

核技术利用建设项目

苏州国家实验室新建 4 台工业 CT 项目 环境影响报告表 (公示版)



生态环境部监制

核技术利用建设项目

苏州国家实验室新建 4 台工业 CT 项目 环境影响报告表

建设单位名称： 苏州国家实验室

建设单位法人代表（签名或签章）： _____

通讯地址： 江苏省苏州市苏州工业园区若水路 388 号

邮政编码： 215000 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	6
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据	9
表 7 保护目标与评价标准	12
表 8 环境质量和辐射现状	20
表 9 项目工程分析与源项	29
表 10 辐射安全与防护	44
表 11 环境影响分析	61
表 12 辐射安全管理	84
表 13 结论与建议	88
表 14 审批	93

附图：

- 附图 1：项目地理位置图
- 附图 2：项目所在区域平面布置图
- 附图 3：电镜谱学中心平面布置图
- 附图 4：力学中心平面布置图
- 附图 5：项目周边概况图
- 附图 6：项目所在区域生态红线图

附件：

- 附件 1：项目委托书
- 附件 2：射线装置使用承诺书
- 附件 3：屏蔽设计情况
- 附件 4：营业执照
- 附件 5：本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质
- 附件 6：ZEISS 620 Versa 工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置供应商辐射安全许可证、出厂检测报告、设备参数说明及屏蔽设计情况说明
- 附件 7：FF85 工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置供应商辐射安全许可证、出厂检测报告、设备参数说明、配套铅房铅板厚度证明
- 附件 8：XR320 型/XR160 型 X 射线检测装置 X 射线源供应商辐射安全许可证、设备参数说明及拟建铅房屏蔽设计情况说明
- 附件 9：企业已申报核技术项目的环评批复
- 附件 10：专家意见及修改清单

表 1 项目基本情况

建设项目名称		苏州国家实验室新建 4 台工业 CT 项目			
建设单位		苏州国家实验室			
法人代表		徐南平	联系人	联系电话	
注册地址		江苏省苏州市苏州工业园区若水路 388 号			
项目建设地点		苏州工业园区常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心、常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		3416	项目环保总投资（万元）	165	投资比例（环保投资/总投资） 4.8%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积(m ²) 180
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

1、建设单位基本情况

苏州国家实验室成立于 2022 年 9 月 6 日，注册地位于江苏省苏州市苏州工业园区若水路 388 号，法定代表人为徐南平。苏州国家实验室总部基地位于苏州工业园区桑田科学岛，该基地主要研发战略性结构材料、功能材料和前沿材料。本项目位于总部基地内常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心、常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心。

2、项目建设规模

（1）项目概况

本项目核技术利用基本情况见表 1-1。

表 1-1 本项目基本情况一览表

序号	射线装置名称	设备型号	数量	最大管电压	最大输出电流	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	额定功率
1	工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置 (1 号装置)	ZEISS 620 Versa	1 台	160kV	0.4mA	II类	E2 栋 1 层电镜谱学中心	使用	25W
2	工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置 (2 号装置)*	FF85	1 台	450kV/ 300kV	2mA/ 3mA	II类	E2 栋 1 层电镜谱学中心	使用	450W/ 350W
3	X 射线检测装置 (3 号装置)**	XR320	1 台	300kV	3mA	II类	F7 栋 1 层力学中心	使用	500W
4	X 射线检测装置 (4 号装置)**	XR160	1 台	160kV	1mA	II类	F7 栋 1 层力学中心	使用	30W

注：*2 号装置自带 2 个 X 射线源（可切换）；**3 号、4 号装置放置于同一个铅房内，共用配套设施，不同时开启。

（2）人员配置及工作制度

本项目拟配备 6 名辐射工作人员，其中 2 名辐射工作人员负责使用 1 号装置开展无损检测工作，2 名辐射工作人员负责使用 2 号装置开展无损检测工作；另 2 名辐射工作人员负责使用 3 号、4 号装置开展无损检测工作（3 号、4 号装置不同时开启）。

①1 号装置每日最长开机(出束)时间为 8h，每周工作 5 天，则每周最长开机(出束)时间为 40 小时，计划年工作 52 周，年最长开机(出束)时间为 2080 小时。②2 号装置每日最长开机(出束)时间为 8 h，每周工作 5 天，则每周最长开机(出束)时间为 40 小时，

计划年工作 52 周，年最长开机(出束)时间为 2080 小时。③3 号、4 号装置共用一套配套设施，无锡璟能智能仪器有限公司将 3 号、4 号装置分别安装在配套设施上，根据需检测样品的特性选择使用 3 号或 4 号装置，这 2 台装置不能同时加压出束，整套系统每日最长开机(出束)时间为 6h，每周工作 5 天，则每周最长开机(出束)时间为 30 小时，计划年工作 40 周，年最长开机(出束)时间为 1200 小时。

3、建设项目由来

因苏州国家实验室研发需求，需使用 CT 装置

等进行内部缺陷检测，故拟新建 4 台工业 CT 项目。1 号装置计划向蔡司公司购置，为 1 台 ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置，设置于常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内，主要用于材料内部缺陷检测。2 号装置计划向康姆艾德机械设备（上海）有限公司购置，为 1 台 FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置，设置于常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内，主要用于材料内部缺陷检测，该设备外部屏蔽房及安全设施由设备供货厂家配套提供。3 号、4 号装置计划向无锡璟能智能仪器有限公司购置，为 1 台 XR320 型 X 射线检测装置和 1 台 XR160 型 X 射线检测装置。3 号、4 号装置共用配套设施（铅房、配电箱、电器柜、操作台、高压发生器、探测器及样品台等组件），但不同时开启。无锡璟能智能仪器有限公司在项目所在地将 3 号、4 号装置分别安装在配套设施上，并完成调试工作。3 号、4 号装置放置于常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心北侧实验室的铅房内，主要用于材料内部缺陷检测。

为防治辐射污染，维护环境安全，保障公众健康，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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求，本项目配备的 ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置、FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置、XR320 型 X 射线检测装置、XR160 型 X 射线检测装置均属于 II 类射线装置，**应编制环境影响报告表**。受苏州国家实验室的委托，苏州市环科环保科技发展有限公司承担该单位新建 4 台工业 CT 项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场勘察、初步分析，并委托江苏海尔森检测技术服务有限公司对项目拟建场址及周围环境进行了辐射环境现状监测，在此基础上编制

了本项目环境影响报告表。

二、项目周边保护目标及项目选址情况

苏州国家实验室总部基地位于苏州工业园区吴淞湾未来城桑田科学岛，本项目位于总部基地内常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心、常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心，电镜谱学中心及力学中心地理位置见附图 1。电镜谱学中心东侧为厂房外通道，隔路为综合材料实验区域，南侧为厂房外通道，隔路为办公楼，西侧为实验组团II走廊，北侧为厂房外通道，隔路为实验组团II次门厅，以及非常规制备平台。常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心东侧为生物材料实验室，南侧为金鸡湖大道，隔路为空地（教育科研用地），西侧为长阳南街，隔路为行政办公楼，北侧为中庭、蠕变实验室、研发办公区等。本项目周边环境概况图见附图 5，项目所在区域（实验组团II、实验组团III）平面图见附图 2。

本项目拟建的 1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内。1 号装置东侧 50m 范围内依次为 X 射线区域预留实验室、闲置实验室、储藏间 2，南侧 50m 范围内为厂房外通道、办公楼，西侧 50m 范围内依次为本项目拟建 2 号装置所在实验室、实验组团II走廊、厂房外通道，北侧 50m 范围内依次为厂房内过道、透视电镜区域、更衣室、样品区、扫描电镜区域、办公休息区，顶部正上方 2 楼为普通理化实验室，3 楼为办公区域，楼下无地下建筑，房间层高 6.5m。

本项目拟建的 2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内。2 号装置东侧 50m 范围为厂房内过道、1 号装置所在实验室、X 射线区域预留实验室，南侧 50m 范围内为厂房外绿化、道路、办公楼，西侧 50m 范围内依次为厂房外绿化、走廊、通道、仪器开发中心走廊，北侧 50m 范围内依次为楼梯、更衣室、样品区、透视电镜区域、扫描电镜区域、办公休息区，顶部正上方 2 楼为研发办公室，3 楼为办公区域，楼下无地下建筑，房间层高 6.5m。

本项目拟建的 3 号装置（XR320 型 X 射线检测装置）、4 号装置（XR160 型 X 射线检测装置）位于常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心北侧实验室同一个铅房内（2 台装置共用配套设施，不同时开启）。3 号、4 号装置东侧 50m 范围为力学中心实验区域、门厅，南侧 50m 范围内为力学中心实验区域、厂房外通道、楼梯，西侧 50m 范围内依次为力学中心实验区域、垃圾房、走道、保洁休息间、配

电间、货梯厅、楼梯、报警阀间、新风机房、储藏室、厂房外通道，北侧 50m 范围内依次为中庭、走道、蠕变实验室、楼梯、研发办公室、次门厅，顶部正上方 2 楼~4 楼均为闲置实验室，暂未规划用途，楼下无地下建筑，房间层高 7.1m。

本项目设备所在区域平面布置图见附图 3、附图 4。

本项目周围 50m 评价范围均在建设单位总部基地范围内，无居民区、学校等环境敏感点。本项目周围环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、建设单位内工作人员及其他流动人员。

三、“三线一单”符合性分析

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》第三条（一），本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。本项目所在区域生态红线图见附图 6。

四、本项目实践正当性分析

苏州国家实验室拟新增 4 台工业 CT 装置，用于开展实验室所研发材料的内部缺陷检测。工业 CT 装置开机时将会产生电离辐射，在采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设将满足该实验室的研发需求和提高产品质量，创造更大的经济效益和社会效益。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。

五、现有核技术利用项目许可情况

苏州国家实验室于 2025 年 12 月申报《苏州国家实验室材料综合研究设施新建项目(核技术利用)环境影响报告书》，并于 2025 年 12 月 31 日取得江苏省生态环境厅环评批复（苏环审〔2025〕107 号）。目前该项目正在建设中，建设周期较长，暂未申领辐射安全许可证。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(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	工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置 (1 号装置)	II	1 台	ZEISS 620 Versa	160kV	0.4mA	材料内部缺陷检测	E2 栋 1 层电镜谱学中心	额定功率 25W
2	工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置 (2 号装置)	II	1 台	FF85	450kV/300kV	2mA/3mA	材料内部缺陷检测	E2 栋 1 层电镜谱学中心	额定功率 450W/350W
3	X 射线检测装置 (3 号装置)	II	1 台	XR320	300kV	3mA	材料内部缺陷检测	F7 栋 1 层力学中心	额定功率 500W
4	X 射线检测装置 (4 号装置)	II	1 台	XR160	160kV	1mA	材料内部缺陷检测	F7 栋 1 层力学中心	额定功率 30W

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	直接排入外环境，臭氧在常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/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》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），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 年修正版），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令 第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《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》，国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告，第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行</p> <p>(11) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办〔2013〕103 号，2014 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(12) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(14) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布</p> <p>(15) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行</p>
-------------	---

	<p>(16) 《江苏省辐射污染防治条例》(2018 年修订版), 江苏省人大常委会公告第 2 号, 2018 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(17) 《江苏省辐射事故应急预案》(2020 年修订版), 苏政办函[2020] 26 号, 2020 年 2 月 19 日发布</p> <p>(18) 《市政府办公室关于印发苏州市突发水污染事件应急预案等五个应急预案的通知》(苏府办〔2020〕59 号), 2020 年 3 月 4 日印发</p> <p>(19) 《江苏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 11 月 9 日印发</p> <p>(20) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》, 苏政发[2018] 74 号, 2018 年 6 月 9 日印发</p> <p>(21) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》, 苏政发[2020] 1 号, 2020 年 1 月 8 日印发</p> <p>(22) 《江苏省人民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, 2020 年 6 月 21 日印发</p> <p>(23) 《江苏省自然资源厅关于苏州工业园区生态空间管控区域调整方案的复函》, 苏自然资函〔2024〕979 号, 2024 年 12 月 30 日发布</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》(HJ 2.1-2016)</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)</p> <p>(6) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)</p> <p>(7) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 项目委托书</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书</p> <p>(3) 屏蔽设计情况</p> <p>(4) 营业执照</p> <p>(5) 本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质</p>

(6) ZEISS 620 Versa 工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置供应商辐射安全许可证、出厂检测报告、设备参数说明及屏蔽设计情况说明

(7) FF85 工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置供应商辐射安全许可证、出厂检测报告、设备参数说明、配套铅房铅板厚度证明

(8) XR320 型/XR160 型 X 射线检测装置 X 射线源供应商辐射安全许可证、设备参数说明、拟建铅房屏蔽设计情况说明

(9) 企业已申报核技术项目的环评批复

(10) 专家意见及修改清单

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目为使用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）的要求，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。**建设单位总部基地无其他外来入驻企业，不包含其他敏感目标。**本项目评价范围以工业 CT（包括铅房）为边界，外延 50m 的区域。本项目评价范围示意图见图 7-1。



图 7-1 本项目评价范围示意图（1）

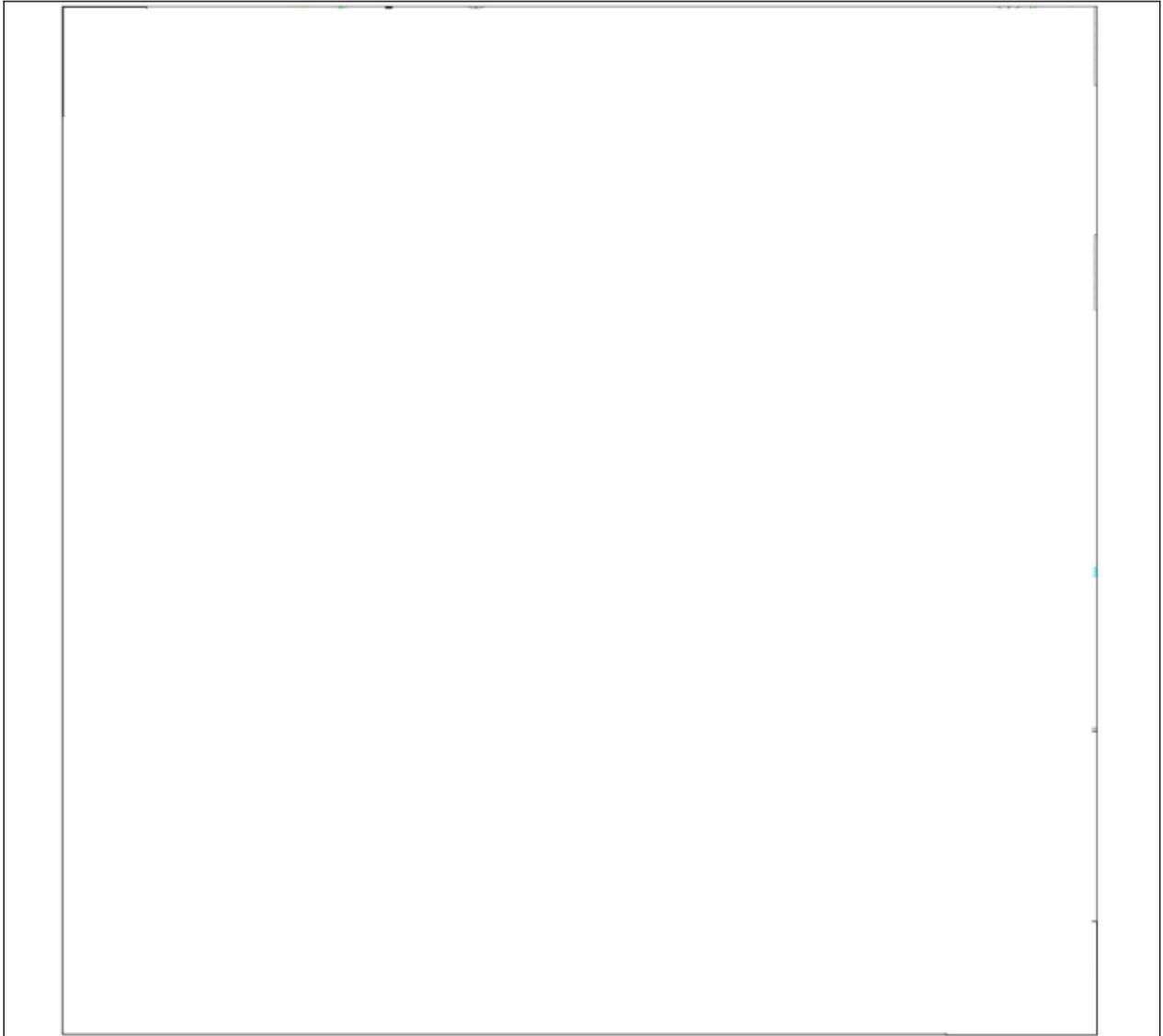


图 7-2 本项目评价范围示意图（2）

保护目标

本项目拟建的1号装置(ZEISS 620 Versa型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置)位于常春藤路28号(实验组团II)E2栋1层电镜谱学中心西南侧X射线区域实验室内。1号装置东侧50m范围内依次为X射线区域预留实验室、闲置实验室、储藏间2,南侧50m范围内为厂房外通道、办公楼,西侧50m范围内依次为本项目拟建2号装置所在实验室、实验组团II走廊、厂房外通道,北侧50m范围内依次为厂房内过道、透视电镜区域、更衣室、样品区、扫描电镜区域、办公休息区,顶部正上方2楼为普通理化实验室,3楼为办公区域,楼下无地下建筑,房间层高6.5m。

本项目拟建的2号装置(FF85型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置)位于常春藤路28号(实验组团II)E2栋1层电镜谱学中心西南侧X射线区域实验室内。2号装置东侧50m范围为厂房内过道、1号装置所在实验室、X射线区域预留实验室,南侧50m范围内为厂房外绿化、道路、办公楼,西侧50m范围内依次为厂房外绿化、走廊、通道、仪器开发中心走廊,北侧50m范围内依次为楼梯、更衣室、样品区、透视电镜区域、扫描电镜区域、办公休息区,顶部正上方2楼为研发办公室,3楼为办公区域,楼下无地下建筑,房间层高6.5m。

本项目拟建的3号装置(XR320型X射线检测装置)、4号装置(XR160型X射线检测装置)位于常春藤路59号(实验组团III)F7栋1层力学中心北侧实验室同一个铅房内(2台装置共用配套设施,不同时开启)。3号、4号装置东侧50m范围为力学中心实验区域、门厅,南侧50m范围内为力学中心实验区域、厂房外通道、楼梯,西侧50m范围内依次为力学中心实验区域、垃圾房、走道、保洁休息间、配电间、货梯厅、楼梯、报警阀间、新风机房、储藏室、厂房外通道,北侧50m范围内依次为中庭、走道、蠕变实验室、楼梯、研发办公室、次门厅,顶部正上方2楼~4楼均为闲置实验室,暂未规划用途,楼下无地下建筑,房间层高7.1m。

本项目评价范围均在建设单位总部基地红线范围内,无居民区、学校等环境敏感点,且不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。本项目周围环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、建设单位内工作人员及其他流动人员。本项目周围环境保护目标分布见表7-1~表7-3。

表7-1 本项目1号装置拟建址评价范围内保护目标情况一览表

名称	方位	场所名称	最近距离	环境保护目标及规模	照射类型	保护要求
辐射	1号装置四周	1号装置所在实验室	紧邻	2名工作人员	职业	职业人员年

工作人员	1号装置西侧	2号装置所在实验室	5m	2名工作人员	照射	剂量约束值 5mSv/a
项目评价范围内公众	1号装置东侧	X射线区域预留实验室	2.31m	工作人员, 约5名	公众照射	公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a
		闲置实验室	44.5m	闲置区域, 无人员流动		
		储藏间2	46.4m	流动人员		
	1号装置南侧	厂房外通道	2.9m	流动人员		
		办公楼	9.5m	工作人员, 约40名		
	1号装置西侧	实验组团II走廊	3.2m	流动人员		
		厂房外通道	29m	流动人员		
	1号装置北侧	厂房内过道	3.2m	流动人员		
		透视电镜区域	7.2m	工作人员, 约5名		
		更衣室	10.1m	流动人员		
		样品区	16.2m	流动人员		
		扫描电镜区域	35.5m	工作人员, 约5名		
1号装置上方	办公休息区	54.1m	工作人员, 约30名			
	普通理化实验室(2F)	6m	工作人员, 约20名			
		办公区域(3F)	11m	工作人员, 约30名		

注: 无地下建筑。

表 7-2 本项目 2 号装置（铅房）拟建址评价范围内保护目标情况一览表

名称	方位	场所名称	最近距离	环境保护目标及规模	照射类型	保护要求
辐射工作人员	2号装置(铅房)四周	2号装置所在实验室	紧邻	2名工作人员	职业照射	职业人员年剂量约束值 5mSv/a
	2号装置(铅房)东侧	1号装置所在实验室	7.7m	2名工作人员		
项目评价范围内公众	2号装置(铅房)东侧	厂房内过道	4.4m	流动人员	公众照射	公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a
		X射线区域预留实验室	11.5m	工作人员, 约5名		
		厂房外绿化、道路	6.5m	工作人员, 约40名		
	2号装置(铅房)南侧	办公楼	11.1m	流动人员		
		厂房外绿化、走廊	2.8m	流动人员		
	2号装置(铅房)西侧	厂房外通道	18.7m	流动人员		
		仪器开发中心走廊	49.3m	流动人员		
		楼梯通道	4.2m	流动人员		
	2号装置(铅房)北侧	更衣室	4.2m	流动人员		
		样品区	10.4m	工作人员, 约5名		
		透视电镜区域	6.5m	工作人员, 约5名		
		扫描电镜区域	30.9m	工作人员, 约30名		
办公休息区		35.9m	工作人员, 约20名			
2号装置(铅房)上方	研发办公室(2F)	5.38m	工作人员, 约30名			
	办公区域(3F)	12m	工作人员, 约2名			

注: 无地下建筑。

表 7-3 本项目 3 号、4 号装置（铅房）拟建址评价范围内保护目标情况一览表

名称	方位	场所名称	最近距离	环境保护目标及规模	照射类型	保护要求
辐射工作人员	3号、4号装置(铅房)四周	3号、4号装置所在实验室	紧邻	2名工作人员	职业照射	职业人员年剂量约束值

项目评价范围内公众	3号、4号装置 (铅房) 东侧	力学中心实验区域	6.3m	工作人员, 约 2 名	公众照射	5mSv/a 公众人员年 剂量约束值 0.1mSv/a
		门厅	42.8m	流动人员		
	3号、4号装置 (铅房) 南侧	力学中心实验区域	6.1m	工作人员, 约 2 名		
		厂房外通道	17.6m	流动人员		
		楼梯	38.5m	流动人员		
	3号、4号装置 (铅房) 西侧	力学中心实验区域	4.6m	流动人员		
		垃圾房	7.2m	流动人员		
		走道	9.8m	流动人员		
		保洁休息间	12.3m	工作人员, 约 1 名		
		配电间	16.6m	流动人员		
		货梯厅	12.3m	流动人员		
		楼梯	16m	流动人员		
		报警阀间	17.7m	流动人员		
		新风机房	18.2m	流动人员		
		储藏室	20.5m	流动人员		
	3号、4号装置 (铅房) 北侧	厂房外通道	22.9m	流动人员		
		中庭	3.8m	流动人员		
		走道	10.3m	流动人员		
		蠕变实验室	18m	工作人员, 约 1 名		
		楼梯	37.6m	流动人员		
研发办公室		38.2m	流动人员			
3号、4号装置 (铅房) 上方	次门厅	42.2m	工作人员, 约 1 名			
	闲置实验室 (2F)	6.89m	闲置区域, 无人员流动			
	闲置实验室 (3F)	14.51m	闲置区域, 无人员流动			
	闲置实验室 (4F)	22.13m	闲置区域, 无人员流动			

注: 无地下建筑。

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

(1) 剂量限值

表 7-4 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

类型 \ 限值	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。

同时, 持续照射情况的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。

(2) 辐射管理分区

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

2、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不需考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤样品的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射。

3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的移门。对于探伤可人工搬运的小型样品探伤室，可以仅设人员门。

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、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

6.1 探伤室放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

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

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样品进出门）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 GB18871 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有用射束就能够使用。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。

4、本项目辐射安全管理目标

综合考虑《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）等评价标准，确定本项目的管理目标：

（1）剂量约束值：

本项目职业人员年剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员年有效剂量值的 1/4，公众年剂量约束值取《电离辐射防

护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值的 10%，即：职业人员年剂量约束值不大于 5mSv/a；公众活动区域相关人员年剂量约束值不大于 0.1mSv/a。

（2）铅房屏蔽体、门的辐射屏蔽同时满足：

①关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值不大于 100 μ Sv/周，对公众场所，其值不大于 5 μ Sv/周；

②本项目工业 CT 装置屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h。

（3）铅房顶部的辐射屏蔽满足：

本项目工业 CT 装置正上方区域人员可达，顶部外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平保守取不大于 2.5 μ Sv/h。

5、参考资料

- ①《辐射防护导论》，方杰主编
- ②《辐射防护手册（第三册）》，李德平、潘自强主编
- ③《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。

表 7-5 江苏省环境天然 γ 辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

类别	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

注：1、测量值已扣除宇宙射线响应值；
2、现状评价时，参考测值范围进行评价。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

苏州国家实验室总部基地位于苏州工业园区吴淞湾未来城桑田科学岛，本项目位于总部基地内常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心、常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心，谱学中心及力学中心地理位置见附图 1。电镜谱学中心东侧为厂房外通道，隔路为综合材料实验区域，南侧为厂房外通道，隔路为办公楼，西侧为实验组团II走廊，北侧为厂房外通道，隔路为实验组团II次门厅，以及非常规制备平台。常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心东侧为生物材料实验室，南侧为金鸡湖大道，隔路为空地（教育科研用地），西侧为长阳南街，隔路为行政办公楼，北侧为中庭、蠕变实验室、研发办公区等。本项目周边环境概况图见附图 5，项目所在区域（实验组团II、实验组团III）平面图见附图 2。

本项目拟建的 1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内。1 号装置东侧 50m 范围内依次为 X 射线区域预留实验室、闲置实验室、储藏间 2，南侧 50m 范围内为厂房外通道、办公楼，西侧 50m 范围内依次为本项目拟建 2 号装置所在实验室、实验组团II走廊、厂房外通道，北侧 50m 范围内依次为厂房内过道、透视电镜区域、更衣室、样品区、扫描电镜区域、办公休息区，顶部正上方 2 楼为普通理化实验室，3 楼为办公区域，楼下无地下建筑，房间层高 6.5m。

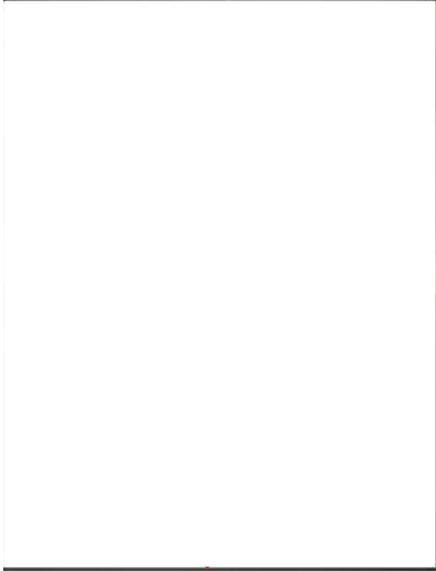
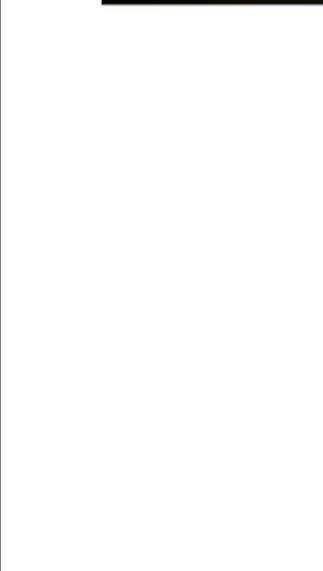
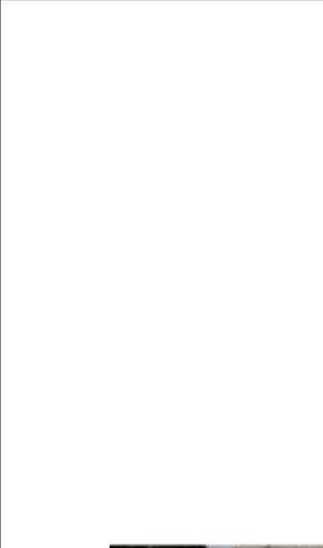
本项目拟建的 2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路 28 号（实验组团II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内。2 号装置东侧 50m 范围为厂房内过道、1 号装置所在实验室、X 射线区域预留实验室，南侧 50m 范围内为厂房外绿化、道路、办公楼，西侧 50m 范围内依次为厂房外绿化、走廊、通道、仪器开发中心走廊，北侧 50m 范围内依次为楼梯、更衣室、样品区、透视电镜区域、扫描电镜区域、办公休息区，顶部正上方 2 楼为研发办公室，3 楼为办公区域，楼下无地下建筑，房间层高 6.5m。

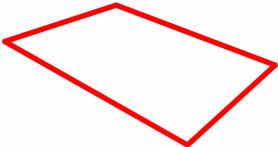
本项目拟建的 3 号装置（XR320 型 X 射线检测装置）、4 号装置（XR160 型 X 射线检测装置）位于常春藤路 59 号（实验组团III）F7 栋 1 层力学中心北侧实验室同一个铅房内（2 台装置共用配套设施，不同时开启）。3 号、4 号装置东侧 50m 范围为力学中心实验区域、

门厅，南侧 50m 范围内为力学中心实验区域、厂房外通道、楼梯，西力学中心实验区域、垃圾房、走道、保洁休息间、配电间、货梯厅、机房、储藏室、厂房外通道，北侧 50m 范围内依次为中庭、走道、邮发办公室、次门厅，顶部正上方 2 楼~4 楼均为闲置实验室，暂未规划，房间层高 7.1m。

本项目设备所在区域平面布置图见附图 3、附图 4。

本项目工业 CT 拟建址及周围环境照片见图 8-1。

	
1 号装置拟建位置内	1 号装置拟建位置外
	
1 号装置拟建址东侧	1 号装置拟建址南侧

1 号装置拟建址西侧	1 号装置拟建址北侧
	
2 号装置拟建位置内	2 号装置拟建位置外
2 号装置拟建址东侧	2 号装置拟建址南侧

2 号装置拟建址西侧	2 号装置拟建址北侧
1 号、2 号装置拟建址楼上（2F）	1 号、2 号装置拟
3 号、4 号装置拟建位置	3 号、4 号装置拟建址东侧

3 号、4 号装置拟建址南侧	3 号、4 号装置拟建址西侧
3 号、4 号装置拟建址北侧	3 号、4 号装置拟建址楼上（2F）
3 号、4 号装置拟建址楼上（3F）	3 号、4 号装置拟建址楼上（4F）

图 8-1 建设单位项目所在地现状

二、环境本底检测

本项目为使用II类射线装置，本次新增4台工业CT装置，1号装置（ZEISS 620 Versa型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置）和2号装置（FF85型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路28号（实验组团II）E2栋1层电镜谱学中心；3号装置（XR320型X射线检测装置）、4号装置（XR160型X射线检测装置）位于常春藤路59号（实验组团III）F7栋1层力学中心北侧实验室同一个铅房内（2台装置共用配套设施，不同时开启）。根据项目工作原理及特点，项目运行期间主要的环境污染物为X射线，项目在进行本底调查时，主要调查本项目工业CT及周围环境的X- γ 辐射剂量率。

1、检测因子、检测方法

检测因子：X- γ 辐射剂量率

检测方法：按照标准要求进行，检测时仪器探头水平距离地面1m，每组读10个数据，取算术平均值计算结果。

数据记录及处理：每个点位读取10个数据，读取间隔不小于20s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中5.5，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取1.20Sv/Gy。

2、检测点位布设

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，在CT区域及周围环境进行布点，共计布点35个，具体点位见图8-2。

3、检测单位、检测时间和检测仪器

检测单位：江苏海尔森检测技术服务有限公司

检测时间：2025年12月8日

检测天气：晴 19°C

检测仪器：X、 γ 剂量当量率仪（Thermo）

仪器编号：HES053

仪器型号：FH40G+FHZ672E-10

能量响应范围：48keV~6Mev

量程范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

检定单位：中国计量科学研究院

证书编号：DLj12025-12855

有效期：2025-10-09~2026-10-08

校准参考辐射源： ^{137}Cs

4、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证（证书编号：231020341602，证书见附件），具备相应的检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

5、检测结果及评价

本项目 4 台工业 CT 区域及周围环境辐射水平检测结果见表 8-1，检测点位见图 8-2、图 8-3，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目工业 CT 区域及周围环境辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果（nGy/h）		设备状态
		平均值	标准偏差	
1	1 号装置拟建址处	69.7	0.6	楼房
2	1 号装置拟建址东侧（1 号装置操作位）	70.6	0.9	楼房
3	1 号装置拟建址南侧	67.3	1.2	楼房
4	1 号装置拟建址西侧	71.2	0.9	楼房
5	1 号装置拟建址北侧	70.4	1.0	楼房
6	1 号装置北侧走廊	95.8	1.2	楼房
7	2 号装置拟建址处	67.4	0.9	楼房
8	2 号装置拟建址东侧（2 号装置操作位）	72.3	1.1	楼房
9	2 号装置拟建址南侧	76.0	0.9	楼房
10	2 号装置拟建址西侧	74.3	1.1	楼房
11	2 号装置拟建址北侧	69.5	1.1	楼房
12	1 号、2 号装置拟建址上方（2F）	80.4	1.0	楼房
13	1 号、2 号装置东侧 X 射线区域	72.0	1.0	楼房
14	1 号、2 号装置北侧更衣室	83.8	1.0	楼房
15	1 号、2 号装置北侧透视电镜区域	88.9	1.2	楼房
16	1 号、2 号装置西侧走廊	92.6	0.9	楼房
17	1 号、2 号装置西侧厂房外通道	91.9	1.0	道路
18	1 号、2 号装置南侧厂房外通道	84.7	0.9	道路
19	1 号、2 号装置南侧办公楼	90.6	1.0	楼房
20	3 号、4 号装置拟建址处	59.8	0.7	楼房
21	3 号、4 号装置拟建址东侧（调试区）	62.2	1.0	楼房

22	3号、4号装置拟建址南侧	60.0	1.0	楼房
23	3号、4号装置拟建址西侧(3号、4号装置操作位)	62.8	0.9	楼房
24	3号、4号装置拟建址北侧	64.2	1.0	楼房
25	3号、4号装置拟建址上方(2F)	51.0	1.1	楼房
26	3号、4号装置北侧中庭	94.7	0.8	道路
27	3号、4号装置东侧最近工位(力学实验室)	57.9	0.9	楼房
28	3号、4号装置南侧最近工位(力学实验室)	58.3	1.0	楼房
29	3号、4号装置西侧垃圾房	90.0	1.2	楼房
30	3号、4号装置北侧走道	57.7	0.8	道路
31	3号、4号装置西侧厂房外通道	93.1	1.2	道路
32	3号、4号装置北侧蠕变实验室	62.0	1.2	楼房
33	3号、4号装置北侧研发办公区	60.2	0.9	楼房
34	3号、4号装置南侧厂房外通道	91.9	0.8	道路
35	3号、4号装置东侧门厅	94.6	0.9	楼房

*注：1.测量时探头距离地面约 1m；

2.每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正；

环境 γ 辐射剂量率=读数平均值 \times 校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 \div 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3 \times 测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.17，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、道路取 1.0，仪器对宇宙射线的响应值为 15.0nGy/h。

根据检测结果，本项目 CT 装置拟建址周围室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 (51~95.8) nGy/h，处于江苏省全省室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围内；道路环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 (57.7~94.7) nGy/h，处于江苏省全省道路环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围内。

图 8-2 本项目工业 CT 及周围辐射环境检测点位示意图 (1)



图 8-3 本项目工业 CT 及周围辐射环境检测点位示意图 (2)

表 9 项目工程分析与源项

一、工程设备和工艺分析

1、工程设备

(1) 1 号装置 (ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置)

本项目拟安装的 1 号装置为 ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置。主要由测量室 (包括运动定位系统、射线源、成像系统)、系统控制柜 (包括电脑主机、配电柜、电源)、数据处理工作站 (操作台) 构成。装置自带铅屏蔽体, 有独立的操作位。装置正面拟朝向北放置, 装置正面及背面设置进出样门 (双开门), 操作位位于装置东侧。装置自带门机联锁安全装置及工作指示灯, 操作位及设备表面均设置急停开关。

1 号装置射线源可左右进行水平移动, 主射线固定向右照射 (面对装置时), 根据摆放朝向, 主射线始终向西照射, 出束角 60° 。射线源移动过程中, 射线源距屏蔽体左、右侧最小距离分别为 0.817m、1.018m; 距前、后、顶、底部内表面距离不变, 分别为 0.402m、0.718m、0.427m 和 0.531m。经理论计算, 射线源在整个移动过程中主射线会照向屏蔽体右侧 (西)、前侧 (北)、后侧 (南)、顶部和底部, 该设备屏蔽体射线计算示意图详见图 11-1。

本项目 1 号装置外观、结构示意图如下所示:



编号	名称
1	测量室
2	系统控制柜
3	数据处理工作站 (操作台计划放置于实验室外)
4	工作状态指示灯
5	急停开关 (设备前后各 1 个, 操作台 1 个)
6	门机联锁装置 (内置)
7	射线源 (内置)
8	运动定位系统 (内置)
9	成像系统 (内置)

图 9-1 1 号装置 (ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置) 外观及结构图

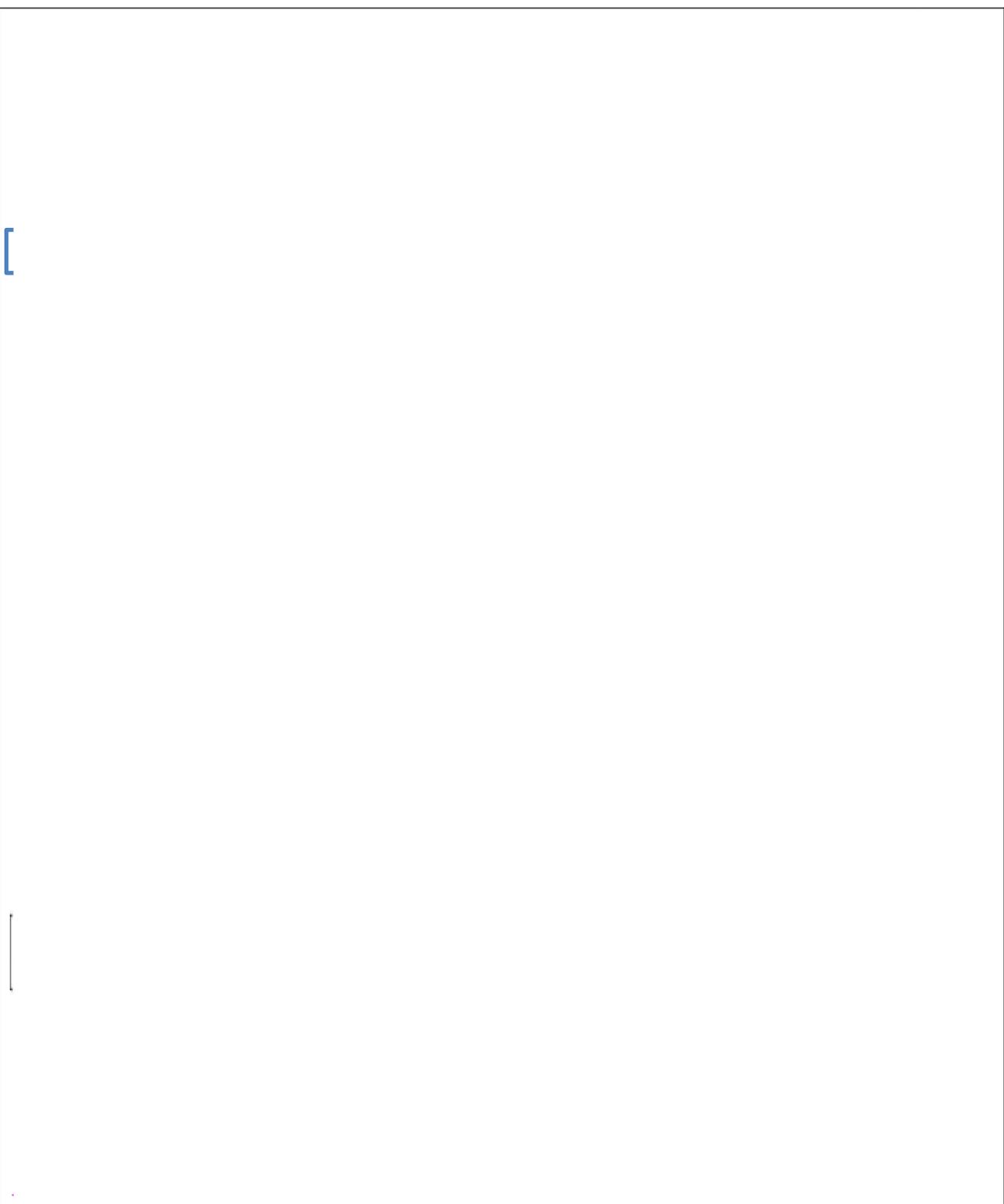


图 9-2 1 号装置 (ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置) 正视图、俯视图

图 9-3 1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）右视图

(2) 2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

本项目拟安装的 2 号装置为 FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置。主要由操纵机（包括探测器、X 射线管及操纵机工作台）、高压发生器、冷却系统、控制柜、操作台等构成。供应商配套 1 个铅房作为 2 号装置的屏蔽体，操作位设置在铅房外。铅房及装置正面拟朝向东放置，铅房正面设置防护门（电动移门），操作位位于铅房外东侧。设备表面、控制柜、操作台、铅房内外均设置急停开关。

2 号装置自带 2 个 X 射线源（可切换），射线源可垂直进行上下移动，主射线固定向左照射（面对装置时），根据摆放朝向，主射线始终向南照射，出束角 $40^{\circ} \times 30^{\circ}$ 。射线源移动过程中，射线源距铅房顶部、底部内表面最小距离分别为 1.48m、0.72m；距左、右、前、后侧内表面距离不变，分别为 3.35m、1.35m、1.55m 和 1.15m。经理论计算，射线源在整个移动过程中主射线会照向铅房左侧（南）和底部，该铅房射线计算示意图详见图 11-3。

本项目 2 号装置外观、结构示意图如下所示：

编号	名称
a	拟建铅房
b	探测器
c	操纵机
d	X 射线管
e	高压发生器
f	冷却系统
g	控制柜
h	操作台
i	操纵机工作台
j	操作面板
k	急停按钮 (操作面板 1 个, Z 立柱两侧各 1 个, 操作台 1 个, 控制柜 1 个)
l	钥匙开关 (操作面板 1 个, 操作台 1 个)
m	主开关

图 9-4 2 号装置 (FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置) 外观及结构图

本项目 2 号装置配套铅房外观结构示意图如下所示：

通风口

图 9-5 2 号装置配套铅房外观结构示意图

(3) 3 号装置 (XR320 型 X 射线检测装置)、4 号装置 (XR160 型 X 射线检测装置)

本项目拟安装的 3 号装置为 XR320 型 X 射线检测装置，4 号装置为 XR160 型 X 射线检测装置，3 号、4 号装置位于同一个铅房内，共用一套配套设施，由供应商分别安装在配套设施上，不同时开启。铅房、配电箱、电器柜、操作台、高压发生器、CT 主机（探测器和样品台）等均为 2 台设备共用。本次拟建 1 个铅房作为 3 号、4 号装置的屏蔽体，操作位设置在铅房外。铅房及装置正面拟朝向南放置，铅房正面设置防护门（电动移门），背面设置

检修门（电动移门），操作位位于铅房西南侧。操作台、铅房内、外均设置急停开关。

3号、4号装置射线源均可上下和前后移动，主射线始终向右照射（面对装置时），根据摆放朝向，主射线始终向东照射，3号装置出束角 $35^{\circ}\times 120^{\circ}$ ，4号装置出束角 $170^{\circ}\times 170^{\circ}$ 。射线源移动过程中，射线源距铅房顶部、底部、前侧、后侧内表面最小距离分别为0.8m、1m、1.4m、1.5m；距左、右侧内表面距离不变，分别为1.3m、2.6m。经理论计算，3号装置射线源在整个移动过程中主射线会照向铅房右侧（东）、顶部和底部，4号装置射线源在整个移动过程中主射线会照向铅房右侧（东）、顶部、底部、前侧和后侧。该铅房射线计算示意图详见图11-5。

本项目3号、4号装置组成的工业CT外观、结构示意图如下所示：

图 9-6 3号装置（XR320型 X 射线检测装置）、4号装置（XR160型 X 射线检测装置）组成的工业 CT 结构图

本项目 3 号装置、4 号装置拟建铅房结构示意图如下所示：

图 9-7 3 号装置、4 号装置拟建铅房外观结构示意图

2、设备主要参数

本项目工业 CT 装置参数见表 9-1。

表 9-1 本项目工业 CT 装置参数一览表

射线装置名称	最大管电压	最大输出电流	额定功率	射线方向	射线旋转角度	出束角度	滤过条件
ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT)装置 (1 号装置)	160kV	0.4mA	25W	固定向右			
FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置 (2 号装置)	450kV/300kV	2mA/3mA	450W/350W	固定向左			
XR320 型 X 射线检测装置 (3 号装置)	300kV	3mA	500W	固定向右			
XR160 型 X 射线检测装置 (4 号装置)	160kV	1mA	30W	固定向右			

因各射线装置出束角的不同，1 号射线装置顶部、前侧、后侧的右部均会有主射线斜穿；3 号射线装置顶部右侧会有主射线斜穿；4 号射线装置顶部、前侧、后侧的右部均会有主射线斜穿。

二、工作原理

(1) X 射线发生原理

工业 CT 装置核心部件是 X 射线管。它是一个内真空的玻璃管，其中一端是作为电子源的阴极，另一端是嵌有靶材料的阳极。当两端加有高压时，阴极的灯丝热致发射电子。由于阴极和阳极两端存在电位差，电子向阳极运动，形成静电式加速，获取能量。具有一定动能的高速运动电子，撞击靶材料，产生 X 射线。常见典型的 X 射线管结构图见图 9-6。

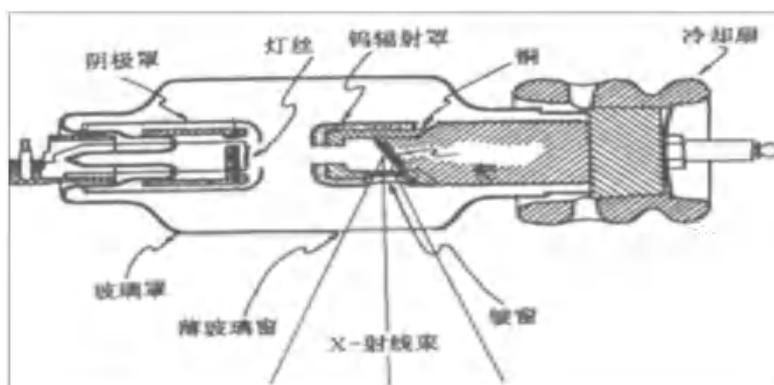


图 9-8 典型的 X 射线管结构图

(2) 工业 CT 检测原理

工业 CT 能在对检测物体无损伤条件下，以二维断层图像或三维立体图像的形式，清晰、准确、直观地展示被检测物体的内部结构、组成、材质及缺损状况，其基本原理是经过准直的 X 射线束穿过被检物时，根据各个透射方向上各体积元的衰减系数不同，探测器接收到的透射能量也不同，按照一定的图像重建算法，即可获得被检样品特定方向的扫描图像，重复上述过程又可获得一个新的图像，通过测得足够多的二维图像就可重建出三维图像。

三、工艺流程及产污环节

1、1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

本项目 1 号装置所检测样品主要为

工艺流程及产污环节如下：

(1) 开机，打开电源及钥匙开关，辐射工作人员将被检测样品放置于样品台上；

(2) 关闭屏蔽体防护门，辐射工作人员在操作台处控制样品台操作，将样品台调整到合适位置，接通电源然后开启设备进行检测；

(3) 开始检测后，基于样品尺寸和密度的判断起始电压（80kV 或 140kV），基于透过率（20%-35%之间）选择合适的滤色片，进一步调整电压使透过率控制在最佳成像范围内，依据 Counts 数（>5000）设置曝光时间和投影张数。样品在光路中旋转，进行曝光透照与三

维重构，从不同角度捕捉一系列 2DX 射线投影图像，然后使用复杂的数学模型和算法重建 3D 模型。设备可以从任意角度观察 3D 模型虚拟切片，从而在进行物理失效分析之前对缺陷进行三维可视化。设备可自动完成分析测试工作，自动保存分析数据；Xradia Vasa 设备可实现 RaaD 功能，对完整样品进行高分辨率成像；

(4) 检测结束后关闭射线装置高压电源，打开屏蔽体防护门取出样品，完成检测任务。工作过程中主要污染为射线装置工作过程中产生的 X 射线和臭氧、氮氧化物。

本项目使用工业用 CT 装置的工艺流程和产污环节见图 9-9。

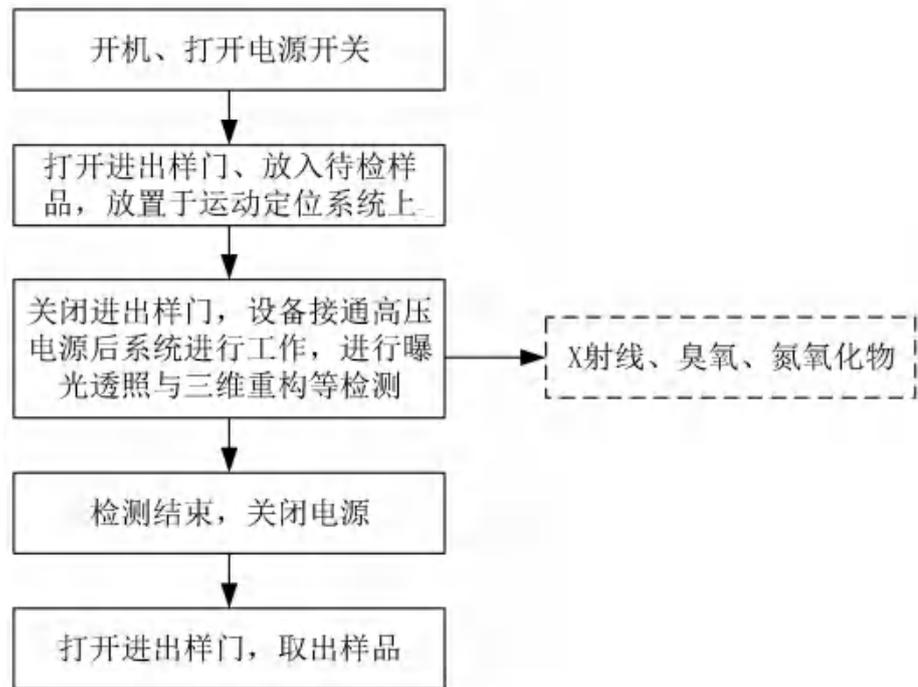


图 9-9 ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置使用工艺流程及产污环节分析示意图

2、2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

本项目 2 号装置所检测样品主要为

工艺流程及产污环节如下：

(1) 在设备操作台上打开电源开关及钥匙开关，打开操作面板钥匙开关，检查并确认设备的各项设施，包括安全联锁等设施可有效运行；

(2) 辐射工作人员打开防辐射铅房前部防护门，将待检样品放至铅房内的操纵机工作台上；

(3) 根据样品厚度、密度、大小判断选择 300kV 射线源或 450kV 射线源，基于扫描时间选择合适的探测器（线探或者面探）；

(4) 开始检测后，样品在光路中旋转，进行曝光透照与三维重构从不同角度捕捉一系

列 2DX 射线投影图像，然后使用复杂的数学模型和算法重建 3D 模型。设备可以从任意角度观察 3D 模型虚拟切片，从而在进行物理失效分析之前对缺陷进行三维可视化；

- (5) 检测完成后关闭 X 射线控制系统停止出束；
- (6) 打开屏蔽体防护门取出样品，完成检测任务。

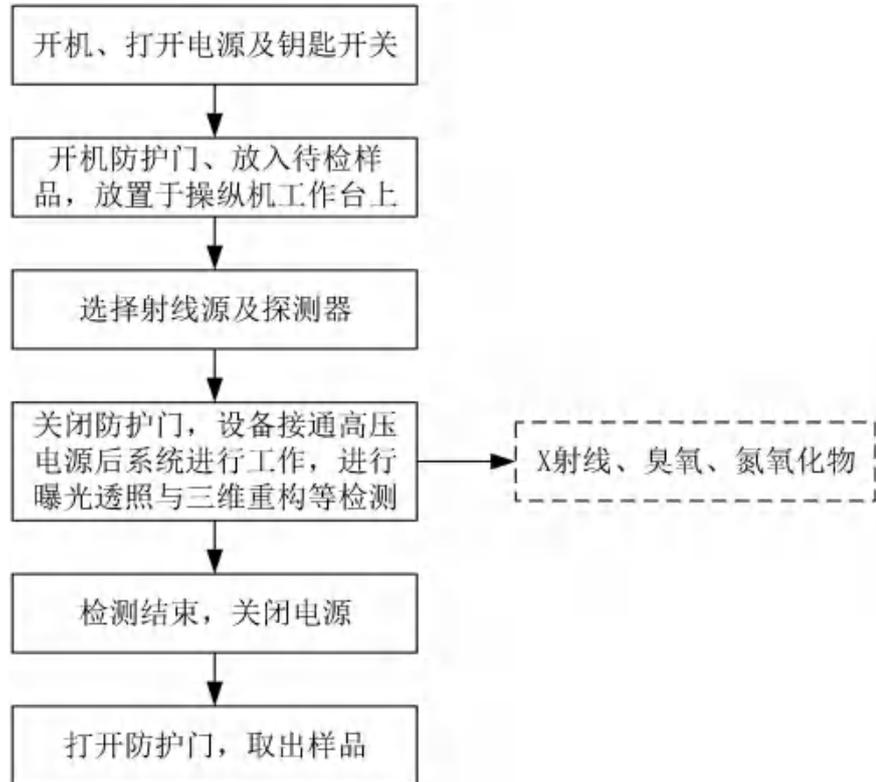


图 9-10 FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置使用工艺流程及产污环节分析示意图
3、3 号装置 (XR320 型 X 射线检测装置)、4 号装置 (XR160 型 X 射线检测装置)

本项目 3 号装置、4 号装置所检测样品主要为
工艺流程及产污环节如下：

(1) 在实验开始前，在操作台开启主控柜、电源模块及安全联锁系统，启动主控软件并完成自检，包括射线源状态、三个探测器连接、样品台初始位置、屏蔽门互锁等。根据实验任务选择本次使用的 3 号装置或 4 号装置，以及 1 个探测器；

(2) 将样品固定在旋转台上后，使样品进入所选探测器的视场；随后利用 XY 平台和旋转台微调，使样品中心对准旋转轴，并完成遮挡检查与视场覆盖确认；

(3) 接着根据实验需求设定射线源电压、电流、滤片以及探测器曝光时间、像素模式与动态范围，并选定扫描模式；

(4) 最终进行暗场与平场采集，用于后续图像校正；

(5) 正式扫描时，系统根据设定的步进角度，使旋转台逐步旋转，射线源按设定参数

稳定曝光，探测器同步采集投影图像并实时传输至缓存服务器。整个过程中实时监测射线源温度、电流稳定性以及探测器信号饱和情况，如出现漂移或噪声上升由系统自动调整曝光或提醒操作员暂停；

(6) 扫描完成后，对采集的数据根据几何参数进行重建；

(7) 完成重建后导出 3D 数据及参数文件；

(8) 最后关闭射线源、关闭探测器、高压发生器与运动系统，退出操作软件，记录扫描日志并断电，完成整个操作流程。



图 9-11 3 号装置 (XR320 型 X 射线检测装置)、4 号装置 (XR160 型 X 射线检测装置) 使用工艺流程及产污环节分析示意图

四、人员配置和工作负荷

本项目人员配置和工作负荷情况见下表所示：

表 9-2 本项目人员配置和工作负荷情况一览表

装置编号	辐射工作人员 人数 (人)	每日最长开机 (出束)时间(h)	每周工作 天数(天)	每周最长开机 (出束)时间(h)	年工作周 数(周)	年最长开机 (出束)时间(h)
1 号装置	2	8	5	40	52	2080
2 号装置	2	8	5	40	52	2080
3 号/4 号装置*	2	6	5	30	40	1200

注：*3 号、4 号装置放置于同一个铅房内，共用配套设施，不同时开启。

污染源项描述

1、辐射污染

由工业 CT 工作原理可知，只有工业 CT 在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线，若未完全屏蔽会对设备（包括铅箱）外工作人员和公众产生一定外照射，因此工业 CT 在开机检测期间，X 射线是项目主要污染物。

(1) 1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

设备 X 射线发生器最大管电压 160kV，最大管电流 0.4mA，射线管额定功率 25W，在最大电压时的管电流为 156 μ A。射线管滤过条件为

(a) 有用线束放射性源项

根据建设单位提供的资料（见附件 6），ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置距球管 1m 处最大输出量为 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

(b) 漏射线放射性源项

距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，X 射线管电压取 $2.5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

(c) 散射线放射性源项

散射线的放射性源项保守可取有用线束的输出量 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2，散射线能量为 150kV。

(2) 2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

本项目工业 CT 配置 2 个 X 射线发生器，最大管电压分别为 450kV 和 300kV，保守按照 450kV 的射线装置进行屏蔽计算。

设备 X 射线发生器最大管电压 450kV，最大管电流 2mA，射线管额定功率 450W，在最大电压时的管电流为 1mA。射线管滤过条件为 。

(a) 有用线束放射性源项

根据建设单位提供的资料（见附件 7），距球管距源点 1m 处最大输出量为 $1.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{S})$ （换算为 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ）。参考《辐射防护导论》中的表 3.5，450kV 的 X 射线什值层通过 400kV 和 500kV 能量的什值层内插计算得 9.25mm。

(b) 漏射线放射性源项

距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，X 射线管电压取 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

(c) 散射线放射性源项

散射线的放射性源项保守可取有用线束的源项 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

根据《辐射防护手册(第一分册)》P448 的能量散射公式：

$$\bar{E} = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0(1 - \cos\theta)}{0.511}}$$

E_0 ：入射 X 射线能量，本设备取 0.45MeV；

θ ：散射角，本项目保守考虑 90° 散射。

通过计算，本项目 450kV 的 X 射线，散射线能量不超过 414kV，参考《辐射防护导论》中的表 3.5，414kV 的 X 射线什值层通过 400kV 和 500kV 能量的什值层内插计算得 8.50mm 铅。

(3) 3 号装置 (XR320 型 X 射线检测装置)、4 号装置 (XR160 型 X 射线检测装置)

3 号、4 号装置安装在 1 套工业 CT 检测系统中，最大管电压分别为 300kV 和 160kV。

3 号装置 X 射线发生器最大管电压 300kV，最大管电流 3mA，射线管额定功率 500W，在最大电压时的管电流为 1.66mA。射线管滤过条件为 。4 号装置 X 射线发生器最大管电压 160kV，最大管电流 1mA，射线管额定功率 30W，在最大电压时的管电流为 0.188mA。射线管滤过条件 。

(a) 有用线束放射性源项

根据建设单位提供的资料 (见附件 8)，XR320 型 X 射线检测装置距球管 1m 处最大输出量为 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，XR160 型 X 射线检测装置距球管 1m 处最大输出量为 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

(b) 漏射线放射性源项

距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 1，XR320 型 X 射线检测装置漏射电压为 300kV，泄漏辐射剂量率取 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ ，XR160 型 X 射线检测装置漏射电压为 160kV，泄漏辐射剂量率取 $2.5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

(c) 散射线放射性源项

XR320 型 X 射线检测装置散射线的放射性源项保守可取有用线束的输出量 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，XR160 型 X 射线检测装置散射线的放射性源项保守可取有用线束的输出量 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 2，XR320 型 X 射线检测装置散射线能量为 200kV，XR160 型 X 射线检测装置散射线能量为 150kV。

通过主射线、漏射线和散射线源项的比较, XR320 型 X 射线检测装置源项均大于 XR160 型 X 射线检测装置。

根据球管出束角度参数参数, 3 号装置的主射线 会照射到屏蔽体的右侧和上侧, 4 号装置的主射线 () 会照射到屏蔽体的右侧、上侧、前侧和后侧。由上述分析可知, 3 号设备能照射到屏蔽体前侧和后侧的散射线的能量为 200kV, 发射率常数为 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$, 电流为 1.66mA; 4 号设备能照为 160kV, 发射率常数为 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$, 电流于 3 号射线装置散射线的源项。

左

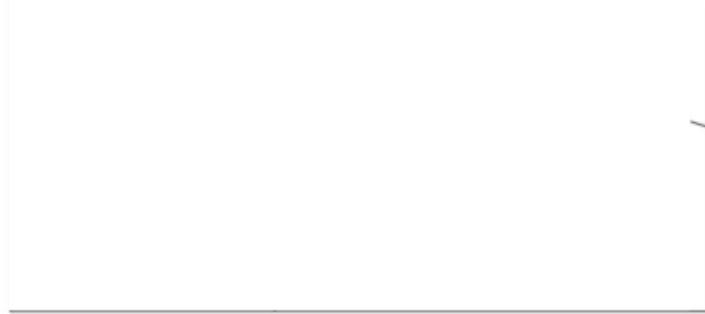


图 9-12 3 号、4 号装置组成的工业 CT 俯视图

左



右

图 9-13 3 号、4 号装置组成的工业 CT 正视图

综上所述，在同一个屏蔽体内，3号射线装置的主射线、漏射线和散射线源项均大于4号射线装置，3号装置朝向四周的散射线的源项也大于4号装置的主射线源项，因此可按照使用3号装置进行屏蔽计算，该计算结果包络了4号装置的辐射影响。

本项目剂量计算用的X射线装置源项情况见下表。

表 9-3 计算源项一览表

射线装置名称	最大管电压 kV	额定功率下输出电流 mA	出束角度	距球管 1m 处发射率常数	散射线能量	支持文件
1号装置	160	0.156mA		$\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$	150kV	附件 6
2号装置	450	1mA		$\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$	414kV	附加 7
3号装置	300	1.66mA		$\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$	200V	附件 8

2、其他污染

本项目射线装置均采用实时成像技术，无需洗片，无显影、定影废液和废胶片产生。本项目工业 CT 在工作状态时，会使屏蔽体中的空气电离产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。本项目工业 CT 的管电压、管电流较小，产生的臭氧和氮氧化物较少。臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，其产生的臭氧和氮氧化物对周围环境空气质量影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

本项目每台工业 CT 装置均包括设备和操作台等。拟将 1 号装置正面朝向北放置，操作台放置于设备东侧，1 号装置主射线固定向右（西方向）照射，经理论计算，主射线范围可至铅屏蔽体右侧（西）、前侧（北）、后侧（南）、顶部和底部，操作台避开了 X 射线主射线方向；拟将 2 号装置铅房及装置正面朝东放置，操作台放置于铅房外东侧，2 号装置主射线固定向左（南方向）照射，经理论计算，主射线范围可至铅房左侧（南）和底部，操作台避开了 X 射线主射线方向；拟将 3 号、4 号装置铅房及装置正面朝南放置，操作台放置于铅房外西南侧，3 号、4 号装置主射线均固定向右（东方向）照射，操作台避开了 X 射线主射线方向。本项目 4 台工业 CT 装置布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于操作室与曝光室分开设置，及操作室应避免有用线束照射方向的要求，布局设计合理。

建设单位对辐射工作场所进行分区管理。将 1 号装置自带铅屏蔽层作为该设备的辐射防护控制区边界，以 1 号装置所在实验室为边界划定监督区；将 2 号装置配套铅房边界作为该设备的辐射防护控制区边界，以 2 号装置所在实验室为边界划定监督区；将 3 号、4 号装置拟建铅房边界作为该设备的辐射防护控制区边界，以 3 号、4 号装置所在实验室为边界划定监督区。在监督区醒目处设置规范的电离辐射警告标志和中文警示说明，提醒非辐射工作人员等不得进入。工业 CT 装置或铅房外表面醒目位置设置电离辐射警告标志，并设置有工作状态指示灯。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）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目控制区和监督区划分示意图见图 10-1、10-2。

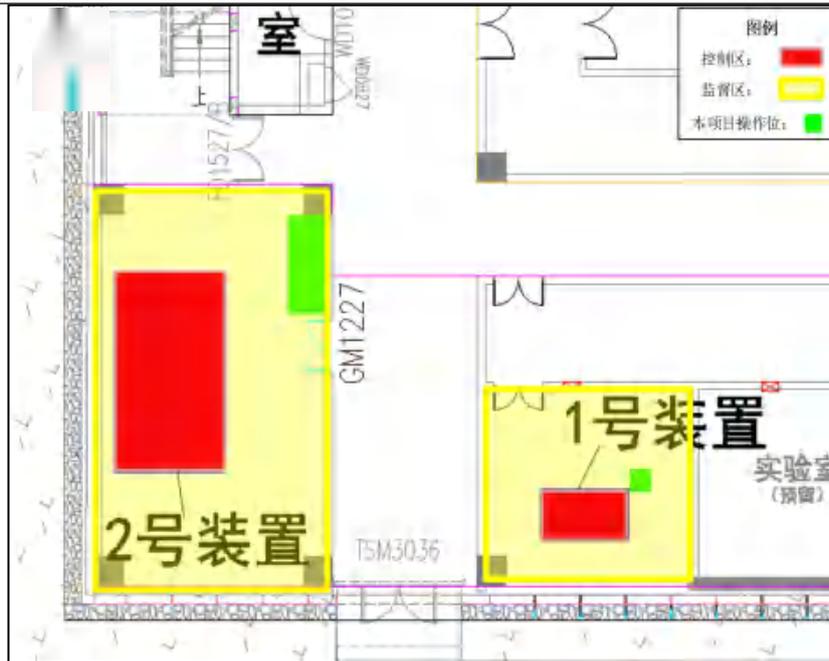


图 10-1 本项目控制区和监督区划分示意图 (1)

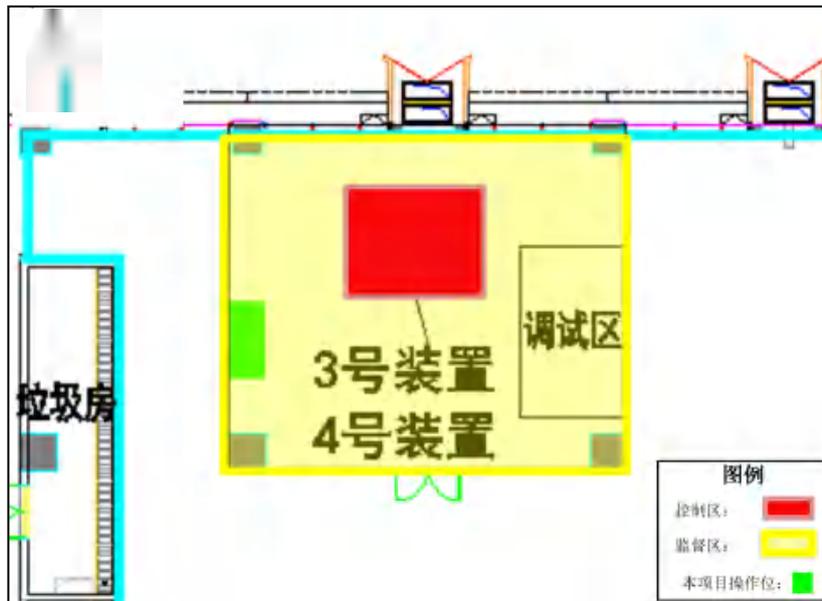


图 10-2 本项目控制区和监督区划分示意图 (2)

二、辐射防护屏蔽设计

1、1号装置 (ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置)

(1) 屏蔽防护设计

本项目 1 号装置自带屏蔽体主要采用铅+钢结构进行屏蔽。装置正面拟朝向北放置，装置正面及背面设置进出样门（双开门），操作位位于装置东侧。主射线固定向右照射（面对装置时），根据摆放朝向，主射线始终向西照射，射线源在整个移动过程中主射线会照向屏蔽体右侧（西）、前侧（北）、后侧（南）、顶部和底部。本项目 1 号装置屏蔽体外观尺寸为长 2025mm×宽 1120mm×高 958mm。1 号装置自带

屏蔽体各个面及进出样门防护材料均为铅+钢，屏蔽参数见表 10-1。

表 10-1 本项目 1 号装置自带屏蔽体参数表

方向	材料	厚度
顶	铅+钢	
前（北侧，含进出样门）	铅+钢	
后（南侧，含进出样门）	铅+钢	
左（东侧）	铅+钢	
右（西侧）	铅+钢	
底部	铅+钢	

注：不考虑钢的辐射屏蔽；“前”表示装置正面，正面拟朝向北放置。

本项目 1 号装置自带屏蔽体情况详见图 10-3。

俯视图



正视图

右视图



图 10-3 1号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）屏蔽层设计图

(2) 电缆孔和通风口屏蔽防护设计

电缆孔和通风口补偿设计：设备电缆孔和通风口补偿方式采用在设备内部增加铅防护罩，并建立折弯迷宫路线，防止 X 射线泄露。1 号装置设置有 1 个高压线缆孔，1 个探测器线缆孔，1 个指示灯线缆孔，以及 2 个通风口（1 进 1 出），具体位置详见图 10-4，电缆孔和通风口屏蔽防护详见图 10-5。

图 10-4 本项目 1 号装置电缆孔和通风口位置图

高压线缆孔
(5mm厚弯曲铅屏蔽罩)

探测器线缆孔 (8mm厚铅屏蔽罩)

指示灯线缆孔 (8mm厚铅屏)

通风口

2次散射

图 10-5 本项目 1 号装置电缆孔和通风口屏蔽防护示意图

2、2号装置（FF85型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置）

（1）屏蔽防护设计

本项目2号装置配套1个铅房作为屏蔽体，铅房主要采用铅结构进行屏蔽。2号装置铅房及装置正面拟朝向东放置，铅房正面设置防护门（电动移门），操作位位于铅房外东侧。主射线固定向左照射（面对装置时），根据摆放朝向，主射线始终向南照射，射线源在整个移动过程中主射线会照向铅房左侧（南）和底部。本项目铅房外观尺寸为长4952mm×宽2948mm×高3836mm。铅房各个面及防护门防护材料均为铅，无观察窗，铅房底部与地面无缝隙。屏蔽参数见表10-2。

表 10-2 本项目 2 号装置配套铅房参数表

方向	材料	厚度
顶	铅	
前（东侧，含防护门）	铅	
后（西侧）	铅	
左（南侧）	铅	
右（北侧）	铅	
底部	无	/

注：不考虑结构性材料的辐射屏蔽；“前”表示铅房及装置正面，正面拟朝向东放置。

本项目2号装置配套铅房屏蔽辐射设计详见图10-6。





图 10-6 2号装置（FF85型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）铅房屏蔽设计图

(2) 电缆孔和通风口屏蔽防护设计

电缆孔和通风口补偿设计：铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线，防止 X 射线泄露。2 号装置配套铅房设置有 2 个电缆孔，1 个通风口。电缆孔和通风口位置详见图 10-6，电缆孔和通风口屏蔽防护设计详见图 10-7。

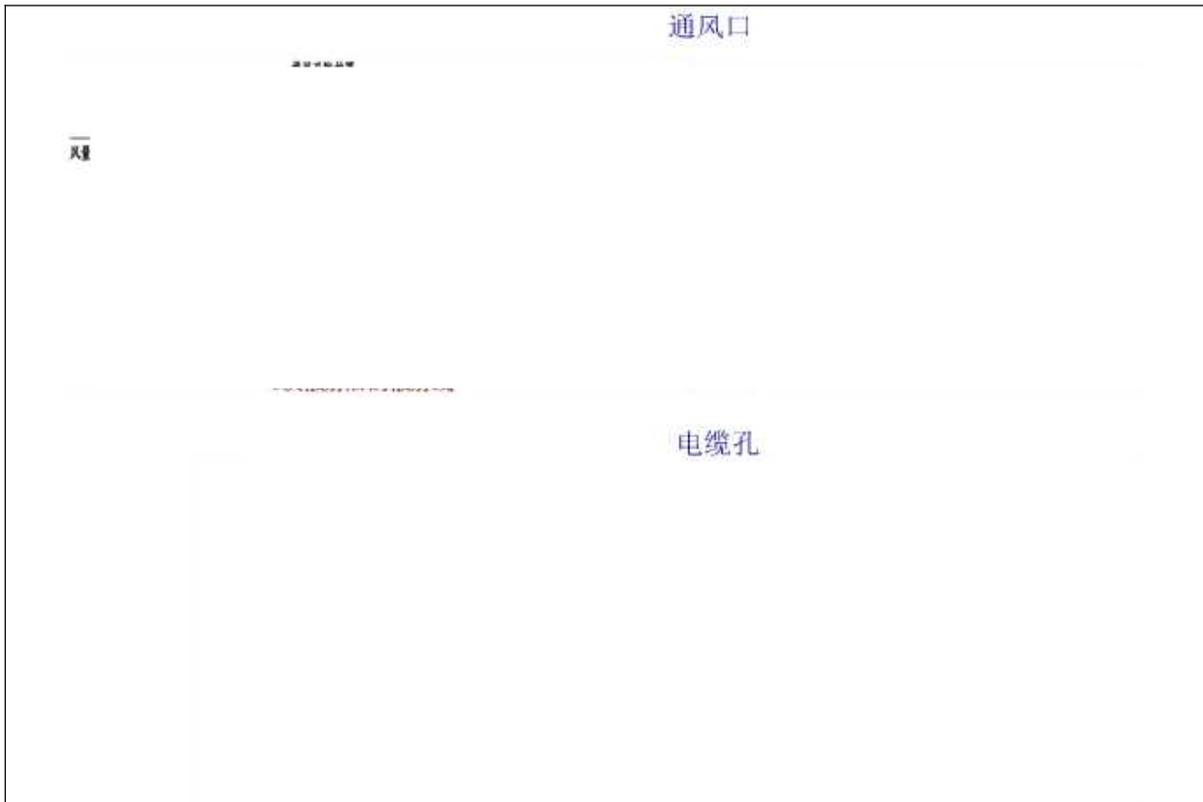


图 10-7 本项目 2 号装置配套铅房电缆孔和通风口屏蔽防护示意图

3、3 号装置（XR320 型 X 射线检测装置）、4 号装置（XR160 型 X 射线检测装置）

本项目拟建 1 个铅房作为 3 号、4 号装置共同的屏蔽体，铅房主要采用铅结构进行屏蔽。3 号、4 号装置共用一套配套设施，由供应商分别安装在配套设施上，不同时开启。铅房及装置正面拟朝向南放置，铅房正面设置防护门（电动移门），背面设置检修门（电动移门），操作位位于铅房外西南侧。3 号、4 号装置主射线始终向右照射（面对装置时），根据摆放朝向，主射线始终向东照射，但 4 号装置主射线能量低于 3 号射线装置的散射线，故在整个移动过程中主射线会照向铅房右侧（东）、顶部和底部。本项目铅房外观尺寸为长 4000mm×宽 3500mm×高 3000mm。铅房各个面及防护门防护材料均为铅，无观察窗，铅房底部与地面无缝隙。屏蔽参数见表 10-1。

表 10-3 本项目 3 号、4 号装置拟建铅房参数表

方向	材料	厚度
顶	铅	
前（南侧，含防护门）	铅	
后（北侧）	铅	
左（西侧）	铅	
右（东侧）	铅	
底部	无	

注：“前”表示铅房及装置正面，正面拟朝向南放置。

本项目 3 号、4 号装置拟建铅房屏蔽辐射设计详见图 10-8。

俯视图

正视图

图 10-8 3 号装置（XR320 型 X 射线检测装置）、4 号装置（XR160 型 X 射线检测装置）铅房屏蔽设计图

（2）电缆孔和通风口屏蔽防护设计

电缆孔和通风口补偿设计：铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线，防止 X 射线泄露。3 号、4 号装置拟建铅房设置有 4 个电缆孔，1 个通风口。电缆孔和通风口位置详见图 10-9，电缆孔和通风口屏蔽防护设计详见图 10-10。

图 10-9 本项目 3 号、4 号装置拟建铅房通风口和电缆孔位置图

图 10-10 本项目 3 号、4 号装置拟建铅房电缆孔和通风口屏蔽防护示意图

三、辐射安全和防护措施分析

本项目 4 台工业 CT 装置拟设置如下辐射安全措施：

1、1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

(1)门机联锁：1 号装置实现门机联锁。前后进出样门均与 X 射线装置出束联锁，上述各门未完全关闭时，测量室内的射线源不能接通高压出束。出束期间误打开任何一扇门，可以立即实现 X 射线停止出束。

(2)警告标志：1 号装置表面及监督区边界拟设置电离辐射标志和中文警告标识。

(3)工作状态指示灯：1 号装置顶上自带三色工作状态指示灯，拟在操作台张贴指示灯中文标识。

(4)急停开关：1 号装置设置 3 个急停按钮，1 个在设备正前方门下方的机柜门上，1 个在正后方门下方的机柜门上，另 1 个在操作台上。发生紧急情况时，按下急停开关，立即实现设备停止出束。

(5)电缆孔和通风口补偿设计：1 号装置电缆孔和通风口补偿方式采用在设备内部增加铅防护罩，并建立折弯迷宫路线，防止 X 射线泄露。

(6)门缝搭接：1 号装置前后进出样门均采用搭接的方式防止 X 射线泄漏，确保搭接宽度与门缝的宽度比例达到 10:1，防止射线在门缝处泄漏。

1号装置辐射安全措施示意图见图 10-11。



图 10-11 本项目1号装置辐射安全措施示意图

2、2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

(1) 钥匙开关及主开关：2 号装置操作面板及操作台各设置 1 个钥匙开关（2 个钥匙开关均开启方可出束），插入钥匙并向右旋转后才能获准运行 2 号装置，检测工作结束后辐射工作人员拔出钥匙，钥匙由专人保管；主开关设置在控制柜上，用于全面断开 X 射线检测系统的电源供给。

(2) 门机联锁：2号装置配套铅房实现门机联锁。防护门均与2号装置出束联锁，门未完全关闭时，铅房内的X射线管不能接通高压出束。出束期间误打开防护门，可以立即实现X射线停止出束。同时，铅房内门边设置有开门按钮，满足工作人员自主、安全、便捷的开门需求，避免人员被困。

(3) 警示灯箱及工作状态指示灯：2号装置配套铅房外及内部醒目位置拟设置警示灯箱，铅房外设有“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。

(4) 警示标识：2号装置铅房外表面明显位置及监督区边界拟设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明，提醒无关人员勿在其附近逗留。

(5) 急停开关：2号装置自带5个急停开关，操作面板1个，Z立柱两侧各1个，操作台1个，控制柜1个；配套铅房设置6个急停开关，门口设置1个，内部墙壁四周及门边共设置5个。发生紧急情况时，按下急停开关，立即实现X射线机停止出束。

(6) 监视装置：2号装置配套铅房内共设置4个摄像头，铅房外及控制台上设置有显示器，可监视铅房内装置情况。

(7) 固定剂量率仪：拟在铅房内东侧设置1个固定剂量率仪。

(8) 电缆孔和通风口补偿设计：铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线，防止X射线泄露。

(9) 门缝搭接：配套铅房防护门、屏蔽墙搭接宽度与防护门门缝的宽度比例达到10:1，防止射线在门缝处泄漏。

(10) 红外防撞机构：拟在铅房防护门左右侧设置红外防撞机构，防止铅房门在关闭过程中夹伤人员、损坏设备，同时规避因门体撞击/夹阻引发的铅房密封失效、辐射泄漏风险。

2号装置辐射安全措施、设施布置示意图见图 10-12。

图 10-12 本项目 2 号装置辐射安全措施示意图

图 10-13 (a) 本项目 2 号装置配套铅房辐射安全设施布置示意图 (正视图)



图 10-13 (b) 本项目 2 号装置配套铅房辐射安全设施布置示意图 (俯视图)

3、3 号装置 (XR320 型 X 射线检测装置)、4 号装置 (XR160 型 X 射线检测装置) 组成的工业 CT

(1) 钥匙开关: 3 号、4 号装置拟建铅房外设置 2 个钥匙开关, 分别对应 3 号、4 号装置 X 射线源。插入钥匙并旋转后才能获准运行 3 号、4 号装置 X 射线源, 检测工作结束后辐射工作人员拔出钥匙, 钥匙由专人保管。

(2) 门机联锁: 3 号、4 号装置拟建铅房实现门机联锁。防护门均与 3 号、4 号装置出束联锁, 门未完全关闭时, 铅房内的 X 射线管不能接通高压出束。出束期间误打开门, 可以立即实现 X 射线停止出束。同时, 铅房内门边设置有开门按钮, 满足工作人员自主、安全、便捷的开门需求, 避免人员被困。

(3) 警示灯: 3 号、4 号装置拟建铅房外及内部醒目位置均设置警示灯。

(4) 工作状态指示灯: 3 号、4 号装置拟建铅房外设置工作状态指示灯。

(5) 急停按钮: 3 号、4 号装置拟建铅房内、外各设置 1 个急停按钮, 操作台设置 1 个急停按钮, 发生紧急情况时, 按下急停按钮, 立即实现 X 射线机停止出束。

(6) 警示标识: 3 号、4 号装置拟建铅房外表面明显位置及监督区边界设置电离

辐射标志和中文警告标识。

(7) 监视装置: 3号、4号装置拟建铅房内共设置4个摄像头, 铅房外及控制台上设置有显示器, 可监视铅房内装置情况。

(8) 固定剂量率仪: 拟在铅房内西北角设置1个固定剂量率仪。

(9) 电缆孔和通风口补偿设计: 铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩, 并建立折弯迷宫路线, 防止X射线泄露。

(10) 门缝搭接: 拟建铅房防护门、屏蔽墙搭接宽度与防护门门缝的宽度比例达到10:1, 防止射线在门缝处泄漏。

(11) 红外防撞机构: 拟在铅房防护门左右侧设置红外防撞机构, 防止铅房门在关闭过程中夹伤人员、损坏设备, 同时规避因门体撞击/夹阻引发的铅房密封失效、辐射泄漏风险。

3号、4号装置辐射安全措施、设施布置示意图见图 10-14。

编号	名称
1	警示灯
2	工作状态指示灯
3	显示器
4	急停按钮
5	开门按钮
6	关门按钮
7	钥匙开关 (X射线源1钥匙)
8	钥匙开关 (X射线源2钥匙)
9	防护门
10	三角门锁
11	通风口

图 10-14 (a) 本项目3号、4号装置辐射安全设施布置示意图 (外观图)

图 10-14 (b) 本项目 3 号、4 号装置辐射安全设施布置示意图 (俯视图)

本项目 4 台工业 CT 装置采取上述辐射安全措施后, 能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中固定 X 射线探伤辐射安全防护要求。

三废的治理

本项目运行过程中无放射性废水、废气及放射性固体废物产生，也无显影、定影废液和废胶片产生。

本项目工业 CT 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。1 号装置屏蔽体容积约为 1.48m^3 ，顶部设置通风口，通过风机进行实时换气，风量约 $234.6\text{m}^3/\text{h}$ ，铅房内每小时通风换气约 158 次；2 号装置铅房顶部设置有通风孔，通过风机进行实时换气，风量约 $13\text{m}^3/\text{min}$ ，根据供应商提供的资料，换风次数为 13 次/小时；3 号/4 号装置所在铅房顶部设置有通风孔，通过风机进行实时换气，风量约 $300\text{m}^3/\text{h}$ ，根据供应商提供的资料，换风次数为 14 次/小时。换气次数均大于 3 次/小时，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117—2022）标准要求。臭氧在常温下 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响很小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目工业 CT 及铅房均为整体定制设备，设备在厂家生产完成后，运至现场进行组装，组装过程中会产生噪声和少量固体废物。但本项目施工期较短，施工量小，对周围环境影响较小，施工期结束后，施工期环境影响将随之消失。

运行阶段对环境的影响

一、正常运行工况下辐射环境影响分析

本项目工业 CT 运行期间的环境影响主要为 X 射线外照射。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的有关要求，本项目中工业 CT 采用一定厚度的铅当量屏蔽材料，使设备表面辐射剂量率降至较低的水平，符合个人剂量限值的辐射防护原则。

本次评价主要采取理论计算的方法对本项目工业 CT 开机时的辐射影响进行计算。此外，根据设备周围辐射剂量率、设备出束时间和场所居留情况，评估职业人员和公众的受照剂量是否满足相关国家标准。本项目 4 台工业 CT 装置分别放置在 3 个场所，3 个场所分别进行计算。

（一）1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）

1、环境辐射影响途径分析

表 11-1 1 号装置各方向辐射影响途径及屏蔽情况一览表

关注点	主要射线类型	屏蔽厚度	距离 (m)
装置右侧 30cm 处 (关注点 1)	主射线		$1.018+0.3=1.318$
装置前、后、顶部、底部主射线斜穿 (关注点 8)	主射线		最短距离 $0.81+0.3=1.11$
装置前部 30cm 处 (关注点 2)	漏射线		$0.402+0.3=0.702$
	散射线		
装置左侧 30cm 处 (关注点 3)	漏射线		$0.817+0.3=1.117$
	散射线		
装置后侧 30cm 处 (关注点 4)	漏射线		$0.718+0.3=1.018$
	散射线		
装置顶部 30cm 处 (关注点 5)	漏射线		$0.427+0.3=0.727$
	散射线		
装置底部 (关注点 6)	漏射线		$0.531+0.3=0.831$
	散射线		
操作位 (关注点 7)	漏射线		1
	散射线		

注：*主射线斜穿侧壁的屏蔽厚度保守按照主射线实际穿过的最短路径考虑。

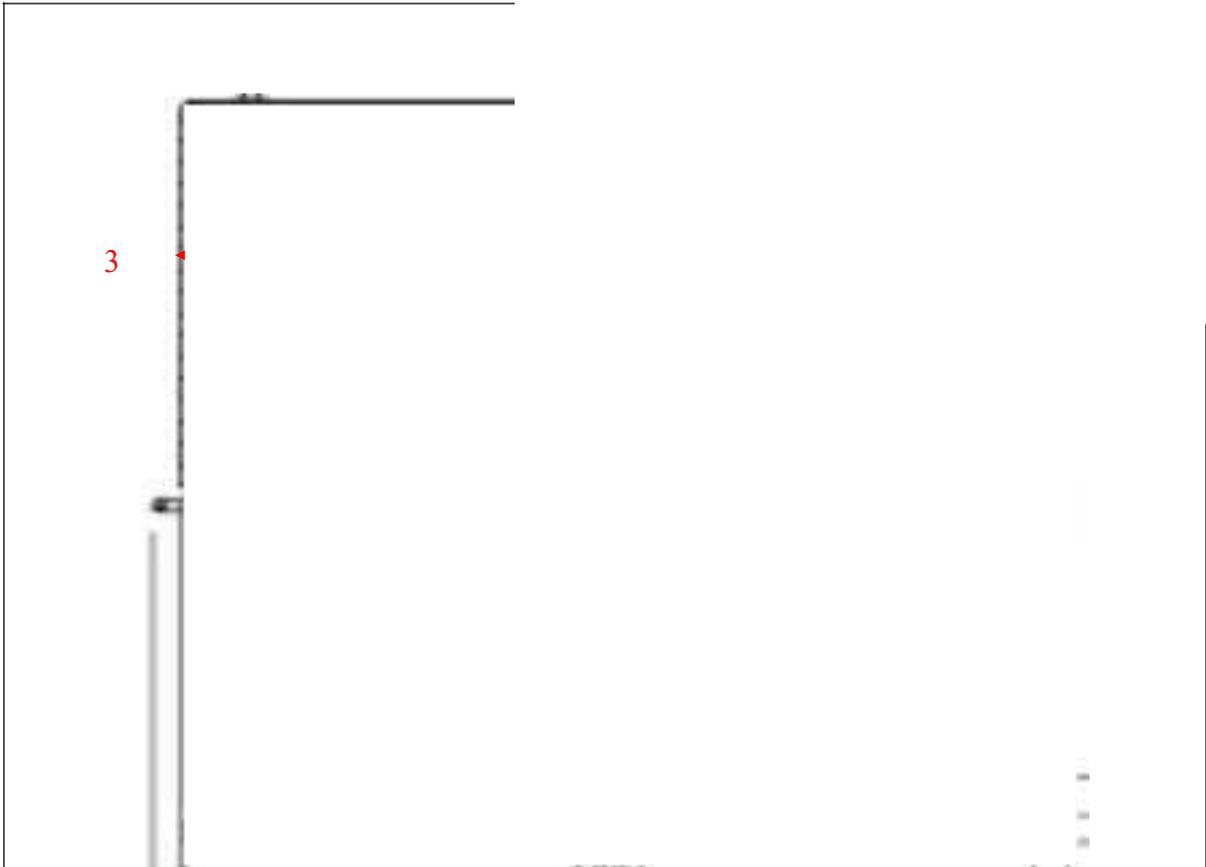


图 11-1 (a) 1 号装置正视图

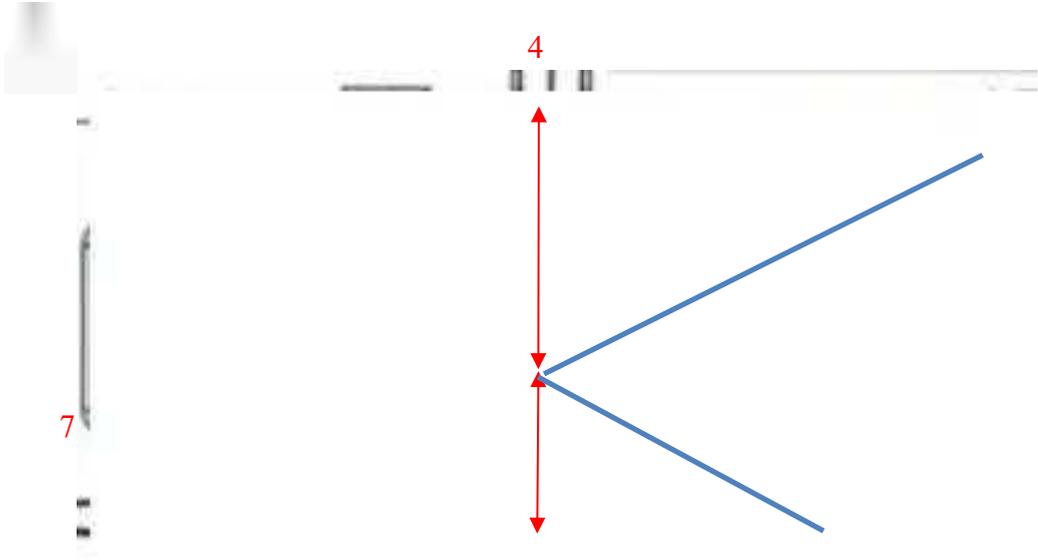


图 11-1 (b) 1 号装置俯视图

表 11-2 1 号装置周边关注点辐射影响途径及屏蔽情况一览表

关注点	主要射线类型	屏蔽厚度	距离 (m)
西侧厂房内过道 (关注点 9)	主射线		3.2
北侧厂房内过道 (关注点 10)	漏射线		3.2
	散射线		
东侧实验室 (关注点 11)	漏射线		2.31
	散射线		
南侧厂房外通道 (关注点 12)	漏射线		2.9
	散射线		
2 层实验室 (关注点 13)	漏射线		6.0
	散射线		

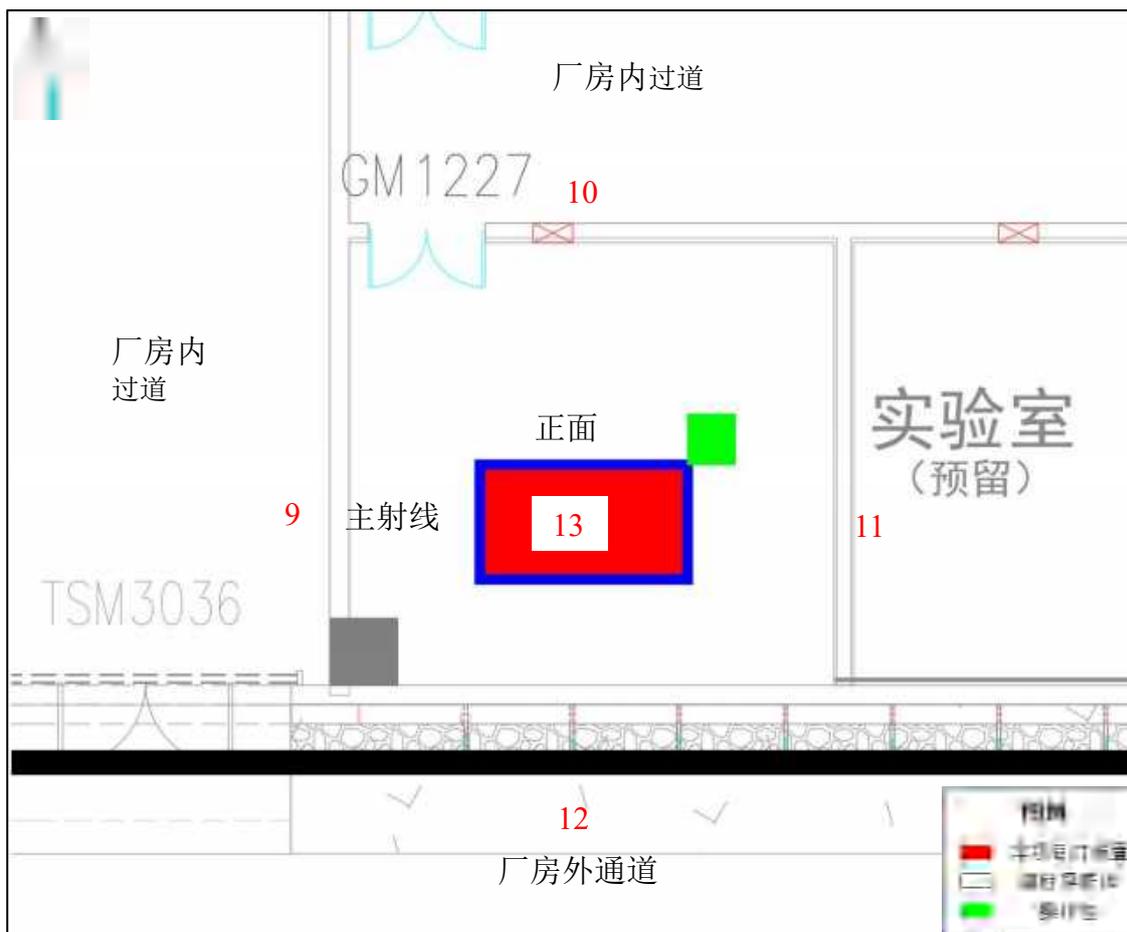


图 11-2 1 号装置周边关注点

2、剂量率估算模式

1) 主射束造成的剂量率

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 (4)，有用线束造成的剂量率计算公式为：

$$H_z = \frac{60000 \cdot H_0 \cdot I \cdot B}{R^2}$$

公式 (1)

其中： H_z —有用线束造成的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —距源点 1m 处输出量, $mSv \cdot m^2 / (mA \cdot min)$, H_0 取值根据设备厂家提供的参数, 距源点 1m 处输出量为 $mSv \cdot m^2 / (mA \cdot min)$;

I —管电流, mA, 射线管最大功率为 25W, 在达到最大电压时的最大电流为 0.156mA;

B —屏蔽透射因子, 由于本项目射线能量为 160kV, 在 GBZ/T250-2014 的图 B.1 无相应能量的曲线可以查阅, 因此采用十值层算法, 公式如下:

$$B=10^{-X/TVL} \quad \text{公式 (2)}$$

其中: X —屏蔽层厚度, mm;

TVL —屏蔽物质什值层厚度, mm。查阅 GBZ/T250-2014 的表 B.2 中 150kV 和 200kV 的什值层后通过内插法计算, 160kVX 射线的什值层为 1.05mm 铅;

R —辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m)。

表 11-3 主射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	H_0 射线源强 $mSv \cdot m^2 / (mA \cdot min)$	最大电流 (mA)	屏蔽厚度	什值层 (mm)	B 屏蔽透射因子	距离 (m)	计算结果 ($\mu Sv/h$)
装置右侧 30cm 处 (关注点 1)		0.156		1.05	2.68E-09	1.318	<0.001
装置前、后、顶部、底部主射线斜穿 (关注点 8)		0.156		1.05	3.73E-12	1.11	<0.001
西侧厂房内过道 (关注点 9)		0.156		1.05	2.68E-09	3.2	<0.001

注: *主射线斜穿侧壁的屏蔽厚度保守按照主射线实际穿过的最短路径考虑。

2) 泄漏射线造成的剂量率 H_L

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 8, 泄漏射线造成的剂量率计算公式为:

$$H_L = \frac{H_L' \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (3)}$$

其中: H_L —泄漏射线造成的剂量率, $\mu Sv/h$;

H_L' —根据 GBZ/T 250-2014 中表 1, 由于本项目设备管电压为 160kV, 故距源点 1m 处泄漏辐射剂量率 H_x 取 $2500\mu Sv/h$;

B —屏蔽透射因子, 参考主射线透射因子计算方法;

R —辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m)。

表 11-4 泄漏射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	射线源强 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽厚度	透射因子	距离 (m)	计算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
装置前部 30cm 处 (关注点 2)	2.50E+03		1.93E-06	0.819	0.010
装置左侧 30cm 处 (关注点 3)	2.50E+03		1.93E-06	0.638	0.004
装置后侧 30cm 处 (关注点 4)	2.50E+03		1.93E-06	0.973	0.005
装置顶部 30cm 处 (关注点 5)	2.50E+03		1.93E-06	0.891	0.009
装置底部 (关注点 6)	2.50E+03		1.93E-06	0.884	0.007
操作位 (关注点 7)	2.50E+03		1.93E-06	1	0.005
北侧厂房内过道(关 注点 10)	2.50E+03		1.93E-06	3.2	<0.001
东侧实验室(关注点 11)	2.50E+03		1.93E-06	2.31	0.001
南侧厂房外通道(关 注点 12)	2.50E+03		1.93E-06	2.9	0.001
2 层实验室 (关注点 13)	2.50E+03		1.93E-06	6.0	<0.001

3) 散射线造成的剂量率 H_s

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 10, 散射线造成的剂量率计算公式为:

$$H_s = \frac{60000 \cdot I \cdot H_0 \cdot B \cdot F \cdot \alpha}{R_s^2 \cdot R_0^2} \quad \text{公式 (4)}$$

其中: H_s —散射线造成的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —距源点 1m 处输出量, $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$, 同公式 (1) 中的 H_0 , 取 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$;

I —管电流, mA, 同公式 (1) 中的 I , 取 0.156mA;

$F \cdot \alpha / R_0^2$ —0.0497 (F — R_0 处的散射野面积 ($\pi \times (R_0 \times \tan 30^\circ)^2$), m^2 ; α —散射因子, 无量纲 ($1.9\text{E}-3 \times 10000 / 400$); R_0 —散射点至射线源点的距离, m);

R_s —散射点至预测点的距离;

B —屏蔽透射因子, 参考公式 (2), 根据 GBZ/T 250-2014 表 2 可知经 90° 散射后, 本项目 160kV 设备散射辐射最高能量为 150kV, 150kV 时的什值层厚度取 0.96mm 铅。

表 11-5 散射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	H_0 mSv·m ² / (mA·min)	I (mA)	X (mm)	TVL (mm)	B	R_s (m)	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	计算结果 (μ Sv/h)
装置前部 30cm 处(关注 点 2)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	0.819	0.0497	0.006
装置左侧 30cm 处(关注 点 3)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	0.638	0.0497	0.002
装置后侧 30cm 处(关注 点 4)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	0.973	0.0497	0.003
装置顶部 30cm 处(关注 点 5)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	0.891	0.0497	0.006
装置底部(关 注点 6)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	0.884	0.0497	0.004
操作位 (关注点 7)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	1	0.0497	0.003
北侧厂房内过 道(关注点 10)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	3.2	0.0497	<0.001
东侧实验室 (关注点 11)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	2.31	0.0497	0.001
南侧厂房外通 道(关注点 12)		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	2.9	0.0497	<0.001
2 层实验室 (关注点 13) *		0.156		0.96mm 铅	5.62E-07	6.0	0.0497	<0.001

3、辐射环境影响估算

以 1 号装置最大工况进行计算，将表 11-3~表 11-5 的计算结果进行整理、加和，1 号装置自屏蔽体外及周围关注点辐射影响理论计算结果见表 11-6。

表 11-6 1 号装置自屏蔽体外及周围关注点辐射影响理论计算结果

序号	关注点	主射线 μ Sv/h	漏射线 μ Sv/h	散射线 μ Sv/h	合计
1	装置右侧 30cm 处	<0.001	-	-	<0.001
2	装置前部 30cm 处	-	0.010	0.006	0.016
3	装置左部 30cm 处	-	0.004	0.002	0.006
4	装置后侧 30cm 处	-	0.005	0.003	0.008
5	装置顶部 30cm 处	-	0.009	0.006	0.015
6	装置底部	-	0.007	0.004	0.011
7	操作位	-	0.005	0.003	0.008
8	装置四周主射线斜穿	<0.001	-	-	<0.001
9	西侧厂房内过道	<0.001	-	-	<0.001
10	北侧厂房内过道	-	<0.001	<0.001	<0.001
11	东侧实验室	-	0.001	0.001	0.002
12	南侧厂房外通道	-	0.001	<0.001	0.001
13	2 层实验室	-	<0.001	<0.001	<0.001

由计算结果可知：监督区内最大附加辐射剂量率为 0.016 μ Sv/h，出现在装置前部。

设备操作位的剂量率为 0.008 μ Sv/h；监督区外最大附加空气吸收剂量率为 0.002 μ Sv/h（东侧实验室）。

根据上述理论计算，企业使用 1 号装置在最大工况下运行，设备铅房周围的环境辐射剂量率和监督区外的环境辐射剂量率均小于 2.5 μ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的限值要求。由于 1 号装置屏蔽体外 30cm 的剂量率为 0~0.016 μ Sv/h，处于很低的水平，因此 1 号装置运行时不会对其他设备的辐射工作人员造成额外剂量。

4、人员受照剂量预测评价

1 号设备辐射工作人员和周围公众年受照剂量预测可参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的公式估算，估算公式如下：

$$H=\dot{H}\cdot t\cdot U\cdot T \quad \text{公式（5）}$$

上式中：H—年剂量， μ Sv/年；

\dot{H} —参考点处剂量率， μ Sv/h；

U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子，均取 1；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—年照射时间，（h/年）。

根据公式（5），可估算出本项目所致辐射工作人员和周围公众的周/年受照剂量，具体计算参数及计算结果见下表。

表 11-7 1 号装置辐射工作人员和周围公众受照剂量估算表

序号	关注点	计算结果 μ Sv/h	居留因子	周工作时间 h	周剂量 μ Sv/周	年工作时间 h	年剂量 mSv/a	人员
1	装置右侧 30cm 处	<0.001	1/2	40	<0.001	2080	<0.001	职业
2	装置前部 30cm 处	0.016	1/2	40	0.32	2080	0.017	职业
3	装置左部 30cm 处	0.006	1/2	40	0.12	2080	0.006	职业
4	装置后侧 30cm 处	0.008	1/2	40	0.16	2080	0.008	职业
7	操作位	0.008	1	40	0.32	2080	0.017	职业
9	西侧厂房内 过道	<0.001	1/16	40	<0.001	2080	<0.001	公众
10	北侧厂房内 过道	<0.001	1/16	40	<0.001	2080	<0.001	公众
11	东侧实验室	0.002	1	40	0.08	2080	0.004	公众
12	南侧厂房外 通道	0.001	1/16	40	<0.001	2080	<0.001	公众
13	2 层实验室	<0.001	1	40	<0.001	2080	<0.001	公众

据上述计算结果可知：1号装置监督区内辐射职业人员周受照剂量为0.32 μ Sv/周（操作位），监督区外公众周受照剂量最大值为0.08 μ Sv/周（东侧实验室），均满足《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的人员周剂量参考控制水平（职业工作人员： $H_c \leq 100\mu$ Sv/周；公众： $H_c \leq 5\mu$ Sv/周）的要求。1号装置监督区内辐射职业人员年受照剂量为0.017mSv/a（操作位），监督区外公众年受照剂量最大值为0.004mSv/a（东侧实验室）。均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对个人年有效剂量（职业人员20mSv/a，公众1mSv/a）的要求，并低于本评价建议的剂量约束值（职业人员5mSv/a，公众0.1mSv/a）。因此，1号装置的屏蔽设计满足标准规定的辐射屏蔽能力要求。

（二）2号装置（FF85型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置）

2号装置有2个球管，两个球管不会同时使用，保守选用能量较大的450kV的球管进行屏蔽计算。X射线球管在屏蔽体内可以上下移动，但不能左右移动，极限位置见图11-3（b）。FF85型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置的屏蔽体四周与地面相连，没有缝隙，底部为地基和泥土，没有地下建筑，因此装置底部不进行剂量率计算。

1、环境辐射影响途径分析

表 11-8 2号装置各方向辐射影响途径及屏蔽情况一览表

关注点	主要射线类型	屏蔽层厚度	距离（m）
装置左侧30cm处（关注点1）	主射线		3.48+0.3=3.78
装置前部30cm处（关注点2）	漏射线		1.67+0.3=1.97
	散射线		
装置右侧30cm处（关注点3）	漏射线		1.48+0.3=1.78
	散射线		
装置后侧30cm处（关注点4）	漏射线		1.27+0.3=1.57
	散射线		
装置顶部30cm处（关注点5）	漏射线		1.72+0.3=2.02
	散射线		
操作位（关注点6）	漏射线		2.7
	散射线		

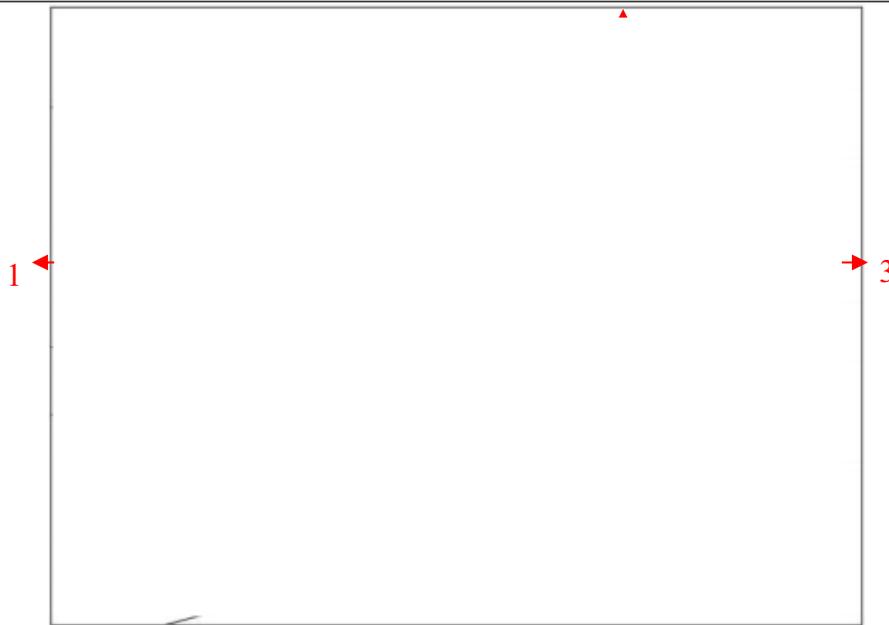


图 11-3 (a) 2号装置正视图

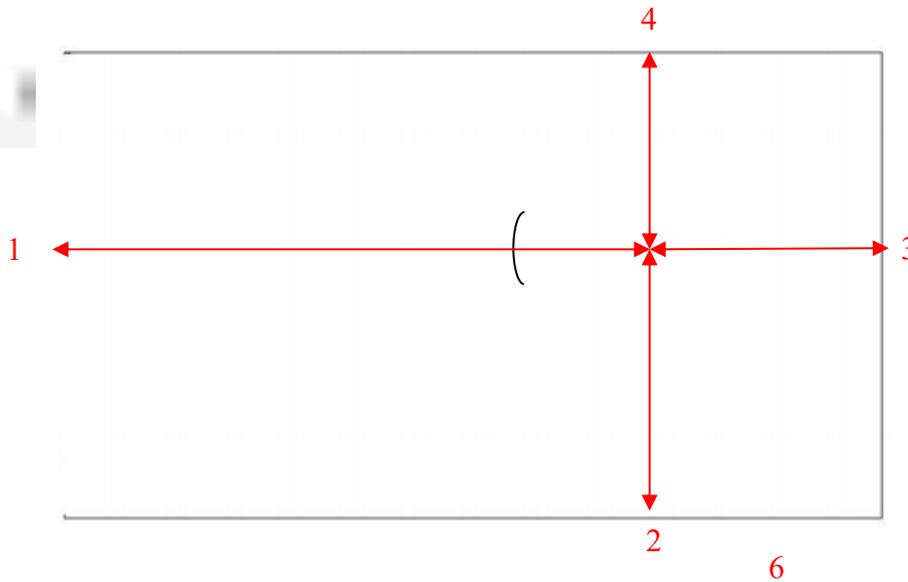


图 11-3 (b) 2号装置俯视图

表 11-9 2号装置周边关注点辐射影响途径及屏蔽情况一览表

关注点	主要射线类型	屏蔽层厚度	距离 (m)
南侧厂房外绿化 (关注点 7)	主射线		6.5
东侧厂房内过道 (关注点 8)	漏射线		4.4
	散射线		
北侧厂房内楼梯通道 (关注点 9)	漏射线		4.2
	散射线		
西侧厂房外绿化 (关注点 10)	漏射线		2.8
	散射线		
2层研发办公室 (关注点 11)	漏射线		5.38
	散射线		

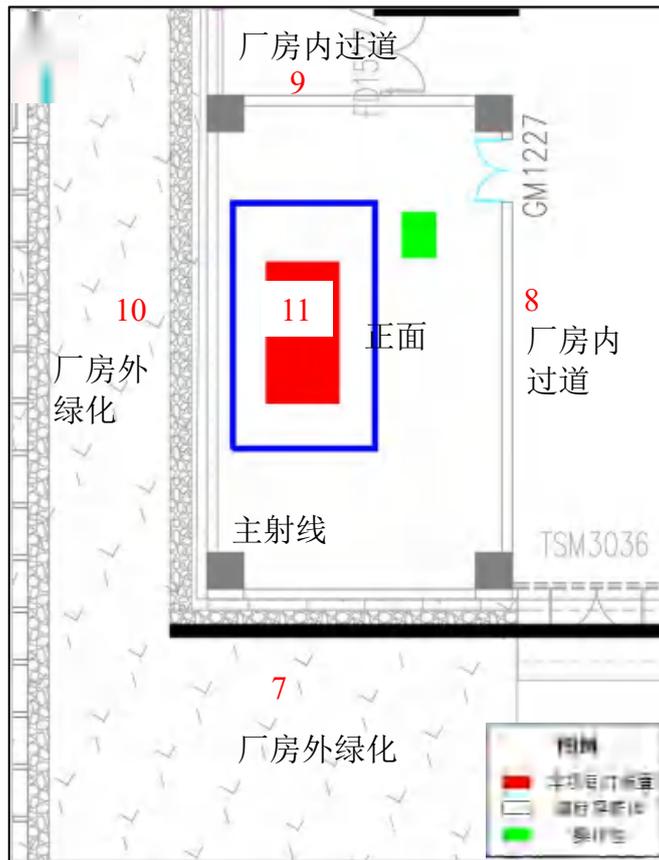


图 11-4 2号装置周边关注点

2、剂量率估算模式

1) 主射束造成的剂量率

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 (4)，有用线束造成的剂量率计算公式为：

$$H_z = \frac{60000 \cdot H_0 \cdot I \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (1)}$$

其中： H_z —有用线束造成的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —根据建设单位提供的资料，距球管距源点 1m 处最大输出量为

$\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{S})$ （换算为 $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ）；

I —管电流，mA，射线管额定功率 450W，在最大电压时的管电流为 1mA；

B —屏蔽透射因子，由于本项目射线能量为 450kV，采用十值层算法，公式如下：

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{公式 (2)}$$

其中： X —屏蔽层厚度，mm；

TVL —屏蔽物质什值层厚度，mm。参考《辐射防护导论》中的表 3.5，450kV 的 X 射线什值层通过 400kV 和 500kV 能量的什值层内插计算得

9.25mm;

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

表 11-10 主射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	H ₀ 射线源强 mSv·m ² / (mA·min)	最大电 流 (mA)	屏蔽厚 度	什值层	B 屏蔽透射 因子	距离 (m)	计算结果 (μSv/h)
装置左侧 30cm 处 (关注点 1)		1		9.25mm 铅	5.37E-07	3.78	0.257
南侧厂房外 绿化 (关注点 7)		1		9.25mm 铅	5.37E-07	6.5	0.087

2) 泄漏射线造成的剂量率 H_L

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 8，泄漏射线造成的剂量率计算公式为：

$$H_L = \frac{H_L' \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (3)}$$

其中：H_L—泄漏射线造成的剂量率，μSv/h；

H_L'—根据 GBZ/T 250-2014 中表 1，由于本项目设备管电压为 450kV，故
距源点 1m 处泄漏辐射剂量率 H_x 取 5000μSv/h；

B—屏蔽透射因子，参考主射线透射因子计算方法；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

表 11-11 泄漏射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	射线源强 (μSv/h)	屏蔽厚度	透射因子	距离(m)	计算结果 (μSv/h)
装置前部 30cm 处 (关注点 2)	5.0E+03		4.74E-05	1.97	0.061
装置右侧 30cm 处 (关注点 3)	5.0E+03		4.74E-05	1.78	0.075
装置后侧 30cm 处 (关注点 4)	5.0E+03		4.74E-05	1.57	0.096
装置顶部 30cm 处 (关注点 5)	5.0E+03		2.25E-05	2.02	0.028
操作位 (关注点 6)	5.0E+03		4.74E-05	3	0.026
东侧厂房内过道 (关注点 8)	5.0E+03		4.74E-05	4.4	0.012
北侧厂房内过道 (关注点 9)	5.0E+03		4.74E-05	4.2	0.013
西侧厂房外绿化 (关注点 10)	5.0E+03		4.74E-05	2.8	0.030
2 层研发办公室 (关注点 11)	5.0E+03		2.25E-05	5.38	0.004

3) 散射线造成的剂量率 H_s

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 10, 散射线造成的剂量率计算公式为:

$$H_s = \frac{60000 \cdot I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 (4)}$$

其中: H_s —散射线造成的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —距源点 1m 处输出量, $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$, 同公式 (1) 中的 H_0 , 取 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$;

I —管电流, mA , 同公式 (1) 中的 I , 取 1mA ;

$F \cdot \alpha / R_0^2$ —本项目取 $1/50$ (F — R_0 处的散射野面积, m^2 ; α —散射因子, 无量纲; R_0 —散射点至射线源点的距离, m);

R_s —散射点至预测点的距离;

B —屏蔽透射因子, 参考公式 (2), 根据源项分析本项目散射线能量为 414kV , 什值层厚度取 8.50mm 铅。

表 11-12 散射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	H_0 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/$ $(\text{mA}\cdot\text{min})$	I (mA)	X (mm)	TVL (mm)	B	R_s (m)	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	计算结果 $(\mu\text{Sv/h})$
装置前部 30cm 处 (关注点 2)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	1.97	1/50	0.694
装置右侧 30cm 处 (关注点 3)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	1.78	1/50	0.850
装置后侧 30cm 处 (关注点 4)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	1.57	1/50	1.092
装置顶部 30cm 处 (关注点 5)		1		8.50mm 铅	$8.73\text{E-}06$	2.02	1/50	0.293
操作位 (关注点 6)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	3	1/50	0.299
东侧厂房内过道 (关注点 8)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	4.4	1/50	0.139
北侧厂房内过道 (关注点 9)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	4.2	1/50	0.153
西侧厂房外绿化 (关注点 10)		1		8.50mm 铅	$1.97\text{E-}05$	2.8	1/50	0.343
2 层研发办公室 (关注点 11)		1		8.50mm 铅	$8.73\text{E-}06$	5.38	1/50	0.041

3、辐射环境影响估算

以 2 号装置最大工况进行计算, 将表 11-10~表 11-12 的计算结果进行整理、加和, 2 号装置自屏蔽体外及周围关注点辐射影响理论计算结果见表 11-13。

表 11-13 2 号装置自屏蔽体外及周围关注点辐射影响理论计算结果

序号	关注点	主射线 μSv/h	漏射线 μSv/h	散射线 μSv/h	合计
1	装置左侧 30cm 处	0.257	-	-	0.257
2	装置前部 30cm 处	-	0.061	0.694	0.755
3	装置右侧 30cm 处	-	0.075	0.85	0.925
4	装置后侧 30cm 处	-	0.096	1.092	1.188
5	装置顶部 30cm 处	-	0.028	0.293	0.321
6	操作位	-	0.026	0.299	0.325
7	南侧厂房外绿化	0.087	-	-	0.087
8	东侧厂房内过道	-	0.012	0.139	0.151
9	北侧厂房内过道	-	0.013	0.153	0.166
10	西侧厂房外绿化	-	0.03	0.344	0.374
11	2 层研发办公室	-	0.004	0.041	0.045

由计算结果可知：监督区内最大附加辐射剂量率为 1.188μSv/h，出现在装置后部。设备操作位的剂量率为 0.325μSv/h；监督区外最大附加空气吸收剂量率为 0.374μSv/h（西侧厂房外绿化）。

根据上述理论计算，企业使用 2 号装置在最大工况下运行，设备铅房周围的环境辐射剂量率和监督区外的环境辐射剂量率均小于 2.5μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的限值要求。

1 号装置位于 2 号装置东侧约 10m，通过距离衰减，2 号装置的漏射线对 1 号装置所在位置的剂量率影响值为 0.002μSv/h，散射线对 1 号装置所在位置的剂量率影响值为 0.027μSv/h，与 1 号装置的预测值叠加后满足 GBZ 117-2022 中的限值要求。

4、人员受照剂量预测评价

2 号装置辐射工作人员和周围公众年受照剂量预测可参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的公式估算，估算公式如下：

$$H = \dot{H} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \text{公式 (5)}$$

上式中：H—年剂量，μSv/年；

\dot{H} —参考点处剂量率，μSv/h；

U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子，均取 1；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—年照射时间，（h/年）。

根据公式（5），可估算出 2 号装置所致辐射工作人员和周围公众的周/年受照剂量，具体计算参数及计算结果见下表。

表 11-14 2 号装置辐射工作人员和周围公众受照剂量估算表

序号	关注点	计算结果 μSv/h	居留因子	周工作时间 h	周剂量 μSv/周	年工作时间 h	年剂量 mSv/a	人员
1	装置左侧 30cm 处	0.257	1/2	40	5.14	2080	0.267	职业
2	装置前部 30cm 处	0.755	1/2	40	15.10	2080	0.785	职业
3	装置右侧 30cm 处	0.925	1/2	40	18.50	2080	0.962	职业
4	装置后侧 30cm 处	1.188	1/16	40	2.97	2080	0.154	职业
6	操作位	0.325	1	40	13.00	2080	0.676	职业
7	南侧厂房外绿化	0.087	1/16	40	0.22	2080	0.011	公众
8	东侧厂房内过道	0.151	1/16	40	0.38	2080	0.020	公众
9	北侧厂房内过道	0.166	1/16	40	0.42	2080	0.022	公众
10	西侧厂房外绿化	0.374	1/16	40	0.94	2080	0.049	公众
11	2 层研发办公室	0.045	1	40	1.80	2080	0.094	公众

据上述计算结果可知：2 号装置监督区内辐射职业人员周受照剂量为 18.50μSv/周（设备右侧），监督区外公众周受照剂量最大值为 1.80μSv/周（2 层研发办公室），均满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的人员周剂量参考控制水平（职业工作人员：Hc≤100μSv/周；公众：Hc≤5μSv/周）的要求。2 号装置监督区内辐射职业人员年受照剂量为 0.962mSv/a（设备右侧），监督区外公众年受照剂量最大值为 0.094 mSv/a（2 层研发办公室）。均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对个人年有效剂量（职业人员 20mSv/a，公众 1mSv/a）的要求，并低于本评价建议的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。因此，2 号装置屏蔽设计满足标准规定的辐射屏蔽能力要求。

2 号射线装置对 1 号射线装置放置位置的剂量率影响值为 0.029μSv/h，则周剂量为 1.16μSv/周，年剂量值为 0.060mSv/a，与 1 号装置的职业人员年剂量叠加后仍然满足标准要求。

（三）3 号装置（XR320 型 X 射线检测装置）、4 号装置（XR160 型 X 射线检测装置）

本项目 3 号装置和 4 号装置集成为 1 套 X 射线工业 CT，放在同一个铅房内，2 台射线装置不会同时使用，且 4 号装置主射线源项低于 3 号装置的散射线源项，其辐射影响可以完全被 3 号装置辐射影响包络，因此保守选用能量较大的 300kV 的球管进行屏蔽计算。X 射线球管在屏蔽体内可以上下、左右移动，极限位置见图 11-5。3 号、4 号装置的屏蔽体四周与地面相连，没有缝隙，底部为地基和泥土，没有地下



图 11-5 (b) 3 号、4 号装置组成的工业 CT 正视图

表 11-16 3 号、4 号装置组成的工业 CT 周边关注点辐射影响途径及屏蔽情况一览表

关注点	主要射线类型	屏蔽层厚度	距离 (m)
力学中心东 (关注点 8)	主射线		6.3
力学中心南 (关注点 9)	漏射线		6.1
	散射线		
力学中心西 (关注点 10)	漏射线		4.6
	散射线		
中庭 (关注点 11)	漏射线		3.8
	散射线		
2 层实验室 (关注点 12)	漏射线		6.1
	散射线		
2 层实验室 (关注点 13)	主射线		6.89

注：*主射线斜穿侧壁的屏蔽厚度保守按照主射线实际穿过的最短路径考虑。

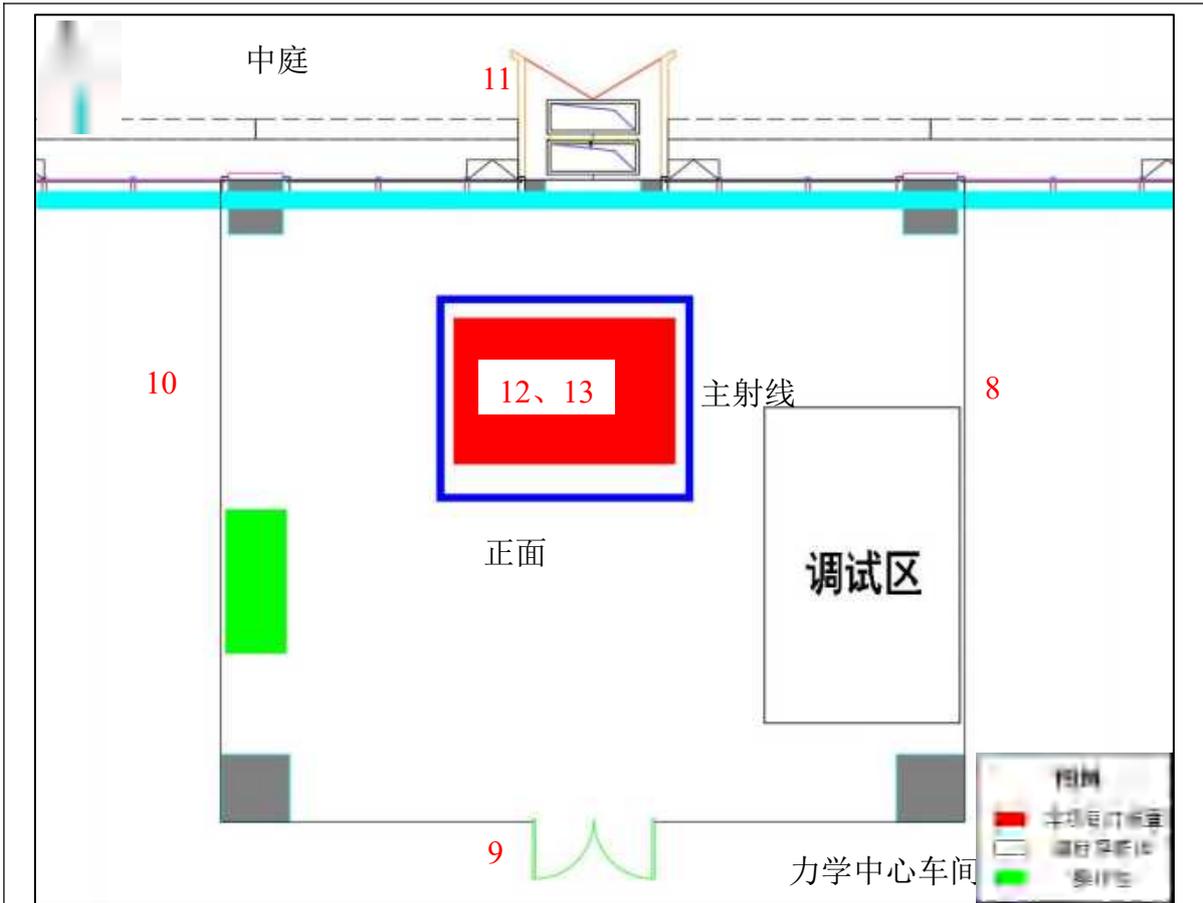


图 11-6 3 号、4 号装置组成的工业 CT 周边关注点

2、剂量率估算模式

1) 主射束造成的剂量率

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 (4)，有用线束造成的剂量率计算公式为：

$$H_z = \frac{60000 \cdot H_0 \cdot I \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (1)}$$

其中： H_z —有用线束造成的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —根据源项分析，300kV 能量球管 1m 处最大输出量为

$$\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})；$$

I —管电流，mA，射线管额定功率 500W，在最大电压时的管电流为 1.66mA；

B —屏蔽透射因子，由于本项目射线能量为 300kV，采用十值层算法，公式如下：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 (2)}$$

其中： X —屏蔽层厚度，mm；

TVL —屏蔽物质十值层厚度，mm。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽

规范》(GBZ/T 250-2014)附录表 B.2, 300kV 的 X 射线什值层为 5.7mm 铅;

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, 单位为米(m)。

表 11-17 主射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	H ₀ 射线源强 mSv·m ² / (mA·min)	最大电 流(mA)	屏蔽厚度	什值层	B 屏蔽透 射因子	距离 (m)	计算结果 (μSv/h)
装置右侧 30cm 处 (关注点 1)		1.66		5.7mm 铅	5.46E-06	2.95	1.873
装置顶部主 射线斜穿(关 注点 7)		1.66		5.7mm 铅	8.37E-07	1.45	1.181
力学中心东 (关注点 8)		1.66		5.7mm 铅	5.46E-06	6.3	0.411
2 层实验室 (主射线) (关注点 13)		1.66		5.7mm 铅	8.37E-07	6.89	0.053

注: *主射线斜穿侧壁的屏蔽厚度保守按照主射线实际穿过的最短路径考虑。

2) 泄漏射线造成的剂量率 H_L

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 8, 泄漏射线造成的剂量率计算公式为:

$$H_L = \frac{H_L' \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (3)}$$

其中: H_L—泄漏射线造成的剂量率, μSv/h;

H_L'—根据 GBZ/T 250-2014 中表 1, 由于本项目设备管电压为 300kV, 故
距源点 1m 处泄漏辐射剂量率 H_x 取 5000μSv/h;

B—屏蔽透射因子, 参考主射线透射因子计算方法;

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, 单位为米(m)。

表 11-18 泄漏射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	射线源强 (μSv/h)	屏蔽厚度	透射因子	距离(m)	计算结果 (μSv/h)
装置前部 30cm 处(关注点 2)			3.10E-04	1.7	0.536
装置左部 30cm 处(关注点 3)			3.10E-04	1.65	0.569
装置后侧 30cm 处(关注点 4)			3.10E-04	1.90	0.429
装置顶部 30cm 处(关注点 5)			5.46E-06	1.3	0.016
操作位(关注点 6)			3.10E-04	4.5	0.077
力学中心南(关注点 9)			3.10E-04	6.1	0.042
力学中心西(关注点 10)			3.10E-04	4.6	0.073
中庭(关注点 11)			3.10E-04	3.8	0.107
2 层实验室(关注点 12)			5.46E-06	6.1	0.001

3) 散射线造成的剂量率 H_s

根据 GBZ/T 250-2014 中公式 10，散射线造成的剂量率计算公式为：

$$H_s = \frac{60000 \cdot I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 (4)}$$

其中： H_s —散射线造成的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —距源点 1m 处输出量， $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，同公式 (1) 中的 H_0 ，取 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；

I —管电流，mA，同公式 (1) 中的 I ，取 1.66mA；

$F \cdot \alpha / R_0^2$ —(α —散射因子 0.076，无量纲； F — R_0 处的散射野面积， m^2 ； R_0 —散射点至射线源点的距离，m； $F/R_0^2=2.18$)；

R_s —散射点至预测点的距离；

B —屏蔽透射因子，参考公式 (2)，根据源项分析本项目散射线能量为 200kV，半价层厚度取 1.4mm 铅。

表 11-19 散射线剂量率计算参数及计算结果

关注点	H_0 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/$ $(\text{mA}\cdot\text{min})$	I (mA)	X (mm)	TVL (mm)	B	R_s (m)	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	计算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
装置前部 30cm 处 (关注点 2)		1.66		1.4	5.18E-15	1.7	0.10376	<0.001
装置左部 30cm 处 (关注点 3)		1.66		1.4	5.18E-15	1.65	0.10376	<0.001
装置后侧 30cm 处 (关注点 4)		1.66		1.4	5.18E-15	1.90	0.10376	<0.001
装置顶部 30cm 处 (关注点 5)		1.66		1.4	3.73E-22	1.3	0.10376	<0.001
操作位 (关注点 6)		1.66		1.4	5.18E-15	4.5	0.10376	<0.001
力学中心南 (关注点 9)		1.66		1.4	5.18E-15	6.1	0.10376	<0.001
力学中心西 (关注点 10)		1.66		1.4	5.18E-15	4.6	0.10376	<0.001
中庭 (关注点 11)		1.66		1.4	5.18E-15	3.8	0.10376	<0.001
2 层实验室 (关注点 12)		1.66		1.4	3.73E-22	6.1	0.10376	<0.001

3、辐射环境影响估算

以 3 号、4 号装置组成的工业 CT 最大工况进行计算，将表 11-17~表 11-19 的计算结果进行整理、加和，3 号、4 号装置组成的工业 CT 屏蔽体外及周围关注点辐射

影响理论计算结果见表 11-20。

表 11-20 3 号、4 号装置组成的工业 CT 屏蔽体外及周围关注点辐射影响理论计算结果

序号	关注点	主射线 μSv/h	漏射线 μSv/h	散射线 μSv/h	合计
1	装置右侧 30cm 处	1.873	-	-	1.873
2	装置前部 30cm 处	-	0.536	<0.001	0.536
3	装置左部 30cm 处	-	0.569	<0.001	0.569
4	装置后侧 30cm 处	-	0.429	<0.001	0.429
5	装置顶部 30cm 处	-	0.016	<0.001	0.016
6	操作位	-	0.077	<0.001	0.077
7	装置顶部主射线斜穿	1.181	-	-	1.181
8	力学中心东	0.411	-	-	0.411
9	力学中心南	-	0.042	<0.001	0.042
10	力学中心西	-	0.073	<0.001	0.073
11	中庭	-	0.107	<0.001	0.107
12	2 层实验室（非主射线）	-	0.001	<0.001	0.001
13	2 层实验室（主射线）	0.053	-	-	0.053

由计算结果可知：监督区内最大附加辐射剂量率为 1.873μSv/h，出现在装置右侧。设备操作位的剂量率为 0.077μSv/h；监督区外最大附加空气吸收剂量率为 0.411μSv/h（力学中心东）。

根据上述理论计算，企业使用 3 号、4 号装置组成的工业 CT 在最大工况下运行，设备铅房周围的环境辐射剂量率和监督区外的环境辐射剂量率均小于 2.5μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的限值要求。

4、人员受照剂量预测评价

3 号、4 号装置组成的工业 CT 辐射工作人员和周围公众年受照剂量预测可参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的公式估算，估算公式如下：

$$H=\dot{H}\cdot t\cdot U\cdot T \quad \text{公式 (5)}$$

上式中：H—一年剂量，μSv/年；

\dot{H} —参考点处剂量率，μSv/h；

U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子，均取 1；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—一年照射时间，（h/年）。

根据公式（5），可估算出 3 号、4 号装置组成的工业 CT 所致辐射工作人员和周围公众的周/年受照剂量，具体计算参数及计算结果见下表。

表 11-21 3 号、4 号装置组成的工业 CT 辐射工作人员和周围公众受照剂量估算表

关注点	关注点	计算结果 μSv/h	居留因子	周工作时间 h	周剂量 μSv/周	年工作时间 h	年剂量 mSv/a	人员
1	装置右侧 30cm 处	1.873	1/2	30	28.10	1200	1.124	职业
2	装置前部 30cm 处	0.536	1/2	30	8.04	1200	0.322	职业
3	装置左部 30cm 处	0.569	1/2	30	8.54	1200	0.341	职业
4	装置后侧 30cm 处	0.429	1/2	30	6.44	1200	0.257	职业
6	操作位	0.077	1	30	2.31	1200	0.092	职业
8	力学中心东	0.411	1/16	30	0.77	1200	0.031	公众
9	力学中心南	0.042	1/16	30	0.08	1200	0.003	公众
10	力学中心西	0.073	1/16	30	0.14	1200	0.005	公众
11	中庭	0.107	1/16	30	0.20	1200	0.008	公众
12	2 层实验室	0.001	1	30	0.03	1200	0.001	公众
13	2 层实验室	0.053	1	30	1.59	1200	0.064	公众

据上述计算结果可知：3 号、4 号装置组成的工业 CT 监督区内辐射职业人员周受照剂量为 28.10μSv/周（操作位），监督区外公众周受照剂量最大值为 1.59μSv/周（2 层实验室），均满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的人员周剂量参考控制水平（职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ）的要求。3 号、4 号装置组成的工业 CT 监督区内辐射职业人员年受照剂量为 1.124mSv/a（装置右侧），监督区外公众年受照剂量最大值为 0.064mSv/a（2 层实验室）。均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对个人年有效剂量（职业人员 20mSv/a，公众 1mSv/a）的要求，并低于本评价建议的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。因此，3 号、4 号装置组成的工业 CT 屏蔽设计满足标准规定的辐射屏蔽能力要求。

二、其他辐射影响分析

1、电缆孔辐射泄漏影响分析

本项目铅房的电缆孔补偿方式采用在屏蔽体内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线，防止 X 射线泄漏。

2、通风措施评价

1 号装置屏蔽体顶部设置有通风孔，2 号装置铅房顶部设置有通风孔，3 号、4 号装置铅房顶部设置有通风孔。本项目的工业 CT 在工作状态时，会使屏蔽体内的空气电离产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物可通过通风孔、防护门等排出，再经实验室内的通风系统排出室外，实验室内通风良好。臭氧在常温下 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响很小。

二、事故影响分析

1、辐射事故分析

工业 CT 只有在开机出束时才产生 X 射线，本项目可能发生的辐射事故如下：

(1) 由于安全联锁装置失灵或者防护门变形，导致工业 CT 在对样品进行检测时进出样防护门未能完全关闭，致使 X 射线泄漏到屏蔽体外，给周围活动的人员造成不必要的照射。

(2) 机器检修时误照。X 射线装置在故障检修时门机联锁失灵，检修人员在开机状态时打开防护门，装置仍处于出束状态，造成人员意外照射。

2、辐射事故预防措施

为有效预防各类辐射事故发生，企业采取以下事故预防措施：

(1) 企业内部加强辐射安全管理，辐射安全管理人员定期监督检查。

(2) 严格执行辐射安全管理制度，按照操作规程工作。定期检查确认安全联锁、急停开关、工作状态指示灯等各项安全措施的有效性，杜绝联锁装置失效情况下开机操作。

(3) 辐射工作人员注意佩戴好个人剂量计、报警仪等监测仪表。若辐射工作人员按照规定操作时携带有效的个人剂量报警仪，当报警仪发出报警声时，人员可立即知晓并按下急停开关，设备可立即停止出束，有效减少人员受照时间和受照剂量。

(4) 工业 CT 开机状态下人员不得脱岗。

(5) 检修时，检修人员应切断设备的电源，防止设备意外启动，待检修完成才能接通电源试运行，试运行正常才能正式投用。

(6) 重视日常巡检工作，尤其发生如样品与设备碰撞，目视有变形等情况，采用巡 检仪确认设备无射线泄漏后再投入使用，若有问题请生产厂商及时维修维护。

3、辐射事故处置方法

(1) 辐射工作人员应第一时间按下急停按钮，停止射线装置的出束并确保人员立即转移；

(2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

(3) 对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗；

(4) 出现事故后，应尽快组织人力、物力，有组织、有计划地进行处理，要在合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防范

措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《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》等法律法规要求，使用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；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

苏州国家实验室应成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。

本项目运行后，将配备6名辐射工作人员。拟配备的辐射工作人员及辐射防护责任人应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名参加辐射安全和防护专业知识培训，自主学习并报名参加与本项目相关的考核，通过考核后，方能从事辐射工作。本项目管理人员报考类别为“辐射安全管理”，辐射工作人员报考类别为“X射线探伤”。

辐射安全管理规章制度

苏州国家实验室应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，建设单位应针对核技术利用项目制定相关的辐射安全管理制度，主要包括《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》、《台账管理制度》、《监测方案》及《辐射事故应急预案》等，各项辐射安全管理制度的要点如下：

辐射防护和安全保卫制度：根据单位的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是把工业 CT 的安全防护和管理落实到个人。

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是明确 X 射线装置的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器。

岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作

人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

设备检修维护制度：明确 X 射线装置的安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测和职业健康体检制度：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，并建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：建设单位拟为本项目购置环境辐射巡测仪等设备，且方案中明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门；并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

辐射事故应急预案：预案中针对可能产生的辐射事故制定了辐射事故应急措施，该措施中明确了应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，建设单位应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

建设单位制定的辐射安全管理规章制度应具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。并且能够按照辐射安全管理制度对建设单位的辐射活动进行管理，满足环保相关管理要求。

辐射监测

1、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》要求，使用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。

建设单位拟为本项目配备 2 台环境辐射剂量巡测仪和 6 台个人剂量报警仪，铅房内部配备 2 台固定剂量率仪，配备后将能够满足辐射监测仪器配置要求。

2、监测方案

苏州国家实验室应根据辐射管理要求，制定如下监测方案：

(1) 请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，周期：每年1~2次；

(2) 辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（不少于1次/3个月）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案，个人剂量档案应终身保存；

(3) 所有辐射工作人员上岗前均进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，均定期开展职业健康体检（不少于1次/2年），确认可继续从事放射工作，并建立个人职业健康档案。

(4) 利用自配备的辐射巡测仪对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行自主监测，建议每季度一次，并记录档案。

本项目监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目监测方案一览表

监测项目	监测类型	监测因子	监测点位和监测频次	监测点位
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，项目建成后试运行3个月内	①通过巡测发现辐射水平异常高的位置；②工业CT装置表面外30cm处，样品门四周门缝及表面外30cm处；③人员经常活动的位置
	年度监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于1次/年	
	日常监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测或自主监测，建议不少于1次/季度	
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于1次/3个月	/

本项目运行后，应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。

辐射事故应急

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目使用类射线装置，事故多为开机误照射事故，通常情况下属于一般辐射事故。

为加强射线装置在探伤过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障建设单位员工及社会公众的健康与安全，苏州国家实验室应制定辐射事故应急预案，应急预案内容主要有：

- (1) 应急机构、组成人员以及职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 应急人员的组织、培训及联系方式；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序；
- (5) 应急演习计划。

苏州国家实验室制定的应急预案应有效可行，且具有一定的操作性。建设单位应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

表 13 结论与建议

1、项目概况

苏州国家实验室位于苏州工业园区常春藤路 28 号（实验组团 II）E2 栋 1 层电镜谱学中心、常春藤路 59 号（实验组团 III）F7 栋 1 层力学中心。因苏州国家实验室研发需求，拟新增 4 台工业 CT 装置，主要用于材料内部缺陷检测。本项目 1 号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路 28 号（实验组团 II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内，最大管电压为 160kV、最大管电流为 0.4mA；2 号装置（FF85 型工业用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路 28 号（实验组团 II）E2 栋 1 层电镜谱学中心西南侧 X 射线区域实验室内，自带 2 个 X 射线源（可切换），最大管电压为 450kV/300kV、最大管电流为 2mA/3mA；3 号装置（XR320 型 X 射线检测装置）、4 号装置（XR160 型 X 射线检测装置）位于常春藤路 59 号（实验组团 III）F7 栋 1 层力学中心北侧实验室同一个铅房内（2 台装置共用配套设施，不同时开启），3 号装置最大管电压为 300kV、最大管电流为 3mA，4 号装置最大管电压为 160kV、最大管电流为 1mA。4 台工业 CT 装置均为 II 类射线装置。

2、实践正当性评价

本项目的建设将满足该实验室的研发需求和提高产品质量，创造更大的经济效益和社会效益。本项目在运行期间将会产生电离辐射，在落实各项辐射安全与防护管理措施后，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求，同时其带来的效益远大于可能对环境造成的影响。因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”原则。

3、选址、布局合理性评价

苏州国家实验室总部基地位于苏州工业园区吴淞湾未来城桑田科学岛，本项目位于总部基地内常春藤路 28 号（实验组团 II）E2 栋 1 层电镜谱学中心、常春藤路 59 号（实验组团 III）F7 栋 1 层力学中心，电镜谱学中心及力学中心地理位置见附图 1。电镜谱学中心东侧为厂房外通道，隔路为综合材料实验区域，南侧为厂房外通道，隔路为办公楼，西侧为实验组团 II 走廊，北侧为厂房外通道，隔路为实验组团 II 次门厅，以及非常规制备平台。常春藤路 59 号（实验组团 III）F7 栋 1 层力学中心东侧为生物材料实验室，南侧为金鸡湖大道，隔路为空地（教育科研用地），西侧为长阳南街，隔路为行政办公楼，北侧为中庭、蠕变实验室、研发办公区等。本项目周边环境概况图见附图 4。

本项目拟建的1号装置（ZEISS 620 Versa 型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路28号（实验组团II）E2栋1层电镜谱学中心西南侧X射线区域实验室内。1号装置东侧50m范围内依次为X射线区域预留实验室、闲置实验室、储藏间2，南侧50m范围内为厂房外通道、办公楼，西侧50m范围内依次为本项目拟建2号装置所在实验室、实验组团II走廊、厂房外通道，北侧50m范围内依次为厂房内过道、透视电镜区域、更衣室、样品区、扫描电镜区域、办公休息区，顶部正上方2楼为普通理化实验室，3楼为办公区域，楼下无地下建筑，房间层高6.5m。

本项目拟建的2号装置（FF85 型工业用X射线计算机断层扫描(CT)装置）位于常春藤路28号（实验组团II）E2栋1层电镜谱学中心西南侧X射线区域实验室内。2号装置东侧50m范围为厂房内过道、1号装置所在实验室、X射线区域预留实验室，南侧50m范围内为厂房外绿化、道路、办公楼，西侧50m范围内依次为厂房外绿化、走廊、通道、仪器开发中心走廊，北侧50m范围内依次为楼梯、更衣室、样品区、透视电镜区域、扫描电镜区域、办公休息区，顶部正上方2楼为研发办公室，3楼为办公区域，楼下无地下建筑，房间层高6.5m。

本项目拟建的3号装置（XR320 型X射线检测装置）、4号装置（XR160 型X射线检测装置）位于常春藤路59号（实验组团III）F7栋1层力学中心北侧实验室同一个铅房内（2台装置共用配套设施，不同时开启）。3号、4号装置东侧50m范围为力学中心实验区域、门厅，南侧50m范围内为力学中心实验区域、厂房外通道、楼梯，西侧50m范围内依次为力学中心实验区域、垃圾房、走道、保洁休息间、配电间、货梯厅、楼梯、报警阀间、新风机房、储藏室、厂房外通道，北侧50m范围内依次为中庭、走道、蠕变实验室、楼梯、研发办公室、次门厅，顶部正上方2楼~4楼均为闲置实验室，暂未规划用途，楼下无地下建筑，房间层高7.1m。

本项目周围50m评价范围均在产业园范围内，无居民区、学校等环境敏感点。本项目周围环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、建设单位内工作人员及其他流动人员。且不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域。本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。因此，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目共4台工业CT装置，其中1号装置自带防辐射屏蔽层，2号装置配套铅房，3号、4号装置拟建1个铅房，4台工业CT装置操作台与设备均独立设置并避开有用线束照射的方向。本项目布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于操作室与

设备分开设置的要求。

4、项目分区

建设单位对辐射工作场所进行分区管理。将 1 号装置自带铅屏蔽层作为该设备的辐射防护控制区边界，以 1 号装置所在实验室为边界划定监督区；将 2 号装置配套铅房边界作为该设备的辐射防护控制区边界，以 2 号装置所在实验室为边界划定监督区；将 3 号、4 号装置拟建铅房边界作为该设备的辐射防护控制区边界，以 3 号、4 号装置所在实验室为边界划定监督区。在监督区醒目处设置规范的电离辐射警告标志和中文警示说明，提醒非辐射工作人员等不得进入。工业 CT 装置或铅房外表面醒目位置设置电离辐射警告标志，并设置有工作状态指示灯。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）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于辐射工作场所的分区规定。

5、辐射防护措施评价

①本项目 1 号装置自带铅屏蔽层对 X 射线进行屏蔽，各个面防护材料为铅+钢结构。拟将 1 号装置正面朝向北放置，前侧（北侧，含进出样门）、后侧（南侧，含进出样门）和左侧（东侧）均为 ；顶部 ；右侧（西侧）为 。

②2 号装置配套 1 个铅房作为屏蔽体，铅房各个面防护材料为铅。拟将 2 号装置铅房及装置正面朝东放置，前侧（东侧，含防护门）、后侧（西侧）、右侧（北侧）均为 ；顶部为 ；左侧（南侧） 。

③3 号、4 号装置拟建 1 个铅房作为屏蔽体，铅房各个面防护材料为铅。拟将 3 号、4 号装置铅房及装置正面朝南放置，前侧（南侧，含防护门）、后侧（北侧，含检修门）、左侧（西侧）均 ；顶部及右侧（东侧）为 铅。根据估算结果，本项目工业 CT 的辐射防护设计能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。

6、辐射安全措施评价

①本项目 1 号装置实现门机连锁；装置表面及监督区边界拟设置电离辐射标志和中文警告标识；装置顶上自带三色工作状态指示灯，拟在操作台张贴指示灯中文标识；1 号装置设置 3 个急停按钮，1 个在设备正前方门下方的机柜门上，1 个在正后方门下方的机柜门上，另 1 个在操作台上；电缆孔和通风口补偿方式采用在设备内部增加铅防护罩，并建立折弯迷宫路线；前后进出样门均采用搭接的方式防止 X 射线泄漏，确保搭接宽度与门缝的宽度比例达到 10:1。②本项目 2 号装置操作面板及操作台各设置 1 个钥匙开关（2 个

钥匙开关均开启方可出束)；主开关设置在控制柜上，用于全面断开 X 射线检测系统的电源供给；配套铅房实现门机联锁，铅房内门边设置有开门按钮；配套铅房外及内部醒目位置均设置警示灯箱，铅房外设有“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置；铅房外表面及监督区边界设置电离辐射标志和中文警告标识；装置表面设置 5 个急停开关，操作面板 1 个，Z 立柱两侧各 1 个，操作台 1 个，控制柜 1 个；配套铅房设置 6 个急停开关，门口设置 1 个，内部墙壁四周及门边共设置 5 个；配套铅房内共设置 4 个摄像头，铅房外及控制台上设置有显示器；拟在铅房内东侧设置 1 个固定剂量率仪；铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线；配套铅房防护门、屏蔽墙搭接宽度与防护门门缝的宽度比例达到 10:1；拟在铅房防护门左右侧设置红外防撞机构。

③本项目 3 号、4 号装置拟建铅房外设置 2 个钥匙开关，分别对应 3 号、4 号装置 X 射线源；拟建铅房实现门机联锁，铅房内门边设置有开门按钮；拟建铅房外及内部醒目位置均设置警示灯，铅房外设置工作状态指示灯；拟建铅房内、外各设置 1 个急停按钮，操作台设置 1 个急停按钮；装置拟建铅房外表面明显位置及监督区边界设置电离辐射标志和中文警告标识；拟建铅房内共设置 4 个摄像头，铅房外及控制台上设置有显示器；拟在铅房内西北角设置 1 个固定剂量率仪；铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线；拟建铅房防护门、屏蔽墙搭接宽度与防护门门缝的宽度比例达到 10:1；拟在铅房防护门左右侧设置红外防撞机构。4 台工业 CT 装置均放置于各实验室内，设置门锁，防止非辐射工作人员进入。上述安全设施满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)中有关门机联锁、工作指示灯、急停开关、安全警示标识等安全措施要求。

7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员及周围公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和本项目管理目标(职业人员周剂量不超过 100 μ Sv，年受照剂量不超过 5mSv；公众周剂量不超过 5 μ Sv，年受照剂量不超过 0.1mSv)的剂量限值要求。

8、辐射防护监测仪器

建设单位拟为本项目配备 2 台环境辐射剂量巡测仪和 6 台个人剂量报警仪，铅房内部配备 2 台固定剂量率仪，配置后将能够满足辐射监测仪器的配置要求。

9、辐射安全管理评价

苏州国家实验室将成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射

安全与环境保护管理工作，并将以文件形式明确各成员的管理职责。建设单位辐射安全专职管理人员和本项目辐射工作人员应参加并通过辐射安全和防护的培训及考核，建设单位应为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。建设单位还应根据本项目具体情况制定各项管理制度，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。采取上述措施后，将满足生态环境保护管理要求。

总结论：

综上所述，苏州国家实验室新建 4 台工业 CT 项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，项目对环境和公众的影响满足 GB 18871-2002 及 GBZ 117-2022 相关要求，其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，该项目的建设运行是可行的。

建议与承诺

(1) 建设单位应定期或不定期对工业 CT 的各种管理、操作、保安措施的落实情况进行检查，确保仪器的完好和有效。

(2) 针对本项目可能出现的辐射事故，建设单位应加强辐射工作人员的安全思想教育，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故的发生。

(3) 企业应认真保管好探伤设备的各种档案资料以及定期的测试报告，做到各种数据有据可查。

(4) 建设单位应根据有关规定及时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》的有关规定，项目竣工后 3 个月内完成自主验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人

公 章
年 月 日

审批意见

经办人

公 章
年 月 日

附表

“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	<p>将成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用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的管理要求。</p>	/
辐射安全和防护措施	<p>屏蔽措施：本项目1号装置自带铅屏蔽层对X射线进行屏蔽，各个面防护材料为铅+钢结构。拟将1号装置正面朝向北放置，前侧（北侧，含进出样门）、后侧（南侧，含进出样门）和左侧（东侧）均 ；顶部 ；右侧（西侧）。</p> <p>。②2号装置配套1个铅房作为屏蔽体，铅房各个面防护材料为铅。拟将2号装置铅房及装置正面朝向东放置，前侧（东侧，含防护门）、后侧（西侧）、右侧（北侧）均 m铅+结构性材料；顶部为 mm铅+结构性材料；左侧（南侧）为 mm铅+结构性材料③3号、4号装置拟建1个铅房作为屏蔽体，铅房各个面防护材料为铅。拟将3号、4号装置铅房及装置正面朝南放置，前侧（南侧，含防护门）、后侧（北侧，含检修门）、左侧（西侧）均为 mm铅；顶部及右侧（东侧）为 mm铅。</p> <p>安全措施：①本项目1号装置实现门机联锁；装置表面及监督区边界拟设置电离辐射标志和中文警告标识；装置顶上自带三色工作状态指示灯，拟在操作台张贴指示灯中文标识；1号装置设置3个急停按钮，1个在设备正前方门下方的机柜门上，1个在正后方门下方的机柜门上，另1个在操作台上；电缆孔和通风口补偿方式采用在设备内部增加铅防护罩，并建立折弯迷宫路线；前后进出样门均采用搭接的方式防止X射线泄漏，确保搭接宽度与门缝的宽度比例达到10:1。②本项目2号装置操作面板及操作台各设置1个钥匙开关（2个钥匙开关均开启方可出束）；主开关设置在控制柜上，用于全面断开X射线检测系统的电源供给；配套铅房实现门机联锁，铅房内门边设置有开门按钮；配套铅房外及内部醒目位置均设置警示灯箱，铅房外设有“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置；铅房外表面及监督区边界设置电离辐射标志和中文警告标识；装置表面设置5</p>	<p>本项目工业CT的辐射防护设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于X射线探伤室的屏蔽防护要求（屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5μSv/h）。辐射工作人员和公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目剂量管理目标的限值要求（职业人员年受照剂量不超过5mSv，公众年受照剂量不超过0.1mSv）。</p> <p>满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于X射线探伤室的安全措施的设置要求。</p>	160

	<p>个急停开关，操作面板 1 个，Z 立柱两侧各 1 个，操作台 1 个，控制柜 1 个；配套铅房设置 6 个急停开关，门口设置 1 个，内部墙壁四周及门边共设置 5 个；配套铅房内共设置 4 个摄像头，铅房外及控制台上设置有显示器；拟在铅房内东侧设置 1 个固定剂量率仪；铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线；配套铅房防护门、屏蔽墙搭接宽度与防护门门缝的宽度比例达到 10:1；拟在铅房防护门左右侧设置红外防撞机构。③本项目 3 号、4 号装置拟建铅房外设置 2 个钥匙开关，分别对应 3 号、4 号装置 X 射线源；拟建铅房实现门机联锁，铅房内门边设置有开门按钮；拟建铅房外及内部醒目位置均设置警示灯，铅房外设置工作状态指示灯；拟建铅房内、外各设置 1 个急停按钮，操作台设置 1 个急停按钮；装置拟建铅房外表面明显位置及监督区边界设置电离辐射标志和中文警告标识；拟建铅房内共设置 4 个摄像头，铅房外及控制台上设置有显示器；拟在铅房内西北角设置 1 个固定剂量率仪；铅房电缆孔和通风口补偿方式采用在铅房内部设置铅防护罩，并建立折弯迷宫路线；拟建铅房防护门、屏蔽墙搭接宽度与防护门门缝的宽度比例达到 10:1；拟在铅房防护门左右侧设置红外防撞机构。4 台工业 CT 装置均放置于各实验室内，设置门锁，防止非辐射工作人员进入。</p>		
<p>人员配备</p>	<p>建设单位辐射工作人员均应参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。</p>	<p>定期投入</p>
	<p>建设单位辐射工作人员均应配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测及建立个人剂量监测档案的管理要求。</p>	
	<p>建设单位辐射工作人员均应定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员定期进行职业健康体检及建立职业健康监护档案的管理要求。</p>	

监测仪器和防护用品	铅房内拟配备 2 台固定剂量率仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器配置要求。	5
	拟配备 2 台辐射巡测仪。		
	拟配备 6 台个人剂量报警仪。		
辐射安全管理制度	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、台帐管理制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急预案、监测异常报告制度等辐射安全管理制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用射线装置的单位须具备健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。