

核技术利用建设项目

江南大学

迁建 1 台工业 CT 装置项目

环境影响报告表

(脱密公示本)



生态环境部监制

核技术利用建设项目

江南大学

迁建 1 台工业 CT 装置项目

环境影响报告表

建设单位名称： 江南大学

建设单位法人代表（签字或盖章）： 陈卫

通讯地址： 江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道 1800 号

邮政编码： 214122 联系人： ***

电子邮箱： / 联系电话： *****

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	9
表 4 射线装置	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	11
表 6 评价依据	12
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	19
表 9 项目工程分析与源项	23
表 10 辐射安全与防护	30
表 11 环境影响分析	36
表 12 辐射安全管理	46
表 13 结论与建议	51
表 14 审批	56
附表 辐射污染防治措施“三同时”措施一览表	57

附图：

1) 附图 1 本项目地理位置图

2) 附图 2-1 本项目所在校区周围环境示意图

附图 2-2 本项目所在建筑周围环境示意图

3) 附图 3-1 本项目所在的 E 区 1F 平面布置图

附图 3-2 本项目所在的 E 区 2F 平面布置图

4) 附图 4 本项目工业 CT 装置设计图

5) 附图 5 本项目与江苏省生态空间管控区域相对位置关系图

6) 附图 6 本项目与无锡市滨湖区生态空间管控区域相对位置关系图

附件： ***

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江南大学迁建 1 台工业 CT 装置项目			
建设单位		江南大学			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道 1800 号			
建设项目地点		江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道 1800 号 江南大学机械工程学院 E 区 E103			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	3	项目环保 投资(万元)	1	投资比例（环保 投资/总投资）	33.3%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） 41.12
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类		
	其他	/			
	项目概述： 1. 建设单位基本情况、项目建设规模、任务由来及原有核技术利用项目许可情况 江南大学（事业单位法人证书见附件3）是教育部直属、国家“211工程”重点建设高校和“双一流”建设高校。学校具有悠久的办学历史、厚重的文化积淀，源起1902年创建的三江师范学堂，历经国立中央大学、南京大学等发展时期；1958年南京工学院食品工业系整建制东迁无锡独立建校，成立无锡轻工业学院；1962年无锡纺织工学				

院并入无锡轻工业学院；1995年更名为无锡轻工大学；2001年无锡轻工大学、江南学院、无锡教育学院合并组建江南大学；2003年东华大学无锡校区并入江南大学。

目前学校共有蠡湖校区（主校区，江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号）、东氿校区（宜兴校区，江苏省无锡市宜兴市太湖大道181号）、霞客湾校区（江阴校区，江苏省无锡市江阴市青阳镇府前路299号）三个校区。

蠡湖校区是江南大学的主校区，位于江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道 1800 号，占地约 3200 亩，总建筑面积 107 万平方米。位于蠡湖校区中部的江南大学机械工程学院创建于 1958 年，是我国最早开展食品机械、包装工程专业人才培养的单位，在国内轻工机械、包装工程等领域享有很高的行业知名度，是国内该领域创建最早、基础最好、覆盖面最广的高级技术人才培养和科技创新基地。

任务由来：江南大学已取得辐射安全许可证并应用核技术利用项目数年，已于 2024 年 1 月 29 日获得《关于江南大学扩建 2 台工业 CT 装置项目环境影响报告表的批复》（锡行审投许〔2024〕23 号），根据该批复江南大学在蠡湖校区南部的先进技术研究院辅楼 2 层 CT 室内安装并使用 1 台工业 CT 装置（厂家为蔡司，型号为 Xradia context micro，最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.09mA，最大功率为 10W，属于 II 类射线装置），随后学校于 2024 年 3 月 20 日完成了辐射安全许可证的重新申领工作，并于 2024 年 6 月 29 日完成自主验收。环评验收材料见附件 4。

由于研究课题需求，江南大学计划将上述 1 台工业 CT 装置从校区南部的先进技术研究院辅楼 2 层 CT 室迁建至校区中部的机械工程学院 E 区 E103，该设备仍旧由原有的 2 名辐射工作人员使用，用于机械、材料等方面科研工作。辐射工作人员根据科研需求检测日常制作的少量样品，预计周出束时间不超过 20h，年运行不超过 32 周，年出束时间不超过 640h。本项目辐射工作人员不兼岗其他辐射工作（上述时间含训机时间）。本项目核技术利用项目详见表 1-1：

表 1-1 江南大学本项目核技术利用项目情况表

射线装置名称、型号	数量（台）	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	验收情况	备注
蔡司 Xradia context micro 工业 CT 装置	1	160	0.09	II	江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道 1800 号机械工程学院 E 区 E103	使用	原址环评：锡行审投许〔2024〕23 号	原址验收：2024 年 6 月 29 日通过验收	额定功率 10W

*根据厂家介绍，功率限制下最大管电压 160kV 对应的管电流为 0.0625mA，最大管电流 0.09mA 对应的管电压为 110kV。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，本项目需进行环境影响评价，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年版），本项目为使用工业 CT 装置，属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置的”，本项目应编制环境影响报告表。受江南大学委托，江苏睿源环境科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我方通过资料调研、现场监测、评价分析，在此基础上编制该项目环境影响报告表。委托书见附件 1，射线装置承诺书见附件 2。

2. 项目周边保护目标及项目选址情况

本项目位于江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道 1800 号江南大学的蠡湖校区内，校区东侧为蠡湖大道，南侧为震泽路，西侧为江大西南河及缘溪道，北侧为高浪西路。

本项目 1 台工业 CT 装置拟迁往的机械工程学院位于校区中部，机械工程学院东侧为北学府路，南侧为井冈山路，西侧为三江路，北侧为惠山路，北侧隔惠山路为纺织科学与工程学院的学院楼。

机械工程学院的 1 栋学院楼由 A 区（西南部）、B 区（东南部）、C 区（中部）、D 区（西北部）、E 区（东北部）组成，分布着学院的实验室、办公室、会议室、教学实训中心等。射线装置拟安放于学院楼东北部的 E 区南部的 E103，进出工件的工件防护门朝向北侧，装置四周均为 E103 内过道，上方为 E103 半空（隔半空为 E201），

下方为土层，无地下建筑。E103东侧为E101，南侧为庭院，西侧为E105，北侧为E100，楼上为E201及走廊。

本项目地理位置图见附图1，本项目所在校区周围环境示意图见附图2-1，在建设周围环境示意图见附图2-2，本项目所在E区的1F平面布置图见附图3-1，本项目所在E区的2F平面布置图见附图3-2，设备三视图见附图4。

对照《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（苏政发〔2020〕49号）《江苏省自然资源厅关于无锡市滨湖区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕254号），本项目的建设符合江苏省和无锡市滨湖区“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）要求。本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》中环境敏感区。本项目与生态空间管控区域相对位置关系图见附图5及附图6。

本项目工业CT装置的屏蔽体周围50m范围内均处于校区范围，50m范围内无居民区、其他学校等环境敏感区，工业CT装置50m范围内涉及校区内的①工业CT装置所在的机械工程学院的学院楼（E区、C区、D区、B区，最高4F-5F）、②工业CT装置北侧的纺织科学与工程学院的1栋学院楼（最高5F），③工业CT装置东侧的校区道路（北学府路），北侧的校区道路（惠山路），西北侧的停车场、四周的庭院及绿化。本项目周围环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及周围公众。本项目评价范围见附图2-2。

3. 实践正当性

蔡司 Xradia Context micro 工业 CT 具备无损三维成像能力（体素分辨率达 500nm），可对金属、复合材料等开展内部缺陷（如孔隙、裂纹）的精准量化分析，避免传统破坏性检测的材料损耗，能够显著提升科研效率与成果转化价值。该技术对材料失效机理、轻量化设计等关键研究的支撑效益，远高于设备运行产生的可控辐射风险。该装置集成辐射安全防护系统，根据原有验收检测及日常自主检测，辐射影响极小。且设备支持自动化高通量扫描，无需人工近距离操作，自带的通风系统能够有效控制臭氧与氮氧化物浓度。根据原运行情况，在做好各项辐射防护措施，严格按照规章制度运营本项目的情况下，可将上述辐射影响降至尽可能小。综上，该实践通过科学必要性（材料微观结构无损表征）、防护完备性（屏蔽设计符合国标）及风险可控性（照射低于限值），全面满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

(GB18871-2002)对正当性、最优化及限值管理的三重约束，为机械与材料学科前沿研究提供了合规且高效的技术平台。

4.原有核技术利用项目许可情况

4.1 辐射安全许可情况

江南大学现已开展核技术利用项目，最新的辐射安全许可证见附件 5，证书编号为苏环辐证[B0798]，种类和范围为“使用V类放射源；使用II、III类射线装置”，有效期至 2027 年 3 月 1 日，发证机关为无锡市生态环境局。原有许可证上核技术利用项目已履行相关环保手续。学校现有核技术利用项目情况见表 1-2。

表 1-2 江南大学现有核技术利用项目一览表

射线装置										
序号	射线装置名称、型号	数量	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	自屏蔽低能电子束辐照装置 (Comet AG EBLab-200)	1	200	20	III	光聚合技术&先进涂层研究室(B131I)	使用	已备案	已许可	/
2	自屏蔽桌面型电子束固化装置(四川智研科技有限公司 MEB-01)	1	160	20(重新申领辐射安全许可证时将对应更正)	III	光聚合技术&先进涂层研究室(B131I)	使用	已备案	已许可	/
3	DR(西门子 Multix Fusion 奕龙)	1	150	800	III	江南大学附属医院放射科 DR 机房	使用	已备案	已许可	/
4	工业 CT 装置(蔡司 Xradia 515 Versa)	1	160	0.09	II	食品学院辅楼 1 层 C102	使用	锡行审投许(2024)23 号	已许可	2024 年 6 月 29 日通过验收
5	工业 CT 装置(蔡司)	1	160	0.09	II	先进技术研究辅楼 2 层 CT	使用	锡行审投许	已许	2024 年 6

	Xradia context micro)					室		(2024) 23 号	可	月 29 日通 过验 收
6	台式 X 射线 衍射仪 (日 本理学株式 会社 MiniFlex60 0-C)	1	40	15	III	协同创新中心 三楼 342 室	使用	已备案	已许 可	/
7	实验室级小 角 X 射线散 射系统 (Xenocs SAS XSACT)	1	30	0.3	III	一楼 A101	使用	已备案	已许 可	/
8	X 射线光电 子能谱仪 (岛津 AXIS Ultra DLD)	1	15	30 (重新 申领辐 射安全 许可证 时将对 应更正)	III	一楼 A113	使用	已备案	已许 可	/
放射源										
序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数			类 别	工作场所 名称	活动 种类	环评情 况	许 可 情 况	验收 情况
1	⁵⁷ Co	9.25E+8*2			V	714-716 实验室	使用	已备案	已许 可/ 尚 未 购 置	/

4.2 辐射安全与环境保护管理机构情况

根据《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许可管理办法》，江南大学为满足学校辐射安全与环境保护管理的需求，已成立辐射安全与环境保护管理小组，负责学校辐射安全与环境保护管理工作。

学校现有的辐射安全与环境保护管理机构小组符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关要求，可以满足学校日常辐射安全与环境保护管理的要求。

4.3 辐射安全与环境保护管理制度

江南大学已制定了一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急方案等，具体制度及落实情况见表 12-1。

现有辐射安全管理制度能满足学校核技术应用项目的管理需要，符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中“应当有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施”的要求。

4.4 辐射工作人员考核证书、职业健康体检及个人剂量情况

江南大学现有辐射工作人员共计 10 人，针对从事Ⅲ类射线装置使用活动的辐射工作人员学校已自行组织考核，考核合格并在有效期内。从事Ⅱ类射线装置使用活动的辐射工作人员已参加了辐射安全与防护考核，并取得考核合格证书。所有辐射工作人员已定期完成了职业健康体检，体检结果均为可从事/继续从事原放射工作。学院已委托江苏宁大卫防检测技术有限公司为所有辐射工作人员开展个人剂量检测，个人剂量检测结果均未超标（最大值为***，连续 4 个季度的合计值为 0.23mSv），学校已建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。本项目将沿用的 2 名辐射工作人员的情况如下，考核证书（类别为科研、生产及其他）及职业健康体检报告见附件 6。建设单位已安排辐射管理领导小组成员中的核辐射防护负责人学习相应知识并计划参加考核，考核类型为“辐射安全管理”。

表 1-3 辐射相关工作人员情况汇总表

序号	姓名	考核证书 编号	有效期	个人剂量当量 Hp(10)/mSv				合 计 /mSv	职业 健康 体检
				2024 年 5-7 月	2024 年 8-10 月	24 年 11 月-25 年 1 月	2024 年 2-4 月		
1	***	FS23ZJ23 00483（科 研、生产 及其他）	2023 年 9 月 6 日 至 2028 年 9 月 6 日	<MDL （MDL =0.023）	<MDL （MDL =0.023）	<MDL （MDL =0.023）	<MDL （MDL =0.024）	0.0465	可继续 从事原 放射工作*
2	***	FS23ZJ23 00479（科 研、生产 及其他）	2023 年 9 月 6 日 至 2028 年 9 月 6 日	0.069	<MDL （MDL =0.023）	<MDL （MDL =0.023）	<MDL （MDL =0.024）	0.104	

表 1-4 建设单位其他辐射相关工作人员过往 4 个季度个人剂量监测情况汇总表						
序号	姓名	个人剂量当量 Hp(10)/mSv				合 计 /mSv
		2024 年 5-7 月	2024 年 8-10 月	24 年 11 -25 年 1 月	2025 年 2-4 月	
1	***	<MDL(MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.024mSv)	4.65 E-02
2	***	<MDL(MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.024mSv)	4.65 E-02
3	***	0.067	<MDL (MDL=0.023mSv)	0.077	0.074	2.30 E-01
4	***	0.046	<MDL (MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	0.071	1.40 E-01
5	***	<MDL(MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	<MDL (MDL=0.023mSv)	0.024	5.85 E-02
过往 1 年部分核技术利用项目未开展工作，共有 7 名辐射工作人员参与核技术利用项目。						
4.5 年度评估报告及场所检测						
江南大学已委托有资质单位每年对现有辐射工作场所开展辐射防护检测，报告检测结果显示，各射线装置正常工作时，屏蔽体外关注点处周围 X-γ辐射剂量率均符合国标要求。						
依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。”江南大学已按时在全国核技术利用辐射安全申报系统中上传 2024 年年度评估报告，同时做到了及时更新与维护全国核技术利用辐射安全申报系统中的信息。						

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	工业 CT 装置	II	1 台	蔡司 Xradia Context micro	160	0.09	科研	江苏省无锡市滨湖区 蠡湖大道 1800 号江南 大学机械工程学院 E 区 E103	最大功 率 10W
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	直接排入大气，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气。
生活垃圾	固态	/	/	30kg	360kg	/	暂存	由学校统一收集后，交给环卫部门清运。
生活污水	液态	/	/	2.4m ³	28.8m ³	/	暂存	进入学校污水处理管道，接市政管网后最终进入污水处理厂处理。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/l 或 Bq/kg 或 Bq/m³)和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014年修订本），中华人民共和国2014年主席令第9号，自2015年1月1日起施行； 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正本），中华人民共和国2018年主席令第24号，自2018年12月29日起施行； 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国2003年主席令第6号，自2003年10月1日起施行； 4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修正本），中华人民共和国2017年国务院令第682号，自2017年10月1日起施行； 5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国2011年原环境保护部令第18号公布，自2011年5月1日起施行； 6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修正本），中华人民共和国2019年国务院令第709号，自2019年3月2日起施行； 7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），中华人民共和国2021年生态环境部令第20号修正，自2021年1月4日起施行； 8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，中华人民共和国2020年生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行； 9) 《射线装置分类》，中华人民共和国原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会2017年公告第66号，自2017年12月5日起施行； 10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，原国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日印发； 11) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省人民代表大会常务委员会公告2018年第2号，自2018年5月1日起施行； 12) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，江苏省人民政府苏政发〔2018〕74号，自2018年6月9日起施行； 13) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，江苏省人民政府苏政发〔2020〕1号，自2020年1月8日起施行； 14) 《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，江苏省人民政府办公厅苏政发〔2020〕49号，自2020年6月21日起施行； 15) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》（苏环办〔2021〕187号），2021年5月31日印发；
------	---

	16) 《江苏省自然资源厅关于无锡市滨湖区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕254号），江苏省自然资源厅2025年6月5日发布； 17) 《关于印发“十四五”江苏省危险废物规范化环境管理评估工作方案的通知》（苏环办〔2021〕304号），2021年11月2日印发； 18) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生态环境部2019年部令第9号，自2019年11月1日起施行；关于发布《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》配套文件的公告，中华人民共和国生态环境部2019年公告第38号，自2019年11月1日起施行； 19) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日印发，自2019年11月1日起施行； 20) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，中华人民共和国生态环境部2019年公告第57号，自2020年1月1日起施行。
技术标准	1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016） 2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016） 3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 6) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022） 7) 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其修改单 8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019） 9) 《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020)

其他	附图: 1) 附图 1 本项目地理位置图 2) 附图 2-1 本项目所在校区周围环境示意图 附图 2-2 本项目所在建筑周围环境示意图 3) 附图 3-1 本项目所在的 E 区 1F 平面布置图 附图 3-2 本项目所在的 E 区 2F 平面布置图 4) 附图 4 本项目工业 CT 装置设计图 5) 附图 5 本项目与江苏省生态空间管控区域相对位置关系图 6) 附图 6 本项目与无锡市滨湖区生态空间管控区域相对位置关系图 附件: 1) 附件1 委托书 2) 附件2 射线装置承诺书 3) 附件3 事业单位法人证书 4) 附件4 拟迁建射线装置环评验收材料（含验收检测结果） 5) 附件5 学校最新辐射安全许可证及年度评估报告节选 6) 附件6 本项目辐射工作人员考核证书及职业健康体检报告 7) 附件7 现状检测报告及资质证书 8) 附件8 生产厂家辐射安全许可证节选及工业CT装置说明书
----	--

表 7 保护目标与评价标准

评价范围 本项目为使用工业CT装置，工业CT装置属于II类射线装置。根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围”相关规定，确定本项目评价范围为本项目工业CT装置屏蔽体外50m区域，见附图2。
保护目标 本项目建设地点位于江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号江南大学机械工程学院E区E103，工业CT装置的屏蔽体周围50m范围内均处于校区范围，50m范围内无居民区、其他学校等环境敏感区，工业CT装置50m范围内涉及校区内的①工业CT装置所在的机械工程学院的学院楼（E区、C区、D区、B区，最高4F-5F）、②工业CT装置北侧的纺织科学与工程学院的1栋学院楼（最高5F），③工业CT装置东侧的校区道路（北学府路），北侧的校区道路（惠山路），西北侧的停车场、四周的庭院及绿化。 对照《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（苏政发〔2020〕49号）《江苏省自然资源厅关于无锡市滨湖区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕254号），本项目的建设符合江苏省和无锡市滨湖区“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）要求。本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》中环境敏感区。本项目与生态空间管控区域相对位置关系图见附图5及附图6。 根据本项目评价范围确定本项目环境保护目标为： 1.本项目辐射工作人员； 2.工业CT装置周围公众。

表7-1 本项目周围保护目标情况一览表

表7-1 本项目周围保护目标情况一览表								
保护目标名称				方位	距工业CT装置屏蔽体表面最近距离	规模	年剂量约束值	
辐射工作人员	E103 内工业 CT 装置屏蔽体外			四周	四周 0.3m	2 人	5mSv/a （职业人员）	
周围公众	江南大学蠡湖校区	机械工程学院楼	E101	东侧	约 1.7m	约 2 人	0.1 mSv/a （公众）	
			E105	西侧	约 0.9m	约 2 人		
			E100	北侧	约 5.0m	约 10 人		
			E201	上方	约 2.0m	约 10 人		
			E 区其余区域（楼内均为实验室、会议室、办公室及教室等教学、办公及科研场所）		四周及上方	西侧约 3.2m		约 50 人
			C 区（楼内均为实验室、会议室、办公室及教室等教学、办公及科研场所）		南侧	约 7m		约 80 人
			B 区（楼内均为实验室、会议室、办公室及教室等教学、办公及科研场所）		南侧	约 37m		约 10 人
			D 区（楼内均为实验室、会议室、办公室及教室等教学、办公及科研场所）		西侧	约 33m		约 20 人
			校区道路（北学府路）		东侧	约 24m		流动人员
			纺织科学与工程学院的 1 栋学院楼（楼内均为实验室、会议室、办公室及教室等教学、办公及科研场所）		北侧	约 40m		约 20 人
			校区道路（惠山路）		北侧	约 16m		流动人员
			庭院及绿化		四周	南侧约 3.0m		流动人员
			停车场		西北侧	约 20m		流动人员

注：本项目保守针对所有建筑内保护目标居留因子取 1。

*	
*	*

图 7-1 本项目周围环境保护目标示意图

评价标准**1) 工作人员职业照射和公众照射剂量限值:**

本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中个人剂量限值,如下表:

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值:

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

2) 剂量约束值:

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“11.4.3.2·剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%(即0.1mSv~0.3mSv)的范围之内。”的要求,职业人员按年剂量限值1/4取值,公众按照其年剂量限值的1/10取值,确定本项目剂量约束值如下:

A) 职业照射的年剂量约束值不超过5mSv/a;

B) 公众照射的年剂量约束值不超过0.1mSv/a。

3) 职业人员和公众每周的周围剂量当量参考控制水平:

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)“6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足: a)关注点的周围剂量当量参考控制水平,对放射工作场所,其值应不大于100 μ Sv/周,对公众场所,其值应不大于5 μ Sv/周”的要求,确定本项目职业人员和公众每周的周围剂量当量参考控制水平如下:

A) 职业人员每周的周围剂量当量参考控制水平,其值应不大于 100 μ Sv/周;

B) 公众每周的周围剂量当量参考控制水平,其值应不大于 5 μ Sv/周。

4) 工业 CT 装置外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平:

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)“6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足: b)屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5 μ Sv/h。”以及“6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足: a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁

邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同6.1.3；b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面30cm处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 $100\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求确定本项目曝光室外30cm处周围剂量当量率参考控制水平如下：

A) 本项目工业 CT 装置四周及底部外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

B) 工业 CT 装置顶外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ （工业 CT 装置屏蔽体顶部无需人员到达，出束方向为水平朝西，上方建筑处于在自辐射源点到 CT 屏蔽体顶内表面边缘所张立体角区域内）。

5) 辐射环境质量现状检测评价参考值

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

表 7-3 江苏省全省环境天然 γ 辐射剂量率调查结果 单位： nGy/h

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

*现状评价时，参考“测值范围”数值进行评价。表格中数据已扣除宇宙响应值。

6) 参考资料

(1) 《辐射防护导论》（方杰主编，原子能出版社）。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1. 项目地理和场所位置

本项目位于江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号江南大学的蠡湖校区内，校区东侧为蠡湖大道，南侧为震泽路，西侧为江大西南河及缘溪道，北侧为高浪西路。

本项目1台工业CT装置拟迁往的机械工程学院位于校区中部，机械工程学院东侧为北学府路，南侧为井冈山路，西侧为三江路，北侧为惠山路，北侧隔惠山路为纺织科学与工程学院的学院楼。

机械工程学院的1栋学院楼综合体由A区（西南部）、B区（东南部）、C区（中部）、D区（西北部）、E区（东北部）组成，分布着学院的实验室、办公室、会议室、教学实训中心等。射线装置拟安装于学院楼东北部的E区南部中央的E103，进出工件的工件防护门朝向北侧，装置四周均为E103内过道，上方为E103半空（CT装置屏蔽体上方隔半空为E201），下方为土层，无地下建筑。E103东侧为E101，南侧为庭院，西侧为E105，北侧为E100，楼上为E201及走廊。

本项目工业CT装置的屏蔽体周围50m范围内均处于校区范围，50m范围内无居民区、其他学校等环境敏感区，工业CT装置50m范围内涉及校区内的①工业CT装置所在的机械工程学院的学院楼（E区、C区、D区、B区，最高4F-5F）、②工业CT装置北侧的纺织科学与工程学院的1栋学院楼（最高5F），③工业CT装置东侧的校区道路（北学府路），北侧的校区道路（惠山路），西北侧的停车场、四周的庭院及绿化。本项目周围环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及周围公众。

*	*
工业 CT 拟迁往地址 (E103)	E103 东侧 (E101)
*	*
E103 南侧 (庭院)	E103 西侧 (E105)
*	*
E103 楼上 (E201-CT 正上方)	E103 楼上 (走廊)
*	*
机械工程学院学院楼 E 区	机械工程学院学院楼 B 区
*	*
机械工程学院学院楼 C 区	项目拟建址南侧机械工程学院学院楼主入口
*	*
项目拟建址北侧纺织科学与工程学院	项目拟建址东侧北学府路
*	
现位于先进技术研究院辅楼 2 层 CT 室, 拟迁建的本项目工业 CT 装置	

图 8-1 本项目拟建址及周围环境现状

2. 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象: 本项目 1 台工业 CT 拟建址及周围辐射环境。

监测因子: 本项目 1 台工业 CT 装置拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率。

监测点位: 1 台工业 CT 拟建址及周围布设 13 个监测点位, 分别位于工业 CT 拟建址四周及各保护目标靠近拟建址一侧。

3. 监测方案、质量保证措施

监测方案: 根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) 在 II 类射线装置建设位置及周围布设监测点位, 测量 II 类射线装置建设位置及周围环境 γ 辐射剂量率。

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

4. 监测结果与环境现状调查结果评价

监测单位: 江苏睿源环境科技有限公司

监测仪器: BG9512P+BG7030 型 X- γ 辐射监测仪 (仪器编号: RY-J001)

测量范围: 10nGy/h~200 μ Gy/h

能量响应范围: 25keV~3MeV

检定有效日期: 2025.3.11-2026.3.10

检定单位：上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

检定证书编号：2025H21-20-5786074001

监测日期：2025 年 7 月 3 日

环境条件：天气：晴；温度：34℃；相对湿度：57%；

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

监测结果：本项目拟建址周围现状环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-1（报告见附件 7），监测点位示意图见图 8-2。

数据记录及处理：仪器读数稳定后，以约 10s 的间隔读取 10 个数据，记录在原始记录表，同时记录海拔、经纬度。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）及《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中公式进行修正并扣除宇宙射线响应值，同时处理出标准偏差。

表 8-1 本项目工业 CT 拟建址周围环境 γ 辐射剂量率

序号	检测点位	检测结果 (nGy/h)	标准偏差	建筑物	备注
1	工业 CT 装置拟建址中央	*	*	楼房	室内
2	工业 CT 装置拟建址东侧	*	*	楼房	室内
3	工业 CT 装置拟建址南侧	*	*	楼房	室内
4	工业 CT 装置拟建址西侧	*	*	楼房	室内
5	工业 CT 装置拟建址北侧	*	*	楼房	室内
6	E103 东侧 (E101)	*	*	楼房	室内
7	E103 北侧 (E100)	*	*	楼房	室内
8	E103 西侧 (E105)	*	*	楼房	室内
9	E103 楼上 (E201)	*	*	楼房	室内
10	E103 南侧庭院	*	*	原野	原野
11	工业 CT 装置拟建址东侧北学府路	*	*	道路	道路
12	工业 CT 装置拟建址北侧惠山路	*	*	道路	道路
13	工业 CT 拟建址装置北侧纺织科学与工程学院 1F	*	*	楼房	室内

*X- γ 辐射监测仪检定使用 ^{137}Cs 辐射源。建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1，上述结果为已扣除宇宙响应值（仪器的宇宙响应值为 11nGy/h）并进行了建筑物屏蔽修正后的结果。

根据表 8-1 的监测结果可知，本项目 1 台工业 CT 拟建址周围环境 γ 辐射剂量率为（30~36）nGy/h，其中室内环境辐射剂量率在（33~36）nGy/h 范围内，低于江苏省全省环境天然 γ 辐射剂量率测值水平，教学楼为多层建筑，其墙体、楼板由混凝土、砖块等构成。这些材料本身对来自地壳和宇宙的辐射具有一定的吸收和屏蔽作用。校

区内有湖泊且邻近河流，周围并无花岗岩地质，且远离工业设施、矿山或其他潜在辐射源，加之教学楼自然通风条件和通风系统结合作用使得室内空气流通情况良好，1993 年的建筑可能地基更浅或地面裂缝更多，土壤中的氡气更容易渗透进入室内并积聚，相比之下，建于 21 世纪的教学楼地基通常更深、更密封，且采用了防氡设计，能够有效阻断了氡气从土壤中的析出路径，因此环境背景值相较于 1993 年测值存在差异；道路环境辐射剂量率为 32nGy/h，处于江苏省全省环境天然 γ 辐射剂量率测值范围内；原野环境辐射剂量率为 30nGy/h，与江苏省全省环境天然 γ 辐射剂量率测值水平相当。

*

图 8-2 检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1. 工程设备情况

蔡司 Xradia Context micro 是一款面向工业和研究应用的桌面型微焦点计算机断层扫描（microCT）系统，以其高分辨率和灵活性著称。其核心组成部分包括**铅屏蔽体**（内有微焦点 X 射线源、独特的光学/几何放大探测器、高分辨率 CCD/CMOS 传感器、精密载物台、独立源/探测器运动机构）、**电气控制柜**（内有集成控制系统）和**数据处理工作站**（软件套件：扫描控制软件、重构软件、可视化与分析软件）。装置设备参数如下。

表 9-1 设备参数一览表

核心参数	
设备类型	工业 CT 装置
核心组件	 蔡司Xradia Context microCT主要由三部分组成： 1.带铅板防护的测量室； 2.系统控制柜； 3.数据处理工作站。 X-ray measurement cabinet made of lead panels 钢-铅-钢三明治结构的防护外壳，内部为运动定位系统及射线源、成像系统。 Computer workstation 数据处理工作站 Controller cabinet 电气控制柜
设备型号	蔡司 Xradia context micro
最大管电压（kV）	160（对应电流最大为 0.0625mA）
最大管电流（mA）	0.09（对应电压最大为 110kV）
阳极靶材料	*
固有滤过	*
辐射角	*
最大功率（W）	*
射线管范围	*

本项目迁建的 1 台蔡司 Xradia context micro 工业 CT 装置采用铅屏蔽体对 X 射线进行屏蔽，整体设备长 1991mm、宽 1081.3mm、高 1988.7mm（不含工作状态指示灯），屏蔽体尺寸为长 1991mm、宽 1081.3mm、高 1150mm。根据计划摆放方位，北侧为检测对象进出的工件门（两扇组成），南侧为检修门（两扇组成），检修门仅厂家售后的辐射工作人员可打开。有用线束方向朝向装置西侧，操作位在装置东北侧。

北侧屏蔽体（含工件门，有用线束方向+非有用线束方向）为 6mm 铅板，西侧屏蔽体为 9mm 铅板（有用线束方向+非有用线束方向），南侧屏蔽体（非有用线束方向）为 6mm 铅板，东侧屏蔽体（非有用线束方向）为 6mm 铅板，顶部屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为 6mm 铅板，底部屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为 6mm 铅板。工业 CT 东侧底部设置了电缆孔，洞口处设有 6mmPb 的铅防护罩，工业 CT 装置顶部设置排风口，排口处设置有 6mmPb 的铅防护罩。

表 9-2 本项目工业 CT 装置的屏蔽体防护参数一览表

屏蔽体	设计情况
北侧（含工件门）	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
西侧（平板探测器侧）	内 1.2mm 钢-9mmPb-外 4mm 钢
南侧（含检修门）	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
东侧防护板（射线管侧）	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
顶部	内 2mm 钢-6mmPb-外 2mm 钢
底部	内 6mm 钢-6mmPb-外 6mm 钢
电缆管线口铅防护罩	东侧底部设置了直穿线孔，采用铅防护罩增加散射次数 铅：内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
排风口铅防护罩	顶部设置了排风扇，采用铅防护罩增加散射次数 铅：内 2mm 钢-6mmPb-外 2mm 钢
	*
	*
	*

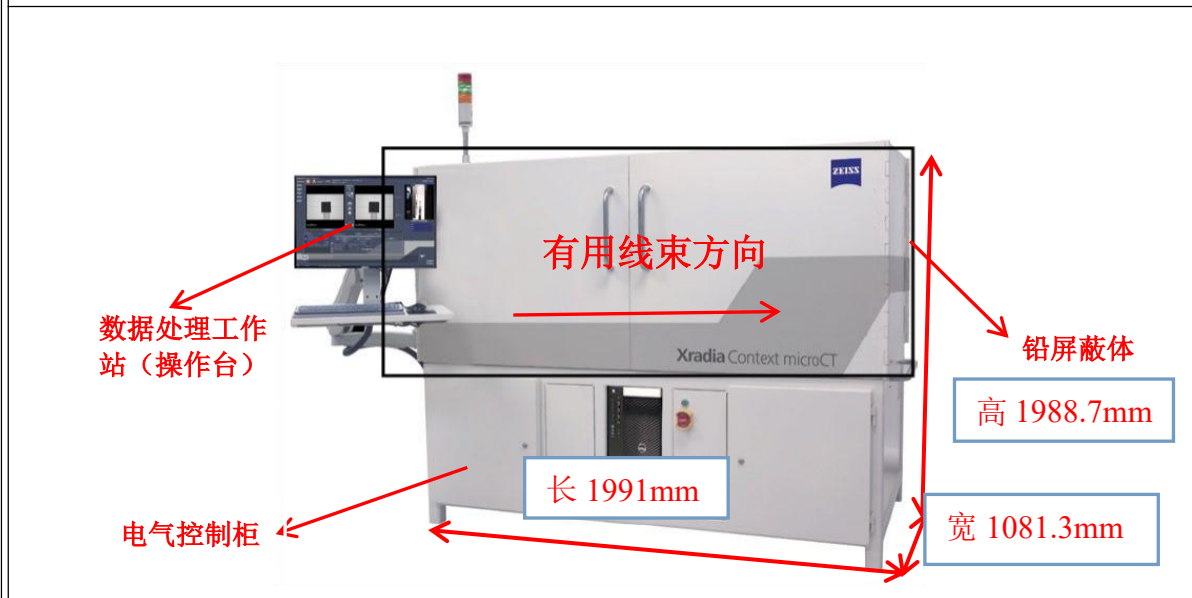


图 9-1 蔡司 Xradia context micro 工业 CT 装置组成部分示意图

该装置射线管仅可东西移动，射线管不可南北或上下移动。射线管出束窗口为 60°圆锥出束。由下图可知，极限位置时有用线束可影响西侧、北侧、顶部和底部。

	*
	*
	*

图 9-2 蔡司 Xradia context micro 工业 CT 装置有用线束覆盖范围示意图

2. 工作原理

X 射线机主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由阴极和阳极组成，阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据需要，可由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子向嵌在金属阳极中的靶体射击，在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生 X 射线，X 射线的波长很短一般为 0.001~10nm。X 射线以光速直线传播，不受电场和磁场的影响，可穿透物质，在穿透过程中有衰减，X 射线无损检测的实质是根据被检验工件与其内部缺欠介质对射线能量衰减程度不同，而引起射线透过工件后强度差异。X 射线无损检测过程中，由于被检工件内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力也不一样，物质的密度越大，射线强度减弱越大。当工件内部存在气孔、裂缝、夹渣等缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，即透过的射线强度较大，从而可以从图像上的差异判断焊接的质量、缺陷位置和被检样品内部的细微结构等。

*	*
---	---

图 9-3 本项目 X 射线管结构及成像方式示意图

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

工业CT系统通常由射线源、机械扫描系统与自动控制系统、探测器系统及数据

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

本项目工业CT装置的工作基本原理是通过平板探测器获取大量不同角度被测对象受X射线照射后的断层扫描图像，再将这些图像按照重建算法重构得到完整的三维数模，最终利用分析软件对测得的三维模型进行处理解析，从而获取全面的产品内外质量数据，有效地反映出内部结构，缺陷形状、尺寸及分布位置情况等信息。

*

图9-4 工业CT成像原理图

本项目工业CT装置检测的工件为学校科研过程中制备的样品材料等，例如多孔滤膜、米铁基材料（如nZVI）、生物炭/蒙脱石复合材料，食品多孔结构表征，可食用包装材料等。

上述材料通常内部会涉及空隙分布、材料均匀性、微观结构的变化等问题，传统的检测方式受材料密度和结构复杂性限制，难以解析其复杂内部特征，或者需破坏性制样，无法保留样品的完整性；工业CT装置检测支持数字化建模与仿真，兼容不同密度、尺寸的样品，可提供孔隙率、缺陷尺寸、分布密度等关键参数，为材料性能优化、工艺改进及多尺度机理研究提供直观、可靠的数据支撑，并且可以保留样品用于后续实验，大大降低科研成本，是提升科研的深度与效率的必要工具。

*	*	*
*	*	*

图 9-5 本项目检测材料示意图

3. 工艺流程及产污环节分析

本项目工业CT装置工作时，辐射工作人员将待测样品装载于装置铅屏蔽体内载物台上，辐射工作人员在装置东北侧的操作台处进行操作，对需检测部位进行无损检测，其工作流程如下：

- （1）辐射工作人员工作前检查装置辐射防护措施的有效性；
- （2）辐射工作人员打开电源开关，确保各辐射安全装置可以有效工作后，辐射工作人员打开钥匙开关；
- （3）辐射工作人员启动检测系统，控制工业CT装置，打开工件门；
- （4）辐射工作人员将待测样品装载在屏蔽体内的载物台上；

(5) 辐射工作人员确认周围环境及辐射工作人员安全后关闭工件门；

(6) 辐射工作人员在操作台处控制检测系统，通过操作台的控制面板调节机械转盘将样品调至合适位置，使之转一周整个图像可以在显示屏上显示；

(7) 在操作台打开计算机控制、采集分析系统，根据探伤对象所需设置管电压、管电流、出束时间、灵敏度、采集图片数等参数。开启出束后装置将进入自动采集扫描状态，扫描期间X射线持续出束，样品自动完成检测无需人员干预。检测期间X射线管发出X射线，X射线电离屏蔽体内空气产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物(NO_x)；

(8) 到达设定时间后X射线自动停止出束，完成数据处理和样品分析；

(9) 辐射工作人员开启工件门，移出探伤对象，关闭工件门；

(10) 辐射工作人员通过操作台的显像器对图像进行分析，将断层扫描图像按照重建算法重构得到完整的三维数模，判断工件质量、缺陷等；

(11) 装置关机。

辐射工作人员日常工作时将产生一定生活垃圾和生活污水。

若设备长时间不用或初次使用需要先进行训机，训机过程也产生X射线，本项目统计出束时间已包含训机时间。

本项目工作流程如下图所示：

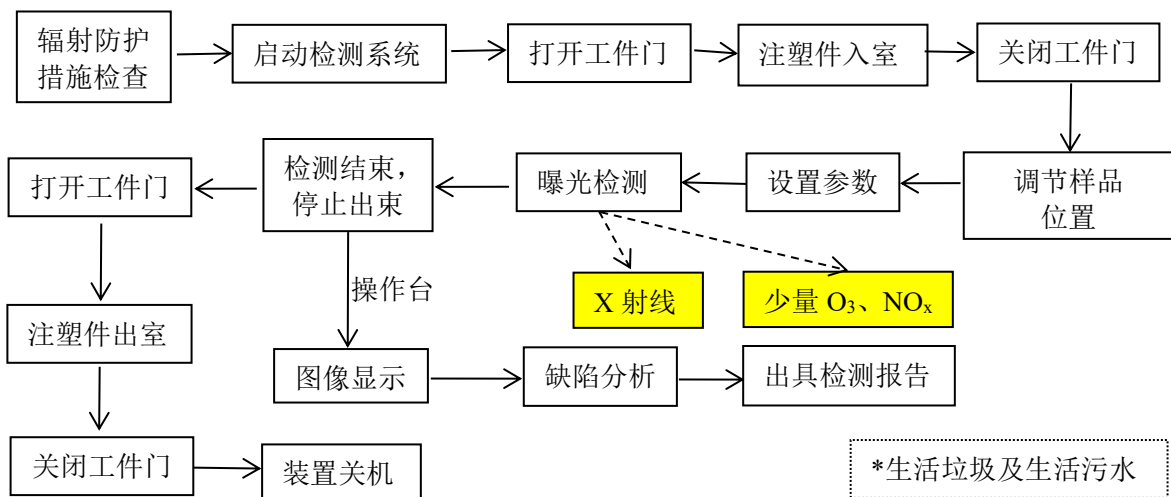


图 9-6 本项目工业 CT 装置工作流程及产污环节

4.人员配置及工作制度

该设备仍旧由原有的 2 名辐射工作人员使用，用于机械、材料等方面科研工作，预计周出束时间不超过 20h，年运行不超过 32 周，年出束时间不超过 640h。本项目辐射工作人员不兼岗其他辐射工作。（上述出束时间含训机时间）。

污染源项描述

1. 辐射污染源分析

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

本项目正常运行时可能产生的 X 射线影响具体包括以下几种：X 射线有用线束辐射、泄漏辐射、散射辐射。经与生产厂家核实，本项目工业 CT 装置滤过条件为 2mmAl，本项目工业 CT 装置输出量根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，由 150kV 和 200kV 下 2mmAl 的输出量插值取得 160kV 下输出量为 $20.38\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，另插值取得 110kV 下输出量为 $9.98\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，上述为有用线束源强范围。根据厂家介绍，功率限制下最大管电压 160kV 对应的管电流为 0.0625mA，最大管电流 0.0909mA 对应的管电压为 110kV。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1 中取得距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率，即泄漏射线源强，160kV 对应源强为 $2500\mu\text{Sv/h}$ ，110kV 对应源强为 $1000\mu\text{Sv/h}$ 。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 取得 160kV 对应散射辐射最高能量为 150kV，由辐射防护手册（第一分册）-辐射源与屏蔽 P448 介绍的康普顿散射原理和相应公式计算获得 110kV 散射辐射最大能量为 91kV。

表9-3 本项目工业CT辐射源强

射线装置	型号	距辐射源点（靶点） 1m 处 X 射线输出量		对应最大管 电流	距辐射源点（靶点） 1m 处周围剂量当 量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	1m 处泄漏辐射 剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	散射辐 射能量 （kV）
工业 CT 装置	蔡司 Xradia context micro	160kV	*	*	*	*	*
		110kV	*	*	*	*	*

由上表可知，最大管电压下的辐射影响更大，且最大管电压下屏蔽体的透射因子更大，因此表 11 采用满功率最大管电压的工况下的源强进行剂量评估。本项目射线装置由原址搬迁至新址，使用的是原有的工业 CT 装置，设备的辐射污染源项、源强的输出量与原址项目环评一致，设备最大管电压及最大管电流与原环评批复一致。

2. 非辐射污染源分析

2.1 固体废物

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

2.2 废水

本项目运行后辐射工作人员会产生一定量的生活污水，预计月排放量为 2.4m³，年排放量为 28.8m³。

2.3 气体废物

本项目工业 CT 装置在工作状态时，会使装置屏蔽体内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

1. 工作场所布局及分区

本项目 1 台工业 CT 装置设置有铅屏蔽体和操作台，操作台与屏蔽体分开独立设置。本项目工业 CT 装置工件门朝向北侧，有用线束朝西侧照射，操作台位于装置东北侧，装置有用线束方向已避开操作台，本项目布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开的要求。

本项目工业 CT 装置位于校区机械工程学院 E 区的 E103，该房间与外界相隔实体墙体和玻璃门。除设备本身需使用开关钥匙及密码外，E103 北侧门外将设门禁系统，除了本项目辐射工作人员有进入的门禁卡外，其他人员无法进入 E103，校方日常将对东侧门上锁。本项目辐射工作场所布局设计合理。

本项目将工业 CT 装置实体边界以内区域作为本项目的控制区，将工业 CT 装置实体边界以外、E103 墙体和玻璃门以内区域（含操作台）作为本项目的监督区，仅辐射工作人员能够进入 E103。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射工作场所分区规定。本项目两区划分情况如下。

*

图 10-1 本项目工业 CT 装置两区划分示意图

表 10-1 本项目辐射工作场所两区划分情况

项目环节	控制区	监督区
两区划分范围	工业 CT 装置实体边界以内区域	工业 CT 装置实体边界以外、E103 以内区域（含操作台）
划分依据	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4.1。	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：6.4.2.1“注册者或者许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价”。6.4.2.2 a)“采取适当的手段划出监督区的边界”。
分区管理措施	对控制区进行严格控制，工业 CT 装置在曝光过程中严禁任何人进入。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）6.4.1.4 c) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录 F 规定的警告标志。	监督区为辐射工作人员操作仪器时的工作场所，禁止非相关人员进入，避免受到不必要的照射，并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）6.4.2.2 b)在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

辐射防护措施	工业 CT 防护门表面外拟粘贴电离辐射警告标识和中文警示说明。	E103 北侧入口门外拟粘贴监督区标牌。
--------	---------------------------------	----------------------

2. 工作场所辐射屏蔽设计

本项目工业 CT 装置采用铅屏蔽体对 X 射线进行屏蔽。工件门一侧为北侧，北侧屏蔽体（含工件门，有用线束方向+非有用线束方向）为 6mm 铅板，东侧屏蔽体为 6mm 铅板（非有用线束方向），南侧屏蔽体（非有用线束方向）为 6mm 铅板，西侧屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为 9mm 铅板，顶部屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为 6mm 铅板，底部屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为 6mm 铅板。本项目装置 X 射线管出束口朝西侧照射，最大管电压为 160kV、最大管电流为 0.09mA，固有滤过条件为 2mmAl。

本项目防护门为双开门设计，工件门与屏蔽体的门缝设计宽度不大于 5mm，防护门顶部搭接 7.5cm，底部搭接 6cm，两侧搭接 7.5cm，中间互相搭接 8cm。防护门之间、防护门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍。

工业 CT 装置东侧底部设置了电缆孔，洞口处设 6mmPb 的铅防护罩，内部设置了排风扇，排风口位于顶部，排口处设置有 6mmPb 的铅防护罩。工业 CT 装置所在的 E103 的南墙计划设置排风扇，排口离地 2.5m，朝向室外庭院。E103 室内体积约 120m³，计划安装的排风扇风量为 800m³，能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。

本项目工业 CT 装置屏蔽体内部体积不超过 1.5m³，通风口处设有风机，排风量为 135m³/h，能够满足每小时有效换气次数 3 次的通风需求。

表 10-2 本项目工业 CT 装置屏蔽设计参数

项目	设计情况 (整体采用钢铅钢三明治防护结构实现完全屏蔽防护， 仅列举起到主要防护作用的铅板厚度)
北侧（含工件门）	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
西侧（平板探测器侧）	内 1.2mm 钢-9mmPb-外 4mm 钢
南侧（含检修门）	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
东侧防护板（射线管侧）	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
顶部	内 2mm 钢-6mmPb-外 2mm 钢
底部	内 6mm 钢-6mmPb-外 6mm 钢
电缆管线口铅防护罩	东侧底部设置了直穿线孔，采用铅防护罩增加散射次数 铅：内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢
排风口铅防护罩	顶部设置了排风扇，采用铅防护罩增加散射次数 铅：内 2mm 钢-6mmPb-外 2mm 钢

3. 工作场所辐射安全和防护措施

校方参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）已（拟）设置如下辐射安全措施：

3.1 辐射工作场所辐射安全措（设）施

表 10-3 本项目辐射工作场所辐射安全措（设）施落实情况一览表

执行标准章节	参考的标准要求	参考标准已（拟）采取的措施
6.1 探伤室放射防护要求	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。	工件门及检修门均设置有门机联锁装置，能够确保只有防护门均关闭后射线装置方能出束，屏蔽体内容积极小，人体无法完整进入并停留于屏蔽体内。
	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，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。	设备顶部设置有 1 处工作指示灯。有灯熄灭意为设备电源已关闭；红灯亮起意为出束中；琥珀色灯亮起意为防护门已关闭；绿灯亮起意为设备电源已接通。校方将在设备前侧醒目位置张贴射线装置信号指示意义的说明。设备在出束时位于操作台的辐射工作人员可看到显示屏警示出束。
	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。	设备内部带有 1 处监控，此外校方计划将在 E103 内设置监控，确保覆盖到工业 CT 工件门处，操作台电脑可监视工业 CT 屏蔽体内情况。
	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。	校方将在工件门和检修门面面向室外部分张贴符合 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。	制式出厂设备南北侧的屏蔽体外工件门和检修门的下方各设有 1 处紧急停机按钮，操作台软件亦有紧急停机按钮，能够确保出现紧急情况时辐射工作人员可就近按下。急停按钮均会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。	本项目工业 CT 装置内部体积约为 1.5m ³ ，风机排风量为 135m ³ /h，排口朝向半空无人处，能够满足每小时有效换气次数 3 次的通风需求。工业 CT 装置所在的 E103 的南墙计划设置排风扇，排口离地 2.5m，朝向室外庭院。E103 室内体积约 120m ³ ，计划安装的排风扇风量为 800m ³ ，能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。
	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	工业 CT 装置内部体积较小，人员无法在屏蔽体内滞留，辐射工作人员工作时随身携带个人剂量报警仪。

3.2 探伤操作防护措施

表 10-4 本项目探伤操作防护措施落实情况一览表

执行标准章节	参考的标准要求	参考标准已（拟）采取的措施
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。	日常工作开展前辐射工作人员会先检查工业 CT 装置各防护门的门-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。	校方已为原项目配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪、2 台个人剂量报警仪，并委托有资质单位为 2 名辐射工作人员开展个人剂量监测。完成搬迁后上述设备将一并迁往新址。辐射工作人员在室内开展工作时，除佩戴常规个人剂量计外，还会携带个人剂量报警仪，并将便携式 X- γ 剂量率仪存放于 E103 内方便日常定期自行监测使用。日常 E103 内仅有辐射工作人员，当剂量率达到设定的报警阈值报警时，辐射工作人员会立即按下急停按钮，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。	校方已制定监测计划，辐射工作人员已定期测量工业 CT 屏蔽体外周围区域的剂量率水平，包括操作位和周围毗邻区域人员居留处。辐射工作人员会继续在日常工作中将测量值与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，将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。	本项目辐射工作人员为一班制，每次使用便携式 X- γ 剂量率仪前，辐射工作人员会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，不会开始探伤工作。
	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。	在每一次照射前，辐射工作人员会关闭防护门。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，才会开始探伤工作。

3.3 探伤设施退役措施

表 10-5 本项目探伤设施退役措施落实情况一览表

执行标准章节	参考的标准要求	参考标准拟采取的措施
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。	当射线装置不再使用，校方会实施退役程序。包括以下内容： c) 委托厂家将 X 射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。 e) 当射线装置从现场移走后，会按监管机构要求办理相关手续。 f) 将清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

3.4 其他设备自有安全措施

- ①钥匙开关：本项目装置配套的操作台上设有钥匙开关，设备机身亦有总电源钥匙，只有通电且打开钥匙开关后工业 CT 装置才能出束，钥匙只有在停机或待机状态下才能拔出；
- ②门缝搭接：本项目工件门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍；
- ③电缆口及排风口防护：本项目电缆口及排风口均设有与同侧铅屏蔽体等铅当量的铅防护罩，具体样式及位置详见图 11-2。



图 10-2 本项目工业 CT 装置辐射安全与防护示意图

三废的治理

1. 固体废物

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

2. 废水

本项目辐射工作人员将会产生一定量的生活污水，污水进入学校污水处理管道，接市政管网后最终进入污水处理厂处理。

3. 气体废物

工业 CT 装置在工作状态时，会使屏蔽体内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，人员不进入屏蔽体内，屏蔽体内设置的风机能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。同时工业 CT 装置所在的 E103 的南墙计划设置排风扇，排口离地 2.5m，朝向室外庭院。E103 室内体积约 120m³，计划安装的排风扇风量为 800m³，能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目工业 CT 装置为整体购买设备，在设备运输及安装组装过程中会产生少量的噪声和固体废物。

①噪声

工业 CT 装置在运输及安装过程中会产生少量的设备安装组装噪声，由于本项目评价范围位于校园内，仅需搬迁设备到新址处，预计安装噪声对周围环境影响较小。

②固体废物

工业 CT 装置在搬运完毕后会拆除一定的外包装材料，包装材料为一般固废，部分回收利用；部分与办公垃圾一同依托校区现有垃圾收集设施收集处置，对周围环境影响较小。

③废水

工业 CT 装置在组装及调试过程中，安装及调试人员会产生少量的生活污水，经市政管网排至污水处理厂处理，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

本项目工业 CT 装置采用铅板对 X 射线进行防护，本项目运行后主要的环境影响是工业 CT 装置出束时产生的 X 射线对周围环境的辐射影响。本项目工业 CT 装置贴地面安装，故并无底部外地面的进一步的散射辐射影响。

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

1. 有用线束屏蔽估算

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

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

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

I ：工业 CT 最大管电流，mA；

H_0 ：距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，***；

B ：屏蔽透射因子，***；

R ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

2. 非有用线束屏蔽估算

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

① 泄漏辐射

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

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

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

B ：屏蔽透射因子，***。

② 散射辐射

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

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

I ：工业 CT 在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H_0 ：距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，***；

B ：屏蔽透射因子，***；

F ： R_0 处的辐射野面积， m^2 ，***；

α ：散射因子，***；

R_s ：散射体至关注点的距离，m；

R_0 ：辐射源点（靶点）至散射面的距离，***。

3. 关注点/参考点的周/年剂量水平估算

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

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

关注点/参考点的年剂量水平， $\mu\text{Sv/年}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ ：关注点/参考点处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ：射线装置周出束时间，h/周；

射线装置年出束时间，h/年；

U ：工业CT向关注点方向照射的使用因子；

T ：人员在相应关注点驻留的居留因子，***。

4. 关注点处周围当量剂量率理论计算结果

根据表 9 分析按照最大管电压 160kV，对应电流 0.0625mA 的工况进行辐射影响预测。本项目有用线束照射方向仅为西侧，射线管仅可东西，移动范围为 190mm，出束角度为 60° 。由表 9 介绍可知，移动过程有用线束可能覆盖西侧、北侧、顶部、底部，因此针对屏蔽体外关注点考虑以下辐射影响。

表 11-1 关注点处辐射影响总结

项目	屏蔽体	辐射影响	
西侧	内 1.2mm 钢-9mmPb-外 4mm 钢	北部：有用线束	南端：非有用线束
北侧	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢	东部：非有用线束	西端：有用线束
东侧	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢	非有用线束	
南侧	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢	非有用线束	
顶部防护板	内 2mm 钢-6mmPb-外 2mm 钢	东部：非有用线束	西端：有用线束
底部防护板	内 6mm 钢-6mmPb-外 6mm 钢	东部：非有用线束	西端：有用线束
电缆管线口铅防护罩	内 1.2mm 钢-6mmPb-外 4mm 钢	非有用线束	
排风口铅防护罩	内 6mm 钢-6mmPb-外 6mm 钢	有用线束	

本项目评估时保守仅考虑铅板的辐射防护效果，忽略钢板的屏蔽作用。

关注点选取模式：以设备外壳外 30cm 处选取距离出束点最近的 1 处作为关注点（eg.针对有用线束，西侧取射线管位于西侧极限位置时，东侧取射线管位于东侧极限位置时），具体选点及距离情况如下。参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 C 示例对有用线束及非有用线束距离取统一数值。

*
俯视图
*
主视图

图 11-1 本项目工业 CT 装置各关注点位示意图

表 11-2 本项目工业 CT 有用线束方向屏蔽效果预测表

关注点	1	2	3	4	11
位置	西侧外 30cm (E103 内过道)	北侧外 30cm 处 (E103 内 过道)	顶部外 30cm (E103 内 半空)	底部外 30cm (电气控制 柜)	通风口铅防护 罩外 30cm (E103 内 半空)
屏蔽设计	*	*	*	*	*
H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	*	*	*	*	*
I (mA)	*	*	*	*	*
B	*	*	*	*	*
R (m)	*	*	*	*	*
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.17E-04	1.25E-01	8.12E-02	2.16E-01	8.12E-02
周围当量剂量率 参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-3 本项目工业 CT 非有用线束方向屏蔽效果预测表

关注点		5	6	7	8	9	10	12
位置		北侧外 30cm (E103 内过道)	东侧外 30cm (E103 内过道)	南侧外 30cm (E103 内过道)	西侧外 30cm (E103 内过道)	顶部外 30cm (E103 内半空)	底部外 30cm 处 (电 气控制柜)	电缆口铅 防护罩外 30cm (E103 内半空)
屏蔽设计		*	*	*	*	*	*	*
泄 漏 辐 射	B ₁	*	*	*	*	*	*	*
	$\dot{H}_L$ (μSv/h)	*	*	*	*	*	*	*
	R (m)	*	*	*	*	*	*	*
	$\dot{H}$ (μSv/h)	*	*	*	*	*	*	*
散 射 辐 射	B ₂	*	*	*	*	*	*	*
	I (mA)	*	*	*	*	*	*	*
	H ₀ (μSv·m ² / (mA·h)	*	*	*	*	*	*	*
	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	*						
	R _s (m)	*	*	*	*	*	*	*
	$\dot{H}$ (μSv/h)	*	*	*	*	*	*	*
泄漏辐射和 散射辐射的		1.47E-02	5.65E-03	6.86E-03	3.79E-06	1.03E-02	7.84E-03	4.60E-03

复合作用 ($\mu\text{Sv/h}$)							
周围当量率 剂量参考控 制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

根据表 11-2、表 11-3 中预测结果，本项目工业 CT 装置表面外 30cm 处周围当量剂量率均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）要求。

5. 天空反散射辐射影响分析

根据表 11-2 及表 11-3 可知，本项目工业 CT 装置顶部外 30cm 处周围当量剂量率最大为 $8.12\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，经天空反散射到达地面周围当量剂量率远小于上述数值，保守两者叠加后数值为。因此忽略天空反散射对四周保护目标叠加影响。

6. 地面反散射辐射影响分析

根据表 11-2 及表 11-3 可知，本项目工业 CT 装置顶部外 30cm 处周围当量剂量率最大为 $2.16\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，经地面散射后达到四周的周围当量剂量率远小于上述数值，因此忽略地面散射对四周保护目标影响。

*四周最大的周围剂量当量率为 $1.25\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，保守将顶部最大周围当量剂量率、底部最大周围剂量当量率与其叠加，数值为 $4.22\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，仍小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7. 防护门搭接处屏蔽射线的效果分析

本项目防护门为双开门设计，工件门与屏蔽体的门缝设计宽度不大于 5mm，防护门顶部搭接 7.5cm，底部搭接 6cm，两侧搭接 7.5cm，中间互相搭接 8cm。防护门之间、防护门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍（5cm）。因此预计经过上述搭接设计后，各处门缝外 30cm 处周围剂量当量率能够降到较低水平。

8. 电缆口、通风口辐射影响分析

本项目工业 CT 装置电缆管道位于装置东侧底部，排风口位于装置顶部，防护补偿结构为在开孔位置内侧覆盖铅防护罩结构，防护补偿铅板厚度为 6mm，电缆呈“L”字型布线，利用散射降低电缆管道口及通风口的辐射水平，X 射线进入线缆管道及通风口后散射示意图如下。由《辐射防护导论》（方杰著）P193 “一般经三次以上散射后 γ 射线的几率已降得很低了”。由图 11-2 可知，在通风口及电缆口的铅防护罩内均需经过三次散射（有用线束在屏蔽体内需经过 A→B 散射后才能进入通风口，随后在

铅防护罩内经过 C→D→E 三次散射；有用线束在屏蔽体内需经过 A' 散射后才能进入电缆口，随后在铅防护罩内经过 B'→C'→D' 三次散射）才能穿出屏蔽体，预计设备表面外 30cm 处周围剂量当量率能够降到较低水平，本项目管线口设计能够满足辐射防护要求。经辐射工作人员日常自行检测及委托有资质单位完成的场所年度检测结果可知，实测情况下管线洞口辐射水平与其他关注点数值相比未见异常。

*

图 11-2 本项目管线洞口散射示意图

9. 保护目标剂量评价

辐射影响时间

本项目预计周出束时间不超过 20h，年出束时间不超过 640h。

保护目标处参考点周围剂量当量率

本项目工业 CT 装置的有用线束影响范围为机械工程学院的 E105、E100、E201、E 区、D 区，庭院/绿化，本项目工业 CT 装置的非有用线束影响范围为机械工程学院 E101、E105、E100、E201、C 区、B 区，北学府路，惠山路，庭院/绿化和纺织科学与工程学院的 1 栋学院楼。有用线束影响根据公式 1 计算，非有用线束影响根据公式 2、3 计算，获得保护目标参考点的周围剂量当量率。另采用公式 4 计算保护目标处周/年有效剂量。

取保护目标距离本项目工业 CT 装置最近处为周围剂量当量率参考点，取最近距离。由表 11-2 及表 11-3 可知，有用线束影响远大于非有用线束，针对同时受两者影响的保护目标的参考点考虑有用线束。针对参考点保守只考虑 6mmPb 的屏蔽效果。

表 11-4 有用线束影响的参考点周围剂量当量率计算表格

保护目标参考点	E105	E100	E201	E 区 其余区域	D 区	停车场、庭院及绿化
屏蔽设计	6mmPb	6mmPb	6mmPb	6mmPb	6mmPb	6mmPb
H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	*	*	*	*	*	*
I (mA)	*	*	*	*	*	*
B	*	*	*	*	*	*
R (m)	*	*	*	*	*	*
参考点 周围剂量当量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.98E-02	4.32E-03	2.27E-02	8.15E-03	1.24E-04	1.05E-02

表 11-5 非有用线束影响的参考点周围剂量当量率计算表格

保护目标 参考点	E101	C 区	B 区	北学府路	纺织科学与工程学院的 1 栋学院楼	惠山路
屏蔽设计	6mmPb	6mmPb	6mmPb	6mmPb	6mmPb	6mmPb
泄漏 辐射	B_1	*	*	*	*	*
	$\dot{H}_L$ ($\mu\text{Sv/h}$)	*	*	*	*	*
	R (m)	*	*	*	*	*
	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	*	*	*	*	*
散射 辐射	B_2	*	*	*	*	*
	I (mA)	*	*	*	*	*
	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (mA·h))	*	*	*	*	*
	$\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$	*				
	R_s (m)	*	*	*	*	*
	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	3.44E-04	3.62E-05	1.51E-06	3.49E-06	1.32E-06
参考点 周围剂量当量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.10E-03	1.16E-04	4.82E-06	1.11E-05	4.20E-06	2.55E-05

由上述两表可知，机械工程学院内公众区域周围剂量当量率最大为 E105 实验室内 $3.98\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，以此作为计算机械工程学院内公众受到的辐射影响的参考点周围剂量当量率。

另根据表 11-2 及表 11-3 取屏蔽外周围剂量当量最大数值作为计算 E103 室辐射工作人员受到的辐射影响的参考点周围剂量当量率。

表 11-6 本项目保护目标有效剂量评估表

位置	居留因子	参考点的 周围剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	周 有效剂量 ($\mu\text{Sv/h/w}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/w}$)	年 有效剂量 (mSv/a)	目标管理 值(mSv/a)
E103室内	*	*	4.32	100 (工作人员)	1.38E-01	5 (工作人员)
机械工程学院	*	*	7.96E-01	5 (公众)	2.55E-02	0.1 (公众)
北学府路	*	*	1.39E-05		4.44E-07	
纺织科学与工程学院的 1 栋学院楼	*	*	8.40E-05		2.69E-06	
惠山路	*	*	3.19E-05		1.02E-06	
停车场、庭院及绿化	*	*	1.31E-02		4.20E-04	

综上所述，根据理论预测，辐射工作人员周有效剂量最大为 $4.32\mu\text{Sv}$ ，年有效剂量最大为 $1.38\text{E-}01\text{mSv}$ ，周围公众周有效剂量最大为 $7.96\text{E-}01\mu\text{Sv}$ ，年有效剂量最大为 $2.55\text{E-}02\text{mSv}$ 。能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标限值要求（职业人员周有效剂量不超过 $100\mu\text{Sv}$ 、年有效剂量不超过 5mSv ，公众周有效剂量不超过 $5\mu\text{Sv}$ 、年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

事故影响分析

1) 本项目可能发生的辐射事故

①在无损检测过程中，防护门被意外打开时由于联锁失效不能立刻停止出束；由于联锁失效，设备工件门未关闭到位也能出束。以上两种情况均可能致使室内人员受到意外照射；

②维修人员检修工业 CT 装置时，设备进行曝光，人员受到意外照射；

③工业 CT 在对工件进行曝光的工况下，二人作业，配合失误受照。

2) 辐射事故处置方法

发生辐射事故时，校方应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告。事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

①确定现场辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。

②根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间。

③现场处置任务的工作人员应佩戴防护用具、个人剂量计及个人剂量报警仪。

④应尽可能记录现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

⑤事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免辐射事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员、公众的健康与安全。

3) 针对本项目可能发生的辐射事故提出预防措施

本项目针对上述可能出现的主要事故建议性的给出处理方法或者预防措施：

①校方应加强管理，加强辐射工作人员的培训，严格执行安全操作规程，防止人员误入误留在装置内；

②定期检查门机联锁装置，确保无损检测工作正常进行；

③发生事故时应按下急停开关切断电源，确保装置停止出束；

④对可能受到超剂量照射的人员，及时送医检查并治疗；

⑤协助专业人员对受照人员进行受照剂量估算，并协助进行身体检查和医学观察；

⑥事故处理后保存好受照人员体检资料，做好跟踪观察。

校方在日常工作中应加强辐射安全管理，定期对工业 CT 装置进行检查、维护，发现问题及时维修；严格要求辐射工作人员按照操作规程进行工业 CT 装置操作，每次操作前检查工业 CT 装置门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测工业 CT 装置的周围辐射水平，确保安全措施有效运行；同时针对可能发生的辐射安全事故，完善切实可行的辐射事故应急预案，以能够有序应对事故。此外，校方应完善应急计划演练，配备应急物品，通过演练确定应急措施是否可行。同时校方应在今后的工作实践中不断完善辐射安全制度，提高制度的可操作性。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用Ⅱ类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员及管理人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的考核，

校方已成立相应的辐射安全管理机构，并已以文件形式明确各成员管理职责。本项目将继续沿用原有的 2 名辐射工作人员，辐射工作人员已自主在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，并通过了全国核技术利用辐射安全与防护考核（考核类型为“X 射线探伤”）。校方计划安排核辐射防护负责人参加考核，考核类型为“辐射安全管理”。以后如有新增辐射工作人员，校方应及时组织其自主学习后，通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台或者微信小程序“HJSPLY”报名并参加定期组织的考核（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>），辐射工作人员必须通过考核后方能正式进行检测工作。

辐射安全管理规章制度

江南大学本项目为迁建项目，校方已按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》制定相关辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。根据江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知（苏环规（2019）4 号），校方已制定并落实下列制度。

表 12-1 辐射安全管理规章制度一览表

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及苏环规（2019）4号规定的制度	校方已制定的制度清单	是否落实
成立辐射安全与环境保护管理机构的正式文件	《单位成立辐射安全与环境保护管理机构的正式文件》	已落实，迁建后将继续落实
操作规程	《工业CT操作规程》	已落实，迁建后将继续落实
岗位职责	《辐射工作人员岗位职责》	已落实，迁建后将继续落实
辐射防护和安全保卫制度	《辐射防护和安全保卫制度》	已落实，迁建后将继续落实
射线装置使用登记、台帐管理制度	《射线装置使用登记、台帐管理制度》	已落实，迁建后将继续落实
设备检修维护制度	《设备检修维护制度》	已落实，迁建后将继续落实

人员培训计划	《人员培训计划》	已落实，迁建后将继续落实
辐射事故应急措施	《辐射事故应急措施》 《辐射事故应急响应程序》	已落实，迁建后将继续落实
监测方案	《辐射环境监测方案》 《个人剂量监测方案》	已落实，迁建后将继续落实

辐射安全与防护工作领导小组：为认真落实《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》，切实加强辐射安全与防护的监督管理，预防、控制和消除辐射危害，保障辐射工作人员及公众的健康权益，结合管理部门情况，校方已成立相应的辐射安全管理机构并确认了成员职责。

本报告对各项管理制度要点提出如下建议：

操作规程：明确本项目辐射人员的资质条件要求、工业 CT 装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确工业 CT 操作步骤以及作业过程中必须采取的辐射安全措施。辐射工作人员必须佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，定期利用便携式 X- γ 剂量率仪对辐射工作场所开展自行监测。

岗位职责：明确辐射管理机构及成员、专职辐射负责人、辐射工作人员的岗位责任。明确专职辐射负责人负责辐射安全管理工作，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据工作具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是工业 CT 的运行和维修时辐射安全管理。此外，应着重关注控制台钥匙管理，应专人保管，使用时应进行使用记录登记，确保开机钥匙的安全性。

设备维修维护制度：明确工业 CT 装置的辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工业 CT 装置、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

人员培训计划：制定人员培训计划，明确培训对象（辐射负责人、辐射工作人员均应参加培训）、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查，严禁无证人员操作工业 CT。

监测方案：制定开展核技术利用工作时周围环境监测方案及个人剂量监测制度。按照有关标准、规范的要求定期对工业 CT 进行监测或者委托有资质的机构进行监测。发现异常情况的，立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。对辐射工作人员定期组织个人剂量监测，建立个人剂量档案；发现个人剂量异常的，对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报

告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

台账管理制度：制定工业 CT 的使用登记制度和定期检查制度，重点是工业 CT 使用状况的记录。

辐射事故应急预案：针对工业 CT 可能产生的辐射事故情况制定事故应急预案，依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。当发生事故时，校方应当立即启动辐射事故应急预案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。应急预案内容包括：应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备、应急演习计划；辐射事故分级与应急响应措施、辐射事故调查、报告和处理程序；应急领导小组成员姓名及联络电话、当地的救援报警电话。

职业健康体检：校方应组织工作人员上岗前进行职业健康体检，在岗期间定期复检，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查，辐射工作人员无论何种原因脱离辐射工作时，校方应及时安排其进行离岗时的职业健康检查，以评价其离岗时的健康状况；如果最后一次在岗期间职业健康检查在离岗前三个月内，可视为离岗时检查，但应按离岗时检查项目补充未检查项目；校方应建立辐射工作人员职业健康监护档案。

1. 辐射监测

1) 委托有资质单位定期对工业 CT 周围环境辐射剂量率进行检测，每年 1~2 次；
2) 工业 CT 开展工作时辐射工作人员对其表面周围的辐射水平进行监测（每月一次），并做好相关记录。若发现辐射异常情况，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

3) 个人剂量：校方应继续委托有资质单位对辐射工作人员开展个人剂量监测，个人剂量计定期（不超过 3 个月）送检，并继续维护个人剂量档案；发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境部门、卫生部门调查处理。

本项目辐射监测方案具体见表 12-2。

表 12-2 辐射监测方案

监测对象	监测项目	监测因子	监测方式	监测周期	监测点位/要求
工业 CT	验收监测	X- γ 辐射剂量率	委托有资质单位进行	项目运行前 1 次	a) 通过巡测发现的辐射水平异常高的位置； b) 工业 CT 防护门表面外 30 cm 离地面高度为 1 m 处，左、中、右侧 3 个点和门缝四周各 1 个点； c) 工业 CT 表面外 30 cm 离地面高度为 1m 处，每面至少测 3 个点； d) E103 上层外 30 cm 处，至少包括有用线束到达范围的 5 个检测点； e) 人员经常活动的位置； f) 每次出束结束后，检测工业 CT 防护门口，以确保辐射源已经停止工作。
	年度监测		委托有资质单位进行	每年一次	
	自主监测		自行监测	每月一次	
辐射工作人员	职业性外照射个人监测	个人剂量当量	委托有资质单位进行	每 3 个月一次	常规监测周期一般为一个月，最长不应超过三个月。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

2. 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）等要求，使用 II 类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。校方已为本项目 2 名辐射工作人员配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪和 2 台个人剂量报警仪。项目运行后校方应定期对工业 CT 周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

3. 监测质保：校方应根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）要求选用合适的便携式 X- γ 剂量率仪及个人剂量报警仪，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。确保执行制定的《监测仪表使用与校验管理制度》，并利用委托监测获得的监测数据进行比对并建立比对档案。监测须采用国家颁布的标准方法或推荐方法并制定辐射环境监测管理制度。

辐射事故应急

江南大学应针对射线检测项目可能产生的辐射事故情况制定辐射事故应急预案，应急预案内容应包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (3) 应急演习计划；
- (4) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

江南大学应依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号文）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，发生辐射事故或者发生可能引发辐射事故的运行故障时，单位应当立即启动本单位的应急方案，采取必要的防范措施，在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》。报告内容包括单位信息，许可证信息，事故发生时间、地点、类型，射线装置名称及型号，事故经过等信息。事故发生后应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

江南大学应加强管理，严格执行安全操作规程。应经常监测本项目工业CT装置周围的环境辐射剂量率等，发现问题及时排查，确保辐射工作安全有效运转。

校方目前已制定《辐射事故应急措施》《辐射事故应急响应程序》，已定期组织应急演练并形成了演练报告和经验总结，通过应急演练完善辐射应急预案。

表 13 结论与建议

结论**1. 实践正当性**

蔡司 Xradia Context micro 工业 CT 具备无损三维成像能力（体素分辨率达 500nm），可对金属、复合材料等开展内部缺陷（如孔隙、裂纹）的精准量化分析，避免传统破坏性检测的材料损耗，能够显著提升科研效率与成果转化价值。该技术对材料失效机理、轻量化设计等关键研究的支撑效益，远高于设备运行产生的可控辐射风险。该装置集成辐射安全防护系统，根据原有验收检测及日常自主检测，辐射影响极小。且设备支持自动化高通量扫描，无需人工近距离操作，自带的通风系统能够有效控制臭氧与氮氧化物浓度。根据原运行情况，在做好各项辐射防护措施，严格按照规章制度运营本项目的情况下，可将上述辐射影响降至尽可能小。综上，该实践通过科学必要性（材料微观结构无损表征）、防护完备性（屏蔽设计符合国标）及风险可控性（照射低于限值），全面满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对正当性、最优化及限值管理的三重约束，为机械与材料学科前沿研究提供了合规且高效的技术平台。。

2. 辐射安全与防护分析结论**1) 选址、布局合理性**

本项目位于江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号江南大学的蠡湖校区内，校区东侧为蠡湖大道，南侧为震泽路，西侧为江大西南河及缘溪道，北侧为高浪西路。

本项目1台工业CT装置拟迁往的机械工程学院位于校区中部，机械工程学院东侧为北学府路，南侧为井冈山路，西侧为三江路，北侧为惠山路，北侧隔惠山路为纺织科学与工程学院的学院楼。

机械工程学院的1栋学院楼综合体由A区（西南部）、B区（东南部）、C区（中部）、D区（西北部）、E区（东北部）组成，分布着学院的实验室、办公室、会议室、教学实训中心等。射线装置拟安装于学院楼东北部的E区南部中央的E103，进出工件的工件防护门朝向北侧，装置四周均为E103内过道，上方为E103半空（CT装置屏蔽体上方隔半空为E201），下方为土层，无地下建筑。E103东侧为E101，南侧为庭院，西侧为E105，北侧为E100，楼上为E201及走廊。

对照《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（苏

政发〔2020〕49号）《江苏省自然资源厅关于无锡市滨湖区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2025〕254号），本项目的建设符合江苏省和无锡市滨湖区“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）要求。本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》中环境敏感区。

本项目工业CT装置的屏蔽体周围50m范围内均处于校区范围，50m范围内无居民区、其他学校等环境敏感区，工业CT装置50m范围内涉及校区内的①工业CT装置所在的机械工程学院的学院楼（E区、C区、D区、B区，最高4F-5F）、②工业CT装置北侧的纺织科学与工程学院的1栋学院楼（最高5F），③工业CT装置东侧的校区道路（北学府路），北侧的校区道路（惠山路），西北侧的停车场、四周的庭院及绿化。本项目周围环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及周围公众。

本项目将工业CT装置实体边界以内区域作为本项目的控制区，将工业CT装置实体边界以外、E103以内区域（含操作台）作为本项目的监督区，仅辐射工作人员能够进入E103。校方拟在工件门上张贴电离辐射警告标志及中文警示说明，在E103北侧入口处张贴监督区的标牌。

2) 辐射防护措施

本项目工业CT装置采用铅屏蔽体对X射线进行屏蔽。工件门一侧为北侧，北侧屏蔽体（含工件门，有用线束方向+非有用线束方向）为6mm铅板，东侧屏蔽体为6mm铅板（非有用线束方向），南侧屏蔽体（非有用线束方向）为6mm铅板，西侧屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为9mm铅板，顶部屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为6mm铅板，底部屏蔽体（有用线束方向+非有用线束方向）为6mm铅板。本项目装置X射线管出束口朝西侧照射，最大管电压为160kV、最大管电流为0.09mA，固有滤过条件为2mmAl。

本项目防护门为双开门设计，工件门与屏蔽体的门缝设计宽度不大于5mm，防护门顶部搭接7.5cm，底部搭接6cm，两侧搭接7.5cm，中间互相搭接8cm。防护门之间、防护门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的10倍。

工业CT装置底部设置了电缆孔，洞口处设6mmPb的铅防护罩，内部设置了排风扇，排风口位于顶部，排口处设置有6mmPb的铅防护罩。

本项目CT装置内部体积约为1.5m³，通风口处设有风机，排风量为135m³/h，

能够满足每小时有效换气次数 3 次的通风需求。工业 CT 装置所在的 E103 的南墙计划设置排风扇，排口离地 2.5m，朝向室外庭院。E103 室内体积约 120m³，计划安装的排风扇风量为 800m³，能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。

3) 辐射安全措施

参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），校方已（拟）设置足够的辐射安全措施。重要的辐射安全措施如下：

（1）门机联锁：防护门均已设置门机联锁装置。

（2）灯机联锁的工作状态指示灯，声音提示装置及信号意义的说明：工业 CT 的顶部设 1 处可警示出束的指示灯与辐射源联锁，灯附近均会设置信号意义的说明。设备在出束时位于操作台的辐射工作人员可看到显示屏警示预备及出束。

（3）监视装置：工业 CT 装置内部带有监视装置，此外 E103 内会安装监视装置，监视器位于操作台。

（4）电离辐射警告标志和中文警示说明：工业 CT 装置防护门面向室外部分均会张贴符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

（5）急停按钮及标签：工业 CT 装置南北侧各有 1 处紧急停机按钮，均会张贴标签标明使用方法。

（6）机械通风装置：工业 CT 装置内设置有机机械通风装置，装置能够实现每小时有效通风换气次数远大于 3 次，排口朝向室内半空，E103 南墙计划安装排风扇。

（8）监测设备：辐射工作人员在进入检测室时，除佩戴常规个人剂量计外，还会携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ剂量率仪。当班使用便携式 X-γ剂量率仪前，辐射工作人员会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，不会开始工作。

3. 三废的治理

（1）固体废物

本项目运行后不会产生放射性固体废物。本项目运行后工作人员会产生一定量的生活垃圾，本项目产生的生活垃圾由厂区统一收集后，交给环卫部门清运。

（2）废水

本项目运行后不产生放射性废水。本项目辐射工作人员将会产生一定量的生活污水，经市政管网排往污水处理厂处理。

(3) 气体废物

工业 CT 装置在工作状态时,会使屏蔽体内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物,人员不进入屏蔽体内,屏蔽体内设置的风机能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求,工业 CT 装置所在的 E103 的南墙计划设置排风扇,排口离地 2.5m,朝向室外庭院。E103 室内体积约 120m³,计划安装的排风扇风量为 800m³,能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。臭氧在常温常压下稳定性较差,常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟,可自动分解为氧气。

4. 辐射环境影响分析结论

本项目工业 CT 装置通过铅屏蔽体对 X 射线进行防护。经理论预测结果可知,本项目以最大输出量运行时工业 CT 装置表面外 30cm 处的周围剂量当量率能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)的周围剂量当量率参考控制水平要求。

由预测结果、验收检测报告及个人剂量检测结果可知,本项目辐射工作人员及周围公众周有效剂量和年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)及《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117—2022)的剂量限值要求和本项目的目标管理值要求。

5. 辐射环境管理

- 1) 校方将继续委托有资质单位每年对辐射工作场所周围环境辐射水平进行检测;
- 2) 校方已配置辐射剂量监测仪器,将继续定期对辐射工作场所辐射水平进行检测;
- 3) 校方将继续委托有资质的单位开展个人剂量监测,所有辐射工作人员会继续佩戴个人剂量计,并定期按时送检。校方已建立辐射工作人员个人剂量监测档案并长期保存。
- 4) 校方将继续安排辐射工作人员定期完成职业健康体检复检,校方已建立辐射工作人员职业健康监护档案。
- 5) 校方已成立辐射防护管理机构,并以文件的形式明确各成员管理职责。同时在项目运行后将继续严格落实已制定的相关辐射安全管理制度;校方已安排核辐射防护负责人学习辐射安全与防护知识,计划参加“辐射安全管理”类别考核,未来如果新增辐射工作人员,在上岗前均应参加并通过辐射安全与防护知识考核。

综上所述,江南大学迁建 1 台工业 CT 装置项目符合实践正当性原则,拟采取的

辐射安全和防护措施适当，职业工作人员及公众受到的周/年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其设施运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，项目可行。

建议和承诺

- 1) 该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。
- 2) 各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。
- 3) 定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。
- 4) 建设单位在获得本项目环评批复，且项目建设完成后根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求申领辐射安全许可证。
- 5) 根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》第十二条 除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。建议建设单位在本项目环境保护设施竣工后 3 个月内进行竣工环保验收。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人

公 章
年 月 日

审批意见：

经办人

公 章
年 月 日

附表 辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预期投资 (万元)
辐射安全管理	校方已成立辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员职责。	根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》成立安全管理机构。	*
	管理制度：应制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。		*
	2 名辐射工作人员已通过辐射安全与防护知识考核（每 5 年重新参加考核）。	结合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员应持有考核合格证。	*
	辐射工作人员应佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测（常规监测周期一般为一个月，最长不应超过三个月。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年）。	根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）辐射工作人员正常开展个人剂量监测，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。	*
	职业健康体检：定期组织职业健康体检，并按相关要求建立职业健康监护档案（两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查）。	根据《放射工作人员职业健康管理辦法》校方应定期组织职业健康体检并建立辐射工作人员职业健康监护档案。	*
辐射防护措施	本项目工业 CT 装置采用铅屏蔽体对 X 射线进行屏蔽。本项目工业 CT 装置采用铅屏蔽体对 X 射线进行屏蔽。工件门一侧为北侧，北侧屏蔽体为 6mm 铅板，东侧屏蔽体为 6mm 铅板，南侧屏蔽体为 6mm 铅板，西侧屏蔽体为 9mm 铅板，顶部屏蔽体为 6mm 铅板，底部屏蔽体为 6mm 铅板。 本项目防护门为双开门设计，工件门与屏蔽体的门缝设计宽度不大于 5mm，防护门顶部搭接 7.5cm，底部搭接 6cm，两侧搭接 7.5cm，中间互相搭接 8cm。防护门之间、防护门与装置外壳重叠部分不小于门缝间隙宽度的 10 倍。 工业 CT 装置底部设置了电缆孔，洞口处设 6mmPb 的铅防护罩，内部设置了排风扇，排风口位于顶部，排口处设置有 6mmPb 的铅防护罩。 本项目 CT 装置内部体积约为 1.5m³，通风口处设有风机，排风量为 135m³/h，能够满足每小时有效换气次数 3 次的通风需求。工业 CT 装置所在的 E103 的南墙计划设置排风扇，排口离地 2.5m，朝向室外庭院。E103 室内体积约 120m³，计划安装的排风扇风量为 800m³，能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求。	工业 CT 表面外 30cm 处周围剂量当量率能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求。 辐射工作人员及公众周/年有效剂量符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。（职业人员年有效剂量不超过 5mSv；公众年有效剂量不超过 0.1mSv。）	*
污染	废气：工业 CT 装置在工作状态时，会使屏蔽体内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，人	本项目臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，其产生臭氧和氮氧化物对环	*

防治措施	员不进入屏蔽体内，屏蔽体内和设备所在的E103 设置的风机和排风扇均能够满足每小时有效换气次数 3 次以上需求，上述通风设施可将臭氧和氮氧化物排出室外。臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气。	境影响较小。	
	固体废物 本项目运行后不会产生放射性固体废物。本项目运行后工作人员会产生一定量的生活垃圾，本项目产生的生活垃圾由厂区统一收集后，交给环卫部门清运。	本项目产生的生活垃圾能够妥善处理，对周围环境影响较小。	*
	废水： 本项目运行后不产生放射性废水。本项目辐射工作人员将会产生一定量的生活污水，经市政管网排往至污水处理厂处理。	本项目产生的生活污水能够妥善处理，对周围环境影响较小。	*
辐射安全措施	(1) 门机联锁：防护门均已设置门机联锁装置。 (2) 灯机联锁的工作状态指示灯，声音提示装置及信号意义的说明：工业 CT 装置的顶部设 1 处可警示出束的指示灯与辐射源联锁，灯附近均会设置信号意义的说明。设备在出束时位于操作台的辐射工作人员可看到显示屏警示预备及出束。 (3) 监视装置：工业 CT 装置内部带有监视装置，此外 E103 内会安装监视装置，监视器位于操作台。 (4) 电离辐射警告标志和中文警示说明：防护门面向室外部分均会张贴符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。 (5) 急停按钮及标签：工业 CT 装置南北侧各设计有 1 处紧急停机按钮，均会张贴带有标签标明使用方法。 (6) 机械通风装置：工业 CT 内设置有机械通风装置，装置能够实现每小时有效通风换气次数远大于 3 次，排口朝向室内半空，E103 亦设有通风系统和大面积窗户。 (7) 日常检查工作：日常工作前辐射工作人员会先检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。 (8) 监测设备：辐射工作人员在进入 E103 时，除佩戴常规个人剂量计外，还会携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪。使用便携式 X-γ 剂量率仪前，辐射工作人员会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，不会开始工作。 (9) 监测计划：建设单位已制定监测计划，当测量值高于参考控制水平时，将终止工作并向辐射防护负责人报告。 (10) 退役程序：当射线装置不再使用，	能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相关要求。	*

	建设单位会实施退役程序。 (13) 两区划分：设备内部区域作为本项目控制区，防护门张贴电离辐射警告标志和中文警示说明，E103 内设备外区域作为监督区，E103 北侧入口张贴监督区标牌。		
	已配备 1 台便携式 X-γ剂量率仪及 2 台个人剂量报警仪。	根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》满足工作场所日常监测要求。	*

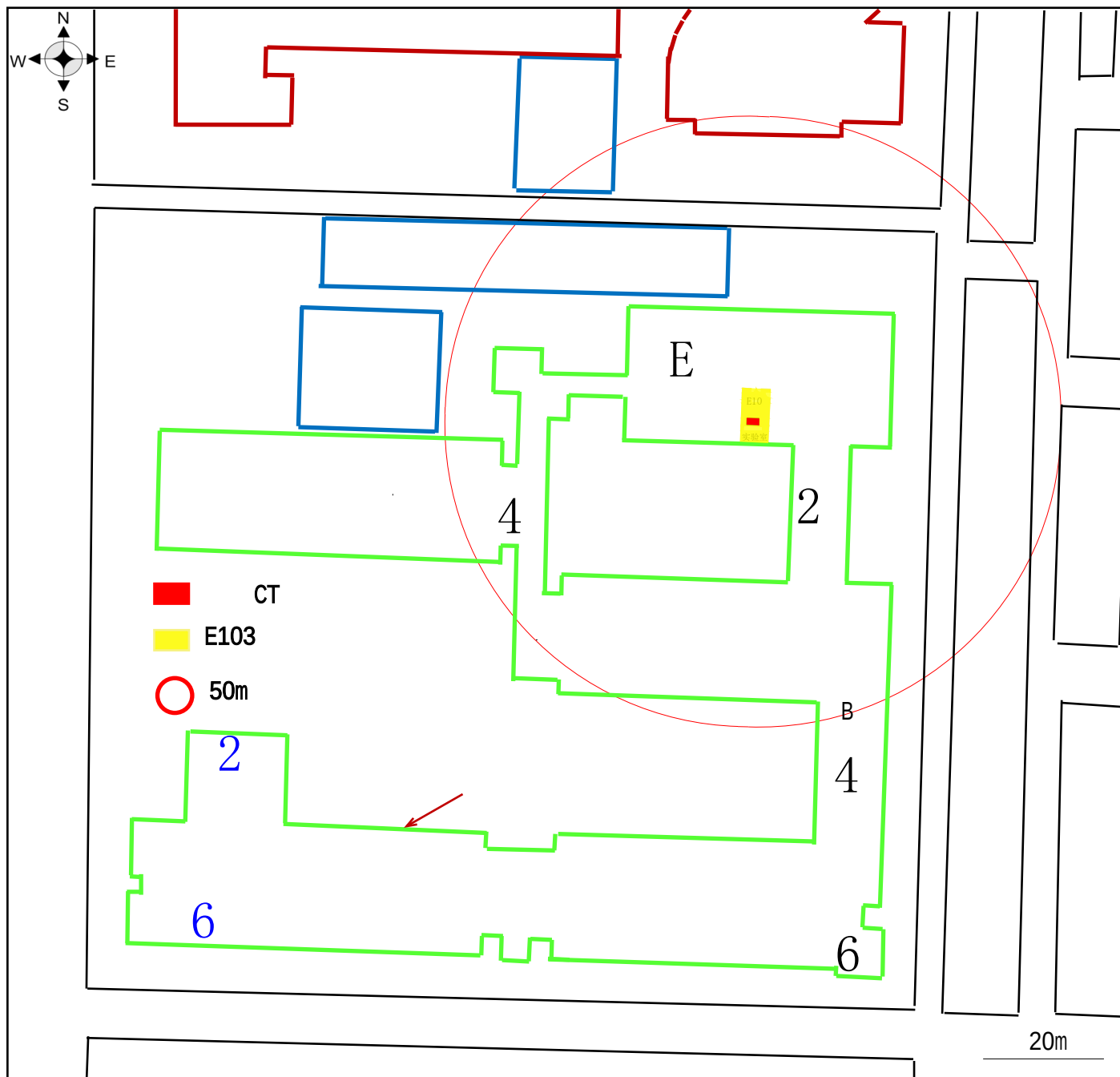
以上措施必须在项目运行前落实。



附图 1 本项目地理位置图



附图 2-1





E 1F

E102
实验室

E100
实验室

走廊

走廊

走廊

女卫生间

男卫生间

E10
实验室

E10
实验室

实验室
E10

E101
实验室

楼梯

电梯

配电室

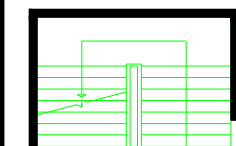
CT

E103

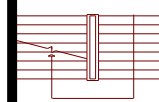
10m

3-1

E 1F



楼梯



楼梯

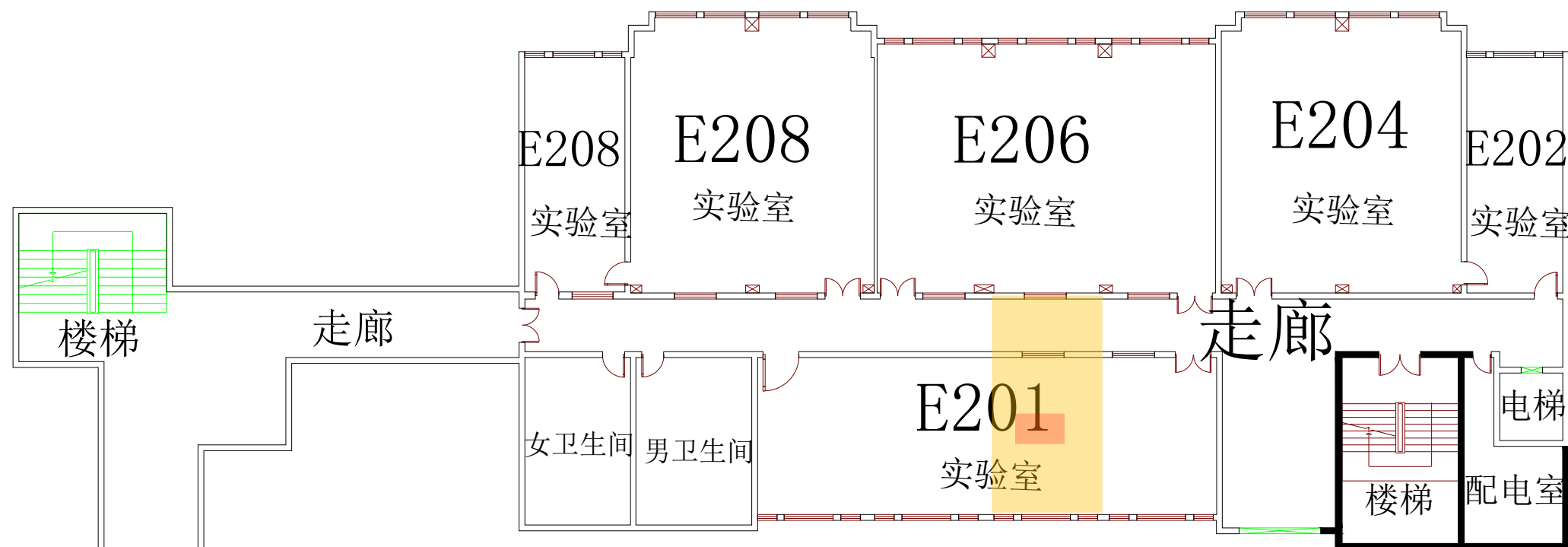
电梯

配电室



1

2

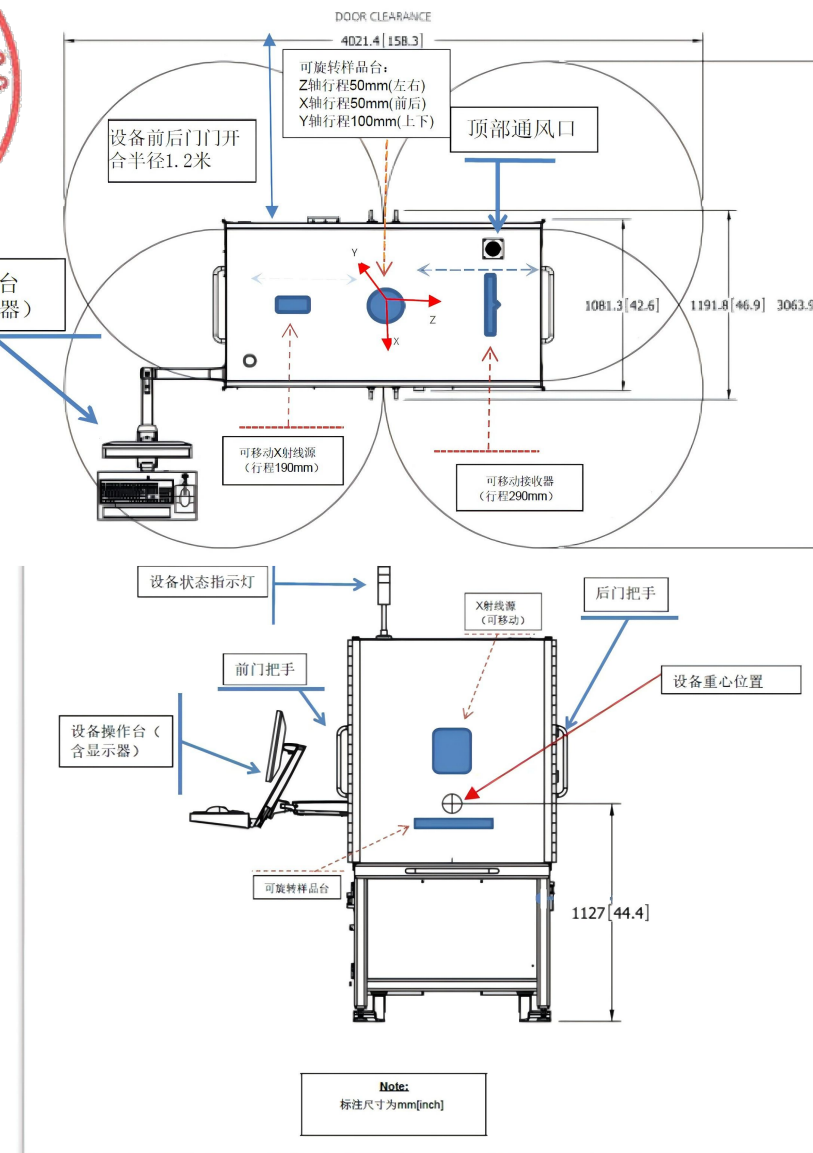
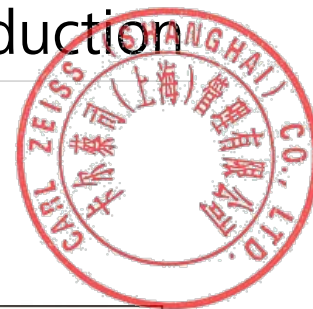
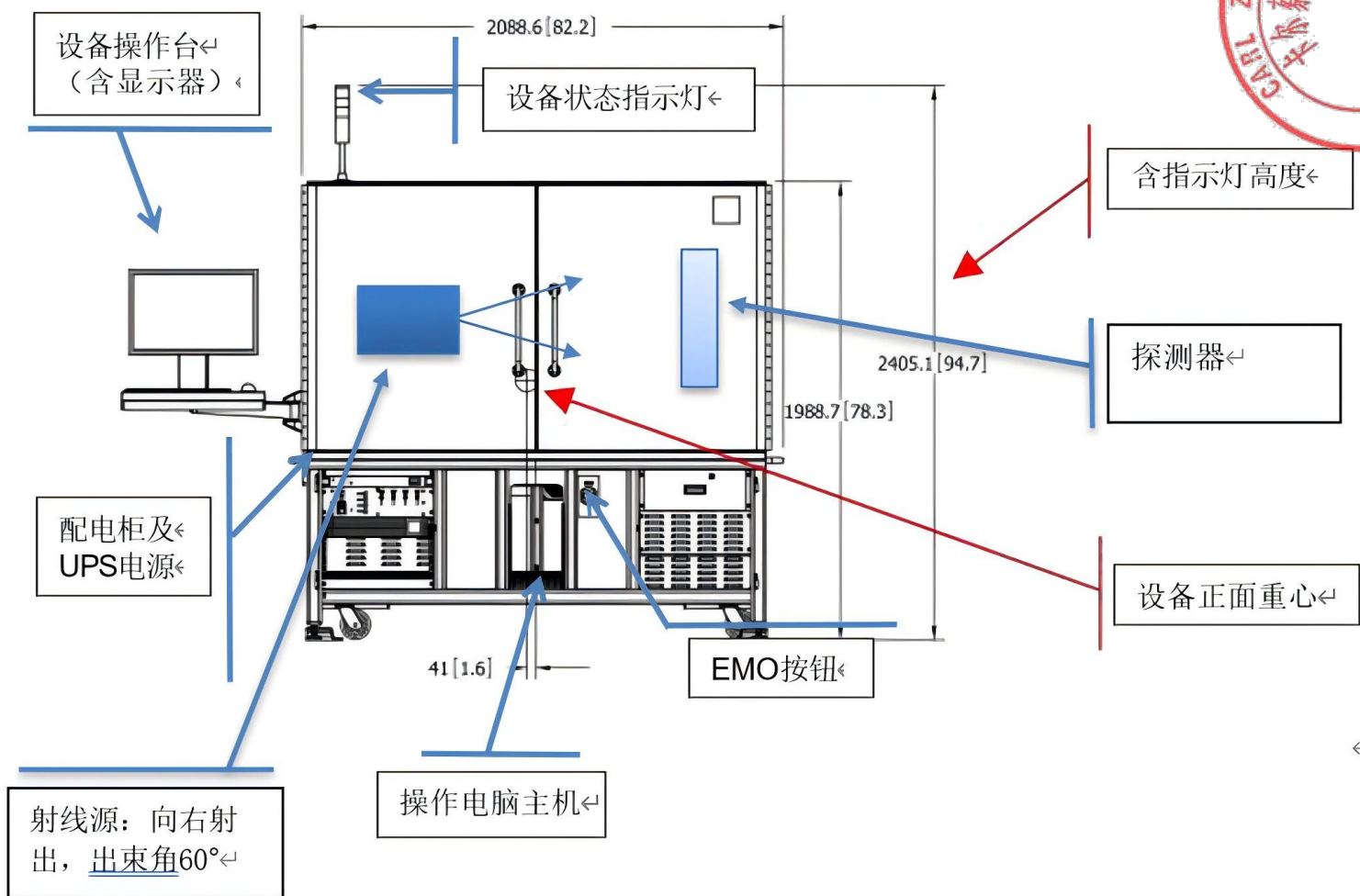


3-2

E 1F

Xradia Context microCT 射线安全防护简介设备部件说明

Xradia Context microCT Radioprotection Introduction



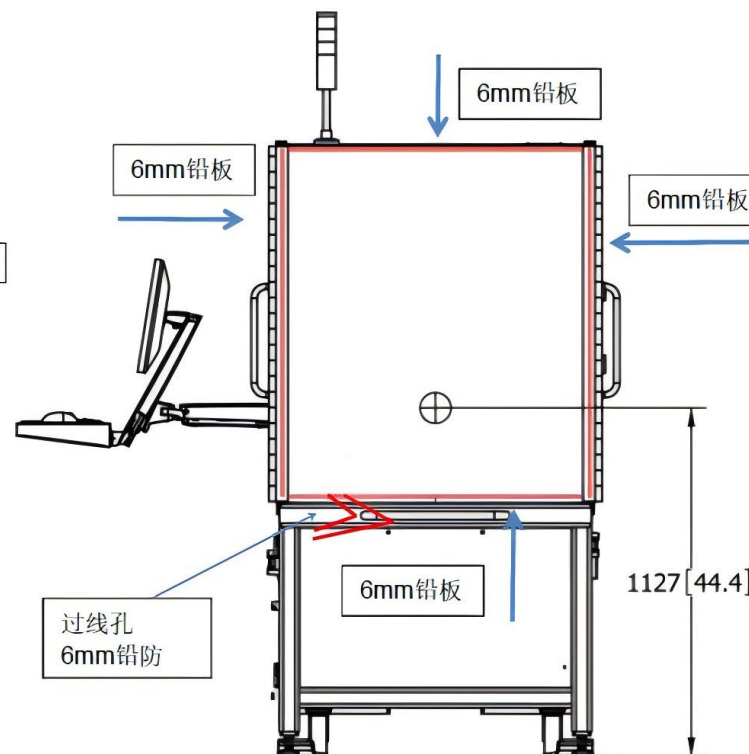
Xradia Context microCT 射线安全防护简介

Xradia Context microCT Radioprotection Introduction

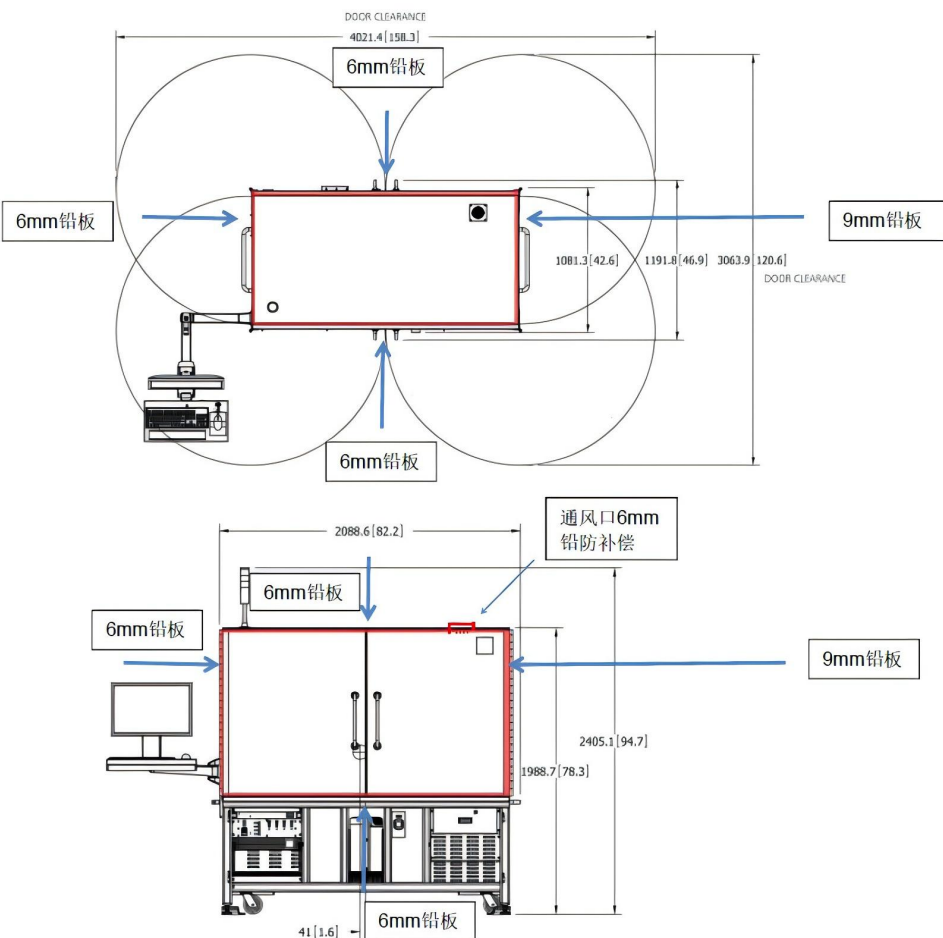


如左图，从机器的正前方（操作面）来看：

- 1. 前门防护板及厚度：中间为6mm厚度的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 2. 后门防护板及厚度：中间为6mm厚度的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 3. 射线源所在的右侧防护板及厚度：中间为9mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 4. 射线源所在的左侧防护板及厚度：中间为6mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 5. 顶部防护板及厚度：中间为6mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部2mm的钢板，内部2mm的钢板；
- 6. 底部防护板及厚度：中间为6mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部6mm的钢板，内部6mm的钢板；



Note:
所有标注尺寸为
mm [Inches]



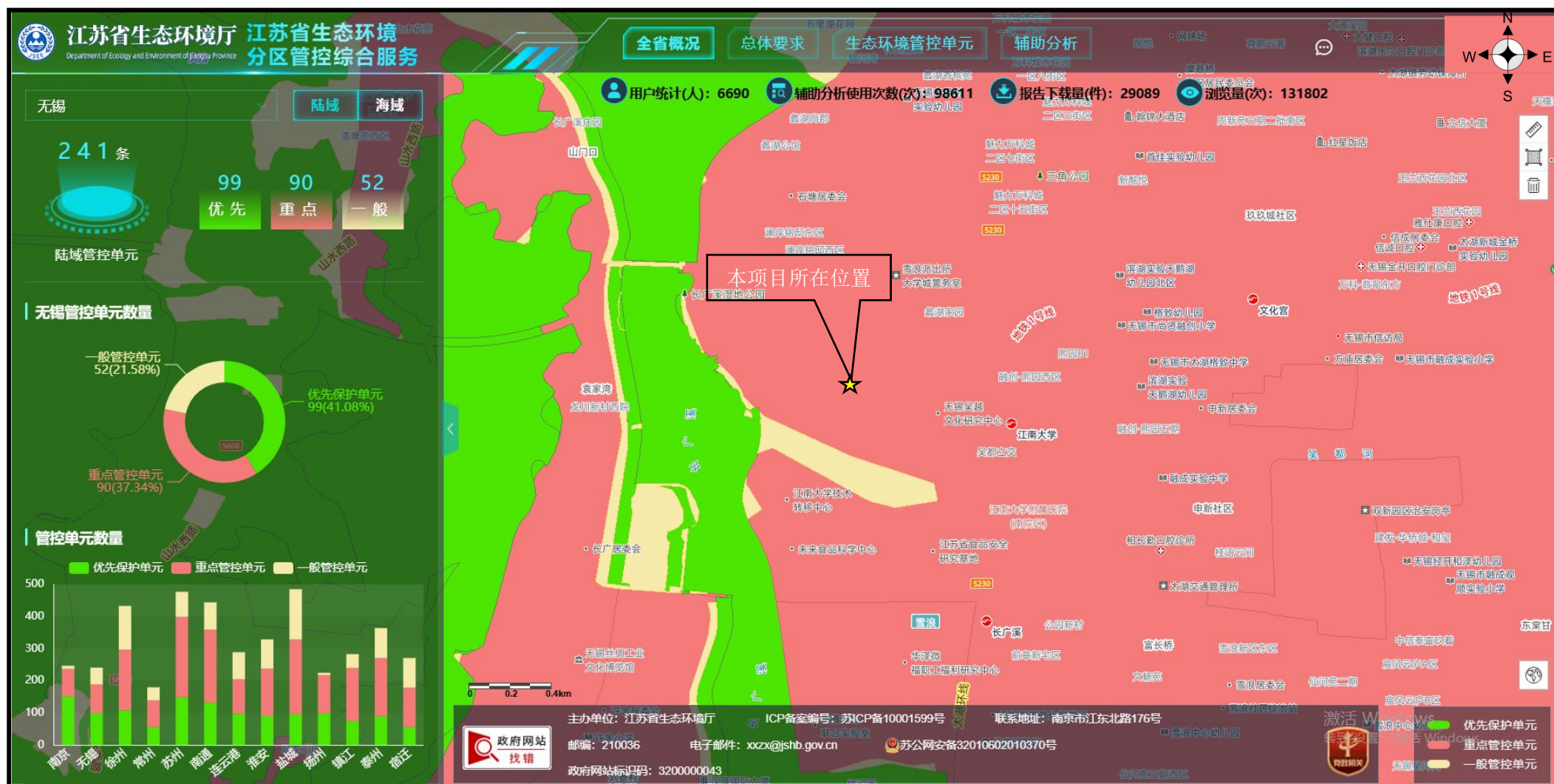
Xradia Context microCT 射线安全防护简介

Xradia Context microCT Radioprotection Introduction



如左图，从机器的正前方（操作面）来看：

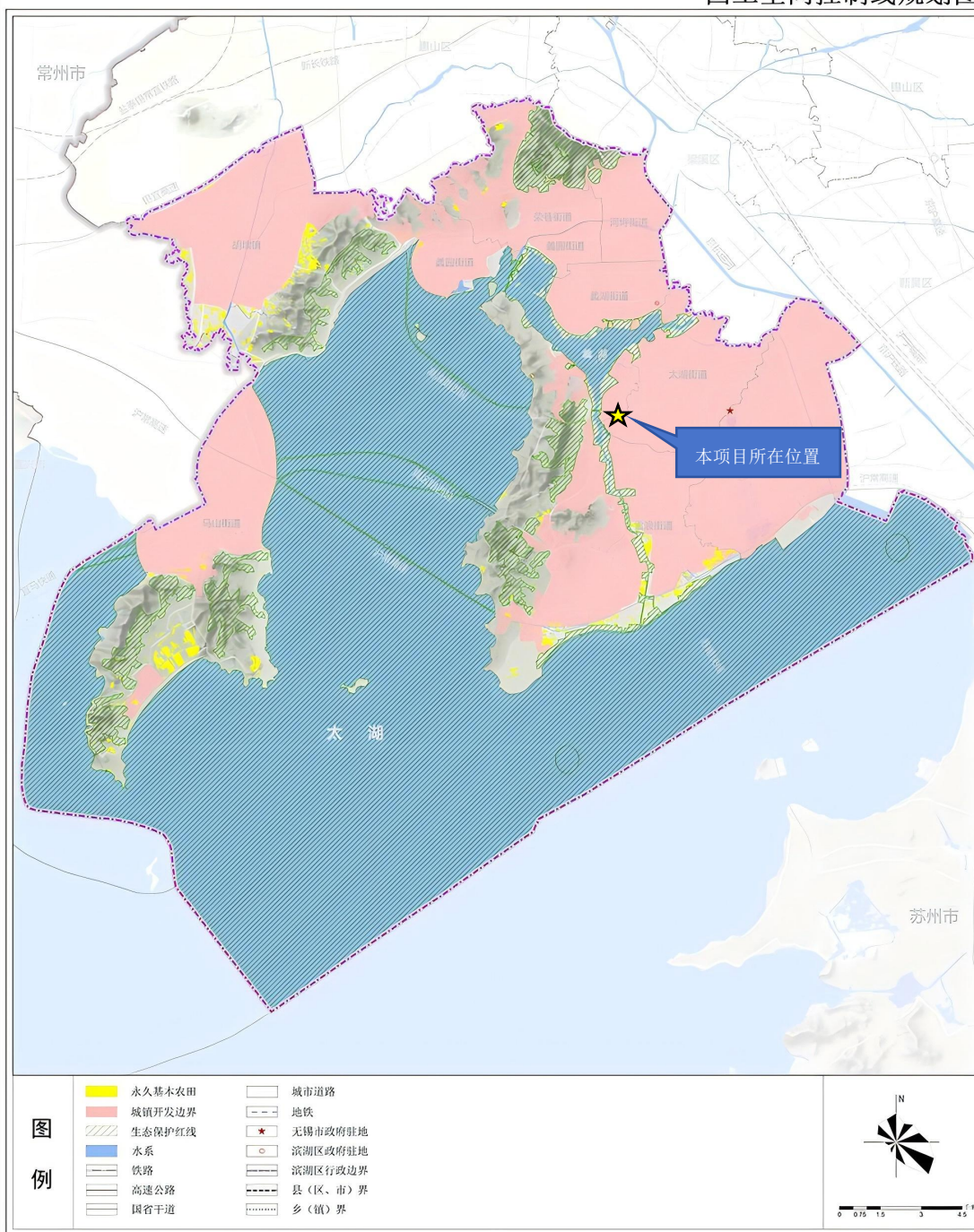
- 1.前门防护板及厚度：中间为6mm厚度的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 2.后门防护板及厚度：中间为6mm厚度的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 3.射线源所在的右侧防护板及厚度：中间为9mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 4.射线源所在的左侧防护板及厚度：中间为6mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部4mm的钢板，内部1.2mm的钢板；
- 5.顶部防护板及厚度：中间为6mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部2mm的钢板，内部2mm的钢板；
- 6.底部防护板及厚度：中间为6mm的铅板，内外侧包裹钢板，外部6mm的钢板，内部6mm的钢板；



附图 5 本项目与江苏省生态空间管控区域相对位置关系图

无锡市滨湖区国土空间总体规划（2021—2035年）

国土空间控制线规划图



附图 6 本项目与无锡市滨湖区生态空间管控区域相对位置关系图