核技术利用建设项目

南京大学（苏州校区）
新增 1 台 X 射线显微成像系统扩建项目
生态环境影响报告表
公示稿

南京大学（苏州校区）

2026 年 10 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京大学（苏州校区）
新增 1 台 X 射线显微成像系统扩建项目
生态环境影响报告表

建设单位名称：南京大学（苏州校区）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省苏州市虎丘区太湖大道 1520 号

邮政编码： **联系人：**

电子邮箱 **联系电话：**

目 录

表 1　项目基本情况 1
表 2　放射源 5
表 3　非密封放射性物质 5
表 4　射线装置 6
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） 7
表 6　评价依据 8
表 7　保护目标与评价标准 10
表 8　环境质量和辐射现状 14
表 9　项目工程分析与源项 19
表 10　辐射安全与防护 26
表 11　环境影响分析 33
表 12　辐射安全管理 45
表 13　结论与建议 49
表 14　审批 52
附表 53

附图

附图 1　项目地理位置示意图
附图 2　南京大学（苏州校区）总平面布置图及周围环境示意图
附图 3　本项目 50m 评价范围图
附图 4　科创大厦 C 栋负一层平面布置图
附图 5　科创大厦 C 栋一层平面布置图
附图 6　项目与生态环境管控单元位置关系图

附件

附件 1　项目委托书
附件 2　射线装置使用情况承诺书
附件 3　南京大学事业单位法人证明
附件 4　南京大学（苏州校区）现有辐射安全许可证
附件 5　环境辐射水平现状检测报告
附件 6　设备说明书及技术参数
附件 7　设备厂家资质
附件 8　专家评审意见及修改复核清单
附件 9　环评技术合同
附件 10　项目主动公开信息一览表
附件 11　公示删减说明
附件 12　环境保护措施承诺

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td>建设项目名称</td><td colspan="7">南京大学（苏州校区）新增 1 台 X 射线显微成像系统扩建项目</td></tr>
<tr><td>建设单位</td><td colspan="7">南京大学（苏州校区）</td></tr>
<tr><td>法人代表</td><td colspan="2"></td><td>联系人</td><td colspan="2"></td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td>注册地址</td><td colspan="7">江苏省苏州市虎丘区太湖大道 1520 号南京大学（苏州校区）</td></tr>
<tr><td>项目建设地点</td><td colspan="7">南京大学（苏州校区）东校区科创大厦 C 栋负一层 C011 室</td></tr>
<tr><td>立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td>建设项目总投资（万元）</td><td>1008</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>10</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">1%</td></tr>
<tr><td colspan="3">项目性质</td><td colspan="2">□新建□改建☑扩建□其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>约 31m^2</td></tr>
<tr><td rowspan="11">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□I 类　□II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□I 类（医疗使用）　□II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□乙　□丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">☑II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

项目概述

1、建设单位基本情况、项目建设规模、任务由来及原有核技术利用项目许可情况

2019 年 3 月 16 日，苏州市与南京大学正式签署全面战略合作暨南京大学（苏州校区）建设协议，开启了名城名校合作新纪元。2020 年 6 月 23 日，教育部正式批复同意建设南京大学（苏州校区）。2025 年 12 月 19 日，南京大学科技创新与产业创新融合发展大会在苏州校区举行，宣布南京大学（苏州校区）全面启用。

南京大学（苏州校区）位于江苏省苏州市虎丘区太湖大道 1520 号，本项目为新增 1 台

X 射线显微成像系统扩建项目，建设地址为南京大学（苏州校区）东校区科创大厦 C 栋负一层 C011 室，主要用于校内实验室进行原位渗流、力学实验时，对岩石样品进行检测。

本项目拟新增 1 名辐射防护负责人，4 名辐射工作人员，项目新增 4 名辐射工作人员专门从事本次新增的 1 台 X 射线显微成像系统的辐射工作，不再从事其他辐射工作。

本项目拟购置泰思肯贸易(上海)有限公司销售的 X 射线显微成像系统，型号为 UniTOM XL，整套设备主要由系统机柜、电气柜、服务器机架、操作台、管冷却器、机柜冷却器、高压发生器、预真空泵组成，项目核技术应用情况见表 1-1。

表 1-1　本项目 1 台 X 射线显微成像系统核技术应用情况表

序号	射线装置名称、型号	数量	最大管电压 kV	最大管电流 mA	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	UniTOM XL 型 X 射线显微成像系统	1	230	3	II	科创大厦 C 栋负一层 C011 室	使用	本次环评	最大管功率 300W

对照《射线装置分类》与设备厂家辐射安全许可证，本项目 X 射线显微成像系统为工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置，属于II类射线装置，对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用II类射线装置的”项目，应编制生态环境影响报告表。受南京大学（苏州校区）委托，苏州苏大卫生与环境技术研究所有限公司承担该项目的生态环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目生态环境影响报告表。

2、建设单位已有核技术利用情况

南京大学（苏州校区）已开展核技术利用项目，现有核技术利用项目已填报环境影响登记表并取得辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证[E9567]”，种类和范围为“使用III类射线装置”，有效日期至 2031 年 4 月 29 日（辐射安全许可证正、副本见附件 4），现有核技术应用项目情况见表 1-2。

表 1-2　南京大学（苏州校区）现有射线装置利用情况表

序号	射线装置名称、型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况	备注
1	赛默飞 ESCLABQXi 型多功能 X 射线光电子能谱仪	1	15	20	III	CT 和 AES 实验室（科创大厦 1F C110 室）	使用	已填报环境影响登记表	已许可	/	/

2	PHI710 型俄歇电子能谱仪	1	25	0.4	III	XPS 实验室（科创大厦 1F C109 室）	使用		已许可	/	/
3	赛默飞 ARL Perfom'X 型波长色散型 X 射线荧光光谱仪	1	70	140	III	XRD 实验室（科创大厦 1F D102 室）	使用		已许可	/	/
4	理学 SmartLab SE 型 X 射线衍射仪(基础版)	1	60	60	III		使用		已许可	/	/
5	理学 SmartLab 型 X 射线衍射仪(多功能版)	1	45	200	III		使用		已许可	/	/
6	理学 XtaLAB Synergy-DW 型单晶 X 射线衍射仪	1	60	30	III		使用		已许可	/	/
7	DX-2700BH 型 X 射线衍射分析仪	1	40	40	III	能资实验室（科创大厦 5F C529 室）	使用		已许可	/	/

现有 6 台III类射线装置位于科创大厦 1F C110 室、C109 室、D102 室，位于本项目 50m 评价范围外，1 台III类射线装置位于科创大厦 5F C529 室，本项目位于负一层 C011 室，故本次评价不考虑与现有III类射线装置的叠加影响。

建设单位已按照使用III类射线装置的要求，组织辐射工作人员参加了内部辐射安全与防护知识培训和考核。现有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，委托南京瑞森辐射技术有限公司进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

3、项目周边保护目标及项目选址情况

南京大学（苏州校区）位于江苏省苏州市虎丘区太湖大道 1520 号，学校北侧为昆仑山路，南侧为太湖大道，西侧为长巷路，东侧为九曲河。南京大学（苏州校区）总平面布置图及周围环境示意图见附图 2。

南京大学（苏州校区）分为东校区与西校区，以学校内的庄里山进行分隔，本项目位于东校区科创大厦 C 栋负一层 C011 室，C011 室东侧为走道、C 栋负一层空置区域（拟规划为实验室）及科创大厦 D 栋负一层实验室，南侧为实验室、空置区域（拟规划为实验室）及公共微纳加工平台区域，西侧为楼梯间、实验室，C011 室正上方为 1 层前台区域，C011 室下方无地下建筑。科创大厦 C 栋共有地上 7 层地下 1 层，负一层层高为 5.4m，1-7 层层

高为 4.5m。

本项目 X 射线显微成像系统周围 50m 评价范围内无居民区等环境敏感目标。项目周围环境保护目标主要为从事本项目 X 射线显微成像系统操作的辐射工作人员及设备周围公众。

4、实践正当性

南京大学（苏州校区）拟新增 1 台型号为 UniTOM XL 型 X 射线显微成像系统，主要用于校内实验室进行原位渗流、力学实验时，对岩石样品进行检测。

虽然在运行期间，X 射线显微成像系统的应用可能会对周围环境、辐射工作人员及周围公众造成一定辐射影响，但学校在做好各项辐射防护措施，严格按照规章制度运营本项目的情况下，可将上述辐射影响降至尽可能小。因此，在考虑了社会、经济和代价等有关因素之后，其对受照个人和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》(GB 18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

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》（GB 18871-2002）。

表 4　射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（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	X 射线显微成像系统	II	1	UniTOM XL	230	3	检测（实验用）	科创大厦 C 栋负一层 C011 室	最大管功率：300W 主射线方向：固定从左向右照射

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	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
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，对环境影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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^3，年排放总量 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/m^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法规文件	1)《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026 年 8 月 15 日起施行； 2)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订本），中华人民共和国 2019 年国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日； 3)《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订本），中华人民共和国 2017 年国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； 4)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），中华人民共和国 2021 年生态环境部令第 20 号修正，2021 年 1 月 4 日公布实施； 5)《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），中华人民共和国 2020 年生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起实施； 6)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国 2011 年原环境保护部令第 18 号公布，2011 年 5 月 1 日起施行； 7)《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，中华人民共和国环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； 8)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理报告制度的通知》，中华人民共和国原国家环保总局环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日印发； 9)《江苏省辐射污染防治条例》（修正本），根据江苏省第十四届人民代表大会常务委员会第二十三次会议《关于修改〈江苏省生态环境保护条例〉等二十三件地方性法规的决定》第二次修正，2026 年 8 月 15 日起施行； 10)《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部 部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； 11)《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日发布； 12)《江苏省自然资源厅关于苏州高新区（虎丘区）2023 年度生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2023〕664 号）； 13)《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1 号，2025 年 9 月 21 日起施行； 14)《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域管理办法的通知》，苏政办规〔2026〕1 号，2026 年 3 月 1 日起施行。

技术标准	1)《建设项目环境影响评价技术导则　总纲》（HJ2.1-2016） 2)《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目　环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016） 3)《环境辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） 4)《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） 5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 6)《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022） 7)《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单 8)《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）
其他	报告附件： 1）附件 4　南京大学（苏州校区）现有辐射安全许可证 2）附件 5　环境辐射水平现状检测报告 3）附件 6　设备说明书及技术参数 4）附件 7　设备厂家资质

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

本项目新增 1 台 X 射线显微成像系统属 II 类射线装置。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》（HJ10.1-2016）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。

本项目将 X 射线显微成像系统的系统机柜边界外 50m 范围作为评价范围，评价范围见附图 3。

保护目标

本项目建设地点位于江苏省苏州市虎丘区太湖大道 1520 号，对照《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）、《江苏省自然资源厅关于苏州高新区（虎丘区）2023 年度生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2023〕664 号），根据江苏省生态环境分区管控综合服务平台显示的本项目与生态环境管控单元位置关系（附图 6），本项目位于苏州国家高新技术产业开发区（含苏州浒墅关经济开发区、苏州高新技术产业开发区综合保税区），属于重点管控单元，对照该重点管控单元生态环境准入清单，本项目的建设符合生态环境准入条件。

根据项目周边环境情况，本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中第三条的环境敏感区，不涉及《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）中 3.4 定义的生态保护目标（受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等）。

本项目 50m 评价范围内没有居民区等环境敏感目标，确定本项目保护目标主要为 X 射线显微成像系统的辐射工作人员及评价范围内的公众，详见表 7-1。

表 7-1　本项目评价范围内保护目标一览表

主要环境保护目标	方位	场所名称	距 X 射线显微成像系统机柜边界最近距离	规模	环境保护要求
本项目辐射工作人员	/	C011 室内操作位	约 0.3m（保守取系统机柜前侧操作按钮处）	4 名辐射工作人员	年受照剂量约束值 5mSv/a
项目评价范围内保护目标（公众）	项目地东侧	走道	约 4.0m	流动人员	年受照剂量约束值 0.1mSv/a
		科创大厦 C 栋负一层空置区域（拟规划为实验室）	约 7.0m	约 30 名工作人员（后期规划）	
		科创大厦 D 栋负一层实验室	约 42.0m	约 5 名工作人员	
	项目地南侧	实验室	约 3.8m	约 2 名工作人员	
		空置区域（拟规划为实验室）	约 6.0m	约 10 名工作人员（后期规划）	
		公共微纳加工平台区域	约 32.0m	约 15 名工作人员	
	项目地西侧	楼梯间	约 1.5m	流动人员	
		实验室	约 4.5m	约 30 名工作人员	
	项目地上方	1 层前台区域	约 3.3m	流动人员	
		2-7 层实验室	约 7.8m~30.3m	约 100 名工作人员	

注：项目拟建地址为科创大厦 C 栋负一层 C011 室，紧邻科创大厦 C 栋北墙，项目地北侧无保护目标。

评价标准

1、工作人员职业照射和公众照射剂量限值

本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中个人剂量限值，如下表：

表 7-2　工作人员职业照射和公众照射剂量限值

限值 / 类型	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

2、剂量约束值

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“11.4.3.2·剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%～30%（即 0.1mSv~0.3mSv）的范围之内。”的要求，职业人员按年剂量限值 1/4 取值，公众按照其年剂量限值的 1/10 取值，确定本项目剂量约束值如下：

1）职业照射的年有效剂量约束值不超过 5mSv/a；

2）公众照射的年有效剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

3、X 射线显微成像系统放射防护要求

《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“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 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/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 2.5μSv/h。”

《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“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 100μSv/h。”

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）6.1.3 及 6.1.4 要求，确定本项目 X 射线显微成像系统机柜表面外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平如下：

1）X 射线显微成像系统机柜四周、底部表面外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h；职业人员每周的周围剂量当量参考控制水平，其值应不大于 100μSv/周；公众每周的周围剂量当量参考控制水平，其值应不大于 5μSv/周。

2）X 射线显微成像系统机柜顶部表面外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h。

4、辐射环境质量现状检测评价参考值

根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月，江苏省环境监测站）确定本项目拟建址的辐射环境质量现状监测评价参考值如下：

表 7-3 江苏省环境天然放射性γ辐射空气吸收剂量率调查结果（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
范围	33.1～72.6	18.1～102.3	50.7～129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：现状评价时，参考“测值范围”数值进行评价。

参考资料

《辐射防护导论》，方杰主编，辐射防护导论[M].北京：原子能出版社，1991。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、项目地理和场所位置

本项目位于东校区科创大厦 C 栋负一层 C011 室，C011 室东侧为走道、C 栋负一层空置区域（拟规划为实验室）及科创大厦 D 栋负一层实验室，南侧为实验室、空置区域（拟规划为实验室）及公共微纳加工平台区域，西侧为楼梯间、实验室，C011 室正上方为 1 层前台区域。科创大厦 C 栋共地上 7 层地下 1 层，负一层层高为 5.4m，1-7 层层高为 4.5m。项目 X 射线显微成像系统拟建场址和周边环境现状见图 8-1。

	
项目拟建场址（C011 室）	项目拟建场址东侧（走道）

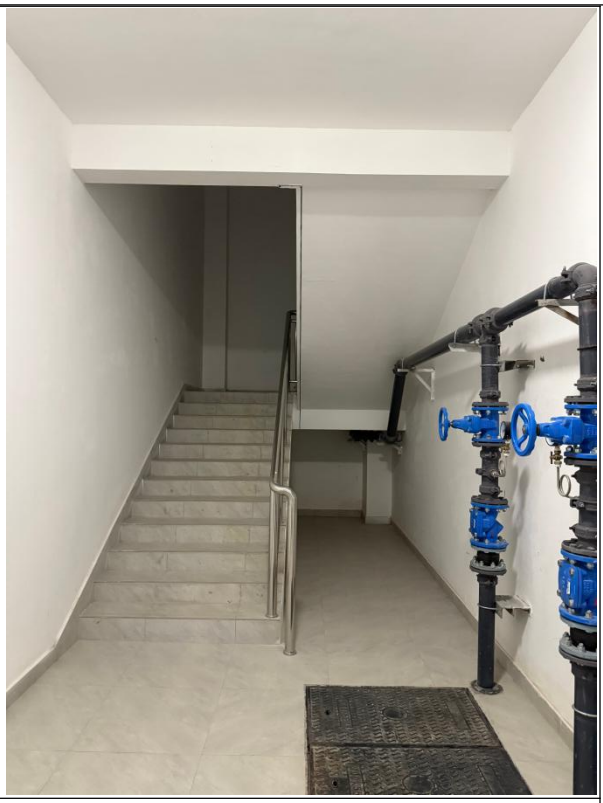
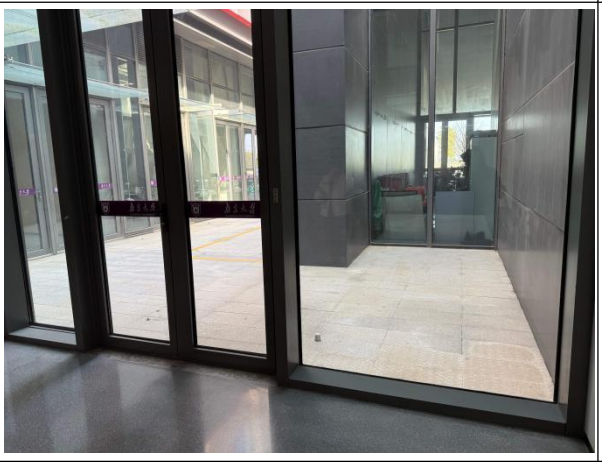
<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>项目拟建场址南侧（实验室）</td><td>项目拟建场址西侧（楼梯间）</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>项目拟建场址正上方（1 层前台区域）</td><td>项目拟建场址上方北侧（科创大厦 C 栋北侧校内道路）</td></tr>
</table>

图 8-1　项目 X 射线显微成像系统拟建场址和周边环境照片

2、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：X 射线显微成像系统拟建址周围辐射环境

监测因子：环境γ辐射剂量率

监测点位：本项目在拟建场址及周围环境布置 8 个监测点位，具体点位见图 8-2

3、监测方案、质量保证措施及监测结果

（1）监测方案

监测项目：环境γ辐射剂量率

监测布点：在 X 射线显微成像系统拟建址周围布置监测点位

监测时间：2026 年 3 月 19 日

监测工况：南京大学（苏州校区）现有 7 台III类射线，均不在本项目 50m 评价范围内

监测单位：苏州苏大卫生与环境技术研究所有限公司

监测仪器：FH40G-L10 型便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：SDWH2442，检定有效期：2025.10.23~2026.10.22），仪器能量响应范围：40～4400keV、测量范围：0.001～100μSv/h、最低检测限：0.001μSv/h。

监测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

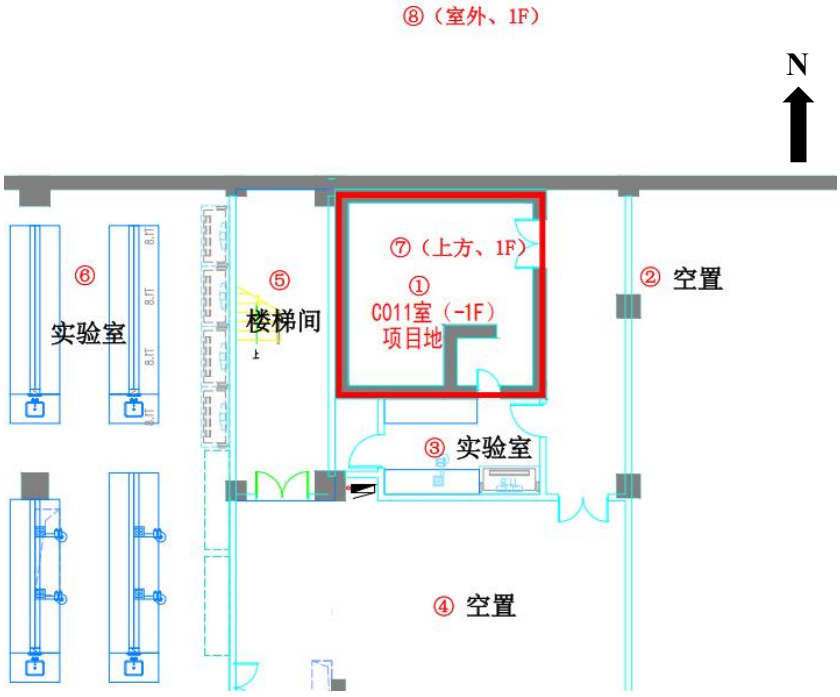


图 8-2　项目拟建址及周围环境γ辐射剂量率监测点位示意图

（2）质量保证措施

监测单位：苏州苏大卫生与环境技术研究所有限公司，公司已通过检验检测机构资质认定；

监测布点质量保证：选择适用的监测方法，本项目根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点；

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，实施全过程质量控制；

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员均经过考核，主要监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

（3）监测结果

本项目监测仪器为 FH40G-L10 型便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪（探头型号 FHZ 672 E-10），X-γ 辐射监测仪检定使用 ^{137}Cs 辐射源，折算系数为 1.2Sv/Gy。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。

评价方法：参照江苏省γ辐射空气吸收剂量率天然辐射水平调查结果，监测结果见表 8-1，详细监测结果见附件 5。

表 8-1　本项目 X 射线显微成像系统拟建址周围环境γ辐射剂量率测量结果

监测点位描述			检测结果[1]（nGy/h）		备注
测点编号	位置	属性	平均值	标准差	
①	项目地（科创大厦 C 栋负一楼 C011 室）	室内（楼房）	91.4	2.7	本底监测
②	项目地东侧（空置区域）	室内（楼房）	71.4	3.0	
③	项目地南侧 1（实验室）	室内（楼房）	93.5	1.9	
④	项目地南侧 2（空置区域）	室内（楼房）	103	2	
⑤	项目地西侧 1（楼梯间）	室内（楼房）	96.2	1.5	
⑥	项目地西侧 2（实验室）	室内（楼房）	106	1	
⑦	项目地上方（1 层前台区域）	室内（楼房）	75.8	2.4	
⑧	项目地上方北侧（科创大厦 C 栋北侧校内道路）	道路	97.3	2.7	

注：测量数据已扣除宇宙射线响应值，检测仪器的宇宙射线响应值为 10.1nGy/h。

4、环境现状调查结果评价

从监测结果可知，本项目监测点位①～⑦位于室内（楼房），室内环境γ辐射空气吸收剂量率为 71.4～106nGy/h，处于江苏省环境天然放射性γ辐射空气吸收剂量率调查结果

中室内的测值范围内（50.7～129.4nGy/h）；监测点位⑧位于室外道路，环境γ辐射空气吸收剂量率为 97.3nGy/h，处于江苏省环境天然放射性γ辐射空气吸收剂量率调查结果中道路的测值范围内（18.1～102.3nGy/h）。

表 9　项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1、X 射线显微成像系统情况介绍

本项目新增 1 台 UniTOM XL 型 X 射线显微成像系统，整套设备主要由系统机柜、电气柜、服务器机架、操作台、管冷却器、机柜冷却器、高压发生器、预真空泵组成，整套系统如图 9-1 所示。

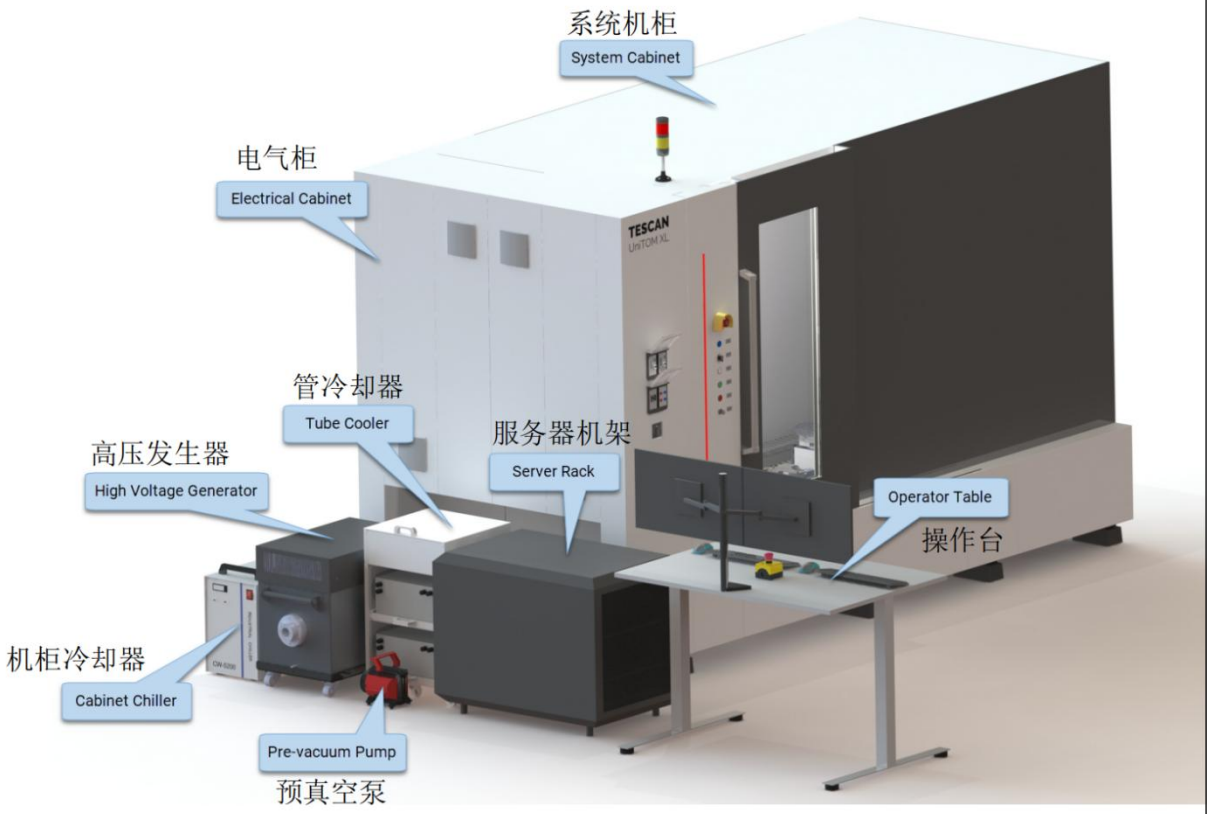


图 9-1　本项目 X 射线显微成像系统示意图

X 射线显微成像系统主体设备为系统机柜，系统机柜外表面尺寸为 3500mm（长）×1580mm（宽）×2150mm（高，含底座高 110mm）。系统机柜采用铅房对 X 射线进行屏蔽，最大管电压为 230kV，最大管电流为 3mA，最大管功率为 300W，滤过条件为 0.5mm 铜+1mm 铍，主射线固定从左向右照射，最大出束角度为 60°。

定义操作按钮所在面为系统机柜前侧，系统机柜与操作台通过电缆连接，系统机柜前侧设有 1 个滑动工件门（检修门），工件门上设有观察窗，操作按钮位于装置前侧；系统机柜左侧为电气柜，设有 1 个电气柜门，电缆口位于装置左侧。系统机柜外观示意见图 9-2，操作按钮及装置内部按钮示意见图 9-3，装置内部示意见图 9-4，系统机柜尺

寸见图 9-5。

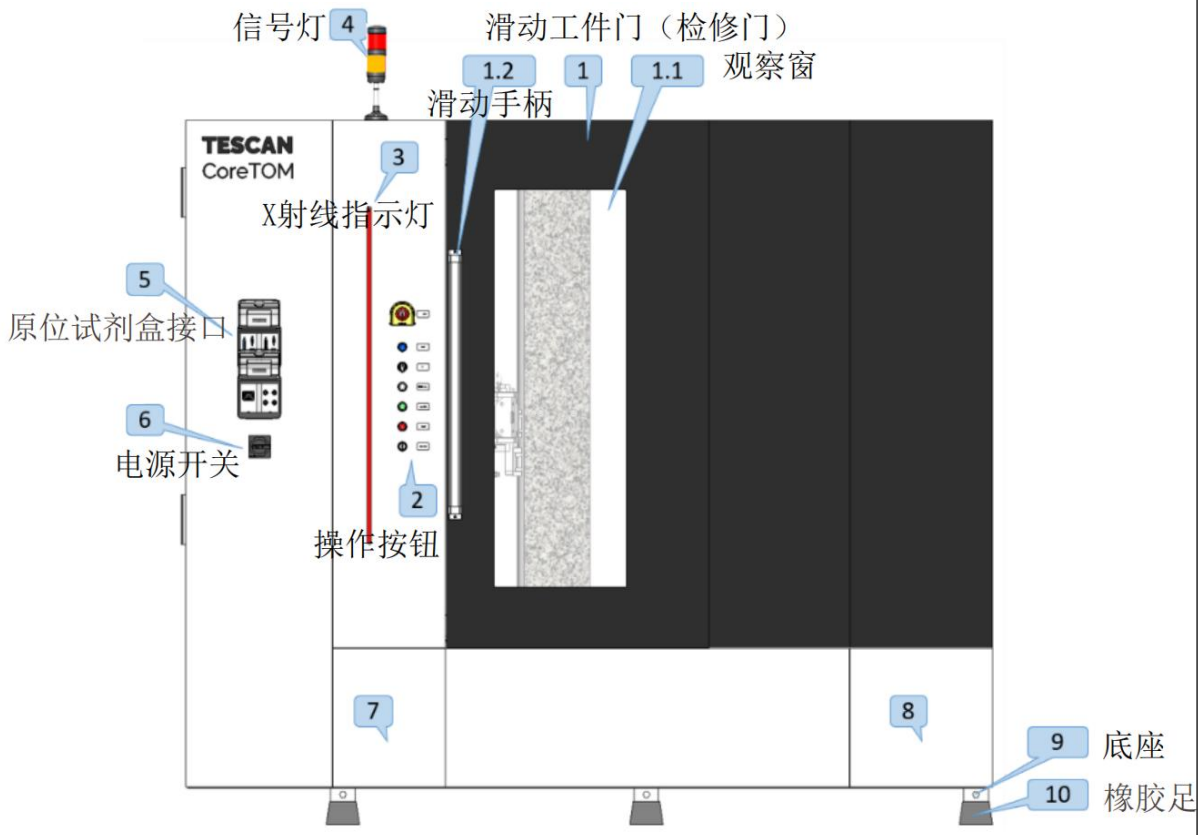
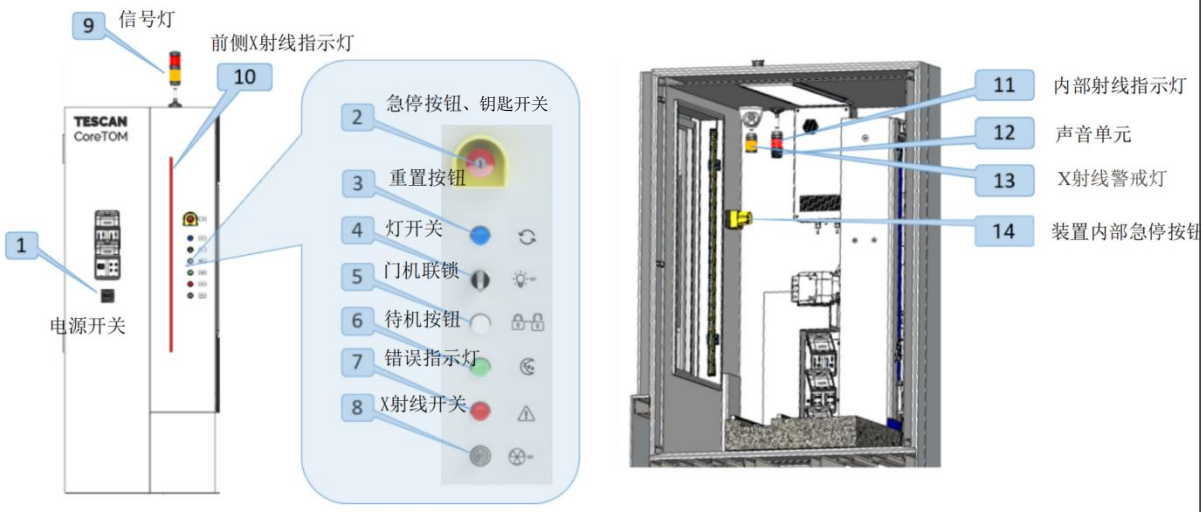


图 9-2　本项目 X 射线显微成像系统机柜外观示意图



装置前侧按钮　　**装置内部按钮**

图 9-3　X 射线显微成像系统机柜操作按钮及装置内部按钮示意图

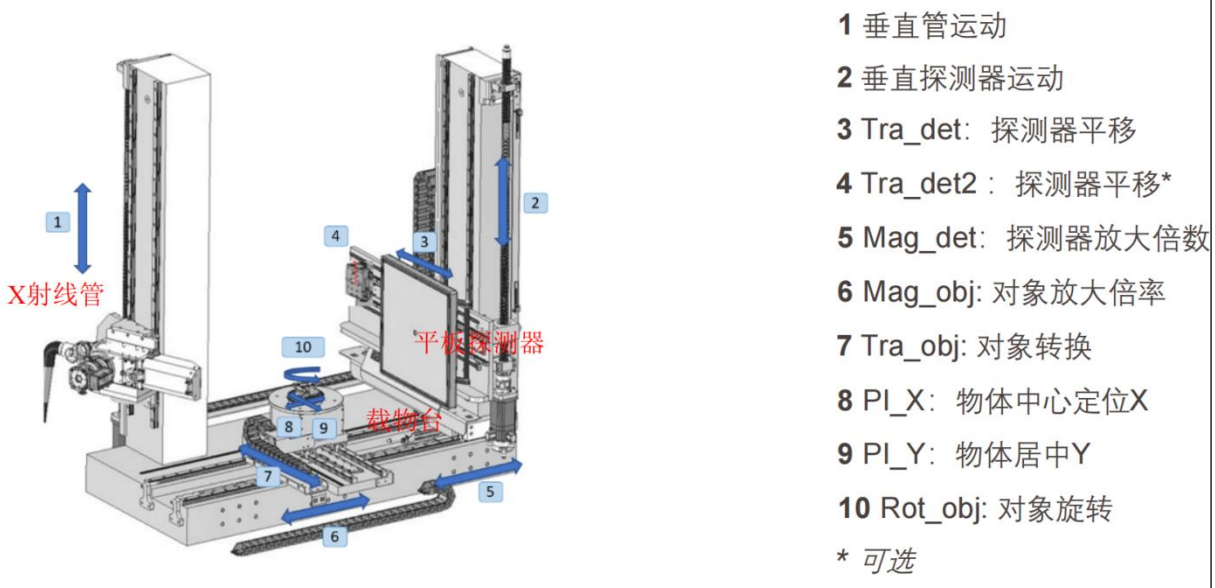


图 9-4　X 射线显微成像系统机柜内部示意图

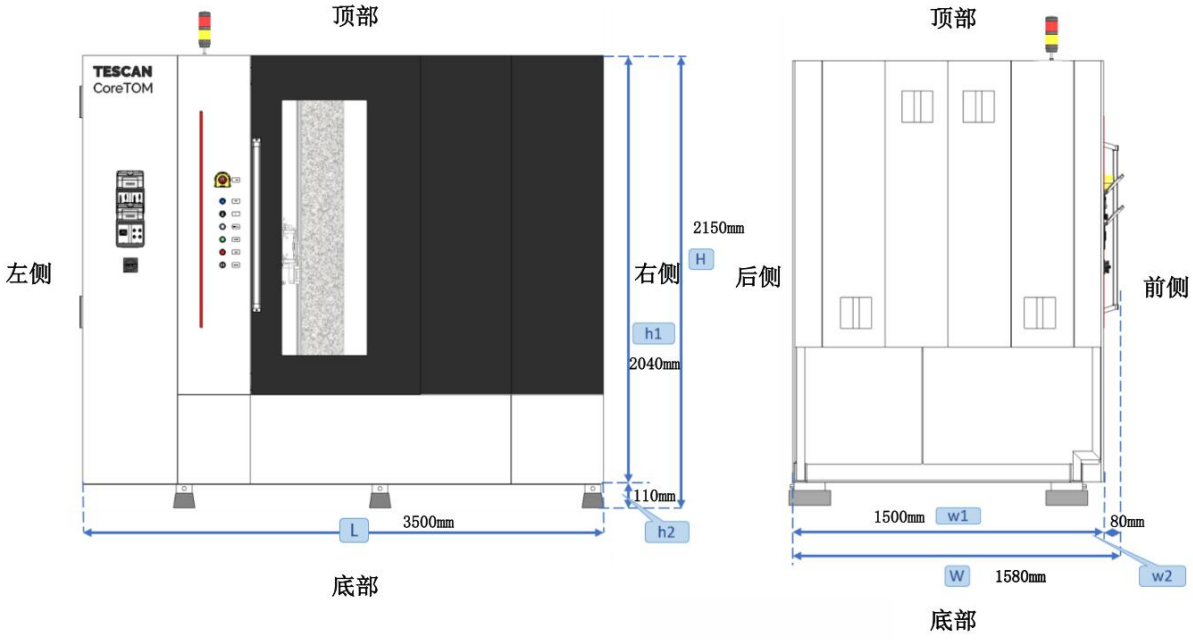


图 9-5　X 射线显微成像系统机柜尺寸示意图

2、X 射线显微成像系统工作原理

X 射线显微成像系统主体设备为系统机柜，内部主要配件为 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，阳极靶则根据需要，可由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加

速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生 X 射线，X 射线的波长很短一般为 0.001～0.1nm。X 射线以光速直线传播，不受电场和磁场的影响，可穿透物质，在穿透过程中有衰减，X 射线检测的实质是根据被检验工件与其内部缺欠介质对射线能量衰减程度不同，而引起射线透过工件后强度差异。X 射线检测过程中，由于被检工件内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力也不一样，物质的密度越大，射线强度减弱越大。

典型的 X 射线管结构图见图 9-6。

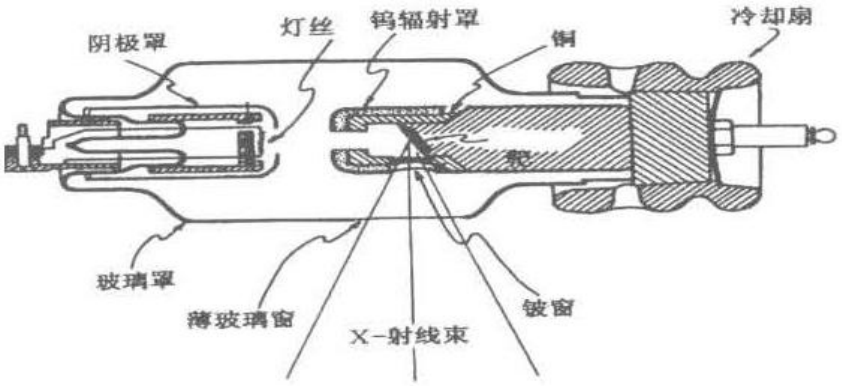


图 9-6　典型的 X 射线管结构图

X 射线显微成像系统工作原理是依据由于被检工件内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力也不一样，物质密度越大，射线强度减弱越大，X 射线穿透被检工件后被数字平板探测器所接收，数字平板探测器把不可见的 X 射线检测信号转换为光学图像，按照一定的图像重建算法，即可获得被检工件截面一薄层无影像重叠的断层扫描（CT）图像，重复上述过程又可获得一个新的断层图像，当测得足够多的二维断层图像就可重建出三维图像，再进行图像校正、分割、三维重构及定量分析，从而达到检测的目的。

3、工艺流程及产污环节

本项目 X 射线显微成像系统工艺流程及产污环节如图 9-7 所示：

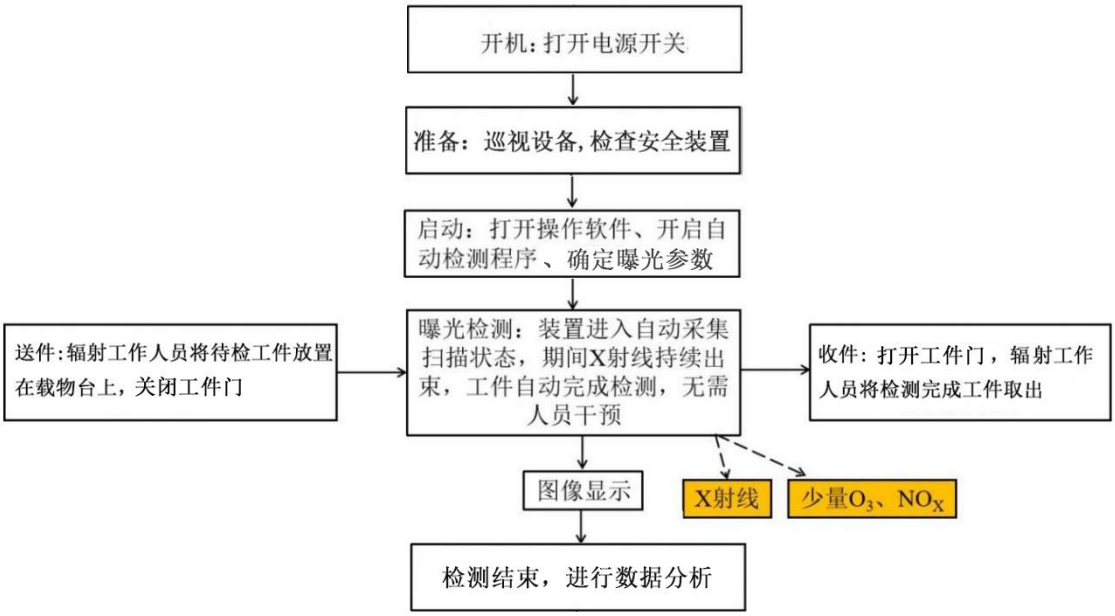


图 9-7　本项目 X 射线显微成像系统工艺流程及产污环节

其工作流程如下：

（1）开机：辐射工作人员打开 X 射线显微成像电源开关；

（2）准备：辐射工作人员巡视设备周围情况，检查设备门机联锁、状态指示灯等安全措施情况，须在所有辐射安全措施均有效的情况下才能进行工件检测；

（3）启动：辐射工作人员在操作面板处启动设备，打开操作软件，开启自动检测程序，根据待检工件的材质、厚度选取曝光条件、确定曝光参数；

（4）送件：辐射工作人员将待检工件放置于载物台上，关闭滑动工件门，项目检测工件为岩石样品，尺寸为直径范围 5mm~50mm，高度范围 10mm~120mm：厚度范围 2mm~80mm。送件过程中辐射工作人员无需进入装置内部；

（5）曝光检测：装置进入自动采集扫描状态，X 射线出束开关自动打开，启动曝光，载物台 360°旋转进行扫描检测，检测期间 X 射线管发出 X 射线，检测铅房中的空气产生少量臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_X），达到预定的曝光时间后关机，停止出束，完成曝光作业；

（6）收件：检测完成后，X 射线出束开关自动关闭，待 X 射线不再出束后，打开滑动工件门，辐射工作人员将检测完成工件取出，取件过程中辐射工作人员无需进入装置内部；

（7）数据分析：检测结束后，扫描所得投影数据经重建形成试样内部二维断层图像和三维结构图像，再进行图像校正、分割、三维重构及定量分析。

本项目主要检测和分析内容包括：试样内部孔隙、裂隙、夹杂及密度不均匀区域的空间分布；孔隙率、裂隙体积、裂隙宽度、连通性及裂隙网络演化特征；渗流过程中流体运移前缘、优势渗流通道、饱和区域及渗流诱发结构变化；加载过程中裂纹萌生、扩展、贯通以及局部破坏带的形成过程；CT 图像结果与压力、流量、荷载、位移及应力-应变数据之间的对应关系。实验结果主要用于研究岩土及工程材料内部结构演化规律、渗流—应力耦合机理和损伤破坏机制，为理论模型验证、数值模拟参数标定、材料性能评价以及校内科研和教学提供基础数据。

4、人员配置及工作制度

人员配置：本项目拟新增 1 名辐射管理人员，4 名辐射工作人员，实行两人一组、轮班开展实验。每次涉及检测工件送样、取样、设备安全检查和 X 射线出束的实验，必须有两名辐射工作人员同时在岗，不安排单人独立操作，不再从事其他辐射工作。

工作制度：本项目为南京大学（苏州校区）校内实验室进行原位渗流、力学实验时使用，白天晚上均有可能进行 X 射线曝光操作，实行两人一组、轮班开展实验，预计每年开展实验约 150 天。

根据建设单位提供资料，每年约开展 60 批次实验，每批次实验平均用时约为 2.5 天，每批次实验 X 射线的曝光时间不超过 20 小时，则本项目 X 射线的曝光时间为 8 小时/天、1200 小时/年；按照两人一组、轮班开展实验换算，每组辐射工作人员受照时间不超过 4 小时/天（不超过 20 小时/周）、600 小时/年。

5、原有工艺不足和改进情况

建设单位原许可的辐射工作场所有完善的环评、辐射安全许可手续。建设单位已建立一套完善的辐射安全与防护相关规章制度，且各辐射工作场所辐射安全与防护措施配备到位。建设单位已按照使用III类射线装置的要求，组织辐射工作人员参加了内部辐射安全与防护知识培训和考核，已为其建立个人剂量监测档案及职业健康管理档案，长期保存。

现有III类射线装置不能满足本项目实验要求，故本次扩建II类射线装置。

原有工艺无不足及需要改进情况。

污染源项描述

1、辐射污染源分析

由 X 射线显微成像系统工作原理可知，只有 X 射线显微成像系统在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线，若未完全屏蔽会对 X 射线显微成像系统外工作人员和公众产生一定外照射，因此 X 射线显微成像系统在开机检测期间，X 射线是项目主要污染物。本项目 X 射线辐射类型主要分为以下三类：

有用线束辐射：X 射线机发出的用于工件检测的辐射束，又称为主射线束。本项目 X 射线显微成像系统型号为 UniTOM XL，装置最大管电压为 230kV，最大管电流为 3mA，最大管功率为 300W，滤过条件为 0.5mm 铜+1mm 铍；滤过条件保守取 0.5mm 铜，保守取《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.1 中 250kV、0.5mm 铜滤过条件下的输出量，H_0 为 16.5 mGy·m^2/（mA·min）=16.5×6×10^{4}μSv·m^2/（mA·h）=9.9×10^{5}μSv·m^2/（mA·h）；

漏射线辐射：由辐射源点在各个方向上从屏蔽装置中泄漏出来的射线称为漏射线。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中表 1，本项目距 X 射线管靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率应小于 5×10^{3}μSv/h；

散射线辐射：当主射线照射到检测工件时，会产生散布于各个方面上的散射辐射，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中表 2，X 射线经检测工件 90°散射后，散射线能量和辐射剂量率远小于主射线能量和辐射剂量率。本项目 X 射线 90°散射辐射最高能量取 200kV。

2、非辐射污染源分析

本项目 X 射线显微成像系统运行时无放射性废气、放射性废水和放射性固体废物产生，X 射线显微成像系统在曝光时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，其产生的臭氧和氮氧化物对周围环境空气质量影响较小。

表 10　辐射安全与防护

项目安全设施

1、工作场所布局及分区

本项目新增 1 台 UniTOM XL 型 X 射线显微成像系统，整套设备主要由系统机柜、电气柜、服务器机架、操作台、管冷却器、机柜冷却器、高压发生器、预真空泵组成。X 射线显微成像系统放置于科创大厦 C 栋负一层 C011 室内，系统机柜正面朝东，操作台位于系统机柜东南方向，主射线固定从左向右照射（从南向北照射），操作台避开了 X 射线主射线方向，布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于“操作室应避开有用线束照射的方向并与探伤室分开”的要求。

本项目 X 射线显微成像系统位于科创大厦 C 栋负一层 C011 室内，C011 室与周围环境使用墙体进行分隔。建设单位将辐射工作场所进行分区管理，以系统机柜边界作为控制区边界，工作期间禁止任何人员进入；以 C011 室内其他区域作为辐射防护监督区，监督区边界使用实体墙进行分隔，监督区出入口位于 C011 室东南侧并使用电子门禁进行出入控制，工作期间禁止无关人员靠近，并在监督区边界和进出口的醒目位置张贴“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于辐射工作场所的分区规定，分区防控示意如图 10-1。

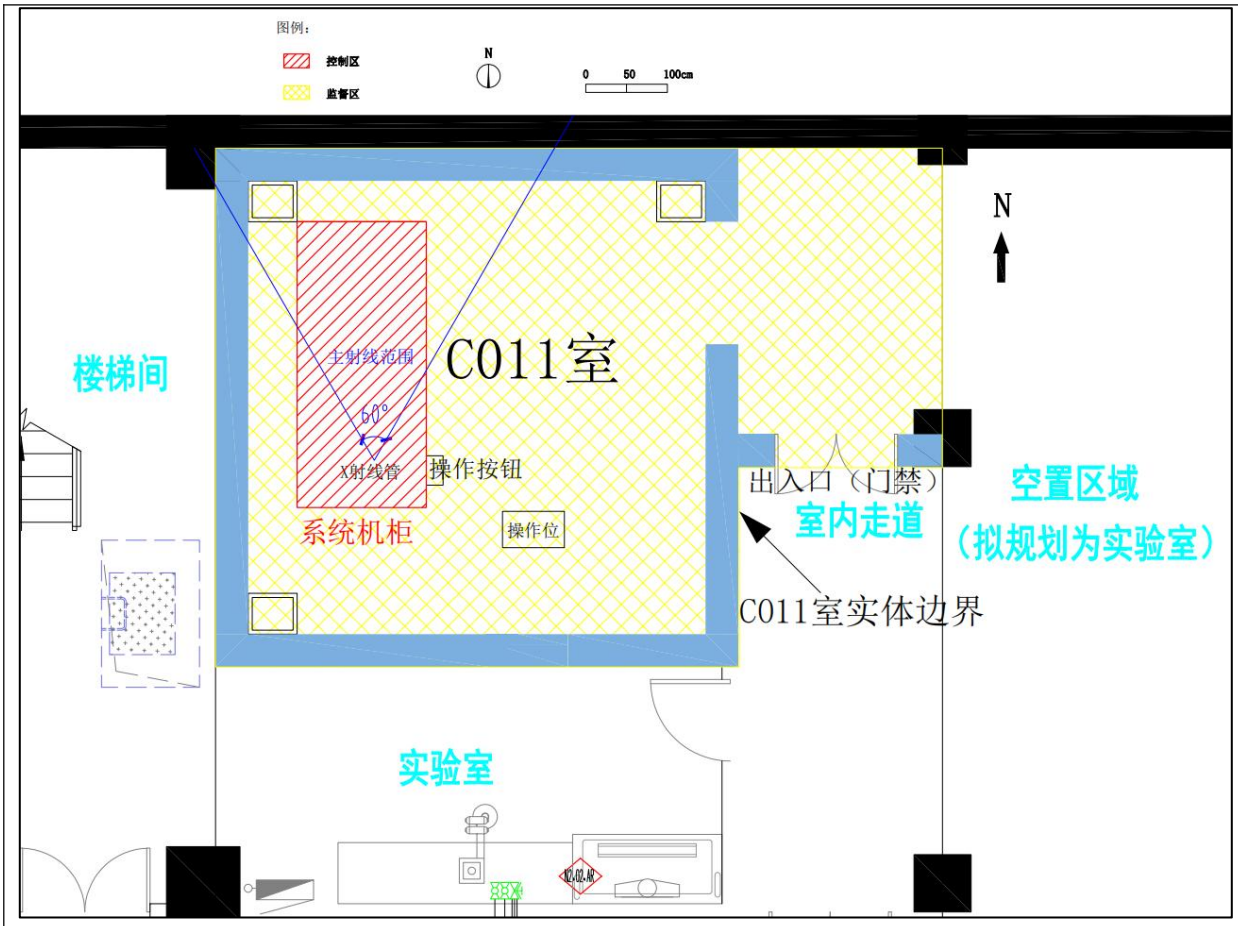


图 10-1　本项目 X 射线显微成像系统控制区、监督区示意图

2、工作场所辐射屏蔽设计及射线装置主要参数

本项目新增 1 台 UniTOM XL 型 X 射线显微成像系统，整套设备主要由系统机柜、电气柜、服务器机架、操作台、管冷却器、机柜冷却器、高压发生器、预真空泵组成。系统机柜外表面尺寸为 3500mm（长）×1580mm（宽）×2150mm（高，含底座高 110mm）。

定义操作按钮所在面为系统机柜前侧，系统机柜与操作台通过电缆连接，系统机柜前侧设有 1 个滑动工件门（检修门），工件门上设有观察窗，操作按钮位于装置前侧；系统机柜左侧为电气柜，设有 1 个电气柜门，电缆口位于装置左侧。

X 射线显微成像系统使用铅房对 X 射线进行屏蔽，电缆口使用铅罩进行屏蔽防护，屏蔽参数见表 10-1，项目屏蔽设计材料见附件 6。

表 10-1　本项目屏蔽设计参数

X 射线显微成像系统型号	屏蔽参数		装置尺寸参数	主射线方向
	位置	屏蔽体材料及厚度		
UniTOM XL	前侧（主射面）	14mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 14.4mm 铅	3500mm（长）×1580mm（宽）×2150mm（高，含底座高 110mm）	主射线固定从左向右照射，最大出束
	前侧（非主射面）	8mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 8.4mm 铅		

	后侧（主射面）	14mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 14.4mm 铅		角度为 60°
	后侧（非主射面）	8mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 8.4mm 铅		
	左侧（非主射面）	8mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 8.4mm 铅		
	右侧（主射面）	14mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 14.4mm 铅		
	底部（主射面）	14mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 14.4mm 铅		
	底部（非主射面）	8mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 8.4mm 铅		
	顶部（主射面）	14mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 14.4mm 铅		
	顶部（非主射面）	8mm 铅板+5mm 铁板，等效铅当量为 8.4mm 铅		
	观察窗	铅玻璃（等效铅当量 8mmPb）		
	电缆口	8mm 铅罩		
	工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度 6mm，工件门、检修门与装置外壳搭接处长度为 65~160mm，工件门、检修门与装置外壳搭接处长度大于工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度的 10 倍。			

注：根据《辐射防护手册》（李德平 潘自强主编，第三分册）P63 中“表 3.4 不同屏蔽材料的铅当量”，管电压为 200kV 时，12mm 铁的铅当量为 1mm 铅，管电压为 300kV 时，12mm 铁的铅当量为 1mm 铅，推算出 X 射线管电压为 230kV，12mm 铁的铅当量为 1mm 铅，折算出本项目 5mm 铁的铅当量约为 0.4mm 铅。

表3.4 不同屏蔽材料的铅当量[6]

材料及其密度	管电压 kV	材料厚度，mm 铅厚，mm							
		1	2	3	4	6	8	10	15
铁 7.9g/cm³	150	11	25	37	50				
	200	12	27	40	55				
	300	12	20	28	35	48	60	75	
	400	11	18	23	28	38	38	55	75

3、工作场所辐射安全措施

（1）本项目 X 射线显微成像系统通过自带铅房对 X 射线进行防护。

（2）本项目 X 射线显微成像系统设置门-机联锁装置，工件门、检修门均设有门-机联锁装置，只有在工件门、检修门全部关闭后才能进行出束，进行 X 射线扫描检测作业。在扫描检测过程中，任一防护门被意外打开时，能立刻停止出束。

（3）本项目 X 射线显微成像系统机柜顶部设有显示设备状态的信号灯，不同的颜色对应设备不同状态。建设单位在 X 射线显微成像系统附近醒目位置张贴射线装置信号指示意义的中文说明。

系统机柜前侧设有长条形 X 射线指示灯，红色灯亮表示 X 射线出束。

（4）本项目 X 射线显微成像系统表面和监督区入口位置设置符合 GB 18871-2002 的“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿在其附近逗留。

（5）本项目 X 射线显微成像系统正常工作时，辐射工作人员无需进入 X 射线显微成像系统机柜内部，故机柜内部未设置监视装置，建设单位在 C011 室内设有 3 个摄像头，可实时监视 C011 室内设备和人员情况。

（6）本项目 X 射线显微成像系统在机柜前侧操作按钮设置钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X 射线管才能出束，钥匙授权专人管理，只有在停机或待机状态时才能拔出。

（7）本项目 X 射线显微成像系统在机柜前侧操作按钮、操作台各设置 1 个急停按钮，在铅房内侧左上角设置 1 个急停按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。

（8）本项目 X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。

（9）本项目电缆口位于 X 射线显微成像系统机柜的左侧，电缆口使用 8mm 铅罩进行防护，铅罩将电缆口完全遮蔽，电缆口远离射线源避开射线源直照面，确保电缆口不破坏铅房的整体防护效果。

（10）本项目 X 射线显微成像系统的工件门与屏蔽体的间隙微小，并设置搭接，防止射线泄漏。

本项目主要辐射安全措施平面示意见图 10-2，本项目辐射防护措施与《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相符性分析见下表。

表 10-2　项目辐射防护措施与 GBZ117-2022 相符性分析表

《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求	本项目情况	是否满足要求
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	X 射线显微成像系统放置于科创大厦 C 栋负一层 C011 室内，系统机柜正面朝东，操作台位于系统机柜东南方向，主射线固定从左向右照射（从南向北照射），操作台避开了 X 射线主射线方向，检测铅房屏蔽体厚	是

门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。	度满足源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素的要求。	
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。	本项目工作场所按照控制区和监督区进行管理，分区管理符合 GB 18871 的要求。	是
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。	本项目 X 射线显微成像系统设置门-机联锁装置，工件门、检修门均设有门-机联锁装置，只有在工件门、检修门全部关闭后才能进行出束，进行 X 射线扫描检测作业。在扫描检测过程中，任一防护门被意外打开时，能立刻停止出束。	是
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。	本项目 X 射线显微成像系统机柜顶部设有显示设备状态的信号灯，不同的颜色对应设备不同状态。系统机柜前侧设有长条形 X 射线指示灯，红色灯亮表示 X 射线出束。 建设单位在 X 射线显微成像系统附近醒目位置张贴射线装置信号指示意义的中文说明，警告无关人员勿靠近，故不另外安装显示“预备”“照射”字样的指示灯；正常作业过程中辐射工作人员无法进入装置内部，因此未安装声音提示装置。	满足项目安全防护需求
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 X 射线显微成像系统正常工作时，辐射工作人员无需进入 X 射线显微成像系统机柜内部，故机柜内部未设置监视装置，建设单位在 C011 室内设有 3 个摄像头，可实时监视 C011 室内设备和人员情况。	满足项目安全防护需求
6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	本项目 X 射线显微成像系统表面和监督区入口位置设置符合 GB 18871-2002 的“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿在其附近逗留。	是
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。	本项目 X 射线显微成像系统在机柜前侧操作按钮、操作台各设置 1 个急停按钮，在铅房内侧左上角设置 1 个急停按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。	是
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。	本项目 X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。	满足项目安全防护需求
6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	正常工作时，人员无需进入 X 射线显微成像系统机柜内部，因此屏蔽体内部配置固定式场所辐射探测报警装置的要求不适用	满足项目检测和安全

	于本项目。建设单位拟为每位辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，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。	防护需求

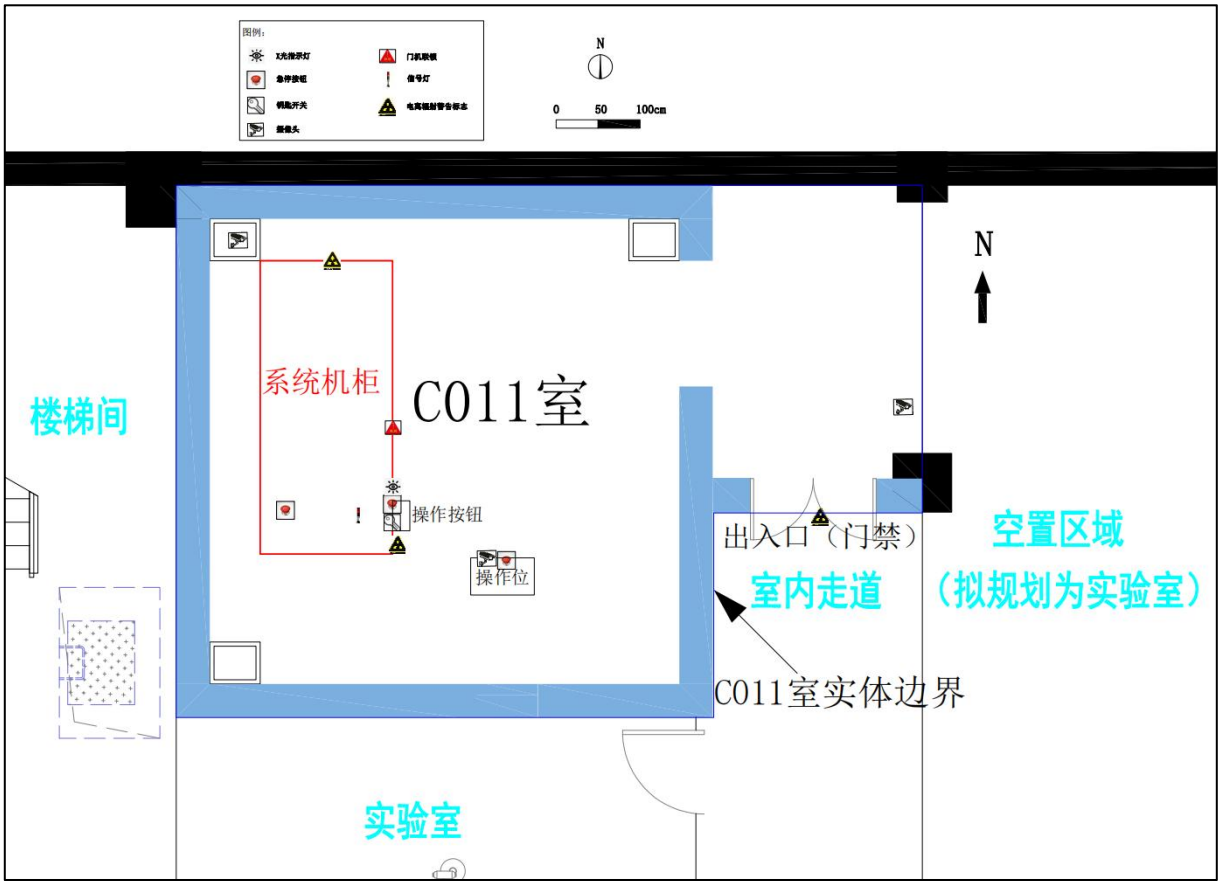


图 10-2　本项目主要辐射安全措施平面示意图

4、探伤操作的放射防护措施

（1）正常使用时，辐射工作人员应检查装置防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否有效。

（2）本项目 X 射线显微成像系统正常进行检测时工作人员无需进入铅房内部，射线装置需定期进行检修，检修时，关闭 X 射线出束装置，工作人员佩戴常规个人剂量计，携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ剂量率仪由前侧检修防护门进入设备内部进行检修。

（3）定期测量射线装置周围区域的剂量率水平，包括辐射工作人员工位和公众居留处，测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止检测工作并向辐射防护负责人报告。

（4）辐射工作人员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，则不应开始检测工作。

（5）在每一次照射前，辐射工作人员都应该检查安全装置，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，才能开始检测工作。

5、探伤设施的退役要求

（1）X 射线发生器应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

（2）清除本项目涉及的所有电离辐射警告标志和安全告知。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

“三废”的治理

1、固体废物

本项目运行后不会产生放射性固体废物。

2、液体废物

本项目运行后不会产生放射性液体废物。

3、气体废物

X 射线显微成像系统在曝光时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，其产生的臭氧和氮氧化物对周围环境空气质量影响较小。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目新增 1 台 X 射线显微成像系统为成品设备，已在设备生产厂家组装完成，仅需在本项目场址完成安装，过程中会产生少量的噪声和固体废物。但本项目施工期较短，施工量不大，对实验室周围环境影响较小，施工期结束后，施工期环境影响将随之消失。

运行阶段对环境的影响

1、设备参数

X 射线显微成像系统机柜外表面尺寸为 3500mm（长）×1580mm（宽）×2150mm（高，含底座高 110mm）。X 射线显微成像系统机柜采用铅房对 X 射线进行屏蔽，最大管电压为 230kV，最大管电流为 3mA，最大管功率为 300W，滤过条件为 0.5mm 铜+1mm 铍，主射线固定从左向右照射，最大出束角度为 60°。

定义操作按钮所在面为系统机柜前侧，根据设备供应商提供资料，本项目 X 射线管在水平方向不移动，垂直方向移动范围为 980mm，X 射线管靶点距装置左侧外表面最近距离为 580mm，距装置右侧外表面最近距离为 2630mm，距装置前侧外表面最近距离为 600mm，距装置后侧外表面最近距离为 910mm，距装置底部外表面最近距离为 620mm，距装置顶部外表面最近距离为 430mm，X 射线显微成像系统主射线照射范围及本项目预测参考点示意图如图 11-1。

由图 11-1 可知，铅房右侧、前侧（右边 1155mm）、后侧（右边 875mm）、顶部（右边 1765mm）、底部（右边 1240mm）均受到有用线束照射，本项目装置表面预测参考点如图 11-1 所示，预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式。

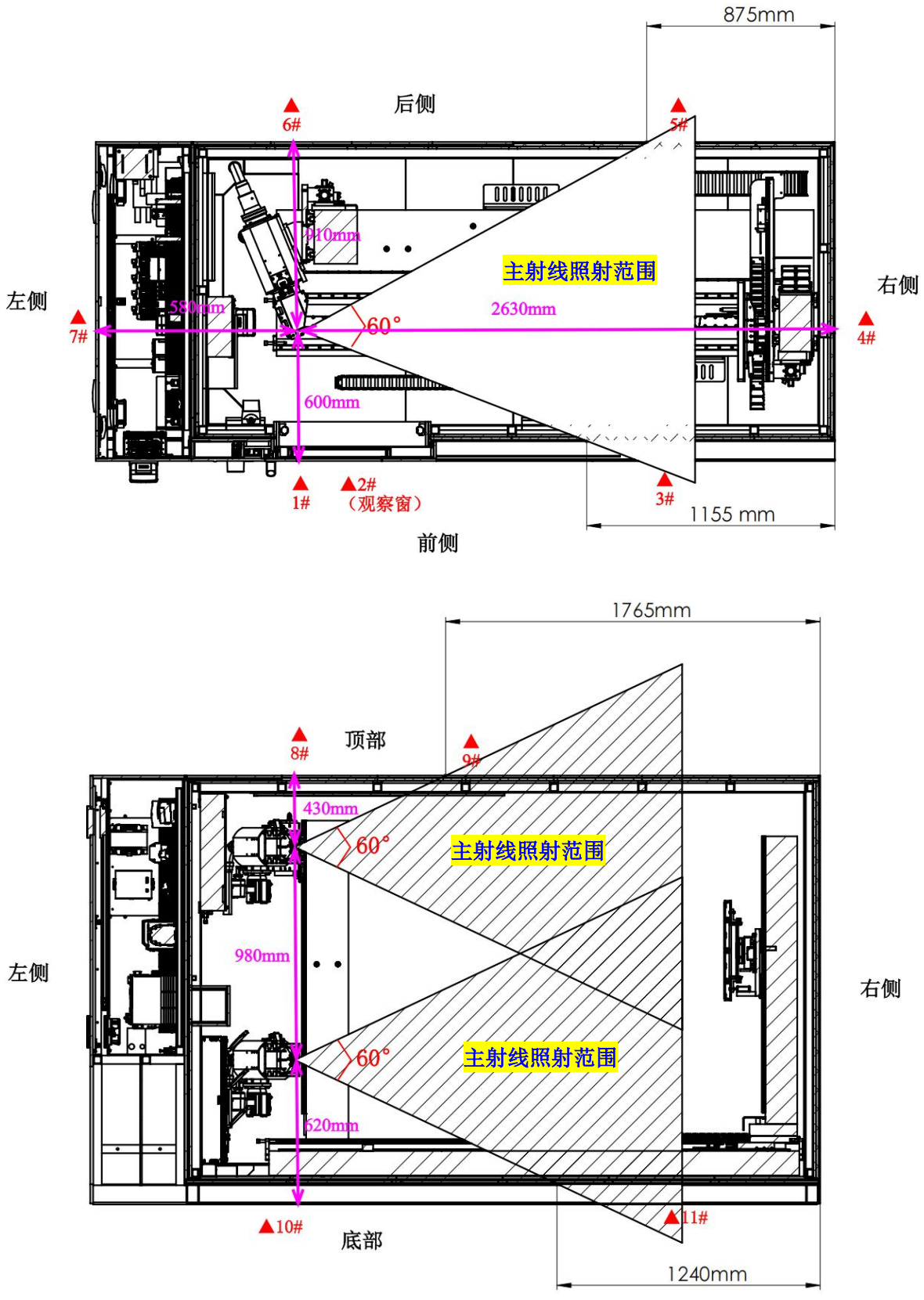


图 11-1　X 射线显微成像系统主射线照射范围及本项目预测参考点示意图

2、有用线束屏蔽估算

有用线束预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式：

$$\dot{H}=\frac{I\cdot H_0\cdot B}{R^2}$$ 公式（1）

式中：$\dot{H}$：关注点处剂量率，μSv/h；

I：X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA，本项目取值为 1.30mA；

H_0：距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m^2/(mA·h)，根据表 9 中“辐射污染源分析”内容，本项目H_0取值为 16.5 mGy·m^2/（mA·min）=16.5×6×10^{4}μSv·m^2/（mA·h）=9.9×10^{5}μSv·m^2/（mA·h）；

B：屏蔽透射因子，本项目查取什值层厚度，按下述计算公式（2）计算得出屏蔽透射因子，按公式（2）计算得出等效铅当量 14.4mm 铅的 B 值为 5.48×10^{-7}；

$$B=10^{-X/TVL}$$ 公式（2）

式中：X：屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位，本项目有用线束照射区域屏蔽材料为 14mm 铅+5mm 铁，等效铅当量为 14.4mm 铅。

TVL：什值层厚度，mm；取值参考《辐射防护导论》（方杰主编）P98 中的表 3.5，管电压 200kV 时，TVL 为 1.4mm 铅，管电压 250kV 时，TVL 为 2.9mm 铅，内插法计算得管电压 230kV 时，TVL 为 2.3mm 铅；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，米（m）。

3、非有用线束屏蔽估算

装置非有用线束屏蔽体预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中非有用线束屏蔽估算的计算公式：

（1）泄漏辐射

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_L\cdot B}{R^2}$$ 公式（3）

式中：$\dot{H}$：关注点处剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_L$：距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，μSv/h，取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中表 1，本项目距 X 射线管靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率应小于 5×10^{3}μSv/h；

B：屏蔽透射因子，本项目查取什值层厚度计算得出屏蔽透射因子，本项目非

有用线束照射区域屏蔽材料为 8mm 铅+5mm 铁（等效铅当量 8.4mm 铅），什值层厚度 TVL 同有用线束为 2.3mm 铅，按公式（2）计算得出 8mm 铅+5mm 铁（等效铅当量 8.4mm 铅）的 B 值为 2.23×10^{-4}，8mm 铅当量的铅玻璃的 B 值为 3.32×10^{-4}；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，米（m）。

（2）散射辐射

$$\dot{H}=\frac{I\cdot H_0\cdot B}{R_S^2}\cdot\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$$ 公式（4）

式中：$\dot{H}$：关注点处剂量率，μSv/h；

I：X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H_0：距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/(mA·h)，保守同有用线束距辐射源点（靶点）1m 处输出量计算，本项目取值 H_0=16.5 mGy·m²/（mA·min）=16.5×6×10⁴μSv·m²/（mA·h）=9.9×10⁵μSv·m²/（mA·h）；

B：屏蔽透射因子，本项目查取什值层厚度、计算得出屏蔽透射因子，本项目非有用线束照射区域屏蔽材料为 8mm 铅+5mm 铁（等效铅当量 8.4mm 铅），散射辐射最高能量取 200kV，参考《辐射防护导论》（方杰主编）P98 中的表 3.5，管电压 200kV 时，TVL 为 1.4mm 铅；按公式（2）计算得出 8mm 铅+5mm 铁（等效铅当量 8.4mm 铅）的 B 值为 1.00×10^{-6}，8mm 铅当量的铅玻璃的 B 值为 1.93×10^{-6}。

F：R_0 处的辐射野面积，平方米（m²）；

α：散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）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；

R_0：辐射源点（靶点）至检测工件的距离，米（m）；

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 中“B.4.2 当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20°时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2/F\cdot\alpha$因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目 X 射线装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 30°，参考夹角为 20°时取值，本项目 $R_0^2/F\cdot\alpha$的取值为 50。

R_s：散射体至关注点的距离，米（m）；

4、参考点处剂量率理论计算结果

表 11-1　X 射线显微成像系统有用线束方向屏蔽体屏蔽效果预测表

点位 \ 取值		设计厚度	I（mA）	H_0 μSv·m²/(mA·h)	B	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	表面 30cm 处剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价
3#	前侧	等效铅当量 14.4mm 铅	1.30	9.9×10^{5}	5.48×10^{-7}	0.9	0.874	2.5	满足
4#	右侧		1.30	9.9×10^{5}	5.48×10^{-7}	2.93	0.082	2.5	
5#	后侧		1.30	9.9×10^{5}	5.48×10^{-7}	1.21	0.484	2.5	
9#	顶部		1.30	9.9×10^{5}	5.48×10^{-7}	0.73	1.329	2.5	
11#	底部		1.30	9.9×10^{5}	5.48×10^{-7}	0.73	1.329	2.5	

注：①上表中参考点点位见图 11-1，X 射线管与参考点的距离保守取距屏蔽体最近距离+30cm；

②3#参考点：$R_{前侧}$=X 射线管距装置前侧外表面最近距离 0.6m+0.3m=0.9m；

③4#参考点：$R_{右侧}$=X 射线管距装置右侧外表面最近距离 2.63m+0.3m=2.93m；

④5#参考点：$R_{后侧}$=X 射线管距装置后侧外表面最近距离 0.91m+0.3m=1.21m；

⑤9#参考点：$R_{顶部}$=X 射线管距装置顶部外表面最近距离 0.43m+0.3m=0.73m；

⑥11#参考点：$R_{底部}$=X 射线管距装置底部外表面最近距离 0.62m+底座高 0.11m=0.73m。

表 11-2　X 射线显微成像系统非有用线束方向屏蔽效果预测表

取值 \ 点位		1#	2#	6#	7#	8#	10#
		前侧	前侧（观察窗）	后侧	左侧	顶部	底部
屏蔽设计厚度（mm）		等效铅当量 8.4mm 铅	铅玻璃（8mm 铅当量）	等效铅当量 8.4mm 铅	等效铅当量 8.4mm 铅	等效铅当量 8.4mm 铅	等效铅当量 8.4mm 铅
泄漏辐射	B	2.23×10^{-4}	3.32×10^{-4}	2.23×10^{-4}	2.23×10^{-4}	2.23×10^{-4}	2.23×10^{-4}
	$\dot{H}_L$（μSv/h）	5×10^{3}	5×10^{3}	5×10^{3}	5×10^{3}	5×10^{3}	5×10^{3}
	R（m）	0.9	0.9	1.21	0.88	0.73	0.73
	$\dot{H}$（μSv/h）	**1.375**	**2.052**	**0.761**	**1.438**	**2.090**	**2.090**
散射辐射	散射线能量(kV)	200					
	B	1.00×10^{-6}	1.93×10^{-6}	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}
	I（mA）	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
	H_0（μSv·m²/(mA·h)）	9.9×10^{5}	9.9×10^{5}	9.9×10^{5}	9.9×10^{5}	9.9×10^{5}	9.9×10^{5}

	$\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50
	Rs（m）	0.9	0.9	1.21	0.88	0.73	0.73
	***Ḣ*（μSv/h）**	**0.032**	**0.061**	**0.018**	**0.033**	**0.048**	**0.048**
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		**1.407**	**2.114**	**0.778**	**1.471**	**2.138**	**2.138**
射线装置屏蔽体表面30cm处剂量率参考控制水平（μSv/h）		**2.5**	**2.5**	**2.5**	**2.5**	**2.5**	**2.5**
评价		**满足**	**满足**	**满足**	**满足**	**满足**	**满足**

注：①上表中参考点点位见图11-1，X射线管与参考点的距离保守取距屏蔽体最近距离+30cm；

②1#参考点：$R_{前侧}$=$Rs_{前侧}$=X射线管距装置前侧外表面最近距离0.6m+0.3m=0.9m；

③2#参考点：$R_{前侧（观察窗）}$=$Rs_{前侧（观察窗）}$=X射线管距装置前侧外表面最近距离0.6m+0.3m=0.9m；

④6#参考点：$R_{后侧}$=$Rs_{后侧}$=X射线管距装置后侧外表面最近距离0.91m+0.3m=1.21m；

⑤7#参考点：$R_{左侧}$=$Rs_{左侧}$=X射线管距装置左侧外表面最近距离0.58m+0.3m=0.88m；

⑥8#参考点：$R_{顶部}$=$Rs_{顶部}$=X射线管距装置顶部外表面最近距离0.43m+0.3m=0.73m；

⑦10#参考点：$R_{底部}$=X射线管距装置底部外表面最近距离0.62m+底座高0.11m=0.73m；

⑧本项目散射辐射屏蔽计算时散射体至关注点的距离（Rs）取值保守使用辐射源点（靶点）至关注点的距离（R）。

从表11-1、表11-2中预测结果可以看出，当本项目X射线显微成像系统使用最大工况运行时（最大管功率300W、管电压230kV、管电流1.30mA），射线装置表面外30cm处辐射剂量率均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及本项目“X射线显微成像系统机柜四周、底部、顶部表面外30cm处周围剂量当量率不大于2.5μSv/h”的限值要求。

5、保护目标剂量评价

（1）关注点处辐射剂量率

本项目辐射工作人员主要是装置操作人员，公众主要为装置周围其他非辐射工作人员，关注点如图11-2所示。

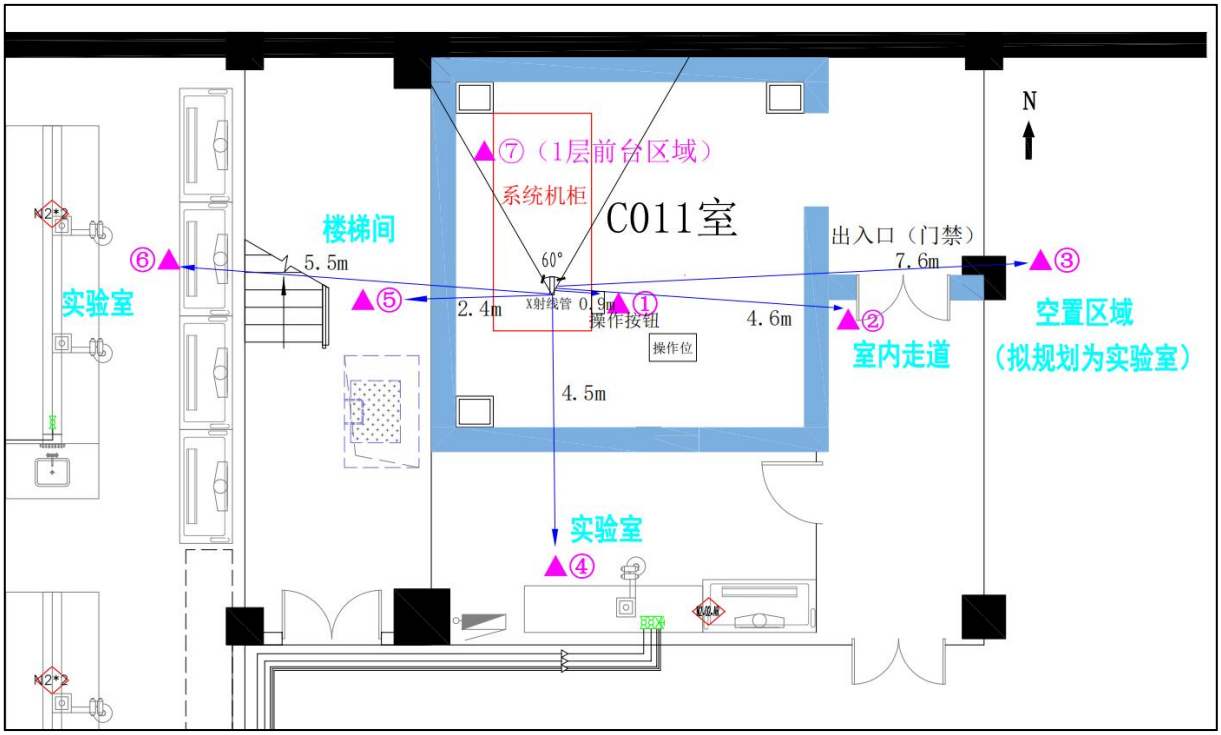


图 11-2　本项目 X 射线显微成像系统周围关注点示意图

本项目辐射工作人员主要是装置操作人员，公众主要为装置拟建址周围 50m 范围内的其他人员。根据剂量率与距离的平方成反比公式可得到各关注点处辐射剂量率：

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{R_2^2}{R_1^2}$$　　公式（5）

式中：H_1—距射线源R_1处的剂量率，μSv/h；

H_2—距射线源R_2处的剂量率，μSv/h；

R_1—装置各屏蔽体外 30cm 处距射线源的距离，m；

R_2—监督区外各计算点位距射线源的距离，m。

表 11-3　X 射线显微成像系统四周关注点参数及剂量率估算结果

编号	名称	方位	距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
①	操作位（保守取系统机柜前侧操作按钮处）	东	约 0.9	1.407
②	室内走道	东	约 4.6	0.054
③	空置区域（拟规划实验室）	东	约 7.6	0.020
④	实验室	南	约 4.5	0.056
⑤	楼梯间	西	约 2.4	0.198
⑥	实验室	西	约 5.5	0.038
⑦	1 层前台区域	上方	约 3.7	0.083

（2）受照剂量估算

本项目辐射工作人员和周围公众受照剂量预测可参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的公式（1）变形来估算，估算公式如下：

$$H_C=\dot{H}_{c,\ d}\cdot t\cdot U\cdot T \qquad \text{公式（6）}$$

式中：H_c：参考点的剂量水平，μSv/周、μSv/年；

$\dot{H}_{c,\ d}$：参考点处剂量率，μSv/h；

t：装置照射时间，h/周、h/年；

U：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。

根据公式（6），可估算出本项目所致辐射工作人员和周围公众的年受照剂量，具体计算参数及计算结果见下表。

表 11-4　本项目 X 射线显微成像系统所致辐射工作人员和周围公众受照剂量表

保护目标	关注点		使用因子 U	居留因子 T	最大剂量率值（μSv/h）	周剂量估算值(μSv/周)	剂量约束值(μSv/周)	年剂量估算值(mSv/年)	剂量约束值(mSv/年)	结论
辐射工作人员	①	操作位	1	1	1.407	28.138	100	0.8441	5	满足
周围公众	②	室内走道	1	1/4	0.054	0.269	5	0.0081	0.1	满足
	③	空置区域（拟规划为实验室）	1	1	0.020	0.395	5	0.0118	0.1	满足
	④	实验室	1	1	0.056	1.125	5	0.0338	0.1	满足
	⑤	楼梯间	1	1/8	0.198	0.495	5	0.0148	0.1	满足
	⑥	实验室	1	1	0.038	0.753	5	0.0226	0.1	满足
	⑦	1 层前台区域	1	1/4	0.083	0.416	5	0.0125	0.1	满足

注：本项目每组辐射工作人员受照时间不超过 4 小时/天（不超过 20 小时/周）、600 小时/年。

从上表预测结果可以看出，当项目 X 射线显微成像系统使用最大工况运行时，辐射工作人员所受年有效剂量最大为 0.8441mSv，周围公众年有效剂量最大为 0.0338mSv，人员受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及本项目年受照剂量约束值（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）。

6、天空、底部地面反散射辐射影响分析

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中“3.1.2 b 1）穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的辐射在相应关注点的剂量率总和，应按 3.1.1 c）的剂量率参考控制水平 *Hc*（μSv/h）加以控制。”

根据表 11-1、11-2 计算结果，本项目 X 射线显微成像系统顶部外 30cm 处剂量率为 2.138μSv/h，经天空反散射到达地面周围剂量当量率约为 0.001μSv/h；装置底部表面外剂量率为 2.138μSv/h，经底部地面散射后周围剂量当量率约为 0.017μSv/h；装置四周表面外剂量率最大为 2.114μSv/h，叠加装置顶部天空反散射、底部地面反散射剂量后，可满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”的要求。

7、电缆口、防护门搭接设计辐射影响分析

本项目 X 射线显微成像系统的电缆口位于系统机柜左侧下方，在开孔位置使用 8mm 铅板的防护罩进行屏蔽防护，项目 X 射线显微成像系统利用散射降低电缆管道口的辐射水平，X 射线至少经过三次散射才能到达管道口。根据《辐射防护导论》P189“如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。这时，迷道口也只需采用普通门”，项目 X 射线显微成像系统电缆管道设计能够满足辐射防护要求。

本项目 X 射线显微成像系统的工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度 6mm，工件门、检修门与装置外壳搭接处长度为 65~160mm，工件门、检修门与装置外壳搭接处长度大于工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度的 10 倍，确保工件门、检修门不破坏铅房的整体防护效果，可有效防止射线漏出。

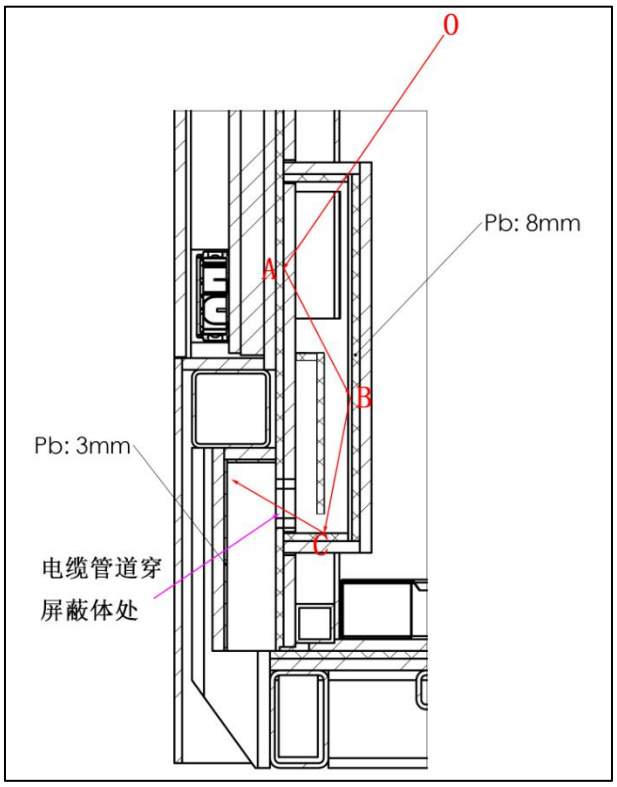


图 11-3　本项目电缆管道散射路径示意图

事故影响分析

1、主要事故风险

X 射线显微成像系统只有在开机出束时才产生 X 射线，因此，本项目异常事件多为开机误照射事故，主要有：

（1）门机联锁装置发生故障，工件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；

（2）人员滞留在 X 射线显微成像系统机柜内部，但辐射工作人员未经确认内部情况即开始出束，导致滞留人员受到意外照射。

（3）装置维修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启射线发生器，使维修维护人员被误照射。

本项目可能发生的最大可信事件为：人员维修维护（距辐射源点约 lm 处）时，设备意外出束，受到有用线束的直接照射。假设人员从开始受照至个人剂量报警仪报警并采取断电措施的持续时长为 20s，距离射线管靶点 1 米处的输出量最大为 16.5 mGy·m^2/（mA·min）（300W、230kV），计算单次事件下人员受照剂量为 7.15mSv。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订本）第四十条关于辐射事故等级的规定“一般辐射事故，是指Ⅳ类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者

放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射”，本项目最大可信事件人员受照剂量为 7.15mSv，超过辐射工作人员年受照剂量约束值 5mSv/a，属于一般辐射事故。

2、辐射事故预防措施

（1）每次检测前均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性，定期检测 X 射线显微成像系统周围的辐射水平，确保 X 射线显微成像系统有效运转。

（2）根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号），本项目辐射工作人员和辐射防护负责人须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。

（3）建设单位在实际工作中应不断对辐射安全管理制度进行完善，加强对职工辐射防护知识的培训，定期检查 X 射线显微成像系统及监测仪器的性能。

（4）建设单位应加强辐射安全管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行检测作业。

（5）辐射工作人员工作时注意佩戴好个人剂量计、个人剂量报警仪等监测仪器，装置运行时定期巡测装置周围剂量率水平，当个人剂量报警仪发出报警时，辐射工作人员应尽快采取应对措施。

（6）检修时，关闭 X 射线出束装置，辐射工作人员需佩戴常规个人剂量计，携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪进入装置内部，装置外部另有一人陪同，防止误开机使人员受到照射。

3、辐射事故处置方法

（1）切断电源，确保 X 射线机停止出束，确保人员立即转移。

（2）立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。

（3）对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗。

（4）出现事故后，应尽快组织人力、物力，有组织、有计划地进行处理，要在合理可做到的条件下，尽可能减少人员照射。

南京大学（苏州校区）应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行检测作业，每次检测前均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性，定期检测 X 射线显微成像系统周围的辐射水平，确保装置安全有效运转。同时，建设单位在实际工作中应

不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查 X 射线显微成像系统及监测仪器的性能，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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。

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《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》等法律法规要求，使用射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少 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。南京大学（苏州校区）已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员职责。

本项目拟新增 1 名辐射防护负责人，4 名辐射工作人员，项目新增 4 名辐射工作人员专门从事本次新增的 1 台 X 射线显微成像系统的辐射工作，不再从事其他辐射工作。

核技术利用辐射安全考核内容包括公共科目和专业科目两部分。公共科目包括《核技术利用辐射安全法律法规》《电离辐射安全与防护基础》，辐射防护负责人报考类别为“辐射安全管理”，辐射工作人员报考类别为“X 射线探伤”。

辐射安全管理规章制度

南京大学（苏州校区）实验室与设备管理处根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，颁布了《南京大学（苏州校区）放射性同位素辐射安全管理标准化建设实施细则》并严格按照细则实施，细则主要由 1.总则、2.环保手续履行、3.组织体系与人员、4.辐射安全管理规章制度、5.辐射安全与防护、6.附则组成。

已制定的辐射安全管理制度，主要包括《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》《射线装置使用登记、台帐管理制度》《人员培训计划》《个人剂量监测方案》《辐射环境监测方案》及《辐射事故应急方案》等。建设单位已制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

建设单位还应根据本项目具体情况补充制定《监测异常报告制度》，并对现有的辐射安全管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，现对各项辐射安全管理制度需补充和完善的要点提出如下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据单位的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是 X 射线显微成像系统的安全防护和管理落实到个人。

操作规程：完善操作规程，明确 X 射线显微成像系统辐射工作人员的资质条件要求、操作步骤以及操作过程中应采取的具体防护措施。重点是明确 X 射线显微成像系统的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器。

岗位职责：完善岗位职责，明确 X 射线显微成像系统操作人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

设备检修维护制度：完善设备检修维护制度，明确 X 射线显微成像系统的安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。重点是 X 射线显微成像系统的辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：完善人员培训计划，明确 X 射线显微成像系统操作人员的培训内容、周期、方式以及考核办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测和职业健康体检制度：完善个人剂量监测和职业健康体检制度，明确 X 射线显微成像系统操作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量监测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标，明确 X 射线显微成像系统操作人员进行职业健康体检的周期，并建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：完善辐射环境监测方案，明确 X 射线显微成像系统日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

辐射事故应急方案：针对 X 射线显微成像系统可能产生的辐射事故完善辐射事故应急方案，明确 X 射线显微成像系统辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，建设单位应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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。

监测异常报告制度：补充制定监测异常报告制度，明确按照相关标准要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，应当对有关人员采取保护

措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

本项目X射线显微成像系统操作人员应在建设单位辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的安全措施进行检查。此外，对于操作规程、岗位职责和辐射事故应急方案响应程序等制度应张贴于X射线显微成像系统拟建处附近的醒目处。

辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

建设单位拟为本次扩建项目配置1台便携式X-γ剂量率仪，配备2台个人剂量报警仪，用于对X射线显微成像系统工作时周围环境辐射水平监测及对瞬时辐射剂量率的实时报警，项目配备监测仪器能够满足辐射安全管理的要求。

建设单位应定期对便携式X-γ剂量率仪、个人剂量报警仪进行检定/校准，取得相应的证书。

2、监测方案

南京大学（苏州校区）已根据辐射管理要求，制定了如下监测方案：

（1）请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，周期：每年一次；

（2）辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（不少于1次/3个月）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案，长期保存；

（3）所有辐射工作人员上岗前均进行职业性健康体检，以排除职业禁忌证。开展辐射工作后，均定期开展职业健康体检（不少于1次/2年），确认可继续从事放射工作，并建立个人职业健康档案。

（4）利用自配备的便携式X-γ剂量率仪对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行自主监测，建议每季度一次，并记录档案。

本项目运行后，应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。

表 12-1　项目监测计划一览表

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位
工作场所及周围环境监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内，最长不得超过 1 年	操作位、X 射线显微成像系统四周、底部、顶部表面 30cm、工件门、检修门、观察窗表面 30cm、电缆口、周边关注点
	年度监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年	
	日常监测	X-γ辐射剂量率	自主监测，建议不少于 1 次/季度	
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/

辐射事故应急

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目为使用 II 类射线装置，事故多为开机误照射事故，通常情况下属于一般辐射事故。

为加强射线装置在检测过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事故的发生而造成的危害，保障员工及社会公众的健康与安全，南京大学（苏州校区）已制定了辐射事故应急方案，应急方案内容主要有：

（1）应急机构、组成人员以及职责分工；

（2）辐射事故分级与应急响应措施；

（3）应急人员的组织、培训及联系方式；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序；

（5）应急演习计划。

南京大学（苏州校区）已制定防辐射设备管理制度、防辐射事故应急预案，成立辐射安全防护小组，定期进行辐射安全培训及应急演练。

南京大学（苏州校区）应针对本项目 X 射线显微成像系统可能产生的辐射事故完善辐射事故应急预案，明确 X 射线显微成像系统辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定可操作性；应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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。

表 13　结论与建议

结论

1、项目概况

南京大学（苏州校区）位于江苏省苏州市虎丘区太湖大道 1520 号，本项目为新增 1 台 X 射线显微成像系统扩建项目，建设地址为南京大学（苏州校区）东校区科创大厦 C 栋负一层 C011 室，主要用于校内实验室进行原位渗流、力学实验时，对岩石样品进行检测。

本项目 X 射线显微成像系统采用铅房对 X 射线进行屏蔽，最大管电压为 230kV，最大管电流为 3mA，最大管功率为 300W，滤过条件为 0.5mm 铜+1mm 铍，主射线固定从左向右照射，最大出束角度为 60°，为 II 类射线装置。

2、实践正当性评价

本项目的建设和运行满足了南京大学（苏州校区）的实验需求，在做好辐射防护的基础上，其建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

根据江苏省生态环境分区管控综合服务平台截图，本项目位于苏州国家高新技术产业开发区（含苏州浒墅关经济开发区、苏州高新技术产业开发区综合保税区），属于重点管控单元，对照该重点管控单元生态环境准入清单，本项目的建设符合生态环境准入条件，项目选址合理。

X 射线显微成像系统放置于科创大厦 C 栋负一层 C011 室内，系统机柜正面朝东，操作台位于系统机柜东南方向，主射线固定从左向右照射（从南向北照射），操作台避开了 X 射线主射线方向，项目 X 射线显微成像系统工作场所布局设计合理。

4、辐射防护措施评价

项目使用铅房对 X 射线进行屏蔽，定义操作按钮所在面为系统机柜前侧，有用线束照射区域的前侧、后侧、右侧、底部、顶部屏蔽材料为 14mm 铅板+5mm 铁板，非有用线束照射区域的前侧、后侧、左侧、底部、顶部屏蔽材料为 8mm 铅板+5mm 铁板，观察窗屏蔽材料为 8mm 铅当量的铅玻璃，电缆口使用 8mm 铅罩。

项目使用铅房对 X 射线进行屏蔽，经理论预测结果可知，当本项目 X 射线显微成像

系统使用最大工况运行时（最大管功率 300W、管电压 230kV、管电流 1.30mA），射线装置表面外 30cm 处辐射剂量率均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及本项目“X 射线显微成像系统机柜四周、底部、顶部表面外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h”的限值要求。

建设单位将辐射工作场所进行分区管理，以 C011 室内其他区域作为辐射防护监督区，监督区边界使用实体墙进行分隔，监督区出入口位于 C011 室东南侧并使用电子门禁进行出入控制，工作期间禁止无关人员靠近，并在监督区边界和进出口的醒目位置张贴“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

5、辐射安全措施评价

本项目拟落实的辐射安全措施包括：X 射线显微成像系统设置门机联锁装置；X 射线显微成像系统机柜顶部设有显示设备状态的信号灯，不同的颜色对应设备不同状态，并与 X 射线管联锁；X 射线显微成像系统机柜前侧设有长条形 X 射线指示灯，红灯亮标识 X 射线出束；X 射线显微成像系统机柜前侧操作按钮设置钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X 射线管才能出束，钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出；X 射线显微成像系统正常工作时，辐射工作人员无需进入 X 射线显微成像系统机柜内部，故机柜内部未设置监视装置，建设单位在 C011 室内设有 3 个摄像头，可实时监视 C011 室内设备和人员情况；X 射线显微成像系统在前侧操作按钮、操作台各设置 1 个急停按钮，在铅房内侧左上角设置 1 个急停按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止射线照射；设有符合要求的电离辐射警告标志和中文警示说明；按照控制区和监督区进行分区管理，控制区内禁止任何人员进入，监督区内禁止任何人员靠近。

建设单位拟为本次扩建项目配置 1 台便携式 X-γ 剂量率仪，配备 2 台个人剂量报警仪，用于对 X 射线显微成像系统工作时周围环境辐射水平监测及对瞬时辐射剂量率的实时报警，项目配备监测仪器能够满足辐射安全管理的要求。

6、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员及周围公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目剂量约束值（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

7、三废处理处置

本项目无放射性三废产生。

装置在曝光时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，其产生的臭氧和氮氧化物对周围环境空气质量影响较小。

8、辐射环境管理

（1）委托有资质的单位每年对辐射工作场所周围环境辐射剂量率进行检测；

（2）配置辐射剂量监测仪器，定期对工作场所辐射水平进行检测；

（3）在项目运行前，委托有资质的单位开展个人剂量监测，所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，定期按时送检，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案；

（4）在项目运行前对辐射工作人员进行职业健康体检并定期复检，并建立职业健康监护档案。

建设单位已成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责。同时在项目运行前完善相关的辐射安全管理制度；为本项目拟配备的辐射工作人员需参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核，需进行个人剂量监测和职业健康体检，并建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

综上所述，南京大学（苏州校区）新增 1 台 X 射线显微成像系统扩建项目符合实践正当性原则，拟采取的辐射安全和防护措施适当，辐射工作人员及公众受到的年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于“剂量限值”的要求。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后，建设单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其设施运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，项目可行。

建议与承诺

（1）该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

（2）各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

（3）定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

（4）建议项目环境保护设施竣工后 3 个月内进行竣工环保验收。

表 14　审批

下一级环保部门预审意见 公　　章 经办人　　年　　月　　日
审批意见 公　　章 经办人　　年　　月　　日

附表

“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》使用射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：项目使用铅房对 X 射线进行屏蔽，定义操作按钮所在面为 X 射线显微成像系统机柜前侧，有用线束照射区域的前侧、后侧、右侧、底部、顶部屏蔽材料为 14mm 铅板+5mm 铁板，非有用线束照射区域的前侧、后侧、左侧、底部、顶部屏蔽材料为 8mm 铅板+5mm 铁板，观察窗屏蔽材料为 8mm 铅当量的铅玻璃，电缆口使用 8mm 铅罩。	装置表面外 30cm 处辐射剂量率能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）剂量率限值要求。辐射工作人员及公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和《工业探伤放射防护标准》中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目剂量约束值的要求。（工作人员年有效剂量约束值 5mSv，公众年有效剂量约束值 0.1mSv）。	4
	安全措施：X 射线显微成像系统设置门机联锁装置；X 射线显微成像系统机柜顶部设有显示设备状态的信号灯，不同的颜色对应设备不同状态，并与 X 射线管联锁；X 射线显微成像系统机柜前侧设有长条形 X 射线指示灯，红灯亮标识 X 射线出束；X 射线显微成像系统机柜前侧操作按钮设置钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X 射线管才能出束，钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出；X 射线显微成像系统正常工作时，辐射工作人员无需进入 X 射线显微成像系统机柜内部，故机柜内部未设置监视装置，建设单位在 C011 室内设有 3 个摄像头，可实时监视 C011 室内设备和人员情况；X 射线显微成像系统在前侧操作按钮、操作台各设置 1 个急停按钮，在铅房内侧左上角设置 1 个急停按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止射线照射；设有符合要求的电离辐射警告标志和中文警示说明；按照控制区和监督区进行分区管理，控制区内禁止任何人员进入，监督区内禁止任何人	能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的管理要求。	

	员靠近。 岗位职责及操作规程等工作制度在合适的墙上张贴。标明控制区、监督区边界。		
污染防治措施	废气：装置在曝光时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。X 射线显微成像系统未设置机械排风装置，臭氧和氮氧化物可通过打开滑动工件门排入放置 X 射线显微成像系统的 C011 室内，经 C011 室的排风装置排入室外，通风良好。臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，其产生的臭氧和氮氧化物对周围环境空气质量影响较小。	能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的管理要求。	5
人员配备	辐射工作人员均参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。	/
	辐射工作人员均配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射工作人员必须开展个人剂量监测及建立个人剂量监测档案的管理要求。	/
	辐射工作人员均定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射工作人员定期进行职业健康体检及建立职业健康监护档案的管理要求。	/
监测仪器和防护用品	配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪，2 台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》辐射监测仪器配置要求。	1
辐射安全管理制度	对已制定的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台帐管理制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急方案等辐射安全管理制度进行补充和完善。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》使用射线装置的单位须具备健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。