核技术利用建设项目

南京航空航天大学
新增1台断层扫描复合材料微观分析系统项目环境影响报告表

南京航空航天大学

2024年11月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京航空航天大学

新增1台断层扫描复合材料微观分析系统项目环境影响报告表

建设单位名称：南京航空航天大学

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省南京市秦淮区御道街29号

邮政编码：210001　　联系人：孙志刚

电子邮箱：　　联系电话：

打印编号：1732502504000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	845b9x
建设项目名称	南京航空航天大学新增1台断层扫描复合材料微观分析系统项目
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	南京航空航天大学
统一社会信用代码	12100000466006826U
法定代表人（签章）	姜斌
主要负责人（签字）	孙志刚
直接负责的主管人员（签字）	孙志刚
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	南京瑞森辐射技术有限公司
统一社会信用代码	91320106694645355K
三、编制人员情况	

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈朝晖	2014035320352013321405000117	BH019830	陈朝晖

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
郭文政	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5废弃物 表6评价依据 表7 保护目标与评价标准 表8 环境质量与辐射现状	BH051806	郭文政
陈朝晖	表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议	BH019830	陈朝晖

环评项目负责人职业资格证



姓名：陈朝晖
Full Name

性别：男
Sex

出生年月：1968年12月
Date of Birth

专业类别：
Professional Type

批准日期：2014年05月
Approval Date

持证人签名：
Signature of the Bearer

签发单位盖章：
Issued by

签发日期：2014 年 09 月 04 日
Issued on

2014035320352013321405000117
管理号：
File No.

仅供南京航天航空大学新增/台断层扫描复合材料微观分析系统项目使用

江苏省社会保险权益记录单
（参保单位）

请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称：南京瑞森辐射技术有限公司　　现参保地：[illegible]武区

统一社会信用代码：91320106694645355K　　查询时间：202403-202408

共1页，第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数	36	36	36

序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）	缴费起止年月	缴费月数
1	郭文政	341[illegible]2199	202403 - 202408	6
2	陈朝晖	3[illegible]0113196	202403 - 202408	6

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。

江苏省社会保险 电子专用章

打印时间：2024年8月26日

仅供南京航天航空大学新增/台断层扫描复合材料微观分析系统项目使用

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 ..... - 11 -
表 8 环境质量和辐射现状 ..... - 16 -
表 9 项目工程分析与源项 ..... - 20 -
表 10 辐射安全与防护 ..... - 25 -
表 11 环境影响分析 ..... - 31 -
表 12 辐射安全管理 ..... - 40 -
表 13 结论与建议 ..... - 45 -
表 14 审批 ..... - 51 -
附图 1 南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目地理位置示意图 ..... - 52 -
附图 2 南京航空航天大学明故宫校区平面布置及周围环境示意图 ..... - 53 -
附图 3 南京航空航天大学明故宫校区 A10 号楼位置及周围环境示意图 ..... - 54 -
附图 4 南京航空航天大学明故宫校区 A10 号楼一楼平面布置及周围环境示意图 ..... - 55 -
附图 5 南京航空航天大学明故宫校区 A10 号楼二楼平面布置及周围环境示意图 ..... - 56 -
附件 1 项目委托书 ..... - 57 -
附件 2 射线装置使用承诺书 ..... - 58 -
附件 3 单位法人证书及辐射安全许可证正副本复印件 ..... - 59 -
附件 4 原有核技术利用项目基本情况一览表 ..... - 74 -
附件 5 本项目检测装置技术参数声明 ..... - 82 -
附件 6 辐射安全管理机构及制度 ..... - 83 -
附件 7 本项目辐射环境现状监测报告 ..... - 84 -
附件 8 监测单位检验检测机构资质认定证书 ..... - 89 -
附件 9 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 ..... - 92 -

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">南京航空航天大学
（统一社会信用代码：　　）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表姓名</td><td>姜斌</td><td colspan="2">联系人</td><td>孙志刚</td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">江苏省南京市秦淮区御道街 29 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">江苏省南京市秦淮区御道街 29 号明故宫校区 A10 号楼一楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="5">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="7">☐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="7">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="7">☐乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑ 使用</td><td colspan="7">☑Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="8">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

南京航空航天大学创建于 1952 年 10 月，是新中国自己创办的第一批航空高等院校之一。1978 年被国务院确定为全国重点大学；1981 年经国务院批准成为全国首批具有博士学位授予权的高校；1996 年进入国家“211 工程”建设；2000 年经教育部批准设立研究生院；2011 年，成为“985 工程优势学科创新平台”重点建设高校；2017

年，进入国家“双一流”建设序列，现有航空宇航科学与技术、力学、控制科学与工程三个学科入选第二轮“一流学科”建设名单。学校现隶属于工业和信息化部。2012 年 12 月、2021 年 4 月，工业和信息化部、中国民航局先后签署协议共建南京航空航天大学。2018 年、2023 年，工信部、教育部、江苏省先后两次签署协议，三方共建南京航空航天大学。学校现启用明故宫、将军路、天目湖三个校区，占地面积 3046 亩，建筑面积 191.81 万平方米。

因学校的科研和教学需求，南京航空航天大学拟于明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室内新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统（型号：Xradia 610 Versa 型，最大管电压为 160kV，最大管电流 0.16mA，最大输出功率 25W），用于科研及教学工作中的材料分析。本项目断层扫描复合材料微观分析系统产品说明书见附件 5。

本项目断层扫描复合材料微观分析系统具有制式型号，属于含 CT 功能的自屏蔽式 X 射线探伤装置，根据《射线装置分类》，界定为“工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置”，属 II 类射线装置。

本项目拟建址位于明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室，该楼为教学和科研综合楼，其中一楼的 112-114 实验室现为办公室，拟在本项目建设期间将现有场所内设施全部搬离，然后安置 1 台断层扫描复合材料微观分析系统及搭建相应的数据处理工作站。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《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》等法律法规的规定，南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目需进行环境影响评价。受南京航空航天大学的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第 16 号，2021 年版），本项目为新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统，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，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目情况见下表：

表 1 南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目情况一览表

射线装置

射线装置名称型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评手续履行情况	备注
断层扫描复合材料微观分析系统（Xradia 610 Versa 型）	1 台	160	0.16	Ⅱ类	明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室	使用	本次环评	最大输出功率 25W

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 2 人，为学校新增辐射工作人员。

工作制度：本项目投入运行后预计每天出束时间不超过 2h，每周不超过 10h，年检测总时间不超过 500h。

二、项目选址情况

南京航空航天大学拟于明故宫校区位于南京市秦淮区御道街 29 号，东侧为金蝶软件园、李府街 16 号小区、南航东苑及八五一一研究所家属区，南侧为后标营小区，西侧为明故宫路及御道街，北侧为中山东路。本项目地理位置示意见附图 1。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统位于 A10 号楼一楼 112-114 实验室，A10 号楼东侧为 A14 号楼，南侧为校内道路及绿化，西侧为 A13 号楼，北侧为校内道路及绿化。其中一楼 112-114 实验室东侧为 108-110 实验室，南侧为室外绿化，西侧为 116-118 实验室，北侧为楼内过道，楼上为教研室，下方为土层。本项目南京航空航天大学明故宫校区周围环境示意图见附图 2，A10 号楼一楼平面布置示意图见附图 4，A10 号楼二楼平面布置示意图见附图 5。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统周围 50m 评价范围均在学校范围内（A10 号楼、校内道路及绿化），无居民区等环境敏感目标，无其他核技术利用项目，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员及周围公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

南京航空航天大学现持有生态环境部核发的辐射安全许可证（国环辐证[00082]），有效期至：2027 年 12 月 31 日，许可种类和范围为“使用I类、II类、III类、IV类、V类放射源；使用II类、III类射线装置。”学校辐射安全许可证正副本见附件 3。

南京航空航天大学已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。

四、实践正当性分析

本项目涉及的含 CT 功能的自屏蔽式 X 射线探伤装置已在各大高校、企业广泛推

广，技术已十分成熟，在科研及无损监测领域起了十分重要的作用。本项目的运行，可学校的科研和教学需求，提升科研和教学能力，具有良好的社会效益和经济效益。经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，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。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	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	断层扫描复合材料微观分析系统	Ⅱ类	1	Xradia 610 Versa 型	160	0.16	无损检测	明故宫校区 A10 号楼一楼实验室	最大输出功率 25W
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	直接进入大气，臭氧在常温下约 50min 左右可自行分解为氧气，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；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015年1月1日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施； （4）《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，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （10）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议，2018年5月1日起实施； （11）《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行； （12）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布； （13）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布； （14）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布，2020年1月1日起施

	行； （15）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行； （16）《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号）2024年2月1日起施行； （17）《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2018年6月9日发布，2022年8月16日发布； （18）《生态环境分区管控管理暂行规定》，环环评〔2024〕41号，生态环境部2024年7月6日发布，自公布之日起施行； （19）《江苏省2023年度生态环境分区管控动态更新成果公告》（江苏省生态环境厅2024年6月13日发布）； （20）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （3）《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）； （4）《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）； （5）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； （6）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （7）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （8）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。
其他	**附图：** （1）南京航空航天大学新增1台断层扫描复合材料微观分析系统项目地理位置示意图； （2）南京航空航天大学明故宫校区周围环境示意图； （3）南京航空航天大学明故宫校区A10号楼位置及周围环境示意图 （4）南京航空航天大学明故宫校区A10号楼一楼平面布置及周围环境示意

	图； （5）南京航空航天大学明故宫校区 A10 号楼二楼平面布置及周围环境示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置使用承诺书； （3）单位法人证书辐射安全许可证正副本复印件； （4）原有核技术利用项目基本情况一览表； （5）本项目检测装置技术参数声明； （6）辐射安全管理机构及制度； （7）本项目辐射环境现状监测报告； （8）监测单位检验监测机构资质认定证书； （9）江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“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”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图3。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）和《江苏省 2023 年度生态环境分区管控动态更新成果公告》（江苏省生态环境厅 2024 年 6 月 13 日发布）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于南京市中心城区（秦淮区）重点管控单元（编码：ZH32010420099）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、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生态保护目标。

本项目拟建址周围 50m 范围内均在学校范围内（A10 号楼、校内道路及绿化），无居民区等环境敏感目标，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员及周围公众等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

保护对象类型	场所	方位/位置	距本项目最近距离	人口规模	剂量约束值
辐射工作人员	A10 号楼一楼 112-114 实验室	操作台	/	2 人	5mSv/a
评价范围内公众（其他工作人员及公众）	A10 号楼	检测装置东侧	约 1m	约 10 名	0.1mSv/a
		检测装置南侧	约 1m	约 10 名	

	检测装置西侧	约 1m	约 20 名	
	检测装置北侧	约 1m	约 5 名	
	检测装置楼上	约 2m	约 50 名	
校内道路及绿化	检测装置东侧	约 20m	流动人员	
	检测装置南侧	约 10m	流动人员	
	测装置北侧	约 5m	流动人员	

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
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，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%～30%（即 0.1mSv/a～0.3mSv/a）的范围之内。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

二、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）：

1 范围

本标准规定了 X 射线和 γ 射线探伤的放射防护要求。

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

本标准不适用于加速器和中子探伤机进行的工业探伤工作。

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ98 的要求进行职业健康监护。
4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T9445 要求的无损探伤人员资格。
4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。
4.6 应制定辐射事故应急预案。
5 探伤机的放射防护要求
5.1 X 射线探伤机
5.1.2 工作前检查项目应包括：
a) 探伤机外观是否完好；
b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
c) 液体制冷设备是否有渗漏；
d) 安全联锁是否正常工作；
e) 报警设备和警示灯是否正常运行；
f) 螺栓等连接件是否连接良好；
g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。
5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：
a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；
b) 设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；
c) 当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；
d) 应做好设备维护记录。
6 固定式探伤的放射防护要求
6.1 探伤室放射防护要求
6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。
6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。
6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：
a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 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。
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。
6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。
6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。
6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。
6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。
6.2.4 交接班或当班使用便携式 X-γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X-γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。
6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。
6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。
6.3 探伤设施的退役
当工业探伤设施不再使用，应实施退役程序。包括以下内容：
c) 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。
e) 当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续。
f) 清除所有电离辐射警告标志和安全告知。
g) 对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。
8 放射防护检测
8.1 检测的一般要求
8.1.1 检测计划
使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参考控制水平时应采取的行动措施。
8.1.2 检测仪器
应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

三、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）：

3.2 需要屏蔽的辐射
3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不需考虑进入有用线束区的散射辐射。
3.2.2 散射辐射考虑以 0°入射探伤工件的 90°散射辐射。
3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度（*TVL*）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 *TVL* 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（*HVL*）。
3.3 其他要求
3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。
3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。
3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。
3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。
3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

四、项目管理限值

（一）综合考虑《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）确定本项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量为 5mSv，公众年有效剂量为 0.1mSv。

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

（三）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（本项目检测装置屏蔽顶部（人员不可到达）外 30cm 处周围剂量当量率目标控制水平保守取 2.5μSv/h）；

五、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编。

（二）《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。

江苏省环境天然γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测量范围	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：测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“测值范围”作为辐射现状评价的参考数值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统位于 A10 号楼一楼 112-114 实验室，A10 号楼东侧为 A14 号楼，南侧为校内道路及绿化，西侧为 A13 号楼，北侧为校内道路及绿化。其中一楼 112-114 实验室东侧为 108-110 实验室，南侧为室外绿化，西侧为 116-118 实验室，北侧为楼内过道，楼上为教研室，下方为土层。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统周围 50m 评价范围均在学校范围内（A10 号楼、校内道路及绿化），无居民区等环境敏感目标，无其他核技术利用项目，项目选址可行。本项目拟建址周边环境现状见图 8-1～图 8-5。



图 8-1 本项目拟建址（实验室）



图 8-2 拟建址东侧（办公室）



图 8-3 拟建址南侧（校内绿化）



图 8-4 本项目拟建址西侧（实验室）



图 8-5 本项目拟建址北侧（走廊）



图 8-5 本项目拟建址楼上（教研室）

二、辐射环境现状调查

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统拟建址周围进行布点，测量本底辐射剂量率。监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-6。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X-γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2023 年 10 月 30 日～2024 年 10 月 29 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0173796）

能量范围：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

监测日期：2024 年 3 月 1 日

天气：晴

温度：6℃

湿度：44%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点，即：本项目拟建址及周围 50m 评价范围内保护目标所在点位：拟建址四周及楼上。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质认定（见附件 8），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。环境γ辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D}=C_f(E_f\dot{X}-\mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中，C_f 为仪器量程检定/校准因子；E_f 为仪器检验源效率因子；$\dot{X}$ 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值（n≥10）；μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取 0.8，原野、道路取 1；$\dot{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，取 30nGy/h。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，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检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射水平调查研究结果，评价项目周围的辐射环境质量。

表 8-1 新增断层扫描复合材料微观分析系统项目拟建址周围γ辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	备注
1	断层扫描复合材料微观分析系统项目拟建址	49	室内
2	断层扫描复合材料微观分析系统拟建址东侧（办公室）	46	室内
3	断层扫描复合材料微观分析系统拟建址南侧（室外绿化）	68	室外绿化
4	断层扫描复合材料微观分析系统拟建址西侧（实验室）	51	室内
5	断层扫描复合材料微观分析系统拟建址北侧（走廊）	47	室内
6	断层扫描复合材料微观分析系统拟建址楼上（教研室）	58	室内

注：1、测量数据已扣宇宙响应值；
2、监测点位见图 8-6。

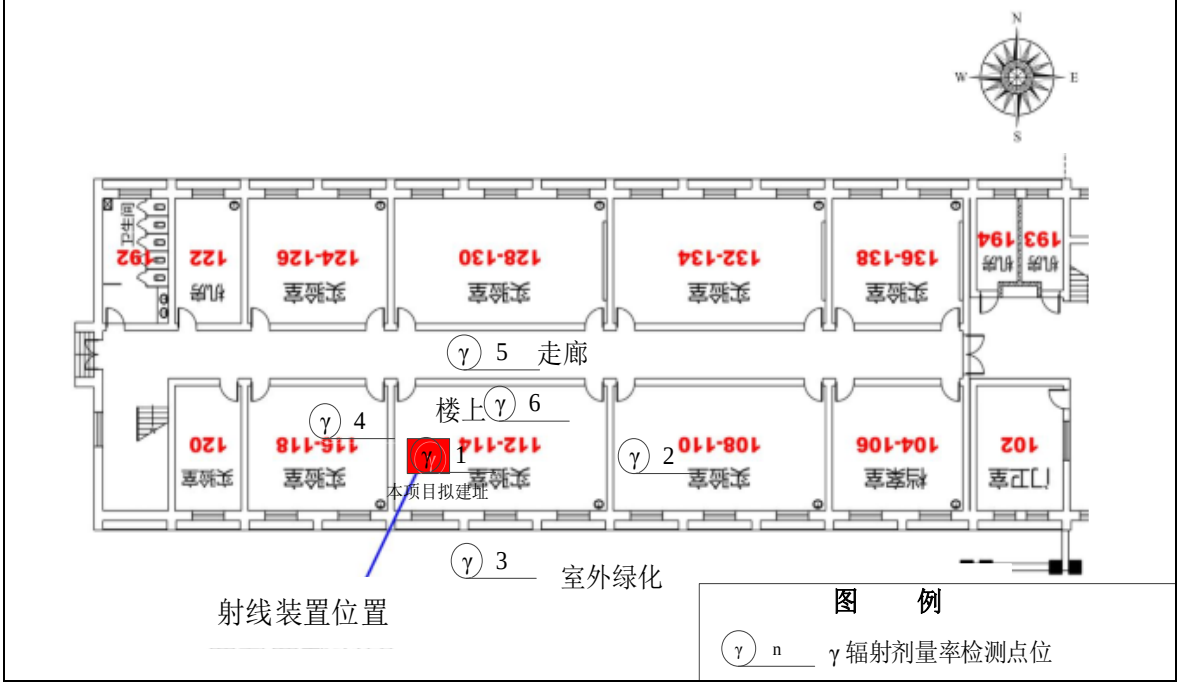


图 8-6 新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统拟建址周围环境γ辐射监测点位示意图

由表 8-1 监测结果可知，南京航空航天大学本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统项目室内（1#、2#、4#、 5#和 6#点位）周围环境天然 γ 辐射剂量率在（46～58）nGy/h 之间，属江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率测值范围（50.7～129.4）nGy/h；室外绿化（3#点位）周围环境 γ 辐射剂量率分别为 68 nGy/h，属江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（33.1~72.6）nGy/h，本项目监测点位均位于江苏省环境天然γ辐射水平测值范围，属正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

因学校的科研和教学需求，南京航空航天大学拟于明故宫校区A10号楼一楼112-114实验室内新增1台断层扫描复合材料微观分析系统（型号：Xradia 610 Versa型，最大管电压为160kV，最大管电流0.16mA，最大输出功率25W），为II类射线装置。

学校拟配备的Xradia 610 VersaT检测装置主要由X射线源、X射线成像探测器、样品台、图像采集系统、显示器、操作台等组成，采用铅板以屏蔽体的方式进行辐射防护，装置外形尺寸为：2100 mm（长）×1100 mm（宽）×1500mm（高）。为了清晰描述检测装置各面情况，本项目将装置装载门所在面定义为装置前侧，面向装置前侧，左手边为装置左侧，以此类推。

本项目新增Xradia 610 Versa型检测装置中X射线管位置位于装置内上半部分，距装置顶部屏蔽体约550mm，X射线管可前后运动，运动范围200mm，X射线夹角约为±34.7°。本项目拟新增断层扫描复合材料微观分析系统外观图见图 9-1，内部结构图见图9-2。

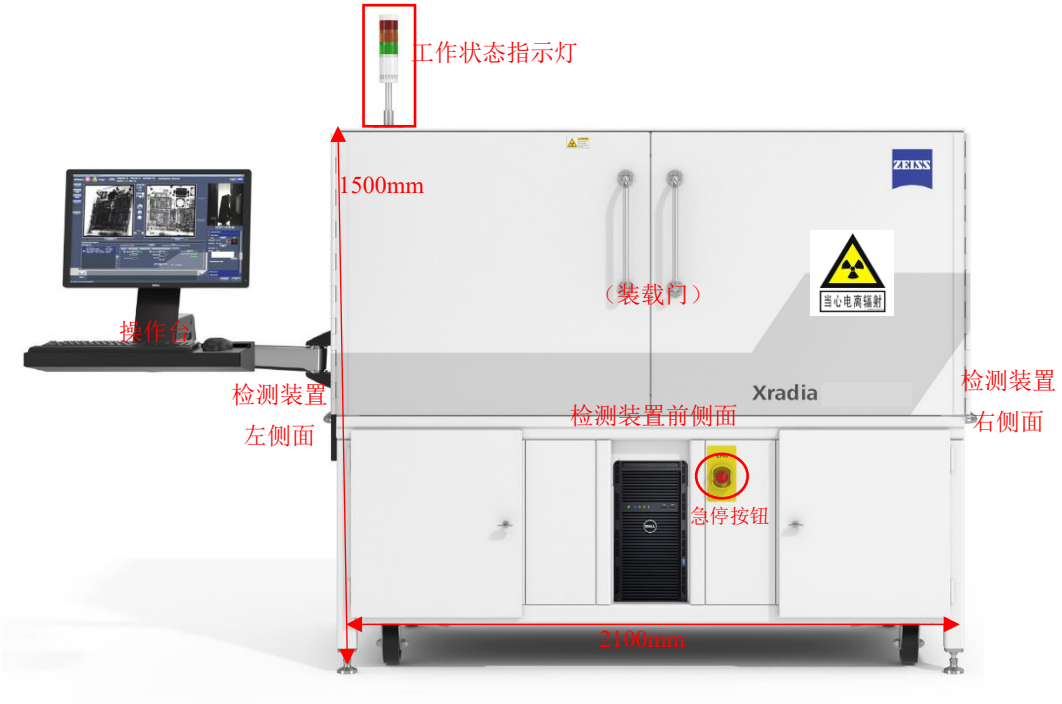


图 9-1 本项Xradia 610 Versa型断层扫描复合材料微观分析系统外观图



图 9-2 本项 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统内部结构图

南京航空航天大学拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，投入运行后预计每天出束时间不超过 2h，每周不超过 10h，年检测总时间不超过 500h。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

断层扫描复合材料微观分析系统核心部件是 X 射线管。它是一个内真空的玻璃管，其中一端是作为电子源的阴极，另一端是嵌有靶材料的阳极。当两端加有高压时，阴极的灯丝热致发射电子。由于阴极和阳极两端存在电位差，电子向阳极运动，形成静电式加速，获取能量。具有一定动能的高速运动电子，撞击靶材料，产生 X 射线。

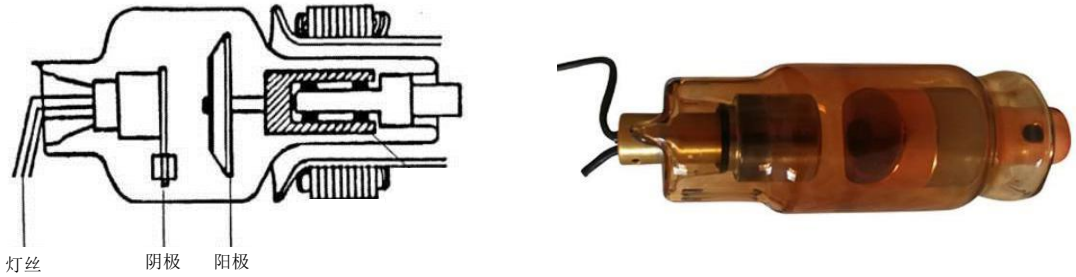


图 9-3 X 射线管示意图

本项目断层扫描复合材料微观分析系统由 X 射线源、X 射线成像探测器、样品台、图像采集系统、三维图像重建、显示器、操作台等部件组成。在 X 射线无损检测工程中，由于被检测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，射线强度衰减越大。而当工件内部存在缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，即穿透的射 线强度较大，透射 X 射线被图像增强器所接收，图像增强器把不可见的 X 射线检测信息 转换为电子图像并经增强后变成视频图像信号传输至操作台，在监视器上实时显示。通过移动工件来获得不同角度的投影，用复杂的计算层析技术，将获得的各个角度的投影进行重建，得到被测工件的三维立体结构图，就可以判定工件内部的缺陷和结构。

（二）工作流程

本项目拟配备的 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统属于II类射线装置，非工作状态时不产生 X 射线，进行检测工作时接通设备高压，发射 X 射线。

本项目辐射工作人员将待检测件放入检测装置，利用被检测材料对 X 射线吸收后在透射处成像的原理（本项目待检工件为金属符合材料和板材，工件尺寸约为 30mm（长）×10mm（宽）×50mm（高）），采用 X 射线对待检测工件进行透照，并在装置外部连接的显示器上观察、分析被检测件的内部缺陷。工作流程如下：

1、工作前检查（确认安全联锁设置、报警装置及警示装置均正常运行）；

2、打开主控开关，按下电源开关按钮，设备启动进入待检状态；

3、辐射工作人员将待检工件放置在装置在载物台上；

4、防护门关闭后进行开机出束检测（此环节产污：X 射线、微量的 O_3 和 NO_x）；

5、辐射工作人员通过显示器上的成像分析，给出检测结果；

6、检测完成后，停止出束，辐射工作人员取出检测件。

断层扫描复合材料微观分析系统工作流程及产污环节如图 9-4 中所示。

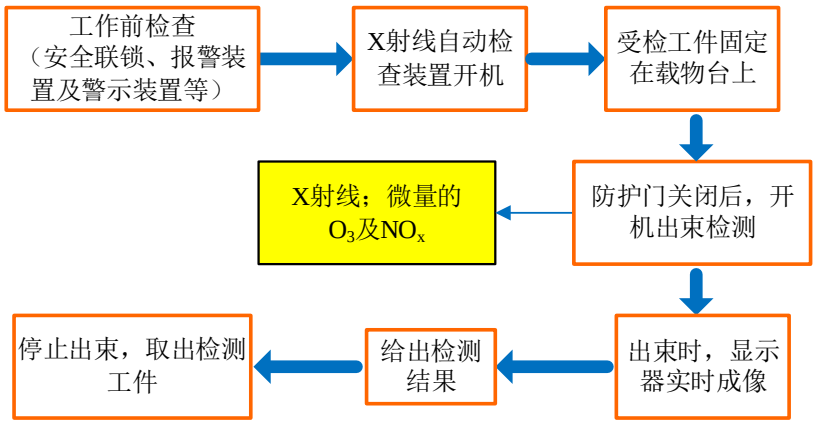


图 9-4 断层扫描复合材料微观分析系统工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、放射性污染

本项目拟配备的断层扫描复合材料微观分析系统，型号为 Xradia 610 Versa 型，最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.16mA，最大输出功率 25W。

由断层扫描复合材料微观分析系统工作原理可知，X 射线管只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出 X 射线，对装置周围的工作人员和公众产生一定外照射，因此 X 射线管在开机曝光期间，X 射线是本项目主要污染物。

本项目断层扫描复合材料微观分析系统主射线和散射线距辐射源点（靶点）1m 处输出量，参考《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取，根据设备厂商提供在检测时常用过滤片为 2mm 的铝，管电压 160kV 时距辐射源点（靶点）1m 处输出量约为 $20\times6\times10^{4}\mu Sv\cdot m^{2}/(mA\cdot h)$。靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，查《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）表 1，取 $2.5\times10^{3}\mu Sv/h$。

二、非放射性污染

（一）废气：断层扫描复合材料微观分析系统在工作状态时，会使空气电离产生微量的臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物在装置工作时通过装置顶部的机械排风装置进行换气，然后通过检测装置所在实验室的新风系统进行通风，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

（二）废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入校内污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

南京航空航天大学拟于明故宫校区位于南京市秦淮区御道街 29 号，东侧为金蝶软件园、李府街 16 号小区、南航东苑及八五一一研究所家属区，南侧为后标营小区，西侧为明故宫路及御道街，北侧为中山东路。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统位于 A10 号楼一楼 112-114 实验室，A10 号楼东侧为 A14 号楼，南侧为校内道路及绿化，西侧为 A13 号楼，北侧为校内道路及绿化。其中一楼 112-114 实验室东侧为 108-110 实验室，南侧为室外绿化，西侧为 116-118 实验室，北侧为楼内过道，楼上为教研室，下方为土层。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统周围 50m 评价范围均在学校范围内，无居民区等环境敏感目标，无其他核技术利用项目，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员及周围公众等。

布局合理性：本项目断层扫描复合材料微观分析系统设有屏蔽铅房和操作台，检测装置有用线束向右，操作台设于屏蔽铅房外，屏蔽铅房通过内嵌铅板对 X 射线进行屏蔽。仪器运行时，操作人员在检测室外的操作台对装置进行操作。本项目操作台避开有用线束照射方向并与屏蔽铅房分开设置，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于操作室与探伤室分开设置的要求，布局设计合理。

辐射防护分区：本项目将检测铅房（壳体）实体范围内作为控制区，检测铅房（壳体）及操作台周围 1m 范围作为监督区，监督区边界拟用栅栏与外部隔离，监督区入口拟设置在正对操作台一侧，并入口处设置监督区标牌，除工作人员外，其他无关人员不得入内操作。两区划分示意图见图 10-1。本项目辐射防护分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区管理要求。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

自屏蔽检测装置名称	控制区	监督区
断层扫描复合材料微观分析系统	检测铅房（壳体）实体范围内	检测铅房（壳体）及操作台周围 1m 范围（监督区边界拟用栅栏与外部隔离）

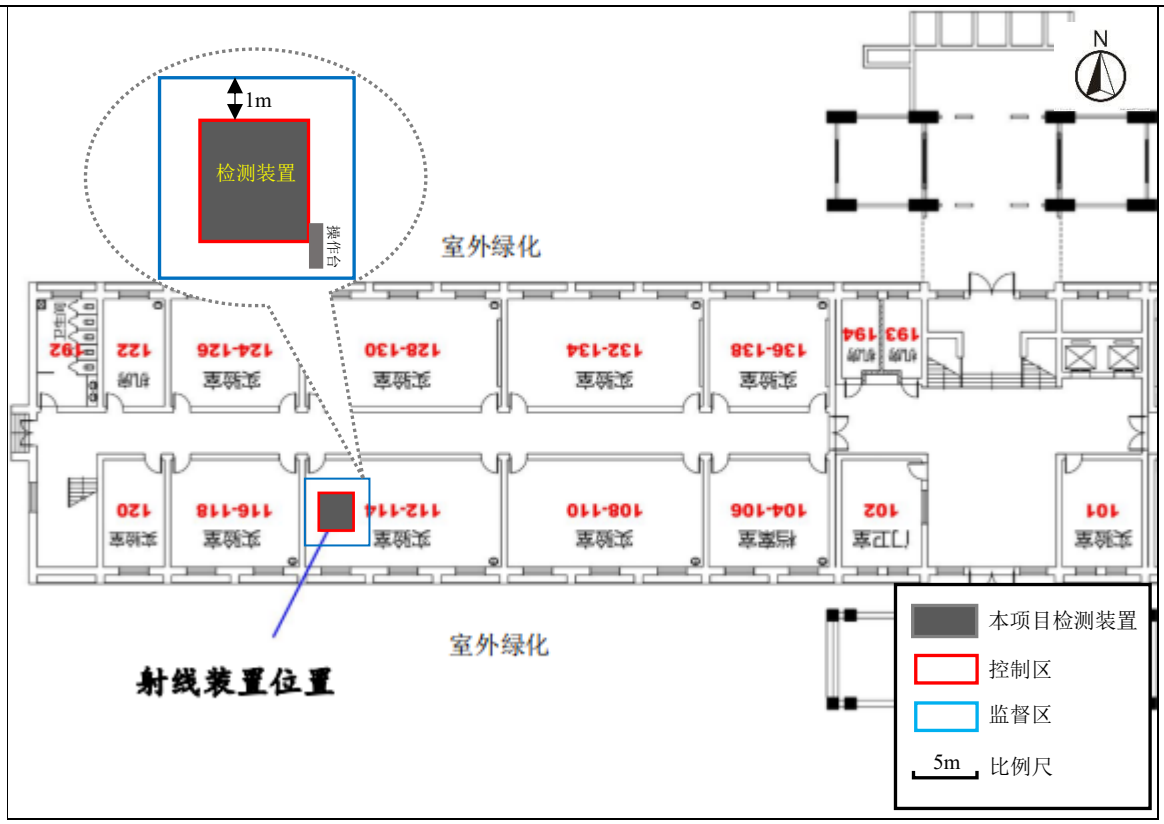
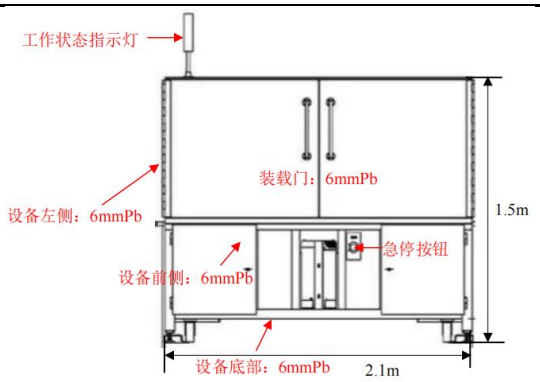


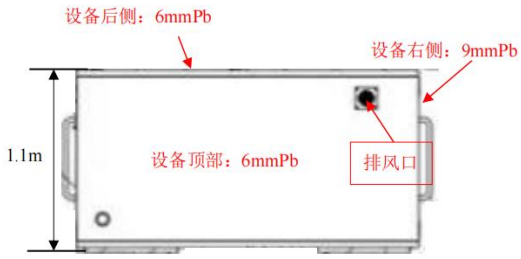
图 10-1 本项目 A10 号楼一楼平面布局及分区示意图

二、辐射防护屏蔽设计

本项目拟配备的 1 台断层扫描复合材料微观分析系统型号为 Xradia 610 Versa 型，采用铅板以屏蔽体的方式进行辐射防护，铅房的外形尺寸约为：2100 mm（长）×1100 mm（宽）×1500mm（高），装置各屏蔽面设计示意图见图 10-2，具体屏蔽设计参数见表 10-2。（屏蔽设计补充：①装载门与四周屏蔽主体的搭接处皆采用等效 6mmPb 当量铅板作为补偿防护措施，门与屏蔽主体之间搭接距离大于 2mm，间隙小于 0.2mm，则门与屏蔽主体之间间隙与搭接比值小于 1/10，可有效防止门缝处射线泄漏；②线缆穿孔位于装置左侧面下方，穿孔处覆盖铅防护罩，其材质为 6mm 厚的铅板，与屏蔽体厚度一致，可有效防止射线泄漏；③排风口设置有铅防护罩，其材质为 6mm 厚的铅与屏蔽体厚度一致，可有效防止射线泄漏。本项目断层扫描复合材料微观分析系统辐射防护设计见图 10-2~图 10-4。

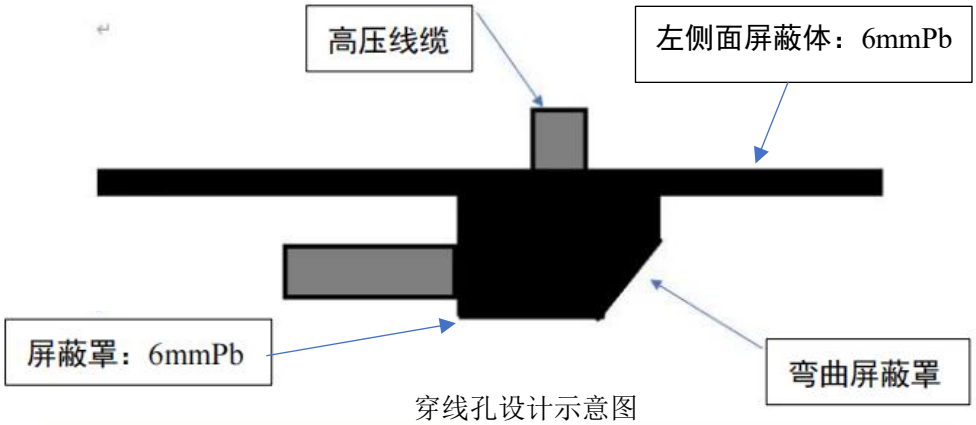


主视图

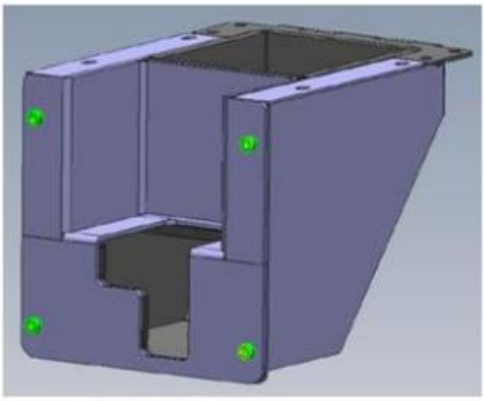


俯视图

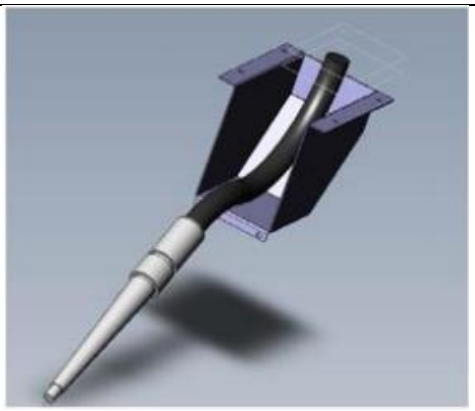
10-2 本项目断层扫描复合材料微观分析系统各面屏蔽体防护设计示意图



穿线孔设计示意图



穿线孔处屏蔽罩设计示意图



线缆穿过屏蔽罩示意图

表 10-3 本项目断层扫描复合材料微观分析系统穿线孔防护设计示意图

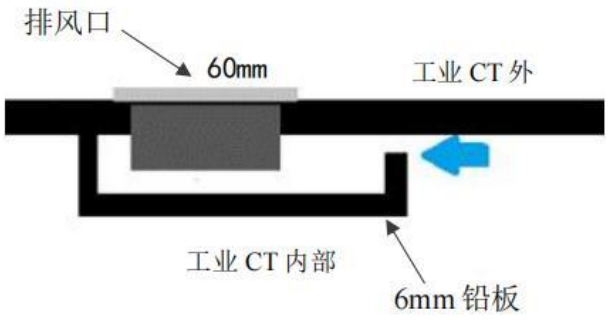


图 10-4 本项目断层扫描复合材料微观分析系统排风口屏蔽设计图

表 10-2 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统屏蔽体设计参数

序号	防护参数①		备注
1	装置前侧面屏蔽体（装载门）	6mm Pb	/
2	装置背侧面屏蔽体	6mmPb	/
3	装置左侧面屏蔽体②	6mmPb	/
4	装置右侧面屏蔽体②	9mmPb	主射线照射
5	装置底部屏蔽体	6mmPb	/
6	装置顶部屏蔽体	6mmPb	/

注：①本项目将装载门所在面作为检测装置前侧面；面对检测装置时，左手边为装置左侧面，右手边为装置右侧面；

三、辐射安全和防护措施

为确保辐射安全，保障本项目断层扫描复合材料微观分析系统安全运行，南京航空航天大学拟为该检测装置设计有相应的辐射安全装置和保护措施。主要有：

（一）X 射线管安装在屏蔽体的检测装置内部，X 射线管不能单独被打开，只有在连接到机器内部的线路上并通过配套的控制软件才能开启。

（二）门-机联锁装置。X 射线管与断层扫描复合材料微观分析系统装载门之间安装有联锁装置，装载门关闭后X射线装置才能出束，运行期间强行打开防护门时X射线管将自动停止出束。

（三）指示灯-机联锁装置。断层扫描复合材料微观分析系统顶部设计安装工作状态指示灯（预备状态时黄色指示灯亮，照射时红色指示灯亮）和声音提示装置，并在醒目位置处粘贴对指示灯不同状态意义的说明。X射线管工作时，警示灯开启，

警告无关人员勿靠近。

（四）在断层扫描复合材料微观分析系统附近合适位置安装监视装置，可监视辐射工作人员活动及设备运行情况。

（五）断层扫描复合材料微观分析系统正面屏蔽体上设有 1 个紧急停机按钮，紧急情况下可迅速停机，防止误照射（由于辐射工作人员无法完全进入装置内部，因此内部无急停按钮）。

（六）断层扫描复合材料微观分析系统表面设置有电离辐射警告标志及中文警示说明。

（七）操作台设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置，并设置有辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

本项目射线装置安装的辐射安全措施满足本项目辐射安全的需要，本项目辐射安全设施布设示意图见图 9-1，辐射安全设施配备情况见表 10-3。

表 10-3 本项目辐射安全设施配置情况一览表

辐射安全设施	配置情况/位置
电离辐射警告标志	拟粘贴（检测装置外表面）
工作状态指示灯	1 个（检测装置顶部）
门-机联锁	已配置（设备自带）
指示灯-机联锁	已配置（设备自带）
视频监视装置	1 套（检测装置所在实验室内）
急停按钮	1 个（检测装置外表面）

四、探伤设施退役措施

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）有关规定，当断层扫描复合材料微观分析系统不再使用时，应实施退役程序。射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化；X 射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构；清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

五、监测仪器和防护用品

南京航空航天大学使用的断层扫描复合材料微观分析系统属于II类射线装置，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II类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

南京航空航天大学明故宫校区已配备辐射巡测仪1台，拟为本项目配备个人剂量报警仪2台。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。学校拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

本项目断层扫描复合材料微观分析系统运行过程中，没有放射性废水、废气及固体废物产生，断层扫描复合材料微观分析系统设有机械排风装置，检测装置在工作状态时，会使空气电离产生微量的臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物在装置工作时通过机械排风装置进行换气，然后通过检测装置所在实验室的新风系统进行通风，臭氧常温下约50min可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

工作人员产生的生活污水，进入校内污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

表 **11** 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目拟配备的 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统位于南京航空航天大学明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室，且本项目断层扫描复合材料微观分析系统是成套设备，由专业供应商直接运送安装到指定区域，不存在建设期环境影响。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

南京航空航天大学拟于明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室内配备 1 台断层扫描复合材料微观分析系统（型号：Xradia 610 Versa 型，最大管电压为 160kV，最大输出功率 25W），用于科研及教学工作中的材料分析。

在预测 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统壳体外各关注点的辐射水平时，按检测装置最高管电压和相应该管电压下的最大管电流（管电压为 160kV，管电流为 0.16mA）运行工况进行预测评价。本项目 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统的射线方向向右，射线夹角约为 34.7°，且 X 射线管可前后运动，运动范围为 200mm，故本次拟将检测装置右侧面按有用线束照射，其余各面按照非有用线束照射进行估算。Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统设计示意图见图 10-2。

本项目依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中推荐的计算模式及相关参数对 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统的辐射环境影响采取理论计算的方法进行分析与评价。

（一）有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \qquad \text{公式 11-1}$$

式中：*I*—X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，0.16mA；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，参考《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取，根据设备厂商提供在检测时常用过滤片为 2mm 的铝，管电压 160kV 时

距辐射源点（靶点）1m 处输出量约为 $20\times6\times10^{4}\mu Sv\cdot m^{2}/$（mA·h），即 $1.2\times10^{6}\mu Sv\cdot m^{2}/$（mA·h）；

B—屏蔽透射因子，有用线束方向顶部屏蔽体为 9mmPb，可通过插值法从《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》GBZ/T 250-2014 表 B.2 中得到 160kV 条件下，铅的什值层厚度 TVL 为 1.048mm。则通过公式 11-2 计算得：9mmPb 的屏蔽透射因子 B 为 2.58×10^{-9}；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（二）非有用线束

辐射屏蔽透射因子 *B* 按公式 11-2 计算：

$$B=10^{-X/TVL} \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：*X*—屏蔽物质厚度，与 *TVL* 取相同的单位；

TVL—查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2。

1、泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_{L}\cdot B}{R^{2}} \qquad \text{公式 11-3}$$

式中：*B*—屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

$\dot{H}_{L}$—距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 μSv/h，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $2.5\times10^{3}\mu Sv/h$。

2、散射辐射

散射辐射所致装置外剂量率利用公式 11-4 计算：

$$\dot{H}=\frac{I\cdot H_{0}\cdot B}{R_{s}^{2}}\cdot\frac{F\cdot\alpha}{R_{0}^{2}} \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：*B*—屏蔽透射因子，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2，本项目 X 射线 90°散射辐射最高能量按 150kV 取值，确定铅 90°散射辐射的 *TVL* 为 0.96mm，则通过公式 11-2 计算得：6mmPb 铅板的透射因子为 5.62×10^{-7}；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，选取 160kV 下输出量值，即 $1.2\times10^{6}\mu Sv\cdot m^{2}/$（mA·h）；

F—R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（m^2），按 X 射线装置圆锥束中心轴与圆锥边界的夹角为 20°计算，公式 11-4 中的 $R_0^2/F\cdot\alpha$ 因子保守取值为 50；

R_0—辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

α—散射因子，入射辐射被单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 α 值时，可以水的 α 值保守估计，见附录 B 表 B.3；

R_s—散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

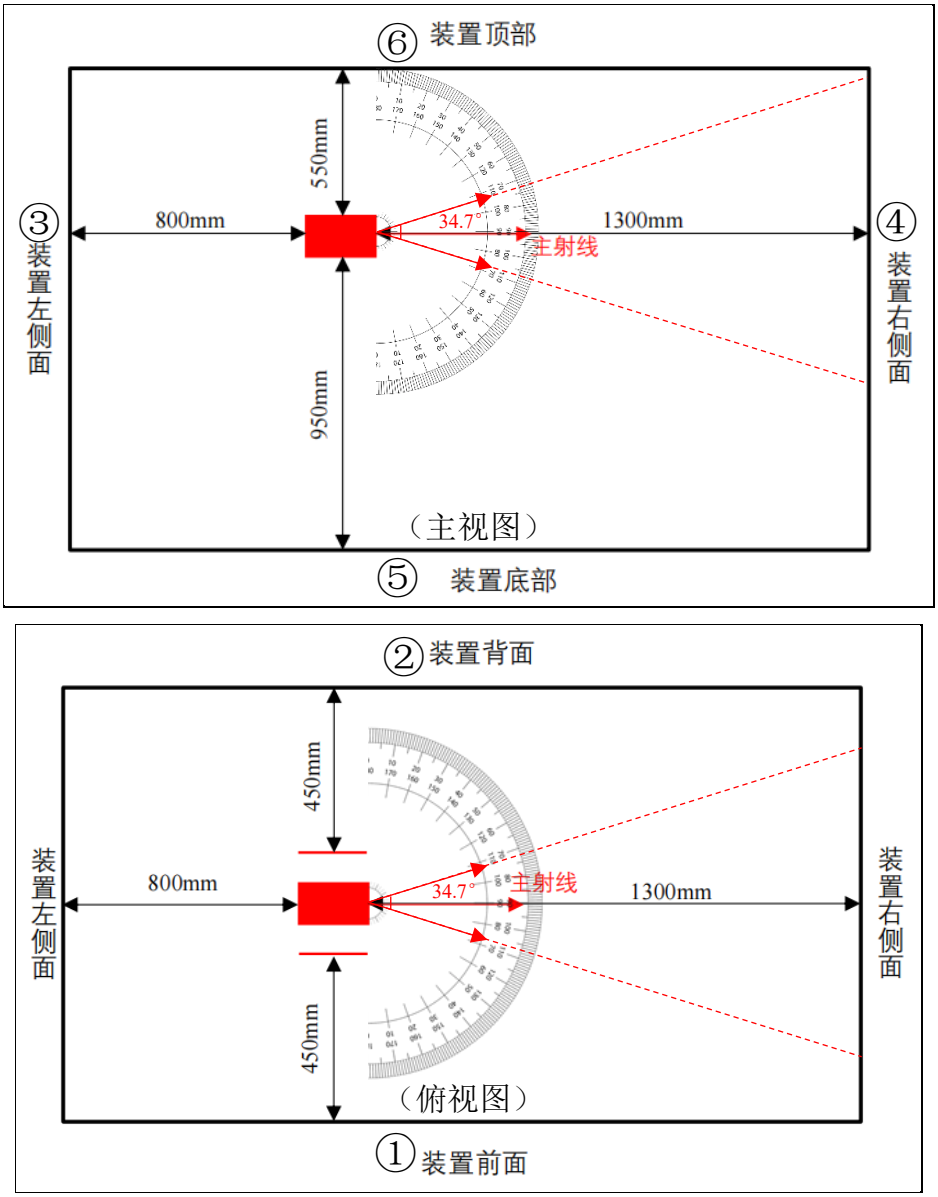


图 11-1 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统辐射防护计算参考点为示意图

（三）预测计算结果汇总及评价

本项目 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统射线方向固定向右，辐射防护计算参数和计算结果见表 11-1～表 11-3。

表 11-1 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统球管距离屏蔽体外侧距离

点位序号	点位描述	屏蔽材料及厚度	源距外壁距离（m）	剂量核算点位距离（m）	需防护辐射源类型
①	装置前面（含装载门）	6mmPb	0.45	0.75	漏射线束、散射线束
②	装置背面	6mmPb	0.45	0.75	漏射线束、散射线束
③	装置左侧面	6mmPb	0.8	1.1	漏射线束、散射线束
④	装置右侧面	9mmPb	1.3	1.6	有用线束
⑤	装置底部	6mmPb	0.95	1.25	漏射线束、散射线束
⑥	装置顶部	6mmPb	0.55	0.85	漏射线束、散射线束

注：$R_{前面}$=X 光管至检测装置壳体距离 0.45m+参考点 0.3m=0.75m；
$R_{背面}$=X 光管至检测装置壳体距离 0.45m+参考点 0.3m=0.75m；
$R_{左侧面}$=X 光管至检测装置壳体距离 0.8m+参考点 0.3m=1.1m；
$R_{右侧面}$=X 光管至检测装置壳体距离 1.3m+参考点 0.3m=1.6m；
$R_{顶部}$=X 光管至检测装置壳体最短距离 0.55m+参考点 0.3m=0.85m；
$R_{底部}$=X 光管至检测装置壳体最短距离 0.95m+参考点 0.3m=1.25m；

表 11-2 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统铅房外有用线束辐射剂量率预测表

点位描述	屏蔽材质及厚度	I（mA）	屏蔽透射因子 B	H_0（μSv·m²/(mA·h)	R（m）	H(μSv/h)	剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价
④装置右侧面	9mmPb	0.16	2.58×10^{-9}	1200000	1.6	1.94×10^{-4}	2.5	满足

表 11-3 断层扫描复合材料微观分析系统铅房外非有用线束辐射剂量率及剂量率汇总预测表

关注点		①前面	②背面	③左侧面	④右侧面	⑤底部	⑥顶部
屏蔽材质及厚度		6mmPb	6mmPb	6mmPb	9mmPb	6mmPb	6mmPb
泄漏辐射	B	1.88×10^{-6}	1.88×10^{-6}	1.88×10^{-6}	/	1.88×10^{-6}	1.88×10^{-6}
	H_L(μSv/h)	2500					
	R（m）	0.75	0.75	1.1	/	1.25	0.85
	H(μSv/h)	8.37×10^{-3}	8.37×10^{-3}	3.89×10^{-3}	/	3.01×10^{-3}	6.51×10^{-3}
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值	150					
	B	5.62×10^{-7}	5.62×10^{-7}	5.62×10^{-7}	/	5.62×10^{-7}	5.62×10^{-7}
	I（mA）	0.16					
	H_0（μSv·m²/	1200000					

	（mA·h））						
	R（m）	0.75	0.75	1.1	/	1.25	0.85
	H(μSv/h)	3.84×10^{-3}	3.84×10^{-3}	1.78×10^{-3}	/	1.38×10^{-3}	2.99×10^{-3}
有用辐射	H(μSv/h)	/	/	/	1.94×10^{-4}	/	/
总剂量当量率（μSv/h）		1.22×10^{-2}	1.22×10^{-2}	5.67×10^{-3}	1.94×10^{-4}	4.39×10^{-3}	9.50×10^{-3}
剂量率参考控制水平（μSv/h）		2.5					
评价		满足	满足	满足	满足	满足	满足

由表 11-2 和表 11-3 可知，Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统在最大工况（即管电压为 160kV，管电流为 0.16mA）运行时，周围距机体外壁 30cm 处剂量率最大为 1.22×10^{-2}μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）和《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）的标准要求及本项目“工业 CT 检测装置四周屏蔽体周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h”的管理目标限值要求。

（四）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/T 250-2014）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 3.1.1c)的剂 量率参考控制水平 H_c（μSv/h）加以控制。”

根据表 11-2 可知，本项目 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统顶部外 30cm 处辐射剂量率为 9.50×10^{-3}μSv/h，经天空反射到达地面辐射剂量率远小于 9.50×10^{-3}μSv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）和《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平要求。

由于本项目断层扫描复合材料微观分析系统底部紧邻地面，装置底部剂量率为 4.39×10^{-3}μSv/h，射线在底部经过几次反射后对装置四周影响远小于 4.39×10^{-3}μSv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）和《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平要求。

（五）本项目电缆孔、排风口及铅门缝的辐射影响分析

本项目断层扫描复合材料微观分析系统拟设置有电缆孔，电缆孔位于装置左侧面下方，装置内射线朝右方工件照射时，对于穿线孔设计有屏蔽罩（见图 10-3），射线先

经过工件散射一次，再经过至少三次散射才能到达检测装置外，能够保证射线至少经三次散射后穿出，本项目穿线孔散射路径见图 11-2。

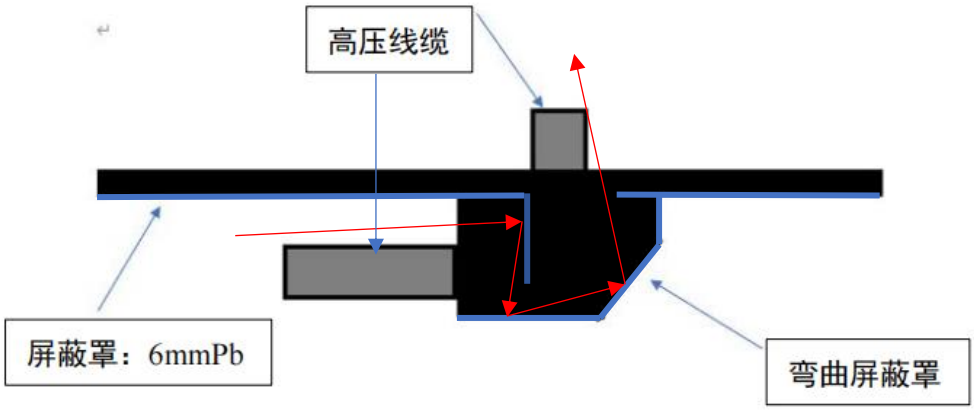


图 11-2 断层扫描复合材料微观分析系统穿线孔散射路径

本项目断层扫描复合材料微观分析系统拟设置有机械排风装置，排风口位于检测装置顶部（见图 10-4），装置内射线朝上方工件照射时，对于排风口设计有 5.2mm 铅屏蔽罩，射线先经过工件散射一次，再经过至少两次次散射才能到达屏蔽体外，能够保证射线至少经三次散射后穿出，本项目穿墙线管散射路径见图 11-3。

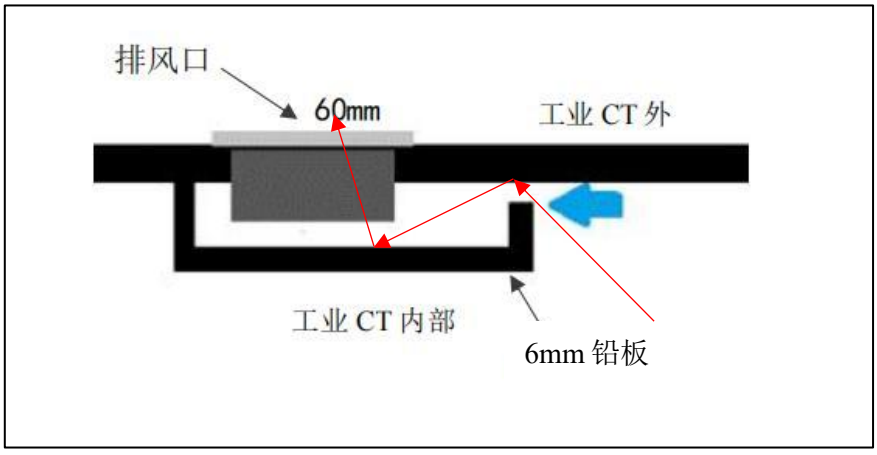


图 11-3 断层扫描复合材料微观分析系统排风口散射路径

综合上述断层扫描复合材料微观分析系统散射线在电缆管道和排风口屏蔽罩的内容内容，可推断本项目电缆孔处的辐射剂量率能够满足要求。

本项目工件门与四周屏蔽主体的搭接处皆采用等效 6mmPb 当量铅板作为补偿防护措施，门与屏蔽主体之间搭接距离大于 2mm，间隙小于 0.2mm，则门与屏蔽主体之间间隙与搭接比值小于 1/10，可推断防护门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

二、保护目标周剂量当量和年有效剂量评价

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T$$ 公式 11-5

式中：H_c—参考点的周/年剂量水平，μSv/周，μSv/a；

$\dot{H}_{c,d}$—参考点处剂量率，μSv/h；

t—探伤装置年照射时间，单位为 h/周，h/a；

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，可通过《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录表 A.1 得到。

表 11-4 本项目辐射工作人员周剂量当量计算结果

点位	$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）	U	T	t（h/周）	H_c（μSv/周）	周剂量当量控制水平（μSv/周）	关注对象	评价结果
装置前面	1.22×10^{-2}	1	1	10	1.22×10^{-1}	100	工作人员	满足
装置背面	1.22×10^{-2}	1	1/4	10	3.05×10^{-2}	100	工作人员	满足
装置左侧面	5.67×10^{-3}	1	1/4	10	1.42×10^{-2}	100	工作人员	满足
装置右侧面	1.94×10^{-4}	1	1/4	10	1.22×10^{-2}	100	工作人员	满足
装置顶部	4.39×10^{-3}	1	1/4	10	1.10×10^{-2}	100	工作人员	满足

表 11-5 本项目辐射工作人员年有效剂量计算结果

点位	$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）	U	T	t（h/a）	H_c（mSv/a）	年剂量约束限值（mSv/a）	关注对象	评价结果
装置前面	1.22×10^{-2}	1	1	500	6.10×10^{-3}	5	工作人员	满足
装置背面	1.22×10^{-2}	1	1/4	500	1.53×10^{-3}	5	工作人员	满足
装置左侧面	5.67×10^{-3}	1	1/4	500	7.09×10^{-4}	5	工作人员	满足
装置右侧面	1.94×10^{-4}	1	1/4	500	2.43×10^{-5}	5	工作人员	满足
装置顶部	4.39×10^{-3}	1	1/4	500	5.49×10^{-4}	5	工作人员	满足

本项目断层扫描复合材料微观分析系统检测曝光均在划定监督区范围内，监督区内非辐射工作人员不得进入。周围公众（其他工作人员）距离本项目检测装置最近约 1m。

（一） 本项目周剂量当量

本项目投入运行后周工作时间按 10 小时进行估算，根据表 11-4，本项目辐射工作人员周剂量当量最大为 0.122μSv/周；由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及墙体、楼体结构的屏蔽作用，故本项目周围公众周剂量当量远小于 0.122μSv/周，满足本项目对职业人员和公众周剂量当量要求（职业人员周剂量当量不超过 100μSv，公众周剂量当量不超过 5μSv）。

（二）本项目年有效剂量

本项目投入运行后年工作按 500 小时（周曝光约 10 小时×50 周）进行估算， 根据表 11-5，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 6.10×10^{-3}mSv/a；由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及墙体、楼体结构的屏蔽作用，故周围公众（其他工作人员）年有效剂量远小于 6.10×10^{-3}mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众有效剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv/a，公众年有效剂量不超过 0.1mSv/a）。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

断层扫描复合材料微观分析系统在工作状态时，会使空气电离产生微量的臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物通过装置顶部的机械排风装置排出（机械排风装置排风口不朝向实验室内人员密集区域），然后通过检测装置所在房间的新风系统进行通风，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

（二）废水

主要是工作人员产生的生活污水，将进入校内污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

事故状态下影响分析

本项目拟配备的 Xradia 610 Versa 型断层扫描复合材料微观分析系统为II类射线装置，II类射线装置为中危险射线装置，发生辐射事故时可使受照人员产生较严重放射损伤。

一、断层扫描复合材料微观分析系统在对工件进行曝光的工况下，防护铅门机联锁失效，工作人员靠近防护铅门附近；

二、防护铅门机联锁失效，工件门未完全关闭，断层扫描复合材料微观分析系统在对工件进行曝光的工况下对检测装置周围人员造成意外照射；

三、断层扫描复合材料微观分析系统进行检修、维修发生误照射对周围人员造成意外照射；

四、断层扫描复合材料微观分析系统防护门屏蔽受损有漏射线对周围人员造成意外照射。

为此，南京航空航天大学拟配备的断层扫描复合材料微观分析系统设置有门机联锁装置，只有在工件门完全关闭时 X 射线才能出束照射，运行期间强行打开工件门时，X 射线管将自动停止出束；断层扫描复合材料微观分析系统上设置工作状态指示灯，开机时，设备上红色工作状态指示灯亮；同时壳体上设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明。上述安全措施能有效防止误照射。

辐射工作人员随身携带个人剂量报警仪，当出现辐射事故情况时，可立即按下装置外表面上的急停按钮，X 射线球管停止出束，能有效减少事故情况下周围公众的受照剂量。辐射工作人员应定期使用辐射巡检仪进行巡检，发现异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，并做好记录。

发生辐射事故时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，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。在发生辐射事故时，南京航空航天大学应当立即启动辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告。

学校在日常工作中应加强管理，并在实际工作中不断对其相关操作规程和辐射安全管理制度等进行完善和落实；还应加强职工辐射防护知识培训，尽可能避免辐射事故的发生。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

南京航空航天大学拟于明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室内新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统（型号：Xradia 610 Versa 型，最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.16mA，最大输出功率 25W），以便学校的科研和教学需求。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用Ⅱ类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作和管理的人员均可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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

目前，南京航空航天大学根据现有核技术利用项目已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责（见附件 6）。学校应根据本次新增断层扫描复合材料微观分析系统项目完善辐射安全与环境保护管理机构及相关管理制度，将该项目辐射安全管理纳入学校的辐射安全管理工作中。南京航空航天大学拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员，辐射安全管理人员及辐射工作人员须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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，并参加“X 射线探伤”考核，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

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》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。南京航空航天大学已经根据学校现有射线装置制定了辐射安全管理相关制度，学校应根据新增南京航空航天大学项目的特点及以下内容修正并完善现有的相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（三）在工作场所严禁吸烟、进食。

二、岗位职责：学校已制定管理制度，明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度：学校已根据射线装置操作的具体情况制定《辐射防护和安全保卫制度》。重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪保持良好工作状态；

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

四、设备维修制度：学校已制定《设备维护检修制度》，明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、人员培训计划和健康管理制度：学校已制定《辐射工作人员培训管理制度》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《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》，辐射工作人员均可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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。项目辐射工作人员应配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案。学校应组织辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

六、监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保Ⅱ类射线装置的辐射安全，南京航空航天大学应制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

（二）辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，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、卫生和健康部门调查处理；

（三）学校应当按照有关标准、规范的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，发现异常情况的，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行政主管部门报告；

（四）委托有资质监测单位对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

南京航空航天大学现有核技术利用项目至今仍正常运行，学校定期对周围辐射环境进行自检并记录，已为辐射工作人员开展个人剂量检测和职业健康体检。

根据辐射管理要求，南京航空航天大学明故宫校区已配备辐射巡测仪 1 台，拟为本项目配备 2 台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警，拟配备的检测装置能够满足本项目辐射防护监测设备的配备要求，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，周期：1～2 次/年；

二、辐射工作人员开展个人剂量监测（1 次/季），建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排出职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

南京航空航天大学已根据上述监测计划，明确监测项目，定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

南京航空航天大学已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），并为辐射工作人员建立了职业健康档案和个人剂量监测档案。

南京航空航天大学每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

南京航空航天大学 2023 年度评估报告中不符合项已进行整改，并上报环保部门核实整改完成。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在学校定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，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和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

南京航空航天大学已经制定了《辐射事故应急响应预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任

划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关部门，定期（1 次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。学校开展核技术利用项目至今，未发生辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

南京航空航天大学拟于明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室内新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统（型号：Xradia 610 Versa 型，最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.16mA，最大输出功率 25W），用于科研及教学工作中的材料分析。

二、产业政策相符性

本次拟新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统，对照《产业结构调整指导目录（2021 年修订本）》，不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、实践正当性

本项目的运行，可学校的科研和教学需求，提升科研和教学能力，具有良好的社会效益和经济效益。经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，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。

四、选址合理性

南京航空航天大学拟于明故宫校区位于南京市秦淮区御道街 29 号，东侧为金蝶软件园、李府街 16 号小区、南航东苑及八五一一研究所家属区，南侧为后标营小区，西侧为明故宫路及御道街，北侧为中山东路。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统位于 A10 号楼一楼 112-114 实验室，A10 号楼东侧为 A14 号楼，南侧为校内道路及绿化，西侧为 A13 号楼，北侧为校内道路及绿化。其中一楼 112-114 实验室东侧为 108-110 实验室，南侧为室外绿化，西侧为 116-118 实验室，北侧为楼内过道，楼上为教研室，下方为土层。

本次新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统周围 50m 评价范围均在学校范围内，无居民区等环境敏感目标，无其他核技术利用项目，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员及周围公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。本项目所在地块位

于江苏溧水经济开发区重点管控单元（编码：ZH32011720026）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求（详见附件 9，江苏省生态环境分区管控综合查询报告书）。本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目拟将检测装置屏蔽体实体范围内作为控制区，检测装置屏蔽体及操作台周围 1m 范围作为监督区，监督区边界拟用栅栏与外部隔离，除工作人员外，其他无关人员不得入内操作，辐射工作场所分区布局合理。

五、辐射环境现状评价

南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统周围环境 γ 辐射剂量率在 46nGy/h～68nGy/h 之间，在江苏省室内及道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率水平涨落之间。

六、环境影响评价

根据理论估算结果，南京航空航天大学新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及项目管理限值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv；公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

七、“三废”的处理处置

断层扫描复合材料微观分析系统在工作状态时，会使空气电离产生微量的臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物通过装置顶部机械排风装置排出，然后通过检测装置所在房间的新风系统进行通风，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小；工作人员产生的生活污水，将进入校内污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

八、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

南京航空航天大学拟于明故宫校区 A10 号楼一楼 112-114 实验室内新增 1 台断层扫描复合材料微观分析系统（型号：Xradia 610 Versa 型，最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.16mA，最大输出功率 25W），为Ⅱ类射线装置。由断层扫描复合材料微观分析系统工作原理可知，X 射线管只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会

发出X射线，对装置周围的工作人员和公众产生外照射影响。

本项目断层扫描复合材料微观分析系统设计有门-机联锁安全装置，防护门关闭后X射线装置才能出束，运行期间强行打开防护门时X射线管将自动停止出束；断层扫描复合材料微观分析系统设有指示灯-机联锁装置，装置正面设计安装工作状态指示灯。X射线管工作时，警示灯开启，警告无关人员勿靠近。断层扫描复合材料微观分析系统外表面设置有1个紧急停机按钮，紧急情况下可迅速停机，防止误照射（由于辐射工作人员无法完全进入检测装置内部，因此内部无急停按钮）。装置表面拟设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明等，在落实以上措施后，本项目的安全措施满足安全管理要求。

九、辐射安全管理评价

目前，南京航空航天大学已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合学校实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

南京航空航天大学明故宫校区已配备1台辐射巡测仪，拟为本项目配备2台个人剂量报警仪，还需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。所有辐射工作人员和辐射工作管理人员均可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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，只有在其通过考核后才能正式从事相应的辐射工作，并及时安排辐射安全培训证书到期的辐射工作人员进行再培训及考核。

综上所述，南京航空航天大学新增1台断层扫描复合材料微观分析系统在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该学校将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1、该项目运行中，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、各项安全措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。定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

3、学校取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“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	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。学校已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	本项目断层扫描复合材料微观分析系统自屏蔽铅房尺寸约为2100 mm（长）×1100 mm（宽）×1500mm（高），检测装置屏蔽体采用钢-铅-钢的防护设计对X射线进行屏蔽，定义观察窗所在面为装置前面。检测装置右侧面为含9mm铅板的屏蔽体，其余各面（包括装载门）均内含6mm铅板的屏蔽体进行辐射屏蔽。 拟将监督区边界用栅栏与外部实现物理隔离。	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）“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”要求；满足《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“关注点最高剂量率参考控制水平2.5μSv/h”的要求；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目管理目标限值的要求：职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv。	4
	本项目断层扫描复合材料微观分析系统拟设置： （1）X射线管安装在屏蔽体的检测装置内部，X射线管不能单独被打开，只有在连接到机器内部的线路上并通过配套的控制软件才能开启。 （2）门-机联锁装置。X射线管与检测装置工件门之间安装有联锁装置，工件门关闭后X射线装置才能出束，运行期间强行打开防护门时X射线管将自动停止出束。 （3）指示灯-机联锁装置。断层扫描复合材料微观分析系统设计安装工作状态指示灯。X射线管工作时，警示灯开启，警告无关人员勿靠近。 （4）断层扫描复合材料微观分析系统外表面设有1个紧急停机按钮，紧急情况下可迅速停机，防止误照射（由于辐射工作人员无法完全进入检测装置内部，因此内部无急停按钮）。 （5）断层扫描复合材料微观分析系统表面设置有电离辐射警告标志及中文警示说明。 （6）操作台设置有辐射警告、出束指示和	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的相关要求。	

	禁止非授权使用的警告等标识。		
人员配备	拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，辐射安全管理人员和辐射工作人员均可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学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。 辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。 辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立辐射工作人员职业健康档案。	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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求。	/
监测仪器和防护用品	明故宫校区已配备辐射巡测仪 1 台。 拟配备个人剂量报警仪 2 台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	0.77
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	4.77

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

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