

核技术利用建设项目

西安交通大学

X 射线断层扫描系统核技术利用项目

环境影响报告表



环境保护部监制

核技术利用建设项目

西安交通大学

X 射线断层扫描系统核技术利用项目 环境影响报告表

建设单位名称：西安交通大学

建设单位法人代表（签名或签章）：



张立新

通讯地址：陕西省西咸新区沣西新城思源环南路 999 号

邮政编码：710000

联系人：任子君



营业执照

统一社会信用代码

916101035660274053

扫描二维码登录“国家企业信用信息公示系统”了解更多登记、备案、许可、监管信息



(副本)
(1-1)

名称 西安海蓝环保科技有限公司
类型 有限责任公司(自然人投资或控股)
法定代表人 张荣兴

注册资本 贰佰陆拾万元人民币

成立日期 2011年01月11日

住所 西安经济技术开发区凤城十路保利中达广场1209室

经营范围

一般项目：环保咨询服务，环境保护监测，生态资源监测，大气环境污染防治服务，水环境污染防治服务，噪声与振动控制服务，土壤环境污染防治服务，土壤污染治理与修复服务，生态恢复及生态保护服务，农业面源和重金属污染防治技术服务，环境应急治理服务，工程技术服务（规划管理、勘察、设计、监理除外），工程管理服务，安全咨询服务，节能管理服务，石油天然气技术服务，信息技术咨询服务，数据处理服务，水利相关咨询服务，水文服务，水资源管理，水流失防治服务，地质灾害治理服务，土地调查评估服务，土地整治服务，技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广，软件开发，业务培训（不含教育培训、职业技能培训等需取得许可的培训），仪器仪表销售，医护人员防护用品零售，特种劳动防护用品销售，环境保护专用设备销售，环境监测专用仪器仪表销售（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）。



登记机关

2023年08月25日

编制单位和编制人员情况表

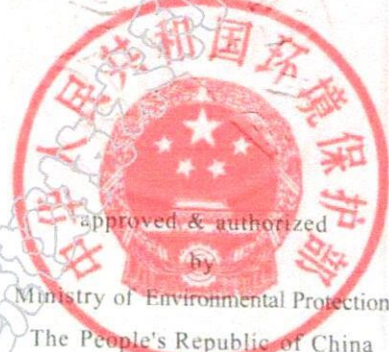
项目编号	lt3h24		
建设项目名称	西安交通大学X射线断层扫描系统核技术利用项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	西安交通大学		
统一社会信用代码	12100000435230200R		
法定代表人 (签章)	张立群		
主要负责人 (签字)	任子君 任子君		
直接负责的主管人员 (签字)	任子君 任子君		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	西安海蓝环保科技有限公司		
统一社会信用代码	916101035660274053		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
王小妹	2015035610352014613016000002	BH005364	王小妹
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
侯晨雯	表7 保护目标及评价标准~表13结论与建议	BH032833	侯晨雯
王小妹	表1 项目基本情况~表6 评价依据	BH005364	王小妹

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP 00017993



持证人签名:

Signature of the Bearer

王小妹

管理号 2015035610352014613016000002
File No.

姓名:

王小妹

Full Name

性别:

女

Sex

出生年月:

1987. 02

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期:

2015. 05. 24

Approval Date

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2015年12月24日

Issued on



陕西省城镇职工基本养老保险
参保缴费证明

验证编号:10025121600163678



验证二维码



"陕西社会保险"APP



姓名:王小妹
现缴费单位名称:西安海蓝环保科技有限公司

人员参保关系:个人编号:.....

序号	缴费年度	缴费月份	个人缴费	对应缴费单位名称	经办机构
1	2025	202501-202512	4464	西安海蓝环保科技有限公司	西安经济技术开发区社会保障基金管理中心

现参保经办机构:西安经济技术开发区社会保障基金管理中心



说明: 1、本证明作为陕西省城镇职工基本养老保险参保缴费证明。2、本证明采用电子验证方式, 不再加盖鲜章。如需查验真伪, 可通过扫描右上角二维码, 下载“陕西社会保险”APP, 点击“我要证明—参保证明真伪验证”查验。3、本证明复印有效, 验证有效期至2026年02月14日, 有效期内验证编号可多次使用。

验证编号:10025121600163437

陕西省城镇职工基本养老保险 参保缴费证明



验证二维码

“陕西社会保险”APP



姓名:侯晨雯

人员参保关系ID.

个人编号.

现缴费单位名称:西安海蓝环保科技有限公司

序号	缴费年度	缴费月份	个人缴费	对应缴费单位名称	经办机构
1	2025	202501-202512	4464	西安海蓝环保科技有限公司	西安经济技术开发区社会保障基金管理中心

现参保经办机构:西安经济技术开发区社会保障基金管理中心



打印时间:2025-12-16 09:55:05

第1页/共1页

说明: 1、本证明作为陕西省城镇职工基本养老保险参保缴费证明。2、本证明采用电子验证方式,不再加盖鲜章。如需查验真伪,可通过扫描右上角二维码,下载“陕西社会保险”APP,点击“我要证明—参保证明真伪验证”查验。3、本证明复印有效,验证有效期至2026年02月14日,有效期内验证编号可多次使用。

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	32
表 3 非密封放射性物质	32
表 4 射线装置	33
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	34
表 6 评价依据	35
表 7 保护目标及评价标准	37
表 8 环境质量和辐射现状	43
表 9 项目工程分析和源项	48
表 10 辐射安全与防护	59
表 11 环境影响分析	73
表 12 辐射安全管理	91
表 13 结论与建议	102
表 14 审批	104

附件：

附件 1：西安交通大学 X 射线断层扫描系统核技术利用项目环境影响评价委托书；

附件 2：西安交通大学现有工程环保手续；

附件 3：西安交通大学辐射安全许可证；

附件 4：西安交通大学 X 射线断层扫描系统核技术利用项目辐射环境监测报告；

附件 5：西安交通大学辐射事故应急预案备案表；

附件 6：核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单；

附件 7：关于成立西安交通大学辐射安全管理办公室的通知；

附件 8：西安交通大学放射性同位素与射线装置安全和防护管理细则。

表 1 项目基本情况

建设项目名称	西安交通大学 X 射线断层扫描系统核技术利用项目				
建设单位	西安交通大学				
法人代表	张立群	联系人	任子君	联系电话	
注册地址	陕西省西安市咸宁西路 28 号				
项目建设地点	陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港西安交通大学大型仪器设备共享实验中心（泓生楼（18 号楼）辅楼）18-1001 室				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	1363.5	项目环保投资（万元）	142	投资比例（环保投资/总投资）	10.41%
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 ）	48.97
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其它	/			
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位概况</p> <p>1、学校介绍</p> <p>西安交通大学是国家教育部直属重点大学，是一所具有理工特色，涵盖理、工、医、经、管、文、法、哲、艺、教育、交叉等 11 个学科门类的综合性研究型大学，设有 35 个学院（部、中心）、9 个本科书院和 3 所直属附属医院。现有在编教工及学生约 7 万人；本科招生专业 77 个、博士学位授权一级学科 43 个、硕士学位授权一级学科 45 个、博士专业学位授权点 7 个、硕士专业学位授权点 31 个，博士后流动站 34 个，国家一级重点学科 8 个、国家二级重点学科 8 个、国家重点（培育）学科 3 个。目前学校共有省部级及以上基地 257 个，其中全国（国家）重点实验室 11 个，国家工</p>					

程（技术）研究中心 10 个，国家产教融合创新平台 3 个，国家国际科技合作基地 5 个，国家应用数学中心 1 个，2011 协同创新中心 1 个，教育部哲学社会科学实验室 1 个，国家级涉外法治基地 1 个。

学校现有兴庆、雁塔、曲江和西部科技创新港 4 个校区，总占地面积约 4480 亩，各类建筑总面积约 400 万 m²。本项目位于中国西部科技创新港（以下简称“创新港”），已在理、工、医、社科 4 个领域建立了 8 大平台、29 个研究院和 300 多个科研基地，整合了科研、教育、转孵化、综合服务四大功能，是“校区、园区、社区”三位一体的创新体、技术与服务的结合体、科技与产业的融合体。本项目位于中国西部科技创新港西安交通大学分析测试中心，西安交通大学创新港校区地理位置图见图 1-1。

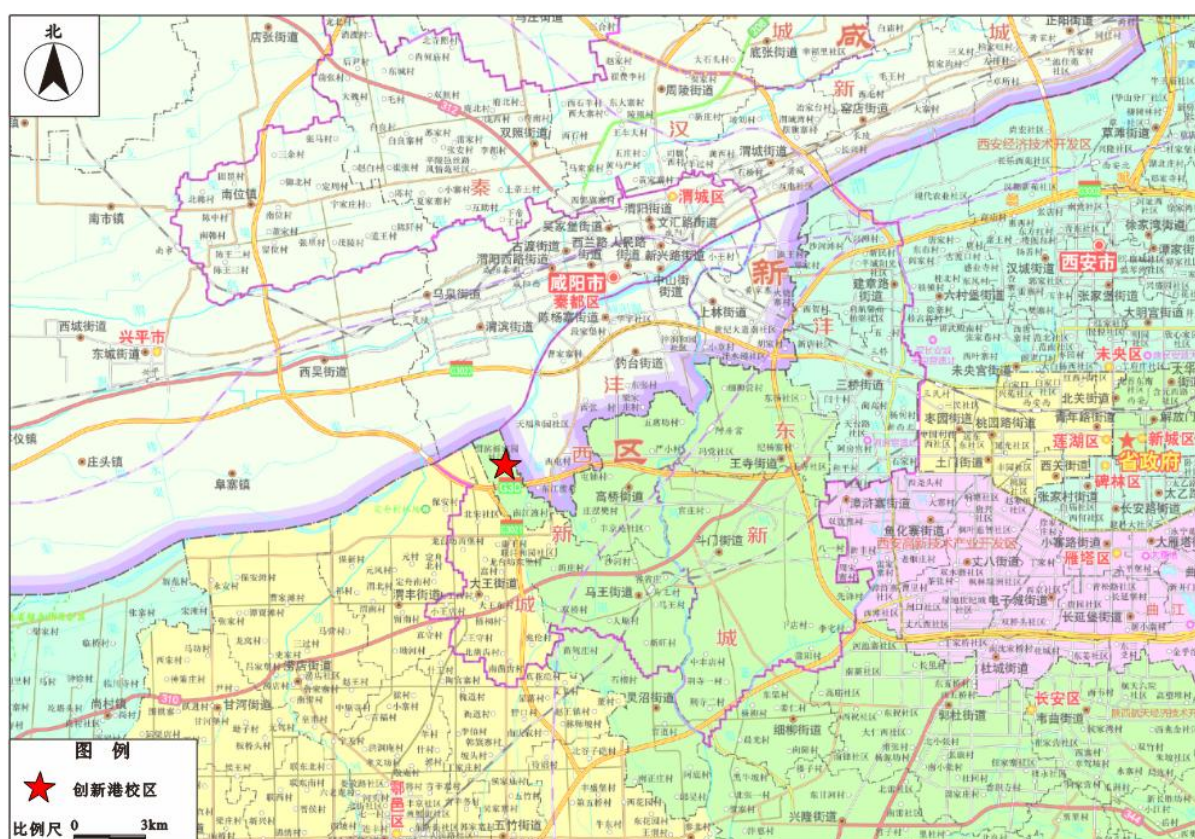


图 1-1 创新港校区地理位置图

2、项目由来

西安交通大学大型仪器设备共享实验中心（简称分析测试中心）位于中国西部科技创新港泓生楼（18 号楼）辅楼，建筑面积 1.2 万 m²，大型仪器设备 101 台套。现有专职实验技术人员 31 人。中心内设综合办、业务办、质量办，立足材料微观结构与形貌、无机成分分析、有机成分分析、材料物性分析四大方向，建成了国内高校规模超

前、西部唯一的真空互联平台，配置了飞行时间二次离子质谱仪、西北首台冷冻透射电镜，以及双球差校正透射电镜、600M 核磁共振波谱仪、超时空分辨拉曼光谱仪、显微红外光谱仪等标志性设备。

分析测试中心主要为西安交通大学校内外科研机构与科技创新企业提供分析测试服务。为了增强分析测试中心对各类样品的无损检测能力，无损测量样品内部结构的尺寸、密度分布、观察样品内部微观结构或缺陷，西安交通大学拟在创新港校区西安交通大学大型仪器设备共享实验中心（分析测试中心）泓生楼（18 号楼）辅楼 18-1001 设置 X 射线成像室，室内新增 1 台高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）和 1 台 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa），两台设备均自带屏蔽结构。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》及《建设项目环境保护管理条例》，本项目需进行环境影响评价。根据《射线装置分类》，本项目拟新增的 X 射线断层扫描仪、X 射线成像仪属于工业 CT，均为 II 类射线装置。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射—172、核技术利用建设项目”中“……生产、使用 II 类射线装置的；……”项目，应编制环境影响报告表。

西安交通大学于 2025 年 9 月委托我公司对该项目开展环境影响评价工作。接受委托后，我公司随即组织技术人员开展资料收集、现场踏勘、数据核算等工作，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）的要求，编制完成了《西安交通大学 X 射线断层扫描系统核技术利用项目环境影响报告表》。

二、项目概况

1、建设规模

本项目拟将西安交通大学分析测试中心 18-1001 室（现空置）改造为 X 射线成像室，室内新增 1 台 X 射线断层扫描仪和 1 台 X 射线成像仪，两台设备均采用计算机成像，且均自带屏蔽结构。设备参数见表 1-1，项目组成一览表见表 1-2。

表 1-1 本项目设备参数表

设备名称	高能 X 射线断层扫描仪	X 射线成像仪
型号	Multiscale Voxel 1000	ZEISS Xradia 610 Versa
制造商	天津三英精密仪器股份有限公司	卡尔蔡司（上海）管理有公司

主要参数	最大功率：1500W	25W
	最大管电压：450kV	最大管电压：160kV
	最大管电压下的最大管电流：3.3mA	最大管电压下的最大管电流 0.156mA

表 1-2 项目组成一览表

名称		建设项目及规模		备注
主体工程	设备型号	Multiscale Voxel 1000	ZEISS Xradia 610 Versa	本次新增
	设备情况	设备尺寸：4398mm（长）×2165mm（宽）×3116mm（高）； 屏蔽结构内部尺寸：3740mm（长）×1560mm（宽）×2970mm（高）；	设备尺寸：2089mm（长）×1081mm（宽）×851mm（高）； 屏蔽结构内部尺寸：1875mm（长）×960mm（宽）×823mm（高）；	
	屏蔽设计	屏蔽设计： ①设备西北、东北、东南面为 3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板 ②设备西南面为 3mm 钢板+70mmPb+3mm 钢板； ③工件门（位于西北侧）为 3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板； ④检修门（位于东南侧）为 3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板	屏蔽设计： ①设备东北面（工件门）、设备西南面（检修门）、设备东南面为 4mm 钢板+6mmPb+1.2mm 钢板； ②设备顶面为 2mm 钢板+6mmPb+2mm 钢板； ③设备底部为 6mm 钢板+6mmPb+6mm 钢板； ④西北面为 4mm 钢板+9mmPb+1.2mm 钢板	
辅助工程	X 射线成像室	位于创新港校区分析测试中心泓生楼（18 号楼）辅楼 18-1001 室，室内尺寸 15900mm×8300mm		依托现有 18-1001 室
环保工程	废气	Multiscale Voxel 1000 设备顶部设有通风口，排风量 330m ³ /h，废气排放管道接入室内通风管道，经通风系统排到室外		本次新增，通风口与屏蔽结构一体化设计
		ZEISS Xradia 610Versa 设备顶部设置通风口，排风量 234.6m ³ /h，废气排至 X 射线成像室内，再经室内整体排风系统排到室外		本次新增，通风口与屏蔽体一体化设计
	生活污水及生产废水	调配现有工作人员，不新增生活污水；采用计算机成像系统，无生产废水		依托现有
	固体废物	调配现有工作人员，不新增生活垃圾；两台设备采用计算机成像系统，无工业固体废弃物产生		依托现有

2、工作制度及劳动定员

根据学校提供资料，本项目 Multiscale Voxel 1000 设备每天射线出束时间 2h，ZEISS Xradia 610 Versa 设备每天射线出束时间 4h，每周工作 5 天，全年工作 250 天。

本项目共配置 2 名辐射工作人员，均由现有工作人员调配，此两名辐射工作人员

前期操作其他电镜设备，未从事辐射工作。本项目运行后上述两名工作人员在操作本项目工业 CT 设备的同时不操作其他射线装置。

三、项目产业政策符合性及实践正当性分析

本项目利用工业 CT 设备对各类样品进行无损检测。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于“鼓励类”中“十四、机械—1.……工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备……”中的“工业 CT 无损检测设备”项目，符合国家产业政策。

本项目主要用于满足西安交通大学校内外科研机构与科技创新企业对各类样品的无损检测需求，无损测量样品内部结构的尺寸、密度分布、观察样品内部微观结构或缺陷。在采取辐射防护设施和辐射安全措施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，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

四、项目选址及周边环境关系

1、地理位置

项目位于陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港西安交通大学分析测试中心，本项目地理位置图见图 1-2。

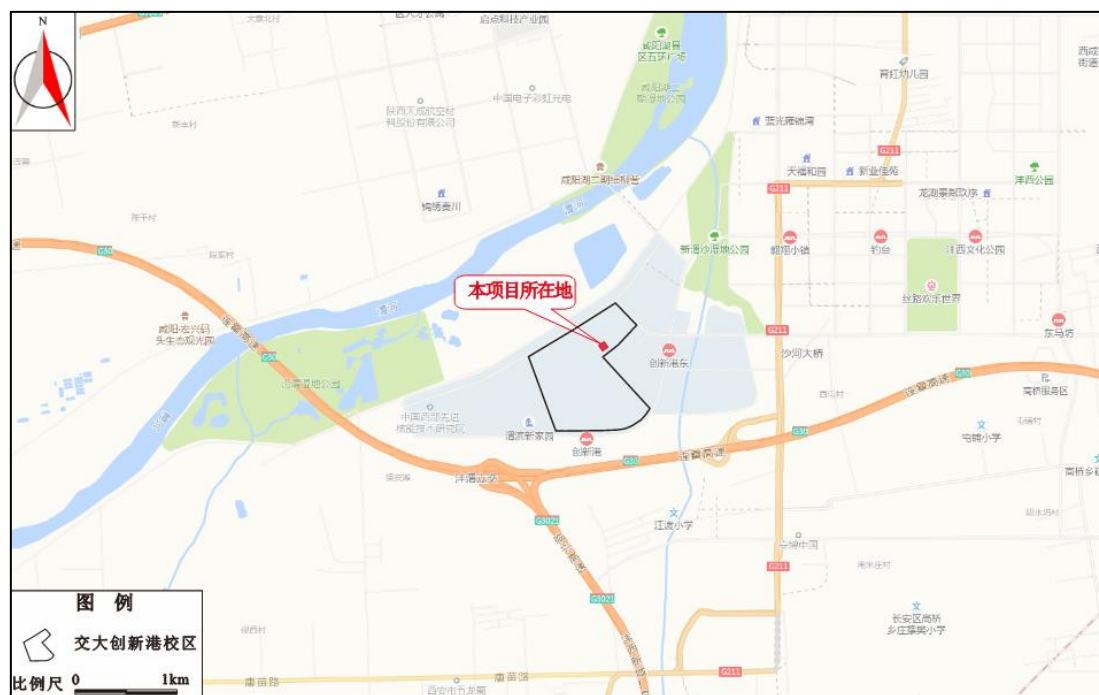


图 1-2 项目地理位置图

2、大型仪器设备共享实验中心（分析测试中心）周边环境关系

项目位于陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港西安交通大学大型仪器设备共享实验中心（分析测试中心）。分析测试中心东北侧为东银杏路，东南侧为务本路，西北侧为 18 号楼泓生楼主楼。分析测试中心在西安交通大学创新港校区的位置见图 1-3，其周边环境关系见图 1-4。

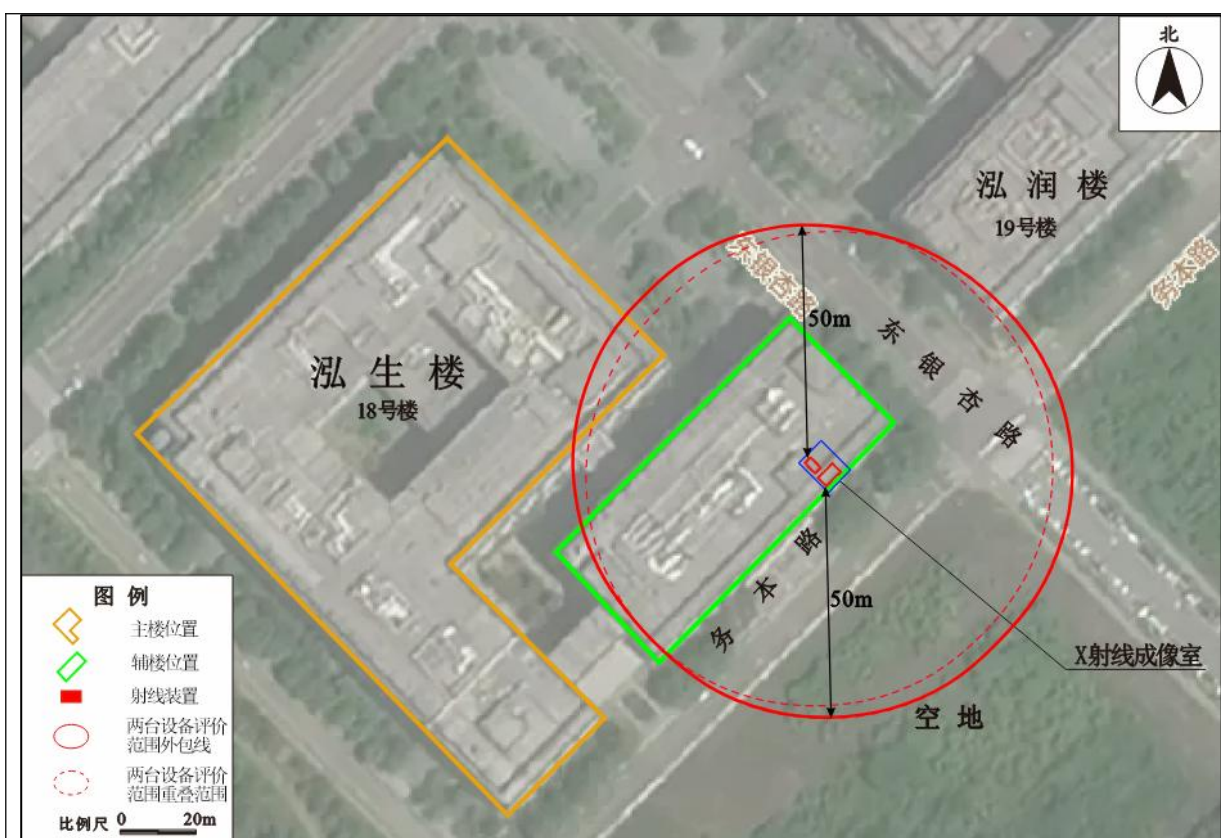


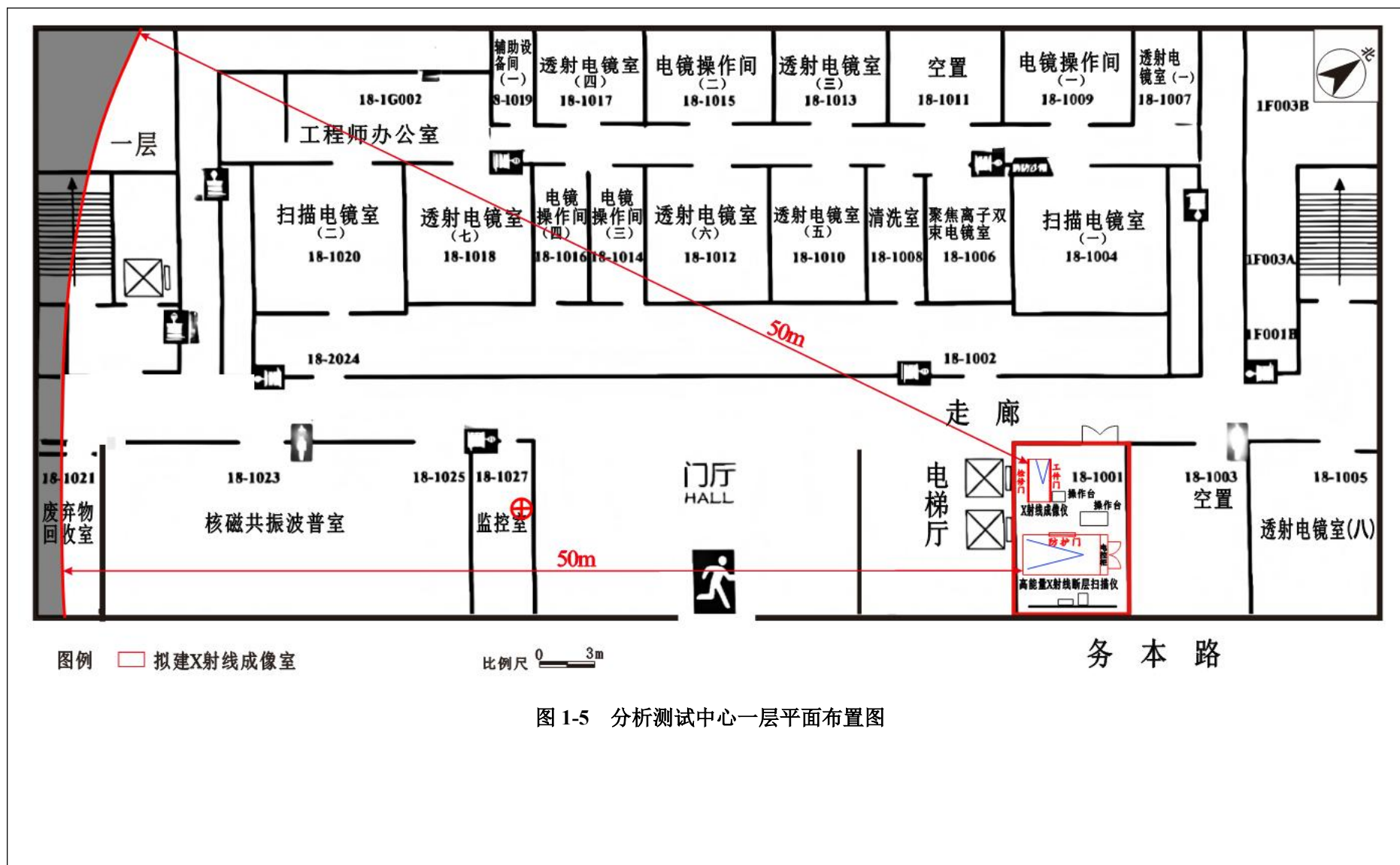
图 1-4 分析测试中心周边环境关系及本次评价范围示意图

3、项目总平面布置及周边环境关系

西安交通大学分析测试中心共五层，其中一层到三层目前已使用，主要用于各类分析检测实验；四层、五层暂时空置。本项目拟在一层 X 射线成像室（18-1001 室）新增 1 台 X 射线断层扫描仪和 1 台 X 射线成像仪，18-1001 室位于分析测试中心东南部；其东北侧为空置房间，西北侧为走廊，西南侧为电梯厅，东南侧为务本路，楼上（二层）为工程师办公室，无地下室，详见表 1-3。

分析测试中心一层总平面布置见图 1-5，本项目新增两台设备位于 X 射线成像室（18-1001 室）内，其中 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）在室内东南部，操作台在设备西北侧；X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）在室内西北部，操作台在设备东北侧。X 射线成像室（18-1001 室）内部平面图见图 1-6。

分析测试中心二层、三层总平面布置见图 1-7。



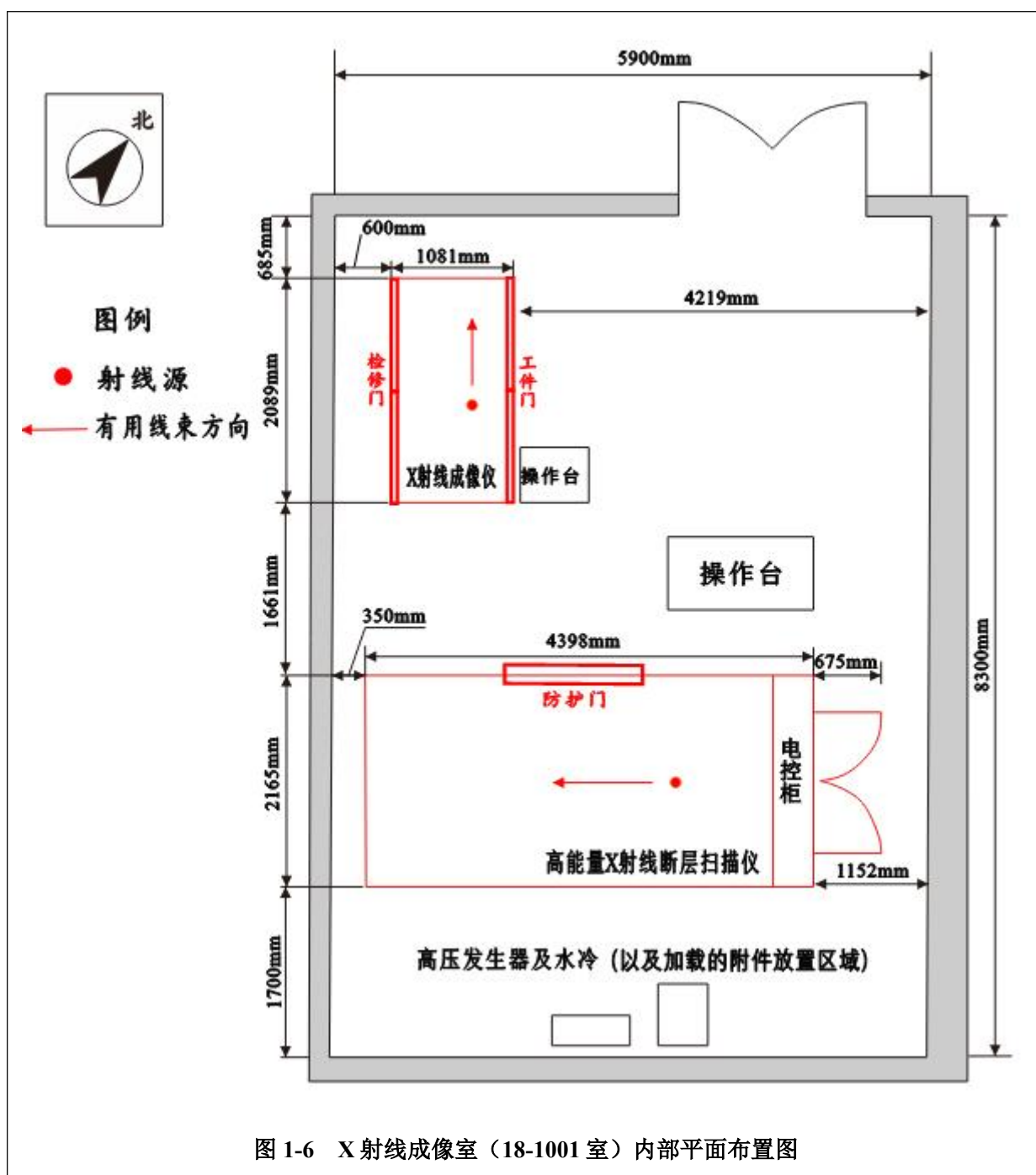
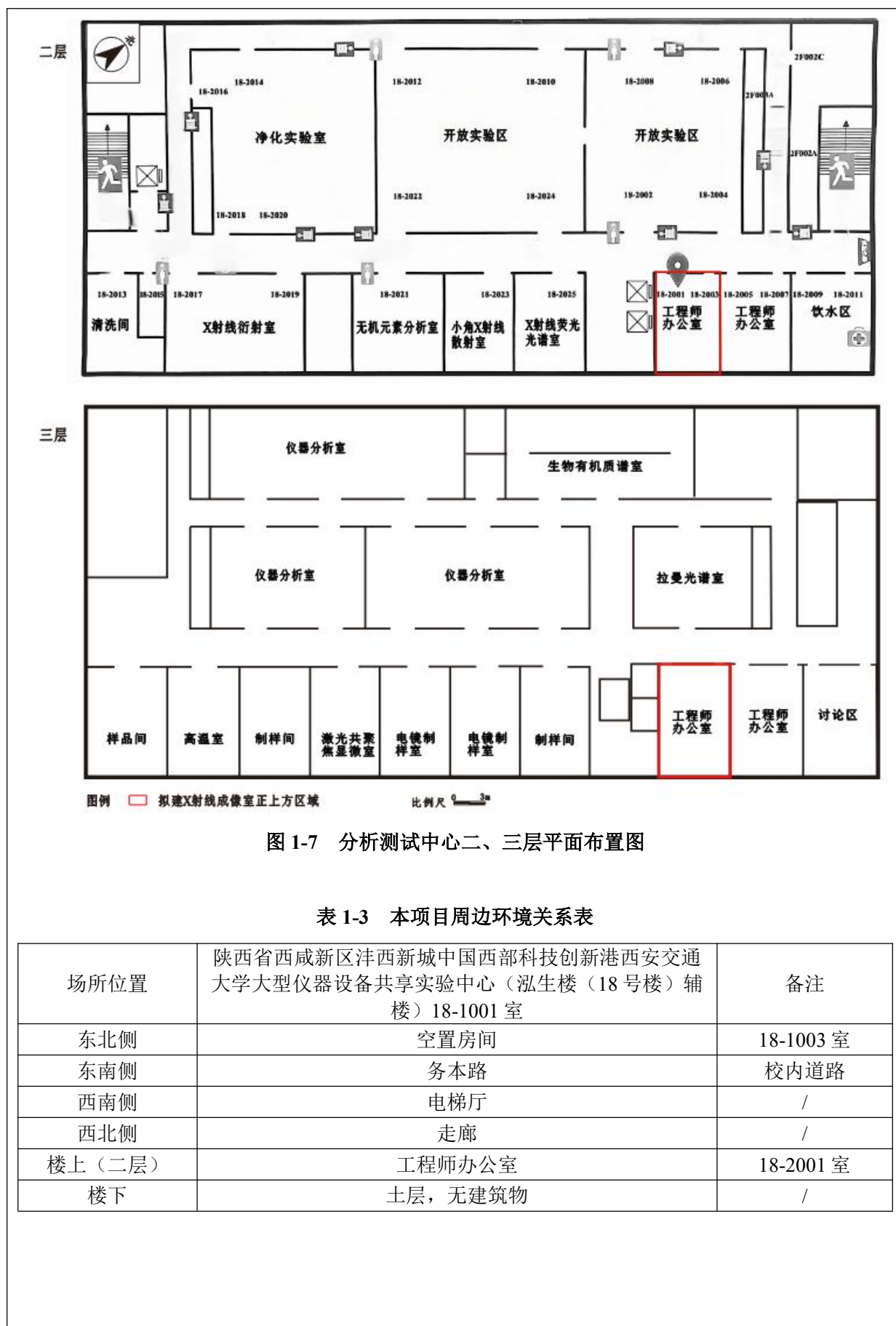


图 1-6 X 射线成像室（18-1001 室）内部平面布置图



五、现有核技术利用项目情况

1、现有核技术利用项目环保手续履行情况

根据西安交通大学（以下简称学校）提供的前期资料，学校四个校区的现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-4。

表 1-4 现有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

序号	项目名称及类型	项目地点	环评手续			验收手续		备注
			环评审批部门	环评批复/时间	批复内容	验收批复/时间	验收内容	
1	西安交通大学核技术应用项目环境影响报告表	西安市咸宁西路兴庆校区	西安市环境保护局	市环批复（2008）70号/2008年4月1日	核工程与核技术学院放射性实验室、综合物理实验室用于物理教学实验和多相流实验室密度计使用的放射源、生命科学与技术学院使用的骨密度仪及校医院使用的 X 光诊断机。	市环批复（2013）128号/2013年4月12日	校医院医用影像诊断用III类射线装置 1 台（环评报告中涉及 3 台，其中 2 台因故障仪器无法正常使用，不在本次验收范围）、校核能实验室等教学实验用 IV、V 类放射源 65 枚（其中 12 枚已取得豁免管理，本次验收其余 53 枚放射源）。	/
2	西安交通大学全球环境变化研究院放射性同位素使用核技术应用项目环境影响报告表	西安市雁翔路曲江校区	陕西省环境保护厅	陕环批复（2012）731号/2012年12月25日	在曲江校区西一楼 A621 室建立同位素超净实验室，开展同位素年龄测定业务，年使用 ²⁰² Pb、 ²⁰⁵ Pb、 ²²⁹ Th、 ²³⁰ Th、 ²³² Th、 ²³³ U、 ²³⁴ U、 ²³⁵ U、 ²³⁶ U、 ²³⁸ U、 ⁸⁵ Sr、 ⁹⁰ Sr 等放射性核素，为丙级非密封源工作场所。	于 2021 年 11 月进行了自主验收	在曲江校区西一楼 A621 室建立同位素超净实验室，开展同位素年龄测定业务，年使用 ²⁰² Pb、 ²⁰⁵ Pb、 ²²⁹ Th、 ²³⁰ Th、 ²³² Th、 ²³³ U、 ²³⁴ U、 ²³⁵ U、 ²³⁶ U、 ²³⁸ U、 ⁸⁵ Sr、 ⁹⁰ Sr 等放射性核素，	搬迁至西部创新港校区

							为丙级非密封源工作场所。	
3	西安交通大学核科学与技术系学科“985工程”三期教学实验室建设环境影响登记表	西安市咸宁西路兴庆校区	西安市环境保护局	市环批复（2013）23号/2013年1月15日	购买 46 枚标准放射源和环境标准样品，分别为 ^{125}I （1 枚，属于 V 类放射源）； ^{129}I （1 枚，属于 V 类放射源，1 枚，属于已豁免源）共 2 枚； ^{152}Eu （2 枚，属于已豁免源）； ^{236}Pu ^{240}Pu ^{242}Pu ^{244}Pu ^{238}U （1 枚属于 V 类放射源）； $^{239-240}\text{Pu}$ （1 枚属于 V 类放射源；1 枚属于 V 类放射源；1 枚属于 IV 类放射源）共 3 枚； ^{210}Pb （属于 V 类放射源）共 2 枚； ^{238}U ^{232}Th ^{226}Ra ^{40}K （2 枚，属于 V 类放射源）； ^{90}Sr - ^{90}Y （2 枚，属于 V 类放射源）； ^{60}Co （3 枚属于已豁免源；5 枚属于 V 类放射源；1 枚属于 V 类放射源）共 9 枚； ^{241}Am （2 枚属于 V 类放射源；1 枚属于 V 类放射源；1 枚属于 V 类放射源；1 枚属于 IV 类放射源）共 5 枚； ^{137}Cs （属于 V 类放射源，共 9 枚）； ^{134}Cs （属于 V 类放射源，共 2 枚）； ^{55}Fe （1 枚，属于已豁免源）； ^{65}Zn （2 枚，属于已豁免源）； ^{133}Ba （2 枚，属于已豁免源）； ^{14}C （1 枚，属于已豁免源），进行科研实验。	/	/	
4	多功能脉冲 X 射线系统研发生产使用及销售项目环境影响报告表	西安市咸宁西路兴庆校区	陕西省环境保护厅	陕环批复（2018）87 号/2018 年 3 月 21 日	在西安市碑林区火炬路 2 号楼研发、生产、使用销售多功能脉冲 X 射线系统（属Ⅱ类射线装置），并自留 1 套用于科研实验。	于 2021 年 1 月 29 日进行了自主验收	在西安市碑林区火炬路 2 号楼研发、生产、使用销售多功能脉冲 X 射线系统（属Ⅱ类射线装置），并自留 1 套用于科研实验。	/
5	西安交通大学低能电子束系统应用	沣西新城中国西部创新港校	陕西省西咸新区行政审批与政务服务	陕西咸审服准（2021）62 号/2021 年 4 月	安装 1 台低能电子束系统，利用低能电子束系统使树脂复合材料在 3D 打印过程中实现打印制件的原位固化，配套建设一座固定式屏蔽	于 2022 年 12 月 8 日进行	低能电子束系统 Ebeam Engine EBE-200	/

	项目 环境影响报 告表	区（力行 楼）	务局	29 日	室。	了自主验 收		
6	西安交通大 学丙级放化 实验室扩容 项目 环境影响报 告表	沣西新城 中国西部 创新港校 区	陕西省西咸 新区行政审 批与政务服 务局	陕西咸审服准 （2021）149 号/2021 年 10 月 26 日	沣西新城中国西部科技创新港一号巨构 2199 实验室，建设内容为外购 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 UO_2 、 UO_3 、 U_3O_8 、 ThO_2 、 $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ，等铀或钍的化合物固体，由厂家运至实验室，存放于实验室保险柜中，通过反应合成簇合物等新型铀或钍的化合物，以测定新型铀或钍化合物的光学性质和晶体结构，为核燃料循环与材料尤其是乏燃料后处理碱性流程的发展提供实验基础。	于 2023 年 8 月 12 日进行了自主验收	外购 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 UO_2 、 UO_3 、 U_3O_8 、 ThO_2 、 $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ，等铀或钍的化合物固体，由厂家运至实验室，存放于实验室保险柜中，通过反应合成簇合物等新型铀或钍的化合物，以测定新型铀或钍化合物的光学性质和晶体结构，为核燃料循环与材料尤其是乏燃料后处理碱性流程的发展提供实验基础。	/
7	西安交通大 学全球环境 变化研究院 同位素实验 室搬迁项目 环境影响报 告表	沣西新城 中国西部 创新港校 区泓润楼 （19 号巨 构）	陕西省西咸 新区行政审 批局	陕西咸审服准 （2022）46 号/ 2022 年 4 月 25 日	将西安交通大学原位于曲江校区的超净实验室及铀系年代学实验室搬迁至沣西新城中国西部科技创新港泓润楼（19 号巨构）5 层，计划使用 ^{202}Pb 、 ^{205}Pb 、 ^{230}Th 、 ^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 、 ^{237}Np 等 9 种放射性同位素开展年代学实验及全球气候和环境变化研究，为丙级非密封放射性物质工作场所。	于 2023 年 4 月 25 日进行了自主验收	将西安交通大学原位于曲江校区的超净实验室及铀系年代学实验室搬迁至沣西新城中国西部科技创新港泓润楼（19 号巨构）5 层，开展年代学实验及全球气候和环境变化研究院，为丙级非密封放射性物质工作场所。	/

8	西安交通大学新增数字化 C 型臂 X 射线机核技术利用项目	沣西新城中国西部创新港校区（22 号楼实验动物中心 1 层）	陕西省西咸新区行政审批局	陕西咸审服准（2023）55 号/2023 年 8 月 10	安装 1 台西门子 Artis one 型数字化 C 型臂 X 射线机，进行大型动物诊断和手术治疗研究，配套建设介入手术室及其他辅助设施。	于 2023 年 12 月进行了自主验收	安装 1 台西门子 Artis one 型数字化 C 型臂 X 射线机，进行大型动物诊断和手术治疗研究，配套建设介入手术室及其他辅助设施。	/
9	西安交通大学物理学院使用 400kV 高压离子束实验平台核技术利用项目	西安市咸宁西路兴庆校区	202261010300000075		使用射线装置项目，改建 400kV 高压离子束实验平台机房。建设规模：400kV 高压离子束实验平台；最大管电压：400kV；最大管电流：5mA；使用位置：仲英楼负 1 层 400kV 高压离子束实验平台机房。	/		/
10	4 级 FLTD 脉冲硬 X 射线装置实验及应用项目	沣西新城中国西部创新港校区（3 号巨构 2#高大厂房实验室中部北侧）	202261011600000191		在创新港巨构-3 实验室使用 4 级 FLTD 驱动同轴反射三极管、RPD 二极管开展脉冲硬 X 射线产生技术研究和电子系统辐照试验。使用 4 级 FLTD 脉冲硬 X 射线平台（最大管电压 300kV，最大管电流 600kA，脉冲宽度 100ns，数量 1 台）。	/		/
11	12 级 FLTD 脉冲硬 X 射线装置实验及应用项目	沣西新城中国西部创新港校区（3 号巨构 2#高大厂房实验室中部南侧）	202261011600000192		在创新港巨构-3 实验室使用 12 级 FLTD 驱动串级同轴反射三极管、Z- pinch 负载开展脉冲硬 X 射线和软 X 射线产生技术研究、电子系统辐照试验。使用 12 级 FLTD 脉冲硬 X 射线平台（最大管电压 350kV，最大管电流 700kA，脉冲宽度 100ns，数量 1 台）。	/		/
12	西安交通大学大型仪器	兴庆校区分析测试	202361010300000041		西安交通大学大型仪器设备共享实验中心使用 X 射线衍射仪、X 射线光电子能谱仪。使	/		/

	设备共享实验中心 X 射线仪器用项目	中心北 110		用_Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪（最大管电压 40kV，最大管电流 40mA，数量 1 台）；使用 ESCALAB250Xi 型号 X 射线光电子能谱仪（最大电压 16kV，最大电流 20mA，最大功率 300W，数量 1 台）。		
13	西安交通大学医院新建医用射线装置应用项目	沣西新城中国西部创新港校区医务室放射科	202461011600000025	西安交大创新港医务室新增射线装置应用。新增 SONTU-Polaris50 型 DR，最大管电压 150kV，最大管电流 630mA，使用位置创新港医务室放射科。	/	/
14	西安交通大学医院新建医用射线装置应用项目	西安市咸宁西路兴庆校区	202461010300000019	医院口腔科新增射线装置应用。新增射线装置使用规模(1) X-mind dc 型牙片机，最大管电压 70kV，最大管电流 8mA，使用位置门诊楼口腔科影像室机房。(2) KaVo 3D Exami 型口腔 CT，最大管电压 120kV，最大管电流 7mA，使用位置口腔科影像室机房。	/	/
15	西安交通大学医院新建医用射线装置应用项目	西安市雁翔路曲江校区	202461011300000037	医院新增射线装置应用。新增射线装置使用规模：新东方 1000CB 型 DR，最大管电压 150kV，最大管电流 630mA，使用位置雁塔门诊部一层机房。	/	/
16	西安交通大学医院医用射线装置应用项目	西安市咸宁西路兴庆校区	202461010300000038	校医院新增射线装置使用。ANATOM Precision 型 CT，最大管电压 140kV，最大管电流 667mA，交大校医院放射科 CT 室。	/	/
17	西安交通大学放射性密度计应用项目	沣西新城中国西部创新港校区（1 号巨构 3165）	202461011600000078	创新港 1-3165 使用 ^{137}Cs 放射源密度计。其中一枚活度 $6.07 \times 10^8 \text{Bq}$ ，另一枚活度 $1.63 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属 V 类放射源，数量 2 枚，放射源使用位置位于创新港 1-3165。	/	/
18	西安交通大学大型仪器	沣西新城中国西部	202461011600000096	西安交通大学大型仪器设备共享实验中心使用小角 X 射线散射仪(含双光路系统)、X 射线	/	/

	设备共享实验中心 X 射线仪器应用项目	创新港校区分析测试中心		<p>衍射仪、单晶 X 射线衍射仪、X 射线光电子能谱仪、X 射线荧光光谱仪、手持式 X 射线荧光光谱仪，真空互联实验与测试平台使用 X 射线光电子能谱仪。建设规模：</p> <p>(1) 使用 Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪（最大管电压 40kV，最大管电流 40mA，数量 1 台）。</p> <p>(2) 使用 Bruker D8 Venture 型单晶 X 射线衍射仪（Cu 靶最大管电压 50kV，最大管电流 1.2mA，Mo 靶最大管电压 50kV，最大管电流 1.6mA，，数量 1 台）。</p> <p>(3) 使用 Anton Paar 型小角 X 射线散射仪（Cu 靶最大管电压 50kV，最大管电流 1mA，Mo 靶最大管电压 50kV，最大管电流 1mA，数量 1 台）。</p> <p>(4) 使用布鲁克 S8Tiger 型 X 射线荧光光谱仪（最大输出功率 4kW，数量 1 台）。</p> <p>(5) 赛默飞 XL5 Plus 型手持式 X 射线荧光光谱仪（管电压 6-50kV，管电流 0-500uA，1 台）。</p> <p>(6) 使用 ESCALAB250Xi 型号 X 射线光电子能谱仪（最大电压 16kV，最大电流 20mA，最大功率 300W，数量 1 台）。</p> <p>射线装置具体使用位置：X 射线衍射仪和单晶 X 射线衍射仪使用地点位于 18 号楼辅楼分析测试中心 18-2017；小角 X 射线散射仪使用地点位于 18 号楼辅楼分析测试中心 18-2023 实验室内；X 射线荧光光谱仪和手持式 X 射线荧光光谱仪使用地点位于 18 号楼辅楼分析测试中心 18-2025；X 射线光电子能谱仪使用地点 18 号主楼 1035 室，位于真空互联实验与测试平台中间位置。</p>	
--	---------------------	-------------	--	--	--

19	兴庆多功能 脉冲 X 射线 实验室	西安市咸 宁西路兴 庆校区	《西安交通大学新增生产、销售、使用早期核辐射模拟系统 核技术利用项目辐射安全分析报告》	/
----	-------------------------	---------------------	---	---

2、辐射安全许可证

西安交通大学于 2024 年 10 月 14 日取得了更新后的辐射安全许可证（陕环辐证〔00076〕），许可种类和范围：使用Ⅳ、Ⅴ类密封放射源，生产、销售、使用Ⅱ、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。有效期至 2028 年 3 月 20 日。

辐射安全许可证见附件，活动种类和范围见表 1-5。

表 1-5 活动种类和范围表

一、密封放射源							
序号	同位素名称	类别	活度 (Bq)	枚数	活度种类	工作场所名称	环评批复/登记表
1	Cs-137	V类	1.628×10^8	1	使用	创新港煤油传热及热物性实验室	登记表 2024610116 00000078
2	Cs-137	V类	6.07×10^8	1	使用		
3	Cs-137	V类	4.44×10^8	1	使用	兴庆多相流楼一层	市环批复 (2008) 70 号 2008 年 4 月 1 日
4	Sr-90 (Y-90)	V类	4.5×10^5	1	使用	兴庆校区放射性实验室	市环批复 (2013) 23 号 2013 年 1 月 15 日
5	Sr-90 (Y-90)	V类	1.2×10^6	1	使用		
6	Sr-90 (Y-90)	V类	2.25×10^6	1	使用		
7	Sr-90 (Y-90)	V类	2.25×10^7	1	使用		
8	Sr-90 (Y-90)	V类	4.5×10^4	1	使用		
9	Sr-90 (Y-90)	V类	4.5×10^6	1	使用		
10	Sr-90 (Y-90)	V类	2.25×10^5	1	使用		
11	Sr-90 (Y-90)	V类	6.75×10^5	1	使用		
12	Sr-90 (Y-90)	V类	9×10^6	1	使用		
13	Ra-226/Be	IV类	9.25×10^9	1	使用		
14	Ra-226/Be	IV类	1.85×10^{10}	1	使用		
15	Ra-226	V类	1.75×10^8	1	使用		
16	Pu-239	V类	6×10^8	1	使用		
17	Pu-239	V类	6×10^7	1	使用		
18	Pu-239	V类	6×10^6	1	使用		
19	Pu-239	V类	6×10^5	1	使用		
20	Pu-239	IV类	6×10^4	1	使用		
21	Pb-210	V类	3.7×10^4	1	使用		
22	Pb-210	V类	7.4×10^4	1	使用		
23	Cs-137	V类	7.65×10^8	1	使用		
24	Cs-137	IV类	1.11×10^9	1	使用		
25	Cs-137	IV类	5.1×10^9	1	使用		
26	Cs-137	V类	3.7×10^4	5	使用		
27	Cs-137	V类	3.7×10^8	3	使用		
28	Cs-134	V类	3.7×10^4	1	使用		
29	Co-60	V类	5.55×10^6	1	使用		

30	Co-60	V类	3.44×10^7	1	使用		
31	Co-60	V类	1.7×10^7	1	使用		
32	Co-60	V类	3.71×10^7	1	使用		
33	Co-60	V类	1.11×10^5	5	使用		
34	Am-241	V类	3.7×10^4	1	使用		
35	Am-241	IV类	4.44×10^9	1	使用		
36	Am-241	IV类	1.11×10^9	4	使用		
37	Am-241	V类	3.7×10^4	1	使用		
合计	/	/	/	50	/	/	
二、许可使用的非密封放射性物质							
序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	场所等级	活动种类	工作场所名称	环评批复/登记表
1	^{232}Th	1.98×10^1	4.93×10^5	丙	使用	创新港放射化学实验室 (1-2199)	陕西咸审服准 (2021) 149 号 2021 年 10 月 26 日
2	^{238}U	7.21×10^2	1.8×10^7		使用		
3	^{235}U	2.25×10^1	5.49×10^3	丙	使用	创新港同位素实验室 (19-5041)	陕西咸审服准 (2022) 46 号 2022 年 4 月 25 日
4	^{233}U	1.79×10^6	4.26×10^5		使用		
5	^{230}Th	2.1×10^3	3.15×10^3		使用		
6	^{237}Np	3.7×10^4	6×10^7		使用		
7	^{236}U	1.2×10^3	2.44×10^3		使用		
8	^{85}Sr	6×10^3	6×10^6		使用		
9	^{205}Pb	1×10^3	2×10^5		使用		
10	^{234}U	4.78×10^5	1.19×10^5		使用		
11	^{232}Th	6×10^2	6×10^6		使用		
12	^{229}Th	1×10^4	3.35×10^2		使用		
13	^{202}Pb	1×10^3	2×10^5		使用		
14	^{238}U	4.92×10^2	9.85×10^4		使用		
15	^{90}Sr	6×10^4	6×10^7		使用		

三、射线装置										
活动种类和范围						使用台账				环评批复/登记表等手续情况
序号	辐射活动场所名称	用途	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	技术参数	来源	
1	兴庆校医院门诊部放射科	医学诊断	Ⅲ类	使用	1	DR 机	Multix Fusion	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	德国西门子公司	市环批复〔2008〕70 号 2008 年 4 月 1 日
2	兴庆校医院门诊部口腔科	医学诊断	Ⅲ类	使用	1	口腔牙片机	X-mind dc	最大管电压 70kV, 最大管电流 8mA	2021 年交大口腔医院设备外放	登记表 202461010300000019
3	兴庆多功能脉冲 X 射线实验室 西安市火炬路 2 号楼	科研	Ⅱ类	使用	1	多功能脉冲 X 射线系统	Marx-X 200	/	自制	陕环批复〔2018〕87 号 2018 年 3 月 21 日
4	生命学院教二北 207 兴庆分子遗传学实验室	科研	Ⅲ类	使用	1	X 线骨密度仪	DISCOVER Y-W	最大管电压 140kV, 最大管电流 10mA	美国 Hologic 公司	市环批复〔2008〕70 号 2008 年 4 月 1 日
5	创新港力行楼北钢构车间	科研	Ⅱ类	使用	1	低能电子束系统	Ebeam Engine EBE-200	最大管电压 200kV, 最大管电流 11mA	瑞士康姆艾德(comnet)公司	陕西咸审服准〔2021〕62 号
6	交大兴庆校区仲英楼负一层 400kV 高压离子束实验平台机房	科研	Ⅲ类	使用	1	400kV 高压离子束实验平台	非标定制	最大管电压: 400kV; 最大管电流: 5mA	自制	登记表 202261010300000075
7	创新港 3 号巨构南厂房	科研	Ⅲ类	使用	1	4 级 FLTD 脉冲硬 X 射线装置	非标定制	最大管电压 300kV, 最大管电流 600kA	自制	登记表 202261011600000191
8	创新港 3 号巨构南厂房	科研	Ⅲ类	使用	1	12 级 FLTD 脉冲硬 X 射线装置	非标定制	最大管电压 350kV, 最大管电流 700kA	自制	登记表 202261011600000192

9	兴庆多功能脉冲 X 射线实验室	已销售	Ⅲ类	销售	1	早期核辐射模拟装置	ENRS-2023	/	自制	《西安交通大学新增生产、销售、使用早期核辐射模拟系统 核技术利用项目辐射安全分析报告》
10	雁塔校医院医学门诊部放射科	医学诊断	Ⅲ类	使用	1	数字 X 线成像 DR	新东方 1000CB	最大管电压 150kV, 最大管电流 630mA	2019 年医院招标	登记表 202461010300000019
11	创新港校医院门诊部放射科	医学诊断	Ⅲ类	使用	1	数字 X 线成像 DR	SONTU100-Polaris50	最大管电压 150kV, 最大管电流 630mA	2021 医院招标	登记表 202461011600000025
12	兴庆校医院门诊部放射科	医学诊断	Ⅲ类	使用	1	CT 机	ANATOM PRECISION	最大管电压 140kV, 最大管电流 667mA	2024 年学校招标采购	登记表 202461010300000038
13	兴庆校医院门诊部口腔科	医学诊断	Ⅲ类	使用	1	口腔 CT	KaVo 3D eXan 1	最大管电压 120kV, 最大管电流 7mA	2021 年交大口腔科医院设备外放	登记表 202461010300000019
14	创新港实验动物中心（手术室）	大动物手术用	Ⅱ类	使用	1	数字化 C 型臂 X 射线机	Artis one	大管电压 125kV, 最大管电流 1000mA	西门子（深圳）磁共振有限公司	陕西咸审服准〔2023〕55 号 2023 年 8 月 10
15	创新港校区 18 号楼分析测试中心	科研	Ⅲ类	使用	1	单晶 X 射线衍射仪	Bruker D8 Advance	u 靶最大管电压 50kV, 最大管电流 1.2mA, Mo 靶最大管电压 50kV, 最大管电流 1.6mA	随设备	登记表 202461011600000096
16	创新港校区 18 号楼分析	科研	Ⅲ类	使用	1	X 射线衍射	Bruker D8	最大管电压	随设备	登记表

	测试中心					仪	Venture	40kV, 最大管电流 40mA, 数量 1 台		202461011600000096
17	创新港校区 18 号楼分析测试中心	科研	III类	使用	1	X 射线光电子能谱仪	Bruker D8 Advance	最大电压 16kV, 最大电流 20mA	随设备	登记表 202461011600000096
18	兴庆校区分析测试中心	科研	III类	使用	1	X 射线光电子能谱仪	ESCALAB Xi+	最大电压 16kV, 最大电流 20mA, 最大功率 300W	随设备	登记表 202361010300000041
19	兴庆校区分析测试中心	科研	III类	使用	1	X 射线衍射仪	Bruker D8 Venture	最大管电压 40kV, 最大管电流 40mA	随设备	登记表 202361010300000041
20	创新港校区 18 号楼分析测试中心	科研	III类	使用	1	X 射线荧光光谱仪	S8Tiger	大输出功率 4kW	随设备	登记表 202461011600000096
21	创新港校区 18 号楼分析测试中心	科研	III类	使用	1	手持 X 射线荧光光谱仪	XL5plus	管电压 6-50kV, 管电流 0-500uA	随设备	登记表 202461011600000096
22	创新港校区 18 号楼分析测试中心	科研	III类	使用	1	小角 X 射线散射仪	Anton Paar SAXSpoin t2.0	Cu 靶最大管电压 50kV, 最大管电流 1mA, Mo 靶最大管电压 50kV, 最大管电流 1mA	随设备	登记表 202461011600000096

3、辐射管理现状

(1) 辐射防护管理机构

根据学校提供的资料，西安交通大学于 2025 年 1 月 16 日已成立辐射安全管理办公室，并以正式文件（西交实〔2025〕2 号）明确了办公室成员组成以及相关工作职责，安排专人负责学校的辐射安全管理工作。

(2) 规章制度及落实情况

西安交通大学目前已制定《西安交通大学放射性同位素与射线装置安全和防护管理细则》《实验室安全管理办法》《辐射防护安全管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员辐射防护培训管理制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员个人剂量监测管理制度》《监测仪器使用管理制度》《辐射工作场所监测制度》《多功能脉冲 X 射线源操作规范》《脉冲 X 射线实验室防辐射安全措施》《辐射设备维护与维修制度》《辐射防护和安全保卫制度》《西安交通大学辐射事故应急预案》（2024 版）等，用于指导规范科研及教学过程中的辐射安全。

现有制度中《西安交通大学放射性同位素与射线装置安全和防护管理细则》较为详细的规定了许可登记与购置、辐射工作场所管理、放射性同位素与射线装置的使用管理、辐射工作人员管理、废旧放射源与放射性废物管理、辐射事故处理的要求，同时该细则明确规定“使用放射性同位素与射线装置的实验室，须结合工作实际制定相应的操作规程、安全管理制度和应急预案等制度”。

西安交通大学大型仪器设备共享实验中心（分析测试中心）已制定《实验室安全管理制度》《实验室日常管理制度》、各类仪器设备操作规程、《大仪实验中心实验室安全管理规定》《大仪实验中心开放实验室使用管理办法》《分析测试中心仪器设备操作技能培训实施细则》《大型仪器设备共享实验中心安全事故应急预案》《大仪实验中心实验室安全风险评估实施细则》等用于日常操作过程中的安全防护和监督管理，本次项目建设完成后应补充制定射线装置相关辐射安全防护管理制度。

(3) 工作人员培训及职业健康检查情况

西安交通大学严格执行辐射安全与防护培训制度，辐射工作人员通过相应安全与防护培训合格后方可上岗。学校现有 34 名辐射工作人员，17 名使用密封放射源、非密封放射性物质及Ⅱ类射线装置人员，17 名使用Ⅲ类射线装置人员。其中，辐射管理人员和使用密封放射源、非密封放射性物质及Ⅱ类射线装置的辐射工作人员已取得核

技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单，证书有效期 5 年，均在有效期内；其余 17 人为操作Ⅲ类射线装置的工作人员，由学校组织于 2021 年-2023 年进行了自主考核，考核合格。

学校已安排 34 名辐射工作人员到核工业 417 医院进行年度职业健康检查，并建立了职业健康监护档案，根据学校提供的 2024-2025 年度体检报告，33 名辐射工作人员未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证，可以继续从事原放射性工作；1 名辐射工作人员（张鸿飞）于 2025 年 7 月到外地任职，暂时未参加职业健康体检，如后续返回辐射岗位，需要进行岗前体检。辐射工作人员培训及体检情况见表 1-6。

学校已安排本项目配备的两名辐射工作人员开展岗前体检，未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证。

表 1-6 辐射工作人员培训及体检情况统计表

序号	姓名	培训管理号	培训时间	证书有效日期	最近一次体检日期	体检结果	个人剂量佩戴时间	个人剂量检测结果 (mSv)		备注
1	王晨菲	Ⅲ类射线装置辐射人员	2023.12.29	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2025.3.1-2025.7.2	0.07	0.09	从事辐射工作不满一年
							2025.6.1-2025.10.11	0.02		
2	李鹏辉	Ⅲ类射线装置辐射人员	2023.5.8	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.28	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.07		
							2025.2.1-2025.6.6	0.17		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
3	杨莉	Ⅲ类射线装置辐射人员	2023.5.8	/	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.15	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.09		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
4	郝格格	Ⅲ类射线装置辐射人员	2023.5.8	/	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.10.1-2025.3.7	0.77	0.8	/
							2025.4.1-2025.9.15	0.03		
5	赵永涛	Ⅲ类射线装置辐射人员	2022.11.22	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.27	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.04		
							2025.2.1-2025.6.6	0.19		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		

6	王兴	Ⅲ类射线装置辐射人员	2022.11.22	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.08	0.29	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.17		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
7	张鸿飞	Ⅲ类射线装置辐射人员	2022.11.22	/	2023.10.17	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.09	0.43	2025年9月起到外地任职,未参加体检
							2024.11.1-2025.3.3	0.05		
							2025.2.1-2025.6.6	0.21		
							2025.5.1-2025.9.15	0.08		
8	苟涛	Ⅲ类射线装置辐射人员	2022.11.22	/	2025.10.13 (从事射线工作不满一年)	无疑似放射病与职业禁忌证	2025.3.1-2025.7.2	0.02	0.12	从事辐射工作不满一年
							2025.6.1-2025.10.11	0.10		
9	陈晓峰	Ⅲ类射线装置辐射人员	2022.4.2	/	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.18	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.12		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
10	梁艳	Ⅲ类射线装置辐射人员	2021.7.2	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.10.1-2025.3.7	<MDL	0	/
							2025.4.1-2025.9.15	<MDL		
11	黄畅	Ⅲ类射线装置辐射人员	2021.7.2	/	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.10.1-2025.3.7	<MDL	0	/
							2025.4.1-2025.9.15	<MDL		
12	刘佳梅	Ⅲ类射线装置辐射人员	2021.7.2	/	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.10.1-2025.3.7	<MDL	0	/
							2025.4.1-2025.9.15	<MDL		
13	梁晨煜	Ⅲ类射线装置辐射人员	2021.7.2	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.10.1-2025.3.7	0.03	0.14	/
							2025.4.1-2025.9.15	0.11		
14	牛灵芝	Ⅲ类射线装置辐射人员	2021.4.16	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.9.1-2025.1.6	0.05	0.09	/
							2025.3.1-2025.7.2	0.02		
							2025.6.1-2025.10.11	0.02		
15	王英	Ⅲ类射线装置辐射人	2021.4.16	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.9.1-2025.1.6	0.04	0.11	/
							2025.3.1-2025.7.2	0.05		

		员					2025.6.1-2025.10.11	0.02		
16	魏文	III类射线装置辐射人员	2021.4.16	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.9.1-2025.1.6	0.04	0.18	/
							2025.3.1-2025.7.2	0.02		
							2025.6.1-2025.10.11	0.12		
17	蔡龙龙	III类射线装置辐射人员	2021.4.16	/	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.9.1-2025.1.6	0.02	0.19	/
							2025.3.1-2025.7.2	0.02		
							2025.6.1-2025.10.11	0.15		
18	贺朝会	FS23S N23001 62	/	2023.7.3~2028.7.3	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.145	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.08		
							2025.5.1-2025.9.15	0.025		
19	王洁	FS21S N23002 25	/	2021.11.15~2026.11.15	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.08	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.02		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
20	郭良芑	FS23S N22000 56	/	2023.4.18~2028.4.18	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.23	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.17		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
21	贾雪雪	FS21S N23001 47	/	2021.7.12~2026.7.12	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.1	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.04		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
22	李永宏	FS21S N23000 61	/	2021.4.26~2026.4.26	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.13	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.07		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
23	刘朝	FS25S N23001	/	2025.6.17~203	2024.10.24	无疑似放	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.18	/

	晖	00		0.6.17		射病与职业禁忌证	2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.12		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
24	邱杰	FS21S N23001 27	/	2021.7.1~2026.7.1	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.13	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.07		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
25	相辉	FS21S N23002 19	/	2021.11.15~2026.11.15	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.08	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.02		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
26	周熠	FS21S N23002 20	/	2021.11.15~2026.11.15	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.2	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.07		
							2025.5.1-2025.9.15	0.09		
27	李培	FS21S N23002 14	/	2021.11.15~2026.11.15	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.08	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.02		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
28	张清民	FS21S N23002 29	/	2021.11.15~2026.11.15	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.2	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.14		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
29	刘书焕	FS21S N23002 33	/	2021.11.22~2026.11.22	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.18	/
							2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.12		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
30	晁帅	FS21S N23001	/	2021.7.27~202	2025.10.13	无疑似放	2024.8.1-2024.11.16	0.02	0.27	/

	军	68		6.7.27		射病与职业禁忌证	2024.11.1-2025.3.3	0.02		
							2025.2.1-2025.6.6	0.21		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
31	曹旭红	FS23S N01013 27	/	2023.8.10~2028.8.10	2024.10.24	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.11.1-2025.3.3	0.02	0.08	2024.11月开始从事辐射工作，2025年第四季度个人剂量检测报告暂未出具
							2025.2.1-2025.6.6	0.04		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
32	孙珂欣	FS23S N01014 27	/	2023.8.23~2028.8.23	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.11.1-2025.3.3	0.02	0.06	
							2025.2.1-2025.6.6	0.02		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
33	夏聪聪	FS23S N01017 60	/	2023.9.27~2028.9.27	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.11.1-2025.3.3	0.02	0.06	
							2025.2.1-2025.6.6	0.02		
							2025.5.1-2025.9.15	0.02		
34	净思拓	FS24S N01000 60	/	2024.1.9~2029.1.9	2025.10.13	无疑似放射病与职业禁忌证	2024.11.1-2025.3.3	0.02	0.1	
							2025.2.1-2025.6.6	0.02		
							2025.5.1-2025.9.15	0.06		

(4) 个人剂量检测情况

学校已给 34 名辐射人员配备了个人剂量计，定期送检，并建立个人剂量档案。检测单位为陕西新高科辐射技术有限公司、西安志诚辐射环境监测有限公司。根据学校提供的资料，有 2 名辐射工作人员分别在 2025 年 3 月开始从事放射性工作，个人剂量检测报告不足 1 年；另有 4 名辐射工作人员于 2024 年 11 月开始从事辐射工作，2025 年第四季度个人剂量检测报告暂未出具，个人剂量报告不足 1 年。其余辐射工作人员在 2024 年 8 月~2025 年 9 月进行了一年职业性外照射个人剂量检测。根据职业性外照射个人剂量检测结果（见表 1-6），现有辐射工作人员近一年有效剂量最大值为 0.8mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B1.1.1.1 的剂量限值要求，同时低于各项目环评文件中工作人员的年有效剂量管理约束值 5mSv。

(5) 工作场所及年度辐射环境监测情况

根据学校提供的资料，2025 年西安交通大学共委托了 3 家有资质单位（分别是中

核化学剂量检测中心、中核安徽计量检测有限公司、西安志诚辐射环境检测有限公司）对学校辐射工作场所及周边环境进行监测，具体内容如下：

学校委托中核化学剂量检测中心（报告编号：2025HYFFX-05547）对创新港校区 1 台 12 级 FLTD 设备工作场所及周边环境进行了监测，结果表明：12 级 FLTD 设备控制区边界及操作室各监测点位处的辐射剂量率在（92~99）nSv/h 之间，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中相关限值要求。

学校委托中核安徽计量检测有限公司（报告编号：ZHAH2025FS-JC01646）对创新港校区非密封放射性物质和其它射线装置（不包括 1 台 12 级 FLTD 设备）工作场所及周边环境进行了监测。结果表明：放化实验室各监测点位处的辐射剂量率低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关限值要求；全球环境变化研究院同位素实验室各监测点位处的辐射剂量率低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关限值要求。机械学院智能制造装备与系统公共平台、大型仪器设备共享实验中心、动物实验中心、校医务室等场所的射线装置在其最大工作条件下正常开机时，设备周围各监测点位处的辐射剂量率满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《低能射线装置放射防护标准》（GBZ115-2023）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关限值要求。

学校委托西安志诚辐射环境检测有限公司（报告编号：XAZC-JC-2025-219）对兴庆校区、雁塔校区放射源和射线装置工作场所及周边环境进行了监测。监测结果表明，各放射源的周围剂量当量率检测结果可以满足参考的《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中相关规定。射线装置在其最大工作条件下正常开机时，设备周围各监测点位处的辐射剂量率满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《低能射线装置放射防护标准》（GBZ115-2023）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关限值要求。

学校委托西安志诚辐射环境检测有限公司（报告编号：XAZC-JC-2025-328）对兴庆校区核工程与核技术放射性实验室放射源和试验平台外表面进行了监测。监测结果表明，各监测点位周围剂量当量率监测值范围为（0.12~17） μ Sv/h。

（6）检测仪器配备情况

西安交通大学已配备 2 台 RG1000 辐射剂量报警仪、2 台 R500 多功能数字核辐射测量仪、4 台 Apert 手持多功能辐射测量仪、1 台 BH3105 型中子剂量当量仪、1 台 FJ-

428G 多用辐射仪、1 台 FD71A 辐射仪、5 台 JB4000 型 X、 γ 剂量仪、3 台 CoMo170 型 α 、 β 表面污染仪、2 台 RG400 型辐射剂量报警仪用于各辐射工作场所的日常监测。

(7) 制定执行及辐射事故应急预案备案情况

根据学校提供的资料，持证期间，辐射工作人员严格按照操作规程操作，定期对辐射安全设施进行检查，发现异常及时处理，学校各项规章制度执行效果良好，辐射工作人员定期开展日常监测，监测记录存档备查。2024 年，学校邀请专家对辐射事故应急预案进行了评审，于 2024 年 5 月 10 日在西安市生态环境局碑林分局进行了备案（见附件 6）。

4、现有核技术利用项目存在的环保问题及整改措施

学校现已成立辐射防护管理机构，制定了各项辐射安全管理相关制度；辐射工作人员均已完成了辐射安全与防护培训并持证上岗；学校安排辐射工作人员定期进行职业健康检查，未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证；辐射工作人员均配备了个人剂量计，并定期检测个人剂量，近 1 年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）职业照射水平限值以及各项目环评文件中工作人员的年有效剂量管理约束值 5mSv；学校委托有资质单位对辐射工作场所及周边环境开展了年度监测，监测结果均满足相应标准限值要求；学校配备了多台检测仪器用于各辐射工作场所的日常监测；学校制定了辐射事故应急预案并已完成备案。经调查，现有核技术利用项目不存在环保问题。

表 2 放射源

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

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

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)	额定剂量 率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	高能 X 射线 断层扫描仪	II类	1 台	Multiscale Voxel 1000	450kV	3.3mA	样品分析检测	泓生楼（18 号 楼）辅楼 18- 1001 设置 X 射 线成像室	新增
2	X 射线成像仪	II类	1 台	ZEISS Xradia 610 Versa	160kV	0.156mA			新增
/	/	/	/	/	/	/	/		/

(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)	最大管电流 (mA)	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
O ₃ 、NO _x	气态	/	/	/	少量	/	/	Multiscale Voxel 1000 通过设备顶部排风管道接入室内排风系统，经排放系统引至楼顶排放；ZEISS Xradia 610 Versa 经室内排风系统引至楼顶排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg。
 2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（修订），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(5) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号，自 2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修改），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日；</p> <p>(9) 《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 18 号令，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(10) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》，环境保护部环发〔2008〕13 号，2008 年 4 月 14 日；</p> <p>(11) 《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 6 日；</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》，2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(13) 《关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》，陕环办发〔2018〕29 号；</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）；</p> <p>(3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其修改单（参照）；</p>

	<p>(4) 《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>(5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(6) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。</p>
其他	<p>(1) 西安交通大学 X 射线断层扫描系统核技术利用项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 西安交通大学现有工程环保手续；</p> <p>(3) 西安交通大学辐射安全许可证；</p> <p>(4) 西安交通大学辐射 2025 年度环境检测报告；</p> <p>(5) 西安交通大学辐射事故应急预案备案表；</p> <p>(6) 核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单；</p> <p>(7) 2024 年、2025 年职业健康检查报告；</p> <p>(8) 2024 年、2025 年职业性外照射个人剂量监测报告；</p> <p>(9) 关于成立西安交通大学辐射安全管理办公室的通知；</p> <p>(10) 西安交通大学放射性同位素与射线装置安全和防护管理细则；</p> <p>(11) 学校提供的其他相关资料。</p>

表 7 保护目标及评价标准

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）中的规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”要求，确定本项目评价范围为以射线装置屏蔽结构为边界，半径 50m 范围内的区域，评价范围见图 1-3。

主要环境保护目标

本项目环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及周围区域的公众。项目环境保护目标见表 7-1，保护目标图见图 1-4、图 1-5、图 1-7。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

保护对象			常居留 人数	高能 X 射线 断层扫描仪		X 射线成像仪		剂量约束 值
				相对 方位	最近 距离	相对 方位	最近 距离	
辐射工作人员			2 人	NW	0.8m	NW	0.8m	5mSv/a
公众人员	分析 测试 中心 （一 层）	电梯	流动人 员	SW	1.0m	SW	1.0m	0.1mSv/a
		走廊	流动人 员	NW	4.7m	NW	0.8m	
		扫描电镜室（一）	1 人	NW	7.8m	NW	3.9m	
		扫描电镜室（二）	1 人	SW	16.9m	SW	16.3m	
		透射电镜室（一）	1 人	NW	10.6m	NW	9.1m	
		透射电镜室（二）	1 人	NW	10.6m	NW	8.8m	
		透射电镜室（三）	1 人	W	11.2m	W	9.3m	
		透射电镜室（四）		W	14.4m	W	13.2m	
		透射电镜室（五）	1 人	W	7.2m	W	5.2m	
		透射电镜室（六）		W	8.9m	W	7.7m	
		透射电镜室（七）	1 人	SW	13.9m	SW	13.3m	
		透射电镜室（八）	1 人	NE	3.8m	NE	5.2m	
		电镜操作间（一）	1 人	NW	10.6m	NW	8.7m	
		电镜操作间（二）		W	12.6m	W	10.8m	
		电镜操作间（三、四）	1 人	SW	11.4m	SW	10.6m	
		聚焦离子双束电镜室	1 人	W	6.0m	W	3.5m	
		清洗室	1 人	W	6.51m	W	4.9m	
		工程师办公室	4 人	SW	16.8m	SW	15.8m	
		监控室	1 人	SW	12.8m	SW	12.8m	

		核磁共振波普室	2 人	SW	13.8m	SW	13.8m
		废弃物回收室	流动人员	SW	23.6m	SW	23.6m
	分析测试中心（二层）	工程师办公室	6 人	上方	3.9m	上方	4.0m
		泓生楼（18 号楼）主楼大厅	流动人员	NW	39.4m	NW	34.6m
		泓润楼（19 号楼）卫生间、走廊	流动人员	NE	46.1m	NE	50m
		50m 范围内绿化带、道路、走廊	流动人员	NE、SE	2.0m	NE、SE	13.5m
注：表中“距离”指以设备屏蔽结构外壁作为起点，屏蔽结构外壁至各区域人员可到达位置的最近距离；本项目所在的泓生楼（18 号楼）无地下构筑物。							

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关内容

1、职业照射

“11.4.3.2 剂量约束值通常应在照射剂量限值 10%~30%的范围之内。

附录 B 剂量限值和表面污染控制水平：

B1.1.1.1 条规定：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：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。

B1.2.1 条规定：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算值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。”

2、辐射工作场所的分区

“6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控

制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。”

二、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）相关内容

“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。”主要参照执行的规定节选如下：

“4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 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。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

5 探伤机的放射防护要求

5.1 X 射线探伤机

5.1.2 工作前检查项目应包括：

- a)探伤机外观是否完好；
- b)电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- c)液体制冷设备是否有渗漏；
- d)安全联锁是否正常工作；
- e)报警设备和警示灯是否正常运行；
- f)螺栓等连接件是否连接良好；
- g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。

5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：

a)使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。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；

- b)设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测;
- c)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;
- d)应做好设备维护记录。

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 GB18871 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 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$, 对公众场所, 其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$;

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

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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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 GB18871 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。按钮或拉绳应当带有标签，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。测量值应当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。

6.2.6 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。

8 放射防护检测

8.1 检测的一般要求

8.1.1 检测计划

使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参

考控制水平时应采取的行动措施。

8.1.2 检测仪器

应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前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。

8.5 辐射工作人员个人监测

8.5.1 射线探伤作业人员（包括维修），应按照 GBZ 128 的相关要求进行外照射个人监测。”

三、本项目环评要求年受照剂量约束值

综合考虑 X 射线断层扫描系统的现状，并着眼于长期发展，为其它辐射设施和实践活动留有余地，本次评价分别对职业照射和公众照射的年受照射剂量约束值进行了设定：

(1) 取职业照射年有效剂量限值的 1/4，作为放射性工作人员的年受照射剂量约束值，即 5mSv/a；

(2) 取公众年有效剂量限值的 1/10，作为公众的年受照射剂量约束值，即 0.1mSv/a。

参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），四周屏蔽体、门和顶部关注点的周围剂量当量参考控制水平。屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量参考控制水平应不大于 2.5μSv/h；放射工作场所周围剂量当量参考控制水平应不大于 100μSv/周；公众场所周围剂量当量参考控制水平应不大于 5μSv/周。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和项目场所位置

1、地理位置

本项目建设地点位于分析测试中心（泓生楼（18 号楼）辅楼）18-1001 室。创新港校区及项目地理位置见图 1-1、图 1-2、图 1-3。

2、场所位置

本项目位于分析测试中心 18-1001 室，场所位置见图 1-5、图 1-6。

二、辐射环境质量现状

本次委托西安志诚辐射环境检测有限公司于 2025 年 11 月 10 日对本项目场所辐射环境质量进行现状监测。

(1) 监测因子、点位

监测因子：X、 γ 辐射剂量率；

监测点位：项目场所及邻近场所各功能区域，监测点位布设情况见表 8-1，分布图见图 8-1~8-2。

表 8-1 监测点位布设情况

监测点编号	点位名称	位置描述	备注
1	拟建 X 射线成像室	18-1001 室	室内
2	拟建 X 射线成像室东北侧	18-1003 室	室内
3	拟建 X 射线成像室东南侧	室外草地，原野剂量率	室外
4	拟建 X 射线成像室西南侧	电梯间	室内
5	拟建 X 射线成像室西北侧	18-1001 室门外走廊	室内
6	拟建 X 射线成像室西北侧扫描电镜室	18-1004 室	室内
7	西南侧走廊（一层）	18-1023 室门外走廊	室内
8	拟建 X 射线成像室西北侧	18-1002 室	室内
9	扫描电镜室	18-1020 室	室内
10	工程师办公室	18-1G002 室	室内
11	透射电镜室	18-1012 室	室内
12	拟建 X 射线成像室上方（二层）	18-2001 室	室内

13	X 射线荧光光谱室西南侧走廊（二层）	18-2025 室外走廊	室内
14	X 射线衍射室西南侧走廊（二层）	18-2019 室门外走廊	室内
15	泓润楼（9 号楼）西南侧	19 号楼西南侧空地	室外

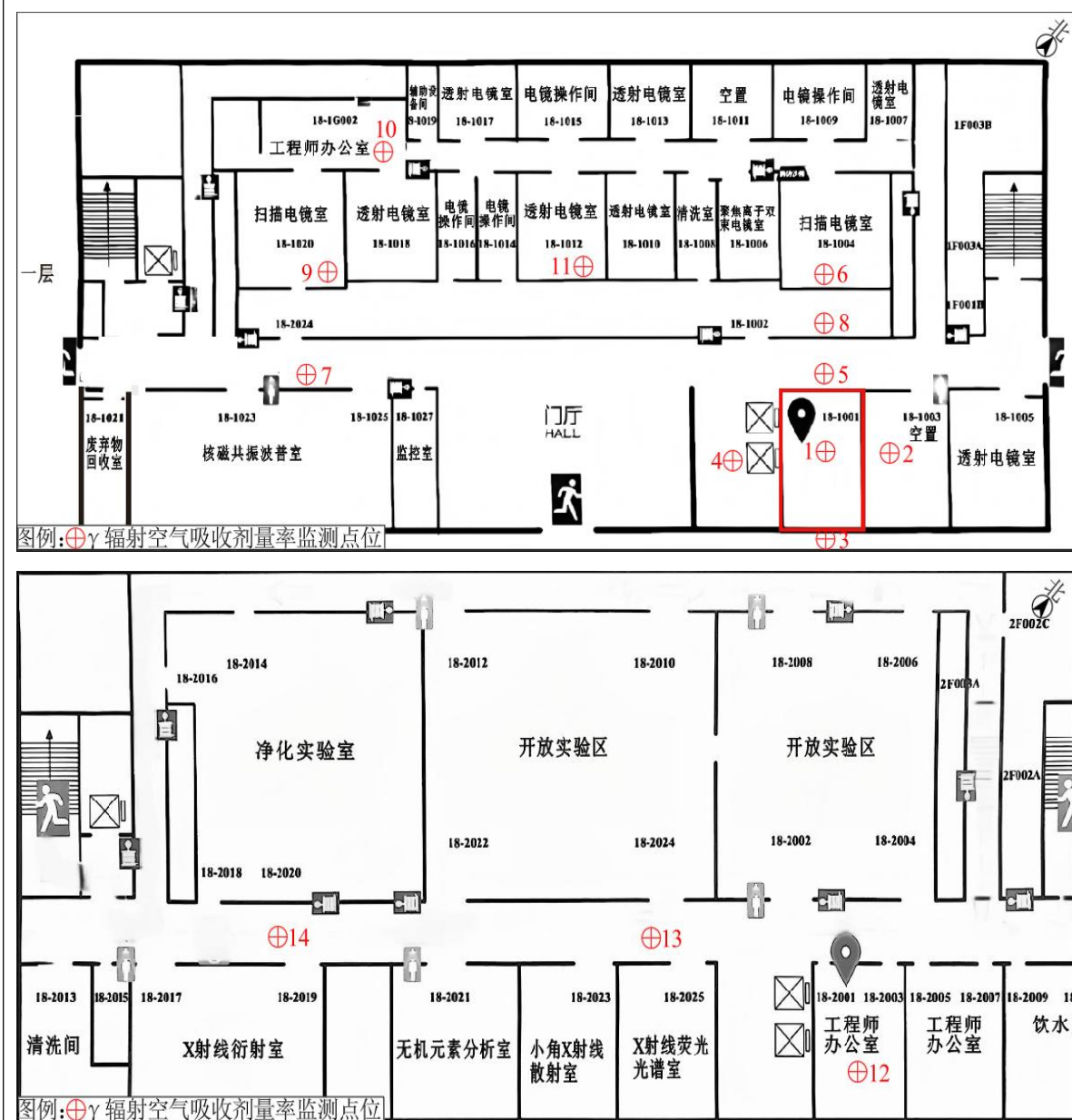


图 8-1 监测点位布设图（建筑物内部）



图 8-2 监测点位布设图（建筑物外）

(2) 监测时间

2025 年 11 月 10 日。

(3) 监测仪器

监测仪器相关参数见表 8-2。

表 8-2 监测仪器一览表

监测仪器	环境监测 X、 γ 剂量率仪		
型号规格	JB4010	仪器编号	XAZC-YQ-046
测量范围	0.001 μ Gy/h~50 μ Gy/h	校准单位	上海市计量测试技术研究院
校准证书编号	2025H21-10-837685001	检定有效期	2025.4.15~2026.4.14

(4) 质量保证措施

监测按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等监测方法，实施全过程质量控制。

- ① 合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；
- ② 监测分析方法采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员持证上岗；
- ③ 所用监测仪器全部经过计量部门检定并在有效期内；
- ④ 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- ⑤ 监测报告严格实行审核制度。

(5) 监测结果

监测结果见表 8-3。

表 8-3 项目 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

监测点 位	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		备注
		均值	标准偏差	
1	拟建 X 射线成像室 (18-1001 室)	0.095	0.002	室内区域
2	拟建 X 射线成像室东北侧 (18-1003 室)	0.094	0.001	
3	拟建 X 射线成像室东南侧	0.062	0.001	
4	拟建 X 射线成像室西南侧 (电梯间)	0.094	0.002	
5	拟建 X 射线成像室西北侧 (18-1001 室门外走廊)	0.095	0.002	
6	拟建 X 射线成像室西北侧扫描电镜室 (18-1004 室)	0.092	0.001	
7	西南侧走廊 (一层, 18-1023 室门外走廊)	0.095	0.001	
8	拟建 X 射线成像室西北侧 (18-1002 室)	0.095	0.002	
9	扫描电镜室 (18-1020 室)	0.092	0.001	
10	工程师办公室 (18-1G002 室)	0.096	0.002	
11	透射电镜室 (18-1012 室)	0.095	0.002	
12	拟建 X 射线成像室上方 (二层, 18-2001 室)	0.095	0.002	
13	X 射线荧光光谱室西南侧走廊 (二层, 18-2025 室外走廊)	0.095	0.001	
14	X 射线衍射室西南侧走廊 (二层, 18-2019 室门外走廊)	0.092	0.001	
15	19 号楼西南侧 (19 号楼西南侧空地)	0.061	0.001	室外区域

注：监测结果已校准，监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值 $0.030\mu\text{Gy/h}$ 。

(6) 监测结论

根据表 8-2 监测结果，拟建 X 射线断层扫描系统区域及周围人员活动区域（室内） γ 辐射空气吸收剂量率测量值范围为 $(0.092\sim 0.096)\mu\text{Gy/h}$ ，即 $(92\sim 96)\text{nGy/h}$ ；（道路） γ 辐射空气吸收剂量率测量值范围为 $(0.061\sim 0.062)\mu\text{Gy/h}$ ，即 $(61\sim 62)$

nGy/h，监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值。

对照《中国环境天然放射性水平》（2015 年 7 月）中“西安室内 γ 辐射剂量率范围为（79.0~130.0）nGy/h，道路 γ 辐射剂量率范围为（52.0~121.0）nGy/h”。经比较，本项目拟建场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

表 9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

一、工程设备

本项目拟使用两台工业 CT，分别为 1 台高能量 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）和 1 台 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）。根据《射线装置分类》（公告 2017 第 66 号），非医用射线装置中工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置属于 II 类射线装置。

二、工艺原理

本项目拟使用的两台工业 CT 属于 X 射线检测设备，在 X 射线 CT 检查中，样本会从不同角度进行成像，理想情况下覆盖至少 180 度的广角范围。每个特定角度拍摄的单张图像称为投影。通过计算机算法，可将多角度投影数据重建为样本的三维结构。重建后的三维体积可通过多种方式呈现；例如逐层切片（亦称虚拟横截面成像），或通过渲染单个内部结构的三维视图。

X 射线检测设备主要由 X 射线管和高压电源组成，其核心部分是 X 射线管。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材料上产生韧致辐射发出 X 射线。

MultiscaleVoxel 1000 高能量 X 射线断层扫描仪及 ZEISS Xradia 610 Versa X 射线成像仪 X 射线管结构见图 9-1、图 9-2。

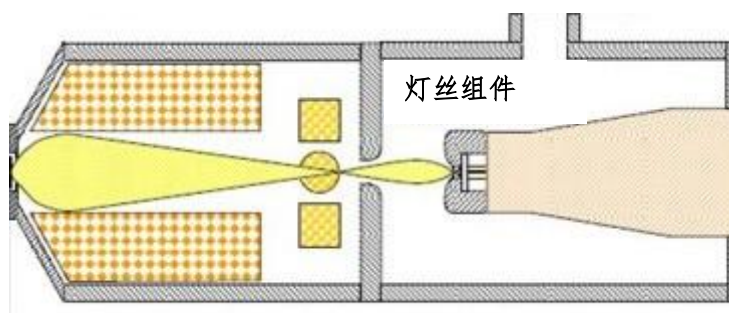


图 9-1 ZEISS Xradia 610 Versa X 射线成像仪 X 射线管结构示意图

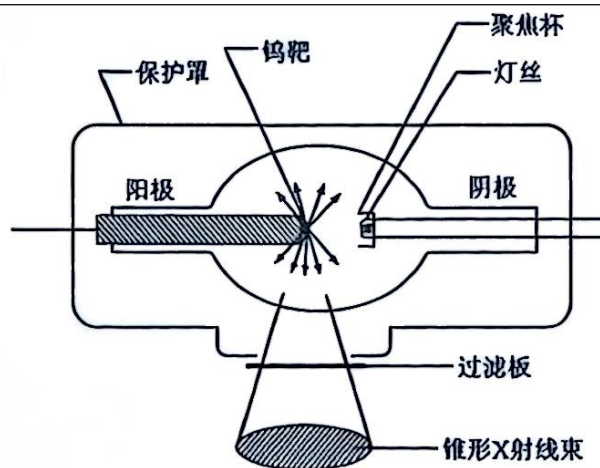


图 9-2 MultiscaleVoxel 1000 高能 X 射线断层扫描仪 X 射线管结构示意图

三、射线装置组成

根据学校提供的资料，两台工业 CT 由射线源系统、探测采集传输系统、机械系统、控制系统、图像重建与处理系统、辐射安全防护系统等多个子系统组成。

(1) 射线源系统

金属陶瓷管射线源在结构上是一个真空二极管，其中的灯丝（阴极）通电后，灯丝温度升高到白炽状态而发射电子，在射线管阴极和阳极间高压电场作用下，灯丝发射的电子高速向阳极（靶）运动，电子轰击到阳极靶时运动受阻，大部分能量转换为热能消耗掉，少部分能量转换为有用的光子，即 X 射线。

(2) 图像显示及处理系统

由计算机硬件、图像处理软件、平板探测器和现场监控组成。CT 图像采集利用不同角度的 X 射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。

(3) 控制系统

控制系统主要目标是协调控制 X 射线源、探测器、精密机械平台以及图像重建与处理系统有序配合完成 CT 扫描，同时还包括各单元电源控制、辐射安全连锁、报警显示、人机交互以及状态诊断等辅助控制。

(4) 机械运动系统

1) 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）

机械运动系统主要由支撑立柱、行走小车和行走轨道构成。内部可移动结构：

射线源、平板探测器可上下运动；样品台可以上下及前后运动，样品台转台正反方向连续或间歇 360° 旋转。射线源距离屏蔽结构顶部最近约 1.2m，射线源照射范围示意图见图 9-3；

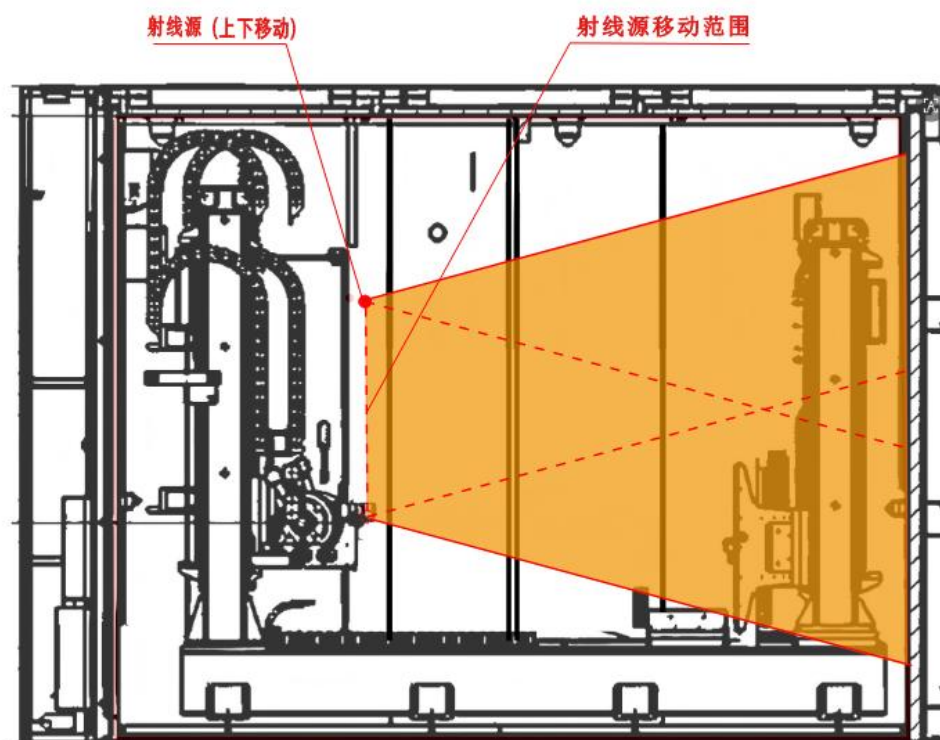


图 9-3-1 主视图

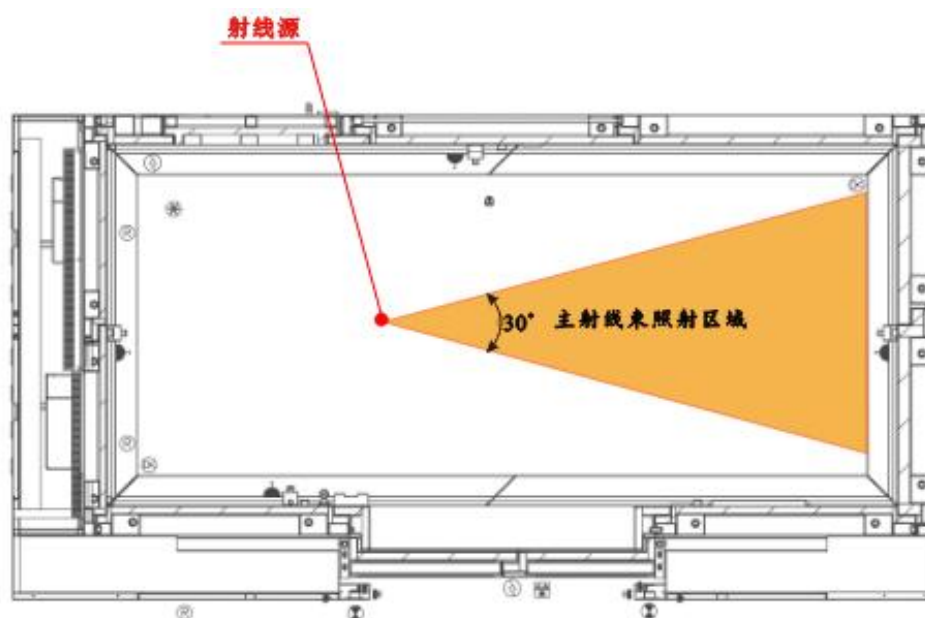


图 9-3-2 俯视图

图 9-3 高能 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000) 射线照射范围示意图

2) X 射线成像仪 (ZEISS Xradia 610 Versa)

射线源及探测器可以前后移动（射线源有用线束方向为前），射线源距离屏蔽结构顶部 0.352m，距离设备内部西北侧面（射线束照射区）最近距离为 0.943m；样品转台可前后、上下、左右移动，360° 旋转，射线源照射范围示意图见图 9-4。

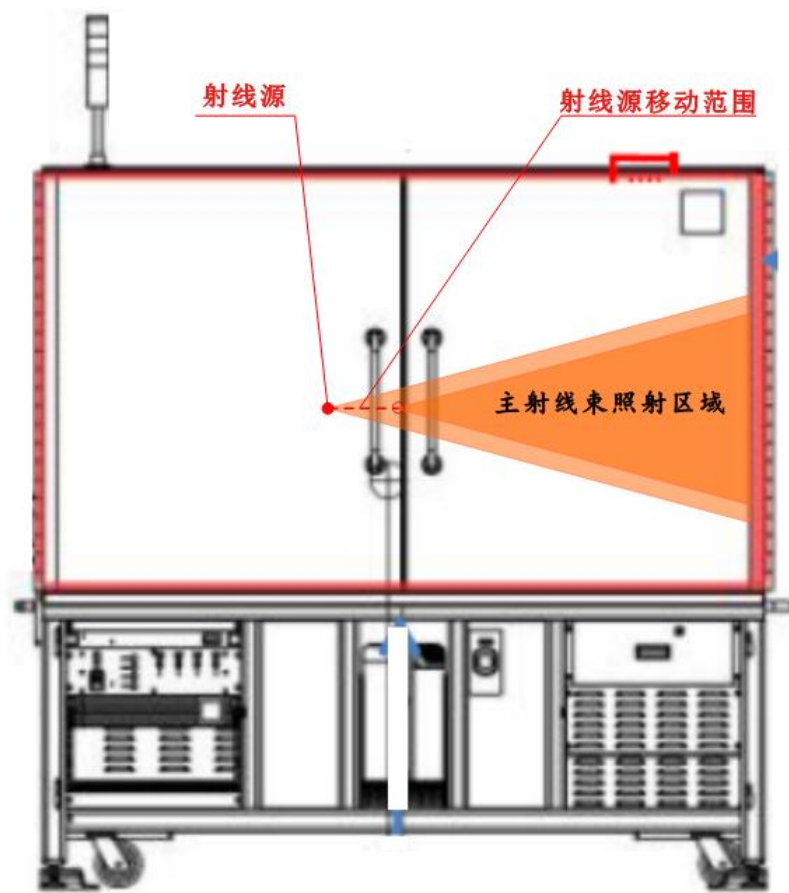


图 9-4-1 主视图

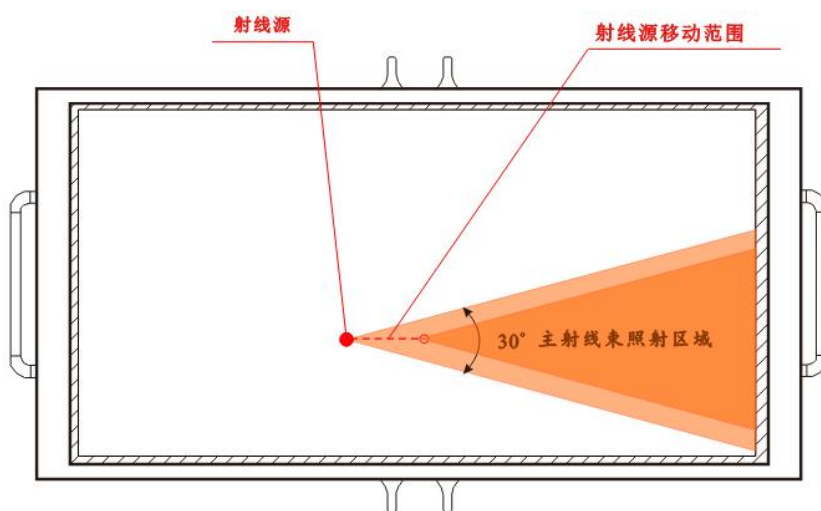


图 9-4-2 俯视图

图 9-4 X 射线成像仪 (ZEISS Xradia 610 Versa) 射线照射范围示意图

(5) 辐射安全防护系统（自带屏蔽结构）

安全防护系统主要包含屏蔽防护结构，该屏蔽结构主要用于对射线装置工作时产生的辐射进行屏蔽，同时配有安全连锁系统和安全报警系统，保证工作人员及公众的人身安全和身体健康。设备外形图见图 9-5 及图 9-6；设备具体屏蔽结构见表 10-1，表 10-2。



图 9-5 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）屏蔽体外形图



图 9-6 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）屏蔽体外形图

(6) 机械系统

机械系统主要由射线源、转台以及探测器组成。两台设备内部结构见图 9-7、图 9-8、图 9-9。

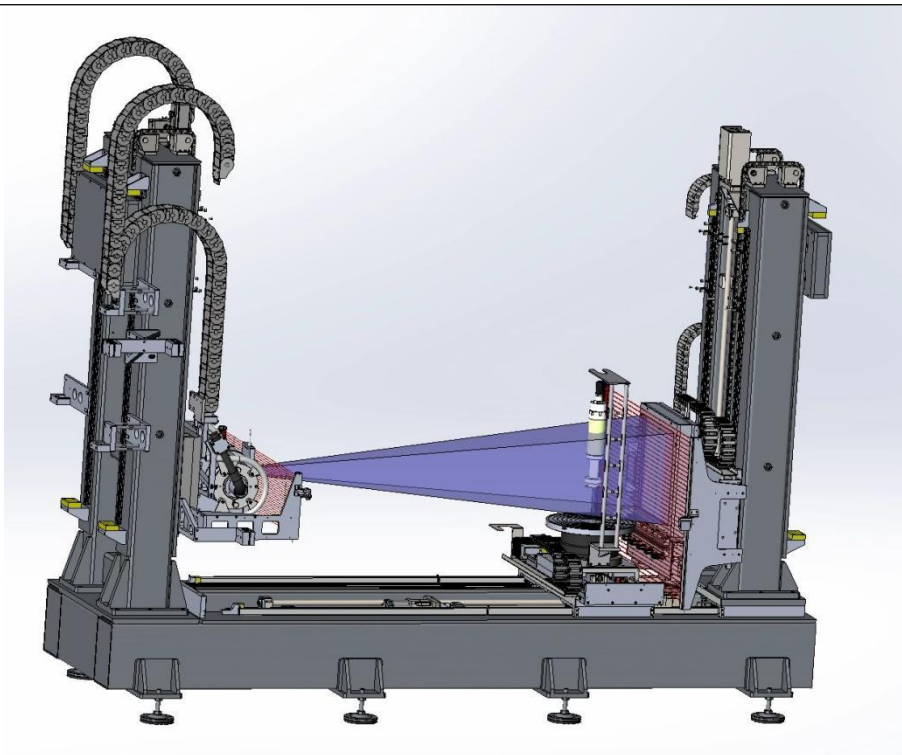


图 9-7 MultiscaleVoxel 1000 高能 X 射线断层扫描仪内部结构示意图

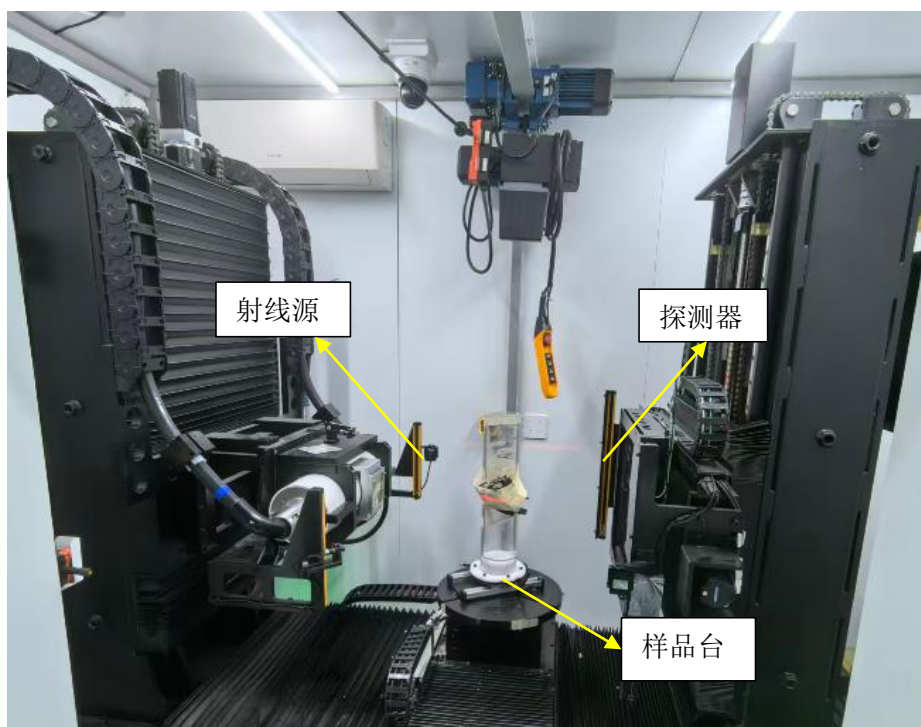


图 9-8 MultiscaleVoxel 1000 高能 X 射线断层扫描仪内部实物图

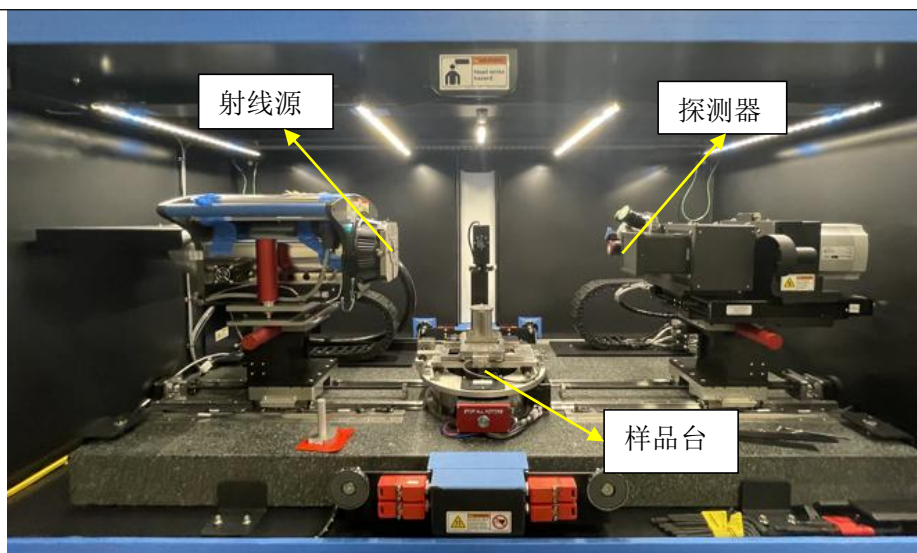


图 9-9 ZEISS Xradia 610 Versa X 射线成像仪内部结构图

四、操作流程及产污环节

1、MultiscaleVoxel 1000 高能量 X 射线断层扫描仪

(1) 操作流程：

① 开机准备：将仪器电源插入插座，确保电源接触良好，仪器供电正常；旋转设备总开关，然后旋转启动开关绿灯常亮，仪器上电；旋动射线源控制旋钮到主电源，按下使能开关，射线源上电。

② 软件启动：打开前端机工作站，打开扫描软件 NanoVoxel Scan 进入软件操作界面。

③ 开机逐项性能测试：弹出仪器自检对话框，点击“一键自检”按钮，仪器开始自检功能，其中包括射线源连接检测、探测器连接检测、控制器连接检测、控制器回零、射线源预热。

④ 样品固定与定位：将待测样品固定于样品座上。打开防护门，将安装好的待测样品放置于样品台上，关闭防护门。

⑤ 核心参数配置：扫描参数设置（探测器参数设置、射线源参数设置、运动控制）。

⑥ 启动扫描与过程监控：开启射线源进行实时动态扫描、采集 DR 图像或采集 CT 图像。

⑦ 关机：确定样品扫描结束，射线源处于未发射 X 射线状态，即射线发射指示灯处于关闭状态后，打开防护门取出样品后关闭防护门；关闭扫描软件，射线源

关机状态；关闭前端机工作站；旋转总电源开关，关机断电。

(2) 产污环节

MultiscaleVoxel 1000 高能 X 射线断层扫描仪工作流程及产污环节见图 9-10。

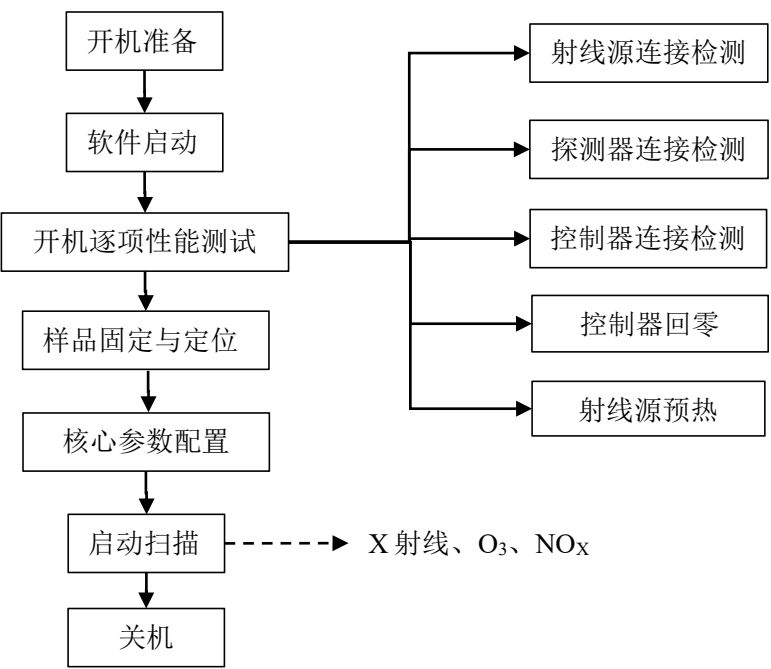


图 9-10 MultiscaleVoxel 1000 高能 X 射线断层扫描仪工作流程及产污环节图

2、ZEISS Xradia 610 Versa X 射线成像仪

(1) 操作流程

① 开机前准备与设备检查：安全与环境检查；设备硬件核查，包括检查 X 射线源、探测器、载物台及连接线是否完好，冷却系统（如水冷或风冷装置）无渗漏，确保设备机械部件（如载物台移动机构）灵活无卡顿。

② 软件与校准：准备启动计算机终端，打开 ZEISS 配套的成像控制软件，等待系统自检完成。

③ 样品固定与定位：打开防护门，将待检测样品固定在专用夹具上，避免扫描中移位；目测样品高度，防止与探测器或射线源碰撞。调整载物台位置，使样品待检测区域对准 X 射线束中心，关闭防护门。

④ 核心参数配置：根据样品材质、密度和检测需求设置参数。关键参数包括管电压、管电流、曝光时间；同时选择扫描模式（如快速 2D 成像、3D 断层扫描）和

扫描角度范围。

⑤ 启动扫描与过程监控：在软件界面确认参数无误后，点击“开始扫描”按钮。设备会自动启动 X 射线源，载物台按预设角度匀速旋转（3D 模式）或保持固定（2D 模式），探测器同步采集射线信号。

⑥ 图像处理与数据分析：扫描完成后，软件自动生成原始影像数据。可通过软件功能进行图像增强、噪声去除、对比度和亮度调整，可对 2D 图像进行放大、裁剪，或对 3D 数据进行断层切片查看。

⑦ 安全停机：点击软件中“关闭 X 射线”按钮，等待管电压、电流降至 0，辐射状态图标变为绿色后，打开安全门取出样品后关闭防护门。依次关闭成像软件、计算机，最后断开设备总电源。

(2) 产污环节

ZEISS Xradia 610 Versa X 射线成像仪工作流程及产污环节见图 9-11。

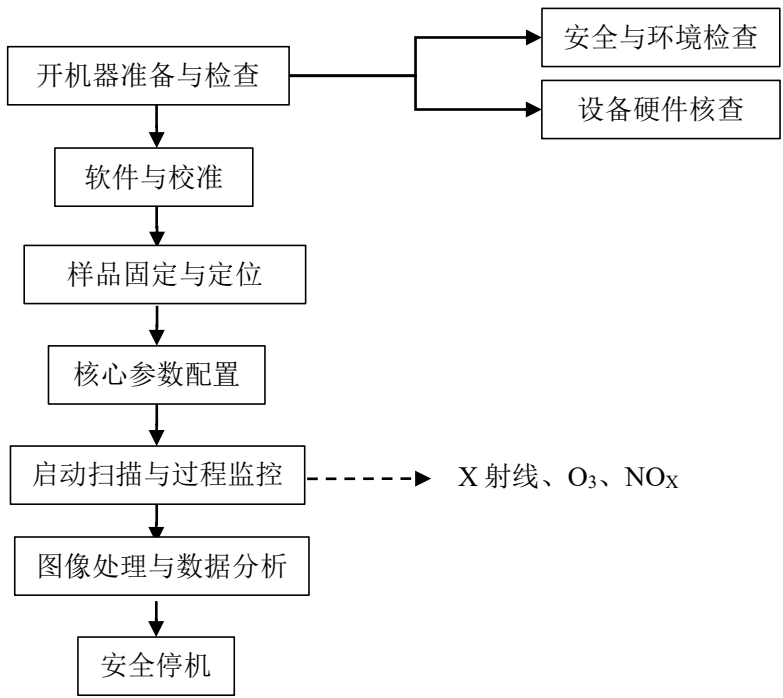


图 9-11 ZEISS Xradia 610 Versa X 射线成像仪工作流程及产污环节图

五、正常工况的污染途径

本项目两台工业CT发出的X射线经透射、散射，对作业场所及周围环境产生X射线辐射，会对工作人员和公众产生一定的外照射。

六、事故工况的污染途径

本项目在运行过程中可能发生的事故有：

(1) 开机检测时，门机联锁失效，防护门未完全关闭的情况下射线装置出束，对工作人员及公众造成额外照射。

(2) CT设备出现故障时不受控出束，对周围活动人员产生误照射。

污染源项描述

本项目运行阶段主要包括两台工业 CT 工作过程产生 X 射线对周围环境产生的外照射；X 射线会使空气电离产生少量 O_3 、 NO_x 。

1、X 射线

本项目使用高能量X射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000型）以及X射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa），运行期主要污染源项为X射线。

由X射线的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目射线装置只有在开机并处于出射线状态时才会发出X射线。因此，在检测期间，X射线成为污染环境的主要污染因子。

X射线球管出束照射工件期间，它产生的X射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透力与X射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的X射线包括有用线束、泄漏射线和散射射线。

(1) 有用线束：直接由X射线管产生的电子通过打靶获得X射线并通过辐射窗口用来照射工件，形成工件无损检测的射线。射线能量、强度与X射线管靶物质、管电压、管电流有关，靶物质原子序数、加在X射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。

(2) 泄漏射线：除了有用的辐射束外，从辐射源组装体泄漏出的任何其他的辐射。

(3) 散射射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测工件、射线接收装置、地面等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与X射线能量、X射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

2、废气 O_3 、 NO_x

当电压为0.6kV以上时，X射线能使空气电离。本项目高能量X射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）最大管电压为450kV，X射线成像仪（Zeiss/Xradia 610

Versa) 最大管电压160kV, 运行时X射线能使空气电离产生少量O₃、NO_x。

3、废水

本项目共配置2名辐射工作人员, 均由现有工作人员(非辐射人员)调配, 本次不新增工作人员, 不新增生活污水。

4、固体废弃物

本项目拟配置的2名辐射工作人员, 均由现有工作人员(非辐射人员)调配, 本次不新增工作人员, 不新增生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、辐射工作场所分区及合理性分析

(1) 布局合理性分析

高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000 系列工业 CT）、X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）均自带屏蔽结构，其中 Multiscale Voxel 1000 设备有用线束照射方向向西南，设备操作台位于设备北侧，避开了有用线束照射方向。Zeiss/Xradia 610 Versa 设备有用线束照射方向向西北，操作台位于设备东南侧，避开了有用线束照射方向。工作场所布局情况见图 10-1，两台设备操作台与有用线束照射方向均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“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”的要求。

(2) 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 条：“应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。”对控制区和监督区的定义如下：

控制区：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。

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。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。”根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“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。”“6.4.2.1 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”的要求，并结合本项目实际情况，将射线装置屏蔽结构内所有区域划分为控制区，将

X 射线成像室（18-1001 室）内其他区域划分为监督区，辐射工作场所分区示意图见图 10-1。根据上述分区，学校须采取必要的措施加强分区管理，主要措施如下：

① 控制区：以高能量 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）、X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）防护防护结构为界。针对控制区，设置门-机联锁装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志和控制区标识等，X 射线装置在运行过程中，对控制区进行严格控制。

② 监督区：两台 X 射线装置屏蔽结构外的其余为辐射工作人员工作场所，禁止非辐射工作人员靠近。X 射线成像室（18-1001 室）门口张贴分区标识、警示标志和警示信息，警告无关人员远离该区域。

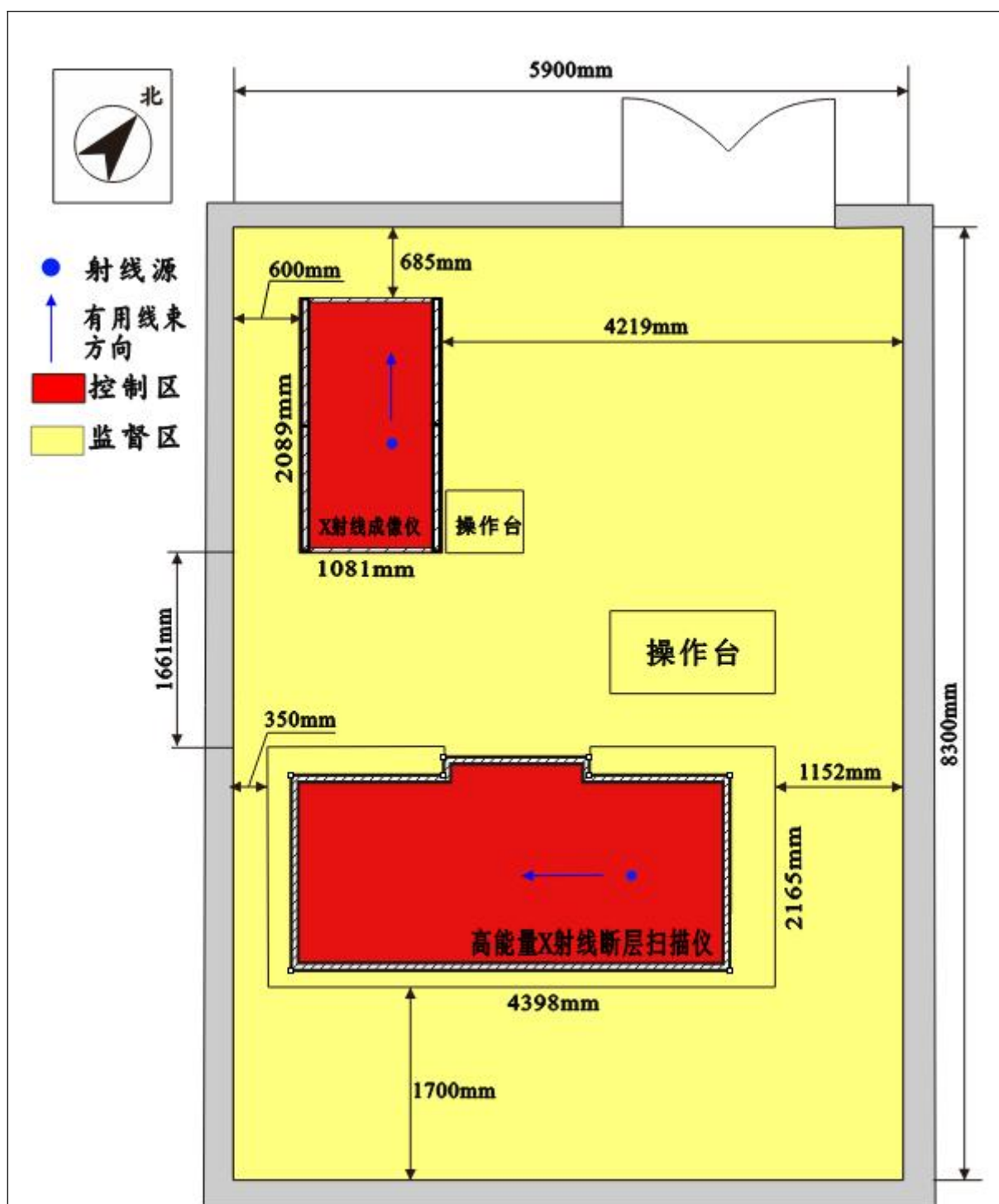


图 10-1 工作场所分区示意图

二、辐射防护屏蔽设计

1、高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）

设备为五面屏蔽结构，底面无屏蔽，位于室内一层，地下为土层，无构筑物。在屏蔽结构正面（西北侧）开设 1 个工件进出门，主射束向西南照射；在屏蔽结构背面（东南侧）开设 1 个检修门。根据学校提供的资料，设备屏蔽结构各面的屏蔽

参数见表 10-1，屏蔽结构设计示意图见图 10-2、图 10-3 和图 10-4。

表 10-1 屏蔽结构主要设计参数

序号	位置	设计屏蔽结构主要设计参数及材料
1	西南侧面（射线束照射区）	3mm 钢板+70mmPb+3mm 钢板
2	西北侧面	3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板
3	东南侧面	3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板
4	东北侧面	3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板
5	顶面	3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板
6	工件门	3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板
7	检修门	3mm 钢板+35mmPb+3mm 钢板
8	屏蔽结构	内部尺寸：3740mm（长）×1560mm（宽）×2970mm（高）

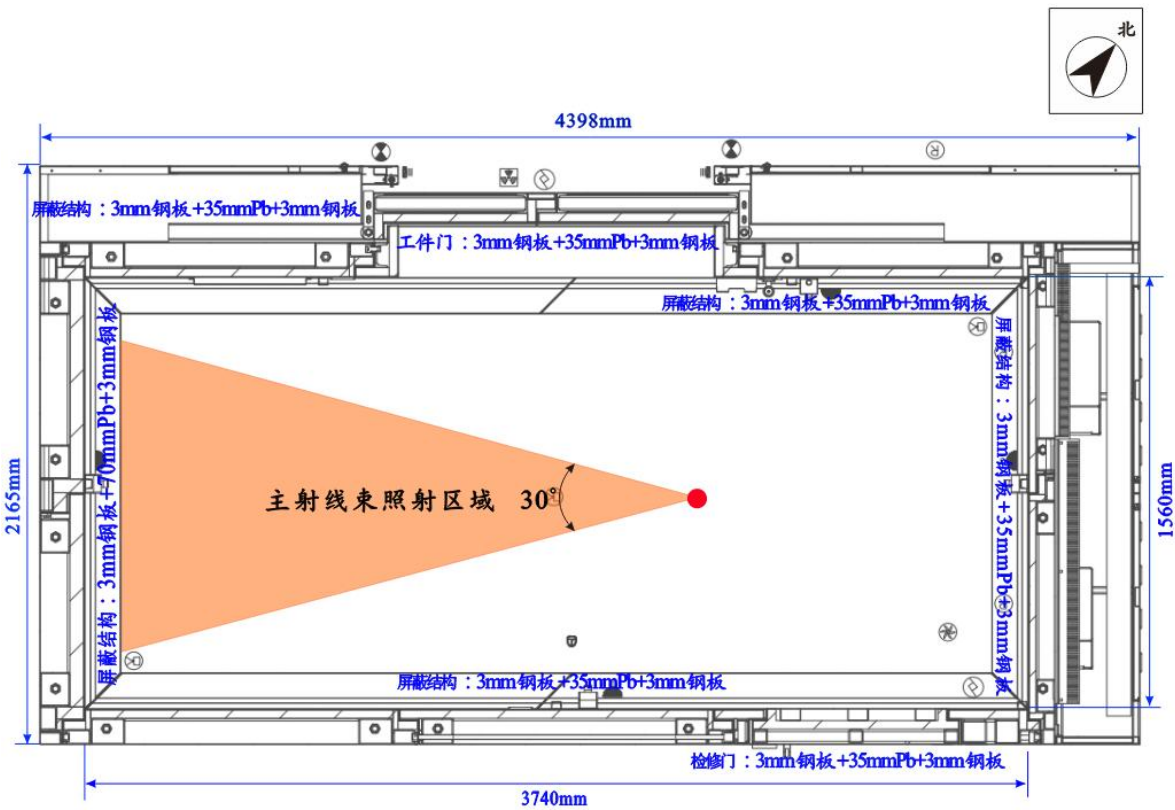


图 10-2 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）屏蔽结构平面防护设计图

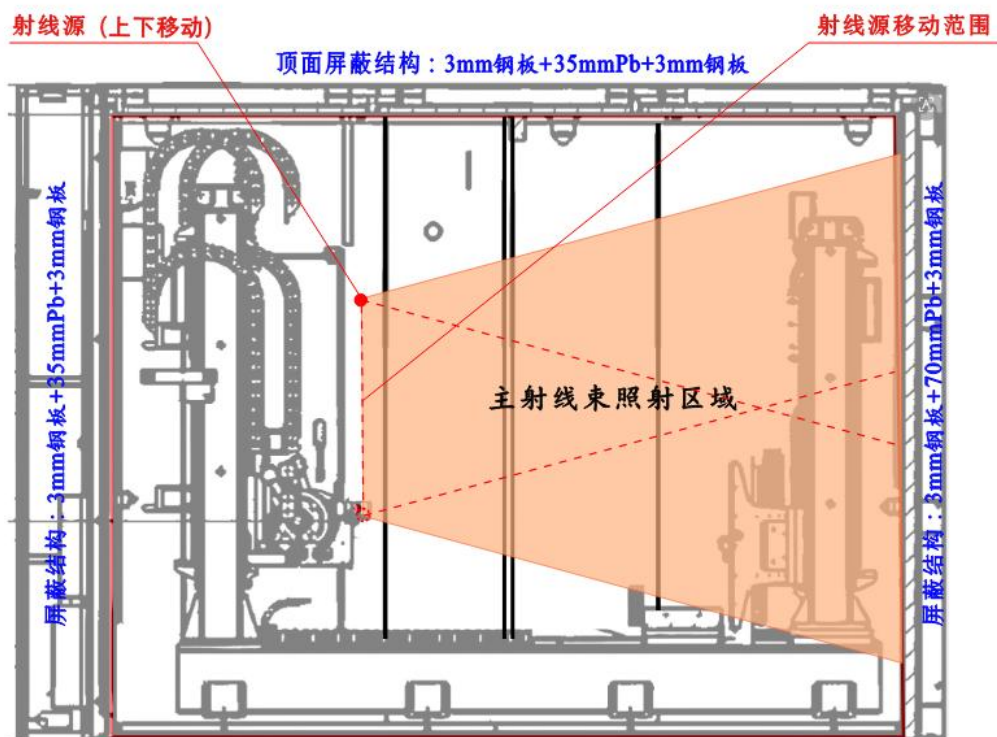


图 10-3 高能 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000) 立面防护设计图

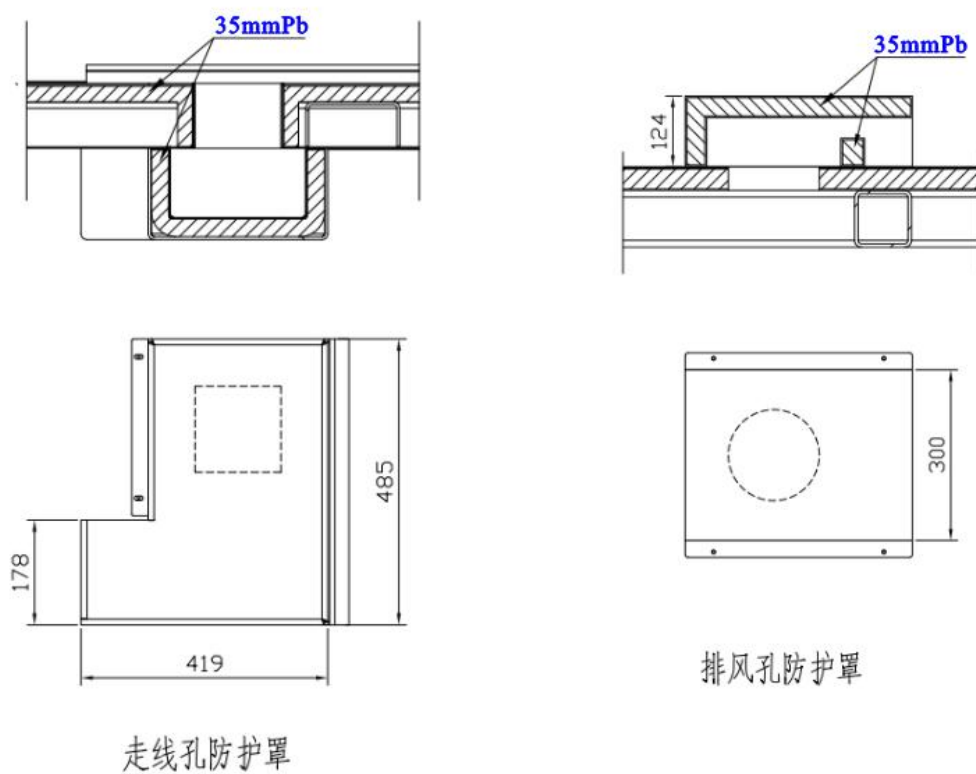


图 10-4 高能 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000)
走线防护罩、排风口防护罩防护设计示意图

2、X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）

设备为六面封闭式结构。在屏蔽结构正面（东北侧）为对开的工件进出门，主射束向西北照射；在屏蔽结构背面（西南侧）为对开的检修门。根据西安交通大学提供的资料，设备屏蔽结构各面的屏蔽参数见表 10-2，屏蔽结构设计示意图见图 10-5、图 10-6 和图 10-7。

表 10-2 屏蔽结构主要设计参数

序号	位置	设计屏蔽结构主要设计参数及材料
1	西北侧面（射线束照射区）	4mm 钢板+9mmPb+1.2mm 钢板
2	东南侧面	4mm 钢板+6mmPb+1.2mm 钢板
3	东北侧面（工件门）	4mm 钢板+6mmPb+1.2mm 钢板
4	西南侧面（检修门）	4mm 钢板+6mmPb+1.2mm 钢板
5	顶面	2mm 钢板+6mmPb+2mm 钢板
6	底部	6mm 钢板+6mmPb+6mm 钢板
7	屏蔽结构	内部尺寸：1875mm（长）×960mm（宽）×823mm（高）

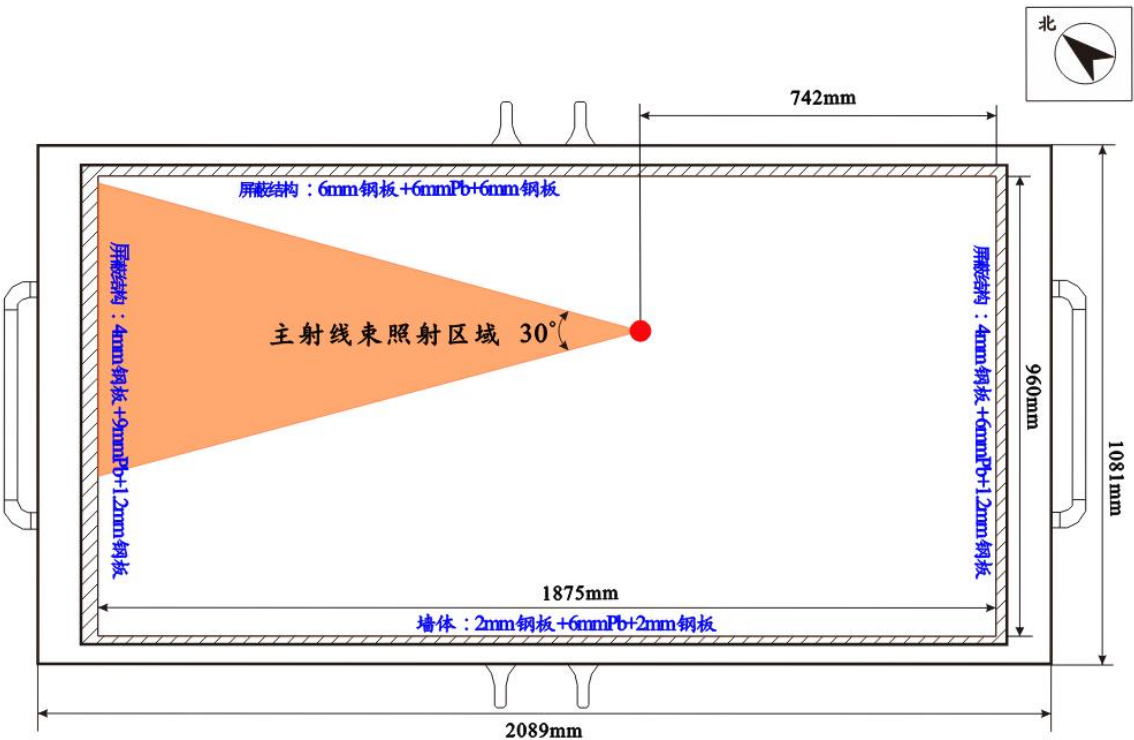


图 10-5 X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）屏蔽结构平面防护设计图

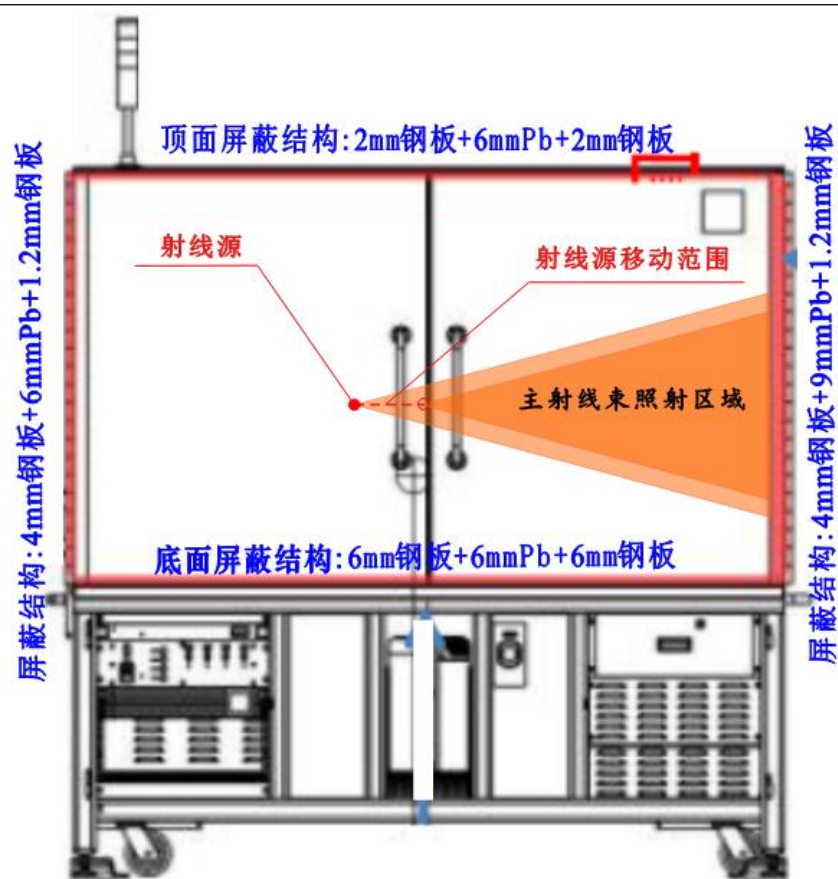


图 10-6 X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）屏蔽结构立面防护设计图

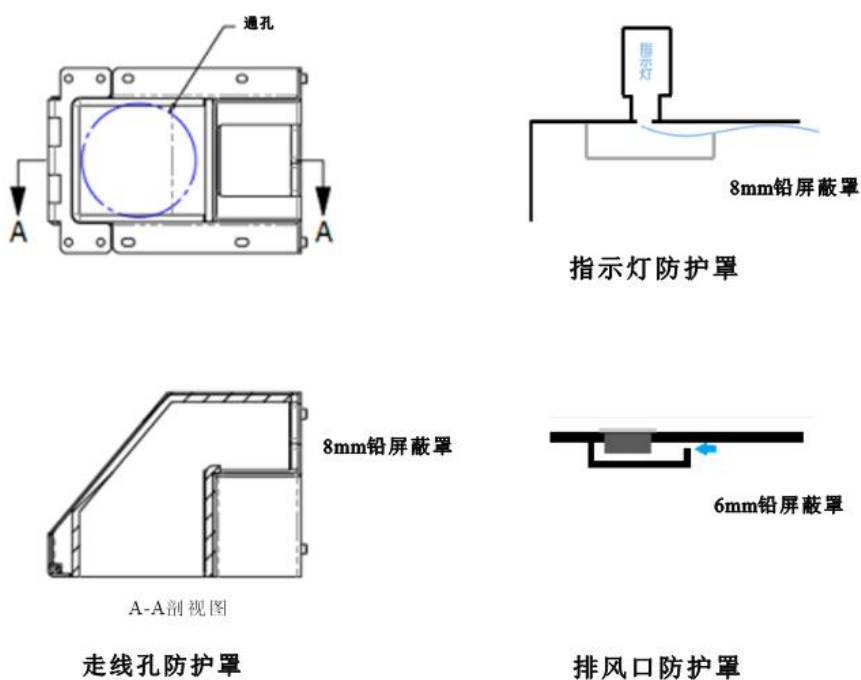


图 10-7 X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）走线防护罩、排风口防护罩防护设计示意图

三、辐射安全措施

本项目两台射线装置的屏蔽结构为实际作业场所，等同于探伤室，本项目的防护设施参照执行《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中相关规定。项目拟采取的其他辐射安全措施如下：

(1) 启动开关：设备自带启动开关，钥匙由专人负责保管。

(2) 开机系统自检：开机后控制器首先进行系统诊断测试，若诊断测试正常，会示意操作者可以进行曝光操作。若诊断出故障，在显示器上显示出故障代码，提醒用户关闭电源，与厂家联系并维修。

(3) 铅门关闭和射线工作时均有相应的声光报警和警示灯提示，并且警示灯串连在安全回路里，如警示灯故障，射线不能启动。两台设备在外部均设置了声光报警装置。X射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa）由于尺寸较小，人员无法进入，因此在内部没有设置声光报警装置。

(4) 本项目两台设备自带屏蔽结构，屏蔽结构各部分材料及屏蔽厚度见表 10-1、表 10-2。

四、辐射安全设施与管理措施

1、高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）

铅防护门与设备实现门-机联锁、与工作状态指示灯实现门-灯联锁，在屏蔽结构上粘贴有中文标识的电离辐射警示标志，在铅防护门旁设置工作状态指示灯，并在屏蔽结构内安装监控装置，铅防护门外侧和控制台处均设置紧急停机装置，避免工作人员和公众受到误照射。

(1) 门-机联锁：铅防护门与设备高压电源联锁，如铅防护门未完全关闭，高压电源不能正常启动；射线出束状态下防护门被强制打开后设备电源立即被切断。

(2) 安全指示灯（门-灯联锁）：防护门关闭和射线工作时均有相应的声光报警和警示灯提示。工件门正上方有可显示“预备”与“照射”的灯箱，灯箱亮起同时发出语音；工件门外部两侧有指示三色灯带，工件门内部设置了三色报警灯。红色灯亮起代表设备正在进行“照射”，黄色亮起代表“预备”状态，绿色灯亮起代表设备已“通电”。

③ 紧急停机装置：本项目在防护门外侧设置 1 个紧急停机按钮，在屏蔽结构内设置了 4 个紧急停机按钮，操作台上设置了 1 个紧急停机按钮，且相互串联，按下

按钮，设备高压电源立即被切断，X射线停止出束，铅防护门可以打开。

(4) 视频监控系统：屏蔽结构内安装 3 个高清摄像头，摄像头直接对准被检工件，工作人员能在显示器上实时监控整个扫描过程，如果出现异常能迅速启动紧急停机装置。

(5) 警告标志：屏蔽结构防护门外在醒目处张贴“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯箱，X射线检测工作时，有声光警示，控制区边界设置明显可见的警告标志。

(6) 屏蔽结构固有安全性：屏蔽结构门洞与防护门之间有足够的搭接宽度，通风孔和线缆穿线孔处均有铅防护罩（35mm 铅板）进行屏蔽，屏蔽结构四周和顶部边框具有较高的结构强度，不会造成屏蔽结构坍塌和顶部下坠的现象。

(7) 通风系统：设计过程中在屏蔽结构顶部设置排风口，运行过程中产生的废气经自建排风管道接入室内排风系统，排风口与屏蔽结构为一体式设计，采用 35mm 铅板进行屏蔽，屏蔽结构见图 10-4。

(8) 防护门与四周屏蔽体的间隙小于 5mm，工件门缝搭接长度不小于 80mm。

(9) 射线装置配备了 1 套固定辐射剂量报警仪，2 个探头位于屏蔽结构内，显示端安装于屏蔽结构外，可实时监测屏蔽结构内的辐射剂量情况，辐射剂量超过设定阈值时将进行声光提示。

高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）辐射安全与防护设施情况见表 10-3。

表 10-3 辐射安全与防护设施一览表

序号	防护设施	位置	数量
1	电源开关	设备外侧 1 个	1 个
2	射线开关	设备外侧 1 个	1 个
3	通风口	屏蔽结构上方东北角	1 个
4	摄像头	屏蔽结构内 3 个	3 个
5	声光报警	内部 1 套，外部 1 套（在射线装置顶部设置有预备照射显示牌，两侧为指示灯）	2 套
6	门机连锁系统	工件门和检修门上各 1 个	1 套
7	紧急停机按钮	屏蔽结构内侧四周各 1 个，屏蔽结构外侧 1 个，操作台上 1 个	6 个
8	电离辐射标志	屏蔽结构工件门上 1 个	1 个
9	固定式辐射剂量报警仪	探头（2 个）位于屏蔽结构内部，报警装置位于屏蔽结构外部	1 套

2、X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa）

铅防护门与设备实现门-机联锁、与工作状态指示灯实现门-灯联锁，在屏蔽屏蔽结构上粘贴有中文标识的电离辐射警示标志，在铅防护门旁设置工作状态指示灯，并在屏蔽结构内安装监控装置，铅防护门外侧和控制台处均设置紧急停机装置，避免工作人员和公众受到误照射。

(1) 门-机联锁：设备正面（工件门）和背面（检修门）各设置对开铅防护门 1 对，每扇门配两个常闭双触点开关，每扇门的一个触点开关串联成一个电路，四扇门共两个串联电路。只有当两个电路都关闭时电源才会通电。

(2) 安全指示灯（门-灯联锁）：防护门关闭和射线工作时均有相应的声光报警和警示灯提示，并且警示灯串连在安全回路里与设备联锁，如警示灯故障，射线不能启动。指示灯为带蜂鸣器三色灯，黄色灯亮起为铅防护门关闭，绿色灯亮起设备正常通电为“预备”状态，红色为“照射”状态，即设备开启 X 射线同时伴随三色灯蜂鸣器响动。工作状态指示灯显示正在进行射线检测时，铅防护门不能被打开。

(3) 紧急停机装置：设备一共有 3 个紧急停机按钮，一个紧急停机按钮在正前方门的下方机柜门上，一个在正后方门下方的机柜门上，还有一个在操作台上，且相互串联，按下按钮，设备电源立即被切断，X 射线停止出束，铅防护门可以打开。

(4) 视频监控系统：屏蔽结构内安装 1 个高清摄像头，摄像头直接对准被检工件，工作人员能在显示器上实时监控整个扫描过程，如果出现异常能迅速启动紧急停机装置。

(5) 警告标志：屏蔽结构防护门外在醒目处张贴“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯箱，扫描作业时，有声光警示，控制区边界设置明显可见的警告标志。

(6) 屏蔽结构固有安全性：屏蔽结构门洞与防护门之间有足够的搭接宽度，通风孔（6mm 铅屏蔽罩）和线缆穿线孔处（8mm 铅屏蔽罩）均有铅屏蔽罩进行屏蔽，屏蔽结构四周和顶部边框具有较高的结构强度，不会造成屏蔽结构坍塌和顶部下坠的现象。

(7) 通风系统：设计过程中在屏蔽结构顶部设置排风口，运行过程中产生的废气经排风口排至屏蔽结构外，通过室内通风系统排出室外。排风口与屏蔽结构为一体式设计，排风口穿过屏蔽结构的孔道采用 6mm 铅屏蔽罩进行屏蔽。

(8) 由于设备屏蔽结构尺寸较小，屏蔽结构内部高度仅为 851mm，且位于距离地面约 0.5m 的柜体上，人员无法进入，因此屏蔽结构内部未设置固定剂量报警仪，在射线装置操作台设置了 1 台辐射剂量报警仪。

X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa）辐射安全与防护设施情况见表 10-4。

表 10-4 辐射安全与防护设施一览表

序号	防护设施	位置	数量
1	PDU 电源开关	检修面板后方 1 个	1 个
2	通风口	屏蔽结构顶部	1 个
3	摄像头	屏蔽结构内 1 个	1 个
4	声光报警装置	设备顶部左侧	1 个
5	门机连锁系统	4 扇门（两两对开）每扇门配两个常闭双触点开关，每扇门的一个触点开关串联成一个电路，4 扇门共两个串联电路	1 套
6	紧急停机按钮	工件门的下方机柜门上 1 个，检修门下方的机柜门上 1 个，操作台 1 个	3 个
7	电离辐射标志	屏蔽结构工件门上 1 个	1 个
8	辐射剂量报警仪	固定于操作台	1 台

两台设备辐射安全与防护设施位置见图 10-8。

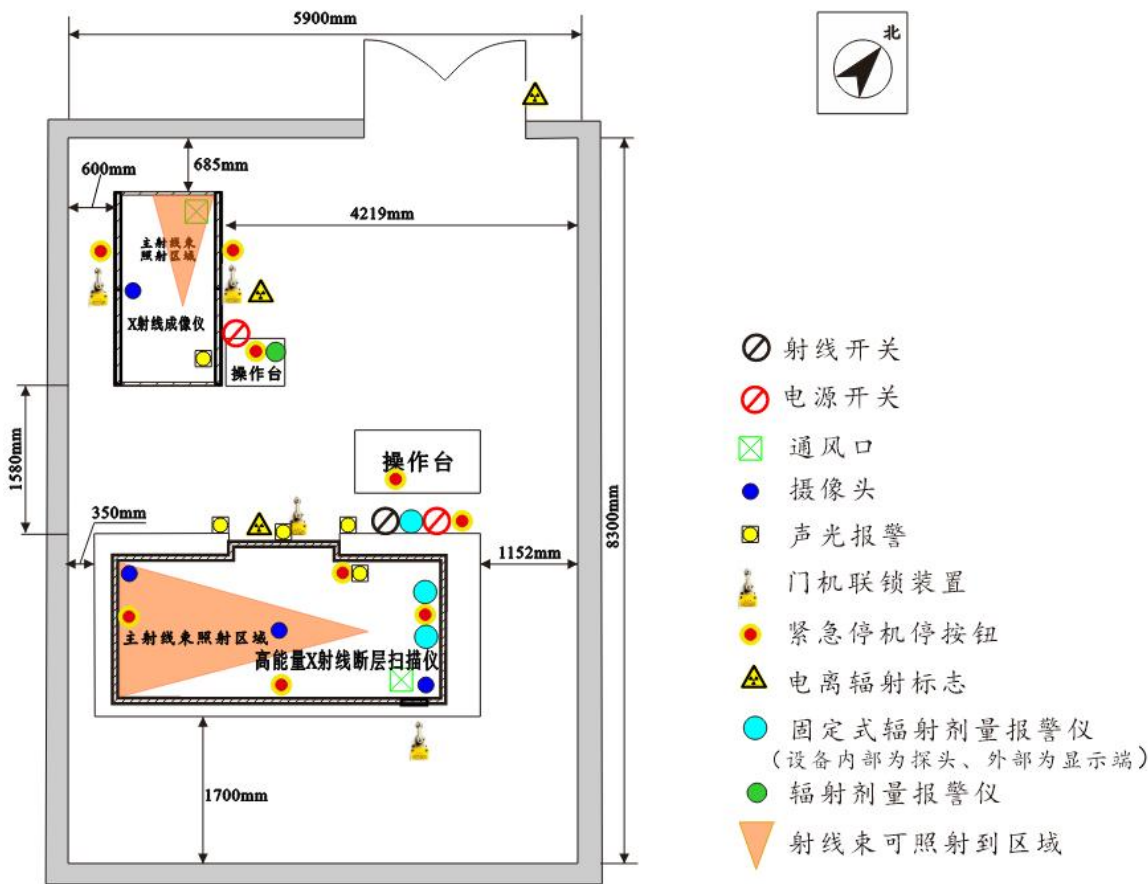


图 10-8 辐射安全与防护设施位置示意图

3、X 射线成像室措施

监测仪器及个人防护用品：本次新 2 名辐射工作人员由现有非辐射工作人员调配，需要开展培训并取得合格证书，配备个人剂量计 2 个，个人剂量报警仪 2 台，辐射人员随身携带；

辐射安全标志：在设备防护门外（每个设备各 1 个）以及 X 射线成像室门外设置电离辐射标志牌（1 个），提醒操作人员和其他人员注意安全。

五、核技术利用单位辐射安全管理标准化建设

根据陕环办发〔2018〕29 号关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。根据学校提供资料，本项目拟采取的辐射安全防护措施详见表 10-5。

表 10-5 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（五）
辐射安全防护措施部分——工业探伤类

项目			具体要求	本项目情况		
				高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）	X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa）	
工业 X 射线探伤	控制台安全性能		X射线管头应具有制造厂商、型号及出厂编号、额定管电压电流等标志	本项目拟新增的高能 X 射线断层扫描仪，具有明确的制造厂商、型号、出厂编号、额定管电压电流等标志；设备外壁上设置了钥匙开关、紧急停机按钮，外部报警等安全装置。安全性能符合相关要求	本项目拟新增 X 射线成像仪具有制造厂商、型号、出厂编号、额定管电压电流等标志；在设备及操作台上设置了紧急停机按钮、外部报警等安全装置。安全性能符合相关要求	
			控制台设有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示装置			
			控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置			
			控制台或 X 射线管头组装体上设置探伤室门连锁接口，并设有钥匙开关			
			应在屏蔽墙内外合适位置上设置紧急停止按钮			
	固定式探伤作业场所	分区		按标准要求划分控制区、监督区	本次拟在分析测试中心 18-1001 室内建设 X 射线断层扫描系统，并对其区域进行分区划分，将两台射线装置屏蔽结构内所有区域划分为控制区；X 射线成像室内其余区域划分为监督区	
				控制区：探伤室墙围成的内部区域		
				监督区：探伤室墙壁外部相邻的区域		
		布局		操作室与探伤室分开，并避开有用线束照射的方向	射线装置位于屏蔽结构内部，有用线束照射方向向西南，设备操作台位于设备北侧，避开了有用线束照射方向	射线装置位于屏蔽结构内部，有用线束照射方向向西北，操作台位于设备东南侧，避开了有用线束照射方向
		通风		探伤室设置机械通风装置，排风管道外口避开朝向人员	风机排风量 330m³/h，则每小时有	风机排风量为 234.6m³/h，则每小时

	标志及指示灯		活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于3次	效通风次数约为 19 次，废气进入室内排风系统后经通风管道排至楼层顶部	有效通风次数约为 158 次，经设备排风口排入室内后经室内东南侧通风口进入室内排风系统（室内排风系统每小时通风 6 次），室内空气经通风管道排至楼层顶部
		标志及指示灯	探伤室防护门上设置电离辐射警示标志和中文警示说明	两台设备防护门外拟张贴电离辐射警示标志和中文警示说明，在X射线成像室门口设置警示标志	
			探伤室门口和内部同时设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，照射状态指示装置与X射线探伤装置联锁	拟在设备的屏蔽结构内外分别设置三色声光报警灯，指示装置与射线装置联锁。	设备的屏蔽结构外设置三色声光报警灯；设备尺寸较小，人员无法进入，因此在内部没有设置声光报警装置
			探伤室内、外醒目位置处设置清晰的“预备”和“照射”信号意义说明	拟在两台设备的屏蔽结构外醒目位置拟设置清晰的“预备”和“照射”信号意义说明	
	标志及指示灯	辐射安全与连锁	探伤室设置门-机联锁装置	铅防护门与设备高压电源联锁，如铅防护门未完全关闭，高压电源不能正常启动；射线出束状态下防护门被强制打开后设备电源立即被切断	设备正面和背面各设置对开铅防护门1对，每扇门配两个常闭双触点开关，每扇门的一个触点开关串联成一个电路，四扇门共两个串联电路。只有当两个电路都关闭时电源才会通电
			探伤室内设置紧急停机按钮或拉绳，并带有标签，标明使用方法	本项目在防护门外侧设置1个紧急停机按钮，在屏蔽结构内设置了4个紧急停机按钮，在操作台上设置了1个紧急停机按钮，且相互串联，按下按钮，设备高压电源立即被切断，X射线停止出束，铅防护门可以打开；设备外部带有标签，标明使用方法	设备一共有3个紧急停机按钮，一个在正前方的下方机柜门上，一个在后方的机柜门上，还有一个在操作台上，且相互串联，按下按钮，设备电源立即被切断，X射线停止出束，铅防护门可以打开；设备外部带有标签，标明使用方法
监测设备及个人防护用品		X-γ剂量率监测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等	本项目新增1套固定式辐射剂量报警仪	设置1台辐射剂量报警仪位于操作台	
			辐射工作人员新增个人剂量计2个，个人剂量报警仪2台		
综上，本项目辐射安全防护设施基本符合标准化建设要求，运行期应加强相关管理，定期检查并确保防护设施的有效性。					

三废的治理

本项目不产生放射性“三废”，非放射性废物主要为空气被电离产生的 O_3 和 NO_x 及工作人员产生的生活污水及生活垃圾。主要治理措施如下：

一、废水

本项目拟配置的 2 名辐射工作人员，均由现有非辐射类设备工作人员调配，本次不新增工作人员，不新增生活污水。

二、废气

当电压为 0.6kV 以上时，X 射线能使空气电离。本项目高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）最大管电压为 450kV，X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa）最大管电压 160kV，运行时 X 射线能使空气电离产生少量 O_3 、 NO_x 。

高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）在顶部设置废气排放管道并与室内通风管道相连，废气进入室内排风系统后经通风管道排至楼层顶部，屏蔽体内尺寸长 3.74m×宽 1.56m×高 2.97m，风机排风量 330m³/h，则每小时有效通风次数约为 19 次；X 射线成像仪（Zeiss/Xradia 610 Versa），屏蔽结构内尺寸长 1.875m×宽 0.96m×高 0.823m，风机排风量为 234.6m³/h，则每小时有效通风次数约为 158 次， O_3 和 NO_x 产生量较小，经设备排风口排入室内后经室内东南侧通风口进入室内排风系统（室内排风系统每小时通风 6 次），室内空气经通风管道排至楼层顶部。两台设备产生的废气在楼顶排放，可避开人员密集活动的方向，对环境的影响小。

三、固体废弃物

本项目拟配置的 2 名辐射工作人员，均由现有工作人员调配，本次不新增工作人员，不新增生活垃圾。

表 11 环境影响分析

<p>建设阶段对环境的影响</p> <p>项目建设期间对环境的影响主要为设备安装、设备调试过程产生的噪声及工人生活污水、生活垃圾及废弃物（如设备包装物）。</p> <p>西安交通大学拟在分析测试中心（泓生楼（18 号楼）辅楼）18-1001 设置 X 射线成像室，室内新增 1 台 Multiscale Voxel 1000 设备以及 1 台 ZEISS Xradia 610Versa 设备，两台设备均为一体式，安装过程方便，安装过程产生的噪声对周围环境影响较小。</p> <p>室内设备安装及调试过程中会产生少量的废弃包装、扬尘、噪声以及工作人员产生的少量生活垃圾和生活污水。设备安装均在 X 射线成像室内进行，扬尘和噪声影响较小且持续时间短；生活污水依托校区现有排水系统和污水处理设施；废弃包装统一收集外运处置；生活垃圾经垃圾桶进行分类收集后，统一纳入当地生活垃圾清运系统。</p> <p>综上所述，本项目建设阶段对环境的影响较小。</p>
<p>运行阶段对环境的影响</p> <p>本项目运行期主要环境影响为两台设备工作期间 X 射线对四周屏蔽面、顶面各关注点形成的外照射。本次采用理论估算的方法分析外照射环境影响，首先核算各辐射工作场所屏蔽设计是否满足防护需求，再估算运行期各关注点的剂量率及个人年有效剂量。</p> <p>一、X 射线检测系统辐射防护屏蔽理论估算模式</p> <p>理论计算模式参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）进行。</p> <p>1、屏蔽体辐射屏蔽的剂量参考控制水平</p> <p>(1) 相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按以下公式计算。</p> $\dot{H}_{c,d}=H_c/(t \cdot U \cdot T) \quad \text{公式 (11-1)}$ <p>式中：H_c—周剂量参考控制水平，单位为 $\mu\text{Sv/周}$，职业工作人员 $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$，公众 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$；</p> <p>$U$—探伤装置向关注点方向照射的使用因子；</p> <p>T—人员在相应关注点驻留的居留因子；</p>

t—探伤装置周照射时间，单位为 h/周。

t 按以下公式计算：

$$t=W/(60 \cdot I) \quad \text{公式 (11-2)}$$

式中：W—X 射线探伤的周工作负荷（平均每周 X 射线探伤照射的累积“mA·min”值），mA·min/周；

60—小时与分钟的换算系数；

I—X 射线探伤装置在最大管电压下的最大管电流，mA。

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

$$\dot{H}_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h} \quad \text{公式 (11-3)}$$

(3) 关注点剂量率参考控制水平

\dot{H}_c 为上述 $\dot{H}_{c,d}$ 和 $\dot{H}_{c,max}$ 二者的较小值。

2、探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

由于本次新增两台设备楼上为公众驻留区距离，人员可以达到，屏蔽体外 30cm 处最高剂量率参考控制取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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，距探伤室顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角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计算同公式（11-1）。

3、有用线束屏蔽估算

(1) 关注点剂量率达到参考控制水平 \dot{H}_c 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按公式（11-4）计算，然后由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X：

$$B=\dot{H}_c \cdot R^2/(I \cdot H_0) \quad \text{公式 (11-4)}$$

式中：

B——为屏蔽所需透射因子；

\dot{H}_c ——为剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R——为辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I——为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

H_0 ——为距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以

$\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 。

(2) 对于给定屏蔽物质 X 时，由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B。关注点的剂量 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按下式计算：

$$H = (I \cdot H_0 \cdot B) / R^2 \quad \text{公式 (11-5)}$$

式中：

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

H_0 —距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ；

B—屏蔽透射因子；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

4、泄漏辐射和散射辐射屏蔽

(1) 屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的相应关系

屏蔽厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的关系见公式 (11-6)、公式 (11-7)，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.2 的查出 TVL：

① 对于给定的屏蔽物质厚度 X，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按下式计算：

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{公式 (11-6)}$$

式中：

X ——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL——屏蔽物质的什值层厚度。

② 对于估算出的屏蔽透射因子 B，所需的屏蔽物质厚度 X 按下式计算：

$$X = -\text{TVL} \cdot \lg B \quad \text{公式 (11-7)}$$

式中：

TVL——为屏蔽物质的什值层厚度，mm；

B——为达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时所需的屏蔽透射因子。

(2) 泄漏辐射屏蔽

泄漏辐射屏蔽的估算方法如下：

① 关注点剂量率达到参考控制水平 \dot{H}_c 时所需的屏蔽透射因子 B 按下式计算，然

后按公式（11-8）计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B=\dot{H}_c \cdot R^2 / H_L$$

公式（11-8）

式中：

\dot{H}_c ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

H_L ——距离辐射源点（靶点）1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，其典型值见表 11-1。

表 11-1 X 射线探伤机的泄露辐射剂量率

X 射线管电压（kV）	距离辐射源点（靶点）1m 处泄漏辐射剂量率 H_L （ $\mu\text{Sv/h}$ ）
<150	1×10^3
$150\leq kV\leq 200$	2.5×10^3
>200	5×10^3

② 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式（11-6）计算，泄漏辐射在关注点的剂量率 \dot{H} 按下式计算：

$$\dot{H}=(H_L \cdot B) / R^2$$

公式（11-9）

式中：B——屏蔽透射因子；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

H_L ——距离辐射源点（靶点）1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，其典型值见表 11-1。

(3) 散射辐射屏蔽

散射辐射屏蔽估算方法如下：

① 90° 散射辐射的 TVL

X 射线 90° 散射辐射的最高能量低于入射 X 射线的最高能量，使用该散射线 X 射线最高能量相应的 X 射线（见表 11-2）的 TVL（见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2）计算其在屏蔽物质中的辐射衰减。

表 11-2 X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值

原始 X 射线（kV）	散射辐射（kV）
$150\leq kV\leq 200$	150
$200<kV\leq 300$	200
$300<kV\leq 400$	250

备注：①X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）的原始 X 射线为 160kV，对应的散射辐射取 150kV；②高能量 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）的原始 X 射线为 450kV，采用外推估算，对应散射辐射取 300kV。

② 关注点剂量率达到参考控制水平 \dot{H}_c 时所需的屏蔽透射因子 B 按下式计算。按表 11-2 对应的 90° 散射辐射 (kV)，并确定相应的 TVL，然后按照公式 (11-7) 计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \frac{(\dot{H}_c \cdot R_s^2)}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot \alpha} \quad \text{公式 (11-10)}$$

式中：

\dot{H}_c ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s ——散射体至关注点的距离，m；

R_0 ——辐射源点至探伤工件的距离，m；

I —— X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

H_0 ——距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

F —— R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

α ——散射因子，入射辐射被单位面积散射体散射到距其 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，见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 的 B.4；

③ 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B，按表 11-2 对应的 90° 散射辐射 (kV)，并确定相应的 TVL，然后按公式 (11-6) 计算。关注点的散射辐射剂量率 \dot{H} 按下式计算：

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

式中：

I —— X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

H_0 ——距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

B —— 屏蔽透射因子；

F —— R_0 处的辐射野面积；

R_s ——散射体至关注点的距离，m；

R_0 ——辐射源点至探伤工件的距离；

α ——散射因子。

(4) 泄漏辐射和散射辐射的复合作用

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中 3.2.3 条款，即“当可能存在泄露辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄露辐射和各项散

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）”。

5、年有效剂量计算

年有效剂量可按下式计算：

$$P_{\text{年}}=H \cdot U \cdot T \cdot t$$
 公式（11-12）

式中：

$P_{\text{年}}$ ——年有效剂量，mSv/a；

H ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——一年工作时间，h/a；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

二、屏蔽能力分析

1、理论估算参数

(1) 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）

该设备自带屏蔽结构，根据学校提供资料，设备 X 射线主射束照射方向向西南，射线束角 30° ，每周最大照射时间为 10h，年最大照射时间为 500h。根据学校提供资料，射线源的最大靶功率为 1500W，最大管电压为 450kV 时，最大管电压下最大管电流为 3.3mA，射线源在屏蔽结构内仅可上下移动，距离顶面最近距离约 878mm，有用射线束仅可照射至屏蔽结构内部的西南面，侧向无有用线束照射。

根据与设备厂家沟通，现无法提供设备距靶原点（靶点）1m 处的输出量，因此本次 CT 设备有用线束输出量引用 ICRP Publication 33 附录图 3 中管电压 450kV，3mm 铜滤过条件下的输出量为 $32\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。各关注点的位置、因子见表 11-3。

表 11-3 关注点剂量率参考控制水平选取一览表

序号	关注点位置	使用因子	居留因子 T	周照射时间 t/h	关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)
1	设备西北侧面外 30cm 处 ^①	1	1	10	2.5	10	2.5
2	设备西南侧面外 30cm 处 ^①	1	1	10	2.5	10	2.5
3	设备东北侧面外 30cm 处 ^①	1	1	10	2.5	10	2.5
4	设备东南侧面外 30cm 处 ^①	1	1	10	2.5	10	2.5

5	设备顶部以上 30cm 处 ^①	1	1	10	2.5	10	2.5
6	X 射线成像室东北侧外 18-1003 室 ^②	1	1	10	2.5	0.5	0.5
7	X 射线成像室西北侧走廊 ^④	1	1/4	10	2.5	2.0	2.0
8	X 射线成像室上方 18-2001 室地面以上 30cm 处 ^⑤	1	1	10	2.5	0.5	0.5
9	X 射线成像室西南侧外电梯旁 ^⑥	1	1/4	10	2.5	0.5	2.0
10	X 射线成像室东南侧道路 ^⑦	1	1/16	10	2.5	8.0	2.5
备注： 参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 A 居留因子的取值： ①设备四周及操作台为辐射工作人员操作区，居留因子取 1； ②X 射线成像室东北侧外 1003 室目前空置，保守按照驻留区考虑，居留因子取 1； ③X 射线成像室西北侧外 1004 室，为扫描电镜室，属于驻留区居留因子取 1； ④X 射线成像室西北侧走廊，居留因子取值为 1/4； ⑤X 射线成像室顶部为工程师办公室，属驻留区，属于驻留区居留因子取 1； ⑥X 射线成像室西南侧外电梯，居留因子取值为 1/4； ⑦X 射线成像室东南侧道路，居留因子取 1/16。							

(2) X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）

该设备自带屏蔽结构，根据学校提供资料，设备 X 射线主射束照射方向向西北，射线束角 60°，每周最大照射时间为 20h，年最大照射时间为 1000h。根据学校提供资料，射线源的最大靶功率为 25W，最大管电压为 160kV 时，最大管电压下最大管电流为 0.156mA，射线源在屏蔽结构内仅可前后移动（射线源有用线束方向为前），有用射线束可照射至屏蔽结构内部的西北面。射线源可移动范围内距离设备西北侧面（射线束照射区）最近距离约 943mm。

根据与设备厂家沟通，现无法提设备距靶原点（靶点）1m 处的输出量，因此本次 CT 设备有用线束输出量引用 ICRP Publication 33 附录图 2 中管电压 160kV，2mm 铝滤过条件下的输出量为 $19\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 。各关注点的位置、因子见表 11-4。

表 11-4 关注点剂量率参考控制水平选取一览表

序号	关注点位置	使用因子	居留因子 T	周照射时间 t/h	关注点最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\max}$	导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
1	设备西北侧面外 30cm 处 ^①	1	1	20	2.5	5	2.5
2	设备西南侧面外 30cm 处 ^①	1	1	20	2.5	5	2.5
3	设备东北侧面外 30cm 处 ^①	1	1	20	2.5	5	2.5
4	设备东南侧面外 30cm 处 ^①	1	1	20	2.5	5	2.5
5	设备顶部以上 30cm 处	1	1	20	2.5	5	2.5
6	X 射线成像室东北侧外 18-1003 室 ^②	1	1	20	2.5	0.25	0.25
7	X 射线成像室西北侧走廊 ^④	1	1/4	20	2.5	1.0	1.0
8	X 射线成像室上方 18-2001	1	1	20	2.5	0.25	0.25

	室地面以上 30cm 处 [®]						
9	X 射线成像室西南侧外电梯旁 [®]	1	1/4	20	2.5	1.0	1.0
10	X 射线成像室东南侧道路 [®]	1	1/16	20	2.5	4.0	2.5
备注： 参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 A 居留因子的取值： ①设备四周为辐射工作人员操作区，居留因子取 1； ②X 射线成像室东北侧外 1003 室目前空置，保守按照驻留区考虑，居留因子取 1； ③X 射线成像室西北侧外 1004 室，为扫描电镜室，属于驻留区居留因子取 1； ④X 射线成像室西北侧走廊，居留因子取值为 1/4； ⑤X 射线成像室顶部为工程师办公室，属驻留区，属于驻留区居留因子取 1； ⑥X 射线成像室西南侧外电梯，居留因子取值为 1/4； ⑦X 射线成像室东南侧道路，居留因子取 1/16。							

2、屏蔽厚度估算

(1) 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）

根据上文公式及表 11-3 各关注点，各关注点位置见图 11-1，取射线源距各关注点的最近距离估算设备在 450kV 工作条件下屏蔽结构各方向所需屏蔽厚度，本次预测中所取的参数见表 11-5，估算结果见表 11-6。

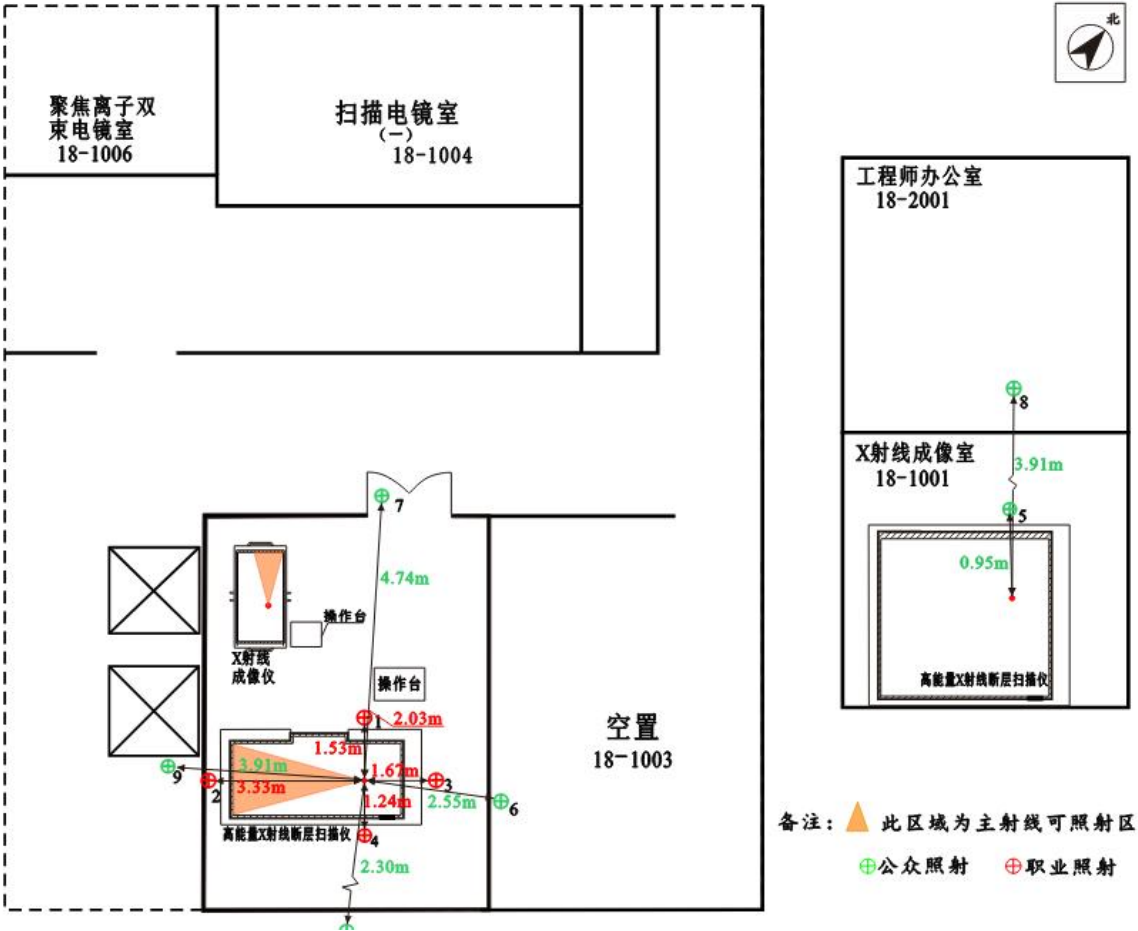


图 11-1 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）设备关注点位置示意图

表 11-5 高能 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000) 屏蔽体辐射预测参数取值表

辐射方式	I (mA)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (mA·h))	TVL (mm)	HVL (mm)	H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	$\frac{R_0^2}{F\cdot\alpha}$
有用线束	3.3	32×60000	9.3	2.8	/	/
泄露辐射	/	/	/	/	5000	/
散射辐射	3.3	32×60000	5.7	1.7	/	56.09

注：① 参考 ICRP Publication 33 附录图 3，取管电压 450kV，3mm 铜滤过条件下的输出量为 32mmGy·m²/mA·min；

② 参考 ICRP Publication 33 表 3，X 射线管电压为 450kV 时，对应铅的半值层厚度为 9.3mm，对应铅的半值层厚度为 2.8mm；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.2，散射辐射 X 射线管电压取 300kV，参考 ICRP Publication 33 表 3，管电压 300kV 时对应的铅半值层厚度为 5.7mm，对应铅半值层厚度为 1.7mm；

③ 本项目射线源与样品台距离为 125-1665mm， R_0 取 1.665m。

表 11-6 高能 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000) 屏蔽体防护厚度核算

序号	屏蔽面	辐射方式	\dot{H}_C ($\mu\text{Sv/h}$)	距辐射源点的距离 (m)	屏蔽透射因子 B	估算铅防护厚度 (mm)		设计铅防护厚度 (mm)	结论
1	设备西北侧面外 30cm 处	泄露辐射	2.5	1.53	1.17×10^{-3}	27.3	27.3	35	符合
		散射辐射			5.18×10^{-5}	24.4			
2	设备西南侧面外 30cm 处	有用线束	2.5	3.33	2.50×10^{-6}	50.74		70	符合
3	设备东北侧面外 30cm 处	泄露辐射	2.5	1.67	1.39×10^{-3}	26.6	26.6	35	符合
		散射辐射			6.17×10^{-5}	24.0			
4	设备东南侧面外 30cm 处	泄露辐射	2.5	1.24	7.69×10^{-4}	29.0	29.0	35	符合
		散射辐射			3.40×10^{-5}	25.5			
5	设备顶部以上 30cm 处 ^①	泄露辐射	2.5	0.95	4.51×10^{-4}	31.1	32.8	35	符合
		散射辐射			3.99×10^{-6}	30.8			
6	X 射线成像室东北侧外 18-1003 室	泄露辐射	0.5	2.55	6.50×10^{-4}	29.6	29.6	35	符合
		散射辐射			2.88×10^{-5}	25.9			
7	X 射线成像室西北侧走廊	泄露辐射	2.0	4.74	8.99×10^{-3}	19.0	20.7	35	符合
		散射辐射			4.97×10^{-4}	18.8			
8	X 射线成像室上方 18-2001 室地面以上 1m 处	泄露辐射	0.5	4.61	2.13×10^{-3}	24.9	24.9	35	符合
		散射辐射			4.70×10^{-4}	19.0			
9	X 射线成像室西南侧外电梯旁	有用线束	2.0	3.68	4.27×10^{-6}	49.93		70	符合
10	X 射线成像室东南侧道路	泄露辐射	2.5	2.30	2.65×10^{-3}	24.0	26.4	35	符合
		散射辐射			2.34×10^{-5}	26.4			

备注：①依据学校提供的预计工作时间，每天设备工作 2h，每周 5 天，因此周照射时间为 10h；
② 由于本次未获得 X 射线成像室的墙壁厚度及内部材质，因此计算未考虑墙体的屏蔽作用。

由表 11-6 核算结果可知，高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）四周屏蔽体、顶部的防护设计厚度均可达到剂量率参考控制水平 H_0 时的估算防护厚度，可满足防护要求。

(2) X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）

根据前文公式及表 11-4 各关注点，各关注点位置见图 11-2，取射线源距各关注点的最近距离估算设备在 160kV 工作条件下屏蔽结构各方向所需屏蔽厚度，本次预测中所取的参数见表 11-7，估算结果见表 11-8。

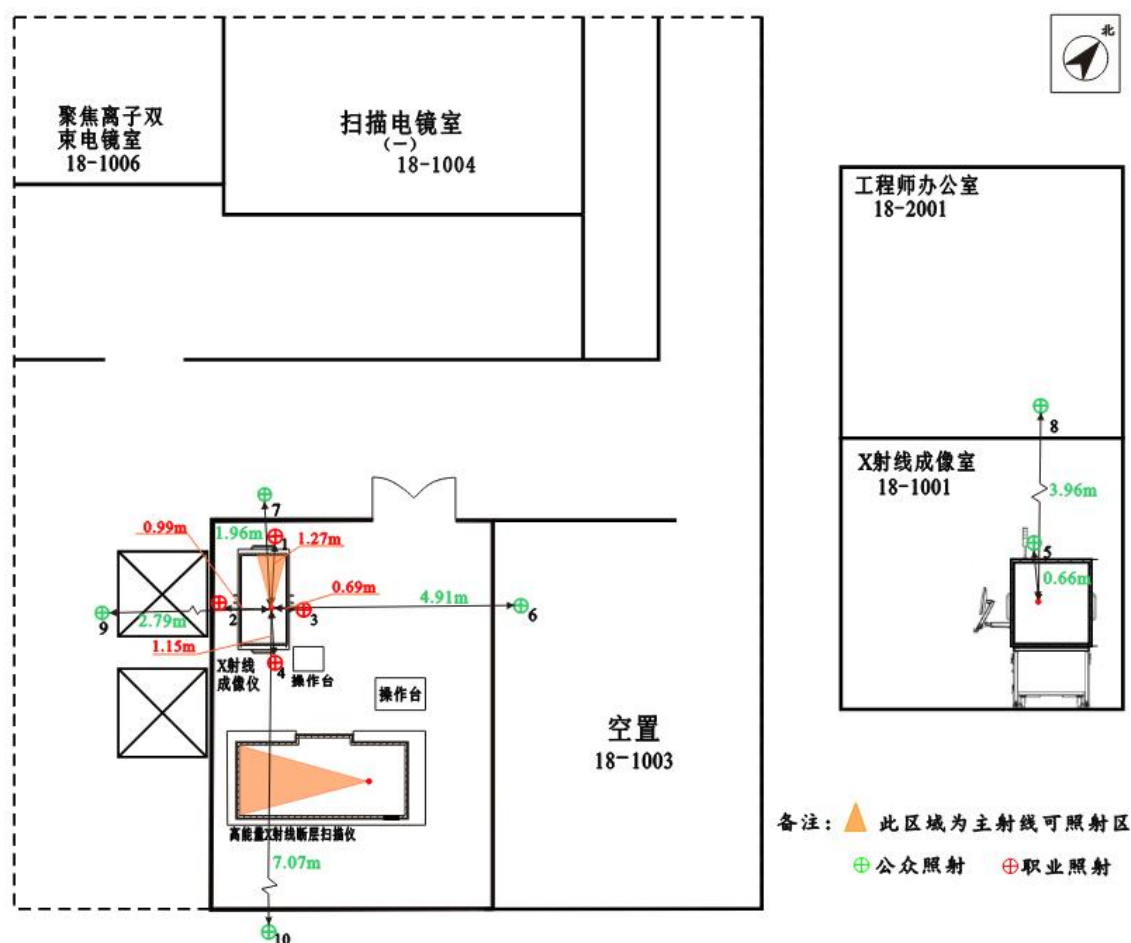


图 11-2 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）设备关注点位置示意图

表 11-7 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）屏蔽体辐射预测参数取值表

辐射方式	I (mA)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (mA·h))	TVL (mm)	HVL (mm)	H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	$\frac{R_0^2}{F\cdot\alpha}$
有用线束	0.156	19×60000	1.4	0.42	/	/
泄露辐射	/	/	/	/	2500	/
散射辐射	0.156	19×60000	0.96	0.29	/	119.4

注：①根据 ICRP Publication 33 附录 图 2：取管电压 160kV，2mm 铝滤过条件下输出量

19mGy·m²/mA·min;

② 根据 ICRP Publication 33 表 3, 保守取 X 射线管电压为 200kV 时, 对应铅的什值层厚度为 1.4mm, 对应铅的半值层厚度为 0.42mm; 参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B 表 B.2, 散射辐射 X 射线管电压取 150kV, 参考 ICRP Publication 33 表 3, 管电压 150kV 时对应铅的什值层厚度 0.96mm, 对应铅的半值层厚度为 0.29mm。

③ 本项目射线源与样品台最大距离 R₀ 取 0.2m。

表 11-8 X 射线成像仪 (ZEISS Xradia 610 Versa) 屏蔽体防护厚度核算

序号	屏蔽面	辐射方式	\dot{H}_C ($\mu\text{Sv/h}$)	距辐射源点的距离 (m)	屏蔽透射因子 B	估算铅防护厚度 (mm)		设计铅防护厚度 (mm)	结论
1	设备西北侧面外 30cm 处	有用线束	2.5	1.27	2.27×10^{-5}	6.50		9	符合
2	设备西南侧面外 30cm 处	泄露辐射	2.5	0.99	9.80×10^{-4}	4.2	4.2	6	符合
		散射辐射			7.64×10^{-3}	3.0			
3	设备东北侧面外 30cm 处	泄露辐射	2.5	0.69	4.76×10^{-4}	4.7	4.7	6	符合
		散射辐射			3.71×10^{-3}	3.4			
4	设备东南侧面外 30cm 处	泄露辐射	2.5	1.15	1.32×10^{-3}	4.0	4.0	6	符合
		散射辐射			1.03×10^{-2}	2.8			
5	设备顶部以上 30cm	泄露辐射	2.5	0.66	4.36×10^{-4}	4.7	4.7	6	符合
		散射辐射			3.44×10^{-2}	2.0			
6	X 射线成像室东北侧外 18-1003 室	泄露辐射	0.25	4.91	2.41×10^{-3}	3.7	3.7	6	符合
		散射辐射			1.88×10^{-2}	2.4			
7	X 射线成像室西北侧走廊	有用线束	1.0	1.96	5.40×10^{-5}	5.97		9	符合
8	X 射线成像室上方 18-2001 室地面以上 1m 处	泄露辐射	0.25	4.66	2.17×10^{-3}	3.7	3.7	6	符合
		散射辐射			1.69×10^{-2}	2.5			
9	X 射线成像室西南侧外电梯旁	泄露辐射	1.0	2.79	3.11×10^{-3}	3.5	3.5	6	符合
		散射辐射			2.43×10^{-2}	2.3			
10	X 射线成像室东南侧道路	泄露辐射	2.5	7.07	5.00×10^{-2}	1.8	1.8	6	符合
		散射辐射			3.90×10^{-1}	0.6			

备注: ①依据学校提供的预计工作时间, 每天设备工作 4h, 每周 5 天, 因此周照射时间为 20h;

②由于本次未获得 X 射线成像室的墙壁厚度及内部材质, 因此计算未考虑墙体的屏蔽作用。

由表 11-8 核算结果可知, X 射线成像仪 (ZEISS Xradia 610 Versa) 四周屏蔽体、顶部的防护设计厚度均可达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_C 时的估算防护厚度, 可满足防护要求。

3、工作场所辐射剂量率估算

按照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中相关公式估算两台设备屏蔽体外 30cm 处各关注点剂量率，各关注点位置见图 11-1、图 11-2，估算结果见表 11-9、表 11-10。

表 11-9 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）各关注点剂量率估算结果

序号	关注点位置	屏蔽设计厚度（mmPb）	与辐射源点距离（m）	剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）			总剂量（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	剂量当量参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
				有用	泄漏	散射		
1	设备西北侧面外 30cm 处	35	1.53	/	0.368	0.035	0.403	2.5
2	设备西南侧面外 30cm 处	70	3.33	0.017	/	/	0.017	2.5
3	设备东北侧面外 30cm 处	35	1.67	/	0.309	0.029	0.338	2.5
4	设备东南侧面外 30cm 处	35	1.24	/	0.561	0.053	0.614	2.5
5	设备顶部以上 30cm 处	35	0.95	/	0.96	0.091	1.05	2.5
6	X 射线成像室东北侧外 18-1003 室	35	2.55	/	0.133	0.013	0.145	0.5
7	X 射线成像室西北侧走廊	35	4.74	/	0.0384	0.004	0.042	2.0
8	X 射线成像室上方 18-2001 室地面以上 1m 处	35	4.61	/	0.0405	0.004	0.044	0.5
9	X 射线成像室西南侧外电梯旁	70	3.68	0.014	/	/	0.014	2.0
10	X 射线成像室东南侧道路	35	2.30	/	0.163	0.015	0.178	2.5

备注：由于本次未获得 X 射线成像室的墙壁厚度及内部材质，因此计算未考虑墙体的屏蔽作用。

由表 11-9 估算结果可知高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）在最大工作状态下，各关注点剂量率范围为（0.017~1.05） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：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 $\mu\text{Sv/h}$ ”以

及表 11-3 关注点剂量当量参考控制水平。

表 11-10 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）各关注点剂量率估算结果

序号	关注点位置	屏蔽设计厚度（mmPb）	与辐射源点距离（m）	剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）			总剂量（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	剂量当量参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
				有用	泄漏	散射		
1	设备西北侧面外 30cm 处	9	1.27	0.041	/	/	0.041	2.5
2	设备西南侧面外 30cm 处	6	0.99	/	0.132	0.017	0.149	2.5
3	设备东北侧面外 30cm 处	6	0.69	/	0.272	0.035	0.307	2.5
4	设备东南侧面外 30cm 处	6	1.15	/	0.098	0.013	0.110	2.5
5	设备顶部以上 30cm 处	6	0.66	/	0.207	0.004	0.301	2.5
6	X 射线成像室东北侧外 18-1003 室	6	4.91	/	0.005	0.001	0.006	0.25
7	X 射线成像室西北侧走廊	9	1.96	0.026	/	/	0.017	1.0
8	X 射线成像室上方 18-2001 室地面以上 1m 处	6	4.66	/	0.006	0.001	0.007	0.25
9	X 射线成像室西南侧外电梯旁	6	2.79	/	0.017	0.002	0.019	1.0
10	X 射线成像室东南侧道路	6	7.07	/	0.003	0.000	0.003	2.5

备注：由于本次未获得 X 射线成像室的墙壁厚度及内部材质，因此计算未考虑墙体的屏蔽作用。

由表 11-10 估算结果可知 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）在最大工作状态下，屏蔽结构外 30cm 处各关注点剂量率范围为（0.041~0.307） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：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 $\mu\text{Sv/h}$ ”。

4、公众场所以及操作台处周受照射剂量叠加情况

根据学校提供的信息，两台设备投入使用后可能存在同时工作的情况，因此需要考虑两台射线装置同时开启情况下对各关注点的叠加总剂量。两台射线装置同时开启时对公众场所及两台设备操作台处叠加结果见表 11-11。

表 11-11 周受照射剂量叠加结果

序号	关注点位置	高能量 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000) 总剂量 (μSv/h)		X 射线成像仪 (ZEISS Xradia 610 Versa) 总剂量 (μSv/h)		周受照射剂 量 (μSv/ 周)
		周围剂量当 量率 (μSv/h)	周受照射 时间 (h)	周围剂量当 量率 (μSv/h)	周受照射时 间 (h)	
1	X 射线成像室 东北侧外 18- 1003 室	0.145	10	0.006	20	1.57
2	X 射线成像室 西北侧走廊	0.042	10	0.017	20	0.76
3	X 射线成像室 上方 18-2001 室地面以上 30cm 处	0.062	10	0.009	20	0.80
4	X 射线成像室 西南侧外电 梯旁	0.014	10	0.019	20	0.52
5	X 射线成像室 东南侧道路	0.178	10	0.003	20	1.84
6	高能量 X 射 线断层扫描 仪 Multiscale Voxel 1000) 操作台	0.229	10	0.023	20	2.75
7	X 射线成像仪 (ZEISS Xradia 610 Versa) 操作 台	0.101	10	0.121	20	3.43

由表 11-11 可知，两台设备操作台处的周剂量范围为 (2.75~3.43) μSv/周；对公众场所关注点的周剂量范围为 (0.52~1.84) μSv/周。满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：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 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/周”。

三、个人年附加有效剂量估算

项目辐射工作人员及公众的年有效剂量估算结果见表 11-12。

表 11-12 辐射工作人员及公众年有效剂量

关注点	受照者类型	高能 X 射线断层扫描仪			X 射线成像仪			居留因子	年受照射剂量 (mSv/a)
		距辐射源点距离 (m)	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时间 (h)	距辐射源点距离 (m)	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时间 (h)		
X 射线成像室东北侧外 18-1003 室	公众照射	2.55	0.145	500	4.91	0.006	1000	1	0.079
X 射线成像室西北侧走廊		4.74	0.042	500	1.96	0.017	1000	0.25	0.038
X 射线成像室上方 18-2001 室地面以上 30cm 处		3.91	0.062	500	3.96	0.009	1000	1	0.040
X 射线成像室西南侧外电梯旁		3.68	0.014	500	2.79	0.019	1000	0.25	0.026
X 射线成像室东南侧道路		2.30	0.178	500	7.07	0.003	1000	0.0625	0.092
高能 X 射线断层扫描仪 (MultiscaleVoxel-1000) 操作台	职业照射	2.03	0.229	500	2.50	0.023	1000	1	0.138
X 射线成像仪 (ZEISSXradia610Versa) 操作台		3.06	0.101	500	1.10	0.121	1000	1	0.172

由表 11-12 估算结果可知，项目运行后，两台设备所致辐射工作人员年有效剂量为 0.138~0.172mSv/a，由于本次辐射工作人员在操作本项目设备的同时不操作其他射线装置，因此，两名辐射工作人员年最大有效剂量为 0.172mSv/a，公众的年有效剂量为 0.026~0.092mSv/a，满足本次环评提出的剂量约束值（职业工作人员<5mSv/a，公众<0.1mSv/a）。

综上，本项目运行期，辐射工作人员及公众所受年附加有效剂量满足标准要求。

四、小结

(1) 根据核算，两台设备四周及顶面的设计厚度均大于估算所需防护厚度，该项目设备屏蔽结构可以达到防护要求。

(2) 根据估算结果，高能 X 射线断层扫描仪 (Multiscale Voxel 1000) 在最大工

作状态下，屏蔽结构外 30cm 处各关注点剂量率范围为（0.017~1.05） $\mu\text{Sv/h}$ ；X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）在最大工作状态下，屏蔽结构外 30cm 处各关注点剂量率范围为（0.041~0.307） $\mu\text{Sv/h}$ 。两台设备均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：

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 $\mu\text{Sv/h}$ ”；

（3）高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）每周射线出束时间最大为 10h；X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）每周射线出束时间最大为 20h。两台设备的操作台周剂量范围为（2.75~3.43） $\mu\text{Sv/周}$ ；公众场所关注点的周剂量范围为（0.52~1.84） $\mu\text{Sv/周}$ 。满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：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 $\mu\text{Sv/周}$ ，对公众场所，其值应不大于 5 $\mu\text{Sv/周}$ ”。

（4）项目运行后，两名辐射工作人员年最大有效剂量为 0.172 mSv/a ，公众的年有效剂量为 0.026~0.092 mSv/a ，满足本次环评提出的剂量约束值（职业工作人员 < 5 mSv/a ，公众 < 0.1 mSv/a ）。

五、废气

本项目使用 1 台高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）和 1 台 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa），项目开机运行时 X 射线与空气电离会产生少量 O_3 、 NO_x ，两台设备内安装有机械排风装置，每小时有效通风次数分别为 19 次及 158 次。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“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”的要求，高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）在顶部设置废气排放管道并与室内通风管道相连，废气进入室内排风系统后经通风管道排至楼层顶部；X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa） O_3 和 NO_x 产生量较小，经设备排风口排入室内后经室内东南侧通风口进入室内排风系统（室内排风系统每小时通风 6 次），室内空气经通风管道排至楼层顶部。两台设备产生的废气在楼顶排放，可避开人员密集活动的方向，对环境的影响小。

六、废水

本项目拟配置的 2 名辐射工作人员，均由现有非辐射工作人员培训考试合格后调

配，本次不新增工作人员，不新增生活污水。

七、固体废物

本项目拟配置的 2 名辐射工作人员，均由现有非辐射工作人员培训培训考试合格后调配，本次不新增工作人员，不新增生活垃圾。

八、事故影响分析

1、事故工况

项目射线装置运行期可能发生的辐射事故主要为防护门安全联锁发生故障，导致在防护门未关闭到位的情况下射线装置出束，使操作人员受到不必要的照射，这种辐射事故发生的可能性极低，但学校也应积极采取辐射事故预防措施，防范于未然。

2、事故风险评价

本次分别对两台射线装置事故工况下人员所受剂量进行估算。

(1) 高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）

假设防护门未安全关闭射线出束，设备有用线束向西南照射，人员一般在操作区（西北侧）活动，主要受到泄露辐射及散射辐射。参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“4 探伤室辐射屏蔽估算方法”中相关公式，本次辐射源强参考参考 ICRP Publication 33 附录图 3，取管电压 450kV，3mm 铜滤过条件下的输出量为 32mmGy·m²/mA·min，Gy 与 Sv 等量换算；泄漏辐射参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1，管电压 > 200kV 时取 5 × 10³μSv/h； $R_0^2/F \cdot a$ 因子， R_0 根据设备资料取 1.655m， α 保守取 $1.9 \times 10^{-3} \times 10000/400$ 。估算人员在距 X 射线源不同距离时所受的有效剂量，结果见表 11-13。

表 11-13 事故工况下人员所受剂量估算结果 单位：mSv

受照时间 与 X 射线源距离 (m)	1s	3s	7s	10s	20s	30s	40s
0.5	0.13	0.50	0.92	1.26	2.51	3.77	5.03
1.0	0.03	0.10	0.23	0.31	0.63	0.94	1.26
1.53 (工件门外 30cm 处)	0.01	0.04	0.10	0.14	0.28	0.42	0.61

(2) X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）

假设防护门未安全关闭射线出束，设备有用线束向西北照射，人员一般在操作区（东南侧）活动，主要受到泄露辐射及散射辐射。参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“4 探伤室辐射屏蔽估算方法”中相关公式，本次辐射源强参考 ICRP Publication 33 附录图 2，取管电压 160kV，2mm 铝滤过条件下的输出量为 $19\text{mmGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，Gy 与 Sv 等量换算；泄漏辐射参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1， $150\text{kV}\leq\text{管电压}\leq 200\text{kV}$ 时取 $2.5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ ； $R_0^2/F\cdot a$ 因子， R_0 根据设备资料取 0.2m， α 保守取 $1.6\times 10^{-3}\times 10000/400$ 。估算人员在距 X 射线源不同距离时所受的有效剂量，结果见表 11-14。

表 11-14 事故工况下人员所受剂量估算结果 单位：mSv

受照时间 与 X 射线源距离 (m)	1s	10s	32s	70s	100s	500s	800s	850s
0.5	0.01	0.06	0.19	0.41	0.59	2.96	4.73	5.03
0.69（工件门外 30cm 处）	0.00	0.03	0.10	0.22	0.31	1.55	2.48	2.64
1.0	0.00	0.01	0.05	0.10	0.15	0.74	1.18	1.26

由估算结果可知，当人员在距射线装置 0.5m 停留 850s 即达到本次设定的辐射工作人员年有效剂量约束 5mSv；当人员在工件门外 30cm 处停留 32s 即达到本次设定的公众年有效剂量约束值 0.1mSv；当人员在距射线装置 1m 停留 70s 即达到本次设定的公众年有效剂量约束值 0.1mSv。因此应加强辐射工作人员的管理，防止辐射事故的发生。

3、事故防范措施

(1) 操作人员须严格按照操作规程操作设备，如出现设备不能正常停止照射时，应立即切断总电源，强制停止照射；

(2) 为防止开机检测时门机联锁失效，工作人员在工作场所受到误照射，工作人员操作时须佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪。并在每次照射前对安全防护设施进行检查；

(3) 定期检查辐射安全管理制度落实情况，发现问题及时纠正；如发生辐射事故，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的应急措施。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置				
1、辐射安全管理机构设置				
<p>根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强射线装置的安全和防护的监督管理，以正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产。</p> <p>西安交通大学已成立了以学校主要领导为主任的西安交通大学辐射安全管理办公室（西交实〔2025〕2号），负责学校日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员负责学校辐射安全管理工作。</p> <p>西安交通大学辐射安全管理办公室负责统筹、协调和督查学校辐射安全工作，主要职责：</p> <p>(1) 建立健全辐射安全责任体系和规章制度。</p> <p>(2) 组织辐射安全管理督查和隐患整改。</p> <p>(3) 负责辐射突发安全事故的应急处置领导工作。</p> <p>(4) 监督相关部门认真履行职责。</p>				
2、辐射安全管理情况				
<p>根据陕环办发〔2018〕29号关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设，西安交通大学辐射安全管理标准化建设（人员、机构及应急管理）现状与本项目辐射安全管理要求适用性情况见表 12-1；</p>				
表 12-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分（人员、机构及应急管理）				
管理内容		管理要求	管理现状	适用情况
人员管	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	学校已就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	适用

理		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容	每年年初工作安排和年终工作总结时，包含辐射环境安全管理工作内容	适用
		明确涉辐部门和岗位辐射安全职责	西安交通大学已成立了以学校主要领导为主任的西安交通大学辐射安全管理办公室（西交实〔2025〕2号），负责学校日常辐射安全监管和协调工作，并制定了岗位职责。	适用
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	学校配备了监测仪器等辐射安全所需的人力资源及物质保障	适用
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	辐射人员参加了辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；辐射人员熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	适用
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告	学校每年编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度评估报告	适用
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	学校建立了辐射安全管理制度，跟踪落实了各岗位辐射安全职责	适用
		建立辐射环境安全管理档案	学校建立了辐射环境安全管理档案	适用
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录	设置专人对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，及时巡查及整改记录	适用
		岗前进行职业健康体检，结果无异常	辐射工作人员开展了岗前职业健康体检，结果无异常	适用
	直接从事放射工作的作业人员	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	辐射工作人员均参加了辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	适用
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	辐射工作人员了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	适用
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理	熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理	适用
				适用
	机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	西安交通大学已成立了以学校主要领导为主任的西安交通大学辐射安全管理办公室（西交实〔2025〕2号），负责学校日常辐射安全监管和协调工作，并制定了岗位职责。	适用
	应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	学校制定了《西安交通大学辐射事故应急预案》并完成备案，定期进行辐射事故应急演练；本次新增项目取得批复后应及时对辐射事故应急预案进行修订	适用
		应急预案应当包括下列内容：①	西安交通大学已制定《西安交通	适用

	可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	大学辐射事故应急预案》并完成备案，预案内容包括：①可能发生的辐射事故分级及危害；②应急组织机构及职责；③辐射事故应急响应（启动程序、应急响应行动）、应急处置（放射源丢失等处置措施）、应急终止（终止条件、终止程序）等；④应急保障（应急培训、应急演练、经费保障、物资保障、公众宣传教育等）；同时，分析测试中心制定了《大型仪器设备共享实验中心安全事故应急预案》	
--	---	---	--

辐射安全管理规章制度

根据陕环办发〔2018〕29号关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设，西安交通大学辐射安全管理标准化建设（制度建立与执行）现状与本项目辐射安全管理要求适用性见表12-2。

表12-2 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分（制度建立与执行）

管理内容	管理要求	管理现状	适用情况
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	建立了《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》，设专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	适用
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	学校建立了《西安交通大学放射性同位素与射线装置安全和防护管理细则》等制度，制度包含进出口、转让、转移、收贮等相关规定，建立了放射性同位素、射线装置台账	适用
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	学校建立了《辐射工作人员岗位职责》《多功能脉冲X射线源操作规范》《脉冲X射线实验室防辐射安全措施》等；分析测试中心已制定《实验室安全管理制度》、各类仪器设备操作规程等，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	部分适用，本项目建设完成后应补充制定两台射线装置操作规程，完善《辐射工作人员岗位职责》
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考	学校建立了《辐射工作人员辐射防护培训管理制度》《分析测试中心仪器设备操作技能培训实施细则》等，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立了相关	适用

	核资料档案	检查考核资料档案	
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	学校建立了《辐射工作人员个人剂量监测管理制度》，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测	适用
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性	学校建立了《辐射工作人员职业健康管理制度》，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，建立职业人员健康监护档案	适用
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	学校建立了《辐射设备维护与维修制度》（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	适用
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	建立了《辐射工作场所监测制度》，各校区定期对辐射工作场所及周围环境进行了监测，并建立了有效的监测记录或监测报告档案	适用，本项目建设完成后应将 X 射线成像室纳入管理
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	建立了《监测仪器使用管理制度》，定期对监测仪器设备进行检定，并建立了检定档案	适用

根据表 12-2，西安交通大学已制定《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《辐射防护安全管理制度》《西安交通大学放射性同位素与射线装置安全和防护管理细则》《实验室安全管理制度》《辐射工作人员辐射防护培训管理制度》《辐射设备维护与维修制度》《辐射设备维护与维修制度》《辐射工作场所监测制度》《监测仪器使用管理制度》适用于本项目，本项目建设完成后应将高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）和 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）两台射线装置及场所纳入管理。

学校已制定《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员个人剂量监测管理制

度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《分析测试中心仪器设备操作技能培训实施细则》适用于本项目，在本项目建设完成后应完善《辐射工作人员岗位职责》《西安交通大学辐射事故应急预案》；学校已制定各类仪器设备操作规程，在本项目建设完成后应针对本次新增的两台射线装置制定相应的设备操作规程。

工作人员培训情况

目前，西安交通大学现有在岗辐射人员 34 人，17 名使用密封放射源、非密封放射性物质及Ⅱ类射线装置人员，17 名使用Ⅲ类射线装置人员。其中，辐射管理人员和使用密封放射源、非密封放射性物质及Ⅱ类射线装置的辐射工作人员已取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单；其余 17 人为操作Ⅲ类射线装置的工作人员，由学校进行了自主考核，考核合格。

本次辐射工作人员由现有非辐射工作人员调配，现已完成岗前体检，体检结果均正常，可以开展辐射相关工作。需要在设备投入使用前参加培训并取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单后才能开展辐射工作，需要配备个人剂量计并定期进行职业健康体检。

辐射监测

(1) 监测仪器配置

西安交通大学已配备以下监测仪器：2 台 R500 多功能数字核辐射测量仪、4 台 Apert 手持多功能辐射测量仪、1 台 BH3105 型中子剂量当量仪、1 台 FJ-428G 多用辐射仪、1 台 FD-71A 辐射仪、2 台 JB4000 型 X、 γ 剂量率监测仪以及 1 台 α 、 β 表面污染仪，用于各辐射工作场所的日常监测。

本项目建成后，为辐射工作人员配备个人剂量计以及个人剂量报警仪。同时，高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）自带 1 套固定式辐射探测报警装置；X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa）配套 1 台辐射剂量报警仪。

(2) 监测计划

① 辐射工作场所监测

西安交通大学已制定《辐射环境监测制度》，学校每年委托有资质单位对所有辐射工作场所进行 1 次年度监测。

本项目建成后将本次新增工作场所纳入现有《辐射工作场所监测制度》。

② 个人剂量监测

西安交通大学现有工作人员的个人剂量目前委托有资质单位进行定期监测，每季度 1 次，本次新增两名辐射工作人员上岗前将配备个人剂量计并纳入到辐射工作人员进行定期监测。

③ 监测及检查计划

本项目投运后，建立监测结果档案，同时在日常工作中加强辐射安全设施管理与检查工作，发现异常时应停止运行并立刻排查。本项目监测及检查计划见表 12-3。

表 12-3 本项目工作场所辐射监测及检查计划一览表

监测或检查项目	监测点位或检查内容	监测周期
周围剂量当量率	两台射线装置辐射工作人员操作台	竣工验收监测：设备投入前监测 1 次； 常规监测：每年委托有资质单位监测一次；
	两台设备的防护门及缝隙外表面 0.3m 处、四周屏蔽面外 0.3m 处、线缆孔处	
个人剂量	辐射工作人员个人剂量	辐射工作人员每季度由有资质单位监测 1 次
职业健康检查	对辐射工作人员进行职业病健康检查	辐射工作人员至少每 2 年进行 1 次
辐射安全设施检查	警示标识、安全联锁、声光报警装置	每次工作前检查
	急停开关	每次工作前检查

辐射事故应急

为建立健全辐射事故应急工作机制，加强对辐射事故风险的认识、防范和应对能力，规范处置程序，西安交通大学于 2024 年 4 月依据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《辐射事故应急管理办法》《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》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《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》、等法律法规及规范性文件要求，重新编制了《西安交通大学辐射事故应急预案》，经专家评审通过，于 2024 年 4 月 23 日批准发布，并于 2024 年 5 月 10 日在西安市生态环境局碑林分局进行备案。

1、应急指挥体系

(1) 应急指挥机构

西安交通大学成立了实验室技术暨辐射安全领导小组（以下简称“领导小组”），领导小组全面负责突发事件的应急指挥工作。

组 长：别朝红

副组长：柴渭

成员单位：研究生院、科学与技术研究院、实验室管理处、后勤保障部（校医院）、保卫处、实践教学中心、大型仪器设备共享实验中心、物理学院、机械学院、电气学院、能动学院、人居学院、生命学院、医学部等相关学院（部、中心）负责人。

(2) 职责分工

领导小组职责：

- ①负责制定、修订本预案并按照程序报批；
- ②组织辐射事故的应急响应、处置、救援、报告、信息发布与应急终止等工作；
- ③负责外部支援力量的组织、协调，对影响范围较大的辐射事故，采取有效的公众防护和处置措施；
- ④负责向政府环保、公安、卫生等相关部门上报辐射事故报告和应急工作信息；
- ⑤组织事故调查、处理、评估工作，并对有关单位和人员的责任追究提出建议；
- ⑥通过宣传、教育、演练、检查等做好事故预防工作。

成员单位主要职责：

①实验室管理处：负责辐射事故应急管理日常工作；组织编制(修订)学校辐射事故应急预案并按照程序报批；组织有关辐射事故的应急培训和演练；传达和贯彻省市环保部门及领导小组的指示；承担辐射事故报告的报送及应急信息的接收、核实、处理、传递、通报等工作；编制应急响应总结报告。

②保卫处：负责协助政府公安部门对丢失和被盜放射源/射线装置/非密封放射性物质进行追缴，遇有突发辐射事故，负责事故现场的安全警戒、人员疏散、秩序维持，参与辐射事故应急处置工作。

③后勤保障部（校医院）：负责协助政府卫生部门进行现场辐射医疗救护和放射性职业病危害评价管理工作，参与辐射事故应急处置工作。

④事故发生单位：应积极快速全力组织自救，及时向实验室管理处报告事发情况，并配合事故应急机构做好应急救援工作。

⑤其它单位按职责分工，各负其责，积极主动履行职责。

2、辐射事故应急响应措施

2.1 启动

实验室管理处接到下列事故报警后立即报告领导小组，由领导小组决定启动本预案：

(1) 涉源单位发现其所使用或操作的放射源、放射性物质、放射性污染严重的物件、射线装置丢失或被盗；

(2) 涉源单位发现其所使用或操作的射线装置失控或人员误入，造成异常照射、超剂量照射；

(3) 获知在一个未经获准或不受控制的地点发现了放射源、放射性材料或放射性污染物件；

(4) 通过辐射监测，探知有放射源、放射性材料或放射性污染物件未经获准或不受控制的存在、转移或非法贩卖；

(5) 获知报告某种物件可能含有辐射水平明显异常的放射性物质；

(6) 医院或医生报告发现西安交通大学校内教职工或学生出现典型急性放射病或症状。

2.2 应急响应行动

(1) 发生辐射事故或可能引发辐射事故的运行故障时，有关单位或现场人员应立即控制现场，切断设备电源，在事故区域设置警戒线，组织人员撤离，并防止无关人员进入，向实验室管理处报告，说明事故性质、时间、地点、伤亡等大致情况；

(2) 实验室管理处接到报告后，根据现场情况携带相应的防护装备，采取必要的安全防护措施，立即赶到事发现场，了解现场情况及事故的性质，并向领导小组汇报；

(3) 领导小组接到报告后，立即启动应急预案，按照职责分工迅速投入应急救援工作。在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告；放射源/射线装置/非密封放射性物质丢失或被盗时，还应向公安部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生行政部门报告；

(4) 密封源包壳遭到破坏或非密封放射性物质发生泄漏，有可能造成人员或工作场所受到放射性污染，应当由专业技术人员进行辐射环境监测，必要时对工作场所进行去污；

(5) 当事故现场得以控制，辐射环境符合国家标准规定，经领导小组组长确认和批准，现场应急处置工作结束，应急处置人员撤离现场。应急救援工作完成后，辐射防护负责人对事故现场认真检查，消除隐患，防止二次事故的发生，和事故现场报告人员一同填写《辐射事故后续报告表》；

(6) 辐射事故善后处置工作结束后，领导小组组长应及时组织事故调查，查明事故原因、性质和责任，总结事故教训，提出整改措施，并对事故责任者提出处理意见。

3、现有应急预案执行情况

根据现场调查，西安交通大学成立运行至今尚未发生过射线装置突发辐射事故，未启动过《西安交通大学辐射事故应急预案》。

4、应急演练

西安交通大学应当每年至少组织一次辐射事故应急演练，及时总结演练经验，并妥善保存应急演练记录。根据演练中发现的问题，及时修订辐射事故应急预案，维持应急能力。

5、应急预案修订

西安交通大学制定的辐射事故应急预案应当至少每三年修订一次，预案修订情况应有记录并归档。有下列情形之一的，需及时进行修订并归档：

- (1) 依据的法律、法规、规章、标准及上位预案中的有关规定发生重大变化的；
- (2) 应急指挥机构及其职责发生调整的；
- (3) 安全生产面临的风险发生重大变化的；
- (4) 重要应急资源发生重大变化的；
- (5) 在应急演练和事故应急救援中发现需要修订预案的重大问题的；
- (6) 核技术利用内容发生重大变动；
- (7) 编制单位认为应当修订的其他情况。

本项目新增 2 台工业 CT，分别为 1 台高能量 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）以及 1 台 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa）项目取得批复后应及时对辐射事故应急预案进行修订。

项目环保投资及竣工环境保护验收

一、项目环保投资估算

本项目总计投资 1363.5 万元，其中环保投资 142 万元，占总投资的 10.41%，主要用于环保设施、辐射安全防护设施建设等。环保投资估算见表 12-4。

表 12-4 项目环保投资估算表

实施时段	类别	污染源	污染防治措施或设施	数量	费用（万元）
运营期	辐射防护措施	X 射线	屏蔽结构	每个设备 1 套	120.0
			门机联锁系统	每个设备 1 套	6.0
			声光报警灯	共 3 套	4.0
			电离辐射标志	3 个	0.5
			急停装置	紧急停机按钮 9 个	2.0
			监控装置	每个设备 1 套	1.5
			固定辐射剂量报警装置（Multiscale Voxel 1000 设备配套）	1 套	2.5
			辐射剂量报警仪（ZEISS Xradia 610Versa 设备配套）	1 台	1.0
			个人剂量报警仪	2 台	0.5
			个人剂量计	2 个	1.0
	NO _x 、O ₃	排风系统	1 套（Multiscale Voxel 1000 设备自带）	1.0	
环境管理	本项目纳入现有环境管理制度			—	—
环境监测	工作场所定期监测			—	2.0
总投资					142.0

二、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），本项目竣工后，学校应及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。项目竣工环境保护验收清单见表 12-5

表 12-5 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	验收要求
1	项目建设内容	设备型号、数量、工作场所位置、设备主要参数应与环评一致
2	剂量约束	①公众个人年剂量约束值 0.1mSv/a，职业照射年有效剂量管理约束值 5mSv/a； ②参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），四周屏蔽体、门和顶部关注点的周围剂量当量参考控制水平。对放射工作场所，周围剂量当量率应不大于 100μSv/周；对公众场所周围剂量当量率应不大于 5μSv/周；两台设备的屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h
3	安全防护装置	按照相关规范及环评要求配备门机连锁系统、声光报警装置、紧急停机按钮、固定式辐射剂量报警仪、辐射剂量报警仪、电离辐射标志、摄像头

		等，定期检查，确保各项装置正常有效、运行良好；具体设施见表 10-3 及表 10-4
4	屏蔽设计	各机房及其配套用房的建设和布局符合环评报告描述，屏蔽结构和防护门满足辐射防护的要求，通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求
5	辐射监测	将本次新增的两台设备纳入现有辐射监测制度中，委托有资质单位每年检测不少于 1 次，监测记录存档
6	辐射安全管理制度	西安交通大学已制定各项管理制度，本项目建设完成后应将本次新增的两名辐射工作人员以及新增的高能量 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）、X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）、射线装置场所纳入管理。 本次需补充及完善的内容：①针对本次新增的两台射线装置制定相应的设备操作规程；②完善《辐射工作人员岗位职责》《西安交通大学辐射事故应急预案》
7	人员培训	本项目新增辐射工作人员两名，需要对上述两名人员开展培训并取得合格证书
8	个人剂量及健康	对新增两名辐射工作人员定期进行职业健康体检；每人配备个人剂量计和个人剂量报警仪，按要求佩戴，定期进行个人剂量监测，并建立健康档案

表 13 结论与建议

一、结论

1、项目概况

西安交通大学拟在中国西部科技创新港西安交通大学大型仪器设备共享实验中心（泓生楼（18 号楼）辅楼）18-1001 室设置 X 射线成像室，室内新增 1 台高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）和 1 台 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610Versa），两台设备均自带屏蔽结构。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部 原国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 第 66 号），本项目两台检测设备属于“工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置”，为 II 类射线装置。

本项目主要为西安交通大学校内外科研机构与科技创新企业提供分析测试服务，对各类样品进行无损检测，测量样品内部结构的尺寸、密度分布、观察样品内部微观结构或缺陷，本项目产生的辐射危害远小于企业和社会取得的利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

2、辐射环境影响分析

(1) 根据核算，两台 CT 设备屏蔽结构四周及顶面的设计厚度均大于估算所需防护厚度，该项目两台设备可以达到防护要求。

(2) 根据估算结果，高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）在最大工作状态下，屏蔽结构外 30cm 处各关注点剂量率范围为（0.017~1.05） $\mu\text{Sv/h}$ ，X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）在最大工作状态下，屏蔽结构外 30cm 处各关注点剂量率范围为（0.041~0.307） $\mu\text{Sv/h}$ ，两台设备均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：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 $\mu\text{Sv/h}$ ”。根据学校提供资料，高能 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）每周射线出束时间最大为 10h；X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）每周射线出束时间最大为 20h。因此放射工作场所关注点的周剂量范围为（2.75~3.43） $\mu\text{Sv/周}$ ；对公众场所各关注点的叠加剂量率范围为（0.52~1.84） $\mu\text{Sv/周}$ 。满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“探伤室墙体和门的辐射屏蔽应满足：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 $\mu\text{Sv/周}$ ，对公众场

所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ”。

(3) 根据估算，项目运行后，两台设备所致辐射工作人员年有效剂量为 $0.138\sim 0.172\text{mSv/a}$ ，由于本次辐射工作人员在操作本项目设备的同时不操作其他射线装置，因此，两名辐射工作人员年最大有效剂量为 0.172mSv/a ，公众的年有效剂量为 $0.026\sim 0.092\text{mSv/a}$ ，满足本次环评提出的剂量约束值（职业工作人员 $<5\text{mSv/a}$ ，公众 $<0.1\text{mSv/a}$ ）。

3、辐射安全管理综合能力分析

西安交通大学已成立了以学校主要领导为主任的西安交通大学辐射安全管理办公室（西交实〔2025〕2号），负责学校日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员负责学校辐射安全管理工作。制定了一系列辐射安全管理制度、人员培训制度、辐射监测制度及辐射事故应急预案，用于指导、规范各类射线装置操作过程中的辐射安全。西安交通大学严格按照规章制度执行，可有效降低人为事故的发生，保证辐射安全。针对本项目新增的两台工业 CT 设备，应进一步完善相关操作规程、岗位职责、监测制度等规章制度，将其纳入到学校辐射安全管理体系中。

4、可行性分析结论

西安交通大学西部科技创新港校区新增 1 台高能量 X 射线断层扫描仪（Multiscale Voxel 1000）和 1 台 X 射线成像仪（ZEISS Xradia 610 Versa）对样品进行无损检测。该项目在落实报告中提出的防护措施后，可以使辐射影响达到合理尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致工作人员和公众年附加有效剂量满足本次环评提出的剂量约束限值要求。从辐射环境保护角度，本项目可行。

二、要求

- (1) 项目竣工后办理验收手续，验收合格后方可投入使用；
- (2) 加强防护铅门安全联锁系统的检查维护，确保各种安全防护设施的正常使用；
- (3) 本次新增的两名辐射工作人员参加培训并通过核技术利用辐射安全与防护考核后开展工作，配备个人剂量计，在后续工作中定期对本项目辐射工作人员的个人剂量进行检测，定期开展健康体检；配备两台个人剂量报警仪；定期对本次新增的两台设备辐射工作场所进行环境辐射水平监测；
- (4) 每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交本单位上一年度的射线装置安全和防护状况环境评估报告。
- (5) 项目取得批复后应及时对辐射事故应急预案进行修订。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公章

年 月 日

审批意见：

经办人：

公章

年 月 日