核技术利用建设项目

新疆农业大学岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪应用项目生态环境影响报告表

新疆农业大学

二〇二六年十月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新疆农业大学岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪应用项目生态环境影响报告表

建设单位名称：新疆农业大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市沙依巴克区农大东路311号

邮政编码：*　　联系人：*

目 录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 9
表 3 非密封放射性物质 9
表 4 射线装置 10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 11
表 6 评价依据 13
表 7 保护目标与评价标准 16
表 8 环境质量和辐射现状 19
表 9 项目工程分析与源项 23
表 10 辐射安全与防护 27
表 11 环境影响分析 34
表 12 辐射安全管理 46
表 13 结论与建议 53
表 14 审批 ..... **错误！未定义书签。**

附件：

附件 1 委托书

附件 2 基础材料真实性承诺书

附件 3 辐射安全许可证

附件 4 检测报告

附件 5 校准证书

附图：

附图 1 项目地址位置示意图

附图 2 项目外环境示意图

附图 3 项目所在建筑平面布置图

附图 4 项目工作场所平面布置图

附图 5 项目评价范围示意图

附图 6 项目辐射防护分区管理示意图

附图 7 项目铅防护箱体及部分辐射安全措施分布示意图

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">新疆农业大学岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪应用项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">新疆农业大学</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>*</td><td>联系人</td><td>*</td><td>联系电话</td><td colspan="2">*</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">*</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">*</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</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>600</td><td>环保投资（万元）</td><td>75</td><td>投资比例</td><td colspan="2">12.5%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">□新建□改建☑扩建□其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td colspan="2">36.1</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="6">□I类□II类□III类□IV类□V类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="6">□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="6">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="6">□乙□丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="6">□II类□III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">□II类□III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑II类□III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

1.1 建设单位情况

新疆农业大学（以下简称“学校”）位于乌鲁木齐市，是自治区重点建设的一所农业高等院校，前身为新疆八一农学院。1995 年 4 月 21 日经原国家教委批准，更名为新疆农业大学。是国家林业和草原局与自治区人民政府共建高校，入选中西部高校基础能力建设工程、国家建设高水平大学公派研究生项目、国家“特色重点学科项目”、国家首批“卓越农林人才教育培养计划”改革试点高校、教育部“卓越工程师教育培养计划”高校、国家大学生文化素质教育基地，丝绸之路沿线国家农业院校联盟发起成员。

1.2 核技术利用项目目的和任务的由来

为满足学校水利与土木工程学院科研实验需要，新购置 1 台 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪放置于学校老满城校区水利与土木工程学院 85 号楼。

项目会对周围环境带来一定程度的电离辐射影响，因此，在合理利用核技术的同时，必须重视其对环境的影响。根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》的规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。按照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（生态环境部、国家卫生健康委员会，公告 2026 年第 44 号）中对射线装置的分类，本项目使用的岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪属于 X 射线计算机断层扫描（CT）装置，为II类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，使用II类射线装置应编制生态环境影响报告表。

学校委托兰州宏溥检测技术有限公司开展新疆农业大学岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪应用项目生态环境影响报告表的编制工作，委托书见附件 1。评价单位对本项目进行现场调查，在查阅设计资料的基础上，结合本项目的辐射危害特征，从辐射防护的角度论证项目的可行性，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成本生态环境影响报告表。

1.3 项目概况

1.3.1 建设内容

项目计划使用 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪 1 台，放置于老满城校区水利与土木工程学院，西北侧使用 2 层玻璃进行隔挡，命名分析室。其中岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪 X 射线管最大电压 250kV、最大电流 3mA，功率 750W，属于II类射线装置。本项目主要为岩土体微观结构演化、冻融循环损伤、渗流机理、裂隙发育等关键科学问题提供高分辨率三维定量分析手段，针对样品包括岩石、土壤、混凝土、砂石等地质与土木工程材料。

1.3.2 劳动定员

项目建成运行后，计划配备辐射工作人员 2 名。建成后纳入学校辐射安全防护管理体系，由辐射安全与防护管理机构人员负责管理，本项目工作人员不参与学校其他核技术利用项目工作，辐射工作人员均应通过辐射安全与防护培训考核，并取得成绩合格单，考核类别为“X 射线探伤”。

1.3.3 项目组成及主要环境影响因素

项目组成及主要环境影响因素见表 1-1。

表 1-1 本次环评情况一览表

工程名称		项目内容	主要环境影响因素	
			施工期	运行期
主体工程		使用 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪 1 台，为岩土体微观结构演化、冻融循环损伤、渗流机理、裂隙发育等关键科学问题提供高分辨率三维定量分析手段。	噪声、扬尘、废水、建筑垃圾	X 射线、臭氧、氮氧化物、生活污水、生活垃圾
公用工程		依托学校设施。利用市政供水、供电。		
辅助工程		项目工作人员办公、生活设施依托学校设施。		
辐射防护工程	辐射安全与防护措施	项目设计采取的辐射安全与防护措施包括：辐射防护分区管理措施、辐射防护措施、辐射安全措施等，见表 10 辐射安全与防护内容。		
	气体废物处理设施	射线装置集成排风装置，用于排放臭氧、氮氧化物等。		
	液体废物处理措施	工作人员办公及生活产生少量生活污水，依托学校污水处理设施处理后，接入市政管网，最终流入乌鲁木齐河西污水处理厂处理。		
	固体废物处理措施	工作人员办公及生活产生少量生活垃圾，统一收集后交环卫部门处理。		

1.4 地理位置及外环境关系

1.4.1 项目地理位置

乌鲁木齐市是新疆维吾尔自治区首府；现辖 7 区 1 县（米东区、天山区、沙依巴克区、新市区、水磨沟区、头屯河区、达坂城区、乌鲁木齐县），有 3 个国家级开发区和 1 个综合保税区；总面积 1.38 万平方公里，建成区 545.1 平方公里；常住人口 408.5 万人。

项目位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市沙依巴克区农大东路 311 号。该地点

紧邻农大东路，交通便利。地理位置见附图 1。

1.4.2 项目外环境关系

项目安装地点位于学校老满城校区水利与土木工程学院 85 号楼西南角。

1.4.3 工作场所位置及周围情况

分析室西北侧为人员走动区域、东北侧为人员进出通道、东南侧为室外、西南侧为实验室、上方为实验区、楼下为土层。

1.5 产业政策分析

按照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》要求，项目属于“十四、机械，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”，为鼓励类，符合国家产业政策。

1.6 利益代价分析

1.6.1 社会效益、经济效益

工业计算机断层扫描技术是在射线检测的基础上发展起来的，能在对检测物件无损伤条件下，以二维断层图像或三维立体图像的形式，清楚、精确、直接地展现被检测物件内部的结构、组成、材质及缺损情况，广泛用于各行各业及科学研究领域，具有良好的经济效益。

项目的建设主要为岩土体微观结构演化、冻融循环损伤、渗流机理、裂隙发育等关键科学问题提供高分辨率三维定量分析手段，可以推动岩土力学从宏观经验向微观机理的深入发展，支撑岩土工程与材料科学发展，具有显著的社会效益。

1.6.2 实践的正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护实践的正当性要求，对于核技术利用项目实践活动，只有在考虑了社会、经济和其他相关因素，其对社会或个人所带来的利益足以弥补其可能引起的危害时，该实践才是正当的。

设备在使用过程中产生电离辐射，对周围环境产生一定影响，但在使用过程中采取了必要的辐射安全防护和管理措施减少本项目的辐射影响，本项目的辐射

影响在相应的标准范围内，该项目给社会带来的利益远大于其可能引起的辐射影响。因此，本项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

1.6.3 利益代价分析

项目的建设具有较好的经济效益和社会效益。项目运行对周围环境带来一定程度的电离辐射影响，在采取辐射安全与环境保护措施后，可以大大减轻项目对环境造成的不利影响。从利益代价角度分析，项目的建设是可行的。

1.7 环保投资一览表

本项目总投资为 600 万元，环保投资 75 万元，投资比例为 12.5%。

表 1-2 环保投资一览表

环保投资项目	投资内容	投资金额（万元）
射线装置辐射安全与防护措施	（1）岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪配备铅防护箱体，铅防护箱体设计为方管钢板结构，由方管、钢板焊接而成，采用铅板作为防护材料。铅防护箱体各接缝处均采取搭接措施，避免射线泄漏；铅防护箱体走线孔、排风孔等部位，设计安装铅防护罩，铅当量与同侧面防护铅当量一致。 （2）岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪设计采取辐射安全措施，包括：钥匙开关、自检测试、状态指示灯、声音提示装置、联锁装置、紧急停束装置、固定式辐射报警仪、监控、紧急开门按钮、防夹装置、排风装置等。	72
其他辐射安全措施	（1）对分析室实行分区管控，将系统铅防护箱体内划为控制区管理，将防护箱体以外区域划为监督区管理。控制区出入口设置电离辐射警告标志及中文警示说明。 （2）系统铅防护箱体工件门上，设计张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。 （3）项目计划安装排风管道，将系统排气接引至室外，最终排入大气。	0.5
监测仪表	项目计划配备 1 台便携式 X-γ辐射监测仪、1 台个人剂量报警仪 2 台。	2.5
合计		75

1.8 建设单位已有核技术利用项目许可情况

1.8.1 原有核技术利用项目

目前，学校持有乌鲁木齐市生态环境局核发的辐射安全许可证（新环辐证〔G0118〕），有效期至 2029 年 12 月 19 日，许可使用 III 类射线装置。单位原

有核技术利用项目情况见表 1-3。

表 1-3 射线装置使用情况

序号	装置名称	型号	类别	活动种类	工作场所
1	X 射线计算机（CT）体层摄影设备	Insitum64CT 398	III类	使用	新疆农业大学动物医院一楼 CT 机房 1
2	数字化兽医 X 射线摄影系统（DR）	VDR-1800 型	III类	使用	新疆农业大学动物医院一楼 DR 机房
3	数字化 X 射线摄影系统	NeuVision460	III类	使用	医院一楼拍片室

1.8.2 辐射安全与环境保护管理现状

（1）辐射安全与环境保护管理机构

为了加强辐射安全和环境保护管理工作，促进射线装置合法使用，学校已成立了辐射安全与环境保护管理小组，确定了领导小组负责人和管理人员，制定了相关职责，负责辐射安全与环境保护管理工作。

（2）辐射安全与环境保护管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用射线装置的建设单位应有健全的操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、人员培训计划、台账管理制度、监测方案，有完善的辐射事故应急措施等。学校已制定相关辐射安全与环境保护管理制度，包括如下。

①辐射防护和安全保卫制度：《安全保卫制度》

②操作规程：《操作规程》

③岗位职责：《岗位职责》

④设备检修维护制度：《设备检修维护制度》

⑤辐射工作人员培训制度：《人员培训计划》

⑥监测方案：《监测方案》

⑦台账管理制度：《台账管理制度》

⑧辐射事故应急预案：《辐射事故应急预案》

学校各项辐射安全与环境保护管理制度执行良好，辐射安全与环境保护管理有效，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。学校每年开

展辐射安全和防护状况年度评估工作，并上报给生态环境主管部门。

（3）辐射工作人员培训

学校定期组织工作人员接受辐射防护法律法规、专业技术知识培训，增强守法和自我防护意识。本项目拟配备的工作人员参加统一组织的辐射安全与防护培训考核后上岗。

（4）项目与学校原有项目关系

①依托学校现有的辐射安全与环境保护管理小组，开展辐射安全与防护管理工作，项目拟新增工作人员 2 名，不参与学校其他核技术利用项目。

②依托学校现有辐射安全与防护管理制度，结合项目实际进行修订。实践过程中若发现与工作实践不符或采取的防护技术有变化的情况出现，组织相关人员进行修订，以保持制度的适用性和规范性，最大限度保护环境和人员免受辐射影响。

③项目建成后按照相关要求重新申领《辐射安全许可证》，将本项目设备增项至原有辐射安全许可证上。

④本项目新购置便携式辐射监测仪和个人剂量报警仪。

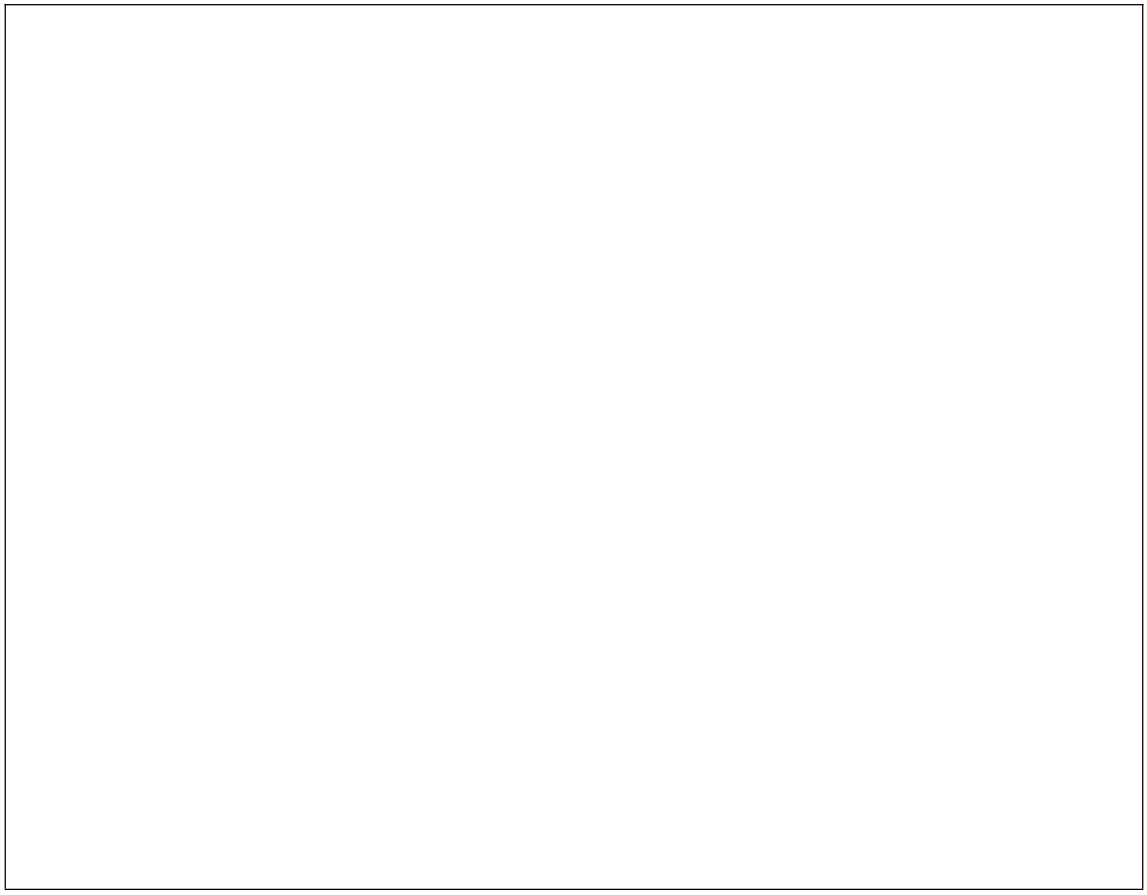

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（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	岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪	II 类	1	nanoVoxel 5100	250	3	科研实验	水利与土木工程学院 85 号楼分析室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	直接进入大气，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^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》，自2026年8月15日起施行； （2）《建设项目环境保护管理条例》，自2017年10月1日起修改施行； （3）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，自2019年3月2日修改施行； （4）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，自2021年1月4日修改施行； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，自2011年5月1日起施行； （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），自2021年1月1日起施行； （7）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，自2019年11月1日起施行； （8）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，自2026年10月15日起实施； （9）《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》，自2020年1月1日起实施； （10）《产业结构调整指导目录（2024年本）》，自2024年2月1日起施行； （11）《辐射安全考核专业分类参考目录（2021年版）》，2021年03月03日发布； （12）《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，2017年11月20日印发； （13）《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》，2025年8月29日印发； （14）关于印发《新疆维吾尔自治区生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2026年本）》的通知，自2026年3月1日起施行； （15）《新疆维吾尔自治区辐射污染防治办法》，2015年7月1日起施行；

	（16）《新疆维吾尔自治区环境保护条例》，2017年1月1日起施行；根据2018年9月21日新疆维吾尔自治区第十三届人民代表大会常务委员会第六次会议《关于修改<新疆维吾尔自治区自然保护区管理条例>等7部地方性法规的决定》修正。
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）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）； （5）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）； （6）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》第 1 号修改单（GBZ/T 250-2014/XG1-2017）； （7）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （8）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （9）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （10）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； （11）《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）。

其他	（1）委托书； （2）《新疆环境天然贯穿辐射水平调查研究》（新疆环境监测中心站，1992）； （3）《辐射防护导论》（方杰著，1991.6）； （4）其他技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目使用II类射线装置，依据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“1.5 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”的相关规定。

因此,项目评价范围取 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪铅防护箱体外 50m 范围内区域。

7.2 保护目标

本项目的环境保护目标为评价范围内项目工作人员以及周围公众。根据本项目工作场所外环境特征，本项目评价范围内环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标

环境保护目标及分布		相对方位与距离	人员规模	保护要求
工作人员	水利与土木工程学院 85 号楼分析室	系统防护箱体外 0.7m	2 人	≤5mSv/a
公众	人员走动区域	铅防护箱体西北侧 1.7m	流动人员、学生、教职工	≤0.1mSv/a
	人员进出口通道	铅防护箱体东北侧 2.9m		
	室外	铅防护箱体东南侧 0.9m		
	实验室	铅防护箱体西南侧 2.3m		
	实验区	铅防护箱体上方		
	水利与土木工程学院 85 号楼	项目所在建筑		
	86 号楼	防护箱体南侧 29m		
	动物医学院	防护箱体西南侧 47m		

7.3 评价标准

7.3.1 个人剂量约束值

（1）防护与安全的最优化

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.3.1

条，对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.3.2 条，防护与安全最优化的过程，可以从直观的定性分析一直到使用辅助决策技术的定量分析，但均应以某种适当的方法将一切有关因素加以考虑，以实现下列目标：a）相对于主导情况确定出最优化的防护与安全措施，确定这些措施时应考虑可供利用的防护与安全选择以及照射的性质、大小和可能性；b）根据最优化的结果制定相应的准则，据以采取预防事故和减轻事故后果的措施，从而限制照射的大小及受照的可能性。

（2）职业照射和公众照射的年剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条，应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 条规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定，附录 B 关于剂量限值要求见表 7-2。

表 7-2 个人剂量限值

工作人员剂量限值	公众剂量限值
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；	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；

因此，评价选取 5mSv/a 作为工作人员年剂量约束值、选取 0.1mSv/a 作为公众年剂量约束值。

7.3.2 工作场所剂量参考控制水平

参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.3 条要求，本项目取

射线装置防护箱体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 作为控制水平。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

8.1.1 项目地理位置

乌鲁木齐市是新疆维吾尔自治区首府；现辖 7 区 1 县（米东区、天山区、沙依巴克区、新市区、水磨沟区、头屯河区、达坂城区、乌鲁木齐县），有 3 个国家级开发区和 1 个综合保税区；总面积 1.38 万平方公里，建成区 545.1 平方公里；常住人口 408.5 万人。

项目位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市沙依巴克区农大东路 311 号。该地点紧邻农大东路，交通便利。地理位置见附图 1。

8.1.2 项目工作场所位置

项目位于学校老满城校区水利与土木工程学院 85 号楼分析室，分析室西北侧为人员走动区域、东北侧为人员进出口通道、东南侧为室外、西南侧为实验室、上方为实验区、楼下为土层。项目所在建筑平面布置图详见附图 3。

8.2 环境质量和辐射现状

为了解区域辐射环境现状水平，兰州宏溥检测技术有限公司对项目工作场所及周围环境进行了辐射环境监测。

8.2.1 监测因子及监测方法

监测因子及监测方法见表 8-1。

表 8-1 监测因子及依据方法

监测因子	监测方法
空气吸收剂量率	《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）

8.2.2 监测布点原则

根据项目辐射源特点、工作场所布局及周围环境特征，识别照射途径和关键受照人群，制定监测布点原则如下：①在项目拟建场地布点；②在可能受项目运行影响且与项目相邻区域布点；③评价范围内各环保目标处布点。

8.2.3 监测时间及气象条件

监测时间：2026 年 9 月 17 日。

气象条件：天气晴，气温 20.3~22.4℃，相对湿度 31.6~32.5%。

图 8-1 项目安装场地及周围监测布点示意图

图 8-2 项目环保目标周围环境监测布点示意图

8.2.4 监测仪器

监测仪器详见表 8-2。

表 8-2 监测仪器

仪器名称	高灵敏环境级辐射剂量率仪	**仪器型号**	AT1120
设备编号	HPJC-039	**量程**	10nSv/h~150μSv/h
相对误差	<±15%	**响应能量**	20keV-7MeV
响应时间	≤2s	**校准单位**	中国辐射防护研究院放射性计量站
校准证书编号	C校字第[2026]-R1331	**校准日期**	2025年08月12日

8.2.5 监测质量保证

（1）监测单位取得 CMA 资质认证，批准环境γ辐射剂量率检验检测项目。

（2）监测分析方法，采用《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等行业标准。

（3）AT1120 型高灵敏环境级辐射剂量率仪适用于环境γ辐射剂量率监测，监测仪器量程为 10nSv/h-150μSv/h，满足《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）要求。

（4）AT1120 型高灵敏环境级辐射剂量率仪，经过计量检定机构检定合格，检定证书在有效期内。

（5）现场监测人员经过环境γ辐射剂量率测量相关专业培训，考核合格上岗工作。

（6）监测方案、原始记录、质量保证记录、监测报告、仪器检定/校准证书

及其他重要数据资料，建档保存。

（7）监测数据结果按照“四舍六入五成双”数字修约规则修约取整。

（8）监测数据及报告实行校对、审核、签发制度。

8.2.6 监测结果

表 8-3 监测结果

序号	点位描述	监测结果（nGy/h）	备注
1	设备拟建址	64±1	平房
2	实验室	83±1	平房
3	人员走动区域	72±1	平房
4	人员进出通道	83±1	平房
5	室外	77±1	道路
6	楼上	83±2	平房
7	85 号楼人员进出门	72±1	道路
8	86 号楼北侧	75±1	道路
9	动物医学院北侧	69±1	道路

注：检测结果已扣除宇宙射线响应值。

8.3 监测结果分析

监测显示，项目拟建场地及周围环境γ辐射剂量率在 64nGy/h ~ 83nGy/h。对比《新疆环境天然贯穿辐射水平调查研究》（新疆环境监测中心站，1992）表 2 内容，乌鲁木齐市道路、室内等γ辐射（空气吸收）剂量率范围值分别为 24.5nGy/h~103.9nGy/h、48.1nGy/h~128.8nGy/h，项目拟建场地及周围环境辐射水平在本底水平范围。

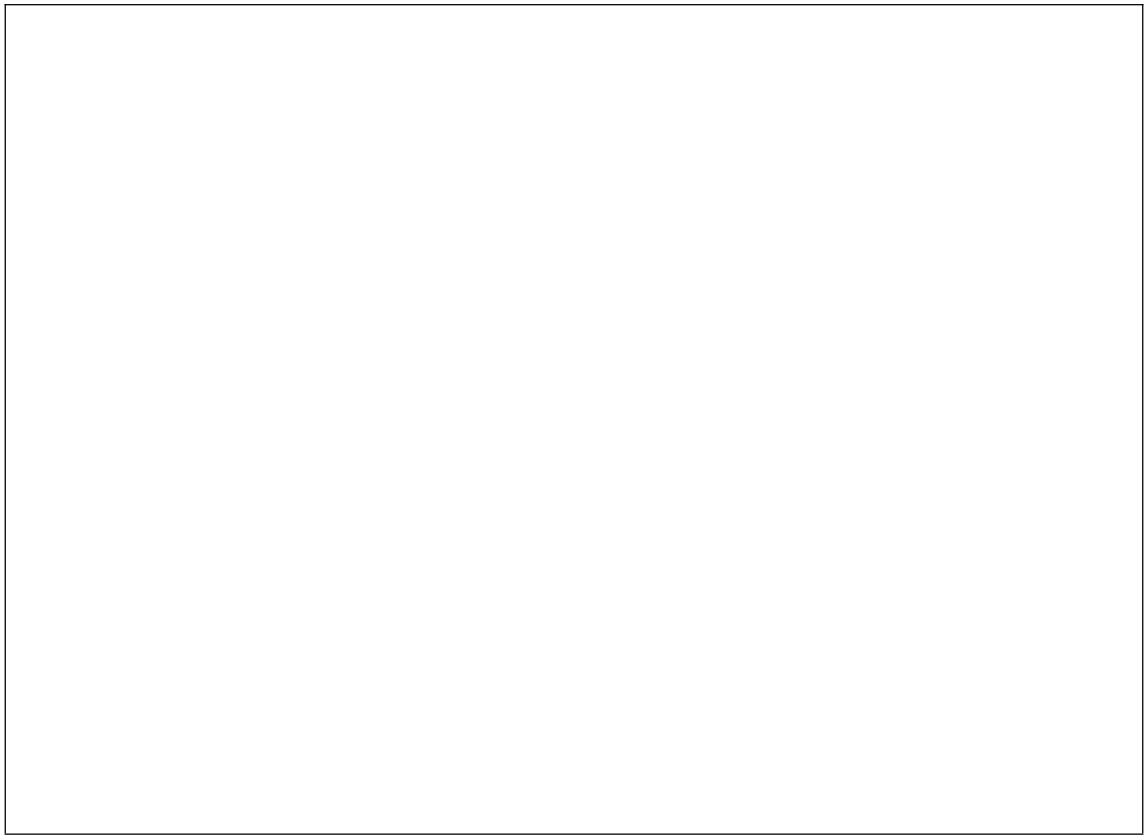

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工作原理

工业计算机断层扫描技术是应用无损检测成像技术，利用射线在被检测物体中的减弱和吸收特性，在被检测物体中的衰减规律及分布情况，由探测器接收透射射线数据，利用计算机信息处理和图像重建技术，获得被检测物体内部结构情况。工业计算机断层扫描技术可以二维断层图像或三维立体图像的形式，清晰、准确、直观地展示被检测物体的内部结构、组成、材质及缺损状况。

nanoVoxel 5100型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪是具有亚微米至微米级空间分辨率（设备系统分辨率≤500nm），可对样品进行三维成像，分析表征样品内部的二维和三维结构，并构建样品内部微结构的三维模型。

图 9-1 nanoVoxel 5100 设备示意图

9.1.2 设备组成

nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪主要由 X 射线源、X 射线成像探测器、精密样品台、图像采集系统等组成。其中 X 射线源固定于系统左侧，不能移动，X 射线成像探测器位于系统右侧，主束方向朝右。

根据建设单位提供的 X 射线管产品说明书及产品设计规范，系统主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 主要技术参数表

设备名称	岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪	**型号**	nanoVoxel 5100
最大管电压	250kV	**最大管电流**	3mA
功率	750W	**滤过条件**	0.5/1/2mm Cu 1/2mmAl
X 射线束可用角射束	40°	**距靶点 1m 处最大有用线束剂量率**	2160mGy/h
泄漏剂量率	5mSv/h	**最大有效焦点**	2μm
照射方式	定向	**X 射线源位置**	固定

主束方向	朝系统右侧	/	/

注：泄漏剂量率参考 GBZ/T250-2014 中表 1 内容。

9.1.3 工作流程及产污环节

（1）准备工作

工作人员佩戴好个人剂量计，佩戴个人剂量报警仪，巡视系统周围情况，检查确认铅防护箱体正常。

（2）开机

接通电源，打开控制台钥匙开关，仪器开始自检功能，若测试正常，操作台显示器上提示工作人员可以进行相关操作，若测试故障，操作台显示器上显示故障代码。

（3）预热

确认各项辐射安全措施正常。若系统需要预热，工作人员操作选择电压，射线源开始抽真空，真空值达到最低要求后启动射线源预热。预热过程中工作人员处于操作台操作位，工件门处于关闭状态，样品台无样品，预热时间约 30min。

（4）样品安放

观察待测样品，选取适合该样品的样品夹持器。射线装置预热完成，确保处于停束状态，将样品固定在选择好的样品夹持器上，打开系统工件防护门，将样品夹持器置于样品台上，确保样品夹持器放置牢固，样品安装完成，关闭系统工件防护门，射线源状态变为“STAND BY”。

样品安放过程中，工作人员处于系统正前方及操作台附近。

（5）参数设置

根据样品情况，工作人员设置扫描参数，包括：射线源、探测器、运动控制等参数。参数设置过程中，工作人员处于系统操作台操作位。

（6）扫描

参数设置完成后，点击“开启”键，开启射线源，点击动态扫描开启图标，开启动态扫描模式，图像显示区域显示采集到的样品图像。

扫描过程中，工作人员处于系统操作台操作位及系统正前方附近。

（7）数据重建与处理

点击关闭动态扫描，工作人员取出样品及样品夹持器，对采集到的图像进行简单处理，查看感兴趣区域。

数据重建与处理过程中，工作人员处于系统操作台操作位。

（8）关机

确定样品扫描结束，射线源处于未发射 X 射线状态，将各电机全部回零，关闭扫描软件，关闭钥匙开关，关闭总电源，关机完成。

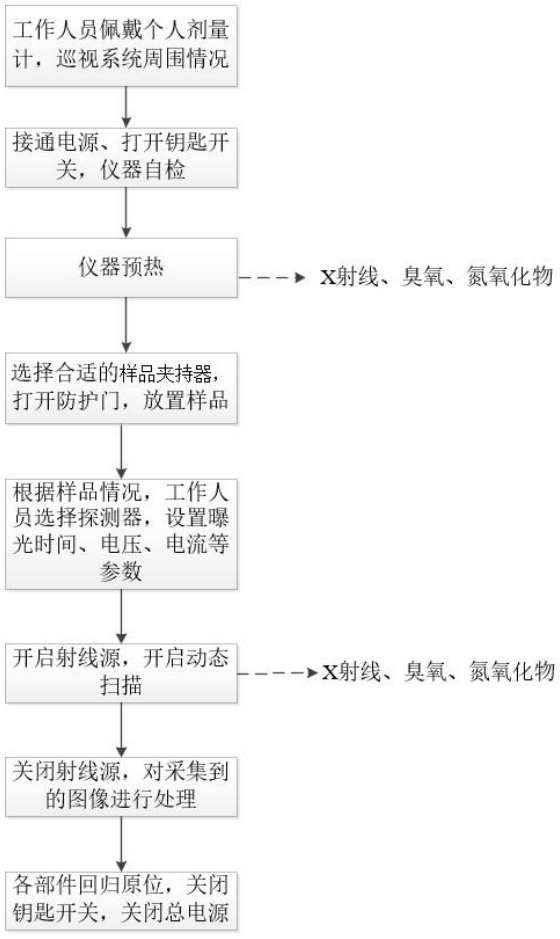

图 9-2 工作流程及产污节点示意图

9.1.4 工作负荷

根据项目资料，项目建成后，预计每个工作日出束扫描时间约为 3h、预热时间约为 30min，每周工作 5d，每年（按 50 周计）工作 250d，合计全年出束扫

描时间约为 750h、预热时间约为 125h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 污染因子

结合设备工作原理，电子束与阳极靶作用产生 X 射线，主要由韧致辐射能量谱和特征 X 射线能量谱组成。其中，特征 X 射线能量一般较低，强度也远小于韧致辐射。产生的 X 射线随着设备运行产生、停机消失。此外，射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物。

综上所述，项目的污染因子主要为 X 射线、臭氧和氮氧化物等。

9.2.2 气体废物

项目运行过程中，射线与空气作用产生少量臭氧和氮氧化物。

9.2.3 液体废物

工作人员办公及生活产生少量生活污水，依托学校污水处理设施处理后，接入市政管网。

9.2.4 固体废物

工作人员办公及生活产生少量生活垃圾，统一收集后交环卫部门处理。

实验结束后不再使用的样品，由使用人员送至学校固废暂存场所，学校根据材料不同分类收集后统一处理。

9.2.5 噪声

本项目施工期噪声主要来源于场所隔断改造、通风管道安装及装饰等过程。运行期间噪声主要为设备电机、空调等运行产生的噪声，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，不会改变区域声环境功能区规划。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目工作场所布局

项目位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市沙依巴克区农大东路 311 号。分析室西北侧为人员走动区域，东北侧为人员进出通道，东南侧为室外，西南侧为实验室，上方为实验区，楼下为土层。项目使用的 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪右侧为有用线束照射方向，操作位位于系统左侧前方，距离防护箱体约 70cm，不处于有用线束照射方向。

10.1.2 工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，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。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。此外，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。

按照分区管理的原则，项目将铅防护箱体内划为控制区管理，将分析室防护箱体外其他区域划为监督区管理，项目工作场所辐射防护分区管理情况见附图 6。对于控制区，工作过程中严禁人员进入，射线装置防护门外设置电离辐射警告标志；对于监督区，除工作人员外，严禁无关人员进入，定期对职业照射条件进行监督和评价。

分析上述方案，项目工作场所辐射防护分区管理措施，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）关于分区管理要求，工作场所分区合理。

10.1.3 辐射安全与环境保护措施

10.1.3.1 辐射防护设施

根据设备生产厂家提供的资料，射线装置防护箱体内部净尺寸长、宽、高分

别为 2780mm、1230mm、2050mm；防护箱体设计为方管钢板结构，由方管、钢板焊接而成，采用不同厚度铅板作为防护材料，右侧（有用线束照射方向）、前侧（含防护门）铅当量为 18mmPb，左侧铅当量为 10mmPb，后侧、顶侧、底侧铅当量为 12mmPb。铅防护箱体各接缝处均采取搭接措施，避免射线泄漏；铅防护箱体走线孔、排风孔等部位，设计安装铅防护罩，铅当量与同侧面防护铅当量一致。

本项目使用的 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪辐射防护设计情况见表 10-1，系统防护箱体示意图见附图 7。

表 10-1 射线装置防护箱体防护设计情况

防护箱体内部尺寸（长×宽×高）	防护箱体实体设施	防护设计情况	材料	厚度
2780 × 1230 × 2050mm	前侧（含防护门）	18mmPb	铅板	18mm
	左侧	10mmPb	铅板	10mm
	后侧	12mmPb	铅板	12mm
	右侧(有用线束照射方向）	18mmPb	铅板	18mm
	顶侧	12mmPb	铅板	12mm
	底侧	12mmPb	铅板	12mm

10.1.3.2 辐射安全措施

（1）射线装置安全措施

①钥匙开关

系统操作台设有钥匙开关。打开钥匙开关后，系统接通电源、加载高压电源，X 射线管才能出束。关闭状态下，钥匙才能拔出。

②自检测试

电源开启后，系统进行自检测试。若测试正常，操作台显示器上提示工作人员可以进行相关操作；若测试故障，操作台显示器上显示故障代码，提醒工作人员关闭电源，与厂家联系并维修。

③状态指示灯、声音提示装置

系统内、外均设计安装状态指示灯及声音提示装置，系统外指示灯位于铅防

护箱体左前上方，系统内指示灯位于防护箱体后侧上方，用于显示、提示系统工作状态，且各工作状态声音提示信号不同。同时，系统状态指示灯、声光报警装置与高压电源控制器联锁。

其中，“电源接通”状态指示灯为绿色，“准备扫描”状态指示灯为黄色，“正在扫描”状态指示灯为红色，各工作状态声音提示信号不同。同时，学校计划在系统附近醒目的位置处，设置工作状态指示灯信号意义的说明。

④联锁装置

当 X 射线管接通高压电源后，系统实时跟踪 X 射线管运行状态，发生异常情况时，系统自动切断 X 射线管高压电源。出束过程出现故障时，系统将立即切断 X 射线管高压电源，蜂鸣器持续鸣响，提醒工作人员发生了故障。

系统防护门与高压控制器联锁。当防护门处于开启状态时，系统工作状态指示灯绿灯点亮，无法出束扫描；当防护门关闭且确认后，系统工作状态指示灯黄灯点亮，可以启动扫描；扫描状态下，系统工作状态指示灯红灯点亮，系统高压电源未关闭，防护门无法打开；扫描状态下，防护门意外打开，系统立即切断 X 射线管高压电源，停止出束扫描。

⑤紧急停束装置

系统操作台、防护箱体内部四周拟设置紧急停束装置。应急状态下，被困人员按下紧急停束装置，可以立即切断系统高压电源，停止出束扫描。

⑥紧急开门按钮

系统防护箱体工件防护门内侧，设计安装紧急开门按钮，当人员被关在箱体内紧急情况下按下按钮，防护门将立即打开，同时系统立即停止出束，紧急开门按钮旁拟设置醒目的中文标识。

⑦固定式辐射报警仪

系统集成辐射水平监测报警装置，实时监测防护箱体内的辐射剂量水平。其中，监测探头设置于防护箱体内，显示报警单元集成在防护箱体正面，可有效监测防护箱体内辐射水平，便于工作人员确认系统工作状态。

⑧视频监控装置

系统安装视频监控装置，便于工作人员了解铅防护箱体内情况。其中，显示器位于控制台，监控摄像头位于铅防护箱体内左前侧上方。

⑨防夹装置

工件防护门上拟安装红外式传感器，传感器检测到门附近有障碍物情况下，自动中断门的关闭动作，实现防夹功能。

⑩排风装置

系统集成排风扇，用于排放防护箱体内的臭氧及氮氧化物等。排风扇安装在防护箱体顶部，数量为 2，排风量为 2×177.6m^3/h。防护箱体排风孔处设有铅防护罩，铅当量 12mmPb，补偿排风孔造成的防护减弱影响。结合实际，项目计划安装排风管道，将系统排气接引至室外，最终排入大气，排风管道由岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪顶部排风扇接出，经东南侧窗户排至室外。

根据项目资料，系统铅防护箱体内体积约为 7m^3，排风量为 2×177.6m^3/h，则系统排风次数约为 50 次/h。

（2）电离辐射警告标志、中文警示说明

系统铅防护箱体防护门上，设计张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警告标志按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求设计。

（3）监测设备

项目计划配备便携式 X-γ辐射监测仪 1 台、个人剂量报警仪 2 台。

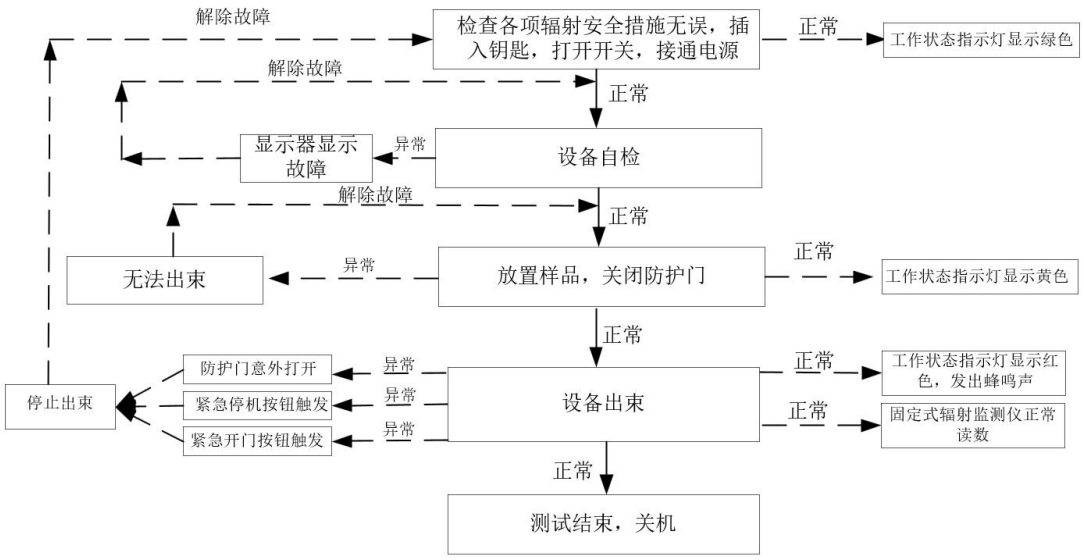

图 10-1 逻辑关系联锁图

10.1.3.3《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）符合性分析

（1）系统计划设置联锁装置，系统防护门与系统高压控制器联锁，当系统防护门处于关闭状态下才可出束扫描，满足 6.1.5 条“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”。

（2）系统内、外均设计安装状态指示灯及声音提示装置，用于显示、提示系统工作状态，且各工作状态声音提示信号不同。系统状态指示灯、声光报警装置与系统高压电源控制器联锁。满足 6.1.6 条“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”。

（3）系统计划安装视频监控装置，便于工作人员了解铅防护箱体内情况。满足 6.1.7 条“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。”

（4）系统防护门上，设计张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。满足 6.1.8 条“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”。

（5）系统操作台、防护箱体内部四周拟设置紧急停束装置。满足 6.1.9 条“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”。

（6）系统集成排风装置，用于排放臭氧、氮氧化物等，拟设置通风管道，

引至室外排放，系统排风次数约为 50 次/h。满足 6.1.10 条“探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”。

（7）系统内设计安装有固定式辐射报警仪，用于实时监测防护箱体内剂量率。满足 6.1.11 条“探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置”。

10.1.3.4 辐射安全管理措施

（1）工作前，工作人员检查系统周围情况，确认系统各项辐射安全与防护措施均处于良好状态，否则不得开展工作。

（2）工作前，工作人员检查个人剂量报警仪、便携式 X-γ辐射监测仪等能否正常使用，在不能正常使用情况下，不得开展工作。

（3）工作人员正确佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪、便携式 X-γ辐射监测仪，并确保个人剂量报警仪、便携式 X-γ辐射监测仪处于开启状态。

（4）工作人员定期监测系统周围区域辐射水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处，监测结果与参考控制水平相比较。当监测结果高于参考控制水平时，终止扫描工作并向学校辐射安全与环境保护管理小组报告。

（5）制定人员参与项目操作的管理制度，建立辐射剂量记录台账管理措施。

10.2 气体废物

项目运行过程中，射线与空气作用产生少量臭氧和氮氧化物，经排风装置排入大气。

结合实际，项目计划安装排风管道，将系统排气接引至室外，最终排入大气，排风管道由岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪顶部排风扇接出，经东南侧窗户排至室外。

10.3 液体废物

工作人员办公及生活产生少量生活污水，依托学校污水处理设施处理后，接入市政污水管网，最终流入乌鲁木齐河西污水处理厂处理。

10.4 固体废物

工作人员办公及生活产生少量生活垃圾，统一收集后交环卫部门处理。

实验结束后不再使用的样品，由使用人员送至学校固废暂存场所，学校根据材料不同分类收集后统一处理。

10.5 噪声

本项目施工期噪声主要来源于场所隔断改造、通风管道安装及装饰等过程，施工作业应严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）要求，尽量使用噪声低的设备，严禁夜间进行强噪声作业，减少噪声对周围环境的影响。运行期间噪声主要为设备电机、空调等运行产生的噪声，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，不会改变区域声环境功能区规划。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

11.1.1 施工阶段

项目工作场所涉及隔断改造、通风管道安装及装饰，施工过程中将产生施工噪声、扬尘、废水、建筑垃圾等，对环境产生污染影响。

（1）大气环境

项目施工阶段，产生施工扬尘，但影响仅局限于施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，采用洒水抑尘措施，保持施工场地一定的湿度。采取上述措施后，施工扬尘对周围环境影响有限。

（2）声环境

项目施工阶段，产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。施工作业应严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）要求，尽量使用噪声低的设备，严禁夜间进行强噪声作业，减少噪声对周围环境的影响。

（3）固体废物

项目施工阶段,产生建筑垃圾和生活垃圾。建筑垃圾拉运至城管部门指定地点，并做好装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；施工人员产生的生活垃圾，依托学校现有的垃圾收集设施进行收集，统一交环卫部门处理。采取上述措施后，施工阶段产生的固体废物对周围环境影响很小。

（4）水环境

项目施工阶段，产生生活废水。施工人员产生的生活废水，依托学校现有的污水处理系统处理后，排入污水管网，最终流入乌鲁木齐河西污水处理厂处理。采取上述措施后，施工期对周围水环境影响很小。

综上所述，项目在施工阶段采取上述污染防治措施，施工期影响将可以控制在学校内局部区域，对周围环境影响较小。

11.1.2 调试阶段

根据工艺流程与源项分析，项目调试阶段产生的辐射环境影响主要有 X 射

线外照射辐射环境影响、臭氧及氮氧化物环境影响。针对 X 射线带来的辐射环境影响，评价进行预测分析，针对臭氧、氮氧化物等带来的环境影响，进行符合性分析。调试期间，单位应加强辐射防护管理，保证辐射安全与防护措施正常投入使用，在场所周围设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。调试工作由厂家辐射工作人员操作，其他非辐射工作人员不得参与调试工作。

11.2 使用阶段环境的影响分析

根据工艺流程与源项分析，项目使用阶段产生的辐射环境影响主要有 X 射线外照射辐射环境影响、臭氧及氮氧化物环境影响。针对 X 射线带来的辐射环境影响，评价进行预测分析；针对臭氧、氮氧化物等带来的环境影响，进行符合性分析。

11.2.1 辐射环境影响分析

11.2.1.1 预测模式

X 射线外照射评价，引用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》第 1 号修改单（GBZ/T 250-2014/XG1-2017）中的估算方法，计算关注点 X 射线辐射剂量率。

（1）有用线束透射辐射

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

式中：H_0-距辐射点（靶点）1m 处输出量，mSv·m^2/（mA·h）；

I-X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

B-透射因子，无量纲；

R-辐射源点（靶点）至关注点距离，m；

$\dot{H}$-关注点剂量率，mSv/h。

（2）泄漏辐射

$$\dot{H}_L = \frac{H_L}{R^2} \bullet B \quad \text{……（11-2）}$$

式中：H_L-距辐射点（靶点）1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，mSv·m^2/h；

R-辐射源点（靶点）至关注点距离，m；

B-透射因子，无量纲；

$\dot{H}_L$-关注点剂量率，mSv/h。

（3）有用线束散射辐射

$$H = \frac{H_0 \bullet I \bullet B}{R_s^2} \bullet \frac{F \bullet \alpha}{R_o^2} \quad \text{……（11-3）}$$

式中：H_0-距辐射点（靶点）1m 处输出量，mSv·m^2/（mA·h）；

I-X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

F-辐射野面积，m^2；

α-散射因子（取自 GBZ/T250-2014 表 B.3），无量纲；

B-透射因子，无量纲；

R_o-辐射源点（靶点）至散射体的距离，m；

R_s-散射距离，m；

H-关注点剂量率，mSv/h。

（4）透射因子

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

式中：B-透射因子，无量纲；

X-物质厚度，mm；

TVL-物质厚度十分之一值层厚度，mm。

11.2.1.2 关注点

根据建设单位提供的岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪资料，系统右侧为有用线束方向，其他方向主要考虑散射辐射和泄漏辐射。X 射线束可用角射束为 40°，朝右侧照射时，最大角度处的射线经系统前侧屏蔽体屏蔽后到系统右侧。

评价选取系统防护箱体外 30cm 处及操作台处作为关注点，做出预测分析。本项目主要关注点有系统防护箱体前侧 30cm 处 A 点、后侧 30cm 处 B 点、左侧 30cm 处 C 点、右侧 30cm 处 D 点、右侧 30cm 处 D'点、顶侧 30cm 处 E 点、底侧 30cm 处 F 点、操作台处 G 点等，其中操作位位于防护箱体左前方，与防护箱

体距离为 70cm，详见图 11-1。



图 11-1 系统铅防护箱体关注点分布示意图

11.2.1.3 预测参数

岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪主要技术参数见表 9-1，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.2 内容，管电压为 200kV、250kV 的 X 射线在铅中十分之一值层分别为 1.4mm、2.9mm。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2 内容，电压为 250kV 的 X 射线 90°散射辐射最高能量对应的电压为 200kV。

参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.3 内容，电压为 250kV 的 X 射线入射面积为 400cm^2 水模体散射至 1m 处相对剂量比份（α_w）保守取 1.9E-03，散射因子α可保守取α_w×10000/400。

根据《辐射防护导论》表 2.5 关于权重因子内容，能量超过 30keV 的光子权重因子近似值为 1。

11.2.1.4 预测结果

（1）有用线束透射辐射

射线装置辐射源点位于 O 点，有用线束照射右侧，利用公式（11-1）、（11-4）

计算有用线束透射致系统防护箱体右侧 30cm 处 D 点、右侧 30cm 处 D'点辐射水平，见表 11-1。

表 11-1 有用线束透射辐射致关注点辐射水平

关注点	H_0（mSv·m²/h）	X（mmPb）	TVL（mmPb）	R（m）	H（μSv/h）
防护箱体右侧 30cm 处 D 点	2160	18	2.9	2.093	3.06E-01
防护箱体右侧 30cm 处 D'点	2160	18	2.9	2.208	2.75E-01

（2）泄漏辐射

射线装置辐射源点位于 O 点，有用线束照射右侧，利用公式（11-2）、（11-4）计算系统 X 射线源泄漏辐射致关注点辐射水平，计算结果见表 11-2。

表 11-2 X 射线源泄漏辐射致关注点辐射水平

关注点	H_0（mSv·m²/h）	X（mmPb）	TVL（mmPb）	R（m）	H（μSv/h）
防护箱体前侧 30cm 处 A 点	5	18	2.9	1.185	2.21E-03
防护箱体后侧 30cm 处 B 点	5	12	2.9	1.114	2.93E-01
防护箱体左侧 30cm 处 C 点	5	10	2.9	1.842	5.25E-01
防护箱体顶侧 30cm 处 E 点	5	12	2.9	1.125	2.88E-01
防护箱体底侧 30cm 处 F 点	5	12	2.9	1.827	2.18E-01
操作台处 G 点	5	18	2.9	1.751	2.03E-03

（3）有用线束散射辐射

本项目散射体选取防护箱体内表面，X 射线管有用线束可用角射束为 40°，照射野为圆锥体，根据 X 射线管主束方向计算照至防护箱体内表面时的面积，利用公式（11-3）、（11-4）计算有用线束散射辐射致关注点辐射水平，计算结果见表 11-3。

表 11-3 散射辐射致关注点辐射水平

关注点	F（m²）	α	X (mmPb)	TVL (mmPb)	R_0 (m)	R_S (m)	H（μSv/h）
防护箱体前侧 30cm 处 A 点	1.28	4.75E-02	18	1.4	1.755	1.185	4.22E-09

防护箱体后侧30cm 处 B 点	1.28	4.75E-02	12	1.4	1.755	1.114	9.22E-05
防护箱体左侧30cm 处 C 点	1.28	4.75E-02	10	1.4	1.755	3.597	2.37E-04
防护箱体顶侧30cm 处 E 点	1.28	4.75E-02	12	1.4	1.755	1.125	9.04E-05
防护箱体底侧30cm 处 F 点	1.28	4.75E-02	12	1.4	1.755	1.827	3.43E-05
操作台处 G 点	1.28	4.75E-02	18	1.4	1.755	3.017	6.51E-10

11.2.1.5 预测结果分析

根据预测分析，项目各关注点辐射水平见表 11-4。

表 11-4 项目各关注点辐射水平

关注点	有用线束周围剂量当量率（μSv/h）	泄漏辐射周围剂量当量率（μSv/h）	散射辐射周围剂量当量率（μSv/h）	周围剂量当量率合计（μSv/h）
防护箱体右侧30cm 处 D 点	3.06E-01	/	/	3.06E-01
防护箱体右侧30cm 处 D'点	2.75E-01	/	/	2.75E-01
防护箱体前侧30cm 处 A 点	/	2.21E-03	4.22E-09	2.21E-03
防护箱体后侧30cm 处 B 点	/	2.93E-01	9.22E-05	2.93E-01
防护箱体左侧30cm 处 C 点	/	5.25E-01	2.37E-04	5.25E-01
防护箱体顶侧30cm 处 E 点	/	2.88E-01	9.04E-05	2.88E-01
防护箱体底侧30cm 处 F 点	/	2.18E-01	3.43E-05	2.18E-01
操作台处 G 点	/	2.03E-03	6.51E-10	2.03E-03

预测结果显示，本项目 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪防护箱体体外周围剂量当量率在 2.03E-03~5.25E-01μSv/h 之间，满足评价提出的岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪防护箱体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 的剂量参考控制水平。

11.2.2 个人剂量估算

11.2.2.1 估算模式

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 J 内容，人体各组织器官 T 所受的有效剂量计算公式。

$$E = \sum_{T} H_T W_T = \sum_{T} \sum_{R} D_{T,R} W_R W_T \quad \text{……（11-5）}$$

式中：E-人体所受的有效剂量，Sv；

H_T-人体组织或器官 T 的当量剂量，Sv；

W_T-人体组织或器官 T 的组织权重因数，无量纲；

W_R-辐射 R 的辐射权重因数，无量纲；

$D_{T,R}$-组织或器官 T 内的平均吸收剂量，Gy。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）J4.7 关于辐射权重因数内容，所有能量的光子辐射权重因数均为 1。

11.2.2.2 工作负荷

根据项目资料，项目建成后，预计每个工作日出束扫描时间约为 3h、预热时间约为 30min，每周工作 5d，每年（按 50 周计）工作 250d，合计全年出束扫描时间约为 750h、预热时间约为 125h。

11.2.2.3 居留因子

参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 A.1 关于不同场所与环境条件下的居留因子内容，见表 11-5。

表 11-5 不同场所与环境条件下的居留因子

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

11.2.2.4 个人剂量估算结果分析

项目建成后，分析室为独立区域，设置有人员进出门，无关人员不得进入，学生不参与操作。保守考虑，本次选取防护箱体外最大剂量率估算工作人员个人剂量，选取防护箱体外四周的剂量率，作为分析室四周剂量率，估算公众个人剂

量。根据公式（11-5）对项目各关注点个人剂量进行估算，见表 11-6。

表 11-6 个人剂量估算结果

关注点	$D_{T,R}$（μSv/h）	T（h）	T	年剂量（mSv/a）	年剂量约束限值（mSv/a）	关注人群
防护箱体左侧	5.25E-01	875	1	4.59E-01	5	工作人员
分析室西南侧（实验室）	3.06E-01	875	1/5	5.36E-02	0.1	公众
分析室西北侧（人员走动区域）	2.21E-03	875	1/16	1.21E-04	0.1	公众
分析室东南侧（室外）	2.93E-01	875	1/20	1.28E-02	0.1	公众
分析室东北侧（人员进出口通道）	5.25E-01	875	1/8	5.74E-02	0.1	公众
防护箱体顶侧	2.88E-01	875	1/20	1.26E-02	0.1	公众

注：①防护箱体下方无建筑物，不予计算个人剂量；②年运行时间为扫描时间与预热时间合计值。

个人剂量估算显示，项目运行致工作人员年有效剂量最大为 4.59E-01mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B1.1.1.1 中由审管部门决定的连续 5 年的工作人员 20mSv 年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），也满足评价提出工作人员 5mSv/a 的个人剂量约束值要求；

项目运行致公众年有效剂量为 1.21E-04mSv/a~5.74E-02mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B1.2.1 公众中有关关键人群组的成员所受到 1mSv 的平均剂量限值，也满足评价提出公众 0.1mSv/a 的个人剂量约束值要求。

11.2.3 气体废物环境影响分析

岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪集成排风装置，用于排放臭氧、氮氧化物等。排风装置安装在铅防护箱体顶部，排风扇数量为 2，排风量 2×177.6m^3/h。系统排风孔处设有铅防护结构，铅当量与本侧主体铅当量一致，补偿排风孔造成的防护减弱影响。结合实际，项目计划安装排风管道，将系统排气接引至室外，最终排入大气，排风管道由岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪顶部排风扇接出，经东南侧窗户排至室外。

根据项目资料，系统铅防护箱体内体积约为 7m^3，排风量为 2×177.6m^3/h，

则系统排风次数约为 50 次/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.10 条要求。

分析项目排风措施，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.10 条要求。因此，项目产生的臭氧、氮氧化物对人员和周围环境影响较小。

11.3 辐射事故影响分析

项目运行过程中，存在一定的潜在危险和风险事故。评价对项目可能发生的辐射事故进行识别、分析，说明项目运行可能发生的辐射事故对人员和环境的损害和影响程度，提出有效的防范及应急措施，以减少事故发生和事故损失，使其对环境的影响达到可接受的水平。

11.3.1 辐射事故风险识别

根据工艺和污染源分析，项目事故风险因子主要为 X 射线，危害因素为对人员造成事故照射。

（1）工作人员违反操作规程、误操作或射线装置失控，造成事故照射。

（2）辐射安全与环境保护措施失效，造成事故照射。

（3）检查与维护状态下，设备维修人员违反操作规程或误操作，造成事故照射。

11.3.2 辐射事故分级

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第 40 条关于辐射事故分级要求，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故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，见表 11-7。

表 11-7 辐射事故分级

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	指I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	指I类、II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 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故	指III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 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	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。

综上所述，项目可能发生的事故主要为射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

11.3.3 辐射事故应急措施

（1）发生辐射事故时，立即按下紧急停束装置或切断射线装置电源，组织现场人员撤离，迅速、正确判断事故性质，将事故情况报告学校应急管理组织。

（2）估算辐射工作人员受照剂量，视情况安排受照人员接受医学检查或救治。

11.3.4 辐射事故处置措施

（1）事故发生后，积极配合生态环境主管部门做好事故调查和善后处理工作。

（2）对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，查明辐射事故发生原因并进行整改。

（3）对事故责任人进行事故责任追究。

11.3.5 辐射事故预防措施

引起辐射事故的原因可分为人为因素、技术因素或其它因素。人为因素如蓄意破坏、偷盗、违反操作规程、操作失误、安全观念淡薄、管理缺失等；技术因素为设计不合理、设备故障等；其它因素如自然原因等。

为加强辐射安全管理工作，学校应从辐射安全管理、辐射安全意识两方面着手，提高辐射安全文化素养，加强辐射防护意识，预防辐射事故发生。为减少事故发生，学校需做好以下工作。

（1）定期组织辐射安全文化、法律法规培训，开展辐射安全实践活动，提高辐射安全文化素养，增强工作人员的核安全意识和专业技术知识。

（2）倡导严谨质疑的工作态度，树立知责任、负责任的责任意识，建立机

制鼓励工作人员发现潜在的管理问题和安全隐患，建立有效的经验反馈机制，预防人因失误。

（3）定期对辐射安全与防护保护措施效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，预防技术因素引起辐射事故。

（4）加强辐射分区管理，禁止公众在监督区长期滞留。

（5）射线装置发生故障而紧急停机后，在未查明原因或维修结束前，不得重新启动辐射源。

（6）调试和维修时，应保证切断辐射源。

（7）调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员。调试结束后，应及时恢复安全联锁并确认系统正常。

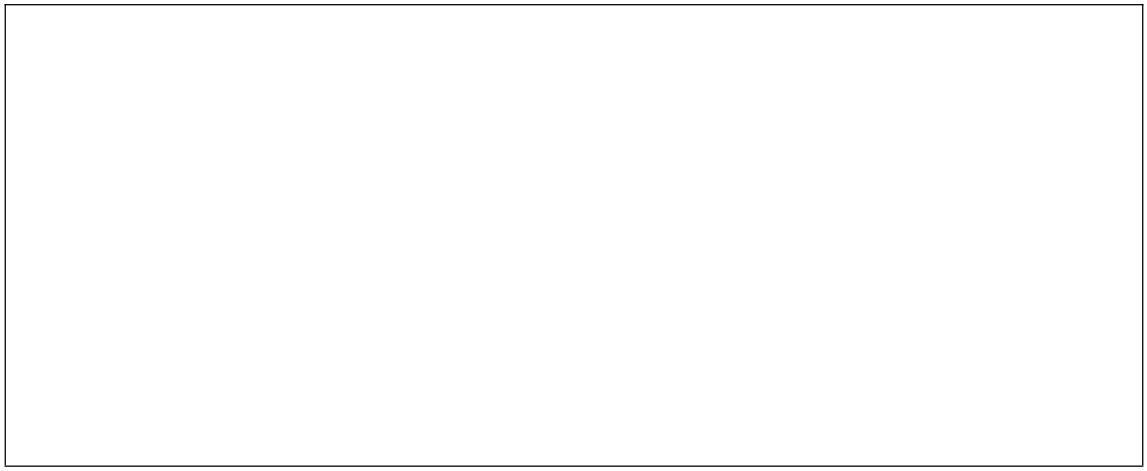

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为加强辐射安全与环境保护管理工作，防止辐射污染环境，保障公众的健康，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，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》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等规定，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，学校制定了辐射安全与环境保护管理制度。

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用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”。学校原已开展核技术利用项目，学校为加强射线装置安全和防护的监督管理，促进射线装置的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产安全，学校已成立辐射安全与环境保护管理小组，全面负责辐射工作的管理和领导工作，统一领导、统一指挥。

12.1.2 人员配备与职能

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的要求，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。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

项目计划配备 2 名工作人员，分别为晋强、胡荻。项目建成后，项目工作人员不参与学校其他核技术利用项目工作。按照《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》要求，项目运行前，学校应安排工作人员参加统一

组织的核技术利用辐射安全与防护考核，并取得成绩报告单，考核类别为“X 射线探伤”。

12.2 辐射安全与环境保护管理

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求，使用射线装置的单位应当具备健全的操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、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。

为规范辐射安全与环境保护管理工作，学校已制定《安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》《辐射事故应急预案》等制度，规范辐射安全与环境保护管理工作。

项目建成后，学校将项目纳入辐射安全管理，结合项目实际，制定或完善相关辐射安全管理制度。

12.3 检修与维护

参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）5.1.2、5.1.3 节内容，项目运行后，建设单位开展日检、定期检查及设备维护等工作，主要项目如下。

12.3.1 日常检查

工作开始前，工作人员检查的项目，包括：①设备外观是否完好；②电缆是否有断裂、扭曲以及破损；③制冷装置是否渗漏；④联锁装置是否正常；⑤报警设备和警示灯是否正常运行；⑥连接件是否连接良好；⑦辐射水平监测报警装置是否正常。

12.3.2 定期检查

定期检查项目，包括：①接地和电缆绝缘检查；②系统辅助设施维护或更换；③联锁和紧急停束装置检查；④其他。

12.3.3 检修维护内容

项目建成后，根据射线装置特点，学校要做好射线装置的检修、维护管理工作，项目使用的射线装置每年至少维护一次，并做好设备维护记录。设备检修维护由受过专业培训的工作人员或设备制造商实施。当设备故障或损坏，需更换零

部件时，确保更换零部件来自设备制造商或合格供应商。

（1）检修维护计划

结合项目情况，学校应制定检修维护计划报辐射安全与环境保护管理小组审核后，组织实施。检修维护计划可包括：检修维护项目、维护主体及责任人、维护周期、进度计划、物资计划、质量保证、验收要求等内容。

（2）检修维护要求

根据检修维护计划和检修维护操作规程，开展检修维护作业。检修维护过程中，严格执行辐射安全与环境保护管理制度，作业现场指定检修维护安全员，工作人员佩戴个人防护用品及辐射监测仪表，作业现场应设置安全防护栏杆、警示标志，确保辐射安全。

检修维护工作委托第三方开展的，检修维护主体应指派工作人员在检修维护作业现场协助。

检修维护作业执行交接验收手续，辐射安全与环境保护措施的检修维护要有完整检修维护记录，存档备查。检修维护作业结束后，辐射安全措施恢复完备。

12.4 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》第九条要求，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；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的单位进行监测；第 23 条要求，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，对本单位工作人员进行个人剂量监测。

12.4.1 个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十九条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

学校计划开展工作人员个人剂量监测和职业健康检查工作，并建立个人剂量档案。

（1）监测周期

按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 4.3 节要求，常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月。

（2）剂量计佩戴

按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 5.3 节要求，对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

（3）记录一般要求

按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 8.1.1 节要求，准许工作人员查询本人职业照射记录；职业健康管理人员查询相关职业照射记录及有关资料。

（4）档案

按照《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）第 7 章要求，单位应当开展工作人员职业健康监护档案管理。

12.4.2 工作场所及环境监测

根据项目辐射源特点、工作场所布局、周围环境特征、照射途径以及环保目标分布情况，建设单位拟修订《辐射监测方案》。

（1）自行监测

项目工作人员利用便携式 X-γ 辐射监测仪对工作场所每六个月进行辐射水平监测，并建立监测档案。

（2）年度监测

项目委托有资质单位定期（监测周期为 1 年）对项目工作场所周围环境进行辐射水平监测，并建立监测档案。

（3）监测方法及监测因子

监测方法《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），监测因子为周围剂量当量率。

（4）监测布点

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 8.4 节要求，采取巡测与定点监测相结合的方式，定点监测位置一般为重点关注区域，如操作位、其他人员滞留区域。

（5）监测工况

项目建成后，选取射线装置正常运行常用工况下，开展监测工作。

（6）质量保证

参考《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）要求，制定质量保证计划。

（7）仪器维护

日常管理过程中，定期开展仪器检查维护等工作，保证监测仪器处于良好的工作状态。

12.5 辐射事故应急

学校原已开展核技术利用工作，已持有乌鲁木齐市生态环境局核发的辐射安全许可证（新环辐证〔G0118〕），许可使用 III 类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，为科学有效、及时处置辐射事故，降低和减轻事故的损害和影响，保障公众及从业人员安全和健康，保护辐射环境安全，维护社会稳定，学校已制定辐射事故应急预案，已成立应急组织机构，全面负责学校辐射事故应急工作，明确了工作职责、工作程序、事故分级、联络接口等内容，定期组织应急演练，本项目建设后，纳入管理，对辐射事故应急预案修订。

12.6 放射性同位素与射线装置安全许可管理

按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》23 条要求：有下列情形之一的，持证单位应当按照本办法规定的许可证申请程序，重新申请领取许可证：

（1）改变许可证规定的活动的种类或者范围的；

（2）新建或者改建、扩建生产、销售、使用设施或者场所的。

本项目属于新建工作场所，项目建成后，建设单位应尽快向生态环境主管部门重新申请领取辐射安全许可证。

按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》16 条要求，使用放射性同位素和射线装置的单位申请领取许可证，应当具备的条件见表 12-1。

表 12-1 使用放射性同位素、射线装置单位申请领取许可证应当具备的条件

序号	要求
1	使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作；依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任。
2	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。
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。
4	放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。
5	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。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。
6	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。
7	有完善的辐射事故应急措施。
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。

12.7 环保竣工验收一览表

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》要求，建设单位是项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）要求编制验收报告；验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

验收报告公示期满后 5 个工作日内，单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

项目建成后，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。项目竣工环保验收一览表见表 12-2。

表 12-2 项目竣工环保验收一览表

项目内容		验收要求
辐射防护措施	分区管理	按照分区管理的原则，项目将铅防护箱体内划为控制区管理，将分析室防护箱体外其他区域划为监督区管理。对于控制区，工作过程中严禁人员进入，射线装置防护门外设置电离辐射警告标志；对于监督区，除工作人员外，严禁无关人员进入，定期对职业照射条件进行监督和评价。
	工作场所辐射安全与防护	（1）根据设备生产厂家提供的资料，射线装置防护箱体内部净尺寸长、宽、高分别为 2780mm、1230mm、2050mm；防护箱体设计为方管钢板结构，由方管、钢板焊接而成，采用不同厚度铅板作为防护材料，右侧（有用线束照射方向）、前侧（含防护门）铅当量为 18mmPb，左侧铅当量为 10mmPb，后侧、顶侧、底侧铅当量为 12mmPb。铅防护箱体各接缝处均采取搭接措施，避免射线泄漏；铅防护箱体走线孔、排风孔等部位，设计安装铅防护罩，铅当量与同侧面防护铅当量一致。 （2）系统固有安全措施：钥匙开关、自检测试、状态指示灯、声音提示装置、联锁装置、紧急停束装置、紧急开门按钮、固定式辐射报警仪、视频监控装置、防夹装置、排风装置等。 （3）系统铅防护箱体防护门上，设计张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警告标志按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求设计。 （4）安装排风管道，将系统排气接引至室外，最终排入大气。 （5）配备便携式 X-γ辐射监测仪 1 台、个人剂量报警仪 2 台。

个人剂量监测		工作人员个人剂量计定期进行监测，并建立个人剂量档案。
监测限值要求	个人剂量监测	工作人员和公众年剂量，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作人员 20mSv 剂量限值和评价提出 5mSv 剂量约束值、公众 1mSv 剂量限值和评价提出 0.1mSv 剂量约束值的要求。
	工作场所剂量率参考控制水平	在满足竣工环保验收要求工况下，岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪防护箱体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。
辐射安全与环境保护管理机构		建立职责明确的辐射安全与环境保护管理机构，将本项目纳入管理。
辐射安全与环境保护管理制度		有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。
辐射事故应急		有完善的辐射事故应急措施。
辐射防护与安全培训和考核		工作人员应参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

项目计划使用 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪 1 台，放置于老满城校区水利与土木工程学院 85 号楼西南角原搭建的独立 2 层钢平台的 1 层闲置区域，西北侧使用 2 层玻璃进行隔挡，命名分析室。其中岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪 X 射线管最大电压 250kV、最大电流 3mA，功率 750W，属于II类射线装置。本项目主要为岩土体微观结构演化、冻融循环损伤、渗流机理、裂隙发育等关键科学问题提供高分辨率三维定量分析手段，针对样品包括岩石、土壤、混凝土、砂石等地质与土木工程材料。

项目总投资为 600 万元，环保投资 75 万元，环保投资占比 12.5%。

13.1.2 产业政策符合性分析

按照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》要求，项目属于“十四、机械，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”，为鼓励类，符合国家产业政策。

13.1.3 利益代价分析

项目的建设具有较好的经济效益和社会效益。项目运行对周围环境带来一定程度的电离辐射影响，在采取辐射安全与环境保护措施后，可以大大减轻项目对环境造成的不利影响。从利益代价角度分析，项目的建设是可行的。

13.1.4 辐射安全与防护分析结论

项目辐射安全与防护措施，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相关要求；项目工作场所辐射防护分区管理措施，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）关于分区管理要求，工作场所分区合理。

13.1.5 项目所在地环境质量现状

监测显示，项目拟建场地及周围环境γ辐射剂量率在 64nGy/h ~ 83nGy/h。对比《新疆环境天然贯穿辐射水平调查研究》（新疆环境监测中心站，1992）表 2 内容，乌鲁木齐市道路、室内等γ辐射（空气吸收）剂量率范围值分别为 24.5nGy/h~103.9nGy/h、48.1nGy/h~128.8nGy/h，项目拟建场地及周围环境辐射水平在本底水平范围。

13.1.6 环境影响分析

（1）建设期环境影响分析

项目在施工阶段将采取污染防治措施，施工期影响可以控制在学校内局部区域，对周围环境影响较小。

（2）运行期环境影响分析

预测结果显示，本项目 nanoVoxel 5100 型岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪防护箱体体外周围剂量当量率在 2.03E-03~5.25E-01μSv/h 之间，满足评价提出

的岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪防护箱体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 的剂量参考控制水平。

个人剂量估算显示，项目运行致工作人员年有效剂量最大为 4.59E-01mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B1.1.1.1 中由审管部门决定的连续 5 年的工作人员 20mSv 年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），也满足评价提出工作人员 5mSv/a 的个人剂量约束值要求；

项目运行致公众年有效剂量为 1.21E-04mSv/a~5.74E-02mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B1.2.1 公众中有关关键人群组的成员所受到 1mSv 的平均剂量限值，也满足评价提出公众 0.1mSv/a 的个人剂量约束值要求。

13.1.7 辐射安全管理分析

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用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”。学校原已开展核技术利用项目，学校为加强射线装置安全和防护的监督管理，促进射线装置的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产，学校已成立辐射安全与环境保护管理小组，全面负责辐射工作的管理和领导工作，统一领导、统一指挥。

为了规范辐射安全与环境保护管理工作，学校制定了《安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》《辐射事故应急预案》等制度，规范辐射安全与环境保护管理工作。

项目建成后，学校将项目纳入辐射安全管理，结合项目实际，制定或完善相关辐射安全管理制度

13.1.8 事故影响分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，为科学有效、及时

处置辐射事故，降低和减轻事故的损害和影响，保障公众及从业人员安全和健康，保护辐射环境安全，维护社会稳定，学校已制定辐射事故应急预案，已成立应急组织机构，全面负责学校辐射事故应急工作，明确了工作职责、工作程序、事故分级、联络接口等内容，定期组织应急演练，本项目建设后，纳入管理，对辐射事故应急预案修订。

13.1.9 环境影响评价综合性结论

综上所述，新疆农业大学岩土材料细宏观三维原位层析扫描仪应用项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”要求，项目在落实辐射安全与环境保护措施、辐射环境管理措施的前提下，项目运行对环境产生的辐射影响可以满足相关标准要求，符合环境保护的要求。因此，从辐射环境保护的角度分析项目可行。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

建议单位认真做好以下几项工作：

（1）落实各项辐射安全与环境保护措施，完善辐射安全与环境保护管理制度，建立项目运行管理记录、环境监测记录、个人剂量管理记录及维修检查记录等，并存档备查。

（2）按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 5.3 条要求，工作人员应正确配备个人剂量计。

（3）定期开展辐射安全培训和教育，增强工作人员辐射安全意识。

（4）加强对仪器、设备、设施等的日常检查、维护管理工作，确保其能够满足项目正常运行需要。

（5）根据国家及地方最新出台的法律法规，对辐射安全与环境保护管理制度进行完善。

（6）每年 1 月 31 日前，向生态环境主管部门提交上一年度的安全和防护状况年度评估报告，且上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

（7）项目批复后，及时向生态环境主管部门重新申请领取《辐射安全许可证》。申请辐射安全许可证前，在全国核技术利用辐射安全申报系统进行相关信息的填写。

13.2.2 承诺

无。