

核技术利用建设项目

厦门安诺辐照有限公司
1 台电子加速器辐照项目

环境影响报告表
(公示稿)

厦门安诺辐照有限公司

二〇二四年二月



核技术利用建设项目

厦门安诺辐照有限公司
1 台电子加速器辐照项目

环境影响报告表



建设单位名称：厦门安诺辐照有限公司

通讯地址：厦门市翔安区翔安东路 10888 号

邮政编码：361100

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	13
表 3	非密封放射性物质	13
表 4	射线装置	14
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	15
表 6	评价依据	16
表 7	保护目标与评价标准	18
表 8	环境质量和辐射现状	25
表 9	项目工程分析与源项	29
表 10	辐射安全与防护	36
表 11	环境影响分析	49
表 12	辐射安全管理	68
表 13	结论与建议	73
表 14	审批	78

附件 1 委托书

附件 2 辐射安全许可证

附件 3 辐射安全与防护管理小组

附件 4 厦门安诺辐照有限公司辐射工作相关管理制度

附件 5 辐射事故应急预案

附件 6 辐射工作人员辐射安全与防护培训情况统计表

附件 7 外照射个人剂量监测报告

附件 8 职业健康检查结果总结报告

附件 9 辐射环境检测报告

附件 10 2023 年度场所监测报告

附件 11 厦门安诺辐照有限公司二期工程项目备案

表 1 项目基本情况

建设项目名称	厦门安诺辐照有限公司 1 台电子加速器辐照项目				
建设单位	厦门安诺辐照有限公司				
联系人	蔡锦涛	联系电话	13395999906		
注册地址	厦门市翔安区翔安东路 10888 号				
项目建设地点	厦门市翔安区翔安东路 10888 号				
立项审批部门	厦门市翔安区发展和改革局	批准文号	翔发改备 2023307		
建设项目总投资 (万元)	3000	项目环保投资 (万元)	200	投资比例	6.7%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (平方米)	1784.94
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			

1.1 建设单位情况

厦门安诺辐照有限公司（曾用名：厦门万核园发展有限公司，下文简称“安诺辐照公司”）成立于 2002 年，坐落于厦门市翔安区翔安东路 10888 号，占地面积 38 亩。公司现有一座钴 60 辐照装置，设计装源容量为 $7.4 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，主要用于伽玛射线辐照加工，其范围为：医疗用品、药品、食品、包装材料辐照灭菌、消毒；农副产品保藏、保鲜；化工产品改性等。公司建立有完善的质量管理体系，通过国际权威认证公司（SGS）的 ISO 13485:2003、ISO 9001:2008 质量体系认证、日本医疗器械监管机构

NINTEI 认证和美国 FDA 注册合同灭菌商认可，为福建省内专业从事辐照消毒、灭菌及高分子材料改性技术服务的企业，隶属于民用非动力核技术应用产业。

1.2 项目由来与建设内容

随着市场对辐照加工需求的增大，安诺辐照公司计划扩建二期工程，于 2023 年 9 月 25 日在厦门市翔安区发展和改革局备案（项目名称：厦门安诺辐照有限公司二期工程项目，翔发改备 2023307 号），项目总投资 23000 万元，拟扩建建筑面积约 49891.69 平方米，其中 2 号厂房建设 8 层面积约 42457.14 平方米，地下停车场约 2152.92 平方米，3 号厂房建设 4 层面积约 6124.48 平方米，主要用于方便食品制造、快熟食品制造、电子加速器应用及上下游配产业。

为满足生产需要，厦门安诺辐照有限公司拟在 3 号厂房内建设一条辐照灭菌加工线，新增 1 台电子加速器辐照装置（电子束最大能量 10MeV，束流强度 2.2mA）。项目主要在厂房内建设 1 座电子加速器辐照机房和配套的控制室、设备间等工作用房。机房四周墙体及顶棚主要采用混凝土现浇（回填），并设置迷路和动力通风装置等防护措施。目前，3 号厂房西侧办公区已开始建设，电子加速器辐照机房及配套工作用房等未动工。本次评价涉及的新增射线装置情况详见表 1.2.1。

表 1.2.1 本项目射线装置基本情况

序号	射线装置	型号	数量	类别	最大能量	额定电流	使用场所	备注
1	电子加速器辐照装置	AB10.0/800	1	II 类	10MeV	2.2mA	3 号楼厂房加速器机房	拟购

根据《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 2017 年第 66 号）可知，电子直线加速器辐照设备属于 II 类射线装置。根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规，本项目应编制环境影响报告表。因此，厦门安诺辐照有限公司于 2023 年 10 月委托福建省金皇环保科技有限公司对厦门安诺辐照有限公司 1 台电子加速器辐照项目进行环境影响评价工作。

我公司接受委托后，派技术人员到现场进行调查和资料收集，在完成污染源分析等工作的基础上结合本项目的特点，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求编制完成了《厦

门安诺辐照有限公司 1 台电子加速器辐照项目环境影响报告表》。本次环境影响评价重点是对项目在施工和运营过程中可能产生的环境影响进行分析，并在此基础上提出相应的环境保护措施，为生态环境主管部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

1.3 原有核技术应用项目许可情况

安诺辐照公司现有辐射安全许可证内容为“使用 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类放射源”，证书编号为“国环辐证[00441]”。

安诺辐照公司于 2005 年 10 月委托中国原子能科学研究院环境影响评价中心编制《厦门万核园辐照技术有限公司辐照中心环境影响报告书》，评价内容包括：建设辐照中心；使用 Co-60 放射源，属于 I 类放射源。该报告书已于 2006 年 1 月 5 日取得原福建省环保局批复（国环保监[2006]1 号），并于 2011 年 11 月 7 日通过福建省生态环境厅竣工环保验收（闽环辐验[2011]13 号）。此外，安诺辐照公司还使用 3 枚 V 类放射源，均已进行环评登记表备案。

原有核技术应用项目许可情况见表 1.3.1。

表 1.3.1 企业已许可放射源一览表

序号	核素名称	总活度 (Bq)	类别	使用场所	备注
1	Co-60	7.4×10^{16}	I 类	厦门安诺辐照有限公司 Co-60 车间	已环评、已获得辐射安全许可、已验收。
2	Cs-137	1.524×10^5	V 类		已环评备案、已获得辐射安全许可。
3	Cs-137	3.7×10^5	V 类		
4	Cs-137	3.7×10^5	V 类		

1.4 原有核技术应用项目辐射安全管理及防护情况

(1) 辐射防护管理制度

厦门安诺辐照有限公司已成立辐射安全与防护管理小组，制定了《辐照装置运行操作规程》《个人剂量和职业健康管理规定》《辐射防护培训规定》《辐射事故应急预案》等辐射管理规章制度，部分相关规章制度已上墙明示，并已严格执行。

(2) 辐射工作人员管理情况

公司现有辐射工作人员共计 7 名，已建立辐射工作人员培训、职业健康监护和个人剂量监测档案，根据档案记录：

①截止 2024 年 2 月，7 名辐射工作人员均参加辐射安全与防护培训，且考核合格。

②公司为辐射工作人员配备了个人剂量计，由专人负责收集个人剂量计，并委托厦门亿科特检测技术有限公司承担个人剂量监测工作，监测频度为1季度1次。根据2023年1月-2023年12月四个季度职业外照射个人剂量监测结果来看，辐射工作人员四个季度的个人剂量最大值为0.2mSv（王树，工业辐照），低于《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剂量管理值5mSv/a的要求。

③公司已为辐射工作人员建立职业健康监护档案，由厦门医学院附属第二医院对辐射工作人员进行职业健康体检，并出具相应《厦门安诺辐照有限公司职业健康检查结果总结报告书》，个人职业健康体检报告均存档备案。

（3）辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，公司每年委托有资质单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为1次/年，并将监测数据记录存档。

2023年度已委托厦门亿科特检测技术有限公司开展辐射工作场所检测，根据监测结果来看，未出现超标情况。

（4）辐射监测仪器配备情况

企业为辐射工作人员配备了必要的辐射监测仪器，具体辐射监测仪器清单见表1.4.2。

表 1.4.2 企业辐射监测仪器一览表

序号	仪器名称	型号	数量	状态	存放位置
1	固定式剂量监测仪	SQDM	1套	正常	Co-60控制室
2	便携式剂量监测仪	FD3013B	2台	正常	Co-60控制室
3	个人剂量报警仪	RG1100	2台	正常	Co-60控制室

（5）辐射工作管理情况企业日常按照制定的一系列规章制度开展辐射工作管理，已提交2023年度辐射安全和防护状态年度评估报告；建立个人剂量计档案和职业健康体检档案，并指定专人管理，定期委托有资质的单位开展个人剂量计检测、组织辐射工作人员进行职业健康体检；企业安排责任部门日常定时巡查、检测设备性能，据调查，截止目前，厦门安诺辐照有限公司使用的放射源正常运行，未发生辐射事故。

1.5 项目地理位置和周边概况

本项目位于厦门市翔安区翔安东路10888号厦门安诺辐照有限公司的3号厂房

内，厂区北侧为厦门熠明机械科技有限公司，东侧为湖口路，南侧为厦门鑫志恒海绵制品有限公司，西侧为翔安东路。

3号厂房位于厂区中部，北侧为厂区道路和安诺辐照综合楼，东侧为Co-60车间，南侧为厂区道路，与鑫志恒海绵制品有限公司宿舍一墙之隔，西侧为厂区道路。

本项目电子加速器辐照装置位于3号厂房内的加速器机房，机房为两层混凝土结构，机房一层为辐照室，机房二层为主机室，四周包含控制室、水机组间、电源间、走道等场所，上方无人员停留空间，且不设置到达屋顶的楼梯等辅助设施，无地下室。

项目地理位置及其周边环境现状分布图见图1.5-1和图1.5-2所示，厂区平面布置图见图1.5-3，加速器机房平面布置图见图1.5-4~1.5-5，现场照片见图1.5-6。

1.6 项目选址及合理性分析

安诺辐照公司拟在现有厂区内扩建电子加速器辐照生产线。现有厂区位于翔安区马巷镇巷北工业区内，四周均为生产型企业（含员工宿舍）和市政次干道，新增电子加速器机房集中布置于厂区中部，与现有的Co-60车间相邻，尽量远离厂界，机房设有单独出、入口，可做到相对独立布置和集中设置。

本项目50m评价范围内的环境敏感点主要为北侧已建、西侧在建的安诺辐照综合楼（15m）和办公楼（2m），以及南侧的厦门鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼（35m）。本项目机房位于3号厂房内，仅加速器机房的操作人员和搬运工人可以进入该区域内。

机房采用专业辐射屏蔽设计方案，由混凝土现浇，设置迷道、动力通风装置等防护措施，经预测，在本项目防护设施、距离以及隔室墙体衰减后，控制区外30cm处周围剂量当量率低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准，环境敏感点的公众成员个人年有效剂量低于 0.1mSv ，均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中有关辐射屏蔽设计的要求。

综上所述，本项目辐射工作场所选址考虑了周边情况，项目作业与其他车间不交叉，避开人群聚集区，在采取设计的防护措施情况下，运行时对周围环境辐射影响小。总体来说，本项目选址是合理的。

1.7 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素

之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。

辐照灭菌是利用电离辐射杀死大多数物质上的微生物的一种有效方法，具有灭菌彻底、成本低、节约能源、穿透力强、无残留等优点，目前该技术已被广泛应用与食品、药品、医疗器械、化妆品、保健品、包装材料、肉制品、玩具等灭菌处理，具有广阔的市场前景和明显的社会效益。

本项目机房整体布局较为合理，工作场所按相关规范、标准要求进行了设计，防护措施满足标准要求。项目实施后有利于促进园区内辐照加工业的发展，对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”原则。

1.8 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号），本项目属于“鼓励类”中“六、核能”中的“4、同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目。因此本次厦门安诺辐照有限公司 1 台电子加速器辐照项目符合国家产业政策。

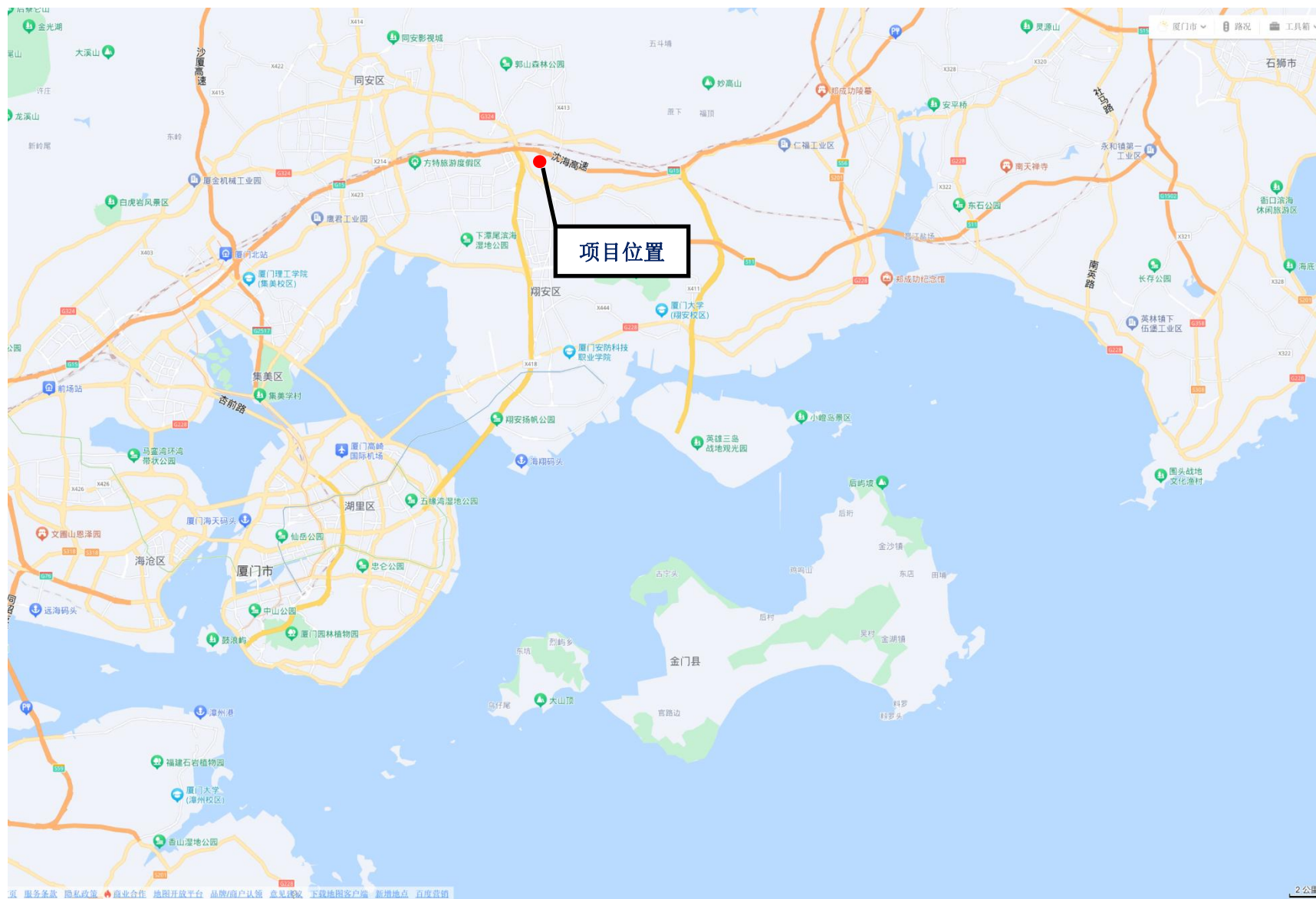


图 1.5-1 本项目地理位置图

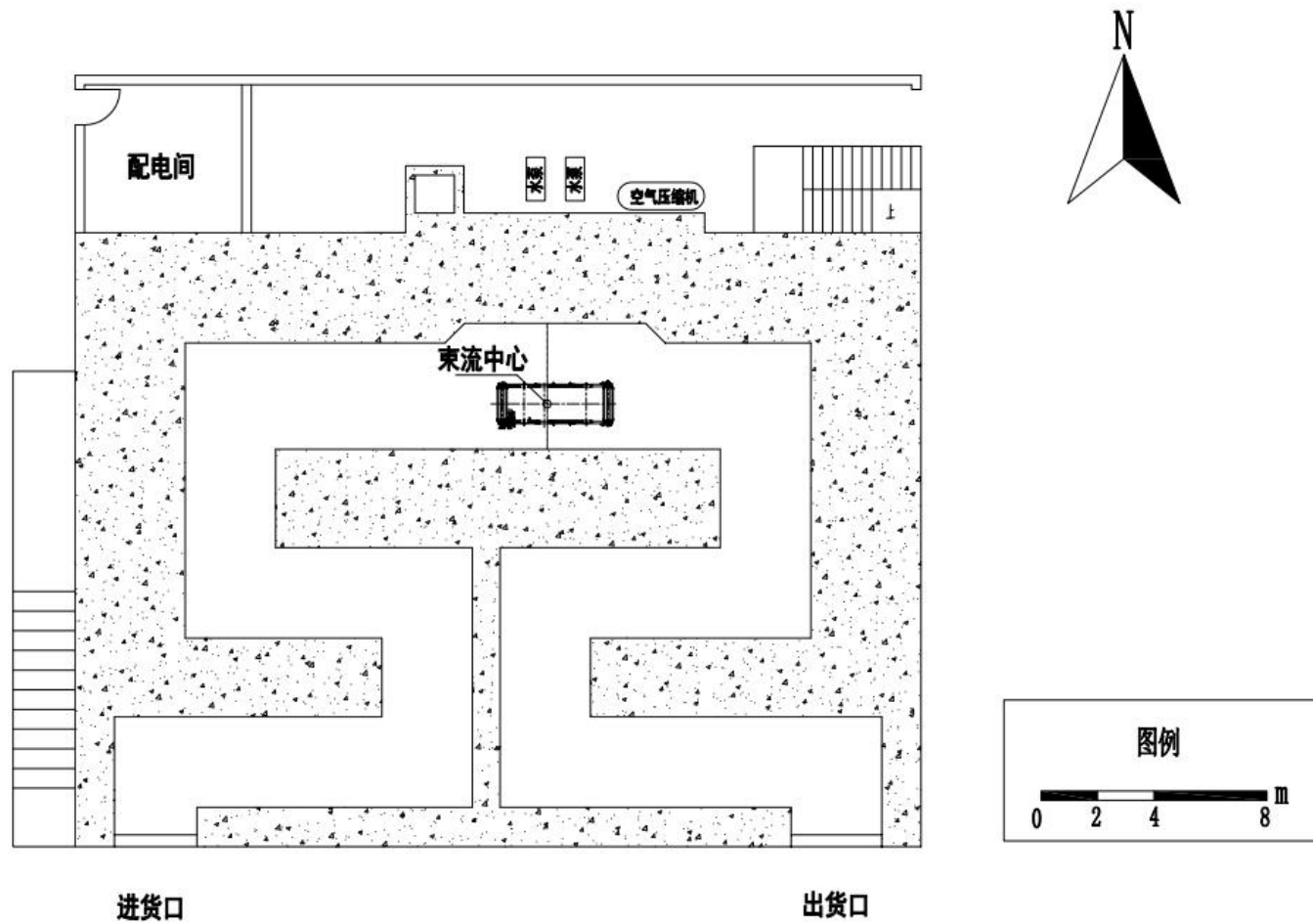


图 1.5-4 本项目加速器机房平面布置图（一楼）

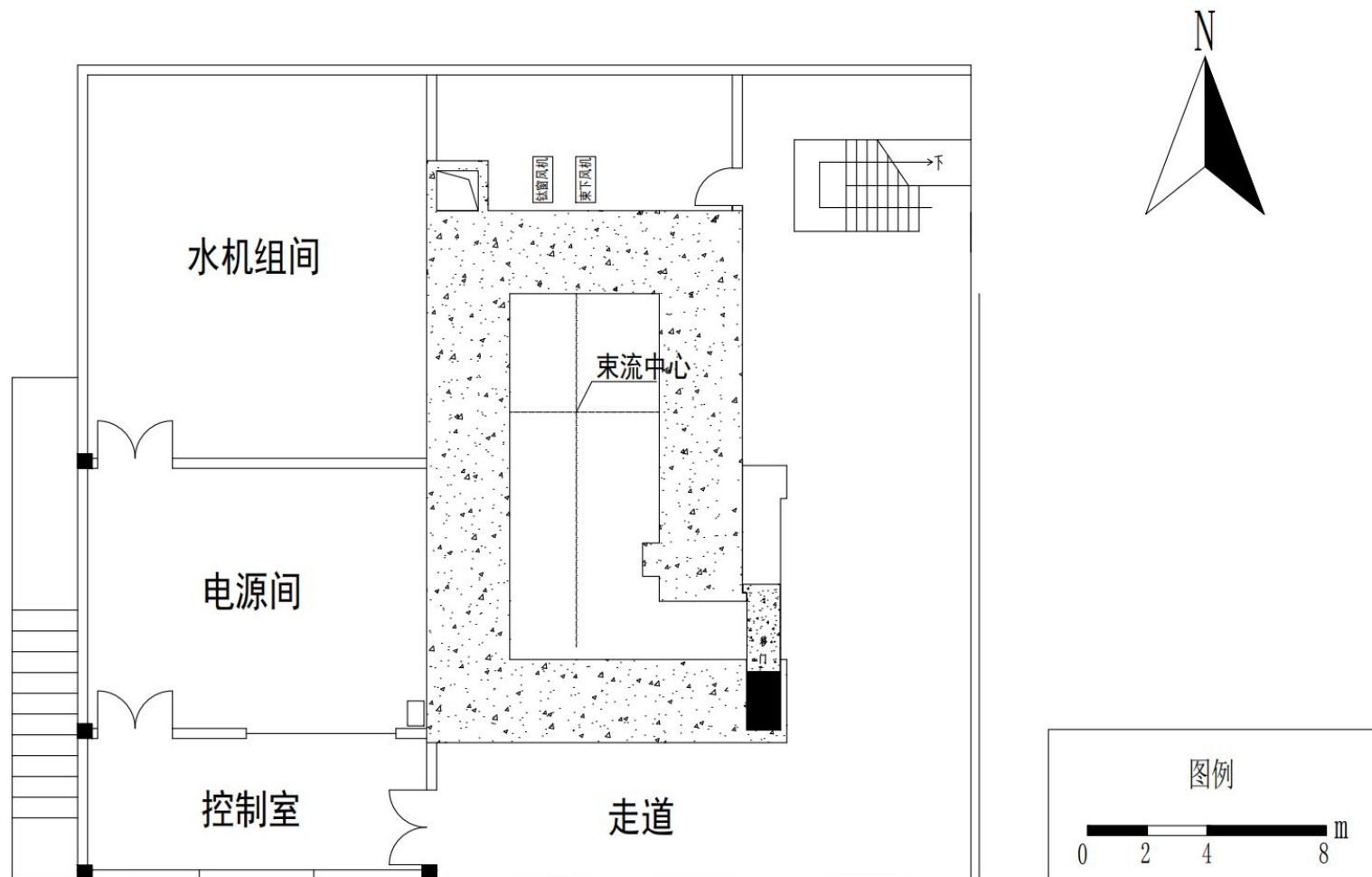


图 1.5-5 本项目加速器机房平面布置图（二楼）



图 1.5-6 本项目周边现状照片

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》(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	电子加速器辐照装置	II 类	1	AB10.0/800	电子	10MeV	2.2mA	辐照灭菌	3 号厂房加速器机房	/

(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（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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	通过机房排风系统排入大气	排入大气，臭氧在 20~30 分钟左右可自动分解

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	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015年1月1日实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018年12月29日修订；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订版），国务院令第七09号，2019年3月18日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017年10月1日实施；</p> <p>(6) 《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2017年第66号，2017年12月5日；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，2021年1月1日实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011年5月1日；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021年1月4日修订；</p> <p>(10) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007年11月1日；</p> <p>(11) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》，环办函[2006]629号，2006年9月27日；</p> <p>(12) 《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》，环发[2006]145号，2006年9月26日；</p> <p>(13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日；</p> <p>(14) 《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》中华人民共和国生态环境部，2019年12月23日；</p> <p>(15) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》；</p> <p>(16) 《福建省环境保护条例》，2012年3月31日修订；</p> <p>(17) 《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》（闽环保辐射[2013]10号），2013年3月15日印发；</p>
------	---

技 术 标 准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(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》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(4) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985)；</p> <p>(5) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)；</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)；</p> <p>(7) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(9) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(11) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)；</p> <p>(12) 《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)；</p> <p>(13) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)；</p> <p>(14) 《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》(GBZ 2.1-2019)；</p> <p>(15) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)。</p>
其 他	<p>(1) 委托书；</p> <p>(2) 厦门安诺辐照有限公司提供的机房建筑设计图、以及与建设项目相关的技术资料；</p> <p>(3) 福建省一准医学检测科技发展有限公司出具的检测报告。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目使用 II 类射线装置，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）中，“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”，根据本项目特点，本项目评价范围确定为：电子加速器机房实体屏蔽物外 50m 范围内，见图 1.3-2。

7.2 保护目标

本项目评价范围及保护目标见图 1.3-2 和图 1.3-3，本项目辐射环境评价范围内最近敏感点为南侧 35m 的鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼，范围内无学校、居民区等敏感目标分布，评价范围内保护目标主要为辐射工作人员、其他工作人员及周边的公众人员等。本项目环境保护目标情况见表 7.2.1。

表 7.2.1 本项目环境保护目标一览表

序号	保护目标名称		方位	距离 (m)	规模	保护要求 (mSv/a)
1	本项目辐射工作人员		加速器机房控制室	紧邻	约 5 人	5 ^①
2	机房四周的公众	其他工作人员、周边的公众人员	厂房（含仓库、上料区、下料区以及其他评价范围内区域）	5~16	约 20 人	0.1 ^①
			东侧钴 60 车间	5	约 7 人	
			北侧厂区道路和综合楼	15	流动人员约 5 人	
			3 号楼厂房办公区	2	流动人员约 10 人	
			南侧鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼	35	约 30 人	

注：^①《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的要求。

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》（GB 18871-2002）

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制,以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外,由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总剂量当量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。

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;

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:

年有效剂量, 1mSv;

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区,以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区,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的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区:这种区域未被定为控制区,在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.2 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

4 一般要求

4.1 辐射安全要求

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经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

4.1.3 在控制区出入口处和其它必要的地方，应设立醒目的、符合 GB 18871 规定的警告标志。

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

(1) 辐射实践的正当性

电子加速器辐照装置的建设立项，必须进行正当性分析，以确定其该项目的正当性。

(2) 辐射防护的最优化

电子加速器辐照装置的设计和建造要求所有照射剂量都保持在规定限值以内，并在考虑社会和经济因素之后，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应保持在可合理达到的尽量低的水平，即 ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 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。

5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

5.1 屏蔽设计原则

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

5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括：辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1 联锁要求

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

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

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

6.2 安全设施

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

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

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

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

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

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

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

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开；

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值；

(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

6.3 其他要求

6.3.1 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 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 GB 3095 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。

7.3.3 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）

8.1.3 辐射防护安全要求：

- a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C₂₀，密度不应低于 2.35g/cm³。
- b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供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 5172-1985 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显示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) 按照 GBZ 2.2-2007，有害气体职业接触限值如下：臭氧最高容许浓度 0.3mg/m³。

7.3.4 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）

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：

- (2) 距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。
- (3) 对于单层建筑的辐照装置，过辐射源中心垂直于辐照室屏蔽墙的任一垂线上，自屏蔽墙外表面至距其 20m 范围内人员可以到达的区域。
- (4) 对于单层建筑的辐照装置，当距其 50m 内建有高层楼房且高层位于辐射源照射装置至辐照装置室顶所张的立体角区域内时，在辐照装置室顶和（或）相应的建筑物高层测量。

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：辐照室各入口、出口，穿过辐照室的通风、管线外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外，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。

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 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 。在屏蔽体的任何 100cm^2 表面积上的平均剂量率允许达到 $2.5 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$ ，但在距屏蔽体的可达界面 1m 处且与该界面平行的 1m^2 ，面积上的平均剂量率不得超过 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 。

综上所述，辐射评价标准及相关规定，辐射工作人员的年有效剂量控制取 HJ 979-2018 中辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv，公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。辐照机房外 0.3m 处空气比释动能率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 进行控制。

7.3.5 其他相关环保标准

(1) 大气污染物排放标准

①施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表 2 中的标准，标准限值见表 7.3.1。

表 7.3.1 大气污染物排放限值（摘录）

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度 (mg/m^3)
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

②运营期机房内执行《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》（GBZ 2.1-2019）和《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2002）中标准，具体标准限值见表 7.3.2。

表 7.3.2 大气污染物标准限值（摘录）

污染物	浓度限值	标准
臭氧	最高容许浓度（MAC） $0.30 \text{mg}/\text{m}^3$	《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》（GBZ 2.1-2019） 《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2002）中标准
臭氧	$0.16 \text{mg}/\text{m}^3$ （1 小时平均值）	
二氧化氮	$0.24 \text{mg}/\text{m}^3$ （1 小时平均值）	

(2) 噪声排放标准

项目施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011），标准限值见表 7.3.3。

表 7.3.3 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)

昼间	夜间
70	55

表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本次评价委托福建省一准医学检测科技发展有限公司于 2023 年 11 月 10 日对本项目工作场所及其周围环境进行 γ 辐射剂量率背景水平调查。

8.1 项目的地理和场所位置

本项目位于厦门市翔安区翔安东路 10888 号厦门安诺辐照有限公司的厂区 3 号厂房内，厂区北侧为厦门熠明机械科技有限公司，东侧为湖口路，南侧为厦门鑫志恒海绵制品有限公司，西侧为翔安东路，目前，3 号厂房西侧办公楼已开始建设，拟建机房位置还未动工。

项目地理位置见图 1.3-1，周边环境情况见图 1.3-2，机房平面图见图 1.3-3。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(1) 现状评价的对象：本项目工作场所及周围环境辐射水平。

(2) 监测因子： γ 辐射剂量率。

(3) 监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关布点原则和方法，并结合本项目的实际情况，对项目所在地周围布置 8 个监测点位。本项目监测期间，钴 60 车间处于停运状态，监测点位见表 8.2.1 和图 8.2-1。

表 8.2.1 γ 辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表

点位	位置	检测值 (nGy/h)
1#	加速器机房拟建处	32.3±5.6
2#	拟建加速器厂房北侧	31.2±5.5
3#	拟建加速器厂房西侧	29.7±5.2
4#	拟建加速器厂房东侧（钴 60 车间西侧）	33.0±7.7
5#	拟建加速器厂房南侧	31.6±4.3
6#	拟建加速器厂房北侧综合楼前	39.9±3.8
7#	厦门安诺辐照有限公司大门处	24.2±6.1
8#	厦门鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼	42.8±5.8

注：检测方式为巡测，该方向巡测中的最大检测数值；表中检测结果已扣除宇宙射线响应值，宇宙射线响应值为 72.3593nGy/h。

(4) 检测方法、检测仪器及检测条件

本次检测方法依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）以及《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）。

本次 γ 辐射剂量率检测仪器为 FJ1200 型环境级 X、 γ 剂量当量（率）仪，仪器参数见表 8.2.2。

表 8.2.2 γ 辐射剂量率背景水平检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	环境级 X、 γ 剂量当量（率）仪
仪器型号	FJ1200 型
出厂编号	23D0095
校准因子	0.99
检定/校准单位	中国辐射防护研究院
检定/校准证书编号	检字第[2023]-R3536
检定有效期	2023 年 6 月 13 日~2024 年 6 月 12 日
检测条件	环境温度（26° C）；环境湿度 54（%RH）；天气状况：阴

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下：

(1) 监测单位：福建省一准医学检测科技发展有限公司，公司已通过资质认定，CMA 编号：22130310A002；

(2) 监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点；

(3) 监测期间监测仪器处于有效期内；

(4) 测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好；

(5) 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；

(6) 监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；

(7) 检测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.1，检测报告见附件 9。

从表 8.2.1 可知，本项目位于室外的点位（1#~8#） γ 辐射剂量率在 $24.2 \pm 6.1\mu\text{Sv/h}$ ~ $42.8 \pm 5.8\mu\text{Sv/h}$ 之间。参照《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年）中，厦门市室外（含原野及道路）扣除宇宙射线响应值后的辐射环境本底范围值 $44.2\sim 101.0\text{nGy/h}$ 。对比结果显示，本项目所在地及工作场所的 γ 辐射剂量率不高于正常环境本底水平。

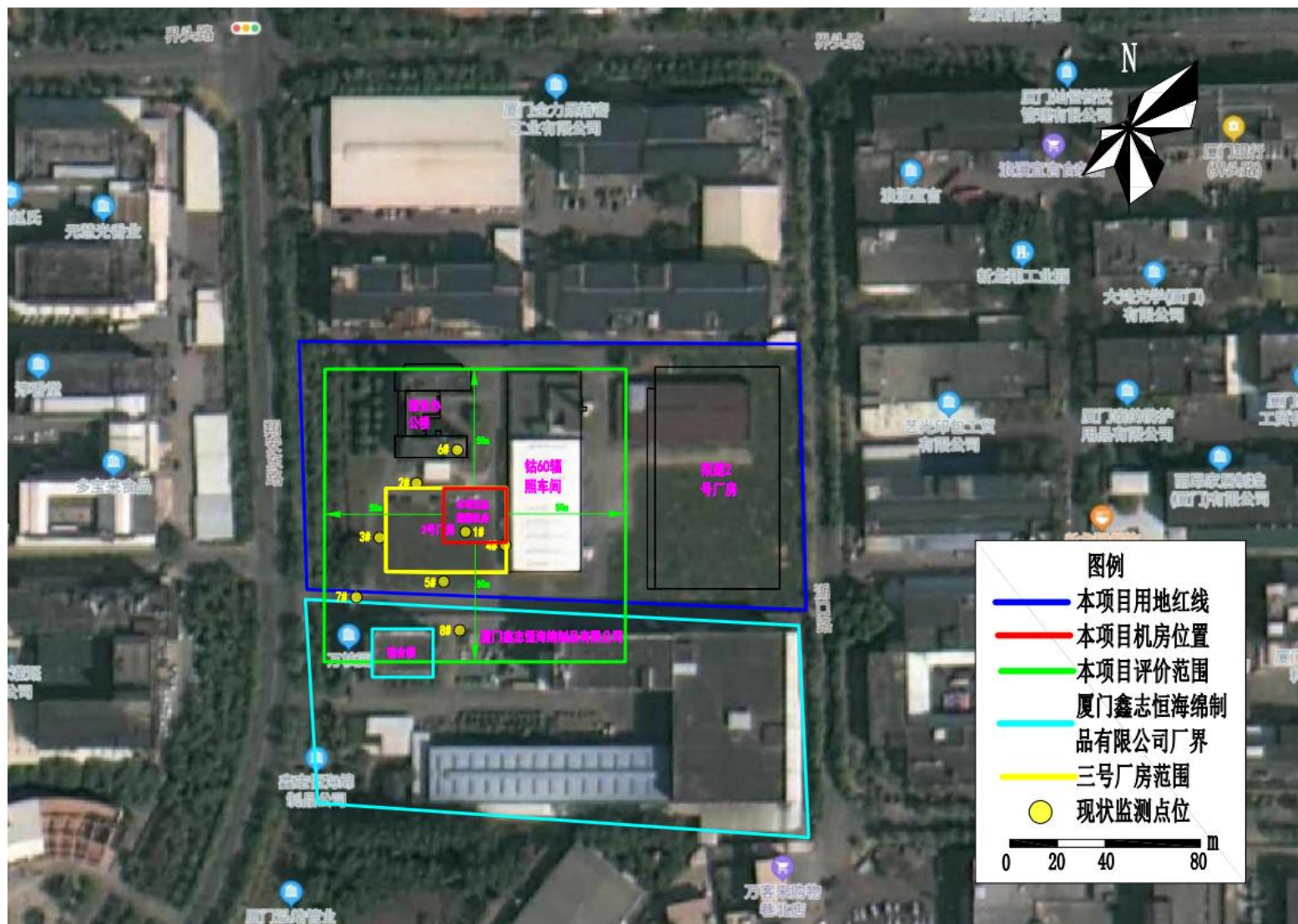


图 8.2-1 厦门安诺辐照有限公司 γ 辐射剂量率监测点位分布图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 电子直线加速器工作原理

辐照灭菌是指利用 γ 射线或能量低于 5MeV 的 X 射线和 10MeV 以下的电子束等电离辐射装置对食品、药品、医疗器械、化妆品等以灭菌为目的的辐射处理。灭菌是指使产品无活微生物的加工。在灭菌加工中，微生物的死亡遵循指数函数的规律，任何单件产品上微生物的存在可用概率表示，该概率可以减少到非常低的数目。辐照灭菌法与化学灭菌法、高压蒸汽灭菌法相比，具有节约能源、污染小、操作安全，可对包装物品和热敏材料进行灭菌，可实现连续自动化生产等优点。电子加速器是使用微波电磁场加速电子的加速器，带电粒子从加速器的真空区被引出后射向辐照室中待辐照产品。本项目选用的辐照电子加速器的工作原理便是利用电子加速器产生的高能电子束作用于辐照产品，实现灭菌目的。

9.1.2 工艺简介

本项目电子加速器主要由电子枪、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、控制系统等组成。本项目工业电子加速器的结构图见图 9-1。加速器在进行辐照时由电子枪发射电子，电子经加速器管加速并经扫描盒扩展成为均匀的有一定宽度的电子束，以对食品、医疗用品、保健品、药材、化妆品、水果、农产品等进行辐照灭菌保鲜加工服务。

辐照室为钢筋混凝土结构，加速器装置的主要部分安装在二层的主机室内，粒子引出系统位于加速器装置机身正下方，通过二层楼地板伸向首层的辐照室。接受辐照的物品通过自动传送系统从入口经迷道进入辐照室，到达粒子引出系统正下方的电子束有用线束范围内进行辐照，之后又经过迷道从辐照室的出口离开辐照室。

辐照加速器需要建设工业辐照专用的辐照室，以屏蔽加速器装置运行时的辐射影响，保证辐照室外工作人员的安全。加速器工作时，设备操作人员位于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，装卸货物的工人位于辐照室外装卸货区。加速器出束时，主机室及辐照室内均无人员停留。

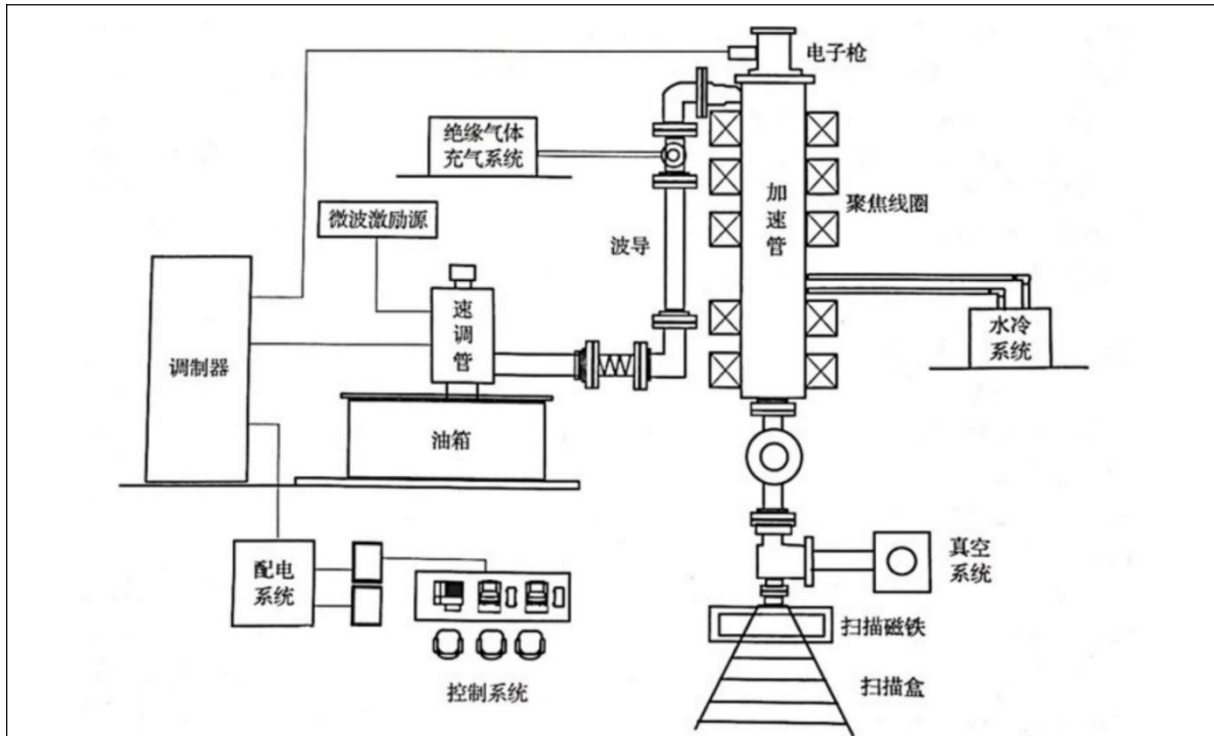


图 9.1-1 辐照加速器装置示意图

9.1.3 工作流程及产污环节

1) 工作流程

①辐射工作人员对辐照室进行巡检（按要求依次按下巡检按钮）、清场，确认室内无人；确认门机连锁、巡检按钮、光电联锁、紧急停机及拉绳开关等辐射安全系统及装置无异常；

②将拟辐照产品放置于传输系统上；

③调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

④辐射工作人员开启辅助系统、控制系统等进行预热；

⑤启动辐照装置，通过传输装置从加速器辐照室货物进口输送进入加速器辐照室，辐照对象通过束下传输装置从加速器辐照室货物出口传送出。

整个辐照灭菌加工过程，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外的装卸货区进行辐照货品的装、卸，所有需照射加工的货物都是通过输运线输运到束流中心辐射区进行辐照加工。工作流程见图 9.1-2。

2) 产污环节

本项目加速器主要用于对食品、医疗用品、保健品、药材、化妆品、水果、农产品等进行辐照灭菌保鲜加工服务。本项目拟采用传送带对辐照产品进行传输，辐照产

品从辐照室货物进口经传输带传输进入辐照室，经过辐照加工后从货物出口传输出来。

本项目辐照加速器在开机辐照过程中主要的辐射污染为 X 射线及电子束污染，同时伴随有臭氧、氮氧化物等气体以及风机运行过程中的噪声污染。产污环节见图 9.1-2。

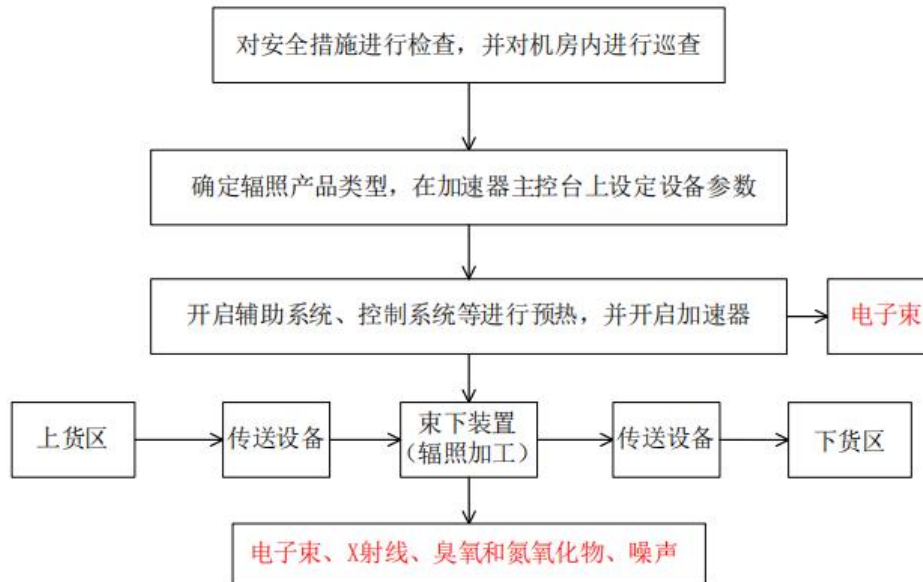


图 9.1-2 辐照加速器工作流程及产污环节

9.1.4 本项目加速器工况

(1) 设备参数

表 9.1.1 本项目电子直线加速器主要技术参数

参数名称	参数值
型号	AB10.0/800
电子束最大能量	10MeV
束流强度	2.2mA
束流损失点能量	3MeV
束流损失率	2%
最大束流功率	22kW
主射束方向	0°
加速器工作方式	连续
扫描宽度	0.8m

(2) 工作负荷

建设单位提供的加速器辐照系统采用连续作业方式，计划每天工作（出束）约 24 小时，年运行时间 250 天，辐照加速器全年出束约 6000 小时。计划配备 15 名操作人

员，实行三班轮换，每班 5 人，指定其中 1 人为当班运行值班长，每位操作人员年工作时间约 2000 小时。搬运工人共计 12 名，实行三班轮换，每班 4 人，年工作时间约 2000 小时。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，本项目建设期包括厂房、办公楼和机房等工程的建设以及设备安装。本项目的机房四周墙体及顶棚主要采用混凝土现浇（回填），并设置迷道、动力通风装置等防护措施，环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

（1）废气

施工期大气污染物主要来自施工扬尘，其次有施工车辆、挖土机燃油燃烧时排放的 SO_2 、 NO_2 、 CO 、烃类等污染物，但最为突出的是施工扬尘。

① 施工期间，由于土地平整、物料运输等过程中会产生扬尘，露天堆放的建材及裸露的施工区表层浮尘由于天气干燥和大风也将产生扬尘。施工期粉尘污染源属于面源，排放高度一般较低，颗粒度较大，污染扩散距离不太远，其影响程度和范围与风向、风速、施工管理水平及采取的措施等有直接关系。根据经验，车辆行驶产生的扬尘，在同样路面清洁程度条件下，车速越快，扬尘量越大；而在同样车速情况下，路面越脏，则扬尘量越大。

根据对类似施工现场的调查，在未采取防尘措施的前提下，施工扬尘的影响范围一般在下风向 50m 范围内为重污染带、50~100m 为中污染带、100~150m 为轻污染带、150m 以外基本不受影响。但是由于周边大气环境保护目标与本项目较近，因此施工期应做好扬尘防治工作，最大程度减缓对周边的扬尘污染影响。

② 施工机械和车辆废气主要为施工机械的燃料废气和汽车尾气，主要决定因素为燃料种类、机械性能、作业方式和风力等，其中机械性能、作业方式因素的影响最大。

运输车辆和部分施工机械在怠速、减速和加速时产生的污染最为严重。经调查，在一般气象条件下，平均风速 2.5m/s 时，建筑工地的 NO_x 、 CO 和烃类物质的浓度是

其上风向的 5.4~6 倍，污染物 NO_x、CO 和烃类物质的影响范围在其下风向可达 50m。本项目施工使用的燃油主要是汽油和轻柴油，废气排放量有限，而且为间歇性排放，通过大气的稀释扩散后，NO_x、CO 和烃类物质对周围大气环境的影响不大。

(2) 噪声

本项目建设施工期噪声主要来自施工机械噪声、运输车辆噪声以及施工作业噪声。

① 施工机械噪声

建筑施工所使用的机械设备主要有推土机、挖掘机、打桩机及运输车辆等，根据《噪声控制工程》（高红武 2003 年版）及类比监测资料，典型施工机械作业期间产生的噪声源强见表 9.2.1。

表 9.2.1 项目施工机械噪声源强 单位：dB (A)

建筑施工机械名称	噪声值	建筑施工机械名称	噪声值
推土机	78-96	打桩机	85-100
前斗式装料机	72-97	空压机	82-98
拖拉机	77-96	气动扳手	83-88
混凝土破碎机	80-90	夯土机	82-90
发电机	82-93	重型机械	86-88
重型卡车	85-96	空气锤	80-98
移动式吊车	75-95	混凝土泵	75-86

② 运输车辆噪声

运输车辆噪声属于交通噪声，车辆行驶时轮胎与路面之间的摩擦碰撞、车辆自身零部件的运转以及偶发的驾驶员行为（如鸣笛、刹车等）都是产生噪声的原因，其噪声级一般为 80-95dB (A)。

③ 施工作业噪声

施工作业噪声主要是指施工过程中一些零星的敲打声、装卸设备的撞击声等，多为瞬间噪声，其发生率与施工管理及操作人员的环境意识密切相关。这类噪声具有瞬时噪声高、在夜间传播距离远的特点，往往比较容易造成纠纷，也是施工期环境管理的难点。

(3) 废水

施工期的废水排放主要来自于施工人员的生活污水及施工废水。

① 施工期有混凝土现浇工序，施工用水主要为混凝土搅拌及养护以及各种施工机

械设备运转产生的冲洗用水。混凝土搅拌及养护废水产生量较小，一般通过蒸发，不外排。冲洗废水中主要污染物为石油类，不含有毒有害物质，本评价要求对施工废水建设隔油沉淀池进行处理，处理后的废水用于施工场地洒水抑尘，不外排。

②施工期会产生少量施工人员生活污水。施工期间施工人员约 20 人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水 80L 计算，则施工期用水量约为 1.6t/d；施工时间按 180 天计算，污水排放量按用水量的 90%计算，则生活污水总排放量约 259.2t(1.44t/d)，其主要污染因子为 COD、BOD₅、SS 等，生活污水排入公司现有的排污系统处理。

(4) 固体废弃物

本项目施工期产生的固体废弃物仅包括生活垃圾和建筑垃圾。

① 施工人员生活垃圾

施工期生活垃圾包括废弃的一次性餐盒、食品包装袋等。本项目高峰期施工人数大约 20 人，人均生活垃圾产生量按 0.5kg/d 计，则施工期内产生生活垃圾约 10kg/d，垃圾收集后定期委托环卫部门清运。

② 建筑垃圾

本项目施工垃圾主要为施工过程中产生的建筑模板、建筑材料下脚料、断残钢筋头、包装袋以及建筑碎片、碎砖头、水泥块、石子、沙子等建筑垃圾，根据《福建省建筑工程预算定额》（2002 版）中相关资料，建筑垃圾以建筑面积的 5%计，本项目总建筑面积 6124.48m²，建筑垃圾体积约 306.22m³，考虑到建筑垃圾为松散状，密度按 1.5t/m³ 估算，建筑垃圾产生量约为 459.33t。本项目施工产生的施工垃圾委托相关单位回收利用。

9.2.2 运行阶段污染源项

(1) 电离辐射

本项目电子加速器利用电子束进行辐照加工，加速器电子束流向下，电子的射程较短，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。此外，高能电子束作用于被辐照物及束下传送装置而产生的韧致辐射，其中以侧向为重点防护方向（90°方向）。项目产生的韧致辐射（X 射线）是随加速器的开关而产生和消失。

本项目电子加速器输出的最大能量为 10MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），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的中子防护问题。

(2) 固体废物

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾，生活垃圾分类收集后，定期交由环卫部门处置。

(3) 废气

由电子直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物相互作用时将产生高能 X 射线，使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化物等气体对周围环境造成污染。

(4) 废水

本项目废水主要为工作人员的生活污水，生活污水经化粪池处理达标后排入市政污水处理管网。

本项目有冷却水循环系统，在加速器运行期间，冷却水被活化会含有放射性核素，主要为 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3S，半衰期很短，在放置一定时间后其活度就可以衰减到较低的水平。公司在操作规程管理制度内规定，在加速器停机后 21min (^{15}O 的十个半衰期) 内不得有人员进入水机组间。此外，冷却水存放于单独的密闭水箱中，冷却水循环使用不外排，在调试或维护设备时不会打开水箱，因此，本项目不设计放射性废水排放问题。

(6) 事故工况

本项目使用辐照电子加速器属 II 类射线装置，可能发生的事故工况主要有：

1) 由于管理不善或安全联锁失效，在系统出束时，现场工作人员或周围公众成员误入辐射防护区，给上述工作人员或公众成员造成不必要的照射。

2) 在束下装置发生停运、卡顿等故障，辐照产品由于长时间受照引发火灾。

3) 辐照通道内通风速度或通风时间不够导致加速器停机后，现场维护人员进入臭氧浓度超标的辐照通道造成意外。

4) 加速器开机工作前未按照要求进行巡检，导致人员误留在辐照室或主机室内，发生人员超剂量照射事故。

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

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

本项目电子加速器辐照装置设有单独的机房。机房为两层混凝土结构，机房一层为辐照室，采用双迷道设计，迷道为“弓”型多折线的方式，辐照室长 19.50m、宽 12.80m、高 2.10m，面积（含迷道）约 147.46m²；机房二层为主机室，采用单迷道设计，迷道为“L”型的方式，主机室长 5.70m、宽 8.80m、高 5.80m，面积（含迷道）约 34.3m²，四周包含控制室、水机组间、电源间、走道等场所。项目加速器机房顶部紧贴所在厂房屋顶，上方无人员停留空间，且不设置到达屋顶的楼梯等辅助设施，保证屋顶无人员停留，项目厂房无地下室。项目加速器工作时，设备操作人员在控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，上下货搬运人员位于一层辐照室的上料区和下料区处，辐照室和主机室内均无人员停留。因此，本项目加速器机房布局合理可行。

10.1.2 工作场所分区

为加强核技术应用设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，应对项目划定控制区和监督区进行分区管理。根据《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》（HJ 979-2018）中关于“辐射工作场所的分区”的要求，电子加速器辐照装置的工作场所控制区包含“如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域”，监督区包含“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”。

结合定义与现场实际，对本项目的控制区和监督区进行划分：

①控制区：加速器机房内（均含主机室和辐照室及各自出入口以内的区域）；

②监督区：项目机房辐照室周围的配电间、臭氧风机房以及四周墙体和迷道口外 30cm 范围，机房主机室周围的控制室、水机组间、电源间、走道。项目工作场所分区符合《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》（HJ 979-2018）的相关要求，项目辐射工作场所分区示意图 10.1-1~10.1-2。

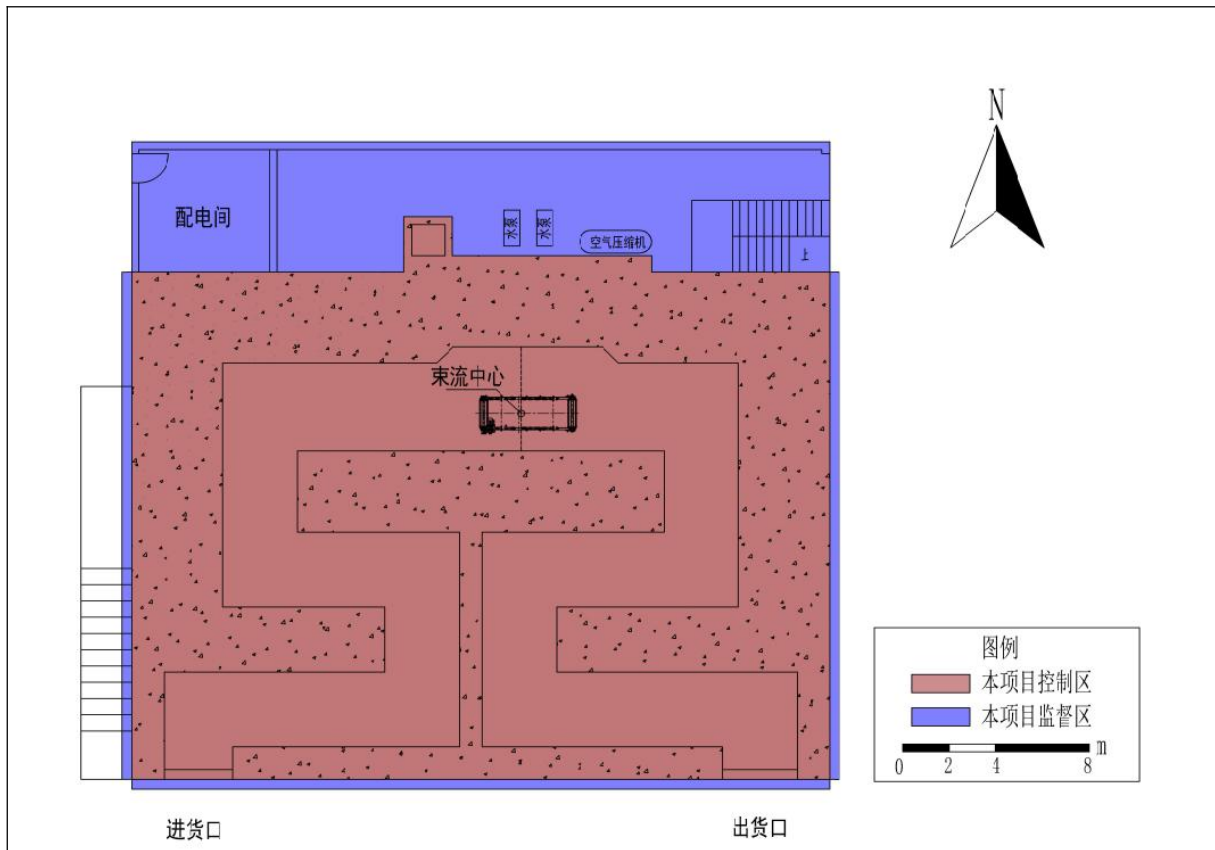


图 10.1-1 本项目加速器机房一层分区情况示意图

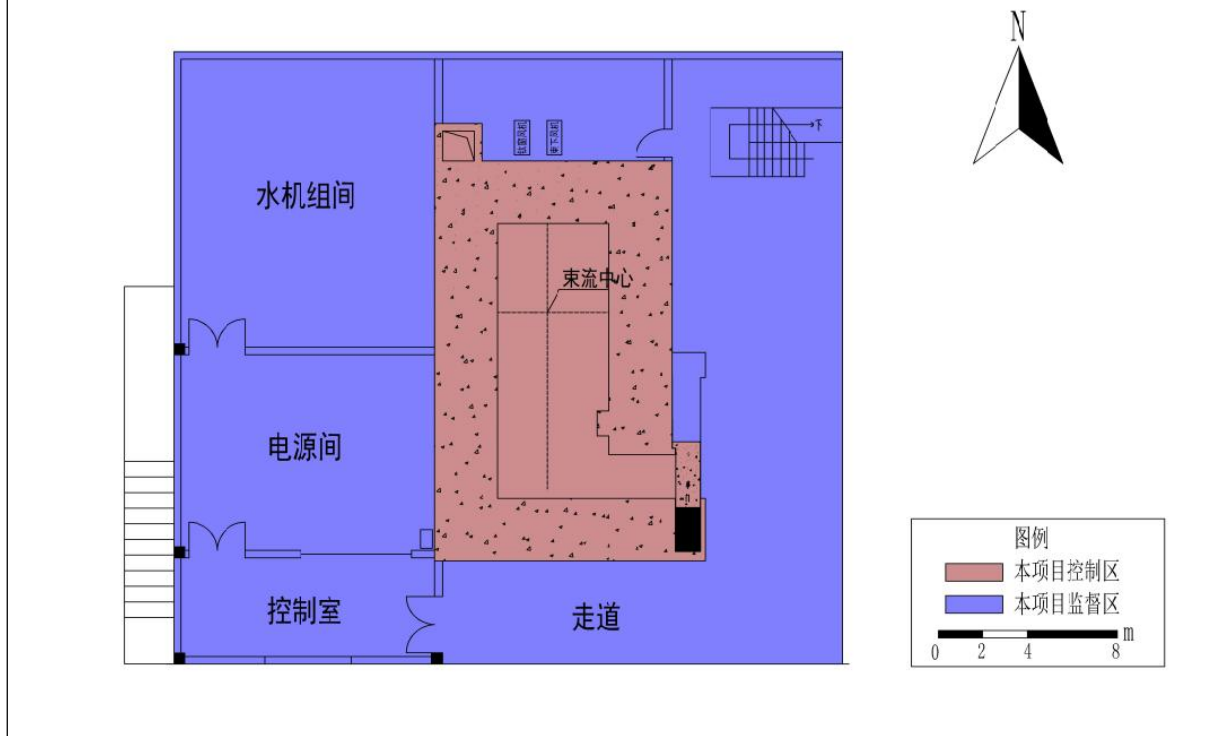


图 10.1-2 本项目加速器机房二层分区情况示意图

10.2 工作场所辐射安全和防护

10.2.1 机房结构

根据建设单位提供的资料，本项目加速器机房辐射防护方案详见表 10.2.1，项目单个机房平面及墙体结构示意图 10.2-1，机房剖面图见图 10.2-2。

表 10.2.1 加速器机房的辐射防护屏蔽设计一览表

辐射项目		屏蔽主体	主屏蔽防护情况
1#加速器机房	辐照室	北墙	2800mm 混凝土
		东墙	1000~2800mm 混凝土
		南墙	南 1 墙：2000mm 混凝土，南 2 墙：2000mm 混凝土，南 3 墙：1000mm 混凝土，南 4 墙：1000mm 混凝土
		西墙	1000~2800mm 混凝土
		屋顶	1000~2000mm 混凝土
	主机室	北墙	2000mm 混凝土
		东墙	2100mm 混凝土
		南墙	2000mm 混凝土
		西墙	2000mm 混凝土
		屋顶	1000~2000mm 混凝土

注：混凝土的密度为 2.35g/cm^3 。

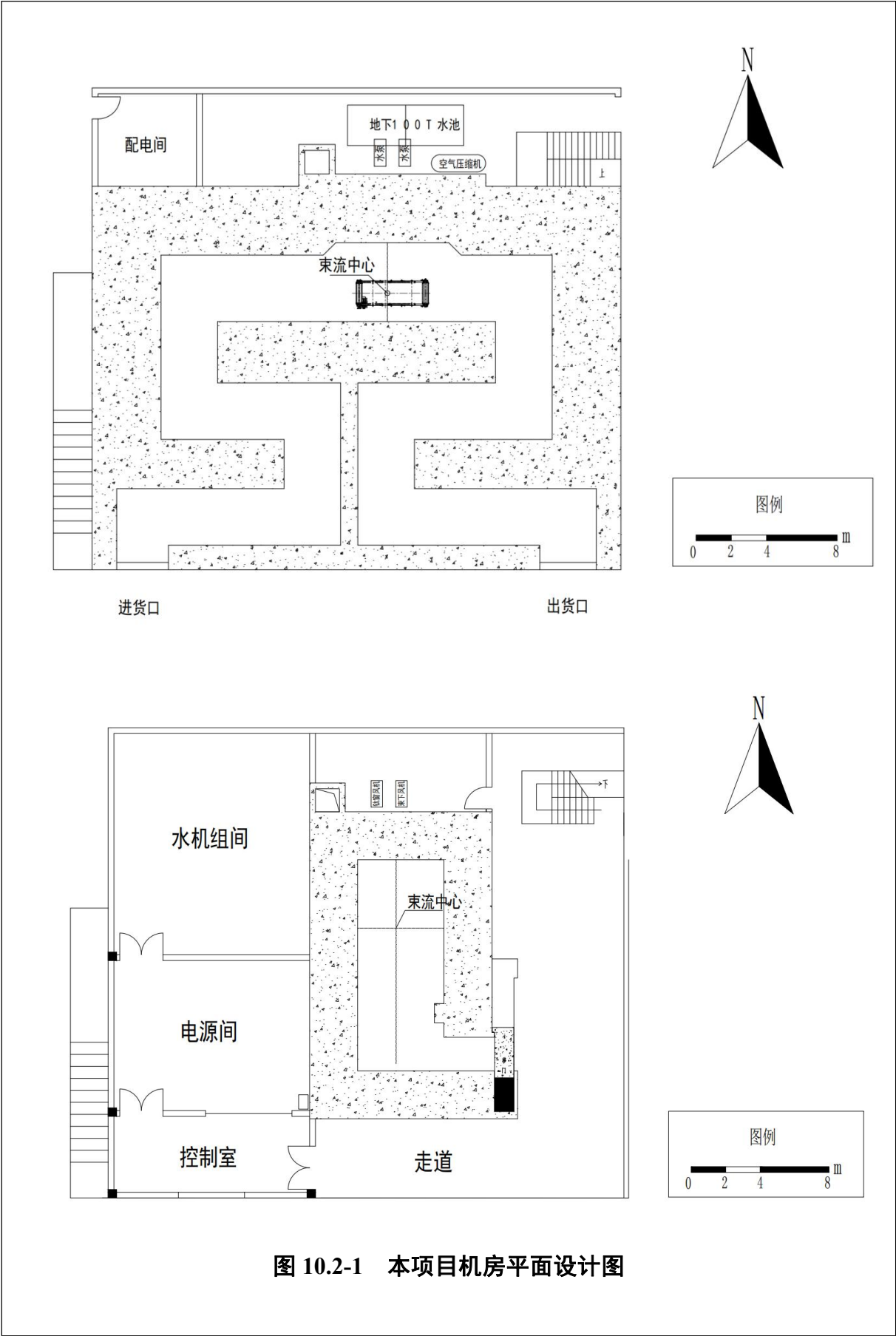


图 10.2-1 本项目机房平面设计图

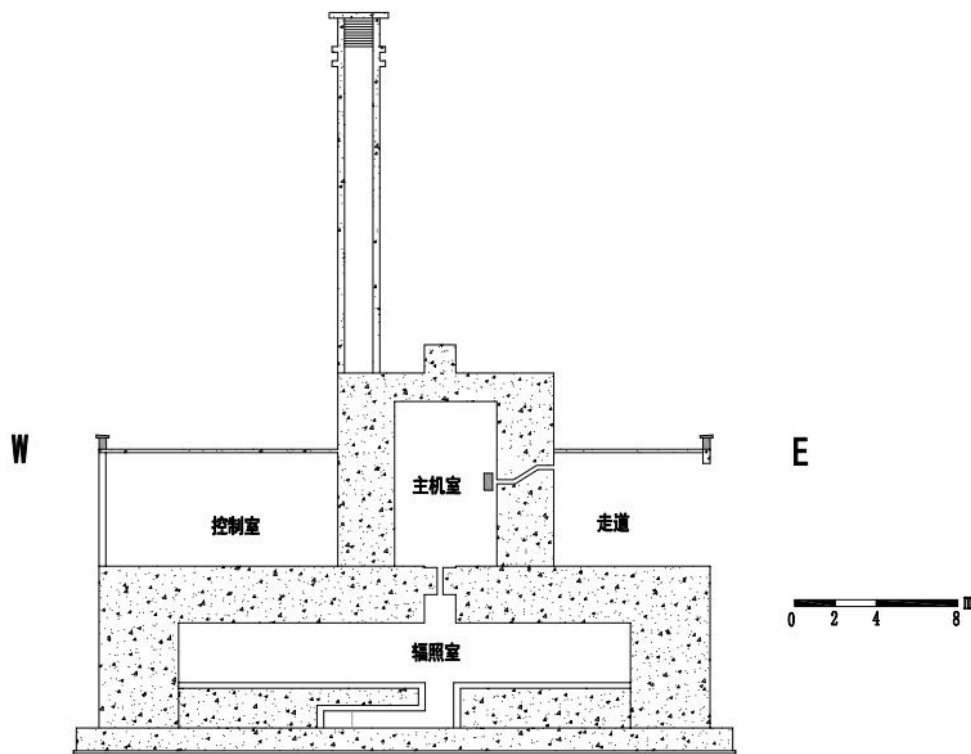


图 10.2-2 本项目机房剖面设计图

10.2.2 本项目机房辐射安全防护措施

为保障项目电子加速器辐照装置的安全运行，避免在项目电子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，本项目机房拟设置如下辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) **钥匙控制：**项目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电子加速器辐照装置无法开机。加速器的主控钥匙开关和辐照室门、主机室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，电子加速器辐照装置自动停机。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当班运行值班长使用。

(2) **门机联锁：**辐照室和主机室的门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，加速器不能开机且束流装置不能出束。加速器运行中门被打开则加速器自动停机。

门机联锁装置性能可靠，其引发加速器停机时必须自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，工业辐照电子加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路，维护与维修后

必须恢复原状。

(3) 束下装置联锁：束下装置输运线安装有与加速器控制系统联锁的急停开关。输运线因故障停机或人为触发输运线急停时，会给加速器控制系统触发信号，切断高压停机。加速器停机时也会对应停止输运线。

(4) 信号警示装置：在主机室门外、主机室内设置 1 个准备运行警示铃，在辐照室外 2 个迷道口、辐照室内左右迷道各设置 1 个准备运行警示铃，并与电子加速器辐照装置联锁，用于开机前对主机室内外人员的警示，提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场。准备运行警示铃自带红绿闪烁灯，与加速器联锁，加速器开机时警示声音响起、红色灯闪，提醒周围工作人员勿靠近。加速器停机时仅绿色灯亮。控制室控制台设置工作状态指示灯。

(5) 巡检按钮：在辐照室内及主机室内各有 1 套由多个复位/急停/钥匙开关组件组成的巡检系统，并与控制台联锁。辐照室门打开后，辐照室人员巡检门口和迷道内墙的复位/急停/钥匙开关组件的复位按钮均被触发，需要人工绕行一圈依次复位，在这个过程中进行巡检，按下全部巡检按钮（5 个巡检按钮）才可出束。

主机室门打开后，主机室门口和室内的复位/急停/钥匙开关组件的复位按钮均被触发，需要人工绕行一圈依次复位，在这个过程中进行巡检，按下全部巡检按钮（2 个巡检按钮）才可出束。

只有所有复位按钮均被按下，巡检确认无人滞留后，控制台才能启动加速器。

(6) 防人误入装置：辐照室的 2 扇人员巡检门及主机室的迷道入口处各有 3 道光电探测器，能够完整覆盖由门进入的常规人体高度。共计 9 道光电探测器均与加速器控制电路联锁，任何一道光电探测器信号被遮挡，均会使加速器断电停机。

(7) 急停装置：在控制台上和主机室、辐照室内设置有复位/急停/钥匙开关组件，按下上述组件上的任何一个急停按钮，加速器均断电停机，急停按钮按下后需要手动机械复位。按钮下方贴上“急停”标识和功能说明。

此外，为实现安全冗余性，在人员有滞留风险的辐照室内沿墙一圈、主机室人员易达的区域，还设计安装拉线急停开关，触碰拉线，加速器断电停机，拉线开关拉动后需要手动软件复位。

辐照室和主机室的门上均安装有一个电磁锁，其通过插头接入电源供电，该插头安装在迷道内侧，拔下插头电磁锁就断电解锁，可从辐照室或主机室内开门；开门同时触发门机联锁，使加速器断电停机。电磁锁电源插头也设置有中文标识。

(8) 剂量连锁：控制室内以及辐照室、主机室的门内安装固定式辐射监测探头，以监测工业辐照电子加速器运行时周围环境辐射剂量，其主机和显示屏安装在机房的控制台上。其中，辐照室和主机室门内的辐射探测器探头与各自门的电磁锁连锁，当检测位置辐射水平高于辐射探测器设定的阈值时，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，阻止电磁锁从外面打开。

(9) 通风连锁：

加速器机房的通风系统与加速器控制系统连锁，臭氧风机若未开机，加速器也无法开机；臭氧风机若出现故障，将导致加速器断电停机。加速器机房的通风系统控制程序设定了时间限制功能（本项目为 5min），当加速器停机后，只有达到设定的时间后（5min）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：辐照室迷道内设计安装 2 个烟雾报警探测器，其信号接入加速器控制系统和通风系统，一旦烟雾报警器检测到火灾信号，立刻断开加速器电路和臭氧风机电源。

(11) 警告标志：在辐照室和主机室的门上和周围醒目位置粘贴醒目的、符合 GB 18871 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：在项目辐照室辐照区域和迷道、主机室内和迷道、控制室、上下货区安装监控摄像头，可全方位覆盖加速器机房内外情况，监控显示屏设置在控制室主控台上，操作人员可通过监控器实时观察加速器机房内外情况。

(13) 冷却水循环系统：本项目加速器工作时采用内循环冷却水系统，冷却水循环使用，不外排，损失主要来自于自然蒸发。

(14) 其他安全措施：

①机房电线管、冷却水管等管道在穿墙时，采用 Z”型或“L”型或“斜 45 度”等方式，并对管道口进行封堵。

②机房两侧的楼梯入口处设置门锁，只有在设备检修时才打开允许检修人员进入，平时任何非辐射工作人员无法进入机房二层设备平台。

③机房的主机室、辐照室、控制室内均设置应急照明系统。

④辐照室和主机室内均设置火灾报警系统及有效的灭火设施。

10.2.3 人员的辐射安全和防护

(1) 配备防护用品

建设单位拟为本项目配置 1 台便携式辐射监测仪、5 台个人剂量报警仪、15 枚个人剂量计，辐射工作人员进入机房及控制室将佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪。建设单位拟为本项目配置相关辐射防护用品及辐射防护措施详见表 10.2.2，加速器机房的辐射安全与防护设施布置见图 10.2-4~图 10.2-5。

表 10.2.2 项目拟配置相关辐射防护用品及辐射防护措施清单一览表

说明	防护用品/措施名称	单位	数量
防护用品	个人剂量计	枚	15 枚
	个人剂量报警仪	台	5 台
	固定式辐射监测仪	个	3 个
	便携式辐射监测报警仪	台	1 台
防护措施	辐射警示标志	张	若干
	门机联锁开关	套	3 套
	运行警示铃	个	5 个
	工作状态指示装置	个	3 个/台
	复位/急停开关	个	7 个
	拉线急停开关	套	2 套
	光电检测器	道	9 道/台
	烟雾报警探测器	个	2 个
	监控系统	套	1 套

(2) 管理制度

建设单位将制定相关操作规程及防护制度，辐射工作人员必须参加有资质单位组织的辐射安全与防护培训，持证上岗。工作人员应严格遵守操作规程进行操作，除工作需要，应停留在监督区之外。此外，建设单位将制定辐照装置的维护检修制度，辐射工作人员定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，包含日检查、月检查和半年检查，并做好运行及维修维护记录，严格执行交接班制度，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。加速器试用、调试、检修期间，严禁调试、检修人员在出束的情况下滞留在控制区，且控制室须有工作人员值守。

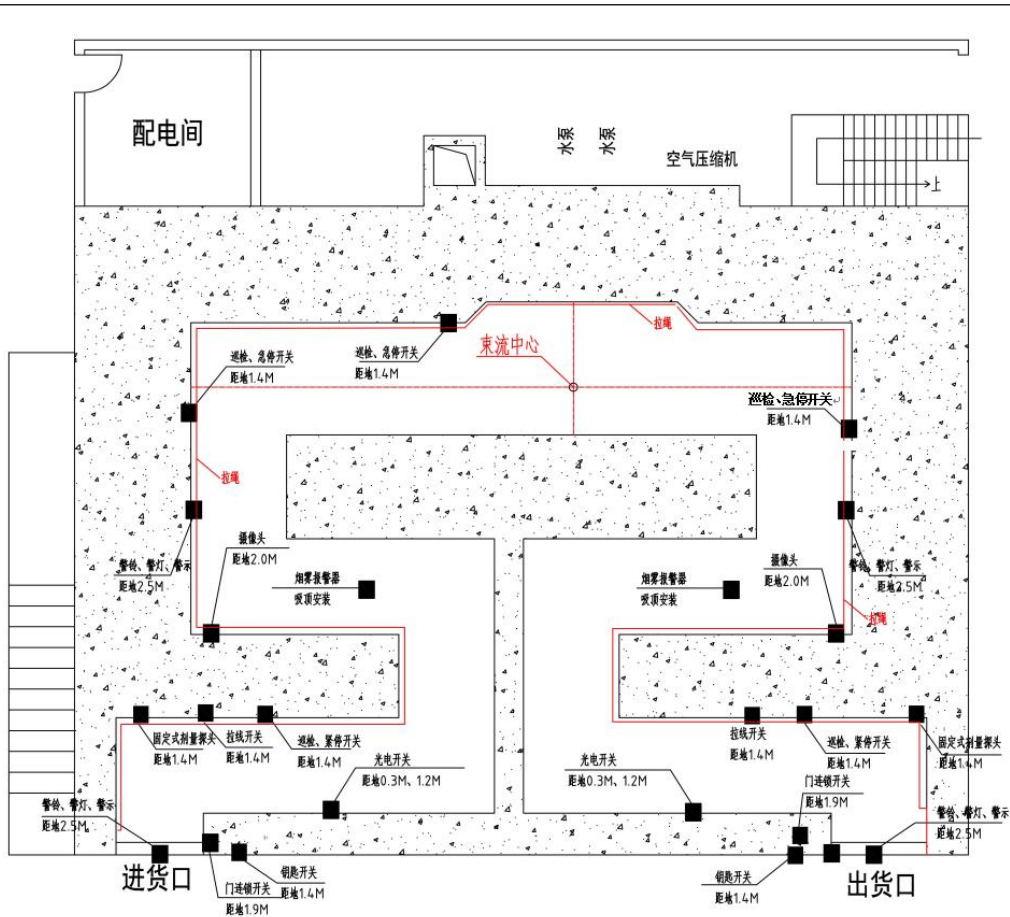


图 10.2-4 加速器机房的辐射安全与防护设施布置图（一层）

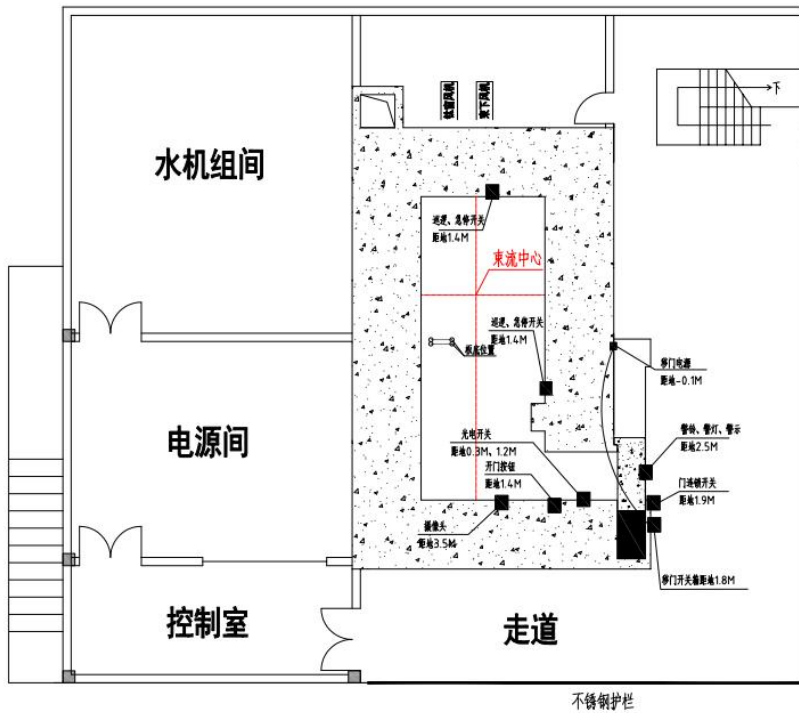


图 10.2-5 加速器机房的辐射安全与防护设施布置图（二层）

10.3 辐射防护措施符合性分析

本项目加速器机房的辐射防护措施，均按环保部辐射安全与防护监督检查技术程序进行分析，并与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中对电子加速器辐照装置防护设施的技术要求对照，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10.3.1。

表 10.3.1 本项目机房辐射防护措施符合性分析

标准防护要求	本项目方案	符合性
<p>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。</p> <p>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：</p> <p>a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；</p> <p>b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。</p>	<p>理论估算表明，本项目辐射工作人员及周围公众年有效剂量能够满足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。</p>	符合
<p>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。</p> <p>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 2.5μSv/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。</p>	<p>本项目辐射剂量率计算以工业辐照电子加速器的最高能量和最大束流强度为依据。理论估算表明，本项目屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率未超过 2.5μSv/h，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。</p>	符合
<p>《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>项目电子加速器辐照装置的设计中设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，其中辐照室和主机室的门与束流控制和加速器高压联锁，束下装置输运线与加速器控制系统联锁。在项目辐照室辐照区域和迷道、主机室内和迷道、控制室、上下货区安装监控摄像头，可全方位覆盖加速器机房内外情况。</p> <p>安全联锁装置性能可靠，其引发加速器停机时必须自动切断高压，工业辐照电子加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。</p>	符合
<p>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；</p>	<p>项目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电子加速器辐照装置无法开机。加速器的主控钥匙开关和辐照室门、主机室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，电子加速器辐照装置自动停机。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当班运行值班长使用。</p>	符合

	<p>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；</p>	<p>辐照室和主机室的门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。</p>	符合
	<p>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；</p>	<p>束下装置输运线安装有与加速器控制系统联锁的急停开关。输运线因故障停机或人为触发输运线急停时，会给加速器控制系统触发信号，切断高压停机。加速器停机时也会对应停止输运线。</p>	符合
	<p>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；</p>	<p>在主机室门外、主机室内各设置1个准备运行警示铃，在辐照室外2个迷道口、辐照室内左右迷道各设置1个准备运行警示铃，并与电子加速器辐照装置联锁，用于开机前对主机室内外人员的警示，提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场。准备运行警示铃自带红绿闪烁灯，与加速器联锁，加速器开机时警示声音响起、红色灯闪，提醒周围工作人员勿靠近。加速器停机时仅绿色灯亮。控制室控制台设置工作状态指示灯。</p>	符合
	<p>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”，巡查有无人员滞留；</p>	<p>在辐照室内及主机室内各有1套由多个复位/急停/钥匙开关组件组成的巡检系统，并与控制台联锁。辐照室门打开后，辐照室人员巡检门口和迷道内墙的复位/急停/钥匙开关组件的复位按钮均被触发，需要人工绕行一圈依次复位，在这个过程中进行巡检。 主机室门打开后，主机室门口和室内的复位/急停/钥匙开关组件的复位按钮均被触发，需要人工绕行一圈依次复位，在这个过程中进行巡检。 只有所有复位按钮均被按下，巡检确认无人滞留后，控制台才能启动加速器。</p>	符合
	<p>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；</p>	<p>在加速器机房辐照室通道出入口内侧及主机室的迷道入口处各有3道光电检测器，能够完整覆盖由门进入的常规人体高度。每个机房共计9道光电检测器均与加速器控制电路联锁，任何一道光电检测器信号被遮挡，均会使加速器断电停机。</p>	符合
	<p>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；</p>	<p>在控制台上和主机室、辐照室内均设置有复位/急停/钥匙开关组件，按下上述组件上的任何一个急停按钮，加速器均断电停机，急停按钮按下后需要手动机械复位。按钮下方贴上“急停”标识和功能说明。 此外，为实现安全冗余性，在人员有滞留风险的辐照室内沿墙一圈、主机室人员易达的区域，还设计安装拉线急停开关，触碰拉线，加速器断电停机，拉线开关拉动后需要手动软件复位。</p>	符合

	剂量连锁。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连锁。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；	拟在加速器机房辐照室通道进口及通道出口内各安装 1 个固定式辐射监测仪，在主机室出入口内安装 1 个固定式辐射监测仪，固定式辐射监测仪与辐照室及主机室人员进出门连锁。固定式辐射监测仪的显示装置安装于控制台上。当辐射高于设定的阈值 2.5 μ Sv/h 时，辐照室及主机室门无法打开。	符合
	通风连锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统连锁，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；	加速器机房的通风系统与加速器控制系统连锁，臭氧风机若未开机，加速器也无法开机；臭氧风机若出现故障，将导致加速器断电停机。加速器机房的通风系统控制程序设定了时间限制功能，同时接入了电磁锁控制程序，确保通风系统达到预先设定的时间后才能给电磁锁信号开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。	符合
	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。	辐照室迷道内设计安装 2 个烟雾报警探测器，其信号接入加速器控制系统和通风系统，一旦烟雾报警器检测到火灾信号，立刻断开加速器电路和臭氧风机电源。	符合
《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)	辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C ₂₀ ，密度不应低于 2.35g/cm ³ 。	本项目机房的辐射屏蔽材料均采用混凝土，其强度等级高于 C ₂₀ ，密度为 2.35g/cm ³ 。	符合
	屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据。	本项目机房屏蔽结构及预埋件的设计均按照相关厂家提供的要求进行。	符合
	监督区的辐射剂量水平应符合 GB 18871-2002 和 GB 5172-1985 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	理论估算表明，本项目机房外周围剂量当量率和工作人员、公众年受照剂量均满足标准规定的要求。	符合
	控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全连锁系统和监控、紧急停机开关等设置。	项目机房的主机室和辐照室均设有门机连锁、急停装置、监控等安全装置。	符合
	控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。	项目机房的主机室和辐照室门口设置工作状态指示装置和电离辐射警示标志。	符合
	剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。	项目拟配置个人剂量报警仪、固定式剂量率报警仪和便携式辐射监测报警仪等设备，并为辐射工作人员配备个人剂量计。	符合

10.4 三废的治理

10.4.1 固体废物

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾，经分类收集后定期清运。

10.4.2 氮氧化物及臭氧等废气

加速器机房采用埋地排风管道，管道埋深为 1600mm，尺寸为Φ1000mm，排风量为 15000m³/h，每小时通风换气次数约为 48 次，排风管道从辐照室地下穿过，由机房外北侧穿出，后贯穿厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 31m。本项目加速器机房产生的臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，弥散在大气环境中，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

10.4.3 废水治理措施

本项目废水主要为工作人员的生活污水。项目工作人员的生活污水经化粪池处理达标后，排入市政污水处理管网。

10.5 环保投资

本项目总投资 3000 万元，环境保护投资共计 200 万元，占本项目总投资额的 6.7%。详见表 10.5.1。

表 10.5.1 本项目辐射防护措施投资明细表

类别	环保措施	投资估算（万元）
辐射防护主体设计施工	机房及其辅助设施的建造、墙体辐射防护处理	120
专用防护设计	机房通风电缆等管道防护	20
通风设备	排风系统	10
防护和监测设备	个人剂量计、便携式辐射监测仪、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪等	30
其他费用	辐射工作人员培训、职业健康检查、辐射事故应急演练、相关制度上墙等	20
合计		200

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目位于福建省厦门市翔安区翔安东路 10888 号厦门安诺辐照有限公司内 3 号厂房，拟在 3 号厂房东侧新增 1 台电子加速器辐照装置（电子束最大能量 10MeV，束流强度 2.2mA）。项目施工主要包括厂房、办公楼和机房等工程的建设以及设备安装。工程施工对环境的影响主要为施工过程中产生的扬尘，施工人员产生的生活污水和施工作业生产废水，施工人员产生的生活垃圾和本项目建设过程中产生的建筑垃圾，以及施工过程中会产生的施工噪声。工程施工期间不产生放射影响。

11.1.1 施工噪声环境影响分析

施工期噪声主要是运输机械及建筑施工机械产生的噪声；其中运输车辆 5m 处噪声可达 90dB(A)，打桩机、空压机、空气锤等建筑施工机械 5m 处噪声可达 79~90dB(A)。为满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，本评价建议：

- ① 本项目施工应合理布局，尽量增加高噪声设备与周边厂房和居民点的距离，尽量利用构筑物形成遮挡；
- ② 严格采用低噪声设备，对高噪声设备应通过采取隔声罩、缓冲垫等设施减振降噪；
- ③ 加强设备维护，避免因设备螺丝松动等形成高噪声；
- ④ 合理安排高噪声设备作业时间，避免在中午休息时段（12:00~14:00）和夜间（22:00~次日 06:00）作业。

本项目应通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施，避免对周边人员产生影响。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

施工扬尘主要产生于施工易散物资运输和施工过程中易散物资堆放及作业面在风力作用下产生的扬尘。

1) 施工扬尘

施工易散物资运输扬尘主要产生于跑冒滴漏以及轮胎和车体带的粉尘。因此，施工扬尘影响与施工车辆管理维护关系密切。评价建议：

- ① 严禁运输车辆超载超速运输，易散物资运输应加盖帆布；
- ② 运输车辆不整洁的严禁上路；
- ③ 施工现场设置清洗台，清洗运输车辆轮胎。

在采取上述措施的情况下，运输车辆扬尘可得到有效控制。

2) 施工区扬尘

施工区扬尘主要产生于易散物资堆放点和施工面；施工区扬尘产生情况主要与风速和物资干燥程度有关。评价建议：施工区周围设置围挡，易散物资堆放点应覆膜，施工区在干燥、大风情况下应采取喷淋措施。在很好地落实上述抑尘措施的情况下，工程施工区扬尘不会对周围环境产生大的影响。

除此之外，工程施工期间废气影响还体现为机械设备和车辆尾气排放，由于本项目工程量小，机械设备数量少，且施工区较为开阔，车辆和机械产生的尾气能够得到很好的稀释扩散，基本不会对区域大气环境产生影响。

11.1.3 施工期废水影响分析

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护以及各种施工机械设备运转产生的冲洗用水。混凝土搅拌及养护废水产生量较小，一般通过蒸发，不外排。冲洗废水中主要污染物为石油类，不含有毒有害物质，本评价要求对施工废水建设隔油沉淀池进行处理，处理后的废水用于施工场地洒水抑尘，不外排。

项目施工期间生活污水总排放量约 259.2t (1.44t/d)，生活污水排入公司现有的排污系统处理。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾和建筑垃圾。

施工期间生活垃圾产生量约 1800kg (10kg/d)，在施工场地内分别设置生活垃圾收集设施，垃圾收集后定期委托环卫部门清运，因此对周围环境影响不大。

建筑垃圾包括施工中建筑模板、建筑材料下脚料、断残钢筋头、包装袋以及建筑

碎片、碎砖头、水泥块、石子、沙子等固体废物。本项目定期清理建筑垃圾，每周整理施工现场一次，并设置有杂物停滞区、垃圾箱和卫生责任区，并确定责任人和定期清除的周期。本项目建筑垃圾委托相关单位回收利用，对周围环境影响较小。

项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，施工过程中采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，尽量将环境影响降低到最小。因此，总体来说，本项目施工期对周围环境影响较小。

11.2 运营阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目加速器束流向下，高速电子本身不对周围环境产生影响，影响周围环境需要防护的是电子束作用于辐照材料及周边物体而产生的韧致辐射。由于束流 0° 方向为地面所以无需考虑防护，本评价主要分析的是 90° 方向的辐照室四周墙体和 180° 方向的主机室顶。

本评价采用加速器的最高能量和最大束流强度，并根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）标准中的相关计算公式进行理论估算。项目关注点位置示意图见图 11.2-1 和图 11.2-2。

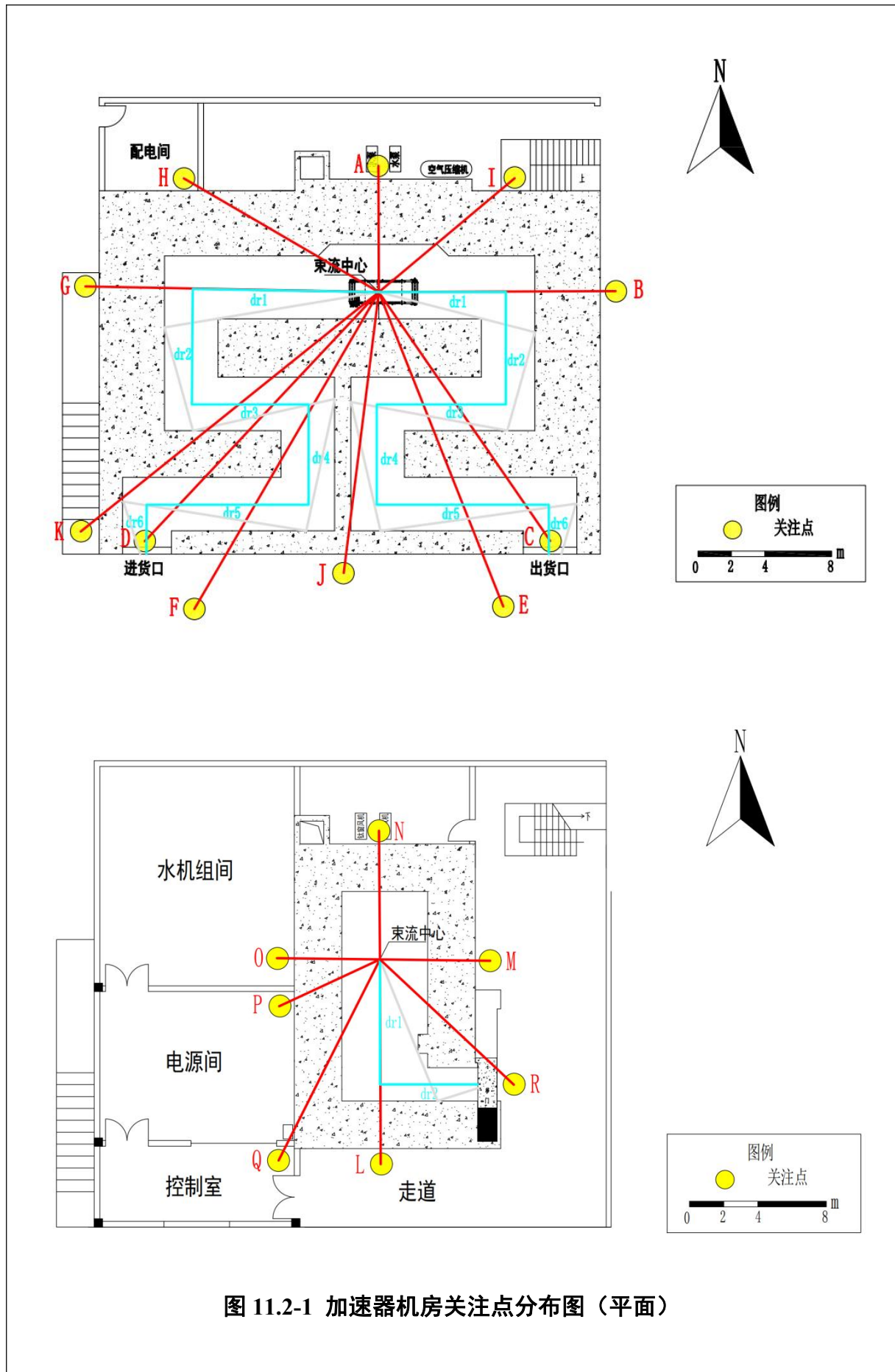
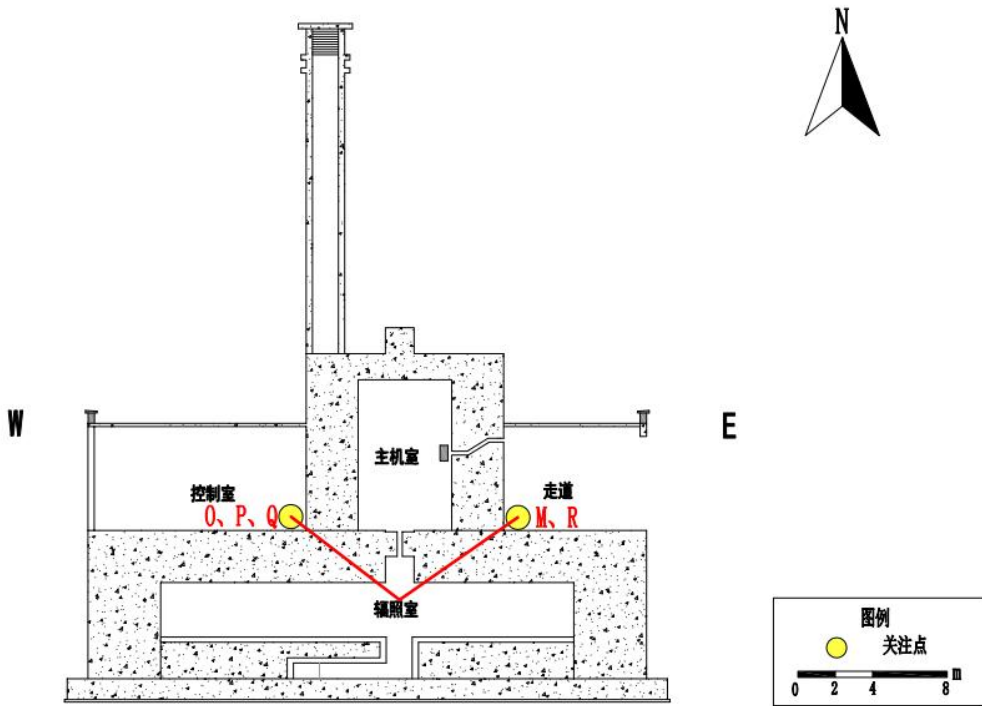
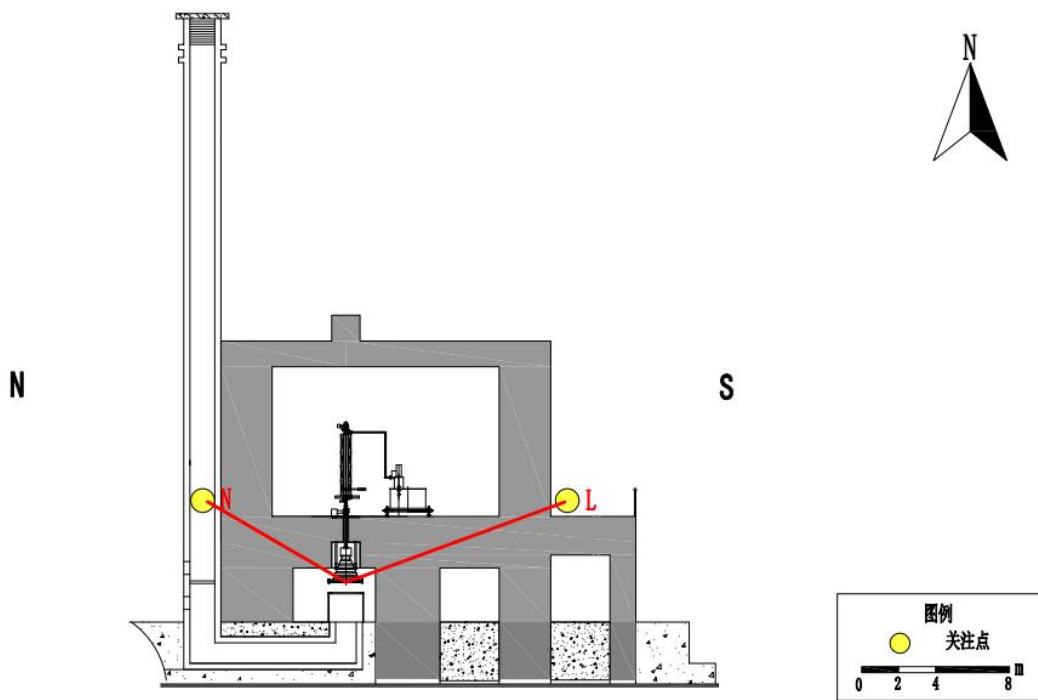


图 11.2-1 加速器机房关注点分布图（平面）



A-A剖面图



B-B剖面图

图 11.2-2 加速器机房关注点分布图（剖面）

11.2.1.1 加速器机房四周屏蔽墙外辐射影响分析

(1) X 射线发射率

本项目 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率公式如下：

$$D_{10} = 60 \times Q \times I \times f_e \quad \text{式 (11-1)}$$

式中： D_{10} ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h）；

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

I ——电子束流强度（mA）；

f_e ——X 射线发射率修正系数（m），本项目保守取 1。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.1 和表 A.4，10MeV 电子加速器距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $13.5 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，侧向 90° 的 X 射线等效能量为 6MeV。本项目加速器束流强度为 2.2mA，根据式（11-1）可得，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为 $60 \times 13.5 \times 2.2 \times 1 = 1.78 \times 10^3 \text{Gy/h}$ 。

此外，本项目加速器束流损失率为 2%，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》（HJ 979-2018），3MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $3.2 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，侧向屏蔽能量取相应等效能量 1.9MeV。根据式（11-1）可得，主机室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为 $60 \times 3.2 \times 2.2 \times 2\% \times 1 = 8.448 \text{Gy/h}$ 。

(2) 侧向直射辐射剂量率计算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中式（A-1）、式（A-3）、式（A-4）反推可得，机房周围关注点的直射辐射剂量率计算公式为：

$$H_0 = 10^{-\left(\frac{S \times 100 - T_1}{T_e} + 1\right)} \times D_{10} \times T \div (1 \times 10^{-6}) \div d^2 \quad \text{式 (11-1)}$$

式中： H_0 ——机房周围关注点的直射辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

S ——屏蔽体厚度（m）；

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）；

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）；

T ——居留因子，本项目保守取 1；

d ——X 射线源与参考点之间的距离（m）；

常数（ 1×10^{-6} ）为单位转换系数。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.2 和表 A.3 查出混凝土的 T_1 和 T_e 值：对于辐照室，入射电子能量为 6MeV，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=35.5\text{cm}$ ， $T_e=35.5\text{cm}$ ，对于主机室当入射电子能量为 1.9MeV 时，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=22.1\text{cm}$ ， $T_e=20.1\text{cm}$ 。1#加速器机房侧向直射辐射通过屏蔽后关注点和敏感点的剂量率计算结果见表 11.2.1。

表 11.2.1 1#加速器机房侧向直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

楼层	关注点	位置	S(m)	T_1 (cm)	T_e (cm)	D_{10} (Gy/h)	T	d(m)	$H_0(\mu\text{Sv/h})$
一层 辐照室 周围	A	北侧设备间	2.90	35.5	35.5	1.78×10^3	1	5.42	0.41
	B	东侧过道	2.8					10.17	0.22
	C	东南侧迷道口	5.47					12.97	4.13×10^{-9}
	D	西南侧迷道口	6.17					14.67	3.45×10^{-11}
	E	东南侧出货口	6					15.40	9.42×10^{-11}
	F	西南侧进货口	5.47					16.55	2.54×10^{-9}
	G	西侧楼梯	2.8					12.59	0.15
	H	西北侧配电间	5.63					9.69	2.62×10^{-9}
	I	东北侧楼梯	3.58					7.61	2.53×10^{-3}
	J	南侧外过道	4.17					12.16	2.16×10^{-5}
	K	西南侧楼梯	8.46					16.41	9.75×10^{-18}
二层 主机房 周围	O	西侧水机组间	2.00	22.1	20.1	8.448	1	4.33	6.35×10^{-5}
	P	西侧电源间	2.21					4.67	4.93×10^{-6}
	Q	西南侧控制室	4.45					9.46	8.61×10^{-18}
	L	南侧过道	2.00					8.60	1.61×10^{-5}
	M	东侧过道	2.00					4.63	5.56×10^{-5}
	N	北侧风机	2.00					5.41	4.07×10^{-5}
	R	东侧迷道口	3.38					7.7	2.74×10^{-12}
3号厂房办公区			5.63	35.5	35.5	1.78×10^3	1	22.36	4.92×10^{-10}
南侧鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼			5.47	35.5	35.5	1.78×10^3	1	35	5.67×10^{-10}

(3) 屋顶直射辐射剂量率计算

电子加速器辐照装置开机时，会对其主机室和辐照室的屋顶产生直射辐射。由于本项目加速器机房内的电子加速器辐照装置开机时，其主机室及其屋顶上方均为无人到达，因此本评价主要考虑从一层辐照室 X 射线源直射到二层主机室周围辅助房间（只考虑紧邻主机室的关注点）的剂量，计算方法同公式(11-1)，计算结果见表 11.2.2。

表 11.2.2 加速器机房屋顶直射辐射通过屏蔽后关注点剂量率计算结果

楼层	关注点	位置	S(m)	T ₁ (cm)	T _e (cm)	D ₁₀ (Gy/h)	T	d(m)	H _i (μSv/h)
二层 主机 房周 围	O	西侧水机组间	5.26	35.5	35.5	1.78×10 ³	1	5.26	9.81×10 ⁻⁸
	P	西侧电源间	5.26					5.26	9.81×10 ⁻⁸
	Q	西南侧控制室	5.26					5.26	9.81×10 ⁻⁸
	L	南侧过道	7					9.16	4.06×10 ⁻¹³
	M	东侧过道	3.71					5.54	2.05×10 ⁻³
	N	北侧风机	4.49					6.20	1.04×10 ⁻⁵
	R	东侧迷道口	3.71					5.54	2.05×10 ⁻³

(3) 迷道外入口散射辐射剂量率计算

迷道外入口散射辐射剂量率采用下式计算：

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

式中： $H_{1, rj}$ ——迷道外入口散射辐射剂量率（μSv/h）；

α_1 ——入射到第一个散射体的 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（m²）；

A_2 ——迷道的截面积（m²，假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在 1~2 之间）；

d_1 ——X 射线源与第一散射物质的距离（m）；

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

j ——指第 j 个散射过程。

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 α_1 取值 5×10^{-3} ，对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 （假设一次散射后的放射过程一样， $E=0.5\text{MeV}$ ）取值 2×10^{-2} 。

辐射室迷道散射面积的确定： A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积，之后的散射面积均为迷道宽度与高度的乘积。对于本项目 C 点： $A_1 = (3.27+3.56) \times 2.10 = 14.34\text{m}^2$ ， $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = 2.30 \times 2.10 = 4.83\text{m}^2$ ，D 点： $A_1 = (3.06+3.56) \times 2.10 = 13.9\text{m}^2$ ， $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = 2.30 \times 2.10 = 4.83\text{m}^2$ 。

主机室迷道散射面积的确定：本项目 M 点： $A_1 = 3.62 \times 5.80 = 20.99\text{m}^2$ 。

表 11.2.3 加速器机房迷道散射辐射剂量率计算结果

楼层	关注点	位置	散射次数 j	路径 $d_1, d_{r1}, \dots, d_{rj}$	$H_{1,rj}(\mu\text{Sv/h})$
一层辐照室周围	C	东南侧迷道口	5	5.45, 4.83, 5.54, 4.3, 7.39, 2.12	1.11×10^{-5}
	D	西南侧迷道口	5	7.79, 4.83, 5.01, 4.30, 6.95, 2.12	7.3×10^{-6}
二层主机房周围	M	东侧主机房门口	1	5.25, 4.09	1.92×10^3

(4) 加速器机房四周关注点的总剂量率

通过上述预测分析，本项目加速器机房四周各关注点的总剂量率之和结果见表 11.2.4。

表 11.2.4 加速器机房四周各关注点的总剂量率计算结果

楼层	关注点	位置	侧向直射辐射剂量率 $H_0(\mu\text{Sv/h})$	屋顶直射辐射剂量率 $H_I(\mu\text{Sv/h})$	迷道散射辐射剂量率 $H_{1,rj}(\mu\text{Sv/h})$	叠加辐射剂量率 $H_{\text{总}}(\mu\text{Sv/h})$
一层辐照室周围	A	北侧设备间	0.41	/	/	0.41
	B	东侧过道	0.22	/	/	0.22
	C	东南侧迷道口	4.13×10^{-9}	/	1.11×10^{-5}	1.11×10^{-5}
	D	西南侧迷道口	3.45×10^{-11}	/	7.3×10^{-6}	7.30×10^{-6}
	E	东南侧出货口	9.42×10^{-11}	/	/	9.42×10^{-11}
	F	西南侧进货口	2.54×10^{-9}	/	/	2.54×10^{-9}
	G	西侧楼梯	0.15	/	/	0.15
	H	西北侧配电间	2.62×10^{-9}	/	/	2.62×10^{-9}
	I	东北侧楼梯	2.53×10^{-3}	/	/	2.53×10^{-3}
	J	南侧外过道	2.16×10^{-5}	/	/	2.16×10^{-5}
	K	西南侧楼梯	9.75×10^{-18}	/	/	9.75×10^{-18}
二层主机房周围	O	西侧水机组间	6.35×10^{-5}	9.81×10^{-8}	/	6.35×10^{-5}
	P	西侧电源间	4.93×10^{-6}	9.81×10^{-8}	/	4.93×10^{-6}
	Q	西南侧控制室	8.61×10^{-18}	9.81×10^{-8}	/	9.81×10^{-8}
	L	南侧过道	1.61×10^{-5}	4.06×10^{-13}	/	1.61×10^{-5}
	M	东侧过道	5.56×10^{-5}	2.05×10^{-3}	/	2.05×10^{-3}
	N	北侧风机	4.07×10^{-5}	1.04×10^{-5}	/	5.11×10^{-5}
	R	主机室东侧门口	2.74×10^{-12}	2.05×10^{-3}	1.92×10^3	1.92×10^3
3号厂房办公区楼下			4.92×10^{-10}	/	/	4.92×10^{-10}
南侧鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼下			5.67×10^{-10}	/	/	5.67×10^{-10}

由表 11.2.4 可知，本项目辐照室迷道入口处周围剂量当量率最大为 $0.41 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求。

因此，本项目辐照室迷道的设计是合理的，辐照室的出入口处无需特别防护，仅设置普通门即可。

主机室入口处的周围剂量当量率为 $1.92 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ，远大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量，因此加速器机房主机室入口需要设置防护门。本项目辐照室主机室防护门拟采用 800mm 混凝土，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 MeV 的 X 射线其散射一次后能量均为 0.5MeV，故本项目取 0.5MeV 对应的透射因子进行计算，经防护门屏蔽后，主机室迷道入口处周围剂量当量率计算方法同公式（11-1），计算结果见表 11.2.5。

表 11.2.5 主机室防护门外辐射剂量率计算结果

位置	屏蔽前剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽厚度	$T_1(\text{cm})$	$T_e(\text{cm})$	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
主机室东侧门口	1.92×10^3	800mm 混凝土	15.2	11.9	3.47×10^{-2}

综上所述，本项目辐照室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 $0.41 \mu\text{Sv/h}$ ，各主机室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 $3.47 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）和《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）的要求。

此外，本项目临近右侧 Co-60 车间，因此考虑辐射环境叠加影响，根据企业 Co-60 车间 2023 年度场所监测报告（详见附件 10）中，Co-60 车间周边辐射剂量率为 $0.13 \mu\text{Sv/h} \sim 0.19 \mu\text{Sv/h}$ 。保守起见，取检测点位剂量率最大值 $0.19 \mu\text{Sv/h}$ （15 号点位，水处理间东墙表面 30cm），叠加上本项目辐照室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大值 $0.41 \mu\text{Sv/h}$ ，叠加后剂量率为 $0.6 \mu\text{Sv/h}$ ，同样满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）和《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）的要求。

11.2.1.2 屋顶天空反散射影响分析

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，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》（HJ 979-2018）附录 A 公式（A-6）

可知，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率计算公式为：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} \times (B_{xs} \times D_{10} \times \Omega^{1.3})}{(d_i \times d_s)^2} \quad \text{式 (11-3)}$$

$$B_{xs} = 10^{-\left(\frac{S \times 100 - T_1}{T_e} + 1\right)} \quad \text{式 (11-4)}$$

式中： H ——距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

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)。

其中，由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角 Ω 的计算公式为：

$$\Omega = 4 \times \text{tg}^{-1} \frac{a \times b}{c \times d} \quad \text{式 (11-5)}$$

式中： a ——屋顶长度之半 (m)；

b ——屋顶宽度之半 (m)；

c ——源到屋顶表面中心的距离 (m)；

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

(2) 计算结果

辐照室辐射源：辐照室辐射源距离加速器机房屋顶表面中心的距离 c 为 9.3m，屋顶长度之半 a 为 3.8m、宽度之半 b 为 6.4m，根据式 (11-5) 可计算得出 $\Omega = 0.864\text{Sr}$ 。

主机室辐射源：主机室辐射源距离加速器机房屋顶表面中心的距离 c 为 4.2m，屋顶长度之半 a 为 3.8m、宽度之半 b 为 6.4m，根据式 (11-5) 可计算得出 $\Omega = 2.382\text{Sr}$ 。

本评价将公众所能到达区域 P 点的距离 d_s 保守取 X 射线源至加速器机房辐照室北墙表面 30cm 处的距离，即 5.42m。其他因子同上式。项目加速器机房天空反散射屏蔽效果核算情况详见表 11.2.6。

表 11.2.6 加速器机房天空反散射屏蔽效果核算情况

楼层	$D_{10}(\text{Gy/h})$	S(m)	$T_1(\text{cm})$	$T_e(\text{cm})$	B_{xs}	$\Omega(\text{Sr})$	$d_i(\text{m})$	$d_s(\text{m})$	H($\mu\text{Sv/h}$)
一层辐照室	1.78×10^3	2.0	35.5	35.5	2.32×10^{-6}	0.864	11.3	5.42	2.28×10^{-8}
二层主机房	8.448	1.0	22.1	20.1	1.33×10^{-5}	2.382	6.2	5.42	7.70×10^{-9}

由表 11.2.5 可知，本项目电子加速器辐照装置产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的

天空反散射所致机房周围辐射剂量率最大为 $2.28 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ ，对项目机房周围的辐射环境影响很小。

11.2.1.3 通风管道及通风口辐射防护影响分析

本项目加速器机房主机室和辐照室内均拟安装机械通风装置，拟设排风管道。项目机房辐照室采用埋地排风管道，管道埋深为 1600mm，尺寸为 $\Phi 1000\text{mm}$ ，排风管道从辐照室地下穿过，由机房外北侧穿出，后贯穿厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 31m。项目电子加速器辐照装置产生的 X 射线需经过通风管道至少四次散射后才能到达机房外，参考《辐射防护导论》（方杰 主编）P189 中相关内容，项目排风管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

11.2.1.4 冷却水管、线缆管辐射防护分析

本项目主机室有穿墙的冷却水管、连接加速器主机与电源柜的穿墙电缆管、强弱电、安全连锁线管等。上述管道在穿墙时采用 Z”型或“L”型或“斜 45 度”等方式穿过墙体，可使射线在管道内经过多次散射方能穿出墙体，其不破坏墙体的辐射防护，对墙体的屏蔽影响较小。

11.2.1.5 X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响分析

本项目加速器机房的高度为 10.9m，根据现场及建设单位提供资料，邻近区域内高层建筑主要为 3 号厂房办公区、公司综合办公楼、鑫志恒公司宿舍楼，故本评价需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对其的辐射影响，X 射线通过屋顶的侧向散射辐射计算结果见表 11.2.7。

通过混凝土屋顶 X 射线的侧向散射计算公式如下：

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{\left[1 + \frac{(t T_1)}{T_e}\right]}} \quad \text{式 (11-6)}$$

式中： H —— X 射线侧向散射周围剂量当量率（Sv/h）；

D_{10} —— 靶上方 1 米处 X 射线的吸收剂量率（Gy/h）；

F —— 靶上方 1 米处照射野的面积（ m^2 ）；

$f(\theta)$ —— X 射线的角度分布函数；

d_R —— 从屋顶上方束流中心到关注点的距离（m）；

t —— 屋顶的厚度（m）；

T_1 、 T_e —— 分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层（m）。

表 11.2.7 X 射线通过屋顶的侧向散射辐射计算

位置	楼层	D_{10}	F	$f(\theta)$	d_R	t	T_l	T_e	H
3号厂房 办公区	一楼辐照室	1780	0.16	0.1	21.21	2.0	0.355	0.355	0.14
	二楼主机室	8.448	24	0.1	21.21	2.0	0.221	0.201	6.36×10^{-7}
综合办 公楼	一楼辐照室	1780	0.16	0.014	31.6	2.0	0.355	0.355	0.009
	二楼主机室	8.448	24	0.014	31.6	2.0	0.221	0.201	4.01×10^{-7}
鑫志恒 宿舍	一楼辐照室	1780	0.16	0.005	50.99	2.0	0.355	0.355	0.0012
	二楼主机室	8.448	24	0.005	50.99	2.0	0.221	0.201	5.49×10^{-8}

由表 11.2.7 可知，经过计算，X 射线通过屋顶的侧向散射辐射辐射剂量率最大值为 $0.14\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的标准。

11.2.1.6 年有效剂量估算

辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算公式如下：

$$H = D_r \times T \times t \times U \quad \text{式 (11-7)}$$

式中： H ——年有效剂量当量（ mSv/a ）；

D_r ——空气吸收剂量率（ mSv/h ）；

T ——居留因子，职业人员全居留取 1，公众人员宿舍楼保守取 1、部分居留取 1/4、偶然居留取 1/16；

t ——年受照时间（ h/a ）；

U ——使用因子，本项目保守取 1。

(1) 职业人员年有效剂量

职业工作人员的受照剂量考虑控制室的操作人员及加速器外上料区和下料区的搬运工人，其中控制室的操作人员为辐射工作人员，进货口和出货口的搬运工人为非辐射工作人员（按公众人员计）。根据建设单位提供资料，每个工作人员每年工作 2000 小时，计算时居留因子取 1。本项目加速器机房工作人员所致年有效剂量情况详见表 11.2.8。

表 11.2.8 本项目工作人员所致年有效剂量情况

工作人员	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
加速器机房控制室工作人员	9.81×10^{-8}	2000	1	1.96×10^{-7}
加速器机房搬运工人	2.54×10^{-9}	2000	1	5.08×10^{-9}

(2) 其他公众人员

本评价其他公众人员受照时间按 1 个班的时间计算，项目电子加速器辐照装置工作时，除 3 号厂房办公区和厦门鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼人员外，四周基本无

人居留。3号厂房办公区主要以仓库、辅助用房为主，无人员长时间居留，本评价居留因子取1/4，厦门鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼公众人员居留因子取1，其他公众人员居留因子取1/16，加速器机房周围公众年有效剂量估算结果详见表11.2.9。

表 11.2.9 本项目加速器机房周围公众年有效剂量估算结果

楼层	位置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
一层辐照室周围	北侧设备间	0.41	2000	1/16	0.05
	东侧过道	0.22	2000	1/16	0.03
	东南侧迷道口	1.11×10^{-5}	2000	1/16	1.88×10^{-6}
	西南侧迷道口	7.3×10^{-6}	2000	1/16	9.13×10^{-7}
	东南侧出货口	9.42×10^{-11}	2000	1/16	1.18×10^{-12}
	西南侧进货区	2.54×10^{-9}	2000	1/16	3.18×10^{-11}
	西侧楼梯	0.15	2000	1/16	0.02
	西北侧配电间	2.62×10^{-9}	2000	1/16	3.28×10^{-10}
	东北侧楼梯	2.53×10^{-3}	2000	1/16	3.16×10^{-4}
	南侧外过道	2.16×10^{-5}	2000	1/16	2.70×10^{-6}
	西南侧楼梯	9.75×10^{-18}	2000	1/16	1.22×10^{-18}
二层主机房周围	西侧水机组间	6.35×10^{-5}	2000	1/16	7.94×10^{-6}
	西侧电源间	4.93×10^{-6}	2000	1/16	6.16×10^{-7}
	西南侧控制室	9.81×10^{-8}	2000	1/16	1.23×10^{-8}
	南侧过道	1.61×10^{-5}	2000	1/16	2.01×10^{-6}
	东侧过道	2.05×10^{-3}	2000	1/16	2.56×10^{-4}
	北侧风机	5.11×10^{-5}	2000	1/16	6.39×10^{-6}
	主机室东侧门口	3.47×10^{-2}	2000	1/16	4.33×10^{-3}
3号厂房办公区地面		4.92×10^{-10}	2000	1/4	2.46×10^{-11}
鑫志恒宿舍地面		5.22×10^{-10}	6000	1	3.40×10^{-9}
3号厂区办公区（3层以上）		0.14	2000	1/4	0.07
鑫志恒宿舍（4层以上）		0.0012	6000	1	0.007
综合办公楼		0.009	2000	1	0.018

(3) 人员辐射剂量叠加影响分析

由于本项目加速器机房周边剂量率较低，经与周边敏感点之间距离和墙体等因素，对项目周边敏感点的影响较小。本评价主要考虑东侧 Co-60 车间放射源同时运行时对项目厂房内职业人员的叠加影响，东侧 Co-60 车间辐射工作人员四个季度的剂量辐射工作人员个人剂量最大值为 0.2mSv，即本项目控制室工作人员的年叠加有效剂量为 $1.96 \times 10^{-7} + 0.2 = 0.2 \text{mSv/a}$ 。

从上述估算结果可以看出，本项目运营后，辐射工作人员年有效剂量最大值为

0.2mSv，公众人员年有效剂量最大值为 0.07mSv，低于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中关于“个人年有效剂量”的要求（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

11.2.3 三废治理措施

(1) 氮氧化物及臭氧等气体废物

工业辐照电子加速器在工作状态时，电子束会电离空气中的氧气分子产生一定量的臭氧和氮氧化物等有害气体。由于氮氧化物的产额及毒性均远低于臭氧，并且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此主要考虑臭氧的产生及防护。只要臭氧排放达标氮氧化物同样也能够排放达标。

本项目加速器机房的辐照室和主机室内均设置有排臭氧风机，考虑臭氧主要由电子束电离空气产生，而电子束基本上都限制在辐照室内，因此辐照室内臭氧产生量和臭氧浓度应远大于主机室内臭氧浓度。因此，本评价主要计算辐照室内臭氧产生量和通风情况。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B，平行电子束所致臭氧（O₃）的产生率用以下公式进行保守估算：

$$P = 45 \times d \times I \times G \quad \text{式 (11-7)}$$

式中： P ——单位时间电子束产生 O₃ 的质量（mg/h）；

I ——电子束流强（mA），本项目为 2.2mA；

d ——电子在空气中的行程（cm），根据厂家提供数据，本项目取 100cm；

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

辐照室臭氧的平衡浓度为：

$$C_s = \frac{P \times T_e}{V} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中： C_s ——长时间辐照时，辐照室空气中臭氧平衡浓度（mg/m³）；

T_e ——对臭氧的有效清除时间（h），加速器长时间辐照时， $T_e \approx T_v$ ， T_v 为辐照室换气一次所需时间（h）；

V ——辐照室体积（m³）。

本项目每间加速器机房的辐照室体积均为 147.46×2.1=309.67m³，排风量为 15000m³/h，每小时通风换气次数约为 48 次。项目每间加速器机房的辐照室空气中臭

氧平衡浓度估算结果详见表 11.2.10。

表 11.2.10 本项目每间加速器机房的辐照室空气中臭氧平衡浓度估算结果

参数	I (mA)	d (cm)	G	T _e (h)	V (m ³)	C _s (mg/m ³)
加速器	2.2	100	10	1/48	309.67	6.5

根据表 11.2.10 可知，项目加速器长期正常运行期间，室内臭氧的饱和平衡浓度大大高于 GB/T 25306-2010 中规定的工作场所臭氧最高容许浓度 0.3mg/m³。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。为确保室内臭氧浓度满足不超过臭氧最高容许浓度，风机继续运行所需的时间见式 (11-9)。

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad \text{式 (11-9)}$$

式中：C₀——GBZ 2.1-2019 规定的臭氧的最高容许浓度 (mg/m³)，0.3mg/m³；

T——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需的时间 (h)。

表 11.2.11 本项目臭氧影响分析计算结果

参数	T _e (h)	C ₀ (mg/m ³)	C _s (mg/m ³)	T (h)	T (min)
加速器	1/48	0.3	6.5	0.06	3.75

由上式计算结果可知，加速器停止工作后，辐照室内通风系统继续以 15000m³/h 的通风量工作，通过 3.75min 的通风排气，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 2.1-2019) 中“臭氧最高容许浓度 0.3mg/m³”，此时，工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器通风系统自带时间限制功能控制程序，确保加速器停机后，通风系统继续运行预先设定的 3.75min (为便于程序设定) 后，主机室和辐照室三扇门的电磁锁才能打开，以确保辐照室和主机室内臭氧等有害气体浓度排放至低于允许值。此外，建设单位应加强对辐射工作人员的管理与培训，并在操作规程管理制度中明确：加速器停机至少 5min 后方可进入辐照室及主机室。

(2) 废水

本项目废水主要为工作人员的生活污水。生活污水经化粪池处理达标后排入市政污水处理管网。

本项目有冷却水循环系统，在加速器运行期间，冷却水被活化会含有放射性核素，主要为 ¹⁵O、¹⁶N，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3S，半衰期很短，在放置一定时间

后其活度就可以衰减到较低的水平。公司在操作规程管理制度内规定，在加速器停机后 21min（ ^{15}O 的十个半衰期）内不得有人员进入水机组间。此外，冷却水存放于单独的密闭水箱中，冷却水循环使用不外排，在调试或维护设备时不会打开水箱，因此，本项目不设计放射性废水排放问题。

（3）固体废物

本项目工作人员产生的少量生活垃圾经分类收集后，定期交由环卫部门处置，对环境的影响较小。

（4）噪声

本项目加速器机房拟配备低噪声风机，风机拟安装于加速器机房东侧走道内，拟配备的风机声功率级约 70dB（A）。公司拟采取基础减震、建筑隔声（厂房墙体）等措施，降噪后预计能达到 55dB（A）左右，此外，再经过厂区内距离衰减后，本项目低噪声风机的噪声对厂界外声环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

（1）本项目电子加速器辐照装置工作场所可能发生的辐射事故为：

① 由于管理不善或安全联锁失效，在系统出束时，现场工作人员或周围公众成员误入辐射防护区，给上述工作人员或公众成员造成不必要的照射。

② 辐照通道内通风速度或通风时间不够导致加速器停机后，现场维护人员进入臭氧浓度超标的辐照通道造成意外。

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

11.3.2 事故处理原则及应急措施

（1）处理原则

根据上述分析，本项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的机房。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

① 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止射线的产生。

② 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③ 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

④ 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤ 事故处理后应累计资料，及时总结报告。建设单位对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点、所有涉及的事故责任人和受害者名单、对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果、所做的任何医学检查及结果、采取的任何纠正措施、事故的可能原因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

⑥ 对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，同时及时上报公安部门、生态环境部门和卫生部门。

(2) 应急措施

本项目辐射事故应急措施主要包括以下几个方面：

① 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。

② 应急小组对受照情况作出初步判断，是否构成事故等级。

③ 如果构成事故等级，按规定上报公安部门、生态环境部门和卫生部门。

④ 保护现场等待公安部门、生态环境部门和卫生部门到现场调查和处理。

⑤ 积极配合事故处理的有关部门对事故的原因、等级、处置办法、影响消除、应急解除、分级报告和恢复工作。

⑥ 纠正和整改。

一旦有辐射事故发生，应及时处理，严格按放射事故处理规定等要求，同时上报公安部门、生态环境部门和卫生部门，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，使辐射危害控制在最小范围之内。

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

① 确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。

② 根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间。

③ 现场处置任务的工作人员应佩戴防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。

④ 应尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

⑤ 事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

⑥ 以上应急响应流程建设单位应每年组织演练一次。

(3) 事故预防措施

引起辐射事故（事件）的原因可分为人为因素、技术因素或其它因素。人为因素如蓄意破坏、偷盗、违反操作规程、操作失误、安全观念淡薄、管理缺失等；技术因素为设计不合理、设备故障等；其它因素如自然原因等。

为加强辐射安全管理工作，建设单位应从辐射安全管理、辐射安全意识两方面着手，提高辐射安全文化素养，加强辐射防护意识，预防辐射事故发生。为减少事故发生，建设单位需做好以下工作：

① 建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，定期组织辐射安全文化、法律法规培训，开展辐射安全实践活动，提高辐射安全文化素养，提高工作人员的核安全意识和专业技术知识。

② 倡导严谨质疑的工作态度，树立知责任、负责任的责任意识，建立机制鼓励工作人员发现潜在的管理问题和安全隐患，建立有效的经验反馈机制，预防人因失误。

③ 定期对辐射安全与环境保护措施效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，预防技术因素引起辐射事故。

④ 射线装置发生故障而紧急停机后，在未查明原因或维修结束前，不得重新启动辐射源。

⑤ 调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员。调试结束后，应及时恢复安全联锁并经确认系统正常。

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

12.1.1 机构设置

公司已有 I 类放射源，已根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线放射防护条例》的有关规定成立辐射安全与防护管理小组，总经理为管理小组组长。

厦门安诺辐照有限公司辐射安全与防护管理小组

管理小组组长：李群鸣

管理小组副组长：张 懿

辐射安全责任人：王 树 杨国栋

组员：林炳贤 邹炳荣 陈保永 傅锦龙

领导小组职责划分：明确应急领导小组各组员的具体职责，第一责任部门负责应急预案的修订、落实演练，以及事故时向生态环境、公安和卫生主管部门的报告等工作，负责保卫的部门承担放射性物质丢失、被盗事故中厂区的警戒和厂内调查工作等。

12.1.2 辐射工作人员管理

(1) 个人剂量检测

建设单位拟为辐射工作人员配置个人剂量计和个人剂量报警仪。使用个人剂量报警仪可及时知道自身所处环境的辐射水平，避免在不知情的情况下长时间在高辐射剂量率水平的工作场所滞留。个人剂量计每季度送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应终生保存。

(2) 辐射工作人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和管理办法》要求，所有辐射工作人员必须通过生态环境部举办的辐射安全和防护专业知识培训及相关法律法规的培训和考核，本项目均为新进的辐射工作人员，必须到生态环境部培训平台（<http://fushemee.gov.cn>）报名培训考核并取得成绩单，经考核合格后方可上岗。

(3) 辐射工作人员职业健康体检

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

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许可管理办法》的要求，使用 II 类射线装置的单位，应建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训制度、台帐管理制度和监测方案、事故应急制度；根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素和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 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

由于由于公司已有 I 类放射源，厦门安诺辐照有限公司已经制定了《辐照装置运行操作规程》、《个人剂量和职业健康管理规定》、《辐射防护培训规定》、《辐射事故应急预案》等辐射管理规章制度，部分相关规章制度已上墙明示，并已严格执行。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

建设单位为本项目拟配置 1 台便携式辐射监测仪，用于厂区内加速器机房的定期自行检测，并做好监测记录；配置 5 台个人剂量报警仪、15 枚个人剂量计，供辐射工作人员用于日常辐射工作过程中剂量监测和瞬时辐射剂量率的报警。

12.3.2 辐射工作场所监测

(1) 日常监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 3 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 18 号）中的相关要求，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进

行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。

具体监测方案如下：

① 每年委托有资质的单位对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

② 监测项目：周围剂量当量率/X- γ 辐射空气吸收剂量率。

③ 监测频度：每年委托有资质单位进行一次年度监测。

④ 监测范围：主要对辐照室及主机室各出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外30cm处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房等。

⑤ 定期检查机房的安全性能，防止射线泄漏，周期：每年1~2次。

(2) 验收监测计划

本项目工作场所建成后，及时组织开展竣工环保验收工作，并根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中相关规定对辐射工作场所开展竣工环保验收监测。本项目竣工环境保护验收辐射监测计划见表12.3.1。

12.3.3 个人剂量监测

本项目辐射工作人员在工作时均需佩戴个人剂量计，并按每季度1次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，落实个人剂量档案。建设单位应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，并向生态环境部门报告。

本项目工作人员也将委托有资质的第三方检测机构对个人剂量进行岗前、在岗、岗后的持续监测，并做好档案管理。

12.3.4 项目辐射监测计划汇总

本项目辐射监测计划汇总见表12.3.1。

表 12.3.1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	年度监测频率
加速器机房	机房辐照室及主机室各出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房等	实测	周围剂量当量率	每年 1 次委托有资质单位监测； 每月 1 次设备科巡测
项目敏感点	南侧鑫志恒海绵制品有限公司	实测		每年 1 次
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计	实测	累计计量	每年 4 次
竣工环境保护验收监测	机房辐照室及主机室各出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房等	实测	周围剂量当量率 /X-γ辐射剂量率	本项目运行后

12.4 辐射事故应急处置

依照国家环保总局的《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》（环发[2006]145 号）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目使用 II 类射线装置，多可能发生“射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射”的一般辐射事故。

建设单位还需为本项目工业辐照加速器制定辐射事故应急方案，应急方案内容应包括：

- (1) 应急机构、组成人员以及职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 应急人员的组织、培训；
- (4) 应急监测和应急物资的准备；
- (5) 应急演练计划。

建设单位应根据本项目辐射事故特点（详见“11.3 事故影响分析”章节）制定完善的辐射事故应急方案，使之可行且具有较好的操作性。建设单位应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，尽可能避免辐射事故的发生。

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方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时，

在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》上报。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向当地卫生健康部门报告。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.5.1。

表 12.5.1 辐射环境保护“三同时”验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
辐射安全管理机构	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，以文件形式明确各成员的管理职责。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 2、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 3、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》
辐射防护措施	本项目加速器机房四周墙体的防护，详见表 10.2.3。	
	安全防护措施： 主要包括钥匙控制 3 套、门机联锁装置 3 套、信号警示装置 3 个、巡检按钮 7 个、防人误入装置 3 套、急停开关 7 个、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警探测器 2 个、警告标志、监控系统、应急照明系统、灭火设施以及其他安全措施等。	
	配备个人剂量计（所有辐射工作人员）、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪、固定式剂量报警仪等辐射监测仪器与防护用品。	
	机房辐照室采用埋地排风管道，管道埋深为 1600mm，排风量为 15000m ³ /h，排风管道从辐照室地下穿过，加速器机房辐照室的排风管道由机房外北侧穿出，后贯穿厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 31m。	
	机房电线管、冷却水管等管道在穿墙时，采用“Z”型或“L”型或“斜 45 度”等方式，并对管道口进行封堵。	
人员配备	辐射工作人员必须参加有资质单位组织的辐射安全与防护培训，持证上岗。	
	辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作，并建立职业健康监护档案。	
	辐射工作人员配备个人剂量计，个人剂量计每季度送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应终生保存。	
管理措施	制定相关辐射安全管理制度。	
	每年委托有资质的单位对辐射工作场所及环周围境辐射水平进行监测，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	
废气	产生的臭氧 O ₃ 和氮氧化物 NO _x 通过机房的通风系统引至楼顶排出。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

厦门安诺辐照有限公司位于福建省厦门市翔安区翔安东路 10888 号厦门安诺辐照有限公司内 3 号厂房，3 号厂房占地面积为 1784.94m²。为满足生产需要，厦门安诺辐照有限公司拟在 3 号厂房东侧建设一条辐照灭菌加工线，新增 1 台电子加速器辐照装置（电子束最大能量 10MeV，束流强度 2.2mA）。项目主要在厂房内建设 1 座工业辐照电子加速器机房和配套的控制室、配电间等工作用房，并同时在厂区内配套建设办公楼等辅助用房等。机房四周墙体及顶棚主要采用混凝土现浇（回填），并设置迷路和动力通风装置等防护措施。本项目辐射工作的种类和范围为使用 II 类射线装置。

13.1.2 选址合理性分析

安诺辐照公司拟在现有厂区内扩建电子加速器辐照生产线。现有厂区位于翔安区马巷镇巷北工业区内，四周均为生产型企业（含员工宿舍）和市政次干道，新增电子加速器机房集中布置于厂区中部，与现有的 Co-60 车间相邻，尽量远离厂界，机房设有单独出、入口，可做到相对独立布置和集中设置。

本项目 50m 评价范围内的环境敏感点主要为北侧已建、西侧在建的安诺辐照综合楼（15m）和办公楼（2m），以及南侧的厦门鑫志恒海绵制品有限公司宿舍楼（35m）。本项目机房位于 3 号厂房内，仅加速器机房的操作人员和搬运工人可以进入该区域内。

机房采用专业辐射屏蔽设计方案，由混凝土现浇，设置迷道、动力通风装置等防护措施，经预测，在本项目防护设施、距离以及隔室墙体衰减后，控制区外 30cm 处周围剂量当量率低于 2.5 μSv/h 的标准，环境敏感点的公众成员个人年有效剂量低于 0.1mSv，均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中有关辐射屏蔽设计的要求。

综上所述，本项目辐射工作场所选址考虑了周边情况，项目作业与其他车间不交叉，避开人群聚集区，在采取设计的防护措施情况下，运行时对周围环境辐射影响小。总体来说，本项目选址是合理的。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全设施

本项目 1 座工业辐照电子加速器机房采取的屏蔽防护能满足辐射防护要求。项目机房布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ 979-2018）中相关要求对屏蔽防护进行了设计，设置动力排风装置进行通风换气，并配备相应的个人防护用品满足标准要求。

(2) 辐射安全管理

由于公司已有 I 类放射源，公司已成立辐射安全与防护管理小组，制定了《辐照装置运行操作规程》《个人剂量和职业健康管理规定》《辐射防护培训规定》《辐射事故应急预案》等辐射管理规章制度，部分相关规章制度已上墙明示，并已严格执行。

本项目辐射工作人员均为新增人员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。在认真落实以上辐射安全管理制度的情况下，本项目辐射安全管理能满足辐射安全管理要求。

13.1.4 环境影响评价结论

本项目主要是对项目厂区进行建设，施工期环境影响只是一个短期效应，通过采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，对周围环境的影响较小。

本项目涉及的电子加速器辐照装置位于 3 号厂房东侧的加速器机房。机房均为两层混凝土结构，机房一层为辐照室，采用双迷道设计，迷道为“弓”型多折线的方式，辐照室长 19.50m、宽 12.80m、高 2.10m，面积（含迷道）约 147.46m²；机房二层为主机室，采用单迷道设计，迷道为“L”型的方式，主机室长 5.70m、宽 8.80m、高 5.80m，面积（含迷道）约 34.3m²。

加速器机房一层辐照室北墙为 2800mm 混凝土；东墙为 1000~2800mm 混凝土，南 1 墙为 2000mm 混凝土，南 2 墙为 2000mm 混凝土，南 3 墙为 1000mm 混凝土，南 4 墙为 1000mm 混凝土；西墙为 1000~2800mm 混凝土；屋顶为 1000~2000mm 混凝土。加速器机房二层主机室北墙为 2000mm 混凝土；东墙为 2100mm 混凝土；南墙为 2000mm 混凝土；西墙为 2000mm 混凝土；屋顶为 1000~2000mm 混凝土。

本项目 1 座工业辐照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、门机连锁、束下装置连锁、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、应急照明、灭火系统等。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与防护》（HJ 979-2018）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GBT 25306-2010）中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急信开关等安全设施的要求，项目设计安全可行。

经预测，设备正常运行时，本项目加速器机房的辐照室外表面 30cm 处的周围剂量当量率最大值和主机室外表面 30cm 处的辐射剂量率最大值均小于 2.5 μ Sv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）和《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）的要求。

本项目运营后，辐射工作人员年有效剂量最大值和公众人员年有效剂量最大值低于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中关于“个人年有效剂量”的要求（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

13.1.5 “三废” 处置措施

（1）施工期

项目施工期环境影响主要是施工噪声、扬尘、废水、固体废物等，拟采取以下措施：

①合理安排施工时间，采取消声降噪等措施，降低施工噪声影响。

②通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，降低施工扬尘影响。

③施工废水主要为混凝土搅拌及养护以及各种施工机械设备运转产生的冲洗用水。混凝土搅拌及养护废水产生量较小，一般通过蒸发，不外排。冲洗废水通过隔油沉淀池进行处理，处理后的废水用于施工场地洒水抑尘，不外排。项目不设置施工营地施工人员均为当地村民，住于周边村庄自己家中，生活污水排入现有的排污系统处理。

④建筑垃圾由施工方统一交由有资质的单位接收处置；施工人员生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱后交由环卫部门清运。

（2）运营期

正常运行时，本项目机房不产生放射性废气和医疗废水，在射线装置作用下仅有少量的臭氧和氮氧化物，以及工作人员的生活污水和生活垃圾。

①固体废物

本项目工作人员产生的少量生活垃圾经分类收集后，定期交由环卫部门处置。

②废气

项目 1 座工业辐照电子加速器机房设置设有通风设施，加速器停止运行后，辐照室内通风设施需继续运行 5min，辐照室内臭氧浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》（GBZ 2.1-2019）规定的最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的标准要求。

项目加速器机房辐照室采用埋地排风管道，排风量为 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约为 48 次，排风管道从辐照室地下穿过，加速器机房辐照室的排风管道由机房外北侧穿出，后贯穿厂房屋顶排放，排气筒离地高度为 31m。本项目加速器机房产生的臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，弥散在大气环境中，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

③废水

项目工作人员的生活污水经化粪池处理达标后，排入市政污水处理管网。

13.1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号），本项目属于“鼓励类”中“六、核能”中的“6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目。因此本次厦门安诺辐照有限公司 1 台电子加速器辐照项目符合国家产业政策。

13.1.8 总结论

综上所述，厦门安诺辐照有限公司 1 台工业辐照电子直线加速器项目在落实本报告提出的各项辐射安全防护和环保措施，加强辐射安全管理的前提下，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，项目正常运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目建设是可行的。

13.2 建议和要求

建设单位承诺将根据相关法规条例和技术标准的相关要求，做好以下辐射防护措施：

（1）根据国家有关辐射环境管理法律法规及标准规范要求，建立各项规章制度，严格执行操作规程，落实各项辐射安全和防护措施；

(2) 组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，确保所有辐射工作人员按要求持证上岗；

(3) 配备与辐射工作相适应的监测仪器，严格落实监测计划；

(4) 接受各级环保行政主管部门的监督检查；

(5) 建设项目竣工后，建设单位应按照《建设项目环境保护管理条例》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告；

(6) 取得《辐射安全许可证》后方可开展辐射工作。

表 14 审批

<p>下一级环保部门预审意见</p> <p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p> <p style="text-align: center;">经办人</p>
<p>审批意见</p> <p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p> <p style="text-align: center;">经办人</p>