

核技术利用建设项目

工业 CT 装置建设项目 环境影响报告表

建设单位：重庆市维都利新能源有限公司

编制单位：重庆昌步环保科技有限公司

2026 年 4 月

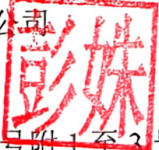
生态环境部监制

核技术利用建设项目

工业 CT 装置建设项目 环境影响报告表



建设单位名称：重庆市维都利新能源有限公司

建设单位法人代表（姓名或签章）：


通讯地址：重庆市万州区联合路6号，20号附1至3号、附4号3至5层，附5、6号4、5层，M6地块(1号、2号、4号、6号、7号3、4层、8号、后勤楼1、2层)(万州经开区)

邮政编码：404120

联系人：吴德江

电子邮箱：/

联系电话：17623090287

报批确认函

重庆市生态环境局：

本单位委托重庆昌步环保科技有限公司编制的《工业 CT 装置建设项目环境影响报告表》，已通过专家评审，并按评审意见进行了修改和完善。我单位已审阅《报告表》（报批版）内容，认可报告表中提出的各项环境保护措施，同意报批。



重庆市维都利新能源有限公司

2026年4月21日

打印编号：1776075631000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	I7274k		
建设项目名称	工业CT装置建设项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	重庆市维都利新能源有限公司		
统一社会信用代码	91500101M A6074086351		
法定代表人（签章）	彭姝		
主要负责人（签字）	陈诗海		
直接负责的主管人员（签字）	崔炳勇		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	重庆昌步环保科技有限公司		
统一社会信用代码	91500108M A60BX7TX9		
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
杨蓉	20230503555000000020	BH 031757	杨蓉
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈慧丹	保护目标与评价标准、环境质量与辐射现状、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理	BH 069288	陈慧丹
杨蓉	项目基本情况、射线装置、评价依据、项目工程分析与源项、结论与建议	BH 031757	杨蓉

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	11
表 3 非密封性放射物质	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 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	21
表 9 项目工程分析与源项	25
表 10 辐射安全与防护	37
表 11 环境影响分析	53
表 12 辐射安全管理	70
表 13 结论与建议	80

表 1 项目基本情况

建设项目名称	工业 CT 装置建设项目				
建设单位	重庆市维都利新能源有限公司				
法人代表	彭姝	联系人	吴**	联系电话	176*****87
注册地址	重庆市万州区联合路 6 号，20 号附 1 至 3 号、附 4 号 3 至 5 层，附 5、6 号 4、5 层，M6 地块（1 号、2 号、4 号、6 号、7 号 3、4 层、8 号、后勤楼 1、2 层）（万州经开区）				
项目建设地点	重庆市万州经济技术开发区联合路 M6-2 号楼 CT 测试房				
立项审批部门	万州经开区管委会创新发展局		批准文号	2512-500101-04-02-132702	
建设项目总投资（万元）	50	项目环保投资（万元）	10	投资比例（环保投资/总投资）	20%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建（迁建） <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他					

1.1 建设单位情况

重庆市维都利新能源有限公司（以下简称“维都利”或“公司”）成立于 2018 年，是一家拥有自主知识产权核心技术的高科技企业，专注于锂离子电池及其系统研发、设计、生产和经营。公司位于重庆市万州经济技术开发区联合路 6 号、20 号（附 1 至 3 号、附 4 号 3 至 5 层、附 5、6 号 4、5 层）、M6 地块（1 号、2 号、4 号、6 号、7 号 3、4 层、8 号、后勤楼 1、2 层），厂址位于重庆市万州经济技术开发区三峡光电科技产业园内。

1.2 项目由来

为控制产品质量，维都利于 2023 年在重庆市万州区联合路 20 号附 3 号楼一楼实施了“新建超高分辨综合扫描 CT 建设项目”，已于 2023 年 7 月取得重庆市建设项目环境影响评价批准书（渝（辐）环准〔2023〕48 号），并于 2024 年 4 月 25 日完成竣工环境保护验收，项目涉及的射线装置为 1 台 nanoVoxel 3000 型微尺度高分辨 CT 成像分析系

续表 1 项目基本情况

统（以下简称“现有工业 CT 装置”）。后因公司厂区布局调整，于 2025 年在重庆市万州区联合路 M6-2 号楼（2#仓库）一楼实施了“超高分辨综合扫描 CT 迁建项目”（以下简称“现有 CT 项目”），将原位于联合路 20 号的现有工业 CT 装置搬迁至联合路 M6-2 号楼（2#仓库）一楼，现有 CT 项目已于 2025 年取得重庆市建设项目环境影响评价批准书（渝（辐）环准〔2025〕24 号），现有 CT 项目已建设完成，并已于 2025 年 7 月 18 日通过环保竣工验收，现有工业 CT 装置运行正常。

为提高公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测能力，进一步分析产品产生质量问题的原因，以确保产品质量与安全，维都利拟在重庆市万州区联合路 M6-2 号楼（2#仓库）一楼实施“工业 CT 装置建设项目”（简称“本项目”），主要建设内容为公司拟扩大万州经开区联合路 M6-2 号楼（2#仓库）一楼现有 CT 测试房使用面积，在 CT 测试房内新增 1 台 MRCT 4000 型工业 CT 装置（II 类射线装置，定向，最大管电压、管电流分别为 225kV、3mA，带有专用屏蔽铅房，以下简称“工业 CT 装置”），开展公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测。

本项目拟新增工业 CT 装置铅房铅门尺寸较大，人员可能存在滞留在屏蔽体内发生误照射的风险，根据《射线装置分类》（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）规定，本项目拟新增的工业 CT 装置为 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》的相关规定，应开展环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）的“五十五、核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，使用 II 类射线装置的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表。受重庆市维都利新能源有限公司的委托，重庆昌步环保科技有限公司在进行现场踏勘、资料收集的基础上，结合项目特点、性质、规模、环境状况、现场检测数据分析等，编制完成了《工业 CT 装置建设项目环境影响报告表》。

1.3 本项目概况

（1）建设规模：公司拟扩大万州经开区联合路 M6-2 号楼（2#仓库）一楼现有 CT 测试房使用面积，在 CT 测试房内新增 1 台 MRCT 4000 型工业 CT 装置（II 类射线装置，定向，最大管电压、管电流分别为 225kV、3mA，带有专用屏蔽铅房，以下简称“工业

续表 1 项目基本情况

CT 装置”) 及操作台及配套计算机等设施, 开展公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测。项目 CT 测试房使用面积约 47m²。

(2) **项目投资:** 总投资 50 万元, 其中环保投资 10 万元, 占总投资的 20%。

根据项目特点, 本项目主要由主体工程、辅助工程、公用工程、环保工程等组成。项目基本组成情况见表 1-1。

表 1-1 项目基本组成一览表

类别	项目名称	建设内容	备注
主体工程	CT 测试房	M6-2 号楼 (2#仓库) 为 4 层钢混结构建筑, 其中一楼高 7.3m, 其余楼层每层高 5.3m (高度均包含楼板厚度), CT 测试房位于 1F, 拟拆除现有 CT 测试房东北侧墙体, 利用正极材料仓部分空间扩大 CT 测试房使用面积, 扩建后内空尺寸: 长×宽×高=7.8m×6.0m×2.6m, 使用面积约 47m ² 。	扩建
	设备	在 CT 测试房东北侧新增 1 台工业 CT 装置, 型号为 RMCT4000, 其最大管电压为 225kV, 最大管电流为 3mA, 定向, 自带屏蔽铅房及电柜。外观尺寸 (含电柜): 长 3080mm×宽 1850mm×高 1701mm, 屏蔽铅房内部内净尺寸: 长 2542mm×宽 1504mm×高 1518mm, 屏蔽铅房主体屏蔽材料为钢+铅+钢, 无观察窗, 通过摄像头观测, 屏蔽能力能达到辐射防护要求。	拟购
公用工程	供电	依托现有厂房供配电系统, 用电来源于市政供电。	依托
	通风	工业 CT 装置自屏蔽铅房拟设置 1 台排风扇, 排风扇排风量约 1.93m ³ /min, 每小时有效通风换气次数约为 20 次, 依托 CT 测试房现有通风换气设施, 通风次数大于 3 次/h。	新建+依托
	给水	本项目不新增用水, 依托园区给水管网。	依托
	排水	项目不产生生产废水, 不新增生活污水产生量, 调配的 2 名辐射工作人员产生的生活污水依托园区现有生化池处理后排入市政污水管网, 进入沱口污水处理厂进一步处理。	依托
环保工程	废水处理	项目不产生生产废水, 不新增生活污水产生量, 调配的 2 名辐射工作人员产生的生活污水依托园区现有生化池处理后排入市政污水管网, 进入沱口污水处理厂进一步处理。	依托
	固废处理	①本项目不新增工作人员, 不新增生活垃圾产生量, 调配的 2 名辐射工作人员产生的生活垃圾依托现有生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理; ②工业 CT 装置使用一定年限后, 射线装置可能不能正常工作, 报废成为固体废物, 建设单位对报废工业 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。	依托
	废气治理	本项目工业 CT 装置设置 1 台排风扇 (排风量约 1.93m ³ /min, 每小时有效通风换气次数约为 20 次), 废气经工业 CT 装置铅房顶部排风口排入 CT 测试房, 依托 CT 测试房现有通风换气设施 (排风机排风量约为 400m ³ /h, 通风次数大于 3 次/h) 从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路。	CT 测试房排风系统依托
	辐射防护	工业 CT 装置自带屏蔽铅房, 铅房屏蔽能力能达到辐射防护的要求。铅房采用钢+铅+钢屏蔽结构, 并按相关标准要求配置辐射安全设施 (如门机连锁、电离辐射警示标志、设备状态指示灯等)。	新增

续表 1 项目基本情况

(3) 屏蔽铅房防护设计情况

本项目工业 CT 装置出厂时配置一套屏蔽铅房，屏蔽铅房由电柜和检测室两部分组成，具体设计如下表所示。

表 1-2 本项目屏蔽铅房防护设计情况表

名称	项目	设计情况 ^①
屏蔽铅房 (主射方向朝向右侧 ^②)	尺寸	外观尺寸(含电柜):长 3080mm×宽 1850mm×高 1701mm 内部尺寸(检测室):长 2542mm×宽 1504mm×高 1518mm
	检测室四周屏蔽体	前侧: 2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢
		后侧: 2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢
		左侧: 2.5mm 钢+8mm 铅+2.5mm 钢
		右侧: 2.5mm 钢+14mm 铅+2.5mm 钢
		顶部: 2.5mm 钢+12mm 铅+2.5mm 钢
		底部: 10mm 钢+10mm 铅+10mm 钢
	门	上料安全门: 位于铅房前侧, 尺寸: 1151mm×750mm, 离地高度约 361mm, 屏蔽设计: 2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢
		电柜门(普通门): 位于铅房左侧, 尺寸: 1250mm×1150mm, 离地高度约 307mm; 检修门: 位于铅房后侧, 尺寸: 1426mm×1200mm, 离地高度约 227mm, 屏蔽设计: 2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢
	排风口、走线孔	排风口 2 个, 位于铅房顶部左侧, 排风口补偿屏蔽设计: 12mm 铅+2.5mm 钢
走线孔 2 个, 其中 1 个位于铅房左侧, 1 个位于铅房后侧, 走线孔补偿屏蔽设计: 10mm 铅+2.5mm 钢		
注: ①设计数据由设备厂家提供, 铅密度 11.3g/cm ³ , 钢密度 7.85g/cm ³ ; ②以上料安全门一侧为前侧, 电柜门一侧为左侧进行描述。		

(4) 主要设备

本项目配置的主要设备见下表。

表 1-3 项目主要设备一览表

序号	名称	数量	规格型号	用途	备注
1	工业 CT 装置	1 台	RMCT4000	无损检测	拟配置
2	个人剂量报警仪	2 台	待定	实时监测辐射工作人员剂量是否超标。	拟配置
3	个人剂量计	2 枚	待定	工作期间佩戴, 对个人受到的附加剂量进行记录。	拟配置
4	便携式 X-γ剂量率仪	1 台	REN200A 型	屏蔽铅房外(包括监督区)定期剂量监测, 保证屏蔽铅房的屏蔽效果。	依托
5	固定式场所辐射探测报警装置	1 套	待定	探头安装在屏蔽铅房内, 实时监测铅房内辐射剂量水平	拟配置

续表 1 项目基本情况

(5) 劳动定员和工作制度

劳动定员：本项目拟配备 2 名探伤检测辐射工作人员，均由公司现有工作人员调配培养，不新增公司总劳动定员。

工作制度：项目辐射工作人员年工作约 44 周、264 天，拟实行白班/单班制。

(6) 工作负荷

根据建设单位提供资料，本项目对维都利生产的手机锂电池和钢纽扣电池进行抽检，检测方式为 CT 图像采集，单个工件 CT 图像采集时间为 5~30min/次（本评价保守按 30min/次计），图像采集 1 次，不对外做检测服务，具体情况见表 1-4。

表 1-4 项目工件检测情况表

待检工件名称	工件尺寸范围	工件成分	检测数量	检测方式	单个工件图像采集时间	单个工件图像采集次数	年出束时间	年总出束时间	平均周出束时间
锂电池	最大：长 10cm×宽 8cm×高 1.3cm 最小：长 1cm×宽 1cm×高 0.3cm	正负极、电解液等	1500 件/a	CT	30min/次	1 次	750h	1100 h	25h
钢纽扣电池	最大：Φ1.6cm×高 0.6cm 最小：Φ0.8cm×高 0.3cm	正负极、电解液等	700 件/a	CT	30min/次	1 次	350h		

1.4 项目外环境关系

本项目 CT 测试房位于重庆市万州经济技术开发区联合路 M6-2 号楼，项目所在楼外环境关系见下表。

表 1-5 项目所在楼外环境关系一览表

序号	外环境名称	方位	最近距离	基本情况
1	园区道路	东北侧	紧邻	园区道路
2	3#后勤楼		约 20m	宿舍楼、食堂
3	园区道路及停车位	东南侧	紧邻	园区道路、停车位
4	园区道路、绿化带	西南侧	紧邻	园区道路
5	1#研发车间		约 20m	1#研发车间
6	园区道路	西北侧	紧邻	园区道路
7	连廊		紧邻	连廊（分别接 4#、5#标准厂房）
8	停车位		约 12.8m	停车位（4#、5#标准厂房前）
9	5#标准厂房		约 23.7m	5#标准厂房
10	4#标准厂房		约 23.7m	4#标准厂房

续表 1 项目基本情况

本项目所在楼外主要为园区厂房、园区道路、停车位和绿化带，无学校、医院等特殊敏感点。

1.5 选址可行性

本项目位于三峡光电科技产业园，所在地块为工业用地，根据《万州经济技术开发区五桥园（三峡光电科技产业园、百安坝组团II管理单元）规划环境影响跟踪评价报告书》及其审查意见（渝环函〔2021〕267号）等相关规划可知，三峡光电科技产业园产业功能定位：重点发展电子材料、集成电路、电子设备组装、太阳能系列产品，在手机通信、新型显示器件、集成电路、电子材料、光伏产品等行业形成产业链，逐步建成万州电子产业特色园区。本项目使用工业CT装置的目的是提高公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的X射线固定式无损探伤检测能力，进一步分析产品产生质量问题的原因，以确保产品质量与安全，与项目所在园区产业定位不冲突，符合相关准入要求。

根据辐射环境现场监测结果，项目场地及周边环境的环境 γ 辐射剂量率在重庆市天然辐射水平的正常涨落范围内，因此，拟建址不存在与本项目有关的辐射环境污染问题。

CT测试房所在M2-6号楼（2#仓库）主要作为库房使用，本项目选址于此便于产品无损检测后及时入库；2#仓库四周主要为三峡光电科技产业园园区道路、地上停车场及标准厂房，CT测试房位于M2-6号楼（2#仓库）1F，CT测试房四周及楼上主要为仓库及IQC室，地下无建筑，周围公众成员活动较少，有利于辐射防护和减少X射线对公众成员的影响，便于辐射安全管理；CT测试房内已布置有1台工业CT装置（带自屏蔽铅房），本项目工业CT装置（带自屏蔽铅房）拟布置CT测试房内，便于辐射防护分区管理。

综上，本项目选址可行。

1.6 与项目有关的环境保护问题

1.6.1 环保手续履行情况

现有项目环保手续履行情况如下表所示。

续表 1 项目基本情况

序号	项目名称	建设地点	环评批复/备案回执	竣工验收
1	3 枚放射源	重庆市万州区联合路 20 号附 1 号、附 2 号、附 3 号	渝环辐备(2022)0025 号	/
2	年产 7500 万只锂电池生产项目	重庆市万州区联合路 6 号、联合路 20 号	渝(万)环准(2022) 5 号	2022 年 10 月 19 日通过自主验收
3	5 千万只钢壳电池生产项目	重庆市万州经开区光电园 M6 地块 6 号楼	渝(万)环准(2023) 22 号	正在建设
4	4 枚放射源	重庆市万州区重庆市直辖市万州区联合路 M6 地块号 1 楼	渝环辐备(2025)0001 号	/
5	超高分辨综合扫描 CT 迁建项目	重庆市万州经开区联合路 M6-2 号楼一楼	渝(辐)环准(2025) 24 号	2025 年 7 月 18 日通过自主验收
6	排污许可证	证书编号: 91500101MA607QDJ5G001U 有效期限: 2025-10-29 至 2030-10-28		
7	辐射安全许可证	证书编号: 渝环辐证[00830] 有效期限: 2025-09-08 至 2029-09-08		

1.6.2 现有核技术利用情况

(1) 现有工作制度

年工作约 44 周、264 天，实行白班/单班制。

(2) 辐射安全许可证持证情况

维都利现有 7 枚 V 类 ⁸⁵Kr 放射源和 1 台 II 类射线装置，上述放射源及射线装置均已履行相关环保手续，并取得辐射安全许可证，许可证编号为：渝环辐证（00830），种类和范围为“使用 V 类放射源；使用 II 类射线装置”，有效期至 2029 年 9 月 8 日，发证机关为重庆市生态环境局。根据现场调查，建设单位现有的放射源、射线装置种类和数量在许可范围内。

3 枚 V 类 ⁸⁵Kr 放射源布置在涂布车间 20 号楼（附 2 号楼），1 枚 V 类 ⁸⁵Kr 放射源布置在涂布车间 4 号楼（4#标准厂房 1 楼），3 枚 V 类 ⁸⁵Kr 放射源布置在涂布车间 6 号楼（6#标准厂房 1 楼），均不在本项目工业 CT 装置自带屏蔽铅房外 50m 范围内。

现有放射源情况见下表。

续表 1 项目基本情况

表 1-7 现有放射源情况表

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	使用场所	环评手续
1	⁸⁵ Kr	(1.11E+10) ×3	V类	使用	涂布车间 20 号楼	备案号: 202150010100000350 备案回执: 渝环辐备(2022) 0025号
2	⁸⁵ Kr	(1.11E+10) ×1	V类	使用	涂布车间 4 号楼	备案号: 202450010100000047 备案回执: 渝环辐备(2025) 0001号
3	⁸⁵ Kr	(1.11E+10) ×3	V类	使用	涂布车间 6 号楼	

1 台 II 类射线装置, 位于联合路 M6-2 号楼一楼 CT 测试房, 现有射线装置见下表。

表 1-8 现有射线装置情况表

序号	辐射活动场所名称	装置名称	类别	活动种类	数量/台	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)	环评手续 ^①	竣工验收
1	CT 测试房	工业 CT 装置	II 类	使用	1	Nano Voxe1 3000	TS2 2171	管电压 160kV 管电流 0.5mA	渝(辐)环准(2025) 24号	2025 年 7 月 18 日通过自主验收

(3) 辐射安全与环境保护管理领导小组现状

建设单位已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规的要求成立了辐射安全管理委员会, 委员会成员组成及相应职责见附件 6。

(4) 制度执行情况

建设单位已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》制定了相应的规章制度, 包括: 《辐射安全管理委员会岗位职责》《辐射防护安全管理制度》《辐射装置检修维护制度》《辐射装置台账管理制度》《辐射工作人员教育培训制度》《辐射安全和防护监测制度》《档案管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《射线装置操作规程》《个人剂量管理规定》等规章制度以及《辐射事故应急预案》; 相关制度已张贴上墙, 工作人员均按要求执行。

(5) 辐射工作人员情况

根据建设单位提供的资料, 公司现有 7 名辐射工作人员, 均已通过了核技术利用辐射安全与防护考核且在有效期内。公司对 7 名辐射工作人员及 80 名相关岗位人员开展了个人剂量监测, 进行了职业健康体检且体检合格, 建立了个人健康档案。根据 2025 年度四个季度的个人剂量监测报告可知, 本年度辐射工作人员吴亚男、张跃容、周丹(为

续表 1 项目基本情况

V类放射源岗位工作人员)个人年有效剂量实测值分别为 6.97mSv、6.58 mSv、5.86 mSv, 超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的职业照射年有效剂量限值 5mSv, 其余工作人员剂量范围均符合标准限值。发现超标后, 维都利已开展专项调查, 其中张跃容超标主要原因是未规范佩戴个人剂量计(辐射工作人员个人剂量计曾经被留置于放射工作场所内)、另外两名辐射工作人员未发现超标原因, 但与其同一工作组人员未发现超标。

现有 CT 测试房工作人员为李敏, 个人年有效剂量实测值为 0.24mSv, 远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的职业照射年有效剂量限值 5 mSv 要求。

(6) 监测仪器配备使用情况

建设单位已配备了 2 台便携式 X- γ 剂量率仪, 1 台用于射线装置使用场所, 1 台用于放射源使用场所, 并按要求对工作场所进行了每季度一次的自行监测, 工作场所监测结果满足相关标准要求, 已建立监测记录台账。

(7) 辐射工作场所监测情况

建设单位按照要求委托有资质单位对现有核技术利用项目开展了每年 1 次的监测, 监测结果满足相关标准要求。

(8) 辐射防护措施情况

现有工业 CT 测试房已实行辐射安全分区管理, 并已采取相应的辐射防护安全措施, 现有工业 CT 装置铅房前侧张贴有控制区标识、电离辐射警告标志、指示灯颜色说明等, 在 CT 测试房门上张贴监督区标识和电离辐射警告标志; 工业 CT 装置运行正常, 工作状态指示灯、声光报警灯、排风扇等运行正常。现有放射源使用场所已按相关要求设置辐射防护设施。

1.7.3 建设单位现有环境问题及整改措施

(1) 现有环境问题

根据调查, 建设单位运营至今, 辐射设备运营良好, 到目前为止未发生辐射事故, 未产生辐射环保事件, 重庆市生态环境局及万州区生态环境局也未收到辐射环保投诉, 但公司仍存在以下环境问题:

续表 1 项目基本情况

现有《辐射安全和防护监测制度》不完善，无工作场所日常自行监测相关内容，且无日常自行监测记录；未制定年度评估制度；个别辐射工作人员未按要求佩戴个人剂量计，有辐射工作人员个人年剂量超标。

(2) 整改措施

修改完善《辐射安全和防护监测制度》，补充工作场所日常自行监测相关内容，按要求进行日常自行监测，并进行记录；制定并进一步落实年度评估制度；对公司辐射工作人员加强管理，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，应严格按监测计划委托具有个人剂量监测资质的单位对其进行个人照射累积剂量监测，并完善个人剂量档案；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；应对超标的辐射工作人员调离放射岗位或减少工作时间。

1.8 依托现有工程可行性分析

本项目依托可行性分析见下表。

表 1-8 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	CT 测试房	本项目拟拆除 CT 测试房东北侧墙体，利用正极材料仓部分空间改造为新的 CT 测试房。本项目扩建后，不影响厂房整体的布局与运营。项目主体建筑依托可行。	可行
公用工程	供电、供水、通风等公用工程依托已有设施	供电、供水、通风系统等完善。	可行
环保工程	生活污水	园区现有生化池已经过环保验收，污水管网完善。	可行
	生活垃圾	现有生活垃圾收集系统完善。	可行
	废气	CT 测试房排风机正常运行，排风次数满足相关要求。	可行
其他	放射工作人员	项目劳动定员 2 人，均从公司劳动定员中调配培养，经辐射防护培训合格后方可上岗，不新增公司总劳动定员，可依托。	可行
	辐射安全管理	建设单位现已成立辐射安全管理委员会，并已制定相关辐射安全与环境保护管理制度，在根据整改措施及本项目情况进行补充完善相关制度后，可依托。	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
本项目不涉及。								

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 非密封性放射物质

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。										

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》(GB18871-2002)

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。										

(二) X 射线，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	工业 CT 装置	II类	1 台	RMCT4000	225	3	无损检测	M6-2 号楼一楼 CT 测试房	拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

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
有害气体 O ₃ 、NO _x 等	气态	/	/	/	微量	/	/	排入 2#仓库西北侧楼外
报废 CT	固态	/	/	/	/	/	CT 测试房内暂存	去功能化后，按照建设单位相关要求处理

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/l，固态为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》（中华人民共和国主席令第九号），2015年1月1日实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号），2018年12月29日实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号），2003年10月1日实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第682号），2017年10月1日实施；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第449号令，2005年12月21日施行；国务院令第653号，2014年7月29日修订实施；国务院令第709号，2019年3月2日修订实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，原国家环境保护总局令第31号，2006年3月1日施行；生态环境部令第20号，2021年1月4日修订实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号），2011年5月1日起实施；</p> <p>(8) 《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日起实施；</p> <p>(9) 关于发布《射线装置分类》的公告（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，公告2017年第66号），2017年12月5日实施；</p> <p>(10) 《重庆市环境保护条例》，2025年7月31日修正；</p> <p>(11) 《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日实施；</p> <p>(12) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，2024年2月1日起施行；</p> <p>(13) 《国家危险废物名录》（2025年版），2025年1月1日起施行。</p>
------	--

续表 6 评价依据

<p>技 术 标 准 技 术 规 范</p>	<p>(14) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)</p> <p>(15) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(16) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(17) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)；</p> <p>(18) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GB Z/T250-2014) 及 2017 年修订；</p> <p>(19) 《职业性外照射个人监测规范》(GB Z128-2019)；</p> <p>(20) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)；</p> <p>(21) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(22) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(23) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；</p> <p>(24) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 委托书(附件 1)；</p> <p>(2) 备案证(附件 2)；</p> <p>(3) 监测报告(渝辐监(委)[2026]005 号)(附件 3)；</p> <p>(4) ICRP33、《辐射防护导论》等参考文献；</p> <p>(5) 建设单位提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目使用的II类射线装置带有固定的实体屏蔽铅房，根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）对核技术利用建设项目环境影响报告表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，因此本评价将射线装置自带屏蔽铅房外 50m 的范围作为评价范围。

7.2 环境保护目标

本项目工业 CT 装置在 CT 测试房内使用，CT 测试房设置在维都利现有 2#仓库 1 层，2#仓库（长×宽×高=69.2m×29.4m×23.2m）地下无建筑，地上共 4 层，主要作为库房使用，其中 1F 高 7.3m，其余楼层每层高 5.3m（高度均包含楼板厚度）。CT 测试房层高 2.6m，其上方为管道夹层，2#仓库 1F 上空无行车。

CT 测试房东北侧为正极材料仓、负极材料仓、箔材仓、过道、卫生间、楼梯间、电房和园区道路等；东南侧为 IQC 室、化学测试室、园区道路及停车位等；西南侧为 IQC 室、收货仓、电解液仓、不良品仓、过道、卫生间、楼梯间、茶水间、绿化带和园区道路等；西北侧为过道、电梯、园区道路、绿化带、连廊、停车位、4#标准厂房和 5#标准厂房等；CT 测试房上方二楼为极耳仓、物料仓等房间；三楼为钢壳电芯仓、厕所、电梯等；四楼为仓库、厕所、电梯等；楼下无建筑。

结合本项目的的评价范围，本项目环境保护目标主要为从事本项目工业 CT 装置操作的辐射工作人员和其他公众成员，具体保护目标分布情况见表 7-1。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-1 评价范围内保护目标分布情况						
方位	区域	水平距离	高差	保护目标	影响人数	剂量约束值
CT 测试 房内	现有操作台	约 2.5m	平层	辐射工作人 员	2 人	≤5mSv/a
	本项目操作台	约 0.5m	平层	辐射工作人 员	2 人	
东北 侧	正极材料仓、负极材料仓、 箔材仓	约 0.8~30.6m	平层	公众	约 15 人	≤0.1mSv/a
	过道、卫生间、楼梯间、电 房、园区道路	约 1.5~50m	平层	公众	约 10 人	
东南 侧	IQC 室、化学测试室、正极 材料仓	约 1.5~19.1m	平层	公众	约 20 人	
	园区道路及停车位	约 19.1~50m	平层	公众	约 10 人	
西南 侧	IQC 室、收货仓、电解液仓、 不良品仓	约 5.2~36.8m	平层	公众	约 10 人	
	过道、卫生间、楼梯间、茶 水间、绿化带、园区道路	约 1.5~50m	平层	公众	约 10 人	
西北 侧	过道、电梯、园区道路、绿 化带	约 1.5~7.3m	平层	公众	约 10 人	≤0.1mSv/a
	园区道路、停车位	约 7.3m~30m	约 0~+7.3m	公众	约 10 人	
	连廊(连接 4#、5#标准厂房)	约 7.3m~30m	约+12.6m	公众	约 10 人	
	4#标准厂房、5#标准厂房	约 30~50m	约 +7.3~+30.5m	公众	约 20 人	
楼 上	二楼 极耳仓、物料仓等	/	约 +7.3~+12.6m	公众	约 4 人	≤0.1mSv/a
	三楼 钢壳电芯仓、厕所、电梯等	/	约 +12.6~+17.9m	公众	约 4 人	
	四楼 仓库、厕所、电梯等	/	约 +17.9~+23.2m	公众	约 4 人	

注：①“+”表示高于铅房所在地面；②M6-2 号楼（维都利 2#仓库）和 4#（维都利生产厂房）均为 4 层建筑，楼层均为 1F 高 7.3m，2F~3F 每层高 5.3m，高度均包含楼板厚度；③5#标准厂房（现为空置厂房）为 4 层建筑，1F 高 7.0m，2F~3F 每层高 5.3m，高度均包含楼板厚度。

7.3 评价标准

7.3.1 《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。

第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限值，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊

续表 7 保护目标与评价标准

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 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：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限值：年有效剂量，1mSv。

7.3.2 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）

本标准规定了 X 射线和 γ 射线探伤的放射防护要求。本标准适用于使用 600kV 及以下的工业 CT 装置和 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 工业 CT 装置在额定工作条件下，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 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	<1
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) 屏蔽铅房外 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。

续表 7 保护目标与评价标准

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。

7.3.3 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

本标准规定了工业 X 射线探伤室探伤、工业 X 射线 CT 探伤与工业 X 射线现场探伤的放射防护要求。本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

第 3.1.1 条 探伤墙和入口门外周围剂量当量率和每周周围剂量当量应满足下列要求：

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

1) 人员在关注点的周围剂量参考控制水平 H_c 如下：

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

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

第 3.1.2 条 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

2) 对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

第 3.2 条 需要屏蔽的辐射

第 3.2.2 条 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

第 3.2.3 条 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值厚度（TVL）或更大时，采用其中厚的屏蔽，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）。

7.3.4 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）

室内：臭氧浓度的接触限值： $0.3 \text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物的接触限值： $5 \text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.3.5 评价标准及相关参数值

①年剂量约束值

根据建设单位提供的资料，本项目取 GB18871-2002 中工作人员职业照射剂量限值的四分之一即 $5 \text{mSv}/\text{a}$ 作为辐射工作人员的年有效剂量约束值，取公众照射剂量限值的十分之一即 $0.1 \text{mSv}/\text{a}$ 作为公众成员的年有效剂量约束值，满足 GB18871-2002 的规定。

②设备屏蔽体外控制水平核算

续表 7 保护目标与评价标准

上述标准中《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对探伤室屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

A.居留因子

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A，居留因子取值原则见下表。

表 7-3 不同场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子 (T)	示例
全居留	1	操作室、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

注：后文计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

B：设备屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

关注点剂量率控制水平计算公式：

$$H_{c,d}=H_c/(t.U.T)$$

H_c —周剂量参考控制水平（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）

t —探伤装置周照射时间，h

U —探伤装置向关注点方向照射的使用因子，本项目取 1

T —人员在相应关注点驻留的居留因子

本项目工业 CT 装置计划工作负荷如下表所示。

表 7-4 本项目工业 CT 装置计划工作负荷

设备型号	最大电压	最大电流	单次最长曝光时间	周出束时间
RMCT4000	225kV	3mA	30min	25h

工作场所周围剂量当量率控制水平见下表所示。

表 7-5 剂量率参考控制水平核算表

方向	$t(\text{h}/\text{周})$	U	T	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	剂量率参考控 制水平 $\dot{H}_{c-\text{max}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	本项目剂量率 参考控制水平 $\dot{H}_c^{\text{①}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
铅房右侧	25	1	1	100	4.0	2.5	2.5
铅房左侧	25	1	1	100	4.0	2.5	2.5
铅房后侧	25	1	1	100	4.0	2.5	2.5
铅房前侧	25	1	1	100	4.0	2.5	2.5
铅房顶部	25	1	1 ^②	100	4.0	2.5	2.5

续表 7 保护目标与评价标准

铅房底部	25	1	/	100	/	2.5	2.5 ^③
<p>注：① \dot{H}_c 为 \dot{H}_{cd} 和 \dot{H}_{cmax} 二者的较小值；②因二楼有工作人员，故居留因子保守取 1；③屏蔽体底部无人居留，居留因子为 0，为避免 X 射线穿透底部屏蔽体后经地面散射而导致的环境辐射水平增高，本报告保守取 2.5μSv/h 作为底部屏蔽体的剂量率参考控制水平。</p>							

综上所述，确定本项目的管理目标，见下表。

表 7-6 项目辐射评价标准及相关参数汇总表

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/a；公众成员：0.1mSv/a	GB18871-2002
2	周剂量管理目标值	辐射工作人员：100 μ Sv/周；公众成员：5 μ Sv/周	GBZ 117-2022、 GBZ/T250-2014
3	工作场所周围剂量当量率控制水平	屏蔽铅房外 30cm 处瞬时剂量率小于 2.5 μ Sv/h。	GBZ 117-2022、 GBZ/T250-2014
4	通风要求	有效通风换气次数应不小于 3 次/h	GBZ 117-2022

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于维都利在重庆市万州经济技术开发区联合路 M6-2 号楼一楼，项目地理位置图见附图 1。

本项目所在 CT 测试房东北侧紧邻正极材料仓，东南侧和西南侧紧邻 IQC 室，西北侧紧邻过道，楼上一层正上方为极耳仓和物料仓，楼下无建筑，建设场所周边现状见附图 3、附图 5。

8.2 环境质量和辐射现状

本项目拟扩大现有 CT 测试房使用面积，在 CT 测试房内新增一台工业 CT 装置。为了掌握本项目辐射装置安装场地的辐射环境背景水平，为辐射环境影响评价提供基础数据，委托重庆渝辐科技有限公司对项目场地及周边环境的环境 γ 辐射环境剂量率背景值进行了监测（监测报告编号：渝辐监（委）[2026]005 号），监测时 CT 测试房内现有工业 CT 装置未开机。

- (1) 监测时间：2026 年 1 月 7 日
- (2) 监测因子：环境 γ 辐射剂量率
- (3) 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

- (4) 监测仪器

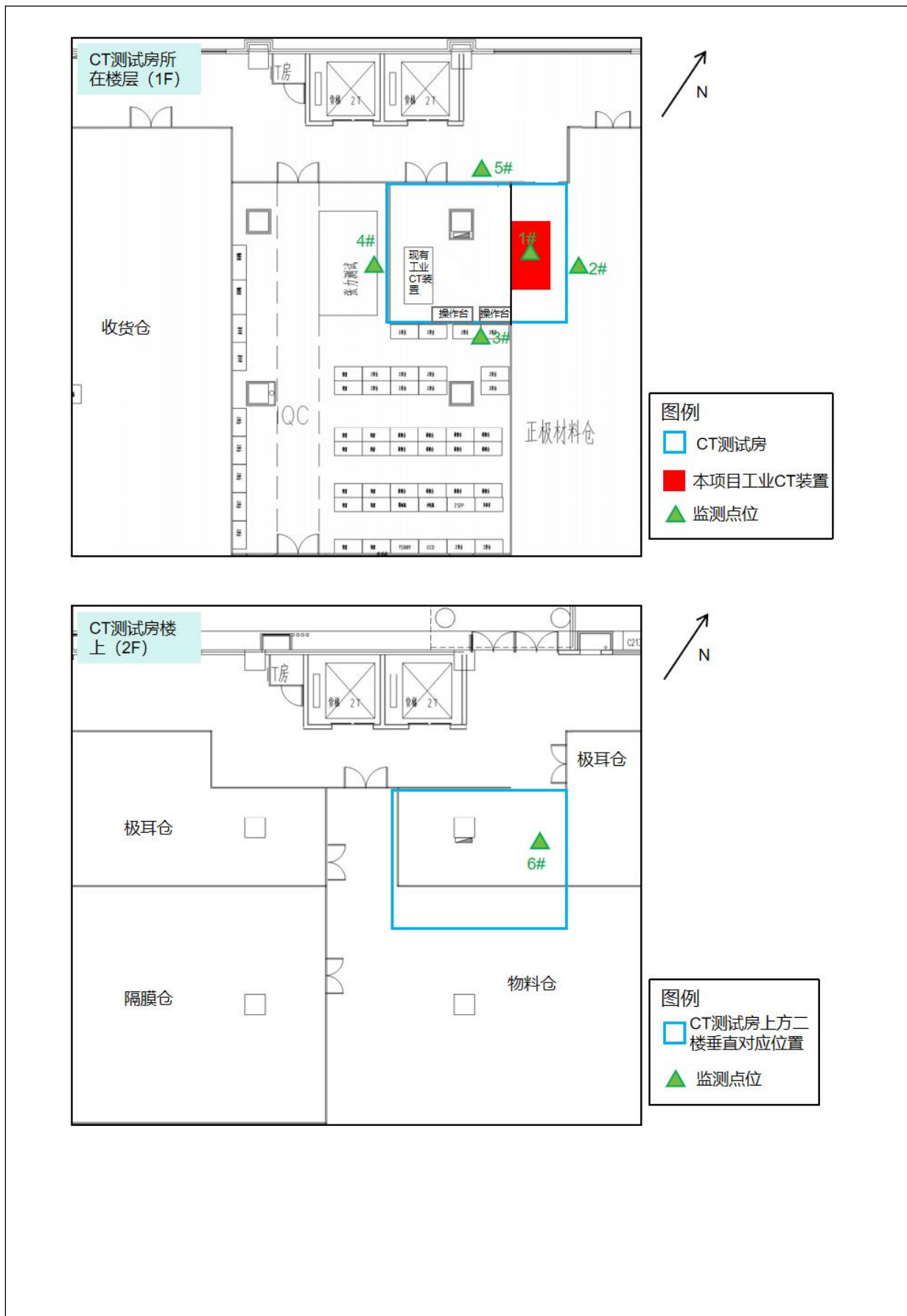
监测仪器情况见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器一览表

仪器名称	仪器型号	仪器编号	计量校准证书编号	有效期至	校准因子
多功能辐射剂量率仪	RJ32-3602	RJ3200207	JL2505000144	2026.5.21	0.81

- (5) 监测点位：共设 10 个点。具体监测布点见图 8-1。

续表 8 环境质量和辐射现状



续表 8 环境质量和辐射现状

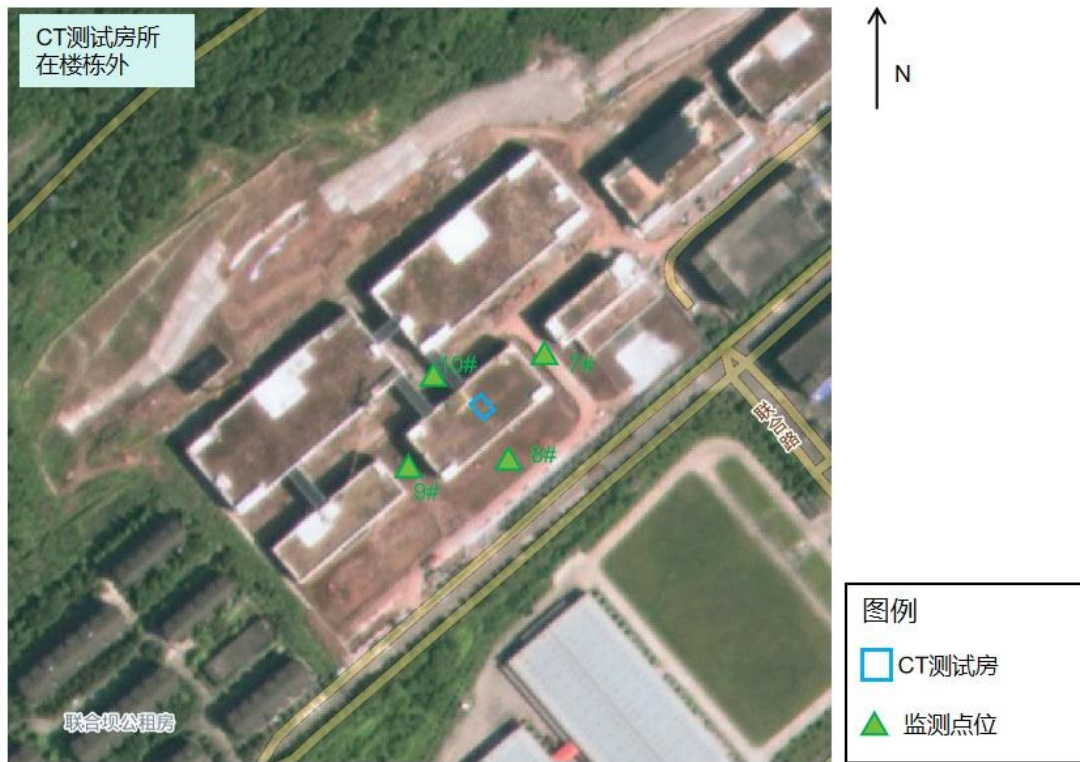


图 8-1 监测布点示意图

按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等的辐射环境质量监测布点要求，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。

本项目监测点位布设结合以上布点原则、评价范围以及保护目标的分布来选取。现有 CT 测试房东北侧紧邻正极材料仓，东南侧和西南侧紧邻 IQC 室，西北侧紧邻过道，铅房正上方 2F 区域为极耳仓，CT 测试房下方无建筑，因此建筑物内监测点位选取本项目铅房拟布置位置处、正上方 2F 投影位置、扩建后 CT 测试房墙外四周，并在 2#仓库外四周各设置一个监测点位。因此，本项目各监测点位的布设考虑了项目用房和周围相邻区域，并在最近公众长时间驻留区域布点，具有代表性，能够反映本项目涉及工作场所及邻近环境的辐射环境背景水平，项目监测布点合理可行。

（6）质量保证措施

①本项目辐射环境监测单位为重庆渝辐科技有限公司，具有重庆市市场监督管理局颁发的计量认证证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

续表 8 环境质量和辐射现状

②采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后并在有效期内使用。

④监测实行全过程的质量控制，严格按照重庆渝辐科技有限公司《质量手册》《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

⑤监测报告严格实行三级审核制度。

(7) 监测结果统计：监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 本项目区域环境 γ 辐射剂量率背景值监测结果

测量位置	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)
1# CT 测试房房间内	54
2# CT 测试房外东北侧	54
3# CT 测试房外东南侧	53
4# CT 测试房外西南侧	53
5# CT 测试房外西北侧	50
6# CT 测试房上方二楼垂直对应位置	52
7# CT 测试房所在楼栋外东北侧	62
8# CT 测试房所在楼栋外东南侧	62
9# CT 测试房所在楼栋外西南侧	64
10# CT 测试房所在楼栋外西北侧	61

备注：结果=平均值×校准因子，监测结果未扣除宇宙射线响应值。

(8) 背景监测评价

根据监测统计结果可知，项目场地及周边环境的环境 γ 辐射剂量率的监测值在 50nGy/h~64nGy/h 之间（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》，2024 年重庆市 γ 辐射累积剂量法测得各点位测量均值范围为 79.2~108nGy/h，全市各点位年均值为 96.1nGy/h（均未扣除宇宙射线响应值），因此，项目所在场址及邻近环境 γ 辐射剂量率在重庆市天然辐射水平正常涨落范围内，其辐射环境质量良好。

(9) 现状监测评价

根据现有工业 CT 装置验收监测报告（附件 3-2）可知，现有工业 CT 装置运行时，屏蔽铅房外 30cm 处周围剂量当量率最大为 0.122 μ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 施工期工艺流程及产污环节

本项目 CT 测试房位于 2#仓库的 1 楼，本项目施工期主要为 CT 测试房扩建和工业 CT 装置以及辐射安全防护设施的安裝。施工期污染因子主要包括：施工机械噪声、设备包装垃圾、施工扬尘、少量建筑垃圾，以及施工人员产生的少量生活废水与生活垃圾等。

9.1.2 运营期工艺流程及产污环节

9.1.2.1 设备组成和工作方式

(1) 设备组成

本项目拟新增的 RMCT4000 型工业 CT 装置主要由铅房、X 射线管、检测平台、探测器、高压发生器、电柜、计算机系统等组成。设备外观示意图见图 9-1，设备外观三视图见图 9-2，设备内部结构示意图见图 9-3，主要性能参数见表 9-1 所示。



图 9-1 设备外观示意图

续表 9 项目工程分析与源项

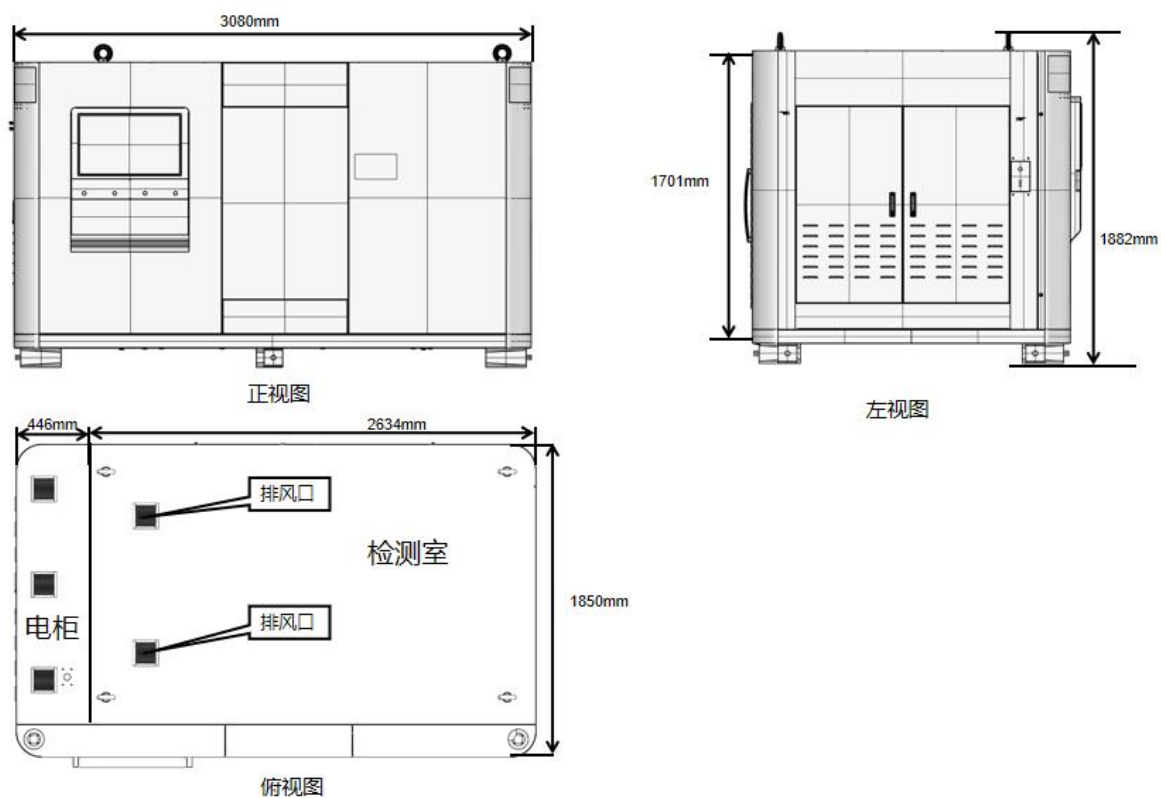


图 9-2 设备外观三视图

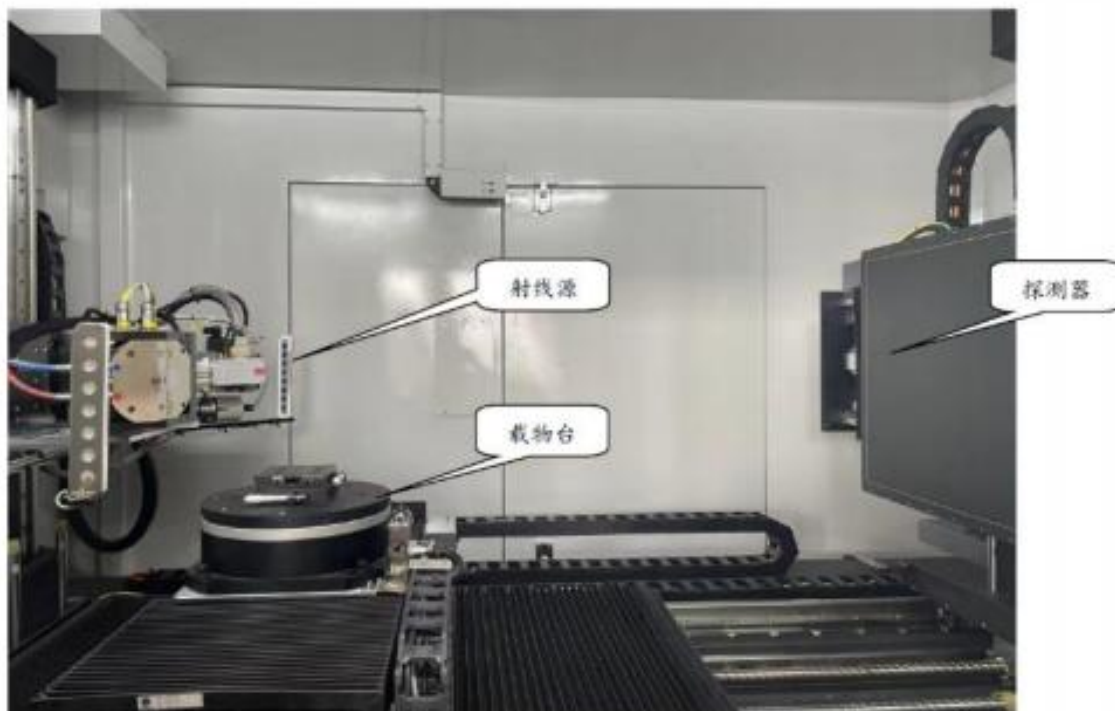


图 9-3 设备内部结构示意图

续表 9 项目工程分析与源项

①铅房

本项目工业 CT 装置的铅房为 X 射线的屏蔽防护系统，屏蔽体主要由一定厚度的钢+铅+钢组成，铅房尺寸见表 1-2。

②X 射线管

本项目 X 射线管安装在铅房内一侧，焦点尺寸 $6\mu\text{m}$ ，最大管电压 225kV，最大管电流 3mA，最大管功率 350W，过滤窗口为 0.5mmCu。X 射线管仅可沿 Z 轴上下运动，最上端距离屏蔽铅房顶部约 0.41m，最下端距离屏蔽铅房底部约 0.65m，行程约 645mm，主射线定向朝向右侧，发出的射线束形状为锥束，锥束角度为 30° 。

③探测器

本项目探测器为平板探测器，尺寸为 $427\text{mm}\times 425\text{mm}$ ，安装在 X 射线管对侧。探测器是用来接收穿过工件的射线信号，经放大和模数转换后送进计算机进行图像重建，是数字成像的核心，将肉眼看不到的“X 射线”转换为最终能转变为图像的“数字化信号”。探测器可沿 Z 轴上下运动，行程约 570mm；可沿 X 轴左右运动，行程约 850mm；可沿 Y 轴前后运动，行程约 600mm。

④检测台

采用花岗岩材质，平台直径 200mm，不可上下移动；可沿 X 轴左右运动，行程约 650mm；可沿 Y 轴前后运动，行程约 600mm；并可带动工件实现水平 360° 旋转。

⑤高压发生器

高压电源装置是一台可输出 3 千瓦的高压开关电源，是将电网电源（AC220V）进行整流滤波转换成直流电源（DC），再经过功率器件（IGBT）组成桥式逆变电路转换成由主逆变频率控制的高频交流电源（AC），用其作为高压变压器的主控电源；同时高压变压器输出通过取样电路将输出值反馈回主逆变频率控制器，用其作为输出设定值的补偿量。因此形成高压输出的闭环控制，以达到更有效精确的高压输出值。

⑥电柜

为设备的各项系统提供电力供给，保证设备平稳运行。

⑦图像处理系统

续表 9 项目工程分析与源项

<p>图像处理系统包括铅房外壁控制面板、计算机工控主机、显示器、鼠标等硬件组成，用于实现图像采集和实现各项运动控制功能。</p>		
<p>表 9-1 主要性能参数表</p>		
类别	主要技术参数	指标
<p>X 射线系统</p>		
射线源	射线源管电压	20~225kV
	射线源管电流	0.05~3mA
	射线源最大管功率	350W
	射线源最大靶功率	300W
	射线辐射角	30°圆锥束
	射线源焦点尺寸 (mm)	6μm
	射线源最小焦距	4mm
	射线源与探测器之间最大距离	1200mm
过滤板	材质和厚度	0.5mm Cu
<p>数字成像系统</p>		
平板探测器	探测器像素尺寸	139μm
	探测器有效面积	427mm×425mm
	探测器类型	非晶硅平板探测器
	A/D 转换位数	16bit
	接收能量范围	最高达 225kV
<p>检测平台</p>		
定位精度	型号/规格	正负 20sec
夹持方式	型号/规格	手动夹持
旋转范围	型号/规格	±360°
承重	型号/规格	50kg
材料	型号/规格	耐腐蚀材料，采用花岗岩
平台直径	型号/规格	200mm
检测机构	轴数量	7 轴
<p>图像处理系统</p>		
图像处理系统	图像处理主机	台式计算机
<p>控制系统</p>		
<p>①设备设有操作面板、控制软件等； ②检测机构的各个运动轴具备防碰撞措施； ③设备冷却方式：水冷。</p>		
<p>视频监控系統</p>		
<p>铅房内配置 1 个摄像头，摄像头采用自动变焦，像素不低于 200 万，可进行局部放大操作。 铅房外配置 1 个摄像头，主要观察后侧检修门状况。</p>		
<p>辐射报警系统和防护设施</p>		

续表 9 项目工程分析与源项

辐射监测报警系统	在铅房内部配置 1 套固定剂量探测仪。
辐射防护设施	①设备铅房采用钢+铅+钢屏蔽； ②配置门机联锁等安全联锁装置； ③配置设备工作状态指示灯、声光报警器、电离辐射警告标志、急停装置等。

(2) 工作方式

本项目为固定式 X 射线探伤，X 射线主射束定向照射；X 射线管和探测器分别安装在检测平台两侧，X 射线管仅可上下运动，探测器可上下、左右、前后运动；检测台不可上下，可左右、前后运动，并可带动工件水平 360°旋转。具体如下：待检工件放置在检测台上，通过调整 X 射线管和探测器，并通过检测台轨道的移动和自身旋转，使工件在 X 射线球管照射范围内，达到无损检测的目的。位于 X 射线球管对侧的探测器将 X 射线照射物体后的不可见光转换为可见光，最终输出到操作台的显示器上，工作人员在操作台观察检测图像，确认工件是否合格。设备出束期间，工作人员均在操作台处操作。

运动轨迹示意图如下图所示。

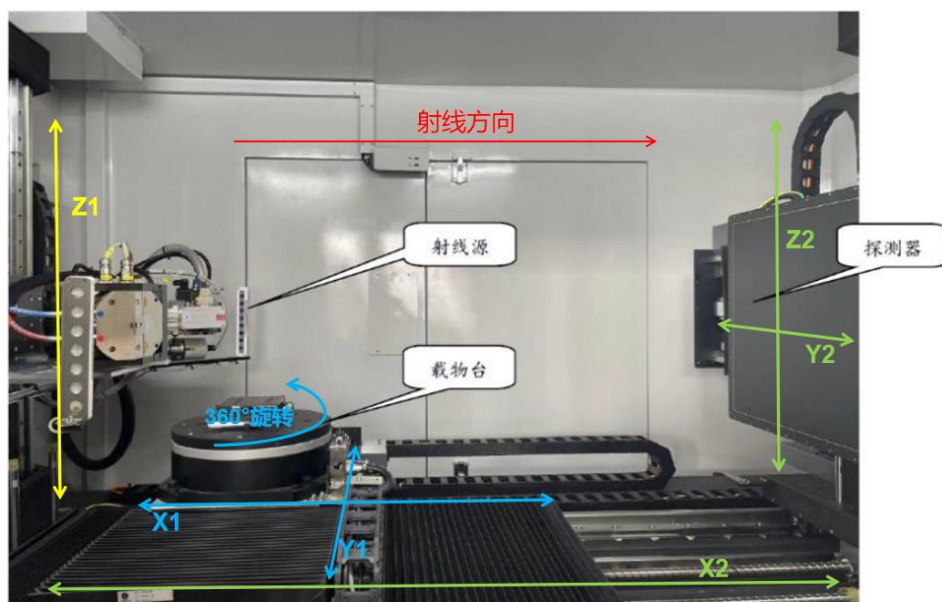


图 9-4 运动轨迹示意图

9.1.2.2 工作原理及工艺流程

(1) 工作原理

①X 射线管原理

工业 CT 装置的 X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，

续表 9 项目工程分析与源项

它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在铜阳极中的钨靶射击。高压电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。高速电子与靶物质发生碰撞，就会产生韧致 X 射线和低于入射电子能量的特征 X 射线。靶体一般用高原子序数的难熔金属如钨、铂、金等制成。X 射线管结构及原理示意图见下图。

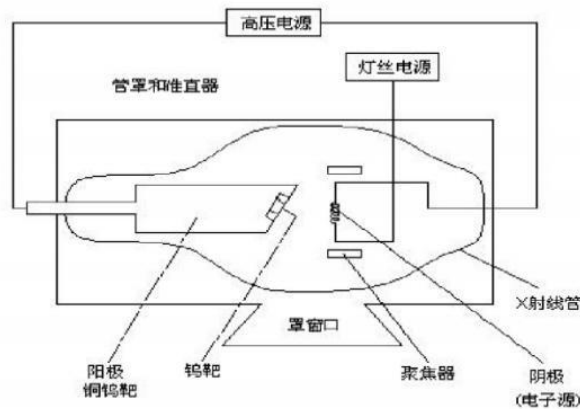


图 9-5 X 射线管示意图

②数字成像原理

X 射线通过物质时，其强度逐渐减弱，X 射线朝探测器方向出束，根据待检工件的摆放位置、厚度等，调节电流电压等来对工件进行 X 射线检测。当 X 射线射向工件时，射线穿过工件被探测器接收，产生信号。因为工件内部疏密程度不同，X 射线的穿透能力不同，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，就可以判断出具有缺陷的图像，从而达到 X 射线无损检测的目的。

工业 CT 装置数字成像原理如下图所示。

续表 9 项目工程分析与源项

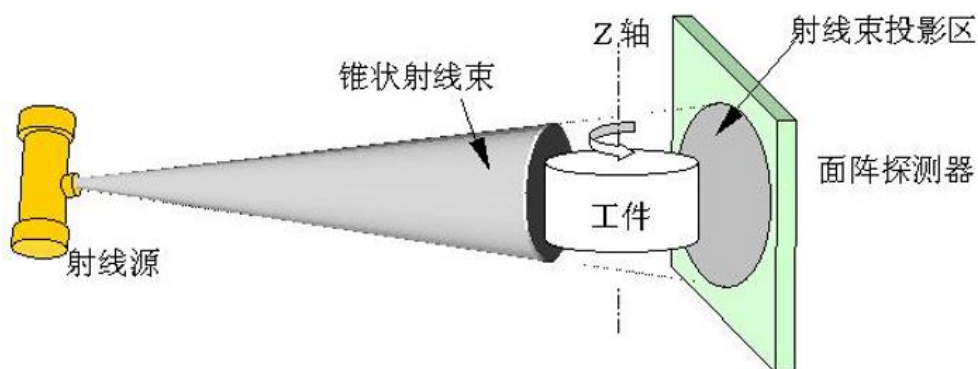


图 9-6 工业 CT 装置扫描成像原理示意图

(2) 工艺流程

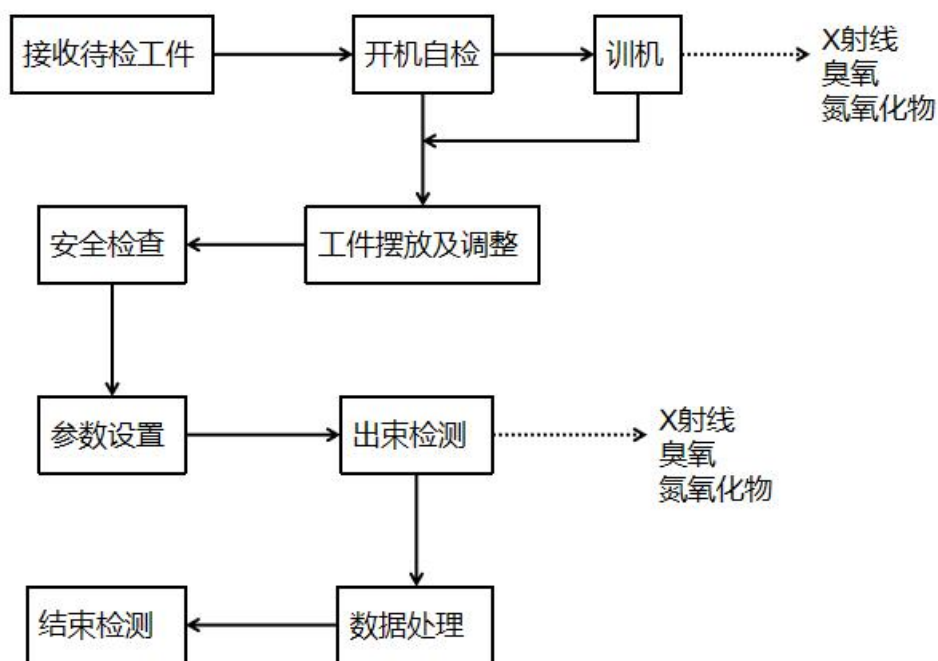


图 9-7 工艺流程及产污环节示意图

工艺流程描述：

①接收待检工件：车间工作人员将待检工件运至 CT 测试房；本项目操作人员接收待检工件后进行信息登记；

②开机自检、训机：操作人员打开工业 CT 装置，启动系统自检工作，诊断测试正常，设备会示意操作者进行出束或训机操作；

③工件摆放及调整：操作人员打开铅门，将受检工件手动放置在检测台上，操作人员

续表 9 项目工程分析与源项

关闭铅门，根据受检部位需求在计算机上通过 X 射线管、探测器及检测台的移动位置移动，使受检工件在 X 射线球管照射范围内。

④安全检查：操作人员通过视频监控确认铅房内部无人员滞留，检查门机联锁等安全装置系统都启动并正常。

⑤参数设置：操作人员根据工件的尺寸设置管电压、管电流等检测参数；

⑥出束检测：开启射线源启动按钮，电源接通指示灯亮，冷却器、铅门联锁、急停按钮、高压锁复位，设置出束电流、电压参数，点击开高压，设备出束。工件通过检测台转动进行检测（检测过程中，平台根据检测要求，可旋转和固定位置），待检测数据图像采集结束后关闭高压。

⑦数据重建：采集结束后通过计算机算法，对采集得到的数据进行处理，显示器输出结果，并显示图像（本项目采用实时成像，不洗片），分析检测结果，出具检测报告；

⑧结束检测：打开铅门取出受检工件，同时将下一个待检工件放置到检测台上准备下一个检测过程；全部工件检测完成，关闭高压电源，再关闭软件和计算机，最后关闭总电源。

整个过程辐射工作人员均不进入铅门内部，只有设备需要维修、维护时，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、个人剂量报警仪进入铅房。

（3）工作负荷

项目辐射工作人员年工作约 44 周、264 天，拟实行白班/单班制；工业 CT 每年最多探伤检测工件 2200 件/次、单个/次检测图像采集时间最长 30 分钟。具体情况见表 1-4。

9.1.3 人流和物流的路径规划

①人流路径

本项目辐射工作人员从 CT 测试房大门进出 CT 测试房，用手将受检工件从上料安全门搬运至铅房内 CT 检测台上，（搬运过程中操作人员站立在铅房外），工件放置后，操作人员回到操作台操作，整个受检过程均不进入工业 CT 装置屏蔽铅房内。

②物流路径

待检测工件从 CT 测试房大门进入 CT 测试房后，再从上料安全门进入工业 CT 装

续表 9 项目工程分析与源项

置铅房内进行检测，检测结束后原路退回，待检工件为人工搬运。

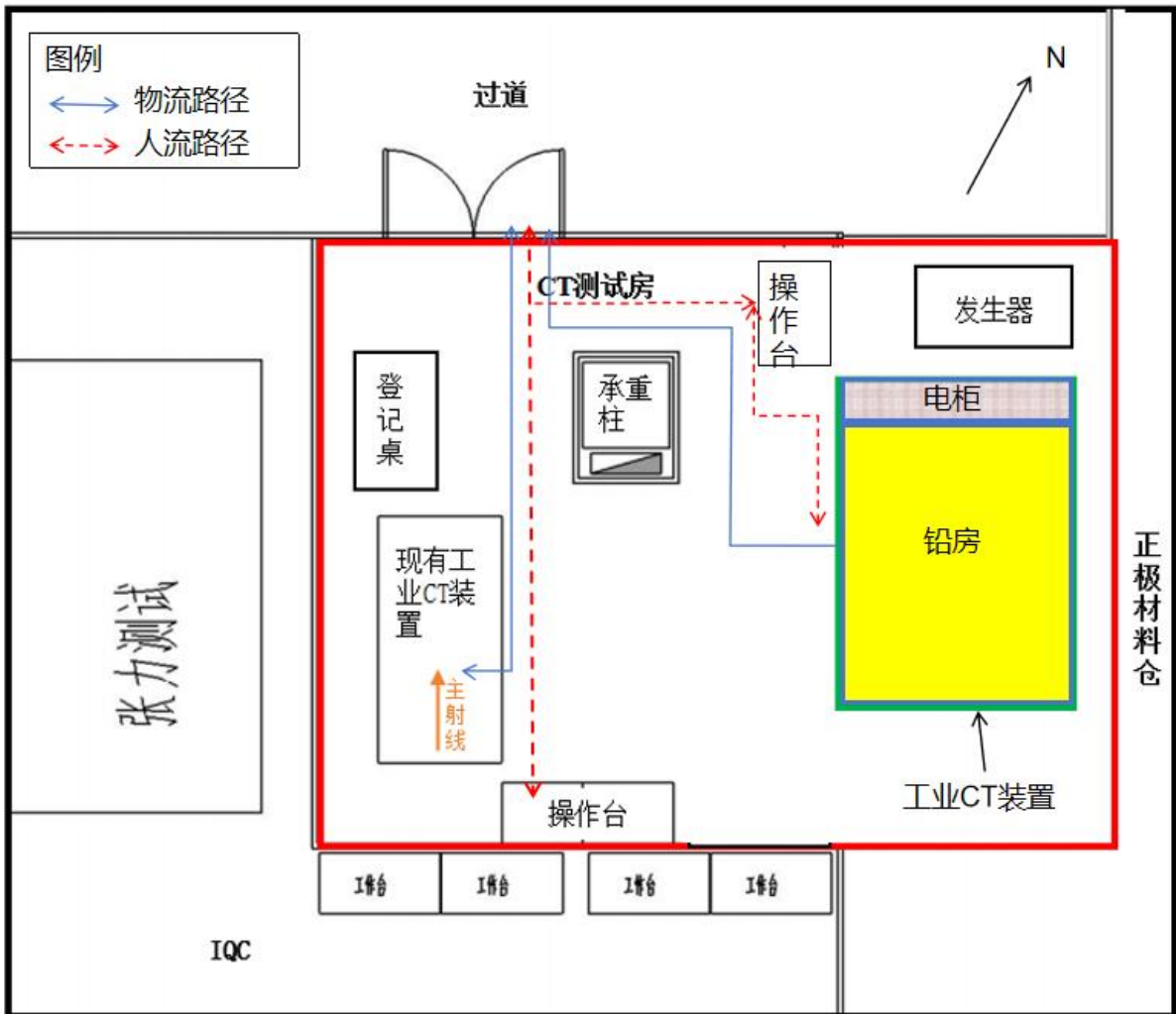


图 9-8 本项目人流和物流路径图

续表 9 项目工程分析与源项

9.2 污染源项描述

9.2.1 放射性污染物

本项目的主要污染因子是 X 射线，随 X 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铅房的有效屏蔽。但由于 X 射线的直射、泄漏及散射，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、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工件，形成工件无损检测的射线。根据设备方提供资料，本项目滤过条件为 0.5mm 铜，根据 ICRP 33 号 P55 图 2，225kV 射线在 0.5mm 铜滤过条件下距辐射源点 1m 处输出量约为 $13\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

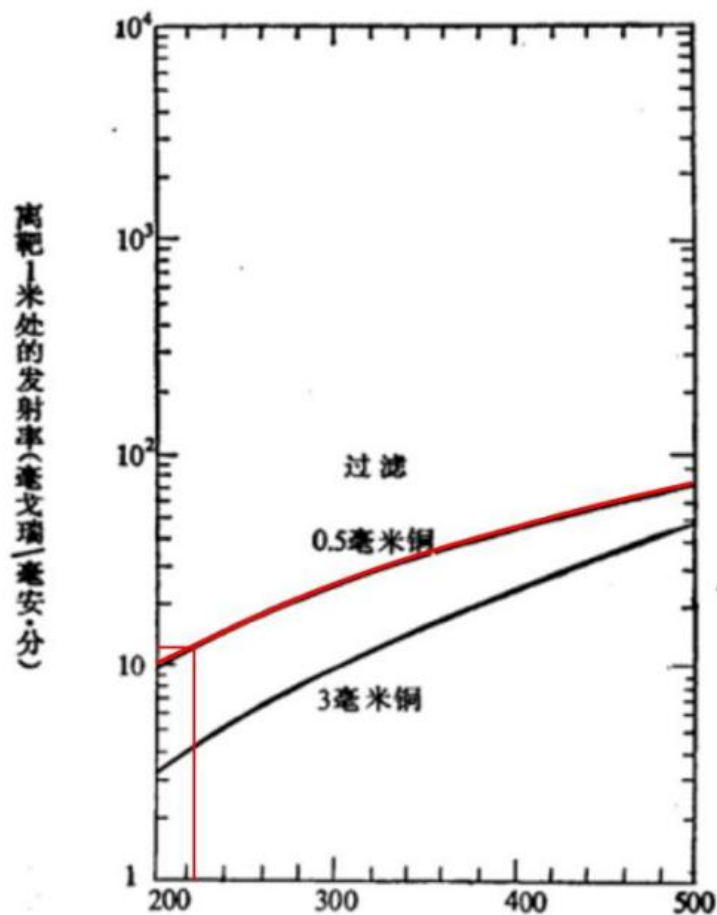


图 9-9 离靶 1 米处的发射率

续表 9 项目工程分析与源项

(2) 漏射线

由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。本项目最大管电压为 225kV，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）表 1，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。

(3) 散射线

由有用线束及漏射线在各种散射体（检测工件、射线接收装置、地面、墙壁等）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 射线机的输出量、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， $200 < kV \leq 300$ 的原始 X 射线， 90° 散射辐射能量最高，其值为 200kV。

9.2.2 “三废”产排情况

本项目工业 CT 装置运行过程中采用数字成像，结果实时存档，不需洗片，不产生放射性“三废”。项目非放射性“三废”产排情况如下。

(1) 废气

工业 CT 装置工作过程中会使自带屏蔽铅房内的空气电离产生少量的臭氧（O₃）和氮氧化物（主要为 NO₂）。本项目工业 CT 装置自屏蔽铅房设置 1 台排风扇，排风扇排风量约 1.93m³/min，每小时有效通风换气次数约为 20 次，废气经铅房顶部排风口排入 CT 测试房，依托 CT 测试房现有排风系统（通风次数大于 3 次/h）从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路。

(2) 废水

本项目无生产废水产生。本项目不新增工作人员，不新增生活污水产生量，调配的 2 名辐射工作人员产生的生活污水依托园区现有生化池处理后排入市政污水管网，进入沱口污水处理厂进一步处理。

(3) 噪声

本项目工业 CT 装置拟设置 1 套排风扇进行机械通风，排风扇为低噪声设备，噪声源强低于 55dB（A），排风扇安装在工业 CT 装置顶部，位于厂房内，经距离衰减及厂

续表 9 项目工程分析与源项

房建筑隔声等措施后排放。

(4) 固体废物

本项目不新增工作人员，不新增生活垃圾产生量，调配的 2 名辐射工作人员产生的生活垃圾依托现有生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。

本项目成像方式为实时成像，不涉及洗片等工序；工业 CT 装置使用一定年限后，射线装置可能不能正常工作，报废成为固体废物，建设单位对报废工业 CT 装置去功能化后，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。

9.2.3 项目产排污统计

本项目污染物产排污情况见表 9-2。

表 9-2 本项目污染物产排情况统计表

污 染 物	污染因子	产生量		处理方式
辐射	X 射线	最大管电压	225kV	利用设备屏蔽铅房屏蔽
		最大管电流	3mA	
		有用线束距辐射源点 1m 处输出量	13 mGy · m ² / (mA · min)	
		泄漏辐射距辐射源点 1m 处剂量率	5mSv/h	
		90°散射辐射	200kV	
废气	臭氧和氮氧化物	少量		机械抽风引至室外排放
废水	生活污水	不新增		依托园区现有生化池处理
噪声	排风系统风机	<55dB (A)		经工业 CT 装置铅房和所在厂房隔声后排放
固废	生活垃圾	不新增		交环卫部门处理
	固体废物：报废 CT	1 台		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

9.3 原有工艺不足及改进情况

根据现场调查，本项目 CT 测试房内现有 1 台工业 CT 装置，已按照环评要求建设，已通过竣工验收，取得辐射安全许可证，暂无需要改进和调整的措施。

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 辐射工作场所布局

本项目 CT 测试房位于 M2-6 号楼（2#仓库）1F，CT 测试房下方无建筑，相邻四周及上方主要为各仓库及 IQC 室，活动人员较少，有利于减少无损检测对公众成员的影响。同时 CT 测试房紧邻仓库，工件无损探伤检测完后能及时入库，有效避免远距离运输。CT 测试房内已布置 1 台工业 CT 装置（带自屏蔽铅房），CT 测试房人流、物流路径清晰，路径便于管理，CT 测试房内主要为辐射工作人员活动区域，CT 测试房门口已设置警示标牌，要求非相关工作人员不要进入该区域，充分考虑了周围的辐射安全，本项目工业 CT 装置（带自屏蔽铅房）布置 CT 测试房内便于射线装置的统一管理及辐射防护分区管理。

本项目工业 CT 装置自带铅屏蔽体，与电柜相连，电柜位于铅屏蔽体左侧；本项目工业 CT 装置固定安装在 CT 测试房内，操作台与铅房分开布置，本项目工业 CT 装置主射束朝向右侧，屏蔽铅房前侧设置有上料安全门、后侧设检修门（见图 9-1），铅房与左侧电柜之间及铅房左后侧下方各设置 1 个电缆孔（见图 10-2），铅房顶部左侧上方布置 2 个排风口（见图 10-3），故本项目工业 CT 装置的上料安全门、电柜门、检修门、电缆孔及排风口也均未在主射束方向。

本项目工业 CT 装置与 CT 测试房内现有工业 CT 装置大致呈对角布置，CT 测试房内两台工业 CT 装置、各自主射线方向，及各装置对应的操作位布置见图 10-1，由图 10-1 可知，现有工业 CT 装置操作台及本项目工业 CT 装置操作台位置均避开了两台工业 CT 装置主射线方向，同时也均便于观察各自铅房情况。

因此，本项目平面布局满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，布局合理。

10.1.2 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等标准要求，项目拟将辐射工作场所划分为控制区和监督区，实行辐射安全分区管理，并采取相应的辐射防护安全措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防

续表 10 辐射安全与防护

或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区边界上合适的位置应设置电离辐射警告标志。

监督区：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。应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件。

本项目工业 CT 装置（自带铅屏蔽体）位于 CT 测试房内，该房内现已有一台工业 CT 装置（自带铅屏蔽体），为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，建设单位对工业 CT 装置工作场所实行分区管理。将 2 台工业 CT 装置铅房内部区域划为控制区，将 CT 测试房内其他区域（2 台工业 CT 装置铅房外部相邻区域、包括铅房顶部）划为监督区。

本项目辐射工作场所两区划分情况见表 10-1 和图 10-1。

表 10-1 辐射工作场所两区划分情况

分区类型	划分区域
控制区	工业 CT 装置屏蔽铅房内部
监督区	CT 测试房内其他区域（2 台工业 CT 装置铅房外部相邻区域、包括铅房顶部）

续表 10 辐射安全与防护

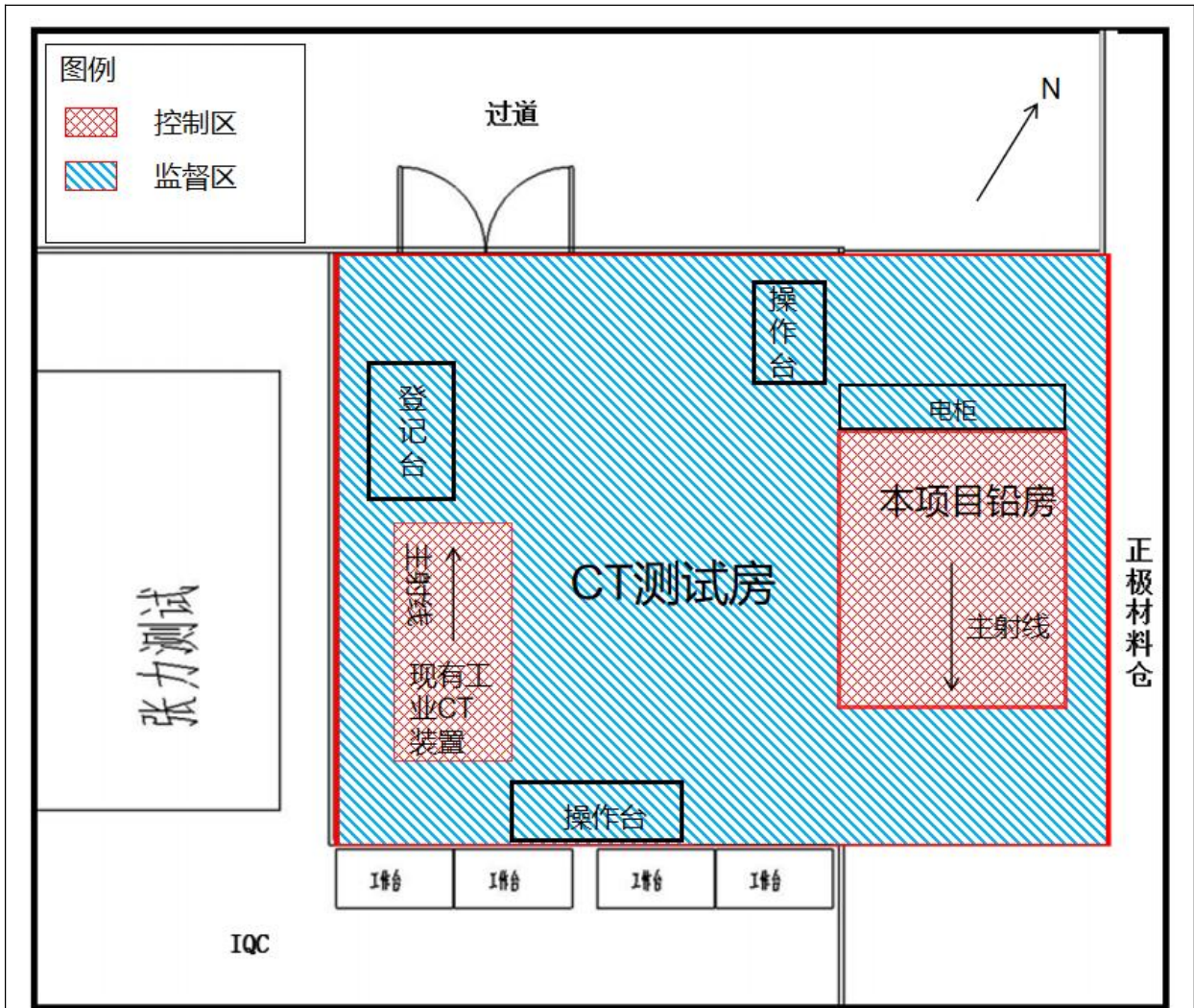


图 10-1 工作场所布局和分区示意图

拟采取的分区管理措施如下：

①控制区：对控制区进行严格控制，限制进入，工作人员、维修人员严格遵守操作规程。屏蔽铅房顶部设置工作状态指示灯、声光报警器，铅房前侧张贴控制区标识、工作状态指示灯、声光报警器指示意义说明，检修门和上料安全门设置电离辐射警告标志、门机连锁。

②监督区：监督区一般不设置专门管控设施，CT 测试房为辐射工作人员工作场所，无关人员禁止进入，在 CT 测试房门上张贴监督区标识和电离辐射警告标志，在工作人员操作台张贴“禁止非授权使用”警示语。

续表 10 辐射安全与防护

10.2 辐射安全与防护措施

10.2.1 设备自带屏蔽铅房屏蔽防护措施

①屏蔽铅房设计情况

本项目使用的工业 CT 装置自带屏蔽铅房，结构和屏蔽参数见表 10-2。

表 10-2 屏蔽铅房结构和防护屏蔽情况表

项目	设计情况	屏蔽铅当量
尺寸	外部尺寸：长×宽×高=3080mm×1850mm×1701mm 内部尺寸：长×宽×高=2542mm×1504mm×1518mm（检测室）	
射线方向	主射方向朝向右侧（以上料安全门一侧为前侧）	
前侧	2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢	10mmPb
后侧	2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢	10mmPb
左侧	2.5mm 钢+8mm 铅+2.5mm 钢	8mmPb
右侧	2.5mm 钢+14mm 铅+2.5mm 钢	14mmPb
顶部	2.5mm 钢+12mm 铅+2.5mm 钢	12mmPb
底部	10mm 钢+10mm 铅+10mm 钢	10mmPb
前侧上料安全门	2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢	10mmPb
后侧检修门	2.5mm 钢+10mm 铅+2.5mm 钢	10mmPb
排风口	12mm 铅+2.5mm 钢	12mmPb
走线孔	10mm 铅+2.5mm 钢	10mmPb

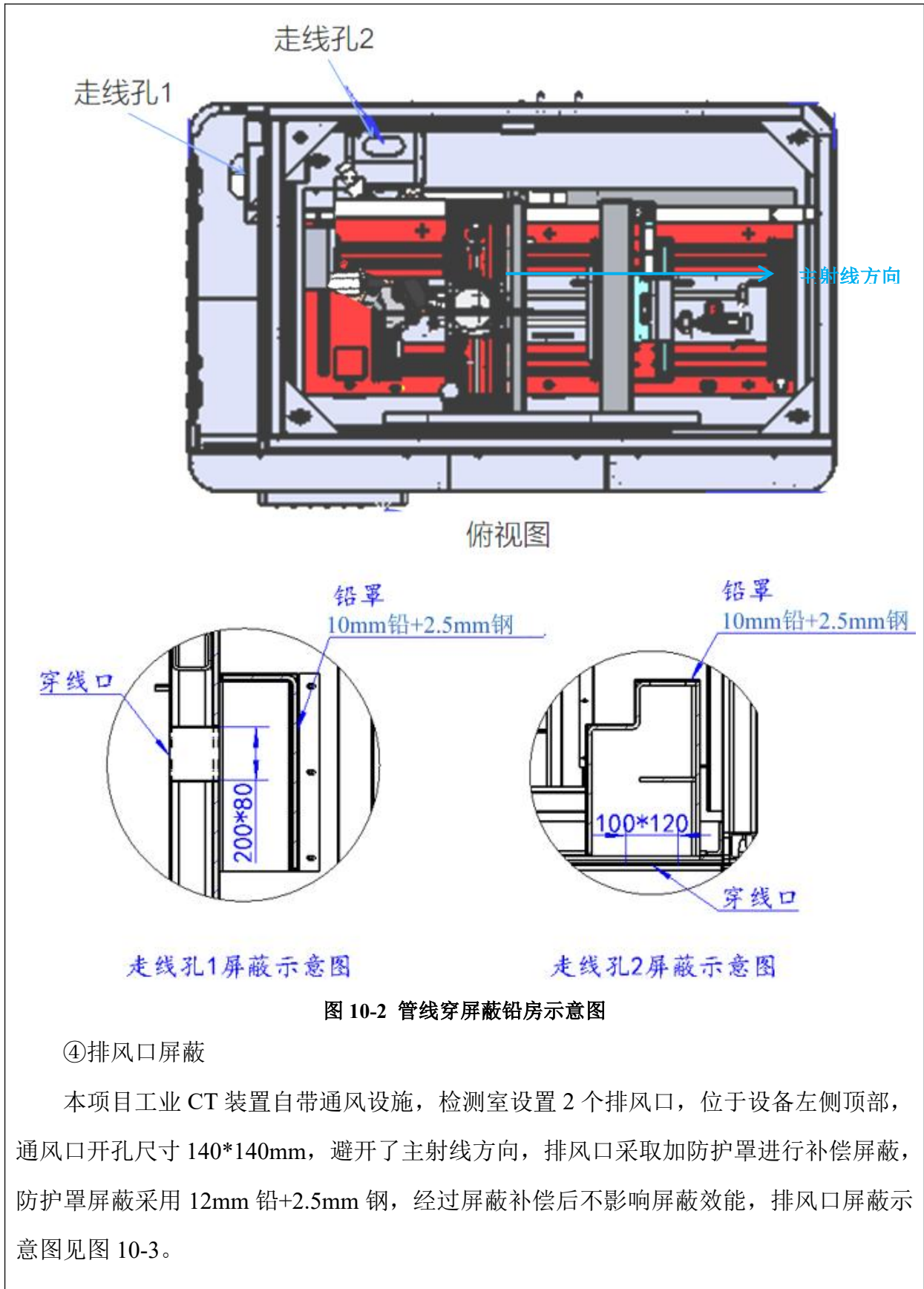
注：铅密度 11.3g/cm³；按不利情况考虑，本评价仅考虑铅屏蔽。

②根据厂家提供的数据，上料安全门为电动平移门，后侧检修门为手动双开门，铅房主体结构焊接密闭，铅房各屏蔽体间、铅房屏蔽体与上料安全门、检修门之间均采用错位重叠搭接方式遮蔽其缝隙，其搭接宽度不小于缝隙的 10 倍，不影响屏蔽体的屏蔽能力。

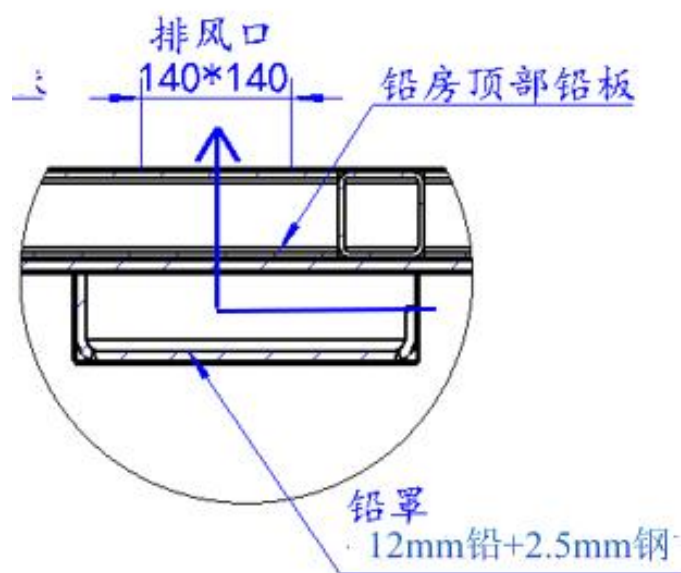
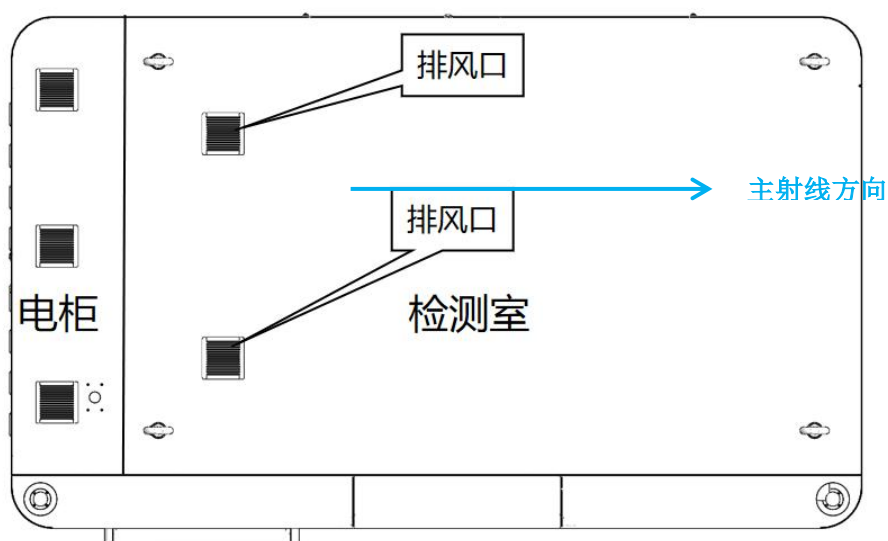
③走线孔屏蔽

本项目工业 CT 装置设有 2 个走线孔，在自带屏蔽铅房左侧和后侧各 1 个，均避开了主射线方向，走线孔 1 开孔尺寸 200*80mm，走线孔 2 开孔尺寸 100*120mm，走线孔采取加防护罩进行补偿屏蔽，防护罩屏蔽均采用 10mm 铅+2.5mm 钢进行补偿屏蔽，经过屏蔽补偿后不影响屏蔽效能。管线穿屏蔽铅房示意图见图 10-2。

续表 10 辐射安全与防护



续表 10 辐射安全与防护



排风口屏蔽示意图

图 10-3 排风口屏蔽示意图

10.2.2 工业 CT 装置固有安全性

本项目工业 CT 装置固有安全性包括以下几个部分：

① 开机自检与警示

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出束或训机操作；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 故障保护与警示

续表 10 辐射安全与防护

当 X 射线发生器接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线发生器的各种参数，当发生异常情况时，控制器自动切断 X 射线发生器的高压。在曝光阶段出现任何故障，控制器都将立即切断 X 射线发生器的高压，提醒操作人员发生了故障。

③当出束阶段正常结束后，系统将自动切断高压，进入休息阶段。

④训机保护

设备停止工作 48 小时以上，再使用时要进行训机操作后才可使用，避免 X 射线发生器损坏。

⑤过电流保护

设备带有过电流保护继电器，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。

⑥失电流保护

设备带有失电流保护继电器，当管电流低于额定值时，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。

⑧继电保护

冷却循环油流量继电器、温度继电器及射线屏蔽室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。

10.2.3 辐射防护设施

项目辐射安全防护设施按纵深防御原则设计，符合冗余性、多样性、独立性。

①钥匙开关

本项目拟在操作台上设置主控钥匙开关，主控钥匙开关有 3 个状态，分别为“关机”“待机”“开机”，主控钥匙只有在关机或待机状态时才能拔出，该钥匙由操作人员负责保管。

②门机联锁

本项目工业 CT 装置侧上料安全门为电动平移门，后侧检修门为手动双开门。上料安全门和检修门均安装有继电器作为门机联锁装置，只有在上料安全门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通，射线发生器才能出束。设备运行过程中，上料安全门或检

续表 10 辐射安全与防护

修门被外力开启时，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，防护门自动打开，再次关闭门后，需手动复位射线源启动按钮后，射线发生器方能继续出束。

③紧急停机

本项目在操作台设置 1 个急停按钮，在工业 CT 装置外部急停按钮分别位于设备外部前侧和后侧，内部急停按钮分别位于设备内部前、后靠防护门侧的位置，避开主射线方向，且设备后侧主要为机械运动构件，人员站立位置位于靠防护门侧，发生意外情况下，可不经主射线区域即按下急停按钮，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，按下急停按钮后，必须将其重新解锁，然后才能进行重接；解锁时，逆时针转动并拔出急停按钮，急停按钮被重新解锁后，需按下复位按钮，各轴驱动器才能重新上电运行。急停按钮旁设置中文标识和使用方法的相关说明，且设备内部的急停按钮具有紧急开门的功能，按下按钮，设备停止出束的同时，防护门自动解锁并可手动推开，实现紧急逃生。

④工作状态指示灯

本项目拟在工业 CT 装置屏蔽铅房上料门门口和内部设置具备显示“预备”和“照射”状态的工作状态指示灯（具备声音提示功能）。工作状态指示灯与工业 CT 装置的 X 射线管头联锁。

⑤声光报警器

工业 CT 装置自带屏蔽铅房顶部四角设置四个联动声光报警器，射线发射状态下红灯常亮并发出警报声，声光报警器与 X 射线管头联锁。

⑥视频监控装置

本项目拟安装 1 套视频监控装置，1 个摄像头安装在铅房内，1 个摄像头安装在铅房后侧，监视器设置在操作台。视频监视装置能实现对铅房内部和后侧检修门的全方位监视。

⑦固定式场所辐射探测报警装置

本项目拟在工业 CT 装置铅房内安装 1 个固定式剂量报警仪探头，实时监测铅房内辐射剂量水平，显示单元集成于操作面板上。当铅房内剂量率超过设定值会进行声光报

续表 10 辐射安全与防护

警。

10.2.4 通风

本项目工业 CT 装置自屏蔽铅房设置 1 台排风扇，排风扇排风量约 $1.93\text{m}^3/\text{min}$ ，每小时有效通风换气次数约为 20 次。废气经铅房顶部排风口排入 CT 测试房，依托 CT 测试房现有排风系统（通风次数大于 3 次/h）从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路，为人员居留较少的场所，避免了人员活动密集区。

10.2.5 电离辐射警告标志

拟在工业 CT 装置自带屏蔽铅房的前侧张贴控制区标识，在上料安全门、检修门上张贴电离辐射警告标志，在 CT 测试房门上张贴监督区标识和电离辐射警告标志，在工作人员操作台张贴“禁止非授权使用”警示语。

电离辐射警示标志图见图 10-4，辐射安全与防护设施布置示意图见图 10-5。



图 10-4 电离辐射警示标志图

续表 10 辐射安全与防护

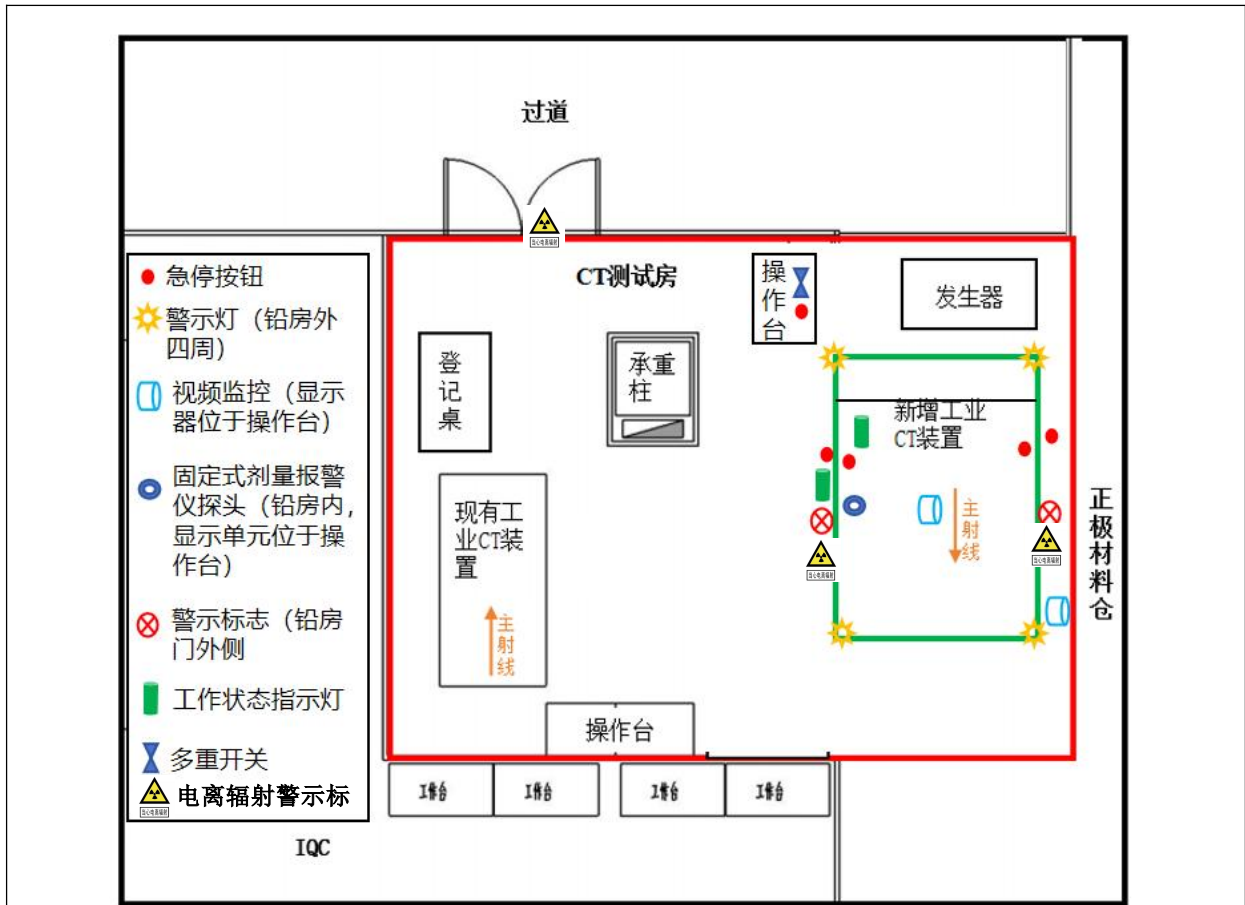
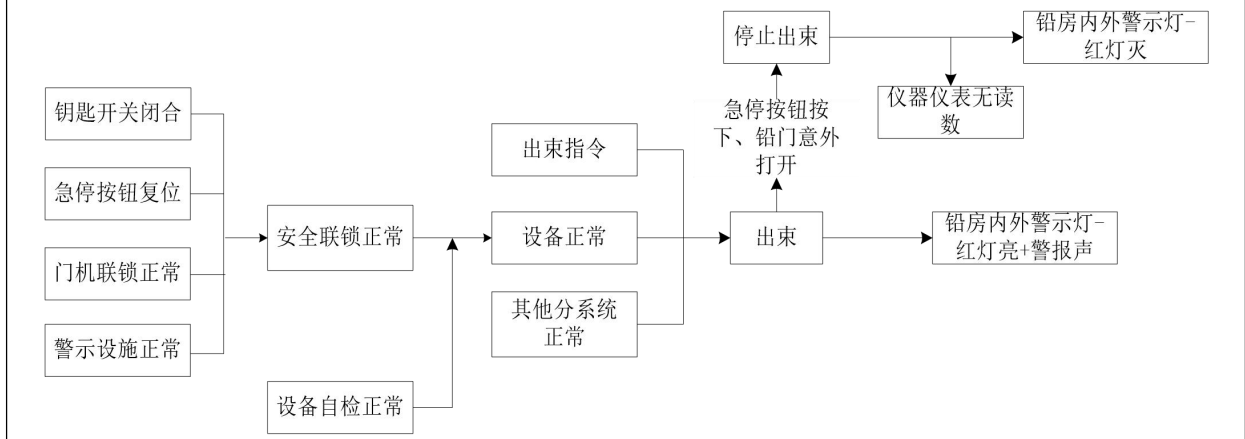


图 10-5 本项目辐射安全与防护设施布置示意图

10.2.6 安全联锁逻辑分析

本项目的工业 CT 装置设有安全联锁，当钥匙开关闭合、急停按钮复位、门机联锁正常、警示设施正常的情况下表示本项目工业 CT 装置安全联锁正常；设备自检正常表示本项目工业 CT 装置正常，在其他分系统也正常的同时，给出出束指令，方能正常出束。一旦其中有一道设施未到位，射线装置不能启动。X 射线出束期间，任何一道安全联锁设施触发或者发生故障，X 射线立即切断出束，安全联锁逻辑图如下图所示。



续表 10 辐射安全与防护

图 10-6 安全联锁逻辑图

10.2.7 个人防护用品及监测仪器

本项目个人防护用品及辐射监测设备配置情况见表 10-3。

表 10-3 个人防护用品及监测仪器

序号	名称	数量	用途	备注
1	个人剂量报警仪	2 个	实时监测辐射工作人员剂量是否超标,并报警提示。	拟购
2	个人剂量计	2 枚	2 个辐射工作人员各佩戴 1 个,工作期间佩戴,对个人受到的附加剂量进行记录。	拟购
3	便携式 X- γ 剂量率仪	1 台	屏蔽铅房外(包括监督区)定期剂量监测,保证屏蔽铅房的屏蔽效果。	依托
4	固定式场所辐射探测报警装置	1 套	实时监测铅房内辐射剂量水平	拟购

根据上表可知,本项目劳动定员 2 人,配置的个人防护用品和监测仪器能满足项目运行的需求。

10.3 放射性“三废”的治理

根据工程分析,本项目不涉及放射性“三废”。

10.4 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

根据上文介绍,项目采取的辐射防护措施与《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)、《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)等标准和规范的相关要求对比情况见下表。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-4 各项辐射安全与防护措施对照分析表		
《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）		
标准要求	项目情况	符合性
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。	维都利作为探伤工作主体承担主要安全责任。	符合
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。	维都利成立了辐射管理委员会，并明确管理人员及组织职责，制定了辐射防护管理制度，本项目投运前补充完善相关辐射防护管理制度、制定本项目设备操作规程，并切实实施各项制度和措施。	符合
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。	维都利拟对本项目辐射工作人员配备个人剂量计并定期送交监测，出现异常情况进行调查分析原因并上报，辐射工作人员按照要求进行职业健康检查。	符合
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。	本项目辐射工作人员拟取得相应资格证书后上岗。	符合
4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	本项目辐射工作人员拟按要求配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	符合
4.6 应制定辐射事故应急预案。	维都利拟更新和完善现有辐射事故应急预案。	符合
5.1.1 工业 CT 装置在额定工作条件下，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 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。	维都利拟购买符合标准要求的工业 CT 装置。	符合
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。	工作前检查项目应包括：a)工业 CT 装置外观是否完好；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)工作状态指示灯、个人剂量报警仪以及声光报警器是否正常运行；f)螺栓等连接件是否连接良好。	符合
5.1.3 工业 CT 装置的维护应符合下列要求：a)使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；b)设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；c)当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；d)应做好设备维护记录。	本项目拟制定满足标准要求的设备检修维护制度，设备维护由生产厂家负责，维护后做好维护记录。	符合
6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源	本项目操作台拟设置在工业 CT 装置的左前侧，有用线束照射方向朝向右侧。操作台和工业 CT 装置分开设置，且避开了有用线束方向的直接照射。	符合

续表 10 辐射安全与防护

<p>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。</p>	<p>上料安全门及检修门屏蔽效能均不低于同侧铅房主体屏蔽效能，根据表 11 的理论计算，本项目自带屏蔽铅房屏蔽厚度能够满足 GBZ/T 250 相关要求。</p>	
<p>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。</p>	<p>建设单位将根据 GB 18871 的要求将工业 CT 装置自带屏蔽铅房内部区域划为控制区，将 CT 测试房除自带屏蔽铅房外的区域划为监督区，并实行分区管理。分区管理将按 GB 18871 要求执行。</p>	符合
<p>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 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/周；b) 屏蔽铅房外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h。</p>	<p>本项目为自带屏蔽铅房的工业 CT 装置，根据表 11 的计算结果，辐射工作人员受照周有效剂量小于 100μSv/周，公众成员受照周有效剂量小于 5μSv/周；屏蔽铅房各侧屏蔽铅房外 30cm 处瞬时剂量率小于 2.5μSv/h。</p>	符合
<p>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 100μSv/h。</p>		符合
<p>6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。</p>	<p>本项目工业 CT 装置的上料安全门和检修门均安装了继电器作为门机联锁装置，只有在上料安全门和检修门关闭好的情况下安全回路才会接通，上料安全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，上料安全门及检修门任何一处被外力开启时，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，再次关闭门后，需手动复位门机联锁装置后，射线发生器方能继续出束。</p>	符合
<p>6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。</p>	<p>本项目拟在工业 CT 装置屏蔽铅房外设置声光报警器，在屏蔽铅房上料门口和内部设置具备显示“预备”和“照射”状态的工作状态指示灯（具备声音提示功能），并在对应设施旁张贴工作状态指示灯和声光报警器指示意义的中文说明。</p>	符合
<p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>	<p>本项目正常探伤检测工作时人员无需进入屏蔽体内部，本项目拟在工业 CT 装置铅房内部安装 1 个摄像头，在铅房外后侧安装 1 个摄像头，在操</p>	符合

续表 10 辐射安全与防护

	作台设置专用的监视器，可监视探伤室内和检修门情况。	
6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	工业 CT 装置屏蔽铅房的上料安全门、检修门和 CT 测试房门上拟张贴电离辐射警告标志和中文警示说明。	符合
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 装置屏蔽铅房内外分别设有 2 个急停按钮，分别位于铅房内部前侧和后侧、铅房外部前侧和后侧，辐射人员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。按钮旁拟标明使用方法。	符合
6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	本项目工业 CT 装置自屏蔽铅房顶部设置 1 台排风扇，排风扇排风量约 1.93m ³ /min，每小时有效通风换气次数约为 20 次。废气经铅房顶部排风口排入 CT 测试房，依托 CT 测试房现有通风换气设施（排风机排风量约为 400m ³ /h，通风次数大于 3 次/h）从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路，为人员居留较少的场所，避免了人员活动密集区。	符合
6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目拟在铅房内配置固定式场所辐射探测报警装置。	符合
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。	符合
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。	本项目属于自屏蔽式射线装置，设备运行时，人员不进入屏蔽铅房内部操作，建设单位拟为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，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辐射工作区域，并立即向辐射工作负责人报告。并依托现有便携式 X-γ剂量率仪，对屏蔽铅房外进行定期剂量监测。	符合
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。	本项目拟依托现有 1 台便携式 X-γ剂量率仪，定期对射线装置周围剂量当量率进行巡测，并做好巡测记录，一旦发生辐射值超过控制水平时，立即停止辐射工作并向辐射管理人员报告，查找原因。计划每年一次委托有资质的第三方检测机构对设备外的环境辐射水平进行年度检测。	符合
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。	要求工作人员作业前检查便携式 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，则不能开始辐射工作。	符合
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。	拟制定操作规程，要求工作人员规范使用辐射防护装置。	符合

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。	本项目属于自屏蔽式射线装置，设备运行时，人员不进入屏蔽铅房内部。辐射工作人员需要在辐射工作前确认各项安全联锁系统正常的情况下，通过视频监控确认铅房内无人员停留，射线装置才能启动，才能开始辐射工作。	符合
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。	本项目检测工件均为小型工件，工业 CT 装置上料安全门和铅房空间尺寸均能满足工件进出，不存在开门探伤情形。	符合
8.1.1 检测计划 使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参考控制水平时应采取的行动措施。	维都利已制定有检测计划，包括工作场所监测及个人剂量监测等，公司每年均委托有资质单位对现有射线装置等屏蔽体外辐射环境及放射工作人员个人剂量进行监测，满足相关要求。	符合
8.1.2 检测仪器 应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。	本项目辐射工作场所检测依托现有的 1 台 X-γ 剂量率仪，该设备拟按规定进行检定；维都利辐射工作人员使用该设备前，拟对其进行功能检查，看是否有物理损坏、电量等。	符合
8.2.1.2 检测周期 使用单位应每年对探伤机的防护性能进行检测。探伤机移动后，应进行安全装置的性能检测。	维都利已制定有监测计划，每年均委托有资质单位对其探伤机的防护性能进行检测，探伤机移动后，拟按要求进行安全装置的性能检测。	符合
8.5.1 射线探伤作业人员（包括维修人员），应按照 GBZ128 的相关要求进行外照射个人监测。	维都利按照要求每年委托有资质单位对其辐射工作人员按照 GBZ128 的相关要求进行个人剂量监测。	符合
《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）		
标准要求	实施方案	符合性
3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。	本项目属于工业 CT 项目，自带屏蔽铅房，设置上料安全门和检修门，检修门仅在设备检修的情况下打开，检修时设备处于关闭状态。	符合
3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用射线束照射方向。	项目操作台置于屏蔽铅房外西北侧，X 射线发生器及平板探测器位于铅房内，设备主射线朝东南侧；设备主射方向避开了操作台。	符合
3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	铅房主体结构焊接密闭，铅房各屏蔽体间、铅房屏蔽体与上料安全门、检修门之间均采用错位重叠搭接方式遮蔽其缝隙，其搭接宽度不小于缝隙的 10 倍。走线孔、排风口均设置铅屏蔽罩，其屏蔽能力与主体结构一致。	符合
3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相应管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。	本项目仅使用 1 台自屏蔽 X 射线装置，同时，根据后文计算，主射方向和其他侧屏蔽体均能满足额定工况下的辐射防护要求。	符合

续表 10 辐射安全与防护

《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）		
标准要求	实施方案	符合性
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。	项目工作人员主要辐射来自身体右前方，已要求工作人员在右胸或领口位置佩戴个人剂量计。	符合
7.3.1 制定和严格遵守剂量计发放、佩戴、运输、回收和保存等环节的操作规程。	建设单位制定并严格遵守剂量计发放、佩戴、运输、回收和保存等环节的操作规程。	符合
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。	建设单位严格要求辐射工作人员个人剂量计在非工作期间避免受到任何人工辐射的照射。	符合

根据上表可知，项目采取的各项辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为 CT 测试房扩建和工业 CT 装置以及辐射安全防护设施的安装。施工期污染因子主要包括：施工机械噪声、施工扬尘、设备包装垃圾、少量建筑垃圾，以及施工人员产生的少量生活废水与生活垃圾等。

施工人员产生的少量生活污水依托园区现有生化池处理；生活垃圾和包装垃圾统一交由环卫部门处理；墙体拆除、修建均在厂房内部进行，CT 测试房拆除量少，产生的噪声、扬尘及建筑垃圾等均较小，通过采取合理安排施工时间、建筑隔声、洒水抑尘、建筑垃圾运到指定的建筑垃圾收取站等措施减小对环境的影响。

本项目建设期短、工程量小、施工范围小，随着建设期的结束而结束，因此施工期对环境产生的影响小。

本项目只有在使用过程中才会产生 X 射线，建设阶段不会对周围环境产生电离辐射影响。设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试。调试阶段的电离辐射影响同运行阶段的影响，根据后文核算，设备屏蔽铅房外剂量率达标。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响理论计算

为分析预测本项目工业 CT 装置投入运行后所引起的辐射环境影响，本评价选用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改清单中计算方法进行理论计算。

11.2.1.1 辐射屏蔽防护效能核算公式

(1) 有用线束

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式 11-1 计算，然后由附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{I \cdot H_0} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-1}$$

式中： \dot{H}_c ——按式 11-1 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

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）；

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H₀——距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/(mA·h)，以 mSv·m²/(mA·min) 为单位的值乘以 6×10⁴，见附录表 B.1。

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，由附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B，关注点的剂量率 \dot{H} （μSv/h）按式 11-2 计算：

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

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

H₀——距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/(mA·h)，以 mSv·m²/(mA·min) 为单位的值乘以 6×10⁴，见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录表 B.1；

B——屏蔽透射因子；

R——距辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

(2) 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 11-3 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

式中：X——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL——见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2。

b) 对于估算出的屏蔽透射因子 B，所需的屏蔽物质厚度 X 按式 11-4 计算：

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

式中：TVL——见附录 B 表 B.2；

B——达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时所需的屏蔽透射因子。

(3) 泄漏辐射屏蔽

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时所需的屏蔽透射因子 B 按式 11-5 计算，然后按式 11-4 计算所需的屏蔽物质厚度 X。

续表 11 环境影响分析

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

式中： \dot{H}_c ——剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

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（ $\mu\text{Sv/h}$ ），其典型值见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1。

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式 11-3 计算，然后按式 11-6 计算泄漏辐射在关注点的剂量率 \dot{H} 单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-6}$$

式中：B——屏蔽透射因子；

R——距辐射源点（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（ $\mu\text{Sv/h}$ ），根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1。

(4) 散射辐射屏蔽

a) 关注点达到剂量率参考水平 \dot{H}_c 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式 11-7 计算。然后按式 11-6 计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot \alpha} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-7}$$

式中：B——屏蔽透射因子；

\dot{H}_c ——剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

R_s ——散射体至关注点的距离，单位为米（m）；

R_0 ——辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$

续表 11 环境影响分析

为单位的值乘以 6×10^4 ，见附录表 B.1；

F—— R_0 处的辐射野面积，单位为平方米 (m^2)；

α ——散射因子，入射辐射被单位面积 ($1m^2$) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 α 值时，以水散射体的 α 值保守估计，见附录 B 表 B.4。

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B，按表 2 并查附录 B 表 B.1 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL，然后按式 11-3 计算。关注点的散射辐射剂量率 \dot{H} ($\mu Sv/h$) 按式 11-8 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-8}$$

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

H_0 ——距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量， $\mu Sv \cdot m^2 / (mA \cdot h)$ ，以 $mSv \cdot m^2 / (mA \cdot min)$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录表 B.1；

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 ($1m^2$) 散射体散射在距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 α 值时，可以水的 α 值保守估计，见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录 B 表 B.3；

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)。

11.2.1.2 屏蔽铅房防护核算原则及主要技术参数

(1) 屏蔽铅房防护核算原则

屏蔽铅房厚度确定原则：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、散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度 (TVL) 或更大时，采用其中较厚的屏蔽厚度，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值

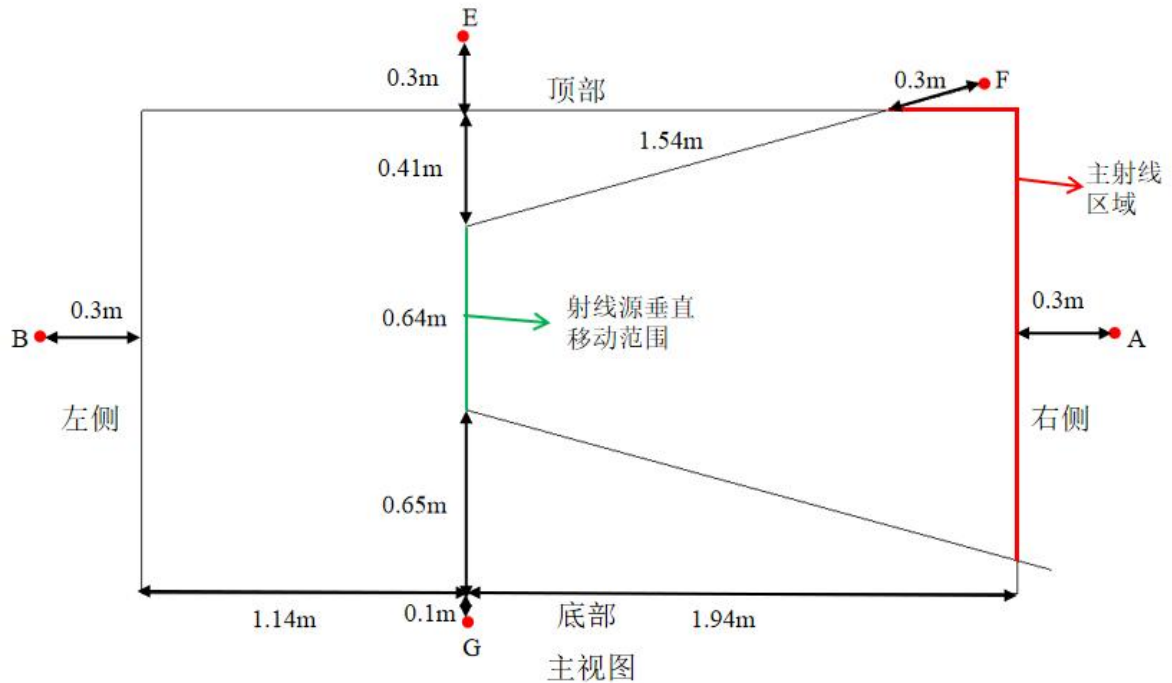
续表 11 环境影响分析

层厚度 (HVL)。

(2) 主要技术参数

A. 关注点的选取与距离、方向的核算

在预测工业 CT 装置壳体外各关注点的辐射水平时，按射线装置最高管电压和相应该管电压下的最大管电流（即管电压为 225kV，管电流为 3mA）运行工况进行预测评价。本报告选取屏蔽铅房外 0.3m 处为辐射关注点，本项目 X 射线管辐射角为 30°，即 X 射线圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 15°。屏蔽核算关注点点位示意图见图 11-1，X 射线出束口至屏蔽铅房外 30m 处各关注点的距离列于表 11-1。



续表 11 环境影响分析

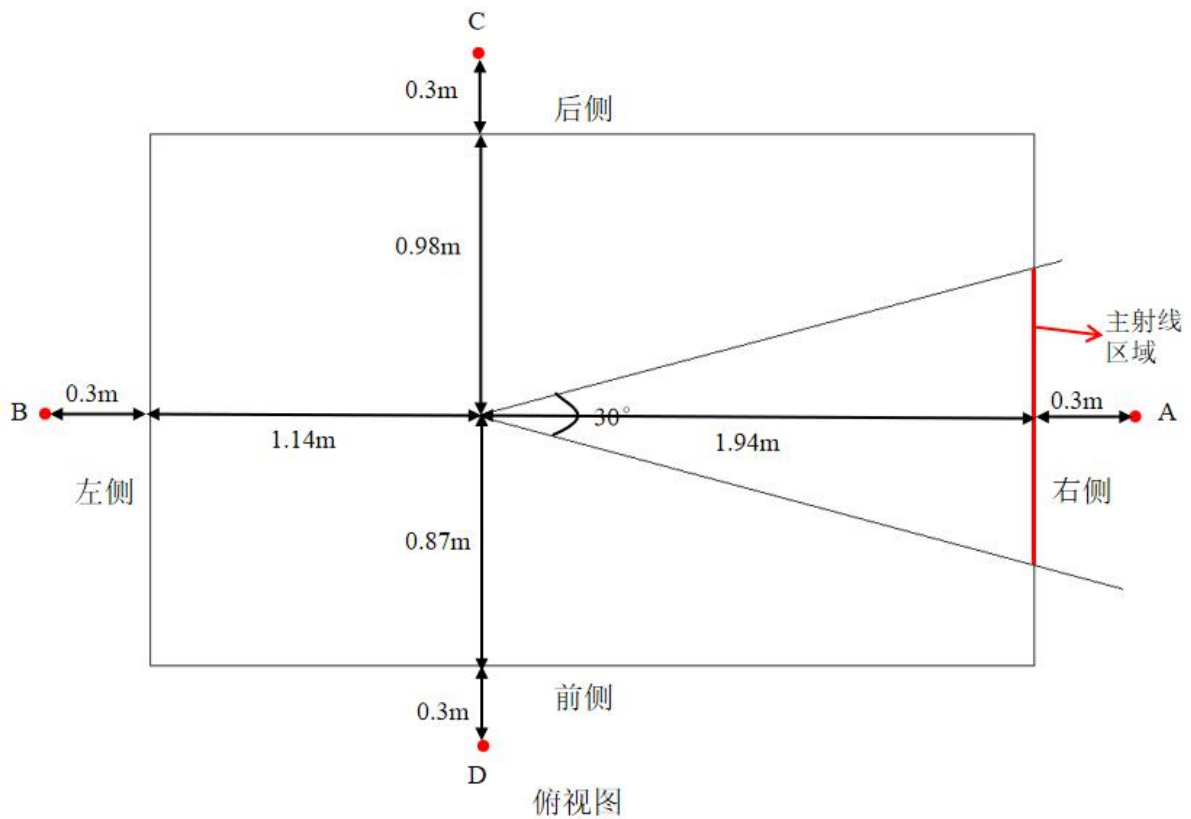


图 11-1 屏蔽核算关注点点位示意图

屏蔽核算时各方向距离核算情况见表 11-1。

表 11-1 各方向核算距离一览表

关注点	位置		辐射类型	屏蔽厚度	核算距离 (m)
A	铅房右侧	屏蔽铅房外 30cm	有用线束	14mmPb	2.24
B	铅房左侧	屏蔽铅房外 30cm	散射、漏射	8mmPb	1.44
C	铅房后侧	屏蔽铅房外 30cm	散射、漏射	10mmPb	1.28
D	铅房前侧	屏蔽铅房外 30cm	散射、漏射	10mmPb	1.17
E	铅房顶部	屏蔽铅房外 30cm	散射、漏射	12mmPb	0.71
F		屏蔽铅房外 30cm	有用线束	12mmPb	1.84
G	铅房底部	屏蔽铅房外 10cm	散射、漏射	10mmPb	0.75

注：①设备外壳为钢结构，忽略其屏蔽能力；②本项目 X 射线管辐射角为 30°，即 X 射线圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 15°，关注点 A、F 在有用线束照射范围内，关注点 B、C、D、E、G 未在有用线束照射范围内；因有用线束能量远高于散、漏射线能量，故关注点 A 主要考虑有用线束影响；其他点位未在有用线束照射范围内，故考虑散射、漏射线束的叠加影响。③铅房底部底座距离地面 10cm，下为地基，底部人员无法到达，故底部关注点距铅房外 10cm。

B.其他参数

本项目屏蔽铅房辐射防护效能核算过程中的相应其他参数见表 11-2 所示。

续表 11 环境影响分析

表 11-2 屏蔽铅房辐射防护效能核算相关参数						
参数		数值			来源	
设备基础参数		最大管电压 225kV，管电流 3mA			设备说明书	
G (mGy·m ² /mA·min)		13 (0.5mm 铜过滤条件下)			ICRP33 号 P55 中图 3	
转换系数		6×10 ⁴			GBZ/T250-2014 4.1 a) GBZ/T250-2014 表 B.1	
H ₀ (μSv·m ² /(mA·h))		7.8×10 ⁵				
$\frac{R_0^2}{F \cdot \alpha}$		93.34 ^②			GBZ/T250-2014 附录 B.4.1	
泄漏辐射剂量率 \dot{H}_L (μSv/h)		5×10 ³			GBZ/T250-2014 表 1	
X 射线 90° 散射辐射最高能量 相应的 kV 值		200			GBZ/T250-2014 表 2	
什值层 (TVL) 半值层 (HVL)		铅			GBZ/T250-2014 表 B.2	
		电压等级	TVL	HVL		
		200kV	1.4mm	0.42		
		225kV	2.15mm	0.64		
		250kV	2.9mm	0.86		
<p>注：①根据设备方提供资料，本项目滤过条件为 0.5mm 铜，最大管电压为 225kV，根据 ICRP33 号 P55 中图 3，225kV 管电压 0.5mm 铜过滤条件下输出量约 13 mSv·m²/ (mA·min)，并以等量值的 mSv·m²/ (mA·min) 进行屏蔽计算，即取 7.8×10⁵μSv·m²/ (mA·h)；</p> <p>②本项目 X 射线管辐射角为 30°，即 X 射线圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 15°，最大管电压为 225kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 B.4，本项目保守按 300kV 对应的 α_w 取值，即 1.9E-3，则 $\alpha = \alpha_w \cdot 10000 / 400 = 0.0475$，$F = \pi \cdot (R_0 \cdot \tan(15^\circ))^2$，则计算得出 $\frac{R_0^2}{F \cdot \alpha}$ 为 93.34。</p> <p>③根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 表 B.2，当电压为 225kV 时，什值层和半值层数值在 200kV 和 250kV 之间，采用内插法所得。</p>						

11.2.1.3 屏蔽铅房防护效能核算结果

本项屏蔽铅房的屏蔽能力核算结果见表 11-3。

表 11-3 屏蔽铅房屏蔽效能核算结果表

关注点		剂量率参考 控制水平 H _c (μSv/h)	距离 (m)	设计 厚度	设计厚度下瞬时剂量 (μSv/h)		是否达 到屏蔽 要求
铅房右侧	有用线束	2.5	2.24	14mmPb	1.44×10 ⁻¹		是
铅房左侧	漏射	2.5	1.44	8mmPb	4.58×10 ⁻¹	4.81×10 ⁻¹	是
	散射				2.33×10 ⁻²		
铅房后侧	漏射	2.5	1.28	10mmPb	6.81×10 ⁻²	6.92×10 ⁻²	是
	散射				1.10×10 ⁻³		
铅房前侧	漏射	2.5	1.17	10mmPb	8.16×10 ⁻²	8.29×10 ⁻²	是
	散射				1.32×10 ⁻³		
铅房顶部	漏射	2.5	0.71	12mmPb	2.60×10 ⁻²	2.61×10 ⁻²	是

续表 11 环境影响分析

	散射				1.33×10 ⁻⁴		
	有用线束				1.84		
铅房底部	漏射	2.5	0.75	10mmPb	1.98×10 ⁻¹	2.01×10 ⁻¹	是
	散射				3.21×10 ⁻³		

根据上表计算结果可知，本项目工业 CT 装置工作时，屏蔽铅房各侧外 30cm 处瞬时剂量率均小于 2.5μSv/h，故屏蔽铅房的设计厚度均能满足《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》（GBZ 117-2022）屏蔽防护的要求。

11.2.2 天空反散射的影响分析

本项目射线能量较低，屏蔽铅房顶部屏蔽防护为 12mm 铅板，经核算，本项目屏蔽铅房顶部外的剂量低于 2.5μSv/h，经天空散射后在地面的贡献值非常低，因此本次评价不考虑天空反散射辐射影响。本项目工业 CT 装置产生的辐射源通过屏蔽铅房顶部泄漏产生的天空反散射，周围的辐射环境影响微小。

11.2.3 缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽等屏蔽分析

铅房主体结构焊接密闭，铅房各屏蔽体间、铅房屏蔽体与上料安全门、检修门之间均采用错位重叠搭接方式遮蔽其缝隙，其搭接宽度不小于缝隙的 10 倍；走线孔、排风口等穿屏蔽体处均已采取不低于当侧主体结构屏蔽效能的铅屏蔽罩进行补充屏蔽。本项目铅房的缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽均不低于主体结构屏蔽效能。

综上所述，屏蔽铅屏蔽厚度的设计是合理的，能够满足辐射防护要求。

11.2.4 人员受照剂量估算

X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H_{E-r} = D_r \times t \times T \times 10^{-3}$$

式中：H_{E-r}——一年受照剂量，mSv；

D_r——关注点辐射剂量率，μSv/h；

T——居留因子；

t——一年受照时间，h。

本项目投运后，CT 测试室内现有工业 CT 装置的辐射工作人员及本项目工业 CT 装置辐射工作人员受照剂量均来自 2 台工业 CT 装置的叠加影响，现有项目剂量率引用现有工业 CT 装置《超高分辨综合扫描 CT 迁建项目》环评中辐射工作人员所受最大剂量

续表 11 环境影响分析

率值，本项目工业 CT 装置剂量率取本项目铅房外左侧计算的剂量率，本项目投运后，CT 测试室内辐射工作人员受照剂量估算结果见表 11-4。

表 11-4 本项目工业 CT 装置辐射工作人员受照剂量估算表

外环境	敏感人群	剂量率 (μSv/h)			周受照时间 (h/周)	年受照时间 (h/a)	居留因子	周受照总剂量 (μSv/周)	年受照总剂量 (mSv/a)
		本项目	现有项目 ^①	叠加					
屏蔽铅房左侧	辐射工作人员	4.81×10 ⁻¹	1.43×10 ⁻²	4.95×10 ⁻¹	25	1100	1	12.4	5.45×10 ⁻¹

注：①现有项目剂量率引用现有工业 CT 装置《超高分辨综合扫描 CT 迁建项目》环评中辐射工作人员所受最大剂量率值。

根据上表计算可知，本项目工业 CT 装置运行后，叠加现有 CT 装置影响所致 CT 操作室内辐射工作人员受照年有效剂量最大约 5.45×10⁻¹mSv/a，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求。辐射工作人员受照周有效剂量为 12.4μSv/周，满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中放射工作场所应不大于 100μSv/周的要求。

11.3 对环境保护目标的影响分析

在居留因子相同的情况下，本评价选取屏蔽铅房每侧距离较近的环境保护目标进行预测，周围环境保护目标预测结果见表 11-5。

表 11-5 环境保护目标处周围剂量当量率预测结果表

方位	区域	距辐射源点最近距离 /m	关注点周围剂量当量率 (μSv/h)	周受照时间 (h)	年受照时间 (h)	居留因子	周受照剂量 (μSv/周)	年受照剂量 (mSv/a)	
东北侧	正极材料仓、负极材料仓、箔材仓	1.8	漏射 3.45×10 ⁻²	3.51×10 ⁻²	25	1100	1	8.76×10 ⁻¹	3.86×10 ⁻²
			散射 5.57×10 ⁻⁴						
	过道、卫生间、楼梯间、电房、园区道路	2.5	漏射 1.79×10 ⁻²	1.82×10 ⁻²	25	1100	1/8	5.68×10 ⁻²	2.50×10 ⁻³
			散射 2.89×10 ⁻⁴						
东南侧	IQC 室、化学测试室、正极材料仓	3.4	有用线束 6.23×10 ⁻²	25	1100	1	1.56	6.86×10 ⁻²	
	园区道路及停车位	21.0	有用线束 1.63×10 ⁻³	25	1100	1/8	5.11×10 ⁻³	2.25×10 ⁻⁴	
西南侧	IQC 室、收货仓、电解液仓、不良品仓	6.1	漏射 3.00×10 ⁻³	3.05×10 ⁻³	25	1100	1	7.62×10 ⁻²	3.35×10 ⁻³
			散射 4.85×10 ⁻⁵						

续表 11 环境影响分析

	过道、卫生间、楼梯间、茶水间、绿化带、园区道路	2.4	漏射 1.94×10^{-2}	1.97×10^{-2}	25	1100	1/8	6.16×10^{-2}	2.71×10^{-3}
			散射 3.13×10^{-4}						
西北侧	过道、电梯、园区道路、绿化带、连廊(连接 4#、5#标准厂房)、停车位	2.6	漏射 1.41×10^{-1}	1.48×10^{-1}	25	1100	1/8	4.63×10^{-1}	2.04×10^{-2}
			散射 7.16×10^{-3}						
	4#标准厂房、5#标准厂房	31.1	漏射 9.83×10^{-4}	1.03×10^{-3}	25	1100	1	2.58×10^{-2}	1.14×10^{-3}
			散射 5.00×10^{-5}						
二楼至四楼	极耳仓、钢壳电芯仓等	5.9	漏射 3.77×10^{-4}	3.79×10^{-4}	25	1100	1	9.47×10^{-3}	4.17×10^{-4}
			散射 1.93×10^{-6}						

注：在居留因子相同的情况下，本评价选取屏蔽铅房每侧距离较近的环境保护目标进行预测。

根据上表，本项目公众成员最大受照年有效剂量为 $6.86 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，叠加公众成员现有最大受照剂量 $3.3 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ （保守取《超高分辨综合扫描 CT 迁建项目》环评中公众成员最大受照剂量），合计 $7.19 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足本项目公众成员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，公众成员最大受照周有效剂量为 $1.56 \mu\text{Sv/周}$ ，叠加公众成员现有最大受照剂量 $7.48 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/周}$ （保守取《超高分辨综合扫描 CT 迁建项目》环评中公众成员最大受照剂量），合计 $1.63 \mu\text{Sv/周}$ ，满足本项目公众成员剂量约束值不超过 $5 \mu\text{Sv/周}$ 的要求。

X 射线随距离的增加而快速减弱，在居留因子相同的情况下，若较近距离的环境保护目标能满足要求，则相对距离较远的环境保护目标也能满足要求，且估算结果只考虑了距离的衰减，实际上 X 射线在传播过程中有墙体、顶棚等多重屏蔽，公众成员实际受到的照射有效剂量会更低。因此，项目对周围 50m 范围内环境保护目标造成的影响较小，对环境的影响可以接受。

11.4 废气、废水、固废和噪声环境影响分析

本项目工业 CT 装置运行过程中不产生放射性废水、废气和放射性固体废物，项目产生的非放射性污染物的环境影响分析如下。

(1) 废气

工业 CT 装置工作过程中会使自带屏蔽铅房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，本项目工业 CT 装置自屏蔽铅房设置 1 台排风扇，排风扇排风量约 $1.93 \text{m}^3/\text{min}$ ，每小

续表 11 环境影响分析

时有效通风换气次数约为 20 次。废气经铅房顶部排风口排入 CT 测试房，依托 CT 测试房现有通风换气设施（排风机排风量约为 400m³/h，通风次数大于 3 次/h）从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路，为人员居留较少的场所，避免了人员活动密集区，故本项目废气不会对辐射工作人员及公众成员造成不利影响。

（2）废水

本项目不产生生产废水，辐射工作人员产生的少量生活污水依托园区现有生化池处理后排入市政污水管网，进入沱口污水处理厂进一步处理，对地表水环境影响较小。

（3）噪声

主要来源于排风系统风机，采用厂房隔声、选用低噪声设备等降噪措施后能够达标排放，对环境的影响小。

（4）固体废物

项目辐射工作人员产生的少量生活垃圾依托园区现有生活垃圾收集系统收集后交由市政环卫部门统一处理；报废的工业 CT 装置去功能化后，根据建设单位相关要求处理，并保留处理相关手续，做好相关记录存档。项目所产生固废均能得到妥善处置，对周围环境的影响可以接受。

11.5 事故影响分析

11.5.1 辐射事故类型

本项目可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

①设备丧失自身屏蔽或系统故障

X 射线设备机头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及探测器上的屏蔽块移走，使设备丧失自身屏蔽作用，导致相邻的屏蔽体外出现高剂量率，人员受到不必要的照射。或者系统故障，导致 X 射线球管朝向其他非主射线方向投照。

②联锁装置失效

由于门机联锁装置失效，防护门未关闭或设备工作时门被开启，射线仍然能发射，造成射线外泄，可能对工作人员及公众成员产生较大剂量照射。

③屏蔽体出现膨胀变形

续表 11 环境影响分析

项目铅房各方向屏蔽体、电缆出线口罩，使用多年以后，可能因铅门的自重等原因引起铅门之间的搭接、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。

④人员滞留铅房内

工作人员或设备维修人员通过铅门可进入铅房内，在开机前，工作人员未通过监控或现场未对铅房内部情况进行充分的确认，从而导致滞留在铅房内的人员在工作模式下被误照射。

11.5.2 事故后果分析

(1) 事故情景①设备丧失自身屏蔽或系统故障

设备 X 射线球管丧失自身屏蔽或系统故障，使非主射方向也受到主射线照射，考虑最大管电压 225kV，最大管电流 3mA 运行，事故时间考虑为设备 1 天照射时长约 2h，选择上料安全门一侧（1.17m）作为关注点（最近有用线束照射）。铅房外人员误照射最大剂量估算情况见下表。

表 11-6 铅房外人员误照射最大剂量估算表

事故情景	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	有效剂量 (Sv)	吸收剂量 (Gy)
设备自身丧失屏蔽	38	7.60×10^{-5}	7.60×10^{-5}

(2) 事故情景②联锁装置失效

考虑最不利情况，安全联锁装置失效的事故下，设备最大管电压 225kV，最大管电流 3mA 运行，事故时间考虑为 10min，设备检修门常闭，因此考虑上料安全门在未关闭情况下开展检测工作，上料安全门不在主射方向上，考虑散射、漏射，选择上料安全门一侧（1.17m）作为关注点。铅房外人员误照射最大剂量估算情况见下表。

表 11-7 铅房外人员误照射最大剂量估算表

事故情景	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	有效剂量 (Sv)	吸收剂量 (Gy)
联锁装置失效	21966	3.66×10^{-3}	3.66×10^{-3}

(3) 事故情景③屏蔽体出现膨胀变形

当铅屏蔽体出现膨胀变形后且长时间未发现，即射线不经过屏蔽对铅房外的人员进行误照射。考虑最不利情况，安全联锁装置失效的事故下，设备最大管电压 225kV，最大管电流 3mA 运行，事故时间考虑为设备 1 天照射时长约 2h，因铅房顶部不上人，故

续表 11 环境影响分析

选择铅房右侧作为关注点（2.24m），铅房外人员误照射最大剂量估算情况见下表。

表 11-8 铅房外人员误照射最大剂量估算表

事故情景	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	有效剂量（Sv）	吸收剂量（Gy）
屏蔽体出现膨胀变形	466358	9.33×10^{-1}	9.33×10^{-1}

（4）事故情景④人员滞留铅房内

因各种原因，工业 CT 装置运行时，人员滞留在铅房内发生误照射情况，考虑最不利情况，在最大管电压 225kV，管电流 3mA 条件下运行。因铅房内拟设置视频监控，铅房外操作台处能看见铅房内的情况，且拟设置有急停开关，人员滞留在铅房内，能够及时作出反应并按下急停开关，事故时间考虑为反应时长 2min 和最大照射时长 30min（单次曝光时长），考虑人员在距离辐射源点 0.5m 处受到误照射（主射线）。铅房内人员误照射最大剂量估算情况见下表。

表 11-9 铅房内人员误照射最大剂量估算表

事故情景	事故时长（min）	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	有效剂量（Sv）	吸收剂量（Gy）
人员滞留 铅房内	2	9360000	3.12×10^{-1}	3.12×10^{-1}
	30	9360000	4.68	4.68

11.5.3 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效应。

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剂量阈值。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。

组织效应是指通常情况下存在剂量阈值的一种辐射效应，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。组织效应是辐射照射

续表 11 环境影响分析

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。确定性效应常出现在短时间间隔内的高剂量照射的情况（急性照射）；在非正常情况下，急性大量辐射照射可以造成人或者生物的死亡。

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。

不同照射剂量的 X、 γ 射线对人体损伤估计见下表。

表 11-10 不同照射剂量对人体损伤的估计

受照剂量参考值 (Gy)	类型	初期症状和损伤程度
<0.25	/	不明显和不易察觉的病变
0.25~0.5		可恢复的机能变化，可能有血液学的变化
0.5~1		机能变化，血液学的变化，但不伴有临床征象
1.0~2.0	骨髓型急性放射病	轻度：乏力，不适，食欲减退
2.0~4.0		中度：头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降
4.0~6.0		重度：1h 后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞明显下降
6.0~10.0		极重度：1h 内多次呕吐和腹泻，休克、腮腺肿大，白细胞明显下降
10~20	肠型急性放射病	轻度：受照射后 1h 出现严重恶心、呕吐；1d~3d 内出现腹泻稀便、血水便；经 3d~6d，假愈期后上述症状加重为极期开始，可伴有水样便或血水便，发热。
20~50		重度：受照射后 1d 内出现频繁呕吐，难以忍受的腹痛，严重血水便，脱水，全身衰竭，低体温。继之剧烈呕吐胆汁样或咖啡样物，严重者于第二周在血水便或便中混有脱落的肠黏膜组织，大便失禁，高热。
>50	脑型急性放射病	受照射剂量为 50Gy~100Gy 时，病程为 2d 左右，受照射后出现站立不稳、步态蹒跚等共济失调现象，定向力和判断力障碍，肢体或眼球震颤，强直抽搐，角弓反张等征象。如受照剂量>100Gy，则受照射后意识丧失，瞳孔散大，大小便失禁，休克，昏迷，很快死亡，病程经过仅数小时。

备注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）和《辐射防护导论》P33。

根据上述后果分析可知，本项目事故后果最严重为人员滞留铅房内的情况经历一次曝光后被发现，其可能造成重度骨髓型急性放射病。

11.5.4 辐射事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻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，见下表。

续表 11 环境影响分析

表 11-11 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。工业 CT 装置属于 II 类射线装置，其事故工况造成误照射时可使受照射人员产生较严重的放射损伤。环评估算分析，事故时被误照射人员可能受到超过年剂量限值的照射，即造成一般辐射事故的发生，其辐射照射可能增加随机性效应的发生概率；运行期间的严重事故风险为人员误入或维护维修等滞留在屏蔽体内、门机联锁等安全联锁装置失效及铅房屏蔽体膨胀变形而未发现，从而导致屏蔽体内、外人员受到较长时间误照射等极端事故时，误照射最大辐射剂量为 4.68Gy，将导致受误照射人员急性重度放射病、局部器官残疾，甚至死亡的较大及以上级别辐射事故。

11.5.5 事故预防措施

(1) 辐射工作人员每天作业前检查各项辐射安全联锁是否正常，如上料安全门和检修门是否正常关闭、工作状态指示灯、声光报警器、急停装置等是否正常。

(2) 辐射工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，实时监测 X 射线照射剂量是否超标，若发现问题，及时解决，不得在屏蔽铅房出现问题后继续开机检测工作。对工业 CT 铅房外定期进行巡检，若发现铅房有变形、射线泄漏的情况，立即停止工作。

(3) 建设单位应定期对设备的各个安全装置进行检修和维护。设备的检修和维护工作应由设备厂家的售后工作人员来进行，由维都利工作人员全程陪同。维护时，要求现场工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。维修时，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，并安排专人现场监督，禁止无关人员靠近。在设备维修过程中，若发生高压出束事故，在接通高压时，声光报警器亮红色灯光，同时发出警铃；同时，维修人员在维修过程中会携带个人剂量报警仪，若受照射剂量超过个人剂量报警仪设定

续表 11 环境影响分析

限制时，携带的个人剂量报警仪会报警。设备维修人员在听到报警声后，可立即撤离至安全区域，不会或使维修人员尽量少地受到事故照射。

(4) 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，培养辐射工作安全文化素养，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，落实监测频率，保证按照要求进行无损检测工作。

(5) 本项目 CT 测试房为独立用房，出入口只通向相邻走廊，在 CT 测试房门上张贴监督区标识和电离辐射警告标志，制定测试房管理制度，进入测试房的钥匙由专人保管，禁止无关人员进入 CT 测试房。

11.6 实践正当性分析

项目使用工业 CT 的目的是提高公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测能力，进一步分析产品产生质量问题的原因，以确保产品质量与安全。本项目工业 CT 装置比公司现有工业 CT 装置检测范围更广，是公司现有工业 CT 装置无法替代的，为公司后续发展提供进一步的保证，项目建设为公司生产质量进一步提供无损探伤检测保障，对其产品质量保证可起到十分重要的作用，具有明显的社会效益；随着公司产品质量与性能水平的提高，在保障其产品质量安全的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射防护安全设施与措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，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。

11.7 规划符合性

本项目位于重庆市万州经济技术开发区联合路 M6-2 号楼 CT 测试房，位于重庆市万州工业园区三峡光电科技产业园，其用地性质为工业用地。重庆市万州工业园区三峡光电科技产业园产业功能定位：重点发展电子材料、集成电路、电子设备组装、太阳能系列产品，在手机通信、新型显示器件、集成电路、电子材料、光伏产品等行业形成产

续表 11 环境影响分析

业链，逐步建成万州电子产业特色园区。本项目工业 CT 装置主要用于手机电池检测服务，与区域发展定位不冲突，符合相关准入要求。

11.9 产业政策符合性分析

本项目拟新增 1 台超高分辨综合扫描 CT，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》“第一类 鼓励类”中“十四 机械”中的第 1 条“科学仪器和工业仪表中的工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”。因此，本项目符合国家产业政策。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位已成立辐射工作安全管理委员会，明确了成员组成及各自的职责，管理人员具有本科学历，满足要求。因此，本项目辐射工作安全管理委员会依托现有可行。

12.2 辐射工作人员配置

建设单位本项目拟从公司现有非辐射工作人员中调配 2 名专门从事本项目无损检测工作。根据本项目工业 CT 装置的操作需求，辐射工作人员单班/白班制，本项目配置 2 名辐射工作人员操作设备，配置数量可行；建设单位应按照使用II类射线装置管理要求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>）免费学习相关知识和报名并参加相应类别考核，考核合格后方可上岗，并定期参加复训。

12.3 辐射安全管理

（1）辐射安全管理规章制度

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发生。

目前，建设单位已成立辐射工作安全管理委员会，已按照相关规定制定了相应的管理制度，包括《辐射安全管理委员会岗位职责》《辐射防护安全管理制度》《辐射装置检修维护制度》《辐射装置台账管理制度》《辐射工作人员教育培训制度》《辐射安全和防护监测制度》《档案管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《射线装置操作规程》《个人剂量管理规定》等规章制度以及《辐射事故应急预案》。

建设单位在此之前按照各项管理制度执行，到目前为止未发生过放射事故，未产生辐射环保事件。但现有《辐射安全和防护监测制度》不完善，无工作场所日常自行监测相关内容，且无日常自行监测记录；未制定年度评估制度。

本项目运行前，建设单位应修改完善《辐射安全和防护监测制度》，补充工作场所

续表 12 辐射安全管理

日常自行监测相关内容，按要求进行日常自行监测，并进行记录；制定并落实年度评估制度，完善并落实辐射工作人员防护安全培训计划、探伤安全操作规程、设备检修维护、台账管理等制度。

(2) 个人剂量管理

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。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。个人剂量档案应当终身保存。另外，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，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出建设单位。

根据维都利提供的资料，公司现有 7 名辐射工作人员，建设单位现有辐射工作人员均配置了个人剂量计，维都利已制定《个人剂量管理规定》，现有辐射工作人员已按照要求进行了个人剂量监测，根据上一年度个人剂量监测报告可知，本年度辐射工作人员吴亚男、张跃容（为V类放射源岗位工作人员）个人年有效剂量实测值为 6.94、6.55 mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的职业照射年有效剂量限值 5 mSv，其余工作人员剂量范围均符合标准限值。发现超标后，维都利已开展专项调查。

本项目运营后，建设单位应按要求给每名辐射工作人员配置个人剂量计，应要求本项目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，应严格按监测计划委托具有个人剂量监测资质的单位对其进行个人照射累积剂量监测，并建立个人剂量档案；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，应对超标的辐射工作人员调离放射岗位或减少工作时间。

(3) 职业健康体检

维都利现有 7 名辐射工作人员均进行了职业健康体检，其结论为“可继续原放射工作”。

续表 12 辐射安全管理

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。

建设单位应制定《个人健康及个人剂量管理制度》，本项目辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作；上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查；辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。建设单位应建立个人健康档案，并长期保存。

(4) 辐射安全培训

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。

维都利现有辐射工作人员均已通过生态环境部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，考核成绩单在有效期 5 年内。

建设单位应按照使用 II 类射线装置管理要求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>）学习相关知识和报名并参加相应类别考核，考核合格后方能上岗，并定期参加复训。

(5) 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。

建设单位已按照规定于每年 1 月 31 日前向发证机关提交了上一年度的评估报告。年度评估报告包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况、辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况、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、射线

续表 12 辐射安全管理

装置台账、场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据、辐射事故及应急响应情况、存在的安全隐患及其整改情况和其他有关法律法规规定的落实情况等方面的内容。本项目建成运行前，建设单位应制定并落实年度评估制度，按要求编制年度评估报告，对评估检查中发现的问题或不足进行及时整改，消除安全隐患，并继续按规定于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(6) 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。

建设单位现有 7 名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，档案资料分以下九大类：“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”“培训档案”“年度评估”“辐射应急资料”。公司应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。

为保持档案的动态更新，建设单位应为本项目辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康检查档案，补充完善与本项目相关的资料，及时完善个人辐射监测与辐射场所监测台账，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，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》等规定执行。

(7) 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

续表 12 辐射安全管理

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会于运营和管理的各个环节；在项目运营中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，严格落实岗位职责，对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”；

②建设单位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。

12.3 从事辐射活动能力评价

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，建设单位从事辐射活动应具备相应的条件，对建设单位从事的辐射活动能力评价见下表 12-1。

表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用II类射线装置的工作单位，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。	项目辐射安全与环境保护管理机构依托建设单位已有辐射工作安全管理委员会。
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。	本项目配置的辐射工作人员将按照规定参加培训并考核合格后上岗。
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 装置设有开机自检、钥匙开关、急停按钮、门机联锁装置、工作状态指示灯、声光报警器等防护措施。
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	本项目建成运营前，建设单位拟按照相关规定和要求完善现有岗位职责、辐射防护和安全保

续表 12 辐射安全管理

记制度、人员培训计划、监测方案等。	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。
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。	本项目建成运营前，建设单位拟按要求配备个人剂量计、个人剂量报警仪和固定式场所辐射探测报警装置等。
有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急预案，拟对其进行更新和完善，并定期进行演练。

维都利成立了辐射工作安全管理委员会，明确了组成与职责；制定了辐射防护安全管理制度、射线装置操作规程、辐射装置检修维护制度、辐射安全防护监测及辐射工作人员教育培训和个人剂量管理等制度，以及辐射事故应急预案，从事辐射活动具有一定的能力。建设单位应制定并继续落实年度评估制度，完善并落实辐射工作人员防护安全培训计划、辐射监测方案、探伤安全操作规程与安全设施检查等制度；在进一步补充、完善环评提出的防护措施和管理制度后，能满足辐射环境管理要求；在运营中加强核安全文化建设，严格执行规定的辐射安全和环境管理制度前提下，项目的运行安全是有保障的。

12.4 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，必须对辐射工作人员个人剂量和辐射工作场所外的环境开展常规的防护监测工作。

根据调查，建设单位已制定监测计划，并按要求开展了个人剂量监测和工作场所的环境监测，监测结果达标。

本项目建成后，辐射监测内容主要包括：

(1) 个人剂量监测

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。

(2) 工作场所外环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：项目建成后、辐射防护设施等发生大的变化、设备大修等之后进行验

续表 12 辐射安全管理

收监测，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③自主监测：每一季度监测一次，由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

根据调查，建设单位已制定有监测计划，包括工作场所监测及个人剂量监测等，日常监测的便携式 X-γ剂量率仪能够正常使用，每季度均对辐射工作场所外环境进行自行监测，每年委托有资质单位对现有射线装置等屏蔽体外辐射环境及辐射工作人员个人剂量进行监测，监测结果均满足相关标准要求。

表 12-2 监测场所及监测项目计划表

场所名称	监测内容	监测项目	监测点位	监测依据	监测周期
CT 测试房	周围剂量当量率	验收监测	通过巡测，发现辐射水平异常高的位置；防护门的中间和门缝四周；装置屏蔽体外 30cm 处，每个面至少测 1 个点；操作位；保护目标。	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）	竣工验收
		例行监测			1 次/年
		自主监测			1 次/季
	个人剂量监测	个人剂量当量	所有辐射工作人员	《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）	3 个月/次

(3) 安全检查维护

建设单位应按照相关法规及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求对工业 CT 装置进行安全检查维护，建立相应的检查维护制度。安全检查维护见下表。

表 12-3 安全检查维护要求

类型	对象	内容	频次
检查	工业 CT 装置	门机连锁装置、工作状态指示灯、声光报警器、急停按钮	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)安全连锁是否正常工作；d)声光报警灯是否正常运行；e)螺栓等连接件是否连接良好。	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)制造商推荐的其他常规检测项目。	定期(建议每季度一检)
维护		设备维护包括工业 CT 装置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

续表 12 辐射安全管理

12.5 辐射事故应急

(1) 辐射事故应急预案

建设单位已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《重庆市辐射污染防治办法》等相关要求，制定了《辐射事故应急预案》，包括应急处理领导小组、应急处置流程等内容。

(2) 辐射事故应急处置措施

现有《辐射事故应急预案》中已明确：一旦发生辐射事故，辐射工作人员立即停机，立即向建设单位应急领导小组汇报，说明事故发生时间、原因、地点等情况。建设单位根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向市、区生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(3) 培训与演练

现有《辐射事故应急预案》中已提出：辐射装置使用单位应定期组织学习应急预案，按照相关法律法规要求，每年至少组织员工进行一次辐射突发事故应急演练。建设单位已按照要求组织员工进行辐射突发事故应急演练。

(4) 本项目事故风险及措施

本项目事故风险主要为设备丧失自身屏蔽或系统故障、联锁装置失效、蔽体出现膨胀变形和人员滞留铅房内，发生 X 射线误照射或额外照射事故时，应立即切断电源，启动应急预案，对受照人员进行剂量评估，并进行必要的医学处理。

12.6 辐射安全与管理投资估算

项目环保投资估算表见下表。

表 12-4 辐射安全与管理投资估算

内容	措施	投资（万元）
管理制度、应急措施、警示标志	制度上墙、警示标志	0.5
辐射防护与安全措施	设备门机联锁、紧急停机、工作状态指示灯、声光报警器等	/
防护监测设备	个人剂量计、个人剂量报警仪	1
环保手续	环评、验收、监测、办证等	8.5
合计		10

续表 12 辐射安全管理

12.7 环保竣工验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）、《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）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。本工程竣工环境保护验收一览表见下表。

表 12-5 环保设施竣工验收内容和要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	设备	工业 CT 装置 1 台，最大管电压为 225kV，最大管电流为 3mA。	不发生重大变更
2	环保资料	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。	齐全
3	环境管理	有辐射环境管理机构，设专人负责，制度上墙。制度包含操作规程、放射防护和安全保卫制度、设备保养制度、人员培训计划、监测方案、应急预案等。	齐全
4	防护措施	①钥匙开关、门机联锁正常； ②屏蔽铅房上料安全门门口和内部工作状态指示灯和铅房外四周声光报警器正常，铅房前侧张贴指示说明； ③屏蔽铅房前后侧的内外部分别设置 1 个急停按钮、操作台设置 1 个急停按钮； ④屏蔽铅房上料安全门、检修门和 CT 测试房门上张贴电离辐射警告标志； ⑤铅房内安装 1 个固定式剂量报警仪探头； ⑥安装 1 套视频监控装置，1 个摄像头安装在铅房内，1 个摄像头安装在铅房后侧，监视器设置在操作台； ⑦通风：通风换气次数大于 3 次。	符合相关要求
5	防护监测设备	每名辐射工作人员各配备 1 枚个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪。	个人剂量计按规定定期进行计量检定；定期对屏蔽铅房外（包括监督区）进行剂量监测；测量环境辐射 X- γ 空气吸收剂量率。
6	人员要求	培训合格上岗，定期复训。	/

续表 12 辐射安全管理

7	电离辐射	剂量管理目标限值	辐射工作人员：5mSv/a，100μSv/周 公众成员：0.1mSv/a，5μSv/周	GBZ 117-2022、 GBZ/T250-2014、 GB18871-2002
		屏蔽铅房周围剂量当量率控制	屏蔽铅房各侧屏蔽铅房外 30cm 处瞬时剂量率≤2.5μSv/h	GBZ 117-2022、 GBZ/T250-2014

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

重庆市维都利新能源有限公司拟在万州经开区联合路 M6-2 号楼（2#仓库）一楼 CT 测试房增设 1 台 MRCT 4000 型工业 CT 装置（II 类射线装置，其最大管电压、管电流分别为 225kV、3mA），开展公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测。项目拟扩大 CT 测试房的使用面积，工业 CT 装置及其自屏蔽铅房、操作台等拟安装于扩建后的 CT 测试房内。项目 CT 测试房使用面积约 47m²，总投资约 50 万元，其中环保投资约 10 万元，占总投资的 20%。

13.1.2 产业政策符合性分析结论

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“第一类 鼓励类”中“十四、机械”中的第 1 条“科学仪器和工业仪表中的工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”。因此，本项目符合国家产业政策。

13.1.3 实践正当性分析结论

项目使用工业 CT 的目的是提高公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测能力，进一步分析产品产生质量问题的原因，以确保产品质量与安全。本项目工业 CT 装置比公司现有工业 CT 装置检测范围更广，是公司现有工业 CT 装置无法替代的，为公司后续发展提供进一步的保证，项目建设为公司生产质量进一步提供无损探伤检测保障，对其产品质量保证可起到十分重要的作用，具有明显的社会效益；随着公司产品质量与性能水平的提高，在保障其产品质量安全的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射防护安全设施与措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，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。

续表 13 结论与建议

13.1.4 辐射环境质量现状

根据监测统计结果可知，本项目场地及周边环境 γ 辐射剂量率的监测值在 50nGy/h~64nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），根据《2024 年重庆市生态环境状况公报》环境 γ 空气吸收剂量率平均值 96.1nGy/h（未扣除宇宙射线的响应值），本项目所在场地及周边环境 γ 辐射剂量率在重庆市辐射环境背景值正常涨落范围内。

13.1.5 选址可行性及布局合理性

本项目新增工业 CT 装置拟布置于重庆市万州经济技术开发区三峡光电科技产业园。本项目使用工业 CT 装置的目的是提高公司生产手机锂电池和钢纽扣电池的 X 射线固定式无损探伤检测能力，进一步分析产品产生质量问题的原因，以确保产品质量与安全，与项目所在园区产业定位不冲突，符合相关准入要求。根据辐射环境现场监测结果，项目场地及周边环境的环境 γ 辐射剂量率在重庆市天然辐射水平的正常涨落范围内，因此，拟建址不存在与本项目有关的辐射环境污染问题。CT 测试房所在 M2-6 号楼（2#仓库）主要作为库房使用，本项目选址于此便于产品在无损检测后及时入库；CT 测试房四周及楼上主要为仓库及 IQC 室，地下无建筑，周围公众成员活动较少，有利于辐射防护和减少 X 射线对公众成员的影响，便于辐射安全管理；CT 测试房内已布置有 1 台工业 CT 装置（带自屏蔽铅房），本项目工业 CT 装置（带自屏蔽铅房）拟布置 CT 测试房内，便于辐射防护分区管理。综上，本项目选址可行。

本项目 CT 测试房位于 M2-6 号楼（2#仓库）1F，CT 测试房下方无建筑，相邻四周及上方主要为各仓库及 IQC 室，活动人员较少，有利于减少无损检测对公众成员的影响。同时 CT 测试房紧邻仓库，工件无损探伤检测完后能及时入库，有效避免远距离运输。CT 测试房内已布置 1 台工业 CT 装置（带自屏蔽铅房），CT 测试房人流、物流路径清晰，路径便于管理，CT 测试房内主要为辐射工作人员活动区域，CT 测试房门口已设置警示标牌，要求非相关工作人员不要进入该区域，充分考虑了周围的辐射安全，本项目工业 CT 装置（带自屏蔽铅房）布置 CT 测试房内便于射线装置的统一管理及辐射防护分区管理。本项目工业 CT 装置自带铅屏蔽体，与电柜相连，电柜位于铅屏蔽体左侧；本项目工业 CT 装置的上料安全门、电柜门、检修门、电缆孔及排风口也均未在主射束方向。本项目工业 CT 装置与 CT 测试房内现有工业 CT 装置大致呈对角布置，CT 测试

续表 13 结论与建议

房内两台工业 CT 装置、各自主射线方向，及各装置对应的操作位布置见图 10-1，由图 10-1 可知，现有工业 CT 装置操作台及本项目工业 CT 装置操作台位置均避开了两台工业 CT 装置主射线方向，同时也均便于观察各自铅房情况。因此，本项目平面布局满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，布局合理。

13.1.6 辐射防护与安全措施

项目建设应当符合辐射实践正当性、剂量限制（包括剂量限值和潜在照射危险限制、剂量约束和潜在照射危险约束）及防护与安全最优化原则，并遵循纵深防御原则建设实施工业 CT 装置及其屏蔽铅房的多重防护与安全措施。

（一）辐射工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等标准要求，项目拟将辐射工作场所划分为控制区和监督区，实行辐射安全分区管理，并采取相应的辐射防护安全措施。

公司拟将项目工业 CT 装置配套的屏蔽铅房内划设为控制区，铅房拟设置醒目的声光报警、工作状态指示器及电离辐射警告标志，以及门机联锁等防止人员误入的控制措施，在控制区进行设备维修相关人员应当严格遵守防护规定和安全操作规程；将 CT 测试房内其他区域（工业 CT 装置铅房外部相邻区域、包括铅房顶部）设为监督区，监督区入口处（CT 测试房门上）设监督区标识及电离辐射警告标志；按要求定期检查辐射剂量水平，进行经常性的监督和评价。

（二）辐射屏蔽防护设施

项目工业 CT 装置为自屏蔽式设备，其自屏蔽铅房拟采用钢+铅+钢的屏蔽体结构，铅房上拟设置探伤工件进出的上料安全门与检修防护门；铅房主体结构焊接密闭，铅房各屏蔽体间、铅房屏蔽体与防护门之间采用错位重叠搭接方式遮蔽其缝隙，其搭接宽度不小于缝隙的 10 倍；工业 CT 装置穿越屏蔽铅房的线缆孔、排风口均拟避开主射线方向，拟设置铅屏蔽罩等屏蔽防护补偿措施，避免影响其辐射屏蔽防护效果。

经核算分析，项目工业 CT 装置自屏蔽铅房等设施设备屏蔽防护能力符合 GB18871-2002、GBZ117-2022 与《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

续表 13 结论与建议

等标准要求，亦满足辐射防护安全要求。

（三）安全联锁装置及其他安全防护措施

项目工业 CT 装置及其自屏蔽铅房的防护性能符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等标准要求，设备自带有多种固有安全性，主要包括开机自检与警示、故障保护与警示、训机保护、过/失电流保护、过电压保护、继电保护等；项目拟设计建设具有冗余性、多元性与独立性的辐射防护安全联锁设施与措施，包括主控钥匙开关、门机联锁、紧急停机按钮、固定式辐射剂量报警仪、电离辐射警告标志及视频监控装置等；探伤铅房外拟安设的工作状态指示灯具备显示“预备”和“照射”的不同信号，并拟在工作状态指示灯旁设置信号说明；项目拟配置个人剂量报警仪并依托原辐射剂量检测仪。经分析，项目拟采取的辐射安全防护措施符合 GBZ117-2022 等相关标准规范，亦满足辐射防护与安全要求。

工业 CT 探伤铅房拟采用自然进风、机械排风的通风方式，铅房左侧顶部拟设置 2 个排风口，配置机械排风扇（通风次数大于 3 次/h）；工业 CT 运行时产生的废气于铅房排风口抽至 CT 测试房，依托 CT 测试房现有通风换气设施（通风次数大于 3 次/h）从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路。经分析，项目的通风换气措施可保证探伤铅房的良好通风，亦满足 GBZ117-2022 等标准的要求。

13.1.7 环境影响分析结论

（一）辐射剂量水平

经核算分析，项目工业 CT 装置探伤作业时，自屏蔽铅房屏蔽体的屏蔽防护厚度能满足屏蔽防护要求，其屏蔽体外（包括铅房顶部、防护门外）的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）和《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）等相关标准及辐射防护安全要求。

经分析，在评价范围内（距屏蔽铅房外 50m）各环境保护目标的辐射影响也满足相应标准和要求，项目的辐射环境影响是可以接受的。

（二）职业照射和公众照射

根据建设单位提供的项目探伤工作量，经核算，项目探伤工作人员所受到的年有效

续表 13 结论与建议

剂量低于辐射工作人员剂量管理目标（5mSv/a），项目所致非辐射工作人员和公众成员的附加年有效剂量亦低于其剂量管理目标（0.1mSv/a），均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。

（三）辐射风险与危害

项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。工业 CT 装置属于 II 类射线装置，其事故工况造成误照射时可使受照射人员产生较严重的放射损伤。环评估算分析，事故时被误照射人员可能受到超过年剂量限值的照射，即造成一般辐射事故的发生，其辐射照射可能增加随机性效应的发生概率；运行期间的严重事故风险为人员误入或维护维修等滞留在屏蔽体内、门机联锁等安全联锁装置失效及铅房屏蔽体膨胀变形而未发现，从而导致屏蔽体内、外人员受到较长时间误照射等极端事故时，误照射最大辐射剂量为 4.68Gy，将导致受误照射人员急性重度放射病、局部器官残疾，甚至死亡的较大及以上级别辐射事故。

（四）“三废”的环境影响

项目运行不产生放射性废气、放射性废水和放射性固废。

工业 CT 无损探伤检测时产生少量的臭氧和氮氧化物，探伤铅房拟安装排风扇，废气经铅房顶部排风口排出，工业 CT 运行时产生的废气于铅房排风口抽至 CT 测试房，依托 CT 测试房现有通风换气设施从 CT 测试房吊顶上方西北侧排至楼外园区道路。废气排放口外为园区道路，为人员居留较少的场所，避免了人员活动密集区，项目产生的废气不会对辐射工作人员及公众成员造成不利影响。

项目工业 CT 装置报废后，按照建设单位相关要求处理，拟对高压射线管去功能化，保留相关处理手续并做好记录存档，项目所产生固废均能得到妥善处置，对周围环境的影响可以接受。

13.1.8 辐射环境管理

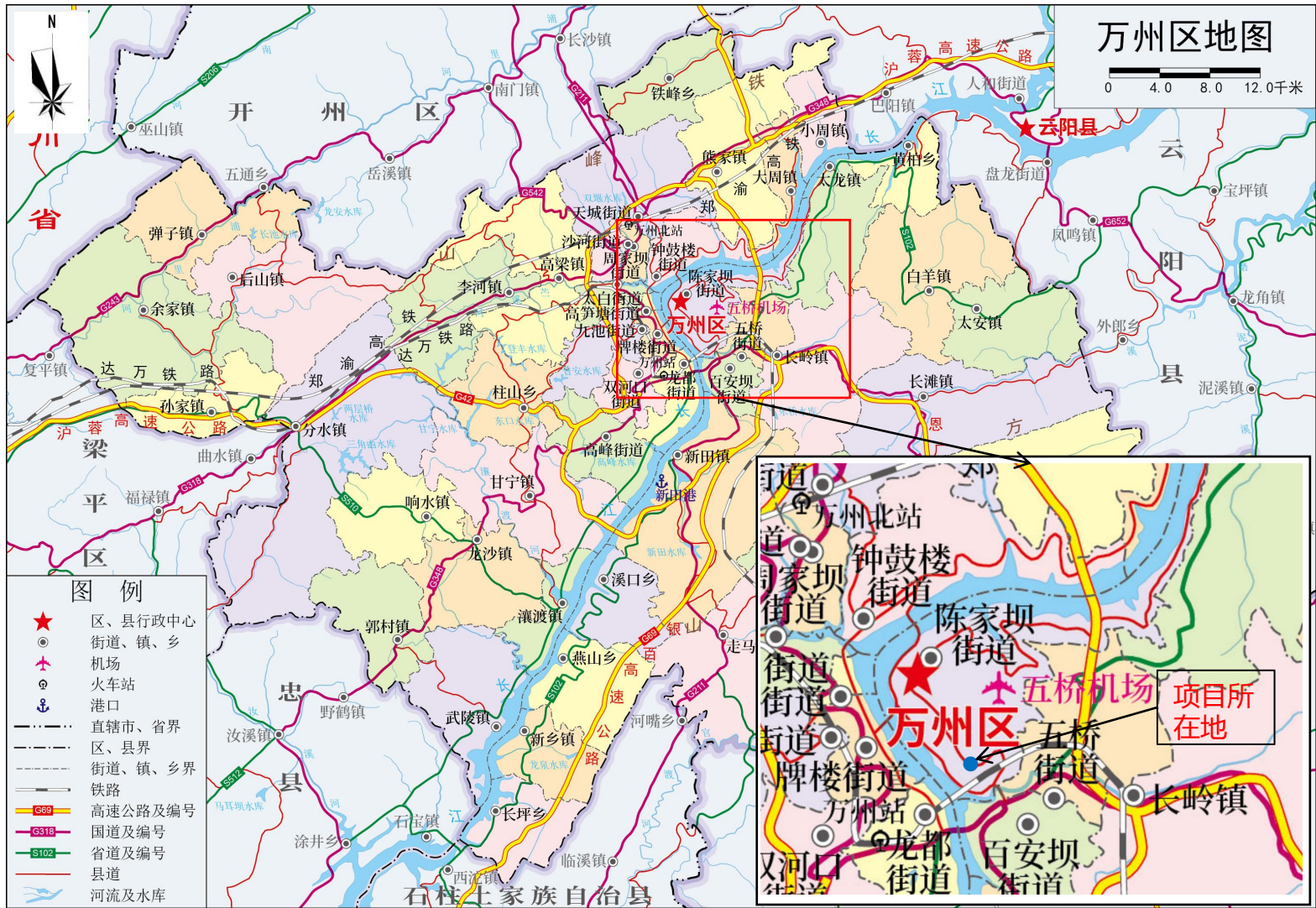
建设单位已成立辐射工作安全管理委员会，已按照相关规定制定了相应的管理制度，本项目运行前，建设单位拟按照相关规定完善相应的管理制度和辐射事故应急预案。辐射工作人员按要求通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，进行岗前职业健康检查，配备个人剂量计，并建立辐射人员个人剂量档案。建设单位在认真

续表 13 结论与建议

落实环评要求后，方具备从事本项目辐射活动的能力。

13.1.9 综合结论

综上所述，工业 CT 装置建设项目符合国家产业政策，选址和布局合理。在完善相应的污染防治措施和环境管理措施后，项目运行时对周围环境和人员产生的影响满足环境保护的要求。因此，从环境保护的角度来看，该建设项目是可行的。



审图号：渝S(2024)043号

重庆市规划和自然资源局 监制 二〇二四年六月

附图1 项目所在地地理位置示意图