

# 目录

表 1 项目基本情况.....	1
1.1 建设单位概况.....	1
1.1.1 建设单位简介.....	1
1.1.2 项目由来.....	2
1.2 项目概况.....	2
1.2.1 项目名称及位置.....	2
1.2.2 项目建设规模.....	3
1.2.3 劳动定员及工作制度.....	6
1.3 原有核技术利用项目许可情况.....	6
1.3.1 原有核技术利用项目环保手续.....	6
1.3.2 原有核技术利用项目管理情况.....	8
1.3.3 本项目与原项目的依托关系.....	10
1.4 项目选址和周边关系.....	11
1.4.1 文物分析实验室项目.....	12
1.4.2 显微 CT 实验室项目.....	16
1.5 项目符合性分析.....	19
1.5.1 项目产业政策符合性.....	19
1.5.2 项目实践正当性分析.....	19
1.5.3 选址合理性分析.....	20
表 2 放射源.....	21
表 3 非密封放射性物质.....	21
表 4 射线装置.....	21
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	22
表 6 评价依据.....	23
表 7 评价标准与保护目标.....	25
7.1 评价范围.....	25

7.2 保护目标.....	25
7.3 评价标准.....	29
7.3.1 职业照射及公众照射年有效剂量控制要求.....	29
7.3.2 工作场所辐射剂量率控制要求.....	30
<b>表 8 环境质量和辐射现状.....</b>	<b>32</b>
8.1 检测方案.....	32
8.1.1 检测方法、检测因子和检测仪器.....	32
8.1.2 布点原则.....	32
8.2 质量保证措施.....	37
8.3 检测结果.....	37
<b>表 9 项目工程分析与源项.....</b>	<b>42</b>
9.1 设备组成和工作方式.....	42
9.1.1 设备组成.....	42
9.1.2 工作方式.....	45
9.2 工作原理.....	46
9.2.1 X 射线产生原理.....	46
9.2.2 工业 CT 原理.....	46
9.3 工艺流程和产污环节.....	47
9.4 污染源项描述.....	48
9.4.1 辐射源.....	48
9.4.2 其他污染源.....	49
9.5 源强分析和参数.....	49
<b>表 10 辐射安全与防护.....</b>	<b>51</b>
10.1 辐射屏蔽设计.....	51
10.1.1 主屏蔽设计.....	51
10.1.2 管线口和门屏蔽补偿设计.....	54
10.2 辐射安全与防护措施.....	57
10.2.1 设备固有安全性.....	57
10.2.2 门机联锁装置.....	59

10.2.3 警示设施和工作状态指示灯.....	60
10.2.4 紧急停机.....	60
10.2.5 视频监控.....	60
10.2.6 辐射监测设施.....	60
10.3 辐射工作场所布局和分区.....	61
10.3.1 文物分析实验室.....	61
10.3.2 显微 CT 实验室.....	62
10.4 辐射安全与防护对照分析.....	63
10.5 日常检查与维护.....	67
10.5.1 日常安全检查.....	67
10.5.2 设备维修维护.....	67
10.6 三废的治理.....	68
10.6.1 废气.....	68
10.6.2 废水.....	70
10.6.3 固体废物.....	70
<b>表 11 环境影响分析.....</b>	<b>71</b>
11.1 辐射剂量率计算.....	71
11.1.1 关注点选取.....	71
11.1.2 计算公式.....	76
11.1.3 剂量率控制水平分析.....	78
11.1.4 nanoVoxel 5000 计算参数和结果.....	80
11.1.5 nanoVoxel 5000 保护目标处受照剂量率.....	83
11.1.6 nanoVoxel 3000 计算参数和结果.....	84
11.1.7 nanoVoxel 3000 保护目标处受照剂量率.....	88
11.2 人员受照剂量分析.....	89
11.3 废气和固废环境影响分析.....	94
11.3.1 废气.....	94
11.3.2 固废.....	94
11.4 事故影响分析.....	94

11.4.1 辐射事故类型.....	95
11.4.2 事故预防措施.....	96
11.4.3 事故应急措施.....	96
表 12 辐射安全管理.....	97
12.1 辐射安全管理机构的设置.....	97
12.2 辐射安全管理规章制度.....	97
12.3 辐射工作人员.....	98
12.4 辐射监测计划.....	99
12.4.1 工作人员个人剂量监测.....	99
12.4.2 工作场所辐射监测.....	99
12.4.3 工作场所辐射监测方案.....	100
12.5 辐射安全年度评估计划.....	101
12.6 辐射事故应急.....	102
12.6.1 辐射事故应急机构.....	102
12.6.2 辐射事故应急机构分工及职责.....	102
12.6.3 人员培训和演习计划.....	103
12.7 核技术利用单位辐射安全管理标准化建设.....	104
12.8 环保投资.....	108
12.9 竣工环境保护验收要求.....	108
12.9.1 责任主体.....	108
12.9.2 工作程序.....	108
12.9.3 时间节点.....	109
12.9.4 验收清单.....	109
表 13 结论与建议.....	112
13.1 结 论.....	112
13.1.1 辐射安全与防护分析结论.....	112
13.1.2 环境影响分析结论.....	112
13.1.3 可行性分析结论.....	112
13.2 要 求.....	113

表 14 审 批.....114

**表 1 项目基本情况**

<b>建设项目名称</b>		西北大学使用 2 台工业 CT 项目			
<b>建设单位</b>		西北大学			
<b>法人代表</b>	孙庆伟	<b>联系人</b>	牛耕	<b>联系电话</b>	*****
<b>注册地址</b>		西安市太白北路 229 号			
<b>项目建设地点</b>		陕西省西安市长安区学府大街 1 号西北大学文遗学院 1 楼文物分析实验室（北纬：34.149434°，东经：108.867709°）； 陕西省西安市长安区学府大街 1 号西北大学化工学院 1 楼显微 CT 实验室（北纬：34.149049°，东经：108.866489°）			
<b>立项审批部门</b>		无		<b>批准文号</b>	无
<b>建设项目总投资 (万元)</b>		850	<b>项目环保投资(万元)</b>	50	<b>投资比例 (环保投资/总投资)</b> 5.9%
<b>项目性质</b>		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		<b>占地面积 (m<sup>2</sup>)</b>	文物分析实验室 84；显微 CT 实验室 43
<b>应用类型</b>	<b>放射源</b>	<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		
	<b>非密封放射性物质</b>	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	<b>射线装置</b>	<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<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		
<b>其它</b>	<input type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
<b>其它</b>					

**1.1 建设单位概况**

**1.1.1 建设单位简介**

西北大学(以下或简称“建设单位”)肇始于 1902 年的陕西大学堂和京师大学堂速成科仕学馆，1912 年始称西北大学，1923 年改为国立西北大学。1937 年西迁来陕的国立北平大学、北平师范大学、北洋工学院和北平研究院等组成国立西安临时大学，1938 年改为国立西北联合大学，1939 年复称国立西北大学。新中国成立后为教育部直属综合大学，1950 年复名西北大学，1958 年改隶陕西省主管，1978 年被确定为全国重点大学。现为国家“双一流”建设高校、国家“211 工程”建设院校、教育部与

陕西省共建高校。

### 1.1.2 项目由来

西北大学文遗学院为开展高精度无损成像、结构分析及内部病害识别等研究工作，现有手段难以满足精细化检测与数字化记录需求，亟需购置工业CT以提升科研能力与文物保护技术水平。因此，西北大学文遗学院拟在陕西省西安市长安区学府大街1号西北大学文遗学院1楼文物分析实验室使用1台 nanoVoxel 5000 型工业CT，用于文物/文物样品的无损检测。

显微CT是材料科学、生物医学等研究工作中常用且不可或缺的设备。显微CT技术通过非破坏性三维成像方法，能够以微米级分辨率获取材料的内部结构信息或得到骨组织的三维成像图，有助于深入理解生物体的解剖结构和功能，促进对疾病发生机制的研究，从而更全面的对材料及其生物学疗效进行分析和评估。在科研上，该设备可为生物化工、化学工程、化学工艺等专业提供先进的研究工具和技术支持，对搭建功能齐全、高效运作的科研平台有重大意义。因此西北大学化工学院拟在化工学院1楼显微CT实验室使用1台 nanoVoxel 3000 型工业CT，用于人工骨修复材料、注射用水凝胶、止血海绵等生物材料的无损检测。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号）对射线装置的分类，工业CT属于II类射线装置，本项目属于使用II类射线装置项目。受建设单位委托（委托书见附件1），广州星环科技有限公司对西北大学使用2台工业CT项目进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部部令第16号），本项目属于“五十五、核与辐射\_172、核技术利用建设项目”类别中“使用II类射线装置的”项目，应编制环境影响报告表。

## 1.2 项目概况

### 1.2.1 项目名称及位置

① 项目名称：西北大学使用2台工业CT项目。

② 项目场所位置：陕西省西安市长安区学府大街1号西北大学文遗学院1楼；化工学院1楼。项目地理位置见图1-1。



图 1-1 项目地理位置

## 1.2.2 项目建设规模

建设单位拟在陕西省西安市长安区学府大街 1 号西北大学文遗学院 1 楼文物分析实验室使用 1 台 nanoVoxel 5000 型工业 CT，用于文物/文物样品的无损检测；拟在化工学院 1 楼显微 CT 实验室使用 1 台 nanoVoxel 3000 型工业 CT，用于人工骨修复材料、注射用水凝胶、止血海绵等生物材料的无损检测。

文物分析实验室和显微CT 实验室均尚未建设，现状均为闲置房间，其未来用作辐射工作场所，摆放射线装置及其他辅助设施。本项目不涉及照片、洗片工艺，可在数据采集系统、数据处理和分析系统显示屏上观察被检查样品图像。本项目工业 CT 自带实体屏蔽，在正常工作时，其外部的辐射水平已能满足标准要求。因此，项目所在的房间主要功能是提供空间隔离和安全管理边界。

拟使用射线装置参数一览表见表 1-1。

表 1-1 拟使用射线装置参数一览表

名称	厂家	型号	最大管电压/ 最大管电流	主射线 锥角	类型	数量	类别	使用场所
工业 CT	天津三英精密仪器股份有限公司	nanoVoxel 5000	225kV/3mA; 190kV/1mA	40°	定向	1 台	II 类	文物分 析实验 室
		nanoVoxel 3000	160kV/1mA	30°	定向	1 台	II 类	显微 CT实 验室

项目组成一览表见表 1-2，检测样品信息见表 1-3。

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	<p>建设单位拟在西北大学文遗学院 1 楼文物分析实验室（长宽高约为 9.2m×9.1m×4.5m），使用 1 台 nanoVoxel 5000 型工业 CT，用于文物/文物样品的无损检测；拟在化工学院 1 楼显微 CT 实验室（长宽高约为 7.3m×6.1m×4.5m），使用 1 台 nanoVoxel 3000 型工业 CT，用于人工骨修复材料、注射用水凝胶、止血海绵等生物材料的无损检测。</p> <p>nanoVoxel 5000 型工业 CT 设备外尺寸：3310mm×1860mm×2520mm（不含底座和指示灯）；设备内尺寸：3269mm×1765mm×2339mm。</p> <p>nanoVoxel 3000 型工业 CT 设备外尺寸：2600mm×1327mm×1900mm（不含底座和指示灯）；设备内尺寸：2470mm×1048mm×1180mm。</p>	新建
	防护 措施	<p>文物分析实验室设备主射方向：设备右侧。右侧面 14mm 铅板，正/背/顶/底面 10mm 铅板，左侧面 8mm 铅板。左侧底部电缆孔及左侧顶部排风孔处均配备铜铅结构防护罩，防护罩采用铅板厚度与相对应屏蔽体防护层厚度一致。防护门防护措施：正面装载门和背面检修门采用 10mm 铅板进行防护，左侧检修门采用 8mm 铅板进行防护，装载门</p>	

		和左侧、背面检修门扣边处采用 L 型结构的铅板且设置有安全门锁，设备运行过程中，任何一处可开启之处被外力开启时，X 射线立即停止出束。 显微CT 实验室设备主射方向：设备右侧。左侧面 6mm 铅板，正/背/顶/底面和右侧面 9mm 铅板。底面走线孔及左侧顶部排风孔处均配备铜铅结构防护罩，防护罩采用铅板厚度与相对应屏蔽体防护层厚度一致。防护门防护措施：正面装载门和背面检修门采用 9mm 铅板进行防护，左侧检修门采用 6mm 铅板进行防护，装载门和左侧、背面检修门扣边处采用 L 型结构的铅板且设置有安全门锁，设备运行过程中，任何一处可开启之处被外力开启时，X 射线立即停止出束。	
公用工程	给水	市政管网给水。	依托
	排水	生活污水经化粪池预处理后通过市政污水管网排入西安市第九污水处理厂处理。	依托
	供暖	市政供热。	依托
	制冷	空调制冷。	依托
环保工程	废水	本项目无生产废水，生活污水经化粪池预处理后通过市政污水管网排入西安市第九污水处理厂处理。	依托
	废气	nanoVoxel 5000 型工业CT 拟在排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向北侧园区道路。nanoVoxel 3000 型工业 CT 拟在排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向西侧园区道路。	新建
	固体废物	生活垃圾依托现有办公楼内垃圾桶进行分类收集后,统一纳入当地垃圾清运系统。	依托
<b>表 1-3 本项目拟检测样品信息一览表</b>			
<b>学院名称</b>	<b>检测对象</b>		
文遗学院	文物/文物样品（金属、陶瓷等小型碎片或中型完整文物），最大尺寸直径 60 厘米，高 100 厘米。		

化工学院	人工骨修复材料、注射用水凝胶、止血海绵等生物材料，最大尺寸直径 16 厘米，高 10 厘米。
<p><b>1.2.3 劳动定员及工作制度</b></p> <p>根据建设单位提供的资料，文物分析实验室新增辐射工作人员 3 人。本项目工业 CT 投入使用后预计每天最多检测 6 个样品，检测每个样品的平均出束时间约为 1 小时，每周工作 4 天，全年工作时间为 40 周，则日出束时间为 6 小时，周出束时间约为 24 小时，年出束时间约为 960 小时。</p> <p>显微 CT 实验室新增辐射工作人员 3 人。本项目工业 CT 投入使用后预计每天最多检测 4 个样品，检测每个样品的平均出束时间约为 0.5 小时，每周工作 5 天，全年工作时间为 50 周，则日出束时间为 2 小时，周出束时间约为 10 小时，年出束时间约为 500 小时。</p> <p><b>1.3 原有核技术利用项目许可情况</b></p> <p><b>1.3.1 原有核技术利用项目环保手续</b></p> <p>建设单位现持有辐射安全许可证（见附件 2），证书编号：陕环辐证[00261]，有效期至 2027 年 12 月 15 日，种类和范围为：使用 V 类放射源；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。原有核技术利用项目环保手续完善，原项目环保手续文件见附件 3。其中丙级非密封放射性物质工作场所为降低辐照成本，每次需累积收集约 100- 200 件样品，该收集周期通常持续 6 至 12 个月。此外，样品收集完成后需预约反应堆进行辐照。由于国内某用于样品辐照的反应堆于 2024 年进行改造，一直未能接收本实验室的样品，导致目前已收集的样品未能按时完成辐照并返回实验室。受上述因素影响，实验室尚未开展实验，目前尚未具备竣工验收条件。</p> <p>原有放射源明细见表 1-4，原有非密封放射性物质明细见表 1-5，原有射线装置明细见表 1-6。除非密封放射性物质因反应堆改造未完成、实验尚未开展外，其他已许可的放射源及射线装置均在正常使用。</p>	

表 1-4 原有放射源明细表

序号	核素	出厂日期	出厂活度	类别	用途	场所	环保手续		使用状态
1	Sr-90	2012年6月	1.48GBq	V类	科学研究	地质系释光实验室319	备案号: 2017610103 00000771	陕环辐证 [00261]	正常使用
2	Sr-90	2018年6月	1.48GBq	V类	科学研究	城市与环境学院10号楼401室	备案号: 2018610116 00001623		正常使用

表 1-5 原有非密封放射性物质明细表

序号	核素	总活度 (Bq)	用途	场所	环保手续		使用状态
1	Co-58	2.539E+4	科学研究	太白校区科技楼310室	市环批复 (2021) 114 号	陕环辐证 [00261], 尚未验收。	未开展
2	Co-60	1.191E+6	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
3	Cs-134	1.681E+4	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
4	Cs-137	4.524E+2	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
5	Fe-59	3.858E+4	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
6	Mn-54	1.192E+6	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
7	Sc-46	1.764E+6	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
8	Ta-182	1.587E+5	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
9	Zr-95	4.238E+3	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		
10	Ar-39	2.25E+2	科学研究		市环批复 (2021) 114 号		

表 1-6 原有射线装置明细表

序号	装置名称	型号	最大管电压/ 最大管电流	类别	用途	场所	环保手续	使用状态
----	------	----	-----------------	----	----	----	------	------

1	数字化 X 射线摄影系统 (DR)	FM032210 2038	150kV/640mA	III 类	医疗		备案号: 2024610103000 00027	陕 环 辐 证 [0026 1]	正常使 用
2	X 射线机	岛津 ZS-5YP 型 x-射线诊断仪(透视机)、万东 F51-6C 型 x-射线诊断仪(胃肠机)、DRX Innovation-擎天直接数字化 X 线摄影诊断仪 (拍片机)	125kV/500mA、 125KV/500mA、 150KV/800mA	III 类	医疗	太白校区校医院一层放射科	备案号: 2017610103000 00771	陕 环 辐 证 [0026 1] ( ZS - 5YP 、 F51- 6C 已 退役 不再 使用 并完 成许 可证 变更)	DRX Innovat ion 正 常使 用 , ZS- 5YP、 F51-6C 已退 役不 再使 用

### 1.3.2 原有核技术利用项目管理情况

(1) 建设单位针对原有的核技术利用项目制定了《西北大学实验室辐射安全与防护实施细则》《辐射事故预防措施及应急处理预案》《西北大学校医院放射科防护制度》《西北大学实验教学中心管理办法》《西北大学实验室安全管理办法》

《西北大学辐射事故应急预案》等相关辐射安全和防护制度。在实际工作中严格执行各项管理制度。辐射安全管理制度较为健全，具有可操作性并有效实施。辐射事故应急预案已备案见附件 4。

(2) 建设单位原有项目共有 6 名辐射工作人员，其中王锐、刘茂林负责使用 III 类射线装置，已通过内部培训，其他人员均已通过“国家核技术利用辐射安全与防护平台”参加辐射安全上岗培训和考核，持有成绩报告单。原项目现有辐射工作人员名单见表 1-7，培训证书见附件 5。

表 1-7 原项目现有辐射工作人员名单

序号	姓名	性别	出生日期	工作岗位	部门	培训时间	培训证号
1	王锐	男	1981.02	医师	校医院	2022.10.09	2022001
2	刘茂林	男	1969.11	副主任医师	校医院	2022.10.09	2022002
3	杨利荣	女	1978.06	教师	地质学系	2026.03.31	FS26SN2300053
4	张玉柱	男	1987.05	教师	城市与环境学院	2023.8.23	FS23SN2300226
5	巨大立	男	1998.10	科研助理	地质学系	2022.04.26	FS22SN2300034
6	周波	男	1989.09	专业技术	地质学系	2022.04.18	FS22SN2300027

杨利荣于 2023 年 12 月在兵器工业五二一医院体检，张玉柱于 2024 年 1 月在核工业四一七医院体检，周波、巨大立于 2024 年 6 月在兵器工业五二一医院体检，刘茂林、王锐于 2024 年 7 月核工业四一七医院体检，职业健康检查结果表明 6 人均无异常。辐射工作人员职业健康检查报告见附件 6。

(3) 建设单位辐射工作人员佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送检，建立了剂量健康档案并存档。周波、巨大立、张玉柱、刘茂林、王锐监测时间为 2025 年 1-12 月，杨利荣监测时间为 2024 年 11 月-2025 年 11 月。建设单位原有项目的辐射工作人员的年有效剂量均不超过 5mSv/a 的职业照射剂量约束值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中对辐射工作人员要求的剂量限值和审管部门提出的年剂量的约束值要求。个人剂量监测报告见附件7。人员受照剂量统计表见表 1-8。

表 1-8 人员受照剂量统计表 (单位: mSv)

序号	姓名	近一年累计
1	周波	0.065
2	巨大立	0.065
3	张玉柱	0.896
4	刘茂林	0.22
5	王锐	0.16
6	杨利荣	0.09

(4) 建设单位按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年委托有资质的单位对核技术利用建设项目辐射工作场所和周围环境进行 1 次辐射水平监测，监测报告存档。建设单位于 2025 年 6 月、10 月、11 月、12 月委托陕西万衡检测科技有限公司对辐射工作场所进行监测，监测结果表明无异常。辐射工作场所检测报告见附件8。按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，并于次年1月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。

(5) 建设单位配有监测仪器包括 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染检测仪 1 个、个人剂量报警仪 4 个、便携式 X、 $\gamma$  辐射测量仪 1 个，防护用品包括个人剂量计 6 个、铅衣 4 件、铅帽 2 件、铅手套 2 件、铅围裙 2 件、铅围脖 4 件、铅屏风 2 件、铅眼镜 4 件。建设单位配备的监测仪器防护用品可基本满足日常防护需求。

小结：综上所述，建设单位原有核技术利用项目环保手续落实情况和日常管理情况良好。

建议进一步做好以下工作：

- (1) 建设单位应定期组织辐射事故应急人员培训和应急演练；
- (2) 结合后期运行和管理情况，建设单位应不断完善辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，使之更具有实操性和针对性。

### 1.3.3 本项目与原项目的依托关系

#### (1) 项目性质依托关系

本项目拟在陕西省西安市长安区学府大街 1 号西北大学文遗学院 1 楼文物分析实验室使用 1 台 nanoVoxel 5000 型工业CT。拟在化工学院 1 楼显微CT 实验室使用 1 台 nanoVoxel 3000 型工业 CT。为新增使用 II 类射线装置，且文物分析实验室、显微 CT 实验室为新增辐射工作场所，故本项目为核技术利用扩建项目。本项目与原有项目之间评价范围不存在重叠，因此不考虑辐射工作人员和公众受照剂量的叠加。

#### (2) 辐射工作人员依托关系

本项目拟配备 6 名辐射工作人员，文物分析实验室、显微 CT 实验室各 3 名，均

为新增人员，与原项目人员不存在依托关系，不需要考虑剂量的叠加。

### (3) 辐射安全管理依托关系

本次扩建项目将纳入建设单位现有的辐射安全管理体系进行管理，建设单位重新修订了《西北大学辐射安全管理制度》，重点完善了辐射安全管理机构及其职责、操作规程、辐射事故应急预案等的相关内容。

### (4) 辐射监测设备依托关系

建设单位拟为本项目新增 6 台个人剂量报警仪和 2 台便携式 X-γ 剂量率仪，与原项目辐射监测设备不存在依托关系。

## 1.4 项目选址和周边关系

本项目选址位于陕西省西安市长安区学府大街 1 号西北大学文遗学院 1 楼、化工学院 1 楼。文遗学院和化工学院平面布置图见图 1-2。

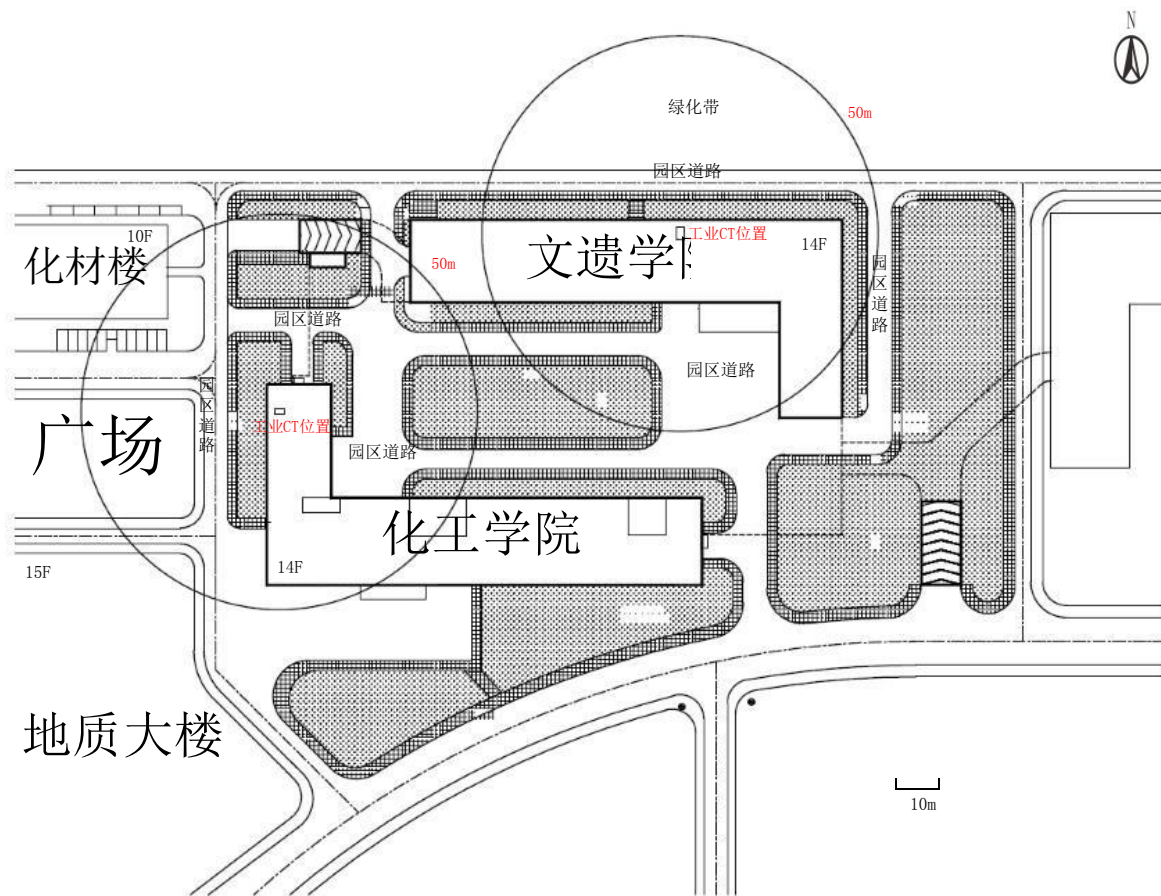


图 1-2 文遗学院和化工学院平面布置图

### 1.4.1 文物分析实验室项目

文遗学院为地上 14 层，地下 1 层建筑。文遗学院四周主要分布有园区道路、绿化带等。文物分析实验室设置在文遗学院 1 楼东北侧。文物分析实验室北侧为园区道路等场所；东侧为门厅等场所；南侧为过道等场所；西侧为清洗室、电梯前室等场所；上方 2 楼为教室等场所；下方负 1 楼为停车场等场所。文物分析实验室项目四周 50m 范围内场所分布一览表见表 1-9，文遗学院 1 楼平面布置图见图 1-3，文遗学院 2 楼平面布置图见图 1-4，文物分析实验室项目 50m 周边关系图见图 1-5。文遗学院负 1 楼和化工学院负 1 楼平面布置图见图 1-6。

表 1-9 文物分析实验室项目四周 50m 范围内场所分布一览表

方位	场所
项目场所	文物分析实验室
北侧	园区道路、绿化带
东侧	门厅、实验室、传达室、消防控制室、值班室、教授工作室 1、团辅室、教授工作室 2、园区道路
南侧	过道、实验室、园区道路
西侧	清洗室、电梯前室、实验室、标本处理室、动物标本室
2 楼	教室、连廊、实验室 2、实验室 1、活动室、院办、工作室 1、工作室 2
负 1 楼	停车场
3-14 楼	实验室及办公场所

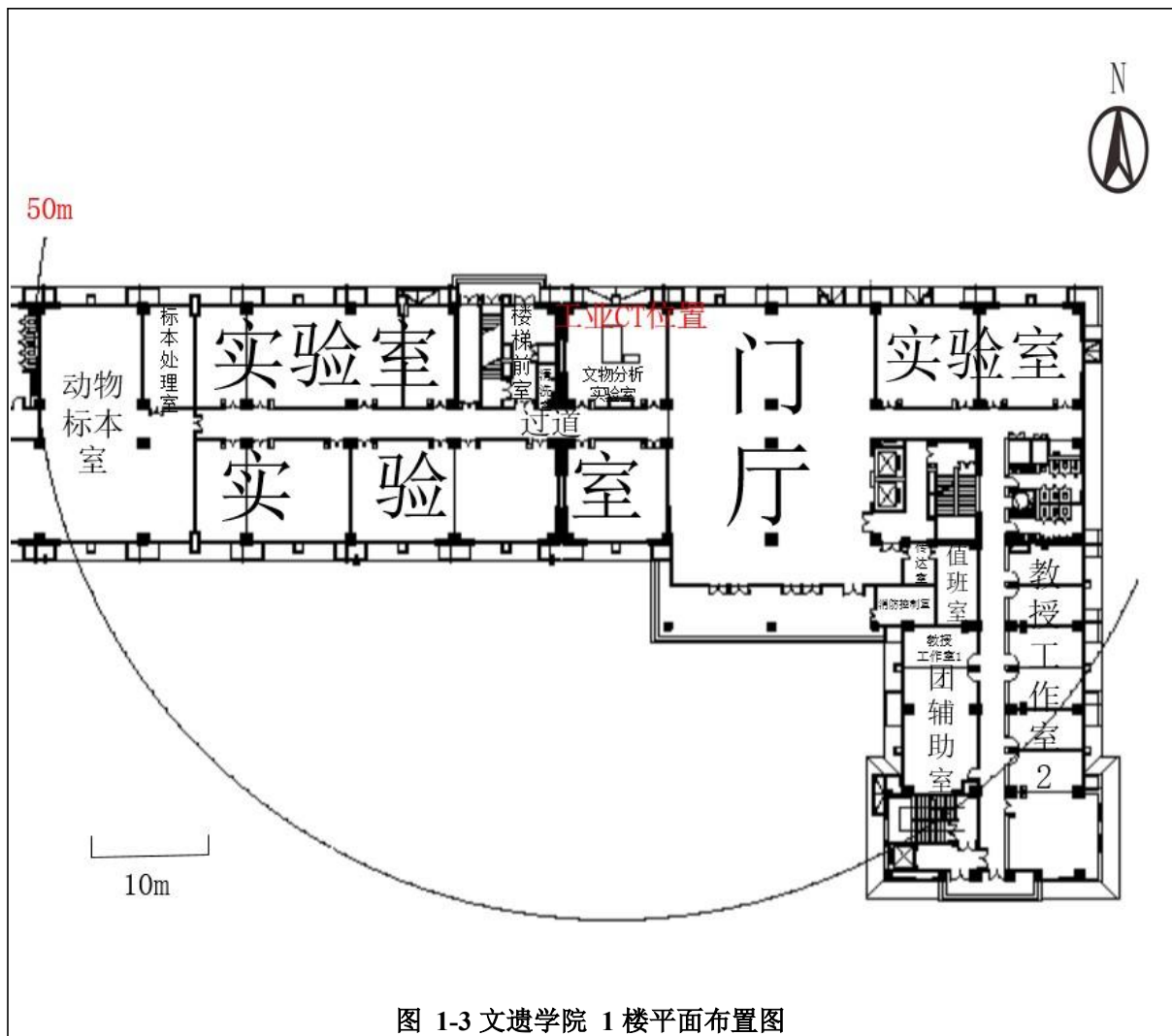


图 1-3 文遗学院 1 楼平面布置图

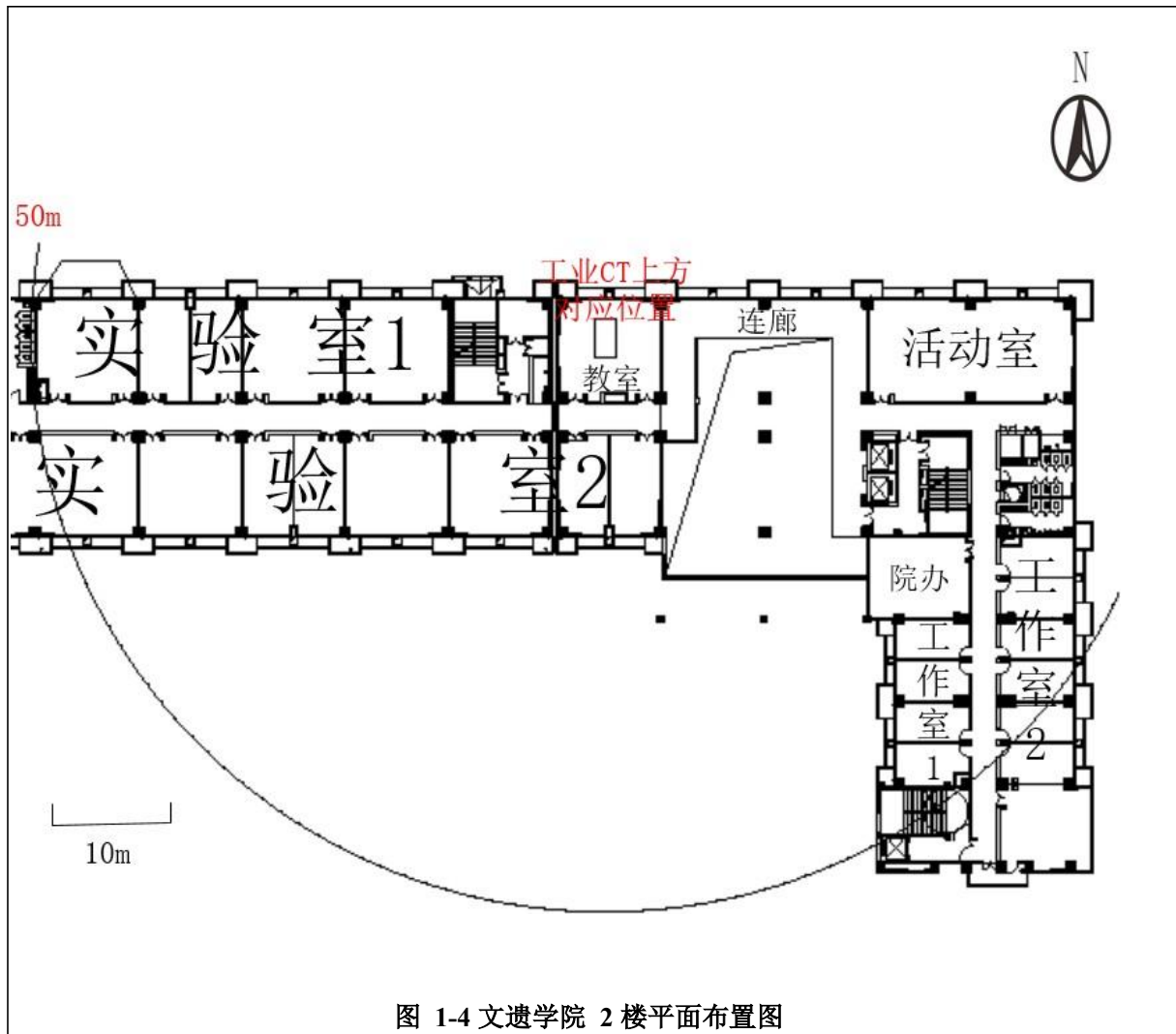


图 1-4 文遗学院 2 楼平面布置图

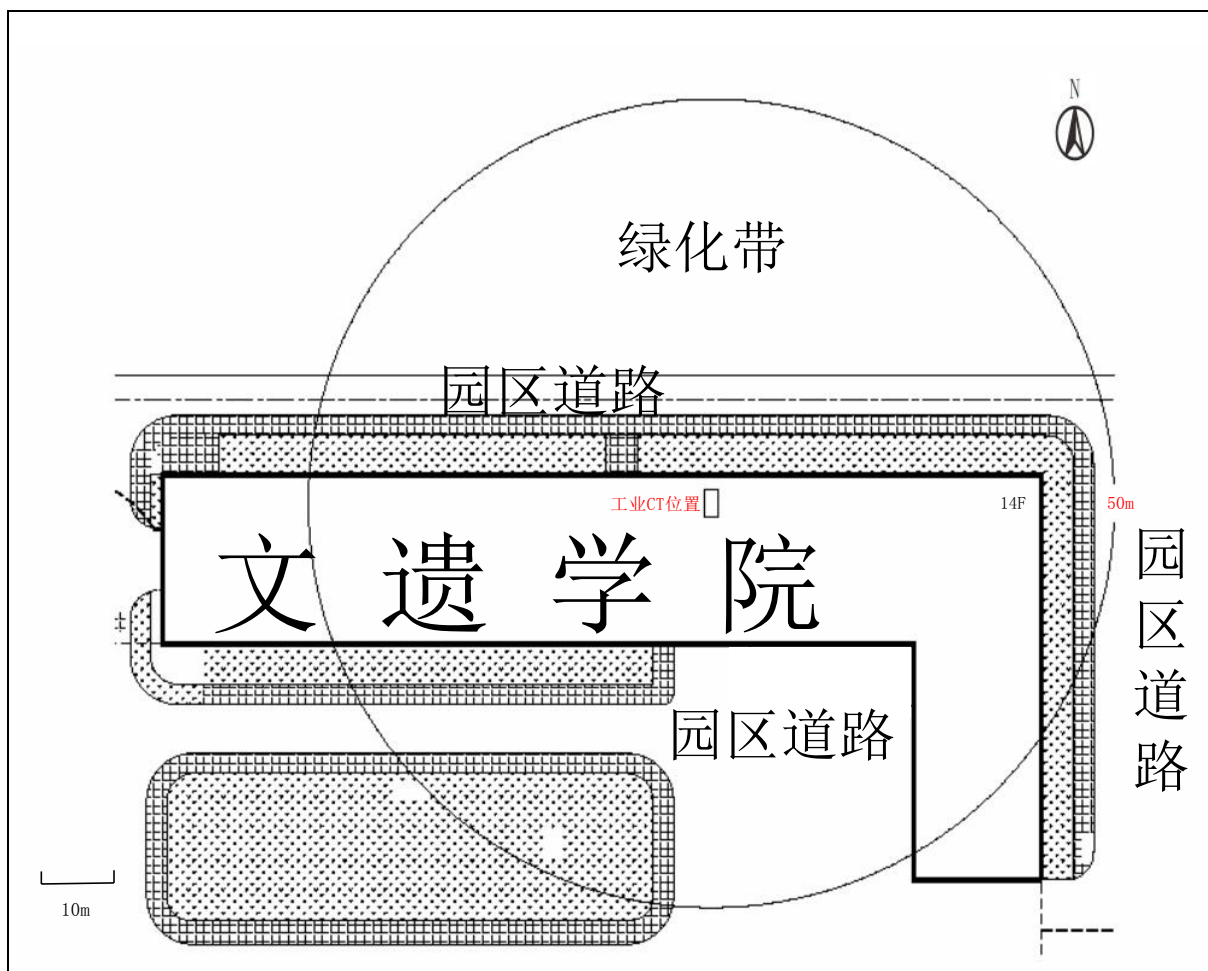


图 1-5 文物分析实验室项目 50m 周边关系图

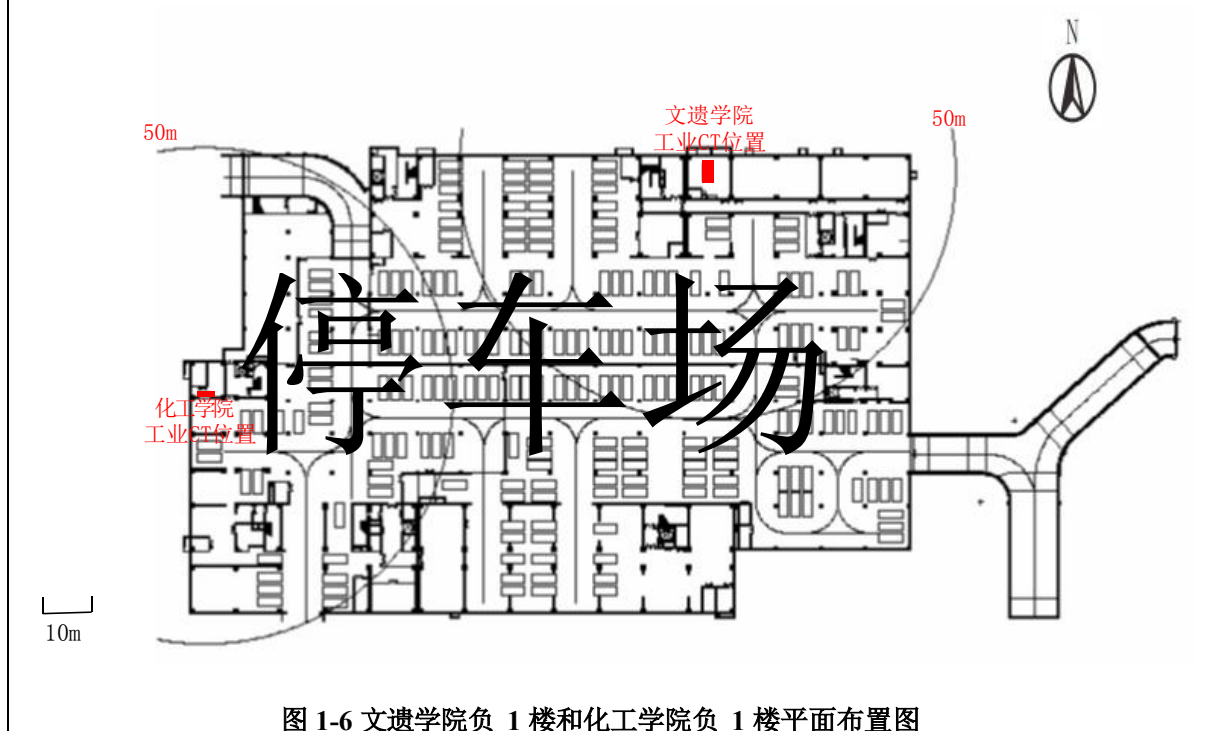


图 1-6 文遗学院负 1 楼和化工学院负 1 楼平面布置图

### 1.4.2 显微 CT 实验室项目

化工学院为地上 14 层，地下 1 层建筑。化工学院四周主要分布有园区道路、文遗学院、化材楼、广场、地质大楼等。显微 CT 实验室设置在化工学院 1 楼西北侧。显微 CT 实验室北侧为卫生间等场所；东侧为过道等场所；南侧为实验室 1 等场所；西侧为园区道路等场所；上方 2 楼为创新实验室 1 等场所；下方负 1 楼为停车场等场所。显微 CT 实验室四周 50m 范围内场所分布一览表见表 1-10，化工学院 1 楼平面局部布置图见图 1-7，化工学院 2 楼平面局部布置图见图 1-8，显微 CT 实验室项目 50m 周边关系图见图 1-9。

表 1-10 显微 CT 实验室项目四周 50m 范围内场所分布一览表

方位	场所
项目场所	显微 CT 实验室
北侧	卫生间、园区道路、化材楼
东侧	过道、楼梯前室、园区道路、文遗学院
南侧	实验室 1、实验室 2、前室、门厅、办公室、消防控制室、本科实验室、值班室、准备室、园区道路、地质大楼
西侧	园区道路、广场
2 楼	创新实验室 1、卫生间、创新实验室 2、前室、实训中心 1、实训中心 2、备用实验室
负 1 楼	停车场
3-14 楼	实验室及办公场所

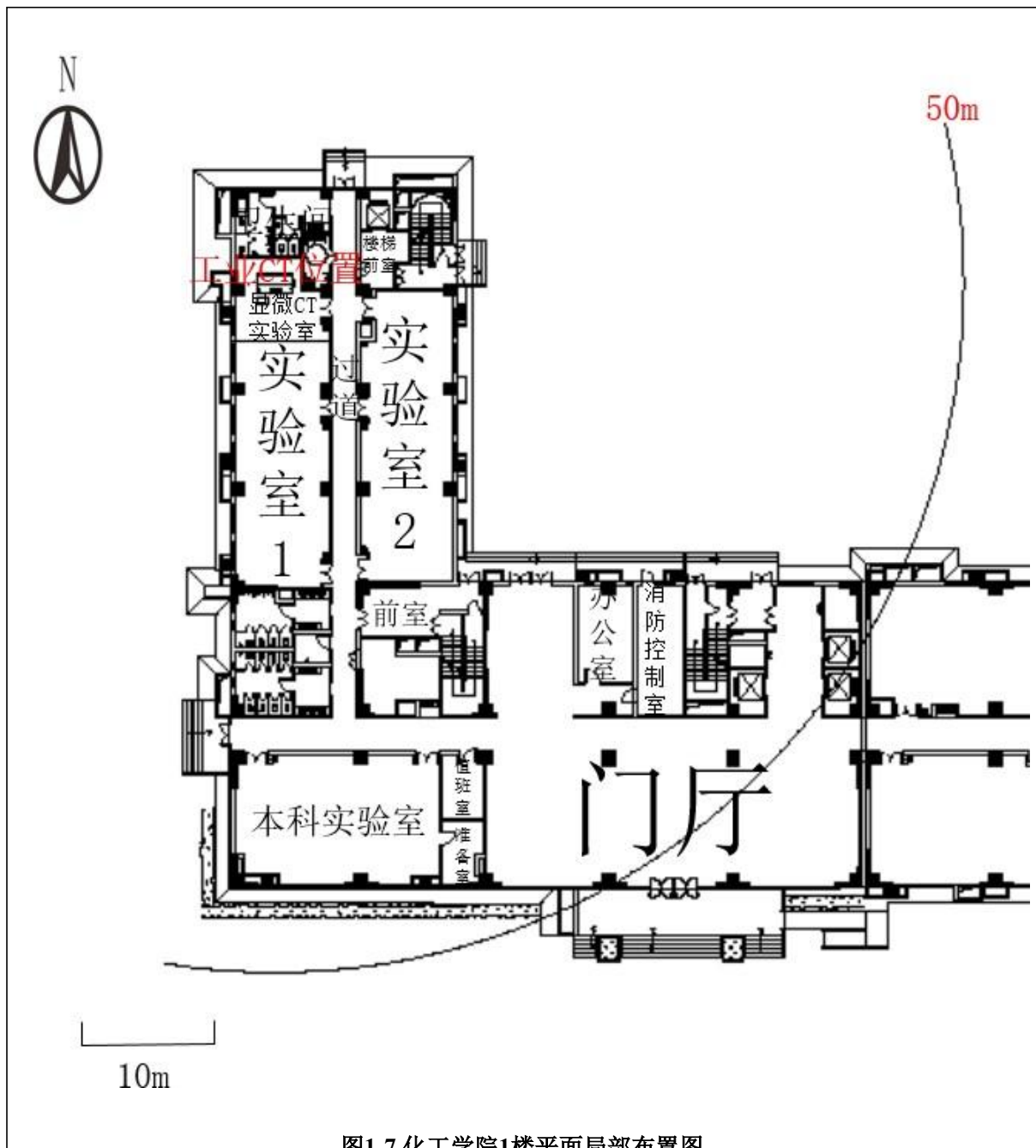


图1.7 化工学院1楼平面局部布置图

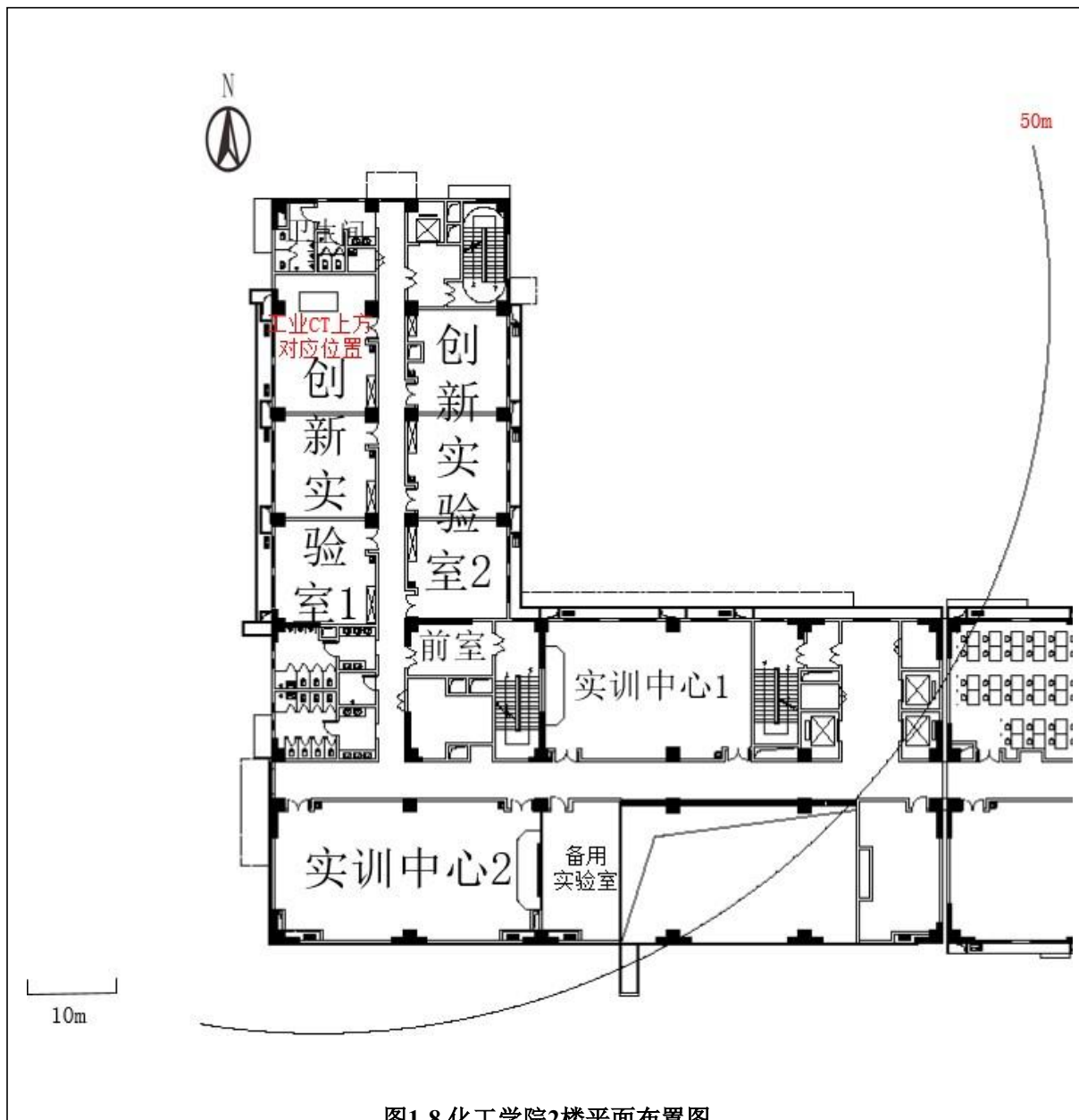


图1.8 化工学院2楼平面布置图

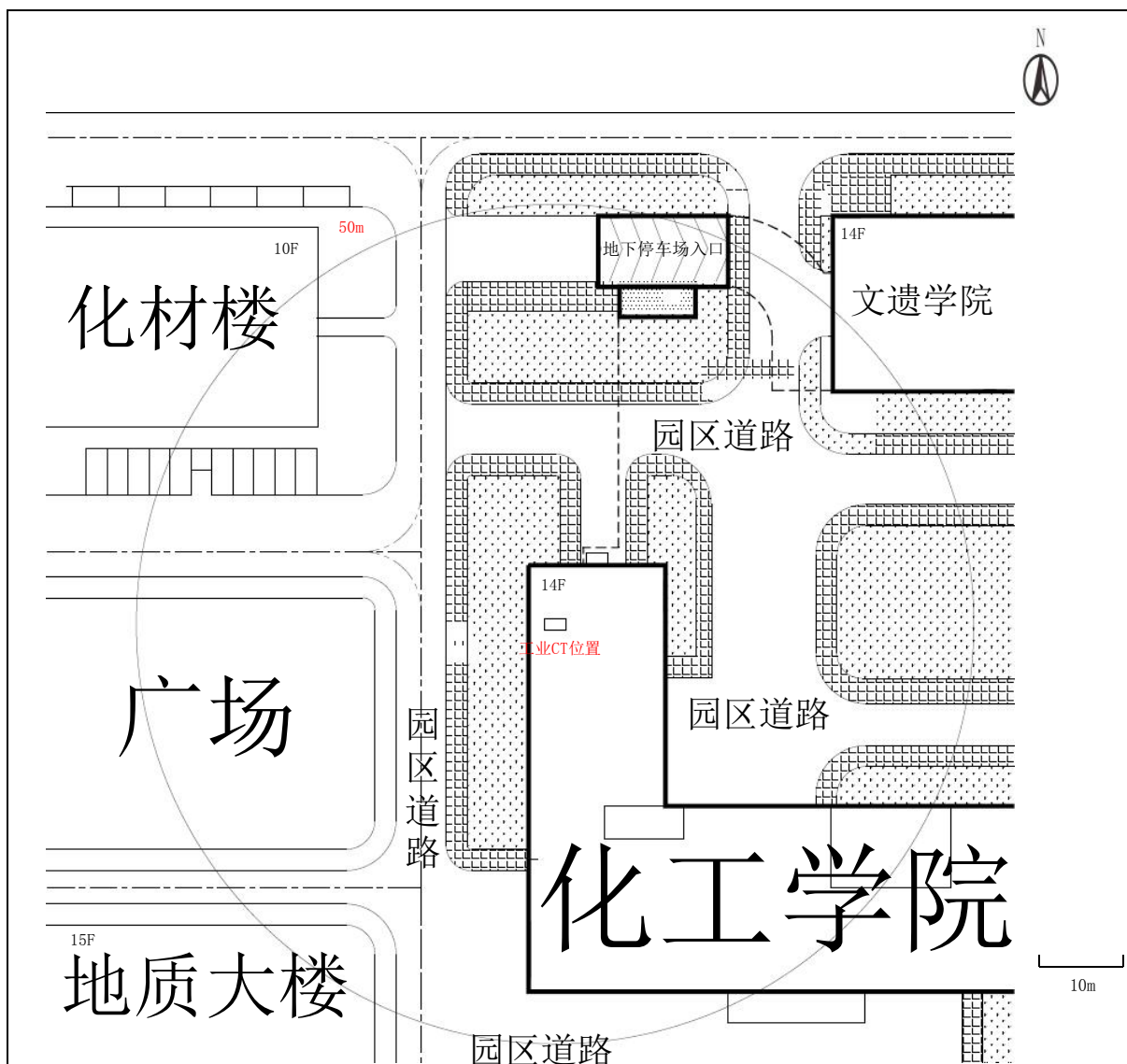


图1-9 显微CT实验室项目50m周边关系图

## 1.5 项目符合性分析

### 1.5.1 项目产业政策符合性

本项目拟使用2台工业CT，系核技术利用项目在工业领域内的运用，本项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中鼓励类中的“十四、机械1.科学仪器和工业仪表：工业CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”类别，符合国家产业政策。

### 1.5.2 项目实践正当性分析

本项目的投产有助于建设单位进一步提升对样品的检测能力，可辅助建设单位提高研发水平，促进学科发展，其所造成的辐射影响轻微、可控。建设单位对射线装置的使用将严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并对射线装置的安

全管理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，该项目对周围环境和人员产生的影响可以控制在相关标准允许范围之内，项目开展所带来的利益远大于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》(GB 18871-2002)规定的“实践的正当性”原则。

### **1.5.3 选址合理性分析**

本项目 2 台工业 CT 自带屏蔽体，放置在独立的房间内使用，均设有门禁，有用线束方向固定朝设备右侧照射，操作台设在设备左侧，均避开了有用线束方向。项目选址四周均是人员居留因子相对较小的场所，根据表 11 的理论计算，项目选址四周保护目标的受照剂量均小于公众的年有效受照剂量约束值，充分考虑了周围场所的人员防护和安全，综上可判断本项目的选址合理。

**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
	无							

**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)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
	无									

**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)	额度电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	无									

(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	最大管电流	用途	工作场所	备注
1	工业CT	II类	1台	nanoVoxel 5000	225kV/190kV	3mA/1mA	用于文物/文物样品的无损检测。	文物分析实验室	2个X射线管
2	工业CT	II类	1台	nanoVoxel 3000	160kV	1mA	用于人工骨修复材料、注射用水凝胶、止血海绵等生物材料的无损检测。	显微CT实验室	1个X射线管

(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	最大靶电	中子强度	用途	工作场所	氚靶情况	备注

					(kV)	流 ( $\mu$ A)	(n/s)			活度	贮存方式	数量	
	无												

**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、氮氧化物	气体	/	/	/	微量	/	直接排放	外环境

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/m<sup>3</sup>; 年排放总量用 kg。

1.含有放射性的废弃物要注明,其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg,或 Bq/m<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)。

**表 6 评价依据**

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（主席令第九号，2015 年 1 月 1 日实施）</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》修正）</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（主席令第六号，2003 年 10 月 1 日实施）</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2005 年 12 月 1 日施行，2019 年 3 月 2 日修订）</p> <p>(5) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日实施）</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部第 20 号令，2021 年 1 月 4 日修改）</p> <p>(7) 《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 日实施）</p> <p>(8) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告第 66 号，2017 年 12 月 6 日发布）</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）</p> <p>(10) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行）</p> <p>(11) 《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 2019 年 12 月 24 日印发）</p> <p>(12) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月修订，</p>
-------------	---

	<p>2024年2月1日实施)</p> <p>(13) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4号, 2017年11月20日起施行)</p> <p>(14) 《陕西省放射性污染防治条例(2019年修正)》</p> <p>(15) 《关于印发新修订的&lt;陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表&gt;的通知》(陕环办发(2018)29号)</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>(3) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)</p> <p>(4) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及修改单</p> <p>(5) 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p> <p>(7) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)</p> <p>(8) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)</p>
其他	<p>(1) 《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社, 2015年出版)</p> <p>(2) 《辐射防护导论》(方杰主编)</p> <p>(3) 建设单位提供的其他资料</p>

## 表 7 评价标准与保护目标

### 7.1 评价范围

本项目使用的 II 类射线装置设置有固定的实体屏蔽体，参考《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围和保护目标的相关规定：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，因此本项目将工业 CT 屏蔽体外 50m 的范围内选为评价范围。评价范围见图 1-2 至图 1-9。

### 7.2 保护目标

结合该项目的评价范围，将评价范围内的辐射工作人员和公众列为保护目标，具体保护目标分布情况见表 7-1、7-2，文物分析实验室相邻环境状况见图 7-1，显微

CT 实验室相邻环境状况见图 7-2。

表 7-1 文物分析实验室评价范围内保护目标分布一览表

方位	场所	距离 (m)	保护目标	影响人数 (人)	剂量约束值 (mSv/a)
项目 场所	文物分析实验室 操作台	0.3	辐射工作人员	3	5
北侧	园区道路	3.4	公众	流动人员	0.1
	绿化带	14	公众	流动人员	
东侧	门厅	4.0	公众	流动人员	0.1
	实验室	22	公众	4	
	传达室	29	公众	2	
	消防控制室	29	公众	2	
	值班室	32	公众	2	
	教授工作室 1	34	公众	5	
	团辅助室	36	公众	流动人员	
	教授工作室 2	37	公众	15	
南侧	园区道路	44	公众	流动人员	0.1
	过道	4.0	公众	流动人员	

	实验室	6.5	公众	20	
	园区道路	19	公众	流动人员	
西侧	清洗室	3.3	公众	2	0.1
	电梯前室	3.3	公众	流动人员	
	实验室	12	公众	20	
	标本处理室	35	公众	5	
	动物标本室	36	公众	10	
2楼	教室	3.8	公众	40	0.1
	连廊	6.2	公众	流动人员	
	实验室 2	9.0	公众	30	
	实验室 1	15	公众	30	
	活动室	23	公众	20	
	院办	29	公众	10	
	工作室 1	36	公众	20	
	工作室 2	39	公众	20	
负 1 楼	停车场	5.3	公众	流动人员	0.1
3-14 楼	实验室及办公场所	7.0	公众	60	0.1
注：以上距离指工业CT屏蔽体到保护目标场所边界的最短空间距离。					

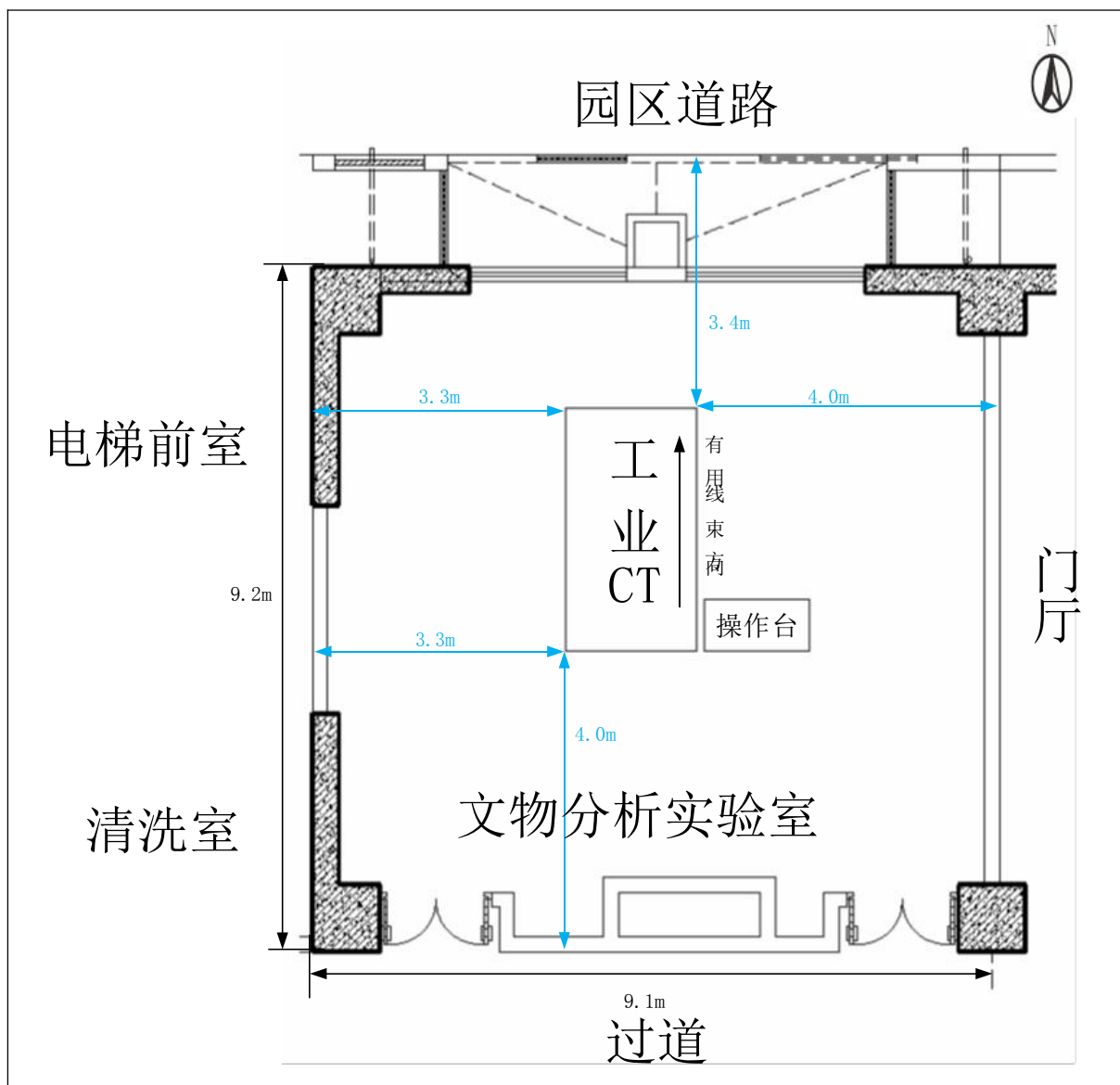


图 7-1 文物分析实验室相邻环境状况

表 7-2 显微 CT 实验室评价范围内保护目标分布一览表

方位	场所	距离 (m)	保护目标	影响人数 (人)	剂量约束值 (mSv/a)
项目场所	显微 CT 实验室 操作台	0.3	辐射工作人员	3	5
北侧	卫生间	1.4	公众	流动人员	0.1
	园区道路	6.4	公众	流动人员	
	化材楼	35	公众	20	
东侧	过道	2.8	公众	流动人员	0.1
	楼梯前室	4.8	公众	流动人员	
	园区道路	16	公众	流动人员	

	文遗学院	42	公众	10	
南侧	实验室 1	3.4	公众	20	0.1
	实验室 2	6.0	公众	20	
	前室	23	公众	流动人员	
	门厅	26	公众	流动人员	
	办公室	30	公众	10	
	消防控制室	33	公众	2	
	本科实验室	34	公众	20	
	值班室	35	公众	2	
	准备室	40	公众	2	
	园区道路	43	公众	流动人员	
	地质大楼	43	公众	10	
西侧	园区道路	4.6	公众	流动人员	0.1
	广场	20	公众	流动人员	
2 楼	创新实验室 1	4.2	公众	20	0.1
	卫生间	4.7	公众	流动人员	
	创新实验室 2	8.4	公众	20	
	前室	24	公众	流动人员	
	实训中心 1	27	公众	20	
	实训中心 2	35	公众	20	
备用实验室	36	公众	10		
负 1 楼	停车场	5.3	公众	流动人员	0.1
3-14 楼	实验室及办公场所	7.4	公众	60	0.1
注：以上距离指工业CT屏蔽体到保护目标场所边界的最短空间距离。					

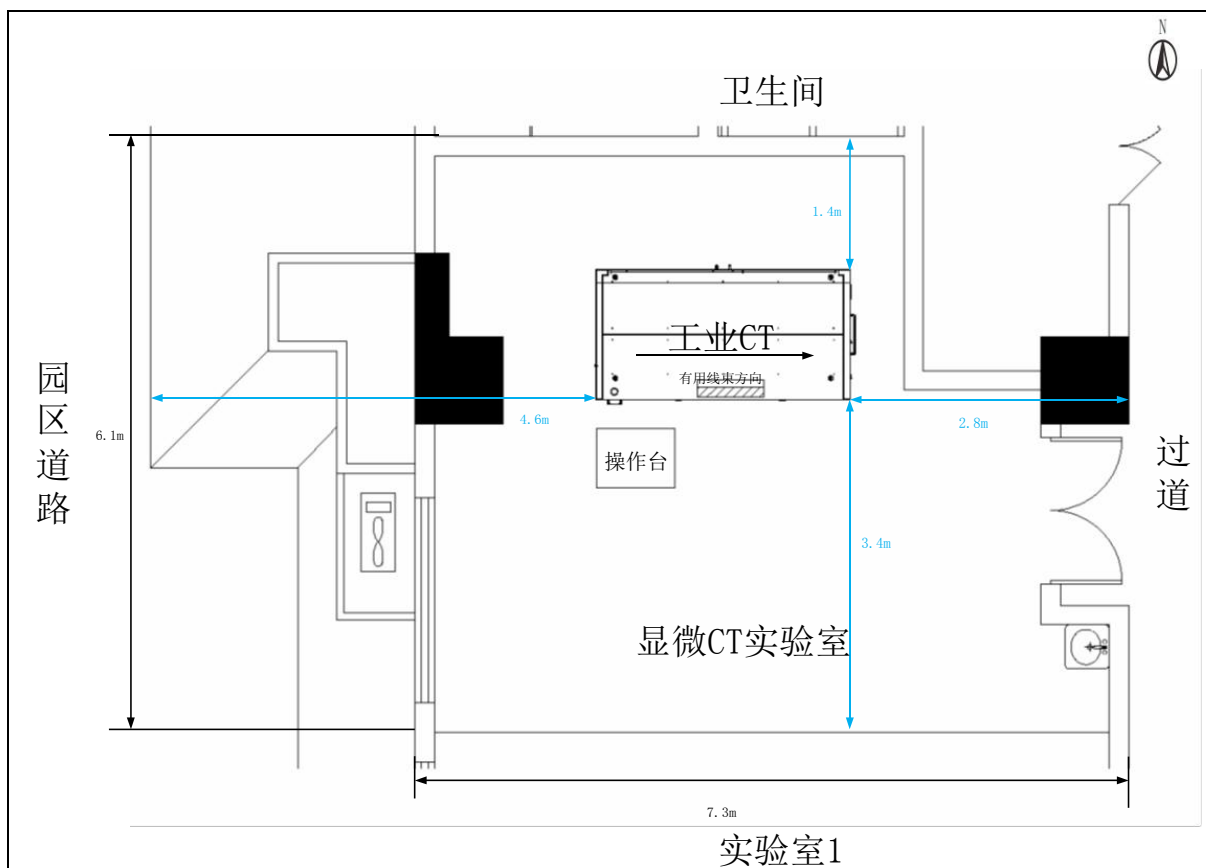


图 7-2 显微 CT 实验室相邻环境状况

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 职业照射及公众照射年有效剂量控制要求

##### (1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定：

①工作人员的照射水平不应超过下述限值：

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；

②实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

##### (2) 剂量约束值

①工作人员：

本项目取职业照射年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的职业照射剂量约束值，即本项目的辐射工作人员的年有效受照剂量应不超过 5mSv/a。

②公众：

取公众年平均有效剂量限值的十分之一作为本项目的公众照射剂量约束值，即本项目的公众的年有效受照剂量不超过 0.1mSv/a。

### 7.3.2 工作场所辐射剂量率控制要求

参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的规定，结合本项目的实际，本项目屏蔽体辐射屏蔽应同时满足：

① 关注点周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值不大于 100 $\mu$ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 $\mu$ Sv/周；

② 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 $\mu$ Sv/h。

③ 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

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应同时满足（1）（2）。

根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），探伤室墙和入口门外周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周周围剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

3.1.1 a) 对于职业工作人员， $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ，对于公众 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。相应的导出剂量率参考控制水平：

$$H_{c,d} = \frac{H_c}{t \times U \times T}$$

式中：

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

$U$  探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

$T$  人员在相应关注点驻留的居留因子；

$t$  探伤装置周照射时间，h/周；

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

c) 关注点剂量率参考控制水平为上述 a)和 b) 中的较小值。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求:

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或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) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 检测方案

#### 8.1.1 检测方法、检测因子和检测仪器

为调查本项目所在区域及周围环境辐射水平现状，广州星环科技有限公司于 2025 年 11 月 26 日对项目场址周围进行环境  $\gamma$  辐射剂量率现状检测，检测方法和因子见表 8-1，检测仪器信息见表 8-2。

表 8-1 检测方法和因子

检测方法	检测因子
《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021)	环境 $\gamma$ 辐射剂量率

表 8-2 检测仪器信息

仪器名称	X、 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪	仪器型号	BG9512P 型
生产厂家	中广核贝谷科技有限公司	仪器编号	1TRW88AA
校准日期	2025 年 09 月 28 日	有效期	1 年
测量范围	10nGy/h-200 $\mu$ Gy/h	能量范围	25keV-3MeV
校准单位	上海市计量测试技术研究院	证书编号	2025H21-20-6135673001

#### 8.1.2 布点原则

按照《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的辐射环境质量监测布点要求，开展道路测量时，点位应设置在道路中心线；开展室内测量时，点位应设置在人员停留时间最长的位置或者室内中心位置。参考《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.3 核技术利用辐射环境监测的布点要求，以工作场所为中心，半径 50m 内布点，测量点覆盖周围环境敏感点。

本项目的测点布设进一步根据保护目标的分布及评价范围来选取，原则上项目评价范围内有保护目标分布场所的里面均至少布设一个点位，根据以上布点原则，文物分析实验室、显微 CT 实验室项目各布设 29 个检测点位，检测布点见图 8-1~图 8-6。

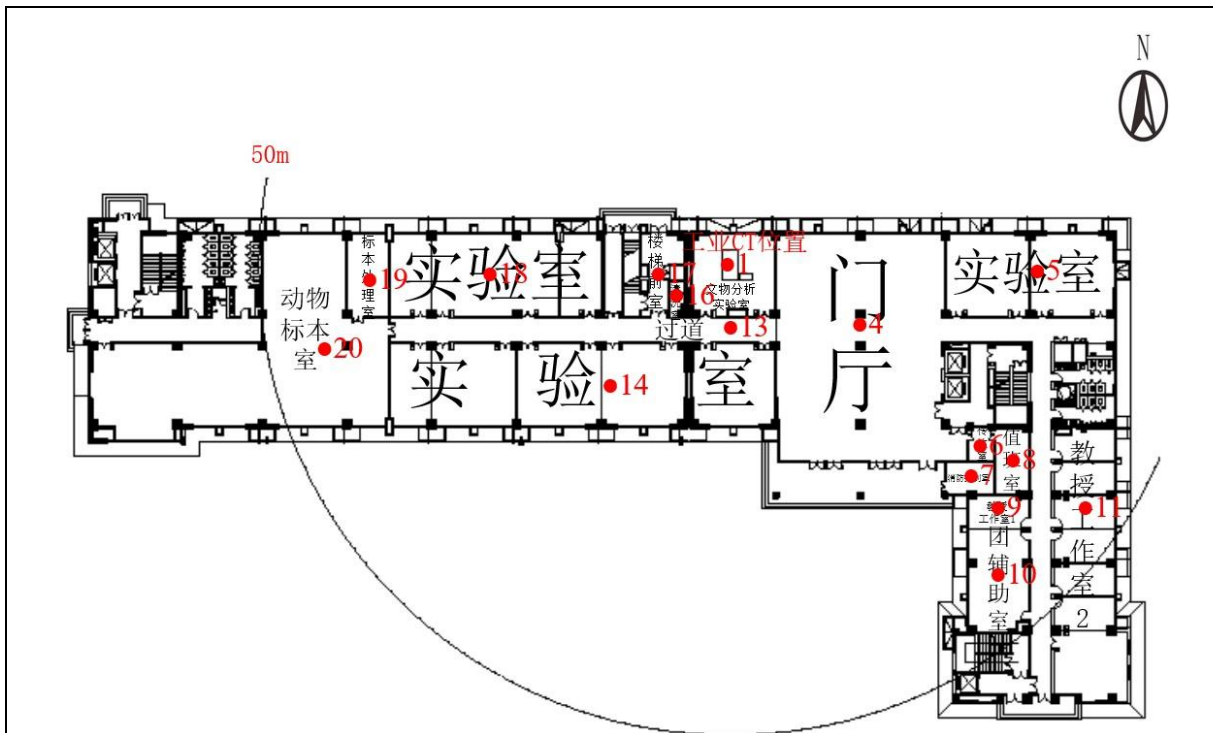


图 8-1 文遗学院 1 楼 50m 范围检测布点图

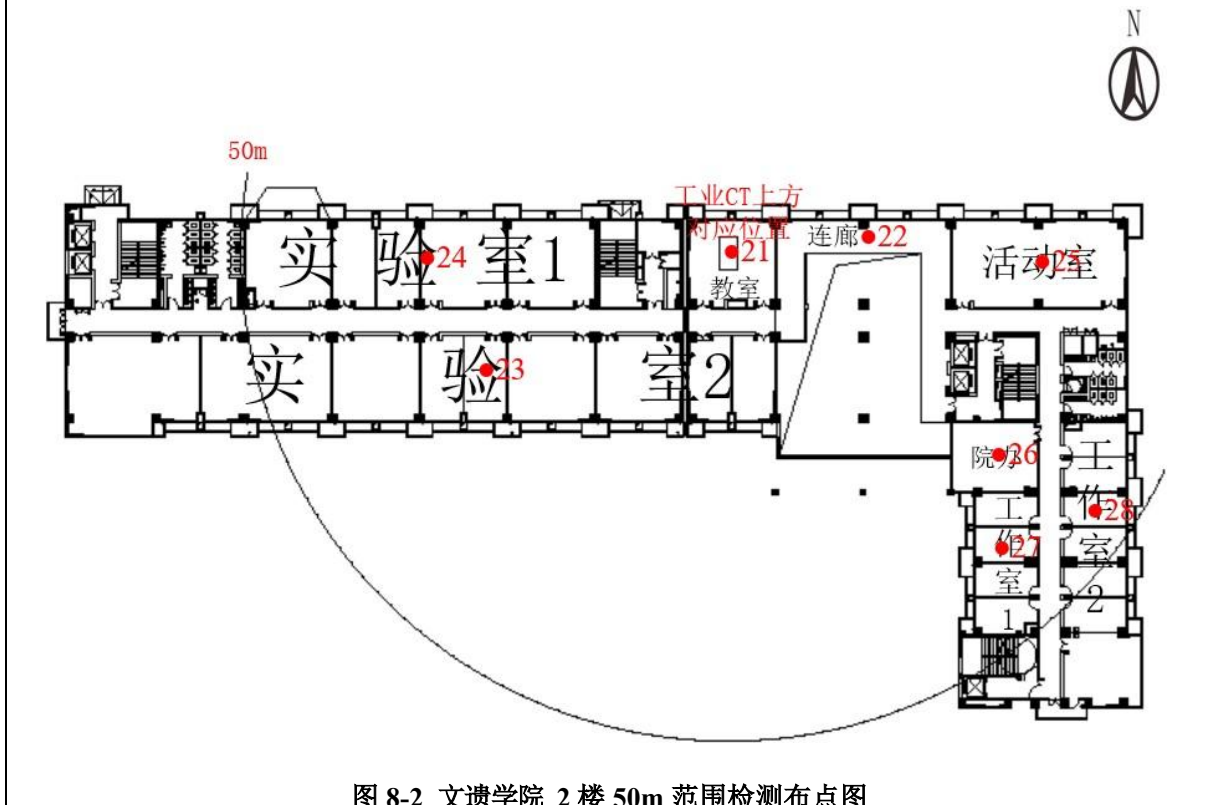


图 8-2 文遗学院 2 楼 50m 范围检测布点图

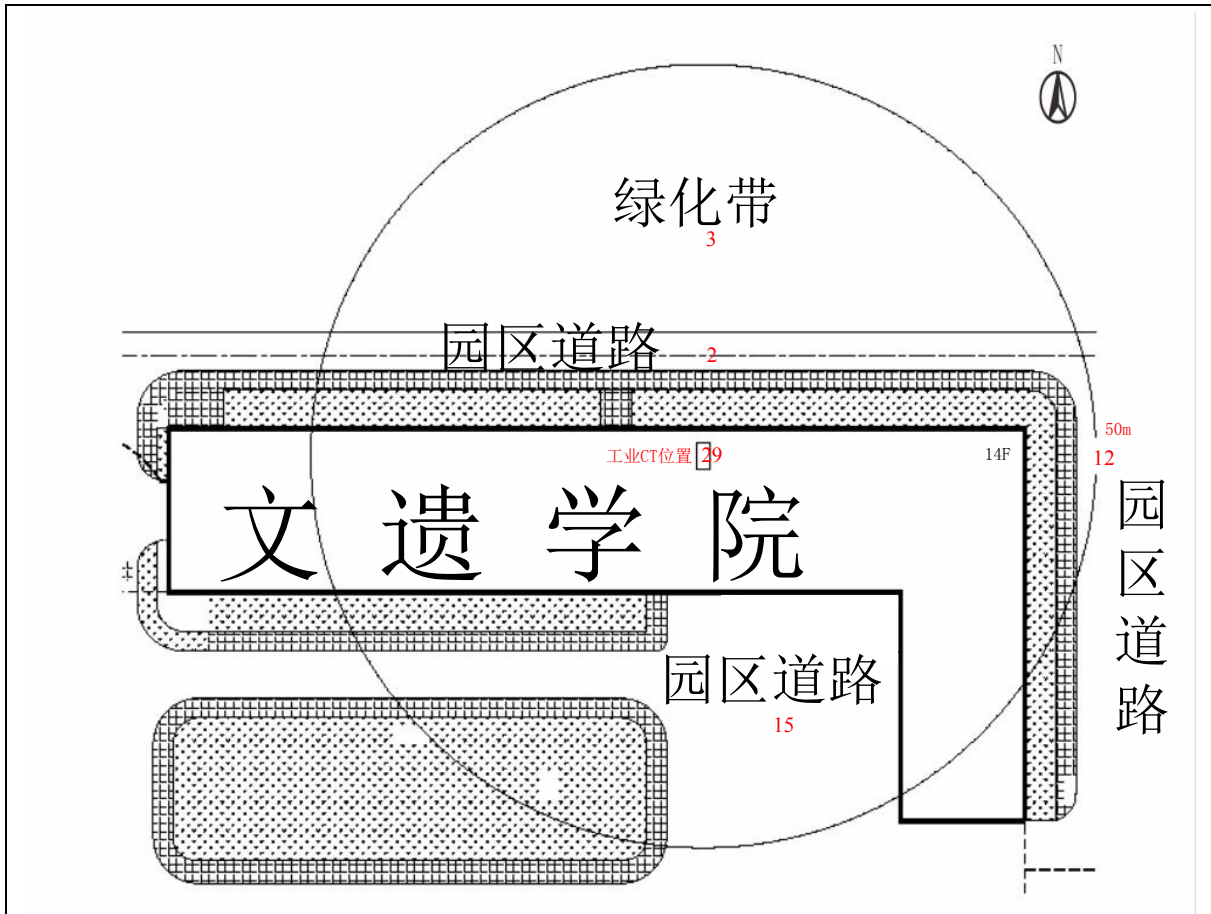


图 8-3 文物分析实验室项目周边 50m 范围检测布点图

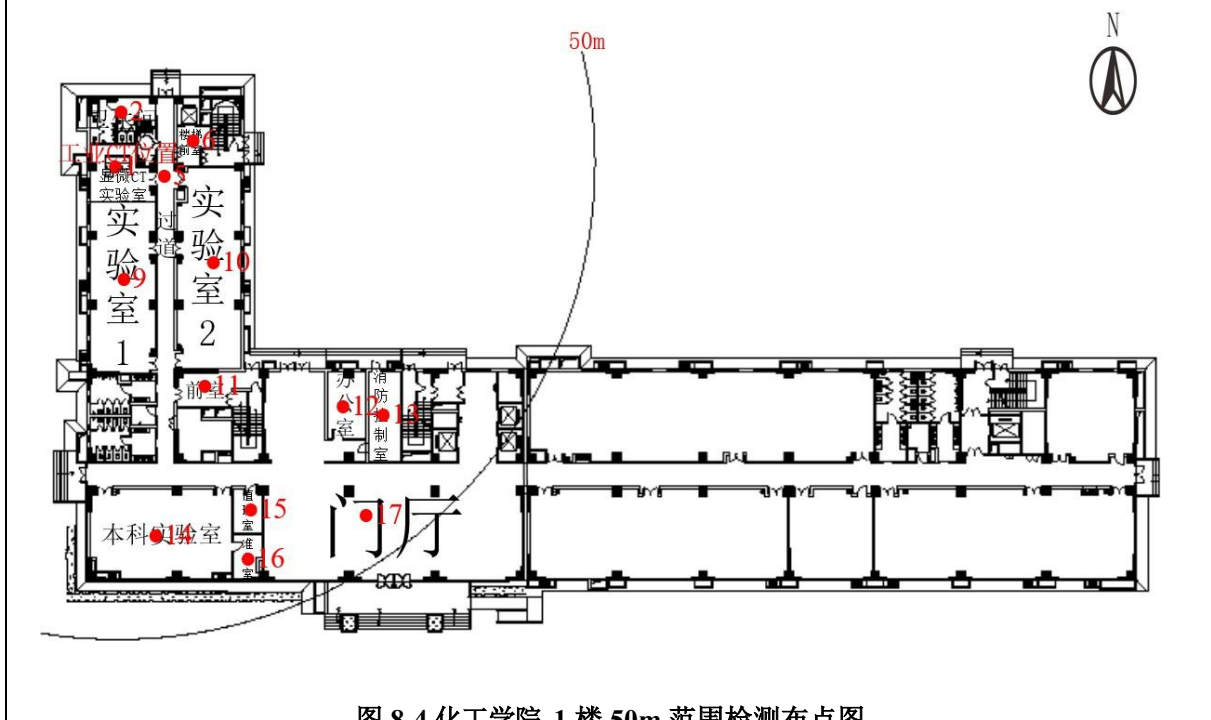


图 8-4 化工学院 1 楼 50m 范围检测布点图

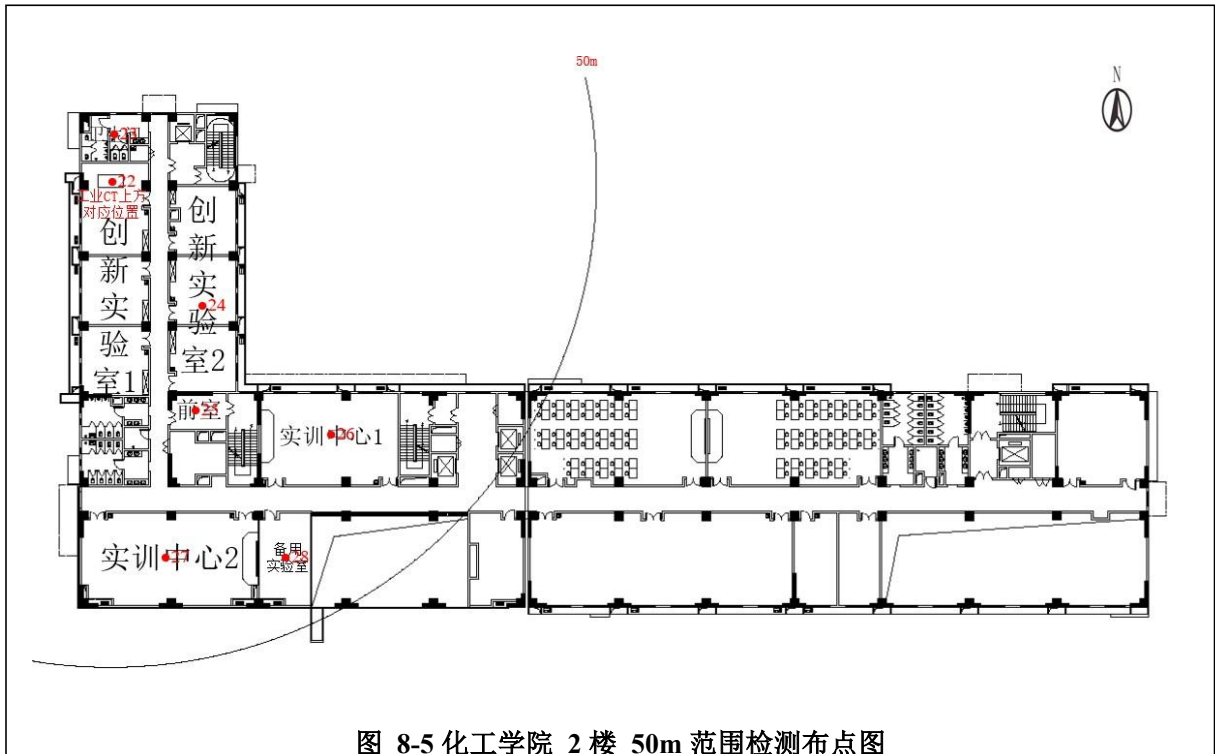


图 8-5 化工学院 2 楼 50m 范围检测布点图

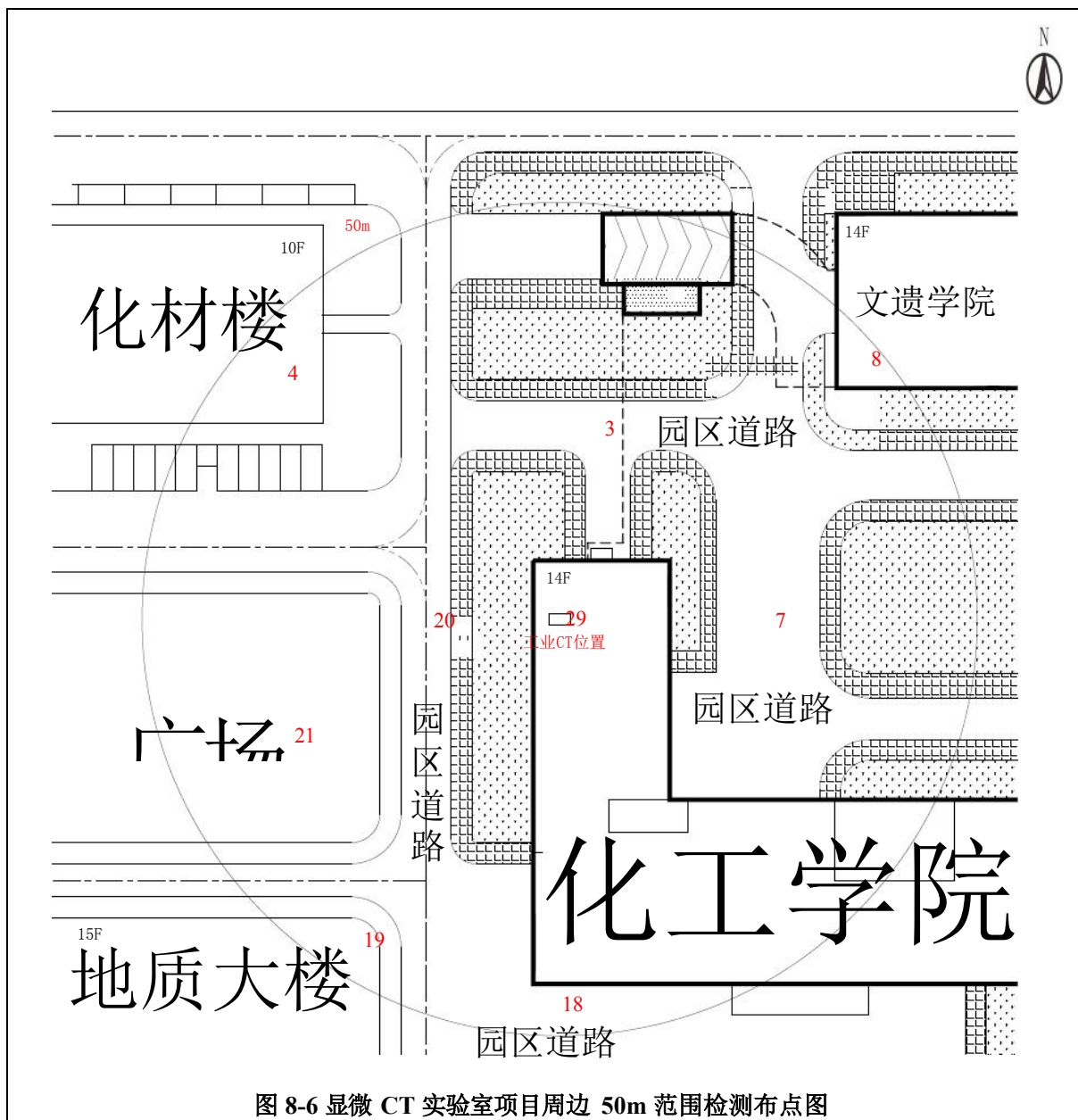


图 8-6 显微 CT 实验室项目周边 50m 范围检测布点图

## 8.2 质量保证措施

本项目的环境辐射现状检测，根据《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）做好如下的质量保证措施：

（1）承担本项目环境辐射现状检测的检测机构具备检验检测机构资质认定证书，检测人员具备从事环境辐射监测的工作经验，充分了解环境 $\gamma$ 辐射的特点，掌握辐射检测技术和技术标准，具备对检测结果做出正确判断的能力，熟悉本单位检验检测质量管理程序。

（2）实施检测前，确认使用的仪器的检测因子、测量范围和能量相应等参数均满足检测要求，核实检测现场的操作环境均满足所使用仪器的操作环境要求。提前开启检测仪器预热至少 1 分钟，并确认仪器的电量充足后，再进行检测。所有检测点位，待读数稳定后，约 10s 间隔读取 10 个值，并经校正后求出平均值和标准偏差。

（3）测量人员经环境  $\gamma$  辐射剂量率测量相关专业培训并考核合格；环境  $\gamma$  辐射剂量率测量仪器定期校准，每年至少 1 次送到计量检定机构校准环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量仪器，在两次校准之间进行一次设备期间核查。

（4）更新仪器和方法时，在典型的和极端的辐射场条件下与原仪器和方法的测量结果进行对照，以保持数据的前后一致性。

（5）环境  $\gamma$  辐射剂量率测量应选用相对固有误差小的仪器（ $< \pm 15\%$ ）。

（6）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。

（7）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。质量保证活动按要求做好记录，并确保所有记录信息的完整性、充分性和可追溯性。

（8）监测报告严格执行三级审核制度，经过校对、校核，最后由授权签字人审定。

## 8.3 检测结果

检测结果参照（HJ61-2021）中“8.6 宇宙射线响应值的扣除”的方法处理得到：

$$\dot{D} = C_f(E_f\dot{X} - \mu_c\dot{X}'_c)$$

其中：

$\dot{D}$ ：环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测结果；

$C_f$ ：仪器量程检定/校准因子，由法定计量部门检定或校准时给出，1.02；

$E_f$ ：仪器检验源效率因子。本仪器无检验源，该值取 1；

$\bar{X}$ ：读数值的平均值；

$\mu_c$ ：建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1；

$\dot{X}'_c$ ：宇宙射线响应值。广州星环科技有限公司于 2025 年 7 月 4 日在广东省万绿湖用同一台设备测的宇宙射线响应值，11nGy/h，按 HJ61 修正后为 11.61nGy/h。

检测数据见表 8-3、表 8-4，检测报告见附件 9。

表 8-3 文物分析实验室项目场所环境  $\gamma$  辐射现状检测结果

点位编号	方位	场所	距离(m)	表面介质	测量结果(nGy/h)	环境性质
1	/	文物分析实验室	/	瓷砖	104±1	楼房
2	北侧	园区道路	13	混凝土	115±1	道路
3		绿化带	39	泥土	112±1	原野
4	东侧	门厅	16	瓷砖	128±1	楼房
5		实验室	32	瓷砖	113±1	楼房
6		传达室	33	瓷砖	101±2	楼房
7		消防控制室	34	瓷砖	134±1	楼房
8		值班室	36	瓷砖	118±1	楼房
9		教授工作室 1	39	瓷砖	132±1	楼房
10		团辅助室	45	瓷砖	112±2	楼房
11		教授工作室 2	46	瓷砖	133±1	楼房
12		园区道路	47	混凝土	104±1	道路
13	南侧	过道	6.8	瓷砖	110±1	楼房

14		实验室	20	瓷砖	103±2	楼房
15		园区道路	36	混凝土	135±1	道路
16	西侧	清洗室	6.7	瓷砖	130±2	楼房
17		电梯前室	8.1	瓷砖	125±1	楼房
18		实验室	27	瓷砖	102±2	楼房
19		标本处理室	38	瓷砖	137±2	楼房
20		动物标本室	44	瓷砖	132±1	楼房
21	2楼	教室	4.5	瓷砖	127±1	楼房
22		连廊	15	瓷砖	137±2	楼房
23		实验室 2	31	瓷砖	103±1	楼房
24		实验室 1	32	瓷砖	104±2	楼房
25		活动室	32	瓷砖	134±1	楼房
26		院办	34	瓷砖	109±1	楼房
27		工作室 1	42	瓷砖	126±1	楼房
28		工作室 2	46	瓷砖	118±1	楼房
29	负 1 楼	停车场	6.3	混凝土	109±1	楼房

注：1、以上数据已校准，校准系数为 1.02；

2、检测时仪器探头垂直地面，距地约 1m，待读数稳定后，间隔 10 秒读取 1 个数值，每个点位读取 10 个检测值；

3、文遗学院检测地点的经度为 108.867709°，纬度为 34.149434°，海拔高度为 0.428km；

4、环境  $\gamma$  辐射剂量率检测结果扣除了仪器对宇宙射线的响应部分（广东省万绿湖检测数值为 11nGy/h，按 HJ61 修正后为 11.61nGy/h）；

5、建筑物对宇宙射线的屏蔽因子：楼房取值 0.8，原野、道路取值 1。

表 8-4 显微 CT 实验室项目场所环境  $\gamma$  辐射现状检测结果

点位编号	方位	场所	距离(m)	表面介质	测量结果 (nGy/h)	环境性质
1	/	显微 CT 实验室	/	混凝土	86±1	楼房
2	北侧	卫生间	4.3	瓷砖	110±1	楼房
3		园区道路	23	混凝土	89±1	道路
4		化材楼一楼实验室	45	瓷砖	94±1	楼房

5	东侧	过道	5.1	瓷砖	109±1	楼房
6		楼梯前室	8.3	瓷砖	116±2	楼房
7		园区道路	24	混凝土	102±1	道路
8		文遗学院一楼动物标本室	47	瓷砖	115±1	楼房
9	南侧	实验室 1	13	瓷砖	81±2	楼房
10		实验室 2	14	瓷砖	106±1	楼房
11		前室	25	瓷砖	95±1	楼房
12		办公室	35	瓷砖	99±2	楼房
13		消防控制室	38	瓷砖	102±1	楼房
14		本科实验室	39	瓷砖	95±1	楼房
15		值班室	39	瓷砖	116±1	楼房
16		准备室	43	瓷砖	90±1	楼房
17		门厅	45	瓷砖	95±1	楼房
18		园区道路	47	混凝土	83±1	道路
19	地质大楼一楼办公室	47	瓷砖	97±2	楼房	
20	西侧	园区道路	16	混凝土	80±2	道路
21		广场	35	混凝土	93±1	道路
22	2楼	创新实验室 1	4.5	瓷砖	126±1	楼房
23		卫生间	8.1	瓷砖	112±1	楼房
24		创新实验室 2	16	瓷砖	130±1	楼房
25		前室	25	瓷砖	87±1	楼房
26		实训中心 1	35	瓷砖	86±1	楼房
27		实训中心 2	39	瓷砖	114±2	楼房
28		备用实验室	42	瓷砖	126±2	楼房
29	负 1 楼	停车场	6.3	混凝土	110±1	楼房

注：1、以上数据已校准，校准系数为 1.02；

2、检测时仪器探头垂直地面，距地约 1m，待读数稳定后，间隔 10 秒读取 1 个数值，每个点位读取 10 个检测值；

- 3、化工学院检测地点的经度为 108.866489°，纬度为 34.149049°，海拔高度为 0.428km；
- 4、环境  $\gamma$  辐射剂量率检测结果扣除了仪器对宇宙射线的响应部分（广东省万绿湖检测数值为 11nGy/h，按 HJ61 修正后为 11.61nGy/h）；
- 5、建筑物对宇宙射线的屏蔽因子：楼房取值 0.8，道路取值 1。

从表 8-3 中的数据可见，文物分析实验室项目建设场地及周围区域的室内环境  $\gamma$  辐射剂量率检测值为 101~137nGy/h，室外道路  $\gamma$  辐射剂量率检测值为 104~135nGy/h。

从表 8-4 中的数据可见，显微 CT 实验室项目建设场地及周围区域的室内环境  $\gamma$  辐射剂量率检测值为 81~130nGy/h，室外道路  $\gamma$  辐射剂量率检测值为 80~102nGy/h。

根据《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社，2015 年出版)“西安市室内  $\gamma$  辐射剂量率范围为 79.0~130.0nGy/h，道路  $\gamma$  辐射剂量率范围为 52.0~121.0nGy/h”。对比表明，建设项目场所环境  $\gamma$  辐射现状未见明显异常。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 设备组成和工作方式

#### 9.1.1 设备组成

##### (1) nanoVoxel 5000 型工业 CT

本项目拟使用的 nanoVoxel 5000 型工业 CT 由硬件部分和软件部分组成，硬件部分包括操作台、主防护箱体、X 射线管、平板探测器、载物台等，软件部分包括软件控制系统、数据采集系统、数据处理和分析系统等。设备外观结构图和内部结构图分别见图 9-1 和图 9-2，设备尺寸参数见表 9-1。

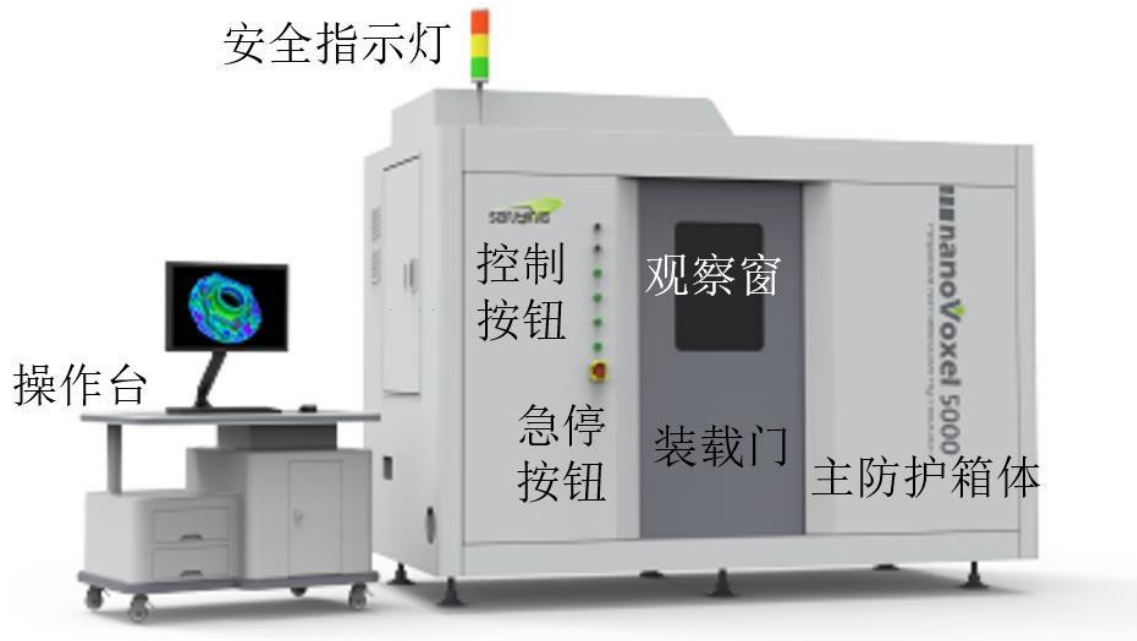


图 9-1 nanoVoxel 5000 型工业 CT 外观结构图

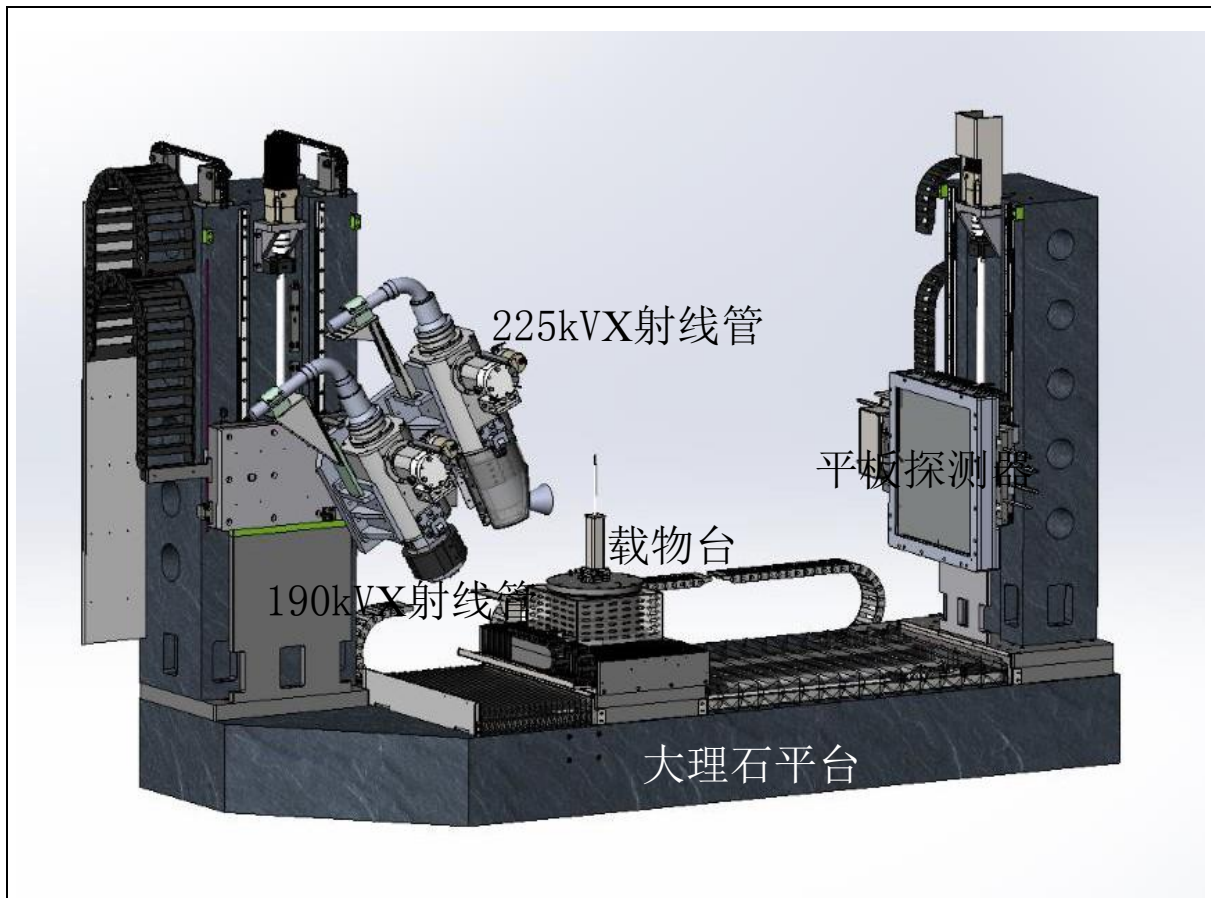


图 9-2 nanoVoxel 5000 型工业 CT 内部结构图表

9-1 nanoVoxel 5000 型工业 CT 尺寸参数一览表

项目	设计情况
设备外尺寸	长×宽×高=3310mm×1860mm×2520mm (不含底座和指示灯)
屏蔽体内尺寸	长×宽×高=3269mm×1765mm×2339mm
装载门	长×高=910mm×1705mm
观察窗	长×高=400mm×550mm
检修门 (左侧)	长×高=590mm×1050mm
检修门 (背面)	长×高=2735mm×1810mm (对开)

## (2) nanoVoxel 3000 型工业 CT

本项目拟使用的 nanoVoxel 3000 型工业 CT 由硬件部分和软件部分组成，硬件部分包括操作台、主防护箱体、X 射线管、平板探测器、载物台等，软件部分包括软件控制系统、数据采集系统、数据处理和分析系统等。设备外观结构图和内部结构图分别见图 9-3 和图 9-4，设备尺寸参数见表 9-2。

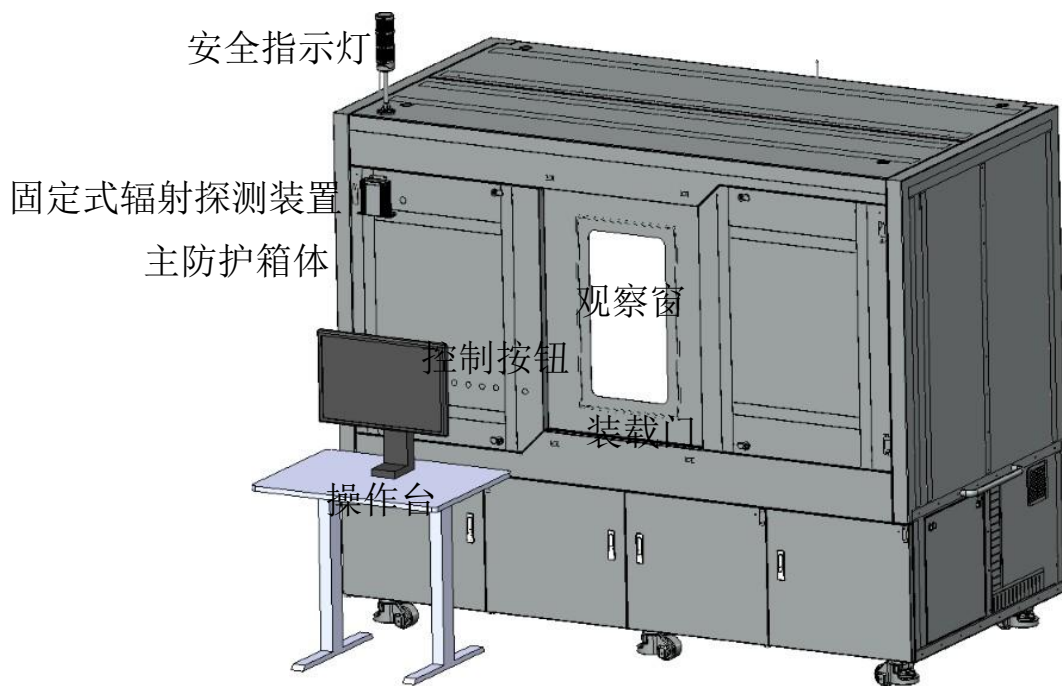


图 9-3 nanoVoxel 3000 型工业 CT 外观结构图

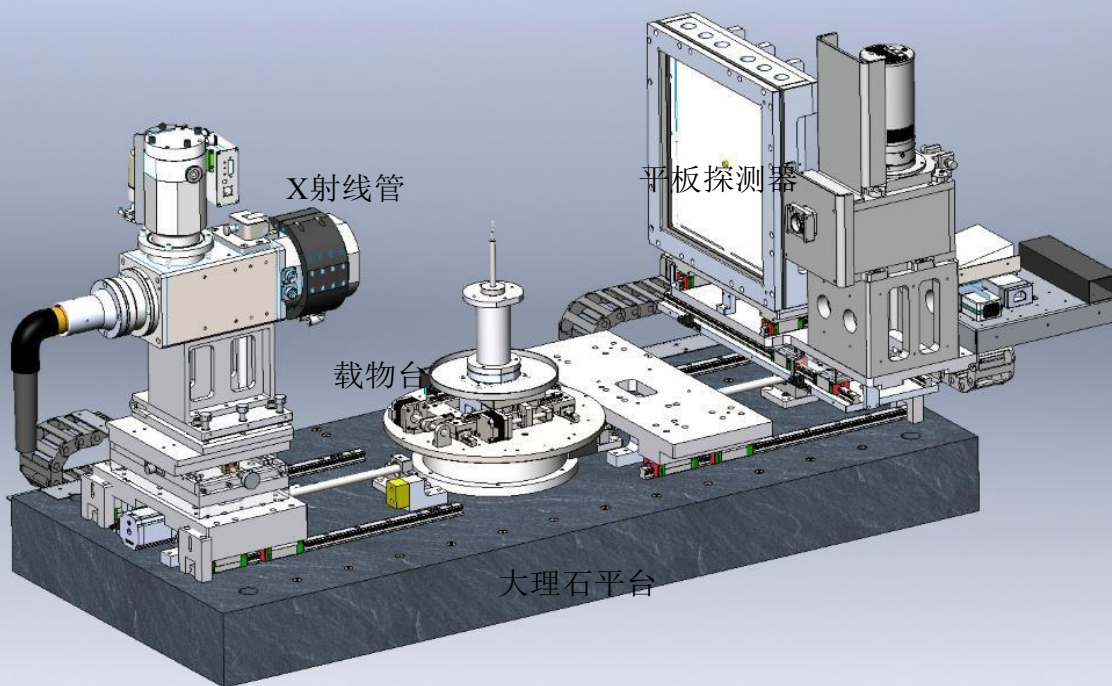


图 9-4 nanoVoxel 3000 型工业 CT 内部结构图表

9-2 nanoVoxel 3000 型工业 CT 尺寸参数一览表

项目	设计情况
设备外尺寸	长×宽×高=2600mm×1327mm×1900mm (不含底座和指示灯)

屏蔽体内尺寸	长×宽×高=2470mm×1048mm×1180mm
装载门	长×高=680mm×940mm
观察窗	长×高=330mm×650mm
检修门（左侧）	长×高=554mm×821mm
检修门（背面）	长×高=2022mm×940mm（对开）

### 9.1.2 工作方式

(1) nanoVoxel 5000 型工业 CT 自带屏蔽体，有用线束固定朝设备正视方向的右侧照射，有用线束角度均为 40°。X 射线管可上下移动 0.6m，载物台可向左右移动 1m，前后移动 0.25m，旋转 360°。探测器可向左右移动 0.7m，前后移动 0.3m，上下移动 0.6m。工业 CT 配有 2 根 X 射线管，190kV 纳米焦点 X 射线管具备高精度特点，用于满足小型样品的纳米级高精度测试需求；225kV 微米焦点 X 射线管具备高能量特点用于检测大体积、高密度类样品。2 根 X 射线管与设备操作台连接，具有安全继电器联锁，在操作系统中选择所需的 X 射线管后，电路闭合，X 射线管才能出束，每次只有 1 根 X 射线管出束。

(2) nanoVoxel 3000 型工业 CT 自带屏蔽体，有用线束固定朝设备正视方向的右侧照射，有用线束角度为 30°。X 射线管可左右移动 0.3m，载物台可上下移动 0.1m，旋转 360°。探测器可向左右移动 0.3m，前后移动 0.33m。

(3) nanoVoxel 5000 型和 nanoVoxel 3000 型工业 CT 装载门均采用电动平移门，由电脑软件控制系统控制装载门的开合，操作人员手动将工件通过装载门放入载物台上，关闭装载门后，操作人员位于操作台。通过电脑软件控制系统设置出束参数，设置完成后，用鼠标点击软件控制系统的出束按钮进行设备出束，X 射线出束期间无需人员干预，人员无需进入设备内部。

(4) 设备均采用数字成像方式，在扫描过程中对样本进行 180° 以上的不同角度和部位的拍摄，射线透过待检工件后由探测器接收，由数据采集系统进行数据和图像采集，由数据处理和分析系统生成工件不同位置的 2D 图像，再对图像进行三维重构，得到工件的内部结构图。

## 9.2 工作原理

### 9.2.1 X 射线产生原理

射线装置通过 X 射线管产生 X 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 9-5 所示。X 射线管阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，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 射线管产生的 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 射线管的管电压、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，准直性较高。

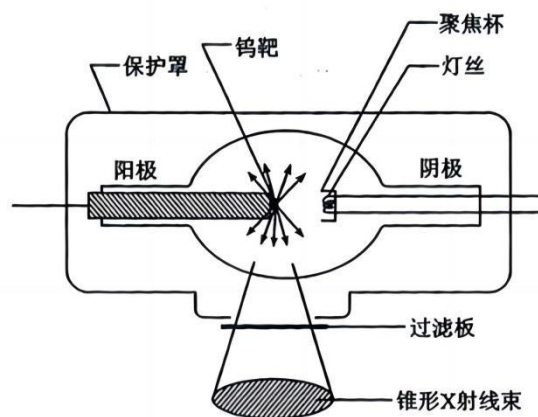


图 9-5 X 射线管示意图

### 9.2.2 工业 CT 原理

电子计算机断层摄影（Computed Tomography，简称 CT）是近几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无损检测技术。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，发现被检对象内部密度的微小变化。

工业 CT 机一般由 X 射线管、机械扫描系统、探测器系统、计算机系统和屏蔽设施等部分组成，其工作原理示意图如图 9-6 所示。X 射线管提供 CT 扫描成像的能量线束用以穿透工件，根据射线在试件内的衰减情况实现以各点的衰减系数表征的 CT 图像重建。机械扫描系统实现 CT 扫描时工件的旋转或平移，以及载物台、工件、图像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像重建。计算机系统用于扫描过程控制、参数调整，完成图像重建、显示及处理等。

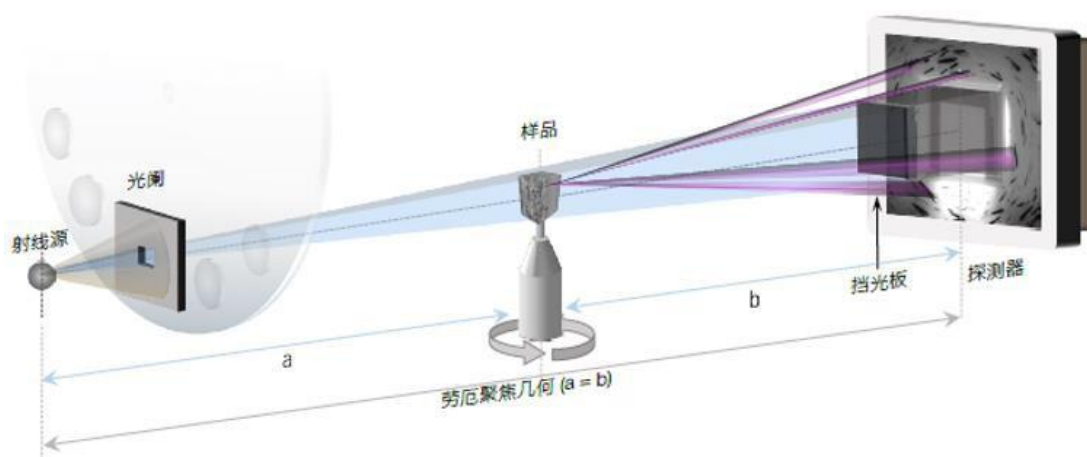


图 9-6 工业 CT 工作原理示意图

### 9.3 工艺流程和产污环节

本项目 2 台射线装置的操作流程和产污环节一致，如图 9-7 所示。先开机，开启控制系统，装载样品、调节设置参数，出束进行检测和分析，最后完成图形重建和样品分析。

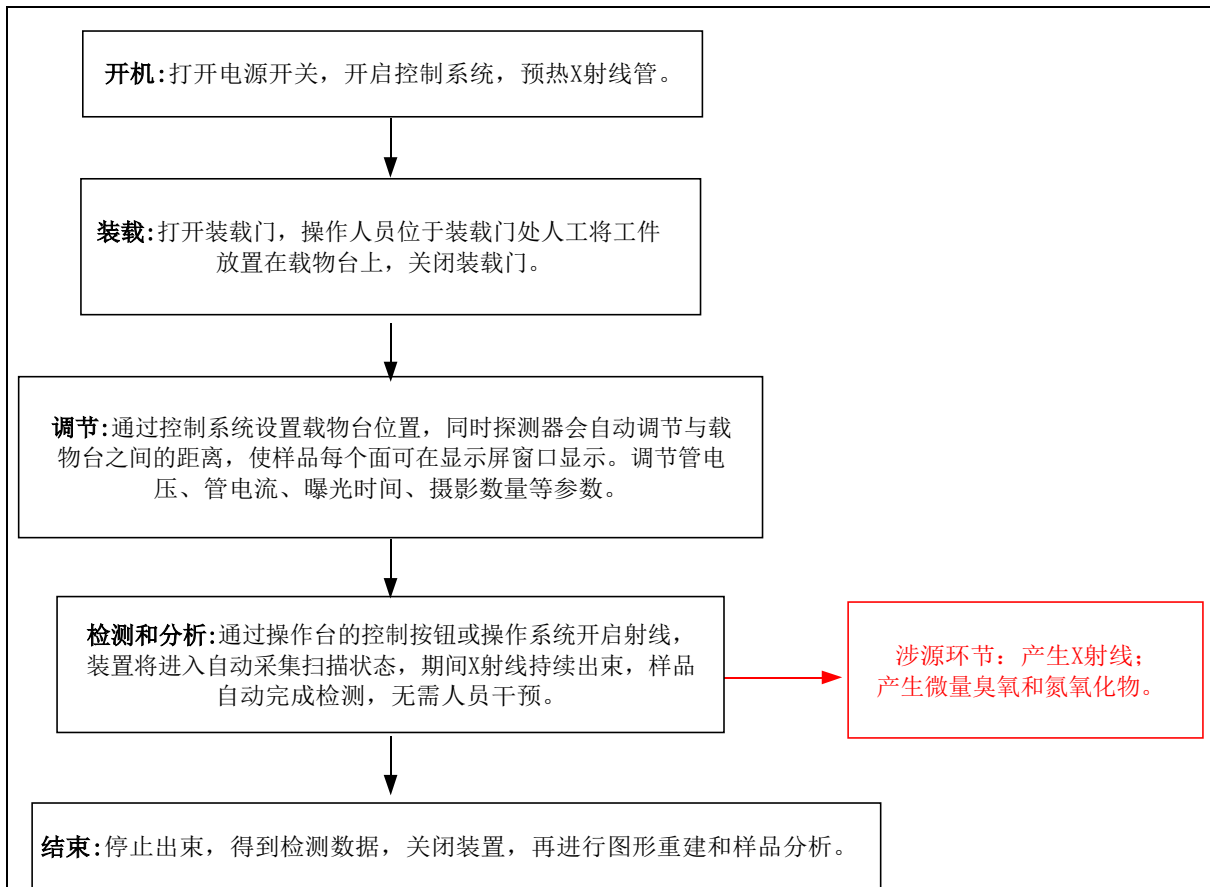


图 9-7 工艺流程和产污环节图

## 9.4 污染源项描述

### 9.4.1 辐射源

#### ① 正常工况

本项目的主要污染因子是 X 射线，随 X 射线管的开和关而产生和消失。在正常工况下，检测过程中产生的射线可以得到屏蔽体的有效屏蔽。但由于 X 射线的直射、漏射及散射，可能导致屏蔽体外的工作人员和周围的公众产生辐射影响，影响途径为 X 射线外照射。辐射场中的 X 射线包括有用线束、泄漏线束和散射线束。

① 有用线束：直接由 X 射线管产生的电子通过打靶获得的 X 射线，X 射线用于照射样品。X 射线的能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越高，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。

② 泄漏线束：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

③ 散射线束：由有用线束及泄漏线束在各种散射体上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线装置的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

## ②事故工况

本项目事故工况可能产生辐射影响的情形如下：

a. 门机联锁装置发生故障，装载门、检修门未关的情况下射线出束，导致屏蔽体外的工作人员受到不必要的照射；

b. 有工作人员还在屏蔽体内的情况下，X 射线管意外出束，使停留在屏蔽体内的工作人员被误照射；

c. 装置维修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启 X 射线管，使维修维护人员被误照射。

## 9.4.2 其他污染源

1. X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，保持工作场所的良好通风可避免辐射工作场所空气中的有害气体含量增加。

2. 生活污水。本项目新增6名工作人员，废水主要为工作人员产生的生活废水，生活用水量参考《行业用水定额》(陕西省地方标准 DB61/T943-2020)中“行政办公及科研院所”用水定额通用值( $25\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{a}$ )，6名工作人员生活用水量为  $150\text{m}^3/\text{a}$ ；生活污水量按用水量的 80%计算，则运行期生活污水产生量为  $120\text{m}^3/\text{a}$ ，生活污水依托现有化粪池预处理后通过市政污水管网排入西安市第九污水处理厂进行处理。

3. 生活垃圾。本项目生活垃圾主要包括员工平时办公生活产生的废纸屑等办公生活垃圾。生活垃圾产生量按  $0.55\text{kg}/\text{人}\cdot\text{d}$  计，因此本项目生活垃圾产生量为  $3.3\text{kg}/\text{d}$

( $0.68\text{t}/\text{a}$ )。生活垃圾依托现有办公楼内垃圾桶进行分类收集后，统一纳入当地垃圾清运系统。

## 9.5 源强分析和参数

本项目工业 CT 最大管电压、最大管电流、滤过条件、有用线束角度、有用线

束距辐射源点 1m 处的剂量率等参数由设备厂家给出，泄漏射线距辐射源点 1m 处的剂量率参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）选取。本项目源强参数见表 9-3，参数说明文件见附件 10。

表 9-3 源强参数

技术参数	nanoVoxel 5000	nanoVoxel 3000
最大管电压	225kV/190kV	160kV
最大管电流	3mA/1mA	1mA
滤过条件	3mmAl	3mmAl
有用线束角度	40°	30°
有用线束距辐射源点 1m 处输出量	44.776mSv·m <sup>2</sup> / (mA·min) / 35.294mSv·m <sup>2</sup> / (mA·min)	24mSv·m <sup>2</sup> / (mA·min)
泄漏线束距辐射源点 1m 处剂量率	5×10 <sup>3</sup> μSv/h /2.5×10 <sup>3</sup> μSv/h	2.5×10 <sup>3</sup> μSv/h

注：1. nanoVoxel 5000 型工业 CT 在 150W 额定功率，管电压 225kV 时管电流为 0.67mA、3mmAl 过滤条件下，距辐射源点 1m 处输出量实测值为 44.776mSv·m<sup>2</sup> / (mA·min)。在 130W 额定功率，管电压 190kV 时管电流为 0.68mA、3mmAl 过滤条件下，距辐射源点 1m 处输出量实测值为 35.294mSv·m<sup>2</sup> / (mA·min)。

2. nanoVoxel 3000 型工业 CT 在 120W 额定功率，管电压 160kV 时管电流为 0.75mA、3mmAl 过滤条件下，距辐射源点 1m 处输出量实测值为 24mSv·m<sup>2</sup> / (mA·min)。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 辐射屏蔽设计

#### 10.1.1 主屏蔽设计

(1) nanoVoxel 5000 型工业 CT

nanoVoxel 5000 型工业 CT 自带屏蔽体，设备主视图和俯视图如图 10-1 和图 10-2 所示，设备屏蔽参数一览表见表 10-1。

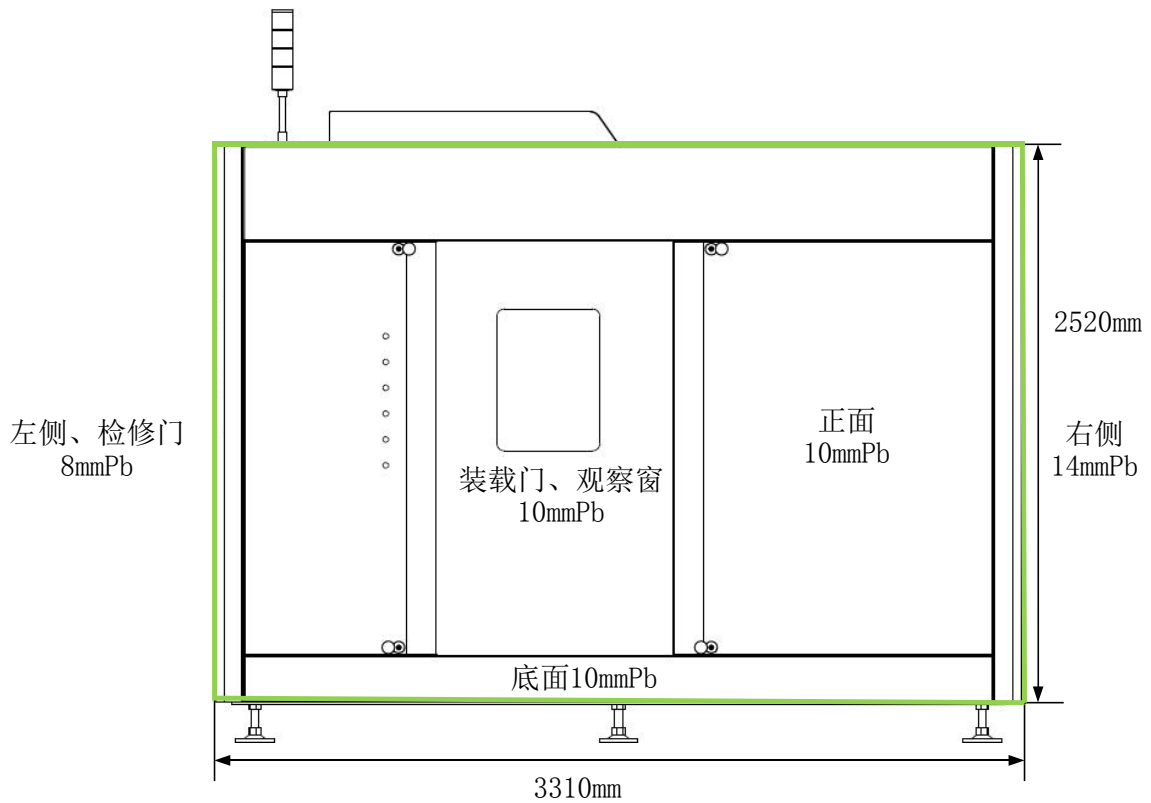


图 10-1 nanoVoxel 5000 型工业 CT 主视图

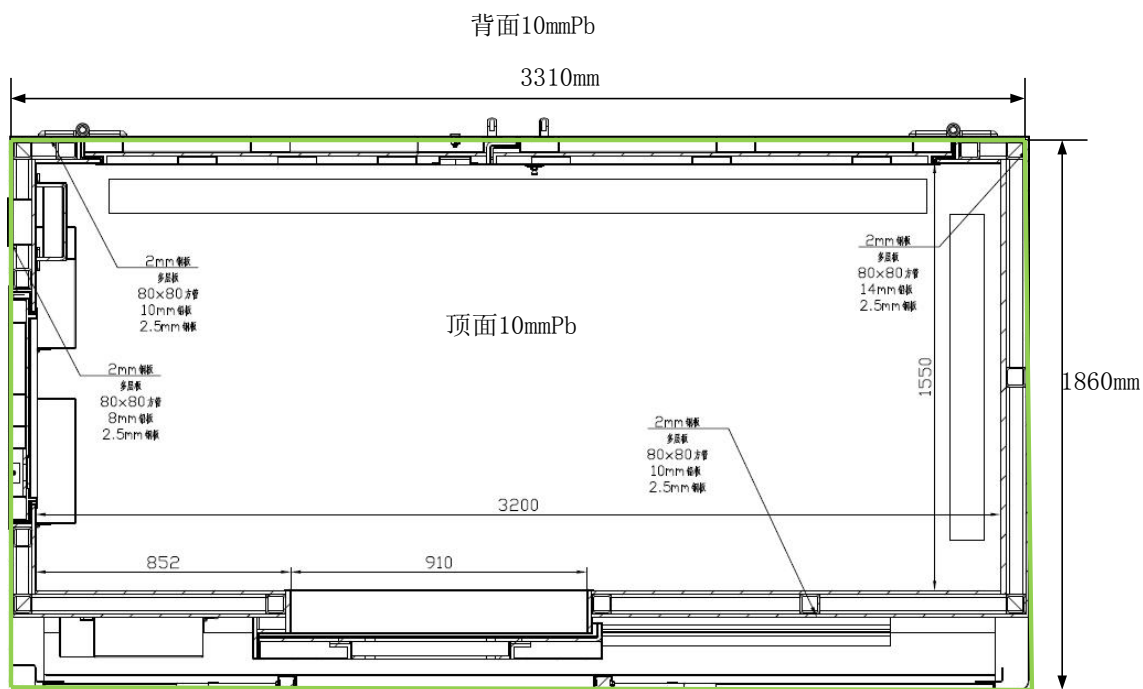


图 10-2 nanoVoxel 5000 型工业 CT 俯视图

表 10-1 nanoVoxel 5000 型工业 CT 设备屏蔽参数一览表

项目	设计情况	屏蔽铅当量
正面	2mm 钢板+10mm 铅板+2.5mm 钢板	10mmPb
顶面	2mm 钢板+10mm 铅板+2.5mm 钢板	10mmPb
底面	2mm 钢板+10mm 铅板+2mm 钢板	10mmPb
背面	2mm 钢板+10mm 铅板+2.5mm 钢板	10mmPb
左侧	2mm 钢板+8mm 铅板+2.5mm 钢板	8mmPb
右侧	2mm 钢板+14mm 铅板+2.5mm 钢板	14mmPb（主射面）
装载门	2mm 钢板+10mm 铅板+2.5mm 钢板	10mmPb
观察窗	50mm 铅玻璃	10mmPb
检修门（左侧）	2mm 钢板+8mm 铅板+2.5mm 钢板	8mmPb
检修门（背面）	2mm 钢板+10mm 铅板+2.5mm 钢板	10mmPb

注：屏蔽当量保守不考虑钢板的屏蔽效果。

## (2) nanoVoxel 3000 型工业 CT

nanoVoxel 3000 型工业 CT 自带屏蔽体，设备主视图和俯视图如图 10-3 和图 10-4 所示，设备屏蔽参数一览表见表 10-2。

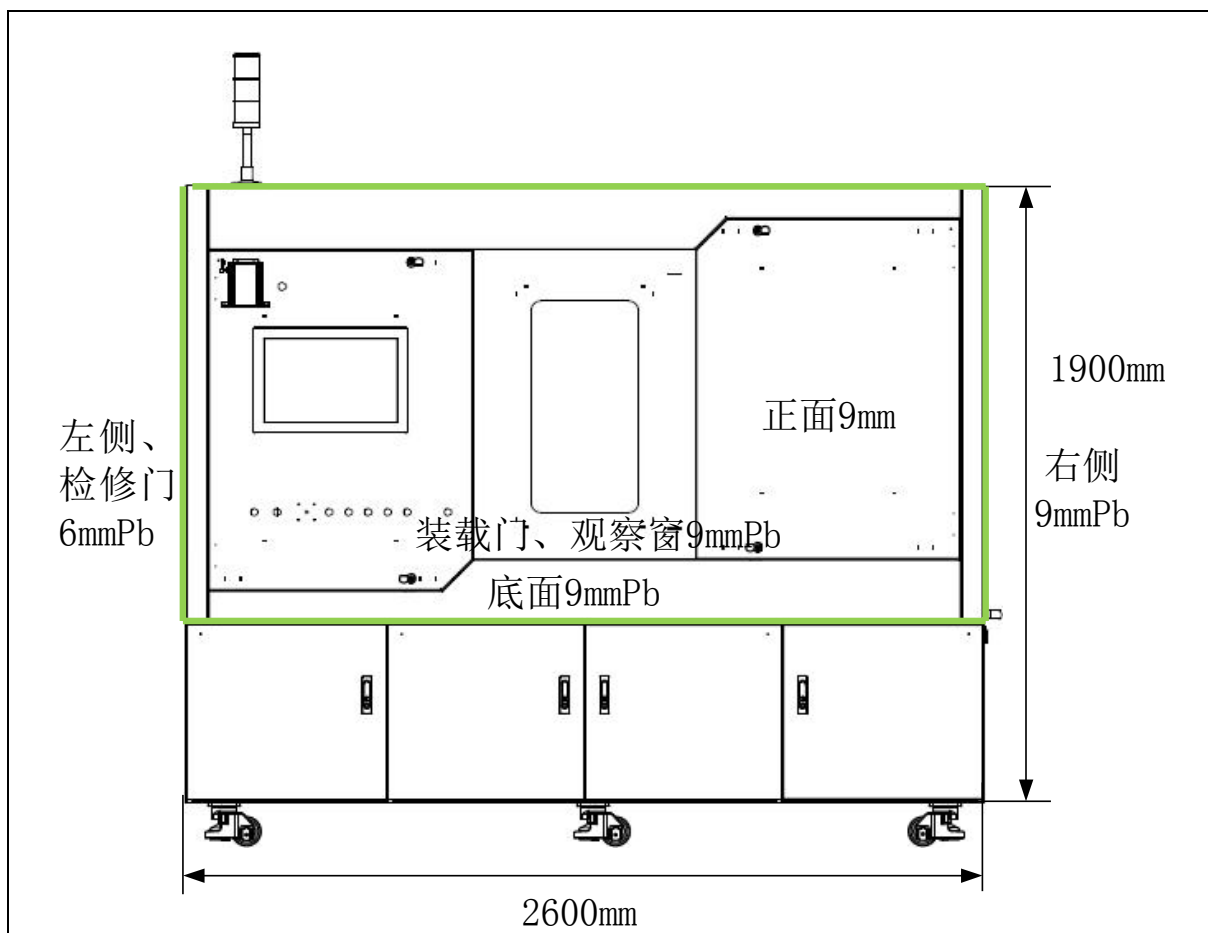


图 10-3 nanoVoxel 3000 型工业 CT 主视图  
背面、检修门9mmPb

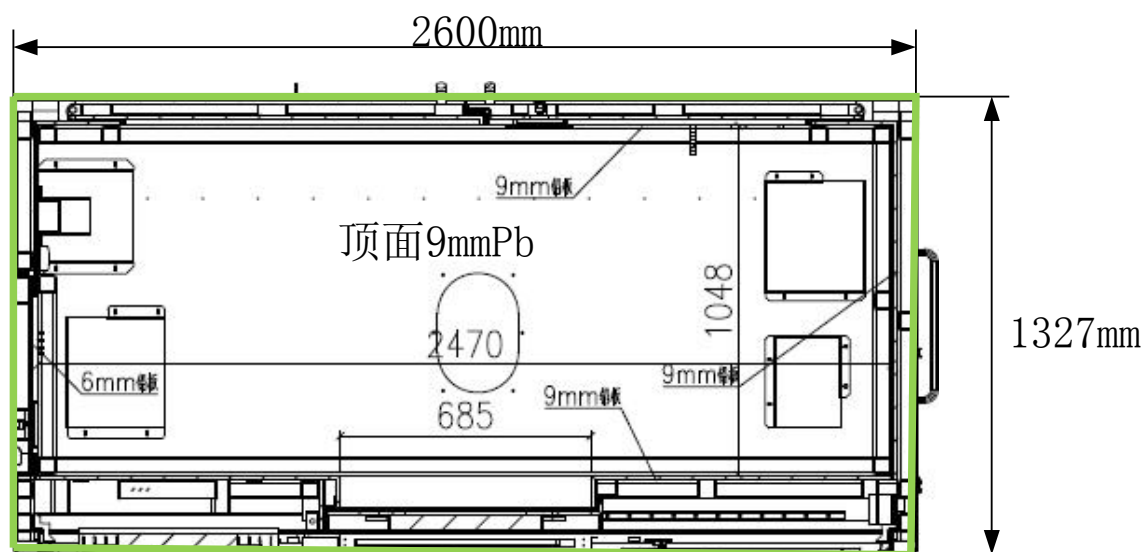


图 10-4 nanoVoxel 3000 型工业 CT 俯视图

表 10-2 nanoVoxel 3000 型工业 CT 设备屏蔽参数一览表

项目	设计情况	屏蔽铅当量
正面	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb
顶面	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb
底面	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb
背面	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb
左侧	2mm 钢板+6mm 铅板+2.5mm 钢板	6mmPb
右侧	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb (主射面)
装载门	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb
观察窗	45mm 铅玻璃	9mmPb
检修门 (左侧)	2mm 钢板+6mm 铅板+2.5mm 钢板	6mmPb
检修门 (背面)	2mm 钢板+9mm 铅板+2.5mm 钢板	9mmPb

注：屏蔽当量保守不考虑钢板的屏蔽效果。

### 10.1.2 管线口和门屏蔽补偿设计

#### (1) nanoVoxel 5000 型工业 CT

nanoVoxel 5000 型工业 CT 设备左侧底部电缆孔及左侧顶部排风孔处均配备铜铅结构防护罩，内部铅板厚 8mm，与相对应屏蔽体防护层厚度一致，X 射线经铅板防护罩衰减后，屏蔽体外电缆孔处和排风口处的辐射泄漏可满足控制要求。电缆孔、排风口屏蔽补偿示意图见图 10-5。

正面装载门和背面检修门采用 10mm 铅板进行防护，左侧检修门采用 8mm 铅板进行防护，装载门和左侧、背面检修门扣边处采用 L 型结构。装载门为电动平移门，背面检修门和左侧检修门为手动平开门。装载门门缝间隙 8mm，搭接 100mm，铅玻璃搭接 41mm。左侧检修门门缝间隙 2mm，搭接 56mm。背面检修门门缝间隙 4mm，搭接 56mm，中间门缝间隙 6mm，搭接 80mm，作为防射线泄漏措施。正面装载门搭接防护见图 10-6，左侧检修门搭接防护见图 10-7，背面检修门搭接防护见图 10-8。

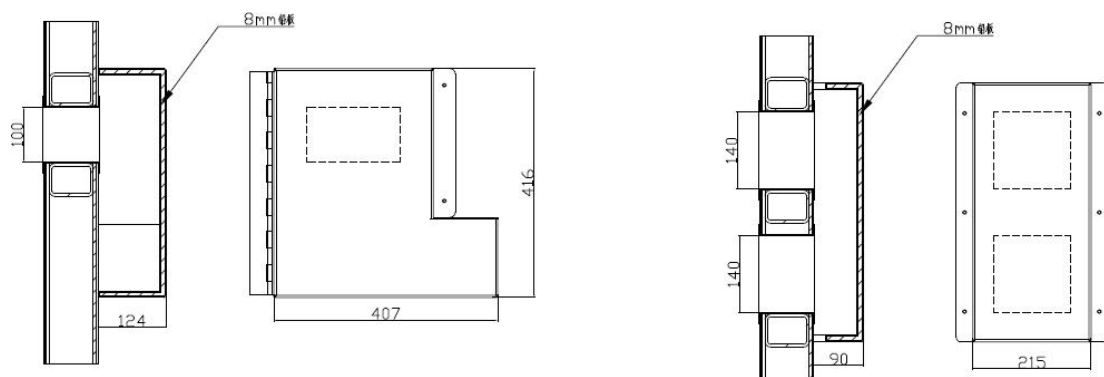


图 10-5 电缆孔（左）、排风口（右）屏蔽补偿示意图

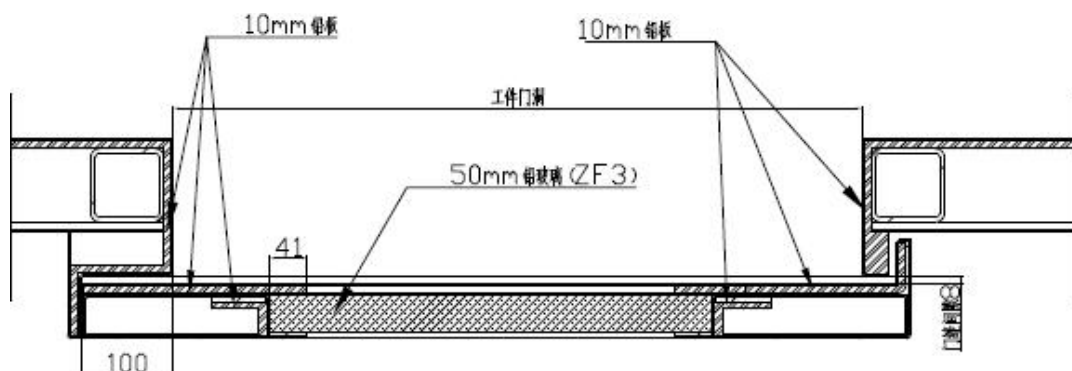


图 10-6 正面装载门搭接防护示意图

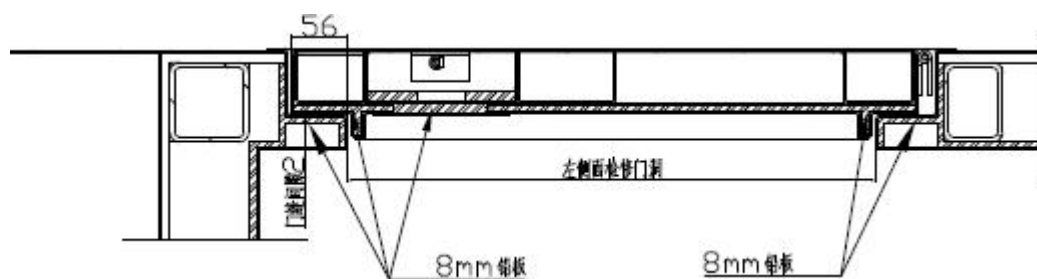


图 10-7 左侧检修门搭接防护示意图

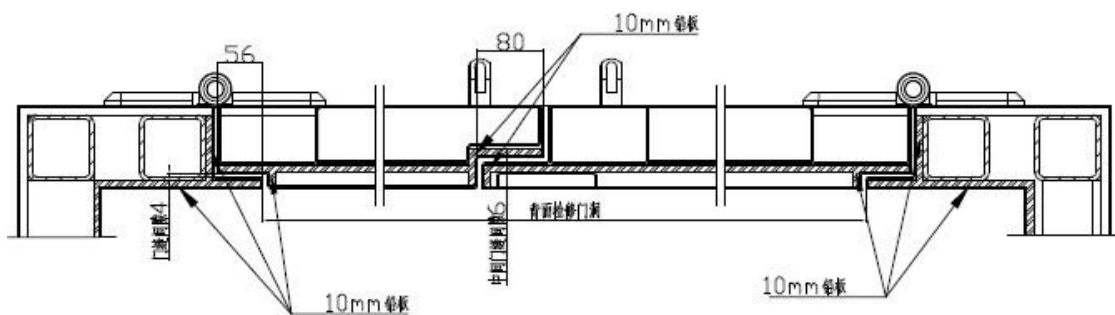


图 10-8 背面检修门搭接防护示意图

(2) nanoVoxel 3000 型工业 CT

nanoVoxel 3000 型工业CT 设备底面走线孔及左侧顶部排风孔处均配备铜铅结构防护罩，走线孔采用 9mm 铅板，排风孔采用 6mm 铅板，与对应屏蔽体防护层厚度一致，X 射线经铅板防护罩衰减后，屏蔽体外走线孔处和排风口处的辐射泄漏可满足控制要求。走线孔、排风孔屏蔽补偿示意图见图 10-9。

正面装载门和背面检修门均采用 9mm 铅板进行防护，左侧检修门采用 6mm 铅板进行防护，装载门和左侧、背面检修门扣边处采用 L 型结构。装载门为电动平移门，背面检修门和左侧检修门为手动平开门。装载门门缝间隙 4mm，左侧搭接 44mm，右侧搭接 32mm。左侧检修门门缝间隙 2mm，左侧搭接 50mm，右侧搭接 44mm。背面检修门门缝间隙 2mm，左、右侧搭接 126mm，中间搭接 52mm，作为防射线泄漏措施。正面装载门搭接防护见图 10-10，左侧检修门搭接防护见图 10-11，背面检修门搭接防护见图 10-12。

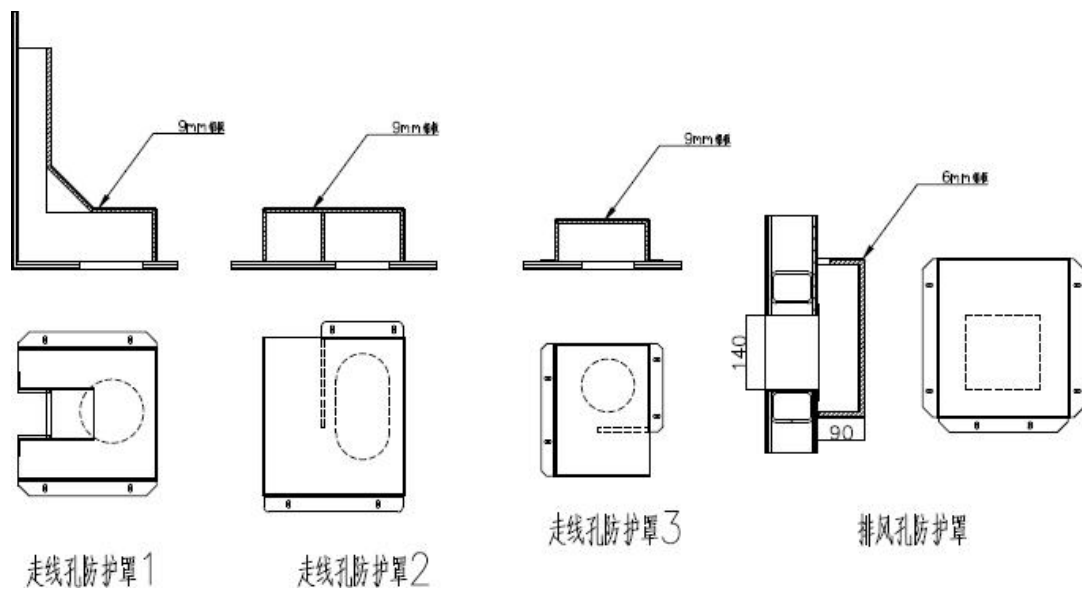


图 10-9 走线孔、排风孔屏蔽补偿示意图

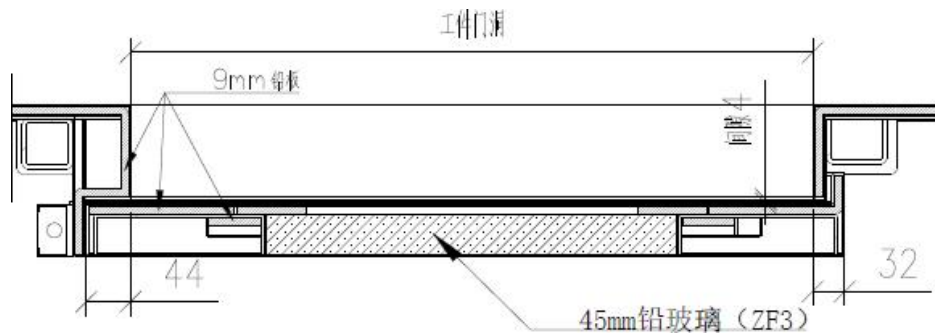


图10-10 正面装载门搭接防护示意图

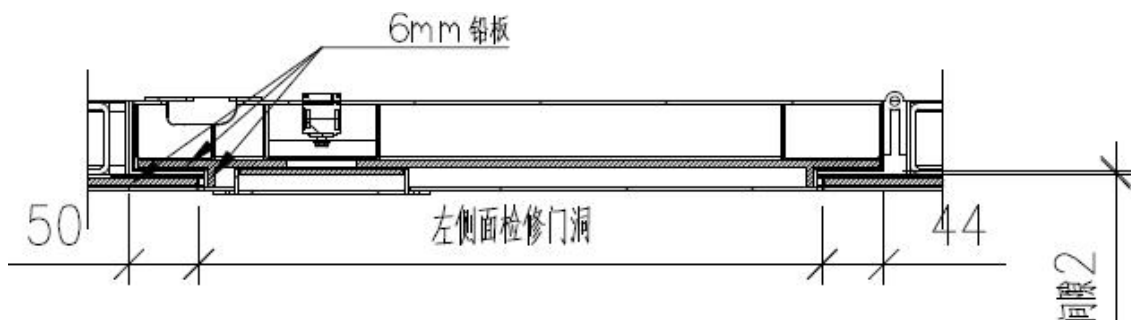


图 10-11 左侧检修门搭接防护示意图

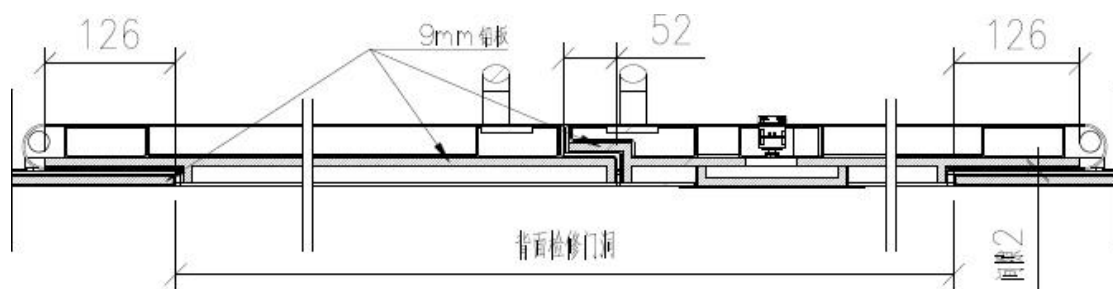


图 10-12 背面检修门搭接防护示意图

## 10.2 辐射安全与防护措施

### 10.2.1 设备固有安全性

(1) 开机后工业CT 首先进行系统自检。若系统自检正常，则工业CT 会提示操作者可以进行检测工作；若自检出故障，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。

(2) 当 X 射线管接通高压电源产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线管的各种参数，当发生异常情况时，自动切断 X 射线管的高压电源。在出束阶段出现任何故障，系统都将立即切断 X 射线管的高压电源，提醒操作人员发生了故障。当出束阶段正常结束后，系统将自动切断高压电源，进入待机阶段。

(3) 设备设有 1 个钥匙开关、1 个主电源开关。钥匙开关和主电源开关位于设备正面。钥匙开关控制 X 射线管的电源，主电源开关控制整个设备的电源，只有两个开关同时打开后设备才能启动，任何一道开关未打开，X 射线都将无法正常出束。射线装置的钥匙存放在指定地方由专人管理，只有授权人员才能使用钥匙，拿钥匙使用射线装置前还需要填写使用登记表。

(4) 设备须在钥匙开关闭合、主电源开关闭合、急停按钮复位、装载门和检

修门正常关闭、指示灯正常的情况下射线装置才能启动，才能正常出束，否则不能出束。X 射线出束期间，触发任何一道安全设施或者发生故障，X 射线立即切断出束。安全设施图见图10-12， nanoVoxel 5000 型工业CT 辐射防护设施分布图见图10-13， nanoVoxel 3000 型工业 CT 辐射防护设施分布图见图 10-14。



急停按钮



主电源开关



钥匙开关

图 10-12 安全设施图

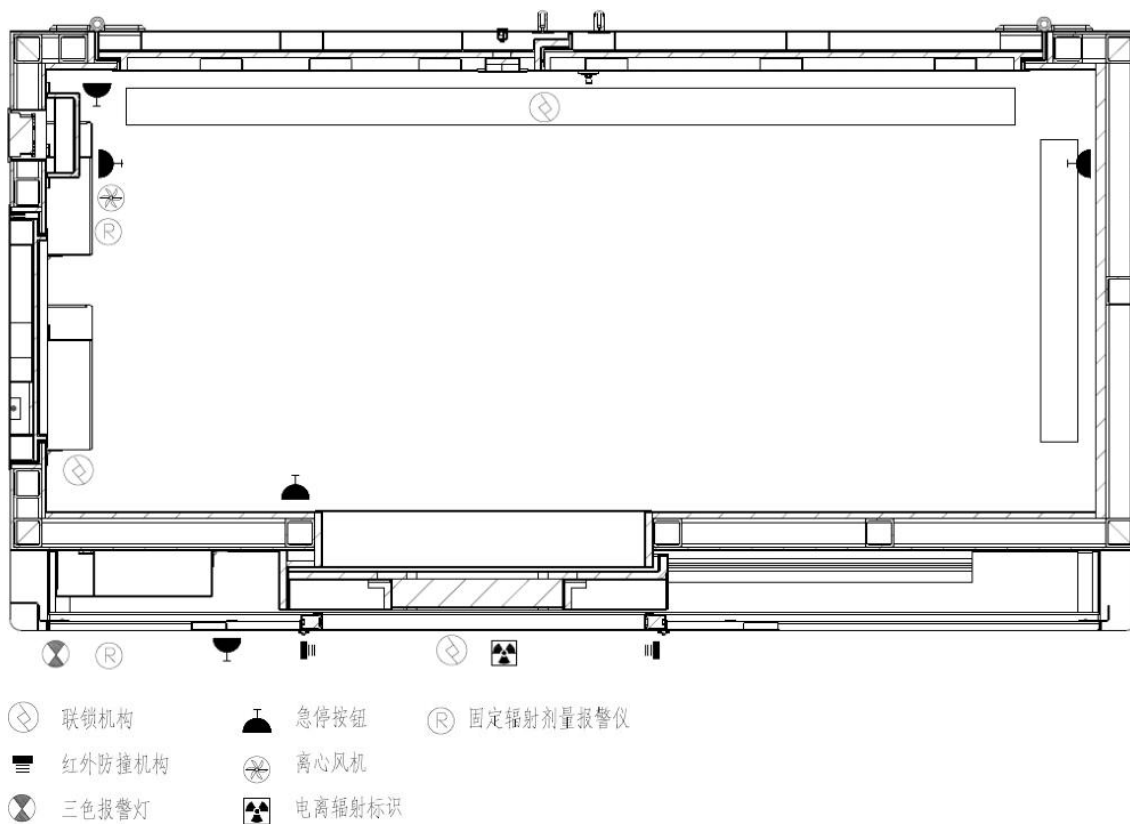


图 10-13 nanoVoxel 5000 型工业 CT 辐射防护设施分布图

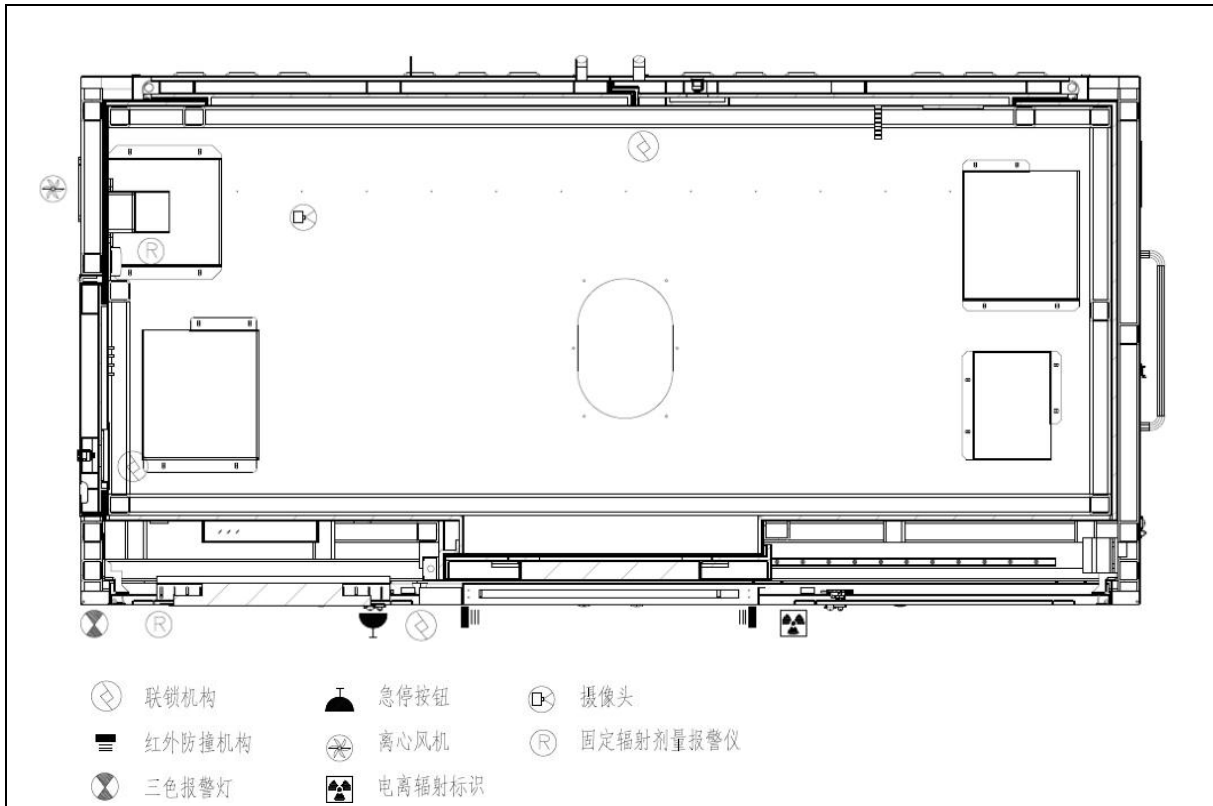


图 10-14 nanoVoxel 3000 型工业 CT 辐射防护设施分布图

### 10.2.2 门机联锁装置

本项目 2 台工业 CT 装载门和检修门各安装了 2 个限位开关作为门机联锁装置，只有在装载门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通。装载门或检修门未关闭到位时 X 射线管无法出束。设备运行过程中，任何一处可开启之处被外力开启时，会立即中断高压发生器的主供电，X 射线管则立即停止出束。门机联锁逻辑图见 10-15。

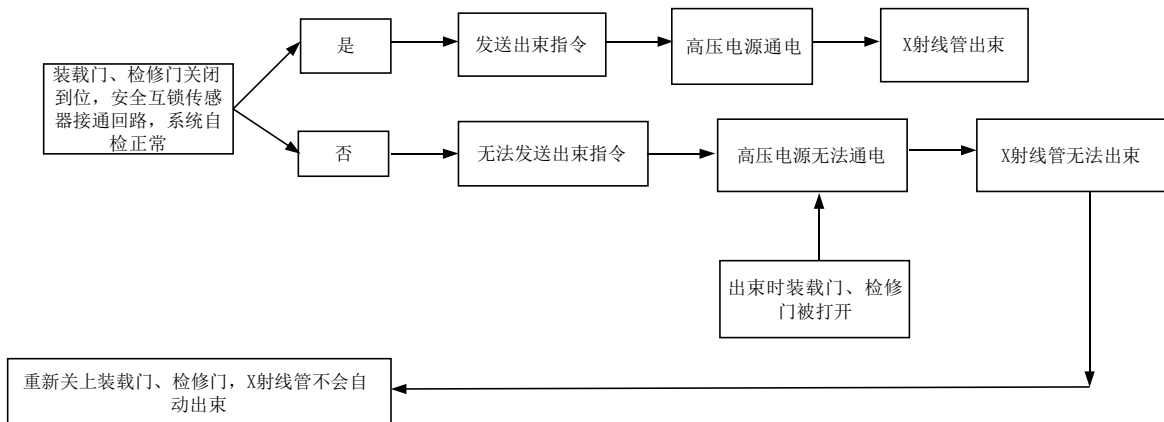


图 10-15 门机联锁逻辑图

### 10.2.3 警示设施和工作状态指示灯

建设单位拟在设备的正面张贴电离辐射警示标志；文物分析实验室和显微 CT 实验室门口将张贴“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”中文警示说明。

本项目 2 台工业 CT 正面均设有安全指示灯，分别为绿灯、黄灯、红灯且具有声音提示功能。各指示灯的指示情况如下：

- (1) 所有指示灯灭-电源未开启；
- (2) 绿色指示灯亮-系统电源已闭合；
- (3) 黄色指示灯亮-防辐射柜体门已关闭；
- (4) 红色指示灯亮- X 射线管出束射线。

建设单位将在文物分析实验室和显微 CT 实验室内醒目位置张贴射线装置信号指示意义的中文说明。

### 10.2.4 紧急停机

nanoVoxel 5000 型工业 CT 设有 6 个急停按钮，分别位于设备外部正面 1 个、设备内部四个面各 1 个、操作台 1 个。nanoVoxel 3000 型工业 CT 设有 2 个急停按钮，分别位于设备外部正面 1 个、操作台 1 个。操作人员不需要穿过主射线束就能够使用。发生紧急事故时，工作人员可按压急停按钮迅速切断 X 射线管的高压电源，立即停止出束。急停按钮将标明功能和使用方法。

### 10.2.5 视频监控

本项目 2 台工业 CT 均设有视频监控装置，在操作台设有专用的监视器，可监视工业 CT 屏蔽体内人员的活动和射线装置的运行情况。nanoVoxel 5000 型工业 CT 设有 3 个摄像头，位于设备顶部的中间、左侧和右侧。nanoVoxel 3000 型工业 CT 设有 1 个摄像头，位于设备顶部的左侧。

### 10.2.6 辐射监测设施

建设单位拟为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，并在工作期间佩戴好，个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，可满足辐射工作人员日常工作时的辐射监测和自我防护的要求。当个人剂量报警仪报警时，辐射工作人员应立即停止工作，同时阻止其他人进入辐射工作区域，并立即向辐射工作负责人报告。

建设单位拟为本项目的日常监测配备 2 台便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，定期使用便携式 X- $\gamma$  剂量率仪（每月 1 次）对工业 CT 周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。

此外，本项目 2 台工业 CT 各自带 1 台固定式辐射剂量报警仪，监测探头位于屏蔽体内，主机自带显示屏位于工业 CT 正面，用于实时监测 X 射线管是否处于出束状态，防止射线装置停止工作后仍继续出束。

### 10.3 辐射工作场所布局和分区

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

对于控制区：应采用实体边界划定控制区，在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合相关规定的警告标志；运用行政管理程序，如进入控制区的工作许可证制度和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。

对于监督区：采用适当的手段划出监督区的边界；在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

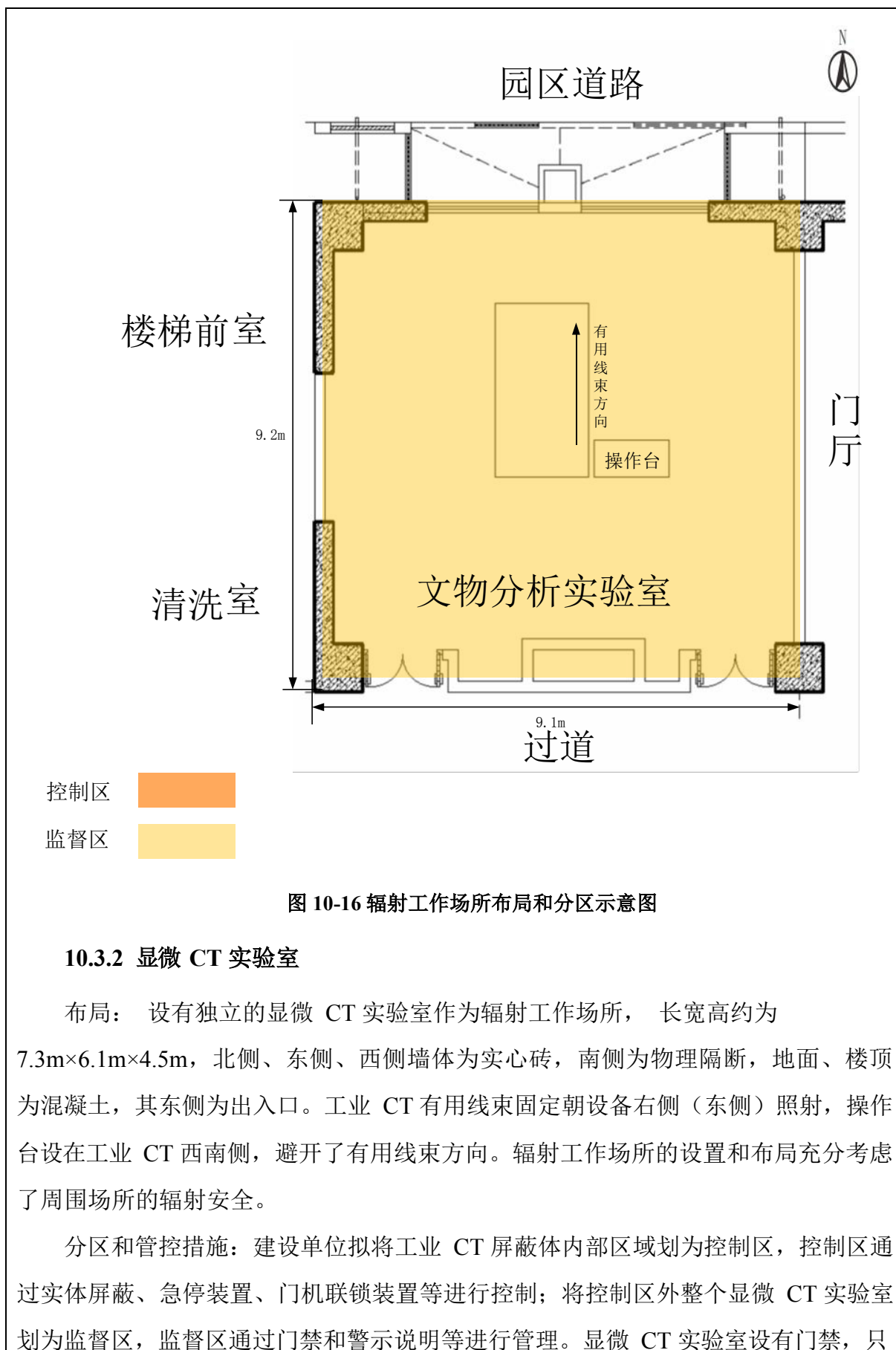
参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.2 的规定：应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

#### 10.3.1 文物分析实验室

布局：设有独立的文物分析实验室作为辐射工作场所，长宽高约为 9.2m×9.1m×4.5m，四周墙体为实心砖，地面、楼顶为混凝土，其南侧为出入口。工业 CT 有用线束固定朝设备右侧（北侧）照射，操作台设在工业 CT 东南侧，避开了有用线束方向。辐射工作场所的设置和布局充分考虑了周围场所的辐射安全。

分区和管控措施：建设单位拟将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，控制区通过实体屏蔽、急停装置、门机联锁装置等进行控制；将控制区外整个文物分析实验室划为监督区，监督区通过门禁和警示说明等进行管理。文物分析实验室设有门禁，只有授权的工作人员才能通过门禁进入，非授权人员无法进入。

辐射工作场所布局和分区示意图如图 10-16 所示。



有授权的工作人员才能通过门禁进入，非授权人员无法进入。

辐射工作场所布局和分区示意图如图 10-17 所示。

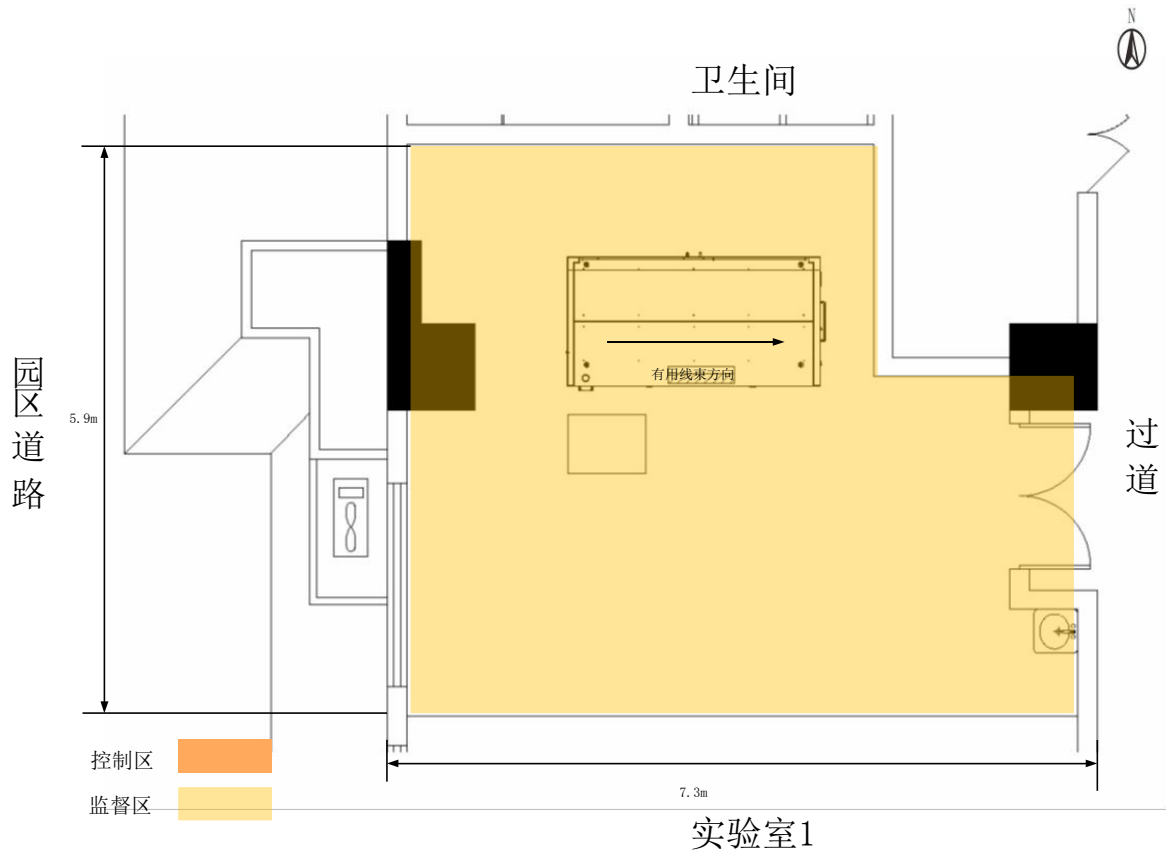


图 10-17 辐射工作场所布局和分区示意图

#### 10.4 辐射安全与防护对照分析

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对本项目的辐射工作场所布局和分区、辐射屏蔽、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求进行分析，对照分析表见表 10-3。

表 10-3 辐射安全与防护对照分析表

(GBZ117-2022) 要求	措施
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。	本项目 2 台工业 CT 自带钢铅结构的屏蔽体，分别放在独立的房间内使用，充分考虑了邻近场所的辐射安全。2 台工业 CT 有用线束方向固定朝设备右侧照射，操作台设在设备左侧，均避开了有用线束方向。
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。	建设单位拟将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区；将控制区外整个文物分析实验室、显微 CT 实验室划为监督区，满足 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 $\mu$ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 $\mu$ 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 $\mu$ Sv/h。	根据表 11 的理论计算，本项目工业 CT 屏蔽体和装载门的辐射屏蔽均同时满足人员在关注点的周剂量控制要求和关注点周围剂量当量率控制要求。
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 $\mu$ Sv/h。	本项目文物分析实验室上方为教室，显微 CT 实验室上方为创新实验室 1，按 6.1.4.a) 要求执行，即上方屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。根据表 11 的计算，工业 CT 顶部的辐射屏蔽均满足要求。
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。	本项目 2 台工业 CT 装载门和检修门各安装了 2 个限位开关作为门机联锁装置，只有在装载门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通。装载门或检修门未关闭到位时 X 射线管无法出束。设备运行过程中，任何一处可开启之处被外力开启时，会立即中断高压发生器的主供电，X 射线管则立即停止出束。
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，并与探伤机连锁。“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“预备”和“照射”信号意义的说明。	本项目 2 台工业 CT 正面均设有安全指示灯，分别为绿灯、黄灯、红灯且具有声音提示功能。各指示灯的指示情况如下： （1）所有指示灯灭-电源未开启；（2）绿色指示灯亮-系统电源已闭合；（3）黄色指示灯亮-防辐射柜体门已关闭；（4）红色指示灯亮-X 射线管出束射线。建设单位将在文物分析实验室和显微 CT 实验室内醒目位置张贴射线装置信号指示意义的中文说明。
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。	本项目 2 台工业 CT 均设有视频监控装置和观察窗，在操作台设有专用的监视器，可用于实时观察工业 CT 内的工作状态，可有效防止人员滞留工业 CT 内部的情况发生。
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识和中文警示说明。	建设单位拟在设备的正面张贴电离辐射警示标志；文物分析实验室、显微 CT 实验室门口将张贴“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”中文警示说明。

<p>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。</p>	<p>nanoVoxel 5000 型工业 CT 设有 6 个急停按钮，分别位于设备外部正面 1 个、设备内部四个面各 1 个、操作台 1 个。nanoVoxel 3000 型工业 CT 设有 2 个急停按钮，分别位于设备外部正面 1 个、操作台 1 个。操作人员不需要穿过主射线束就能够使用。发生紧急事故时，工作人员可按压急停按钮迅速切断 X 射线管的高压电源，立即停止出束。急停按钮将标明功能和使用方法。</p>
<p>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。</p>	<p>(1) 文物分析实验室。nanoVoxel 5000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业 CT 内部体积约为 13.5m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启，可确保工业 CT 内部每小时有效通风换气次数为 13 次。建设单位拟在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向北侧园区道路，避开了人员密集的区域。</p> <p>(2) 显微 CT 实验室。nanoVoxel 3000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业 CT 内部体积约为 3.1m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启，可确保工业 CT 内部每小时有效通风换气次数为 57 次。建设单位拟在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向西侧园区道路，避开了人员密集的区域。</p>
<p>6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。</p>	<p>2 台工业 CT 各自带 1 台固定式辐射剂量报警仪，同时建设单位拟为每名辐射工作人员配备个人剂量报警仪，在工作期间，辐射工作人员将个人剂量报警仪佩戴在身上并保持开机状态，当剂量率达到报警阈值时，个人剂量报警仪会立刻报警。</p>
<p>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。</p>	<p>工作人员作业前检查射线装置门-机联锁装置、信号指示灯等防护安全措施，发现异常立刻停止工作并查找原因，排查异常后才能继续工作。</p>
<p>6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并</p>	<p>建设单位拟为辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪。在工作期间，辐射工作人员将携带个人剂量计和个人剂量报警仪，当辐射剂量率达到报警阈值报警时，辐射工作人员应立即关闭射线装置电源、停止工作，同时阻止其他人进入辐射</p>

立即向辐射防护负责人报告。	工作场所，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。	建设单位拟配备 2 台便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪用于日常辐射监测，对射线装置周围剂量当量率进行巡测（每月 1 次），做好巡测记录。当测量值高于报警阈值时，需立刻停止工作并向辐射防护负责人报告并查找原因。计划每年一次委托有资质的第三方检测机构对装置外的环境辐射水平进行年度检测。
6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪前，应检查是否正常工作。如发现便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。	建设单位依据实际情况要求本项目工作人员工作前先检查个人剂量报警仪是否正常工作，如发现个人剂量报警仪不能正常工作时，则不能开始检测工作。
6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。	本项目的设备自带屏蔽体，X 射线管自带准直器，能把潜在的辐射降到最低。
6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。	辐射工作人员在启动设备出束前，将检查各项防护与安全装置是否正常运行。装载门、检修门安装了门机联锁装置，只有在装载门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通，X 射线管才会通电出束。
<p>小结：综上所述，建设单位拟采取的辐射工作场所布局和分区、辐射屏蔽、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求等满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。</p>	

## 10.5 日常检查与维护

### 10.5.1 日常安全检查

日常工作时应检查射线装置装载门门-机联锁装置以及出束信号指示灯等辐射安全与防护措施，若发现任意一项安全措施异常应立即停止辐射工作，排除异常后才能继续工作。每次工作开始前应进行检查的项目包括：

- (1) 射线装置外观是否完好；
- (2) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- (3) 装载门是否正常关闭；
- (4) 安全联锁是否正常工作；
- (5) 钥匙开关闭合、急停按钮复位是否正常；
- (6) 报警设备和警示灯是否正常运行；
- (7) 螺栓等连接件是否连接良好。

### 10.5.2 设备维修维护

(1) 射线装置的维修维护由建设单位辐射安全与环境保护管理机构进行监督和管理，做好设备维修维护记录。设备维修维护应由具备资质的设备厂家专业人员负责，按要求佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，并至少两人参与维修维护工作。

(2) 维修维护前应采取可靠的断电措施，切断需检修设备的电源，并经启动复查确认无电后，在电源开关处挂上“正在检修禁止合闸”安全标志，做好现场管控。

(3) 射线装置每年至少维护一次，设备维护包括射线装置的彻底检查和所有零部件的详细检查。

(4) 当发现设备有故障或损坏需要维修时，应保证所更换的零部件为合格产品。与 X 射线管相关的维修，需由 X 射线管生产厂家负责。若屏蔽体损坏，在更换屏蔽体后应委托第三方有资质的检测机构进行整体检测，检测合格后才能继续

使用。

(5) 维护后通电调试前，应确保安全联锁系统、急停按钮等已正常启动，确保屏蔽体已安装完整，严禁在辐射安全与防护设施未启动、辐射屏蔽体拆卸状态下开机进行调试。

(6) 建设单位应与维修维护单位签订维修维护合同，在合同中明确双方的安全责任。

## 10.6 三废的治理

本核技术利用项目不涉及放射性废气、废水、固废等产生排放。

### 10.6.1 废气

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，如果不做处理会使辐射工作场所空气中的有害气体含量增加，浓度较高的臭氧会对人体造成危害。参照国家标准《工业探伤放射防护标准》GBZ117-2022) 的规定：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。

#### (1) 文物分析实验室

nanoVoxel 5000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业 CT 内部体积约为 13.5m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启，可确保工业 CT 内部每小时有效通风换气次数为 13 次。建设单位拟在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向北侧园区道路，避开了人员密集的区域。排风管道走向示意图见图 10-18。

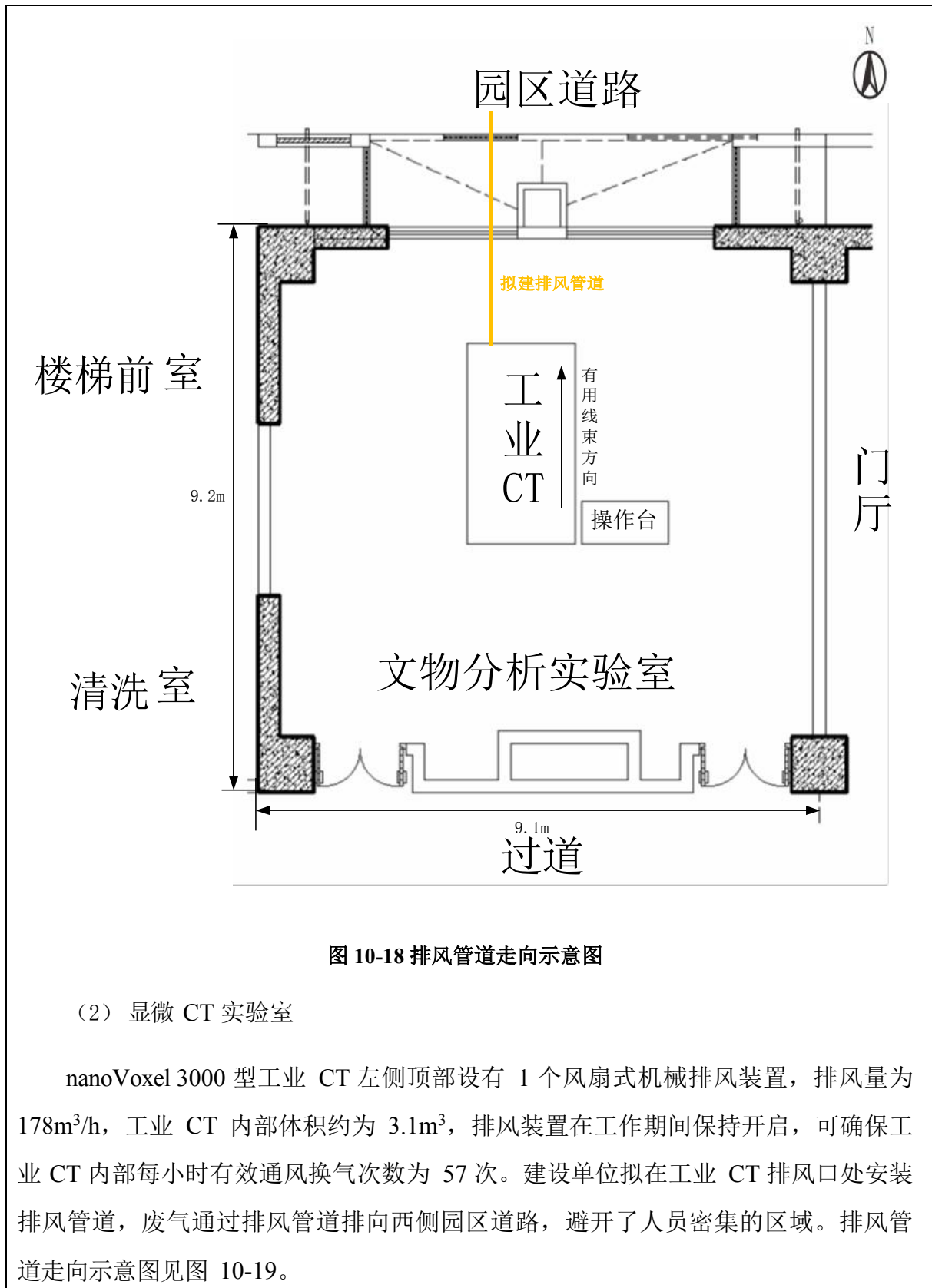


图 10-18 排风管道走向示意图

(2) 显微 CT 实验室

nanoVoxel 3000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为  $178\text{m}^3/\text{h}$ ，工业 CT 内部体积约为  $3.1\text{m}^3$ ，排风装置在工作期间保持开启，可确保工业 CT 内部每小时有效通风换气次数为 57 次。建设单位拟在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向西侧园区道路，避开了人员密集的区域。排风管道走向示意图见图 10-19。

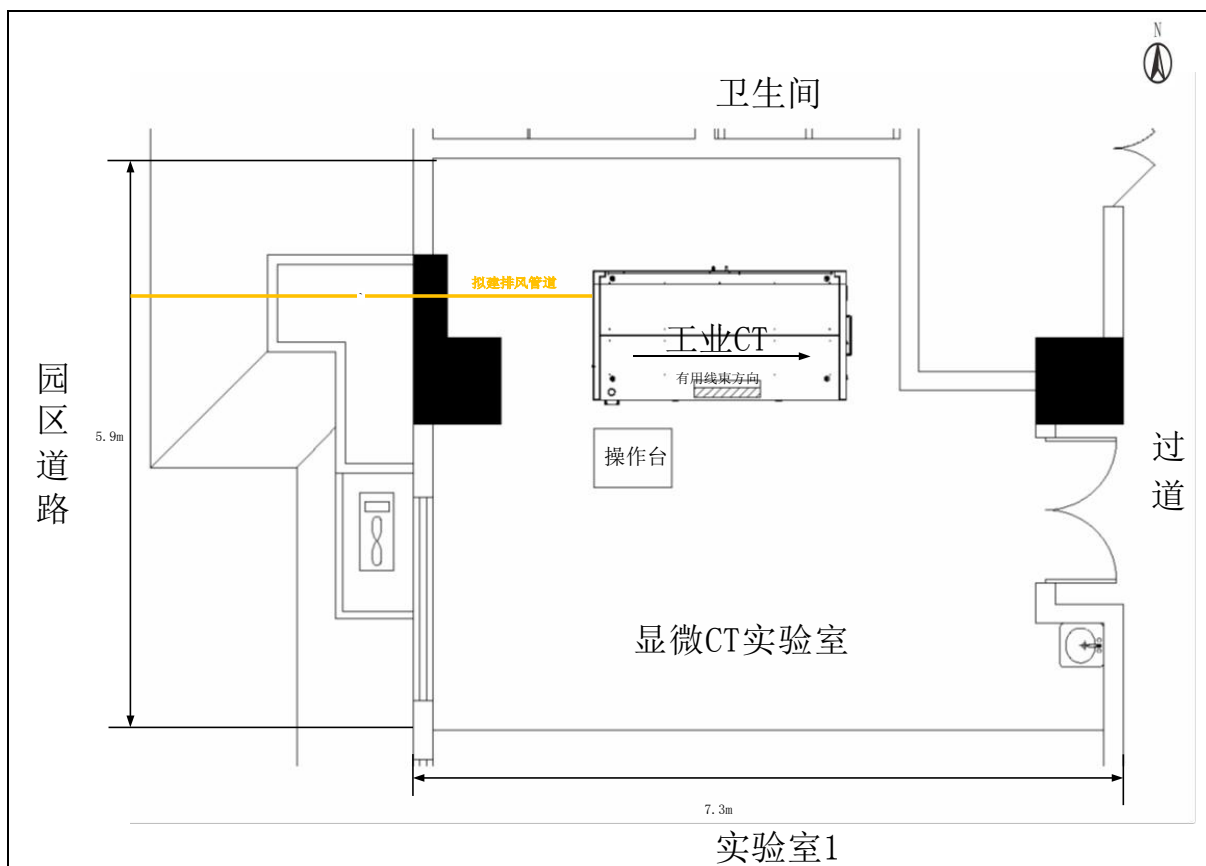


图 10-19 排风管道走向示意图

排放至室外环境的臭氧和氮氧化物，来自于工业 CT 内部空气电离产生，其产生量较少，且室外环境自然通风效果好，可有效降低其浓度，在常温常压下臭氧和氮氧化物的稳定性较差，可自行分解为无害物质。

以上措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“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。

### 10.6.2 废水

本项目无生产废水，生活污水经过化粪池预处理后通过市政污水管网排入西安市第九污水处理厂处理。

### 10.6.3 固体废物

本项目生活垃圾主要包括员工平时办公生活产生的废纸屑等办公生活垃圾。生活垃圾依托现有办公楼内垃圾桶进行分类收集后，统一纳入当地垃圾清运系统。

表 11 环境影响分析

### 建设阶段环境影响分析

本项目需对工作场所进行施工改造，会有一些的固废、噪声和扬尘等环境影响，本项目使用的设备由生产厂家搬送至辐射工作场所安装，建设阶段不会对周围环境产生电离辐射影响。

**声环境影响：**本项目施工建设阶段的噪声主要来自场所改造时的施工噪音，但项目的建设期短暂，对周围环境影响随着施工结束而消除，因此，在合理安排施工时间的情况下，对周围环境的影响微弱。

**空气环境影响：**施工期扬尘来自场所的改造，在施工过程中做好物料遮盖、洒水降尘等措施后，可有效减轻对环境空气的影响，并且影响因素随施工结束而消失。

**固废环境影响：**设备安装过程中将产生少量包装箱、防震泡沫、建筑材料等固体废物。对废纸箱等可回收利用的施工废物应予以回收利用，不可回收利用的收集后交由环卫部门清运处理。

### 运行阶段环境影响分析

#### 11.1 辐射剂量率计算

##### 11.1.1 关注点选取

###### (1) nanoVoxel 5000型工业CT

工业 CT 设有 2 个 X 射线管，有用线束固定朝设备右侧照射，有用线束照射角度为 40°，X 射线管可上下移动（行程 0.6m）。本报告选取屏蔽体外 0.3m 处、操作台和南侧过道为辐射水平关注点，为保守分析，未考虑屏蔽体和机器外壳厚度。保守选取 225kV X 射线管进行计算，225kV X 射线管分布示意图见图 11-1.1 及图 11-1.2，关注点分布示意图见图 11-2.1 及图 11-2.2。

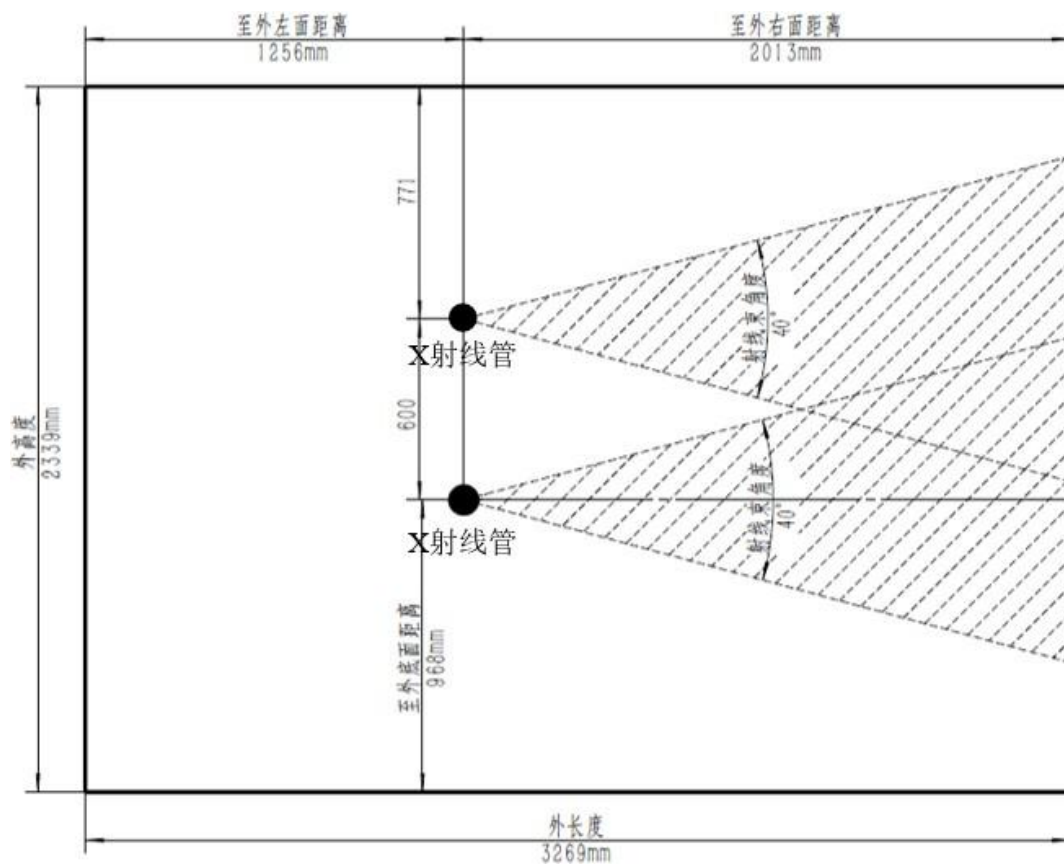


图 11-1.1 X 射线管分布示意图（主视图）

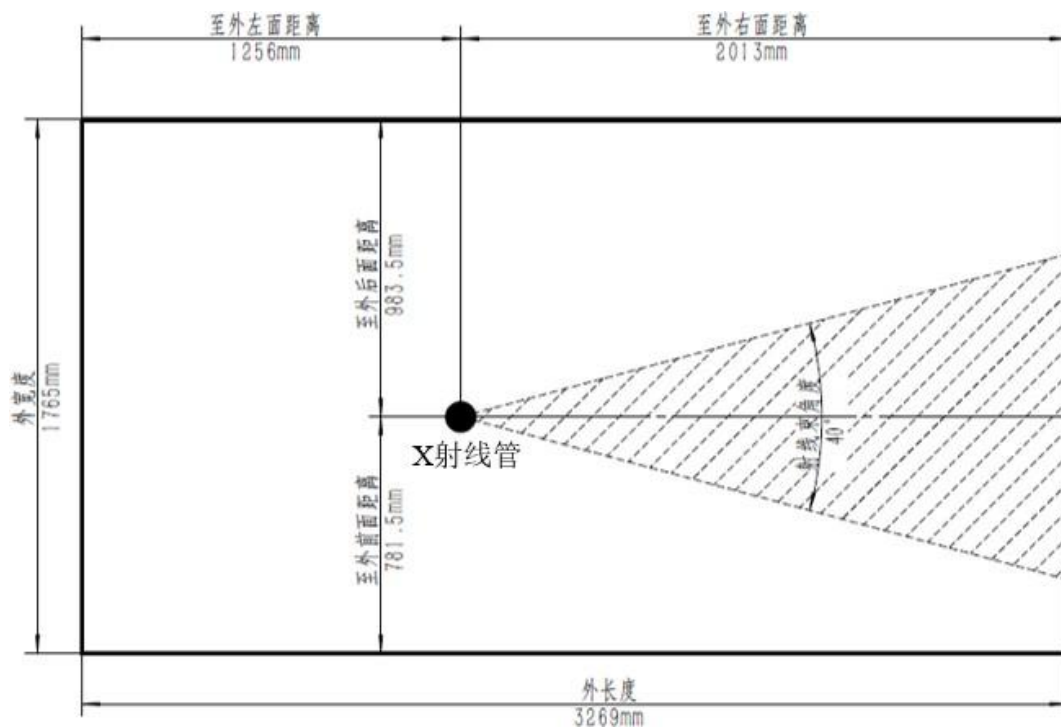
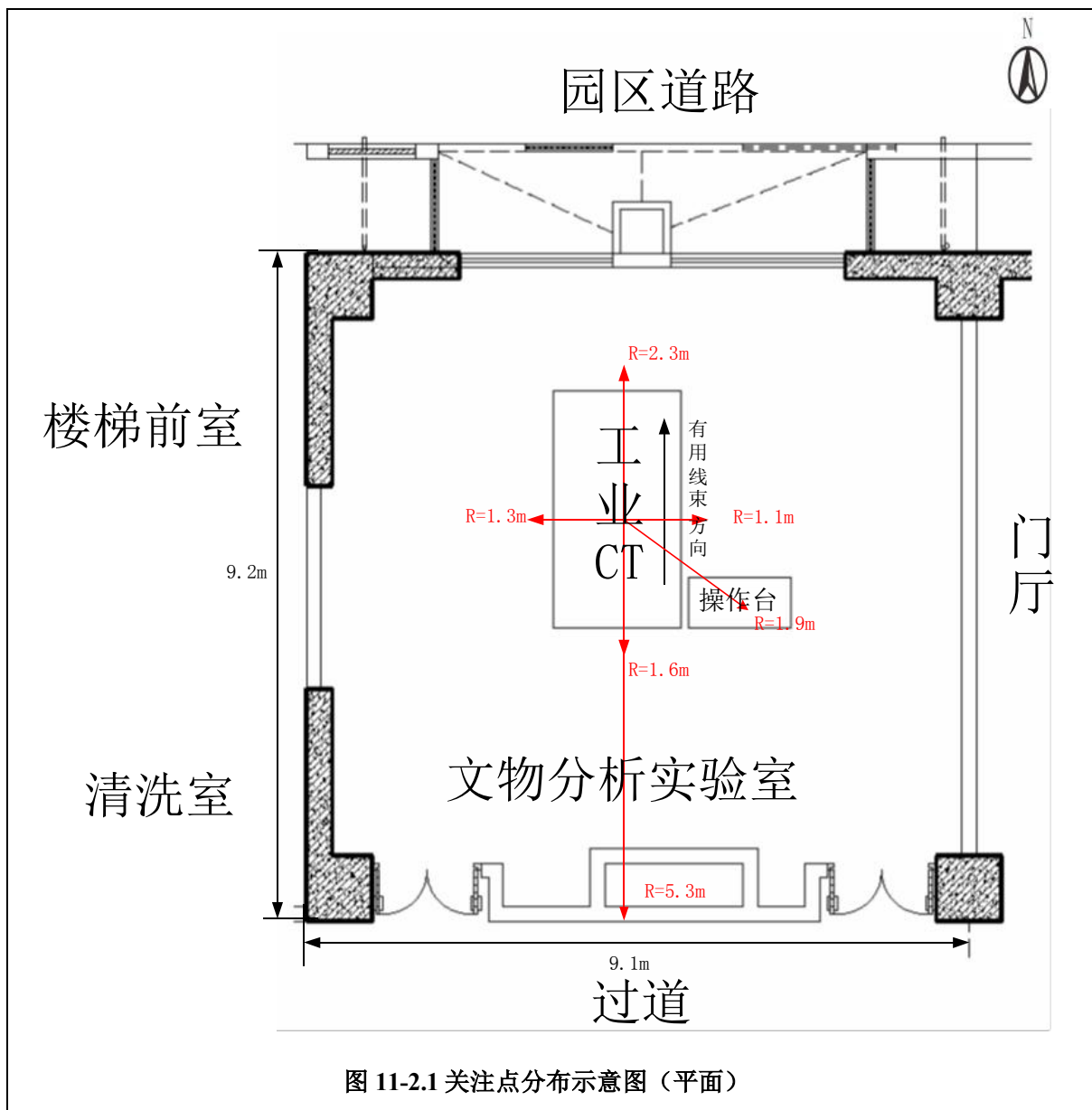
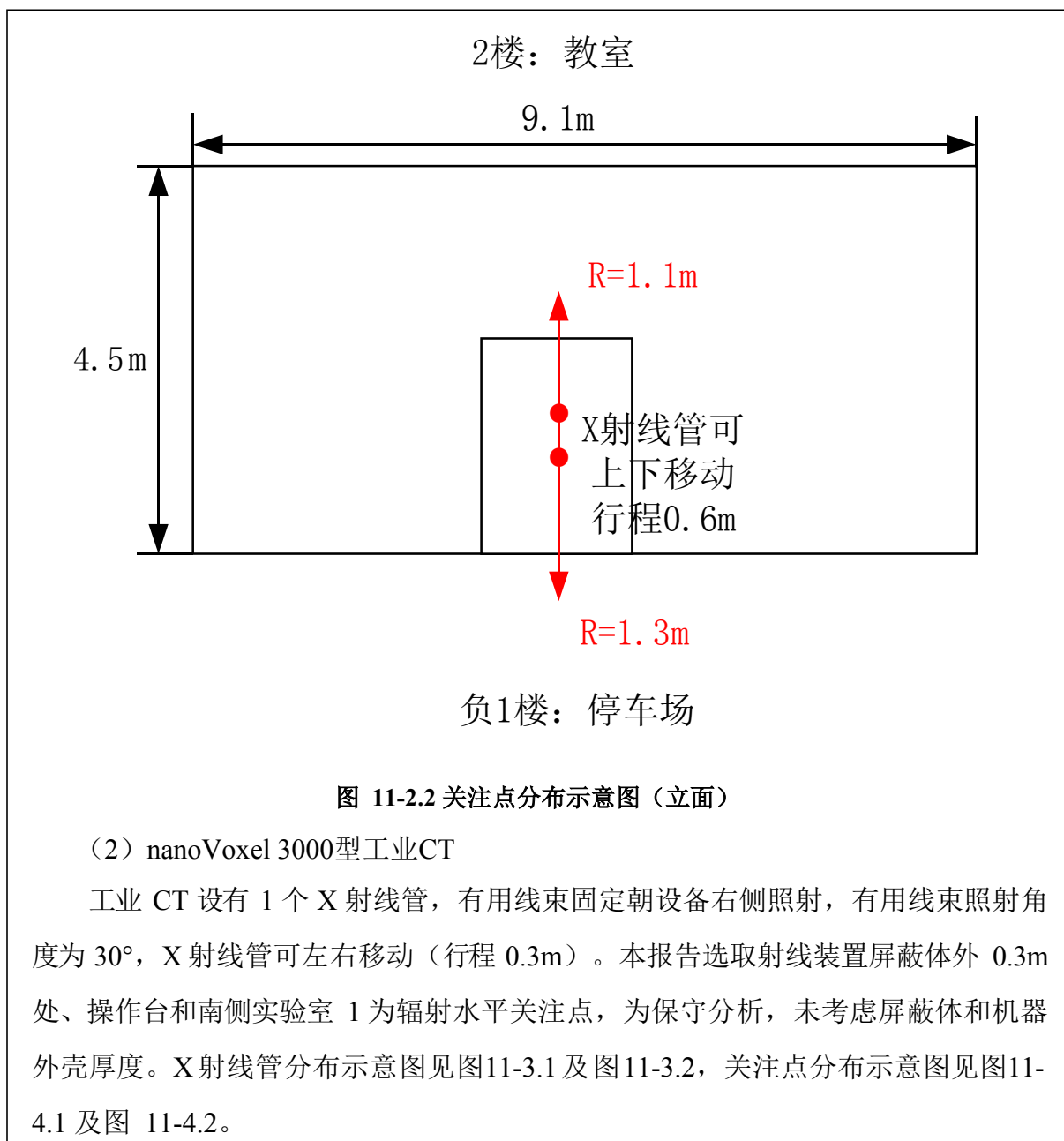


图 11-1.2 X 射线管分布示意图（俯视图）





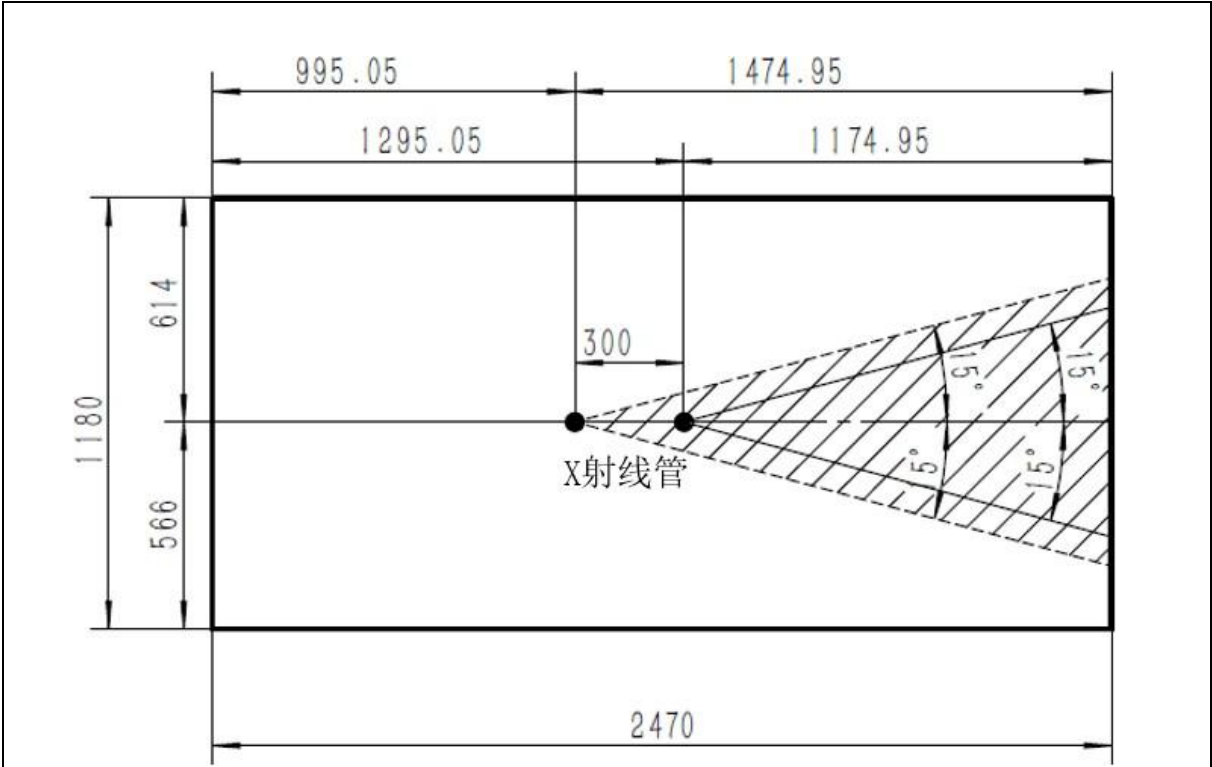


图 11-3.1 X 射线管分布示意图（主视图，图中标注尺寸单位为 mm）

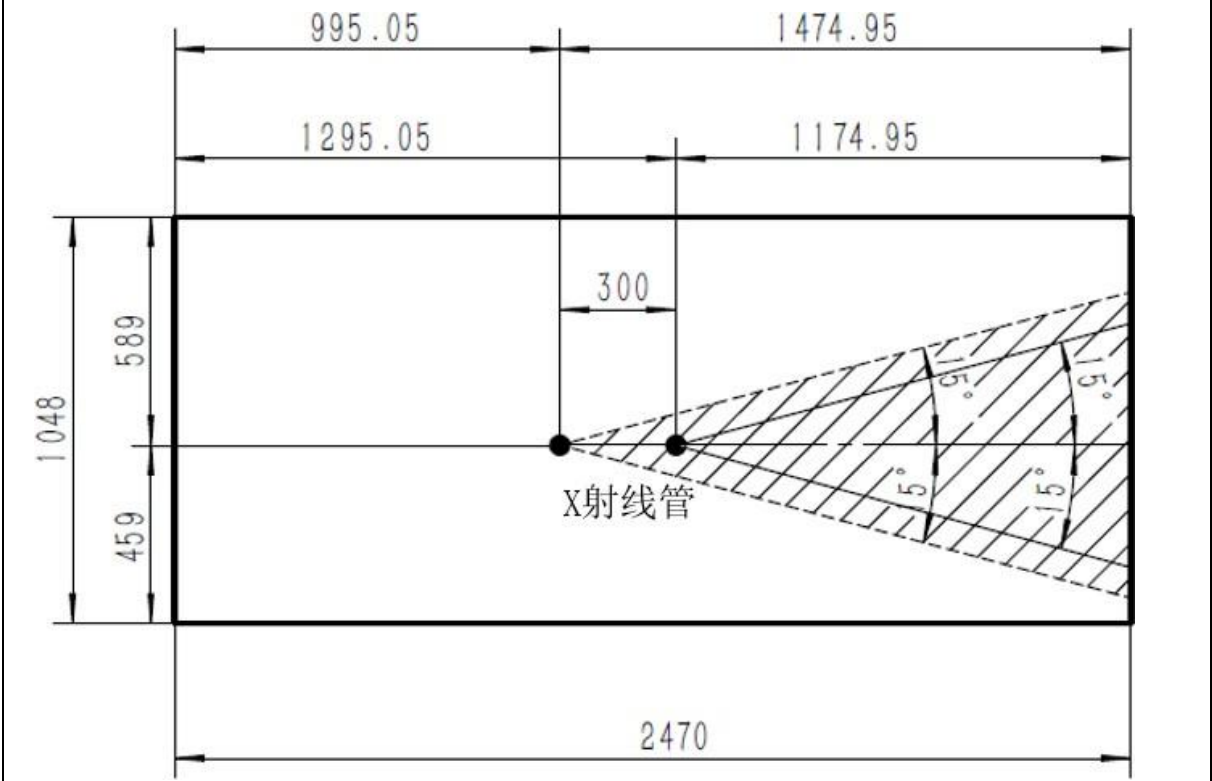


图 11-3.2 X 射线管分布示意图（俯视图，图中标注尺寸单位为 mm）

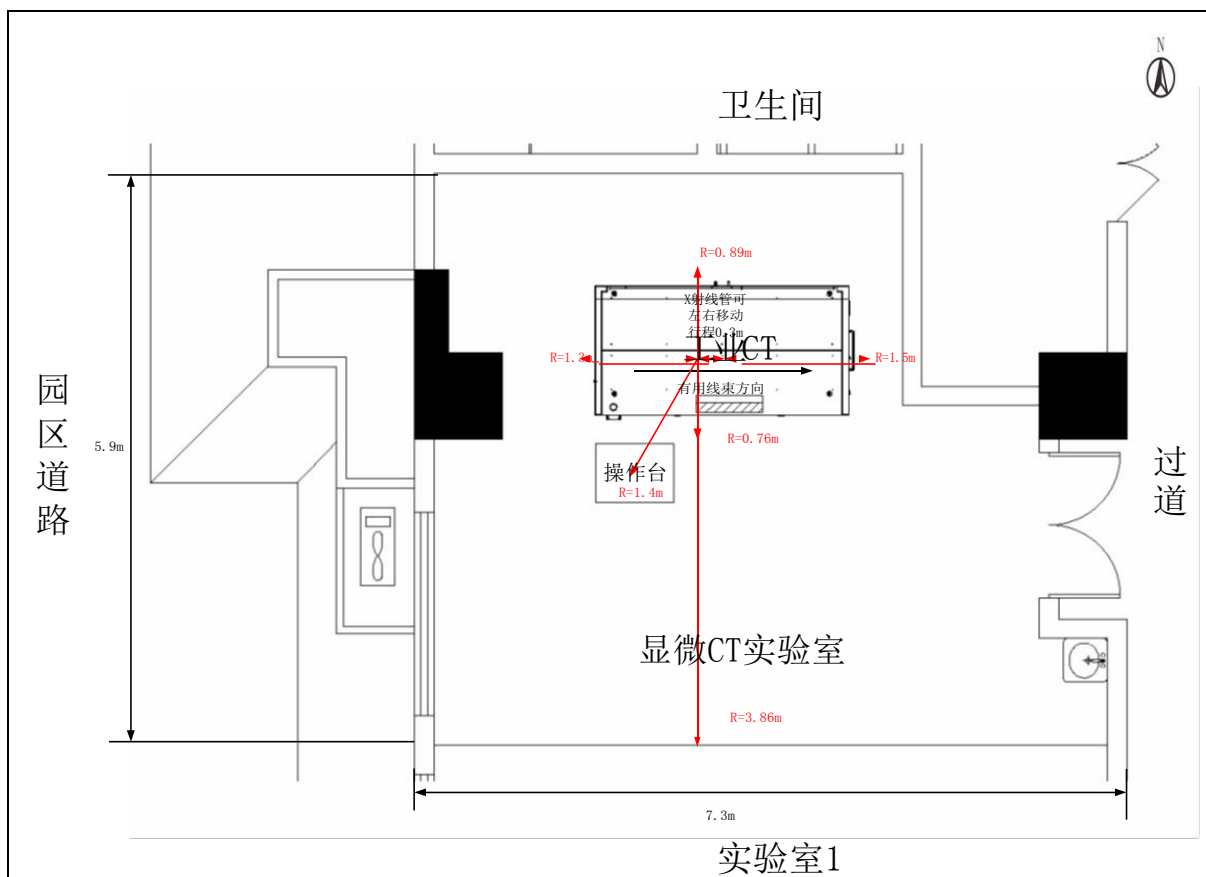


图 11-4.1 关注点分布示意图（平面）

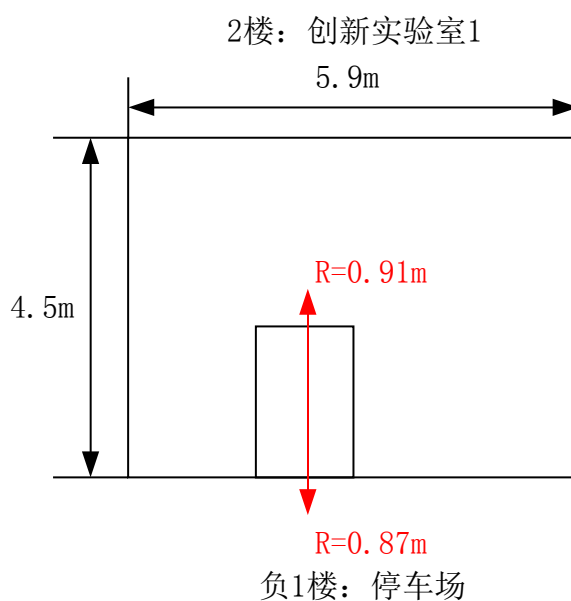


图 11-4.2 关注点分布示意图（立面）

### 11.1.2 计算公式

为分析射线装置运行时对周围环境的影响，参照《辐射防护导论》（方杰主

编)、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)及其修改单的相关公式,估算 X 射线出束时,射线装置屏蔽体外的周围剂量当量率水平。有用线束在关注点的剂量率按公式(11-1)计算:

$$H_1 = \frac{H_0 \times I \times B}{R^2} \quad (11-1)$$

漏射线在关注点的剂量率按公式(11-2)计算:

$$H_2 = \frac{H_L \times B}{R^2} \quad (11-2)$$

90°散射线在关注点的剂量率按公式(11-3)计算:

$$H_3 = \frac{H_0 \times I \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad (11-3)$$

对于漏射线束和散射线束,给定屏蔽物质厚度 X 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按公式(11-4)计算:

$$B = 10^{-X/TVL} \quad (11-4)$$

对于有用线束,关注点达到剂量率参考控制水平时,屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式(11-5)计算:

$$B = \frac{H_c \times R^2}{H_0 \times I} \quad (11-5)$$

对于漏射线束,关注点达到剂量率参考控制水平时所需的屏蔽透射因子 B 按式(11-6)计算:

$$B = \frac{H_c \times R^2}{H_L} \quad (11-6)$$

对于散射线束,关注点达到剂量率参考控制水平时所需的屏蔽透射因子 B 按式(11-7)计算:

$$B = \frac{H_c \times R_s^2}{I \times H_0} \times \frac{R_0^2}{F \times a} \quad (11-7)$$

对于估算出的屏蔽透射因子 B,所需的屏蔽物质厚度 X 按公式(11-8)计算:

$$X = -TVL \times \lg B \quad (11-8)$$

式中:

$H_0$  距辐射源点 1m 处输出量,单位为  $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ;

$I$  射线装置在最高管电压下的常用最大管电流,单位为 mA;

$B$  屏蔽透射因子;

R	辐射源点至关注点的距离，单位为 m；
R <sub>s</sub>	散射体至关注点的距离，单位为 m；
X	屏蔽物质厚度，单位为 mm；
TVL	屏蔽物质的平衡什值层，单位为 mm；
H <sub>L</sub>	距辐射源点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 μSv/h；
F	R <sub>0</sub> 处的辐射野面积，单位为 m <sup>2</sup> ；
a	散射因子，入射辐射被单位面积（1m <sup>2</sup> ）散射体到其 1m 处的散射辐射剂量率的比，根据（GBZ/T250-2014）附录 B 表 B.3 保守取值。
R <sub>0</sub>	辐射源点至散射体的距离，单位为 m；
H <sub>c</sub>	剂量率参考控制水平，单位为 μSv/h。

对于有用线束，参照《辐射防护导论》（方杰主编，第 102 页）公式 3.52 和公式 3.53，给定屏蔽物质厚度 X 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按公式（11-9）计算：

$$B = 10^{-\frac{X + (TVL - TVL_1)}{TVL}} \quad (11-9)$$

式中 TVL<sub>1</sub> 和 TVL 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。参考《辐射防护导论》图 3.24，管电压 225kV、160kV 时，铅对宽束 X 射线的平衡什值层均大于第一什值层，因此式中 TVL-TVL<sub>1</sub>≥0，为保守估算，本项目 TVL-TVL<sub>1</sub> 取值为 0。

### 11.13 剂量率控制水平分析

文遗学院文物分析实验室拟使用 1 台 nanoVoxel 5000 型工业 CT，周出束时间约为 24 小时。化工学院显微 CT 实验室拟使用 1 台 nanoVoxel 3000 型工业 CT，周出束时间约为 10 小时。

参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中关于探伤室辐射屏蔽的估算方法，工业 CT 屏蔽体外周围剂量率和每周周剂量应满足：

对于职业工作人员，H<sub>c</sub> ≤ 100μSv/周，对于公众 H<sub>c</sub> ≤ 5μSv/周。相应的导出剂量率参考控制水平：

$$H_{c,d} = \frac{H_c}{t \times U \times T} \quad (11-10)$$

式中：

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

$U$  射线装置向关注点方向照射的使用因子；

$T$  人员在相应关注点驻留的居留因子；

$t$  射线装置周照射时间， $\text{h}/\text{周}$ ；

nanoVoxel 5000 型工业 CT 固定朝设备右侧（北侧）照射，各方向使用因子保守取 1，居留因子的选取参照国家标准（GBZ/T250-2014）附录 A。由以上计算所得的 $\dot{H}_{c,d}$ ，凡不大于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  的，以其值作为四周及顶部关注点的剂量率控制值，否则选取  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  作为该关注点的剂量率控制值。有关计算参数和剂量率参考控制值的选取结果见表 11-1。

表 11-1 关注点剂量率控制值

关注点	保护目标	$t$ (h)	$U$	$T$	$\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
东侧-文物分析实验室	辐射工作人员	24	1	1	4.2	2.5
南侧-文物分析实验室	辐射工作人员	24	1	1	4.2	2.5
西侧-文物分析实验室	辐射工作人员	24	1	1	4.2	2.5
北侧-文物分析实验室	辐射工作人员	24	1	1	4.2	2.5
顶部-文物分析实验室	辐射工作人员	24	1	1	4.2	2.5
南侧-过道	公众	24	1	1/8	1.7	1.7

nanoVoxel 3000 型工业 CT 固定朝设备右侧（东侧）照射，各方向使用因子保守取 1，居留因子的选取参照国家标准（GBZ/T250-2014）附录 A。由以上计算所得的 $\dot{H}_{c,d}$ ，凡不大于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  的，以其值作为四周及顶部关注点的剂量率控制值，否则选取  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  作为该关注点的剂量率控制值。有关计算参数和剂量率参考控制值的选取结果见表 11-2。

表 11-2 关注点剂量率控制值

关注点	保护目标	t(h)	U	T	$\dot{H}_{cd}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
东侧-显微 CT 实验室	辐射工作人员	10	1	1	10	2.5
南侧-显微 CT 实验室	辐射工作人员	10	1	1	10	2.5
西侧-显微 CT 实验室	辐射工作人员	10	1	1	10	2.5
北侧-显微 CT 实验室	辐射工作人员	10	1	1	10	2.5
顶部-显微 CT 实验室	辐射工作人员	10	1	1	10	2.5
南侧-实验室 1	公众	10	1	1/2	1.0	1.0

#### 11.1.4 nanoVoxel 5000 计算参数和结果

工业 CT 的最大管电压为 225kV，有用线束固定朝设备右侧照射，有用线束角度为 40°，因此对关注点①考虑有用线束的辐射影响，其余关注点主要考虑泄漏线束和散射线束的叠加辐射影响。计算有关参数的选取列于表11-3，屏蔽体厚度核算见表 11-4，透射因子有关参数的选取列于表 11-5，源项参数见表 9。

表 11-3 计算参数一览表

方位	关注点	R(m)	R <sub>s</sub> (m)	F(m <sup>2</sup> )	a	R <sub>0</sub> (m)
北侧	①	2.3	/	/	/	/
东侧	②	1.1	1.1	1.7E-02	0.0475	0.2
南侧	③	1.6	1.8	1.7E-02	0.0475	0.2
西侧	④	1.3	1.3	1.7E-02	0.0475	0.2
操作台	⑤	1.9	1.9	1.7E-02	0.0475	0.2
顶部	⑥	1.1	1.1	1.7E-02	0.0475	0.2
底部	⑦	1.3	1.3	1.7E-02	0.0475	0.2
南侧	⑧	5.3	5.5	1.7E-02	0.0475	0.2

注：R<sub>0</sub>为出束口至样品的最小距离；辐射野面积F根据R<sub>0</sub>和有用线束角计算得到。

表 11-4 屏蔽体厚度核算表

方位	关注点	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	辐射源点(靶点)至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	屏蔽体计算厚度 (mmPb)		屏蔽体设计厚度 (mmPb)	射线类型	是否达到屏蔽要求
北侧	① (右侧)	2.5	2.3	7.3E-06	11		14	有用线束	是
东侧	② (正面)	2.5	1.1	6.1E-04	6.9	7.5	10	泄漏 散射	是
				8.3E-05	5.7				
南侧	③ (左侧)	2.5	1.6	1.3E-03	6.2	6.8	8	泄漏 散射	是
				2.2E-04	5.1				
西侧	④ (背面)	2.5	1.3	8.5E-04	6.6	7.2	10	泄漏 散射	是
				1.2E-04	5.5				
操作台	⑤ (操作台)	2.5	1.9	1.8E-03	5.9	6.5	10	泄漏 散射	是
				2.5E-04	5.0				
顶部	⑥ (顶面)	2.5	1.1	6.1E-04	6.9	7.5	10	泄漏 散射	是
				8.3E-05	5.7				
底部	⑦ (底面)	2.5	1.3	8.5E-04	6.6	7.2	10	泄漏 散射	是
				1.2E-04	5.5				
南侧	⑧ (过道)	1.7	5.3	9.6E-03	4.3	4.9	8	泄漏 散射	是
				1.4E-03	4.0				

注: 1.按照 GBZ/T250-2014, 有用线束和泄漏线束的 TVL 值根据内插法取值, 散射线束的 TVL 值取 200kV 对应值。  
2.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半值层厚度（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）。

表 11-5 透射因子计算参数一览表

方位	关注点	屏蔽厚度 (mmPb)	射线类型	TVL 值 (mm)	透射因子 B
北侧	①（右侧）	14	有用线束	2.15	3.1E-07
东侧	②（正面）	10	泄漏线束	2.15	2.2E-05
			散射线束	1.4	7.2E-08
南侧	③（左侧）	8	泄漏线束	2.15	1.9E-04
			散射线束	1.4	1.9E-06
西侧	④（背面）	10	泄漏线束	2.15	2.2E-05
			散射线束	1.4	7.2E-08
操作台	⑤（操作台）	10	泄漏线束	2.15	2.2E-05
			散射线束	1.4	7.2E-08
顶部	⑥（顶面）	10	泄漏线束	2.15	2.2E-05
			散射线束	1.4	7.2E-08
底部	⑦（底面）	10	泄漏线束	2.15	2.2E-05
			散射线束	1.4	7.2E-08
南侧	⑧（左侧）	8	泄漏线束	2.15	1.9E-04
			散射线束	1.4	1.9E-06

注：按照 GBZ/T250-2014，有用线束和泄漏线束的 TVL 值根据内插法取值，散射线束的 TVL 值取 200kV 对应值。

各屏蔽面外关注点及操作台的辐射剂量率估算结果列于表 11-6。

表 11-6 关注点辐射剂量率水平估算结果（单位：μSv/h）

方位	关注点	控制值	$\dot{H}_1$	$\dot{H}_2$	$\dot{H}_3$	$\dot{H}$
北侧	①	2.5	1.0E-01	/	/	1.0E-01
东侧	②	2.5	/	9.2E-02	2.2E-03	9.4E-02
南侧	③	2.5	/	3.7E-01	2.2E-02	<b>3.9E-01</b>
西侧	④	2.5	/	6.6E-02	1.5E-03	6.8E-02

操作台	⑤	2.5	/	3.1E-02	7.2E-04	3.2E-02
顶部	⑥	2.5	/	9.2E-02	2.2E-03	9.4E-02
底部	⑦	2.5	/	6.6E-02	1.5E-03	6.8E-02
南侧	⑧	1.7	/	3.4E-02	2.3E-03	3.6E-02

注：次屏蔽方向的剂量率 $\dot{H}$ 由 $\dot{H}_2$ 和 $\dot{H}_3$ 叠加得到。

从表 11-6 可以看到，工业 CT 屏蔽体外 0.3m 关注点、操作台和南侧过道处的辐射剂量率估算值最高约 0.39 $\mu$ Sv/h，不大于 2.5 $\mu$ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的剂量率控制要求。

### 11.1.5 nanoVoxel 5000 保护目标处受照剂量率

按照设计的屏蔽厚度计算nanoVoxel 5000各保护目标处受照剂量率，计算结果见表11-7。

表 11-7 nanoVoxel 5000 各保护目标处受照剂量率

方位	场所	保护目标	源点到保护目标的距离 (m)	射线类型	受照剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	
项目场所	文物分析实验室	辐射工作人员	1.6	漏射	3.7E-01	3.9E-01
				散射	2.2E-02	
北侧	园区道路	公众	5.4	主射	1.9E-02	
	绿化带	公众	16	主射	2.2E-03	
东侧	门厅	公众	4.8	漏射	4.8E-03	5.0E-03
				散射	1.1E-04	
	实验室	公众	22.8	漏射	2.1E-04	2.2E-04
				散射	5.0E-06	
	传达室	公众	29.8	漏射	1.3E-04	1.3E-04
				散射	2.9E-06	
	消防控制室	公众	29.8	漏射	1.3E-04	1.3E-04
				散射	2.9E-06	
	值班室	公众	32.8	漏射	1.0E-04	1.1E-04
				散射	2.4E-06	
	教授工作室 1	公众	34.8	漏射	9.2E-05	9.4E-05
				散射	2.2E-06	
	团辅助室	公众	36.8	漏射	8.2E-05	8.4E-05
				散射	1.9E-06	

	教授工作室 2	公众	37.8	漏射	7.8E-05	8.0E-05
				散射	1.8E-06	
	园区道路	公众	44.8	漏射	5.6E-05	5.7E-05
				散射	1.3E-06	
南侧	过道	公众	5.3	漏射	3.4E-02	3.6E-02
				散射	2.5E-03	
	实验室	公众	7.8	漏射	1.6E-02	1.7E-02
				散射	1.2E-03	
	园区道路	公众	20.3	漏射	2.3E-03	2.5E-03
				散射	1.7E-04	
西侧	清洗室	公众	4.3	漏射	6.0E-03	6.2E-03
				散射	1.4E-04	
	电梯前室	公众	4.3	漏射	6.0E-03	6.2E-03
				散射	1.4E-04	
	实验室	公众	13	漏射	6.6E-04	6.8E-04
				散射	1.5E-05	
	标本处理室	公众	36	漏射	8.6E-05	8.8E-05
				散射	2.0E-06	
	动物标本室	公众	37	漏射	8.2E-05	8.3E-05
				散射	1.9E-06	
2 楼	教室	公众	4.6	漏射	5.3E-03	5.4E-03
				散射	1.2E-04	
	连廊	公众	7.0	漏射	2.3E-03	2.3E-03
				散射	5.3E-05	
	实验室 2	公众	9.8	漏射	1.2E-03	1.2E-03
				散射	2.7E-05	
	实验室 1	公众	15.8	漏射	4.5E-04	4.6E-04
				散射	1.0E-05	
	活动室	公众	23.8	漏射	2.0E-04	2.0E-04
				散射	4.6E-06	
	院办	公众	27.1	漏射	1.5E-04	1.6E-04
				散射	3.6E-06	
	工作室 1	公众	36.8	漏射	8.2E-05	8.4E-05
				散射	1.9E-06	
工作室 2	公众	39.8	漏射	7.0E-05	7.2E-05	
			散射	1.7E-06		
负 1 楼	停车场	公众	6.3	漏射	2.8E-03	2.9E-03
				散射	6.6E-05	
3-14 楼	实验室及办公场所	公众	7.8	漏射	1.8E-03	1.9E-03
				散射	4.3E-05	
<b>11.1.6 nanoVoxel 3000 计算参数和结果</b>						

工业 CT 的最大管电压为 160kV，有用线束固定朝设备右侧照射，有用线束角度为 30°，因此对关注点①考虑有用线束的辐射影响，其余关注点主要考虑泄漏线束和散射线束的叠加辐射影响。计算有关参数的选取列于表11-8，屏蔽体厚度核算见表 11-9，透射因子有关参数的选取列于表 11-10，源项参数见表 9。

表 11-8 计算参数一览表

方位	关注点	R(m)	R <sub>s</sub> (m)	F(m <sup>2</sup> )	a	R <sub>0</sub> (m)
东侧	①	1.5	/	/	/	/
南侧	②	0.76	0.76	9.0E-03	0.0475	0.2
西侧	③	1.3	1.5	9.0E-03	0.0475	0.2
北侧	④	0.89	0.89	9.0E-03	0.0475	0.2
操作台	⑤	1.4	1.4	9.0E-03	0.0475	0.2
顶部	⑥	0.91	0.91	9.0E-03	0.0475	0.2
底部	⑦	0.87	0.87	9.0E-03	0.0475	0.2
南侧	⑧	3.86	3.86	9.0E-03	0.0475	0.2

注：R<sub>0</sub>为出束口至样品的最小距离；辐射野面积F根据R<sub>0</sub>和有用线束角计算得到。

表 11-9 屏蔽体厚度核算表

方位	关注点	剂量率参考控制水平 (μSv/h)	辐射源点 (靶点) 至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	屏蔽体计算厚度 (mmPb)		屏蔽体设计厚度 (mmPb)	射线类型	是否达到屏蔽要求
东侧	① (右侧)	2.5	1.5	5.2E-06	5.5		9	有用线束	是
南侧	② (正面)	2.5	0.76	5.8E-04	3.4	4.0	9	泄漏	是
				1.3E-04	3.7			散射	

西侧	③ (左侧)	2.5	1.3	1.7E-03	2.9	3.5	6	泄漏	是
				4.9E-04	3.2			散射	
北侧	④ (背面)	2.5	0.89	7.9E-04	3.3	3.9	9	泄漏	是
				1.7E-04	3.6			散射	
操作台	⑤ (操作台)	2.5	1.4	2.0E-03	2.8	3.5	9	泄漏	是
				4.2E-04	3.2			散射	
顶部	⑥ (顶面)	2.5	0.91	8.3E-04	3.2	3.9	9	泄漏	是
				1.8E-04	3.6			散射	
底部	⑦ (底面)	2.5	0.87	7.6E-04	3.3	3.9	9	泄漏	是
				1.6E-04	3.6			散射	
南侧	⑧ (实验室 1)	1.00	3.9	6.1E-03	2.3	3.1	9	泄漏	是
				1.3E-03	2.8			散射	

注：1.按照 GBZ/T250-2014，有用线束和泄漏线束的 TVL 值根据内插法取值，散射线束的 TVL 值取 150kV 对应值。

2.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)。

表 11-10 透射因子计算参数一览表

方位	关注点	屏蔽厚度 (mmPb)	射线类型	TVL 值 (mm)	透射因子 B
东侧	① (右侧)	9	有用线束	1.05	2.7E-09
南侧	② (正面)	9	泄漏线束	1.05	2.7E-09
			散射线束	0.96	4.2E-10

西侧	③（左侧）	6	泄漏线束	1.05	1.9E-06
			散射线束	0.96	5.6E-07
北侧	④（背面）	9	泄漏线束	1.05	2.7E-09
			散射线束	0.96	4.2E-10
操作台	⑤（操作台）	9	泄漏线束	1.05	2.7E-09
			散射线束	0.96	4.2E-10
顶部	⑥（顶面）	9	泄漏线束	1.05	2.7E-09
			散射线束	0.96	4.2E-10
底部	⑦（底面）	9	泄漏线束	1.05	2.7E-09
			散射线束	0.96	4.2E-10
南侧	⑧（实验室1）	9	泄漏线束	1.05	2.7E-09
			散射线束	0.96	4.2E-10

注：按照 GBZ/T250-2014，有用线束和泄漏线束的 TVL 值根据内插法取值，散射线束的 TVL 值取 150kV 对应值。

各屏蔽面外关注点及操作台的辐射剂量率估算结果列于表 11-11。

表 11-11 关注点辐射剂量率水平估算结果（单位：μSv/h）

方位	关注点	控制值	$\dot{H}_1$	$\dot{H}_2$	$\dot{H}_3$	$\dot{H}$
东侧	①	2.5	1.3E-03	/	/	1.3E-03
南侧	②	2.5	/	1.2E-05	8.4E-06	2.0E-05
西侧	③	2.5	/	2.9E-03	2.9E-03	<b>5.7E-03</b>
北侧	④	2.5	/	8.5E-06	6.1E-06	1.5E-05
操作台	⑤	2.5	/	3.4E-06	2.5E-06	5.9E-06
顶部	⑥	2.5	/	8.1E-06	5.9E-06	1.4E-05
底部	⑦	2.5	/	8.9E-06	6.4E-06	1.5E-05
南侧	⑧	1.0	/	4.5E-07	3.3E-07	7.8E-07

注：次屏蔽方向的剂量率 $\dot{H}$ 由 $\dot{H}_2$ 和 $\dot{H}_3$ 叠加得到。

从表 11-11 可以看到，工业 CT 屏蔽体外 0.3m 关注点、操作台和南侧实验室 1

处的辐射剂量率估算值最高约  $5.7E-03\mu\text{Sv/h}$ ，不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的剂量率控制要求。

### 11.1.7 nanoVoxel 3000 保护目标处受照剂量率

按照设计的屏蔽厚度计算nanoVoxel 3000各保护目标处受照剂量率，计算结果见表11-12。

表 11-12 nanoVoxel 3000 各保护目标处受照剂量率

方位	场所	保护目标	源点到保护目标的距离 (m)	射线类型	受照剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
项目场所	显微 CT 实验室	辐射工作人员	1.3	漏射	2.9E-03	5.7E-03
				散射	2.9E-03	
北侧	卫生间	公众	2.0	漏射	1.7E-06	2.9E-06
				散射	1.2E-06	
	园区道路	公众	7.0	漏射	1.4E-07	2.4E-07
				散射	9.9E-08	
	化材楼	公众	35.6	漏射	5.3E-09	9.1E-09
				散射	3.8E-09	
东侧	过道	公众	4.0	主射	1.8E-04	
	楼梯前室	公众	6.0	主射	8.0E-05	
	园区道路	公众	17.2	主射	9.8E-06	
	文遗学院	公众	43.2	主射	1.6E-06	
南侧	实验室 1	公众	3.9	漏射	4.4E-07	7.7E-07
				散射	3.2E-07	
	实验室 2	公众	6.5	漏射	1.6E-07	2.8E-07
				散射	1.2E-07	
	前室	公众	23.5	漏射	1.2E-08	2.1E-08
				散射	8.8E-09	
	门厅	公众	26.5	漏射	9.6E-09	1.7E-08
				散射	6.9E-09	
	办公室	公众	30.5	漏射	7.2E-09	1.2E-08
				散射	5.2E-09	
	消防控制室	公众	33.5	漏射	6.0E-09	1.0E-08
				散射	4.3E-09	
	本科实验室	公众	34.5	漏射	5.6E-09	9.7E-09
				散射	4.1E-09	
值班室	公众	35.5	漏射	5.3E-09	9.2E-09	
			散射	3.9E-09		
准备室	公众	40.5	漏射	4.1E-09	7.1E-09	

	园区道路	公众	43.5	散射	3.0E-09	6.1E-09	
				漏射	3.5E-09		
	散射	2.6E-09					
	漏射	3.5E-09					
地质大楼	公众	43.5	43.5	漏射	3.5E-09	6.1E-09	
				散射	2.6E-09		
西侧	园区道路	公众	5.6	漏射	1.5E-04	3.6E-04	
				散射	2.1E-04		
	广场	公众	21	21	漏射	1.1E-05	2.6E-05
					散射	1.5E-05	
2楼	创新实验室1	公众	4.8	漏射	2.9E-07	5.0E-07	
				散射	2.1E-07		
	卫生间	公众	5.3	5.3	漏射	2.4E-07	4.1E-07
					散射	1.7E-07	
	创新实验室2	公众	9.0	9.0	漏射	8.3E-08	1.4E-07
					散射	6.0E-08	
	前室	公众	24.6	24.6	漏射	1.1E-08	1.9E-08
					散射	8.0E-09	
	实训中心1	公众	27.6	27.6	漏射	8.8E-09	1.5E-08
					散射	6.4E-09	
	实训中心2	公众	35.6	35.6	漏射	5.3E-09	9.1E-09
					散射	3.8E-09	
	备用实验室	公众	36.6	36.6	漏射	5.0E-09	8.6E-09
					散射	3.6E-09	
负1楼	停车场	公众	5.9	漏射	1.9E-07	3.3E-07	
				散射	1.4E-07		
3-14楼	实验室及办公场所	公众	8.0	漏射	1.0E-07	1.8E-07	
				散射	7.6E-08		

## 11.2 人员受照剂量分析

根据表 11-7、表 11-12 的人员受照剂量率，按照公式（11-11）估算保护目标的有效受照剂量，估算结果见表 11-13、表 11-14。

$$H_w = H_R \times t \times T \quad (11-11)$$

式中：

$H_w$ ——保护目标的受照剂量，单位为  $\mu\text{Sv}/\text{周}$  和  $\text{mSv}/\text{a}$ ；

$H_R$ ——保护目标的受照剂量率，单位为  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$t$ ——出束时间，单位为  $\text{h}$ ；

$T$ ——保护目标的居留因子，选取参照（GBZ/T250-2014）附录 A 中表 A.1。

表 11-13 nanoVoxel 5000 保护目标受照剂量估算结果

方位	场所	保护目标	受照剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子	周出束时间 (h)	年出束时间(h)	周剂量当量 ( $\mu\text{Sv/周}$ )	年有效剂量(mSv/a)
项目场所	文物分析实验室	辐射工作人员	3.9E-01	1	24	960	<b>9.4</b>	<b>3.8E-01</b>
北侧	园区道路	公众	1.9E-02	1/16	24	960	2.9E-02	1.1E-03
	绿化带	公众	2.2E-03	1/32	24	960	1.7E-03	6.6E-05
东侧	门厅	公众	5.0E-03	1/8	24	960	1.5E-02	6.0E-04
	实验室	公众	2.2E-04	1/2	24	960	2.6E-03	1.1E-04
	传达室	公众	1.3E-04	1	24	960	3.1E-03	1.2E-04
	消防控制室	公众	1.3E-04	1/16	24	960	1.9E-04	7.7E-06
	值班室	公众	1.1E-04	1	24	960	2.5E-03	1.0E-04
	教授工作室 1	公众	9.4E-05	1/2	24	960	1.1E-03	4.5E-05
	团辅助室	公众	8.4E-05	1/8	24	960	2.5E-04	1.0E-05
	教授工作室 2	公众	8.0E-05	1/2	24	960	9.6E-04	3.8E-05
	园区道路	公众	5.7E-05	1/16	24	960	8.5E-05	3.4E-06
南侧	过道	公众	3.6E-02	1/8	24	960	1.1E-01	4.4E-03
	实验室	公众	1.7E-02	1/2	24	960	<b>2.0E-01</b>	<b>8.1E-03</b>
	园区道路	公众	2.5E-03	1/16	24	960	3.7E-03	1.5E-04
西侧	清洗室	公众	6.2E-03	1/8	24	960	1.9E-02	7.4E-04

	电梯前室	公众	6.2E-03	1/8	24	960	1.9E-02	7.4E-04
	实验室	公众	6.8E-04	1/2	24	960	8.1E-03	3.2E-04
	标本处理室	公众	8.8E-05	1/2	24	960	1.1E-03	4.2E-05
	动物标本室	公众	8.3E-05	1/8	24	960	2.5E-04	1.0E-05
2 楼	教室	公众	5.4E-03	1/2	24	960	6.5E-02	2.6E-03
	连廊	公众	2.3E-03	1/8	24	960	7.0E-03	2.8E-04
	实验室 2	公众	1.2E-03	1/2	24	960	1.4E-02	5.7E-04
	实验室 1	公众	4.6E-04	1/2	24	960	5.5E-03	2.2E-04
	活动室	公众	2.0E-04	1/4	24	960	1.2E-03	4.8E-05
	院办	公众	1.6E-04	1	24	960	3.7E-03	1.5E-04
	工作室 1	公众	8.4E-05	1	24	960	2.0E-03	8.1E-05
	工作室 2	公众	7.2E-05	1	24	960	1.7E-03	6.9E-05
负 1 楼	停车场	公众	2.9E-03	1/16	24	960	4.3E-03	1.7E-04
3-14 楼	实验室及办公场所	公众	1.9E-03	1/2	24	960	2.3E-02	9.0E-04

根据理论估算，文物分析实验室项目评价范围内辐射工作场所的周最大剂量当量为  $9.4\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众场所的周最大剂量当量为  $2.0\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的“对放射工作场所，其值不大于  $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于  $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ”的要求；本项目评价范围内辐射工作人员年最大有效剂量为  $3.8\text{E}-01\text{mSv}/\text{a}$ ，公众年有效最大有效剂量为  $8.1\text{E}-03\text{mSv}/\text{a}$ ，满足“辐射工作人员不超过  $5\text{mSv}/\text{a}$ 、公众不超过  $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ”的年有效剂量约束要求，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

表 11-14 nanoVoxel 3000 保护目标受照剂量估算结果

方位	场所	保护目标	受照剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子	周出束时间 (h)	年出束时间(h)	周剂量当量 ( $\mu\text{Sv/周}$ )	年有效剂量(mSv/a)
项目场所	显微 CT 实验室	辐射工作人员	5.7E-03	1	10	500	<b>5.7E-02</b>	<b>2.9E-03</b>
北侧	卫生间	公众	2.9E-06	1/8	10	500	3.6E-06	1.8E-07
	园区道路	公众	2.4E-07	1/16	10	500	1.5E-07	7.5E-09
	化材楼	公众	9.1E-09	1	10	500	9.1E-08	4.6E-09
东侧	过道	公众	1.8E-04	1/8	10	500	<b>2.3E-04</b>	<b>1.1E-05</b>
	楼梯前室	公众	8.0E-05	1/8	10	500	1.0E-04	5.0E-06
	园区道路	公众	9.8E-06	1/16	10	500	6.1E-06	3.1E-07
	文遗学院	公众	1.6E-06	1	10	500	1.6E-05	8.0E-07
南侧	实验室 1	公众	7.7E-07	1/2	10	500	3.9E-06	1.9E-07
	实验室 2	公众	2.8E-07	1/2	10	500	1.4E-06	6.9E-08
	前室	公众	2.1E-08	1/8	10	500	2.6E-08	1.3E-09
	门厅	公众	1.7E-08	1/8	10	500	2.1E-08	1.0E-09
	办公室	公众	1.2E-08	1	10	500	1.2E-07	6.2E-09
	消防控制室	公众	1.0E-08	1/16	10	500	6.5E-09	3.2E-10
	本科实验室	公众	9.7E-09	1/2	10	500	4.9E-08	2.4E-09
	值班室	公众	9.2E-09	1	10	500	9.2E-08	4.6E-09

	准备室	公众	7.1E-09	1/4	10	500	1.8E-08	8.8E-10
	园区道路	公众	6.1E-09	1/16	10	500	3.8E-09	1.9E-10
	地质大楼	公众	6.1E-09	1	10	500	6.1E-08	3.1E-09
西侧	园区道路	公众	3.6E-04	1/16	10	500	2.3E-04	1.1E-05
	广场	公众	2.6E-05	1/16	10	500	1.6E-05	8.0E-07
2 楼	创新实验室 1	公众	5.0E-07	1/2	10	500	2.5E-06	1.3E-07
	卫生间	公众	4.1E-07	1/8	10	500	5.1E-07	2.6E-08
	创新实验室 2	公众	1.4E-07	1/2	10	500	7.1E-07	3.6E-08
	前室	公众	1.9E-08	1/8	10	500	2.4E-08	1.2E-09
	实训中心 1	公众	1.5E-08	1/2	10	500	7.6E-08	3.8E-09
	实训中心 2	公众	9.1E-09	1/2	10	500	4.6E-08	2.3E-09
	备用实验室	公众	8.6E-09	1/2	10	500	4.3E-08	2.2E-09
负 1 楼	停车场	公众	3.3E-07	1/16	10	500	2.1E-07	1.0E-08
3-14 楼	实验室及办公场所	公众	1.8E-07	1/2	10	500	9.0E-07	4.5E-08
<p>根据理论估算，显微 CT 实验室项目评价范围内辐射工作场所的周最大剂量当量为 5.7E-02<math>\mu</math>Sv/周，公众场所的周最大剂量当量为 2.3E-04<math>\mu</math>Sv/周，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的“对放射工作场所，其值不大于 100<math>\mu</math>Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5<math>\mu</math>Sv/周”的要求；本项目评价范围内辐射工作人员年最大有效剂量为 2.9E-03mSv/a，公众年有效最大有效剂量为 1.1E-05mSv/a，满足“辐射工作人员不超过 5mSv/a、公众不超过 0.1mSv/a”的年有效剂量约束要求，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。</p>								

## 11.3 废气和固废环境影响分析

### 11.3.1 废气

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物。

#### (1) 文物分析实验室

nanoVoxel 5000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业 CT 内部体积约为 13.5m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启，可确保工业 CT 内部每小时有效通风换气次数为 13 次。建设单位拟在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向北侧园区道路，避开了人员密集的区域。

#### (2) 显微 CT 实验室

nanoVoxel 3000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业 CT 内部体积约为 3.1m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启，可确保工业 CT 内部每小时有效通风换气次数为 57 次。建设单位拟在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向西侧园区道路，避开了人员密集的区域。

排放至室外环境的臭氧和氮氧化物，来自于工业 CT 内部空气电离产生，其产生量较少，且室外环境自然通风效果好，可有效降低其浓度，在常温常压下臭氧和氮氧化物的稳定性较差，可自行分解为无害物质。

以上措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“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。

### 11.3.2 固废

本项目产生的固废为生活垃圾，生活垃圾主要包括员工平时办公生活产生的废纸屑等办公生活垃圾。生活垃圾依托现有办公楼内垃圾桶进行分类收集后，统一纳入当地垃圾清运系统。

在严格落实分类收集、及时清运和依托市政处置系统的情况下，本项目产生的生活垃圾对环境的影响很小，不会对周围环境和人员健康造成显著不利影响。

## 11.4 事故影响分析

### 11.4.1 辐射事故类型

本项目可能存在的辐射事故类型如下：

- a. 门机联锁装置发生故障，装载门、检修门未关的情况下射线出束，导致屏蔽体外的工作人员受到不必要的照射；
- b. 有工作人员还在屏蔽体内的情况下，X 射线管意外出束，使停留在屏蔽体内的工作人员被误照射；
- c. 装置维修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启 X 射线管，使屏蔽体内的维修维护人员被误照射。

以上事故情形均属于在无有效辐射防护屏蔽情况下，辐射工作人员遭受意外照射，辐射工作人员在工作期间或维修人员在检修期间，均要求佩戴个人剂量报警仪，个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，一旦发生辐射事故，工作人员立即断电，射线装置停止出束。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）第40条规定的辐射事故等级划分，射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射为一般辐射事故。

工业 CT 的电压越大产生 X 射线的穿透性越强，风险评价按照工业 CT 的最大管电压和最大管电压下的最大管电流进行计算。人员受照射时无防护措施并且人员处于主射束方向，因此辐射屏蔽透射因子取 1 进行估算。估算结果见表 11-15 和表 11-16 所示。

表 11-15 nanoVoxel 5000 型工业 CT 事故工况下不同距离、不同接触时间的有效剂量

距源点的距离 (m)	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量 (mSv)					
	10s	20s	30s	40s	50s	60s
0.5	20	40	60	80	100	120
1	5	10	15	20	25	30
1.5	2.22	4.44	6.66	8.88	11.1	13.32
2	1.25	2.5	3.75	5	6.25	7.5

表 11-16 nanoVoxel 3000 型工业 CT 事故工况下不同距离、不同接触时间的有效剂量

距源点的距离 (m)	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量 (mSv)					
	10s	20s	30s	40s	50s	60s
0.5	12	24	36	48	60	72
1	3	6	9	12	15	18
1.5	1.33	2.66	3.99	5.32	6.65	7.98
2	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5

#### 11.4.2 事故预防措施

(1) 建设单位应定期对设备的各个安全装置进行检修和维护。

(2) 在辐射工作期间正确佩戴个人剂量报警仪，并定期检查个人剂量报警仪的运行情况。

(3) 设备的检修和维护工作应由具有资质的设备厂家工作人员来进行，检修时应采取可靠的断电措施，切断需检修设备上的电器电源，并经启动复查确认无电后，在电源开关处挂上“正在检修，禁止合闸”安全标志。

(4) 发生事故的风险主要在于建设单位的辐射安全管理情况，建设单位应定期完善辐射安全管理规章制度、操作规程，并严格执行。让辐射工作人员增强辐射安全意识，尽量避免辐射事故的发生。

#### 11.4.3 事故应急措施

一旦发生辐射事故，必须马上停机，切断总电源开关，对相关受照人员进行身体检查，确定对人身是否有损害，以便采取相应的救护措施。其次对设备、设施进行安全检查，确定其功能和安全性能。

事故发生后，立即启动本单位的辐射事故应急预案，按照事故应急响应程序处理，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或者可能造成人员超剂量照射时，还应同时向当地卫生健康部门报告。事故处理完成后，应查找事故原因，分清事故责任，避免该类事故的再次发生。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全管理机构的设置

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，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。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：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。

建设单位成立了辐射安全管理机构，并任命了组长和辐射安全负责人，并配备 7 名成员。

管理机构职责：

（1）结合单位实际负责拟定辐射防护工作计划和实施方案，制定相关工作制度，并组织实施；

（2）做好工作人员的辐射防护与安全培训、防护设施的供应与管理以及辐射防护档案的建立与管理等工作；

（3）组织实施辐射工作人员的职业健康检查和个人剂量监测，按要求建立个人剂量档案；

（4）定期对辐射安全与防护工作进行检查，检查本单位辐射工作人员的辐射安全操作情况，指导做好操作人员的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

**小结：**建设单位按照相关法规的要求成立了辐射安全与环境保护管理机构，明确了管理机构职责，符合相关法规的要求。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，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、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：应建立和实施放射防护管理制度和措施。

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29号），建设单位制定了《西北大学辐射安全管理规章制度》，该制度包含了辐射安全管理机构及其职责、辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、操作规程、辐射工作人员培训制度、监测方案、设备检修维护制度、辐射工作人员职业健康检查和个人剂量管理要求，以及辐射事故应急预案。针对本次扩建项目，建设单位进一步完善了辐射安全管理机构、辐射事故应急预案等相关内容。

**小结：**建设单位制定的《辐射安全管理规章制度》较全面，易实行，可操作性强。一旦发生辐射事故时，可迅速应对，满足《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》等法律法规的要求。

### 12.3 辐射工作人员

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照生态环境部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发的《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》的规定：自 2020 年 1 月 1 日起，辐射安全上岗培训应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识、报名并参加考核，考核成绩单有效期 5 年。

本项目拟配置 6 名辐射工作人员，文遗学院和化工学院各 3 名，建设单位将按照“使用 II 类射线装置”的要求，安排辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加 X 射线探伤专业的辐射安全与防护考核，考核通过后方可从事 X 射线探伤相关工作。建设单位还应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管

理办法》的要求，安排辐射防护负责人通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加辐射安全管理专业的辐射安全与防护考核。

**小结：**建设单位制定的辐射工作人员培训计划满足相关法律法规的要求。

## 12.4 辐射监测计划

### 12.4.1 工作人员个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案；个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案；辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定，职业照射个人剂量档案应终身保存。

建设单位将按照有关要求，对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查，经检查合格后方可从事辐射工作；委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，为辐射工作人员各配备 1 个人剂量计，配备 1 个本底个人剂量计用作对照。工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，监测周期最长不超过 3 个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。

**小结：**建设单位制定的个人剂量监测计划满足相关法律法规的要求。

### 12.4.2 工作场所辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

建设单位将委托检测机构对辐射设备的环境辐射水平进行年度检测，年度检测数据应作为本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，于次年 1 月 31 日前上报环境行政主管部门。

建设单位拟使用便携式 X-γ 剂量率仪定期（每个月 1 次）对辐射工作场所周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。

**小结：**建设单位制定的工作场所辐射监测计划满足相关法律法规的要求。

辐射监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 辐射监测计划一览表

监测对象	监测计划	监测因子	监测周期	实施机构
辐射工作人员	个人剂量监测	个人外照射剂量	1 次/3 个月	有资质的检测机构
工作场所	年度监测	设备外周围剂量当量率	1 次/年	有资质的检测机构
	日常监测	设备外周围剂量当量率	1 次/月	建设单位

### 12.4.3 工作场所辐射监测方案

#### (1) 检测仪器

本项目用于日常辐射监测的仪器配置一览表见表 12-2。

表 12-2 辐射监测仪器一览表

名称	数量	报警值
个人剂量报警仪	2 台	2.5μSv/h
便携式 X-γ 剂量率仪	2 台	2.5μSv/h

#### (2) 监测因子和控制要求

本项目的监测因子：周围剂量当量率，参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的规定，本项目工业 CT 屏蔽体外 0.3m 处的周围剂量当量率的控制值为 2.5μSv/h。

### (3) 检测布点要求及位置

参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的规定，射线装置的放射防护检测应在额定工作条件下，主屏蔽应在没有工件时进行，副屏蔽应在有工件时进行，应首先进行装置整体的辐射水平巡测，以发现可能出现的高辐射水平区，然后再定点检测。定点位置应包括：

- a) 通过巡测，发现辐射水平异常高的位置；
- b) 装载门和检修门外 30cm 处上、下、左、中、右侧各 1 个点；
- c) 屏蔽体外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个面至少测 3 个点；
- d) 操作位；
- e) 人员经常活动的位置。

### (4) 检测异常处理

日常监测和年度监测时，一旦发现设备外周围剂量当量率超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，应立即停止辐射工作，查找原因，进行整改。整改好、并经检测确认辐射水平合格后，方可继续工作。如发现设备外周围剂量当量率没有超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，但监测结果异常偏高，在条件允许的情况下，也需停止辐射工作，查找原因，进行整改。整改好、并经检测确认辐射水平在日常的监测水平后，可恢复正常工作。

## 12.5 辐射安全年度评估计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于次年 1 月 31 日前向相关机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

- (1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (2) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (3) 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；

(4) 放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；

(5) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；

(6) 辐射事故及应急响应情况；

(7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；

(8) 存在的安全隐患及其整改情况；

(9) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

## 12.6 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条之规定：“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备”。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：应制定辐射事故应急预案。

结合原陕西省环境保护厅《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29号）相关规定，建设单位制定了《西北大学辐射事故应急预案》，该《预案》主要包括：辐射事故应急机构与其职责、应急处理要求、辐射事故分类与应急原则、辐射事故应急处理程序及报告制度、人员培训和演习计划、辐射事故的调查等内容。

### 12.6.1 辐射事故应急机构

建设单位成立了辐射事故应急小组，成员组成如下：

组 长：李延

成 员：孙凤、吴萌蕾、李嘉怡、王小强、吕兴强、马沛、牛耕

### 12.6.2 辐射事故应急机构分工及职责

辐射事故应急小组的组长为辐射事故应急第一责任人。主要职责为：

(1) 贯彻执行国家核辐射事故应急处理工作的法律、法规及方针政策。

(2) 负责辐射事故应急预案的审定和组织实施。

(3) 组织、协调和指挥应急准备和应急响应工作，包括组织事故调查、评价，审定事故应急处理报告等工作。

(4) 发生辐射应急事故时，向生态环境主管部门和卫生部门报告工作。

其他成员主要职责为：

(1) 定期组织开展辐射事故应急培训及演练。

(2) 发生辐射应急事故时，及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应即使安置受照人员就医检查，出现事故后应尽快有组织有计划的处理，减少事故损失。

(3) 向辐射事故应急小组和最高主管报告应急处理工作情况提出控制辐射事故危害，保障员工安全与健康，保护环境等措施建议。

(4) 协助上级应急监测组开展辐射监测和评价工作。

(5) 事故处理后对辐射事故进行记录及整理相关资料。

### **12.6.3 人员培训和演习计划**

为使参加应急处理的人员能熟悉和掌握应急预案的内容，保持迅速、正确、有效地执行应急技能和知识，提高辐射工作人员应对突发事件的能力，应进行培训和演练。

#### **(1) 人员培训**

培训对象包括应急预案成员、辐射工作人员。

培训内容包括应急原则和实施程序，辐射安全与防护专业知识，可能出现的辐射事故及辐射事故经验和教训，辐射监测仪器、通讯及防护设施的使用和应急预案执行步骤等。

#### **(2) 演练计划**

辐射事故应急领导小组须定期（每年一次）组织应急演练，提高辐射事故应急处理能力，并通过演练逐步完善应急预案。

**小结：**建设单位按要求成立了辐射事故应急机构，明确了应急分工和职责，制定的《西北大学辐射事故应急预案》具有可操作性，保证在发生辐射事故时，做到责任和分工明确，能够迅速、有序处理。

## 12.7 核技术利用单位辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号），对核技术利用单位辐射安全管理和辐射安全防护措施的标准化建设提出了要求，其与本项目对照表见表12-3。

**表 12-3 本项目与《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》中要求对比一览表**

《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》		本项目实施情况	
项目	具体要求		
人员管理	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。	符合规范要求。
		年初工作安排的和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。	符合规范要求。
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	符合规范要求。
		提供确保辐射安全所需的人力资源和物质保障。	符合规范要求。
	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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	符合规范要求。
		建立辐射安全管理档案。	符合规范要求。

		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。	符合规范要求。
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
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安全与环境保护管理机构和负责人。	符合规范要求。
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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		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培训的的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	符合规范要求。
		建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	符合规范要求。

		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。	符合规范要求。
		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），并建立维护与维修工作记录档案（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）。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		结合本单位实际，制定具有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。	符合规范要求。
	应急管理	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①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。	符合规范要求。
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。	符合规范要求。
		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。	符合规范要求。
		控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置。	符合规范要求。
		控制台或 X 射线管头组装体上设置探伤室门联锁接口。	符合规范要求。

			控制台设有钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X 射线管才能出束。	符合规范要求。	
			控制台设有紧急停机开关。	符合规范要求。	
	固 定 探 伤 作 业 所	分 区		按标准要求划分控制区、监督区。	符合规范要求。
				控制区：探伤室墙围成的内部区域。	将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，符合规范要求。
				监督区：探伤室墙壁外部相邻的区域。	将控制区外整个文物分析实验室、显微CT实验室划为监督区，符合规范要求。
		布 局		操作室与探伤室分开，并避开有用线束照射的方向。	2 台工业CT有用线束方向固定朝设备右侧照射，操作台设在设备左侧，均避开了有用线束方向，符合规范要求。
			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活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	符合规范要求。
		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。	拟在设备的正面张贴电离辐射警示标志；文物分析实验室、显微 CT 实验室门口将张贴“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”中文警示说明，符合规范要求。
			探伤室门口和内部同时设置显	符合规范要	

			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。	求。
			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。	符合规范要求。
		辐 射 安 全 与 联 锁	探伤室设置门-机联锁装置。	符合规范要求。
			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。	符合规范要求。

## 12.8 环保投资

本项目环保投资估算约 50 万元，占总投资的 5.9%，具体情况见表 12-4。

表 12-4 项目环保投资一览表

序号	内容	具体内容	环保投资 (万元)
1	现场分区和管控设施、标志	电离辐射警示标志和中文警示说明、门禁、辐射安全管理规章制度和应急预案张贴等	3
2	辐射防护与安全设施	屏蔽体、防护门（含门机联锁装置）、2 套视频监控装置、2 个工作状态指示灯（具有声音提示功能）、8 个急停按钮、2 套通风系统等	31
3	辐射监测设备	6 个人剂量计、2 台个人剂量报警仪、2 台便携式 X-γ 剂量率仪、2 套固定式辐射剂量报警仪、仪器	16

校准与性能测试费等

## 12.9 竣工环境保护验收要求

### 12.9.1 责任主体

根据《建设项目环境保护管理条例》规定：“编制环境影响报告书、环境影响报告表的建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。”建设单位应承担本项目竣工环境保护验收的主体责任。

### 12.9.2 工作程序

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》（HJ1326-

2023)，核技术利用项目竣工环境保护验收工作流程主要包括：验收自查、验收监测工作和后续工作，其中验收监测工作可分为验收监测、验收监测报告编制两个阶段；后续工作包括提出验收意见、编制“其他需要说明的事项”、形成验收报告、公开相关信息并建立档案四个阶段。

### 12.9.3 时间节点

本项目竣工后，建设单位应按照相关程序和要求，在项目竣工后组织自主竣工环保验收，验收期限一般不超过 3 个月。验收报告编制完成后按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的要求，公开验收报告，公示的期限不少于 20 个工作日。验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台进行备案。

### 12.9.4 验收清单

本项目竣工环境保护验收“三同时”清单见表 12-5。

表 12-5 竣工环境保护“三同时”验收清单

验收内容	验收要求
辐射安全与防护措施	2 台工业 CT 装载门和检修门各安装 2 个限位开关作为门机联锁装置。
	在设备的正面张贴电离辐射警示标志；文物分析实验室和显微 CT 实验室门口张贴“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”中文警示说明。
	工业 CT 正面设有工作状态指示灯且具有声音提示功能。在文物分析实验室和显微 CT 实验室内醒目位置张贴射线装置信号指示意义的中文说明。
	设备设有 1 个钥匙开关、1 个主电源开关。钥匙开关和主电源开关位于设备正面。
	nanoVoxel 5000 型工业 CT 设有 6 个急停按钮，分别位于设备外部正面 1 个、设备内部四个面各 1 个、操作台 1 个。nanoVoxel 3000 型工业 CT 设有 2 个急停按钮，分别位于设备外部正面 1 个、操作台 1 个。

	<p>2 台工业 CT 均设有视频监控装置，在操作台设有专用的监视器。</p> <p>建设单位拟为每名辐射工作人员各配备1 个人剂量计，每个场所各 1 台个人剂量报警仪。</p> <p>建设单位拟配备 2 台便携式 X-γ 剂量率仪，每个场所各 1 台。</p> <p>2 台工业 CT 各自带 1 台固定式辐射剂量报警仪。</p> <p>(1) 文物分析实验室</p> <p>布局：设有独立的文物分析实验室作为辐射工作场所，工业 CT 有用线束固定朝设备右侧（北侧）照射，操作台设在工业 CT 东南侧。</p> <p>分区和管控措施：建设单位将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，控制区通过实体屏蔽、急停装置、门机连锁装置等进行控制；将控制区外整个文物分析实验室划为监督区，监督区通过门禁和警示说明等进行管理。文物分析实验室设有门禁，只有授权的工作人员才能通过门禁进入，非授权人员无法进入。</p> <p>(2) 显微 CT 实验室</p> <p>布局：设有独立的显微 CT 实验室作为辐射工作场所，工业 CT 有用线束固定朝设备右侧（东侧）照射，操作台设在工业 CT 西南侧。</p> <p>分区和管控措施：建设单位拟将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，控制区通过实体屏蔽、急停装置、门机连锁装置等进行控制；将控制区外整个显微 CT 实验室划为监督区，监督区通过门禁和警示说明等进行管理。显微 CT 实验室设有门禁，只有授权的工作人员才能通过门禁进入，非授权人员无法进入。</p>
<p>废气和固废治理</p>	<p>(1) 文物分析实验室</p> <p>nanoVoxel 5000 型工业CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业CT 内部体积约为 13.5m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启。在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向北侧园区道路。</p>

	<p>(2) 显微 CT 实验室</p> <p>nanoVoxel 3000 型工业 CT 左侧顶部设有 1 个风扇式机械排风装置，排风量为 178m<sup>3</sup>/h，工业CT 内部体积约为 3.1m<sup>3</sup>，排风装置在工作期间保持开启。在工业 CT 排风口处安装排风管道，废气通过排风管道排向西侧园区道路。</p> <p>生活垃圾依托现有办公楼内垃圾桶进行分类收集后，统一纳入当地垃圾清运系统。</p>
辐射安全管理措施	<p>设立辐射安全与环境保护管理机构，明确职责与分工。射防护负责人通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加 X 射线探伤或辐射安全管理专业的辐射安全与防护考核。</p>
	<p>制定相应的辐射安全管理规章制度和应急预案，制度张贴在墙面显眼位置。</p>
	<p>配置 6 名辐射工作人员，安排辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加 X 射线探伤专业的辐射安全与防护考核，考核通过后从事 X 射线探伤相关工作。安排辐射防护负责人通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加 X 射线探伤或辐射安全管理专业的辐射安全与防护考核。</p>
	<p>对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查，经检查合格后方可从事辐射工作。委托第三方监测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，为每个人配备个人剂量计，定期回收读出个人有效剂量，监测周期为3 个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。</p>
周围剂量当量率监测情况	<p>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。</p>

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结 论

西北大学拟在陕西省西安市长安区学府大街 1 号西北大学文遗学院 1 楼文物分析实验室使用 1 台 nanoVoxel 5000 型工业 CT，用于文物/文物样品的无损检测；拟在化工学院 1 楼显微 CT 实验室使用 1 台 nanoVoxel 3000 型工业 CT，用于人工骨修复材料、注射用水凝胶、止血海绵等生物材料的无损检测。本项目属于核技术利用扩建项目，选址合理。

#### 13.1.1 辐射安全与防护分析结论

辐射安全与防护分析表明，本项目射线装置的辐射屏蔽设计方案、工作场所布局 and 分区、各项辐射安全与防护措施等均满足《工业探伤放射防护标准》

（GBZ117-2022）等国家相关标准的要求。辐射安全管理措施分析表明，建设单位制定了较完善的辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，人员培训和辐射监测计划等均符合相关法规的要求。

#### 13.1.2 环境影响分析结论

理论分析表明，项目正常运行时，射线装置实体屏蔽体外关注点的辐射水平均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的周围剂量当量率控制要求；辐射工作人员及公众的有效受照剂量分别低于职业照射和公众照射剂量约束值，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

#### 13.1.3 可行性分析结论

本项目的投产有助于建设单位进一步提升对样品的检测能力，可辅助建设单位提高研发水平，促进学科发展，其所造成的辐射影响轻微、可控。本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类中的“十四、机械 1.科学仪器和工业仪表：工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”类别，符合国家产业政策，从代价和利益的角度考虑，符合辐射实践的正当性。

建设单位应对本项目进行严格管理，按照辐射安全与防护要求工作。在落实了本报告提出的各项措施后，本项目对环境的辐射影响能够满足国家有关法规和标准

的要求，从环境保护的角度考虑，该核技术利用项目是可行的。

## **13.2 要 求**

1、建设单位应在本项目正式运行时为辐射工作人员配备个人剂量计，按要求佩戴个人剂量计上岗，定期回收读出个人受照剂量，建立个人剂量档案及职业健康档案。

2、结合后期运行和管理情况，不断完善和规范修改辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，使之更具有实操性和针对性；定期做好辐射事故应急人员培训和应急演练。

## 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