

核技术利用建设项目

海维电子科技（威海）有限公司

工业辐照中心建设项目

环境影响报告表

海维电子科技（威海）有限公司

2025 年 5 月

环境保护部监制

电子邮箱: / 联系电话:

表 1 项目基本情况

建设项目名称		海维电子科技（威海）有限公司工业辐照中心建设项目			
建设单位		海维电子科技（威海）有限公司			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		山东省威海临港经济技术开发区草庙子镇周宁路 1-18 号			
项目建设地点		山东省威海市临港经济技术开发区福州路东、威海路北			
立项审批部门		威海临港经济技术开发区行政审批服务局		批准文号	2502-371073-04-01-269362
建设项目总投资 (万元)		1500	项目环保投资(万元)	400	投资比例(环保投资/总投资) 26.67%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积(m ²) 554（加速器机房）
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 公司简介 海维电子科技（威海）有限公司成立于 2025 年 1 月 22 日，注册资本为 1200 万元，公司建设用地面积约 10701 m²，总建筑面积约 14100 m²。公司由上海鑫海维科技有限公司全资持股，是一家在电子科技领域开拓创新的企业，公司经营范围广泛，涵盖技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流等专业服务。 公司地理位置示意图见附图 1。				

1.2 项目建设规模

1.2.1 项目概况

海维电子科技（威海）有限公司计划从事工业电子加速器辐照加工，为客户提供宠物食品、食品、医药等领域产品的辐照灭菌保质服务。公司拟于新建车间北侧建设两座加速器机房，东西并列布置，中间东西相隔 3.2m，两座加速器机房采用相同设计。每座加速器机房内各安装 1 台 DZ-10/25 型工业电子加速器用于辐照加工。2 座加速器机房均为二层建筑，一层设置辐照室，为产品辐照区域，辐照产品通过滑轮传输带进行输送；二层为主机室、设备平台、控制室、水冷室、电气室，工业电子加速器主机拟安装于二层主机室内，照射方向为向下照射。

本项目占地面积 554m²（加速器机房），项目建成后，年辐照宠物食品、医疗器械、食品等 10000 吨。

经与建设单位核实，公司无其他核技术利用项目，本次属于首次开展核技术利用项目。经现场勘查，本项目加速器机房尚未开工建设，工业电子加速器尚未购置。本次评价涉及的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 本次评价涉及的射线装置

名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA)	用途	工作场所	照射 方向	应用类 型
工业电子 加速器	II类	2 台	DZ-10/25 型	电子	10.0	2.5	辐照加工	1#、2#加速 器机房内	向下 照射	使用

1.3 选址合理性和实践正当性分析

1.3.1 选址合理性

本项目位于山东省威海市临港经济技术开发区福州路东、威海路北，根据本项目土地成交确认书及《临港区嵩山镇国土空间规划（2021—2035 年）》，本项目所在用地为工业用地，用地性质符合区域土地利用总体规划，详见附图 4 及附件 6。

本项目加速器机房拟建于厂区北侧，2 个加速器机房集中建设。根据厂区布局及现场勘查，项目建成后各加速器机房所在位置周围 50m 范围内分布情况：东侧为卫生间、配电室、绿地、厂区内道路、厂区外空地，南侧为车间上下货区域、货物暂存区，西侧为绿地、厂区内道路、厂区外空地，北侧为厂区内道路、厂区外空地。加速器机房（辐照室和主机室）50m 评价范围有 3 处环境保护目标，为机房东侧卫生间、机房东侧 3.3m 处配电室、机房南侧车间，除

此之外无居民区、学校、医院等环境敏感目标。经下文分析，加速器机房周围的辐射水平可满足国家相关要求，经过距离的衰减，本项目对周围各环境保护目标处辐射影响较小。

综上，本项目选址合理。

1.3.2 实践正当性

本项目工业电子加速器应用有利于辐照产品的灭菌、保质等技术服务，可保证产品质量，具有良好的社会效益和经济效益。且经后续分析，在保证各加速器机房辐射屏蔽功能的有效性和辐射安全设施正常运行基础上，项目采取的各项防护措施可满足国家各项标准要求，项目辐照给社会所带来的利益大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的辐射防护“实践正当性”的要求。

1.4 产业政策符合性

本项目为使用工业电子加速器进行辐照产品的加工。根据国家发展和改革委员会第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于鼓励类、限制类和淘汰类，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。

1.5 本项目与威海市“三线一单”符合性分析

根据《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（威政字〔2021〕24 号）及《关于发布 2023 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》（威环委办〔2024〕7 号），本项目位于嵩山镇优先保护单元（环境管控单元编码：ZH37100210003）。

本项目为电子加速器辐照应用，运行过程中加速器机房周围的辐射水平均满足控制限值要求，产生的非放射性废气能得到合理的处置，运营期不会对区域环境质量造成明显影响，符合环境质量底线要求。本项目主要对货物进行辐照加工，运行期不涉及能源、土地资源的消耗，用水量较少，不会对区域水资源造成影响，符合资源利用上线要求。对照威海市嵩山镇生态环境总体准入清单，项目符合其生态环境准入要求。

综上，本项目的建设符合威海市“三线一单”的要求。

本项目与威海市嵩山镇生态环境管控单元位置关系见附图 5。

1.7 目的和任务的由来

电子加速器在辐照过程中将对周围环境产生一定的辐射影响。根据《关于发布<射线装置

分类>的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号），本项目辐照用电子加速器为粒子能量小于 100 兆电子伏的非医用加速器，属于Ⅱ类射线装置；根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172 核技术利用建设项目”中“生产、使用Ⅱ类射线装置的”，应编制环境影响报告表，并报送生态环境主管部门或者其他有关审批部门进行审批。

为保护环境和公众利益，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定，海维电子科技（威海）有限公司委托我单位对其工业辐照中心建设项目进行辐射环境影响评价。接受委托后，在进行现场调查与核实、辐射环境检测、收集和分析有关资料、预测估算等基础上，编制完成了《海维电子科技（威海）有限公司工业辐照中心建设项目环境影响报告表》。

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) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	工业电子加速器	II类	2	DZ-10/25 型	电子	10.0	2.5mA	辐照加工	1#、2#加速器 器机房内	向下 照射

表 3 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
O ₃ 、NO _x	气态	/	/	少量	少量	/	/	废气经通风系统沿排风管道排至加速器机房顶部外环境
生活废水	液态	/	/	20m ³	240m ³	/	/	工作人员生活污水经化粪池预处理后排入临港区污水处理厂进行深度处理，达标后排放
固体废物	固态	/	/	少量	少量	/	/	工作人员日常工作生活会产生生活垃圾，属于一般固体废物，集中收集后由环卫部门定期清运

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 4 评价依据

法规文件	1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015.1 施行； 2. 《中华人民共和国环境影响评价法》，根据中华人民共和国主席令第 24 号修订，2018.12 施行； 3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号；2003.10 施行； 4. 《中华人民共和国大气污染防治法》，中华人民共和国主席令第 16 号第二次修正，2018 年 10 月 26 日施行； 5. 《中华人民共和国水污染防治法》，中华人民共和国主席令第 70 号第二次修正，2018 年 1 月 1 日施行）； 6. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，中华人民共和国主席令第 43 号第二次修订，2020 年 9 月 1 日施行； 7. 《中华人民共和国噪声污染防治法》，中华人民共和国主席令第 104 号，2022 年 6 月 5 日起施行； 8. 《建设项目环境保护管理条例（2017 修订）》，国务院令第 682 号，2017.10 施行； 9. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005.12 施行，2014.7 第一次修订，2019.3 第二次修订（国务院令第 709 号）； 10. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境总局令第 31 号，2006.3 施行，2019.8 第三次修订，2021.1 第四次修订； 11. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011.5 施行； 12. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 16 号公布，2021 年 1 月 1 日施行； 13. 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部与国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017.12 施行； 14. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环保总局环发[2006]145 号，2006.9 施行；
------	---

	15. 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告，2019年第57号，2019年12月施行； 16. 《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第37号，2014.5施行； 17. 《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常委会第七次会议，2018年11月30日修订，2019.1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）； 2. 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）； 3. 《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）； 4. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 5. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 6. 《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018）； 7. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 8. 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）； 9. 《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）； 10. 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）； 11. 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）； 12. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 13. 《声环境质量标准》（GB3096-2008）； 14. 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）。 15. 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）； 16. 《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T 31962-2015）； 17. 《城镇污水处理厂水污染物排放标准》（DB37 4809—2025）。

其他	1. 海维电子科技（威海）有限公司工业辐照中心建设项目环境影响评价委托书； 2. 《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》（山东省环境监测中心站，1989年）； 3. 《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》（原子能出版社，李德平等）； 4. 《辐射防护技术与管理》（广西民族出版社，张丹枫等）； 4. 海维电子科技（威海）有限公司提供的防护设计方案及其他文件。
----	---

表 5 保护目标与评价标准

5.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）规定要求：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

根据本项目辐射特点，本次评价范围为辐照室和主机室四周 50m 的范围。

5.2 保护目标

保护目标为评价范围内活动的辐射工作人员和公众成员。

辐射工作人员为在控制台处进行操作的人员以及辐照室南侧传送带搬运人员，辐射环境影响评价范围内公众成员包括在评价范围内的厂区工作人员及偶然经过的其他公众成员以及周围环境保护目标处人员。

本项目主要保护目标详见表 5-1。

表 5-1 本项目主要保护目标情况

保护目标	人数	方位及场所名称	距离	环境特征	类型
辐射工作人员	8 人	二层控制室、一层辐照室南侧传送带附近	0~5m	/	电离辐射环境 环保目标
公众成员	约 9 人	加速器机房南侧车间	0~50m	钢结构，高约 15.4m，为辐照产品上下货及暂存车间	
	——	加速器机房东侧卫生间	0~3.3m	砖混结构，高 5.7m	
	约 1 人	加速器机房东侧配电室	3.3~13m	砖混结构，高 5.7m，为配电室，无人值守	
	——	在评价范围内的厂区工作人员及偶然经过的其他公众成员	0~50m	——	

5.3 评价标准

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

标准中附录B规定：

B1 剂量限值：

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

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

剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围内，本次取 10%。

5.3.2 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

4.2.1 辐射防护原则

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；b) 公众成员个人年有效剂量为 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 处以及外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h。如屏蔽体外为社会工作区域，屏蔽体设计必须符合公众成员个人剂量约

束值规定。

5.3.3 《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）

4.1 工作场所空气中化学有害因素的职业接触限值

室内臭氧浓度的接触限值为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

5.3.4 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

4 环境空气功能区分类和质量要求

4.1 环境空气功能区分类

环境空气功能区分为二类：一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区。

4.2 环境空气功能区质量要求

一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。本项目所在区域属于二类区，根据 GB3095-2012 表 1，臭氧（ O_3 ）1 小时平均浓度二级限值要求为： $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

综上所述，本次评价采用 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 作为辐照室和主机室四周剂量率目标控制值；取 5mSv 作为职业工作人员的年管理剂量约束值、 0.1mSv 作为公众成员的年管理剂量约束值；分别采用 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 作为辐照室内和周围空气中 O_3 的浓度限值。

5.3.5 《声环境质量标准》（GB3096-2008）

本项目所在厂区厂界位于《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类地区。

5.3.6 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)

根据《威海市声环境功能区划》，本项目所在厂区厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 3 类声环境功能区要求：昼间 $65\text{dB}(\text{A})$ 、夜间 $55\text{dB}(\text{A})$ 。

综上所述，本次评价采用 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 作为辐照室和主机室四周剂量率目标控制值；取 5mSv 作为职业工作人员的年管理剂量约束值、 0.1mSv 作为公众成员的年管理剂量约束值；分别采用 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 作为辐照室内和周围空气中 O_3 的浓度限值；采用 $65\text{dB}(\text{A})$ 、 $55\text{dB}(\text{A})$ 作为厂界昼间、夜间噪声限值。

5.4 环境天然辐射水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，威海市（原烟台地

区) γ 辐射空气吸收剂量率见表 5-2。

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

监测内容	范围	按点加权	
		平均值	标准差
原野	2.14~12.05	5.84	1.66
道路	1.94~20.14	6.49	2.39
室内	4.56~20.53	10.11	2.71

注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989 年。

表 6 环境质量和辐射现状

6.1 项目地理位置

本项目加速器机房拟建于威海市临港区福州路东、威海路北，海维电子科技（威海）有限公司工业辐照中心车间北侧，目前车间及加速器机房均未建设。根据设计资料，本项目加速器机房北侧为厂区道路，东侧为卫生间、配电室、绿地，西侧均为绿地，南侧为车间上下货区、货物暂存区，用于上下货、暂存未辐照和已辐照的产品。

本项目所在地理位置见附图 1，公司厂区平面布置见附图 3。加速器机房拟建区域现场勘查情况见图 6-1，机房周边 50m 范围内环境情况见表 6-1。



图 6-1 本项目现场勘查照片（2025 年 2 月）

表 6-1 本项目加速器机房周边环境一览表

工作场所	方 向	规划建设周围场所名称	距离
1#加速器 机房	南侧	车间内上下货区域、货物暂存区	0-50m
	西侧	绿地、厂区内道路、厂区外空地	
	北侧	厂区内道路、厂区外空地	
	东侧	机房间夹道、2#加速器机房、卫生间、配电室、绿地、厂区内道路	
2#加速器 机房	南侧	车间内上下货区域、货物暂存区	0-50m
	西侧	机房间夹道、1#加速器机房、厂区内道路、绿地	
	北侧	厂区内道路、厂区外空地	
	东侧	卫生间、配电室、绿地、厂区内道路、厂区外空地	

6.2 区域环境质量现状

6.3.1 环境空气

根据《环境空气质量标准》（GB3095-2012），结合威海市临港经济技术开发区的功能，本项目所在区域属于环境空气功能区二类区。

根据《威海市 2023 年生态环境质量公报》，环境空气监测了细颗粒物、可吸入颗粒物、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、臭氧 6 项主要污染指标。环境空气质量状况如下：

表 6-2 威海市 2023 年环境空气质量状况一览表（单位：μg/m³）

污染物	SO ₂ 年均值	NO ₂ 年均值	PM ₁₀ 年均值	PM _{2.5} 年均值	CO 24 小时平均平均第 95 百分位数	O ₂ 日最大 8 小时滑动平均值第 90 百分位数
数值	5	16	41	22	700	158
标准值	60	40	70	35	4000	160

由上表可知，项目所在区域环境空气质量满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单二级标准。

6.3.2 地表水环境

根据《威海市 2024 年 12 月份主要河流断面水质情况》，东母猪河（西床断面）水质情况见表 6-3。

表 6-3 地表水环境现状监测结果统计表（单位：mg/L，pH 除外）

项目	pH	溶解氧	高锰酸盐 指数	五日生化 需氧量	氨氮	总磷	氟化物	挥发酚	石油类
监测值	8	11.1	3.1	2.3	0.49	0.096	未检出	未检出	未检出
标准值	6-9	≥5	≤6	≤4	≤1.0	≤0.2	≤1.0	≤0.005	≤0.05

由上表可知，项目区地表水水质各项监测指标均满足《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类标准要求。

根据《威海市 2023 年生态环境质量公报》，全市 13 条重点河流水质达标率 100%。其中 12 条水质优于或达到国家《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类标准，占 92.3%，无劣V类河流。

全市 12 个主要饮用水水源地水质继续保持优良状态。崮山水库、所前泊水库、郭格庄水库、武林水库、米山水库、坤龙水库、后龙河水库、逍遥水库、湾头水库、纸坊水库、龙角山水库和乳山河水源地水质均达到或优于国家《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类标准，水质达标率为 100%。

6.3.3 生态环境

根据《威海市 2023 年生态环境质量公报》，全市生态环境状况保持稳定，达到国家生态文明建设示范市要求。项目区以人类活动为中心，现存植物主要是北方常见物种，生物多样性比较单一。项目区内无国家、省、市级重点文物保护单位、名胜古迹或自然保护区，没有需要重点保护的濒临灭绝的动、植物。

6.3.4 土壤、地下水环境

根据《建设项目环境影响报告表编制技术指南》（污染影响类）（试行），本项目不存在土壤、地下水环境污染途径，原则上不开展地下水、土壤环境质量现状调查，故本次环评不再进行地下水、土壤环境现状调查。

6.3 辐射环境质量现状

6.3.1 检测方案

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

1、环境现状评价对象

加速器机房拟建区域及周围辐射环境现状。

2、检测因子

环境 γ 辐射剂量率。

3、检测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，由于本项目尚未开工建设，本次在加速器机房拟建区域及其周围布设 8 个检测点，环境 γ 辐射剂量率检测布点见附图 2。

6.3.2 质量保证措施

1、检测单位

山东省分析测试中心，检验检测机构资质认定证书编号：241520003211。

2、检测仪器

检测仪器为 GMS295A 环境 γ 剂量率仪，监测仪器参数见表 6-4、主要检测仪器技术指标见表 6-5。

表 6-4 监测仪器主要参数

设备名称	设备型号	设备编号	检定/校准证书编号	检定/校准有效期至
环境 γ 剂量率仪	GMS295A	00110	Y16-20248733	2025 年 08 月 21 日

表 6-5 GMS 295A 型环境 γ 辐射水平测量仪技术指标

序号	项目	主要参数
1	测量范围	10nSv/h~1Sv/h
2	角响应	0°~180°
3	能量响应	30keV~7MeV, 相对响应之差<30%
4	工作条件	-10℃~+50℃, 相对湿度≤95% (+35℃)
5	基本误差	±15%

3、检测人员

本次由两名检测人员共同进行现场检测，两人均持证上岗。

4、检测依据

依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方法进行现场测量。

6.3.3 检测时间与条件

2025 年 2 月 27 日，天气：晴；温度：8℃；相对湿度：46%RH。

6.3.4 检测结果

本项目环境 γ 辐射剂量率检测结果见表 6-6。

表 6-6 拟建区域中心位置及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果 单位：nGy/h

序号	点位描述	检测结果（nGy/h）	
		环境 γ 辐射剂量率	标准偏差
H1	拟建 1#加速器机房中心位置	41.6	1.7
H2	拟建 2#加速器机房中心位置	41.3	2.0
H3	拟建加速器机房东侧	41.5	2.0
H4	拟建加速器机房南侧	41.7	1.7
H5	拟建加速器机房西侧	42.9	1.8
H6	拟建加速器机房北侧	42.1	1.6
H7	拟建加速器机房南侧车间	41.8	1.7
H8	拟建加速器机房南侧办公室处	42.2	1.7

注：1.检测结果已扣除宇宙射线响应值 4.3nGy/h。

2.上述点位均为室外点位。

6.3.5 调查结果评价

由表 6-6 的检测数据可知，本项目加速器机房拟建区域及四周环境 γ 辐射剂量率现状值为 41.3nGy/h~42.9nGy/h，处于威海市（原烟台地区）环境天然辐射水平范围内[原野（2.14~12.05） $\times 10^{-8}$ Gy/h]。

表 7 项目工程分析与源项

7.1 施工期工程分析

本项目加速器机房尚未开工建设，施工期主要内容为机房的基础工程、主体工程、防护工程以及设备的安装。施工期可能的污染因素主要为常规环境要素。本项目施工期工艺流程及产污环节见图 7-1。

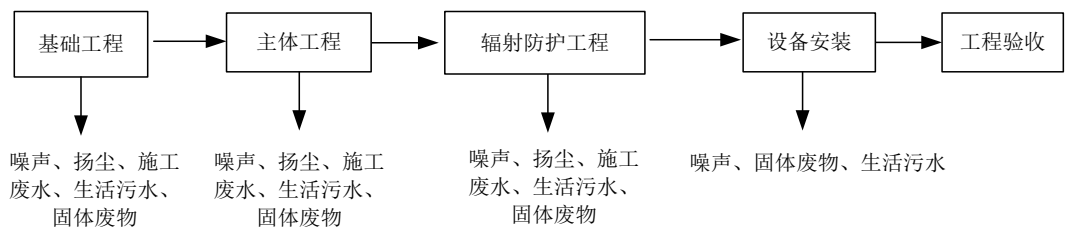


图 7-1 施工期工艺流程及产污环节

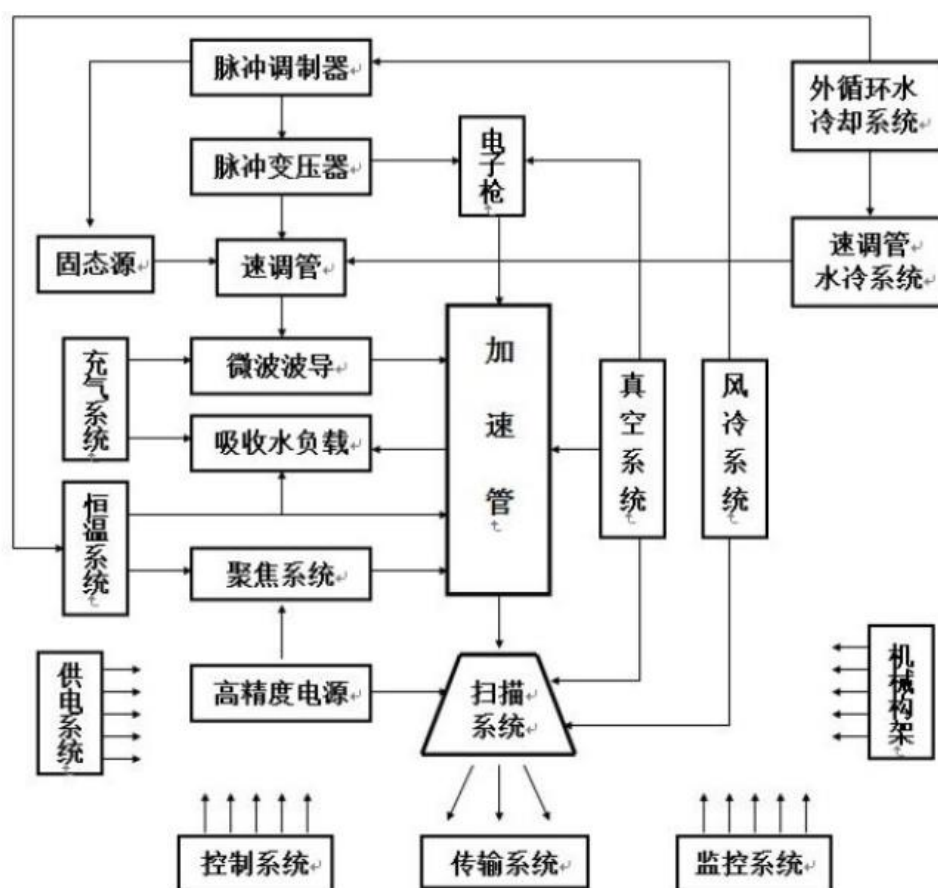
7.2 营运期工程分析

7.2.1 工业电子加速器简介

1、加速器组成

本项目建设 2 座加速器机房，每座加速器机房内各安装 1 套 DZ-10/25 型电子加速器。本项目拟使用的电子直线加速器主要由电子发射系统、电子加速系统、聚焦系统、辐照系统、传输系统、脉冲调制器系统、控制系统、恒温冷却系统、监控系统等组成。

加速器结构图见图 7-2，外观示意图见图 7-3。



2、辐照工作原理

电子加速器辐照灭菌工作原理为：脉冲变压器调速产生的脉冲频率，传入电子枪，电子枪发射脉冲频率一致的脉冲电子。加速管由经速调管产生的微波功率在腔体内形成行波场，当脉冲电子进入加速管后，通过行波场进行加速使其成为高能电子束，再经辐照系统把高能电子束变成电子束带，当辐照产品经由传输系统传送到扫描窗下，高能电子将穿透产品杀灭货物所携带的细菌，达到灭菌的目的。不同辐照要求的不同的辐照剂量，可以通过调整加速器的功率大小、货物在束下的高度、传输速度等来实现。

本项目使用的电子加速器主机为立式安装，安装于第二层的主机室内，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。加速器外观示意图见图 7-3。

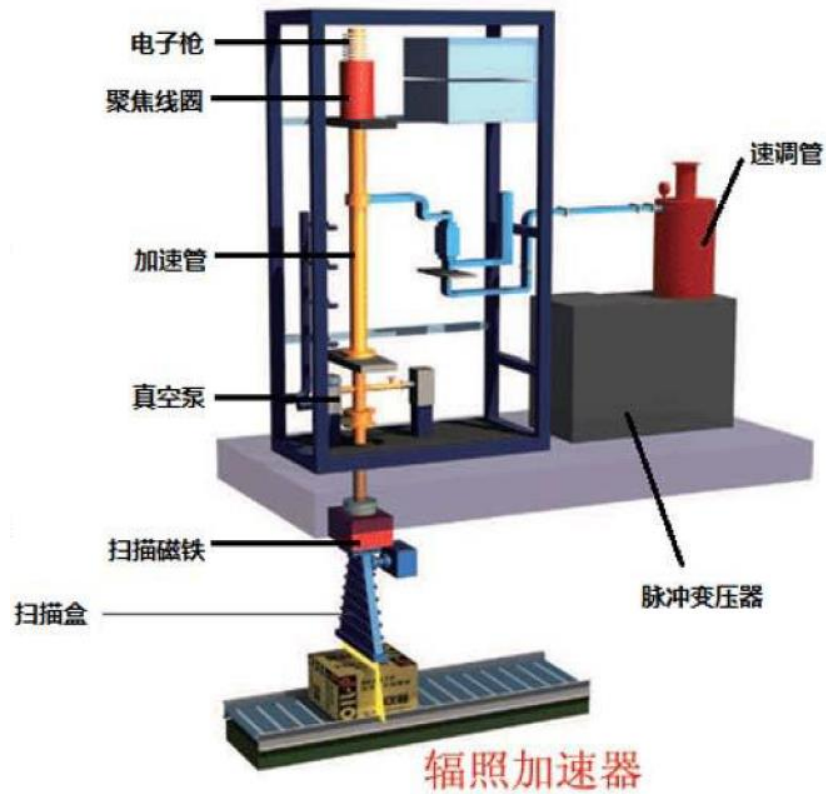


图 7-3 本项目加速器外观结构示意图

4、主要技术参数

本项目拟采用 DZ-10/25 型电子加速器开展辐照，根据加速器厂家提供的数据，该型号设备主要技术指标见表 7-1。

表 7-1 本项目拟购电子加速器辐照装置主要技术指标

型号	DZ-10/25 型
生产厂家	中广核达胜加速器技术有限公司
最大电子束能量	10MeV
束流损失点能量	3MeV
束流损失率	2%
最大束流功率	25kW
束流流强	2.5mA
扫描宽度	1m
能量不稳定性	小于 2%
束流不稳定性	小于 2%

主射束方向	0°（垂直向下）
7.2.2 工作流程 本项目在电子加速器开机出束进行辐照加工时，辐射工作人员位于机房二层控制室内和一层辐照室南侧传送带处。加速器机房可为辐射工作人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中无关人员误入辐照室和主机室。 本项目工作流程为： （1）建设单位接到客户送来的待辐照产品后，准备启动电子加速器系统，启动前检查通风系统、冷却水系统等是否正常；供电系统及安全联锁系统是否完好；相应的安全防护设施是否运行正常，并做好相应记录。辐射工作人员进入辐照室、主机室按从迷道入口至出口行走线路，依次按下巡检按钮，巡查有无人员停留。辐照室、主机室内的所有巡检按钮按序按动一遍，确认无人员停留后，关闭防护门后，加速器才能正常启动。 （2）工作人员将待辐照产品搬上传输系统。 （3）控制台的辐射工作人员根据辐照剂量设定辐照功率和束下线的传输速度，进行辐照，此时会产生电子束、X射线、臭氧（O₃）、氮氧化物（NO_x）。 （4）根据设定的辐照计划接受足够的辐照剂量后，由束下传输系统运出辐照室，搬运工将产品搬下，质检员进行质检，验收不合格的产品重返辐照系统进行再次辐照；验收合格的出具合格证，送至已辐照货物暂存区暂存，等待运出。本项目主要为客户提供的产品进行辐照，基本不产生废弃的被辐照产品，因特殊情况产生废弃的被照射物时，产品由客户进行回收。 辐照产品辐照剂量确定及验证参考 ISO11137 等标准。 根据公司提供资料，每次换班后，当班工作人员会进行设备检查，确保设备的正常运行。当出现安全连锁故障、束下设备故障、真空故障（更换钛箔、芯管击穿等）等设备设施故障时，由设备厂家专业人员进入辐照室内操作。 加速器辐照工艺流程及产污环节示意图见图 7-4。	

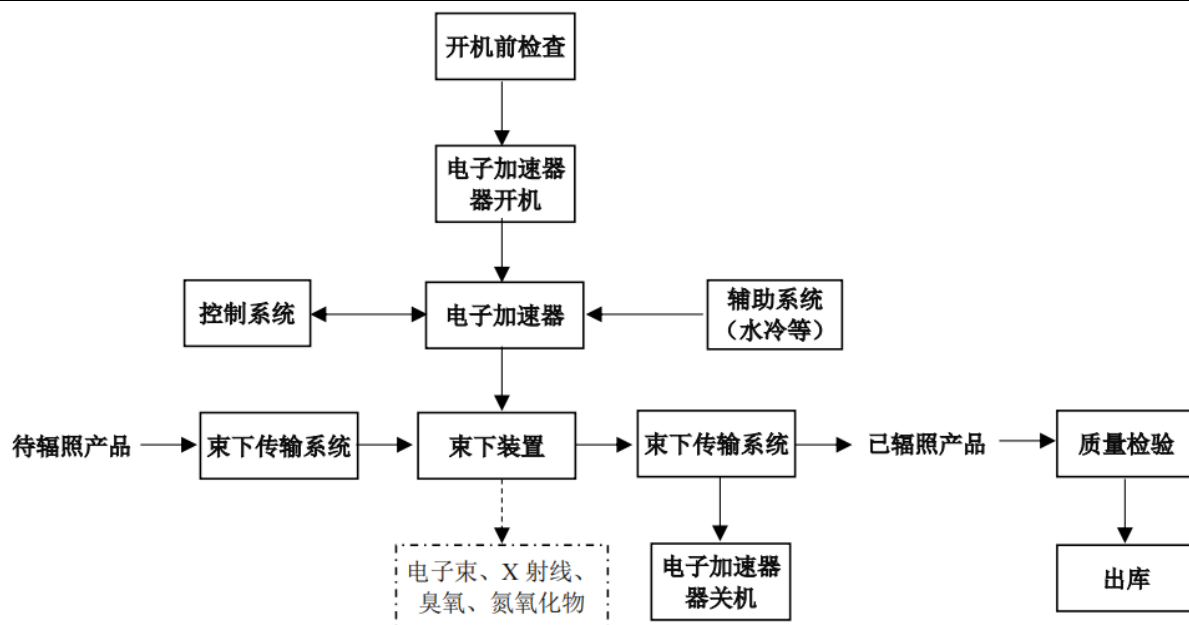


图 7-4 工业电子加速器辐照工艺流程及产污环节示意图

7.2.2 工作负荷和人员配置

根据建设单位提供资料，以最大负荷计，工业电子加速器采用连续作业方式，每台加速器每天运行时间不超过 16h，每年运行天数不超过 300d，因此每台加速器年出束时间不会超过 4800h。

根据建设单位提供资料，本项目 2 台加速器拟配备 8 名辐射工作人员，两班工作制，每班工作人员每天受照时间为 8h，每名辐射工作人员受照时间不超过 2400h。

7.3 污染源项描述

7.3.1 施工期污染因素分析与评价因子

1、噪声

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

2、废水

施工期废水主要来自两个方面：一是施工泥浆废水，二是施工人员的生活废水，施工泥浆废水主要来自混凝土养护。本项目建设内容较为简单，施工期最多时期有约 30 人施工，总施工期约 60 天，用水按每人每天 50L 计算，用水量为 1.50m³/d。废水产生量以 80%计，生活

污水产生量为 $1.2\text{m}^3/\text{d}$ 。

3、固体废物

固体废物主要是建筑垃圾和施工人员的生活垃圾，生活垃圾以每人每天 0.25kg 计，产生量为 $7.5\text{kg}/\text{d}$ 。

4、扬尘

本项目在建设施工期需进行的打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘。

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

7.3.2 营运期污染因素分析与评价因子

电子加速器产生辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两种。瞬时辐射包括初级辐射和次级辐射。初级辐射指被加速的带电粒子，次级辐射指带电粒子与靶材料或加速器结构材料相互作用产生的 X 射线和中子等。剩余辐射是上述辐射与周围物质相互作用产生的感生放射性材料放出的辐射（如 β 、 γ 等）。瞬时辐射在加速器运行时产生，关机后即消失，它们是加速器辐射屏蔽、防护和监测的主要对象。剩余辐射是上述辐射与周围物质相互作用产生的感生放射性材料放出的辐射（ β 、 γ ），在加速器停机后仍然存在，而且随加速器运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增长而减弱。

本项目加速器的能量最高为 10MeV 。当电子束能量不高于 10MeV 时，在电子加速器辐照过程中产生的中子很少，因此活化产生感生放射性核素也很少，可忽略不计。同时，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），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，故本次评价不考虑中子和感生放射性的影响。

1、X 射线

电子加速器在进行辐照时电子枪发射电子，经加速管加速，在横向扫描磁场的作用下，扫描扩展，成为均匀扫描宽度的电子束，利用电子束对产品进行辐照。电子加速过程中，部分电子会丢失，打在加速管壁上，可产生 X 射线。此外，电子束打到高原子序数物质时也会产生高能 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，可对周围环境辐射造成辐射污染，但关机后

X 射线影响即消失。在加速器运行过程中，除了由电子束在靶上产生的韧致辐射外，还可能由于其他原因产生某些次级辐射如泄漏辐射、散射、反流电子引起的韧致辐射等。

2、电子束

电子加速器在运行时可产生高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。

3、放射性废物

本项目不产生放射性废气和放射性固体废物。

4、非放射性污染因素分析

（1）非放射性废气

在加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)，在 NO_x中以 NO₂为主。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体，臭氧的产额比氮氧化物高一个量级，本报告表只考虑臭氧。只要臭氧能够达到标准，氮氧化物（限值高）也能达标。

（2）废水

本项目辐射工作人员共 8 名，车间、配电室工作人员共 10 名，车间南侧办公室管理人员 2 人，全厂定员 20 名。工作天数一年不超过 300 天。每人每天用水量按 50L 计，生活用水量为 1m³/d（300m³/a），生活污水按照使用量的 80%计算，则生活污水产生量为 240m³/a，废水中污染物浓度 COD_{Cr}≤300mg/L、NH₃-N≤30mg/L，污染物产生量分别为 COD_{Cr} 0.072t/a、NH₃-N 0.0072t/a。

（3）固体废物

本项目去离子水直接外购，不产生离子交换树脂等固体废物。工作人员日常工作生活会产生生活垃圾，属于一般固体废物。

（4）噪声

本项目主要噪声源为风机、泵等机械设备运转产生的噪声，噪声值范围为 70dB（A）～80dB（A）。

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

表 8 辐射安全与防护

8.1 项目安全措施

8.1.1 项目布局与屏蔽设计

1、工作场所布局

本项目加速器机房拟建于厂区车间内北侧区域，自西向东依次建设 1#加速器机房、2#加速器机房，两座机房相距 3.2m，中间为通道。加速器机房均为两层混凝土结构，一层为辐照室，二层为主机室、控制室、电气室、水冷室、设备平台。加速器机房布置情况如下所示：

各加速器机房一层辐照室内中间位置为受照区域，辐照室入口处设有迷道及不锈钢门，该门主要为了防止人员误入，无防护作用，不锈钢门留出进出货空间。辐照室南侧安装传输带，辐照产品通过传输带进行输送。

加速器机房二层为主机室、控制室、电气室、水冷室、设备平台。加速管、速调管等布置于主机室，主机室入口处设有迷道及铅防护门。主机室两侧布置水冷室、电气室、控制室、设备平台，南侧设置有过道。

两座辐照室中间设置楼梯，工作人员可沿楼梯进入二层主机室。本项目各加速器机房均设有专门的通风系统。电子加速器工作时，职业人员位于主机室南侧控制室处设置机器参数并监控加速器运行情况，加速器出束时，辐照室内无人员停留。

本项目 1#加速器机房、2#加速器机房布局合理可行。

加速器机房设计图见附图 6～附图 7。

2、项目分区

本项目分区参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中规定，“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”。

根据项目设计资料，本项目拟划分控制区及监督区如下。

控制区：一层辐照室、二层主机室；电子加速器出束运行时，任何人不得进入控制区；

监督区：一层辐照室迷路外墙南侧 15m 范围内，为传送带上下货区域；两座机房中间楼梯；二层的主控室、电气室、水冷室、过道、设备平台等与控制区相邻区域。

项目拟将加速器机房的辐照室和主机室边界作为辐射防护控制区边界，在防护门外及机房周围醒目位置处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等，在防护门外的区域周围及地面使用醒目的黄色警戒线划出监督区范围，并在边界上合适的位置悬挂清晰可见的“非辐射工作人员禁止进入工作场所”标牌。电子加速器开机运行时由安全员做好监督工作，禁止非辐射工作人员进入监督区范围内，防止无关人员进入机房工作区域。加速器机房一层分区示意图见图 8-1，加速器机房二层分区示意图见图 8-2。

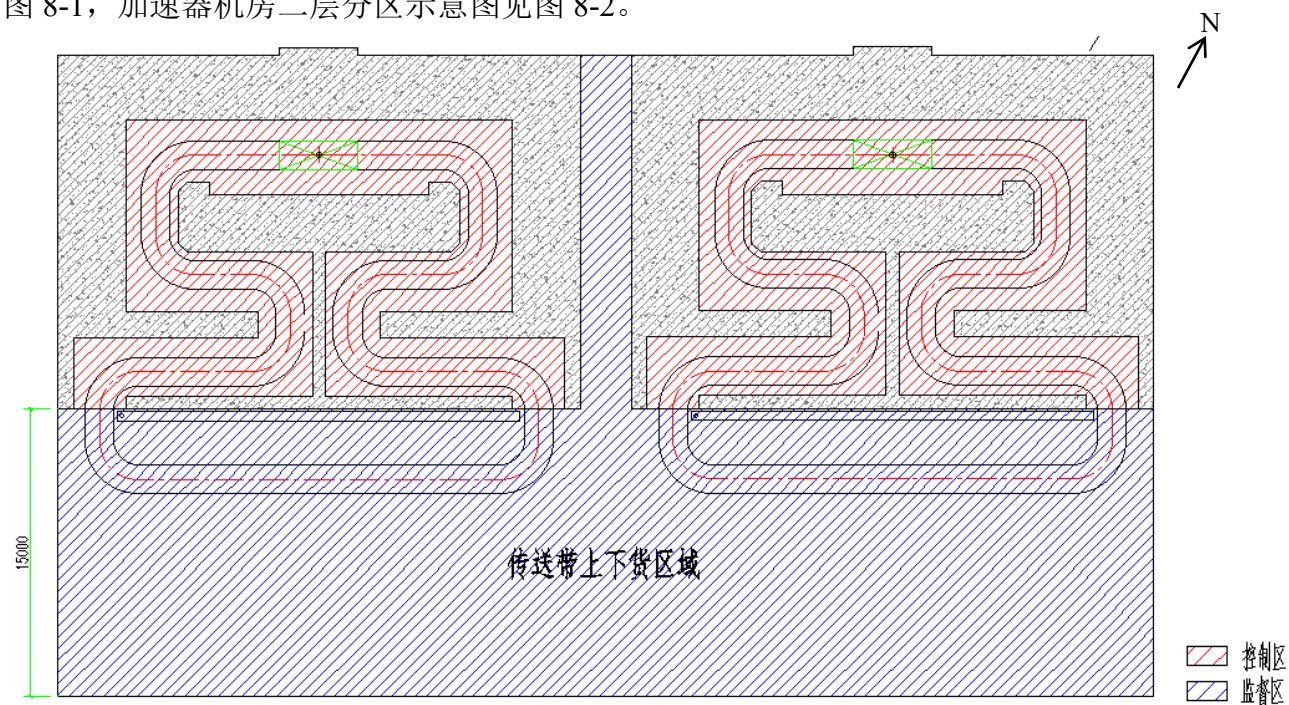


图 8-1 加速器机房一层分区示意图

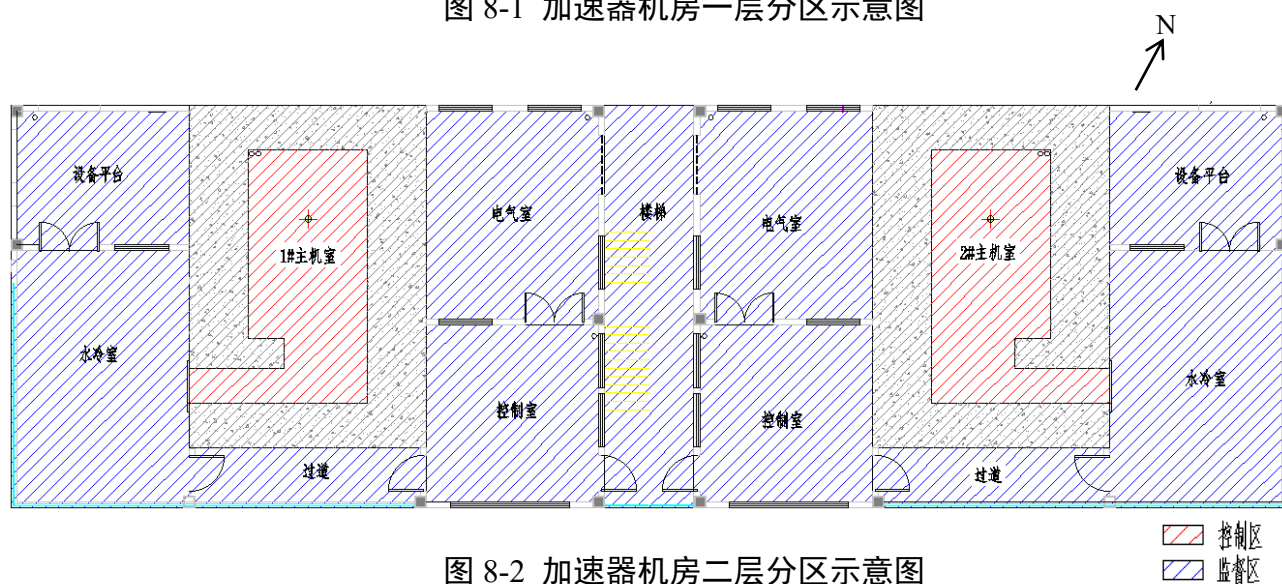


图 8-2 加速器机房二层分区示意图

3、屏蔽设计

根据项目设计资料，本项目各加速器机房辐照室及主机室设计参数表 8-1。

表 8-1 各加速器机房设计参数一览表

位置	1#机房屏蔽材料及厚度		2#机房屏蔽材料及厚度	
辐照室	北侧墙体	2800mm、2500mm	北侧墙体	2800mm、2500mm
	东侧墙体	2600mm（靠近防护门处墙体为 600mm）	东侧墙体	2600mm（靠近防护门处墙体为 600mm）
	西侧墙体	2600mm（靠近防护门处墙体为 600mm）	西侧墙体	2600mm（靠近防护门处墙体为 600mm）
	南侧迷道	迷道内墙 2200mm，迷道中墙 1000mm，迷道外墙 500mm	南侧迷道	迷道内墙 2200mm，迷道中墙 1000mm，迷道外墙 500mm
	顶板	1500mm	顶板	1500mm
	防护门：普通不锈钢防护门（能有效防止人员误入）			
主机室	北侧墙体	1500mm	北侧墙体	1500mm
	东侧墙体	2000mm	东侧墙体	2000mm
	南侧墙体	1500mm	南侧墙体	1500mm
	西侧墙体	2000mm	西侧墙体	2000mm
	迷道	1000mm	迷道	1000mm
	顶板	1300mm	顶板	1300mm
防护门：60mm 铅防护门				
注：本项目屏蔽墙体使用标号 C30 混凝土，密度为 2.35g/m^3 。				

1#加速器机房：1#加速器机房为两层设计，一层为辐照室，二层为主机室。一层辐照室：东西净长 14.8m，南北净宽 2.85m（不含迷道），辐照室净高 1.9m，南侧为“S 型”迷道。辐照室内（含迷道）净容积约为 156m^3 。二层主机室：东西净宽 4m，南北净长 8.55m，净高 3.88m。

2#加速器机房与 1#加速器机房对称设计。

4、通风系统

本项目各辐照室均设有专用通风系统，1#及 2#辐照室排风口均位于北墙，各辐照室内产生的臭氧等非放射性有害气体经排风管道排出，排风管道采用“U”形穿过屏蔽墙，与北侧室外臭氧排风风机相连，经各加速器机房外北侧架设至顶部，最终经 2 根距地高约 15m（高于加速器机房室顶 6.4m）排气筒排向外环境。排风管道内径为 600mm。各辐照室与主机室之间通过辐照室室顶设备孔洞连通，孔洞直径 560mm，可保持主机室的通风。

本项目排风管道示意图见附图 8。

5、辐照材料进出通道

辐照加工过程中，工作人员无需进入辐照室。需要进行辐照的材料，从辐照室南侧防护门，通过迷道外墙、迷道中墙、迷道内墙内设置的传送带，进入辐照室内辐照。辐照结束后，通过传送带离开辐照室。拟辐照产品传送带示意图见图 8-3。

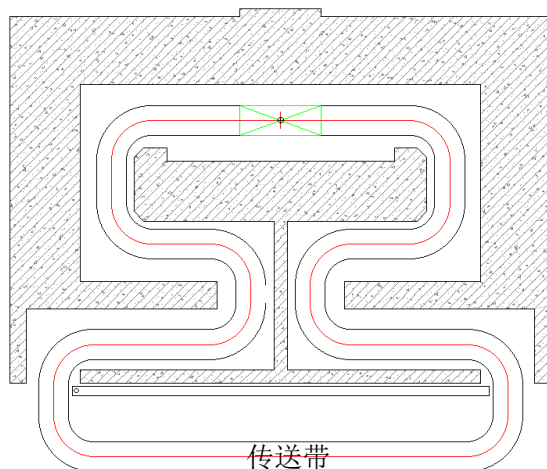


图 8-3 辐照产品传送带示意图

8.1.2 辐射安全和防护措施

1、安全防护措施

除工作场所屏蔽设计的安全防范措施外，公司还将采取以下几个方面的安全环保措施。

（1）钥匙控制

①钥匙控制。本项目在辐照室迷道出入口处、主机室防护门入口处分别设置 1 个钥匙开关，钥匙开关与主机室门和辐照室门联锁。如拔下控制钥匙，加速器将自动停机。拟购置一台有效的便携式辐射监测报警仪与控制钥匙相连。在运行中控制钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

（2）门机联锁

本项目各辐照室和主机室的门与束流控制和加速器高压联锁。各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

本项目各电子加速器均设计有束下装置联锁，电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立有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，加速器将自动停机。

（4）信号警示装置

本项目拟在辐照室迷道出入口设置警灯、警铃各 1 个，在辐照室内部设置警灯、警铃各 3 个，主机室防护门及主机室内部设置警灯、警铃各 1 个，用于开机前对主机室和辐照室内滞留人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态三色灯各 1 个，并与电子加速器辐照装置连锁。

（5）巡检按钮

本项目拟在辐照室出入口各设置 1 个巡检开关，在辐照室内设置 2 个巡检开关，在主机室内设置 1 个巡检开关，并与控制台连锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检开关”，巡查有无人员误留。

（6）防人误入装置

本项目拟在辐照室迷道出入口各设置 1 组红外开关，主机室防护门人员出入口通道内设置 1 组防人误入的红外开关，红外开关三个一组并与加速器的开、停机连锁。加速器开机远红外控制开关即启动，当检测到生命体进入机房后，加速器立即停机。

（7）急停装置

本项目急停装置采用两种形式：拉线开关和急停开关。拟在一层辐照室、二层主机室及控制台各设置 1 个急停开关，使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及主机室内各设置 1 个拉线开关并与加速器连锁，拉下拉线开关，加速器立即停机。辐照室及主机室内拟设置开门按钮，以便人员离开控制区。

（8）剂量连锁

公司拟在每座机房的辐照室和主机室迷道内各安装 1 个固定式辐射剂量探头，固定式辐射剂量探头与辐照室及主机室防护门连锁。固定式辐射剂量传感器的显示装置安装于控制台上。当辐射高于设定的阈值时，辐照室及主机室门无法打开。

（9）通风连锁

辐照室、主机室内通风系统均拟与控制系统连锁，当加速器停机后，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

本项目在烟道内设计有 1 处烟雾报警器，遇有火险时，加速器立即停机并停止通风。

（11）监控设备

拟在每座机房的辐照室迷道入口处安装 2 个摄像头，辐照室内安装 8 个摄像头，主机室

本项目采取了防止开机、防止人员误留、紧急停机、外部警示等多层防护与安全措施，可确保当某一层次的防御措施失效时，由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，符合辐射安全要求中的“纵深防御原则”；各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，如巡检开关等均设计有多个，在运行过程中万一某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能，符合辐射安全要求中的“冗余性原则”；本项目巡检开关、门机联锁装置等辐射安全设施涉及不同的运行原理和元器件等，机房出入口的安全联锁采用了机械的、电子的和剂量的联锁，符合辐射安全要求中的“多元性原则”；本项目各项辐射安全设施均具有独立性，某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用，符合辐射安全要求中的“独立性原则”。

2、其他防护要求

30

并考核合格后上岗。同时后续拟加强辐射工作人员管理，严禁未参加培训的人员从事辐射工作。根据工作强度若需增加人员，将按要求参加考核。

（2）根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号，2008）中第十六条第五款要求，企业配备的防护用品和监测仪器需满足电子加速器辐照工作的要求。对从事与放射性和射线装置有关的职业人员要求随身佩戴个人剂量计，以监督个人剂量的变化情况，控制接受剂量，保证职业人员的健康水平。本项目拟配备个人剂量计 8 支（人手 1 支，由个人剂量检测单位配发）、个人剂量报警仪 4 部、辐射检测仪器 1 台，在配备相关防护器材后，可满足管理办法要求。

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

（4）定期为辐射工作人员做职业健康检查，建立工作人员健康档案。

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

8.2 三废的治理

本项目为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、放射性废水和放射性固体废物。

在加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生臭氧和氮氧化物，本项目加速器辐照室设有专门的通风系统，废气通过排风口、排风管道，最终经 2 根 15m 高排气筒排放。经计算和分析，本项目臭氧和氮氧化物对周围大气环境影响较小。

工作人员生活污水经化粪池收集后排入临港区污水处理厂深度处理后排放；本项目去离子水直接外购、不在辐照厂房内制备，不产生离子交换树脂等废物，工作人员生活垃圾产生后由环卫部门定期清运处理。

本项目设备布置在室内，对机械设备产生的噪声，采用减震、隔音等措施，本项目噪声对周围环境影响较小。

表 9 环境影响分析

9.1 建设阶段对环境的影响

1、声环境影响分析

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

2、水环境影响分析

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

施工人员生活污水主要为洗涤废水和粪便污水，含 COD_{Cr}、NH₃-N、BOD₅、SS 等。总施工期约 60 天，按施工高峰时总的施工人员约 30 人，每人每天生活污水产生量以 40L 计，生活污水产生量约 1.2m³/d，于临时卫生间化粪池收集后由环卫部门外运，对周边环境影响较小。

3、固体废物

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

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

4、大气环境影响分析

本项目在建设施工期需进行打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染，本项目将严格按照“六个百分百”要求，采取以下措施：a.施工场地设置连续

围挡；b. 施工通道硬化处理；c. 及时清扫施工场地，保持施工场地地面一定的清洁和湿度，减少地面扬尘；d. 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，同时对运输车辆进行清洗；e. 施工场地渣土、建材等要集中堆放且 100%进行覆盖。经采取以上措施后，本项目施工阶段对周边大气环境影响较小。

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

9.2 调试、运行阶段对环境的影响

9.2.1 电子束对周围环境的影响

本项目工业电子加速器能发射最大能量为 10MeV 的电子束，电子在物质中的最大射程可由以下公式估算（公式摘自《辐射防护技术与管理》，P123）。

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

公式中： d —最大射程，cm；

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，在混凝土中（2.35g/cm³）的最大射程约为2.13cm。辐照室、主机室最小有效墙体厚度为500mm混凝土，完全可以屏蔽10MeV电子，且电子束方向朝向地面，因此加速器发射的电子束对辐照室及主机室外环境的影响可忽略。

9.2.2 X 射线对周围环境的影响

本项目加速器机房尚未建设，本次评价参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 中给出的计算模式预测本项目运行后工作场所周围的辐射水平。

因 2 座加速器机房东西对称布置、防护设计完全相同，因此本次仅以 1#加速器机房为例对其参考点进行剂量率计算。

1、辐照室周围 X 射线影响

（1）X 射线影响分析

本项目工业加速器电子束向下照射，不直接射向辐照室四周屏蔽墙，因此辐照室内韧致

辐射主要考虑沿与电子束入射方向为 90°的韧致 X 射线。

(2) X 射线辐射剂量率估算公式

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) A.2.1 部分, 工作状态时, 辐照室周围辐射剂量率采用式 9-2~式 9-4 进行估算。

$$H=D_{10}\times B_x/d^2 \quad (9-2)$$

式中, H—参考点处的 X 剂量率, Gy/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;

B_x —X 射线的屏蔽透射比(衰减系数);

d—参考点距靶点的距离, m。

$$D_{10}=60\times Q\times I\times f_e \quad (9-3)$$

式中, Q—X 射线发射率, 本项目入射电子能量最大为 10.0MeV, 根据 HJ979-2018 表 A.1, 侧向 90°方向 X 射线发射率取 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$;

I—电子束流强度, 取 2.5mA;

f_e —X 射线发射率修正系数, 根据 HJ 979-2018, “被辐照的靶材料为“铁、铜”时, 0° 方向修正系数为 0.7, 90° 方向的修正系数 $f_e=0.5$; 当辐照的靶材料为“铝、混凝土”时, 0° 方向修正系数为 0.5, 90° 方向的修正系数 $f_e=0.3$ ”, 本项目辐照材料中有不锈钢等材料, 90° 方向修正系数取 0.5, 0° 方向修正系数取 0.7。

$$B_x=10^{[-(1+(S-T1)/Te)]} \quad (9-4)$$

式中, S—屏蔽层厚度, cm;

T1—在屏蔽厚度中, 朝向辐射源的第一个十分之一值层, cm;

Te —平衡十分之一值层, 该值近似于常数, cm。

(3) 参数的选取

根据式 9-3, $D_{10}=60\times 13.5\times 2.5\times 0.5=1012.5\text{Gy/h}$ 。屏蔽材料的十分之一值层: 本项目入射电子能量最大为 10MeV, 根据 HJ979-2018, 侧向 90°方向的等效入射电子能量为 6MeV, 对应混凝土的 T1 和 Te 值为: $T1=35.5\text{cm}$, $Te=35.5\text{cm}$;

(4) 辐照室周围辐射剂量率估算结果

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

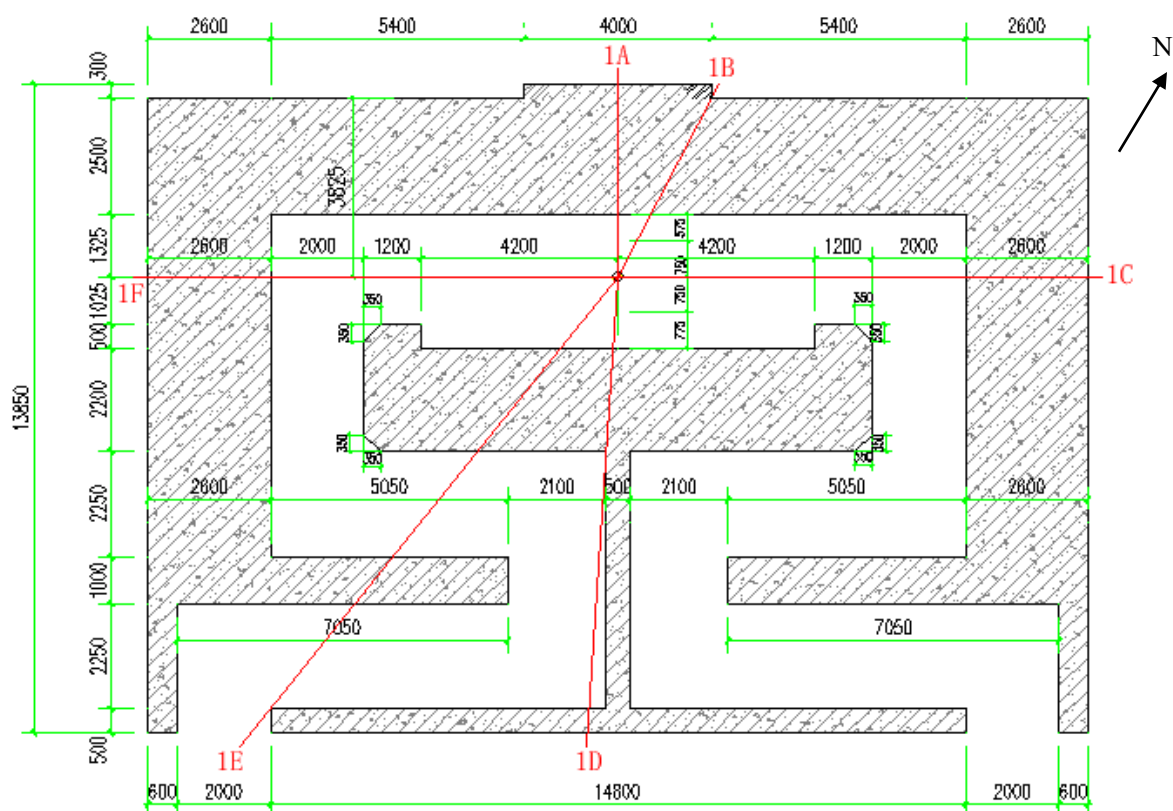


图 9-1 1#辐照室周围 X 剂量率参考点示意图

表 9-1 1#辐照室墙体外参考点处辐射剂量率估算结果

参考点	点位位置	D_{10} (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	透射系数 Bx	参考点距靶点 距离 (m)	参考点剂量率 (μ Gy/h)
1A	北墙外 30cm 处	1012.5	280	35.5	35.5	1.29×10^{-8}	4.425	0.67
1B	北墙外 30cm 处	1012.5	282.1	35.5	35.5	1.31×10^{-8}	4.655	0.53
1C	东墙外 30cm 处	1012.5	260	35.5	35.5	1.08×10^{-9}	10.3	0.45
1D	南墙外 30cm 处	1012.5	270.6	35.5	35.5	1.08×10^{-14}	10.048	0.24
1E	迷道口外 30cm 处	1012.5	410.2	35.5	35.5	4.94×10^{-11}	12.851	1.71×10^{-5}
1F	西墙外 30cm 处	1012.5	260	35.5	35.5	1.37×10^{-20}	10.3	0.45

由上表可知，1#辐照室四周墙外30cm处的X射线剂量率最大值为 $0.67 \mu\text{Gy/h}$ ，即 $0.67 \mu\text{Sv/h}$

(X射线的辐射品质因子取1, 按照1:1转换单位), 满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。因2#辐照室与1#辐照室对称布置、设计相同, 因此可推断出2#辐照室四周墙外30cm处的X射线剂量率最大值也为 $0.67\mu\text{Sv/h}$, 可以满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。因两座辐照室东西相邻, 相距3.2m, 因此1#辐照室东墙、2#辐照室西墙外需考虑两台加速器同时开机时的叠加影响, 偏保守考虑, 该处剂量率经墙体屏蔽后的剂量率为 $0.45\mu\text{Sv/h} \times 2 = 0.9\mu\text{Sv/h}$ (点位1C), 可以满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ (X射线的辐射品质因子取1, 按照1:1转换单位) 的剂量率限值要求。

2、主机室周围 X 射线影响

(1) X 射线影响分析

主机室主要考虑工业电子加速器的束流损失产生的韧致 X 射线影响及一层辐照室侧向 X 射线穿过辐照室室顶至主机室周围的辐射影响。

(2) 辐射剂量率估算公式

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) A.2.1 部分, 工作状态时, 加速器筒体周围的辐射剂量率同样采用式 9-2~式 9-4 进行估算。

① 主机室束流损失对周围的影响

根据建设单位提供的资料, 本项目加速器束流损失率不超过 2% (即损失的电子束流强度为 $2.5\text{mA} \times 2\% = 0.05\text{mA}$), 束流损失点的电子能量最大为 3MeV。

根据 HJ979-2018 表 A.1, 3MeV 入射电子能量侧向 90° 方向 X 射线发射率取 $3.2\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则根据式 9-3, $D_{10} = 60 \times 3.2 \times 0.05 \times 0.5 = 4.8\text{Gy/h}$ 。

屏蔽材料的十分之一值层: 根据 HJ979-2018 表 A.4, 3MeV 入射电子能量侧向 90° 方向的等效入射电子能量为 1.9MeV, 对应混凝土的 T1 和 Te 值为: T1=22.1cm, Te=20.1cm, 对应铅的 T1 和 Te 值为: T1=3.35cm, Te=4.2cm。

② 一层辐照室侧向 X 射线穿过辐照室室顶至主机室周围的辐射影响

如前所述, 本项目加速器入射电子能量最大为 10.0MeV, 侧向 90° 方向 X 射线发射率取 $13.5\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $D_{10} = 1012.5\text{Gy/h}$; 侧向 90° 方向的等效入射电子能量为 6MeV, 对应混凝土的 T1 和 Te 值为: T1=35.5cm, Te=35.5cm。

(4) 主机室四周辐射剂量率估算结果

① 主机室束流损失对四周辐射剂量率估算结果

主机室四周 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 9-2。参考点示意图见图 9-2。

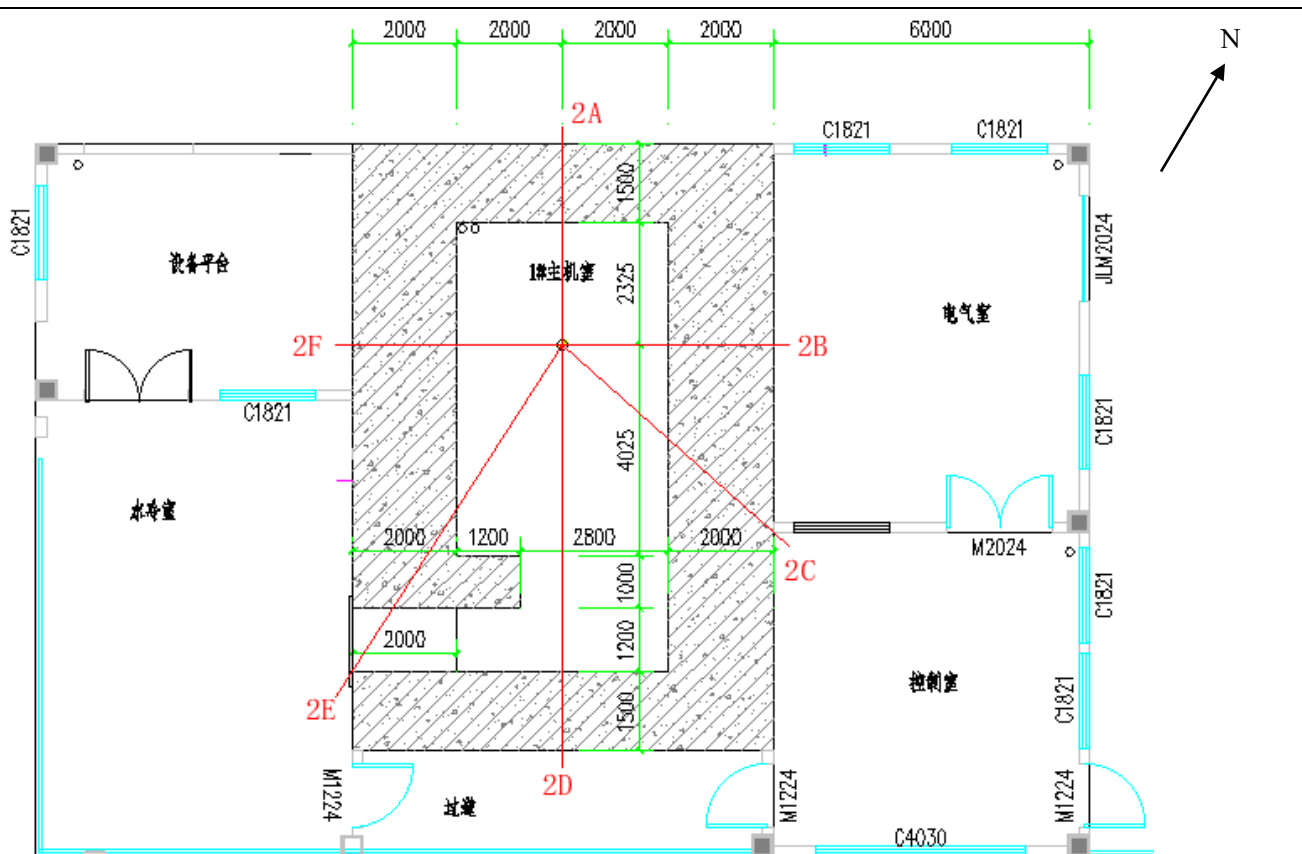


图 9-2 1#主机室周围 X 剂量率参考点示意图

表 9-2 1#主机室四周参考点处辐射剂量率估算结果

参考点	点位位置	D ₁₀ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T ₁ (cm)	Te (cm)	透射系数 B _x	参考点距靶 点距离 (m)	参考点剂量 率(μGy/h)
2A	北墙外 30cm 处外空间	4.8	150	22.1	20.1	4.33×10^{-8}	4.125	0.012
2B	东墙外 30cm 处电气室	4.8	200	22.1	20.1	1.41×10^{-10}	4.301	3.66×10^{-5}
2C	东墙外 30cm 处控制室内	4.8	268.2	22.1	20.1	5.70×10^{-4}	5.767	8.23×10^{-9}
2D	南墙外 30cm 处过道	4.8	150	22.1	20.1	4.33×10^{-8}	8.025	3.23×10^{-3}
2E	迷道口外 30cm 处水冷室	4.8	227.4cm 混凝土+6cm 铅	22.1/3.35	20.1/4.2	6.11×10^{-12} /0.023	7.954	1.07×10^{-14}
2F	西墙外 30cm 处设备平台	4.8	200	22.1	20.1	1.41×10^{-10}	4.299	3.66×10^{-5}

注：2A 点位于北墙外半空，无人。

根据上表可知，主机室束流损失对主机室四周30cm处的辐射剂量率最大值为

0.012 μ Gy/h，即0.012 μ Sv/h（X射线的辐射品质因子取1，按照1:1转换单位），满足2.5 μ Sv/h的剂量率限值要求。

② 一层辐照室侧向 X 射线穿过辐照室室顶至主机室周围的辐射影响

一层辐照室侧向 X 射线会穿过辐照室室顶至水冷室及电气室，同时侧向 X 射线会穿过一层辐照室迷路内墙及辐照室室顶至东南侧控制室及南侧过道，参考点处估算结果见表 9-3。参考点示意图见图 9-3。

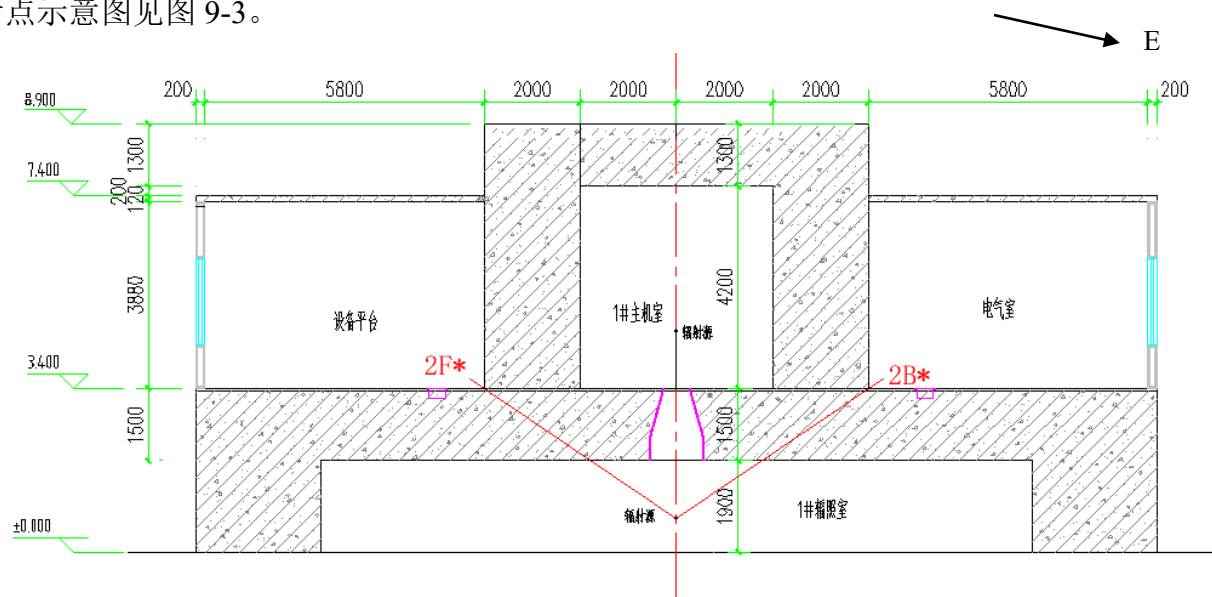


图9-3（1） 主机室周围X剂量率参考点示意图

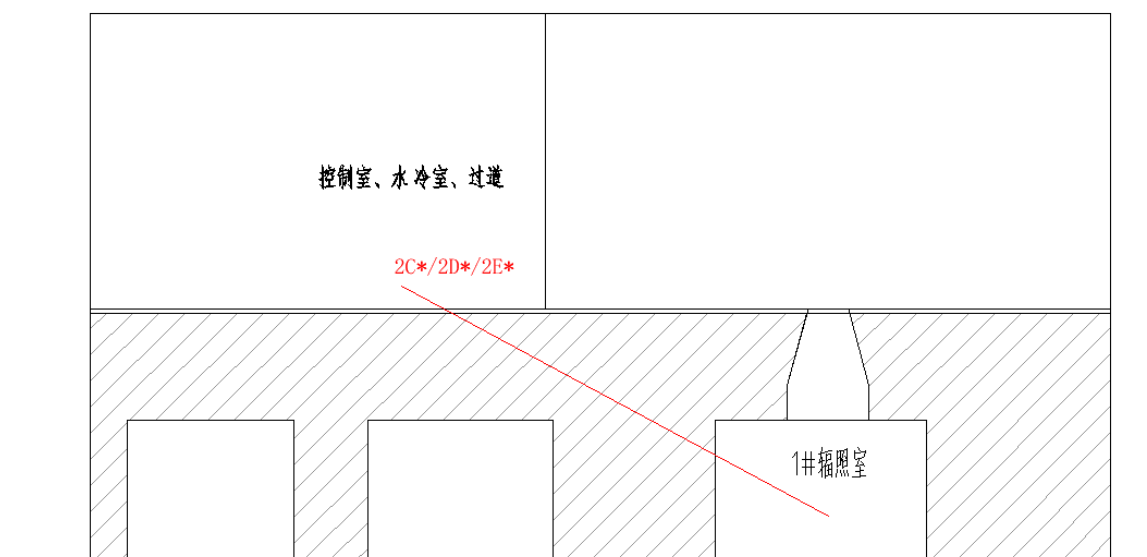


图9-3（2） 主机室周围X剂量率参考点示意图

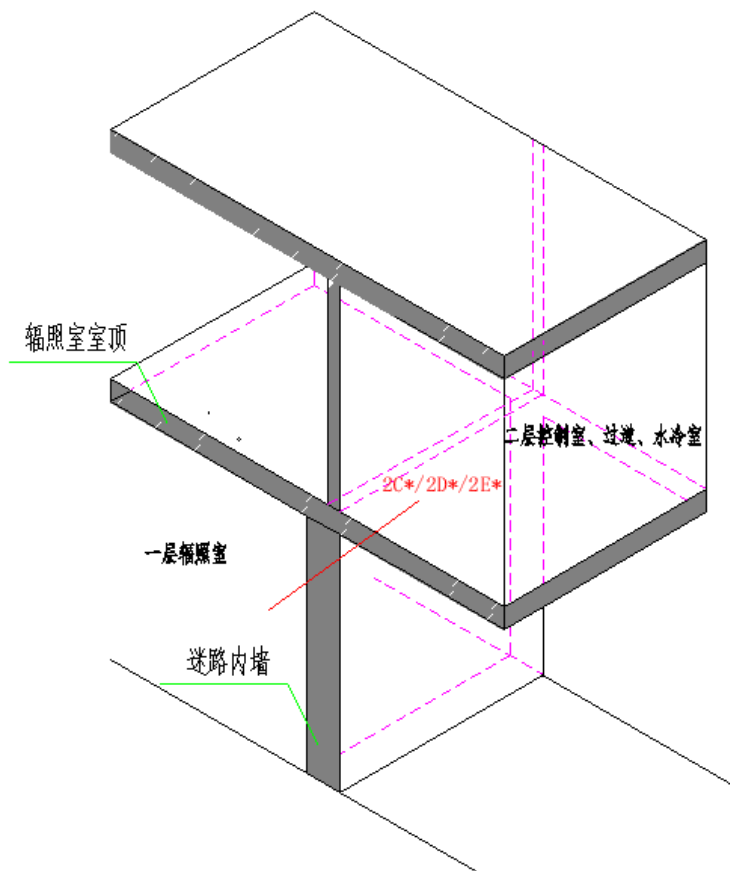


图9-3 (3) 主机室周围X剂量率参考点示意图

表 9-3 1#加速器辐照室侧向 X 射线对主机室四周参考点处辐射剂量率估算结果

参考点	点位位置	D ₁₀ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	透射系数 B _x	参考点距靶 点距离 (m)	参考点剂量率 (μGy/h)
2B*	东墙外 30cm 处电气室	1012.5	268.1	35.5	35.5	2.80×10^{-8}	5.188	1.06
2F*	西墙外 30cm 处设备平台	1012.5	268.1	35.5	35.5	2.80×10^{-8}	5.188	1.06
2C*	东墙外 30cm 处控制室	1012.5	370	35.5	35.5	5.23×10^{-11}	6.54	8.95×10^{-4}
2D*	南墙外 30cm 处过道	1012.5	370	35.5	35.5	5.23×10^{-11}	8.58	5.20×10^{-4}
2E*	迷道口外 30cm 处水冷室	1012.5	370	35.5	35.5	5.23×10^{-11}	7.95	6.06×10^{-4}

注：2C*、2D*、2E*点位屏蔽厚度偏保守考虑取迷路内墙与辐照室室顶总厚度，即 220cm+150cm=370cm。

据上表可知，本项目加速器机房辐照室X射线对主机室周围30cm处的辐射剂量率均较小，最大为1.06μGy/h，即1.06μSv/h（X射线的辐射品质因子取1，按照1:1转换单位），远小于2.5μSv/h的剂量率限值要求。

③ 计算结果

1#加速器机房辐照室及主机室对主机室四周参考点辐射剂量贡献叠加计算见表 9-4。

表 9-4 1#加速器机房对主机室四周参考点处辐射剂量率贡献叠加计算表

参考点	点位位置	参考点剂量率(μGy/h)	
2A	北墙外 30cm 处外空间	0.012	
2B	东墙外 30cm 处电气室	3.66×10 ⁻⁵	1.06
2B*		1.06	
2C	东墙外 30cm 处控制室内	8.23×10 ⁻⁹	8.95×10 ⁻⁴
2C*		8.95×10 ⁻⁴	
2D	南墙外 30cm 处过道	3.23×10 ⁻³	3.75×10 ⁻³
2D*		5.20×10 ⁻⁴	
2E	迷道口外 30cm 处水冷室	1.07×10 ⁻¹⁴	6.06×10 ⁻⁴
2E*		6.06×10 ⁻⁴	
2F	西墙外 30cm 处设备平台	3.66×10 ⁻⁵	1.06
2F*		1.06	

注：2A 点位于北墙外半空，无人。

根据上述计算，辐照室和主机室对参考点辐射剂量贡献叠加后最大值为 1.06μGy/h（设备平台和电气室），即 1.06μSv/h（X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位），满足 2.5μSv/h 的剂量率限值要求。因 2#主机室与 1#主机室对称布置、设计相同，因此可推断出 2#主机室四周墙外 30cm 处的 X 射线剂量率叠加最大值也为 1.06μSv/h，也可以满足 2.5μSv/h 的剂量率限值要求。

3、天空反散射影响

加速器近邻无高层建筑，不考虑 X 射线通过屋顶后的侧向散射对建筑物造成的辐射影响，仅考虑天空反散射。

①X 射线影响分析

参考点 P 处需同时考虑一层辐照室内电子束产生的轫致 X 射线穿过辐照室室顶设备孔洞对机房二层室顶的辐射影响和二层主机室束流损失产生的轫致 X 射线对机房二层室顶的辐射影响。

②参数的选取

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的相关内容，X 射线发射率取入射电子能量侧向 90°方向的相应数值，则根据前文计算结果，一层辐照室 $D_{10}=1012.5\text{Gy/h}$ ，二层主机室 $D_{10}=4.8\text{Gy/h}$ 。

天空反散射计算公式为：

$$H=[2.5\times10^{-2} (B_{xs}D_{10}\Omega^{1.3})] / [(d_id_s)^2] \quad (9-5)$$

式中，H——在距离辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率，Sv/h；

B_{xs} ——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω ——由源至室顶（内表面）所张的立体角；

d_i ——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离， $d_{i\text{ 一层辐照室}}=9.9\text{m}$ ， $d_{i\text{ 二层主机室}}=6\text{m}$ ；

d_s ——X 射线源到 P 点的距离（m）。

本项目辐照室室顶设备孔洞为圆形，圆锥立体角计算方法见公式 9-6。

$$\Omega=2\pi[1-\cos(\theta/2)] \quad (9-6)$$

θ ——圆锥的顶角， $\theta=12^\circ$

二层主机室立体角采用公式 9-7 进行计算。

$$\Omega = \sum_{i=1}^4 \lg^{-1} \left[\frac{a_i b_i}{c_i d_i} \right] = \lg^{-1} \left[\frac{a_1 b_1}{c d_1} \right] + \lg^{-1} \left[\frac{a_2 b_1}{c d_2} \right] + \lg^{-1} \left[\frac{a_2 b_2}{c d_3} \right] + \lg^{-1} \left[\frac{a_1 b_2}{c d_4} \right] \quad (9-7)$$

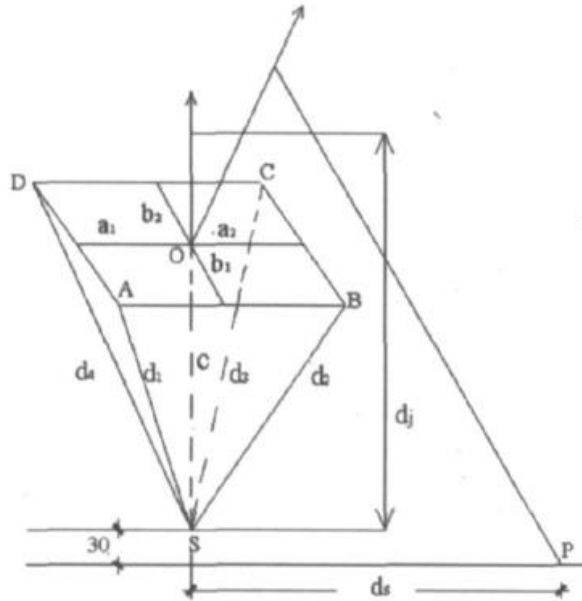


图 9-4 立体角计算示意图

a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 ——源到各屏蔽墙的水平距离， $a_1=a_2=2\text{m}$ 、 $b_1=6.225\text{m}$ 、 $b_2=3.225\text{m}$ ；

c ——源到屋顶的垂直距离， $c=3\text{m}$ ；

d ——源到屋顶顶角的距离， $d_1=(a_1^2+b_1^2+c^2)^{1/2}$ ， d_2 、 d_3 、 d_4 以此类推， $d_1=d_2=7.19\text{m}$ 、 $d_3=d_4=4.84\text{m}$ 。

依据上述推算得出， $\Omega_{\text{一层辐照室}}=0.2512\text{Sr}$ ， $\Omega_{\text{二层主机室}}=1.882\text{Sr}$

天空反散射示意图见下图。

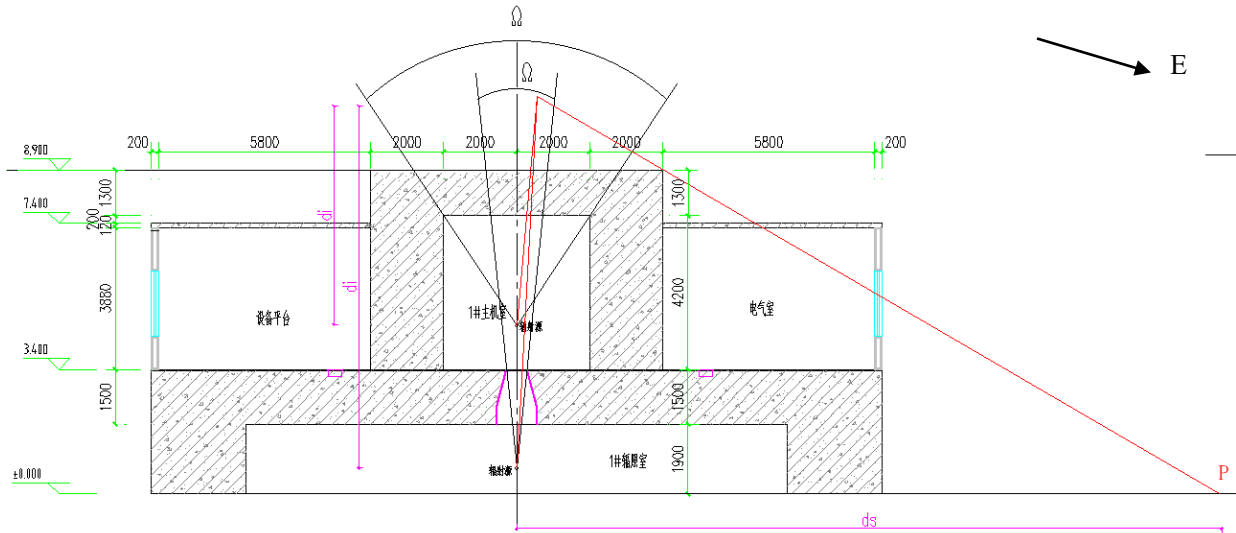


图 9-5 天空反散射示意图

④ 天空反散射影响分析

根据式 9-5，计算参考点 P 处的辐射剂量率见表 9-5。

表 9-5 天空反散射剂量率计算结果表

D_{10} (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	Tl (cm)	Te (cm)	透射系数 B_x	Ω (Sr)	ds (m)	参考点剂量 率($\mu\text{Gy/h}$)
1012.5	130	35.5	35.5	2.178×10^{-4}	0.2512	20.846	0.020
4.8	130	22.1	20.1	4.28×10^{-7}	1.882	20.846	6.78×10^{-6}

单台加速器对 P 点的最大辐射剂量率贡献值为 $0.020+6.78 \times 10^{-6} \approx 0.020 \mu\text{Gy/h}$ ，本项目 2 台加速器同时运行时，偏保守考虑由天空反散射引起的 P 点处的地面剂量率水平最大值为 $0.040 \mu\text{Gy/h}$ ，远小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，加速器机房室顶的防护设计可满足辐射防护要求。

4、迷道外口处的辐射水平预测

(1) 估算模式

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) A.3.1 部分，工作状态时，迷道外口处的辐射剂量率采用式 9-8 进行估算。

$$H_{l, rj} = D_{10} \times \alpha_1 \times A_1 \times (\alpha_2 \times A_2)^{j-1} / (d_1 \times d_{r1} \times d_{r2} \times \dots \times d_{rj})^2 \quad (9-8)$$

式中, $H_{l, rj}$ —迷道外口处的剂量率, 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);

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 ;

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离, m;

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —迷道内各处中心线的散射距离 (近似取每段迷路的长度), m;

j —指第 j 个散射过程, m。

(2) 辐照室迷道外口处的辐射水平预测

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的迷道散射路径, 以 1#辐照室迷道为例, X 射线经过 5 次散射到达迷道口, 散射路径示意图见图 9-6, 辐照室迷道口辐射剂量率计算结果见表 9-6。

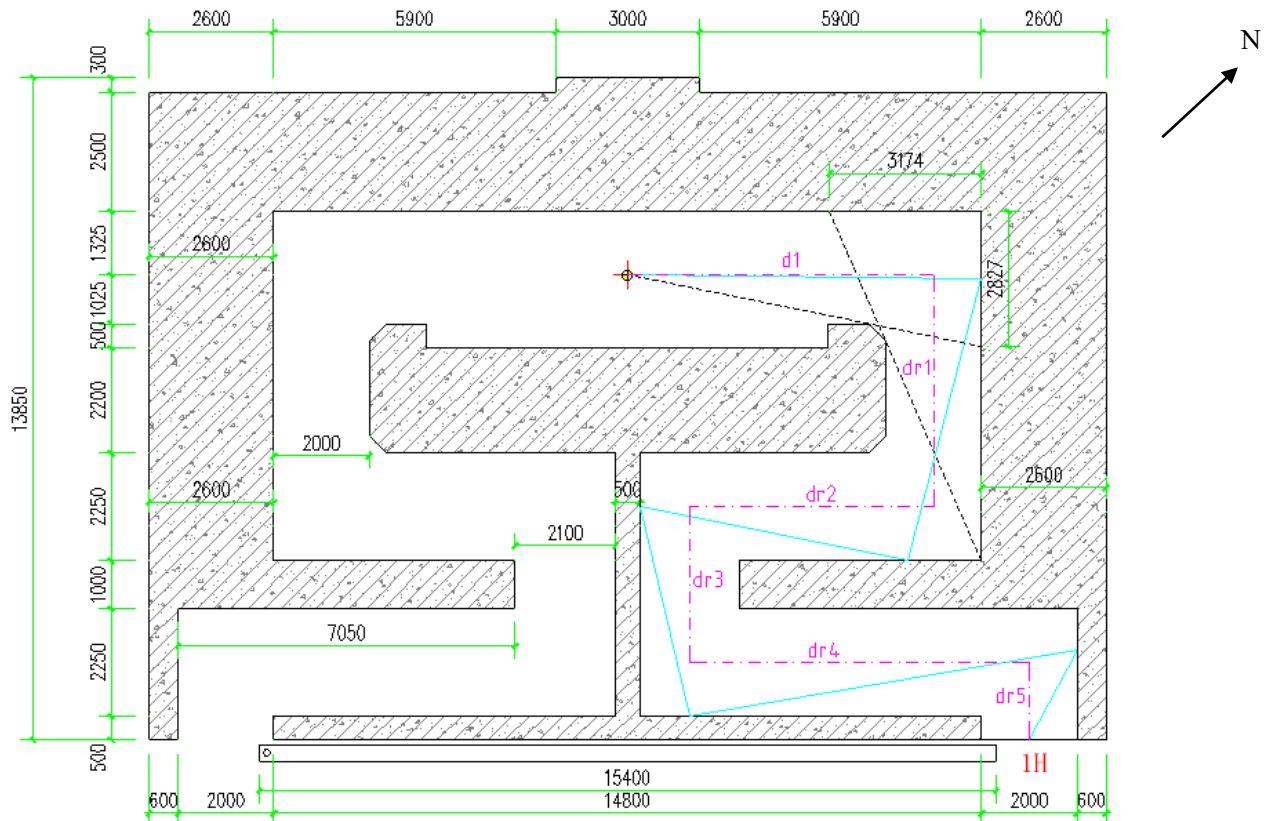


图 9-6 辐照室散射路径示意图 (以 1#辐照室迷道为例)

表 9-6 辐照室迷道口辐射剂量率计算结果

参考点	点位位置	散射次数	D ₁₀ (Gy/h)	散射路径 d1,dr1,dr2,dr3,dr4,dr5 (m)	散射面积 A1,A2,A3,A4,A5 (m ²)	辐射剂量率 (μGy/h)
1H	辐照室迷道口	5	1012.5	d ₁ =6.4m、d _{r1} =4.85m、 d _{r2} =5.1m、d _{r3} =3.25m、 d _{r4} =7.1m、d _{r5} =1.625m	A1= (3.17+2.83) ×1.9=11.4m ² A2=2×1.9=3.8m ² 、 A3=2.25×1.9=4.275m ² 、 A4=2.1×1.9=3.99m ² 、 A5=2.25×1.9=4.275m ²	7.28×10 ⁻⁵

综上，加速器运行时 1#辐照室迷道口处的辐射剂量率为 7.28×10⁻⁵μGy/h，即 7.28×10⁻⁵μSv/h（X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位），远低于 2.5μSv/h 的剂量率限值要求。

此外，迷道口处还受辐照室内韧致辐射穿过迷道墙之后产生的辐照影响，剂量率为 1.71×10⁻⁵μSv/h（点位 1E），则迷道口处叠加剂量率为 7.28×10⁻⁵+1.71×10⁻⁵μSv/h=8.99×10⁻⁵μSv/h，远低于 2.5μSv/h 的剂量率限值要求。

（3）主机室迷道口处的辐射水平预测

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的迷道散射路径，以 1#主机室迷道为例，X 射线经过 1 次散射到达迷道口，散射路径示意图见图 9-7，主机室迷道口辐射剂量率计算结果见表 9-7。

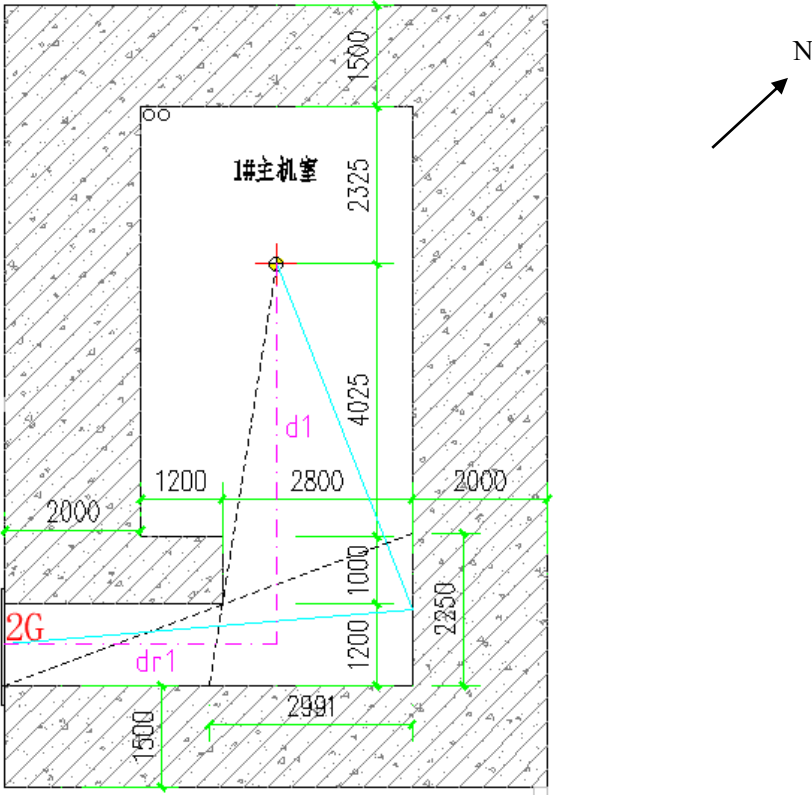


图 9-7 主机室迷道口散射路径示意图（以 1#主机室迷道为例）

表 9-7 主机室迷道口辐射剂量率计算结果

参考点	点位位置	散射次数	D_{10} (Gy/h)	散射路径(m) d_1, dr_1	散射面积 (m^2) A_1	辐射剂量率 (μ Gy/h)
2G	主机室迷道口	1	4.8	$d_1=5.63m$ 、 $d_{r1}=4.0m$	$A_1=(2.25+2.99) \times 4.2=22.01m^2$	1040

根据 HJ 979-2018，主机室侧向 90° 方向等效入射电子能量为 $1.9MeV$ ，经散射一次后 X 射线能量为 $0.5MeV$ ， $0.5MeV$ 条件下，铅的 $Tl=0.5cm$ 、 $Te=1.19cm$ ，根据公式 9-2、9-4 计算得出 $B_X=2.39 \times 10^{-6}$ ，主机室迷道口 X 射线经 $60mm$ 铅防护门屏蔽后辐射剂量率为 $2.49 \times 10^{-3} \mu Sv/h$ （X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位），低于 $2.5 \mu Sv/h$ 的剂量率限值要求，叠加主机室束流损失等对防护门外产生的辐射剂量率 $6.06 \times 10^{-4} \mu Sv/h$ （ $2E+2E \cdot \text{点}$ ），则主机室防护门外的辐射剂量率为 $3.10 \times 10^{-3} \mu Sv/h$ ，能够满足 $2.5 \mu Sv/h$ 的剂量率限值要求。

6、其他设计合理性分析

①通风口设计合理性分析

排风口位于各辐照室地面下方位置，各辐照室内产生的臭氧等非放射性有害气体经排风管道排出，排风管道通过地下管道穿过屏蔽墙，与室外臭氧排风风机相连，经两座加速器机房外北侧架设至顶部，排气管道直径为 $600mm$ ，最终经 2 根离地面 $15m$ 高（高于加速器机房室顶 $6.4m$ ）排气筒排向外环境。由于本项目排风管道通过地面时排风管道 U 型穿墙进入排气筒，排风口不直接穿过地上屏蔽墙体，因此漏射线到达排风口外需经屏蔽墙体屏蔽，散射线经地下管道到达排气筒外口处则需经很多次散射，剂量率将大大降低，因此，通风口外的辐射水平可满足标准要求。经分析，该通风系统设计也可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）对通风的要求。

②电缆管道、水管道设计合理性分析

本项目加速器机房电缆管道、水管道采用 S 形或 U 形预埋设置，射线均需经很多次散射后方能从管口泄漏，所有电缆道口及水管道口处均做补偿措施，电缆管出口、水管出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

7、环境敏感目标处的辐射水平预测

根据上述分析，本项目环境保护目标为：南侧 $15m$ 处车间、东侧紧邻卫生间、东侧 $3.3m$ 处配电室，环境保护目标处剂量率详见表 9-8。

表 9-8 本项目周边环境保护目标辐射剂量率估算结果

名称	机房	D ₁₀ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	参考点距靶点 距离 (m)	参考点剂量率(折 算为 μSv/h)
南侧 15m 处车间	1#或 2#	1012.5	270.6	35.5	35.5	25.048	0.0385
东侧紧邻卫生间	2#	1012.5	260	35.5	35.5	10.3	0.45
东侧 3.3m 处配电室	2#	1012.5	260	35.5	35.5	13.6	0.26

由上表分析可知，本项目周围环境保护目标辐射剂量率最大为 0.45μSv/h（X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位），故本项目对周围环境保护目标影响较小。

本项目加速器机房北墙距北侧厂界 5.75m，2#加速器机房东墙距东侧厂界 20.73m，北侧及东侧厂界外现为空地，目前尚未明确规划用途，经计算，北侧、东侧围墙外 30cm 处辐射剂量率分别为 0.127μSv/h、0.05μSv/h（X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位），能够满足 2.5μSv/h 的剂量率限值要求。

9.2.3 有害气体对周围环境的影响

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录B，辐照加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生极少量臭氧(O₃)和微量氮氧化物（NO_x）等有害气体。相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为臭氧的1/3。

一、臭氧对周围环境影响分析

1、臭氧产生情况分析

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

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

式中，P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I—电子束流强度，辐照室为 2.5mA，主机室为 0.05mA；

d—电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5\text{keV/cm}$ 和辐照室尺寸选取，辐照室 $d=100\text{cm}$ ，主机室 $d=622.5\text{cm}$ ；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，保守值可取为 10。

根据上式计算可得，本项目辐照室与主机室连通，每座机房内臭氧产生率共约为 126506mg/h（0.127kg/h）。

2、通风换气计算

本项目辐照室与主机室连通，单座机房通风量为 21000m³/h，辐照室及主机室内净容积为 393m³，则通风换气次数为 53 次/小时。平均每次换气需要 1/53h。

3、臭氧的有效清除时间

臭氧有效清除时间的计算公式为

$$\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (9-10)$$

其中， t_v ：平均每次通风换气时间，为 1/53h；

t_d ：O₃ 的有效分解时间，取 5/6h；

由上式计算可得，臭氧的有效清除时间为 5/271h。

4、辐照工作过程中机房内 O₃ 的浓度

考虑连续排风和臭氧的分解时，机房内的空气中臭氧的平均浓度可表示为：

$$Q(t) = \frac{P}{V} \cdot \bar{T} \cdot (1 - e^{-t/\bar{T}}) \quad (9-11)$$

其中， $Q(t)$ ：机房空气中在 t 时刻臭氧的浓度，mg/m³；

P ：O₃ 的产额，126506mg/h；

V ：机房体积，393m³；

$\bar{T}$ ：对 O₃ 的有效清除时间，5/271h。

由于 $t_v < t_d$ ， $\bar{T} \approx t_v$ ，在长时间照射的情况下，辐照室内的臭氧平衡浓度为：

$$Q(t) = \frac{P}{V} \cdot \bar{T} \quad (9-12)$$

由上式计算得，机房内 O₃ 的平衡浓度约 5.94mg/m³，考虑漏射线和散射线，可以增加 10%，即 6.53mg/m³，该浓度值高于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中工作场所空气中 O₃ 的最高容许浓度（0.3mg/m³）。由于机房内臭氧浓度较大，因此在停止辐照后，人员须于通风一段时间后再进入机房内。

根据 HJ979-2018 附录 B，最小通风时间采用式 9-13 进行估算。

$$T = -\bar{T} \times \ln (C_0/C_s) \quad (9-13)$$

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 —GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m³；

$$C_s=6.53\text{mg/m}^3。$$

由上式计算可得，为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间约 0.06h（3.6min）。因此，当需要工作人员需要进入辐照室内进行检修或维护时，需在停止辐照后通风时间不得低于 0.06h（3.6min）后再进入，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。在此情况下，可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）规定的限值要求。

5、臭氧排放情况

企业安装通风管道，将机房内产生臭氧经过排风口、排风管道收集后，最后通过 2 根 15m 高排气筒排放。本项目每座机房臭氧的排放速率 126506mg/h（0.127kg/h），0.61t/a（4800h/a）。

6、本项目臭氧排放对周围环境的影响分析

本次采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的估算模式（AERSCREEN）进行预测，了解臭氧对周围大气环境的影响程度。计算参数选取见表 9-9，本项目大气污染源计算参数选取值见表 9-10，评价因子和评价标准见表 9-11。

表 9-9 估算模型参数表

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

表 9-10 本项目大气污染源计算参数选取值

序号	污染源名称	排气筒高度 m	排气筒出口内径 m	烟气流量 m ³ /h	烟气温度℃	年排放小时数 h/a	排放工况	臭氧排放速率 kg/h
1	1#加速器机	15	0.6	21000	25	4800	正常排放	0.127

	房排气筒							
2	2#加速器机房排气筒	15	0.6	21000	25	4800	正常排放	0.127

表 9-11 评价因子和评价标准表

评价因子	平均时段	标准值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	标准来源
臭氧 (O_3)	1h 平均浓度	200	《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 及其修改单中二级标准

根据 AERSCREEN 预测结果,在不考虑臭氧分解的情况下,本项目 2 座加速器机房的臭氧最大落地浓度为 $0.1116\text{mg}/\text{m}^3$ ($111.6\mu\text{g}/\text{m}^3$), 低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级限值要求(臭氧日小时平均浓度限值 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$), 最大落地点离源距离为 490m。此外,臭氧的有效分解时间仅约 50 分钟,排入大气后很快即分解为氧气。综上所述,本项目排放的臭氧对周围大气环境影响较小。

二、氮氧化物对周围环境影响分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)附录 B,氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一,产生量较小,经排风管道、排气筒排放至外环境,对周围环境产生的影响较小。

9.2.4 水环境影响分析

本项目运营期内不产生生产废水,产生的废水主要是职工生活污水。根据前述计算,全厂工作人员生活污水产生量为 $240\text{m}^3/\text{a}$,废水中污染物浓度 $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 300\text{mg}/\text{L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 30\text{mg}/\text{L}$,污染物产生量分别为 $\text{COD}_{\text{Cr}} 0.072\text{t}/\text{a}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} 0.0072\text{t}/\text{a}$ 。生活污水能够满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996)表 4 中三级标准及《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962-2015)表 1 中的 B 等级要求,经厂区化粪池收集后排入临港区污水处理厂进行深度处理后深海排放。

临港区污水处理厂总设计规模 8 万 t/d ,分三期建设,目前处理能力为 5 万 t/d ,实际处理量约 $2.5\text{t}/\text{d}$,采用“粗格栅+进水泵房+细格栅+精细格栅+曝气沉砂池+A/A/O+MBBR 生物反应池+矩形周进周出二沉池+反硝化滤池+高效沉淀池+臭氧催化氧化池+V 型滤池及紫外消毒池+次氯酸钠消毒”处理工艺,设计进水水质为 $\text{COD} \leq 700\text{mg}/\text{L}$, $\text{BOD}_5 \leq 250\text{mg}/\text{L}$, $\text{SS} \leq 350\text{mg}/\text{L}$,氨氮 $\leq 50\text{mg}/\text{L}$,出水水质达到《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB37 4809—2025) D 标准(COD : $50\text{mg}/\text{L}$ 、氨氮:夏季 7 个月 $5\text{mg}/\text{L}$ 、冬季 5 个月 $8\text{mg}/\text{L}$)。

本项目废水经污水处理厂集中处理后污染物外排量 COD 为 0.012t/a、NH₃-N 为 0.0015t/a，均纳入临港区污水处理厂总量指标管理。

9.2.5 固体废物

本项目去离子水直接外购、不在厂区内制备，本项目不产生离子交换树脂等废物。生活垃圾经厂区内集中收集后由环卫部门定期清运。

9.2.6 噪声影响分析

根据公司提供设计资料，本项目安装有两台臭氧风机（位于各机房北侧）、两个水冷机组（位于水冷室）、两个震荡柜（位于电气室），设备噪声值范围为 70dB（A）～80dB（A）。本次对风机等设备运行过程中产生的噪声进行评价。

1、预测模式

采用《环境影响评价技术导则—声环境》（HJ2.4-2021）中推荐模式进行预测。

a.单个室外的点声源预测模式

采用某点的 A 声功率级或 A 声级近似计算。

$$L_p(r) = L_p(r_0) - 20\lg(r/r_0) - A_{bar} \quad (9-14)$$

20lg（r/r₀）为几何距离引起的衰减；A_{bar} 为声屏障引起的衰减。

b.噪声预测值计算

预测点的预测等效声级按以下公式计算：

$$L_{eq} = 10\lg(10^{0.1L_{eqg}} + 10^{0.1L_{eqb}}) \quad (9-15)$$

2、参数选取

根据公司提供资料，本项目拟在风机等设备处安装消音器、设减震基础、通风管道均采用软性接头，可极大减少风机等设备产生的噪声，同时考虑墙体的隔声效应，根据经验值，隔声量按照 25dB（A）考虑，因此本次对风机等单台设备噪声源取值 55dB（A），每座机房的水冷机组、震荡柜等辅助设备噪声源取值 55dB（A）。

本项目主要噪声源及采取的降噪措施见表 9-12。

表9-12 噪声源及主要降噪措施一览表

噪声源	源强 dB(A)	降噪措施		治理后源强 (dB(A))	距各厂界最近距离（m）
		工艺	降噪效果		

			dB(A)		东	南	西	北
1#机房风机	80	基础减 振、隔 声、消声	25	55	57	120	29	6
1#机房水冷机组	80		25	55	57	115	24	6
1#机房震荡柜	80		25	55	43	115	38	6
2#机房风机	80		25	55	26	120	61	6
2#机房水冷机组	80		25	55	20	115	60	6
2#机房震荡柜	80		25	55	34	115	47	6

3、预测结果

本次评价考虑项目正常工况下，风机等设备全部运行时对厂界噪声贡献进行预测分析。预测结果见表 9-13。

表9-13 本项目运行后厂界噪声贡献值预测结果 单位：dB（A）

预测点	时段	本项目噪声贡献值	标准
东厂界	昼间	32.78	65
	夜间	32.78	55
南厂界	昼间	21.45	65
	夜间	21.45	55
西厂界	昼间	31.64	70
	夜间	31.64	55
北厂界	昼间	47.22	65
	夜间	47.22	55

经预测分析，在本项目设备全部运行状态下，各厂界噪声贡献值为 21.45dB(A)～47.22dB(A)，能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 3 类标准要求[昼间 65dB(A)，夜间 55dB(A)]。

9.2.7 年有效剂量估算

1、年有效剂量估算公式

$$E = H \times T \quad (9-16)$$

式中：E ——年有效剂量当量，Sv/a；

T ——年受照时间，h；

H ——X 剂量率，Gy/h。

2、照射时间确定

根据公司提供资料，以最大负荷计，工业电子加速器采用连续作业方式，每台加速器每天出束 16h，年工作 300d，故每台加速器年出束时间为 4800h。两台加速器共配备 8 名辐射工作人员，包括 4 名控制室操作人员和 4 名传送带搬运工，建设单位拟采取两班工作制，每名辐射工作人员年受照时间不超过 2400h。

3、职业人员的年有效剂量

本项目加速器运行时，4 名控制室操作人员主要位于二层控制室内控制台处，但操作人员在加速器运行时可能会在主机机房周边进行巡检，4 名传送带搬运工位于一层辐照室南侧传送带附近。本项目职业人员年有效剂量见表 9-14。

表 9-14 本项目职业人员年有效剂量计算结果

人员	场所名称	剂量率 (μSv/h)	照射时间 (h/a)	停留因子 (T)	年有效剂量 (mSv/a)	
控制室操作人员	设备平台	1.06	2400	1/16	0.159	0.321
	电气室	1.06	2400	1/16	0.159	
	过道	3.75×10 ⁻³	2400	1/16	5.63×10 ⁻⁴	
	水冷室或防护门	3.10×10 ⁻³	2400	1/16	4.65×10 ⁻⁴	
	控制室	8.95×10 ⁻⁴	2400	12/16	1.61×10 ⁻³	
传送带搬运工	辐照室南侧传送带	0.24	2400	1	0.576	

由表 9-14 可知，本项目职业人员的年有效剂量最大值为 0.576mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）提出的 5mSv/a 的管理剂量约束值。

4、公众成员的年有效剂量

本项目所涉及的公众主要包括加速器机房所在厂房周围公众人员以及本项目环境保护目标处的公众人员。因加速器开机运行后不允许人员进入二层主机室，因此本项目公众成员主要为辐照室周围公众成员。

本项目公众成员年有效剂量见表 9-15。

表 9-15 本项目公众成员年有效剂量计算结果

场所名称	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 (T)	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv)
加速器机房北侧（厂区内道路）	0.67	1/40	4800	0.056
1#加速器机房西侧（绿地）	0.45	1/40	4800	0.038

2#加速器机房东侧（卫生间）	0.45	1/16	2400	0.068
2#加速器机房东侧（配电室）	0.26	1/16	2400	0.039
加速器机房南侧 15m 处车间	0.0385	1	2400	0.092
机房周边* （受天空反散射影响的公众人员）	0.040	1	2400	0.096
注：①南侧车间工作人员年工作时间为 $8\text{h} \times 300\text{d} = 2400\text{h}$ 。②*周边人员保守估算，停留因子取 1，受照时间估算为 $8\text{h} \times 300\text{d} = 2400\text{h}$ 。				

由以上估算结果可以看出，本项目公众成员的年有效剂量最大为 0.096mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）提出的 0.1mSv/a 的管理剂量约束值。

9.2.8 运行分析与评价

由上述分析可知，本项目工业电子加速器运行时，加速器机房周围辐射水平均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

在每台加速器出束时间 4800 小时/年的条件下，职业工作人员的年有效剂量最大为 0.576mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）提出的 5mSv/a 的管理剂量约束值；公众成员年有效剂量最大为 0.096mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）提出的 0.1mSv/a 的管理剂量约束值。

总之，本项目海维电子科技（威海）有限公司加速器机房周围的辐射水平、职业工作人员及公众成员所接受的年有效剂量均小于评价指标，满足国家有关要求。

9.3 事故影响分析

1、可能发生的辐射事故

（1）人员误入或误留辐照室

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

（2）操作人员违规操作或误操作

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

(3) 通风系统故障或不畅

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

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

(5) 在检修期间，检修人员进入辐照室时未按规定程序，且公司辐照室内设置的一系列安全装置（如门机联锁装置、警铃及警示灯、监视器、辐照室内的紧急开关）全部失效的情况下，控制室的人员进行开机，可能造成重大辐射事故。

2、辐射事故防范措施

(1) 根据公司提供的资料，为防止人员误入或误留辐照室造成辐射事故，本项目加速器辐照室内设置了拉线开关、门机连锁、剂量探测器等多项安全防护设施，各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，辐照室出入口的安全联锁采用了机械的、电子的和剂量的联锁，各项辐射安全设施均具有独立性，某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。综上所述，本项目辐射安全措施符合辐射安全要求中的“纵深防御”、“冗余性”、“多元性”、“独立性”原则，可有效防止辐射安全事故的发生。本次评价要求建设单位定期巡检各项安全设施，确保各项安全设施均能正常运转。本项目设有多处剂量探头，对辐射水平进行实时监测。

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

(3) 为防止通风系统故障或者通风换气次数不足而造成辐照室内臭氧浓度积累，建设单位将定期对通风系统进行巡检，出现故障时应停止辐照工作，及时联系厂家进行维修。此外，在加速器停止照射后，职业人员将等待 0.06h（3.6min）再进入辐照室内，防止室内臭氧浓度过高造成伤害。

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

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

表 10 辐射安全管理

10.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置 10.1.1 管理机构 按照国家有关射线装置管理的法律法规，海维电子科技（威海）有限公司拟成立辐射安全领导小组，拟由法人作为辐射安全工作第一责任人，拟设立辐射安全管理机构，成立“辐射安全领导小组”，统一指挥射线装置运行安全的工作。 10.1.2 职业工作人员 公司拟配备 8 名职业工作人员专职进行本项目工业电子加速器的操作。公司拟尽快安排相关人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核成绩合格才能上岗。本次评价要求企业在辐射工作人员成绩报告单到期之前，及时组织工作人员参加核技术利用辐射安全与防护的再培训和再考核。
10.2 辐射安全管理规章制度 海维电子科技（威海）有限公司目前尚未制定辐射安全管理规章制度。公司拟尽快制定相关规章制度，包括《工业电子加速器安全操作规程》《辐射安全岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《工业电子加速器检修维护制度》《辐射安全防护设施检修维护制度》《电子加速器使用登记制度》《人员培训计划》《自行检查与年度评估制度》《辐射监测方案》《辐射事故应急预案》等。 各项规章制度中应对操作人员岗位责任、辐射防护和安全保卫、设备检修、使用等方面分别做出明确的要求和规定。在制定相关制度后，可以满足辐射管理要求。 公司须由辐射安全负责人负责宣传贯彻辐射安全的相关政策及法规，制定合理的规章制度及防护措施，对辐照工作提出合理建议并进行监督管理，对环境风险事故进行处理，对辐射工作人员的工作过程进行管理。
10.3 辐射监测 10.3.1 辐射监测方案 海维电子科技（威海）有限公司拟尽快制定《辐射监测方案》，并购置辐射检测仪器 1 台，根据监测方案对加速器机房周围环境进行监测。《辐射监测方案》中应包括以下内容： 1、场所监测

(1) 监测因子

X(γ)空气吸收剂量率。

(2) 监测频次

定期监测：正常情况下，每年进行 1~2 次例行监测。

应急监测：工作场所如发现或怀疑有异常情况，应对场所周围进行应急监测。

(3) 监测范围

加速器机房四周边界外 50m 范围内。

(4) 监测布点

监测点主要涵盖以下几处位置：

①通过巡测，发现的辐射水平异常高的位置；

②巡测辐照室、主机室防护门外；

③辐照室（可到达区域）、主机室四周边界外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个防护面至少测 3 个点；

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

2、个人剂量的监督与检测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）要求，公司拟安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，本项目职业工作人员均应配戴个人剂量计（每人 1 支，由个人剂量检测单位配发），委托有资质的检测机构每三个月检测一次，检测数据填入个人剂量档案。个人剂量档案要做到一人一档，其中应包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案需终生保存。

10.4 辐射事故应急

10.4.1 辐射事故应急预案

海维电子科技（威海）有限公司拟根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》等法律法规的要求，制定《辐射事故应急预案》。一旦发生风险事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。该预案应包括以下内容：

1、辐射事故应急处理机构与职责

(1) 公司应成立辐射事故（事件）应急处理领导小组，组织开展风险事件的应急处理工作。应急预案中应明确应急处理领导小组名单及联系方式。

(2) 应急处理领导小组职责

a.定期组织对检测电子辐照现场、设备和人员进行辐射防护情况自查和检测，发现事故隐患及时督导整改；

b.发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；

c.事故发生后立即组织有关部门和人员进行事故应急处理；

d.负责向生态环境部门及卫生行政部门及时报告事故情况；

e.负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

f.人员受照时，要迅速估算受照人员的受照剂量；

g.负责迅速安置受照人员就医，及时控制事故影响。

2、辐射事故应急原则

《辐射事故应急预案》中应明确辐射事故应急原则，一般包括以下原则：

a.迅速报告原则；

b.主动抢救原则；

c.生命第一的原则；

d.科学施救，防止事故扩大的原则；

e.保护现场，收集证据的原则。

3、辐射事故分级

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故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。

1、特别重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

2、重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

3、较大辐射事故，是指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失

控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

4、一般辐射事故，是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

4、辐射事故应急预案的启动及应急行动的终止

《辐射事故应急预案》中须明确应急预案的启动程序和应急行动的终止程序。

（1）应急预案的启动

a、明确应急预案的启动条件，如出现人员受照事故、人员个人剂量超标、辐射剂量率超标、设备无法关机等情况时及时启动应急预案；

b、当发生辐射事故时，由专人向公司辐射事故应急行动负责人报告，并由指定人员及时向卫生、公安、生态环境部门报告，应急预案中须明确内部联系人员及卫生、公安、生态环境部门的联系方式。

（2）应急行动的终止

a、明确应急行动的终止条件，如实现受照人员得到救治、现场辐射水平降低至规定限值以下、设备修复完成等情况，且得到行政主管部门批准后，可终止本次应急行动；

b、指定专人发布应急行动的终止，并由辐射事故应急处理机构对当次辐射事故应急行动进行总结和反思，及时收集与事故有关的物品和资料，做好调查研究工作，认真分析事故原因，并采取妥善措施，尽量减少事故发生。

5、辐射事故应急处理程序

《辐射事故应急预案》中须明确应急处理程序，可参照以下内容进行制订：

a.事故发生后，当事人应立即切断电源，同时通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报辐射事故应急处理领导小组；

b.应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

c.事故处理必须在应急处理领导小组的领导下，在有经验的工作人员和辐射防护人员的参与下进行；

d.各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。

总之，为减少事故发生，必须加强管理力度，提高职业人员的技术水平，严格按规范操

作，认真落实应急预案，并加强设备检查和维修，减少故障发生，提高单位应急能力。

10.4.2 应急培训与演练计划

1、培训

结合公司具体情况，制定辐射事故应急培训计划和方案，每年对辐射事故应急响应有关人员至少进行一次培训。

2、演练

结合公司具体情况，根据辐射事故应急预案，每年至少有计划、有组织地开展一次辐射事故应急演练。演练结束后，应及时总结评估辐射事故应急预案的可行性，必要时，对应急预案做出修改和完善。

表 11 结论与建议

11.1 结论

1、海维电子科技（威海）有限公司工业辐照中心建设项目位于山东省威海市临港经济技术开发区福州路东、威海路北，拟建设 2 座加速器机房，并于每座加速器机房内安装 1 台 DZ-10/25 型电子加速器用于辐照加工。

本项目属使用Ⅱ类射线装置项目。项目建设具有可行性，并有利于经济发展，具有明显的经济效益和社会效益，符合正当性原则。

2、根据《临港区蔚山镇国土空间规划（2021—2035 年）》，本项目所在厂区用地性质为工业用地，因此本项目用地性质符合区域土地利用总体规划。经分析，加速器机房周围的辐射水平可满足国家相关要求，经过距离衰减，本项目对周围环境辐射影响较小。

3、本项目为使用工业电子加速器进行辐照产品的加工。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于鼓励类、限制类和淘汰类，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。项目建设符合威海市“三线一单”的要求。

4、根据现状检测结果，本项目加速器机房拟建区域及四周环境 γ 辐射剂量率现状值为 $41.3\text{nGy/h} \sim 42.9\text{nGy/h}$ ，即 $(4.13 \sim 4.29) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，处于威海市（原烟台地区）环境天然辐射水平范围内[原野 $(2.14 \sim 12.05) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$]。

5、根据理论计算结果，工业电子加速器运行时，2 座加速器机房周围及室顶辐射水平均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值。

在曝光时间 4800 小时/年的条件下，职业工作人员的年有效剂量低于 5mSv/a 的管理剂量约束值，公众成员年有效剂量低于 0.1mSv/a 的管理剂量约束值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）管理剂量约束值要求。

5、通过估算，在不考虑臭氧分解的情况下，2 座加速器机房臭氧的最大落地浓度为 0.1116mg/m^3 （ $111.6\mu\text{g/m}^3$ ），低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧 1 小时平均浓度限值 $200\mu\text{g/m}^3$ ）。氮氧化物产生量较小，经排风管道、排气筒排放至外环境，对周围环境产生的影响较小。生活污水经化粪池预处理后排入临港区污水站深度处理、不直接外排。生活垃圾产生后由环卫部门定期清运处理。本项目设备布置在室内，对机械

设备产生的噪声，采用减震、隔音等措施，经预测，本项目噪声对周围环境影响较小。

6、本项目加速器机房内设计有紧急停机按钮、拉线开关、门机连锁、辐射监测装置等多项安全防护设施，可满足辐射安全防护要求。

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

8、公司拟为本项目配备 8 名辐射工作人员，专职负责本项目电子加速器的运行，公司拟尽快安排相关人员参加辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核成绩合格后方可上岗。

9、公司拟配备个人剂量计 8 支（每人 1 支，由个人剂量检测单位配发）、个人剂量报警仪 4 部、辐射巡检仪 1 台，可满足相关要求及工作需求。

10、公司拟定期对工作人员的个人剂量进行监督检测，并建立工作人员个人剂量档案。个人剂量档案内包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，终生保存。

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

综上所述，在海维电子科技（威海）有限公司认真落实相关法律法规和本次评价所提出的安全防护措施后，该单位将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，从辐射环境保护的角度分析，该项目的运行是安全可行的。

11.2 承诺和建议

11.2.1 承诺

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

11.2.2 建议

1、本项目所在厂区北侧、东侧现为空地，目前尚未明确规划用途，建议加速器机房建成运行后，建设单位及时对机房周围环境进行检测，确保机房周围辐射剂量率满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。北侧及东侧厂界外用地规划确定后，及时对其公众成员的年有效剂量进行估算，确保满足 0.1mSv/a 的管理剂量约束值。

2、建议建设单位加强辐照室货物进出口处管理，防止人员误入辐照室，造成人员误照射。

3、加强对工作人员的教育和培训，避免辐射事故（件）的发生。

4、根据实际工作情况不断完善操作规程、管理制度以及应急响应方案。

5、对操作人员，要求熟知防护知识，能合理的应用“距离、时间、屏蔽”的防护措施，使公众和工作人员所受到的照射降到“可合理达到的尽量低水平”。