

核技术利用建设项目

杭州睿影科技有限公司生产、销售、使用射线装置

建设项目环境影响报告表

(公示稿)

杭州睿影科技有限公司

2025年1月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

杭州睿影科技有限公司生产、销售、使用射线装置 建设项目环境影响报告表 (公示稿)

建设单位名称： 杭州睿影科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址： 浙江省杭州市丹枫路 399 号 2 号楼 B 楼 312 室

邮政编码： 310051 联系人： 罗*芳

电子邮箱： l***g@h*n.com 联系电话： 181****7951

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	20
表 3	非密封放射性物质.....	20
表 4	射线装置.....	21
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	24
表 6	评价依据.....	25
表 7	保护目标与评价标准.....	28
表 8	环境质量和辐射现状.....	44
表 9	项目工程分析与源项.....	48
表 10	辐射安全与防护.....	64
表 11	环境影响分析.....	81
表 12	辐射安全管理.....	133
表 13	结论与建议.....	139

表 1 项目基本情况

建设项目名称		杭州睿影科技有限公司生产、销售、使用射线装置建设项目				
建设单位		杭州睿影科技有限公司				
法人代表		王*	联系人	罗*芳	联系电话	181****7951
注册地址		浙江省杭州市丹枫路 399 号 2 号楼 B 楼 312 室				
项目建设地点		浙江省杭州市滨江区白马湖单元 M1-C31 地块 2#生产厂房				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		800	项目环保投资（万元）	423.7	投资比例（环保投资/总投资）	52.96%
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（m ² ）	--
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 checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" 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	/					
<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 建设单位情况</p> <p>杭州睿影科技有限公司成立于 2020 年 01 月 07 日，为杭州海康威视数字技术股份有限公司旗下全资子公司（以下简称“公司”，营业执照见附件 1），注册地位于浙江省杭州市滨江区丹枫路 399 号 2 号楼 B 楼 312 室，法定代表人为王*。经营范围包括技术开发、技术服务、技术咨询、技术转让：II类射线装置、III类射线装置、安全检查检测装置、排爆系统设备、计算机软硬件、电子产品、自动化控制设备、通讯产品、安防设备、计算机系统集成、应用系统软件及系统集成；生产：II类射线装置、III类射线装置、安全检查检测装备、排爆系统设备、计算机软硬件、电子产品、自动化控制设备、通讯产品、安防设备；销售：II类射线装置、III类射线装置、II类放射源、III类放射源、IV类放射源、V类放射源、</p>						

安全检查检测装置、排爆系统设备、计算机软硬件、电子产品、自动化控制设备、通讯产品、安防设备；货物或技术进出口（国家禁止或涉及行政审批的货物和技术进出口除外）。（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以审批结果为准）。

公司现有厂区位于浙江省杭州市滨江区共联路 365 号，于 2022 年 11 月 25 日，取得《X 射线安全检查设备及 X 射线检测设备（II 类 X 射线装置销售、III 类 X 射线装置生产销售使用）建设项目环境影响登记表》（备案号：202233010800000098，详见附件 2），销售 II 类射线设备约 100 台，生产、销售、使用 III 类射线设备约 1160 台。

1.2 项目建设目的和任务由来

为增加产品类型，提高竞争力，杭州睿影科技有限公司租赁杭州海康威视数字技术股份有限公司位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元 M1-C31 地块 2# 生产厂房（含加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房）实施生产、销售、使用工业探伤加速器、工业探伤设备、高频 X 射线机装置、车检系统装置项目。2# 生产厂房及厂房内机房均由出租方承建（现阶段处于筹建期），场地租赁证明见附件 3。

对照《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 年版）》，本项目属于“三十五、电气机械和器材制造业 38”中“其他电气机械及器材制造 389”及“三十七、仪器仪表制造业 40”中“专用仪器仪表制造 402”，仅涉及外购的加速器机头、X 射线管、探测器、接收器等结构部件和零部件的组装，不涉及其他机加工、清洗及表面喷涂等工序，无需申报非放射性项目环评；同时对照《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），本项目涉及生产、销售和使用 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）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—生产、使用 II 类射线装置；销售 II 类射线装置”，环境影响评价类别为编制环境影响报告表（其中销售 II 类射线装置的环境影响评价类别为编制环境影响登记表，根据《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 年版）》：“建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”）。

为此，杭州睿影科技有限公司委托杭州旭辐检测技术有限公司对本项目进行辐射环境影响评价（委托书见附件4）。接受委托后，评价单位组织公司技术人员对该公司1间加速器（1MeV）机房、1间探伤（450kV）机房、1间无损检测（450kV）机房、1间车检（450kV）机房拟建址进行了现场踏勘、收集资料及辐射环境背景检测，并结合项目特征，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》（HJ 10.1—2016），编制了该项目的辐射环境影响报告表，供生态环境部门审查。

1.3 项目建设规模

1.3.1 项目名称、单位、性质、建设地点

- 1、项目名称：杭州睿影科技有限公司生产、销售、使用射线装置建设项目
- 2、建设单位：杭州睿影科技有限公司
- 3、建设性质：扩建
- 4、建设地点：浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块2#生产厂房南侧加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房。

1.3.2 建设项目内容与建设规模

杭州睿影科技有限公司租赁杭州海康威视数字技术股份有限公司（以下简称“出租方”）位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块2#生产厂房实施生产、销售、使用工业探伤加速器、工业探伤设备、高频X射线机装置、车检系统装置项目。

公司拟向国内外厂家购置加速器机头、X射线管、探测器、接收器等结构部件和零部件，在机房内进行组装（组装过程射线装置不通电，不涉及电离辐射，不涉及其他机加工等工序），用于生产射线装置及配套相关设备；拟在2#生产厂房的加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房调试射线装置（调试过程为使用射线装置通电出束，涉及电离辐射），经调试合格的射线装置及配套相关设备储存在成品堆放区（位于加速器（1MeV）机房西北侧，具体位置详见附图5），等待销售。根据销售订单，由专门的技术支持人员在客户厂区进行设备安装调试。

该项目投入运行后，公司白马湖单元厂区拟年生产、销售和使用工业探伤加

速器 15 台、工业探伤设备 205 台、高频X射线机装置 710 台、车检系统装置 40 台。

本项目射线装置基本情况详见表 1-1。

表 1-1 本项目射线装置参数基本情况表

一、加速器（1MeV）机房							
序号	工作场所	射线装置名称	型号	预计年生产和销售 量（台）	最大能量 （MeV）	剂量率 （Gy/min）	射线装置类别
1	加速器 （1MeV） 机房	工业探伤系统	ISD-NIX60e	10	*	*	II类
2		工业探伤系统	ISD-NIT60e	5	*	*	II类
二、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房							
序号	工作场所	射线装置名称	型号	预计年生产和销售 量（台）	最大管电压 （kV）	最大管电流 （mA）	射线装置类别
1	探伤 450kV 机房	工业探伤系统	ISD-NIX57	30	*	*	II类
2		工业探伤系统	ISD-NIX58	50	*	*	II类
3		工业探伤系统	ISD-NIX59	25	*	*	II类
4		工业探伤系统	ISD-NIX570	20	*	*	II类
5		工业探伤系统	ISD-NIX580	20	*	*	II类
6		工业探伤系统	ISD-NIX590	10	*	*	II类
7		工业探伤系统	ISD-NIT58	20	*	*	II类
8		工业探伤系统	ISD-NIT59	10	*	*	II类
9		工业探伤系统	ISD-NIT580	10	*	*	II类
10		工业探伤系统	ISD-NIT590	10	*	*	II类
11	无损检测 450kV 机房	高频 X 射线机	ISD-XSDFB80	100	*	*	II类
12		高频 X 射线机	ISD-XSDFB120	100	*	*	II类
13		高频 X 射线机	ISD-XSDFB140	100	*	*	II类
14		高频 X 射线机	ISD-XSDFB160	100	*	*	II类
15		高频 X 射线机	ISD-XSDFB180	100	*	*	II类

16		高频 X 射线机	ISD-XSDFB200	100	*	*	II类
17		高频 X 射线机	ISD-XSDFB130	100	*	*	II类
18		高频 X 射线机	ISD-XSDFB450	10	*	*	II类
16	车检 450kV 机房	车检系统	ISD-CS0225	20	*	*	II类
17		车检系统	ISD-CS0450	20	*	*	II类

1.4 项目选址及周边保护目标

1.4.1 本项目建设地理位置及外环境关系

本项目建设地理位置位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31 地块，东至延庆寺路，南至萧山界，西至杭州科博特激光工程有限公司，北至天马路，详见附件 1、2、3（地理位置示意图见附件 1，项目周边环境示意图见附件 2，项目周边环境现状图见附件 3）。

1.4.2 辐射工作场所地理位置及外环境关系

出租方 2#生产厂房地面上五层，地下一层，本项目四个机房位于一层内，2#生产厂房北侧依次为出租方厂区的内部道路汽车坡道、非机动车停车区域及天马路，南侧依次为出租方厂区内部道路、万达汽车零部件有限公司，东侧依次为出租方厂区内部道路、1#生产测试楼，西侧依次为出租方厂区内部道路、杭州海康机器人股份有限公司 3#生产厂房，厂区总平面布置及评价范围示意图见附件 4，2#生产厂房平面布置示意图见附件 5。

本项目拟建的加速器（1MeV）机房西北侧依次为 2#生产厂房内部道路、杭州睿影探测科技有限公司射线装置储存区域、生产用房，东北侧依次为探伤（450kV）机房、探伤（450kV）机房控制台、硬件测试（225kV）机房 2、硬件测试（225kV）机房 1、高低温机房、出租方厂区内部道路，东南侧为车检（450kV）机房、2#生产厂房内部道路、出租方厂区内部道路、万达汽车零部件有限公司，西南侧依次为加速器（15MeV）机房、出租方厂区内部道路、杭州海康机器人股份有限公司 3#生产厂房，下层为出租方地下车库，上层为生产用房（安检机生产）和生产用房（中小型安检机生产）。

本项目拟建的探伤（450kV）机房西北侧依次为 2#生产厂房内部道路、射线装置储存区域、生产用房，东北侧依次为探伤（450kV）机房控制台、硬件测试（225kV）机房 2、硬件测试（225kV）机房 1、高低温机房、出租方厂区内部道

路、1#生产测试楼，东南侧依次为无损检测（450kV）机房、2#生产厂房内部道路、出租方厂区内部道路、万达汽车零部件有限公司，西南侧依次为加速器（1MeV）机房、加速器（1MeV）机房控制台、杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房、出租方厂区内部道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房，下层为出租方地下车库，上层为生产用房（安检机生产）和生产用房（中小型安检机生产）。

本项目拟建的车辆（450kV）机房西北侧依次为加速器（1MeV）机房、2#生产厂房内部道路、杭州睿影探测科技有限公司射线装置储存区域、生产用房，东北侧依次为无损检测（450kV）机房、无损检测（450kV）机房控制台、成品铅箱、出租方厂区内部道路，东南侧为2#生产厂房内部道路、出租方厂区内部道路、万达汽车零部件有限公司，西南侧依次为杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房、出租方厂区内部道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房，下层为出租方地下车库，上层为生产用房（安检机生产）和生产用房（中小型安检机生产）。

本项目拟建的无损检测（450kV）机房西北侧依次为探伤（450kV）机房、2#生产厂房内部道路、射线装置储存区域、生产用房，东北侧依次为无损检测（450kV）控制台、成品铅箱、出租方厂区内部道路、1#生产测试楼，东南侧依次为出租方厂区内部道路、万达汽车零部件有限公司，西南侧依次为车辆（450kV）机房、车辆（450kV）机房控制台、杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房、出租方厂区内部道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房，下层为出租方地下车库，上层为生产用房（安检机生产）和生产用房（中小型安检机生产）。

1.5 项目相关符合性分析

1.5.1 选址合法性、合理性分析

本项目租用杭州海康威视有限公司位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块2#生产厂房，不新增用地，用地性质为工业用地，符合土地利用要求。

1.5.2 与“三线一单”符合性

1、与生态保护红线的符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080号）及《自然资源部办公厅关于依据“三区三线”划定成果报批建设项目用地用海有关事宜的函》（自然资办函〔2022〕2072号），三区三线中“三区”是指城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的国土空间。“三线”分别对应城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基本农田、生态保护红线三条控制线。

本项目位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块，对照滨江区“三区三线”现状示意图，本项目不在生态保护红线及永久基本农田范围内（本项目与滨江区“三区三线”现状示意关系图见附图6）。

2、与环境质量底线的符合性分析

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量属于正常本底范围。在落实本报告提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

3、与资源利用上线的符合性分析

本项目为核技术利用项目，不新增土地指标，仅涉及电力和水资源利用，工程建设符合资源利用上线的要求。

4、与环境管控单元准入清单的符合性分析

根据杭州市生态环境局关于印发《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的通知（杭环发〔2024〕49号），本工程管控单元分类为ZH33010820002滨江区滨江高新产业集聚重点管控单元（相关环境管控单元准入清单见表1-2，本项目与杭州市“三线一单”动态的位置关系见附图7）。

表 1-2 相关环境管控单元准入清单

“三线一单”环境 管控单元—单元 管控空间属性	环境管控单元编码	ZH33010820002
	环境管控单元名称	滨江区滨江高新产业集聚重点管控单元
	管控单元分类	重点管控单元
管控要求	空间布局引导	根据产业集聚区块的功能定位，建立分区差别化的产业准入条件。合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。
	污染物排放管控	工业废水经处理达标后纳入市政管网。
	环境风险防控	加强对企业环境风险防控，根据相关要求制定突

		发环境事件应急预案，保障环境安全。
	资源开发效率要求	/
	重点管控对象	滨江高新工业集聚区，长河、西兴和浦沿工业园。

本项目为扩建生产、销售、使用Ⅱ类射线装置项目，不涉及总量控制指标，不属于重点环境风险管控企业，工程符合相关管控单元准入清单要求。

1.6 规划及规划环境影响评价符合性分析

1.6.1 《杭州高新开发区（滨江）分区规划（2017-2020年）》符合性分析

1、规划范围

根据《杭州高新开发区（滨江）分区规划（2017-2020年）》，杭州高新开发区（滨江）分区规划范围：高新区（滨江）西、北部至钱塘江中心线，东、南侧与萧山区相接。规划区面积约73km²，其中钱塘江水面约为10km²，陆域用地面积约为63km²。

2、规划结构

规划形成“一主、二次、二带、四轴、七片”的布局结构。

（1）一主：即一个区级公共主中心，即高新开发区（滨江）东部的区级中心，也是区政府所在地，包括行政、办公、商务、金融、文化等，是一个综合性的具有多种职能的综合服务基地。也是由“钱江新城——钱江世纪城”构建的杭州主中心之一级；

（2）二次：二个城市次中心，即：公建中心城市次中心、浦沿城市次中心；

（3）二带：两条生态景观带，即北部沿钱塘江、南部沿冠山及白马湖两条生态景观带；

（4）四轴：四条发展轴，即江南大道、时代大道、彩虹大道、浦沿路四条城市发展轴线；

（5）七片：七大片区，即滨江中心片、物联网片、互联网片、之江片、白马湖片、西部沿江片、东冠浦乐片。

3、产业发展定位

以网络信息技术产业为主导，以优势及关联产业的融合衍生、多元集聚式发展为补充，以科技服务、商务商贸、教育、旅游、房地产等城市第三产业内容为支撑，优化产业结构并以产业的高端形态为发展目标，发挥信息经济、互联网、生命健康、节能环保、文化创意等优势产业，强化科技服务、服务外包、商贸服

务、休闲旅游等配套产业，培育新兴产业，打造信息化、高端化、智慧化发展的浙江省高新技术产业集聚区、战略性新兴产业集聚区、产业创新发展高地。

4、产业发展重点分析

重点发展——网络基础产业、物联网、互联网三大领域，努力构建网络信息技术产业“3633”格局，使主导产业强势更强、优势更优。网络基础领域重点发展集成电路设计、大型软件系统研发、高端计算机研制、高端网络设备制造、大数据存储与智能分析、信息安全6个细分产业；物联网领域重点发展智能传感器、物联网系统集成、联网机器人及智能装备系统3个“互联网+”细分产业；互联网领域重点发展电子商务平台、互联网金融、网络传媒3个细分产业。

鼓励发展——C2B、O2O等商业模式创新与工厂物联网、车联网、可穿戴设备、智慧健康、3D打印等新兴产业的嫁接融合，发挥其在产业、技术开发中的“乘数效应”，大力发展协同设计、协同制造、协同服务，打造产业链上下游企业、制造企业、服务企业、内容提供商和应用开发者的共赢生态体系，支持工业企业由“卖产品”向“卖方案”、“卖服务”转变。

引导发展——网络信息技术与智能制造（智能工厂+智能生产）、高端医疗设备（EMT+MT）、生物医药（BT）、节能环保、新能源（光伏太阳能）、新材料、文化创意、体育经济等产业领域的渗透带动与融合衍生发展，努力形成“信息经济+”、“互联网+”等新的集群优势和新的增长极，构建产业梯度，形成多点支撑格局。

扶持发展——各类生产性服务业和科技服务业，重点发展研究与试验、工程设计、工业设计等研发设计服务业；鼓励发展知识产权服务业，深化服务内容，培育知识产权服务新兴业态；支持创业服务业发展，构建从创业教育、创业培育、交流社区、天使投资、创业孵化的全链条创业服务体系；推进科技金融融合发展，引导发展科技金融服务业。

符合性分析：本项目位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块，主要进行生产、销售、使用射线装置，符合该区产业发展定位。因此，本项目的建设符合《杭州高新开发区（滨江）分区规划（2017-2020年）》符合的相关要求。

1.6.2 《杭州高新开发区（滨江）分区规划（修编）（2016-2020年）环境影响报告书》符合性分析

《杭州高新开发区（滨江）分区规划（修编）（2016-2020年）环境影响报告书》于2017年由浙江环科环境咨询有限公司编制完成，并于2017年10月9日取得原环境保护部相关审查意见的函（环审[2017]156号）。该规划环评针对区域发展制定了生态空间清单、环境质量底线清单、资源利用上限清单、环境准入条件清单等规划环评结论清单。本项目与规划环评结论清单中生态空间清单、规划区总量管控限值清单、资源利用上线清单、产业准入条件清单、环境准入指标限值、产业负面清单以及环保措施要求的符合性分析如下：

（1）生态空间管控清单符合性分析

本项目位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块，所在区域不属于禁止开发区和限制开发区。项目租用的杭州海康威视数字技术股份有限公司2#生产用房加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房，用地性质为工业用地，不涉及占用水域，不影响河道自然形态和河湖生态（环境）功能。项目的建设满足生态空间清单管控要求。

（2）规划区总量管控限值清单符合性分析

本项目不涉及总量控制，无需进行排污权交易和登记。

（3）资源利用上限清单符合性分析

本项目用水为滨江区市政供水，水资源消耗量较少。项目租用杭州海康威视有限公司位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31地块2#生产厂房，不新增土地指标。项目用电为滨江区电网供给，用电资源消耗量较少。综上，项目符合高新区（滨江）资源利用上限的要求。

（4）产业准入条件清单符合性分析

对照高新区（滨江）产业准入条件清单，本项目符合国家及地方产业政策，符合所属行业有关发展规划；选址符合高新区（滨江）范围内所在单元控制性详细规划；同时项目生产工艺及装备技术水平、水耗能耗均符合清洁生产要求。

（5）环境准入指标限值符合性分析

对照高新区（滨江）主导行业环境准入负面清单（指标限值）表，本项目不属于受限制行业，且污染物产生排放量较小，符合高新区（滨江）环境准入指标限值要求。

（6）产业准入负面清单符合性分析

对照高新区（滨江）环境准入负面清单（限制类、禁止类），本项目主要从事研究和试验发展，不属于清单限制或禁止范围。

综上分析，本项目建设符合《杭州高新开发区（滨江）分区规划（修编）（2016-2020年）环境影响报告书》中相关要求。

1.7 产业政策符合性分析

本项目为扩建生产、销售、使用II类射线装置项目，根据《产业结构调整指导目录》（2024年本），本项目属于鼓励类第六项“核能”中第4条“核技术应用：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”，属于国家鼓励类产业。本项目在运行过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。因此，本项目建设符合产业政策要求。

1.8 实践的正当性

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其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当性的。

本项目的建设可以更好地满足市场需求。核技术利用项目的开展，对提高工业企业产品的质量及安全起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

建设单位对射线装置的安装调试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，在使用和管理射线装置的情况下，对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值，其获得的利益远大于辐射造成的伤害，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“实践的正当性”要求。

1.9 原有核技术利用项目许可情况

1.9.1 原有核技术利用项目许可情况

公司持有有效的《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐[A4242]，有效期至2029年3月27日（详见附件5），种类和范围：销售、使用V类放射源；生产、销售、使用III类射线装置；销售II类射线装置，其中V类放射源（Ni-63）和II类

射线装置（工业用 X 射线机探伤装置）暂未投入使用。

现有已许可的射线装置台账明细见表 1-3。

表 1-3 公司现有已许可的射线装置台账明细表

射线装置名称	射线装置类别	型号/规格	管电压 (kV)	管电流 (mA)	最大功率 (kW)	用途	场所	当前状态
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 550SA	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 550SA	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550S	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 040SA	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 040S	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 040SA	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 550S	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 550D	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550S	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SG6 550D	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550S	*	*	*	行李包检查	C1 北一内	在用

X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SC6 550S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG6 550S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 北一内	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SC5 030S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG5 030SA	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG5 030S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG5 030S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SC5 030SA	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SC5 030S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SC5 030SA	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	RK ISD-SG5 030SA	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SC5 030S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG5 030S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	Ⅲ类	ISD-SG1 00100S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查	Ⅲ类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用

装置								
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC1 00100S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	非在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC1 00100S	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-CA6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 北一外	非在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC1 00100D	*	*	*	行李包 检查	C1 南一 西展厅	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南一 西展厅	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南一 西展厅	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南一 西展厅	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南一 西展厅	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-CA6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-CA6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南	在用
X 射线行李包检查装置	III类	ISD-SC6 550D	*	*	*	行李包 检查	C1 南	在用

1.9.2 辐射安全管理现状

1、现有辐射安全管理机构的设置

公司已成立辐射安全管理小组，单位负责人王*为本单位辐射工作安全责任人，设置专职机构辐射安全防护小组，指定专人章*凌负责放射性同位素与射线装置的安全和防护工作，指定专人罗*芳负责射线装置、放射源保管工作。小组人员组成上涵盖了现有核技术利用项目涉及的部门，在框架上基本符合要求；明确了相关负责人和各成员及其职责，内容较为完善，辐射工作安全责任书见附件6。

2、现有辐射安全规章制度的制定

公司开展智能物联网产品的研发、测试生产工作多年，已制定《II类射线装置销售管理规程》《辐射监测方案》《辐射异常事件处置方案》《岗位职责》《机构成立文件》《射线装置操作规程》《放射源操作规程》《放射源台账管理及使用登记制度》《射线装置台账管理及使用登记制度》《射线装置维护维修检修管理制度》《含源设备维护维修检修管理制度》等规章制度，见附件7。

公司现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。公司严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

3、现有辐射工作人员管理

据统计，公司现有辐射工作人员合计共91名，现状辐射工作人员管理情况见附件8。

(1) 现有辐射工作人员均持合格的辐射防护成绩报告单，且在有效期内，符合持证上岗的要求。

(2) 现有辐射工作人员均配备了个人剂量片，已委托有资质的单位定期进行个人剂量检测，并建立了个人剂量档案。根据建设单位提供的2023年度的个人剂量档案，辐射工作人员的最大有效剂量率为0.03~0.35mSv，符合项目剂量约束值的要求，也符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对辐射工作人员“剂量限值”的要求。

(3) 现有辐射工作人员均已开展职业健康体检，并建立了职业健康监护档案。辐射工作人员在岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体

检周期不超过 2 年，现有辐射工作人员体检日期均在体检周期内。根据公司提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作，健康无异常。

4、现有辐射监测仪器与防护用品

公司每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，现有辐射监测仪器与防护用品统计清单见表 1-4，可以满足现阶段的生产研发工作要求。

表 1-4 现有辐射检测仪器与防护用品清单

序号	防护用品名称	型号规格	使用位置	数量
1	移动铅板	铅板：长 1.7m 宽 1m 厚 5mm—铅板，带支架	C1 实验室	30
2	铅服	0.35mm 铅当量	C1 实验室	2
3	铅手套	0.35mm 铅当量	C1 实验室	3
4	铅围脖	0.5mm 铅当量	C1 实验室	2
5	铅眼镜	0.5mm 铅当量	C1 实验室	1
6	铅帽	0.5mm 铅当量	C1 实验室	2
7	个人剂量当量报警仪	1) 型号：CM5002 2) 规格：双色 LED 液晶显示屏，无需背光 3) 测量范围： 剂量率：0.01 μ Sv/h~180mSv/h 累计剂量： 0.01 μ Sv~9999SvX- γ 4) 能量范围：35Kev~3.0Mev 5) 能量响应： $\leq \pm 25\%$ 相对误差： $\leq \pm 10\%$ 报警阈值	C1 实验室	10
8	个人剂量当量报警仪	1) 型号：中广核 BG2020 2) 测量范围：剂量当量率：环境本底~ 20mSv/h；剂量当量：0.1 μ Sv~9999mSv 3) 能量范围：48keV~3MeV 4) 相对误差：剂量当量率：-17%~+25%； 剂量当量：不超过 $\pm 15\%$	C1 实验室	20
9	环境级 X、 γ 剂量当量（率）仪	1) 型号：微影仪器 MR-3512 2) 测量类型： α 、 γ 、脉冲辐射 3) 显示屏：3.2 寸彩色液晶，分辨率 320 \times 240，带背光 4) 灵敏度： ≥ 2000 cps（ ^{137}Cs ，1 μ Gy/h） 5) 能量范围：20keV~7MeV 6) 能量响应：吸收剂量： $\leq \pm 15\%$ 剂量当量： $\leq \pm 30\%$ 7) 测量范围：吸收剂量率：10nGy/h~ 100mGy/h（环境级）	C1 实验室	1

		8) 剂量当量率: 10nSv/h~100mSv/h (防护级) 9) 最小脉冲测量时间: 40ns 10) 最快响应时间: 10ms 11) 相对固有误差: $\leq \pm 10\%$ (^{137}Cs)		
10	α 、 β 表面污染检测仪	1) 测量类型: α 、 β 2) 本底: $\alpha \leq 0.1\text{cps}$, $\beta \leq 10\text{cps}$ 3) 测量范围: 0~99999cps (α 通道) 0~50000cps (β 通道) 4) 探测效率: α : $\geq 45\%$ (2π , ^{241}Am)、 β : $\geq 55\%$ (2π , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) 5) 串道率: α 串入 β : $< 10\%$, β 串入 α : $< 1\%$ 6) 相对固有误差: $\leq \pm 10\%$	C1 实验室	1
11	电离室巡测仪	1) 型号: 福禄克 451P 2) 测量类型: 1MeV 以上的 β 射线, 25KeV 以上的 γ 射线 3) 操作量程: 0-50mSv/h 4) 准确度: $\pm 10\%$	C1 实验室	5
12	FD-3013HX- γ 剂量率仪	上海申核 FD-3013H X- γ 剂量率仪	C1 实验室	1
13	个人剂量片	HR4000	C1 实验室	91

5、现有辐射安全和防护设施的配备、运行与维护落实情况

目前, 公司现有辐射安全和防护设施、设备的数量、种类以及运行维护等情况如下:

(1) 对实验室进行定期检查, 并请浙江多谱检测科技有限公司进行实验室周围及设备周围辐射剂量检测, 2023 年检测结果均符合要求。

(2) 作业现场张贴了辐射安全警示标志, 设置了急停按钮以及移动铅屏风, 并定期进行检查, 目前系统运行正常。

(3) 实验室配备铅防护衣、铅帽、铅手套、铅防护眼镜等劳动防护用品, 在进行设备测试、调试时进行穿戴。同时设立点检表, 定期检查确认劳动防护用品状态完好, 及时对失效的劳动防护用品进行更换。

(4) 工作人员配备个人剂量片监测, 每季度报告一次累积接触剂量。

(5) 每月对实验室设备进行剂量监测, 并进行安全巡查, 及时排除实验室安全隐患。

6、辐射安全和防护状况年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 公司已对本单位的

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 日前向原发证机关提交上一年度的评估报告（见附件 9）。根据公司提供的 2023 年度辐射安全与防护状况评估报告，主要结论如下：

本单位对辐射防护安全工作重视，应急机构健全，防护管理制度完善，按相关法律法规规范运行，定期进行辐射安全防护培训，监督作业人员佩戴劳动防护用品，定期组织设备安全检查、个人剂量监测、辐射环境检测。工作人员定期进行职业健康体检。单位年度评估结论良好。

7、现有辐射事故应急执行情况

公司已制定《辐射异常事件处置方案》（见附件 8），单位负责人王*为本单位辐射工作安全责任人，设置专职机构辐射安全防护小组，指定专人章*凌负责放射性同位素与射线装置的安全和防护工作，指定专人罗*芳负责射线装置、放射源保管工作。公司每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。经与建设单位核实，公司自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。

根据建设单位提供的资料，公司于 2024 年度开展过一次辐射事故应急演练，演习情况见表 1-5，《辐射事故演习方案》见附件 10。

表 1-5 2024 年度辐射事故应急演练内容

序号	内容	
1	演练时间	2024 年 6 月 18 日
2	演练地点	启智街研发中心C楼大厅
3	预设事故场景	1、控制区域演练；2、辐射剂量仪及防护装备使用演练
4	辐射事故应急救援过程	<p>1、控制区域演练</p> <p>（1）测试人员发现辐射剂量仪出现大剂量报警，确认剂量后，判断设备出现辐射泄漏事故；立即使用设备急停开关停止电源，并电话通知实验室管理员（辐射应急指挥小组）；</p> <p>（2）实验室管理员了解情况后立即向现场总指挥汇报，内容包括现场情况、事故地点、问题设备、辐射剂量及当前状态。</p> <p>（3）现场总指挥下达启动应急预案指令，实验室管理员现场指挥实验室人员疏散至走廊，并关闭实验室；</p>

		<p>(4) 现场所有人员听到通知后立即停止工作，有序疏散；</p> <p>(5) 实验室管理员穿戴铅衣，使用剂量仪逐步探测事故区域，确认现场辐射残留情况，并使用铅板将区域合围；将现场辐射情况及事故时的剂量情况汇报总指挥，总指挥作出受照人员处置判断；</p> <p>(6) 参演人员在指定地点集合，总指挥对本次疏散演习总结。</p> <p>2、辐射剂量仪及防护装备使用演练</p> <p>(1) 相关参与人员集合排队；</p> <p>(2) 现场培训师讲解各防护用品穿戴方法并示范；</p> <p>(3) 现场培训师讲解剂量仪的使用方法并进行示范；</p> <p>(4) 鼓励所有参演人员参与演实操。</p>
5	演练照片	<p>1、控制区域演练</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p>2、辐射剂量仪及防护装备使用演练</p> <p style="text-align: center;">*</p>

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度 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)	剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	工业探伤系统	II类	10	ISD-NIX60e	电子	*	*	工业探伤 安全检查	加速器 (1MeV) 机房	生产、销售、使用
2	工业探伤系统	II类	5	ISD-NIT60e	电子	*	*	工业探伤 安全检查	加速器 (1MeV) 机房	生产、销售、使用

(二) X 射线机，包括工业辐照、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
1	工业探伤系统	II类	30	ISD-NIX57	*	*	工业探伤	探伤(450kV) 机房	生产、销售、使用
2	工业探伤系统	II类	50	ISD-NIX58	*	*	工业探伤	探伤(450kV) 机房	生产、销售、使用
3	工业探伤系统	II类	25	ISD-NIX59	*	*	工业探伤	探伤(450kV) 机房	生产、销售、使用
4	工业探伤系统	II类	20	ISD-NIX570	*	*	工业探伤	探伤(450kV) 机房	生产、销售、使用
5	工业探伤系统	II类	20	ISD-NIX580	*	*	工业探伤	探伤(450kV) 机房	生产、销售、使用
6	工业探伤系统	II类	10	ISD-NIX590	*	*	工业探伤	探伤(450kV) 机房	生产、销售、使用

7	工业探伤系统	II类	20	ISD-NIT58	*	*	工业探伤	探伤(450kV)机房	生产、销售、使用
8	工业探伤系统	II类	10	ISD-NIT59	*	*	工业探伤	探伤(450kV)机房	生产、销售、使用
9	工业探伤系统	II类	10	ISD-NIT580	*	*	工业探伤	探伤(450kV)机房	生产、销售、使用
10	工业探伤系统	II类	10	ISD-NIT590	*	*	工业探伤	探伤(450kV)机房	生产、销售、使用
11	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB80	*	*	无损检测	无损检测(450kV)机房	生产、销售、使用
12	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB120	*	*	无损检测	无损检测(450kV)机房	生产、销售、使用
13	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB140	*	*	无损检测	无损检测(450kV)机房	生产、销售、使用
14	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB160	*	*	无损检测	无损检测(450kV)机房	生产、销售、使用
15	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB180	*	*	无损检测	无损检测(450kV)机房	生产、销售、使用
16	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB200	*	*	无损检测	无损检测(450kV)机房	生产、销售、使用

17	高频 X 射线机	II类	100	ISD-XSDFB130	*	*	无损检测	无损检测 (450kV) 机房	生产、销售、使用
18	高频 X 射线机	II类	10	ISD-XSDFB450	*	*	无损检测	无损检测 (450kV) 机房	生产、销售、使用
19	车检系统	II类	20	ISD-CS0225	*	*	车辆检查	车检(450kV) 机房	生产、销售、使用
20	车检系统	II类	20	ISD-CS0450	*	*	车辆检查	车检(450kV) 机房	生产、销售、使用

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
洗片废水	液态	/	/	约 37.5kg	约 450kg	/	集中收集于危废暂存间的专用容器中	定期委托具有危险废物经营许可证资质的单位回收处理
废显（定）影剂	液态	/	/	约 18.3kg	约 220kg	/		
臭氧	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	由排风系统引至外环境，臭氧在常温常压下可自行分解为氧气
氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排出到外环境
废胶片	固态	/	/	约 2kg	约 24kg	/	集中收集于危废暂存间的专用容器中	定期委托具有危险废物经营许可证资质的单位回收处理

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月； 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月； 3. 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年； 4. 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 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）》，生态环境部，2021 年 1 月 1 日起施行； 6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行； 7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（第二次修正）》，国务院令第 449 号，2019 年 3 月 2 日修正； 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，于 2011 年 5 月 1 日起施行； 9. 《浙江省辐射环境管理办法》（2021 年 2 月 10 日修正），省政府令第 289 号； 10. 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021 年 2 月 10 日修正），浙江省人民政府令第 364 号； 11. 《浙江省生态环境保护条例》（2022 年 5 月 27 日浙江省第十三届人民代表大会常务委员会第三十六次会议通过）； 12. 《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； 13. 《国家危险废物名录（2025 年版）》，2024 年 11 月 26 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号公布，自 2025 年 1 月 1 日起施行； 14. 浙江省生态环境厅关于发布《浙江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（2023 年本）》的通知，浙环发（2023）33 号，2023 年 8 月 9 日； 15. 《放射工作人员职业健康管理办法》，2007 年 6 月 3 日卫生部令第 55 号发布，自 2007 年 11 月 1 日起实施； 16. 《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
------	---

	<p>态环境部，公告 2019 年第 57 号)；</p> <p>17. 《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函（2022）2080 号）；</p> <p>18. 《自然资源部办公厅关于依据“三区三线”划定成果报批建设项目用地用海有关事宜的函》（自然资办函（2022）2072 号）；</p> <p>19. 《浙江省水功能区水环境功能区划分方案》（浙江省环境保护厅 浙江省水利厅 2016 年 2 月）；</p> <p>20. 《浙江省生态环境厅 浙江省水利厅关于钱塘江杭州饮用水水源保护区优化调整过渡方案和台州市四个饮用水水源保护区优化调整方案的复函》（浙环函〔2023〕183 号）；</p> <p>21. 《浙江省环境天然放射性水平调查报告》。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>1. 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>3. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>4. 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；</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. 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）；</p> <p>7. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>8. 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>9. 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）；</p> <p>10. 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）第 1 号修改单；</p> <p>11. 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）</p> <p>12. 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）；</p> <p>13. 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；</p> <p>14. 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；</p> <p>15. 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；</p>

	<p>16. 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012);</p> <p>17. 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T 30371-2013);</p> <p>18. 《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015, 2015年6月1日实施)。</p>
<p>其它</p>	<p>附件 1 营业执照</p> <p>附件 2 建设项目环境影响登记表</p> <p>附件 3 场地租赁证明</p> <p>附件 4 委托书</p> <p>附件 5 辐射安全许可证</p> <p>附件 6 辐射工作安全责任书</p> <p>附件 7 现有辐射安全规章制度</p> <p>附件 8 现状辐射工作人员管理情况</p> <p>附件 9 2023 年度辐射安全与防护状况评估报告</p> <p>附件 10 辐射事故演习方案</p> <p>附件 11 检验检测机构资质认定证书</p> <p>附件 12 环境本底检测报告</p> <p>附件 13 核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目污染为能量流污染，根据能量流的传播与距离相关的特性，结合《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) 的相关规定，确定以各个机房周围 50m 作为评价范围。

7.2 保护目标

本项目的环境保护目标主要为机房周围活动的辐射工作人员以及其他非辐射工作人员和公众人员。本项目主要考虑机房工作时产生的 X 射线对周围环境产生的辐射影响，拟建机房边界外 50m 评价范围内均无居民区、学校等环境敏感目标，其张立角范围内均无环境保护目标。本项目主要环境保护目标一览表见表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标一览表

场所	方位	保护目标	位置描述	距离 (m)	人数 (人)
加速器 (1MeV) 机房	西北侧	非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	紧邻	/
		非辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司 射线装置储存区域	1	/
		非辐射工作人员	生产用房	10	拟定 11 人
	东北侧	辐射工作人员	探伤 (450kV) 机房	紧邻	/
		辐射工作人员	探伤 (450kV) 机房控制台	9	拟定 2 人
		辐射工作人员	硬件测试 (225kV) 机房 2	13	/
		辐射工作人员	硬件测试 (225kV) 机房 1	19	/
		辐射工作人员	高低温机房	25	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	34	/
	东南侧	辐射工作人员	车检 (450kV) 机房	紧邻	/
		非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	9	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	12	/
		公众	万达汽车零部件有限公司 ¹	20	/
	西	辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司	4	/

	南侧		加速器（15MeV）机房 ²		
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	25	/
		非辐射工作人员	杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房 ³	26	拟定178人
	顶部	辐射工作人员	生产用房（安检机生产） ⁴	5	/
		辐射工作人员	生产用房（中小型安检机生产） ⁵	5	/
	底部	非辐射工作人员	出租方地下车库 ⁶	紧邻	/
探伤 (450kV) 机房	西北侧	非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	紧邻	/
		非辐射工作人员	射线装置储存区域	1	/
		非辐射工作人员	生产用房	10	拟定11人
	东北侧	辐射工作人员	探伤（450kV）机房控制台	紧邻	拟定2人
		辐射工作人员	硬件测试（225kV）机房2	5	/
		辐射工作人员	硬件测试（225kV）机房1	11	/
		辐射工作人员	高低温机房	17	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	26	/
		非辐射工作人员	1#生产测试楼	34	/
	东南侧	辐射工作人员	无损检测（450kV）机房	紧邻	/
		非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	9	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	12	/
		公众	万达汽车零部件有限公司 ¹	20	/
	西南侧	辐射工作人员	加速器（1MeV）机房	紧邻	/
		辐射工作人员	加速器（1MeV）机房 控制台	10	拟定2人
		辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司 加速器（15MeV）机房 ²	14	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	35	/
		非辐射工作人员	杭州海康机器人股份有限公司	36	拟定178人

			司 3#生产厂房 ³		
	顶部	辐射工作人员	生产用房（安检机生产） ⁴	2.9	/
		辐射工作人员	生产用房（中小型安检机生产） ⁵	2.9	/
	底部	非辐射工作人员	出租方地下车库 ⁶	紧邻	/
车检 (450kV) 机房	西北侧	辐射工作人员	加速器（1MeV）机房	紧邻	/
		非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	8.8	/
		非辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司 射线装置储存区域	10	/
		非辐射工作人员	生产用房	18	拟定 11 人
	东北侧	辐射工作人员	无损检测（450kV）机房	紧邻	/
		辐射工作人员	无损检测（450kV）机房 控制台	9	拟定 2 人
		辐射工作人员	成品铅箱	32	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	34	/
	东南侧	非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	紧邻	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	3	/
		公众	万达汽车零部件有限公司 ¹	11	/
	西南侧	辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司 加速器（15MeV）机房 ²	4	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内部道路	25	/
		非辐射工作人员	杭州海康机器人股份有限公司 司 3#生产厂房 ³	26	拟定 178 人
	顶部	辐射工作人员	生产用房（安检机生产） ⁴	2.9	/
		辐射工作人员	生产用房（中小型安检机生产） ⁵	2.9	/
底部	非辐射工作人员	出租方地下车库 ⁶	紧邻	/	
无损检测	西	辐射工作人员	探伤（450kV）机房	紧邻	/

(450kV) 机房	北 侧	非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	8.8	/
		非辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司 射线装置储存区域	10	/
		非辐射工作人员	生产用房	18	拟定 11 人
	东 北 侧	辐射工作人员	无损检测 (450kV) 控制台	紧邻	拟定 2 人
		辐射工作人员	成品铅箱	23	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内道路	26	/
		非辐射工作人员	1#生产测试楼	34	/
	东 南 侧	非辐射工作人员	2#生产厂房内部道路	紧邻	
		非辐射工作人员	出租方厂区内道路	3	/
		公众	万达汽车零部件有限公司 ¹	11	/
	西 南 侧	辐射工作人员	车检 (450kV) 机房	紧邻	/
		辐射工作人员	车检 (450kV) 机房控制台	10	拟定 2 人
		辐射工作人员	杭州睿影探测科技有限公司 加速器 (15MeV) 机房 ²	14	/
		非辐射工作人员	出租方厂区内道路	35	/
		非辐射工作人员	杭州海康机器人股份有限公 司 3#生产厂房 ³	56	拟定 178 人
	二 层	辐射工作人员	生产用房 (安检机生产) ⁴	2.9	/
		辐射工作人员	生产用房 (中小型安检机生 产) ⁵	2.9	/
底 部	非辐射工作人员	出租方地下车库 ⁶	紧邻	/	
注: 1、2、3、4、5: 四个机房共同涉及的保护目标。					

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》(GB 18871-2002)

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防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射, 应使防护与安全最优化,

使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

②剂量限制

第 4.3.2.1 款，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当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1 剂量限值（标准的附录 B）

第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的**职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；本项目取其四分之一即 5mSv 作为剂量约束值。

第 B1.2 款，公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；本项目取其十分之一即 0.1mSv 作为剂量约束值。

7.3.2 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

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

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

（3）个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限制应满足 GB18871 的要求。在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；

b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。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。

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 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T 30371-2013)

本标准规定了无损检测用电子直线加速器工程建设中加速器装置的技术要求、运动机械及工装装置的技术要求、射线无损检测建筑物工程设计要求、施工及质量监督以及工程安装、检验和验收等内容。

本标准适用于能量为 15MeV 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(CT) 等。

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，其强度等级应不低于 C25，密度不应低于 2350kg/m³。

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、检修和维修的要求，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(见附录 A)；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视频监控、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装置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。

8.1.3.9

辐射屏蔽室屏蔽计算方法参见附录 C。

8.1.4.3 通风要求

8.1.4.3.1 辐射屏蔽室应根据 GBZ 2.1-2007 规定的工作场所的臭氧和氮氧化物等有害气体接触限值（见附录 B.3），结合加速器装置最大能量、最大剂量输出工况进行通风设计。

8.1.4.3.2 排风口的高度应根据 GB3095 的规定，按照气体排出量和附近环境与气象资料计算确定。

8.1.4.3.3 冷却设备室应设计有与室外自然热交换的通道。

8.1.4.4 防火要求

8.1.4.4.1 厂房防火设计应按照 GB 50016 进行。

8.1.4.4.2 厂房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。

A.1 个人剂量限值

A.1.1 职业照射个人剂量

根据 GB 18871-2002，职业照射个人剂量应不超过以下限值：

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

b) 任何 1 年中的有效剂量，50 mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤年当量剂量，500mSv。

A.1.2 公众照射个人剂量

根据 GB 18871--2002，公众照射个人剂量应不超过以下限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

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

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤年当量剂量，50mSv。

7.3.4 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）

本标准规定了 X 射线和γ射线探伤的放射防护要求。

本标准适用于使用 600kV 及以下的 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

本标准不适用于加速器和中子探伤机进行的工业探伤工作。

5 探伤机的放射防护要求

5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7-2 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。

其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 7-2 X射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

管电压 (kV)	漏射线所致周围剂量当量率 (mSv/h)
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

6 固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ Sv/周；

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 μ Sv/h。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100 μ Sv/h。

6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。

6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

8 放射防护检测

8.3 探伤室放射防护检测

8.3.5 结果评价

探伤室周围辐射水平应符合本标准第 6.1.3 条和第 6.1.4 条的要求。

7.3.5 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。

本标准适用于 500kV 以下的工业 X 射线探伤装置的探伤室。

3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1.1 探伤室墙和入口处周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

a) 周剂量参考控制水平 (H_c) 和导出剂量率参考控制水平 ($H_{c,d}$):

1) 人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c 如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ： $H_{c,max} = 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

c) 关注点剂量率参考控制水平 H_c ： H_c 为上述 a) 中 $H_{c,d}$ 和 b) 中的 $H_{c,max}$ 二者的较小者。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或者探伤室旁邻建筑物在自然辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，距探伤室顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

b) 除 3.1.2 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤房外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应关注点的剂量率总和，应按 3.1.1 c) 的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 加以控制。

2) 对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不需考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（HVL）。

3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相应该管电压下的常用管电流设计屏蔽。

3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

5.1 典型条件

探伤室探伤工作的典型条件如下：

a) 探伤室外表面 30cm 外的剂量率控制值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

b) X 射线管电流 (I) 为 5mA，X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 。

c) X 射线探伤机的泄漏辐射在距靶点 1m 处的剂量率。

综上，本项目执行职业人员个人年剂量约束值为 5mSv，公众个人年剂量约束值为 0.1mSv。加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房工作场所、天空反散射点位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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.6 《放射工作人员职业健康管理办法》

第三章 个人剂量监测管理

第十一条 放射工作单位应当按照本办法和国家有关标准、规范的要求，安排本单位的放射工作人员接受个人剂量监测，并遵守下列规定：

（一）外照射个人剂量监测周期一般为 30 天，最长不应超过 90 天；内照射个人剂量监测周期按照有关标准执行；

（二）建立并终生保存个人剂量监测档案；

（三）允许放射工作人员查阅、复印本人的个人剂量监测档案。

第十二条 个人剂量监测档案应当包括：

（一）常规监测的方法和结果等相关资料；

（二）应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料。放射工作单位应当将个人剂量监测结果及时记录在《放射工作人员证》中。

第十三条 放射工作人员进入放射工作场所，应当遵守下列规定：

（一）正确佩戴个人剂量计；

（二）操作结束离开非密封放射性物质工作场所时，按要求进行个人体表、衣物及防护用品的放射性表面污染监测，发现污染要及时处理，做好记录并存档；

（三）进入辐照装置、工业探伤、放射治疗等强辐射工作场所时，除佩戴常规个人剂量计外，还应当携带报警式剂量计。

第十四条 个人剂量监测工作应当由具备资质的个人剂量监测技术服务机构承担。个人剂量监测技术服务机构的资质审定由中国疾病预防控制中心协助卫生部组织实施。个人剂量监测技术服务机构的资质审定按照《职业病防治法》《职业卫生技术服务机构管理办法》和卫生部有关规定执行。

第十五条 个人剂量监测技术服务机构应当严格按照国家职业卫生标准、技术规范开展监测工作，参加质量控制和技术培训。个人剂量监测报告应当在每个监测周期结束后 1 个月内送达放射工作单位，同时报告当地卫生行政部门。

第四章 职业健康管理

第十八条 放射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。放射工作单位不得安排未经职业健康检查或者不符合放射工作人员职业健康标准的人员从事放射工作。

第十九条 放射工作单位应当组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

第二十条 放射工作人员脱离放射工作岗位时，国家卫生健康委员会规章国家卫生健康委员会发布放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

第二十一条 对参加应急处理或者受到事故照射的放射工作人员，放射工作单位应当及时组织健康检查或者医疗救治，按照国家有关标准进行医学随访观察。

第二十二条 从事放射工作人员职业健康检查的医疗机构（以下简称职业健康检查机构）应当经省级卫生行政部门批准。

第二十五条 放射工作单位应当在收到职业健康检查报告的7日内，如实告知放射工作人员，并将检查结论记录在《放射工作人员证》中。放射工作单位对职业健康检查中发现不宜继续从事放射工作的人员，应当及时调离放射工作岗位，并妥善安置；对需要复查和医学随访观察的放射工作人员，应当及时予以安排。

第二十六条 放射工作单位不得安排怀孕的妇女参与应急处理和有可能造成职业性内照射的工作。哺乳期妇女在其哺乳期间应当避免接受职业性内照射。

第二十七条 放射工作单位应当为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。职业健康监护档案应包括以下内容：

- （一）职业史、既往病史和职业照射接触史；
- （二）历次职业健康检查结果及评价处理意见；
- （三）职业性放射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。

第二十八条 放射工作人员有权查阅、复印本人的职业健康监护档案。放射工作单位应当如实、无偿提供。

第二十九条 放射工作人员职业健康检查、职业性放射性疾病的诊断、鉴定、医疗救治和医学随访观察的费用，由其所在单位承担。

第三十条 职业性放射性疾病的诊断鉴定工作按照《职业病诊断与鉴定管理办法》和国家有关标准执行。

第三十一条 放射工作人员的保健津贴按照国家有关规定执行。

第三十二条 在国家统一规定的休假外，放射工作人员每年可以享受保健休假2~4周。享受寒、暑假的放射工作人员不再享受保健休假。从事放射工作满20年的在岗放射工作人员，可以由所在单位利用休假时间安排健康疗养。

7.3.6 《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015, 2015年6月1日实施)

5.1 辐射工作场所的分区

检查系统的辐射工作场所按以下方法进行分区：

a)对无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 $40\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

b)对有司机驾驶的货运车辆的检查系统，应将辐射源室及有用线束区两侧距中心轴不小于 1m 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

c)对有司机驾驶的货运列车的检查系统，应将辐射源室及有用线束两侧的距区中域心划轴定不为小于 10m 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

d)与辐射源安装在同一辆车上系统控制室划定为监督区。

5.2 辐射安全标志

在辐射源箱体上、辐射工作场所边界应设置电离辐射警告标志。电离辐射警告标志应符合 GB 18871-2002中附录 F 相关要求。

6 辐射水平控制要求

6.1 个人剂量

检查系统工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应符合 GB 18871-2002的要求，并制定年剂量管理约束值。

6.3 场所辐射水平

6.3.1 边界周围剂量当量率

检查系统监督区边界处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.3.2 驾驶员位置一次通过周围剂量当量对于有司机驾驶的货运车辆或列车的检查系统，驾驶员位置一次通过的周围剂量当量应不大于 $0.1\mu\text{Sv}$ 。

6.3.3 控制室周围剂量当量率检查系统控制室内的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，操作人员操作位置的周围剂量当量率应不大于 $1.0\mu\text{Sv/h}$ 。

7 辐射安全设施要求

7.1 安全联锁装置

7.1.1 出束控制开关

在检查系统控制台上应装有出束控制开关。只有当出束控制开关处于工作位置时，射线才能产生或出束。

7.1.2 门联锁

所有辐射源室门、进入控制区的门及辐射源箱体外防护盖板等应设置联锁装置，与辐射源安装在同一辆车上的系统控制室的门也应设置联锁装置。上述任一门或盖板打开时，射线不能产生或出束。

7.1.3 紧急停束装置

在检查系统控制台、辐射源箱体等处应设置标识清晰的紧急停束装置，例如急停按钮、急停拉线开关等，可在紧急情况下立即中断辐射源的工作。当任一紧急停束装置被触发时，检查系统应立即停止出束，并只有通过就地复位才可重新启动辐射源。

7.3.7 其他污染物排放标准

1、废气：运营期氮氧化物执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中的二级标准；臭氧排放执行《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)及第1号修改单中臭氧最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2、废水：生活污水执行《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)三级标准。

3、噪声：运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008)中的2类标准，本项目与杭州市主城区声环境功能区划位置关系图详见附图8。

4、固体废物：一般工业固体废物贮存满足《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)（其中采用库房、包装工具（罐、桶、包装袋等）贮存一般工业固体废物过程的污染控制，不适用《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)，其贮存过程应满足相应防渗漏、防雨淋、防扬尘等环境保护要求)；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 本项目建设地理位置

本项目建设地理位置位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元 M1-C31 地块，东至延庆寺路，南至萧山界，西至杭州科博特激光工程有限公司，北至天马路。

8.1.2 场所位置

本项目拟建的加速器（1MeV）机房、车检（450kV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房场所位置内容详见 1.4.2 辐射工作场所地理位置及外环境关系，各个机房工作场所的分区图见附图 9，辐射安全装置和保护措施图见附图 10，平面、剖面和立面图见附图 11。

8.2 辐射环境现状

1、检测目的

掌握杭州睿影科技有限公司各机房拟建址及其周围的辐射环境背景水平，为现状评价提供基础数据。

2、检测内容

根据污染因子分析，建设单位委托杭州旭辐检测技术有限公司对各机房拟建址进行了辐射环境背景水平的现场检测。

3、检测点位

按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）的要求，结合现场条件，对各机房拟建址进行布点检测。检测点位布点详见图 8-1。

4、检测方案

（1）检测单位：杭州旭辐检测技术有限公司（证书编号：181112051740，检测资质见附件 11）

（2）检测日期：2024 年 01 月 10 日

（3）检测方式：现场检测

（4）检测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

（5）检测频次：依据 HJ 1157-2021 标准予以确定

（6）检测工况：辐射环境本底

（7）天气环境条件：环境温度：8~9℃；

环境湿度：50~52%；

天气：多云。

(8) 检测设备：见表 8-1

表 8-1 环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪参数与规范

仪器设备名称	环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪
仪器设备型号	JC-5000
仪器编号	JC70-9-2019
能量响应	48KeV~3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 ^{137}Cs ）
量程	1nGy/h~200 μ Gy/h, 1nSv/h~200 μ Sv/h
检定（校准）机构	上海市计量测试技术研究院
检定（校准）证书号	2023H21-10-4835729001
有效期	2023 年 09 月 21 日~2024 年 09 月 20 日

5、质量保证措施

- (1) 合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 检测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (5) 检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。
- (6) 检验检测机构具有资质认定计量认证证书。

6、检测结果

本项目尚未建设，现均属于空地，故检测结果均为本底值。辐射工作场所周围的 γ 辐射剂量率背景水平检测结果见表 8-2（环境本底检测报告见附件 12）。

表 8-2 本项目辐射工作场所周围的 X- γ 辐射剂量率检测结果

检测点位号	点位描述	辐射剂量率检测结果 (nGy/h)	备注
▲1	加速器（1MeV）机房西北侧	71	室外
▲2	加速器（1MeV）机房西南侧	77	
▲3	加速器（1MeV）机房中间	75	
▲4	车检（450kV）机房西南侧	75	

▲5	车检（450kV）机房东南侧	79
▲6	车检（450kV）机房中间	75
▲7	无损检测（450kV）机房东南侧	77
▲8	无损检测（450kV）机房东北侧	77
▲9	无损检测（450kV）机房中间	74
▲10	探伤（450kV）机房东北侧	82
▲11	探伤（450kV）机房西北侧	76
▲12	探伤（450kV）机房中间	79

注：

- 1、测量时探头距离地面约 1m；
- 2、每个检测点测量 10 个数据取平均值，以上检测结果均已对宇宙射线的响应值修正；
- 3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值 \times 校准因子 $k_1 \times$ 仪器检验源效率因子 $k_2 \div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 $k_3 \times$ 测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k 为 1.03，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 15nGy/h；
- 4、检测点为原野， k_3 取 1.0。

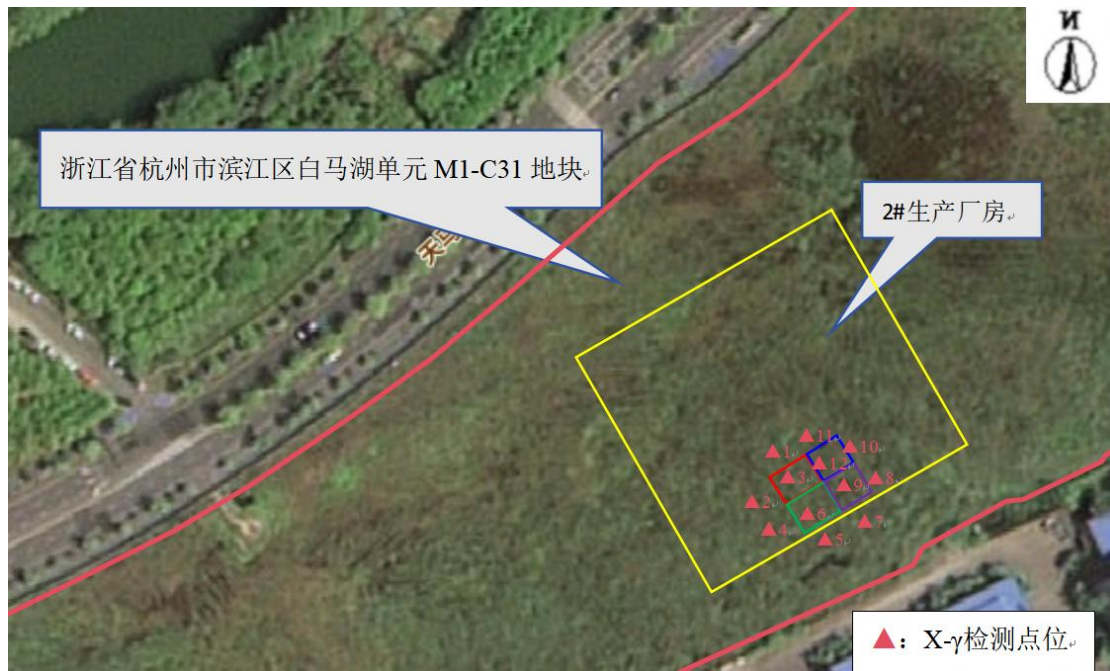


图 8-1 本项目拟建址及其周围检测点位示意图

8.3 环境现状调查结果的评价

由表 8-2 的检测结果可知，本项目新建项目拟建址周围各现状检测点位的 X- γ 辐射剂量率在 71~82nGy/h 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市原野 X- γ 辐射剂量率在 27~119nGy/h 之间，该项目拟建地址 X- γ

辐射剂量率本底水平未见异常。

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 工业电子直线加速器

1、装置组成

工业电子直线加速器主要由加速器机头、控制台、调制器、温度控制单元、线缆和水管等构成。

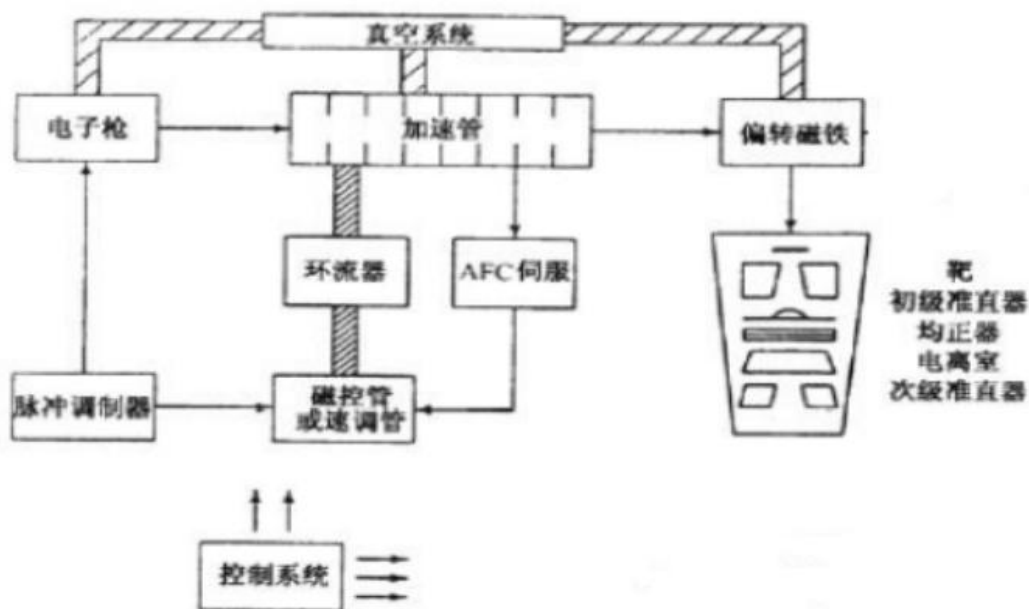


图 8-1 加速器主体结构图示意图 1

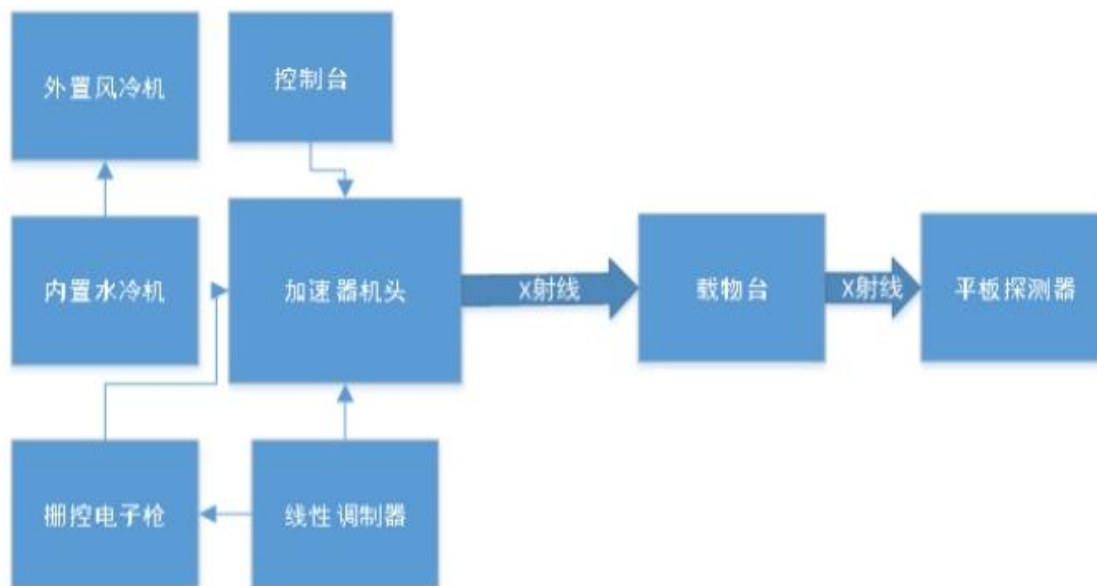


图 8-2 加速器主体结构图示意图 2

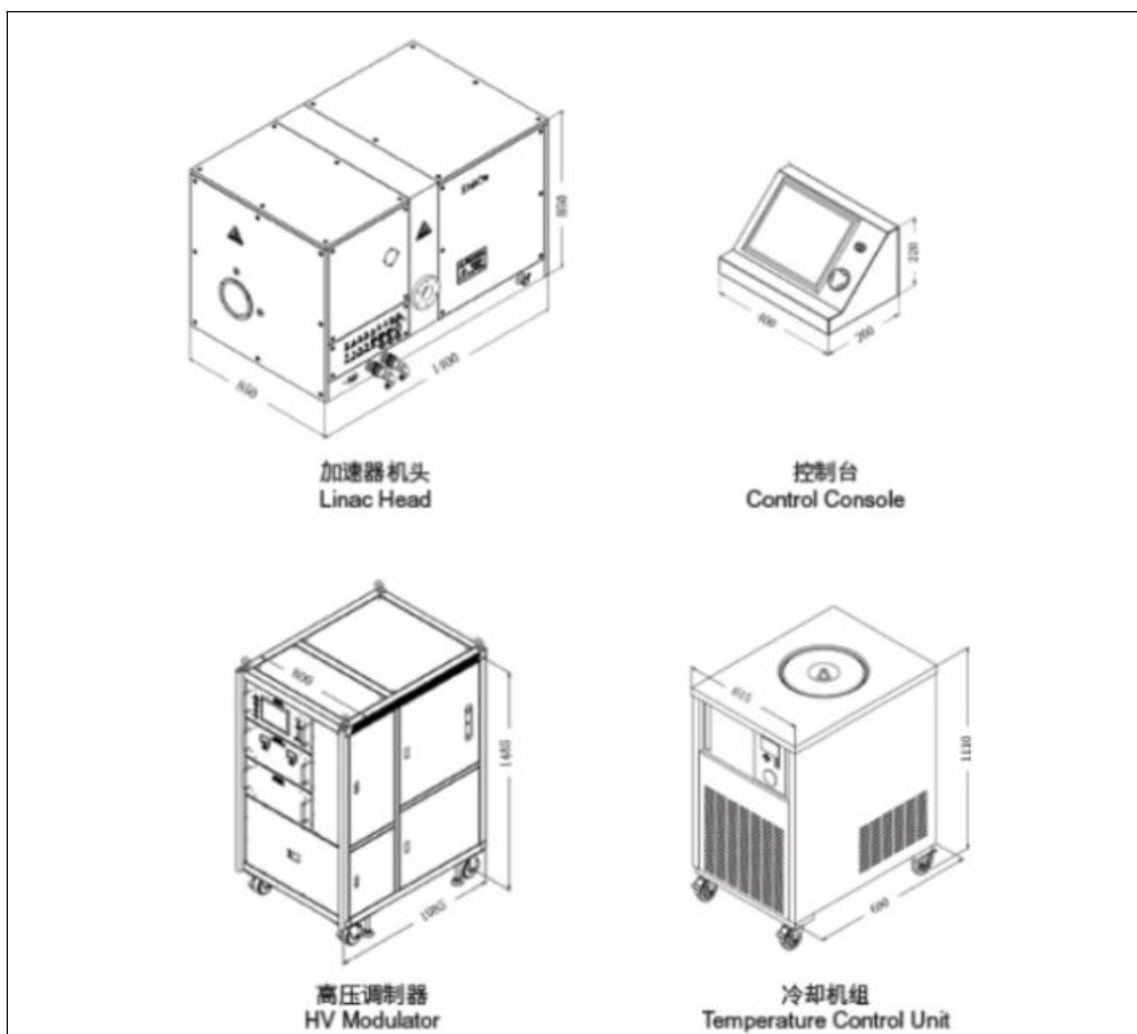


图 8-3 加速器主体结构图示意图 3



图 8-4 加速器机头外观示意图

2、工作原理

本项目加速器（1MeV）机房加速器采用S波段驻波电子直线加速技术，以磁控管微波源，以驻波电子直线加速管为核心部件，输出高能X射线。

3、工艺流程

（1）组装环节

本项目拟向国内外厂家购置加速器机头、X射线管、探测器、接收器等结构部件和零部件，运至在加速器机房（1MeV）机房进行组装，将其安装在机房指定位置，对加速器机房的工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施进行调试，确保各项辐射安全装置和措施均正常运行。

（2）调试环节

①准备阶段：清场，确认无人员滞留后关闭防护门。打开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”。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。

②测试阶段：待预热结束后，将加速器控制柜安全联锁钥匙旋转至“开”，闭合加速器控制柜“电子枪”开关，点击“加高压”，加速器系统开始运行。开始采集数据，并根据测试数据结果对直线加速器进行机械调试、束流调试、探测器调试、图像调试等项目的测试工作。

③工作结束阶段：当天调试工作结束后，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，将设备断电并关闭调试机房的防护门，控制台钥匙由专人保管。

④设备入库阶段：加速器调试结束后，关机，切断电源，拆机入库。

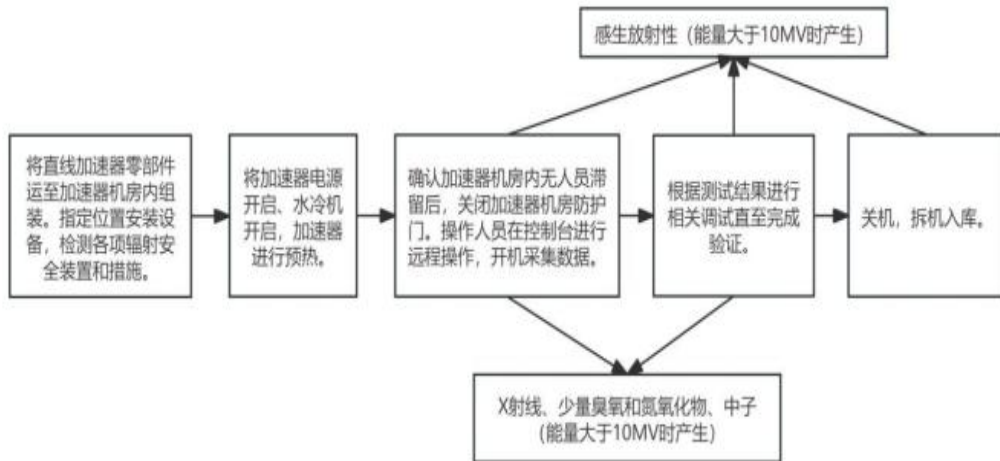


图 8-5 工业电子直线加速器装置工艺流程图及产污位置示意图

9.1.2 工业探伤系统

1、装置组成

X射线机主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在X射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生X射线。



图 8-6 工业探伤机实体示意图

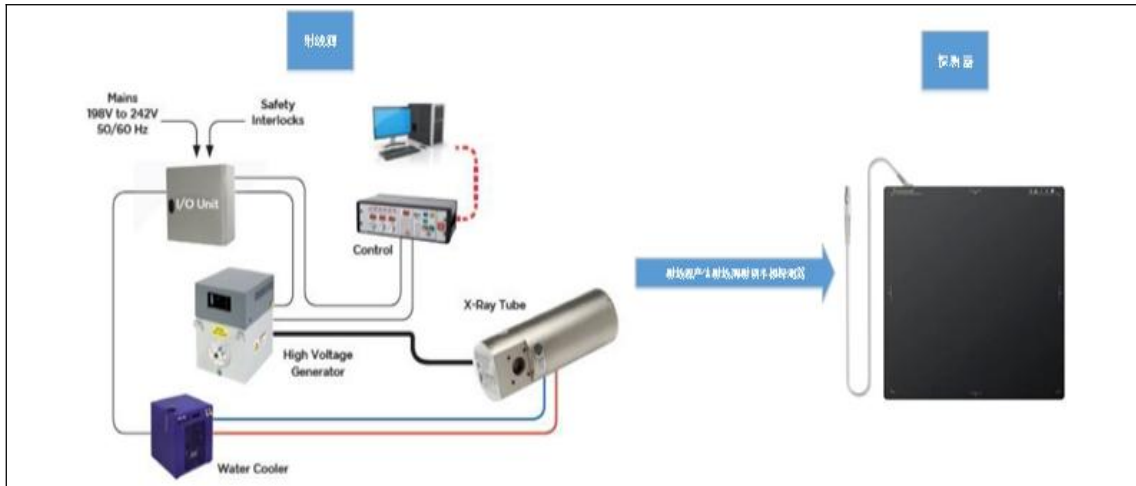


图 8-7 工业探伤机主体结构图示意图

2、工作原理

本项目的X射线机是利用X射线对被探伤工件或管材进行透射拍片的检测装置。通过X射线管产生的X射线对受检工件焊缝处所贴的X线感光片进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置，X射线机就据此实现探伤目的。

3、工艺流程

(1) 组装环节

本项目拟向国内外厂家购置X射线管、探测器、接收器等结构部件和零部件，运至在探伤（450kV）机房进行组装，将其安装在机房指定位置，对探伤机房的工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施进行调试，确保各项辐射安全装置和措施均正常运行。

(2) 调试环节

①非胶片探伤设备流程

- a. 准备阶段：清场，打开探伤设备电源，确认无人员滞留后关闭防护门。在操作台将设备开机上电，进行预热。
- b. 测试阶段：待预热结束后，打开防护门，将测试工件放好。然后清场，确认无人员滞留后关闭防护门。开始采集数据，并根据测试数据结果对探伤设备进行机械调试、束流调试、探测器调试、图像调试等项目的测试工作；
- c. 工作结束阶段：当天调试工作结束后，将设备断电、测试样品归还并关闭探伤机房的防护门，控制台钥匙由专人保管；

d. 设备入库阶段：设备调试结束后，关机，切断电源，拆机入库。

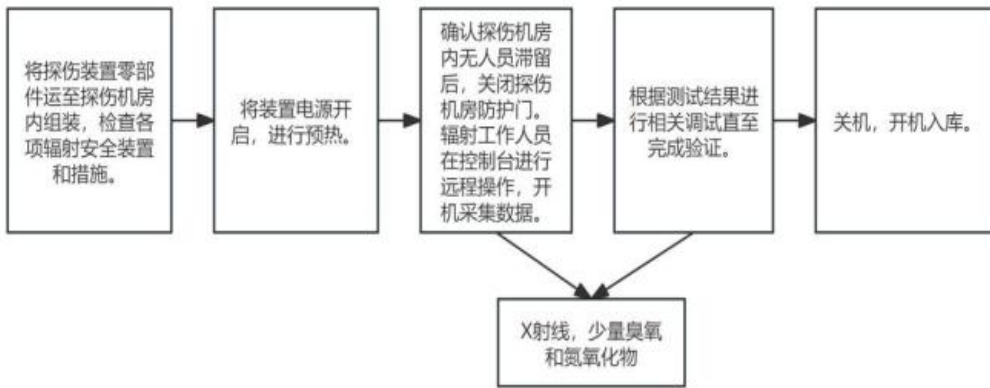


图 8-8 非胶片探伤设备工艺流程图及产污位置示意图

②胶片探伤设备流程

a. 准备阶段：清场，打开探伤设备电源，确认无人员滞留后关闭防护门。在操作台将设备开机上电，进行预热。

b. 测试阶段：待预热结束后，打开防护门，将测试工件放好，感光胶片贴在待检测部位，探伤机固定在合适的位置。然后清场，确认无人员滞留后关闭防护门。开启探伤机进行数据采集，达到规定曝光时间和曝光量后关闭 X 射线机，然后打开防护门。

c. 洗片读片阶段：工作人员进入机房取出胶片。然后对胶片进行洗片、读片，判断工件焊接质量、缺陷等。

d. 完成检测后，将工件运出探伤机房；设备调试结束后，关机，切断电源，拆机入库。

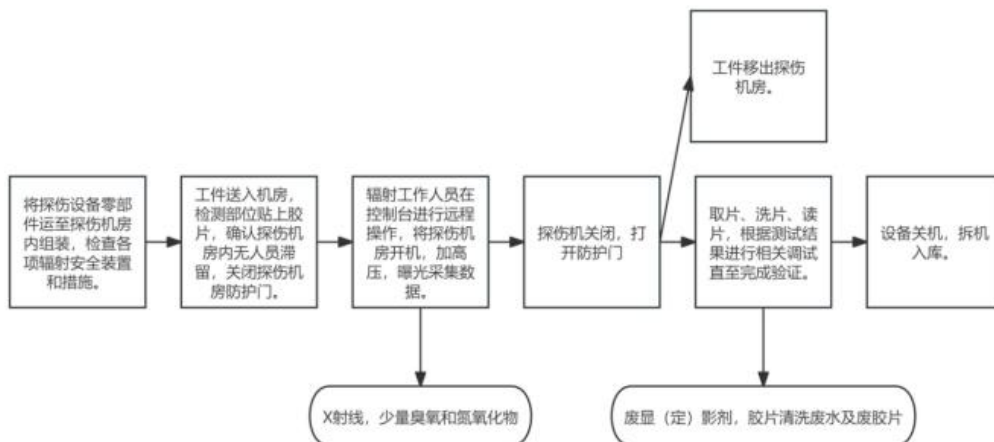


图 8-9 胶片探伤设备工艺流程图及产污位置示意图

9.1.3 高频X射线机

1、装置组成

X射线机主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钼等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在X射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生X射线。

2、工作原理

X射线机是利用X射线对被探伤工件或管材进行透射拍片的检测装置。通过X射线管产生的X射线对受检工件焊缝处所贴的X线感光片进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置，X射线机就据此实现探伤目的。

4、工艺流程

（1）组装环节

本项目拟向国内外厂家购置X射线管、探测器、接收器等结构部件和零部件，运至在无损检测（450kV）机房进行组装，将其安装在机房指定位置，对无损检测（450kV）机房的工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施进行调试，确保各项辐射安全装置和措施均正常运行。

（2）调试环节

高频X射线机安装后需进行老化测试，测试步骤如下：

①清场，打开高频X射线机电源，确认无人员滞留后关闭防护门。在操作台将设备开机上电。

②开始采集数据，并根据测试数据结果对高频X光机进行射线源参数调试、图像调试等项目的测试工作，测试结束后将设备断电。

③设备入库：设备调试结束后，关机，切断电源，放入物料库存放。



图 8-10 高频 X 射线机工艺流程图及产污位置示意图

9.1.4 车检系统

1、装置组成

探测器搜集的信息在线传送到控制台上的客户端屏幕上，操作人员根据X光扫描图像进行判别车辆内部货物情况，同时图像存储到服务器。

本项目车检系统主要由以下十一部分组成。

①1 号地感

1 号地感线圈位于车检栏杆机前 5 米左右的车道中间位置，主要作用是感应车辆，将感应信息传送给系统，通过系统控制器发送抬杆信号，栏杆抬起。

②2 号地感

2 号地感平衡于栏杆机的车道中，主要作用是防止特殊车辆还未过完的情况下栏杆突然下降。

③栏杆机

栏杆机安装在安全岛最前端，作用是接受系统传来的起降杆信号，实现一车一杆，即检车时只允许一辆车进入检测，其他车将被栏杆机阻挡在外等候，确保一辆车检测时不受另一辆车的干扰，而且一车一杆可对驶入的车辆起到限速作用。

④车身相机

车身相机，当车辆挡住 1 号光栅时，系统触发该相机抓拍车辆侧面图像。车辆侧面图像与车辆侧面X光图像是系统中的两个重要的图像，通过对比分析两个图像，才能判断出车检作弊车辆，更好地判断出作弊情况。

⑤1 号光栅

1 号光栅作用是为控制栏杆的降落及车身图像开始采集两方面工作为系统控制器提供信号。

⑥X光源（X射线机）

安装在安全岛上的X光射线的装置称为X光源，当车辆同时挡住 1 号及 2 号

光栅时，系统自动避开驾驶室，X光开始出束进行对车箱扫描。

本项目X光源（X射线机）产生X射线是主要的辐射源，X射线机主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由密封在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极一般由钨制灯丝，装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，热电子“蒸发”，在聚焦杯电场中聚集成束，直接向嵌在钨阳极中的靶体轰击。灯丝电流愈大，温度越高，发射的电子数量越多。高压电源加在X射线管的两极之间，在两极间形成高压电场，电子在轰击靶体之前被加速最高管电压相应的能量。阳极靶一般用高原子序数的难熔金属如钨、铂、金等制成。高速电子轰击靶体发生韧致辐射产生X射线，本项目X光源（X射线机）产生X射线是主要的辐射源，X射线机主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由密封在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极一般由钨制灯丝，装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，热电子“蒸发”，在聚焦杯电场中聚集成束，直接向嵌在钨阳极中的靶体轰击。灯丝电流愈大，温度越高，发射的电子数量越多。高压电源加在X射线管的两极之间，在两极间形成高压电场，电子在轰击靶体之前被加速最高管电压相应的能量。阳极靶一般用高原子序数的难熔金属如钨、铂、金等制成。高速电子轰击靶体发生韧致辐射产生X射线，其余大部分能量转换成热能。

⑦成像器

成像器安装在X光源对面，用于捕捉X光射线，生成X光图像的设备。当车辆挡住2号光栅时，系统会发出信号控制X光出束，成像器同时采集图像。

⑧2号光栅

2号光栅作用是为控制X光光束的开始与结束、车身图像的采集开始与结束两方面工作作为系统控制器提供信号。

⑨车头相机

车头相机可实时观察车辆驶入车道情况，抓拍车头图像并同时识别车牌号码。

⑩警示灯

警示灯安装在控制台的附近，车辆进入检测区接受扫描时，警示灯闪烁，提醒操作人员。

⑪指示灯

安装在X光源主体上分别由蓝色、黄色及红色组成的灯为工作指示灯。蓝色指示灯为长亮状态，提示系统处于良好状态。黄色灯闪烁，表示系统处于待检状态。红色灯闪烁，表示系统开始检测，当车辆离开2号光栅时，系统控制黄色和红色警示灯关闭，表示检测已完成。

2、工作原理

车检系统采用透射式辐射成像技术，在车检通道入口处一侧固定安装射线源（X光源），另一侧固定安装探测器（成像器），当车辆进入车检通道时，系统自动避让车头驾驶室，再触发光闸开启，X射线源发出的扇形射线对车厢进行成像检查；由于货车内部各种物体不同部位的密度不同，X射线的贯穿能力不同，引起探测成像器接收的信号强度不同，经过探测器搜集和图像处理，得到受检车厢内部不同密度物质的分布图像，从而区分出运输货物是否满足绿色通道相关政策要求。

3、工艺流程

（1）生产安装环节

本项目拟向国内外厂家购置X射线管、探测器、接收器等结构部件和零部件，运至在车检（450kV）机房进行组装，将其安装在机房指定位置，对车检机房的工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施进行调试，确保各项辐射安全装置和措施均正常运行。

（2）调试环节

客户终端是运行车检系统软件的操作终端，安装在控制台上，由操作人员操作。操作人员可以通过主机、鼠标、显示器控制射线装置的运行、查看过车检测图像，读取、拷贝、查询车检检测效果信息。

设备调试结束后，关机，切断电源，放入物料库存放。

9.2 销售环节

本项目射线装置销售及售后服务的基本流程如下：

1、公司在向客户销售射线装置前必须确认：

（1）客户是否针对射线装置开展环境影响评价工作；

（2）客户是否具备核技术利用项目辐射安全许可证，在确认客户方履行核技术利用项目环评手续，或取辐射安全许可后，双方签订合同。

2、合同签订后，公司将按合同交货工期要求发货。

3、将射线装置运送到达客户厂区，由建设单位辐射工作人员在客户厂区的机房内进行设备安装、调试，并对客户的操作人员进行操作演示。射线装置在现场调试过程中，会产生 X 射线、少量的臭氧和氮氧化物。在客户厂区的机房内调试结束后，直接交付客户使用。在客户现场售后调试环节是对设备进行安装后测试、培训使用。

4、调试合格后由客户及相关方验收，交付客户使用。

5、在客户使用过程中，如射线装置发生故障，公司派专职售后服务的辐射工作人员前往客户厂区的机房内现场进行设备的检查维修。设备废弃后由客户按相关规定处置，公司不负责回收。建设单位将建立销售台账，详细记录射线装置销售情况。

9.3 人员配置及人员负荷

1、人员配置

本项目拟配备 16 名辐射工作人员，其中，8 名辐射工作人员负责 2#生产厂区的探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房的调试工作，每个机房均配备 1 组调试人员（2 名工作人员）负责设备调试工作，人员在机房外控制台处对设备进行出束调试，即采取隔室操作的工作方式；另外 8 名辐射工作人员（2 名工作人员为 1 组）负责客户厂区设备调试工作，主要在客户厂区和 1#测试楼工作，不进入 2#生产厂房进行调试工作。

本项目拟用的 16 名辐射工作人员中有 8 名辐射工作人员已取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书（辐射工作人员信息表见表 9-1，核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单见附件 13），8 名辐射工作人员未取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书。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）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目剩余 8 名未取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平

台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。若后期辐射安全培训合格证书到期，则辐射工作人员仍需通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’进行再学习考核。

表 9-1 辐射工作人员信息表

姓名	证书编号	证书有效期	2023 年度个人剂量检测结果 (mSv)
周*赞	*	*	0.14+0.22+0.03+0.11=0.50
毛*琪	*	*	0.08+0.12+0.03+0.03=0.26
郭*龙	*	*	0.07+0.08=0.15
朱*全	*	*	0.07+0.03+0.03+0.03=0.16
陶*	*	*	0.07+0.14+0.44+0.03=0.68
吴*华	*	*	0.10+0.12+0.03+0.03=0.28
罗*芳	*	*	0.45+0.19+0.18+0.12=0.94
章*辉	*	*	0.03+0.03+0.03+0.03=0.12

2、人员负荷

根据建设单位计划产能情况，每年最多生产 15 台工业探伤用加速器、205 台工业探伤设备、710 台高频 X 射线机和 40 台车检设备。因此，本项目辐射工作人员每年最多安装 15 台工业探伤用加速器、205 台工业探伤设备、710 台高频 X 射线机和 40 台车检设备，共 970 台射线装置。

(1) 建设单位厂区内生产安装调试

本项目生产的射线装置出厂前需经过调试。

①单台工业探伤用加速器安装调试出束时间最多为 3h，设备年出束时间最多为 45h（ $3\text{h} \times 15 \text{台} = 45\text{h}$ ），则加速器（1MeV）机房每名辐射工作人员年受照时间为 45h；

②单台工业探伤系统的安装调试出束时间最多为 2h，设备年出束时间最多为 410h（ $2\text{h} \times 205 \text{台} = 410\text{h}$ ）；

③单台高频 X 射线机的安装调试出束时间最多为 2h，设备年出束时间最多为 1420h（ $2\text{h} \times 710 \text{台} = 1420\text{h}$ ）；

④单台车检系统的安装调试出束时间最多为 2h，设备年出束时间最多 80h（ $2\text{h} \times 40 \text{台} = 80\text{h}$ ）。

(2) 客户厂区内安装调试

本项目生产的射线装置销售给客户后需要在客户单位进行使用前的调试，每台射线装置的调试出束时间最多为 2h，共 970 台射线装置在客户单位年调试时间共为 1940h；售后维护考虑每台设备每年定期维护调试 1 次，每次出束时间最多为 1h，970 台射线装置需 970h。

客户厂区内调试的辐射工作人员和建设单位厂区内的辐射工作人员不交叉作业。

9.2 污染源项描述

9.2.1 辐射源污染分析

工业电子直线加速器装置运行产生的高能电子束受到靶物质、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射，即产生 X 射线。由于电子在空气中的射程很短，因此，X 射线是工业电子直线加速器装置运行时的主要辐射源。

由 X 射线机的工作原理可知，X 射线随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 X 射线机只有在开机并处于出线状态（曝光状态）时，才会发出 X 射线，对周围环境产生辐射影响。因此，本项目在开机曝光期间，X 射线辐射是本项目的主要环境污染因子。

由上述分析可知，四个机房的辐射污染源是 X 射线。

9.2.2 非辐射源污染分析

1. 废水

本项目射线装置拟配套循环冷却水，其使用的冷却水为纯水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环冷却水定期补充，不外排。冷却用纯水为项目厂区自制，纯水制备过程中产生的浓水主要含一定盐分，可直接纳管排放。

本项目 2#生产厂房四间机房的劳动定员 16 人，年工作日 250 天（周工作 5 天、年工作 50 周），生活用水量按 $0.1\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{d}$ 计算，排放系数按 0.85 计，则生活污水产生量约为 340t/a。项目生活污水经化粪池预处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中三级标准（氨氮、总磷执行《工业企业废水氨、磷污染物间接排放限值》（DB33/887-2013）中排放限值）后纳管。

本项目所在地属于萧山钱江污水处理厂的截污范围，市政污水管网已接通至污水处理厂。本项目废水量小且水质简单，不会对污水处理厂造成冲击。可见，

项目依托萧山钱江污水处理厂可行。因此，项目所产生的污水经厂内废水中和处理设施、化粪池预处理后可达到后纳管标准，再经过萧山钱江污水处理厂处理后，项目废水污染物得到进一步削减，对地表水环境影响较小

2. 废气

空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物，加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。

机房在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物通过排风系统排放到外环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。这里主要考虑机房内产生的臭氧对停机后进行人员的影响，需要保证其有害气体职业接触限值满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）和《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）及第1号修改单的要求。

3. 噪声

本项目运行后噪声源主要为设备噪声，所有设备选用低噪声设备。

4. 固体废物

（1）本项目固体废物主要为生活垃圾、废滤芯、报废X射线管（阴极射线管）废显（定）影剂、废胶片、洗片废水等。

①生活垃圾

本项目劳动定员 16 人，生活垃圾按人均产生量 0.5kg/d 计算，年工作 250 天，生活垃圾产生量为 2t/a。

②废滤芯

本项目射线装置拟配套循环冷却水，冷却水由纯水机提供产生，随着使用时间的增长，纯水机的废滤芯会逐渐积累杂质，达到一定使用期限后需要更换。废滤芯作为固体废物处理。

③报废X射线管（阴极射线管）

X射线管可能因为自然寿命到期、技术更新换代、意外损坏等需要进行更换，本项目报废X射线管（阴极射线管）按照固体废物由有资质的单位回收，其他当做废品处理。

④废显（定）影剂、废胶片、洗片清洗废水

本项目X射线机年拍片共约 2.2 万张，按洗 100 张片用 1L废显（定）影剂，

经估算项目工作过程中每年产生的废显（定）影剂约 220L（约 220kg），废胶片年产生量约 220 张（废片率按 1%计），该部分危险废物定期委托有资质的单位处理。完好的胶片中 90%直接交付予客户方进行存档，需存档；10%为压力容器检测胶片，需按照《承压设备无损检测第 1 部分：通用要求》(NB/T 47013.1-2015) 第 7.3.3 条款要求进行无损检测记录的保存，存档期限不低于 7 年。因此，本项目需要存档的胶片量为 2178 张，存档期满后作为危险废物委托有资质的单位处理。基于本项目运行的第 8 年开始，同一年既有探伤洗片产生的废胶片，又有存档期满后产生的废胶片，本次评价保守考虑来核算废胶片年产生量，即 2178+220=2398 张（胶片尺寸大小存在差异，单片平均重量按 10g 计，则折合重量约 24kg）。本项目暗室洗片过程中会产生洗片废水，参考同企业现有的实际产污经验值，本项目洗片废水年产生量约 450kg，该部分清洗废水含较高浓度的 AgBr、显（定）影剂及强氧化物，参考废显（定）影剂作为危险废物进行管理，定期委托有资质的单位处理处置。

本项目危险废物一览表列表如下：

表 9-2 危险废物一览表

名称	洗片废水	废显（定）影剂	废胶片
状态	液态	液态	固态
废物类别	HW16 感光材料废物		
废物代码	900-019-16		
危险特性 ¹	T		
月排放量	约 37.5kg	约 18.3kg	约 2kg
年排放总量	约 450kg	约 220kg	约 24kg
暂存情况	集中收集于危废暂存间的专用容器中		
最终去向	定期委托具有危险废物经营许可证的单位回收处理		

注：

1.所列危险特性为该种危险废物的主要危险特性，不排除可能具有其他危险特性；“，”分隔的多个危险特性代码，表示该种废物具有列在第一位代码所代表的危险特性，且可能具有所列其他代码代表的危险特性；“/”分隔的多个危险特性代码，表示该种危险废物具有所列代码所代表的一种或多种危险特性。

2.医疗废物分类按照《医疗废物分类目录》执行。

(2) 本项目危废暂存间位于 5#生产厂房。

①危险废物贮存场所（设施）影响分析

公司按照《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)和《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ1276-2022)相关要求设计、建设密闭式危废堆场,做到防渗、防风、防雨、防晒要求。总体上项目选取的危废暂存库位置相对合理,较为可行。公司将根据危废产生量、危废种类和暂存周期对危废暂存库进行了分区规划,危险废物暂存间面库可以满足管理和贮存需要。危险废物暂存库为永久建筑,密闭设计,地面经防腐防渗处理,符合“防风、防雨、防晒、防渗漏”要求。危险固废暂存库的危险固废分质收集、分类存放。危废暂存间内用于存放危险废物的容器必须与所存放的危废具有良好的相容性,暂存间地面设置良好的防渗漏处理,使得暂存过程中万一泄漏出来的废液能得到有效收集,不会经地面渗入地面下,污染土壤和地下水环境,不会对周边地表水、地下水以及土壤环境产生影响。

②危险废物运输过程环境影响分析

本项目废显(定)影剂、洗片废水均采用包装桶密封包装,委托有危废资质的机构进行运输及处置,运输车辆为专用车辆。危废运输车辆均按照规定计划路线行驶,正常情况下,危废运输过程不会对周边环境敏感点产生影响。

③危险废物委托利用或处置的环境影响分析

本项目危险废物产生量不大,危废类别为HW16,且区域内设置有小微企业危废收集单位,完全有能力处置本项目的危废,因此项目危废委托处置具有环境可行性。

综上所述,本项目固废处置符合“减量化、资源化、无害化”的基本原则,在自身加强利用的基础上,按照规定进行合理处置的前提下,本项目的固体废弃物不会对周围环境产生明显不利影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 本项目工作场所布局

本项目共涉及四间机房，分别为加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房，其工作场所布局详见下表 10-1。

表 10-1 工作场所布局

所在区域	机房名称	点位	涉及场所
2#生产厂房	加速器（1MeV）机房	西北侧	2#生产厂房内部道路、杭州睿影探测科技有限公司射线装置储存区域、生产用房
		西南侧	杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房、出租方厂区内道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房
		东南侧	车检（450kV）机房、2#生产厂房内部道路、出租方厂区内道路、万达汽车零部件有限公司
		东北侧	探伤（450kV）机房、探伤（450kV）机房控制台、硬件测试（225kV）机房 2、硬件测试（225kV）机房 1、高低温机房、出租方厂区内道路
		顶部（二层）	生产用房（安检机生产）、生产用房（中小型安检机生产）
		下层（负一层）	出租方地下车库
	探伤（450kV）机房	西北侧	2#生产厂房内部道路、射线装置储存区域、生产用房
		西南侧	加速器（1MeV）机房、加速器（1MeV）机房控制台、杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房、出租方厂区内道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房
		东南侧	无损检测（450kV）机房、2#生产厂房内部道路、出租方厂区内道路、万达汽车零部件有限公司
		东北侧	探伤（450kV）机房控制台、硬件测试（225kV）机房 2、硬件测试（225kV）机房 1、高低温机房、出租方厂区内道路、1#生产测试楼
		顶部（二层）	生产用房（安检机生产）、生产用房（中小型安检机生产）
		下层（负一层）	出租方地下车库
	车检（450kV）机房	西北侧	加速器（1MeV）机房、2#生产厂房内部道路、杭州睿影探测科技有限公司射线装置储存区域、生产用房
		西南侧	杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房、出租方厂区内道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房
		东南侧	2#生产厂房内部道路、出租方厂区内道路、万达汽

无损检测 (450kV) 机房			车零部件有限公司
	东北侧		无损检测(450kV)机房、无损检测(450kV)机房控制台、成品铅箱、出租方厂区内内部道路
	顶部(二层)		生产用房(安检机生产)、生产用房(中小型安检机生产)
	下层(负一层)		出租方地下车库
	西北侧		探伤(450kV)机房、2#生产厂房内部道路、射线装置储存区域、生产用房
	西南侧		车检(450kV)机房、车检(450kV)机房控制台、杭州睿影探测科技有限公司加速器(15MeV)机房、出租方厂区内内部道路、杭州海康机器人股份有限公司3#生产厂房
	东南侧		出租方厂区内内部道路、万达汽车零部件有限公司
	东北侧		无损检测(450kV)控制台、成品铅箱、出租方厂区内内部道路、1#生产测试楼
	顶部(二层)		生产用房(安检机生产)、生产用房(中小型安检机生产)
	下层(负一层)		出租方地下车库

本项目每个机房辐射工作人员有独立的操作位。机房设置避开了公司内部人流较多的工作场所，且与该区域其他非辐射工作人员活动区避开一定距离，边界外 50m 范围内无居民区、学校等环境敏感目标。

本项目辐射工作场所的布置既便于各个工艺的衔接，满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。从利于安全生产和辐射防护的角度而言，该项目的平面布局基本合理。

10.1.2 控制区与监督区的划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)的规定，将电子加速器的工作场所进行分区管理：

本项目拟将加速器(1MeV)机房屏蔽墙围成的内部区域设置为控制区，工业电子直线加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在加速器机房及其他必要的地方设置醒目的电离辐射警告标志及中文警示说明等。拟将加速器周围相邻的区域(包括加速器控制台及其他辅助区域)划为监督区，监督区在加速器工作时除辐射工作人员外，其他人员严格限制进入。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中关于辐射工作场所的分区规定：企业拟将探

伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房屏蔽墙围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。机房工作过程中，任何人不得进入控制区，并应设置明显的电离辐射警告标志及中文警示说明。监督区应设置电离辐射标志及警示标志，并经常进行剂量监督，以确认是否需要专门的防护措施。

由于本项目四个机房紧紧相邻，故将加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房视为一个整体进行分区，工作场所的分区见附图 9。

10.1.3 辐射工作场所屏蔽设计

表 10-2 机房屏蔽系数一览表

机房	项目	内容
加速器 (1MeV) 机房	机房内径尺寸	长 9400mm×宽 7000mm×高 4000mm
	各屏蔽墙厚度	西南侧迷道屏蔽墙 800mm+800mm， 东南侧屏蔽墙 1000mm，西北侧、东北侧屏蔽墙各 800mm
	加速器机房 顶部厚度	1000mm
	迷道	L 型迷道
	通风设施	墙体斜侧型通风管道
	电缆沟	地面线缆沟走线，通过 U 形孔穿出
	防护门	电动推拉门，预留门洞 2400mm×2700mm，防护规格 2900mm×2950mm（54mmPb）
探伤 (450kV) 机房	机房内径尺寸	长 9300mm×宽 7750mm×高 4200mm
	各侧屏蔽厚度	西北侧屏蔽墙 1000mm，西南侧、东北侧、东南侧屏蔽墙各 800mm
	顶部厚度	800mm
	通风管道	墙体斜侧型通风管道
	电缆沟	地面线缆沟走线，通过 U 形孔穿出
	防护门	电动推拉门，预留门洞 3000mm×2700mm，防护规格 3500mm×2950mm（30mmPb）
车检 (450kV) 机房	机房内径尺寸	长 7300mm×宽 7200mm×高 6400mm
	各侧屏蔽厚度	800mm
	顶部厚度	800mm
	通风管道	墙体斜侧型通风管道

	电缆沟	地面线缆沟走线，通过 U 形孔穿出
	防护门	电动推拉门，预留门洞 3000mm×2700mm，防护规格 3500mm×2950mm（33mmPb）
无损检测 (450kV) 机房	机房内径尺寸	长 7750mm×宽 7300mm×高 4200mm
	各侧屏蔽厚度	800mm
	顶部厚度	800mm
	通风管道	墙体斜侧型通风管道
	电缆沟	地面线缆沟走线，通过 U 形孔穿出
	防护门	电动推拉门，预留门洞 3000mm×2700mm，防护规格 3500mm×2950mm（31mmPb）
<p>备注：</p> <p>①四周屏蔽墙体及顶部均采用密度不低 2.35g/cm 的混凝土一次浇筑而成，无气泡，无裂缝；</p> <p>②机房的辐射防护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产；</p> <p>③机房设施的设计，应有辐射防护工程师参加：施工阶段，辐射防护人员应对辐射防护设施的工程质量进行检查，以保证设计要求。</p>		

10.1.4 污染防治措施

1、加速器（1MeV）机房污染防治措施

为确保辐射安全，保障工业电子加速器安全运行，避免在工业电子直线加速器装置期间人员误留或误入加速器机房内发生误照事故，本项目的所有电子加速器设计有相应的辐射安全装置和保护措施。加速器辐射安全装置和保护措施见附图 9。加速器主要辐射安全装置和保护措施如下：

（1）辐射屏蔽设计

加速器（1MeV）机房四周采用混凝土墙屏蔽，设置 L 型迷道，加速器（1MeV）机房出入门采用电动推拉门（54mm Pb）防护，根据本报告中理论预测分析均能满足本项目的辐射防护要求。

（2）安全设施

①钥匙开关：加速器控制柜操作面板上设置钥匙开关，确保操作人员离开时关闭钥匙开关拔掉钥匙后装置无法运转，钥匙由操作人员随身携带。

②急停按钮：机房内部四周墙上、移门门口、控制台处设置急停按钮，总共 6 个。保证出现紧急事故时，人员在任意位置时都不需要穿过主射线源束就能够通过急停停止出束。

③门机联锁：设置门机联锁装置，设备进出门和人员进出门没有关闭到位时，

不能出束；门打开时立即停止 X 射线装置出束；关上门不能自动开始出束；移门打开时凹槽会自动抬升和地面平齐；移门门口设置一组红外感应装置，防止人员误入，关门出束；机房内部移门处安装手动开门按钮，紧急情况房间内的人员可以紧急开门。

④工作状态指示灯：加速器机房上方设置一个工作状态指示灯，并与加速器高压联锁，绿灯表示加速器停止运行，黄灯表示待机状态，红灯表示加速器装置正在运行，以提醒周围工作人员勿靠近。

⑤其他紧急停机措施：机房布置固定式场所辐射探测报警装置，机房内部、移门门口各布置一个辐射监测探头（X 射线）（自带声光报警）；辐射监测系统与移门联锁，辐射剂量率超过阈值时，进行声光报警，移门无法打开。

⑥警戒措施：移门上设置电离辐射警告标识和中文警示说明，主机室和加速器机房入口外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

综上所述，本项目辐射安全设计能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求及辐射安全防护需求。

2、探伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房污染防治措施

（1）对辐射工作场所实行分区管理，主射线方向避开控制室、铅门，将探伤室实体边界作为本项目的辐射防护控制区边界，将探伤室周围 1m 处作为本项目的辐射防护监督区边界。

（2）机房内部和门口应设有显示“预备”和“照射”状态的声光报警装置，并与 X 射线装置联动。“预备”信号应持续足够长的时间，且预备信号和照射信号有明显区别。

（3）移门门口设置有红外感应装置；移门打开时凹槽会自动抬升和地面平齐；机房内部移门处安装手动开门按钮，紧急情况房间内的人员可以紧急开门。

（4）设置门机联锁装置，设备进出门和人员进出门没有关闭到位时，不能出束，门打开时立即停止 X 射线装置出束；关上门不能自动开始出束。

（5）探伤室内 X 射线机能实现门机、工作状态指示灯及声音提示装置等联锁的功能。

（6）机房内部四周墙上、移门门口、控制台处设置急停按钮 6 个紧急停机

按钮，能够满足人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用，并明显标识，一旦发生意外，立即按下靠近的紧急停机按钮，X射线机的高压即被切断，可有效地保证工作人员的安全。

(7) 探伤机房移门设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，探伤室门外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。相关辐射环境管理制度张贴于工作现场。

(8) X射线机控制台设置有 X射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置；设置高压接通时的外部报警或指示装置。控制台设有钥匙开关，只有在打开控制台钥匙开关后，X射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。控制台设置紧急停机开关、辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

(9) 机房内部、出入口应安装监控，在控制室设置专用的监视器，工作人员能在控制台实时监控探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况，如果出现异常能迅速启动紧急停机装置。

(10) 机房与控制室之间通过留 20×20cm 的地面线缆沟，通过 U 形孔穿出。

(11) 探机房内设置机械排风装置，废气排放口在 2#生产厂房 5 楼楼顶，排风管道外口避免朝向人员活动密集区，机房通风系统与探伤系统联锁，设备停机后，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浓度值。

(12) 建立 X射线机的档案和台账，贮存、使用 X射线机时及时进行登记、检查，做到账物相符，并要求有专人负责保管。

(13) 公司制定制度，禁止将 X射线机移出探伤室外作业。

(14) 探伤室布置固定式场所辐射探测报警装置、移门门口各布置一个辐射监测探头（自带声光报警）；辐射监测系统与移门联锁，辐射剂量率超过阈值时，进行声光报警，移门无法打开。

加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房辐射安全装置和保护措施图见附图 10。

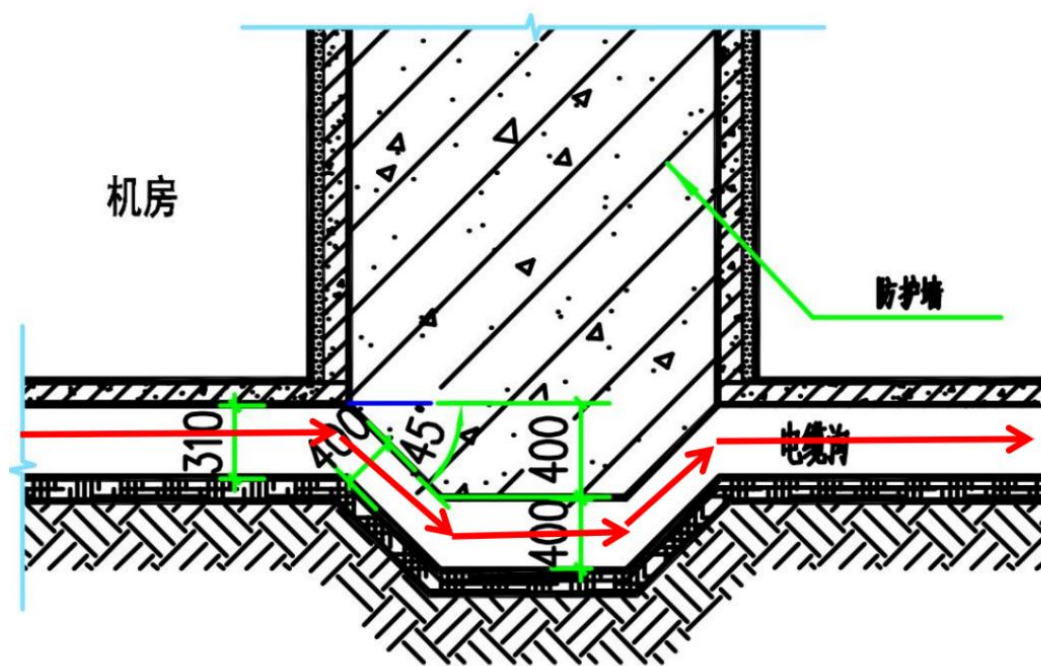
3、电缆及其他管线布设

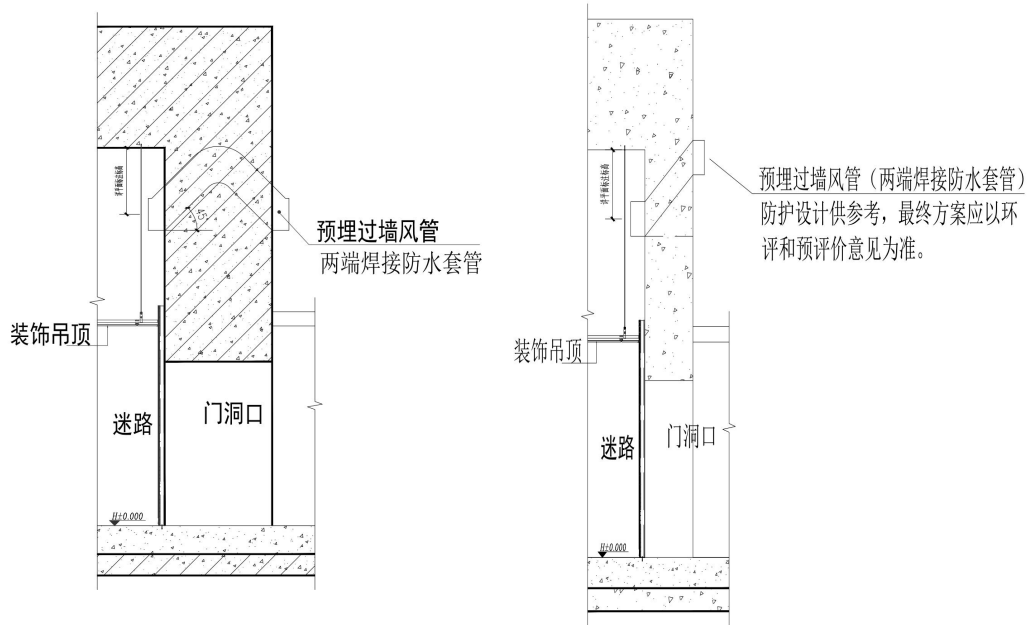
1、电缆：本项目机房内电缆以地沟形式设在地坪以下，电缆沟盖板采用铅

钢盖板覆盖。电缆管线采用“U”型路径设计，X射线至少经过3次散射才能穿出机房。电缆穿墙的设计未破坏机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

2、暖风管道：本项目机房暖风管道穿过门洞口顶部墙体，做倒“V”字型设计，两端焊接防水套管，臭氧和氮氧化物通过排风管道排放至机房外。加速器运行期间及停机后一段时间风机一直保持运行，机房内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气通过排风管道排出，对周围影响较小，满足辐射防护的要求。

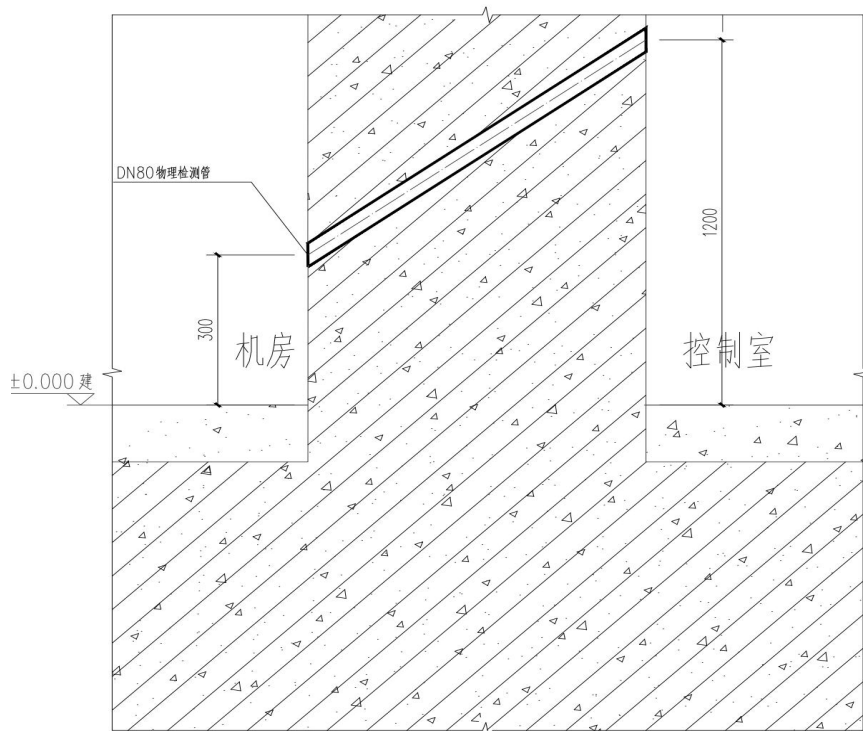
3、其他管道：冷却水管、冷媒水管、给水管口、物理测试管线布设在非主束投照部位采用斜45°形式穿越墙体，泄压口采用“U”型路径设计穿越墙体，预留电气管线使用DN25穿墙套管，高度位于内装吊顶内，穿墙线采用“S”形弯，均不破坏机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。管线布设及穿墙方式示意图见图10-1。



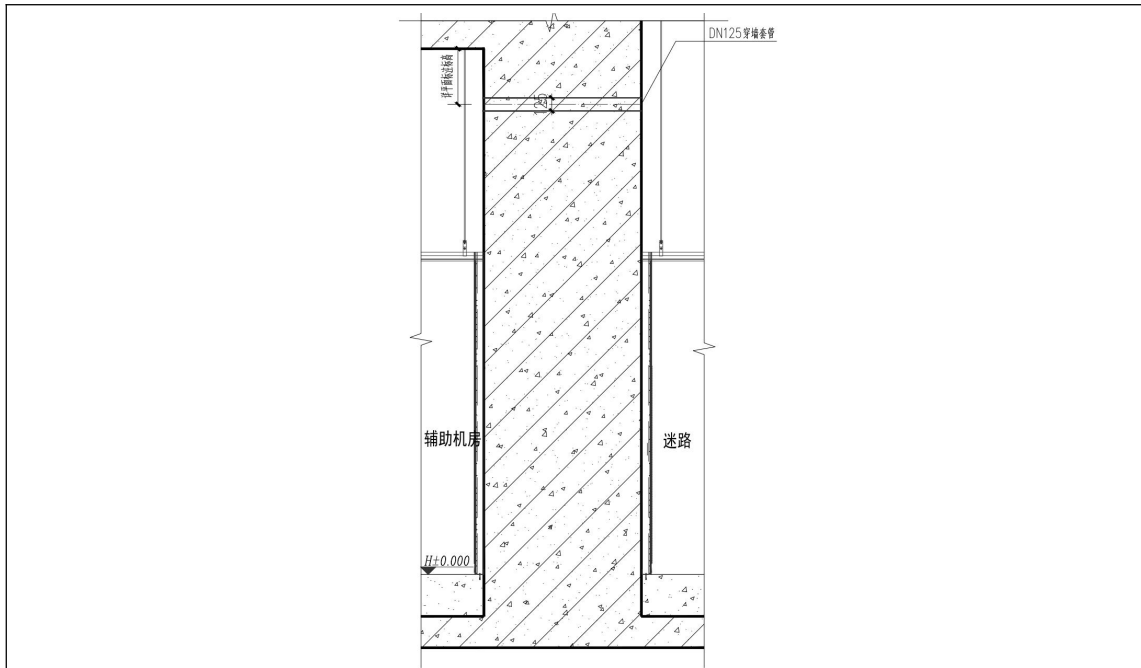


加速器机房暖通风管穿墙大样图

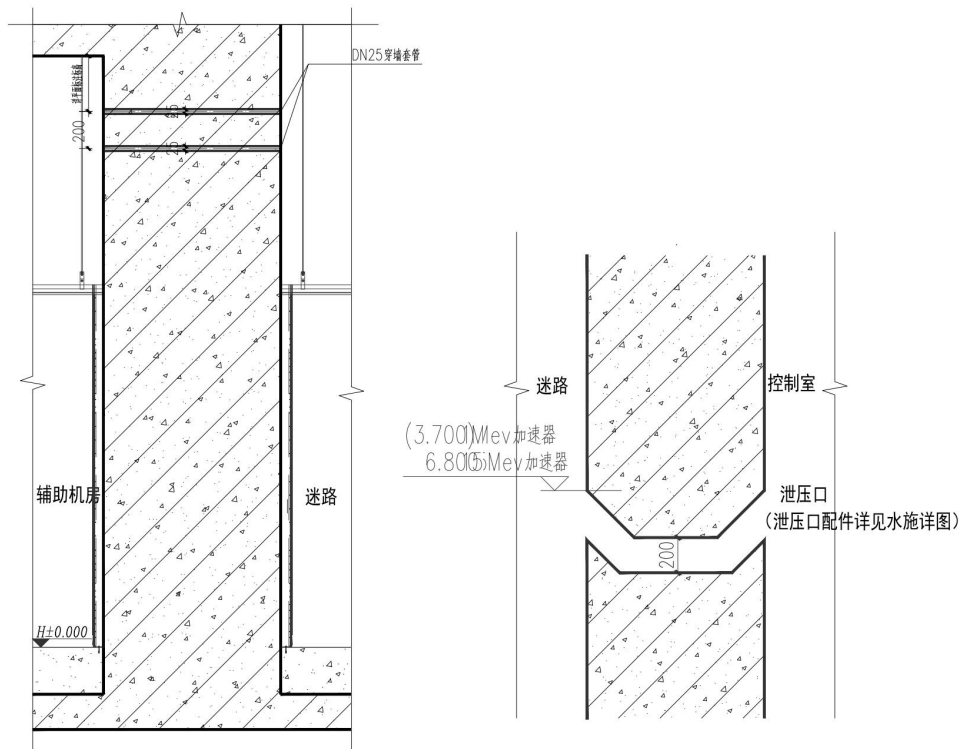
机房暖通风管穿墙大样图



物理检测管穿墙大样图



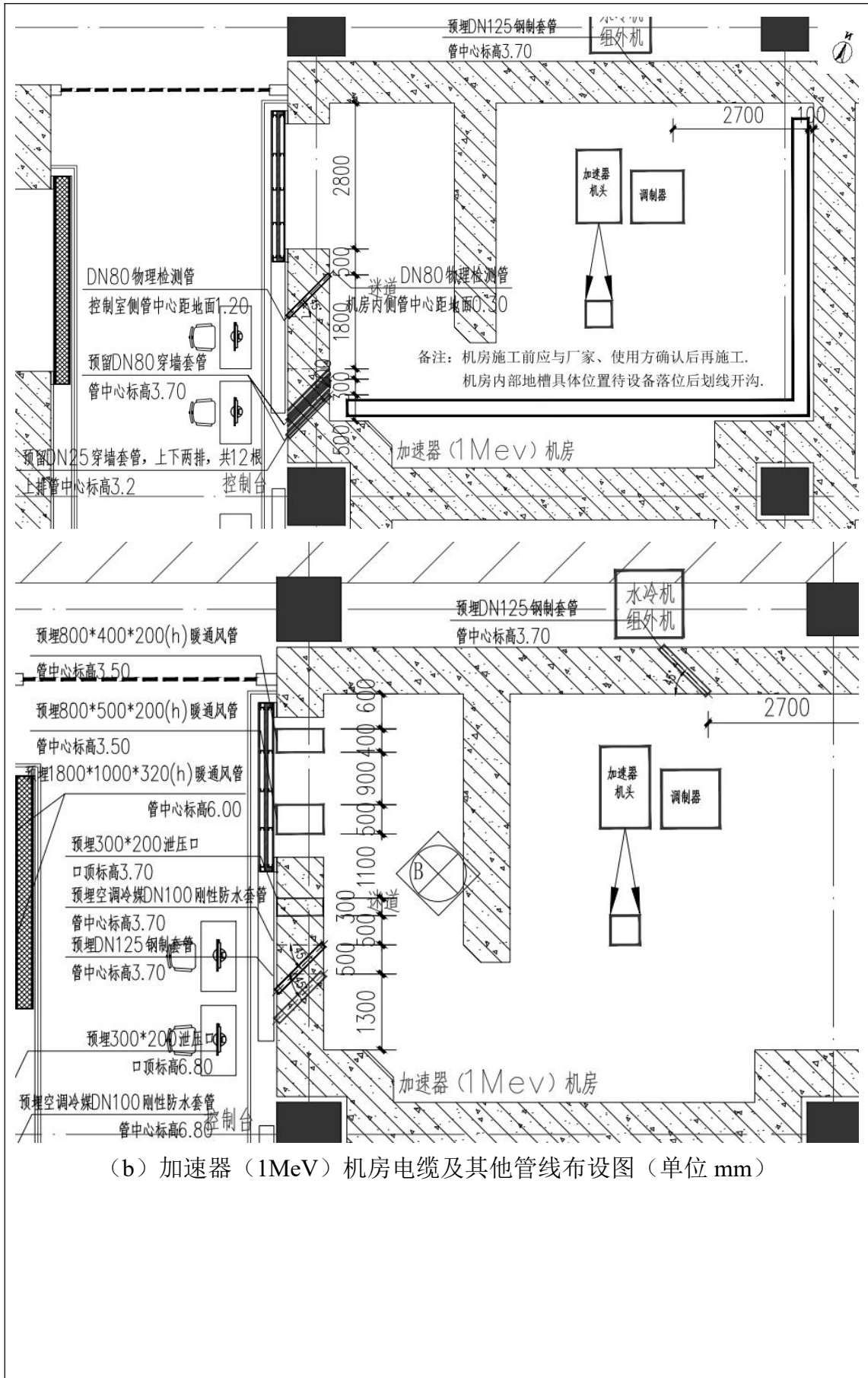
冷却水管、冷媒水管、给水管洞口穿墙大样图



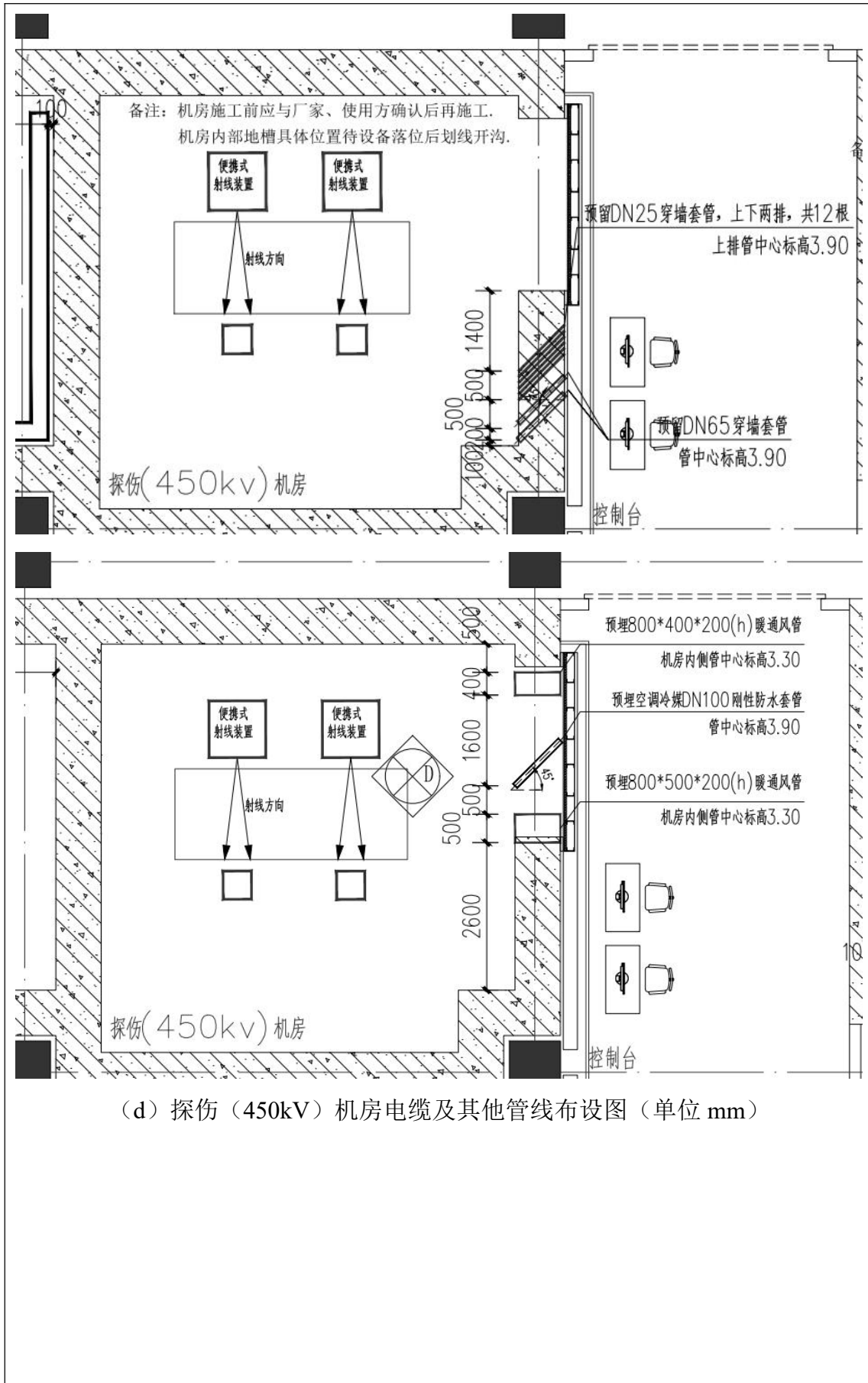
预留电气洞口穿墙大样图

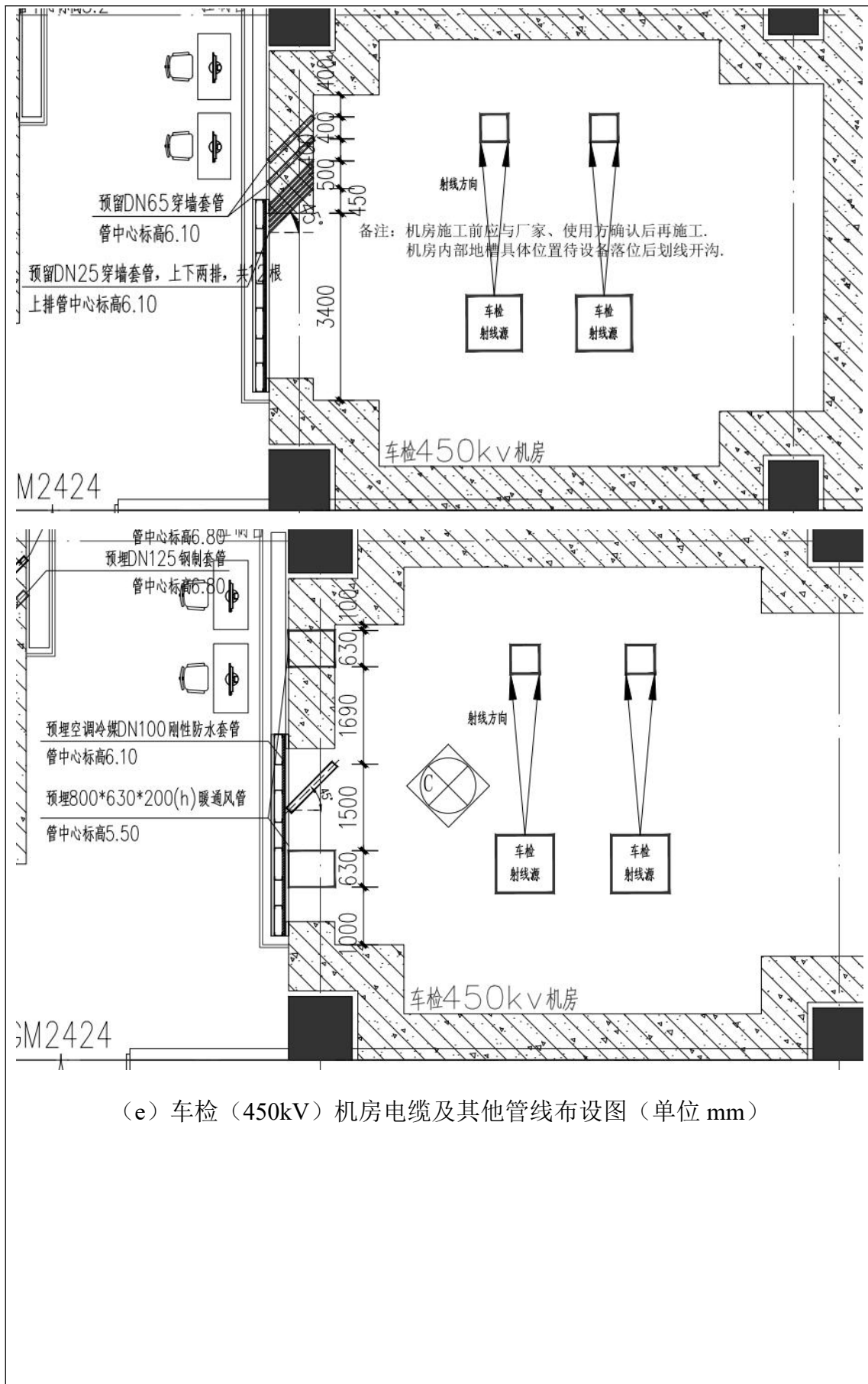
泄压口穿墙大样图

(a) 电缆及其他管线穿墙示意图 (单位 mm)

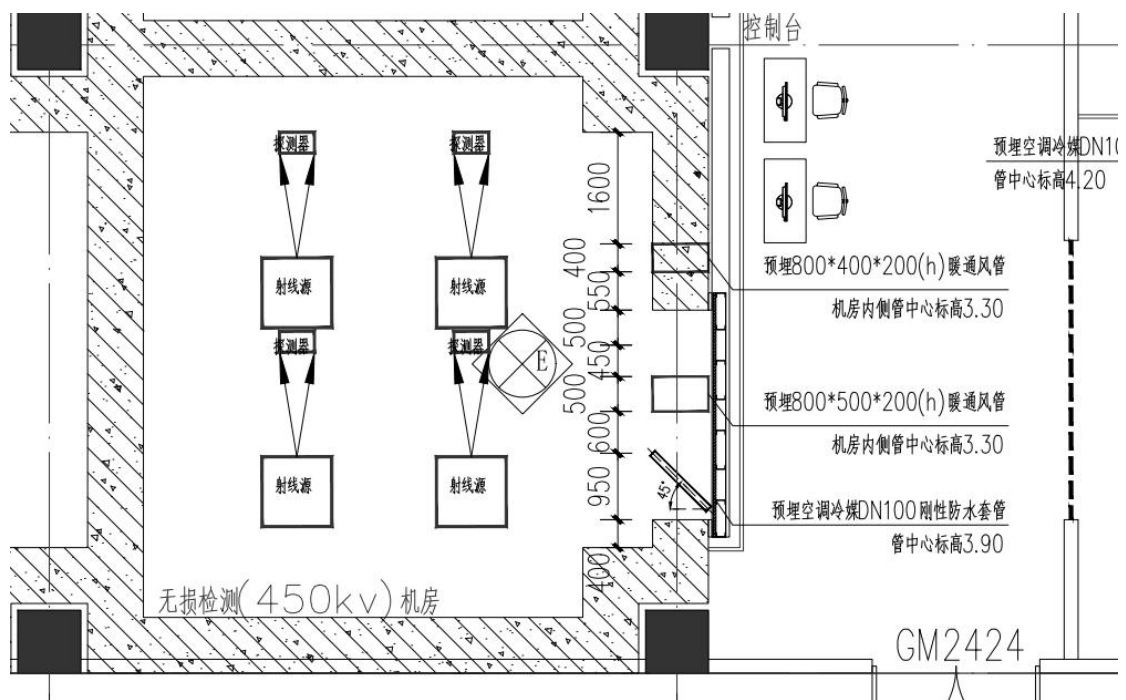
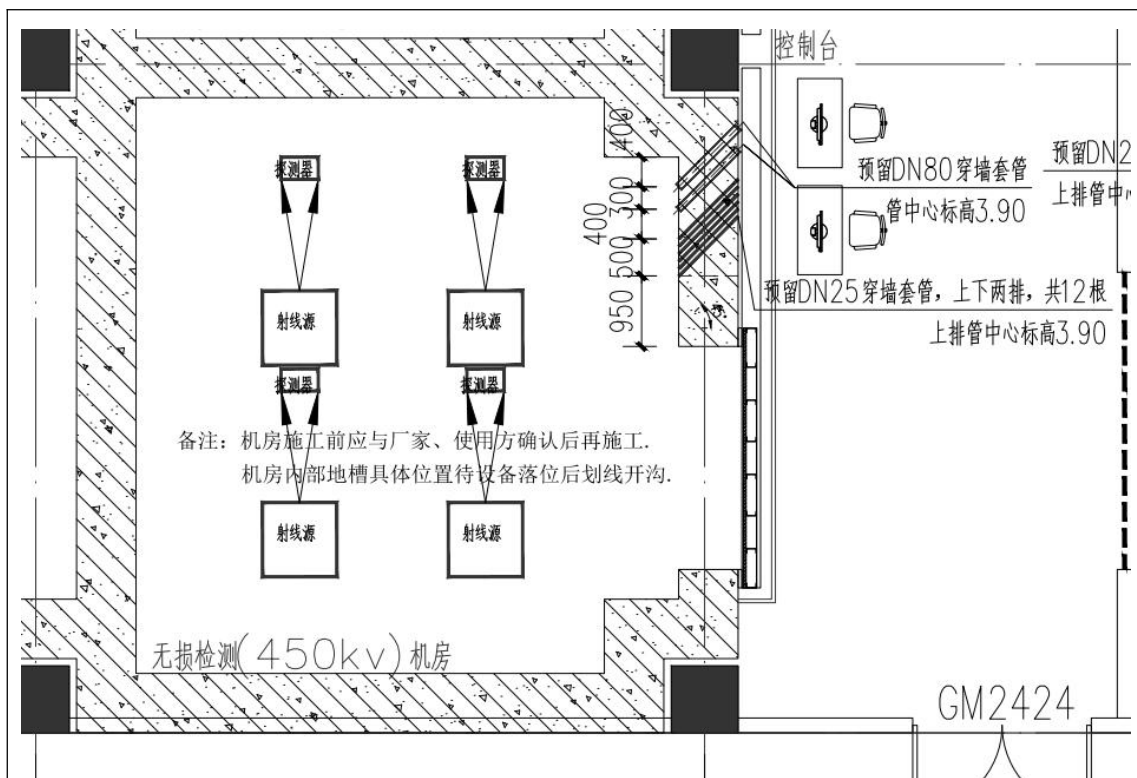


(b) 加速器 (1MeV) 机房电缆及其他管线布设图 (单位 mm)





(e) 车检（450kV）机房电缆及其他管线布设图（单位 mm）



(f) 无损检测 (450kV) 机房电缆及其他管线布设图 (单位 mm)

图 10-1 管线布设及穿墙方式示意图

10.1.5 日常检修 (管理) 及记录

(一) 装置的维护与维修

营运单位必须制定装置的维护检修制度, 定期巡视检查 (检验) 每台装置的

主要安全设备，保持装置主要安全设备的有效性和稳定性。安全设施的变更，需经设计单位认可，并经监管部门同意后才能进行。

1、日检查

装置上的常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应至少包括下列内容：

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

2、月检查

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

- (1) 机房内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- (2) 控制台及其他所有紧急停止按钮；
- (3) 通风系统的有效性；
- (4) 验证安全联锁功能的有效性；
- (5) 烟雾报警器功能正常。

3、半年检查

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

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

(二) 记录

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

- (1) 运行工况；
- (2) 装置产品的情况；
- (3) 发生的故障及排除方法；
- (4) 外来人员进入控制区情况；

(5) 个人剂量计佩戴情况。

10.1.6 监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展工业电子直线加速器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。

建设单位为四个机房拟新增辐射巡测仪 2 台、个人剂量报警仪 10 台和个人剂量计 17 个（包括 16 名辐射工作人员剂量计和 1 个本底剂量计）。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况，并定期送有资质部门监测个人剂量，建立放射工作人员个人剂量监测档案。公司拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员职业健康监护档案。

10.2 三废的治理

10.2.1 三废的治理

1、废水

本项目射线装置拟配套循环冷却水，其使用的冷却水为纯水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环冷却水定期补充，不外排。冷却用纯水为项目厂区自制，纯水制备过程中产生的浓水主要含一定盐分，可直接纳管排放。

本项目运行期外排废水主要为工作人员产生的生活污水和浓水，生活污水经化粪池预处理后排入市政管网，浓水直接纳管排放。

2、废气

空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物，加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。

机房在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物通过排风系统排放到外环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。这里主要考虑机房内产生的臭氧对停机后进行人员的影响，需要保证其有害气体职业接触限值满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）和《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）及第 1 号修改单的要求。

3、噪声

本项目运行后噪声源主要为设备噪声，所有设备选用低噪声设备。

4、固体废物

(1) 生活垃圾由市政公司负责回收处理。

(2) 废滤芯

本项目射线装置拟配套循环冷却水，冷却水由纯水机提供产生，随着使用时间的增长，纯水机的废滤芯会逐渐积累杂质，达到一定使用期限后需要更换。废滤芯作为固体废物处理。

(3) 报废X射线管（阴极射线管）

X射线管可能因为自然寿命到期、技术更新换代、意外损坏等需要进行更换，本项目报废X射线管（阴极射线管）按照固体废物由有资质的单位回收，其他当做废品处理。

(4) 本项目生产过程中产生的废显（定）影剂、废胶片、洗片废水属于危险废物。

①危险废物一览表列表如下：

表 10-3 危险废物一览表

废物类别	行业来源	废物代码	危险废物	危险特性 ¹
HW16 感光材料废物	非特定行业	900-019-16	其他行业产生的废显(定)影剂、胶片和废像纸	T

注：1.所列危险特性为该种危险废物的主要危险特性，不排除可能具有其他危险特性；“，”分隔的多个危险特性代码，表示该种废物具有列在第一位代码所代表的危险特性，且可能具有所列其他代码代表的危险特性；“/”分隔的多个危险特性代码，表示该种危险废物具有所列代码所代表的一种或多种危险特性。

本项目运行过程中产生的建设单位产生的废显（定）影剂、废胶片、洗片废水集中收集在危废暂存间的专用容器中，定期委托有资质的单位回收处理。

②本项目危废暂存间位于 5#生产厂房。

A. 危险废物贮存场所（设施）影响分析

公司按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）相关要求设计、建设密闭式危废堆场，做到防渗、防风、防雨、防晒要求。总体上项目选取的危废暂存库位置相对合理，较为可行。公司将根据危废产生量、危废种类和暂存周期对危废暂存库进行了分区规划，危险废物暂存间面库可以满足管理和贮存需要。危险废物暂存库为永久建筑，密闭设计，地面经防腐防渗处理，符合“防风、防雨、防晒、防渗漏”要求。危险固废暂存库的危险固废分质收集、分类存放。危废暂存间内用于存放危险废物的容器必须与所存放的危废具有良好的相容

性，暂存间地面设置良好的防渗漏处理，使得暂存过程中万一泄漏出来的废液能得到有效收集，不会经地面渗入地面下，污染土壤和地下水环境，不会对周边地表水、地下水以及土壤环境产生影响。

B. 危险废物运输过程环境影响分析

本项目废显（定）影剂、洗片废水均采用包装桶密封包装，委托有危废资质的机构进行运输及处置，运输车辆为专用车辆。危废运输车辆均按照规定计划路线行驶，正常情况下，危废运输过程不会对周边环境敏感点产生影响。

C. 危险废物委托利用或处置的环境影响分析

本项目危险废物产生量不大，危废类别为HW16，且区域内设置有小微企业危废收集单位，完全有能力处置本项目的危废，因此项目危废委托处置具有环境可行性。

综上所述，本项目固废处置符合“减量化、资源化、无害化”的基本原则，在自身加强利用的基础上，按照规定进行合理处置的前提下，本项目的固体废弃物不会对周围环境产生明显不利影响

10.4 环保措施及其投资估算

本项目实际总投资为800万元，其中环保投资为423.7万元，环保投资约占工程总投资的比例为52.96%。环保投资一览表见表10-4。

表 10-4 环保投资一览表

辐射安全措施		内容	投资金额（万元）
辐射 防护 措施	辐射屏蔽措施	防护门、墙体、通风系统等	400
	辐射安全培训	核技术利用辐射安全与防护考核	2
	个人剂量监测	对工作人员个人剂量计进行定期监测	5
	个人防护用品	铅衣、铅帽、个人剂量计	3
	警示标志	电离辐射标志	0.2
监测 设备	环境巡检仪 2 台、个人剂量报警仪 10 台，固定式辐射报警仪 8 台		8.5
安全 连锁	红外线光电系统、急停按钮、烟雾监测、实时剂量监测报警装置等		5
环保投资合计			423.7
本项目总投资			800
环保投资占总投资比例			52.96%

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

1、本项目租赁的机房为杭州海康威视有限公司承建的机房，租赁机房无需进行改造，故无非辐射污染产生。

2、由于工业电子直线加速器装置、X 射线机只有在开机时才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。在机房建设过程中，工业电子直线加速器装置或 X 射线机未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目射线装置分为工业电子直线加速器装置和 X 射线机装置两部分，本次评价分别考虑无损检测用加速器和工业用 X 射线探伤装置对周围环境的影响，采用理论估算的方法进行评估。

11.2.1.1 工业电子直线加速器装置运行阶段对环境的影响

1、关注点剂量参考控制水平分析

(1) 关注点位设置

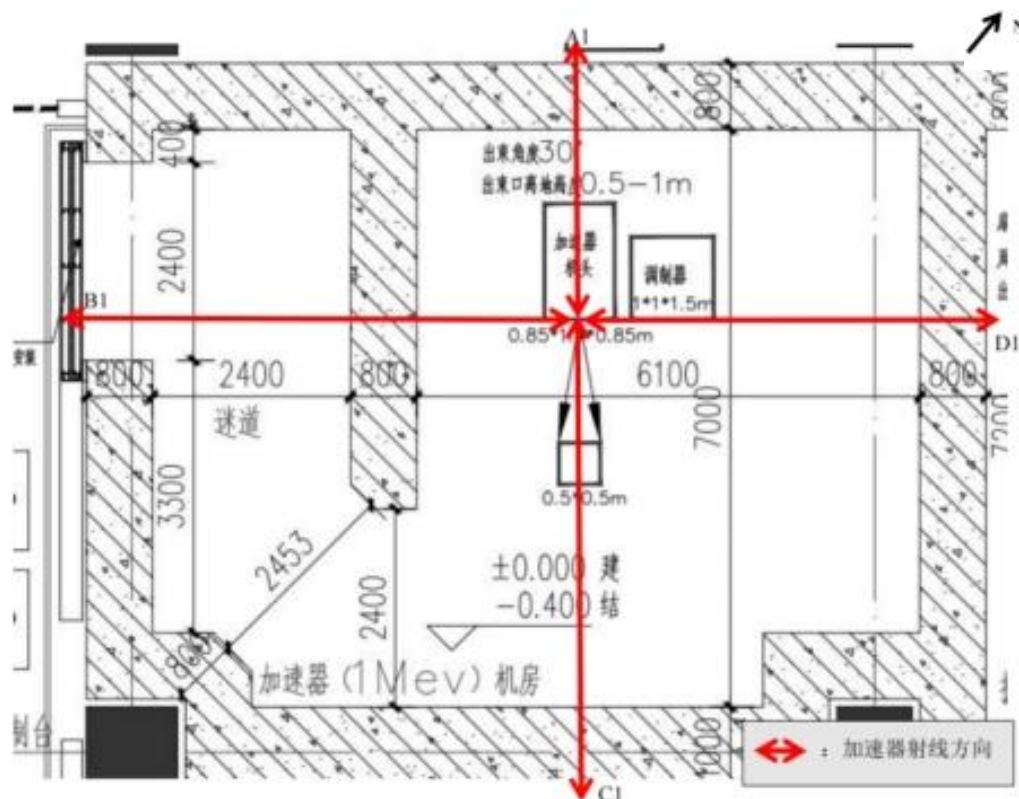


图 11-1 加速器摆放范围示意图（平面图）

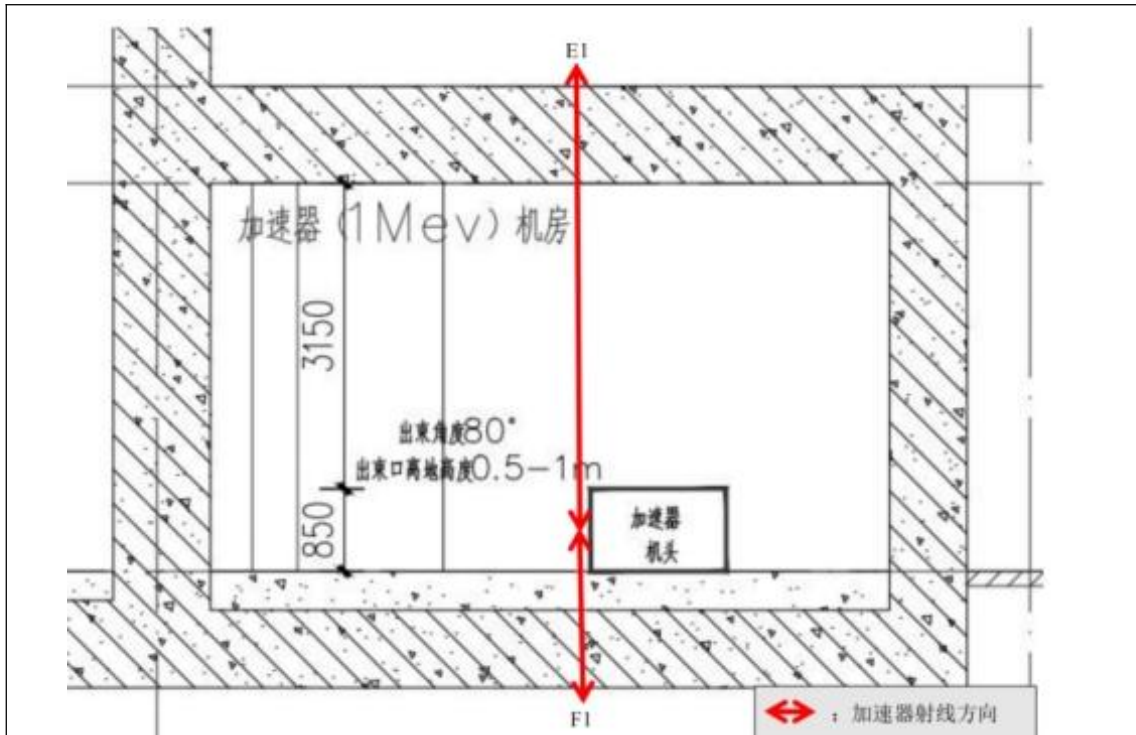


图 11-2 加速器摆放范围示意图（南北剖面图）

表 11-1 加速器（1MeV）机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	A1	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
2	B1	西南侧墙外 30cm 处	1	全居留
3	C1	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
4	D1	东北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
5	E1	顶部外 30cm 处	1	全居留
6	F1	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留

（2）关注点剂量率参考控制水平确定

参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平应符合以下要求：

3.1.1 探伤室墙和入口门外周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周周围剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

a) 周剂量参考控制水平 (H_c) 和导出剂量率参考控制水平 ($\dot{H}_{c,d}$):

1) 人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c 如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按式 (11-1) 计算：

$$\dot{H}_{c,d} \leq H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

H_c ——一周剂量参考控制水平，单位为微希每周（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）；

U ——探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子；

t ——探伤装置周照射时间，单位为小时每周（ $\text{h}/\text{周}$ ）。

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$ ；

$$\dot{H}_{c, \max} = 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

c) 关注点剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

\dot{H}_c 为上述 a) 中的和 b) 中的二者较小者。

本项目在考量周照射时间时将最不利的情形纳入其中，即假定一周内调试工作持续不间断进行。依据公司所提供的工作时间安排，每天调试工作时长为 6 小时，每周工作 5 天，如此计算可得周照射时间为 30 小时。

各墙面、顶部及底部参数选取和计算结果见表 11-2。

表 11-2 关注点剂量率参考控制水平参数选取和计算结果表

序号	关注点	受照类型	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t ($\text{h}/\text{周}$)	U	T	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A1	西北侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
B1	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
C1	东南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
D1	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
E1	顶部外	职	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5

	30cm 处	业							
F1	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5

2、辐射影响评价

(1) X 射线影响分析

根据建设单位提供的资料，工业直线加速器扇形束出束，出束角度 $80^\circ \times 20^\circ$ ，东南侧墙体和顶部墙体为主射线方向；锥形束出束，出束角度 40° ，东南侧墙体为主射线方向，保守考虑，采用东南侧和顶部为主射方向。本项目加速器（1MeV）机房位于一层，下层为出租方地下车库，有人员进出，因此对地面进行屏蔽计算。

本项目加速器的剂量率为 $0.2\text{Gy}/\text{min}$ ，距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 D_0 为 $200\text{mGy}/\text{min}$ ，漏射率为原来的一千分之一，则距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为 $D_0=200 \times 1/1000=0.2\text{mGy}/\text{min}$ 。

本次评价参照《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）附录 C 中给出的计算模式预测本项目运行后机房周围的辐射水平。

(2) X 射线辐射剂量率估算公式

采用《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）附录 C 中公式：

C1.1 一次 X 射线的透射率计算：

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

式中：

B_x ——X 射线在混凝土中的屏蔽透射率；

H_M ——剂量当量限值，单位为微希伏每小时（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）；

d ——X 射线源与参考剂量点间的距离，单位为米（m）；

D_0 ——离靶 1m 处 X 射线的空气吸收剂量率，单位为毫戈瑞每分钟（ mGy/min ）；

T ——居留因子。

C1.2 十值层个数计算：

$$n = \lg\left(\frac{1}{B_x}\right) \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

n ——十值层的个数。

C1.3 十值层个数计算：

屏蔽层的厚度计算：

$$S = T_1 + (n-1) T_e \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

S ——混凝土屏蔽层厚度，单位为厘米（cm）；

T_1 ——第一个十层值厚度，单位为厘米（cm）；

T_e ——第一个十层值之后的十层值厚度，也称平衡十层值，单位为厘米（cm）。

(3) 加速器（1MeV）机房四周辐射剂量率估算结果

加速器（1MeV）机房四周墙外 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 11-3。

加速器（1MeV）机房四周墙外 30cm 处的辐射剂量率估算表

参数	西北侧墙 外 30cm 处 (A1)	西南侧墙 外 30cm 处 (B1)	东南侧墙 外 30cm 处 (C1)	东北侧墙 外 30cm 处 (D1)	顶部外 30cm 处 (E1)	底部外 30cm 处 (F1)
D_0 (mGy/min)	0.2	0.2	200	0.2	200	0.2
屏蔽体厚度 S (cm)	80	80	80	80	100	120
T_1 (cm)	16.52	16.52	18.5	16.52	18.5	16.52
T_e (cm)	13.14	13.14	15	13.14	15	13.14
B_x	1.48×10^{-6}	1.48×10^{-6}	7.94×10^{-6}	1.48×10^{-6}	3.69×10^{-7}	1.33×10^{-9}
d (m)	3.40	6.28	6.00	5.23	5.30	2.00
居留因子 T	1/16	1	1/16	1/16	1	1/16
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	9.55×10^{-5}	4.48×10^{-4}	0.16	4.04×10^{-5}	0.16	2.49×10^{-7}
关注点剂量率参 考水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价结果	符合	符合	符合	符合	符合	符合

注：1、参考点位于加速器机房墙外 30cm 处；

2、表中各参考点到辐射源的距离均从设计图直接测量所得。

由表 11-3 可知，加速器（1MeV）机房墙外 30cm 处辐射剂量最大值为

0.16 μ Sv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）对机房的辐射屏蔽的剂量参考控制水平。

3、X 射线通过顶盖的侧向散射及屋顶天空反散射

本项目加速器机房未邻近高层建筑，评价时不考虑 X 射线通过顶盖的侧向散射。

根据 NCRP-151 号报告，天空反散射计算公式为：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} \times D_0 \times \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \quad (\text{式 11-5})$$

式中，H——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（Sv/h）；

B_{xs} ——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

D_0 ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h）；

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）。

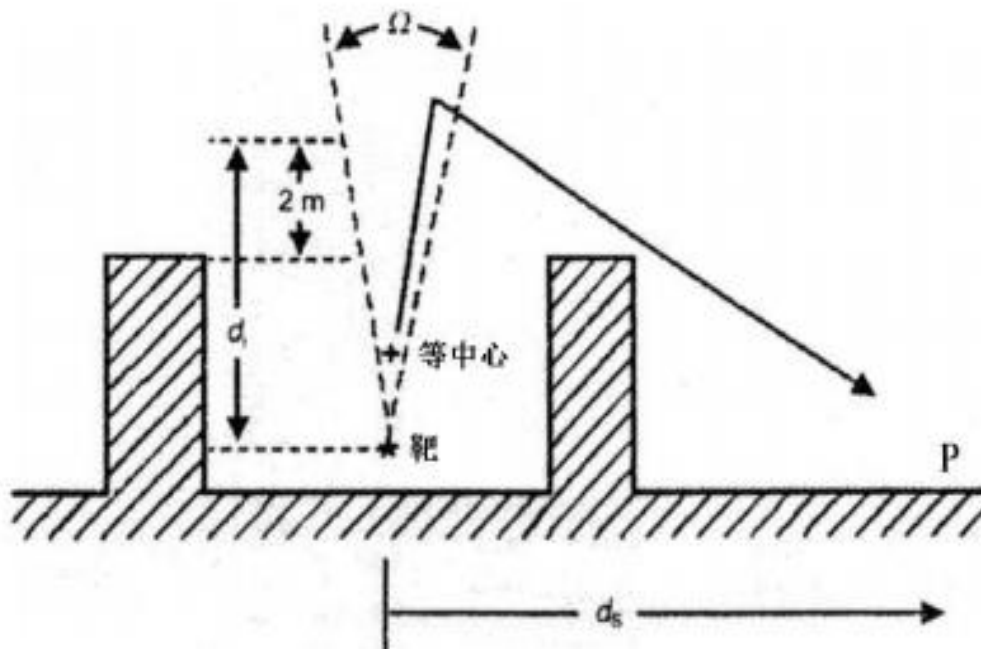


图 11-3 X 射线天空反散射示意图

屋顶天空反散射计算结果见表 11-4。

表 11-4 加速器（1MeV）机房屋顶天空反散射计算结果

参数	加速器（1MeV）机房
D ₀ （Gy/h）	12
屋顶厚度 S（m）	1
B _{xs}	3.69×10 ⁻⁷
Ω	0.74
d _i （m）	6.50
d _s （m）	20
H（Sv/h）	4.43×10 ⁻¹²
注：参考点 P 选择加速器机房外公众人员经常驻留处，距 X 射线源水平距离为 20m。	

由表 11-4 可知，加速器在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反射的 X 射线周围剂量当量率额为 4.43×10⁻¹²Sv/h，所以屋顶天空反散射对地面参照点的剂量率贡献值几乎可以忽略不计。因此本项目加速器（1MeV）机房顶的防护设计可以满足辐射防护要求。

4、迷道及防护门屏蔽防护分析

(1) 估算模式

采用《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）附录 C.2 中的公式：

$$H_m = H_0 \cdot \frac{(a_1 A_1) \cdot (a_2 A_2) \cdots (a_n A_n)}{(d_1 d_2 \cdots d_n)^2} \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

H_m：X 射线在参考剂量点处的吸收剂量率，单位为微希伏每小时（μSv/h）；

H₀：第一次散射面上的吸收剂量率，单位为微希伏每小时（μSv/h）；

a₁：X 射线第一次散射系数；

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）；

A₁：第一次散射的散射面积，单位为平方米（m²）；

A_n：迷道的截面积，单位为平方米（m²）；

d₁：X 射线第一次散射的散射距离，单位为米（m）；

d₂ 和 d_n：分别为 X 射线第二次散射距离和第 n 次的散射距离（n>2），单位为米（m）。

(2) 迷道外口处的辐射水平预测

散射路径示意图见图 11-4，计算结果见表 11-5。

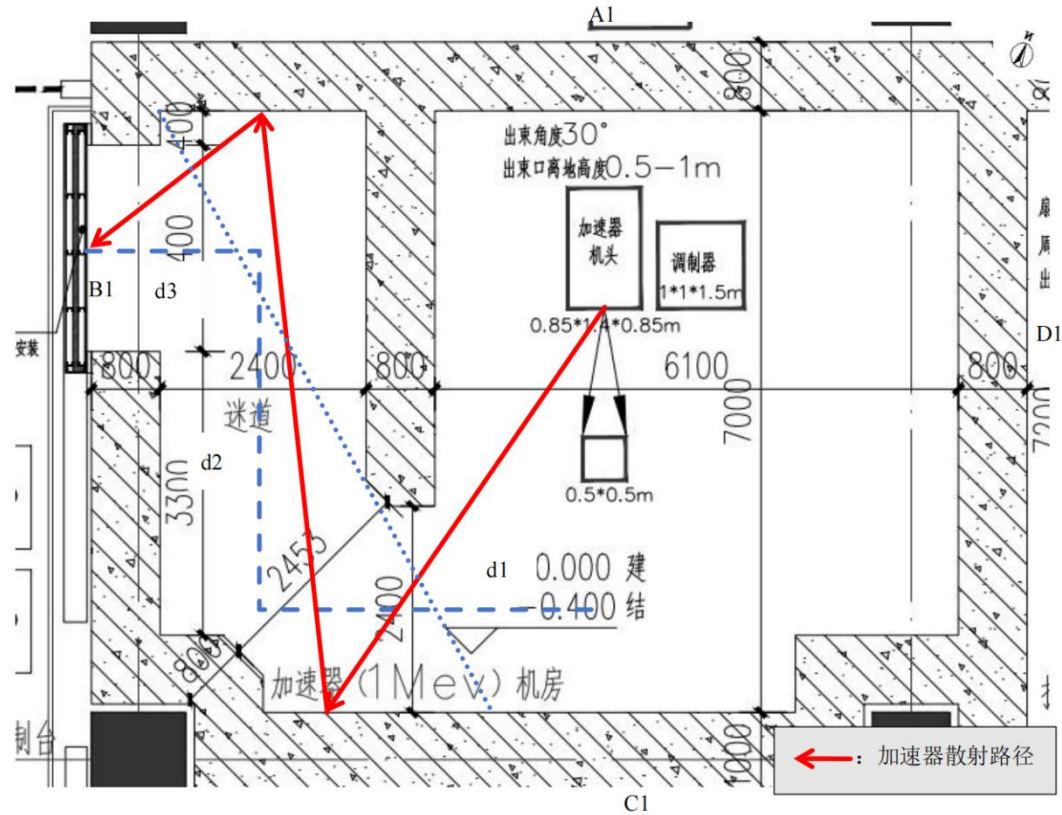


图 11-4 加速器机房散射路径示意图

表 11-5 迷道外口处的辐射水平计算结果

参数	加速器 (1MeV) 机房
H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.2×10^7
a_1	5×10^{-3}
A_1 (m^2)	15.6
a_2	2×10^{-2}
A_2 (m^2)	9.60
散射次数	2
d_1 (m)	3.98
d_2 (m)	4.20
d_3 (m)	2.00
H ($\mu\text{Sv/h}$)	30.87

根据表 11-5 可得，加速器运行时，加速器 (1MeV) 机房迷道外口处的辐射

剂量率约为 30.87 μ Sv/h, 远大于 2.5 μ Sv/h 的剂量率限值要求, 所以需要增设防护门。

(3) 防护门的屏蔽计算

$$B_x = \frac{H_M}{H_0} \quad (\text{式 11-7})$$

其中: H_M ——屏蔽门外侧最大允许周围剂量当量率 (μ Sv/h), 取 2.5 μ Sv/h;

H_0 ——屏蔽门内侧吸收剂量率 (μ Sv/h)。

根据式 11-7 计算出对应铅防护门的厚度见表 11-6。

表 11-6 防护门的屏蔽厚度计算结果

H_0 (μ Sv/h)	铅防护门厚度 (cm)	B_x	H_M (μ Sv/h)
30.87	5.40	8.25×10^{-6}	2.55×10^{-4}

加速器运行时,防护门外剂量率为 $2.55 \times 10^{-4} \mu$ Sv/h, 满足小于 2.5 μ Sv/h 的防护要求。

5、辐射工作人员和公众剂量估算及评价

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 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算:

$$H_{Er} = D_r \times t \times T \times U \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-8})$$

其中: H_{Er} —X 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv/a;

D_r —X 射线空气吸收剂量率, μ Sv/h。

t —X 射线照射时间, h/a;

T —居留因子;

U —X 射线向关注点方向照射的使用因子, 本项目取 1。

本项目加速器 (1MeV) 机房配备 1 组调试人员 (2 名辐射工作人员) 负责加速器调试工作, 人员在机房外对加速器进行出束调试, 即采取隔室操作的工作方式。

单台加速器安装调试出束时间最多为 3h, 设备年出束时间最多为 45h (3h \times 15 台=45h), 每次调试需 2 人同时负责, 加速器的辐射工作人员共 1 组, 则每组每名辐射工作人员年受照时间为 45h。

根据表 11-3 的计算结果, 可估算出项目运行所致辐射工作人员和公众的年有效剂量, 见表 11-7。

表 11-7 辐射工作人员和公众年有效剂量计算结果

保护目标		对应关注点	关注点的辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年照射时间(h/a)	与对应关注点最近距离(m)	年有效剂量(mSv/a)	
白马湖单元 M1-C31 地块内	2# 生产厂房内	加速器(1MeV)机房西北墙外30cm处	A1	1.53×10^{-3}	1/16	45	紧邻	4.31×10^{-6}
		2#生产厂房内部道路	A1	1.53×10^{-3}	1/16	45	紧邻	4.31×10^{-6}
		杭州睿影探测科技有限公司射线装置储存区域	A1	1.53×10^{-3}	1/16	45	1	4.11×10^{-5}
		生产用房	A1	1.53×10^{-3}	1	45	10	2.40×10^{-7}
		加速器(1MeV)机房西南侧墙外30cm处	B1	4.48×10^{-4}	1	45	紧邻	2.02×10^{-5}
		杭州睿影探测科技有限公司加速器(15MeV)机房	B1	4.48×10^{-4}	1	45	4	7.52×10^{-6}
		加速器(1MeV)机房东南墙外30cm处	C1	0.16	1/16	45	紧邻	4.50×10^{-4}
		车检(450kV)机房	C1	0.16	1/16	45	紧邻	4.50×10^{-4}
		2#生产厂房内部道路	C1	0.16	1	45	9	1.19×10^{-3}
		加速器(1MeV)机房东北墙外30cm处	D1	4.04×10^{-5}	1/16	45	紧邻	1.14×10^{-7}
		探伤(450kV)机房	D1	4.04×10^{-5}	1/16	45	紧邻	1.14×10^{-7}
		探伤(450kV)机房控制台	D1	4.04×10^{-5}	1	45	9	2.45×10^{-7}
		硬件测试(225kV)机房2	D1	4.04×10^{-5}	1/16	45	13	9.35×10^{-9}
		硬件测试(225kV)机房1	D1	4.04×10^{-5}	1/16	45	19	5.29×10^{-9}
		高低温机房	D1	4.04×10^{-5}	1/16	45	25	3.40×10^{-9}
加速器(1MeV)机房顶部外30cm	E1	0.16	1	45	紧邻	7.20×10^{-3}		

		处（二层）						
		生产用房（安检机生产）	E1	0.16	1	45	5	1.87×10^{-3}
		生产用房（中小型安检机生产）	E1	0.16	1	45	5	1.87×10^{-3}
		加速器（1MeV）机房底部外 30cm 处（地下车库）	F1	2.49×10^{-7}	1	45	紧邻	7.00×10^{-10}
		出租方地下车库	F1	2.49×10^{-7}	1	45	紧邻	7.00×10^{-10}
	2# 生产厂房外	出租方厂区内部道路	B1	4.48×10^{-4}	1	45	25	8.13×10^{-7}
		杭州海康机器人股份有限公司 3# 生产厂房	B1	4.48×10^{-4}	1	45	26	7.63×10^{-7}
		出租方厂区内部道路	C1	0.16	1/16	45	12	5.16×10^{-5}
		出租方厂区内部道路	D1	4.04×10^{-5}	1/16	45	34	1.14×10^{-7}
白马湖单元 M1-C31 地块外	万达汽车零部件有限公司	C1	0.16	1	45	20	3.96×10^{-4}	

根据表 11-7 中的计算结果可知，职业人员在加速器（1MeV）机房外受到的最大年有效剂量为 $7.20 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，公众在加速器受到的最大年有效剂量为 $1.19 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv 剂量约束值要求。

实际工作中辐射工作人员及公众的活动区域与加速器机房均有一定的距离，经过距离的进一步衰减后，本项目对工作人员和公众造成的辐射影响将进一步地降低，项目的建设和运行对工作人员和公众影响更符合剂量约束值的要求。

11.2.1.2 X 射线机装置运行阶段对环境的影响

1、关注点剂量参考控制水平分析

参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平，详见 11.2.1（2）的式 11-1。

2、辐射屏蔽计算公式及参数的选取

为评价拟建探伤室的辐射屏蔽设计方案，采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中关于探伤室辐射屏蔽的估算方法。

(1) 有用线束

在给定屏蔽物质厚度 X 时, 由附录 B.1 曲线查相应的屏蔽透射因子 B , 关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按 (式 11-9) 计算, :

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R^2} \quad (\text{式 11-9})$$

式中:

\dot{H} —辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H —关注点处的周 (或年) 剂量当量, mSv/周 或 mSv/a ;

I — X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流, mA , 本项目取 $I=10\text{mA}$;

H_0 —距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$, 以 $(\text{mSv} \cdot \text{m}^2/\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 , 参照《医用外照射源的辐射防护 (ICRP 33 号)》中第 56 页图 3 查得, 450kV 管电压时的最大输出量为 $35\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$, 即 $2.1 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$;

B —屏蔽透射因子。本项目涉嫌装置最大管电压为 450kV , 因此查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B 图 B.1、图 B.2 可知: 800mm 混凝土的屏蔽透射因子可取 1.9×10^{-7} , 1000mm 混凝土的屏蔽透射因子可取 7.37×10^{-10} , 30mm 铅的屏蔽透射因子可取 2.7×10^{-4} , 31mm 铅的屏蔽透射因子可取 4.5×10^{-4} , 33mm 铅的屏蔽透射因子可取 5.7×10^{-4} ;

R —辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m)。

(2) 泄漏辐射和散射辐射屏蔽因子

对于给定的屏蔽物质厚度 X , 相应的屏蔽透射因子 B 按 (式 11-10) 计算:

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \quad (\text{式 11-10})$$

式中:

X —屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

TVL—半值层厚度, 单位 mm。

对于散射辐射：查（GBZ/T 250-2014）表 2，X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值，本项目 X 射线机检测装置最大管电压为 450kV，即散射辐射取 250kV。查（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2，对于铅屏蔽材料，250kV 射线的什值层厚度为 2.9mm；对于混凝土屏蔽材料，250kV 射线的什值层厚度为 90mm；

对于泄漏辐射：查《医用外照射源的辐射防护（ICRP33 号）》中第 78 页表 3，对于铅屏蔽材料，450kV 管电压的什值层厚度为 9.25mm；对于混凝土屏蔽材料，450kV 管电压的什值层厚度为 109.5mm；

散射辐射屏蔽

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times \alpha}{R_0^2} \quad (\text{式 11-11})$$

式中：

H —关注点处的周（或年）剂量当量，mSv/周或 mSv/a；

\dot{H} —关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s —散射体至关心点的距离，单位 m；

R_0 —辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位 m；

F — R_0 处的辐射野面积，单位 m^2 ；

α —散射因子，入射辐射被单位面积（ 1m^2 ）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量当量率与该面积上的入射辐射剂量当量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 α 值时，可以用水的 α 值保守估计，见《工业

X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.4.2， $\frac{R_0^2}{F \times \alpha}$ 因子的值可以取 50；

B —屏蔽透射因子；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，见《医用外照射源的辐射防护（ICRP33 号）》中第 56 页图 3 查得，450kV 管电压时的最大输出量为 $35\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ ，即 $2.1 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

I —X射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为：mA。

(3) 泄漏辐射屏蔽

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \times B}{R^2} \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

H —关注点处的周（或年）剂量当量，mSv/周或 mSv/a；

\dot{H} —关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位 m；

\dot{H}_L —距辐射源点（靶点）1m 处 X 射线组装体的泄漏辐射剂量当量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ 查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

表 1，450kV 管电压时的 \dot{H}_L 为 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 天空散射和反散射的影响分析

本项目加速器机房未邻近高层建筑，评价时不考虑 X 射线通过顶盖的侧向散射。天空反散射公式见式 11-5，天空反散射图见 11-3。

3、拟建屏蔽效果的估算及符合性分析

(1) 探伤（450kV）机房

①关注点位设置

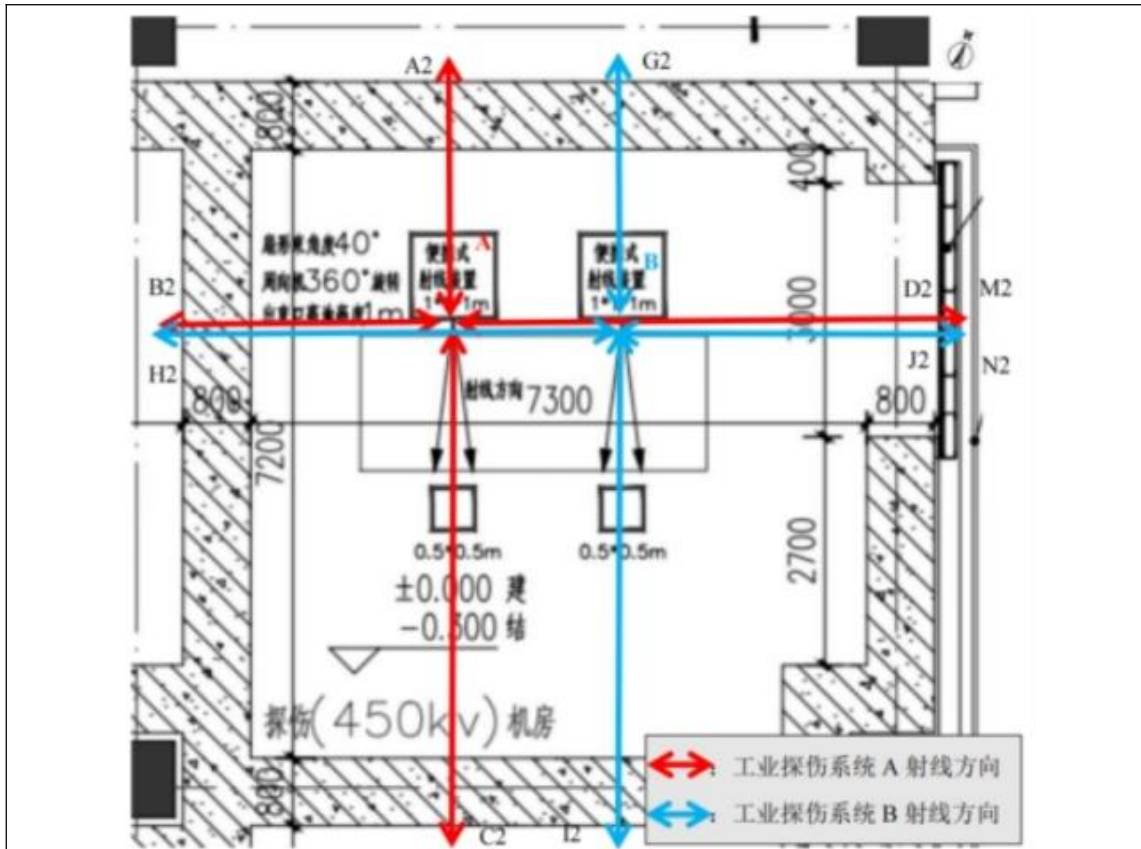


图 11-5 工业探伤系统摆放范围示意图（平面图）

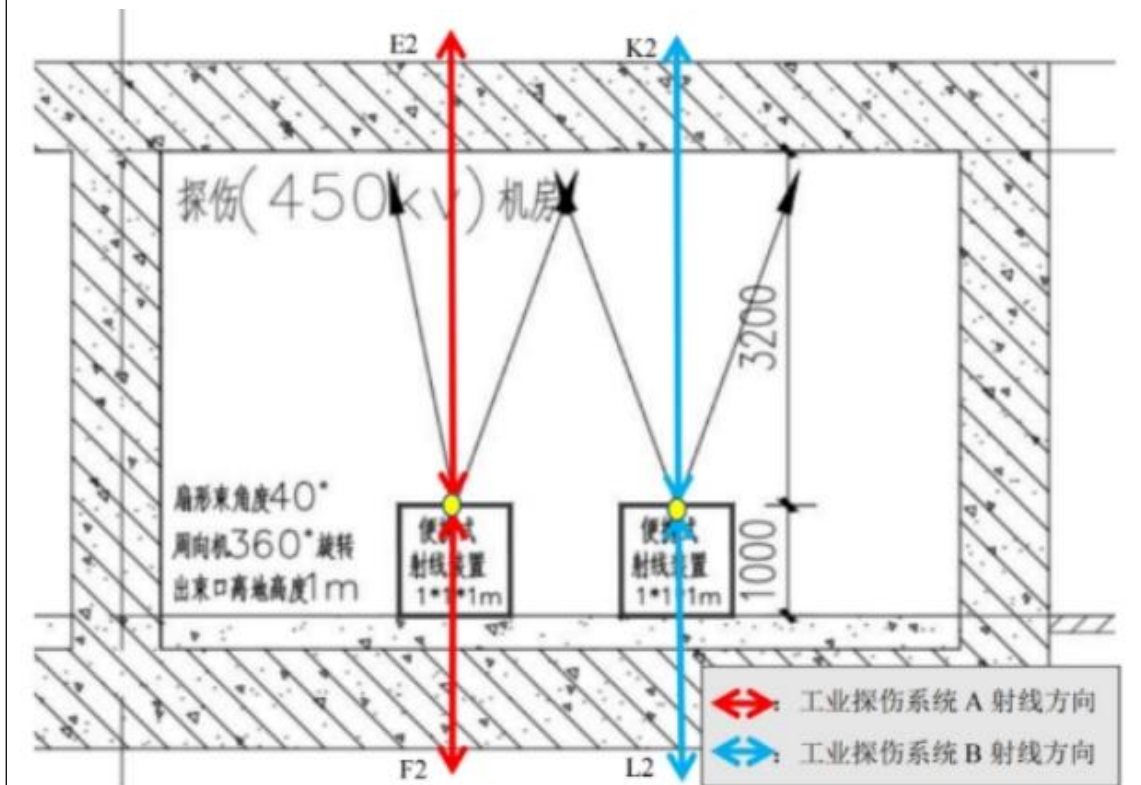


图 11-6 工业探伤系统摆放范围示意图（南北剖面图）

表 11-8 探伤（450kV）机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	A2	西北侧墙外 30cm处	1/16	偶然居留
2	B2	西南侧墙外 30cm处	1/16	偶然居留
3	C2	东南侧墙外 30cm处	1/16	偶然居留
4	D2	东北侧墙外 30cm处	1	全居留
5	E2	顶部外 30cm处	1	全居留
6	M2	防护门外 30cm处	1	全居留
7	F2	底部外 30cm处	1/16	偶然居留
8	G2	西北侧墙外 30cm处	1/16	偶然居留
9	H2	西南侧墙外 30cm处	1/16	偶然居留
10	I2	东南侧墙外 30cm处	1/16	偶然居留
11	J2	东北侧墙外 30cm处	1	全居留
12	K2	顶部外 30cm处	1	全居留
13	N2	防护门外 30cm处	1	全居留
14	L2	底部外 30cm处	1/16	偶然居留

②关注点剂量率参考控制水平确定

本项目在考量周照射时间时将最不利的情形纳入其中，即假定一周内调试工作持续不间断进行。依据公司所提供的工作时间安排，每天调试工作时长为 6 小时，每周工作 5 天，如此计算可得周照射时间为 30 小时。

各墙面、顶部及底部参数选取和计算结果见表 11-9。

表 11-9 关注点剂量率参考控制水平参数选取和计算结果表

序号	关注点	受照类型	Hc ($\mu\text{Sv}/$ 周)	t (h/ 周)	U	T	$\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A2	西北侧 墙外 30cm处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
B2	西南侧 墙外 30cm处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
C2	东南侧 墙外 30cm处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
D2	东北侧 墙外 30cm处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
E2	顶部外	职	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5

	30cm处	业							
M2	防护门外30cm处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
F2	底部外30cm处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
G2	西北侧墙外30cm处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
H2	西南侧墙外30cm处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
I2	东南侧墙外30cm处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
J2	东北侧墙外30cm处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
K2	顶部外30cm处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
N2	防护门外30cm处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
L2	底部外30cm处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5

③探伤（450kV）机房四周辐射剂量率估算结果

根据建设单位提供的资料，本项目拟建探伤（450kV）机房设计能够使用的工业探伤系统最大管电压为 450kV，最大管电流为 10mA。拟建探伤（450kV）机房内调试的工业探伤系统均不同时使用，其中拟建探伤（450kV）机房内装置为周向机，出束角度为垂直方向的 360°×40°，故西北侧墙体、东南侧墙体和顶部为主射线方向（有用线束），其余为散射和漏射方向（非有用线束）进行估算。

周向机有用线束经顶部混凝土屏蔽后，穿过顶部，与顶部上方的空气作用发生散射，故还需考虑本项目天空反散射对周围环境的影响。

本项目探伤（450kV）机房位于一层，下层为出租方地下车库，有人员进出，因此对地面进行屏蔽计算。

表 11-10 探伤（450kV）机房辐射屏蔽计算相关参数一览表

装置名称	关注点	与辐射点的最近距离（m）	屏蔽参数	需考虑的屏蔽辐射类型
工业探伤系统 A	西北侧墙外 30cm 处（A2）	3.10	800mm 混凝土	有用线束
	西南侧墙外 30cm 处（B2）	3.50		泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外 30cm 处（C2）	6.30		有用线束
	东北侧墙外 30cm 处（D2）	6.00		泄漏辐射 散射辐射
	顶部外 30cm 处（E2）	4.30		有用线束
	防护门外 30cm 处（M2）	4.30	33mm 铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外 30cm 处（F2）	2.00	1200mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
工业探伤系统 B	西北侧墙外 30cm 处（G2）	3.10	800mm 混凝土	有用线束
	西南侧墙外 30cm 处（H2）	5.50		泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外 30cm 处（I2）	6.30		有用线束
	东北侧墙外 30cm 处（J2）	4.00		泄漏辐射 散射辐射
	顶部外 30cm 处（K2）	4.30		有用线束
	防护门外 30cm 处（N2）	6.30	33mm 铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外 30cm 处（L2）	2.00	1200mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射

表 11-11 探伤（450kV）机房四周屏蔽辐射剂量率计算结果一览表

装置名称	关注点	辐射类型	射线能量（kV）	屏蔽材料及厚度（mm）	计算距离（m）	剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	评价
工业探伤系统 A	西北侧墙外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	3.10	0.42		2.5	满足
	西南侧墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	3.50	4.43×10^{-5}	6.45×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			2.02×10^{-5}			
	东南侧墙外	主射	450	800mm 混凝土	6.30	0.10		2.5	满足

	30cm 处								
	东北侧 墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	6.00	1.51×10^{-5}	2.19×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			6.87×10^{-6}			
	顶部外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	4.30	0.22		2.5	满足
	防护门 外 30cm 处	散射	250	33mm 铅	4.30	9.48×10^{-8}	7.32×10^{-2}	2.5	满足
		漏射				7.32×10^{-2}			
	底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.00	4.87×10^{-9}	1.86×10^{-8}	2.5	满足
		漏射	450			1.37×10^{-8}			
工业探伤系统 B	西北侧 墙外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	3.10	0.42		2.5	满足
	西南侧 墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	5.50	1.79×10^{-5}	2.61×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			8.17×10^{-6}			
	东南侧 墙外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	6.30	0.10		2.5	满足
	东北侧 墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	4.00	3.39×10^{-5}	4.94×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			1.54×10^{-5}			
	顶部外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	4.30	0.22		2.5	满足
	防护门 外 30cm 处	散射	250	33mm 铅	6.30	4.42×10^{-8}	3.41×10^{-2}	2.5	满足
		漏射	450			3.41×10^{-2}			
	底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.00	4.87×10^{-9}	1.86×10^{-8}	2.5	满足
漏射		450	1.37×10^{-8}						

根据表 11-11 计算结果可知：工业探伤系统在探伤（450kV）机房不同时运行，探伤（450kV）机房周围环境辐射剂量率最大值为 $0.42\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的辐射剂

量率最大值为 0.22 μ Sv/h。因此本项目拟建探伤室防护性能能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“X 射线探伤室墙和入口门关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。

④X 射线通过顶盖的侧向散射及屋顶天空反散射

表 11-12 探伤（450kV）机房屋顶天空反散射计算结果

装置名称	工业探伤系统 A	工业探伤系统 B
D ₀ (Gy/h)	945	945
屋顶厚度 S (cm)	80	80
B _{xs}	1.90 $\times 10^{-7}$	1.90 $\times 10^{-7}$
Ω	0.98	0.98
d _i (m)	6	6
d _s (m)	20	20
H (Sv/h)	3.04 $\times 10^{-10}$	3.04 $\times 10^{-10}$

由表 11-12 可知，本项目天空反散射的 X 射线周围剂量当量率最大为 3.04 $\times 10^{-10}$ Sv/h，保守考虑该项辐射对探伤室外地面附近的辐射剂量率与穿出探伤（450kV）机房墙透射的辐射剂量率在相应关注点的剂量率总和小于本项目的控制值 2.5 μ Sv/h，符合辐射防护的要求。

⑤辐射工作人员和公众剂量估算及评价

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当量按式 11-8 计算。

根据建设单位提供的资料，单台工业探伤系统的安装调试出束时间最多为 2h，设备年出束时间最多为 410h（2h \times 205 台=410h），每次调试需为 2 人同时负责，工业探伤系统的辐照工作人员共 2 组，则每组每名辐射工作人员年受照时间为 410h。

表 11-13 辐射工作人员和公众年有效剂量保守估算一览表

场所	方位	对应关注点	关注点的辐射剂量率(μ Sv/h)	位置描述	剂量率(μ Sv/h)	居留因子 T	工作时间 t (h)	年有效剂量(mSv/a)
白马湖	2#	A2	0.42	西北侧墙外	0.42	1/16	410	0.01

单元 M1-C31 地块内	生产 厂房 内			30cm处				
		A2	0.42	2#生产厂房内 部道路	0.42	1/16	410	0.01
		A2	0.42	射线装置储存 区域	0.23	1/16	410	5.89×10^{-3}
		A2	0.42	生产用房	0.02	1	410	8.20×10^{-3}
		B2	6.45×10^{-5}	西南侧墙外 30cm处	6.45×10^{-5}	1/16	410	1.62×10^{-6}
		B2	6.45×10^{-5}	加速器 (1MeV) 机房 控制台	4.33×10^{-6}	1	410	1.78×10^{-6}
		B2	6.45×10^{-5}	杭州睿影探测 科技有限公司 加速器 (15MeV) 机 房	2.58×10^{-6}	1/16	410	6.62×10^{-8}
		C2	0.10	东南侧墙外 30cm处	0.10	1	410	4.10×10^{-2}
		C2	0.10	2#生产厂房内 部道路	1.70×10^{-2}	1	410	6.97×10^{-3}
		J2	4.94×10^{-5}	东北侧墙外 30cm处	4.94×10^{-5}	1/16	410	1.27×10^{-6}
		J2	4.94×10^{-5}	硬件测试 (225kV) 机房 2	9.75×10^{-6}	1/16	410	2.50×10^{-7}
		J2	4.94×10^{-5}	硬件测试 (225kV) 机房 1	3.51×10^{-6}	1/16	410	9.00×10^{-8}
		J2	4.94×10^{-5}	高低温机房	1.49×10^{-6}	1/16	410	3.82×10^{-8}
		E2	0.22	顶部外 30cm处	0.22	1	410	0.09
		E2	0.22	生产用房 (安 检机生产)	7.09×10^{-2}	1	410	0.03
		E2	0.22	生产用房 (中 小型安检机生 产)	7.09×10^{-2}	1	410	0.03
		F2	1.86×10^{-8}	底部外 30cm处	1.86×10^{-8}	1/16	410	7.63×10^{-9}
		F2	1.86×10^{-8}	出租方地下车 库	1.86×10^{-8}	1/16	410	7.63×10^{-9}
		2# 生	B2	6.45×10^{-5}	出租方厂区内 部道路	5.33×10^{-7}	1/16	410

产 厂 房 外	B2	6.45×10^{-5}	杭州海康机器人股份有限公司 3#生产厂房	5.06×10^{-7}	1	410	2.07×10^{-7}
	C2	0.10	出租方厂区内 部道路	1.19×10^{-2}	1/16	410	3.05×10^{-4}
	J2	4.94×10^{-5}	出租方厂区内 部道路	8.22×10^{-7}	1/16	410	2.10×10^{-8}
	J2	4.94×10^{-5}	1#生产测试楼	5.47×10^{-7}	1	410	2.24×10^{-7}
白马湖单元 M1-C31 地 块外	C2	0.10	万达汽车零部件有限公司	5.77×10^{-3}	1	410	2.37×10^{-3}

由表 11-13 估算结果表明：探伤（450kV）机房辐射工作人员最大可能年照射剂量为 0.09mSv/a，公众最大可能年照射剂量为 0.01mSv/a，辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。公众人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标中对公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

（2）车检（450kV）机房

①关注点位设置

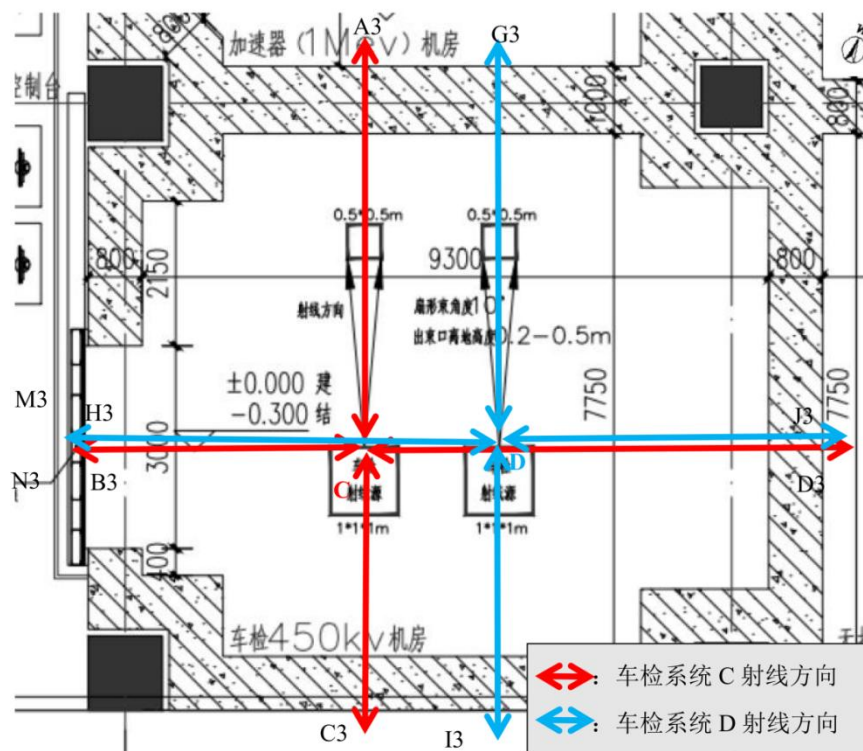


图 11-7 车检系统摆放范围示意图（平面图）

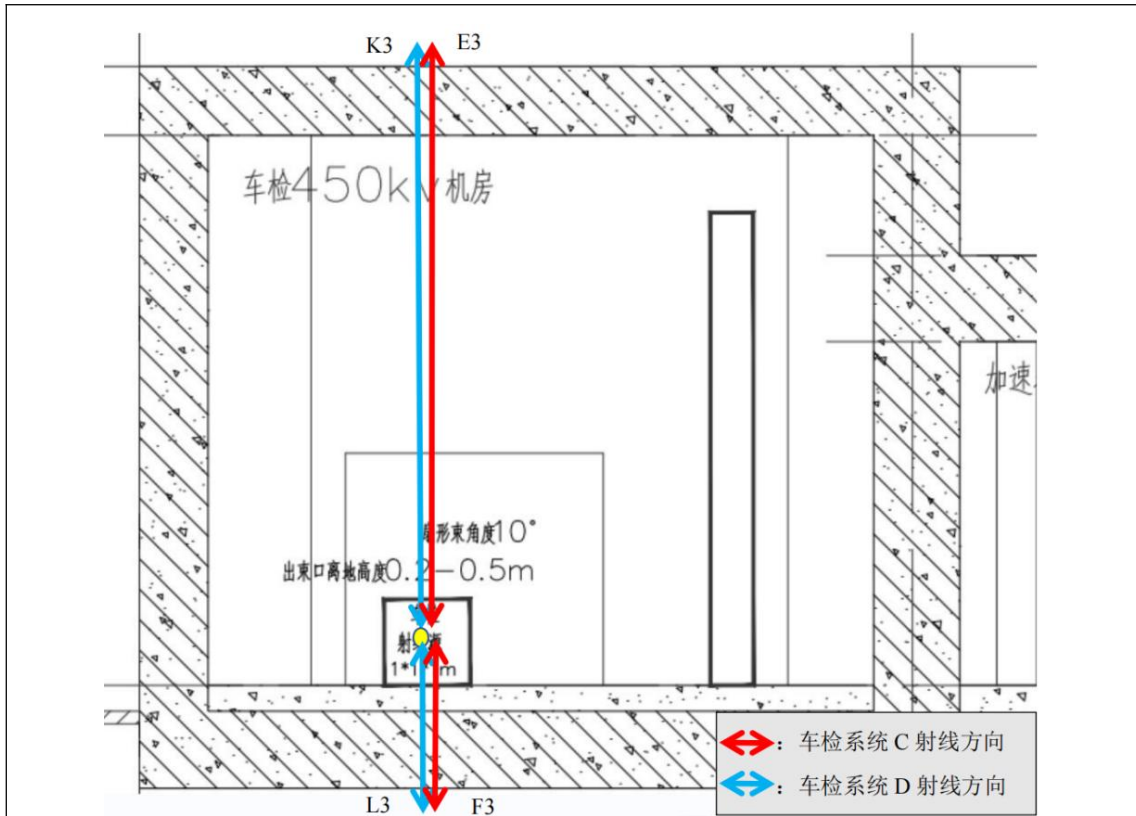


图 11-8 车检系统摆放范围示意图（南北剖面图）

表 11-14 车检（450kV）机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	A3	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
2	B3	东北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
3	C3	西南侧墙外 30cm 处	1	全居留
4	D3	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
5	E3	顶部外 30cm 处	1	全居留
6	N3	防护门外 30cm 处	1	全居留
7	F3	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留
8	G3	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
9	H3	东北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
10	I3	西南侧墙外 30cm 处	1	全居留
11	J3	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
12	K3	顶部外 30cm 处	1	全居留
13	M3	防护门外 30cm 处	1	全居留
14	L3	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留

②关注点剂量率参考控制水平确定

参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平，详见 11.2.1（2）的式 11-1。

本项目在考量周照射时间时将最不利的情形纳入其中，即假定一周内调试工作持续不间断进行。依据公司所提供的工作时间安排，每天调试工作时长为 6 小时，每周工作 5 天，如此计算可得周照射时间为 30 小时。

各墙面、顶部及底部参数选取和计算结果见表 11-15。

表 11-15 关注点剂量率参考控制水平参数选取和计算结果表

序号	关注点	受照类型	Hc ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	T (h/周)	U	T	$\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A3	西北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
B3	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
C3	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
D3	东南侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
E3	顶部外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
N3	防护门 外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
F3	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
G3	西北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
H3	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
I3	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
J3	东南侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
K3	顶部外	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5

	30cm 处								
M3	防护门外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
L3	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5

③车检（450kV）机房四周辐射剂量率估算结果

根据建设单位提供的资料，本项目拟建车检（450kV）机房设计能够使用的车检系统最大管电压为 450kV，最大管电流为 10mA。拟建车检（450kV）机房内调试的车检系统均不同时使用，其中车检（450kV）机房内装置为定向机，扇形束、出束角度 $90^{\circ} \times 10^{\circ}$ ，定向机射线束固定朝西北侧，在实际曝光过程中车检（450kV）机房西北侧和顶部屏蔽墙位于主射线范围内，以有用线束照射的主射面进行预测，西南侧墙体、东北侧墙体、东南侧墙体、铅门均以泄漏辐射和散射辐射（非有用线束）进行估算。

由于定向机的有用线束经顶部混凝土屏蔽后，穿过顶部，与顶部上方的空气作用发生散射，故还需考虑本项目天空反散射对周围环境的影响。

本项目车检（450kV）机房位于一层，下层为出租方地下车库，有人员进出，因此对地面进行屏蔽计算。

表 11-16 车检（450kV）机房辐射屏蔽计算相关参数一览表

装置名称	关注点	与辐射点的最近距离（m）	屏蔽参数	需考虑的屏蔽辐射类型
车检系统 C	西北侧墙外 30cm 处（A3）	5.95	1000mm 混凝土	有用线束
	东北侧墙外 30cm 处（B3）	4.40	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	西南侧墙外 30cm 处（C3）	4.45	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外 30cm 处（D3）	4.20	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	顶部外 30cm 处（E3）	7.00	800mm 混凝土	有用线束
	防护门外 30cm 处	4.70	30mm 铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外 30cm 处（F3）	2.50	1200mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
车检	西北侧墙外 30cm 处（G3）	5.95	1000mm 混凝土	有用线束

系统 D	东北侧墙外 30cm 处 (H3)	6.40	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	西南侧墙外 30cm 处 (I3)	6.45	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外 30cm 处 (J3)	4.20	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	顶部外 30cm 处 (K3)	7.00	800mm 混凝土	有用线束
	防护门外 30cm 处	6.70	30mm 铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外 30cm 处 (L3)	2.50	1200mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射

表 11-17 车检 (450kV) 机房四周屏蔽辐射剂量率计算结果一览表

装置名称	关注点	辐射类型	射线能量 kV	屏蔽材料及厚度 mm	计算距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$		剂量率参考控制水平 $\mu\text{Sv/h}$	评价	
车检系统 C	西北侧墙外 30cm 处	主射	450	1000mm 混凝土	5.95	4.37×10^{-4}		2.5	满足	
	顶部外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	7.00	0.08		2.5	满足	
	西南侧墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	4.45	2.74×10^{-5}	3.99×10^{-5}	2.5	满足	
		漏射	450			1.25×10^{-5}				
	东南侧墙外 30cm 处	散射	450	800mm 混凝土	4.20	3.08×10^{-5}	4.48×10^{-5}	2.5	满足	
		漏射				1.40×10^{-5}				
	东北侧墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	7.10	2.80×10^{-5}	4.08×10^{-5}	2.5	满足	
		漏射	450			1.28×10^{-5}				
	防护门外 30cm 处	散射	250	30mm 铅	4.70	8.59×10^{-7}	0.13	2.5	满足	
		漏射	450			1.29×10^{-1}				
	底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.50	3.12×10^{-9}	1.19×10^{-8}	2.5	满足	
		漏射	450			8.79×10^{-9}				
	车检系统 D	西北侧墙外 30cm 处	主射	450	1000mm 混凝土	5.95	4.37×10^{-4}		2.5	满足
		顶部外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	7.00	0.08		2.5	满足
西南侧墙		散射	250	800mm	6.45	1.30×10^{-5}	1.90×10^{-5}	2.5	满	

外 30cm 处	漏射	450	混凝土			5.94×10^{-6}			足
东南侧墙 外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	4.20		3.08×10^{-5}	4.48×10^{-5}	2.5	满足
	漏射	450				1.40×10^{-5}			
东北侧墙 外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	5.10		1.32×10^{-5}	1.93×10^{-5}	2.5	满足
	漏射	450				6.03×10^{-6}			
防护门外 30cm 处	散射	250	30mm 铅	6.70		4.23×10^{-7}	6.36×10^{-2}	2.5	满足
	漏射	450				6.36×10^{-2}			
底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.50		3.12×10^{-9}	1.19×10^{-8}	2.5	满足
	漏射	450				8.79×10^{-9}			

根据表 11-17 计算结果可知：车检系统在车检（450kV）机房不同时运行，车检（450kV）机房周围环境辐射剂量率最大值为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的辐射剂量率最大值为 $0.08\mu\text{Sv/h}$ 。因此本项目拟建车检（450kV）机房防护性能能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“探伤室墙体和门的屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

④X 射线通过顶盖的侧向散射及屋顶天空反散射

表 11-18 车检（450kV）机房屋顶天空反散射计算结果

装置名称	车检系统 C	车检系统 D
D_{10} (Gy/h)	945	945
屋顶厚度 S (cm)	80	80
B_{xs}	1.90×10^{-7}	1.90×10^{-7}
Ω	0.83	0.83
d_i (m)	8.7	8.7
d_s (m)	20	20
H (Sv/h)	1.16×10^{-10}	1.16×10^{-10}

由表 11-18 可知，本项目天空反散射的 X 射线周围剂量当量率最大为 $1.16 \times 10^{-10}\text{Sv/h}$ ，所以屋顶天空反散射对地面参照点的剂量率贡献值几乎可以忽略不计。因此本项目加速器室屋顶的防护设计可以满足辐射防护要求。

⑤辐射工作人员和公众剂量估算及评价

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当量按式 11-8 计算。根据建设单位提供的资料，单台车检系统的安装调试出束时间最多为 2h，设备年出束时间最多 80h（2h×40 台=80h），每次调试需为 2 人同时负责，车检系统的辐射工作人员共 1 组，则每组每名辐射工作人员年受照时间为 80h。

表 11-19 辐射工作人员和公众年有效剂量保守估算一览表

场所	方位	对应关注点	关注点的辐射剂量率(μSv/h)	位置描述	剂量率(μSv/h)	居留因子T	工作时间t(h)	年有效剂量(mSv/a)
白马湖单元 M1-C31 地块内	2# 生产厂房内 2	A3	4.37×10 ⁻⁴	西北侧墙外 30cm处	4.37×10 ⁻⁴	1/16	80	2.19×10 ⁻⁶
		A3	4.37×10 ⁻⁴	2#生产厂房内部道路	2.00×10 ⁻⁴	1/16	80	1.00×10 ⁻⁶
		A3	4.37×10 ⁻⁴	射线装置储存区域	1.55×10 ⁻⁴	1/16	80	7.75×10 ⁻⁷
		A3	4.37×10 ⁻⁴	生产用房	4.78×10 ⁻⁵	1	80	3.82×10 ⁻⁶
		B3	3.99×10 ⁻⁵	西南侧墙外 30cm处	3.99×10 ⁻⁵	1	80	3.19×10 ⁻⁶
		B3	3.99×10 ⁻⁵	杭州睿影探测科技有限公司加速(15MeV)机房	1.11×10 ⁻⁵	1/16	80	5.55×10 ⁻⁸
		C3	4.48×10 ⁻⁵	东南侧墙外 30cm处	4.48×10 ⁻⁵	1/16	80	2.24×10 ⁻⁷
		J3	1.93×10 ⁻⁵	东北侧墙外 30cm处	1.93×10 ⁻⁵	1/16	80	9.65×10 ⁻⁸
		J3	1.93×10 ⁻⁵	无损检测(450kV)机房控制台	3.33×10 ⁻⁶	1	80	2.66×10 ⁻⁷
		J3	1.93×10 ⁻⁵	成品铅箱	5.36×10 ⁻⁷	1/16	80	2.68×10 ⁻⁹
		E3	8.14×10 ⁻²	顶部外 30cm 处	8.14×10 ⁻²	1	80	6.51×10 ⁻³
		E3	8.14×10 ⁻²	生产用房(安检机生产)	4.39×10 ⁻⁶	1	80	3.51×10 ⁻⁷
		E3	8.14×10 ⁻²	生产用房(中小型安检机生产)	4.39×10 ⁻⁶	1	80	3.51×10 ⁻⁷

		F3	1.19×10^{-8}	底部外 30cm 处	1.19×10^{-8}	1	80	9.52×10^{-10}
		F3	1.19×10^{-8}	出租方地下车库	1.19×10^{-8}	1	80	9.52×10^{-10}
	2# 生产厂房外	B3	3.99×10^{-5}	出租方厂区内部道路	9.10×10^{-7}	1/16	80	4.55×10^{-9}
		B3	3.99×10^{-5}	杭州海康机器人股份有限公司 3#生产厂房	8.52×10^{-7}	1	80	6.82×10^{-8}
		C3	4.48×10^{-5}	出租方厂区内部道路	1.52×10^{-5}	1/16	80	7.60×10^{-8}
		J3	1.93×10^{-5}	出租方厂区内部道路	4.84×10^{-7}	1/16	80	2.42×10^{-9}
白马湖单元 M1-C31 地块外	C3	4.48×10^{-5}	万达汽车零部件有限公司	3.42×10^{-6}	1	80	2.74×10^{-7}	

由表 11-19 估算结果表明：探伤（450kV）机房辐射工作人员最大可能年照射剂量为 $6.51 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，公众最大可能年照射剂量为 $1.00 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ ，辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。公众人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标中对公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

（3）无损检测（450kV）机房

①关注点位设置

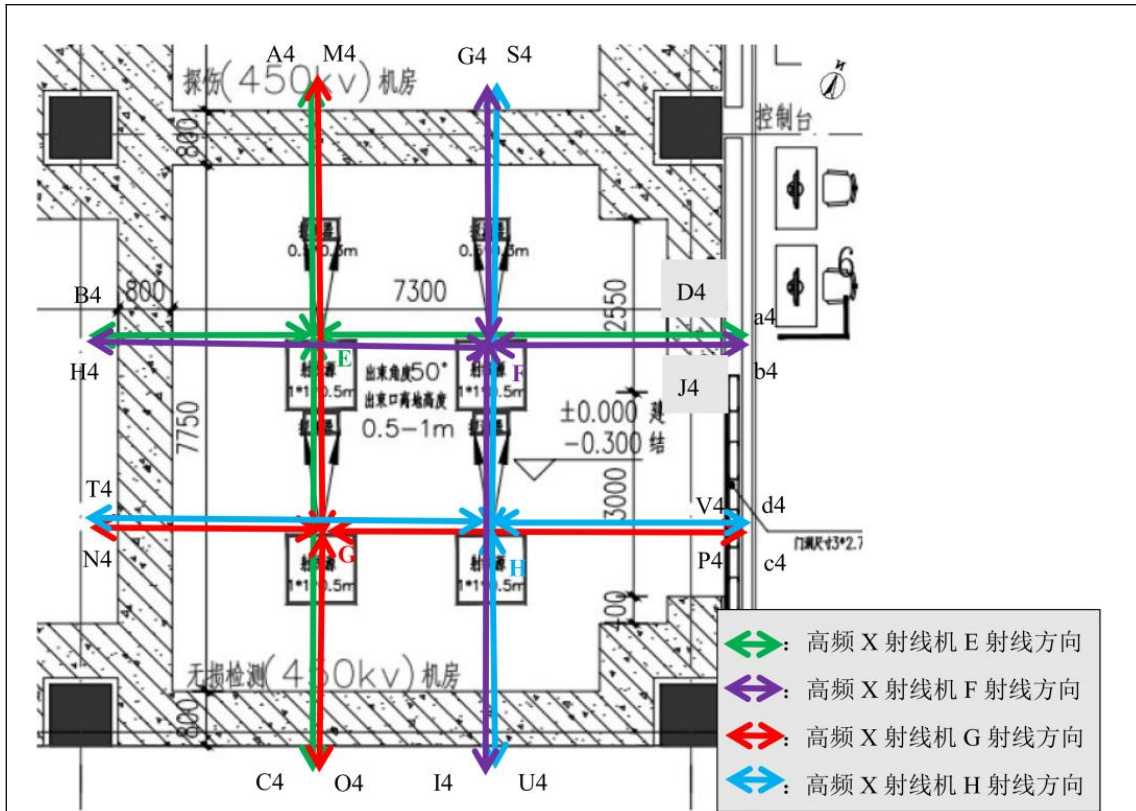


图 11-9 高频X射线机摆放范围示意图（平面图）

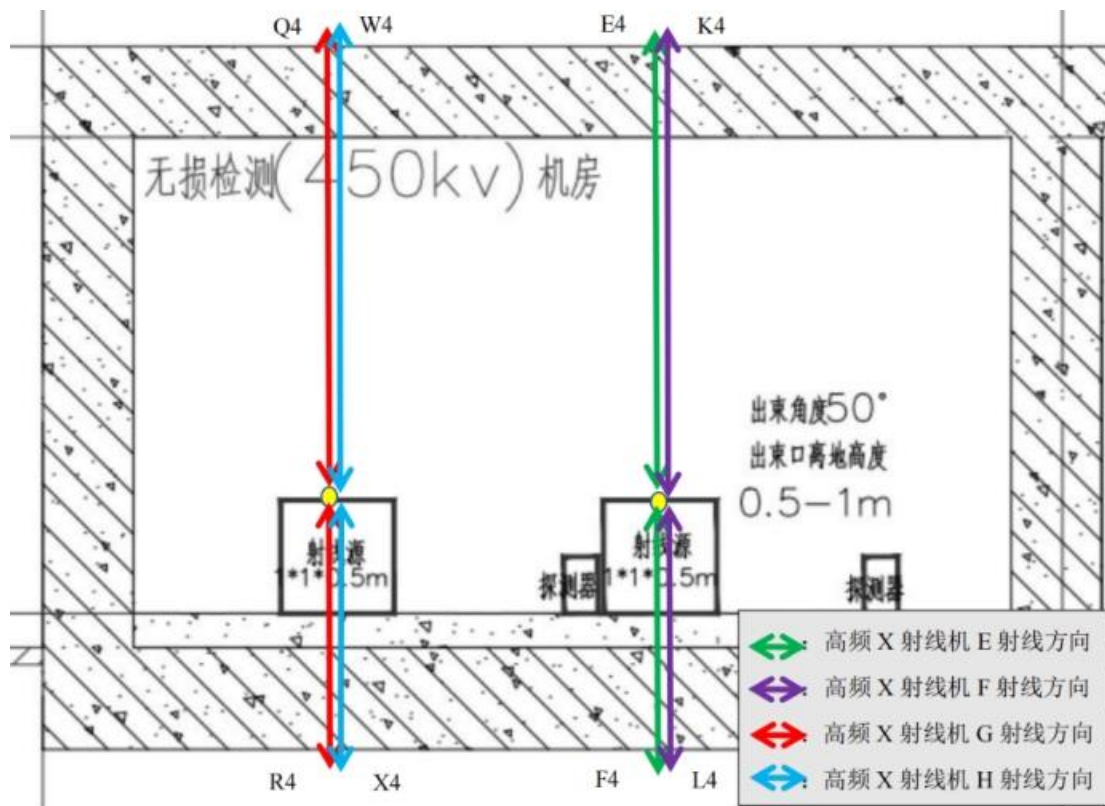


图 11-10 高频X射线机摆放范围示意图（南北剖面图）

表 11-20 无损检测（450kV）机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	A4	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
2	B4	西南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
3	C4	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
4	D4	东北侧墙外 30cm 处	1	全居留
5	E4	顶部外 30cm 处	1	全居留
6	a4	防护门外 30cm 处	1	全居留
7	F4	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留
8	G4	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
9	H4	西南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
10	I4	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
11	J4	东北侧墙外 30cm 处	1	全居留
12	K4	顶部外 30cm 处	1	全居留
13	b4	防护门外 30cm 处	1	全居留
14	L4	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留
15	M4	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
16	N4	西南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
17	O4	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
18	P4	东北侧墙外 30cm 处	1	全居留
19	Q4	顶部外 30cm 处	1	全居留
20	c4	防护门外 30cm 处	1	全居留
21	R4	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留
22	S4	西北侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
23	T4	西南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
24	U4	东南侧墙外 30cm 处	1/16	偶然居留
25	V4	东北侧墙外 30cm 处	1	全居留
26	W4	顶部外 30cm 处	1	全居留
27	d4	防护门外 30cm 处	1	全居留
28	X4	底部外 30cm 处	1/16	偶然居留

②关注点剂量率参考控制水平确定

参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平，详见 11.2.1（2）的式 11-1。

本项目在考量周照射时间时将最不利的情形纳入其中，即假定一周内调试工作持续不间断进行。依据公司所提供的工作时间安排，每天调试工作时长为 6 小时，每周工作 5 天，如此计算可得周照射时间为 30 小时。

各墙面、顶部及底部参数选取和计算结果见表 11-21。

表 11-21 关注点剂量率参考控制水平参数选取和计算结果表

序号	关注点	受照类型	Hc ($\mu\text{Sv}/$ 周)	t (h/ 周)	U	T	$\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A4	西北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
B4	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
C4	东南侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
D4	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
E4	顶部外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
a4	防护门 外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
F4	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
G4	西北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
H4	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
I4	东南侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
J4	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
K4	顶部外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
b4	防护门 外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
L4	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5

M4	西北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
N4	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
O4	东南侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
P4	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
Q4	顶部外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
c4	防护门 外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
R4	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
S4	西北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
T4	西南侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1/16	53.33	2.5	2.5
U4	东南侧 墙外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5
V4	东北侧 墙外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
W4	顶部外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
d4	防护门 外 30cm 处	职业	100	30	1	1	3.33	2.5	2.5
X4	底部外 30cm 处	公众	5	30	1	1/16	2.67	2.5	2.5

③无损检测（450kV）机房四周辐射剂量率估算结果

根据建设单位提供的资料，本项目拟建无损检测（450kV）机房设计能够使用的高频X射线机最大管电压为 450kV，最大管电流为 10mA。拟建无损检测

(450kV)机房内调试的高频X射线机均不同时使用,其中拟建无损检测(450kV)机房内装置定向机,扇形束、出束角度 $50^{\circ} \times 40^{\circ}$,定向机射线束固定朝西北,在实际曝光过程中车检(450kV)机房西北侧屏蔽墙位于主射线范围内,以有用线束照射的主射面进行预测,西南侧墙体、东北侧墙体、东南侧墙体、铅门、顶部均以泄漏辐射和散射辐射(非有用线束)进行估算。

本项目定向机的有用线束不照向顶部,天空反散射对周围环境影响较小,且已考虑照向顶部的散射辐射的影响,因此定向机的照射不需要考虑天空反散射。

本项目无损检测(450kV)机房位于地上一层,地下为出租方地下车库,因此需对地面进行屏蔽计算。

表 11-22 无损检测(450kV)机房辐射屏蔽计算相关参数一览表

装置名称	关注点	与辐射点的最近距离(m)	屏蔽参数	需考虑的屏蔽辐射类型
高频X射线机E	西北侧墙外30cm处(A4)	3.70	800mm混凝土	有用线束
	西南侧墙外30cm处(B4)	3.30	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外30cm处(C4)	6.25	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东北侧墙外30cm处(D4)	6.20	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	顶部外30cm处(E4)	4.30	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	防护门外30cm处(a4)	6.50	31mm铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外30cm处(F4)	2.00	1200mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
高频X射线机F	西北侧墙外30cm处(G4)	3.30	800mm混凝土	有用线束
	西南侧墙外30cm处(H4)	5.00	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外30cm处(I4)	6.25	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东北侧墙外30cm处(J4)	4.00	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	顶部外30cm处(K4)	4.30	800mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	防护门外30cm处(b4)	4.30	31mm铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外30cm处(L4)	2.00	1200mm混凝土	泄漏辐射 散射辐射

高频 X射线机 G	西北侧墙外 30cm 处(M4)	6.55	800mm 混凝土	有用线束
	西南侧墙外 30cm 处(N4)	3.30	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外 30cm 处(O4)	3.40	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东北侧墙外 30cm 处(P4)	6.20	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	顶部外 30cm 处(Q4)	4.30	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	防护门外 30cm 处(c4)	6.50	31mm 铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外 30cm 处(R4)	2.00	1200mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
高频 X射线机 H	西北侧墙外 30cm 处(S4)	6.55	800mm 混凝土	有用线束
	西南侧墙外 30cm 处(T4)	5.00	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东南侧墙外 30cm 处(U4)	3.40	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	东北侧墙外 30cm 处(V4)	4.00	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	顶部外 30cm 处(W4)	4.30	800mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射
	防护门外 30cm 处(d4)	4.30	31mm 铅	泄漏辐射 散射辐射
	底部外 30cm 处(X4)	2.00	1200mm 混凝土	泄漏辐射 散射辐射

表 11-23 无损检测(450kV)机房四周屏蔽辐射剂量率计算结果一览表

装置名称	关注点	辐射类型	射线能量 kV	屏蔽材料及厚度 mm	计算距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$		剂量率参考控制水平 $\mu\text{Sv/h}$	评价
高频 X射线机 E	西北侧墙外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	3.70	0.29		2.5	满足
	西南侧墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	3.30	4.98×10^{-5}	7.25×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			2.27×10^{-5}			
	东南侧墙外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	6.25	1.39×10^{-5}	2.02×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			6.33×10^{-6}			
	东北侧墙	散射	250	800mm	6.20	1.41×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.5	满

	外 30cm 处	漏射	450	混凝土		6.43×10^{-6}			足
	顶部外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	4.30	2.93×10^{-5}	4.27×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			1.34×10^{-5}			
	防护门外 30cm 处	散射	250	31mm 铅	6.50	2.03×10^{-7}	5.27×10^{-2}	2.5	满足
		漏射	450			5.27×10^{-2}			
	底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.00	4.87×10^{-9}	1.86×10^{-8}	2.5	满足
		漏射	450			1.37×10^{-8}			
	高频 X 射线 机 F	西北侧墙 外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	3.30	0.37		2.5
西南侧墙 外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	5.00	2.17×10^{-5}	3.16×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			9.89×10^{-6}			
东南侧墙 外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	6.25	1.39×10^{-5}	2.02×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			6.33×10^{-6}			
东北侧墙 外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	3.70	3.39×10^{-5}	4.94×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			1.54×10^{-5}			
顶部外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	4.30	2.93×10^{-5}	4.27×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			1.34×10^{-5}			
防护门外 30cm 处		散射	250	31mm 铅	4.00	4.64×10^{-7}	0.12	2.5	满足
		漏射	450			0.12			
底部外 30cm 处		散射	250	1200mm 混凝土	2.00	4.87×10^{-9}	1.86×10^{-8}	2.5	满足
	漏射	450	1.37×10^{-8}						
高频 X 射线 机 G	西北侧墙 外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	6.55	9.30×10^{-2}		2.5	满足
	西南侧墙 外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	3.30	4.98×10^{-5}	7.25×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			2.27×10^{-5}			
	东南侧墙 外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	3.40	4.69×10^{-5}	6.83×10^{-5}	2.5	满足
		漏射	450			2.14×10^{-5}			
	东北侧墙 外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	6.20	1.41×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.5	满足
漏射		450	6.43×10^{-6}						
顶部外	散射	250	800mm	4.30	2.93×10^{-5}	4.27×10^{-5}	2.5	满	

	30cm 处	漏射	450	混凝土		1.34×10^{-5}			足	
	防护门外 30cm 处	散射	250	31mm 铅	6.50	2.03×10^{-7}	5.27×10^{-2}	2.5	满足	
		漏射	450			5.27×10^{-2}				
	底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.00	4.87×10^{-9}	1.86×10^{-8}	2.5	满足	
		漏射	450			1.37×10^{-8}				
	高频 X 射线 机 H	西北侧墙 外 30cm 处	主射	450	800mm 混凝土	6.55	9.30×10^{-2}		2.5	满足
		西南侧墙 外 30cm 处	散射	250	800mm 混凝土	5.00	2.17×10^{-5}	3.16×10^{-5}	2.5	满足
			漏射	450			9.89×10^{-6}			
东南侧墙 外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	3.40	4.69×10^{-5}	6.83×10^{-5}	2.5	满足	
		漏射	450			2.14×10^{-5}				
东北侧墙 外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	3.70	3.39×10^{-5}	4.94×10^{-5}	2.5	满足	
		漏射	450			1.54×10^{-5}				
顶部外 30cm 处		散射	250	800mm 混凝土	4.30	2.93×10^{-5}	4.27×10^{-5}	2.5	满足	
		漏射	450			1.34×10^{-5}				
防护门外 30cm 处		散射	250	31mm 铅	4.00	4.64×10^{-7}	0.12	2.5	满足	
	漏射	450	0.12							
底部外 30cm 处	散射	250	1200mm 混凝土	2.00	4.87×10^{-9}	1.86×10^{-8}	2.5	满足		
	漏射	450			1.37×10^{-8}					

根据表 11-23 计算结果可知：高频 X 射线机在无损检测（450kV）机房不同时运行，无损检测（450kV）机房周围环境辐射剂量率最大值为 $0.37\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的辐射剂量率最大值为 $4.27 \times 10^{-5}\mu\text{Sv/h}$ 。因此本项目拟建无损检测（450kV）机房防护性能能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“探伤室墙体和门的屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

④辐射工作人员和公众剂量估算及评价

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当量按式 11-8 计算。

根据建设单位提供的资料，单台高频 X 射线机的安装调试出束时间最多为 2h，设备年出束时间最多为 1420h（ $2\text{h} \times 710 \text{台} = 1420\text{h}$ ），每次调试需为 2 人同时

负责，高频 X 射线机的辐射工作人员共 1 组，则每组每名辐射工作人员年受照时间为 1420h。

根据各关注点的辐射剂量率贡献值和射线装置的出束年累积时间，并考虑相关的居留因子计算了工作人员和公众的年剂量，结果见表 11-24。

表 11-24 辐射工作人员和公众年有效剂量保守估算一览表

场所	方位	对应关注点	关注点的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	位置描述	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 T	工作时间 t (h)	年有效剂量 (mSv/a)
白马湖单元 M1-C31 地块内	2# 生产厂房内	A4	0.29	西北侧墙外 30cm 处	0.29	1/16	1420	0.03
		A4	0.29	2# 生产厂房内部道路	0.05	1/16	1420	4.44×10^{-3}
		A4	0.29	射线装置储存区域	0.04	1/16	1420	3.55×10^{-3}
		A4	0.29	生产用房	0.01	1	1420	0.01
		B4	7.25×10^{-5}	西南侧墙外 30cm 处	7.25×10^{-5}	1/16	1420	6.43×10^{-6}
		B4	7.25×10^{-5}	车检 (450kV) 机房控制台	4.46×10^{-6}	1	1420	6.33×10^{-6}
		B4	7.25×10^{-5}	杭州睿影探测科技有限公司加速器 (15MeV) 机房	2.64×10^{-6}	1/16	1420	2.34×10^{-7}
		P4	6.83×10^{-5}	东南侧墙外 30cm 处	6.83×10^{-5}	1/16	1420	6.06×10^{-6}
		V4	4.94×10^{-5}	东北侧墙外 30cm 处	4.94×10^{-5}	1	1420	7.01×10^{-5}
		V4	4.94×10^{-5}	成品铅箱	1.08×10^{-6}	1/16	1420	9.59×10^{-8}
		E3	8.14×10^{-2}	顶部外 30cm 处	1.86×10^{-8}	1	1420	2.64×10^{-8}
		E3	8.14×10^{-2}	生产用房 (安检机生产)	8.06×10^{-6}	1	1420	1.14×10^{-5}
E3	8.14×10^{-2}	生产用房 (中小型安检机生产)	8.06×10^{-6}	1	1420	1.14×10^{-5}		

		F3	1.19×10^{-8}	底部外 30cm 处	2.91×10^{-2}	1/16	1420	2.58×10^{-3}
		F3	1.19×10^{-8}	出租方地下车库	2.91×10^{-2}	1/16	1420	2.58×10^{-3}
	2# 生产厂房外	B4	7.25×10^{-5}	出租方厂区内部道路	5.38×10^{-7}	1/16	1420	4.77×10^{-8}
		B4	7.25×10^{-5}	杭州海康机器人股份有限公司 3# 生产厂房	2.25×10^{-7}	1	1420	3.20×10^{-7}
		P4	6.83×10^{-5}	出租方厂区内部道路	1.71×10^{-5}	1/16	1420	1.52×10^{-6}
		V4	4.94×10^{-5}	出租方厂区内部道路	8.77×10^{-7}	1/16	1420	7.78×10^{-8}
		V4	4.94×10^{-5}	1# 生产测试楼	5.47×10^{-7}	1	1420	7.77×10^{-7}
白马湖单元 M1-C31 地块外	P4	6.83×10^{-5}	万达汽车零部件有限公司	3.61×10^{-6}	1	1420	5.13×10^{-6}	

由表 11-24 估算结果表明：无损检测（450kV）机房辐射工作人员最大可能年照射剂量为 0.03mSv/a，公众最大可能年照射剂量为 0.01mSv/a。辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。公众人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标中对公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

根据表 11-7、11-13、11-19、11-24 估算结果表明，四个机房中辐射工作人员最大可能年照射剂量产生于探伤（450kV）机房，其最大可能年照射剂量为 0.09mSv/a。由于职业人员要考虑其原有的个人剂量，本项目配备的 16 名辐射工作人员中，8 名为新增人员，另外 8 名为公司原有辐射工作人员，且均不兼职操作其他辐射工作。原有 8 名辐射工作人员在 2023 年度的个人剂量检测结果最高为 0.94mSv/a，保守考虑，将该名辐射工作人员分配至探伤（450kV）机房，其受到的最大可能年照射剂量为 1.03mSv/a，仍满足辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。

11.2.1.3 辐射叠加影响分析

1、项目拟建地评价范围内加速器或其他射线装置使用情况调查

本项目 4 间机房均以屏蔽墙边界外周围 50m 作为评价范围, 需要考虑两种辐射叠加情况。

(1) 4 间机房紧紧相邻, 机房与机房之间存在辐射叠加;

(2) 杭州睿影探测科技有限公司加速器 (15MeV) 机房所处位置均在 4 间机房 50m 评价范围内, 因在运行过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后, 选取加速器 (1MeV) 机房、车检 (450kV) 机房西南侧与加速器 (15MeV) 机房东北侧计算叠加辐射。

2、叠加影响分析

(1) 考虑四处场所同时工作时环境辐射剂量率最大值出现的情况, 根据表 11-3、11-11、11-17 和表 11-23 辐射剂量率估算结果, 叠加辐射点位辐射剂量率见表 11-25。

表 11-25 叠加辐射点位辐射剂量率

叠加辐射点位	点位描述	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
●1	加速器 (1MeV) 机房西北侧墙外 30cm 处 (A1)	1.53×10^{-3}	0.42
	探伤 (450kV) 机房西北侧墙外 30cm 处 (A2)	0.42	
●2	加速器 (1MeV) 机房西南侧墙外 30cm 处 (B1)	4.48×10^{-4}	0.13
	车检 (450kV) 机房防护门外 30cm 处 (E3)	0.13	
●3	车检 (450kV) 机房东南侧墙外 30cm 处 (D3)	4.48×10^{-5}	1.13×10^{-4}
	无损检测 (450kV) 机房东南侧墙外 30cm 处 (O4)	6.83×10^{-5}	
●4	探伤 (450kV) 机房防护门外 30cm 处 (M2)	7.32×10^{-2}	0.19
	无损检测 (450kV) 机房防护门外 30cm 处 (b4)	0.12	
●5	加速器 (1MeV) 机房顶部外 30cm 处	0.16	0.46
	探伤 (450kV) 机房顶部外 30cm 处	0.22	
	车检 (450kV) 机房顶部外 30cm 处	0.08	
	无损检测 (450kV) 机房顶部外 30cm 处	4.27×10^{-5}	
●6	加速器 (1MeV) 机房底部外 30cm 处	2.49×10^{-7}	2.98×10^{-7}
	探伤 (450kV) 机房底部外 30cm 处	1.86×10^{-8}	

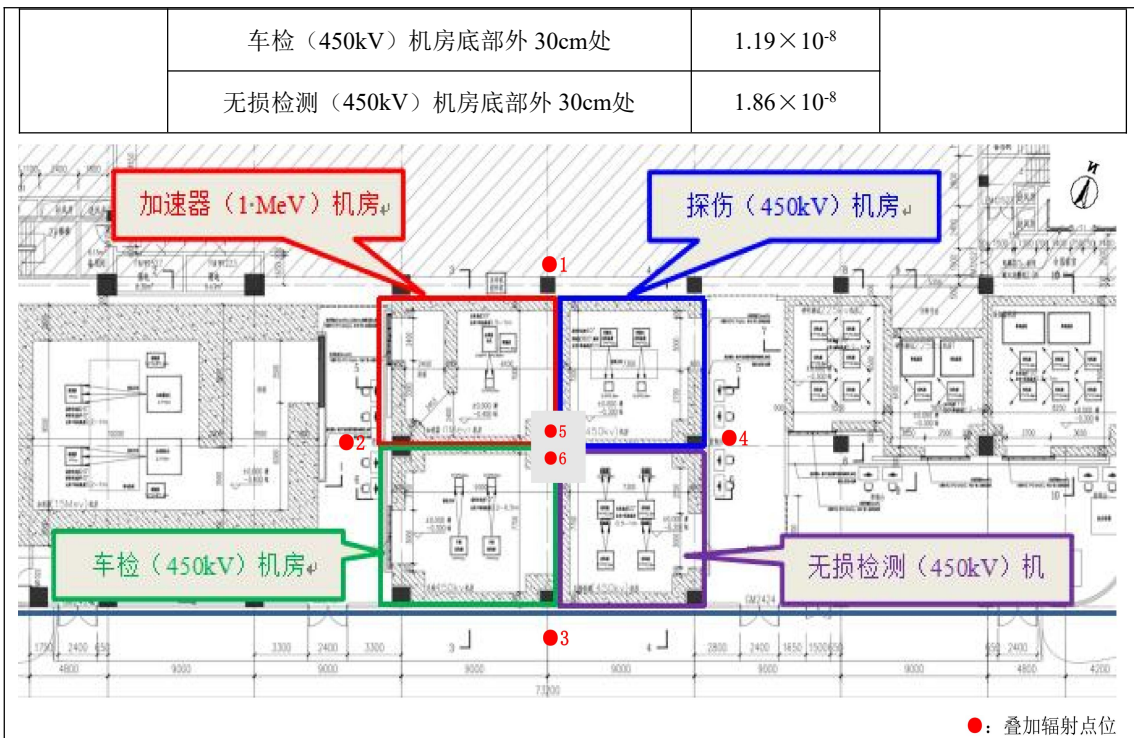


图 11-11 叠加辐射点位图

根据表 11-25 数据可知，四个机房的叠加辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足防护要求。

(2) 根据杭州睿影探测科技有限公司生产、销售、使用射线装置建设项目环境影响报告表提到，杭州睿影探测科技有限公司加速器 (15MeV) 机房东北侧外 30cm 处最大辐射剂量率为 $1.08 \times 10^{-10}\mu\text{Sv/h}$ ，加速器 (1MeV) 机房、车检 (450kV) 机房西南侧外 30cm 处最大辐射剂量率为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，两个机房互相影响，取两间机房中间处进行叠加计算，故叠加辐射剂量率为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的规定要求。

11.2.1.4 客户厂区年有效剂量估算结果

本项目客户厂区的辐射工作人员年有效剂量估算结果，具体分析结果见下表。

表 11-27 本项目年有效剂量估算结果

人员类型	对应关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
客户厂区的辐射工作人员	2.5	1	727.5	1.82

注：

1、在客户厂区内负责按照调试的辐射工作场所受到的辐射剂量率无法进行估算，但客户厂区建设的机

房满足剂量率参考控制水平不超过 2.5 μ Sv/h 的要求，因此保守以 2.5 μ Sv/h 进行年有效剂量估算。

2、居留因子保守取 1。

由表11-27估算结果表明：客户厂区的辐射工作人员最大可能年有效剂量为 1.82mSv/a。客户厂区内调试的辐射工作人员和建设单位厂区内的辐射工作人员不交叉作业，故不计算两者的叠加剂量。客户厂区的辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值5mSv/a 的要求。

11.2.1.5 屏蔽能力分析

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的规定，结合该公司拟建的各机房初步设计数据及上述辐射环境影响预测分析结果，对该公司拟建机房的辐射屏蔽能力符合性进行如下分析：

（1）设计中，该各机房的设置已充分考虑周围的放射安全；防护性能均结合理论计算结果可知，其已能满足辐射防护要求。

（2）由辐射环境影响预测分析可知，辐射工作人员和公众成员所受辐射照射能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“辐射剂量约束值”的要求。

因此，该公司拟建加速器（1MeV）机房屏蔽能力能达到最大能量 1MeV、剂量率 0.2Gy/min，探伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房屏蔽能力能达到管电压不大于 450kV、管电流不大于 10mA 的正常工作时的辐射防护要求。

11.2.2 非辐射环境影响分析

11.2.2.1 废水环境影响分析

本项目射线装置拟配套循环冷却水，其使用的冷却水为纯水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环冷却水定期补充，不外排。冷却用纯水为项目厂区自制，纯水制备过程中产生的浓水主要含一定盐分，可直接纳管排放。

本项目运行期外排废水主要为辐射工作人员产生的生活污水和纯水制备工程中产生的浓水，生活污水经化粪池预处理后排入市政管网。本项目所在地属于萧山钱江污水处理厂的截污范围，市政污水管网已接通至污水处理厂。本项目废水量小且水质简单，可以达到萧山钱江污水处理厂纳管要求，不会对污水处理厂

造成冲击，项目依托萧山钱江污水处理厂可行。因此，项目实施后对区域地表水环境影响较小。

11.2.2.2 废气环境影响分析

1、臭氧环境影响分析

(1) 加速器（1MeV）机房：

根据《辐照加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录B，空气在辐射照射下产生臭氧和氮氧化物等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要考虑臭氧的产生及其防护。

①臭氧的产生

根据《辐照加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录B提供的臭氧计算公式为：

$$P=45dIG \quad (\text{式 11-13})$$

式中：P—单位时间电子束产生 O₃ 的质量（mg/h）；

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

I—电子束流强度（mA）；

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

②辐照室臭氧的平衡浓度

臭氧有效清除时间的计算公式为：

$$T = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{式 11-14})$$

式中，T_e—对臭氧的有效清除时间（h）；

T_v—机房换气一次所需时间（h）；

T_d—O₃ 的有效分解时间（h），取 5/6h；

当长时间辐照时，辐照室内臭氧平衡浓度计算公式为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (\text{式 11-15})$$

式中：C_s—机房内臭氧平衡浓度（mg/m³）；

T_e—对臭氧的有效清除时间（h）；

V—机房的体积 (m³);

将参数代入以上公式计算得出, 本项目加速器 (1MeV) 机房内臭氧平衡浓度 Cs 如下表所示:

表 11-28 加速器 (1MeV) 机房内臭氧平衡浓度计算结果

机房	加速器 (1MeV) 机房
d (cm)	20
I (mA)	2
G	10
P (mg/h)	1.8×10 ⁴
Tv (h)	0.17
Td (h)	5/6
Te (h)	0.14
V (m ³)	260.4
Cs (mg/m ³)	9.68

③臭氧的排放

由表 11-28 计算结果可知, 电子直线加速器长期正常运行期间, 不考虑排风机的排风能力, 辐照加速器停机时, 机房内臭氧浓度远高于 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度 (0.3mg/m³)。因此, 当辐照加速器停止运行后, 人员不能直接进入辐照室, 风机必须继续运行, 关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

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

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

T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间, h。

表 11-29 加速器为使机房内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参数	加速器 (1MeV) 机房
Te (h)	0.11
C ₀ (mg/m ³)	0.3
C _s (mg/m ³)	7.60
T (min)	0.48

由表 11-29 可得, 加速器停止运行后, 机房内通风系统必须继续运行, 加速器通过 0.48min 的通风, 排气加速器机房内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1 规定的最高容许浓度 0.3mg/m³, 保守考虑将加速器 (1MeV) 机房的通风排气时间设置为 1min。

(2) 探伤 (450kV) 机房、车检 (450kV) 机房、无损检测 (450kV) 机房:

① 臭氧产额

臭氧来源包括有用线束的臭氧产额和泄漏辐射的臭氧产额两部分, 本次评价依据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》(王时进等, 中华放射医学与防护杂志, 1994年4月第14卷第2期)中给出的方法和公式估算臭氧产额。

A. 有用线束的臭氧产额 P_1

$$P_1=2.43 \times D_0 (1-\cos\theta) RG \quad (\text{式 11-17})$$

式中:

P_1 ——有用线束的臭氧产额, mg/h;

D_0 ——有用束在距辐射源点(靶点) 1m 处的输出量, $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$, 查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B 表 B.1 可知, 450kV 管电压时的最大输出量为 $35\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$, 即 $0.035\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$;

R——辐射源点(靶点)到屏蔽物(墙)的距离, m;

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数 ($G=10$);

θ ——有用束的半张角。

表 11-30 有用线束的臭氧产额一览表

机房	探伤 (450kV) 机房	车检 (450kV) 机房	无损检测 (450kV) 机房
$D_0(\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{mA} \cdot \text{min})$	0.035	0.035	0.035
R (m)	5.90	5.90	5.45
G	10	10	10
$\theta (^{\circ})$	40	10	50
P_1 (mg/h)	1.17	0.08	1.66

根据表 11-30 可知, 本项目探伤 (450kV) 机房有用线束的臭氧产额为 1.17mg/h; 车检(450kV)机房有用线束的臭氧产额为 0.08mg/h; 无损检测(450kV)机房有用线束的臭氧产额为 1.66mg/h。

B. 泄漏辐射的臭氧产额 P_2

将泄漏辐射看作 4π 方向均匀分布的点源(包括有用束区限定的空间区), 并考虑机房壁的散射线使室内的臭氧产额增加 10%, 泄漏辐射的臭氧的产额 P_2 可

按下列公式计算：

$$P_2=3.32\times 10^{-3}D_0GV^{1/3} \quad (\text{式 11-18})$$

式中：

P_2 ——泄漏辐射的臭氧产额，mg/h；

V ——探伤室体积， m^3 ；

D_0 ——有用束在距辐射源点（靶点）1m 处的输出量， $Sv \cdot m^2/(mA \cdot min)$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.1 可知，450kV 管电压时的最大输出量为 $35mSv \cdot m^2/(mA \cdot min)$ ，即 $0.035Sv \cdot m^2/(mA \cdot min)$ ；

G ——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数（ $G=10$ ）；

θ ——有用束的半张角。

表 11-31 泄漏辐射的臭氧产额一览表

机房	车检（450kV）机房	无损检测（450kV）机房
$D_0(Sv \cdot m^2/mA \cdot min)$	0.035	0.035
G	10	10
$V (m^3)$	461.28	237.62
$P_2 (mg/h)$	8.98×10^{-3}	7.20×10^{-3}

根据表 11-31 可知，本项目车检（450kV）机房泄漏辐射的臭氧产额为 $8.98 \times 10^{-3}mg/h$ ；无损检测（450kV）机房泄漏辐射的臭氧产额为 $7.20 \times 10^{-3}mg/h$ 。

表 11-32 臭氧总产额一览表

机房	探伤（450kV）机房	车检（450kV）机房	无损检测（450kV）机房
$P_1 (mg/h)$	1.17	0.08	1.66
$P_2 (mg/h)$	/	8.98×10^{-3}	7.20×10^{-3}
$P_{\text{总}} (mg/h)$	1.17	0.09	1.67

根据表 11-32 计算结果可知，车检（450kV）机房内臭氧总产额 $P_{\text{总}}$ 约为 $1.17mg/h$ ，车检（450kV）机房内臭氧总产额 $P_{\text{总}}$ 约为 $0.09mg/h$ ，无损检测（450kV）机房内臭氧总产额 $P_{\text{总}}$ 约为 $1.67mg/h$ 。

②臭氧饱和浓度

探伤室内臭氧的饱和浓度 Q 可按下列公式计算：

$$Q = \frac{P_{\text{总}}}{V} \times T \quad (\text{式 11-19})$$

式中：

Q——臭氧的饱和浓度，mg/m³；

P_总——臭氧总产额，mg/h；

V——探伤室体积，m³；

T——臭氧的有效清除时间，h。

其中，有效清除时间 T 可由下列公式计算：

$$T = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{式 11-20})$$

式中：

t_v——换气一次所需要的时间，h；

t_d——臭氧的有效分解时间，常取 0.83h。

表 11-33 臭氧的饱和浓度一览表

机房	探伤（450kV）机房	车检（450kV）机房	无损检测（450kV）机房
P _总 （mg/h）	1.17	0.09	1.67
V（m ³ ）	210.24	461.28	237.62
t _v （h）	0.14	0.31	0.12
t _d （h）	0.83	0.83	0.83
T（h）	0.12	0.22	0.10
Q（mg/m ³ ）	6.68×10 ⁻⁴	4.29×10 ⁻⁵	7.02×10 ⁻⁴

根据表 11-33 数据，假设机房内没有通风口（此时机房内浓度最高），车检（450kV）机房内臭氧的饱和浓度为 6.68×10⁻⁴mg/m³，车检（450kV）机房内臭氧的饱和浓度为 4.29×10⁻⁵mg/m³，无损检测（450kV）机房内臭氧的饱和浓度为 7.02×10⁻⁴mg/m³，三个机房 Q 值均远低于《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中规定的臭氧最高允许浓度 0.3mg/m³ 的限值要求。机房内的臭氧通过通风系统排出后会在 50 分钟后自动分解，因此臭氧对周围大气环境的影响是可以接受的。

2、氮氧化物环境影响分析

本项目四个机房运行均产生的少量臭氧及氮氧化物室内浓度均满足《工作场所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）中规定的限值要求；经排风系统排入大气后，臭氧会在50分钟内自动分解，氮氧化物的排放浓度远低于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中规定的氮氧化物排气筒高度为40m时的有组织排放浓度限值，故臭氧及氮氧化物对大气环境的影响是可以接受的。

3.噪声环境影响分析

本项目运行后噪声源主要为设备噪声，所有设备选用低噪声设备。

4.固体废物环境影响分析

本项目运行期产生的生活垃圾和废滤芯，委托环卫定期清运；废显（定）影剂、废胶片、洗片废水等危险废物收集后贮存在危废暂存间的专用容器中，定期委托具有处置危险废物资质的单位回收处理；废X射线管中铍按照固体废物由有资质的单位回收，其他当作固体废物处理，委托环卫定期清运。

本项目危险废物一览表列表如下：

表 11-34 危险废物一览表

名称	洗片废水	废显（定）影剂	废胶片
状态	液态	液态	固态
废物类别	HW16 感光材料废物		
废物代码	900-019-16		
危险特性 ¹	T		
月排放量	约 37.5kg	约 18.3kg	约 2kg
年排放总量	约 450kg	约 220kg	约 24kg
暂存情况	集中收集于危废暂存间的专用容器中		
最终去向	定期委托具有危险废物经营许可证的单位回收处理		

注：1.所列危险特性为该种危险废物的主要危险特性，不排除可能具有其他危险特性；“，”分隔的多个危险特性代码，表示该种废物具有列在第一位代码所代表的危险特性，且可能具有所列其他代码代表的危险特性；“/”分隔的多个危险特性代码，表示该种危险废物具有所列代码所代表的一种或多种危险特性。

(2) 本项目危废暂存间位于 5#生产厂房。

①危险废物贮存场所（设施）影响分析

公司按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）相关要求设计、建设密闭式危废堆场，做到防渗、防风、防雨、防晒要求。总体上项目选取的危废暂存库位置相对合理，较为可行。公司将根据危废产生量、危废种类和暂存周期对危废暂存库进行了分区规划，危险废物暂存间面库可以满足管理和贮存需要。危险废物暂存库为永久建筑，密闭设计，地面经防腐防渗处理，符合“防风、防雨、防晒、防渗漏”要求。危险固废暂存库的危险固废分质收集、分类存放。危险废物暂存间内用于存放危险废物的容器必须与所存放的危废具有良好的相容性，暂存间地面设置良好的防渗漏处理，使得暂存过程中万一泄漏出来的废液能得到有效收集，不会经地面渗入地面下，污染土壤和地下水环境，不会对周边地表水、地下水以及土壤环境产生影响。

②危险废物运输过程环境影响分析

本项目废显（定）影剂、洗片废水均采用包装桶密封包装，委托有危废资质的机构进行运输及处置，运输车辆为专用车辆。危废运输车辆均按照规定计划路线行驶，正常情况下，危废运输过程不会对周边环境敏感点产生影响。

③危险废物委托处置的环境影响分析

本项目危险废物产生量不大，危废类别为HW16，且区域内设置有小微企业危废收集单位，完全有能力处置本项目的危废，因此项目危废委托处置具有环境可行性。

综上所述，本项目固废处置符合“减量化、资源化、无害化”的基本原则，在自身加强利用的基础上，按照规定进行合理处置的前提下，本项目的固体废弃物不会对周围环境产生明显不利影响

11.3 运行事故影响分析

11.3.1 加速器（1MeV）机房运行事故影响分析

本项目工业电子直线加速器装置是在加速器（1MeV）机房内进行工作，工作过程中只要保证足够的屏蔽器防护，且严格执行各种操作规范并落实各项辐射防治措施，在正常工业电子直线加速器装置过程中对工业电子直线加速器装置系统外的环境辐射影响是在允许范围内的。

该公司使用的射线装置属II类射线装置，可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

1、由于管理不善或者安全联锁失效，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。

如果在系统工作前有人员进入加速器机房，而操作人员又没有仔细巡视就开始操作加速器出束则有可能造成人员的误照射。因此必须通过技术手段要求操作人员在启动加速器前必须巡视加速器机房或主机室，同时通过规范的操作制度要求操作员在启动加速器前以及加速器工作工程中通过监控系统实时查看加速器机房和主机室内的情况。如果门联锁出现故障，导致在加速器出束时有人员进入加速器机房或主机室则有可能发生人员误照射。因此应该加强通道出入口的管理并加强员工安全教育和培训。

2、由于管理不善或安全联锁失效，工业电子直线加速器装置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工业电子直线加速器装置通道造成意外。

如果加速器工作期间通风系统出现故障导致通风速度降低或停止工作则有可能导致经烟囱排入大气的臭氧浓度升高，同时也可能导致停机后即使等待足够的时间加速器机房或主机室内的臭氧浓度仍然高于限值水平，从而使进入加速器机房或主机室的维修人员吸入过量的臭氧。因此，有必要在系统工作期间实时监测通风速率，以保证环境和人员安全。

如果管理不善导致维修人员不按照操作规程在系统停机后等待足够长的时间就进入加速器机房或主机室，则可能导致进入加速器机房或主机室的维修人员吸入过量的臭氧。因此，有必要加强员工的安全教育和培训，使工作人员自觉遵守操作规程，避免事故发生。

为了杜绝事故发生，单位必须定期检查加速器机房和主机室的联锁装置、急停装置、信号警示装置、通风系统和冷却水系统等安全设施及其他各项辐射防护措施，制定详细的安全管理制度和安全操作规程，并加强员工安全教育和培训，严格按照操作规程进行作业，确保安全。

发生辐射事故时，现场操作人员或工作人员首先须立即切断电源，同时事故单位应当立即启动本单位的应急预案，采取应急措施，并在事故发生后 2 小时内

向当地生态环境保护部门、公安部门报送辐射事故初始报告；造成或者可能造成人员辐射伤害的，还应当同时向当地卫生健康部门报告。

11.3.2 探伤（450kV）机房、车检（450kV）机房、无损检测（450kV）机房运行事故影响分析

本项目拟使用的射线装置属II类射线装置，可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

1、X射线机在作业时，门机联锁失效，致使防护门未完全关闭，X射线泄漏到探伤室外，给周围活动的人员造成不必要的照射；或工作人员误入探伤室，使其受到额外的照射。

2、人为故意引起的辐射照射。

3、维修过程中也可能出现事故。

为了杜绝事故发生，分析事故发生的原因，此类事故大部分是忽视辐射安全管理，违规操作造成的辐射事故。为有效预防各类辐射事故发生，建议企业采取以下事故预防措施：

1、定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

2、根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，建设单位须制定《放射防护安全管理机构及职责》《岗位职责》《射线装置使用登记制度》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检修维护制度》《操作规程》《事故应急预案》《人员培训计划》《监测方案》等制度。

凡涉及对X射线机进行操作，必须按操作规程执行，作业时，至少有2名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

3、每月检查机房的门机联锁装置和门灯联锁装置，确保在防护铅门关闭后，X射线机才能进行照射；

4、每月对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换。

5、公司所有辐射工作人员需参加辐射安全与防护培训，并需取得合格证书，

所有辐射工作人员均需持证上岗。

发生辐射事故时，现场操作人员或工作人员首先须立即切断电源，同时事故单位应当立即启动本单位的应急预案，采取应急措施，并在事故发生后 2 小时内向当地生态环境保护部门、公安部门报送辐射事故初始报告；造成或者可能造成人员辐射伤害的，还应当同时向当地卫生健康部门报告。

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

按照《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》及环境保护主管部门的要求，使用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；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

12.1.1 机构的设置、人员配备及职能

本项目单位负责人王*为本单位辐射工作安全责任人，设置专职机构辐射安全防护小组，指定专人章*凌负责放射性同位素与射线装置的安全和防护工作，指定专人罗*芳负责射线装置、放射源保管工作。

在项目建设完成后，建设单位将进一步完善辐射防护管理领导小组。

12.1.2 辐射工作人员管理

本项目拟用 16 名辐射工作人员，其中 8 名辐射工作人员已取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书，8 名辐射工作人员未取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书。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）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目剩余 8 名未取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

12.2 辐射安全管理规章制度

1、档案管理分类

公司应对相关资料进行分类归档放置，建议包括以下八大类：《制度文件》《环评资料》《许可证资料》《射线装置台账》《监测和检查记录》《个人剂量档案》《培训档案》《辐射应急资料》，存放在公司相关办公室。

2、建立主要规章制度

公司可根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等要求制定一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	制度名称
1	辐射防护安全责任制度
2	辐射工作设备操作规程
3	辐射工作人员管理规章制度
4	辐射工作人员个人剂量管理制度
5	辐射安全和防护设施维护维修制度
6	场所分区管理规定
7	仪器设备管理规定（购买、领用、保管和盘存）
8	辐射事故应急预案
9	监测仪表使用与校验管理制度
10	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案
11	辐射工作人员岗位职责
12	射线装置台账管理制度
13	辐射工作人员培训制度

公司目前已制定部分规章制度，待项目建成后建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

12.3 辐射监测

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

12.3.1 现有核技术利用项目辐射监测开展情况

公司已制定《辐射监测规范》，并定期委托有资质的单位进行辐射工作场所监测，日常内部常规检测已执行。现有辐射工作人员均按要求开展了个人剂量监测与职业健康体检，符合相关标准要求。

12.3.2 本项目辐射监测要求

12.3.2.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》第十六条规定，使用II类放射源和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。本项目拟新增辐射巡测仪2台、个人剂量报警仪10台和个人剂量计17个（包括16名辐射工作人员剂量计和1个本底剂量计（通常需要在建设单位的非辐射工作场所放置一个空白剂量计，称为本底剂量计））。监测仪器按要求配备齐全后，本次评价认为能够满足本项目的仪器配备要求。同时，本次评价建议公司每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，定期对相关检测设备进行校正和维护，并建立完善的辐射防护检测设备台账。

12.3.2.2 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季。

（1）当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

（3）根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)，就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

（4）辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。公司应当将个人剂量档案保存终生。

12.3.2.3 工作场所辐射监测

根据辐射管理要求，公司应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

（1）正式使用前监测：委托有相关监测资质的监测单位对核技术应用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

（2）常规监测：日常使用过程中对控制区、监督区边界及使用场所周边关

注点进行监测。如发现划定的区域未能满足相关标准的要求，及时对划定的分区进行调整，并将每次巡测结果记录存档备案。

(3) 每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，对放射性同位素与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。参考《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条款规定，年度监测周期为 1 次/年。

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 等标准要求，本项目辐射工作场所监测计划见表 12-2。

表 12-2 本项目辐射工作场所监测计划

场所名称	监测类型	检测内容	监测布点位置	监测频次	监测方式
加速器(1MeV)机房 探伤(450kV)机房 车检(450kV)机房 无损检测(450kV)机房	验收监测	X-γ辐射剂量率	1、通过巡测发现的辐射水平异常高的位置，并进行重点监测； 2、加速器(1MeV)机房探伤(450kV)机房、车检(450kV)机房、无损检测(450kV)机房屏蔽体外 30cm 处； 3、防护门外及门缝四周 30cm 处； 4、操作台，线缆穿墙孔外侧和通风管道外侧。	验收期间监测 1 次	委托监测
	常规监测			1 次/年	委托监测
	年度监测			1 次/年	委托监测

辐射工作场所监测计划须有监测质量保证：

a. 制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b. 采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c.制定辐射环境监测管理制度。

此外，公司需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定，公司应对本单位的放射源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日前向原发证机关提交上一年度的评估报告。公司必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射源和射线装置台账；
- （五）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.5 竣工环保验收

公司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设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326—2023）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

12.6 辐射事故应急

12.6.1 现有应急预案制定和执行情况

公司已制定《辐射异常事件处置方案》（见附件 7），单位负责人王*为本单位辐射工作安全责任人，设置专职机构辐射安全防护小组，指定专人章*凌负责放射性同位素与射线装置的安全和防护工作，指定专人罗*芳负责射线装置、放射源保管工作。公司每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。经与建设单位核实，公司自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。

12.6.2 本项目应急预案的要求

本次新增的辐射内容与现有已许可的辐射内容类似，因此现有辐射事故应急预案可以满足本次项目的应急要求。同时，本项目投入运行后，公司需做好以下工作：

1、考虑到老厂区和新厂区存在一定的距离，公司针对新厂区应设置一个独立的辐射安全防护小组，单独配置相应的应急装备和物资，以满足实际应急需要。

2、公司应根据本次扩建后辐射活动变化的情况，调整现有的辐射事故应急预案，增加工业直线加速器、工业探伤加速器、工业探伤设备、高频 X 射线机装置、车检系统装置的风险内容和应急措施，以满足项目变化后的相关要求。

3、制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

4、公司应根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

表 13 结论与建议

13.1 项目概况

杭州睿影科技有限公司拟租赁杭州海康威视数字技术股份有限公司位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元 M1-C31 地块 2#生产厂房新建 1 间加速器(1MeV)机房(最大能量为 1MeV, 最大剂量率为 0.2Gy/min), 为II类射线装置, 用于工业探伤和安全检查; 1 间探伤 450kV 机房(最大管电压 450kV, 最大管电流 10mA), 为II类射线装置, 用于工业探伤; 1 间无损检测 450kV 机房(最大管电压 450kV, 最大管电流 10mA) 为II类射线装置, 用于无损检测; 1 间车检 450kV 机房(最大管电压 450kV, 最大管电流 10mA), 为II类射线装置, 用于车辆检查。

加速器(1MeV)机房年计划生产、销售和使用工业探伤系统装置共 15 台, 探伤 450kV 机房年计划生产、销售和使用工业探伤系统装置共 205 台, 无损检测 450kV 机房年计划生产、销售和使用高频 X 射线机装置共 710 台, 车检 450kV 机房年计划生产、销售和使用车检系统装置共 40 台, 详见表 1-1。

13.2 实践的正当性

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其可能引起的辐射危害时, 该实践才是正当性的。

本项目的建设可以更好地满足市场需求。核技术利用项目的开展, 对提高工业企业产品的质量及安全起了十分重要的作用, 因此, 该项目的实践是必要的。

建设单位对射线装置的安装调试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, 在使用和管理射线装置的情况下, 对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值, 其获得的利益远大于辐射造成的伤害, 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“实践的正当性”要求。

13.3 选址合法性、合理性分析

本项目租用杭州海康威视有限公司位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元 M1-C31 地块 2#生产厂房, 不新增用地, 用地性质为工业用地, 符合土地利用要求。

13.4 与“三线一单”的符合性分析

1、与生态保护红线的符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080号）及《自然资源部办公厅关于依据“三区三线”划定成果报批建设项目用地用海有关事宜的函》（自然资办函〔2022〕2072号），三区三线中“三区”是指城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的国土空间。“三线”分别对应城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基本农田、生态保护红线三条控制线。

本项目位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元 M1-C31 地块，对照滨江区“三区三线”现状示意图，本项目不在生态保护红线及永久基本农田范围内。

2、与环境质量底线的符合性分析

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量属于正常本底范围。在落实本报告提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

3、与资源利用上线的符合性分析

本项目为核技术利用项目，不新增土地指标，仅涉及电力和水资源利用，工程建设符合资源利用上线的要求。

4、与环境管控单元准入清单的符合性分析

根据杭州市生态环境局关于印发《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的通知（杭环发〔2024〕49号），本工程管控单元分类为 ZH33010820002 滨江区滨江高新产业集聚重点管控单元（相关环境管控单元准入清单见表 1-3，本项目与杭州市“三线一单”动态的位置关系见附图 7）。

本项目为扩建生产、销售、使用 II 类射线装置项目，不涉及总量控制指标，不属于重点环境风险管控企业，工程符合相关管控单元准入清单要求。

13.5 规划及规划环境影响评价符合性分析

13.5.1 《杭州高新开发区（滨江）分区规划（2017-2020 年）》符合性分析

1、规划范围

根据《杭州高新开发区（滨江）分区规划（2017-2020 年）》，杭州高新开发

区（滨江）分区规划范围：高新区（滨江）西、北部至钱塘江中心线，东、南侧与萧山区相接。规划区面积约 73km²，其中钱塘江水面约为 10km²，陆域用地面积约为 63km²。

2、规划结构

规划形成“一主、二次、二带、四轴、七片”的布局结构。

（1）一主：即一个区级公共主中心，即高新开发区（滨江）东部的区级中心，也是区政府所在地，包括行政、办公、商务、金融、文化等，是一个综合性的具有多种职能的综合服务基地。也是由“钱江新城——钱江世纪城”构建的杭州主中心之一级；

（2）二次：二个城市次中心，即：公建中心城市次中心、浦沿城市次中心；

（3）二带：两条生态景观带，即北部沿钱塘江、南部沿冠山及白马湖两条生态景观带；

（4）四轴：四条发展轴，即江南大道、时代大道、彩虹大道、浦沿路四条城市发展轴线；

（5）七片：七大片区，即滨江中心片、物联网片、互联网片、之江片、白马湖片、西部沿江片、东冠浦乐片。

3、产业发展定位

以网络信息技术产业为主导，以优势及关联产业的融合衍生、多元集聚式发展为补充，以科技服务、商务商贸、教育、旅游、房地产等城市第三产业内容为支撑，优化产业结构并以产业的高端形态为发展目标，发挥信息经济、互联网、生命健康、节能环保、文化创意等优势产业，强化科技服务、服务外包、商贸服务、休闲旅游等配套产业，培育新兴产业，打造信息化、高端化、智慧化发展的浙江省高新技术产业集聚区、战略性新兴产业集聚区、产业创新发展高地。

4、产业发展重点分析

重点发展——网络基础产业、物联网、互联网三大领域，努力构建网络信息技术产业“3633”格局，使主导产业强势更强、优势更优。网络基础领域重点发展集成电路设计、大型软件系统研发、高端计算机研制、高端网络设备制造、大数据存储与智能分析、信息安全 6 个细分产业；物联网领域重点发展智能传感器、物联网系统集成、联网机器人及智能装备系统 3 个“互联网+”细分产业；互联

网领域重点发展电子商务平台、互联网金融、网络传媒 3 个细分产业。

鼓励发展——C2B、O2O等商业模式创新与工厂物联网、车联网、可穿戴设备、智慧健康、3D打印等新兴产业的嫁接融合，发挥其在产业、技术开发中的“乘数效应”，大力发展协同设计、协同制造、协同服务，打造产业链上下游企业、制造企业、服务企业、内容提供商和应用开发商的共赢生态体系，支持工业企业由“卖产品”向“卖方案”、“卖服务”转变。

引导发展——网络信息技术与智能制造（智能工厂+智能生产）、高端医疗设备（EMT+MT）、生物医药（BT）、节能环保、新能源（光伏太阳能）、新材料、文化创意、体育经济等产业领域的渗透带动与融合衍生发展，努力形成“信息经济+”、“互联网+”等新的集群优势和新的增长极，构建产业梯度，形成多点支撑格局。

扶持发展——各类生产性服务业和科技服务业，重点发展研究与试验、工程设计、工业设计等研发设计服务业；鼓励发展知识产权服务业，深化服务内容，培育知识产权服务新兴业态；支持创业服务业发展，构建从创业教育、创业培育、交流社区、天使投资、创业孵化的全链条创业服务体系；推进科技金融融合发展，引导发展科技金融服务业。

符合性分析：本项目位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31 地块，主要进行生产、销售、使用射线装置，符合该区产业发展定位。因此，本项目的建设符合《杭州高新开发区（滨江）分区规划（2017-2020 年）》符合的相关要求。

13.5.2 《杭州高新开发区（滨江）分区规划（修编）（2016-2020 年）环境影响报告书》符合性分析

《杭州高新开发区（滨江）分区规划（修编）（2016-2020 年）环境影响报告书》于 2017 年由浙江环科环境咨询有限公司编制完成，并于 2017 年 10 月 9 日取得原环境保护部相关审查意见的函（环审[2017]156 号）。该规划环评针对区域发展制定了生态空间清单、环境质量底线清单、资源利用上限清单、环境准入条件清单等规划环评结论清单。本项目与规划环评结论清单中生态空间清单、规划区总量管控限值清单、资源利用上线清单、产业准入条件清单、环境准入指标限值、产业负面清单以及环保措施要求的符合性分析如下：

（1）生态空间管控清单符合性分析

本项目位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31 地块，所在区域不属于禁止开发区和限制开发区。项目租用的杭州海康威视数字技术股份有限公司 2# 生产用房加速器（1MeV）机房、探伤（450kV）机房、无损检测（450kV）机房、车检（450kV）机房，用地性质为工业用地，不涉及占用水域，不影响河道自然形态和河湖生态（环境）功能。项目的建设满足生态空间清单管控要求。

（2）规划区总量管控限值清单符合性分析

本项目不涉及总量控制，无需进行排污权交易和登记。

（3）资源利用上限清单符合性分析

本项目用水为滨江区市政供水，水资源消耗量较少。项目租用杭州海康威视有限公司位于浙江省杭州市滨江区白马湖单元M1-C31 地块 2# 生产厂房，不新增土地指标。项目用电为滨江区电网供给，用电资源消耗量较少。综上，项目符合高新区（滨江）资源利用上限的要求。

（4）产业准入条件清单符合性分析

对照高新区（滨江）产业准入条件清单，本项目符合国家及地方产业政策，符合所属行业有关发展规划；选址符合高新区（滨江）范围内所在单元控制性详细规划；同时项目生产工艺及装备技术水平、水耗能耗均符合清洁生产要求。

（5）环境准入指标限值符合性分析

对照高新区（滨江）主导行业环境准入负面清单（指标限值）表，本项目不属于受限制行业，且污染物产生排放量较小，符合高新区（滨江）环境准入指标限值要求。

（6）产业准入负面清单符合性分析

对照高新区（滨江）环境准入负面清单（限制类、禁止类），本项目主要从事研究和试验发展，不属于清单限制或禁止范围。

综上所述，本项目建设符合《杭州高新开发区（滨江）分区规划（修编）（2016-2020 年）环境影响报告书》中相关要求。

13.6 产业政策符合性分析

本项目为扩建生产、销售、使用II类射线装置项目，根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本），本项目的建设属于鼓励类第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：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”，属于国家鼓励类产业。本项目在运行过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。因此，本项目建设符合产业政策要求。

13.7 达标排放符合性

在落实报告中提出的各项污染防治措施后，本项目运行对周围环境产生的辐射影响可以满足环境保护的要求。项目运行产生的少量臭氧及氮氧化物室内浓度均满足《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中规定的限值要求；经排风系统排入大气后，机房内的臭氧自动分解，氮氧化物的排放浓度远低于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中规定的氮氧化物排气筒高度为40m时的有组织排放浓度限值，故臭氧及氮氧化物对大气环境的影响是可以接受的。

13.8 辐射安全防护措施

本项目各机房安全装置和保护措施图见附图10，平面、立面、剖面图见附图11，具体屏蔽厚度可见表10-1。由理论计算可知，该工业电子直线加速器装置的自屏蔽结构能够满足辐射防护要求。

建设单位为四个机房拟新增辐射巡测仪2台、个人剂量报警仪10台和个人剂量计17个（包括16名辐射工作人员剂量计和1个本底剂量计）。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况，并定期送有资质部门监测个人剂量，建立放射工作人员个人剂量监测档案。公司拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员职业健康监护档案。

13.9 辐射环境管理制度

公司目前已制定部分规章制度，待项目建成后建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

13.10 安全培训及健康管理

本项目拟用16名辐射工作人员，其中8名辐射工作人员已取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书，8名辐射工作人员未取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书。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）：“自2020年1月1日起，新从事

辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目剩余8名未取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每5年接受一次再培训考核。

13.11 环境影响分析结论

13.11.1 加速器（1MeV）机房环境影响分析结论

由表 11-3 可知，加速器（1MeV）机房墙外 30cm 处辐射剂量最大值为 $0.16\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）对机房的辐射屏蔽的剂量参考控制水平。

由表 11-4 可知，加速器在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反射的 X 射线周围剂量当量率额为 $4.43 \times 10^{-12}\text{Sv/h}$ ，所以屋顶天空反散射对地面参照点的剂量率贡献值几乎可以忽略不计。因此本项目加速器（1MeV）机房顶的防护设计可以满足辐射防护要求。

根据表 11-5 可得，加速器运行时，加速器（1MeV）机房迷道外口处的辐射剂量率约为 $30.87\mu\text{Sv/h}$ ，远大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求，所以需要增设防护门。

加速器运行时，防护门外剂量率为 $2.55 \times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ，满足小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的防护要求。

根据表 11-7 中的计算结果可知，职业人员在加速器（1MeV）机房外受到的最大年有效剂量为 $7.20 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，公众在加速器受到的最大年有效剂量为 $1.19 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv 剂量约束值要求。

13.11.2 探伤（450kV）机房环境影响分析结论

根据表 11-11 计算结果可知：工业探伤系统在探伤（450kV）机房不同时运行，探伤（450kV）机房周围环境辐射剂量率最大值为 $0.42\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的辐射剂量率最大值为 $0.22\mu\text{Sv/h}$ 。因此本项目拟建探伤室防护性能能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“X 射线探伤室墙和入口门关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

由表 11-12 可知，本项目天空反散射的 X 射线周围剂量当量率最大为 $3.04\times 10^{-10}\text{Sv/h}$ ，保守考虑该项辐射对探伤室外地面附近的辐射剂量率与穿出探伤（450kV）机房墙透射的辐射剂量率在相应关注点的剂量率总和小于本项目的控制值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合辐射防护的要求。

由表 11-13 估算结果表明：探伤（450kV）机房辐射工作人员最大可能年照射剂量为 0.09mSv/a ，公众最大可能年照射剂量为 0.01mSv/a ，辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。公众人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标中对公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

13.11.3 车检（450kV）机房环境影响分析结论

根据表 11-17 计算结果可知：车检系统在车检（450kV）机房不同时运行，车检（450kV）机房周围环境辐射剂量率最大值为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的辐射剂量率最大值为 $8.14\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 。因此本项目拟建车检（450kV）机房防护性能能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“探伤室墙体和门的屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

由表 11-18 可知，本项目天空反散射的 X 射线周围剂量当量率最大为 $1.16\times 10^{-10}\text{Sv/h}$ ，所以屋顶天空反散射对地面参照点的剂量率贡献值几乎可以忽略不计。因此本项目加速器室屋顶的防护设计可以满足辐射防护要求。

由表 11-19 估算结果表明：探伤（450kV）机房辐射工作人员最大可能年照射剂量为 $6.51\times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，公众最大可能年照射剂量为 $1.00\times 10^{-6}\text{mSv/a}$ ，辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要

求。公众人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中剂量限值要求和项目管理目标中对公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

13.11.4 无损检测(450kV)机房环境影响分析结论

根据表 11-23 计算结果可知:高频 X 射线机在无损检测(450kV)机房不同时运行,无损检测(450kV)机房周围环境辐射剂量率最大值为 0.37 μ Sv/h,顶部的辐射剂量率最大值为 4.27 $\times 10^{-5}$ μ Sv/h。因此本项目拟建无损检测(450kV)机房防护性能能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中“探伤室墙体和门的屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。

由表 11-24 估算结果表明:无损检测(450kV)机房辐射工作人员最大可能年照射剂量为 0.03mSv/a,公众最大可能年照射剂量为 0.01mSv/a。辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。公众人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中剂量限值要求和项目管理目标中对公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

根据表 11-7、11-13、11-19、11-24 估算结果表明,四个机房中辐射工作人员最大可能年照射剂量产生于探伤(450kV)机房,其最大可能年照射剂量为 0.09mSv/a。由于职业人员要考虑其原有的个人剂量,本项目配备的 16 名辐射工作人员中,8 名为新增人员,另外 8 名为公司原有辐射工作人员,且均不兼职操作其他辐射工作。原有 8 名辐射工作人员在 2023 年度的个人剂量检测结果最高为 0.94mSv/a,保守考虑,将该名辐射工作人员分配至探伤(450kV)机房,其受到的最大可能年照射剂量为 1.03mSv/a,仍满足辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中剂量限值要求以及项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 的要求。

13.11.5 辐射叠加环境影响分析结论

(1) 根据表 11-25 数据可知,四个机房的叠加辐射剂量率均小于 2.5 μ Sv/h,满足防护要求。

(2) 根据杭州睿影探测科技有限公司生产、销售、使用射线装置建设项目

环境影响报告表提到，杭州睿影探测科技有限公司加速器（15MeV）机房东北侧外 30cm 处最大辐射剂量率为 $1.08 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ ，加速器（1MeV）机房、车检（450kV）机房西南侧外 30cm 处最大辐射剂量率为 $0.13 \mu\text{Sv/h}$ ，两个机房互相影响，取两间机房中间处进行叠加计算，故叠加辐射剂量率为 $0.13 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，满足防护要求。

13.12 结论

综上所述，杭州睿影科技有限公司开展生产、销售、使用射线装置建设项目应用，在落实本报告提出的所有污染防治措施和辐射管理基础上，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施；其运行对周围环境产生的影响能符合辐射环境保护的要求，该建设单位基本具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。