

编号: XH24EA072

核技术利用建设项目
重庆交通大学
购买工业CT项目
环境影响报告表

公示版



2024 年 12 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目
重庆交通大学
购买工业CT项目
环境影响报告表



建设单位名称： 重庆交通大学（盖章）

建设单位法人代表（签名或签章）：

刘士洋

通讯地址： 重庆市南岸区学府大道66号

邮政编码： 400074

联系人： 刘士洋

电子邮箱：



联系电话：



打印编号: 1734661641000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	526p64		
建设项目名称	重庆交通大学购买工业CT项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	重庆交通大学		
统一社会信用代码	12500000450401979R		
法定代表人（签章）	赖远明		
主要负责人（签字）	张学富		
直接负责的主管人员（签字）	韩风雷		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	广州星环科技有限公司		
统一社会信用代码	91440106MA59DA173A		
三、编制人员情况			
1 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈健阳	20220503546000000001	BH061992	陈健阳
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
徐海通	项目基本情况、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理	BH063164	徐海通
陈健阳	评价依据及评价标准、结论	BH061992	陈健阳

重庆交通大学

关于同意对《重庆交通大学购买工业 CT 项目环境影响 报告表》（公示版）进行公示的说明

重庆市生态环境局：

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》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，我单位委托广州星环科技有限公司编制了《重庆交通大学购买工业 CT 项目环境影响报告表》，报告表内容及附图附件等资料均真实有效，我单位作为环境保护主体责任，愿意承担相应的责任。报告表（公示版）不涉及技术和商业秘密的章节。我单位同意对报告表（公示版）进行公示。

特此说明。



2024 年 12 月 10 日

编制主持人环境影响评价工程师资格证书

中华人民共和国 专业技术人员职业资格证书 (电子证书) 环境影响评价工程师 Environmental Impact Assessment Engineer 本证书由中华人民共和国人力资源 和社会保障部、生态环境部批准颁发， 表明持证人通过国家统一组织的考试， 取得环境影响评价工程师职业资格。  制发日期：2022年08月31日	 姓 名：陈健阳 证件号码： 性 别：男 出生年月：1989年09月 批准日期：2022年05月29日 管 理 号：20220503546000000001 
---	--

目录

表 1 项目基本情况	1
1.1 项目概况	1
1.1.1 建设单位情况	1
1.1.2 项目来由和目的	2
1.1.3 项目建设规模	2
1.1.4 设备概况	4
1.1.5 环保投资	5
1.1.6 检测样品情况	5
1.2 项目选址和周边关系	5
1.2.1 外环境概况	5
1.2.2 项目选址可行性分析	9
1.3 原有核技术利用项目许可情况	9
表 2 放射源	11
表 3 非密封放射性物质	11
表 4 射线装置	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	13
表 7 评价标准与保护目标	15
7.1 评价范围	15
7.2 保护目标	15
7.3 评价标准	16
7.3.1 职业照射及公众照射年有效剂量控制要求	16
7.3.2 工作场所辐射剂量率控制要求	16
表 8 环境质量和辐射现状	17
8.1 项目地理和场所位置	17
8.2 检测方案	19

8.2.1 检测方法、检测因子和检测仪器	19
8.2.2 布点原则	19
8.3 质量保证措施	21
8.4 检测结果	21
表 9 项目工程分析与源项	24
9.1 设备组成和工作方式	24
9.1.1 设备组成	24
9.1.2 工作方式	26
9.2 工作原理	26
9.2.1 X 射线产生原理	26
9.2.2 工业 CT 原理	27
9.3 工艺流程和产污环节	28
9.4 工作负荷和人员配置	29
9.5 人流物流路径	30
9.6 源强分析和参数	31
9.7 污染源项描述	32
9.7.1 电离辐射	32
9.7.2 “三废”排放情况	32
9.7.3 项目产排污统计	33
表 10 辐射安全与防护	34
10.1 辐射屏蔽设计	34
10.2 辐射安全与防护措施	37
10.2.1 工业 CT 固有安全性	38
10.2.2 安全联锁系统	38
10.2.3 门机联锁装置	39
10.2.4 警示设施和工作状态指示灯	40
10.2.5 多重开关	40
10.2.6 紧急停机	40
10.2.7 辐射监测设施	40
10.3 辐射工作场所布局和分区	41

10.4 辐射安全与防护实施方案	42
10.5 日常检查与维护	46
10.5.1 日常安全检查	47
10.5.2 设备维修维护	47
10.6 三废的治理	48
表 11 环境影响分析	49
11.1 辐射剂量率计算	49
11.1.1 关注点选取	49
11.1.2 剂量率控制水平分析	52
11.1.3 计算公式和参数	53
11.1.3 计算结果	55
11.2 人员受照剂量分析	56
11.3 “三废”环境影响分析	59
11.4 实践正当性和产业政策符合性分析	59
11.5 事故影响分析	60
11.5.1 辐射事故类型	60
11.5.2 事故预防措施	60
11.5.3 事故应急措施	60
表 12 辐射安全管理	62
12.1 辐射安全管理机构的设置	62
12.2 辐射安全管理规章制度	62
12.3 核安全文化建设	63
12.4 档案管理	64
12.5 辐射工作人员	64
12.6 从事辐射活动能力评价	64
12.7 辐射监测计划	66
12.7.1 工作人员个人剂量监测	66
12.7.2 工作场所辐射监测	66
12.7.3 工作场所辐射监测方案	67
12.8 辐射安全年度评估计划	68

12.9 辐射事故应急.....	69
12.9.1 辐射事故应急机构	69
12.9.2 辐射事故应急机构分工及职责	69
12.9.3 人员培训和演习计划	70
12.10 竣工环境保护验收要求	70
12.10.1 责任主体	70
12.10.2 工作程序	71
12.10.3 时间节点	71
12.10.4 验收清单	71
表 13 结论与建议	73
13.1 结 论	73
13.1.1 辐射环境质量现状	73
13.1.2 辐射安全与防护分析结论	73
13.1.3 环境影响分析结论	73
13.1.4 可行性分析结论	74
13.1.5 综合结论	74
13.2 建 议	74
表 14 审 批	75
附件 1：项目备案文件	76
附件 2：项目委托书	77
附件 3：辐射安全许可证	78
附件 4：环境 γ 辐射现状检测报告	91
附件 5：工业 CT 相关参数说明	96
附件 6：辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案	97

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆交通大学购买工业 CT 项目			
建设单位		重庆交通大学			
法人代表	赖远明	联系人	刘士洋	联系电话	██████████
注册地址		重庆市南岸区学府大道 66 号			
项目建设地点		重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室			
立项审批部门		重庆市江津区发展和改革委员会	批准文号		2411-500116-04-05-418540
建设项目总投资(万元)	520	项目环保投资(万元)	26	投资比例（环保投资/总投资）	5%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积（m ² ）	54
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类		
	其它	/			

1.1 项目概况

1.1.1 建设单位情况

重庆交通大学（以下简称重庆交大或建设单位）是一所交通特色鲜明、以工为主的多科性大学。重庆交大现有南岸、科学城两个校区，占地近 2900 亩。重庆交大拥有山区桥梁及隧道工程国家重点实验室、国家内河航道整治工程技术研究中心、交通土建工程材料国家地方联合工程研究中心 3 个国家级重点科研平台，1 个山区桥梁与隧道国家创新人才培养示范基地，水利水运工程教育部重点实验室、桥梁结构工程交通运输行业重点实验室、力学治沙与生态碳汇教育部工程研究中心、城市轨道交通车辆系统集成与控制重庆市重点实验室、智能物流网络重庆市重点实验室、山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室、绿色航空能源动力重庆市重点实验室、西

部交通与经济社会发展研究中心等 48 个省部级科研平台，西南水运科学研究院、沙漠土壤化研究院等 20 余个研发机构。在山区交通基础设施、寒区工程、冻土生态航道、轨道装备、运输物流、绿色航空等领域取得了一批有影响力的成果，学校先后荣获国家科技进步奖、国家发明奖 17 项，省部级及学会科技奖励 600 余项。山区桥隧国家重点实验室服务 20 个世界之最佳的桥隧重大工程，国家内河航道整治工程技术研究中心承担长江、珠江流域 70%以上的试验研究，沙漠土壤化生态恢复技术助力生态文明建设。学校主动服务“一带一路”、交通强国、长江经济带、成渝地区双城经济圈、西部陆海新通道等战略，共建产学研合作基地、实习实践基地 300 余个，获中国产学研合作创新与促进奖励 23 项。

1.1.2 项目来由和目的

工业 CT 与传统的 X 射线探伤和超声波探伤相比，具有空间分辨率好、固有辐射安全性高等特点，在科研分析中具有其他方法无可取代的作用。基于工业 CT 的强大功能，为了满足国家科研项目要求，提升学校的科研水平，建设单位拟在重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室设置 1 间 CT 室，在内安装使用 1 台天津三英公司 nanoVoxel 3000 工业 CT，用于各种岩土小型试件的无损检测。本项目已在相关行政监管部门备案，项目代码为 2411-500116-04-05-418540。项目备案文件见附件 1。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）对射线装置的分类，工业 CT 属于Ⅱ类射线装置，本项目属于使用Ⅱ类射线装置项目。受建设单位委托（委托书见附件 2），广州星环科技有限公司对重庆交通大学购买工业 CT 项目进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令 第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射_172、核技术利用建设项目”类别中“使用Ⅱ类射线装置的”项目，应编制环境影响报告表。

1.1.3 项目建设规模

项目名称：重庆交通大学购买工业 CT 项目；

建设单位：重庆交通大学；

建设地址：重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室；

建设性质：新建；

建设工期：约 1 个月；

投资金额：总投资约 520 万元，其中环保投资约 26 万元，占总投资 5%。

建设规模：拟在重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室设置 1 间 CT 室，在内安装使用 1 台天津三英公司 nanoVoxel 3000 工业 CT（最大管电压 160kV，最大管电流 1mA，属Ⅱ类射线装置，1 个射线发生器），用于各种岩土小型试件的无损检测。项目总建筑面积约 54m²。CT 室为极端环境岩土材料细观实验室现有的房间，未来只用作辐射工作场所，摆放射线装置及其他辅助设施，不作其他用途。

拟建项目组成情况见下表 1-1。

表 1-1 项目组成一览表

类别	项目名称	项目组成	备注
主体工程	CT 室	位于未来小镇极端环境岩土材料细观实验室西侧，建筑面积约为 54m ² 。CT 室长宽高为 9m×6m×3m，其北侧设进出门。	依托现有房间
	设备	拟在 CT 室内安装使用 1 台天津三英公司 nanoVoxel 3000 工业 CT，该工业 CT 最大管电压为 160kV，最大管电流为 1mA，属Ⅱ类射线装置，设有 1 个射线发生器。工业 CT 自带钢铅结构的屏蔽体，装载门位于工业 CT 正面，检修门位于工业 CT 背面和左侧。装载门尺寸：长×高=680mm×939mm，检修门（左侧）尺寸：长×高=444mm×821mm，检修门（背面）尺寸：长×高=1872mm×939mm（2 扇对开）。	新购
公用工程	供配电系统	依托极端环境岩土材料细观实验室供配电系统，用电来源于市政供电。	依托
	给水系统	依托极端环境岩土材料细观实验室给水管网，市政管网供水。	依托

环保工程	排水系统	项目工作人员生活污水排入市政污水管网。	依托
	通风系统	CT 室拟设置排风量约为 600m ³ /h 的排风机。	新建
	废水处理	项目无生产废水，不新增人员生活污水，项目工作人员生活污水排入市政污水管网。	依托
	固废处理	项目工作人员生活垃圾依托重庆交大现有的生活垃圾收集系统收集后运至校区生活垃圾暂存处，统一交由环卫部门统一处理。	依托
		废射线发生器灯丝交由厂家回收处理。	依托
	废气治理	CT 室拟设置排风量约为 600m ³ /h 的排风机将有害气体排出室外，CT 室体积约为 162m ³ ，每小时有效通风换气次数约为 3.7 次。排风外口朝向 CT 室南侧林地，林地的人员居留较少的场所，避免了朝向人员活动密集区。	新建
	辐射防护	工业 CT 自带钢铅结构的屏蔽体，其屏蔽能力能达到辐射防护的要求。	新建

1.1.4 设备概况

本项目工业 CT 基本组成见表 1-2。

表 1-2 项目工业 CT 基本情况表

名称	nanoVoxel 3000 工业 CT
系统组成	由防护箱体、射线发生器、载物台、探测器等组成。
射线发生器	1 个，最大管电压 160kV，最大管电流 1mA。
有用线束角度	32°
有效焦点	20μm-200μm
屏蔽厚度	见表 10-1
辐射防护设施	门机联锁装置、急停按钮、指示灯、电离辐射警示标志等。

本项目的射线装置自带屏蔽体，屏蔽体与装置主体结构一体设计和制造，具有制式型号和尺寸；屏蔽体能将装置产生的 X 射线剂量减少到规定的剂量限值以下，人员接近时无需额外屏蔽。

1.1.5 环保投资

本项目环保投资估算约 26 万元，占总投资 5%，具体情况见表 1-3。

表 1-3 项目环保投资一览表

序号	内容	环保投资（万元）
1	管理规章制度、应急预案、 电离辐射警告标志张贴	1
2	辐射防护与安全设施	15
3	辐射监测设备	2
4	环评、验收、办证等	8

1.1.6 检测样品情况

本项目工业 CT 检测样品为各种岩土小型试件。岩土小型试件为圆柱形，最大直径为 50mm，最大厚度为 100mm。

1.2 项目选址和周边关系

1.2.1 外环境概况

本项目位于重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室，极端环境岩土材料细观实验室为单层建筑，无地下层。极端环境岩土材料细观实验室四周主要分布有绿化带、林地、走道等。项目所在区域图见图 1-1，极端环境岩土材料细观实验室四周平面布置图及项目周边 50m 关系图见图 1-2。

CT 室位于极端环境岩土材料细观实验室内西侧。CT 室东侧为导热系数实验室等场所；南侧为林地；西侧为绿化带等场所；北侧为走道等场所。工业 CT 拟放置于 CT 室内东南侧，工业 CT 东侧约 1.3m 为导热系数实验室，约 7.3m 为研究室，约 13.3m 为设备室，约 13.6m 为远程控制室，约 20m 为绿化带，约 27m 为极端环境岩土材料宏观实验室；南侧约 1.5m 为林地；西侧约 4m 为绿化带，约 16m 为极端环境岩土材料微观实验室，约 48m 为智能网联车辆技术与装备实验室；北侧约 7m 为走

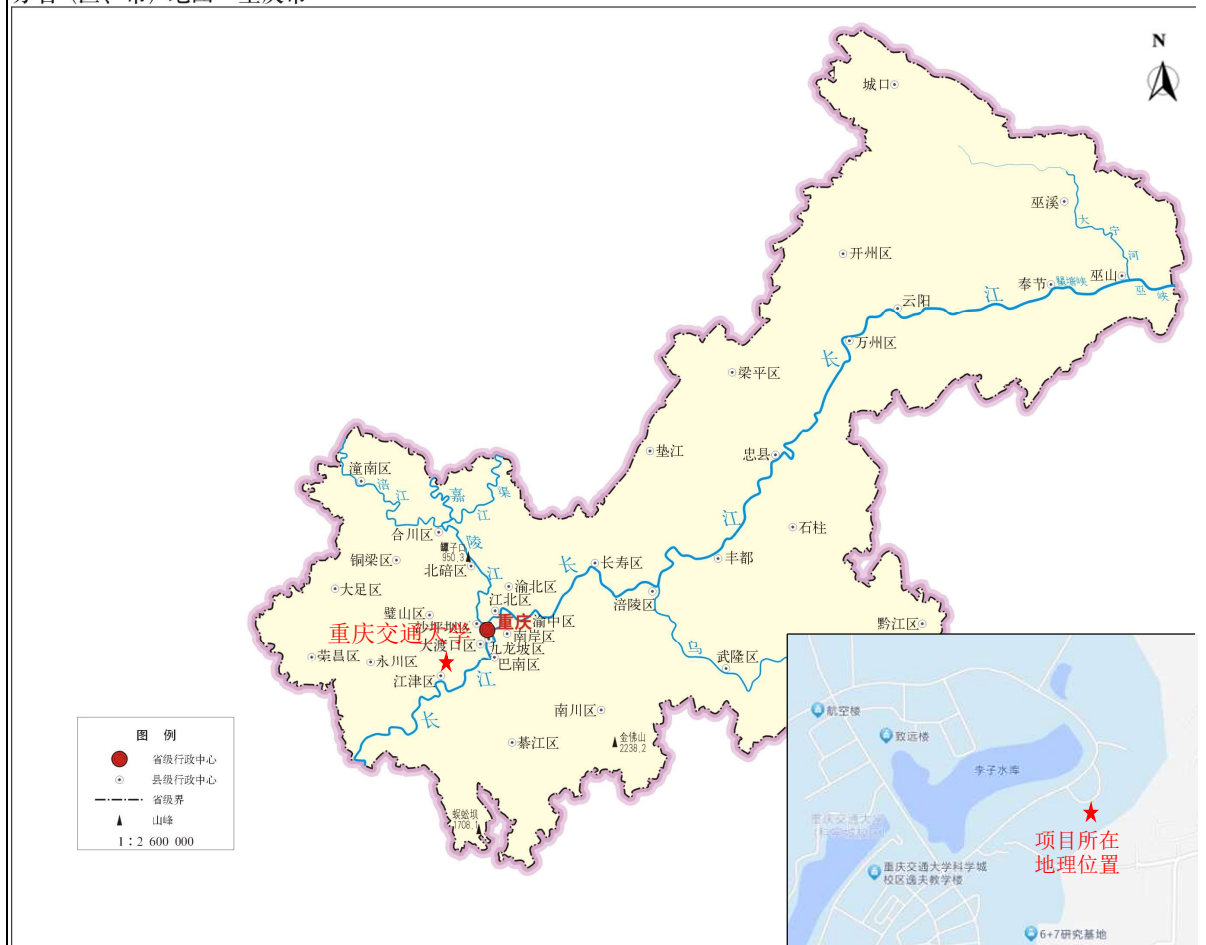
道，约 13m 为绿化带。项目外环境一览表见表 1-4，极端环境岩土材料细观实验室平面布置图见图 1-3。

表 1-4 项目外环境一览表

序号	方位	外环境名称	最近水平距离(m)	高差(m)	环境特征
1	东侧	导热系数实验室	1.3	0	实验室
2		研究室	7.3	0	研究室
3		设备室	13.3	0	设备室
4		远程控制室	13.6	0	控制室
5		绿化带	20	0	绿化带
6		极端环境岩土材料 宏观实验室	27	0	实验室
7	南侧	林地	1.5	0	林地
8	西侧	绿化带	4	0	绿化带
9		极端环境岩土材料 微观实验室	16	0	实验室
10		智能网联车辆技术 与装备实验室	48	0	实验室
11	北侧	走道	7	0	人行道
12		绿化带	13	0	绿化带

注：表中最近水平距离是指外环境边界到工业 CT 屏蔽体的距离。

分省（区、市）地图—重庆市



审图号：GS(2019)3333号

图 1-1 项目所在地区域图

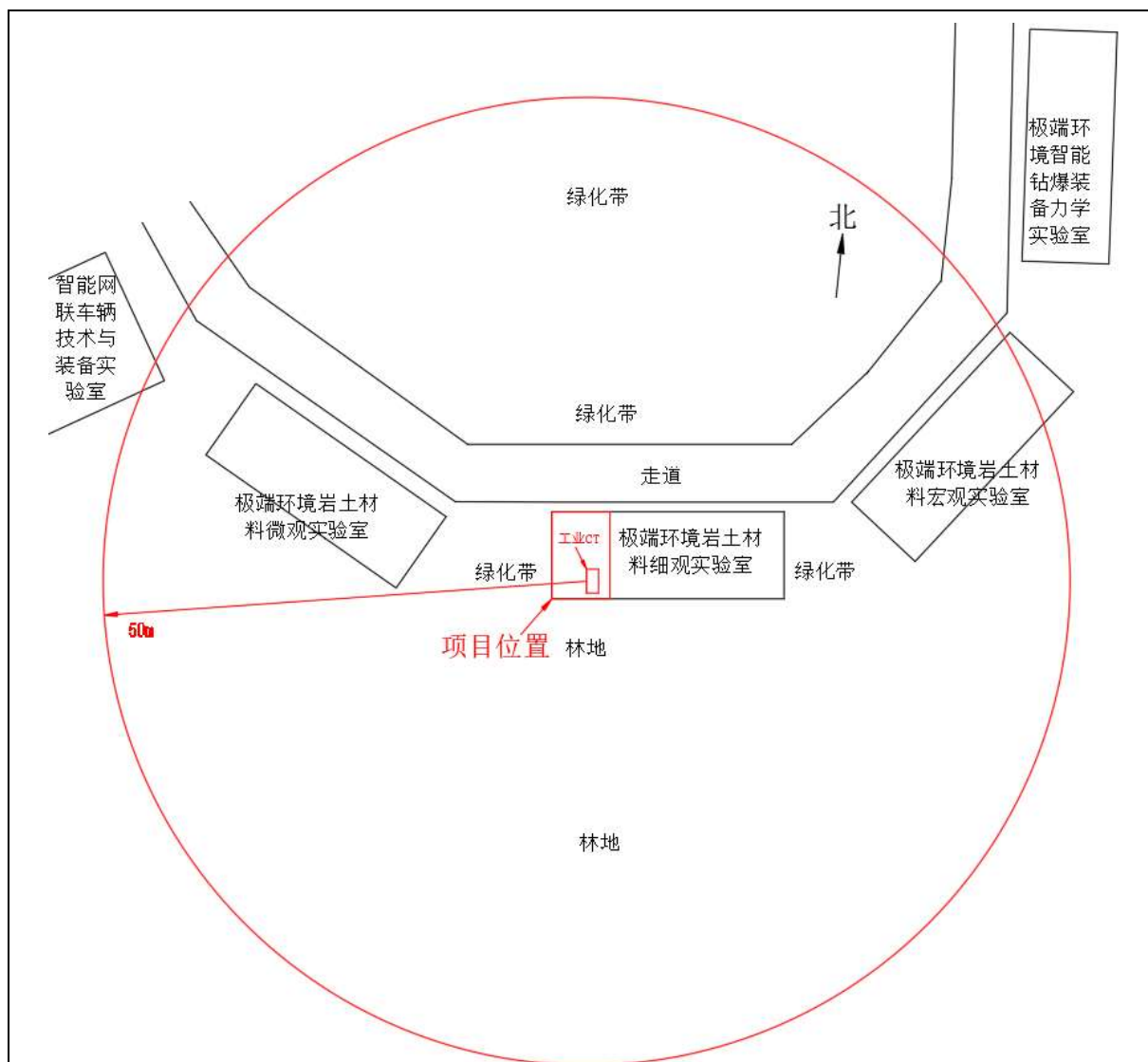


图 1-2 极端环境岩土材料细观实验室四周平面布置图及项目周边 50m 关系图

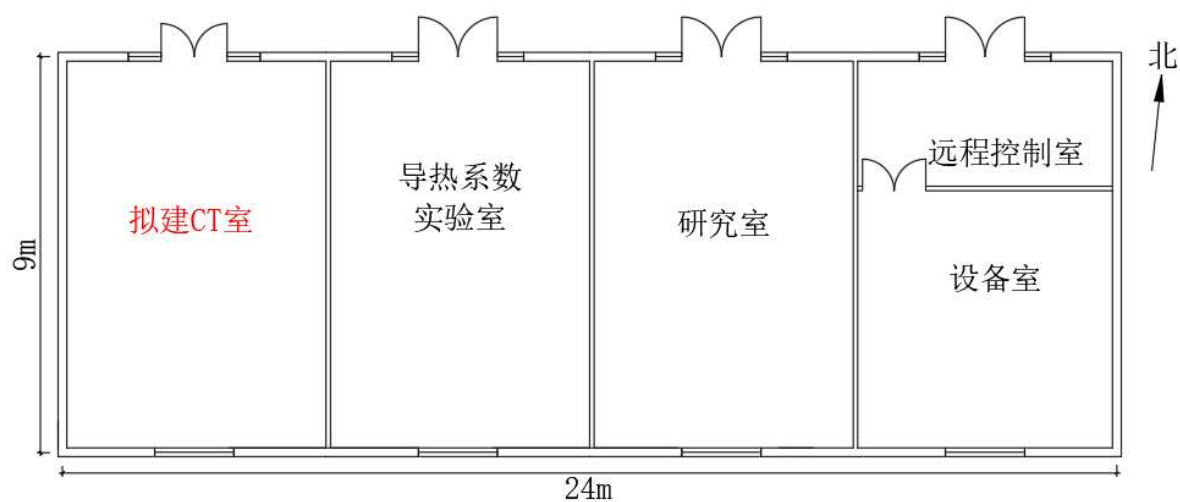


图 1-3 极端环境岩土材料细观实验室平面布置图

1.2.2 项目选址可行性分析

本项目选址位于重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室。极端环境岩土材料细观实验室四周主要分布有绿化带、林地、走道等。CT 室位于极端环境岩土材料细观实验室内西侧。

再者，本项目的射线装置自带屏蔽体，放置在独立的区域使用，四周相邻区域均是人员居留因子较小的场所，项目选址充分考虑了周围场所的人员防护和安全，有利于辐射工作场所的管理。项目选址 50m 范围内主要是极端环境岩土材料细观实验室、极端环境岩土材料宏观实验室、极端环境岩土材料微观实验室、智能网联车辆技术与装备实验室、绿化带、走道、林地，无居民楼等环境敏感点。综上可判断本项目的选址可行。

1.3 原有核技术利用项目许可情况

重庆交大现持有辐射安全许可证（见附件 3），证书编号：渝环辐证[14005]，有效期至 2028 年 11 月 22 日，种类和范围为：使用Ⅲ类射线装置。现有射线装置明细表见表 1-5。

表 1-5 现有射线装置质明细表

辐射活动场所名称	装置名称	类别	活动种类	数量（台）	技术参数（最大）	备注
X 光室	医用诊断 X 射线摄影装置 CR	Ⅲ类	使用	1	管电压 100kV，管电流 500mA	已办证

根据现场调查以及建设单位提供资料，建设单位制定有相应的辐射安全管理制度，目前配置有 1 名辐射工作人员，其进行了辐射安全与防护知识相关培训，做到了持证上岗，进行了职业健康检查，配备了个人剂量计，目前年有效剂量不超过 5mSv/a 的职业照射剂量约束值。建设单位委托有资质的单位对原核技术利用项目辐射工作场所和周围环境进行了辐射水平监测，监测报告存档。建设单位在实际工作中严格执行各项规章制度。

1.4 与项目依托可行性分析

项目依托可行性分析见表 1-6。

表 1-6 项目依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析	结论
主体工程	建筑主体	依托现有极端环境岩土材料细观实验室内的房间，本项目工业 CT 使用后，不影响极端环境岩土材料细观实验室的布局和运作，项目建筑主体依托可行。	可行
公用工程	供配电系统	依托极端环境岩土材料细观实验室供配电系统，用电来源于市政供电，依托可行。	可行
	给水系统	依托极端环境岩土材料细观实验室给水管网，市政管网供水，依托可行。	可行
	排水系统	项目工作人员生活污水排入市政污水管网，依托可行。	可行
环保工程	废水处理	项目无生产废水，不新增人员生活污水，项目工作人员生活污水排入市政污水管网，依托可行。	可行
	固废处理	项目工作人员生活垃圾依托重庆交大现有的生活垃圾收集系统收集后运至校区生活垃圾暂存处，统一交由环卫部门统一处理，依托可行。	可行
		废射线发生器灯丝交由厂家回收处理，依托可行。	可行
辐射安全管理	辐射安全管理	建设单位成立了辐射安全与环境保护管理机构，建设单位制定了辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案。针对本次项目，建设单位进一步完善了本项目的操作规程、辐射事故应急处理预案以及个人剂量监测计划等相关内容。	可行

表 2 放射源

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

表 3 非密封放射性物质

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

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)	额度电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	无									

(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	最大管电流	用途	工作场所	备注
1	工业 CT	II类	1 台	nanoVoxel 3000	160kV	1mA	用于各种岩土小型试件的 无损检测	CT 室	1 个射线发 生器

(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	贮存方式	数量	
	无												

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
本项目不产生放射性废物。								
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	微量	/	直接排放	外环境
废射线发生器灯丝	固态	/	/	/	4 根	/	/	交由厂家回收处理
生活垃圾	固态	/	/	/	少量	/	校区生活垃圾暂存处	收集后运至校区生活垃圾暂存处，统一交由环卫部门统一处理

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（主席令第九号，2015 年 1 月 1 日实施） (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改<中华人民共和国劳动法>等七部法律的决定》修正） (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（主席令第六号，2003 年 10 月 1 日实施） (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号，2005 年 12 月 1 日施行，2019 年 3 月 2 日修订） (5) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施） (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部第 20 号令，2021 年 1 月 4 日修改） (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施） (8) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告第 66 号，2017 年 12 月 6 日发布） (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行） (10) 《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） (11) 《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 2019 年 12 月 24 日印发） (12) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月修订，2024 年 2 月 1 日实施）
------	---

	2024 年 2 月 1 日实施) (13) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4 号, 2017 年 11 月 20 日起施行) (14) 《重庆市环境保护条例》(2022 年 11 月 1 日起施行修订版) (15) 《重庆市辐射污染防治办法》(重庆市人民政府令第 338 号, 2021 年 1 月 1 日施行) (16) 《重庆市辐射污染防治“十四五”规划(2021-2025 年)》(2022 年 3 月 11 日)
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016) (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (4) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) (5) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及修改单 (6) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019) (7) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) (8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) (9) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021) (10) 《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)
其他	(1) 《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社, 2015 年出版) (2) 《辐射防护导论》(方杰主编) (3) 建设单位提供的其他资料

表 7 评价标准与保护目标

7.1 评价范围

本项目使用的Ⅱ类射线装置设置有固定的实体屏蔽体，参考《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）对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围和保护目标的相关规定：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，因此本项目将工业 CT 屏蔽体外 50m 的范围内选为评价范围。

7.2 保护目标

结合该项目的评价范围，将评价范围内的辐射工作人员和公众列为保护目标，具体保护目标分布情况见表 7-1。

表 7-1 评价范围内保护目标分布一览表

序号	方位	场所名称	水平距离(m)	高差(m)	敏感目标特性	受影响人群	影响因素
1	/	拟建 CT 室	0.3	0	项目工作区域，2 人	辐射工作人员	电离辐射
2	东侧	导热系数实验室	1.3~7	0	实验用房，约 2 人	公众	电离辐射
3		研究室	7.3~13	0	研究用房，约 2 人	公众	
4		设备室	13.3~19	0	设备用房，约 2 人	公众	
5		远程控制室	13.6~20	0	控制用房，约 2 人	公众	
6		绿化带	20~29	0	校区绿化，流动人员	公众	
7		极端环境岩土材料宏观实验室	27~50	0	实验用房，约 4 人	公众	
8	南侧	林地	1.5~50	0	林地，流动人员	公众	电离辐射
9	西侧	绿化带	4~15	0	校区绿化，流动人员	公众	电离辐射
10		极端环境岩土材料微观实验室	16~41	0	实验用房，约 4 人	公众	
11		智能网联车辆	48~50	0	实验用房，	公众	

		技术与装备实验室			约 8 人		
12	北侧	走道	7~13	0	流动人员	公众	电离辐射
13		绿化带	13~50	0	校区绿化, 流动人员	公众	

注：表中水平距离是指保护目标场所边界到工业 CT 屏蔽体的距离。

7.3 评价标准

7.3.1 职业照射及公众照射年有效剂量控制要求

(1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定：

①工作人员的照射水平不应超过下述限值：

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

(2) 剂量约束值

①工作人员：

本项目取职业照射年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的职业照射剂量约束值，即本项目的辐射工作人员的年有效受照剂量应不超过 5mSv/a。

②公众：

取公众年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的公众照射剂量约束值，即本项目的公众的年有效受照剂量不超过 0.25mSv/a。

7.3.2 工作场所辐射剂量率控制要求

参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）6.1.3 的规定，探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 关注点的周剂量参考控制水平，对放射工作场所不大于 100 μ Sv/周,对公众不大于 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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目选址位于重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室，项目地理位置见图 8-1，项目四周场所现状照片见图 8-2。



图 8-1 项目地理位置图

	
拟建 CT 室现状	东侧导热系数实验室
	
南侧林地	西侧绿化带
	
北侧走道	
图 8-2 项目场址现状照片	

8.2 检测方案

8.2.1 检测方法、检测因子和检测仪器

为调查本项目所在区域及周围环境辐射水平现状，广州星环科技有限公司对项目场址周围进行环境 γ 辐射剂量率现状检测，检测方法和因子见表 8-1，检测仪器信息见表 8-2。

表 8-1 检测方法和因子

检测方法	检测因子
《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021)	环境 γ 辐射剂量率

表 8-2 检测仪器信息

仪器名称	X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪	仪器型号	BG9512P 型
生产厂家	中广核贝谷科技有限公司	仪器编号	1TRW88AA
校准日期	2024 年 09 月 25 日	有效期	1 年
测量范围	10nGy/h-200 μ Gy/h	能量响应	25keV-3MeV
校准单位	上海市计量测试技术研究院	证书编号	2024H21-20-5500542001

8.2.2 布点原则

按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的辐射环境质量监测布点要求，开展道路测量时，点位应设置在道路中心线；开展室内测量时，点位应设置在人员停留时间最长的位置或者室内中心位置。参考《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.3 核技术利用辐射环境监测的布点要求，以工作场所为中心，半径 50m 内布点，测量点覆盖周围环境敏感点。

本项目的测点布设进一步根据保护目标的分布及评价范围来选取，原则上项目评价范围内有保护目标分布场所的里面均至少布设一个点位，根据以上布点原则，本次共布设 13 个检测点位，检测布点见图 8-1～图 8-2。

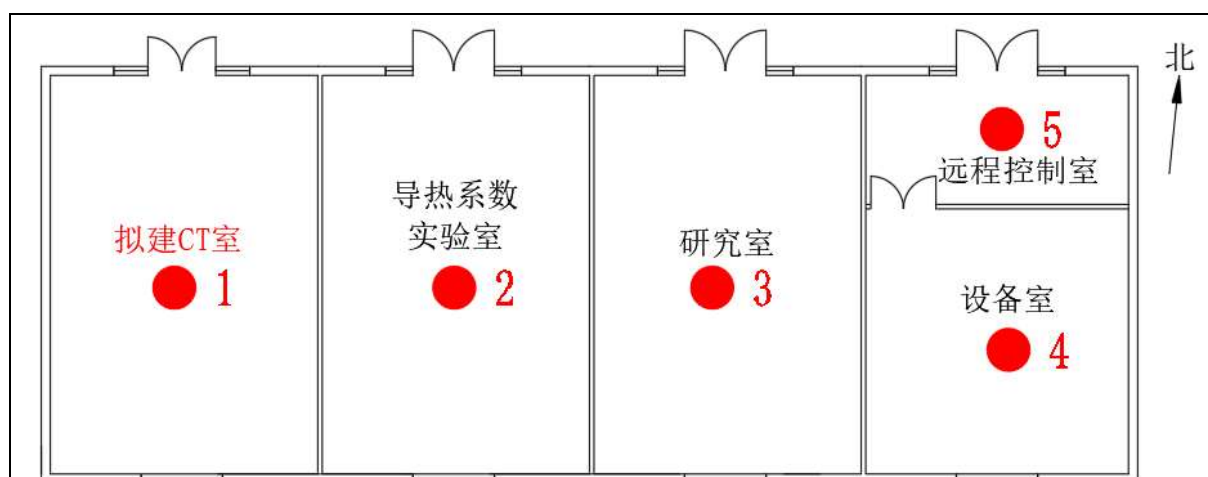


图 8-1 极端环境岩土材料细观实验室检测布点图

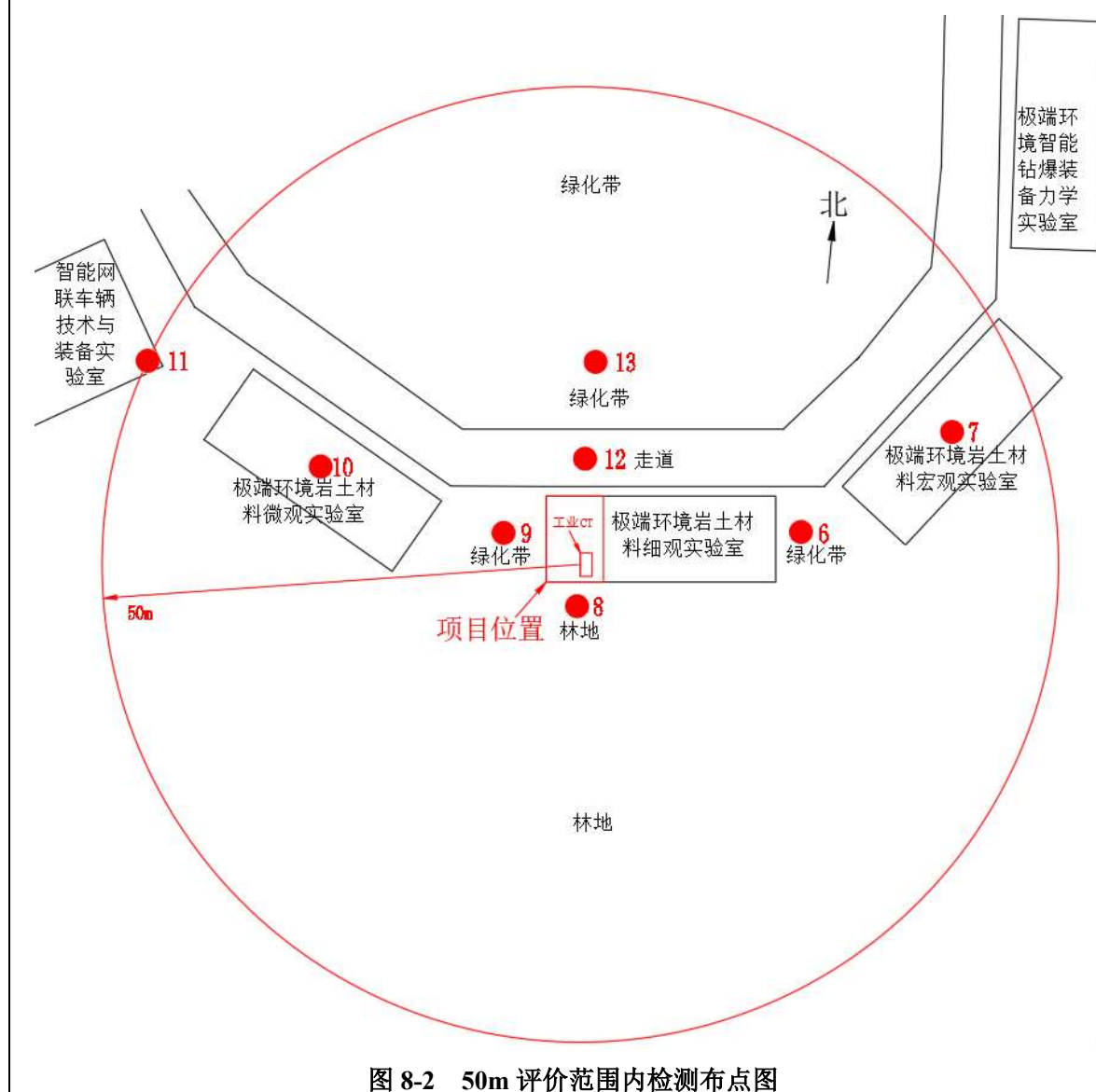


图 8-2 50m 评价范围内检测布点图

8.3 质量保证措施

本项目的环境辐射现状检测，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）做好如下的质量保证措施：

（1）承担本项目环境辐射现状检测的检测机构具备检验检测机构资质认定证书，检测人员具备从事环境辐射监测的工作经验，充分了解环境 γ 辐射的特点，掌握辐射检测技术和技术标准，具备对检测结果做出正确判断的能力，熟悉本单位检验检测质量管理程序。

（2）实施检测前，确认使用的仪器的检测因子、测量范围和能量相应等参数均满足检测要求，核实检测现场的操作环境均满足所使用仪器的操作环境要求。提前开启检测仪器预热至少 1 分钟，并确认仪器的电量充足后，再进行检测。所有检测点位，待读数稳定后，约 10s 间隔读取 10 个值，并经校正后求出平均值和标准偏差。

（3）测量人员经环境 γ 辐射剂量率测量相关专业培训并考核合格；环境 γ 辐射剂量率测量仪器定期校准，每年至少 1 次送到计量检定机构校准环境 γ 辐射剂量率测量仪器，在两次校准之间进行一次设备期间核查。

（4）更新仪器和方法时，在典型的和极端的辐射场条件下与原仪器和方法的测量结果进行对照，以保持数据的前后一致性。

（5）环境 γ 辐射剂量率测量应选用相对固有误差小的仪器（ $<\pm 15\%$ ）。

（6）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。

（7）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。质量保证活动按要求做好记录，并确保所有记录信息的完整性、充分性和可追溯性。

（8）监测报告严格执行三级审核制度，经过校对、校核，最后由授权签字人审定。

8.4 检测结果

检测结果参照（HJ61-2021）中“8.6 宇宙射线响应值的扣除”的方法处理得到：

$$\dot{D} = C_f(E_f \dot{X} - \mu_c \dot{X}_c')$$

其中：

$\dot{D}$ ：环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果；

C_f ：仪器量程检定/校准因子，由法定计量部门检定或校准时给出，1.06；

E_f ：仪器检验源效率因子。本仪器无检验源，该值取 1；

$\bar{X}$ ：读数值的平均值；

μ_c ：建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1；

$\dot{X}'_c$ ：宇宙射线响应值，36.2nGy/h（测量地点：广东省河源市万绿湖，最终值根据（HJ61-2021）D.1 修正公式，并结合项目所在地的经纬度、海拔进行修正得到）。

检测数据见表 8-3，检测报告见附件 4。

表 8-3 建设项目场所环境 γ 辐射现状检测结果

点位 编号	方位	场所	距离 (m)	表面介质	检测结果 (nGy/h)	环境 性质
1	/	拟建 CT 室	/	瓷砖	81±1	平房
2	东侧	导热系数实验室	4.5	瓷砖	81±1	平房
3	东侧	研究室	10	瓷砖	79±1	平房
4	东侧	设备室	16	瓷砖	78±1	平房
5	东侧	远程控制室	17	瓷砖	78±1	平房
6	东侧	绿化带	22	泥土	65±1	原野
7	东侧	极端环境岩土材料宏观实验室	40	瓷砖	81±1	平房
8	南侧	林地	3	泥土	64±1	原野
9	西侧	绿化带	8	泥土	65±1	原野
10	西侧	极端环境岩土材料微观实验室	29	瓷砖	79±1	平房
11	西侧	智能网联车辆技术与装备实验室	49	瓷砖	78±1	平房

12	北侧	走道	10	地砖	59±1	道路
13	北侧	绿化带	20	泥土	64±1	原野

注：1、以上数据已校准，校准系数为 1.06；

2、检测时仪器探头垂直地面，距地约 1m，待读数稳定后，每个测量点测量 10 个读数；

3、检测结果已对宇宙射线响应值进行了修正（原为 35nGy/h，修正后为 36.2nGy/h），并扣除了仪器对宇宙射线的响应部分；建筑物对宇宙射线的屏蔽因子：楼房取值 0.8，平房取值 0.9，原野、道路取值 1。

从表 8-3 中的数据可见，项目建设场地及周围区域的室内环境 γ 辐射剂量率检测值为 78~81nGy/h，室外道路环境 γ 辐射剂量率检测值为 59nGy/h，室外原野环境 γ 辐射剂量率检测值为 64~65nGy/h。参考《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年出版）报道的重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率的调查结果，重庆市的室内 γ 辐射剂量率调查水平在 36.1~161.3nGy/h 之间，室外道路环境 γ 辐射剂量率调查水平在 26.2~116.0nGy/h 之间，室外原野 γ 辐射剂量率调查水平在 33.1~96.2nGy/h 之间。对比表明，建设项目场所环境 γ 辐射现状未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

建设阶段项目工程分析和源项

本项目使用成品电气设备，由生产厂家搬送至辐射工作场所，不涉及施工建设，不会产生施工废水和扬尘，同时不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体。本项目建设阶段主要有设备搬运和安装时产生的噪声，以及设备包装材料等固体废物。

运行阶段项目工程分析和源项

9.1 设备组成和工作方式

9.1.1 设备组成

本项目拟使用的天津三英公司 nanoVoxel 3000 工业 CT 由防护箱体、射线发生器、载物台、探测器等组成。工业 CT 外观结构图和工业 CT 内部结构图分别见图 9-1 和图 9-2。各部件名称一览表见表 9-1，设备尺寸参数见表 9-2。

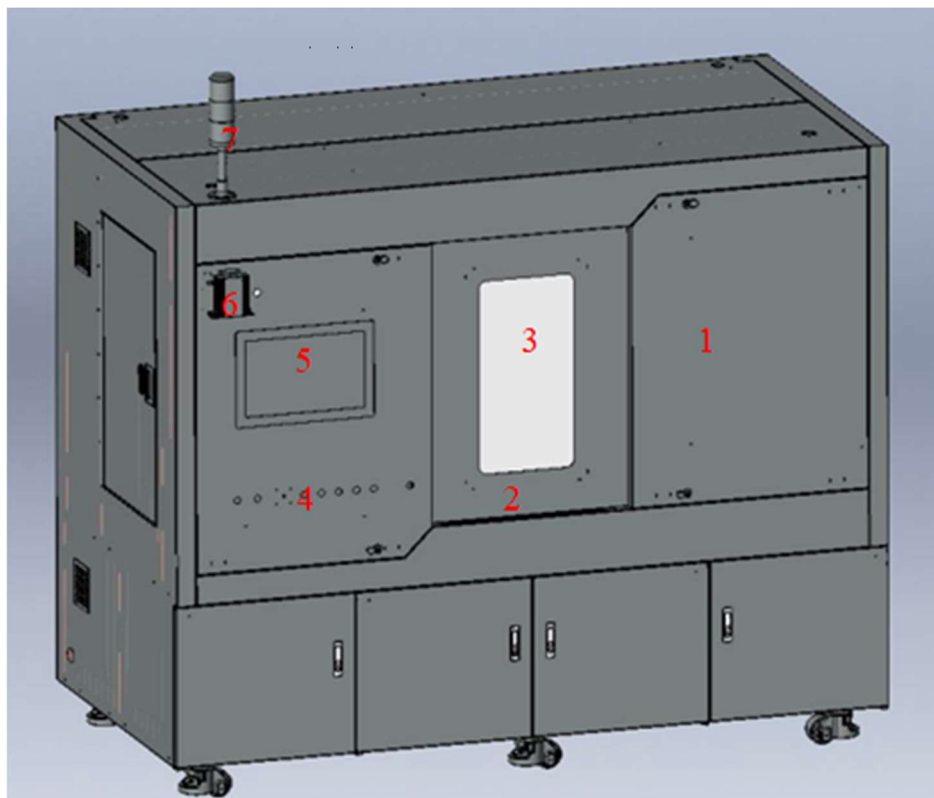


图 9-1 工业 CT 外观结构图

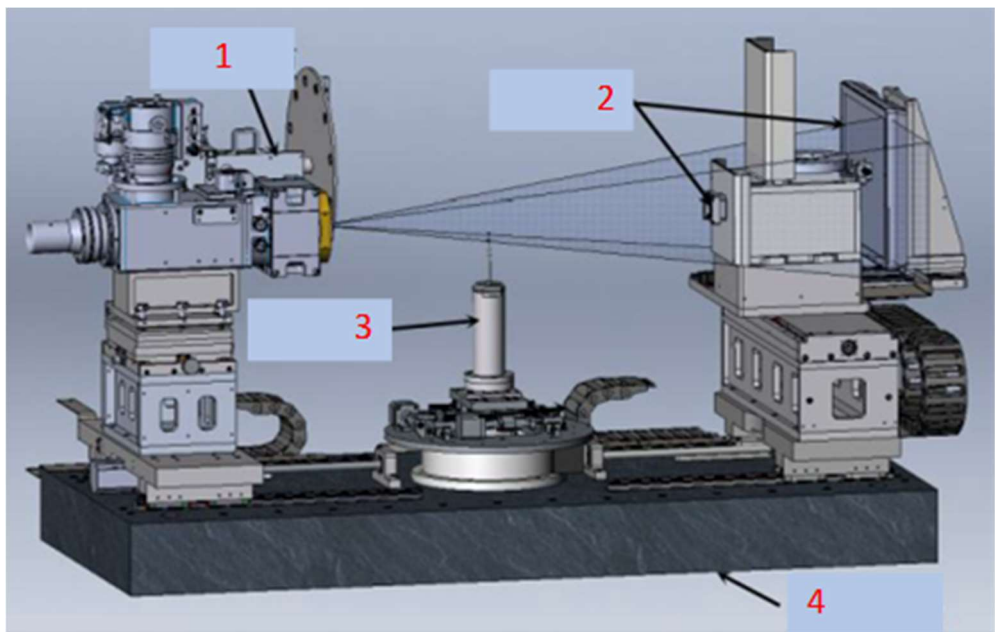


图 9-2 工业 CT 内部结构图

表 9-1 设备各部件名称一览表

序号	名称	序号	名称
外部			
1	防护箱体	5	显示屏
2	装载门	6	固定式辐射探测报警装置
3	观察窗	7	指示灯
4	控制开关（主要包括主电源开关、钥匙开关、使能开关、启动开关、门锁复位按钮、门开关、急停按钮）	/	/
内部			
1	射线发生器	3	载物台
2	探测器	4	基底平台

表 9-2 设备尺寸参数一览表

项目	设计情况
设备外尺寸	长×宽×高=2452mm×1228mm×1900mm
装载门尺寸	长×高=680mm×939mm
观察窗尺寸	长×高=340mm×600mm
检修门（左侧）尺寸	长×高=444mm×821mm
检修门（背面）尺寸	长×高=1872mm×939mm（2 扇对开）

9.1.2 工作方式

(1) 工业 CT 自带屏蔽体，其有用线束固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射，有用线束角度为 32° 。射线发生器不可移动；载物台可前后、左右、上下移动，载物台轴体可进行 360° 旋转；探测器可前后、左右移动。

(2) 工业 CT 正面设装载门用于手工放取样品，装载门采用电动平移门，操作人员只需通过装载门的控制按钮即可开启或关闭装载门。工业 CT 通过设备的控制按钮或操作系统开启 X 射线。操作人员位于操作台对工业 CT 进行操作，操作台位于工业 CT 正面左侧，出束期间无需人员干预，人员无需进入工业 CT 内部。

(3) 工业 CT 采用独特的 X 光光学显微成像技术，利用不同角度的 X 射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行亚微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。

(4) 工业 CT 检测样品为各种岩土小型试件，岩土小型试件为圆柱形，最大直径为 50mm，最大厚度为 100mm。

9.2 工作原理

9.2.1 X 射线产生原理

射线装置通过射线发生器产生 X 射线，射线发生器的主要构件是 X 射线管，X 射线管由密封在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，X 射线管示意图如图 9-3 所示。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。虽然电子轰击靶体时所有方向都发射 X 射线，但当加速电压低于 400kV 时，有用的锥形 X 射线束都是在电子射束大致垂直的方向上通过 X 射线管保护罩上的薄窗口引出来，其他方向发射的 X 射线则被保护罩的铅屏蔽层屏蔽掉，准直性较高。

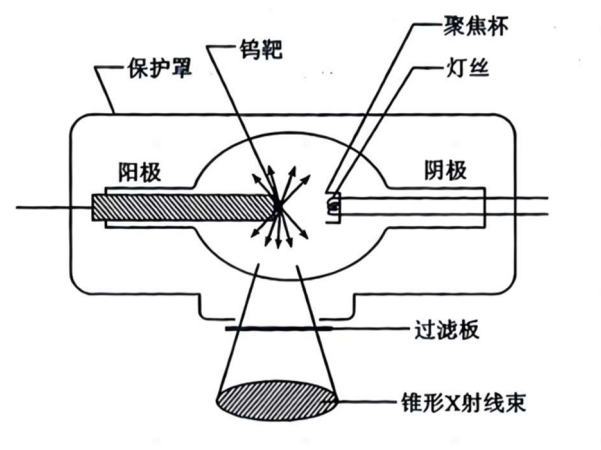


图 9-3 X 射线管示意图

9.2.2 工业 CT 原理

电子计算机断层摄影（Computed Tomography，简称 CT）是近几十年来发展迅速的电子计算机和 X 射线相结合的一项新颖的无损检测技术。其原理是基于从多个投影数据应用计算机重建图像的一种方法，现代断层成像过程中仅仅采集通过特定剖面（被检测对象的薄层，或称为切片）的投影数据，用来重建该剖面的图像，因此也就从根本上消除了传统断层成像的“焦平面”以外其他结构对感兴趣剖面的干扰，“焦平面”内结构的对比度得到了明显的增强；同时断层图像中图像强度（灰度）数值能真正与被检对象材料的辐射密度产生对应的关系，发现被检对象内部密度的微小变化。

工业 CT 机一般由射线源、机械扫描系统、探测器系统、计算机系统和屏蔽设施等部分组成，其工作原理示意图如图 9-4 所示。射线源提供 CT 扫描成像的能量线束用以穿透工件，根据射线在试件内的衰减情况实现以各点的衰减系数表征的 CT 图像重建。机械扫描系统实现 CT 扫描时工件的旋转或平移，以及载物台、工件、图像探测器空间位置的调整。探测器系统用来接收穿过试件的射线信号，经放大和模数转

换后送进计算机进行图像重建。计算机系统用于扫描过程控制、参数调整，完成图像重建、显示及处理等。

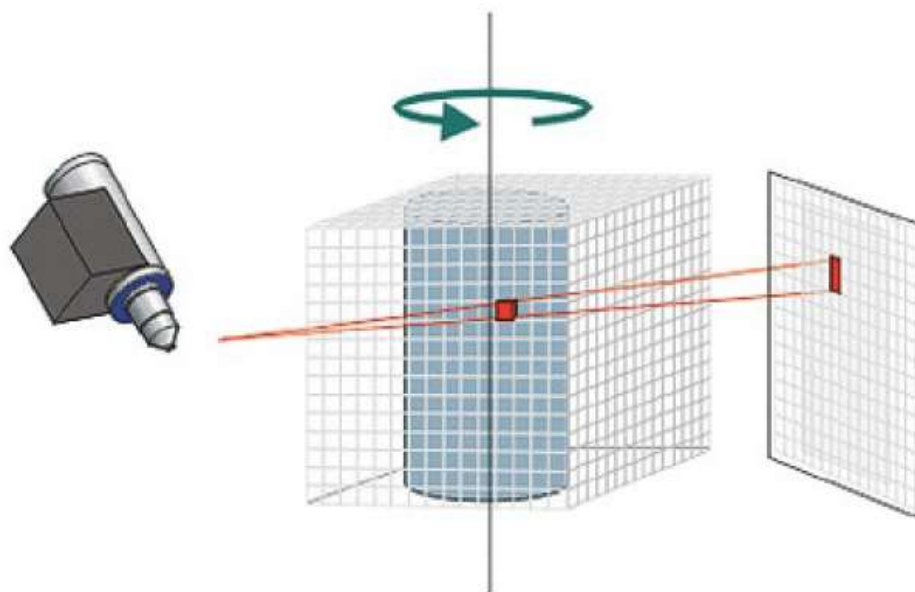


图 9-4 工业 CT 工作原理示意图

9.3 工艺流程和产污环节

本项目射线装置的操作流程和产污环节如图 9-5 所示。

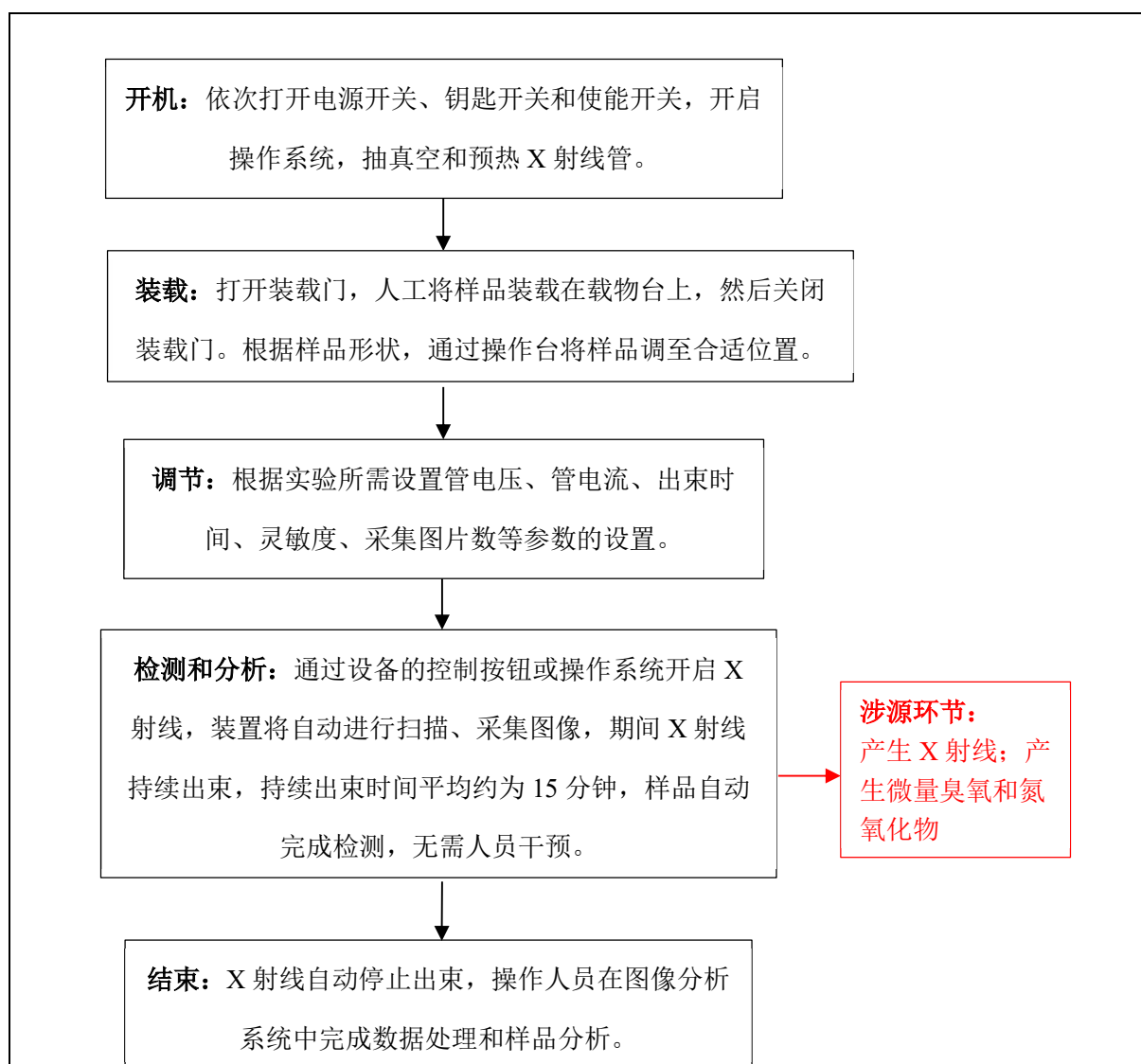


图 9-5 工艺流程和产污环节图

9.4 工作负荷和人员配置

根据建设单位提供的资料，工业 CT 投入使用后，预计每天最多检测 16 个样品，检测每个样品的平均出束时间约为 15 分钟，每周工作 5 天，全年工作时间为 40 周。则装置日出束时间为 4 小时，周出束时间为 20 小时，年出束时间为 800 小时。

建设单位拟配置 2 名辐射工作人员负责该射线装置的操作和管理。辐射工作人员为重庆交大现有人员，未来经辐射安全和防护考核合格后成为辐射工作人员。辐射工作人员实行常白班，无固定轮岗排班方式，保守以总的出束时间作为辐射工作人员的工作负荷。

本项目射线装置只允许经过辐射培训和考核的辐射工作人员操作，学校老师或

学生检测样品时，需将样品委托给辐射工作人员，由辐射工作人员进行操作，不允许老师或学生自行使用。

9.5 人流物流路径

（1）物流路径：在工业 CT 未运行时，待检样品由辐射工作人员运送至 CT 室内；样品由辐射工作人员装载到载物台上，检测完成后由辐射工作人员将已检样品运送至 CT 室外。

（2）人员路径：辐射工作人员经走道由 CT 室门进入到 CT 室内，工作结束原路返回；辐射工作人员仅在工业 CT 外周围及操作台附近活动，不进入工业 CT 屏蔽体内。

项目人流物流路径规划图见图 9-6。

最大管电流	1mA
滤过条件	2mmAl
有用线束角度	32°
有用线束距辐射源点 1m 处剂量率	0.50mGy/s
泄漏线束距辐射源点 1m 处剂量率	$2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$

9.7 污染源项描述

9.7.1 电离辐射

本项目的污染因子是 X 射线，随射线发生器的开和关而产生和消失。在正常工况下，检测过程中产生的射线可以得到屏蔽体的有效屏蔽。但由于 X 射线的直射、漏射及散射，可能有衰减后的射线对外部的工作人员和周围的公众产生辐射影响，影响途径为 X 射线外照射。辐射场中的 X 射线包括有用线束、泄漏线束和散射线束。

（1）有用线束：直接由射线发生器产生的电子通过打靶获得的 X 射线，X 射线用于照射样品。X 射线的能量、强度与射线发生器靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越高，加在射线发生器的管电压、管电流越高，光子束流越强。根据厂家提供的资料可知，本项目工业 CT 有用线束距辐射源点 1m 处剂量率为 0.50mGy/s。

（2）泄漏线束：由射线发生器发射的透过 X 射线管组装体的射线。本项目工业 CT 泄漏线束距辐射源点 1m 处剂量率根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）选取，其值为 $2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

（3）散射线束：由有用线束及泄漏线束在各种散射体上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线装置的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2，本项目工业 CT 的 X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值为 150kV。

9.7.2 “三废”排放情况

（1）废气

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，保持工作场所的良好通风可避免辐射工作场所空气中的有害气体含量增加。

(2) 废水

本项目无生产废水产生，不新增人员生活污水，项目工作人员生活污水排入市政污水管网。

(3) 固体废物

本项目一般固废主要为辐射工作人员产生的生活垃圾及废射线发生器灯丝。

本项目不新增劳动定员，不新增生活垃圾产生量；本项目工作人员生活垃圾经重庆交大现有的生活垃圾收集系统收集后运至校区生活垃圾暂存处，统一交由环卫部门统一处理；废射线发生器灯丝交由厂家回收处理。

9.7.3 项目产排污统计

本项目产排污统计情况见表 9-4。

表 9-4 项目产排污一览表

污染物	污染因子	产生量	处理方式
电离辐射	X 射线	本项目工业 CT 有用线束距辐射源点 1m 处剂量率为 0.50mGy/s；本项目工业 CT 泄漏线束距辐射源点 1m 处剂量率为 $2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ；本项目工业 CT 的 X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值为 150kV。	由工业 CT 自带钢铅结构的屏蔽体进行屏蔽。
废气	臭氧和氮氧化物	少量	由 CT 室拟设置排风量约为 600m ³ /h 的排风机排出室外。
废水	生活污水	不新增	排入市政污水管网。
固废	生活垃圾	不新增	收集后运至校区生活垃圾暂存处，统一交由环卫部门统一处理。
	废射线发生器灯丝	4 根/年	厂家回收处理。

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射屏蔽设计

本项目使用的工业 CT 自带钢铅结构的屏蔽体，设备三视图如图 10-1 至图 10-3 所示，设备屏蔽参数见表 10-1。

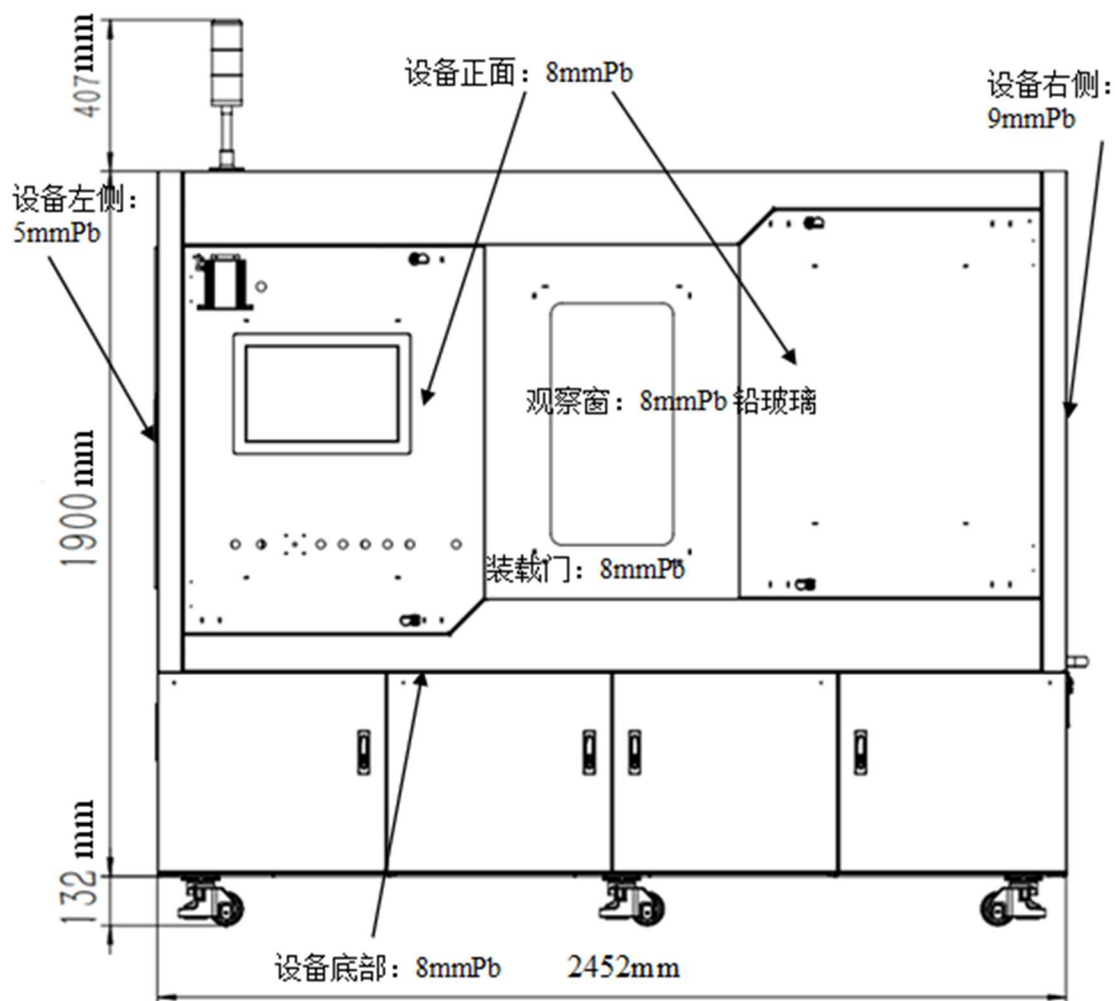


图 10-1 工业 CT 正视图

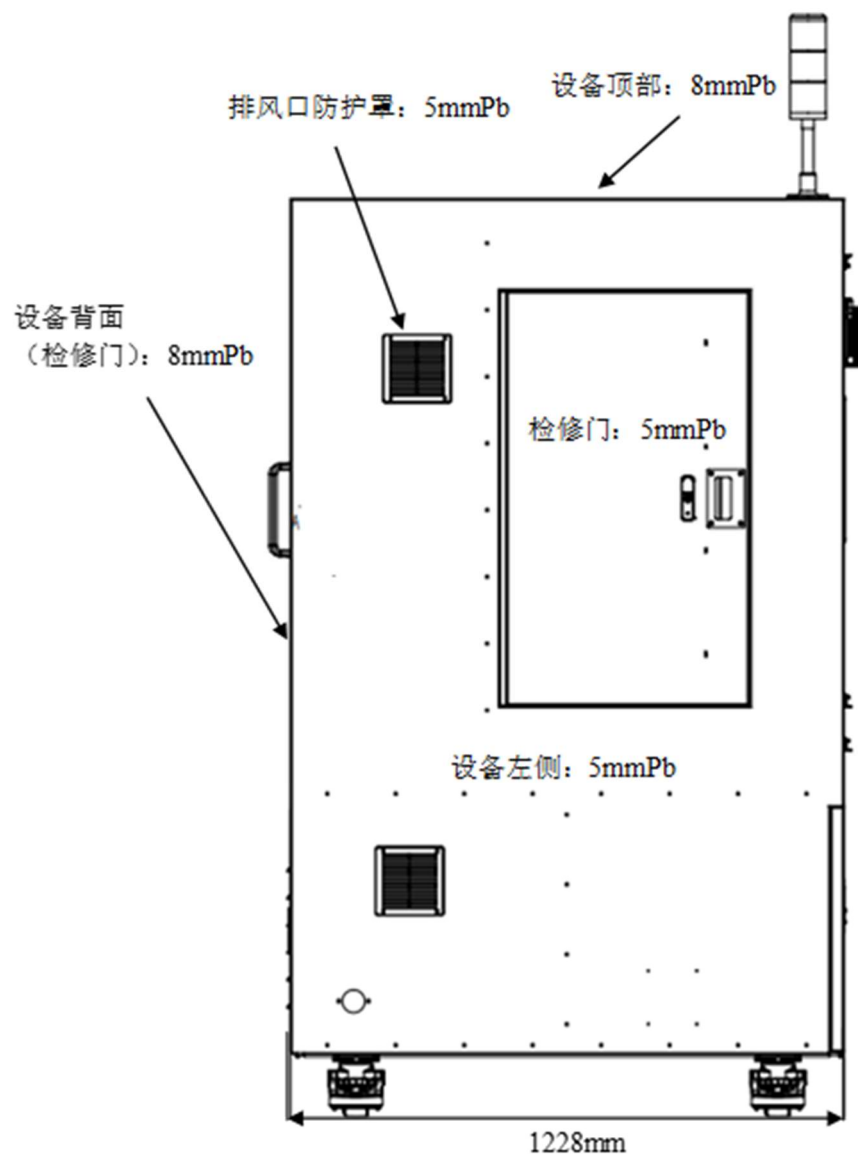


图 10-2 工业 CT 左视图

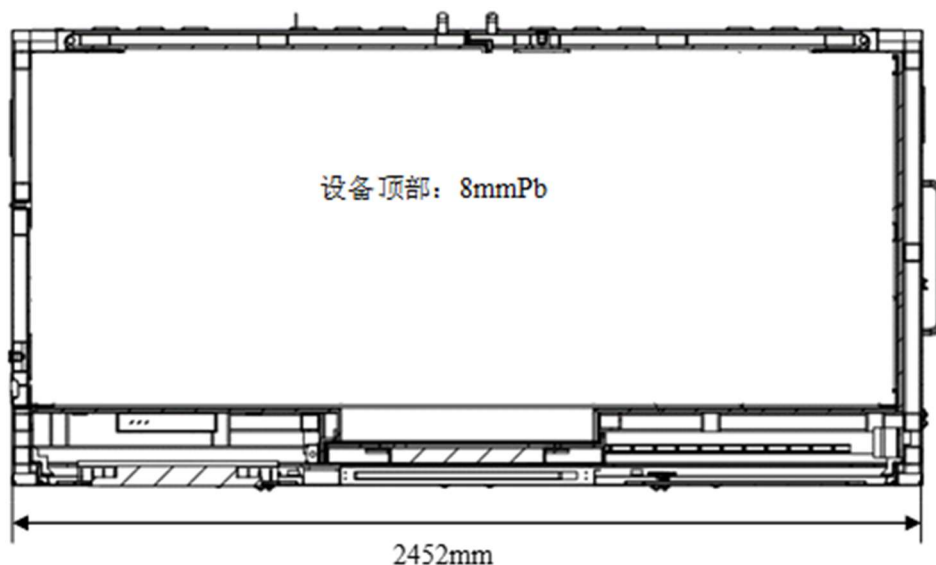


图 10-3 工业 CT 俯视图

表 10-1 工业 CT 屏蔽体结构和屏蔽参数一览表

项目	设计情况	屏蔽铅当量
正面	钢板内衬 8mm 铅板	8mmPb
背面	钢板内衬 8mm 铅板	8mmPb
左侧	钢板内衬 5mm 铅板	5mmPb
右侧	钢板内衬 9mm 铅板	9mmPb（主射面）
顶部	钢板内衬 8mm 铅板	8mmPb
底部	钢板内衬 8mm 铅板	8mmPb
装载门	钢板内衬 8mm 铅板	8mmPb
观察窗	8mmPb 铅当量特种铅玻璃	8mmPb
检修门（设备背面）	钢板内衬 8mm 铅板	8mmPb
检修门（设备左侧）	钢板内衬 5mm 铅板	5mmPb
排风口	自带 5mm 铅板防护罩	5mmPb

备注：1.铅密度为 11.3g/cm^3 ；2.上述辐射防护方案由设备厂家提供。

工业 CT 底部屏蔽体设有 3 种不同形状的穿线口，管线穿出位置设有 8mm 铅板防护罩。工业 CT 左侧屏蔽体设有 1 个排风扇，排风口位置自带 5mm 铅板防护罩。管线穿屏蔽体示意图见图 10-4，排风口屏蔽示意图见图 10-5。

管线口、排风口屏蔽补偿厚度与主体屏蔽厚度一致，射线经铅板防护罩衰减

后，屏蔽体外管线口处和排风口处的辐射泄漏可忽略不计。

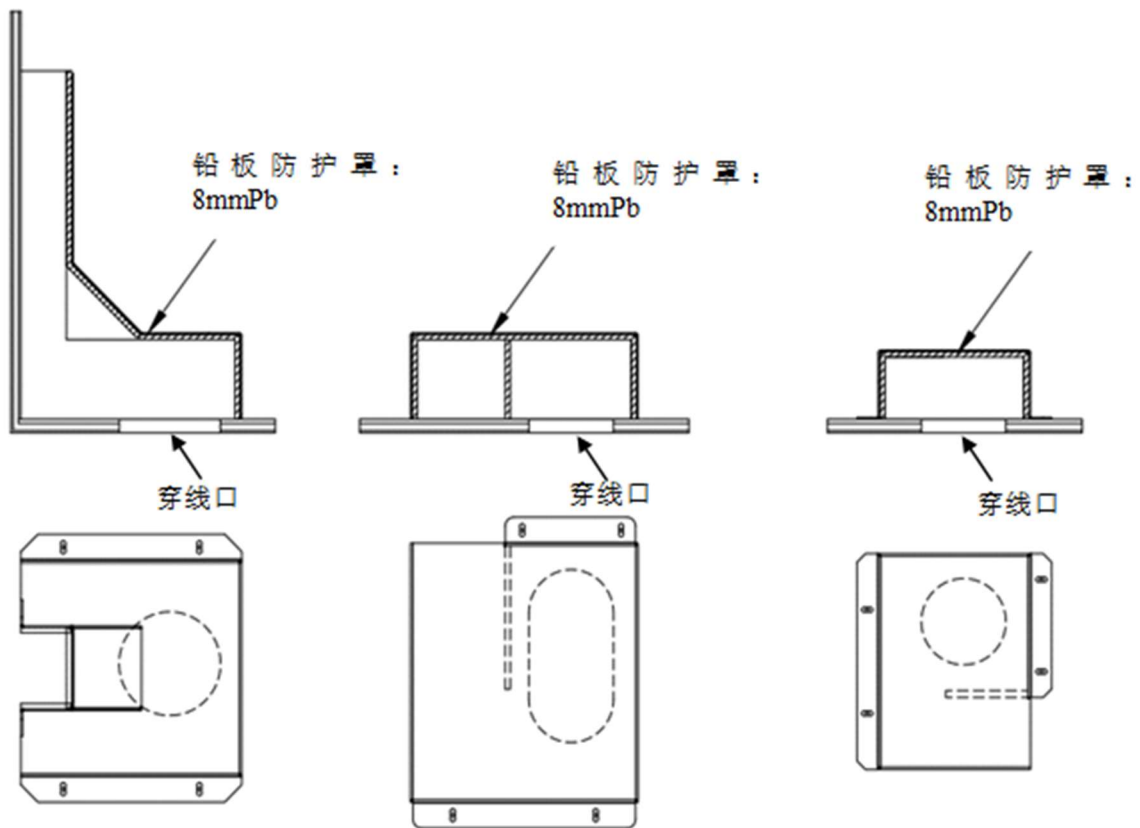


图 10-4 管线穿屏蔽体示意图

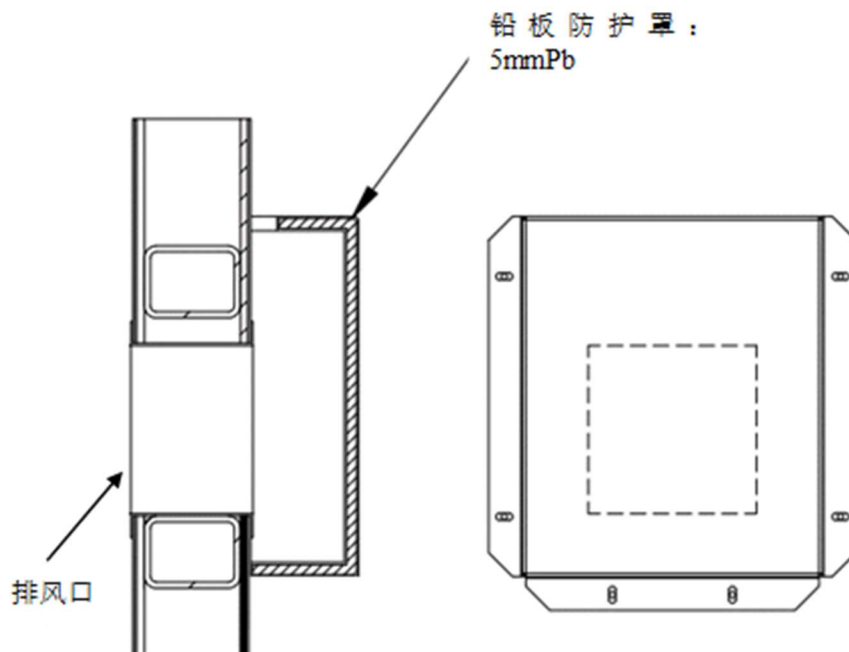


图 10-5 排风口屏蔽示意图

10.2 辐射安全与防护措施

10.2.1 工业 CT 固有安全性

(1) 开机时系统自检

开机后工业 CT 首先进行系统自检。若系统自检正常，则工业 CT 会示意操作者可以进行相关出束操作；若自检出故障，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) 当射线发生器接通高压电源产生 X 射线后，系统将始终实时监测射线发生器的各种参数，当发生异常情况时，自动切断射线发生器的高压电源。在出束阶段出现任何故障，系统都将立即切断射线发生器的高压电源，提醒操作人员发生了故障。

(3) 工业 CT 设有门机联锁装置，设备运行过程中，装载门和检修门任何一处可开启之处被外力开启时，会立即中断高压发生器的主供电，射线发生器则立即停止出束。

(4) 当出束阶段正常结束后，系统将自动切断高压电源，进入待机阶段。

10.2.2 安全联锁系统

本项目工业 CT 设有安全联锁系统，安全联锁设计要求钥匙开关闭合、使能开关闭合、主电源开关闭合、急停按钮复位、装载门和检修门正常关闭、指示灯正常的情况下射线装置才能启动，才能正常出束，否则不能出束。X 射线出束期间，任何一道安全设施触发或者发生故障，X 射线立即切断出束。安全设施实物图见图 10-6。

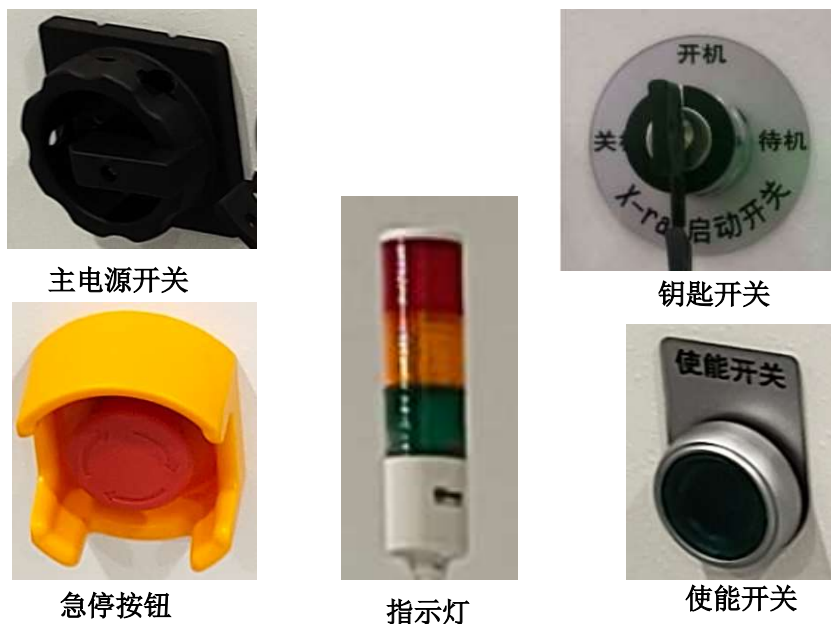


图 10-6 安全设施实物图

10.2.3 门机联锁装置

本项目工业 CT 装载门为电动平移门，左侧检修门为手动单开门，背面检修门为手动双开门。装载门和检修门各安装了 2 个继电器作为门机联锁装置，只有在装载门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通。装载门和检修门未关闭到位时射线发生器无法出束。设备运行过程中，任何一处可开启之处被外力开启时，会立即中断高压发生器的主供电，射线发生器则立即停止出束。门机联锁逻辑图见 10-7。

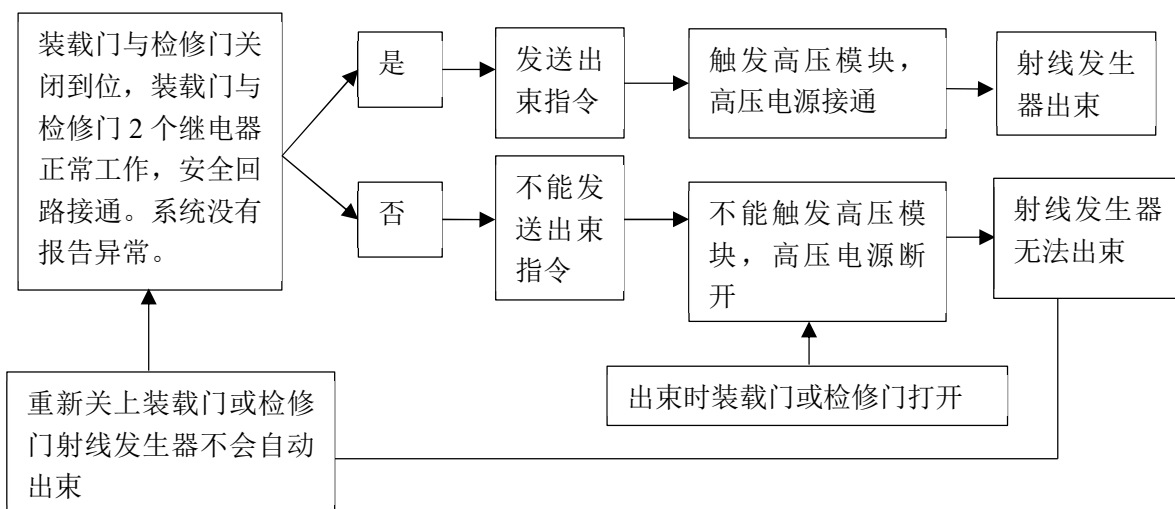


图 10-7 门机联锁逻辑图

10.2.4 警示设施和工作状态指示灯

建设单位拟在设备的正面张贴电离辐射警示标志，监督区边界将张贴“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”中文警示说明。

本项目工业 CT 顶部设有指示灯，分别为绿灯、黄灯、红灯，绿灯亮指示设备处于通电状态；黄灯亮指示装载门、检修门处于关闭状态，可安全开启射线发生器；红灯闪烁指示设备处于出束状态。

建设单位将在 CT 室内醒目位置张贴射线装置各指示灯的指示意义的中文说明。

10.2.5 多重开关

本项目工业 CT 设有 1 个钥匙开关、1 个使能开关、1 个主电源开关。钥匙开关、使能开关和主电源开关位于设备正面。钥匙开关控制射线发生器关机、开机或待机状态，使能开关控制射线发生器的电源，主电源开关控制整个设备的电源，只有三个开关同时打开后设备才能启动，任何一道开关未打开 X 射线都将无法正常出束。射线装置的钥匙由专人负责管理，只有授权的工作人员才能使用钥匙，非授权人员无法操作射线装置，使用钥匙时需要填写使用登记表。

10.2.6 紧急停机

本项目工业 CT 设有 2 个急停按钮，分别位于设备正面和操作台台面，操作人员不需要穿过主射线束就能够使用。在发生紧急事故时，相关人员可通过手工按压急停按钮，急停按钮可以迅速切断射线发生器的高压电源，射线发生器则立即停止出束。急停按钮将标明功能和使用方法。

10.2.7 辐射监测设施

建设单位拟为每名辐射工作人员各配备 1 个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪，并在工作期间佩戴好，个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，可满足辐射工作人员日常工作时的辐射监测和自我防护的要求。当个人剂量报警仪报警时，辐射工作人员应立即停止工作，同时阻止其他人进入 CT 室，并立即向辐射工作负责人报告。

建设单位拟配备 1 台便携式 X- γ 剂量率，使用便携式 X- γ 剂量率仪定期（每个月 1 次）对工业 CT 周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。

此外，本项目工业 CT 自带 1 台固定式辐射探测报警装置，监测探头位于屏蔽体内，主机自带显示屏位于工业 CT 正面。固定式辐射探测报警装置主要用于监测射线发生器是否处于出束状态，如处于出束状态，则报警，反之则不报警。

10.3 辐射工作场所布局和分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，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。

对于控制区：应采用实体边界划定控制区，在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合相关规定的警告标志；运用行政管理程序，如进入控制区的工作许可证制度和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。

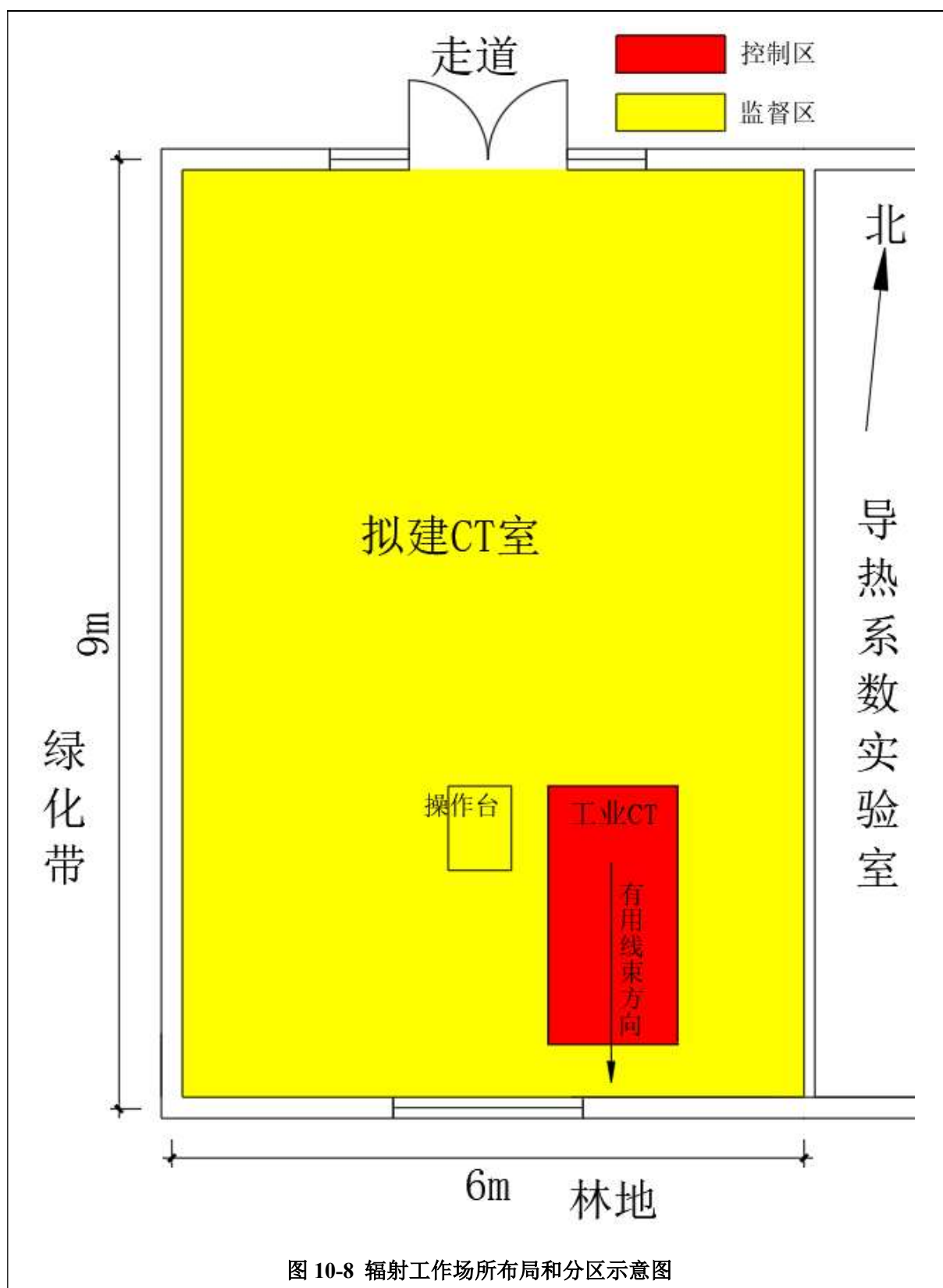
对于监督区：采用适当的手段划出监督区的边界；在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.2 的规定：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。

布局：本项目设有独立的 CT 室作为辐射工作场所，CT 室长宽高为 9m×6m×3m，四周墙体为实心砖，地面为瓷砖，楼顶为夹芯板，其北侧设进出口，南侧设观察窗。CT 室只放置本项目的射线装置、操作台及配套设施，不作其他用途。工业 CT 有用线束方向固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射，操作台设在射线装置正面左侧，避开了有用线束方向。辐射工作场所的设置和布局充分考虑了周围的辐射安全。

分区：建设单位拟将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，控制区通过实体屏蔽、急停装置、门机联锁装置等进行控制；将控制区外整个 CT 室划为监督区，监督区通过警示说明和门禁等进行管理。辐射工作场所布局和分区示意图如图 10-8 所示。

综上所述，本项目辐射工作场所布局和分区方案有利于分区管理，可有效隔离非辐射工作人员进入监督区，布局和分区合理。



10.4 辐射安全与防护实施方案

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对本项目的辐射工作场所布局和分区、辐射屏蔽、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求进行分析，对照分析

表见表 10-2 至 10-5。

表 10-2 辐射工作场所布局和分区要求对照分析表

(GBZ117-2022) 的辐射工作场所布局和分区要求	实施方案
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与探伤室分开。	本项目工业 CT 自带钢铅结构的屏蔽体，放在独立的 CT 室内使用，充分考虑了邻近场所的辐射安全。工业 CT 有用线束方向固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射，操作台设在射线装置正面左侧，避开了有用线束方向。
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。	建设单位拟将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，将屏蔽体外整个 CT 室划为监督区，满足 GB 18871 的要求。

表 10-3 工作场所辐射屏蔽要求对照分析表

(GBZ117-2022) 的工作场所辐射屏蔽要求	实施方案
6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足： a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。	根据表 11 的理论计算，本项目工业 CT 屏蔽体和装载门的辐射屏蔽均同时满足人员在关注点的周剂量控制要求和关注点周围剂量当量率控制要求。
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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。	本项目工业 CT 上方存在建筑物，应执行 6.1.4.a) 要求，即上方屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。 根据表 11 的计算，工业 CT 顶部的辐射屏蔽满足要求。

表 10-4 各项辐射安全与防护措施对照分析表

(GBZ117-2022) 的辐射安全与防护要求	实施方案
6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。	本项目工业 CT 装载门和检修门各安装了 2 个继电器作为门机联锁装置，只有在装载门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通。装载门和检修门未关闭到位时射线发生器无法出束。设备运行过程中，任何一处可开启之处被外力开启时，会立即中断高压发生器的主供电，射线发生器则立即停止出束。
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，并与探伤机连锁。“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“预备”和“照射”信号意义的说明。	本项目正常工作时人员无需进入屏蔽体内部，因此装置内部设指示灯和声音提示装置的要求不适用于本项目。 本项目工业 CT 顶部设有指示灯，分别为绿灯、黄灯、红灯，绿灯亮指示设备处于通电状态；黄灯亮指示装载门、检修门处于关闭状态，可安全开启射线发生器；红灯闪烁指示设备处于出束状态。 建设单位将在 CT 室内醒目位置张贴射线装置各指示灯指示意义的中文说明。
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。	本项目正常工作时人员无需进入屏蔽体内部，因此装置内部安装监视装置的要求不适用于本项目。但本项目工业 CT 设置观察窗，可随时观察设备内部的运行情况。
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识和中文警示说明。	建设单位将在装置正面张贴电离辐射警告标志和中文警示说明，将在监督区边界张贴“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”中文警示说

	明。
6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。	本项目工业 CT 设有 2 个急停按钮，分别位于设备正面和操作台台面，操作人员不需要穿过主射线束就能够使用。在发生紧急事故时，相关人员可通过手工按压急停按钮，急停按钮可以迅速切断射线发生器的高压电源，射线发生器则立即停止出束。急停按钮将标明功能和使用方法。
6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	本项目工业 CT 左侧设置 1 台排风扇，排风扇排风量约为 177.6m ³ /h，设备内部体积约为 2.6m ³ ，排风扇在工作期间保持开启，每小时有效通风换气次数约为 68.3 次。CT 室拟设置排风量约为 600m ³ /h 的排风机将有害气体排出室外，CT 室体积约为 162m ³ ，每小时有效通风换气次数约为 3.7 次。排风外口朝向 CT 室南侧林地，林地为人员居留较少的场所，避免了朝向人员活动密集区。
6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	工业 CT 自带 1 台固定式辐射探测报警装置，监测探头位于屏蔽体内，主机自带显示屏位于工业 CT 正面。固定式辐射探测报警装置主要用于监测射线发生器是否处于出束状态，如处于出束状态，则报警，反之则不报警。

表 10-5 安全操作要求及实施计划对照表

(GBZ117-2022) 的安全操作要求	实施方案
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。	工作人员作业前检查射线装置门-机联锁装置、信号指示灯等防护安全措施，发现异常立刻停止工作并查找原因，排查异常后才能继续工作。
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	建设单位拟为每位辐射工作人员配备 1 台个人剂量报警仪。在工作期间，辐射工作人员

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。	将携带个人剂量报警仪，当辐射剂量率达到报警阈值报警时，辐射工作人员应立即关闭射线装置电源、停止工作，同时阻止其他人进入辐射工作场所，并立即向辐射工作负责人报告。
6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应当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。	建设单位拟配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪用于日常辐射监测，对射线装置周围剂量当量率进行巡测（每个月 1 次），做好巡测记录。当测量值高于报警阈值时，需立刻停止工作并向辐射防护负责人报告并查找原因。计划每年一次委托有资质的第三方检测机构对装置外的环境辐射水平进行年度检测。
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。	工作人员工作前先检查便携式 X- γ 剂量率仪是否正常工作，如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作时，则不能开始检测工作。
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 均自带屏蔽体，射线源自带准直器，能把潜在的辐射降到最低。
6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。	本项目设备正常工作时，人员无需进入屏蔽体内部，因此该要求不适用于本项目。 辐射工作人员在启动设备出束前，将检查各项防护与安全装置是否正常运行。
小结：综上分析，建设单位拟采取的辐射工作场所布局和分区、辐射屏蔽、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求等满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。	
10.5 日常检查与维护	

10.5.1 日常安全检查

日常工作时应检查射线装置装载门门-机联锁装置以及出束信号指示灯等辐射安全与防护措施，若发现任意一项安全措施异常应立刻停止辐射工作，排除异常后才能继续工作。每次工作开始前应进行检查的项目包括：

- (1) 射线装置外观是否完好；
- (2) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- (3) 装载门是否正常关闭；
- (4) 安全联锁是否正常工作；
- (5) 钥匙开关闭合、急停按钮复位是否正常；
- (6) 报警设备和警示灯是否正常运行；
- (7) 螺栓等连接件是否连接良好。

10.5.2 设备维修维护

(1) 射线装置的维修维护由建设单位辐射安全与环境保护管理机构进行监督和管理，做好设备维修维护记录。设备维修维护应由具备资质的设备厂家专业人员负责，按要求佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，并至少两人参与维修维护工作。

(2) 维修维护前应采取可靠的断电措施，切断需检修设备的电源，并经启动复查确认无电后，在电源开关处挂上“正在检修禁止合闸”安全标志，做好现场管控。

(3) 射线装置每年至少维护一次，设备维护包括射线装置的彻底检查和所有零部件的详细检查。

(4) 当发现设备有故障或损坏需要维修时，应保证所更换的零部件为合格产品。与射线发生器相关的维修，需由射线发生器生产厂家负责。若屏蔽体损坏，在更换屏蔽体后应委托第三方有资质的检测机构进行整体检测，检测合格后才能继续使用。

(5) 维护后通电调试前，应确保安全联锁系统、急停按钮等已正常启动，确保屏蔽体已安装完整，严禁在辐射安全与防护设施未启动、辐射屏蔽体拆卸状态下开机进行调试。

(6) 建设单位应与维修维护单位签订维修维护合同，在合同中明确双方的安全责任。

10.6 三废的治理

本核技术利用项目不涉及放射性废气、废水、固废等产生排放。

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，如果不做处理会使辐射工作场所空气中的有害气体含量增加，浓度较高的臭氧会对人体造成危害。参照国家标准《工业探伤放射防护标准》GBZ117-2022) 的规定：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 左侧设置 1 台排风扇，排风扇排风量约为 $177.6\text{m}^3/\text{h}$ ，设备内部体积约为 2.6m^3 ，排风扇在工作期间保持开启，每小时有效通风换气次数约为 68.3 次。CT 室拟设置排风量约为 $600\text{m}^3/\text{h}$ 的排风机将有害气体排出室外，CT 室体积约为 162m^3 ，每小时有效通风换气次数约为 3.7 次。排风外口朝向 CT 室南侧林地，林地为人员居留较少的场所，避免了朝向人员活动密集区。

以上措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“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。”的要求。

表 11 环境影响分析

建设阶段环境影响分析

本项目使用成品电气设备，由生产厂家搬送至辐射工作场所，不涉及施工建设，不会产生施工废水和扬尘，同时不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体。本项目主要环境影响因子是设备搬运和安装时产生的噪声及设备包装材料等固体废物。

设备搬运和安装时产生间歇性噪声和振动，搬运和安装工作应选在上午 8:00~12:00 或下午 14:00~17:00，避开午间和夜间休息时间，减少对项目周边人员产生的影响。设备包装材料属于一般固废，经收集后交由资源回收单位处理，对周边环境不产生影响。

本项目建设期间不涉及射线装置的使用，不会对周边环境产生电离辐射影响，但在安装调试的过程中，需严格按照相关使用说明、相关管理制度执行。本工程规模较小，建设时间较短，对周边环境的影响程度均仅局限在园区内。通过控制作业时间、加强施工现场管理措施，对周围环境影响较小，且该影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

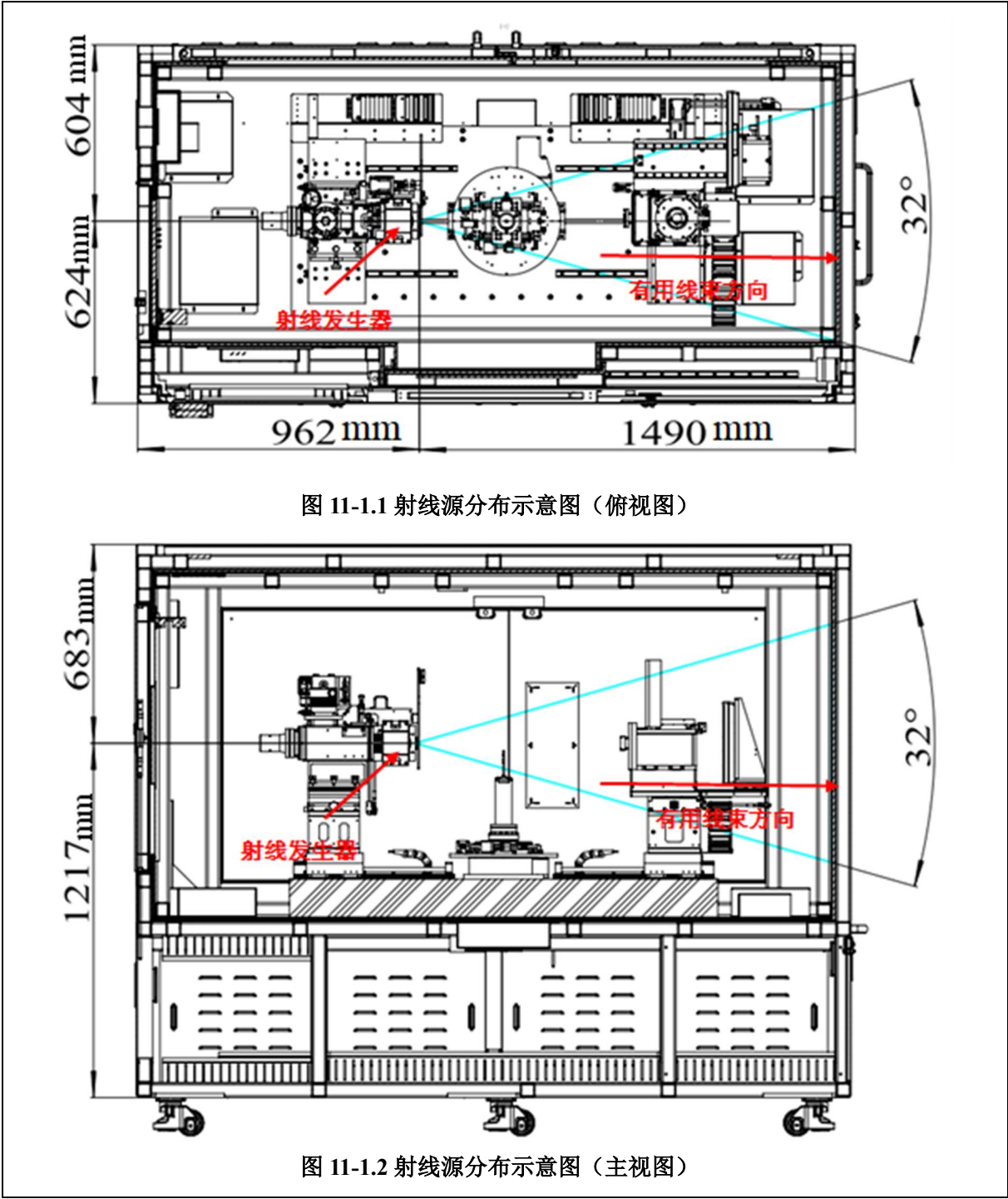
运行阶段环境影响分析

11.1 辐射剂量率计算

11.1.1 关注点选取

为了分析射线装置运行时对周围环境的影响，参照《辐射防护导论》（方杰主编）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及其修改单的相关公式，估算 X 射线出束时，射线装置屏蔽体外的周围剂量当量率水平。

本项目工业 CT 的射线发生器不可移动，其有用线束固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射。本报告选取射线装置屏蔽体外 0.3m 处及操作台为辐射水平关注点。射线源分布示意图见图 11-1.1 及图 11-1.2，关注点分布示意图见图 11-2.1 及图 11-2.2。



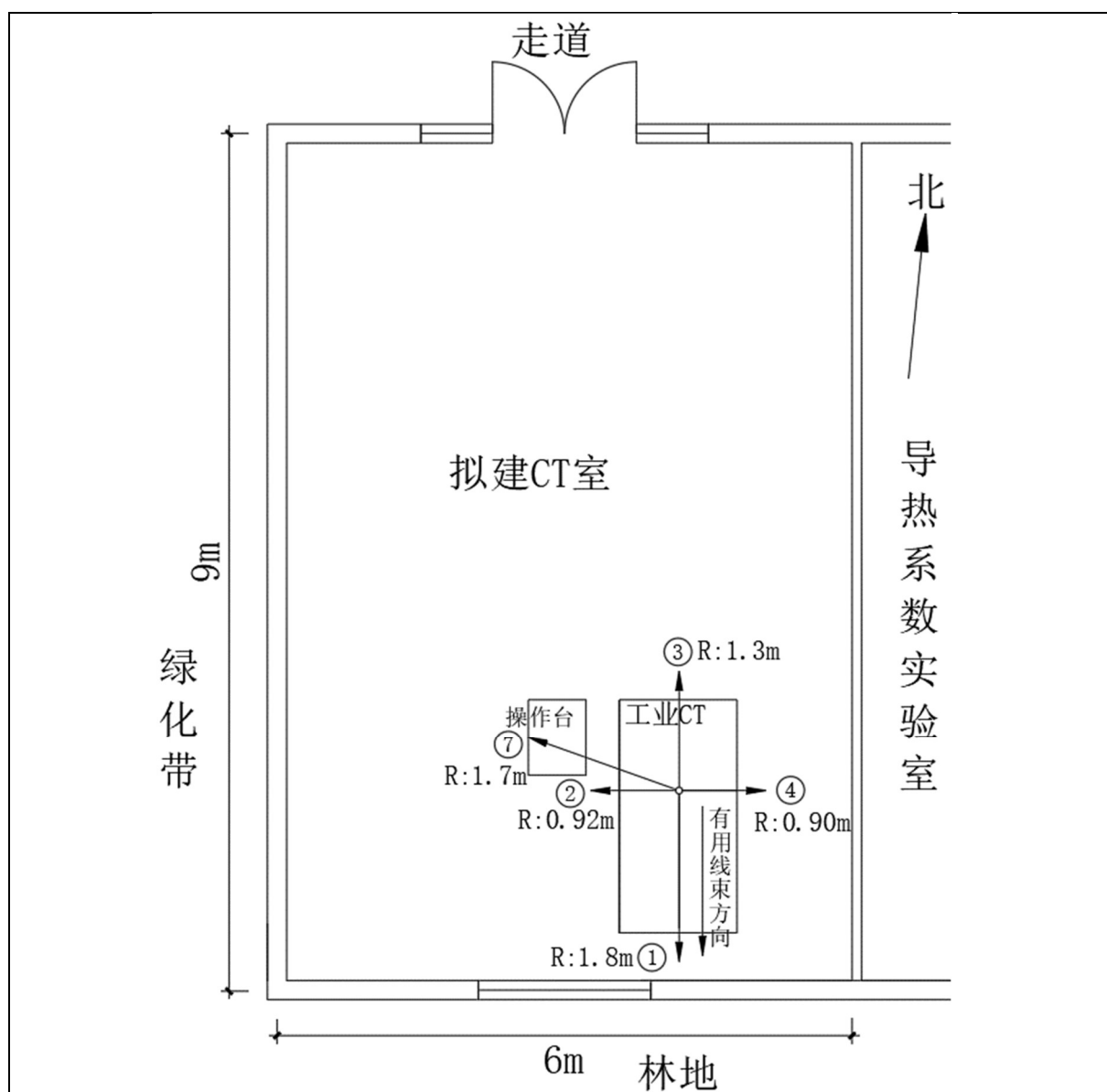


图 11-2.1 关注点分布示意图 (立面)

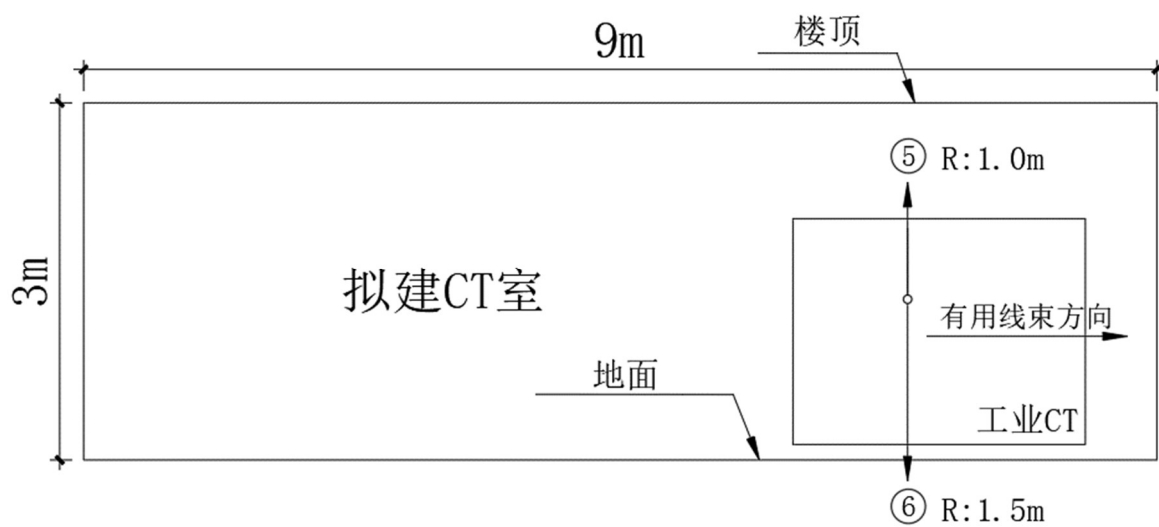


图 11-2.2 关注点分布示意图 (立面)

11.1.2 剂量率控制水平分析

本项目拟使用的工业 CT 周出束时间为 20 小时。

参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中关于辐射屏蔽的估算方法。根据（GBZ/T250-2014），本项目工业 CT 屏蔽体外周围剂量当量率和每周周围剂量当量应满足：

人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c ，对于职业工作人员， $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对于公众 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平：

$$\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{t \times U \times T} \quad (11-1)$$

式中：

- t 工业 CT 的周照射时间，h/周；
- U 工业 CT 向关注点方向照射的使用因子；
- T 人员在相应关注点驻留的居留因子。

本项目工业 CT 有用线束固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射，以方位作为参考，则朝南侧照射。为保守估算，工业 CT 向各关注点方向照射的使用因子均取 1。居留因子的选取参照（GBZ/T250-2014）附录 A。

由以上计算所得的 $\dot{H}_{c,d}$ ，凡不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的，以其值作为关注点的剂量率控制值，否则选取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 作为该关注点的剂量率控制值，相关计算参数和剂量率参考控制值的选取结果见表 11-1。

表 11-1 关注点剂量率控制水平

方位	关注点	保护目标	U	T	$\dot{H}_{c,d}$	控制值
南侧	①	辐射工作人员	1	1	$5\mu\text{Sv}/\text{h}$	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
西侧	②	辐射工作人员	1	1	$5\mu\text{Sv}/\text{h}$	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
北侧	③	辐射工作人员	1	1	$5\mu\text{Sv}/\text{h}$	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
东侧	④	辐射工作人员	1	1	$5\mu\text{Sv}/\text{h}$	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
顶部	⑤	辐射工作人员	1	1	$5\mu\text{Sv}/\text{h}$	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
底部	⑥	辐射工作人员	1	1	$5\mu\text{Sv}/\text{h}$	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$

操作台	⑦	辐射工作人员	1	1	5μSv/h	2.5μSv/h
-----	---	--------	---	---	--------	----------

11.1.3 计算公式和参数

参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的相关公式，有用线束在关注点的剂量率按公式（11-2）计算：

$$\dot{H}_1 = \frac{H_0 \times B}{R^2} \quad (11-2)$$

漏射线在关注点的剂量率按公式（11-3）计算：

$$\dot{H}_2 = \frac{H_L \times B}{R^2} \quad (11-3)$$

90°散射线在关注点的剂量率按公式（11-4）计算：

$$\dot{H}_3 = \frac{H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad (11-4)$$

对于漏射线束和散射线束，给定屏蔽物质厚度 X 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按公式（11-5）计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad (11-5)$$

对于有用线束，参考《辐射防护导论》（方杰主编，第 102 页）公式 3.52 和公式 3.53，给定屏蔽物质厚度 X 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按公式（11-6）计算：

$$B = 10^{-\frac{X + (TVL - TVL_1)}{TVL}} \quad (11-6)$$

式中 TVL₁ 和 TVL 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。参考《辐射防护导论》图 3.24，管电压 160kV 时，铅对宽束 X 射线的平衡什值层均大于第一什值层，因此式中 TVL-TVL₁≥0，为保守估算，本项目 TVL-TVL₁ 取值为 0。

式中：

H₀ 距辐射源点 1m 处剂量率，单位为 μSv/h；

B 屏蔽透射因子；

R 辐射源点至关注点的距离，单位为 m；

R_s 散射体至关注点的距离，单位为 m；

X 屏蔽物质厚度，单位为 mm；

TVL 屏蔽物质的平衡什值层，单位为 mm；

$\dot{H}_L$	距辐射源点 1m 处射线发生器组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；
F	R_0 处的辐射野面积，单位为 m^2 ；
a	散射因子，入射辐射被单位面积（ 1m^2 ）散射体到其 1m 处的散射辐射剂量率的比，根据（GBZ/T250-2014）附录 B 表 B.3 保守取值。
R_0	辐射源点至散射体的距离，单位为 m。

本项目工业 CT 的最大管电压为 160kV，其有用线束固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射，而工业 CT 有用线束角度为 32° ，为保守估算，因此对关注点①考虑有用线束的辐射影响，其余关注点主要考虑泄漏线束和散射线束的辐射影响。计算有关参数的选取列于表 11-2，透射因子有关参数的选取列于表 11-3，源项参数列于表 11-4。

表 11-2 计算参数一览表

方位	关注点	R(m)	$R_s(\text{m})$	F(m^2)	a	$R_0(\text{m})$
南侧	①	1.8	/	/	/	/
西侧	②	0.92	0.92	0.003	0.0475	0.1
北侧	③	1.3	1.4	0.003	0.0475	0.1
东侧	④	0.90	0.90	0.003	0.0475	0.1
顶部	⑤	1.0	1.0	0.003	0.0475	0.1
底部	⑥	1.5	1.5	0.003	0.0475	0.1
操作台	⑦	1.7	1.7	0.003	0.0475	0.1

注： R_0 为出束口至载物台的最小距离；辐射野面积 F 根据 R_0 和有用线束角计算得到。

表 11-3 透射因子计算参数一览表

方位	关注点	屏蔽厚度	射线类型	TVL 值	透射因子 B
南侧	①（右侧）	9mmPb	有用线束	1.048mm	2.6E-09
西侧	②（正面）	8mmPb	泄漏线束	1.048mm	2.3E-08
			散射线束	0.96mm	4.6E-09
北侧	③（左侧）	5mmPb	泄漏线束	1.048mm	1.7E-05
			散射线束	0.96mm	6.2E-06
东侧	④（背面）	8mmPb	泄漏线束	1.048mm	2.3E-08

			散射线束	0.96mm	4.6E-09
顶部	⑤（顶部）	8mmPb	泄漏线束	1.048mm	2.3E-08
			散射线束	0.96mm	4.6E-09
底部	⑥（底部）	8mmPb	泄漏线束	1.048mm	2.3E-08
			散射线束	0.96mm	4.6E-09
操作台	⑦（操作台）	8mmPb	泄漏线束	1.048mm	2.3E-08
			散射线束	0.96mm	4.6E-09

注：按照（GBZ/T250-2014），有用线束和泄漏线束的 TVL 值按内插法取值，散射线束 TVL 值取 150kV 对应值。

表 11-4 源项参数一览表

射线类型	距辐射源点 1m 处剂量率
有用线束	0.50mGy/s
泄漏线束	$2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$

11.1.3 计算结果

各屏蔽面外关注点的辐射剂量率估算结果列于表 11-5。

表 11-5 关注点辐射剂量率水平估算结果（单位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

方位	关注点	控制值	$\dot{H}_1$	$\dot{H}_2$	$\dot{H}_3$	$\dot{H}$
南侧	①	2.5	1.4E-03	/	/	1.4E-03
西侧	②	2.5	/	6.9E-05	1.4E-04	2.1E-04
北侧	③	2.5	/	2.5E-02	8.1E-02	1.1E-01
东侧	④	2.5	/	7.2E-05	1.5E-04	2.2E-04
顶部	⑤	2.5	/	5.8E-05	1.2E-04	1.8E-04
底部	⑥	2.5	/	2.6E-05	5.3E-05	7.9E-05
操作台	⑦	2.5	/	2.0E-05	4.1E-05	6.1E-05

注：非有用线束方向的剂量率 $\dot{H}$ 由 $\dot{H}_2$ 和 $\dot{H}_3$ 叠加得到。

从表 11-5 可以看到，本项目工业 CT 屏蔽体外 0.3m 关注点及操作台处的辐射剂量率估算值最高约 1.1E-01 $\mu\text{Sv/h}$ ，不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标

准》（GBZ117-2022）的剂量率控制要求。

11.2 人员受照剂量分析

根据表 11-5 的关注点辐射剂量率估算结果，本报告以所有关注点中辐射剂量率最大的值作为辐射工作人员的受照剂量率（③号关注点辐射剂量率最大）；根据各方向的估算结果，按照“辐射水平与距离平方成反比”，估算评价范围内各方向上各保护目标分布区域（公众）的受照剂量率，结合“9.4 工作负荷和人员配置”的介绍，按照公式（11-7）可进一步估算出各保护目标的有效受照剂量，估算结果见表 11-6。

$$E = \frac{\dot{H} \cdot r_g^2}{(r_b + r_g - 0.3)^2} \times t \times T \quad (11-7)$$

式中：

E——保护目标的受照剂量，单位为 $\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和 mSv/a ；

$\dot{H}$ ——关注点的辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

r_g ——关注点至辐射源的距离，单位为 m ；

r_b ——保护目标分布场所边界至屏蔽体边界的距离， m ；

t——出束时间，单位为 h ；

T——保护目标的居留因子，选取参照（GBZ/T250-2014）附录 A 中表 A.1。

表 11-6 保护目标受照剂量估算结果

方位	场所	保护目标	关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	$r_g(\text{m})$	$r_b(\text{m})$	居留因子	周出束时间(h)	年出束时间(h)	受照剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	周剂量当量($\mu\text{Sv/周}$)	年有效剂量(mSv/a)
/	拟建 CT 室	辐射工作人员	1.1E-01 ③	1.3	0.3	1	20	800	1.1E-01	2.2	8.8E-02
东侧	导热系数实验室	公众	2.2E-04 ④	0.9	1.3	1	20	800	4.9E-05	9.9E-04	3.9E-05
	研究室	公众		0.9	7.3	1	20	800	2.9E-06	5.7E-05	2.3E-06
	设备室	公众		0.9	13.3	1/5	20	800	9.2E-07	3.7E-06	1.5E-07
	远程控制室	公众		0.9	13.6	1	20	800	8.8E-07	1.8E-05	7.1E-07
	绿化带	公众		0.9	20	1/20	20	800	4.2E-07	4.2E-07	1.7E-08
	极端环境岩土材料宏观实验室	公众		0.9	27	1	20	800	2.3E-07	4.7E-06	1.9E-07
南侧	林地	公众	1.4E-03 (①)	1.8	1.5	1/20	20	800	5.0E-04	5.0E-04	2.0E-05
西侧	绿化带	公众	2.1E-04 ②	0.92	4	1/20	20	800	8.3E-06	8.3E-06	3.3E-07
	极端环境岩土材料微观实验室	公众		0.92	16	1	20	800	6.4E-07	1.3E-05	5.1E-07
	智能网联车辆技术与装备实验室	公众		0.92	48	1	20	800	7.5E-08	1.5E-06	6.0E-08
北侧	走道	公众	1.1E-01 ③	1.3	7	1/5	20	800	2.9E-03	1.2E-02	4.6E-04
	绿化带	公众		1.3	13	1/20	20	800	9.5E-04	9.5E-04	3.8E-05

表 11-6 显示, 根据理论估算, 本项目评价范围内辐射工作场所的周最大剂量当量为 2.2 $\mu\text{Sv/周}$, 公众场所的周最大剂量当量为

1.2E-02 μ Sv/周，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的“对放射工作场所，其值不大于 100 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ Sv/周”的要求；本项目评价范围内辐射工作人员年最大有效剂量为 8.8E-02mSv/a，公众年有效最大有效剂量为 4.6E-04mSv/a，满足“辐射工作人员不超过 5mSv/a、公众不超过 0.25mSv/a”的年有效剂量约束要求，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。因此，本项目所致周围 50m 评价范围内环境保护目标的影响有限，对环境的影响可以接受。

11.3 “三废”环境影响分析

(1) 废气对环境的影响分析

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物。CT 室拟设置排风量约为 $600\text{m}^3/\text{h}$ 的排风机将有害气体排出室外，CT 室体积约为 162m^3 ，每小时有效通风换气次数约为 3.7 次。排风外口朝向 CT 室南侧林地，林地为人员居留较少的场所，避免了朝向人员活动密集区。因此，项目产生的少量废气通过排风机排至室外，对周围环境影响小。

(2) 废水对环境的影响分析

项目无生产废水产生，不新增人员生活污水，项目工作人员生活污水排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

(3) 固废对环境的影响分析

生活垃圾依托重庆交大现有的生活垃圾收集系统收集后运至校区生活垃圾暂存处，统一交由环卫部门统一处理；废射线发生器灯丝交由厂家回收处理，不会对环境产生不利影响。

11.4 实践正当性和产业政策符合性分析

本项目工业 CT 在使用过程中产生电离辐射，对周围环境产生一定影响，但在使用过程中采取了必要的辐射安全与防护措施减少本项目的辐射影响，使本项目的辐射影响在相应的标准范围内。同时，本项目工业 CT 对样品的无损检测具有其他方法无可取代的特点，项目的建设也将进一步提高对各种岩土小型试件的无损检测能力，对提升科研水平以及教学能力起到十分重要的作用，具有明显的社会效益，其给社会带来的利益远大于其可能引起的辐射影响。因此，本项目建设符合《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”的要求。

重庆交通大学使用的工业 CT 属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类的“十四、机械 1.科学仪器和工业仪表：工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”类别，不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的限制类和淘汰类，且本项目的建成可辅助建设单位进行各种岩土小型试件的无损检测，有助

于建设单位进一步提升科研水平，符合国家法律法规，符合国家产业政策。

11.5 事故影响分析

11.5.1 辐射事故类型

本项目可能存在的辐射事故类型如下：

（1）门机联锁装置发生故障，装载门未关的情况下射线出束，导致工作人员被意外照射；

（2）装置维修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启机器产生射线，使维修维护人员受到意外照射。

以上事故情形均属于在无有效辐射防护屏蔽情况下，辐射工作人员遭受意外照射，辐射工作人员在工作期间或维修人员在检修期间，均要求佩戴个人剂量报警仪，个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，一旦发生辐射事故，工作人员立即断电，射线装置停止出束。

参照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第449号）第40条的分级规定评估各种事故可能的类别，本项目可能发生的辐射事故保守为“射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射”的类别，属于一般辐射事故。

11.5.2 事故预防措施

（1）建设单位应定期对设备的各个安全装置进行检修和维护。

（2）在辐射工作期间正确佩戴个人剂量报警仪，并定期检查个人剂量报警仪的运行情况。

（3）设备的检修和维护工作应由具有资质的设备厂家工作人员来进行，检修时应采取可靠的断电措施，切断需检修设备上的电器电源，并经启动复查确认无电后，在电源开关处挂上“正在检修，禁止合闸”安全标志。

（4）发生事故的风险主要在于建设单位的辐射安全管理情况，建设单位应定期完善辐射安全管理规章制度、操作规程，并严格执行。让辐射工作人员增强辐射安全意识，尽量避免辐射事故的发生。

11.5.3 事故应急措施

一旦发生辐射事故，必须马上停机，切断总电源开关，对相关受照人员进行身体检查，确定对人身是否有损害，以便采取相应的救护措施。其次对设备、设施进行安全检查，确定其功能和安全性能。

事故发生后，立即启动本单位的辐射事故应急方案，按照事故应急响应程序处理，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或者可能造成人员超剂量照射时，还应同时向当地卫生健康部门报告。事故处理完成后，应查找事故原因，分清事故责任，避免该类事故的再次发生。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：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。

建设单位成立了辐射安全与环境保护管理机构，管理机构构成及职责如下：

组 长：张学富

成 员：李志、韩风雷、胡波、刘士洋、黄杰

管理机构职责：

（1）结合单位实际负责拟定辐射防护工作计划和实施方案，制定相关工作制度，并组织实施；

（2）做好工作人员的辐射防护与安全培训、防护设施的供应与管理以及辐射防护档案的建立与管理等工作；

（3）组织实施辐射工作人员的职业健康检查和个人剂量监测，按要求建立个人剂量档案；

（4）定期对辐射安全与防护工作进行检查，检查本校辐射工作人员的辐射安全操作情况，指导做好操作人员的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

小结：建设单位按照相关法规的要求成立了辐射安全与环境保护管理机构，明确了管理机构职责，符合相关法规的要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，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、放射性同位素使用登记制度、人

员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：应建立和实施放射防护管理制度和措施。

建设单位制定了《重庆交通大学辐射安全管理规章制度》（见附件 6），该制度包含了辐射安全与环境保护管理机构及其职责、辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、操作规程、辐射工作人员培训制度、监测方案、设备检修维护制度、辐射工作人员职业健康检查和个人剂量管理要求，以及辐射事故应急预案。针对本次项目，建设单位进一步完善了本项目的操作规程、辐射事故应急处理预案以及个人剂量监测计划等相关内容。

小结：建设单位制定的《辐射安全管理规章制度》较全面，易实行，可操作性强。一旦发生辐射事故时，可迅速应对，满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求。

12.3 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的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工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的辐射防护与安全知识。重庆交大承诺完善实验室安全管理人员职责，并将其纳入实验室管理制度中，明确各层次人员的职责、不断识别学校内部核安全文化的弱化处并加以纠正。重庆交大承诺将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

（1）建设单位须组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；

（2）建设单位须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；

（3）严禁谎报、虚报辐射相关工作；

(4) 严禁违规操作，防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射。

12.4 档案管理

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十一条规定：放射性同位素与射线装置台账、个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存。

辐射安全与防护管理档案资料分以下十大类：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、职业健康档案、辐射培训档案、辐射应急资料和年度评估。重庆交大已根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。本项目运营后，重庆交大拟将本项目相关的档案资料建立档案，并纳入现有档案管理中，档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

12.5 辐射工作人员

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照生态环境部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发的《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》的规定：自 2020 年 1 月 1 日起，辐射安全上岗培训应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识、报名并参加考核，考核成绩单有效期 5 年。

本项目拟配置 2 名辐射工作人员，建设单位将按照“使用Ⅱ类射线装置”的要求，在项目筹备阶段安排本项目的辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加辐射安全与防护知识培训和考核，考核通过后方可从事辐射工作。

小结：建设单位制定的辐射工作人员培训计划满足相关法律法规的要求。

12.6 从事辐射活动能力评价

依据《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，建设单位从事辐射活动应具备相应的条件，对其从事的辐射活动能力评价如表 12-1。

表 12-1 从事的辐射活动能力评价

应具备条	落实情况
使用Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位成立了辐射安全与环境保护管理机构。
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。	建设单位将按照“使用Ⅱ类射线装置”的要求，在项目筹备阶段安排本项目的辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加辐射安全与防护知识培训和考核，考核通过后方可从事辐射工作。
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。	工业 CT 自带屏蔽体，设有门机联锁装置、指示灯、急停按钮、电离辐射警示标志等。
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。	辐射工作人员拟配备个人剂量计、个人剂量报警仪。
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。	建设单位制定了《重庆交通大学辐射安全管理规章制度》，该制度包含了辐射安全与环境保护管理机构及其职责、辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、操作规程、辐射工作人员培训制度、监测方案、设备检修维护制度、辐射工作人员职业健康检查和个人剂量管理要求，以及辐射事故应急预案。针对本次项目，建设单位进一步完善了本项目的操作规程、辐射事故应急处理预案以及个人剂量监测计划等相关内容。
有完善的辐射事故应急措施。	建设单位制定了辐射事故应急预案，针对本次项目，建设单位进一步完善辐射事故应急预案。

从表 12-1 可知，本项目的管理工作依托重庆交大现有的管理制度，已具备了一定的能力，但还应在本项目建设完成运营前，针对本项目的管理需求完善相应管理

规定，认真落实上述要求后，方具备从事本项目辐射活动的的能力，本项目方可投入正式运行。

12.7 辐射监测计划

12.7.1 工作人员个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的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。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。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案；辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定，职业照射个人剂量档案应终身保存。

建设单位将按照有关要求，对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查，经检查合格后方可从事辐射工作；委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，为辐射工作人员各配备 1 个个人剂量计，配备 1 个本底个人剂量计用作对照。工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，监测周期最长不超过 3 个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。

小结：建设单位制定的个人剂量监测计划满足相关法律法规的要求。

12.7.2 工作场所辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责。

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：应配备辐射剂量

率仪和个人剂量报警仪。

建设单位将委托检测机构对辐射设备的环境辐射水平进行年度检测，年度检测数据应作为本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，于次年 1 月 31 日前上报环境行政主管部门。

建设单位拟使用便携式 X- γ 剂量率仪定期（每个月 1 次）对辐射工作场所周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。

辐射监测计划一览表见表 12-2。

表 12-2 辐射监测计划一览表

监测对象	监测计划	监测因子	监测周期	实施机构
辐射工作人员	个人剂量监测	个人外照射剂量	1 次/3 个月	有资质的检测机构
工业 CT	工作场所年度监测	设备外周围剂量当量率	1 次/年	有资质的检测机构
	工作场所日常监测	设备外周围剂量当量率	1 次/月	建设单位

12.7.3 工作场所辐射监测方案

（1）检测仪器

本项目用于日常辐射监测的仪器配置一览表见表 12-3。

表 12-3 辐射监测仪器一览表

名称	配备数量	报警值
个人剂量报警仪	2 台	1.0 μ Sv/h
便携式 X- γ 剂量率仪	1 台	1.0 μ Sv/h

（2）监测因子和控制要求

本项目的监测因子：周围剂量当量率，参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的规定，本项目工业 CT 屏蔽体外 0.3m 处的周围剂量当量率的控制值为 2.5 μ Sv/h。

（3）检测布点要求及位置

参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的规定，射线装置的放射防

护检测应在额定工作条件下，主屏蔽应在没有工件时进行，副屏蔽应在有工件时进行，应首先进行装置整体的辐射水平巡测，以发现可能出现的高辐射水平区，然后再定点检测。定点位置应包括：

- a) 通过巡测，发现辐射水平异常高的位置；
- b) 装载门外 30cm 和观察窗的上、下、左、中、右侧各 1 个点；
- c) 屏蔽体外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个面至少测 3 个点；
- d) 操作位；
- e) 人员经常活动的位置。

（4）检测异常处理

一旦发现辐射水平超过控制值应立即停止辐射工作，查找原因，进行整改。整改好、并经检测确认辐射水平合格后，方可继续工作。

小结：建设单位制定的工作场所辐射监测计划满足相关法律法规的要求。

12.8 辐射安全年度评估计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：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，并于次年 1 月 31 日前向相关机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

- （1）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （2）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （3）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （4）放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；
- （5）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；

- (6) 辐射事故及应急响应情况；
- (7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (8) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (9) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

12.9 辐射事故应急

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：应制定辐射事故应急预案。

建设单位制定了《重庆交通大学辐射事故应急预案》，该《预案》主要包括：辐射事故应急机构与其职责、应急处理要求、辐射事故分类与应急原则、辐射事故应急处理程序及报告制度、人员培训和演习计划、辐射事故的调查等内容。针对本项目特点，建设单位进一步增加和完善辐射事故应急机构与其职责、应急处理要求、辐射事故应急处理程序等内容。

12.9.1 辐射事故应急机构

建设单位成立了辐射事故应急小组，成员组成如下：

组 长：张学富

成 员：李志、韩风雷、刘士洋、黄杰

12.9.2 辐射事故应急机构分工及职责

辐射事故应急小组的组长为辐射事故应急第一责任人。主要职责为：

- (1) 贯彻执行国家核辐射事故应急处理工作的法律、法规及方针政策；
- (2) 负责学校辐射事故应急预案的审定和组织实施；
- (3) 组织、协调和指挥学校应急准备和应急响应工作，包括组织事故调查、评价，审定事故应急处理报告等工作；
- (4) 发生辐射应急事故时，向生态环境主管部门和卫生部门报告工作。

其他成员主要职责为：

(1) 定期组织开展辐射事故应急培训及演练。

(2) 发生辐射应急事故时，及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查，出现事故后应尽快有组织有计划的处理，减少事故损失。

(3) 向辐射事故应急小组和学校最高主管报告应急处理工作情况提出控制辐射事故危害，保障员工安全与健康，保护环境等措施建议

(4) 协助上级应急监测组开展辐射监测和评价工作。

(5) 事故处理后对辐射事故进行记录及整理相关资料。

12.9.3 人员培训和演习计划

为使参加应急处理的人员能熟悉和掌握应急预案的内容，保持迅速、正确、有效地执行应急技能和知识，提高辐射工作人员应对突发事件的能力，应进行培训和演练。

(1) 人员培训

培训对象包括应急预案成员、辐射工作人员；

培训内容包括应急原则和实施程序，辐射安全与防护专业知识，可能出现的辐射事故及辐射事故经验和教训，辐射监测仪器、通讯及防护设施的使用和应急预案执行步骤等。

(2) 演练计划

辐射事故应急领导小组须定期（每年一次）组织应急演练，提高辐射事故应急处理能力，并通过演练逐步完善应急预案。

小结：建设单位按要求成立了辐射事故应急机构，明确了应急分工和职责，制定的《重庆交通大学辐射事故应急预案》具有可操作性，保证在发生辐射事故时，做到责任和分工明确，能够迅速、有序处理。

12.10 竣工环境保护验收要求

12.10.1 责任主体

根据《建设项目环境保护管理条例》规定：“编制环境影响报告书、环境影响报告表的建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。”建设单位应承担本项目竣工环境保护验收的主体责任。

12.10.2 工作程序

根据《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326—2023），核技术利用项目竣工环境保护验收工作流程主要包括：验收自查、验收监测工作和后续工作，其中验收监测工作可分为验收监测、验收监测报告编制两个阶段；后续工作包括提出验收意见、编制“其他需要说明的事项”、形成验收报告、公开相关信息并建立档案四个阶段。

12.10.3 时间节点

本项目竣工后，建设单位应按照相关程序和要求，在项目竣工后组织自主竣工环保验收，验收期限一般不超过 3 个月。验收报告编制完成后按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的要求，公开验收报告。验收报告公示期满 20 个工作日后应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台进行备案。

12.10.4 验收清单

本项目竣工环境保护验收“三同时”清单见表 12-4。

表 12-4 竣工环境保护“三同时”验收清单

验收内容	验收要求	参考标准
辐射安全与防护措施	本项目工业 CT 设有安全联锁系统，工业 CT 装载门和检修门各安装了 2 个继电器作为门机联锁装置。	《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）
	本项目工业 CT 顶部设有指示灯，分别为绿灯、黄灯、红灯。 建设单位将在 CT 室内醒目位置张贴射线装置各指示灯指示意义的中文说明。	
	本项目工业 CT 设有 1 个钥匙开关、1 个使能开关、1 个主电源开关。射线装置的钥匙由专人负责管理。	
	本项目工业 CT 设有 2 个急停按钮，分别位于工业 CT 正面和操作台台面。	
	建设单位拟为每名辐射工作人员各配备 1 个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪。 建设单位拟配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪。 工业 CT 正面自带 1 台固定式辐射探测报警装置，监测探头位于屏蔽体内，主机自带显示屏位于工业 CT	

	正面。	
	布局：本项目设有独立的 CT 室作为辐射工作场所，CT 室只放置本项目的射线装置、操作台及配套设施，不作其他用途。工业 CT 有用线束方向固定朝人员正视工业 CT 装载门的右侧照射，操作台设在射线装置正面左侧，避开了有用线束方向。 分区：建设单位拟将工业 CT 屏蔽体内部区域划为控制区，控制区通过实体屏蔽、急停装置、门机联锁装置等进行控制；将控制区外整个 CT 室划为监督区，监督区通过警示说明和门禁等进行管理。	
“三废”的治理	本项目工业 CT 左侧设置 1 台排风扇，排风扇排风量约为 177.6m ³ /h；CT 室拟设置排风量约为 600m ³ /h 的排风机将有害气体排出室外。排风外口朝向 CT 室南侧林地。	
辐射安全管理措施	设立辐射安全与环境保护管理机构，明确职责与分工。 制定相应的辐射安全管理规章制度和应急预案，制度应张贴在墙面显眼位置。	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》 《关于核技术利用辐射安全与防护知识培训和考核的公告》 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
	本项目拟配置 2 名辐射工作人员，建设单位将按照“使用Ⅱ类射线装置”的要求，在项目筹备阶段安排本项目的辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加辐射安全与防护知识培训和考核，考核通过后方可从事辐射工作。 对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查，经检查合格后方可从事辐射工作。委托第三方监测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，为每个人配备个人剂量计，定期回收读出个人有效剂量，监测周期为 3 个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。	
周围剂量当量率监测情况	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。	《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

表 13 结论与建议

13.1 结 论

重庆交通大学拟在重庆市江津区双福街道福星大道 1 号重庆交通大学（科学城校区）未来小镇极端环境岩土材料细观实验室设置 1 间 CT 室，在内安装使用 1 台天津三英公司 nanoVoxel 3000 工业 CT，其最大管电压为 160kV，最大管电流为 1mA，用于各种岩土小型试件的无损检测。本项目属于核技术利用新建项目，选址合理。

13.1.1 辐射环境质量现状

本项目建设场地及周围区域的室内环境 γ 辐射剂量率检测值为 78~81nGy/h，室外道路环境 γ 辐射剂量率检测值为 59nGy/h，室外原野环境 γ 辐射剂量率检测值为 64~65nGy/h。参考《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年出版）报道的重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率的调查结果，重庆市的室内 γ 辐射剂量率调查水平在 36.1~161.3nGy/h 之间，室外道路环境 γ 辐射剂量率调查水平在 26.2~116.0nGy/h 之间，室外原野 γ 辐射剂量率调查水平在 33.1~96.2nGy/h 之间。对比表明，建设项目场所环境 γ 辐射现状未见异常。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

辐射安全与防护分析表明，本项目射线装置的辐射屏蔽设计方案、工作场所布局 and 分区、各项辐射安全与防护措施等均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等国家相关标准的要求。辐射安全管理措施分析表明，建设单位制定了较完善的辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，人员培训和辐射监测计划等均符合相关法规的要求。

13.1.3 环境影响分析结论

理论分析表明，项目正常运行时，射线装置实体屏蔽体外关注点的辐射水平均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的周围剂量当量率控制要求；辐射工作人员及公众的有效受照剂量分别低于职业照射和公众照射剂量约束值，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

13.1.4 可行性分析结论

本项目的建成可辅助建设单位进行各种岩土小型试件的无损检测，有助于建设单位进一步提升学校的科研水平，其所造成的辐射影响轻微、可控。本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类中的“十四、机械 1.科学仪器和工业仪表：工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”类别，符合国家产业政策，从代价和利益的角度考虑，符合辐射实践的正当性。

13.1.5 综合结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，分区和布局合理。建设单位应对本项目进行严格管理，按照辐射安全与防护要求工作。在落实了本报告提出的各项措施后，本项目对环境的辐射影响能够满足国家有关法规和标准的要求，从环境保护的角度考虑，该核技术利用项目是可行的。

13.2 建 议

1、按照“使用Ⅱ类射线装置”的要求，组织本项目的辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加辐射安全与防护知识培训和考核，考核通过后方可从事辐射工作。

2、结合后期运行和管理情况，不断完善辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，使之更具有实操性和针对性；定期做好辐射事故应急人员培训和应急演练。

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