

核技术利用建设项目
工业辐照电子加速器应用项目环境影响报告表
(报批稿)

浙江商宇辐照技术有限公司

二〇一九年九月

环境保护部监制

核技术利用建设项目
工业辐照电子加速器应用项目环境影响报告表
(报批稿)

建设单位名称：浙江商宇辐照技术有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：陈凯

通讯地址：浙江省台州市临海市沿江镇西岑村

邮政编码：317022

联系人：叶建军

电子邮箱：/

联系电话：



目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	4
表 3 非密封放射性物质	4
表 4 射线装置	5
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	6
表 6 评价依据	7
表 7 保护目标与评价标准	9
表 8 环境质量和辐射现状	14
表 9 项目工程分析与源项	16
表 10 辐射安全与防护	21
表 11 环境影响分析.....	20
表 12 辐射安全管理	41
表 13 结论与建议	45
表 14 审批	48

表 1 项目基本情况

建设项目名称		工业辐照电子加速器应用项目			
建设单位		浙江商宇辐照技术有限公司			
法人代表	陈凯	联系人	叶建军	联系电话	
注册地址		浙江省台州市临海市沿江镇西岑村			
项目建设地点		浙江省台州市临海市沿江镇亭山村台州新佳和工贸有限公司 3#生产厂房内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	20	投资比例(环保 投资/总投资)	1%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积 (m ²)	2700
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 项目建设单位情况

浙江商宇辐照技术有限公司（以下简称为“公司”），成立于 2019 年 8 月，主要经营范围：辐照技术研发、消毒服务与清洁服务。公司租赁台州新佳和工贸有限公司的 3#生产厂房开展辐照技术服务，总建筑面积为 8100m²，租赁合同见附件 5。

1.2 项目建设目的和任务由来

为开展辐照技术服务，公司拟在 3#生产厂房内新建 1 座加速器机房，并配置 1 台 AB10.0-2/1000 型号的高频高压电子加速器，对委托企业的医用产品进行辐照加工，利用电子束照射破坏和改变生物分子结构，从而抑制或杀死微生物，达到消毒杀菌的目的。

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。对照原环境保护部令第 44 号《建设项目环境影响评价分类管理名录》及生态环境部令第 1 号《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》，本项目属于五十、核与辐射：191、核技术利用建设项目。本项目为使用Ⅱ类射线装置，应编制辐射环境影响报告表，并向有权限的生态环境部门申领辐射安全许可证。

为保护环境，保障公众健康，浙江商宇辐照技术有限公司于2019年8月20日正式委托浙江问鼎环境工程有限公司（国环评证乙字第2053号）对本项目进行辐射环境影响评价（见附件1）。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、监测、收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 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辐射环境影响报告表，供建设单位上报审批。

1.3 建设内容及规模

公司拟在3#生产厂房内新建1座加速器机房，并配置1台AB10.0-2/1000型号的高频高压电子加速器，对医用产品进行辐照消毒灭菌，具体见表1-1。

表 1-1 本项目建设内容与规模

辐照装置	类别	型号	数量	主要技术参数	工作场所名称	用途
电子加速器	Ⅱ类	AB10.0-2/1000	1台	10MeV、2mA	3#生产厂房加速器机房	辐照消毒灭菌

1.4 评价目的

（1）对加速器机房拟建址及周边环境进行辐射环境本底水平检测，以掌握该场所及周边环境背景水平；

（2）通过理论计算的方法，对拟建的电子加速器作业时对周围辐射环境影响进行预测评价，提出环境污染控制对策；

（3）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

（4）提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目运行期辐射环境保护管理提供科学依据。

1.5 项目选址和周边环境保护目标

1.5.1 企业地理位置

浙江商宇辐照技术有限公司位于浙江省台州市临海市沿江镇亭山村，其地理位置见附图1。公司租赁台州新佳和工贸有限公司的3#生产厂房开展辐照技术服务，所属大厂区总平面布置见附图3。3#生产厂房的东侧隔过道和围墙为甬台温成品油管道台州临海配套油库，南侧为台州新佳和工贸有限公司的1#生产厂房，西侧为台州新佳和工贸有限公司的办公楼，北侧为台州新佳和工贸有限公司的1#生产厂房，西侧为台州新佳和工贸有限公司的办公楼，北侧为台州新佳和工贸有限公司的1#生产厂房。

州市昌益塑业有限公司，周围环境情况见附图 2。

1.5.2 加速器机房位置及布局

本项目加速器机房位于 3#生产厂房（共三层，一层和二层机房以外的区域及三层均为仓库），由两部分组成，其中一层为辐照室；二层为主机室、控制室与辅助设备机组。加速器机房东侧和西侧均为仓库，南侧为传送链外上下货区域，北侧为台州市昌益塑业有限公司，楼上为仓库，楼下为地坪。

1.5.3 选址合理可行

本项目加速器机房评价范围 50m 内主要为台州新佳和工贸有限公司和其他生产企业的生产厂房，无居民点和学校等环境敏感点。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。同时根据土地证（见附件 4），本项目用地性质属于工业用地，周围无环境制约因素。因此，本项目选址合理可行。

1.6 原有核技术利用项目许可情况

本项目为新建项目，浙江商宇辐照技术有限公司之前未开展过与辐射有关的工作，尚未取得浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，因此不存在原有核技术项目许可情况。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器	II 类	1 台	AB10.0-2/1000	电子	10	2.0	辐照 消毒灭菌	3#生产厂房 加速器机房	拟购， 本次环评

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大管电 流 (μA)	中 子 强 度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口活度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	—	—	少量	少量	少量	不暂存	通过机械排风系统直接进入大气，臭氧在常温常压下可自行分解为氧气

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；年排放总量为 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）或活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1)《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》，2015 年 1 月 1 日起施行； (2)《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，2018 年 12 月 29 日起施行； (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行； (4)《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； (5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行； (6)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2019 年修改）》，生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日起施行； (8)《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； (9)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发（2006）145 号，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行； (10)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函（2016）430 号，原环境保护部办公厅，2016 年 3 月 7 日起施行； (11)《建设项目环境影响评价分类管理名录（2016 年修订）》，原环境保护部令第 44 号，2017 年 9 月 1 日起施行； (12)《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 日起施行； (13) 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，原浙江省环境保护厅，2015 年 10 月 23 日起施行； (14)《浙江省建设项目环境保护管理办法（2014 年修正）》，浙江省人民政府令第 321 号，2014 年 3 月 13 日起施行； (15)《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 日起施行。
------	---

技术标准	(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》(HJ 10.1-2016), 2016年4月1日实施; (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002), 2003 年 4 月 1 日实施; (3)《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985), 1986 年 1 月 1 日实施; (4)《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002), 2002 年 6 月 1 日实施; (5)《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010), 2011 年 5 月 1 日实施; (6)《电子加速器辐射装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018), 2019 年 3 月 1 日实施; (7)《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 2.1-2007), 2007 年 11 月 1 日实施; (8)《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 及其 2018 年修改单, 2018 年 3 月 1 日实施; (9)《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002), 2003 年 7 月 1 日实施; (10)《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008), 2008 年 10 月 1 日实施。
其他	(1) 环评委托书; (2) 建设单位提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。

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》（HJ 10.1-2016）的规定：“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”，并结合本项目的实际情况，确定评价范围为加速器机房周围50m的区域，评价范围示意图见附图2。

7.2 保护目标

结合厂区总平面布局及现场勘查情况，本项目加速器机房周围 50m 内主要为台州新佳和工贸有限公司和其他生产企业的生产厂房，无居民点和学校等环境敏感点。因此，本项目环境保护目标为该公司操作电子加速器辐照装置的辐射工作人员、辐射工作场所周围其他非辐射工作人员和公众成员。

表7-1 本项目环境保护目标基本情况表

场所位置	环境保护目标		方位	距离（m）	人数	受照类型	年剂量约束值（mSv）
3#生产厂房加速器机房	职业人员	加速器操作人员	相邻	0.5	2人	职业照射	5.0
	公众成员	生产车间内非辐射工作人员	相邻	0~50	6人	公众照射	0.1
		普通公众	——	0~50	不定		

7.3 评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

B1.1职业照射

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；
本项目取其四分之一即5mSv作为年剂量管理约束值。

B1.2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**作为年剂量管理约束值。

2、《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-1985）

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**5.0MSv**。

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**。

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**。

3、《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）

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。

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

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

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

5.1.4.3测量结果应符合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 **$2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$** ”）。

4、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）

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GB 18871-2002和GB 5172-85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。

5、《电子加速器辐射装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)

本标准适用于辐射加工能量不高于10MeV的电子束辐照装置和能量不高于5MeV的X射线辐照装置。

4.1.2辐射工作场所的分区

按照GB 18871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GB 18871的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中, 辐射防护的剂量约束值规定为:

a) 辐射工作人员个人年有效剂量为5mSv;

b) 公众成员个人年有效剂量为0.1mSv。

4.2.2辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5 μ 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10MeV的电子束和能量不高于5MeV的X射线, 在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能安全、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。如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。

6.3.3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GBZ 2.1的规定。有害气体的排放应满足GB 3095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、项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985)、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)与《电子加速器辐射装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)等评价标准，确定本项目的管理目标。

①周围环境辐射剂量率控制水平：电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5 μ Sv/h。

②个人剂量约束值：辐射工作人员个人年有效剂量不超过 5mSv；

公众成员个人年有效剂量不超过 0.1mSv。

7、工作场所臭氧的控制水平

根据《粒子加速器辐射防护规定》附录 E 要求：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，以及《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 2.1-2007)规定工作场所空气中臭氧容许浓度为 0.3mg/m³，确定本评价项目加速器停机后，工作人员进入辐照室时，辐照室内的臭氧浓度应不大于 0.3mg/m³。

8、《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 及 2018 年修改单

表 1 中规定了各项污染物不允许超过的浓度限值：臭氧不允许超过的 1 小时平均浓度限值（二级标准）为 0.20mg/m³，氮氧化物不允许超过的 1 小时平均浓度限值（二级标准）为 0.25mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境现状评价对象	
加速器机房拟建址及周围环境	
8.2 监测因子	
X-γ 辐射剂量率	
8.3 监测点位	
根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）等要求，结合现场条件，对本项目加速器机房拟建址及周围进行监测布点，共布设 5 个监测点位，布点情况见附图 4，监测报告见附件 6。	
8.4 监测方案	
(1) 监测单位：浙江鼎清环境检测技术有限公司	
(2) 监测时间：2019 年 7 月 15 日	
(3) 监测方式：现场检测	
(4) 监测依据：《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）等	
(5) 监测频次：依据 GB/T 14583-1993 标准予以确定	
(6) 监测工况：辐射环境本底	
(7) 天气环境条件：天气：多云；温度：29℃；相对湿度：75%	
(8) 监测仪器	
表 8-1 监测仪器的参数与规范	
仪器名称	多功能便携式射线检测仪
仪器型号	BG9512（内置探头：BG9512；外置探头：BG7030）
生产厂家	贝谷科技股份有限公司
仪器编号	DQ2015-XJ37
能量范围	内置探头：50keV~1.3MeV≤±30%（相对于 ¹³⁷ Cs 661keV）； 外置探头：25KeV~3MeV≤±30%（相对于 ¹³⁷ Cs 661keV）；
量 程	内置探头：0.05μSv/h-30mSv/h；外置探头：30nGy/h-200μGy/h；
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2018H21-20-1565849001
检定有效期	2018 年 8 月 27 日~2019 年 8 月 27 日
8.5 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，同时满足标准要求。	
(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，经过校核、审核，最后由技术负责人审定。

8.6 监测结果及评价

检测结果见表8-2。

表8-2 加速器机房拟建址及周围环境辐射背景检测结果

点位编号	点位描述	γ 辐射剂量率（nGy/h）	
		平均值	标准差
☆1	加速器机房拟建址东侧	110	1
☆2	加速器机房拟建址南侧	98	2
☆3	加速器机房拟建址西侧	95	1
☆4	加速器机房拟建址北侧	107	1
☆5	加速器机房拟建址中间	105	1

注：表中所列检测值均未扣除宇宙射线响应。

由表8-2可知：加速器机房拟建址各检测点位的γ辐射剂量率在95～110nGy/h之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，台州市室内γ辐射剂量率在59～200nGy/h之间，可见该拟建址的γ辐射剂量率处于一般本底水平，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 电子加速器主要技术参数						
本项目拟购的1台电子加速器由无锡爱邦辐射技术有限公司生产，主要技术指标如下：						
表 9-1 本项目加速器技术参数表						
设备名称	型号	最大电子能量（MeV）	最大束流强度（mA）	最大束流功率（kW）	电子束最大扫描宽度（mm）	主束流方向
电子加速器	AB10.0-2/1000	10	2	20	1000	定向，朝下
9.1.2 电子加速器机房组成						
本项目拟建的1座加速器机房主要构成包括：①建设于一层的辐照室；②建设二层的主机室和控制室；③建设于主机室旁的辅助设备机组，如水系统机组、排风机房等；④辐照输送系统，即从迷道自动进出的货物传送链。						
本项目使用的加速器主机均为立式安装，安装于二层的主机室内，扫描盒穿过主机室地板上的孔洞，伸入下层的辐照室内照射。导致韧致辐射的束下装置与出束扫描盒之间的距离为40cm，束下装置与辐照室混凝土地面的距离为110cm。						
9.1.3 电子加速器工作原理						
工业辐照电子加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制，电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束的设备。						
工业辐照电子加速器产生的高能电子束，作用于电线、电缆的绝缘材料内的有机高分子聚合物上，可使其大分子之间发生化学键搭桥，形成三维网状结构（辐照交联），从而显著改善绝缘材料的化学稳定性和热稳定性。工业辐照电子加速器产生的高能电子束还可以用于辐照灭菌和消毒。其产生的辐射束集中，能量利用率高、穿透性强，常温下高能射线束可使活的细菌、霉菌、真菌的数量减低到百万分之一，能够辐照密封的包装产品，杀灭内部微生物。且密封包装产品经辐照灭菌后可长期保存，不会再被二次污染，没有化学残留及感生放射性。目前工业辐照电子加速器已广泛应用于食品，调料，脱水菜，一次性医疗用品，中成药，宠物食品等的辐照。本项目使用的高能工业辐照加速器，主要是为附近医疗器械企业，医药企业等提供配套辐照灭菌服务。						
本项目所用加速器为高频加速器中的电子直线加速器，是电子在高频电场加速下，沿直线轨道传输的加速器装置。						
电子直线加速器的主要组成包括：电子枪、加速结构、调制器、功率源、微波传输系统、聚焦系统、导向系统、偏转系统、真空系统、水冷系统以及控制系统等。本项目辐照应用的电子直线加速器的结构见图9-2。						

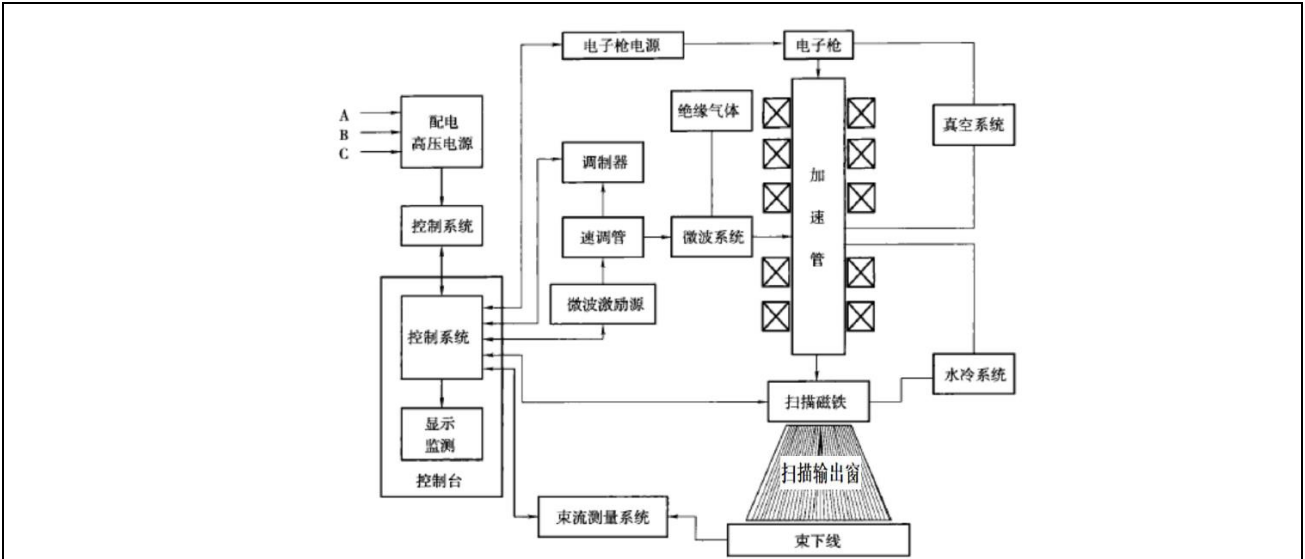


图 9-1 辐照应用电子直线加速器的结构示意图

各组成部分的主要作用为：调制器产生两路高压脉冲，一路送入激励功率源（速调管），功率源产生的高功率微波脉冲经微波传输系统溃入加速管，在加速管中建立加速电场；另一路高压脉冲加载到电子枪上，引出电子束。电子束注入加速管，受到加速电场的同步加速、聚焦系统保证束流在加速过程中始终沿着中心轨道传输，保持小的束团直径。加速管出射的高能电子束经输运系统传输到扫描磁铁，扫描磁铁将束流在一个固定的角度内循环往复的偏转扫描，用以扩大电子束出射的宽度，以满足辐照较大尺寸物品的需求。其中：

①电子枪

电子枪发射电子，为加速器系统提供必要的电子束流。

②加速管

直线加速器使用高频电场加速电子，高频加速电场分为行波场和驻波场。本项目加速器系采用行波加速。其加速管为盘荷波导加速管，是目前应用最广泛的电子直线加速器行波加速结构。

③脉冲调制器

脉冲调制器用以产生供电子枪、高频功率源使用的高压脉冲。

④高功率微波功率源（速调管）

微波功率源为加速管提供微波功率，在加速管中建立加速电场。本项目电子直线加速器的微波功率源为速调管，是利用速度调制原理进行高功率放大的微波器件。其工作过程正好与电子直线加速器中加速管的过程相反。加速管中的电子用微波加速获取能量（微波加速电子），速调管中的电子在高频场的激励下，产生高功率的微波（电子束产生微波）。

⑤微波传输系统

微波传输系统指除加速管外的整个微波通道，包括波导、耦合器、定向耦合器、隔离器、真空窗、吸收负荷等微波器件。

⑥聚焦、导向和偏转系统

在纵向聚束区域，电子束流在横向受到高频电场的散焦作用，同时空间电荷效应也会使电子束产生很大的发射，因此必须采用聚焦系统。

受机械加工误差和安装误差的影响，加速器实际运行中电子束往往不在设计的中心轨道上传输，因此需要对偏离的电子束进行位置和方向的导向，使其回到中心轨道上。偏转系统是根据实际需要，对束流进行较大角度的偏转。

⑦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损失和防止高频放电。目前主要采用钛离子泵作为真空获得设备。

⑧水冷系统

水冷系统指加速管的冷却水和恒温水控制系统。加速器在运行过程中，很多能量转化成热量，如电子束轰击在引出窗产生的热量，特别是微波器件工作时，由于功率损耗，会产生大量的热量，这些都需要用冷却水流将热量带走，从而保证系统的正常运行。

⑨控制系统

控制系统是将上面所述的加速器各个功能系统，连接成一个整体并保证设备整体高效、稳定运行的系统。加速器运行时，既有高压又有电离辐射，因此可靠的安全联锁是控制系统首要的功能，同时也保护设备的安全。

⑩束下系统

包括输送带及其输送带控制柜，为被加工产品提供输送。

9.1.4 电子加速器辐照工艺流程

待辐照的医用产品通过束下传送装置传输至辐照室，在扫描系统下接受相应电子束射线的辐照，然后通过束下传送装置将产品传输至辐照室外，达到其辐照要求。

本项目辐照加工工艺流程见图9-2。

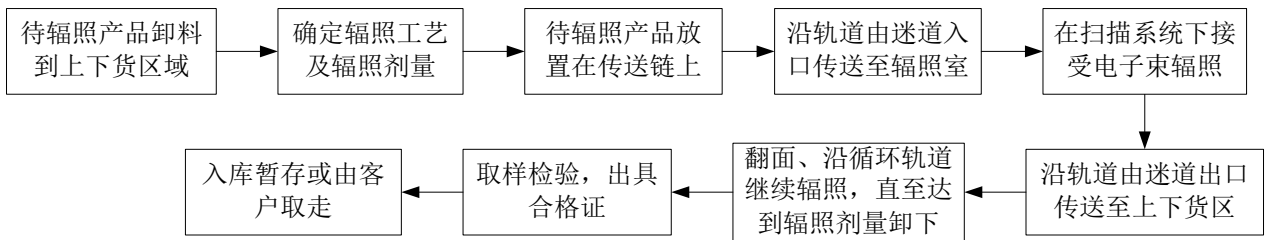


图9-2 本项目传送链运输式辐照加工工艺流程图

本项目辐照加工时主要产污环节示意图见图9-3。

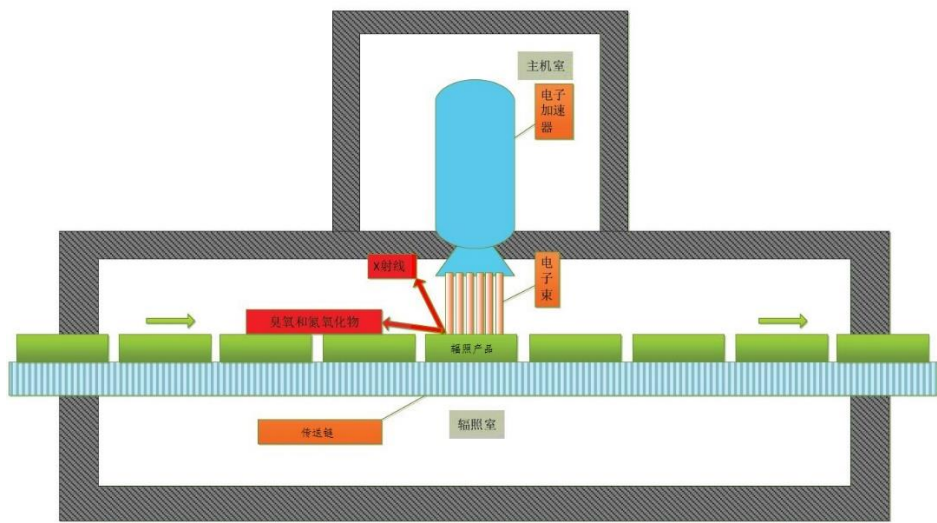


图9-3 本项目加速器主要产污环节示意图

9.1.5 辐照交联工件及工况

1、辐照工件

本项目辐照对象主要为委托企业的医用产品，年辐照加工量约 1000 吨，产品尺寸主要为两种：61cm×41cm×41cm、54cm×32cm×44cm。

2、辐照工况

本项目加速器机房为两层建筑，辐照室（即辐照加工区）位于一层，加速器主机位于二层。电子加速器均为连续出束，主射束方向均为定向朝地面。加速器日连续出束时间为12h，年工作300天，则年工作时间不超过3600h。

3、辐照产品进出路径

整个辐照消毒灭菌过程，正常情况下工作人员不必进入辐照室，均在辐照室外一定距离的装卸货区进行辐照货品的装、卸，所有需要辐照加工的货物均是通过传送链送到束流中心辐射区进行辐照加工。本项目辐照室采用双迷道设计，待辐照的医疗用品通过传送链由西南侧迷道口进入辐照室，辐照完成后由西北侧迷道口出，具体路径方案见图9-4。产品出入口的设计尺寸为长900mm×高450mm。

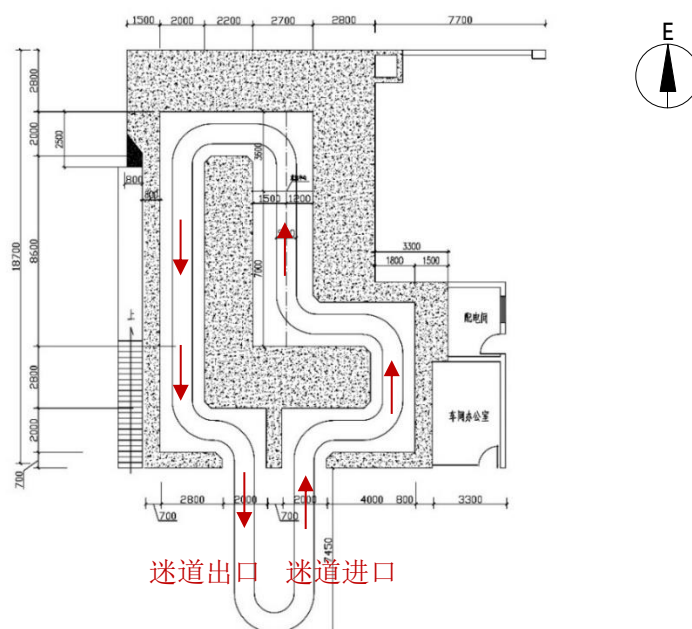


图9-4 辐照产品进出辐照室的路径方案设计图

9.1.6 工作人员配置与工作制度

本项目拟配员工总人数为 8 人，其中 2 人为辐射管理人员，负责整个厂区的辐射安全和防护管理工作；2 人为辐射操作人员，轮流操作电子加速器；4 名为搬运工，站在辐照室外轨道的上下货区，完成装载待辐照货物、将货物翻面、卸下已完成辐照的货物等工作。实行两班制工作，年工作 300 天。

9.2 污染源项描述

本项目电子加速器输出X射线的最大能量为10MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中4.2.2条款，对于能量不高于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。

因此，本次不评价加速器结构材料、冷却水和空气的感生放射性以及中子等相应的防护问题，本项目主要考虑的污染因素为电子束、韧致辐射（X射线）及非放射性有害气体，此外项目运行期将产生员工生活污水、设备运行噪声及生活垃圾。

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。

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、放射性废物

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带有一定放射性。本项目电子加速器最大能量为10MeV，等效X射线能量为6MeV，因此活化物产生量较小，且冷却水中被活化而形成的放射性核素主要为¹⁵O、¹⁶N，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，正常运行时在内部不断循环，不外排，在排放前将提前放置一段时间，水中的放射性核素很快即可衰减至可忽略的水平，故本项目不涉及排放放射性废水。

3、非放射性污染

（1）非放射性有害气体

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。

（2）废水

项目运营期废水为生活污水。本项目员工总人数为8人，两班制，年工作300天，每人每天用水量按50L计，生活用水量为0.4t/d（120t/a），排污系数取0.85，则生活污水产生量为102t/a，废水中污染物浓度COD≤350mg/L、NH₃-N≤35mg/L，污染物产生量分别为COD0.036t/a、NH₃-N0.004t/a。

（3）噪声

项目噪声源主要为风机、水冷设备等各类设备运行噪声及货物搬运噪声，噪声值在60～85dB（A）之间，采用车间隔声、基础减振等措施降噪。

（4）固废

项目水冷系统直接利用外购去离子水，不产生废离子交换树脂等危险废物。因此，项目运营期固废主要为员工生活垃圾。本项目有员工8人，每人每天生活垃圾量按0.5kg计算，年工作300天，则生活垃圾产生量为1.2t/a。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局合理性

本项目拟建的加速器机房由两层构成，其中一层为辐照室、配电间和车间办公室，二层为主机室、控制室、电源间和水系统间，布局情况见附图6和附图7。

辐照室采用双迷道设计，迷道分别采用“L”型和“弓”型多折线的迷道方式，不设铅防护门，仅设普通的铁栅栏门，传送链进出均通过该迷道，由西南侧迷道口进，再由西北侧迷道出；主机室入口处设有混凝土屏蔽门；控制室、设备机房等位于辐照室顶上、主机室南侧。加速器工作时，加速器控制人员位于控制室内，设置加速器参数并监控加速器运行情况；在传送链旁装卸货物的工人位于辐照室东侧传送链上下货区。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留，本项目加速器机房布局合理可行。

辐照室迷道出入口及传送链的设计效果图见图10-1。



图10-1 迷道进出口及传送链设计的效果图

10.1.2 两区划分

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《电子加速器辐射装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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。本项目的控制区划分为**辐照室及其加速器主机室**。仅限工作人员入内，其他人员不能在这些区域停留，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。本项目的监督区划分为控制室、水系统间、电源间、车间办公室及传送链外上下货区域等。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6～附图7，其中红色部分为控制区，蓝色部分为监督区。

10.1.3 辐射防护屏蔽设计

本项目辐照室和主机室四侧墙体、顶棚、地坪均拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{t/m}^3$ ）浇注而成，相关场所的辐射屏蔽设计方案见表10-1和表10-2。

表 10-1 辐照室的工程屏蔽防护

项目		辐照室
辐照室设计的净尺寸		位于一层，体积：205.8m ³ ；长 15.4m×宽 6.9m×高 2.1m
屏蔽设施	东侧墙体	2800mm 混凝土
	南侧墙体	迷道内墙 2800mm 混凝土 迷道外墙 700mm 混凝土
	西侧墙体	迷道内墙 2200mm 混凝土 迷道外墙 800mm 混凝土
	北侧墙体	2800mm 混凝土
	顶棚	2000mm 混凝土
	出入口	普通围栏门
	迷道	双迷道设计，南侧迷道为弓型宽 1800mm～2700mm， 北侧迷道为 L 型，宽 2000mm；
进（出）料口		双迷道设计，西南侧迷道口进，西北侧迷道出
通风设施		设机械排风系统，风量 15000m ³ /h

表 10-2 主机室的工程屏蔽防护

项目		主机室
主机室设计的净尺寸		位于二层，体积：45.6m ³ ；长 10.6m×宽 4.3m×高 7.9m
屏蔽设施	东侧墙体	2000mm 混凝土
	南侧墙体	1500mm 混凝土
	西侧墙体	2000mm 混凝土
	北侧墙体	2000mm 混凝土
	顶棚	1000mm 混凝土
	出入口	1680mm 混凝土
	迷道	不设
通风设施		不设

10.1.3 辐射安全和防护及环保设施

10.1.3.1 电子加速器辐射装置的安全设计

(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系统等进行有效联锁和监控。

安全联锁装置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，并记录存档。

(2) 安全设施

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。如在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

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。

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状态或停止运行时，加速器应自动停机。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

同时，本环评建议建设单位在相关标准要求的基础上增加以下措施：

视频监控和通讯设备：在主机室、辐照室和控制室内设置视频装置，实施实时监控。系统控制室操作台设有麦克风，在辐照通道内、加速器室内和进入加速器室的通道内安装有扬声器，每次出束前进行广播提醒现场人员。

电离辐射警示标志：在加速器机头表面和扫描盒附近设有电离辐射标志，加速器室入口门外侧和辐照通道出入口门外侧均设有电离辐射警告标志牌。

（3）电气设计

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。

（4）给水系统

①应根据加速器装置总用水要求，提供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。

（5）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。

②辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。

（6）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。

对照以上设计要求，本项目电子加速器拟采取的辐射安全设计见表10-3，辐射安全设施布置情况见附图8～附图9，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求。

10.4.2.2 局部贯穿辐射防护

在辐射屏蔽防护设计和施工中，必须妥善处理局部贯穿辐射防护的问题，主要针对的是建筑结构上有关孔道、管道、搭接的设计：

（1）施工过程中不允许有直通缝隙。

（2）加速器的通风管道和电线电缆等会穿越屏蔽墙，所以加速器屏蔽设计时必须考虑这部分的剂量贡献。因此，这些管道设计的取向应尽可能避开束流方向或辐射发射率峰值的方向。

（4）混凝土块之间的垂直缝隙、孔洞都需要填充，或用砂袋作防护体。

（5）主机室防护门和屏蔽墙之间应有足够的搭接，以减少散射辐射的泄露。通常在防护门的两侧和顶部，搭接宽度至少为缝隙的 10 倍，防护门底部应有凹槽或挡板用以减少散射辐射。

（6）本项目通风管道由于采用地埋式排风设计，电子直线加速器产生的射线经过地下管道多重反射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏可忽略不计。

（7）本项目加速器电缆管均设计避开主射线方向，加速器主机室墙上穿孔洞，在孔洞外加一个屏蔽盒，屏蔽盒上的穿线孔与墙板上的穿孔不在同一平面内，电缆经过拐弯连接振荡器和控制柜。辐照室的电缆线由顶部与高频振荡器相连。厂家在电缆及管道穿墙口进行了进一步的封堵，并采取了相应的补偿屏蔽措施，能够有效防止孔洞处射线泄漏，满足辐射防护要求。

10.4.2.3 其他措施

（1）辐照室设置双迷道，四周及顶棚均采用相当厚度的钢筋混凝土墙，根据本项目报告中理论预测分析能满足本项目的辐射防护要求。

（2）辐照室周围均设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，用于对辐照室外人员的警示。辐照室和主机室入口外1m处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

（3）辐照室的迷道出入口采用普通的铁栅栏门，产品出入口的设计尺寸存在人员进入辐照室的可能性，其外围应增设围栏，并张贴相关电离辐射警告标志，防止无关人员靠近。

（4）各项辐射环境管理制度应张贴于工作现场处。

（5）公司给每个辐射工作人员配备个人剂量计并按时检测。同时公司还应该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是能发出轰鸣警告声。

10.4.2.5 人员的安全与防护

人员主要指本项目辐射工作人员和本次评价范围内的公众。

(1) 辐射工作人员

为减少辐射工作人员的照射剂量，采取防护X射线的主要方法有屏蔽防护、时间防护和距离防护，三种防护联合运用、合理调节。

隔室操作：辐射工作人员采取隔室操作方式，通过控制室与机房之间的墙体等屏蔽X射线，以减弱或消除射线对人体的危害。

时间防护：在满足产品质量要求的前提下，制定最优化的辐照加工方案，每次辐照作业尽可能选择合理可行的低剂量照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间。另外，对加速器操作人员进行分组轮班制，以降低工作人员操作时间。

距离防护：严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在辐照室外人员通道等醒目位置张贴电离辐射警告标志，并安装工作状态指示灯，限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

(2) 机房周边公众的安全防护

周边公众主要依托辐照室的屏蔽墙体和防护门、地板、楼板等屏蔽射线。同时，辐射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在辐照室、迷道防护门外等位置张贴醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，禁止无关人员进入，以增加公众与射线源之间的防护距离，避免受到不必要的照射。

10.2 三废的治理

本项目为工业电子加速器应用，在加速器运行过程中不产生放射性废气、放射性固体废物及放射性废水。因此，运营期“三废”主要为非放射性有害气体、生活污水、噪声及生活垃圾。

(1) 非放射性有害气体

电子加速器产生的高能射线在机房内会电离空气中气体分子，产生少量臭氧和氮氧化物。电子束流越大，臭氧和氮氧化物产生量越高。其中臭氧产额大于氮氧化物，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本节主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响。

经预测分析，本项目10MeV电子加速器运行时，辐照室内臭氧饱和浓度约 $2.4\text{mg}/\text{m}^3$ 。加速器停机后，辐照室内的排风机继续工作排风约1min，辐照室内臭氧浓度可达到《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 2.1-2007）控制要求（最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

本项目加速器机房设有1套机械排风系统，设计排风量均为 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时换气次数73次。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。

（2）生活污水

员工生活污水依托台州新佳和工贸有限公司内现有化粪池收集后，排入污水管网。

（3）噪声

项目噪声源主要为风机、水冷设备等各类设备运行噪声及货物搬运噪声，采用车间隔声、基础减振等措施降噪。

（4）生活垃圾

项目生活垃圾集中收集至公司垃圾桶后由环卫部门清运处理，不外排。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目加速器安装时不通电源，不会对周围环境产生射线辐射影响。建设阶段主要影响为将现有房屋内部改造为加速器机房，工程量较小，工期较短，施工期对环境的影响，本报告仅作简要分析。

(1) 大气：本项目在施工期产生少量地面扬尘，由于工程量不大，涉及的施工作业面较小，因此只要采取一定的措施即可很大程度的降低施工期的废气污染。

(2) 废水：施工期间，有少量含有泥浆的施工废水产生，应对这些废水进行集中收集妥善处理，建议在采取简单的沉淀处理后排入已有的排污管道。

(3) 噪声：施工机械在运行中会产生噪声，但由于施工量小，对周围环境影响较小。

(4) 固体废物：整个施工过程中产生少量以建筑垃圾为主的固体废物，企业应妥善收集后处理处置。

加速器机房施工时应注意：①加速器机房屏蔽墙及屋顶属大体积混凝土浇筑，应尽量保证一次整体浇筑并有充分的振捣，以防出现裂缝和过大的气孔，影响屏蔽效果。②尽量采用明盒安装开关插座按钮等。对于嵌在混凝土屏蔽墙中的插座底座、接线盒、电缆等（即暗盒形式安装于墙内的部件）导致的局部屏蔽减弱，需要用铅皮安在上述孔洞底部作为补偿屏蔽，以补偿该部分被移走的混凝土。对于贯穿墙体的水管、照明管，有条件情况下尽量进行补偿屏蔽。

11.2 运行阶段对环境的影响

由于本项目目前处于设计阶段，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》（HJ 979-2018）附录 A 中推荐的预测模式进行理论计算，且以加速器的最高能量和最大束流强度作为计算依据。

11.2.1 电子束对环境的影响

根据《辐射防护技术与管理》，电子在物质中最大射程可由下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} \times E_{p\max} \cdots \cdots \cdots \text{（式 11-1）}$$

式中：d——最大射程，cm；

ρ ——防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta\max}$ ——电子最大能量，MeV；

电子束的最大能量为10MeV时，在空气中（0.00129g/cm³）的最大射程约为3876cm，在混凝土（2.35g/cm³）的最大射程约为2.13cm。由于本项目10MeV辐照室混凝土墙厚为150cm以上，且电子束方向朝向地面，因此加速器发射的电子束对10MeV辐照室外环境辐射影响完全可以忽略。

11.2.2 初级 X 射线对环境的影响

加速器运行时，电子束照射方向朝下，在辐照厅内电子束可能轰击的物质有 3 种：

- ①电子扫描窗下方的金属束下装置，一般为不锈钢材料；
- ②辐照产品，主要为医用产品；
- ③辐照室混凝土地面。

以上几种物质中不锈钢 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的情况来预测。

11.2.2.1 辐照室与主机室直射辐射

本项目一层的加速器辐照室内，加速器电子束朝下，不直射向四周屏蔽墙，且一层下方为地坪，底部剂量率不再考虑，无需辐射防护。因此，辐照室内韧致辐射主要考虑与电子束入射方向为 90°的初级 X 射线。

二主机室内的辐射场由三部分叠加：辐照室内与入射电子束成 105°到 180°方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；辐照室内的 0°方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面 180°方向散射后的次级 X 射线，通过辐照室屋顶上的孔洞直接照射入主机室内形成的散射辐射场；尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的束流损失辐射场。根据 HJ 979-2018 中 A.4 条款，为简化计算，本报告主机室内的辐射影响主要考虑束流损失辐射场。

1、直线 X 射线的透射比 B_x 计算

由 HJ 979-2018 附录 A，直射 X 射线的透射比 B_x 可由下式计算：

$$B_x = (1 \times 10^{-6}) \left[\frac{H_M d^2}{D_{10} T} \right] \dots\dots\dots \text{（式 11-2）}$$

式中： B_x ——X 射线的屏蔽透射比；

H_M ——参考点处最大允许周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目取 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；

d ——X 射线源与参考点之间的距离，m；

T——居留因子，当参考点位置为人员全居留时取值 1，部分居留时可取 1/4，偶然居留可取 1/16，本项目保守考虑，各参考点处全部取值 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），其计算方法为：

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

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

对于辐照室，根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1，10MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $13.5 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

对于主机室，根据生产厂家提供的资料，本项目拟购的加速器束流损失率为 2%，束流损失点的能量为 3.0MeV。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1，3.0MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $3.2 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I——电子束流强度，mA，对于辐照室， $I=2\text{mA}$ ；对于主机室， $I=2 \times 2\%=0.04\text{mA}$ ；

f_e ——X 射线发射率修正参数，本项目保守考虑，X 射线发射率修正参数取值 1。

经式（11-3）计算可知：本项目辐照室 $D_{10}=1620\text{Gy/h}$ ，主机室 $D_{10}=7.68\text{Gy/h}$ 。

2、屏蔽厚度的计算

本次评价屏蔽厚度采用十分之一值层法。

$$n = \log_{10}(1/B_x) \cdots \cdots \cdots \text{（式 11-4）}$$

$$S = T_1 + (n - 1)T_e \cdots \cdots \cdots \text{（式 11-5）}$$

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，该值近似于常数，cm；

n——为十分之一值层的个数。

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4，10MeV 电子在 90° 方向上相应等效能量为 6.0MeV。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2，对于辐照室，入射电子能量为 6.0MeV，由内插法计算可知：混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=34.2\text{cm}$ ， $T_e=34.2\text{cm}$ 。

本项目加速器束流损失点的能量为 3.0MeV，3.0MeV 电子在 90° 方向上相应等效能量为 1.9MeV。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2，对于主机室，入射电子能量为 1.9MeV，由内插法计算可知：混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=21.0\text{cm}$ ， $T_e=19.7\text{cm}$ 。

3、预测参考点选取

本项目直射辐射预测参考点选取辐照室与主机室的四侧墙体和顶棚外 30cm 处等具有代表性的区域，具体点位见图 11-1～图 11-3。

4、屏蔽体厚度估算结果

根据式（11-2）～式（11-5），本项目辐照室和主机室直射辐射影响估算结果如下：

表 11-1 辐照室和主机室屏蔽墙体厚度

参考点位置		d (m)	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	T	B _x	混凝土		实际剂量率 (μSv/h)
							理论厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	
辐照室	A（东墙）	6.7	1620	2.5	1	6.9×10 ⁻⁸	2445	2800	0.233
	B（南墙）	4.3	1620	2.5	1	2.9×10 ⁻⁸	2575	2800	0.567
	C（西墙）	12.8	1620	2.5	1	2.5×10 ⁻⁷	2257	2800	0.064
	D（北墙）	6.8	1620	2.5	1	7.1×10 ⁻⁸	2442	2200+800	0.060
	E（北墙）	7.9	1620	2.5	1	9.6×10 ⁻⁸	2394	2200+1500 (3850*)	<0.001
	F（配电间）	8.8	1620	2.5	1	1.2×10 ⁻⁷	2367	2900+1500 (3440*)	0.002
	G（办公室）	10.5	1620	2.5	1	1.7×10 ⁻⁷	2315	2800+800 (5950*)	<0.001
	H（进料口）	12.9	1620	2.5	1	2.5×10 ⁻⁷	2257	2800 (2830*)	0.052
	I（出料口）	13.1	1620	2.5	1	2.6×10 ⁻⁷	2250	2800 (3400*)	0.001
	J（顶棚）	5.6	1620	2.5	1	4.8×10 ⁻⁸	2503	2000 (4200*)	<0.001
主机室	2A（东墙）	5.9	7.68	2.5	1	1.1×10 ⁻⁵	990	2000	<0.001
	2B（南墙）	3.9	7.68	2.5	1	5.0×10 ⁻⁶	1057	2000	<0.001
	2C（西墙）	8.8	7.68	2.5	1	2.5×10 ⁻⁵	919	1500	0.003
	2D（北墙）	5.0	7.68	2.5	1	8.1×10 ⁻⁶	1014	2000	<0.001
	2E（防护门）	10.7	7.68	2.5	1	3.7×10 ⁻⁵	886	1680	<0.001
	2F（控制间）	9.1	7.68	2.5	1	2.7×10 ⁻⁵	913	2000 (3245*)	<0.001
	2G（顶棚）	11.2	7.68	2.5	1	4.1×10 ⁻⁵	876	1000+1000	<0.001

注：带*数值有该预测点位的有效屏蔽厚度。

由表 11-1 可知，电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率均不超过 2.5μSv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求。

11.2.2.2 迷道入口处辐射屏蔽计算

本项目主机室不设迷道，仅辐照室设有双迷道，为保守估计，本次选择散射次数较少的路径进行估算，散射预测路径示意及关注点位置见图 11-4。迷道入口处的辐射影响应考虑迷

道散射和 X 射线直射的叠加影响。

1、迷道散射计算

无屏蔽防护时，经 i 次散射后迷道外入口的剂量率计算公式如下：

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

式中： $H_{1, rj}$ ——经 i 次散射后关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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）；

α_1 ——入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α_2 ——从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；对于能量大于 3MeV 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 $\alpha_1=5 \times 10^{-3}$ ，对于一次散射后的 X 射线散射系数 $\alpha_2=2 \times 10^{-2}$ ，

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（假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在 1~2 之间）， m^2 ；

d_1 ——X 射线源与第一散射物质的距离，m；

d_{r1}, d_{r2} ——沿着迷道长轴的中心线距离，m；

j——指第 j 个散射过程；

D_{10} ——距离 X 射线辐射源 1m 处的参考点的吸收剂量率，Gy/h；

对于辐照室的迷道口 H 点，散射次数为 3 次：

$A_1 = (5.0+3.2) \times 2.1 = 17.2\text{m}^2$ ； $A_2 = A_3 = 2.0 \times 2.1 = 4.2\text{m}^2$ ； $D_{10} = 1620\text{Gy/h}$ 。

对于辐照室的迷道口 I 点，散射次数为 2 次：

$A_1 = 2.4 \times 2.1 = 5.0\text{m}^2$ ； $A_2 = 2.0 \times 2.1 = 4.2\text{m}^2$ ； $D_{10} = 1620\text{Gy/h}$ 。

2、直射计算

根据 HJ 979-2018 中相关公式反推可得，X 射线直射辐射剂量率计算公式如下：

$$H_M = \frac{B_x \cdot D_{10} \cdot T}{1 \times 10^{-6} \cdot d^2} \cdots \cdots \cdots \text{(式 11-7)}$$

$$B_x = 10^{-(1+\frac{S-T_1}{T_e})} \cdots \cdots \cdots \text{(式 11-8)}$$

3、迷道入口处辐射剂量率估算

则在防护门打开情况下，迷道入口处的迷道散射估算结果见表 11-2。

表 11-2 迷道入口处散射辐射剂量率（无屏蔽）估算结果

楼层	参考点	散射 次数 j	路径 d ₁ , d _{r1} … d _j (m)	迷道入口处辐射剂量率 H (μSv/h)			标准值 H _M (μSv/h)
				散射	直射	叠加值	
辐照室	H	3	d ₁ =6.0 ; d _{r1} =4.9 ; d _{r2} =4.0; d _{r3} =4.1;	0.002	0.052	0.054	2.5
	I	2	d ₁ =4.5; d _{r1} =13.4;	0.056	0.001	0.057	2.5

注：关注点 H 和 I 均位于屏蔽门内。

由表 11-2 可知，本项目辐照室迷道的入口处与出口处的周围辐射剂量率分别为 0.054μSv/h 和 0.057μSv/h，小于最大允许周围辐射剂量率 2.5μSv/h。因此，辐照室迷道的设计是合理可行的，可不增设防护门。

本项目辐照室的南侧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”，因此本项目辐照室迷道外安装普通的铁栅栏门能满足辐射防护的要求。

11.2.2.3 人员受照剂量分析

1、年有效剂量计算

为进一步评价该机房辐射防护设计的有效性及其项目运行中对职业人员和公众产生的附加辐射剂量，对项目运行过程中对职业人员和公众成员进行附加辐射剂量估算评价。

年有效剂量估算公式如下：

$$P_{\text{年}} = H \cdot U \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{（式 11-9）}$$

式中：P_年——年受照剂量，mSv/a；

H——关注点辐射剂量率，μSv/h；

U——使用因子；

T——居留因子；

t——年受照时间，h/a。

2、照射时间确定

本项目加速器年工作3600h，拟配2名辐射工作人员，轮流操作。

3、辐射工作人员的年有效剂量

电子加速器运行时，对工作人员影响的区域主要在一层控制室内控制台处，但考虑到工

作人员在加速器运行时可能会前往机房周围进行巡视，为保守估计，本次取机房周围理论计算结果中的最大值 $0.567\mu\text{Sv/h}$ 作为辐射工作人员受照剂量率进行估算，居留因子取1，由式（11-9）估算出该区域活动的辐射工作人员的年有效剂量为 1.02mSv/a ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对辐射工作人员的剂量约束值（职业人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ）的要求。

4、公众成员的年有效剂量

本项目公众活动区域位于机房周围，根据估算结果，电子加速器运行状态下辐照室和主机室周围辐射剂量率取理论计算结果中的最大值 $0.567\mu\text{Sv/h}$ ，该区域为生产车间的仓库，且加速器运行时，辐射工作人员将于机房周围进行巡视，禁止无关人员逗留，因此公众成员居留因子取 $1/32$ ，则其相应的辐射剂量率为 $0.064\mu\text{Sv/h}$ 。由式（11-9）估算出该区域活动的公众成员的年有效剂量为 0.008mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的公众成员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对公众成员的年剂量约束值（公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）的要求。

11.2.3 非放射性污染影响分析

11.2.3.1 非放射性有害气体

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（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

（1）臭氧的产生

根据HJ 979-2018附录B，平行电子束所致 O_3 的产生率可以用以下公式进行保守的计算：

$$P = 45dIG \dots\dots\dots \text{（式11-10）}$$

式中：

P——单位时间电子束产生 O_3 的质量， mg/h ；

I——电子束流的强度，本项目取 2mA ；

d——电子在空气中的行程， cm ，本项目取 40cm ；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为10。

根据式（11-10），可以估算出本项目 10MeV 辐照室臭氧的产生率 $P=3.6\times 10^4\text{mg/h}$ 。

（2）工作时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50min），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间t的变化为：

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

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；

T_e——对臭氧的有效清除时间，h；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \dots\dots\dots \text{（式11-12）}$$

其中：

T_V——辐照室换气一次所需时间，h，本项目辐照室内风机设计风量为15000m³/h，辐照室的体积约205.8m³，则通风换气次数为73次/h，即T_V=1/73h；

T_d——臭氧的有效化学分解时间，约为50min，即0.83h；

V——辐照室的体积，本项目取98m³；

此种情况下，T_V<<T_d，因而 T_e≈T_V。当长时间辐照时，则辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \dots\dots\dots \text{（式 11-13）}$$

由上述公式和参数，则本项目 10MeV 辐照室 Cs=2.4mg/m³，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》（GBZ 2.1-2007）中工作场所空气中 O₃ 的最高容许浓度为 0.3mg/m³，对工作人员是危险的。

（3）停止辐照后辐照室内臭氧的浓度计算

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GBZ 2.1-2007所规定的工作场所最高允许浓度。因此，当加速器停止运行时，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：

$$d_c/d_t = -C/T_e \dots\dots\dots \text{（式11-14）}$$

当 t=0 时，C=C_s，得到浓度随时间的变化公式为：

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

由此可得：关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

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

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 ——GBZ 2.1 规定的臭氧的最高允许浓度， $C_0=0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

经计算可知：本项目10MeV加速器机房停机后继续排风49s后辐照室内臭氧浓度可降至要求的 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

环评要求：实际工作时，加速器停机后，继续排风1min以后工作人员才能进入辐照室。

（4）环境空气质量达标分析

根据前述计算，本项目电子加速器辐照装置废气排放口臭氧排放速率为 $10\text{mg}/\text{s}$ ，本次评价采用《环境影响评价技术导则——大气环境》（HJ 2.2-2018）附录A推荐模型中估算模型进行地面空气质量浓度计算，计算参数见表11-3。

表 11-3 臭氧地面空气质量浓度估算模型计算参数取值表

污染物	排气口高度（m）	排气口内径（m）	排放速率（mg/s）	排放量（m ³ /s）	排气口温度（℃）
臭氧	21.7	0.3	10	4.2	25

经预测，本项目电子加速器辐照装置排气口下方向地面空气质量浓度见表11-4。

表 11-4 不同距离处臭氧地面空气质量浓度表

距离排放口距离（m）	臭氧地面空气质量浓度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）	空气质量浓度占标率
10	0.01	0.01%
100	0.90	0.45%
200	1.47	0.74%
245	1.65	0.82%
300	1.58	0.79%
400	1.32	0.66%
500	1.09	0.54%

则本项目电子加速器辐照装置周围最大地面空气质量浓度为 $1.65\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及2018年修改单中二级标准（浓度限值 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

（5）通风管道设计合理性分析

本项目辐照室设有1套机械排风系统，设计排风量均为 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时换气次数73次。机房排风系统共设1个吸风口和1个出风口，设计尺寸均为 $1000\text{mm}\times 800\text{mm}$ ，其中吸风口位于辐照室内辐照窗正下方，排风口位于辐照室南侧外墙。风道通过埋深1600mm的地下管道（直径1000mm）穿过屏蔽墙，经排气筒排放（排气筒高出所在车间楼顶3.7m，距离地坪面高为21.7m）。本项目辐照室通风设计方案见图11-5～图11-6。

由于采用地埋式排风设计，电子直线加速器产生的射线经过地下管道多重反射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏可忽略不计。

11.2.4.2废水

本项目生活污水产生量为102t/a，依托台州新佳和工贸有限公司内现有化粪池收集，满足临海市沿江镇污水处理厂的进水标准后排入污水管网，经临海市沿江镇污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级A标准后达标排放。因此，项目生活污水对地表水环境影响较小。

11.2.4.3噪声

本项目噪声源主要为风机、水冷设备等各类设备运行噪声及货物搬运噪声，噪声值在60~85dB（A）之间，采用车间隔声、基础减振等措施降噪后，噪声排放满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中2类标准（昼间：60dB（A）夜间：50dB（A）的要求，对厂界噪声贡献值较小。

11.2.4.4固废

本项目生活垃圾产生量为1.2t/a，集中收集至公司垃圾桶后由环卫部门清运处理，不外排，因此，项目固废得到合理处置，对环境无明显影响。

11.3 事故影响分析

11.3.1电离辐射引起生物效应

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程。目前仍不清楚，但是大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。这类症状存在阈值效应，其严重程度取决于剂量大小，只有在剂量超过一定的阈值时才能发生，称之为确定性效应，该效应是高水平辐射照射导致细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果。确定性效应常出现在短时间间隔内的高剂量照射的情况（急性照射）。除了受控制的医学照射外，高剂量照射一般不会出现在工作场所。因此，确定性效应一般也不会出现在常规的工作场所，仅在事故情况下被观察到。身体躯干部分单次或在短时间（数日）内分次受到大剂量照射引起的确定性效应见表11-5。

表 11-5 单次或在短时间（数日）内分次受到大剂量照射引起的全身性疾病

剂量（Gy）	效应	损伤器官	后果
1-2	轻度造血型放射病	造血系统	100%存活
2-4	中度造血型放射病	造血系统	可以救治

4-6	重度造血型放射病	造血系统	可以救治
>6	极重度造血型放射病	造血系统	可以救治
10	肠型放射病	肠上皮、隐窝上皮	可以救治
50	脑型放射病	小脑、大脑	100%死亡

11.3.2 电子加速器辐照室事故风险、后果及预防措施分析

电子加速器是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）人员滞留在辐照室内

原因分析：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，因此受到大剂量照射。

后果分析：人员滞留在辐照室时，受到的照射伤害最大，10MeV电子束入射到高Z厚靶材料上侧向90°距靶点1m处的韧致X射线剂量率为 $13.5\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，3分钟照射下受照剂量可达81Gy（电流为2mA），根据表11-6可知，受照剂量大于50Gy将损伤大脑和小脑，100%死亡。

安全措施：滞留人员在辐照室内误照射，死亡率高达100%。因此，撤离辐照室时应清点人数，辐射工作人员用摄像头对辐照室内进行扫视，按搜寻程序进行查找，确认无人停留辐照厅后开始进行操作。此外，在辐照室内、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）联锁装置失效

原因分析：由于联锁装置失效，防护门未关闭或电子加速器工作时门被开启，电子束仍然能发射，造成射线外泄，可能对工作人员及公众成员产生较大剂量照射。

后果分析：10MeV电子束入射到高Z厚靶材料上侧向90°距靶点1m处的韧致X射线剂量率为 $13.5\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，防护门在未关闭情况下开展辐照工作，但因其迷道的散射作用，防护门处的短时间停留的人员受照剂量小，低于1Gy，故防护门在未关闭情况下开展辐照工作，短时间受照剂量误照射对人体的影响不大，受照人员可能会出现头晕、恶心、呕吐、胸闷等一系列症状，经治疗后可恢复。

安全措施：安全联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。只有当联锁装置发生故障情况，工作人员强行运行电子加速器，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联锁装置是否正常。如果联锁装置失灵，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。

(3) 人误

原因分析：不了解电子加速器的基本结构和性能，缺乏操作经验和缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；违反操作规程和有关规定，操作失误；管理不善、领导失察等，是人为的因素造成的辐射事故的最大原因。

后果分析：工作人员违反电子加速器操作规程和有关规定，在操作不当的情况下，辐照工作时出现人员滞留辐照室、防护门未关闭等现象，对辐照室内外人员造成误照射，受照人员可能会出现头晕、恶心、呕吐、胸闷等一系列症状，甚至死亡。

安全措施：对操作人员违规操作或误操作的问题，建设单位拟提前对操作人员进行技术培训，确保其掌握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。

(4) 臭氧事故风险

臭氧的强氧化性对人体健康有危害作用，一般认为臭氧吸入体内后，能迅速转化为活性很强的自由基-超氧基(O_2^-)，主要使不饱和脂肪酸氧化，从而造成细胞损伤。臭氧可使人的呼吸道上皮细胞脂质过氧化过程中花生四烯酸增多，进而引起上呼吸道的炎症病变，研究表明接触0.09ppm臭氧2小时后肺活量、用力肺活量和第一秒用力肺活量显著下降；浓度达0.15ppm时，80%以上的人感到眼和鼻粘膜刺激，100%出现头疼和胸部不适。由于臭氧能引起上呼吸道炎症、损伤终末细支气管上皮纤毛，从而削弱了上呼吸道的防御功能，因此长期接触一定浓度的臭氧易于继发上呼吸道感染。臭氧浓度在2ppm时，短间接接触即可出现呼吸道刺激症状、咳嗽、头疼。

根据前文预测可知，辐照结束时10MeV辐照室内 O_3 的浓度计算结果为 $2.4mg/m^3$ ，如果工作人员立即进入辐照室，可能会引起呼吸道刺激、咳嗽、头疼等症状。如果臭氧的排风系统不能正常运行，辐照室内臭氧浓度将更高，对人的身体健康影响将更大。

安全措施：

①加速器工作前必须检查臭氧通风系统能否正常工作，若不能正常工作则不能开展医用产品辐照加工工作，待维修能正常工作后方可开展。

②10MeV加速器机房停机后继续排风49s后辐照室内臭氧浓度可降至要求的 $0.3mg/m^3$ 以下。实际工作时，工作人员必须在10MeV加速器停机后分别继续排风1min后方可进入辐照室。

(5) 电击事故

加速器的工作电压具有潜在的危险性，特别是高压电路的电压、X射线头内脉冲电压器的输入输出电压，以及钛泵的直流高压等，调试和检修工作触动上述电压会造成严重的伤害，也有可能带来人身伤亡事故。

安全措施：本项目工业电子加速器调试和检修工作全部由专业人员承担，检修时应采取必要的防护措施，以避免电击事故发生。

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》等法律法规要求，浙江商宇辐照技术有限公司应当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；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

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》等法律法规要求，公司在从事辐射操作前需制定的制度如下：

辐射防护和安全保卫制度：根据公司具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，，重点是电子加速器运行和维修时辐射安全管理。

加速器安全运行操作规程：明确辐照工作人员的资质条件要求、加速器操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施。重点是明确辐照操作步骤及辐照过程中必须采取的辐射安全措施。

岗位职责：明确管理人员、辐照工作人员、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，并层层落实。

加速器维护检修制度：明确电子加速器维修计划、维修记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录，确保电子加速器及相关安全装置等仪器设备保持良好的工作状态。

射线装置台账管理制度：应记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，确定台帐的管理人员和职责，建立台帐的交接制度。

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，并强调对培训档案的管理，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单位进行监测，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：购置辐射监测仪器等设备，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主管部门。

辐射事故应急预案：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和报告制度的通知》（环发[2006]145号文）的要求，公司应成立单位负责人为领导的放射性事故应急领导小组。针对可能产生的辐射污染情况制定事故应急制度，该制度要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通，并附上各联系部门及联系人的联系方式。同时根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情景；演练参与人员等。

自行检查和年度评估制度：定期对加速器辐照装置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，避免辐射事故的发生，自行检查包括日检查、月检查和半年检查，检查结果均记录保存。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，应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

上述制度须符合国家法律法规的要求且企业应根据实际工作情况不断补充完善各种辐射环境管理规章制度，相关辐射安全管理规章制度应张贴于工作现场。日后的工作实践中，公司应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，并严格按照制度进行。

12.3 安全培训及健康管理

（1）公司拟配置4名辐射工作人员（2名辐射管理，2名辐射操作），均应参加由生态环境部门组织的辐射安全与防护培训，并取得培训合格证后方可上岗，并按要求每四年参加一次复训。

（2）公司应为每个辐射工作人员配备个人剂量计，每三个月送有资质的单位检测一次，并建立个人剂量档案。

(3) 辐射工作人员在上岗前和离职后都须在有资质的单位进行职业病健康体检，且须在岗期间每两年进行一次职业病健康体检，并建立完整的个人健康档案，档案保存时限为工作人员年满75岁或工作人员停止辐射工作后30年。

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。

12.4.1 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《电子加速器辐射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台便携式辐射监测仪与3台固定式辐射监测仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计。

12.4.2 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。

12.4.3 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

公司必须建立《辐射事故应急预案》。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第四十一条的规定，结合单位的实际情况和事故工况分析，该公司须建立的辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- (1) 应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）。

(2) 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。

(3) 辐射事故分级与应急响应措施。

(4) 辐射事故调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，应同时向当地卫生行政部门报告，当发生认为破坏行为时，应及时向公安部门报备。

(5) 生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。

(6) 编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

企业应急方案应建立辐射事故报告框图，明确人员及联系电话，以保证事故报告的可操作。

公司应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演练，演练内容包括辐射事故应急预案的可操作性、针对性、完整性，并根据实际情况组织修订辐射事故应急预案。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在工业领域内的运用，根据国家发展和改革委员会第21号令《产业结构调整指导目录（2011年本）》（2013年修正）相关规定，本项目属于第一类鼓励类中六、核能：6、同位素、加速器及辐照应用技术开发，符合国家当前的产业政策。

13.1.2 实践正当性

浙江商宇辐照技术有限公司在3#生产厂房内新建1座电子加速器机房，目的是为了对其自生产的医用产品进行辐照消毒灭菌，其运行所致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》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。因而，只要按规范操作，该公司使用电子加速器是符合辐射防护“实践的正当性”的要求。因此，该项目使用电子加速器的目的是正当可行的。

13.1.3 选址合理性

本项目加速器机房评价范围 50m 内主要为台州新佳和工贸有限公司和其他生产企业的生产厂房，无居民点和学校等环境敏感点。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。同时本项目用地性质属于工业用地，周围无环境制约因素。因此，本项目选址合理可行。

13.1.4 主要污染因子及辐射环境影响评价

本项目主要考虑的污染因素为X射线及非放射性有害气体、员工生活污水、设备运行噪声及生活垃圾。

通过理论计算分析，本项目正常开展过程中，加速器机房周围环境辐射剂量率均不超过2.5μSv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求；职业人员和公众的年受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员、公众成员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对辐射工作人员、公众成员的年剂量约束值（职业人员≤5mSv/a、公众成员≤0.1mSv/a）的要求。

本项目10MeV电子加速器运行时，辐照室内臭氧饱和浓度约2.4mg/m³。加速器停机后，辐照室内的排风机继续工作排风约1min，辐照室内臭氧浓度可达到《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 2.1-2007）控制要求（最高容许浓度为0.3mg/m³）。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，对周边环境的影响轻微。

本项目生活污水产生量为102t/a，依托台州新佳和工贸有限公司内现有化粪池收集，满足临海市沿江镇污水处理厂的进水标准后排入污水管网，经临海市沿江镇污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级A标准后达标排放。因此，项目生活污水对地表水环境影响较小。

本项目噪声源主要为风机、水冷设备等各类设备运行噪声及货物搬运噪声，噪声值在60~85dB（A）之间，采用车间隔声、基础减振等措施降噪后，噪声排放满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中2类标准（昼间：60dB（A）夜间：50dB（A））的要求，对厂界噪声贡献值较小。

本项目生活垃圾产生量为1.2t/a，集中收集至公司垃圾桶后由环卫部门清运处理，不外排，因此，项目固废得到合理处置，对环境无明显影响。

13.1.5 辐射安全和防护及环保措施

辐射安全和防护及环保措施具体见本报告章节 10.1.3。

13.1.6 辐射环境管理制度

公司应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，在从事辐射操作前，须制订《辐射防护和安全保卫制度》、《加速器安全运行操作规程》、《岗位职责》、《加速器维护检修制度》、《射线装置台账管理制度》、《人员培训计划》、《个人剂量监测方案》、《辐射环境监测方案》、《自行检查和年度评估制度》与《辐射事故应急预案》等规章制度，并张贴于辐射工作现场。

13.1.7 安全培训及健康管理

（1）公司所有辐射工作人员均应参加由生态环境部门组织的辐射安全与防护培训，并取得培训合格证后方可上岗，并按要求每四年参加一次复训。

（2）公司应为每个辐射工作人员配备个人剂量计，每三个月送有资质的单位检测一次，并建立个人剂量档案。

（3）辐射工作人员在上岗前和离职后都须在有资质的单位进行职业病健康体检，且须在岗期间每两年进行一次职业病健康体检，并建立完整的个人健康档案，档案保存时限为工作人员年满75岁或工作人员停止辐射工作后30年。

13.1.8 环保可行性结论

综上所述，浙江商宇辐照技术有限公司工业辐照电子加速器应用项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射管理计划后，该公司将具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，1台AB10.0-2/1000型号的高频高压电子加速器投入运行后对周围环境产生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，该项目的建设是可行的。

13.2 建议和承诺

（1）企业承诺将根据报告表的要求和生态环境主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求。

（2）环评报批并建成后，公司需及时向生态环境主管部门申领辐射安全许可证。

（3）建设项目竣工后，公司应当按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，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投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见	
公章	
经办人（签字）：	年 月 日

审批意见	
公章	
经办人（签字）：	年 月 日