

核技术利用建设项目
长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦
点断层扫描设备建设项目
环境影响报告表
(送审稿)

长沙理工大学
2025 年 1 月

核技术利用建设项目
长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦
点断层扫描设备建设项目
环境影响报告表
(送审稿)

建设单位名称：长沙理工大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：长沙市天心区赤岭路 45 号

邮政编码：410000

联系人：杨豪

电子邮箱：

联系电话：

打印编号: 1733799680000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	751580		
建设项目名称	长沙理工大学新增2台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目		
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	理 报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	长沙理工大学		
统一社会信用代码	12430000444886033Q		
法定代表人 (签章)	曹一家		
主要负责人 (签字)	杨豪		
直接负责的主管人员 (签字)	邱祥		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	湖南贝可辐射环境科技有限公司		
统一社会信用代码	91430100576598885X		
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
王春霞	12354343511430313	BH030069	王春霞
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
阳烯橙	放射源, 非密封放射性物质, 射线装置, 废弃物 (重点是放射性废弃物)	BH1070764	阳烯橙
王洁	项目基本情况, 评价依据, 保护目标与评价标准, 环境质量和辐射现状, 辐射安全管理, 结论与建议	BH067073	王洁
王春霞	项目工程分析与源项, 辐射安全与防护, 环境影响分析	BH030069	王春霞

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	19
表 3	非密封放射性物质.....	19
表 4	射线装置.....	20
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	21
表 6	评价依据.....	22
表 7	保护目标与评价标准.....	24
表 8	环境质量现状.....	33
表 9	项目工程分析与源项.....	39
表 10	辐射安全与防护.....	51
表 11	环境影响分析.....	69
表 12	辐射安全管理.....	101
表 13	结论与建议.....	109
表 14	审批.....	113

附图

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 校区平面布置图
- 附图 3 工程训练中心一楼平面图
- 附图 4 工程训练中心二楼平面图
- 附图 5 公路工程实验大楼 A 区一层平面图
- 附图 6 公路工程实验大楼 A 区二层平面图
- 附图 7 工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室布置图
- 附图 8 公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室
- 附图 9 设备一通风管道设计图
- 附图 10 设备二所在 CT 实验室排风扇位置示意图
- 附图 11 设备一设计图
- 附图 12 设备二设计图

附件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 事业单位法人证书
- 附件 3 辐射安全许可证
- 附件 4 辐射安全防护管理小组
- 附件 5 相关制度
- 附件 6 辐射事故应急预案
- 附件 7 监测报告
- 附件 8 培训证明
- 附件 9 个人剂量报告
- 附件 10 职业健康体检报告
- 附件 11 关于本项目年有效剂量约束值的说明
- 附件 12 工作负荷及施工设计情况确认表
- 附件 13 公路工程实验中心 A102 房 CT 实验室装修说明
- 附件 14 原有项目人员配备情况说明
- 附件 15 设备说明书

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目			
建设单位		长沙理工大学			
法人代表	曹一家	联系人	杨豪	联系电话	
注册地址		长沙市天心区赤岭路 45 号			
项目建设地点		长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	1058	建设项目环保投资（万元）	12.2	投资比例（环保投资/总投资）	1.15%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积(m ²)	/
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		/		
	一、建设单位概述				
长沙理工大学是一所以工为主，工、理、管、经、文、法、哲、艺、交叉等多学科协调发展，以本科、研究生教育为主体，具有博士后科研流动站、博士学位授予权和硕士生推免权的多科性大学。学校是全国先进基层党组织、国家“中西部高校基础能力建					

设工程”高校、首批全国“创新创业典型经验高校”50强、湖南省“国内一流大学建设高校”（A类）、湖南省文明标兵单位、湖南省依法治校示范学校。学校现有金盆岭、云塘两个校区，设22个教学院，以及1个独立学院、1个继续教育学院，现有在校生50000余人（含城南学院6600余人），其中硕士、博士研究生9800余人。学校现有专任教师2200余人，其中正高职称300余人，副高职称620余人。

二、项目来由

为满足学校的发展需求，长沙理工大学拟购2台nanoVoxel-4000型高分辨率微焦点断层扫描设备（显微CT设备），设备带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，分别放置在长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼106房内预留CT实验室和公路工程实验大楼A区A102房内预留CT实验室。

主要用于矿石和建筑材料的微观检测（不接收检测放射性样品），样品来自本校科研项目校外其他有需求组织。学校不对样品进行储存，来样人员将样品交由学校，检测完成后将样品和检查结果一并带走。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号），本项目拟新增的2台nanoVoxel-4000型高分辨率微焦点断层扫描系统属于II类射线装置，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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的相关要求，本项目需进行环境影响评价。依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中的规定，本项目属于“五十五、核与辐射-172、核技术利用建设项目—使用II类射线装置”，本项目应编制环境影响报告表。为此，长沙理工大学委托湖南贝可辐射环境科技有限公司对本项目开展环境影响评价工作（见附件1）。我公司接受委托后，成立了工作小组，工作组人员通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成了《长沙理工大学新增2台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目环境影响报告表》。

三、目的与任务

- 1、对辐射活动场所周边进行辐射环境背景水平监测，以掌握辐射活动场所的辐射环境背景水平；
- 2、对辐射活动进行辐射环境影响分析，从而评价职业人员及公众成员在该项目使用过程中可能受到的辐射照射及照射的程度；

3、满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

4、针对该核技术利用项目，提出了具有针对性的辐射安全防护措施和管理措施。

四、项目建设规模

1、项目名称：长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目

2、建设单位：长沙理工大学

3、建设性质：扩建

4、建设地点：长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室

5、建设内容：长沙理工大学拟购 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统，设备带有屏蔽防护铅房，分别放置在长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内预留 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内预留 CT 实验室。属于 II 类射线装置。本次新增射线装置一览表见表 1-1。

表 1-1 本次新增射线装置一览表

装置名称	型号	生产厂家	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	数量	类别	使用位置	产品序列号
高分辨率微焦点断层扫描系统	nanoVoxel-4000	天津三英精密仪器股份有限公司	225	3	1	II	长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室	██████████
高分辨率微焦点断层扫描系统	nanoVoxel-4000	天津三英精密仪器股份有限公司	225	3	1	II	长沙理工大学（云塘校区）公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室	██████████

注：本项目两台设备型号、内置射线源型号均一致，工程训练中心一楼 106 房 CT 实验室设备（以下简称“设备一”）为长沙理工大学土木工程学院设备，主要用作岩土流固耦合多维度变形测试，公路工程实验大楼 A 区 A102 室设备为交通运输工程学院设备（以下简称“设备二”），主要用作微观材料力学加载装置及分析、原位加载体应变分析。根据学院使用要求，2 台设备内部结构与设备外观均有区别。

6、工作人员及工作负荷

(1) 人员配置：本项目拟配置 4 名辐射工作人员，每台设备 2 名辐射工作人员，人

员不混用，工作时其中一人负责待检样品上料、操作平台的操作和评片，另一人负责辅助配合。均为新增辐射工作人员，从学校现有员工中调配，名单暂未确定。建设单位将在本项目正式投入使用前安排该 4 名辐射工作人员进行上岗前职业健康检查、参加辐射安全与防护考核，职业健康检查结果为“可从事放射工作”且取得辐射安全与防护考核成绩合格单方可上岗；在工作人员上岗后为工作人员配置个人剂量计，并定期送检。

本项目两台设备主要用于科研实验使用，由本校科研项目和校外其他有需求组织送样检测，实验室不涉及样品的运输、样品的存放以及检测完成后样品的处理，检测完毕后辐射工作人员将检查完毕样品和实验结果交由来样人员。

(2) 工作负荷：

根据建设单位提供的资料，建设单位每周工作 5 天，全年工作时间为 40 周。两台设备投入使用后，单台设备年检测样品数量不超过 1200 件，单台设备每天最多检测 6 个样品。由于样品种类较多，样品检测出束时间从 5min 至 30min 不等，单个样品最大曝光时间不超过 30min。本项目 2 台设备均按最大出束时间合计，工作负荷详见表 1-2。

表 1-2 工作负荷一览表

设备	单次最大曝光时间	周最大曝光时间	年出束时间
设备一	30min/次	15h/周	600h/年
设备二	30min/次	15h/周	600h/年

(3) 样品情况

本项目主要检测样品有泥岩、红砂岩、尾矿渣、水泥、混凝土、石灰、黏土、粉土、砂土、碎石土、软岩、硬岩、沥青混合料、混凝土等矿石和建筑材料（不接收检测放射性样品），系统通过采集不同角度的 X 射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。样品最大尺寸不超过 200mm×200mm×200mm，重量不超过 20kg，对比设计方案，本项目两台设备样品台载重 50kg，满足使用要求。

7、项目组成情况

根据项目特点，本工程主要由主体工程、公用工程、环保工程三个部分组成。具体项目组成情况见表 1-3。

表 1-3 项目组成情况一览表

类别	项目名称	建设内容及规模	备注
----	------	---------	----

主体工程	设备	2 台设备均为 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统（显微 CT 设备），最大管电压均为 225kV，最大管电流均为 3mA，设备带有屏蔽防护铅房，均属于 II 类射线装置，设备一铅房外尺寸为：3341mm×1565mm×2337mm（长×宽×高），设备二铅房外尺寸为：2390mm×1344mm×1650mm（长×宽×高）。	新购
	设备用房	本项目设备一拟安装在长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 室内使用，预留 CT 实验室尺寸为 6.5m×6.0m×3.50m（长×宽×高）。本项目设备二拟安装在长沙理工大学（云塘校区）公路工程实验大楼 A 区 A102 室内使用，预留 CT 实验室尺寸为 8.76m×6.00m×3.50m（长×宽×高）。	依托
环保工程	有害气体	本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，拟在排风口外侧增加集气罩连接排风管道，通往室外排放。 本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，废气由设备排风口排至 CT 室内，再由 CT 室排风装置排至室外。	新建
	污水处理	本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活污水。	依托
	固体废物	本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活垃圾。	依托
公共工程	供配电系统	依托校区供配电系统，校区用电来源于市政供电。	依托
	给水系统	依托校区给水管网供项目工作人员生活用水。	依托
	排水系统	本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活污水。	依托

五、地理位置和周边保护目标关系

1、项目地理位置

本项目位于长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内预留 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内预留 CT 实验室，长沙理工大学（云塘校区）位于万家丽南路与韶山南路交界处，工程训练中心和公路工程实验大楼均为学校教学实训楼，项目地理位置图见附图 1。

2、工作场所周围环境

校区东侧为韶山南路，南侧为万家丽南路与居民区，西侧为龙盛高科技电子产业基地、湖南师大附中双语树人学校和其他居民区和企业，北侧为环保西路。

校区周围环境周边环境概况见表 1-3 及图 1-1。



图 1-1 长沙理工大学（云塘校区）周围环境示意图

表 1-4 长沙理工大学（云塘校区）周围环境概况

周边环境		与学校方位和距离	
长沙理工大学 （云塘 校区）	韶山南路	东侧	邻近
	万家丽南路与居民区	南侧	邻近
	盛高科技电子产业基地、湖南师大附中双语树人学校和其他居民区和企业	西侧	邻近
	环保西路	北侧	邻近

本项目 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统，带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，拟分别安装于长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内预留 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内预留 CT 实验室。

长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心位于校区西部，为一栋五层建筑，工程训练中心东侧为汀香园（食堂），南侧为拟建运动场，西侧为汽车碰撞实验室，北侧为新能源大楼 3#楼。长沙理工大学（云塘校区）公路工程实验大楼位于校区西南部，为一栋五层建筑，公路工程实验大楼东侧为校内道路，南侧为足尺实验室，西侧为公路工程实

验大楼 B 区，北侧为公路工程实验大楼 C 区。

长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心和公路工程实验大楼周围环境周边环境概况见表 1-4 及图 1-2、1-3。

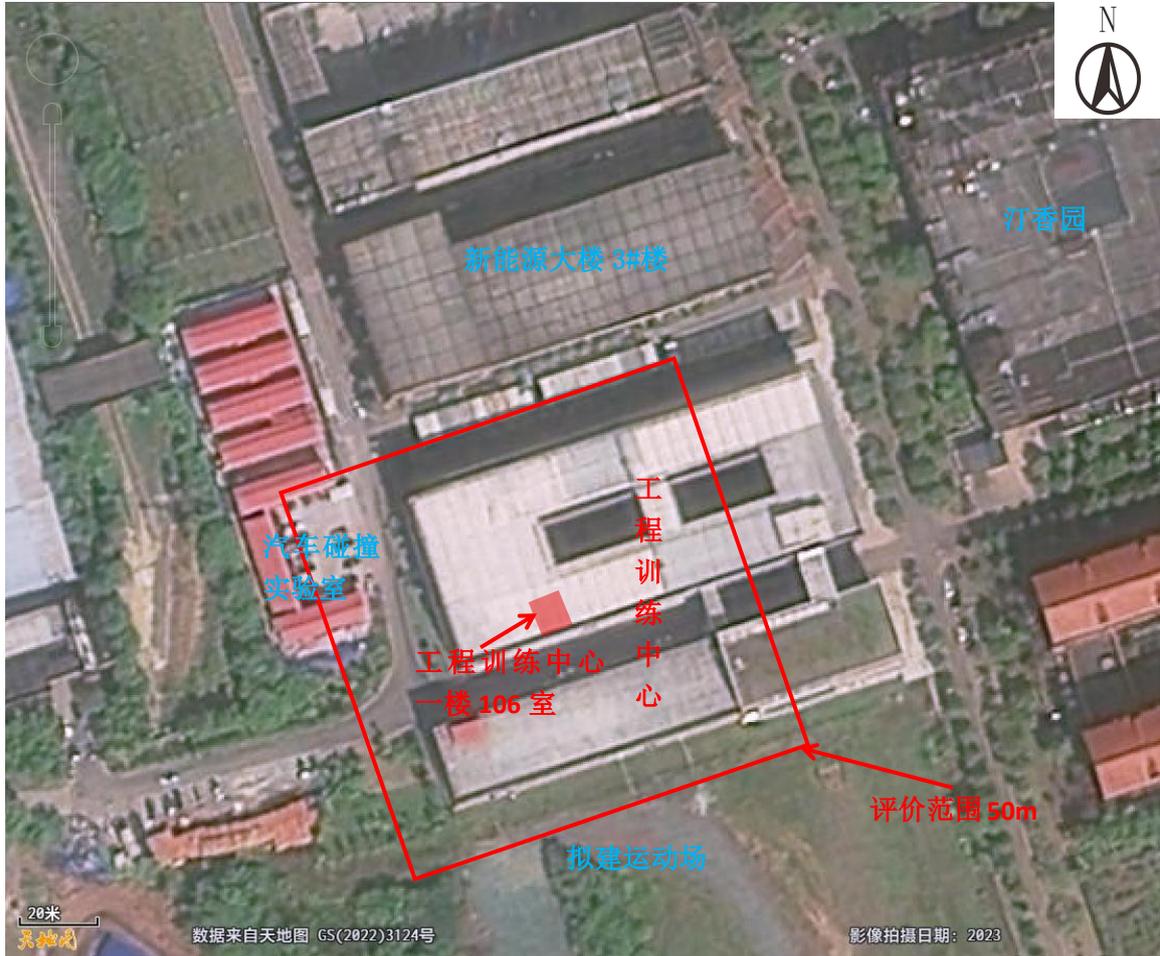


图 1-2 工程训练中心周围环境示意图

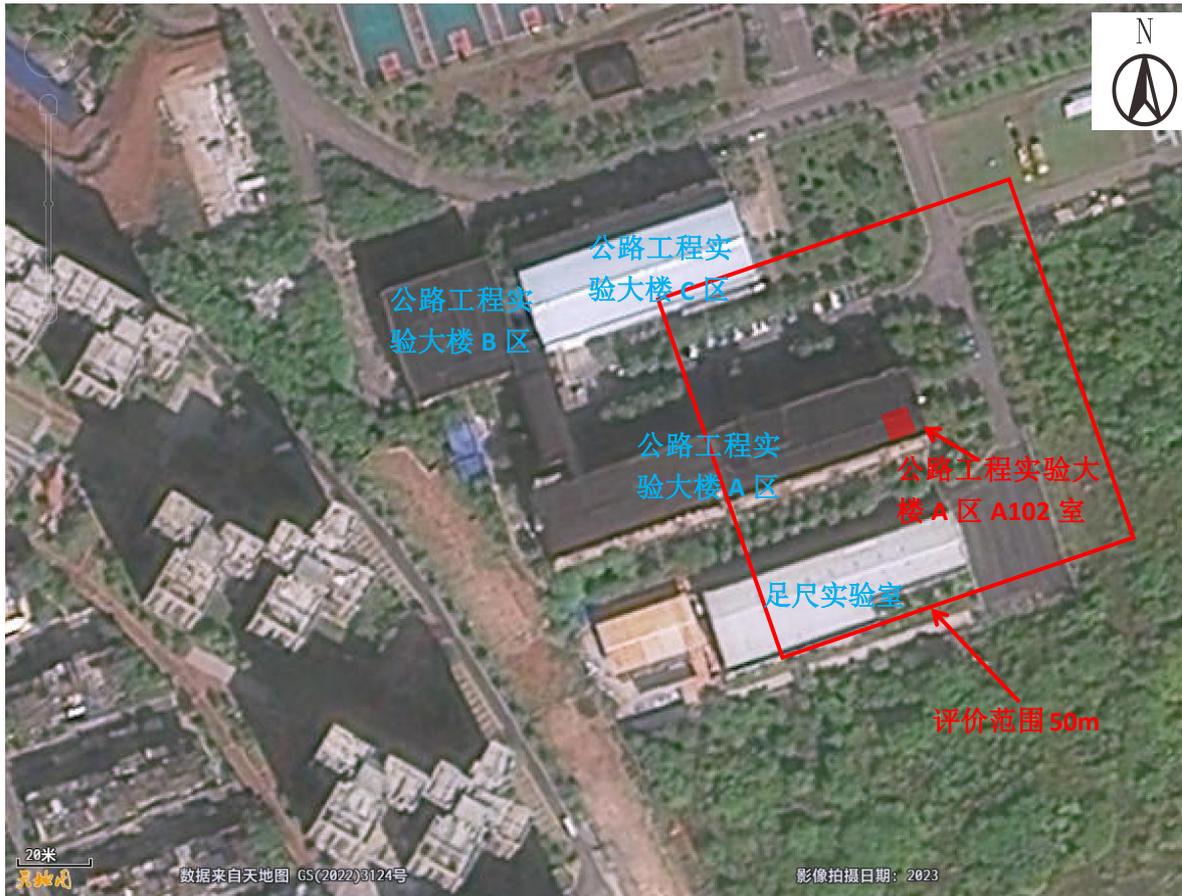


图 1-3 公路工程实验大楼 A 区周围环境示意图

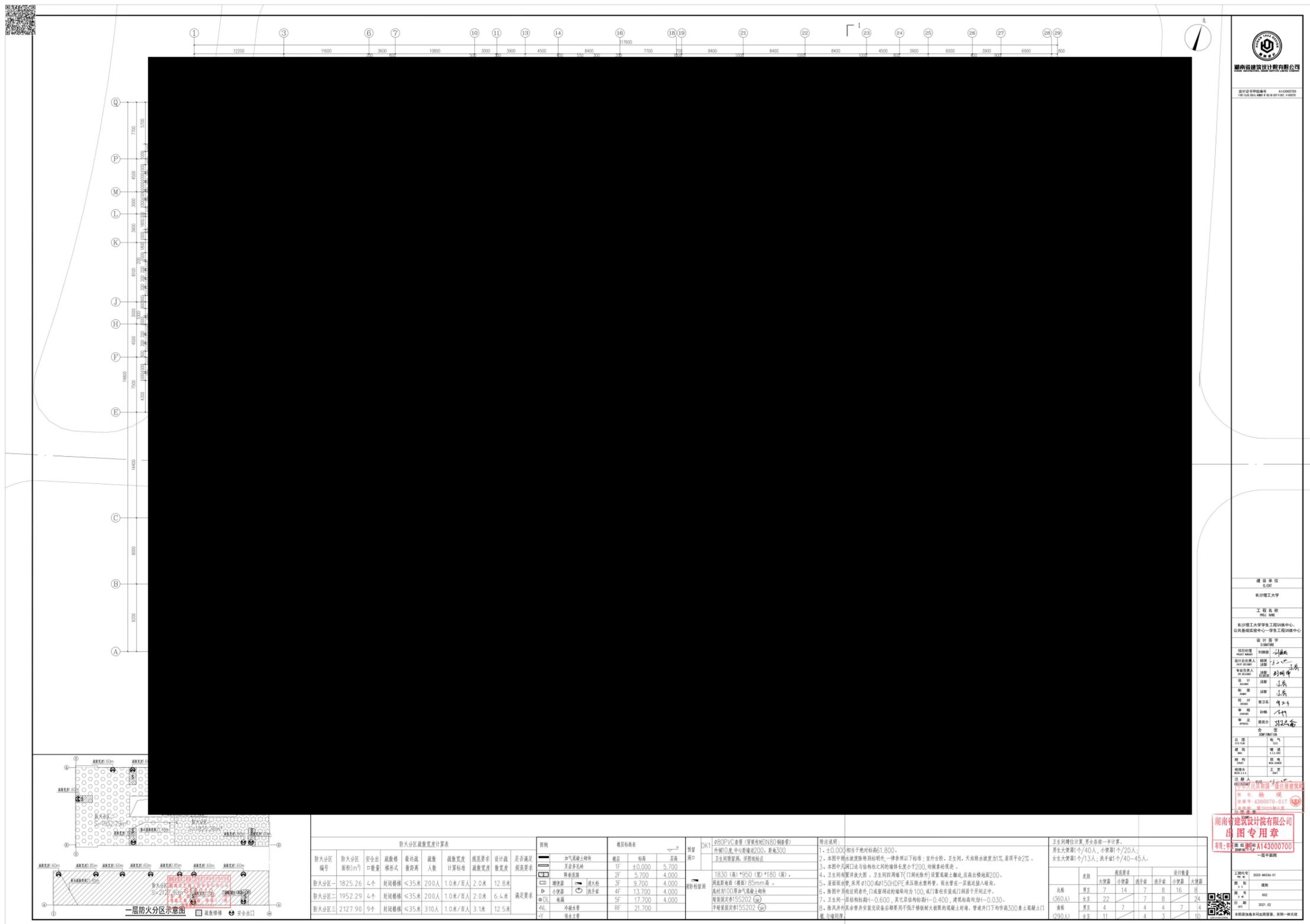
表 1-5 工程训练中心和公路工程实验大楼 A 区周围环境概况

周边环境		方位和距离	
工程训练中心	汀香园（食堂）	东侧	约40m
	拟建运动场	南侧	紧邻
	汽车碰撞实验室	西侧	约20m
	新能源大楼3#楼	北侧	约25m
公路工程实验大楼A区	校内道路	东侧	紧邻
	足尺实验室	南侧	约20m
	公路工程实验大楼B区	西侧	紧邻
	公路工程实验大楼C区	北侧	约35m

工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室东侧 50m 范围主要为核磁共振室和其他训练室或实验室，南侧 50m 范围主要为校内道路、工程训练中心二区训练室和校内拟建运动场，西侧 50m 范围主要为工程训练中心一楼走廊、其他实验室、校内道路和汽车碰撞实验室，北侧 50m 范围主要为 106 房内过道、其他实验室、其他训练室和校内道路。

公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室东侧 50m 范围主要为校内道路，南侧 50m 范围主要为 A102 房内走廊、校内道路和足尺实验室，西侧 50m 范围主要为 A102

房内走廊和 A 区其他实验室和实验操作区，北侧 50m 范围主要为走廊、卫生间、校内道路和公路工程实验大楼 C 区其他实验室。项目所在楼层位置详见图 1-4、1-5，周围环境保护目标详见表 7 相关内容。



防火分区编号	防火分区面积(m ²)	安全出口数量	疏散楼梯形式	疏散楼梯宽度	疏散人数	疏散宽度计算标准	疏散宽度	设计疏散宽度	是否满足疏散要求
防火分区一	1825.26	4个	封闭楼梯	≤35米	200人	1.0米/百人	2.0米	12.8米	满足要求
防火分区二	1952.29	4个	封闭楼梯	≤35米	200人	1.0米/百人	2.0米	6.4米	满足要求
防火分区三	2127.90	9个	封闭楼梯	≤35米	310人	1.0米/百人	3.1米	12.5米	满足要求

图例	规格	数量	备注
加气混凝土砌块	规格	数量	备注
页岩多孔砖	1F	±0.000	5.700
碎米页岩砖	2F	5.700	4.000
门	门框	3F	9.700
门	门框	4F	13.700
门	门框	5F	17.700
门	门框	6F	21.700

做法说明:
 1. ±0.000相当于绝对标高61.800。
 2. 本图中砌体高度除特别说明外,一律参照以下标准:室外台阶、卫生间、天沟等高度为1%坡度,最薄平台2%。
 3. 本图中门洞高度与墙体之间的墙体厚度小于200,均做素砼填充。
 4. 卫生间门洞高度(门洞净高)设置高度±0.000,门洞净高为2100。
 5. 屋面防水做法:采用①100厚C15细石砼(内配双向Φ4钢筋网片)设置高度±0.000,高出屋面结构面200。
 6. 屋面防水做法:采用①100厚C15细石砼(内配双向Φ4钢筋网片)设置高度±0.000,高出屋面结构面200。
 7. 卫生间门洞净高为2100,其他门洞净高为2000,门洞净高为2000,门洞净高为2000。
 8. 防火门门框净高为2100,其他门洞净高为2000,门洞净高为2000,门洞净高为2000。

类别	疏散宽度				设计数量
	疏散门	疏散楼梯	疏散走道	疏散平台	
男	7	14	7	8	26
女	7	14	7	8	26
合计	14	28	14	16	52

湖南省建筑设计院有限公司
 出图专用章
 注册: 湘建注[2014]43000700
 有效期至: 2020-12-31

图 1-4 工程训练中心一楼平面布置图

3、工作场所现状

本项目工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室为建设单位预留用房，目前工程训练中心一楼 106 房已装修完毕，CT 实验室东墙、南墙、西墙为混凝土结构，北墙为玻璃墙。目前设备一已购买进场，但未安装使用，CT 实验室周边照片详见图 1-6。



工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室



CT 实验室南侧道路



CT 实验室北侧过道（106 房内）



CT 实验室东侧核磁共振室（106 房内）

	
<p>CT 实验室西侧走廊</p>	<p>工程训练中心二楼实训室</p>
	
<p>航拍图</p>	

本项目公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室为建设单位预留用房，目前公路工程实验大楼 A 区 A102 房已装修完毕，根据学校提供资料，2008 年公路工程实验大楼改造装修，由于科研合作需求拟采购 X 射线装置相关设备，因此在大楼改造装修的过程中，对预留 X 射线机房的墙体进行了硫酸钡水泥加固，更换了电动防护铅门，并在东墙底部设置了一个排风扇，北侧墙体和西侧墙体上各安装一个监控摄像头，但 2022 年学校才启动招标采购 X 射线装置，即本项目高分辨率微焦点断层扫描系统，设备带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，对实验室墙体没有屏蔽要求。目前设备已放入 A102 房过道上，但未安装使用，CT 实验室周边照片详见图 1-6。



公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT
实验室内



CT 实验室南侧走廊



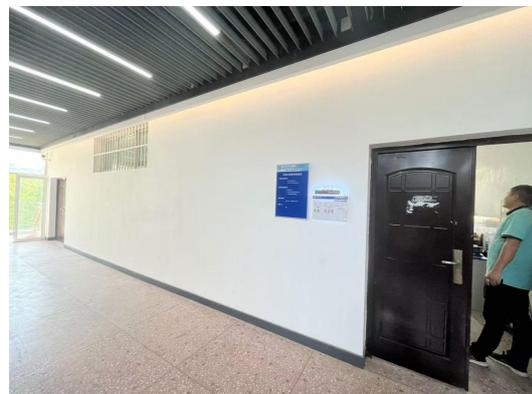
CT 实验室西侧走廊



CT 实验室北侧走廊



CT 实验室东侧空地



公路工程实验大楼 A 区 A202 房



航拍图

六、项目合理性分析

1、选址合理性分析

本项目 2 台设备均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，放置在独立的空间内使用，项目四周 50m 范围内均属于场所理工大学，无居民楼、幼儿园、学生宿舍等环境保护目标分布。本项目 2 台设备属于显微 CT 设备，运行过程中只有在开机时才产生 X 射线，关机断电时不产生 X 射线，不产生放射性三废，设备采用数字成像技术，不需要洗片，不产生废显（定）影液、洗片废水和废胶片等危险废物。根据报告表 11 中机房周围关注点剂量估算结果，本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境的影响较小，因此，本评价认为项目选址是合理的。

2、平面布置合理性分析

本项目设备一，拟放置于工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室西南部，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，有效避开了有用线束方向，设备东侧放置电气控制柜和水冷却器，CT 实验室东北角设置样品待检区和已检区，工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室拟设置门禁，仅辐射工作人员可进入。本项目设备一帶有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，使用场所固定，场所内划分了监督区和控制区，故平面布置合理，工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室平面布置图详见附图 7。

本项目设备二拟放置于公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室西侧中部，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，有效避开了有用线束方向，设备西侧放置电气控制柜和水冷却器，CT 实验室南侧设置样品待检区和已检区，

公路工程实验大楼 A 区 A102 房设置门禁，仅辐射工作人员可进入。本项目设备二带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，使用场所固定，场所内划分了监督区和控制区，故平面布置合理，公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室详见附图 8。

3、产业政策符合性

本项目属于核技术在科研、实验领域内的运用，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》鼓励类“十四、机械 1. 科学仪器和工业仪表：用于辐射、有毒、可燃、易爆、重金属、二恶英等检测分析的仪器仪表，水质、烟气、空气检测仪器，药品、食品、生化检验用高端质谱仪、色谱仪、光谱仪、X 射线仪、核磁共振波谱仪、自动生化检测系统及自动取样系统和样品处理系统，科学研究、智能制造、测试认证用测量精度达到微米以上的多维几何尺寸测量仪器，自动化、智能化、多功能材料力学性能测试仪器，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，用于纳米观察测量的分辨率高于 3.0 纳米的电子显微镜，各工业领域用高端在线检验检测仪器设备”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策，符合国家现行产业发展政策。

4、实践正当性分析和经济损益分析

建设单位拟新增的 2 台设备带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房其防护性能符合国家相关标准，设备采用独特的 X 光光学显微成像技术，利用不同角度的 X 射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。本项目在运行期间产生的电离辐射，有可能会增加显微 CT 实验室周围的辐射水平，采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设能为长沙理工大学创造更大的科研价值，在落实辐射安全与防护管理措施后，其带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

七、原有核技术利用项目情况

1、原有核技术利用项目环保手续情况

根据建设单位提供的资料得知：建设单位现持有长沙市生态环境局颁发的

《辐射安全许可证》，证号为湘环辐证【A0609】，有效期至 2029 年 1 月 31 日，（详见附件 3），许可使用 6 台 III 类射线装置，建设单位现有射线装置情况详见表 1-6。

表 1-6 建设单位现许可射线装置情况一览表

序号	射线装置名称	型号	类别	数量	使用场所	许可情况	环评情况	验收要求
1	数字化 X 射线系统	SONTU530-Sirius	III 类	1	长沙理工大学云塘校区医院放射科：一楼	已许可	备案号：202043010300000079	无验收要求
2	数字化医用 X 射线摄影系统	MultixSelect DR	III 类	1	长沙理工大学医院放射科：一楼	已许可	备案号：202043010300000079	无验收要求
3	动态 DR	i RF 100G	III 类	1	长沙理工大学医院放射科	已许可	备案号：202343010300000072	无验收要求
4	口腔 CT 机	SS-X9010D Pro-3DE	III 类	1	长沙理工大学医院放射科	已许可	备案号：202343010300000072	无验收要求
5	全景机	SS-X9010D Pro-2DE	III 类	1	长沙理工大学云塘校区医院放射科	已许可	备案号：202343010300000072	无验收要求
6	CT	SOMATOM go.UP	III 类	1	长沙理工大学云塘校区医院放射科	已许可	备案号：202343010300000072	无验收要求

2、辐射安全与环境保护领导小组

长沙理工大学成立了由分管实验室管理工作的校领导担任组长的“辐射安全防护管理工作领导小组”（见附件 4），该领导小组由 13 名人员组成，负责建设单位的辐射安全防护管理工作的领导与协调工作。

3、辐射工作人员管理情况

建设单位现有辐射工作人员 2 名（因长沙理工大学医院系长沙理工大学内部医院，且两校区只有一套管理人员。放射科两位工作人员(董新怀和宁雅平)，因平时就诊人员不多，放射科两名医生工作安排为:周一三五在云塘校区医院，周二四在金盆岭校区医院。）该 2 名辐射工作人员均配置了个人剂量计，并定期送检；均进行了职业健康体检，体检结果为可从事放射工作；通过了建设单位自行组织的考核或通过了辐射安全与防护考核且成绩在有效期内。建设单位现有辐射工作人员情况见表 1-6。

5、上一年度年度评估报告结论

建设单位每年委托有资质单位对建设单位辐射工作场所进行了监测，并对射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，根据建设单位 2023 年辐射年度评估报告结论：

- 1、本年度我单位辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作。
- 2、本年度我单位制定和完善了辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。
- 3、本年度我单位辐射工作人员存在变动，目前共有 2 名辐射工作人员。
- 4、本年度我单位委托有资质单位开展了辐射工作场所的辐射环境监测和对辐射工作人员的个人剂量，结果表明均满足国家标准要求。
- 5、本年度我单位未发生辐射事故。
- 6、本年度我单位新增改建了 CT 机房和全景机辐射工作场所。
- 7、本年度我单位对环保部门现场检查提出的整改要求进行了整改落实，在年度评估中对发现的安全隐患及时进行了整改。

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
/	以下空白	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
/	以下空白	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
/	以下空白	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	高分辨率微焦点断层扫描系统	II	1	nanoVoxel-4000	225	3	样品检测	长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室	产品序列号：TS23158
2	高分辨率微焦点断层扫描系统	II	1	nanoVoxel-4000	225	3	样品检测	长沙理工大学（云塘校区）公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室	产品序列号：TS23147
/	以下空白	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	
/	以下空白	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
/	/	以下空白	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要说明,其排放浓度/年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³)和活度(Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年颁布）；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（部令 第 16 号，2020 年 11 月 30 日发布）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修改）》（部令 第 20 号，2021 年 1 月 4 日发布）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日实施）；</p> <p>(9) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日 国家发展改革委令 第 7 号公布，2024 年 2 月 1 日起施行）；</p> <p>(10) 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）；</p> <p>(11) 《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令 第 55 号，2007 年 11 月 1 日起施行）；</p> <p>(12) 《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，2006 年 9 月 26 日起施行）；</p> <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》 （2019 年，生态环境部第 59 号）；</p> <p>(14) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（2021 年，第 9 号）；</p> <p>(15) 《关于印发<核应急管理导则——放射源和辐射技术应用应急 准备与响应>的通知》（科工二司〔2003〕147号）。</p>
------------------	--

<p>技术标准</p>	<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》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）；</p> <p>(5) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及其第 1 号修改单（国卫通[2017]23 号）；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(7) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）；</p> <p>(8) 《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）；</p> <p>(9) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 委托书（见附件 1）；</p> <p>(2) 《辐射防护》（第 11 卷，第 2 期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究，湖南省环境监测中心站，1991 年 3 月）；</p> <p>(3) 《辐射防护技术与第一卷电离辐射防护技术与第一卷》（张丹枫、赵兰才编著）；</p> <p>(4) 建设单位提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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）中第 1.5 评价范围和保护目标章节关于辐射环境评价范围的相关要求，结合本项目特点确定以设备屏蔽防护边界外 50m 范围区域作为本项目辐射环境评价范围，本项目评价范围见图 7-1、图 7-2。

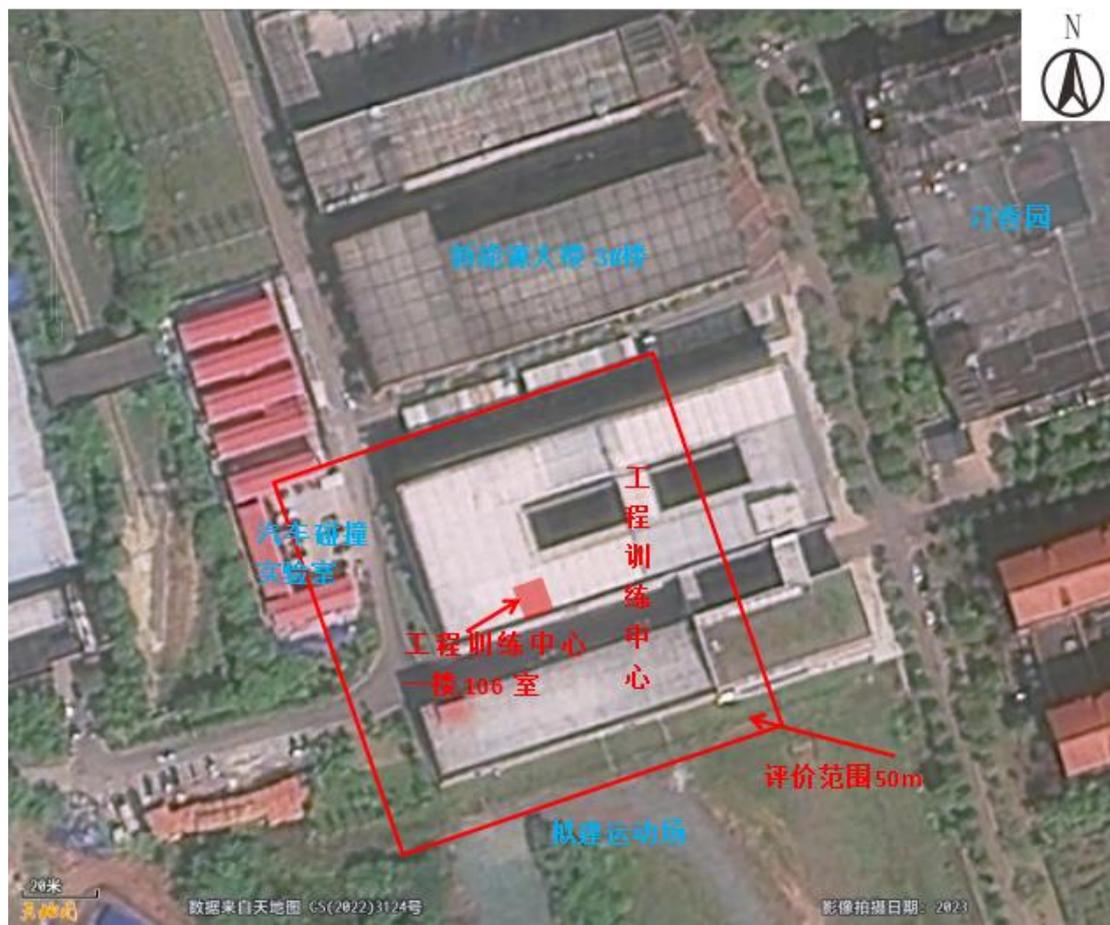


图 7-1 本项目设备一评价范围示意图

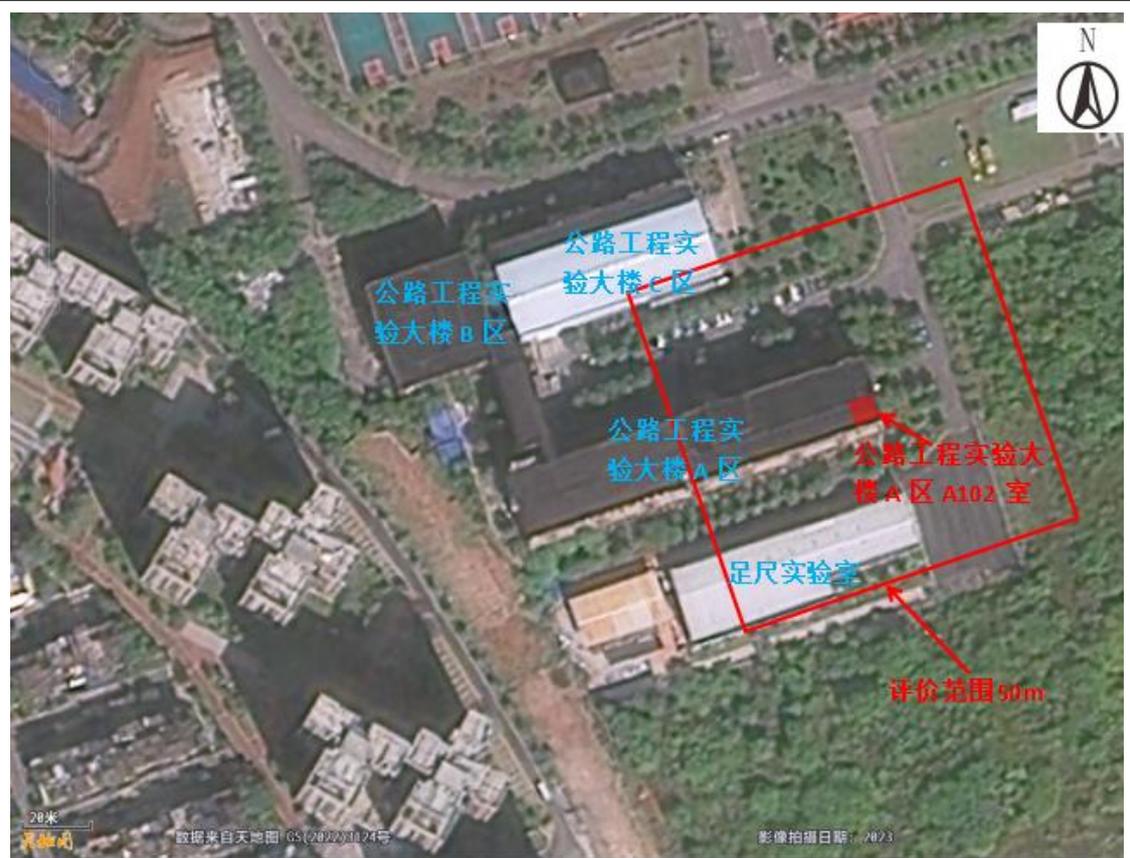


图 7-2 本项目设备二评价范围示意图

7.2 保护目标

本次辐射环境影响评价的环境保护目标为：本项目从事辐射工作的人员以及评价范围内相邻区域的公众。根据本项目射线装置机房布局及外环境特征确定本项目环境保护目标见表 7-1 、表 7-2 所示。

表 7-1 主要环境保护目标

场所名称	方位	保护目标	距离	保护人群	敏感人数(人)
长沙理工大学 (云塘校区) 工程训练中心 106 房内	东侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-约 2m	辐射工作人员	2 人
		工程训练中心一楼 106 房内核磁共振室内其他人员	约 2m-约 10m	公众人员	约 3 人
		工程训练中心一楼其他训练室或实验室内其他人员	约 10m-50m	公众人员	约 100 人
长沙理工大学 (云塘校区) 工程训练中心 106 房内	南侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-约 2m	辐射工作人员	2 人
		校内道路流动人员	约 2m-约 15m	公众人员	若干
		工程训练中心二区训练室内其他人员	约 15m-约 35m	公众人员	约 50 人

CT 实验 室	南侧	校内拟建运动场上流动人员	约 35m-50m	公众人员	若干
	西侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-0.5m	辐射工作人员	2 人
		工程训练中心一楼走廊和其他实验室内其他人员	0.5m-约 15m	公众人员	约 50 人
		校内道路流动人员和汽车碰撞实验室内其他人员	约 15m-50m	公众人员	若干
	北侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-约 3m	辐射工作人员	2 人
		工程训练中心一楼 106 房内过道和其他实验室内其他人员	约 3m-约 6m	公众人员	约 5 人
		工程训练中心一楼其他训练室内其他人员	约 6m-约 40m	公众人员	约 100 人
		校内道路流动人员	约 40m-50m	公众人员	若干
	楼上	工程训练中心二楼实训室内其他人员	紧邻	公众人员	约 30 人
	工程训练中心无负一楼				

表 7-2 主要环境保护目标

场所名称	方位	保护目标	距离	保护人群	敏感人数(人)
长沙理工大学 (云塘校区) 公路工程实验大楼 A 区 A10 2 房 内 CT 实验 室	东侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-约 2m	辐射工作人员	2 人
		校内道路流动人员	约 2m-50m	公众人员	若干
	南侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-约 4m	辐射工作人员	2 人
		公路工程实验大楼 A 区 A102 房内走廊	约 4m-约 6m	设备出束时无人员	
		校内道路流动人员	约 6m-约 26m	公众人员	若干
		足尺实验室内全体人员	约 26m-50m	公众人员	约 20 人
	西侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-1.3m	辐射工作人员	2 人
		公路工程实验大楼 A 区 A102 房内走廊	1.3m-约 5m	设备出束时无人员	
		公路工程实验大楼 A 区其他实验室其他人员	约 5m-50m	公众人员	约 50 人
	北侧	CT 实验室内辐射工作人员	紧邻-约 2.5m	辐射工作人员	2 人

	公路工程实验大楼 A 区走廊和卫生间内其他人员	约 2.5m-约 10m	公众人员	约 20 人
	校内道路流动人员和公路工程实验大楼 C 区其他实验室内其他人员	约 10m-约 50m	公众人员	若干
楼上	公路工程实验大楼 A 区 A202 房内其他人员	紧邻	公众人员	约 10 人
公路工程实验大楼 A 区无负一楼				

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中的安全。

① 剂量限制

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 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）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：a)由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

B1.2 公众照射

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

根据本项目情况，公司设定职业人员年剂量管理目标值为不超过 5mSv，公众人员年剂量管理目标值为不超过 0.1mSv。

(2) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)：

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 600kV 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 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 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/T 9445 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

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 1 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

管电压, kV	漏射线所致周围剂量当量率, mSy/h
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

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) 安全连锁是否正常工作；
- 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 GB 18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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。

6.1.6 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。

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。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

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。

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。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

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。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应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。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门

探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

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。

3、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）：

3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1.1 探伤室墙和入口门外周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周周围剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

a) 周剂量参考控制水平（ H_c ）和导出剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_{c.d}$ ）：

1) 人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c 如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c.d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按式 (1) 计算

$$\dot{H}_{c.d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

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

U ---探伤装置向关注点照射的使用因子；

T ---人员在相应关注点驻留的居留因子；

t ---探伤装置周照射时间，单位为小时每周 ($\text{h}/\text{周}$)。

t 按式 (2) 计算：

$$t = \frac{W}{60 \cdot I} \dots\dots\dots \text{式 (2)}$$

式中：

W ---X 射线探伤的周工作负荷（平均每周 X 射线探伤照射的累积“ $\text{mA} \cdot \text{min}$ ”值）， $\text{mA} \cdot \text{min} / \text{周}$ ；

60---小时与分钟的换算系数；

I ---X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安 (mA)。

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$:

$$\dot{H}_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h}$$

c) 关注点剂量率参考控制水平 \dot{H} 和 b) 中的 $H_{c,max}$ 二者的较小值。

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 当可能存在泄露辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄露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。对于探伤可人员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。

综合上述标准，结合本项目的实际情况，本项目采用的各项标准和指标见表 7-2。

表 7-2 本项目采用的各项标准和指标一览表

项目	内容	相关限值	标准名称
年有效剂量	剂量限值	辐射工作人员	20mSv
		公众成员	1mSv
	本项目年管理剂量目标值	辐射工作人员	5mSv
		公众成员	0.1mSv
X 射线探伤机要求		管电压 $>200\text{kV}$ ，距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率不大于 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$	GBZ117-2022
铅房周围剂量率控制水平		铅房四周外关注点剂量率控制值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	GBZ117-2022

表 8 环境质量现状

一、项目地理位置及场所位置

本项目两套设备均位于位于长沙理工大学（云塘校区），其中一台拟安装于工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室，另一台拟安装于公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室，项目地理位置图详见附图 1，场所位置图详见附图 2。

二、辐射环境现状监测

长沙理工大学委托湖南贝可辐射环境科技有限公司于 2024 年 11 月 11 日对项目所在场所进行了辐射环境本底监测，详见附件 6。

（1）辐射环境现状监测目的：对项目场所及评价区域进行环境 γ 辐射剂量率本底监测，以掌握场址的辐射环境质量现状水平，为现状评价提供基础数据。

（2）环境质量现状评价对象：本项目拟建场址及周围区域辐射环境现状水平。

（3）监测因子及频次

监测时间：2024 年 11 月 11 日。

监测因子：环境 γ 辐射剂量率。

监测频次：1 次。

监测环境气象情况：2024 年 11 月 11 日：环境温度：20℃，环境湿度：70%，天气状况：晴。

监测点位：拟扩建场址、周边，采取探头距地面 1m 高度，每个监测点读取 10 个数据。监测布点见图 8-1 至图 8-4，监测结果见表 8-2。

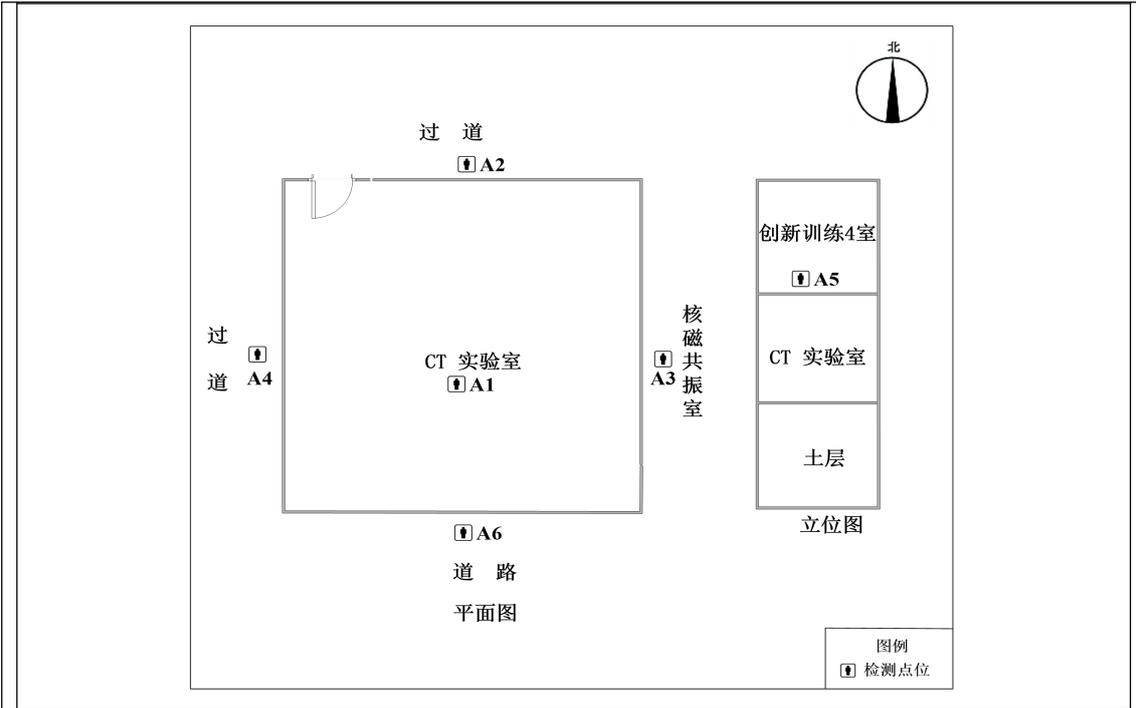


图 8-1 检测点位图

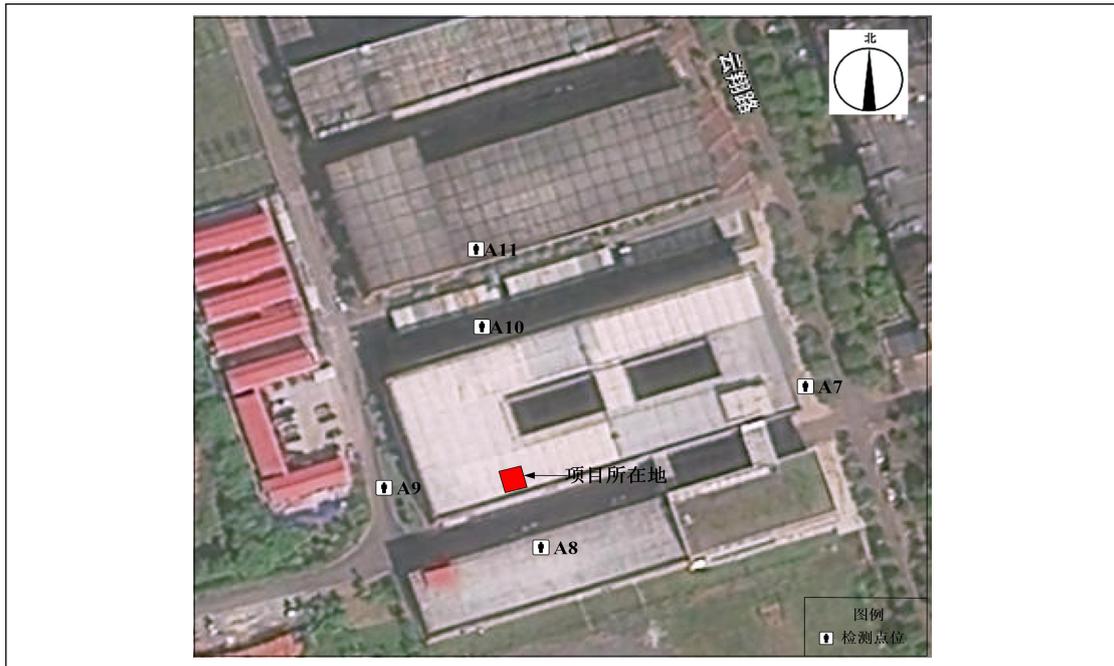


图 8-2 检测点位图

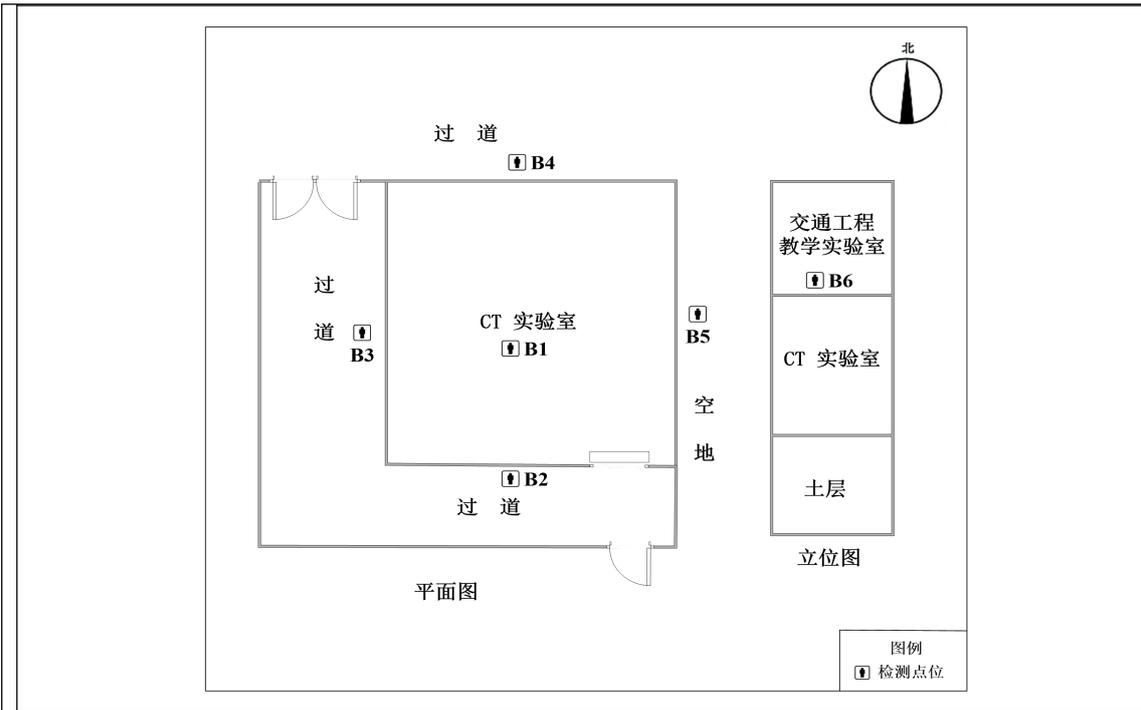


图 8-3 检测点位图

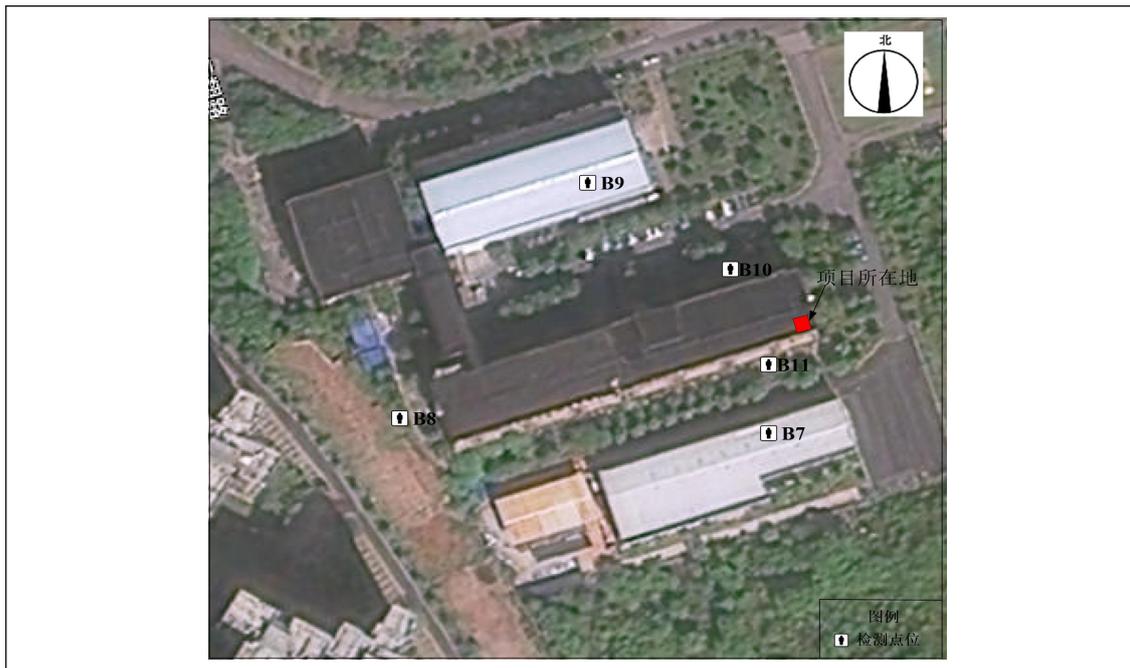


图 8-4 检测点位图



图 8-5 现场检测照片

二、监测方案及质量保证

(1) 监测依据

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

(2) 质量保证

该项目测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，有有效的国家计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。本次监测所使用的仪器情况见表 8-1。

表 8-1 检测所使用的仪器情况

监测时间	2024 年 11 月 11 日
仪器名称	多功能辐射剂量率仪
仪器型号	RJ32-3602 型
生产厂家	上海仁机仪器仪表有限公司
能量响应	20KeV-3.0MeV （相对基本误差： $< \pm 15\%$ ）
量 程	1nGy/h-1.2mGy/h
检定证书	X- γ 剂量率仪型号：RJ32-3602 型 检定证书编号：2024H21-20-5202620001 检定单位：上海市计量测试技术研究院 有效期限：2024 年 4 月 17 日~2025 年 4 月 16 日

三、检测结果及评价

检测数据详见下表 8-2。

表 8-2 辐射环境检测数据一览表

序号	监测点位描述	γ 辐射剂量率 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
A1	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内中间	70	5	楼房
A2	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内北侧过道	69	7	楼房
A3	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内东侧核磁共振室	78	4	楼房
A4	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内西侧过道	67	4	楼房
A5	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内楼上创新训练 4 室	89	9	楼房
A6	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内南侧道路	69	5	室外道路
A7	工程训练中心东侧道路	55	6	室外道路
A8	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室内南侧工程训练中心二区训练室内	61	5	楼房
A9	工程训练中心西侧空地	63	5	室外空地
A10	工程训练中心北侧道路	73	7	室外道路
A11	工程训练中心北侧新能源大楼 3#楼内	68	7	楼房
B1	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室内中间	65	5	楼房
B2	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室内南侧过道	88	7	楼房
B3	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室内西侧过道	80	3	楼房
B4	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室内北侧过道	81	4	楼房
B5	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室内东侧空地	85	5	室外空地
B6	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室内楼上交通工程教学实验室	65	4	楼房
B7	公路工程实验大楼 A 区南侧足尺实验室内	66	5	平房
B8	公路工程实验大楼 A 区西侧道路	87	6	室外道路
B9	公路工程实验大楼西北侧公路工程实验大楼 C 区内	68	4	平房
B10	公路工程实验大楼 A 区北侧道路	82	6	室外道路
B11	公路工程实验大楼南侧道路	71	6	室外道路

备注：1、依据 HJ1157-2021：监测结果 $\dot{D}_\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times \dot{D}_c$ ； \dot{D}_γ 测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值，Gy/h； k_1 —仪器检定/校准因子； k_2 —仪器检验源效率因子； R_γ —仪器测量读数均值； k_3 —建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子； \dot{D}_c —测点处宇宙射线响应值；

2、本次检测仪器校准因子为 0.86，效率因子取 1，屏蔽修正因子楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；

3、仪器对宇宙射线的响应通过以下方式获得：在湖南省郴州市东江湖（东经 E：113.41，北纬 N：25.90，海拔高度：274m，水深大于 3m，距岸边大于 1km）使用辐射检测仪进行宇宙射线响应检测，水面上仪器 10 次读数的平均值经校准后为 14.81nGy/h。本次长沙理工大学监测点 A：（东经 E：113.00，N：28.06 海拔高度：58m）本次长沙理工大学监测点 B：（东经 E：113.01，N：28.06 海拔高度：72m），根据 HJ61-2021 附录 D 修正公式（D1）得出仪器在本项目所在地对宇宙射线的响应值为 14.44nGy/h；

4、以上所测环境 γ 辐射剂量率均已扣除宇宙射线的响应值。

8.4 环境现状调查结果评价

根据监测结果可知，本项目工作场所环境 γ 辐射剂量率室内在 61-89nGy/h、室外道路在 55-87nGy/h 之间（四处室外空地按室外道路考虑），根据《辐射防护》（第 11 卷，第 2 期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究，湖南省环境监测中心站，1991 年 3 月）中长沙市 γ 辐射剂量率数据见表 8-3。

表 8-3 长沙市 γ 辐射剂量率（单位：nGy/h）

监测项目	原野	道路	室内
范围	32.9~117.3	34.6~103.6	60.4~154.1

根据《辐射防护》（第 11 卷，第 2 期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究，湖南省环境监测中心站，1991 年 3 月）相关内容，引用监测数据已扣除宇宙射线响应

对比上表可知:本次两台设备铅房及其周围区域天然贯穿辐射水平在长沙市天然贯穿辐射水平范围内，项目建设地址辐射环境质量现状良好。

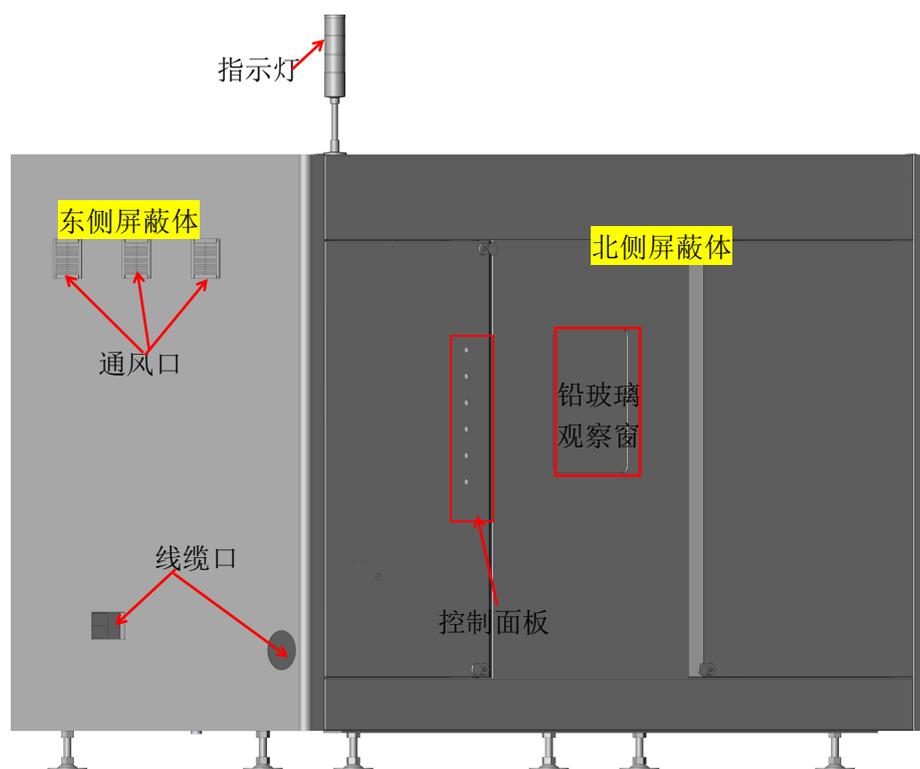
表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、设备组成和工作方式

长沙理工大学拟在工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室分别安装使用一台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统（显微 CT 设备），两台设备型号、内置射线源型号均一致，但本项目设备一为长沙理工大学土木工程学院泥岩、红砂岩、尾矿渣、水泥、混凝土、石灰等岩土材料的微观检测，设备二为长沙理工大学交通运输工程学院岩土体（黏土、粉土、砂土、碎石土、软岩、硬岩）、沥青混合料等建筑材料的微观检测，因样品检测需求不同，因此设备内部结构与设备外观不一致。

两台设备主要由 X 射线源、X 射线成像探测器、样品台、运动系统、图像采集系统、三维图像重建和处理系统、冷却系统和电气柜等组成，两台设备除运动系统和设备外观有区别外，其余 X 射线源、X 射线成像探测器、图像采集系统、三维图像重建和处理系统等完全一致。设备一冷却系统和电气柜放置在设备东侧，设备二冷却系统和电气柜放置在设备西侧。设备一外观结构图如图 9-1 所示、设备二外观结构图如图 9-2 所示。



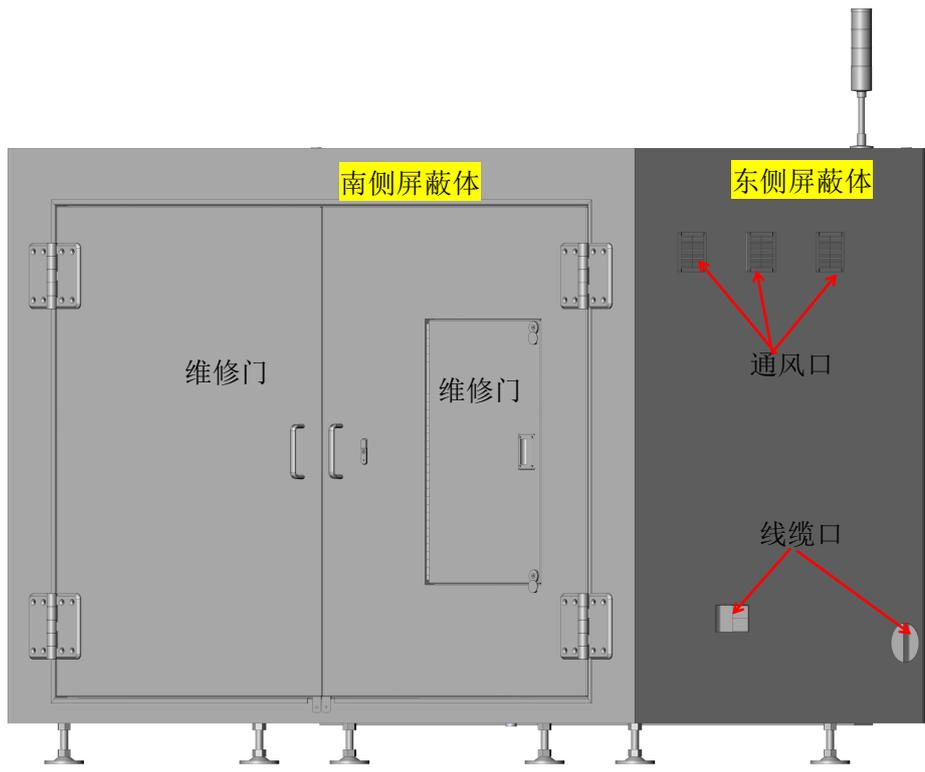
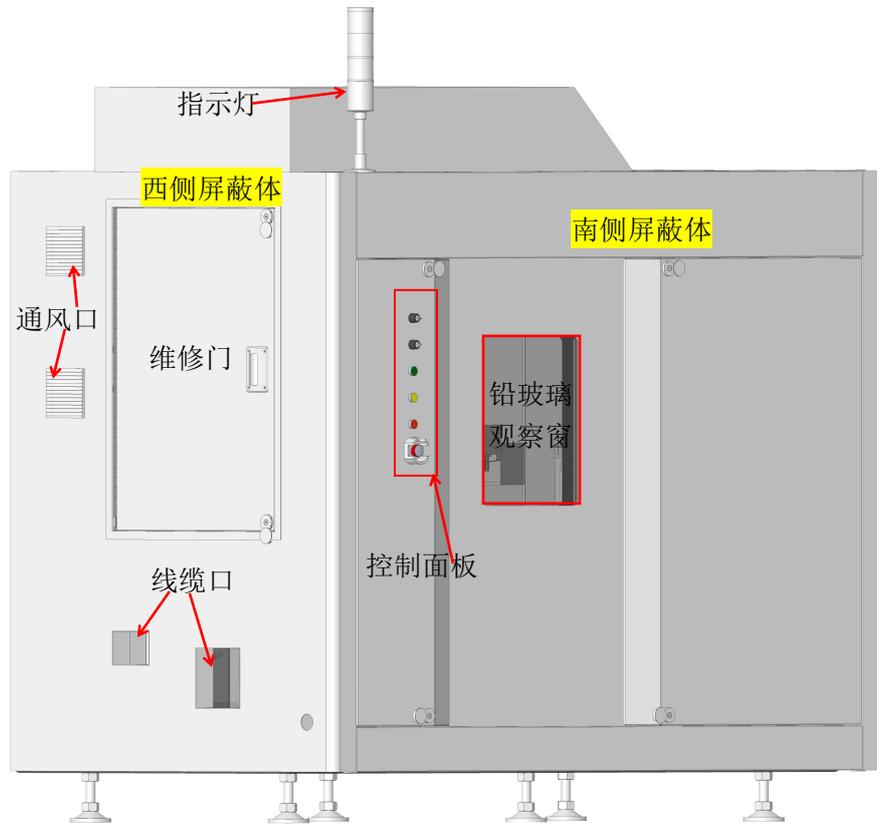


图 9-1 设备一外观结构图



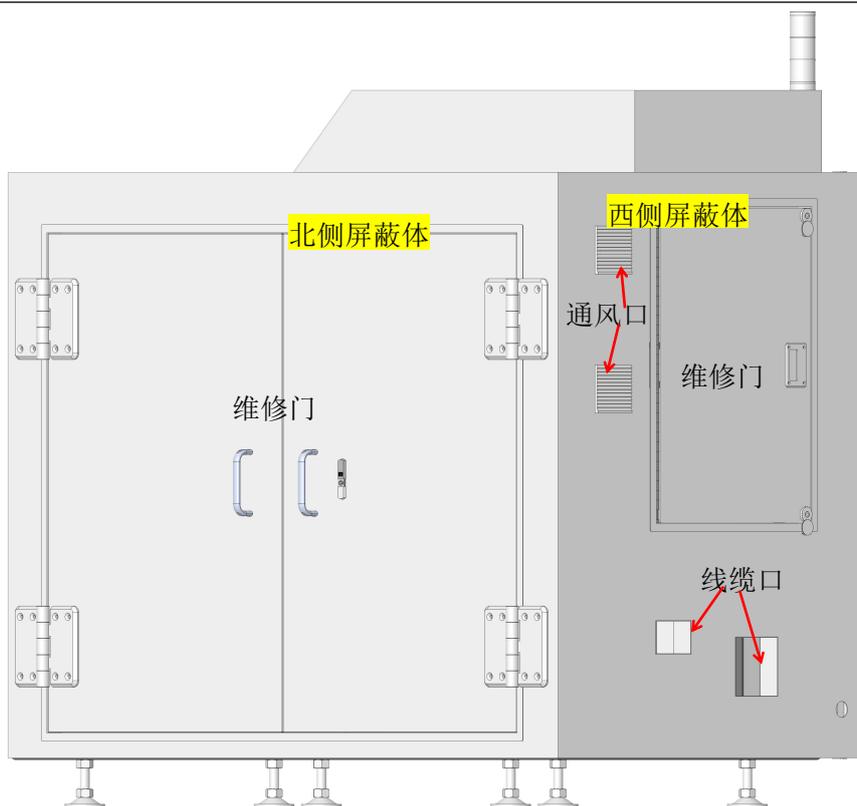


图 9-2 设备二外观结构图

1、X 射线源

本项目 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统配备的射线源均为 225KV 射线源配置如下：

表 9-1 射线源配置

射线源	微焦点射线源
管电压范围	20-225KV
最大管电流	3mA

2、探测器

本项目 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统配备非晶硅探测器，探测器有效像素数量：3072×3072；有效成像面积：430mm×430mm；探测器位数：16bit，像素尺寸≤150 μm。

3、图像采集系统

数据采集软件为 NanoVoxel Scan 可实现三种数据采集功能：实时动态图像采集、DR 图像采集和 CT 图像采集。

实时动态扫描模式用于实时观测样品位置以及形态；通过 DR 图像采集模式

可以得到单帧图像;采集 CT 图像时使用大视野探测器采集可以全视野检测样品。

4、三维图像重建和处理系统

数据重建过程，将数据采集中获得的二维图像信息重建为三维体数据的过程。利用重建软件 VoxelStudio Recon 进行数据重建的步骤及图像处理。重建软件设有图像处理功能，分为两部分分别为对重建后数据进行处理以及对原始采集图像进行处理。软件提供以下处理方法：图像去噪、图像增强、快速处理、图像滤波及图像分割。

5、运动系统

(一) 设备一

本项目设备一内部设有两根立柱，射线源在东侧立柱上（面对防护门以人分左右），平板探测器在西侧立柱上，探测器始终正对射线源，样品台（转台）位于射线源与平板探测器之间。射线源始终位于东侧立柱上，可随立柱上轨道上下移动（行程 600mm），不可前后左右移动。平板探测器位于西侧立柱上，可随立柱上轨道上下移动（行程 600mm），探测器所在立柱可沿底部轨道左右移动（行程 400mm），探测器可前后移动（行程 300mm）。样品台可随射线源与平板探测器之间轨道前后左右移动，并 360° 旋转，前后移动行程 250mm，左右移动行程 800mm，样品台中心点距离射线管头最近距离 34mm，设备一运动方式见图 9-3 所示。

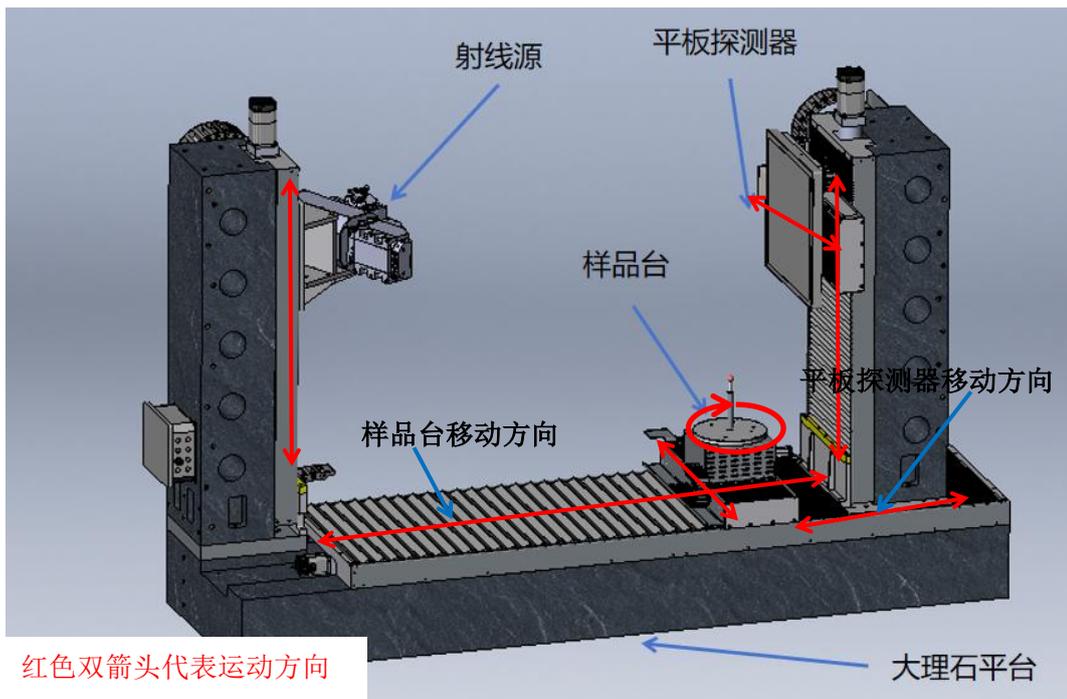


图 9-3 设备一运动方式示意图

(二) 设备二

本项目设备二内部设有两根立柱，射线源在西侧立柱上（面对防护门以人分左右），平板探测器在东侧立柱上，探测器始终正对射线源，样品台（转台）位于射线源与平板探测器之间。射线源始终固定在西侧立柱上，不可前后左右上下移动，或偏转。平板探测器位于东侧立柱上，可前后移动（范围 250mm），探测器所在立柱可朝射线源方向左右移动（行程 800mm）。样品台可前后左右上下移动，并 360° 旋转，前后移动行程 450mm，左右移动行程 800mm，上下移动行程 450mm，设备二运动方式见图 9-4 所示。

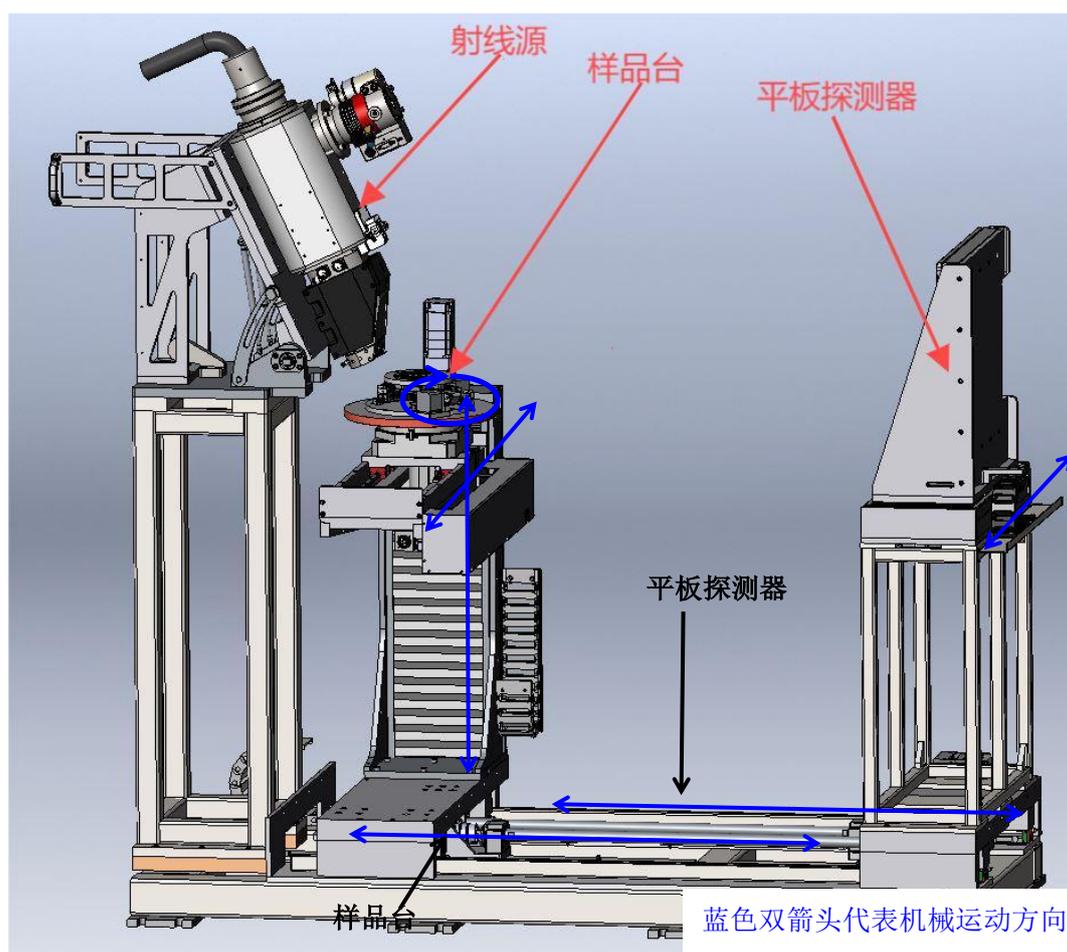


图 9-4 设备二运动方式示意图

本项目 2 台设备基本参数见表 9-1。

表 9-1 设备基本参数一览表

指标或项目	参数或说明		来源
设备序列号	设备一	设备二	天津三英精密仪器股份有限公司提
	TS23158	TS23147	
设备型号	nanoVoxel-4000 型	nanoVoxel-4000 型	

铅房外形尺寸	3341mm×1565mm× 2337mm	2390mm×1344mm× 2217mm	供的资料
铅房内尺寸	3175mm×1175mm× 2011mm	2245mm×1010mm× 1650mm	
类别	II类射线装置	II类射线装置	
最大管电压	225kV	225kV	
最大管电流	3mA	3mA	
主射方向	水平向右	水平向右	
滤过条件	3mm 铝	3mm 铝	
有用线束角度	40°	40°	
最大穿透厚度	29mm 钢	29mm 钢	
焦点尺寸	4 μm	4 μm	

由于《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.1 中未给出 225kV 电压下对应的输出量，本评价保守选取 250kV 电压、3mm 铝滤过条件下对应的输出量为 $13.9\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

二、工作原理

①X 射线装置工作原理

X 射线的产生是利用 X 射线管中高速电子去撞击阳极靶，从而产生 X 射线。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来。聚焦杯的作用是使这些电子聚焦成束，直接向阳极中的靶体射去。高压加在 X 射线管两极之间，使电子在射到靶体之前被加速到很高的速度。靶体一般用高原子序数的难熔金属，如钨或铂等制成。当电子到达靶原子核附近时，在原子核库仑场的作用下，运动突然受阻，其能量以电磁波(X 射线)的形式释放。为减少无用的低能光子的照射，常用适当厚度的过滤片把低能光子滤掉。X 射线管示意图如图 9-5。

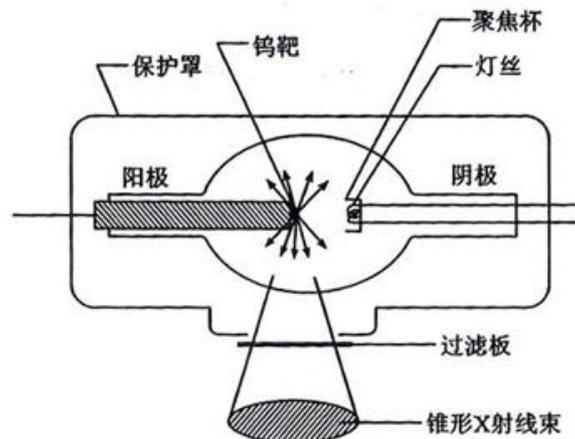


图 9-5 X 射线管结构示意图

从 X 射线管阴极上产生射向金属靶上的电子形成的电流叫做管电流，加在 X 射线管两极上的高压即为管电压。X 射线机产生的 X 射线强度正比于靶物质的原子序数、电子流强度和管电压的平方。所以，X 射线机的管电压、管电流和阳极靶物质是影响 X 射线强度的直接因素。虽然电子轰击靶体时所有方向都发射 X 射线，但当加速电压低于 400kV 时，有用的锥形 X 射线束都是在电子射束大致垂直的方向上通过 X 射线管保护罩上的薄窗口引出来，其他方向发射的 X 射线则被保护罩的铅屏蔽层屏蔽掉。

②显微 CT 的工作原理

本项目 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统属于无损伤三维全息显微成像设备。CT (Computed Tomography)，即计算机断层扫描，是计算机控制、X 线成像、电子机械技术和数学相结合的产物。显微 CT (micro computed tomography)，又称微型 CT，是一种非破坏性的 3D 成像技术，可以在不破坏样本的情况下清楚了解样本的内部显微结构。它与普通临床的 CT 最大的差别在于分辨率极高，可以达到微米 (μm) 级别，显微 CT 可用于医学、药理学、生物、考古、材料、电子、地质学等领域的研究。

CT 成像的原理是当 X 射线透过样本时，样本的各个部位对 X 射线的吸收率不同。X 射线源发射 X 射线，穿透样本，最终在 X 射线检测器上成像。对样本进行 180° 以上的不同角度成像。通过计算机软件，将每个角度的图像进行重构，还原成在电脑中可分析的 3D 图像。通过软件观察样本内部的各个截面的信息；对样本感兴趣部分进行 2D 和 3D 分析；还可以制作直观的 3D 动画等。

显微 CT 成像的原理是采用微焦点 X 线球管对样品各个部位的层面进行扫描投射，由探测器接受透过该层面的 X 射线，转变为可见光后，再由光电转换器转变为电信号，最后经模拟/数字转换器转为数字信号，输入计算机进行成像。显微 CT 能够提供几何和结构 2 类基本信息，几何信息包括样品的尺寸、体积和各点的空间坐标，结构信息包括样品的衰减系数、密度和多孔性等材料学信息。

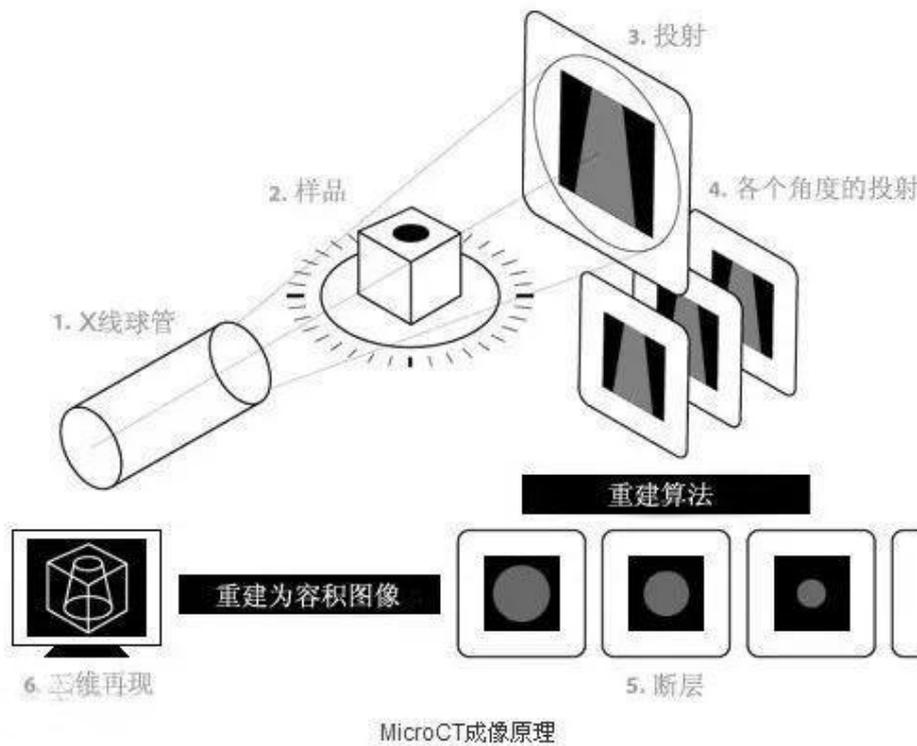


图 9-6 显微 CT 工作原理示意图

三、工作流程

本项目 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统各配置 2 名工作人员，工作时其中一人负责待检样品上料、操作平台的操作和评片，另一人负责辅助配合，X 射线出束期间，防护门不能开启。检测完成后数据上传至操作平台显示器上进行评片。本项目工作流程如下：

(1) 开机

- ① 将仪器电源插入插座，确保电源接触良好，仪器供电正常；
- ② 旋转设备总开关到“ON”，然后按下启动开关绿灯常亮，仪器上电；
- ③ 旋动射线源控制旋钮到“开机”，按下使能开关，射线源上电；
- ④ 打开前端机工作站，打开扫描软件 NanoVoxel Scan 进入软件操作界面。

弹出仪器自检对话框，点击“一键自检”按钮，仪器开始自检功能，其中包括射线源连接检测、探测器连接检测、控制器连接检测、控制器回零、射线源预热（需要用 Worx 原厂软件预热）、自检完成表明设备各部件与前端机完成通讯，可以正常工作；

(2) 样品安装

- ① 观察待测样品，选取适合该样品的样品夹持器；
- ② 将样品固定在选择好的样品夹持器上，打开仪器前防护门，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；
- ③ 关闭仪器前防护门，确认仪器前后防护门均关闭后，按动操作台上防护门关闭确定按钮，射线源状态变为“STAND BY”。

(3) 扫描参数设置

- ① 探测器控制界面包括四个设置内容：探测器类型、曝光时间、图像合并数以及像素合并数。
- ② 在软件界面右边栏的“射线源”功能区，可对射线源电压以及电流进行设置。
- ③ 在软件界面“机械”功能区用于选择需要控制的电机。选中选项卡可以对响应的电机进行控制，对射线源、平板探测器、样品台进行位置调整，运动方式详见图 9-3、图 9-4。

(4) 图像采集

工作人员启动扫描后，显示系统显示样品图像。扫描结束后，显示系统显示扫描的最后一帧图像。扫描完成后，工作人员取出样品及样品夹持器。

(5) 数据重建与处理

根据图像采集中获得的二维图像信息利用重建软件 VoxelStudio Recon 进行数据重建及图像处理，将二维图像信息重建为三维体数据。

(6) 关机

样品检测完成后，本仪器的关机步骤分为以下 4 步，关机时请严格按照关机步骤执行：

- ① 确定样品扫描结束，射线源处于未发射 X 射线状态，即射线发射指示灯处于关闭状态；
- ② 关闭扫描软件，样品台、探测器回归初始位置；
- ③ 依次关闭电源控制面板各模块电源开关；
- ④ 旋转总电源开关到“OFF”，关机断电；

(7) 评片

关机完成后工作人员在操作平台上进行评片，评片完成后关闭操作平台。

检测工序及产污流程如图 9-7 所示。

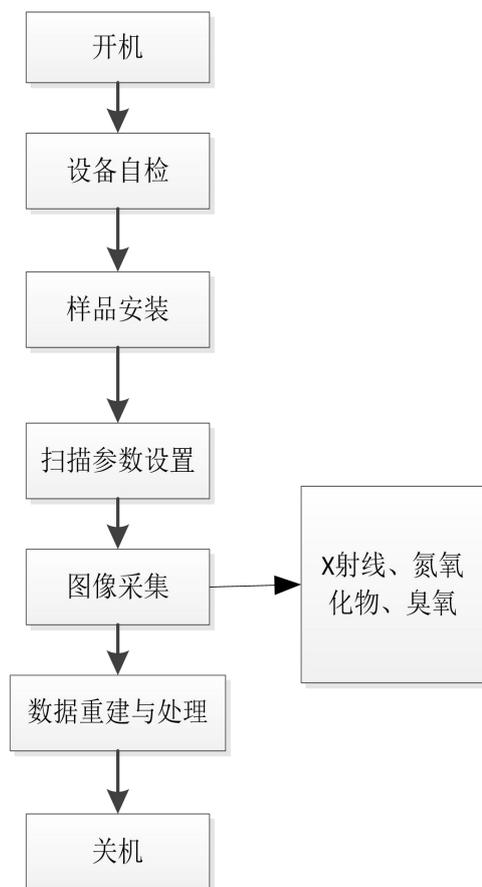


图 9-7 工艺流程简图

四、污染因子

项目污染因子主要为X射线装置工作时产生的X射线,同时产生少量的臭氧、氮氧化物。

污染源项描述:

一、建设期间污染源项分析

本项目新增的 2 台设备均为成品设备且带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，设备对使用场所无屏蔽要求，安装于预留房间内，建设期不涉及土建施工，故项目建设期为设备的安装和调试期，安装过程中产生的污染物主要为设备安装噪声、废弃包装等固体废物；调试过程中产生的污染因子为 X 射线以及少量的臭氧和氮氧化物。

(1) 噪声

本项目施工期噪声主要来自设备安装。噪声值较小，且随着设备安装施工的结束而结束。

(2) 废水

施工期污水主要来自施工人员的生活污水。

(3) 固体废弃物

施工期产生的固体废弃物有生活垃圾和废弃包装。

(4) 调试期间 X 射线及有害气体

调试期间，X 射线是污染环境的主要因子，同时 X 射线与空气作用，会产生少量的臭氧和氮氧化物。

二、运行期间正常工况下污染源分析

根据工艺流程可知，本项目运行过程中主要污染因子为 X 射线、少量的臭氧和氮氧化物；设备采用数字成像技术，不需要洗片，不产生废显（定）影液、洗片废水和废胶片等危险废物；工作人员产生过程中产生少量办公垃圾、生活垃圾、生活污水等污染物。

1、辐射

由本项目设备的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关产生和消失。本项目使用的高分辨率微焦点断层扫描系统只有在开机并处于出线状态时（曝光状态）才会发出 X 射线。X 射线具有较强的穿透性，高分辨率微焦点断层扫描系统在对样品进行照射的工况下，X 射线通过主射、漏射、散射对作业场所及周围环境产生辐射影响。

2、废气

项目运行过程中 X 射线使部分空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，拟在排风口外侧增加集气罩排风管道，通往室外排放。

本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，设备产生的废气通过排风口直接排入 CT 室内，再由 CT 室东墙现有排风扇排除室外。

3、生活污水

本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活污水。

4、固体废物

本项目采用数字成像技术，不需要洗片，不产生废显（定）影液、洗片废水和废胶片等危险废物，项目主要固体废物为达到使用寿命后的 X 射线管和工作人员生活垃圾；X 射线管达到使用寿命后，将返回原厂家更换，设备达到使用寿命后，将按要求对设备进行报废处理；本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活垃圾。

三、运行期事故工况下污染源分析

（1）工作人员使用设备时，防护门安全联锁发生故障，在防护门未关闭到位的情况下射线发生器仍能出束，X 射线泄露使工作人员受到不必要的照射；

（2）设备检修时，未按照正确的流程操作导致意外开启 X 射线发生器，使检修人员受到意外照射；

（3）检测过程中，在样品随样品台转动过程中，发生意外倾倒卡住移动轨道时，操作不当造成工作人员意外照射。

表 10 辐射安全与防护

一、辐射工作场所布局、分区

1、辐射工作场所布局

本项目设备一带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，拟放置于工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室西南部，样品进出防护门朝北，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，有效避开了有用线束方向，设备东侧放置电气控制柜和水冷却器，CT 实验室东北角设置样品待检区和已检区，工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室拟设置门禁，仅辐射工作人员可进入。

本项目设备二带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，拟放置于公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室西侧中部，样品进出防护门朝南，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，有效避开了有用线束方向，设备西侧放置电气控制柜和水冷却器，CT 实验室南侧设置样品待检区和已检区，公路工程实验大楼 A 区 A102 房设置门禁，仅辐射工作人员可进入。

2、辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所依据管理的需要，可分为控制区、监督区。其划分原则如下：

（1）控制区：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和防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

（2）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。

结合辐射工作场所控制区、监督区划分原则，本项目将 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统屏蔽防护铅房内划为控制区，并在屏蔽防护外设置电离辐射警告标志及中文警示说明，以设备自带辐射安全连锁和警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。2 间 CT 实验室内除 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统屏蔽防护铅房的区域设为监督区，在该区内需要对职业照射条件进行监督和评价。

表 10-1 本项目控制区、监督区划分

工作场所	控制区	监督区
------	-----	-----

工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室	nanoVoxel-4000 型高分辨率微 焦点断层扫描系统屏蔽防护铅 房内区域	CT 实验室内除 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系 统屏蔽防护铅房的区域
公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验 室	nanoVoxel-4000 型高分辨率微 焦点断层扫描系统屏蔽防护铅 房内区域	CT 实验室内除 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系 统屏蔽防护铅房的区域



图 10-1 本项目设备—控制区和监督区划分图

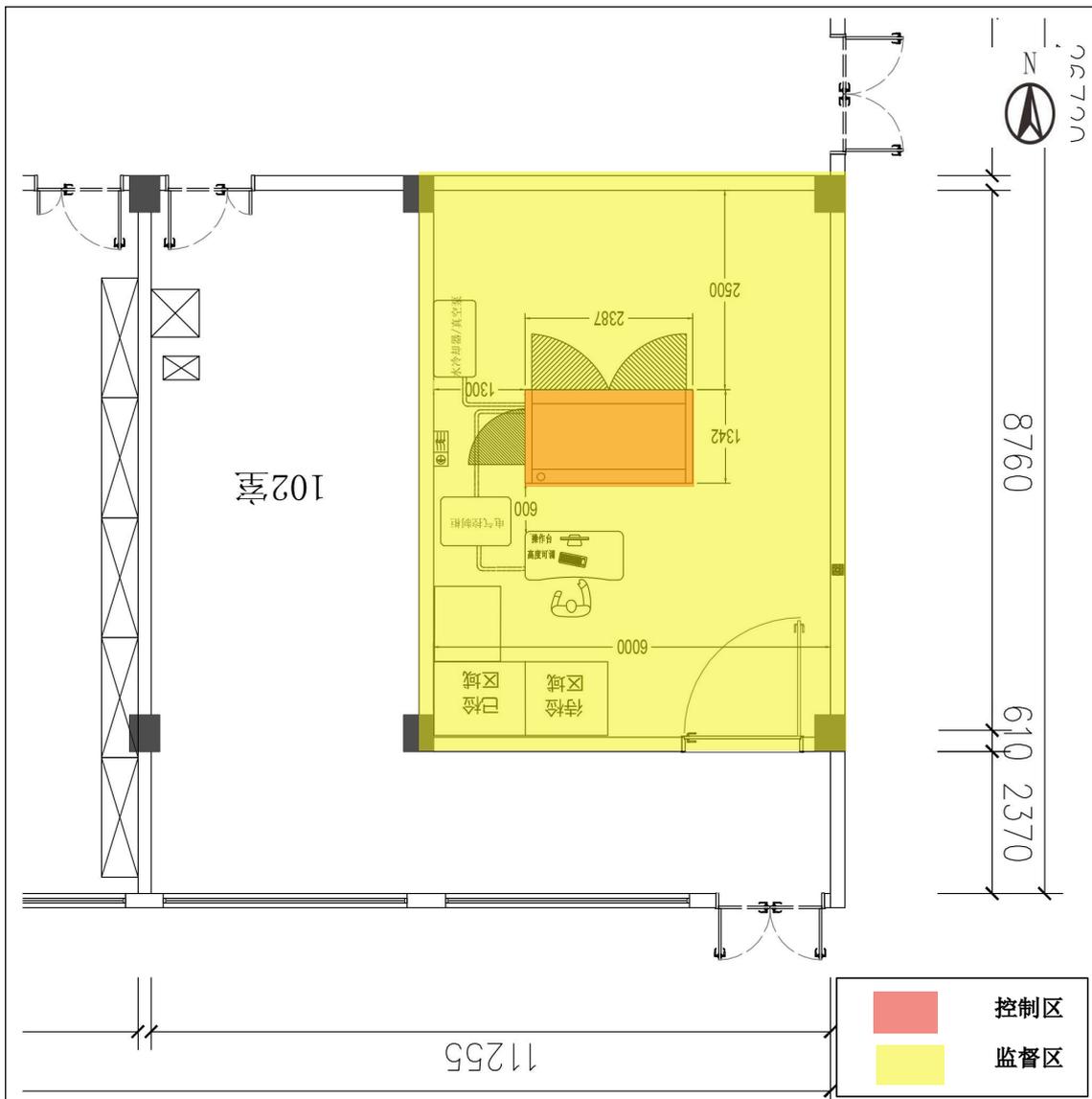


图 10-2 本项目设备二控制区和监督区划分图

二、辐射安全与防护措施

1、辐射屏蔽设计

本项目 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，屏蔽防护由钢材和铅板构成。设备一北侧防护体中部位置设置一扇电动防护门（含 70mm 铅玻璃窗），开门时电动门向西侧平移，南侧防护体设置手动平开维修门（维修门向外开启），东侧防护体上侧设有三个排风口、下侧设有两个线缆口，西侧防护门上无孔洞。设备二南侧防护体设置一扇电动防护门（含 45mm 铅玻璃），开门时电动门向东侧平移，北侧墙体防护体设置一扇手动平开维修门（维修门向外开启），东侧防护体左上方设置两个排风口，右下方设置两个线缆口，东侧屏蔽体右上方设置一扇手动单开门，西侧防

护门上无孔洞。2台设备铅防护门和屏蔽补偿防护罩均与同侧墙体一致。2台设备带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房情况见表 10-2，屏蔽设计图见图 10-2 至 10-5。

表 10-2 本项目 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统屏蔽防护一览表

设备	屏蔽防护	屏蔽材料及厚度	铅当量
设备一	北侧	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+2.5mm 钢板（含 70mm 铅玻璃）	14.34mmPb
	南侧	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+2.5mm 钢板	14.34mmPb
	西侧	2mm 钢板+方管+12mm 铅板+2.5mm 钢板	12.34mmPb
	东侧	2mm 钢板+方管+18mm 铅板+2.5mm 钢板	18.34mmPb
	顶部	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+2.5mm 钢板	14.34mmPb
	底部	5mm 钢板+方管+14mm 铅板+2mm 钢板	14.53mmPb
设备二	南侧	2mm 钢板+方管+18mm 铅板+3mm 钢板（含 45mm 铅玻璃）	18.38mmPb
	北侧	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+3mm 钢板	14.38mmPb
	东侧	2mm 钢板+方管+12mm 铅板+3mm 钢板	12.38mmPb
	西侧	2mm 钢板+方管+18mm 铅板+3mm 钢板	18.38mmPb
	顶部	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+3mm 钢板	14.38mmPb
	底部	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+3mm 钢板	14.38mmPb

备注：1、项目设备屏蔽防护所用铅板的密度为 11.34g/cm³，钢密度 7.85 g/cm³。
 2、根据设备方资料，观察窗 45mm 铅玻璃约 9mm 铅当量，70mm 铅玻璃约 14mm 铅当量。
 3、备注：根据《辐射防护技术与管理第一卷 电离辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才编著）P78 相关内容可知，钢对于 150~300kV 的 X 射线，其比铅当量约为 0.077mmPb/mm 计；2mm 钢板相当于 0.154mm 铅当量，2.5mm 钢板相当于 0.192mm 铅当量，3mm 钢板相当于 0.231mm 铅当量，5mm 钢板相当于 0.385。

射线的屏蔽防护。

表 5-1 铁板对 400kV 以下 X 射线的铅当量

管电压(kV)	铁板厚度 (mm) (表观密度=1.86)										
	1	3	6.5	13	20						
80	1	3	6.5	13	20						
100	1	2.5	6	12.5	19.5	30					
120	1	3.5	8	17.5	27	37					
150	1.5	5	12	27	42.5	57					
180	2	5.5	13	29	45	60					
200	2	5.5	13	29	45	60					
270	3	6	12	25	37	50					
300			12	20	28	35	48	60	75		
400				11	18	23	28	38	45	55	75
等于铅厚(mm)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	10	15	

铁对高能 X、γ 射线的防护性能相对提高，例如对 150~300kV 的 X 射线，其比铅当量约为 0.077mmPb/mm 材料，而对最大电子能量为 11MeV 的电子直线加速器产生的高能 X 射线，则铁的比铅当量上升到 0.6mmPb/mm 材料，提高了将近 10 倍。

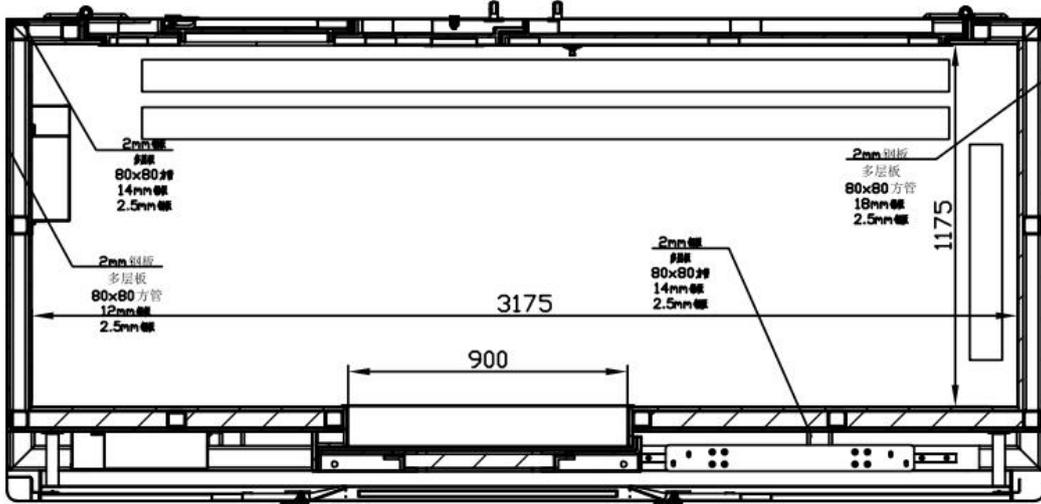


图 10-3 设备一四周屏蔽防护示意图（俯视图）

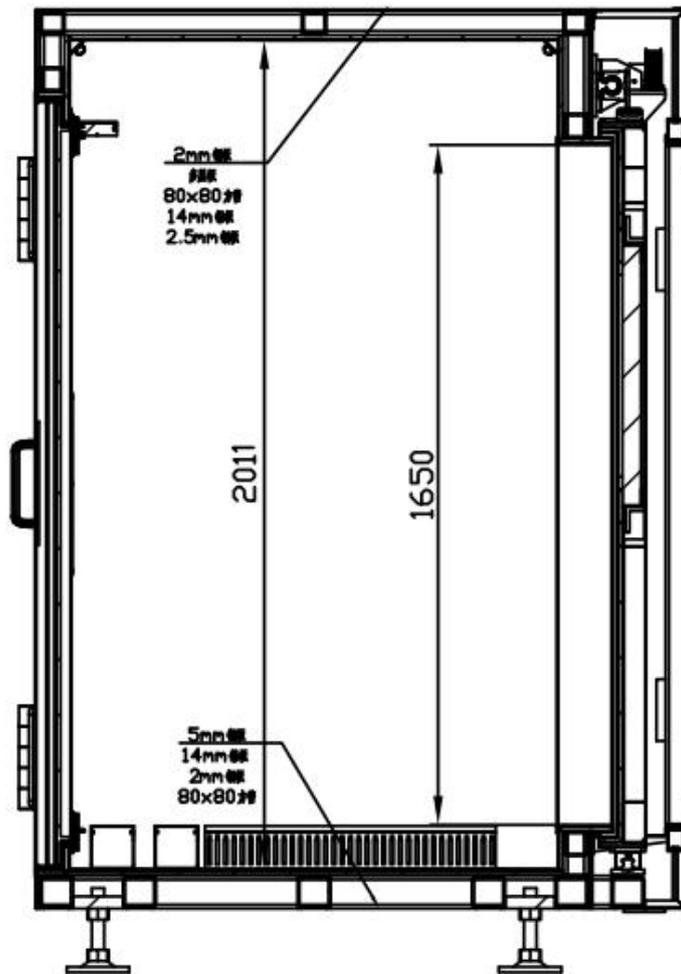


图 10-4 设备一顶部和底部屏蔽防护示意图（右视图）

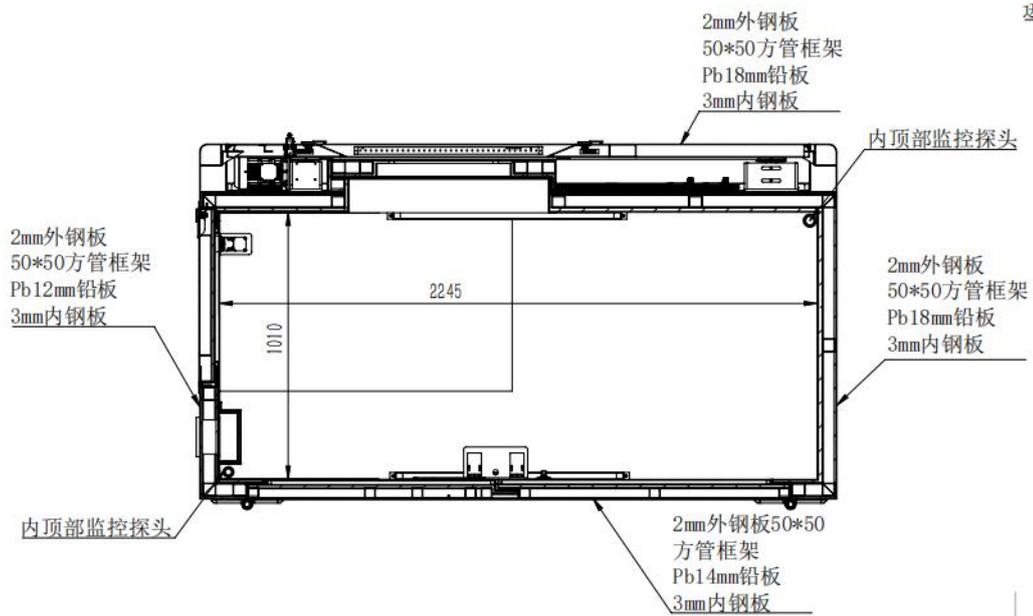


图 10-5 设备二四周屏蔽防护示意图（仰视图）

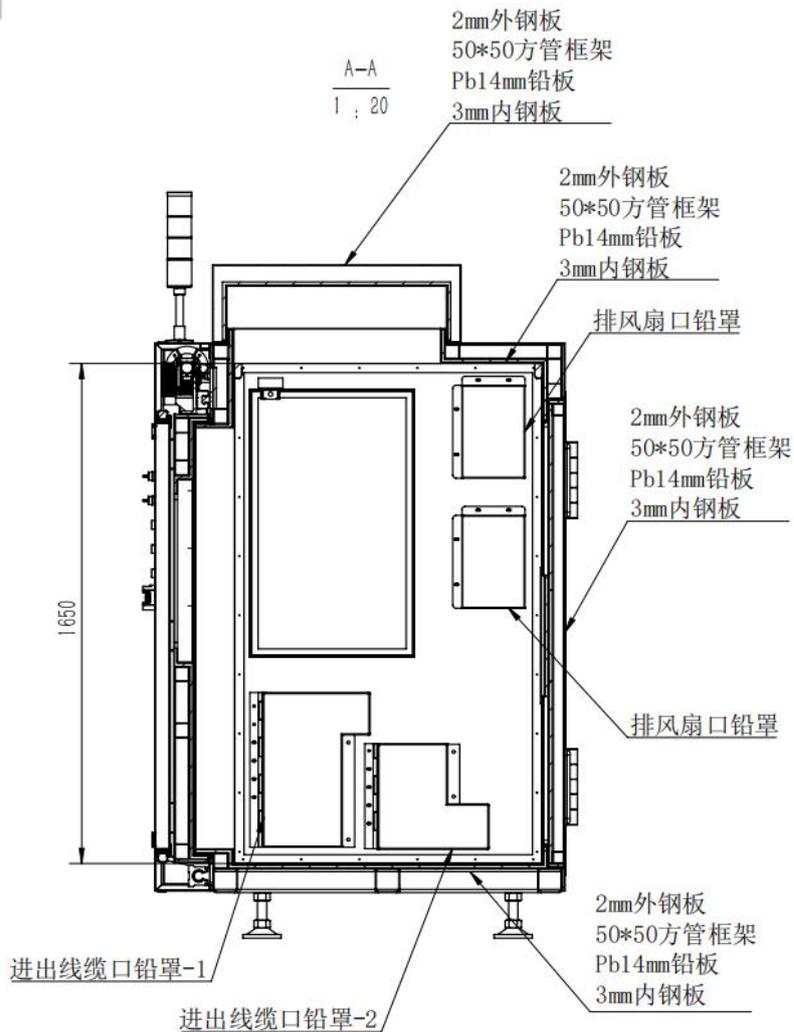


图 10-6 设备二顶部和底部屏蔽防护示意图（左视图）

2、辐射安全与防护措施

为确保本项目辐射工作人员的工作环境和设备外部环境安全，以及避免辐射事故的发生，对 2 台设备设置多重安全防护措施，具体如下：

(1) 本项目拟新增的 2 台设备均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，屏蔽防护由厂家针对射线特征采用一体化设计和制造，屏蔽性能良好，无需额外加建屏蔽防护。本项目设备一样品进出防护门朝北，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，设备二样品进出防护门朝南，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，2 台设备操作位均避开了主射线方向，符合要求。

(2) 安全联锁系统

本项目 2 台设备均设有安全联锁系统，安全联锁设计要求钥匙开关闭合、按下使能开关，射线源才能上电，所有急停开关复位、维修门、样品进出防护门完全关闭，保证出束过程中设备的有效屏蔽、警示装置正常的情况下射线装置才能启动，才能正常出束，一旦其中有一道未关到位，射线装置将不能启动。

X 射线出束期间，触发任何一道安全设施或者发生故障，X 射线将立即切断出束，安全联锁逻辑图如图 10-7 所示。

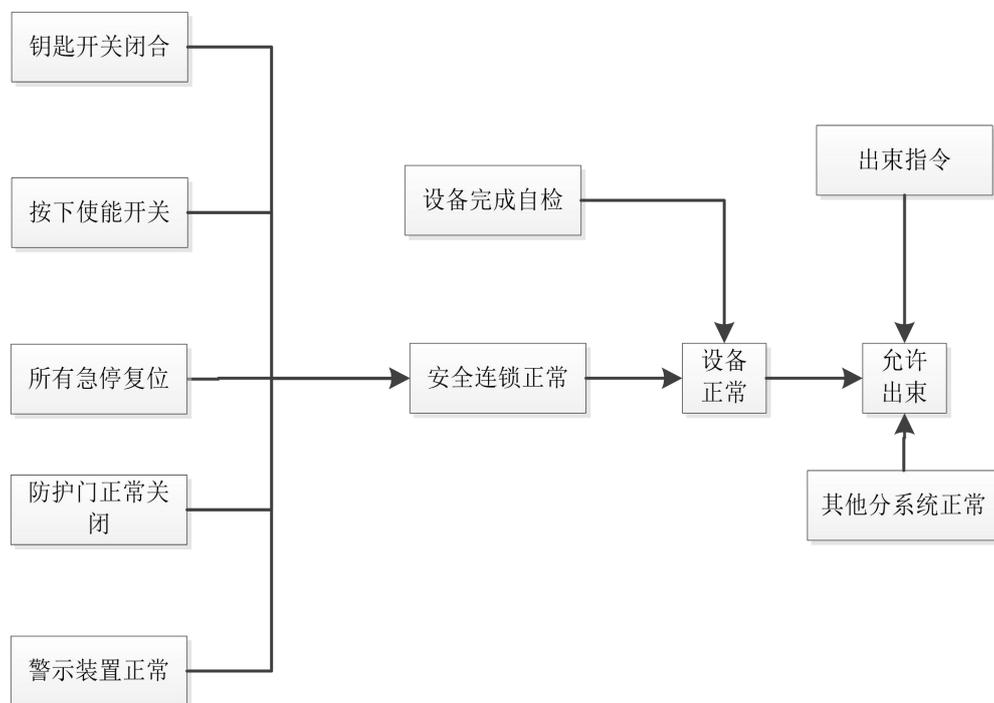


图 10-7 安全联锁逻辑图

(3) 工作状态指示灯和声音提示装置

本项目两台设备顶部均自带 1 个工作状态指示灯，且设备自带声音提示装置，指示仪器运行状态。仪器处于关闭状态，绿、黄、红灯都不亮；仪器处于上电状态，绿灯亮；箱体防护门（前防护铅门、后维护门）处于关闭状态，可安全开启射线源，黄灯亮；射线源处于发射 X 射线状态，红灯亮。亮灯时声音提示装置会做出相应的提示音。设备工作状态指示灯设置在设备顶部，能够被操作者和周围人员清楚看到安全指示灯所指示的 X 射线系统的状态。

(4) 警告标识

拟在设备屏蔽防护门、检修门和 CT 实验室室门上均粘贴满足 GB18871 标准要求的明显的电离辐射警告标志并附中文警示说明。

(5) 紧急停机装置

本项目 2 台设备均在铅房外侧样品进出门左侧控制面板和操作位处各设置一个紧急按钮。确保出现紧急事故时，能立即停止照射，详见附件 6。

(6) 通风装置

本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，建设单位拟在排风口外侧增加集气罩，集气罩连接排风管道，排风管道沿 106 房 CT 实验室东墙向南穿过南侧墙体后通往距地面 3.5m 处室外排放。设备一每小时有效换气次数=（风机排风量为 $2.96\text{m}^3/\text{min} \times \text{风机数量}$ ） \div 设备体积均为 12.22m^3 （保守使用铅房外形尺寸） ≈ 43 次，满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。排风口外侧设置钢铅结构屏蔽补偿，屏蔽厚度与同侧屏蔽体相同。

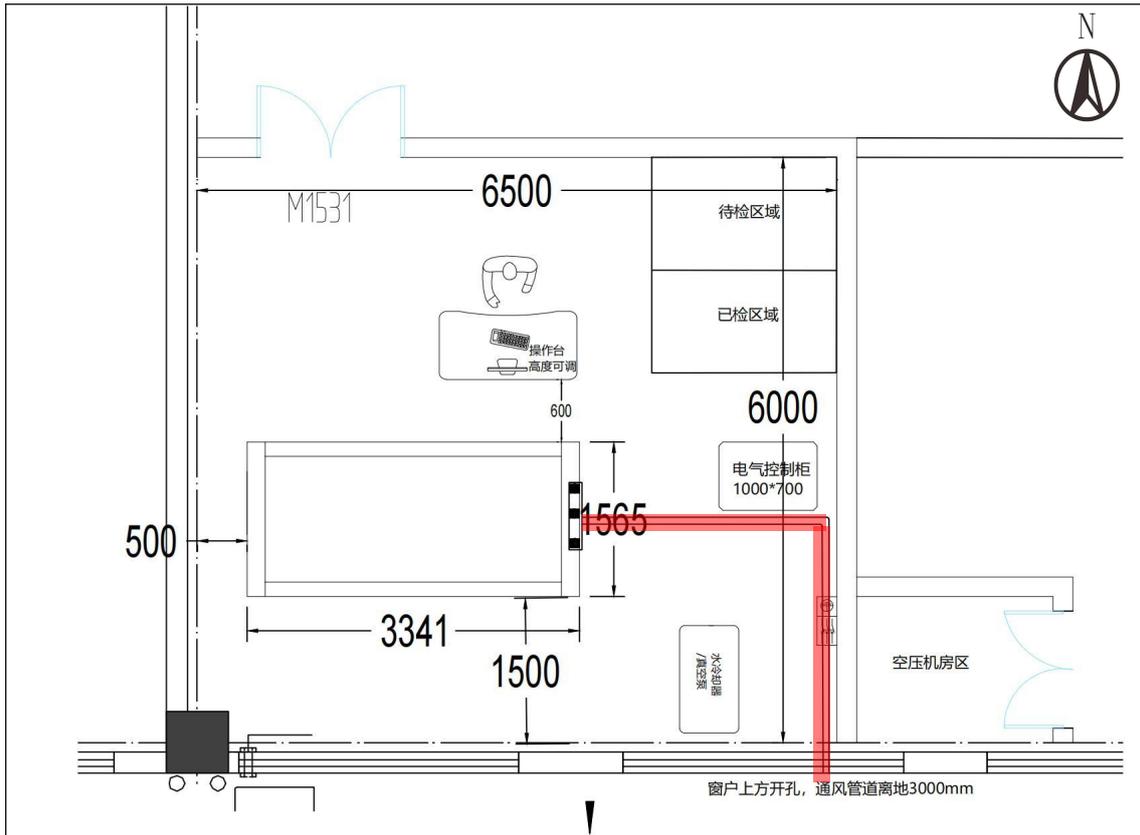
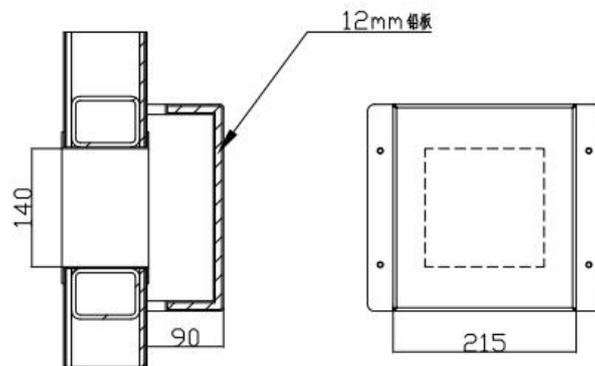


图 10-8 设备一排风管道走向示意图

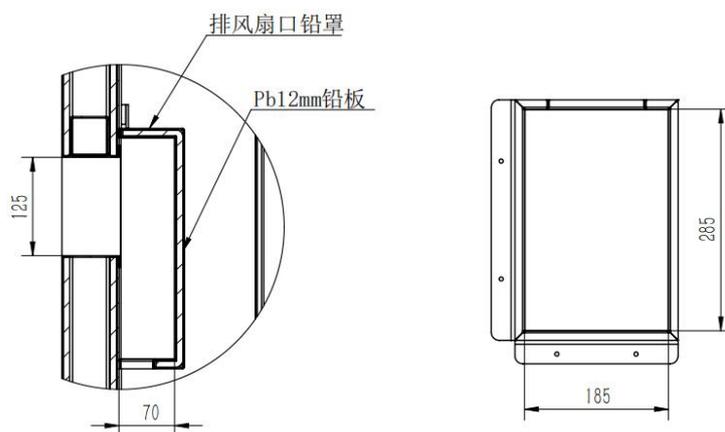


排风孔防护罩

图 10-9 设备一屏蔽补偿示意图

本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，排风口外侧设置钢铅结构屏蔽补偿，屏蔽厚度与同侧屏蔽体相同。废气由

设备排风口排至 CT 室内单个风机排风量为 $3.26\text{m}^3/\text{min}$ ，设备体积均为 7.10m^3 （保守使用铅房外形尺寸），设备每小时排风 55 次。再由 CT 室排风装置排至室外，A102 房 CT 实验室每小时有效换气次数=CT 实验室内排风扇风量为 $750\text{m}^3/\text{h} \div \text{CT 实验室体积 } 183.96\text{m}^3 (8.76\text{m} \times 6.00\text{m} \times 3.50\text{m}) \approx 4$ 次，满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。



排风扇口 防护铅罩

图 10-10 设备二通风屏蔽补偿示意图

(7) 监控装置

设备一拟在 CT 实验室东南角设置一个监控摄像头，在设备防护门上设置一个观察窗，可以监视到 CT 实验室内人员的活动。

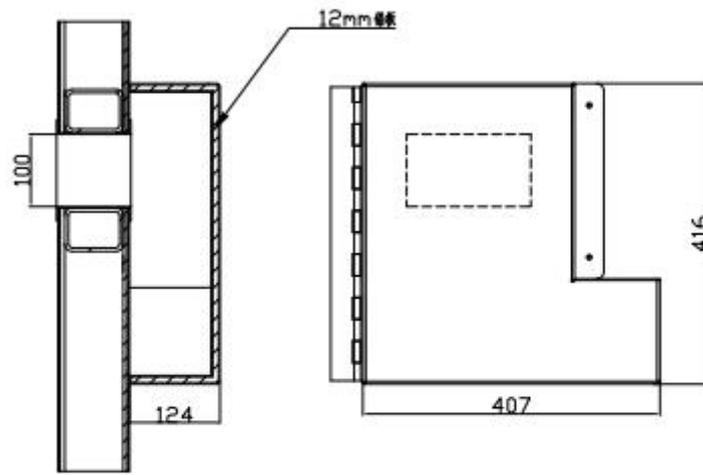
设备二拟在设备内部东南角和西北角各设置一个摄像头，可以监视到机房内人员的活动和设备的运行情况。

(8) 固定式报警仪

2 台设备均拟在设备样品进出门外安装固定式剂量报警仪，由厂家统一配套安装。

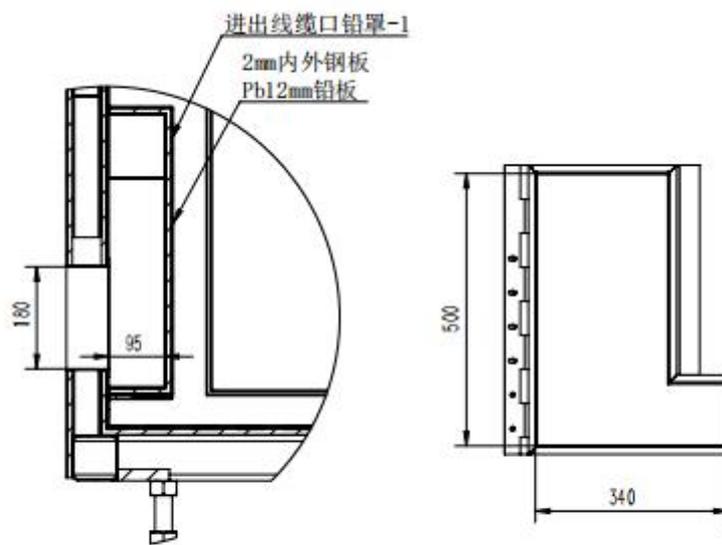
(9) 电缆穿墙

本项目 2 台设备均设置两个电缆孔，设备一电缆孔从铅房东侧屏蔽防护穿过，设备二电缆孔从铅房西侧屏蔽防护穿过，拟在穿墙处外侧设置钢铅防护罩。具体穿墙示意图见图 10-7，管线孔位置详见附图 6。



走线孔防护罩

图 10-11 设备—电缆穿墙示意图



进出线缆口-1 防护铅罩

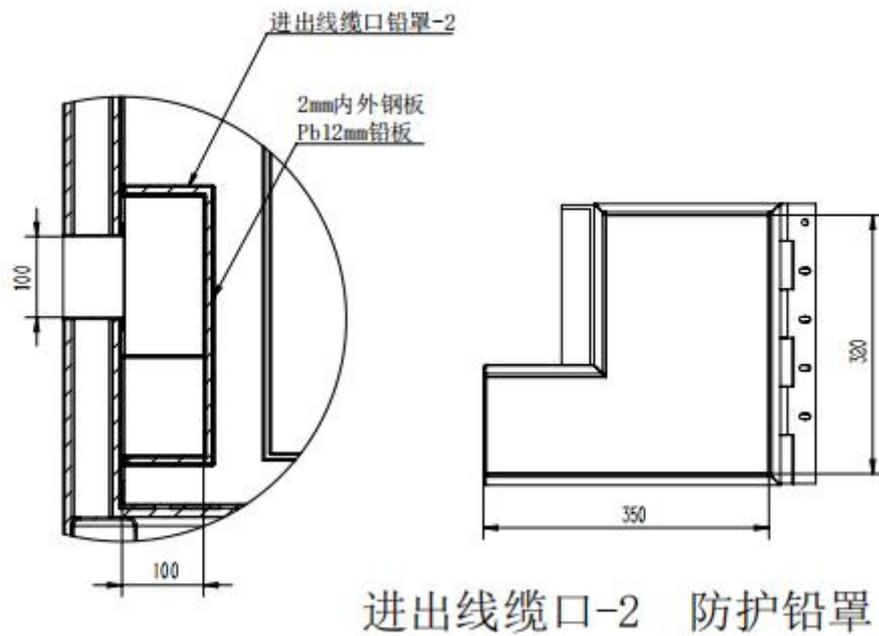
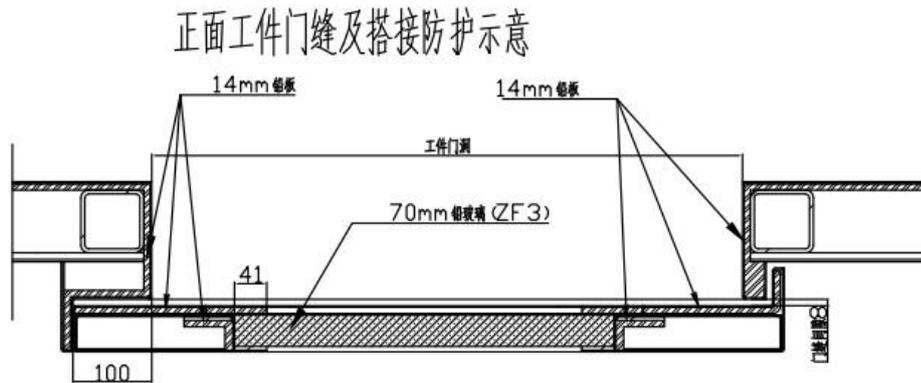


图 10-12 设备二电缆穿墙示意图

(10) 门缝搭接

本项目 2 台设备的观察窗与防护门连接处、防护门和检修门与屏蔽壳体连接处均进行屏蔽搭接，防止射线泄露，详见下图。



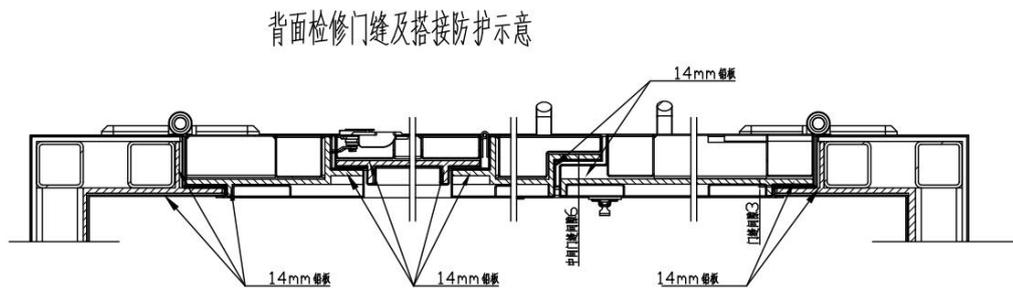
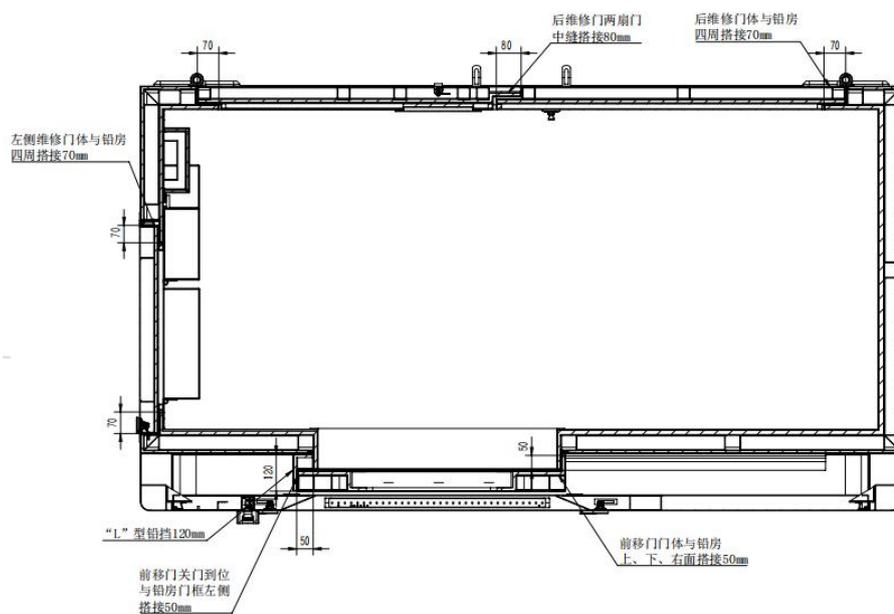


图 10-13 本项目设备一门缝搭接示意图



搭接说明:

1. 前电动移门体与铅房门框四周各搭接50mm, 其中左面(关门到位)配合“L”型铅挡搭接, 铅挡宽120mm;
2. 左侧单维修门体与铅房门框四周各搭接70mm;
3. 后对开维修门体与铅房门洞四周各搭接70mm, 两扇维修门中缝搭接80mm。

图 10-14 本项目设备二门缝搭接示意图

3、安全操作要求及管理措施

建设单位拟在工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室门处和公路工程实验大楼 A 区 A102 房门处设置门禁装置, 防止在检测过程中公众进入检测室。

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022), 本项目辐射安全和防护措施还应满足以下要求:

1) 日常检查

每次工作开始前应进行检查的项目包括: 设备外观是否存在可见的损坏; 电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损; 安全联锁是否正常工作; 报警设备和警示灯是否正常运行; 螺栓等连接件是否连接良好。

2) 定期检查

定期检查的项目应包括：电气安全（包括接地和电缆绝缘检查）、所有的联锁和紧急停机开关的检查、设备前屏蔽体安装的固定式报警仪检查、制造商推荐的其他常规检测项目。

3) 个人防护

辐射工作人员佩戴常规个人剂量计外，还配备个人剂量报警仪。当辐射水平达到设定的报警水平时，剂量仪报警。

4) 其他防护安全要求

当班使用个人剂量报警仪前，应检查个人剂量报警仪是否正常工作。如在检查过程中发现个人剂量报警仪不能正常工作，则不应开始工作。工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，把潜在的辐射降到最低。

4、安全操作要求

①该系统严格按照设备操作指导书进行使用；

②设备需由通过了辐射安全与防护考核及设备厂家培训指导的操作人员操作，操作人员在使用装置时的危险和正确行为必须接受设备厂家指导；

③操作人员工作期间应按要求佩戴个人剂量计，每天上班后仔细检查个人剂量报警仪及设备的完好情况，各种计量仪表应在检定周期内，检查其工作是否正常可靠；

④检查安全防护装置，如安全防护门连锁装置是否可靠、警示灯是否好用等。如安全防护装置、警示标志等损坏，不得进行辐射作业；

⑤操作人员应熟练掌握设备的性能和操作流程，严格按照操作规程规定的技术参数进行操作；

⑥设备中 X 射线管正常使用，管电压和管电流不能超过机器最大允许值；

⑦进行样品检测时，安全防护装置等发生故障，应立即停机并报告，待故障排除后方可继续操作；

⑧完成检测后，应关闭设备总电源。

三、监测仪器及安全装置

需配备监测仪器及安全装置详见表 10-3。

表 10-3 需配备监测仪器及安全装置清单一览表

序号	名称	数量	备注
1	个人剂量报警仪	共 4 个	厂家赠送
2	个人剂量计	1 个/人	新增
3	便携式 X-γ 监测仪	1 台	厂家赠送
4	固定式场所辐射探测报警装置	每台设备各 1 套	设备自带
5	工作状态指示灯	每台设备各 1 套	
6	声音提示装置	每台设备各 1 套	
7	门机连锁装置	每台设备各 1 套	
8	紧急停机按钮	每台设备各 2 个	
9	监视装置	每台设备各 1 套	
10	辐射警示标识	若干	拟购

四、项目防护措施与相关要求的符合性分析

本项目使用 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统设备参照执行《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）和《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），根据上文介绍，项目拟采取的辐射防护措施与相关标准和规范的相关要求对比情况见表 10-4 所示。

表 10-4 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准/规范名称	标准要求	本项目情况	是否符合
《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）	6.1 探伤室放射防护要求		符合
	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。	本项目不设控制室，设备一样品进出防护门朝北，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，设备二样品进出防护门朝南，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，2 台设备操作位均避开了主射线方向。	符合
	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。	项目拟划定控制区和监督区，实行分区管理，分区满足标准要求。	符合
	6.1.5 探伤室应设置门-机连锁装置，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-机连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连锁。	本项目 2 台设备均设有安全连锁系统，安全连锁设计要求钥匙开关闭合、按下使能开关，线源才能上电，所有急停开关复位、维修门、样品进出防护门完全关闭，保证出束过程中设备的有效屏蔽、警示装置正常的情况下射线装置才能启动，才能正常出束，一旦其中有一道未关到位，射线装置将不能启动。	符合

		<p>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”信号意义说明。</p>	<p>本项目两台设备顶部均自带1个工作状态指示灯，且设备自带声音提示装置，指示仪器运行状态。仪器处于关闭状态，绿、黄、红灯都不亮；仪器处于上电状态，绿灯亮；箱体防护门（前防护铅门、后维护门）处于关闭状态，可安全开启射线源，黄灯亮；射线源处于发射 X 射线状态，红灯亮。亮灯时声音提示装置会做出相应的提示音。设备工作状态指示灯设置在设备顶部，能够被操作者和周围人员清楚看到安全指示灯所指示的 X 射线系统的状态。</p>	符合
		<p>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，可监视伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>	<p>设备一拟在 CT 实验室东南角设置一个监控摄像头，在设备防护门上设置一个观察窗，可以监视到 CT 实验室内人员的活动。设备二拟在设备内部东南角和西北角各设置一个摄像头，可以监视到机房内人员的活动和设备的运行情况。</p>	符合
		<p>6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>	<p>拟在设备屏蔽防护门、检修门和 CT 实验室门上均粘贴满足 GB18871 标准要求的明显的电离辐射警告标志并附中文警示说明。</p>	符合
		<p>6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。</p>	<p>本项目 2 台设备均在铅房外侧样品进出门左侧控制面板和操作位处各设置一个紧急按钮。确保出现紧急事故时，能立即停止照射。</p>	符合
		<p>6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。</p>	<p>本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，拟在排风口外侧增加集气罩连接排风管道，通往室外排放。设备一每小时有效换气次数 43 次。本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，废气由设备排风口排至 CT 室内，再由 CT 室排风装置排至室外，CT 实验室每小</p>	符合

			时有效换气次数 4 次，均满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。	
		6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	2 台设备均拟在设备样品进出门外安装固定式剂量报警仪，由厂家统一配套安装。	符合
《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》 (GB Z/T250-2014)	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。	本项目高分辨率微焦点断层扫描系统设备设有单独的样品门。样品由人工搬运进铅房，除检修外人员一般不进入铅房内。	符合
		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射线束照射方向。	本项目不设控制室，设备一样品进出防护门朝北，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，设备二样品进出防护门朝南，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，2 台设备操作位均避开了主射线方向。	符
	3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	本项目防护门与屏蔽壳体连接处均进行屏蔽搭接，防止射线泄露；本项目排风口、线缆口内侧均安装钢铅防护罩，钢铅防护罩厚度与同侧墙体厚度一致。	符合	
	3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相对应管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。	本次环评采用最高能量管电压和对应最大管电流进行屏蔽核算，确保屏蔽体均能满足额定工况下的辐射防护要求。	符合	

根据表 10-4 可知，本项目采取的辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的要求。

五、三废的治理

本项目 2 台设备均采用数字成像技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片，在使用过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。项目运行中产生污染物包括有害气体、办公垃圾、员工生活污水、生活垃圾。

(1) 有害气体治理措施

X 射线与空气作用，使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，外侧增加集气罩连接排风管道，距地面 3.5m 处排放。本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，CT 实验室东墙设置一个排风扇。

(2) 废水处理措施

本项目不产生生产性废水，本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活污水。

(3) 固体废物处理措施

本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活垃圾。本项目 X 射线管达到使用寿命后，建设单位将返回原厂家更换，设备达到使用寿命后，将按要求对设备进行报废处理。

六、环保投资估算

项目环保投资估算见表 10-5。

表 10-5 项目环保投资估算一览表

项目	设施（措施）	金额（万元）	
环保投资	辐射屏蔽防护措施	屏蔽防护、防护门、通风口屏蔽补偿	设备自带，不计入环保投资
	安全装置	门机连锁装置、紧急停机按钮、监视装置、固定式报警仪	
	标识	辐射警示标识若干、制度上墙、指示灯说明等	0.1
	监测仪器	便携式 X-γ辐射剂量率检测仪 1 台、个人剂量报警仪 4 台	设备方赠送
		个人剂量计	0.2
	有害气体处理	排风扇、通风管道及室外排风筒	1
	辐射工作人员	辐射工作人员辐射防护考核、职业健康体检	0.9
	环保手续	环评、竣工验收等	10
合计		12.2	

本项目总投资 1058 万元，环保投资 12.2 万元，占总投资的 1.15%

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目施工期为设备的安装和调试期，安装过程中产生的污染物主要为设备安装噪声、废弃包装等固体废物；调试过程中产生的污染因子为 X 射线以及少量的臭氧和氮氧化物。

(1) 噪声

本项目施工期噪声主要来自设备安装，经距离衰减和墙体隔声后对周围环境影响不大，且随着设备安装施工的结束而结束。

(2) 废水

施工期污水主要来自安装人员的生活污水，生活污水较少，依托校区现有化粪池处理，对环境的影响较小。

(3) 固体废弃物

施工期产生的固体废弃物有生活垃圾和废弃包装，依托校区生活垃圾收集后交由环卫部门统一处理，对周边环境的影响较小。

(4) 调试期间 X 射线及有害气体

调试期间，X 射线是污染环境的主要因子，同时 X 射线与空气作用，会产生少量的臭氧和氮氧化物。设备安装和调试均由厂家专业人员负责，由于设备带有屏蔽防护铅房，具有足够的辐射屏蔽能力，少量的有害气体通过轴流风机排出至室外，对周边环境的影响有限。

本项目工程量小，施工期短，影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的防治措施后，对外界的影响小。

运行阶段对环境的影响

本项目新增的 2 台设备带有屏蔽防护铅房，设备运行时对周边环境的影响，报告采用理论计算的方法进行分析。

(1) 关注点的选取

① 设备一

根据建设单位提供的设备资料，设备一射线源位于铅房内部东侧，主射线由东往西水平照射。射线管头固定在东侧立柱上，可沿立柱上下移动，不可偏转或

前后左右移动，上下移动范围 600mm，射线源位于距离东侧屏蔽体 1017mm，西侧屏蔽体 2158mm，南侧屏蔽体 751mm，北侧屏蔽体 424mm，底部屏蔽体最近距离 691mm、最远距离 1291mm，顶部屏蔽体最近距离 720mm、最远距离 1320mm 处。样品台可根据样品大小和检测要求前后左右移动，并可 360° 旋转，样品台可左右移动 800mm 范围，前后移动 250mm 范围，样品台中心点距离射线管头最近距离 34mm，距北侧屏蔽体最近距离 299mm。平板探测器位于样品台西侧，平板探测器可前后左右上下移动，与样品台同步前后左右移动，与射线源同步上下移动。

设备一有用线束从东向西水平照射，根据有用线束照射方向和角度，本项目有用线束会照射到顶部、底部、北侧和南侧少部分屏蔽体，因此设备主射面主要为西侧屏蔽体，北、南、上、下侧屏蔽体主射线束照射区域按主射面考虑，东侧、下侧和上侧、北侧、南侧非有用线束照射区域主要考虑辐射源为漏射辐射和散射辐射的影响，详见图 11-3、11-4。

本报告原则上在设备一各方向屏蔽体外侧 30cm 处选取关注点，操作工位选择一个关注点。设备上侧、下侧、北侧、南侧屏蔽体外侧涉及主射区域和非主射区域，故上侧、下侧、北侧、南侧屏蔽体外 30cm 处各设两个关注点，根据上、下、北、南侧屏蔽壳体尺寸和有用线束照射角度，有用线束斜穿过北、南、上、下侧主射面屏蔽体后主要对设备西侧屏蔽体外区域产生影响，如图 11-3、11-4 所示，D、F、K、L 点按西侧点位考虑，设备一底部屏蔽体下方为土层，设备底部下方设置 15.5cm 高的支架，因此，下侧关注点设在底部外壳体外 15.5cm 地面处；CT 实验室上方为创新训练室，有人员长时间停留，故楼上创新训练室地板上方 30cm 处设一个关注点；CT 实验室东侧为核磁共振实验室，有人员长时间停留，在 CT 实验室东墙外 30cm 处设置一个关注点；由于设备维修门、样品进出门屏蔽条件均与同侧屏蔽体一致，不再另设关注点；观察窗铅当量为 14mmPb，同侧关注点与射线源的距离按最不利情况影响考虑，屏蔽条件按观察窗考虑，因此观察窗外不再另设关注点；设备东侧屏蔽体上设置三个通风口、两个线缆口，本项目选取距离射线管头较近的的通风口和线缆口计算。

本项目设备一各关注点的位置示意图见图 11-1~11-3，距离各侧屏蔽体距离示意图见图 11-4~11-5，关注点统计见表 11-1。

② 设备二

根据建设单位提供的设备资料，设备二射线源位于铅房内部西侧，主射线由西往东水平照射。射线管头固定在西侧立柱上，不可前后左右上下移动，射线源位于距离东侧屏蔽体 835mm，西侧屏蔽体 1410mm，北侧屏蔽体 686mm，南侧屏蔽体 324mm，底部屏蔽体 1212mm，顶部屏蔽体 692mm（突出部分）。样品台可根据样品大小和检测要求前后左右上下移动，并 360° 旋转，样品台可左右移动 800mm 范围，前后移动 450mm 范围，上下移动 450mm 范围，样品台中心点距离射线管头最近距离 34mm，最远距离 834mm。平板探测器位于样品台东侧，平板探测器可与样品台同步前后左右移动，左右移动 800mm 范围，前后移动 250mm 范围。

设备二有用线束从西向东水平照射，根据有用线束照射方向和角度，本项目有用线束会照射到顶部和南侧少部分屏蔽体，因此设备主射面主要为东侧屏蔽体，南、上侧屏蔽体主射线束照射区域按主射面考虑，西侧、下侧和上侧、南侧、北侧非有用线束照射区域主要考虑辐射源为漏射辐射和散射辐射的影响，详见图 11-3、11-4。

本报告原则上在设备二各方向屏蔽体外侧 30cm 处选取关注点，操作工位选择一个关注点。设备上侧、南侧屏蔽体外侧涉及主射区域和非主射区域，故上侧、南侧屏蔽体外 30cm 处各设两个关注点，根据上、南侧屏蔽壳体尺寸和有用线束照射角度，有用线束斜穿过南、上侧主射面屏蔽体后主要对设备东侧屏蔽体外区域产生影响，如图 11-8、11-9 所示，#5、#10 点按东侧点位考虑，设备二底部屏蔽体下方为土层，设备底部下方设置 15.5cm 高的支架，因此，下侧关注点设在底部外壳体外 15.5cm 地面处；CT 实验室上方为教学实训室，有人员长时间停留，故楼上教学实训室地板上方 30cm 处设一个关注点；由于设备维修门、样品进出门屏蔽条件均与同侧屏蔽体一致，不再另设关注点；观察窗铅当量为 9mmPb，同侧关注点与射线源的距离按最不利情况影响考虑，屏蔽条件按观察窗考虑，因此观察窗外不再另设关注点；设备西侧屏蔽体上设置两个通风口、两个线缆口，本项目选取距离射线管头较近的的通风口和线缆口计算。

本项目设备二各关注点的位置示意图见图 11-6~11-8，距离各侧屏蔽体距离示意图见图 11-9~11-10，关注点统计见表 11-2。

图 11-1 设备一辐射影响核算关注点示意图（平面图）（单位：mm）

图 11-2 设备一辐射影响估算关注点示意图（俯视图）（单位：mm）

图 11-3 设备一辐射影响估算关注点示意图（正视图）（单位：mm）

图 11-4 设备一射线源距离各侧屏蔽体距离示意图（俯视图）（单位：mm）

图 11-5 设备一射线源距离各侧屏蔽体距离示意图（左视图）（单位：mm）

图 11-6 设备一辐射影响核算关注点示意图（平面图）（单位：mm）

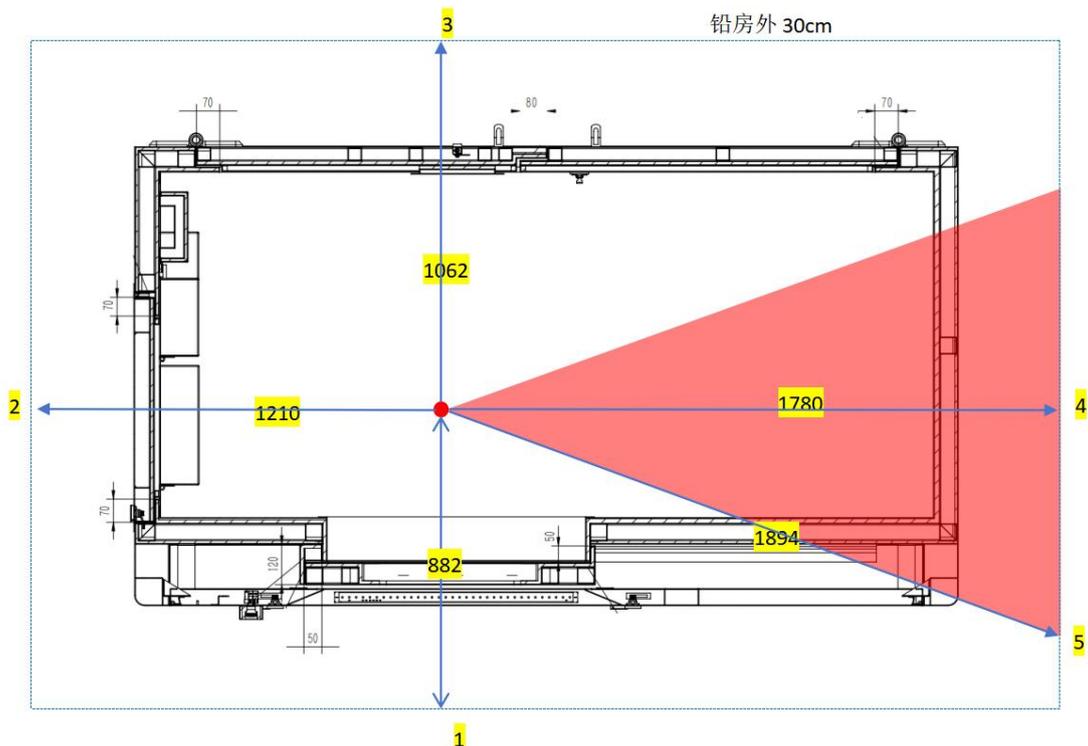


图 11-7 设备二辐射影响估算关注点示意图（俯视图）（单位：mm）

图 11-8 设备二辐射影响估算关注点示意图（正视图）（单位：mm）

图 11-9 设备二射线源距离各侧屏蔽体距离示意图（俯视图）（单位：mm）

图 11-10 设备二射线源距离各侧屏蔽体距离示意图（右视图）（单位：mm）

表 11-1 设备一关注点屏蔽参数一览表

关注点	关注点描述	射线管头距屏蔽防护外各关注点的最近距离(m)	射线类型
A	设备一北侧屏蔽体外 30cm 处 (非主射区)	■	漏射及散射线束
B	设备一东侧屏蔽体外 30cm 处	■	漏射及散射线束
C	设备一南侧屏蔽体外 30cm 处 (非主射区)	■	漏射及散射线束
D	设备一西侧屏蔽体外 30cm 处 (主射线穿南侧屏蔽体主射区)	■	主射线束
E	设备一西侧屏蔽体外 30cm 处	■	主射线束
F	设备一西侧屏蔽体外 30cm 处 (主射线穿北侧屏蔽体主射区)	■	主射线束
G	设备一底部屏蔽体外地面处	■	漏射及散射线束
H	射线穿东侧线缆口屏蔽补偿 后在设备东侧 30cm 处	■	漏射及散射线束
I	射线穿东侧排风口屏蔽补偿 后在设备东侧 30cm 处	■	漏射及散射线束
J	设备一顶部上方 30cm 处（非 主射区）	■	漏射及散射线束
K	设备屏蔽体西侧外 30cm 处(主 射线穿顶部屏蔽体主射区)	■	有用线束
L	设备屏蔽体西侧外 30cm 处(主 射线穿底部屏蔽体主射区)	■	有用线束
M	操作工位处	■	漏射及散射线束
N	楼上教学实验室地面上方 30cm 处	■	漏射及散射线束
O	CT 实验室东墙外 30cm 处（核 磁共振实验室）	■	漏射及散射线束

备注：

[Redacted text block containing multiple lines of blacked-out information]

⑮

表 11-2 设备二关注点屏蔽参数一览表

关注点	关注点描述	射线管头距屏蔽防护外各关注点的最近距离 (m)	射线类型
1	设备二南侧屏蔽体外 30cm 处 (非主射区)	■	漏射及散射线束
2	设备二东侧屏蔽体外 30cm 处	■	漏射及散射线束
3	设备二北侧屏蔽体外 30cm 处	■	漏射及散射线束
4	设备二西侧屏蔽体外 30cm 处	■	主射线束
5	设备二西侧屏蔽体外 30cm 处 (主射线穿南侧屏蔽体主射区)	■	主射线束
6	设备二底部屏蔽体外地面处	■	漏射及散射线束
7	射线穿西侧线缆口屏蔽补偿后 在设备西侧 30cm 处	■	漏射及散射线束
8	射线穿西侧排风口屏蔽补偿后 在设备西侧 30cm 处	■	漏射及散射线束

9	设备二顶部上方 30cm 处（非主射区）	■	漏射及散射线束
10	设备屏蔽体东侧外 30cm 处(主射线穿顶部屏蔽体主射区)	■	有用线束
11	操作工位处	■	漏射及散射线束
12	楼上教学实验室地面上方 30cm 处	■	漏射及散射线束

[Redacted text block containing multiple lines of blacked-out information]

本项目新增的 2 台设备相关参数见表 11-3。

表 11-3 设备相关参数

设备	最大管电压(kV)	最大管电流 (mA)	输出量 $H_0(mGy \cdot m^2 / (mA \cdot min))$
设备一	225	3	(3mm 铝过滤条件) 13.9
设备二	225	3	(3mm 铝过滤条件) 13.9

备注：未获得厂家给出的输出量，选取《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.1 对应电压下输出量的较大值保守估计。由于表 B.1 中未给出 225kV 电压下对应的输出量，本评价保守选取 250kV 电压、3mm 铝滤过条件下对应的输出量为 $13.9Gy \cdot m^2 / (mA \cdot min)$ 。

(2) 辐射屏蔽的剂量参考控制水平

辐射屏蔽的剂量参考控制水平参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中公式：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots \dots \dots \text{式11-1}$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$ ---导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），与最高剂量率参考控制水平 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 相比取较小值；

H_c ---周剂量参考控制水平，职业工作人员取 $125 \mu\text{Sv/周}$ （以每年工作 40 周，按年剂量管理目标值 5mSv/a 换算）、公众取 $2.5 \mu\text{Sv/周}$ （以每年工作 40 周，按年剂量管理目标值 0.1mSv/a 换算）；

U ---探伤装置向关注点照射的使用因子；

T ---人员在相应关注点驻留的居留因子，居留因子的选取参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A；

t ---探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/周）。

探伤装置周照射时间参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中公式：

$$t = \frac{W}{60 \cdot I} \dots \dots \dots \text{式11-2}$$

式中：

W ---X 射线探伤的周工作负荷(平均每周 X 射线探伤照射的累积“ $\text{mA} \cdot \text{min}$ ”值), $\text{mA} \cdot \text{min/周}$ ；

60---小时与分钟的换算系数；

I ---X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安(mA)。

①设备周照射时间计算

本项目每台设备日检测样品不超过 6 个，样品检测出束时间从 5min 至 30min 不等，按最大出束时间合计，设备保守使用设备最大管电流计算探伤装置周照射时间，由于设备最高管电压下的常用最大管电流未给出，取设备最大管电流。

周工作负荷 W 为： $W=5 \times 6 \times 30 \times 3=2700\text{mA} \cdot \text{min/周}$

探伤装置周照射时间 t 为： $t=2700 / (3 \times 60) =15\text{h/周}$ 。

②关注点居留因子选取

本项目关注点的居留因子根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 A.1 进行取值, 建设单位在工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房设置门禁, 本项目工作场所仅辐射工作人员可进入。本项目正常工作时, 设备一屏蔽体北侧和设备二屏蔽体南侧为辐射工作人员上下样品活动区域按全居留考虑, 关注点 A、1 居留因子取 1;

2 台设备操作平台处为辐射工作人员操作设备区域按全居留考虑, 关注点 M、11 居留因子取 1;

2 台设备屏蔽体外四周工作人员均可到达, 但人员停留时间较短, 按部分居留考虑, 关注点 B、C、D、E、F、H、I、K、L、2、3、4、5、7、8、10 居留因子取 1/5;

2 台设备均距地面 15.5cm, 地面下方为土层, 人员无法到达, 关注点 G、6 的剂量当量率控制目标值按 2.5 μ Sv/h 考虑;

2 台设备上方至 CT 实验室设备顶部区域无人员到达, 但 CT 实验室上方有其他用房, 上侧屏蔽体外关注点 J、9 处剂量当量率控制目标值按不大于 2.5 μ Sv/h 考虑;

工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室上方为教学实验室、东侧为核磁共振实验室, 人员可能长时间停留, 关注点 N、O 居留因子取 1;

公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室上方为电子实训室、人员可能长时间停留, 关注点 12、居留因子取 1。

本项目 2 台设备辐射屏蔽的剂量参考控制水平计算结果如下表:

表 11-4 本项目 2 台设备辐射屏蔽的剂量参考控制水平计算结果

设备	关注点	U	T	Hc(μ Sv/周)	t(h)	$\dot{H}_{c,d}$ (μ Sv/h) (计算值)	$\dot{H}_{c,d}$ (μ Sv/h) (与最高剂量率参考控制水平 2.5 μ Sv/h 相比取较小值)	射线类型
设备	A	1	1	125	15	8.333	2.5	漏射及散射线束
	B	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束

一	C	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束
	D	1	1/5	125	15	41.667	2.5	主射线束
	E	1	1/5	125	15	41.667	2.5	主射线束
	F	1	1/5	125	15	41.667	2.5	主射线束
	G	1	/	125	15	/	2.5	漏射及散射线束
	H	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束
	I	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束
	J	1	/	125	15	/	2.5	漏射及散射线束
	K	1	1/5	125	15	41.667	2.5	有用线束
	L	1	1/5	125	15	41.667	2.5	有用线束
	M	1	1	125	15	8.333	2.5	漏射及散射线束
	N	1	1	2.5	15	0.167	0.167	漏射及散射线束
	O	1	1	2.5	15	0.167	0.167	漏射及散射线束
设备二	1	1	1	125	15	8.333	2.5	漏射及散射线束
	2	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束
	3	1	1	125	15	8.333	2.5	漏射及散射线束
	4	1	1/5	125	15	41.667	2.5	主射线束
	5	1	1/5	125	15	41.667	2.5	主射线束
	6	1	/	125	15	/	2.5	漏射及散射线束
	7	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束
	8	1	1/5	125	15	41.667	2.5	漏射及散射线束
	9	1	/	125	15	/	2.5	漏射及散射线束
	10	1	1/5	125	15	41.667	2.5	有用线束

11	1	1	125	15	8.333	2.5	漏射及散射线束
12	1	1	2.5	15	0.167	0.167	漏射及散射线束

(3) 屏蔽体厚度合理性分析

1) 有用线束屏蔽厚度核算

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)，关注点达到剂量率参考控制水平 H_c 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式 11-3 计算。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{I \cdot H_0} \dots\dots\dots \text{式11-3}$$

式中：

\dot{H}_c ——按式 11-1 确定的剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ，见表 11-3；

R ——辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，查 GBZ/T 250-2014 附表 B.1，表 B.1 中未给出 225kV 的输出量，本项目保守取 250kV 管电压 3mm 铝过滤条件下输出量为 $13.9\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

对估算出的屏蔽透射因子，所需的屏蔽物质厚度 X 采用以下公式计算：

$$X = -TVL \cdot \text{Lg}B \dots\dots\dots \text{式11-4}$$

式中：

TVL---见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B 表 B.2，本项目取值见表 11-4。

B ---达到剂量率参考控制水平 H_c 时所需的屏蔽透射因子。

由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B 表 B.2 查得本项目使用的什值层和半值层取值见下表 11-5。

表 11-5 什值层和半值层取值

X 射线管电压	半值层厚度取值 HVL (mm)	什值层厚度取值 TVL (mm)
	铅	铅
200kV	0.42	1.4

225kV	0.64	2.15
250kv	0.86	2.9

备注：《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2 未给出 225kV 的什值层厚度和半值层厚度，本项目使用内插法计算出 225kV 的什值层厚度和半值层厚度取值。

表 11-6 本项目 2 台设备有用线束方向屏蔽厚度估算结果

设备	关注点	\dot{H}_C (μ Sv/h)	R (m)	I (mA)	H_0 ($mSv \cdot m^2$ /(mA \cdot min))	TVL	B	计算屏蔽厚度 X (mmPb)	实际设计屏蔽厚度 (mmPb)
设备一	D	2.5	2.707	3	13.9	2.15	7.32E-06	11.04	14.34
	E	2.5	2.544	3	13.9	2.15	6.47E-06	11.16	18.34
	F	2.5	2.707	3	13.9	2.15	7.32E-06	11.04	14.34
	K	2.5	2.707	3	13.9	2.15	7.32E-06	11.04	14.34
	L	2.5	2.707	3	13.9	2.15	7.32E-06	11.04	14.53
设备二	4	2.5	1.780	3	13.9	2.15	3.17E-06	11.82	18.38
	5	2.5	1.894	3	13.9	2.15	3.58E-06	11.71	18.38
	10	2.5	1.894	3	13.9	2.15	3.58E-06	11.71	14.38

备注：1.计算未考虑样品的屏蔽。

2.关注点 D、F、K、L、5、10 核算时实际设计屏蔽厚度保守取屏蔽体垂直厚度。

2) 泄漏辐射屏蔽厚度核算

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）泄漏辐射屏蔽的估算方法，关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_C (μ Sv/h) 时所需的屏蔽透射因子 B 按式 11-5 计算，所需的屏蔽物质厚度 X 按式 11-4 计算。

$$B = \frac{\dot{H}_C \cdot R^2}{\dot{H}_L} \dots\dots\dots \text{式11-5}$$

式中：

\dot{H}_C ---按式 11-1 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时 (μ Sv/h)，见表 11-3；

R---辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为 (m)；

H_L ---距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$, 根据 GBZ/T250-2014 表 1, 本项目 2 台设备均为 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据上式计算, 本项目 2 台设备漏射线束方向屏蔽厚度估算结果见下表:

表 11-7 本项目 2 台设备泄露辐射屏蔽厚度估算结果

设备	关注点	H_C ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	HL ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL (mm)	B	计算屏蔽厚度 X (mmpb)
设备一	A	2.5	1.029	5×10^3	2.15	5.29E-04	7.04
	B	2.5	1.397	5×10^3	2.15	9.76E-04	6.47
	C	2.5	1.136	5×10^3	2.15	6.45E-04	6.86
	G	2.5	0.934	5×10^3	2.15	4.36E-04	7.22
	H	2.5	1.413	5×10^3	2.15	9.98E-04	6.45
	I	2.5	1.527	5×10^3	2.15	1.17E-03	6.31
	J	2.5	1.103	5×10^3	2.15	6.08E-04	6.91
	M	2.5	1.329	5×10^3	2.15	8.83E-04	6.57
	N	0.167	2.266	5×10^3	2.15	1.72E-04	8.10
	O	0.167	4.056	5×10^3	2.15	5.49E-04	7.01
设备二	1	2.5	0.882	5×10^3	2.15	3.89E-04	7.33
	2	2.5	1.210	5×10^3	2.15	7.32E-04	6.74
	3	2.5	1.062	5×10^3	2.15	5.64E-04	6.98
	6	2.5	1.449	5×10^3	2.15	1.05E-03	6.40
	7	2.5	1.535	5×10^3	2.15	1.18E-03	6.30
	8	2.5	1.282	5×10^3	2.15	8.22E-04	6.63
	9	2.5	0.814	5×10^3	2.15	3.31E-04	7.48
	11	2.5	1.182	5×10^3	2.15	6.99E-04	6.78
	12	0.167	2.051	5×10^3	2.15	1.41E-04	8.28

备注：1.计算未考虑样品的屏蔽。
2.计算未考虑 CT 实验室墙体厚度。

2) 散射辐射屏蔽厚度核算

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_C 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式 11-6 计算，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2，本项目设备最高管电压为 225kV，X 射线 90° 散射辐射最高能量对应的 kV 取 200kV，所需的屏蔽物质厚度 X 按式 11-4 计算。

$$B = \frac{\dot{H}_C \cdot R_s^2}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot a} \dots\dots\dots \text{式11-6}$$

式中：

\dot{H}_C ---关注点剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），见表 11-3；

R_s ---散射体至关注点的距离，单位为米（m），由于样品大小不等， R_s 按样品台中心点至关注点距离核算；

R_0 ---辐射源点（靶点）至探伤工件的距离（m），根据设备使用说明，本项目 2 台设备出束前根据样品大小通过操作平台调整样品台位置，设备一样品台中心点离出束口的最近距离为 34mm，最远距离为 834mm，设备二样品台离出束口的最近距离为 34mm，最远距离为 834mm，因此本项目设备一 R_0 取值范围为 34mm~834mm，设备二 R_0 取值范围为 34mm~834mm，计算时按最不利情况取值本项目 R_0 取 34mm；

I---X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，查 GBZ/T 250-2014 附表 B.1，表 B.1 中未给出 225kV 的输出量，本项目保守取 250kV 管电压 3mm 铝过滤条件下输出量为 $13.9\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

F--- R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

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。 α 与散射物质有关，在未获得相

应物质的 α 值时，以水散射体的 α 值保守估计。

本项目 2 台设备辐射角度均为 40° ，X 射线装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° ，按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）B.4.2，

$$\frac{R_0^2}{F \cdot a} \text{取 } 50。$$

根据上式计算，本项目两台设备散射线束方向屏蔽厚度估算结果见下表：

表 11-8 本项目 2 台设备散射线束方向屏蔽厚度估算结果

设备	关注点	H_c (μ Sv/h)	Rs (m)	I (mA)	H_0 (mSv · m ² /(mA · min)	$\frac{R_0^2}{F \cdot a}$	TVL (mm)	B	理论 计算 屏蔽 厚度 (mmP b)
设备一	A	2.5	1.029	3	13.9	50	1.4	5.29E-05	5.99
	B	2.5	1.431	3	13.9	50	1.4	1.02E-04	5.59
设备一	C	2.5	1.136	3	13.9	50	1.4	6.45E-05	5.87
	G	2.5	0.934	3	13.9	50	1.4	4.36E-05	6.10
	H	2.5	1.442	3	13.9	50	1.4	1.04E-04	5.58
	I	2.5	1.556	3	13.9	50	1.4	1.21E-04	5.48
	J	2.5	1.103	3	13.9	50	1.4	6.08E-05	5.90
	M	2.5	1.329	3	13.9	50	1.4	8.82E-05	5.68
	N	0.167	2.266	3	13.9	50	1.4	1.71E-05	6.67
O	0.167	4.090	3	13.9	50	1.4	5.58E-05	5.95	
设备二	1	2.5	0.882	3	13.9	50	1.4	3.89E-05	6.17
	2	2.5	1.244	3	13.9	50	1.4	7.73E-05	5.76
	3	2.5	1.062	3	13.9	50	1.4	5.63E-05	5.95
	6	2.5	1.449	3	13.9	50	1.4	1.05E-04	5.57
	7	2.5	1.557	3	13.9	50	1.4	1.21E-04	5.48

	8	2.5	1.314	3	13.9	50	1.4	8.63E-05	5.69
	9	2.5	0.814	3	13.9	50	1.4	3.31E-05	6.27
	11	2.5	1.182	3	13.9	50	1.4	6.98E-05	5.82
	12	0.167	2.051	3	13.9	50	1.4	1.40E-05	6.79

备注：1.计算未考虑样品的屏蔽。

2.计算未考虑 CT 实验室墙体厚度。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中 3.2.3 条，当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度(TVL)或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时则在较厚的屏蔽体上增加一个半值层厚度(HVL)。本项目漏射、散射复核屏蔽厚度详见表 11-9。

表 11-9 本项目 2 台设备泄漏辐射、散射辐射复合屏蔽厚度

设备	关注点	计算漏射屏蔽厚度 (mmPb)	计算散射屏蔽厚度 (mmPb)	复合屏蔽厚度 (mmPb)	屏蔽体设计厚度(mmPb)	是否满足要求
设备一	A	7.04	5.99	7.68	14.00	满足
	B	6.47	5.59	7.11	12.34	满足
	C	6.86	5.87	7.50	14.34	满足
设备一	G	7.22	6.10	7.86	14.53	满足
	H	6.45	5.58	7.09	12.34	满足
	I	6.31	5.48	6.95	12.34	满足
	J	6.91	5.90	7.55	14.34	满足
	M	6.57	5.68	7.21	14.00	满足
	N	8.10	6.67	8.74	14.34	满足
	O	7.01	5.95	7.65	12.34	满足
设	1	7.33	6.17	7.97	9.00	满足

备 二	2	6.74	5.76	7.38	12.38	满足
	3	6.98	5.95	7.62	14.38	满足
	6	6.40	5.57	7.04	14.38	满足
	7	6.30	5.48	6.94	12.38	满足
	8	6.63	5.69	7.27	12.38	满足
	9	7.48	6.27	8.12	14.38	满足
	11	6.78	5.82	7.42	9.00	满足
	12	8.28	6.79	8.92	14.38	满足

(2) 屏蔽体外剂量率估算

1) 有用线束

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014), 关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 11-7 计算:

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式11-7}$$

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, mA, 本项目取 3mA;

H_0 --- 距辐射源点(靶点) 1m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$, 以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 , 查 GBZ/T 250-2014 附表 B.1, 表 B.1 中未给出 225kV 的输出量, 本项目保守取 250kV 管电压 3mm 铝过滤条件下输出量为 $13.9 \text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$;

B---屏蔽透射因子, B 值由公式 11-8 计算所得;

R---辐射源点(靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m)。

2) 屏蔽透射因子 B

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014), 对于给定的屏蔽物质厚度 X, 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式 11-8 计算:

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \dots\dots\dots \text{式11-8}$$

X---屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

TVL---见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录 B

表 B.2 和报告中表 11-4。

表 11-10 本项目 2 台设备有用线束方向关注点剂量率估算结果表

设备	关注点	I (mA)	H ₀ (mSv·m ² /(mA·min))	屏蔽物质厚度 X	TVL	B 屏蔽透射因子	R (m)	\dot{H} (μSv/h)	关注点剂量控制水平 (μSv/h)	是否满足要求
设备一	D	3	13.9	14.34	2.15	2.14E-07	2.707	7.30E-02	2.5	满足
	E	3	13.9	18.34	2.15	2.95E-09	2.544	1.14E-03	2.5	满足
	F	3	13.9	14.34	2.15	2.14E-07	2.707	7.30E-02	2.5	满足
	K	3	13.9	14.34	2.15	2.14E-07	2.707	7.30E-02	2.5	满足
	L	3	13.9	14.53	2.15	1.75E-07	2.707	5.96E-02	2.5	满足
设备二	4	3	13.9	18.38	2.15	2.83E-09	1.780	2.23E-03	2.5	满足
	5	3	13.9	18.38	2.15	2.83E-09	1.894	1.97E-03	2.5	满足
	10	3	13.9	14.38	2.15	2.05E-07	1.894	1.43E-01	2.5	满足

备注：1.计算未考虑样品的屏蔽。
 2.计算未考虑 CT 实验室墙体厚度。
 3.关注点 D、F、K、L、5、10 核算时实际设计屏蔽厚度保守取屏蔽体垂直厚度。

2) 泄漏辐射

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)，漏射辐射关注点的漏射辐射剂量率 \dot{H} (μSv/h) 按式 11-9 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式11-9}$$

式中：

B---屏蔽透射因子，屏蔽透射因子按式 11-8 计算；

R---辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

H_L---距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，μSv/h，根据 GBZ/T250-2014 表 1，本项目 2 台设备均为 5.0×10³μSv/h。

表 11-11 本项目 2 台设备漏射线束方向关注点剂量率估算结果表

设备	关注点	\dot{H}_L ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽物质 厚度 X	TVL	B 屏蔽透射 因子	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
设备一	A	5×10^3	14.00	2.15	3.08E-07	1.029	1.45E-03
	B	5×10^3	12.34	2.15	1.82E-06	1.397	4.67E-03
	C	5×10^3	14.34	2.15	2.14E-07	1.136	8.29E-04
	G	5×10^3	14.53	2.15	1.75E-07	0.934	1.00E-03
	H	5×10^3	12.34	2.15	1.82E-06	1.413	4.56E-03
	I	5×10^3	12.34	2.15	1.82E-06	1.527	3.91E-03
	J	5×10^3	14.34	2.15	2.14E-07	1.103	8.79E-04
	M	5×10^3	14.00	2.15	3.08E-07	1.329	8.72E-04
	N	5×10^3	14.34	2.15	2.14E-07	2.266	2.08E-04
	O	5×10^3	12.34	2.15	1.82E-06	4.056	5.54E-04
设备二	1	5×10^3	9.00	2.15	6.52E-05	0.882	4.19E-01
	2	5×10^3	12.38	2.15	1.75E-06	1.210	5.96E-03
	3	5×10^3	14.38	2.15	2.05E-07	1.062	9.09E-04
	6	5×10^3	14.38	2.15	2.05E-07	1.449	4.88E-04
	7	5×10^3	12.38	2.15	1.75E-06	1.535	3.70E-03
	8	5×10^3	12.38	2.15	1.75E-06	1.282	5.31E-03
	9	5×10^3	14.38	2.15	2.05E-07	0.814	1.55E-03
	11	5×10^3	9.00	2.15	6.52E-05	1.182	2.33E-01
	12	5×10^3	14.38	2.15	2.05E-07	2.051	2.44E-04

备注：1.计算未考虑样品的屏蔽。
2.计算未考虑 CT 实验室墙体厚度。

4) 散射辐射

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），关注点的散射辐射剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式 11-10 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot a}{R_0^2} \dots\dots\dots \text{式11-10}$$

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，单位为毫安（mA）；

H_0 ---距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，查 GBZ/T 250-2014 附表 B.1，表 B.1 中未给出 225kV 的输出量，本项目保守取 250kV 管电压 3mm 铝过滤条件下输出量为 $13.9 \text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ；

B---屏蔽透射因子，根据式 11-8 计算；

F--- R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（ m^2 ）；

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。 α 与散射物质有关，在未获得相应物质的 α 值时，以水散射体的 α 值保守估计；

R_0 ---辐射源点（靶点）至样品的距离，单位为米（m），根据设备使用说明，本项目 2 台设备出束前根据样品大小通过操作平台调整样品台位置，设备一样品台中心点离出束口的最近距离为 34mm，最远距离为 834mm，设备二样品台离出束口的最近距离为 34mm，最远距离为 834mm，因此本项目设备一 R_0 取值范围为 34mm~834mm，设备二 R_0 取值范围为 34mm~834mm，计算时按最不利情况取值本项目 R_0 取 34mm；

R_s ---散射体至关注点的距离，单位为米（m），由于样品大小不等， R_s 按样品台中心点至关注点距离核算。

根据前文本项目 $\frac{F \cdot a}{R_0^2}$ 取 1/50。

表 11-12 本项目 2 台设备散射线束方向关注点剂量率估算结果表

设备	关注点	I (mA)	H_0 ($\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{mi})$)	屏蔽物质厚度 X	TVL	B 屏蔽透射因子	$\frac{F \cdot a}{R_0^2}$	R_s (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
----	-----	--------	---	----------	-----	----------	---------------------------	-----------	--------------------------------

			n)						
设备一	A	3	13.9	14.00	1.4	1.00E-10	0.02	1.029	4.73E-06
	B	3	13.9	12.34	1.4	1.53E-09	0.02	1.431	3.75E-05
	C	3	13.9	14.34	1.4	5.72E-11	0.02	1.136	2.22E-06
	G	3	13.9	14.53	1.4	4.18E-11	0.02	0.934	2.40E-06
	H	3	13.9	12.34	1.4	1.53E-09	0.02	1.442	3.69E-05
	I	3	13.9	12.34	1.4	1.53E-09	0.02	1.556	3.17E-05
	J	3	13.9	14.34	1.4	5.72E-11	0.02	1.103	2.35E-06
	M	3	13.9	14.00	1.4	1.00E-10	0.02	1.329	2.83E-06
	N	3	13.9	14.34	1.4	5.72E-11	0.02	2.266	5.57E-07
	O	3	13.9	12.34	1.4	1.53E-09	0.02	4.090	4.59E-06
设备二	1	3	13.9	9.00	1.4	3.73E-07	0.02	0.882	2.40E-02
	2	3	13.9	12.38	1.4	1.44E-09	0.02	1.244	4.64E-05
	3	3	13.9	14.38	1.4	5.35E-11	0.02	1.062	2.37E-06
	6	3	13.9	14.38	1.4	5.35E-11	0.02	1.449	1.28E-06
	7	3	13.9	12.38	1.4	1.44E-09	0.02	1.557	2.96E-05
	8	3	13.9	12.38	1.4	1.44E-09	0.02	1.314	4.16E-05
	9	3	13.9	14.38	1.4	5.35E-11	0.02	0.814	4.04E-06
	11	3	13.9	9.00	1.4	3.73E-07	0.02	1.182	1.34E-02
	12	3	13.9	14.38	1.4	5.35E-11	0.02	2.051	6.37E-07

备注：1.计算未考虑样品的屏蔽。
2.计算未考虑 CT 实验室墙体厚度。

本项目关注点复核剂量率详见表 11-13：

表 11-13 本项目 2 台设备关注点复核剂量率结果表

设备	关注点	有用线束辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
设备一	A	/	1.45E-03	4.73E-06	1.45E-03	2.5
	B	/	4.67E-03	3.75E-05	4.71E-03	2.5
	C	/	8.29E-04	2.22E-06	8.31E-04	2.5
	D	7.30E-02	/	/	7.30E-02	2.5
	E	1.14E-03	/	/	1.14E-03	2.5
	F	7.30E-02	/	/	7.30E-02	2.5
	G	/	1.00E-03	2.40E-06	1.00E-03	2.5
	H	/	4.56E-03	3.69E-05	4.60E-03	2.5
	I	/	3.91E-03	3.17E-05	3.94E-03	2.5
	J	/	8.79E-04	2.35E-06	8.81E-04	2.5
	K	7.30E-02	/	/	7.30E-02	2.5
	L	5.96E-02	/	/	5.96E-02	2.5
	设备一	M	/	8.72E-04	2.83E-06	8.75E-04
N		/	2.08E-04	5.57E-07	2.09E-04	0.167
O		/	5.54E-04	4.59E-06	5.59E-04	0.167
设备二	1	/	4.19E-01	2.40E-02	4.43E-01	2.5
	2	/	5.96E-03	4.64E-05	6.01E-03	2.5
	3	/	9.09E-04	2.37E-06	9.11E-04	2.5
	4	2.23E-03	/	/	2.23E-03	2.5
	5	1.97E-03	/	/	1.97E-03	2.5
	6	/	4.88E-04	1.28E-06	4.89E-04	2.5
	7	/	3.70E-03	2.96E-05	3.73E-03	2.5
	8	/	5.31E-03	4.16E-05	5.35E-03	2.5
	9	/	1.55E-03	4.04E-06	1.55E-03	2.5
	10	1.43E-01	/	/	1.43E-01	2.5
	11	/	2.33E-01	1.34E-02	2.46E-01	2.5

	12	/	2.44E-04	6.37E-07	2.45E-04	0.167
--	----	---	----------	----------	----------	-------

由表 11-12 屏蔽估算结果可知,本项目投入运行后各关注点能够满足剂量率控制水平的要求。

2、项目运行对周围保护目标可能造成的辐射影响

(1) 计算公式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下:

$$He = Dr \times t \times T \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式11-10}$$

式中:

He —— X、 γ 射线外照射人均年有效剂率当量, mSv/a;

Dr —— 周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t —— X、 γ 射线照射时间, h/a;

T —— 居留因子。

(2) 参数选取

本项目两台设备年曝光时间均为 600h。

(3) 估算结果

建设单位在工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房设置门禁,本项目工作场所仅辐射工作人员可进入。根据屏蔽计算结果,本项目运行过程中对工作人员和周围公众能达到区域可能产生的年有效剂量见表 11-14。

表 11-14 本项目 2 台设备运行过程中对人员可能产生的年有效剂量

设备	环境保护目标		计算参数				年剂量管理目标值 (mSv/a)
			Dr ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	居留因子	He (mSv/a)	
设备一	辐射工作人员	A	1.45E-03	600	1	8.70E-04	5
		B	4.71E-03	600	1/5	5.65E-04	
		C	8.31E-04	600	1/5	9.97E-05	
		D	7.30E-02	600	1/5	8.76E-03	
		E	1.14E-03	600	1/5	1.37E-04	
		F	7.30E-02	600	1/5	8.76E-03	
		H	4.60E-03	600	1/5	5.52E-04	
		I	3.94E-03	600	1/5	4.73E-04	

		K	7.30E-02	600	1/5	8.76E-03	0.1
		L	5.96E-02	600	1/5	7.15E-03	
		M	8.75E-04	600	1	5.25E-04	
	公众人员	N	2.09E-04	600	1	1.25E-04	
		O	5.59E-04	600	1	3.35E-04	
设备二	辐射工作人员	1	4.43E-01	600	1	2.66E-01	5
		2	6.01E-03	600	1/5	7.21E-04	
		3	9.11E-04	600	1	5.47E-04	
		4	2.23E-03	600	1/5	2.68E-04	
		5	1.97E-03	600	1/5	2.36E-04	
		7	3.73E-03	600	1/5	4.48E-04	
		8	5.35E-03	600	1/5	6.42E-04	
		10	1.43E-01	600	1/5	1.72E-02	
		11	2.46E-01	600	1	1.48E-01	
		公众人员	12	2.45E-04	600	1	

根据表 11-14 剂量估算结果可知,本项目设备一正常运行时,辐射工作人员可能受到的最大年有效剂量为 8.76E-03mSv/a, 设备邻近区域公众可能受到的最大年有效剂量为 3.35E-04mSv/a; 设备二辐射工作人员可能受到的最大年有效剂量为 2.66E-01mSv/a, 设备邻近区域公众可能受到的最大年有效剂量为 1.47E-04mSv/a, 均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 剂量限值和建设单位设定的辐射工作人员年剂量管理目标值 5.0mSv/a、公众人员年剂量管理目标值 0.1mSv/a 的要求。

3、有害气体、固体废物、废水的环境影响分析

(1) 有害气体影响评价

本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口, 每个排风口内各个安装 1 个排风扇, 拟在排风口外侧增加集气罩连接排风管道, 通往室外排放。本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口, 每个排风口内各安装 1 个排风扇, 废气由设备排风口排至 CT 室内, 再由 CT 室排风装置排至室外。

(2) 固体废物的环境影响评价

本项目工作人员均为学校现有人员, 本项目不新增工作人员生活垃圾。本项目 X 射线管达到使用寿命后, 建设单位将返回原厂家更换, 设备达到使用寿命

后，将按要求对设备进行报废处理。

(3) 废水环境影响评价

本项目不产生生产性废水，本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活污水。

事故影响分析：

一、事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号）第四十条：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，详见表 11-15。

表 11-15 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重放射性污染后果，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	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	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	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。

二、可能发生辐射事故：

X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出，因此，在断电状态下较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故如下：

(1) 工作人员使用设备时，防护门安全联锁发生故障，在防护门未关闭到位的情况下射线发生器仍能出束，X 射线泄露使工作人员受到不必要的照射；

(2) 检测过程中，在样品随样品台转动过程中，发生意外倾倒卡住移动轨道时，操作不当造成工作人员意外照射；

(3) 设备检修时，未按照正确的流程操作导致意外开启 X 射线发生器，使检修人员受到意外照射。

三、防治措施：

(1) 操作人员应在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合

格后可上岗。

(2) 操作人员须严格按操作规程进行作业，不得擅自改变操作程序，确保安全。

(3) 工作时必须随身携带个人剂量计，同时应使用剂量报警仪，不允许在没有剂量仪监控的情况下进行操作。

(4) 设备四周设置电离辐射警告标志、中文警示说明，设备自带工作状态信号灯。

(5) 开机前须检查设备工作状态指示灯、应急开关、防护门的联锁功能等安全装置是否运行正常，观察开关指示灯是否连通。

(6) 检测过程中，检测样品发生意外倾倒卡住小车移动轨道时，应立即关闭高压发生器，打开防护门后，关闭设备电源，取出样品。

(7) 制定相应的辐射事件应急预案，应对可能发生的事件，并定期进行事故演练。

四、应急方案的启动：

1) 一旦发生辐射事故，即时启动《辐射事故处理应急预案》。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急相应救助措施。

2) 发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。

3) 各应急救助物质应准备充分、调配及时。

4) 发生事故后应在 2 小时内报告生态环境、卫生行政部门。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全防护管理工作小组

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修订）》，环境保护部令第 31 号第十六条要求：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。

为加强放射安全防护管理，公司于2024年12月23日成立了以分管实验室管理工作领导小组为组长的辐射安全与防护管理领导小组，公司成立了辐射安全与防护管理领导小组，该小组包括了1名组长，1名副组长，11名成员，本项目开展后，建设单位的管理人员能满足配置要求。

公司辐射安全与防护管理领导小组主要工作职责如下：

- 1、组织制定并落实辐射安全与防护管理制度，采取合理和有效的措施，将可能出现的故障和失误的后果减至最小；
- 2、制定相应的辐射事件应急预案，应对可能发生的事件，制定计划并定期进行实际演练；
- 3、对辐射工作人员进行上岗前、在岗期间和离岗时的健康检查，定期进行专业及防护知识培训，并分别建立个人剂量、职业健康管理和教育培训档案；
- 4、制定人员培训计划，对人员的专业技能、放射防护知识和有关法律常识进行培训，使之满足辐射工作人员的工作岗位要求；
- 5、配置与辐射工作相适应检测仪器和防护设施，采取一切合理措施以预防设备故障和人为失误。

二、辐射工作人员的配置、培训、体检

本项目拟配置4名辐射工作人员，均为新增人员。拟配置的工作人员暂未确定名单，均将在项目正式投入使用前取得辐射安全与防护考核成绩合格单，并在职业健康体检结果为“可从事放射性工作”、配置个人剂量计（开展无损检测工作后个人剂量计定期送检）后上岗。

为保障放射性同位素和射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，公司针对辐射情况制定了以下管理制度：制定了《辐射防护安全保卫管理制度》、《高分辨率微焦点断层扫描系统操作规程》、《辐射工作人员培训管理制度》、《监测方案》、《台帐管理制度》、《高分辨率微焦点断层扫描系统检修维护制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射事故应急预案》（见附件3、附件4）等相关制度。

建设单位在日常工作中应认真执行相关操作规程和制度，在开展射线装置工作时，应从以下几个方面加强管理：

①建设单位应加强对射线装置安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；当安全隐患可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染时，应立即停止辐射作业并报环境保护主管部门，经环境保护主管部门检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

②为确保放射防护的可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益、履行放射防护职责，避免事故的发生。建设单位应培养和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，编制安全和防护状况评估报告，并于每年1月31日前上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”中。

③在本项目运行前，各项规章制度、操作规程必须张贴上墙明示；所有的辐射工作场所必须张贴电离辐射警示标志，铅房防护门、检修门和CT实验室门上方必须张贴警示标识，张贴须规范。

④建设单位在今后工作中，应不断总结经验，根据实际情况，加以完善和补充，并确保各项制度的落实，并根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。

建设单位应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求，对各项制度加以完善和补充，确保各项制度的落实。

三、辐射监测

为了及时掌握项目周围的辐射水平，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117—2022）的要求，应建立必要的监测计

划，包括设备运行期及个人剂量监测计划，要建立监测资料档案。

(1) 个人剂量监测

建设单位需对辐射工作人员开展个人剂量监测，建立个人剂量监测档案。严格执行《放射工作人员职业健康管理办法》，按外照射个人剂量监测周期一般为一个月，最长不应超过三个月，委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担个人剂量常规监测，建设单位需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括辐射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终生保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。建设单位还应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量约束值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。

(2) 辐射工作场所周围环境监测

建设单位每年必须委托有资质的单位对工作场所实施监测，检测频度为每年不少于一次。且公司应自行配备便携式 X- γ 监测仪(按要求进行计量检定)，对工作场所周围环境进行监测，发现问题及时整改，监测数据每年年底向当地生态环境部门报备。

公司拟定的监测计划及要求见表 12-1。

表 12-1 监测计划及要求一览表

监测项目	监测内容	监测周期	监测位置
辐射工作场所周围环境监测	周围剂量当量率	每年委托监测一次	1、防护门外 30cm 处； 2、铅房四周外表面 30cm 处； 3、操作位； 4、管线口、排风口； 5、铅房外需要关注的人员常停留区域。
		每季度自主监测一次	
		该项目环保竣工验收时监测一次	
个人剂量	外照射剂量	三个月/1 次	

四、辐射事故应急

一、编制目的

为提高本单位对突发辐射事故的处理能力，最大程度地预防和减少突发辐射事故的损害，保护环境，保障工作人员和公众的生命财产安全，维护社会稳定，特制定本预案。

二、编制依据

《中华人民共和国污染防治法》《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》、生态环境部《突发环境事件应急预案管理暂行办法》等。

三、本预案适应范围

凡单位内发生的射线装置丢失、被盗、失控或人员超剂量照射等所致辐射事故均适用本应急预案。

四、辐射事故分级

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四个等级。

特别重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重放射性污染后果，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，是指 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，是指 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，是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

五、辐射事故的预防

辐射事故多数是人为因素造成的责任事故，严格放射防护管理，做好预防工作，是防止辐射事故发生的关键环节。

(1)健全放射防护管理体制和规章制度，放射源使用和保管落实到人，纪律

要严肃，奖惩要分明。

(2)组织放射防护知识培训，不准无证上岗，严格操作规程。

(3)定期检查放射防护设施，发现问题，及时检修。

六、组织机构及职能

1、辐射事故应急处理领导小组

组长:分管实验室管理工作的校领导

副组长:实验与资产处主要负责人

成 员:实验与资产处、保卫部、科技处、教务处、研究生院、学工部、后勤中心等部门主要负责人及相关教学院行政主要负责人

2、应急处理领导小组职责

(1)组织制定公司辐射事故应急处理预案;

(2)负责组织协调辐射事故应急处理工作;

(3)按照辐射事故应急处理预案的要求，落实应急处理的各项日常工作;

(4)组织辐射事故应急人员的培训;

(5)负责与环保、公安等相关部门的联络、报告应急处理工作;

(6)负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作;

(7)完成应急处理领导小组交办的其它工作。

七、辐射事故的处理

1、立即撤离有关工作人员，封锁现场，控制事故源，切断一切可能扩大污染范围的环节，防止事故扩大和蔓延。

2、对可能受照的人员，立即采取暂时隔离和应急救援措施，在采取有效个人防护措施的情况下组织人员控制现场，并根据需要实施医学检查和医学处理。

3、对受照人员要及时估算受照剂量。

4、辐射事故现场未达到安全水平之前，不得解除封锁，将事故的后果和影响控制在最低限度。

八、辐射事故的报告

发生或者发现辐射事故时，必须立即向辐射安全领导小组报告。并及时收集整理相关处理情况向当地环保局、当地公安局报告，最迟

不得超过 2 小时;同时, 辐射应急处理小组需在 24 小时内报出《辐射事故报告卡》。

相关部门电话:

公安局: 110

医疗卫生机构:120

湖南省生态环境厅: 0731-85698110

长沙市生态环境局: 12345

九、辐射事故的解除

当事故现场的应急工作完成, 伤病员在医疗机构得到救治时, 终止应急响应。终止响应后, 有辐射事故应急处理领导小组指定人员将应急响应情况上报备案, 并做应急响应工作的总结报告。

十、预案管理

(一) 应急培训: 公司根据本预案的要求, 对本单位的负责人和参与应急工作人员进行业务知识培训和应急处置培训, 特别是加强对重点辐射工作人员的培训和管理, 使其熟悉应急处置工作程序和要求, 做好实施应急预案各项准备。

(二) 演练计划: 每年开展一次应急演练, 应急演练前编制学习计划, 包括演练模拟的事故/事件情景, 演练参与人员, 不断提高防范和处置核与辐射事件的技能, 增强防范和应急处置能力。

通过以上分析, 公司制定的辐射安全事故应急预案内容较详实、可操作性较强, 能够满足在发生辐射安全事故时的应急处理需要。公司应根据单位实际情况, 不断完善辐射事故应急预案。同时, 建设单位应在日常加强事故应急演练, 积极培植辐射工作人员的安全文化素养, 使树立较强的安全意识, 减少人为因素导致意外事故的发生率, 确保放射防护的可靠性, 维护辐射工作人员和周围公众的权益。

五、项目竣工环保验收

根据《建设项目环境保护管理条例》, 项目竣工后, 建设单位自主或委托技术机构开展竣工环保验收工作, 验收项目见表 12-2。

表 12-2 竣工环境保护设施验收一览表

序	验收内容	验收要求	依据
1	环保文件	建设项目的环评影响评价文件及环评批复。	《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)
2	环境管理制度及应急措施	成立专门的辐射领导机构,制定相应的规章制度和事故应急预案,具有可操作性,有相应的操作规程及制度上墙。	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021年修订)
3	辐射工作人员管理	①公司每季度安排辐射工作人员进行个人剂量监测; ②每两年安排辐射工作人员进行职业健康体检,并将资料存档管理; ③从事 II 类装置放射工作的人员应于“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”进行学习、报名、考试,取得辐射安全与防护培训证书; ④同时辐射工作人员需在全国核技术利用网站进行备案,建立个人档并终身保存; ⑤本项目辐射工作人员应具备相应的岗位技能。	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021年修订)、《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 57 号)、《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告(2021 年第 9 号))
4	监测仪器、安全防护设备	监测仪器和安全防护设备按报告中表 10-3 要求落实。	《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)
5	辐射监测	①每年委托有资质的单位对辐射工作场所周围剂量水平进行监测,并提交年度评估报告; ②公司配备相应的自检设备 X-γ 剂量率测量仪,定时进行自检。	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021年修订)
6	工作场所辐射剂量率	设备屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。	《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)
7	年有效剂量管理	①辐射工作人员剂量管理目标值为 5.0mSv/a; ②公众剂量管理目标值为 0.1mSv/a。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、公司要求

8	辐射安全防护措施	设置安全警示标志、工作状态指示灯设置位置合理，正常工作；场所监控装置、安全联锁、紧急停机开关装置、固定式剂量报警仪、通风设施正常运行。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)
9	通风	设备自带机械通风装置，每小时有效通风换气次数应不小于3次。	《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)

表 13 结论与建议

一、结论：

1、项目概况

项目名称：长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目

建设单位：长沙理工大学

建设性质：扩建

建设地点：长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室

建设内容：长沙理工大学拟购 2 台 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统，设备带有屏蔽防护铅房，分别放置在长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内预留 CT 实验室和公路工程实验大楼 A 区 A102 房内预留 CT 实验室。属于 II 类射线装置。

2、本项目产业政策符合性、实践正当性分析

（1）产业政策符合性

本项目属于核技术在科研、实验领域内的运用，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》鼓励类“十四、机械 1. 科学仪器和工业仪表：用于辐射、有毒、可燃、易爆、重金属、二恶英等检测分析的仪器仪表，水质、烟气、空气检测仪器，药品、食品、生化检验用高端质谱仪、色谱仪、光谱仪、X 射线仪、核磁共振波谱仪、自动生化检测系统及自动取样系统和样品处理系统，科学研究、智能制造、测试认证用测量精度达到微米以上的多维几何尺寸测量仪器，自动化、智能化、多功能材料力学性能测试仪器，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，用于纳米观察测量的分辨率高于 3.0 纳米的电子显微镜，各工业领域用高端在线检验检测仪器设备”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策，符合国家现行产业发展政策。

（2）实践正当性分析和经济损益分析

建设单位拟新增的 2 台设备带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房其防护性能符合国家相关标准，设备采用独特的 X 光光学显微成像技术，利用不同角度的 X 射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨

率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。本项目在运行期间产生的电离辐射，有可能会增加显微 CT 实验室周围的辐射水平，采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设能为长沙理工大学创造更大的科研价值，在落实辐射安全与防护管理措施后，其带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、本项目选址、平面布置合理性分析

本项目 2 台设备均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，放置在独立的空间内使用，项目四周 50m 范围内均属于场所理工大学，无居民楼、幼儿园、学生宿舍等环境保护目标分布。运行过程中只有在开机时才产生 X 射线，关机断电时不产生 X 射线，不产生放射性三废，设备采用数字成像技术，不需要洗片，不产生废显（定）影液、洗片废水和废胶片等危险废物。根据报告表 11 中机房周围关注点剂量估算结果，本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境的影响较小，因此，本评价认为项目选址是合理的。

本项目设备一，拟放置于工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室西南部，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，有效避开了有用线束方向，设备东侧放置电气控制柜和水冷却器，CT 实验室东北角设置样品待检区和已检区，工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室拟设置门禁，仅辐射工作人员可进入。本项目设备一带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，使用场所固定，场所内划分了监督区和控制区，故平面布置合理。

本项目设备二拟放置于公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室西侧中部，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，有效避开了有用线束方向，设备西侧放置电气控制柜和水冷却器，CT 实验室南侧设置样品待检区和已检区，公路工程实验大楼 A 区 A102 房设置门禁，仅辐射工作人员可进入。本项目设备二带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，使用场所固定，场所内划分了监督区和控制区，故平面布置合理。

4、环境影响评价结论

（1）施工期

本项目新增的 2 台设备均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，对安装场所没有屏蔽要求，故项目建设期为设备的安装和调试期，产生的污染因子主要为设备安装噪声、设备废弃包装等固体废物和调试过程中产生的 X 射线以及少量的臭氧和氮氧化物。本项目工程量小，施工期短，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的防治措施后，本项目施工期间对外界的影响小；本项目 2 台设备均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，进行安装调试后即可使用，安装调试期间对周边环境影响能够满足标准要求。

(2) 营运期

①辐射环境影响分析

根据报告表的预测，本项目设备一正常运行时，辐射工作人员可能受到的最大年有效剂量为 $8.76E-03\text{mSv/a}$ ，设备邻近区域公众可能受到的最大年有效剂量为 $3.35E-04\text{mSv/a}$ ；设备二辐射工作人员可能受到的最大年有效剂量为 $2.66E-01\text{mSv/a}$ ，设备邻近区域公众可能受到的最大年有效剂量为 $1.47E-04\text{mSv/a}$ ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 剂量限值和建设单位设定的辐射工作人员年剂量管理目标值 5.0mSv/a 、公众人员年剂量管理目标值 0.1mSv/a 的要求。

②有害气体影响评价

本项目设备一东侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，拟在排风口外侧增加集气罩连接排风管道，通往室外排放。设备一每小时有效换气次数 43 次，满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。本项目设备二西侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，废气由设备排风口排至 CT 室内，再由 CT 室排风装置排至室外。CT 实验室每小时有效换气次数 4 次，满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

③固体废物的环境影响评价

本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活垃圾。本项目 X 射线管达到使用寿命后，建设单位将返回原厂家更换，设备达到使用寿命后，将按要求对设备进行报废处理。故本项目产生的固体废物对周围环境影响较小。

④废水环境影响评价

本项目不产生生产性废水，本项目工作人员均为学校现有人员，本项目不新增工作人员生活污水。

5、事故风险与防范

建设单位已按本报告提出的要求制定相关辐射防护应急和安全规章制度，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

6、环保设施与保护目标

建设单位将按本报告环评要求配备齐全、效能良好的环保设施，确保保护目标所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到尽可能低的水平。

7、辐射安全管理的综合能力

建设单位已成立了辐射安全领导小组，有领导分管、人员落实、责任明确，辐射工作人员配置合理，辐射事故应急处理预案与安全规章制度合理可行。拟采用的环保设施和措施合理可行，可满足防护的实际需要，经一一落实后，建设单位可具备辐射安全管理的综合能力。

综上所述，长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目，对周围环境产生的辐射影响满足相关标准的要求；辐射防护措施和事故应急措施可行；规章制度健全；该项目对环境的辐射环境影响是可接受的。单位应加强管理，在工作过程中不断补充完善。从环境保护和辐射安全的角度来看，该项目是可行的。

二、建议和要求

(1) 环评取得批复、项目建成且场所达到要求后，及时向相关部门申领《辐射安全许可证》。并按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》做好环保竣工验收工作，按时在全国建设项目竣工环境保护验收信息平台填报验收相关信息。

(2) 一旦发生辐射安全事故，立即启动应急救援预案并报告上级主管单位；

(3) 认真学习贯彻国家相关的环保法律法规及相关标准规范，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作；

(4) 定期对工作场所及其周围环境的辐射监测，据此对所用射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年 1 月 31 日前将上一年度的评估报告上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”中。

表 14 审批

生态环境部门预审意见：

公章

经办人

年 月 日

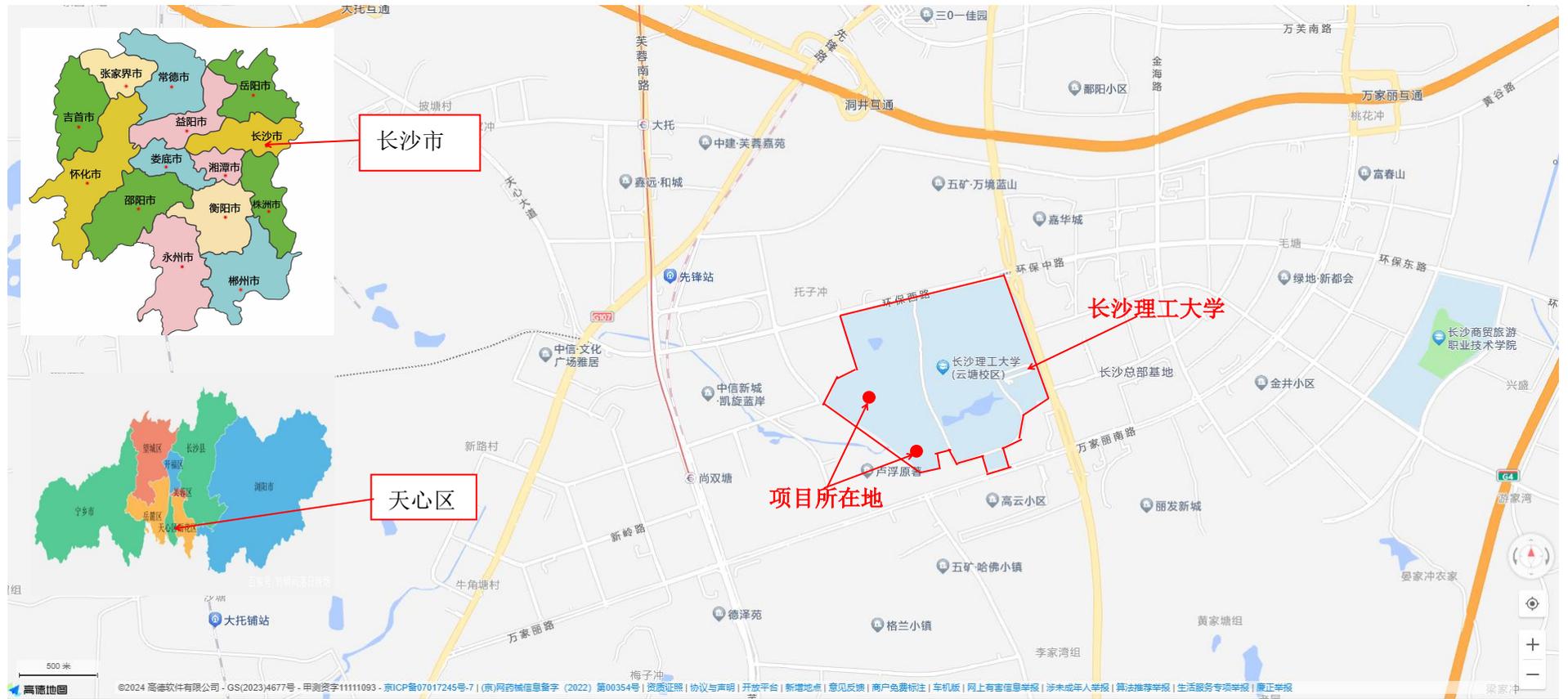
审批意见：

公章

经办人

年 月 日

附图 1：项目地理位置图



附图 2: 校区总平面布置图



附件 1：委托书

委托书

湖南贝可辐射环境科技有限公司：

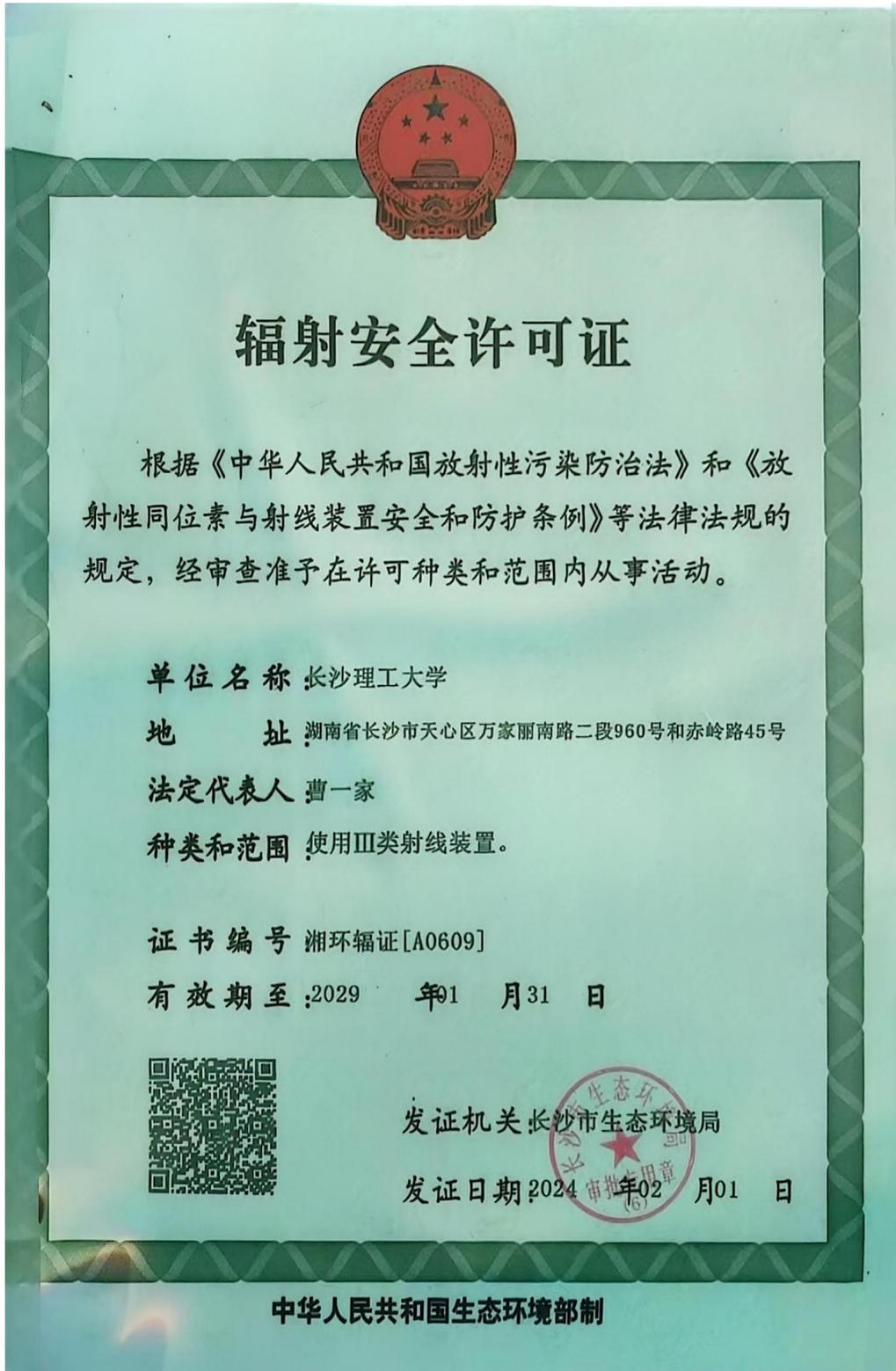
根据《中华人民共和国环境影响评价法》及《建设项目环境保护管理条例》和相关法规的要求，委托贵环评单位承担长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目环境影响评价工作，按照有关规定及合同要求编制环境影响报告表。

特此委托！



附件 2：事业单位法人证书

附件 3：辐射安全许可证



台帐明细登记

(三) 射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
1	数字化X射线系统	SOMATOM Siretub	III类	DR	长沙理工大学云塘校区医 院放射科:二栋	来源 四川盛图	去向		
2	数字化医用X射线 摄影系统	Multiix-S-1ec +DR	III类	医用诊断X射线装置	长沙理工大学医院 放射科:二栋	来源 上海西门子	去向		
3	动态DR	i RF 100G	III类	医用诊断X射线装置	长沙理工大学医院 放射科	来源 康达洲际	去向		
4	口腔CT机	SS- X9010DPro- SDE	III类	医用诊断X射线装置	长沙理工大学医院 放射科	来源 合肥美亚	去向		
5	全景机	SS- X9010DPro- ZDE	III类	医用诊断X射线装置	长沙理工大学云塘 校区医院放射科	来源 合肥美亚	去向		
6	CT	SOMATOM Eo, DP	III类	医用诊断X射线装置	长沙理工大学云塘 校区医院放射科	来源 上海西门子	去向		
	以下空白					来源	去向		



证书编号: 湘环监证[A06091]

附件 4：辐射安全防护管理小组

附件 5：相关制度

辐射防护安全保卫管理制度

根据国家新颁布的辐射环境安全防护法律法规，管理办法特制定本制度。

1. 各岗位工作人员严格遵守本单位的辐射安全相关制度，按时到岗值班，值班期间坚守岗位，严禁擅离职守，认真填写值班记录，发现问题及时处理、报告情况，做好交接班登记。
2. 加强辐射工作场所安全保卫工作，防止无关人员随意进入。
3. 辐射工作场所按照有关规定设置明显的电离辐射警示标志、报警装置和工作信号指示，防止人员受到意外照射。
4. 配备监测和报警仪器，掌握并正确使用，监测和报警仪器由专人保管，定期维护，定期送检。
5. 辐射工作人员上岗前必须安排其岗前职业健康检查，辐射安全防护培训，并考核合格，配置个人剂量计，按要求送检。
6. 辐射工作场所安装符合法规和标准要求的安全设施，并定期维护和检修，及时消除安全隐患。
7. 增强辐射安全责任意识，加强安全保卫工作，工作人员离开辐射工作场所时，必须做到断电、锁门，防止火灾和被盗事件发生。禁止在辐射工作场所内逗留、吸烟、饮食和存放与辐射工作无关的易燃、易爆物品。
8. 配备必要的辐射应急用具，如警戒线、警示标志和灭火器等，定期检查。
9. 由辐射安全管理员进行日常检查，定期对单位射线装置工作场

所及相关防护措施等进行巡检：如工作指示灯是否亮、标识牌颜色是否褪色等，自查周期不低于半年一次，并进行记录。

10. 定期委托具有专业资质的单位进行辐射安全防护监测，对射线装置的安全和防护状况进行年度评估，年度评估报告于每年上传到全国核技术系统，内容包括放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度的建立和落实、事故和应急以及档案管理等。



高分辨率微焦点断层扫描系统操作规程

严禁非辐射工作人员操作高分辨率微焦点断层扫描系统。

高分辨率微焦点断层扫描系统具体操作流程如下：

（一）开机

- ① 将仪器电源插入插座，确保电源接触良好，仪器供电正常；
- ② 旋转设备总开关到“ON”，然后按下启动开关绿灯常亮，仪器上电；
- ③ 旋动射线源控制旋钮到“开机”，按下使能开关，射线源上电；
- ④ 打开前端机工作站，打开扫描软件 NanoVoxel Scan 进入软件操作界面。弹出仪器自检对话框，点击“一键自检”按钮，仪器开始自检功能，其中包括射线源连接检测、探测器连接检测、控制器连接检测、控制器回零、射线源预热（需要用 Worx 原厂软件预热）、自检完成表明设备各部件与前端机完成通讯，可以正常工作；

（二）样品安装

- ① 观察待测样品，选取适合该样品的样品夹持器；
- ② 将样品固定在选择好的样品夹持器上，打开仪器前防护门，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；
- ③ 关闭仪器前防护门，确认仪器前后防护门均关闭后，按动操作台上防护门关闭确定按钮，射线源状态变为“STAND BY”。

（三）扫描参数设置

- ① 探测器控制界面包括四个设置内容：探测器类型、曝光时间、

图像合并数以及像素合并数。

② 在软件界面右边栏的“射线源”功能区，可对射线源电压以及电流进行设置。

③ 在软件界面“机械”功能区用于选择需要控制的电机。选中选项卡可以对响应的电机进行控制，对射线源、平板探测器、样品台进行位置调整。

(4) 图像采集

工作人员启动扫描后，显示系统显示样品图像。扫描结束后，显示系统显示扫描的最后一帧图像。扫描完成后，工作人员取出样品及样品夹持器。

(5) 数据重建与处理

根据图像采集中获得的二维图像信息利用重建软件 VoxelStudio Recon 进行数据重建及图像处理，将二维图像信息重建为三维体数据。

(6) 关机

样品检测完成后，本仪器的关机步骤分为以下 4 步，关机时请严格按照关机步骤执行：

① 确定样品扫描结束，射线源处于未发射 X 射线状态，即射线发射指示灯处于关闭状态；

② 关闭扫描软件，样平台、探测器回归初始位置；

③ 依次关闭电源控制面板各模块电源开关；

④ 旋转总电源开关到“OFF”，关机断电；

(7) 评片

关机完成后工作人员在操作平台上进行评片，评片完成后关闭操作平台。



辐射工作人员培训管理制度

根据《放射同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令 第 449 号)和《放射同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求, 结合单位情况, 特制订本制度:

- 一、本单位辐射工作人员包括射线装置操作人员和辐射安全与防护管理人员。
- 二、所有辐射工作人员必须通过环境保护部门举办的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核, 尤其是新进、转岗人员的, 必须取得岗位培训合格证, 方可持证上岗。
- 三、辐射安全与防护培训合格证为五年, 到期前, 必须参加复训并取得合格证。
- 四、辐射安全与防护知识的培训计划由辐射安全防护管理领导小组负责拟定。
- 五、定期组织辐射工作人员学习和贯彻《中华人民共和国污染防治法》、《放射同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射同位素与射线装置安全和防护管理办法》等国家有关法律法规和公司各项辐射安全与防护管理规章制度。



监测方案

为加强对辐射源管理与辐射工作人员健康管理，控制辐射源的照射，规范辐射工作防护管理，保障相关员工健康和环境安全，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，结合我单位实际，特制定本方案。

一、个人剂量监测

1、单位辐射环境监测工作由辐射安全与防护管理领导小组组织实施，负责联系有剂量监测资质的机构对我单位参与射线装置操作人员进行个人剂量监测。

2、个人剂量监测期内，个人剂量计每三个月检测一次。佩戴周期第三个月份的月底各部门收齐本部门辐射工作人员的个人剂量计后交至管理领导小组更换佩戴个人剂量计，管理领导小组统一将个人剂量计送至有资质机构检测并领取新的个人剂量计。

3、剂量监测结果一般每季度由管理领导小组向各有关部门通报一次；当次剂量监测结果如有异常，通知具体辐射工作人员及部门分管领导。

4、管理领导小组负责建立我院辐射工作人员的个人剂量档案。

二、辐射工作人员健康检查

管理领导小组联系有辐射人员体检资质的医院，组织相关辐

射工作人员两年进行一次健康检查，并建立健康档案。未经体检和体检不合格者，不得从事辐射性工作。

三、工作场所监测

管理领导小组负责联系有监测资质的机构对我单位各辐射工作场所进行每年一次的辐射环境监测。

1、外部监测：根据需要联系有监测资质的机构对我单位辐射工作场所辐射防护进行监测或环境评价。

2、内部监测：由管理领导小组每季度初指定专人对单位辐射工作场所进行监测，并记录档案。

3、应急监测：应急情况下，为查明放射性污染情况和辐射水平进行必要的内部或外部监测。



台帐管理制度

- 一、台账管理人员必须认真填写射线装置的基本技术参数和状态。建立一一对应的射线装置明细台账。
- 二、射线装置台账应做到一装置一卡，技术参数准确无误，不能私自涂改，划改参数，做到物帐相符。
- 三、射线装置的大中小维修，都能在台账上显示，做到有据可查。
- 四、射线装置的定期检定工作由台账管理人员提前报告送检，检定报告也应按时归档。
- 五、台账管理人员应定期核对台账，使每台设备检修维护记录都能与台账相符合。
- 六、台账不允许私自外借，如果外借必须经主管领导同意办理登记手续，因私自外借，使台账资料丢失的，须追究台账管理人员的责任。造成严重后果的，责任自负。



高分辨率微焦点断层扫描系统 检修维护制度

1. CT 实验室的各种标志醒目，设备应有规范的操作规程和运行记录。
2. 保持 CT 实验室内干燥整洁，禁止在 CT 实验室内存放无关物品。
3. 保持机器清洁，及时清理污物，必须定期进行一次机器的清洁工作。具体由辐射工作人员负责。
4. 每周进行一次安全检查和常规小保养，减少机器故障的发生并及时掌握机器的运行情况。主要为机器清洁、安全装置、运转部件检查保养。具体由辐射工作人员负责。
5. 每月进行一次机器的全面检查和调整。内容包括：CT 实验室和设备的清洁；机械电器部件牢固、运行准确性；电缆电线的完好；保护地线接触良好；显示数据准确性等。保持设备处于良好的状态，确保设备安全、正常运行。具体由部门负责人组织，辐射工作人员负责执行。
6. 设备发生故障时应及时向部门负责人汇报，记录故障现象并立即停止使用。
7. 平台接到设备故障报告后安排具有维修技术的技术人员进行检查。设备出现故障应请专业人员或设备生产厂家进行维修。

8. 对部门无法维修的故障及时向辐射安全与防护管理领导小组报告，由领导小组联系安排请专业人员或设备生产厂家进行维修。
9. 设备维修应及时做维修记录，内容包括：故障经过、现象、检查情况、维修经过和维修后情况。
10. 设备故障修复后应进行严格的验收检测，正常后方可正式使用。
11. 未经部门负责人许可，严禁私自拆解、改造、维修机器设备。



辐射工作人员岗位职责

- 1、从事辐射工作的人员必须严格遵守并执行《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》。
- 2、辐射工作人员需在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习考核成绩合格后，并且通过职业健康体检后方可上岗。
- 3、上岗时必须佩带热释光个人剂量仪和个人计量报警仪。
- 4、定期检查辐射工作场所的安全防护设施，及时发现问题并解决。周围环境巡查时必须携带 X- γ 监测仪。不得在没有启动安全防护装置的情况下强制进行辐射工作，以防止辐射照射事故的发生。
- 5、从事辐射工作的人员，要严格按照操作规程和规章制度，杜绝非法操作。
- 6、建立射线装置台帐。
- 7、时常保持岗位环境整洁干净。
- 8、发生辐射事故，立即报告辐射安全与防护管理领导小组和有关部门，采取有效措施，不得拖延或者隐瞒不报。



附件 6：辐射事故应急预案



湖南贝可辐射环境科技有限公司



报告编号： HS2024-2224

项目名称： 长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目

委托单位： 长沙理工大学

报告日期： 二〇二四年十二月十六日

湖南贝可辐射环境科技有限公司 检测报告

编号：HS2024-2224

第 1 页 共 6 页

1、辐射环境检测项目执行依据、使用仪器

项目名称	长沙理工大学新增2台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目		
检测因子	环境 γ 辐射剂量率		
委托单位	长沙理工大学		
委托单位地址	长沙市天心区赤岭路45号		
检测日期	2024年11月11日		
环境条件	天气：晴	温度：20℃	相对湿度：70%RH
检测类别	环评委托	检测方式	现场检测
联系人	杨豪	电话	13163729906
检测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）		
检测仪器	仪器名称	多功能辐射剂量率仪	
	仪器型号	RJ32-3602	
	仪器编号	RJ3200305	
	证书编号	2024H21-20-5202620001（上海市计量测试技术研究院）	
	有效期限	2024年04月17日-2025年04月16日	
检测结论	根据检测结果，本次检测区域内的环境 γ 辐射剂量率为55~89nGy/h。		
备注	本报告仅对本次检测数据负责。		

报告编制人 杨豪 审核人 王琪 签发人 王琪 签发日期 2024.12.16

湖南贝可辐射环境科技有限公司 检测报告

编号：HS2024-2224

第 2 页 共 6 页

2、检测结果

表 1 辐射环境检测数据表

检测点位	检测点位描述	检测结果 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
A1	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室中间	70	5	楼房
A2	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室北侧过道	69	7	楼房
A3	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室东侧核磁共振室	78	4	楼房
A4	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室西侧过道	67	4	楼房
A5	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室楼上创新训练 4 室	89	9	楼房
A6	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室南侧道路	69	5	室外道路
A7	工程训练中心东侧道路	55	6	室外道路
A8	工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室南侧工程训练中心二区训练室内	61	5	楼房
A9	工程训练中心西侧空地	63	5	室外空地
A10	工程训练中心北侧道路	73	7	室外道路
A11	工程训练中心北侧新能源大楼 3#楼内	68	7	楼房
B1	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室中间	65	5	楼房
B2	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室南侧过道	88	7	楼房
B3	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室西侧过道	80	3	楼房
B4	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室北侧过道	81	4	楼房
B5	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室东侧空地	85	5	室外空地
B6	公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室楼上交通工程教学实验室	65	4	楼房

湖南贝可辐射环境科技有限公司

检测报告

编号：HS2024-2224

第 3 页 共 6 页

续表 1 辐射环境检测数据表

检测点位	检测点位描述	检测结果 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
B7	公路工程实验大楼 A 区南侧足尺实验室内	66	5	平房
B8	公路工程实验大楼 A 区西侧道路	87	6	室外道路
B9	公路工程实验大楼西北侧公路工程实验大楼 C 区内	68	4	平房
B10	公路工程实验大楼 A 区北侧道路	82	6	室外道路
B11	公路工程实验大楼南侧道路	71	6	室外道路

备注：1、依据 HJ1157-2021：监测结果 $D_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c$ ； D_{γ} —测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值，Gy/h； k_1 —仪器检定/校准因子； k_2 —仪器检验源效率因子； R_{γ} —仪器测量读数值均值； k_3 —建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子； D_c —测点处宇宙射线响应值；

2、本次检测仪器校准因子为 0.86，效率因子取 1，屏蔽修正因子楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；

3、仪器对宇宙射线的响应通过以下方式获得：在湖南省郴州市东江湖（东经 E：113.41，北纬 N：25.90，海拔高度：274m，水深大于 3m，距岸边大于 1km）使用辐射检测仪进行宇宙射线响应检测，水面上仪器 10 次读数的平均值经校准后为 14.81nGy/h。本次长沙理工大学监测点 A：（东经 E：113.00，N：28.06 海拔高度：58m）本次长沙理工大学监测点 B：（东经 E：113.01，N：28.06 海拔高度：72m），根据 HJ61-2021 附录 D 修正公式（D1）得出仪器在本项目所在地对宇宙射线的响应值为 14.44nGy/h；

4、以上所测环境 γ 辐射剂量率均已扣除宇宙射线的响应值；

5、检测布点见检测点位示意图 A、图 B。

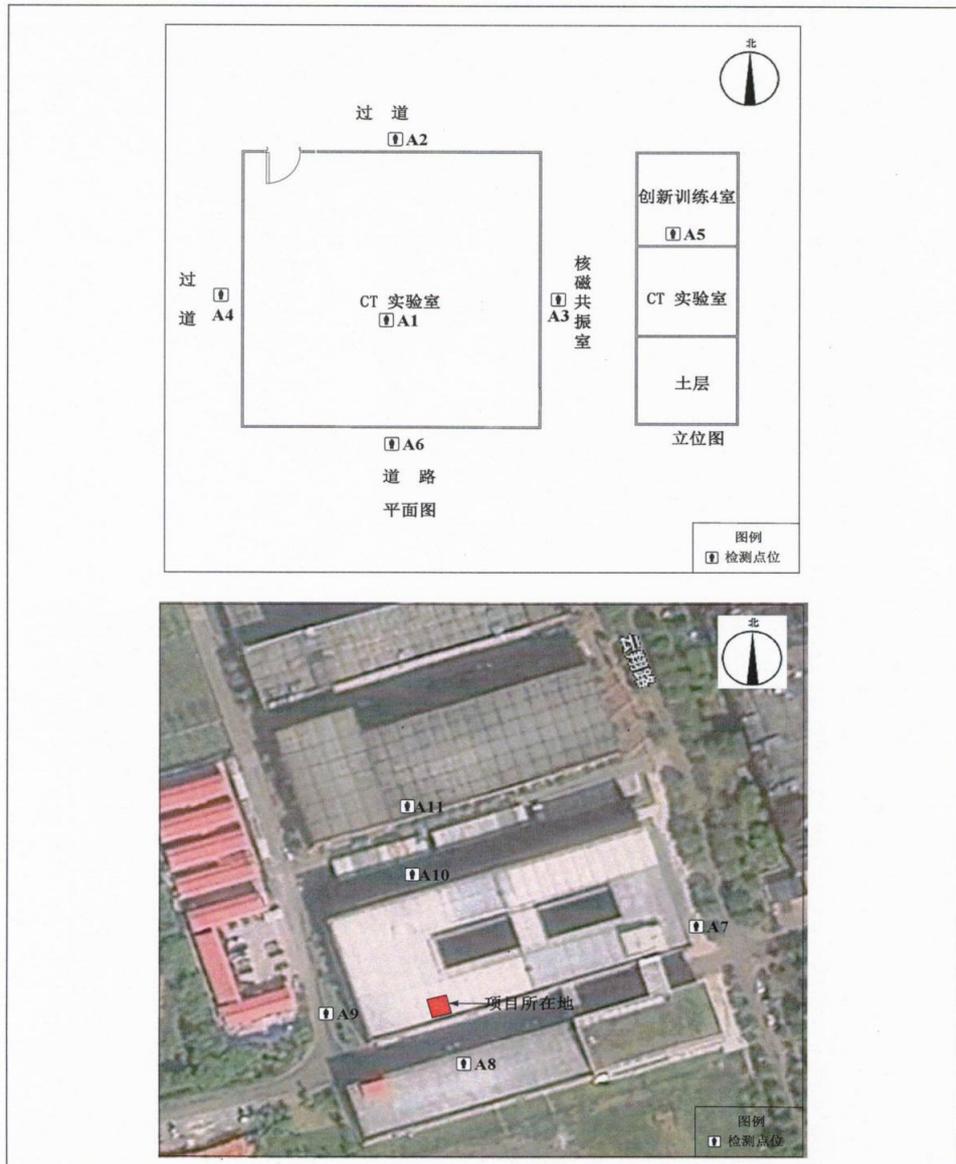
湖南贝可辐射环境科技有限公司 检测报告

编号: HS2024-2224

第 4 页 共 6 页

3、检测点位图

图 A

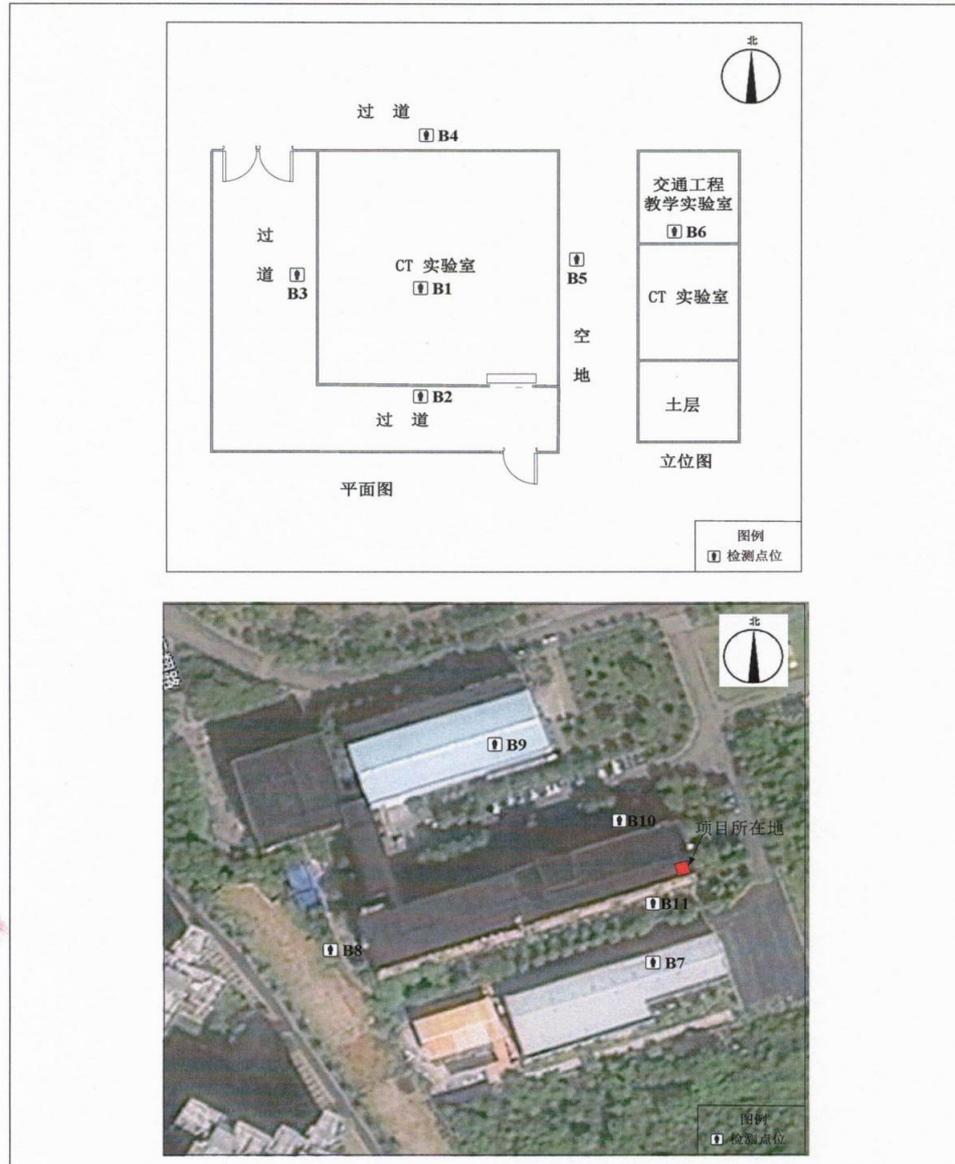


湖南贝可辐射环境科技有限公司 检测报告

编号: HS2024-2224

第 5 页 共 6 页

图 B



湖南贝可辐射环境科技有限公司 检测报告

编号: HS2024-2224

第 6 页 共 6 页

现场检测照片



附件：资质证书



检验检测机构 资质认定证书

证书编号：231812052611

名称：湖南贝可辐射环境科技有限公司

地址：湖南省长沙市芙蓉区韭菜园街道八一路399-19号领峰大厦1220

经审查，你机构已具备国家有关法律、行政法规规定的基本条件和能力，现予批准，可以向社会出具具有证明作用的数据和结果，特发此证。资质认定包括检验检测机构计量认证。

你机构对外出具检验检测报告或证书的法律责任由湖南贝可辐射环境科技有限公司承担。

许可使用标志



231812052611

发证日期：2023年10月19日

有效期至：2029年10月18日

发证机关：湖南省市场监督管理局



本证书由国家认证认可监督管理委员会监制，在中华人民共和国境内有效。



附件 11：关于本项目年有效剂量约束值说明

长沙理工大学辐射工作人员和公众年有效剂量管理 目标值的说明

为保证我单位核技术利用项目的正常运行，加强对辐射工作人员剂量的管理，按国家相关法律法规和标准要求，结合我单位辐射工作实际的情况，明确我单位辐射工作人员和公众的年有效剂量管理目标值如下：

辐射工作人员：年有效剂量管理目标值取 5.0mSv/a ；

公众成员：年有效剂量管理目标值取 0.1mSv/a ；

特此说明。



附件 12：项目工作负荷及设备屏蔽参数确认文件

长沙理工大学新增 2 台高分辨率微焦点断层扫描设备建设项目
工作负荷及设计情况确认表

装置名称	型号	生产厂家	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	数量	类别	使用位置	产品序列号
高分辨率微焦点断层扫描系统	nanoVoxel-4000	天津三英精密仪器股份有限公司	225	3	1	II	长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 房内 CT 实验室	TS23158
高分辨率微焦点断层扫描系统	nanoVoxel-4000	天津三英精密仪器股份有限公司	225	3	1	II	长沙理工大学（云塘校区）公路工程实验大楼 A 区 A102 房内 CT 实验室	TS23147

注：本项目两台设备型号、内置射线源型号均一致，工程训练中心一楼 106 房 CT 实验室设备为长沙理工大学土木工程学院设备，主要用作岩土流固耦合多维度变形测试，公路工程实验大楼 A 区 A102 室设备为交通运输工程学院设备，主要用作微观材料力学加载装置及分析、原位加载体应变分析，故 2 台设备内部结构与设备外观均有区别。

设备	2 台设备均为 nanoVoxel-4000 型高分辨率微焦点断层扫描系统（显微 CT 设备），最大管电压均为 225kV，最大管电流均为 3mA，设备带有屏蔽防护铅房，均属于 II 类射线装置，设备一铅房外尺寸为：3341mm×1565mm×2337mm（长×宽×高），设备二铅房外尺寸为：2390mm×1344mm×1650mm（长×宽×高）。
设备用房	本项目设备一拟安装在长沙理工大学（云塘校区）工程训练中心一楼 106 室内使用，预留 CT 实验室尺寸为 6.5m×6.0m×3.50m（长×宽×高）。本项目设备二拟安装在长沙理工大学（云塘校区）公路工程实验大楼 A 区 A102 室内使用，预留 CT 实验室尺寸为 8.76m×6.00m×3.50m（长×宽×高）。
人员配置	<p>本项目拟配置 4 名辐射工作人员，每台设备 2 名辐射工作人员，人员不混用，工作时其中一人负责待检样品上料、操作平台的操作和评片，另一人负责辅助配合。均为新增辐射工作人员，从学校现有员工中调配，名单暂未确定。建设单位将在本项目正式投入使用前安排该 4 名辐射工作人员进行上岗前职业健康检查、参加辐射安全与防护考核，职业健康检查结果为“可从事放射工作”且取得辐射安全与防护考核成绩合格单方可上岗；在工作人员上岗后为工作人员配置个人剂量计，并定期送检。</p> <p>本项目两台设备主要用于科研实验使用，由本校科研项目和校外其他有需求组织送样检测，实验室不涉及样品的运输、样品的存放以及检测完成后样品的处理，检测完毕后辐射工作人员将检查完毕样品和实验结果交由来样人员。</p>

检测样品	<p>本项目主要检测样品有泥岩、红砂岩、尾矿渣、水泥、混凝土、石灰、黏土、粉土、砂土、碎石土、软岩、硬岩、沥青混合料、混凝土等矿石和建筑材料（不接收检测放射性样品），系统通过采集不同角度的 X 射线透视图象，结合计算机三维数字重构技术，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。样品最大尺寸不超过 200mm×200mm×200mm，重量不超过 20kg。</p>
工作负荷	<p>我单位每周工作 5 天，全年工作时间为 40 周。两台设备投入使用后，单台设备年检测样品数量不超过 1200 件，单台设备每天最多检测 6 个样品。由于样品种类较多，样品检测出束时间从 5min 至 30min 不等，单个样品最大曝光时间不超过 30min。</p>
防护措施	<p>本项目拟新增的 2 台设备均带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，屏蔽防护由厂家针对射线特征采用一体化设计和制造，屏蔽性能良好，无需额外加建屏蔽防护。本项目设备一样品进出防护门朝北，有用线束从东朝西照射，操作位位于设备北侧，设备二样品进出防护门朝南，有用线束从西朝东照射，操作位位于设备南侧，2 台设备操作位均避开了主射线方向，符合要求。</p> <p>本项目 2 台设备均设有安全连锁系统，安全连锁设计要求钥匙开关闭合、按下使能开关，射线源才能上电，所有急停开关复位、维修门、样品进出防护门完全关闭，保证出束过程中设备的有效屏蔽、警示装置正常的情况下射线装置才能启动，才能正常出束，一旦其中有一道未关到位，射线装置将不能启动。</p> <p>本项目两台设备顶部均自带 1 个工作状态指示灯，且设备自带声音提示装置，指示仪器运行状态。仪器处于关闭状态，绿、黄、红灯都不亮；仪器处于上电状态，绿灯亮；箱体防护门（前防护铅门、后维护门）处于关闭状态，可安全开启射线源，黄灯亮；射线源处于发射 X 射线状态，红灯亮。亮灯时声音提示装置会做出相应的提示音。设备工作状态指示灯设置在设备顶部，能够被操作者和周围人员清楚看到安全指示灯所指示的 X 射线系统的状态。</p> <p>拟在设备屏蔽防护门、检修门和 CT 实验室室门上均粘贴满足 GB18871 标准要求明显的电离辐射警告标志并附中文警示说明。</p> <p>本项目 2 台设备均在铅房外侧样品进出门左侧控制面板和操作位处各设置一个紧急按钮。确保出现紧急事故时，能立即停止照射。</p> <p>本项目设备一左侧屏蔽体上方设置 3 个排风口，每个排风口内各个安装 1 个排风扇，拟在排风口外侧增加集气罩连接排风管道，通往室外排放。</p> <p>本项目设备二左侧屏蔽体上方设置 2 个排风口，每个排风口内各安装 1 个排风扇，废气由设备排风口排至 CT 室内，再由 CT 室排风装置排至室外。</p> <p>设备一拟在 CT 实验室东南角设置一个监控摄像头，在设备防护门上设置一个观察窗，可以监视到 CT 实验室内人员的活动。</p> <p>设备二拟在设备内部东南角和西北角各设置一个摄像头，可以监视到机房内人员的活动和设备的运行情况。</p> <p>2 台设备均拟在设备样品进出门外安装固定式剂量报警仪，由厂家统一配套安装。</p> <p>本项目 2 台设备均设置两个电缆孔，电缆孔均从铅房左侧屏蔽防护穿过，拟在穿墙处外侧设置钢铝防护罩。</p> <p>本项目 2 台设备的观察窗与防护门连接处、防护门和检修门与屏蔽壳体连接处均进行屏蔽搭接，防止射线泄露。</p>

设备	屏蔽防护	屏蔽材料及厚度	铅当量
设备一	前侧	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+2.5mm 钢板 (含 70mm 铅玻璃)	14.34mmPb
	后侧	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+2.5mm 钢板	14.34mmPb
	左侧	2mm 钢板+方管+12mm 铅板+2.5mm 钢板	12.34mmPb
	右侧	2mm 钢板+方管+18mm 铅板+2.5mm 钢板	18.34mmPb
	顶部	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+2.5mm 钢板	14.34mmPb
	底部	5mm 钢板+方管+14mm 铅板+2mm 钢板	14.53mmPb
设备二	前侧	2mm 钢板+方管+18mm 铅板+3mm 钢板 (含 45mm 铅玻璃)	18.38mmPb
	后侧	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+3mm 钢板	14.38mmPb
	左侧	2mm 钢板+方管+12mm 铅板+3mm 钢板	12.38mmPb
	右侧	2mm 钢板+方管+18mm 铅板+3mm 钢板	18.38mmPb
	顶部	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+3mm 钢板	14.38mmPb
	底部	2mm 钢板+方管+14mm 铅板+3mm 钢板	14.38mmPb



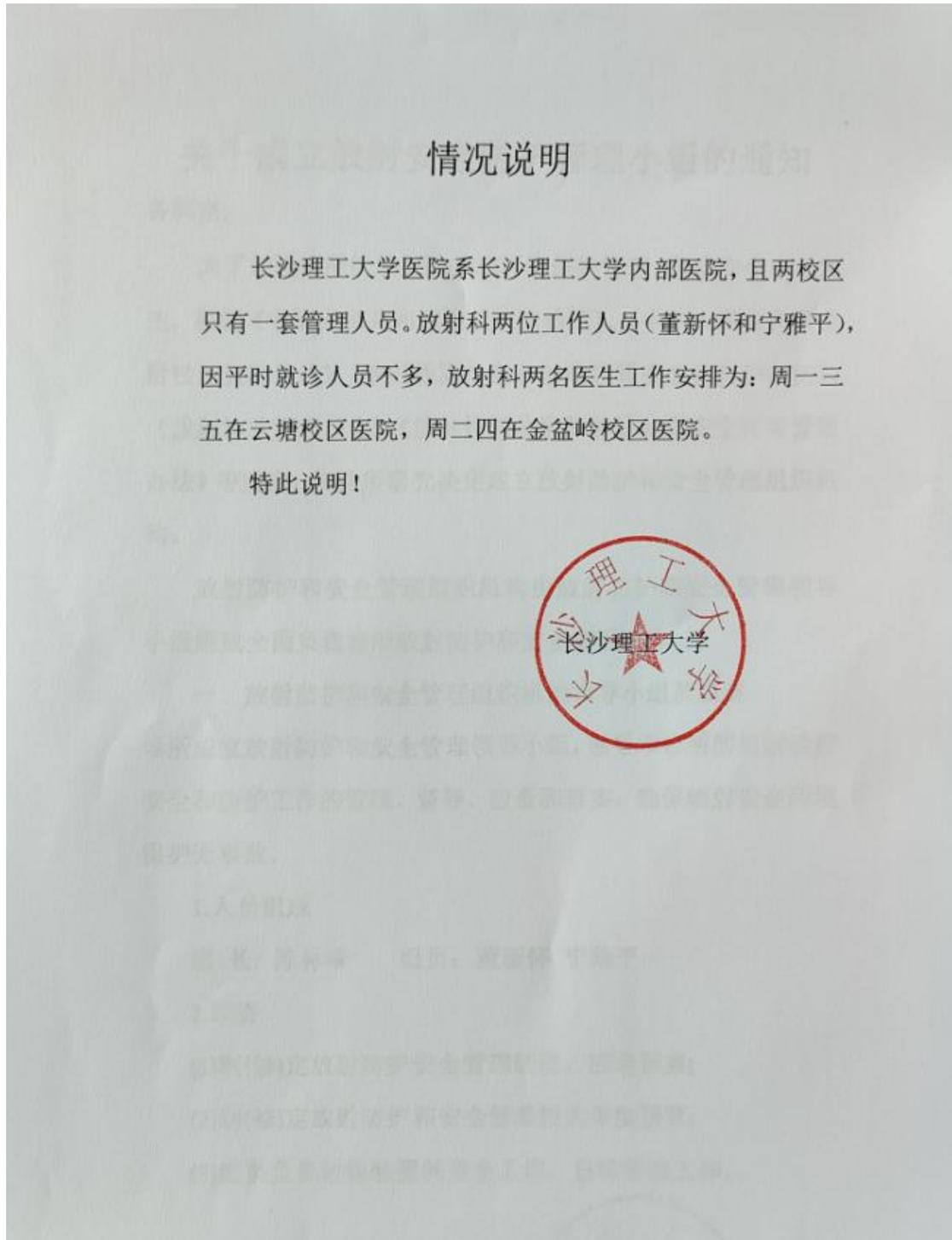
附件 13：公路工程实验中心 A102 房 CT 实验室装修说明

公路工程实验中心 A102 房 CT 实验室装修说明

我校于 2007 年在长沙理工大学云塘校区建设公路工程实验大楼，2008 年对公路工程实验大楼内实验室进行改造装修，由于科研合作需求拟采购 X 射线装置相关设备，因此在大楼改造装修的过程中，对公路工程实验大楼 A 区 A102 房内预留 X 射线机房的墙体进行了硫酸钡水泥加固，更换了电动防护铅门，并在东墙底部设置了一个排风扇，北侧墙体和西侧墙体上各安装一个监控摄像头。但 2022 年学校才启动招标采购 X 射线装置，即本项目天津三英精密仪器股份有限公司高分辨率微焦点断层扫描系统，设备带有厂家配置的成套屏蔽防护铅房，对实验室墙体没有屏蔽要求。



附件 14：原有项目人员配备情况说明



附件 15：设备说明书



nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层 扫描系统用户手册



天津三英精密仪器股份有限公司

版本 1.2

联系我们：

天津三英精密仪器股份有限公司

地址：天津市东丽开发区四纬路 28 号华电智网产业园 1 号楼

邮编：300300

电话：+86-022-24874990

传真：+86-022-24984825

邮箱：info@sypi.com.cn

网址：www.sypi.com.cn

说明：

天津三英精密仪器股份有限公司保留对 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统用户手册的所有权利，其他单位任何盗印、销售的行为都属于违法行为。在使用设备时，因直接或者间接没有遵守用户手册说明的使用规则而造成仪器损坏或者信息丢失的，我公司不承担任何责任。产品设计及规格如有更改，恕不另行通知。

如果您在仪器使用过程中遇到困难或对我们的工作有好的建议，请与我们联系。



nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统用户手册（版本 1.2）

©天津三英精密仪器股份有限公司 版权所有

印刷时间：2024 年 5 月

目 录

目 录

仪器使用安全须知	1
第一章 仪器概况	4
1.1 仪器主要技术指标	4
1.2 仪器硬件	5
1.2.1 仪器硬件介绍	5
1.2.2 系统坐标系定义	9
1.3 仪器软件	12
1.3.1 扫描软件 NanoVoxel Scan	12
1.3.2 三维重建软件 VoxelStudio Recon	13
1.4 仪器基本操作	14
1.4.1 开机步骤	14
1.4.3 关机步骤	14
1.4.4 紧急情况控制及恢复程序	14
1.5 样品安装	14
第二章 数据采集	16
2.1 扫描准备	16
2.2 扫描参数设置	17
2.2.1 探测器参数设置	17
2.2.2 射线源参数设置	18
2.2.3 运动控制	18
2.3 实时动态扫描	20
2.4 采集 DR 图像	21
2.5 采集 CT 图像	22
2.5.1 大视野探测器采集 CT 图像	22
2.5.2 连续扫描	26
2.5.3 SQ 螺旋扫描	27
第三章 数据重建与处理	28
3.1 打开 CT 扫描数据	28
3.2 数据重建	29
3.3 感兴趣区域重建及硬化校正	33
3.4 图像显示	34
3.5 数据与图像处理	36
附录	38
一、NanoVoxel Scan 软件功能介绍	38
二、重建软件 VoxelStudio Recon 软件功能介绍	44

仪器使用安全须知

在使用 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统之前，请仔细阅读本手册。在仪器使用过程中，请严格按照操作规程使用仪器。未按规程使用仪器，可能会损坏仪器，甚至对使用人员的安全造成危害。

为了保证仪器使用的正确性和安全性，手册中利用说明和警告标识对操作的方法、目的和操作过程中需要注意的地方进行描述，见表 1。

表 1 手册中标识的含义

标识	说明
	此标志用于指出当前位置所需要说明的内容，参考此部分内容，可解决在阅读手册和仪器使用过程中的疑问。
	此标志用于指出当前位置所需要注意的内容，参考此部分内容，可保证仪器的安全和扫描结果的正确性。

为保证仪器使用人员的安全及仪器的正常使用，请仔细阅读并严格遵守下列事项：

1、电源

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统采用 AC220V 电源供电，请按规定使用正确的电源电压，否则可能会导致火灾、电击或仪器故障。

2、电离辐射

在打开箱体前后防护门之前，请确认射线源工作状态。当射线源处于开启状态时（红色警示灯闪烁），请勿打开箱体防护门。

 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统经过国家专业的射线检测机构检测，符合辐射安全标准，正确使用时，不会对人体造成任何危害。

当互锁开关失效或射线源控制面板失效以及各运动轴发生碰撞时，请按下箱体前面板“紧急停止”，如图 1 所示，关闭仪器，保障人员和仪器的安全。



图 1 紧急停止

请在仪器周围设立警示标识或围栏，避免无关人员私自打开仪器门窗而受到意外照

射。

3、仪器使用

在使用仪器之前,用户必须熟练掌握仪器的操作流程,严格按照操作流程操作仪器,避免由于误操作造成的仪器损坏。

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统采用超精密运动部件,发生机械碰撞将严重影响部件的运动精度,甚至损坏仪器,因此,必须避免运动部件发生机械碰撞。

在发生如下情况时,请按说明操作,避免机械碰撞的发生:

- 1、当控制运动部件相互靠近时,请仔细观察部件的相对位置,谨慎操作!
- 2、当运动控制面板失效时,请使用箱体前面板“紧急停止”按钮,如图 1 所示,仪器停止工作,保证仪器各运动部件的安全。

3、有毒物质

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统的部分成像部件中含有微量有毒物质(铊、铍等),私自拆解仪器部件可能会对人体造成伤害。请勿私自拆解仪器部件!



各部件中有毒物质的含量极少,并且封装于各部件的外壳内,正常使用和维护仪器时,不会对人体造成危害。

4、仪器改装

请勿私自对仪器进行改装!

私自对仪器进行改装,可能会导致仪器中精密的光学部件损坏或降低运动部件的机械精度,将直接对设备的成像结果造成影响。

5、警示标识

箱体上贴有警示标识,见表 2,请严格按照警示标识提示的内容进行操作。

请勿撕毁和污损标识!

表 2 箱体安全警示标识

仪器使用安全须知

警示标识	说明
 <div data-bbox="587 409 794 589"> <p>注意 CAUTION</p> <p>小心电离辐射！ 设备通电并开启时，发射高能X射线 IONIZING RADIATION! This equipment produces high-energy X-rays when working.</p> </div>	<p>此标签位于射线源处。 当射线源处于开启状态时，发出 X 射线，提醒您识别射线装置。</p>
 <div data-bbox="587 611 794 790"> <p>注意 CAUTION</p> <p>小心电离辐射，请勿撕毁标签！ 开门前请确定射线源处于关闭状态 IONIZING RADIATION! DO NOT remove this cover! Ensure the access door is completely closed when the X-ray source turns on.</p> </div>	<p>此标签位于箱体防护对开门处。 提醒您在打开防护对开门时，请注意射线源的状态，当射线源开启时，请勿打开防护门。</p>
 <div data-bbox="587 813 794 992"> <p>注意 CAUTION</p> <p>请注意用电安全！ 电源：AC220V, 50Hz Please pay attention to electricity safety! Power: AC220V, 50Hz</p> </div>	<p>此标签位于总电源线处。 提醒您电源类型及用电安全。</p>
 <div data-bbox="587 1014 794 1171"> <p>注意 CAUTION</p> <p>关门时，当心夹手！ PINCH HAZARD! Keep hands out of closing door.</p> </div>	<p>此标签位于箱体防护门处。 提醒您在关闭箱体防护对开门时，请当心夹手。</p>
 <div data-bbox="587 1193 794 1350"> <p>注意 CAUTION</p> <p>请勿重压！ DO NOT stress!</p> </div>	<p>位于箱体前端机推车处。 请勿重压前端机推车，避免由于重压造成的硬件损坏。</p>

第一章 仪器概况

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统，是具有超高分辨率的无损伤三维全息显微成像设备。

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统，采用独特的 X 光光学显微成像技术，利用不同角度的 X 射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统可广泛应用于石油地质、先进材料、先进制造、生命科学等领域。

产品技术特色：

- 1、采用非传统成像放大技术实现高分辨率显微成像；
- 2、精密样品台提供亚微米样品自动定位和扫描；
- 3、具有多种扫描模式和重建算法，支持样品二维透视成像、圆轨迹锥束三维测试、样品局部三维成像、超视野三维成像；
- 4、独特的数据预校正方法，可有效消除透视图像的非一致性、重建 CT 图像中的环状伪影；
- 5、系统标定简单。可自动获取扫描系统中射线源焦点、探测器、样品转台之间的所有几何位置参数，精确重建三维 CT 图像；
- 6、先进的软件开发理念，支持针对不同用户特殊应用的软件二次开发。

本 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统用户手册仅使用于长沙理工大学采购的两台高分辨率微焦点断层扫描系统，长沙理工大学两台设备型号、内置射线源型号均一致，产品序列号 TS23158 设备主要用作岩土流固耦合多维度变形测试，产品序列号 TS23147 设备主要用作微观材料力学加载装置及分析、原位加载体应变分析，故 2 台设备内部结构与设备外观均有区别。

1.1 两台仪器主要技术指标

主要技术指标	参数
空间分辨率	2um
微焦点射线源	管电压 20-225KV；最大电流：3mA；最大管功率 350W

非晶硅探测器	有效像素数量：3072×3072；有效成像面积：430mm×430mm； 探测器位数：16bit，像素尺寸≤150 μm
--------	---

1.2 两台仪器硬件

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统主要由 X 射线源、X 射线成像探测器、精密样品台、图像采集系统、三维图像重建和处理系统等组成。

1.2.1 两台仪器硬件介绍

nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统（产品序列号 TS23158）的渲染图如图 1-1 所示，anoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统（产品序列号 TS23147）的渲染图如图 1-2 所示。

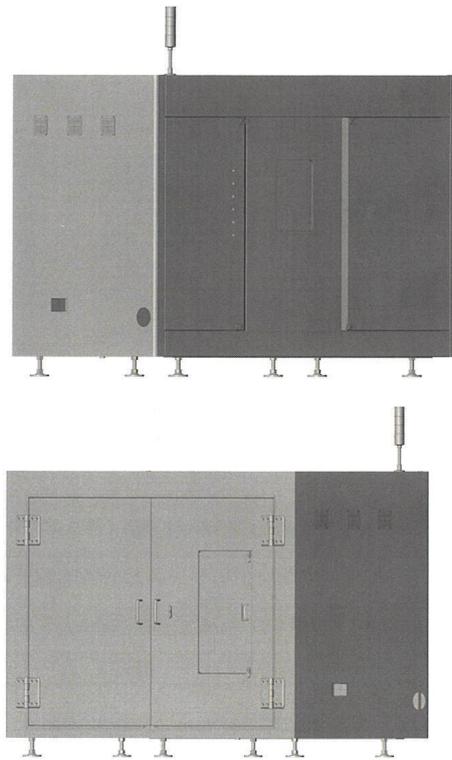


图 1-1 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统（产品序列号 TS23158）

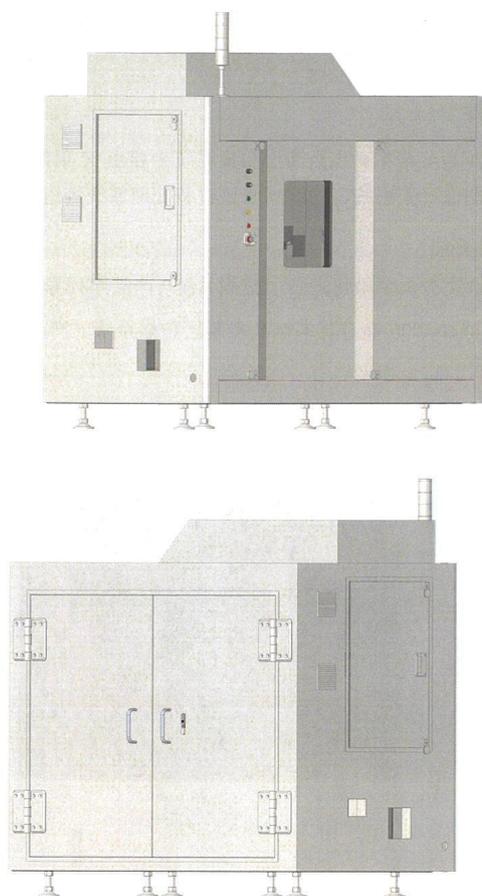


图 1-2 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统（产品序列号 TS23147）

两台 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统各部分的名称及功能介绍，见表 1-1。

表 1-1 两台 nanoVoxel-4000 高分辨率微焦点断层扫描系统各部件的名称及功能介绍

名称	描述
指示灯	指示仪器运行状态： 绿、黄、红灯都不亮：仪器处于关闭状态； 绿灯亮：仪器处于上电状态； 绿灯灭：仪器处于断电状态； 黄灯亮：箱体防护门（前防护铅门、后维护门）处于关闭状态，可