

核技术利用建设项目

奕瑞影像科技（海宁）有限公司

电子直线加速器测试项目

环境影响报告表

（公示稿）

奕瑞影像科技（海宁）有限公司

2022 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

奕瑞影像科技（海宁）有限公司

电子直线加速器测试项目

环境影响报告表

建设单位名称：奕瑞影像科技（海宁）有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省嘉兴市海宁市海昌街道海宁经济开发区隆兴路

118 号 B 座 1512 室

邮政编码：314400

联系人：

电子邮箱：/

联系电话：

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	7
表 3 非密封放射性物质.....	8
表 4 射线装置.....	9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	10
表 6 评价依据.....	11
表 7 保护目标与评价标准.....	13
表 8 环境质量和辐射现状.....	19
表 9 项目工程分析与源项.....	23
表 10 辐射安全与防护.....	31
表 11 环境影响分析.....	37
表 12 辐射安全管理.....	54
表 13 结论与建议.....	59
表 14 审批.....	64

表 1 项目基本情况

建设项目名称		奕瑞影像科技（海宁）有限公司电子直线加速器测试项目			
建设单位		奕瑞影像科技（海宁）有限公司			
法人代表		■■■■■	联系人	■■■■■	联系电话
注册地址		浙江省嘉兴市海宁市海昌街道海宁经济开发区 隆兴路 118 号 B 座 1512 室			
项目建设地点		浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧			
立项审批部门		海宁市经济和信息化局		批准文号	2101-330481-07-02-981552
建设项目总投资（万元）		3000	项目环保投资（万元）	140	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它（迁建）			占地面积(m ²)
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概述				
1.1.1 建设单位简介					
奕瑞影像科技（海宁）有限公司（统一社会信用代码：91330481MA2JFAKE9K，以下简称“公司”）成立于 2020 年 11 月 25 日，位于浙江省嘉兴市海宁市海昌街道海宁经济开发区隆兴路 118 号 B 座 1512 室，公司主营医疗器械的生产与销售、电子专用设备的生产与销售。					
1.1.2 项目建设目的和任务由来					
公司拟租赁海宁兴谷电子科技有限公司厂房（厂房位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧，厂房正在建设中，国有土地所有权证、租赁协议见附件 5），总投资 2.5 亿人民币，项目总用地面积 64.39 亩，引进大三片镀膜机、切割					

机、元，引进大三片镀膜机、切割机、贴合机、层压机、模切机等先进生产、检测设备仪器，建设智能 X 光探测器研发和产业化基地，研发、生产、销售数字化 X 光探测器产品，形成年产各类智能 X 光探测器 28000 台生产能力，项目全部建成达产后，预计年可实现产值 100000 万元。其中 1 号车间用于平板探测器机加工，危化品仓库和危废仓库位于 1 号车间西北侧，2 号车间用于平板探测器的超声波清洗、真空镀膜与整机组装，3 号车间新建 2 间测试机房及控制室作为平板探测器测试的工作场所。《奕瑞（海宁）智能 X 光探测器关键技术研发及产业化》于 2021 年 01 月 21 日获得海宁市经济和信息化局的备案通知书，项目代码为 2101-330481-07-02-981552，见附件 3，非辐射环评《奕瑞（海宁）智能 X 光探测器关键技术研发及产业化环境影响报告表》正在审批中。

本项目为非辐射环评《奕瑞（海宁）智能 X 光探测器关键技术研发及产业化环境影响报告表》的配套辐射环评项目。本项目拟在 3 号车间新建 2 间测试机房及控制室作为平板探测器测试的辐射工作场所，拟购买 1 台 KAS-15/12000 型电子直线加速器和 1 台 MAS-9/3000 型电子直线加速器作为测试平板探测器的测试设备，年测试各类智能 X 光探测器 2800 台（年生产各类智能 X 光探测器 28000 台，抽检率为 10%）。

对照《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），测试用电子直线加速器属于 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—使用 II 类射线装置”，环境影响评价文件形式应为编制环境影响报告表。

为此，奕瑞影像科技（海宁）有限公司委托杭州卫康环保科技有限公司开展“奕瑞影像科技（海宁）有限公司电子直线加速器测试项目”的环境影响评价工作（委托书见附件 1）。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧的车间 3 第 1 层，本项目拟新建 2 间测试机房及控制室作为平板探测器测试的辐射工作场所，平板探测器的射线能谱范围为 40KeV – 15MeV，购买 1 台 KAS-15/12000 型电子直线加速器（加速器最大能量为 15MV，X 射线束中心轴线上距靶 1m 处最大空气吸收剂量率

为 120Gy/min)和 1 台 MAS-9/3000 型电子直线加速器(加速器最大能量为 9MV, X 射线束中心轴线上距靶 1 m 处最大空气吸收剂量率为 30Gy/min) 作为测试平板探测器的测试设备,1 号测试机房用于射线能谱范围小于或等于 15 MeV 的平板探测器的测试工作, 2 号测试机房用于射线能谱范围小于或等于 9 MeV 的平板探测器的测试工作, 年测试各类智能 X 光探测器 2800 台(年生产各类智能 X 光探测器 28000 台,抽检率为 10%)。

本项目射线装置一览表见表 1-1。

表 1-1 本项目射线装置一览表

设备名称	数量	最大能量 (MeV)	距靶 1m 处剂量 率 (Gy/min)	类别	设备用途	工作场所
KAS-15/12000 型 电子直线加速器	1 台	15	120	Ⅱ类	用于平板探测器性能测试	3 号车间 1 号 测试机房
MAS-9/3000 型 电子直线加速器	1 台	9	30	Ⅱ类	用于平板探测器性能测试	3 号车间 2 号 测试机房

1.1.4 劳动定员及工作制度

(1) 劳动定员: 本项目拟配备 4 名辐射工作人员负责本项目平板探测器的测试与厂内运输等工作, 新增的辐射工作人员拟从公司外部招聘或内部调配。

(2) 工作制度: 项目实行一班制, 每天工作 8 小时, 每年工作 350 天。

1.2 产业政策符合性、实践正当性分析

1.2.1 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录(2019 年本)》, 本项目不属于限制类、禁止类项目, 符合国家产业政策。

1.2.2 实践正当性分析

本项目测试过程中, 对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施, 对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此, 在正确使用和管理射线装置的情况下, 可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的经济收益与社会效益足以弥补其可能引起的辐射危害, 该核技术应用实践具有正当性, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中“实践的正当性”原则。

1.2.3 “三线一单”符合性分析

(1) 与“生态保护红线”的符合性分析

本项目位于浙江省海宁市经济开发区(海昌街道)。根据《海宁市“三线一单”生态环境分区管控方案》、海宁市环境管控单元分类图(见附图 7), 本项目所在区域涉及海

宁市海昌街道产业集聚重点管控单元（ZH33048120001），不涉及生态保护红线优先保护区。

（2）与“环境质量底线”的符合性分析

本项目施工期对大气的主要影响因素为施工扬尘，在采取湿法施工及铺设滞尘网等措施后，本工程对周围环境空气基本无影响。本项目运营期臭氧、氮氧化物等废气产生量很小，不会导致沿线大气环境质量下降。因此，本项目的建设符合大气环境质量底线的要求。

本项目施工废水经收集、沉砂、澄清处理后回用于车辆清洗及施工场地洒水抑尘；施工人员较少，少量生活污水可纳入当地已有的化粪池；运营期产生的废水接入市政管网。故本项目的建设不会导致沿线地表水环境质量下降，符合水环境质量底线的要求。

本项目施工废水经收集、沉砂、澄清处理后回用于车辆清洗及施工场地洒水抑尘，不直接排放，施工固废应由相关单位及时回收并妥善处理。本项目在厂区种植低矮乔灌木，用以恢复土壤功能。故本项目的建设符合土壤环境风险防控底线。

（3）与“资源利用上线”的符合性分析

本项目施工用水仅清洗施工机械及混凝土拌和时用到，施工人员生活用水来自当地自来水管网。用水量均不大，不会超出嘉兴市用水总量目标，符合水资源利用上线。本项目运营过程中主要消耗一定量的电能，消耗量相对区域资源利用总量较少，且项目不使用高耗能、低效率的设备，符合资源利用上线的要求。

（4）与环境准入清单的符合性分析

表 1-2 本项目所在管控单元分类准入清单

管控单元			管控要求			
环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控单元分类	空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求
ZH33048120001	宁市海昌街道产业集聚重点管控单元	产业集聚重点管控单元	1、优化产业布局和结构，实施分区差别化的产业准入条件。 2、合理规划布局三类工业项目，控制三类工业项目布局范围和总体规模，鼓励对现有三类工业项目进行淘汰和提升改造。 3、禁止新增钢铁、铸造、水泥和平板玻璃等行业产能，	1、严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。 2、新建二	1、定期评估沿江湖库工业企业、工业集聚区环境健康风险。 2、强化	推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产

			严格执行相关污染物排放量削减替代管理要求和产能置换实施办法；提高电力、化工、印染、造纸、化纤等重点行业环保准入门槛，控制新增污染物排放量。 4、严格限制新、扩建医药、印染、化纤、合成革、工业涂装、包装印刷、塑料和橡胶等涉 VOCs 重污染项目，新建涉 VOCs 排放的工业企业全部进入工业功能区，严格执行相关污染物排放量削减替代管理要求。 5、所有改、扩建耗煤项目，严格执行相关新增燃煤和污染物排放减量替代管理要求，且排污强度、能效和碳排放水平必须达到国内先进水平。 6、合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生态绿地等隔离带。	类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平。 3、加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。 4、加强土壤和地下水污染防治与修复。	工业集聚区企业风险防范设施建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。	改造，推进节水型企业、节水型工业园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。
--	--	--	---	--	---	--

本项目不属于《浙江省工业污染项目（产品、工艺）禁止和限制发展目录（第一批）》中规定的禁止类和限制类项目；项目施工产生的施工废水不排放，经处理后不会对周围水环境造成影响；营运期产生的生活污水接入市政管网，不涉及污染物总量控制。结合本项目所在环境管控单元的环境准入清单（见上表 1-2），可知本项目满足环境准入清单的要求。

综上所述，本项目建设符合《海宁市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

1.3 项目地理位置、项目周边环境概况、选址合理性及布局合理性分析

1.3.1 项目地理位置

奕瑞影像科技（海宁）有限公司租赁的厂房位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧；东侧为漕河径路与浙江庞源机械工程有限公司，南侧为水文监测站与长山河，西侧为长山河支流与农田，北侧为天通泛半导体产业基地在建项目。项目地理位置图见附图 1，项目周边环境关系图见附图 2。

1.3.2 项目周边环境概况

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧的车间 3 第 1 层，本项目 2 间测试机房（视为一个整体）东侧为漕河径路，隔路 65m 为浙江

庞源机械工程有限公司；机房南侧 40m 为水文监测站，南侧 68m 为长山河；机房西侧 45m 为综合楼，西北侧 310m 为危废库；机房北侧 37m 为 2 号车间。本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围主要为水文监测站、内部道路及内部建筑，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目地理位置见附图 1，周边环境关系图见附图 2。

1.3.3 选址合理性分析

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧的车间 3 第 1 层，不新增土地，周围无环境制约因素。本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围主要为水文监测站、内部道路及内部建筑，不涉及国家级生态保护红线，无居民区、生态保护目标等敏感点，无医院、幼儿园等敏感建筑。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境辐射影响是可接受的，故本项目 2 间测试机房的选址是合理的。

1.3.4 布局合理性分析

本项目 2 间测试机房（视为一个整体）东侧为空调机房、楼梯间与货梯厅，南侧为室外，西侧为控制室，北侧为车间内过道，楼下为土层，楼上为空调库房。本项目测试机房所在 3 号车间一层平面布局图见附图 5，3 号车间二层平面布局图见附图 6。

本项目 2 间测试机房与控制室分离，主射方向均为由西朝东，机房设置迷道且设有防护门，符合《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中“加速器工业 CT 工作场所应合理布置，检测室与控制室及其他辅助用房应分开，控制室等人员活动频繁的区域，应避开有用线束的照射方向。”与“检测室人员入口应设置迷道，有用线束朝向应尽量避免开工件出入口、平台和迷道。”的要求；

综上所述，本项目 2 间测试机房的平面布置是合理的。

1.4 原有核技术利用情况

建设单位于 2022 年 1 月 10 进行了《奕瑞影像科技(海宁)有限公司新增 X 射线装置调试(使用)项目》的环评备案登记，备案号为 202233048100000008（见），辐射安全许可证正在申请中。

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
	以下空白							

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
	以下空白									

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	装置名称	类别	数量	型号	加速粒 籽	最大能量 (MeV)	活动 种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子直线 加速器	II 类	1 台	KAS-15/12000	电子	15	使用	距靶 1m 处最大空气吸收剂 量率为 $7.2 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$	平板探测器 测试	3 号车间 1 号测试机房	拟购
2	电子直线 加速器	II 类	1 台	MAS-9/3000	电子	9	使用	距靶 1m 处最大空气吸收剂 量率为 $1.8 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$	平板探测器 测试	3 号车间 2 号测试机房	拟购

(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	装置名称	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
	以下空白								

(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 (μA)	中子强 度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	以下空白												

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
废靶	固态	/	/	/	/	/	/	如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由设备厂家回收利用。
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	/	臭氧半衰期一般为 20~30 分钟，经通排风系统排入大气中。

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

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 Bq/L（kg、m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1)《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2015 年 1 月 1 日起施行); (2)《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第 24 号, 2018 年 12 月 29 日起施行); (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日起施行); (4)《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行); (5)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(中华人民共和国生态环境部令第 16 号), 自 2021 年 1 月 1 日起施行; (6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号修订, 2019 年 3 月 2 日); (7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2021 年修正本)》(2021 年 1 月 4 日部令第 20 号); (8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行); (9)《关于发布射线装置分类的公告》(环境保护部国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号, 自 2017 年 12 月 5 日起施行); (10)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日施行; (11)《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 38 号, 2019 年 10 月 24 日施行; (12)《关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 39 号, 2019 年 10 月 25 日施行; (13)《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 24 日施行; (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)。
------	--

	(15)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2021 年省政府令第 388 号修订), 2021 年 2 月 10 日施行; (16)《浙江省辐射环境管理办法》(省政府令第 289 号), 2021 年 2 月 10 日修订; (17)《浙江省环境保护厅关于发布<省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2015 年本)>及<设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单(2015 年本)>的通知》(浙环发[2015]38 号); (18)《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019 年本)>的通知》(浙环发[2019]22 号)。
技 术 标 准	(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016); (2)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016); (3)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (4)《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013); (5)《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016); (6)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); (7)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021); (8)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)。
其 他	(1) 委托书; (2) 建设单位提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的规定：“以项目实体为中心，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置的评价范围，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）”，结合本项目的辐射污染特点（II 类射线装置），本项目评价范围取拟建 2 间测试机房实体边界球面体 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

7.2 保护目标

根据现场调查分析可知，本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建 2 间测试机房实体边界球面体 50m 范围内主要为水文监测站、内部道路及内部建筑，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

表 7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

环境保护目标		规模	方位	最近距离 (m)	剂量约束值 (mSv/a)
辐射工作人员	控制室（含暗室）	2 人	2 间机房西侧	紧邻	5
公众人员	空调机房、楼梯间与货梯厅	50 人/天	2 间机房东侧	紧邻	0.1
	室外道路	50 人/天	2 间机房南侧	紧邻	
	二层空调机房、三层	2 人/天	2 间机房上层	紧邻	
	水文监测站	5 人	2 间机房南侧	40	
	库房	5 人	2 间机房西侧	7.5	
	综合楼	300 人	2 间机房西侧	45	
	车间内过道	50 人/天	2 间机房北侧	紧邻	
	装配区	10 人	2 间机房北侧	2.7	
	机房周围 0~50 米范围内的其他工作人员和公众人员	5~50 人	机房周围	0m~50m	

注：1、将 2 间测试机房看作一个整体。

2、测试机房地下为土层，无人到达，不作为环境保护目标。

7.3 评价标准

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

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

(1) 剂量限值

B1.1 职业照射

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：

①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；

②任何一年中的有效剂量，50mSv；

③眼晶体的年当量剂量，150mSv；

④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

(2) 分区

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

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 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)

本标准适用于能量为 15 MeV 以下的无损检测用电子直线加速器工程，包括胶片 X 射线照相、计算机 X 射线成像(CR)、数字 X 射线实时成像、数字 X 射线照相(DR)及工业计算机 X 射线层析扫描(ICT)等。

5.3.7.1 泄漏剂量

在 X 射线束前向准直器 $\pm 1/2$ 准直器锥角到 $\pm 180^\circ$ 的范围内，距靶 1m 处泄漏剂量率与 X 射线束中心轴线上剂量率的百分比应小于 0.1%。

8 射线无损检测建筑物工程

8.1.3 辐射防护安全要求

8.1.3.1 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级不应低于 C25，密度不应低于 2350kg/m^3 。

8.1.3.2 辐射屏蔽室的结构及预埋件、穿越防护墙线缆及管道应满足所有设备安装、运行、检修和维护的要求，且不能影响辐射防护效果。

8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 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 。

8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理，间隙与搭接比值不小于 $1/10$ 。

8.1.3.5 辐射屏蔽室应设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监视系统、紧急停机开关等装置;装备多个射线源装置时，应能联锁切换。

8.1.3.6 辐射屏蔽室迷道入口处应设置显示加速器运行状态的灯光信号和其他警示标志。

8.1.3.7 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。

8.1.3.8 其他物理因素安全要求见附录 B。

B3 有害其他职业接触限值

按照 GB2.1-2019，有害气体职业接触限值如下：

臭氧，最高容许浓度： 0.3mg/m^3 ；

氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 5mg/m^3 。

7.3.3 《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016)

本标准规定了电子直线加速器工业 CT 的销售(含建造)和使用中的辐射安全技术和

管理要求。

4.2 辐射工作场所的分区和警示标志及设备工作状态标识

4.2.1 辐射工作场所的分区

按照 GB18871-2002 的规定，加速器工业 CT 辐射工作场所分为：

- a) 控制区：检测室防护门以内区域；
- b) 监督区：控制室、设备机房、检测工件装卸区域及其它辅助房等区域。

4.2.2 警示标志及设备工作状态标识

在检测室工件及人员入口处，应设置电离辐射警示标志，以及加速器工作状态指示装置。电离辐射警示标志及中文警示说明等，应符合 GB18871-2002 附录 F 中的图 F.1 和图 F.2 要求。

4.3 职业照射和公众照射的剂量控制

4.3.1 个人剂量控制

4.3.1.1 加速器工业 CT 销售（含建造）、使用中，职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871-2002 的要求。

4.3.1.2 职业照射和公众照射的剂量约束值规定为：

- a) 辐射工作人员个人年剂量约束值为 5mSv；
- b) 公众成员个人年剂量约束值为 0.1mSv。

4.3.2 工作场所剂量控制

附录 A 所包含的工作场所以及周边环境的屏蔽体（墙）表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

6 加速器工业 CT 工作场所的辐射安全与防护要求

6.1 加速器工业 CT 工作场所的选址、布局 and 建筑设计应当符合相关辐射安全防护法规和标准要求，保证建、构筑物施工质量，保障工作场所和周围环境安全。

6.2 加速器工业 CT 工作场所应合理布置，检测室与控制室及其他辅助用房应分开，控制室等人员活动频繁的区域，应避开有用线束的照射方向。工作场所以及辐射安全设施布局设计可参考附录 C(资料性附录)加速器工业 CT 工房及辐射安全设施布局示例图。

6.3 初级辐射(有用射线束)直接投照的防护墙（包括天棚）按主射线辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计。天棚辐射屏蔽厚度设计，还应考虑天空散射对

周边环境的影响。在计算屏蔽厚度时，需考虑 2 倍安全系数。通向检测室的导线、导管设计宜采用 U 或 “Z”等方式的设计，确需穿越防护墙的，应不得影响其辐射屏蔽防护效果。

6.4 检测室的工件和人员入口处应设置防护门。防护门与墙体之间的搭接合理，间隙与搭接比值应小于 1/10。

6.6 检测室所有入口处的防护门应与加速器工业 CT 联锁。在防护门开启时，加速器不能加高压出束。加速器出束状态下防护门被开启，加速器应自动切断高压停止出束，通过控制台的复位操作后，方可再一次加高压出束；检测室人员入口应设置迷道，有用线束朝向应尽量避免工件出入口、控制室和迷道。检测室迷道防护门内侧应安设标识明显的紧急开门开关，确保异常情况时人员能从检测室内迅速开门离开。

6.7 检测室、迷道、加速器机头及工业 CT 操作台上应安装紧急停机按钮，检测室墙面、迷道内等处应安装检查复位按钮。紧急停机按钮、复位按钮及紧急开门开关处应设置有明显标识。在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动加速器。

6.8 检测室应设置通风装置，设计上确保检测室内外空气质量达到 GB 3095 要求。

6.9 检测室应设置固定式剂量监测装置，对加速器的出束状态进行监测。

7.3.4 项目管理目标

（1）剂量约束限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016），确定本项目剂量约束限值：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。

（2）工作场所剂量率控制

参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016），本项目测试机房以及周边环境的屏蔽体(墙)表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

（3）臭氧与氮氧化物浓度限值

按照 GB2.1-2019，臭氧职业接触限值：最高容许浓度:0.3mg/m³；

氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 5mg/m³。

7.3.5 参考资料

（1）《NCRP Report No. 151, Structural Shielding Design and Evaluation for

Megavoltage X》;

(2) 《浙江省环境天然放射水平调查报告》。

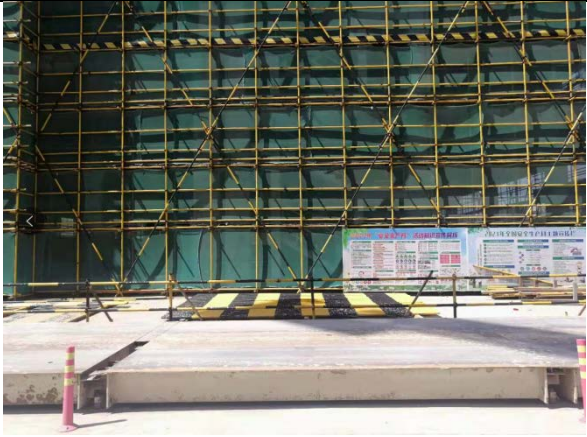
表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧的车间 3 第 1 层，本项目 2 间测试机房（视为一个整体）东侧为漕河径路，隔路 65m 为浙江庞源机械设备有限公司；机房南侧 40m 为水文监测站，南侧 68m 为长山河；机房西侧 45m 为综合楼，西北侧 310m 为危废库；机房北侧 37m 为 2 号车间。本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围主要为水文监测站、内部道路及内部建筑，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目地理位置见附图 1，周边环境关系图见附图 2。

本项目测试机房所在 3 号车间四周照片见表 8-1。

表 8-1 本项目测试机房所在 3 号车间四周照片

	
3 号车间东侧过道	3 号车间南侧水文监测站
	
3 号车间西侧综合楼	3 号车间北侧 2 号车间

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价对象

测试机房拟建场址及周边。

8.2.2 监测因子

γ 辐射剂量率、中子剂量率。

8.2.3 监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点，监测点位见图 8-2。

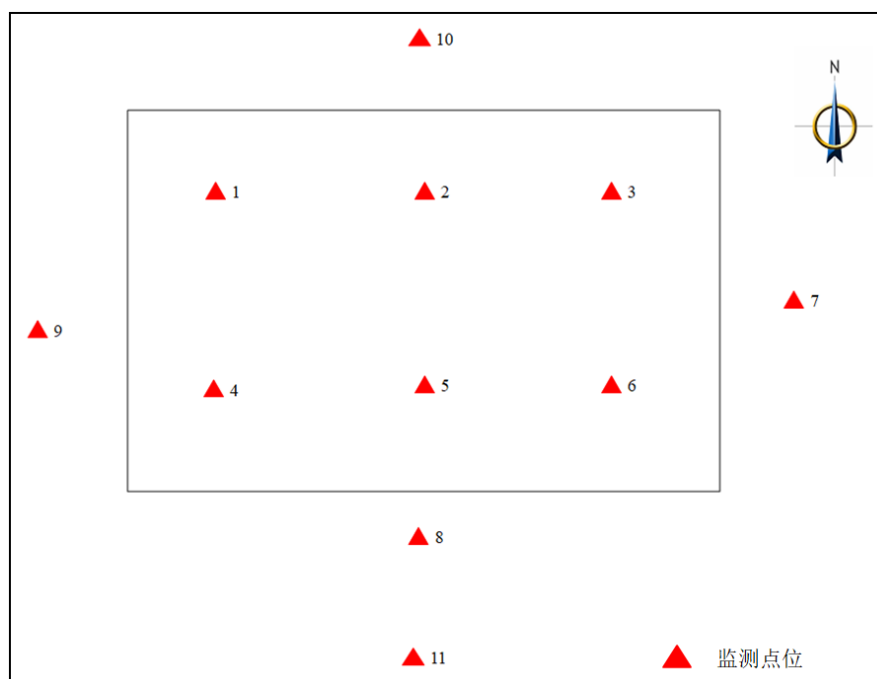


图 8-2 测试机房拟建场址及周围 γ 辐射剂量率监测布点图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司。
- (2) 监测日期：2021 年 07 月 06 日。
- (3) 监测方式：现场检测。
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。
- (5) 监测频次：依据标准予以确定。
- (6) 监测工况：测试机房未建成，设备未安装。
- (7) 天气环境条件：天气：晴；温度：36℃；相对湿度：55%。
- (8) 监测报告编号：浙亿检（放）字 FH 2021 第 0454 号。

(9) 监测设备

表 8-2 监测设备

检测仪器	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	中子剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD (内置探头: 6150 AD-b/H 外置探头: 6150 AD 6/H)	BH3105
仪器编号	167510+165455	001
生产厂家	Automess	中核(北京)核仪器厂
量 程	内置探头: 0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h 外置探头: 0.01 μ Sv/h~10mSv/h	0.1 μ Sv/h -100mSv/h
能量范围	内置探头: 20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头: 60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$	热中子-14MeV
检定证书编号	2020H21-20-2925395002	DLjs2021-10858
检定证书有效期	2021 年 12 月 21 日	2022 年 06 月 06 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	中国计量科学研究院
校准因子 C_f	1.19	1.093

8.3.2 质量保证措施

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

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-3。

表 8-3 辐射环境现状监测布点及结果一览表

检测点编号	检测点位描述	γ 辐射剂量率测量结果 (nGy/h)	中子剂量率测量结果 (nSv/h)
1#	拟建场址点位 1	120	<LLD
2#	拟建场址点位 2	120	<LLD

3#	拟建场址点位 3	123	<LLD
4#	拟建场址点位 4	121	<LLD
5#	拟建场址点位 5	121	<LLD
6#	拟建场址点位 6	124	<LLD
7#	拟建场址东侧	123	<LLD
8#	拟建场址南侧	120	<LLD
9#	拟建场址西侧	129	<LLD
10#	拟建场址北侧	114	<LLD
11#	拟建场址南侧水文监测站	101	<LLD
注：1、上表所列检测值均未扣除宇宙射线响应； 2、该设备的探测下限为 0.1 μSv/h，记为 LLD。			

8.4 环境现状调查结果的评价

由表 8-3 检测结果可知，本项目拟建场所各监测点位的中子剂量率小于检测限，满足要求。 γ 辐射空气吸收剂量率在 101~129nSv/h 之间，根据《浙江省环境天然放射水平调查报告》可知浙江省道路的 γ 辐射空气吸收剂量率在 1.3×10^{-8} Gy/h ~ 22×10^{-8} Gy/h 之间，可见项目所在地的 γ 辐射本底水平未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目施工期涉及到 3 号车间内 2 间测试机房及控制室等配套用房的施工建设和装修装饰，施工期工艺流程及产污环节如下：

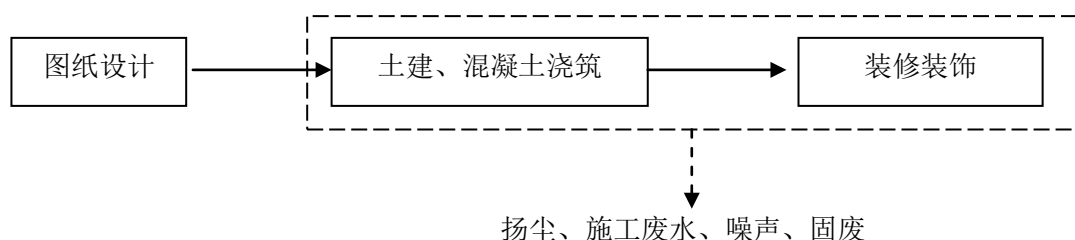


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

(1) 扬尘

由于本项目施工期大气污染物主要为扬尘。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

(2) 噪声

施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

(3) 废水

施工期产生的废水主要为施工废水和施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托建设单位化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

(4) 固废

施工过程中产生的建筑垃圾堆放在住建部门指定的地点，严禁随意堆放和倾倒。施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 测试用电子直线加速器设备组成

本项目测试用电子直线加速器均是标准化的高能 X 射线装置，主要包括加速器机头、高压线性调制器系统、恒温水冷系统、控制系统、配电系统等。

(1) 加速器机头

加速器机头是加速器的核心组成部分，其主要功能是利用微波功率将电子枪发射的电子束加速至 9 MeV 或 15 MeV 后打靶产生高能 X 射线。加速器机头主要包括速调管、

环形器、波导系统、加速管、X 射线屏蔽体、微波激励源和部分电源控制模块等。其外观如图 9-1 和图 9-2 所示。

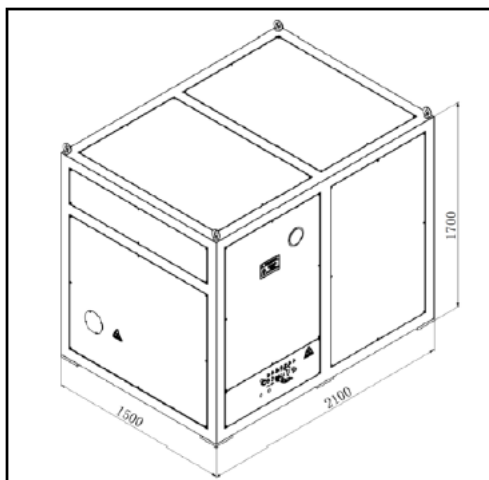


图 9-1 KAS-15/12000 加速器机头外观图

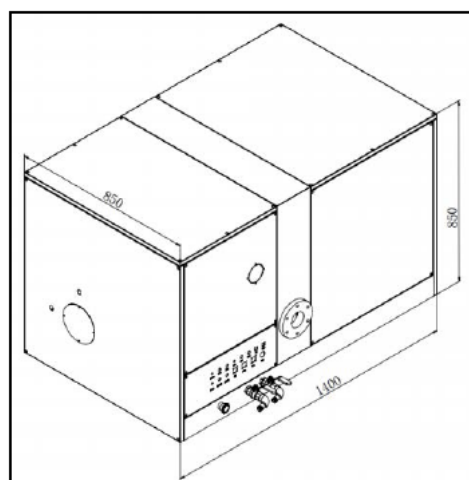


图 9-2 MAS-9/3000 加速器机头外观图

(2) 高压线性调制器系统

高压线性调制器系统是电子直线加速器的重要部件，其主要功能是将电能转化为微波源所需要的脉冲高压，是加速器系统的脉冲功率源。其外观如图 9-3 和图 9-4 所示。

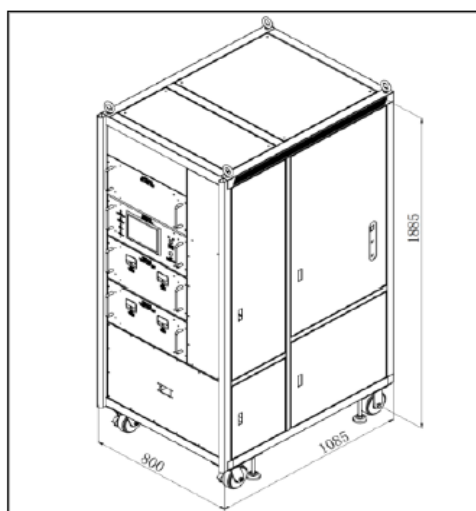


图 9-3 KAS-15/12000 加速器调制器系统外观图

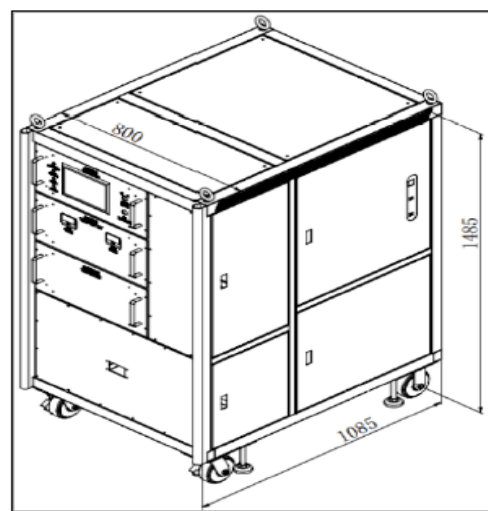


图 9-4 MAS-9/3000 加速器调制器系统外观图

(3) 恒温水冷系统

恒温水冷系统主要提供满足加速器整机正常工作所需的冷却液体，冷却液体为循环系统，液体的温度控制可以通过压缩机和冷凝器循环来实现。

(4) 控制系统

控制系统主体是以控制分机作为主要控制逻辑的运行平台，通过各种通讯接口进行采集和输出控制信号来对加速器进行整体的运行，上位机通过一根网线即可实现操作运行加速器整机。

9.2.2 测试用电子直线加速器设备参数

本项目电子直线加速器参数见表 9-1，外观图见图 9-5。

表 9-1 本项目设备参数一览表

设备	项目	参数值
KAS-15/12000 型 电子直线加速器	数量（台）	1 台
	射线类型	X 射线
	射线装置类别	II
	最大能量	15 MeV
	距靶 1m 处最大辐射剂量率	$7.20 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$
	X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
	源轴距 SAD	1m
	射线束最大发射角	垂直与水平方向： 30°
MAS-9/3000 型 电子直线加速器	数量（台）	1 台
	射线类型	X 射线
	射线装置类别	II
	最大能量	9 MeV
	距靶 1m 处最大辐射剂量率	$1.80 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$
	X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
	源轴距 SAD	1m
	射线束最大发射角	垂直与水平方向： 30°



图9-5 本项目电子直线加速器外观图

9.2.3 平板探测器测试工作原理

本项目1号测试机房内拟用15MeV 电子直线加速器测试平板探测器，距靶1m 处最大辐射剂量率为 $7.20 \times 10^9 \text{Gy/h}$ ，主射束方向为由西朝东。2号测试机房内拟用9MeV 电子直线加速器测试平板探测器，距靶1m 处最大辐射剂量率为 $1.80 \times 10^9 \text{Gy/h}$ ，主射束方向为由西朝东。电子直线加速器靶点发出的 X 射线射到平板探测器上，进行平板探测

器坏点、坏线、灵敏度和信噪比、MTF、Lag、Crosstalk、双丝像质计等项目的测试工作。平板探测器测试示意图见图9-6。

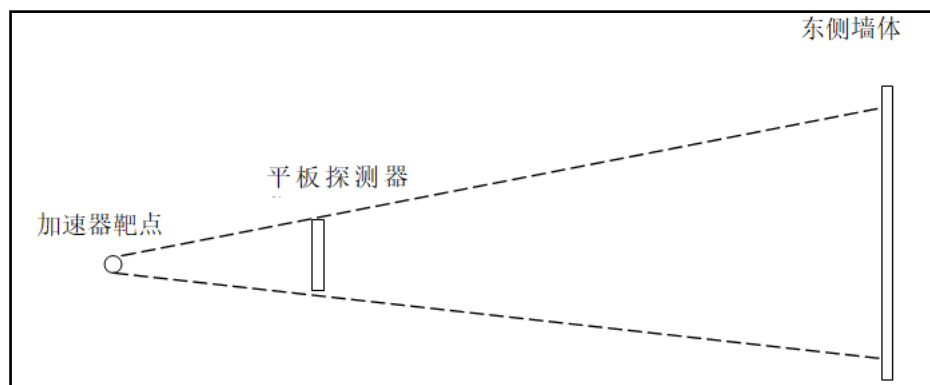


图9-6 平板探测器测试示意图

9.2.4物流流向路径与辐射工作人员路径

本项目物流流向路径与辐射工作人员路径图见图 9-7。

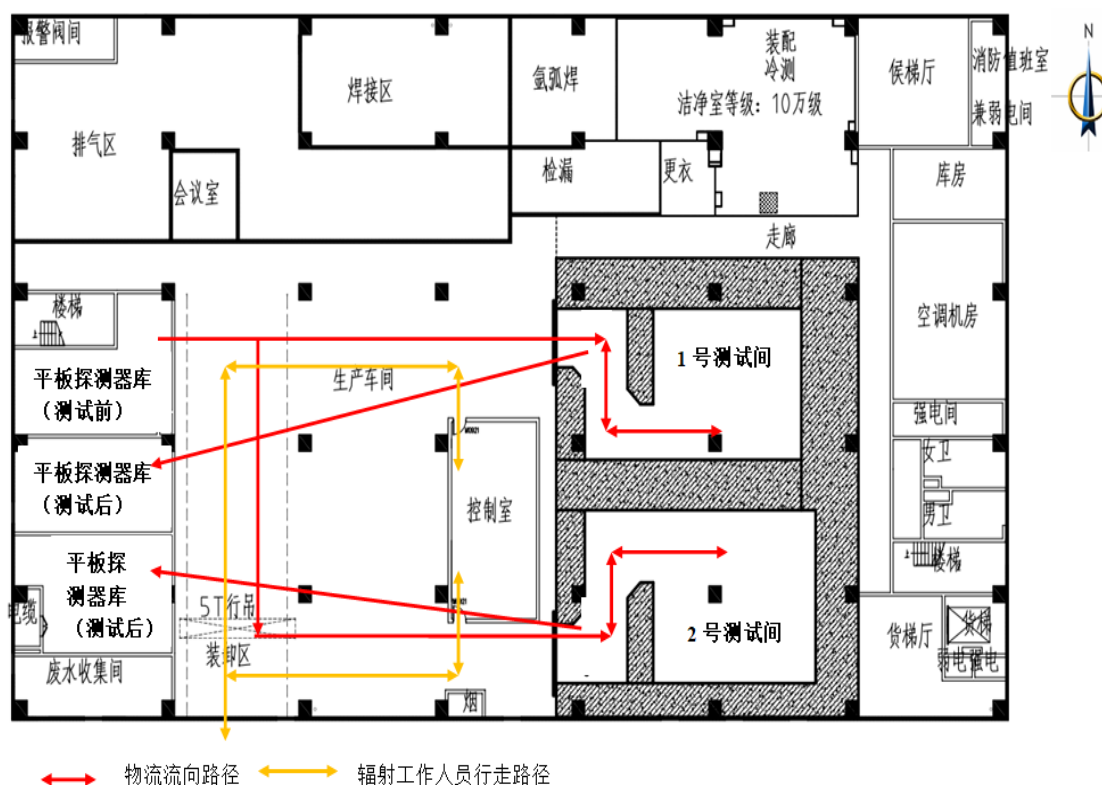


图 9-7 物流流向路径与辐射工作人员路径图

本项目平板探测器生产组装好暂存于3号车间平板探测器库（测试前），经测试间防护门分别进入1号测试机房和2号测试机房进行测试工作，测试合格后进入平板探测器库（测试后）待发货，不合格的平板探测器返回2号车间重新生产组装；本项目辐射工作人员经车间南侧进入车间，进入控制室进行测试工作，工作结束后原路返回。

9.2.5 平板探测器测试流程及产污环节

(1) 准备阶段：打开测试直线加速器稳压电源，使稳压电源输出交流 220V 正常；打开恒温水机，把恒温水机电源开关旋转至“本地”。

(2) 预热阶段：把加速器控制柜开关除“电子枪”以外，全部闭合，打开加速器控制电脑，点击加速器控制软件，进入控制界面，点击“加低压”，加速器系统进入预热阶段。

(3) 关闭屏蔽室（关闭测试机房防护门）：待“热毕”灯亮后，将加速器控制柜安全联锁钥匙旋转至“开”，关闭测试机房防护门，闭合加速器控制柜“电子枪”开关，开始进行平板探测器上电连接情况和本底漂移、暗场噪声等项目的测试工作，此时测试用直线加速器不出束；

(4) 点击“加高压”，加速器系统开始运行，开始进行平板探测器坏点、坏线、灵敏度和信噪比、MTF、Lag、Crosstalk、双丝像质计等项目的测试工作。

(5) 关闭加速器：点击“断高压”，点击“断低压”，退出控制界面，关闭恒温水机，把恒温水机电源开关旋转至“远程”，关闭加速器稳压电源。

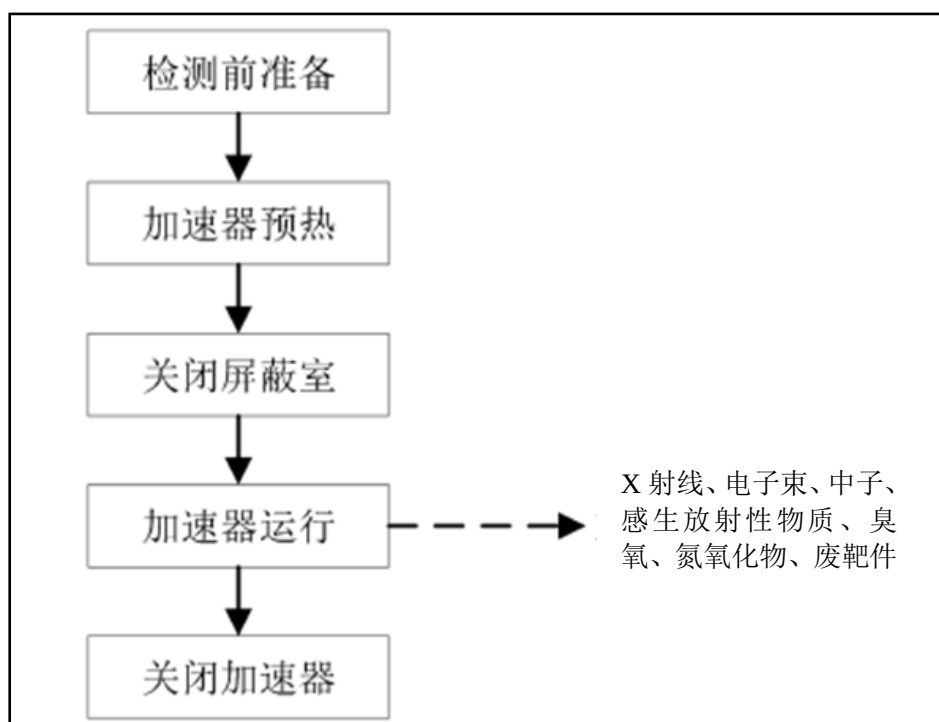


图 9-8 1 号测试机房 15MeV 平板探测器测试流程及产污环节图

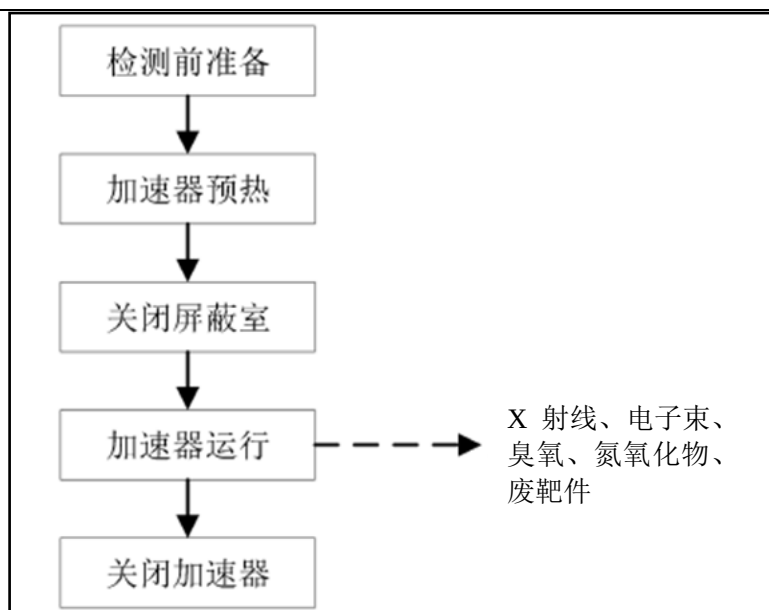


图 9-9 2 号测试机房 9MeV 平板探测器测试流程及产污环节图

9.2.5 工作负荷

本项目拟配备4名辐射工作人员负责本项目平板探测器的测试与厂内运输等工作，新增的辐射工作人员拟从公司外部招聘或内部调配，项目实行一班制，每天工作8小时，每年工作350天。

测试负荷：本项目新建 2 间测试机房，其中 15MeV 平板探测器在 1 号测试机房测试，9MeV 平板探测器在 2 号测试机房测试。根据建设单位提供的资料，平板探测器抽检率 10%，则平板探测器每年测试 2800 台，单台平板探测器测试出束时间最大为 10min，每间测试机房配置 2 名辐射工作人员，则每间测试机房年出束时间最大为 234h，存在两台加速器同时出束的情况。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下放射性污染源分析

9.3.1.1 放射性污染源项分析

(1) X 射线

平板探测器测试时测试用直线加速器运行时电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。

①有用线束

本项目 15MeV 电子直线加速器主射束由西朝东照射，最大输出 X 射线辐射剂量率为 $7.20 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ；9MeV 电子直线加速器主射束由西朝东照射，最大输出 X 射线辐射

剂量率为 $1.80 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ 。

②泄漏辐射

本项目加速器运行产生的 X 射线泄漏辐射进入外环境，加速器泄漏率为 0.1%。

③散射辐射

本项目加速器运行产生的 X 射线散射辐射进入外环境。

(2) 电子束

加速器运行产生的高能电子束贯穿能力较弱，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束也能得到有效屏蔽。

(3) 中子

本项目 15MeV 电子直线加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，会产生中子。加速器机头外的杂散中子成为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器及电子束和光子束通道上的其他物质互相作用发生光核反应所产生的中子。

(4) 感生放射性物质

本项目 15MeV 电子直线加速器能量大于 10MeV 以上时，会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：（1）加速器结构材料等的感生放射性；（2）气态感生放射性核素。

(5) 废靶件

测试过程如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由建设单位回收。

9.3.1.2 非放射性污染源项分析

(1) 臭氧和氮氧化物

本项目废气为电离辐射产生的 O_3 、 NO_x 等废气，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B，空气在辐射照射下产生臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要考虑臭氧的产生。根据报告表 11.4.1 计算，1 号测试机房运行过程中臭氧浓度为 $1.10 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，1 号测试机房运行过程中臭氧浓度为 $2.83 \times 10^{-4} \text{mg/m}^3$ 。

(2) 废水

测试用直线加速器自带冷却水循环系统，其使用的冷却水为纯净水，不会在管壁结

垢也不会腐蚀设备，循环使用不外排（需定时补充纯净水）。

本项目废水为运行过程中工作人员产生少量的生活污水。根据《建筑给水排水设计规范》，生活用水量按 100L/人计算，4 名辐射工作人员每天生活用水量为 400L，考虑排水系数为 0.8，则本项目每天的排水量为 0.32 m³，按每年工作 350 天，每年排水量为 112m³。

（3）固废

本项目的固体废物，主要为生活垃圾，生活垃圾分类收集后由环卫部门统一处理。

（4）噪声

本项目噪声主要是加速器运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声，工作场所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)。

9.3.2 运行期事故工况污染源项

本项目平板探测器测试时存在着风险和潜在危害以及事故隐患，可能出现概率较大或后果较严重的误照射辐射事故如下：

- （1）测试用电子直线加速器联锁装置失效，加速器出束时人员误入受到意外照射；
- （2）检修人员在设备未断电的情况下进行检修，测试用电子直线加速器因误操作或其他原因开机出束，造成误照射。

事故工况下污染源项同正常工况。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局合理性分析

本项目 2 间测试机房（视为一个整体）东侧为空调机房、楼梯间与货梯厅，南侧为室外，西侧为控制室，北侧为车间内过道，楼下为土层，楼上为空调机房。本项目测试机房所在 3 号车间一层平面布局图见附图 5，3 号车间二层平面布局图见附图 6。

本项目测试机房与控制室分离，主射方向为由西朝东，机房设置迷道且设有防护门，符合《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中“加速器工业 CT 工作场所应合理布置，检测室与控制室及其他辅助用房应分开，控制室等人员活动频繁的区域，应避开有用线束的照射方向。”与“检测室人员入口应设置迷道，有用线束朝向应尽量避免工件出入口、控制室和迷道。”的要求。

综上所述，本项目测试机房平面布置是合理的。

10.1.2 分区原则及区域划分

建设单位拟按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求与参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

本项目两区划分及场所布局见图 10-1。

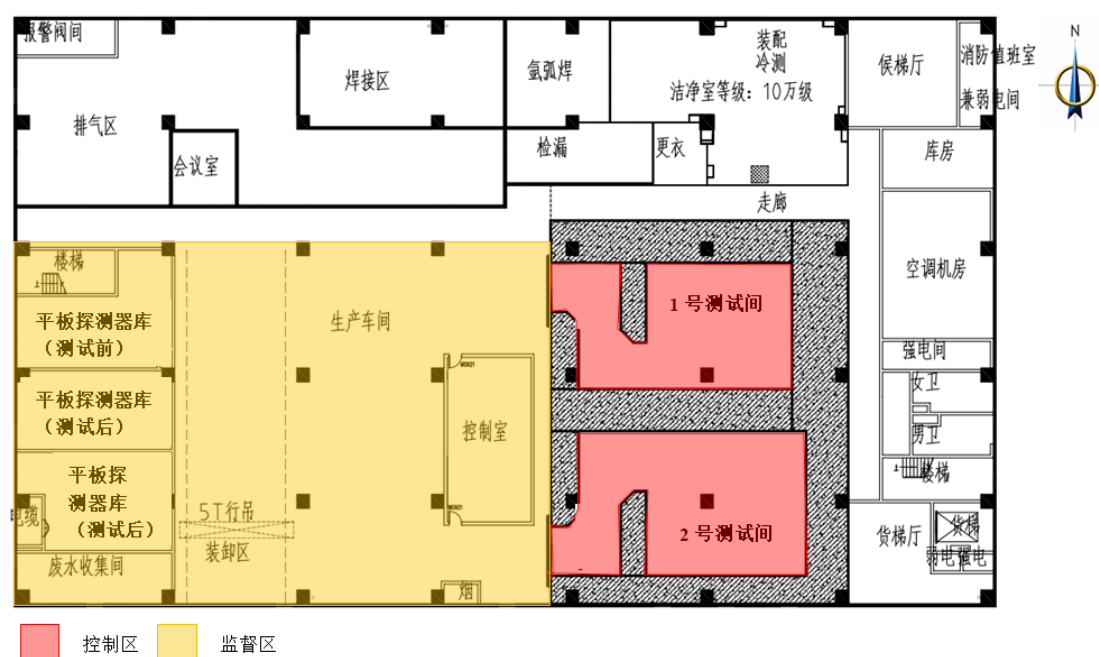


图 10-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区划分示意图

控制区：将 1 号测试机房与 2 号测试机房内区域划分为控制区，在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有无关人员进入。

监督区：将测试机房相邻的控制室、平板探测器装卸区域以及库房区域划为监督区，对该区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中，控制室、平板探测器装卸区域以及库房区域内不得有无关人员滞留。

10.1.3 加速器测试机房屏蔽防护设施

2 间测试机房均由机房和迷道组成。本项目机房与控制室分离；机房西侧为L型迷道，迷道口设有防护门，有用线束由西向东墙照射。2 间测试机房的屏蔽防护设计详见表 10-1。

表 10-1 加速器测试机房辐射防护屏蔽设计参数表

场所名称	墙体		屏蔽材料及厚度
1 号测试机房 （长 9600mm× 宽 9000mm×高 5300mm）	机房东侧墙体（主射方向）		4000mm 混凝土
	机房南侧墙体		3000mm 混凝土
	机房西侧墙体	迷道内墙	2500mm 混凝土
		迷道外墙	2000mm 混凝土
	机房北侧墙体		3000mm 混凝土
	顶棚		800mm 混凝土+1400mm 重晶石混凝土
	防护门		200mm 含硼聚乙烯+40mmPb
	迷道（L 型）	迷道宽度	3000mm
		防护门宽度	4500mm
		防护门高度	3500mm
2 号测试机房 （长 10900mm× 宽 10200mm×高 5600mm）	机房东侧墙体（主射方向）		3500mm 混凝土
	机房南侧墙体		2000mm 混凝土
	机房西侧墙体	迷道内墙	1800mm 混凝土
		迷道外墙	2000mm 混凝土
	机房北侧墙体		3000mm 混凝土
	顶棚		2000mm 混凝土
	防护门		15mmPb
	迷道（L 型）	迷道宽度	3000 mm
		防护门宽度	4500mm
防护门高度		3500mm	
注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，重晶石混凝土密度不低于 3.09g/cm³，铅板密度不低于 11.34g/cm³。			

10.1.4 电子直线加速器固有安全措施

本项目测试用电子直线加速器拟购买于正规厂家。

（1）本项目测试用电子直线加速器的X射线束能量、剂量率、准直器形状与尺寸、泄漏剂量等参数依据相关标准设计制造。

（2）本项目测试用电子直线加速器X射线机头中的零部件材料，符合对感生放射性

的限制要求。

(3) 本项目测试用电子直线加速器的稳定性、可靠性应能满足使用要求。

(4) 本项目测试用电子直线加速器供应商提供完整的技术文件资料。

10.1.5 控制室控制系统安全措施

(1) 控制室控制台上拟设开机、停机和紧急制动等操作按钮。

(2) 控制按钮拟采用安全电压。

(3) 控制系统具备正常开机和停机、出束前声光报警、设备状态及故障显示、报警及自动停机、显示装置的主要参数、安全联锁和紧急停机等功能。

(4) 控制室与加速器有可靠的通讯接口，操作台显示加速器工作状态、出束剂量率、出束时间、触发频率、触发方式等参数，能对加速器的射线开关、脉冲重复频率、出束时间等进行控制。

(5) 控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应程度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

10.1.6 测试机房辐射安全防护措施

为保障电子直线加速器安全运行，避免在出束期间人员误留或误入机房而发生误照射事故，测试机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 钥匙开关联锁：控制室操作台有操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定，加速器各项功能才能启动；加速器系统的操作控制程序应设置密码，未经单位辐射安全管理人员允许不得修改。

(2) 门机联锁：机房工件入口处拟设置防护门，防护门与墙体之间的搭接合理，间隙与搭接比值小于 1/10。防护门与加速器进行联锁，只有将加速器防护门完全关闭，照射才能启动。在照射过程，加速器出束状态下防护门被开启，加速器应自动切断高压停止出束，通过控制台的复位操作后，方可再一次加高压出束。

(3) 紧急停机按钮与紧急开门开关：拟在机房迷道防护门内侧拟设标识明显的紧急开门开关，确保异常情况时人员能从检测室内迅速开门离开；拟在控制室、机房内墙面及迷道内墙面处分别安装紧急停机按钮和检查复位按钮，高度为 1.2m。当遇到意外情况，切断设备电源，停止出束。紧急停机按钮、复位按钮及紧急开门开关处应设置有明显标识。在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动加速器。

(4) 工作状态指示灯和声音报警器：机房防护门拟安装工作状态指示灯和声音报警器，在加速器系统出束前，有不少于 10 秒的声、光预警信号，声、光预警信号结束后加速器系统方可加高压出束，出束后应持续发出声、光信号，直至停束为止；在防护门上拟设置醒目、规范的电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警示标志及中文警示说明，应符合 GB18871-2002 附录 F 中的图 F.1 和图 F.2 要求。工作状态指示灯与加速器、防护门联锁，防护门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。

(5) 控制室拟设置视频监控系统：机房安装有监视器 3 个，控制室内能通过视频监控机房内的工作情况，并在控制室内设置专用监视器。

(6) 各测试机房迷道拟配置固定式剂量监测装置，对加速器的出束状态进行监测。

(7) 本项目电缆、风管、冷凝管采用预埋镀锌钢管的形式拟在非主射方向防护门上方 45° 方向“Z”型穿墙，不破坏机房北侧墙体的屏蔽，且墙孔用硫酸钡封堵。本项目两间加速器测试机房拟采用动力排风装置，通风量均为 3500m³/h，通风次数均大于 4 次/h。机房内 2 个送风口拟设置于机房中部上方，2 个排风口拟设置于机房下部，管道布设于机房吊顶，最终连接至 2 号车间南侧总排风井。

(8) 测试机房所在 3 号车间耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警、火情停机装置以及有效的灭火器材。

(9) 测试机房拟设置紧急照明或独立通道照明系统。

机房安全措施设置示意图见附图 3。

10.1.5 加速器安全管理措施

(1) 建设单位应尽快组织本项目 4 名辐射工作人员参加国家核技术利用项目辐射安全与防护培训平台的辐射防护与安全培训，考核合格获得成绩报告单后方可上岗，并按时接受再培训。

(2) 操作人员拟定期检查加速器的安全联锁、紧急停机按钮、射线源开关钥匙、通风换气装置以及剂量监测与警示标志及装置等，确认其处于正常状态。

(3) 进入测试机房前，辐射工作人员应确认加速器已处于停束状态，并应拔出射线源开关钥匙方可进入。每次加速器出束之前，操作人员应巡查测试机房及迷道，确认机房及迷道内无人且防护门关闭后方可开启加速器出束。一旦发现设备异常，应立刻关闭射线束并停机检查，在未查明原因和维修结束前，加速器不得投入工作使用。

(4) 本项目配备 1 台辐射巡测仪、4 支个人剂量计和 4 台具有累积剂量监测功能的

个人剂量报警仪（该仪器同时具备直读剂量计和个人剂量报警仪的功能），本项目测试工作人员在工作过程中，均应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。

10.2三废的治理

（1）废气处理措施

X 射线会使周围空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。其中臭氧产额大于氮氧化物，且辐射场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本节主要考虑测试机房内臭氧的产生和排放影响。

本项目电缆、风管、冷凝管采用预埋镀锌钢管的形式拟在非主射方向于防护门上方 45° 方向“Z”型穿墙，不破坏机房北侧墙体的屏蔽，且墙孔用硫酸钡封堵。本项目两间加速器测试机房拟采用动力排风装置，通风量均为 3500m³/h，通风次数均大于 4 次/h。机房内 2 个送风口拟设置于机房中部上方，2 个排风口拟设置于机房下部，管道布设于机房吊顶，最终连接至 2 号车间南侧总排风井。

本项目测试机房的管线管道未破坏加速器测试机房整体防护效果，满足辐射防护的要求。室内臭氧通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。另外，公司应需确保工作中通风设施的完好和有效运行，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

（2）废水处理措施

本项目运行期间产生的少量生活污水经化粪池预处理达标后纳入污水管网，最终排放至海宁市丁桥污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放。

（3）噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响可以忽略不计。

（4）固废处理措施

本项目运行期间产生的生活垃圾经分类收集后，由当地环卫部门及时处理，不直接排入环境。

（5）射线装置报废辐射安全管理要求

本项目后期投入使用后，对拟报废的直线加速器，公司应按照《浙江省辐射环境管

理办法（2021 年修正）》中第十八条要求，对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销，不得随意处置或丢弃。

10.3环保措施及环保投资估算

本项目总投资3000万元，环保投资140万元，占总投资的4.67%。项目环保投资估算见表10-2。

表10-2 辐射安全防护和环保设施（措施）投资一览表

项目	辐射安全防护和环保设施(措施)	投资金额（万元）
辐射屏蔽措施	1号测试机房与2号测试机房均由四面墙体、顶棚和1扇电动防护门组成，墙体主体材料为混凝土防护材料，防护门为铅或铅与含硼聚乙烯材料。	96
安全防护措施	门-机联锁 2 套，钥匙开关 2 套	1
	工作状态指示灯（门灯联锁）和声音报警器 2 套	0.5
	紧急开门开关 2 套	1
	紧急停机按钮 6 个	0.5
	灭火器材和火警报警装置	2
	机房内设紧急照明或独立通道照明系统	1
监测仪器及警示装置	1 台 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪和 1 台中子剂量当量率仪	4
	个人剂量报警仪 4 台	1
	个人剂量计 4 支	0.5
	视频监控系统 2 套	2
	固定式剂量率仪 2 套	2
	电离辐射警告标志、监督区、控制区标识若干	0.5
废气处理措施	通排风系统 2 套	5
废水处理措施	少量生活污水经化粪池预处理后纳入市政管网，最终排放至海宁市丁桥污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放。	/
噪声处理措施	合理布局，选用低噪声设备，基础减振，厂房隔声。	/
固废处理措施	生活垃圾经分类收集后，由当地环卫部门及时处理。	/
辐射工作人员管理与应急管理	辐射工作人员及应急人员的组织培训、职业健康检查与个人剂量监测	1
	应急和救助的资金、物资准备	2
环评与验收	环评与验收费用	20
合计		140

表 11 环境影响分析

11.1建设阶段对环境的影响

11.1.1建设阶段对环境的影响

本项目施工期涉及到3号车间内2间测试机房及控制室等配套用房的施工建设和装修装饰,通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段,可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

施工期污染物主要为废水、噪声、扬尘及固体废弃物等。

(1) 装修扬尘

施工时产生少量的建筑扬尘,可进行现场洒水来抑制并设置围护设施,采取措施后,对周围环境的影响很小。

(2) 废水

项目施工期施工人员产生的生活污水,依托建设单位生活污水临时处理设施进行处理。污水产生量很少,对环境影响很小。

(3) 固废

本项目固废主要为装修垃圾和建筑工人产生的生活垃圾。装修垃圾由施工方统一清运至住建部门指定堆放点。装修垃圾应及时清运,清运过程中应进行加盖防护,并适时清理运输路线,避免泥土撒落造成环境影响。

在施工场地出入口设置临时收集桶,施工期产生的生活垃圾经统一收集后依托环卫部门定期清运。

通过严格执行国家环保法律法规以及当地政府的管理规定,科学管理、文明施工,本项目施工期产生的固体废物对周围环境影响较小。

(4) 噪声

针对本项目而言,施工期噪声污染防治措施具体有:

①合理安排施工机械安放位置,施工机械应尽可能放置于场界外造成影响最小的地点,并优先选用低噪声设备,以减少施工噪声。

②对高噪声设备采取隔声、隔振或消声措施,如在声源周围设置掩蔽物、加隔振垫、安装消声器等,可降低噪声源强 30~50dB(A)。

③日常应注意对施工设备的维修、保养,使各种施工机械保持良好的运行状态。

经采取上述有效措施后,可大大降低本项目施工过程中噪声对周声环境的影响。

11.1.2 设备安装与调试期影响分析

本环评要求电子直线加速器的安装与调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理。在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故的发生。

由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可以接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

11.2.1.1 测试机房周围辐射剂量率计算

本项目1号测试机房内拟用15MeV 电子直线加速器测试平板探测器，距靶1m 处最大辐射剂量率为 $7.20 \times 10^9 \text{ Gy/h}$ ，主射束方向为由西朝东。2号测试机房内拟用9MeV 电子直线加速器测试平板探测器，距靶1m 处最大辐射剂量率为 $1.80 \times 10^9 \text{ Gy/h}$ ，主射束方向为由西朝东。平板探测器测试示意图见图11-1。

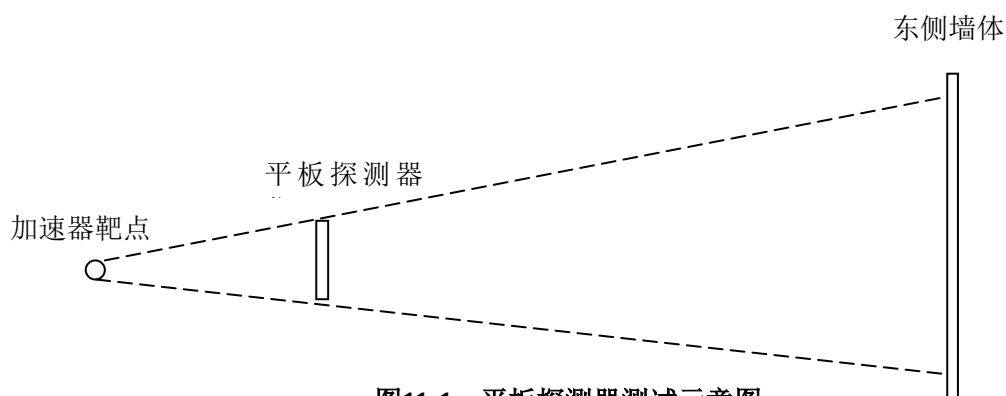


图11-1 平板探测器测试示意图

本项目2间测试机房东侧墙体以有用线束照射进行估算，而对南侧墙体、西侧墙体及防护门、北侧墙体与顶棚则以泄漏辐射和散射辐射（非有用线束）照射进行估算，测试机房无地下层，地面可以不进行关注点的相关计算。

（1）计算公式的选取

①透射计算公式

透射计算公式采用《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)附录 C 中公式 C.1的推导公式：

$$H = \frac{D_0 \times B_x \times T}{1.67 \times 10^{-5} \times d^2} \quad (\text{式11-1})$$

$$B_x = 10^{-n} = 10^{-\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{TVL_i}} \quad (\text{式11-2})$$

式中：

H：计算点剂量率，μGy/h；

D₀：射线束中心轴上距靶1米处的空气比释动能率，mGy·m²/min；本项目15MeV电子直线加速器为7.2×10⁹μGy/h（120000mGy·m²/min），9MeV电子直线加速器为1.8×10⁹μGy/h（30000mGy·m²/min）。

B_x：X射线屏蔽穿透比，按式11-2计算；

d：X射线源与参考点间的距离，m；本项目X射线源与参考点间的距离见图11-1。

T：参考点的居留因子，计算中保守取1；

n：十分之一值层的数目；

d_i：第i种屏蔽体厚度，cm；

TVL_i：第i种屏蔽体透射线十分之一值层厚度，cm；

注：1.67×10⁻⁵为换算系数。

②散射计算公式

散射计算公式根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)附录C附录C中迷道散射X射线计算公式C.4推导：

$$H_m = H_0 \cdot \frac{(a_1 \cdot A_1) \cdot (a_2 \cdot A_2) \cdots (a_n \cdot A_n)}{(d_1 \cdot d_2 \cdots d_n)^2} \cdot B \quad (\text{式11-3})$$

式中：

H_m：计算点散射剂量率，μGy/h。

H₀：射线束中心轴上距靶1米处的空气比释动能率，μGy/h。本项目15MeV电子直线加速器为7.20×10⁹μGy/h，9MeV电子直线加速器为1.80×10⁹μGy/h。

a₁：X射线第一次散射系数；参考辐射防护导论图6.4，散射系数保守取值，对于铁和混凝土取1×10⁻²进行计算。

a₂和a_n：分别为X射线第二次散射系数和第n次散射系数（n>2），对于迷道第二次以上散射的散射系数均取值2×10⁻²。

A₁：X射线第一次散射的散射面积，m²；准直器散射可忽略；1号与2号测试机房

平板探测器散射面积均为0.21 m²，东侧墙面散射面积1号测试机房为14.96 m²，2号测试机房为16.56 m²。

A₂和 A_n：分别为 X 射线第二次和第 n 次的散射面积（n>2），m²。对于迷道第二次以上的散射的散射面积取散射宽度或迷道宽度与高度的乘积。1号测试机房迷道散射中 A₂为18m²，迷道散射中 A₃为18m²。2号测试机房迷道散射中 A₂为21m²，迷道散射中 A₃为21m²。

d₁：X 射线第一次散射的散射距离，m；

d₂和 d_n：分别为 X 射线第二次和第 n 次的散射距离（n>2），m；

B：X 射线屏蔽穿透比，按式11-2计算；

散射射线能量估算，采用《辐射防护手册第一分册》354页，康普顿散射定律：

$$E_s = \frac{E_\lambda}{1 + \frac{E_\lambda}{0.511} (1 - \cos \theta)} \quad (\text{式11-4})$$

式中：

E_s：散射线能量，MeV；

E_λ：入射线能量，MeV；

θ：散射线与入射线方向之间的夹角。

③漏射计算公式

参考《辐射防护导论》（方杰主编，原子能出版社，1991）P72，漏射线剂量率计算公式如下：

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_0 f}{r^2} \prod_{i=1}^n 10^{-d_i / TVL_i} \quad (\text{式11-5})$$

式中：

$\dot{D}$ ：计算点剂量率，μGy/h；

$\dot{D}_0$ ：射线束中心轴上距靶1米处的空气比释动能率，μGy/h；本项目15MeV 电子直线加速器为7.20×10⁹μGy/h，9MeV 电子直线加速器为1.80×10⁹μGy/h。

f：加速器泄漏率；本项目加速器泄漏率为0.1%。

r：计算点到源点的距离，m；

d_i：第 i 种屏蔽体的厚度，mm；

TVL_i：第 i 种屏蔽体的十分之一值层厚度，mm。

④中子剂量率计算公式

本项目1号测试机房15MeV 电子直线加速器最大能量大于10MeV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 C，机房采用混凝土屏蔽墙时，墙的屏蔽只需考虑对 X 射线的屏蔽，因此本报告只考虑防护门处的中子剂量率。本项目参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中子剂量率的计算公式。

A、总中子注量（ Φ_B ）

迷路的中子散射路径为“O→i→g”。在 i 点的总中子注量 Φ_B 按式 11-6 计算：

$$\Phi_B = 0.85 \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + 0.85 \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

Φ_B ：等中心处 1Gy 照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

Q_n ：等中心处每 1Gy 照射时加速器机头发射出的总中子数，参照 NCRP NO.151 表 B.9，保守取 7.6×10^{11} ；

d_1 ：等中心 O 至 i 的距离，m；本项目为 8.7m。

S ：机房的总内表面积（m²），包括四壁墙、顶面和地面，不包括迷路内各面积。本项目为 324.2m²。

本项目使用钨屏蔽加速器机头，式中第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

B、机房入口处中子俘获 γ 射线剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

机房内及迷路内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外 30cm（g 点）处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 $\dot{H}_\gamma$ 按式 11-7 计算：

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \bullet \Phi_B \bullet 10^{-d_2/TVD} \bullet \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-7})$$

式中： 6.9×10^{-16} ：该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m²）；

d_2 ：i 点至机房入口 g 点的距离，m；本项目为 8.8+3.5=12.3m。

TVD ：将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于 15MeV 电子直线加速器为 3.9m；

$\dot{H}_0$ ：等中心点处 X 射线剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ），依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3，屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

C、机房入口的中子剂量率（ $\dot{H}_n$ ）

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g 点）处无防护门时的剂量率 $\dot{H}_n$ 按式 11-8 计算：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-8})$$

式中： 2.4×10^{-15} ：该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m²）；

S_0 ：迷路内口的面积；本项目为 14.4m²。

S_1 ：迷路横截面积；本项目为 13.5m²。

d_2 ：i 点到迷路入口（g）的距离，m；本项目为 8.8+3.5=12.3m。

T_n ：迷路中能量相对高的中子剂量组分式 11.2.1-18 方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。 T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关， T_n 按下式计算：

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad (\text{式 11-9})$$

D、防护门外总中子剂量率计算公式：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} \quad (\text{式 11-10})$$

式中： TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm；分别为 3.1cm 和 4.5cm。其他符号意义同上。

⑤重晶石混凝土与普通混凝土的换算

根据《辐射防护导论》P88 可知，将射线减弱一定程度所需质量厚度 d 与物质的密度 ρ 成反比，利用式 11-11，可计算得重晶石混凝土折算为普通混凝土的厚度。

$$d_1/d_2 = \rho_1/\rho_2 \quad (\text{式 11-11})$$

式中：

d_1 ：普通混凝土厚度；

d_2 ：重晶石混凝土厚度；

ρ_1 ：普通混凝土密度，取 2.35g/cm³；

ρ_2 ：重晶石混凝土密度，取 3.09g/cm³。

本项目 1 号加速器测试机房顶棚为 800mm 混凝土 + 1400mm 重晶石混凝土，经式 11-10 折算为 2640 mm 混凝土。

(2) 计算参数的选取

表 11-1 测试用电子直线加速器系统参数

型号	KAS-15/12000	MAS-9/3000
加速器最大能量	15MeV	9MeV
输出剂量	主线束中心轴上距靶 1 米处 X 射线 剂量率为 $7.20 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$	线束中心轴上距靶 1 米处 X 射线剂 量率为 $1.80 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$
射线束张角	30°	30°
加速器泄漏率	0.1%	0.1%

表 11-2 屏蔽计算 TVL 值 (cm)

X 射线能量 (MeV)	TVL 值 (平衡什值层)	
	混凝土 (cm)	铅 (cm)
15 (主射线、漏射线)	48	7
9 (主射线、漏射线)	38	6.2
0.5 (散射线)	11.9	/
0.2 (散射线)	/	0.5

注: 1、混凝土什值层取值于 GB/T 30371-2013 附录 C 图 C.1; 铅的什值层均取值于 NCRP Report No.151。
2、控制室散射角为 135°, 保守取 90°, 两种加速器散射能量均为 0.5MeV, 迷道散射能量均为 0.2MeV。

表 11-3 测试机房散射的几何参数

位置 \ 参数	相对靶点的距离 (m)	射线束面积 (m ²)
1 号测试机房待测探测器	1.0	0.21
1 号测试机房东侧墙体	8.3	14.96
2 号测试机房待测探测器	1.0	0.21
2 号测试机房东侧墙体	8.6	16.56

(3) 关注点位的选取

本项目共设12个关注点，加速器测试机房的关注点分布如图11-2与图11-3所示。

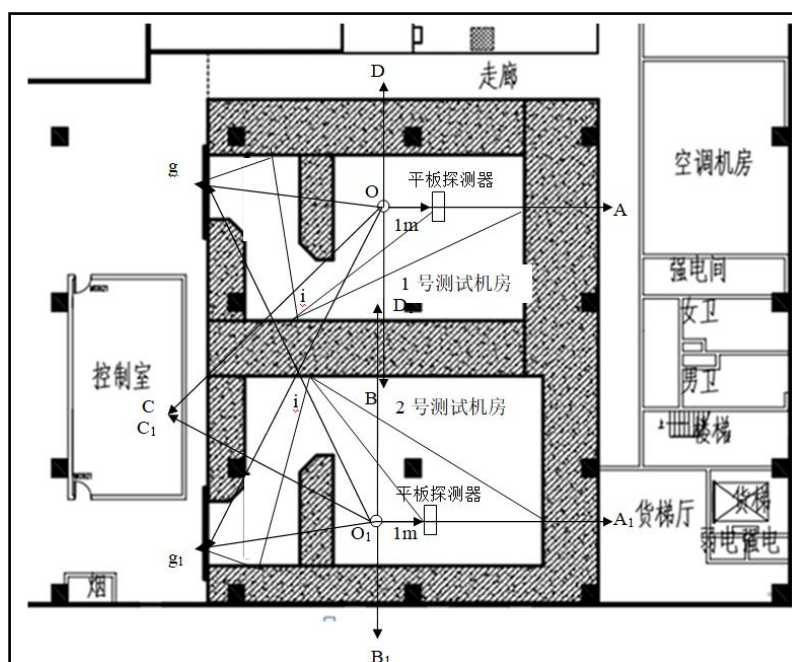


图11-2 测试机房平面关注点示意图

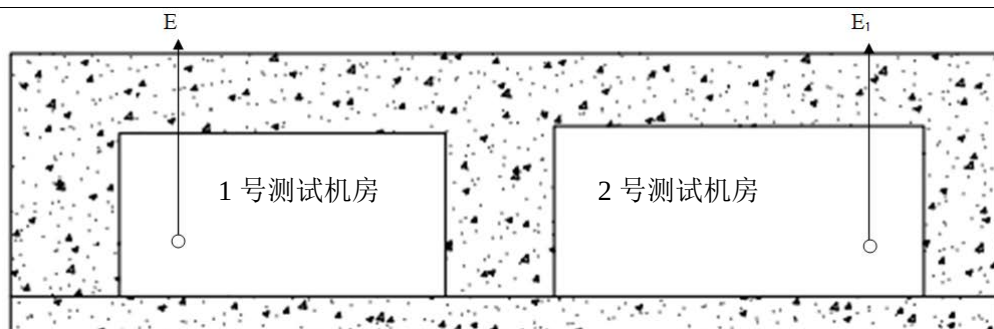


图11-3 测试机房剖面关注点示意图

- A: 1号测试机房东侧墙外30cm 处, 过道;
 B: 1号测试机房南侧墙外30cm 处, 2号测试机房;
 C: 1号测试机房西侧墙外30cm 处, 控制室;
 D: 1号测试机房北侧墙外30cm 处, 过道;
 E: 1号测试机房顶棚上30cm 处, 空调机房;
 g: 1号测试机房防护门外30cm 处;
 A₁: 2号测试机房东侧墙外30cm 处, 货梯厅;
 B₁: 2号测试机房南侧墙外30cm 处, 室外道路;
 C₁: 2号测试机房西侧墙外30cm 处, 控制室;
 D₁: 2号测试机房北侧墙外30cm 处, 1号测试机房;
 E₁: 2号测试机房顶棚上30cm 处, 空调机房;
 g₁: 2号测试机房防护门外30cm 处。

(4) 天空反散射

依据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)附录 C 计算公式 C.5来进行天空反散射计算:

$$H = \frac{(2.5 \times 10^{-2} D_{10} \cdot \Omega^{1.3})}{(d_i \cdot d_s)^2} \cdot B_{xs} \quad (\text{式 11-12})$$

式中:

H 为在距离 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(Sv/h);
 D_{10} 为距靶 1m 处的剂量率, 1 号测试机房加速器为 120Gy/h, 2 号测试机房加速器为 30Gy/h;

B_{xs} 为 X 射线顶棚的屏蔽透射比;

Ω 为由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr);

d_i 为在顶棚上方 2m 处离靶的垂直距离 (m)，本项目 2 间测试机房均取 8.5m；
 d_s 为 X 射线源至 P 点的距离 (m)，本项目 1 号机房为 10.5m，2 号机房为 10.1m；
 B_{xs} 可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法同公式 11-2。

$$\Omega = 4\text{tg}^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

a：源到机房边缘最近距离（南北方向，m），本项目 1 号机房为 5m，2 号机房为 4m；

b：源到机房边缘最近距离（东西方向，m），本项目 1 号机房为 8.3m，2 号机房为 8.6m；

c：源到顶棚表面中心的距离（m），本项目 2 个机房均为 6.5m；

d：源到顶棚边缘的距离（m），且 $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$ ，本项目 1 号机房为 11.7m，2 号机房为 11.5m。

表 11-4 屋顶天空反散射计算结果

楼层	D_{10} ($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)	Ω	d_i (m)	d_s (m)	B_{xs} (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$)
1 号测试机房	120	0.16	8.5	10.5	3.16E-06	1.10×10^{-4}
2 号测试机房	30	0.14	8.5	10.1	5.46E-06	4.31×10^{-5}

(5) 加速器测试机房四周辐射剂量率水平预测

叠加天空反散射的结果，本项目关注点位辐射剂量率水平预测参数及结果见表 11-5。

表 11-5 本项目关注点辐射剂量率计算结果

关注点	描述	射线类型	离源点距离/ 源点到散射 点距离+散射 点到计算点 距离（m）	屏蔽物有 效厚度 （cm）	B	计算值（μGy/h）	
A	1 号测试 机房东侧 墙外 30cm 处，过道	主射(O-A)	12.4	混凝土： 400 （θ： 0° ）	4.64E-09	0.22	
		天空反散射	1.10×10 ⁻⁴				
B	1 号测试 机房南侧 墙外 30cm 处，2 号测 试机房	漏射(O-B)	9.6	混凝土： 300 （θ： 0° ）	5.62E-07	4.39E-02	4.39E-02
		探测器散射	1.0+9.7	混凝土： 300 （θ： 0° ）	6.16E-26	9.90E-21	
		东侧墙散射	8.3+13.1	混凝土： 300	2.23E-36	2.03E-31	

				(θ : 45°)			
C (C ₁)	1 号测试 机房西侧 墙外 30cm 处,控制室	漏射(O-C)	15.7	混凝土: 300 (θ : 45°)	1.45E-09	4.23E-05	2.10E-03
		探测器散射	1.0+16.2	混凝土: 300 (θ : 45°)	2.23E-36	1.28E-31	
		东侧墙散射	8.3+21.7	混凝土: 300 (θ : 30°)	7.76E-30	2.58E-25	
	2 号测试 机房西侧 墙外 30cm 处,控制室	漏射(O ₁ -C ₁)	13.2	混凝土: 380 (θ : 45°)	7.21E-15	1.49E-10	
		探测器散射	1.0+14.8	混凝土: 380 (θ : 45°)	6.92E-46	1.19E-41	
		东侧墙散射	8.6+21.3	混凝土: 380 (θ : 30°)	1.34E-37	8.80E-32	
		天空反散射	1.10×10 ⁻⁴				
D	1 号测试 机房北侧 墙外 30cm 处, 过道	漏射(O-D)	5.7	混凝土: 300 (θ : 0°)	5.62E-07	0.13	0.13
		探测器散射	1.0+5.8	混凝土: 300 (θ : 0°)	6.16E-26	2.77E-20	
		东侧墙散射	8.3+10.3	混凝土: 300 (θ : 45°)	2.23E-36	3.29E-31	
		天空反散射	1.10×10 ⁻⁴				
E	1 号测试 机房顶棚 上 30cm 处,空调机 房	漏射(O-E)	8.3 ^①	混凝土: 264 (θ : 0°)	3.16E-06	0.33	0.33
		探测器散射	1.0+6.1	混凝土: 264 (θ : 0°)	6.53E-23	2.65E-17	
		东侧墙散射	8.3+10.2	混凝土: 264 (θ : 45°)	4.23E-32	6.36E-27	
g	1 号测试 机房防护 门外 30cm 处	漏射(O-g)	9.3	混凝土: 250 铅: 40mm	1.66E-06	0.14	0.79
		漏射(O ₁ -g)	21.2	混凝土: 300 (θ : 30°)	7.65E-10	3.07E-07	
		探测器散射	1.0+8.7+ 8.8+3.5	铅: 40mm	1.00E-8	2.73E-07	
		东侧墙散射	1.0+14.2+ 8.8+3.5	铅: 40mm	1.00E-8	7.30E-06	
		中子总剂量 率	/	含硼聚乙 烯: 200mm 铅: 40mm	/	0.65 ^②	

		天空反散射	1.10×10 ⁻⁴				
A ₁	2 号测试 机房东侧 墙外 30cm 处,货梯厅	主射(O ₁ -A)	12.4	混凝土: 350 (θ: 0°)	6.16E-10	7.31E-02	
		天空反散射	4.31×10 ⁻⁵				
B ₁	2 号测试 机房南侧 墙外 30cm 处,室外道 路	漏射(O ₁ -B ₁)	5.0	混凝土: 200 (θ: 0°)	5.46E-06	0.39	0.39
		探测器散射	1.0+5.1	混凝土: 200 (θ: 0°)	1.56E-17	2.36E-14	
		东侧墙散射	8.6+10.8	混凝土: 200 (θ: 45°)	1.70E-24	5.87E-20	
		天空反散射	4.31×10 ⁻⁵				
D ₁	2 号测试 机房北侧 墙外 30cm 处, 1 号测 试机房	漏射(O ₁ -D ₁)	10.7	混凝土: 300 (θ: 0°)	1.27E-08	2.00E-04	2.00E-04
		探测器散射	1.0+10.8	混凝土: 300 (θ: 0°)	6.16E-26	2.00E-21	
		东侧墙散射	8.6+14.7	混凝土: 300 (θ: 45°)	2.23E-36	4.16E-32	
E ₁	2 号测试 机房顶棚 上 30cm 处,空调机 房	漏射(O ₁ -E ₁)	6.0	混凝土: 200 (θ: 0°)	5.46E-06	0.27	0.27
		探测器散射	1.0+6.1	混凝土: 200 (θ: 0°)	2.44E-15	2.44E-10	
		东侧墙散射	8.6+10.5	混凝土: 200 (θ: 45°)	1.70E-24	1.59E-18	
g ₁	2 号测试 机房防护 门外 30cm 处	漏射(O-g ₁)	21.3	混凝土: 300 (θ: 30°) 铅: 15mm	3.44E-08	5.45E-04	0.44
		漏射(O ₁ - g ₁)	9.5	混凝土: 180 (θ: 0°) 铅: 15mm	1.12E-05	0.224	
		探测器散射	1.0+9.8+10.3 +3.2	铅: 15mm	1.00E-3	6.39E-03	
		东侧墙散射	1.0+15.3+10.3 +3.2	铅: 15mm	1.00E-3	0.207	
		天空反散射	4.31×10 ⁻⁵				
注: ①3 号车间 1 层净高 9m, 靶点离地 1m, 故 1 号机房 O-E 漏射路径长为 8.3m。 ②根据式 11-7~式 11-10, 1 号测试机房防护门屏蔽前 H _γ 为 9.98μSv/h, H _n 为 3734.75μSv/h, 经 过防护门屏蔽后为 0.65μSv/h。							

由上表预测计算结果可知: 本项目加速器运行过程中机房周围辐射剂量率最大为

0.79 μ Gy/h, 满足《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016)中的“工作场所以及周边环境的屏蔽体(墙)表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。”的要求。

(6) 感生放射性对辐射工作人员的影响

1 号测试机房直线加速器最高能量为 15MV, 需要考虑辐射工作人员进入机房中加速器机头活化产生的感生放射性对其造成的剂量。本项目参考镇江某医院 15MV 医用电子直线加速器验收监测结果((2009)辐环监(验)字第(321)号), 加速器在停机后 2 分钟, 加速器机头 5cm 处的感生放射性水平为 3.57 μ Sv/h, 机头外 1m 处为 2.06 μ Sv/h, 医务人员摆位处为 1.25 μ Sv/h。

本项目 1 号测试机房每年测试平板探测器最多为 1400 台, 需要辐射工作人员进入机房作更换平板探测器的准备, 每年最多准备 1400 次, 每次准备时间平均按 2min 计, 此时 2 号机房测试对 1 号测试机房内的辐射剂量率为 2.00×10^{-5} μ Gy/h, 近似 1mGy=1mSv, 则辐射工作人员测试准备过程中受到的有效剂量估算结果为: $(1.25+2.00 \times 10^{-5}) \times 2 \times 1400 \div 60 \div 1000 = 0.06$ mSv。

实际工作中, 为避免加速器室内感生放射性对辐射工作人员造成的危害, 建议:

- ①辐射工作人员尽可能减少测试机房内滞留时间, 或等待停机 5min 后再进入机房。
- ②加强测试机房室内通风, 减少测试机房室内空气中感生放射性核素的含量。

11.2.1.2 有效剂量估算

(1) 计算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)－2000 年报告附录 A, X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算:

$$H_{E-r} = D_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-14})$$

式中:

H_{E-r} : X 射线外照射人均年有效剂量, mSv;

D_r : X 射线空气吸收剂量率, μ Gy/h;

t : X 射线照射时间, h;

T : 居留因子。

近似 1Gy=1Sv。

(2) 居留因子

本项目的居留因子参照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)选取, 具体数

值见表 11-6。

表 11-6 居留因子的选取

场所	居留因子	停留位置
全停留	1	控制室、装配区、水文监测站
部分停留	1/4	东侧过道、强电间与空调机房、车间内过道
偶然停留	1/8	防护门外
	1/16	东侧卫生间、楼梯间与货梯厅、室外道路

(3) 工作负荷

本项目拟配备4名辐射工作人员负责本项目平板探测器的测试与厂内运输等工作，新增的辐射工作人员拟从公司外部招聘或内部调配，项目实行一班制，每天工作8小时，每年工作350天。

测试负荷：本项目新建2间测试机房，其中15MeV平板探测器在1号测试机房测试，9MeV平板探测器在2号测试机房测试。根据建设单位提供的资料，存在两台加速器同时出束的情况，平板探测器抽检率10%，则平板探测器每年测试2800台，单台平板探测器测试出束时间最大为10min，每间测试机房配置2名辐射工作人员，则每间测试机房年出束时间最大为234h。

(4) 有效剂量评价

根据表11-5辐射剂量率计算结果，以及建设单位提供的工作负荷资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如表 11-7。

表 11-7 本项目相关人员预期年剂量水平

保护目标	对应关注点	类型	居留因子	关注点处最大剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	年受照时间 (h)	预期年最大剂量水平 (mSv)	是否满足年剂量管理要求
控制室工作人员	C (C_1)	职业	1	2.10E-03	234	6.05E-02	满足
	测试准备工作所受最大有效剂量: 0.06mSv						
东侧过道、强电间与空调机房公众	A	公众	1/4	$0.22+7.31\times 10^{-2}$	468	0.034	满足
东侧卫生间、楼梯间与货梯厅	A ₁	公众	1/4	$0.22+7.31\times 10^{-2}$	468	0.034	满足
室外道路	B ₁	公众	1/16	0.39	468	0.011	满足
水文监测站	B ₁	公众	1	$0.39* (1/40^2)$	468	1.14E-04	满足
1号机房防护门外	g	公众	1/8	0.79	234	0.023	满足

2 号机房 防护门外	g_1	公众	1/8	0.44	234	0.013	满足
北侧过道、 装配区	D、 D_1	公众	1	$0.13+2.00\times 10^{-4}$	468	0.06	满足
上层空调机房	E、 E_1	公众	1/4	0.33+0.27	468	0.07	满足

注：1、较远保护目标处的剂量率由相近关注点的剂量率根据剂量率与距离的平方成反比。

2、两台加速器可能存在同时测试的情况，2 号测试机房更换平板探测器准备工作时，1 号机房测试对 2 号测试机房内的辐射剂量率为 $0.0439\mu\text{Gy/h}$ ，近似 $1\text{mGy}=1\text{mSv}$ ，2 号测试机房更换平板探测器的准备工作所受有效剂量小于 1 号机房更换平板探测器准备工作所受的有效剂量，因此 2 间机房均按 0.06mSv 计算。

3、两台加速器可能存在同时测试的情况，控制室、机房东侧关注点、上层空调机房考虑剂量率叠加情况。

由估算结果可见，本项目所致辐射工作人员受照年有效剂量最大为 $6.05\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求；

本项目所致公众人员受照年有效剂量为 0.07mSv ，满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

11.2.2 通风管道、电缆穿墙管孔出口处的辐射影响分析

本项目电缆、风管、冷凝管采用预埋镀锌钢管的形式拟在非主射方向从西侧墙体 45° 方向“Z”型穿墙，不破坏机房北侧墙体的屏蔽，且墙孔用硫酸钡封堵。因此，电缆、风管、冷凝管穿墙管孔出口处的剂量率不超上述分析的控制室的剂量率。

11.3 非辐射环境影响分析

11.2.1 大气环境影响分析

（1）感生放射性废气

光-核反应产生的中子与加速器结构材料和空气发生的 (n, γ) 反应产生的感生放射性，空气中会产生少量感生放射性气，主要是感生放射性气体 ^{15}O 和 ^{13}N 。在加速器运行期间，由于测试机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员，但停机后工作人员进入机房内可能会受到感生放射性辐射。

感生放射性辐射的强度与入射粒子的能量和注量有关，但停机后感生放射性衰变很快，核素 ^{15}O 和核素 ^{13}N 的半衰期分别为 2.1min 和 10min ，所以辐射工作人员尽可能减少加速器室内滞留时间，或等待停机 5min 后再进入机房。

公司应需确保工作中通风设施的完好和有效运行，加强加速器室内通风，减少加速器室内空气中感生放射性核素的含量，感生放射性气体 ^{15}O 和 ^{13}N 排到外环境中很快衰变。

综上所述，在采取以上措施后，本项目产生的感生放射性废气对周围环境产生的影响很小。

(2) 臭氧和氮氧化物影响分析

本项目加速器运行时，X 射线和空气发生作用会产生 O_3 、 NO_x 等废气，由于 X 射线模式下产生的臭氧影响较小，故本项目仅估算在医用直线加速器在运行期间电子束模式下产生的臭氧浓度，本项目臭氧的产生浓度参照《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录 E 的计算公式进行估算。

$$C_{\text{O}_3} = 2.79 \times \frac{Id}{V} \times (1 - e^{-\frac{v}{V}t}) \quad (\text{式 11-15})$$

式中：

C_{O_3} ：机房中臭氧浓度， mg/m^3 ；

I：电子束流强度，mA；本项目 2 间测试机房均取 0.1mA；

d：电子束在空气中的径迹长度，cm；本项目为 100cm；

V：机房体积， m^3 ；本项目 1 号测试机房约为 640m^3 ，2 号测试机房约为 848m^3 ；

v：排气速率， m^3/s ；本项目 2 间机房均为 $0.97\text{m}^3/\text{s}$ ；

t：辐照时间，s；单次最长出束时间保守取 600s。

由上式计本项目直线加速器运行时臭氧的浓度为见表 11-8。

表 11-8 2 间测试机房内臭氧浓度预测

序号	机房名称	机房容积 m^3	电子束流强度 mA	电子束在空气中的径迹长度 cm	排气速率 m^3/s	治疗结束后机房内的臭氧浓度 mg/m^3
1	1#加速器测试机房	640	0.1	100	0.97	0.026
2	2#加速器测试机房	848	0.1	100	0.97	0.016

根据计算结果可知本项目运行中 2 间测试机房内最高臭氧浓度为 $0.026\text{mg}/\text{m}^3$ ，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）中“臭氧最高容许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”，满足标准要求；

加速器运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半， NO_2 的时间加权平均容许浓度（ $5\text{mg}/\text{m}^3$ ）远大于 O_3 的限值。因而 2 间测试机房内氮氧化物浓度低于《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）中

“氮氧化物的时间加权平均容许浓度 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ”，满足标准要求。

11.3.2 水环境影响分析

加速器自带冷却水循环系统，其使用的冷却水为纯净水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环使用不外排（需定时补充纯净水）。

本项目废水为运行过程中工作人员产生少量的生活污水。根据《建筑给水排水设计规范》，生活用水量按 $100\text{L}/\text{人}$ 计算，4 名辐射工作人员每天生活用水量为 400L ，考虑排水系数为 0.8，则本项目每天的排水量为 0.32 m^3 ，按每年工作 350 天，每年排水量为 112m^3 。本项目运行期间产生的少量生活污水经化粪池预处理达标后纳入污水管网，最终排放至海宁市丁桥污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放，对项目所在地水环境影响较小。

11.4.3 声环境影响分析

本项目通排风机采用低噪声设备，运行过程中产生的噪声，经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域外的声环境影响很小。

11.4.4 固体废弃物影响分析

测试过程如有加速器废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由设备厂家回收。本项目工作人员产生的生活垃圾统一分类收集，由当地环卫部门统一处理。

11.5 辐射事故影响分析

11.5.1 事故类型

本项目平板探测器测试时存在着风险和潜在危害以及事故隐患，可能出现概率较大或后果较严重的误照射辐射事故如下：

- （1）电子直线加速器联锁装置失效，加速器出束时人员误入受到意外照射；
- （2）检修人员在设备未断电的情况下进行检修，射线装置因误操作或其他原因开机出束，检修人员发现设备处于出束状态，立即按下急停按钮。

11.5.2 事故后果计算

假设人员误入或检修时误碰加速器开关出束时，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向的等中心位置，受照时间为 10s 。

本项目电子直线加速器主射束 1m 处剂量率最大为 $120\text{Gy}/\text{min}$ ，则事故工况下人员受到的辐射剂量最大为 60Gy ，致死率大于 99%，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》中辐射事故分级规定，属于重大辐射事故。

11.5.3 风险防范措施

(1) 为避免误照射事故发生，建设单位应该加强管理，制定详细完整的安全操作规程，每次测试作业均严格执行操作规程，职业人员应该在确保机房内无人停留后，方可出束测试。

(2) 为防止人员误入或误留机房造成辐射事故，本项目机房内设置了独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮、开门按钮、辐射监测装置等多项安全防护措施，机房防护门出入口设计有电离辐射警告标志等。建设单位应定期对安全联锁装置、报警装置、急停按钮等进行检查，确保其正常运行。

(3) 为防止操作人员违规操作或误操作，建设单位应提前对操作人员进行技术培训，确保其掌握本项目加速器的操作流程和技术方法。在项目投运后，建设单位将加强管理，提高操作人员安全意识，禁止未经培训的操作人员操作加速器。

(4) 为防止通风系统故障或者通风换气次数不足而造成机房内臭氧浓度积累，建设单位将定期对通风系统进行巡检，出现故障时应停止相应加速器的探伤工作，及时联系厂家进行维修。

(5) 当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人报告。建设单位应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。

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

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用Ⅱ类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

本项目为建设单位首次开展核技术利用建设项目，目前处于筹建阶段，人员尚未确定，无法明确辐射安全与环境保护管理机构的组成。评价要求，建设单位应根据人员确定情况，尽快成立辐射安全与环境保护管理机构，全面负责单位的辐射安全与环境保护管理工作，并配备相应的成员，确定管理机构领导、成员及辐射防护管理专（兼）职人员，做到分工清晰、职责明确，并在日后运行过程中，根据人事变动情况及时调整机构组成。

12.1.2 辐射人员管理

本项目拟配备辐射工作人员共 4 人，拟从社会招聘有资质的辐射工作人员（要求该人员提供个人辐射工作档案：包括个人剂量、健康体检等），或从公司现有员工调配经培训考核合格后上岗。

（1）个人剂量检测

建设单位拟为新增辐射工作人员配置个人剂量计、具有累积剂量监测功能的个人剂量报警仪（该仪器同时具备直读剂量计和个人剂量报警仪的功能），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。个人剂量计监测周期一般为 30 天，最长为 90 天，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

本项目所有新增辐射工作人员应根据《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）的要求参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn/>）学习相关知识，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加复训。

(3) 辐射工作人员职业健康体检

新增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在岗期间职业健康检查，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，并建立个人健康档案。

12.1.3 辐射安全和防护状况年度评估报告

建设单位核技术利用项目正式开展后，应对开展的核技术利用项目辐射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辐射安全和防护状况年度评估报告。

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》，使用射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

为了保障电子直线加速器的安全使用，建设单位应尽快建立健全相应的辐射管理制度和操作规程。并根据相关要求落实各项规章制度和操作规程，加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，建设单位至少应制定以下方面的管理制度：

- (1) 辐射防护与安全保卫制度；
- (2) 自行检查和年度评估制度；
- (3) 辐射事故应急预案；
- (4) 电子直线加速器使用登记和台帐管理制度；
- (5) 辐射人员培训/再培训制度；
- (6) 个人剂量、辐射环境监测计划；
- (7) 射线装置管理、操作、保养和维护/维修制度；
- (8) 辐射监测仪表使用与校验管理制度；
- (9) 电子直线加速器测试操作规程。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

本项目测试用电子直线加速器属II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目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，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建设单位拟配备 1 台 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪和 1 台中子剂量当量率仪，所有新增辐射工作人员均拟配备 1 支个人剂量计和 1 台具有累积剂量监测功能的个人剂量报警仪（该仪器同时具备直读剂量计和个人剂量报警仪的功能）。

12.2.2 监测计划

建设单位可委托有资质的单位，定期（每年 1 次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向生态环境部门上报备案。

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）与《电子直线加速器工业CT辐射安全技术规范》（HJ785-2016）的相关要求，建设单位制定了本项目测试机房工作场所辐射监测计划，并将每次监测结果记录存档备查。

表12-1本项目测试机房工作场所年度监测和日常监测计划一览表

监测类别	工作场所	监测项目	监测频次	监测点位	监测类型
年度监测	1号、2号测试机房	周围剂量当量率	1次/年	工作场所监测点:机房防护门及门缝四周；控制室内人员操作位、电缆线管道孔及通风口等位置； 周边环境监测点:机房屏蔽墙体外30cm处、机房顶棚、3号车间内部机房四周50m内区域、室外道路及水文监测站等区域。	委托监测
日常监测	1号、2号测试机房	周围剂量当量率	1次/季度		自行监测
验收监测	1号、2号测试机房	周围剂量当量率	/		委托监测
废靶监测	/	周围剂量当量率	废靶回收前	废靶外表面	自行监测
个人剂量检测	/	个人剂量当量	不超过3个月	所有辐射工作人员	委托监测

12.2.3 环保竣工验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，

自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.3 辐射事故应急

为了应对辐射事故和突发事件，建设单位应尽快制定辐射事故应急预案，并成立辐射防护与安全领导小组，负责建设单位辐射防护与安全的全面工作。

本环评要求建设单位制定的辐射事故应急预案必须包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （3）可能发生辐射事故类别与应急响应措施；
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序。
- （5）生态环境部门、卫生部门和公安部门的联系部门和电话。
- （6）编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。
- （7）应急预案的演练。

发生辐射事故时，事故单位立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

12.4 从事辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，使用射线装置的单位应具备相应的条件，对其从事辐射活动能力的评价详见表 12-2。

表 12-2 从事辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位拟设置辐射安全与防护管理领导小组，拟设符合要求的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并明确其职责。

（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	建设单位拟组织新增4名辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的辐射防护与安全培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	本项目测试机房内设置了独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮、开门按钮、辐射监测装置等多项安全防护措施。
（五）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，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	建设单位拟配备1台X、 γ 辐射周围剂量当量率仪和1台中子剂量当量率仪，所有新增辐射工作人员均拟配备1支个人剂量计和1台具有累积剂量监测功能的个人剂量报警仪（该仪器同时具备直读剂量计和个人剂量报警仪的功能）。
（六）有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	建设单位拟制订相关辐射管理制度。
（七）有完善的辐射事故应急措施。	建设单位拟制定《辐射事故应急预案》。
（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目不涉及放射性废气、放射性废液和放射性固废。

综上所述，奕瑞影像科技（海宁）有限公司在成立辐射防护管理领导小组、建立健全相应的辐射管理制度和操作规程后，能够具备从事辐射活动的能力。本项目在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，其从事辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

本项目为非辐射环评《奕瑞（海宁）智能 X 光探测器关键技术研发及产业化环境影响报告表》的配套辐射环评项目。本项目拟在 3 号车间新建 2 间测试机房及控制室作为平板探测器测试的辐射工作场所，购买 1 台 KAS-15/12000 型电子直线加速器和 1 台 MAS-9/3000 型电子直线加速器作为测试平板探测器的测试设备，年测试各类智能 X 光探测器 2800 台（年生产各类智能 X 光探测器 28000 台，抽检率为 10%）。

(2) 项目位置

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧的车间 3 第 1 层，本项目 2 间测试机房（视为一个整体）东侧为漕河径路，隔路 65m 为浙江庞源机械工程有限公司；机房南侧 40m 为水文监测站，南侧 68m 为长山河；机房西侧 45m 为综合楼，西北侧 310m 为危废库；机房北侧 37m 为 2 号车间。本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围主要为水文监测站、内部道路及内部建筑，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目地理位置见附图 1，周边环境关系图见附图 2。

(3) 项目分区及布局

建设单位拟将 1 号测试机房与 2 号测试机房内区域划分为控制区，在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有无关人员进入。将测试机房相邻的控制室、平板探测器装卸区域以及库房区域划为监督区，对该区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中，控制室、平板探测器装卸区域以及库房区域内不得有无关人员滞留。

由上述可知，本项目分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定。

(4) 辐射安全防护措施结论

本项目测试机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：2 间测试机房由

检测室和迷道组成，2 间测试机房与控制室分离，机房西侧均为 L 型迷道，迷道口设有防护门，有用线束均向东墙照射；机房内拟设置独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮、复位按钮、辐射监测装置等多项安全防护措施，机房防护门出入口拟设计电离辐射警告标志等安全管理措施。建设单位拟配备 1 台辐射剂量巡测仪，所有新增辐射工作人员均拟配备 1 支个人剂量计和 1 台具有累积剂量监测功能的个人剂量报警仪（该仪器同时具备直读剂量计和个人剂量报警仪的功能）。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

（5）辐射安全管理结论

建设单位应根据实际情况及本报告要求，尽快成立辐射安全与环境保护管理机构 and 建立健全相应的辐射管理制度和操作规程，以适应当前环保的管理要求；建设单位拟对新增辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。奕瑞影像科技（海宁）有限公司在成立辐射安全与环境保护管理机构、建立健全相应的辐射管理制度和操作规程后，能够具备从事辐射活动的能力。

13.1.2 环境影响分析结论

13.1.2.1 辐射环境影响分析结论

（1）辐射剂量率影响预测结论

叠加天空反散射的剂量率，本项目加速器运行过程中机房周围辐射剂量率最大为 $0.79\mu\text{Gy/h}$ ，满足《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中的“工作场所以及周边环境的屏蔽体（墙）表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

（2）个人剂量影响预测结论

由估算结果可见，本项目所致辐射工作人员受照年有效剂量最大为 $6.05 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求；

本项目所致公众人员受照年有效剂量为 0.07mSv ，满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

13.1.2.2非辐射环境影响分析结论

(1) 大气环境影响分析结论

光-核反应产生的中子与加速器结构材料和空气发生的 (n, γ) 反应产生的感生放射性，空气中会产生少量感生放射性气，主要是感生放射性气体 ^{15}O 和 ^{13}N 。在加速器运行期间，由于测试机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员，但停机后工作人员进入机房内可能会受到感生放射性辐射。

感生放射性辐射的强度与入射粒子的能量和注量有关，但停机后感生放射性衰变很快，核素 ^{15}O 和核素 ^{13}N 的半衰期分别为2.1min和10min，所以辐射工作人员尽可能减少加速器室内滞留时间，或等待停机5min后再进入机房。公司应需确保工作中通风设施的完好和有效运行，加强测试机房室内通风，减少测试机房室内空气中感生放射性核素的含量，感生放射性气体 ^{15}O 和 ^{13}N 排到外环境中很快衰变。

综上所述，在采取以上措施后，本项目产生的感生放射性废气对周围环境产生的影响很小。

本项目运行中2间测试机房内最高臭氧浓度为 $0.026\text{mg}/\text{m}^3$ ，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)中“臭氧最高容许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”，满足标准要求；

加速器运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半， NO_2 的时间加权平均容许浓度($5\text{mg}/\text{m}^3$)远大于 O_3 的限值。因而2间测试机房内氮氧化物浓度低于《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)中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ”，满足标准要求。

(2) 水环境影响分析结论

加速器自带冷却水循环系统，其使用的冷却水为纯净水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环使用不外排（需定时补充纯净水）。

本项目运行期间产生的少量生活污水经化粪池预处理达标后纳入污水管网，最终排放至海宁市丁桥污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准后排放，对项目所在地水环境影响较小。

(3) 声环境影响分析结论

本项目通排风机采用低噪声设备，运行过程中产生的噪声，经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域外的声环境影响很小。

(4) 固体废弃物影响分析结论

测试过程如有加速器废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由设备厂家回收。

本项目工作人员产生的生活垃圾统一分类收集，由当地环卫部门统一处理。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性分析结论

根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目不属于限制类、禁止类项目，符合国家产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

本项目测试过程中，对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的经济收益与社会效益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

(3) 选址合理性分析

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）长山河北侧、漕河径路西侧的车间 3 第 1 层，不新增土地，周围无环境制约因素。本项目拟建 2 间测试机房实体边界外 50m 评价范围主要为水文监测站、内部道路及内部建筑，不涉及国家级生态保护红线，无居民区、生态保护目标等敏感点，无医院、幼儿园等敏感建筑。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境辐射影响是可接受的，故本项目 2 间测试机房的选址是合理的。

(4) “三线一单”符合性分析

本项目位于浙江省海宁市经济开发区（海昌街道）。根据《海宁市“三线一单”生态环境分区管控方案》、海宁市环境管控单元分类图（见附图 7），本项目所在区域涉及海宁市海昌街道产业集聚重点管控单元（ZH33048120001），不涉及生态保护红线优先保护区，本项目建设符合《海宁市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

(5) 项目可行性

综上所述，本项目选址合理，该项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，建设单位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，其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，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

建设单位应加强辐射安全教育培训，提高辐射工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

（1）建设单位在本项目报批后，承诺及时向生态环境部门申请辐射安全许可证。

（2）建设单位承诺在本项目正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），在规定的验收期限内（一般不超过3个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制竣工验收报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人： 公章
年 月 日

审批意见：

经办人： 公章
年 月 日