

核技术利用建设项目
大型复杂优质铝基零部件
反重力铸造研发中试平台
(辐射部分)
环境影响报告表

建设单位：中铝科学技术研究院有限公司

环评单位：重庆宏伟环保工程有限公司



2025年12月
生态环境部监制

核技术利用建设项目
大型复杂优质铝基零部件
反重力铸造研发中试平台
(辐射部分)

环境影响报告表



建设单位名称：中铝科学技术研究院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：北京市昌平区北七家镇雅安商厦 C 座（未来科技城）

邮政编码：102209

联系人：陈忠平

电子邮箱：czp2987@126.com

联系电话：18*****16

编制单位和编制人员情况表

项目编号	h17m 95
建设项目名称	大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（辐射部分）
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）	中铝科学技术研究院有限公司
统一社会信用代码	91110114554825530G
法定代表人（签章）	杨秀亮
主要负责人（签字）	王虎
直接负责的主管人员（签字）	宋伟

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
赵蕾	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物（重点是放射性废弃物）、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、辐射安全管理、环境影响分析、结论及建议	BH 024400	赵蕾

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	10
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	12
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	21
表 9 项目工程分析与源项	24
表 10 辐射安全与防护	46
表 11 环境影响分析	61
表 12 辐射安全管理	69
表 13 结论和建议	92

表 1 项目基本情况

建设项目名称	大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（辐射部分）				
建设单位	中铝科学技术研究院有限公司				
法人代表	杨秀亮	联系人	陈忠平	联系电话	18*****16
注册地址	北京市昌平区北七家镇雅安商厦 C 座（未来科技城）				
项目建设地点	重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块 3#厂房				
立项审批部门	重庆市九龙坡区发展和改革委员会	批准文号	2509-500107-04-03-493505		
建设项目总投资（万元）	约 325 (辐射部分)	项目环保投资 (万元)	约 35	投资比例(环保 投资/总投资)	10.8%
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 200
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"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用)	<input type="checkbox"/> II 类	<input type="checkbox"/> III 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	/		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<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

中铝科学技术研究院有限公司（以下简称“中铝科学院”）成立于 2010 年 5 月，是中铝集团直属研究机构，也是中央组织部、国务院国资委在北京市昌平区未来科学城规划的 15 家中央企业科研创新基地之一。该院聚焦高端新材料产业链，开展前沿共性技术、应用基础研究和重大颠覆性技术研发，设有战略新兴材料创新中心、增材制造技术研究中心等六大核心平台，承担原创技术策源与新技术转化孵化职能。

1.2 项目来源

中铝科学院拟在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域实施“大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台”，并于 2025 年 11 月 27 日取得重庆市九龙坡区下发的《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》(渝(九)环准(2025)76 号)。该项目主要建设中试平台，并购置铝锭及中间合金烘箱、砂

续表1 项目基本情况

型（芯）烘箱、3D 打印成套设备、熔炼炉、低差压铸造成套设备、落砂机、吹砂机、抛丸机、固熔炉、时效炉、三维尺寸扫描系统等设备，年研发 1040 件铸件样品。

中铝科学院为了满足产品质量检测需求，拟在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域的检测分析单元实施“大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（辐射部分）”，拟购置 4 台 X 射线无损检测装置对铸件样品进行 X 射线无损检测。

根据《射线装置分类》可知，X 射线无损检测装置属于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，大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（辐射部分）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。

1.3 项目用房基本情况

中铝科学技术研究院有限公司、重庆国创轻合金研究院有限公司均隶属于中国铝业集团有限公司，为集团统筹管理下的协同协作单位。

重庆国创轻合金研究院有限公司（以下简称“重庆国创研究院”）租用九龙现代（重庆）园区运营管理有限公司名下位于重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块的全部厂房（即 1#~4#厂房）建设中试基地。重庆国创研究院对中试基地 3#厂房的实施内容进行优化调整，将 3#厂房东北部的使用权移交回九龙现代（重庆）园区运营管理有限公司，后者将该区域出租给中铝科学院用于实施“大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台”。经查，3#厂房东北部区域自建成后未开展任何生产经营活动，长期处于闲置状态，无遗留环保问题；目前大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（以下简称“中试平台”）正处于建设阶段，未收到相关环保投诉。

1.4 建设规模及工程内容

（1）项目概况

中铝科学院拟在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域中试平台的检测分析单元实施“大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中

续表 1 项目基本情况

试平台（辐射部分）”，总建筑面积约 200m²，主要布置无损检测铅房（2间）、控制室、洗片室、评片兼资料室、备件室等，并拟配置4台X射线无损检测装置（II类射线装置）对铸件样品进行X射线无损检测，不对外提供无损检测服务。

项目拟配置的 MesoFocus 225 型 DR 检测系统（定向，最大管电压 225kV，最大管电流 2mA）采用数字成像技术，固定在 1#无损检测铅房内使用； MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统（定向，最大管电压 320kV，最大管电流 46.5mA）采用胶片成像技术，固定在 2#无损检测铅房内使用； MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统（周向，最大管电压 160kV，最大管电流 15.5mA）采用胶片成像技术，固定在 2#无损检测铅房内使用； SHSJ-DRXT-200 型便携式定向探伤机（定向，最大管电压 200kV，固定管电流 5mA）采用胶片成像技术，可在两间无损检测铅房内使用，日常存放在 2#无损检测铅房内。同一无损检测铅房内的多台 X 射线无损检测装置均不同时出束。

项目总投资约 325 万元，其中环保投资约 35 万元；项目建设工期预计 1 个月。

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	工作场所	检测分析单元位于重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域中试平台的检测分析单元，主要布置无损检测铅房（2间）、控制室、洗片室、评片兼资料室、备件室等。1#无损检测铅房内空尺寸为 3.0m×3.5m×3.6m（长×宽×高），有效使用面积约 10.5m ² ；2#无损检测铅房内空尺寸为 5.0m×6.0m×3.6m（长×宽×高），有效使用面积约 30.0m ² 。	新建
	射线装置	DR 检测系统（II类射线装置）：1 台；设备型号：MesoFocus 225 型；最大管电压 225kV，最大管电流 2mA；采用数字成像模式；安装在 1#无损检测铅房；主射方向朝向南侧。 固定式定向 X 射线检测系统（II类射线装置）：1 台；设备型号：MXR-320/26 型；最大管电压 320kV，最大管电流 46.5mA；采用胶片成像模式，安装在 2#无损检测铅房；主射方向朝向东侧至地面。 固定式周向 X 射线检测系统（II类射线装置）：1 台；设备型号：MXRP160C 型；最大管电压 160kV，最大管电流 15.5mA；采用胶片成像模式，安装在 2#无损检测铅房；主射方向朝向四周、顶棚、地面。 便携式定向 X 射线探伤机（II类射线装置）：1 台；设备型号：SHSJ-DRXT-200 型；最大管电压 200kV，最大管电流 5mA；采用胶片成像模式，可在两间无损检测铅房内使用，日常存放在 2#无损检测铅房内。便携式定向 X 射线探伤机在 1#无损检测铅房中主射方向朝向南侧至西侧、地面，在 2#无损检测铅房中主射方向朝向东侧至南侧、地面。	拟购
辅助工程	控制室	拟布置在 2 间无损检测室之间，建筑面积约 38.2m ² ，配置操作台用于操作 X 射线无损检测装置。	新建

续表 1 项目基本情况

类别	项目名称	建设内容	备注
辅助工程	评片兼资料室	拟布置在控制室南侧, 建筑面积约 20.7m ² , 配置观片灯、档案柜等用于评片以及胶片(含废片以及存档到期的胶片)存放。	新建
	洗片室	拟布置在 2#无损检测室东侧, 建筑面积约 19.1m ² , 内设走廊、干区、湿区, 配置洗片机、烘干机等用于胶片洗片。洗片机设置进水口、排水口, 排水口不接入污水管网。	新建
	备件室	拟布置在评片兼资料室西侧, 建筑面积约 10.5m ² , 用于 X 射线无损检测装置相关配件暂存。	新建
公用工程	供电	依托市政电网供电系统。	依托
	给水	依托市政电网给水管网。	依托
	排水	项目运营不产生生产废水, 不新增劳动定员, 无新增生活污水。生活污水依托基地现有污水管网、污水处理设施处理, 而后经市政污水管网排入西彭园区污水处理厂处理。	依托
	通风	无损检测铅房的顶部各拟设置 1 台换气扇进行通风换气。1#无损检测铅房设计风量约 600m ³ /h, 内部换气次数约 15 次/h。2#无损检测铅房设计风量约 900m ³ /h, 内部换气次数约 8 次/h。	新建
环保工程	废水	项目运营不产生生产废水, 不新增劳动定员, 无新增生活污水。生活污水排入中试基地现有生化池进行预处理, 满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后, 经市政污水管网进入西彭园区污水处理厂进行深度处理, 满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级 A 标准后排入桥头河, 最终进入长江。	依托
	废气	X 射线无损检测装置运行产生的废气经换气扇引出无损检测铅房, 而后通过废气管道引至厂房屋顶排放, 其排放高度不低于 12m。	新建
	固废	废胶片(含存档到期的胶片)暂存在评片兼资料室, 废冷却油、洗片废液、洗片废水等危险废物分类暂存在样品储存库旁的危险废物贮存点, 而后定期交由有相应危险废物处置资质的单位处理。 报废 X 射线无损检测装置去功能化后, 按照相关要求处理, 保留相关手续, 并做好相关记录存档。工作人员生活垃圾依托中试基地现有生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。	部分依托
	辐射防护	无损检测铅房的屏蔽体结构均为“钢+铅+钢”, 另设置有门机联锁、固定式辐射剂量报警仪、工作状态指示灯、蜂鸣器、紧急停机按钮、应急开门按钮、电离辐射警示标志等辐射安全防护措施。	新建

(2) 屏蔽防护情况

根据中铝科学院提供资料, 项目无损检测铅房各屏蔽体防护设计情况见下表。

表 1-2 无损检测铅房屏蔽防护设计方案

铅房名称	尺寸 (mm)	设计情况	
		屏蔽体方位	材质厚度
1#无损检测铅房	外观尺寸: 3248×3885×3812 (长×宽×高)	四周(包括防护门、线缆铅罩)	15mmPb
	内空尺寸: 3000×3500×3600 (长×宽×高)	顶棚(包括排气扇铅罩)	10mmPb
	工件门洞尺寸: 1400×1900 (宽×高) 工件防护门尺寸: 1472×1986 (宽×高) 维修门洞尺寸: 800×1900 (宽×高) 维修防护门尺寸: 916×2024 (宽×高)	底部四周设置“L”形围挡 (宽 130mm, 高 50mm)	8mmPb

续表 1 项目基本情况

铅房 名称	尺寸 (mm)	设计情况	
		屏蔽体方位	材质厚度
2# 无损 检测 铅房	外观尺寸: 5400×6220×3810 (长×宽×高) 内空尺寸: 5000×6000×3600 (长×宽×高) 工件门洞尺寸: 2350×3000 (宽×高) 工件防护门尺寸: 2521×3152 (宽×高) 人员门洞尺寸: 1800×3000 (宽×高) 人员防护门尺寸: 1973×3150 (宽×高)	东侧	45mmPb
	顶棚 (包括排气扇铅罩)	20mmPb	
	其他 (包括防护门、线缆铅罩)	32mmPb	

注: ①铅密度 11.3g/cm³; ②拟在铅板两侧分别设置 2mm 钢板为铅提供结构支撑, 本评价保守不考虑钢板的屏蔽防护效能; ③2#无损检测铅房四周屏蔽体底部采用下沉式 (-50mm) 安装, 故底部不再进行其他屏蔽补偿 (如围挡)。

(3) 设备概况

根据中铝科学院提供资料, 项目拟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	名称	数量	用途	设备设施说明	备注
1	DR 检测系统	1 套	无损检测	最大功率 200W, 最大管电压 225kV, 最大管电流 2mA	新增
2	固定式定向 X 射线检测系统	1 套		最大功率 4500W, 最大管电压 320kV, 最大管电流 46.5mA	新增
3	固定式周向 X 射线检测系统	1 套		最大功率 1000W, 最大管电压 160kV, 最大管电流 15.5mA	新增
4	便携式定向 X 射线探伤机	1 套		最大功率为 1000W, 最大管电压 200kV, 固定管电流 5.0mA	新增
5	便携式 X-γ 辐射剂量率仪	1 台	防护监测	定期监测, 按要求进行校验。	新增
6	固定式场所 辐射探测报警装置	2 台	剂量报警	检测探头分别安装在无损检测铅房内, 显示单元安装在控制室的操作台上。	新增
7	个人剂量报警仪	4 台	剂量报警	辐射工作人员工作时随身携带。	新增
8	个人剂量计	4 枚	剂量检测	辐射工作人员工作时佩戴。	新增
9	换气扇	2 个	通风	安装在无损检测铅房顶部, 1#无损检测铅房风量为 600m ³ /h, 2#无损检测铅房风量为 900m ³ /h。	新增
10	洗片机	1 台	洗片	安装在洗片室内, 用于胶片洗片。	新增
11	烘干机	1 台	烘干胶片	安装在洗片室内, 用于胶片烘干。	新增
12	观片灯	1 台	观察胶片	安装在评片兼资料室内, 用于观片。	新增

(4) 工件情况

根据中铝科学院提供资料, 项目探伤工件主要为铸件, 其材质主要为铝合金。中铝

续表 1 项目基本情况

科学院生产的铸件样品根据需求开展无损检测作业。项目无损检测的典型铸件见下表。

表 1-4 无损检测的典型铸件

序号	产品名称	主要铸件尺寸	材料种类	适用设备型号
1	大型环形件	Φ2000mm×500mm (最大尺寸)	ZL205A	固定式周向 X 射线检测系统 便携式定向 X 射线探伤机
2	小型舱体类 筒型件	Φ350mm×480mm	ZL201	DR 检测系统 便携式定向 X 射线探伤机
3	类叶轮中型 筒型件	Φ800mm×500mm	ZL114A	固定式定向 X 射线检测系统 便携式定向 X 射线探伤机

项目配置的便携式定向 X 射线探伤机, 主要用于检测其他 X 射线无损检测装置难以覆盖或无法检测的铸件样品部位。

(5) 计划工作量

根据中铝科学院提供资料, 项目拟配置的便携式定向 X 射线探伤机单次曝光时间约 0.5~5min, 平均曝光时间约 3min; 其他 X 射线无损检测装置单次曝光时间均约 1min~2min, 平均曝光时间约 1.5min。X 射线无损检测装置工作负荷详见表 1-5。

表 1-5 X 射线无损检测装置工作负荷一览表

设备型号	单次平均曝光时间 (min)	最大曝光次数		最大曝光时间	
		次/周	次/年	h/周	h/年
DR 检测系统	1.5	30	1500	0.75	37.5
固定式定向 X 射线检测系统	1.5	30	1500	0.75	37.5
固定式周向 X 射线检测系统	1.5	30	1500	0.75	37.5
便携式定向 X 射线探伤机	3.0	10	500	0.50	25.0
合计	/	100	5000	2.75	137.5

(6) 工作制度和劳动定员

项目拟在内部调配培养 4 名工作人员从事 X 射线无损检测装置无损检测工作, 不新增总劳动定员。项目辐射工作人员仅从事 X 射线无损检测装置操作, 年工作 250 天, 实行 8 小时工作制。辐射工作人员上岗前均需进行辐射防护与安全知识培训, 并取得考核合格成绩单。**X 射线无损检测装置均由设备厂家维修。**

(7) 主要原辅材料

项目原辅材料情况见表 1-6。

续表 1 项目基本情况**表 1-6 原辅材料一览表**

序号	名称	使用量	规格	来源	主要化学成分	备注
1	工业 X 射线胶片粉剂套药显影液	18 桶/a	5L/桶	外购	无水亚硫酸钠: 5% 碳酸钠: 0.5% 碳酸钾: 2.25% 对苯二酚: 2.13% 硼酸: 0.7% 偏重亚硫酸钠: 0.85% 溴化钾: 0.25% 菲尼酮: 0.13% 戊二醛: 0.15% 水: 88.04%	洗片
2	工业 X 射线胶片粉剂套药定影液	18 桶/a	5L/桶	外购	硫代硫酸铵: 27.5% 无水亚硫酸钠: 0.15% 硼酸: 2% 酒石酸: 0.35% 硫酸铝: 0.85% 乙二胺四乙酸: 0.05% 水: 69.1%	洗片
3	自来水	1.8t/a	/	市政供水管网	水	洗片
4	胶片	0.95 万张/a	356mm×43mm	外购	卤化银和涤纶	定向机按每次 1 张计 周向机按每次 4 张计

备注: 显影液按照 5L: 15L 水进行配比、定影液按照 5L: 30L 水进行配比。

1.5 项目周边保护目标

项目位于重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域, 周边均为中试基地其他厂房、绿化及道路等, 之外为市政道路、绿化。3#厂房及周边环境地势平坦, 无明显地势高差。项目所在 3#厂房东北部区域周围环境概况见下表。

表 1-7 项目所在 3#厂房东北部区域的外环境关系一览表

序号	外环境名称	方位	水平距离 (m)	备注
1	内部道路及绿化	东	约 0~20	双向两车道、绿化
2	2#厂房		约 20~50	建筑结构为 1F, 层高 12m, 重庆国创研究院用房, 正在施工
3	3#厂房南部区域	南	约 0~25	建筑结构为 1F, 层高 12m, 重庆国创研究院用房, 正在施工
4	内部道路、绿化以及		约 25~50	双向两车道、绿化
5	冷却水系统、配电站、空压站、消防水池等		约 25~50	中试基地配套设施

续表 1 项目基本情况

序号	外环境名称	方位	水平距离 (m)	备注
7	内部道路及绿化	北	约 0~20	双向两车道、绿化
8	市政道路及绿化		约 20~50	双向四车道、绿化

项目周边保护目标主要为从事项目 X 射线无损检测装置操作的辐射工作人员以及周围区域活动的公众成员。

1.6 项目选址可行性

项目所在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地配套建设有空压站、配电站、生化池、危险废物贮存点等设施，同时具备完善的供电、供水、排水等公用工程系统，项目可直接依托。项目所在中试基地 3#厂房功能分区明确，东北部为中铝科学院中试平台，南部为重庆国创研究院先进加工技术平台，西部为重庆国创研究院多功能熔铸平台；其中中试平台与其他区域设置明显隔断，人员流动性低。此外，项目无损检测室 50m 评价范围内仅分布中试平台用房、室外道路及绿化，未涉及重庆国创研究院相关厂房。

根据大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台的工艺流程，中铝科学院将造型制芯单元、熔炼浇注单元、后处理单元、热处理单元、检验分析单元按自东向西再转向自西向东的顺序依次布局。项目 X 射线无损检测装置均在检验分析单元的无损检测铅房内开展作业，与“铸件成型—热处理—无损检测”的工艺流转路径契合。另检验分析单元四周毗邻热处理单元、造型制芯单元的 3D 打印区以及内部通道、预留用房等功能区，下方为实土层，周边无公众密集活动，不属于人流密集区域，便于辐射安全管控。

项目场址的辐射剂量背景监测结果表明，其辐射环境质量现状良好，能满足项目的建设需求。

综上所述，项目选址可行。

1.7 与项目有关的原有核技术利用项目情况

1.7.1 项目用房环保手续情况

中铝科学院在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块的中试基地 3#厂房东北部区域实施“大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台”，委托重庆中科智创环境科学研究院有限公司编制完成了《大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中

续表 1 项目基本情况

试平台环境影响报告表》，于 2025 年 11 月 27 日取得重庆市九龙坡区生态环境局下发的《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（九）环准〔2025〕76 号）。

根据现场调查，大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台正在建设，无环保投诉。

1.7.2 核技术利用项目开展情况

项目为中铝科学院首次涉及核技术利用领域，不存在与项目有关的原有核技术应用等污染问题。此外，项目场址的辐射剂量背景监测结果表明，其辐射环境质量现状良好。

1.8 依托可行性

项目依托可行性分析见表 1-8。

表 1-8 项目依托可行性分析

依托工程	依托内容	可行性分析
主体工程	主体建筑	项目选址于重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域中试平台的检测分析单元，安装无损检测铅房、X 射线无损检测装置以及配套设施后，即可开展无损检测工作，故项目依托可行。
公用工程	供电、供水、排水等	项目所在中试基地具有完善的供电、供水、排水等公用设施，故项目依托可行。
环保工程	废水处理设施	项目无生产废水，且不新增生活污水产生量。项目所在中试基地配套有完善的污水管网以及污水处理设施。工作人员产生的生活污水可排入生化池处理，处理达标后可接入市政污水管网，故项目依托可行。
	固体废物处理设施	依托样品储存库旁的危险废物贮存点暂存危险废物（洗片废水、洗片废液以及废冷却油等），定期交由有相应危险废物处置资质的单位处置。危险废物贮存点拟按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597—2023）的要求规范建设和维护，设置标识，按照要求设置“四防”措施（防风、防雨、防晒、防渗漏）。该危险废物贮存点有效使用面积约 10m ² ，设计之初已考虑项目的需求，项目可直接依托。 生活垃圾分类收集后交由环卫部门统一处理。项目所在中试基地有完善的生活垃圾收运系统，项目可直接依托。
劳动定员	辐射工作人员	项目拟从现有工作人员中调配培养 4 人从事 X 射线无损检测装置检测工作，在现有总劳动定员内，依托可行。

由上表可知，项目依托 3#厂房主体建筑可行，供水、供电等公用工程、废水处理设施、环保工程依托可行，劳动定员在原有工作人员中调配培养可行。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
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
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、教学等各种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
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	DR 检测系统	II类	1 台	MesoFocus 225	225	2	无损 检测	1#无损检测铅房	拟购
2	固定式定向 X 射线检测系统	II类	1 台	MXR-320/26	320	46.5		2#无损检测铅房	拟购
3	固定式周向 X 射线检测系统	II类	1 台	MXRP160C	160	15.5		2#无损检测铅房	拟购
4	便携式定向 X 射线探伤机	II类	1 台	SHSJ-DRXT-200	200	5		1#无损检测铅房 2#无损检测铅房	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	
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、氮氧化物等废气	气态	/	/	/	/	/	/	引至厂房屋顶排放,排放高度不低于 12m
生活污水	液态	/	/	/	/	/	/	依托中试基地现有生化池处理后排入市政污水管网
生活垃圾	固态	/	/	/	/	/	生活垃圾暂存点	环卫部门统一处置
报废的X射线无损检测装置	固态	/	/	/	/	/	/	报废 X 射线无损检测装置去功能化,而后按照相关要求处理,保留相关手续,并做好相关记录存档。
废冷却油	液态	/	/	/	0.02t	/	危险废物贮存点设置废液桶,下设防渗托盘。废冷却油、废定影液、废显影液、洗片废水分类储存在相应的废液桶内	交由有相应危险废物处置资质单位处置
废显影液	液态	/	/	/	0.36t	/		
废定影液	液态	/	/	/	0.63t	/		
洗片废水	液态	/	/	/	0.99t	/		
报废胶片(含存档到期的合格胶片)	固态	/	/	/	0.10t	/	暂存在评片兼资料室内	

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； (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； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日施行； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年9月1日施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017年10月1日施行修订版； (6) 《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； (7) 《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； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011年5月1日施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），2021年1月1日起施行； (10) 关于发布《射线装置分类》的公告，2017年12月5日施行； (11) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，2024年2月1日起施行； (12) 《重庆市环境保护条例》，2025年7月31日起施行修正版； (13) 《重庆市辐射污染防治办法》，2021年1月1日施行； (14) 《国家危险废物名录（2025年版）》，2025年1月1日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1—2016）； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）； (3) 《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) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117—2022）； (6) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单（GBZ/T250—2014）；</p>

续表 6 评价依据

技术标准	<p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (8) 《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB22448-2008)； (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)。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书(含评价内容确认)，详见支撑性材料 1； (2) 项目投资备案证，详见支撑性材料 2； (3) 项目用房租赁合同，详见支撑性材料 3； (4) 项目所在用房的环评批复，详见支撑性材料 4； (5) 项目辐射环境监测报告，详见支撑性材料 5； (6) 设备相关资料； (7) 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**

根据本项目辐射源为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《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。结合项目实际情况，确定以无损检测铅房的蔽体边界外 50m 区域作为本项目辐射环境的评价范围。

7.2 环境保护目标

X 射线无损检测装置拟安装在检测分析单元的无损检测铅房内。项目所在 3#厂房为单层钢结构，其层高 12m。**2 间无损检测铅房相距约 10m**，高度均不超过 4.0m，底部与地面无缝隙，顶部人员无法到达。3#厂房东北部区域顶部设置有行车，高度约 9m，行车配置有驾驶室，能途经无损检测铅房上方，另行车维修区设置在造型制芯单元东侧，距离检测分析单元超过 20m。无损检测铅房周围 50m 范围内的环境保护目标见下表。

表 7-1 无损检测铅房周围环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方向	水平距离, m	基本情况	影响人群	影响因素
1	控制室、评片兼资料室、备件室等		1#无损检测铅房与 2#无损检测铅房之间	项目配套用房，约 6 人	辐射工作人员 公众成员	电离辐射
2	洗片室	东	约 0~3	项目配套用房，约 2 人	公众成员	
	造型制芯单元、办公区、铸件样品区等		约 3~50	企业其他用房，约 6 人	公众成员	
3	内部道路、绿化		约 44~50	中试基地配套设施，双向两车道，约 5 人	公众成员	
4	备件室、预留用房、库房等	南	约 0~50	企业其他用房，约 5 人	公众成员	
5	热处理单元、后处理单元等	西	约 0~50	企业其他用房，约 5 人	公众成员	
6	厂房内通道	北	约 0~9	企业其他用房，约 2 人	公众成员	
7	熔炼浇注单元、造型制芯单元等		约 9~50	企业其他用房，约 4 人	公众成员	
8	内部道路、绿化		约 20~50	中试基地配套设施，双向两车道化，约 5 人	公众成员	
9	市政道路、绿化		约 40~50	双向四车道、绿化	公众成员	
10	行车	上方	高于 3#厂房东北部区域地面 9m	企业配套设施，配套有驾驶室，1 人	公众成员	电离辐射

备注：3#厂房及周边环境地势平坦，无明显地势高差。

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。

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

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) 《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), X 射线无损检测装置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	<1
150~200	<2.5
>200	<5

续表 7 保护目标与评价标准

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。

(3) 《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。

3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1.1 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: $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$

公众: $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$

2) 相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按式 (7-1) 计算:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \bullet U \bullet T) \quad (7-1)$$

式中:

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

续表 7 保护目标与评价标准

U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/周）。t按式（7-2）计算：

$$t = \frac{W}{60 \bullet I} \quad (7-2)$$

式中：

W—X射线探伤的周围工作负荷(平均每周X射线探伤照射的累积“mA·min”值),
mA·min/周；

60—小时与分钟的换算关系；

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）。

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

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

c) 关注点剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

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

3.1.2 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 $\mu\text{Sv}/h$ 。

项目拟配置 4 台 X 射线无损检测装置对铸件样品进行 X 射线无损检测，不对外提供无损检测服务，其中 MesoFocus 225 型 DR 检测系统在 1#无损检测铅房内使用，MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统、MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统在 2#无损检测铅房内使用，SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机可灵活在两间无损检测铅房内切换使用。根据后文表 9-6 可知，1#无损检测铅房内的 X 射线无损检测装置的周工作时间为 1.05h，2#无损检测铅房内工作的 X 射线无损检测装置周工作时间为 1.70h。

根据 GBZ/T250-2014 附录 A，居留因子取值原则见表 7-3。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-3 不同工作场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子	示例
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道

无损检测铅房屏蔽体外剂量率参考控制水平核算表见表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 1#无损检测铅房屏蔽体外剂量率参考控制水平核算表

方位	紧邻区域 环境保护目标	辐射类型	U	T	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
东	控制室	泄漏辐射 散射辐射 有用线束 泄漏辐射 散射辐射	1	1	100	2.5	95.2	2.5
	备件室			1/5	5		23.8	2.5
	备件室			1/5	5		23.8	2.5
	补焊间			1	5		4.7	2.5
	通道			1/5	5		23.8	2.5
项	行车			1/5	5		23.8	2.5

表 7-5 2#无损检测铅房屏蔽体外剂量率参考控制水平核算表

方位	紧邻区域 环境保护目标	辐射类型	U	T	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
东	洗片室	泄漏辐射 散射辐射 有用线束 泄漏辐射 散射辐射	1	1	5	2.5	2.9	2.5
	预留用房			1	5		2.9	2.5
	控制室			1	100		58.8	2.5
	评片兼资料室			1	5		2.9	2.5
	通道			1/5	5		14.7	2.5
项	行车			1/5	5		14.7	2.5

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

续表 7 保护目标与评价标准

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)。

4.2 泄漏辐射和散射辐射屏蔽

4.2.3 散射辐射屏蔽

散射辐射屏蔽估算方法如下:

a) 90° 散射辐射的 TVL 散射辐射的最高能量 (X 射线 90°) 低于入射 X 射线的最高能量, 使用该散射 X 射线最高能量相应的 X 射线 (见表 2) (本报告表 7-6) 的什值层 (见附录 B 表 B.2) 计算其在屏蔽物质中的辐射衰减。

表 7-6 散射辐射最高能量 (X 射线 90°) 相应的 kV 值

原始 X 射线 (kV)	散射辐射 (kV)
150≤kV≤200	150
200<kV≤300	200
300<kV≤400	250

注: 该表仅用于以什值层计算散射辐射在屏蔽物质中的衰减。

(4) 评价标准及相关参数值

中铝科学院取 GB18871-2002 中工作人员职业照射年剂量限值的四分之一即 5mSv/a 作为辐射工作人员的年有效剂量管理目标值; 取公众照射年剂量限值的十分之一即 0.1mSv/a 作为公众成员的年有效剂量管理目标值, 满足 GB18871-2002 的规定。

结合项目实际情况, 确定项目主要评价标准要求见表 7-7 所示。

表 7-7 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 企业管理要求
2	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); <2.5mSv/h (管电压 100~200kV)	GBZ117-2022
3	人员在关注点的周围剂量参考控制水平	职业工作人员: $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$; 公众: $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
	剂量率参考控制水平	无损检测铅房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$	
4	通风要求	有效通风换气次数应不小于 3 次/h	GBZ117-2022

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 地理位置和场所位置

项目位于重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块，地理位置见附图一。项目 X 射线无损检测装置拟安装在中试基地 3#厂房东北部区域的检测分析单元内。项目场址现状及周围环境现状情况见附图二，项目场所位置见附图三。

8.2 辐射现状

为掌握项目拟建址辐射环境质量现状，重庆新绿环保工程有限公司于 2025 年 11 月 4 日对项目拟建址的环境 γ 辐射剂量率进行了监测，监测结果和监测布点见监测报告：渝新绿环（监）〔2025〕070 号（见支撑性材料 5）。

（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

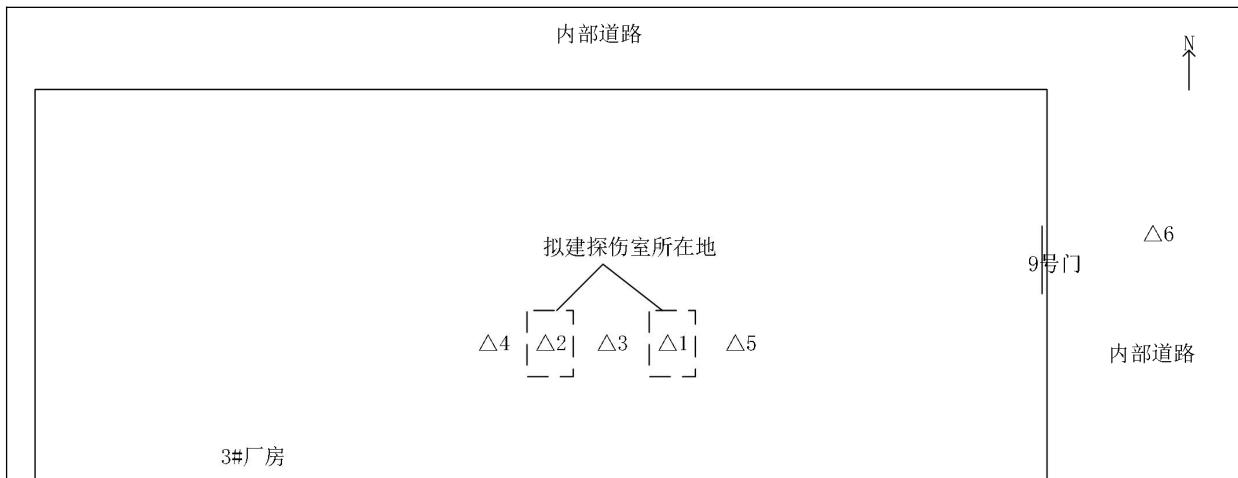
监测仪器名称及型号	仪器编号	计量检定/校准证书编号	有效期至	校准因子
环境级 χ 、 γ 辐射巡检仪 RGM5200	1222204005009	2025071103868	2026.7.22	1.15

测量范围：10nSv/h-100 μ Sv/h。

（4）监测布点及合理性分析

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。

续表 8 环境质量现状



备注：△为监测点位，监测点位距地面 1.0m，项目拟建地位于 3#厂房内，现为空置厂房。

图 8-1 监测布点示意图

经现场踏勘调查，本次辐射环境监测共布设 6 个监测点位，其中 2 个点位设置于拟建无损检测室内，1 个点位设置于拟建控制室内，2 点位分设于无损检测室一侧，1 个点位布设于 3#厂房外道路上。经查，无损检测室南北两侧均为空置区域，其环境条件与无损检测室所处环境完全一致，故无损检测室的监测结果能代表无损检测室南北两侧的环境辐射水平。因此，这些监测点布置包括项目拟建址和周围代表性环境保护目标，能够反映项目所在地的辐射环境背景水平，监测布点合理。

(5) 质量保证措施

监测单位具备所监测项目的资质；合理布设监测点位；监测方法采用国家有关部门颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送计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，经过校验、审核、审定，最后由授权签字人签发。

(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	
		$\mu\text{Gy}/\text{h}$	nGy/h
△1	拟建探伤室1区域	0.053	53
△2	拟建探伤室2区域	0.058	58

续表 8 环境质量现状

监测点位	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率	
		$\mu\text{Gy}/\text{h}$	nGy/h
$\triangle 3$	拟建探伤室之间区域（控制室）	0.056	56
$\triangle 4$	拟建探伤室1西侧（补焊间）	0.055	55
$\triangle 5$	拟建探伤室2东侧（洗片室）	0.059	59
$\triangle 6$	中试基地室外空地	0.051	51

备注：1 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ =1000 nGy/h ，以上监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

根据监测可知，项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率的监测值范围为 51 nGy/h ~59 nGy/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 79.2~108 nGy/h ，平均值为 96.1 nGy/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

项目施工期仅进行无损检测铅房以及设备安装，其中 2#无损检测铅房的四周屏蔽体底部需要进行下沉处理，故涉及少量地面施工。整个施工过程基本由人工完成，使用小型机械，不使用大型机械。产生的废弃物主要为少量设备外包装、安装人员生活垃圾和生活污水等，包装固废和生活垃圾均统一收集后由当地环卫部门集中处置，生活污水依托中试基地现有生化池处理后排入市政管网。

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

(一) 设备组成

(1) DR 检测系统

项目拟配置的 MesoFocus 225 型 DR 检测系统由成像检测系统、机械控制系统、图像处理系统、辐射安全系统组成，适用于筒型铸造件检测。

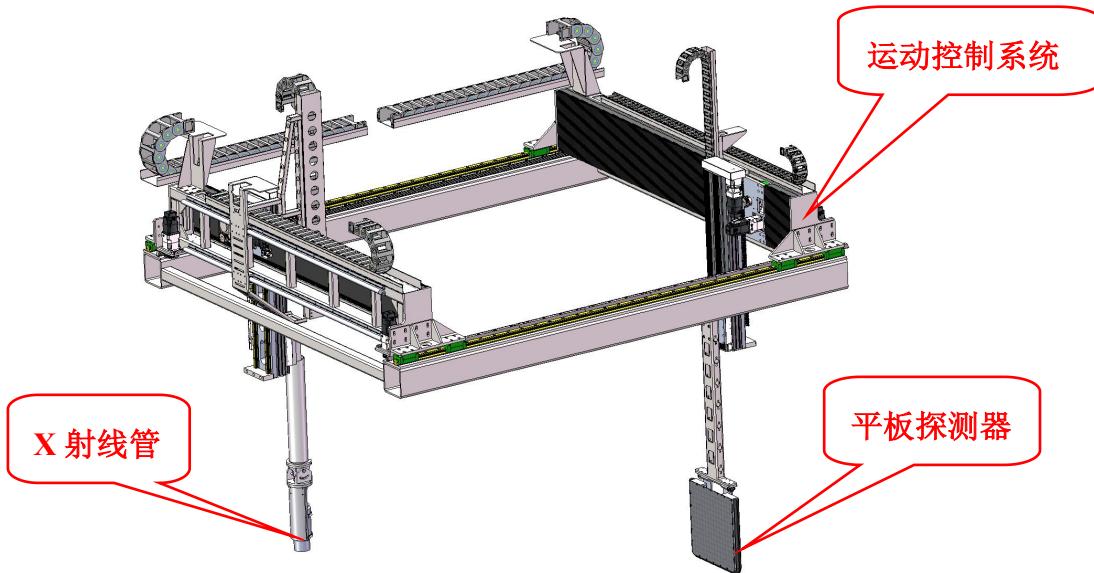


图 9-1 DR 检测系统示意图

①成像检测系统

MesoFocus 225 型 DR 检测系统采用数字成像模式，故 MesoFocus 225 型 DR 检测系统包括射线源分系统、平板探测器分系统。射线源分系统由 X 射线管、高压发生器、冷却系统、高压线缆等部件组成，探测器分系统包括平板探测器模块、电源模块、数据传输模块。

续表 9 项目工程分析与源项

根据中铝科学院提供的资料, MesoFocus 225 型 DR 检测系统的成像检测系统基本参数见下表。

表 9-1 DR 检测系统的成像检测系统基本参数一览表

X射线管主要参数	
型号	MesoFocus 225
最大功率	200W
最大管电压	225kV
最大管电流	2mA
内置滤过材料	0.8mmBe
1m处最大输出量	69.6mGy·m ² /mA·min
1m处的泄漏辐射剂量率	5mSv/h
焦点尺寸	50μm/130μm/200μm
射线束最大锥角	40° × 40°
照射方式	定向照射 (背向工件防护门)
FOD (焦点-工件最小距离)	36mm
焦点-地面最小距离	440mm
冷却方式	水冷
平板探测器主要参数	
型号	NDT 1717HS
类型	非晶硅探测器
闪烁体类型	碘化铯
像素矩阵	3072 × 3072

射线源分系统见下图。



图 9-2 射线源分系统示意图

②机械控制系统

机械结构系统包括外部轴、转台、电气控制等分系统。电气控制系统包括配电柜、

续表 9 项目工程分析与源项

扫描装置控制柜、数控系统、现场操作台、系统控制台、采集控制柜、位置触发模块等。电气控制系统采用伺服电机及控制器，完成检测过程的控制及驱动、实时位置测量及通信反馈、探测器采集触发，通过各机械轴、转台、采集软件的协同控制实现铸件的高效检测，同时负责系统配电、安全联锁及监视。

机械运动系统在整个系统中发挥着关键的操控作用，负责协调射线源、载物台以及探测器的移动。射线源仅能在特定维度内活动，能实现水平方向的左右及前后位移、垂直方向上的上下移动，但射线源不能旋转，照射方向不变。机械运动系统各部件的运动方式及相互关系，详细示意如下图所示。

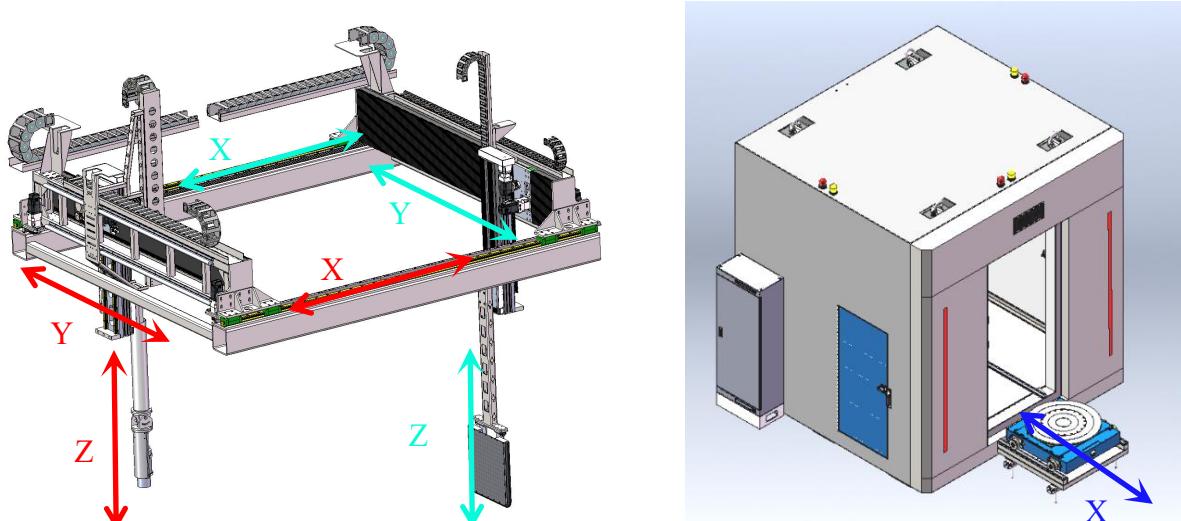


图 9-3 运动控制系统运动示意图

机械运动系统相关参数见下表。

表 9-2 机械运动系统相关参数

项目	参数	辐射源点与最近屏蔽体的距离
X 射线机（射线源）X 向移动行程	2000mm	
X 射线机（射线源）Y 向移动行程	1500mm	
X 射线机（射线源）Z 向移动行程	1500mm	
平板探测器 X 向移动行程	2000mm	北墙: 670mm; 南墙: 830mm
平板探测器 Y 向移动行程	1500mm	东墙: 795mm; 西墙: 705mm
平板探测器 Z 向移动行程	1500mm	顶棚: 1660mm; 地板: 440mm
工件旋转平台 X 向移动行程	3000mm	
工件旋转平台旋转	360°	

MesoFocus 225 型 DR 检测系统的射线源、探测器设置“零位”，即射线源、探测

续表 9 项目工程分析与源项

器处于 Z 向移动行程上端位置（离地最远），可有效防止铸件样品进出 1#无损检测室时与设备发生碰撞。待铸件样品摆位完成后，射线源及探测器再根据无损检测工艺需求调整至对应合适位置；检测工作结束后，控制射线源、探测器自动复位至“零位”，再将铸件样品运出 1#无损检测室。

根据中铝科学院提供的资料，1#无损检测室的工件防护门设置于北侧；结合 MesoFocus 225 型 DR 检测系统机械运动系统的运行轨迹，该系统的射线主射方向朝向南侧，即背向工件防护门。

③图像处理系统

图像处理系统包括采集软件、接口计算机硬件等模块，采集软件及接口软件分系统可对 X 射线源、平板探测器、运动控制系统进行协同控制，负责整个系统的操作执行，以实现系统的状态监控、检测过程控制、数据采集、图像处理等各项功能。

④辐射安全系统

为实现辐射安全的全方位管控，项目 MesoFocus 225 型 DR 检测系统与 1#无损检测室整合为一套完整的辐射安全防护系统，配套设置实时监控系统、固定式辐射剂量报警仪、门机联锁装置、紧急停机按钮、工作状态指示灯及声光提示装置等防护设施，通过“监测—联锁—预警—应急”的防护手段，降低辐射安全风险。

（2）固定式 X 射线检测系统

项目拟配置 1 套 MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统、1 套 MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统，均采用胶片成像技术。故固定式 X 射线检测系统主要由射线源系统、控制系统、运动系统、辐射安全系统组成。

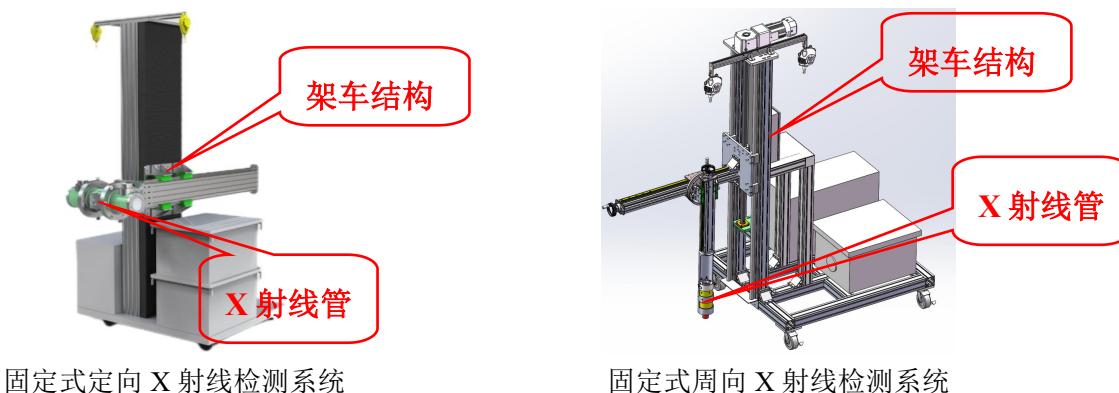


图 9-4 固定式 X 射线检测系统示意图

续表 9 项目工程分析与源项

①射线源系统

固定式 X 射线检测系统的射线源分系统包括 X 射线管、高压发生器、冷却系统、高压线缆等部件组成。射线源系统见下图。



MXR-320/26型



MXRP160C型

图 9-5 射线源系统示意图

根据中铝科学院提供的资料，固定式X射线检测系统的射线源基本参数见下表。

表 9-3 固定式 X 射线检测系统的射线源基本参数一览表

X射线管主要参数		
型号	MXR-320/26型	MXRP160C型
焦点尺寸	ø3.0mm/ø5.5mm	长： 0.4mm 宽： 4.0mm
最大功率	4200W	1000W
最大管电压	320kV	160kV
最大管电流	46.5mA	15.5mA
内置滤过材料	3.0mm Be	0.5mm Ti + 2.0mm H ₂ O + 2.0mm Al
1m处最大输出量	82.2mGy·m ² /(min·mA)	59.1mGy·m ² /(min·mA)
1m处的泄漏辐射剂量率	5mSv/h	2.5mSv/h
射线束最大辐射角	40° × 40°	360° × 40°
照射方式	定向照射	周向照射
FOD (焦点-工件最小距离)	36mm	36mm
焦点-地面最小距离	500mm	600mm
冷却方式	油冷	水冷

②控制系统

控制系统是基于 ARM 的集成控制器，电压、电流液晶显示，方便独立控制和集成，

续表 9 项目工程分析与源项

含 15 米控制电缆。

③运动系统

固定式 X 射线检测系统均采用架车结构，通过无线遥控器遥控 Y 轴、Z 轴运行，手动控制 U 轴旋转，调整到适合固定式 X 射线检测系统工作的位置后开始工作。固定式定向 X 射线检测系统主要适用于类叶轮中型筒型件检测，固定式周向 X 射线检测系统主要适用于大型环形件检测，其 X 射线管头主要由沿垂直方向（Y 轴）的升降运动单元、Z 轴管头直线横向伸出单元、U 轴管头旋转机构等部分组成。固定式定向 X 射线检测系统的 X 射线管头转动灵活，能保证射线束在平行地面和垂直地面之间的任意角度透照。固定式定向 X 射线检测系统的 X 射线管头仅能水平照射或垂直照射。

固定式 X 射线检测系统的架车结构示意如下图所示。

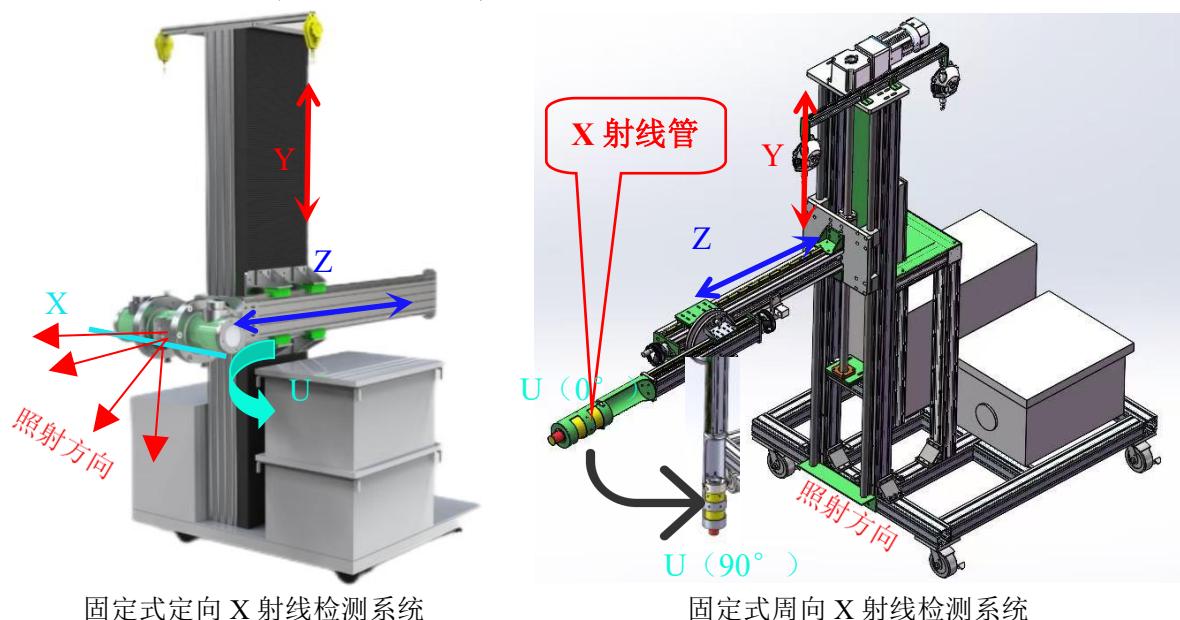


图 9-6 固定式 X 射线检测系统的架车结构示意

固定式 X 射线检测系统的运动系统相关参数见下表。

表 9-4 固定式 X 射线检测系统的运动系统相关参数

运动轴 编号	运动方向	运动范围	运动控 制方式	辐射源点与最近屏蔽体的距离
固定式定向 X 射线检测系统				
Y	管头垂直直线运动	500~2500mm	无线遥控 器控制	顶棚: 1110mm; 地板: 500mm 东墙: 1920mm; 西墙: 2580mm 北墙: 2450mm; 南墙: 3550mm
Z	管头横向伸出	0~1500mm		
X	管头（即 X 轴）以和 Z 轴的交点向下旋转	0°~90°		

续表 9 项目工程分析与源项

运动轴 编号	运动方向	运动范围	运动控 制方式	辐射源点与最近屏蔽体的距离			
固定式周向 X 射线检测系统							
Y	管头垂直 直线运动	600~1200mm	无线遥控 器控制	顶棚: 2400mm; 地板: 600mm 东墙: 2120mm; 西墙: 2330mm 北墙: 5360mm; 南墙: 1860mm			
Z	管头横向伸出	0~1550mm					
U	管头	0° (垂直 360° 照射)	手动				
		90° (水平 360° 照射)					
<p>根据中铝科学院提供的资料, 2#损检测铅房工件防护门设置于北侧; MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统、MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统均固定安装于该铅房西墙一侧。结合设备运动系统运行轨迹, MXR-320/26 型系统射线主射方向为东侧至地面, 覆盖角度范围 0°~90°; MXRP160C 型系统射线管头处于水平 0°位置时, 主射方向呈 360°全覆盖, 涵盖东侧、顶棚、西侧及地面; 射线管头处于垂直 90°位置时, 主射方向同样呈 360°全覆盖, 涵盖东侧、南侧、西侧及北侧。</p>							
<p>⑤辐射安全系统</p> <p>为实现辐射安全的全方位管控, 项目 MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统、MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统与 2#无损检测室整合为一套完整的辐射安全防护系统, 配套设置实时监控系统、固定式辐射剂量报警仪、门机联锁装置、紧急停机按钮、工作状态指示灯及声光提示装置等防护设施, 通过“监测—联锁—预警—应急”的多维度防护手段, 最大程度降低辐射安全风险。</p>							
<p>(3) 便携式定向 X 射线探伤机</p> <p>项目拟配置 1 套 SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机, 主要由控制器、X 射线发生器、连接电缆、电源电缆等组成, 使用场景更灵活。典型便携式定向 X 射线探伤机的照片见下图。</p>							

续表 9 项目工程分析与源项



图 9-7 便携式定向 X 射线探伤机示意图

①控制器

拟购的便携式定向 X 射线探伤机的控制器为立式结构,所有操作均由面板上的轻触开关进行。电缆插座、电源开关及接地端子设置在右侧接线盒内。控制器的主要作用是将交流电转换成管头所需的脉冲电压,按照设定参数调节 X 射线管的工作电压和工作电流,保证产生稳定的射线,并自动控制曝光时间。控制器内部主要包含控制板、电容板、供电电源板、前面板、电感线圈、IGBT 斩波模块、冷却风机等部件。

②X 射线发生器

X 射线发生器为组合式。X 射线管、高压变压器与绝缘气体 (SF_6) 一起封装在桶状铝壳内。X 射线发生器一端装有风扇和散热器。警示灯亮表示探伤机系统进入准备工作状态,将有 X 射线产生(在产生 X 射线期间,警示灯仍一直亮)。X 射线发生器一端装有风扇和散热器。X 射线发生器由 X 射线管、高压变压器、温度继电器、气体压力表、连接电缆插座、警示灯、X 射线管冷却风扇以及充、放气阀部件构成。

根据中铝科学院提供的资料,便携式定向X射线探伤机的基本参数见下表。

表 9-5 便携式定向 X 射线探伤机的射线源基本参数一览表

型号	SHSJ-DRXT-200型
最大功率	1000W
最大管电压	200kV
固定管电流	5mA
最大输出剂量率	28.7mGy.m ² /(min·mA)
1m处的泄漏辐射剂量率	5mSv/h

续表 9 项目工程分析与源项

型号	SHSJ-DRXT-200型
焦点尺寸	2.0mm×2.0mm
内置滤过材料	2.0mmAl
射线束最大辐射角	40° × 40°
照射方式	定向照射
FOD (焦点—工件最小距离)	200mm
焦点—地面最小距离	100mm
冷却方式	风冷

③电源电缆等附件

拟购便携式定向 X 射线探伤机的控制器与 X 射线管头的电源电缆线长为 25m。

便携式定向 X 射线探伤机在不同无损检测铅房内使用时，沿用相应无损检测铅房的辐射安全防护措施。

④活动范围

为避免便携式定向 X 射线探伤机主射线朝向无损检测铅房防护门及控制室，结合有用线束照射范围。在 1#无损检测铅房内使用时，确定其主射方向为南侧至西侧、地板；在 2#无损检测铅房内使用时，确定其主射方向为东侧至南侧、地板。项目铸件样品尺寸较大，且 1#无损检测铅房空间受限，无法使用叉车转运，故铸件样品仅能在载物台上开展无损检测。结合铸件样品尺寸、探伤机安装位置及其他 X 射线检测系统的安全距离要求，便携式定向 X 射线探伤机的辐射源点在无损检测铅房内的活动范围划定如下：

1#无损检测铅房按照辐射源点距东、南、北侧屏蔽体最小距离 500mm，距西侧屏蔽体最小距离 1000mm，距顶棚屏蔽体最小距离 2100mm，距地面最小距离 440mm 划定活动范围。2#无损检测铅房按照辐射源点距东、南侧屏蔽体最小距离 500mm，距西侧屏蔽体最小距离 2700mm，距北侧屏蔽体最小距离 900mm，距顶棚屏蔽体最小距离 1100mm，距地面最小距离 100mm 划定活动范围，具体情况见附图四。

（二）工作方式

项目配置的 DR 检测系统固定安装在 1#无损检测铅房内，DR 检测系统采用固定式定向探伤工作方式及数字成像技术，无需进行洗片工序。DR 检测系统出束作业期间，

续表 9 项目工程分析与源项

辐射作业人员全程在无损检测铅房外的控制室内操作。DR 检测系统的有用线束固定朝向南侧（探测器方向），待测铸件样品放置于 1#无损检测铅房内的指定检测区域，射线束穿透样品后被探测器接收，形成数字检测图像。

项目配置的固定式 X 射线检测系统，其底盘配备万向轮移动，整体固定安装在 2#无损检测铅房内。该系统采用胶片成像方式，出束作业期间，辐射作业人员全程在无损检测铅房外的控制室内操作。其中固定式定向 X 射线检测系统的射线源具备 90°上下旋转功能，可将有用线束的照射方向调整为自东侧至垂直地面的任意角度；作业前需将系统出束窗口精准对准待测铸件样品，并在样品另一端布设胶片，确保主射线束沿铸件样品检测方向出束。固定式周向 X 射线检测系统的有用线束覆盖范围达 40°×360°，射线头支持 0°或 90°调节，可实现有用线束朝向四周空间及顶棚、地面照射（当射线管头处于水平 0°位置时，铸件样品平放，射线主射方向覆盖东侧、顶棚、西侧及地面；当射线管头处于垂直 90°位置时，铸件样品立放，射线主射方向覆盖东侧、南侧、西侧及北侧）。作业前需将射线管头置于铸件样品内部，使周向出束窗口对准样品检测区域，其外表面对应位置布设多张胶片，保障主射线束以 360°周向出束开展检测作业。

项目配置的便携式定向 X 射线探伤机采用胶片成像技术，在无损检测铅房内使用，不在其他场所开展 X 射线检测作业。该探伤机出束运行期间，辐射作业人员全程在无损检测铅房外的控制室操作。作业阶段，需根据铸件样品的检测需求，灵活调整探伤机摆放位置，其有用线束避开防护门、控制室。在 1#无损检测铅房内使用时，有用线束朝向南侧、西侧以及地面；在 2#无损检测铅房内使用时，有用线束朝向东侧、南侧以及地面。作业前，将系统出束窗口精准对准待测铸件样品，并在样品的另一侧对应位置布设胶片，保证主射线束沿铸件样品方向出束。

此外，同一无损检测铅房内的多台 X 射线无损检测装置均不同时出束。

9.2.2 工作负荷

根据中铝科学院提供资料，项目拟配置的便携式定向 X 射线探伤机单次曝光时间约 0.5~5min，平均曝光时间约 3min；其他 X 射线无损检测装置单次曝光时间均约 1min~2min，平均曝光时间约 1.5min。X 射线无损检测装置工作负荷详见下表。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-6 X 射线无损检测装置工作负荷一览表					
设备型号	单次平均曝光时间	最大曝光次数	最大曝光时间		
1#无损检测室					
DR 检测系统	1.5min	30 次/周	1500 次/年	0.75h/周	37.5h/年
便携式定向 X 射线探伤机	3min	6 次/周	300 次/年	0.3h/周	15.0h/年
合计	/	36 次/周	1800 次/年	1.05h/周	52.5h/年
2#无损检测室					
固定式定向 X 射线检测系统	1.5min	30 次/周	1500 次/年	0.75h/周	37.5h/年
固定式周向 X 射线检测系统	1.5min	30 次/周	1500 次/年	0.75h/周	37.5h/年
便携式定向 X 射线探伤机	3min	4 次/周	200 次/年	0.2h/周	10.0h/年
合计	/	64 次/周	3200 次/年	1.70h/周	85.0h/年

项目配置的 X 射线无损检测装置停机 8h 以上，再次使用前需进行训机，训机完成后才可以正常使用。X 射线无损检测装置训机遵循“低压低流→逐步升压→恒温稳定”的原则，并根据停机时长调整训机时长。项目设备常年使用，训机时间较短，纳入总曝光时间中。本次评价工作负荷核算时，不“单独”计入 X 射线无损检测装置的训机负荷。

9.2.3 工作原理及工艺流程

(一) 工作原理

(1) X 射线产生原理

X 射线无损检测装置的 X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，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下图。

续表 9 项目工程分析与源项

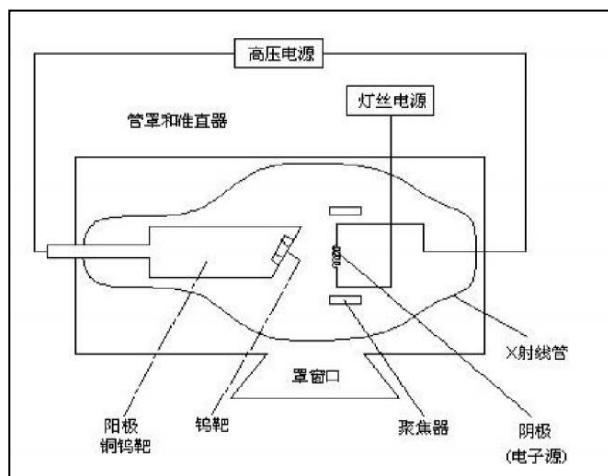


图 9-8 X 射线管原理示意图

(2) 数字成像原理

基于不同密度、厚度的工件区域对 X 射线吸收衰减程度的差异，穿透工件的 X 射线携带内部缺陷信息投射至数字化探测器。间接转换型探测器先通过闪烁体将 X 射线能量转化为可见光，再经光电二极管阵列转为电信号；直接转换型探测器则通过半导体材料直接将射线能量转化为电信号。两类探测器输出的电信号均经模数转换器处理为数字图像信号，后续通过软件完成降噪、对比度增强等预处理，最终生成可直接显示、测量与存储的数字图像，实现对工件内部缺陷的精准识别。

(3) 胶片成像原理

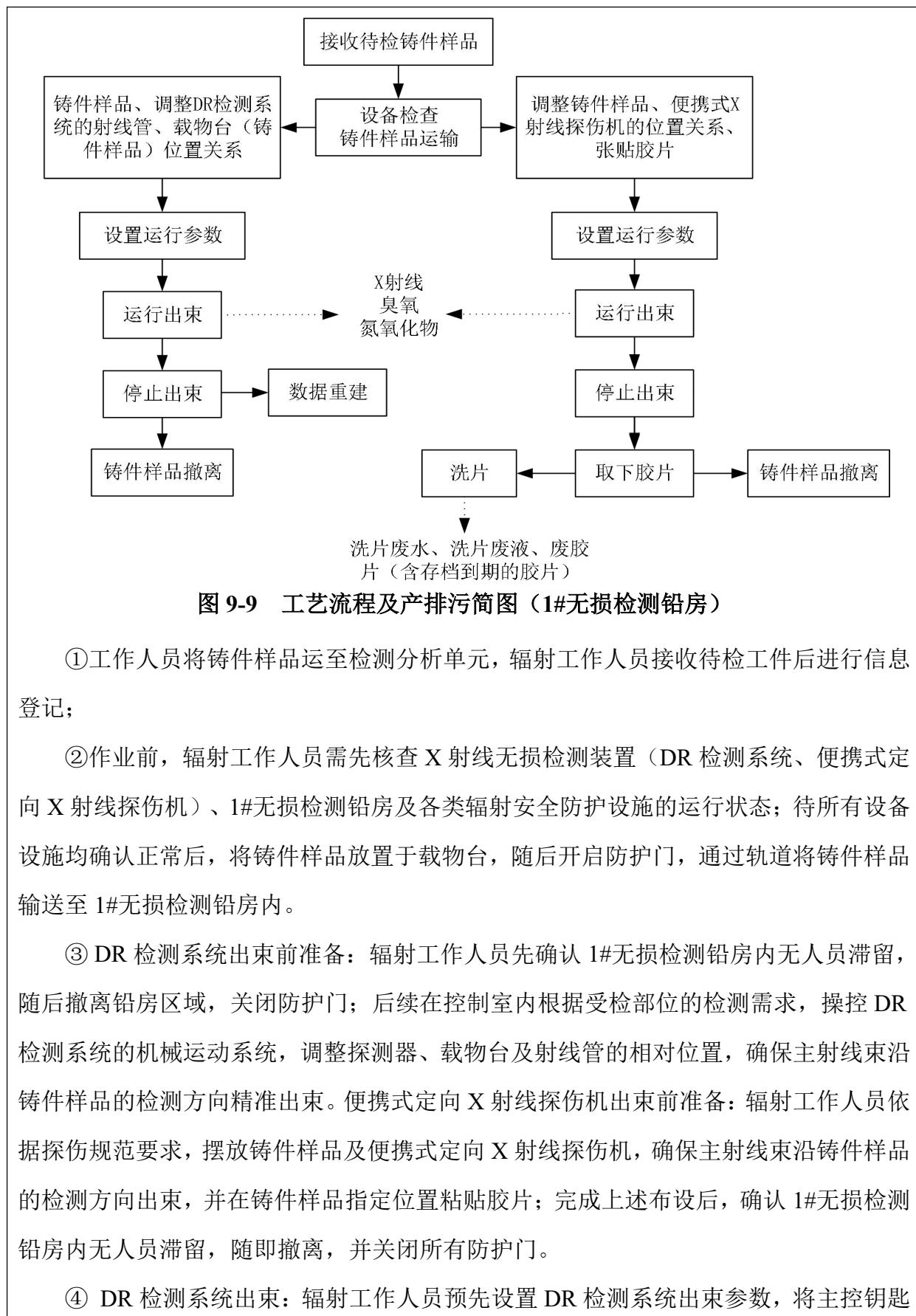
X 射线通过物质时，其强度逐渐减弱，X 射线还有个重要性质，就是能使胶片感光，当 X 射线照射胶片时，与普通光线一样，能使胶片乳剂层中的卤化银产生潜像中心，经过显影和定影后就黑化，接收射线越多的部位黑化程度越高，这个作用叫作射线的照相作用。把这种曝光过的胶片在洗片室（湿区）中经过显影、定影、水洗和干燥，再将干燥的底片放在观灯片上观察，根据底片上有缺陷部位与无缺陷部位的黑度图像不一样，就可判断出缺陷的种类、数量、大小等，从而达到无损检测的目的。

（二）工艺流程

（1）1#无损检测铅房的无损检测工艺流程

DR 检测系统采用数字成像方式，便携式定向 X 射线探伤机采用胶片成像方式，其主要工艺流程及产污环节见下图。

续表9 项目工程分析与源项



续表 9 项目工程分析与源项

旋至对应位置，按下启动按钮，系统随即启动出束检测。便携式定向 X 射线探伤机出束：辐射工作人员预先设置便携式定向 X 射线探伤机出束参数，将控制开关旋至对应位置，探伤机随即启动出束检测。DR 检测系统、便携式定向 X 射线探伤机在 1#无损检测铅房内不同时出束。

⑥检测完成后，DR 检测系统自动停止出束，打开 1#无损检测铅房的防护门，通过轨道将铸件样品运出铅房，而后准备下一个检测过程或者结束工作。检测完成后，便携式定向 X 射线探伤机自动停止出束，打开 1#无损检测铅房的防护门，取下曝光后的胶片，通过轨道将铸件样品运出铅房，而后准备下一个检测过程或者结束工作。

⑦DR 检测系统依托计算机专用算法对采集的检测数据进行降噪、迭代处理，重建生成被检铸件的高清内部结构图像；辐射工作人员依据相关行业标准，对图像及原始检测数据进行综合研判分析，最终出具正式检测报告。对于便携式定向 X 射线探伤机检测项目，曝光后的胶片及时送至洗片室按规范流程完成洗片操作，洗片流程后文单独介绍。

此外，针对铸件样品检测结果，需补焊处理的，将其转运至补焊间实施补焊作业；补焊完成后重新进行检测，直至合格后方可转入下一工序。

（2）2#无损检测铅房的无损检测工艺流程

固定式定向 X 射线检测系统、固定式周向 X 射线检测系统、便携式定向 X 射线探伤机均采用胶片成像方式，其主要工艺流程及产污环节见下图。

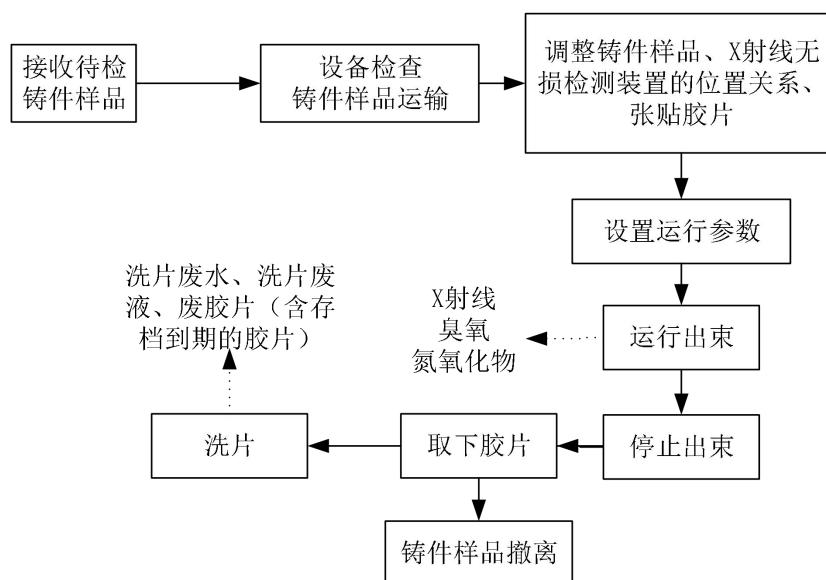


图 9-10 工艺流程及产排污简图 (2#无损检测铅房)

续表9 项目工程分析与源项

<p>①工作人员将铸件样品运至检测分析单元，辐射工作人员接收待检工件后进行信息登记；</p> <p>②作业前，辐射工作人员需先核查 X 射线无损检测装置（固定式定向 X 射线检测系统、固定式周向 X 射线检测系统、便携式定向 X 射线探伤机）、2#无损检测铅房及各类辐射安全防护设施的运行状态；待所有设备设施均确认正常后，利用叉车将铸件样品运至 2#无损检测铅房内。</p> <p>③辐射工作人员依据探伤规范要求，摆放铸件样品、便携式定向 X 射线探伤机或调整固定式 X 射线检测系统（固定式定向 X 射线检测系统、固定式周向 X 射线检测系统）的射线管头，确保主射线束沿铸件样品的检测方向出束，并在铸件样品指定位置粘贴胶片；完成上述布设后，确认 1#无损检测铅房内无人员滞留，随即撤离，并关闭所有防护门。</p> <p>④固定式 X 射线检测系统出束：辐射工作人员预先设置固定式 X 射线检测系统出束参数，将主控钥匙旋至对应位置，按下启动按钮，系统随即启动出束检测。便携式定向 X 射线探伤机出束：辐射工作人员预先设置便携式定向 X 射线探伤机出束参数，将控制开关旋至对应位置，探伤机随即启动出束检测。</p> <p>⑤检测完成后，X 射线无损检测装置自动停止出束，打开 2#无损检测铅房的防护门，取下曝光后的胶片，将铸件样品运出铅房，而后准备下一个检测过程或者结束工作。</p> <p>⑥曝光后的胶片及时送至洗片室按规范流程完成洗片操作，洗片流程后文单独介绍。</p> <p>此外，针对铸件样品检测结果，需补焊处理的，将其转运至补焊间实施补焊作业；补焊完成后重新进行检测，直至合格后方可转入下一工序。</p>
<p>（3）洗片工艺流程</p> <p>项目采用自动洗片工艺，工艺流程如下：</p> <p>①显影：将曝光后的胶片完全浸入显影液中，持续时间约 5~8min，实现显影；</p> <p>②停影：将显影后的胶片从显影槽中取出，在显影池上方停留 2~3s 使滞留的药液流离洗片夹，放入装有清水的停影槽内将其上面残留的显影液清洗干净至停显。</p> <p>③定影：将停影后的胶片浸入定影液中，实现定影；</p>

续表 9 项目工程分析与源项

- ④清洗：将定影后的胶片从定影槽中取出，放入装有自来水的漂洗槽中漂洗，清洗水可反复使用，直至不能满足清洗要求后再更换清洗水。
- ⑤烘干：将漂洗后的胶片烘干至一定程度，再自然晾干。
- ⑥对晾干后的胶片进行评片和审片。

9.3 人流物流路径

项目人流物流路径规划图见图 9-11。

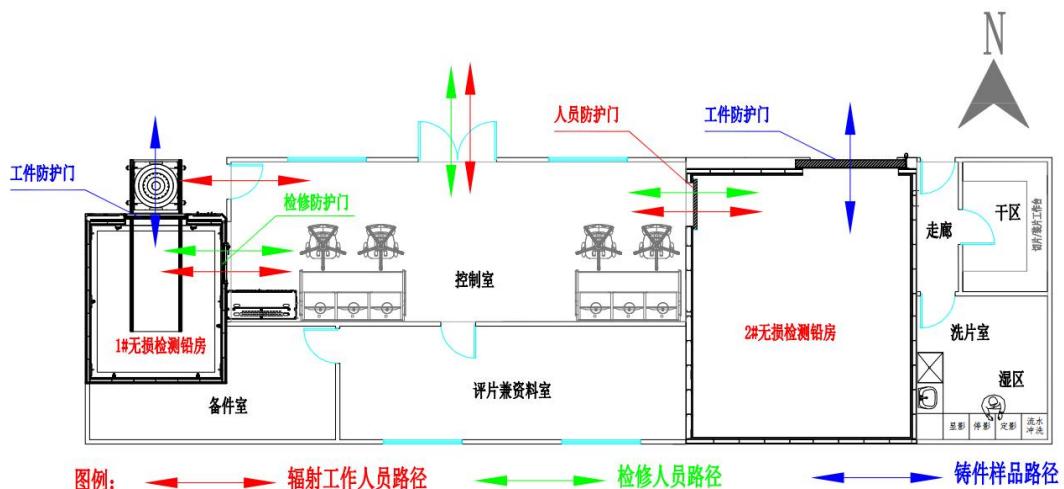


图 9-11 项目人流物流路径规划示意图

(1) 物流路径

待检铸件样品由工作人员使用行车吊装至无损检测室工件防护门外。1#无损检测铅房的待检铸件样品使用叉车将其放置在载物台上，而后通过轨道运至1#无损检测铅房内。1#无损检测铅房的待检铸件样品使用叉车直接运至1#无损检测铅房内。铸件样品检测完成后原路返回。

(2) 人员路径

检修人员、辐射工作人员均通过检修防护门、人员防护门进入相应的无损检测室内检修或摆位、贴胶片等工作。工作完成后原路返回。

9.4 污染源项分析

根据工艺流程可知，项目X射线无损检测装置开展无损检测作业过程中产生的污染物主要有电离辐射、废气（臭氧、氮氧化物等）。曝光后的胶片需要进行洗片、评片，会产生洗片废液（废显影液、废定影液）、洗片废水、报废胶片及存档到期胶片等；固

续表 9 项目工程分析与源项

定式定向 X 射线检测系统定期更换冷却油，将产生少量废冷却油；辐射工作人员将产生的少量生活垃圾、生活污水。此外，本项目还将产生报废 X 射线无损检测装置。

9.4.1 电离辐射

根据 X 射线无损检测装置的工作原理，X 射线的产生与消失完全受控于 X 射线无损检测装置的开启与关闭状态。项目所采用的 X 射线无损检测装置设备仅在开机且处于出束（曝光）状态时，才会产生 X 射线。因此，当 X 射线无损检测装置处于开机曝光运行阶段，X 射线便成为环境辐射污染的最主要因素。

从项目 X 射线无损检测装置的工作流程来看，涉及电离辐射危害的关键辐射安全环节集中在 X 射线管出束照射过程。在此期间，X 射线的能量呈现出连续能谱分布，其能量范围从 0 延伸至曝光管电压设定值。X 射线的穿透能力则主要取决于 X 射线管的管电压参数以及出口滤过装置的设置。X 射线无损检测装置辐射场中的 X 射线具体可分为三个部分：直接用于检测成像的有用线束、从设备屏蔽部件泄漏出的漏射线，以及在检测过程中因散射产生的散射线。

（1）有用线束

在工业无损检测领域，有用线束是由 X 射线管产生的电子经撞击靶材产生 X 射线，并通过辐射窗口定向投射至待检工件，进而实现对工件的无损检测。X 射线无损检测装置的 X 射线的能量和强度与射线管的靶物质、管电压、滤波器等密切相关。具体而言，靶物质的原子序数越高，施加于 X 射线管的管电压和管电流越大，所激发产生的 X 射线光子束流强度也就越强，能够为检测工作提供更高效的射线源。根据中铝科学院提供的资料可知，项目配置的 X 射线无损检测装置输出剂量率见下表。

表 9-7 X 射线无损检测装置工作负荷一览表

设备型号	最大管电压 kV	过滤条件	输出剂量率 mGy·m ² /(mA·min)
DR 检测系统	225	0.8mmBe	69.6
固定式定向 X 射线检测系统	320	3.0mmBe	82.2
固定式周向 X 射线检测系统	160	0.5mm Ti + 2.0mm H ₂ O + 2.0mm Al	59.1
便携式定向 X 射线探伤机	200	2.0mmAl	28.7

备注：便携式定向 X 射线探伤机的 X 射线输出剂量率取自《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 B 中表 B.1，其余 X 射线无损检测装置的 X 射线输出量由中铝科学院提供。

续表 9 项目工程分析与源项

(2) 漏射线

漏射线是指从 X 射线管发射出来，并穿透 X 射线管组装体的射线。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）表 1 的规定，对于管电压 150kV~200kV 的 X 射线无损检测装置设备，在距离 X 射线管焦点 100cm 处，由漏射线产生的周围剂量当量率不得超过 2.5mSv/h。对于管电压大于 200kV 的 X 射线无损检测装置设备，在距离 X 射线管焦点 100cm 处，由漏射线产生的周围剂量当量率不得超过 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 X 射线无损检测装置的 X 射线能量、输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。X 射线无损检测装置的 X 射线散射角度为 90° 时，散射线能量最大。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）表 2 的规定，项目配置的 X 射线无损检测装置的散射线能量见下表。

表 9-8 X 射线无损检测装置的散射能量一览表

设备型号	最大管电压 (kV)	90° 散射辐射最大能量 (kV)
DR 检测系统	225	200
固定式定向 X 射线检测系统	320	250
固定式周向 X 射线检测系统	160	150
便携式定向 X 射线探伤机	200	150

9.4.2 “三废”产排情况

项目 X 射线无损检测装置无损检测作业过程中主要产生 X 射线，不产生放射性“三废”。

(1) 废气

在 X 射线无损检测装置开展无损检测作业过程中，X 射线与空气相互作用，致使空气发生电离，进而产生少量臭氧 (O₃) 和氮氧化物 (NO_x)。无损检测铅房的顶部各安装 1 个排气扇。该排气扇设计风量分别约 600m³/h、900m³/h，可使无损检测铅房内部每小时完成分别约 15 次、8 次的通风换气。X 射线无损检测装置无损检测过程中产生的废气，经由排气扇排出无损检测铅房后，通过废气管道引至厂房屋顶排放，排放高度不低于 12m。

续表 9 项目工程分析与源项

(2) 废水

项目无生产废水产生。项目不新增劳动人员，故不新增生活污水量。项目调配培养辐射工作人员产生的生活污水依托中试基地现有污水管网、污水处理设施处理，处理满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后，经市政污水管网进入西彭园区污水处理厂进行深度处理，满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准后排入桥头河，最终进入长江。

(3) 固体废物

①生活垃圾

项目不新增工作人员，不新增生活垃圾产生量。调配培养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。

②报废 X 射线无损检测装置

报废 X 射线无损检测装置去功能化，而后按照相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

③危险废物

A.废冷却油

固定式定向 X 射线系统使用的介质为冷却油，冷却油是石油的一种分馏产物，它多由饱和烃、单环芳烃、双环芳烃、多环芳烃及胶质组成。冷却油循环使用，更换周期为 2 年，单次更换产生的油量约 20L (0.02t)，远低于油类物质临界量 (2500t)。对照《国家危险废物名录 (2025 年版)》，项目产生的废冷却油属于 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废物代码 900-249-08。项目更换下来的废油按照危险废物管理，废冷却油产生量小且每两年才更换一次，更换的废冷却油暂存在危险废物贮存点，定期交由有相应危险废物处置资质单位处置。

B.报废胶片

项目探伤预计每年曝光片子 0.95 万张 (含报废胶片)，储存在资料室内。项目胶片存档时间为 7 年，存档到期的胶片作为报废胶片处置。报废胶片属于危险废物，平均每张胶片重约 10g，废胶片预计年产生量约 0.10t/a。报废胶片属于《国家危险废物名录》(2025 年版)中感光材料废物 HW16，废物代码为 900-019-16，定期交由有相应危险废

续表9 项目工程分析与源项

物处置资质单位处置。

C.洗片废液、洗片废水

项目曝光胶片的洗片将产生洗片废液、洗片废水，其中洗片废液包括废定影液、废显影液。

废定影液、废显影液：根据《国家危险废物名录》（2025年版），废定影液、废显影液属于HW16，废物代码为900-019-16（其他行业产生的废显（定）影剂、胶片和废像纸）。根据中铝科学院提供资料，显影液、定影液与水按比例配制（显影液按照5L:15L水进行配比、定影液按照5L:30L水进行配比）；洗片操作流程：显影槽浸泡5~8min→清洗槽浸泡（停影）→定影槽浸泡8min→清洗槽浸泡6min，以上流程均为常温。显影槽的有效容积为20L、定影槽的有效容积为35L，平均2个月更换3次，则废显影液年产生量约0.36t/a，废定影液年产生量约0.63t/a。

洗片废水：洗片过程中进行两次自来水清洗（停影、漂洗），清洗水循环、流动使用，直到不能满足清洗要求后再行更换。洗片废水中含有AgBr、显影剂及氧化物。由于洗片废水可生化性较差，且产生量小，单独处理效率低且投资成本高。中铝科学院拟将其作为危险废物管理，不外排。显影清洗槽的有效容积为20L、定影清洗槽的有效容积为35L。根据项目洗片量，一般洗片废水2个月更换3次，1次产生洗片废水约55L，年产生量约0.99t/a。

上述废显影液、废定影液、洗片废水中的主要成分为对苯二酚、碳酸钾、硫代硫酸铵、硼酸，并含有重金属银，属于《国家危险废物名录》（2025年版）中感光材料废物HW16，无放射性。项目危险废物贮存点配置3个废液桶分类收集储存，并在各废液桶下设防渗透托盘，定期交由有相应危废资质的单位处置。危险废物产生及排放情况见下表。

表9-9 危废产生量及处理处置措施

危废名称	危废类别	危废代码	产生量(t/a)	形态	主要成分	有害成分	产废周期	暂存时间	危险特性	处置措施
废冷却油	HW08	900-249-08	0.02	液态	饱和烃、单环芳烃、双环芳烃、多环芳烃及胶质等	多环芳烃等	2年	无	T,I	分类收集后暂存于危险废物贮存点，定期交由有危废资质单位处置
废显影液			0.36	液态	银的络合物	重金属银	20d	3个月	T	
废定影液			0.63	液态			20d	3个月	T	
洗片废水			0.99	液态			20d	3个月	T	

续表 9 项目工程分析与源项

危废名称	危废类别	危废代码	产生量(t/a)	形态	主要成分	有害成分	产废周期	暂存时间	危险特性	处置措施
报废胶片(含存档到期的合格胶片)	HW16	900-019-16	0.09	固态	明胶 卤化银	银的络合物	1年	1年	T	暂存在评片兼资料室,定期交由危废资质单位处置

说明: T 代表危险特性为毒性。

(4) 噪声

项目 X 射线无损检测装置的无损检测铅房各配置 1 台排气扇实施机械通风。排气扇为低噪声型,运行时噪声值通常低于 60dB(A)。

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下表所示。

表 9-10 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	DR 检测系统的 X 射线能量最大为 225kV, 其散射线能量最大为 200kV; X 射线最大输出量 $69.6\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$; 距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 $5\text{mSv}/\text{h}$ 。	1#无损检测铅房屏蔽
		固定式定向 X 射线系统的 X 射线能量最大为 320kV, 其散射线能量最大为 250kV; X 射线最大输出量 $82.2\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$; 距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 $5\text{mSv}/\text{h}$ 。	2#无损检测铅房屏蔽
		固定式周向 X 射线系统的 X 射线能量最大为 160kV, 其散射线能量最大为 150kV; X 射线最大输出量 $59.1\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$; 距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 $2.5\text{mSv}/\text{h}$ 。	
		便携式定向 X 射线探伤机的 X 射线能量最大为 200kV, 其散射线能量最大为 150kV; X 射线最大输出量 $28.7\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$; 距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 $2.5\text{mSv}/\text{h}$ 。	1#无损检测铅房屏蔽 2#无损检测铅房屏蔽
废气	O_3 、 NO_x 等	少量	机械排风, 引至室外排风
废水	生活污水	不新增	依托中试基地现有的生化池处理
噪声	设备噪声	$\leq 60\text{dB(A)}$	购置低噪声设备
一般固废	生活垃圾	不新增	交环卫部门处理
	报废 X 射线无损检测装置	4 台	报废 X 射线无损检测装置去功能化, 而后按照相关要求处理, 保留相关手续, 并做好相关记录存档

续表 9 项目工程分析与源项

污染物	污染因子	产生量	处理处置方式
危险废物	废冷却油 (HW08)	2 年更换 1 次, 0.02t/次	分类暂存在危险废物贮存点, 定期交由有相应危险废物处置资质单位处置
	废显影液 (HW16)	0.36t/a	
	废定影液 (HW16)	0.63t/a	
	洗片废水 (HW16)	0.99t/a	
	报废胶片 (含存档到期的胶片) (HW16)	0.10t/a	暂存在评片兼资料室, 定期交由有相应危险废物处置资质单位处置

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 X 射线无损检测装置及配套的无损检测铅房安装于检测分析单元，控制室、评片兼资料室、备件室布设于 2 间无损检测铅房之间，洗片室紧邻 2#无损检测铅房布置，功能用房布置齐全，可满足检测作业全流程需求。X 射线无损检测装置的操作台均外置，布置于无损检测铅房外的控制室内，保障辐射工作人员的操作安全。固定式周向 X 射线检测系统的主射方向覆盖四周以及地面、顶棚区域，不可避免朝向工件防护门，但因辐射源点与工件防护门间距较远，且射线能量最大仅 160kV，工件防护门的屏蔽压力相对较低，其余 X 射线无损检测装置的主射方向均避开了控制室、防护门，且无损检测铅房周围紧邻区域无公众活动的密集区域。

项目无损检测铅房内部空间开阔，可满足 X 射线无损检测装置的布设与操作需求。其中，1#无损检测铅房设置 2 个防护门，工件防护门专用于铸件样品的转运进出，检修防护门则供设备检修人员通行作业；2#无损检测铅房同样配置 2 个防护门，工件防护门负责样品流转，人员防护门兼顾辐射作业人员进出及设备检修功能。另工件防护门均朝向通道，便于工件运输；检修防护门、人员防护门均朝向控制室，便于辐射工作人员以及维修人员出入。因此，无损检测铅房的功能布局可保障检测作业顺利开展，且满足辐射安全操作要求。

综上所述，项目的平面布局符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的相关要求，从辐射防护、操作便利性及设备维护等多方面考量，均具备合理性。

10.1.2 工作场所分区

（1）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。

续表 10 辐射安全与防护

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 4.1.2 款规定，应对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。

（2）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，中铝科学院拟对 X 射线无损检测装置工作场所实行分区管理。项目将无损检测铅房内部区域划设为控制区，周围紧邻区域划设为监督区，其具体区域划分情况如下表 10-1，分区布局示意图见附图六。

表 10-1 X 射线无损检测装置工作场所划分情况表

控制区	监督区
无损检测铅房内部	控制室、评片室/资料室、备件室、洗片室（湿区、走廊）等检测分析单元用房、通道、预留用房、补焊间以及无损检测铅房顶部等

中铝科学院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：拟对控制区进行严格控制，在控制区入口设置控制区标识，严禁无关人员进入；X 射线无损检测装置以及无损检测铅房设置门机联锁，X 射线无损检测装置在运行中严禁任何人进入无损检测铅房。拟在铅房内部和外部均设置工作状态指示灯和声音提示装置，拟在防护门上设置电离辐射警告标志，警告人员远离 X 射线无损检测装置。

②监督区：监督区一般不设置专门管控设施，在需要经常对职业照射条件进行监督和评价的适当位置设置监督区标识，提醒无关人员远离。无损检测铅房、控制室为辐射工作人员操作 X 射线无损检测装置的工作场所，非辐射工作人员未经允许不得入内。

③在无损检测铅房四周、操作台及穿墙管线等处开展定期监测工作。

10.2 项目安全设施

项目 X 射线无损检测装置运行产生的污染物主要为 X 射线，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

项目拟配置符合标准要求、具备相应安全性能且出厂合格的 X 射线无损检测装置，其固有安全性涵盖以下几个方面：

（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

续表 10 辐射安全与防护

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 射线无损检测装置的 X 射线管接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线管的各种参数，当发生异常情况时，高压发生器控制器自动切断 X 射线管的高压。在曝光阶段出现任何故障，高压发生器控制器都将立即切断 X 射线管的高压，提醒操作人员发生了故障。

(3) 当 X 射线无损检测装置的曝光阶段正常结束后，系统将自动切断高压，进入休息阶段。X 射线无损检测装置停止工作规定时间（一般不超过 8h）再使用时，要进行预热训机后才可使用，避免 X 射线管损坏。

(4) X 射线无损检测装置设有温度保护装置，当发生器内温度达到 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时，会自动切断高压。

(5) X 射线无损检测装置设有过电流断路器、失电流保护继电器、过电压保护继电器，当管电流超过额定值时或高压对地放电时，会自动切断高压；当管电流低于 0.5mA 时，会自动切断高压；当高压超过额定值时，会自动切断高压。

(6) X 射线无损检测装置设有继电保护器，其冷却系统流量继电器、温度继电器及防护门开关的触点均为串联，在正常时均接通；若有一个没接通，不能达到高压。

(7) DR 检测系统的高压发生器控制器固定安装在 1# 无损检测室的专用操作台上，固定式定向 X 射线检测系统、固定式定向 X 射线检测系统的高压发生器控制器固定安装在 2# 无损检测室的专用操作台上，便携式 X 射线定向探伤机则配置便携式高压发生器控制器。高压发生器控制器均设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示装置，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置，有高压接通时的指示装置、钥匙控制、有出束指示等。

10.2.2 屏蔽防护措施

项目 X 射线无损检测装置配套设置无损检测铅房作为专用作业场所。无损检测铅房均委托具备相应资质的专业单位进行一体化设计、生产及安装，确保施工质量符合国家辐射防护相关标准要求。无损检测铅房的屏蔽防护性能指标详见附图五。

(1) 屏蔽体结构

无损检测铅房采用“钢+铅+钢”的屏蔽体结构设计，可有效屏蔽 X 射线。钢作为铅

续表 10 辐射安全与防护

的支撑，保证铅屏蔽体长期有效的屏蔽效能。以下为铅房屏蔽体结构示意图。

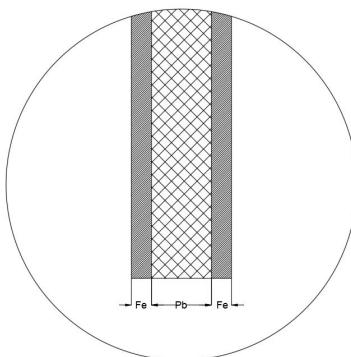


图 10-1 屏蔽体组成结构示意图

(2) 主体屏蔽厚度

1#无损检测铅房四周的屏蔽体（含防护门、线缆铅罩）厚度均为 15mmPb，顶部屏蔽体（排气扇铅罩）为 10mmPb。2#无损检测铅房东侧屏蔽体厚度为 45mmPb，顶部屏蔽体（排气扇铅罩）为 20mmPb，其他屏蔽体（含防护门、线缆铅罩）厚度为 32mmPb。

(3) 屏蔽补偿

无损检测铅房的缝隙处采用屏蔽体相互错位重叠方式搭接，搭接宽度不小于缝隙的 10 倍，具体见附图五。

无损检测铅房均贴地安装，其中 1#无损检测铅房四周屏蔽体底部内侧四周安装 8mmPb 的铅围挡，其宽度为 130mm，高度为 50mm。该铅围挡能覆盖 1#无损检测铅房底部四周可能存在的安装间隙，避免散射泄漏。2#无损检测铅房采用“嵌入式贴合”结构设计，四周屏蔽体下方的混凝土地面预先开设凹槽，屏蔽体底部下沉 50mm 嵌入凹槽内，可解决传统贴地安装中因地面微小不平整、安装误差产生的缝隙，避免散射泄漏。

1#无损检测铅房的线缆口设置 15mmPb 铅罩进行屏蔽补偿，废气排口设置 10mmPb 铅罩进行屏蔽补偿。2#无损检测铅房线缆口设置 32mmPb 铅罩进行屏蔽补偿，废气排口设置 20mmPb 铅罩进行屏蔽补偿。屏蔽补偿厚度均与同侧屏蔽体厚度一致，不影响开孔处的屏蔽效能。

10.2.3 辐射安全与防护措施

(1) 主控钥匙

1#无损检测铅房专用操作台配置 1 组 DR 检测系统的高压发生器控制器，拟设置主控钥匙锁孔。2#无损检测铅房专用操作台配置 2 组高压发生器控制器，分别对应固定式

续表 10 辐射安全与防护

定向 X 射线系统、固定式周向 X 射线系统，并各设独立主控钥匙锁孔；便携式 X 射线定向探伤机则配置便携式高压发生器控制器，拟设置主控钥匙锁孔。主控钥匙仅可在 X 射线无损检测装置处于停机或待机状态时拔出，钥匙旋至指定出束档位后，对应 X 射线无损检测装置方可启动并产生射线束。主控钥匙由操作人员负责保管。

（2）联锁控制

2 间无损检测铅房各设一组联锁控制盒，1#无损检测铅房的联锁控制盒设置有 2 个联锁旋钮，分别对应 DR 检测系统、便携式 X 射线定向探伤机；2#无损检测铅房的联锁控制盒设置有 3 个联锁旋钮，分别对应固定式定向 X 射线系统、固定式周向 X 射线系统、便携式 X 射线定向探伤机。X 射线无损检测装置的联锁信号分别由联锁控制盒对应的联锁旋钮开关控制，联锁旋钮由控制回路形成互锁，保证只能有单台 X 射线无损检测装置工作出束，且与对应无损检测铅房的急停按钮、门机联锁等相接，保证 X 射线无损检测装置运行的安全。联锁控制盒的运行原理见支撑性材料七。

（3）防护门控制开关

无损检测铅房的防护门控制开关与急停按钮集成在同一个控制面板上，安装在工件防护门、人员防护门的外侧一边，能控制防护门的开闭。另 1#无损检测铅房的检修防护门为手拉平开门，手动控制开闭。

（4）防护门紧急开门按钮

无损检测铅房防护门的紧急开门按钮与部分紧急停机按钮集成在同一个控制面板上，安装在工件防护门、人员防护门内侧两边，仅能控制相应防护门的开启，用于滞留在无损检测铅房内部的人员开启防护门离开。另 1#无损检测铅房的检修防护门为手拉平开门，也可用于滞留在 1#无损检测铅房内部的人员离开。

（5）门机联锁

项目无损检测铅房的防护门顶部两端拟设置电磁限位开关用于实现防护门与 X 射线无损检测装置的 X 射线管联锁功能，并保证在防护门关闭后 X 射线无损检测装置才能进行出束检测作业。在 X 射线无损检测装置出束检测过程中，防护门被意外打开时，能立刻断高压停止出束，且意外打开的防护门再关闭后，X 射线无损检测装置不能自行出束。便携式 X 射线定向探伤机在不同无损检测室内使用时，与相应无损检测室的防护

续表 10 辐射安全与防护

门能实现联锁。

(6) 工作状态指示灯和声音提示装置

项目无损检测铅房内外顶部均拟设置工作状态指示灯、蜂鸣信号器。工作状态指示灯旁醒目位置处设置其“照射中”和“预备中”信号的意义说明，红灯为“照射中”，绿灯为“预备中”；蜂鸣信号器在“照射中”状态时发出声音报警。工作状态指示灯、蜂鸣信号器均与 X 射线无损检测装置联锁。便携式 X 射线定向探伤机在不同无损检测室内使用时，与相应无损检测室的工作状态指示灯、蜂鸣信号器能实现联锁。

(7) 紧急停机按钮

项目 1#无损检测室拟配置 8 个紧急停机按钮，其中 1 个安装于 1#无损检测铅房工件防护门外旁，6 个均匀安装在 1#无损检测铅房内部屏蔽体上；另控制室内 1#无损检测铅房的专用操作台上的联锁控制盒设置有 1 个紧急停机按钮。项目 2#无损检测室拟配置 11 个紧急停机按钮，其中 2 个安装于 2#无损检测铅房各防护门外旁，8 个均匀安装在 2#无损检测铅房内部屏蔽体上；另在控制室内 2#无损检测室的专用操作台上的锁控制盒设置有 1 个紧急停机按钮。紧急停机按钮覆盖全面，保障辐射工作人员在任何作业点位均快速触发停机指令，也能满足无损检测铅房内部滞留人员在避开有用线束的前提下（便携式 X 射线定向探伤机水平 360° 照射情况除外），实现应急停机的快速响应。当任意紧急停机按钮被触发后，X 射线无损检测装置将立即切断高压电源，X 射线无损检测装置终止出束，确保辐射安全。任意急停按钮触发后，需通过逆时针旋转方式复位，且每个按钮旁均将设置醒目标签，详细标注使用方法。

此外，便携式 X 射线定向探伤机配套的便携式高压发生器控制器上设置有 1 个紧急停机按钮，仅能终止便携式 X 射线定向探伤机出束。便携式 X 射线定向探伤机在不同无损检测室内使用时，相应无损检测室的紧急停机按钮均能终止便携式 X 射线定向探伤机出束。

(8) 固定式场所辐射探测报警装置

项目拟配置 2 套固定式场所辐射探测报警装置，其辐射探测探头将安装于无损检测铅房内部，而显示单元则设置在操作台上。该辐射探测报警装置可对无损检测铅房内的辐射剂量实施不间断实时监测，其结果在操作台显示器上进行显示，当检测结果超过设

续表 10 辐射安全与防护

定阈值，剂量结果显示变为红色进行警示。

（9）防护门防夹装置

无损检测铅房的电动推拉门（工件防护门、人员防护门）均拟设置防夹装置，在防护门闭合过程中，一旦检测到人员靠近，即刻启动防护功能，防护门无法关闭，有效保障工作人员的人身安全。另停电状态下，联锁装置失效，无损检测铅房的工件防护门无法开启，但人员防护门、检修门均可手动拉开。

（10）视频监控装置

项目 X 射线无损检测装置将配备 2 套视频监控装置，分别包含 6 个摄像头，均部署于无损检测铅房内部（4 个），工件防护门外（1 个）以及控制室内（1 个）。该装置可实现对无损检测铅房内部工作区域、防护门开合状态进行实时监控。同时，视频监控装置的监视器将安装于操作台，便于操作人员实时查看监控画面。

（11）机械通风

项目 X 射线无损检测装置顶部各拟设置 1 套机械排气扇，设计风量分别约 $600\text{m}^3/\text{h}$ 、 $900\text{m}^3/\text{h}$ ，通风换气次数分别约 15 次/h、8 次/h。X 射线无损检测装置运行产生的废气经排气扇机引出无损检测铅房，而后通过废气管道引至厂房屋顶排放，其排放高度不低于 12m。

（12）电离辐射警告标志和中文警示说明

项目无损检测铅房的防护门上拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。



图 10-2 电离辐射警告标志

（13）便携式定向 X 射线探伤机作业要求

便携式定向 X 射线探伤机可灵活在两间无损检测铅房内切换使用，且可根据工件大小及摆放情况调整探伤位置。为保障辐射安全，为便携式定向 X 射线探伤机明确划定活动范围，并在地面张贴醒目地贴标识进行边界界定。辐射工作人员操作便携式定向 X 射

续表 10 辐射安全与防护

线探伤机时,必须严格遵循预设的主射线投射方向,全程在划定的活动范围内开展作业,严禁超出边界或改变主射线方向进行探伤操作。便携式 X 射线装置活动边界及辐射安全规范。

此外,项目拟为每名辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪,另配置 1 台便携式 X-γ 辐射剂量巡测仪。项目拟采取的辐射防护与安全设施、监测仪器等见表 10-2。

表 10-2 辐射防护与安全设施、监测仪器等措施一览表

项 目	名称	数量、使用或安装位置	
		1#无损检测铅房	2#无损检测铅房
监 测 仪 器	固定式γ剂量监 测仪	1 套, 仅 1 个剂量探头, 安装在铅 房内, 剂量报警	1 套, 仅 1 个剂量探头, 安装在铅房 内, 剂量报警
	个人剂量计	4 个, 辐射工作人员每人 1 个	
	个人剂量报警仪	4 个, 辐射工作人员每人 1 个	
	便携式 X-γ 辐射 剂量巡测仪	1 个, 存放在控制室	
安 全 设 施	主控钥匙	1 个, 对应 DR 检测系统, 设置在 专属操作台的高压发生器控制器 上;	2 个, 分别对应固定式定向 X 射线无 损检测系统、固定式周向 X 射线无损 检测系统, 设置在专属操作台的高压 发生器控制器上
		1 个, 设置在便携式定向 X 射线探伤机的便携式高压发生器控制器上	
	联锁控制	1 套, 2 台 X 射线无损检测装置, 设置在专属操作台的联锁控制盒上	1 套, 对应 3 台 X 射线无损检测装置, 设置在专属操作台的联锁控制盒上
	防护门控制开关	1 套, 设置在工件防护门外一侧	2 套, 分别设置在工件防护门、人员 防护门外一侧
	防护门紧急开门 按钮	2 个, 设置在工件防护门内两侧	4 个, 分别设置在工件防护门、人员 防护门内两侧
	门机联锁	2 套, 每个防护门均设置, 与 X 射 线无损检测装置出束联锁	2 套, 每个防护门均设置, 与 X 射线 无损检测装置出束联锁
	工作状态指示灯 声音提示装置	2 套, 安装在无损检测铅房内顶部 和防护门外上方, 与 X 射线无损检 测装置的工作状态联锁	2 套, 安装在无损检测铅房内顶部和 防护门外上方, 与 X 射线无损检测装 置的工作状态联锁
	紧急停机按钮	8 个, 安装在无损检测室内部、工 件防护门外以及专属操作台的联锁 控制盒上, 与 X 射线无损检测装置 出束联锁	11 个, 安装在无损检测室内部、工件 防护门和人员防护门外以及专属操 作台的联锁控制盒上, 与 X 射线无损 检测装置出束联锁
		1 个, 设置在便携式定向 X 射线探伤机的便携式高压发生器控制器上	
	防护门防夹装置	1 套, 工件防护门设置	2 套, 每个防护门均设置

续表 10 辐射安全与防护

项 目	名称	数量、使用或安装位置	
		1#无损检测铅房	2#无损检测铅房
安 全	视频监控 装置	1套, 6个, 安装在无损检测铅房、工件 防护门外、控制室内	1套, 6个, 安装在无损检测铅房、工 件防护门外、控制室内
设 施	机械通风	1套排风扇, 设置在无损检测铅房顶部	1套排风扇, 设置在无损检测铅房顶部
警示标志		按需配置, 包括电离辐射警告标志、分区标牌等	

项目各辐射安全与防护设施布置见附图七。

10.2.4 辐射安全联锁逻辑

操作人员确定无人员滞留在无损检测铅房内后, 防护门关闭到位。紧急停机按钮均已复位, 选择相应 X 射线无损检测装置的联锁旋钮并旋转至正确位置, 主控钥匙打开, 安全联锁系统建立。安全联锁系统建立后在 X 射线无损检测装置自检正常的前提下, 操作人员通过监视系统确认无损检测铅房内无人员滞留后, 启动 X 射线无损检测装置进行检测扫描作业。启动检测扫描后 X 射线无损检测装置进入“预备中”状态, 此时工作状态指示绿灯亮且蜂鸣显示器发出报警声音; “预备中”信号结束后 X 射线无损检测装置进入“照射中”状态, 此时工作状态指示红灯亮。固定式辐射探测报警装置探测并显示无损检测铅房内剂量率, 超过设定阈值后, 剂量结果显示变为红色进行警示; X 射线无损检测装置“照射中”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, 随之立即停止 X 射线出束。X 射线无损检测装置辐射安全联锁逻辑见图 10-3。

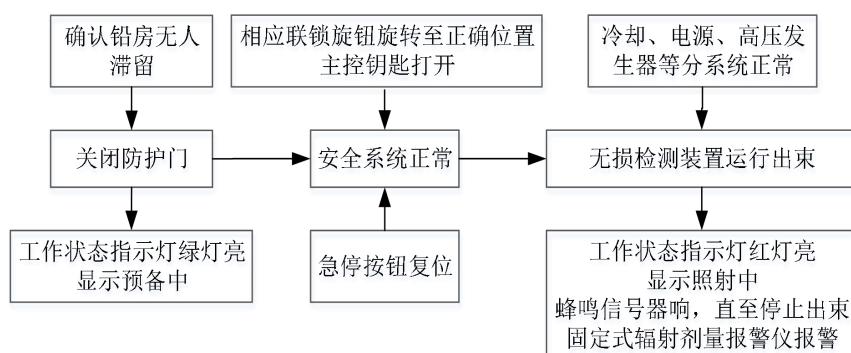


图 10-3 辐射安全联锁逻辑示意图

10.3 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与相关标准和规范的相关要求对比情况见下表所示。

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符合性对比一览表

标准名称	标准要求	项目情况
GBZ117-2022	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。	中铝科学院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。	中铝科学院拟成立辐射安全管理领导小组, 并明确放射防护管理人员及其职责, 建立放射防护管理制度和措施。
	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。	中铝科学院承诺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。
	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。	中铝科学院承诺探伤工作人员正式工作前取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。
	4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	中铝科学院拟配备 1 台辐射剂量率仪; 项目另配置 4 台个人剂量报警仪。
	4.6 应制定辐射事故应急预案。	中铝科学院拟制定辐射事故应急预案。
	5.1 X 射线探伤机	/
	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。	中铝科学院拟购买符合标准要求的 X 射线无损检测装置, 距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率符合表 1 的要求。
	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。	中铝科学院拟制定相关制度和操作规程, 要求工作人员开展工作前按要求检查相关项目。
	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。	中铝科学院拟按要求制定设备维护制度, 并按制度规定开展设备维护工作并做好维护记录。

续表 10 辐射安全与防护

标准名称	标准要求	项目情况
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。	项目 X 射线无损检测装置的安装位置已充分考虑了周围的辐射安全,固定式周向 X 射线探伤系统的有用线束照射不可避免朝向控制室、防护门,其他 X 射线无损检测装置的有用线束照射均避开了控制室、防护门,另操作台布置在控制室内,独立在无损检测铅房外。无损检测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,X 射线无损检测装置防护门防护性能与同侧墙的防护性能一致。
	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。	项目拟将无损检测铅房内部划为控制区,将邻近区域设为监督区(洗片室(走廊、洗片湿区)、评片兼资料室、备件室、控制室、补焊间、通道、预留用房等),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 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$,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,无损检测铅房各屏蔽体厚度能满足标准要求。
	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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。	根据后文核算,无损检测铅房顶部屏蔽能力能满足标准要求,故本评价 X 射线无损检测装置的无损检测铅房顶外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平保守取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
	6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置,应在门(包括人员进出门和探伤工件进出门)关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中,防护门被意外打开时,应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时,每台装置均应与防护门联锁。	项目 X 射线无损检测装置与无损检测铅房的防护门设置门-机联锁装置,防护门关闭后才能进行探伤作业。在探伤过程中,防护门被意外打开时,能立刻停止出束。每台 X 射线无损检测装置的射线管均与防护门联锁。

续表 10 辐射安全与防护

标准名称	标准要求	项目情况
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	/
	6.1.6 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。	项目无损检测铅房内外均拟设置显示“预备中”和“照射中”状态的工作状态指示灯以及蜂鸣信号器，并与 X 射线无损检测装置联锁。无损检测铅房对应的紧急停机按钮复位，所有防护门关闭到位后，工作状态指示灯的绿灯亮，显示“预备中”。辐射工作人员再返回控制室，通过监控再次确认无损检测铅房内无人滞留后，再触发 X 射线无损检测装置的出束按钮，工作状态指示灯的红灯亮，显示“照射中”，蜂鸣信号器响。故工作状态指示灯的“预备中”信号持续有足够长的时间，且“预备中”信号、“照射中”信号有明显的区别，该工作场所内无其他报警信号。拟在工作状态指示灯旁边醒目的位置处设置“照射中”和“预备中”信号意义的说明。
	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。	项目各无损检测铅房均拟安装 1 套视频监控装置，配备 6 个摄像头，分别安装在无损检测铅房内不同角落上方，工件防护门外、控制室内，能实现对无损检测铅房内部以及各防护门处的全方位监视。监视器设置在控制室的操作台，可监视无损检测铅房内人员的活动和 X 射线无损检测装置的运行情况。
	6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	项目无损检测铅房防护门上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。	项目 1#无损检测室内外拟配置 7 个紧急停机按钮，另在控制室内专用操作台上安装 1 个紧急停机按钮。2#无损检测室内外拟配置 10 个紧急停机按钮，另在控制室内专用操作台上安装 1 个紧急停机按钮。项目无损检测室内部空间不大，除固定式周向 X 射线检测系统朝向四周照射的情况外，人员在无损检测铅房内，不需要穿过主射线束就能够按下急停按钮，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。	项目无损检测铅房顶部拟各设置 1 台排气扇进行通风换气，设计风量分别约 600m ³ /h、900m ³ /h，内部换气次数分别约 15 次/h、8 次/h。X 射线无损检测装置运行产生的废气经排气扇引出无损检测铅房，而后通过废气管道最终引至室外排放，其排放高度不低于 12m。

续表 10 辐射安全与防护

标准名称	标准要求	项目情况
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	/
	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	项目无损检测铅房拟各配置 1 套固定式场所辐射探测报警装置，剂量探头安装在无损检测铅房内，其监测结果高于设定阈值时，剂量结果显示为红色进行警示。
	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。	中铝科学院拟制定相关制度，要求操作人员检查 X 射线无损检测装置的防护门-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。	中铝科学院拟制定相关制度，要求辐射工作人员工作期间佩戴常规个人剂量计外，若进入无损检测铅房还需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，辐射工作人员应立即退出无损检测铅房，同时防止其他人进入无损检测铅房，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。	中铝科学院拟制定监测计划，定期测量无损检测铅房外周围区域的剂量率水平，包括控制室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，立即终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。
	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。	中铝科学院拟制定监测计划，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。	项目 X 射线无损检测装置的准直器等辐射防护装置与设备一体化设置，探伤工作人员不会随意拆除。
	6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。	中铝科学院拟制定操作规程，规定在每一次照射前，操作人员都需确认无损检测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，才能开始探伤工作。

续表 10 辐射安全与防护

标准名称	标准要求	项目情况
GBZ/T250-2014	6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求	/
	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。	项目无损检测铅房的防护门和空间尺寸均能满足工件进出,不存在开门探伤情形。
	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。	报废 X 射线无损检测装置去功能化,而后按照相关要求处理,保留相关手续,并做好相关记录存档。中铝科学院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。
	3.3 其他要求	/
	3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的防护门。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。	项目 X 射线无损检测装置正常运行期间人员不进入无损检测铅房。1#无损检测铅房设置 1 扇防护门供工件及人员进出,另设置 1 扇防护门进行设备维修。2#无损检测铅房设置 1 扇防护门供工件及设备维修,另设置 1 扇防护门供维修人员进出。
	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。	固定式周向 X 射线系统的有用线束照射不可避免朝向控制室、防护门,其他 X 射线无损检测装置的有用线束照射均避开了控制室、防护门,另操作台布置在控制室内,独立在无损检测铅房外。根据后文计算结果可知,固定式周向 X 射线系统运行出束时,控制室、防护门处的周围剂量当量率均很小,满足相关标准的要求。
	3.3.3 屏蔽设计中,应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	无损检测铅房缝隙采用错位重叠搭接方式,穿墙孔洞均采取铅罩进行屏蔽补偿。
	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。	后文按照已按 X 射线无损检测装置的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。
	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。	项目 X 射线无损检测装置无损检测铅房的屏蔽材料为铅和钢板。

续表 10 辐射安全与防护

标准名称	标准要求		项目情况
GBZ128-2019	5 监测系统和使用要求	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前方,拟为辐射工作人员配备个人剂量计,要求工作人员佩戴在胸口位置。
	7 质量保证	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 X 射线无损检测装置的区域。

根据上表可知,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)《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)的要求。

10.5 三废的治理

项目 X 射线无损检测装置在工作过程中不产生放射性三废。

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铅房以及设备的安装，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厂区现有生化池处理，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 屏蔽能力理论预测
11.1.1 辐射屏蔽核算公式
本次评价使用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 中核算公式。
(1) 有用线束
a) 关注点达到剂量率参考控制水平 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_e 。
$B = \frac{\dot{H}_c \bullet R^2}{I \bullet H_0} \quad (11-1)$
式中：
\dot{H}_c —按标准第 3.1 条确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)；
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 的曲线查出相应的屏蔽透射因子 B。关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按 (11-2) 计算：
$\dot{H} = \frac{I \bullet H_0 \bullet B}{R^2} \quad (11-2)$
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)；

续表 11 环境影响分析

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—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）泄漏辐射和散射辐射屏蔽

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（11-3）计算：

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

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：

$$X = -TVL \cdot \lg B \quad (11-4)$$

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。

②泄漏辐射屏蔽

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

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

式中：

\dot{H}_c —按 3.1 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时

续表 11 环境影响分析

($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

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

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

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 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

③散射辐射屏蔽

a) 关注点达到剂量率参考水平 \dot{H}_c 时, 屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式 (11-7) 计算。然后按式 (4) 计算出所需的屏蔽物质厚度 X 。

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

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;

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)。

续表 11 环境影响分析

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

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

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 , 见附录表 B.1;

B—屏蔽透射因子;

F— R_o 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_o —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 屏蔽防护核算原则

(1) 项目布置在 3#厂房最底层, 无损检测铅房的底部与地面无空隙, 其中 1#无损检测铅房采用 8mmPb 围挡进行补偿, 2#无损检测铅房采用下沉 50mm 进行补偿。故本次评价不对 X 射线无损检测装置底部进行屏蔽防护核算。

(2) DR 检测系统射线管的射线束最大锥角为 40°, 其主射束绝大部分范围落在 1#无损检测铅房南侧屏蔽体内, 仅小部分覆盖东侧、西侧屏蔽体。故 1#无损检测铅房南侧屏蔽体及东、西侧部分屏蔽体在屏蔽效能核算时, 需考虑有用线束直接照射影响; 其余部位屏蔽体则主要考虑泄漏辐射与散射辐射的复合辐射影响。

(3) 便携式定向 X 射线探伤机射线管的射线束最大锥角为 40°, 水平照射时, 主射束绝大部分范围位于 1#无损检测铅房南侧、西侧屏蔽体内, 仅小部分覆盖东侧、北侧屏蔽体。故 1#无损检测铅房南侧、西侧屏蔽体及东侧、北侧部分屏蔽体在屏蔽效能核算

续表 11 环境影响分析

时, 需考虑有用线束直接照射影响; 其余部位屏蔽体则主要考虑泄漏辐射与散射辐射的复合辐射影响。

(4) 在射线束斜穿屏蔽体的情形下, 本次评价将依据屏蔽体被斜穿的实际厚度(通过三角函数计算获取)展开计算。

(5) 无损检测铅房的防护门与同侧屏蔽体具有相同屏蔽能力, 故本评价不对防护门的屏蔽能力进行单独核算。

(6) 无损检测铅房的排风口与电缆口, 在设计布局阶段已避开除固定式周向 X 射线系统外所有 X 射线检测装置的有用线束。针对两处开口, 均配套设置铅罩并形成 Z 或 L 型迷路, 且铅罩屏蔽厚度与同侧屏蔽体保持一致。虽然固定式周向 X 射线系统的有用线束朝向排风口、电缆口, 但 X 射线经迷路多次散射后, 排风口、电缆口的出口处的 X 射线能量小, 对周边环境影响小。因此, 本次评价不再对排风口、电缆口单独开展屏蔽防护核算。

11.1.2 X 射线无损检测装置防护核算主要技术参数

无损检测铅房屏蔽效能核算相关参数见表 11-1 所示。

表 11-1 无损检测铅房屏蔽效能核算相关参数一览表

参数	数 值				来 源
X 射线无损检测装置型号	MesoFocu s 225	MXR-320 /26	MXRP160 C	SHSJ-DR XT-200	设备厂家提供设备参数 GBZ/T250-2014 表 B.1
最大管电压	225kV	320kV	160kV	200kV	
G(mGy·m ² /mA·min)	69.6	82.2	59.1	28.7	
最大管电压对应的管电流	0.9mA	13.125mA	6.25mA	5mA	设备厂家提供设备参数 (最大功率、最大管电压) 进行计算获取
H ₀ (μ Sv·m ² /(mA·h))	4.18×10^6	4.93×10^6	3.55×10^6	1.72×10^6	GBZ/T250-2014 4.1a)
泄漏辐射剂量率 H _L (μ Sv/h)	5×10^3	5×10^3	2.5×10^3	2.5×10^3	GBZ117-2022 表 1
X 射线 90°散射辐射最高能 量相应的 kV 值	200	250	150	150	GBZ/T250-2014 表 2
屏蔽材料	铅				/
主射、漏射	225kV	320kV	160kV	200kV	GBZ/T250-2014 表 B.2 内插计算
其中	什值层 (mm)	2.15	6.20	1.05	
	半值层 (mm)	0.64	1.86	0.32	

续表 11 环境影响分析

参数		数 值			来源
X 射线无损检测装置型号	MesoFocus 225	MXR-320/26	MXRP160C	SHSJ-DRX T-200	/
散射	200kV	250kV	150kV	150kV	GBZ/T250-2014 表 B.2
其中	什值层 (mm)	1.4	2.9	0.96	
	半值层 (mm)	0.42	0.86	0.29	
$\frac{R_0^2}{F \times \alpha}$	50	50	60	50	GBZ/T250-2014 表 B.4.2 保守取值

项目配置的 X 射线无损检测装置中, 仅 SHSJ-DRX T-200 型便携式定向 X 射线探伤机, 可在《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录 B 图 B.1 中查得对应条件(额定电压 200kV、2mmAl 过滤)的透射曲线, 但项目配置的无损检测铅房主要屏蔽厚度不低于 10mmPb, 透射曲线无对应的辐射屏蔽透射因子 B。故本次评价统一采用理论计算公式确定辐射屏蔽透射因子 B。

本次关注点核算距离定义为从辐射源点至无损检测铅房外表面向外延伸 30cm 处的距离。辐射源点的位置, 依据中铝科学院及设备厂家共同确认的 X 射线无损检测装置安装位置确定。

①1#无损检测铅房预测距离

MesoFocus 225 型 DR 检测系统、SHSJ-DRX T-200 型便携式定向 X 射线探伤机均可在 1#无损检测铅房内开展检测作业, 但不同时出来。MesoFocus 225 型 DR 检测系统的主射线方向朝向南侧, 其余方向主要考虑为散射和漏射; 因该系统的射线管固定安装于专用支架, 射线管具备水平(前后、左右)及垂直双向移动功能, 移动范围可达 2000mm×1500mm×1500mm(长×宽×高)。SHSJ-DRX T-200 型便携式定向 X 射线探伤机在 1#无损检测铅房内使用时, 主射方向朝向南侧、西侧及地板, 其余方向主要考虑为散射和漏射。SHSJ-DRX T-200 型便携式定向 X 射线探伤机根据需求摆放, 辐射源点整体移动范围达 1500mm×2500mm×1060mm(长×宽×高)。

1#无损检测铅房关注点详见图 11-1。

续表 11 环境影响分析

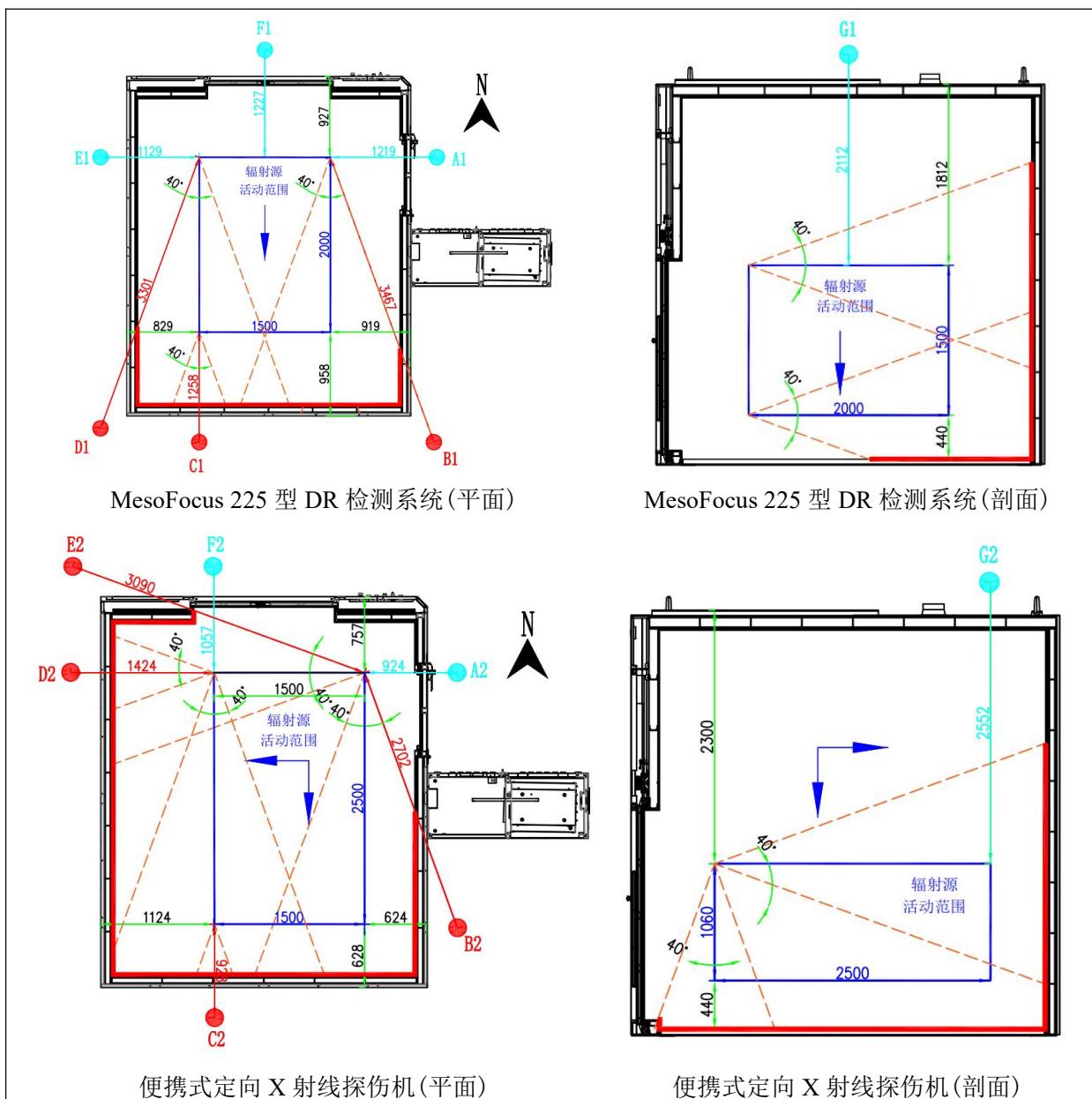


图 11-1 1#无损检测铅房屏蔽核算点位示意图

1#无损检测铅房关注点核算距离见下表。

表 11-2 1#无损检测铅房屏蔽体外各关注点核算距离一览表

关注点位	方位	主要辐射类型	核算距离 mm
MesoFocus 225 型 DR 检测系统			
A1	东	复合辐射 (漏射+散射)	1219
B1		有用线束	3464
C1	南	有用线束	1258
D1		有用线束	3301
E1	西	复合辐射 (漏射+散射)	1129

续表 11 环境影响分析

F1	北	复合辐射（漏射+散射）	1227
G1	顶部	复合辐射（漏射+散射）	2112
SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机			
A2	东	复合辐射（漏射+散射）	924
B2		有用线束	2702
C2	南	有用线束	928
D2	西	有用线束	1424
E2	北	有用线束	3090
F2		复合辐射（漏射+散射）	1057
G2	顶部	复合辐射（漏射+散射）	2552

备注：核算距离由图上直接测量。

②2#无损检测铅房预测距离

MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统、MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统以及 SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机均可在 2#无损检测铅房内开展检测作业，但不同时出束。

MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统的主射线方向为东侧、地面，其余方向考虑为散射和漏射；该系统的射线管固定安装于专用支架，射线管具备水平、垂直双向移动功能以及 0~90° 旋转功能，移动范围可达 1500mm×2000mm（宽×高）。MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统的主射线方向覆盖四周以及地面、顶棚；该系统的射线管固定安装于专用支架，射线管具备水平、垂直双向移动功能以及 0°、90° 切换功能，移动范围可达 1550mm×600mm（宽×高）。SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机在 2#无损检测铅房内使用时间，其主射线方向为东侧、南侧及地板，其余方向考虑为散射和漏射；SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机可根据需求摆放，辐射源点整体移动范围达 1800mm×4600mm×2400mm（长×宽×高）。

2#无损检测铅房关注点详见图 11-2。

续表 11 环境影响分析

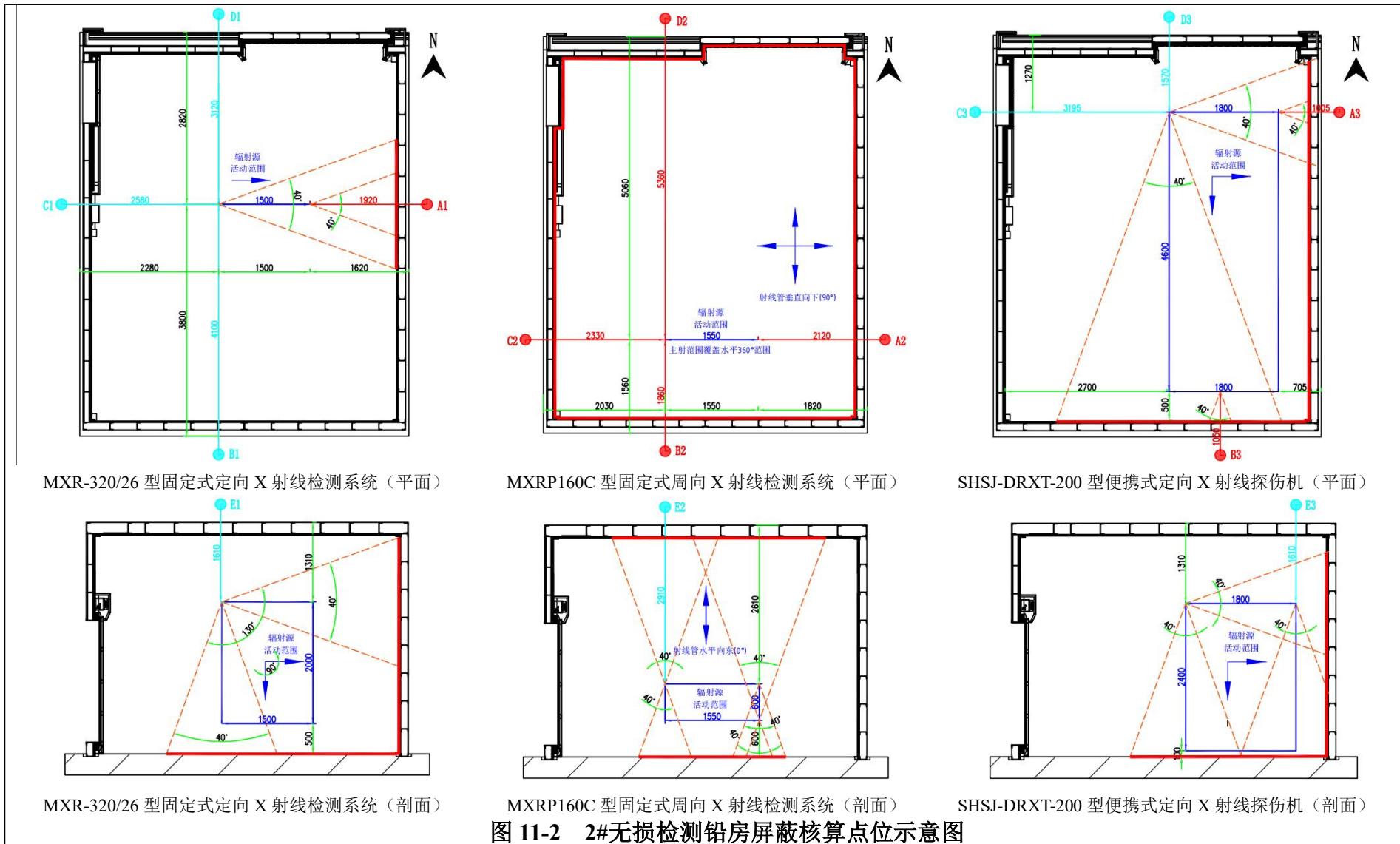


图 11-2 2#无损检测铅房屏蔽核算点位示意图

续表 11 环境影响分析

2#无损检测铅房关注点核算距离下表。

表 11-3 2#无损检测铅房屏蔽体外各关注点核算距离一览表

关注点位	方位	主要辐射类型	核算距离 mm
MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统			
A ₁	东	有用线束	1920
B ₁	南	复合辐射 (漏射+散射)	4100
C ₁	西	复合辐射 (漏射+散射)	2580
D ₁	北	复合辐射 (漏射+散射)	3120
E ₁	顶部	复合辐射 (漏射+散射)	1610
MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统			
A ₂	东	有用线束	2120
B ₂	南	有用线束	1860
C ₂	西	有用线束	2330
D ₂	北	有用线束	5360
E ₂	顶部	有用线束	2910
SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机			
A ₃	东	有用线束	1005
B ₃	南	有用线束	1050
C ₃	西	复合辐射 (漏射+散射)	3195
D ₃	北	复合辐射 (漏射+散射)	1570
E ₃	顶部	有用线束	1610

备注：核算距离由图上直接测量。

11.1.4 防护核算结果

根据上述参数，无损检测铅房屏蔽效能核算结果见表 11-4~11-5。

表 11-4 1#无损检测铅房屏蔽效能核算表

关注点	方位	射线类别	距离 (mm)	计算厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	设计厚度下关注点周围剂量当量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
MesoFocus 225 型 DR 检测系统							
A ₁	东	散射	1.219	6.03	15	9.77×10^{-6}	2.5
		漏射		6.73		3.55×10^{-4}	
B ₁	主射	3.467	10.96	15 (16.0)	1.18×10^{-2}		
C ₁	南	主射	1.258	12.85	15	2.51×10^{-1}	2.5
D ₁	西	主射	3.301	11.05	15 (16.0)	1.30×10^{-2}	2.5

续表 11 环境影响分析

关注点	方位	射线类别	距离 (mm)	计算厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	设计厚度下关注点周围剂量当量率(μSv/h)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)			
MesoFocus 225 型 DR 检测系统										
E ₁	西	散射	1.129	6.12	7.51	15	1.14×10^{-6}	4.15×10^{-4}	2.5	
		漏射		6.87			4.14×10^{-4}			
F ₁	北	散射	1.227	6.02	7.36	15	9.64×10^{-7}	3.51×10^{-4}	2.5	
		漏射		6.72			3.50×10^{-4}			
G ₁	顶	散射	2.112	5.36	600	10	1.21×10^{-3}	2.62×10^{-2}	2.5	
		漏射		2.70			2.50×10^{-2}			
SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机										
A ₂	东	散射	0.924	4.71	5.13	15	4.78×10^{-11}	5.66×10^{-8}	2.5	
		漏射		4.30			5.65×10^{-8}			
B ₂		主射	2.702	7.94	15 (16.0)		4.67×10^{-6}			
C ₂		主射	0.982	9.24	15		1.93×10^{-4}		2.5	
D ₂	西	主射	1.424	8.72	15		8.20×10^{-5}		2.5	
E ₂	北	主射	3.088	7.78	15 (16.0)		3.58×10^{-6}		2.5	
F ₂		散射	1.057	4.60	5.02	15	3.65×10^{-11}	4.32×10^{-8}	2.5	
		漏射		4.13			4.32×10^{-8}			
G ₂	顶	散射	2.552	3.86	4.28	10	1.01×10^{-6}	2.86×10^{-5}	2.5	
		漏射		3.06			2.76×10^{-5}			

备注：括号内的数据为 X 射线斜穿的实际厚度，通过三角函数计算获取。

表 11-5 2#无损检测铅房屏蔽效能核算表

关注点	方位	射线类别	距离 (mm)	计算厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	设计厚度下关注点周围剂量当量率(μSv/h)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)		
MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统									
A ₁	东	主射	1.920	42.45	45	9.69×10^{-1}	2.5		
B ₁	南	散射	4.100	13.02	14.88	32	7.11×10^{-7}	2.05×10^{-3}	2.5
		漏射		12.87			2.05×10^{-3}		
C ₁	西	散射	2.580	14.18	17.22	32	1.80×10^{-6}	5.18×10^{-3}	2.5
		漏射		15.36			5.18×10^{-3}		
D ₁	北	散射	3.120	13.71	16.20	32	1.26×10^{-6}	3.54×10^{-3}	2.5
		漏射		14.34			3.54×10^{-3}		
E ₁	顶	散射	1.610	15.37	19.77	20	6.34×10^{-2}	1.21	2.5
		漏射		17.91			1.15		

续表 11 环境影响分析

关注点	方位	射线类别	距离 (mm)	计算厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	设计厚度下关注点周围剂量当量率(μSv/h)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)
MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统							
A ₂	东	主射	2.120	6.61	45	6.85×10^{-37}	2.5
B ₂	南	主射	1.860	6.73	32	2.14×10^{-24}	2.5
C ₂	西	主射	2.330	6.52	32	1.36×10^{-24}	2.5
D ₂	北	主射	5.360	5.76	32	2.58×10^{-25}	2.5
E ₂	顶	主射	2.910	6.32	20	2.35×10^{-13}	2.5
SHSJ-DRXT-200 型便携式定向 X 射线探伤机							
A ₃	东	主射	1.05	9.15	45	6.13×10^{-26}	2.5
B ₃	南	主射	1.050	9.09	32	1.09×10^{-16}	2.5
C ₃	西	散射	3.915	3.68	32	7.83×10^{-30}	2.5
		漏射		2.79		3.40×10^{-21}	
D ₃	北	散射	1.570	4.27	32	3.24×10^{-29}	2.5
		漏射		3.65		1.41×10^{-20}	
E ₃	顶	散射	1.610	4.25	20	9.75×10^{-17}	2.5
		漏射		3.62		5.00×10^{-12}	

根据上表屏蔽核算结果可知, X 射线无损检测装置分别工作出束时, 无损检测铅房各屏蔽体设计厚度均能满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 及《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 屏蔽防护的要求。

此外, 无损检测铅房顶部的剂量率远小于 2.5μSv/h, 故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。

$$H_{Er} = H_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad \dots \dots \dots \quad (11-9)$$

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;

续表 11 环境影响分析

t: X 或 γ 射线照射时间。

11.2.2 估算结果

(1) 辐射工作人员

项目 X 射线无损检测装置工作出束时, 辐射工作人员在控制室工作。本评价保守考虑, 选取无损检测铅房控制室内关注点处的周围剂量当量率最大核算结果作为辐射工作人员受照剂量, 则辐射工作人员年受照剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6 辐射工作人员剂量估算表

工作场所	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			最大曝光时间 h/周	居留 因子	有效剂量		
						$\mu\text{Sv}/\text{周}$	mSv/a	
控制室	1#无损 检测室	DR 检测系统	3.56×10^{-4}	0.75	37.5	1	4.15×10^{-3}	2.08×10^{-4}
		便携式定向 X 射线探伤机	5.66×10^{-8}	0.30	15.0	1		
	2#无损 检测室	固定式定向 X 射线检测系统	5.18×10^{-3}	0.75	37.5	1		
		固定式周向 X 射线检测系统	1.36×10^{-24}	0.75	37.5	1		
		便携式定向 X 射线探伤机	3.40×10^{-21}	0.20	10.0	1		

备注: 忽略无损检测铅房屏蔽体外的距离衰减。

根据上表估算结果可知, 项目辐射工作人员周附加有效剂量约 $4.15 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}$, 远低于 $100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 的周围剂量参考控制水平, 满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 要求; 年附加有效剂量约 $2.08 \times 10^{-4} \text{mSv}$, 远低于 $5 \text{mSv}/\text{a}$ 的年有效剂量管理目标值, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求。

(2) 公众成员

根据前文预测结果可知, 便携式定向 X 射线探伤机运行出束时, 对 1#无损检测铅房屏蔽体外的辐射环境影响极小, 可忽略不计。固定式周向 X 射线检测系统、便携式定向 X 射线探伤机运行出束时, 对 2#无损检测铅房屏蔽体外的辐射环境影响极小, 可忽略不计。本评价无损检测铅房周围活动的公众成员主要考虑 DR 检测系统、固定式定向 X 射线检测系统, 另无损检测铅房屏蔽体外的辐射剂量主要来源于主射线和漏射线, 散射线带来的辐射影响相对微弱, 可忽略不计。

DR 检测系统、固定式定向 X 射线检测系统全年出束时间均约 37.5h, 周出束时间

续表 11 环境影响分析

均约 0.75h, 公众成员的剂量估算结果见下表。

表 11-7 公众成员剂量估算表

序号	环境保护目标名称	方向	水平距离, m	周围剂量当量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$	居留因子	周有效剂量, $\mu\text{Sv}/\text{周}$	年有效剂量, mSv/a	
1	评片兼资料室、备件室等	1#无损检测铅房与 2#无损检测铅房之间		1.18×10^{-2}	1	1.27×10^{-2}	6.35×10^{-4}	
				5.18×10^{-3}				
2	洗片室	东	约 0~3	9.69×10^{-1}	1	7.27×10^{-1}	3.63×10^{-2}	
	造型制芯单元、办公区、铸件样品区等		约 3~50	1.48×10^{-1}	1	1.11×10^{-1}	5.54×10^{-3}	
	内部道路、绿化		约 44~50	1.69×10^{-3}	1/40	3.18×10^{-5}	1.59×10^{-6}	
4	备件室、预留用房、库房等	南	约 0~50	2.51×10^{-1}	1	1.89×10^{-1}	9.47×10^{-3}	
				2.05×10^{-3}				
5	热处理单元、后处理单元等	西	约 0~50	1.30×10^{-2}	1	9.73×10^{-3}	4.87×10^{-4}	
6	厂房内通道	北	约 0~9	3.50×10^{-4}	1/5	5.84×10^{-4}	2.92×10^{-5}	
				3.54×10^{-3}				
	熔炼浇注单元、造型制芯单元等		约 9~50	5.04×10^{-6}	1	1.80×10^{-4}	8.99×10^{-6}	
				2.35×10^{-4}				
7	厂区道路、绿化		约 20~50	1.17×10^{-6}	1/40	1.23×10^{-6}	6.16×10^{-8}	
				6.45×10^{-5}				
8	市政道路、绿化	上 方	约 40~50	3.10×10^{-7}	1/40	3.54×10^{-7}	1.77×10^{-8}	
				1.85×10^{-5}				
9	行车		高于 3#厂房东北部区域地面 9m	1.71×10^{-5}	1/5	1.09×10^{-2}	5.45×10^{-4}	
				5.28×10^{-4}				

备注: ①保护目标处的剂量率根据保护目标与源点的距离计算。②无损检测铅房东侧环境保护目标仅考虑固定式定向 X 射线检测系统的影响, 西侧仅考虑 DR 检测系统的影响, 其他方位同时考虑固定式定向 X 射线检测系统、DR 检测系统的影响。③同一保护目标存在不同场所与环境条件时居留因子偏大者。

根据上表估算结果可知, 项目公众成员周附加有效剂量约 $7.27 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}$, 远低于 $5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 的周围剂量参考控制水平, 满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 要求; 年附加有效剂量约 $3.63 \times 10^{-2} \text{mSv}$, 低于 $0.1 \text{mSv}/\text{a}$ 的年有效剂量管理目标值, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求。

11.3 对周围环境保护目标的影响分析

根据前文的估算结果, 在项目无损检测铅房屏蔽体周围 50m 范围内, 环境保护目标

续表 11 环境影响分析

处的公众成员因该项目所受到的附加年有效剂量低于 0.1mSv/a 。需要说明的是，此估算仅考量了距离导致的衰减情况，而在实际场景中，X 射线在传播过程中，还会受到墙体等各类屏蔽体的阻挡。鉴于此，该项目对周围 50m 范围内环境保护目标所产生的影响较小，对整体环境的影响处于可接受水平。

11.4 其他影响

(1) 废气对环境影响分析

项目无损检测铅房顶部拟安装排气扇以实现通风换气功能，其设计风量分别为 $600\text{m}^3/\text{h}$ 、 $900\text{m}^3/\text{h}$ ，换气次数分别约 15 次/ h 、8 次/ h ，满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中规定的有效通风换气次数不小于 3 次/ h 的要求。无损检测铅房通过这样的机械排风系统，能够确保无损检测铅房内空气持续流通，使得 X 射线无损检测装置运行过程中产生的少量 O_3 、 NO_x 等废气迅速扩散，有效避免在无损检测铅房内积聚。

X 射线无损检测装置运行产生的废气经排气扇引出无损检测铅房，而后通过废气管道引至厂房屋顶排放，其排放高度不低于 12m ，高于人员日常活动高度，避开了人员活动密集区域。同时，少量含有臭氧、氮氧化物废气不在无损检测铅房内聚集，曝光时产生的废气不会对无损检测铅房内工作的辐射工作人员造成影响。因此，项目产生的废气对周围环境影响微乎其微。

(2) 废水环境影响

项目在运营过程中不产生生产废水，且不新增劳动定员，故无新增生活污水产生。项目产生的生活污水依托中试基地现有的生化池进行预处理，预处理后的污水水质满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级标准的要求，随后通过市政污水管网进入西彭园区污水处理厂进行深度处理，满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准后排入桥头河，最终进入长江。因此，项目对地表水环境的影响较小。

(3) 噪声影响

项目无损检测铅房各设置 1 套排气扇进行机械通风，排气扇噪声值一般低于 60dB(A) ，为低噪声设备，安装在无损检测铅房顶部内侧，风机噪声经厂房墙体隔声后对厂界噪声的贡献较小，对项目所在区域声环境影响较小。

续表 11 环境影响分析

(4) 固废环境影响

①一般固废

项目不新增劳动定员，故无新增生活垃圾。调配培养的 4 名辐射工作人员所产生的生活垃圾，将依托原有的生活垃圾收集系统进行收集，随后交由环卫部门统一处理。报废 X 射线无损检测装置去功能化，而后按照相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

②危险废物

项目固定式定向 X 射线检测系统更换下来的废冷却油以及洗片产生的洗片废液（废定影液、废显影液）、洗片废水分类暂存在危险废物贮存点的废液桶内，定期交由有相应危险废物处置资质的单位处理。报废胶片、合格胶片均储存在评片兼资料室内，报废胶片以及存档到期的胶片定期交由有相应危险废物处置资质的单位处置。

项目依托的危险废物贮存点位于样品储存库旁，有效使用面积约 10m²，能满足该项目的危废贮存需求。该危险废物贮存点拟按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的要求规范建设与日常维护，规范设置危险废物识别标识，全面落实防风、防雨、防晒、防渗漏“四防”措施，项目可直接依托。

综上所述，中铝科学院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。

11.5 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。

项目运用 X 射线无损检测装置技术，旨在对工件开展无损质量检测，以保障产品质量及使用安全。借助 X 射线无损检测装置实施工件质量检测，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，掌握工件质量状况，具有明显的社会效益，同时也将为中铝科学院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

续表 11 环境影响分析

正当性”的原则与要求。

11.6 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》， “第一类 鼓励类” 中“三十一 检验检测服务”，项目 X 射线无损检测装置用于开展工件无损探伤检测，属于产业结构的鼓励类。项目建设符合国家相关法律法规和政策规定，符合国家的产业政策。

11.7 事故影响分析

（1）风险事故类型

项目中可能出现最大可信的辐射事故便是人员误照射情况，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

若门机联锁装置失效，将引发三类辐射安全风险：其一，防护门处于开启状态时，X 射线无损检测装置仍可能启动出束；其二，X 射线无损检测装置运行出束期间，防护门意外开启；其三，无损检测铅房的多台 X 射线无损检测装置同时运行出束。前两种异常工况均会致使射线外泄，进而使周边活动的辐射工作人员、公众受到误照射；后一种异常工况会致使无损检测铅房屏蔽体外的周围剂量当量率增大。

②人员滞留在无损检测铅房内

在工作流程中，工作人员或设备维修人员经防护门进入无损检测铅房。然而，在 X 射线无损检测装置开机出束前，相关工作人员并未对无损检测铅房内部状况予以确认，致使有人员滞留其中，进而造成滞留人员受到误照射。

③屏蔽体出现膨胀变形

项目 X 射线无损检测装置的无损检测铅房各屏蔽体经长时间使用，受铅自重等因素影响，屏蔽体搭接处以及铆钉部位可能出现空隙变大的问题。一旦这种情况发生，X 射线就有泄漏风险，进而导致无损检测铅房周边人员遭受意外的辐射照射。

④维修时误操作

当无损检测铅房的防护门打开进行维修时，辐射工作人员进行误操作，致使 X 射线无损检测装置曝光出束，造成射线外泄，可能对工作人员及公众成员产生较大剂量照射。

（2）后果分析

续表 11 环境影响分析

①安全联锁装置失效

根据前文预测结果可知, 固定式周向 X 射线检测系统、便携式定向 X 射线探伤机运行出束时, 对无损检测铅房屏蔽体外的辐射环境影响极小。因此, **联锁盒装置**失效情况下, 导致无损检测铅房内的多台 X 射线无损检测装置同时运行出束, 对其屏蔽体外的辐射环境影响基本无变化。

门机联锁装置失效情况下, X 射线无损检测装置出束时防护门未关闭或被意外开启, X 射线外泄导致无损检测铅房外人员受到误照射, 致使无损检测铅房外部人员遭受误照射, 可在事故发生的第一时间按下急停按钮, X 射线无损检测装置停止出束。针对此类事故情景的后果估算详见下表。

表 11-8 安全联锁装置失效事故后果估算表

X 射线无损检测装置	射线类型	预测距离	防护门外最大剂量率	误照射时间	吸收剂量 (mGy)
1#无损检测铅房					
DR 检测系统	散射漏射	1.219m (检修防护门)	$5.40 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$	10s (反应时间)	1.50×10^{-1}
				30s (反应时间)	4.50×10^{-1}
				2min (单次最长照射时间)	1.80
便携式定向 X 射线探伤机	散射漏射	0.924m (检修防护门)	$2.05 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$	10s (反应时间)	5.68×10^{-1}
				30s (反应时间)	1.71
				5min (单次最长照射时间)	17.05
2#无损检测铅房					
固定式定向 X 射线检测系统	散射漏射	3.071m (人员防护门)	$1.38 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$	10s (反应时间)	3.83×10^{-1}
				30s (反应时间)	1.15
				2min (单次最长照射时间)	4.59
固定式周向 X 射线检测系统	主射	5.201m (人员防护门)	$8.19 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$	10s (反应时间)	2.28
				30s (反应时间)	6.83
				2.0min (单次最长照射时间)	27.31
便携式定向 X 射线探伤机	散射漏射	1.570m (工件防护门)	$7.09 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$	10s (反应时间)	1.97×10^{-1}
				30s (反应时间)	5.91×10^{-1}
				5min (单次最长照射时间)	5.91

②人员滞留在无损检测铅房内

人员滞留在无损检测铅房内, 存在因有用线束误照射而遭受辐射的风险。此类事故

续表 11 环境影响分析

一旦发生，滞留于无损检测铅房内人员或控制室的操作人员可立即按下急停按钮，来实现停止 X 射线无损检测装置出束的操作。X 射线无损检测装置出束前，无损检测铅房内外的工作状态指示灯、蜂鸣器声音提示装置均会进行警示；X 射线无损检测装置出束后，工作状态指示灯、红色报警灯均会进行警示。故 X 射线无损检测装置出束运行后，滞留人员能快速触发紧急停机按钮。极端工况下，若工作状态指示灯、蜂鸣器同步失效，本次分析按人员滞留无损检测铅房受照时间为单次最大照射时间进行核算。假定人员在距 X 射线无损检测装置辐射源点 1m 处受到主射线误照射，其辐射照射后果估算详见下表。

表 11-9 人员滞留无损检测铅房事故后果估算表

X 射线无损检测装置	X 射线无损检测装置主射方向上 1m 处的辐射剂量率	误照射时间	吸收剂量 mGy
DR 检测系统	$3.76 \times 10^6 \mu\text{Gy}/\text{h}$	10s (反应时间)	10.44
		2.0min (单次最大照射时间)	125.28
固定式定向 X 射线检测系统	$6.47 \times 10^7 \mu\text{Gy}/\text{h}$	10s (反应时间)	179.81
		2.0min (单次最大照射时间)	2157.75
固定式周 X 射线检测系统	$2.22 \times 10^7 \mu\text{Gy}/\text{h}$	10s (反应时间)	61.56
		2.0min (单次最大照射时间)	738.75
便携式定向 X 射线探伤机	$8.61 \times 10^6 \mu\text{Gy}/\text{h}$	10s (反应时间)	23.92
		5.0min (单次最大照射时间)	717.50

③屏蔽体膨胀变形

若 X 射线无损检测装置的无损检测铅房屏蔽体发生膨胀变形却未被察觉，X 射线无损检测装置运行产生的 X 射线便可能未经有效屏蔽，对无损检测铅房外人员造成误照射。在此情况下，有用线束会致使 X 射线无损检测装置左侧外部的剂量率达到最大值。若辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪，此类事故极易被发现，一旦报警，辐射工作人员及时按下急停按钮，X 射线无损检测装置就能立刻停止出束。假设辐射工作人员当天未使用 X-γ 辐射巡检仪对无损检测铅房屏蔽体的辐射剂量进行检测，那么此类事故情景所产生的后果估算详见下表。

表 11-10 无损检测铅房屏蔽体膨胀变形事故后果估算表

事故情景	预测距离	屏蔽体外最大剂量率 (主射方向)	日最大误照射时间	吸收剂量
------	------	------------------	----------	------

续表 11 环境影响分析

1#无损检测铅房					
DR 检测系统	1.258m	$2.37 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$	0.20h	0.47Gy	5.47Gy
便携式定向 X 射线探伤机	0.928m	$1.00 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$	0.50h	5.00Gy	
2#无损检测铅房					
固定式定向 X 射线检测系统	1.920m	$1.76 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$	0.20h	3.51Gy	7.63Gy
固定式周向 X 射线检测系统	1.860m	$6.41 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$	0.20h	1.28Gy	
便携式定向 X 射线探伤机	1.005m	$8.52 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$	0.33h	2.84Gy	

备注: 便携式定向 X 射线探伤机在 1#无损检测铅房内日曝光出束次数不超过 6 次, 在 2#无损检测铅房内日曝光出束次数不超过 4 次; 其他 X 射线无损检测装置在各无损检测铅房日曝光出束次数约 6 次, 日最大误照射时间按照单次最大曝光时间考虑。

⑤维修时误操作

当无损检测铅房的防护门打开进行维修时, 辐射工作人员进行误操作时存在两种情况, 一种是维修人员在无损检测铅房内被误照射, 一种是无损检测铅房内无人, 防护门外的公众成员被误照射。维修人员维修期间佩戴有个人剂量报警仪, X 射线无损检测装置曝光出束后, 维修人员能立即反应触发紧急停机按钮; 另 X 射线无损检测装置曝光出束后, 固定式辐射剂量仪的剂量监测结果将超过报警阈值, 辐射工作人员能立即反应触发紧急停机按钮。若维修人员、辐射工作人员未能及时发现 X 射线无损检测装置曝光出束, 误照射时间考虑为 X 射线无损检测装置单次最长曝光时间。防护门未关闭, X 射线无损检测装置曝光出束, 导致防护门外公众成员误照射的事故, 其后果预测分析结果见前文表 11-8; 防护门未关闭, X 射线无损检测装置曝光出束, 导致无损检测铅房内维修人员误照射的事故, 其后果预测分析结果见前文表 11-9。

(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。

续表 11 环境影响分析

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。

(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》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。

项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。项目配置的 X 射线无损检测装置属于II类射线装置, 其事故工况造成误照射时可能使人员受到较大剂量的辐射照射。经环评估算, 在事故工况下人员可能受到超过年剂量限值的照射, 即造成一般辐射事故的发生; 项目 X 射线无损检测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; 经环评分析, 运行期间可能发生的最严重事故为 X 射线无损检测装置出束时, 人员滞留在无损检测室内, 辐射照射所致受照射人员的最大辐射剂量为 2.16Gy (固定式定向 X 射线检测系统的主射线照射 2min), 使受照射人员产生较严重的放射损伤。若无损检测铅房屏蔽体出现膨胀变形而未发现造成多次误照射等极端事故时, 其辐射照射所致人员的最大辐射剂量为 6.92Gy, 导致较为严重的辐射损伤甚至死亡, 造成较大及以上级别辐射事故的发生。

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切断 X 射线无损检测装置的高压，确保其停止出束。中铝科学院应采取以下措施防范风险事故发生。

①定期对 X 射线无损检测装置及无损检测铅房的各项安全设施进行检查，包括门机联锁、主控钥匙、安全光栅、急停按钮、工作状态指示灯、蜂鸣器以及红色报警灯等，确保其有效性。一旦发现故障，需及时予以排除，严格禁止任何违规操作行为。针对项目中涉及安全控制措施的各机构与电控系统，应制定完善的定期检查及维护制度，以确保安全装置始终处于正常工作状态。若辐射安全与防护措施出现损坏，必须立即停止相关设备的使用，直至修复完毕并经检测合格后，方可再次投入使用。

②在操作 X 射线无损检测装置时，务必严格遵循操作规程。X 射线无损检测装置出束前，需仔细确认无损检测铅房内无人员滞留，确认无误并关闭防护门后，方可进行出束操作。若在 X 射线无损检测装置出束过程中，发现有人滞留于铅房内，应第一时间按下急停按钮，即刻终止出束，以保障人员安全。

③在日常工作以及开展设备维修作业时，辐射工作人员需严格依照要求，规范佩戴个人剂量计与个人剂量报警仪。当辐射工作人员进入无损检测铅房内部进行维修操作时，除上述装备外，还必须额外携带便携式 X- γ 辐射剂量率仪，以确保整个工作过程的安全可控。

④为确保无损检测铅房始终具备足够的屏蔽能力，使用便携式 X- γ 辐射剂量率仪定期对其屏蔽效能展开巡查，并做好相关记录。巡查过程中，要着重针对铅房的防护门门缝、穿墙管线孔等防护较为薄弱的环节进行重点检测。一旦发现任何问题，必须即刻予以解决，严禁在屏蔽体存在问题的情况下继续开展作业。

⑤辐射工作人员需持续深化专业知识学习，积极参与防护知识培训，坚决杜绝常识性错误。在职业道德层面，应着力提升自身修养，切实增强责任感，在工作中一丝不苟地严格遵循操作规程与规章制度。与此同时，管理人员必须强化管理力度，确保无损探伤检测工作依照相关要求开展。

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

（1）辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》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。

中铝科学院拟按照上述要求成立辐射安全管理领导小组，并明确职责；设置 1 名专职辐射安全管理员，其学历在本科以上，主要负责中铝科学院的辐射防护管理工作。

辐射安全管理领导小组的管理工作主要涉及以下几个方面：

- ①全面负责辐射安全防护管理工作，制定辐射防护安全管理制度。
- ②负责环保手续办理及相关事项，如许可证申领、人员培训、个人剂量送检、职业健康体检等，并做好个人剂量计监测档案、健康体检档案、培训档案的管理。
- ③负责日常防护设备维护，制定辐射事故应急预案，编制并按要求报送辐射安全年度评估报告。

（2）辐射工作人员配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《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》相关要求，辐射安全与防护培训需求的人员可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。

项目拟配置 4 名辐射工作人员，其数量满足项目开展的需求。辐射工作人员拟按照上述要求进行辐射防护与安全培训，考核合格后方可上岗，并在到期前及时参加再培训以及考核。

12.2 辐射安全管理规章制度

（1）辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同

续表 12 辐射安全管理

位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。

中铝科学院承诺在项目建成运营前，拟按照相关规定制定相应的管理制度。

（2）个人剂量管理

中铝科学院拟制定个人剂量管理制度，对辐射工作人员的个人剂量进行管理。中铝科学院拟为辐射工作人员建立个人剂量档案，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。发现个人剂量监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。辐射工作人员个人剂量档案终身保存。另外，辐射工作人员在岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量计相互传借，不允许将个人剂量计带出中铝科学院。

（3）职业健康体检

中铝科学院拟制定职业健康体检管理制度，对辐射工作人员的职业健康体检进行管理。辐射工作人员上岗前，中铝科学院按规定进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。从事辐射工作期间，中铝科学院拟制定管理制度组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，拟按照规定脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。

（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、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。

中铝科学院拟严格遵循国家辐射安全管理法规及行业标准，将年度评估纳入管理制度中，系统开展年度辐射安全评估工作，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。年度评估报告包括射线装置台账、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、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

续表 12 辐射安全管理

（5）档案管理

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十一条规定：放射性同位素与射线装置台账、个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存。《重庆市辐射污染防治办法》第十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当依法建立生产、销售、使用台账和辐射工作人员培训及个人剂量等档案，编写安全和防护状况年度评估报告，并按照规定在国家核技术利用辐射安全管理系统中及时申报和更新相关信息。

辐射安全与防护管理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”。

中铝科学院拟按照上述要求建立辐射安全与防护管理档案，按照相关要求建立档案，并分类归档，确保档案信息完整、准确，并按照法规要求进行妥善保存。

（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重庆国合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。

中铝科学院拟建立辐射环境安全管理体系，设立核安全保障机构，明确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；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。

续表 12 辐射安全管理

具体操作参考如下：

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

12.3 从事辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中铝科学院从事辐射活动能力评价见下表 12-1。

表 12-1 从事辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用II类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作	拟设立专门的辐射安全与环境保护管理领导小组
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	拟制定相关制度，要求辐射工作人员在通过辐射防护与安全考核后，方可上岗
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	拟设置主控钥匙、门机联锁、紧急停机按钮、声光报警装置、电离辐射警告标志、监视系统、剂量监测系统等设备及措施
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等	待项目建成运营前，制定相关制度，将按照相关规定和要求完成，并将相应制度张贴上墙
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	拟在无损检测铅房内安装固定式 γ 剂量监测仪，配置X、 γ 环境辐射剂量仪；为辐射工作人员配置个人剂量计、个人剂量警报仪等
有完善的辐射事故应急措施	拟按照相关规定和要求制定辐射事故应急预案及风险防范措施。

待中铝科学院全部落实上述各项要求后，方能具备从事项目辐射活动的能力，并取得辐射安全许可证后方可投入正式运行。

12.4 监测计划

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、X射线无损检测装置工作场所外的环境监测，开展常规防护监测工作。

续表 12 辐射安全管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）以及行政管理要求，中铝科学院拟制定监测方案，其监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测、竣工环境保护验收监测。

（1）个人剂量监测

按照《职业性外照射个人监测规范》相关要求，中铝科学院委托有资质的单位定期对所有辐射工作人员进行个人剂量监测（常规监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月），并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，并对职业照射个人监测档案终身保存。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。

中铝科学院拟对辐射工作人员进行个人剂量监测。若辐射工作人员季度个人剂量监测数据超过1.25mSv，要开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于全年累计监测数值超过5mSv的辐射工作人员，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关。此外，中铝科学院在每年上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

（2）工作场所及周围环境辐射监测

中铝科学院根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）以及X射线无损检测装置的特点，拟制定以下监测方案：

①企业自检

实时监测：中铝科学院拟配置2套固定式 γ 辐射剂量仪，各配置1个 γ 辐射剂量探头，分别安装在各无损检测铅房内侧。 γ 辐射剂量探头的监测结果高于设定阈值，会在操作台的显示器中进行警示。

常规定期监测：中铝科学院拟配置1台X、 γ 辐射环境剂量仪用于X射线无损检测装置工作场所及周围环境的辐射剂量监测。中铝科学院拟制定的常规定期监测内容及频次见表12-2。

表 12-2 定期监测内容一览表

监测点	监测项目	控制水平	监测频率
无损检测铅房的屏蔽体30cm处以及屏蔽薄弱处	周围剂量当量率	2.5 μ Sv/h	1次/月

续表 12 辐射安全管理

(2) 委托监测

① 常规定期委托监测

中铝科学院委托有资质的单位定期对辐射工作场所的放射性水平进行监测，监测内容与定期监测内容一致，详见表 12-2，监测频率为 1 次/年。

② 设备维修后委托监测

X 射线无损检测装置大修或者无损检测铅房的屏蔽防护方案发生变化后，均委托有资质的单位对辐射工作场所的放射性水平进行监测，监测内容与定期监测内容一致，详见表 12-2。监测结果交生态环境主管部门存档。

(3) 竣工环境保护验收监测

项目建成投运前，中铝科学院委托有资质的单位对辐射工作场所的放射性水平进行竣工环境保护验收监测。验收监测时，X 射线无损检测装置运行至最大的辐射发射率状态，并在辐射防护人员的参加下，对有关区域进行全面的辐射水平测量，做出辐射安全状况的评价。竣工环境保护验收监测内容与定期监测内容一致，详见表 12-2。

12.5 安全检查维护

中铝科学院拟按照相关法规及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求，对 X 射线无损检测装置进行安全检查维护，建立相应的检查维护制度。安全检查维护内容详见下表。

表 12-3 安全检查维护要求

类型	对象	内容	频次
检查	X 射线无损检测装置	<ul style="list-style-type: none">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
维护	X 射线无损检测装置	<ul style="list-style-type: none">a) X 射线无损检测装置的彻底检查和所有零部件的详细检测。b) 当 X 射线无损检测装置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。c) 应做好设备维护记录。	每年

续表 12 辐射安全管理

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》和《重庆市辐射污染防治办法》的要求，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。

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。

项目使用 II 类射线装置，可能发生的辐射事故主要为人员受到误照射，导致辐射工作人员和公众成员受照剂量超过年剂量照射限值，甚至可能导致人员死亡，造成较大及以上级别辐射事故的发生。

中铝科学院拟在项目建成运行前制定《辐射事故应急预案》，预案应包括应急机构组织、应急准备与响应程序、应急处置保障措施、应急报告相关电话、应急能力的培训、演习和应急响应能力的保持等，提升应急预案的针对性、可行性和可操作性。中铝科学院还应按照《辐射事故应急预案》要求，定期组织辐射事故应急演习，并做好演习记录。

12.6.2 事故应急程序与措施

（1）事故报告程序

根据项目的辐射事故等级，一旦发生辐射事故，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

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。对可能受到辐射伤害人员，中铝科学院应当立即将其送至当地卫生行政部门指定的医院或者有条件救治辐射损伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求中铝科学院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

续表 12 辐射安全管理

(3) 辐射事故后处理

中铝科学院应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

项目环保投资约 35 万元，环保投资估算表见表 12-4。

表 12-4 环保投资估算

内容	措施	投资（万元）
管理制度、应急预案、警告标志	制度上墙，张贴规范	1.0
辐射防护与安全措施	屏蔽墙体、防护门、屏蔽补偿、门机联锁、工作状态指示灯和声音提示装置、紧停按钮、监控、警告标志、分区标识、防夹装置等	23.0
防护监测设备	个人剂量计、个人辐射报警仪、固定式场所辐射探测报警装置、X-γ 辐射巡检仪	5.0
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	6.0
合计		35.0

12.8 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》的要求，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，中铝科学院应按照有关法律法规及《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。项目竣工环境保护验收要求见表 12-5。

表 12-5 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 DR 检测系统（II类射线装置）：最大管电压 225kV，最大管电流 2mA；安装在 1#无损检测铅房； 1 台固定式定向 X 射线检测系统（II类射线装置）：最大管电压 320kV，最大管电流 46.5mA；安装在 2#无损检测铅房； 1 台固定式周向 X 射线检测系统（II类射线装置）：最大管电压 160kV，最大管电流 15.5mA，安装在 2#无损检测铅房； 1 台便携式定向 X 射线探伤机（II类射线装置）：最大管电压 200kV，固定管电流 5mA；可灵活在两间无损检测铅房内切换使用。 同一无损检测铅房内的 X 射线无损检测装置不同时出束。	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

续表 12 辐射安全管理

序号	验收内容	验收要求		备注	
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 $\leq 5\text{mSv/a}$; 公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$	GB18871-2002 GBZ/T250-2014	
		人员在关注点的周围剂量参考控制水平	职业工作人员: $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$; 公众: $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014	
		屏蔽体外剂量率控制	无损检测铅房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$		
5	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。			
6	危险废物	危险废物交由有相应危险废物处置资质单位处置, 签订相应处置协议, 建立危险废物产生与处置台账。			
7	辐射安全防护措施	联锁控制: 各无损检测铅房配置联锁控制盒, 保证只能有单台 X 射线无损检测装置工作出束; 门机联锁: X 射线无损检测装置与无损检测铅房设置门—机联锁装置; 声光警示: 无损检测铅房内外设置显示“预备”和“照射”的工作状态指示灯、声音提示装置、红色报警灯, 并与 X 射线无损检测装置联锁; 警告标志: 各无损检测铅房的各防护门上设置有电离辐射警告标志和中文警示说明; 主控钥匙: DR 检测系统、固定式定向 X 射线检测系统、固定式周向 X 射线检测系统的操作台上设置有防止非工作人员操作的主控钥匙; 便携式定向 X 射线探伤机配套的便携式高压发生器控制器上设置有防止非工作人员操作的主控钥匙; 紧急停机: 无损检测铅房内外和操作台设置紧急停机按钮, 按下任意一个按钮, X 射线无损检测装置高压电源立即被切断, 并停止出束; 防护门控制开关: 无损检测铅房的工件防护门、人员防护门外一边设置有防护门控制开关, 用于控制工件防护门、人员防护门的开闭。检修防护门为手拉平开门, 能手动控制开闭; 应急开门按钮: 无损检测铅房的工件防护门、人员防护门内侧设置应急开门按钮, 按下应急开门按钮, 相应防护门能开启; 停电状态下, 人员防护门、检修防护门可手动拉开; 机械通风: 无损检测铅房设置机械通风, 有效通风换气次数不小于 3 次/h; 视频监控: 无损检测铅房内设置视频监控系统, 能全方位不留死角地监控无损检测铅房内部和防护门的情况; 监测设备: 每名辐射工作人员各配置 1 枚个人剂量计、个人剂量报警仪, 配置有 2 套固定式场所辐射探测报警装置, 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率仪。			

表 13 结论和建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

中铝科学院拟在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地 3#厂房东北部区域中试平台的检测分析单元实施“大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（辐射部分）”，总建筑面积约 200m²，主要布置无损检测铅房（2 间）、控制室、洗片室、评片兼资料室、备件室等，并拟配置 4 台 X 射线无损检测装置（II类射线装置）对铸件样品进行 X 射线无损检测，不对外提供无损检测服务。

项目拟配置的 MesoFocus 225 型 DR 检测系统（定向，最大管电压 225kV，最大管电流 2mA）采用数字成像技术，固定在 1#无损检测铅房内使用；MXR-320/26 型固定式定向 X 射线检测系统（定向，最大管电压 320kV，最大管电流 46.5mA）采用胶片成像技术，固定在 2#无损检测铅房内使用；MXRP160C 型固定式周向 X 射线检测系统（周向，最大管电压 160kV，最大管电流 15.5mA）采用胶片成像技术，固定在 2#无损检测铅房内使用；SHSJ-DRXT-200 型便携式定向探伤机（定向，最大管电压 200kV，最大管电流 5mA）采用胶片成像技术，可在两间无损检测铅房内使用，日常存放在 2#无损检测铅房内。另同一无损检测铅房内的多台 X 射线无损检测装置均不同时出束。

项目总投资约 325 万，其中环保投资约 35 万；项目建设工期预计 1 个月。

13.1.2 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》“第一类 鼓励类”中“三十一 检验检测服务”，项目配置的无损检测射线装置用于铸件样品无损检测，属于产业结构的鼓励类。项目建设符合国家相关法律法规和政策规定，符合国家的产业政策。

13.1.3 实践正当性

项目使用 X 射线无损检测装置开展工件的无损探伤检测作业，对中铝科学院生产的产品质量保证起到十分重要的作用，具有明显的社会效益，其带来的综合效应远大于可能产生的辐射环境影响及潜在辐射危害，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

项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率的监测值在 51nGy/h~59nGy/h（未扣除宇宙射

续表 13 结论和建议

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

项目所在重庆市九龙坡区西彭组团 D 分区 D84-1-1/06 地块中试基地配套建设有空压站、配电站、生化池、危险废物贮存点等设施,同时具备完善的供电、供水、排水等公用工程系统,项目可直接依托。3#厂房功能分区明确,仅中铝科学院、重庆国创研究院两个单位的人员活动,人员构成单一且流动性低。中铝科学院按工艺顺序布局各单元,X 射线检测装置位于检验分析单元铅房内,契合工艺流转路径;另检验分析单元四周毗邻热处理单元、造型制芯单元的 3D 打印区以及内部通道、预留用房等功能区,下方为实土层,周边无公众密集活动,不属于人流密集区域,便于辐射安全管控。项目场址的辐射剂量背景监测结果表明,其辐射环境质量现状良好,能满足项目的建设需求。因此,项目选址可行。

项目无损检测铅房及配套功能用房布置齐全,可满足检测全流程需求;X 射线无损检测装置的操作台外置,布置于无损检测铅房外的控制室内,保障辐射工作人员的操作安全。固定式周向 X 射线检测系统的主射方向覆盖四周以及地面、顶棚区域,不可避免朝向工件防护门,但因辐射源点与工件防护门间距较远,且射线能量最大仅 160kV,工件防护门的屏蔽压力相对较低,其余 X 射线无损检测装置的主射方向均避开了控制室、防护门,且无损检测铅房周围紧邻区域无公众活动的密集区域。项目无损检测铅房内部空间开阔,可满足 X 射线无损检测装置的布设与操作需求。无损检测铅房均设 2 个防护门,分工明确且朝向合理,便于样品转运和人员通行。综上,项目平面布局合理。

13.1.6 辐射防护与安全措施

(1) 中铝科学院拟对 X 射线无损检测工作场所进行分区管理,无损检测铅房内部设为控制区,周围紧邻区域设为监督区,并采取相应的分区管理措施。

(2) X 射线无损检测装置自带多种固有安全性,如:开机时系统自检、温度保护、过失电流保护、过电压保护、继电保护等,能很好地保证 X 射线无损检测装置自身的稳定性和安全性。

(3) 无损检测铅房的屏蔽防护结构均采用铅与钢组合,能对 X 射线无损检测装置运行产生的 X 射线进行有效屏蔽。1#无损检测铅房四周的屏蔽体(含防护门、线缆铅罩)

续表 13 结论和建议

厚度均为 15mmPb，顶部屏蔽体（排气扇铅罩）为 10mmPb，下方围挡屏蔽体宽 130mm，高 50mm，厚度达 8mmPb。2#无损检测铅房四周屏蔽体底部下沉 50mm，其东侧屏蔽体厚度为 45mmPb，顶部屏蔽体（排气扇铅罩）为 20mmPb，其他屏蔽体（含防护门、线缆铅罩）厚度为 32mmPb。此外，无损检测铅房屏蔽体之间设置足够宽度的搭接区域避免射线泄漏。

（4）项目 X 射线无损检测装置拟设计建设具有冗余性、多元性与独立性的辐射防护安全联锁设施与措施，包括主控钥匙、门机联锁、紧急停机按钮、工作状态指示灯、声音提示装置、红色报警灯、视频监视装置、电离辐射警告标志和中文警示说明、安全光栅、固定式 γ 剂量监测仪等辐射安全防护措施，并配备符合开展项目要求的个人剂量报警仪、个人剂量计以及 X、 γ 环境辐射剂量仪等。

（5）无损检测铅房拟配备机械排风系统，保障其内部通风状况良好。

综上所述，项目拟采取的辐射安全与防护措施能满足《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）的相关要求。

13.1.7 环境影响结论

根据核算，2 间无损检测铅房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，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 $\leq 5\text{mSv/a}$ ，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。此外，项目所致铅房周围 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。

项目产生的少量含有臭氧、氮氧化物废气经排气扇引出无损检测铅房，而后通过废气管道引至厂房屋顶排放，其排放高度不低于 12m。因此，少量含有臭氧、氮氧化物废气不在检验分析单元内聚集，不会对工作人员造成影响。废气排放口避开了人员活动密集区，废气对周围环境影响小。

项目产生的危险废物主要为废冷却油、洗片废液、洗片废水、报废以及存档到期的胶片，拟交由有相应危险废物处置资质单位收集和处置。报废 X 射线无损检测装置去功能化，而后按照相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。工作人员产生的生活污水依托中试基地现有生化池处理，生活垃圾依托原有收运系统收集后交环卫部门

续表 13 结论和建议

统一处置，对环境影响小。

13.1.8 辐射环境管理

中铝科学院拟成立辐射安全防护管理领导小组负责辐射安全与环境保护管理，并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》，并在许可的种类和范围内从事辐射活动。中铝科学院拟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。

13.1.9 辐射环境风险

项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。无损检测射线装置属于Ⅱ类射线装置，其事故工况造成误照射时可以使受照射人员产生较严重的放射损伤。环评估算，事故工况下人员可能受到超过年剂量限值的照射，即造成一般辐射事故的发生；运行期间可能发生的严重事故为门机联锁等安全联锁装置失效而未发现、人员误入或维护维修等滞留在铅房内，以及铅房屏蔽体膨胀变形而未发现造成多次或较长时间误照射等极端事故时，其辐射照射所致人员的最大辐射剂量为 6.92Gy，可能导致较为严重的放射损伤甚至死亡，造成较大及以上级别辐射事故的发生。中铝科学院通过对无损检测射线装置的辐射安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，核实各项管理制度的执行情况，要求辐射工作人员定期参加辐射安全与防护知识的培训，正确操作设备，正确佩戴个人剂量仪、个人剂量报警仪等措施后，项目风险可控。

13.2 综合结论

中铝科学技术研究院有限公司拟建的大型复杂优质铝基零部件反重力铸造研发中试平台（辐射部分）符合国家产业政策，选址可行、布局合理。在完善相应的污染防治措施和环境管理措施后，辐射环境风险可控。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。



附图一 拟建项目地理位置图