

核技术利用建设项目

西部（重庆）科学城重大科学基础设施虎溪建设项目
（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT

环境影响报告表

（公示版）

建设单位：重庆大学

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：二〇二六年二月

生态环境部监制

关于《西部（重庆）科学城重大科学基础设施虎溪建设项目 （一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 环境 影响报告表》的公示说明

重庆高新区生态环境局：

我校委托重庆宏伟环保工程有限公司编制的《西部（重庆）科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 环境影响报告表》目前属于上报审批阶段。我校承诺，环评报告公示文本中内容不涉及国家机密、商业秘密、个人隐私以及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，同意环评报告全本公开，并愿意承担相关法律责任。



目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	11
表 3	非密封放射性物质	11
表 4	射线装置	12
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	13
表 6	评价依据	14
表 7	保护目标与评价标准	16
表 8	环境质量和辐射现状	22
表 9	项目工程分析与源项	25
表 10	辐射安全与防护	35
表 11	环境影响分析	50
表 12	辐射安全管理	63
表 13	结论和建议	72

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 工业 CT			
建设单位		重庆大学			
法人代表	刘昌胜	联系人	郭**	联系电话	188****8715
注册地址		重庆市沙坪坝区沙正街 174 号			
项目建设地点		重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层			
立项审批部门		重庆高新区改革发展局	批准文号	渝高新改投（2022）316 号	
建设项目总投资（万元）	**	项目环保投资（万元）	**	投资比例（环保投资/总投资）	2.2%
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 ）	约 54
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	/			
	<p>1.1 建设单位简介</p> <p>重庆大学是中央直管、教育部直属的全国重点大学。学校学科门类齐全，涵盖理、工、经、管、法、文、史、哲、医、教育、艺术、交叉学科 12 个学科门类。设 7 个学部 35 个学院，以及 9 所附属医院。教职工 5100 余人，在校学生约 54600 人，其中研究生约 28000 人，本科生约 26600 人。校园现占地面积 5300 余亩，有沙坪坝校区（含 A 校园、B 校园、C 校园）、虎溪校区和国家卓越工程师学院。</p>				

续表 1 项目基本情况

1.2 项目由来

重庆市现有学科类国家重点实验室5个，其中重庆大学建设有3个，同时重庆大学建设有国家工程技术研究中心1个，国家级协同创新中心1个（重庆市唯一）。在国家科技创新布局中，重庆市科技基础设施及实力在四个直辖市中居后，在西部区域中也落后于西安、成都等，与新时期国家对重庆市的科技创新引领定位严重不符，亟待大力提升。

根据《重庆高新区改革发展局关于同意调整西部（重庆）科学城重大科学基础设施虎溪建设项目可行性研究报告的批复》（渝高新改投〔2022〕316号）及初设批复等文件，西部（重庆）科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）建设内容包括科学中心实验大楼、工科实验大楼和三个原始创新平台。“西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业CT”于2024年1月取得重庆高新区生态环境局《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（高新）环准〔2024〕1号），以下简称“科学中心实验大楼项目”。科学中心实验大楼项目总用地面积约114360.41m²，建筑面积约247700m²，由10栋塔楼（1-10#楼）和1栋裙楼（11#楼）及地下车库、食堂、设备用房等组成，科学中心实验大楼项目环境影响报告表对科学传播、先进制造、低碳资安、人工智能、前沿交叉等版块全部研究内容以及智慧能源、先进材料已确定的部分研究内容进行评价，并明确后续可能引入涉及辐射的相关设备在入场前需单独完善相关环保手续。根据《西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业CT环境影响报告表》及其批准书，5#楼功能为低碳资安版块。科学中心实验大楼按照环评中建设方案进行建设，目前部分实验室投运，部分正在进行最后的装修收尾工作，尚未开展竣工环保验收工作。

随着科学中心实验大楼投运，学校拟在科学中心实验大楼低碳资安版块5#楼矿灾害动力学与控制国家重点实验室一层配置1台工业CT对煤、岩石进行X射线无损检测实验分析，得到实验样品内部各类组构空间信息，实现实验样品三维数字化建模，在建模的基础上进行各类力学仿真模拟计算。

根据《射线装置分类》可知，工业用X射线计算机断层扫描（CT）装置属

续表 1 项目基本情况

于 II 类射线装置。根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，重庆大学虎溪科学中心实验大楼使用 1 台工业 CT 应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”，使用 II 类射线装置的项目应编制环境影响报告表。

为此，重庆大学委托重庆宏伟环保工程有限公司开展“西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 工业 CT”的环境影响评价工作。评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和环境状况，并按照国家核技术应用项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了该项目的环境影响报告表。

1.3 建设规模及工程内容

（1）项目概况

重庆大学拟在重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层实施“西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 工业 CT”，拟在科学中心实验大楼低碳资安版块 5#楼煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室一层 102 室安装 1 套自屏蔽式工业 CT（II 类射线装置，双管头，240kV 微米焦点射线管最大电压为 240kV，最大管电流 3mA；180kV 纳米焦点射线管最大电压 180kV，最大管电流 0.88mA）对煤、岩石等样品开展 X 射线固定式无损无损检测分析。项目使用面积约 54m²；项目总投资约**万元，其中环保投资约**万元；项目建设工期预计 2 个月。

项目组成见表 1-1。

续表 1 项目基本情况

表 1-1 项目组成一览表			
项目组成		主要内容及规模	备注
主体工程	102 室	工作场所布置：5#楼一层 102 室长 9m，宽 6m，布置 1 套自屏蔽式工业 CT（含操作台）、收样台、图像分析用电脑。 射线装置主要信息：英华检测(上海)有限公司 Phoenix V tome x S240，II类射线装置，双管头，240kV 微米焦点射线管最大电压为 240kV，最大管电流为 3mA；180kV 纳米焦点射线管最大电压为 180kV，最大管电流为 0.88mA	新购设备， 房间预留
公用工程	供配电	依托科学中心实验大楼供配电系统。	依托
	给水	依托科学中心实验大楼给水管网。	依托
	排水	本项目无实验废水产生，不新增劳动定员，故无新增生活污水。生活污水经处理达《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，最后进入土主污水处理厂进行处理，处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要污染物排放标准》（DB50/963-2020）和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入梁滩河。	依托
	通风	设备铅房自然进风、自然排风，102 室设有机机械排风，依托 CT 室排风系统排至室外。	依托
环保工程	污水处理	本项目不产生实验废水，科研人员生活污水依托科学中心实验大楼 2#格栅池（处理能力 300m ³ /d）预处理后接入市政污水管网。	依托
	废气处理	铅房内部空间小，通过样品进出的推拉防护小门自然通风方式，102 室设有机机械排风，依托 102 室排风系统排至室外。该房间风机排风量 4500m ³ /h，通风换气次数 13 次/h，排风管经西侧风井引至 5#楼楼顶排放。	依托
	固废处置	实验人员生活垃圾依托科学中心实验大楼生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。	依托
		工业 CT 报废后按照相关要求对设备去功能化后按照建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。	/
	辐射防护与管理	一体式屏蔽铅房防护，铅房各屏蔽体由一定厚度的铅+钢组成，配置工作状态指示灯、急停按钮、门机联锁、实验室辐射安全管理制度等。	设备自带、 依托学校现有辐射安全管理体系
<p>(2) 屏蔽防护情况</p> <p>本项目拟配置的 1 套工业 CT 自带铅房，面向设备推拉防护小门工业 CT 屏蔽防护情况如下表 1-2 所示。</p>			

续表 1 项目基本情况

表 1-2 工业 CT 屏蔽防护设计方案（略）

（3）设备概况

本项目配置的主要设备见表 1-3。

表 1-3 项目主要设备一览表

序号	名称	数量	用途	设备设施说明	备注
1	工业 CT 检测系统	1 套	X 射线无损检测	含高压电源装置、冷却器和操作台等。	拟购设备
2	个人剂量计	1 枚	个人剂量监测	辐射工作人员工作时随身携带	已有
3	便携式辐射监测仪	1 台	防护监测	自行定期监测，按要求校验，拟采购。	拟购
4	固定式场所辐射探测报警装置	1 台	辐射探测报警	检测探头安装在设备铅房内，显示单元安装在操作台，阈值设定 2.5 μ Sv/h。	拟购
5	个人剂量报警仪	1 台	剂量检测报警	辐射工作人员工作时随身携带	拟购

（4）检测样品情况

本项目主要对试验样品进行检测，检测试样相关参数见表 1-4。

表 1-4 检测试样相关参数一览表

检测样品材质	尺寸（mm）	厚度（mm）
煤	$\Phi 50 \times 100\text{mm} / \Phi 25 \times 50\text{mm}$	50mm
岩石	100 \times 100 \times 100mm/ $\Phi 50 \times 100\text{mm} / \Phi 25 \times 50\text{mm}$	100mm

（5）计划工作量

根据建设单位提供资料，工业 CT 检测系统主要用于试验样品分析，两个 X 射线管不同时出束，本项目工业 CT 具体工作负荷见表 1-5。

表 1-5 工作负荷一览表

单次曝光时间	最大曝光次数			最大曝光时间		
	次/天	次/周	次/年	h/天	h/周	h/年
$\leq 18\text{min}$	2	14	600	0.6	4.2	180.0

（6）工作制度和劳动定员

该实验室拟配置 1 名辐射工作人员（科研人员）负责工业 CT 检测系统操作，该实验人员已取得辐射安全与防护培训考核合格成绩单并参加职业健康体检，体

续表 1 项目基本情况

检结论为可从事放射工作。该名辐射工作人员属于科学中心实验大楼低碳资安版块研究人员劳动定员中。

具体工作制度：实验室辐射工作人员实行固定工作制，年工作 300 天，每天 1 班，每天最多曝光 2 次，对实验样品进行登记、操作工业 CT 检测系统、图像分析。

工业 CT 检测系统设备的维修维护拟委托设备厂商负责。

1.4 项目选址可行性

本项目 1 台工业 CT 选址于虎溪校区新建科学中心实验大楼 5#楼一层 102 室，所在的 5#楼属于低碳资安版块煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房，本项目工业 CT 属于小型成套 X 射线检测装置，且自带有屏蔽铅房，102 室为预留的工业 CT 及可冲击波煤岩致裂渗透实验系统（非 X 射线检测）专用实验室，先利用冲击波煤岩致裂渗透实验系统进行冲击波渗透模拟，再利用本项目工业 CT 进行固定式 X 射线无损检测，对试样进行三维数字化建模。102 室周围均为煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房。工业 CT 铅房周围公众成员活动较少，便于辐射安全管理。根据现状监测结果，项目场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。因此，本项目选址可行。

1.5 项目周围环境概况

本项目工业 CT 位于重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层，属于 9 层的低碳资安版块煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房。科学中心实验大楼包括 10 栋塔楼和 1 栋裙楼等组成，属于重庆大学虎溪校区占地范围内，科学中心实验大楼北侧紧邻大学城南路，西侧紧邻纵五路，东南侧为重庆大学出版社，科学中心实验大楼 5#楼外环境见表 1-6。

表 1-6 科学中心实验大楼 5#楼外环境关系一览表

序号	方位	外环境名称	水平距离	高差
1	北侧	内部道路	紧邻	0
		11#楼（3F 低碳资安版块）	约 11m	0
2	南侧	内部道路	紧邻	0
		市政道路	约 20m	0
		虎溪花园小区商业用房	约 45m	0
3	西侧	4#楼（3F 低碳能动版块）	紧邻	0
		4#楼（9F 低碳能动版块）	约 39m	0

续表 1 项目基本情况

4	东侧	5#楼（3F 低碳资安版块）	紧邻	0
		6#楼（9F 先进材料版块）	约 48m	0

项目周边保护目标主要为操作本项目工业 CT 操作的辐射工作人员以及周围区域活动的公众成员。

1.6 与项目有关的原有核技术利用项目情况

1.6.1 项目用房环保手续情况

本项目工业 CT 在重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层预留用房内安装，所在 5#楼属于科学中心实验大楼低碳资安版块资源与安全学院煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房。

2024 年 1 月 4 日，重庆高新区生态环境局对《西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 环境影响报告表》批复，取得《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（高新）环准〔2024〕1 号）。科学中心实验大楼项目总用地面积约 114360.41m²，建筑面积约 247700m²，由 10 栋塔楼和 1 栋裙楼及地下车库、食堂、设备用房等组成，科学中心实验大楼项目环境影响报告表对科学传播、先进制造、低碳资安、人工智能、前沿交叉等版块全部研究内容以及智慧能源、先进材料已确定的部分研究内容进行评价，并明确后续可能引入涉及辐射的相关设备在入场前需单独完善相关环保手续。目前，科学中心实验大楼项目部分已投运，部分在进行装修收尾工作。

1.6.2 核技术利用项目开展情况

重庆大学为现有核技术利用单位，已持有重庆市生态环境局核发的辐射安全许可证，证书编号为：渝环辐证[00124]，现有证书有效期至 2028 年 10 月 11 日，许可种类和范围包括：生产、销售、使用Ⅱ类、使用Ⅲ类射线装置。现有射线装置许可情况见表 1-7。

续表 1 项目基本情况

表 1-7 许可使用射线装置情况一览表						
序号	设备名称	设备型号	类别	数量	工作场所	活动种类
1	医用诊断 X 射线装置	Radspeed MTFPD	Ⅲ类	1 台	A 区放射科	使用
2	X 射线计算机断层扫描装置	MAX16-Slice	Ⅲ类	1 台	A 区校医院 CT 室	
3	医用车载 DR 数字 X 射线机	AKHX-50F	Ⅲ类	1 台	A 区校医院	
4	X 射线荧光光谱仪	XRF-1800	Ⅲ类	1 台	A 区综合大楼 112 室	
5	X 射线衍射仪	D-Max2500p _c	Ⅲ类	2 台	A 区综合大楼 136 室	
6	医用 DR X 光机	Radspeed MTFPD	Ⅲ类	1 台	B 区放射科	
7	牙科 X 射线机	RAY68(M HEAD	Ⅲ类	1 台	B 区口腔科	
8	口腔 CT	SS-X9010Dpr 0-3DE	Ⅲ类	1 台	B 区口腔科	
9	X 射线衍射仪	XRD-6000	Ⅲ类	1 台	D 区理科楼 LC108	
10	X 射线衍射仪	XRD-3A	Ⅲ类	1 台	D 区理科楼 LC108	
11	X 射线能谱仪	EX-CALIBUR	Ⅲ类	1 台	D 区理科楼 LC113	
12	单晶 X 射线衍射仪	super nova	Ⅲ类	1 台	D 区理科楼 LF115	
13	劳埃单晶衍射定向仪	Laue-V.674-A CGigE	Ⅲ类	1 台	D 区理科楼 LF202	
14	大功率微焦 CT 仪	CD-130BX/μC _T	Ⅲ类	1 台	A 区 ICT 研究中心	
15	微纳 CT 仪	CD-90BX/μC _T	Ⅲ类	1 台	A 区 ICT 研究中心	
16	数字化 X 线摄影系统	MILLENNIU MSHF-835	Ⅲ类	1 台	高压实验室 110 室	
17	数字化口腔全景 X 光机	PAX-500ECT	Ⅲ类	1 台	虎溪校区放射科	
18	X 射线摄影系统	CALYPS 0, CHORUS	Ⅲ类	1 台	虎溪校区放射科	
19	煤岩热流固合 CT 实验系统	SOMATO M Scope	Ⅲ类	1 台	煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室 118 室	
20	工业加速器	/	Ⅱ类	10 台	A 区 ICT 研究中心	生产、销售
21	工业 CT	/	Ⅱ类	20 台	A 区 ICT 研究中心	

根据现场调查，重庆大学位于重庆市高新区曾家镇组团 A 分区 A18-1 地块的超瞬态实验装置预研项目已于 2023 年 12 月取得《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（高新）环准（2023）71 号），该项目使用 I 类射线装置，已建成，目前正在申请办理辐射安全许可证。

续表 1 项目基本情况

(2) 辐射工作场所监测

重庆大学按照要求每年 1 月 31 日之前提交了《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告表》并提交辐射工作场所监测报告，各辐射工作场所辐射环境监测结果达标。

(3) 辐射工作人员情况

重庆大学现有辐射工作人员 31 人，均已参加辐射安全与防护培训或考核（从事Ⅲ类射线装置使用的辐射工作人员由学校自主考核，其他辐射工作人员统一参加生态环境主管部门组织的考核，并取得考核合格证书）。单位为每名辐射工作人员配备个人剂量计并定期委托资质单位对个人受照剂量进行检测。

建设单位核技术利用项目运营至今，各辐射工作场所射线装置运行良好，无辐射安全事故发生，无环保投诉。

1.7 依托可行性分析

项目依托可行性分析见表 1-8。

表 1-8 项目依托可行性分析

依托工程		可行性分析	结论
公用工程	供配电系统	用电来源于市政供电，科学中心实验大楼供配电系统完善已投运，本项目依托可行。	可行
	给水系统	科学中心实验大楼内部给水系统完善并投运，工作人员日常办公用水依托可行。	可行
	通风系统	5#楼通风系统完善并已投运，本项目少量废气依托 102 室排风系统排至 5#楼楼顶。	可行
环保工程	生活污水	本项目辐射工作人员在科学中心实验大楼研究人员劳动定员内，故运营期间不新增生活污水。5#楼设计有完善的排水系统，本项目科研人员产生少量生活污水依托科学中心实验大楼格栅池预处理后接入市政污水管网，该格栅池已建成投运，处理能力为 300m ³ /d。	可行
	固废处理	本项目辐射工作人员在科学中心实验大楼研究人员劳动定员内，生活垃圾集中收集，交由环卫部门统一处理。	可行
辐射工作人员		本项目拟配置的 1 名辐射工作人员已开展职业健康体检、参加辐射安全与防护培训考核，并考核合格。	可行
辐射安全管理		重庆大学已成立辐射安全与防护工作领导小组，并制定了相应的辐射安全管理制度和应急预案等。应补充本项目工业 CT 操作规程及人员岗位职责，方可满足本项目的辐射安全管理要求。	可行

由表 1-8 可知，本项目公用工程、环保工程均可依托科学中心实验大楼现有

续表 1 项目基本情况

设施，因此，本项目依托厂房内现有设施以及辐射工作人员、辐射安全管理是可行的。

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
本项目不涉及放射源。								

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
本项目不涉及非密封放射性物质										

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
本项目不涉及加速器。										

（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	II类	1 台	Phoenix V tome x S240	微米焦点射线管：240 纳米焦点射线管：180	微米焦点射线管：3 纳米焦点射线管：0.88	无损检测	虎溪校区科学中心 实验大楼 5#楼一层 102 室	英华检测(上海)有限公司
	以下空白								
以下空白									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电 流（mA）	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	
本项目不涉及中子发生器													

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	/	/	/	/	/	/	依托科学中心实验大楼排风系统引至楼顶排放。
生活污水	液态	/	/	/	/	/	/	科学中心实验大楼格栅池预处理后接入市政污水管网
生活垃圾	固态	/	/	/	/	/	厂区生活垃圾暂存点	环卫部门统一处置
报废的工业 CT	固态	/	/	/	/	/	/	设备去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

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

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修正；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行修订版；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日施行修订版；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施；</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 日施行；</p> <p>(9) 《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>(10) 关于发布《射线装置分类》的公告，原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；</p> <p>(11) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《重庆市环境保护条例》，2025 年 7 月 31 日修订；</p> <p>(13) 《重庆市辐射污染防治办法》，2021 年 1 月 1 日施行。</p>
------------------	--

续表 6 评价依据

技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响技术导则 总纲》(HJ2.1—2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1—2016)；</p> <p>(3) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)；</p> <p>(5) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117—2022)；</p> <p>(6) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单(GBZ/T250—2014)；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(9) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1 -2019)；</p> <p>(11) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。</p>
其他	<p>(1) 委托书；</p> <p>(2) 项目所在重庆大学虎溪科学中心实验大楼可研批复；</p> <p>(3) 项目所在重庆大学虎溪科学中心实验大楼初设设计批复，名称更改为西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼；</p> <p>(4) 项目所在重庆大学虎溪科学中心实验大楼环境影响报告表及其环评批复；</p> <p>(5) 建设单位辐射安全许可证；</p> <p>(6) 项目辐射环境监测报告；</p> <p>(7) 项目辐射工作人员辐射安全与防护考核成绩报告单；</p> <p>(8) 建设单位辐射安全管理制度；</p> <p>(9) 设备厂家提供设备说明书等相关资料；</p> <p>(10) 《辐射防护导论》等参考文献。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>7.1 评价范围</p> <p>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）的相关规定，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围为评价范围。因此，本环评以工业 CT 检测系统设备整体周围 50m 的范围作为项目辐射环境影响评价的范围。</p> <p>7.2 环境保护目标</p> <p>本项目工业 CT 位于重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层，5#楼位于科学中心实验大楼南侧，属于低碳资安版块用房，地上 9 层，其中 1-3 层为煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房，4-9 层为会议室、办公室等。5#楼正下方无建筑，南侧外为地下 2 层车库及设备用房。</p> <p>工业 CT 拟安装在科学中心实验大楼低碳资安版块 5#楼煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室一层 102 室，102 室北侧、南侧、西侧外均为过道，东侧邻 104 室，5#楼一层层高 6m，楼上对应房间为 206 室。设备底部与地面约 12cm，楼下无建筑。成套工业 CT 横向靠东侧安装在 102 室内，东侧靠墙布置收样台及图像分析用电脑，西侧拟安装可冲击波煤岩致裂渗透实验系统（非 X 射线检测），北侧为其实验台。</p> <p>本项目环境保护目标分布情况见表 7-1，所在科学中心实验大楼平面布置图见附图 2，5#楼一层平面布置图见附图 3。</p>

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-1 本项目周围环境保护目标一览表							
序号	环境保护目标名称	方位	水平距离(m)	高差(m)	基本情况	影响人群	影响因素
1	工业 CT 操作台、收样台、图像分析台	东	约 0~2	0	操作台与设备为一体,收样台设图像分析用电脑,本项目辐射工作人员工作区,约 1 人	辐射工作人员	电离辐射
2	工业 CT 设备外	南	约 0~2	0	铅房后侧冷却装置,除检修外无人员停留。		
3	102 室可冲击波煤岩致裂渗透实验系统	西	约 1~5	0	煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室 102 室非 X 射线实验设备,公众成员约 1 人	公众成员	
4	实验台	北	约 2	0	煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室研究人员,公众成员约 1 人		
5	104、106、108、109、111 实验室	东	约 2~50	0	煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室用房,公众成员约 10 人		
6	过道、卫生间	西	约 5~14	0	5#楼卫生间、过道,公众成员约 2 人。		
	4#楼(低碳能动版块)		约 14~50	0	4#楼低碳能动版块大实验室,公众成员约 10 人。		
7	过道、展览室	南	约 2~11	0	5#楼内部过道,煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室展览室,公众成员约 5 人。		
	绿化及道路		约 11~50	0	5#楼外道路及绿化,流动人员约 5 人		
8	过道、103、105、107、110、楼梯间等	北	约 3~16	0	5#楼资安学院实验室,公众成员约 5 人		
	内部道路		约 16~37	0	5#楼内部过道,流动人员约 2 人		
	11#楼裙楼(低碳资安和低碳能动版块)		约 37~50	0	低碳资安、低碳能动版块科研用房,约 20 人		
9	5#楼 2 层 206 等实验室	楼上	/	+6	5#楼煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室科研用房,公众成员约 10 人		
10	5#楼 3-9 层		/	+6-43m	3 层为 5#楼煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室科研用房,4-9 层为会议室、办公室等,公众成员约 100 人		
备注:高差中“+”表示其地面高于工业 CT 设备所在 102 室地面。							

续表 7 保护目标与评价标准

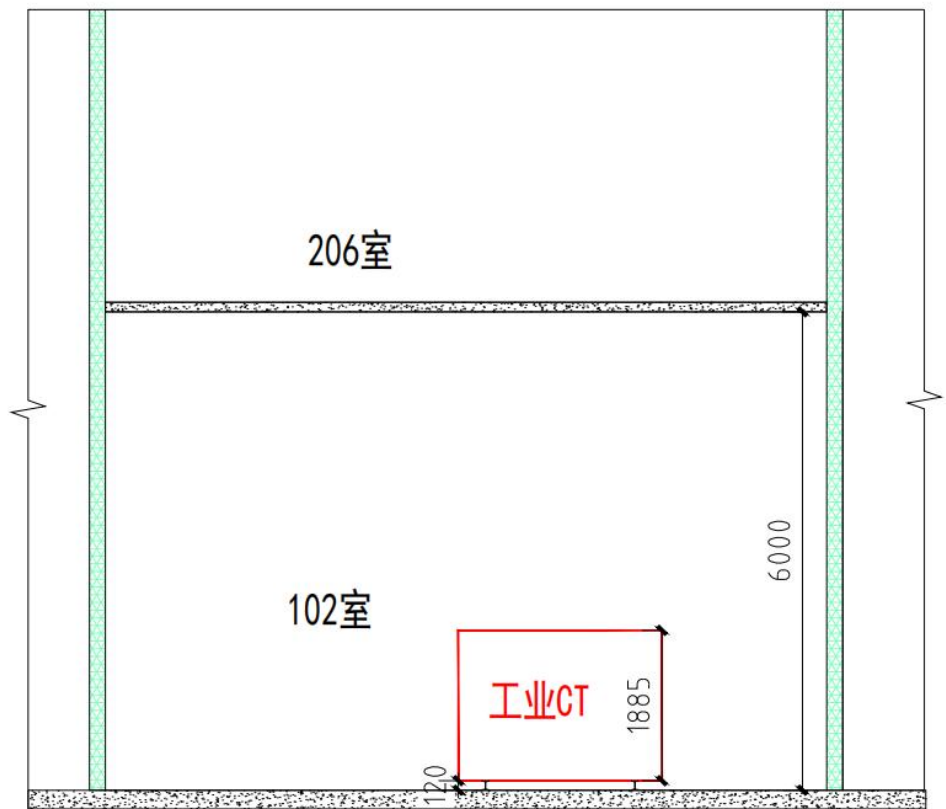


图 7-1 本项目所在 102 室剖面示意图（图上测量单位为 mm）

7.3 评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除 6.2.2 条规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：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。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述

续表 7 保护目标与评价标准

限值：年有效剂量，1mSv。

(2) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

本标准规定了 X 射线和 γ 射线探伤的放射防护要求。

本标准适用于使用 600 kV 及以下的 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1（本报告表 7-2）的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 7-2 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

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

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；

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。

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 μ Sv/h。

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。

(3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

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

续表 7 保护目标与评价标准

束区的散射辐射。
<p>3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。</p> <p>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，当它们的屏蔽厚度相差一个什值厚度（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（HVL）。</p> <p>（4）评价标准及相关参数取值</p> <p>①管理目标值</p> <p>建设单位取 GB18871-2002 中工作人员职业照射剂量限值的四分之一即 5mSv/a 作为辐射工作人员的年有效剂量管理目标值；取公众照射剂量限值的十分之一即 0.1mSv/a 作为公众成员的年有效剂量管理目标值，满足 GB18871-2002 的规定。</p> <p>②剂量率控制水平</p> <p>根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的剂量参考控制水平并按照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中导出剂量率参考控制水平核算方法，本项目工业 CT 检测系统屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：</p> <p>A 核算方法</p> <p>关注点导出剂量率参考控制水平按下式计算：</p> $\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{(t \bullet U \bullet T)} \dots\dots\dots(1)$ <p>式中：</p> <p>H_c—周剂量参考控制水平（μSv/周）</p> <p>t—探伤装置周照射时间，h</p> <p>U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子，本项目取 1</p> <p>T—人员在相应关注点驻留的居留因子</p> <p>B 居留因子</p> <p>根据 GBZ/T250-2014 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-3 所示。</p>

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-3 不同场所的居留因子

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

备注：后文计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

综上所述，结合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），本项目工业 CT 检测系统屏蔽体外周围剂量当量率控制水平保守取屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h，确定本项目的主要评价标准要求见表 7-4 所示。

表 7-4 本项目主要评价标准及相关要求汇总表

序号	项目	控制限值	采用的标准
1	年剂量管理目标值	辐射工作人员：5mSv 公众成员：0.1mSv	GB18871-2002 公司管理要求
2	周剂量管理目标限值	辐射工作人员周剂量： $\leq 100\mu$ Sv/周； 公众成员周剂量： $\leq 5\mu$ Sv/周	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
3	设备性能要求	距 X 射线管焦点 1m 处的漏射线所致周围剂量当量率： $< 5\text{mSv/h}$ （管电压 $> 200\text{kV}$ ）， $< 2.5\text{mSv/h}$ （管电压：150~200kV）	GBZ117-2022
4	剂量率参考控制水平	面向试样进出的推拉门，工业 CT 整体设备上、左、右、前、后 30cm 处，底部周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu$ Sv/h	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 地理位置和场所位置

本项目位于重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层，地理位置见附图 1。本项目工业 CT 检测系统自带铅房，设备拟安装在 102 室内，项目场所位置见附图 2、附图 3 所示。

8.2 辐射环境背景

为掌握本项目场址及周围辐射环境背景水平，重庆新绿环保工程有限公司于 2025 年 12 月 29 日对本项目场址及周围的环境 γ 辐射剂量率进行了监测。监测结果见渝新绿环（监）[2025]125 号。

（1）监测因子：环境 γ 辐射剂量率。

（2）监测方法和依据

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
环境 γ 辐射剂量率	仪器法	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

（3）监测仪器

监测仪器情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器情况

监测仪器名称及型号	仪器编号	计量检定/校准证书编号	有效期至	校准因子
环境级 x、 γ 辐射巡检仪 RGM5200	1222204005009	2025071103868	2026.7.22	1.15

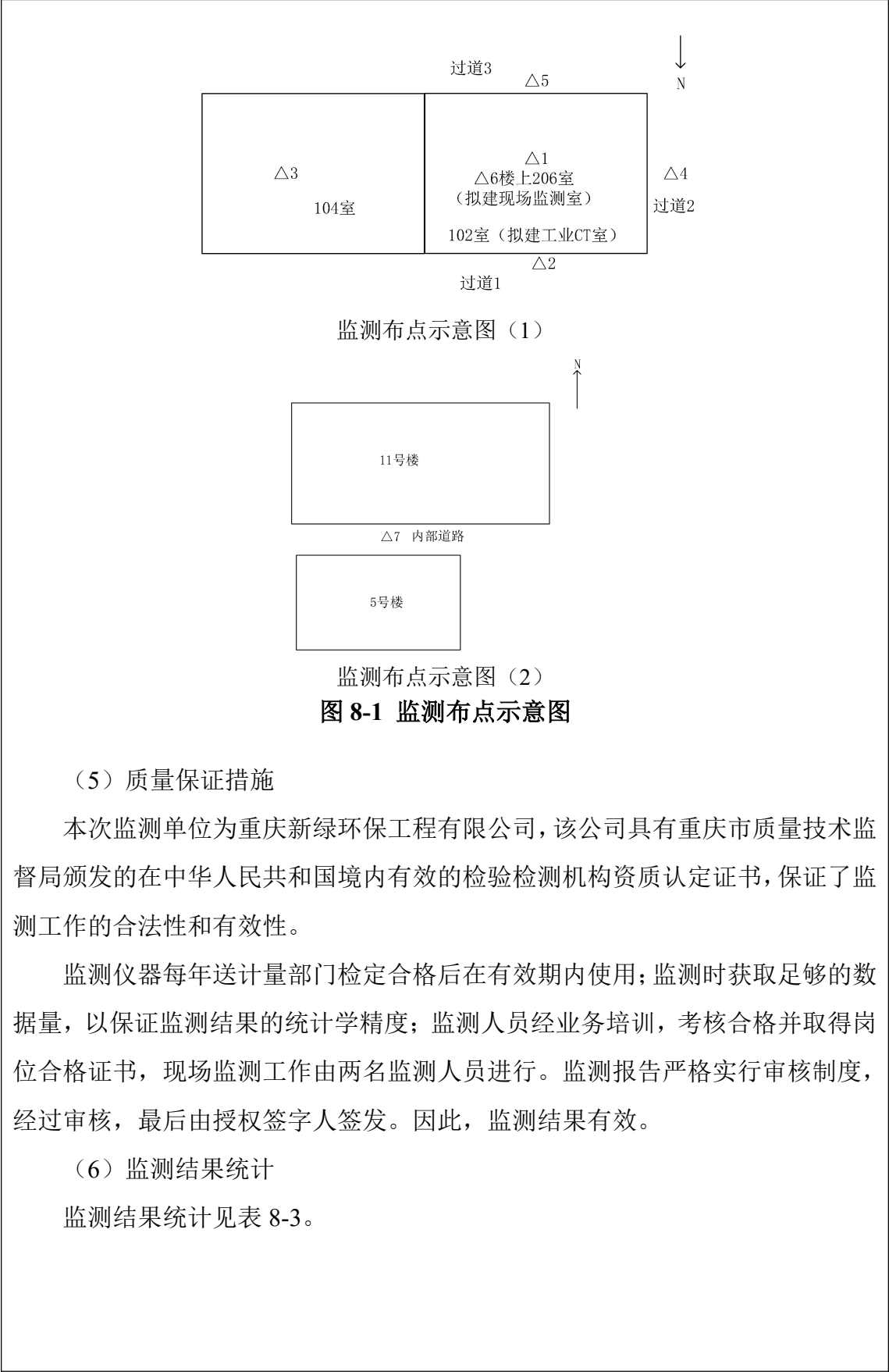
测量范围：10nSv/h-100 μ Sv/h。

（4）监测点位

本次监测共布设了 7 个监测点，监测点位布点示意图见图 8-1 所示。

监测布点合理性分析：本次监测在工业 CT 所在的 102 室及其四周均设置了监测点位，并在 5#楼房外均设置了监测点位，布点覆盖了项目所在 5#楼和 5#楼外最近环境保护目标，监测布点较全面，可以反映项目场址及其周围环境的辐射环境水平。

续表 8 环境质量现状



续表 8 环境质量现状

表 8-3 监测结果统计		
监测点 位	监测点位描述	环境γ辐射剂量率 (μGy/h)
△1	拟建 102 室内（工业 CT 拟安装在内）	0.076
△2	过道 1	0.074
△3	104 室内	0.079
△4	过道 2	0.076
△5	过道 3	0.078
△6	拟建工业 CT 室楼上（206 室内）	0.074
△7	5 号楼与 11 号楼中间内部道路	0.082
备注：1μGy/h=1000nGy/h，以上监测结果均未扣除宇宙射线响应值。		
<p>根据监测可知，本项目场址及周围环境γ辐射剂量率监测值范围为 74nGy/h～82nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）。根据《2024 年重庆市辐射环境质量报告书（简化版）》，累积剂量测得的γ辐射空气吸收剂量率全市点位年均值范围为 79.2~108nGy/h，平均值为 96.1nGy/h。对比可知，本项目场址及周围环境γ辐射剂量率监测值在重庆市环境γ辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。</p>		

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺流程及产污环节

本项目工业 CT 为成套带铅房自屏蔽 X 射线检测系统，施工阶段主要是设备安装，不涉及装修和土建。

设备安装过程中主要有安装噪声、包装垃圾产生，还有施工人员产生的少量生活污水和生活垃圾。施工期短暂，施工人员产生的少量生活污水依托科学中心实验大楼环保设施处理，包装垃圾和生活垃圾，交由环卫部门统一处理。

9.2 营运期工艺流程及产污环节

9.2.1 设备组成及工作方式

(1) 设备组成

英华检测(上海)有限公司 Phoenix V|tome|x S240 型工业 CT 由辐射防护舱、2 个 X 射线管、试样操作器、探测器、真空系统、高电压发生器、操作台和冷却装置构成。本项目设备外观图片见图 9-1。

①辐射防护舱（铅房）

本项目工业 CT 辐射防护舱（铅房）屏蔽体主要由一定厚度的铅+钢组成，在正面设有推拉小门，工作人员将试样放入辐射防护舱内载物平台，推拉门上设置含铅玻璃窗，操作员可通过该玻璃窗观察辐射防护舱内部情况。工业 CT 相关尺寸见表 1-2。

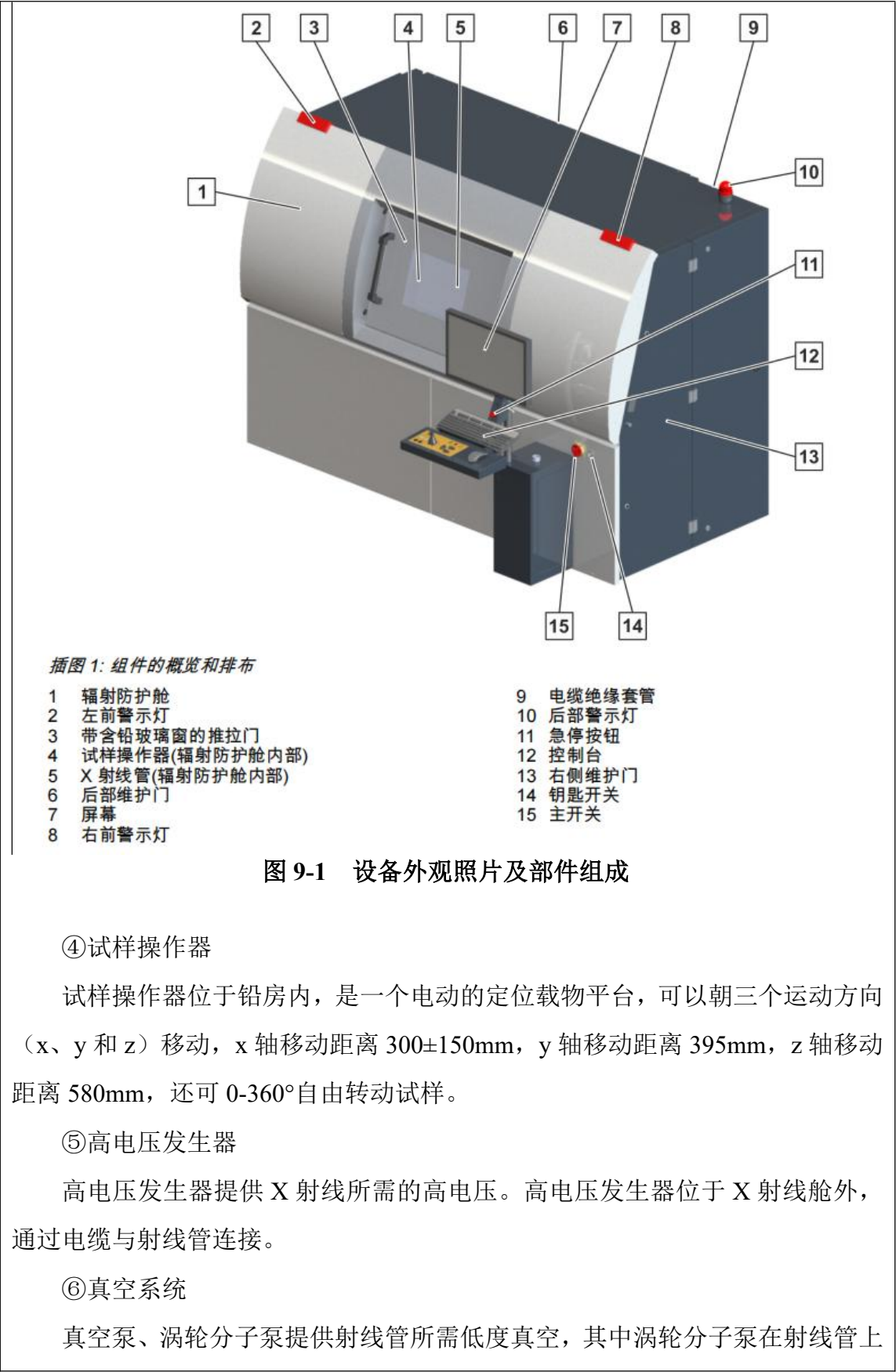
②X 射线管

CT 辐射防护舱左侧安装有 1 个 240kV 微米焦点射线管，最大电压 240kV，最大管电流 3mA；1 个 180kV 纳米焦点射线管最大电压 180kV，最大管电流 0.88mA。通过操作面板上的射线管选择开关[Tube Selection]切换所需的 X 射线管，设备通过机械轴旋转所选射线管至固定焦点位置完成射线管切换，完成切换后选择开关将发光显示当前激活的射线管。此时，X 射线管与探测器位置固定（800mm 间距），射线管与设备各侧屏蔽体距离固定，具体见附图 5。

③探测器

探测器位于辐射防护舱中，X 射线管对面，X 射线管与探测器间距离固定为 800mm。X 射线穿过试样并射到探测器上，图像信息将被实时发送给图像分析软件。

续表 9 项目工程分析与源项



续表 9 项目工程分析与源项

抽取射线管内空气，真空泵位于铅房外，电器柜内。

⑦操作台

操作台位于 X 射线检测系统正面，屏幕的下方，包括键盘、鼠标、带操作元件和状态指示器的操作面板。

⑧冷却装置

此工业 CT 配有一个液体冷却装置位于铅房外，该装置用于冷却探测器和 X 射线管冷却，为水冷系统，采用外购纯水作为介质，定期更换。

(2) 工作方式

项目为工业 X 射线固定式探伤，铅房与操作台分开设置，工业 CT 的工作方式为将试样从正面推拉小门放入辐射防护舱内载物平台，根据实验检测需要，选择射线管，通过旋转载物台和前后左右移动载物台，X 射线管和探测器固定安装，通过调整试样操作器对实验样品进行定向扫描（朝左侧），整个过程实验人员不需要进入铅房进行样品摆放，每次曝光有且只有 1 个射线管出束。

(3) 工作负荷

根据建设单位提供资料，本项目工业 CT 工作负荷见表 1-5，设备年出束时间为 180h。具体见表 1-5。

(4) 设备参数

本项目配置的工业 CT 主要技术参数见表 9-4。

表 9-4 本项目工业 CT 主要技术参数

设备名称	工业 CT	
设备厂家	英华检测（上海）有限公司	
设备型号	Phoenix V tome x S240	
射线管参数	240kV 微米焦点射线管	180kV 纳米焦点射线管
射线管类型	开放反射式	开放透射式
管电压	0-240kV	0-180kV
管电流	0-3mA	0-0.88mA
最高功率	320W	60W

9.2.2 工作原理及工艺流程

续表 9 项目工程分析与源项

(1) 工作原理

①X 射线产生原理

本项目工业 CT 的 2 个 X 射线管为开管 X 射线源，由阴极和阳极组成，阴极和阳极之间的空间是开放的，使用时需要抽真空，管内的阴极和阳极是可以更换的。X 射线管示意图如图 9-3 所示。

X 射线管的阴极和阳极之间的空间是开放的，使用时需要抽真空。X 射线管阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，灯丝上产生大量活跃电子，聚焦杯使这些电子聚集成束，向嵌在阳极中的金属靶体射击，灯丝电流愈大，产生的电子数量越多。在阴阳两极高压作用下，电子流向阳极高速运动撞击金属靶，撞击过程中，电子突然减速，其损失的动能会以光子（X 射线）形式释放，形成 X 光光谱的连续部分，称之为轫致辐射，产生的 X 射线最大能量等于电子的动能。从 X 射线管阴极上产生射向金属靶上的电子形成的电流叫做管电流，加在 X 射线管两极上的高压即为管电压。X 射线管产生的 X 射线强度正比于靶物质的原子序数、电子流强度和管电压的平方。所以 X 射线管的管电压、管电流和阳极靶物质是影响 X 射线强度的直接因素。

本项目工业 CT 的 180kV 纳米焦点射线管为透射式，透射式靶是一层薄膜，其靶面与入射电子束垂直。这种设计可以获得更小的焦点尺寸和更大的辐射角度。透射式靶适用于需要高分辨率成像的场景，具体见图 9-3。

240kV 微米焦点射线管为反射式，反射式靶的特点在于其靶面与入射电子束形成一定倾斜角度。这种设计具有较大的散热体积，因此可以承受较高电压的加速电子。反射式靶的优势在于能够获得更高的电子能量，从而产生更强的 X 射线辐射，具体见图 9-4。

续表 9 项目工程分析与源项

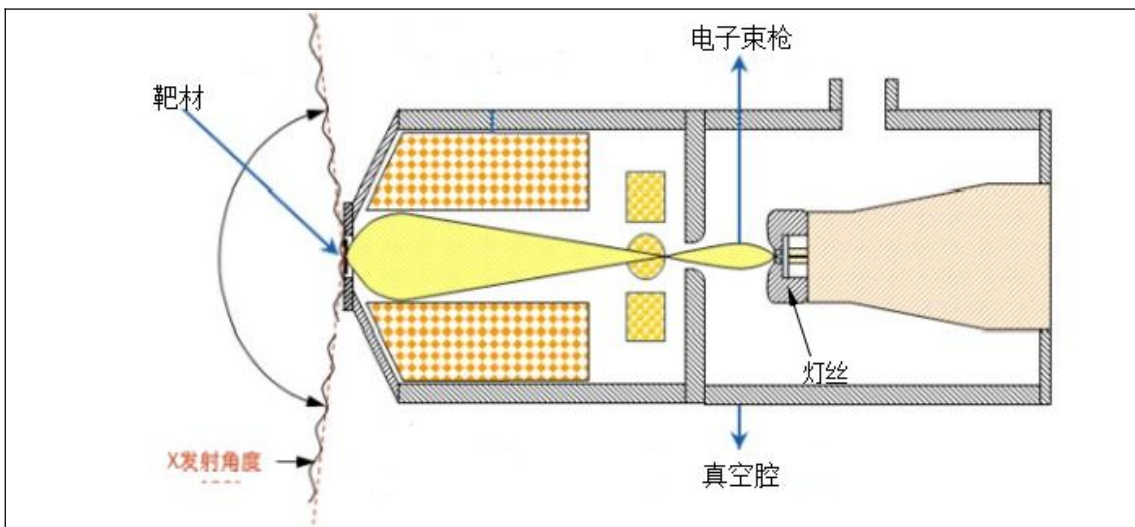


图 9-3 X 射线管原理示意图（透射式靶，角度可调）

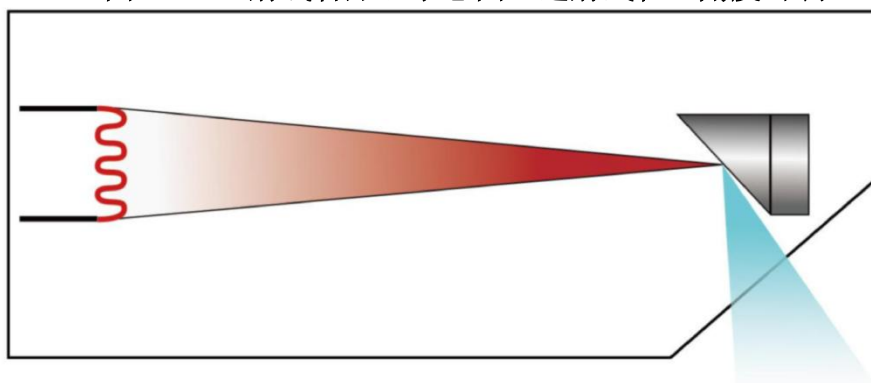


图 9-4 X 射线管原理示意图（反射式靶，角度可调）

②工业 CT 数字成像原理

X 射线通过物质时，其强度逐渐减弱，X 线束朝探测器方向出束，根据样品的摆放位置、厚度等，调节电流电压等来对样品进行 X 射线检测。当 X 线射向样品时，射线穿过样品被探测器接收，产生信号。因为物体各种组件的疏密程度不同，X 线的穿透能力不同，所以探测器接收到的射线就有了差异。将所接收的这种有差异的射线信号，转变为数字信息后由计算机进行处理，输出到显示的荧光屏上显示出图像。就可以判断出缺陷图像，从而达到 X 射线无损检测的目的。

显微计算机断层成像（Micro Computed Tomography, MicroCT），又称微型 CT、显微 CT，微焦点 CT，是利用 X 线成像原理，对样品进行高分辨率非破坏性 3D 成像的实验设备，可以在不破坏样本的情况下对各种离体样品、活体小动物等进行高分辨率二维和三维分析及内部显微结构观察，具有分辨率高（100~0.5 μm ）、成像范围小（直径 12cm 以内）、拓展性强（二维和三维分析及内部显微结构观察、

续表 9 项目工程分析与源项

力学结果输出)、应用范围广等特点。其成像原理、基本结构和操作流程均与临床使用的 CT 非常相似,但是分辨率远远高于临床 CT (小于 $10\mu\text{m}$),并且得到的是真正的容积图像(各向同性)。螺旋 CT 技术使试样在 X 射线束中不断向上移动,这使您可以更快能够执行 CT 扫描,更快地扫描更长的零件,而无需随后将多个部分扫描结果缝合在一起。另一方面,由于消除了水平表面和缝合区域中的伪影,因此该采集技术可产生明显更好的结果。

(2) 工艺流程

本项目工业主要工艺流程及产污环节见图 9-5。

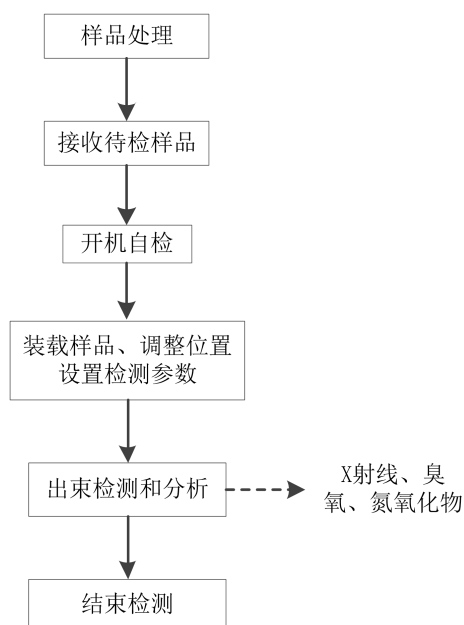


图 9-5 项目工艺流程及产排污简图

①样品处理

利用 102 室可冲击波煤岩致裂渗透实验系统对样品在水中产生脉冲发电,形成高强度的冲击波,破坏样品内部结构,在宏观上形成裂隙网络,提高煤岩体的渗透性,模拟样品在煤层气的抽采条件。

②接收待检样品

本项目实验室科研人员(辐射工作人员)接收待检样品并登记信息;

③开机自检

工作人员依次打开电源开关和钥匙开关,开启操作系统,抽真空和预热 X 射

续表 9 项目工程分析与源项

线管（不出束）。

④装载样品：打开正面推拉门，工作人员位于推拉门处将样品放置在载物台上，关闭装载门（推拉门）。

⑤调节样品位置

工作人员关闭推拉铅防护门，通过控制系统设置载物台位置，调节管电压、管电流、功率、出束时间等参数。

⑥出束检测和分析

通过操作台的控制按钮选择射线管，开启 X 射线，装置将进入自动采集扫描状态，期间 X 射线持续出束，样品自动完成检测，无需人员干预。

⑦结束检测

X 射线自动停止出束，操作人员在图像分析系统中完成数据处理和分析，关闭射线装置电源。

9.3 路径规划

本项目路径规划分为人流路径和物流路径，具体如下。

（1）人流路径

本项目辐射工作人员进入 102 室，辐射工作人员在操作台前操作设备，设备检查无误，开启射线后自动检测，结束后打开推拉门，取出试样。

（2）样品路径

待检样品在 102 室收样台登记后，辐射工作人员将样品放入工业 CT 载物平台上，检测完毕后取出。

项目人流、物流图见图 9-6。

续表 9 项目工程分析与源项

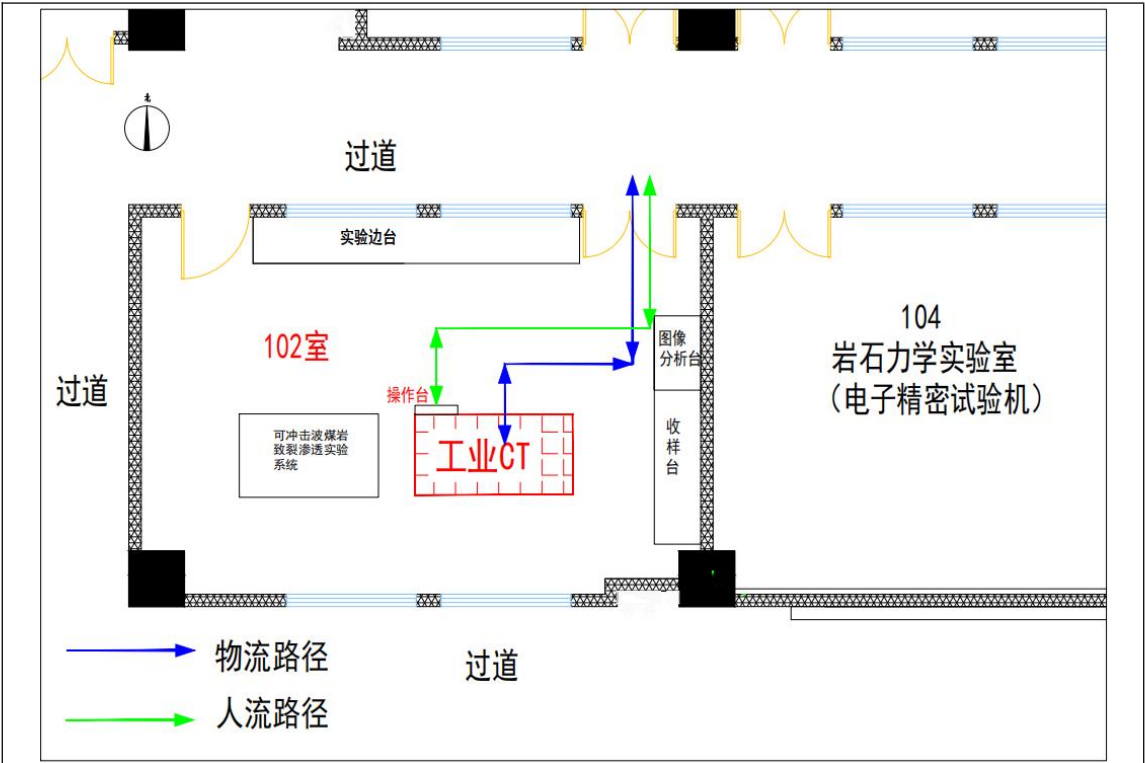


图 9-6 本项目人流物流路径图

9.4 污染源项分析

根据工艺流程可知，本项目产生的污染物主要有工业 CT 曝光时的电离辐射影响、废气（臭氧、氮氧化物）等。

9.4.1 电离辐射

由工业 CT 工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失，本项目使用的工业 CT 只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出 X 射线。因此，在开机曝光期间，X 射线成为污染环境的主要污染因子。

根据项目工业 CT 工作流程，工业 CT 与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为 X 射线管出束照射期间，它产生的 X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：直接由 X 射线管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射待检样品，产生无损检测的有用 X 射线。工业 CT 射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数、加在 X 射线管的

续表 9 项目工程分析与源项

管电压、管电流越高，光子束流越强。根据厂家提供设备参数，本项目工业 CT 采用铍过滤板，240kV 的 X 射线管 0.5m 处的输出量为 3.18mGy/s，180kV 的 X 射线管 0.5m 处的输出量为 0.49mGy/s。

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 1，管电压在大于 200kV，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应小于 5mSv/h。管电压在 180kV，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应小于 2.5mSv/h。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测样品、设备箱体等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与工业 CT 的 X 射线能量、输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。90°散射线能量最高，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2，240kV 的 X 射线 90°散射辐射相应的 kV 值为 200kV，180kV 的 X 射线 90°散射辐射相应的 kV 值为 150kV。

9.4.2“三废”产排情况

本项目工业 CT 采用数字成像，结果实时存档，不需洗片，无损检测过程中主要产生 X 射线，不产生放射性“三废”。

（1）废气

工业 CT 进行 X 射线无损检测作业时，X 射线使空气电离产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），少量废气经 102 室机械排风排至室外。根据建设单位提供的竣工资料，该房间风机排风量 4500m³/h，通风换气次数 13 次/h，排风管经西侧风井引至 5#楼楼顶排放。

（2）废水

本项目无实验废水产生，不新增劳动定员，故无新增生活污水。科研人员生活污水经处理达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，最后进入土主污水处理厂进行处理，处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要污染物排放标准》（DB50/963-2020）和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入梁滩河。

（3）固体废物

续表 9 项目工程分析与源项

本项目不新增工作人员，不新增生活垃圾产生量，工作人员产生的生活垃圾依托原有生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。

工业 CT 报废后，对设备去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

9.4.3 项目产排污统计

项目产生的污染因子源强分析总体情况见表 9-6 所示。

表 9-6 项目污染物产排情况统计表

污染物	污染因子	产生量	处理处置方式
电离辐射	X 射线	240kV 微米焦点射线管距靶点 0.5m 处 X 射线输出剂量率为 3.18mGy/s，主射线能量为 240kV，90°散射线能量 200kV，设备距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 5mSv/h。 180kV 的微米焦点射线管距靶点 0.5m 处的输出量为 0.49mGy/s，主射线能量为 180kV，90°散射线能量 150kV，设备距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 2.5mSv/h。	设备自屏蔽
废气	O ₃ 、NO _x	少量	依托 102 室机械排风，经科学中心实验大楼排风系统引至 5#楼楼顶排放
废水	生活污水	不新增	依托科学中心实验大楼生活污水处理系统
一般固废	生活垃圾	不新增	交环卫部门处理
	工业 CT	1 套（2 个射线管）	设备去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局与分区

10.1.1 工作场所布局

项目为固定式 X 射线探伤，拟在 5#楼一层 102 室布置 1 台工业 CT，其操作台位于面向铅房右前侧，与铅房分开布置，主射束朝向左侧，操作台及收样台均避开了有用线束照射的方向。工业 CT 所在房间面积较大，还布置有 1 台可冲击波煤岩致裂渗透实验系统（非 X 射线检测）用于本项目样品进行冲击波渗透模拟，再使用本项目工业 CT 进行固定式 X 射线无损检测，以完成对试样样品三维数字化建模，工艺流程连续、完整。工业 CT 所在 102 室布局根据其实验功能设置，内部仅实验人员，项目人流、物流路径清晰。电器柜设置在铅房右侧，并与铅房相连，冷却装置、高压发生器设置在整体设备外部。根据维修位置，在后侧设置 1 个维修铅门对机械系统进行维修，在右侧电器柜设置 1 个维护门（普通钢质门）对电气系统维修，在右侧设置 1 个小维修铅门对射线管进行维修。本项目铅房尺寸小，试验样品较小，辐射工作人员摆放试样后可在操作台进行无损检测，不进入铅房内部。

综上，项目用房及工业 CT 设备考虑了操作、维修方便，且主射束避开了操作台等，人流、物流路线简单，从辐射防护角度，本项目平面布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，布局合理。

10.1.2 分区原则

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。控制区：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，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。监督区：这种区域未被确定为控制区，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。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.2 款规定，应对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。

续表 10 辐射安全与防护

10.1.3 区域划分情况

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，建设单位对本项目工业 CT 工作场所实行分区管理。将工业 CT 整体设备内部区域划为控制区，将设备外部相邻区域划为监督区。项目具体区域划设情况如下表 10-1，分区布局示意图见图 10-1。

表 10-1 项目区域划设情况表

控制区	监督区
工业 CT 整体设备	工业 CT 所在 102 室除设备外其他区域（包括铅房顶部）

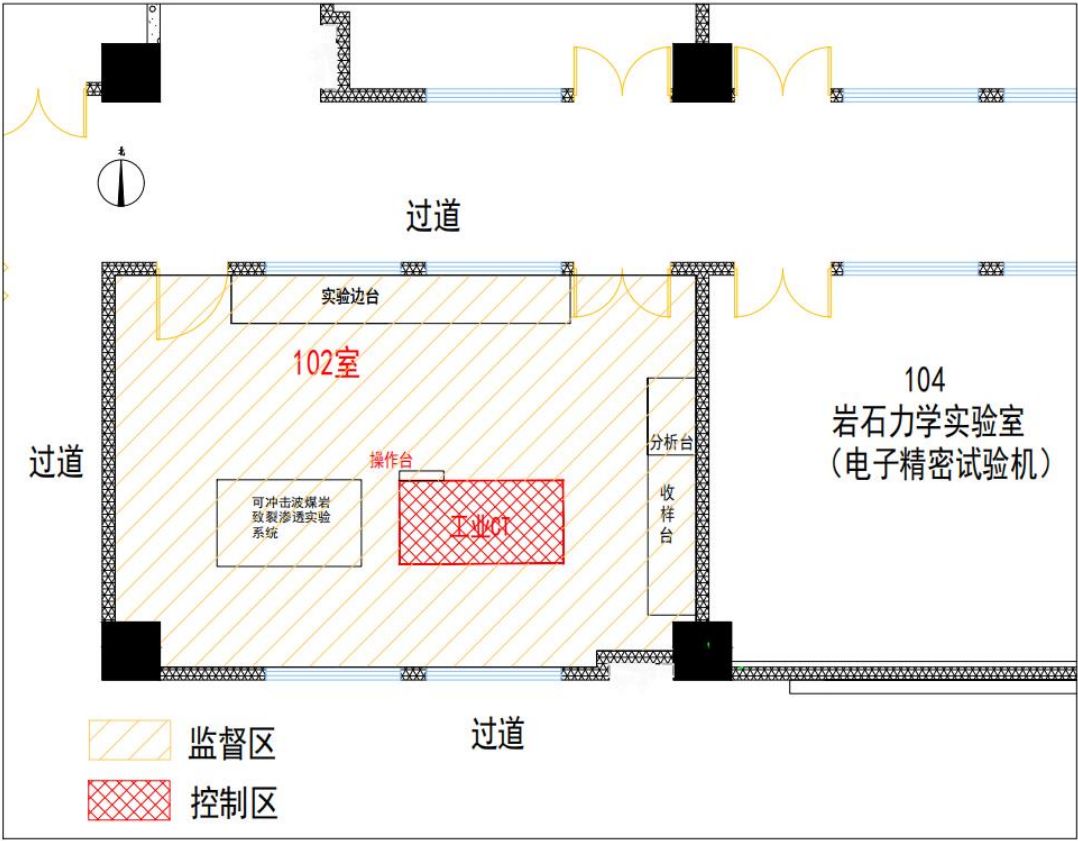


图 10-1 本项目工业 CT 辐射工作场所区域划分示意图

建设单位采取的分区分管理措施如下：

①控制区：对控制区进行严格管控，设置醒目的声光报警、工作状态指示灯及电离辐射警告标志，以及门机联锁等防止误照射的控制措施，工业 CT 在运行中严禁任何人进入铅房，在此区进行设备维修等工作人员应当严格遵守防护规定和安全操作规程。

续表 10 辐射安全与防护

②监督区：监督区一般不设置专门管控设施，本项目工业 CT 所在的 102 室为资安学院煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室科研用房，未经允许无关人员不得入内，在监督区入口处等适当位置拟设置监督区标识，按要求定期对设备四周、顶部、操作台及穿墙管线等处开展辐射水平监测工作。

10.2 项目拟采取的辐射安全与防护措施

本项目工业 CT 主要污染因子为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。

10.2.1 设备固有安全性

本项目拟配置满足标准要求的具有相应安全性能的出厂合格的工业 CT 设备，该设备固有安全性包括以下几个部分：

（1）开机时系统自检：开机后控制器首先进行系统诊断测试，若诊断测试正常，该设备会示意操作者可以进行曝光或训机操作；若诊断出故障，在显示器上显示出故障代码，提醒用户关闭电源，与厂家联系并维修。

（2）当 X 射线管接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线管的各参数，当发生异常情况时，控制器自动切断 X 射线管的高压。在曝光阶段出现任何故障，控制器都将立即切断 X 射线管的高压，提醒辐射工作人员发生故障。

（3）设备在预设曝光时间出束结束后，系统将自动切断高压，进入待出束状态。

（4）设备停止工作规定时间（一般不超过 48h）再使用时要进行预热训机后方可使用，避免 X 射线管损坏。

（5）温度保护：工业 CT 设置温度保护装置，当发生器内温度达到 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时，设备会自动切断高压。

（6）过流电流保护：设备带有过电流断路器，当管电流超过额定值时或高压对地放电时，设备会自动切断高压；设备带有失电流保护继电器，当管电流低于 0.5mA 时，设备会自动切断高压。

（7）过电压保护：设备带有过电压保护继电器，当高压超过额定值时，自动切断高压。

续表 10 辐射安全与防护

(8) 继电保护：冷却循环水流量继电器、温度继电器及铅房门开关的触点均为串联，在正常时均接通；若有一个没接通，不能达到高压。

10.2.2 屏蔽防护措施

(1) 铅房屏蔽

本项目工业 CT 自带屏蔽铅房，主要采用铅+钢的屏蔽体结构对 X 射线进行屏蔽防护，防护厚度充分考虑了 X 射线主射、散射、漏射影响。工业 CT 铅房为 10~14mmPb 铅板+8~18mm 钢板。根据后文预测，工业 CT 设备的屏蔽能力满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）标准限值要求。

(2) 工业 CT 由有资质单位生产，铅房主体结构焊接密闭，缝隙处采用屏蔽体相互错位重叠方式搭接，根据厂家提供的搭接大样图可知，在设计中已考虑防护门与屏蔽铅房的搭接宽度大于搭接间隙的 10 倍，防护门搭接大样图见图 10-2。

(3) 本项目工业 CT 右侧下方拟设置 1 处电缆孔穿越铅房右侧屏蔽体，根据厂家提供的设计资料，电缆孔洞尺寸为 150mm×150mm，穿越铅房孔洞补偿方式是在铅房外侧设置大于孔洞尺寸的铅防护罩（防护罩与该侧铅房屏蔽能力相同），且穿墙管线口避开了主射束方向，穿屏蔽体孔洞屏蔽补偿详见图 10-3。

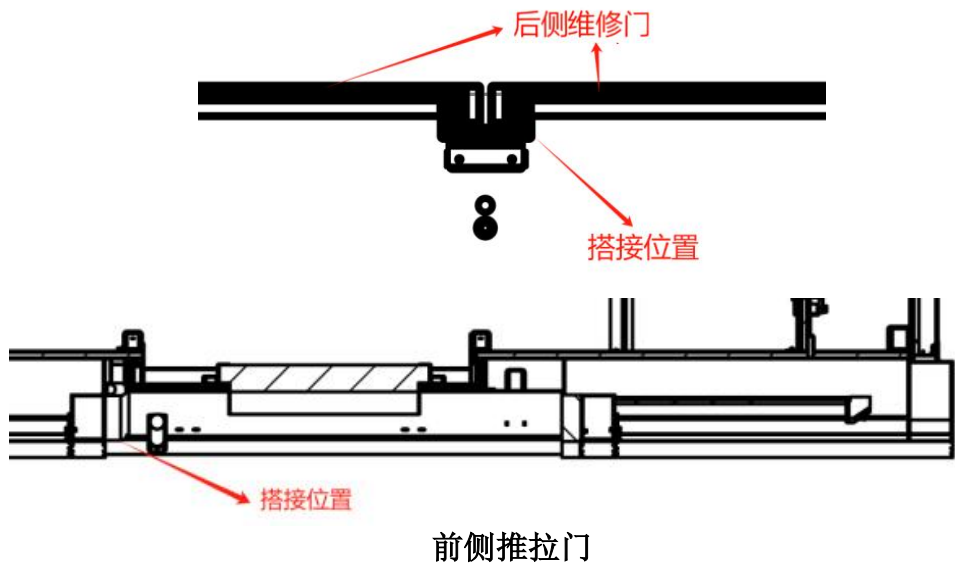


图 10-2 防护门搭接大样图

续表 10 辐射安全与防护

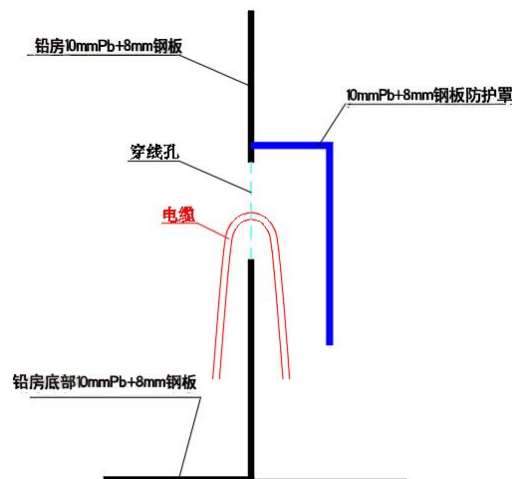


图 10-3 线缆口屏蔽补偿大样图

10.2.3 辐射安全与防护措施

(1) 门机联锁

本项目工业 CT 前侧防护门、后侧检修门、右侧检修门与 X 射线管头联锁，保证在门关闭后工业 CT 才能出束曝光，防护门打开，X 射线管不能出束。

(2) 工作状态指示灯及声光报警灯

在铅房顶部左侧、右侧各设置 1 个工作状态指示灯，红色灯闪烁为“照射”状态，黄色灯常亮为“预备”状态。另外在设备右后侧设置 1 个声光报警灯，出束“照射”状态时为红色声光报警灯闪烁并伴有蜂鸣声。因铅房内部尺寸、检测样品、样品进出防护门尺寸均较小，在铅房前侧设置 1 个小推拉防护门，并在门上设有铅玻璃观察窗，可观察到样品在载物台上情况。

操作台上设置有工作状态指示灯，绿色灯亮为“预备”信号，红色灯亮为“照射”信号，黄色灯亮为“关闭”信号。

拟在上述工作状态指示灯旁适当位置张贴“预备”和“照射”信号意义等的中文说明。拟在声光报警灯旁适当位置张贴中文警示说明。

(3) 紧急停机按钮、钥匙开关、电源主开关

本项目工业 CT 尺寸小，拟在操作台显示器下方设置 1 个急停按钮，在铅房内部右侧设置 1 个急停按钮。另外在铅房右前侧设置电源主开关和钥匙开关。紧急停机按钮、钥匙开关、电源主开关照片见图 10-4。

续表 10 辐射安全与防护

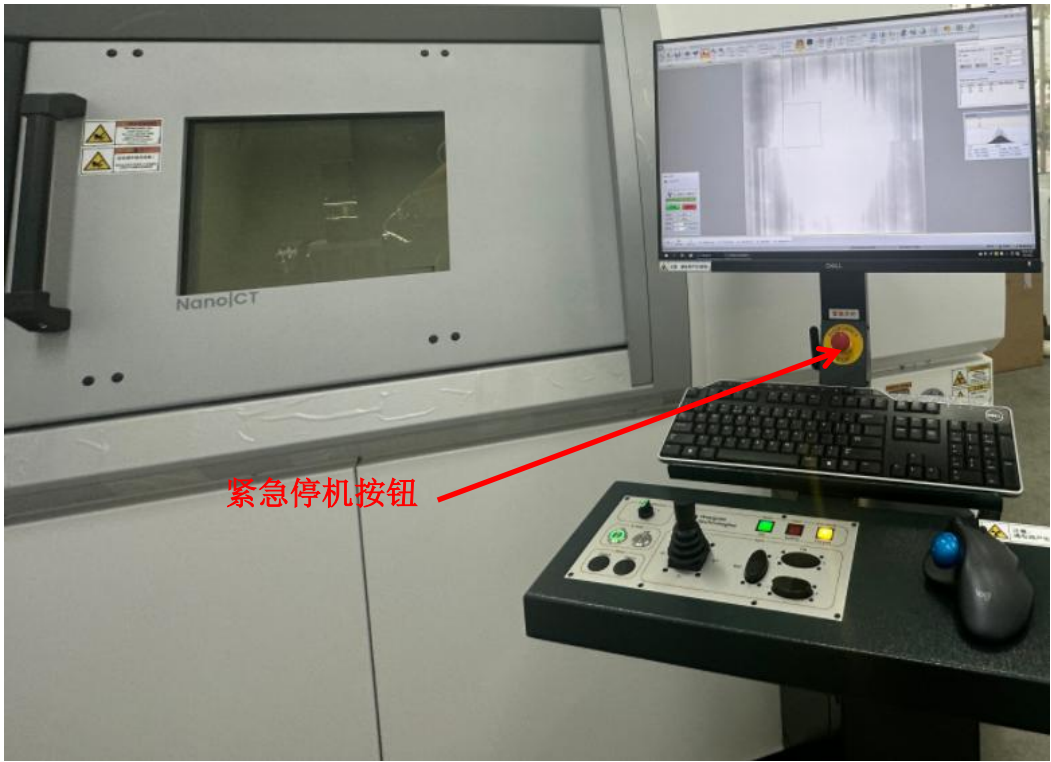
操作台拟设置钥匙开关,只有在打开操作台钥匙开关后,X射线管才能出束;钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。钥匙由辐射工作人员随身携带保管,换班、检修时检查钥匙交接情况,防止非辐射工作人员误操作。



电源主开关



钥匙开关



紧急停机按钮

图 10-4 紧急停机按钮、钥匙开关、电源主开关照片

建设单位拟制定严格的工业 CT 检测操作规程,放样过程辐射工作人员伸手将样品放在载物台上。设备维修维护拟委托设备厂商负责,确实需要在铅房内部维修时,厂家经过专业培训的维修人员在设备断电情况下佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪打开右侧检修防护铅门伸手操作或从后侧维修铅门进入铅房内。

续表 10 辐射安全与防护

另外，建设单位拟在设备维修保养制度中补充设备维修时确保 2 人在场，保证一人在检修防护门旁维修，一人可在操作台了解铅房内剂量率情况。

(4) 电离辐射警告标志

本项目工业 CT 四周拟张贴电离辐射警告标志和中文警示说明。

(5) 固定式场所辐射探测报警装置

建设单位拟配置 1 套固定式场所辐射探测装置，辐射探测探头拟设置在铅房内，显示单元拟设置在操作台。

(6) 机械通风

本项目工业 CT 内部空间小，使用频率低，拟采用自然进风、排风，设备所在的 102 室设置有机机械排风系统，3 个排风口位于顶部东北角，通风换气次数为 13 次/h，可利用 102 室机械排风系统将工业 CT 产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）引至 5#楼楼顶排放，排放口朝向南侧道路。

综上，本项目工业 CT 系统安全与防护设施布置见表 10-5。

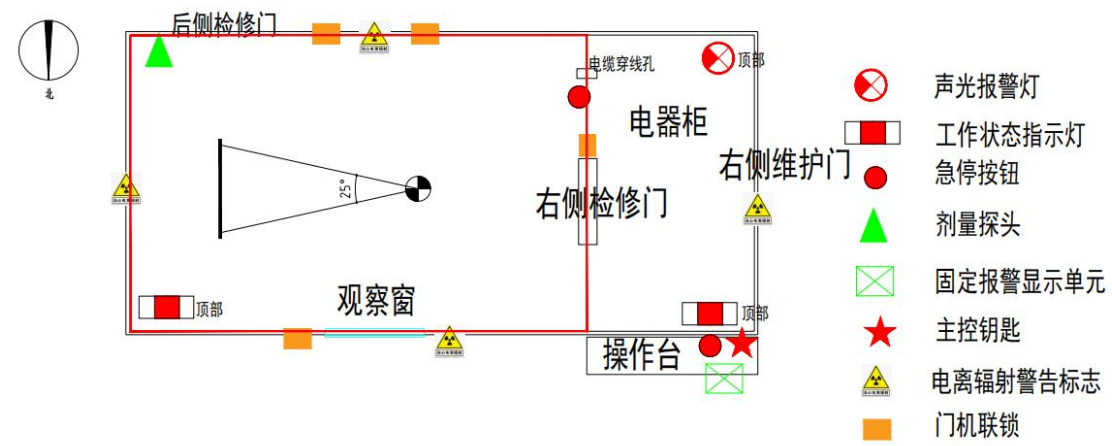


图 10-5 工业 CT 辐射安全与防护设施布置示意图

表 10 辐射安全与防护

10.2.4 辐射安全联锁逻辑

本项目工业 CT 系统具有冗余性、多元性与独立性的辐射防护安全联锁设施与措施，主控钥匙转到开机位置，防护门关闭到位、急停按钮均复位，安全联锁系统才能建立，安全联锁系统建立后在设备自检正常的前提下，辐射工作人员通过观察窗确认铅房内无异常进行出束曝光。启动工业 CT 曝光后进入“预备”状态，“预备”信号结束后工业 CT 进入“照射”状态，此时“照射”状态指示灯亮，铅房外的红色报警灯闪烁报警并有蜂鸣声音，固定式辐射探测装置在操作台显示铅房内剂量率；工业 CT “照射”过程中，急停按钮按下或防护门意外打开均会导致安全联锁系统中断，此时 X 射线管高压会立即断开（即立即停止 X 射线出束）。工业 CT 辐射安全联锁逻辑见图 10-6。

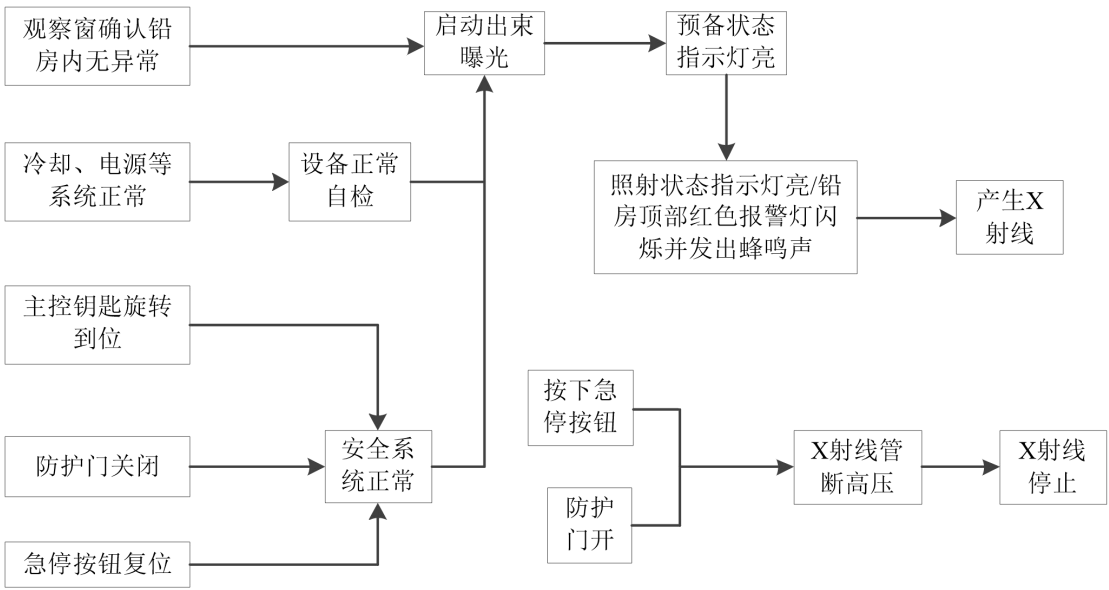


图 10-6 辐射安全联锁逻辑示意图

10.3 监测仪器

建设单位拟为每名辐射工作人员配备了个人剂量计，本项目拟配置检测仪器具体见表 10-2。

表 10 辐射安全与防护

表 10-2 本项目拟配置监测仪器一览表				
序号	名称	数量	用途	备注
1	个人剂量计	1 枚	工作期间辐射工作人员佩戴，记录个人受到的照射剂量。	拟购
2	个人剂量报警仪	1 枚	辐射工作人员佩戴，实时监测辐射剂量是否超标。	拟购
3	固定式辐射探测报警仪	1 套	实时监测工业 CT 铅房内的辐射剂量率并报警。	拟配置
4	便携式 X-γ辐射剂量巡测仪	1 台	设备屏蔽体外定期进行周围剂量当量率监测，核查屏蔽体的屏蔽效果。	拟购

10.4 项目措施与相关要求的符合性分析

根据上文介绍，本项目工业 CT 为小型自屏蔽式工业 CT，参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的进行对比分析，具体见表 10-3。

根据表 10-3 可知，根据本项目实际情况，拟采取的辐射安全与防护措施满足 GBZ117-2022、GBZ/T250-2014 等要求。

10.5 三废的治理

本项目工业 CT 在工作过程中不产生放射性三废。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-3 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准名称	标准要求		项目情况
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	4 使用单位放射防护要求	4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。	建设单位对放射防护安全负主体责任。
		4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。	建设单位已建立辐射安全与环境保护管理工作小组，已明确放射防护管理人员及其职责并建立放射防护管理制度和措施。
		4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。	本项目 1 名辐射工作人员已按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，已按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。
		4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。	本项目 1 名辐射工作人员属于实验室科研人员。
		4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	建设单位拟配备 1 台便携式 X- γ 辐射剂量率仪用于煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室使用，拟为本项目配置 1 台个人剂量报警仪。
		4.6 应制定辐射事故应急预案。	建设单位已制定辐射安全应急预案，根据本项目情况进一步完善。
	5 探伤机的放射防护要求	5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。	建设单位拟购买符合标准要求的工业 CT。
		5.1.2 工作前检查项目应包括：a) 探伤机外观是否完好；b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；c) 液体制冷设备是否有渗漏；d) 安全联锁是否正常工作；e) 报警设备和警示灯是否正常运行；f) 螺栓等连接件是否连接良好；g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。	建设单位拟制定工业 CT 操作规程，要求辐射工作人员开展工作前按要求检查相关项目。
		5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设	建设单位拟制定设备维修保养制度，设备维修必须由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行，并按制度规定开展设备维

续表 10 辐射安全与防护

		备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；b) 设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；c) 当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；d) 应做好设备维护记录。	护工作并做好维护记录。
6 固定式探伤的 放射防护要求	6.1 探伤室放射防护要求		
	6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。		本项目工业 CT 的安装位置已充分考虑了周围的辐射安全，操作台设置在铅房外，且避开了有用线束照射方向。铅房屏蔽厚度已充分考虑了源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素，工业 CT 防护门的防护性能不低于同侧铅房的防护性能。
	6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。		本项目拟将工业 CT 整体设备内部划为控制区，将整体设备外（包括铅房顶部）102 室内区域划为监督区，分区管理符合 GB 18871 的要求。
	6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ Sv/周；b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 μ Sv/h。		根据后文核算，工业 CT 铅房和防护门的辐射屏蔽满足标准要求。
	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 μ Sv/h。		根据后文核算，工业 CT 顶的辐射屏蔽满足标准要求，本评价工业 CT 顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平保守取 2.5 μ Sv/h。
	6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。		本项目工业 CT 设置门-机联锁装置，在防护门关闭后才能进行探伤作业。在 X 射线检测过程中，防护门被意外打开时，能立

续表 10 辐射安全与防护

		<p>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。</p>	<p>刻停止出束，铅房内 X 射线管头与防护门联锁。铅房内部设置 2 个 X 射线管，单次曝光仅 1 个射线管出束。</p>
		<p>6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。</p>	<p>本项目工业 CT 铅房内空间较小，正常运行情况下无人员滞留在铅房内的空间。设备维修维护拟委托设备厂商负责，在维修情况下确需人员进入铅房内，打开后侧维修防护门，要求断高压对运动系统维修；打开右侧维修防护门对射线管维修，要求断高压，人员只能伸手操作，无进入铅房的空间。设备维修时在维修防护门口及操作台旁各安排一名检修人员。</p> <p>拟在铅房顶部左侧、右侧各设置 1 个工作状态指示灯，红色灯闪烁为“照射”状态，黄色灯常亮为“预备”状态。另外在铅房右后侧设置 1 个声光报警灯，出束“照射”状态时为红色灯闪烁并伴有蜂鸣声。工作状态指示灯和红色声光报警灯均与工业 CT 的 X 射线管头联锁。</p> <p>另外，拟配置 1 套固定式场所辐射探测装置，辐射探测探头拟设置在工业 CT 铅房内，显示单元拟设置在操作台，以掌握铅房内剂量率情况。</p>
		<p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>	<p>因本项目工业 CT 铅房内部尺寸、检测样品、样品进出防护门尺寸均较小，在铅房前侧设置 1 个小推拉防护门，并在门上设有铅玻璃观察窗，可观察到样品在载物台上情况。同时在 102 室内部拟设置 1 个摄像头，可监视工业 CT 周围人员活动和设备运行情况。</p>
		<p>6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>	<p>本项目工业 CT 四周拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>
		<p>6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。</p>	<p>本项目工业 CT 正常运行情况下，操作人员无需进入铅房，维修时可能打开后侧维修防护门，断射线管高压，人员有进入铅房内可能性，拟在铅房右侧设置 1 个急停按钮，在操作台显示器下方设置 1 个急停按钮，急停按钮旁拟设置标签标明使用方法。</p>

续表 10 辐射安全与防护

			设备维修时在维修防护门口及操作台旁各安排一名检修人员。
		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 内部空间小，使用频率低，拟采用自然进风、排风，设备所在的 102 室设置有机机械排风系统，在房间顶部东北角设置有 3 个排风口，102 室通风换气次数为 13 次/h，本项目工业 CT 产生少量臭氧（O ₃ ）和氮氧化物（NO _x ）可利用 102 室机械排风系统引至 5#楼楼顶排风。
		6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目工业 CT 拟配置 1 套固定式场所辐射探测报警装置。
		6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求 6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。	建设单位拟制定操作规程，辐射工作人员检查工业 CT 防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。
		6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。	本项目工业 CT 铅房内空间较小，正常运行情况，操作人员无需进入铅房内。本项目工业 CT 拟配置 1 套固定式场所辐射探测报警装置，设备维修由经过专业培训的维修人员在设备断电情况下佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪打开检修防护铅门操作，拟制定设备维修保养制度要求维修人员在设备维修时确保 2 人在场，保证一人在检修防护门旁维修，一人可在操作台了解铅房内剂量率情况。
		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。	建设单位已制定监测方案，定期测量铅房外周围区域的剂量率水平，包括操作台和周围毗邻区域人员居留处。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，立即终止 X 射线检测工作并向辐射防护管理人员报告。
		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。	建设单位已制定监测计划，规定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，则不得开始探伤工作。
		6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。	本项目工业 CT 的准直器等辐射防护装置与设备一体化设置，辐射工作人员不能随意拆除。

续表 10 辐射安全与防护

		6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内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。	建设单位拟制定操作规程，规定在每一次照射前，辐射工作人员都需确认铅房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 X 射线检测工作。
		6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。	本项目检测样品均为小型试验样品，工业 CT 防护门和铅房空间尺寸均能满足样品进出，不存在开门探伤情形。
		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。	本项目不再使用后，工业 CT 去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。建设单位还应按照监管部门要求办理后续手续。清除工作场所内电离辐射警告标志和安全告知等各类说明。
《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》 (GBZ/T25 0-2014)	3 探伤室屏蔽要求	3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的零星小型工件探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。	建设单位利用工业 CT 检测工件为小型样品，正常运行期间人员不进入铅房内。设置有专门的检修门，正常运行不得开启。
		3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用射线束照射方向。	本项目工业 CT 操作台设置在铅房旁，避开了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。	本项目工业 CT 防护门拟采用错位重叠搭接方式，穿墙孔洞均采取屏蔽补偿措施。
		3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相应管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。	本项目工业 CT 为双管头设备，两个管头不同时出束，已按最高管电压和管电流设计屏蔽。
		3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。	本项目工业 CT 屏蔽材料为铅和钢板。
《职业性外照射个	5.3 佩戴	5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前	本项目辐射工作人员主要辐射来自铅房内 X 射线，拟为辐射工作人员配备了个人剂量计，要求辐射工作人员佩戴在胸口位置。

续表 10 辐射安全与防护

人监测规范》 (GBZ128-2019)		或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。	
	7.3 实施监测过程的质量保证	7.3.2 个人剂量计在非工作期间避免受到任何人工辐射的照射。	个人剂量计在非工作期间保管于远离工业 CT 设备区域。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

项目施工内容主要为设备的安装,施工过程中主要产生包装垃圾以及少量生活污水、生活垃圾。施工人员产生的少量生活污水依托重庆大学虎溪科学中心实验大楼现有污水处理设施处理,一般固废统一交由环卫部门处理。因项目施工期短、工程量小,施工范围小,且随着施工期的结束而结束,固废能得到妥善处置,因此施工对环境产生的影响较小。

运行阶段对环境的影响

11.1 屏蔽能力理论核算

11.1.1 辐射屏蔽核算公式

本次评价选用理论计算的方法,对工业 CT 屏蔽体的屏蔽能力进行校核分析,核算公式使用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)中公式。

(1) 屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 相应的关系

a) 对于给定的屏蔽物质厚度 X, 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式 (11-1) 计算:

$$B = 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots (11-1)$$

式中:

X——屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

TVL——见附录表 B.2。

(2) 有用线束

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时, 相应的屏蔽透射因子 B 按式 (11-1) 计算, 有用线束在关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 (11-2) 计算:

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (11-2)$$

式中:

I——最高管电压下的常用最大管电流, 单位为毫安 (mA);

H_0 ——距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$, 以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ;

B——屏蔽透射因子;

续表 11 环境影响分析

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（3）泄漏辐射屏蔽

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式（11-1）计算，关注点的泄漏辐射剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式（11-3）计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）见表 1。

（4）散射辐射屏蔽

c) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式（11-1）计算，关注点的散射辐射剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_o^2} \dots\dots\dots (11-4)$$

式中：

I—最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ；本项目工业 CT 厂家已提供 0.5m 处剂量率。

B—屏蔽透射因子；

F— R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（ m^2 ）；

α —散射因子，入射辐射被单位面积（ 1m^2 ）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率之比。

R_0 —辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

续表 11 环境影响分析

11.1.2 屏蔽防护核算原则

(1) 本项目工业 CT 铅房底部与地面约 120mm，且工业 CT 正对下方无建筑，底部（下）参考点设置在地面。右侧屏蔽体之外设置有电器柜及普通钢质维护门，除维修外，正常出束情况下不会打开维护门接近铅屏蔽体，右侧参考点设置在普通钢质维护门外 30cm 处。

(2) 本项目工业 CT 的 X 射线管与探测器之间距离固定，X 射线管固定朝左侧屏蔽体照射，单次曝光有且仅有 1 个射线管运行，本次按照厂家提供的辐射角范围及 0.5m 处输出剂量率分别对 240kV 射线管和 180kV 射线管分别进行了核算，核算结果表明，180kV 射线管运行时屏蔽体外剂量率远小于 240kV 射线管运行时屏蔽体外剂量率（100 倍以上），因此本环评按照 240kV 射线管运行时对设备整体屏蔽体效能进行核算。

(3) 铅房线缆口避开了有用线束照射方向，且设置了不小于同侧屏蔽体的铅防护罩进行屏蔽补偿，防护门采用错缝搭接且搭接宽度大于缝隙的 10 倍，散漏射线均需要经过多次散射后方能穿出管线口或缝隙，因此本次不再对铅房线缆口和门缝进行屏蔽防护核算。

11.1.3 屏蔽防护核算参数

(1) 核算关注点位

屏蔽防护核算主要关注点见表 11-1 和图 11-1。

表 11-1 关注点核算距离一览表

设备	关注点位	方位	主要辐射类型	射线管与参考点距离（mm）	核算取值（m）
工业 CT	A	左（东）	有用线束	1200+300=1500	1.50
	B	右（西）	漏射辐射、散射辐射	1350+300=1650	1.65
	C	上	漏射辐射、散射辐射	802+300=1102	1.10
	D	下	漏射辐射、散射辐射	983+120=1103	1.10
	E、推拉小防护门、观察窗	前（北）	漏射辐射、散射辐射	569+300=869	0.87
	F	后（南）	漏射辐射、散射辐射	655+300=955	0.96

注：前侧推拉防护门、观察窗保守考虑同侧最近距离，核算距离取值保留两位小数。

续表 11 环境影响分析

图11-1 本项目工业CT屏蔽核算点位示意图（上述测量单位均为mm）略

②其他相关参数

本项目屏蔽体核算过程中的其他参数见表 11-2 所示。

表 11-2 屏蔽核算相关参数

参数	数 值			来源
\dot{H} （1m 处发射率， $\mu\text{Sv/h}$ ）	2.86E+06			根据设备厂家提供的 0.5m 处发射率计算
$\frac{R_0^2}{F \times d}$	50（200kV）			GBZ/T250-2014 附录 B.4.2
泄漏辐射剂量率 H_L （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	5000（240kV）			GBZ/T250-2014 表 1
X 射线 90°散射辐射对应的 kV 值	200kV			GBZ/T250-2014 表 2
什值层（TVL）	电压（kV）	铅 TVL（mm）	钢 TVL（mm）	按辐射防护导论表 3.5 内插计算
	200	1.4	15	GBZ/T250-2014 表 B.2（240kV 对应 TVL 采用内插法计算得到铅 TVL，《辐射防护导论》（方杰主编），P103 的图 3.23 查得 240kV 钢 TVL 为 18mm，200kV 钢 TVL 为 15mm
	240	2.6	18	
	250	2.9	/	

备注： $\frac{R_0^2}{F \times d}$ 根据设备情况核算结果为 136，远大于 50，保守选取 GBZ/T250-2014 附录 B.4.2 中 50（200kV）。

11.1.4 铅房屏蔽防护核算结果

本项目工业 CT 屏蔽防护效能核算结果见表 11-3。

续表 11 环境影响分析

表 11-3 工业 CT 屏蔽效能核算表

设备	关注点	方位	辐射类型	距离 (m)	屏蔽厚度 (mmPb)	设计厚度下关注点周围 剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		是否 满足 标准 要求
工业 CT	A	左(东)	有用线束	1.50	14mmPb+ 18mm 钢	0.52		是
	B	右(西)	散射辐射	1.65	10mmPb+ 8mm 钢	4.43E-04	0.09	是
			漏射辐射			0.09		
	C	上	散射辐射	1.10	10mmPb+ 8mm 钢	9.97E-04	0.21	是
			漏射辐射			0.21		
	D	下	散射辐射	1.10	10mmPb+ 8mm 钢	9.97E-04	0.21	是
			漏射辐射			0.21		
	E、推拉小防护门、观察窗	前(北)	散射辐射	0.87	10mmPb+ 8mm 钢 /10mmPb 铅门、铅 玻璃 10	5.44E-03	0.95	是
			漏射辐射			0.94		
	F	后(南)	散射辐射	0.96	10mmPb+ 8mm 钢	1.31E-03	0.28	是
			漏射辐射			0.28		

备注：E、推拉小防护门、观察窗保守按照铅玻璃防护铅当量即 10mmPb 计算。

根据屏蔽核算结果可知，本项目工业 CT 设备屏蔽体防护厚度均能满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）屏蔽防护的要求。工业 CT 设备顶部的剂量率远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，因此本评价不再考虑天空散射的影响。

11.2 类比分析

设备厂家提供了与本项目设备型号、参数、尺寸完全相同的 1 台 Phoenix V|tome|x S240 进行了检测，监测报告见支撑性材料附件 9。监测结果见表 11-4。

表 11-4 同型号设备屏蔽体外周围剂量当量率监测结果

设备及监测条件	监测位置	周围剂量当量率监测结果平 均值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
Phoenix V tome x S240/180 工业 CT, 监 测条件 220kV、 0.25mA	工件进出门左侧	0.15	是
	工件进出门中部	0.15	是
	工件进出门右侧	0.15	是
	工件进出门上侧	0.15	是
	工件进出门下侧	0.15	是
	工作人员操作位	0.15	是
	设备东侧	0.15	是

续表 11 环境影响分析

	设备南侧	0.15	是
	设备西侧	0.15	是
	设备北侧	0.15	是

备注：以上数据均未扣除本地，监测设备校准因子 1.10，本底值 0.93μGy/h。

根据屏蔽核算结果可知，与本项目工业 CT 同型号的工业 CT 设备表面 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，满足防护厚度均能满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）屏蔽防护的要求。通过类比分析可知，本项目工业 CT 设备表面 30cm 处周围剂量当量率也能满足评价标准。

11.2 年有效剂量估算

11.2.1 估算公式

X-γ射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

$$H_{Er} = H_{(10)} \times t \times 10^{-3} \dots\dots\dots(11-5)$$

式中：

H_{Er} ：X 或γ射线外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$H_{(10)}$ ：X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X 或γ射线照射时间。

11.2.2 估算结果

（1）辐射工作人员

辐射工作人员剂量估算见表 11-4。

表 11-4 辐射工作人员剂量估算表

工作场所	设备外最大 周围剂量当 量率(μSv/h)	设备最大曝光时 间 (h)		居留 因子	有效剂量	
		周	年		周有效剂量 (μSv/周)	年有效剂量 (mSv/a)
工业 CT	0.95	4.2	180.0	1	3.99	0.17

根据上表估算可知，本项目工业 CT 曝光的情况下，辐射工作人员受到的年有效剂量最大约 0.17mSv，远小于本项目辐射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。周受照剂量最高为 3.99μSv，远小于本项目辐射工作人员周剂量管理目标值

续表 11 环境影响分析

100 μ Sv/周，满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的要求。

（2）公众成员

根据前文的核算，工业 CT 在运行工况下，铅房外各关注点的周围剂量当量率均处于较低水平。本项目周围公众成员剂量估算结果见表 11-5。

表 11-5 公众成员剂量估算表

保护目标名称	方位	水平距离 (m)	保护目标处周围剂量当量率 (μ Sv/h)	周最大曝光时间(h)	年最大曝光时间(h)	居留因子	周剂量 (μ Sv/周)	年有效剂量 (mSv/a)
102 室可冲击波煤岩致裂渗透实验系统	西	约 1~5	4.44E-02	4.2	180.0	1	1.86E-01	7.99E-03
实验台	北	约 2	1.09E-01	4.2	180.0	1	4.57E-01	1.96E-02
104、106、108、109、111 实验室	东	约 2~50	1.14E-01	4.2	180.0	1	4.80E-01	2.06E-02
过道、卫生间	西	约 5~14	6.08E-03	4.2	180.0	1/2	1.28E-02	5.47E-04
4#楼（低碳能动版块）		约 14~50	1.04E-03	4.2	180.0	1	4.37E-03	1.87E-04
过道、展览室	南	约 2~11	3.65E-02	4.2	180.0	1/2	7.66E-02	3.28E-03
绿化及道路		约 11~50	1.90E-03	4.2	180.0	1/8	9.96E-04	4.27E-05
过道、103、105、107、110、楼梯间等	北	约 3~16	5.64E-02	4.2	180.0	1	2.37E-01	1.02E-02
内部道路		约 16~37	2.62E-03	4.2	180.0	1/8	1.37E-03	5.89E-05
11#楼裙楼（低碳资安和低碳能动版块）		约 37~50	5.09E-04	4.2	180.0	1	2.14E-03	9.17E-05
5#楼 2 层 206 等实验室	楼上	/	7.30E-03	4.2	180.0	1	3.07E-02	1.31E-03
5#楼 3-9 层		/	1.79E-03	4.2	180.0	1	7.54E-03	3.23E-04

根据上表估算可知，本项目公众成员受到的年附加有效剂量最大约 0.02mSv，本项目东侧规划有 CT 室，经 CT 室墙体屏蔽、距离衰减影响很小，叠加拟建 CT 室影响，本项目公众成员年有效剂量管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。周受照剂量最高为 0.68 μ Sv，满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的要求。

续表 11 环境影响分析

11.3 对周围环境保护目标的影响分析

本项目各环境保护目标受到的辐射影响估算结果见表 11-5。根据估算可知，本项目工业 CT 周围 50m 范围内环境保护目标处公众成员受到本项目年有效剂量远低于 0.1mSv/a。估算结果只考虑了距离的衰减，实际上 X 射线在传播过程中可能有其他设备等的阻挡。因此，项目所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响较小，对环境的影响可以接受。

11.4 其他影响

(1) 废气对环境的影响分析

本项目工业 CT 废气经推拉小防护门逸散到 102 室内，而后再经 102 室内机械排风系统引至科学中心实验大楼 5#楼楼顶排放。废气排放口周围基本无人员活动，故项目产生的废气对周围环境影响小。

(2) 废水环境影响

本项目无实验废水产生，不新增劳动定员，故无新增生活污水。科学中心实验大楼生活污水经处理达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，最后进入土主污水处理厂进行处理，处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要污染物排放标准》（DB50/963-2020）和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入梁滩河，对地表水环境影响较小。

(3) 固废环境影响

本项目工作人员产生的生活垃圾依托科学中心实验大楼生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。工业 CT 报废后建设单位按照相关要求对设备去功能化，保留相关手续，并做好记录存档。建设单位按照以上措施对固体废物进行处理后，项目固废对周围环境的影响可以接受。

11.5 实践正当性分析

本项目拟购的工业 CT 装置是为了实现对煤、岩石等试样的高分辨、定量分析，提高研究精度，是煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室的重要研究手段。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内，项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影

续表 11 环境影响分析

响及可能引起的辐射危害等代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

11.6 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本）“第一类 鼓励类”中“三十一、科技服务业”中的第 4 条“数字化技术、高拟真技术、数字孪生、高速计算技术等新兴文化科技支撑技术建设及服务”，项目工业 CT 用于实验室试样的三维数字化建模分析，属于产业结构调整指导目录中的鼓励类。项目建设符合国家产业政策。

11.7 事故影响分析

（1）风险事故类型

本项目出现的辐射事故主要是辐射工作人员或公众成员遭到误照射从而受到不必要的超剂量照射。

工业 CT 产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。因为工业 CT 设置有专用铅房屏蔽体，基本不会发生固定性屏蔽体损坏而致人员受到误照射的事故，即使发生，也能一目了然而不再开机曝光，即不会受到误照射。

X 射线看不见、摸不着，因此，更多的辐射事故是因为管理等不到位，而导致无关人员受到误照射。这类辐射事故主要体现在以下几个方面：

①安全联锁装置失效

由于门机联锁装置失效，设备出束时防护门未关闭或门被意外开启，射线仍能发射，造成射线外泄，可能对辐射工作人员及公众成员产生较大剂量照射。

②屏蔽体出现膨胀变形

本项目工业 CT 铅房各屏蔽体使用多年以后，可能因铅的自重等原因引起屏蔽体搭接、铆钉等处空隙增大，从而漏出射线，使铅房周围的人员受到误照射。

③X 射线管丧失自身屏蔽

X 射线管是用重金属屏蔽包围住的，因各种原因（如检修、调试、改变照射角度等）可能无意中将设备管头上的屏蔽块移走，使 X 射线管丧失自身屏蔽作用，导致铅房周围均受主射线照射，屏蔽体外出现高剂量率，人员受到不必要的照射。

续表 11 环境影响分析

④人员滞留铅房内

设备维修人员通过后侧维修防护门进入铅房内维修，未对铅房内部进行充分确认，关闭射线管高压，从而导致滞留在铅房内的人员被误照射。

(2) 后果分析

本项目工业 CT 正常工作模式下单次曝光时间约 18min，本次估算考虑单次事故不同误照射时间的后果。

①安全联锁装置失效

安全联锁装置失效情况下，工业 CT 出束时防护门未关闭或门被意外开启，射线外泄导致工业 CT 外人员受到误照射，事故发生时可立即按下急停按钮停止 X 射线出束，此种事故情景的后果估算见表 11-6。

表 11-6 安全联锁装置失效事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外剂量率（推拉防护门外） μGy/h			误照射时间	吸收剂量 mGy
工业 CT 安全联锁装置失效	散射	7.56E+04	8.22E+04	5s	0.11
				10s	0.23
	漏射	6.61E+03		30s	0.68
				1min	1.37
				18min	24.65

②屏蔽体膨胀变形

工业 CT 设备铅屏蔽体出现膨胀变形而未发现，即射线不经过屏蔽对铅房外的人员进行误照射情况，此时有用线束导致工业 CT 左侧外剂量率最大，若辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪则此类事故容易被发现，及时按下急停按钮即能停止 X 射线出束，假设辐射工作人员 1 天未佩戴个人剂量报警仪，此种事故情景的后果估算见表 11-7。

表 11-7 屏蔽体膨胀变形事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外最大剂量率（左侧） μGy/h		误照射时间	吸收剂量 mGy
工业 CT 屏蔽体膨胀变形	主射	1.27E+06	5s	1.76
			10s	3.53
			30s	10.58
			1min	21.17
			18min	381.00
			36min（1 天）	762.00

续表 11 环境影响分析

③X 射线管丧失自身屏蔽

X 射线管失去自身屏蔽后可导致工业 CT 各侧均受到有用线束的照射，若辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪则此类事故容易被发现，及时按下急停按钮即能停止 X 射线出束，假设辐射工作人员 1 天未佩戴个人剂量报警仪，此种事故情景的后果估算见表 11-8。

表 11-8 X 射线管丧失自身屏蔽事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外最大剂量率（前侧） $\mu\text{Gy/h}$		误照射时间	吸收剂量 mGy
工业 CT 的 X 射线管丧失自身屏蔽	主射	5.38E+02	5s	7.48E-04
			10s	1.50E-03
			30s	4.49E-03
			1min	8.97E-03
			18min	1.62E-01
			36min（1 天）	3.23E-01

④人员滞留铅房内

检修人员从后侧检修前门进入铅房，滞留铅房内可能受到非有用线束误照射，此类事故发生时滞留人员可按下铅房内急停按钮，铅房外人员也可按下操作台急停按钮，按下急停按钮均能停止 X 射线出束，此种事故情景的后果估算见表 11-9。

表 11-9 检修人员滞留铅房内事故后果估算表

事故情景	X 射线数字成像检测系统铅房内，散射线范围	误照射时间	吸收剂量 mGy
人员滞留铅房内	人员滞留铅房内部靠后侧属于于散射线范围铅房内，0.5m 处主射线发射率 3.18mGy/s	5s	0.3
		10s	0.6
		30s	1.9
		1min	3.8
		18min	68.6

（3）事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代

续表 11 环境影响分析

谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和组织反应。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率(而非其严重程度)与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈剂量的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严重。组织反应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性皮肤损伤、生育障碍。

项目产生的随机性效应是关注的重点，因其无法防护，所以尽量降低人员的受照剂量，减少随机性效应产生的概率。

根据上述后果分析可知，一般事故情况下，人员受到超过年剂量的照射，可能导致人员随机性效应概率增加，但不会有明显临床指征，但极端情况下，人员长时间受到意外辐射，可能出现更严重后果。

(4) 事故分级

结合前面事故情景的剂量估算，因屏蔽体膨胀变形，射线不经过屏蔽对铅房外的人员进行误照射情况下，误入铅房周围的辐射工作人员及公众成员受到吸收剂量最高为 762mGy（误照射 36min），对辐射工作人员及公众成员发生误照射不会导致较严重的辐射损伤，可能增加发生随机性效应的概率。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定，本项目可能发生事故等级为一般辐射事故，不会导致较严重的辐射损伤。

(5) 辐射事故防范措施

续表 11 环境影响分析

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式是外照射，因此发生误照射事故时应立即切断设备电源，确保设备停止出束。建设单位应采取以下措施防范风险事故发生。

①定期检查设备的门机联锁、钥匙开关、急停按钮、工作状态指示灯和声音提示装置等安全措施的有效性，发现故障及时清除，严禁违规操作。对于本项目涉及的安全控制措施各机构及电控系统，制定定期检查和维护的制度，确保安全装置随时处于正常工作状态。若辐射安全与防护措施损坏应立即停止使用，修复后再投入使用。

②严格按照操作规程开展工作，除维修情况下，设备内不进入，设备出束前必须确认铅房内无人员滞留，关闭防护门后才能开始进行出束操作。如发生出束时维修人员滞留铅房内的事故时，立即按下急停按钮，设备断电，门机联锁失效，人员可以在设备内手动推开防护门离开。

③正常运行期间人员不进入铅房内，建设单位拟制定设备维修保养制度，在设备需要在铅房内部维修时，经过专业培训的维修人员在设备断电情况下佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪打开检修防护铅门。建设单位拟在设备维修保养制度中补充设备维修时确保 2 人在场，保证一人在检修防护门旁维修，一人可在操作台了解铅房内剂量率情况。

④利用便携式 X- γ 辐射剂量率仪，定期巡查工业 CT 屏蔽体的屏蔽效能，做好记录，重点巡测防护门门缝、穿墙管线孔等防护薄弱环节，以确保屏蔽体有足够的屏蔽能力。若发现问题，应及时解决，不得在屏蔽体出现问题后继续作业。

⑤辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照要求进行无损探伤检测工作。

⑥辐射工作人员应及时填写辐射工作人员巡查记录，及时完善辐射工作人员巡查台账，并归档保存。

表 12 辐射安全管理

<p>12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置</p> <p>根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。</p> <p>建设单位已成立辐射安全与环境保护管理工作小组负责学校的辐射安全与环境保护管理工作，管理机构主要职责包括以下几个方面：</p> <p>（1）负责制定和完善辐射安全与环境保护管理制度及应急预案，建立辐射防护档案；</p> <p>（2）监督辐射工作场所安全防护措施落实情况，定期组织安全检查及工作场所的辐射监测；</p> <p>（3）组织辐射操作人员的安全培训与职业健康管理；</p> <p>（4）协调处理辐射安全突发事件，及时上报相关部门；</p> <p>（5）落实环境保护要求，确保放射性废物合规处置；</p> <p>（6）配合生态环境部、卫健委等监管部门的监督检查工作。</p> <p>建设单位成立的辐射安全与环境保护管理工作小组满足相关要求，本项目建成后纳入其管理范围。</p> <p>12.2 辐射工作人员配置</p> <p>根据调查，建设单位已为本项目配置 1 名辐射工作人员（科研人员），该人员已按照使用Ⅱ类射线装置管理要求，取得相应类别的辐射安全与防护培训考核合格证，能满足开展本项目需要。后续安排从事本项目的辐射工作人员按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》要求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）免费学习相关知识并定期参加复训。</p> <p>12.3 辐射安全管理</p> <p>（1）辐射安全管理规章制度</p> <p>按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，建设单位必须培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的</p>
--

续表 12 辐射安全管理

发生。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。

重庆大学已经制定《辐射安全与环境保护管理工作小组》（该制度中明确领导小组职责）《重庆大学实验室辐射安全事故应急预案》，此外煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室制定了一系列实验室辐射安全管理制度，包括《关于成立辐射工作安全管理小组的通知》《辐射安全与防护管理制度》《辐射设备检修、维护与保养制度》《辐射安全台账管理制度》《实验室操作 X 射线装置岗位职责》《X 射线检测系统操作规程》《辐射工作人员年度培训计划》《辐射工作场所及环境监测方案》等专项辐射安全管理规章制度。建设单位的辐射安全管理制度基本健全且具有可操作性，满足本项目辐射安全管理要求，在此之前建设单位一直按照各项管理制度执行落实，到目前为止未曾发生过辐射事故。

在本项目工业 CT 投入运营前，学校应根据项目情况修订相应管理制度，如本项目工业 CT 操作规程、工业 CT 应急流程，并将该项目纳入放射防护管理制度中，以满足本项目的辐射环境管理要求。学校拟将上述部分制度悬挂于辐射工作场所，并及时按照辐射环境管理要求办理《辐射安全许可证》，在许可范围内从事辐射工作。

（2）个人剂量管理

按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，建设单位应对辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

建设单位拟为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，要求辐射工作人员上岗期间必须正确佩戴个人剂量计并对个人剂量计严格管理，防止个人剂量计遗失。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

（3）职业健康检查

建设单位现有 1 名辐射工作人员已进行了职业健康体检，其结论为“可从事

续表 12 辐射安全管理

放射工作”。建设单位应继续对辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年。

（4）年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：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。

根据调查，建设单位每年均在规定时间内完成《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》文件的编制和上报工作，且辐射安全管理制度中包含年度评估相关规定。年度评估报告包括射线装置及防护用品台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射工作人员管理情况、事故应急等方面的内容，符合要求。

在后续的辐射安全管理工作中，应将年度评估相关内容纳入辐射安全管理制度中，按规定开展年度评估检查，对检查中发现的问题或不足及时整改，消除安全隐患，按规定编制并上报年度评估报告。待项目建成运行后，将项目纳入年度评估管理中，并继续按照规定按时提交《年度评估》文件。

（5）档案管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。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。

建设单位为学校现有辐射工作人员建立了个人剂量档案和职业健康检查档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果、职业健康检查结果等材料。

建设单位已建立了辐射环境管理档案，主要包括：制度文件、环评资料、许可证资料、射线装置台账、监测和检查记录、个人剂量档案、培训档案、年度评估、辐射应急资料。

为保持档案的动态更新，单位需及时完善个人辐射监测与辐射场所监测台

续表 12 辐射安全管理

账，并确保所有资料归档保存。同时，辐射工作人员应及时填写辐射工作人员巡查记录，及时完善辐射工作人员巡查台账，并归档保存

(6) 核安全文化建设

核安全文化是以“安全第一”为根本方针，以维护公众健康和环境安全为最终目标；保障核安全是培育核安全文化的根本目的，而培育核安全文化是减少人因失误的有力措施，是核安全“纵深防御”体系中的重要屏障。核安全文化是核安全的基础，是从事核技术利用活动单位及其全体工作人员的责任心。对于核技术利用项目核安全文化建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化，核安全文化表现在从事核技术利用活动单位的相关领导与员工及最高管理者应具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识，增强并保持核安全意识。

建设单位已建立了辐射环境安全管理体系，设立核安全保障机构，明确了单位各层级人员的职责，将良好的核安全文化融汇于运营和管理的各个环节；还应持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别单位内部核安全文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

- ①建设单位应组织核安全文化培训，制定符合自身发展规划的核安全文化；
- ②建设单位应当建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

12.4 从事辐射活动能力评价

建设单位从事辐射活动应具备相应的条件，建设单位从事辐射活动能力评价如下表 12-1。

续表 12 辐射安全管理

表 12-1 从事辐射活动能力的评价	
应具备条件	落实的情况
设有专门的辐射安全与环境保护管理机构或者至少有一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。	已成立辐射安全与环境保护管理工作小组负责学校辐射安全与环境保护管理工作。
从事放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。	本项目 1 名操作人员已取得辐射安全与防护培训考核合格证。
射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目工业 CT 拟设置门机联锁、钥匙开关、工作状态指示灯和声音提示装置、急停按钮、固定式场所辐射探测报警装置、电离辐射警告标志等防止误操作、防止辐射工作人员和公众受到意外照射的安全措施。
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，包括个人剂量计。	建设单位拟配备 1 枚个人剂量计和 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率仪，拟配备 1 台个人辐射报警仪和 1 套固定式场所辐射探测报警装置等监测仪器。
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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	建设单位建立了操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护保养制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等辐射安全管理规章制度。本项目投运前，学校拟根据项目情况修订相应管理制度，包括实验室辐射安全事故应急预案、本项目工业 CT 操作规程、工业 CT 应急流程，并将本项目纳入放射防护管理制度中，以满足项目的管理要求，将上述部分制度悬挂于辐射工作场所。
有完善的辐射事故应急措施。	建设单位已制定辐射事故应急预案，拟根据本项目情况进行修订完善。

根据表 12-1 可知，建设单位已建立有相应的辐射环境管理体系，已具备了一定的能力，但建设单位还应针对本项目射线装置的特点，认真落实上述要求后方具备从事本项目辐射活动的能力。

12.5 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法规和标准，必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所的环境监测，开展常规的防护监测工作。

建设单位已制定监测计划，并按监测计划的要求开展个人剂量监测和工作场

续表 12 辐射安全管理

<p>所的辐射环境监测。</p> <p>建设单位拟配备 1 台个人辐射报警仪和 1 套固定式场所辐射探测报警装置等监测仪器，同时拟配备 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率仪，定期自行对工业 CT 铅房周围进行辐射环境监测；或委托有资质的单位定期对射线装置进行监测，按规定要求开展各项监测，做好监测记录，存档备查。辐射监测内容包括：</p> <p>（1）工作场所监测</p> <p>建设单位应对工业 CT 外周围剂量当量率进行监测，包括验收监测和日常监测，发现问题及时整改。验收监测应委托有资质的单位进行。</p> <p>监测计划应包括以下内容：</p> <p>监测频度：验收时监测一次；自行监测每天一次并记录监测数据；每年委托有资质单位监测一次；涉及工业 CT 额定电压增大时或防护设施维修后监测一次；</p> <p>监测项目：周围剂量当量率；</p> <p>监测点位：工业 CT 设备外 30cm 处以及铅房门缝、穿墙管线等薄弱处、操作台位置。</p> <p>（2）个人剂量监测</p> <p>对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须正确佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。</p> <p>监测频率：一般为 1 个月测读一次，最长不超过 3 个月，如发现异常可加密监测频率。</p> <p>建设单位应结合以上要求对监测方案中工作场所监测部分内容加以完善。</p> <p>12.6 安全检查维护</p> <p>根据相关法规及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求，建设单位应定期对工业 CT 进行安全检查维护，并建立相应的检查维护制度。安全检查维护要求见表 12-2。</p>

续表 12 辐射安全管理

表 12-2 安全检查维护要求			
类型	对象	内容	频次
检查	工业 CT	防护门-机联锁装置，以及出束信号指示灯	日检
		a) 外观是否存在可见的损坏；b) 电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；c) 液体制冷设备是否有渗漏；d)安全联锁是否正常工作；e)报警设备和警示灯是否正常运行；f) 螺栓等连接件是否连接良好；g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常	日检
		a) 电气安全，包括接地和电缆绝缘检查；b) 冷却单元检查；c) 所有的联锁和紧急停机开关的检查；d) 制造商推荐的其他常规检测项目。	定期(建议月检)
维护		设备维护包括工业 CT 的彻底检查和所有零部件的详细检测。当设备有故障或损坏，需更换零部件时，应保证所更换的零部件都来自设备制造商。应做好设备维护记录。	年检

12.7 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《重庆市辐射污染防治办法》等要求，申领辐射安全许可证的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案和具有针对性与操作性的应急措施。

12.7.1 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

本项目使用 1 台 II 类射线装置，可能发生的辐射风险主要为人员受到不必要的误照射，导致辐射工作人员和公众成员可能受到超过年剂量照射限值，造成一般辐射事故的发生。

建设单位已制定《重庆大学实验室辐射安全事故应急预案》，明确辐射事故应急处理小组组成及职责、报告电话，事故应急处理流程，典型辐射事故处理方式等。并定期开展应急演练，建设单位应根据本项目工业 CT 特点修订完善《辐射事故应急预案》，包括完善应急报告电话、应急能力的培训等提高应急预案的针对性和可操作性。并按照完善之后的《辐射事故应急预案》要求，定期组织辐射事故的应急演练，做好演习记录。

续表 12 辐射安全管理

12.7.2 事故应急程序与措施

(1) 事故报告程序

本项目发生辐射事故时，应迅速电话向内部管理机构、生态环境主管部门报告，并在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政主管部门报告，设备丢失被盗时应向公安部门报告。

(2) 辐射事故应急处置措施

本项目发生辐射事故时，应立即切断设备电源或者就近按下急停按钮，迅速控制事故发展，消除事故源。启动并组织实施应急方案，将事故受照人员撤离现场，检查人员受危害程度，并采取救护措施，保护事故现场。对可能受到辐射损伤人员，事故单位应当立即将其送至当地卫生主管部门指定的医院或者有条件救治辐射伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

(3) 辐射事故后续处理

配合相关部门做好事故调查处理并做好事故的善后工作，查找事故原因，排除事故隐患，总结事故发生、处理事故、防止事故的经验教训，杜绝事故的再次发生，据此进一步修订完善辐射事故应急方案或应急措施。

12.8 辐射安全与管理投资估算

本项目环保投资约 12 万元，环保投资估算表见表 12-3。

表 12-3 环保投资估算

内容	措施	投资（万元）
管理制度	操作流程、应急流程等制度修订后上墙，张贴规范	0.2
辐射防护与安全措施	门机联锁、工作状态指示灯及声光报警灯、紧急停机按钮、钥匙开关、电源主开关等（设备自带不计入环保投资）、电离辐射警告标志等	0.2
防护监测设备	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式辐射探测报警仪、便携式 X-γ 辐射剂量巡测仪等监测仪器	6.6
环保手续办理	环境影响评价、竣工环境保护验收、验收监测等	5
合计		12

12.9 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目建设执行污染治理设施与主体工

续表 12 辐射安全管理

程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设单位应按有关规定和《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）等要求进行竣工环境保护自主验收。本项目竣工环境保护验收要求见表 12-4。

表 12-4 竣工环境保护验收内容和要求一览表

序号	验收内容	验收要求		备注
1	建设内容	1 台工业 CT（Ⅱ类射线装置），双管头，最大管电压 240kV/180kV，最大管电流 3mA/0.88mA		不发生 重大变更
2	环保资料	环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等		齐全
3	辐射环境 管理	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、年度评估等管理制度和辐射事故应急预案。		齐全
4	电离辐射	剂量管理目标值	辐射工作人员≤5mSv/a；公众成员≤0.1mSv/a	GB18871-2002 GBZ/T250-2014
		屏蔽体外剂量率控制	工业 CT 设备外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	GBZ117-2022
5	辐射安全防护措施	门机联锁：工业 CT 设置门—机联锁装置； 工作状态指示灯及声光报警灯：工业 CT 铅房顶部及操作台上设置显示“预备”和“照射”工作状态的指示灯并与工业 CT 联锁，工业 CT 顶部设置声光报警灯，工作状态指示灯、声光报警灯均与工业 CT 的 X 射线管头联锁。有表明各指示灯信号及其状态意义的中文说明。 警告标志：工业 CT 四周拟张贴电离辐射警告标志和中文警示说明。 钥匙开关：设置防止非辐射工作人员操作的钥匙开关； 紧急停机：操作台设置紧急停机按钮，铅房内部右侧设置紧急停机按钮，按下紧急停机按钮工业 CT 高压电源立即被切断，工业 CT 停止出束。 观察窗：工业 CT 前侧设置观察窗，能观察到内部情况。 监测设备：每名辐射工作人员各配置 1 枚个人剂量计、1 枚个人剂量报警仪；工业 CT 配置 1 套固定式场所辐射探测装置；建设单位配置有 1 台便携式 X-γ辐射剂量率仪。		
6	人员要求	按照要求组织辐射工作人员参加培训，考核合格后上岗，考核成绩在有效期内。		

表 13 结论和建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

重庆大学拟在重庆高新区大学城南路 55 号重庆大学虎溪校区科学中心实验大楼 5#楼一层实施“西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 工业 CT”，在科学中心实验大楼低碳资安版块 5#楼煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室一层 102 室安装 1 台自屏蔽式工业 CT（Ⅱ类射线装置，双管头，240kV 微米焦点射线管最大电压为 240kV，最大管电流为 3mA；180kV 纳米焦点射线管最大电压为 180kV，最大管电流为 0.88mA）对煤、岩石等样品开展固定式 X 射线无损检测分析。项目使用面积约 54m²；项目总投资约**万，其中环保投资约**万。

13.1.2 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本）“第一类 鼓励类”中“三十一、科技服务业”中的第 4 条“数字化技术、高拟真技术、数字孪生、高速计算技术等新兴文化科技支撑技术建设及服务”，项目工业 CT 用于实验室试样的三维数字化建模分析，属于产业结构调整指导目录中的鼓励类。项目建设符合国家产业政策。

13.1.3 实践正当性

本项目使用工业 CT 本项目拟购的工业 CT 装置是为了实现对煤、岩石等试样的高分辨、定量化分析，提高研究精度，是煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室的重要研究手段。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内，项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害等代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

13.1.4 辐射环境质量现状

本项目场址及周围的环境γ辐射剂量率监测值为 74~82nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）之间，在重庆市环境γ辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。

13.1.5 选址可行性及布局合理性

续表 13 结论和建议

本项目拟购 1 台工业 CT 选址于虎溪校区新建科学中心实验大楼 5#楼一层 102 室，所在的 5#楼属于低碳资安版块煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房，本项目工业 CT 属于小型成套 X 射线检测装置，且自带有屏蔽铅房，102 室为预留的工业 CT 及可冲击波煤岩致裂渗透实验系统专用实验室，先利用冲击波煤岩致裂渗透实验系统进行冲击波渗透模拟，再利用本项目工业 CT 进行固定式 X 射线无损检测，对试样三维数字化建模。102 室周围均为煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室科研用房。工业 CT 铅房周围公众成员活动较少，便于辐射安全管理。根据现状监测结果，项目场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。因此，本项目选址可行。

项目工业 CT 为固定式 X 射线探伤，拟在 5#楼一层 102 室布置 1 台工业 CT，其操作台位于面向铅房右前侧，与铅房分开布置，主射束朝向左侧，操作台及收样台均避开了有用线束照射的方向。工业 CT 所在房间面积较大，还布置有 1 台可冲击波煤岩致裂渗透实验系统（非 X 射线检测）用于本项目样品进行冲击波渗透模拟，再使用本项目工业 CT 进行固定式 X 射线无损检测，以完成对试样样品三维数字化建模，工艺流程连续、完整。工业 CT 所在 102 室布局根据其实验功能设置，内部仅实验人员，项目人流、物流路径清晰。电器柜设置在铅房右侧，并与铅房相连，冷却装置、高压发生器设置在整体设备外部。根据维修位置，在后侧设置 1 个维修铅门对机械系统进行维修，在右侧电器柜设置 1 个维护门（普通钢质门）对电气系统维修，在右侧设置 1 个小维修铅门对射线管进行维修。本项目铅房尺寸小，试验样品较小，辐射工作人员摆放试样后可在操作台进行无损检测，不进入铅房内部。

综上，项目用房及工业 CT 设备考虑了操作、维修方便，且主射束避开了操作台等，人流、物流路线简单，从辐射防护角度，本项目平面布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，布局合理。

13.1.6 辐射防护与安全措施

建设单位对各工业 CT 辐射工作场所进行分区管理，工业 CT 整体设备内部为控制区，102 室工业 CT 设备外相邻区域为监督区。

续表 13 结论和建议

工业 CT 设备自带有多种固有安全性，如：开机时系统自检、温度保护、过失电流保护、过电压保护、继电保护等，能很好地保证工业 CT 自身的稳定性和安全性。

本项目工业 CT 铅房主要采用铅+钢的屏蔽体结构对 X 射线进行屏蔽防护，屏蔽厚度充分考虑了 X 射线主射、散射、漏射影响。根据核算，工业 CT 设备屏蔽体防护厚度均能满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）。本项目工业 CT 整体设备外 30cm 处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。缝隙处屏蔽体之间有足够的搭接宽度，穿越屏蔽体的线缆口拟采用不低于同侧屏蔽体防护厚度的铅防护罩进行屏蔽补偿，不影响屏蔽效果。

本项目工业 CT 设计建设具有冗余性、多元性与独立性的辐射防护安全连锁设施与措施，包括门机联锁、工作状态指示灯及声光报警灯、紧急停机按钮、钥匙开关、电源主开关、电离辐射警告标志中文警示说明等辐射安全防护措施，拟配备符合开展项目要求的监测仪器设备。本项目工业 CT 内部空间小，使用频率低，拟采用自然进风、排风，设备所在的 102 室设置有机排风系统，依托 102 室机械排风系统引至 5#楼楼顶排放，以确保辐射工作人员操作区域具有良好的通风。

综上所述，本项目采取的辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的相关要求。

13.1.7 环境影响结论

根据核算，本项目工业 CT 整体设备外周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员、公众成员的年有效剂量均低于年有效剂量管理目标值（辐射工作人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ，公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。本项目所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响较小，对环境的影响可以接受。

本项目不产生放射性“三废”，少量臭氧和氮氧化物经废气经防护门逸散到 102 室内，而后经依托 102 室机械排风系统引至 5#楼顶排放。曝光时产生的废气

续表 13 结论和建议

不会对工作人员造成影响，项目废气排放口避开了人员活动密集区，对周围环境影响小。

工业 CT 报废后建设单位按照相关要求拆解去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

13.1.8 辐射事故分析

根据预测，射线装置事故情况下，会造成一般辐射事故发生，正常运行人员不进入铅房内，特殊情况，设备维修时，维修人员进入铅房内。拟制订设备维修保养制度，在设备确需进入铅房内部维修时，经过专业培训的维修人员在设备断电情况下佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪打开检修防护铅门。建设单位拟在设备维修保养制度中补充设备维修时确保 2 人在场，保证一人在检修防护门旁维修，一人可在操作台了解铅房内剂量率情况。

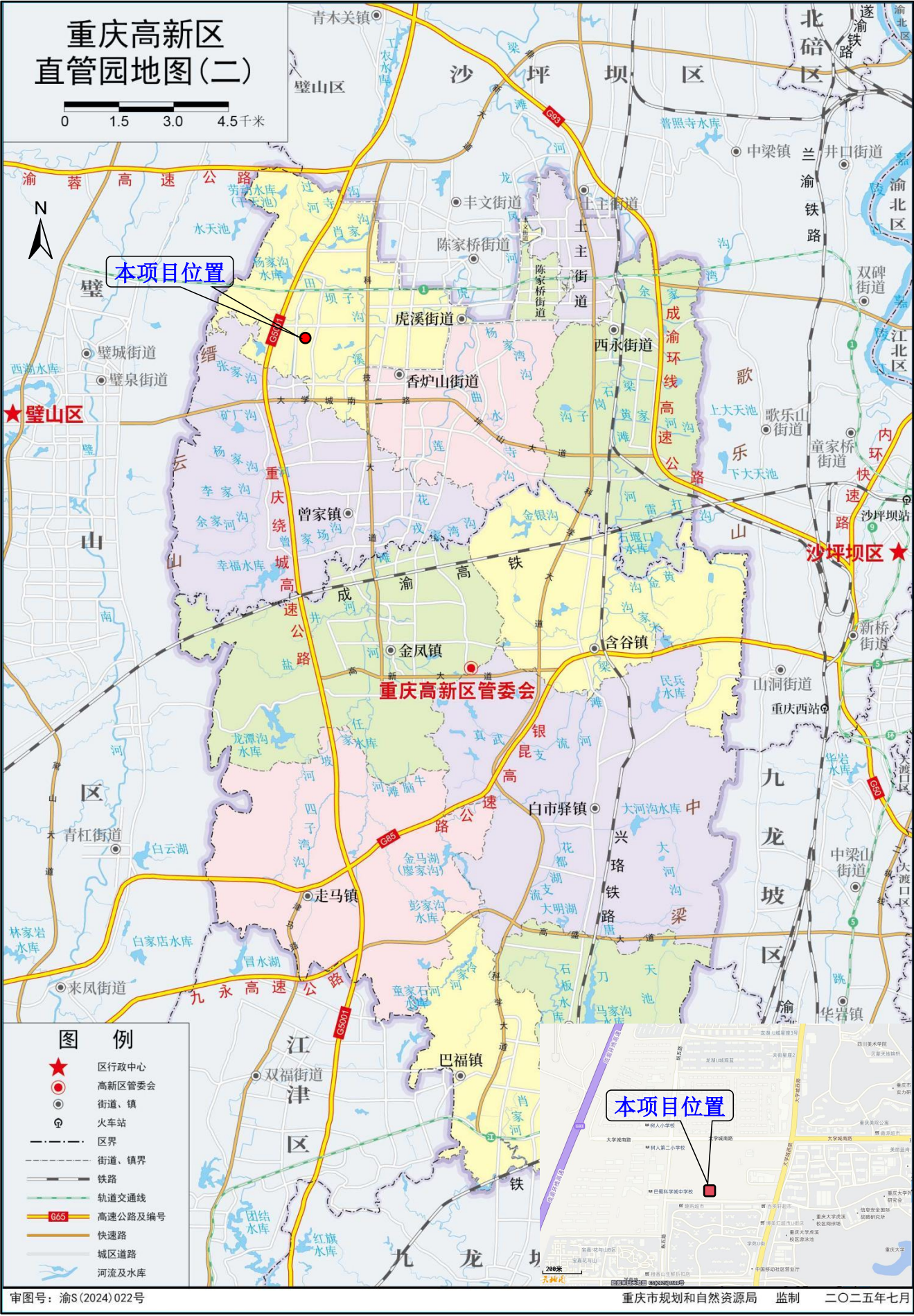
通过定期检查设备的门机联锁装置及钥匙开关的有效性、对辐射安全防护措施及电控系统、设备故障报警系统定期检查和维修，发现问题及时维护，并做好记录。制订人员岗位职责，操作射线装置的主控钥匙由专人保管，禁止无关人员进入 102 室内；辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误。培植辐射工作安全文化素养，增强责任感，严格遵守操作规程和各项辐射安全管理制度。采取上述辐射安全与防护措施并按上述规章制度执行，本项目风险可防可控。

13.1.9 辐射环境管理

建设单位已成立了辐射安全与环境保护管理工作小组，建立了操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护保养制度、人员培训计划、监测方案等规章制度和辐射事故应急措施。本项目已配置的 1 名辐射工作人员已取得辐射防护与安全培训合格证，并参加了放射工作人员职业健康体检。拟为该人员配置个人剂量计，并建立个人剂量监测档案。在本项目工业 CT 投入运营前，学校应根据项目情况修订相应管理制度，包括实验室辐射安全事故应急预案、工业 CT 操作规程、工业 CT 应急流程，并将本项目纳入放射防护管理年度评估中，以满足项目的管理要求。将上述部分制度悬挂于辐射工作场所，并及时按照辐射环境管理要求办理《辐射安全许可证》，在许可范围内从事辐射工作。还应加强

续表 13 结论和建议

<p>核安全文化建设，提高辐射安全管理能力，杜绝辐射事故的发生。</p> <p>13.1.10 综合结论</p> <p>综上所述，西部重庆科学城重大科学基础设施虎溪建设项目（一标段）—重庆大学虎溪科学中心实验大楼工业 CT 工业 CT 符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能实现辐射防护安全的目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。</p>
--



附图1 地理位置图