

核技术利用建设项目

厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目

(一期) -MIC 线在线工业 CT 部分

环境影响报告表

建设单位：重庆海辰储能科技有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2026 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目

(一期)-MIC 线在线工业 CT 部分

环境影响报告表

建设单位名称：重庆海辰储能科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：重庆市铜梁区东城街道 57 号重庆海辰储能科技有限公司

邮政编码：402560

电子邮箱：tangqx@hithium.com

联系人：唐清祥

联系电话：173

32

打印编号: 1767165699000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	j0072		
建设项目名称	厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）-M IC 线在线工业CT部分		
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）	重庆海辰储能科技有限公司		
统一社会信用代码	91500151M-AMCD0592N		
法定代表人（签章）	王鹏程		
主要负责人（签字）	曾朝新		
直接负责的主管人员（签字）	唐清祥		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	重庆宏伟环保工程有限公司		
统一社会信用代码	915001126912004062		
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
肖英	07355543507550272	BH 001035	肖英
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
周欢	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论和建议	BH 042644	周欢

表 1 项目基本情况

建设项目名称		厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期） -MIC 线在线工业 CT 部分			
建设单位		重庆海辰储能科技有限公司			
法人代表	王鹏程	联系人名称	唐清祥	联系电话	173*****932
注册地址		重庆市铜梁区东城街道龙安大道 29 号科创中心			
项目建设地点		重庆市铜梁区东城街道 57 号重庆海辰储能科技有限公司凹版车间 1F 中部切叠热压区与焊接区之间预留位置			
立项审批部门		重庆市铜梁区发展和改革委员会	批准文号	2208-500151-04-01-275517	
建设项目总投资 (万元)		200	项目环保投资 (万元)	13	投资比例（环保 投资/总投资） 6.5%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²) 约 31m 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 建设单位简介 <p>锂离子电池广泛应用于水力、火力、风力和太阳能电站等储能电源系统，邮电通讯的不间断电源，以及电动工具、电动自行车、电动摩托车、电动汽车、军事装备、航空航天、通讯等多个领域。随着能源的紧缺和世界的环保方面的压力。锂电被广泛应用于电动车行业，特别是磷酸铁锰锂材料电池、三元材料电池的出现，更推动了锂离子电池</p>					

续表 1 项目基本情况

产业的发展和应用。厦门海辰储能科技股份有限公司（简称“海辰储能”）是一家专注于储能电池及系统研发、生产和销售的高新技术企业。海辰储能是行业领先的储能电池系统生产商，主营业务为磷酸铁锂电芯、模组及储能系统的研发、生产和销售，产品广泛应用于光电及风电电网储能、工商企业储能、基站配储、光储充电站等场景，并积极布局家用储能市场。

根据海辰储能产业布局发展规划，2022 年，海辰储能成立了重庆海辰储能科技有限公司（简称“重庆海辰”），海辰储能为公司总部，重庆海辰为西南地区分部。2022 年 5 月，“厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目”签约落户重庆市铜梁区，目前是我国西南地区单体产能最大的储能电池工厂，也是重庆首个储能整装项目，对完善重庆市工业体系，推进重庆市新能源产业高质量发展，助力实现“双碳”目标，推动产业转型升级具有重要意义。

重庆海辰储能科技有限公司成立于 2022 年 06 月 17 日，经营范围包括一般项目：电池制造，新兴能源技术研发，储能技术服务，新材料技术推广服务，新材料技术研发，新型膜材料制造，技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广，软件开发，5G 通信技术服务，电力设施器材制造，金属制品研发，通用零部件制造，金属链条及其他金属制品制造，货物进出口，技术进出口等。

重庆海辰拟投资 130 亿元在重庆市铜梁区东城街道 57 号建设“厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目”，主要生产锂离子电池及相关储能产品。根据建设单位发展规划，拟分两期实施，一期工程投资 70 亿元，主要生产锂离子电池产品。

1.2 项目由来

为了确保厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）中凹版车间 MIC 电芯生产线生产的电芯质量，重庆海辰在凹版车间 1 层中部测试房 1 内配置了 1 台离线工业 CT，用于 MIC 电芯生产线生产的电芯无损检测（抽检）。为了全面检测电芯极片的对齐度，重庆海辰拟建设厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）-MIC 线在线工业 CT 部分，拟在凹版车间 1 层中部切叠热压区与焊接区之间预留位置配置 1 台 LBXTR004 型工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置（以下简称“在线工业 CT”），

续表 1 项目基本情况

用于未入壳电芯极片对齐度无损检测。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行）的相关规定，工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置属于Ⅱ类射线装置。根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，该项目的建设应开展环境影响评价工作。本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）中的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”，使用Ⅱ类射线装置的项目应编制环境影响报告表。因此，本项目环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，重庆宏伟环保工程有限公司接受了委托，对本项目进行环境影响评价。评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和环境状况，并按照国家对核技术利用项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了该项目的环境影响报告表。

1.3 建设规模及工程内容

本项目拟在重庆市铜梁区东城街道 57 号重庆海辰储能科技有限公司凹版车间凹版车间 1 层中部切叠热压区与焊接区之间预留位置配置 1 台 LBXTR004 型在线工业 CT（Ⅱ类射线装置，最大管电压 180kV、最大管电流 0.5mA），用于未入壳电芯极片对齐度无损检测，项目占地面积约 31 m²。项目组成见表 1-1。

表 1-1 项目组成一览表

类别	项目名称	建设内容	备注
主体工程	设备	本项目拟购置 1 台在线工业 CT（Ⅱ类射线装置，最大管电压 180kV，最大管电流 0.5mA）。在线工业 CT 自带屏蔽铅房，采用流水线式自动化在线检测。	拟购置
公用工程	供配电	本项目用电来源于市政供电，厂区配电。	依托
	给水系统	工作人员生活用水依托厂区原有给水设施。	依托
	排水系统	工作人员生活污水依托厂区污水处理设施。	依托
	通风系统	本项目在线工业 CT 设置机械通风系统，在线工业 CT 铅防顶部设置排气扇进行通风换气，风量约 180m ³ /h，通风次数约 18 次/h。	新建

续表 1 项目基本情况

环保工程	生活污水	本项目无生产废水产生，不新增单位总劳动定员，不新增生活污水产生量。现有工作人员生活污水经厂区内部管道收集后接入厂区生活污水处理系统（设计处理规模为 800m ³ /d）处理达《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后接入市政污水管网，最终排入蒲吕污水处理厂达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 A 标后排入小安溪。	依托
	固废	本项目不新增单位总劳动定员，不新增生活垃圾产生量，现有工作人员生活垃圾依托厂区生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。	依托
		设备报废后按照相关要求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。	/
	废气	在线工业 CT 铅房顶部设置 1 个排风口，铅房内废气通过新建管道接入凹版车间现有废气管道预留口，最终引至凹版车间楼顶排放。	/
	辐射防护	在线工业 CT 自带屏蔽铅房，屏蔽体由一定厚度的钢板+铅+钢板组成，铅房左右两侧设置分别设置进出料隧道，隧道外侧设置封板防护，同时对穿越铅房的通风孔和线缆孔采取屏蔽补偿，确保铅房屏蔽能力能达到辐射防护的要求。	设备自带
其他	工作人员	本项目在线工业 CT 为流水线式自动化检测，工作期间仅在设备开关机时需要人员操作，其余时间人员仅负责定期巡查，本项目拟在单位内部调配培养 3 名人员从事本项目在线工业 CT 的操作。	新增

(2) 项目工作场所建设情况

本项目在线工业 CT 屏蔽防护为自屏蔽式整体铅房，铅房各屏蔽体屏蔽防护设计情况如下表 1-2 所示。

表 1-2 在线工业 CT 屏蔽防护材料及厚度表

名称	尺寸 (m)	屏蔽体	总屏蔽厚度 (铅房内→铅房外)
在线工业 CT 铅房	①铅房内部 (长×宽×高) : 1.97×2.20×2.28;	设备左侧 (西北)	1.5mm 钢+12mm 铅+2mm 钢
	②设备外部 (长×宽×高) : 10.18×3.05×2.80	设备右侧 (东南)	1.5mm 钢+12mm 铅+2mm 钢
	③对开检修门 (宽×高) : 0.75×2.04/扇, 搭接 0.08	设备前侧 (西南)	1.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢
	④铅房进料隧道 (长×宽×高) : 0.54×0.52×0.3	设备后侧 (东北)	1.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢
	隧道封板收口后进出口 (宽×高) : 0.39×0.21	设备顶部	1.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢
		设备底部	16.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢

续表 1 项目基本情况

⑤铅房出料隧道（长×宽×高）：0.52×0.52×0.3 隧道封板收口后进出口（宽×高）：0.39×0.21 ⑥进料隧道外防护板：左（宽×高）：0.95×0.7 前后（长×高）：1.15×0.8 ⑦出料隧道外防护板：右（宽×高）：1.15×0.7 后（长×高）：1.05×0.8 前（长×高）：（1.05+0.25）×0.8	检修门	2.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢
	进出料隧道及封板	1.5mm 钢板+5mm 铅+1.5mm 钢板
	进出料隧道外防护板	1.5mm 钢板+5mm 铅+1.5mm 钢板
	出风口补偿铅防护罩（铅房外）	2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢
	线缆孔补偿铅防护罩（铅房内外）	2mm 钢+5mm 铅+2mm 钢

备注：①在线工业 CT 箱体外部尺寸为整台设备最大尺寸，包括铅房外电气柜、设备下方支撑角（与地面的高度 0.12m）、上下料及电芯搬运模块、扫码模块、极耳翻折检测模块等。

②本项目屏蔽体方位以面对检修门描述，前侧为检修门，左侧为进料、右侧为出料。

③进出料隧道外前后侧、进料隧道外左侧和出料隧道外右侧均设置防护板，三面防护板合围形成的区域底部为传送带，顶部为敞开设，便于机械手抓取检测工件。

④铅密度 11.34g/cm³，钢密度 7.85g/cm³。

（3）设备概况

本项目设备清单见表 1-3。


表 1-3 项目设备一览表

序号	名称	数量	规格型号	用途	设备设施说明	备注
1	在线工业 CT	1 个	LBXTR004	无损检测	II 类射线装置，设备为固定式；最大管电压 180kV，最大管电流 0.5mA，最大功率 90W。	拟购
2	便携式辐射检测仪	1 台	HK-600	监测工作场所防护	定期监测，按要求进行校验	依托
3	固定式剂量报警仪	1 台	待定	监测工作场所实时剂量率	探头安装在在线工业 CT 铅房内，显示屏集成于前侧操作面板上。	设备自带
4	个人剂量报警仪	3 台	待定	剂量报警	操作出束的辐射工作人员随身携带	拟购

（4）检测工件情况

本项目在线工业 CT 机无损检测工件为凹版车间内 MIC 生产线生产的未入壳电芯，详见表 1-4。

续表 1 项目基本情况

表 1-4 检测工件的相关参数一览表			
工件类型	材质/组成	形状	尺寸/重量
未入壳电芯	铜箔、铝箔、隔膜、磷酸铁锂、石墨		长 450-750 mm 宽 140-210mm 厚 10-40mm 重 5-10 千克

(5) 计划工作负荷

本项目在线工业 CT 检测对象为 MIC 生产线生产的未入壳电芯，每个电芯包括两端铜极耳和铝极耳，电芯两侧极耳均需进行检测，在线工业 CT 每次检测扫描时可对首尾相连的两个电芯同时进行扫描，故折合单个电芯的扫描时间仍按 5s 计，每次扫描间隔时间约 2.5s。根据建设单位提供的资料，本项目在线工业 CT 工作负荷见表 1-5。

表 1-5 工作负荷一览表

工件类型	单次曝光最大时间/次 (s)	每天检测电芯数量 (个)	每年检测电芯数量 (个)	年曝光时长 (h)
未入壳电芯	5	8000	2880000	4000

(6) 工作制度和劳动定员

本项目拟在本单位总劳动定员范围内调配培养 3 名工作人员从事本项目在线工业 CT 的操作，主要负责设备的日常开关机及巡查工作，不从事其他辐射源的操作；本项目 3 名辐射工作人员两班倒，每班 12h，年工作 360 天。设备的维修由设备厂家负责。

1.4 外环境概况

重庆海辰公司厂区位于重庆市铜梁区东城街道 57 号，厂区西侧为市政道路，东侧为预留用地，南侧和北侧为其他公司厂房和绿化等，凹版车间四周相邻区域均为厂区内道路、绿化和厂区厂房等。

本项目位于重庆海辰公司厂区内凹版车间 1F，凹版车间为 3F 建筑，无地下室。外

续表 1 项目基本情况

环境关系情况见表 1-6，四周分布情况见附图 2，本项目环境保护目标主要为从事本项目无损检测工作的辐射工作人员以及凹版车间其他生产线、厂区内道路的公众成员，详见表 7-1。

表 1-6 公司凹版车间外环境关系一览表

方位	外环境情况	最近距离	备注
西北	绿化、道路	紧邻	厂区内道路及绿化
	电芯厂房 1	约 15m	厂区内厂房 1F
东北	厂区道路和绿化	紧邻	厂区内道路及绿化
	二期预留用地	约 15m	厂区预留用地
东南	绿化、道路	紧邻	厂区内道路及绿化
	原料仓	约 15m	厂区内厂房（4F）
	动力站房	约 15m	厂区内厂房（3F）
西南	绿化、道路	紧邻	厂区内道路及绿化
	NMP 罐区	约 15m	厂区内设施

1.5 选址可行性

本项目是利用在线工业 CT 的 X 射线对未入壳电芯进行极片对齐度的无损检测，确保其质量，不涉及生物、化学实验，不进行生产。

本项目位于重庆市铜梁区东城街道 57 号，属于重庆铜梁高新技术产业开发区中的蒲吕片区，根据《重庆铜梁高新区铜梁片区及全蒲片区规划环境影响跟踪评价报告书》及其审查意见（渝环函〔2019〕94 号）、《重庆市铜梁区规划局关于铜梁高新技术产业开发区范围及面积的说明》、《铜梁区工业发展规划（2017-2025）》等相关规划可知，蒲吕片区产业定位为发展电子信息、装备制造、新材料、适当发展大健康等产业，“厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）”为电芯生产，符合发展电子信息的产业定位，本项目为厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）的在线工业 CT 部分，主要用于凹版车间生产的电芯检测服务，与区域发展定位不冲突，符合相关准入要求。

本项目在线工业 CT 拟固定安装在凹版车间 1F，位于 MIC 电芯生产线的切叠热压区与焊接区之间预留位置，检测工件来源为切叠热压区生产的未入壳电芯，检测后下一工序为焊接，因此本项目选址便于工件运输和检测工作开展，符合 MIC 生产线整体生

续表 1 项目基本情况

成工艺流程，不影响周围生产线人流、物流的通行。本项目所在的凹版车间为 3F 建筑，无地下室，在线工业 CT 上方为 2F 架空区和 3F 预留房间，四周主要为走廊、通道等，相邻区域无人员长时间居留，便于辐射防护与安全管理。根据辐射环境监测结果，本项目拟建位置的环境 γ 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，项目选址可行。

1.6 与项目有关的环境保护问题

1.6.1 项目所在厂房环保手续情况

本项目位于“厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）”中的凹版车间内，该项目已取得重庆市铜梁区发展和改革委员会下发的投资项目备案证（项目代码：2208-500151-04-01-275517）。该项目于 2022 年取得了环评批复：渝（铜）环准（2022）64 号，由于后期规划建设内容发生了重大变动，于 2024 年进行重新报批并取得批复批复：渝（铜）环准（2024）59 号。该项目主要建设内容为：电芯厂房 1 内新建电芯生产线 6 条，设计生产能力为 28Gwh/a。电芯厂房 2 内新建电芯生产线 3 条，设计生产能力为 28Gwh/a。凹版车间内新建电芯（MIC 电芯）生产线 1 条，设计生产能力为 4.62Gwh/a，新建 7 条底涂涂布线、1 条 Sorting（返工）线。模组厂房及储能装配车间内新建模组生产线及储能装配生产线、Sorting（返工）线，设计模组总生产能力为 24Gwh/a，其中储能系统产能为 8Gwh/a。配套建设库房、NMP 罐区、NMP 精馏装置、食堂、污水处理站、动力站等公用工程及辅助工程。目前凹版车间厂房土建均已建成，MIC 电芯生产线已建成，正在办理竣工环境保护验收手续。

1.6.2 公司现有核技术利用情况

（1）现有核技术利用项目及辐射安全许可情况

重庆海辰储能科技有限公司注册地址为重庆市铜梁区东城街道龙安大道 29 号科创中心，根据调查，重庆海辰现有核技术利用项目包括使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置。现有核技术利用项目辐射工作场所均位于重庆市铜梁区东城街道 57 号，已办理了辐射安全许可证，证号为：渝环（辐）证 00921 号，有效期至 2030 年 5 月 18 日。现有核技术利用项目详细情况见表 1-7。

续表 1 项目基本情况

表 1-7.1 建设单位现有射线装置情况一览表				
装置名称	设备型号	类别	数量（台）	场所
在线 X-ray 装置	XG5200A	III 类	1	电芯厂房 1-1F 装配车间
离线 X-ray 装置	AX8200B	III 类	4	电芯厂房 1-1F 装配区测量房
X 荧光光谱仪	EDX2800B	III 类	1	原料仓 RoHS 检测室
工业 CT（离线）	TSOL-CT225H	II 类	1	凹版车间 1F 测试房 1
表 1-7.2 建设单位现有放射源情况一览表				
放射源	用途	类别	活度（贝可）×枚数	场所
Kr-85	测厚仪	V 类	1.11E+10×1	凹版车间 1F 阳极 Demo 拉线
			1.85E+10×4	
Kr-85	测厚仪	V 类	1.11E+10×10	电芯厂房 1-1F 阳极涂布车间
			1.85E+10×24	

(2) 辐射安全管理情况

根据现有核技术利用项目开展情况，重庆海辰成立了辐射安全与环境保护管理机构负责辐射安全与环境保护管理工作，制定了相应的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估等管理制度和辐射事故应急预案。

重庆海辰按照要求每年对现有核技术利用项目开展了监测，根据建设单位提供的资料，现有各射线装置及放射源工作场所监测结果满足相关标准要求。

根据建设单位提供的资料，重庆海辰目前有 32 名辐射工作人员，其中使用 V 类放射源和 II 类射线装置的 19 人通过了核技术利用辐射安全与防护考核且在有效期内，仅使用 III 类射线装置 13 人通过了建设单位自行组织的核技术利用辐射安全与防护考核且在有效期内。现有辐射工作人员均按要求开展了个人剂量检测，进行了职业健康体检且体检合格，建立了个人健康档案。根据最近四个季度的个人剂量监测报告可知，辐射工作人员单个季度的个人剂量监测结果最大值为 0.38mSv，公司现有辐射工作人员年受照剂量均低于 5mSv 且单个季度最高未超过 1.25mSv。

(3) 小结

根据上述调查，公司核技术利用项目运行至今，无辐射安全事故发生，运行总体良好，无环保遗留问题。

续表 1 项目基本情况

1.7 依托可行性

项目依托可行性分析见表 1-8。

表 1-8 项目与公司厂区依托可行性分析

依托工程	依托情况	可行性分析	结论
项目用房	依托凹版车间	本项目为在线工业 CT,拟安装在凹版车间 1F 中部预留位置处,不新增用地。该设备只在该处使用,满足设备运行和无损检测工作的开展。	可行
公用工程	供电、供水等公用工程依托厂区设施	本项目供电、供水设施依托厂区公用设施。厂区为市政供电,市政管网供水。因此,项目依托厂区现有的公用设施可行。	可行
环保工程	依托厂区生活污水处理设施	本项目所在厂区内生活污水单独收集后接入厂区生活污水处理系统,设计处理规模为 800m ³ /d,进行处理达《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政管网。本项目不产生生产废水,辐射工作人员由公司劳动定员内部调配,不新增工作人员总劳动定员,工作人员产生的生活污水依托原有设施处理可行。	可行
	固废	工作人员产生的生活垃圾依托厂区现有生活垃圾处置设施处置,本项目不新增工作人员总劳动定员,依托可行。	可行
劳动定员	依托已有工作人员进行调配培养	项目拟从单位总劳动定员中调配培养 3 人从事在线工业 CT 检测工作,在现有总劳动定员内,依托可行。	可行
管理	辐射环境管理	重庆海辰已经建立了辐射防护管理机构,设置了专人负责管理公司辐射防护工作,公司现有使用射线装置包括工业 CT,本项目依托公司原有管理体系可行。本项目需在项目运行前根据设备情况制定专用的操作规程。	可行

由表 1-7 可知,本项目辅助工程、公用工程、环保工程均可依托厂区公用设施,辐射环境管理可依托目前管理体系。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
本项目不涉及放射源。								

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素 名称	理化 性质	活动 种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及非密封放射性物质										

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
本项目不涉及加速器。										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (在线工业 CT)	II	1	LBXTR004	180	0.5	无损检测	重庆海辰凹版车间 1F 中部	拟购
以下空白。									

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	/	/	/	/	/	/	/	凹版车间楼顶排放
生活污水	/	/	/	/	/	/	/	厂区污水处理站处理后排入市政污水管网
生活垃圾	/	/	/	/	/	/	厂区生活垃圾暂存点	环卫部门统一处置
报废的在线工业 CT	/	/	/	/	/	/	/	设备报废后按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修正；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日施行修订版；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）；</p> <p>(6) 《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>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；</p> <p>(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，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《国家危险废物名录》，自 2025 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日起施行。</p>
------	---

续表 6 评价依据

技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(4) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)；</p> <p>(5) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及 2017 年修改单；</p> <p>(6) 《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)；</p> <p>(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（一）》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(8) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(10) 《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB22448-2008)。</p> <p>(11) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)。</p>
其他	<p>(1) 委托书，附件 1；</p> <p>(2) 项目投资备案证，附件 2；</p> <p>(3) 《厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）》环境影响报告表及其批准书，批准书见附件 3；</p> <p>(4) 公司辐射安全许可证，附件 4</p> <p>(5) 项目辐射环境监测报告，附件 5；</p> <p>(6) 项目设计等相关资料；</p> <p>(7) 《重庆铜梁高新区铜梁片区及全蒲片区控制性详细规划》(2017 年修编)；</p> <p>(8) 《重庆铜梁高新区铜梁片区及全蒲片区规划环境影响跟踪评价报告书》的审查意见的函（渝环函〔2019〕94 号）；</p> <p>(9) ICRP33、《辐射防护导论》等参考文献。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，并结合该项目射线装置为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，结合本项目在线工业 CT 设备的自屏蔽铅房及电气柜等辅助设备为一个整体的情况，确定以本项目在线工业 CT 设备箱体边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 环境保护目标

本项目在线工业 CT 拟安装在凹版车间 1F 中部切叠热压区与焊接区之间预留位置，凹版车间为地面 3F 建筑（高约 22.5m），无地下室，其中，1F 层高约 8m，2F 层高约 7m，3F 层高约 7.5m，车间中部设置一个露天室外通道，将部分厂房分隔为两部分，并在此段设置风雨连廊连接两边车间。本项目在线工业 CT 上方为 2F 架空区和 3F 预留房间，设备上方无行车经过和停留。本项目在线工业 CT 操作位位于自屏蔽铅房左侧设备箱体前侧的操作面板上。本项目在线工业 CT 评价范围内环境保护目标均在厂区内，具体情况见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离	高差	环境特征及主要影响人群
1	操作位	西南侧	紧邻	平层	本项目操作位，辐射工作人员，3 人
	走廊		约 0~2m	平层	凹版车间内走廊，公众成员，约 2 人
	切叠热压区等		约 2~50m	平层	凹版车间内区域，公众成员，约 5 人
2	走廊	东南侧	约 0~21m	平层	凹版车间内走廊，公众成员，约 5 人
	拆包间、存放间等		约 21~40m	平层	凹版车间内区域，公众成员，约 20 人
	室外道路和绿化		约 40~50m	平层	厂区道路及绿化，公众成员，约 5 人
3	测试房、打包区等	东侧	约 8m~50m	平层	凹版车间内区域，公众成员，约 20 人
4	走廊	东北侧	约 0~1.5m	平层	凹版车间内走廊，公众成员，约 2 人
	焊接区		约 1.5~50m	平层	凹版车间内区域，公众成员，约 10 人
5	走廊	西北侧	约 0~2m	平层	凹版车间内走廊，公众成员，约 2 人
	参观通道		约 2~16m	平层	凹版车间内通道，公众成员，约 5 人
	室外通道		约 16~50m	平层	凹版车间内区域，公众成员，约 20 人
	其他生产线		约 5~16m	高于铅房 顶约 5m	凹版车间 2F 连廊，公众成员，约 2 人
6	3F 预留用房	楼上	正对上方	高于铅房 顶约 12m	凹版车间 3F 区域，公众成员，约 2 人
	凹版车间 2~3F		楼上其他区域	高于铅房 顶约 5m	凹版车间 2~3F 区域，公众成员，约 50 人

备注：项目主要影响因素均为电离辐射。

续表 7 保护目标与评价标准

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

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 剂量限值

第 B1.1.1.1 款 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制,使之不超过下述限值:由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv 作为职业照射剂量限值。

第 B1.2 款 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。

(2) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)

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

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

表 7-2 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

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

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;

续表 7 保护目标与评价标准

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

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

(3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)

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 ($\dot{H}_{c,d}$)：

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： $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$

公众： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$

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 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

第 3.2 条 需要屏蔽的辐射

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

3.2.2 条 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值厚度 (TVL) 或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度 (HVL)。

(5) 评价标准及相关参数值

续表 7 保护目标与评价标准

①管理目标值

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四分之一即 5mSv/a 作为辐射工作人员的管理目标值，取公众照射剂量限值的十分之一即 0.1mSv/a 作为公众成员的管理目标值，满足 GB18871-2002 的规定。

②项目剂量限值与污染物排放指标

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 7-5 所示。

表 7-5 项目主要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 公众成员：0.1mSv	GB18871-2002 公司管理要求
2	设备性能要求	距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率 < 2.5mSv/h (管电压 150~200kV)	GBZ117-2022
3	周围剂量当量率参考控制水平	在线工业 CT 四周和顶棚外 30cm 处及底板外 12cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h	GBZ117-2022
4	周剂量参考控制水平	职业工作人员：Hc ≤ 100 μSv/周 公众：Hc ≤ 5 μSv/周	GBZ/T250-2014
5	通风要求	有效通风换气次数应不小于 3 次/h	GBZ117-2022

表 8 环境质量现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于重庆市铜梁区东城街道 57 号重庆海辰储能科技有限公司厂区内，地理位置见附图 1。本项目在线工业 CT 拟安装在凹版车间 1F 中部切叠热压区与焊接区之间预留位置，项目项目场所位置见附图 3，场址现状及周围环境现状情况见附图 5。

8.2 辐射环境背景评价

本项目在线工业 CT 拟安装在凹版车间 1F 中部切叠热压区与焊接区之间预留位置，本次评价对项目场地及周边环境的辐射环境背景水平进行了监测，监测时间为 2025 年 10 月 22 日，监测结果和监测布点见监测报告：渝辐（监）[2025]1156 号。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

（1）监测方法和依据

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

（2）监测点位选取

根据本项目场所位置及周围环境情况，本次辐射环境背景监测共设置 7 个监测点位，在凹版车间内拟建场址中心、项目周围代表性的环境保护目标、项目楼上正对位置和凹版车间外的室外道路均进行了布点，布点时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，本次监测布点能够反映本项目涉及工作场所和环境保护目标的辐射环境背景水平。根据调查，距本项目约 8 米处测试房 1 内的离线工业 CT 监测期间未开机工作。

监测布点图见图 8-1。

续表 8 环境质量现状

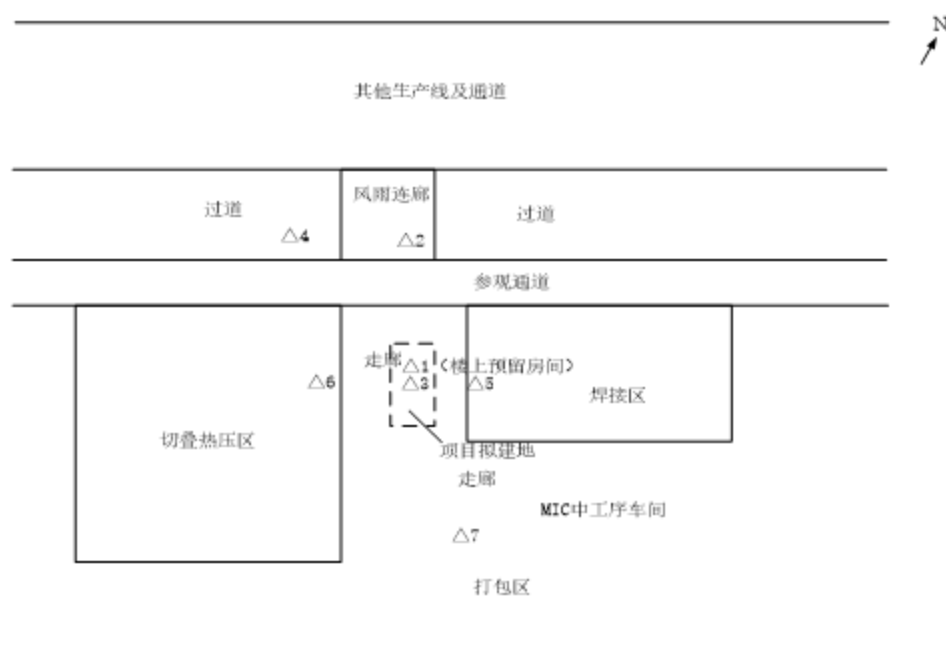


图 8-1 监测点示意图

(3) 测定方式

本项目选取的测定方式为即时测量，即用监测仪器直接测量出点位上的对应监测因子的监测结果。

8.2.3 质量保证措施

(1) 监测单位资质

本次验收监测单位为重庆泓天环境监测有限公司，该公司具有重庆市市场监督管理局颁发的在中华人民共和国境内有效的检验检测机构资质认定证书，保证了监测工作的合法性和有效性。

(2) 监测人员及报告审核

监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的数据量，并做好记录；监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核、审定，最后由授权签字人签发。

(3) 监测仪器

监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见表 8-2。

续表 8 环境质量现状

表 8-2 监测仪器及检定情况					
仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号	有效期至	校准因子
环境级X、γ辐射巡检仪	RGM5200	1222203004005	2024112106273	2025.12.2	1.12

8.2.4 监测结果

监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 项目所在区域辐射环境监测结果统计

监测点位	监测点位描述	环境γ辐射剂量率测量值（μGy/h）
△1	项目拟建地楼上预留房间内	0.069
△2	MIC 中工序车间外风雨连廊处	0.081
△3	项目拟建地中心处	0.069
△4	项目拟建地西南侧过道上	0.065
△5	项目拟建地东北侧焊接区内	0.067
△6	项目拟建地西南侧切叠热压区内	0.071
△7	项目拟建地东南侧走廊上	0.068

根据监测统计结果可知，拟建项目所在位置环境γ剂量率的监测值在65nGy/h~81nGy/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》（简化版），2024年重庆市X-γ辐射累积剂量监测结果，累积剂量测得的γ辐射空气吸收剂量率年均值为79.2~108nGy/h之间（未扣除宇宙射线响应值）。因此，项目所在场址及邻近环境的环境γ辐射剂量率与重庆市2024年环境γ辐射剂量率相比，在其正常涨落范围内。

8.3 辐射环境现状监测评价

根据调查，本项目东侧约8m处测试房1内有一台离线工业CT，该设备已于2025年4月10日开展了竣工环境保护验收监测，监测报告编号为渝泓环（监）[2025]582号。根据监测报告可知，该离线工业CT在225kV、444μA工作条件下，屏蔽体外的周围剂量当量率为0.12~0.13μSv/h（未扣除本底0.10μSv/h），满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5μSv/h的要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺流程及产污环节

本项目拟直接购置整体式工业 CT 设备，安装在凹版车间 1F 中部闲置区域，设备拟安装场所已建设完成（依托凹版车间），本项目施工期主要为工业 CT 及各类防护设施的安装（工业 CT 为成套设备的组装，不需要现场焊接）及调试。整个施工过程基本由人工完成，不使用大型机械。产生的废弃物主要为设备外包装、安装人员生活垃圾和生活污水等，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。

9.2 营运期工艺流程及产污环节

9.2.1 设备组成

本项目拟配置的在线工业 CT 为自屏蔽整体式装置，采用流水线式自动化检测，设备主要由 CT 检测模块、扫码模块、极耳翻折检测模块、机架模块、上下料移栽线体、控制系统组成。其中，CT 检测模块主要由 X 射线球管、探测器、CT 检测环组成。本评价重点介绍 CT 检测模块。设备组成示意图 9-1 和图 9-2。

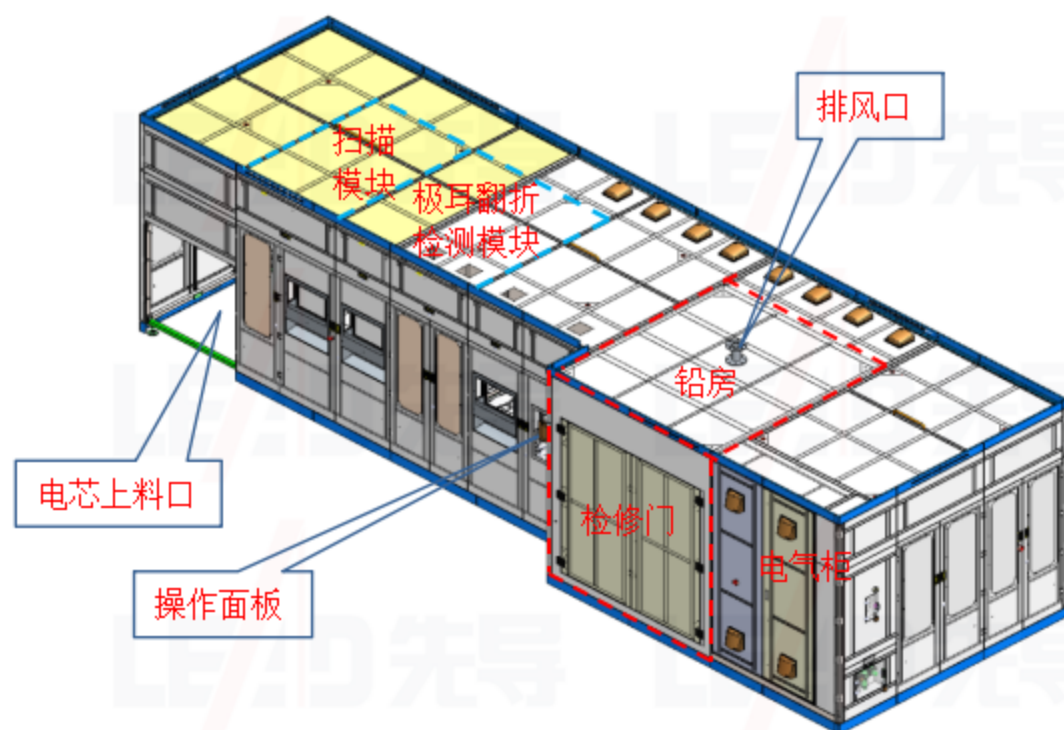


图 9-1 在线工业 CT 设备示意图 (1-正面)

续表 9 项目工程分析与源项

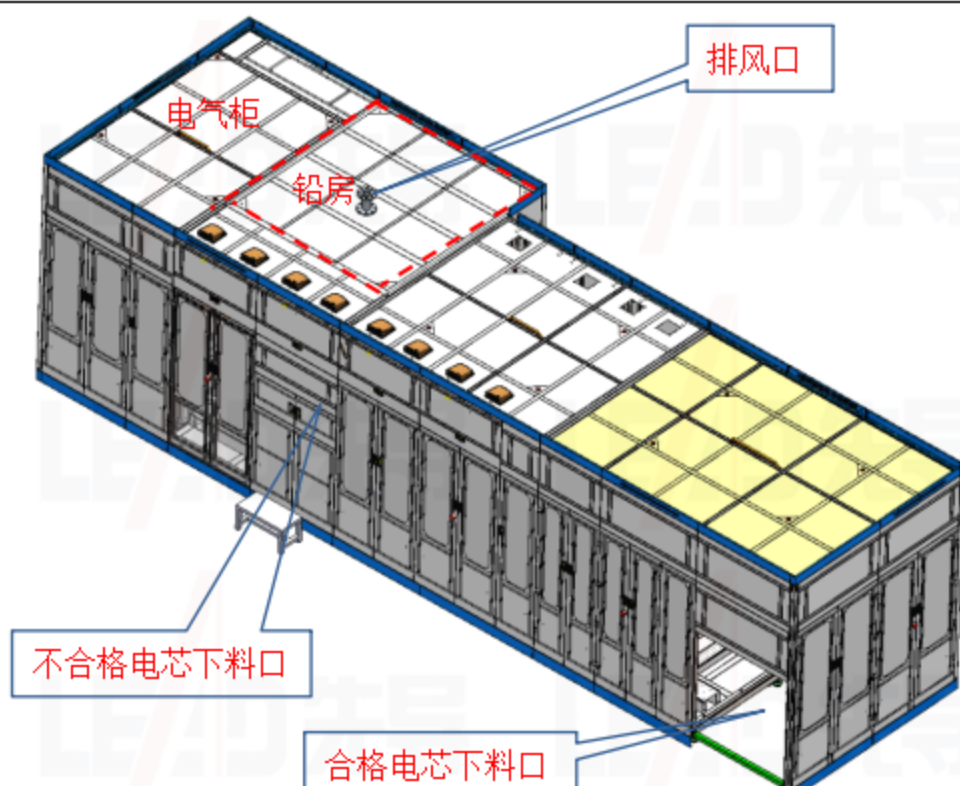


图 9-1 在线工业 CT 设备示意图 (2-背面)

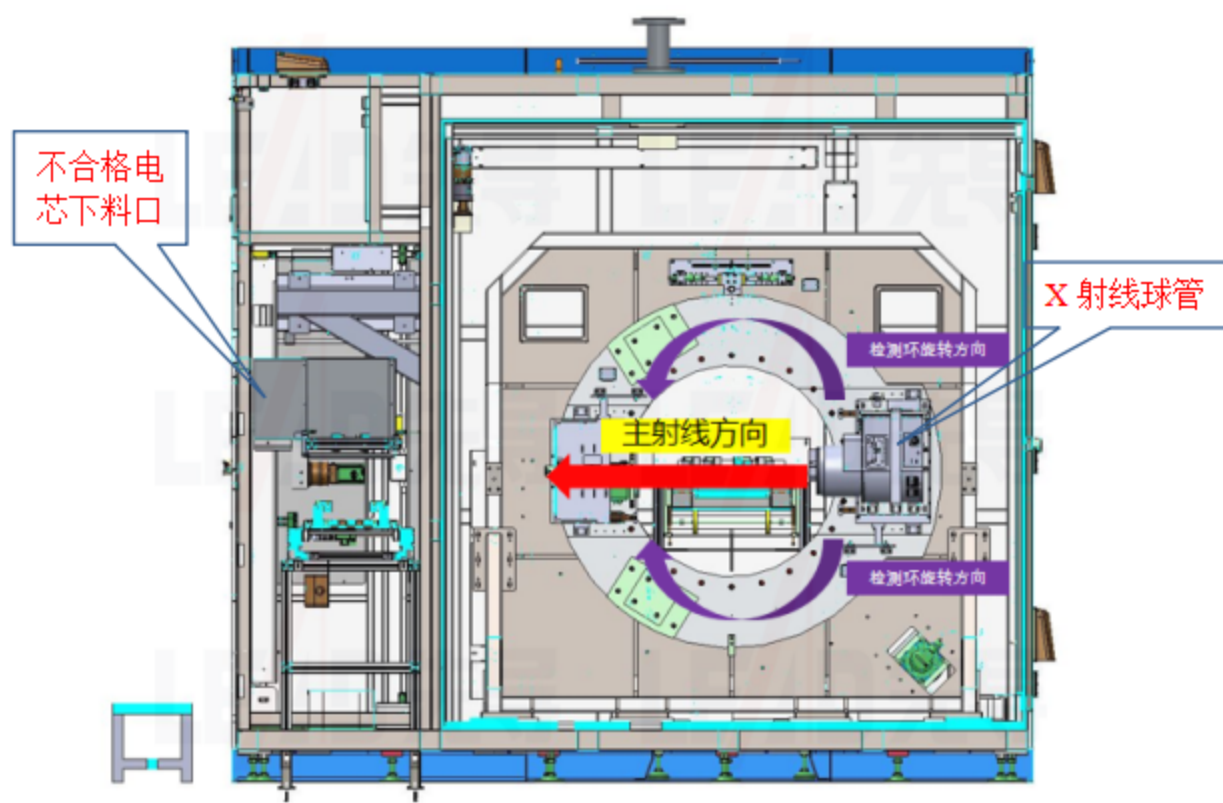


图 9-2 在线工业 CT 设备内部结构示意图 (1)

续表 9 项目工程分析与源项

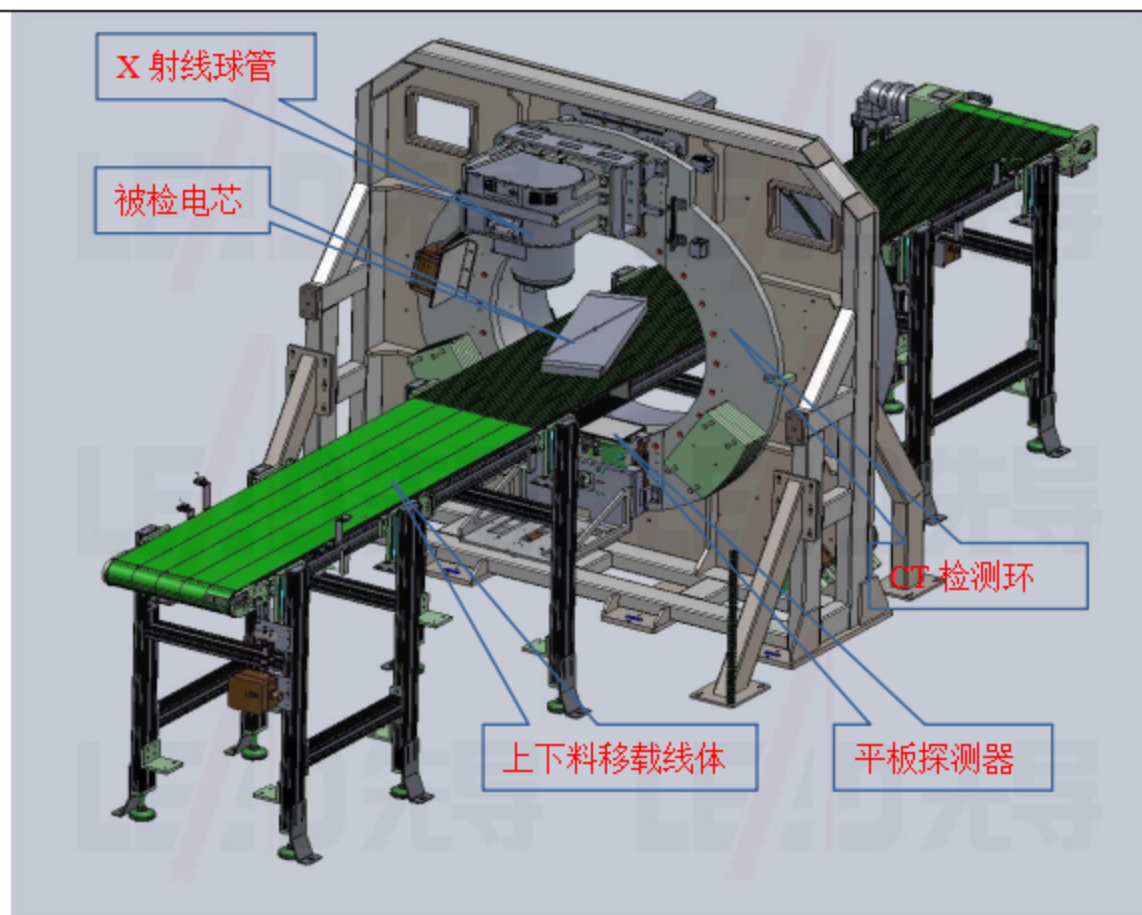


图 9-2 在线工业 CT 设备内部结构示意图 (2)

(1) X 射线球管

根据设备资料，本项目在线工业 CT 的射线源为 UNMS-U180B 型风冷式微焦点 X 射线球管，焦点最大尺寸 $100\mu\text{m}$ ，最大管电压 180kV ，最大管电流 0.5mA ，最大管功率 90W ，过滤窗口为 3 mm Al 。X 射线球管发出的射线束形状为锥束，锥束角度为 94° 。

(2) 探测器

本项目在线工业 CT 的探测器拟使用面阵平板探测器，是用来接收穿过被检工件的射线信号，经放大和模数转换后送进计算机进行图像重建，是 CT 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”，平板探测器尺寸为 $304\text{mm} \times 304\text{mm}$ ，像素矩阵为 3072×3072 。

(3) CT 检测环

“CT 检测环”是本项目在线工业 CT 中 CT 检测模块的核心机械结构之一，用于支撑 X 射线球管和探测器。本项目 X 射线球管和平板探测器对称固定安装在 CT 检测环上，

续表 9 项目工程分析与源项

检测环旋转半径 332 mm。正常工作时 X 射线球管随着 CT 检测环 $\pm 90^\circ$ 旋转检测，主射方向主要朝向后侧、顶部和底部，当设备调试校准时可随着 CT 检测环 $\pm 180^\circ$ 旋转，主射方向主要朝向前侧、后侧、顶部和底部。X 射线球管随着 CT 检测环旋转期间 X 射线球管焦点距离在线工业 CT 设备箱体各侧表面最近距离：前 0.85m 后 1.57m 左 6.98m 右 3.08m 上 1.34m 下 0.67m。

(4) 机架模块

本项目在线工业 CT 机架模块主要为自屏蔽铅房，铅房采用钢-铅-钢结构，铅房前侧设置 1 个对开检修门，铅房左右两侧分别设置 1 个进出料隧道，隧道外前后侧、进料隧道外左侧和出料隧道外右侧均设置防护板，三面防护板合围形成的区域底部为传送带，顶部为敞开设，便于机械手抓取被检电芯。

(5) 扫码模块

本项目在线工业 CT 的扫码模块主要为 1 把自动扫码枪，用于扫描被检电芯的二维码信息并将信息存储在本地系统上，且半年内信息可追溯，支持后续与数据采集系统做信号交互。

(6) 极耳翻折检测模块

本项目在线工业 CT 极耳翻折检测模块主要通过机器视觉结合 AI 算法等方法，自动识别电芯极耳的翻折、褶皱、撕裂等缺陷，以提升安全性与良品率，检测过程中无电离辐射产生。

(7) 上下料移栽线体

本项目在线工业 CT 上下料移栽线体主要用于输送被检电芯，主要采用输送包胶辊+皮带方式，采用机械手抓取被检电芯。

(8) 控制系统

本项目在线工业 CT 设备设操作面板、电气柜、控制软件等显示技术参数，操作面板设置于设备前侧活动门上，操作面板上主要包括启动、停止、急停、复位按钮和报警灯以及触摸屏，触摸屏上可设置 X 射线管的管电压、管电流等参数。

本项目在线工业 CT 设备参数表 9-1 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-1 工业 CT 主要技术参数		
设备名称		在线工业 CT
设备型号		LBXTR004
X 射线球管	最大管电压	180kV
	最大管电流	0.5mA
	最大管功率	90W
	焦点尺寸	$\leq 100\mu\text{m}$
	射线辐射角	94°
	过滤窗口	3mmAl
平板探测器	像素矩阵	3072×3072
	像素间距	$99\mu\text{m}$
	最大帧速	48fps
	成像面积	$304 \times 304\text{mm}$
CT 检测环	旋转范围	正常工况 $\pm 90^\circ$ ，调试校准 $\pm 180^\circ$
其他		安全联锁系统、摄像监视系统等

9.2.2 工作方式

本项目在线工业 CT 设备固定安装在凹版车间 1F 中部 MIC 生产线的切叠热压区与焊接区之间预留位置，无损检测工作方式为主线式自动化检测，工作期间仅在设备关机时需要人员操作，其余时间人员仅负责定期巡查。

在线工业 CT 自动从 MIC 生产线的物流线上抓取被检电芯，通过上下料移栽线体送入检测工位进行极片对齐度的无损检测。检查扫描时，被检电芯固定在皮带上不动，X 射线球管随着 CT 检测环绕电芯旋转 180° （ $\pm 90^\circ$ ），旋转过程中 X 射线连续出束，对侧平板探测器将探测到的 X 射线转换为最终能转变为图像的“数字化信号”，然后经过计算机三维重构，对 3D 数模固定位置进行切面，得到相应位置的 2D 切面，使用软件对 2D 切面图像分析，自动计算电芯角位的阴阳极错位量即可得到电芯极片对齐度。

本项目在线工业 CT 设备自带屏蔽铅房，X 射线出束期间工作人员均在铅房外操作。

9.2.3 工作负荷

本项目在线工业 CT 检测对象为 MIC 生产线生产的未入壳电芯，每个电芯包括两端铜极耳和铝极耳，电芯两侧极耳均需进行检测，在线工业 CT 每次检测扫描时可对首尾

续表 9 项目工程分析与源项

相连的两个电芯同时进行扫描，故折合单个电芯的扫描时间仍按 5s 计，每次扫描间隔时间约 2.5s。根据建设单位提供的资料，本项目在线工业 CT 年曝光时长约 4000h。

9.2.4 工作原理及工艺流程

(1) 工作原理

① X 射线产生原理

工业 CT 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，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图 9-3。

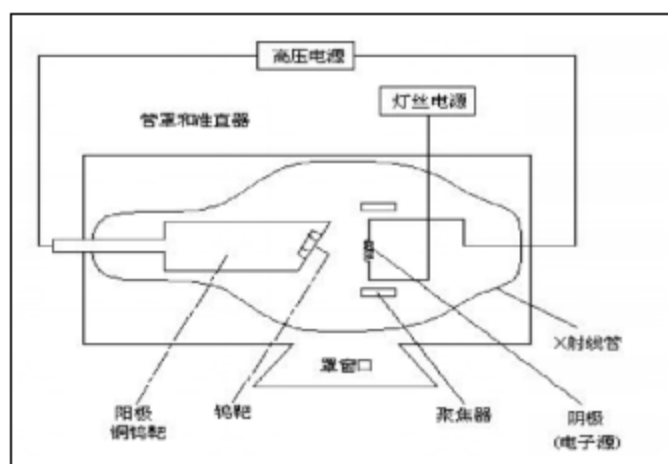


图 9-3 X 射线管原理示意图

② CT 扫描成像原理

电子计算机断层摄影（Computed tomography，简称 CT）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，包括数据收集和重建过程。X 射线管发射的锥束 X 射线首先撞击工件，然后撞击探测器表面。X 射线会根据工件的几何形状和吸收特性而减弱，探测器接收 X 射线后生成二维灰度图像。X 射线管围绕工件旋转 180°，这样就能获得大量的工件图像。计算机系统利用大量的工件图像通过体积重建生成三维图像，从而清晰、准确、直观地展示被检测物体的内部结构、组成及缺损状况等。

续表 9 项目工程分析与源项

(2) 工艺流程

工艺流程主要如下图 9-9 所示。

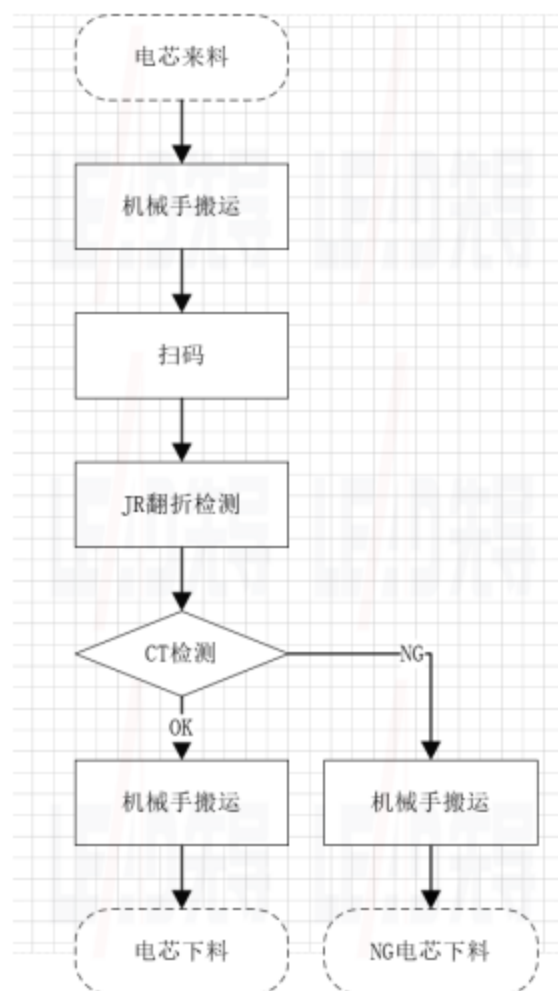


图 9-4 检测工艺流程图

工艺流程概述主要如下：

(1) 每天开工前工作人员进入需先检查计算机设备和工业 CT、辐射安全防护设施是否正常。

(2) 操作人员首先刷卡认证，在 CT 扫描工作主画面下，单击操作面板上电源开关按钮，即可打开动力电源。此时系统将自动进行自检，若自检正常，则操作系统的指示灯变绿。自检完成后操作流程如下：

①机械手将物流线上的电芯搬运到扫码工位进行扫码；

②扫码完成的电芯通过设备内部上下料移栽线体传输到 JR 翻折检测工位进行检

续表 9 项目工程分析与源项

测，电芯极耳的翻折、褶皱、撕裂等缺陷，为可见光视觉检测；

③翻折检测完成的电芯在移栽线体上由机械手抓取放入铅房外的进料隧道外防护区内，随传输皮带经过进料隧道进入到铅房内部 CT 检测位置，传输皮带上相邻 2 个电芯的前端和后端极耳相连；

④电芯前端极耳到达扫描位后，CT 环旋转 180°（沿垂直方向由顶部旋转至底部或由底部旋转至顶部）对电芯的前端极耳进行 X 射线扫描，扫描结束后电芯随着传输皮带移动，待电芯的后端极耳到达扫描位后，CT 环再次旋转 180°（沿垂直方向由底部旋转至顶部或由顶部旋转至底部）对电芯的后极耳进行 X 射线扫描，出束时间约 5s，两次扫描出束时间间隔约 2.5s，至此 1 个电芯 CT 检测完成；

⑤CT 检测完成的电芯随传输皮带经过出料隧道到达铅房外的出料隧道外防护区内，由机械手抓取至移栽线体上，随着移栽线体流转；

⑥根据 CT 检测结果，移栽线体上的 OK（合格）和 NG（不合格）电芯由机械手自动抓取至 MIC 生产线的物流线上或返回至 NG（不合格）下料口。

（3）检测工作完成后，关闭高压电源，再关闭软件和计算机，最后关闭总电源。本项目在线工业 CT 检测结果为电子分析报告，不需洗片。

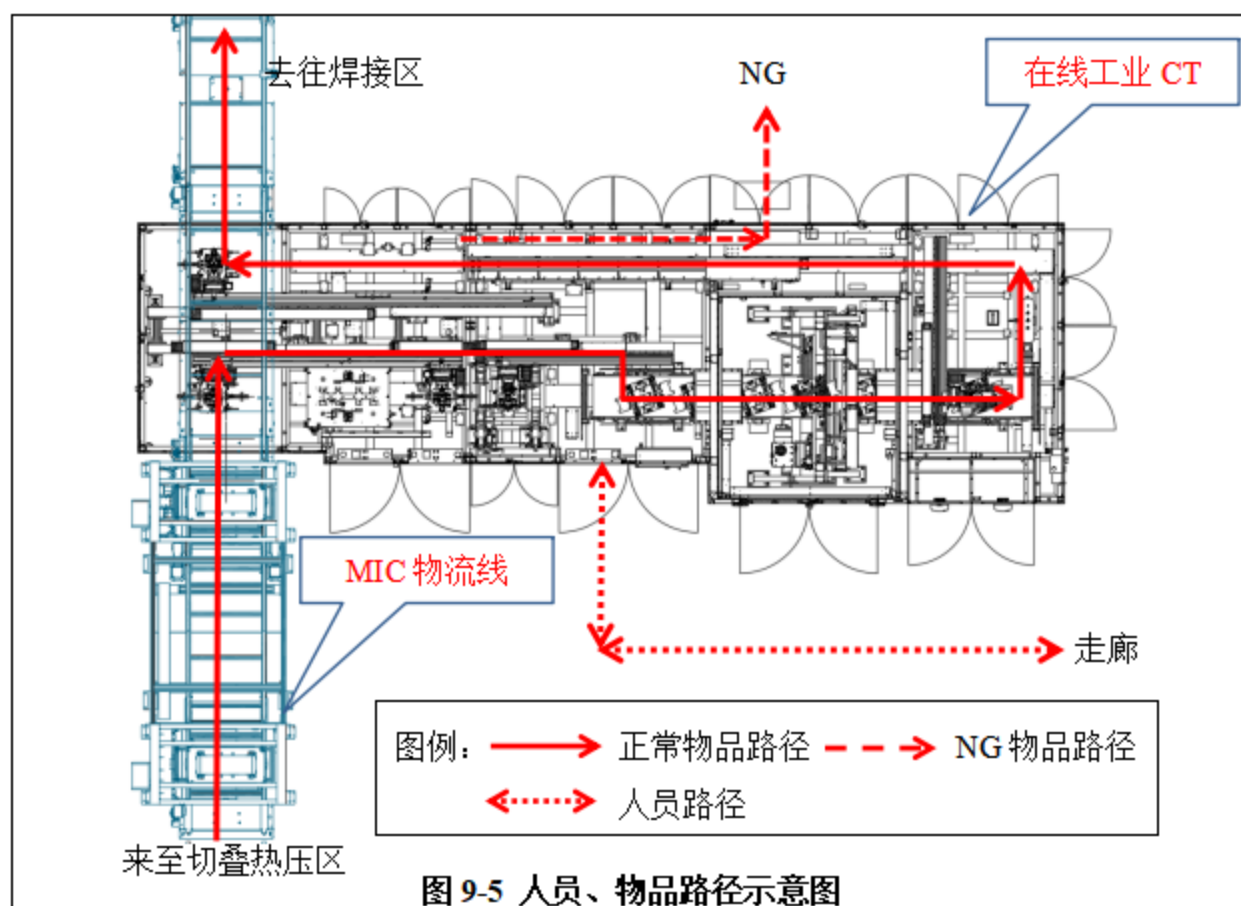
9.3 工作场所人员、物品路径情况

本项目为在线工业 CT，工作人员在设备前侧操作面板处操作，电芯通过机械手和移栽线体进出在线工业 CT 设备。

工作人员路径：设备操作人员通过凹版车间走廊到达本项目设备操作位，然后在操作面板处操作设备。

工件运输路径：本项目被检电芯来至设备西南侧切叠热压区物流线，检测完成后合格电芯进入东北焊接区，不合格电芯返回生产线。全程由机械手和移栽线体完成，无需人工操作。

续表 9 项目工程分析与源项



9.4 污染源项分析

根据工艺流程可知，X 射线无损检测工作产生的污染物主要有设备曝光时的 X 射线、废气（臭氧、氮氧化物）等。

9.4.1 电离辐射

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

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

（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。工业 CT 机射线能量、强度与 X 射线管靶物

续表 9 项目工程分析与源项

质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越高，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。根据厂家提供资料，本项目在线工业 CT 的 X 射线球管的过滤窗口为 3mm 铝。根据《医用外照射源的辐射防护》（ICRP33）图 2，180kV 射线源距靶 1m 处主射束在 3mm 铝的过滤条件下的最大发射率约为 19.3mGy/mA·min。

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

（3）散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、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。本项目设备 X 射线球管额定管电压为 180kV，即 X 射线球管的原始 X 射线能量为 180kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ250-2014）表 2 可知， $150 \leq kV \leq 200$ 的原始 X 射线 90° 散射辐射最高能量为 150kV。

9.4.2 非放射性废物产排情况

（1）废气

在无损检测作业时，X 射线使空气电离产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。本项目在线工业 CT 铅房设置机械排风，排风量为 180m³/h，通风次数约 18 次/h。铅房内废气通过管道接入凹版车间废气处理管道预留口，最终引至车间楼顶排放，排放高度约 30m。

（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，调配培养的 3 名辐射工作人员产生的生活污水依托厂区现有污水处理设施处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，进入污水处理厂进行处理。

（3）固体废物

本项目不新增工作人员，不新增生活垃圾产生量，调配培养的 3 名辐射工作人员产生的生活垃圾依托原有生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。

续表 9 项目工程分析与源项

工业 CT 使用一定年限后,可能不能正常工作,工业 CT 报废成为固体废物,建设单位对工业 CT 报废后按照相关要求去功能化后根据建设单位相关要求处理,保留相关手续,并做好相关记录存档。

9.4.3 项目产排污统计

项目产生的污染因子源强分析总体情况见表 9-2 所示。

表 9-2 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
电离辐射	X 射线	主射线能量 $\leq 180\text{kV}$, 90° 散射线能量 $\leq 150\text{kV}$, 距靶 1m 处 X 射线输出量 $19.3\text{mGy} \cdot \text{m}^2/\text{mA} \cdot \text{min}$, 距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 2.5mSv/h 。	利用设备屏蔽箱体屏蔽
废气	O_3 、 NO_x	少量	机械抽风引至室外排放
废水	生活污水	不新增	依托厂区污水处理设施处理
固废	生活垃圾	不新增	统一收集后交环卫处理
	报废的工业 CT	1 台	X 射线球管去功能化后根据建设单位相关要求处理,保留相关手续,并做好相关记录存档。

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 项目布局合理性分析

GBZ117-2022 中对于探伤室布局的要求如下：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。

本项目在线工业 CT 自带铅房，设备固定安装在凹版车间 1F 中部切叠热压区与焊接区之间预留位置，便于上下料口对接现有 MIC 生产线的物流线。本项目在线工业 CT 正常工作期间，主射方向朝向后侧、顶部和底部，操作面板设置于铅房外且位于设备前侧，避开了主射线照射方向。本项目检测工件均为小型工件，通过进出料隧道及移栽线体自动传输进出屏蔽铅房，无需人员搬运工件进入铅房。本项目工业 CT 铅房内空尺寸较小，设备内部构件占用空间后人员无法进入内部，故仅设置 1 个对开检修门供检修人员检修设备，且检修期间人员无法进入设备内部站立，大大减小人员受到近距离辐射照射的事故风险。本项目在线工业 CT 的铅房的管线穿孔位于铅房左右两侧屏蔽体底部位置，排风口位于铅房顶部，铅房各孔洞均设置了足够厚度的屏蔽补偿。

因此，本项目平面布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，布局合理。

10.1.2 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定控制区和监督区。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）6.1.2 要求：应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

工业 CT 作为一个整体设备，在运行时，各设备门保持关闭，电气柜等设施内嵌在设备箱体内部，因此，将在线工业 CT 整体划为控制区，由于本装置位于一个大厂房敞开空间的闲置区域，本次考虑将设备周围相邻的走廊的区域（以各个生产区的地标线划分）均划为监督区。对照 GB18871-2002 及 GBZ117-2022 的分区原则，建设单位对项目辐射工作场所的分区合理。分区图见图 10-1。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-1 项目分区管理情况表	
类别	区域
控制区	在线工业 CT 设备内（含电气柜及运输线等）
监督区	在线工业 CT 设备外相邻走廊区域及顶部区域

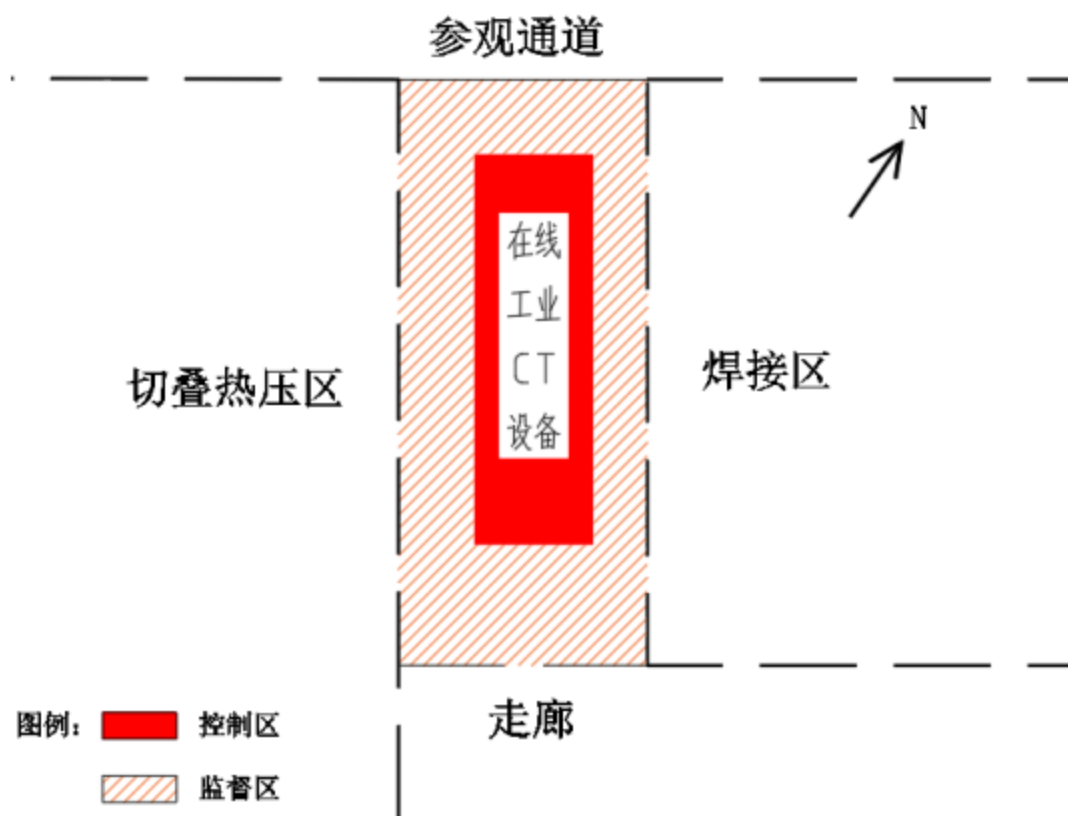


图 10-1 工作场所分区示意图

重庆海辰还拟采取必要的措施加强分区管理，主要措施如下：

①控制区：对控制区进行严格控制，射线装置在运行中严禁任何人进入。检修门设置门机联锁、电离辐射警告标志。

②监督区：在设备四周拟设置监督区标识，加强周边活动人员管理，并在地面设置警示线，提醒人员不要驻留。

③在监督区开展定期监测工作，特别需注意防护门、穿墙管线洞口等薄弱部位。

10.2 辐射安全与防护措施

本项目射线装置主要辐射为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、

续表 10 辐射安全与防护

远离射线源及加以必要的屏蔽。

10.2.1 设备屏蔽体屏蔽防护措施

(1) 屏蔽体设计情况

①铅房：本项目在线工业 CT 为自屏蔽式设备，主要采用钢+铅+钢的屏蔽体结构对 X 射线进行屏蔽防护，防护厚度充分考虑了 X 射线主射、散射、漏射影响。铅房前侧、后侧、顶部屏蔽体厚度均为 1.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢，底部屏蔽体厚度为 16.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢，左侧和右侧屏蔽厚度均为 1.5mm 钢+12mm 铅+2mm 钢，铅房前侧检修门屏蔽厚度为 2.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢。

②进出料隧道及隧道外防护板：本项目在线工业 CT 铅房左右两侧进出料隧道四周屏蔽板及封板、隧道外防护板屏蔽厚度均为 1.5mm 钢+5mm 铅+1.5mm 钢。进出料隧道及隧道外防护板的具体尺寸见表 1-2 所示。

(2) 本项目铅房各屏蔽体之间、屏蔽体与检修门之间的搭接由设备生产厂家承担。根据厂家提供的数据，本项目的在线工业 CT 前侧检修门为对开门，两扇门板闭合位置采用交错重叠的搭接方式，搭接宽度约 80mm，不小于缝隙的 10 倍，可以保证铅房的整体屏蔽能力。

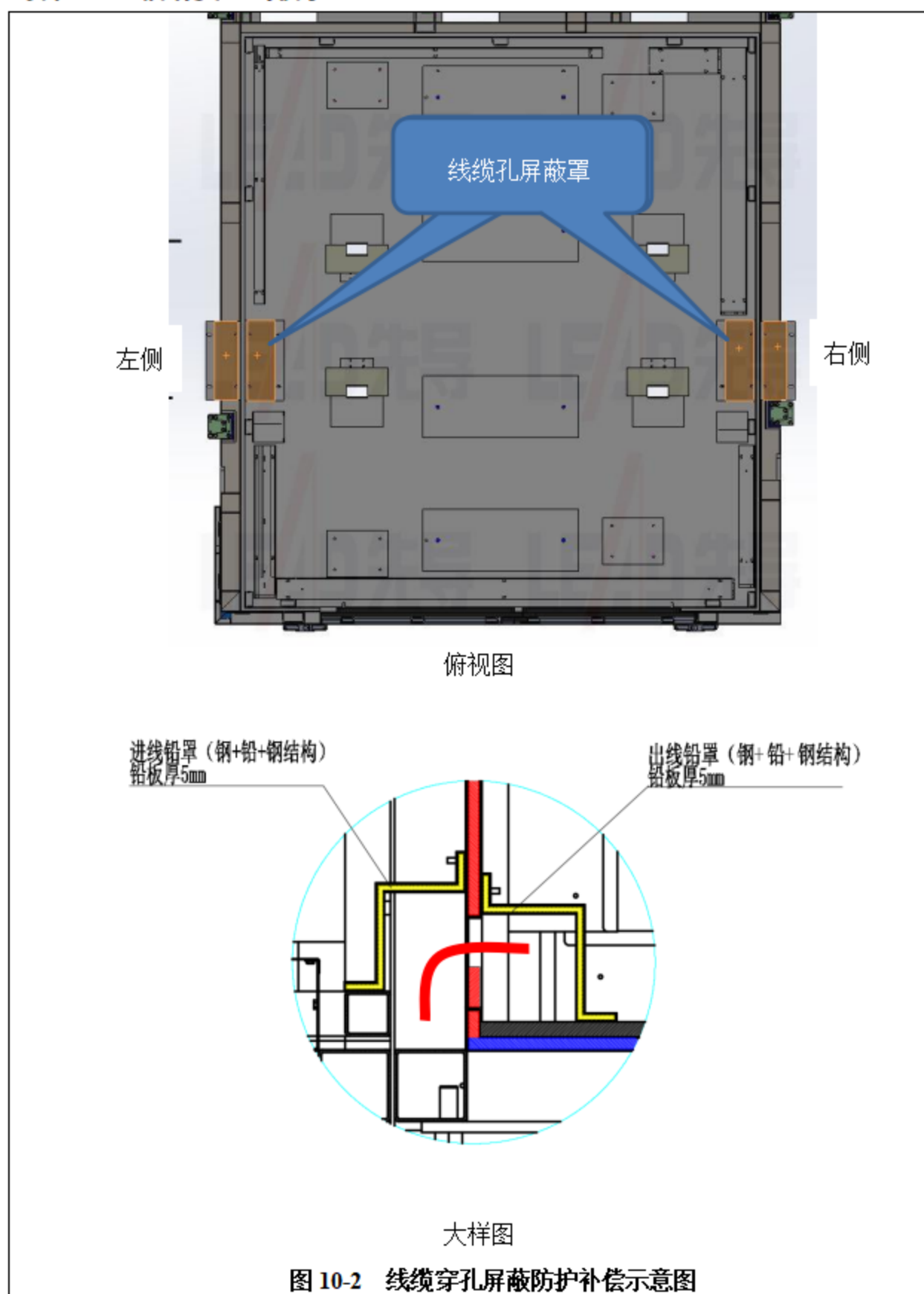
(3) 屏蔽补偿

本项目在线工业 CT 铅房开孔共 3 个，分别为 2 个线缆孔和 1 个机械排风孔。

①线缆孔

根据设备厂家提供的资料，本项目在线工业 CT 的铅房管线穿孔位于铅房左右两侧屏蔽体底部位置，开孔尺寸为 150mm（宽）×50mm（高），在屏蔽箱体开孔处内外两侧各设置 1 个厚度为 1.5mm 钢+5mm 铅+1.5mm 钢“∩形+转角”屏蔽罩进行屏蔽补偿，∩形屏蔽罩尺寸为 300mm（长）×100mm（宽或高），大于线缆孔开孔尺寸，能确保射线不能直接通过线缆孔到达铅房屏蔽体外。线缆孔防护屏蔽示意图见图 10-2。

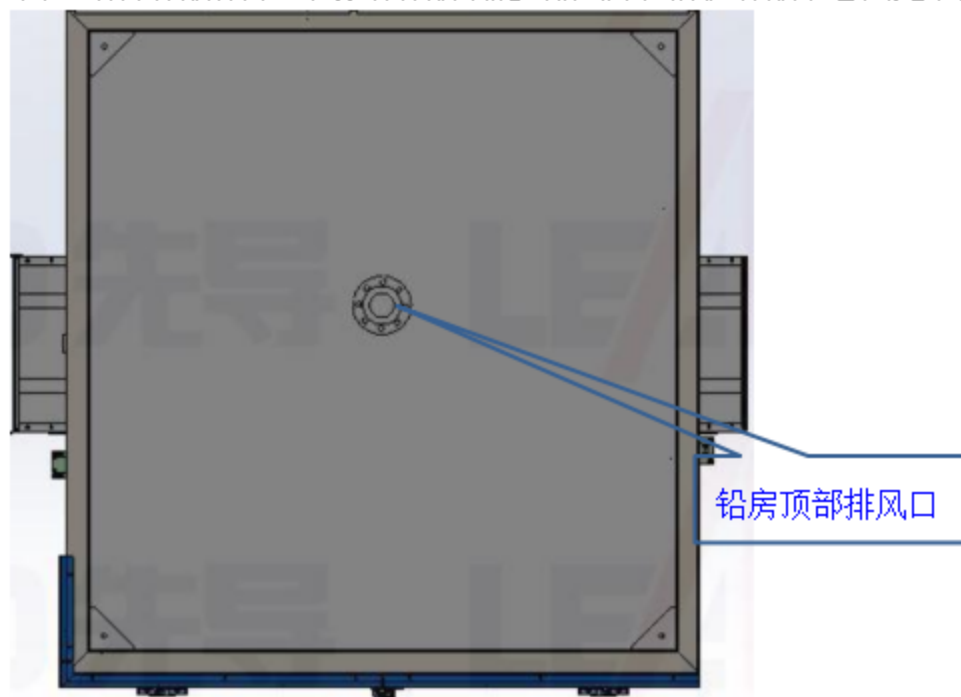
续表 10 辐射安全与防护



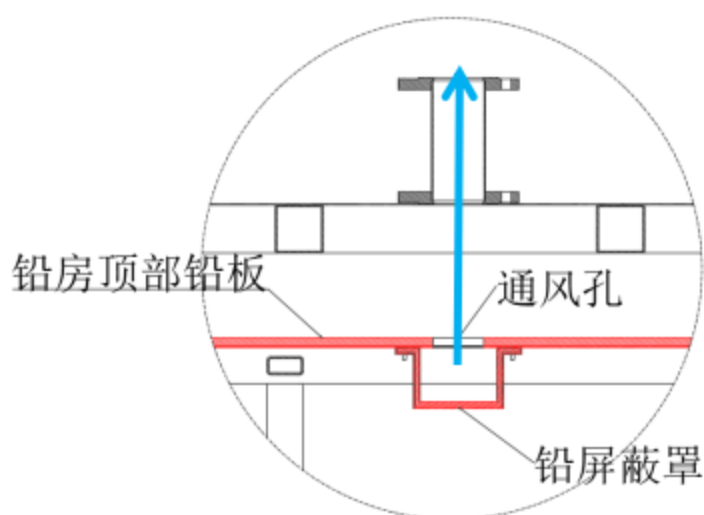
续表 10 辐射安全与防护

②机械排风孔

根据设备厂家提供的资料，本项目在线工业 CT 机械排风口穿铅房孔洞位于铅房顶部中间处，为直接在屏蔽箱体上垂直开设的 1 个孔洞（DN70mm），在屏蔽箱体内侧开孔处设置 1 个 2mm 钢+10mm 铅+2mm 钢屏蔽罩（150mm*150mm），能确保射线不能直接通过线缆孔到达铅房屏蔽体外，不影响屏蔽效能。排风开孔防护屏蔽示意图见下图。



顶部俯视图



大样图

图 10-3 排风管道穿孔屏蔽补偿示意图

续表 10 辐射安全与防护

10.2.2 设备固有安全性

拟配置满足标准要求的有相应安全性能的合格出厂的工业 CT:

(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(控制界面显示设备正常)操作者可以进行曝光或训机操作;若诊断出故障,在显示器上显示出故障代码,提醒用户关闭电源,与厂家联系并维修。

(2) 当 X 射线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) 当曝光阶段正常结束后,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、过电压保护、继电保护

设备带有断路器,当管电流超过额定值时或高压对地放电时以及短路、过负荷、低电压等多种故障异常时,设备会自动断电。

(6) 操作权限

设备带有操作权限,需专门操作的辐射工作人员刷卡开启才可运行。

10.2.3 安全联锁

(1) 门机联锁:本项目在线工业 CT 铅房检修门与 X 射线球管实行门机联锁,只有当防护门关闭,才能启动 X 射线高压电源,在防护门未关闭或者没有关到位的情况下,高压电源无法打开;设备出束状态下,检修门打开将立即切断 X 射线发生器的高压,停止 X 射线出束,重新关上门后不会自动出束。

(2) 紧急停机:本项目在线工业 CT 设备外箱体外相隔约 3 米距离安装 1 个急停按钮,共设置 8 个急停按钮(含操作面板处 1 个)。因本项目在线工业 CT 铅房内空尺寸较小,设备内部构件占用空间后人员无法进入内部,故仅在铅房内检修门侧右下角设置 1 个急停按钮,满足应急操作要求。各急停按钮旁设置中文标识和相关说明,所有急停按钮相互串联,按下任意一个按钮, X 射线设备高压电源立即被切断,设备停止出束,

续表 10 辐射安全与防护

急停按钮按下后需要手动复位，复位后设备不能直接出束。

(3) 工作状态指示灯和声音提示装置：本项目在线工业 CT 铅房内和操作面板处各设置 1 个报警灯和 1 个蜂鸣器显示 X 射线球管工作状态，X 射线球管预备时蜂鸣器发出报警声音，照射时报警灯开启。报警灯和蜂鸣器均与 X 射线球管联锁，同时在报警灯和蜂鸣器旁的位置处设置对“照射”和“预备”信号意义的说明。另外，本项目在线工业 CT 设备箱体顶部设置 6 个三色灯显示在线工业 CT 设备工作状态（非出束状态），便于工作人员巡查设备工作状态，绿色代表正常工作、黄色代表故障、红色代表停止工作。

(4) 固定式剂量报警仪：本项目在线工业 CT 设备铅房内前侧安装 1 个固定式剂量报警仪探头，实时监控铅房内的辐射剂量率水平，显示单元集成于操作面板上。当铅房内剂量率超过阈值会进行声光报警，铅房内剂量率降到阈值以下后检修门方可开启。

10.2.4 监控装置

本项目在线工业 CT 铅房内拟设置 1 个监控探头，可以全方位查看工业 CT 铅房内 CT 检测模块的运行情况，也能查看被检工件、检修门等情况，监控显示屏位于设备外前侧，操作人员可以随时查看设备内运行情况。

10.2.5 通风

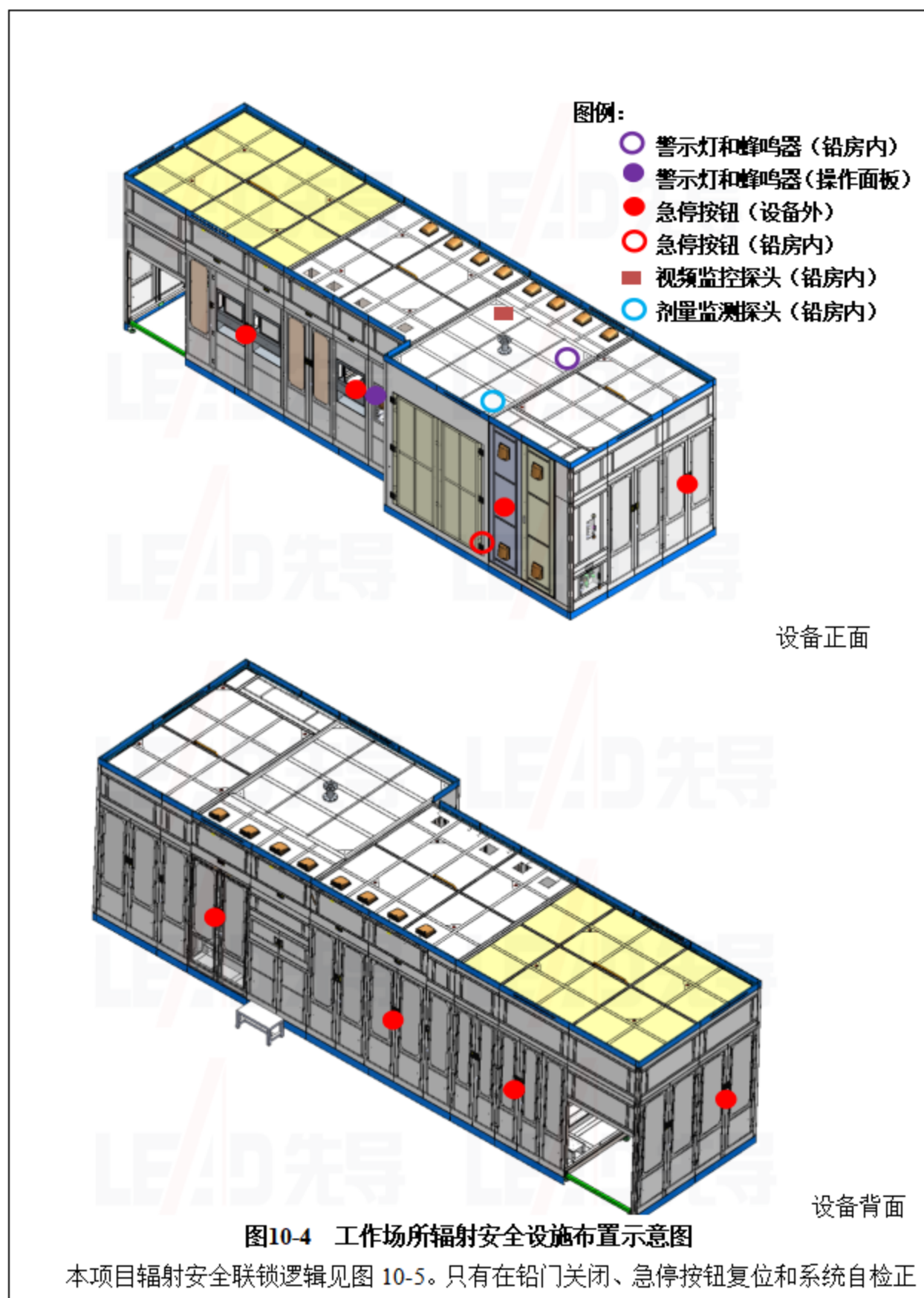
本项目在线工业 CT 采用自然进风、机械排风的方式。在线工业 CT 铅房顶部设置 1 个机械排风管道，总排风量为 $180\text{m}^3/\text{h}$ ，排风次数约为 18 次/h，满足要求。在线工业 CT 铅房内废气通过新建管道接入凹版车间现有废气管道预留口，最终引至凹版车间楼顶排放。

10.2.6 电离辐射警告标志

严格按照控制区和监督区实行“两区”管理，且在工业 CT 四周张贴电离辐射警告标志并附中文警示说明，用于警示公众成员非必要情况不要靠近该区域。

工作场所安全防护措施拟安装位置见图 10-4。

续表 10 辐射安全与防护



续表 10 辐射安全与防护

常的情况下，设备才能启动，设备出束时，设备铅房顶部的工作状态指示灯红灯亮，同时操作面板上显示固定式场所辐射探测报警装置的读数，当探头检测到周围剂量当量率超过预设限值时，仪表指示仪进行声光报警。设备运行过程中，如果按下任何一个急停开关或铅门意外打开，设备会立即停止运行。

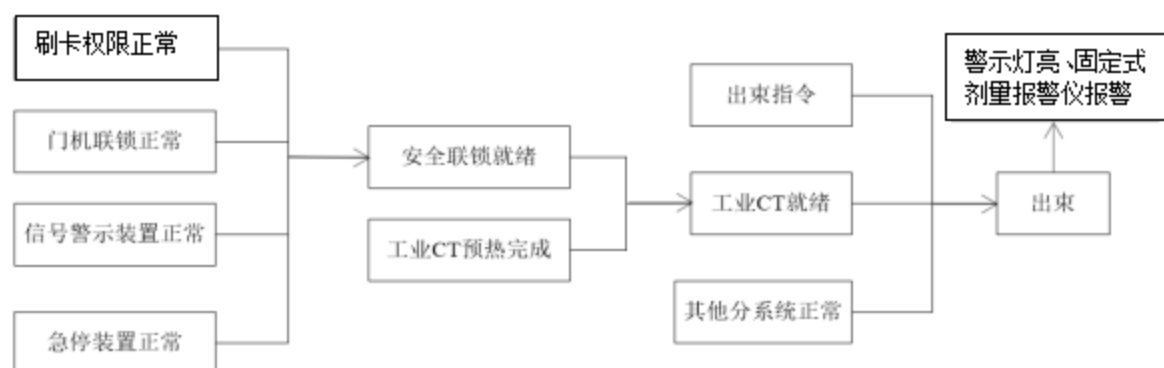


图 10-3 辐射安全联锁逻辑图

10.3 个人防护用品及监测仪器

项目拟配置的个人防护用品及监测仪器如下表 10-2 所示。

表 10-2 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	3 台	辐射工作人员佩戴，实时监测辐射剂量是否超标	拟购
2	个人剂量计	3 枚	工作期间辐射工作人员佩戴，对个人受到的照射剂量进行记录	拟购
3	便携式 X-γ 辐射剂量巡测仪	1 台	定期对设备屏蔽体外周围剂量当量率进行监测，保证屏蔽体的屏蔽效果。	依托
4	固定式剂量报警仪	1 套	探头安装在设备铅房内，监测铅房内的实时剂量率水平，超过阈值会进行声光报警。	拟购

10.4 放射性“三废”的处理

根据工程分析，本项目不涉及放射性“三废”。

10.5 项目措施与相关要求的符合性分析

根据上文介绍，项目拟采取的辐射防护措施其与相关标准和规范的相关要求对比情况见表 10-3 所示。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-3 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准名称	标准要求		项目情况
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	4 使用单位放射防护要求	4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。	重庆海辰对本项目放射防护安全负主体责任。
		4.2 应建立放射防护管理组织,明确放射防护管理人员及其职责,建立和实施放射防护管理制度和措施。	重庆海辰成立了辐射安全与防护管理小组,明确了管理人员及组织职责,制定了辐射防护管理制度,本项目投运前补充制定本项目设备操作规程。
		4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ128 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。	重庆海辰制定了《人员培训计划和监测方案》和《辐射工作人员健康管理规定》,本项目辐射工作人员拟按制度要求进行个人剂量监测和职业健康监护。
		4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。	本项目拟配备辐射工作人员需取得 X 射线无损检测工作资格证再上岗。
		4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	本项目依托已有的 1 台便携式 X-γ 辐射剂量巡测仪,拟配置 3 台个人剂量报警仪。
		4.6 应制定辐射事故应急预案。	公司已制定《辐射安全事故应急预案》,待本项目运行前再根据实际情况进行修订完善。
	5 探伤机的放射防护要求	5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下,距 X 射线管焦点 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/T26837 的要求。表 1 内容略。	本项目设备拟购买合格出厂的设备。
		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) 安全连锁是否正常工作; 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。	拟制定本项目设备操作规程,规定工作前检查相应项目。

续表 10 辐射安全与防护

标准名称	标准要求		项目情况
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	5 探伤机的放射防护要求	5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求： a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设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	单位已制定有设备检修维护制度，可以满足本项目要求；设备维护由生产厂家负责，维护后做好维护记录。
	6.1 探伤室放射防护要求	6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。	设备自带屏蔽铅房。设备屏蔽箱体材料和厚度充分考虑了设备辐射防护要求。本项目在线工业 CT 正常工作期间，主射方向朝向后侧、顶部和底部，操作面板设置于铅房外且位于设备前侧，避开了主射线照射方向。本项目铅房无迷路，检修门的防护性能与同侧墙体相当。
		6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。	本项目将在线工业 CT 设备整体划为控制区，由于本装置位于一个大厂房敞开空间的闲置区域，本次考虑将设备周围相邻的走廊的区域（以各个生产区的地标线划分）均划为监督区。工作场所分区管理满足 GB18871 的要求。
		6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足： a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。	根据后文核算，设备屏蔽体均满足要求。
		6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足： a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤	根据后文核算，工业 CT 顶的辐射屏满足标准要求，本评价工业 CT 顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平保守取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

续表 10 辐射安全与防护

		<p>室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3;</p> <p>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>	
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	6.1 探伤室放射防护要求	<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。</p>	<p>本项目在线工业 CT 铅房仅设置 1 个检修门, 检修门与 X 射线球管联锁, 只有当检修门关闭后 X 射线球管才能出束。在检测过程中, 检修门被意外打开时, 能立刻停止出束。本项目在线工业 CT 铅房内空尺寸小, 人员无法进入铅房内部。</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>本项目在线工业 CT 铅房内和设备外操作面板处均设置报警灯和蜂鸣器, 显示 X 射线球管工作状态, X 射线球管预备时蜂鸣器发出报警声音, 照射时报警灯开启。报警灯和蜂鸣器均与 X 射线球管联锁, 同时在报警灯和蜂鸣器旁的位置处设置对“照射”和“预备”信号意义的说明。</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>本项目在线工业 CT 铅房内拟设置 1 个监控探头, 可以全方位查看工业 CT 铅房内 CT 检测模块的运行情况, 也能查看被检工件、检修门等情况, 监控显示屏位于设备外前侧, 操作人员可以随时查看设备内运行情况。</p>
		<p>6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>	<p>本项目在线工业 CT 检修门上拟粘贴符合要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>
		<p>6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳, 确保出现紧急事故时, 能立即停止照射。按钮或拉绳的安装, 应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签, 标明使用方法。</p>	<p>本项目在线工业 CT 设备外箱体外相隔约 3 米距离安装 1 个急停按钮, 共设置 8 个急停按钮(含操作面板处 1 个)。因本项目在线工业 CT 铅房内空尺寸较小, 设备内部附件占用空间后人员无法进入内部, 故仅在铅房内检修门侧右下角设置 1 个急停按钮, 满足应急操作要求。</p>

续表 10 辐射安全与防护

《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	6.1 探伤室放射防护要求	6.1.10 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。	设备顶部设排风口并连接到凹版车间预留的机械排风管道,总排风量为 180m ³ /h,通风次数约 18 次/h。
		6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	设备铅房内配置 1 个固定式剂量报警仪探头,显示屏集成于操作面板处。
	6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求	6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。	拟制定工业 CT 操作规程,规定每天工作前,检查门机联锁装置和工作状态指示灯等防护安全措施是否正常。
		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。	本项目人员不进入铅房内,在打开检修门检修期间按本条的要求执行。拟依托现有便携式 X-γ剂量率仪并新购个人剂量报警仪,当仪器报警时,立刻按下急停按钮或切断设备电源并关闭检修门,并立即向辐射防护负责人报告。
		6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平,包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应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 1 台便携式 X-γ剂量率仪,拟按照监测方案计划,定期对设备周围剂量率水平进行监测,工业 CT 铅房四周屏蔽体、顶棚外 30cm 处及底板外 12cm 处周围剂量当量率大于 2.5μSv/h 时,及时进行整改。
		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。	交接班或当班使用便携式 X-γ剂量率仪前,检查是否可以正常运行,发现异常,及时维修。
		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。
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求	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。	拟制定操作规程,要求工作人员每次操作前,需要确认设备内无人员驻留,并关闭防护门。确认所有防护和安全装置都正常运行后,再启动设备。
		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	本项目是给电芯进行无损检测,进出料隧道尺寸满足电芯

续表 10 辐射安全与防护

22)		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。	进出要求,不需要开门探伤。
	6.3 探伤设施的退役	<p>当工业探伤设施不再使用,应实施退役程序。包括以下内容:</p> <p>c) X 射线发生器应处置至无法使用,或经监管机构批准后,转移给其他已获许可机构。</p> <p>e) 当所有辐射源从现场移走后,使用单位按监管机构要求办理相关手续。</p> <p>f) 清除所有电离辐射警告标志和安全告知。</p> <p>g) 对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测,以确认现场没有留下放射源,并确认污染状况。</p>	本项目不再使用后,设备报废后按照相关要求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。清除工作场所内电离辐射警告标志和各类说明。
《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》 (GBZ/T250-2014)	3 探伤室屏蔽要求	3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室,可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。	设备自带铅房屏蔽体,人员不进入铅房内,工件通过专用的进出料隧道进出铅房,检修门与同侧墙体的屏蔽防护能力相当,未设置迷路。
		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免有用线束照射的方向。	本项目在线工业 CT 正常工作期间,主射方向朝向后侧、顶部和底部,操作面板设置于铅房外且位于设备前侧,避开了主射线照射方向。
		3.3.3 屏蔽设计中,应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	本项目在线工业 CT 铅房主各管线开孔区域内均设置铅防护罩进行屏蔽补偿。
	3 探伤室屏蔽要求	3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间,常用的材料为混凝土、铅和钢板等。	本项目拟购置整体式设备,采用铅+钢板作为屏蔽材料。
《职业性外照射个人监测规范》 GBZ128-2019	5.3 佩戴	5.3.1 对于比较均匀的辐射场,当辐射主要来自前方时,剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置,一般在左胸前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于前方,拟为工作人员配备个人剂量计,要求工作人员佩戴在胸口位置。

续表 10 辐射安全与防护

	7.3 实施监测过程的质量保证	7.3.2 个人剂量计在非工作期间避免受到任何人工辐射的照射。	个人剂量计拟设置专人保管，在非工作期间统一保管于非辐射照射区。
<p>根据表 10-3 可知，本项目采取的辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《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）的要求。在设备安装和运行阶段，应严格落实相关辐射安全防护措施。</p>			

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目施工期的环境影响主要是设备的安装和调试。施工过程中主要有包装垃圾产生，还有施工人员产生的少量生活污水和生活垃圾。施工人员产生的少量生活污水依托厂区污水处理设施处理，一般固废统一交由环卫部门处理。因本项目施工期短、工程量小，施工范围小，且随着施工期的结束而结束，固废能得到妥善处置，因此施工对环境产生的影响小。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。

运行阶段对环境的影响

11.1 工业 CT 屏蔽能力理论预测

11.1.1 工业 CT 辐射屏蔽估算公式

核算公式使用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中公式。

(1) 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。

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

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）；

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 6×10^4 ，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 11-2) 计算：

续表 11 环境影响分析

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

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)；

H_0 ——距辐射源点(靶点)1m处输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，见附录表 B.1，Gy/Sv 的转换因子取 1；

B——屏蔽透射因子；

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离，单位为米(m)。

(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：

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

式中：

X——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL——查表。

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：

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

式中：

TVL——查表；

B——达到剂量参考控制水平 \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。

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

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)；

续表 11 环境影响分析

\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 ($\mu\text{Sv/h}$)。

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

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

式中:

B—屏蔽透射因子;

R—辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m);

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

(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 (11-4) 计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

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

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_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 6×10^4 ;

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;

B—屏蔽透射因子;

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时, 相应的屏蔽透射因子 B, 查表得出 90° 散射辐射的

续表 11 环境影响分析

TVL，然后按照式（3）计算。关注点的散射辐射剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按照式（11-8）计算。

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

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

B —屏蔽透射因子；

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；

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）。

11.1.2 工业 CT 防护核算原则及主要技术参数

（1）主要技术参数

①关注点的选取与距离、方向的核算

因本项目在线工业 CT 设备铅房与电气柜等附属部件为一个整体，故本次核算关注点选择在线工业 CT 整体设备外表面 30cm 处（地板选择设备下方地面处）。

本项目在线工业 CT 正常工作时主射方向朝向后侧、顶部或底部，调试校准时，主射方向可能朝向前侧，故本次核算前侧、后侧、顶部、底部均考虑主射，但由于 CT 检测环的转动导致 X 射线球管漏射影响的距离小于主射距离，故对于前侧、后侧、顶部、底部还同时考虑漏射和散射线的影响。由于本项目 X 射线锥束角度为 94° ，结合铅房尺寸和 X 射线球管位置，铅房左侧和右侧部分区域仍然可能位于主射束照射范围内，故铅房左侧和右侧不同关注点按照该处受照射线类型分别考虑主射、漏射或散射影响。同时，因设备铅房左右侧和顶部均设置有 1 个穿线孔，且穿线孔屏蔽防护罩防护厚度少于同侧箱体，因此额外在穿线孔对应位置设置计算关注点。

续表 11 环境影响分析

工业 CT 周围各点位估算示意图 11-1 和图 11-2，核算时各方向距离核算情况见表 11-1。

表 11-1 关注点选取情况一览表

关注点	方位	核算距离（m）	辐射类型	屏蔽体
a	前侧	1.81	主射线	前侧屏蔽体
		1.15	散射、漏射	前侧屏蔽体
a1		2.64	主射线	右侧屏蔽体
a2		1.27	散射、漏射	左侧屏蔽体
a3		2.01	主射线	左侧屏蔽体
a4		2.21	散射、漏射	通道口屏蔽体
b	右侧	3.39	散射、漏射	通道口屏蔽体
c	后侧	2.53	主射线	后侧屏蔽体
		1.87	散射、漏射	后侧屏蔽体
c1		3.71	主射线	右侧屏蔽体
c2		3.71	主射线	左侧屏蔽体
d	左侧	7.28	散射、漏射	通道口屏蔽体
e	顶棚	2.31	主射线	顶面屏蔽体
		1.64	散射、漏射	顶面屏蔽体
2.32		主射线	排风屏蔽体	
e1		3.38	主射线	右侧屏蔽体
e2		3.38	主射线	左侧屏蔽体
f	底板	1.46	主射线	底面屏蔽体
		0.79	散射、漏射	底面屏蔽体
f1		2.13	主射线	右侧屏蔽体
		2.13	主射线	电缆口屏蔽体
f2		2.13	主射线	左侧屏蔽体
f3		1.69	主射线	电缆口屏蔽体

续表 11 环境影响分析

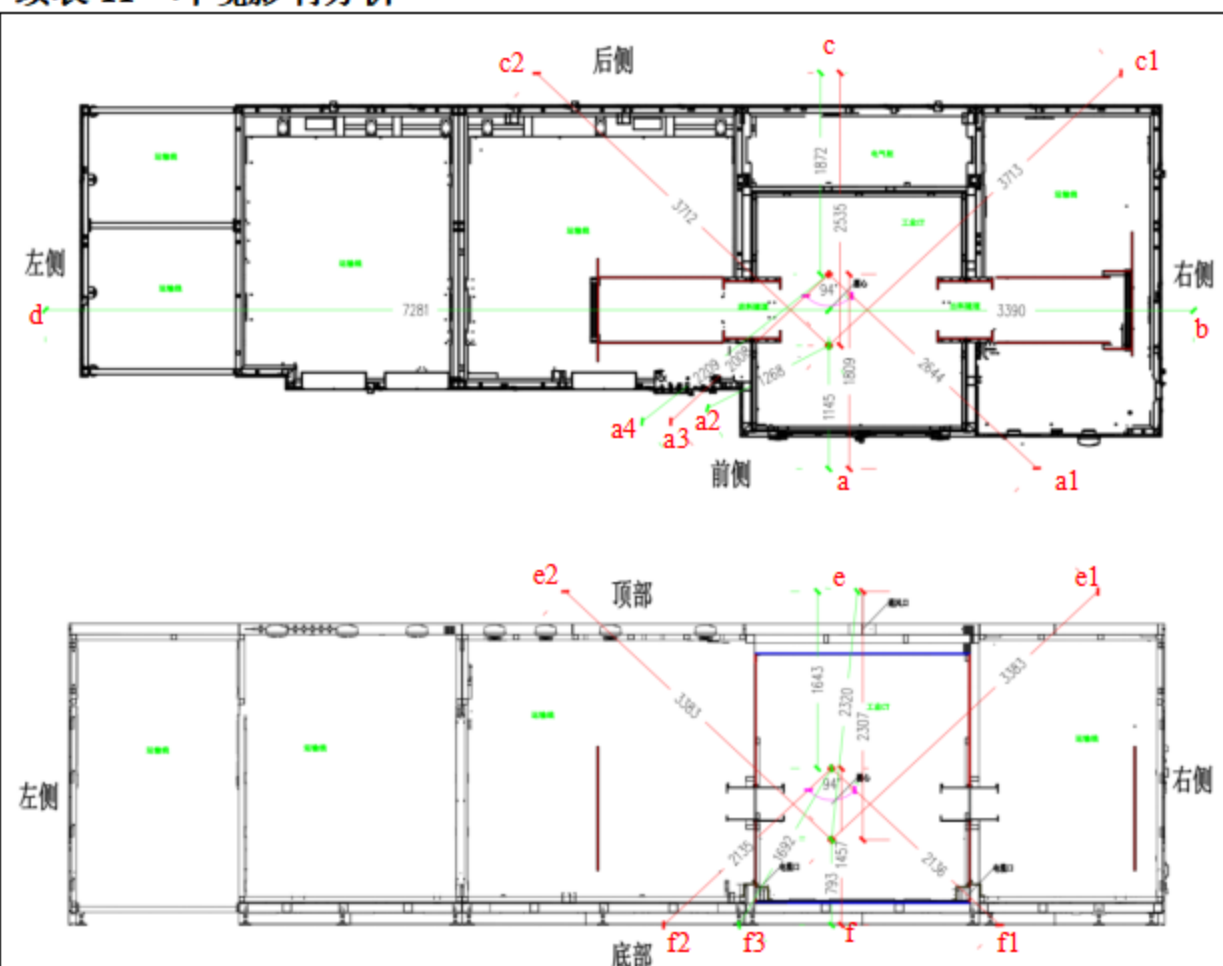


图 11-1 在线工业 CT (180kV) 屏蔽计算点位示意图

②其他参数

本项目屏蔽体核算过程中的相应其他参数见表 11-2 所示。

表 11-2 屏蔽体核算相关参数

参数	数 值	来源
设备基础参数	X 射线管最高电压 180kV，最大电流 0.5mA；	建设单位提供
G (mGy·m ² /mA·min)	3mmAl 条件下，180kV 为 19.3	ICRP33，查图
转换系数	6×10 ⁴	/
H ₀ (μSv·m ² /(mA·h))	1.16×10 ⁶	
α	0.048	参照 GBZ/T250-2014 附录 B.4.1， 取 α=1.9×10 ⁻³ ×10000/400≈0.048
$\frac{R_0^2}{F \times \alpha}$	5.77	根据 GBZ/T250-2014 计算： F=(0.332×tan47°) ² ×3.14=0.398m ² 、 R ₀ =0.332m
泄漏辐射剂量率 H _L (μSv/h)	2500	GBZ/T250-2014 表 1

续表 11 环境影响分析

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 (mm)			GBZ/T250-2014 表 B.2, 内插法计算
	电压	TVL	HVL	
	180kV	1.22mm*	0.37mm*	
	150kV	0.96mm	0.29mm	
	钢或铁			《辐射防护导论》(方杰主编, P103, 附图 3.23) 查图
	电压等级	TVL	HVL	
	180kV	12.8mm	/	
	150kV	9.5mm	/	

备注: ①Sv、Gy 转换因子取 1, 其余位置同此;

②运行电流保守按照设备最大管电流 0.5mA 进行考虑。

(2) 屏蔽防护效能核算原则

墙体厚度确定原则: 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)。

本项目工作场所屏蔽计算选择设备最大参数条件, 且不考虑工件本身的防护效果。

本项目的工业 CT 的 X 射线球管额定电压为 180kV, 在 GBZ/T250-2014 中附录 B.1 的曲线中无对应的曲线, 因此采用公式 (1) 和 (3) 进行理论计算。

11.1.3 工业 CT 防护核算结果

本项目工业 CT 的屏蔽体屏蔽能力核算结果见表 11-3。

表 11-3 工业 CT 屏蔽效能核实表

关注点		剂量率参考 控制水平 Hc (μSv/h)	距离 (m)	控制水平下的 射线实际屏蔽 所需厚度 (mmPb)		设计厚度	设计厚度下瞬时 剂量 (μSv/h)		是否 达到 屏蔽 要求
a	主射线	2.5	1.81	5.9		13.5mmPb+3.5mm 钢	8.10E-07		是
	散射	2.5	1.15	4.3	4.7	13.5mmPb+3.5mm 钢	2.81E-10	8.94E-09	是
	漏射			3.5			8.66E-09		
a1	主射线	2.5	2.64	5.5		(16.4mmPb+4.8mm 钢)	1.26E-09		是
a2	散射	2.5	1.27	4.2	4.6	(13.9mmPb+3.9mm 钢)	8.02E-11	3.19E-09	是
	漏射			3.4			3.11E-09		
a3	主射线	2.5	2.01	5.8		(16.4mmPb+4.8mm 钢)	2.18E-09		是

续表 11 环境影响分析

a4	散射	2.5	2.21	3.8	4.1	(6.4mmPb+3.8mm 钢)	1.763E-03	3.23E-03	是
	漏射			2.8			1.47E-03		
b	散射	2.5	3.39	3.4	3.7	5mmPb+3mm 钢	2.61E-02	3.62E-02	是
	漏射			2.4			1.01E-02		
c	主射线	2.5	2.53	5.6	4.3	13.5mmPb+3.5mm 钢	4.14E-07	3.38E-09	是
	散射	2.5	1.87	3.9		13.5mmPb+3.5mm 钢	1.06E-10		
	漏射			3.0			3.28E-09		
c1	主射线	2.5	3.71	4.4	4.4	(16.4mmPb+4.8mm 钢)	4.26E-12	6.40E-10	是
c2	主射线	2.5	3.71	5.2		(16.4mmPb+4.8mm 钢)	6.40E-10		
d	散射	2.5	7.28	2.8	3.2	5mmPb+3mm 钢	5.66E-03	7.86E-03	是
	漏射			1.6			2.19E-03		
e	主射线	2.5	2.31	5.7	4.4	13.5mmPb+3.5mm 钢	4.97E-07	4.40E-09	是
	散射	2.5	1.64	4.0		13.5mmPb+3.5mm 钢	1.38E-10		
	漏射			3.1			4.26E-09		
	主射线	2.5	2.32	5.7		10mmPb+4mm 钢	3.33E-04		
e1	主射线	2.5	3.38	5.3	5.3	(16.4mmPb+4.8mm 钢)	7.71E-10	7.71E-10	是
e2	主射线	2.5	3.38	5.3		(16.4mmPb+4.8mm 钢)	7.71E-10		
f	主射线	2.5	1.46	6.1	5.0	13.5mmPb+18.5mm 钢	8.38E-08	1.29E-09	是
	散射	2.5	0.79	4.6		13.5mmPb+18.5mm 钢	4.99E-11		
	漏射			3.9			1.24E-09		
f1	主射线	2.5	2.13	5.7	5.7	(16.4mmPb+4.8mm 钢)	1.94E-09	4.67E-02	是
	主射线	2.5	2.13	5.7		(7.3mmPb+5.8mm 钢)	4.67E-02		
f2	主射线	2.5	2.13	5.7	5.7	(16.4mmPb+4.8mm 钢)	1.94E-09	1.56	是
f3	主射线	2.5	1.69	6.0		(5.8mmPb+4.6mm 钢)	1.56		

备注：①当散射和漏射计算结果相差不足一个十值层时，在较高值的基础上增加一个半值层。

②设计厚度中括号内厚度为射线穿过的实际屏蔽厚度。

综上所述，根据计算结果可知，设备工作时，屏蔽箱体的四周、顶棚、底板及防护门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》（GBZ117-2022）屏蔽防护的要求。工业 CT 顶棚上方剂量率均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，经过距离衰减后和散射后，该部分剂量率对周围环境的辐射影响是很小的，不考虑天空散射。

11.1.4 工作人员年有效剂量估算

(1) 估算公式

X-γ射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

$$H_{Er} = H_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad \text{式 (11-10)}$$

式中：

续表 11 环境影响分析

H_{Er} : X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv;

$H_{(10)}$: X 或 γ 射线周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t: X 或 γ 射线照射时间, 小时。

(2) 估算结果

工作人员剂量估算表见表 11-4。

表 11-4 工作人员工作时剂量估算表

估算人员	工作场所	设计厚度下剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)
辐射工作人员	前侧操作面板	3.62E-02	400	0.014

备注: 保守直接取设备表面 30cm 处剂量率最大值、受照时间按年曝光时间的 1/10 进行估算。

根据表 11-4 可得出以下结论:

该项目辐射工作人员所受的年有效剂量为 0.014mSv/a, 约 0.27 $\mu\text{Sv/周}$, 低于本评价管理目标值 5mSv/a, 也低于周剂量参考控制水平 100 $\mu\text{Sv/周}$, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 和《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 的要求。

根据本项目东侧约 8m 处测试房 1 内离线工业 CT 的验收监测结果可知, 离线工业 CT 工作时对周围环境的电离辐射影响很小, 现状监测结果与背景值相当, 考虑距离衰减后, 离线工业 CT 对本项目辐射工作人员的叠加影响可忽略不计。

11.3 对周围环境保护目标的影响分析

工业 CT 各屏蔽体外 0.3m 处的瞬时剂量率满足国家相关标准要求, 根据 X 射线随距离的增加而快速减弱的特性可知, 距离设备更远的各环境保护目标的辐射影响也满足相应标准和要求。

本项目设备周围环境保护目标预测结果见表 11-5。

表 11-5 环境保护目标处公众周围剂量当量率预测结果表

序号	环境保护目标名称	方位	水平距离 (距箱体)	保护目标处 剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)	工作时间	居留因子	年受照剂量 (mSv)	周受照剂量 (μSv)
1	走廊	西南侧	约 0~2m	3.23E-03	4000	1/5	2.58E-03	4.97E-02
2	切叠热压区等		约 2~50m	8.90E-04	4000	1	3.56E-03	6.85E-02

续表 11 环境影响分析

3	走廊	东南侧	约 0~21m	3.63E-02	4000	1/5	2.90E-02	5.58E-01
4	拆包间、存放间		约 21~40m	7.00E-04	4000	1	2.80E-03	5.39E-02
5	室外道路和绿化		约 40~50m	2.21E-04	4000	1/20	4.43E-05	8.51E-04
6	测试房、打包区	东侧	约 8m~50m	3.21E-03	4000	1	1.28E-02	2.47E-01
7	走廊	东北侧	约 0~1.5m	4.15E-07	4000	1/5	3.32E-07	6.38E-06
8	焊接区		约 1.5~50m	1.63E-07	4000	1	6.54E-07	1.26E-05
9	走廊	西北侧	约 0~2m	7.86E-03	4000	1/5	6.29E-03	1.21E-01
10	参观通道		约 2~16m	4.84E-03	4000	1/20	9.68E-04	1.86E-02
11	其他生产线		约 16~50m	7.69E-04	4000	1	3.08E-03	5.91E-02
12	风雨连廊		约 5~16m	2.76E-03	4000	1/20	5.53E-04	1.06E-02
13	3F 预留用房	楼上	高于铅房顶约 12m	8.75E-06	4000	1	3.50E-05	6.73E-04
14	凹版车间 2~3F		高于铅房顶约 5m	3.35E-05	4000	1	1.34E-04	2.58E-03

注：①居留因子参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 A 取值，考虑厂房远期使用情况，预留房间居留因子取最大 1；

②同一保护目标存在不同场所与环境条件时居留因子取大者；

③核算距离保留一位小数。

根据表 11-5，项目设备开展 X 射线无损检测工作时，在设备周围活动的公众成员所受的最大年附加有效剂量约为 0.03mSv，低于本评价剂量约束值 0.1mSv/a，最大周剂量约为 0.6 μ Sv，低于周剂量参考控制水平 5 μ Sv/周，满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。根据本项目东侧约 8m 处测试房 1 内离线工业 CT 的验收监测结果可知，离线工业 CT 工作时对周围环境的电离辐射影响很小，现状监测结果与背景值相当，考虑距离衰减后，离线工业 CT 对本项目环境保护目标的叠加影响可忽略不计。因此，项目设备屏蔽体外 50m 范围内的各环境保护目标的辐射影响也满足相应标准和要求，对环境保护目标的影响很小。

11.4 其他影响

(1) 废气对环境影响分析

续表 11 环境影响分析

在探伤作业时，X射线使空气电离产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（主要为NO₂）。在线工业CT铅房顶部设置1个排风口，并直接连接到厂房机械排风管道，铅房内换气次数约为18次/h。房间内废气通过新建管道接入厂区废气处理管道预留口，最终引至凹版车间楼顶排放，排气筒朝向天空，高度约30m，排气筒四周均为重庆海辰厂区内部和远期预留用地，废气排放经扩散后对人群和环境影响很小。

项目废气通过通风系统引至室外排放，项目用房周边均为厂区内部。同时，周围地势开阔，利于O₃、NO_x废气的扩散。故项目产生的废气对周围环境影响小。

（2）废水环境影响

项目无生产废水产生，本项目废水主要为重庆海辰辐射工作人员产生的生活污水。

工作人员生活污水依托厂区污水处理设施处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后接入市政污水管网，排入污水处理厂进行处理，对地表水环境影响较小。本项目工作人员在重庆海辰总劳动定员内，不增加人员数量和生活污水产生量。

（3）固废环境影响

生活垃圾依托厂区现有的生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。

设备报废后按照相关要求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。

综上所述，建设单位按照以上措施对固体废物进行处理后，对环境基本无影响。

11.5 实践正当性分析

依照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）里辐射防护中“实践的正当性”相关要求，针对某一实践活动，需综合考量社会、经济以及其他相关因素。只有当该实践为受照个人乃至社会带来的利益，能够充分抵消其可能引发的辐射危害时，方可判定这一实践具有正当性。

本项目运用工业CT无损检测技术，旨在对电芯极片对齐度开展无损质量检测，以保障产品质量及使用安全。工业CT的X射线在对产品无损质量检验方面有其他技术无法替代的特点，项目的建设对公司生产的电芯提供了先进的检测手段。借助工业CT实施电芯质量检测，既能提升检测的精准度与效率，还能在不损害产品的前提下，掌握电

续表 11 环境影响分析

芯极片对齐度状况，具有明显的社会效益，同时也将为公司创造更大的经济效益，远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

11.6 产业政策符合性分析

项目主要是配置工业 CT 用于对工件进行无损检测，属于《产业结构调整指导目录》（2024 年本）“三十一、科技服务业”中的第 1 条“质量认证和检验检测服务”，属于“鼓励类”。因此，项目符合国家产业政策。

11.7 事故影响分析

（1）风险事故类型

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

本项目设备产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。因在线工业 CT 设置有专用屏蔽体，基本不会发生固定性屏蔽体损坏而致人员受到误照射的事故，即使发生，也能一目了然而不再开机曝光，即不会受到误照射。X 射线看不见、摸不着，因此，更多的辐射事故是因为管理等不到位，而导致无关人员受到误照射。这类辐射事故主要体现在以下几个方面：

①X 射线球管设备自身丧失屏蔽或系统故障

本项目 X 射线球管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上的屏蔽块移走，使 X 射线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安全联锁装置失效：由于门机联锁装置失效，设备出束时，检修门未关闭或门被开启，射线仍然能发射，造成射线外泄，可能对辐射工作人员及公众成员产生较大剂量照射。

③屏蔽体出现膨胀变形

本项目铅房各方向屏蔽体使用多年以后，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。

续表 11 环境影响分析

(2) 后果分析

事故情景①工业 CT 球管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 180kV，最大管电流 0.5mA 运行，极端情况下，事故时间考虑设备球管运行一个班次时长 5.6h，选择距离 X 射线球管最近的一侧（前侧：1.15m）作为关注点。铅房外人员误照射最大剂量估算情况见表 11-6。

表11-6 铅房外人员误照射最大剂量估算表

名称	事故情景	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总有效剂量 (Sv)	吸收剂量 (Gy)
工业 CT	X 射线球管丧失自身屏蔽	2.01×10^{-6}	1.12×10^{-11}	1.12×10^{-11}

事故情景②安全联锁失效

考虑最不利情况，安全联锁装置失效的事故下，设备考虑最大管电压 180kV，最大管电流 0.5mA 运行，极端情况下，事故时间考虑反应时间 2min。考虑工作人员在检修时射线未关闭状态下，设备检修门打开。180kV 条件下运行时，检修门在主射方向上（前侧：1.81m），保守考虑主射线影响，铅房外人员误照射最大剂量估算情况见表 11-7。

表 11-7 铅房外人员误照射最大剂量估算表

名称	事故情景	防护门处有效剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	总有效剂量 (Sv)	吸收剂量 (Gy)
工业 CT	联锁装置失效	1.77×10^5	0.01	0.01

事故情景③屏蔽体变形

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情况，操作人员携带个人剂量报警仪，因此在发生此情形事故时，能及时发现并紧急关停设备出束；若操作人员未携带个人剂量报警仪，便很难被发现，因此造成此事故的发生。

设备考虑设备前侧，该种情况下的事故剂量率值与事故情景②安全联锁失效情况下的数值相同，经计算没有屏蔽防护情况下，设备前侧周围剂量当量率可达 $1.77 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ，极端情况下，事故事件考虑设备球管运行一个班次时长 5.6h，铅房四周屏蔽体外敏感目标处停留的人员受照剂量最大约约 0.99Sv (0.99Gy)。在此期间内屏蔽体外的辐射剂量具体情况如下表 11-8。

续表 11 环境影响分析

表 11-8 项目铅屏蔽体膨胀变形事故受照剂量估算表			
误照射次数 (天)	受照射时间	受照射剂量	
		剂量当量 (Sv)	吸收剂量 (Gy)
1	5.6h	0.99	0.99

(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。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程,大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化,由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤,继而出现相应的生化代谢紊乱,并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类,分为随机性效应和组织反应。

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

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

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

根据上述后果分析可知,一般事故情况下,人员受到超过年剂量的照射,可能导致人员随机性效应几率增加,但不会有明显临床指征,但极端情况下,人员长时间受到意

续表 11 环境影响分析

外辐射，可能出现更严重后果。

(4) 事故分级

由前述事故工况下的辐射影响估算可知，本项目各类辐射事故中，影响最大的为铅屏蔽体膨胀变形事故，该种情况下，人员可能受到辐射损伤，导致中度放射病。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定“一般辐射事故，是指一般辐射事故，是指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；较大辐射事故，是指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；重大辐射事故，是指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；特别重大辐射事故，是指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。”

事故发生具有随机性，因此，假若本项目发生事故，本项目**一般情况下发生的事故等级为一般辐射事故，极端情况下可能发生较大辐射及以上事故。**

(5) 辐射事故防范措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式是外照射，因此发生误照射事故应第一时间切断设备电源，确保设备停止出束。建设单位应采取以下措施防范风险事故发生。

①定期检查设备的门机联锁装置的有效性，发现故障及时清除，严禁违规操作。对于本项目涉及的安全控制措施各机构及电控系统，制定定期检查和维护的制度。确保安全装置随时处于正常工作状态。

②定期进行工业 CT 的维护检查，并做好记录。设备维护工作，由设备厂家派专业人员负责，由重庆海辰工作人员全程陪同。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。

③设备故障报警系统，如过压、欠压、过流报警、消除电流冲击等功能需定期检

续表 11 环境影响分析

查、发现问题及时维修，保证其正常运行，以及时发现设备可能出现的故障。同时，辐射监测器和报警系统可用作针对这类事件进行人员防护和纵深防御措施。

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本项目设备操作人员为工业 CT 相关工作人员，一般情况下，无关人员不会在该区域驻留。工作人员工作时，注意查看设备周边情况，避免无关人员靠近，并通过监控确认设备内部情况。

⑥除设备检修期间外，不能打开检修门，避免人员误入。同时在设备运行前，确认检修门是否上锁且不能随意打开。

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》第十六条要求：使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专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。

公司已开展有核技术利用项目，按照要求成立了辐射安全与防护管理小组，其主要职责为制定公司辐射防护管理制度，定期组织辐射工作人员进行培训、体检和个人剂量监测，对工作场所辐射防护安全设施进行定期检查等。公司设置专职辐射安全管理员，管理员学历为本科及以上，满足要求。本项目拟纳入公司现有辐射环境管理体系中。

12.2 辐射安全管理

(1) 辐射安全管理制度

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，重庆海辰必须培养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。为此，公司应按照规定制定相应的管理制度，包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、人员健康及个人剂量管理制度、监测方案、辐射事故应急措施等。

重庆海辰制定有多项辐射防护管理制度，包括：《辐射安全防护和安全保卫制度》《辐射工作人员健康管理规定》《设备维修维护制度》《岗位职责制度》《人员培训计划和监测方案》《辐射安全事故应急预案》《操作规程》等。上述管理制度考虑到了公司现有核技术利用项目类别以及相关辐射设备的操作使用和安全防护，制度健全，具有可操作性。部分制度张贴在射线装置工作场所内。公司之前严格按照上述管理制度落实。本项目建成后根据设备说明书制定本设备的操作规程并完善相应制度及应急预案，并纳入建设单位的管理体系中。

(2) 辐射工作人员管理

重庆海辰现有 32 名辐射工作人员，已按照要求进行了职业健康检查（两年一次）、

表 12 辐射安全管理

个人剂量监测（三个月一次），其中使用 V 类放射源和 II 类射线装置的 19 人通过了核技术利用辐射安全与防护考核且在有效期内，仅使用 III 类射线装置 13 人通过了建设单位自行组织的核技术利用辐射安全与防护考核且在有效期内。本项目调配培养的 3 名工作人员应纳入辐射工作人员管理，按照公司《人员培训计划和监测方案》，组织辐射工作人员在上岗前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（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识并参加应类别的辐射安全与防护考核，考核合格后再上岗工作。本项目调配培养的工作人员应按照《人员培训计划和监测方案》等制度的规定进行个人剂量监测，要求工作人员工作期间必须正确佩戴个人剂量计，对个人剂量计严格管理，防止个人剂量计遗失和监测结果异常。本项目调配培养的工作人员应按照《辐射工作人员健康管理规定》进行职业健康检查。

（3）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。

公司按照上述要求每年均提交了上一年度的年度评估报告，年度评估报告包括单位基本信息、射线装置台账、现有防护用品情况、辐射安全和防护设施的运行与维护及辐射安全和防护制度及措施的建立和落实等方面的内容。待本项目建成运行后应纳入年度评估管理，按规定开展年度评估检查，对检查中发现的问题或不足及时整改，消除安全隐患，按规定编制并上报年度评估报告。

（4）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。

重庆海辰建立了辐射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，并且组织上岗后的辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的

表 12 辐射安全管理

时间间隔不超过2年。个人剂量档案和职业监控检查资料终生保存。

档案信息和保存等按照环境保护令第 18 号规定执行。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”。建设单位根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。本项目建成后将本项目的档案纳入公司档案管理中。

(5) 核安全文化建设

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

建设单位已建立了辐射环境安全管理体系，设立核安全保障机构，明确了单位各层级人员的职责，将良好的核安全文化融汇于运营和管理的各个环节；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。

表 12 辐射安全管理

12.3 从事辐射活动能力评价

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

表 12-1 从事辐射活动能力的评价

应具备条件	落实的情况
设有专门的辐射安全与环境保护管理机构或者至少有一名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作。
从事放射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	已制定培训制度，本项目辐射工作人员将在上岗前按照规定参加培训并考核合格。
射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目设备自带屏蔽铅房且固定使用，设备屏蔽能力满足要求；设备拟设置门机联锁、灯机联锁、电离辐射警示标志以及警示灯、紧急停机按钮等安全防护措施。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量计。	本项目拟依托现有便携式 X-γ 辐射剂量率仪、新购置个人剂量计、个人辐射报警仪等。
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。	重庆海辰制定有全面的辐射防护制度，并按照制度要求进行管理，同时本项目拟根据设备说明书另行制定操作规程。
有完善的辐射事故应急措施。	制定了辐射事故应急处理相关制度，明确了发生辐射事故后的应急处理要求，待本项目运行前拟根据实际情况补充完善。

根据上表可知，建设单位已建立有相应的辐射环境管理体系，因此本项目的管理工作依托现有的管理体系，已具备了一定的能力，但建设单位还应针对本项目射线装置的特点完善相应管理制度，在落实辐射防护管理和现场设施等要求后重新申请辐射安全许可证，方具备从事本项目辐射活动的能力。

12.3 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进行监测、探伤工作场所外的环境监测，开展常规的防护监测工作。

建设单位已制定《人员培训计划和监测方案》《辐射工作人员健康管理规定》等，并按要求开展了个人剂量监测和工作场所的环境监测。建设单位应为本项目配备与辐射类型和辐射水平相适应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对射线装置周围环境进行监测，按规定要求开展各项监测，做好监测记录，存档备查。辐射监测内容包括：

表 12 辐射安全管理

(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。

监测频率：一般为 1 个月测读一次，最长不超过 3 个月，如发现异常可加密监测频率。

(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日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测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。同时，每次进行检测作业时的，设备运行条件及工件、操作人员信息等也应记录在案。

④监测点位：设备周围屏蔽体外、防护门外、顶棚上方30cm处，以及屏蔽体穿墙管线、门缝等辐射防护薄弱处。在巡测时发现数值异常高的区域，进行定点监测。监测点位按照防护门左中右侧和门缝四周各一个点、主线束范围内5个点、其余屏蔽体各3个点。人员经常活动的区域需要重点关注。

监测开始前确认设备内没有人员，确认设备正常，监测使用设备最大运行条件，检测主射线方向时不使用工件，监测其他方向时使用工件。

(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。安全检查维护见表 12-2。

表 12 辐射安全管理

表 12-2 安全检查维护要求			
类型	对象	内容	频次
检查	工业 CT	防护门-机联锁装置，以及出束信号指示灯	日检
		a) 外观是否存在可见的损坏；b) 电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；c) 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
检查	工业 CT	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	工业 CT	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

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

在本项目建成运行前，建设单位应根据实际情况完善应急预案内容。

12.4.1 应急处理小组

由公司主要负责人及 X 射线装置相关管理人员组成辐射事故应急领导小组，其主要职责是发生辐射事故后，对现场进行及时处理，对受到事故辐射照射的人员剂量进行估算，安排其就医，和上级主管部门报告辐射事故处理情况，事故处理结束后，总结经验，防止事故的发生。

12.4.2 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

本项目使用 II 类射线装置，可能发生的辐射事故主要为联锁失效等情况，导则人员受到不必要的误照射。一般情况下，事故可能导致辐射工作人员和公众成员受照剂量超

表 12 辐射安全管理

过年剂量照射限值，造成一般辐射事故，极端情况下，人员长时间受到意外辐射，可能较大及以上辐射事故。

12.4.2 事故应急方案与措施

(1) 事故报告程序

一旦发生辐射事故，现场人员应迅速电话向公司辐射事故应急小组报告，应急小组需在事故发生后2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境部门报告。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。

(2) 辐射事故应急处置措施

本项目设备发生辐射事故时，应立即切断设备电源或者就近按下急停按钮，迅速控制事故发展，消除事故源。

(3) 辐射事故后处理

启动并组织实施应急方案，将事故受照人员撤离现场，检查人员受危害程度，并采取救护措施，保护事故现场，配合相关部门作好事故调查处理，并作好事故的善后工作。对可能受到辐射伤害人员，事故单位应当立即将其送至当地卫生部门指定的医院或者有条件救治辐射伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。查找事故原因，排除事故隐患，总结事故发生原因，杜绝事故的再次发生。

(3) 应急演练

组织工作人员根据项目运行过程中可能产生的各类辐射事故定期进行辐射事故演练，提高人员对突发事件的应急处理能力。应急演练过程记录在案，针对演练过程中发现的问题，及时整改，避免发生事故后，应急处置工作的不当。公司暂未开展过辐射事故应急演练活动，后续应按照规范要求执行，定期组织人员进行辐射事故应急处置演练，确保应急能力。

12.5 辐射安全与管理投资估算

项目环保投资估算表见表 12-3。

表 12 辐射安全管理

表 12-3 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	制作图框，上墙	0.5
警示标志	张贴正确，有中文说明	
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、蜂鸣器、警示灯等	5
防护监测设备	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪、便携式 X-γ 辐射剂量率仪（依托）	2.5
合计	环保手续：环评、验收、监测、办证等	5
合计		13

12.6 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应取得辐射安全许可证并按照《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）进行自主竣工环保验收。本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

表 12-3 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	在线工业 CT 机 1 台，Ⅱ类射线装置，最大管电压 180kV，最大管电流 0.5mA。		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	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估等管理制度和辐射事故应急预案。		齐全
4	电离辐射	剂量管理目标限值	辐射工作人员≤5mSv/a 公众成员≤0.1mSv/a	GB18871-2002 GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
		周围剂量当量率参考控制水平	在线工业 CT 四周和顶棚外 30cm 处及底板外 12cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h	
		周围剂量参考控制水平	职业工作人员：Hc≤100μSv/周 公众：Hc≤5μSv/周	

表 12 辐射安全管理

5	环保措施	<p>①工作场所分区管理；</p> <p>②设备铅房各屏蔽体、铅门有足够的屏蔽能力，管线口不影响屏蔽效果；</p> <p>③设置安全联锁系统，包括门机联锁、灯机联锁；蜂鸣器和设备设警示灯，能表达预备和照射的工作状态；铅房内、铅房外、操作面板上设急停按钮；</p> <p>④通风：机械通风，每小时有效通风换气次数应不小于 3 次；</p> <p>⑤铅房周围（含防护门）等醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志；</p> <p>⑥设置视频监视，铅房内安装摄像头；</p> <p>⑦每名辐射工作人员均配备个人剂量计，配置 1 台个人剂量报警仪、1 台便携式 X-γ剂量率仪和 1 套固定式场所辐射探测报警装置。</p>	符合相关要求
6	人员要求	配置不少于 3 名辐射工作人员，持证上岗，定期进行复训。	环境保护令第 3 号、第 18 号

表 13 结论和建议

13.结论

13.1 项目概况

重庆海辰储能科技有限公司拟在重庆市铜梁区东城街道 57 号公司厂区凹版车间 1F 中部建设厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）-MIC 线在线工业 CT 部分，拟配置 1 台在线工业 CT（II 类射线装置，最大管电压 180kV、最大管电流 0.5mA）开展无损检测工作。

项目总建筑面积约 31m²，项目总投资 200 万元，其中环保投资约 13 万元。

13.2 产业政策符合性

项目属于《产业结构调整指导目录》（2024 年本）“第一类 鼓励类”中“三十一、科技服务业”中的第 1 条“质量认证和检验检测服务”，属于“鼓励类”，项目符合国家产业政策。

13.3 实践正当性

项目使用工业 CT 开展工件无损质量检验，确保工件质量。其为企业和社会带来利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

13.4 辐射环境质量现状

拟建项目所在位置环境 γ 剂量率的监测值在 65nGy/h~81nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），项目所在场址及邻近环境的环境 γ 辐射剂量率与重庆市 2024 年环境 γ 辐射剂量率相比，在其正常涨落范围内。

13.5 选址可行性及布局合理性

本项目在线工业 CT 拟固定安装在凹版车间 1F，选址便于工件运输和检测工作开展，符合 MIC 生产线整体生成工艺流程，项目所在区域无人员长时间居留，便于辐射防护与安全管理。根据辐射环境监测结果，本项目拟建位置的环境 γ 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，项目选址可行。

本项目在线工业 CT 正常工作期间，主射方向朝向后侧、顶部和底部，操作面板设置于铅房外且位于设备前侧，避开了主射线照射方向。本项目检测工件均为小

表 13 结论和建议

型工件，通过进出料隧道及移载线体自动传输进出屏蔽铅房，无需人员搬运工件进入铅房。本项目工业 CT 铅房内空尺寸较小，设备内部构件占用空间后人员无法进入内部，故仅设置 1 个对开检修门供检修人员检修设备，且检修期间人员无法进入设备内部站立，大大减小人员受到近距离辐射照射的事故风险。本项目在线工业 CT 铅房各穿墙管线孔均设置了足够厚度的屏蔽补偿。因此，本项目平面布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，布局合理。

13.6 辐射防护与安全措施

建设单位拟对工作场所进行分区管理，划分为控制区和监督区。本项目将在线工业 CT 整体设备划为控制区，由于本装置位于一个大厂房敞开空间的闲置区域，本次考虑将设备周围相邻的走廊（以各个生产区的地标线划分）和顶部区域均划为监督区。

拟采购设备自带有多种固有安全性，如：开机时系统自检、过电流保护、过电压保护、失电流保护、操作权限等，能很好的保证工业 CT 自身的稳定性和安全性。

本项目在线工业 CT 为自屏蔽式设备，主要采用钢+铅+钢的屏蔽体结构对 X 射线进行屏蔽防护，防护厚度充分考虑了 X 射线主射、散射、漏射影响。铅房前侧、后侧、顶部屏蔽体厚度均为 1.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢，底部屏蔽体厚度为 16.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢，左侧和右侧屏蔽厚度均为 1.5mm 钢+12mm 铅+2mm 钢，铅房前侧检修门屏蔽厚度为 2.5mm 钢+13.5mm 铅+2mm 钢。本项目在线工业 CT 铅房左右两侧进出料隧道四周屏蔽板及封板、隧道外防护板屏蔽厚度均为 1.5mm 钢+5mm 铅+1.5mm 钢。本项目在线工业 CT 铅房各穿墙管线孔均设置了足够厚度的屏蔽补偿，不影响屏蔽防护效果。

工业 CT 内外均拟安装紧急停机按钮，拟设置门机联锁装置、灯机联锁装置、声光警示装置、视频监控系统，在防护门外张贴电离辐射警告标志等，配备符合开展项目要求的个人防护用品及监测仪器设备。

工业 CT 连接有机械排风系统，具有良好的通风，每小时换气次数满足标准规定的 3 次/h。

表 13 结论和建议

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》(GBZ117-2022)及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)的相关要求。

13.7 环境影响分析结论

根据核算,在屏蔽体设计厚度下,设备工作时,工业 CT 屏蔽箱体、防护门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》(GBZ117-2022)屏蔽防护的要求,工业 CT 铅房四周屏蔽体、顶棚外 30cm 处及底板外 12cm 处周围剂量当量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。辐射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均低于剂量管理目标的要求(辐射工作人员 5mSv/a ,公众成员 0.1mSv/a),满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求。

本项目运行时,在周围环境保护目标处的辐射影响很小,对其产生的影响有限,能为环境所接受。

项目运行不产生放射性废水、放射性废气。少量的臭氧和氮氧化物在机械排风下能迅速排出和扩散,不会对周围环境产生不利影响。

13.8 事故风险分析结论

本项目可能产生的辐射事故主要包括门机联锁失效等事故使人员受到意外照射等,事故发生具有随机性,本项目一般情况下发生的事故等级为一般辐射事故,极端情况下可能发生较大及以上辐射事故。本项目在采取相应措施后风险可防可控。公司制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行,在进一步完善后应认真贯彻实施,以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.9 辐射环境管理

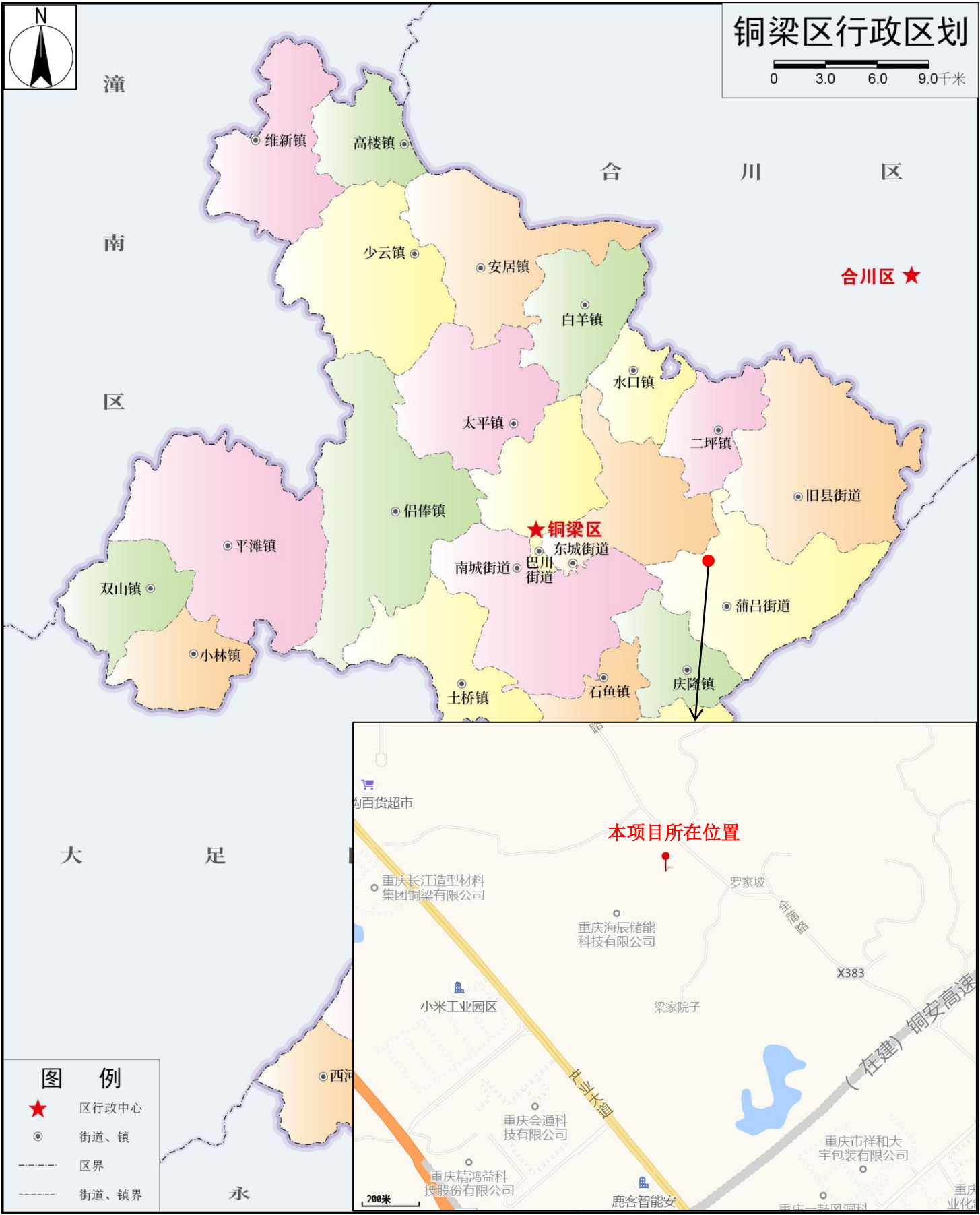
本项目依托建设单位现有的辐射安全与防护管理小组和人员负责辐射安全与环境保护管理,建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等规章制度和辐射事故应急措施,建立辐射工作人员个人剂量监测、职业健康体检等档案,按照规定办理《辐射安全许可证》

表 13 结论和建议

并在许可的种类和范围内从事辐射活动。建设单位还应加强核安全文化建设，提高辐射安全管理能力，杜绝辐射事故的发生。

13.10 综合结论

综上所述，厦门海辰储能西南智能制造中心及研发中心项目（一期）-MIC 线在线工业 CT 部分符合国家产业政策，选址和布局合理，符合辐射防护“实践正当性”的原则与要求。在完善相应的污染防治措施和环境管理措施后，风险可防可控，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 项目所在地理位置示意图



附图 2-1 厂区周边环境分布图