

# 核技术利用建设项目

## 超高分辨综合扫描 CT 迁建项目 环境影响报告表

编制单位：重庆昌步环保科技有限公司

建设单位：重庆市维都利新能源有限公司

2025年3月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 超高分辨综合扫描 CT 迁建项目 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（签名或签章）：



通讯地址：重庆市万州区联合路 20 号附 1 号、附 2 号、附 3 号（万州经开区）

邮政编码：404120

联系人：崔\*勇

电子邮箱：/

联系电话：191.....800

**重庆市维都利新能源有限公司关于同意  
《超高分辨综合扫描 CT 迁建项目环境影响报告表》  
全本对外公开的确认函**

重庆市生态环境局：

我公司委托重庆昌步环保科技有限公司编制了《超高分辨综合扫描 CT 迁建项目环境影响报告表》（公示版），我公司已对该报告表的内容进行了审阅核实。

该报告表内容及附图附件等资料均真实有效，本单位自愿承担相应责任。报告表不涉及商业秘密，该报告表（公示版）全本可以公开。

重庆市维都利新能源有限公司



2025年3月17日

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	53dyv3		
建设项目名称	超高分辨综合扫描CT迁建项目		
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		
<b>一、建设单位情况</b>			
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	91500101MA6Q7QDJ5G		
法定代表人（签章）	彭姝		
主要负责人（签字）	廖贵方		
直接负责的主管人员（签字）	崔炳勇		
<b>二、编制单位情况</b>			
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	91500108MA60BX7TX9		
<b>三、编制人员情况</b>			
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	BH031757	杨蓉
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
杨蓉	项目基本情况、射线装置、评价依据、环境质量与辐射现状、结论与建议	BH031757	杨蓉
陈慧丹	保护目标与评价标准、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	BH069288	陈慧丹

# 评价内容确认函

## 一、项目基本情况

公司拟将现有联合路20号附3号楼一楼CT测试房的1台工业用X射线计算机断层扫描（CT）装置搬迁至联合路M6-2号楼（“2#仓库”）一楼新建CT测试房，在该专用测试房内进行锂电池和钢纽扣电池的无损检测。该项目总投资20万元。

## 二、设备参数

本项目拟搬迁工业CT装置型号为nanoVoxel 3000，最大管电压160kV，最大管电流0.5mA。

## 三、年有效剂量管理目标

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关要求，确定本项目涉及的放射工作人员及公众成员的年有效管理目标值分别为：放射工作人员职业照射5mSv/a、公众照射0.1mSv/a。

## 四、劳动定员

本项目依托现有2名辐射工作人员从事本项目无损检测工作。

## 五、屏蔽箱体设计方案

表1 屏蔽箱体设计方案

名称	尺寸	设计情况	备注
铅防护箱体	2320×950×1180mm	左侧面采用 6mm 铅板； 正面、背面、顶面、底面、右侧面均采用 9mm 铅板； 排风孔防护罩：6mm 铅板； 走线孔防护罩：9mm 铅板； 观察窗：40mm 铅玻璃； 防护门、检修门：9mm 铅板； 主射方向朝向右侧。	设备厂家提供

重庆市维都利新能源有限公司

2025年3月18日

1018046357

## 目录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	8
表 3 非密封性放射物质 .....	8
表 4 射线装置 .....	8
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	9
表 6 评价依据 .....	10
表 7 保护目标与评价标准 .....	12
表 8 环境质量和辐射现状 .....	16
表 9 项目工程分析与源项 .....	19
表 10 辐射安全与防护 .....	27
表 11 环境影响分析 .....	38
表 12 辐射安全管理 .....	59
表 13 结论与建议 .....	67

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		超高分辨综合扫描 CT 迁建项目			
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	崔*勇	联系电话	191*****800
注册地址		重庆市万州区联合路 20 号附 1 号、附 2 号、附 3 号（万州经开区）			
项目建设地点		重庆市万州区-万州经开区联合路 M6-2 号楼一楼			
立项审批部门		重庆市万州经济技术开 发区创新发展局	批准文号	2501-500101-04-02-779253	
建设项目总投资 （万元）		20	项目环保投资 （万元）	10	投资比例（环保 投资/总投资） 50%
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 <sup>2</sup> ） 30
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					
<b>1.1 建设单位情况</b>					
<p>重庆市维都利新能源有限公司（以下简称“维都利”）位于重庆市万州区联合路 20 号附 1 号、附 2 号、附 3 号（万州经开区），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，占地面积 25500m<sup>2</sup>，总建筑面积 40820m<sup>2</sup>。</p>					
<b>1.2 项目由来</b>					
<p>因业务调整变动，维都利拟将现有联合路 20 号附 3 号楼一楼 CT 测试房的 1 台超高分辨综合扫描 CT 搬迁至联合路 M6-2 号楼一楼预留 CT 测试房，用于残次品或存在缺陷的手机锂电池和钢纽扣电池的无损检测。</p>					
<p>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，本项目拟搬迁的 1 台 nanoVoxel 3000 微尺度高分辨 CT 成像分析系统属于超高分辨综合扫描 CT，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，本项目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。</p>					



## 续表 1 项目基本情况

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，编制完成了该项目的辐射环境影响报告表。

本项目施工期不涉及拆除和土建工程，主要为工业 CT 装置以及辐射安全防护设施的安装，因此，本项目对施工期的影响仅进行简单说明，对运营期的环境影响进行重点分析。

### 1.3 建设内容及工程规模

#### (1) 项目概况

**项目名称：**超高分辨综合扫描 CT 迁建项目

**建设单位：**重庆市维都利新能源有限公司

**建设性质：**迁建

**建设地点：**重庆市万州经开区联合路 M6-2 号楼一楼（CT 测试房）

**建设规模：**拟将现有联合路 20 号附 3 号楼一楼 CT 测试房的 1 台超高分辨综合扫描 CT（以下统称为“工业 CT 装置”）搬迁至联合路 M6-2 号楼（M6-2 号楼主要作为仓库使用，以下称为“2#仓库”）一楼预留 CT 测试房内，用于残次品或存在缺陷的手机锂电池和钢纽扣电池的无损检测，年检测锂电池和钢纽扣电池的残次品 1000 件（其中：年检测锂电池 700 件、钢纽扣电池 300 件）。

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

#### (2) 项目组成

本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	依托 2#仓库 1 楼现有空置房间作为 CT 测试房，内空尺寸：长×宽×高=6m×5.159m×2.6m，有效使用面积约 29m <sup>2</sup> 。	依托
	设备	1 台工业 CT 装置，型号为 nanoVoxel 3000，其最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.5mA，安装在 CT 测试房内，自带屏蔽体（箱体外观尺寸：长 2451×宽 1227×高 1825，内净尺寸：长 2320×宽 950×高 1180mm），箱体六面屏蔽材料为钢+铅结构，屏蔽能力能达到辐射防护要求。	依托
公用工程	供配电系统	依托现有厂房供配电系统，用电来源于市政供电。	依托
	给水系统	依托厂区给水管网。	依托
环保工程	废水处理	依托现有辐射工作人员从事本项目无损检测工作，无新增废水，现有生活污水通过标准厂房生化池处理后排入市政污水管网。	依托
	固废处理	依托现有辐射工作人员从事本项目无损检测工作，无新增生活垃圾，现有生活垃圾收集后交由环卫部门统一处理。不洗片，无洗片固废。	依托
	废气治理	设备自带的屏蔽体左侧设置有排风孔，屏蔽体排风孔处设置专用管	依托



**续表 1 项目基本情况**

		道，并与 CT 测试房排风口连接，废气通过管道引至吊顶排出。排风量约 2.96m <sup>3</sup> /min，屏蔽体体积约 2.6m <sup>3</sup> ，则每小时屏蔽体换气次数可达 68 次，满足相关要求。
--	--	---

**(3) 屏蔽箱体设计**

本项目拟搬迁工业 CT 装置自带屏蔽体，防护具体设计参数见表 1-2 和附图 4。

**表 1-2 本项目屏蔽体防护设计情况表**

名称	箱体内净尺寸(长×宽×高)	设计情况
屏蔽体	2320×950×1180mm	左侧面采用 2mm 钢板+6mm 铅板+2mm 钢板
		正面、背面、顶面、底面、右侧面均采用 2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板
		观察窗：40mm 铅玻璃（约 9mm 铅当量）
		排风孔防护罩 <sup>①</sup> ：2mm 钢板+6mm 铅板+2mm 钢板
		走线孔防护罩 <sup>②</sup> ：2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板
		防护门 <sup>③</sup> ：2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板
		检修门 <sup>④</sup> ：2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板
		主射方向朝向右侧 <sup>⑤</sup>

注：设计数据由设备厂家提供，铅密度 11.3g/cm<sup>3</sup>，铅玻璃密度 4.2g/cm<sup>3</sup>。

①位于屏蔽体左侧（以面朝屏蔽体正面进行描述）；②位于屏蔽体底部；③位于屏蔽体正面；④位于屏蔽体背面；⑤以观察窗一侧为正面。

**(4) 设备配置**

本项目设备配置情况见表 1-3。

**表 1-3 拟搬迁设备配置情况一览表**

装置型号/名称	nanoVoxel 3000 微尺度高分辨 CT 成像分析系统	
数量	1 台	
类别	II类	
系统组成	由显示器、操作台、安全指示灯、屏蔽体、图像采集和处理系统（设备内部）、电气控制柜、控制按钮以及前视窗等组成，图像采集和处理系统主要由 X 射线源、样品台、平板探测器、大理石平台等组成。	
成像方式	实时成像	
主要技术指标	分辨率	像素分辨率 0.5μm
	射线源	固定，管电压 20-160kV、管电流 0.01-0.5mA
	平板探测器	像素尺寸：3008×2496 像素；A/D 转换位：16bit；65536 灰阶；成像视野：250mm×301mm；探源尺寸（每个像素的尺寸）：100um
	样品台	高精度样品台，可±360°旋转和上下左右移动
	辐射角	62°
	滤过条件	3mm 铝
	有用线束距辐射源点 1m 处输出量	15.4mGy·m <sup>2</sup> /(mA·min)
	最大样品扫描直径	200mm
最大样品扫描高度	300mm	
辐射防护设施	自带屏蔽体（箱体内净尺寸：长 2320×宽 950×高 1180mm），箱体六面屏蔽材料	

**续表 1 项目基本情况**

	为钢+铅结构，并配置有安全联锁装置、急停开关、警示灯、警示标志等。
生产厂家	天津三英精密仪器股份有限公司
使用场所	CT 测试房

**(5) 劳动定员和工作负荷**

依托现有 2 名辐射工作人员（其中 1 人暂未上岗）从事本项目无损检测工作。根据建设单位提供资料，本项目年工作约 264 天，工作时间约 12h/d，每周工作 6 天，年工作按 44 周计。

**(6) 探伤工件情况及计划工作负荷**

本项目仅对维都利内部锂电池和钢纽扣电池中的残次品或存在缺陷的产品进行检测，不对外检测，检测方式包括 CT 图像采集和 DR 图像采集，单个工件 CT 图像采集时间为 10~30min/次（本项目保守按 30min/次计），图像采集 1 次；单个工件 DR 图像采集时间为 5s/次，图像采集 3~5 次（本项目保守按 5 次计）。搬迁后工作负荷无变化，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	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	700 件/a	CT	30min/次	1 次	350h	507h	11.5h
				DR	5s/次	5 次	4.86h		
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	300 件/a	CT	30min/次	1 次	150h		
				DR	5s/次	5 次	2.08h		

**1.4 项目外环境关系及环境保护目标**

本项目拟建 CT 测试房位于重庆市万州经开区联合路 M6-2 号楼（2#号仓库）一楼，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	厂区道路	东北侧	紧邻	厂区道路
2	3#宿舍楼		约 20m	宿舍楼、食堂
3	厂区道路及停车位	东南侧	约紧邻 m	厂区道路、停车位
4	厂区道路	西南侧	约紧邻 3m	厂区道路
5	1#研发车间		约 20m	1#研发车间
6	厂区道路	西北侧	紧邻	厂区道路
7	连廊（接 5#标准厂房）		紧邻	连廊（接 5#标准厂房）

**续表 1 项目基本情况**

8	连廊（接 4#标准厂房）		紧邻	连廊（接 4#标准厂房）
9	停车位（5#标准厂房前）		约 12.8m	停车位（5#标准厂房前）
10	停车位（4#标准厂房前）		约 12.8m	停车位（4#标准厂房前）
11	5#标准厂房		约 23.7m	5#标准厂房
12	4#标准厂房		约 23.7m	4#标准厂房

因此，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以及周围活动的其他公众成员（均为建设单位工作人员），无学校等特殊敏感点。

### 1.5 选址可行性

本项目是利用 X 射线对存在缺陷的手机锂电池和钢纽扣电池进行无损检测，确保其质量。项目不涉及生物、化学实验，不进行生产。

本项目位于重庆市万州经开区联合路 M6-2 号楼（2#仓库），属于万州经济技术开发区五桥园，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，五桥园主导产业发展定位为信息港智能终端及电子配套产业、食品产业，本项目工业 CT 装置主要用于手机锂电池和钢纽扣电池检测服务，与区域发展定位不冲突，符合相关准入要求。

本项目工业 CT 装置拟安装在 2#仓库一楼预留 CT 测试房内，2#仓库主要作为库房使用，无地下室。项目 50m 范围内主要为 2#仓库、4#标准厂房部分房间和 5#标准厂房部分房间和 4#、5#标准厂房之间连廊以及厂区内部道路、停车位等，且本项目所在楼周边无学校等敏感点。根据辐射环境监测结果，本项目所在区域环境 $\gamma$ 辐射剂量率在重庆市整体辐射水平的正常涨落范围内。因此，本项目选址合理。

### 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

维都利在万州区联合路先后实施了年产 2500 万只锂离子电池生产项目（一期项目）、年产 5000 万只二次钢壳纽扣电池项目（二期项目）、年产 7500 万只锂电池生产项目（三期项目）、新建超高分辨综合扫描 CT 建设项目，均已编制了环境影响报告表并取得相应批复，完成了自主验收，且已取得排污许可证（证书编号为：91500101MA607QDJ5G001U）。建设单位现有 7 枚放射源（V 类）和 1 台 II 类射线装置（工业 CT），其中 3 枚放射源已于 2021 年 8 月 13 日填报建设项目环境影响登记表（备案号：202150010100000350），于 2021 年 10 月 14 日转入维都利公司，并已取得重庆市放射性同位素转移备案回执（渝环辐备〔2022〕0025 号），另外 4 枚放射源于

## 续表 1 项目基本情况

2024年5月16日填报建设项目环境影响登记表（备案号：202450010100000047），并已取得重庆市放射源转让备案回执（渝环辐备〔2025〕0001号）；1台II类射线装置（工业CT）于2023年7月3日获得重庆市建设项目环境影响评价批准书（渝（辐）环准〔2023〕48号），于2024年4月25日完成竣工环境保护验收工作。

维都利建设和运营期间未发生环境污染事故和环保投诉。

### 1.6.2 原有核技术利用情况

#### （1）现有工作负荷

维都利现有辐射工作人员共7人，工作时间约12h/d，每周工作6天，年工作按44周计。

#### （2）辐射安全许可证持证情况

维都利现有辐射装置包括7枚V类<sup>85</sup>Kr放射源和1台II类射线装置。

3枚V类<sup>85</sup>Kr放射源布置在涂布车间20号楼（附二1楼），1枚V类<sup>85</sup>Kr放射源布置在涂布车间4号楼（4#标准厂房1楼），3枚V类<sup>85</sup>Kr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装置自带屏蔽体50m范围内。1台II类射线装置即为本项目拟搬迁CT，现有放射源情况见表1-6，现有射线装置见表1-7，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种类和数量在许可范围内。

表 1-6 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
1	<sup>85</sup> Kr	(1.11E+10) ×3	V类	使用	涂布车间 20 号楼
2	<sup>85</sup> Kr	(1.11E+10) ×1	V类	使用	涂布车间 4 号楼
3	<sup>85</sup> Kr	(1.11E+10) ×3	V类	使用	涂布车间 6 号楼

表 1-7 现有放射源情况表

序号	辐射活动场所名称	装置名称	类别	活动种类	数量/台(套)	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)
1	CT 测试房	超高分辨综合扫描 CT	II类	使用	1	Nano Voxel3000	TS22171	管电压 160kV 管电流 0.5mA

#### （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辐射工作安全管理委员会，委员会成员组成及相应职责见附件6。

#### （4）制度建设情况

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

## 续表 1 项目基本情况

射线装置安全许可管理办法》制定相应的规章制度，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》《辐射事故应急预案》等规章制度。

### (5) 个人剂量计监测情况

建设单位已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，并指定专人负责辐射工作人员个人剂量计收发、送检、统计的管理工作。个人剂量计已委托重庆市疾病预防控制中心（重庆市救灾防病应急处理中心）3个月开展一次监测，并为辐射工作人员建立个人剂量监测档案，档案齐全。本项目辐射工作人员李敏（彭超逸暂未上岗）上一年度个人剂量均低于建设单位的管理目标值 5mSv/a，见附件 7。

### (6) 监测仪器配备情况

建设单位已为现有辐射工作人员每人各配备了 1 枚个人剂量计，并配备了 1 台便携式 X- $\gamma$  剂量率仪。

## 1.6.3 建设单位现有环境问题及整改措施

根据调查，建设单位运营至今，辐射设备运营良好，辐射防护制度基本健全，到目前为止未发生辐射安全事故，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，也未产生辐射环保事件。管理人员未加入辐射安全管理委员会，需整改。

## 1.7 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
公用工程	供电、供水等公用工程依托已有设施	厂区供电、供水系统等完善。	可行
环保工程	生活污水	依托现有辐射工作人员从事本项目无损检测工作，无新增废水，现有生活污水通过标准厂房生化池处理后排入市政污水管网。	可行
	生活垃圾	依托现有辐射工作人员从事本项目无损检测工作，无新增生活垃圾，现有生活垃圾收集后交由环卫部门统一处理。	可行
劳动定员	依托现有辐射工作人员	现有辐射工作人员 2 名（其中 1 名暂未上岗），已取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书。	可行
辐射安全管理	依托公司已有辐射工作安全管理委员会	建设单位现已成立辐射安全与环境保护管理的相关制度，本项目可依托。	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	nanoVoxel 3000	160	0.5	用于残次品或存在缺陷的手机锂电池和钢纽扣电池的无损检测	M6-2 号楼一楼 CT 测试房	已购、拟搬迁

(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 <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub> 等	气态	/	/	/	微量	/	/	通过管道引至吊顶排出
报废 CT	固态	/	/	/	/	/	CT 测试房内暂存	去功能化后按照一般固体废物处置
废阴极射线管	固态	/	/	/	/	/	不暂存	交有资质的单位处置

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。



表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（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》，2022年11月1日施行修订版；</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）；</p> <p>(13) 《国家危险废物名录》（2025年版）。</p>
-------------	---

续表 6 评价依据

<p>技 术 标 准 技 术 规 范</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；                  (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；                  (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；                  (4) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)；                  (5) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GB Z/T250-2014) 及 2017 年修订；                  (6) 《职业性外照射个人监测规范》(GB Z128-2019)；                  (7) 《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)；                  (8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；                  (9) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；                  (10) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；                  (11) 《辐射事故应急监测技术规范》(HJ 1155-2020)；                  (12) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)；</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 项目备案证(附件 1)；                  (2) 新建超高分辨综合扫描 CT 建设项目批复和验收意见(附件 2)；                  (3) 监测报告(渝辐监(委)[2025]006 号)(附件 3)；                  (4) 公司辐射安全许可证(附件 5)；                  (5) 评价内容确认函(附件 16)；                  (6) ICRP33、《辐射防护导论》等参考文献；                  (7) 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体，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，因此本评价将射线装置自带屏蔽体外 50m 的范围选为评价范围。

**7.2 环境保护目标**

本项目工业 CT 装置在搬迁后的 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#仓库地下无建筑，地上共 4 层，主要作为库房使用，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 测试房东北侧为正极材料仓、负极材料仓、箔材仓、卫生间、楼梯间、过道、前室、电房和厂区道路等；东南侧为 IQC 和化学测试室、厂区道路及停车位等；南侧为不良品仓和楼梯间等；西南侧为 IQC 室、收货仓、电解液仓、卫生间、楼梯间、前室、茶水间、过道和厂区道路等；西北侧为过道、电梯、厂区道路、连廊、停车位、4#标准厂房和 5#标准厂房等；CT 测试房正上方二楼为钢扣装配物料仓；三楼为钢壳电芯仓；四楼为仓库；楼下无建筑。

结合本项目的评价范围，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。

**表 7-1 评价范围内保护目标分布情况**

方位	区域	最近距离	保护目标	影响人数	剂量约束值
/	CT 测试房	/	辐射工作人员	2 人	≤5mSv/a
东北侧	正极材料仓	约 3.38m	公众	约 4 人	≤0.1mSv/a
	负极材料仓	约 14.2m	公众	约 4 人	
	箔材仓	约 24.4m	公众	约 4 人	
	卫生间、楼梯间、过道、前室、电房	约 27m	公众	约 20 人次/天	
	厂区道路	约 35.9m	公众	约 30 人次/天	
	楼梯间	约 28.9m	公众	约 15 人次/天	
东南侧	IQC	约 0.85m	公众	约 10 人	
	化学测试室	约 10.8m	公众	约 10 人	
	厂区道路及停车位	约 18.7m	公众	约 50 人次/天	
南侧	楼梯间	约 28m	公众	约 20 人次/天	
	不良品仓	约 29.8m	公众	约 4 人	
西南侧	IQC 室	约 0.65m	公众	约 10 人	

		收货仓	约 7.4m	公众	约 20 人
		电解液仓	约 23.2m	公众	约 4 人
		卫生间、楼梯间、前室、茶水间、过道	约 23m	公众	约 20 人次/天
		厂区道路	约 32.3m	公众	约 20 人次/天
西北侧		过道	约 2.8m	公众	约 20 人次/天
		电梯	约 5.4m	公众	约 20 人次/天
		厂区道路	约 8.5m	公众	约 20 人次/天
		连廊（接 5#标准厂房）	约 14m	公众	约 20 人次/天
		连廊（接 4#标准厂房）	约 17m	公众	约 20 人次/天
		停车位（5#标准厂房前）	约 25m	公众	约 20 人次/天
		停车位（4#标准厂房前）	约 28m	公众	约 20 人次/天
		5#标准厂房	约 32m	公众	约 50 人次/天
		4#标准厂房	约 35m	公众	约 50 人次/天
CT 测试房正上方	二楼	钢扣装配物料仓	约 5.48m	公众	约 4 人
	三楼	钢壳电芯仓	约 10.78m	公众	约 4 人
	四楼	仓库	约 16.08m	公众	约 4 人
	楼顶	空坝	约 21.38m	公众	约 2 人次/天
注：①本项目工业 CT 装置高 1.825m；②4#标准厂房（作为仓库使用）共 4 层，其中一层高 7.3m，其余楼层每层高 5.3m，高度均包含楼板厚度；③5#标准厂房（现为空置厂房）共 4 层，其中一层高 7m，其余楼层每层高 5.3m，高度均包含楼板厚度；④最近距离为保护目标到屏蔽体外表面的最近距离，其中 CT 测试房顶部的保护目标的最近距离为屏蔽体顶部到各楼层地面的距离。					

### 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  $\gamma$  射线探伤的放射防护要求。本标准适用于使用 600kV 及

以下的 X 射线探伤机和  $\gamma$  射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 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  $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，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  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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  $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

### 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。

#### 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：0.3mg/m<sup>3</sup>；氮氧化物的接触限值：5mg/m<sup>3</sup>。

#### 7.3.5 项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《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/T 250-2014）等评价标准，确定本项目的管理目标。

①工作场所剂量率控制水平：根据下文表 11-4 中核算结果，本项目工业 CT 装置屏蔽体各侧屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率小于 2.5μSv/h。

②剂量约束限值：本评价职业照射剂量管理约束值取职业照射年平均有效剂量限值的四分之一，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；根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）条款 11.4.3.2 规定：剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%-30%（即 0.1mSv/a-0.3mSv/a）的范围之内，则公众照射剂量管理约束值取公众年平均有效剂量限值的十分之一，在上述取值范围内，满足 GB18871-2002 要求，即本项目的公众的年有效受照剂量应不超过 0.1mSv/a。

综上所述，结合本项目实际情况，确定本项目的主要评价要求见表 7-3 所示。

表 7-3 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	周剂量控制水平	辐射工作人员：100μSv/周；公众成员：5μSv/周	GBZ 117-2022、 GBZ/T250-2014
3	工作场所剂量率控制水平	屏蔽体各侧屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率小于 2.5μSv/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

本项目位于重庆市万州经开区联合路 M6-2 号楼（2#仓库）1 楼，项目地理位置图见图 1。

本项目建设场所位于维都利现有 2#仓库的 1 楼，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，楼上一层正上方为钢扣装配物料仓，楼下无建筑，建设场所周边现状见附图 5、6。

### 8.2 环境质量和辐射现状

为了掌握本项目拟建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本项目区域的环境 $\gamma$ 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）[2025]006 号）。

（1）监测时间：2025 年 1 月 17 日

（2）监测因子：环境 $\gamma$ 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 $\gamma$ 辐射剂量率	仪器法	《环境 $\gamma$ 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。

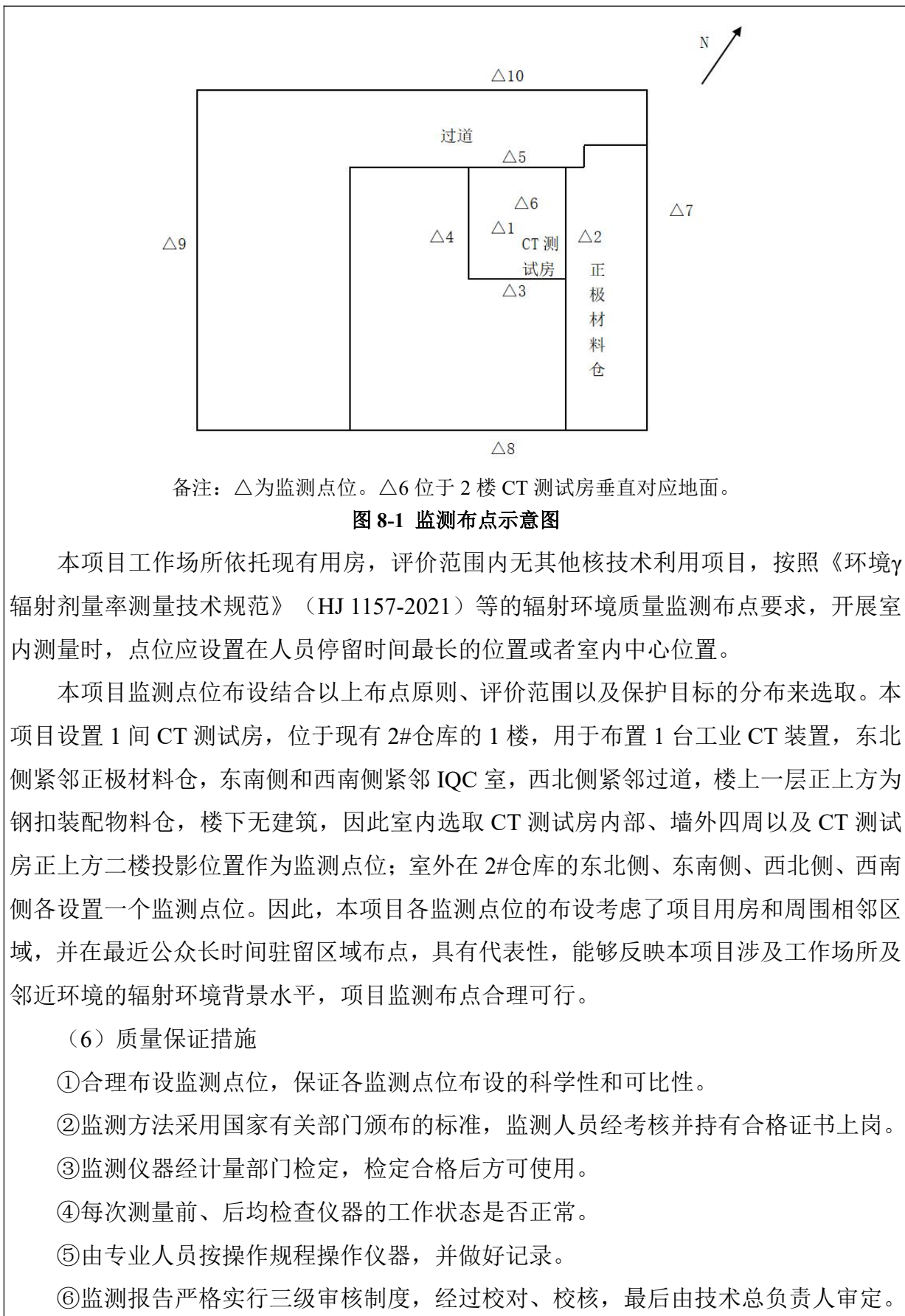
表 8-2 监测使用仪器一览表

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	校准字第 202405006705 号	2025.5.20	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

(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  $\gamma$  辐射剂量率背景值监测结果

测量位置	环境 $\gamma$ 辐射剂量率 (nGy/h)		
	平均值	标准偏差	结果
1# CT 测试房房间内	65	1	53
2# CT 测试房外东北侧	68	1	55
3# CT 测试房外东南侧	63	1	51
4# CT 测试房外西南侧	66	1	53
5# CT 测试房外西北侧	67	1	54
6# CT 测试房上方二楼垂直对应位置	64	1	52
7# CT 测试房所在楼栋外东北侧	80	1	65
8# CT 测试房所在楼栋外东南侧	79	1	64
9# CT 测试房所在楼栋外西南侧	80	1	64
10# CT 测试房所在楼栋外西北侧	82	2	66

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) 现状监测评价

根据监测统计结果可知，本项目所在位置环境 $\gamma$ 辐射剂量率的监测值在 51nGy/h~66nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书》，2023 年重庆市 $\gamma$ 辐射累积剂量各点位测量均值范围为 76.8~93.3nGy/h，全市各点位年均值为 87nGy/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 $\gamma$ 辐射剂量率在正常涨落范围内，区域辐射环境质量良好。

## 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 测试房位于现有 2#仓库的 1 楼，用于安装 1 台拟搬迁的工业 CT 装置。本项目施工期不涉及拆除和土建工程，主要为工业 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、设备包装垃圾，以及施工人员产生的少量生活废水与生活垃圾等。包装垃圾和生活垃圾均统一收集后由当地环卫部门集中处  
置，生活污水由厂区内已建污水处理设施处理后排入市政管网。调试过程的影响因子主  
要为电离辐射，与营运期一致，其影响和污染防治措施参考营运期内容。

#### 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

本项目使用的工业 CT 装置型号为 nano Voxel 3000 微尺度高分辨 CT 成像分析系统，  
主要由显示器、操作台、安全指示灯、屏蔽体、图像采集和处理系统（设备内部）、电  
气控制柜、控制按钮以及前视窗等组成，图像采集和处理系统主要由 X 射线源、样品台、  
平板探测器、大理石平台等组成。设备外观结构图如图 9-1 所示，内部结构图如图 9-2 所  
示，各部分名称及功能介绍见表 9-1。

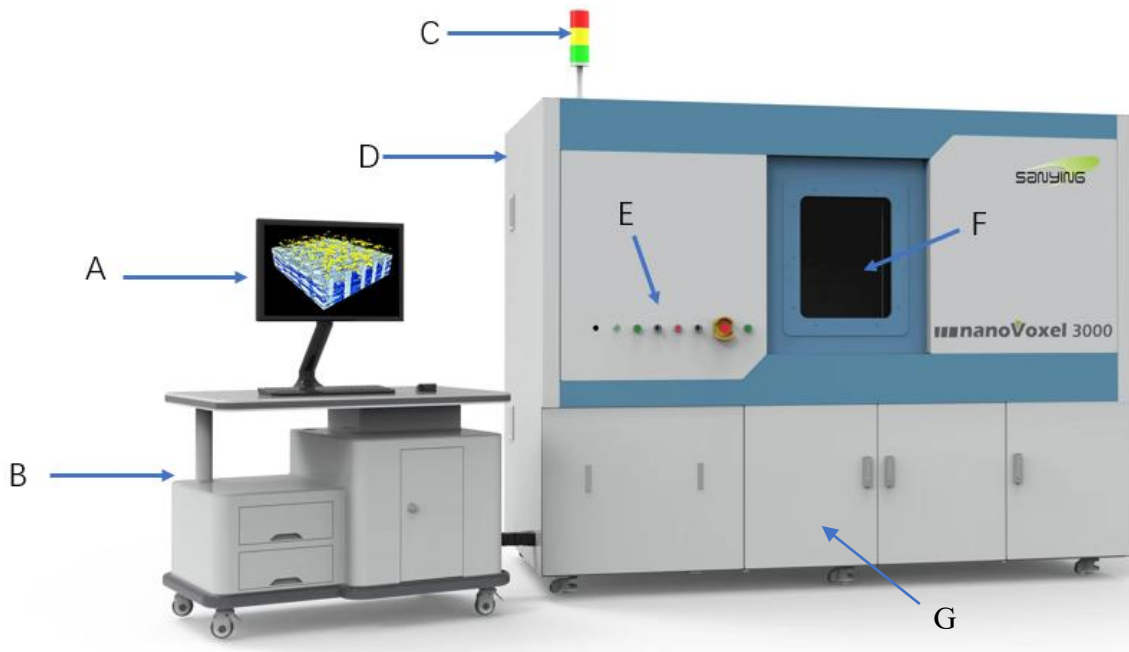


图 9-1 设备外观结构图

续表 9 项目工程分析与源项

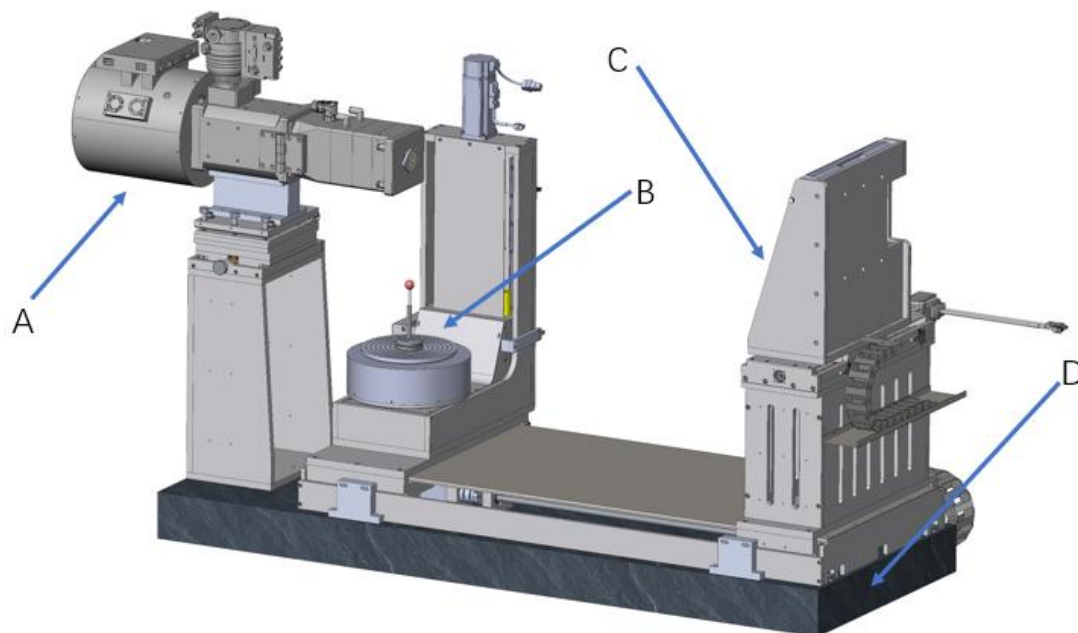


图 9-2 设备内部结构图

表 9-1 工业 CT 装置各部件的名称及功能介绍

结构	标号	名称	描述
外部（见图 9-1）	A	显示器	前端机显示器，用于显示仪器工作状态
	B	操作台（示意）	主要工作区，用于操纵仪器
	C	安全指示灯	指示仪器运行状态： 绿、黄、红灯都不亮：仪器处于关闭状态； 绿灯亮：仪器处于上电状态； 绿灯灭：仪器处于断电状态； 黄灯亮：箱体防护门（前防护铅门、后维护门）处于关闭状态，可安全开启射线源； 黄灯灭：箱体防护门（前防护铅门、后维护门）处于开启状态，不可开启射线源； 红灯闪亮：射线源处于发射 X 射线状态； 红灯灭：射线源处于未发射 X 射线状态。
	D	屏蔽体	仪器主体，用于支撑仪器各部件和射线防护
	E	控制按钮	控制设备电器
	F	前视窗	铅玻璃视窗，射线源发射 X 射线时，用于观察各部件的运动情况
	G	电气控制柜	为设备的各项系统提供电力供给，保证设备平稳运行。
内部（见图 9-2）	A	X 射线源	通电开启后，发射 X 射线
	B	样品台	用于承载待测样品以及移动样品位置
	C	平板探测器	大视野探测器
	D	大理石平台	用于固定和安装仪器其他部件

## 续表 9 项目工程分析与源项

### (2) 工作方式

本项目的工业 CT 装置自带屏蔽体，防护门打开后，操作人员将待检工件放入屏蔽体内进行检测，防护门通过操作台的操作面板或开关按键方式进行开合，具有门机联锁功能，人员不能进入屏蔽体内部。X 射线出束期间，操作人员一般位于操作台处，出束期间无需人员干预。操作人员离开现场时将取出工业 CT 装置钥匙，并关闭 CT 测试房门，CT 测试房门设有门禁，只有授权人员才能进入。

本项目工业 CT 装置 X 射线源和平板探测器的位置固定，主射方向西北侧，X 射线源右侧设置一个样品台，可上下左右自由移动，待检工件放在样品台上后，可通过控制面板调节机械转盘至合适位置。X 射线透过待检工件后由平板探测器接收，然后再由重构软件进行图像重建，以得到可视化的内部结构等信息。

本项目拟配置的设备含自屏蔽铅房，在出束期间，非辐射工作人员不能进入 CT 测试房，辐射工作人员均在铅房外操作。

### 9.1.2.2 工作原理及工艺流程

#### (1) X 射线管原理

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，它装在聚集杯中，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作管电流，加在 X 射线管两极上的高压即为管电压。X 射线机产生的 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 射线机的管电压、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。

续表 9 项目工程分析与源项

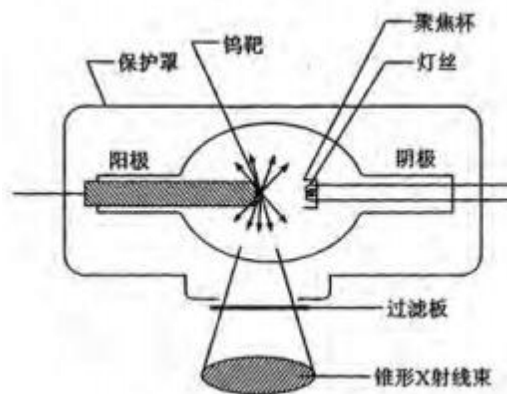


图 9-3 X 射线管示意图

## (2) CT 和 DR 图像采集原理

### ①CT 图像采集原理

电子计算机断层摄影 (Computed tomography, 简称 CT) 是近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诊断新技术。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, 发现被检对象内部辐射密度的微小变化。

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。射线源提供 CT 扫描成像的能量线束用以穿透试件, 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 扫描时试件的旋转或平移, 以及机械转盘、试件空间位置的调整。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。屏蔽设施用于射线安全防护, 一般小型设备自带屏蔽设施。

### ②DR 图像采集原理

X 射线数字射线成像 (Digital Radiograph, 简称 DR) 是 20 世纪 90 年代末出现的一种实时的 X 射线数字成像技术。相对于现今仍然普遍应用的射线胶片照相, DR 检测最大的优点就是实时性强, 可以在线实时地对生产工件结构介质不连续性、结构形态以及介质物理密度等质量缺陷进行无损检测, 因此在快速无损检测领域里有广阔的发展前景。

DR 系统一般由射线源、待测物、探测器、图像工作站等几部分构成。对于 DR 检

## 续表 9 项目工程分析与源项

测技术而言，其核心部件是探测器。目前在工程实际中应用的探测器主要分为两种：图像增强器和非晶硅平板探测器。图像增强器首先通过射线转化屏将 X 射线光子转换为可见光，然后通过 CCD（Charge Coupled Device）相机将可见光转化为视频信号，可在监视器上实时显示，也可通过 A/D 采集卡转化为数字信号输入到计算机显示和处理。非晶硅平板探测器采用大规模集成技术，集成了一个大面积非晶硅传感器阵列和碘化铯闪烁体，可以直接将 X 光子转化为电子，并最终通过数模转换器（ADC）转变成为数字信号。

### (3) 工艺流程

本项目工业 CT 装置包括 CT 和 DR 两种图像采集方式，其工艺流程基本一致，具体工艺流程和产污节点见图 9-4。

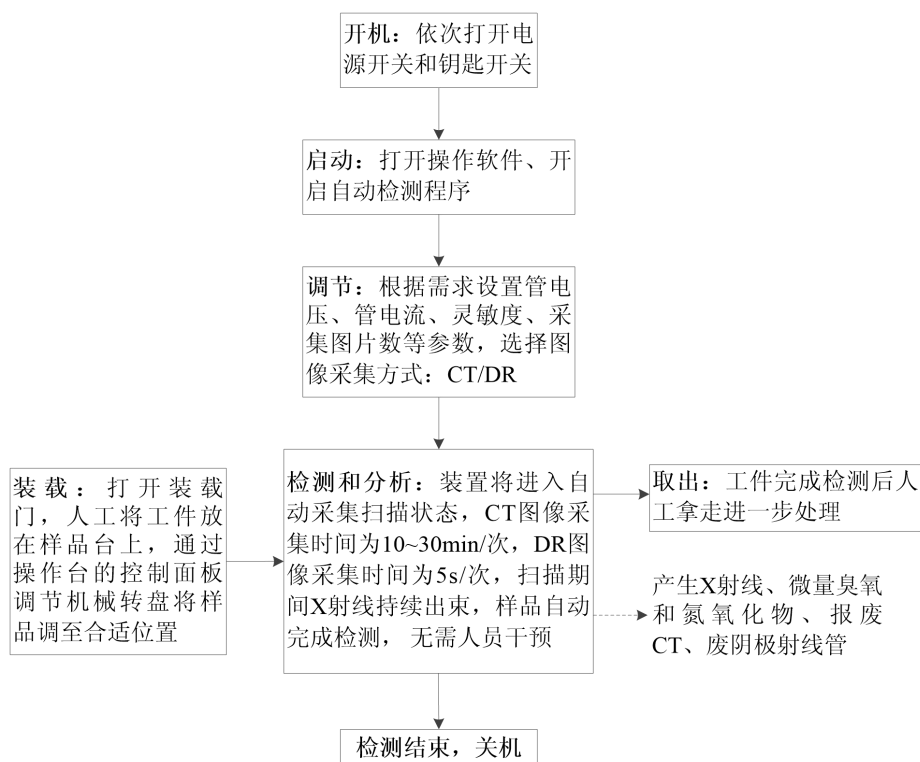


图 9-4 工艺流程及产污环节示意图

### (4) 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 测试房西北侧防护门进出 CT 测试房。

#### ②物流路径

本项目的工业 CT 装置自带屏蔽体，待检测工件从 CT 测试房西北侧防护门进入 CT 测试房后，再从防护门进入工业 CT 装置内进行检测。



续表 9 项目工程分析与源项

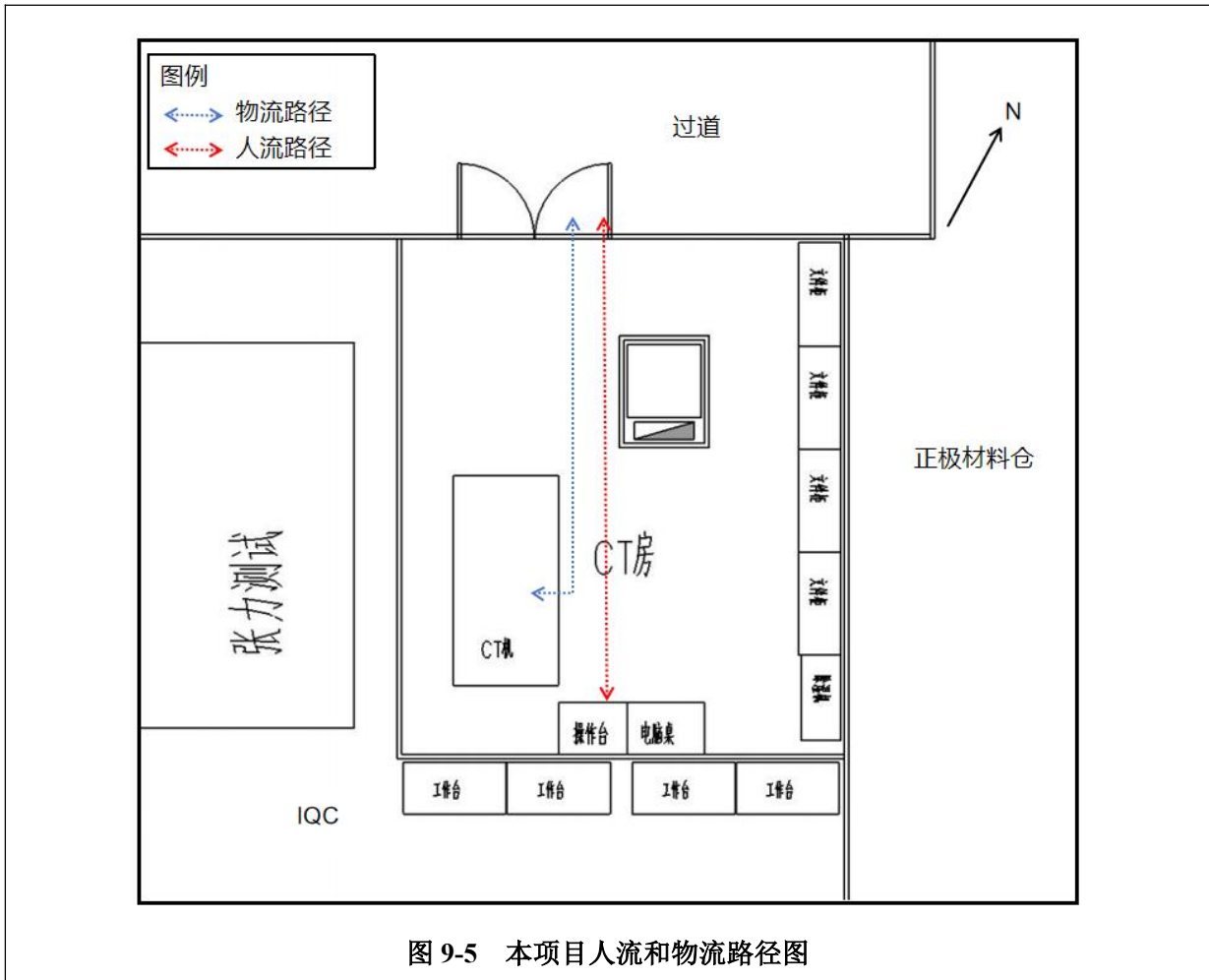


图 9-5 本项目人流和物流路径图

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 放射性污染物

#### ①正常工况

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体的有效屏蔽。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。

#### ②事故工况

本项目使用的设备在事故工况下，可能产生辐射影响的情形有以下几点：

a.防护门安全联锁发生故障，导致在防护门未关到位的情况下射线发生器出束，X 射线泄漏使工作人员受到不必要的照射；

b.防护门安全联锁发生故障，工作人员在取放工件的过程中，意外开启 X 射线发生器，导致工作人员被意外照射；

续表 9 项目工程分析与源项

c.设备检修时,没有采取可靠的断电措施导致意外开启 X 射线发生器,使在场所有人员受到意外照射。

### ③源强参数

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 3mm 铝,根据 ICRP 33 号 P55 图 2,160kV 射线在 3mm 铝滤过条件下距辐射源点 1m 处输出量为  $15.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ,并以等量值的  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$  进行屏蔽计算,即取  $9.24\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ 。

#### (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 160kV,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  $2.5\text{mSv/h}$ 。

#### (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,本项目工业 CT 装置 X 射线  $90^\circ$  散射辐射最高能量相应的 kV 值为 150kV。

### 9.2.2 非放射性污染物

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,项目非放射性“三废”产排情况如下。

本项目 X 射线检测和分析过程中产生的非放射性污染物主要包括废气(X 射线照射使周围的空气电离而产生的臭氧和氮氧化物)、固废(报废 CT、废阴极射线管)等。

#### (1) 废气

工业 CT 装置工作过程中会使自带屏蔽体内的空气电离产生臭氧和氮氧化物,设备自带的屏蔽体左侧设置有排风孔,箱体排风孔处设置专用管道,并与 CT 测试房排风口连接,废气通过管道引至吊顶排出。

#### (2) 废水

## 续表 9 项目工程分析与源项

本项目依托现有辐射工作人员从事本项目无损检测工作，无废水新增，现有生活污水通过标准厂房生化池处理后排入市政污水管网。

### (3) 噪声

主要来源于排风系统风机，主要采用厂房隔声、选用低噪声设备等降噪措施。

### (4) 固体废物

本项目成像方式为实时成像，不涉及洗片等工序，固体废物主要来源于辐射工作人员产生的生活垃圾、报废 CT 以及废阴极射线管。

本项目依托现有辐射工作人员，生活垃圾不新增，现有生活垃圾交由环卫部门统一处理；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，应当按照相关要求对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化，拆解后的废阴极射线管属于《国家危险废物名录》(2025 版)中的危险废物，危废编码：HW49(900-044-49)，不暂存，委托有危废处理资质的单位处理；其余部分按照一般固体废物处置。

### 9.2.3 项目产排污统计

本项目产排污情况见表 9-2。

表 9-2 本项目产排污情况统计表

污染物	污染因子	产生量	
辐射	X 射线	最大管电压	160kV
		最大管电流	0.5mA
		滤过条件	3mm 铝
		有用线束距辐射源点 1m 处输出量	$9.24 \times 10^5 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$
		泄漏辐射距辐射源点 1m 处剂量率	2.5mSv/h
废气	臭氧和氮氧化物	少量	
废水	生活污水	不新增	
噪声	排风系统风机	/	
固废	生活垃圾	不新增	
	固体废物：报废 CT	1 台	
	危险废物：废阴极射线管	1 只	

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 辐射工作场所布局

本项目 CT 测试房设置在维都利现有 2#仓库 1 楼，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；楼上为钢扣装配物料仓；楼下无建筑。在 CT 测试房内布置工业 CT 装置和操作台，项目工业 CT 装置自带屏蔽体，屏蔽体通过内嵌铅板对 X 射线进行辐射屏蔽；操作台位于工业 CT 装置的东侧，距离工业 CT 装置最近距离约 1m；观察窗和防护门朝向东北侧，主射束朝向西北侧。本项目操作台与屏蔽体分开设置，且操作台位置已避开有用线束照射的方向，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开”的要求。且本项目工业 CT 装置运行时，辐射工作人员在操作台处对检测装置进行操作，禁止非辐射工作人员进入 CT 测试房内。综上所述，本项目布局设计合理。

#### 10.1.2 分区原则和区域划分情况

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，应把辐射工作场所分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

**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。在控制区的适当位置处设立醒目的警告标志。

**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。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件。

本项目使用的工业 CT 装置自带屏蔽体，按防护要求，将自带屏蔽体内部区域划为控制区，该区域密封在设备结构材料内部，人员不能进入屏蔽体内部，在箱体适当位置张贴警示标志；将 CT 测试房除屏蔽体以外的区域划为监督区，该区域无需专门的防护手段或安全设施，但需要对职业照射条件进行监督，正常工况下，工作人员需佩戴个人剂量计，工业 CT 装置在出束状态下禁止无关人员进入监督区，并在该入口处设置标明监督区的标牌。

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	防护措施
控制区范围	屏蔽体内部	在箱体适当位置张贴警示标志
监督区范围	CT 测试房除屏蔽体以外的区域	需要对职业照射条件进行监督，正常工况下，工作人员需佩戴个人剂量计，工业 CT 装置出束状态下禁止无关人员进入监督区，并在该入口处设置标明监督区的标牌。

续表 10 辐射安全与防护

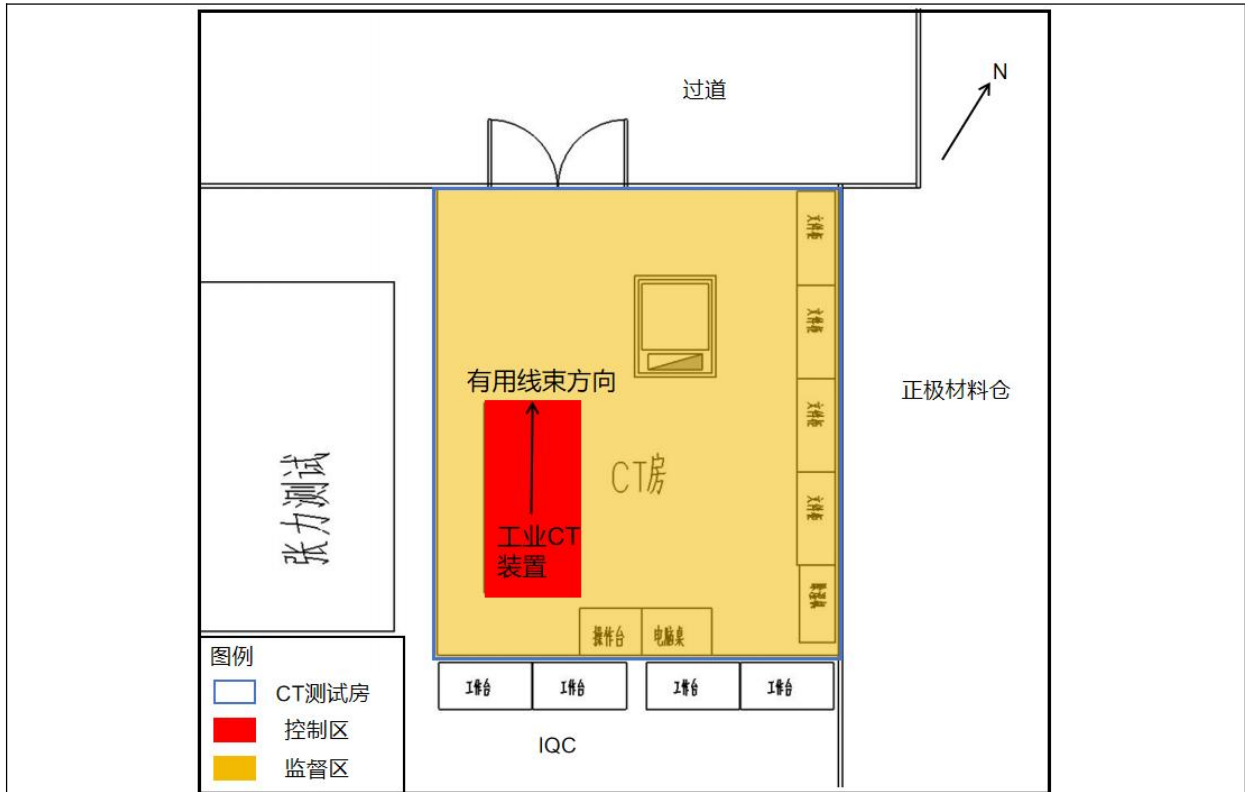


图 10-1 工作场所布局和分区示意图

### 10.1.3 辐射防护屏蔽设计

本项目使用的工业 CT 装置自带屏蔽体，结构和屏蔽参数见表 10-2，屏蔽体三视图（主视图、左视图、俯视图）见图 10-2 和图 10-3。

表 10-2 屏蔽体结构和防护屏蔽情况表

项目	设计情况	屏蔽铅当量
内部净尺寸	长×宽×高=2320mm×950mm×1180mm	
射线方向	主射方向朝向右侧（以观察窗一侧为正面）	
正面	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
背面	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
左侧	2mm 钢板+6mm 铅板+2mm 钢板	6mmPb
右侧	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
顶部	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
底部	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
观察窗	40mm 铅玻璃	9mmPb
防护门	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
检修门	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb
排风孔	2mm 钢板+6mm 铅板+2mm 钢板	6mmPb
走线孔	2mm 钢板+9mm 铅板+2mm 钢板	9mmPb

注：铅密度 11.3g/cm<sup>3</sup>，铅玻璃密度 4.2g/cm<sup>3</sup>；按不利情况考虑，本评价仅考虑铅屏蔽。

续表 10 辐射安全与防护

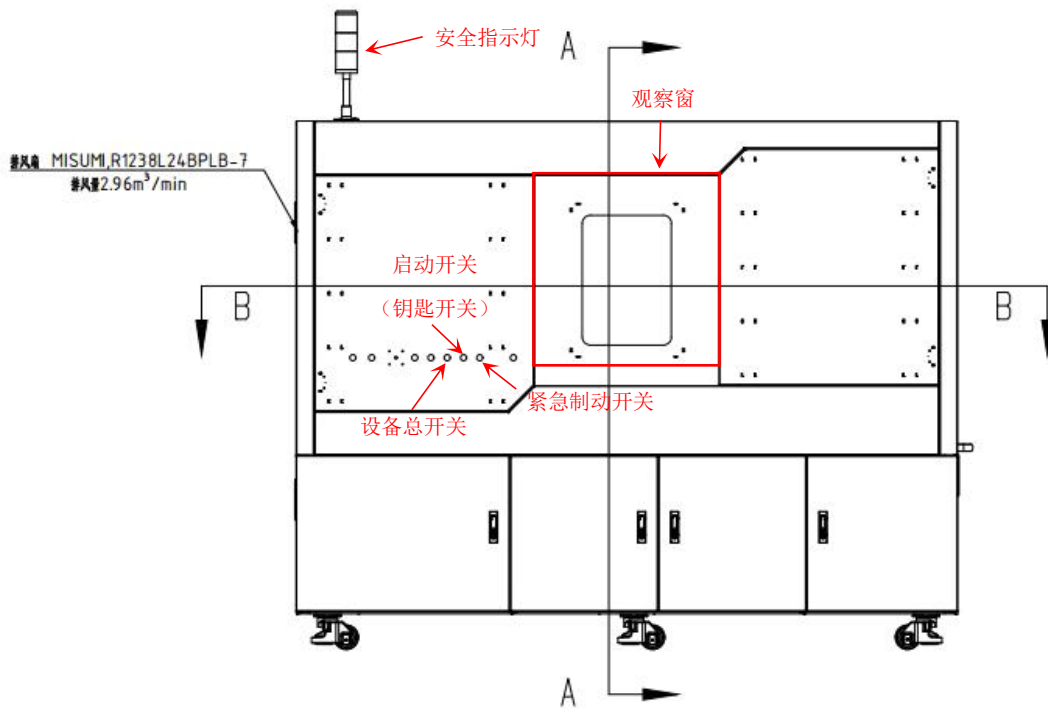
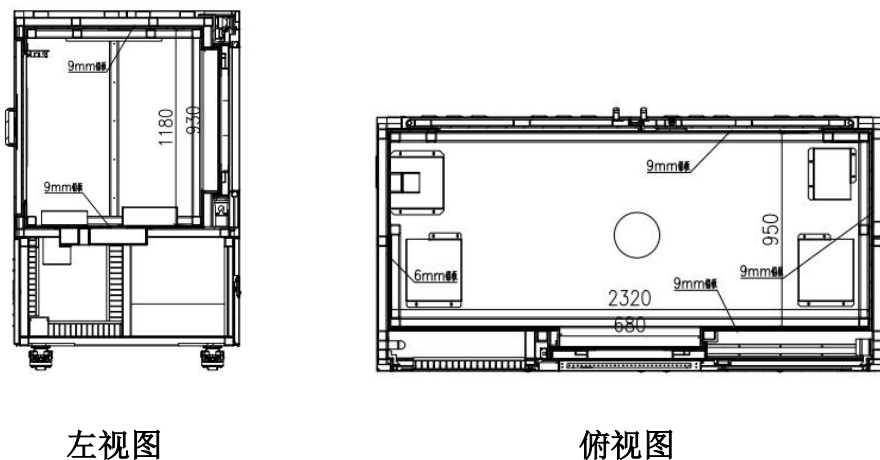


图 10-2 屏蔽体主视图



左视图

俯视图

图 10-3 屏蔽体左视和俯视图

### 10.1.4 辐射安全和防护

#### (1) 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 开机时系统自检

开机后控制器首先进行系统诊断测试。若诊断测试正常，该设备会示意操作者可以进行出束或训机操作；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。

续表 10 辐射安全与防护

②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 0.25mA 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。

### (2) 工业 CT 装置的防护措施

①本项目工业 CT 装置设有自带屏蔽体，屏蔽体通过内嵌铅板对 X 射线进行辐射屏蔽。经后文核算，屏蔽体的屏蔽能力满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）标准限值要求。

#### ②多重开关

本项目工业 CT 装置设有 1 个钥匙开关、1 个设备总开关，设置在自带屏蔽体的正面（见图 10-2）。只有两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。

#### ③紧急停机

本项目工业 CT 装置在自带屏蔽体正面显眼位置（见图 10-2）以及屏蔽体内部各设置 1 个紧急制动开关，并在紧急制动开关旁拟设置中文标识和相关说明。发生紧急事故时可以迅速切断设备的多项部件的电源，包括：X 射线管线圈、X 射线管冷却装置、X 射线管发生器的功率部件和控制部件以及操作台的所有驱动装置，本项目紧急制动开关的设置可及时阻止辐射事故的发生，设置合理。

#### ④门机联锁

## 续表 10 辐射安全与防护

本项目工业 CT 装置设置有门机联锁系统。防护门和检修门未关闭的情况下不能打开高压产生射线；门关闭后，在开高压产生射线的情况下，防护门和检修门不能打开；门打开时立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。

### ⑤警示设施

建设单位将在工业 CT 装置自带屏蔽体的正面张贴电离辐射警示标志。CT 测试房门上将张贴“辐射工作场所，非辐射工作人员禁止进入”的工作警示牌。本项目的工业 CT 装置自带工作指示灯，X 射线出束时工作指示灯将闪动进行警示。本项目的射线装置自带工作状态指示灯，具有三种工作状态的指示：绿灯（仪器处于开机状态），黄灯（箱体防护门和检修门处于关闭状态，可安全开启射线源），红灯（射线源处于发射 X 射线状态）。



图 10-4 电离辐射警示标志图

### ⑥穿线孔屏蔽

本项目工业 CT 装置穿线孔设置铅防护罩，共四个，分别设置在自带屏蔽体底部的左侧和右侧（以观察窗一侧为正面），屏蔽厚度均为 9mm，不低于同侧，即屏蔽体底部铅板屏蔽厚度（9mm），不影响屏蔽体的屏蔽防护效果。

### ⑦通风设施

本项目工业 CT 装置自带通风设施，排风孔位于设备左侧（见图 10-2），拟设置排风孔防护罩，屏蔽厚度为 6mm，不低于同侧，即屏蔽体左侧铅板屏蔽厚度（6mm），不影响屏蔽体的屏蔽防护效果。

### ⑧安全联锁系统

本项目的工业 CT 装置设有安全联锁系统，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，安全联锁逻辑图如图 10-5 所示。



续表 10 辐射安全与防护

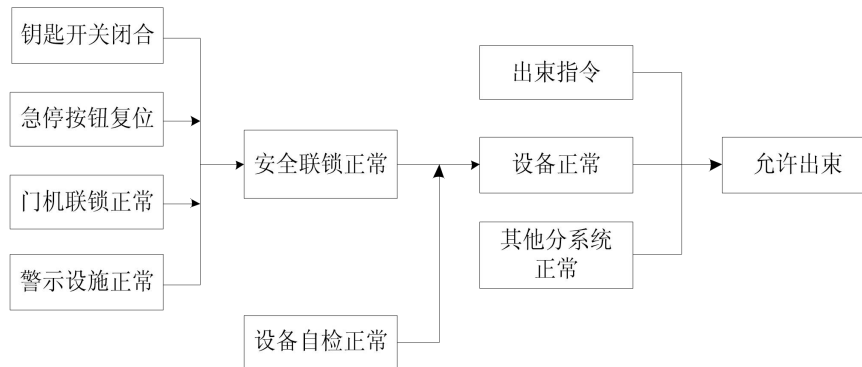


图 10-5 安全联锁逻辑图

### (2) 操作台的防护措施

①设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示器，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置，可监视工业 CT 装置内部运行情况。

②设置有高压接通时的外部报警或指示装置。

③操作台或 X 射线管头组装体上设置与工件门联锁的接口，防护门或检修门未全部关闭时不能接通 X 射线管管电压；已接通的 X 射线管管电压在防护门或检修门开启时能立即切断。

④设置钥匙开关，只有在打开操作台钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。

⑤设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

⑥操作台已避开有用射线束方向。

### (3) 个人防护用品及辐射监测设施

建设单位依托现有辐射工作人员从事本项目的无损检测工作，已各配备个人剂量计和 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辐射工作区域，并立即向辐射工作负责人报告。

建设单位依托现有便携式 X-γ 辐射剂量率仪，使用便携式 X-γ 辐射剂量率仪定期对射线装置周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 8.3.4 检测周期“探伤室建成后应进行验收检测；投入使用后每年至少进行 1 次常规检测。”，建设单位根据自身的管理制度，拟增加监测频次，每季度监测 1 次。并配备 1 台固定式场所辐射探测报警装置，安装在工业 CT 装置自带屏蔽体下方，用于测量环境辐射 X-γ 空气吸收剂量率，超过限值报警。

**续表 10 辐射安全与防护**

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。	已配置
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。	已配置
3	便携式 X-γ 辐射剂量率仪	1 台	屏蔽体外（包括监督区）定期剂量监测，保证屏蔽体的屏蔽效果。	已配置
4	固定式场所辐射探测报警装置	1 台	测量环境辐射 X-γ 空气吸收剂量率，超过限值报警	已配置

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。

**(4) CT 测试房防护措施**

①对工作场所实行分区管理。将工业 CT 装置自带屏蔽体内部区域划为控制区，将 CT 测试房除自带屏蔽体外外的区域划为监督区（见图 10-1）。

②建设单位将在 CT 测试房门口张贴电离辐射警示标志，告诫无关人员不得靠近。

③CT 测试房设置门禁卡，只有授权的辐射工作人员方可有权限刷卡进入 CT 测试房。

④CT 测试房内相关制度上墙。

⑤公司应建立相关管理制度，明确工业 CT 装置须在本次环评指定的场所位置使用，不得随意移动。

**(5) 视频监控系统**

建设单位拟在工业 CT 装置外安装 1 个监控装置，视频监控屏幕位置拟设置在操作台上，如果出现异常能迅速启动紧急制动装置。

续表 10 辐射安全与防护

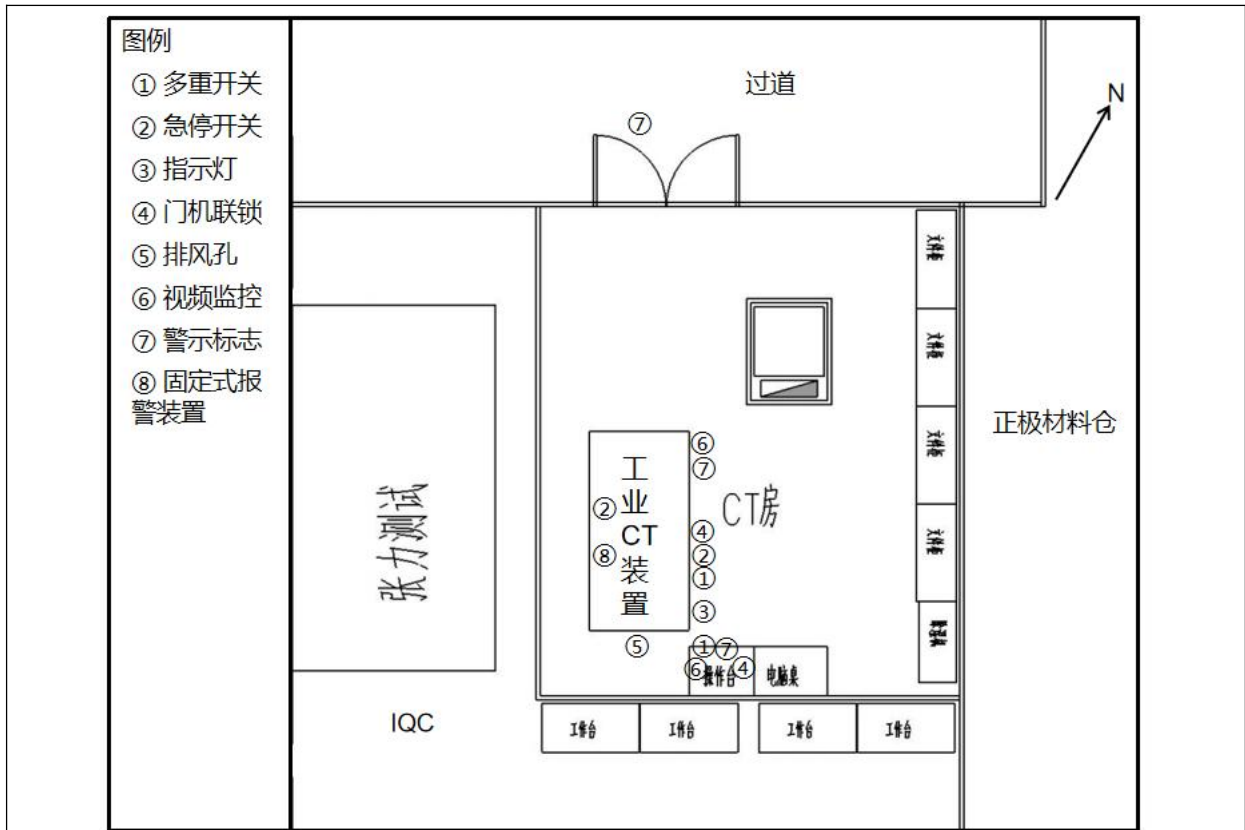


图 10-6 辐射安全与防护设施布置示意图

### 10.2 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）对本项目的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 10-4 和表 10-5。

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）的防护安全要求	辐射安全与防护实施计划	评价
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。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。	本项目操作台拟设置在工业 CT 装置的东侧，有用线束照射方向朝向西北侧。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。根据表 11-6 计算结果，本项目自带屏蔽体屏蔽厚度能够满足 GBZ/T 250 相关要求。	满足要求
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。	建设单位将根据 GB 18871 的要求将工业 CT 装置自带屏蔽体内部区域划为控制区，将 CT 测试房除自带屏蔽体外区域划为监督区，并实行分区管理。分区管理将按 GB 18871 要求执行。	满足要求
6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100 $\mu$ Sv/周，对公众场所，	本项目为自带屏蔽体的工业 CT 装置，根据表 11-7、表 11-11 分析，辐射工作人员受照周有效剂量小于 100 $\mu$ Sv/周，公众成	满足要求

续表 10 辐射安全与防护

<p>其值应不大于 5<math>\mu</math>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<math>\mu</math>Sv/h。</p>	<p>员受照周有效剂量小于 5<math>\mu</math>Sv/周；屏蔽体各侧屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率小于 2.5<math>\mu</math>Sv/h。</p>	
<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 100<math>\mu</math>Sv/h。</p>		<p>满足要求</p>
<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 装置自带门机联锁装置，防护门或检修门在打开或者没有关到位的情况下，高压电源无法打开；防护门或检修门误开时主电源将随即关闭，重新关上防护门或检修门后不会自动打开主电源。人员不能进入设备内部。</p>	<p>满足要求</p>
<p>6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。</p>	<p>本项目的工业 CT 装置屏蔽体上自带有工作状态指示灯：绿灯（仪器处于开机状态），黄灯（箱体防护门和检修门处于关闭状态，可安全开启射线源），红灯（射线源处于发射 X 射线状态），预备时警示灯不亮，照射时警示灯为红色闪烁。本项目属于小型自屏蔽式射线装置，人员不能进入到屏蔽体内部操作，屏蔽体内部监控设施可全方位监控设备运行情况，操作台设视频监控影像显示屏，辐射工作人员在操作台上可以清楚的看到设备处于“预备”还是“照射”状态，因此未设置声音提示。拟在操作台处张贴“照射”和“预备”信号意义的说明标识。</p>	<p>满足要求</p>
<p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>	<p>本项目拟在工业 CT 装置外安装监控，并在操作台设置专用的监视器，可监视 CT 测试房内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>	<p>满足要求</p>
<p>6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>	<p>建设单位将在本项目工业 CT 装置屏蔽体的正面张贴电离辐射警示标志，在 CT 测试房门上张贴“辐射工作场所，非辐射工作人员禁止进入”的工作警示牌。</p>	<p>满足要求</p>
<p>6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。</p>	<p>本项目工业 CT 装置自带屏蔽体正面显眼位置以及屏蔽体内部各设置 1 个紧急制动开关，避开了主射线束的照射方向，紧急制动开关将标明功能和使用方法，发生紧急事故时能立即终止照射。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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</p>	<p>本项目工业 CT 装置自带的屏蔽体左侧设置有排风孔，箱体排风孔处设置专用管道，</p>	<p>满足要求</p>

续表 10 辐射安全与防护

气次数应不小于 3 次。	并与 CT 测试房排风口连接，废气通过管道引至吊顶排出，排风口朝向楼外空中区域，周围无人员密集场所。排风量约 2.96m <sup>3</sup> /min，屏蔽体体积约 2.6m <sup>3</sup> ，则每小时屏蔽体换气次数可达 68 次，满足相关要求。	
6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	建设单位拟在工业 CT 装置自带屏蔽体下方安装固定式辐射探测报警装置。	满足要求

表 10-5 安全操作要求及实施计划对照表

《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的安全操作要求	安全操作实施计划	评价
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。	辐射工作人员使用工业 CT 装置前，要求先检查门机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否完好。	满足要求
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。	本项目属于小型自屏蔽式射线装置，人员不能进入到屏蔽体内部操作，建设单位依托现有辐射工作人员从事本项目的无损检测工作，已各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，对屏蔽体外进行定期剂量监测。	满足要求
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。	拟使用便携式 X-γ剂量率仪定期(每季度 1 次)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。	满足要求
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。	满足要求
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。	要求拟从事本项目的辐射工作人员在每次照射前，需确认装置各项安全联锁设施全部正常的情况下，才能启动射线装置、才能出束，把潜在的辐射降到最小。	满足要求
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。	本项目属于小型自屏蔽式射线装置，屏蔽体内部空间狭小，人员不能进入屏蔽体内部。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射线装置才能启动，才能开始辐射工作。	满足要求

## 续表 10 辐射安全与防护

小结：综上所述，建设单位拟采取的各项辐射安全与防护措施、辐射安全操作要求等满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求。

### 10.3 “三废”的治理

#### （1）废气

X 射线照射会使周围的空气电离而产生臭氧和氮氧化物，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。参照国家标准《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的相关规定：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 装置自带的屏蔽体（内空尺寸为 2320×950×1180mm，体积约 2.6m<sup>3</sup>）左侧设置有排风孔，箱体排风孔处设置专用管道，并与 CT 测试房排风口连接，废气通过管道引至吊顶排放。排风扇在工作期间保持开启，排风量约 2.96m<sup>3</sup>/min（约 177.6m<sup>3</sup>/h），则屏蔽体每小时换气次数可达 68 次，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）“每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”的规定。因此，由工业 CT 装置内部空气电离产生的臭氧和氮氧化物将被及时排至外环境，并得到迅速分解，不会在室内环境积累。

#### （2）废水

本项目依托现有辐射工作人员，无废水新增，现有生活污水通过标准厂房生化池处理后排入市政污水管网。

#### （3）噪声

主要来源于排风系统风机，主要采用厂房隔声、选用低噪声设备等降噪措施。

#### （4）固体废物

固体废物主要来源于辐射工作人员产生的生活垃圾、报废 CT 以及废阴极射线管。

本项目依托现有辐射工作人员，生活垃圾不新增，现有生活垃圾交由环卫部门统一处理；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，应当按照相关要求对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化，拆解后的废阴极射线管属于《国家危险废物名录》（2025 版）中的危险废物，危废编码：HW49（900-044-49），不暂存，委托有危废处理资质的单位处理；其余部分按照一般固体废物处置。

**表 11 环境影响分析**

**11.1 建设阶段对环境的影响**

本项目施工期间可能产生的污染物主要为施工机械噪声、设备包装垃圾，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废水依托厂区现有生化池处理，生活垃圾和包装垃圾统一交由环卫部门处理。本项目在施工阶段非电离辐射因素的环境影响时间是短暂的，影响范围小，随着施工期的结束而消除，且周围无环境敏感点，因此对环境的影响不大。

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。根据后文核算，调试阶段的电离辐射影响同运行阶段的影响，设备屏蔽体外剂量率达标。

**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 屏蔽体辐射屏蔽的剂量参考控制水平**

(1) 周剂量参考控制水平 ( $H_c$ ) 和导出剂量率参考控制水平 ( $\dot{H}_{c,d}$ ) :

a) 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:  $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 相应  $H_c$  的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 按式 11-1 计算:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad \dots\dots\dots \text{式 11-1}$$

式中:

$H_c$ ——周剂量参考控制水平，单位为微希每周 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ) ;

$U$ ——探伤装置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;

$t$ ——探伤装置周照射时间，单位为小时每周 ( $\text{h}/\text{周}$ ) 。

$t$  按式 11-2 计算:

$$t = \frac{W}{60 \cdot I} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-2}$$

式中:

$W$ ——X 射线探伤的周围工作负荷 (平均每周 X 射线探伤照射的累积 “ $\text{mA} \cdot \text{min}$ ”

续表 11 环境影响分析

值), mA·min/周;

60——小时与分钟的换算系数;

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)。

(2) 关注点最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max}$ :

$$\dot{H}_{c,max} = 2.5\mu\text{Sv/h}$$

(3) 关注点剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ :

$\dot{H}_c$  为上述 (1) 中的  $\dot{H}_{c,d}$  和 (2) 中的  $\dot{H}_{c,max}$  二者的较小值。

### 11.2.1.2 屏蔽体辐射屏蔽估算公式

(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 11-3 计算, 然后由附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{I \cdot H_0} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

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 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

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);

$H_0$ ——距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ , 以  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$  为单位的值乘以  $6\times 10^4$ , 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  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按式 11-4 计算:

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-4}$$

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,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ , 以  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$  为单位的值乘以  $6\times 10^4$ , 见附录表 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) 泄漏辐射和散射辐射

①屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 相应的关系



续表 11 环境影响分析

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 11-5 计算:

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-5}$$

X——屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

TVL——见附录 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 11-6 计算:

$$X = -TVL \cdot \lg B \quad \dots\dots\dots \text{式 11-6}$$

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。

② 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 11-7 计算, 然后按式 11-6 计算所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{\dot{H}_L} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-7}$$

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 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

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 11-5 计算, 然后按式 11-8 计算泄漏辐射在关注点的剂量率  $\dot{H}$  单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ ):

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-8}$$

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。

③ 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 11-9 计算。然后按式 11-6 计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

续表 11 环境影响分析

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot \alpha} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-9}$$

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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

$R_s$ ——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  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$  为单位的值乘以  $6\times 10^4$ ，见附录表 B.1；

$F$ —— $R_0$  处的辐射野面积，单位为平方米（ $\text{m}^2$ ）；

$\alpha$ ——散射因子，入射辐射被单位面积（ $1\text{m}^2$ ）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  $\alpha$  值时，以水散射体的  $\alpha$  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  $90^\circ$  散射辐射的 TVL，然后按式 11-5 计算。关注点的散射辐射剂量率  $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式 11-10 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-10}$$

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$  为单位的值乘以  $6\times 10^4$ ，见附录表 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（ $\text{m}^2$ ）；

$\alpha$ ——散射因子，入射辐射被单位面积（ $1\text{m}^2$ ）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  $\alpha$  值时，可以水的  $\alpha$  值保守估计，见附录 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）。

### 11.2.1.3 屏蔽体防护核算原则及主要技术参数

#### (1) 屏蔽体防护核算原则

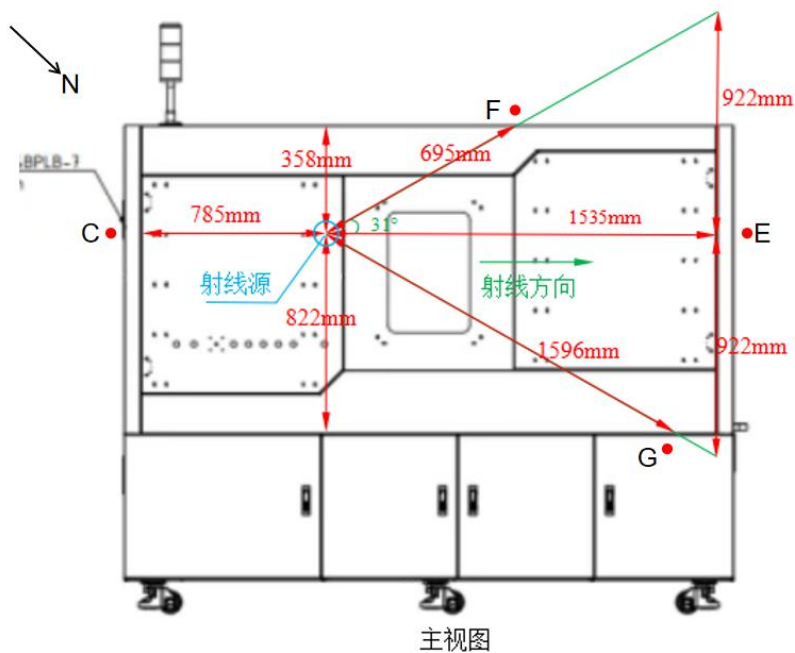
续表 11 环境影响分析

屏蔽体厚度确定原则：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层厚度（HVL）。

(2) 主要技术参数

A. 距离、方向核算

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 160kV，管电流为 0.5mA）运行工况进行预测评价。本项目工业 CT 装置的射线源位置固定，不能移动，有用线束方向朝西南侧照射，样品台可上下左右移动，到射线源最近水平距离约 1mm，到顶部最近距离约 300mm。本项目工件最大尺寸为长×宽×高=10×8×1.3cm。本报告选取屏蔽体外 0.3m 处为辐射关注点，本项目 X 射线管辐射角为 62°，即 X 射线圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 31°，射线源到屏蔽体北侧的距离约 1535mm，经计算，X 射线照射到屏蔽体北侧所形成的圆锥束底面半径为 922mm，均大于放射源到屏蔽体东侧、西侧、顶部以及底部的距离，因此，本报告将屏蔽体北侧、东侧、西侧、顶部以及底部按有用线束照射，南侧按照非有用线束照射进行估算。本项目屏蔽体厚度均为 65mm（含钢板和铅板厚度），X 射线出束口到屏蔽体内各防护板的距离见图 11-1，X 射线出束口至屏蔽体外 30m 处各关注点的距离列于表 11-1。



续表 11 环境影响分析

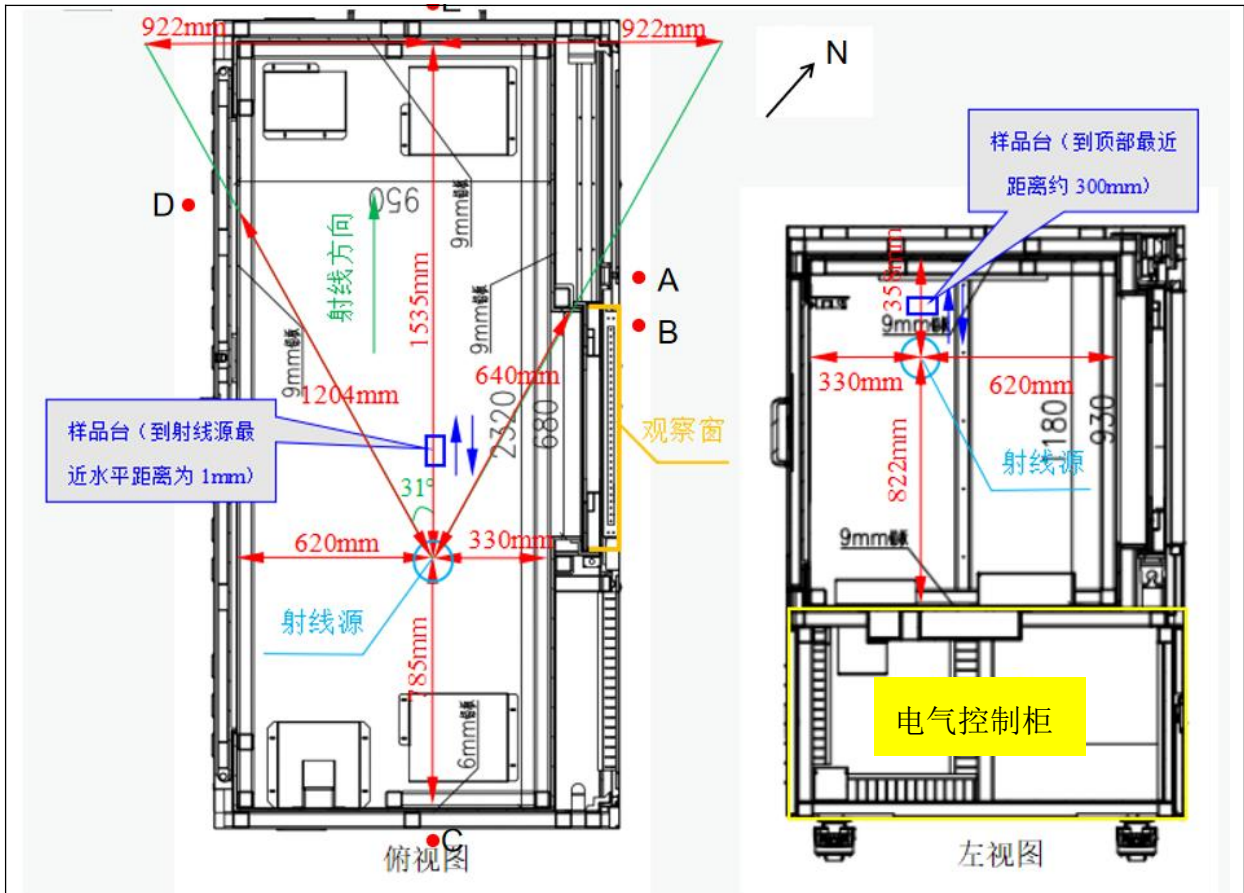


图 11-1 X 射线出口口到屏蔽体内各防护板的距离图

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

考察点			距离 <sup>①</sup>	屏蔽体厚度 <sup>②</sup>	核算距离 m
屏蔽体东北侧 A	屏蔽体外 30cm	有用线束	640mm	65mm	$0.64+0.065+0.3=1.005$
东北侧观察窗 B	屏蔽体外 30cm	有用线束	640mm	40mm	$0.64+0.040+0.3=0.98$
屏蔽体东南侧 C	屏蔽体外 30cm	散射	786mm	65mm	$0.786+0.065+0.3=1.151$
	屏蔽体外 30cm	漏射	785mm	65mm	$0.785+0.065+0.3=1.15$
屏蔽体西南侧 D	屏蔽体外 30cm	有用线束	1204mm	65mm	$1.204+0.065+0.3=1.569$
屏蔽体西北侧 E	屏蔽体外 30cm	有用线束	1535mm	65mm	$1.535+0.065+0.3=1.9$
屏蔽体顶部 F	屏蔽体外 30cm	有用线束	695mm	65mm	$0.695+0.065+0.3=1.06$
屏蔽体底部 G	屏蔽体外 30cm	有用线束	1596mm	65mm	$1.596+0.065+0.3=1.961$

注：①射线源到屏蔽体内侧的距离；②含钢板和铅板厚度。

### B. 剂量率参考控制水平的确定

根据表 1-4，计算得出本项目工业 CT 装置周工作负荷，见表 11-2；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表 11-3；剂量率参考控制水平核算表见表 11-4。

续表 11 环境影响分析

表 11-2 工业 CT 装置工作负荷

设备型号	最大管电压	最大管电流	周最大工作负荷	周最大照射时间
nanoVoxel 3000	160kV	0.5mA	345mA·min/周	11.5h/周

表 11-3 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

表 11-4 剂量率参考控制水平核算表

方向	t (h/周)	U	T	H <sub>c</sub> (μSv/周)	$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	本项目剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c^{①}$ (μSv/h)	需屏蔽的辐射源
屏蔽体东北侧 A	11.5	1	1	100	8.7	2.5	2.5	有用线束
屏蔽体东南侧 C	11.5	1	1	100	8.7	2.5	2.5	泄漏辐射 散射辐射
屏蔽体西南侧 D	11.5	1	1	100	8.7	2.5	2.5	有用线束
屏蔽体西北侧 E	11.5	1	1	100	8.7	2.5	2.5	有用线束
屏蔽体顶部 F	11.5	1	1/8 <sup>②</sup>	100	69.6	2.5	2.5	有用线束
屏蔽体底部 G	11.5	1	/	100	/	2.5	2.5 <sup>③</sup>	有用线束
西北侧过道	11.5	1	1/4	5	1.7	2.5	1.7	有用线束
东北侧正极材料仓	11.5	1	1	5	0.4	2.5	0.4	泄漏辐射 散射辐射 <sup>④</sup>
东南侧 IQC	11.5	1	1	5	0.4	2.5	0.4	泄漏辐射 散射辐射
西南侧 IQC	11.5	1	1	5	0.4	2.5	0.4	泄漏辐射 散射辐射 <sup>④</sup>
二楼钢扣装配物料仓	11.5	1	1	5	0.4	2.5	0.4	泄漏辐射 散射辐射 <sup>④</sup>
二楼过道和电梯间	11.5	1	1/4	5	1.7	2.5	1.7	有用线束 <sup>⑤</sup>

注：①  $\dot{H}_c$  为  $\dot{H}_{c,d}$  和  $\dot{H}_{c,max}$  二者的较小值；

② 屏蔽体顶部通常无人居留，故居留因子取 1/8；

续表 11 环境影响分析

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 2.5 $\mu$ Sv/h 作为底部屏蔽体的剂量率参考控制水平。

④经核算，射线源到东北侧正极材料仓、西南侧 IQC、二楼钢扣装配物料仓的最近距离分别为 330+65+3380=3775mm、620+65+650=1335mm、358+65+5480=5903mm，大于 X 射线照射到屏蔽体北侧时所形成的圆锥束底面半径为 922mm，故按非有用线束进行估算。

⑤射线源到二楼的垂直距离为 358+65+5480=5903mm，经计算，当辐射角为 62°时，射线源水平距离约 9828mm，即射线源可照射到二楼，且照射区域为过道和电梯间，故将二楼过道和电梯间接有用线束进行估算。

C.其他参数

本项目屏蔽体核算过程中的相应其他参数见表 11-5 所示。

表 11-5 屏蔽体核算相关参数

参数	数值			来源
设备基础参数	最大管电压 160kV，管电流 0.5mA			设备说明书
G (mGy·m <sup>2</sup> /mA·min)	15.4 (3mm 铝过滤条件下)			ICRP33 号 P55 中图 2
转换系数	6×10 <sup>4</sup>			GBZ/T250-2014 4.1 a)
H <sub>0</sub> (μSv·m <sup>2</sup> /(mA·h))	9.24×10 <sup>5</sup> ①			GBZ/T250-2014 表 B.1
$\frac{R_0^2}{F \cdot \alpha}$	18.6 <sup>②</sup>			GBZ/T250-2014 附录 B.4.2
泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ (μSv/h)	2.5×10 <sup>3</sup>			GBZ/T250-2014 表 1
X 射线 90°散射辐射最高能量相应的 kV 值	150			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	
	160kV	1.05mm <sup>③</sup>	0.32mm <sup>③</sup>	
	150kV	0.96mm	0.29mm	

注：①根据设备方提供资料，本项目滤过条件为 3mm 铝，根据 ICRP 33 号 P55 图 2，160kV 射线在 3mm 铝滤过条件下距辐射源点 1m 处输出量为 15.4mGy·m<sup>2</sup>/(mA·min)，并以等量值的 mSv·m<sup>2</sup>/(mA·min) 进行屏蔽计算，即取 9.24×10<sup>5</sup>μSv·m<sup>2</sup>/(mA·h)；

②本项目 X 射线管辐射角为 62°，即 X 射线圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 31°，最大管电压为 160kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 B.3，本项目保守按 200kV 对应的  $\alpha_w$  取值，即 1.9E-3，则  $\alpha = \alpha_w \cdot 10000 / 400 = 0.0475$ ， $F = \pi \cdot (R_0 \cdot \tan(31^\circ))^2$ ，则计算得出  $\frac{R_0^2}{F \cdot \alpha}$  为 18.6。

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 160kV 时，什值层、半值层数值在 150kV 和 200kV 之间，采用内插法所得。

11.2.1.4 屏蔽体防护核算结果

本项屏蔽体的屏蔽能力核算结果见表 11-6。

表 11-6 屏蔽体屏蔽效能核算表

关注点	剂量率参考控制水平 H <sub>c</sub> (μSv/h)	距离 (m)	计算厚度	设计厚度	设计厚度下瞬时剂量 (μSv/h)	是否达到屏蔽要求
屏蔽体东北侧 A 有用线束	2.5	1.005	5.53mmPb	9mmPb	1.23×10 <sup>-3</sup>	是

续表 11 环境影响分析

东北侧观察窗 B	有用线束	2.5	0.98	5.55mmPb		9mmPb	1.29×10 <sup>-3</sup>		是
屏蔽体东南侧 C	散射	2.5	1.151	3.72mmPb	4.04mmPb <sup>①</sup>	6mmPb	1.05×10 <sup>-2</sup>	1.42×10 <sup>-2</sup>	是
	漏射		1.15	3.02mmPb			3.65×10 <sup>-3</sup>		
屏蔽体西南侧 D	有用线束	2.5	1.569	5.12mmPb		9mmPb	5.03×10 <sup>-4</sup>		是
屏蔽体西北侧 E	有用线束	2.5	1.9	4.94mmPb		9mmPb	3.43×10 <sup>-4</sup>		是
屏蔽体顶部 F	有用线束	2.5	1.06	5.48mmPb		9mmPb	1.10×10 <sup>-3</sup>		是
屏蔽体底部 G	有用线束	2.5	1.961	4.92mmPb		9mmPb	3.22×10 <sup>-4</sup>		是
西北侧过道	有用线束	1.7	4.4	4.35mmPb		9mmPb	6.4×10 <sup>-5</sup>		是
东北侧正极材料仓	散射	0.4	3.775	3.49mmPb	3.81mmPb	9mmPb	7.35×10 <sup>-7</sup>	1.21×10 <sup>-6</sup>	是
	漏射			2.77mmPb			4.71×10 <sup>-7</sup>		
东南侧 IQC	散射	0.4	1.701	4.16mmPb	4.48mmPb	6mmPb	4.83×10 <sup>-3</sup>	6.5×10 <sup>-3</sup>	是
	漏射		1.7	3.50mmPb			1.67×10 <sup>-3</sup>		
西南侧 IQC	散射	0.4	1.335	4.36mmPb	4.68mmPb	9mmPb	5.88×10 <sup>-6</sup>	9.64×10 <sup>-6</sup>	是
	漏射			3.72mmPb			3.76×10 <sup>-6</sup>		
二楼钢扣装配物料仓	散射	0.4	6.903	2.99mmPb	3.31mmPb	9mmPb	2.2×10 <sup>-7</sup>	3.61×10 <sup>-7</sup>	是
	漏射			2.22mmPb			1.41×10 <sup>-7</sup>		
二楼过道和电梯间	有用线束	1.7	11.461	3.48mmPb		9mmPb	9.44×10 <sup>-6</sup>		是

注：①根据屏蔽体防护核算原则：当泄漏辐射、散射辐射的屏蔽厚度相差一个什值层厚度（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层厚度（HVL）；

②按照不利情况，仅考虑铅的屏蔽防护，未考虑四周隔墙、二楼楼板屏蔽；

③西北侧过道有用线束核算距离为 1535+65+2800=4400mm，东北侧正极材料仓散射、漏射核算距离为 330+65+3380=3775mm、东南侧 IQC 散射核算距离为 786+65+850=1701mm、漏射核算距离为 785+65+850=1700mm，西南侧 IQC 散射、漏射核算距离均为 620+65+650=1335mm，二楼钢扣装配物料仓散射、漏射核算距离为 358+65+5480+1000=6903mm，二楼过道和电梯间有用线束核算距离为射线源到二楼的最近距离/sin(31°)，即 (358+65+5480) mm/sin(31°)=11461mm。

根据表 11-6 计算结果可知，本项目工业 CT 装置工作时，屏蔽体各屏蔽体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，各侧屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率小于 2.5μSv/h。

### 11.2.2 天空反散射的影响分析

本项目射线能量较低，屏蔽体顶部屏蔽防护为 9mm 铅板，经核算，本项目屏蔽体

**续表 11 环境影响分析**

顶部外的剂量远低于 2.5 $\mu$ Sv/h，经天空散射后在地面的贡献值非常低，可忽略不计，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体顶部泄漏产生的天空反散射，周围的辐射环境影响微小。

因此，屏蔽体顶部厚度的设计是合理的，能够满足辐射防护要求。

**11.2.3 人员受照剂量估算**

X- $\gamma$  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/a；

$D_r$ ——关注点辐射剂量率， $\mu$ Sv/h；

T——居留因子；

t——一年受照时间，h/a。

本项目工业 CT 装置工作时辐射工作人员受照剂量估算结果见表 11-7。

**表 11-7 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	设计厚度下剂量率 ( $\mu$ Sv/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 ( $\mu$ Sv/周)	年受照总剂量 (mSv/a)
屏蔽体西北侧	辐射工作人员	$3.43 \times 10^{-4}$	11.5	507	1	$3.94 \times 10^{-3}$	$1.74 \times 10^{-4}$
屏蔽体东北侧 (观察窗)		$1.29 \times 10^{-3}$	11.5	507	1	$1.48 \times 10^{-2}$	$6.54 \times 10^{-4}$
屏蔽体东南侧		$1.42 \times 10^{-2}$	11.5	507	1	$1.63 \times 10^{-1}$	$7.20 \times 10^{-3}$

注：本项目工业 CT 装置屏蔽体北侧紧邻 CT 测试房北侧墙体，人员不可达，工业 CT 装置顶部和底部人员亦不可达，故本次不对屏蔽体北侧、顶部和底部辐射工作人员受照剂量进行估算。保守考虑，以可达屏蔽体外表面处进行剂量估算。

根据表 11-7 计算可知，本项目工业 CT 装置运行后所致辐射工作人员受照年有效剂量最大约  $7.20 \times 10^{-3}$  mSv/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  $1.63 \times 10^{-1}$   $\mu$ Sv/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 100 $\mu$ Sv/周的要求。

**11.3 屏蔽体屏蔽能力类比分析**

(1) 类比对象选择

为了分析本项目工业 CT 装置建成投入运行后对周围工作人员所造成的影响，本评价选取本项目工业 CT 装置和屏蔽体搬迁前的验收运行现场检测结果进行分析。类比可行性分析见表 11-8。



续表 11 环境影响分析

表 11-8 类比可行性分析表

对比项目	本项目	类比对象	对比情况
设备名称和型号	nanoVoxel 3000	nanoVoxel 3000	相同
射线管额定参数	管电压：160kV 管电流：0.5mA	管电压：160kV 管电流：0.5mA	相同
布置位置	CT 测试房内	CT 测试房内	相同似
屏蔽材料及厚度	主射屏蔽体（右侧）：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板；正面、背面、顶部、底部屏蔽体：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板；左侧屏蔽体：2mm钢板+6mm铅板+2mm钢板；防护门、检修门：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板；观察窗40mm铅玻璃；排风孔：2mm钢板+6mm铅板+2mm钢板；走线孔：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板	主射屏蔽体（右侧）：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板；正面、背面、顶部、底部屏蔽体：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板；左侧屏蔽体：2mm钢板+6mm铅板+2mm钢板；防护门、检修门：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板；观察窗40mm铅玻璃；排风孔：2mm钢板+6mm铅板+2mm钢板；走线孔：2mm钢板+9mm铅板+2mm钢板	屏蔽材质一致，屏蔽体铅厚度一致
屏蔽体内空尺寸	长×宽×高：2320×950×1180mm	长×宽×高：2320×950×1180mm	相同
主射方向	主射右侧	主射右侧	相同
工件进出方式	由工人从铅门外载物台放入	由工人从铅门外载物台放入	相同

根据表 11-8 可知，本项目与类比对象基本情况相比：

- ①本项目工业 CT 装置型号、管电压、管电流相同。
- ②本项目辐射屏蔽体的屏蔽材料一致，均为钢板+铅板+钢板，屏蔽体铅厚度一致。
- ③工件进出方式相同。

综上所述，采用搬迁前的工业 CT 装置和屏蔽体作为本项目的类比对象可行，其在运行过程时屏蔽体外的辐射环境监测结果能反映本项目运行后屏蔽体外的辐射环境情况。

(2) 类比监测结果

2024 年 1 月 29 日，重庆渝辐科技有限公司对搬迁前屏蔽体和测试房外辐射环境现状进行了监测，监测时工况：①正常工作状态：150kV，60μA，照射工件为 1254S 型钢扣，②最大工作条件：160kV，500μA，无工件；监测报告编号：渝辐监（委）[2024]017 号，见附件 4，监测布点示意图见图 11-2 所示，监测结果统计见表 11-9、11-10 所示。

续表 11 环境影响分析

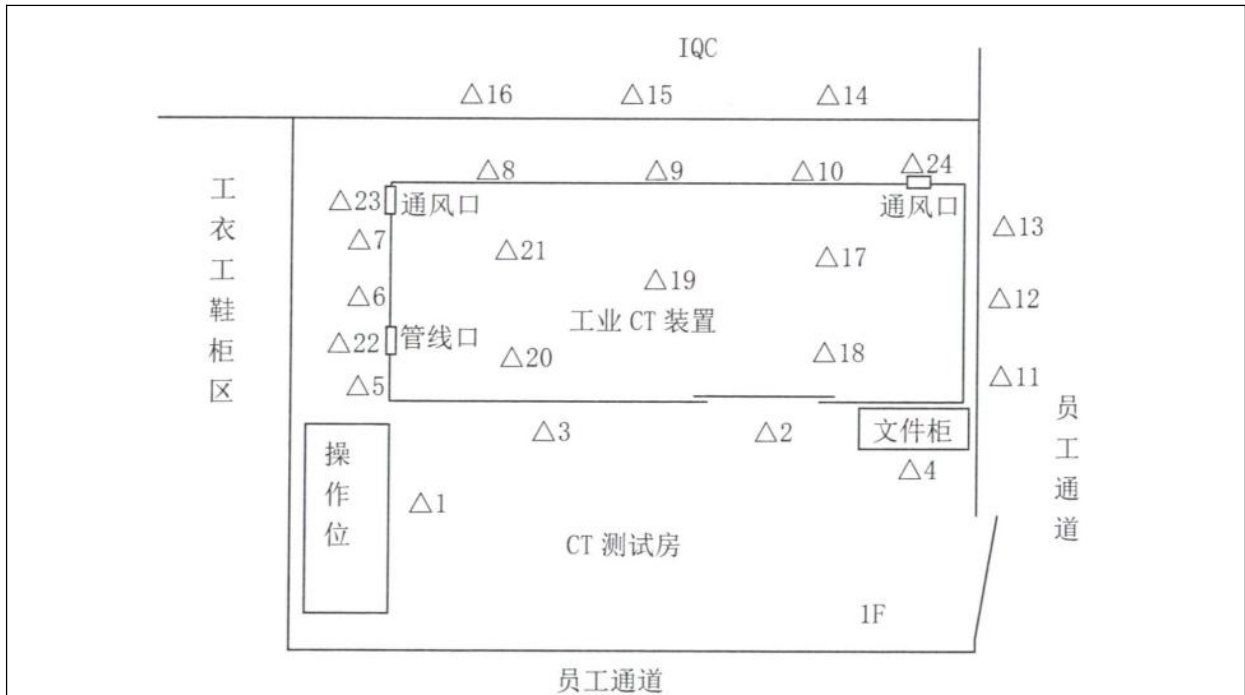


图 11-2 类比监测布点示意图

表 11-9 类比监测结果（正常工作状态） 本底值：0.096 $\mu$ Sv/h

序号	测量位置描述	检测结果
		周围剂量当量率( $\mu$ Sv/h)
1	工作人员操作位	0.103
2-1	大门左侧表面 30cm	0.102
2-2	大门中间表面 30cm	0.097
2-3	大门右侧表面 30cm	0.101
2-4	大门左侧门缝 30cm	0.105
2-5	大门右侧门缝 30cm	0.106
2-6	大门上面门缝 30cm	0.104
2-7	大门下面门缝 30cm	0.109
3	机房表面 30cm	0.105
4	文件柜表面 30cm	0.102
5	机房表面 30cm	0.096
6	机房表面 30cm	0.101
7	机房表面 30cm	0.100
8	机房表面 30cm	0.104
9	机房表面 30cm	0.108
10	机房表面 30cm	0.103
11	墙表面 30cm	0.097
12	墙表面 30cm	0.103
13	墙表面 30cm	0.108

续表 11 环境影响分析

14	墙表面 30cm	0.104
15	墙表面 30cm	0.099
16	墙表面 30cm	0.097
17	楼上地面 30cm	0.106
18	楼上地面 30cm	0.098
19	楼上地面 30cm	0.099
20	楼上地面 30cm	0.099
21	楼上地面 30cm	0.098
22	管线口表面 30cm	0.099
23	通风孔表面 30cm	0.099
24	通风口表面 30cm	0.100
注：修正值=计算值×校准因子，以上监测数据均未扣除本底值。		

表 11-10 类比监测结果（最大工作条件） 本底值：0.096 $\mu$ Sv/h

序号	测量位置描述	检测结果
		周围剂量当量率( $\mu$ Sv/h)
1	工作人员操作位	0.098
2-1	大门左侧表面 30cm	0.098
2-2	大门中间表面 30cm	0.099
2-3	大门右侧表面 30cm	0.100
2-4	大门左侧门缝 30cm	0.103
2-5	大门右侧门缝 30cm	0.104
2-6	大门上面门缝 30cm	0.101
2-7	大门下面门缝 30cm	0.106
3	机房表面 30cm	0.107
4	文件柜表面 30cm	0.099
5	机房表面 30cm	0.100
6	机房表面 30cm	0.108
7	机房表面 30cm	0.108
8	机房表面 30cm	0.105
9	机房表面 30cm	0.104
10	机房表面 30cm	0.108
11	墙表面 30cm	0.107
12	墙表面 30cm	0.108
13	墙表面 30cm	0.108
14	墙表面 30cm	0.108
15	墙表面 30cm	0.103
16	墙表面 30cm	0.098
17	楼上地面 30cm	0.105
18	楼上地面 30cm	0.101

续表 11 环境影响分析

19	楼上地面 30cm	0.101
20	楼上地面 30cm	0.103
21	楼上地面 30cm	0.097
22	管线口表面 30cm	0.097
23	通风孔表面 30cm	0.098
24	通风口表面 30cm	0.098
注：修正值=计算值×校准因子，以上监测数据均未扣除本底值。		

根据监测结果，在正常工作状态下，屏蔽体外周围剂量当量率监测值在 0.096-0.109 $\mu$ Sv/h 之间，在最大工作条件下，屏蔽体外周围剂量当量率监测值在 0.097-0.108 $\mu$ Sv/h 之间，均低于《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的屏蔽防护的要求（不大于 2.5 $\mu$ Sv/h）。

因此，根据类比可行性分析可以预测，本项目屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率也能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）。

#### 11.4 对环境保护目标的影响分析

本项目工业 CT 装置自带屏蔽体各屏蔽体外 0.3m 处的最大瞬时剂量率为  $1.42 \times 10^{-2} \mu$ Sv/h（东南侧屏蔽体），低于本项目东南侧辐射环境剂量控制值 2.5 $\mu$ Sv/h，满足国家相关标准要求。X 射线随距离的增加而快速减弱，若较近距离的环境保护目标能满足要求，即相对距离较远的环境保护目标也能满足要求，因此，本评价选取屏蔽体每侧部分距离较近的环境保护目标（该小节仅对非辐射工作人员受照剂量进行预测，辐射工作人员受照剂量预测见 11.2.3）进行预测，工业 CT 装置自带屏蔽体周围环境保护目标预测结果见表 11-11。

表 11-11 环境保护目标处周围剂量当量率预测结果表

方位	区域	距屏蔽体最近距离 /m	高差 /m	周围剂量当量率 ( $\mu$ Sv/h)	周受照时间(h)	年受照时间(h)	居留因子	周受照剂量 ( $\mu$ Sv/周)	年受照剂量(mSv/a)
东北侧	正极材料仓	3.38	/	$1.21 \times 10^{-6}$	11.5	507	1	$1.39 \times 10^{-5}$	$6.13 \times 10^{-7}$
	负极材料仓	14.2	/	$8.07 \times 10^{-8}$	11.5	507	1	$9.28 \times 10^{-7}$	$4.09 \times 10^{-8}$
	箔材仓	24.4	/	$2.79 \times 10^{-8}$	11.5	507	1	$3.21 \times 10^{-7}$	$1.41 \times 10^{-8}$
	卫生间、楼梯间、过道、前室、	27	/	$2.29 \times 10^{-8}$	11.5	507	1/8	$3.29 \times 10^{-8}$	$1.45 \times 10^{-9}$

续表 11 环境影响分析

	电房								
	厂区道路	35.9	/	$1.30 \times 10^{-8}$	11.5	507	1/16	$9.34 \times 10^{-9}$	$4.12 \times 10^{-10}$
	楼梯间	28.9	/	$1.93 \times 10^{-8}$	11.5	507	1/8	$2.77 \times 10^{-8}$	$1.22 \times 10^{-9}$
东南侧	IQC	0.85	/	$6.50 \times 10^{-3}$	11.5	507	1	$7.48 \times 10^{-2}$	$3.30 \times 10^{-3}$
	化学测试室	10.8	/	$1.38 \times 10^{-4}$	11.5	507	1	$1.59 \times 10^{-3}$	$7.00 \times 10^{-5}$
	厂区道路及停车位	18.7	/	$4.92 \times 10^{-5}$	11.5	507	1/16	$3.54 \times 10^{-5}$	$1.56 \times 10^{-6}$
南侧	楼梯间	28	/	$2.03 \times 10^{-8}$	11.5	507	1/8	$2.92 \times 10^{-8}$	$1.29 \times 10^{-9}$
	不良品仓	29.8	/	$1.80 \times 10^{-8}$	11.5	507	1	$2.07 \times 10^{-7}$	$9.13 \times 10^{-9}$
西南侧	IQC 室	0.65	/	$9.64 \times 10^{-6}$	11.5	507	1	$1.11 \times 10^{-4}$	$4.89 \times 10^{-6}$
	收货仓	7.4	/	$2.63 \times 10^{-7}$	11.5	507	1	$3.02 \times 10^{-6}$	$1.33 \times 10^{-7}$
	电解液仓	23.2	/	$3.01 \times 10^{-8}$	11.5	507	1	$3.46 \times 10^{-7}$	$1.53 \times 10^{-8}$
	卫生间、楼梯间、前室、茶水间、过道	23	/	$3.06 \times 10^{-8}$	11.5	507	1/8	$4.40 \times 10^{-8}$	$1.94 \times 10^{-9}$
	厂区道路	32.3	/	$1.58 \times 10^{-8}$	11.5	507	1/16	$1.14 \times 10^{-8}$	$5.01 \times 10^{-10}$
西北侧	过道	2.8	/	$6.40 \times 10^{-5}$	11.5	507	1/4	$1.84 \times 10^{-4}$	$8.11 \times 10^{-6}$
	电梯	5.4	/	$2.53 \times 10^{-5}$	11.5	507	1/4	$7.27 \times 10^{-5}$	$3.21 \times 10^{-6}$
	厂区道路	8.5	/	$1.21 \times 10^{-5}$	11.5	507	1/16	$8.70 \times 10^{-6}$	$3.83 \times 10^{-7}$
	连廊（接5#标准厂房）	14	/	$5.09 \times 10^{-6}$	11.5	507	1/4	$1.46 \times 10^{-5}$	$6.45 \times 10^{-7}$
	连廊（接4#标准厂房）	17	/	$3.58 \times 10^{-6}$	11.5	507	1/4	$1.03 \times 10^{-5}$	$4.54 \times 10^{-7}$
	停车位（5#标准厂房前）	25	/	$1.75 \times 10^{-6}$	11.5	507	1/16	$1.26 \times 10^{-6}$	$5.55 \times 10^{-8}$
	停车位（4#标准厂房前）	28	/	$1.41 \times 10^{-6}$	11.5	507	1/16	$1.01 \times 10^{-6}$	$4.47 \times 10^{-8}$
	5#标准厂房	32	/	$1.10 \times 10^{-6}$	11.5	507	1	$1.27 \times 10^{-5}$	$5.58 \times 10^{-7}$
	4#标准厂房	35	/	$9.25 \times 10^{-7}$	11.5	507	1	$1.06 \times 10^{-5}$	$4.69 \times 10^{-7}$
二楼至四楼	钢扣装配物料仓及其他仓库	/	6.903	$4.63 \times 10^{-7}$	11.5	507	1	$5.32 \times 10^{-6}$	$2.35 \times 10^{-7}$

**续表 11 环境影响分析**

二楼至四楼	过道和电梯间等	/	11.461	$9.44 \times 10^{-6}$	11.5	507	1/4	$2.71 \times 10^{-5}$	$1.20 \times 10^{-6}$
-------	---------	---	--------	-----------------------	------	-----	-----	-----------------------	-----------------------

根据上表，公众成员最大受照年有效剂量为  $3.3 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足本项目公众成员剂量约束值不超过  $0.1 \text{mSv/a}$  的要求，公众成员最大受照周有效剂量为  $7.48 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/周}$ ，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，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、顶棚等各种屏蔽体的阻挡。因此，项目所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响较小，环境的影响可以接受。

### 11.5 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体内的空气电离产生臭氧和氮氧化物，臭氧在常温下很快转化成氧气，本项目工业 CT 装置自带的屏蔽体左侧设置有排风孔，箱体排风孔处设置专用管道，并与 CT 测试房排风口连接，废气通过管道引至吊顶排出。排风扇在工作期间保持开启，经上文计算，本项目屏蔽体换气次数约 68 次/h。由工业 CT 装置内部空气电离产生的臭氧和氮氧化物将被及时排至外环境，并得到迅速分解，不会在室内环境积累，有利于减少无损检测对辐射工作人员以及公众成员的影响。

#### (2) 废水

本项目依托现有辐射工作人员，无废水新增，现有生活污水通过标准厂房生化池处理后排入市政污水管网。

#### (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。

#### (4) 固体废物

本项目依托现有辐射工作人员，生活垃圾不新增，现有生活垃圾交由环卫部门统一处理；报废 CT 去功能化后按照一般固体废物处置；废阴极射线管作为危险废物，交有资质单位处置。

综上，在采取相应措施后，本项目产生的“三废”对环境的影响在可承受范围内。

### 11.5 事故影响分析

#### 11.5.1 辐射事故类型

## 续表 11 环境影响分析

本项目可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

情景一：安全联锁发生故障，导致在防护门未关到位的情况下射线发生器出束，X射线泄漏使工作人员受到不必要的照射；

情景二：防护门安全联锁发生故障，工作人员在取放工件的过程中，意外开启 X 射线发生器，导致工作人员被意外照射；

情景三：设备检修时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启 X 射线发生器，使在场所有人员受到意外照射。

本项目最严重的辐射事故是情景三，即将造成人员受照剂量超过辐射工作人员的年剂量限值。

### 11.5.2 事故后果分析

根据上述描述，本项目最严重的辐射事故是情景三，则本评价以情景三为例，对该事故将产生的后果进行分析。根据建设单位提供，本项目单次设备检修时间约 30min，即检修过程中意外 X 射线发生器被意外开启的最大时间约 30min，当人员与射线装置处于不同距离时，可根据以下公式进行计算：

$$X = \frac{I \times X_0}{R^2} \cdot t$$

式中：

X——人员所受有效剂量，mSv/min；

X<sub>0</sub>——X 射线装置 1m 米处的输出量，mSv·m<sup>2</sup>/(mA·min)；

R——计算点距 X 射线装置辐射源的距离，m；

I——X 射线装置最大管电流，mA；

t——接触时间，min。

考虑本项目工业 CT 装置产生 X 射线能量与管电压的关系，从保守角度，本次主要估算工业 CT 装置在无屏蔽设施情况下，管电压为 160kV，管电流为 0.5mA 不同距离、不同接触时间下的有效剂量。其中，160kV 射线在 3mm 铝滤过条件下距辐射源点 1m 处输出量为 15.4mGy·m<sup>2</sup>/(mA·min)，本项目射线源到防护门距离为 0.33m，代入相关公式进行估算，估算结果见表 11-12。

表 11-12 工业 CT 装置不同距离、不同接触时间的有效剂量 (mGy)

距离 \ 时间	0.33m	1m	2m	5m	10m
30min	2121.212	231.000	57.750	9.240	2.310

由表 11-12 所计算的剂量估算结果可以看出，当本项目发生上述情景三的事故时，

## 续表 11 环境影响分析

距离 X 射线机出束口较近人员将会接受到较大剂量辐射照射，随着距离的增加，受到的剂量变小。

### 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，由此所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，分为随机性效应和确定性效应。

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。

确定性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。确定性效应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性皮肤损伤、生育障碍。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。

不同照射剂量的 X、 $\gamma$ 射线对人体损伤估计见表 11-13 所示。

表 11-13 不同照射剂量对人体损伤的估计

受照剂量参考值 (Gy)	放射病类型	
1.0~2.0	骨髓	轻度：乏力，不适，食欲减退
2.0~4.0	急性放射病	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	放射病	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



**续表 11 环境影响分析**

	放射 病	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，病程经过仅为数小时。
--	---------	--

备注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）。

全年多次误照射的情况基本不存在。本项目工业 CT 装置事故状态造成人员受到误照射时，单次误照射一般不会导致确定性效应和严重辐射损伤，但可能导致随机性效应发生概率增加。运行期间可能发生的最严重事故为上述情景三的事故，人员可能受到较大剂量的误照射，达到发生确定性效应剂量阈值，甚至导致较为严重的辐射损伤，造成较大及以上级别辐射事故的发生。

### 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，见表 11-14。

**表 11-14 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

本项目运行过程中最严重的辐射事故是情景三，即人员受到意外照射。根据上表并结合上述分析可知，在事故工况下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；极端事故情况下，可能受到较大剂量的误照射，达到发生确定性效应剂量阈值，甚至导致较为严重的辐射损伤，造成较大及以上级别辐射事故的发生。

### 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连锁是否正常，如防护门和检修门是否正常关闭、工作指示灯、急停装置等是否正常。如有异常，辐射工作人员仍在使用射线装置时，使人员受到误照射。

2、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，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。如未严格执行相关规定，辐射工作人员在不知情的情况下，造成设备误出束，使人员受到超剂量照射。

3、本项目发生事故的风险主要在于建设单位的辐射安全管理，严格管理，提高辐

## 续表 11 环境影响分析

射工作人员的安全意识，切实做到严格执行各项管理制度，遵守射线装置的安全操作规程。建设单位应制定完善的管理制度、操作规程，并严格遵守，由此可最大程度避免发生辐射事故。若辐射工作人员在未进行安全操作规程培训、未制定完善的管理制度、无防护常识的情况下使用射线装置，对周围人员及环境产生辐射危害。

综上所述，建设单位如能严格采取以上事故预防措施，加强管理，让工作人员提高安全意识，可最大程度降低辐射事故的影响，避免辐射事故的发生。

### 11.5.6 事故应急措施

当发生辐射事故时，应立即采取应急措施，保护现场和救治措施。在场人员应立即停止使用射线装置，切断总电源，迅速将误照人员撤离现场，并立即向公司报告辐射事故或故障等情况，保护好现场，为事故调查和后期工作保留证据。一旦发生辐射事故应立即发出警报，使所有在场人员迅速撤离。发生辐射事故的单位应当立即将可能受到辐射伤害的人员送到卫生主管部门指定的医院或有条件救治辐射事故伤害的医院，进行检查和治疗。或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

事故发生后，立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告，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行政主管部门报告。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。

综上所述，当发生辐射事故时，建设单位应立即启动本单位的辐射事故应急处理程序，采取必要的应急措施，可最大程度地降低辐射事故的影响。

### 11.6 实践正当性分析

工业 CT 在工业上的应用在我国是一门成熟的核技术应用实践，对保证产品质量方面有十分重要的作用。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中 4.3 “辐射防护要求”，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。该项目的实施是为了对产品进行质量控制，实施后将会有效的提升公司的产品质量，其运行所致辐射工作人员和周围公众成员的剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对于“剂量限值”的要求。因此，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

### 11.7 规划符合性

本项目位于维都利现有 2#仓库 1 楼，位于万州经济技术开发区，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

## 续表 11 环境影响分析

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。本项目符合园区产业功能定位要求。

### 11.8 产业政策符合性分析

本项目拟搬迁 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

### 12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

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。

本项目已成立辐射工作安全管理委员会，明确了各自的职责，委员会成员组成及相应职责见附件 6，根据调查，建设单位现有的辐射安全与环境保护管理机构满足相关要求，委员会各成员的学历能满足上述要求。因此，本项目辐射工作安全管理委员会依托现有可行。

### 12.1.2 辐射人员配置

#### (1) 个人剂量检测

建设单位依托现有 2 名辐射工作人员（其中 1 人暂未上岗）从事本项目无损检测工作，并各配置了 1 枚个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪。使用个人剂量报警仪可及时知道自身所处环境的辐射水平，避免在不知情的情况下长时间在高辐射剂量率水平的工作场所滞留。个人剂量计每季度送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案保留时限为保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。

#### (2) 辐射工作人员培训

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。对于从事使用II类射线装置活动的辐射工作人员，应当接受初级辐射安全培训。

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。

依托的辐射工作人员已取得核技术利用辐射安全与防护考核合格证书。

#### (3) 辐射工作人员职业健康体检

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。

建设单位拟定期组织从事本项目无损检测工作的 2 名工作人员到有资质的医院进行体检，并建立个人健康档案，并长期保存。

## 12.2 辐射安全管理规章制度

### 12.2.1 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》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）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。

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》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，对现有辐射装置制定了使用、操作及管理规章制度，现有辐射制度主要如下：

《辐射安全管理委员会岗位职责》：已明确管理人员、辐射工作人员的岗位责任。

《辐射防护安全管理制度》：已将辐射装置运行和维修的辐射安全纳入重点管理。

《辐射装置检修维护制度》：已明确辐射设备的检修和维护要实行严格的岗位责任制，建立健全设备的操作、使用和维护保养的管理制度。

《辐射装置台账管理制度》：已明确需建立辐射装置台账，使用辐射装置时需及时进行登记、检查等。

《辐射工作人员教育培训制度》：已明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并已强调对培训档案的管理做到有据可查。

《辐射安全和防护监测制度》：已明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，已明确辐射工作人员上岗前需完成职业健康检查，已建立辐射工作人员个人剂量档案，且监测周期符合相关要求。

《档案管理制度》：已明确需要存档管理的职业照射记录内容、档案查阅及存档要求等内容。

《辐射工作人员岗位职责》：已明确辐射工作人员所在岗位的资质条件要求以及操作过程中需佩戴的安全防护用品。

《射线装置操作规程》：已明确工业 CT 装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施等。

《个人剂量管理规定》：已明确建立个人剂量档案，辐射安全与防护工作领导小组负责管理和监督等内容。

《辐射事故应急预案》：已成立单位负责人为领导的放射性事故应急领导小组，已针对可能产生的辐射污染情况制定事故应急制度，并明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序。

综上所述，建设单位现有制度满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关要求，本项目依托可行。

### **12.2.2 自行检查和年度评估制度**

定期对本项目工业 CT 装置的安全装置和防护措施、设施的安全防护效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患，必须立即进行整改，避免事故的发生。如每天进行门机联锁安全装置、工作指示灯和电离辐射标志检查，每月核实规章制度执行情况，每季度进行个人剂量档案归档及检查，每年进行身体健康档案归档及检查等。

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。年度评估报告应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；其他有关法律法规规定的落实情况等方面的内容。

### **12.2.3 辐射安全档案管理制度**

公司须建立个人剂量档案，辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员如调离辐射工作岗位，公司应当将个人剂量档案保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或停止辐射工作三十年；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对放射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康监护档案且长期保存。

辐射安全防护领导机构应加强监督管理，切实保证公司各项规章制度的实施。公司应在本项目辐射工作现场张贴《射线装置安全操作规程》《辐射工作人员岗位职责》与《辐射事故应急预案》，并做好使用登记和台账记录工作。在日后的工作实践中，公司应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，并严格按照制度进行。

### **12.2.4 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。核安全文化表现在核技术利用单位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放射防护与安全知识。企业应建立核安全意识责任化体系，明确核技术利用单位各层次人员的职责、不断识别企业内部核安全文化的弱化处并加以纠正。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建设单位应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建设单位应当建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

### 12.2.5 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》，医院从事本项目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或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了辐射工作安全管理委员会，并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，管理人员学历满足本科以上的要求。
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。	已建立人员培训计划，要求从事本项目的辐射工作人员需按照规定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。	设备及控制台设有急停按钮，同时本项目设置有门灯联锁装置，工作状态指示灯亮，门口显眼位置设置电离辐射警示标识和警示语。
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	已经建立了岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。建成后增加制定操作规程。
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。	已配备个人剂量计、剂量报警仪和一定数量的辐射防护用品。
有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急预案，需对其进行更新和完善。

根据上表可知，本项目尚未建设，但建设单位已有其他辐射装置运行，已建立相应的管理体系。本项目的管理工作依托现有的管理体系，项目建成后更新并完善辐射事故应急预案，并按相关要求增加制定操作规程，从事本项目辐射工作的工作人员应按照规定

定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后方可上岗。综上所述，建设单位在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，方可投入正式运行。

### **12.3 辐射监测**

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，现有辐射监测方案已建立个人剂量档案，建设单位每年委托有资质单位对工作场所周围剂量当量率进行监测，出具检测报告，并将监测结果记入档案，满足相关要求。

本项目建成后，辐射监测内容主要包括：

#### **(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《中华人民共和国职业病防治法》的规定：用人单位须按照组织接触职业病危害因素的劳动者进行上岗前、在岗期间、离岗时职业健康检查。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定：

8.2.1 个人剂量档案除了包括放射工作人员平时正常工作期间的个人剂量记录外，还包括其在异常状态（事故或应急）下受到的过量照射记录；

8.2.2 职业照射个人剂量档案终身保存。

建设单位将按照有关要求，辐射工作人员工作时应佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月（定期将个人剂量片送往有资质的检测单位进行检测）。公司应建立剂量管理限值和剂量评价制度，对受到超剂量限值的应进行评价，跟踪分析高剂量的原因，优化实践行为，并指定专职辐射管理人员负责对个人剂量检测结果（检测报告）统一管理，建立档案，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。

#### **(2) 工作场所辐射监测计划**

本项目正式投入使用后，公司须定期（每年 1 次）委托有资质的单位对 CT 测试房



周围环境进行监测，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向当地生态环境部门上报备案。

①年度监测

委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量当量率进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

②日常自主监测和验收监测

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 8.3.4 检测周期“探伤室建成后应进行验收检测；投入使用后每年至少进行1次常规检测。”，企业根据自身的管理制度，拟增加监测频次，每季度监测1次。

③监测内容和要求

A.监测内容：周围剂量当量率。

B.监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

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	年度监测	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。	《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）	1 次/年
		自主监测			1 次/季
		验收监测			竣工验收
	个人剂量检测	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 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	防护门-机联锁装置，以及出束信号指示灯	日检
		a)外观是否存在可见的损坏；b)电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；c)安全联锁是否正常工作；d)报警设备和警示灯是否正常运行；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)所有的联锁和紧急停机开关的检查；d)制造商推荐的其他常规检测项目。	定期（建议每季度一检）

维护	设备维护包括工业 CT 的彻底检查和所有零部件的详细检测。当设备有故障或损坏，需更换零部件时，应保证所更换的零部件都来自设备制造商。应做好设备维护记录。	每年
----	--	----

## 12.4 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》等相关要求，制定了《辐射事故应急预案》，已确定辐射事故应急机构的组成和职责，各辐射工作人员已配备有个人剂量报警仪等辐射事故应急设施。现有辐射工作场所已配备工具箱、个人剂量仪、个人剂量报警仪、个人防护用品等。

### (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。建设单位需根据《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，每年至少组织员工开展一次辐射突发事故应急演练。

## 12.5 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、张贴正确	1
辐射防护与安全措施	设备灯机联锁、门机联锁、紧急停机按钮、工作状态指示灯、警示灯等	1
防护监测设备	个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式 X- $\gamma$ 辐射剂量率仪、固定式场所辐射探测报警装置	1
环保手续	环评、验收、监测、办证等	7
合计		10

## 12.6 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）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 160kV，最大管电流为 0.5mA。		不发生重大变更
2	环保资料	项目建设的环评评价文件、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	CT 测试房防护措施	①在工业 CT 装置外安装 1 个监控装置，并在操作台设置专用的监视器； ②门机安全连锁正常； ③屏蔽体上指示灯正常； ④屏蔽体正面显眼位置以及屏蔽体内部各设置 1 个急停按钮； ⑤屏蔽体、操作台和 CT 测试房外张贴电离辐射警告标志； ⑥通风：废气排风口朝向周围无人员密集场所。屏蔽体通风换气次数不少于 3 次。		符合相关要求
5	防护监测设备	每名辐射工作人员均配备个人剂量计和个人剂量报警仪。建设单位配备便携式 X-γ 辐射剂量率仪和固定式场所辐射探测报警装置。		个人剂量计按规定定期进行计量检定；定期对屏蔽体外（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。		/
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
		屏蔽体周围剂量当量率控制	屏蔽体各侧屏蔽体外 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将现有联合路 20 号附 3 号楼一楼 CT 测试房的 1 台超高分辨综合扫描 CT（“工业 CT 装置”）搬迁至联合路 M6-2 号楼（“2#仓库”）一楼预留 CT 测试房，用于残次品或存在缺陷的手机锂电池和钢纽扣电池的无损检测，年检测锂电池和钢纽扣电池的残次品 1000 件（其中：年检测锂电池 700 件、钢纽扣电池 300 件）。

总投资 20 万元，其中环保投资 10 万元，占总投资的 50%。

#### 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

本项目的建设是为了保证产品质量和生产的安全需要，因此，该项目的实践是必要的。本项目运行过程中，对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

#### 13.1.4 辐射环境质量现状

根据监测统计结果可知，本项目场址及周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率的监测值在 51nGy/h~66nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），根据《2023 年重庆市生态环境状况公报》环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率平均值 87.0nGy/h（未扣除宇宙射线的响应值），本项目所在场址环境 $\gamma$ 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

本项目工业 CT 装置拟安装在 2#仓库一楼预留 CT 测试房内，2#仓库主要作为库房使用，无地下室。项目 50m 范围内主要为 2#仓库、4#标准厂房部分房间和 5#标准厂房部分房间和 4#、5#标准厂房之间连廊以及厂区内部道路、停车位等，且本项目所在楼周边无学校等敏感点。根据辐射环境监测结果，本项目所在区域环境 $\gamma$ 辐射剂量率在重庆市整体辐射水平的正常涨落范围内。因此，本项目选址是合理可行的。

本项目在 CT 测试房内布置工业 CT 装置和操作台，项目工业 CT 装置自带屏蔽体，

操作台位于工业 CT 装置的东北侧；观察窗和防护门朝向东北侧；主射束朝向西北侧。本项目操作台与屏蔽体分开设置且已避开有用线束照射的方向，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的要求。且本项目工业 CT 装置运行时，辐射工作人员在操作台处对检测装置进行操作，禁止非辐射工作人员进入 CT 测试房内。因此，本项目布局设计合理。

### 13.1.6 辐射防护与安全措施

建设单位拟对 CT 测试房进行分区管理，划分为控制区和监督区。控制区范围为屏蔽体内部，监督区为屏蔽体外 CT 测试房。

设备自带有多种固有安全性，能很好的保证工业 CT 装置自身的稳定性和安全性。

屏蔽体的屏蔽体采用钢+铅结构。根据校核，在现有屏蔽体设计厚度下，工业 CT 装置运行时，屏蔽体各屏蔽体设计厚度均能满足《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，工业 CT 装置屏蔽体各侧屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。屏蔽体主体结构焊接密闭，开设铅防护门，设置排风孔防护罩、走线孔防护罩，其屏蔽等级不低于同侧屏蔽体屏蔽等级。

本项目工业 CT 装置设有多重开关、紧急停机、门机联锁、信号灯警示等防护设施，项目建成后在工业 CT 装置、操作台以及 CT 测试房均张贴电离辐射警告标志，在工业 CT 装置外安装 1 个监控装置，并在操作台设置专用的监视器，并配备符合开展项目要求的个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式 X- $\gamma$  剂量率仪及固定式场所辐射探测报警装置。

综上所述，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的相关要求。

### 13.1.7 环境影响分析结论

#### （1）辐射剂量率影响预测结论

工业 CT 装置在最大工况运行时，各屏蔽体外关注点辐射剂量率满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的要求，屏蔽体各侧屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

#### （2）个人剂量影响预测结论

经上文核算，本项目工业 CT 装置运行后所致辐射工作人员受照年有效剂量满足本项目职业人员剂量约束值不超过  $5\text{mSv/a}$  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满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中放射工作场所不大于 100 $\mu$ Sv/周的要求。

本项目所致公众成员最大受照年有效剂量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满足本项目公众成员剂量约束值不超过 5 $\mu$ Sv/周的要求。CT 测试房外 50m 范围内环境保护目标公众受照剂量也能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求，同时满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）对公众场所不大于 5 $\mu$ Sv/周的要求。

### （3）非辐射环境影响分析结论

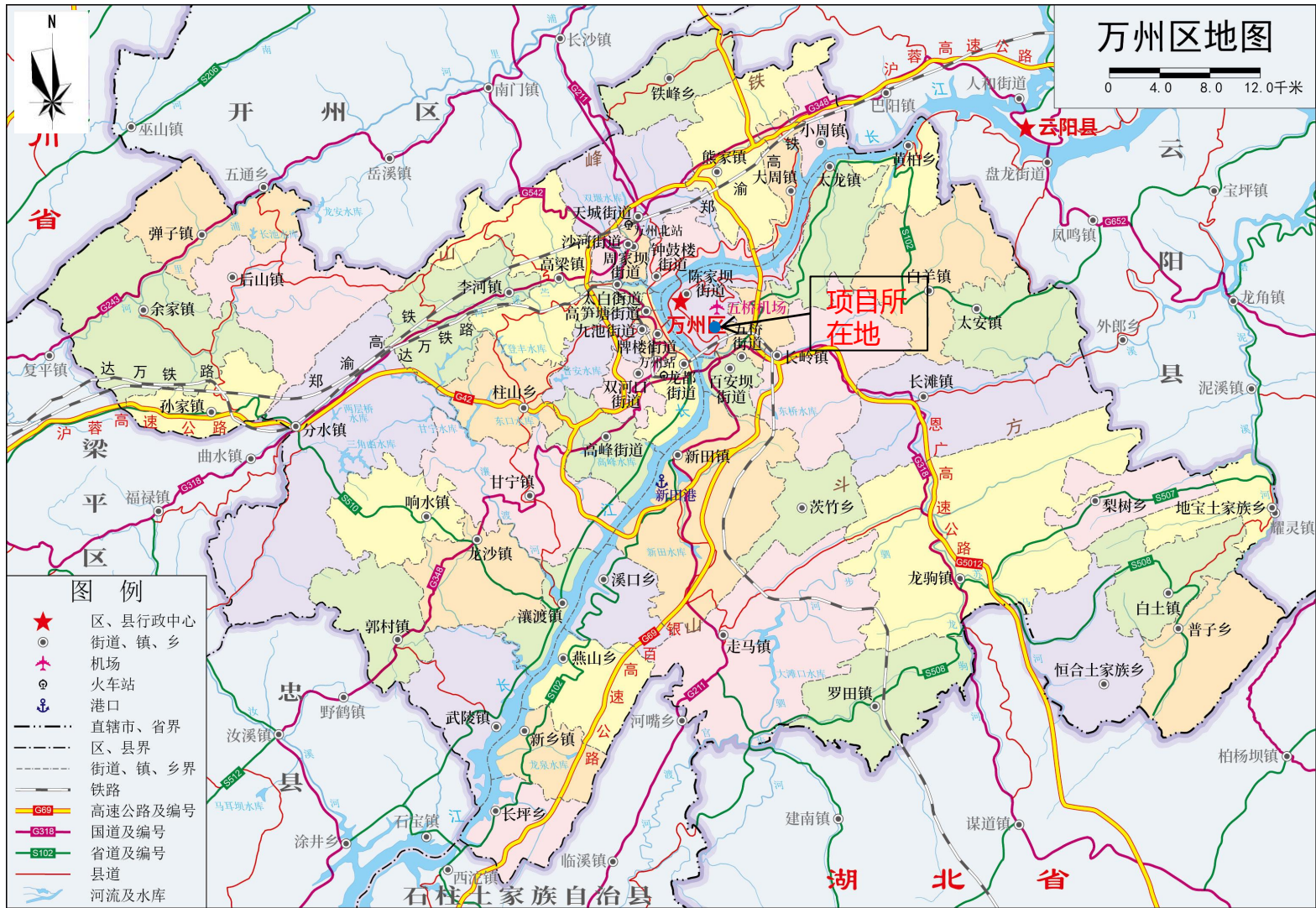
臭氧和氮氧化物通过专用管道引至 CT 测试房吊顶排出，臭氧在空气中短时间内会自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。报废 CT 去功能化后按照一般固体废物处置；废阴极射线管作为危险废物交由有资质单位处置。

#### 13.1.8 辐射环境管理

本项目的管理工作依托现有的管理体系，从事本项目辐射工作的工作人员已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。综上所述，建设单位具备从事本项目辐射活动的的能力，项目建成后可投入正式运行。

#### 13.1.9 综合结论

综上所述，超高分辨综合扫描 CT 迁建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。



附图1 项目所在地地理位置示意图