

核技术利用建设项目

中国科学院南京地质古生物研究所  
新建 1 台工业 CT 装置项目  
环境影响报告表  
(公示本)



生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 中国科学院南京地质古生物研究所 新建 1 台工业 CT 装置项目 环境影响报告表

建设单位名称: 中国科学院南京地质古生物研究所

建设单位法人代表 (签字或盖章): 王宇

通讯地址: 江苏省南京市玄武区北京东路 39 号

邮政编码: 210008 联系人: \_\_\_\_\_

电子邮箱: \_\_\_\_\_ / 联系电话: \_\_\_\_\_

# 编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	中国科学院南京地质古生物研究所新建1台工业CT装置项目
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）	中国科学院南京地质古生物研究所
统一社会信用代码	12100000466000387D
法定代表人（签章）	王军
主要负责人（签字）	殷宗军
直接负责的主管人员（签字）	殷宗军

## 二、编制单位情况

单位名称（盖章）	江苏睿源环境科技有限公司
统一社会信用代码	91320106MA20BXME57

## 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
李耀林	2014035320352013449914000422	BH020117	李耀林

### 2 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
李耀林	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	BH020117	李耀林
李玉	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（重点是放射性废弃物） 表6评价依据 表7保护目标与评价标准 表8环境质量和辐射现状	BH068599	李玉

## 编制主持人和主要编制人员信息

### 编制主持人证书

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

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

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

  
Ministry of Environmental Protection  
The People's Republic of China  
编号: HP00014274

姓名: 李耀林  
Full Name \_\_\_\_\_  
性别: 女  
Sex \_\_\_\_\_  
出生年月: 1986年04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  
  
2014035320352013449914000422  
管理号: \_\_\_\_\_  
File No. \_\_\_\_\_

签发单位盖章: \_\_\_\_\_  
Issued by  
  
签发日期: 2014年09月04日  
Issued on

编制主持人和主要编制人员社会保险缴纳证明

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：江苏睿源环境科技有限公司

现参保地：鼓楼区

统一社会信用代码：91320106MA20BXME57

查询时间：202509-202512

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		28	28	28
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	李耀林		202509-202511	3
2	李玉		202509-202511	3

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）。



印时间：2025年12月1日

## 目录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	10
表 3 非密封放射性物质 .....	10
表 4 射线装置 .....	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	12
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 .....	24
表 10 辐射安全与防护 .....	32
表 11 环境影响分析 .....	38
表 12 辐射安全管理 .....	48
表 13 结论与建议 .....	52
表 14 审批 .....	56
附表 辐射污染防治措施“三同时”措施一览表 .....	57

**附图:**

- 1) 附图 1 本项目地理位置图
- 2) 附图 2 本项目周围环境示意图
- 3) 附图 3-1 本项目所在实验大楼 1F 平面布置图
- 附图 3-2 本项目所在实验大楼 2F 平面布置图
- 4) 附图 4 本项目与生态空间管控区域相对位置关系图
- 5) 附图 5 本项目与玄武区国土空间控制线相对位置关系图

**附件:**

- 1) 附件1 委托书
- 2) 附件2 射线装置承诺书
- 3) 附件3 事业单位法人证书
- 4) 附件4 现状检测报告及检测资质
- 5) 附件5 射线装置说明书
- 6) 附件6 项目立项及内容节选

表1 项目基本情况

建设项目名称	中国科学院南京地质古生物研究所新建1台工业CT装置项目					
建设单位	中国科学院南京地质古生物研究所					
法人代表	王军	联系人		联系电话		
注册地址	南京市北京东路39号					
建设项目地点	江苏省南京市玄武区北京东路39号					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资(万元)		项目环保投资(万元)		投资比例(环保投资/总投资)		
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积(m <sup>2</sup> )	34	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备PET用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
其他						
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						
中国科学院南京地质古生物研究所成立于1951年，目前是我国唯一专门从事古生物学(古无脊椎动物学与古植物学)和地层学研究的专业机构。						
1998年8月，中国科学院南京地质古生物研究所成为中国科学院首批知识创新工程						

试点单位，2011年成为首批“创新2020”整体择优支持的研究所，2017年筹建“生物演化与环境卓越创新中心”。建所以来，研究所在国内外科学刊物上发表论文8000余篇、各种科技专著380余册；在古生物分类研究中，建立1500多个新属，12000多个新种。自1956年以来有200余项科研成果获得国家、中国科学院及省部级奖励，其中27项获国家级奖励。

2022年，中国科学院南京地质古生物研究所作为牵头单位承担了国家重点研发计划“新元古代和古生代之交地球—生命系统演变”项目（编号2022YFF0800100），该项目已取得科技部高技术研究发展中心立项批复（国科高发计字〔2022〕70号）（详见附件6），项目目的为揭示地球生命史上这一关键转折期复杂多细胞生命的起源演化过程及其与环境事件的耦合机制，拟采用多学科交叉研究方法，重点包括对华南系列特异埋藏化石库中保存精美的微体和宏体化石进行高分辨率三维成像与无损分析，解析关键疑难化石的内部微观结构和形态解剖信息，该项目需应用显微CT技术。

因研究所的科研需求，建设单位拟购置1台工业CT装置，型号为Xradia 620 Versa型，装置拟放置于研究所内实验大楼110室，即X射线断层显微成像室内。该装置最大管电压为160kV，最大管电流为0.156mA，最大功率为25W，装置用于开展多门类化石标本的三维无损成像研究，特别适用于研究不能破坏的特殊埋藏的三维立体化石标本，比如早期动物胚胎化石、小壳化石、琥珀中的昆虫化石等，化石标本尺寸范围在100μm-5cm之间。

中国科学院南京地质古生物研究所拟为本项目配备2名辐射工作人员。工业CT装置预计每日曝光时间不超过2.4h，年曝光时间不超过600h。

在此之前，中国科学院南京地质古生物研究所从未开展过核技术利用项目，本项目为中国科学院南京地质古生物研究所首次开展核技术利用项目。

本项目核技术利用项目详见表1-1：

表 1-1 中国科学院南京地质古生物研究所本项目核技术利用项目情况表

序号	射线装置名称 型号	数量 (台)	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	许可 情况	验收 情况	最大功 率(W)
1	工业 CT (Xradia 620 Versa 型)	1	160	0.156	II	X射线断层 显微成像 室	使用	本次 环评	未许可	未验收	25

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》和《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，本项目需进行环境影响评价，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），本项目为使用工业 CT 装置，属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置的”，本项目应编制环境影响报告表。受中国科学院南京地质古生物研究所委托，江苏睿源环境科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，在此基础上编制该项目环境影响报告表。委托书见附件 1，射线装置承诺书见附件 2。

## 2. 项目周边保护目标及项目选址情况

中国科学院南京地质古生物研究所位于江苏省南京市北京东路 39 号，研究所东侧为鸡鸣寺路；南侧为江苏省科技厅及北极阁公园；西侧为北极阁公园；北侧为鸡鸣寺。

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置拟建址位于中国科学院南京地质古生物研究所实验大楼 1F 110 室。装置所在实验大楼北侧为道路及绿化，南侧隔道路及绿化为标本馆及东楼，东侧为道路及绿化，西侧隔道路及绿化为西楼与在研标本楼。

Xradia 620 Versa 工业 CT 装置所在 110 室东侧为 108 室（会议室），隔 108 室依次为 106 室、104 室及 102 室；南侧隔道路及绿化为标本馆，西侧为 112 室（数据分析室），隔 112 室依次为 114 室、116 室、118 室及 120 室；北侧隔过道为 107 室（闲置房间）与 109 室（场发射扫描电镜室），实验大楼共 5 层，装置楼上正上方为 210 室（光学显微镜室），其余均为各实验间，楼下为土层。本项目地理位置图见附图 1，本项目周围环境示意图见附图 2。本项目所在实验大楼 1F、2F 平面布置图见附图 3-1、附图 3-2。

对照《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，本项目拟建址及评价范围内均不涉及江苏省国家级生态保护红线区域，对照《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，本项目拟建址位于钟山风景名胜区，评价范围涉及江苏省生态空间管控区域，管控单元分类为优先保护单元。本项目与生态空间管控区域相对位置关系图见附图 4。

对照《南京市玄武区国土空间总体规划》（2021-2035 年），本项目位于城镇开发边界，不涉及永久基本农田及生态保护红线，本项目与玄武区国土空间控制线相对位置关系见附图 5。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、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。

本项目工业 CT 装置周围 50m 范围内无居民区等环境敏感目标, 本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置 50m 范围内涉及①道路及绿化, ②标本馆, ③东楼, ④西楼, ⑤在研标本楼, ⑥项目所在实验大楼。本项目周围环境保护目标主要为从事工业 CT 装置操作的辐射工作人员及周围公众。

### 3.实践正当性

中国科学院南京地质古生物研究所拟在所内新建 1 台工业 CT 装置, 用于开展多门类化石标本的三维无损成像研究。该项目的建设是保障国家重大科研项目顺利实施、抢占国际古生物学研究制高点、实现关键科研基础设施开放共享的必要举措, 具有显著的科学意义和社会效益。

①服务国家重大基础科学发展战略, 满足多项国家级重点科研项目的迫切需求。

本项目为购置 1 台工业 CT 装置, 该装置将直接服务于多项由国家自然科学基金委员会资助的国家重点基础研究发展计划。朱茂炎、王博、黄迪颖、王永栋、庞科等研究员承担的重点项目, 均致力于解决地球生命演化、古环境变化、板块构造等世界前沿科学问题。工业 CT 作为当今古生物学研究中最关键的无损成像技术, 是获取这些科学问题关键证据 (如化石内部精细结构、生物分类特征、埋藏学信息) 的不可替代的核心设备。目前, 各项目组均需支付高额费用将样品外送至其他单位或使用商业服务机构进行检测, 多个项目累计的测试加工费预算超数十万元。自建 CT 装置可节省大量外协测试资金, 长期效益显著。

②提升我国在古生物学领域的国际竞争力与引领力。

中国拥有得天独厚的化石资源, 是国际古生物学研究的焦点区域。然而, 科学研究不仅依赖标本, 更依赖先进的技术手段。工业 CT 技术能够对珍稀、珍贵的模式标本进行三维无损高分辨率解析, 避免了传统解剖性研究可能造成的标本损坏风险。装备世界先进水平的工业 CT 装置, 将极大增强我国古生物学家对关键标本的研究能力, 助力产出更多原创性、引领性成果, 巩固和提升我国在该领域的国际学术地位和话语权。

③实现大型科研仪器资源共享, 提升社会效益。

中国科学院南京地质古生物研究所作为国家级科研机构, 承诺该设备在完成本单位科研任务之余, 将依据国家规定对外开放共享, 为全国高校、科研院所乃至文博机

构（如自然博物馆）提供高水平测试服务。这将避免重复购置问题，提高国家科研经费的使用效率，带动我国整体古生物学及相关交叉学科的研究水平提升。

综上所述，本项目的建设将满足研究所的科研需求，提升科研能力，具有良好的社会效益和经济效益。虽然在运行期间，工业 CT 装置的应用可能会对周围环境、工作人员及周围公众造成一定辐射影响，但研究所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，其对社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

#### 4.生态空间管控区域的不可避让性分析

总体方案比选：

1) 现状所址安装：在南京古生物所现有实验楼内安装。该地点具备所有前置条件：①坚实的建筑结构满足 CT 装置安装要求；②已建有配套的实验室空间、电力系统、冷却系统等；③毗邻化石标本馆，研究流程高效；④拥有专业的技术和运维团队。

2) 所外选址新建：在风景名胜区外另寻地址新建实验室。此方案不可行原因如下：①分离管理，效率低下：化石标本需频繁往返于标本馆与实验室，极大增加运输风险和管理成本。②人才与技术隔离：设备与研究人员、技术支撑团队分离，阻碍跨学科交流与协同创新。③投资巨大，建设周期长：需新增土地、新建大楼及全部基础设施，投资远超设备本身，且审批、建设周期漫长，无法满足当前紧迫的科研需求。

综上所述，现状所址安装是唯一技术可行、经济合理且能最大限度保障科研效率的方案。因此，项目选址于钟山风景名胜区内具有不可避让性。

#### 5.与生态环境分区管控管理相符性分析

本项目建设地点位于江苏省南京市北京东路 39 号中国科学院南京地质古生物研究所实验大楼 1F 110 室内，对照《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，本项目拟建址及评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线区域。对照《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，本项目拟建址位于江苏省生态空间管控区域，通过查询江苏省生态环境分区管控综合服务系统，拟建址所在管控单元名称为钟山风景名胜区。根据《关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知》中“建设项目开展环评工作初期，应分析与生态环境分区管控要求的符合性”的

规定，结合该单元的具体生态环境准入清单及环评审批部门审查重点，本项目将从空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控、资源开发效率要求四个方面分析项目建设与生态环境分区管控管理的相符性。

## 5.1 空间布局约束

根据江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询结果，钟山风景名胜区（环境管控单元编码：ZH32010210234）作为优先保护单元，空间布局约束需遵循《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域调整管理办法的通知》《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》及相关法律法规。

表 1-2 南京市生态空间保护区域名录

序号	生态空间保护区域名称	县（市、区）	主导生态功能	范围		面积（平方公里）		
				国家级生态保护红线范围	生态空间管控区域范围	国家级生态保护红线面积	生态空间管控区域面积	总面积
1	钟山风景名胜区	南京市	自然与人文景观保护	南界从中山门沿宁杭公路至马群；东界从马群沿环陵路至岔路口；北界从岔路口沿宁栖路经王家湾、板仓、岗子村、沿龙蟠路至中央门；西界从神策门公园沿古城墙经玄武门、北极阁、九华山、太平门至中山门。包括：钟山陵、玄武湖公园、九华山公园、神策门公园、情侣园、白马公园、月牙湖公园、中山植物园、北极阁、鸡鸣寺、富贵山。			35.96	35.96

1) 功能定位匹配性：根据《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》，生态空间管控区域以生态保护为重点，原则上不得开展有损主导生态功能的开发建设活动，不得随意占用和调整。根据《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，“风景名胜区”指具有观赏、文化或者科学价值，自然景观、人文景观比较集中，环境优美，可供人们游览或者进行科学、文化活动的区域。中国科学院南京古生物研究所本身就是位于景区内的国家级科教文化设施，其科研活动是景区科教功能的重要组成部分。本项目为科研设备购置，是对现有科教功能的强化与提升，符合风景名胜区的功能定位及“不得开展有损主导生态功能的开发建设活

动”的要求。

2) 无擅自占用与破坏行为: 根据《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域调整管理办法的通知》，生态空间管控区域，任何单位和个人不得擅自占用。除生态保护红线允许开展的人为活动外，在符合现行法律法规的前提下，生态空间管控区域还允许开展对生态功能不造成破坏的有限人为活动。本项目选址位于现有实验大楼内，不新增建设用地，不扩大建筑占地面积，不影响风景名胜区整体景观格局，符合“生态空间管控区域，任何单位和个人不得擅自占用”的要求。

根据《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，生态空间管控区域内禁止开山、采石、开矿、开荒、修坟立碑等破坏景观、植被和地形地貌的活动；禁止修建储存爆炸性、易燃性、放射性、毒害性、腐蚀性物品的设施；禁止在景物或者设施上刻划、涂污；禁止乱扔垃圾；不得建设破坏景观、污染环境、妨碍游览的设施；在珍贵景物周围和重要景点上，除必须的保护设施外，不得增建其他工程设施；风景名胜区内已建的设施，由当地人民政府进行清理，区别情况，分别对待；凡属污染环境，破坏景观和自然风貌，严重妨碍游览活动的，应当限期治理或者逐步迁出；迁出前，不得扩建、新建设施。根据《放射性物品运输安全管理条例》，放射性物品是指含有放射性核素，并且其活度和比活度均高于国家规定的豁免值的物品。工业CT装置本身并不含有放射性核素，不属于储存放射性物品的设施。本项目施工期仅涉及设备搬运与安装，不进行开山、采石、修坟立碑等破坏景观、植被和地形地貌的活动，不修建其他设施，符合上述管控要求。

3) 风景名胜区专项合规性: 对照《江苏省风景名胜区管理条例》，本项目不建设破坏景观、污染环境、妨碍游览的设施，不在珍贵景物周围增建无关工程；现有实验大楼为景区内合法设施，项目属于内部设备更新，无需对已建设施进行清理或迁出，符合风景名胜区空间管控条例。

## 5.2 污染物排放管控

根据《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》：生态空间管控区域允许开展对生态功能不造成破坏的有限人为活动，其中对生态功能不造成破坏的情形：种植、放牧、捕捞、养殖等农业活动不增加区域内污染物排放总量，不降低生态环境质量；确实无法退出的零星原住民居民点建设不改变用地性质，不超出原占地面积，不增加污染物排放总量；现有且合法的农业、交通运输、水利、

旅游、安全防护、生产生活等各类基础设施及配套设施运行和维护不扩大现有规模和占地面积，不降低生态环境质量；必要且无法避让、依法允许开展的殡葬、宗教设施建设、运行和维护活动应当严格限制建设规模，不增加区域内污染物排放总量；法律法规和国家另有规定的，从其规定。

本项目为工业CT装置购置、安装与使用，施工期仅产生少量生活垃圾和建筑垃圾，其中生活垃圾由当地环卫部门分类清运，建筑垃圾交由有资质单位处置，不外排，设备运行无废水、固废产生，仅产生微量废气（臭氧和氮氧化物），不增加区域内污染物排放总量，符合上述管控要求。

对照《江苏省风景名胜区管理条例》，本项目建设不增加区域内污染物排放总量，符合条例中禁止乱扔垃圾的要求。

### 5.3 环境风险防控

根据《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》：生态空间管控区域允许开展对生态功能不造成破坏的有限人为活动，其中对生态功能不造成破坏的情形：经依法批准的国土空间综合整治、生态修复活动应用充分遵循生态系统演替规律和内在机理，切实提升生态系统治理和稳定性；经依法批准的各类矿产资源开采活动不扩大生产区域范围和生产规模，不新增生产设施，开采活动结束后及时开展生态修复；适度的船舶航行、车辆通行等应当采取限流、限速、限航、低噪音、禁鸣、禁排管理，不影响区域生态系统稳定性；法律法规和国家另有规定的，从其规定。本项目施工期涉及设备运输，运输车辆将严格遵循“限速、禁鸣、禁排”的管控要求，避免噪声、尾气对景区生态系统造成影响；设备安装过程中无大规模土建作业，仅需少量固定作业，作业完成后将及时清理粉尘、修复墙面，不会造成地表植被破坏或土壤扰动，不影响区域生态系统稳定性。

对照《江苏省风景名胜区管理条例》，本项目建设并无可能引发生态风险或安全隐患的行为，符合风景名胜区空间管控要求。

### 5.4 资源开发效率要求

根据《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》，确保生态空间管控区域“功能不降低、面积不减少、性质不改变”。本项目为科研设备升级，不涉及土地资源开发、矿产资源开采、水资源利用等资源开发活动，项目选址位于现有实验大楼内，不新占生态空间、不缩减景区面积，不改变钟山风景名胜区

“优先保护单元”的性质，满足“功能不降低、面积不减少、性质不改变”的管控要求。对照《江苏省风景名胜区管理条例》，本项目不进行影响生态和景观的活动，符合风景名胜区空间管控要求。

综上所述，本项目选址依托中国科学院南京地质古生物研究所现有实验大楼，无擅自占用和调整生态空间管控区域，不属于开展有损主导生态功能的开发建设活动，项目施工期与运行期内不增加区域内污染物排放总量，无可能引发生态风险或安全隐患的行为，确保了生态空间管控区域“功能不降低、面积不减少、性质不改变”，项目建设符合江苏省生态环境分区管控的各项要求，项目可行。

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)	年最大操作量 (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(台)	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途	工作场所	备注
1	工业CT装置	II	1	Xradia 620 Versa型	160	0.156	科研	X射线断层显微成像室	新建
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	/	不暂存	直接排入大气,臭氧在常温常压下稳定性较差,常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间为 50 分钟, 可自动分解为氧气。
生活垃圾	固态	/	/	30kg	360kg	/	暂存	由研究所统一收集后, 交给环卫部门清运。
生活污水	液态	/	/	2.4m <sup>3</sup>	28.8m <sup>3</sup>	/	不暂存	排入研究所污水管道后接市政管网至污水处理厂处置。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/l，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>，年排放总量用 kg。

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<sup>3</sup>)和活度 (Bq)。

表6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 《中华人民共和国环境保护法》(2014年修订本), 中华人民共和国2014年主席令第9号, 自2015年1月1日起施行;</li> <li>2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年修正本), 中华人民共和国2018年主席令第24号, 自2018年12月29日起施行;</li> <li>3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 中华人民共和国2003年主席令第6号, 自2003年10月1日起施行;</li> <li>4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017年修正本), 中华人民共和国2017年国务院令第682号, 自2017年10月1日起施行;</li> <li>5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 中华人民共和国原环境保护部令第18号公布, 自2011年5月1日起施行;</li> <li>6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019年修正本), 中华人民共和国2019年国务院令第709号, 自2019年3月2日起施行;</li> <li>7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021年修正本), 中华人民共和国生态环境部2021年部令第20号修正, 自2021年1月4日起施行;</li> <li>8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》, 中华人民共和国生态环境部2021年部令第16号, 自2021年1月1日起施行;</li> <li>9) 《射线装置分类》, 中华人民共和国原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会2017年公告第66号, 自2017年12月5日起施行;</li> <li>10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 中华人民共和国原国家环保总局环发〔2006〕145号, 自2006年9月26日起施行;</li> <li>11) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 中华人民共和国生态环境部公告2019年第39号, 自2019年11月1日起施行;</li> <li>12) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 中华人民共和国生态环境部2019年部令第9号, 自2019年11月1日起施行; 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, 中华人民共和国生态环境部2019年公告第38号, 自2019年11月1日起施行;</li> </ol>
------	--

	<p>13) 《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》，中华人民共和国生态环境部公告2019年第57号，自2020年1月1日起施行；</p> <p>14) 《关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知》，中华人民共和国生态环境部环环评〔2024〕41号，自2024年7月6日起施行；</p> <p>15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，中华人民共和国生态环境部公告2021年第9号，自2021年3月15日起施行；</p> <p>16) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省人民代表大会常务委员会公告2018年第2号，自2018年5月1日起施行；</p> <p>17) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，江苏省人民政府苏政发〔2018〕74号，自2018年6月9日起施行；</p> <p>18) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，江苏省人民政府苏政发〔2020〕1号，自2020年1月8日起施行；</p> <p>19) 《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，江苏省人民政府办公厅苏政发〔2020〕49号，自2020年6月21日起施行；</p> <p>20) 《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》，江苏省人民政府办公厅苏政办发〔2021〕20号，自2021年5月1日起施行；</p> <p>21) 《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域调整管理办法的通知》，江苏省人民政府办公厅苏政办发〔2021〕3号，自2021年2月1日起施行；</p> <p>22) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》（苏环办〔2021〕187号），2021年5月31日印发；</p> <p>23) 《市政府关于南京市玄武区国土空间分区规划（2021—2035年）的批复（宁政复〔2025〕26号）》，2025年3月4日发布。</p>
技术标准	<p>1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）</p> <p>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》（HJ 10.1-2016）</p> <p>3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）</p> <p>4) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）</p>

	<p>5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 6) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022） 7) 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其修改单 8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）</p>
其他	<p><b>附图:</b></p> <p>1) 附图 1 本项目地理位置图 2) 附图 2 本项目周围环境示意图 3) 附图 3-1 本项目所在实验大楼 1F 平面布置图 附图 3-2 本项目所在实验大楼 2F 平面布置图 4) 附图 4 本项目与生态空间管控区域相对位置关系图 5) 附图 5 本项目与玄武区国土空间控制线相对位置关系图</p> <p><b>附件:</b></p> <p>1) 附件1 委托书 2) 附件2 射线装置承诺书 3) 附件3 事业单位法人证书 4) 附件4 现状检测报告及检测资质 5) 附件5 射线装置说明书 6) 附件6 项目立项及内容节选</p>

表7 保护目标与评价标准

**评价范围**

本项目为新建1台工业CT装置项目，工业CT装置属于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）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”相关规定，确定本项目评价范围为本项目工业CT装置屏蔽体外50m区域，本项目50m评价范围见附图2。

**保护目标**

本项目建设地点位于江苏省南京市北京东路39号中国科学院南京地质古生物研究所内。

对照《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，本项目拟建址及评价范围内均不涉及江苏省国家级生态保护红线区域，对照《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，本项目拟建址位于钟山风景名胜区，评价范围涉及江苏省生态空间管控区域，管控单元分类为优先保护单元。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、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。

根据本项目评价范围确定本项目环境保护目标为：

1、操作工业CT装置的辐射工作人员；

2、工业CT装置周围公众。

表7-1 本项目保护目标情况一览表

本项目保护目标	方位	最近距离	人员数量	剂量约束值 (mSv/a)
辐射工作人员	西侧	0.3m	2人	5
拟建址50m范围内公众	108室	东侧	约1m	流动人员
	106室	东侧	约4.5m	2人
	112室	西侧	约5m	2人
	过道	北侧	约1.5m	流动人员
	107室、109室	北侧	约4m	约2人
	210室	楼上	约4m	约10人
	实验大楼其余区域	东侧、西侧、北侧、楼上	西侧约7.4m	约100人
	连廊	东侧	约20m	约20人
	道路及绿化	东侧、南侧、西侧、北侧	南侧约2m	流动人员

	西楼	西侧	约40m	约50人	0.1
	在研标本楼	西侧	约33m	约50人	0.1
	标本馆	南侧	约10m	约100人	0.1
	东楼	东侧、南侧	东侧约25m	约100人	0.1

### 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》(GB18871-2002)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:

类别	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》(GB18871-2002)“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:

- A) 职业照射的年剂量约束值不超过5mSv/a;
- B) 公众照射的年剂量约束值不超过0.1mSv/a。

#### 3) 职业人员和公众每周的周围剂量当量参考控制水平:

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)“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100 $\mu$ Sv/周,对公众场所,其值应不大于5 $\mu$ Sv/周”的要求,确定本项目职业人员和公众每周的周围剂量当量参考控制水平如下:

- A) 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100 $\mu$ Sv/周;
- B) 公众每周的周围剂量当量参考控制水平,其值应不大于5 $\mu$ Sv/周;

#### 4) 工业CT装置屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平:

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)“6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏

蔽应同时满足：b)屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。”以及“6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同6.1.3；b)对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面30cm处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。”的要求确定本项目工业CT装置表面外30cm处周围剂量当量率参考控制水平如下：

工业CT装置四周及顶部、底部表面外30cm处关注点周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。（装置顶部上方存在已建建筑物）

### 5) 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检测评价参考值如下：

表 7-3 江苏省全省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

项目	原野	道路	室内
测值范围	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

现状评价时，参考“测值范围”数值进行评价。其中宇宙射线响应的扣除方法采用文献[2]（全国环境天然放射性水平调查总结报告编写小组（支仲骥执笔）。全国环境天然贯穿辐射水平调查研究（1983-1990年）。辐射防护，1992.12（2）：96）中的方法。

### 参考资料

- 1) 《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

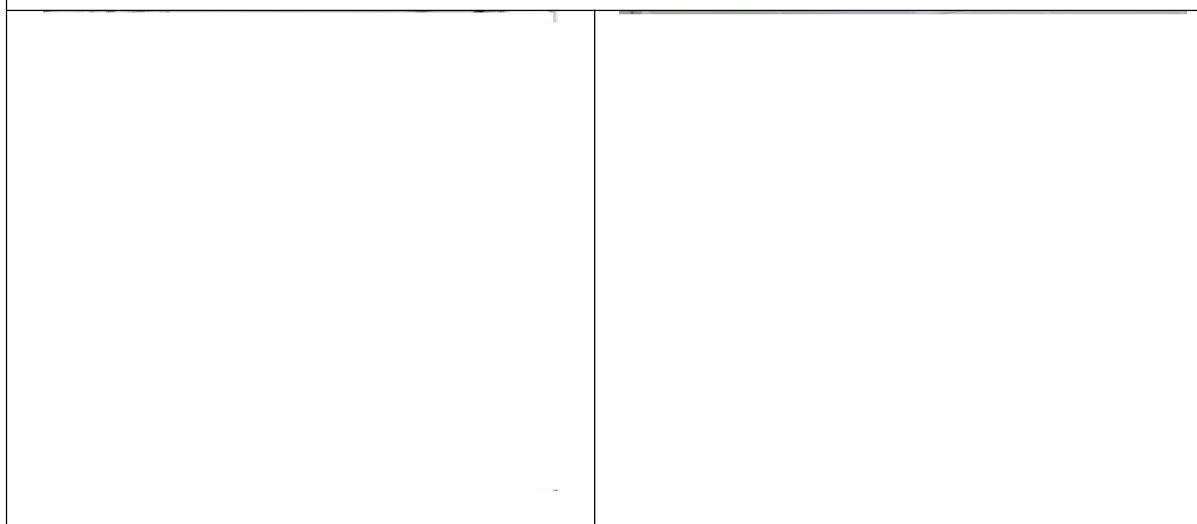
中国科学院南京地质古生物研究所位于江苏省南京市北京东路39号，研究所东侧为鸡鸣寺路，南侧为江苏省科技厅及北极阁公园，西侧为北极阁公园；北侧为鸡鸣寺。

本项目Xradia 620 Versa型工业CT装置拟建址位于中国科学院南京地质古生物研究所实验大楼1F 110室。装置所在实验大楼北侧为道路及绿化，南侧隔道路及绿化为标本馆及东楼，东侧为道路及绿化，西侧隔道路及绿化为西楼与在研标本楼。

Xradia 620 Versa工业CT装置所在110室东侧为108室（会议室），隔108室依次为106室、104室及102室，南侧隔道路及绿化为标本馆，西侧为112室（数据分析室），隔112室依次为114室、116室、118室及120室，北侧隔过道为107室（闲置房间）与109室（场发射扫描电镜室），实验大楼共5层，装置楼上正上方为210室（光学显微镜室），其余均为各实验间，楼下为土层。

本项目Xradia 620 Versa工业CT装置50m范围内涉及①道路及绿化，②标本馆，③东楼，④西楼，⑤在研标本楼，⑥项目所在实验大楼。本项目周围环境保护目标主要为从事工业CT装置操作的辐射工作人员及周围公众。

本项目工业CT拟建址及周围环境照片见图8-1。



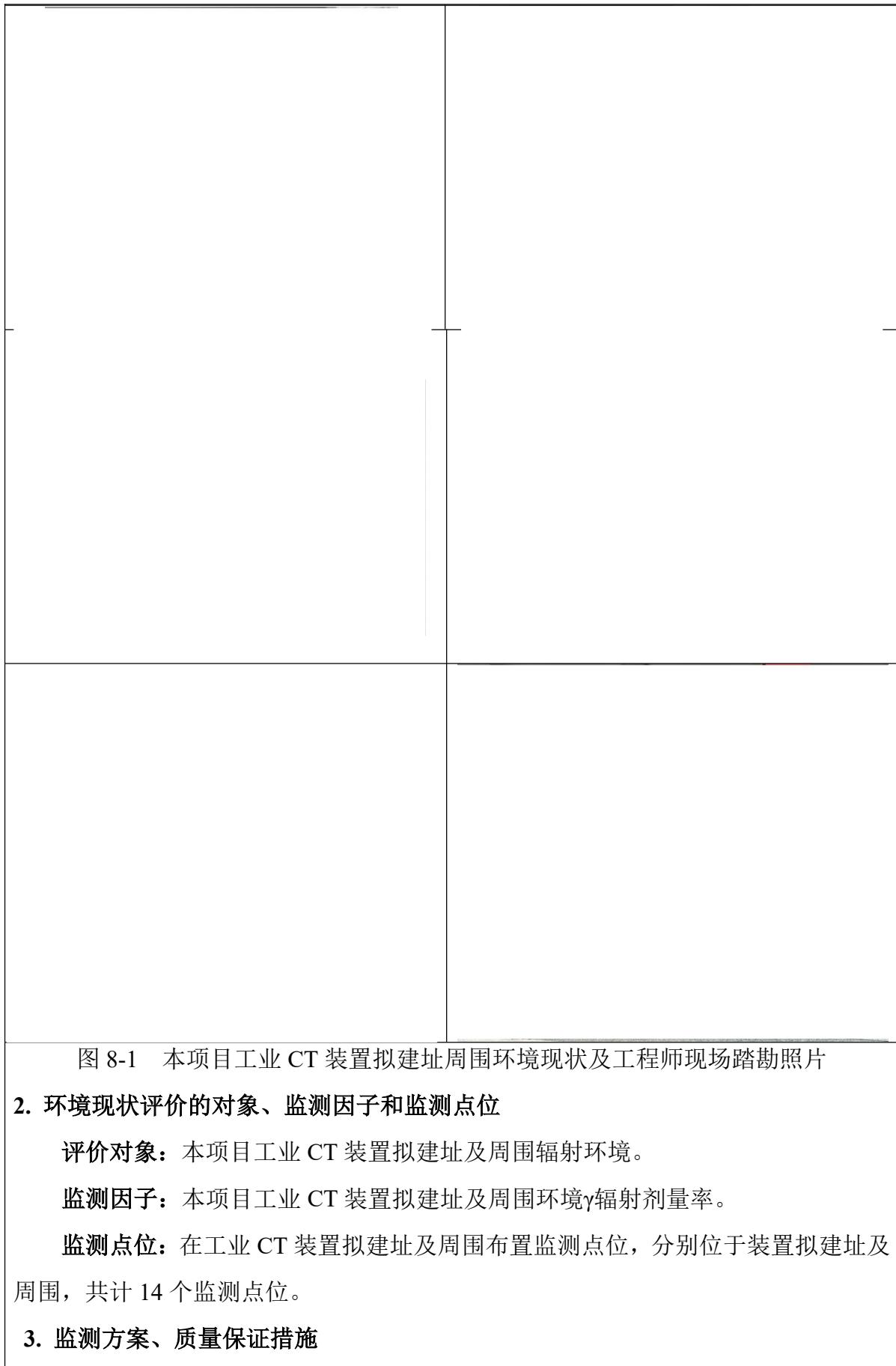


图 8-1 本项目工业 CT 装置拟建址周围环境现状及工程师现场踏勘照片

## 2. 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

**评价对象：**本项目工业 CT 装置拟建址及周围辐射环境。

**监测因子：**本项目工业 CT 装置拟建址及周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率。

**监测点位：**在工业 CT 装置拟建址及周围布置监测点位，分别位于装置拟建址及周围，共计 14 个监测点位。

## 3. 监测方案、质量保证措施

**监测方案:** 根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)和《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)在工业CT装置拟建址及周围布设监测点位, 测量工业CT装置拟建址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率。

**质量保证措施:** 检测单位已通过CMA计量认证, 具备相应的检测资质和检测能力; 检测单位制定有质量管理体系文件, 实施全过程质量控制; 检测单位所用监测仪器均经过计量部门检定并在检定有效期内, 使用前后进行校准或检查, 定期参加权威部门组织的仪器比对活动; 实施全过程质量控制, 全过程实验数据及监测记录等均进行存档; 检测人员持证上岗规范操作; 检测报告实行三级审核。

#### 4. 监测结果与环境现状调查结果评价

监测单位: 江苏睿源环境科技有限公司

仪器设备: X- $\gamma$ 辐射监测仪

型号/规格: BG9512+BG7030

设备编号: RY-J001

检定有效日期: 2025.3.11-2026.3.10

检定单位: 上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

检定证书编号: 2025H21-20-5786074001

测量范围: 10nGy/h~200 $\mu$ Gy/h

能量响应范围: 25keV~3MeV

监测日期: 2025.7.4

天气: 晴; 温度: 38°C; 相对湿度: 36%

评价方法: 参考表7-3 江苏省全省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率调查结果, 评价该项目周围环境辐射水平。

监测结果: 本项目工业CT装置拟建址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率监测结果见表8-1(报告见附件4), 监测布点示意图见图8-2。

表8-1 本项目工业CT装置拟建址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率

序号	检测点位	检测结果 (nGy/h)	标准差	备注
1	工业CT装置拟建址东侧	.	.	室内(楼房)
2	工业CT装置拟建址南侧	.	.	室内(楼房)
3	工业CT装置拟建址西侧	.	.	室内(楼房)
4	工业CT装置拟建址北侧	.	.	室内(楼房)

中国科学院南京地质古生物研究所新建 1 台工业 CT 装置项目

5	工业CT装置拟建址中部			室内（楼房）
6	实验大楼西部 116 室			室内（楼房）
7	实验大楼东部楼梯间		.	室内（楼房）
8	实验大楼北部 107 室			室内（楼房）
9	工业 CT 装置拟建址楼上 210 室		.	室内（楼房）
10	实验大楼北侧道路		.	道路
11	西楼东南侧道路		.	道路
12	在研标本楼东北侧道路		.	道路
13	标本馆北侧道路			道路
14	东楼北侧道路		.	道路

注：已扣除宇宙响应值（仪器的宇宙响应值为  $11\text{nGy/h}$ ）。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。

根据表 8-1 的监测结果可知，中国科学院南京地质古生物研究所本项目工业 CT 装置拟建址周围环境  $\gamma$  辐射剂量率在  $(50\sim 80) \text{nGy/h}$  范围内，其中室内环境辐射剂量率在  $(72\sim 80) \text{nGy/h}$  范围内，处于江苏省室内天然  $\gamma$  辐射剂量率水平范围内；道路环境辐射剂量率在  $(50\sim 53) \text{nGy/h}$  范围内，处于江苏省道路环境天然  $\gamma$  辐射剂量率水平范围内。



表 9 项目工程分析与源项

## 工程设备和工艺分析

## 1. 工程设备情况

工业 CT 装置可实现样品三维微观结构的扫描，在不破坏样品状态的情况下三维数字化直观描述金属样品的内部结构，如孔隙度分布、密度变化、夹杂分布及大小、裂缝、孔洞等，并能为所检测样品进行三维尺寸测量，为产品研发、制造提供可靠数据。

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置主要由三部分组成，包括①带铅板防护的测量室、②电气控制柜、③数据处理工作站。数据处理工作站（操作台）为 1 台计算机处理系统和操作软件，位于装置前侧，通过机械臂与装置检测室相连。辐射工作人员在数据处理工作站（操作台）进行设备参数设置、出束检测与数据分析。

该装置外尺寸 2034mm（长，2088.6mm 含外观把手尺寸）×1081.3mm（宽）×1988.7mm（高），铅房内部尺寸为 1875mm（长）×960mm（宽）×823mm（高）。装置采用铅板衬钢板结构对 X 射线进行屏蔽，装置工件门朝西侧摆放，装置西侧（工件门）、北侧、东侧（检修门）屏蔽体内含 1.2mm 钢板+6mm 铅板+4mm 钢板，南侧屏蔽体内含 1.2mm 钢板+9mm 铅板+4mm 钢板，顶部屏蔽体内含 2mm 钢板+6mm 铅板+2mm 钢板，底部屏蔽体内含 6mm 钢板+6mm 铅板+6mm 钢板。装置内部安装有 X 射线管、探测器和载物台等。铅房未设置观察窗。本项目装置最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.156mA，最大功率 25W。

本项目 CT 装置工作时主射线从北向南照射，X 射线管可沿南北方向移动，移动范围为 190mm，X 射线管锥束角度为 60°。X 射线管不可东西、上下移动及旋转；基于此，装置主射方向朝南侧、东侧（局部）、西侧（局部）、顶部（局部）及底部（局部）照射（详见图 9-3）。

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置设备参数见表 9-1。本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置外观示意图见图 9-1，内部结构正视图及俯视图见图 9-2，出束角度及照射方向示意图见图 9-3。

表 9-1 设备参数一览表

设备型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	滤过	辐射角度	功率 (W)
Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置	1	160	0.156	2mmAl	60°	25

图 9-1 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置装置外观示意图

图 9-2 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置内部结构图

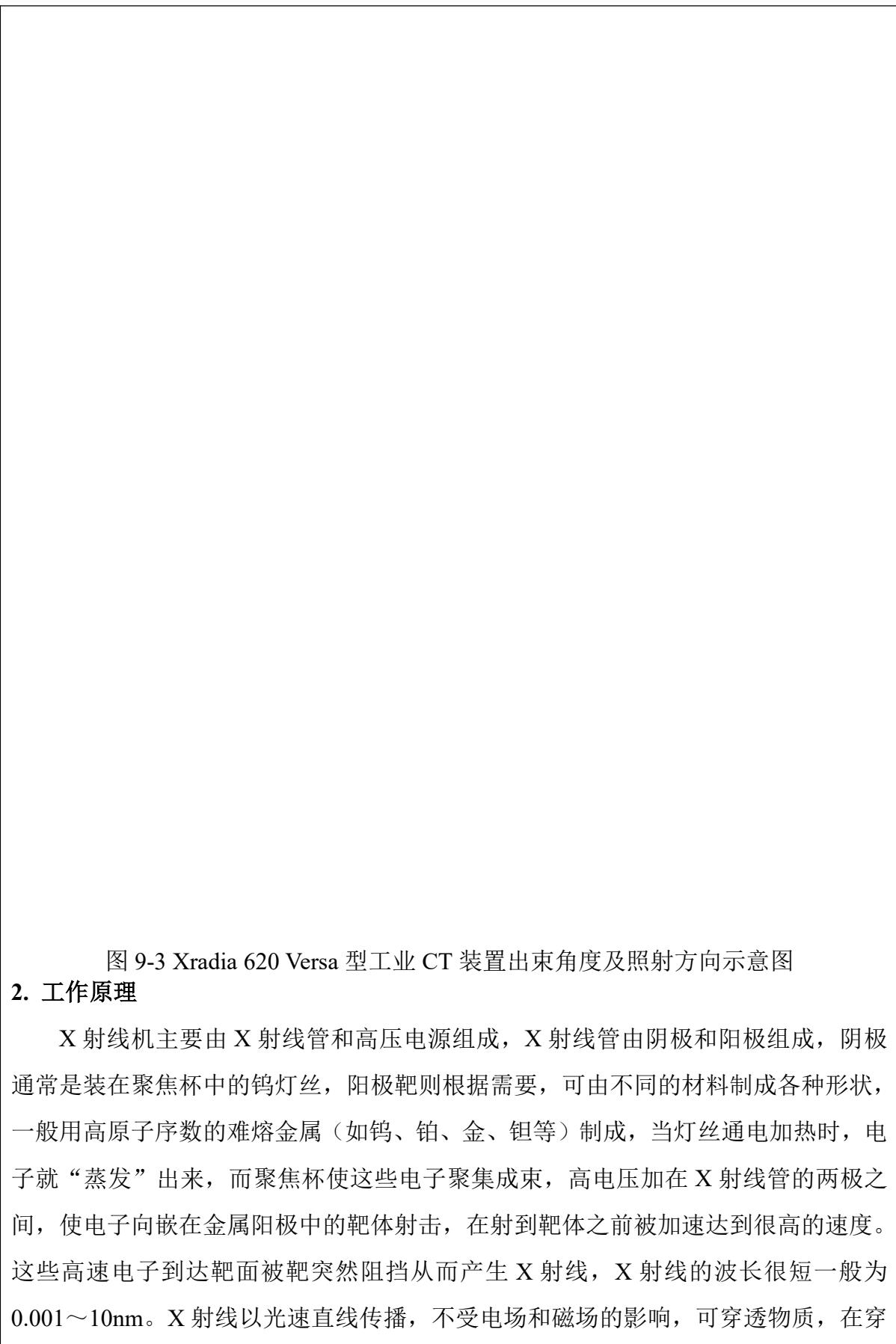


图 9-3 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置出束角度及照射方向示意图

## 2. 工作原理

X 射线机主要由 X 射线管和高压电源组成，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，高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子向嵌在金属阳极中的靶体射击，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 0.001~10nm。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 射线无损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 射线无损检测过程中, 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。当工件内部存在气孔、裂缝、夹渣等缺陷时, 射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多, 其强度减弱较小, 即透过的射线强度较大, 从而可以从图像上的差异判断焊接的质量、缺陷位置和被检样品内部的细微结构等。

典型的 X 射线管结构图见图 9-4。

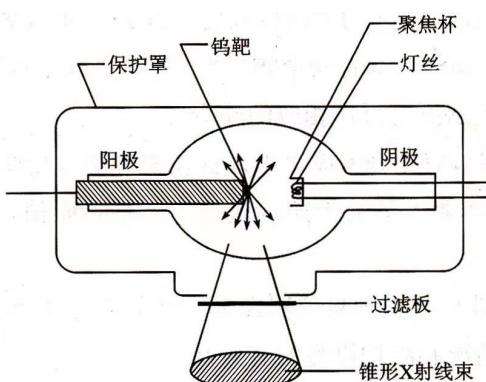


图 9-4 典型的 X 射线管结构图

工业CT装置是将穿过零件的X射线经图像增强器、CCD(电荷耦合器件)摄像系统以及计算机转换成一幅数字图像, 这种图像是动态可调的, 电压、电流等参数实时可调, 同时计算机可对动态图像进行积分降噪、对比度增强等处理, 以得到最佳的静态图像。工业CT装置是结合X射线成像技术、计算机图像处理技术、电子技术、机械自动化技术为一体的高科技产品。该系统的自动化程度高, 检测速度快, 极大地提高了射线探伤的效率, 降低了检验成本, 检测数据易于保存和查询等优点, 多年来该系统已成功应用于航空航天、军工兵器、石油化工、高压容器、汽车造船、锅炉焊管、耐火材料、文物、各种铸件、陶瓷行业等诸多行业的无损检测中。

工业CT系统通常由射线源、机械扫描系统与自动控制系统、探测器系统及数据采集系统、计算机系统、辅助系统等组成。其中, 最核心的原理是: 计算机控制射线源发出射线束, 数控扫描平台承载被测物体, 可以在计算机控制下移动或旋转, 平板探测器则负责采集扫描数据; 屏蔽设施确保射线不外泄以及扫描过程的安全; 最后, 计算机通过采集到的投影数据重建工业CT切片图像, 并对图像中存在的缺陷进行分类。

工业CT装置可实现样品三维微观结构的扫描，在不破坏样品状态的情况下三维数字化直观描述金属样品的内部结构，如孔隙度分布、密度变化、夹杂分布及大小、裂缝、孔洞等，并能为所检测样品进行三维尺寸测量，为产品研发、制造提供可靠数据。

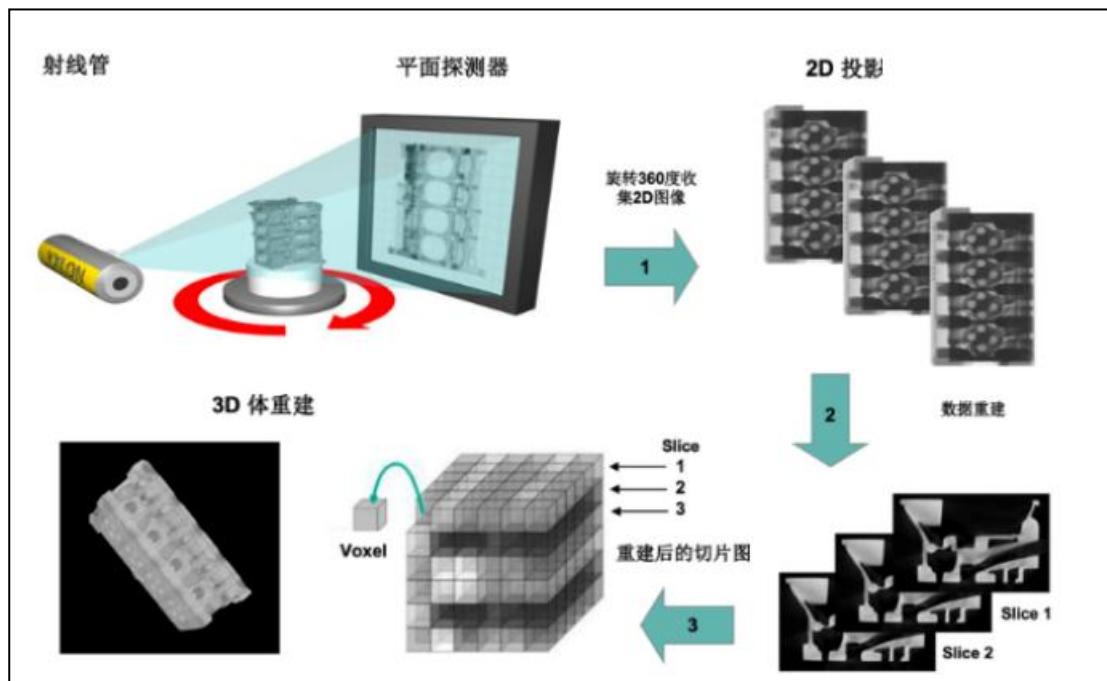


图9-5 工业CT原理图

### 3. 工艺流程及产污环节分析

本项目Xradia 620 Versa型工业CT装置工作时，辐射工作人员将被检测工件放置于装置铅房内，辐射工作人员在装置数据处理工作站（含操作台）处进行操作，对工件需检测部位进行高分辨率成像检测，其工作流程如下：

- 1) 工作人员检查各辐射安全装置的有效性；
- 2) 工作人员开启设备，将工件通过前侧工件门送入铅房内载物台上，进行粗略定位；
- 3) 检查监督区内无关人员滞留情况，确定无人后辐射工作人员关闭工件门；
- 4) 工作人员设置工业CT装置电压，曝光时间等参数，装置利用载物台移动工件调整至不同位置，进行精确定位；
- 5) 确定电压、滤色片和图像采集时间，开始扫描，通过平板探测器获取大量不同角度被测对象受X射线照射后的断层扫描图像。开机曝光时会发出X射线，并产生少量臭氧及氮氧化物；

- 6) 曝光结束, 辐射工作人员开启前侧工件门, 移出工件; 工作人员在数据处理工作站(含操作台)对图像进行分析, 将断层扫描图像按照重建算法重构得到完整的三维数模, 判断工件质量、缺陷等;
- 7) 启动下一个检测程序。

图 9-6 本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置工作流程及产污环节

由上图可知, 本项目营运中产生的主要污染物如下:

- (1) 工业 CT 装置出束过程中产生的 X 射线;
- (2) X 射线电离空气产生的臭氧及氮氧化物;
- (3) 探伤工作人员会产生少量生活污水及生活垃圾。

此外, 若工业 CT 装置长时间不用或初次使用需要先进行训机, 训机过程会产生 X 射线、少量臭氧 ( $O_3$ ) 和氮氧化物 ( $NO_x$ )。训机工作流程及产污环节为:

- (1) 清场、关门: 检查监督区内无关人员滞留情况, 确定无人后辐射工作人员关闭工件门;
- (2) 训机: 辐射工作人员在操作台主屏幕寻找到 X 射线控制器, 从控制部分的下拉菜单中选择适当的预热选项进行预热; 工业 CT 装置进入训机状态, 从低千伏值一点一点地往高训。同时 X 射线源将产生 X 射线污染, X 射线将使铅房内的空气电离产生少量臭氧 ( $O_3$ ) 和氮氧化物 ( $NO_x$ );
- (3) 训机结束: 当训到最高千伏值后, X 射线控制器将会自动关闭 X 射线, 此时训机结束。

本项目工业 CT 装置设置自动训机功能, 训机均在 110 室内进行, 装置训机曝光时间包含在年最大曝光时间 600h 内。

#### 4.工件信息及工作方式

本项目工业CT装置用于开展多门类化石标本的三维无损成像研究，特别适用于研究不能破坏的特殊埋藏的三维立体化石标本，比如早期动物胚胎化石、小壳化石、琥珀中的昆虫化石等，化石尺寸范围在100 $\mu\text{m}$ -5cm之间。本项目部分化石示意图见图9-7。

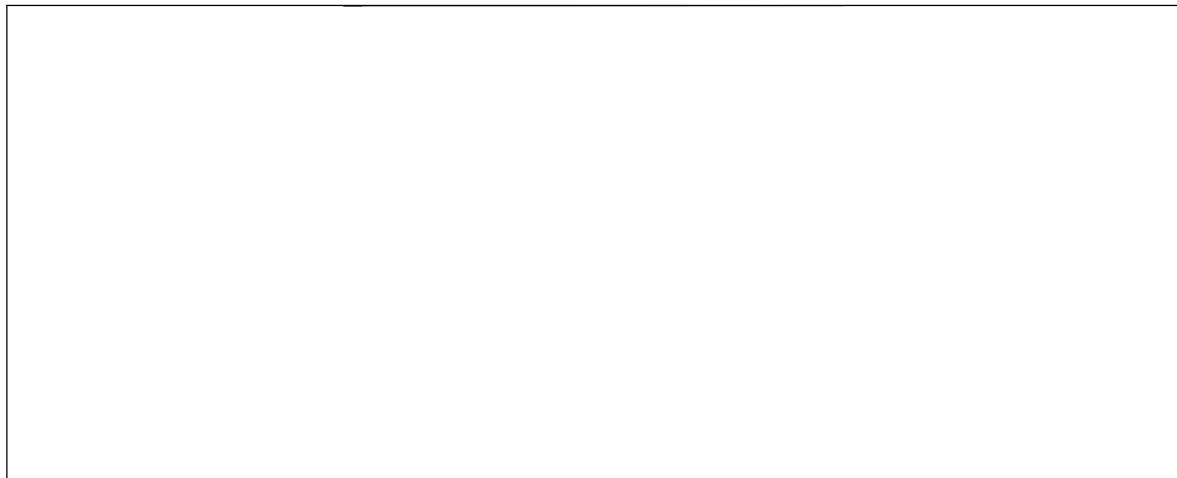


图 9-7 本项目部分化石示意图

#### 5.人员配置及工作制度

中国科学院南京地质古生物研究所拟为本项目配备 2 名辐射工作操作人员，年工作 50 周。

本项目工业 CT 装置周曝光时间约 12h，年曝光时间约为 600h（包含训机时间）。本项目辐射工作人员不从事其他辐射工作岗位，不存在兼岗情况。

## 污染源项描述

### 1. 辐射污染源分析

由工业CT装置工作原理可知，工业CT装置只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出X射线，对设备外工作人员和周围公众产生一定外照射，因此工业CT装置在开机曝光期间，X射线是项目主要污染物。

本项目正常运行时可能产生的X射线影响具体包括以下几种：X射线有用线束辐射、泄漏辐射、散射辐射。经与生产厂家核实（射线装置说明书见附件5），本项目Xradia 620 Versa型工业CT装置滤过条件为2mmAl，本项目工业CT装置输出量根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表B.1，由150kV和200kV下2mmAl的输出量插值取得160kV下输出量为 $20.38\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即有用线束源强。根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表1，Xradia 620 Versa型工业CT装置取得距靶点1m处的泄漏辐射剂量率为 $2.5\times 10^3\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，即泄漏辐射源强。根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表2中取得散射辐射能量。

表9-2 本项目工业CT装置输出量参数

序号	射线装置	型号	有用线束辐射 输出量 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	泄漏辐射 1m处输出量 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	散射辐射能量 (kV)
1	工业CT装置	Xradia 620 Versa型	1.2228E+06	2500	150

注：Xradia 620 Versa型工业CT有用线束输出量为 $20.38*60*1000=1.2228\text{E}+06\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$

### 2. 非辐射污染源分析

#### （1）固体废物

本项目不产生放射性固体废物。

本项目运行后辐射工作人员会产生一定量的生活垃圾，预计月排放量为30kg，年排放量为360kg。

#### （2）废水

本项目不产生放射性液体废物。

本项目运行后辐射工作人员会产生一定量的生活污水，预计月排放量为 $2.4\text{m}^3$ ，年排放量为 $28.8\text{m}^3$ 。

#### （3）气体废物

工业CT装置在工作状态时，会使装置铅房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

**项目安全措施****1. 工作场所布局及分区**

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 设置有操作台和铅房，操作台与铅房分开独立设置。本项目工业 CT 装置有用线束朝装置南侧照射，操作台位于装置西北侧；主射线照射范围与操作台相关位置关系见图 10-1，操作台未进入有用线束照射范围内；本项目工业 CT 装置有用线束方向已避开操作台，本项目布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开的要求，布局设计合理。

本项目拟将工业 CT 装置实体边界作为本项目的控制区边界，将工业 CT 装置所在 110 室的边界作为本项目监督区边界，仅辐射工作人员能够进入。在工业 CT 装置门上均拟设置电离辐射警告标志及中文警示说明，并在房间入口处张贴监督区的标牌。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》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目工业 CT 装置监督区及控制区示意图见图 10-1。

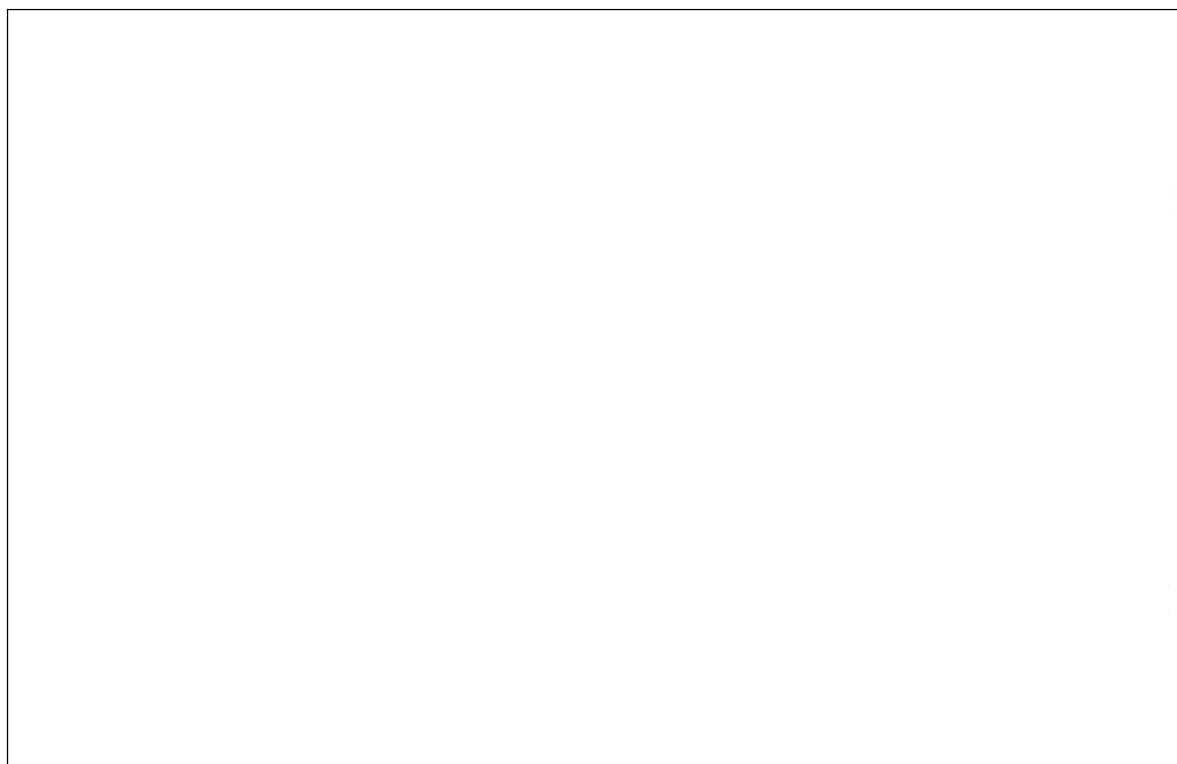


图 10-1 本项目工业 CT 装置监督区及控制区示意图

表 10-1 本项目辐射工作场所两区划分情况

项目环节	控制区	监督区
两区划分范围	工业 CT 装置实体边界	工业 CT 装置所在 110 室的边界
划分依据	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 6.4.1。	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)：6.4.2.1“注册者或者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”。 6.4.2.2 a)“采取适当的手段划出监督区的边界”。
分区管理措施	对控制区进行严格控制，工业 CT 装置在曝光过程中严禁任何人员进入。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 6.4.1.4 c)在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录 F 规定的警告标志。	监督区为辐射工作人员操作仪器时工作场所，禁止非相关人员进入，避免受到不必要的照射，并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 6.4.2.2 b)在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。
辐射防护措施	工业 CT 装置表面外粘贴电离辐射警告标志及中文警示说明。	110 室入口处粘贴监督区标牌。

## 2. 工作场所辐射屏蔽设计及射线装置主要参数

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置采用铅房衬钢板对 X 射线进行屏蔽，装置外尺寸为 2034mm (长, 2088.6mm 含外观把手尺寸) × 1081.3mm (宽) × 1988.7mm (高)，铅房内部尺寸为 1875mm (长) × 960mm (宽) × 823mm (高)。装置屏蔽设计参数见表 10-2。

本项目工件门、检修门与装置外壳搭接处重叠宽度大于 40mm，工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度小于 1mm，工件门、检修门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍；本项目在屏蔽体北侧下方设有电缆口，并在电缆口处外罩 6mm 厚铅屏蔽罩；本项目在屏蔽体顶部及北侧均设有通风口，所有通风口设置有 6mm 铅板-钢结构防护罩。以上措施可有效防止射线泄漏。

本项目装置屏蔽参数见表 10-2。

表 10-2 本项目工业 CT 装置屏蔽设计参数

装置名称	屏蔽体方位	屏蔽体材料及材料厚度	屏蔽铅当量
Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置	西侧 (工件门)	6mm 铅板+5.2mm 钢	6mmPb
	东侧 (检修门)	6mm 铅板+5.2mm 钢	6mmPb
	北侧	6mm 铅板+5.2mm 钢	6mmPb
	南侧	9mm 铅板+5.2mm 钢	9mmPb
	顶部	6mm 铅板+4mm 钢	6mmPb

	底部	6mm 铅板+12mm 钢	6mmPb
	通风口	钢内衬 6mm 铅板	6mmPb
	电缆口	外罩 6mm 厚铅屏蔽罩	6mmPb

注：屏蔽铅当量保守不计钢板厚度。

### 3. 工作场所辐射安全和防护措施

建设单位参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）将设置如下辐射安全措施：

表10-3 本项目拟设置的辐射安全措施一览表

序号	措施	标准原文	措施及位置
1	曝光室与操作室分开	6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。	本项目工业CT装置设置有操作台和铅房，操作台与铅房分开独立设置，本项目工业CT装置有用线束朝装置南侧照射，操作台位于装置西北侧，操作台未进入有用线束照射范围内；本项目工业CT装置有用线束方向已避开操作台。
2	两区划分	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 18871-2002的要求。	本项目将工业CT装置实体边界作为本项目的控制区边界，将工业CT装置所在110室房间的边界作为本项目的监督区边界，该分区符合GB 18871-2002的要求。
3	辐射屏蔽防护	6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于100 $\mu$ Sv/周，对公众场所，其值应不大于5 $\mu$ Sv/周；b) 屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5 $\mu$ Sv/h。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。	本项目工业CT装置通过铅板对X射线进行屏蔽。经理论预测结果可知，本项目工业CT装置以最大功率运行时装置表面外30cm及地面关注点处辐射剂量率均小于2.5 $\mu$ Sv/h；由预测结果可知，本项目工业CT装置满功率运行时，职业人员周有效剂量不超过100 $\mu$ Sv，公众周有效剂量不超过5 $\mu$ Sv。具体结论见表11。
4	门机联锁	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	本项目Xradia 620 Versa型工业CT装置前侧工件门、后侧检修门均设计有门机联锁装置，只有在门完全关闭时工业CT装置才能出束照射，门打开时立即停止X射线照射，关上门时不能自动开始X射线照射。

		置均应与防护门联锁。	
5	指示灯和声音提示装置	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 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置顶部设有工作状态指示灯，绿灯代表“通电”，黄灯代表“预备”，红灯代表“照射”，故无需另外安装显示“预备”“照射”字样的指示灯；工作状态指示灯与 X 射线管联锁；拟在装置表面外张贴指示灯中文标识；本项目工业 CT 装置放置在单独房间，且辐射工作人员无需进入装置内部，装置工作时无关人员无法靠近，因此无需安装声音提示装置。
6	视频监控	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。	本项目工业 CT 装置铅房内部装有 1 个摄像装置，通过操作台显示器能够清楚地看见装置内部，避免误照射情况发生。
7	电离辐射警告标志	6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871-2002 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	本项目工业 CT 装置表面外拟设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明。
8	急停按钮	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。	本项目工业 CT 装置屏蔽体正面和背面各设有 1 个急停按钮，且拟在装置按钮旁设置相应中文标识，确保出现紧急事故时，按下此按钮，关闭电源，能立即停止照射。因辐射工作人员无需进入装置内部，故装置内部不再设置急停按钮。
9	通风	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。	本项目工业 CT 装置采取左侧屏蔽体下方自然进风，顶部风扇式机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后进入室内，最大程度上避免射线泄露。铅房内部体积约为 1.48m <sup>3</sup> ，装置配置轴流风机进行排风，通风量约为 234.6m <sup>3</sup> /h，能够满足每小时有效换气次数不小于 3 次的通风需求。同时工业 CT 装置所在房间设置有新风系统，且房间较大、有门窗进行自然通风换气，自然通风效果较好，将产生的少量臭氧和氮氧化物排至室外。
10	固定式剂量率仪	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目辐射工作人员无需进入装置内部，故无需安装固定式场所辐射探测报警装置。
11	其他	/	①门缝搭接：本项目工业 CT 装置工件门与装置外壳搭接处重叠宽度大于 40mm，工件门与装置外壳之间的缝隙宽度小于 1mm，工件门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍； ②电缆孔防护：本项目工业 CT 装置在屏蔽体左侧下方设有电缆口，其防护补偿为

			在开孔位置外罩 6mm 厚铅屏蔽罩。
12	监测设备	4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128-2019 的要求进行个人剂量监测, 按 GBZ 98-2020 的要求进行职业健康监护。 4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	研究所拟为本项目配备 1 台便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪与 2 台个人剂量报警仪, 用于对工业 CT 装置周围环境辐射水平监测及对瞬时辐射剂量率的实时报警, 并做好监测记录; 并委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康体检。

本项目工业 CT 装置辐射安全和防护措施示意图见图 10-2。

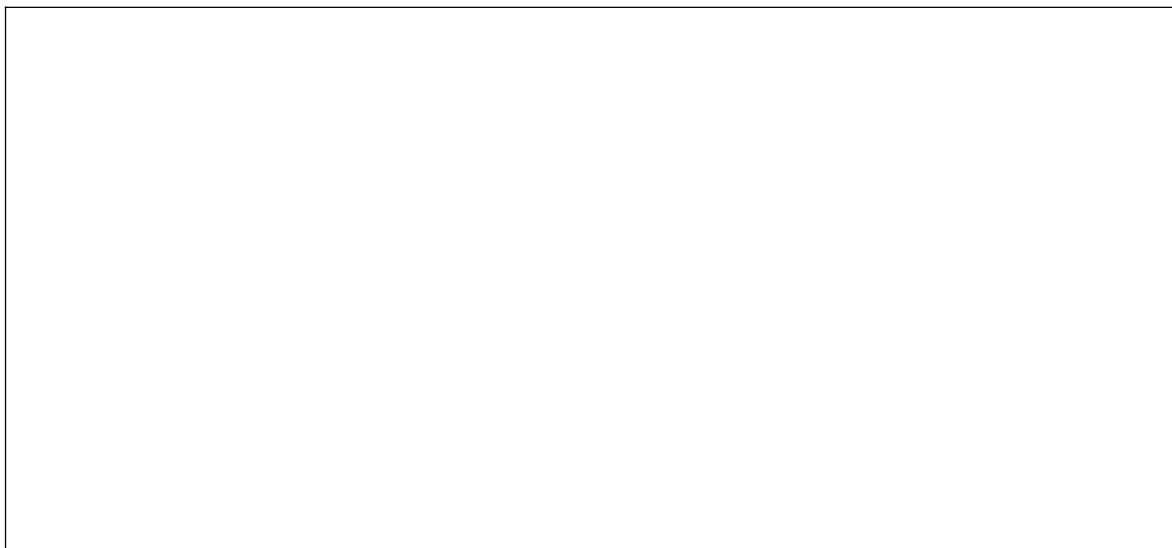


图 10-2 本项目辐射安全和防护措施示意图

综上所述, 以上辐射安全措施满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 的要求。

#### 4. 工作场所探伤操作的放射防护要求

①每次使用工业 CT 装置检测前应检查门-机联锁装置、工作状态指示灯等防护安全措施。

②辐射工作人员工作时, 除佩戴常规个人剂量计外, 还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- $\gamma$  剂量率仪(装置工作时用于周围巡测)。当剂量率达到设定的报警阈值报警时, 辐射工作人员应立即离开工业 CT 装置, 同时防止其他人靠近工业 CT 装置, 并立即向辐射防护负责人报告。

③定期测量工业 CT 装置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, 应终止检测工作并向辐射防护负责人报告。

④当班使用便携式 X- $\gamma$  剂量率仪前, 应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- $\gamma$

剂量率仪不能正常工作，则不应开始检测工作。

⑤在每一次照射前，操作人员都应该确认只有在工件门、检修门关闭、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. 退役

当工业 CT 装置不再使用，应实施退役程序。包括以下内容：

①工业 CT 装置的 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当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。

③清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

## 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。本项目运行后工作人员会产生一定量的生活垃圾，本项目产生的生活垃圾由校区统一收集后，交给环卫部门清运。

### 2. 废水

本项目运行后不产生放射性废水。本项目辐射工作人员将产生一定量的生活污水，排入研究所内污水管道后接市政管网至污水处理厂处置。

### 3. 气体废物

工业 CT 装置在工作状态时，会使检测室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，人员不进入装置内。本项目工业 CT 装置采取左侧屏蔽体下方自然进风，顶部风扇式机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后进入室内，最大程度上避免射线泄露。检测室内部体积约为  $1.48\text{m}^3$ ，装置配置轴流风机进行排风，通风量约为  $234.6\text{m}^3/\text{h}$ ，能够满足每小时有效换气次数不小于 3 次的通风需求。同时工业 CT 装置所在房间设置有新风系统，且房间较大、有门窗进行自然通风换气，自然通风效果较好，将产生的少量臭氧和氮氧化物排至室外，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气，对环境影响较小。

### 4. 探伤设施的退役

本项目工业 CT 不再使用时，应根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 6.3 要求实施退役。

表11 环境影响分析

**建设阶段对环境的影响**

本项目工业CT装置为整体购买设备，在设备安装组装过程中会产生少量的噪声、固体废物和废水。

**①噪声**

工业CT装置在安装过程中会产生少量的设备安装组装噪声，由于本项目评价范围均位于研究所内部，经墙体屏蔽及距离衰减后施工噪声对周围环境影响较小。

**②固体废物**

工业CT装置在组装过程中，会拆除一定的外包装材料，包装材料为一般固废，部分回收利用；部分与办公垃圾一同依托研究所现有垃圾收集设施收集处置，对周围环境影响较小。

**③废水**

工业CT装置在组装及调试过程中，安装及调试人员会产生少量的生活污水，经研究所污水管网，最终进入污水处理站处理，对周围环境影响较小。

**运行阶段对环境的影响**

本项目工业CT装置采用铅板对X射线进行防护，本项目运行后主要的环境影响是工业CT装置工作时产生的X射线对周围环境的辐射影响。预测时取工业CT装置最大管电压160kV，最大管电流0.156mA进行计算。

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：

**1.有用线束屏蔽估算**

装置有用线束照射方向预测计算模式采用《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中有用线束屏蔽估算的计算公式：

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

式中： $\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$I$ ：X射线探伤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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$ ，取值见表9-2；

$B$ ：屏蔽透射因子，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T

250-2014) 中附录表 B.2;

$R$ ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

## 2.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

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

式中： $\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$\dot{H}_L$ ：距靶点1m处X射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，取值参考

《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表1；

$B$ ：屏蔽透射因子，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录表 B.2；

$R$ ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

### ② 散射辐射

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中： $\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$I$ ：X射线探伤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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$ ，取值见表9-2；

$B$ ：屏蔽透射因子，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录表 B.2；

$F$ ： $R_0$ 处的辐射野面积， $\text{m}^2$ ；

$\alpha$ ：散射因子，入射辐射被单位面积( $1\text{m}^2$ )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 $\alpha$ 值时，可以用水的 $\alpha$ 值保守估计，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的附录B表B.3；

$R_s$ ：散射体至关注点的距离，m；

$R_0$ ：辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，m。

### 3. 参考点的周/年剂量水平估算

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

式中：  $H_c$ ：参考点的周剂量水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

参考点的年剂量水平， $\mu\text{Sv}/\text{年}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ ：参考点处剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$t$ ：探伤装置周照射时间，h/周；

探伤装置年照射时间，h/年；

$U$ ：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。

### 4. 参考点处剂量率理论计算结果

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置，其主射方向朝南侧、西侧（局部）、东侧（局部）、顶部（局部）及底部（局部）照射（详见图 9-3），其余均为非主射线照射方向。关注点位示意图见图 11-1。

图 11-1.1 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置各关注点位示意图（俯视图，单位：mm）

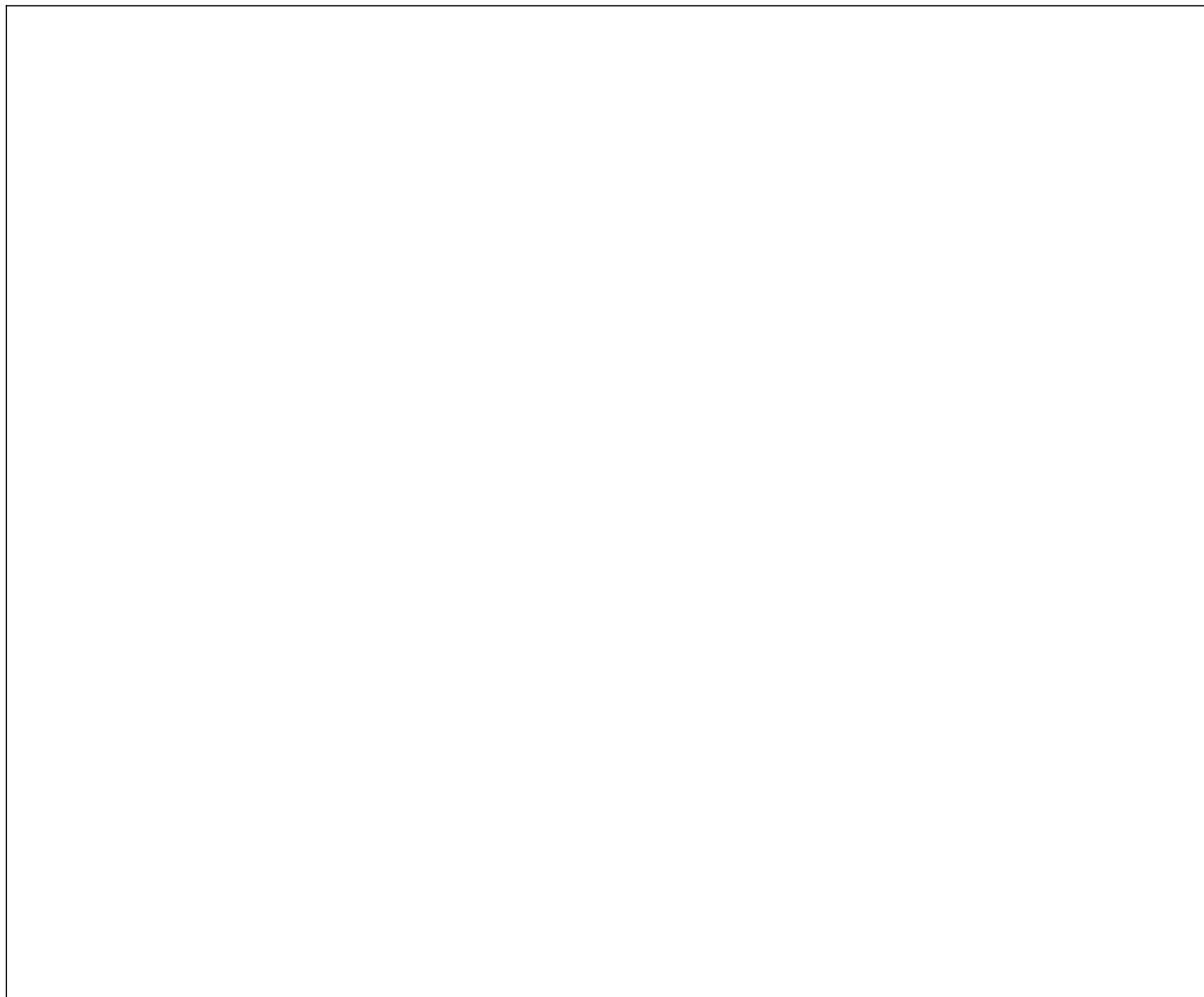


图 11-1.2 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置各关注点位示意图（正视图，单位：mm）

注：图上各关注点距离除装置底部屏蔽体外，其余均为出束口距装置内部防护板最近距离，保守不考虑装置外壳厚度。

表 11-1 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置有用线束方向屏蔽效果预测表

关注点	铅板厚度 (mm)	I (mA)	$H_0$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$	B	R (m)	$\dot{H}$ $(\mu\text{Sv}/\text{h})$	剂量率参考控制 水平( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	评价
南侧①				.	-		2.5	满足
东侧②-2							2.5	满足
西侧④-2	.				.		2.5	满足
顶部⑤-2	.						2.5	满足
铅房底 部⑦-2							2.5	满足

注：①取装置表面外 30 cm 为关注点，距离越短衰减越少，因此图上距离在计算时保守舍去多余位数，不进行四舍五入取值，则 R 南侧=0.94+0.3=1.24m，R 东侧=1.27+0.3=1.57m，R 西侧=0.64+0.3=0.94m，R 顶部=0.70+0.3=1m，R 底部=0.94+0.3=1.24m；

②B 值取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录 B 表 B.2，根据插值计算 160kV 下铅的 TVL 为 1.048mm；

③表中铅当量屏蔽厚度保守不考虑斜射的等效屏蔽。

表 11-2 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置非有用线束方向屏蔽效果预测表

参数	关注点位					
	东侧② -1	北侧③	西侧④ -1	顶部⑤ -1	装置底部 ⑥	铅房底部 ⑦-1
铅厚度 (mm)						
泄漏 辐射	$B_1$					
	$\dot{H}_L$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )					
	$R$ (m)					
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )					
散射 辐射	散射线能量(kV)					
	$B_2$					
	$I$ (mA)					
	$H_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ )					
	$F \cdot \alpha$ $R_0^2$					
	$R_s$ (m)					
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )					
泄漏辐射和散射辐射的复合作用( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )						
剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注, ①取装置表面外 30cm 为关注点, 计算时保守舍去多余位数, 不进行四舍五入取值。装置底部取出束口距地面距离, 即  $1.445+0.153=1.59\text{m}$ 。R 值=图 11-1 中 CAD 量取距离+0.3m。Rs 保守与 R 取值一致。

② $B_1$  以射线能量为 160kV 取值, 取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录 B 中的表 B.2, 150kV 下铅当量层为 0.96mm; 200kV 下铅当量层为 1.4mm; 内插取得 160kV 下铅当量层为 1.048mm。

③ $B_2$  以射线能量为 150kV 取值, 取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录 B 中的表 B.2, 150kV 下铅当量层为 0.96mm。

④ $R_0$ : 为源点至工件距离, 取 0.5m; F: 出束角为  $60^\circ$ , 0.5m 处的辐射野面积为  $\pi \times (0.5 \times \tan 30^\circ)^2 = 0.2618\text{m}^2$ ;  $\alpha$  取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录表 B.3, 保守取为  $1.9 \times 10^{-3} \times 10000/400 = 0.0475$ ,  $F \times \alpha / R_0^2 = 0.2618 \times 0.0475 / 0.5^2 = 0.0497$ 。

根据表 11-1、表 11-2 中预测结果, Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置表面外 30cm 处辐射剂量率及地面关注点辐射剂量率最大为  $4.06 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。因此本项目满功率运行时, 装置表面外 30cm 处及地面关注点辐射剂量率均能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中辐射屏蔽剂量率参考控制水平的要求。

## 5. 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  $H_c$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 加以控制。”

根据表 11-1 及表 11-2, 本项目工业 CT 装置顶部外 30cm 处辐射剂量率最大为  $3.59\text{E-}01\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 与装置四周辐射剂量率最大值  $4.06\text{E-}01\mu\text{Sv}/\text{h}$  叠加后为  $7.65\text{E-}01\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中辐射屏蔽剂量率参考控制水平要求。

根据表 11-1 及表 11-2, 本项目工业 CT 装置铅房底部外 30cm 处辐射剂量率最大为  $2.33\text{E-}01\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 与装置四周辐射剂量率最大值  $4.06\text{E-}01\mu\text{Sv}/\text{h}$  叠加后为  $6.39\text{E-}01\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中辐射屏蔽剂量率参考控制水平要求。

## 6. 电缆口、通风口及门缝辐射影响分析

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置设置有电缆管道, 位于装置左侧下方, 避免 X 射线直接照射线缆管道口, 其防护补偿结构为在开孔位置处外罩 6mm 厚铅屏蔽罩, 利用散射降低电缆管道口的辐射水平, X 射线进入电缆管道后散射示意图如图 11-2。X 射线进入电缆管道需至少经过三次散射才能到达管道口。根据《辐射防护导论》P193 “一般经三次以上散射后  $\gamma$  射线的剂量当量率已降得很低了, 实例也证明了这一点”, 本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置电缆管道设计能够满足辐射防护要求。

图 11-2 本项目 Xradia 620 Versa 电缆管道散射示意图

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置采取左侧屏蔽体下方自然进风, 顶部风扇

式机械排风的方式，在进风和出风口均有 6mm 铅板防护，避免 X 射线直接照通风口，其防护补偿结构为在开孔位置内侧覆盖防护铅板结构，防护补偿铅板铅当量厚度为 6mm，利用散射降低通风管道口的辐射水平，X 射线进入通风管道后散射示意图如图 11-3。X 射线进入通风管道需至少经过三次散射才能到达管道口。根据《辐射防护导论》P193 “一般经三次以上散射后 $\gamma$ 射线的剂量当量率已降得很低了，实例也证明了这一点”，本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置通风管道设计能够满足辐射防护要求。

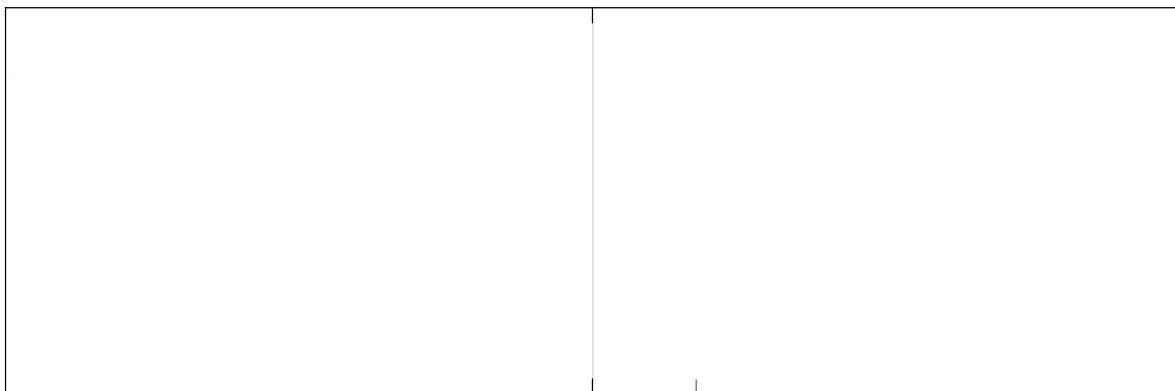


图 11-3 本项目 Xradia 620 Versa 通风管道散射示意图

本项目工件门、检修门与装置外壳搭接处重叠宽度大于 40mm，工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度小于 1mm，工件门、检修门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍。本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置防护门缝设计能够满足辐射防护要求。

## 7. 保护目标剂量评价

表 11-3 本项目辐射工作人员有效剂量估算结果

保护目标名称	位置	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值 $\mu\text{Sv}/\text{h}$	剂量率控制水平 $\mu\text{Sv}/\text{h}$	周剂量估算值 $\mu\text{Sv}/\text{周}$	目标管理值 $\mu\text{Sv}/\text{周}$	年剂量估算值 $\text{mSv}/\text{年}$	目标管理值 $\text{mSv}/\text{年}$	结论
Xradia 620 Versa 辐射工作人员	前侧								5 工作人员	满足

注：①Xradia 620 Versa 装置操作位位于装置左前侧，保守按装置四周最大剂量率考虑，居留因子取 1；  
②本项目装置周曝光时间约为 12h/周；一年按照 50 周计算，年曝光时间约为 600h。

表 11-4 本项目 Xradia 620 Versa 周围 50m 范围内保护目标有效剂量一览表

序号	保护目标	关注点方位及最近距离	距射线管最近距离 (m)	居留因子	关注点处辐射剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$	周剂量估算值 $\mu\text{Sv}/\text{周}$	目标管理值 $\mu\text{Sv}/\text{周}$	年剂量估算值 $\text{mSv}/\text{年}$	目标管理值 $\text{mSv}/\text{年}$	结论
1										满足

2		满足
3		满足
4		满足
5		满足
6		满足
7		满足
8		满足
9		满足
10		满足
11		满足
12		满足
13		满足

注: ①使用因子取1。本项目装置周曝光时间约为12h/周; 一年按照50周计算, 年曝光时间约为600h。

②本项目保护目标处除北侧关注点以外, 辐射剂量率保守均以有用线束照射进行考虑, 参考表11-1, 预测计算公式  $H=H_0 \times I \times B/R^2$ ; 北侧保护目标辐射剂量率按非有用线束照射进行考虑, 参考表11-2及公式(2)、公式(3)。

从表11-3及表11-4中预测结果可以看出, 本项目工业CT装置满功率运行时, 辐射工作人员所受周有效剂量最大为 **4.87μSv**, 年有效剂量最大为 **2.44E-01mSv**; 周围公众所受周有效剂量最大为 **1.94E-01μSv**, 年有效剂量最大为 **9.72E-03mSv**。根据理论计算结果, 本项目辐射工作人员及周围公众受照剂量能够满足《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》(GBZ 117-2022)及本项目管理目标限值要求(职业人员年有效剂量不超过5mSv, 周有效剂量不超过100μSv; 公众年有效剂量不超过0.1mSv, 周有效剂量不超过5μSv)。

### 8.三废措施评价

本项目工业 CT 装置不产生放射性固体废物、放射性废水及放射性废气。

本项目运行后辐射工作人员会产生一定量的生活垃圾及生活污水，生活垃圾由研究所统一收集后，交给环卫部门清运；生活污水经研究所污水管网接管至市政污水管网处理。

工业 CT 装置在工作状态时，会使检测室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，人员不进入装置内。本项目工业 CT 装置采取左侧屏蔽体下方自然进风，顶部风扇式机械排风，在进风和出风口均有铅板防护，气流经导向后进入室内，最大程度上避免射线泄露。检测室内部体积约为  $1.48\text{m}^3$ ，装置配置轴流风机进行排风，通风量约为  $234.6\text{m}^3/\text{h}$ ，能够满足每小时有效换气次数不小于 3 次的通风需求。同时工业 CT 装置所在房间设置有新风系统，且房间较大、有门窗进行自然通风换气，通风效果较好，将产生的少量臭氧和氮氧化物排至室外，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气，对环境影响较小。

## 事故影响分析

### 1) 本项目可能发生的辐射事故

①工业 CT 装置门机联锁失效，导致设备工件门、检修门未关闭就对工件进行曝光检测，或在工作状态中，设备工件门及检修门被意外打开，工业 CT 装置未能立即停止出束照射，致使人员受到意外照射。

②工业 CT 装置进行检修、维修发生误照射对周围人员造成意外照射。

### 2) 事故预防措施

本项目针对上述可能出现的主要事故建议性地给出预防措施：

①应加强管理，加强对辐射工作人员的培训，严格执行安全操作规程；

②定期检查门机联锁装置，确保无损检测工作正常进行；

③工业 CT 装置工作时辐射工作人员应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；

④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当个人剂量报警仪发出报警时，辐射工作人员应采取应对措施；

⑤仅允许厂家专业人员维修，严禁自行拆装维修。维修时，辐射防护负责人应在现场进行监督，确保维修人员无滞留情况发生。

中国科学院南京地质古生物研究所在日常工作中应加强辐射安全管理，定期对工

业 CT 装置进行检查、维护，发现问题及时维修；严格要求辐射工作人员按照操作规程进行工业 CT 装置操作，每次操作前检查工业 CT 装置门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测工业 CT 装置的周围辐射水平，确保安全措施有效运行；同时针对可能发生的辐射安全事故，制定辐射事故应急预案以能够有序应对事故。此外，研究所应完善应急计划演练并执行，涵盖预防、准备、响应和恢复等阶段，包括预警、应急响应、辐射监测、人员疏散、医疗救援、污染控制、信息发布和演练总结。配备应急物品，通过演练确定应急措施是否可行，并形成记录。同时研究所应在今后的工作实践中不断完善辐射安全制度，提高制度的可操作性。

### 3) 事故处理方法

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，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。本项目拟使用的工业 CT 装置属于II类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，通常情况下属于一般辐射事故。在发生事故后：

- ①辐射工作人员应第一时间关停射线装置的高电压，停止射线装置的出束然后启动应急预案；
- 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发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实与调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

当发生或发现辐射事故时，研究所应当立即启动事故应急方案，采取必要防范措施在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，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。

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管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求, 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; 直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训, 并进行考核; 考核不合格的, 不得上岗。管理人员考核类型为“辐射安全管理”, 辐射工作人员考核类型为“X射线探伤”。

中国科学院南京地质古生物研究所拟成立相应的辐射安全管理机构, 并以文件形式明确各成员管理职责; 拟配备2名辐射工作人员, 其中一人为辐射防护负责人。辐射工作人员应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台(网址:<http://fushe.mee.gov.cn>)学习相关知识。通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核, 通过考核后才能进行上岗作业。此外, 担任本项目辐射防护负责人仍需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的考核。

**辐射安全管理规章制度**

本项目为新建II类射线装置项目, 中国科学院南京地质古生物研究所拟按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》制定一系列的辐射安全管理制度, 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、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等, 基本能满足核技术利用项目管理需要。

中国科学院南京地质古生物研究所在日后实际工作中, 应根据具体情况和实际问题, 按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时更新、完善制度的可操作性, 本报告对各项管理制度制定要点提出如下建议:

- **岗位职责:** 明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任, 使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任, 并层层落实。
- **操作规程:** 明确本项目工业CT装置辐射人员的资质条件要求、工业CT装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施, 重点是明确工业CT装置操作步骤以及作业过程中必须采取的辐射安全措施。
- **辐射防护和安全保卫制度:** 根据研究所的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度, 重点是工业CT装置的运行和维修时辐射安全管理。

- **设备检修维护制度:** 明确工业 CT 装置的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, 确保工业 CT 装置、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。
- **射线装置使用登记、台账管理制度:** 根据射线装置使用具体情况制定, 重点是射线装置使用状况的记录。
- **人员培训计划:** 制定人员培训计划, 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。
- **监测方案:** 方案中应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。
- **事故应急预案:** 依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发〔2006〕145 号文)、《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)及《江苏省辐射污染防治条例》的要求针对本项目可能发生的辐射事故(意外照射等)完善事故应急预案, 应急预案内容包括: 应急机构和职责分工、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、应急演习计划; 辐射事故分级与应急响应措施、辐射事故调查、报告和处理程序; 应急领导小组成员姓名及联络电话、当地的救援报警电话, 事故发生后公司应积极配合生态环境保护部门、公安部门及卫生部门调查事故原因, 并做好后续工作。
- **监测异常报告制度:** 如果发现个人剂量监测结果异常的, 应当立即核实和调查, 并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。如果在工作场所及周围环境监测中发现异常情况的, 应当立即采取措施, 并在一小时内向生态环境行政主管部门报告。

中国科学院南京地质古生物研究所应严格按照制度执行, 在今后的工作实践中不断完善, 提高制度的可操作性。

## 1. 监测方案

- (1) 委托有资质单位定期对工业 CT 装置周围环境辐射剂量率进行检测, 每年 1 次;
- (2) 工业 CT 装置进行检测作业时公司辐射安全管理人员对工业 CT 装置周围的辐射水平进行监测(每月一次), 并做好相关记录。若发现辐射异常情况, 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。

（3）研究所拟为本项目配备2名辐射工作人员，拟委托有资质单位对辐射工作人员开展个人剂量监测，个人剂量计定期（不超过3个月）送检，并建立个人剂量档案；若发现个人剂量有异常的，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。个人剂量档案长期保存。

本项目辐射监测方案具体见表12-1。

表12-1 辐射监测方案

监测对象	监测项目	监测因子	监测方式	监测周期	检测条件	监测点位
工业CT装置	验收监测	X- $\gamma$ 周围剂量当量率	委托有资质单位进行	项目运行前1次	射线管应在额定工作条件下、置于与测试点可能的最近位置；主屏蔽的检测应在没有探伤工件时进行，副屏蔽的检测应有探伤工件时进行。	①通过巡测发现辐射水平异常高的位置； ②工业CT装置表面外30cm处，防护门四周门缝表面外30cm处，电缆出口外30cm处； ③人员经常活动的位置。
	年度监测		委托有资质单位进行	每年一次		
	自主监测		自行监测	每月一次		
辐射工作人员	个人剂量当量监测	个人剂量当量	委托有资质单位进行	每3个月一次	/	/

## 2. 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》及《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）等要求，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；中国科学院南京地质古生物研究所拟为本项目配备1台便携式X- $\gamma$ 剂量率仪与2台X- $\gamma$ 个人剂量报警仪，项目运行后应定期对工业CT装置周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

中国科学院南京地质古生物研究所拟为本项目配备2名辐射工作人员，应在项目运行前委托有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量监测，并定期组织职业健康体检，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。

落实以上措施后，本项目所配备的防护用品和监测仪器能够满足相关管理要求。

## 辐射事故应急

中国科学院南京地质古生物研究所拟设置辐射事故应急小组，并制定《辐射事故应急预案》，公司应根据本项目可能产生的辐射事故情况制定事故应急预案，应急预案内容应包括：

（1）应急机构和职责分工；

- (2) 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;
- (3) 应急演习计划;
- (4) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

中国科学院南京地质古生物研究所应依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号文）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，发生辐射事故或者发生可能引发辐射事故的运行故障时，单位应当立即启动本单位的应急方案，采取必要防范措施，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。并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》。报告内容包括单位信息，许可证信息，事故发生时间、地点、类型，射线装置名称及型号，事故经过等信息。

事故发生后应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

中国科学院南京地质古生物研究所应加强管理，严格执行安全操作规程。应经常监测本项目工业CT装置周围的环境辐射剂量率等，发现问题及时排查，确保辐射工作安全有效运转。

### 表13 结论与建议

#### 结论

##### 1.实践正当性

中国科学院南京地质古生物研究所拟在所内新建1台工业CT装置，用于开展多门类化石标本的三维无损成像研究。本项目的建设将满足研究所的科研需求，提升科研能力，具有良好的社会效益和经济效益。虽然在运行期间，工业CT装置的应用可能会对周围环境、工作人员及周围公众造成一定辐射影响，但研究所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，其对社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

##### 2.辐射安全与防护分析结论

###### 1) 选址、布局合理性

中国科学院南京地质古生物研究所位于江苏省南京市北京东路39号，研究所东侧为鸡鸣寺路；南侧为江苏省科技厅及北极阁公园；西侧为北极阁公园；北侧为鸡鸣寺。

本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置拟建址位于中国科学院南京地质古生物研究所实验大楼 1F 110 室。装置所在实验大楼北侧为道路及绿化，南侧隔道路及绿化为标本馆及东楼，东侧为道路及绿化，西侧隔道路及绿化为西楼与在研标本楼。

Xradia 620 Versa 工业 CT 装置所在 110 室东侧为 108 室（会议室），隔 108 室依次为 106 室、104 室及 102 室，南侧隔道路及绿化为标本馆，西侧为 112 室（数据分室），隔 112 室依次为 114 室、116 室、118 室及 120 室，北侧隔过道为 107 室（闲置房间）与 109 室（场发射扫描电镜室），实验大楼共 5 层，装置楼上正上方为 210 室（光学显微镜室），其余均为各实验间，楼下为土层。

本项目工业 CT 装置周围 50m 范围内无居民区等环境敏感目标，本项目 Xradia 620 Versa 型工业 CT 装置 50m 范围内涉及①道路及绿化，②标本馆，③东楼，④西楼，⑤在研标本楼，⑥项目所在实验大楼。本项目周围环境保护目标主要为从事工业 CT 装置操作的辐射工作人员及周围公众。

工业 CT 装置位于房间内，除了本项目辐射工作人员外，其他人员不能擅自进入

房间。本项目工业CT装置工作场所布局设计基本合理。

## 2) 辐射防护措施

本项目Xradia 620 Versa型工业CT装置外尺寸2034mm(长, 2088.6mm含外观把手尺寸)×1081.3mm(宽)×1988.7mm(高), 铅房内部尺寸为1875mm(长)×960mm(宽)×823mm(高)。装置采用铅房衬钢板对X射线进行屏蔽, 工件门朝西侧摆放。铅房西侧(工件门)、东侧(检修门)、北侧屏蔽体内含1.2mm钢板+6mm铅板+4mm钢板, 南侧屏蔽体内含1.2mm钢板+9mm铅板+4mm钢板, 顶部屏蔽体内含2mm钢板+6mm铅板+2mm钢板, 底部屏蔽体内含6mm钢板+6mm铅板+6mm钢板。

本项目工件门、检修门与装置外壳搭接处重叠宽度大于40mm, 工件门、检修门与装置外壳之间的缝隙宽度小于1mm, 工件门、检修门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的10倍; 本项目在屏蔽体左侧下方设有电缆口, 并在电缆口处外罩6mm厚铅屏蔽罩; 本项目在屏蔽体顶部及左侧均设有通风口, 所有通风口设置有6mm铅板-钢结构防护罩进行屏蔽。

## 3) 辐射安全措施

本项目工业CT装置防护门与装置设置门-机安全联锁装置, 装置设置工作状态指示灯, 门-机联锁装置和工作状态指示灯定期检查, 确保有效; 设备外表面设置“当心电离辐射”警告标志及中文警示说明, 提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。CT装置屏蔽体正面和背面各设有1个急停按钮, 且拟在装置按钮旁设置相应中文标识, 确保出现紧急事故时, 按下此按钮, 关闭电源, 能立即停止照射。研究所拟为本项目配备1台便携式X- $\gamma$ 剂量率仪与2台个人剂量报警仪, 用于对工业CT装置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, 以上措施能够满足辐射安全管理的要求。

本项目拟将工业CT装置实体边界作为本项目的控制区边界, 以工业CT装置所在110室房间的边界作为本项目监督区边界, 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌, 仅辐射工作人员能够进入。

## 4) 通风措施评价

工业CT装置在工作状态时, 会使检测室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物, 人员不进入装置内。本项目工业CT装置采取左侧屏蔽体下方自然进风, 顶部风扇式机械排风, 在进风和出风口均有铅板防护, 气流经导向后进入室内, 最大程度上避免

射线泄露。检测室内部体积约为 $1.48\text{m}^3$ ，装置配置轴流风机进行排风，通风量约为 $234.6\text{m}^3/\text{h}$ ，能够满足每小时有效换气次数不小于3次的通风需求。同时工业CT装置所在房间设置有新风系统，且房间较大、有门窗进行自然通风换气，通风效果较好，将产生的少量臭氧和氮氧化物排至室外，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为50分钟，可自动分解为氧气，对环境影响较小。

### 3. 辐射环境影响分析结论

本项目工业 CT 装置通过铅板对 X 射线进行屏蔽。经理论预测结果可知，本项目工业 CT 装置以最大功率运行时装置表面外 30cm 处及地面处辐射剂量率能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的辐射剂量率限值要求。

由预测结果可知，本项目工业 CT 装置满功率运行时，辐射工作人员及周围公众所受周有效剂量和年有效剂量能够满足《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）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 $5\text{mSv}$ ，周有效剂量不超过 $100\mu\text{Sv}$ ；公众年有效剂量不超过 $0.1\text{mSv}$ ，周有效剂量不超过 $5\mu\text{Sv}$ ）。

### 4. 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) 拟为本项目配备 1 台便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪 2 台个人剂量报警仪，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。
- 5) 中国科学院南京地质古生物研究所拟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。在项目运行前完善辐射安全管理制度；本项目拟配备 2 名辐射工作人员；项目投运后，辐射工作人员上岗前应报考全国核技术利用辐射安全与防护考核，必须通过考核后方能正式进行作业。

综上所述，中国科学院南京地质古生物研究所新建 1 台工业 CT 装置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，工作人员及公众受到的周/年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《工业探

伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后，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。

#### 建议和承诺

- 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) 建设单位在获得本项目环评批复后且工业 CT 装置建成后根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求申领辐射安全许可证。
- 5) 根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》第十二条 除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类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。建议建设单位在本项目环境保护设施竣工后及时进行竣工环保验收。
- 6) 建设单位应按照江苏省生态环境厅发布的《核技术利用单位辐射安全标准化建设指南（工业射线探伤类）》编制自评估报告，每年一月各单位根据上一年度辐射安全改进提升情况再次进行自评估，自评估报告作为年度评估报告附件，于 1 月 31 日前一并上传至国家核技术利用申报系统。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日

附表

辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预期投资(万元)
辐射防护措施	本项目工业 CT 装置采用铅房衬钢板对 X 射线进行屏蔽，工件门朝西侧摆放。铅房西侧（工件门）、东侧（检修门）、北侧屏蔽体内含 1.2mm 钢板+6mm 铅板+4mm 钢板，南侧屏蔽体内含 1.2mm 钢板+9mm 铅板+4mm 钢板，顶部屏蔽体内含 2mm 钢板+6mm 铅板+2mm 钢板，底部屏蔽体内含 6mm 钢板+6mm 铅板+6mm 钢板。	装置表面外 30cm 处及地面处表面辐射剂量率能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）剂量率限值要求。辐射工作人员及公众周有效剂量和年有效剂量符合《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》（GBZ 117-2022）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。（辐射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）。	
辐射安全措施	本项目工业CT装置防护门与装置设置门-机安全联锁装置，装置设置工作状态指示灯，门-机联锁装置和工作状态指示灯定期检查，确保有效；设备外表面设置“当心电离辐射”警告标志，提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。CT装置屏蔽体正面和背面各设有1个急停按钮，且拟在装置按钮旁设置相应中文标识，确保出现紧急事故时，按下此按钮，关闭电源，能立即停止照射。研究所拟为本项目配备1台便携式X-γ剂量率仪与2台个人剂量报警仪，用于对工业CT装置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，以上措施能够满足辐射安全管理的要求。	能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的管理要求。	
	本项目拟将工业CT装置实体边界作为本项目的控制区边界，以工业CT装置所在110室房间的边界作为本项目监督区边界，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，仅辐射工作人员能够进入。		
	配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪与 2 台个人剂量报警仪。	按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》配备个人剂量测量报警、辐射监测，满足工作场所日常监测要求。	
污染防治措施	废气：本项目工业 CT 装置通过左侧屏蔽体下方自然进风，顶部风扇式机械排风以及开关装置防护门进行通风换气，同时装置所在房间安装有新风系统，房间门窗也可进行排风换气，将产生的少量臭氧和氮氧化物排至室外。臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气。臭氧和氮氧化物对周围环境空气影响较小。	本项目臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，其产生臭氧和氮氧化物对环境影响较小。	/

辐射安全管理	成立辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员职责。	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》完善安全管理机构。	/
	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、事故应急制度、射线装置使用登记、台账管理制度等。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。	/
	本项目拟配备 2 名辐射工作人员，辐射工作人员在上岗前应参加辐射安全与防护培训，通过考核后才能上岗（每 5 年重新参加考核）。	根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《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》，辐射工作人员应持有考核合格证。	定期投入
	辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测（常规监测周期一般为一个月，最长不应超过三个月。个人剂量档案终生保存）。	根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）辐射工作人员正常开展个人剂量监测，根据《放射工作人员职业健康管理办 法》，个人剂量档案应终生保存。	每年投入
	职业健康体检：定期组织职业健康体检，并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（两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。）	根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，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健康管理的规定，对直接从事使用活动的工作人员进行个人职业健康检查，建立职业健康监护档案	每年投入

以上措施必须在项目运行前落实。