计佩戴情况;
- (6) 个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果;
- (7) 检查及维修维护的内容与结果;
- (8) 其他。

12.4 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施,通过辐射剂量监测得到的数据,可以分析判断和估计电离辐射水平,防止人员受到过量的照射。根据实际情况,公司需建立辐射剂量监测制度,包括工作场所监测和个人剂量监测。

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)等要求,使用 II 类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐

射水平相适应的防护用品和监测仪器。公司拟配备 1 台 X- γ 剂量监测仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计和剂量报警仪。

2、个人剂量监测

辐射工作人员工作时应佩戴个人剂量计，并定期（一季度 1 次）送有资质部门进行监测，并建立个人剂量档案，加强档案管理。

3、工作场所辐射监测

公司须定期（每年 1 次）委托有资质的单位对电子加速器机房周围环境进行监测，并建立监测技术档案，监测数据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：辐照室和主机室的四周屏蔽墙外、防护门外及缝隙处、控制室内；
- （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。

12.5 辐射事故应急

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

公司应制定辐射事故应急预案，应急预案应包括以下内容：

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

公司在日常工作中应加强对职工进行辐射防护知识的培训和安全意识教育，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在以后实际工作中不断完善辐射安全管理制度。当发生辐射事故时，该单位应当立即向当地 110 社会应急联动中心报告，并按本单位辐射事故应急预案启动相应级别的应急响应，采取必要的先期处置措施。

12.6 安全培训及健康管理

(1) 公司须组织从事辐射操作的工作人员参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护平台学习相关知识并经考核合格取才能上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应按要求定期接受继续教育，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。

(2) 每名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：个人剂量档案应保存至辐射工作人员年满 75 周岁或停止辐射工作满 30 年。

(3) 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 13 结论与建议

13.1 项目概况

浙江环乙辐照科技有限公司租用浙江环乙灭菌技术有限公司位于浙江省湖州市德清县雷甸镇明珠大道 199 号的 2000 平方米空闲厂房用于年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活用品，1 万吨食品、药材项目，新建电子加速器机房，购置电子束辐照灭菌设备（1 台 DZ-10/20 型电子加速器），该电子加速器属 II 类射线装置，最大能量 10MeV。

13.2 实践正当性评价

本项目投入使用不仅满足了医疗器械、药材食品等生产厂家的辐照需求，提高了产品质量，还将给企业带来更多的经济效益和社会效益，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

13.3 产业政策符合性

浙江环乙辐照科技有限公司新增 1 台电子加速器，项目建设属于《产业结构调整指导目录（2019 版）》中第六项核能中第六条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.4 选址合理性

本项目电子加速器机房评价范围 50m 内有浙江环乙灭菌技术有限公司、浙江深汇印业有限公司和浙江有东电梯配件有限公司，无居民点和学校等环境保护目标。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。

项目租用浙江环乙灭菌技术有限公司空闲厂房，该地块为工业用地，符合土地利用规划。从辐射环境保护方面论证，本项目选址是合理可行的。

13.5 辐射防护措施评价

本项目电子加速器机房采用混凝土屏蔽电子束和 X 射线，其采取的是实体屏蔽方式。根据理论预测可知，本项目电子加速器机房的屏蔽厚度均能满足防护要求；辐照产品进出通道、通风管道的设置合理可行，均未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，

该公司拟采取的辐射防护措施满足当前的管理要求。

13.6 保护目标剂量评价

根据理论估算结果可知，本项目辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

13.7 辐射安全措施评价

本项目电子加速器机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要包括：钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统等。本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求，项目设计安全可行。

13.8 臭氧对环境影响评价

本项目电子加速器机房拟设置机械排风系统，室外排放口位于辐照厂房屋顶，并高于周边建筑。在加速器停止工作后，电子加速器机房的排风系统继续工作，通过约 2min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ），此时工作人员进入辐照室是安全的。本项目电子加速器机房的排风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证机房内臭氧等有害气体浓度低于允许值。本项目排臭氧风机排风速率设计值不低于 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房内臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

13.9 辐射安全管理评价

公司应成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以公司内部文件形式明确各成员的管理职责。公司应制定相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案，组织辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核，并进行个人剂量监测和职业健康体检，建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

13.10 辐射防护监测仪器

公司应配备 1 台 X- γ 剂量监测仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计和剂量报警仪，落实后，该公司辐射监测仪器的配备能够满足要求。

13.11 总结论

综上所述，浙江环乙辐照科技有限公司年辐照灭菌处理 5 万件医疗器械、生活用品，1 万吨食品、药材项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.12 承诺和建议

（1）加强对辐射工作人员专业知识和业务工作的定期培训，提高操作熟练程度，从而最大程度地降低受照剂量、避免辐射事故的发生。

（2）根据新的法律法规和行业标准并结合实际工作，不断对规章制度进行补充完善。

13.13 建设项目竣工验收

本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，在 3 个月内对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入使用。

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

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

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公章

经办人
年月日

审批意见：

公章

经办人
年月日