

核技术利用建设项目

年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）

环境影响报告表

（公示版）

建设单位：重庆耀宁新能源科技有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2026 年 8 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）

环境影响报告表

（公示版）

建设单位名称：重庆耀宁新能源科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：



通讯地址：重庆市涪陵区马鞍街道银滩路22号附46号

邮政编码：408000

联系人：冯*园

电子邮箱：fengqy668@163.com

联系电话：136*****6

编制单位和编制人员情况表

项目编号	q4mn8o		
建设项目名称	年产能18GWh动力电池项目（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）	重庆耀宁新能源科技有限公司		
统一社会信用代码	91500102MA7DX6LCXT		
法定代表人（签章）	李葆华		
主要负责人（签字）	周毅		
直接负责的主管人员（签字）	童海		
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
罗定福	2014035550350000003510550235	BH004103	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
罗定福	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、结论及建议	BH004103	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）			
建设单位		重庆耀宁新能源科技有限公司			
法人代表	李葆华	联系人	冯沁园	联系电话	136*****6
注册地址		重庆市涪陵区马鞍街道银滩路 22 号附 46 号			
项目建设地点		重庆市涪陵区鹤凤大道西、聚业大道南、鹤翔路北、盘龙路东（重庆涪陵工业园区李渡组团）公司 QA 检测中心内 1F 东北侧 CT 检测室			
立项审批部门		重庆市涪陵区发展和改革委员会	批准文号	2201-500102-04-05-233282	
建设项目总投资（万元）	500	项目环保投资（万元）	15	投资比例（环保投资/总投资）	3.0%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积（m ² ）	约 63
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类		☐ III类
		☐ 销售	☐ II 类		☐ III类
		☒ 使用	☒ II 类		☐ III类
	其他	/			
	1.1 建设单位简介 重庆耀宁新能源科技有限公司（以下简称“耀宁公司”或“公司”）主要从事电池制造、新能源汽车生产测试设备销售以及技术推广业务。公司主要依托吉利汽车集团的资源优势开拓市场，在涪陵区将新能源汽车动力电池及轻量化部件作为重点发展产业，为该公司提供了良好的产业环境和发展支持。 1.2 项目由来 重庆耀宁新能源科技有限公司拟在重庆涪陵工业园区李渡组团建设年产能 18GWh 动力电池项目。为确保电池电芯质量，拟在 QA 检测中心内 1F 东北侧				

续表 1 项目基本情况

设置一间 CT 检测室，并配置 1 台工业 CT 对内部生产的电池电芯进行 X 射线无损检测。目前，“年产能 18GWh 动力电池项目”还处在施工阶段，本项目所在的 QA 检测中心大楼主体框架已建成，内部房间尚未修建。 根据《射线装置分类》可知，工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置属于 II 类射线装置。根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，重庆耀宁新能源科技有限公司使用 1 台工业 CT 应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”，使用 II 类射线装置的项目应编制环境影响报告表。 为此，重庆耀宁新能源科技有限公司委托重庆宏伟环保工程有限公司开展“年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）”的环境影响评价工作。评价单位组织专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和环境状况，并按照国家核技术应用项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了该项目的环境影响报告表。 1.3 建设规模及工程内容 （1）项目概况 重庆耀宁新能源科技有限公司拟在重庆涪陵工业园区李渡组团公司 QA 检测中心实施“年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）”，拟在 QA 检测中心内 1F 东北侧设置 1 间 CT 检测室，安装 1 套自屏蔽式工业 CT（II 类射线装置，单管头，最大管电压为 225kV，最大管电流 3mA，对公司生产的电池电芯开展 X 射线无损检测，不对外开展 X 射线检测服务。CT 检测室的施工同主体工程一并完成，本项目仅在其内安装工业 CT 设备。项目建筑面积约 63m²；项目总投资约 500 万元，其中环保投资约 15 万元；项目建设工期预计 2 个月。 项目组成见表 1-1。

续表 1 项目基本情况

表 1-1 项目组成一览表			
项目组成		主要内容及规模	备注
主体工程	CT 检测室	工作场所布置：QA 检测中心内 1F CT 检测室外部尺寸长 9.30m，宽 7.55m、高 6.30m，内空长 8.81m，宽 7.20m，高 5.85m，墙体结构为 240 厚蒸压加气混凝土砌块+轻钢龙骨纤维增强硅酸盐板，在 CT 检测室内东北侧布置 1 套自屏蔽式工业 CT（含操作台）。 射线装置：RMCT4000 工业 CT，II 类射线装置，单管头，X 射线管最大管电压为 225kV，最大管电流为 3mA，额定功率 300W。	新购设备
公用工程	供配电	依托公司供配电系统。	依托
	给水	依托公司给水管网。	依托
	通风	CT 检测室采用空调系统通风换气。设备铅房自然进风、机械排风，铅房顶部设置 3 个排风口，总排风量 354m ³ /h，通风换气次数约 44 次/h。	新建
环保工程	污水处理	本项目不新增劳动定员，辐射工作人员生活污水经公司污水处理达《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，进入李渡大要坝污水处理厂处理达《城镇污水厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 B 标准后排入长江。	依托
	废气处理	铅房设置 3 个排风口，每个排风口设 1 个排风支管，再接至 1 根排风主管道引至 CT 检测室东侧外墙后排出，排放高度 4.5m。	新建
	固废处置	项目辐射工作人员生活垃圾依托公司厂区的生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。 报废的 X 射线装置去功能化后按照公司要求处理，保留手续，并做好相关记录存档。	依托
	辐射防护与管理	一体式屏蔽铅房防护，铅房各屏蔽体由一定厚度的铅+钢组成，配置工作状态指示灯、急停按钮、门机联锁、固定式剂量报警仪、声光报警、视频监控、张贴电离辐射警告标志、辐射安全管理制度等。	新建

（2）屏蔽防护情况

本项目拟配置的 1 套工业 CT 自带铅房，以面向工件进出防护门侧为正面。

工业 CT 屏蔽防护情况如下表 1-2 所示。

表 1-2 工业 CT 屏蔽防护设计方案		
尺寸（左右长×前后宽×高、mm）	屏蔽厚度	
	屏蔽体名称	材质厚度
设备外观 mm:	右（主射束方向）	32mmPb 铅板+2mm 钢板

续表 1 项目基本情况

3230（长）×2120（宽） ×2190（高） 铅房屏蔽体内空尺寸 mm： 2650（长）×1140-1720 （宽）×2010（高）	正、后、左、顶	22mmPb 铅板+2mm 钢板
	底	22mmPb 铅板+10mm 钢板
	正面进样防护门（电动推拉）： 门洞：900mm（宽）×1500mm（高） 门体：1000mm（宽）×1600mm（高）	22mmPb 铅板+2mm 钢板
	后侧检修门（双开门）： 门洞：1050mm（宽）×1100mm（高） 门体：1200mm（长）×1200mm（高）	22mmPb 铅板+2mm 钢板

注：①铅密度 11.3g/cm³，钢板密度 7.9g/cm³。

②上述屏蔽体方位以参考者面向工业 CT 正面进样门进行描述。

③设备维修等特殊情况下打开检修门，正常运行情况下人员不进入铅房内开展工作。

④外观尺寸不包含操作面板，顶部报警灯及底部支座，底部支座高 120mm。

左侧设备箱体内屏蔽体之外设置一体式电气柜，电气柜左侧设置普通钢质维护门，尺寸为 1400mm（宽）×1600mm（高）；右后侧设备箱体内屏蔽体之外设水冷柜，设置普通钢质维护门，尺寸为 1100mm（宽）×1200mm（高）

（3）设备概况

本项目配置的主要设备见表 1-3。

表 1-3 项目主要设备一览表

序号	设备名称	型号	数量	用途	设备相关情况	备注
1	工业 CT 检测系统	RMCT4000	1 套	X 射线无损检测	单管头 最大管电压 225kV 最大管电流 3mA 额定功率 300W	拟购
2	便携式 X-γ剂量率仪	待定	1 台	辐射工作场所 辐射环境监测	定期监测，按要求进行校验	拟购
3	固定式剂量报警仪	待定	1 台	剂量监测和报警	检测探头安装在铅房内，显示单元安装在操作面板	拟购
4	个人剂量计	/	3 枚	剂量检测	辐射工作人员工作时随身携带	拟购
5	个人剂量报警仪	待定	3 台	剂量报警	辐射工作人员工作时佩戴	拟购

（4）检测工件情况

本项目主要对汽车锂电池电芯进行检测，检测工件相关参数见表 1-4。

续表 1 项目基本情况

表 1-4 检测工件相关参数一览表

检测工件材质	最大尺寸（mm）	厚度（mm）
铜箔、铝箔、隔膜、磷酸铁锂、石墨	330mm×140mm	20-90mm

（5）计划工作量

根据建设单位提供资料，工业 CT 检测系统主要用于电池电芯抽样检测，年检电池电芯 26400 次，每件电芯检测需要 17min，其中准备及分析时间 2min，X 射线出束时间 15min，每周工作 6-7 天，年工作约 52 周，每年 330 天。每天训机一次，一次 30min。

本项目工业 CT 具体工作负荷见表 1-5。

表 1-5 工作负荷一览表

单次曝光时间	最大曝光次数		最大曝光时间	
	次/周	次/年	h/周	h/年
≤15min	560	26400	140	6600
30min（训机）	7	330	3.5	165
合计			143.5	6765

（6）工作制度和劳动定员

本项目计划从本单位总劳动定员中调配 3 名工作人员，培养为辐射工作人员负责工业 CT 检测系统操作。设备的维修由设备厂家负责。

1.4 项目选址可行性

根据《重庆涪陵工业园区李渡组团规划环境影响报告书》，园区积极发展新能源汽车整车及电池等零部件行业，“年产能 18GWh 动力电池项目”属于锂离子电池制造，属于园区主导产业，符合园区规划要求。本项目主要对锂电池电芯进行 X 射线无损检测，确保产品质量，与区域发展定位不冲突，本项目不在《重庆涪陵工业园区李渡组团规划环境影响报告书》及审查意见的函（渝环函〔2016〕816 号）等的限制准入范围内。

本项目 CT 检测室位于 QA 检测中心，该大楼专门用于产品各项检测，CT 检测室设置在此，便于公司对产品质量统一管理；CT 检测室位于 QA 检测中心底层东北角，其北侧、东侧为厂区内部道路，南侧为大楼内部通道，项目周围活

续表 1 项目基本情况

动人员较少，有利于减少无损检测对公众成员的影响。同时，项目所在位置便于废气直接排出大楼外。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。

综上，项目选址可行。

1.5 项目周围环境概况

本项目工业 CT 位于公司 QA 检测中心内 1F 东北侧 CT 检测室。QA 检测中心北侧为厂内过道、厂区道路、绿化、厂区凹板极片车间等，东侧为厂内过道、绿化、厂区道路、重庆江上星云科技有限公司厂房，南侧为绿化、厂区道路、厂区污水处理站，西侧为绿化、厂区道路、厂区综合仓库，QA 检测中心与综合仓库直接通过物料连廊实现物料运输。外环境见附图 2 及表 1-6。

表 1-6 项目所在楼外环境关系一览表

序号	方位	外环境名称	水平最近距离	高差
1	北侧	厂内过道	紧邻	0
		厂区道路、绿化	约 5m	0
		凹板极片车间	约 21m	0
2	东侧	厂内过道、绿化	紧邻	0
		厂区道路	约 5m	0
		重庆江上星云科技有限公司厂房	约 10m	0
3	南侧	绿化	紧邻	0
		厂区道路	约 3m	0
		污水处理站	约 11m	0
4	西侧	绿化、物料连廊	紧邻	0
		厂区道路	约 10m	0
		综合仓库	约 22m	0

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

1.6 与项目有关的原有核技术利用项目情况

1.6.1 与本项目相关的现有环保手续情况

公司“年产能 18GWh 动力电池项目”项目已经编制了环境影响报告表，2023 年 10 月取得了重庆市涪陵区生态环境局的环境影响评价文件批准书：渝(涪)环准〔2023〕062 号。公司曾用名驰航新能源(重庆)有限公司，2023 年 10 月至 2024 年 3 月，公司先后更名为耀能新能源（重庆）有限公司、重庆耀宁新能源科技有

续表 1 项目基本情况

限公司。更名文件见附件。

1.6.2 核技术利用项目开展情况

(1) 现有核技术利用项目及辐射安全许可证情况

根据调查，耀宁公司办理了《辐射安全许可证》（渝环辐证[19221]号，有效期至 2031 年 7 月 19 日），许可的活动种类和范围为：使用V类放射源。具体情况见下表。

表 1-7 许可使用放射源情况一览表

序号	场所名称	核素	类别	活动种类	活度（贝可）/枚数	备注
1	1#电芯厂房	Kr-85	V类	使用	1.85E+10*4	拟购
2	2#电芯厂房	Kr-85	V类	使用	1.85E+10*8	
3	凹版厂房	Kr-85	V类	使用	1.85E+10*2	

(2) 辐射环境管理

根据现场调查，公司“年产能 18GWh 动力电池项目”还未投产，放射源尚未购置。耀宁公司已为上述核技术利用项目配备了辐射工作人员 20 人，均已参加相应类别辐射安全与防护培训并考核合格，证书在有效期内，公司为每名辐射工作人员配备个人剂量计并与有资质单位签订合同，定期对个人受照剂量开展检测，并对辐射工作人员进行了职业健康体检，体检结论为可从事放射工作。公司成立了辐射环境管理机构，制定了相应的管理制度。

许可的放射源使用、存储位置与本项目均超过 50m，本项目 50m 评价范围内无其他核技术利用项目。根据现场监测，项目场址的环境 γ 辐射剂量率与重庆市的环境 γ 辐射剂量率无明显差异。因此，项目场址不存在与本项目有关的环境污染情况和环境问题。

1.7 依托可行性分析

项目依托可行性分析见表 1-8。

续表 1 项目基本情况

表 1-8 项目依托可行性分析			
依托工程		可行性分析	结论
公用工程	供配电系统	厂区设计时考虑本项目，由厂区公用设施提供供电供水。	可行
	给水系统		
环保工程	生活污水	本项目辐射工作人员在厂区总劳动定员内，故运营期间不新增生活污水。本项目辐射工作人员产生少量生活污水进入厂区生活污水处理设施处理后接入市政污水管网，生活污水处理设施处理能力为 280m³/d。	可行
	固废处理	本项目辐射工作人员产生的生活垃圾集中收集，交由环卫部门统一处理。	可行
辐射安全管理		重庆耀宁新能源科技有限公司已成立辐射安全与环境管理机构，并制定了《辐射安全管理制度》等制度，应补充本项目工业 CT 操作规程及相关制度，方可满足本项目的辐射安全管理要求。	部分依托并完善补充

由表 1-8 可知，本项目公用工程、环保工程均可依托厂区设施，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 CT	II类	1 台	RMCT4000	225	3	无损检测	QA 检测中心内 1F 东北侧 CT 检测室	俐玛精密测量技术(苏州)有限公司
	以下空白								
以下空白									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	经专用排风系统引至大楼 1F 东侧外墙排放。
生活污水	液态	/	/	/	/	/	/	经厂区生活污水处理设施处理后接入市政污水管网
生活垃圾	固态	/	/	/	/	/	厂区生活垃圾暂存点	环卫部门统一处置
报废的工业 CT	固态	/	/	/	/	/	/	设备去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度(Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，自 2026 年 8 月 15 日起施行； (2) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日施行修订版； (4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (7) 关于发布《射线装置分类》的公告，原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (8) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日起施行； (9) 《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》，中华人民共和国生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日施行； (10) 《重庆市环境保护条例》，2025 年 7 月 31 日修订； (11) 《重庆市辐射污染防治办法》，2021 年 1 月 1 日施行。
------	--

续表 6 评价依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； (3) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)； (4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (5) 《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB 22448-2025)。 (6) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)； (7) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单(GBZ/T250-2014)； (8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (9) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (10) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (11) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)； (12) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。
其他	(1) 委托书； (2) 备案证； (3) 大项目环境影响报告表及其环评批复，建设单位更名文件； (4) 重庆涪陵李渡组团规划环境影响报告书及审查意见的函； (5) 建设单位辐射安全许可证； (6) 项目辐射环境监测报告； (7) 建设单位辐射安全管理机构及管理制度； (8) 建设单位及设备厂家提供的设计、设备等相关资料； (9) 《辐射防护导论》等参考文献。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的相关规定，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围为评价范围。结合本项目工业 CT 设备的自屏蔽铅房及电气柜、水冷柜等辅助设备为一个整体的情况，确定以本项目工业 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

本项目工业 CT 位于公司 QA 检测中心内 1F，QA 检测中心为地上 3F 建筑，其中 1F 层高 6.3m，工业 CT 位于大楼 1F 东北侧 CT 检测室，CT 检测室层高同大楼整体层高一致，中间无架空区域。CT 检测室东侧外为厂内过道、绿化、厂区道路、重庆江上星云科技有限公司厂房；南侧外为大楼内重荷载走道、楼梯间、电梯、尺寸测量室、张力测量房、大楼外绿化、厂区道路、厂区污水处理站；西侧外为大楼内各测试间、收样间、制样间、辅料生产间等、大楼外绿化、厂区道路、物料连廊；北侧外为厂内过道、厂区道路、绿化、厂区凹板极片车间；楼上控制区对应房间为返工返修间，2F 其他区域布置有测试间、计划室等用房；3F 区域布置有留样间、辅料房、备用间、空调机房等；楼下无建筑，设备底部与地面约 12cm。操作台位于 CT 检测室内部工业 CT 设备箱体外西南侧。

本项目工业 CT 的 50m 评价范围大部分位于厂区内，仅东侧涉及厂外其他厂房，而项目所在的 QA 检测中心均位于工业 CT 的 50m 评价范围内。

本项目环境保护目标分布情况见表 7-1，厂区总平图见附图 2，QA 检测中心各层平面布置图见附图 3。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-1 本项目周围环境保护目标一览表						
序号	环境保护目标名称	方位	与铅房距离(m)	高差(m)	环境保护目标主要特征	受影响人群
1	CT 检测室	工业 CT 四周	东侧约 0~0.9 南侧约 0~5.5 西侧约 0~3.4 北侧约 0~1.2	0	项目用房, 活动人员约 3 人	辐射工作人员
2	室外厂内过道、绿化、厂区道路等	东	约 0.9~11	0	厂区绿化、厂内道路等, 活动人员约 10 人	公众成员
3	重庆江上星云科技有限公司厂房		约 11~50	0	1-2F, 其他单位厂房, 活动人员约 100 人	公众成员
4	重荷载走道、楼梯间、电梯	南	约 5.5~16	0	QA 检测中心内部区域, 活动人员约 10 人	公众成员
5	测量室、张力测量房等		约 9.2~35	0	QA 检测中心用房, 活动人员约 20 人	公众成员
6	室外绿化、厂区道路、厂区污水处理站		约 16~50	0	厂区绿化、厂内道路、设施用房等, 活动人员约 10 人	公众成员
7	测试间、收样间、制样间、辅料生产间等	西	约 3.4~32	0	QA 检测中心用房, 活动人员约 30 人	公众成员
8	室外绿化、厂区道路、物料连廊等		约 32~50	0	厂区绿化、厂内道路、设施等, 活动人员约 10 人	公众成员
9	厂内过道、厂区道路、绿化	北	约 1.2~22	0	厂区绿化、厂内道路, 活动人员约 10 人	公众成员
10	凹板极片车间		约 22~50	0	厂区内部分房, 活动人员约 100 人	公众成员
11	2-3F 测量室、备用间、计划室等	楼上	/	+4.0-10 m	QA 检测中心用房, 活动人员约 60 人	公众成员

备注：“+”表示其地面高于工业 CT 设备顶的距离。

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

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

B1 剂量限值

续表 7 保护目标与评价标准

B1.1 职业照射 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。 B1.2 公众照射 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年有效剂量，1mSv。 （2）《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB 22448-2025） 4.1 X 射线机漏射线所致周围剂量当量率 500 kV 以下工业 X 射线探伤机(以下简称“X 射线机”)在工作时，X 射线管主束窗口应用遮光罩遮盖。在生产厂家规定的最高工作值时，用防护级剂量仪测量距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率，测得的结果应符合表 1（本报告表 7-2）要求。 表 7-2 漏射线所致周围剂量当量率控制值 <table><tr><th>管电压，kV</th><th>漏射线所致周围剂量当量率，mSv/h</th></tr><tr><td>>200</td><td><5</td></tr></table> 5.1.2 探伤室屏蔽设计应确保操作人员年有效剂量小于其相应的限值。屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平应小于或等于 2.5 μ Sv/h。对没有人员到达的探伤室顶外表面，其 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100 uSv/h。 6.1 职业照射剂量限值 应对职业照射人员进行常规个人剂量监测，并建立个人剂量和健康管理档案，监测值应符合 GB 18871 的要求。 （3）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022） 本标准规定了 X 射线和γ射线探伤的放射防护要求。 本标准适用于使用 600 kV 及以下的 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。 5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射		管电压，kV	漏射线所致周围剂量当量率，mSv/h	>200	<5
管电压，kV	漏射线所致周围剂量当量率，mSv/h				
>200	<5				

续表 7 保护目标与评价标准

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。

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顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

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

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。

（4）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

3.2 需要屏蔽的辐射

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

3.2.2 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取值

①管理目标值

建设单位取 GB18871-2002 中工作人员职业照射剂量限值四分之一即 $5\text{mSv}/\text{a}$ 作为辐射工作人员的年有效剂量管理目标值；取公众照射剂量限值的十分之一即 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 作为公众成员的年有效剂量管理目标值，满足 GB18871-2002

续表 7 保护目标与评价标准

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标准限值见表 7-3。

表 7-3 本项目主要评价标准及相关要求汇总表

序号	项目	控制限值	采用的标准
1	年剂量管理目标值	辐射工作人员：5mSv 公众成员：0.1mSv	GB18871-2002 GB22448-2025 及公司管理要求
2	周剂量管理目标限值	辐射工作人员周剂量：≤100μSv/周； 公众成员周剂量：≤5μSv/周	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
3	设备性能要求	距 X 射线管焦点 1m 处的漏射线所致周围剂量当量率：<5mSv/h（管电压>200kV）	GB22448-2025 GBZ117-2022
4	剂量率参考控制水平	铅房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 ≤2.5μSv/h。	GB22448-2025 GBZ117-2022
5	通风要求	有效通风换气次数应不小于 3 次/h	GBZ117-2022

备注：本项目铅房顶部剂量率参考控制水平保守按照≤2.5μSv/h 取值。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 地理位置和场所位置

本项目位于重庆涪陵工业园区李渡组团鹤凤大道西、聚业大道南、鹤翔路北、盘龙路东重庆耀宁新能源科技有限公司 QA 检测中心内 1F 东北侧 CT 检测室，地理位置见附图 1，项目场所位置见附图 2、附图 3 所示。

8.2 辐射环境背景

为掌握本项目场址及周围辐射环境背景水平，重庆泓天环境监测有限公司于 2026 年 7 月 23 日对本项目场址及周围的环境 γ 辐射剂量率进行了监测。监测结果见渝泓环(监)[2026]664 号。

- (1) 监测因子：环境 γ 辐射剂量率。
- (2) 监测方法和依据
监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

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

- (3) 监测仪器
监测仪器情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器情况

监测仪器名称及型号	仪器编号	计量检定/校准证书编号	有效期至	校准因子
环境级 x、 γ 辐射巡检仪 RGM5200	1222203004005	2025112600812	2026.11.27	0.99

测量范围：10nSv/h-100 μ Sv/h。

- (4) 监测点位
本次监测共布设了 6 个监测点，监测点位布点示意图见图 8-1 所示。
监测布点合理性分析：本次监测在工业 CT 所在的 CT 检测室及其四周及楼上均设置了监测点位，其中有 2 个监测点位同时位于室外，监测布点较全面，可以反映项目场址及其周围环境的辐射环境水平。

续表 8 环境质量现状

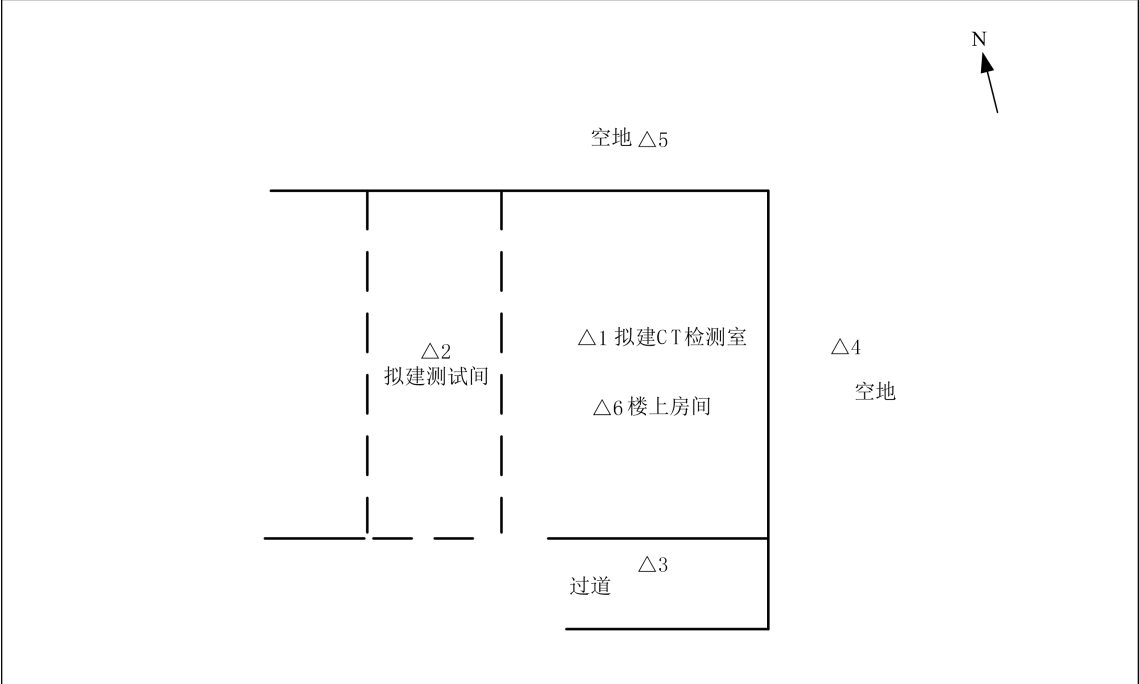


图 8-1 监测布点示意图

(5) 质量保证措施

本次监测单位为重庆泓天环境监测有限公司，该公司具有重庆市质量技术监督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。

监测仪器每年送计量部门检定合格后在有效期内使用；监测时获取足够的数据量，以保证监测结果的统计学精度；监测人员经业务培训，考核合格并取得岗位合格证书，现场监测工作由两名监测人员进行。监测报告严格实行审核制度，经过审核，最后由授权签字人签发。因此，监测结果有效。

(6) 监测结果统计

监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 监测结果统计

监测点 位	监测点位描述	环境γ辐射剂量率 (μGy/h)
Δ1	拟建 CT 检测室	0.065
Δ2	拟建 CT 检测室西侧测试间	0.063
Δ3	拟建 CT 检测室南侧过道	0.066

续表 8 环境质量现状

△4	拟建 CT 检测室东侧空地	0.061
△5	拟建 CT 检测室北侧空地	0.063
△6	拟建 CT 检测室楼上房间	0.060
备注：1μGy/h=1000nGy/h，以上监测结果均未扣除宇宙射线响应值。		

根据监测可知,本项目场址及周围环境γ辐射剂量率监测值范围为 60nGy/h～66nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）。根据《2024 年重庆市辐射环境质量报告书（简化版）》，累积剂量测得的γ辐射空气吸收剂量率全市点位年均值范围为 79.2~108nGy/h，平均值为 96.1nGy/h。对比可知，本项目场址及周围环境γ辐射剂量率监测值在重庆市环境γ辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺流程及产污环节

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

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

9.2 营运期工艺流程及产污环节

9.2.1 设备组成及工作方式

(1) 设备组成

俐玛精密测量技术(苏州)有限公司 RMCT4000 型工业 CT 由辐射防护舱(铅房)、X 射线管、载物台、探测器、真空系统、高电压发生器、操作面板和控制系统等构成。本项目设备外观图片见图 9-1,内部结构图见图 9-2、屏蔽示意图见图 9-3。

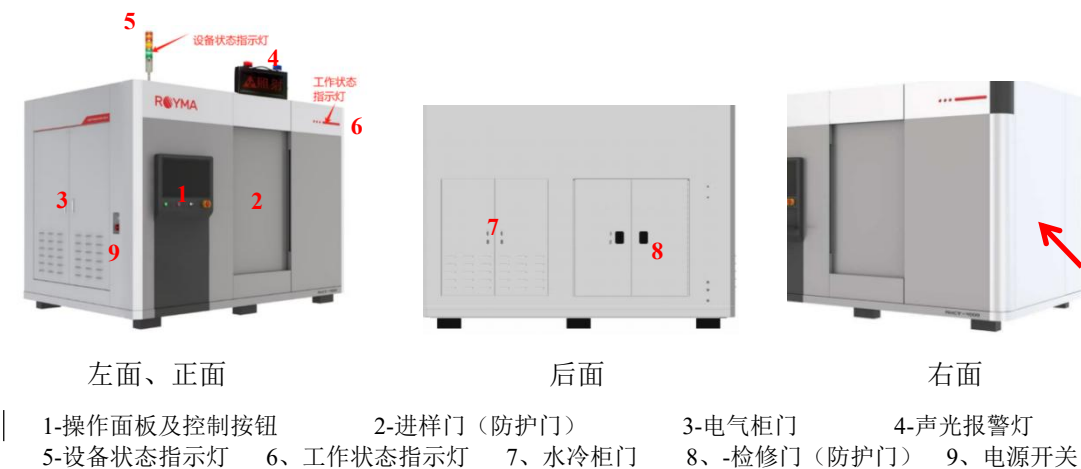
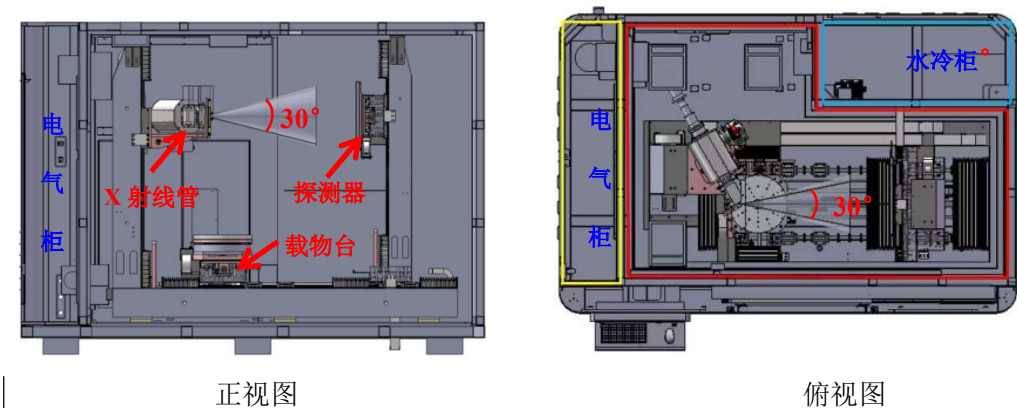
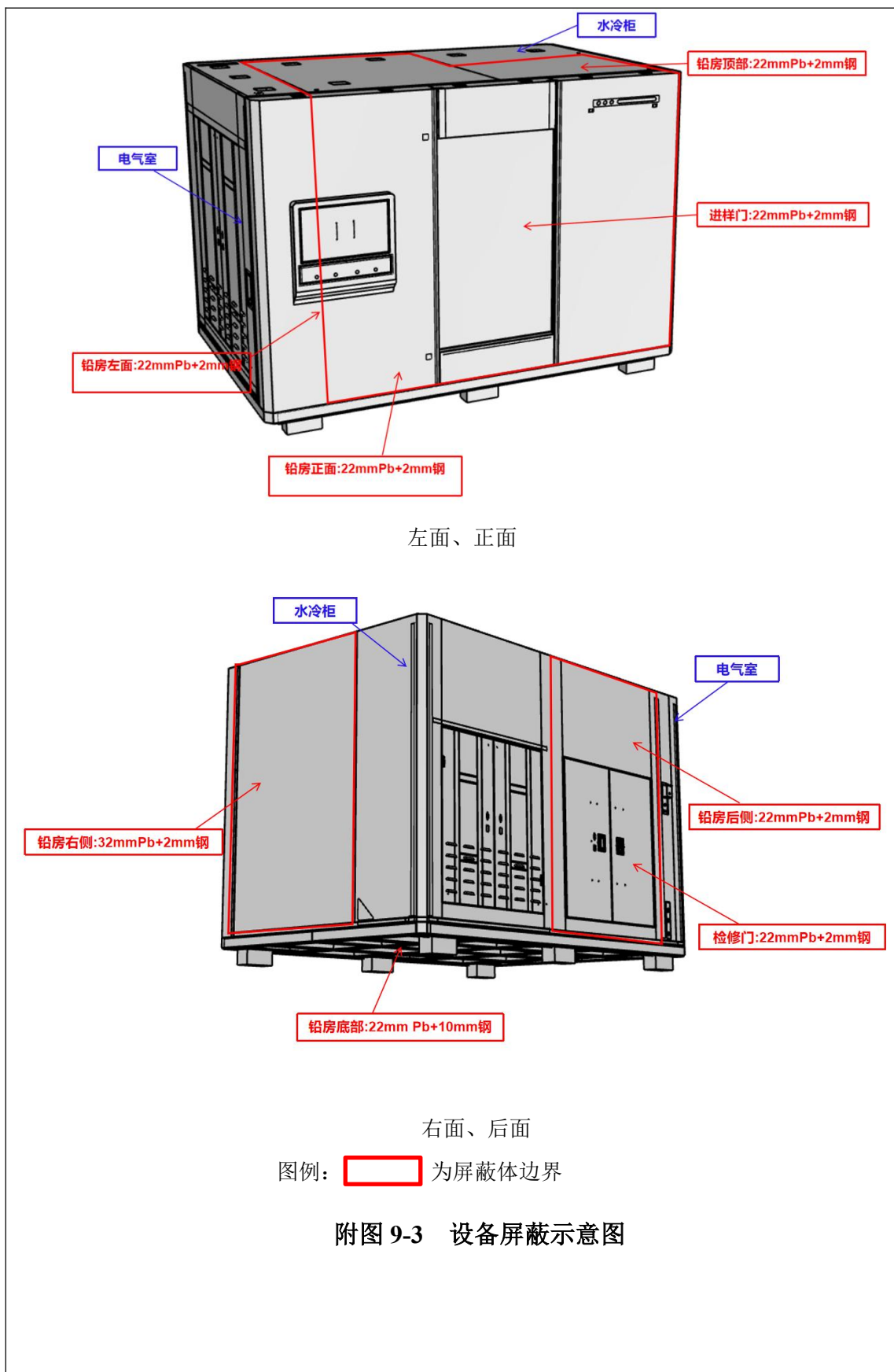


图 9-1 设备外观照片



附图 9-2 设备内部结构图

续表 9 项目工程分析与源项



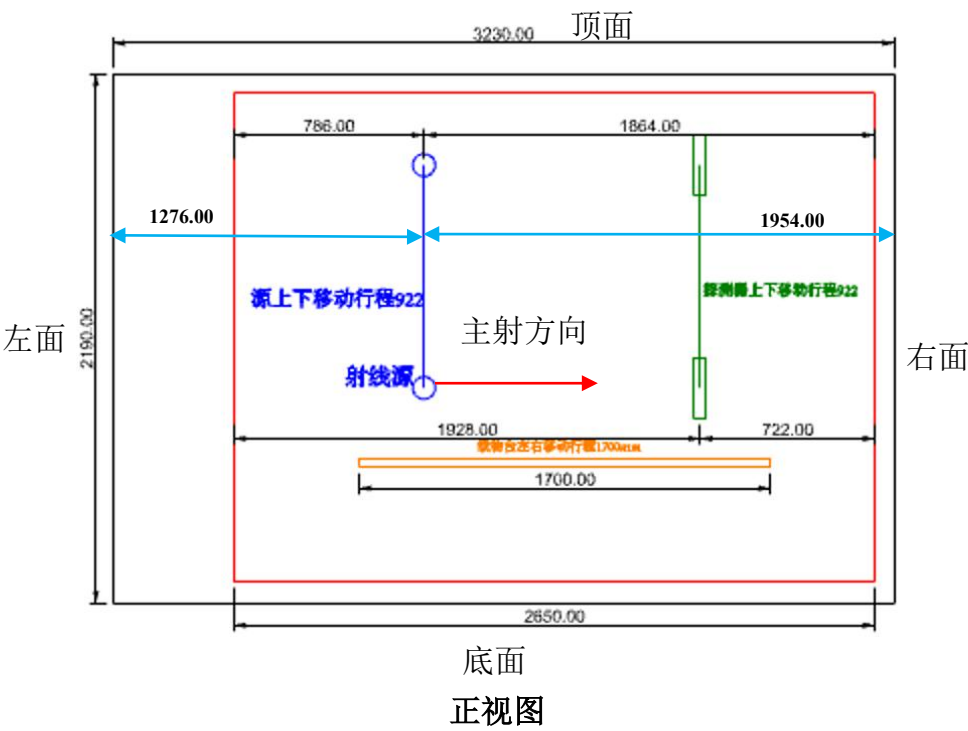
续表 9 项目工程分析与源项

①辐射防护舱（铅房）

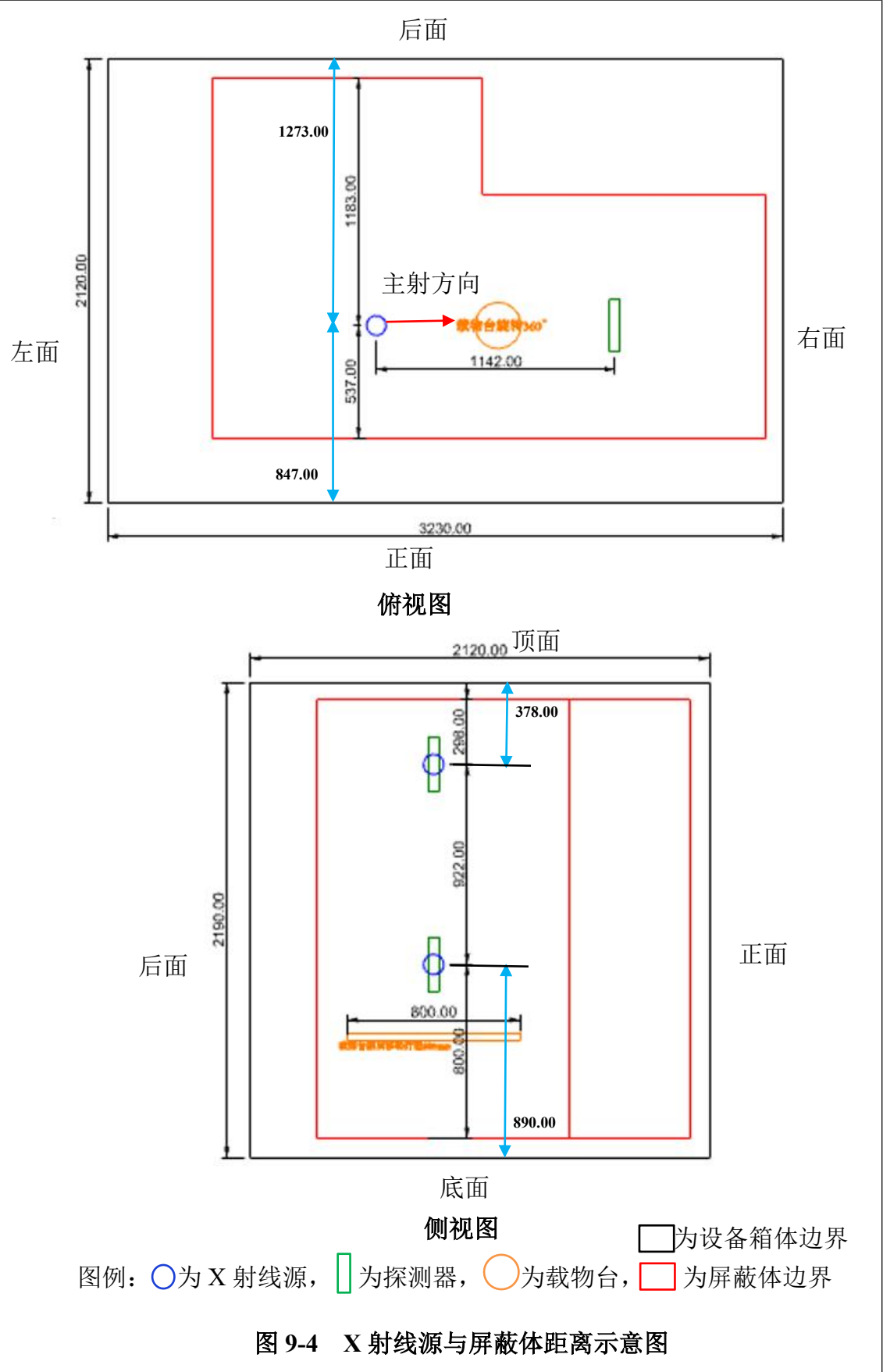
本项目工业 CT 辐射防护舱（铅房）屏蔽体主要由一定厚度的铅+钢组成，设备左侧电气柜及右后侧水冷柜均位于设备箱体内存铅房之外，其柜门不设屏蔽，设备正面设电动推拉进样门，左后侧设检修门，其屏蔽能力与同侧屏蔽体一致。工业 CT 相关尺寸见表 1-2，屏蔽示意图 9-3。

②X 射线管

CT 辐射防护舱左侧安装有 1 个 X 射线管，最大管电压 225kV，最大管电流 3mA。焦点尺寸 $4\mu\text{m}$ ，过滤窗口为 1mm 铍，X 射线束辐射角： $30^{\circ}\times 30^{\circ}$ ，主射朝右侧，见图 9-2 所示。X 射线管与探测器水平位置固定（1142mm 间距），仅上下方向移动，X 射线管与探测器同步上下移动行程均为 922mm。射线管与设备各面屏蔽体及设备外箱体边界距离分别是：距离左面屏蔽体 786mm，距离左面设备外箱体边界 1276mm；距离右面屏蔽体 1864mm，距离右面设备外箱体边界 1954mm；距离正面屏蔽体 537mm，距离正面设备外箱体边界 847mm；距离后面屏蔽体 1183mm，距离后面设备外箱体边界 1273mm；距离顶部屏蔽体最近 288mm，距离顶部设备外箱体边界最近 378mm；距离底部屏蔽体最近 800mm，距离底部设备外箱体边界最近 890mm。见图 9-4 示意。



续表 9 项目工程分析与源项



续表 9 项目工程分析与源项

③探测器

探测器位于辐射防护舱中，X 射线管对面，X 射线管与探测器间距离固定为 1142mm。X 射线穿过被检工件并射到探测器上，图像信息将被实时发送给图像分析软件。

④载物台

载物台是一个电动的定位装置，用于放置被检工件。可以朝水平方向（x、y 轴）移动，x 轴移动距离 1700mm，y 轴移动距离 800mm，还可 0-360°自由转动试样。见图 9-4 示意。

⑤高电压发生器

高电压发生器提供 X 射线所需的高电压。高电压发生器位于铅房外右后侧水冷柜内，通过电缆与射线管连接。

⑥真空系统

真空泵、涡轮分子泵提供射线管所需低度真空，其中涡轮分子泵在射线管上抽取射线管内空气，真空泵位于铅房外，电气柜内。

⑦操作面板及控制系统

操作面板位于 X 射线检测系统正面靠左位置，带操作元件和状态指示器。屏幕的下方包括钥匙开关、开门/关、复位、急停按钮，屏幕显示监控视频，另外，在设备左侧设置一个操作台，放置电脑、键盘、鼠标，进行设备工艺控制、三维成像及数据分析、数据存档、出具质检报告。

⑧冷却装置

此工业 CT 配有一个水冷装置，位于设备右后方箱体内部铅房外水冷柜内，该装置用于冷却探测器和 X 射线管冷却，采用外购纯水作为介质，定期更换。

(2) 工作方式

本项目是利用 X 射线对工件进行无损检测，工业 CT 的工作方式为将被检工件从正面电动推拉进样门放入铅房内载物台，根据检测需要，通过旋转载物台和前后左右移动载物台，X 射线管和探测器根据检测需要上下移动，对被检工件进行定向扫描（朝右侧）。

正常工作期间，工作人员均在设备铅房外操作台完成操作，仅在维护维修时

续表 9 项目工程分析与源项

才通过后面的检修门进入铅房。

(3) 工作负荷

根据建设单位提供资料，本项目工业 CT 工作负荷见表 1-5，设备年出束时间为 43.3h。

(4) 设备参数

本项目配置的工业 CT 主要技术参数见表 9-4。

表 9-4 本项目工业 CT 主要技术参数

设备名称	工业 CT
设备厂家	俐玛精密测量技术(苏州)有限公司
设备型号	RMCT4000
照射类型	定向
主射线方向	向右
射线管头数量	单管头
最大管电压	225kV
最大管电流	3mA
额定功率	300W
冷却方式	水冷
X 射线最大辐射角	30°×30°
固有过滤	1mm 铍
焦点尺寸	4μm
X 射线管焦点与探测器之间距离	约 1142mm
1m 处 X 射线输出量 G mGy·m ² /(mA·min)	32.3

9.2.2 工作原理及工艺流程

(1) 工作原理

①X 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

续表 9 项目工程分析与源项

会产生轫致 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 9-5。

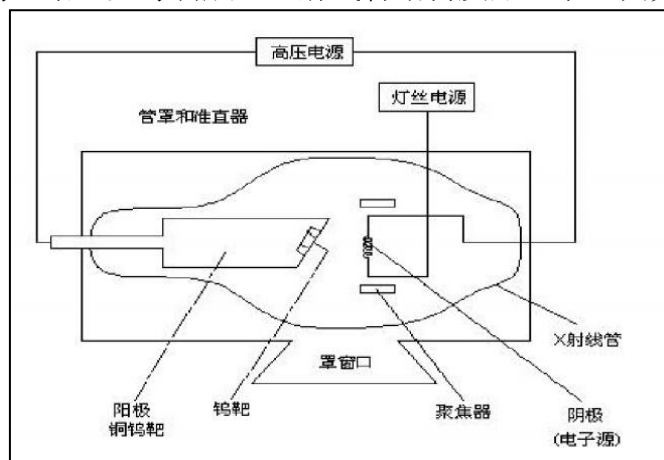


图 9-5 X 射线管原理示意图

②工业 CT 数字成像原理

RMCT4000 属于锥形束微焦点工业 CT，成像核心分为物理射线衰减、多角度投影采集、数字信号转换、计算机三维重建四大阶段。

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 射线后生成二维透视投影图。工件固定在载物台上，通过移动及 360°旋转载物台，探测器接收到不同角度穿透工件的残余 X 射线，生成上千张二维透视投影图，将其转化为模拟电信号，再通过 A/D 模数转换器转为纯数字灰度矩阵数据，数据实时传输至配套电脑存储，依靠电脑完成断层重建，把多角度平面图像换算成完整三维图像，从而清晰、准确、直观地展示被检测工件的内部结构、组成及缺损状况等。

(2) 工艺流程

在工件检测前须做好一切准备，如建设单位非放射工作人员将待检工件运输至 CT 检测室外，辐射工作人员将待检工件运进 CT 检测室内，辐射工作人员在设备外部巡查辐射安全防护设施是否正常等。

本项目工业 CT 主要工艺流程及产污环节见图 9-6。

续表 9 项目工程分析与源项

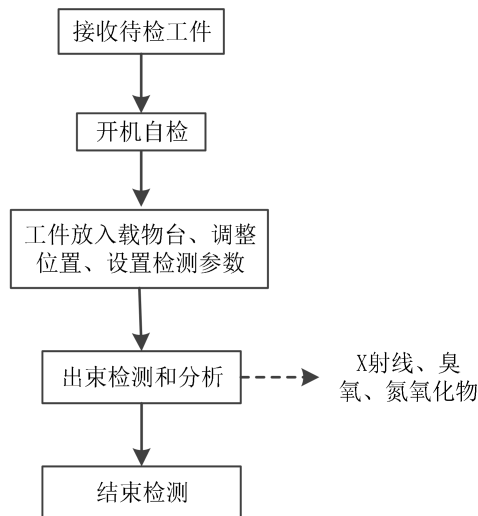


图 9-6 项目工艺流程及产排污简图

①接收待检工件

本项目辐射工作人员接收待检工件并登记信息；

②开机自检

工作人员依次打开电源开关和钥匙开关，开启操作系统，完成设备各系统连接状态确认、设备热机、机械轴初始化、探测器校正等。

③装载工件：打开正面进样门，工作人员将工件放置在载物台上，关闭进样门。

④调节工件位置、设置检测参数

通过调节 X 射线管、探测器高度，载物台位置，找到工件最合适的放大倍数，选择工件最合适的扫描模式、管电压、管电流、功率、出束时间等参数。

⑤出束检测和分析

开启 X 射线，装置将进入自动采集扫描状态，期间 X 射线持续出束，工件自动完成检测，无需人员干预。

⑥结束检测

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

续表 9 项目工程分析与源项

9.3 路径规划

本项目路径规划分为人流路径和物流路径，具体如下。

(1) 人流路径

本项目辐射工作人员进入 CT 检测室，辐射工作人员在操作台及操作面板前操作设备，设备检查无误，开启射线后自动检测，结束后打开进样门，取出工件。

(2) 工件路径

待检工件在 CT 检测室登记后，辐射工作人员将工件放入工业 CT 载物台上，检测完毕后取出。

项目人流、物流图见图 9-6。

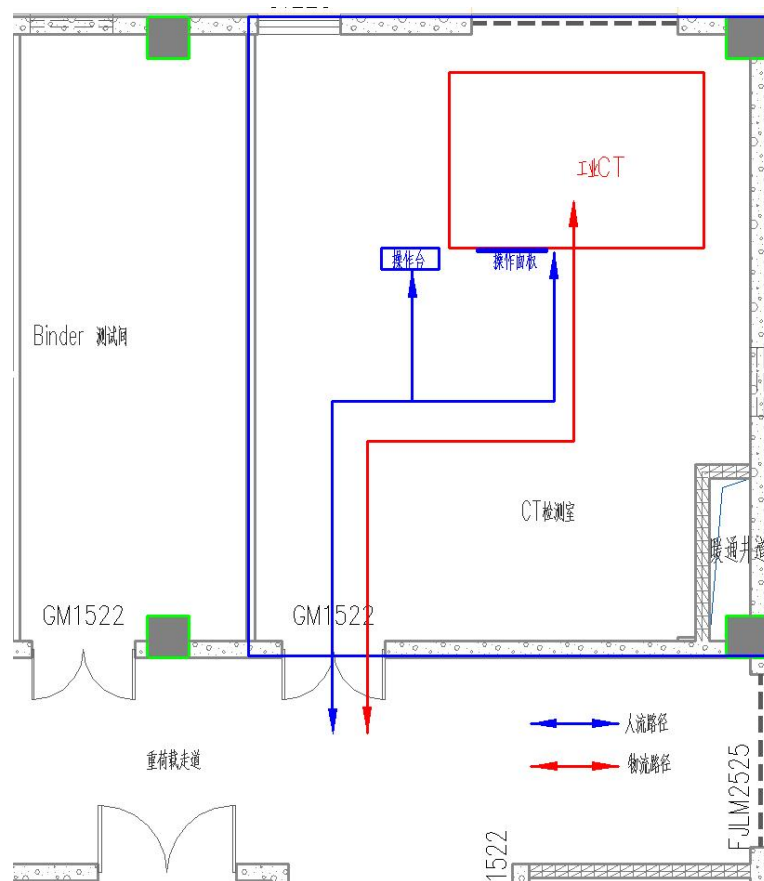


图 9-6 本项目人流物流路径图

9.4 污染源项分析

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

续表 9 项目工程分析与源项

9.4.1 电离辐射

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

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

①有用线束：直接由 X 射线管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射待检工件，产生无损检测的有用 X 射线。工业 CT 射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数、加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。根据厂家提供设备参数，本项目工业 CT 采用铍过滤板，225kV 的 X 射线管 1m 处主射束在 1mmBe 的过滤条件下的最大发射率约为 32.3mGy/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《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB 22448-2025）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 1，管电压在大于 200kV，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应小于 5mSv/h。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测工件、设备箱体等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与工业 CT 的 X 射线能量、输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。90°散射线能量最高，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2，225kV 的 X 射线 90°散射辐射相应的 kV 值为 200kV。

9.4.2“三废”产排情况

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

（1）废气

工业 CT 进行 X 射线无损检测作业时，X 射线使空气电离产生少量臭氧（O₃）

续表 9 项目工程分析与源项

和氮氧化物（NO_x），工业 CT 设置机械排风系统，少量废气经专用管道引至所在大楼东侧外墙排放。排风量 354m³/h，通风换气次数 44 次/h。

（2）废水

本项目无生产废水产生，不新增劳动定员，故无新增生活污水。辐射工作人员生活污水经处理达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，进入李渡大要坝污水处理厂进行处理，处理达《城镇污水厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 B 标准后排入长江。

（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，工作人员产生的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。

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

9.4.3 项目产排污统计

项目产生的污染因子源强分析总体情况见表 9-6 所示。

表 9-6 项目污染物产排情况统计表

污染物	污染因子	产生量	处理处置方式
电离辐射	X 射线	距靶 1m 处 X 射线最大发射率约为 32.3mGy/mA•min，设备距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 5mSv/h。	设备自屏蔽
废气	O ₃ 、NO _x	少量	工业 CT 设机械排风，废气经专用排风管道引至所在大楼东侧外墙排放
废水	生活污水	不新增	依托厂区生活污水处理系统
一般固废	生活垃圾	不新增	交环卫部门处理
	工业 CT	1 套	设备去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局与分区 10.1.1 工作场所布局 项目工业 CT 拟布置在 CT 检测室东北侧，与各侧墙体均有一定的距离；CT 检测室进出门位于房间西南侧，设备进样门位于正面（南侧），便于工件运输，其操作台位于铅房左侧，操作面板位于铅房正面靠左，便于工作人员操作及直观地观察工件的进出，且与铅房分开布置，主射束朝向右侧，操作台及操作面板、进样门均避开了有用线束照射的方向；在设备后面设置 1 个检修门对 X 射线管进行维修；电气柜设置在左侧设备箱体内部铅房外部，冷却装置、高压发生器设置在设备箱体内部右后侧铅房外部，减少维修时意外照射的可能性。 CT 检测室内主要为辐射工作人员活动区域，要求非相关工作人员不得进入该区域，且在检测系统运行过程中，房间门保持关闭，充分考虑了周围的辐射安全。 因此，本项目平面布局符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，布局合理。 10.1.2 分区原则 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。监督区：这种区域未被确定为控制区，通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。 根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.2 款、《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB22448—2025）第 6.2.1 款规定，应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。
--

续表 10 辐射安全与防护

10.1.3 区域划分情况

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

表 10-1 项目区域划设情况表

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

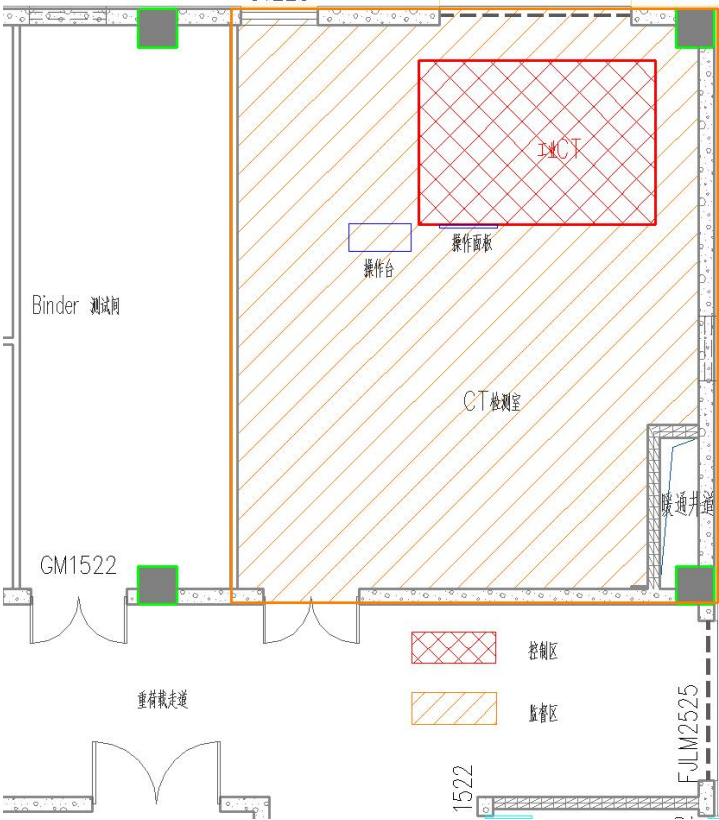


图 10-1 本项目工业 CT 辐射工作场所区域划分示意图

建设单位采取的分区管理措施如下：

①控制区：对控制区进行严格管控，工业 CT 在运行中严禁任何人进入控制区。工业 CT 进样门及检修门设门机联锁，防护门内外设置急停按钮，并在设备内外设置醒目的声光报警、固定式剂量报警仪，设备外正面进样门上方设工作状态指示灯，进样门上设电离辐射警告标志、“禁止进入射线工作区”的警示语，地面设置控制区地贴等防止人员误入的控制措施，同时操作面板显示设备内部剂

续表 10 辐射安全与防护

量数据，操作台及操作面板的视频显示单元可观察设备设备工作状态。 ②监督区：在工业 CT 设备四周地面拟设置监督区标识，CT 检测室门口地面设置监督区标识，加强周边活动人员管理，提醒人员不要驻留。 ③在监督区开展定期监测工作，特别需注意防护门搭接、穿墙管线洞口等薄弱部位。 10.2 项目拟采取的辐射安全与防护措施 本项目工业 CT 主要污染因子为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。 10.2.1 设备固有安全性 本项目拟配置满足标准要求的具有相应安全性能的出厂合格的工业 CT 设备，该设备固有安全性包括以下几个部分： （1）开机时系统自检：开机后控制器首先进行系统诊断测试，若诊断测试正常，该设备会示意操作者可以进行曝光或训机操作；若诊断出故障，在显示器上显示出故障代码，提醒用户关闭电源，与厂家联系并维修。 （2）当 X 射线管接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线管的各参数，当发生异常情况时，控制器自动切断 X 射线管的高压。在曝光阶段出现任何故障，控制器都将立即切断 X 射线管的高压，提醒辐射工作人员发生故障。 （3）设备在预设曝光时间出束结束后，系统将自动切断高压，进入待出束状态。 （4）设备停止工作规定时间（一般不超过 48h）再使用时要进行预热训机后方可使用，避免 X 射线管损坏。 （5）过、失电流保护：设备带有过电流断路器，当管电流超过额定值时或高压对地放电时，设备会自动切断高压；设备带有失电流保护继电气，当管电流低于 0.5mA 时，设备会自动切断高压。 （6）过电压保护：设备带有过电压保护继电气，当高压超过额定值时，自动切断高压。 （7）继电保护：冷却循环水流量继电气、温度继电气及铅房门开关的触点

续表 10 辐射安全与防护

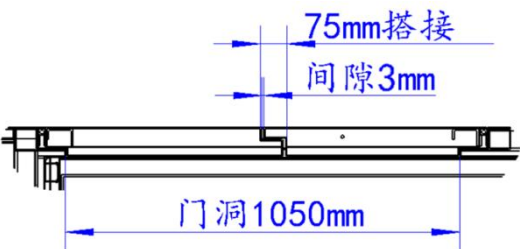
均为串联，在正常时均接通；若有一个没接通，就不能达到高压。 （8）控制器功能 控制器有钥匙控制，有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置，有高压接通时的外部报警或指示装置，有门机联锁的接口，有急停按钮，有出束指示，有“禁止非授权使用”的警告等标识。 10.2.2 屏蔽防护措施 （1）铅房屏蔽 本项目工业 CT 自带屏蔽铅房，铅房与主体结构一同设计和制造，其具有足够的屏蔽能力，主要采用铅+钢的屏蔽体结构对 X 射线进行屏蔽防护，防护厚度充分考虑了 X 射线主射、散射、漏射影响。工业 CT 铅房右侧主射方向屏蔽体为 32mmPb+2mm 钢，底面为 22mmPb+10mm 钢，其余各面屏蔽体均为 22mmPb+2mm 钢。根据后文预测，工业 CT 设备的屏蔽能力满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB22448—2025）标准限值要求。 （2）铅房的生产和安装由生产厂家负责，防护门与铅房屏蔽墙体之间有足够的搭接，正面进样门上下左右各搭接 50mm，搭接缝隙 3mm；后面检修门为 Z 字形搭接，上下搭接宽度均为 50mm，左右搭接宽度均为 75mm，搭接缝隙 3mm，可确保屏蔽箱体的整体屏蔽能力。搭接示意图见图 10-2。 （3）本项目工业 CT 铅房设置 7 个穿孔，分别为通风孔 3 个、水冷柜走向孔 1 个（电缆及冷却管）、电气柜电缆孔 3 个。 ①通风口位于铅房顶部。开孔尺寸 122mm×122mm，在开口下部铅房内设置防护罩作为补偿，仅留一侧进风，补偿厚度与同侧屏蔽体厚度一致，均为 22mmPb+2mm 钢。通风口补偿图见图 10-3。 ②其余线缆孔分别位于电气柜与屏蔽体之间（左后方），水冷柜与屏蔽体之间（右后方），穿墙方式为 S 型，出线口尺寸 150mm×120mm，线缆四周均覆以防护板，补偿厚度与同侧屏蔽体厚度一致，均为 22mmPb+2mm 钢。线缆口补偿图见图 10-4。

续表 10 辐射安全与防护

X 射线经过多次散射后在屏蔽体（含补偿防护）外的辐射水平满足要求。



正面进样门搭接



后面检修门

图 10-2 防护门搭接大样图

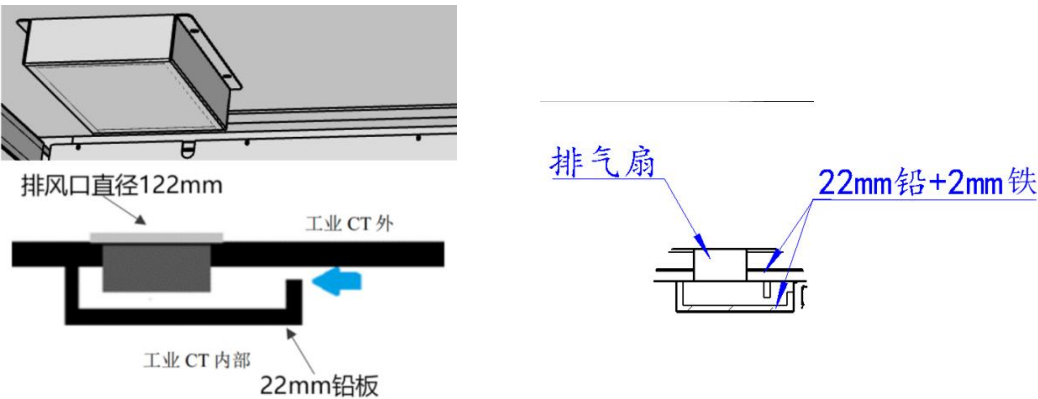


图 10-3 通风口屏蔽补偿大样图

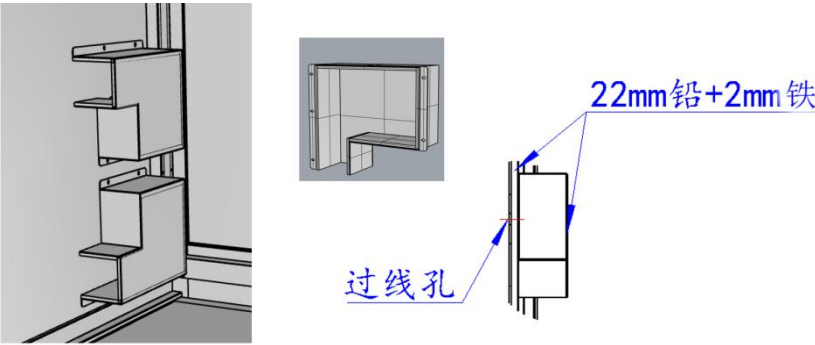


图 10-4 线缆口屏蔽补偿大样图

续表 10 辐射安全与防护

10.2.3 辐射安全与防护措施

(1) 门机联锁

本项目工业 CT 正面进样门、后侧检修门为防护门，与 X 射线管头联锁，保证在门关闭后工业 CT 才能出束曝光，防护门打开，X 射线管不能出束。

(2) 工作状态指示灯及声光报警灯

在设备正面右侧上方设置 1 个工作状态指示灯指示出束状态，红色灯闪烁为“照射”状态，另外在设备右前方顶部及设备内部分别设置 1 个声光报警灯，出束“照射”状态时为红色声光报警灯闪烁并伴有蜂鸣声，绿色为“预备”状态；在设备左侧顶部设置 1 个设备状态指示灯指示设备状态，绿灯闪烁为正常、黄灯闪烁为待机、红灯闪烁为故障。工作状态指示灯和声光报警灯均与工业 CT 的 X 射线管头联锁。

拟在上述状态指示灯旁适当位置张贴各信号意义的中文说明。拟在声光报警灯旁适当位置张贴中文警示说明。

(3) 紧急停机按钮及复位、钥匙开关、电源主开关

拟在操作面板显示器下方及操作台各设置 1 个急停按钮，设备后侧靠左位置设置 1 个急停按钮，在铅房内部前侧进样门及后侧检修门旁各设置 1 个急停按钮，并在操作面板显示器下方设置复位按钮，急停按钮被重新解锁后，需按下复位按钮，设备才重新上电运行。另外在设备左侧独立电气柜门上设置电源主开关，在操作面板显示器下方设置钥匙开关。只有在打开电源主开关及操作面板钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。钥匙由辐射工作人员随身携带保管，换班、检修时检查钥匙交接情况，防止非辐射工作人员误操作。

(4) 电离辐射警告标志

本项目工业 CT 四周拟张贴电离辐射警告标志和中文警示说明，并张贴“禁止进入射线工作区”的警示语。

(5) 固定式场所辐射探测报警装置

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

续表 10 辐射安全与防护

(6) 视频监控系统

铅房内拟设置 1 个监视摄像头，可以全方位查看工业 CT 设备内 CT 检测运行情况，也能查看被检工件、进样、检修防护门等情况，监控显示屏位于操作面板及

风量
至 1
后排

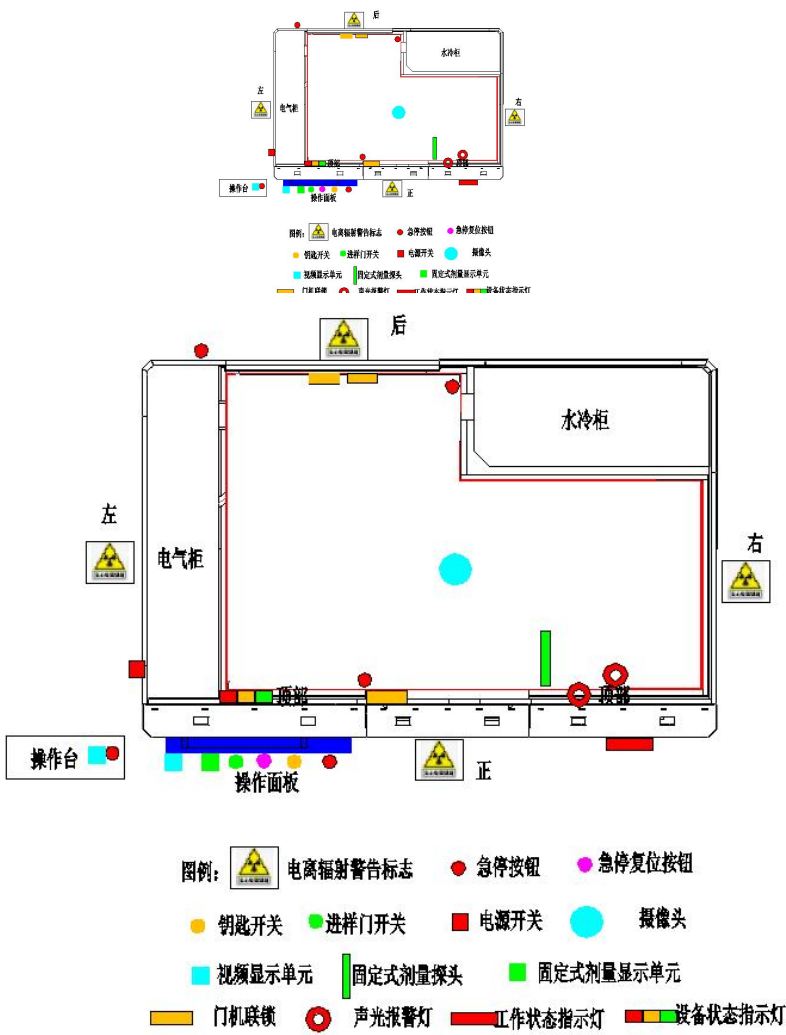


图 10-5 工业 CT 辐射安全与防护设施布置示意图

表 10 辐射安全与防护

10.2.4 辐射安全联锁逻辑

本项目工业 CT 系统具有辐射防护安全联锁设施与措施，只有主控钥匙转到开机位置，防护门关闭到位、急停按钮均复位，安全联锁系统才能建立，安全联锁系统建立后在设备自检正常的前提下，辐射工作人员通过视频监控确认铅房内无异常进行出束曝光。启动工业 CT 曝光后进入“预备”状态，“预备”信号结束后工业 CT 进入“照射”状态，此时铅房外工作状态指示灯闪烁红灯，铅房内、外声光报警灯闪烁红灯报警并有蜂鸣声音，固定式辐射探测装置在操作面板显示铅房内剂量率；工业 CT “照射”过程中，急停按钮按下或防护门意外打开均会导致安全联锁系统中断，此时 X 射线管高压会立即断开（即立即停止 X 射线出束）。工业 CT 辐射安全联锁逻辑见图 10-6。

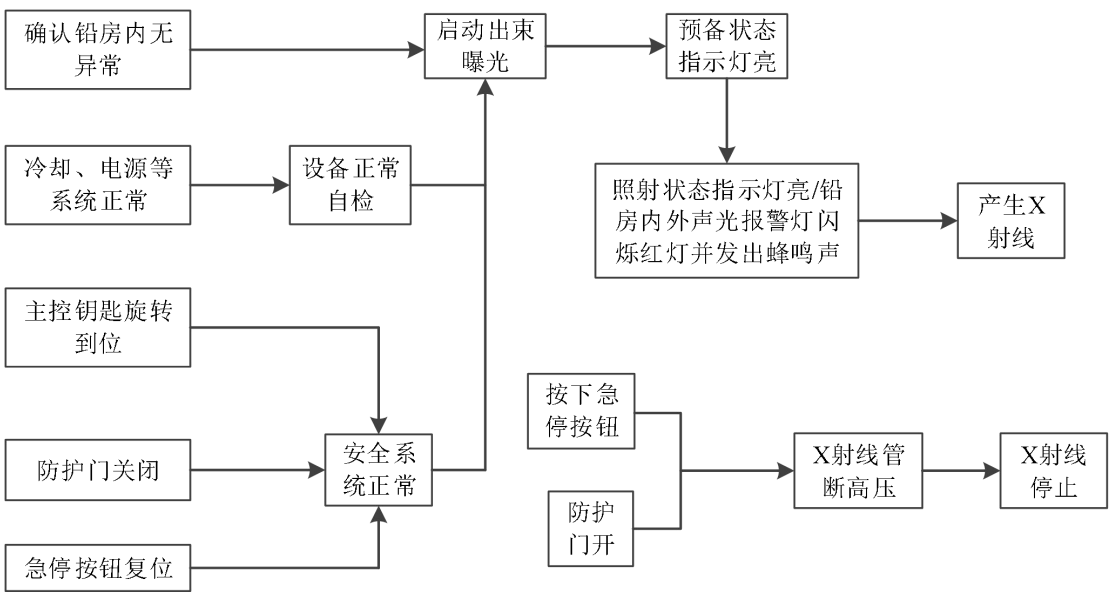


图 10-6 辐射安全联锁逻辑示意图

10.3 监测仪器

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

表 10 辐射安全与防护

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

10.4 项目措施与相关要求的符合性分析

根据上文介绍，本项目工业 CT 为小型自屏蔽式工业 CT，参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB22448—2025）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的进行对比分析，具体见表 10-3。

根据表 10-3 可知，根据本项目实际情况，拟采取的辐射安全与防护措施满足 GBZ117-2022、GB22448—2025、GBZ/T250-2014 等要求。

10.5 三废的治理

本项目工业 CT 在工作过程中不产生放射性三废。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-3 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准名称	标准要求		项目情况
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	4 使用单位放射防护要求	4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。	建设单位对放射防护安全负主体责任。
		4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。	建设单位已成立辐射安全与环境管理机构，已明确机构及人员职责并建立了《辐射安全管理制度》等制度。本项目建成后纳入其管理，部分制度根据本项目情况完善修订。
		4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。	拟对项目辐射工作人员按 GBZ 128 的要求配置个人剂量计，并定期开展个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。
		4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。	本项目 3 名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。	建设单位拟配备 1 台便携式 X- γ 辐射剂量率仪用于 CT 检测室使用，拟为本项目配置 2 台个人剂量报警仪。
		4.6 应制定辐射事故应急预案。	建设单位制定了辐射安全应急预案，应结合本项目情况完善。
	5 探伤机的放射防护要求	5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。	建设单位拟购买符合标准要求的工业 CT。
		5.1.2 工作前检查项目应包括：a) 探伤机外观是否完好；b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；c) 液体制冷设备是否有渗漏；d) 安全联锁是否正常工作；e) 报警设备和警示灯是否正常运行；f) 螺栓等连接件是否连接良好；g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。	建设单位拟制定工业 CT 操作规程，要求辐射工作人员开展工作前按要求检查相关项目。

续表 10 辐射安全与防护

《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。	建设单位制定了设备维修保养制度，但应结合本项目情况完善，设备维修必须由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行，并按制度规定开展设备维护工作并做好维护记录。
《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）	6 固定式探伤的放射防护要求	6.1 探伤室放射防护要求 6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。	本项目工业 CT 的安装位置已充分考虑了周围的辐射安全，操作台设置在铅房外，且避开了有用线束照射方向。铅房屏蔽厚度已充分考虑了源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素，工业 CT 防护门的防护性能不低于同侧铅房的防护性能。
		6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。	本项目拟将工业 CT 整体设备内部划为控制区，将整体设备外（包括铅房顶部）CT 检测室内区域划为监督区，分区管理符合 GB 18871 的要求。
		6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ Sv/周；b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 μ Sv/h。	根据后文核算，工业 CT 铅房和防护门的辐射屏蔽满足标准要求。
		6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100 μ Sv/h。	根据后文核算，工业 CT 顶的辐射屏满足标准要求，本评价工业 CT 顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平保守取 2.5 μ Sv/h。

续表 10 辐射安全与防护

《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	6 固定式探伤的放射防护要求	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。	本项目工业 CT 设置门-机联锁装置,在防护门关闭后才能进行探伤作业。在 X 射线检测过程中,防护门被意外打开时,能立刻停止出束,铅房内 X 射线管头与防护门联锁。
		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。	拟在设备正面右侧上方设置 1 个工作状态指示灯指示出束状态,红色灯闪烁为“照射”状态,另外在设备右前方顶部及设备内部分别设置 1 个声光报警灯,出束“照射”状态时为红色声光报警灯闪烁并伴有蜂鸣声,绿色为“预备”状态。工作状态指示灯和声光报警灯均与工业 CT 的 X 射线管头联锁。并在上述状态指示灯、声光报警灯旁适当位置张贴中文警示说明。
		6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置,在控制室的操作台应有专用的监视器,可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。	本项目拟在铅房内部设置 1 个摄像头,可监视工业 CT 周围人员活动和设备内部情况,显示单元位于操作面板及操作台。
		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。	本项目工业 CT 四周拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。
		6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳,确保出现紧急事故时,能立即停止照射。按钮或拉绳的安装,应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签,标明使用方法。	本项目工业 CT 正常运行情况下,操作人员无需进入铅房,维修时可能打开后侧检修防护门,断射线管高压,人员有进入铅房内可能性,拟在铅房内部前后侧分别设置 1 个急停按钮,在操作台及操作面板显示器下方设置 1 个急停按钮,设备外部后侧设 1 个急停按钮,急停按钮旁拟设置标签标明使用方法。
		6.1.10 探伤室应设置机械通风装置,排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	拟在铅房顶部设置有 3 个排风口,总风量 354m ³ /h,通风次数约 44 次/h。排风口朝向大楼外的厂区道路,高度 4.5m。排风系统设置满足标准要求。

续表 10 辐射安全与防护

《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	6 固定式探伤的放射防护要求	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目工业 CT 拟配置 1 套固定式场所辐射探测报警装置。
		6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求 6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。	建设单位拟制定操作规程，辐射工作人员检查工业 CT 防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。
		6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。	本项目工业 CT 操作人员无需进入铅房内。本项目工业 CT 拟配置 1 套固定式场所辐射探测报警装置，设备维修由厂家维修人员在设备断电情况下佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪打开检修防护铅门操作，拟制定设备维修保养制度要求，维修人员在设备维修时确保 2 人在场，保证一人在检修防护门旁维修，一人可在操作台了解铅房内剂量率情况。
		6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。	建设单位制定了监测方案，应结合本项目工业 CT 情况完善监测方案，将定期测量铅房外周围区域的剂量率水平纳入监测方案，包括操作台和周围毗邻区域人员居留处。测量值与参考控制水平相比较，当测量值高于参考控制水平时，立即终止 X 射线检测工作并向辐射防护管理人员报告。
		6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。	建设单位已有的监测计划应结合本项目进行完善，规定交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不得开始探伤工作。
		6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。	本项目工业 CT 的准直器等辐射防护装置与设备一体化设置，辐射工作人员不能随意拆除。
		6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。	建设单位拟制定工业 CT 操作规程，规定在每一次照射前，辐射工作人员都需确认铅房内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始 X 射线检测工作。
		6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条~第 7.4 条的要求。	本项目检测工件均为小型电池电芯，工业 CT 防护门和铅房空间尺寸均能满足工件进出，不存在开门探伤情形。

续表 10 辐射安全与防护

《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)	6 固定式探伤的放射防护要求	6.3 探伤设施的退役 当工业探伤设施不再使用，应实施退役程序。包括以下内容： c)X 射线发生器应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。e)当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续。f)清除所有电离辐射警告标志和安全告知。	本项目不再使用后，工业 CT 去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。建设单位还应按照监管部门要求办理后续手续。清除工作场所内电离辐射警告标志和安全告知等各类说明。
《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》 (GB22448—2025)	4 X 射线机防护要求	4.1 500 kV 以下工业 X 射线探伤机在工作时，X 射线管主束窗口应用遮光罩遮盖。在生产厂家规定的最高工作值时，用防护级剂量仪测量距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率，测得的结果应符合表 1 要求。	建设单位拟购买符合标准要求的工业 CT。
		4.2.1 X 射线管应能固定在任何需要的位置上并加以锁紧。	
		4.2.2 X 射线管应安装限束装置。	本项目工业 CT 自带限束准直器。
		4.2.3 X 射线管窗口孔径应小于或等于额定最大有用线束射出所需尺寸。 4.2.4 X 射线管应具有如下标志： a) 制造厂名称或商标； b) 型号及出厂编号； c) X 射线管的额定管电压、管功率； d) 焦点位置； e) 出厂日期； f) 电离辐射标志。	建设单位拟购买符合标准要求的工业 CT。
		4.3.1 控制器应保证未经许可不能启动。	操作面板设钥匙开关，钥匙由辐射工作人员随身携带保管，操作系统设置密码。

续表 10 辐射安全与防护

《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》 (GB22448—2025)	4 X 射线机防护要求	4.3.2 应明显标示出与防护性能相关的操作标志。	拟在与安全相关的操作点均设置中文标志，如急停、复位等。
		4.3.3 在 X 射线机启动时控制器应起到安全防护的作用。	控制器拟设置使用权限、设备自检系统、急停/复位、门机联锁等，只有以上内容全部正常情况下，才能出束。
		4.3.4 X 射线机在工作时，控制器上配置的起警示作用的黄灯或声控装置应能正常工作。	控制器上拟配置工作状态指示灯、声光报警灯，应确保警示装置能正常工作。
		4.3.5 应设置紧急停机开关。	操作面板及操作台均拟设置急停按钮。
		4.3.6 应设有钥匙开关，只有在打开控制台钥匙开关后，X 射线管才能出束。应只有在停机或待机状态时才能拔出钥匙。	操作面板拟设有钥匙开关，只有在打开控制台钥匙开关后，X 射线管才能出束。只有在停机或待机状态时才能拔出钥匙。
		4.4 应保证只有在 X 射线发生器接通时，控制器才能发出发射指令。X 射线发生器断开时，不应有 X 射线射出。不应随意改变 X 射线发生器的连接状况。	拟购买符合标准要求的工业 CT。只有在钥匙开关旋转到 ON 时才能打开高压，X 射线管才能出束。钥匙开关旋转到 OFF 时，无 X 射线射出。拟制定操作规程规定操作人员不得私自改变 X 射线发生器的连接状况。
		4.7.1 应确保 X 射线发生器已断开，再打开 X 射线防护设施，防止有效 X 射线束辐射的逸出。X 射线防护设施处于防护状态时，应没有 X 射线的泄漏辐射。	拟设置门机联锁，只有当 X 射线发生器已断开，才能打开 X 射线防护设施。X 射线防护设施处于防护状态时，X 射线的泄漏辐射满足 4.1 要求。联锁装置处于断开状态时，设备自检无法通过，无法将钥匙开关旋到 ON，无法打开 X 射线发生器。
		4.7.2 防护设施上应设有门-机联锁装置。联锁装置打开时，应保证无电压输出。	
	5 X 射线探伤作业场所防护要求	5.1.1 探伤室应与操作室分开，以保证周围的放射安全。	本项目工业 CT 操作台和操作面板均拟设置在铅房外。
		5.1.2 探伤室屏蔽设计应确保操作人员年有效剂量小于其相应的限值。屏蔽体外 30 cm 处的周围剂量当量率参考控制水平应小于或等于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。对没有人员到达的探伤室顶外表面，其 30 cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100 $\mu\text{Sv/h}$ 。	根据后文核算，工业 CT 铅房和防护门的辐射屏蔽满足标准要求。根据后文估算，操作人员年有效剂量小于相应的限值。

续表 10 辐射安全与防护

《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》 (GB22448—2025)	5 X 射线探伤作业场所防护要求	5.1.3 探伤室门的防护性能应与同侧墙的防护性能相同。应安装门-机联锁安全装置和照射信号指示器,以保证在门关闭后才能进行透照检查。	本项目工业 CT 进样门和检修门的防护性能设计与同侧屏蔽体防护性能相同。拟安装门-机联锁、照射信号指示器。
		5.1.4 探伤室内应配有急停开关。	本项目工业 CT 内部拟设置 2 个急停按钮。
		5.1.5 探伤室内应配有通风装置。	本项目工业 CT 拟设置机械排风系统。
		5.1.6 探伤室应安装安全防护监控装置	本项目工业 CT 内部拟设置 1 个摄像头,视频显示单位位于操作台及操作面板。
	6 使用过程 X 射线防护监测	6.1 职业照射剂量限值 应对职业照射人员进行常规个人剂量监测,并建立个人剂量和健康管理档案,监测值应符合 GB 18871 的要求,包括以下内容: a) 连续 5 年的年平均有效剂量; b) 任何 1 年中的有效剂量; c) 眼晶体的年有效剂量; d) 四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量	拟为辐射工作人员配备个人剂量计,确保辐射工作人员职业照射剂量满足限值要求。
		6.2.1 固定工作场所的区域划分 应对探伤场所进行区域划分,划分方法和相应的管理应符合 GB18871 的规定。	本项目拟将工业 CT 整体设备内部划为控制区,将整体设备外(包括铅房顶部)CT 检测室内区域划为监督区,分区管理符合 GB 18871 的要求。
		6.2.3 控制区通道 控制区的通道应满足下列条件: 在通道内,通过装置能观察到 X 射线机的开启情况; 通道内设有可紧急断开 X 射线机高压电路的开关; 在通道处配置安全装置(如门接点、光栅),可使所及范围 X 射线中断; 通向控制区范围的设置词语标示:“禁止进入射线工作区”。	本项目工业 CT 无迷路,在进样防护门旁操作面板有视频显示单元,能观察到铅房内部设备工作状态,且控制区内部设置声光报警灯,能显示 X 射线机开启情况,同时铅房内部还设置固定式剂量报警仪,显示单元位于进样门旁操作面板上,通过显示单元的剂量数据,可知道铅房内部设备工作状态;铅房内防护门旁拟设急停按钮;设置门禁联锁,门打开,能中断 X 射线;在防护门上或者门前地面张贴“禁止进入射线工作区”的警告语。

续表 10 辐射安全与防护

《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》 (GB22448—2025)	7 X 射线机安全作业要求	7.1 指导 应定期进行培训, 使 X 射线机的工作人员掌握必要的辐射防护专业知识, 并记录培训内容和时间。	建设单位拟要求辐射工作人员参加辐射防护专业知识培训, 考核合格后方可上岗, 并制定了培训计划, 计划中规定了培训频次、培训的记录相关要求等。
		7.2 剂量监测 应采用符合要求的剂量仪对工作人员进行剂量监测。	建设单位拟为辐射工作人员配置符合要求的个人剂量计及个剂量报警仪。
		7.3 安装工作 在安装 X 射线机前, 应根据预期的工作情况对配备的射线辐射防护设施进行防护性能的评估和实试验证。	安装工作由设备厂家完成, 安装前均会对辐射防护设施进行防护性能的评估和实试验证。
		7.4 射线管或射线发生器的拆卸 当需要打开防护外壳取出 X 射线管或从支架上取下 X 射线发生器时, 应确保发生器电源已断开。	设置门机联锁, 电源未断开, 无法打开防护门, 无法开展射线管及射线发生器的拆卸工作。只有当发生器电源断开后, 才能打开防护门。
		7.5 试样更换 更换试样前, 应确保 X 射线机高压电路已切断并已屏蔽 X 射线机的辐射。	设置门机联锁, X 射线机高压电路未断开, 无法打开防护门进行试样更换。只有当 X 射线机高压电路断开后, 才能打开防护门进行试样更换。
《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零星小型工件探伤室, 可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。	建设单位利用工业 CT 检测工件为小型工件, 正常运行期间人员不进入铅房内。设置有专门的检修门, 正常运行不得开启。
		3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外, 控制室和人员门应避开有用射线束照射方向。	本项目工业 CT 操作台设置在铅房旁, 避开了有用线束照射的方向。
		3.3.3 屏蔽设计中, 应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	本项目工业 CT 防护门拟采用错位重叠搭接方式, 穿墙孔洞均采取屏蔽补偿措施。
		3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时, 按最高管电压和相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。	本项目工业 CT 为单管头设备, 两个管头不同时出束, 已按最高管电压和管电流设计屏蔽。
		3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间, 常用的材料为混凝土、铅和钢板等。	本项目工业 CT 屏蔽材料为铅和钢板。

续表 10 辐射安全与防护

《职业性 外照射个 人监测规 范》	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。	本项目辐射工作人员主要辐射来自铅房内 X 射线，拟为辐射工作人员配备个人剂量计，要求辐射工作人员佩戴在胸口位置。
(GBZ12 8-2019)	7.3 实施监测过程的质量保证	7.3.2 个人剂量计在非工作期间避免受到任何人工辐射的照射。	个人剂量计在非工作期间保管于远离工业 CT 设备区域。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

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

运行阶段对环境的影响

11.1 屏蔽能力理论核算

11.1.1 辐射屏蔽核算公式

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

(1) 屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 相应的关系

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

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

式中:

X——屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

TVL——见附录表 B.2。

(2) 有用线束

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

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

式中:

I——最高管电压下的常用最大管电流, 单位为毫安 (mA);

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

续表 11 环境影响分析

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）。

（3）泄漏辐射屏蔽

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

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

式中：

B—屏蔽透射因子；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

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

（4）散射辐射屏蔽

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

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

式中：

I—最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

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

B—屏蔽透射因子；

F— R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（ m^2 ）；

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

R_0 —辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

续表 11 环境影响分析

11.1.2 屏蔽防护核算原则

(1) 本项目工业 CT 铅房底部与地面约 120mm，且工业 CT 正对下方无建筑，底部（下）参考点设置在地面。左侧屏蔽体之外设置有电气柜及其普通钢质维护门，右后侧屏蔽体之外有水冷柜及其普通钢质维护门，除维修外，正常出束情况下不会打开维护门接近铅屏蔽体，因此，各侧参考点仍设置在工业 CT 设备外箱体外 30cm 处（底部除外）。

(2) 本项目工业 CT 的 X 射线管仅上下移动，X 射线管与设备箱体外正面、后面、左面、右面距离固定，与顶面与底面距离随着 X 射线管的移动有一定变化。X 射线管与屏蔽体及设备外箱体边界距离见前文图 9-4。本次按照厂家提供的辐射角范围（30°×30°）及 1m 处输出剂量率对设备整体屏蔽体效能进行核算。

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

11.1.3 屏蔽防护核算参数

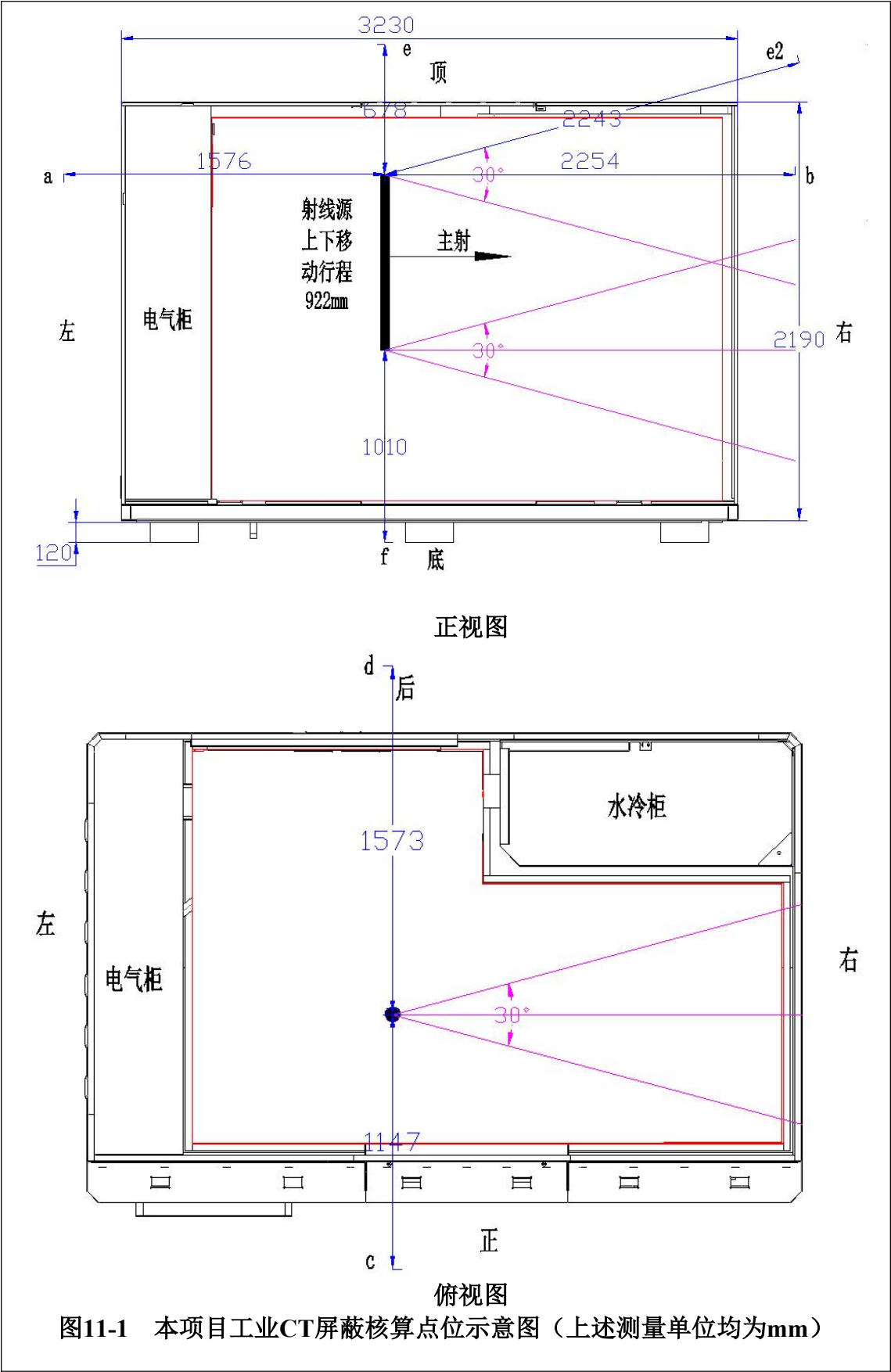
(1) 核算关注点位

屏蔽防护核算主要关注点见表 11-1 和图 11-1。

表 11-1 关注点核算距离一览表

设备	关注点位	方位	主要辐射类型	核算取值（m）
工业 CT	a	左（西）	漏射辐射、散射辐射	1.57
	b	右（东）	有用线束	2.25
	c	正（南）	漏射辐射、散射辐射	1.15
	d	后（北）	漏射辐射、散射辐射	1.57
	e	顶	漏射辐射、散射辐射	0.68
	e2	右侧顶	有用线束	2.24
	f	底	漏射辐射、散射辐射	1.01

续表 11 环境影响分析



续表 11 环境影响分析

②其他相关参数

本项目屏蔽体核算过程中的其他参数见表 11-2 所示。

表 11-2 屏蔽核算相关参数

参 数	数 值			来 源
设备基础参数	225kV， 3mA			建设单位提供
1m 处输出量 $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ G	32.3			根据设备厂家提供
转换系数	6×10^4			GBZ/T250-2014中4.1 a) GBZ/T250-2014 表 B.1
H_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$)	1.94×10^6			
$\frac{R_0^2}{F \times d}$	50			GBZ/T250-2014 附录 B.4.2
泄漏辐射剂量率 H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	5000			GBZ/T250-2014 表 1
X 射线 90°散射辐射对应的 kV 值	200kV			GBZ/T250-2014 表 2
什值层（TVL）	电压 (kV)	铅 TVL (mm)	钢 TVL (mm)	按辐射防护导论表 3.5 内插计算
	200	1.4	14	GBZ/T250-2014 表 B.2（225kV 对应 TVL 采用内插法计算得到铅 TVL，《辐射防护导论》（方杰主编），P103 的图 3.23 查得 225kV 钢 TVL 为 17mm，200kV 钢 TVL 为 14mm
	225	2.2	17	

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

11.1.4 铅房屏蔽防护核算结果

本项目工业 CT 屏蔽防护效能核算结果见表 11-3。

续表 11 环境影响分析

表 11-3 工业 CT 屏蔽效能核算表								
设备	关注点	方位	辐射类型	距离 (m)	屏蔽厚度 (mmPb)	设计厚度下关注点周围剂量 当量率 (μSv/h)		是否 满足 标准 要求
工业 CT	a	左(西)	散射辐射	1.57	22mmPb+2mm 钢	6.55E-12	1.55E-07	是
			漏射辐射			1.55E-07		
	b	右(东)	有用线束	2.25	32mmPb+2mm 钢	2.49E-09	2.49E-09	是
	c	正(南)	散射辐射	1.15	22mmPb+2mm 钢	1.22E-11	2.88E-07	是
			漏射辐射			2.88E-07		
	d	后(北)	散射辐射	1.57	22mmPb+2mm 钢	6.55E-12	1.55E-07	是
			漏射辐射			1.55E-07		
	e	顶	散射辐射	0.68	22mmPb+2mm 钢	3.49E-11	8.25E-07	是
			漏射辐射			8.25E-07		
	e2	右侧顶	有用线束	2.24	22mmPb+2mm 钢	1.71E-10	1.71E-10	
	f	底	散射辐射	1.01	22mmPb+10mm 钢	2.20E-06	2.20E-06	是
			漏射辐射			2.44E-13		
备注：防护门屏蔽能力与同侧屏蔽体一致，不单独核算。								

根据屏蔽核算结果可知，本项目工业 CT 设备屏蔽体防护厚度均能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB22448—2025）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）屏蔽防护的要求。工业 CT 设备顶部的剂量率远小于 2.5μSv/h，因此本评价不再考虑天空散射的影响。

11.2 年有效剂量估算

11.2.1 估算公式

X-γ射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

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

式中：

- H_{Er}：X 或γ射线外照射人均年有效剂量当量，mSv；
- H₍₁₀₎：X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；
- t：X 或γ射线照射时间。

续表 11 环境影响分析

11.2.2 估算结果

(1) 辐射工作人员

辐射工作人员剂量估算见表 11-4。

表 11-4 辐射工作人员剂量估算表

工作场所	设备外最大 周围剂量当 量率($\mu\text{Sv/h}$)	设备最大曝光时 间 (h)		居留 因子	有效剂量	
		周	年		周有效剂量 ($\mu\text{Sv/周}$)	年有效剂量 (mSv/a)
工业 CT	2.20E-06	143.5	6765	1	3.16E-04	1.49E-05

根据表 11-3 可知,屏蔽体外最大周围剂量当量率为 $2.20\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$,该位置为设备底部,该位置虽然人员不可达,考虑射线通过底部与地面间空隙散、漏射至该区域人体,保守按照 $2.20\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$ 进行估算,根据表 11-4 估算可知,本项目工业 CT 曝光的情况下,辐射工作人员受到的年有效剂量最大约 $1.49\text{E-}05\text{mSv}$,远小于本项目辐射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a ,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。周受照剂量最高为 $3.16\text{E-}04\mu\text{Sv}$,远小于本项目辐射工作人员周剂量管理目标值 $100\mu\text{Sv/周}$,满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)的要求。

(2) 公众成员剂量估算及对周围环境保护目标的影响分析

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

表 11-5 公众成员剂量估算表

环境保护 目标名称	方位	与铅房 距离 (m)	周围剂量 当量率($\mu\text{Sv/h}$)	周最大 曝光时 间(h)	年最大 曝光时 间(h)	居留 因子	周剂量 ($\mu\text{Sv/周}$)	年有效 剂量 (mSv/a)
室外厂内 过道、绿 化、厂区道 路等	东	约 0.9~11	1.27E-09	143.5	6765	1/8	2.28E-08	1.08E-09
重庆江上 星云科技 有限公司 厂房		约 11~50	7.19E-11	143.5	6765	1	1.03E-08	4.87E-10
重荷载走 道、楼梯 间、电梯	南	约 5.5~16	8.62E-09	143.5	6765	1/5	2.48E-07	1.17E-08

续表 11 环境影响分析

测量室、张力测量房等		约 9.2~35	3.56E-09	143.5	6765	1	5.11E-07	2.41E-08
室外绿化、厂区道路、厂区污水处理站		约 16~50	1.30E-09	143.5	6765	1/8	2.33E-08	1.10E-09
测试间、收样间、制样间、辅料生产车间等	西	约 3.4~32	1.54E-08	143.5	6765	1	2.22E-06	1.04E-07
室外绿化、厂区道路、物料连廊等		约 32~50	3.38E-10	143.5	6765	1/8	6.07E-09	2.86E-10
厂内过道、厂区道路、绿化	北	约 1.2~22	4.97E-08	143.5	6765	1/8	8.92E-07	4.20E-08
凹板极片车间		约 22~50	6.86E-10	143.5	6765	1	9.85E-08	4.64E-09
2-3F 测量室、备用间、计划室等	楼上	约 4~10	2.65E-11	143.5	6765	1	3.81E-09	1.80E-10

根据上表估算可知,本项目工业 CT 周围 50m 范围内公众成员受到的年附加有效剂量最大约 1.04E-7 mSv, 低于公众成员年有效剂量管理目标值 0.1mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。周受照剂量最高为 2.26E-06 μ Sv,满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)的要求。

综上,本项目建设对各环境保护目标和公众成员带来的辐射影响很小,能为公众和环境所接受。

11.3 其他影响

(1) 废气对环境影响分析

本项目工业 CT 废气经机械排风系统引至 QA 检测中心大楼东侧外墙排放,排放口高于地面 4.5m, 废气排放口周围为厂区道路, 人员活动较少, 故项目产生的废气对周围环境影响小。

(2) 废水环境影响

本项目不新增劳动定员, 故无新增生活污水。生活污水经厂区生活污水处理

续表 11 环境影响分析

设施处理达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准后排入市政污水管网，最后进入李渡大要坝污水处理厂进行处理，处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 B 标准后排入长江，对地表水环境影响较小。

（3）固废环境影响

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

11.4 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。

11.5 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。

11.6 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

续表 11 环境影响分析

到不必要的超剂量照射。 工业 CT 产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。因为工业 CT 设置有专用铅房屏蔽体,基本不会发生固定性屏蔽体损坏而致人员受到误照射的事故,即使发生,也能一目了然而不再开机曝光,即不会受到误照射。 X 射线看不见、摸不着,因此,更多的辐射事故是因为管理不到位,而导致无关人员受到误照射。这类辐射事故主要体现在以下几个方面: ①安全联锁装置失效 由于门机联锁装置失效,设备出束时防护门未关闭或门被意外开启,射线仍能发射,造成射线外泄,可能对辐射工作人员及公众成员产生较大剂量照射。 ②屏蔽体出现膨胀变形 本项目工业 CT 铅房各屏蔽体使用多年以后,可能因铅的自重等原因引起屏蔽体搭接、铆钉等处空隙增大,从而漏出射线,使铅房周围的人员受到误照射。 ③X 射线管丧失自身屏蔽 X 射线管是用重金属屏蔽包围住的,因各种原因(如检修、调试、改变照射角度等)可能无意中将设备管头上的屏蔽块移走,使 X 射线管丧失自身屏蔽作用,导致铅房周围均受主射线照射,屏蔽体外出现高剂量率,人员受到不必要的照射。 ④人员滞留铅房内 设备维修人员通过后侧检修防护门进入铅房内维修,未对铅房内部进行充分确认,关闭射线管高压,从而导致滞留在铅房内的人员被误照射。 (2) 后果分析 本项目工业 CT 正常工作模下单次曝光时间约 0.5min,本次估算考虑单次误照射时间的后果。 ①安全联锁装置失效 安全联锁装置失效情况下,工业 CT 出束时防护门未关闭或门被意外开启,射线外泄导致工业 CT 外人员受到误照射,事故发生时可立即按下急停按钮停止 X 射线出束,此种事故情景的后果估算见表 11-6。
--

续表 11 环境影响分析

表 11-6 安全联锁装置失效事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外剂量率（进样防护门外） $\mu\text{Gy/h}$		误照射时间	受照剂量 mGy
工业 CT 安全联锁装置失效	散、漏射	9.17E+04	0.5min	0.76

②屏蔽体膨胀变形

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

表 11-7 屏蔽体膨胀变形事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外最大剂量率（右侧） $\mu\text{Gy/h}$		误照射时间	受照剂量 mGy
工业 CT 屏蔽体膨胀变形	主射	1.56E+06	7min	1.38E+03

③X 射线管丧失自身屏蔽

X 射线管失去自身屏蔽后可导致工业 CT 各侧均受到有用线束的照射，若辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪则此类事故容易被发现，及时按下急停按钮即能停止 X 射线出束，假设辐射工作人员 1 天未佩戴个人剂量报警仪，1 天最大曝光时间约 7min，此种事故情景的后果估算见表 11-8。

表 11-8 X 射线管丧失自身屏蔽事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外最大剂量率（顶） $\mu\text{Gy/h}$		误照射时间	受照剂量 mGy
工业 CT 的 X 射线管丧失自身屏蔽	主射	9.59E-04	7min	1.15E-06

④人员滞留铅房内

检修人员进入铅房，滞留铅房内可能受到有用线束误照射，此类事故发生时滞留人员可按下铅房内急停按钮，考虑单次照射 0.5min，此种事故情景的后果估算见表 11-9。

表 11-9 检修人员滞留铅房内事故后果估算表

事故情景	工业 CT 外最大剂量率（右） $\mu\text{Gy/h}$		误照射时间	受照剂量 mGy
人员滞留铅房内	主射	2.33E+07	0.5min	1.94E+03

续表 11 环境影响分析

(3) 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，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剂量阈值。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织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。

项目运行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。

成人不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-10。

续表 11 环境影响分析

表 11-10 不同照射剂量对人体损伤的估计表				
剂量(Gy)	类型		初期症状和损伤程度	来源
<0.25	/		不明显和不易察觉的病变	①
0.25~0.5			可恢复的机能变化，可能有血液学的变化	
0.5~1			机能变化，血液学的变化，但不伴有临床症状	
1.0~2.0	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力，不适，食欲减退	①②
2.0~4.0		中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心，1h~2h 后呕吐，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，白细胞数明显下降	
6.0~10.0		极重度	1h 内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降	
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高	①
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退	

备注：①《辐射防护导论》P33，②《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ 104-2017)P3。

根据上述后果分析可知，一般事故情况下，人员受到超过年剂量的照射，可能导致人员随机性效应概率增加，但不会有明显临床指征，而当人员误入铅房，受到吸收剂量最高为 1940 mGy，可能会导致轻度辐射损伤。

（4）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。具体分级情况见表 11-11。

表 11-10 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。

结合上述情景剂量估算，人员误入铅房受到吸收剂量最高为 1940 mGy，可能会导致轻度辐射损伤，不会导致严重的辐射损伤。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定，本项目可能发生事故等级为一般辐射事故。

续表 11 环境影响分析

(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时应立即就近切断设备电源，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定期检查门机联锁装置的有效性，发现故障及时排除，严禁违规操作。针对本项目涉及安全控制措施的各类机构及电控系统，应制定定期检查与维护制度，确保安全装置始终处于正常工作状态。 ②定期对工业 CT 进行维护检查，并做好记录。设备维护工作应由设备厂家派遣专业人员负责，并由耀宁公司工作人员全程陪同。维护期间，现场工作人员须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。 ③设备故障报警系统（包括过压、欠压、过流报警及消除电流冲击等功能）需定期检查，发现问题及时维修，以确保其正常运行，从而及时发现设备潜在故障。同时，设备内的辐射监测器和报警系统可作为人员防护和纵深防御措施，以应对此类事件。 ④辐射工作人员必须加强专业知识学习与防护知识培训，避免常识性错误；同时提升职业道德修养，培养安全文化素养，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，确保无损检测工作按要求进行。 ⑤工作人员在日常工作及设备维修时须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。当剂量率达到设定报警阈值时，工作（维修）人员应立即就近按下急停按钮切断设备电源，确保设备停止出束，并即刻向辐射防护负责人报告。 ⑥本项目设备操作人员均为工业 CT 相关工作人员，通常情况下，无关人员不会进入 CT 检测室。工作人员在操作时应注意查看设备周边情况，避免无关人员靠近，并利用监控确认设备内部状况。 ⑦除设备检修期间外，严禁打开检修门，以防人员误入。同时，在设备运行前，需确认检修门已上锁且无法随意打开。

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。 建设单位已成立辐射安全与环境管理机构负责公司的辐射安全与环境保护管理工作，管理机构主要职责包括以下几个方面： 1、负责对本公司辐射安全防护工作和辐射环境保护工作实施统一监督管理。 2、负责本公司的辐射环境影响评价报告的申报和协助有关部门进行验收；负责本公司辐射安全许可证的申报以及协助相关部门进行审核；负责对本公司辐射项目“三同时”制度执行情况进行检查。 3、监督本公司辐射污染的防治工作；负责本公司辐射设备的日常监督管理；负责本公司辐射安全与环境管理的监察工作；负责本公司辐射污染的治理整改以及辐射污染纠纷的处理。 4、负责制定辐射环境污染事故应急预案；组织开展一般辐射事故的应急响应工作；配合有关部门对本公司一般以上辐射事故的应急响应、调查处理和定级定性工作。 5、负责本公司辐射安全和管理队伍的建设。 建设单位成立的辐射安全与环境管理机构满足相关要求，本项目建成后纳入其管理范围。 12.2 辐射安全管理 (1) 辐射安全管理规章制度 按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，建设单位必须培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。
--

续表 12 辐射安全管理

公司已经制定《辐射安全管理制度》《设备检修维护制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射台账管理制度》《辐射工作场所监测制度》《监测仪器使用及校验管理制度》《辐射工作人员培训管理制度》《辐射工作人员个人剂量管理规定》《辐射安全事故应急预案》等制度，以上制度内容较为全面，能够满足公司已许可项目辐射安全管理。本项目投运前公司应根据本项目情况制定《工业 CT 操作规程》《工业 CT 使用登记制度》等制度，并纳入建设单位的管理体系中，并结合本项目工业 CT 情况完善《设备检修维护制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射台账管理制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射安全事故应急预案》等，并将上述部分制度悬挂于辐射工作场所，并及时按照辐射环境管理要求办理《辐射安全许可证》，在许可范围内从事辐射工作。

(2) 辐射工作人员管理

公司现有 20 名辐射工作人员，均通过了相应类别核技术利用辐射安全与防护考核且在有效期内。所有辐射工作人员已按照要求进行了职业健康检查（两年一次）、个人剂量监测（三个月一次）。

本项目新配 3 名辐射工作人员，公司应组织本项目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相应类别的辐射安全与防护考核，考核合格后再上岗工作，并为其配置个人剂量计，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。本项目辐射工作人员应按照《辐射工作人员健康管理规定》进行职业健康检查。

(3) 射线装置台账管理

公司制度了《辐射台账管理制度》，应将本项目工业 CT 纳入台账管理制度，记录射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，记录每次维修、保养情况，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。

(4) 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、

续表 12 辐射安全管理

销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

建设单位目前核技术利用项目尚未开展，后续开展之后应在规定时间内完成《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》文件的编制和上报工作，且辐射安全管理制度中包含年度评估相关规定。年度评估报告应包括射线装置及防护用品台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射工作人员管理情况、事故应急等方面的内容。

(5) 档案管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

公司应按照上述要求为辐射工作人员建立个人剂量档案。

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”。公司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。

(6) 核安全文化建设

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

续表 12 辐射安全管理

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

具体操作参考如下：

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

12.3 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，建设单位从事辐射活动能力评价如下表 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。	已成立辐射安全与环境管理机构负责公司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。	公司拟安排本项目 3 名辐射工作人员参加辐射安全与防护培训及考核，做到持证上岗。
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。	本项目工业 CT 拟设置门机联锁、钥匙开关、工作状态指示灯和声音提示装置、急停按钮、固定式场所辐射探测报警装置、电离辐射警告标志等防止误操作、防止辐射工作人员和公众受到意外照射的安全措施。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量计。	建设单位拟配备 2 枚个人剂量计和 1 台便携式 X-γ辐射剂量率仪，拟配备 2 台个人辐射报警仪和 1 套固定式场所辐射探测报警装置等监测仪器。

续表 12 辐射安全管理

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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	公司目前已制定辐射安全管理制度、人员培训计划、监测方案等，本项目投运前，建设单位拟制定工业 CT 操作规程、工业 CT 使用登记制度等制度，并结合本项目情况完善《设备检修维护制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射台账管理制度》《辐射工作场所监测制度》，并将上述部分制度悬挂于辐射工作场所。
有完善的辐射事故应急措施。	建设单位拟完善辐射事故应急预案。
根据表 12-1 可知，建设单位已建立有相应的辐射环境管理体系，已具备了一定的能力，但建设单位还应针对本项目射线装置的特点，补充《工业 CT 操作规程》、《工业 CT 使用登记制度》等制度，并结合本项目情况完善《设备检修维护制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射台账管理制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射事故应急预案》，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。 12.4 辐射监测 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法规和标准，必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所的环境监测，开展常规的保护监测工作。 建设单位已制定监测计划，需结合本项目情况完善，并按监测计划的要求开展个人剂量监测和工作场所的辐射环境监测。 建设单位拟配备 2 台个人辐射报警仪和 1 套固定式场所辐射探测报警装置等监测仪器，同时拟配备 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率仪，定期自行对工业 CT 铅房周围进行辐射环境监测；或委托有资质的单位定期对射线装置进行监测，按规定要求开展各项监测，做好监测记录，存档备查。辐射监测内容包括： （1）工作场所监测 建设单位应对工业 CT 外周围剂量当量率进行监测，包括验收监测、例行监测和日常监测，发现问题及时整改。验收监测应委托有资质的单位进行。 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。	

续表 12 辐射安全管理

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，设备运行条件及工件、操作人员信息等也应记录在案。

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。

监测项目：周围剂量当量率；
监测点位：工业 CT 设备外 30cm 处以及铅房门缝、穿墙管线等薄弱处、操作台位置。

(2) 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。

建设单位应结合以上要求对现有监测方案中工作场所监测部分内容加以完善。

12.5 安全检查维护

根据相关法规及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求，建设单位应定期对工业 CT 进行安全检查维护，并建立相应的检查维护制度。安全检查维护要求见表 12-2。

表 12-2 安全检查维护要求

类型	对象	内容	频次
检查	工业 CT	防护门-机联锁装置，以及出束信号指示灯	日检
		a) 外观是否存在可见的损坏；b) 电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；c) 液体制冷设备是否有渗漏；d)安全联锁是否正常工作；e)报警设备和警示灯是否正常运行；f) 螺栓等连接件是否连接良好；g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常	日检
		a) 电气安全，包括接地和电缆绝缘检查；b) 冷却单元检查；c) 所有的联锁和紧急停机开关的检查；d) 制造商推荐的其他常规检测项目。	定期(建议月检)

续表 12 辐射安全管理

维护	设备维护包括工业 CT 的彻底检查和所有零部件的详细检测。当设备有故障或损坏，需更换零部件时，应保证所更换的零部件都来自设备制造商。应做好设备维护记录。	年检
12.6 辐射事故应急 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《重庆市辐射污染防治办法》等要求，申领辐射安全许可证的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案和具有针对性与操作性的应急措施。 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。 12.6.1 事故分级 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。 本项目使用 1 台 II 类射线装置，可能发生的辐射风险主要为人员受到不必要的误照射，导致辐射工作人员和公众成员可能受到超过年剂量照射限值，造成一般辐射事故的发生。 建设单位已制定《辐射事故应急预案》，明确辐射事故应急处理小组组成及职责、报告电话，事故应急处理流程，典型辐射事故处理方式等。并定期开展应急演练，建设单位应根据本项目工业 CT 特点修订完善《辐射事故应急预案》。并按照完善之后的《辐射事故应急预案》要求，定期组织辐射事故的应急演练，做好演习记录。 12.6.2 事故应急程序与措施 （1）事故报告程序 本项目发生辐射事故时，应迅速电话向内部管理机构、生态环境主管部门报告，并在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政主管部门报告，设备丢失被盗时应向公安部门报告。 （2）辐射事故应急处置措施 本项目发生辐射事故时，应立即切断设备电源或者就近按下急停按钮，迅速		

续表 12 辐射安全管理

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

（3）辐射事故后续处理

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

12.7 辐射安全与管理投资估算

本项目环保投资约 12 万元，环保投资估算表见表 12-3。

表 12-3 环保投资估算

内容	措施	投资（万元）
管理制度	操作流程、应急流程等制度修订后上墙，张贴规范	0.2
辐射防护与安全措施	门机联锁、工作状态指示灯及声光报警灯、紧急停机按钮、钥匙开关、电源主开关等（设备自带不计入环保投资）、电离辐射警告标志等	1.2
防护监测设备	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式辐射探测报警仪、便携式 X-γ辐射剂量巡测仪等监测仪器	6.6
环保手续办理	环境影响评价、竣工环境保护验收、验收监测等	6
合计		15

12.8 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。建设单位应按有关规定和《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）等要求进行竣工环境保护自主验收。本项目竣工环境保护验收要求见表 12-4。

续表 12 辐射安全管理

表 12-4 竣工环境保护验收内容和要求一览表				
序号	验收内容	验收要求		备注
1	建设内容	1 台工业 CT(II类射线装置),单管头,最大管电压 225kV,最大管电流 3mA, 位于公司 QA 检测中心内 1F		不发生 重大变更
2	环保资料	环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等		齐全
3	辐射环境 管理	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估等管理制度和辐射事故应急预案。		齐全
4	电离辐射	剂量管理目标值	辐射工作人员≤5mSv/a; 公众成员≤0.1mSv/a	GB18871-2002 GBZ/T250-2014
		屏蔽体外剂量率控制	工业 CT 设备外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	GB22448-2025 GBZ117-2022
5	辐射安全防护措施	①工作场所分区管理,并进行分区标识,张贴“禁止进入射线工作区”的警示语; ②设备各屏蔽体、防护门(进样及检修门)有足够的屏蔽能力,管线口不影响屏蔽效果; ③设置安全联锁系统,包括门机联锁、灯机联锁;声光报警装置,能表达预备和照射的工作状态指示灯;工业 CT 内外、操作面板等设急停按钮,状态指示及急停按钮等辐射安全设施设置中文说明; ④通风:机械通风,每小时有效通风换气次数应不小于 3 次; ⑤工业 CT 周围(含防护门)等醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志和中文警示说明; ⑥设置视频监控,工业 CT 内安装摄像头; ⑦设置防止非辐射工作人员操作的钥匙开关; ⑧每名辐射工作人员均配备个人剂量计,共配置 3 台个人剂量报警仪、1 台便携式 X-γ剂量率仪。配备 1 套固定式场所辐射探测报警装置。		
6	人员要求	按照要求组织辐射工作人员参加培训,考核合格后上岗,考核成绩在有效期内,定期进行复训。		

表 13 结论和建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

重庆耀宁新能源科技有限公司拟在重庆涪陵工业园区李渡组团公司 QA 检测中心内 1F 东北侧 CT 检测室实施“年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）”，安装 1 台自屏蔽式工业 CT（II 类射线装置，单管头，最大管电压为 225kV，最大管电流为 3mA，额定功率 300W）对公司生产的汽车锂电池电芯开展 X 射线无损检测。项目使用面积约 63m²；项目总投资约 500 万元，其中环保投资约 15 万元。

13.1.2 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。

13.1.3 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。

13.1.4 辐射环境质量现状

本项目场址及周围的环境 γ 辐射剂量率监测值为 60~66nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）之间，在重庆市环境 γ 辐射空气吸收剂量率正常涨落范围内。

13.1.5 选址可行性及布局合理性

本项目 CT 检测室位于 QA 检测中心，该大楼专门用于产品各项检测，CT 检测室设置在此，便于公司对产品质量统一管理；CT 检测室位于 QA 检测中心底层东北角，其北侧、东侧为厂区内部道路，南侧为大楼内部通道，项目周围活动人员较少，有利于减少无损检测对公众成员的影响。同时，项目所在位置便于废气直接排出大楼外。因此，本项目选址可行。

项目工业 CT 拟布置在 CT 检测室东北侧，与各侧墙体均有一定的距离；CT 检测室进出门位于房间西南侧，设备进样门位于正面（南侧），便于工件运输，

续表 13 结论和建议

其操作台位于铅房左侧，操作面板位于铅房正面靠左，便于工作人员操作及直观地观察工件的进出，且与铅房分开布置，主射束朝向右侧，操作台及操作面板、进样门均避开了有用线束照射的方向；在设备后面设置 1 个检修门对 X 射线管进行维修；电气柜设置在左侧设备箱体内部铅房外部，冷却装置、高压发生器设置在设备箱体内部右后侧铅房外部，减少维修时意外照射的可能性。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。

13.1.6 辐射防护与安全措施

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

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

本项目工业 CT 铅房主要采用铅+钢的屏蔽体结构对 X 射线进行屏蔽防护，屏蔽厚度充分考虑了 X 射线主射、散射、漏射影响。根据核算，工业 CT 设备屏蔽体防护厚度均能满足《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB 22448-2025）、《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）。本项目工业 CT 整体设备外 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。缝隙处屏蔽体之间有足够的搭接宽度，穿越屏蔽体的线缆口拟采用与同侧屏蔽体防护厚度相同的铅防护罩进行屏蔽补偿，不影响屏蔽效果。

本项目工业 CT 设计建设的辐射防护安全联锁设施与措施，包括门机联锁、工作状态指示灯及声光报警灯、固定式剂量报警仪、紧急停机按钮、钥匙开关、视频监控系统、电源主开关、电离辐射警告标志中文警示说明等辐射安全防护措施，拟配备符合开展项目要求的监测仪器设备。本项目工业 CT 设置机械排风系统，具有良好的通风，每小时换气次数满足标准规定的 3 次/h。

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

续表 13 结论和建议

相关要求。

13.1.7 环境影响结论

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

本项目不产生放射性“三废”，少量臭氧和氮氧化物经废气经机械排风系统引至项目所在大楼外墙排放。曝光时产生的废气不会对工作人员造成影响，项目废气排放口避开了人员活动密集区，对周围环境影响小。

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

13.1.8 辐射事故分析

经预测分析和估算，本项目在风险情况下可能发生的最严重事故为 X 射线无损检测装置出束时，人员滞留在铅房内受到误照射，受照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。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严重的辐射损伤，但可能增加随机性效应的发生概率。

在采取相应措施后辐射事故风险可防可控。建设单位拟结合本项目情况完善辐射安全事故应急预案，后期运行中认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.9 辐射环境管理

建设单位已成立了辐射安全与环境管理机构，本项目依托建设单位现有的辐射安全与环境管理机构及《辐射安全管理制度》《设备检修维护制度》《工业 CT 使用登记制度》《辐射工作人员培训计划》《辐射工作人员个人剂量管理规定》《辐射工作人员健康管理规定》等制度，根据本项目情况制定《工业 CT 操作规程》《工业 CT 操作人员岗位职责》《工业 CT 检修维护制度》《工业 CT 使用登记制度》等制度，并纳入建设单位的管理体系中，结合本项目实际情况完

续表 13 结论和建议

善《辐射监测方案》、《辐射安全事故应急预案》。项目投运前，按照规定办理《辐射安全许可证》，并在许可的种类和范围内从事辐射活动，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。

13.1.10 综合结论

综上所述，年产能 18GWh 动力电池项目（工业 CT 部分）符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能实现辐射防护安全的目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

附 录

附图

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 厂区总平面布置图
- 附图 3 QA 检测中心一层平面布置图
- 附图 4 QA 检测中心二层平面布置图
- 附图 5 本项目设备平剖面布置图
- 附图 6 现场照片

附件

- 附件 1 环境影响评价委托书
- 附件 2 备案证
- 附件 3 大项目环评批复
- 附件 4 公司名称变更证明
- 附件 5 现有辐射安全许可证
- 附件 6 本项目监测报告
- 附件 7 厂家提供设备参数确认书
- 附件 8 辐射安全管理制度
- 附件 9 计算过程文件