

报告编号：WKFHP-26039

核技术利用建设项目

杭州师范大学

工业 CT 应用项目

生态环境影响报告表

(公示稿)

杭州师范大学

2026 年 8 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

杭州师范大学

工业 CT 装置应用项目

生态环境影响报告表

建设单位名称：杭州师范大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号

邮政编码：311121

联系人：

电子邮箱：/

联系电话：

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	8
表 3	非密封放射性物质	8
表 4	射线装置	9
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	10
表 6	评价依据	11
表 7	保护目标与评价标准	13
表 8	环境质量和辐射现状	18
表 9	项目工程分析与源项	21
表 10	辐射安全与防护	27
表 11	环境影响分析.....	32
表 12	辐射安全管理	44
表 13	结论与建议	50
表 14	审批	54

表 1 项目基本情况

建设项目名称		杭州师范大学工业 CT 应用项目					
建设单位		杭州师范大学					
法人代表			联系人		联系电话		
注册地址		浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号					
项目建设地点		浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼					
立项审批部门		/		批准文号	/		
建设项目总投资（万元）		600	项目环保投资（万元）	20	投资比例（环保投资/总投资）	3.33%	
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	/	
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
		☐ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物				
		☐ 销售	/				
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙				
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类				
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类				
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类				
	其他	/					

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位简介

杭州师范大学是浙江省重点建设高校，是一所以师范教育为传统、文理并重、人文社会科学与自然科学协调发展的综合性大学，学校下设 24 个学院，现有仓前、玉皇山、下沙三个校区。其中仓前校区于 2018 年 11 月委托编制完成了《放射性同位素应用项目环境影响报告表》，于 2019 年 1 月取得杭州市生态环境局的审查意见，文号：杭环辐评批[2019]2 号，该项目于

2020 年 11 月完成自主验收，该同位素实验室现已停用；此外，有 12 台Ⅲ类射线装置已完成环境影响登记表备案。环评批复、验收意见及登记备案表详见附件 5。杭州师范大学持有有效的《辐射安全许可证》（见附件 6），证书编号：浙环辐证[A3272]，有效期至 2026 年 7 月 14 日，使用的种类和范围：使用Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所，许可内容包含 6 种非密封放射性物质和 6 台Ⅲ类射线装置。玉皇山校区和下沙校区现无核技术利用项目。

本项目位于下沙校区 1 号实验楼。下沙校区地址为杭州市钱塘区下沙高教园区学林街 16 号，占地面积约 876 亩，主要承载部分应用型学科、继续教育以及国际合作办学项目，校区以学林街为界，分为教学区和生活区两部分。1 号实验楼主要为办公、物理实验场所，不涉及环境敏感区，无化学、生物实验室，不产生实验废气、废水、危险废物，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，无需进行生态环境影响评价。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

根据杭州师范大学科研的需要，拟在浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室购置 1 台 FXO-CT2000 型工业 CT，在 110 室购置 1 台 FXO-CT3000 型工业 CT，开展无损检测等科学实验工作。

根据原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号关于《发布射线装置分类的公告》，工业 CT 属于Ⅱ类射线装置。对照中华人民共和国生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目。因此本项目应编制生态环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，杭州师范大学委托卫康环保科技（浙江）有限公司对本项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件 1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的生态环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容与规模

杭州师范大学拟在浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室购置 1 台 FXO-CT2000 型工业 CT（最大管电压 225kV，最大管电流 3mA，主射方向朝南，操作台位于铅房东北侧），在 110 室购置 1 台 FXO-CT3000 型工业 CT（最大管电压 300kV，最大管电流 3mA，主射方向朝西，操作台位于铅房西侧屏蔽间墙外）。2 台工业 CT 不存在同

时出束的情形。射线装置参数详见表 1-1。

表1-1 本项目射线装置配置一览表

设备名称	类别	规格型号	数量	最大管电压	最大管电流	工作场所	备注
工业CT	II类	FXO-CT2000	1台	225kV	3mA	1号实验楼 102室	主射定向朝南， 出束角60°
工业CT	II类	FXO-CT3000	1台	300kV	3mA	1号实验楼 110室	主射定向朝西， 出束角30°

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 项目地理位置

本项目位于杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼，下沙校区地址为杭州市钱塘区下沙高教园区学林街 16 号，东侧为钱塘江，南侧为浙江工商大学，西侧为成蹊苑，北侧为浙江财经大学。项目所在地理位置见附图 1，下沙校区及周边环境见附图 4。

1.2.2 项目周边环境概况

本项目拟购工业 CT 置于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室和 110 室使用，1 号实验楼的建筑结构为地上 5 层（层高约 4m），无地下层。FXO-CT2000 型工业 CT 铅房位于 102 室内，操作台位于铅房东北侧约 0.5m 位置，该工业 CT 铅房东侧 50m 内依次为厕所、东侧道路、工程实践中心；南侧 50m 内依次为走廊、南侧其他房间、南侧道路；西侧 50m 内依次为 104 室、配电间、连廊、110 室、西侧其他房间；北侧 50m 内依次为北侧道路、2 号实验楼；上方为 1 号实验楼二层至五层。FXO-CT3000 型工业 CT 铅房位于 110 室的屏蔽间内，操作台位于屏蔽间西侧墙外，距离铅房约 2m，该工业 CT 铅房东侧 50m 内依次为连廊、配电间、104 室、102 室、厕所、东侧道路；南侧 50m 内依次为走廊、南侧其他房间、南侧道路；西侧 50m 内依次为西侧其他房间、大厅；北侧 50m 内依次为北侧道路、2 号实验楼；上方为 1 号实验楼二层至五层。

周围环境关系见附图 2，周围环境实景见附图 3，实验楼一层平面布局见附图 5。

1.2.2 环境保护目标

本项目环境保护目标为评价范围 50m 内从事工业 CT 操作的辐射工作人员及公众成员。

1.3 相关规划符合性分析

1.3.1 用地规划符合性分析

本项目位于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼，根据建设单位提供的土地证（见附件 4），本项目用地属于教育用地，项目建设符合城乡规划和当地土地利用规划的要求。

1.3.2 “三区三线”符合性分析

2022年9月30日自然资源部办公厅发布了《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》，其中“三区”是指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应农业空间、生态空间、城镇空间中划定的永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。其中，城镇开发边界内可分为城镇集中建设区、城镇弹性发展区和特别用途区。

根据杭州市三区三线图（见附图9），本项目位于城镇开发边界内，不涉及永久基本农田、生态保护红线，因此符合浙江省“三区三线”相关规定和管理要求。

1.3.3 与《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》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），生态环境分区管控是以改善生态质量为核心，明确生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，划定生态环境管控单元，在一张图上落实“三线”的管控要求，编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。

（1）生态保护红线

根据《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）与杭州市三区三线图（见附图9），本项目不涉及生态保护红线。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场所周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于正常本底范围。在落实本环评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）资源利用上线

本项目主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网，且利用效率高。总体而言，本项目符合资源利用上线的要求。

（4）生态环境准入清单

根据《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》及《杭州市钱塘区环境管控单元分类图》（见附图10），本项目位于“ZH33011420001 钱塘区下沙城镇生活重点管控单元”，属于重点管控单元，该管控单元生态环境准入清单见表1-3。

表 1-3 本项所在管控单元生态环境准入清单

生态环境管控要求		本项目状况	符合性分析
空间布局约束	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。	本项目不属于二类、三类工业项目，不涉及污染总量控制，不涉及畜禽养殖。	符合
污染物排放管控	深化城镇“污水零直排区”建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。	本项目不产生污水、噪声、臭气、油烟、扬尘等污染物。	符合
环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目，功能区块布局合理。	符合
资源开发率要求	/	/	/

综上，本项目的建设符合《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的管控要求。

1.4 选址合理性分析

本项目位于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼，不新增土地。同时，本项目用地性质属于教育用地，周围无环境制约因素。铅房周围 50m 范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区等环境敏感区。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址合理可行。

1.5 产业政策符合性分析

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》相关规定，本项目属于“十四 机械”中第 1 条：工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，为鼓励类；对照《杭州市产业发展导向目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类项目：C24 工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，用于纳米观察测量的分辨率高于 3.0 纳米的电子显微镜，各工业领域用高端在线检验检测仪器设备。因此本项目建设符合国家现行产业政策。

1.6 实践正当性分析

工业 CT 在工业上的应用在我国是一门成熟的核技术应用实践，对保证产品质量方面有十分重要的作用。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中 4.3 “辐射防护要求”，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，该实践才是正当的。该项目的实施是为

了开展无损检测等科学实验工作，其运行所致辐射工作人员和周围公众成员的剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对于“剂量限值”的要求。因此该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

1.7.1 原有核技术利用项目环评、验收和许可情况

杭州师范大学原有 1 处同位素实验室（属于丙级非密封放射性物质工作场所），该场所已完成环评、验收手续；此外学校有 12 台Ⅲ类射线装置已完成登记备案（见附件 5）。杭州师范大学持有有效的《辐射安全许可证》（见附件 6），证书编号：浙环辐证[A3272]，有效期至 2026 年 7 月 14 日，使用的种类和范围：使用Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所，许可内容包含 6 种非密封放射性物质和 6 台Ⅲ类射线装置。现有已许可的非密封放射线物质和射线装置基本信息见表 1-4 和表 1-5。

表 1-4 现有已许可非密封放射线物质一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量	年最大用量	活动种类
1	杭州市余杭区余杭塘路 2318 号杭州师范大学慎园 14-403	丙级	^{35}S	5.5×10^6	1.85×10^9	使用
2			^{33}P	1.85×10^6	3.7×10^8	使用
3			^{32}P	5.55×10^6	3.33×10^9	使用
4			^3H	7.4×10^4	2.9×10^8	使用
5			^{45}Ca	1.85×10^5	1.11×10^8	使用
6			^{14}C	1.85×10^5	1.11×10^8	使用

注：根据建设单位提供的资料，杭州师范大学原有同位素实验室已停用，表中核素均已停用。

表 1-5 现有已许可非密封放射线物质一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	工作场所
1	X-射线粉末衍射仪	D8 Advance	Ⅲ类	X-射线衍射仪	浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号杭州师范大学勤园 18-113
2	X-射线粉末衍射仪	Rigaku smartlab	Ⅲ类	X-射线衍射仪	浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号杭州师范大学勤园 20-103
3	X-射线粉末衍射仪	D/max-2550/PC	Ⅲ类	X-射线衍射仪	浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号杭州师范大学勤园 22-104
4	X-射线单晶衍射仪	APEX-II	Ⅲ类	X-射线衍射仪	
5	DR	MulixSelect	Ⅲ类	医用诊断 X 射线装置	杭州师范大学卫生所放射科
6	移动式平板 C 形臂 X 射线机	PLX118F/b	Ⅲ类	医用诊断 X 射线装置	浙江省杭州市余杭区余杭塘路 2318 号杭州师范大学慎园 4 号楼地下室

1.7.2 辐射安全管理现状

1、现有辐射安全管理机构

学校根据相关要求成立了专门的安全和防护管理机构，成立了杭州师范大学关于成立实验室安全工作委员会和实验室应急救援工作领导小组。经核实，由于原有同位素实验室已停用，该同位素实验室辐射工作人员均已退休，该安全和防护管理机构实际已解散。

2、现有辐射安全规章制度

学校辐射安全管理现有相关制度包括：《杭州师范大学危险化学品（放射源）管理办法》、《杭州师范大学事故应急预案》、《杭州师范大学辐射工作场所安全措施和放射性同位素储存要求》、《杭州师范大学放射性同位素实验操作规程》、《杭州师范大学辐射防护安全岗位职责》、《杭州师范大学辐射防护和安全保卫制度》、《杭州师范大学同位素实验室设备检修维护制度》、《杭州师范大学放射性同位素采购使用登记管理制度》、《杭州师范大学辐射安全防护措施》、《杭州师范大学辐射工作人员培训及健康管理制度》、《杭州师范大学放射性同位素操作人员个人剂量监测方案》、《杭州师范大学放射性废物的处理方案》、《杭州师范大学同位素实验室管理办法》。学校现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。

3、现有辐射工作人员管理

根据建设单位提供的资料，杭州师范大学原有同位素实验室已停用，该同位素实验室辐射工作人员均已退休。现有Ⅲ类射线装置操作及管理人员均已参加校内培训后上岗，最近 1 年内个人剂量监测结果无异常，体检合格，符合相关管理要求。

4、现有“三废”处理

杭州师范大学原有同位素实验室已停用，因此不再产生“三废”。现有Ⅲ类射线装置产生少量的臭氧和氮氧化物经排风系统排至室外，对周围环境空气质量影响较小。

5、辐射安全和防护状况年度评估

公司每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，年度监测报告见附件 8。公司已落实年度评估制度，编制了《辐射安全和防护状况年度评估报告》，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。

表 2 放射源

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

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
本项目不涉及										

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
本项目不涉及										

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	工业 CT	II类	1 台	FXO-CT2000	225	3	无损检测	1 号实验楼 102 室	拟购，本次评价
2	工业 CT	II类	1 台	FXO-CT3000	300	3	无损检测	1 号实验楼 110 室	拟购，本次评价

（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	
本项目不涉及													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	排放至大气外环境中，经大气扩散稀释，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气。

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

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

表 6 评价依据

法律文件	(1)《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026 年 8 月 15 日起施行； (2)《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； (3)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行； (4)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (5)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修改）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行； (6)《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； (7)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发〔2006〕145 号，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行； (8)《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，2021 年 1 月 1 日起施行； (9)《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； (10)《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日 (11)《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行； (12)《浙江省建设项目环境保护管理办法（2021 年修正）》，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行； (13)《浙江省辐射环境管理办法（2021 年修正）》，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行； (14)《关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024 年本）>的通知》，浙江省生态环境厅，浙环发〔2024〕67 号，2025 年 2 月 2 日
------	--

	起实施； （15）《关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发〔2018〕92号，浙江省人民政府办公厅，2018年9月28日印发； （16）《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，杭州市生态环境局，2024年7月10日印发。
技术标准	（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （3）《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）； （4）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单； （5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （6）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （7）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （8）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （9）《辐射事故应急监测技术规范》（HJ 1155-2020）；
其他	（1）《辐射防护导论》，方杰主编； （2）学校提供的其他与工程建设有关的技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，结合本项目的辐射污染特点（II类射线装置），确定评价范围为工业 CT 铅房边界 50m 的区域，评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员和公众成员，具体见表7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标基本情况

场所位置	环境保护目标		方位	与铅房边界最近距离	人数	保护要求
FXO-CT2000	职业人员	操作台	东北侧	0.5m	2 人	剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$
	公众成员	厕所	东侧	5m	约 50 人次/天	剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$
		东侧道路		14m	约 300 人次/天	
		工程实践中心		35m	约 20 人	
		走廊	南侧	6m	约 100 人次/天	
		南侧其他房间		11m	约 10 人	
		南侧道路		34m	约 300 人次/天	
		104 室	西侧	1m	约 2 人	
		连廊		10m	约 50 人次/天	
		西侧其他房间		27m	约 5 人	
		北侧道路	北侧	8m	约 100 人次/天	
		2 号实验楼		26m	约 50 人	
		1 号实验楼二层	上方	2m	约 10 人	
		1 号实验楼三层		6m	约 10 人	
		1 号实验楼四层		10m	约 10 人	
		1 号实验楼五层		14m	约 10 人	
FXO-CT3000	职业人员	操作台	西侧	2m	2 人	剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$
	公众成员	连廊	东侧	1m	约 50 人次/天	剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$
		104 室		8m	约 2 人	
		厕所		21m	约 50 人次/天	
		东侧道路		30m	约 300 人次/天	
		走廊	南侧	6m	约 100 人次/天	
		南侧其他房间		11m	约 10 人	

		南侧道路	西侧	34m	约 300 人次/天	
		西侧其他房间		9m	约 5 人	
		大厅		34m	约 100 人次/天	
		北侧道路	北侧	9m	约 100 人次/天	
		2 号实验楼		27m	约 50 人	
		1 号实验楼二层	上方	2m	约 10 人	
		1 号实验楼三层		6m	约 10 人	
		1 号实验楼四层		10m	约 10 人	
		1 号实验楼五层		14m	约 10 人	
注：①1 号实验楼正下方为土层，无地下层，属于人员不可达区域；配电间无人员居留，因此不作为环境保护目标。 ②FXO-CT2000 的职业操作人员与 FXO-CT3000 的职业操作人员为相同人员						

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的潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

（2）辐射工作场所的分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

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

（3）剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

B1.2 公众照射

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；

(4) 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中 11.4.3.2 条款：“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30% (即 0.1mSv/a~0.3mSv/a) 的范围之内”，遵循辐射防护最优化的原则，结合项目实际情况，本次评价取职业照射剂量限值的 25%、公众照射剂量限值的 25% 分别作为本项目剂量约束值管理目标，具体见表 7-2。

表 7-2 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射有效剂量	5.0mSv/a
公众照射有效剂量	0.25mSv/a

7.3.2 《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。

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/T250。

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 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

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。

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

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

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的形式。

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，按最高管电压与相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。

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。

7.3.4 本项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）等评价标准，确定本项目的管理目标。

①工作场所剂量率控制水平：铅房四侧防护墙及工件门表面外 30cm 处剂量率不超过 2.5μSv/h；铅房上方为 1 号实验楼二层至五层，因此铅房顶棚外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平取 2.5μSv/h。

②剂量约束限值：职业人员年有效剂量不超过 5mSv；公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

③工业 CT 铅房内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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

8.1.1 项目地理位置

本项目位于杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼，下沙校区地址为杭州市钱塘区下沙高教园区学林街 16 号，东侧为钱塘江，南侧为浙江工商大学，西侧为成蹊苑，北侧为浙江财经大学，地理位置见附图 1。

8.1.2 项目场所位置

本项目拟购工业 CT 置于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室和 110 室使用，1 号实验楼的建筑物为地上 5 层（层高约 4m），无地下层。FXO-CT2000 型工业 CT 铅房位于 102 室内，操作台位于铅房东北侧约 0.5m 位置，该工业 CT 铅房东侧 50m 内依次为厕所、东侧道路、工程实践中心；南侧 50m 内依次为走廊、南侧其他房间、南侧道路；西侧 50m 内依次为 104 室、配电间、连廊、110 室、西侧其他房间；北侧 50m 内依次为北侧道路、2 号实验楼；上方为 1 号实验楼二层至五层。FXO-CT3000 型工业 CT 铅房位于 110 室的屏蔽间内，操作台位于屏蔽间西侧墙外，距离铅房约 2m，该工业 CT 铅房东侧 50m 内依次为连廊、配电间、104 室、102 室、厕所、东侧道路；南侧 50m 内依次为走廊、南侧其他房间、南侧道路；西侧 50m 内依次为西侧其他房间、大厅；北侧 50m 内依次为北侧道路、2 号实验楼；上方为 1 号实验楼二层至五层。

项目所在地理位置见附图 1，周围环境关系见附图 2，周围环境实景见附图 3，实验楼一层平面布局见附图 4。

8.2 辐射环境质量现状评价

8.2.1 监测目的

通过现场监测的方式掌握项目区域环境质量和辐射水平现状，为分析及预测本项目运行时对职业人员、公众成员及周围环境的影响提供基础数据。

8.2.2 环境现状评价对象

本项目辐射工作场所及周边环境。

8.2.3 监测因子

根据项目污染因子特征，环境监测因子为 γ 辐射空气吸收剂量率。

8.2.4 监测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ

61-2021)等要求,结合现场条件,对本项目辐射工作场所及周围环境进行监测布点。本项目受检场所 1 处,共布设 18 个监测点位,布点情况见附图 6,监测报告及监测资质见附件 7。

8.2.5 监测方案

- (1) 监测单位: 浙江亿达检测技术有限公司(资质证书编号: 211112051235);
- (2) 监测时间: 2026 年 5 月 28 日;
- (3) 监测方式: 现场检测;
- (4) 监测依据:《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)等;
- (5) 监测频次: 即时测量,每个监测点在仪器读数稳定后以 10 秒的间隔读取 10 个数
据;
- (6) 监测工况: 辐射环境本底;
- (7) 天气环境条件: 天气: 晴; 室内温度 26℃; 室外温度: 30℃; 相对湿度: 71%;
- (8) 监测仪器: 该仪器在检定有效期内,相关设备参数见表 8-1。

表 8-1 监测仪器设备参数

检测仪器	x、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H (外置探头: 6150 AD-b/H 主机: 6150 AD 6/H)
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量 程	外置探头: 10nSv/h~99.99 μ Sv/h; 主机: 0.1 μ Sv/h~10mSv/h
能量范围	外置探头: 20keV-7MeV; 主机: 60keV-1.3MeV
检定证书编号	NJYF-20260350086
检定证书有效期	2026 年 3 月 2 日~2027 年 3 月 1 日
检定单位	浙江省质量科学研究院
校准因子 Cr	1.02
探测限	10nSv/h

8.2.6 质量保证措施

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

8.2.7 监测结果及评价

监测结果见表8-2。

表 8-2 本项目 X 射线数字成像检测设备拟建场所及周围环境辐射本底监测结果

位点编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		位置
		平均值	标准差	
▲1	1 号实验楼 110 室	108	4	室内
▲2	1 号实验楼 102 室	96	2	室内
▲3	1 号实验楼一层西侧其他房间	107	4	室内
▲4	1 号实验楼 104 室	101	4	室内
▲5	1 号实验楼一层厕所	105	3	室内
▲6	1 号实验楼一层走廊	110	3	室内
▲7	1 号实验楼一层南侧其他房间	108	3	室内
▲8	1 号实验楼一层大厅	115	4	室内
▲9	1 号实验楼二层	115	3	室内
▲10	1 号实验楼三层	122	3	室内
▲11	1 号实验楼四层	128	2	室内
▲12	1 号实验楼五层	115	2	室内
▲13	连廊	91	2	室内
▲14	2 号实验楼	113	3	室内
▲15	工程实践中心	105	3	室内
▲16	东侧道路	55	3	道路
▲17	南侧道路	76	4	道路
▲18	北侧道路	52	3	道路

注：1、本次测量时，测量时仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；

2、本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy；

3、γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值 31.0nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，▲1~▲15 取 0.8；其余点位取 1。

由表8-2可知：本项目拟建辐射工作场所及周围环境室内γ辐射空气吸收剂量率范围为 91nGy/h~128nGy/h，道路上γ辐射空气吸收剂量率为52nGy/h~76nGy/h。由《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，由《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，杭州市室内的 γ 辐射（空气吸收）剂量率范围为56nGy/h~443nGy/h，杭州市道路上 γ 辐射（空气吸收）剂量率范围为28nGy/h~220nGy/h。因此，本项目辐射工作场所及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目工业 CT 属于一体化设计和制造的成套设备，无需施工建设，因此无施工期废物排放。设备调试时会产生 X 射线及少量的臭氧与氮氧化物。

9.2 工艺设备和工艺分析

9.2.1 设备组成及工作方式

本项目工业 CT 主要由防护铅房、检测平台（包括 X 射线源、载物台和平板探测器）、图像处理系统等构成。其原理是利用计算机控制 X 射线源发出射线束，并通过机械系统控制被测样品进行移动或旋转，X 射线穿过待测材料后由平板探测器接收的并转化为投影数据，再利用相关算法将投影数据重建为 3D 结构，根据 3D 结构检测工件进行研究。

本项目工业 CT 外观情况见图 9-1，内部结构情况见图 9-2。

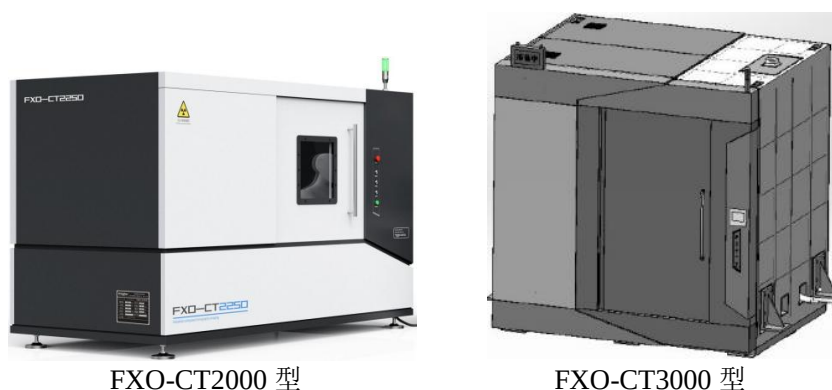


图 9-1 本项目工业 CT 外观示意图

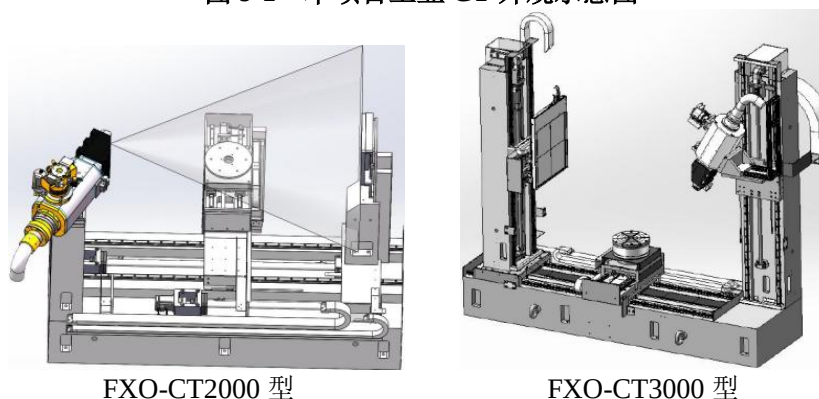


图 9-2 本项目工业 CT 内部结构示意图

2 台工业 CT 的 X 射线源均固定，FXO-CT2000 型工业 CT 的载物台可沿 X、Y、Z 轴移动以及绕 θ 轴旋转，平板探测器可沿 X 轴移动；FXO-CT3000 型工业 CT 的载物台可沿 X、Y 轴移动以及绕 θ 轴旋转，平板探测器可沿 X 轴移动。运动坐标系示意图见图 9-3。将待检工件放至载物台上后，X 射线透过工件后由平板探测器接收，然后再由重构软件进行图像重

建，以得到可视化的内部结构等信息。在扫描过程中工件在转台进行 360 度旋转，以获取工件每个位置的 2D 图像，在获取 30 度零件不同位置的 2D 图片后，进行 3D 重构，得到工件的 3D 内部结构图。待检工件通过工件门放入铅房内检测，关闭工件门后 X 射线源才能开启出束，打开工件门时将立即切断射线源，停止出束。操作人员将工件放置在载物台上、关闭工件门，通过控制面板设置好检测参数后，设备可自动完成分析测试工作，自动保存分析数据，通过操作台上的图像摄制和处理系统对检测图像进行进一步处理。

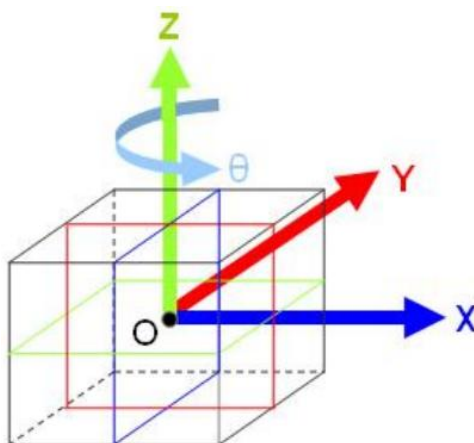


图 9-3 运动坐标系示意图

9.2.2 工作原理

(1) 射线装置原理

射线装置通过 X 射线管产生射线，X 射线管由密封在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，X 射线管示意图如图 9-4 所示。X 射线管阴极是钨制灯丝，它装在聚集杯中，当灯丝通电加热时，灯丝上产生大量活跃电子，聚焦杯使这些电子聚集成束，向嵌在阳极中的金属靶体射击，灯丝电流愈大，产生的电子数量越多。在阴阳两极高压作用下，电子流向阳极高速运动撞击金属靶，撞击过程中，电子突然减速，其损失的动能会以光子（X 射线）形式释放，形成 X 光光谱的连续部分，称之为轫致辐射，产生的 X 射线最大能量等于电子的动能。

从 X 射线管阴极上产生射向金属靶上的电子形成的电流叫做管电流，加在 X 射线管两极上的高压即为管电压。X 射线机产生的 X 射线强度正比于靶物质的原子序数、电子流强度和管电压的平方。所以，X 射线机的管电压、管电流和阳极靶物质是影响 X 射线强度的直接因素。虽然电子轰击靶体时所有方向都发射 X 射线，但当加速电压低于 400kV 时，有用的锥形 X 射线束都是在电子射束大致垂直的方向上通过 X 射线管保护罩上的薄窗口引出来，其他方向发射的 X 射线则被保护罩的铅屏蔽层屏蔽掉。

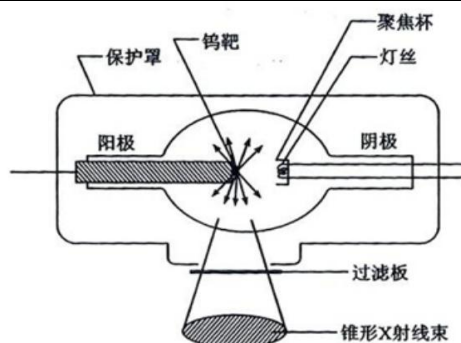


图 9-4 X 射线管示意图

(2) 工业 CT 原理

电子计算机断层摄影(Computed tomography, 简称 CT)是近十年来发展迅速的电子计算机和 X 射线相结合的一项新颖的诊断新技术。其原理是基于从多个投影数据应用计算机重建图像的一种方法，现代断层成像过程中仅仅采集通过特定剖面（被检测对象的薄层，或称为切片）的投影数据，用来重建该剖面的图像，因此也就从根本上消除了传统断层成像的“焦平面”以外其他结构对感兴趣剖面的干扰，“焦平面”内结构的对比度得到了明显的增强；同时断层图像中图像强度（灰度）数值能真正与被检对象材料的辐射密度产生对应的关系，发现被检对象内部辐射密度的微小变化。

工业 CT 工作示意图如图 9-5 所示。射线源提供 CT 扫描成像的能量线束用以穿透试件，根据射线在工件内的衰减情况实现以各点的衰减系数表征的 CT 图象重建。与射线源紧密相关的准直器用以将射线源发出的锥形射线束处理成扇形射束。机械扫描系统实现 CT 扫描时试件的旋转或平移，以及机械转盘、试件、探测器空间位置的调整。探测器系统用来接收穿过试件的射线信号，经放大和模数转换后送进计算机进行图象重建。计算机系统用于扫描过程控制、参数调整，完成图象重建、显示及处理等。屏蔽设施用于射线安全防护，一般小型设备自带屏蔽设施。

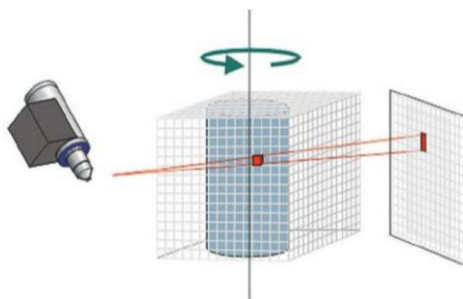


图 9-5 工业 CT 工作示意图

9.2.3 工艺流程及产污环节

本项目主要通过控制电脑上的操作软件完成检测，其产污环节为“检测与分析”环节，

污染源为 X 射线、臭氧和氮氧化物。工艺流程及产污环节如图 9-6 所示。

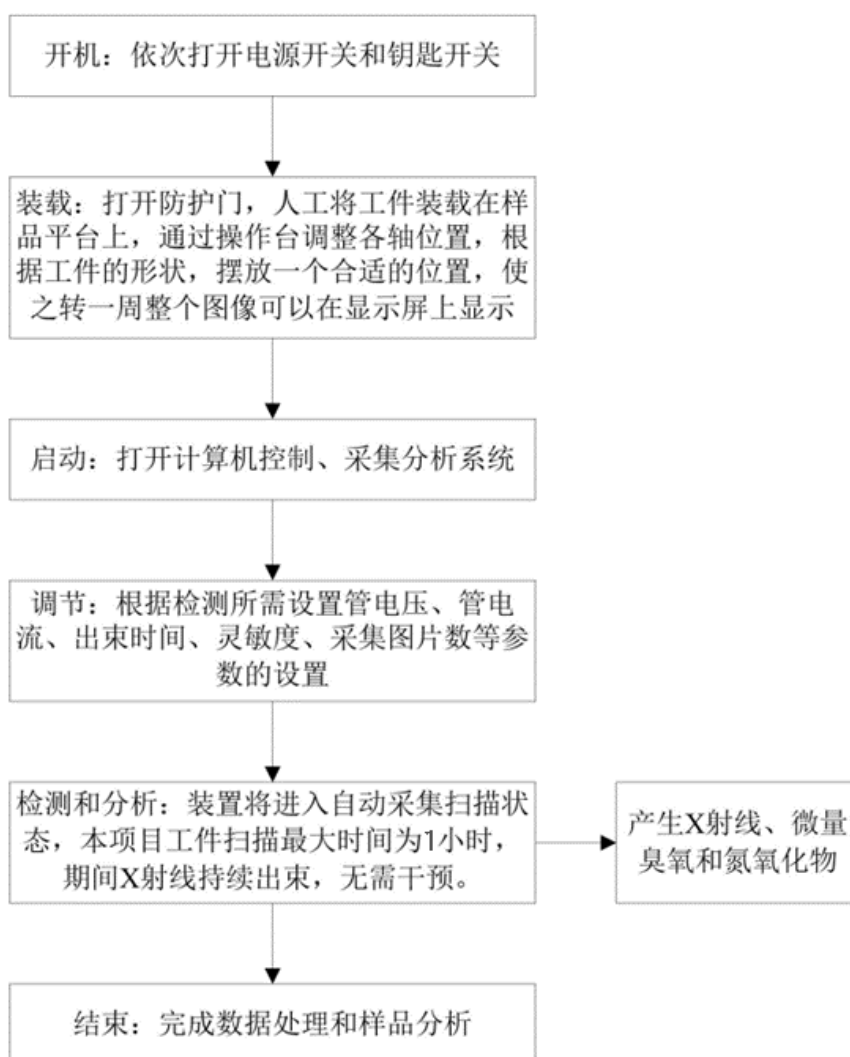


图 9-6 本项目工艺流程及产污环节示意图

9.2.4 运行工况和人员配置计划

本项目拟配置 2 台工业 CT（分别为 FXO-CT2000 型、FXO-CT3000 型，属于 II 类射线装置）。FXO-CT2000 型工业 CT 铅房的工件门设于东侧，X 射线机射线照射方向朝南；FXO-CT3000 型工业 CT 铅房的工件门设于南侧，X 射线机射线照射方向朝西。2 台工业 CT 的工件由人工运送至载物台上。

本项目工业 CT 检测的工件主要为精密零部件、新材料样件及科研样品等，工件最大尺寸为 300mm（长）×300mm（宽）×300mm（高）。项目拟配 2 名辐射工作人员，每天工作 8h，每年工作 250 天（50 周，每周工作 5 天）。本项目 2 台工业 CT 不存在同时运行的工况，检测时根据检测工件特性选择使用的工业 CT 型号，单次检测最大开机时间 60min，学校年检测工件数量约为 1000 件，则 2 台设备年出束时间合计为 1000h，周出束时间合计为 20h。

9.3 污染源项描述

9.3.1 运行期正常工况污染源项

(1) X 射线

由工业 CT 的工作原理可知，X 射线是随装置的开、关而产生和消失。因此，正常工况时，在开机曝光时间，X 射线是本项目的主要污染因子，辐射场中的 X 射线主要包括有用线束、泄漏辐射和散射辐射。

①有用线束和散射辐射

本项目 FXO-CT2000 型工业 CT 最大管电压 225kV，最大管电流为 3mA，滤过材料为 3mm 铝；FXO-CT3000 型工业 CT 最大管电压 300kV，最大管电流为 3mA，滤过材料为 3mm 铝。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)附录 B 表 B.1，采用内插法可知：FXO-CT2000 型工业 CT 输出量为 $11.4\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ ；FXO-CT3000 型工业 CT 输出量为 $20.9\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

②漏射辐射

根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)第4.2.2条款表1，FXO-CT2000型和FXO-CT3000型工业CT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为 $5 \times 10^3 \text{Sv/h}$ 。

(2) 臭氧和氮氧化物

X射线机工作时产生射线，会造成铅房内空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，对环境空气会产生影响。

9.3.2 运行期事故工况污染源项

根据建设单位工业 CT 的使用特点，在以下几种异常情况下工作人员或其他人员可能接触到高剂量 X 射线照射：

(1) 工业 CT 的门-机联锁失效，可能使工作人员受到超剂量照射；

(2) 维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当，X 射线机发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。

9.4 原有工艺不足及改进情况

杭州师范大学原有 1 处同位素实验室（属于丙级非密封放射性物质工作场所），该场所已完成环评、验收手续；此外学校有 12 台Ⅲ类射线装置已完成登记备案，学校持有效的《辐射安全许可证》。

9.4.1 原有工艺不足情况

经检查发现，公司原有核技术利用项目存在以下不足：

1、杭州师范大学原有同位素实验室已停用，未进行相关退役手续；

2、杭州师范大学现有 12 台Ⅲ类射线装置已完成登记备案，其中 6 台Ⅲ类射线装置尚未完成许可手续。

9.4.2 改进情况分析

针对上述问题，杭州师范大学承诺尽快完成原有同位素实验室退役手续，及时重新申领辐射安全许可证，关于核素场所退役管理的承诺说明见附件 9。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局

本项目位于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室和 110 室。102 室内配置 1 台 FXO-CT2000 型工业 CT（包括铅房和操作台），工件门位于铅房的东侧，便于工件进出，操作台位于铅房东北侧，检测工件的最大尺寸为 300mm（长）×300mm（宽）×300mm（高），FXO-CT2000 型工业 CT 的铅房内尺寸为 1926mm（长）×1096mm（宽）×1496mm（高），工件门的门洞尺寸为 750mm（宽）×600mm（高）。110 室内配置 1 台 FXO-CT3000 型工业 CT（包括铅房和操作台），工件门位于铅房的南侧，便于工件进出，操作台位于铅房西侧屏蔽间墙外，检测工件的最大尺寸为 300mm（长）×300mm（宽）×300mm（高），铅房内尺寸为 3002mm（长）×1651mm（宽）×2087mm（高），工件门的门洞尺寸为 1000mm（宽）×1764mm（高）。工件均由人工搬运进入铅房，放置在载物台上，本项目工业 CT 的尺寸均能满足检测工件进出铅房并位于铅房内检测的要求。铅房的设计三视图见附图 8。

FXO-CT2000 型工业 CT 的有用线束方向朝南，操作台位于铅房的东北侧，已避开有用线束照射的方向；FXO-CT3000 型工业 CT 的有用线束方向朝西，操作台位于铅房西侧屏蔽间墙外，距离铅房 2m，且操作台与铅房之间由硫酸钡+混凝土墙隔离，因此可以避开有用线束直射。综上所述，本项目工业 CT 布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）相关要求，合理可行。

10.1.2 辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区，其划分原则如下：控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据控制区、监督区的划分原则，结合《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的相关规定，本项目对辐射工作场所实行分区管理，将 FXO-CT2000 型和 FXO-CT3000 型工业 CT 的铅房内部区域划为控制区，在正常工作过程中，控制区内不得有无关人员进入，在铅房工件门显著位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明。将放置 FXO-CT2000 型工业 CT 的 102 室和放置 FXO-CT3000 型工业 CT 的 110 室除控制区外区域划分为监督区，对该

区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率，在正常工作过程中，监督区内不得有无关人员滞留。工作场所两区划分图见附图 7。

10.1.3 辐射工作场所屏蔽防护设计

根据建设单位提供的设计资料，本项目工业 CT 自带防护铅房，其屏蔽防护设计方案见表 10-1。

表 10-1 工业 CT 铅房屏蔽情况一览表

项目		屏蔽防护设计方案
FXO-CT2000	外尺寸	2540mm（长）×1440mm（宽）×1763mm（高）
	内尺寸	1926mm（长）×1096mm（宽）×1496mm（高）
	南防护墙以及东、西防护墙、顶棚、底部靠南侧半部分	4mm 钢板外壳，内敷设 14mm 铅板
	东、西防护墙、顶棚、底部靠北侧半部分	4mm 钢结构外壳，内敷设 12mm 铅板
	北防护墙	4mm 钢结构外壳，内敷设 10mm 铅板
	工件门（设于东防护墙靠北侧位置）	具有观察窗的电动移门，门洞 750mm（宽）×600mm（高），4mm 钢结构外壳，内敷设 12mm 铅板；观察窗铅玻璃厚度为 55mm，铅当量为 11mmPb；四周门缝处采用双 L 型搭接 50mm
	检修门（设于西防护墙靠北侧位置）	无观察窗的手动平开门，门洞 1979mm（宽）×1346mm（高），4mm 钢结构外壳，内敷设 12mm 铅板，四周门缝处采用双 L 型搭接 60mm
	线缆口	铅房北侧设置有 2 个线缆口，线缆口采用 10mm 铅板防护罩，形成 L 型孔道，线缆口贯穿形式详见附图 8-1
	排风扇孔	铅房顶棚设置 2 个机械排风装置，风量 224m ³ /h，排风扇孔采用 12mm 铅板防护罩，形成 L 型孔道，排风扇孔贯穿形式详见附图 8-1
FXO-CT3000	外尺寸	3169mm（长）×1811mm（宽）×2267mm（高）
	内尺寸	3002mm（长）×1651mm（宽）×2087mm（高）
	西防护墙	4mm 钢结构外壳，内敷设 24mm 铅板
	南、北防护墙、顶棚、底部	4mm 钢结构外壳，内敷设 16mm 铅板
	东防护墙	4mm 钢结构外壳，内敷设 15mm 铅板
	工件门（设于东防护墙上）	无观察窗的电动移门，门洞 1000mm（宽）×1764mm（高），4mm 钢结构外壳，内敷设 16mm 铅板，四周门缝处采用双 L 型搭接 50mm
	检修门（设于西防护墙上）	无观察窗的手动平开门，门洞 1979mm（宽）×1346mm（高），4mm 钢结构外壳，内敷设 16mm 铅板，四周门缝处采用双 L 型搭接 60mm
	线缆口	铅房北侧设置有 2 个线缆口，线缆口采用 4mm 钢板+33mm 铅板防护罩，形成 L 型孔道，线缆口贯穿形式详见附图 8-2
	排风扇孔	铅房顶棚设置 4 个机械排风装置，风量 448m ³ /h，排风扇孔采用 4mm 钢板+33mm 铅板防护罩。形成 L 型孔道，排风扇孔贯穿形式详见附图 8-2

注：钢的密度不低于 7.85g/cm³，铅的密度不小于 11.3g/cm³；铅当量保守按每 5mm 铅玻璃为 1mmPb 计。

10.1.4 辐射安全和防护及环保措施

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)以及辐射管理的相关制度,本项目工业 CT 投入使用前,拟具备以下辐射安全和防护措施:

1、设备自带辐射安全防护

(1) 操作台上设置钥匙开关,只有在打开操作台钥匙开关后,X 射线机才能出束;钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。

(2) 操作台处设置有高压接通时的指示装置,提醒操作人员设备电源处于接通状态,谨慎操作。

(3) 铅房工件门上方设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置,并与 CT 的 X 射线管高压联锁。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别。在 CT 周围醒目位置处应有对“预备”和“照射”信号意义的说明(工作指示灯在射线出束时亮红灯,未出束时灯灭),警告无关人员勿靠近装置或在装置附近做不必要的逗留。

(4) 铅房的工件门及检修门设置行程开关,与 X 射线机联锁形成门机联锁装置,只有当工件门及检修门完全关闭后 X 射线机才能出束,门打开时立即停止 X 射线照射,关上门不能自动开始 X 射线照射。

(5) 操作台处设置禁止非授权使用的警示标识,提醒其他人员勿擅自操作。

(6) 操作台处及铅房控制柜上设有急停按钮,按下急停按钮,会立刻停止出束,确保出现紧急事故时,能立即停止照射;由于 FXO-CT3000 型工业 CT 铅房内部可进入,因此该设备铅房内部也设置 3 个急停按钮。

(7) 铅房工件门及检修门上有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

(8) 本项目工业 CT 铅房内安装监视装置,操作台处设置专用的监视器,可监视铅房内设备的运行情况;102 室和 110 室均设有监视装置。

(9) 铅房顶棚设置机械排风装置,排风扇孔设置与同侧屏蔽体防护当量相当的铅板防护罩,避免朝向人员活动密集区,可满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

(10) 本项目工业 CT 铅房非典型探伤室,体积小,FXO-CT2000 型工业 CT 铅房辐射工作人员无法进入;FXO-CT3000 型工业 CT 铅房一般情况下也无需进入设备内部进行操作,且在每次出束前均会检查铅房内是否存在辐射工作人员,确定无人员后才开始出束工作,若辐射工作人员若进入装置内部,必须佩戴个人剂量计、携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂

量率仪，这些仪器可起到与固定式场所辐射探测报警装置相同的作用。因此，工业 CT 铅房内部无需安装显示实时剂量的固定式场所辐射探测报警装置。

2、操作过程管理措施

(1) 为保障非辐射工作人员和公众的安全，项目将 102 室和 110 室设为监督区，应采取设置门禁、张贴辐射警示标志、划定警戒线等措施进行管控，禁止无关人员靠近，使设备与公众保持一定的距离。

(2) 工作人员使用工业 CT 进行检测工作时，佩戴个人剂量报警仪，随时监测工作场所辐射剂量率变化情况。所有辐射工作人员均需佩戴个人剂量计，并定期送有资质的单位进行监测。

(3) 应定期测量铅房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，应终止工作并向辐射防护负责人报告。

(4) 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，则不应使用工业 CT。

(5) 辐射工作人员应正确使用配备的辐射防护装置。

(6) 学校应建立工业 CT 使用台账。在每一次照射前，操作人员都应该确认铅房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，才能开始使用工业 CT。

(7) 学校应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施，并将辐射工作制度张贴在工作现场。

3、设备检查和维护

(1) 建设单位的日检，每次工作开始前应进行检查的项目包括：

- ①工业 CT 设备外观是否完好；
- ②电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- ③安全联锁是否正常工作；
- ④报警设备和警示灯是否正常运行；
- ⑤螺栓等连接件是否连接良好；

(2) 设备维护

- ①建设单位应对工业 CT 的设备维护负责，每年至少维护一次；

②设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行。设备维护包括工业 CT 的彻底检查和所有零部件的详细检测；

③当设备有故障或损坏，需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；

④应做好设备维护记录。

4、辐射监测仪器和防护用品配置

本项目辐射监测仪器和防护用品配置计划见表 10-2。

表 10-2 本项目辐射监测仪器和防护用品配置计划

序号	名称	数量
1	个人剂量计	2 枚
2	个人剂量报警仪	2 台
3	便携式 X-γ 剂量率仪	1 台

用于放射防护检测的仪器，应按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

5、设备退役

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的第 6.3 条款要求，本项目后期投入使用后，对拟报废的工业 CT，学校将射线装置内的 X 射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

10.2 三废的治理

本项目运行过程中无放射性废气、废水及放射性固废产生。同时，工业 CT 采用计算机成像，不需要洗片，也不存在废显（定）影液和废胶片等危废的处理问题。

工业 CT 在工作状态时，会使铅房中的空气电离产生臭氧和氮氧化物。铅房设有机械排风装置，FXO-CT2000 型工业 CT 总设计风量 224m³/h，铅房内容积约为 3.2m³，有效通风换气次数每小时 70 次；FXO-CT3000 型工业 CT 总设计风量 448m³/h，铅房内容积约为 10.3m³，有效通风换气次数每小时 43 次。废气再由 102 室或 110 室的排风系统引到室外，对周围环境不会产生显著影响。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟建工业 CT 位于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室和 110 室，设备为整体外购，自带防护铅房，因此无土建施工期影响。

本环评要求设备的调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行调试设备。在设备调试阶段，应加强辐射防护管理。在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，在 X 射线实验室门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故的发生。

由于本项目工业 CT 为整体外购，自带防护铅房。因此调试阶段 X 射线经过防护铅房屏蔽后，不会对周围环境造成电离辐射影响。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段辐射环境影响分析

根据工程分析可知，本项目运行后主要的环境影响是工业 CT 工作时产生的 X 射线对周围环境的辐射影响。为分析预测工业 CT 投入运行后所引起的辐射环境影响，本项目选用《工业 X 射线探伤辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改清单中计算方法进行理论计算，预测背景为工业 CT 最大工况运行。由于工业 CT 铅房钢板之间存在拼接缝隙，因此本项目仅考虑铅板屏蔽。

本项目工业 CT 作业时 X 射线机固定。经与建设单位核实，最大有用线束直射区域示意图见图 11-1~图 11-6，FXO-CT2000 型工业 CT 有用线束可直射南防护墙及东、西防护墙、顶棚靠南侧半部分，FXO-CT3000 型工业 CT 有用线束仅直射西防护墙。根据 GBZ/T 250-2014 第 3.2.1 条款“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”，故本次评价将 FXO-CT2000 型工业 CT 铅房的东、西、南防护墙和顶棚屏蔽性能按有用线束进行考虑，其他方向按泄漏辐射和散射辐射进行考虑；FXO-CT3000 型西防护墙屏蔽性能按有用线束进行考虑，其他方向按泄漏辐射和散射辐射进行考虑。本项目工业 CT 铅房下方无地下室，故本报告仅验算底部屏蔽防护性能是否满足要求。本项目工业 CT 铅房顶棚上方为 1 号实验楼二层至五层，故本报告不考虑天空反散射影响。

11.2.1 关注点的选取

根据本项目工程特征及铅房周围环境状况，选择剂量关注点为铅房四周屏蔽墙、顶棚、底部和防护门外 30cm 处。关注点的分布情况见图 11-1~图 11-4，剂量关注点情况列于表 11-1。

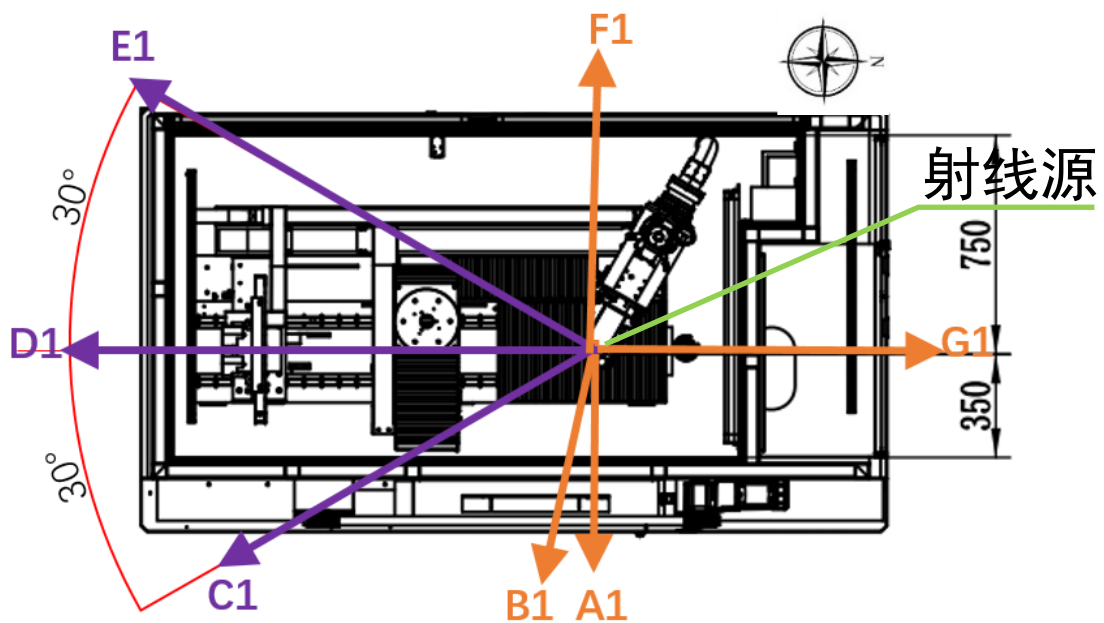


图 11-1 FXO-CT2000 型工业 CT 辐射屏蔽计算预测点位平面图 (单位: mm)

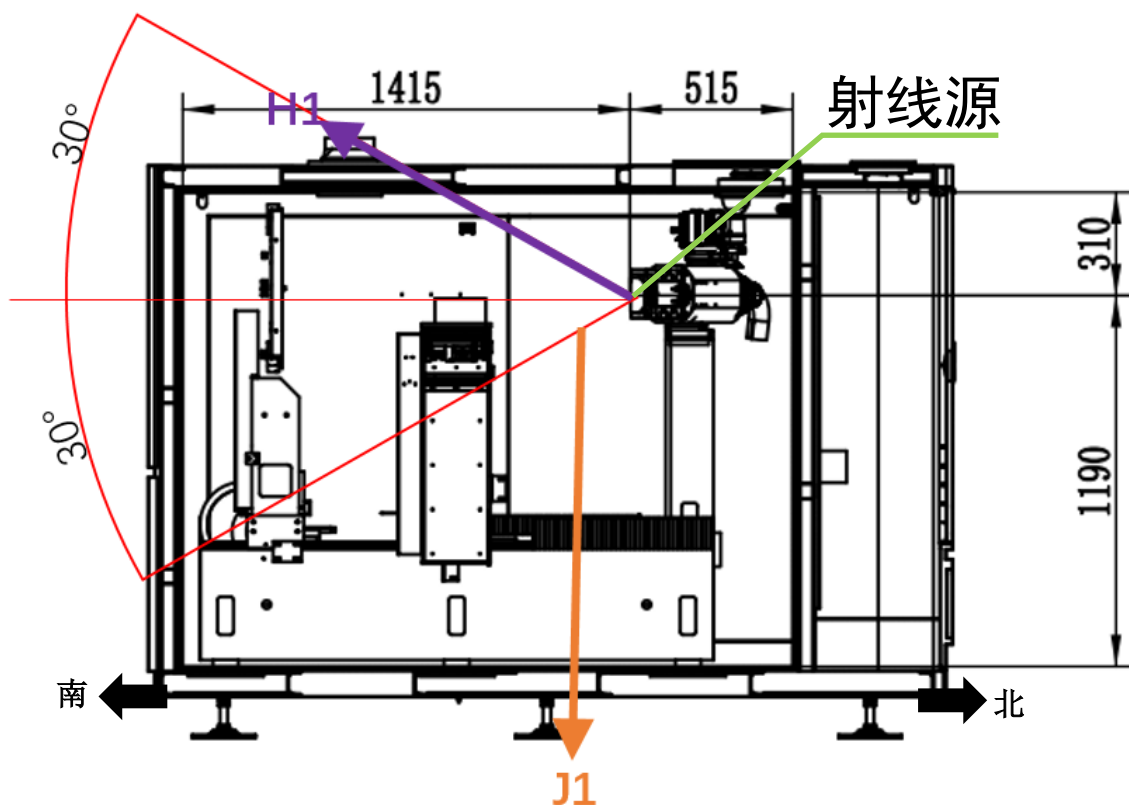


图 11-2 FXO-CT2000 型工业 CT 辐射屏蔽计算预测点位剖面图 (单位: mm)

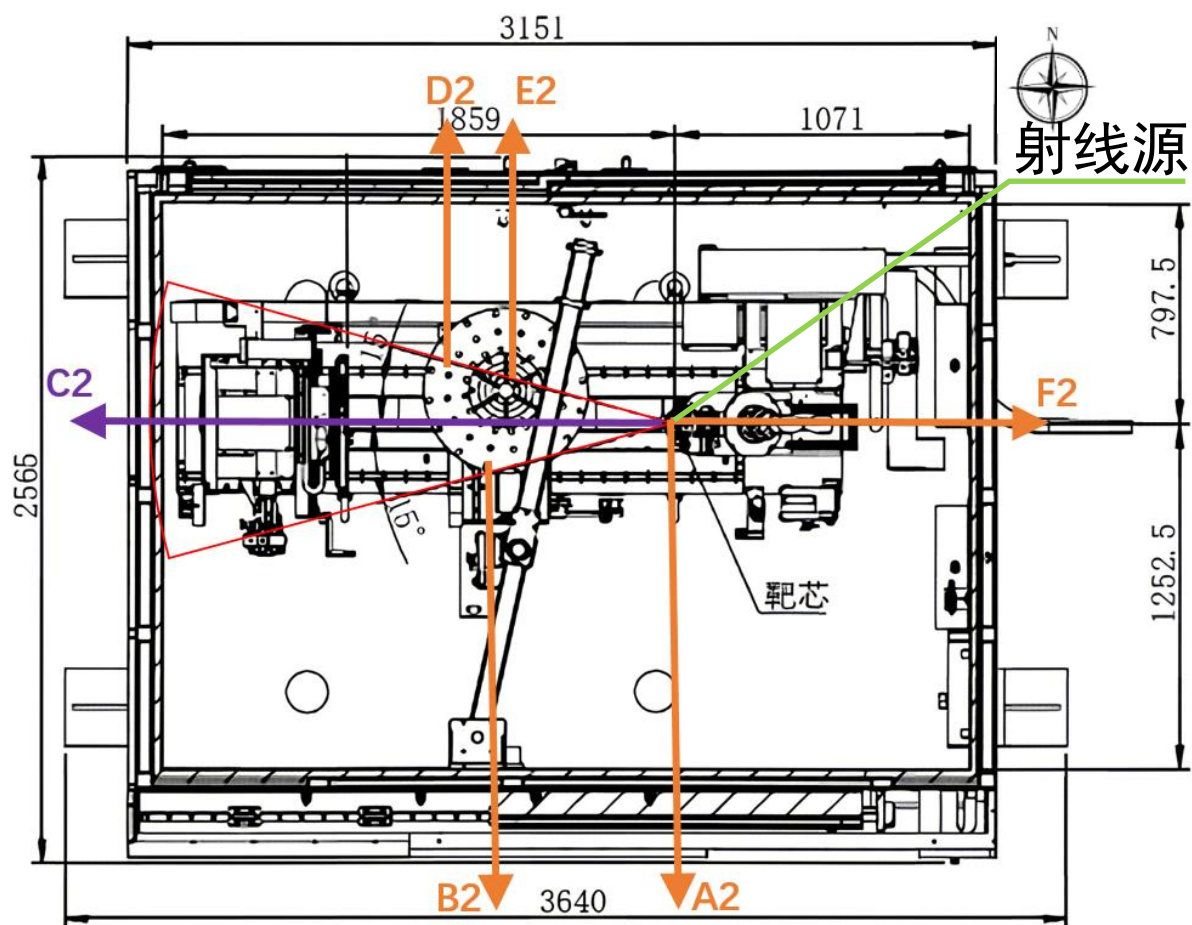


图 11-3 FXO-CT3000 型工业 CT 辐射屏蔽计算预测点位平面图 (单位: mm)

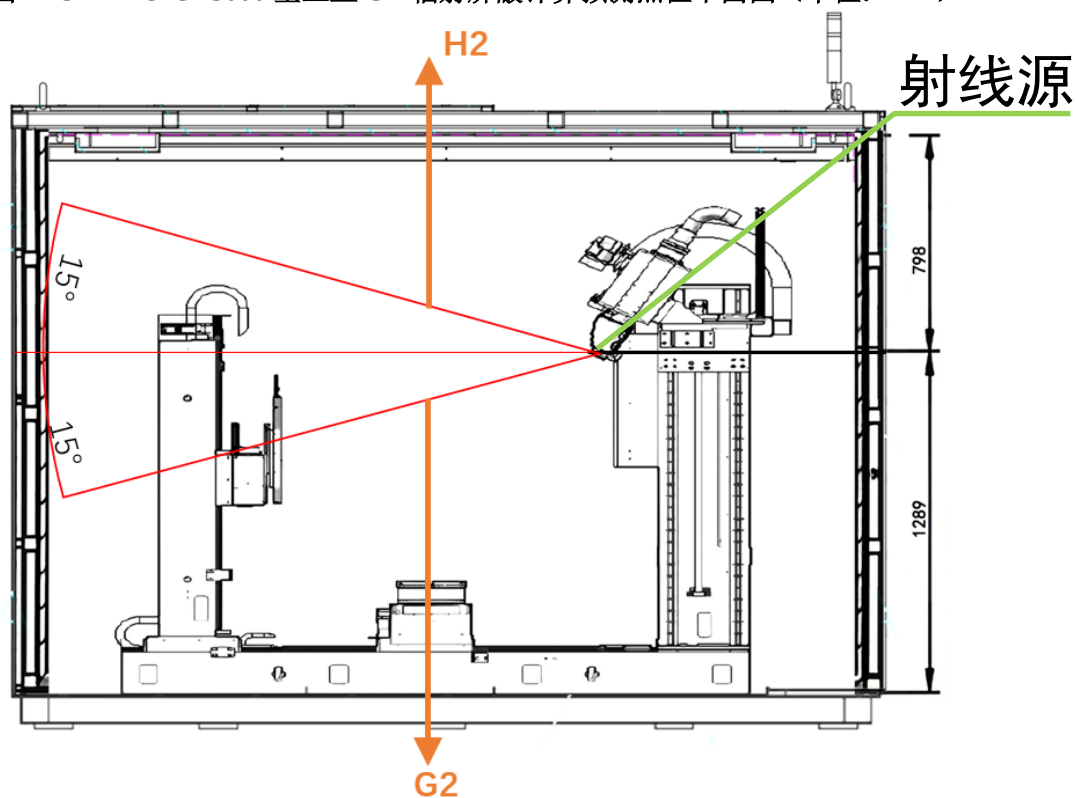


图 11-4 FXO-CT3000 型工业 CT 辐射屏蔽计算预测点位剖面图 (单位: mm)

表 11-1 各关注点位分布情况表

设备型号	关注点位	点位描述	源点与关注点距离 R (m)	散射体与关注点的距离 R _s (m)	需屏蔽的辐射源
FXO-CT2000	A1	工件门外 30cm	0.9	0.8	泄漏辐射、散射辐射
	B1	观察窗外 30cm	0.9	0.8	泄漏辐射、散射辐射
	C1	东防护墙外 30cm	1.4	/	有用线束
	D1	南防护墙外 30cm	1.8	/	有用线束
	E1	西防护墙外 30cm	1.9	/	有用线束
	F1	检修门外 30cm	1.1	1.0	泄漏辐射、散射辐射
	G1	北防护墙外 30cm	1.3	1.4	泄漏辐射、散射辐射
	H1	顶棚外 30cm	1.0	/	有用线束
	J1	底部外 30cm	1.6	1.5	泄漏辐射、散射辐射
FXO-CT3000	A2	工件门外 30cm	1.7	1.6	泄漏辐射、散射辐射
	B2	南防护墙外 30cm	1.7	1.6	泄漏辐射、散射辐射
	C2	西防护墙外 30cm	2.2	/	有用线束
	D2	北防护墙外 30cm	1.2	1.1	泄漏辐射、散射辐射
	E2	检修门外 30cm	1.2	1.1	泄漏辐射、散射辐射
	F2	东防护墙外 30cm	1.4	1.5	泄漏辐射、散射辐射
	G2	底部外 30cm	1.7	1.6	泄漏辐射、散射辐射
	H2	顶棚外 30cm	1.2	1.1	泄漏辐射、散射辐射

11.2.2 场所辐射水平预测

(1) 有用线束计算公式

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014), 在给定屏蔽物质厚度 X 时, 屏蔽体外关注点的有用线束辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 (11-1) 计算, 然后由附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度:

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中:

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流, mA; FXO-CT2000 型和 FXO-CT3000 型工业 CT 的最大管电流为 3mA;

H_0 ——距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$; 根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B 表 B.1, 经换算, FXO-CT2000 型、FXO-CT3000 型工业 CT 的输出量分别为 $6.84\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ 、 $1.25\times 10^6\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$;

B ——屏蔽透射因子; 225kV 和 300kV X 射线穿过铅板时的透射因子根据 GBZ/T 250-2014

附录B图B.1取；屏蔽透射因子详见表11-2；

R ——距辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m），取值见表 11-1。

（2）泄漏辐射计算公式

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），在给定屏蔽物质厚度 X 时，屏蔽体外关注点的泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式（11-2）计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{（式 11-2）}$$

式中：

B ——屏蔽透射因子，根据公式 $B = 10^{-X/\text{TVL}}$ 计算，其中 X 为屏蔽层厚度，mm；什值层 TVL 根据 NCRP Report No. 151（Appendix A，P158）取；屏蔽透射因子详见表 11-2；

R ——距辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m），取值见表 11-1；

$\dot{H}_L$ ——距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）第 4.2.2 条款表 1，FXO-CT2000 型和 FXO-CT3000 型工业 CT 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为 $5 \times 10^3 \text{Sv/h}$ 。

（3）散射辐射计算公式

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），在给定屏蔽物质厚度 X 时，屏蔽体外关注点的散射辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式（11-3）计算。

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \dots\dots\dots \text{（式 11-3）}$$

式中：

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA，本项目取值 3mA；

H_0 ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.1，经换算，FXO-CT2000 型、FXO-CT3000 型工业 CT 的输出量分别为 $6.84 \times 10^5 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ 、 $1.25 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

B ——屏蔽透射因子，根据公式 $B = 10^{-X/\text{TVL}}$ 计算，其中 X 为屏蔽层厚度，mm；查询 GBZ/T 250-2014 表 2，原始 X 射线为 225kV、300kV，对应的 90°散射辐射为 200kV；200kV X 射线在铅中的什值层 TVL 根据 GBZ/T 250-2014 附录 B 表 B.2 取；屏蔽透射因子详见表 11-2；

F —— R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（ m^2 ）；

α ——散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）散射体散射在距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。根据 GBZ/T 250-2014 附录 B 表 B.3，保守取 4.75×10⁻²；

R_0 ——辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

$\frac{F}{R_0^2}$ ——FXO-CT2000 型工业 CT 的 X 射线装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 30°，因此取 $\pi \times \tan 30^\circ \approx 1.8$ ；FXO-CT3000 型工业 CT 的 X 射线装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 15°，因此取 $\pi \times \tan 15^\circ \approx 0.84$ 。

R_S ——散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

表 11-2 屏蔽透射因子情况一览表

类型	X 射线最高能量 相应的 kV 值	屏蔽材料	什值层 TVL	屏蔽透射因子
有用线束	225kV	14mm 铅板	/	1.13×10 ⁻⁹
	300kV	24mm 铅板	/	1.90×10 ⁻⁶
漏射辐射	225kV	12mm 铅板	1.8mm	2.15×10 ⁻⁷
		11mmPb 铅玻璃	1.8mm	7.74×10 ⁻⁷
		10mm 铅板	1.8mm	2.78×10 ⁻⁶
	300kV	16mm 铅板	3.5mm	2.68×10 ⁻⁵
		15mm 铅板	3.5mm	5.18×10 ⁻⁵
散射辐射	200kV	16mm 铅板	1.4mm	3.73×10 ⁻¹²
		15mm 铅板	1.4mm	1.93×10 ⁻¹¹
		12mm 铅板	1.4mm	2.68×10 ⁻⁹
		11mmPb 铅玻璃	1.4mm	1.39×10 ⁻⁸
		10mm 铅板	1.4mm	7.20×10 ⁻⁸

（5）预测结果

根据公式（11-1）～（11-3），代入相关参数，本项目铅房运行时周围环境辐射水平预测结果见表 11-3～表 11-6。

表 11-3 有用线束辐射剂量率预测结果

设备 型号	关注 点位	I (mA)	H ₀ (μSv·m ² / (mA·h))	屏蔽材料	B _铅	R (m)	Ĥ (μSv/h)
FXO- CT2000	C1	3	7.20×10 ⁵	14mm 铅板	1.13×10 ⁻⁹	1.4	1.18×10 ⁻³
	D1	3	7.20×10 ⁵	14mm 铅板	1.13×10 ⁻⁹	1.8	7.16×10 ⁻⁴
	E1	3	7.20×10 ⁵	14mm 铅板	1.13×10 ⁻⁹	1.9	6.42×10 ⁻⁴
	H1	3	7.20×10 ⁵	14mm 铅板	1.13×10 ⁻⁹	1.0	2.32×10 ⁻³
FXO- CT3000	C2	3	1.32×10 ⁶	24mm 铅板	1.90×10 ⁻⁶	2.2	1.47

表 11-4 泄漏辐射剂量率预测结果

设备型号	关注点位	屏蔽材料	B _铅	H _L (μSv/h)	R (m)	$\dot{H}$ (μSv/h)
FXO-CT2000	A1	12mm 铅板	2.15×10^{-7}	5000	0.9	1.33×10^{-3}
	B1	11mmPb 铅玻璃	7.74×10^{-7}	5000	0.9	4.78×10^{-3}
	F1	12mm 铅板	2.15×10^{-7}	5000	1.1	8.88×10^{-4}
	G1	10mm 铅板	2.78×10^{-6}	5000	1.3	8.22×10^{-3}
	J1	12mm 铅板	2.15×10^{-7}	5000	1.6	4.20×10^{-4}
FXO-CT3000	A2	16mm 铅板	2.68×10^{-5}	5000	1.7	4.64×10^{-2}
	B2	16mm 铅板	2.68×10^{-5}	5000	1.7	4.64×10^{-2}
	D2	16mm 铅板	2.68×10^{-5}	5000	1.2	9.31×10^{-2}
	E2	16mm 铅板	2.68×10^{-5}	5000	1.2	9.31×10^{-2}
	F2	15mm 铅板	5.18×10^{-5}	5000	1.4	1.32×10^{-1}
	G2	16mm 铅板	2.68×10^{-5}	5000	1.7	4.64×10^{-2}
	H2	16mm 铅板	2.68×10^{-5}	5000	1.2	9.31×10^{-2}

表 11-5 散射辐射剂量率预测结果

设备型号	关注点位	屏蔽材料	B _铅	I (mA)	H ₀ (μSv·m ² / (mA·h))	α	$\frac{F}{R_0^2}$	R _s (m)	$\dot{H}$ (μSv/h)
FXO-CT2000	A1	12mm 铅板	2.68×10^{-9}	3	7.20×10^5	4.75×10^{-2}	1.8	0.8	7.35×10^{-4}
	B1	11mmPb 铅玻璃	1.39×10^{-8}	3	7.20×10^5	4.75×10^{-2}	1.8	0.8	3.81×10^{-3}
	F1	12mm 铅板	2.68×10^{-9}	3	7.20×10^5	4.75×10^{-2}	1.8	1.0	4.70×10^{-4}
	G1	10mm 铅板	7.20×10^{-8}	3	7.20×10^5	4.75×10^{-2}	1.8	1.4	6.44×10^{-3}
	J1	12mm 铅板	2.68×10^{-9}	3	7.20×10^5	4.75×10^{-2}	1.8	1.5	2.09×10^{-4}
FXO-CT3000	A2	16mm 铅板	3.73×10^{-12}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.6	2.18×10^{-7}
	B2	16mm 铅板	3.73×10^{-12}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.6	2.18×10^{-7}
	D2	16mm 铅板	3.73×10^{-12}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.1	4.61×10^{-7}
	E2	16mm 铅板	3.73×10^{-12}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.1	4.61×10^{-7}
	F2	15mm 铅板	1.93×10^{-11}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.5	1.28×10^{-6}
	G2	16mm 铅板	3.73×10^{-12}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.6	2.18×10^{-7}
	H2	16mm 铅板	3.73×10^{-12}	3	1.32×10^6	4.75×10^{-2}	0.84	1.1	4.61×10^{-7}

表 11-6 各关注点位辐射剂量率预测结果汇总

设备型号	关注点位	有用线束 (μSv/h)	泄漏辐射 (μSv/h)	散射辐射 (μSv/h)	总剂量率 (μSv/h)	GBZ117-2022 标准限值 (μSv/h)	是否 达标
FXO-CT2000	A1	/	1.33×10^{-3}	7.35×10^{-4}	2.07×10^{-3}	2.5	达标
	B1	/	4.78×10^{-3}	3.81×10^{-3}	8.59×10^{-3}	2.5	达标
	C1	1.18×10^{-3}	/	/	1.18×10^{-3}	2.5	达标

	D1	7.16×10^{-4}	/	/	7.16×10^{-4}	2.5	达标
	E1	6.42×10^{-4}	/	/	6.42×10^{-4}	2.5	达标
	F1	/	8.88×10^{-4}	4.70×10^{-4}	1.36×10^{-3}	2.5	达标
	G1	/	8.22×10^{-3}	6.44×10^{-3}	1.47×10^{-2}	2.5	达标
	H1	2.32×10^{-3}	/	/	2.32×10^{-3}	2.5	达标
	J1	/	4.20×10^{-4}	2.09×10^{-4}	6.29×10^{-4}	2.5	达标
FXO-CT3000	A2	/	4.64×10^{-2}	2.18×10^{-7}	4.64×10^{-2}	2.5	达标
	B2	/	4.64×10^{-2}	2.18×10^{-7}	4.64×10^{-2}	2.5	达标
	C2	1.47	/	/	1.47	2.5	达标
	D2	/	9.31×10^{-2}	4.61×10^{-7}	9.31×10^{-2}	2.5	达标
	E2	/	9.31×10^{-2}	4.61×10^{-7}	9.31×10^{-2}	2.5	达标
	F2	/	1.32×10^{-1}	1.28×10^{-6}	1.32×10^{-1}	2.5	达标
	G2	/	4.64×10^{-2}	2.18×10^{-7}	4.64×10^{-2}	2.5	达标
	H2	/	9.31×10^{-2}	4.61×10^{-7}	9.31×10^{-2}	2.5	达标

因此，本项目 FXO-CT2000 工业 CT 在最大工况正常运行时，各关注点辐射剂量率最大值为 $1.47 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，FXO-CT3000 工业 CT 在最大工况正常运行时，各关注点辐射剂量率最大值为 $1.47 \mu\text{Sv/h}$ ，则满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）规定的关注点最高周围剂量当量率参考控制水平。

11.2.3 局部贯穿辐射分析

本项目工业 CT 铅房设有线缆口，用于连通铅房内装置与配电箱；铅房顶棚设有排风扇孔，用于排风通向铅房外。FXO-CT2000 工业 CT 的线缆口采用 10mm 铅板防护罩，排风扇孔采用 12mm 铅板防护罩；FXO-CT3000 工业 CT 的线缆口和排风扇孔采用 4mm 钢板+33mm 铅板防护罩。设计详见附图 8。本项目 2 台工业 CT 的线缆口和排风扇孔均设置了与同侧屏蔽体防护当量相当的铅板防护罩，形成 L 型孔道，经过孔道的多重反射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏可忽略不计。因此局部贯穿的布置方式不会破坏铅房的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

11.2.4 人员受照剂量估算

1、年有效剂量计算公式

根据《辐射防护导论》（方杰主编），X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H_{E-r} = D_r \times t \times T \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{（式 11-7）}$$

H_{E-R} ——年受照剂量，mSv/a；

D_r ——关注点辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T ——居留因子；

t ——年受照时间，h/a。

2、居留因子的确定

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)附录 A 表 A.1，不同场所与环境条件下的居留因子见表 11-7。

表 11-7 不同场所与环境下的居留因子

场所	居留因子 T	示例
全居留	1	控制室、暗室、办公室、临近建筑中的驻留区
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道

注：取自 NCRP144。

在本项目保护目标中：厕所、东侧道路、南侧道路、北侧道路为偶然居留，居留因子取典型值 1/16；走廊、连廊、大厅为部分居留，居留因子取典型值 1/4；其他保护目标为全居留，居留因子取 1。

2、估算结果

由于本项目 2 台工业 CT 不存在同时运行的工况，因此计算人员受照剂量时，保守选取保护目标处辐射剂量率较大值。根据射线装置产生的剂量率与距离平方成反比关系，利用表 11-3~表 11-6 的相关数据，本项目相关人员的预期年剂量水平的计算见表 11-8。

表 11-8 人员受照剂量计算参数及计算结果一览表

人员属性		居留因子	源点与关注点距离 (m)	源点与保护目标距离 (m)	保护目标处辐射剂量率取值 ($\mu\text{Sv/h}$)	周受照时间 (h/周)	周受照总剂量 ($\mu\text{Sv/周}$)	年受照时间 (h/a)	年受照总剂量 (mSv/a)
职业	操作台辐射工作人员	1	0.9	1.1	1.39×10^{-3}	20	9.36	1000	4.68×10^{-1}
			2.2	3.9	4.68×10^{-1}				
公众	厕所	1/16	0.9	5.3	2.48×10^{-4}	20	6.63×10^{-4}	1000	3.31×10^{-5}
			1.4	22.1	5.30×10^{-4}				
	东侧道路	1/16	0.9	14.6	3.26×10^{-5}	20	3.34×10^{-4}	1000	1.67×10^{-5}
			1.4	31.1	2.67×10^{-4}				
	工程实践中心	1	0.9	35.6	5.49×10^{-6}	20	1.10×10^{-4}	1000	5.49×10^{-4}
	走廊	1/4	1.8	7.5	4.12×10^{-5}	20	1.23×10^{-2}	1000	6.13×10^{-4}
			1.7	7.4	2.45×10^{-3}				

南侧其他房间	1	1.8	12.5	1.48E-05	20	1.74×10^{-2}	1000	8.72×10^{-4}
		1.7	12.4	8.72×10^{-4}				
南侧道路	1/16	1.8	35.5	1.84×10^{-6}	20	1.34×10^{-4}	1000	6.69×10^{-6}
		1.7	35.4	1.07×10^{-5}				
104 室	1	1.9	2.6	3.43×10^{-4}	20	6.24×10^{-2}	1000	3.12×10^{-3}
		1.4	9.1	3.12×10^{-3}				
连廊	1/4	1.9	11.6	1.40×10^{-3}	20	2.94×10^{-1}	1000	1.47×10^{-2}
		1.4	2.1	5.87×10^{-2}				
西侧其他房间	1	1.9	28.6	2.31×10^{-4}	20	1.20	1000	5.99×10^{-2}
		2.2	10.9	5.99×10^{-2}				
大厅	1/4	2.2	35.9	5.52×10^{-3}	20	2.76×10^{-2}	1000	1.38×10^{-3}
北侧道路	1/16	1.3	9.0	3.07×10^{-4}	20	1.71×10^{-3}	1000	8.56×10^{-5}
		1.2	9.9	1.37×10^{-3}				
2 号实验楼	1	1.3	27.0	3.41×10^{-5}	20	3.44×10^{-3}	1000	1.72×10^{-5}
		1.2	27.9	1.72×10^{-4}				
1 号实验楼 二层	1	1.0	2.7	3.18×10^{-4}	20	3.18×10^{-1}	1000	1.59×10^{-2}
		1.2	2.9	1.59×10^{-2}				
1 号实验楼 三层	1	1.0	6.7	5.17×10^{-5}	20	5.64×10^{-2}	1000	2.82×10^{-3}
		1.2	6.9	2.82×10^{-3}				
1 号实验楼 四层	1	1.0	10.7	2.03×10^{-5}	20	2.26×10^{-2}	1000	1.13×10^{-3}
		1.2	10.9	1.13×10^{-3}				
1 号实验楼 五层	1	1.0	14.7	1.07×10^{-5}	20	1.21×10^{-2}	1000	6.04×10^{-4}
		1.2	14.9	6.04×10^{-4}				

根据表 11-8 计算可知，本项目工业 CT 运行后所致辐射工作人员受照年有效剂量为 $4.68 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，周有效剂量为 $9.36 \mu\text{Sv}$ ；所致公众最大受照年有效剂量为 $5.99 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，周有效剂量为 $1.20 \mu\text{Sv}$ 。因此，工作人员和公众年有效剂量满足本项目的剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5 \text{mSv/a}$ ；公众成员 $\leq 0.25 \text{mSv/a}$ ），也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的剂量限值要求（职业人员 $\leq 20 \text{mSv/a}$ ；公众成员 $\leq 1.0 \text{mSv/a}$ ）；周有效剂量满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）“对放射工作场所，其值应不大于 $100 \mu\text{Sv/周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5 \mu\text{Sv/周}$ ”的要求。

11.2.5 非放射性污染环境影响分析

（1）臭氧和氮氧化物

X 射线机工作时产生射线，会造成工业 CT 铅房内空气电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。铅房设有机械排风装置，FXO-CT2000 型工业 CT 总设计风量 $224 \text{m}^3/\text{h}$ ，铅房内容积约为 3.2m^3 ，有效通风换气次数每小时 70 次；FXO-CT3000 型工业 CT 总设计风量 $448 \text{m}^3/\text{h}$ ，铅房

内容积约为 10.3m³, 有效通风换气次数每小时 43 次, 均满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中“每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”的要求, 不会形成局部聚集, 且臭氧在短时间内会自动分解为氧气, 对大气环境基本没有影响。

(2) 废水及固废

本项目使用的检测装置为工业 CT, 该装置将检测过程中的图像通过计算机成像并保存, 不进行洗片作业, 不产生废显(定)影液和废胶片。

11.3 工业 CT 铅房屏蔽防护能力分析

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) 的规定, 结合铅房屏蔽防护相关数据及上述辐射环境影响预测分析结果, 对学校使用的工业 CT 铅房辐射屏蔽能力符合性进行如下分析:

(1) 铅房设计已充分考虑周围的放射安全, 且铅房与操作台分开; 结合理论计算结果可知: 铅房工件门、检修门、各侧墙体及顶棚、底部的防护性能, 均能满足辐射防护。

(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有效剂量能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求。

(3) 本项目使用的工业 CT 在运行过程中产生的 X 射线, 使空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物, 可通过机械排风系统将臭氧和氮氧化物排出铅房外, 不会对工作人员和公众成员产生影响。

因此, 本项目各型号工业 CT 屏蔽能力均能达到其在最大管电压、管电流时的辐射防护要求。

11.4 事故影响分析

11.4.1 事故风险分析

建设单位使用的射线装置属 II 类射线装置, 可能的事故工况主要有以下几种情况:

(1) 工业 CT 门-机联锁失效, 可能使人员受到超剂量照射;

(2) 维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当, X 射线机发生异常出束, 维修人员受到超剂量照射。

11.4.2 事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生, 建设单位应严格执行以下风险预防措施:

(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）建设单位需制定《工业 CT 操作规程》。凡涉及对设备进行操作，必须按操作规程执行，作业时，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

（3）每日检查防护门的门机联锁装置和工作状态指示灯等安全设施，确保在铅门关闭后，X 射线机才能进行照射；

（4）定期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）建设单位新增辐射工作人员需到生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并自主学习，参加考核并取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单后方可上岗。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

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

杭州师范大学已成立了关于实验室安全工作委员会和实验室应急救援工作领导小组，由于原有同位素实验室已停用，该同位素实验室辐射工作人员均已退休，该安全和防护管理机构实际已解散。

本项目为建设单位首次开展工业 CT 应用项目，目前处于筹建阶段。建设单位承诺尽快成立辐射安全与环境保护管理机构，全面负责单位的辐射安全与环境保护管理工作，并配备相应的成员，确定管理机构领导、成员及辐射防护管理专（兼）职人员，做到分工清晰、职责明确，并在日后运行过程中，根据人事变动情况及时调整机构组成。

12.1.2 辐射人员管理

（1）个人剂量检测

建设单位拟为新增辐射工作人员配置个人剂量计和个人剂量报警仪。使用个人剂量报警仪可及时知道自身所处环境的辐射水平，避免在不知情的情况下长时间在高辐射剂量率水平的工作场所滞留。个人剂量计监测周期一般为一个月，最长不超过 3 个月，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应终生保存。

（2）辐射工作人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《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》（2019 年，第 57 号）精神，所有辐射工作人员必须通过生态环境部举办的辐射安全和防护专业知识培训及相关法律法规的培训和考核，尤其是新进的、转岗的人员，必须到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）自主培训并参加考核取得成绩单，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

建设单位拟新增 2 名辐射工作人员，由学校现有员工参加生态环境部组织的辐射安全与防护平台自主学习，考核合格后上岗，并按时每五年重新进行考核。

(3) 辐射工作人员职业健康体检

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

建设单位拟组织 2 名新增辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，建立个人健康档案，并长期保存，并每 2 年进行在岗期间体检，离岗前进行离岗体检。

12.1.3 辐射安全和防护状况年度评估报告

建设单位核技术利用项目正式开展后，应对开展的核技术利用项目辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的辐射安全和防护状况年度评估报告。辐射安全与防护状况年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；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；射线装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

杭州师范大学 2025 年度辐射安全与防护状况评估报告已提交，现有核技术利用项目管理情况良好。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，有完善的辐射事故应急措施。

由于本项目为杭州师范大学首次应用工业 CT，因此根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，建设单位承诺将制定或修订以下方面的管理制度：

辐射安全和防护保卫制度：根据本项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是工业 CT 的运行和维修时辐射安全管理。

工业 CT 安全操作规程：针对本项目工业 CT 制定相应的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、工业 CT 操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确工业 CT 的操作步骤，操作前对辐射安全措施的检查等，确保辐射安全措施的有效性；明确本项

目工业 CT 主射方向，确保避免产生额外辐射照射。

设备检修维护制度：对可能引起操作失灵的关键零配件及时进行更换。设备检修时禁止开启检测装置，待检修完毕，开启检测装置试探伤，确认检修完成。检修后主要性能未达仪器基本参数时不准重新投入使用。

辐射工作人员岗位职责：明确管理人员、本项目辐射工作人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

射线装置使用登记和台账管理制度：建立工业 CT 的档案和台账，使用射线装置时及时进行登记、检查等，同时加强台账管理。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

人员管理制度：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质单位进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标，并做好岗前监测；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，学校应建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射事故应急预案：根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）的要求，学校应成立以单位负责人为领导的辐射事故应急领导小组。针对工业 CT 可能产生的辐射污染情况修订事故应急制度，该制度要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通，并附上各联系部门及联系人的联系方式。同时根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的故事情节；演练参与人员等。

自行检查和年度评估制度：定期对工业CT的安全装置和防护措施、设施的安全防护效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患，必须立即进行整改，避免事故的发生。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

辐射安全档案管理制度：学校须建立个人剂量档案，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。辐射工作人员如调离辐射工作岗位，

学校应当将个人剂量档案长期保存；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每两年委托相关资质单位对放射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康监护档案且长期保存。学校应在工业 CT 工作场所醒目位置张贴《操作规程》、《辐射安全与防护保卫制度》、《辐射工作人员岗位职责》与《辐射事故应急预案》等制度，并做好使用登记和台账记录工作。在日后的工作实践中，学校应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，并严格按照制度进行。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）等要求，使用Ⅱ类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器。建设单位拟为辐射工作人员配置 2 台个人剂量报警仪和 2 支个人剂量计，配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪。

12.3.2 个人剂量监测

辐射工作人员工作时应佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。个人剂量计须定期（一般为一个月，最长不得超过三个月）送检。学校应建立剂量管理限值和剂量评价制度，对受到超剂量限值的应进行评价，跟踪分析高剂量的原因，优化实践行为，并指定专职辐射管理人员负责对个人剂量检测结果（检测报告）统一管理，建立档案，个人剂量档案应当长期保存。

12.3.3 探伤工作场所辐射监测

本项目正式投入使用后，学校须定期（每年 1 次）委托有资质的单位对工业 CT 铅房周围环境进行监测，并建立监测档案，监测数据每年年底向当地生态环境部门上报备案。

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年度监测

委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量当量率进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《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日常自我监测

定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定辐射工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期建议每季度 1 次。

④监测内容和要求

A、监测内容：周围剂量当量率。

B、监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。

监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-1 辐射监测计划

场所名称	监测内容	监测类型	监测点位	监测依据	监测周期
工业 CT 工作场所	周围剂量当量率	年度监测	工业 CT 铅房顶棚、四侧墙体及防护门外 30cm 处，操作台、线缆口、排风扇孔以及四周环境保护目标	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）	1 次/年
		自主监测			1 次/季度
		验收监测			竣工验收
	个人剂量检测	个人剂量当量	所有辐射工作人员	《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）	一般为一个月，最长不得超过三个月

12.3.4 环保竣工验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 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、生态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。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案制定要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定，辐射事故应急预案主要内容应包括：

- （1）应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）。
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备。
- （3）辐射事故分级与应急响应措施。
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序。
- （5）生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- （6）编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

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

12.4.2 建设单位应急预案制定情况

建设单位已制定了《杭州师范大学事故应急预案》，预案包括综合应急预案、专项应急预案和现场处置方案，确定了辐射事故应急小组，并公布了事故情况下各部门（包括企业内部各涉源部门和生态环境、卫生、公安等管理部门）的联系人和 24 小时联络电话，涵盖了多种情形下辐射事故应急措施。

由于本项目为学校首次应用工业 CT，因此需结合工业 CT 使用情况修订辐射事故应急预案。此外当法律法规变化或工艺、应急组织架构、关键人员调整时需立即修订。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

根据杭州师范大学科研的需要，拟在浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室购置 1 台 FXO-CT2000 型工业 CT，在 110 室购置 1 台 FXO-CT3000 型工业 CT，开展无损检测等科学实验工作。

(2) 项目位置

本项目位于杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼，下沙校区地址为杭州市钱塘区下沙高教园区学林街 16 号。

本项目拟购工业 CT 置于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼 102 室和 110 室使用。FXO-CT2000 型工业 CT 的操作台位于铅房东北侧约 0.5m 位置，2 台工业 CT 铅房均位于 102 室，且南北并列放置，因此视为一个整体，东侧 50m 内依次为厕所、东侧道路、工程实践中心；南侧 50m 内依次为走廊、南侧其他房间、南侧道路；西侧 50m 内依次为 104 室、配电间、连廊、110 室、西侧其他房间；北侧 50m 内依次为北侧道路、2 号实验楼；上方为 1 号实验楼二层至五层。FXO-CT3000 型工业 CT 铅房位于 110 室的屏蔽间内，操作台位于屏蔽间西侧墙外，距离铅房约 2m，该工业 CT 铅房东侧 50m 内依次为连廊、配电间、104 室、102 室、厕所、东侧道路；南侧 50m 内依次为走廊、南侧其他房间、南侧道路；西侧 50m 内依次为西侧其他房间、大厅；北侧 50m 内依次为北侧道路、2 号实验楼；上方为 1 号实验楼二层至五层。

(3) 项目布局及分区

建设单位拟将 FXO-CT2000 型和 FXO-CT3000 型工业 CT 的铅房内部区域划为控制区，将放置 FXO-CT2000 型工业 CT 的 102 室和放置 FXO-CT3000 型工业 CT 的 110 室除控制区外区域划分为监督区。控制区内不得有无关人员进入，在铅房防护门显著位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明；监督区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率，在正常工作过程中，监督区内不得有无关人员滞留。由上述可知，本项目分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定。

(4) 辐射安全防护措施结论

本项目工业 CT 采用设备自带的防护铅房进行实体屏蔽。FXO-CT2000 工业 CT 铅房外

尺寸为 2540mm（长）×1440mm（宽）×1763mm（高），南防护墙以及东、西防护墙、顶棚、底部靠南侧半部分为 4mm 钢板+14mm 铅板，东、西防护墙、顶棚、底部靠北侧半部分、工件门、检修门为 4mm 钢板+12mm 铅板，观察窗为 12mmPb 铅玻璃，北防护墙为 4mm 钢板+10mm 铅板；FXO-CT3000 工业 CT 铅房外尺寸为 3169mm（长）×1811mm（宽）×2267mm（高），西防护墙为 4mm 钢板+24mm 铅板，南、北防护墙、顶棚、底部、工件门、检修门为 4mm 钢板+16mm 铅板，东防护墙为 4mm 钢板+15mm 铅板。铅房工件门上方均设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与 X 射线机联锁；工件门上有电离辐射警告标志和中文警示说明，采用电动移门，并设置门机联锁；检修门常闭，上有电离辐射警告标志和中文警示说明，采用手动平开门；铅房及操作台设置紧急停机按钮等；本项目拟配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪、2 枚个人剂量计和 2 台个人剂量报警仪。

在落实以上辐射安全措施后，在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求。

（5）辐射安全管理结论

建设单位按规定拟成立辐射防护管理领导小组，拟根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定制定一系列辐射安全管理制度。

建设单位拟组织 2 名新增辐射工作人员参加生态环境部组织的辐射安全与防护培训，考核合格后方能上岗，并拟委托有资质的单位对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案。建设单位拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测。

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

13.1.2 环境影响分析结论

（1）主要污染因子

本项目主要污染因子为 X 射线、臭氧和氮氧化物。

（2）辐射剂量率影响预测结论

本项目工业 CT 在最大工况正常运行时，铅房各侧屏蔽墙、工件门、检修门、观察窗、顶棚及底部外关注点辐射剂量率均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）规定的

关注点最高周围剂量当量率参考控制水平。

(3) 个人剂量影响预测结论

根据剂量估算结果，本项目所致辐射工作人员和公众年有效剂量满足本项目的剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ；公众成员 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ ），也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的剂量限值要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ ；公众成员 $\leq 1.0\text{mSv/a}$ ）；周有效剂量满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）“对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv/周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv/周}$ ”的要求。

(4) 非辐射环境影响分析结论

少量臭氧和氮氧化物可通过动力通风装置排出工业 CT 铅房，臭氧在空气中短时间内会自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性分析结论

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》相关规定，本项目属于“十四 机械”中第 1 条：工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，为鼓励类，因此本项目建设符合国家现行产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

该项目的实施是为了开展无损检测等科学实验工作，因此，该项目的实践是必要的。本项目运行过程中，对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

(3) 选址合理性分析

本项目位于浙江省杭州市钱塘区学林街 16 号杭州师范大学下沙校区 1 号实验楼，不新增土地。同时，本项目用地性质属于教育用地，周围无环境制约因素。铅房周围 50m 范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区等环境敏感区。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址合理可行。

(4) 项目可行性

综上所述，本项目选址合理，符合国家产业政策，符合实践正当性原则，符合“三区三线”和生态环境分区管控动态更新方案相关要求，该项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，建设单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

（1）建设单位应加强对铅房以及辐射工作场所内人员进出的管理，健全辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高辐射工作人员对辐射防护与操作的理解和执行水平，杜绝辐射事故的发生。

（2）辐射工作人员应规范运行设备并有效使用个人剂量计、个人剂量报警仪等监测用品；建设单位应定期对本项目设备设施进行检查与维修。

（3）建设单位应严格执行相关法律法规，落实有关规定，并及时更新完善，提高制度可操作性。

13.2.2 承诺

（1）建设单位在本项目报批后，承诺及时向生态环境部门重新申领辐射安全许可证。

（2）建设单位承诺在本项目工业 CT 正式运行前根据《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），在规定的验收期限内（一般不超过 3 个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制竣工环境保护验收监测报告表。

--

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：	
公章	
经办人（签字）：	年 月 日
审批意见：	
公章	
经办人（签字）：	年 月 日

