核技术利用建设项目
系统成套平台技改项目（探伤部分）
环境影响报告表

建设单位：重庆水泵厂有限责任公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2025 年 4 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

系统成套平台技改项目（探伤部分）

环境影响报告表

建设单位名称：重庆水泵厂有限责任公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：重庆市沙坪坝区井口工业园区井盛路 8 号

邮政编码：400033　　　　联系人：李培华

电子邮箱：liph@cqpump.com　　　　联系电话：132*******4

打印编号：1745291955000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	f8q511
建设项目名称	系统成套平台技改项目（探伤部分）
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）	重庆水泵厂有限责任公司
统一社会信用代码	915001062030514I4C
法定代表人（签章）	李方忠
主要负责人（签字）	李培华
直接负责的主管人员（签字）	袁坤
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	BH001035	肖英

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
刘露丹	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	BH002262	刘露丹

目　录

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">系统成套平台技改项目（探伤部分）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">重庆水泵厂有限责任公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>李方忠</td><td>联系人</td><td>李培华</td><td>联系电话</td><td colspan="2">132*******4</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">重庆市沙坪坝区井口工业园区井盛路 8 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号
公司结构件联合厂房内西侧</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">重庆市江津区经济和信息化委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="3">2503-500116-07-02-865097</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>500</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>66</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">13.2%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建　☐改扩建　☐其他</td><td>占地面积（m²）</td><td colspan="2">/(厂房内)</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□I 类　☐II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□I 类（医疗使用）　□II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□乙　□丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">无</td></tr>
</table>

1.1 建设单位概况

重庆水泵厂有限责任公司（原名重庆水泵厂，以下简称重泵公司或公司），始建于 1951 年，在 2002 年通过改组改制，更名为重庆水泵厂有限责任公司，属国有独资性质，隶属于重庆机电控股（集团）公司，具有独立法人资格。重泵公司是中国泵行业常务副理事长单位，中国泵行业著名品牌，全国泵行业重点骨干企业;国家重大技术装备国产化基地，国家核电站核级泵研发、制造基地；国家研发高端容积泵和离心泵主导企业，部级计量泵研发中心，西部地区泵类产品质量检测中心；营销网络遍及全国大中城市，产品远销世界。经济效益名列全国泵行业前茅，具有良好的社会信誉，先后获得"全国机械工业先进集体"、"中国机械工业 500 强"、"产品质量国家免检"、"国企贡献奖"等荣誉。

续表 1 项目基本情况

重泵公司许可项目：普通货运（按专项许可证核准的范围及期限从事经营），检验检测服务（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以相关部门批准文件或许可证件为准）一般项目：工业泵及零部件、环保产品、水处理成套设备、制药机械、化工机械（国家有专项规定的应按其规定办理）、第一、第二类压力容器的设计及制造（取得相关行政许可后方可执业）、货物进出口（国家法律、法规禁止经营的不得经营；国家法律、法规限制经营的取得许可后经营）；第三类压力容器的设计、制造（取得相关行政许可后方可执业），软件开发，软件销售（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）。

重泵公司厂区位于重庆市沙坪坝区井口工业园区井盛路 8 号。为满足公司运营生产需要，公司整体购买了重庆水轮机厂有限责任公司（以下简称“重水公司”）在重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号的结构件联合厂房和电工联合厂房及成品厂房以及露天堆场，包含厂房内的生产线、设施设备等。

重水公司 2024 年 12 月（重泵公司购买前）对“重庆水轮机厂风电塔筒生产线建设项目（一期）”进行了环评，拟对各个厂房内布局等进行调整，目前该项目已建设完成，正在验收中。2025 年 3 月，重泵公司拟更换结构件联合厂房中部分设备，建设“系统成套平台技改项目”，非辐射部分另行评价。

1.2 项目由来

为满足生产需求，重泵公司拟在位于重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号公司的结构件联合厂房内西侧的空置用地上新建一处探伤场所，主要包括曝光室及辅助用房。拟新购置 1 台 2MeV 电子直线加速器、2 台便携式 X 射线探伤机（定向探伤机、周向探伤机各 1 台），在曝光室内对金属材料焊接制品进行无损检测。

根据《关于发布＜射线装置分类＞的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日），项目的电子直线加速器、便携式 X 射线探伤机均属于II类射线装置。根据《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，本项目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”可知，使用II类射线装置的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表。因此，本项目环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。

为执行环境影响评价制度，了解项目建设对周围环境的影响情况，重庆水泵厂有限责任公司委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《系统成套平台技改项目（探伤部分）环境影响报告表》。

1.3 项目概况

1.3.1 项目概况及建设内容

（1）项目概况

项目名称：系统成套平台技改项目（探伤部分）

建设性质：新建

建设地址：重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号公司结构件联合厂房内西侧

建设内容及规模：公司拟在结构件联合厂房内西侧的空置用地上新建一处探伤场所，主要包括曝光室及辅助用房（包含控制室、设备间、资料室、评片室、暗室、烘干室），总建筑面积约 333.7 ㎡。拟新购置 1 台 2MeV 电子直线加速器（II类射线装置）、2 台便携式 X 射线探伤机（定向探伤机、周向探伤机各 1 台，均为II类射线装置），对金属材料焊接制品进行无损检测。所有探伤工作仅在曝光室内进行，为固定式探伤，不在车间或者野外探伤。

项目投资：500 万，其中环保投资约 66 万元。

项目施工工期：6 个月。

（2）项目组成

本项目组成情况见表 1-1。

表 1-1　项目组成一览表

分类	项目	工程组成	备注
主体	曝光室	曝光室内空（不含迷道）长×宽×高：18.05m×8.50m×9.10m，内	新建

续表 1　项目基本情况

工程		空面积约 153.4m²；曝光室设置三阶迷路。	
	射线装置	拟配置 1 台电子直线加速器（II类射线装置），设备型号：PTMegaL 2M，最大电子线能量为 2MeV，1m 处 X 射线辐射剂量率 200cGy/min。 拟配置 2 台便携式 X 射线探伤机（II类射线装置），分别为周向型便携式探伤机（最大管电压 360kV、最大管电流 5mA）和定向型便携式探伤机（最大管电压 300kV、最大管电流 5mA）。	拟购
辅助工程	辅助用房	在曝光室北侧新建控制室（加速器操作台和探伤机操作台分开设置）、设备间、资料室、评片室、暗室、烘干室等配套用房，建筑面积约 92.7 ㎡。辅助用房与迷道顶部高度一致，均约 3.05m，无人到达及居留。	新建
公用工程	给水	依托结构件联合厂房的供水管网。	依托
	排水	雨污分流，依托重水公司厂区内雨、污水排水设施。	依托
	供配电	依托结构件联合厂房现有的供电系统。	依托
	通风系统	曝光室配置独立的送排风系统，用于曝光室内通风换气。送风口共设 1 个，位于曝光室西南侧顶部；排风口设置 3 个，均并列布置在轨道地沟内北侧，向西侧汇合后沿曝光室西侧墙体上顶，穿越曝光室顶棚。	新建
储运工程	储存	电子加速器在曝光室内固定安装使用。便携式探伤机日常在曝光室内储存柜储存。 合格胶片在资料室储存柜内储存。	新建
环保工程	废气	曝光室拟设置独立的排风系统。曝光室内设置 3 个排风口，均并列布置在轨道地沟内北侧，向西侧汇合后沿曝光室西侧墙体上顶，穿越曝光室顶棚后再引至联合厂房西侧外排，排放口高度离地约 13m。废气排风量 8000m³/h，通风换气约 5 次/h。	新建
	废水	工作人员生活污水依托重水公司现有生化池处理，处理能力为 200m³/d。	依托
	噪声	选用低噪声风机等，采取减振措施、建筑隔声和距离衰减等降噪措施。	新建
	固废	项目工作人员生活垃圾依托重水公司厂区生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理。 更换下来的结构部件及报废的去功能化的射线装置，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。 洗片废液、废片和存档到期的胶片，依托重水公司危险废物暂存间暂存，交有资质单位处置。	依托
	辐射防护	拟采用足够厚的混凝土、铅防护门进行防护，保证曝光室外的辐射剂量满足相应标准要求。	新建
	安全措施	曝光室拟设置门机联锁、工作状态指示灯、视频监控系统、急停按钮、剂量报警系统等设施保证项目运行的安全。	新建

备注：曝光室内西南角拟设置一个源库，用于今后储存γ探伤机。源库为地埋式，长 1.0m，宽 1.0m，深 0.7m，顶部设铅防护盖板。源库及后期拟配置的γ探伤机另行评价，不在本次评价范围内。

1.3.2 项目曝光室屏蔽设计方案

续表 1　项目基本情况

项目曝光室东侧设置供工件进出的工件门，大防护门两侧设置混凝土挡墙；东北侧设置“多折”迷道，迷道外口设置供辐射工作人员进出的人员门，西南角设置地埋式源库（后期使用）。曝光室内地面设置供平车东西方向运行的轨道，上方设置支撑东西方向运行电子直线加速器悬吊机构的行车。

项目曝光室屏蔽设计方案见表 1-2。

表 1-2　项目曝光室屏蔽体设计方案表

名称	尺寸及屏蔽厚度
东墙	1.15m 混凝土
南墙（主射墙）	（基顶～6.3m 高）1.50m 混凝土，（6.3m～9.1m）1.20m 混凝土
西墙	1.15m 混凝土
北墙	（基顶～6.3m 高）1.15mm 混凝土，（6.3m～9.1m）0.85m 混凝土
顶棚	0.80m 混凝土
迷道	迷道 0.85m 宽，内空高 2.25m。靠近控制室的迷道墙体厚度分别为 1.0m 混凝土、1.15m 混凝土、0.40m 混凝土，靠近工件门侧迷道墙体均为 0.60m 混凝土；迷道顶棚均为 0.80m 混凝土。
工件门（大防护门）	工件门的门洞尺寸为宽×高：4.20m×4.70m，工件门为混凝土，门下方设 1.30m 深的滑槽，尺寸为宽×高×厚：5.80m×6.30m×1.15m，由专业厂家制作并安装。工件门南北两侧设置混凝土挡墙，厚 0.30mm，宽 1.20m，高 6.10m。
人员门（小防护门）	人员门的门洞尺寸为宽×高：0.85m×2.25m，人员门为铅防护门，门下方设 0.15m 深的滑槽，门尺寸为宽×高：1.15m×2.4m，10mmPb，由专业厂家制作并安装。

备注：混凝土（砼）密度为 $2.35g/cm^3$，铅密度为 $11.35g/cm^3$。

1.3.3 项目配套的主要设施、设备

项目配置的主要设施、设备情况见表 1-3 所示。

表 1-3　项目配置的主要设施、设备情况表

序号	名称	数量	型号或参数	使用位置	用途	备注
1	电子直线加速器（II类）	1 台	PTMegaL 2M	曝光室内	无损检测	拟购
2	便携式探伤机（周向，II类）	1 台	待定，360kV，5mA	曝光室内	无损检测	拟购
3	便携式探伤机（定向，II类）	1 台	待定，300kV，5mA	曝光室内	无损检测	拟购
4	监控系统	1 套	/	曝光室内	监控曝光室内情况	新建
5	送排风系统	1 套	/	曝光室内	曝光室送风、排风	新建
6	供电系统	1 套	/	设备间	供电稳压	新建

续表 1　项目基本情况

7	支撑行车	1 套	6.5T，8.2m	曝光室内	支撑加速器悬吊机构	拟购
8	运输轨道	1 套	/	曝光室内	承载平车	新建
9	平车	1 辆	/	曝光室内	工件运送	拟购
10	储存柜	1 个	/	曝光室内	便携式探伤机储存	拟购
		1 个	/	资料室	胶片存储	拟购
11	洗片机	1 台	北京科伦达 KOLENDO CLD-600 型	暗室内	洗片	拟购
12	烘干机（使用电）	1 台	/	烘干室	胶片烘干	拟购
13	洗片冲洗系统	1 套	暗室内设置冲洗水池，暗室外东侧设置地埋循环水箱，有效容积 1m³	暗室内 暗室外东侧	胶片冲洗，循环使用	拟购
14	废液收集桶	4	30L 的 2 个 600L 的 2 个	重水公司厂区危废暂存间	废液收集暂存	拟购
15	固定式剂量报警仪	1 套	/	探头在曝光室内，显示器在控制室内	曝光室内剂量监测	拟购
16	X/γ便携式监测仪	1 台	/	曝光室屏蔽体外	日常监测	拟购
17	个人剂量报警仪	2 台	/	进入曝光室的辐射工作人员佩戴	剂量报警	拟购
18	个人剂量计	6 个	/	辐射工作人员佩戴	个人剂量监测	拟购

1.3.4 检测工件情况

本项目曝光室探伤主要对金属材料焊接制品（部分为重泵公司产品，也可为接受委托的焊接件）进行无损检测。本项目无损检测工件情况详见表 1-4。

表 1-4　项目检测工件的相关参数一览表

检测设备	工件类型	材质	形状	最大尺寸	厚度范围
电子直线加速器	金属材料焊接制品	钢	圆柱形/平板形	最大直径 1.5m、最长 10m；最宽 3m、最长 10m	40～200mm 钢
便携式探伤机-周向	压力容器（圆形焊缝）	钢	圆柱形	最大直径 3.0m 最长 10m	≤70mm 钢
便携式探伤机-定向	金属材料焊接制品（非圆形焊缝）	钢	圆柱形/平板形	最大直径 3.0m 最长 10m；最宽 3m、最长 10m	≤45mm 钢

续表 1　项目基本情况

1.3.5 计划工作量

曝光室每次无损检测时仅开启一台探伤装置，不存在 2 台及 2 台以上探伤装置同时开机运行的情况。项目拟配置的 3 台设备根据需要检测的工件选择适用的探伤装置进行检测。

根据建设单位提供的资料，本项目年曝光次数约 5300 次，年最大曝光时间为 441.7h，具体工作时间情况见表 9。

1.3.6 主要原辅材料

项目拟使用的主要原辅材料情况见表 1-5。

表 1-5　项目主要原辅材料一览表

序号	名称	使用量	来源	主要化学成分	理化性质	毒理性质
1	胶片	22400 张/a	外购	卤化银和涤纶	不易燃、难溶于水、热稳定性好、机械强度高、收缩性低、	基本无毒
2	显影浓缩粉	32 kg/a	外购	米吐尔（N-甲基-对氨基苯酚硫酸盐）、菲尼酮、对苯二酚、无水硫酸钠、碳酸钠	固态、易溶于水	有毒、不可接触皮肤、会严重腐蚀
3	定影浓缩液	20 kg/a	外购	卤化银、硫代硫酸钠	固态、易溶于水	可能引发皮肤过敏、吞服可能有害

注：①胶片数量按加速器曝光 1 次消耗 1 张、定向机曝光 1 次消耗 1 张、周向机曝光 1 次平均消耗 20 张计。

②本项目电子直线加速器、便携式探伤机均为胶片成像，上述使用量为项目总使用量。

1.3.7 工作制度和劳动定员

项目拟配置 6 名辐射工作人员从事本项目 X 射线无损检测工作。单次无损检测工作至少 2 人在场。项目辐射工作人员在重泵公司现有工作人员中调配和培养，在公司总劳动定员内。本项目的辐射工作人员从事整个重泵公司的辐射工作。

重泵公司年工作 250 天，每天 1 班。设备的维修由设备厂家负责。

1.4 项目外环境概况

本项目位于重庆市江津珞璜工业园 B 区中兴二路 2 号公司的结构件联合厂房内西侧，结构件联合厂房四周主要为重水公司厂区内绿化带、道路及厂房等。

项目所在厂房外环境关系见表 1-6。

续表 1 项目基本情况

表 1-6 项目所在厂房外环境关系一览表

序号	环境名称	方位	最近水平距离（m）	高差（m）	环境特征
1	职工休息室	东侧	紧邻	0	厂房内工具间、职工休息室等，3F，约 50 人
2	厂内绿化带及道路		10	0	厂内绿化带及道路，约 10 人
3	职工休息室		紧邻	0	厂房内工具间、职工休息室等，3F，约 50 人
4	电工联合厂房		35	0	其中生产厂房，1F，约 50 人；
5	原辅材料堆场		35	0	室外原辅材料堆场，约 10 人
6	职工休息室	东南侧	42	0	厂房内工具间、职工休息室等，3F，约 50 人
7	装配联合厂房		42	0	生产厂房，1F，26m，约 50 人
8	厂内绿化带及道路	南侧	紧邻	0	厂内绿化带及道路，约 10 人
9	职工休息室		25	0	厂房内工具间、职工休息室等，3F，约 50 人
10	机加联合厂房		25	0	生产厂房，1F，26m，约 50 人
11	厂内绿化带及道路	西侧	紧邻	0	厂内绿化带及道路，约 10 人
12	化学品库房		20	0	厂内化学品库房，1F，约 2 人
13	供气站		20	0	厂内室外供气站，约 2 人
14	空压站		20	0	厂内空压站，1F，约 2 人
15	配电室		20	0	配电室，1-2F，约 2 人
16	厂区生活垃圾暂存间、一般工业固废及危废暂存间	西南侧	26	0	厂内废物暂存间，均为 1F，一般无人
17	厂内绿化带及道路	北侧	紧邻	0	厂内绿化带及道路，约 10 人
18	山益重工机械有限公司厂区		35	+5	山益重工机械有限公司厂房及办公室，1-6F，约 500 人
19	四川航天世源汽车部件有限公司重庆分公司厂区	东北侧	35	+2	四川航天世源汽车部件有限公司重庆分公司厂房及办公室，1-4F，约 300 人

备注：“+”代表建筑 1F 高于本项目厂房所在地面；环境特征中的人数主要是指在评价范围内的受影响人数。表中厂区均指重水公司厂区。

项目周边保护目标主要为重泵公司从事本项目探伤检测的辐射工作人员以及周围活动的公众成员。

1.5 项目选址可行性分析

（1）项目建设已取得重庆市江津区经济和信息化委员会下发的《重庆市企业投资项目备案证》（2503-500116-07-02-865097）。

（2）准入、规划

项目位于江津区珞璜工业园区 B 区，根据《重庆江津市级工业园区珞璜组

续表 1　项目基本情况

团和江津综合保税区规划环境影响评价报告书》及其环评批复（渝环函[2021]393号），本项目与相关环境准入负面清单相比，本项目为 X 射线探伤核技术利用项目，属于 M7452 检测服务，不属于工业区内禁止、限制类项目。因此，项目符合区域规划，符合江津区珞璜工业园区准入条件。

建设单位在重水公司用地红线内建设本项目，不新增用地，用地性质符合园区规划和准入条件。

（3）项目场址的辐射剂量背景监测结果表明，本项目拟建址及周围的环境γ辐射剂量率在重庆市 2023 年天然辐射本底水平正常涨落范围内，本项目可以在此建设。

（4）项目所在结构件联合厂房位于重水公司厂区西北侧，周围环境简单，主要为重水公司厂区内厂房、道路等及厂外其他公司厂房。

本项目探伤场地位于结构件联合厂房内西侧，属于建筑一端，曝光室和辅助用房布置集中，并和厂房的其他区域相对独立，在评价范围内公众人员活动较少，通过实体防护和距离衰减，能够较好地减少电离辐射对探伤室四周公众的影响，使人员所受剂量在尽可能低的水平。

综上所述，项目选址可行。

1.6 与项目有关的原有核技术利用项目情况

（1）项目所在重水公司厂区环保手续

2024 年 12 月，重庆水泵厂有限责任公司对“重庆水轮机厂风电塔筒生产线建设项目（一期）”进行了环评，该环评涉及厂区内各个厂房的布局调整等（包括本项目所在结构件联合厂房），环评批复为渝（津）环准[2025]23 号，详见附件 5，目前该项目已建设完成，目前正在验收中。

（2）公司原有核技术利用项目情况

根据调查，重庆水泵厂有限责任公司持有《辐射安全许可证》，证书编号为：渝环辐证[00301]，有效期至 2029 年 12 月 22 日，许可的种类和范围是使用II类射线装置。重泵公司现有 X 射线探伤机情况见表 1-7，均在许可范围内。

续表 1　项目基本情况

表 1-7　建设单位现有 X 射线装置情况一览表

装置名称	设备型号	类别	数量	用途	使用场所	环保手续	备注
便携式定向 X 射线探伤机	RADIOFLEX-250EGM2	II类	1	无损检测	1#联合厂房铅房	已许可	正常使用中
玻璃定向机	RTXXG2005	II类	1	无损检测	1#联合厂房探伤室	已许可	正常使用中
玻璃周向机	XXH-3205	II类	1	无损检测	1#联合厂房探伤室	已许可	正常使用中
玻璃定向机	RADIOFLEX-300EGM2	II类	1	无损检测	1#联合厂房探伤室	已许可	正常使用中
陶瓷定向机	XXG-3005	II类	1	无损检测	1#联合厂房探伤室	已许可	正常使用中
玻璃周向机	XXH-2005	II类	1	无损检测	1#联合厂房探伤室	已许可	正常使用中

备注：上述使用场所均位于沙坪坝区。

重泵公司现有射线装置使用场所定期委托有资质单位监测，屏蔽体外周围剂量当量率满足标准要求；重泵公司建立有辐射环境管理机构，制定了相关的辐射安全管理制度，张贴上墙并认真落实；重泵公司现有辐射工作人员 9 人，定期进行了职业健康检查并建立了职业健康档案，配备了个人剂量计并建立了个人剂量档案（2024 年个人剂量在 0.10～0.56mSv 之间），所有辐射工作人员均进行了辐射安全与防护知识培训并经考核合格。公司现有 X 射线无损检测洗片产生的废显影液、废定影液、废清洗液等危险废物均交由重庆中明港桥环保有限责任公司处置，已签订危险废物处置协议，并在有效期内。

重泵公司接受重庆市生态环境局、沙坪坝区生态环境局的监督和检查，根据调查，公司未发生过环保事故，无环保投诉。因此，公司不存在环保遗留问题。

（3）本项目拟建址情况

本项目位于江津区，在结构件联合厂房内西侧。根据现场监测，项目拟建址及周围的环境γ辐射剂量率在重庆市 2023 年天然辐射本底水平正常涨落范围内。因此，拟建址不存在与本项目有关的环境污染情况和环境问题。

1.7 依托关系及可行性

项目依托现有主体工程、公用工程、环保工程等可行性分析见表 1-8 所示。

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	依托情况	依托可行性分析	结论
公用工程	供电、供水等公用工程依托结构件联合厂房设施	项目所在结构件联合厂房已运行，本项目供电、供水设施依托重水公司厂区的公用设施。厂区为市政供电，市政管网供水。因此，项目依托厂区现有的公用设施可行。	可依托
环保工程	废水	本项目不产生工业废水，仅辐射工作人员产生生活污水。重水公司厂区现有生化池处理能力为200m^3/d。本项目拟配置的辐射工作人员在重水公司总定员数量内，能依托重水公司厂区现有生化池处理可行。	可依托
	固体废物	重水公司在厂区西侧已建设了一座危废暂存间，面积140m^2，根据现有环评可知，危废暂存间满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的要求。本项目产生的废显影液、废定影液、废清洗液、废胶片依托该危废暂存间暂存，及时交有资质单位处置。 更换的结构部件及按照相关要求拆解去功能化的报废射线装置，依托重水公司厂区西侧的一般工业固废库暂存（面积148m^2），再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。 项目运行产生的生活垃圾依托重水公司厂区西侧的生活垃圾收集点交由环卫部门统一处理。	可依托
劳动定员	依托已有工作人员进行调配培养	项目拟从重泵公司现有工作人员中调配培养6人从事本项目无损检测工作，在重泵公司总劳动定员内，依托可行。	
辐射管理	管理机构和制度	重泵公司使用II类射线装置多年，成立有辐射环境管理机构，制定有相应管理制度，本项目实施后，相关的管理制度修订后可依托。	可依托

备注：现有环评中扩建危废暂存间位于装配联合厂房内，与本项目无关。

重泵公司已与重水公司签订了相关依托协议，同时根据上表可知，本项目依托现有公用工程、环保工程、辐射环境管理等是可行的。

表 2　放射源

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

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

表 3　非密封放射性物质

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。										

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（台）	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
1	电子直线加速器	II类	1	PTMEGAL 2M	电子	2	120（200cGy/min）	无损检测	江津区重泵公司结构件联合厂房内西侧曝光室	拟购

（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（台）	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	便携式 X 射线探伤机	II类	1	待定（周向）	360	5	无损检测	江津区重泵公司结构件联合厂房内西侧曝光室	拟购
2	便携式 X 射线探伤机	II类	1	待定（定向）	300	5	无损检测	江津区重泵公司结构件联合厂房内西侧曝光室	拟购

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（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。													

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	/	/	少量		/	不暂存	通过排风系统排出曝光室，弥散在空气中。
生活污水	液态	/	/	/		/	不暂存	依托重水公司厂区现有生化池处理。
直线加速器冷却循环水	液态	/	/	$0.14m^3/a$		/	不暂存	通过曝光室西南侧排水槽排入试压区
废显影液 废定影液	液态	/	/	240kg/a		/	设置 4 个废液收集桶，分别收集在对应的废液收集桶内，依托重水公司厂区的危废暂存间暂存	交有资质单位处置。
废清洗液	液态	/	/	1160kg/a		/		
废胶片（包含曝光产生的废片及合格胶片存档到期后成为的废片）	固态	/	/	前 10 年 11.2kg/a 10 年后 224kg/a		/	依托重水公司厂区的危废暂存间暂存	交有资质单位处置。
结构部件（废靶、电离室等）	固态	/	/	少量		/	依托重水公司厂区的一般工业固废库暂存	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。
报废射线装置	固态	/	/	/			依托重水公司厂区的一般工业固废库暂存	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。
生活垃圾	固态	/	/	少量		/	不暂存	依托重水公司现有收运系统，交环卫部门处理。

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/l，固态为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法律法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行修正版； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003 年 10 月 1 日施行； （4）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版； （5）《中华人民共和国职业病防治法》，2018 年 12 月 29 日修订施行； （6）《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行；中华人民共和国国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日施行修订版； （9）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2021 年 1 月 4 日施行第四次修正版； （10）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行； （11）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； （12）《危险废物转移管理办法》，生态环境部 公安部 交通运输部 部令第 23 号，2022 年 1 月 1 日施行； （13）《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； （14）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日实施； （15）《国家危险废物名录》(2025 年版)； （16）《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日施行修正版； （17）《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第 338 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行。

续表 6　评价依据

技术标准	（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）《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016） （4）《危险废物管理计划和管理台账制定技术导则》（HJ1259-2022）； （5）《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）； （6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （7）《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T30371-2013）； （8）《无损检测用电子直线加速器》（GB/T20129-2015）； （9）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）； （10）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）； （11）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单（GBZ/T250-2014）； （12）《500kV 及以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB22448-2008)； （13）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （14）《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）； （15）《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023），2023 年 7 月 1 日起实施； （16）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）； （17）《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1 -2019）。

续表 6　评价依据

其他	（1）环境影响评价委托书，附件 1 （2）项目备案证，附件 2； （3）公司辐射安全许可证，附件 3； （4）产权交易合同，附件 4； （5）原环评批复，附件 5； （6）监测报告，附件 6； （7）领导小组文件及相关制度，附件 7； （8）《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）； （9）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）； （10）《辐射防护导论》（方杰）； （11）《辐射防护手册》（第一分册）； （12）建设单位提供的设计资料及其他资料。

表 7　保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据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，确定以本项目曝光室四周屏蔽体边界外 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

项目探伤场地位于重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号公司的结构件联合厂房内西侧。

结构件联合厂房为 1F 建筑，长约 226m，宽约 140m，高约 20m。厂房内设置行车，位于曝光室上方，不上人操作，检修点位于曝光室东南侧。

曝光室周围主要紧邻探伤工件周转区及暗室、评片室等辅助用房，曝光室 50m 评价范围内的辐射环境保护目标见表 7-1。

表 7-1　曝光室 50m 评价范围内辐射环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称		方位	水平距离 m	高差 m	基本情况	影响人群	影响因素
1	本项目所在建筑内	探伤工件周转区	东侧	0~10	0	厂房内探伤工件周转区，约 2 人	公众成员	电离辐射
2		铆工区、焊接区、内附件安装区及底漆、表面处理区	东至东南侧	10~50	0	厂房内生产线，约 15 人	公众成员	
3		行车检修点	东南侧	15	+10	行车检修点，一般无人，检修时约 2 人	公众成员	
4		试压区	南侧	0~5	-3	厂房内拟建水压测试区，目前为空地，一般无人	公众成员	
5		设备区		5~10	0	厂房内设备区，一般无人	公众成员	
6		喷漆喷砂区、喷丸区		10~50	0	厂房内喷漆喷砂区、喷丸区，约 5 人	公众成员	
7		厂房内夹道	西侧	0~1	0	厂房内夹道，人员一般不可到达	公众成员	
8		暗室、评片室、资料室、设备间、控制室	北侧	0~3	0	本项目用房，1F，约 2 人	辐射工作人员	
9		烘干室		3~5	0	本项目用房，1F，约 2 人	辐射工作人员	

续表 7　保护目标与评价标准

10		打磨区、抛丸区、喷漆区		5~50	0	厂房内生产线，约 10 人	公众成员	
11	本项目所在建筑外	绿化带及道路	西侧	1~50	0	厂内绿化带及道路，约 10 人	公众成员	
12		空压站	西南侧	25~50	0	厂内空压站，1F，约 2 人	公众成员	
13		配电室		35~50	0	配电室，1-2F，约 2 人	公众成员	
14		供气站	西北侧	35~50	0	厂内室外供气站，约 2 人	公众成员	
15		化学品库房		45~50	0	厂内化学品库房，1F，约 2 人	公众成员	

备注：“-”代表建筑 1F 低于本项目所在地面，“+”代表建筑 1F 高于本项目所在地面。

项目周边保护目标主要为重泵公司从事本项目探伤检测的放射工作人员以及周围活动的公众成员。

7.3 评价标准中相关指标要求

（1）辐射相关评价标准要求

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。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv 作为职业照射剂量限值；任何一年中的有效剂量，50mSv。

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）《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）

本标准适用于能量为 15MeV 以下的无损检测用电子直线加速器工程，包括胶片 X 射线照相、计算机 X 射线成像（CR）、数字 X 射线实时成像、数字 X 射线照相（DR）及工业计算机 X 射线层析扫描（ICT）等。

5.3.7.1 泄漏剂量

在 X 射线束前向准直器±1/2 准直器锥角到±180°的范围内，距靶 1m 处泄漏

剂量率与 X 射线束中心轴线上剂量率的百分比应小于 0.1%。

8.1.3 辐射防护安全要求

8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合 GB 18871-2002 的职业照射剂量限值要求（见附录 A）；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射年有效剂量限值为 5mSv，公众成员年有效剂量限值为 0.1mSv。

8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理，间隙与搭接比值不小于 1/10。

8.1.4.3 通风要求

8.1.4.3.1 辐射屏蔽室应根据 GBZ 2.1-2007 规定的工作场所的臭氧和氮氧化物等有害气体限值（见附录 B.3），结合加速器装置最大能量、最大剂量输出工况进行通风设计。

B.3 有害气体职业接触限值

按照 GBZ2.1-2007，有害气体职业接触限值如下：

a) 臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m^3；

b) 二氧化氮，时间加权平均容许浓度 5mg/m^3；短时间接触容许浓度 10mg/m^3。

3）参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ 785-2016）

本标准规定了电子直线加速器工业 CT 的销售（含建造）和使用中的辐射安全技术和管理要求。本标准适用于能量不高于 15MeV 电子直线加速器工业 CT 装置。

4.3 职业照射和公众照射的剂量控制

4.3.1 个人剂量控制

4.3.1.1 加速器工业 CT 销售（含建造）、使用中，职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871-2002 的要求。

4.3.1.2 职业照射和公众照射的剂量约束值规定为：

a）辐射工作人员个人年剂量约束值为 5mSv；

b）公众成员个人年剂量约束值为 0.1mSv。

4.3.2 工作场所剂量控制

附录 A 所包含的工作场所以及周边环境的屏蔽体（墙）表面大于或等于 30cm

处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

5.2.1 加速器机头的辐射材料和厚度应考虑射线的能量、束流强度和靶材料等因素，应按加速器最大空气比释动能率进行设计，加速器泄漏剂量比率应小于 0.1%。

4）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

该标准规定了 X 射线和γ射线探伤的放射防护要求。

5　探伤机的放射防护要求

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 100cm 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。

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控制值，mSv/h
＜150	＜1
150~200	＜2.5
＞200	＜5

6　固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室放射防护要求

6.1.3　探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a)关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/周；

b)屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h。

6.1.4　探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

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

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。

5）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

3.1.1 探伤室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

续表 7　保护目标与评价标准

要求：

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

1）人员在关注点的周围剂量参考控制水平 Hc 如下：

职业工作人员：Hc≤100μSv/周

公众：Hc≤5μSv/周

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 100μSv/h。

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.2 散射辐射考虑以 0º入射探伤工件的 90º散射辐射。

（2）其他标准

1）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 200μg/m^3（0.2mg/m^3）；二氧化氮 1 小时平均限值为 200μg/m^3（0.2mg/m^3）。

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

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

（3）评价标准及相关限值

1）年剂量管理目标值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）等评价标准，及建设单位提供的资料，公司辐射工作人员年剂量管理目标限值：5mSv，公众成员年剂量管理目标限值：0.1mSv。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），职业人员有效剂量不超过 100μSv/周；公众周有效剂量不超过 5μSv/周。

2）曝光室屏蔽体外控制水平核算

①电子直线加速器

基于《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）等

标准中未明确电子直线加速器机房周围剂量当量率控制水平，本次评价参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ 785-2016）第 4.3.2 条款及附录 A 进行控制，即屏蔽体表面大于或等于 30cm 处任何关注点的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

②便携式探伤机

A 居留因子：

根据 GBZ/T250-2014 附录 A，居留因子取值原则见表 7-3。

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	操作室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道

备注：后文相应计算中的居留因子按照本表取值。同一方向不同房间，保守按照居留因子取最大值，距离取最小值进行计算。

B 核算公式：

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

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

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≤100μSv/周

公众：H_c≤5μSv/周

2）相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c\bullet d}$（μSv/h）按下式（7-1）计算：

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

式中：

H_c—周剂量参考控制水平，单位为微希每周（μSv/周）；

U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/周）。

t 按下式（7-2）计算：

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

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 $\dot{H}_{c\bullet max}$：

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

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 $\dot{H}_{c\bullet d}$ 和 b）中的 $\dot{H}_{c\bullet max}$ 二者的较小值。

C 核算结果：

本项目配备 1 台电子直线加速器和 2 台便携式 X 射线探伤机（定向、周向）在曝光室开展无损检测，本项目固定式训机时间很小，基本包含在单次最大曝光时间 5min 中内，不予单独考虑，本评价按最不利情况，周最大曝光时间考虑 1 台电子直线加速器和 2 台便携式 X 射线探伤机进行固定式探伤的工作负荷的叠加，使用因子 U 均保守取 1。根据表 9-3，项目射线装置的周工作负荷为 8.8h/W。项目曝光室剂量率参考控制水平核算表见表 7-4。

表 7-4　剂量率参考控制水平核算表

关注点	U	T	t(h)	Hc (μSv/周)	$\dot{H}_{c\bullet d}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c\bullet max}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c}$ (μSv/h)
北侧（控制室）	1	1	8.8	100	11.4	2.5	2.5
北侧（资料室、暗室等）	1	1/5	8.8	5	2.8		
东侧（探伤工件周转区等）	1	1/5	8.8	5	2.8	2.5	2.5
南侧（试压区、设备区等）	1	1/5	8.8	5	2.8	2.5	2.5
西侧（夹道及绿化带及道路）	1	1/8	8.8	5	4.5	2.5	2.5

顶棚（无人到达）	/	/	/	/	/	100	2.5

注：$\dot{H}_c$ 为 $\dot{H}_{c\bullet d}$ 和 $\dot{H}_{c.\max}$ 二者的较小值。顶棚上方无法到达保守按照 2.5μSv/h 控制。地板下方为泥土层，不予考虑。

根据上表核算，项目曝光室周围剂量率控制限值为：曝光室屏蔽体外周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。

3）综合结论

综上所述，结合本项目实际情况，确定本项目的主要评价要求及限值见表 7-5 所示。

表 7-5 项目主要评价要求及限值汇总表

序号	项目	控制限值	采用的标准
1	年剂量管理目标限值	辐射工作人员：5mSv； 公众成员：0.1mSv。	GB18871-2002、GB/T30371-2013 及公司管理要求
2	周剂量限值	辐射工作人员：≤100μSv/周； 公众成员：≤5μSv/周。	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
3	曝光室外剂量限值	曝光室屏蔽体外周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	HJ785-2016 GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
4	射线装置性能要求	直线加速器：在 X 射线束前向准直器±1/2 准直器锥角到±180°的范围内，距靶 1m 处泄漏剂量率与 X 射线束中心轴线上剂量率的百分比应小于 0.1%。	GB/T30371-2013
		便携式探伤机：漏射线所致周围剂量当量率控制值＜5mSv/h。	GBZ117-2022
5	通风要求	曝光室有效通风换气次数应不小于 3 次/h。设计上确保曝光室内外空气质量达到 GB3095 要求。	GBZ117-2022

表 8　环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

项目拟建探伤场所位于重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号公司结构件联合厂房内西侧。项目地理位置见附图 1。

项目拟建曝光室及辅助用房东侧为探伤工件周转区及焊接区等，南侧为试压区设备区等，西侧为厂房内通道及厂房外重水公司厂区绿化和道路等，北侧为打磨区、抛丸区、喷漆区等，下方为实土层，楼上无建筑。项目场所位置见附图 3 所示。

8.2 辐射环境质量现状

为掌握本项目拟建地及周围的辐射环境质量现状，重庆泓天环境监测有限公司于 2025 年 4 月 2 日对本项目拟建地的环境γ辐射剂量率进行了监测。

监测报告为：渝泓环(监)[2025]567 号（见支撑性材料附件 6）。

8.2.1 监测因子

环境γ辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

（1）监测方法和依据

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）

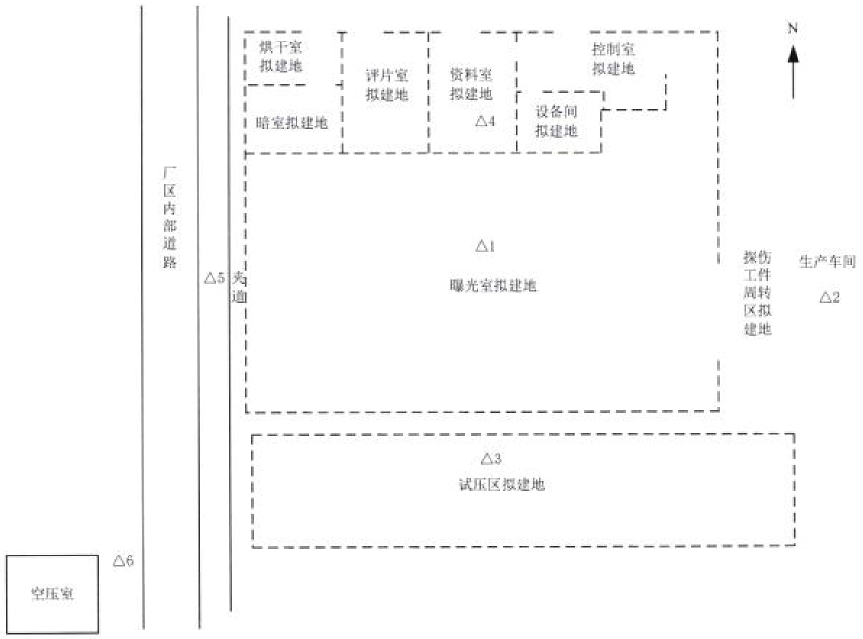
（2）监测点位选取及合理性

监测点位情况见表 8-2，监测布点位置见图 8-1 所示。

表 8-2　监测布点情况表

监测点位	监测点位描述
△1	曝光室拟建地
△2	曝光室拟建地东侧生产车间
△3	曝光室拟建地南侧空地
△4	控制室等拟建地
△5	曝光室拟建地西侧厂区道路旁
△6	曝光室拟建地西南侧空压室旁

续表 8　环境质量和辐射现状



备注：△为环境γ辐射剂量率监测点，监测高度距地面 1.0m。

图 8-1　监测布点示意图

监测点位合理性分析：根据现场踏勘，上述监测点包含了项目拟建曝光室四周、所在厂房内外及项目环境保护目标处，监测点位布置全面，监测结果能反映本项目场址及周围环境保护目标的辐射环境背景水平。因此，项目监测布点合理。

（3）测定方式

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

8.2.3 质量保证措施

（1）监测单位资质

本项目辐射环境监测单位为泓天环境监测有限公司，具有重庆市市场监督管理局颁发的检验检测机构资质认定证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

（2）监测仪器

本项目委托有资质的单位重庆泓天环境监测有限公司进行监测，监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见表 8-3。

表 8-3 监测仪器及检定情况

仪器名称	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	2024112106273	2025.12.2	1.12

备注：测量范围 10nSv/h～100μSv/h。

（3）监测人员及报告审核制度

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。

8.2.4 监测结果

监测结果统计见表 8-4。

表 8-4 项目拟建址辐射环境监测结果统计表

监测点位	监测点位描述	环境γ辐射剂量率（μGy/h）
△1	曝光室拟建地	0.076
△2	曝光室拟建地东侧生产车间	0.060
△3	曝光室拟建地南侧空地	0.078
△4	控制室等拟建地	0.073
△5	曝光室拟建地西侧厂区道路旁	0.072
△6	曝光室拟建地西南侧空压室旁	0.064

备注：1μGy/h=1000nGy/h。以上监测结果均未扣除宇宙射线的响应值。

根据监测统计结果可知，项目拟建地及周围的环境γ辐射剂量率监测值在 60nGy/h～78nGy/h 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书》（简化版），2023 年重庆市环境γ辐射剂量率各点位测量均值范围为 76.8~93.3nGy/h、全市各点位年均值为 87.0nGy/h（均未扣除宇宙射线响应值）。项目辐射环境背景调查表明，场址及周围的环境γ辐射剂量水平在重庆市天然辐射本底水平的正常涨落范围内。

表 9　项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目拟在结构件联合厂房内西侧空地上建设，不新增占地。项目施工期主要包括曝光室基础开挖、曝光室主体混凝土结构浇筑、防护门与设施设备安装，以及项目辅助用房装修等施工内容。项目施工期工艺流程及产污环节见下图9-1。

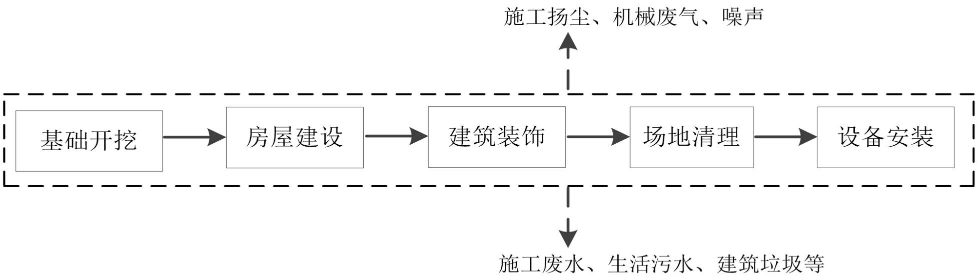


图9-1　施工期工艺流程及产污环节图

由上图可知，项目施工期主要污染因子有：废气、噪声、废水、固体废物等。

废气：主要为项目用房基础开挖、墙体新建、装修时产生的扬尘，装修机械敲打、钻动墙体等产生的粉尘，机械施工过程中少量的机械废气。

废水：项目施工期废水主要为施工人员产生的生活污水和少量施工废水。项目施工期每天最多 20 人在施工现场作业，生活用水量约为 50L/人·d 计，污水产生系数按用水量的 0.9 计，则生活污水排放量为 0.9m^3/d。项目采用商品混凝土，不进行混凝土现场搅拌。施工过程中产生的少量施工废水经隔油沉淀后，上清液回用于施工区洒水抑尘，废油交有资质单位处理，施工人员产生的生活污水依托重水公司厂区现有生化池处理。

噪声：施工噪声主要体现在施工过程中设备和现场处理噪声，各施工设备噪声源强约为 70～110dB（A）。

固体废物：项目施工期产生的固体废物主要为施工建筑垃圾、施工人员生活垃圾及废包装材料等。

①施工过程中，项目场地内挖方量约 400m^3，填方量约 200m^3，总弃方约 200m^3，运输至市政指定的位置堆存。

②施工建筑垃圾主要包括新建墙体产生的废材料如水泥、砂石、塑料、钢筋、

铁丝、碎玻璃等。建设施工过程中将产生建筑垃圾，预计产生量约为 60t。建筑垃圾运至市政指定的合法的建筑垃圾堆放场处置。

③生活垃圾：施工期产生的生活垃圾按每天 20 人计，每人每天产生生活垃圾 0.5kg，则每天产生 10kg。依托重水公司厂内现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。

④废包装材料

项目场地施工及设备安装调试期间，会产生一定的废包装材料。废包装材料交物资回收单位回收处置。

9.2 工程设备和工艺分析

本项目拟配置 1 台电子直线加速器和 2 台便携式探伤机，所有探伤工作仅在曝光室内进行，不在车间或者野外探伤，曝光室内不存在两台及两台以上探伤设备同时运行的工况。

9.2.1 电子直线加速器污染工序

9.2.1.1 设备组成

本项目电子直线加速器主要由加速器机头、控制系统、高压调制系统、恒温水冷机组、悬吊机构等组成，具有焦点小、稳定性高、安全性高、高稳定电子枪脉冲高压、抗打火能力强的优点。

主要的设备部件介绍如下：

（1）加速器机头

加速器机头是加速器的主体部分，机头内装有驻波加速管、磁控管、微波功率传输系统、波导充气系统、射线准直及屏蔽装置、激光定位装置、电离室、脉冲变压器、AFC 采样电路、钛泵电源等。加速管是由电子枪、谐振加速腔链、靶、耦合波导、波导窗和钛泵等构成的全密封整体部件。微波传输系统包括定向耦合器、四端环流器、吸收负载微波波导等，系统内 SF6 气体以抑制微波打火发生。

（2）控制系统

加速器射线源运行的操作平台，它通过电力及数据电缆同射线源的其他设备相连接，控制箱内装远程 PLC 模块、AFC 电路及触发电路、测量电路等，前面

板上安装有操作及显示用的屏幕、数据显示表头及操作按钮等。具有运行状态显示、参数设置、手动出束曝光、故障诊断提示、远程监控等功能。

（3）高压调制系统

高压调制柜内装有作为磁控管阳极脉冲电源的调制器和加速器运行所需的低压电源，以及触发电路、电离室、聚焦线圈、导向线圈、外准直器、电子枪灯丝、磁控管灯丝和闸流管灯丝等所用的交流和直流电源。调制器柜电路采用模块化设计，各功能相互独立并采用接插件相连接。

（4）恒温水冷机组

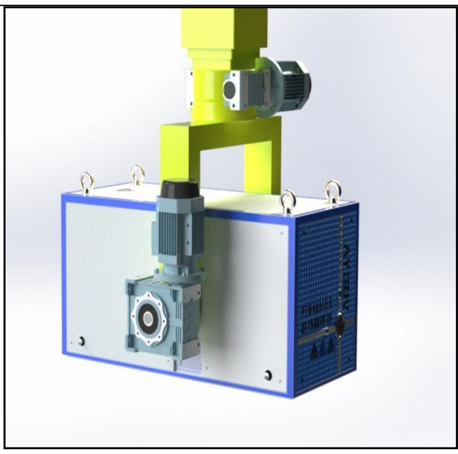
它主要是通过水冷机柜内冷却水的不断循环，将加速器中的加速管、靶、波导窗、磁控管、环流器、负载等部件工作时产生的热量带走，使其内部保持恒定的工作温度，以保证加速器的正常工作。冷却水系统是闭路循环系统。冷却水使用蒸馏水或去离子水。

（5）悬吊机构

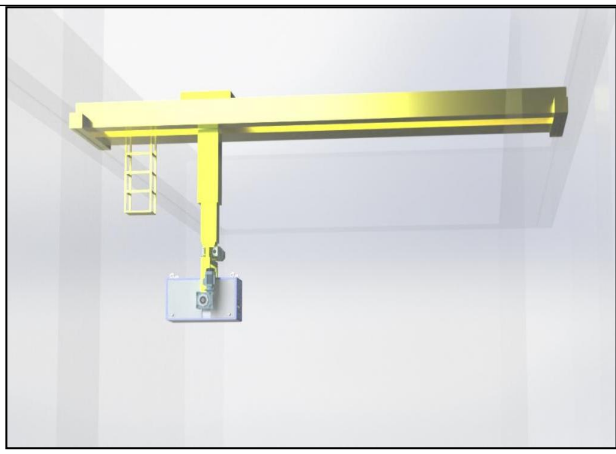
悬吊机构主要包括吊伸缩架、旋转轭架、管道线缆支架等。这些组件共同协作，使得悬吊机构能够实现五个自由度的运动轴，具体包括升降运动、前后运动、左右运动、仰俯运动以及旋角运动。这种设计使得悬吊机构能够进行全空间无死角的检测工作，能够有效地应对各种类型的部件检测需求。无论是纵缝、环缝、封头焊缝还是接管焊缝，悬吊机构能够灵活应对，确保检测的全面性和准确性。

由于系统设定限制，本项目加速器主射方向均朝向曝光室南侧，加速器机头由悬吊机构实现垂直升降和前后、左右三个维度的运动，不进行仰俯及旋角运动。加速器机头可移动范围为距离地面 0.5-4m、距离南侧墙体 3.4-7.5m、距离东西两侧墙体最近均为 2.01m，具体见图 10-3 所示。

加速器部分设备部件见图 9-2 所示。



(1)加速器机头



(2)悬吊机构

(3)调制器

(4)恒温水箱

图 9-2　部分加速器结构部件示意图

9.2.1.2 工作方式

本项目加速器探伤采用 2MeV 电子直线加速器进行无损检测，工作时电子经加速管加速后轰击钨靶产生 X 射。正常运行时，加速器仅在防护门关闭且安全联锁系统正常启动后才能出束产生 X 射线；异常工况下，安全联锁装置将自动切断电源和高压，防止辐射泄漏和误照射。本项目探伤室由曝光室和控制室等辅助用房组成，工作时辐射工作人员采用隔室操作的方式控制加速器出束。本项目加速器探伤采用胶片成像方式来显示受检工件中的裂纹、未焊透、夹渣和气孔等，实现对缺陷的定量、定位。

9.2.1.3 设备参数

根据建设单位提供的资料，项目拟购的电子直线加速器性能参加见表 9-1。

表 9-1　项目电子直线加速器性能参数表

项目	参数
设备类型	电子直线加速器
型号	PTMegaL 2M
设备生产厂家	丹东锐新射线仪器有限公司
照射方向	定向
电子束最大能量	2MeV
距靶1m 处最大辐射剂量率	200cGy/min
焦点直径	≤1.5mm
剂量率稳定时间	≤7s
X 射线束均匀度	＞80%
X 射线束不对称度	≤±5%
穿透厚度	40～200mm 钢
成像方式	胶片成像
X 射线泄漏辐射率	＜0.1%
X 射线角度	由锥角为30°的圆锥形准直器限定
焦距	600mm
冷却方式	水冷（25℃±1℃）

9.2.1.4 工作原理

① X 射线产生原理

电子直线加速器是产生高能电子束的装置，当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束。

② X 射线胶片成像原理

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象中心，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，这个作用叫做射线的照相作用。把这种曝光过的胶片在暗室中经过显影、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 X

射线无损检测的目的。

电子直线加速器工作原理示意图见图 9-3 所示。

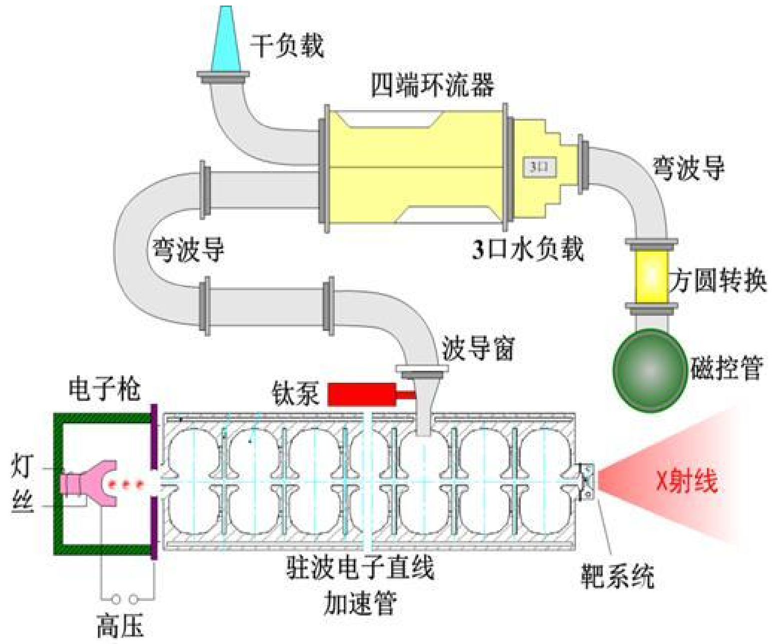


图 9-3　电子直线加速器工作原理示意图

9.2.1.5 工艺流程及产污环节

本项目电子直线加速器固定在曝光室内进行探伤，其工艺流程如下：

（1）探伤作业前，检查安全联锁是否正常工作、报警设备和警示灯、个人剂量报警仪等是否正常运行；确认正常运行后，辐射工作人员随身携带好个人剂量计和个人剂量报警仪。将电子直线加速器通上电源，对加速器部分进行预热。

（2）打开曝光室工件门，使用厂房内的行车将待检工件放入平车内，并通过轨道送入曝光室内适当位置。

（3）在工件待检部位布设感光胶片并加以编号，检查确认无误。

（4）工作人员巡视曝光室，清场后关闭工件门，通过迷道撤离曝光室后关闭人员门，通过监控再次检查曝光室无人员停留，确保所有防护与安全装置系统都启动并正常运行。

（5）然后将主开关打到钥匙开关上，设定相应参数，调整好加速器的位置、高度（不涉及仰角）。

（6）检查曝光室工件门、人员门的关闭情况，在确认所有防护门已关闭的情况下，控制室操作人员启动电子直线加速器进行出束；

（7）探伤完成后加速器自动停止出束，加速器归位。加速器检测结束后，加速器进入下一次检测状态。最后，所有检测工件检测完成后，关闭电源锁、加速器电源。打开防护门，由工件轨道平车将工件传送至装卸位置，完成一次探伤。同一工件需要多处探伤的，工件需要运出曝光室在装卸位置由行车调整到合适位置后重新进入曝光室内。

（8）待全部曝光摄片完成后，工作人员确认固定式场所辐射探测报警装置的监测值正常，携带个人剂量计和个人剂量报警仪通过人员门进入曝光室，从工件上取下已经曝光的 X 光胶片，打开工件门将工件送出曝光室外。X 光胶片在暗室的洗片机上洗片，在冲洗水池内冲洗，在烘干室内烘干，在评片室评片。评片完成后所有胶片存放在资料室内。

本项目洗片、晾片、评片工艺流程如下：

a 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；

b 停影：将显影后的胶片从显影槽中取出，在显影槽上方停留 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；

c 定影：将停影后的胶片浸入定影液中，实现定影；

d 清洗：将定影后的胶片从定影槽中取出，放入装有自来水的清洗槽中漂洗；并在暗室内的冲洗水池内再次冲洗（冲洗水循环使用）。

e 晾干：将冲洗后的胶片在烘干室内使用烘干机（电加热）烘干；

f 评片：对晾干后的胶片进行评片和审片。合格胶片存放在资料室内。

（9）根据检测结果出具相应的检测报告。

本项目工艺流程中工作全部由辐射工作人员操作完成。检测工件在检测完成后，返回来源处处理。

电子直线加速器探伤工艺流程及产污环节示意图见附图 9-4 所示。

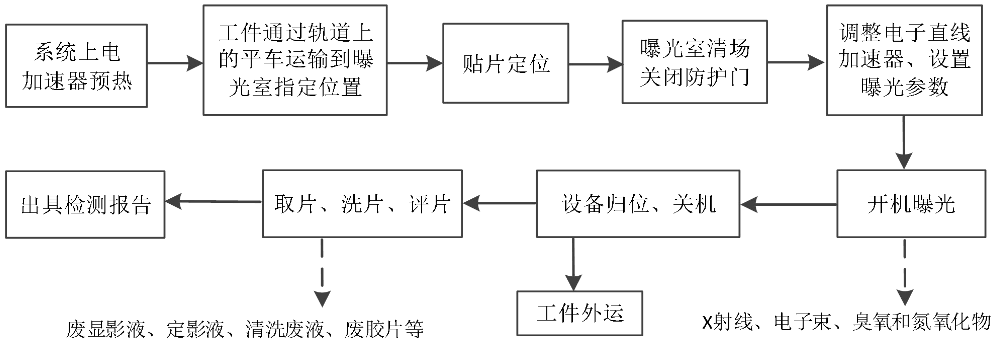


图9-4　电子直线加速器探伤工艺流程及产污环节示意图

9.2.2 便携式探伤机污染工序

9.2.2.1 设备组成

本项目拟配置 1 台定向型便携探伤机、1 台周向型便携探伤机，探伤机由控制器、X 射线发生器、连接电缆及附件组成。控制器采用了先进的微机控制系统，可控硅规模快速调压，主副可控硅逆变控制及稳压稳流等电子线路和抗干扰线路，工作稳定性好，运行可靠。其中，X 射线发生器为组合式，X 射线管、高压变压器与绝缘体一起封装在桶装套内。X 射线发生器一端装有风扇和散热器，并配备探伤机系统表征工作状态的警示灯。X 射线管、屏蔽套及附件总称管头组装体。控制器为手提箱式结构，控制面板设置操作按钮和显示窗口，并配备电缆插座、源开关及接地端子的插座盒。

便携式探伤机典型照片见图 9-5。

（1）周向型便携式探伤机　　　　（2）定向型便携式探伤机

图 9-5　便携式探伤机照片（示例）

9.2.2.2 工作方式

本项目为固定式探伤，固定式探伤（周向+定向）时辐射工作人员在控制室操作。探伤作业时将 X 射线探伤机出束窗口对向待测工件，工件的另一端放置胶片，工作时控制室内辐射工作人员采用隔室操作的方式控制 X 射线探伤机产生 X 射线照射工件，X 射线透过工件在对面的胶片上成像，然后洗出胶片观察焊缝。定向机正对南墙照射，西墙部分墙体也为主射墙，周向机放置在轨道中间照射，南墙、北墙、顶棚、地板均为主射墙；便携式探伤机配备支架，探伤机射线头可在距离地面 0.5m-2m 范围内调节，探伤机移动范围具体见图 10-5 所示。

9.2.2.3 设备参数

本项目拟购置探伤机主要性能参数见表 9-2。

表 9-2　探伤机主要性能参数表

项目	参数	
设备类型	周向 X 射线探伤机	定向 X 射线探伤机
设备型号	待定	待定
数量	1 台	1 台
生产厂家	/	/
最大管电压、管电流	360kV、5mA	300kV、5mA
X 射线束辐射角	平面 360°，侧向 40°	40°
射线管焦点尺寸	1.0mm×3.0mm	2.5mm×2.5mm
焦距	600mm	600mm
电压可调节范围	200～360kV	130～300kV
最大穿透	70mm 钢	45mm 钢
过滤板厚度	3mmCu	3mmAl
冷却方式	阳极接地散热器强制空冷方式	阳极接地散热器强制空冷方式
成像方式	拍片成像	拍片成像
备注：探伤机的过滤板材质和厚度按照对应最大管电压的常用过滤板材质和厚度来考虑。		

9.2.2.4 工作原理

①X 射线产生原理

探伤机主要由射线管和高压电源组成，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靶体射击。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图 9-6。

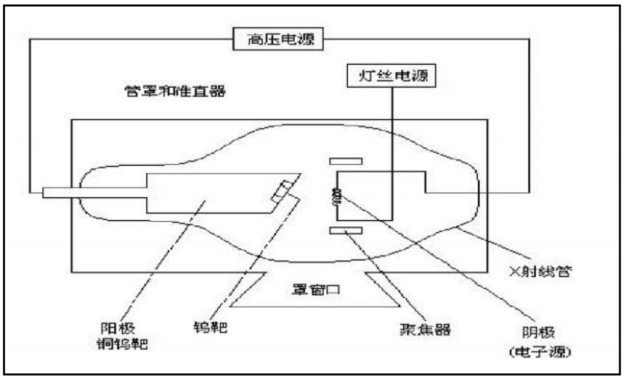


图 9-6　X 射线管原理示意图

②胶片成像原理

具体见 9.2.1.4②所示。

9.2.2.5 工艺流程及产污环节

本项目便携式探伤机在曝光室内探伤，其工艺流程如下：

①准备工作：工作开始前进行检查，主要包括探伤机外观是否完好、电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损、安全联锁是否正常工作、报警设备和警示灯是否正常运行、螺栓等连接件是否连接良好、个人剂量报警仪是否正常工作、X 射线探伤机与操作台的连接是否良好、电源插头是否正常、安全、可靠等。所有检查完成后辐射工作人员随身携带好个人剂量计和个人剂量报警仪，插上便携式探伤机电源插头，开启操作台上电源开关，预热。

②摆放检测工件和探伤机：打开曝光室工件门，使用厂房内的行车将待检工件放入平车内，并通过轨道送入曝光室内适当位置。根据探伤工件大小、尺寸、待检部位，选择并从储存柜内取出定向或周向 X 射线探伤机。根据检测需求将探伤机出束窗口对准待检部位。

③贴胶片：在待检工件的检测位置贴上胶片，根据检测位置的情况，选择不同尺寸、不同数量的胶片，每个位置贴一张并加以编号，检查确认无误。

④安全检查：工作人员巡视曝光室，清场后关闭工件门，通过迷道撤离曝光室后关闭人员门。通过视频监控再次确认曝光室内部没有人员驻留，确保所有防护与安全装置系统都启动并正常运行。

⑤设置参数：开启控制器电源，确认数码管显示与拨号盘一致、初级电压指

示表指针在一半位置上，否则严禁开启高压；当电源电压正常时，根据曝光曲线选择合适的管电压和曝光时间。

⑥检查曝光室工件门、人员门的关闭情况，在确认所有防护门已关闭的情况下开机曝光。按下探伤机高压按钮并持续 1 秒钟，系统将自己延时 1 分钟，在延时阶段，会听到“嘀----嘀”警报声，延时时间到后自动启动曝光操作，同时操作面板上的射线警示灯闪动，时间显示窗口开始倒计时，X 射线发生器开始工作，向外辐射 X 射线；当数码管显示“0.0”时，曝光结束。仪器自动切断高压，喇叭“嘟..嘟..嘟..”鸣叫 3 声，并进入 1:1 休息，数码管显示预选值，准备下一次曝光。此时，“准备”灯灭，等到与上次工作时间相等时，“准备”灯亮。

⑦探伤结束后，关闭探伤机电源。辐射工作人员确认固定式场所辐射探测报警装置的监测值正常，携带个人剂量计和个人剂量报警仪通过人员门进入曝光室，将探伤机放入储存柜内。从工件上取下已经曝光的 X 光胶片，打开工件门将工件送出曝光室外。所有探伤结束后，关闭电源。

⑧洗片评片：X 光胶片在暗室的洗片机上洗片，在烘干室晾片，在评片室评片。评片完成后合格胶片存放在资料室内。

⑨出具报告：根据检测结果出具相应的检测报告。

本项目工艺流程中工作全部由辐射工作人员操作完成。检测工件在检测完成后，返回来源处处理。

便携式探伤机的探伤工艺流程及产污环节示意图见附图 9-7 所示。

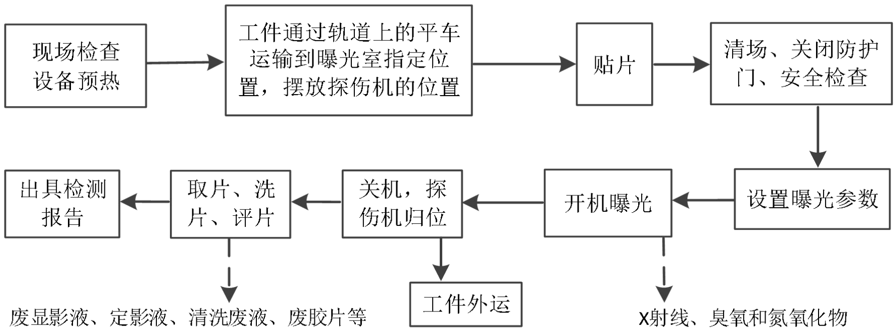


图 9-7　便携式探伤机探伤工艺流程及产污环节示意图

9.2.3 路径规划

本项目曝光室探伤路径规划分为人流路径和物流路径，具体如下：

续表 9　项目工程分析与源项

（1）人流路径

本项目辐射工作人员经控制室门进入控制室内，从曝光室北侧人员门进出曝光室。

（2）工件路径

本项目拟检测的工件经曝光室东侧工件门进出。

（3）危废路径

本项目探伤洗片产生危险废物收集后由项目西北侧结构件联合厂房的门出来，向南沿重水公司厂区道路运至重水公司危废暂存间暂存，定期运出交有危废处理资质的单位收集处置。

项目人流物流规划路径示意图见图 9-8 所示。

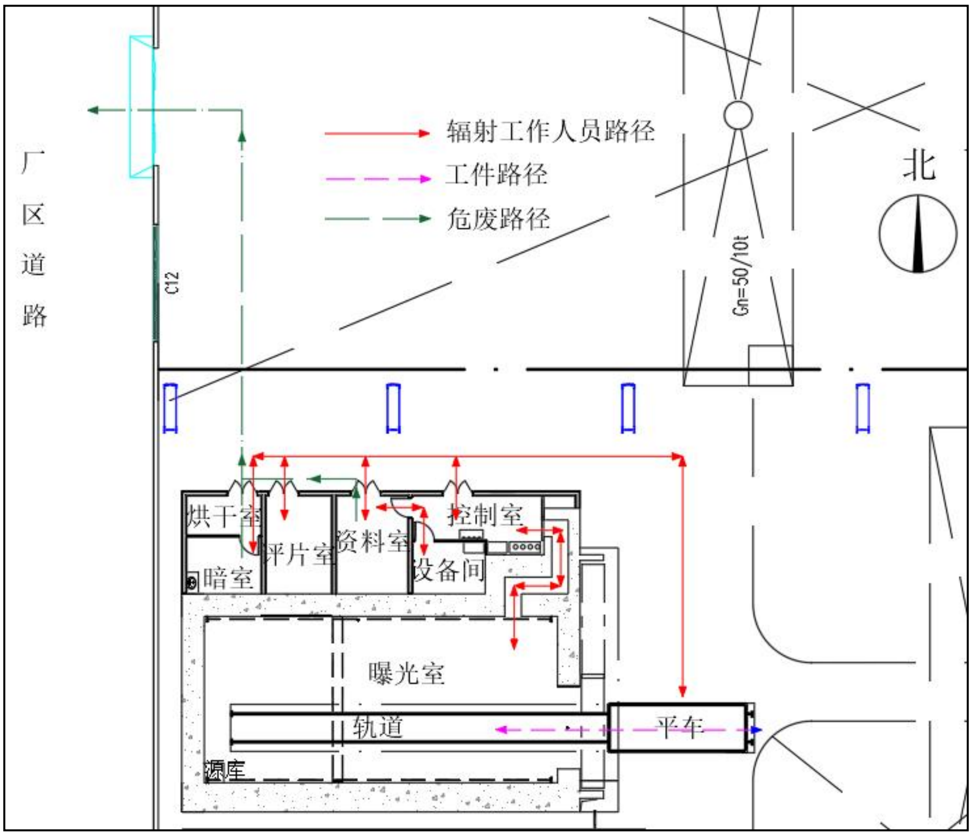


图 9-8　项目人流、物流规划路径示意图

9.2.4 工作负荷

曝光室每次无损检测时仅开启一台探伤装置，不存在 2 台及 2 台以上探伤装置同时开机运行的情况。

根据建设单位提供的资料，本项目探伤工作时间见下表 9-3 所示。

表 9-3　项目探伤工作时间表

设备型号	单次最长曝光时间（min/次）	周最大曝光		年最大曝光	
		次数（次/W）	时间（h/W）	次数（次/a）	时间（h/a）
电子直线加速器	5	16	1.3	800	66.7
周向便携式探伤机	5	18	1.5	900	75.0
定向便携式探伤机	5	72	6.0	3600	300.0
小计	/	/	**8.8**	**5300**	**441.7**

9.2.4 污染源项描述及产排污分析

9.2.4.1 放射性污染源项（电离辐射）

本项目为无损检测（探伤），本项目电子直线加速器输出的 X 射线最大能量为 2MeV，不产生中子和感生放射性，也不产生其他放射性“三废”。

（1）电子直线加速器

电子束：本项目不使用电子线，电子线被设备壳体挡住，不会照射到曝光室内及墙体上，本报告后续不再评价。

X 射线：加速器产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而发生韧致辐射，即产生 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。在加速器开机时间内 X 射线为主要辐射环境污染因素，污染途径为外照射。

辐射场中的 X 射线主要包括有用线束、泄漏辐射和散射辐射。根据设备厂家提供资料，电子直线加速器距靶 1m 处最大辐射剂量率为 200cGy/min，距靶 1m 处泄漏剂量率与 X 射线束中心轴线上剂量率的百分比应小于 0.1%，取值 0.1%，即 0.2cGy/min。参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），对于能量大于 3MeV 的 X 射线，认为其散射一次后的能量均为 0.5MeV。本项目的能量为 2MeV，其散射能量保守按照 0.5MeV 考虑。

（2）便携式探伤机

由 X 射线探伤机工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失，本项目使用的 X 射线探伤机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 X 射线探伤工作流程，X 射线探伤机与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为 X 射线球管出束照射工件期间，它产生的 X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口过滤板有关。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工件，形成工件无损检测的射线。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 B 中表 B.1 进行外推或者内插，本项目 X 射线探伤机距辐射源点（靶点）1m 处 X 射线输出量见表 9-4。

表 9-4　便携式探伤机 X 射线输出量表

设备类型	周向 X 射线探伤机	定向 X 射线探伤机
额定电压	360kV	300kV
过滤板厚度	3mmCu	3mmAl
X 射线输出量 $mGy\cdot m^2$/（mA·min）	18.6（内插）	20.9

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2022）要求，管电压大于 200kV 的 X 射线探伤机距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 5mGy/h。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测工件、射线接收装置、地面、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线探伤机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2 可知，探伤机 90°散射辐射能量最高，管电压 360kV 的 X 射线散射能量最大为 250kV，管电压 300kV 的 X 射线散射能量最大为 200kV。

9.2.4.2 非放射性污染源项

（1）废气

射线装置运行过程中产生的 X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物。

本项目拟使用电子直线加速器和便携式探伤机，因便携式探伤机的最大管电压较小（360kV），产生的臭氧和氮氧化合物很少，且相关标准对便携式探伤的曝光室仅要求通风换气，因此，本次仅针对电子直线加速器运行时产生的臭氧和

氮氧化物进行预测。

本项目射线源与辐照装置射线源一致，且《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B.4 中关于有害性气体的产生和排放计算公式与射线装置能量无关，因此本项目参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）计算曝光室内有害气体的产生和排放情况。

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B.4，如 X 射线在距靶 1 米处的周围剂量当量率为 D_{10}，则 X 射线产生的臭氧可用下式估算：

$$P=2\times10^{-9} D_{10}SL \quad （式 9-1）$$

式中：

P—臭氧的产生率（$L\cdot s^{-1}$）；

D_{10}—X 射线在距靶 1 米处的周围剂量当量率（$Gy\cdot s^{-1}$）；

S—受辐照区域的大小（m^2）；

L—X 射线在空气中路径长度（m）。

同时，曝光室内非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的 10%，因此，项目曝光室臭氧产额考虑为上公式计算结果的 1.1 倍。X 射线源焦点与南墙的最长距离为 7.5m，则 X 射线照射野最大面积为 $3.14\times(\tan15°\times7.5)^2=12.68m^2$，各参数的取值和计算结果见表 9-5。

表 9-5 曝光室的 O_3 产额的计算参数和计算结果表

名称	D_{10}（Gy/s）	S（m^2）	L（m）	P（L/s）
曝光室	3.33×10^{-2}	12.68	7.5	6.97×10^{-9}

由上表可知，本项目电子直线加速器开机时所致O_3产生率为6.97×10^{-9}L/s，O_3密度为2.144g/L，则O_3产生率为5.38×10^{-2}mg/h。根据HJ979附录B，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，则电子直线加速器运行时，曝光室氮氧化物产额为1.79×10^{-2}mg/h。

（2）废水

循环冷却水：项目电子直线加速器恒温水冷机组中的冷却水为购买的纯净水或去离子水等，闭路循环使用，定期补加，每年更换一次，排放水量约 0.14m^3，通过曝光室西南侧排水槽排入试压区。

生活污水：本项目辐射工作人员仅 6 名，不会增加重水公司原总劳动定员数

续表 9　项目工程分析与源项

量，生活污水依托重水公司厂区污水处理设施处理。

（3）固体废物

①生活垃圾：项目辐射工作人员产生的生活垃圾依托重水公司现有的生活垃圾收集点暂存交环卫部门处理。

②更换的结构部件：电子直线加速器的主要结构部件如靶、准直器等均为金属制品，一般使用 4~5 年更换一次。更换工作由电子直线加速器售后维修单位完成，更换下来的结构部件依托重水公司的一般工业固废库暂存，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。

③废胶片

本项目电子直线加速器、便携式探伤机开展无损检测工作，每年曝光片子 22400 张（含废胶片，按 5%考虑，约 1120 张）。废胶片属于《国家危险废物名录》（2021 版）中感光材料废物 HW16，废物代码为 900-019-16，无放射性。废胶片和存档到期的胶片依托重水公司危废暂存间暂存，交有危废处理资质的单位收集处置。

由于无损检测胶片尺寸大小存在差异，单片平均重量保守按 10g 计。根据公司资料，胶片存档至少 10 年，则废胶片及存档到期的胶片预计年产生量约为：前 10 年 11.2kg/a，10 年后约 224kg/a。

④洗片废液

洗片废液分为废显影液、废定影液、废清洗液。

洗片的显影液、定影液由浓缩液按照一定比例兑水后使用，清洗液直接为清水。由于配置好的定影液、显影液存放时间过久影响洗片质量，公司洗片一定时间后按要求进行更换，更换下来的就成为废定影液、废显影液。根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废显影液、废定影液主要成分为对苯二酚、亚硫酸钠，并含重金属银，属于国家危险废物名录中感光材料废物 HW16，无放射性，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）。

废清洗液：本项目洗片过程中进行三次自来水清洗（停影槽、清洗槽、冲洗池），清洗水循环、流动使用，直到不能满足清洗要求后再行更换。废清洗液含有少量的对苯二酚、亚硫酸钠和重金属银，若作为废水处理，应设置污水处理装

置，出水中总银的含量满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中表 1 的要求（总银最高允许排放浓度不大于 0.5mg/L）。由于废清洗液可生化性较差，且产生量小，单独处理效率低且投资成本高。公司拟将废清洗液一并作为危险废物管理，与废显影液、废定影液一起交有资质单位处置。该类废清洗液属于具有危险特性，可能对生态环境或者人体健康造成有害影响的废液，根据其成分，按照《国家危险废物名录》（2025 年版）中 HW16 进行管理。

根据重泵公司提供的洗片机及洗片废液更换情况等资料，项目洗片废液产生量见下表 9-6 所示。

表 9-6　项目洗片废液产生量统计表

<table>
<tr><th colspan="2">名称</th><th>最大容量（kg）</th><th>浓缩液与水的配比</th><th>更换频率</th><th colspan="3">废液产生量（kg/a）</th></tr>
<tr><td colspan="2">显影液</td><td>20</td><td>1：4</td><td>1.5 月 1 次</td><td>160</td><td rowspan="2">240</td><td rowspan="5">1400</td></tr>
<tr><td colspan="2">定影液</td><td>20</td><td>1：3</td><td>3 个月 1 次</td><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="3">废清洗液</td><td>停影液（清水）</td><td>10</td><td>/</td><td>1.5 月 1 次</td><td>80</td><td rowspan="3">1160</td></tr>
<tr><td>清洗液（清水）</td><td>10</td><td>/</td><td>1.5 月 1 次</td><td>80</td></tr>
<tr><td>冲洗液（清水）</td><td>1000</td><td>/</td><td>循环使用
1 年 1 次</td><td>1000</td></tr>
</table>

项目暗室地面按照相关要求做防渗处理，拟依托重水公司危废暂存间设置 4 个废液收集桶（其中盛装废显影液、废定影液的收集桶各 1 个，容积均为 30L，盛装废清洗液的收集桶 2 个，容积均为 600L，能满足暂存要求），并在各废液桶收集下设防渗托盘，定期交有危废处理资质的单位收集处置。

综上，本项目危险废物产生及排放情况见表 9-7。

表 9-7　危废产生量及处理处置措施汇总表

<table>
<tr><th>危废名称</th><th>危废类别及代码</th><th>产生量(kg/a)</th><th>形态</th><th>主要成分</th><th>有害成分</th><th>产生周期</th><th>暂存时间</th><th>危险特性</th><th>处置措施</th></tr>
<tr><td>废胶片</td><td rowspan="2">HW16
900-019-16</td><td>0.38</td><td rowspan="2">固态</td><td rowspan="2">明胶
卤化银</td><td rowspan="2">重金属银</td><td rowspan="2">每次探伤</td><td>约 1 年</td><td>T</td><td rowspan="6">依托重水公司危废暂存间暂存，定期交有危废处理资质的单位收集处置。</td></tr>
<tr><td>存档胶片</td><td>76</td><td>≥10 年</td><td>T</td></tr>
<tr><td>废定影液</td><td>HW16
900-019-16</td><td>160</td><td>液态</td><td rowspan="4">对苯二酚
亚硫酸钠
重金属银</td><td>重金属银</td><td>1.5 个月</td><td>1.5 个月</td><td>T</td></tr>
<tr><td>废显影液</td><td>HW16
900-019-16</td><td>80</td><td>液态</td><td>重金属银</td><td>3 个月</td><td>1.5 个月</td><td>T</td></tr>
<tr><td rowspan="2">废清洗液</td><td rowspan="2">HW16
900-019-16</td><td>160</td><td rowspan="2">液态</td><td rowspan="2">重金属银</td><td>1.5 个月</td><td rowspan="2">1.5 个月</td><td rowspan="2">T</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>1 年</td></tr>
</table>

⑤报废的射线装置

本项目电子直线加速器、便携式探伤机使用一定年限后可能不能正常工作，报废成为固体废物。报废后的射线装置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。

（4）噪声

本项目拟配置的送风机、排风机源强一般不大于 70dB（A），设置在曝光室顶部，采取的降噪措施主要有减振、建筑隔声和距离衰减。

9.2.5　污染因子及产排污总结

综上所述，项目运营期产排污情况见表 9-8 所示。

表 9-8　本项目运营期主要污染物情况统计汇总表

污染物	产生设备	主要污染因子	产生情况	处理方式及去向
电离辐射	电子直线加速器	X 射线	X 射线能量为 2MeV，X 射线束中心轴线上距靶 1m 处 X 射线束空气吸收剂量率为 200cGy/min。 距靶 1m 处泄漏剂量率为 0.2cGy/min。 散射线能量 0.5MeV。	屏蔽体防护
	便携式探伤机（周向）	X 射线	X 射线能量为 360kV，管电流 5mA，距靶 1m 处 X 射线输出量为 18.6mGy·m²/（mA·min）。 漏射线所致周围剂量当量率小于 5mGy/h。 散射线能量 250kV。	
	便携式探伤机（定向）	X 射线	X 射线能量为 300kV，管电流 5mA，距靶 1m 处 X 射线输出量为 20.9mGy·m²/（mA·min）。 漏射线所致周围剂量当量率小于 5mGy/h。 散射线能量 200kV。	
污染物	**产生场所**	**主要污染因子**	**产生情况**	**处理方式及去向**
废气	曝光室	臭氧、氮氧化物等	臭氧：5.38×10^{-2}mg/h 氮氧化物：1.79×10^{-2}mg/h	独立排风系统，加强通风换气，引至结构件联合厂房西侧排放。
废水	项目工作场所	生活污水	少量	依托重水公司厂区污水处理设施处理。
	曝光室	直线加速器冷却循环水	0.14m³/a	通过曝光室西南侧排水槽排入试压区
固体废物	项目工作场所	生活垃圾	少量	依托重水公司现有收运系统，交环卫部门处理。

续表 9　项目工程分析与源项

<table>
<tr><td rowspan="5"></td><td rowspan="2">项目
工作场所</td><td>更换的加速器结构部件</td><td>少量</td><td rowspan="2">更换下来的结构部件及报废的去功能化的射线装置，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。</td></tr>
<tr><td>报废的射线装置</td><td>/</td></tr>
<tr><td>项目
工作场所</td><td>废胶片</td><td>前 10 年 11.2kg/a
10 年后 224kg/a</td><td>依托重水公司危废暂存间暂存，交有危废处理资质的单位收集处置。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">项目
工作场所</td><td>废显影液定影液</td><td>240kg/a</td><td rowspan="2">依托重水公司危废暂存间暂存，交有危废处理资质的单位收集处置。</td></tr>
<tr><td>废清洗液</td><td>1160kg/a</td></tr>
<tr><td>噪声</td><td>送风机
排风机</td><td>噪声</td><td>≤70dB（A）</td><td>采取减震措施、建筑隔声和距离衰减等措施。</td></tr>
</table>

表 10　辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 项目布局合理性分析

本项目探伤工作场所位于公司结构件联合厂房内西侧，为单层建筑，南侧布置曝光室，北侧布置相关辅助用房，从东到西依次为控制室/设备间、资料室、评片室、烘干室/暗室。项目辅助用房设置齐全，能满足项目运行的需要。

为方便工件的进出，曝光室东侧设置供工件进出的工件门，并在曝光室内地下设置1条东西方向的轨道，便于运输工件的平车运行。曝光室内空尺寸为18.05m×8.50m×9.10m，根据公司提供的拟探伤的工件尺寸，曝光室能容纳最大待检工件，因此本项目不会存在开门探伤的情况。

为便于辐射工作人员进出曝光室，曝光室与控制室之间设置供辐射工作人员进出的迷道和人员门，迷道为“多折”，能有效减少人员门的辐射压力和对辐射工作人员的影响。

曝光室与控制室分开设置，控制室与曝光室之间设置人员较少停留的设备间，设备操作时为隔室操作，能有效减少辐射工作人员的受照影响。

电子直线加速器和定向便携式探伤机的主射线方向朝向南侧，不朝向控制室等人员长时间停留区域以及两个防护门。周向便携式探伤机的主射线方向为南北方向，包含南墙、北墙、顶棚和地板，通过设置迷道、设备间避免了有用线束直接照向控制室，能有效减少辐射工作人员的受照影响。

因此，本项目探伤工作场所布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求，布局合理。

10.1.2 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定“控制区：在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对其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

为便于管理，切实做好辐射安全防范工作，建设单位拟对项目工作区域进行分区管理，将曝光室内部（包含迷道）划设为控制区，将曝光室外相邻区域划设为监督区。本项目分区满足各标准要求。

项目辐射工作场所分区具体情况见表 10-1，分区布置示意图见图 10-1。

表 10-1　项目分区情况表

类型	划分范围
控制区	曝光室（含迷道）
监督区	控制室、设备间、资料室、评片室、暗室，曝光室东侧探伤工件周转区、南侧试压区、西侧通道，以及曝光室顶部区域、辅助用房和迷道顶部区域

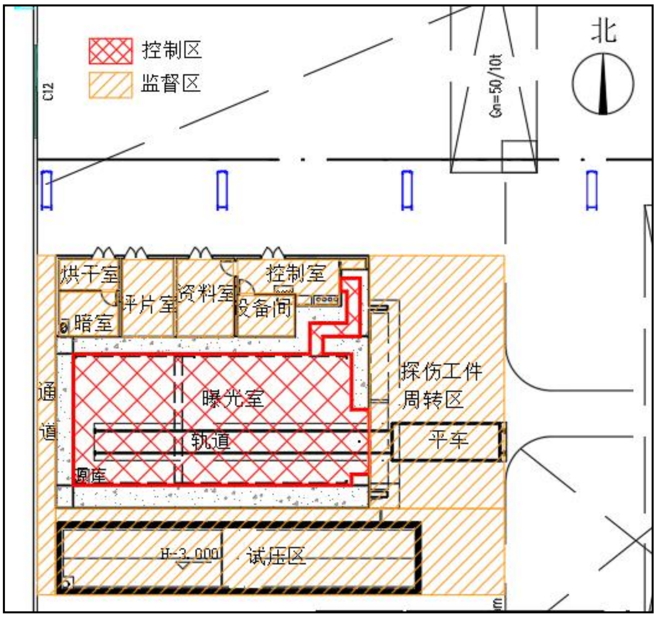


图 10-1 项目分区布置示意图

项目拟采取必要的措施加强分区管理，主要措施如下：

控制区：对控制区进行严格控制，射线装置在运行中严禁任何人进入。在各防护门上和其他必要的地方设置电离辐射警告标志和中文警示说明，以及按照标准要求设置门机联锁、声光报警装置等防止人员误入的控制措施/设施。

监督区：监督区一般不设置专门管控设施，但需加强周边活动人员管理，控制室为辐射工作人员操作设备的工作场所，禁止非辐射工作人员进入。

在控制区边界、控制区与监督区之间的穿墙管线等处开展定期监测工作，并在控制区、监督区适当位置设置分区标识。

10.2 辐射安全与防护设施/措施

续表 10 辐射安全与防护

10.2.1 工作场所实体辐射防护情况

（1）曝光室屏蔽体设计

根据建设单位提供的资料，曝光室墙体、顶棚、迷道、工件门均为混凝土（密度为 2.35g/cm³，下同）结构，四周墙体、顶棚和工件门的厚度在 0.80m～1.50m 之间，迷道（含顶棚）的厚度在 0.40m～1.15m 之间，人员门为 10mmPb。各屏蔽体的具体设计厚度情况见表 1-2 所示。

经后文核算，曝光室辐射屏蔽防护设计满足相关标准和辐射安全要求。

（2）屏蔽体施工要求

所有施工均按照《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）相应的工程建设标准执行。

曝光室及各防护门的生产、安装、施工由有资质的生产厂家承担。工件门的门洞尺寸（宽×高）为 4.20m×4.70m，工件门尺寸（宽×高）为 5.80m×6.30m，人员门的门洞尺寸（宽×高）为 0.85m×2.25m，人员门尺寸（宽×高）为 1.15m×2.4m。各防护门与墙体间缝隙较小，且与墙体间有 15cm 以上的搭接宽度，能确保搭接宽度不小于缝隙的 10 倍。

为保证曝光室满足辐射防护要求，曝光室四周墙体和屋顶混凝土浇筑工序要整体连续浇筑，保证各屏蔽体有效衔接；曝光室的工件门设计为混凝土结构，在门洞前的地沟凹槽内安装一平车轨道，大门门体底部左右两侧安装主动轮箱和从动轮箱，门体上部设有导轮组，在墙体上部设有上部支撑架和上导轨，门体运行的两个终点均设置有软、硬限位及缓冲机构，同时两个终点处设置宽 1.8m 高 6.1m 厚 0.3m 的挡墙，保证工件门的安全，同时遮挡部分门墙缝隙间泄漏的射线，减少对门外环境的辐射影响。

（3）穿墙管线

项目穿墙的管沟主要包括电缆管沟、排水管、送排风管，穿墙管沟的设置位置及穿墙处剖面见附图 6 所示。

①电缆管沟

在曝光室内和设备间、控制室设置地埋式电缆沟，容纳各种管线。曝光室内部分沿北墙建设，宽×深：200mm×200mm；曝光室外部分连接设备间和控制室，为“十”字形布置，宽×深：300mm×300mm。电缆沟上方设置钢盖板。

加速器电缆线为预埋 2 根水平并列的Φ400mm 的钢管套，穿墙处管顶高为-1.6m；便携式探伤机的电缆线为预埋 3 根水平并列的Φ200mm 的钢管套，穿墙处管顶高为-1.6m；另预埋 2 根照明和弱电用的Φ150mm 的钢管套，穿墙处管顶高为-1.6m。上述管线均采用“U”型方式穿越曝光室北墙。

②排水管

在曝光室南墙上靠近源库位置设置一个地漏，用于保持地面干燥以及排放空调冷凝水、直线加速器冷却循环水。在此防护墙体内预埋 1 根Φ100mm 的钢管套，通过地下深埋水平直穿方式穿出曝光室，穿墙处管道中心高度为-2.5m。

③送排风管

在曝光室西南侧顶部设置一个送风口，采用“Z”型方式穿越顶棚。进风管尺寸为 500×300mm。在曝光室内设置 3 个排风口，均并列布置在轨道地沟内北侧，（支风管）向西侧汇合后（主风管）沿曝光室西侧墙体上顶，采用“Z”型方式穿越曝光室顶棚后再引至联合厂房西侧外排。支风管尺寸为 400×300mm，顶部标高为-0.15m；主风管尺寸为 500×300mm。穿越处顶部均设置混凝土罩子屏蔽、铅格栅。

各穿墙管线预埋管径较小，采用“U”型穿越、深埋直穿、“Z”型等方式，射线经多次散射后才能穿出室外，穿墙管线不影响屏蔽体的屏蔽能力，穿墙管线对曝光室周围环境和人员的影响较小。

10.2.2 设备安全功能

10.2.2.1 电子直线加速器

建设单位拟从正规厂家购买符合相关标准要求的电子直线加速器。电子直线加速器具有以下固有安全功能。

（1）操作人员钥匙联锁：加速器的主控钥匙开关和曝光室工件门、人员门联锁。加速器操作台需要插入钥匙才能出束。如从控制台上取出钥匙，加速器自动停机。在运行中钥匙由专人负责保管。操作人员离开操作台时，取下钥匙，加速器无法开机，可避免误照射发生。加速器每天工作结束后，做好安全记录。

（2）加速器系统的操作控制程序由密码控制，未经单位辐射安全管理人员允许不得修改。

续表 10　辐射安全与防护

（3）加速器机头设置有射线限束装置，射线限束装置把射线束准直成一定厚度锥形束，其射线束的锥角尽可能的小。

（4）设备状态及故障显示、报警及自动停机：加速器配备了先进的故障自检系统，当设备出现任何异常情况时，它能够自动地进行故障检测。一旦检测到故障，系统会立即启动报警机制，通过声音或灯光等方式提醒操作人员。同时，设备的显示屏上会清晰地显示出具体的故障名称以及故障类型，以便于技术人员快速识别问题所在。更为人性化的是，一旦故障被确认，设备会自动进入停机状态，确保不会因为继续运行而导致更严重的损坏在停机状态下，设备会等待专业人员前来进行故障处理和维修工作，从而保障设备的安全和延长使用寿命。

（5）显示装置的主要参数：在加速器系统中，控制器上特别配备了先进的触摸屏功能，用户可以通过这个触摸屏直观地查看和操作加速器系统的多个关键参数。这些参数包括能量输出、剂量率以及时间设置等。此外，触摸屏还能够展示运动系统中各个运动轴的实时位置数值，这些运动轴包括升降、左右移动、前后调整、仰俯角度以及旋转五个方向，本项目旋转情况出厂设定后，仅设备厂家才能修改，一般人员不能修改。为了保证这些运动的精确控制，每个运动轴都采用了高性能的伺服电机进行驱动。通过触摸屏，不仅可以监控这些轴的实时状态，还可以在必要时进行调整，确保整个系统的高效和准确运行。

10.2.2.2 便携式探伤机

建设单位拟从正规厂家购买符合相关标准要求的便携式探伤机。便携式探伤机。具有以下固有安全功能。

（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，该探伤机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，根据需要与厂家联系并维修。

（2）延时启动功能：按下开高压按钮启动曝光后，在产生 X 射线之前，系统将自己延时 1 分钟，在延时阶段，会听到“嘀----嘀”警报声。这时用户也可以按下高压按钮来停止探伤机的启动。

（3）当 X 射线发生器接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线发生器的各种参数，当发生异常情况时（X 线球管过热、设备绝缘层击穿等），

控制器自动切断 X 射线发生器的高压。在曝光阶段出现任何故障，控制器都将立即切断 X 射线发生器的高压，蜂鸣器会持续响，提醒操作人员发生了故障。

（4）当曝光阶段正常结束后，系统将自动切断高压，进入休息阶段，在休息阶段任何按键不可用，所有指示灯均熄灭，停止探伤作业。

（5）设备停止工作规定时间（一般不超过 48h），再使用时要进行训机操作后才可使用，避免 X 射线发生器损坏。

（6）过电流保护：设备带有过电流保护继电器，当管电流超过额定值时或高压对地放电时，设备会自动切断高压。

（7）失电流保护：设备带有失电流保护继电器，当管电流低于 0.25mA 时，自动切断高压。

（8）过电压保护：设备带有过电压保护继电器，当高压超过额定值时，自动切断高压。

（9）继电保护：温度继电器及射线屏蔽室门开关的触点均为串联，在正常时均接通；若有一个没接通，不能达到高压。

（10）操作台安全措施

①操作台拟设置 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，拟设置高压接通时的外部报警或指示装置。

②操作台上拟设置与曝光室各防护门联锁的接口，当防护门未关闭时不能接通 X 射线管管电压；已接通的 X 射线管管电压在任一防护门开启时能立即切断。

③操作台拟设置钥匙开关，只有在打开操作台钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。三台射线装置的钥匙串在一起，钥匙由操作人员随身携带保管，换班、检修时检查钥匙交接情况，防止非工作人员误操作设备。

④操作台拟设置紧急停机开关，拟设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

10.2.3 联锁系统

加速器及便携式探伤机系统与曝光室工件门、人员门、紧急停机按钮、射线

源开关钥匙、声光报警灯等安全联锁。只有满足所有防护门关闭、紧急停机按钮复位、射线源开关钥匙开启等联锁条件，且设备准备就绪，才能启动设备出束进行探伤。

本项目的电子直线加速器和2台便携式探伤机均在该探伤场所的曝光室内工作。电子直线加速器操作台单独设置，2台便携式探伤机的操作台设置在一起，3台设备的出束钥匙串结在一起，同一时间段只能开启1台射线装置出束；通过设计PCL电路，控制逻辑，曝光室的辐射安全联锁设施（如防护门、急停按钮等）只能接入一台设备，接入拟出束射线装置后设备自检通过后才能出束，不存在多台射线装置同时开机出束的情况，因此本项目曝光室内设置3台射线装置工作的安全风险可控，具有可行性。

10.2.4 通风换气

曝光室拟配置独立的送排风系统，用于曝光室内通风换气。进风口位于曝光室西南侧顶部，3 个排风口基本位于曝光室最低位置，并列布置在轨道地沟内北侧，形成上进下出的换气方式。曝光室排风量 8000m³/h，通风换气约 5 次/h，满足标准要求。

10.2.5 剂量监测装置

曝光室内拟安装 1 套固定式辐射场报警仪，对设备的出束状态进行监测，监测装置探头设置在曝光室内（工件门上、迷道内各 1 个），显示器设置在系统控制室内，固定式辐射场报警仪设置预设值，超过预设值时装置将报警。同时配备 1 套 X/γ便携式监测仪用于日常监测。

10.2.6 视频监控系统

曝光室内拟安装摄像头，保证曝光室（含迷道）内全方位监控，监视器设置在系统控制室内。

10.2.7 声光报警灯、电离辐射警告标志

在工件门口外、人员门口外及曝光室内均拟设一组声光报警灯，为红黄两色。加速器电源开启，安全联锁就绪时显示黄灯并蜂鸣预警；加速器出束时显示红灯及蜂鸣报警。声光报警灯旁拟设置相应状态标识，明确加速器工作状态。声光报警灯与加速器联锁。便携式探伤机运行时声光报警灯的连锁接入便携式探伤机，

报警信息一致。

拟在曝光室工件门、人员门上设置电离辐射警告标志，并根据项目分区，设置相应的分区标识。

10.2.8 急停开关、现场清场复位按钮

曝光室四周墙体、迷道、加速器设备、加速器及便携式探伤机的操作台上拟安装紧急停机按钮；曝光室内墙面、迷道拟安装现场清场复位按钮。紧急停机按钮、现场清场复位按钮处拟设置明显标识。人员能够不通过主射线按下急停按钮，在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动设备。辐射工作人员巡检路径见图 10-2。

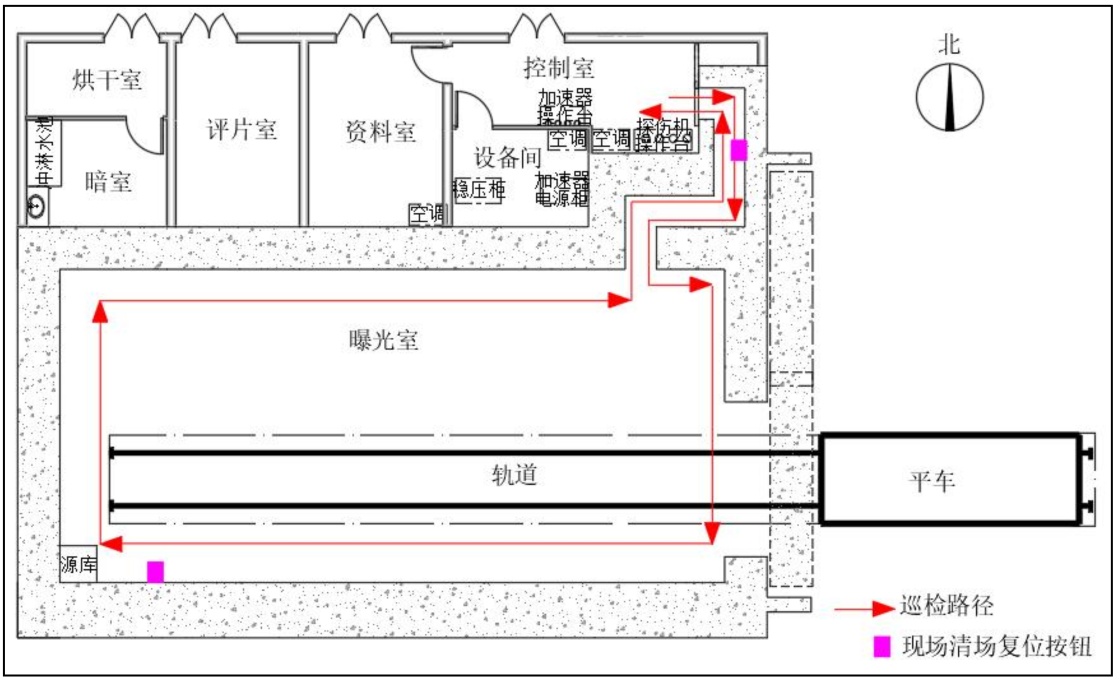


图 10-2　辐射工作人员巡检路径图

10.2.9 开门按钮、应急开门按钮

拟在系统控制室人员防护门旁设置开门按钮；同时曝光室内工件门、人员进出防护门旁拟设置 2 个应急开门按钮，应急开门按钮处拟设置明显标识，在发生意外时可由曝光室内人员通过该按钮打开防护门出来。人员防护门为滑轮形式，停电的紧急情况下可人为手动缓慢打开人员防护门，不停电状态下只能使用控制内开门装置按钮开启，不能人为打开。

10.2.10 对讲系统

本项目曝光室内安装有扩音器，辐射工作人员通过扩音器提醒所有人员撤离，对曝光室进行清场，清场后操作系统出束。

10.2.11 射线装置活动范围

通过系统设置，本项目直线加速器垂直南墙照射，可上下、左右、前后移动，结合探伤工件的尺寸大小及确保主射墙为南墙，直线加速器上下移动范围为距离地面0.5m-4m，直线加速器移动范围详见图10-3。

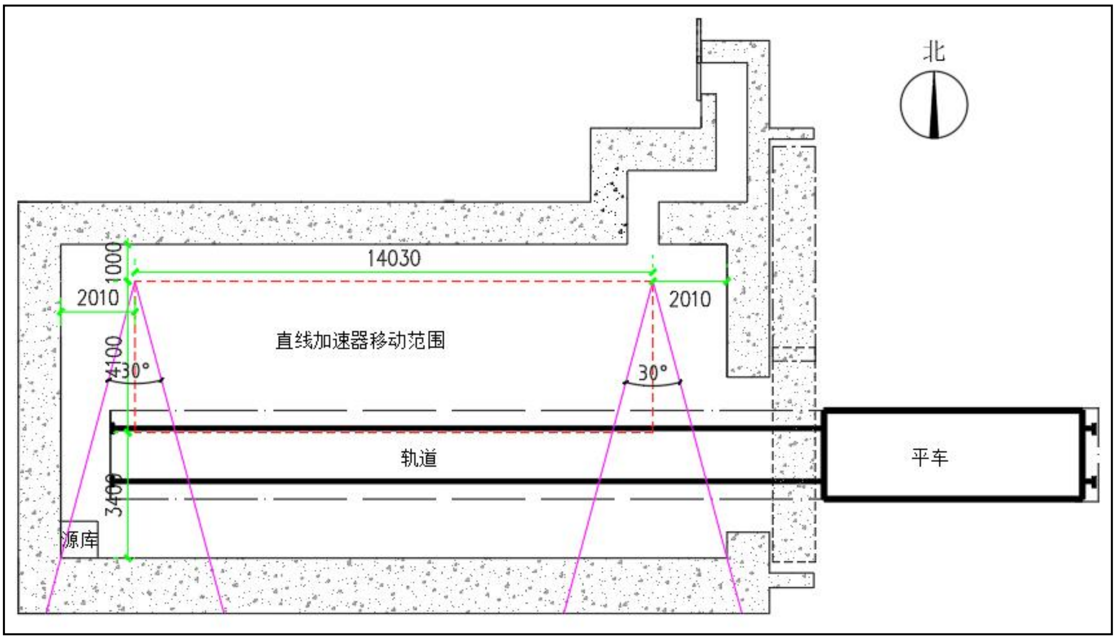


图 10-3　直线加速器移动范围图

定向机正对南墙照射，西墙部分墙体也为主射墙，周向机放置在轨道中间照射，南墙、北墙、顶棚、地板均为主射墙；便携式探伤机配备支架，探伤机射线头可在距离地面 0.5m-2m 范围内调节，移动范围详见图 10-4。将定向机的移动范围标志在地面上。

续表 10　辐射安全与防护

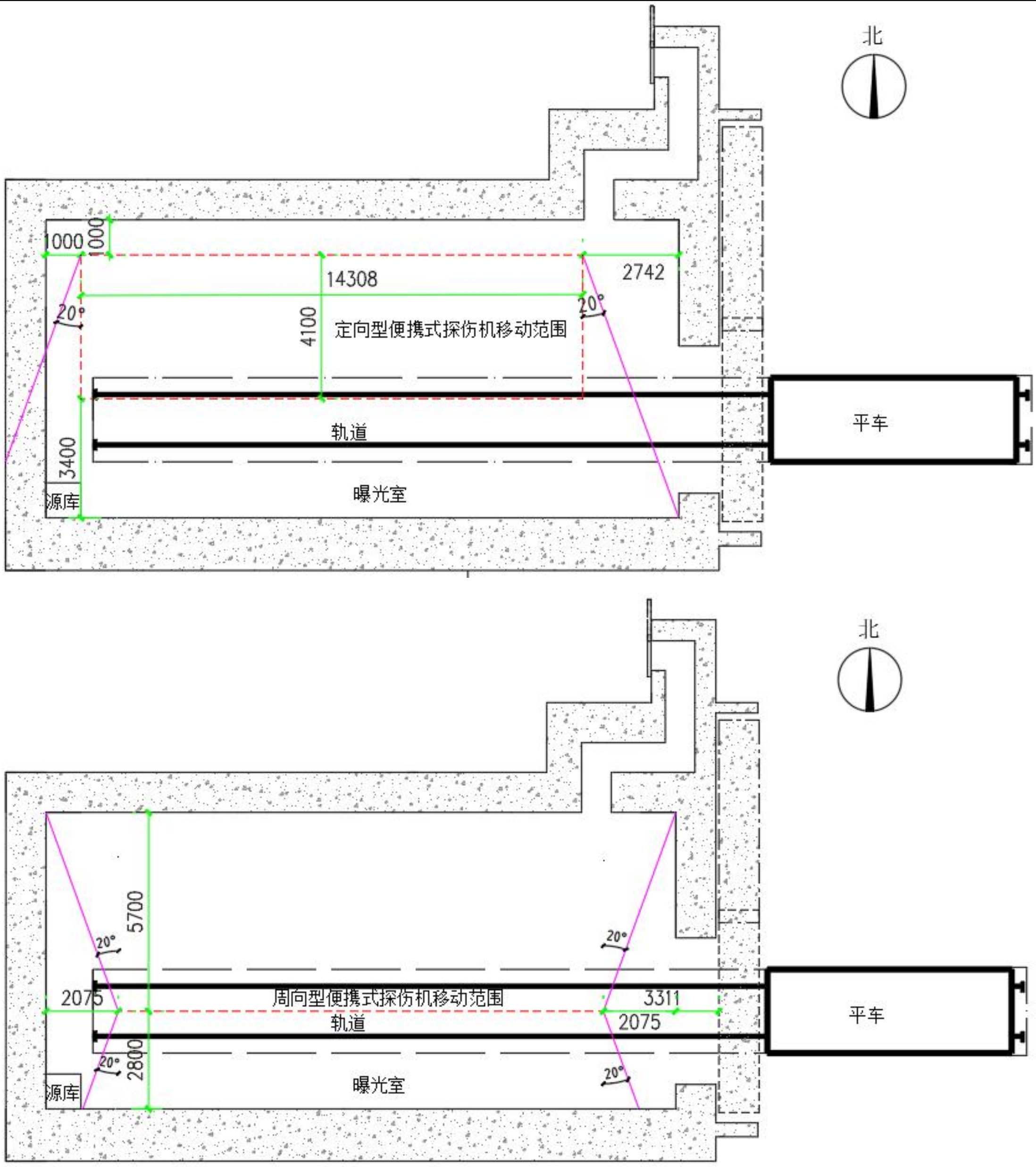


图 10-4　便携式探伤机移动范围图

10.2.11 综合情况

综上所述，项目拟配置的各辐射防护与安全设施、监测仪器等见表 10-2。项目曝光室主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-3，电子直线加速器、便携式探伤机的安全联锁逻辑关系见图 10-5、图 10-6、图 10-7。

表 10-2　项目个人防护用品及防护措施一览表

类型	名称	曝光室
拟配备监测仪器	固定式辐射场报警仪	1 套
	个人剂量计	辐射工作人员每人 1 个
	个人剂量报警仪	辐射工作人员每人 1 个

续表 10　辐射安全与防护

	X/γ便携式监测仪	1 套
拟配备防护措施	监控系统	1 套
	声光报警灯	3 组。在工件门口外、人员门口外及曝光室内各 1 组
	电离辐射警告标志	若干
	急停按钮	12 个。曝光室 9 个（其中加速器机头上 1 个），控制室 3 个（直线加速器、2 台便携式探伤机操作台上各 1 个）
	现场清场复位按钮	2 个
	开门按钮	3 个。工件进出防护门内 1 个、人员进出防护门内外各 1 个
	对讲机	工作人员均需配置

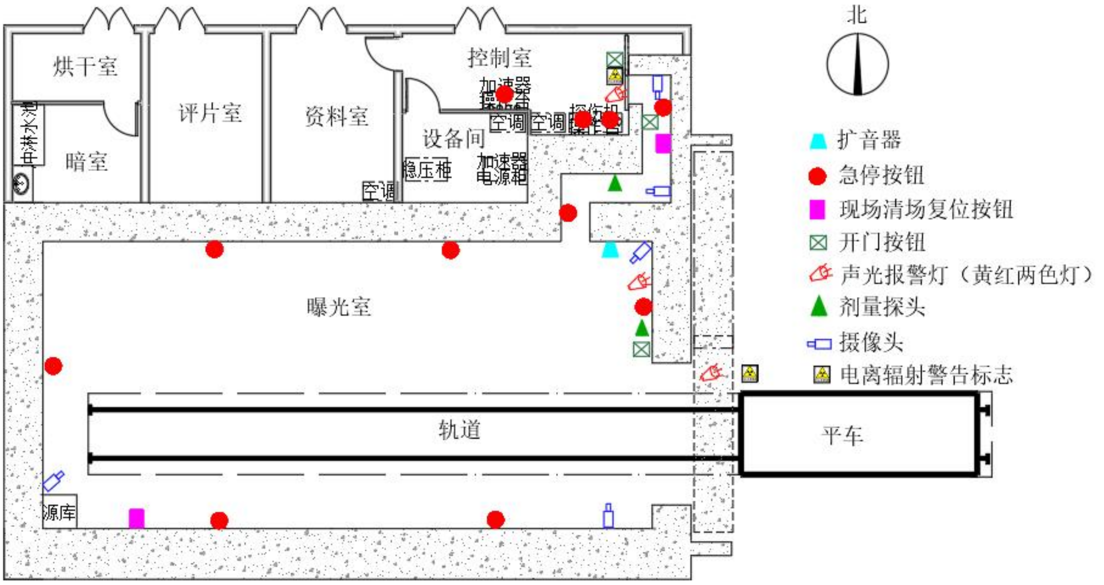


图 10-5　曝光室辐射防护与安全措施示意图

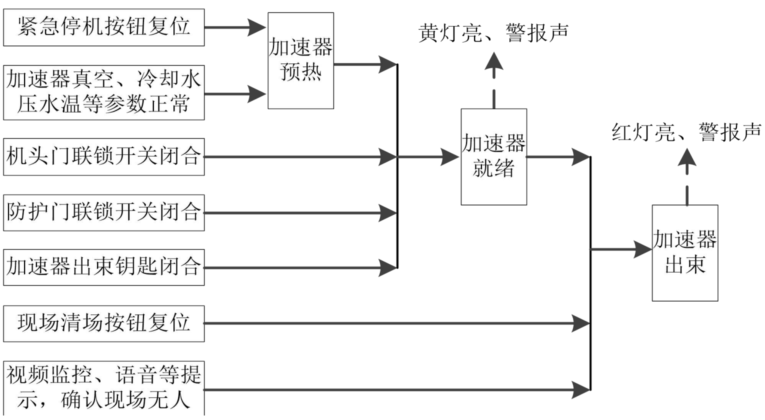


图 10-6　电子直线加速器安全联锁逻辑关系示意图

续表 10　辐射安全与防护

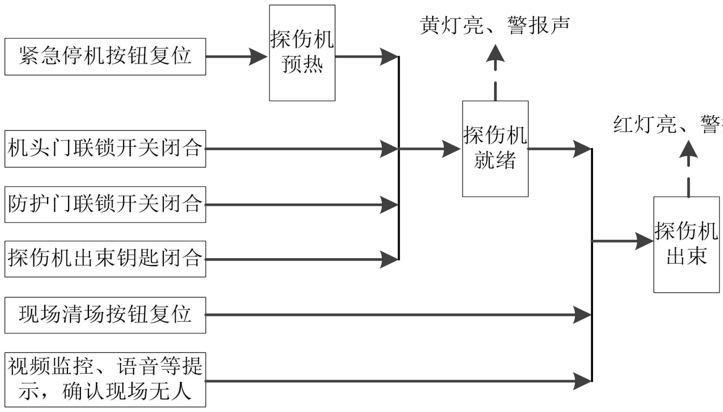


图 10-7　便携式探伤机安全联锁逻辑关系示意图

从上图可知，仅当曝光室的门机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、加速器/便携式探伤机自检正常等全部满足要求，才能通过钥匙启动加速器运行出束。当前述任一条件出现故障不满足要求时，加速器/便携式探伤机不能运行出束；同时，在加速器/便携式探伤机运行出束过程中，前述任一条件不能满足时，加速器/便携式探伤机自动停止出束。

综上所述，项目拟设置的辐射防护安全设施能满足辐射防护的要求，保证射线装置正常运行，减少对周围环境和人员的影响。

10.3 放射性“三废”的处理

本项目运行不产生“放射性”三废。

10.4 项目服务期满后环保要求

若本项目电子直线加速器、便携式探伤机报废或退役时，对射线装置按照相关要求进行拆解去功能化，依托重水公司厂区的一般工业固废库暂存，再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。

曝光室退役时，应按照相关法规要求，清除所有电离辐射警告标志和安全告知等。

10.5 项目辐射安全与防护措施符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护设施/措施与对应标准要求对比情况见表 10-3 所示。

根据下表所示，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《无损检测用电子

续表 10　辐射安全与防护

直线加速器工程通用规范》（GBT30371-2013）、《无损检测用电子直线加速器GBT20129-2015》、《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）等相关标准的要求。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-3 项目拟采取的辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准号	标准要求		项目情况
《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）	5.2 控制系统要求	5.2.1 控制系统设计应遵循确保人身、设备、剂量安全的原则。	本项目电子直线加速器控制系统设有多重辐射安全防护措施，遵循并确保人身、设备、剂量安全的原则。
		5.2.2 开机和停机操作应在控制台上进行，同时要有紧急停机装置。	本项目电子直线加速器控制台上拟设置钥匙开关、紧急停机装置等。
		5.2.3 控制按钮应采用安全电压。	本项目电子直线加速器控制按钮拟采用安全电压。
		5.2.4 控制系统应具备如下功能：a 正常开机和停机；b)出束前声光报警；c)设备状态及故障显示、报警及自动停机；d)显示装置的主要参数；e)安全联锁；f)紧急停机。	本项目电子直线加速器控制系统具备正常开机与停机功能；拟设置声光报警灯，声光报警灯与控制系统联锁，加速器出束前，拟进行声光报警；系统控制电脑上能够看到设备状态及故障显示、报警及自动停机、装置的主要参数等；拟设多重安全联锁功能；拟在曝光室、迷道、加速器机头及操作台上安装紧急停机按钮。
	8.1.2 设计原则	8.1.2.3 应按照纵深防御、冗余性、多元性、独立性的原则进行设计。	本项目拟按照纵深防御、冗余性、多元性、独立性的原则进行设计和建设。
		8.1.2.5 在加速器 X 射线束能量大于或等于 10MeV 时，辐射屏蔽设计应考虑中子辐射。	本项目加速器能量小于 10MeV，不考虑中子及中子俘获产生的γ射线的防护，屏蔽材料拟使用混凝土、铅。
	8.1.3 辐射防护安全要求	8.1.3.1 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应不低于 C25，密度不应低于 2350kg/m³	本项目各屏蔽材料拟采用 C25 等级，密度为 2350kg/m³的混凝土。

		8.1.3.2 辐射屏蔽室的结构及预埋件、穿越防护墙线缆及管道应满足所有设备安装、运行、检修和维修的要求，且不能影响辐射防护效果。	曝光室穿墙管线和通风管沟采用地下 U”型、地下深埋直穿、“Z 型”方式穿墙，不影响曝光室内所有设备安装、运行、检修和维修的要求，且不会影响辐射防护效果。
	8.1.3 辐射防护安全要求	8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 的职业照射剂量限值要求(见附录 A)；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv；公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv。	根据后文表 11 核算，本项目辐射工作人员、公众成员年有效剂量分别满足年有效剂量 5mSv、0.1mSv 的限值。
		8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理，间隙与搭接比值不小于 1/10。	本项目屏蔽门与墙体拟按要求进行搭接，间隙与搭接比值不小于 1/10。
		8.1.3.5 辐射屏蔽室应设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和视频监控、紧急停机开关等装置；装备多个射线源装置时，应能联锁切换。	本项目曝光室内设置 1 台电子直线加速器和 2 台便携式探伤机，拟设置功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和视频监控、紧急停机开关等装置。通过设计 PCL 电路，3 台射线装置之间能联锁切换。
		8.1.3.6 辐射屏蔽室迷道入口处应设置显示加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志	工件门口外、人员门口外及曝光室内均拟设置声光报警灯（为红黄两色，表示加速器工作状态），工件门口外、人员门口外拟设置电离辐射警告标志。
		8.1.3.7 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。	拟配备满足本项目电子直线加速器操作使用的剂量监测设备、个人剂量计等，具体见表 10-2。
	8.1.4 工程安全要求	8.1.4.3 通风要求 8.1.4.3.1 辐射屏蔽室应根据 GBZ2.1-2007 规定的工作场所的臭氧和氮氧化物等有害气体接触限值(见附录 B.3)，结合加速器装置最大能量、最大剂量输出工况进行通风设计。	本项目曝光室内拟设置通风换气装置，排风量 8000m^3/h，通风换气约 5 次/h，并根据后文核算，电子直线加速器出束时，曝光室内的臭氧和氮氧化物浓度满足标准要求。

	8.1.4 工程安全要求	8.1.4.5 抗震要求 抗震设防应符合 GB50223-2009 的要求，按丙类建筑设计抗震设防，抗震烈度符合国家和所在地区设防区划的要求。	拟按照标准要求，按丙类建筑设计抗震设防，抗震烈度符合国家和所在地区设防区划的要求。
	9.5 辐射安全系统安装	9.5.1 屏蔽门间隙、搭接应符合设计要求，运动平顺，速度符合设计要求。	按照标准要求，防护门与墙体之间的搭接间隙与搭接比值拟小于 1/10，拟配置电动防护门，能达到运动平顺，速度符合设计要求。
		9.5.2 所有控制回路安装应无差错；线缆线号准确、接线无误。	拟按照标准要求，在施工期加强对施工单位施工质量的监管，做到所有控制回路安装无差错；线缆线号准确、接线无误。
		9.5.3 辐射监测设备应按照仪表专业相关标准安装。	辐射监测设备拟按照仪表专业相关标准安装。
	10.3 检验方法	10.3.4 辐射安全检验 10.3.4.1 屏蔽门等屏蔽设施安装和运动符合设计要求。	屏蔽门等屏蔽设施安装和运动安装相关要求设计。
		10.3.4.2 剂量监测设备齐备、完善，符合设计要求，工作正常，剂量仪器读数准确。	拟配置齐备、完善、符合设计要求、工作正常和剂量仪器读数准确的剂量监测设备。
		10.3.4.3 在加速器装置最大剂量条件下运行，监测辐射屏蔽室外的辐射剂量水平，结果应符合 8.1.3.3 的要求。	根据后文核算，曝光室各屏蔽体外剂量率均满足标准要求。要求验收监测时，加速器装置在最大剂量条件下运行，曝光室外的辐射剂量水平满足 8.1.3.3 的要求。
		10.3.6 控制系统检验 10.3.6.1 在加速器装置运行过程中，观察控制系统联锁保护，仪表、接口、通讯、信号参数、状态及故障显示等工作是否正常。检验结果应符合 5.2 的要求。	拟在本项目建成后加强对辐射工作人员的培训工作，在加速器装置运行过程中，观察控制系统联锁保护，仪表、接口、通讯、信号参数、状态及故障显示等工作是否正常。检验结果符合 5.2 的要求。
		10.3.6.2 在加速器装置运行过程中，选择主要联锁保护系统，模拟输入保护信号，观察显示、报警和保护动作是否正常。	拟在本项目环保验收时，在加速器装置运行过程中，选择主要联锁保护系统，模拟输入保护信号，其显示、报警和保护动作正常时方能通过环保验收。
		10.3.6.3 运动机械及工装装置的控制系统检验结果应符合 6.2 的要求。	本项目拟按照 6.2 的要求配置设备的运动机械及工装装置控制系统。

无损检测用电子直线加速器（GB/T 20129-2015）	5.2 控制系统	5.2.2 加速器的开机和停机操作应在控制台上进行，同时应具有紧急停机按钮。	本项目电子直线加速器的开机和停机操作应在控制台上进行，同时应具有紧急停机按钮。
		5.2.3 控制系统应具备如下功能：a) 正常开机和停机；b) 设备状态及故障显示、报警及自动停机；c) 显示加速器的主要参数；d) 双能加速器需配备模式选择功能；e) 安全联锁；f) 紧急停机。	本项目的电子直线加速器为单能，其控制系统具备功能正常开机和停机、设备状态及故障显示、报警及自动停机、显示加速器的主要参数、安全联锁、紧急停机功能，满足标准要求。
	5.3 整机性能指标	5.3.7 X射线泄漏量 在X射线束照射野之外，距靶1m处X射线空气比释动能率与X射线束中心轴线上空气比释动能率之比应小于0.1%。	本项目拟从正规厂家购买符合相关标准要求的电子直线加速器，其X射线泄漏量满足标准要求。
《工业探伤放射防护标准》GBZ 117-2022）	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。	建设单位承诺对本项目的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。	已按要求建立了辐射工作安全管理领导小组，明确辐射防护管理人员及其职责，制定并落实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。	拟按要求对辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康监护。
		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。	探伤工作人员正式工作前拟按要求取得符合 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。	拟配备便携式 X-γ辐射剂量巡测仪和个人剂量报警仪。
		4.6 应制定辐射事故应急预案。	项目建成前拟对现有辐射事故应急预案进行修改，包含本项目相关应急。

	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 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。	拟购买符合要求的探伤设备。
		5.1.2 工作前检查项目应包括：a)探伤机外观是否完好；b)电缆是否有断裂、扭曲以及破损；c)液体制冷设备是否有渗漏；d)安全联锁是否正常工作；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。	拟按要求制定安全检查制度，并在探伤工作前对各项安全设施进行检查。
		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。	拟制定探伤机维护制度，每年交原厂家进行维护至少一次，不自行维护，并做好设备维护记录。
	6.1 探伤室放射防护要求	6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。	本项目控制室与曝光室分开布置，控制室与曝光室之间有迷道和设备间相隔，有条件的避开了有用线束照射的方向；曝光室的屏蔽墙厚度考虑了各种因素，根据后文核算，曝光室屏蔽墙体外周围剂量当量率满足标准要求，屏蔽效果良好；工件门的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。	项目拟对固定式探伤工作场所进行分区管理，将曝光室（包括迷道）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，并采取相应的分区管理措施。
		6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：a)关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/周；b)屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h。	经核算，人员在关注点的周剂量参考控制水平能满足职业工作人员不大于 100μSv/周，公众不大于 5μSv/周。曝光室屏蔽体外周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。且项目建成后，将委托资质单位对曝光室各关注点进行监测。

		6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；b)对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100μSv/h。	本项目上方为厂房顶棚（无人到达），邻近无高层建筑物，曝光室顶部人员不能到达，保守考虑按 2.5μSv/h 控制。
		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。	曝光室的各防护门拟设置门机联锁装置，每台探伤机均与各防护门实现门机联锁，防护门未关闭的情况下不能打开高压产生射线；门关闭后，在开高压产生射线的情况下，防护门不能打开；门打开时立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。
		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。	曝光室内外醒目位置均拟设置一组声光警示灯，每组警示灯分为红黄两色，黄色代表“预备”状态，红色代表“照射”状态，“预备”信号持续足够长的时间，确保曝光室内人员安全离开，并拟在警示灯旁设“照射”和“预备”信号意义的说明。操作台设视频监控影像显示屏，操作屏幕上“预备”和“照射”均有显示。同时出束时发出警报声音提示。
		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。	本项目曝光室内拟安装监控系统，能够观察到曝光室内以及门口情况。
		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。	曝光室各防护门上均拟设置电离辐射警告标识，并设置中文警示说明。
		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。	设备曝光室内拟设置 7 个急停按钮，设置在方便人员接触的位置，能使人员不需要穿过主射线束就能够使用，且拟设置中文标识。
		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。	曝光室拟设置机械通风装置，废气排放口位于厂房西侧墙外，排放口下方主要为重水公司厂区绿化带及道路，人员流动少。总排风量为 8000m^3/h，通风次数约 5 次/h，满足标准要求。

		6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	拟设置 2 个探头，分别位于曝光室内的迷道内、工件门旁，仪表指示仪及报警装置安装在操作室操作台上。曝光室内探头实时监测曝光室内周围剂量当量率，操作台上仪表指示仪显示曝光室内周围剂量当量率读数，当装置检测到周围剂量当量率超过预设限值时，仪表指示仪进行光报警。
	6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求	6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。	拟制定安全检查制度，每日对曝光室的门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施检查一次，确保门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施正常后，方可开展检测工作。
		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。	从事本项目的探伤工作人员配备个人剂量计后方可上岗，拟为本项目配备 1 台便携式 X-γ剂量率仪、2 台个人剂量报警仪，制定相关制度，规定当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员立即退出曝光室，同时防止其他人进入曝光室。
		6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。	拟定期对本项目曝光室外周围区域、包括操作者工作位、周围毗邻区域人员居留处的剂量率水平进行监测，并制定相关制度，当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向放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。	拟制定当班制度。工作人员当班时按照要求检查剂量仪是否正常工作，发现不能正常工作时将暂停检测工作。
		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。	拟制定相关制度，操作人员每次检测工作前确认曝光室内部没有人员驻留并关闭防护门，且只有在各防护门关闭、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。
		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。	本项目设备曝光室大小满足工件大小使用，不会出现工件过大情况，并拟制定相关制度，明确规定不得开门探伤。

	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 X 射线探伤装置不再使用时，拟按照要求实施报废或者转让给其他已获许可机构，清除所有电离辐射警告标志和安全告知。
	8.1检测的一般要求	8.1.1 检测计划 使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参考控制水平时应采取的行动措施。	建设单位拟购买符合要求的放射防护检测仪器，并定期检定/校准，取得相应证书，并制定放射防护检测计划，进行日常监测。
		8.1.2 检测仪器 应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。	
	8.2 探伤机检测	8.2.1 防护性能检测 8.2.1.1 检测方法　X 射线探伤机防护性能检测方法按 GB/T 26837 的要求进行。 8.2.1.2 检测周期　使用单位应每年对探伤机的防护性能进行检测。探伤机移动后，应进行安全装置的性能检测。 8.2.1.3 结果评价　X 射线探伤机防护性能检测结果评价按本标准第 5.1.1 条的要求。	建设单位拟按照要求，委托有资质单位，每年对探伤机的防护性能进行监测。
	8.3 探伤室放射防护检测	8.3.1 检测条件　检测条件应符合如下要求： a) X 射线探伤机应在额定工作条件下、探伤机置于与测试点可能的最近位置，如使用周向式探伤机应使装置处于周向照射状态；主屏蔽的检测应在没有探伤工件时进行，副屏蔽的检测应在有探伤工件时进行。	建设单位拟按照要求选取检测条件。

		8.3.2 辐射水平巡测 探伤室的放射防护检测，特别是验收检测时应首先进行周围辐射水平的巡测，用便携式 X-γ剂量率仪巡测探伤室墙壁外 30cm 处的辐射水平，以发现可能出现的高辐射水平区。巡测时应注意： a)巡测范围应根据探伤室设计特点、照射方向及建造中可能出现的问题决定，并关注天空反散射对周围的剂量影响； b)无固定照射方向的探伤室在有用线束照射四面屏蔽墙时，应巡测墙上不同位置及门、门四周的辐射水平；探伤室四面屏蔽墙外及楼上如有人员活动的可能，应巡测墙上不同位置及门外 30cm 门四周的辐射水平。 c)设有窗户的探伤室，应特别注意巡测窗外不同距离处的辐射水平。	建设单位拟按照要求进行曝光室辐射水平巡测。
	8.3 探伤室放射防护检测	8.3.3 辐射水平定点检测　一般情况下应检测以下各点： a)通过巡测发现的辐射水平异常高的位置；b)探伤室门外 30cm 离地面高度为 1m 处，门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周各 1 点； c)探伤室墙外或邻室墙外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个墙面至少测 3 个点；d)人员可能到达的探伤室屋顶或探伤室上层（方）外 30cm 处，至少包括主射束到达范围的 5 个检测点；e)人员经常活动的位置；f)每次探伤结束后，检测探伤室的入口，以确保探伤机已经停止工作。	建设单位拟按照要求进行辐射水平定点检测。
		8.3.4 检测周期 探伤室建成后应进行验收检测；投入使用后每年至少进行 1 次常规检测。当γ射线探伤放射源的活度增加时，或者 X 射线探伤机额定电压增大时，应重新测量上述辐射水平，并根据测量结果对防护措施或设施做出合适的改进。	建设单位拟按照要求，曝光室验收时监测一次；每年委托有资质单位监测一次；涉及 X 射线探伤机额定电压增大时或防护设施维修后监测一次；日常由建设单位不定期自行监测；如有必要，根据测量结果对防护措施或设施做出合适的改进。
		8.3.5 结果评价 探伤室周围辐射水平应符合本标准第 6.1.3 条和第 6.1.4 条的要求。	曝光室周围辐射水平监测结果，拟按照本标准第 6.1.3 条和第 6.1.4 条的要求进行评价。
	8.5 放射工作人员个人监测	8.5.1 射线探伤作业人员（包括维修人员），应按照 GBZ 128 的相关要求进行外照射个人监测。	公司拟为辐射工作人员配备个人剂量计，拟按照 GBZ 128 的相关要求进行外照射个人监测。

《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）	3.3 其他要求	3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。	本项目曝光室东侧设置为工件门，东北侧设置迷道并设置人员门。
		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。	本项目控制室位于曝光室外，控制室与曝光室之间有设备间相隔，控制室和人员门已避开有用射线束照射方向。
		3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	本项目曝光室在设计阶段已经考虑了缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。
		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。	曝光室按照最不利的影响涉及屏蔽。
GBZ128-2019	5.3 剂量计的佩戴	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。	拟为每名辐射工作人员配备 1 枚个人剂量计，并佩戴于胸前。

表 11　环境影响分析

11.1 施工期环境影响分析

11.1.1 施工期废气环境影响分析

施工期的主要大气污染物为施工扬尘、施工机械废气。通过采取以下措施减少对大气环境的影响。

（1）加强施工期环境管理。工地周围设置施工围挡，场地内硬地坪施工，场地外也有硬化地面。施工现场设简易沉砂隔油池，施工现场随时洒水降尘。运输车辆加盖，减少弃土的洒落。

（2）施工现场土石方即挖即运，不在现场长时间堆放；做好易起尘物料堆存管理，减少扬尘产生；及时清理现场，并根据施工及天气情况洒水降尘。

（3）装载建筑材料、渣土的车辆必须有遮盖和防护措施，以防止建筑材料、建筑垃圾和尘土飞扬、洒落和流溢。

（4）使用商品混凝土，现场不搅拌混凝土。

（5）加强施工机械的使用管理和保养维修，提高机械设备使用效率，降低燃油机械废气排放。

（6）生活垃圾、施工废物等按要求处置，现场禁止焚烧垃圾。

经采取以上措施后，施工期废气对环境影响较小。

11.1.2 施工期废水影响分析

施工期污水主要为施工人员生活污水、施工废水等。

施工机械冲洗废水及运输车辆的冲洗废水经隔油沉沙后，上清液回用于施工区洒水抑尘，废油交有资质单位处理。混凝土养护废水自然蒸发，不外排。施工人员生活污水依托重水公司厂区污水处理设施处理。

经采取上述措施后，生活污水、施工废水对地表水环境影响较小。

11.1.3 施工期噪声影响分析

施工期主要噪声源为施工机械、运输车等。拟采取以下噪声防治措施，减少对周围环境的影响。

（1）施工单位应当于施工期间在施工场所公示项目名称、项目建设内容和时间、项目建设单位联系方式、施工单位名称、工地负责人及联系方式、可能产生的噪声污染和采取的防治措施。

（2）合理布置施工机具和设备，采用合格并定期维修的设备、隔声屏障等降噪措施，减少施工噪声对周围环境。

（3）施工场地设置施工围挡。加强管理，进出车辆禁止鸣笛。

经采取以上措施后，施工期噪声对周围环境影响较小。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

施工期多余的土石方运输至市政指定的位置堆存。

施工期产生的建筑垃圾包括废钢筋、废铁丝、废砖石等，能回收的尽量回收利用，不能回收的全部运至指定建筑垃圾弃渣场处理。

施工期人员生活垃圾产生量经分类收集后依托重水公司厂内现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。

项目场地施工及设备安装调试期间产生的废包装材料交物资回收单位回收处置。

经采取以上措施后，施工期固体废物对周围环境影响较小。

11.2 营运期环境影响分析

本项目曝光室拟使用电子直线加速器和便携式探伤机开展无损检测工作，两设备预测模式和工作时间等均不一致，为预测其运行期间对周围环境的影响，本报告分不同类型的设备分开进行预测和分析。

11.2.1 电子直线加速器运行曝光室屏蔽体屏蔽效能预测

（1）电子直线加速器屏蔽防护效能核算公式

本项目电子直线加速器根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T30371-2013）中相关公式进行计算。

①一次 X 射线的透射率计算

$$B_x = \frac{H_M}{D_0} \bullet \frac{d^2}{T} \qquad (11\text{-}1)$$

式中：Bx—X 射线在混凝土中的屏蔽透射率；

H_M—剂量当量限值，单位为微希伏每小时（μSv/h）；

d—X 射线源到参考剂量点间的距离，单位为米（m）；

D_0—离靶 1m 处 X 射线的空气吸收剂量率，单位为微戈瑞每小时（μGy/h）；

T—居留因子，本项目均保守取 1。

②十值层个数计算

$$n = \lg\left(\frac{1}{B_x}\right) \quad (11\text{-}2)$$

式中：n—十值层的个数。

③有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算

$$S = T_1 + (n-1)\,T_e \quad (11\text{-}3)$$

式中：S—混凝土屏蔽层厚度，单位为厘米（cm）；

T_1—第一个十值层厚度，单位为厘米（cm）；

T_e—第一个十值层厚度，单位为厘米（cm）。

④迷路散射 X 射线计算

$$H_m = H_0 \cdot \frac{(\alpha_1 \cdot A_1)(\alpha_2 \cdot A_2)\cdots(\alpha_n \cdot A_n)}{(d_1 \cdot d_2 \cdots dn)^2} \quad (11\text{-}4)$$

式中：H_m—X 射线在参考剂量点处的吸收剂量率，单位为微希伏每小时μSv/h；

H_0—第一次散射面上的吸收剂量率，单位为微希伏每小时μSv/h；

α_1—X 射线第一次散射系数；

α_2和α_n—分别为 X 射线第二次散射系数和第 n 次散射系数（n>2）；

A_1—第一次散射的散射面积，单位为平方米 m^2；

A_n—迷道的截面积，单位为平方米 m^2；

d_1—X 射线第一次散射距离，单位为米 m；

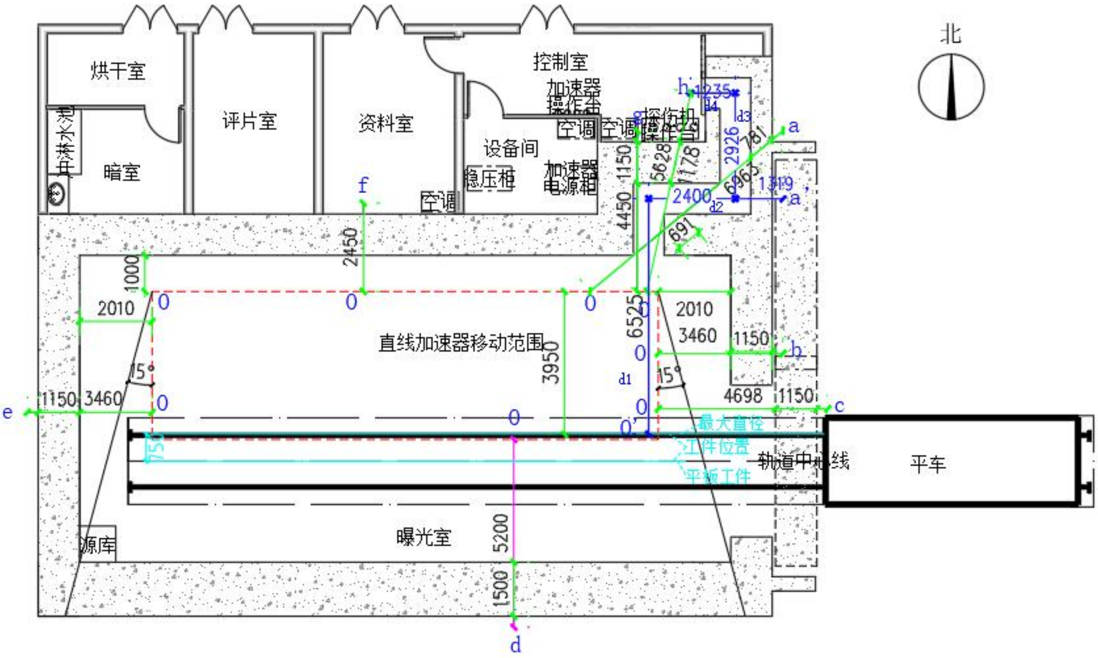
d_2和 d_n—分别为 X 射线第二次散射距离和第 n 次散射的距离（n>2），单位为米 m。

（2）屏蔽体屏蔽效能核算

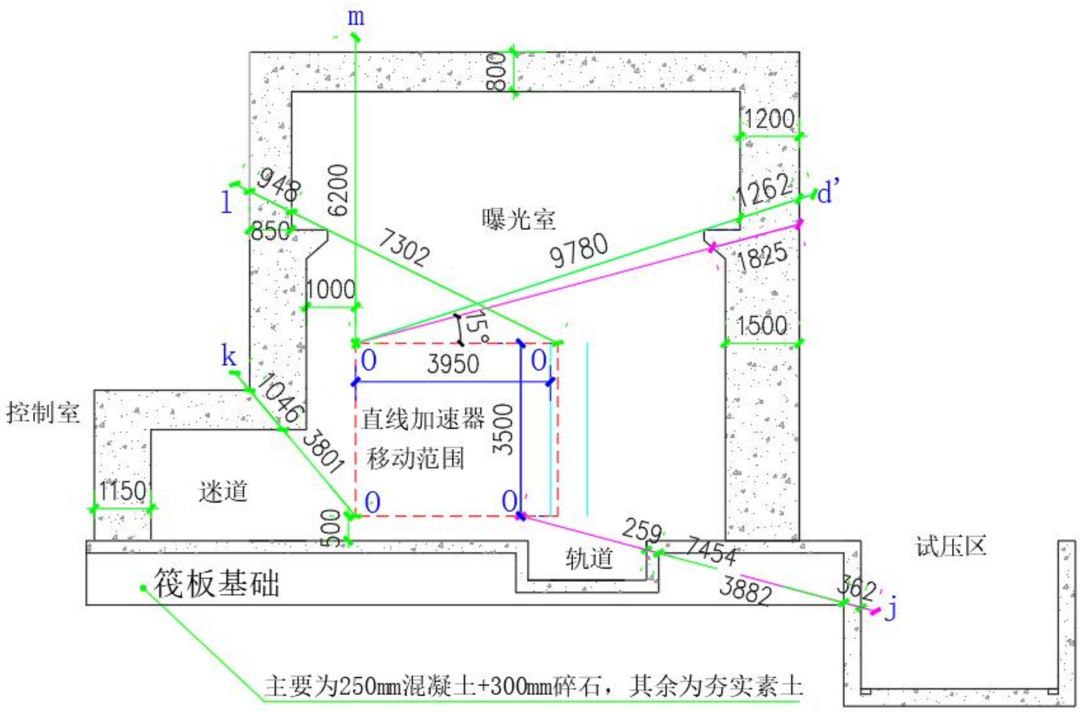
①应考虑辐射的关注点

本项目曝光室具体核算点位示意图见图 11-1。

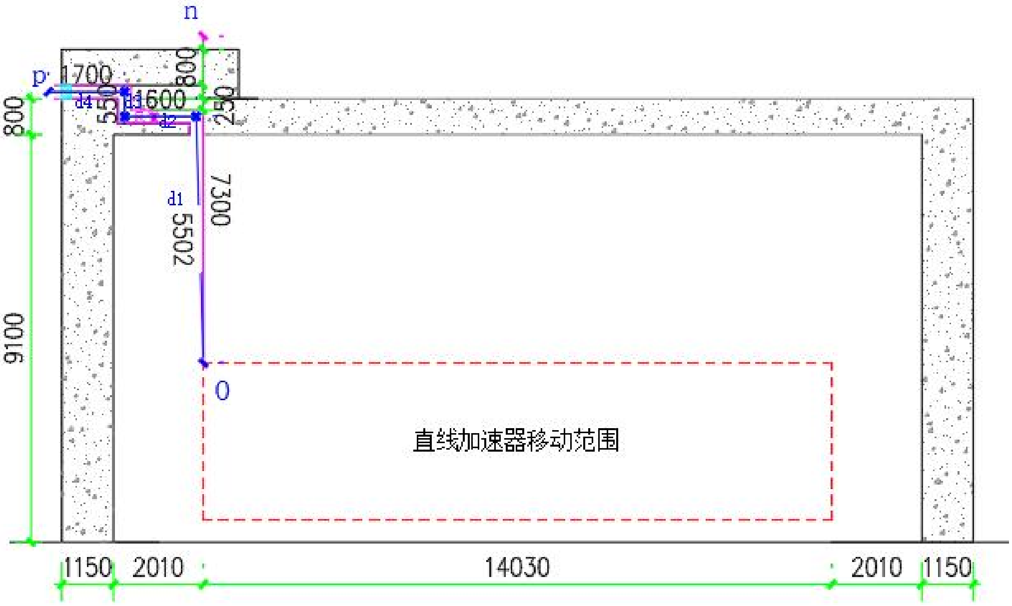
续表 11　环境影响分析



（1）平面关注点示意图



续表 11　环境影响分析



（2）立面关注点示意图

图 11-1　项目曝光室核算关注点位示意图

②核算参数

根据项目具体情况，屏蔽效能核算所用参数见表 11-1。

表 11-1　公式中涉及的参数取值

公式中涉及的参数取值			
参数	**单位**	**取值**	**取值依据**
$\dot{H}_c$（参考控制水平）	μSv/h	2.5	HJ 785-2016 及表 7-4 计算
D_0（离靶 1m 处 X 射线的空气吸收剂量率）	μGy/h	1.2×10^8	最高剂量率，200cGy/min
		1.2×10^5	漏射剂量率
H_0（第一次散射面上的吸收剂量率）	μSv/h	根据射线头与工件距离计算	$H_0=D_0/R^2$
有用束 TVL_1	cm	22.3	GB/T30371-2013 中图 C.1（2MeV）
有用束 TVLe	cm	20.1	
90°泄漏辐射 TVL_1	cm	22.3	根据 GBZ/T201.2－2011 附录 B 表 B.1 可知，能量很低时，有用线束和泄漏辐射的什值层厚度差别很小，保守按照一样考虑
90°泄漏辐射 TVLe	cm	20.1	
0.5MeV 散射辐射 TVL1	cm	15.2	GB/T30371-2013 中图 C.1（0.5MeV）
0.5MeV 散射辐射 TVLe	cm	11.9	
A1	m^2	根据射线头与工件距离计算	本项目在工件上的照射面积即散射面积
A2、A3…An	m^2	1.91	迷道截面积

		（2.25×0.85）	
α_1		0.005	参照 HJ979-2018，取 0.005
$\alpha_2…\alpha_n$	/	0.02	参照 HJ979-2018，取 0.02
机房入口处多次散射辐射 TVL1	mm（铅）	5	根据 HJ979-2018 中表 A.2、A.3
机房入口处多次散射辐射 TVLe	mm（铅）	1.2	
R、d	详见报告表图 11-1		

备注：混凝土（砼）密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.35g/cm³，土壤密度为 1.3g/cm³。地板下方筏板基础除混凝土层外，其余按照土壤折算成混凝土计算。

③各墙体外剂量核算结果

根据上述核算公式、核算条件、核算参数，本项目曝光室各墙体屏蔽效能核算见表 11-2。

表 11-2 曝光室屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表

墙体名称		关注点	射线类型	H_c	计算砼 Xe(cm)	设计穿越砼（Xe）(cm)	设计下 H_c	是否达到屏蔽要求
东北侧	迷路外墙	o-a	泄漏	2.50	62.42	60（147.20 ）	1.51×10^{-4}	是
		o’-a’	二次散射	2.50	9.78	60	1.51×10^{-4}	是
东侧	屏蔽墙	o-b	泄漏	2.50	74.62	115	2.45×10^{-2}	是
	工件门	o-c	泄漏	2.50	69.27	115	1.33×10^{-2}	是
南侧	主射墙	o-d	主射	2.50	127.81	150	1.97×10^{-1}	是
		o-d’	漏射	2.50	56.48	120（126.2）	8.50×10^{-4}	是
西侧	屏蔽墙	o-e	泄漏	2.50	74.62	115	2.45×10^{-2}	是
北侧	下屏蔽墙	o-f	泄漏	2.50	80.65	115	4.89×10^{-2}	是
	上屏蔽墙	o-l	泄漏	2.50	61.59	85（94.80）	5.57×10^{-2}	是
	迷路外墙	o-g	泄漏	2.50	70.23	115	1.48×10^{-2}	是
	人员门	o-h	泄漏	2.50	66.12	115（117.8）	6.71×10^{-4}	是
		o’-h	散射	2.50	0	10.00 mm	1.62×10^{-8}	
顶棚	曝光室顶棚	o-m	泄漏	2.50	64.44	80	4.20×10^{-1}	是
	迷路顶棚	o-k	泄漏	2.50	72.99	80（104.6）	6.68×10^{-2}	是
	风管穿墙处	o-n	泄漏	2.50	61.59	125	1.73×10^{-2}	是
		o-p	二次散射	2.50	0	10mm	4.17×10^{-9}	是

地板	地板-试压区	o-j	主射	2.50	121.53	（276.85）	4.69×10^{-8}	是

备注：曝光室采用混凝土墙进行屏蔽。散射影响较小，根据 30371-2013，墙体外主要考虑一次射线和漏射；设计厚度中（）内为实际斜穿厚度；根据图 11-1 立面图可知，直线加速器无法照射到南侧墙上部，且最不利位置穿越墙体厚度大于 d 计算点，因此上部屏蔽墙仅计算漏射。

根据上表可知，本项目电子直线加速器运行时，曝光室四周墙体、顶棚、迷道、各防护门设计厚度均能满足相关评价标准限值要求。

④天空散射

根据前文预测计算，曝光室顶棚外 30cm 处的周围剂量当量率很小（最大为 0.42μSv/h），低于标准限值，射线经天空散射到地面后的影响微小。因此，本项目天空散射对周围环境的影响小，本次不再单独核算。

综上所述，在现有设计条件下，本项目电子直线加速器运行时，曝光室（含迷道）的屏蔽防护设计均可以满足辐射防护要求。

11.2.2 便携式探伤机运行曝光室屏蔽体屏蔽效能预测

（1）预测公式

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

① 有用线束

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 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11-10 计算：

$$\dot{H}_c = \frac{I \bullet H_0 \bullet B}{R^2} \qquad (11\text{-}5)$$

式中：

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，$\mu Sv\cdot m^2/(mA\cdot h)$，以 $mSv\cdot m^2/(mA\cdot min)$为单位的值乘以 6×10^4，见附录表 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 按公式 11-6 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \tag{11-6}$$

式中：

X——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL——查表。

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 按公式 11-6 计算，然后按公式 11-7 计算泄漏辐射在关注点的剂量率 $\dot{H}$ 单位为微希每小时（μSv/h）：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \bullet B}{R^2} \tag{11-7}$$

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（μSv/h）。

④散射辐射屏蔽

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，然后按照公式 11-8 计算。关注点的散射辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11-11 计算：

$$\dot{H}_C = \frac{I \bullet H_O \bullet B}{{R_S}^2} \bullet \frac{F \bullet \alpha}{{R_O}^2} \tag{11-8}$$

式中：

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

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

$mSv \cdot m^2/(mA \cdot min)$为单位的值乘以 6×10^4，见附录表 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）；

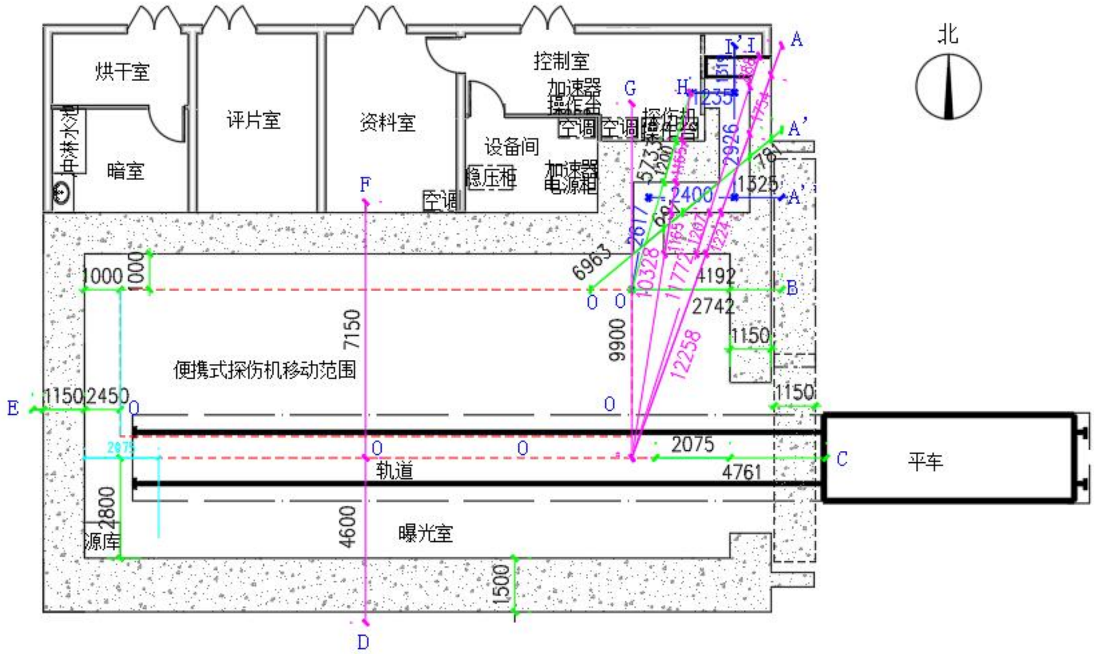
R_S—散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

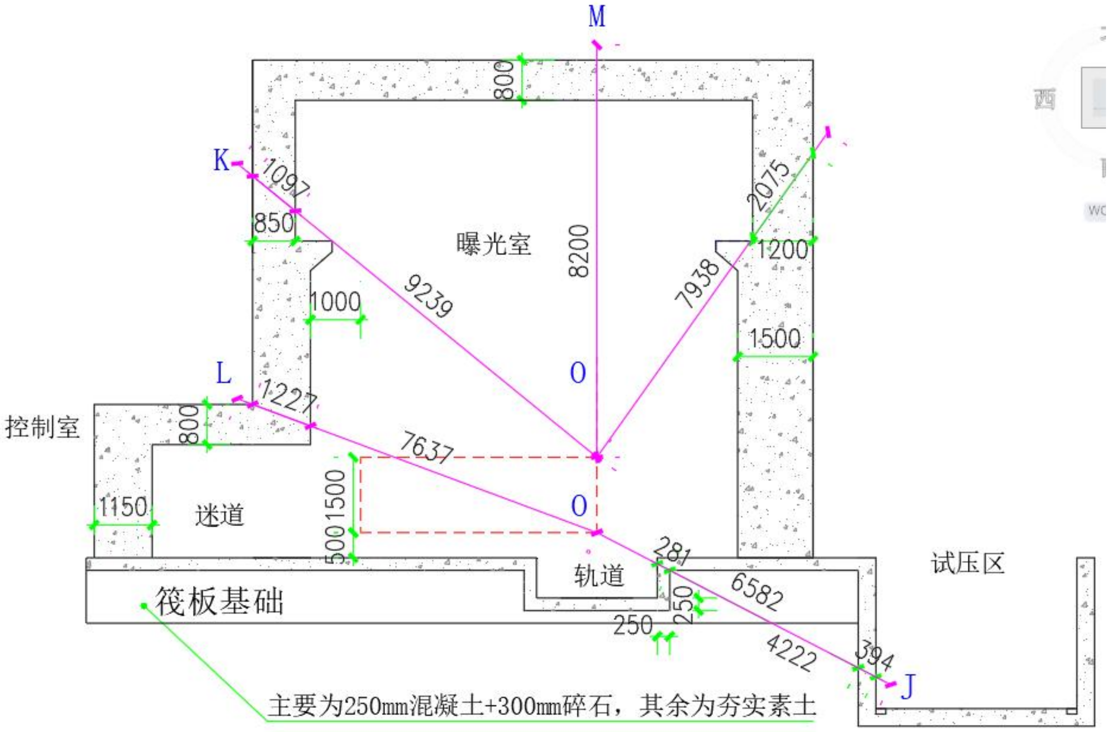
（2）主要技术参数和条件

①核算方向、距离等条件

本项目拟配置 1 台周向便携式探伤机和 1 台定向便携式探伤机，最大管电压分别为周向 360kV 和定向 300kV，额定电流均为 5mA。项目曝光室内布置载物轨道，东西方向布置，根据建设单位的探伤工件情况和曝光室内探伤范围（图 10-4），使用定向机时，南墙、西墙为主射线墙体，使用周向机时，南墙、北墙、顶棚、地板均为主射线墙体。根据设备参数和相应参数初步计算后，南墙、北墙、顶棚、地板按照 360kV 主射线考虑，西墙按照 300kV 主射线考虑，东墙（含工件门）按照 360kV 的散射和漏射考虑。

本项目各核算点位置及距离见图 11-2。因电缆管沟穿墙为深“U”型，排水管为深埋水平直穿方式，且穿墙管顶与地面的高差较大，因此，电缆管沟、排水管穿墙不影响墙体的屏蔽防护能力，且不在主射方向上，射线需经多次散射才能穿出，剂量很小，因此不再对各穿墙孔位置进行核算。顶棚的风管本次单独核算。


北
烘干室
评片室
资料室
控制室
加速器操作台
设备间
稳压柜
加速器电源柜
空调
暗室
源库
便携式探伤机移动范围
轨道
曝光室
平车
A
B
C
D
E
F
G
H
I
7150
9900
12258
4600
1500
1000
1150
2450
2800
4192
2742
2075
4761
2400
1325
6963
2617
10328
2926


M
K
L
J
O
曝光室
控制室
迷道
轨道
筏板基础
试压区
800
1097
850
1000
9239
8200
7938
2075
1200
1500
1227
7637
1150
1500
500
281
6582
4222
394
250
主要为250mm混凝土+300mm碎石，其余为夯实素土

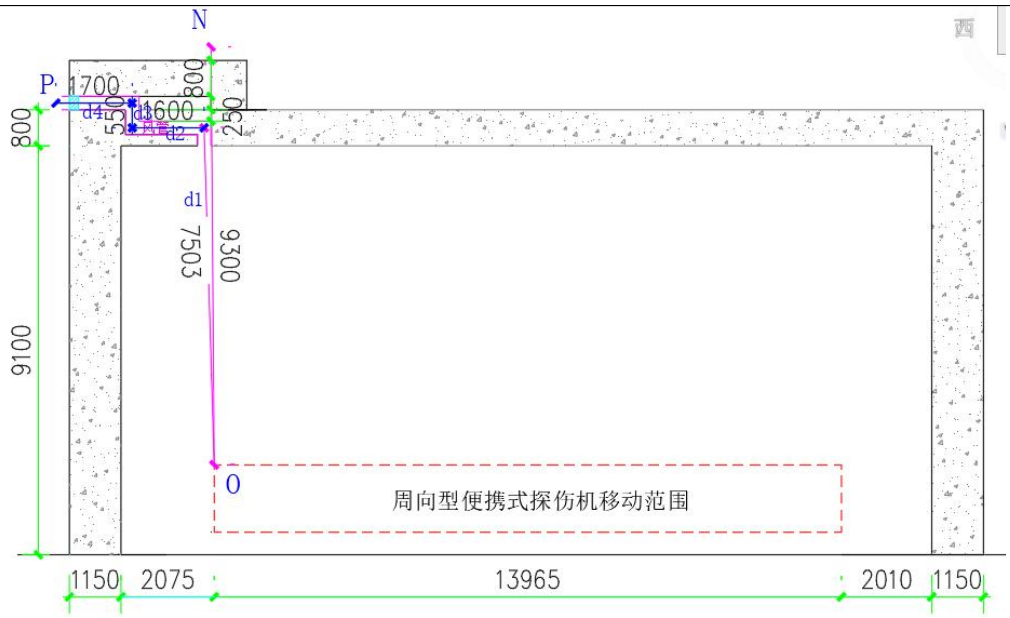


图 11-2　曝光室屏蔽核算点位示意图

②其他相关参数

本项目曝光室屏蔽体核算过程中的相应其他参数见表 11-3 所示。

表 11-3　屏蔽体核算相关参数

<table>
<tr><th>参数</th><th colspan="3">数　值</th><th>来源</th></tr>
<tr><td>设备基础参数</td><td colspan="2">管电压 360kV
管电流 5mA</td><td>管电压 300kV
管电流 5mA</td><td>建设单位提供</td></tr>
<tr><td>G（mGy·m²/mA.min）</td><td colspan="2">18.6（3mmCu）</td><td>20.9（3mm 铝）</td><td>GBZ/T250-2014 附录 B 中表 B.1</td></tr>
<tr><td>转换系数</td><td colspan="2">6×10⁴</td><td>6×10⁴</td><td rowspan="2">GBZ/T250-2014　4.1</td></tr>
<tr><td>H₀（μSv·m²/(mA·h)）</td><td colspan="2">1.12×10⁶</td><td>1.25×10⁶</td></tr>
<tr><td>$\frac{R_0^2}{F\times\alpha}$</td><td colspan="2">50</td><td>50</td><td>GBZ/T250-2014
附录 B.4.2</td></tr>
<tr><td>泄漏辐射剂量率 H_L（μSv/h）</td><td colspan="2">5×10³</td><td>5×10³</td><td>GBZ/T250-2014 表 1</td></tr>
<tr><td>X 射线 90°散射辐射最高能量相应的 kV 值</td><td colspan="2">250</td><td>200</td><td>GBZ/T250-2014 表 2</td></tr>
<tr><td rowspan="6">什值层（TVL）
半值层（HVL）</td><td rowspan="2">管电压</td><td colspan="2">TVL（mm）</td><td rowspan="6">GBZ/T250-2014 表 B.2 及《辐射防护导论》（方杰主编，P98）</td></tr>
<tr><td>铅</td><td>混凝土</td></tr>
<tr><td>200kV</td><td>1.4</td><td>86</td></tr>
<tr><td>250kV</td><td>2.9</td><td>94</td></tr>
<tr><td>300kV</td><td>5.7</td><td>100</td></tr>
<tr><td>360kV</td><td>7.2</td><td>100</td></tr>
</table>

备注：①根据GBZ/T250-2014及2017年修改单中表B.1：在本标准中以等量值的mSv·m²/mA·min进行屏蔽计算，因此本次Sv/Gy转换系数取1，后同；

②GBZ/T250-2014 中未列明电压的什值层，取值采用内插法计算。

（3）曝光室防护效能核算结果

曝光室内使用便携式探伤机时，屏蔽防护效能核算结果见表 11-4。

表 11-4　曝光室屏蔽效能核算表

方位	关注点		剂量率参考控制水平 Hc(μSv/h)	R（m）	Rs（m）	设计厚度 mm	设计厚度下周围剂量当量率(μSv/h)		是否达到屏蔽要求
东侧	A	360kV 主射	2.5	12.26	/	600(2978)	6.16E-26	6.16E-26	是
	A'	300kV 散射	2.5	/	6.96	600(1472)	1.98E-14	2.16E-13	是
		300kV 漏射	2.5	6.96	/	600(1472)	1.97E-13		
	A"	300kV 散射	2.5	/	6.34	600	3.29E-04	3.29E-04	是
	B	360kV 散射	2.5	/	4.19	1150	3.71E-09	4.61E-09	是
		360kV 漏射	2.5	4.19	/	1150	9.01E-10		
	C	360kV 散射	2.5	/	4.76	1150	2.87E-09	3.57E-09	是
		360kV 漏射	2.5	4.76	/	1150	6.98E-10		
南侧	D	360kV 主射	2.5	4.60	/	1500	2.64E-10	2.64E-10	是
西侧	E	300kV 主射	2.5	2.45	/	1150	3.30E-06	3.30E-06	是
北侧	F	360kV 主射	2.5	7.15	/	1150	3.45E-07	3.45E-07	是
	G	360kV 主射	2.5	9.90	/	1150	1.80E-07	1.80E-07	是
	H	360kV 主射	2.5	10.33	/	1150(1165)	1.17E-07	1.17E-07	是
		300kV 散射	2.5	/	5.73	1150(1200)	4.25E-11	1.95E-10	是
		300kV 漏射	2.5	5.73	/	1150(1200)	1.52E-10		
		300kV 散射	2.5	/	9.18	10	1.07E-04	1.07E-04	是
	I'	300kV 散射	2.5	/	9.27	600	1.54E-04	1.54E-04	是
	I	360kV 主射	2.5	11.77	/	600(2095)	4.52E-17	4.52E-17	是
顶棚	M	360kV 主射	2.5	8.20	/	800	8.30E-04	8.30E-04	是
	K	360kV 主射	2.5	9.24	/	850(1097)	7.00E-07	7.00E-07	是
	L	360kV 主射	2.5	7.64	/	800(1227)	5.13E-08	5.13E-08	是
地板	J	360kV 主射	2.5	6.58	/	筏板基础	1.01E-25	1.01E-25	是
穿墙风管	N	360kV 主射	2.5	6.49	/	1050	4.19E-06	4.19E-06	是
	P	360kV 散射	2.5	/	11.35	10mmPb	3.09E-01	3.09E-01	是

根据上表可知，本项目曝光室四周墙体、顶棚、迷道、各防护门设计厚度均能满足《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）和本次评价核算的 2.5μSv/h 的限值要求。

顶棚外 30cm 处周围剂量当量率远小于 2.5μSv/h，故本次评价不考虑天空散

射。

综上所述，本项目便携式探伤机运行时，曝光室（含迷道）的屏蔽防护设计均可以满足辐射防护要求。

11.2.3 年剂量估算

（1）估算公式

辐射工作人员和公众人员受到的 X-γ射线产生的外照射所致的年有效剂量用下式进行估算：

$$H_{Er}=H^{*}_{(10)}\times t\times 10^{-3} \qquad (11\text{-}9)$$

式中：H_{Er}：X 或γ射线外照射人均年有效剂量，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，h。

（2）曝光室外人员剂量估算

①辐射工作人员

工件检测时，辐射工作人员在控制室内工作，辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-5。

表 11-5 控制室的辐射工作人员年有效剂量估算表

运行设备	周围剂量当量率（μSv/h）	照射时间（h/a）		年有效剂量（mSv/a）	
		居留因子	年最大出束时间		
电子直线加速器	1.48×10^{-2}	1	66.7	9.87×10^{-4}	1.03×10^{-3}
便携式探伤机	1.07×10^{-4}	1	375	4.01×10^{-5}	

根据上表可知，项目辐射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 1.03×10^{-3}mSv/a，叠加现有工作最大年剂量 0.56mSv/a，后为 0.56mSv/a，远小于项目的年剂量管理目标限值 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）的要求。

②公众成员

曝光室屏蔽体外公众成员（环境保护目标）年有效剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6　曝光室屏蔽体外公众成员（环境保护目标）年有效剂量估算表

序号	环保目标名称	方位	最近水平距离（m）	周围剂量当量率(μSv/h)	设备曝光时间（h/a）	居留因子	预测结果（mSv/a）	
1	探伤工件周转区	东侧	紧邻	2.45E-02	66.7	1/5	3.27E-04	3.51E-04
				3.29E-04	375	1/5	2.47E-05	
2	铆工区、焊接区、内附件安装区及底漆、表面处理区	东至东南侧	10	2.30E-02	66.7	1	1.54E-03	1.55E-03
				4.96E-05	375	1	1.86E-05	
3	行车检修点	东南侧	15	1.30E-02	66.7	1/8	1.09E-04	1.10E-04
				2.91E-05	375	1/8	1.36E-06	
4	试压区	南侧	紧邻	1.97E-01	66.7	1/5	2.62E-03	2.62E-03
				2.64E-10	375	1/5	1.98E-11	
5	设备区		5	5.11E-02	66.7	1/5	6.82E-04	6.82E-04
				6.05E-11	375	1/5	4.54E-12	
6	喷漆喷砂区、喷丸区		10	2.30E-02	66.7	1	1.54E-03	1.54E-03
				2.62E-11	375	1	9.82E-12	
7	厂房内夹道	西侧	紧邻	2.45E-02	66.7	1/8	2.04E-04	2.04E-04
				3.30E-06	375	1/8	1.55E-07	
8	暗室、评片室、资料室、设备间	北侧	紧邻	4.89E-02	66.7	1/5	6.52E-04	6.52E-04
				3.45E-07	375	1/5	2.59E-08	
9	烘干室		3	9.89E-03	66.7	1/5	1.32E-04	1.32E-04
				1.71E-07	375	1/5	1.28E-08	
10	打磨区、抛丸区、喷漆区		5	5.29E-03	66.7	1	3.53E-04	3.77E-04
				6.50E-05	375	1	2.44E-05	
11	绿化带及道路	西侧	1	1.47E-02	66.7	1/8	1.23E-04	1.23E-04
				1.67E-06	375	1/8	7.81E-08	
12	空压站	西南侧	25	5.83E-03	66.7	1/8	4.86E-05	4.86E-05
				2.63E-08	375	1/8	1.23E-09	
13	配电室		35	3.29E-03	66.7	1/8	2.74E-05	2.74E-05
				1.41E-08	375	1/8	6.63E-10	
14	供气站	西北侧	35	1.66E-03	66.7	1/8	1.38E-05	1.41E-05
				6.75E-06	375	1/8	3.16E-07	
15	化学品库房		45	1.08E-03	66.7	1/8	9.04E-06	9.25E-06
				4.49E-06	375	1/8	2.11E-07	

备注：表格中周围剂量当量率、设备曝光时间两列的上行为电子直线加速器参数，下行为便携式探伤机参数；试压区为试水压，人员到达该处的频率较低，居留因子按 1/5 考虑。

根据上表可知，曝光室屏蔽体外的公众成员的有效剂量最大为 1.64×10^{-3} mSv/a，远小于公众成员的年剂量管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与

续表 11　环境影响分析

辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）等的要求。

（3）环境保护目标影响

根据前文核算，曝光室各屏蔽体的屏蔽防护能力能满足标准的要求，屏蔽体外各关注点周围剂量当量率满足国家相关标准要求。本项目环境保护目标主要受电子直线加速器、便携式探伤机运行时产生的电离辐射（X 射线）影响。根据 X 射线衰减规律，辐射影响与距离的平方进行衰减，即距离辐射源越远，受到的影响越小。根据表 11-6 可知，各环境保护目标周围剂量当量率均远低于项目评价控制值。同时，上述核算结果仅考虑了射线随距离的衰减，未考虑除本项目各曝光室本身的屏蔽外的其他建筑/构筑物的屏蔽作用。因此，本项目射线装置运行所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响甚微。

11.2.4　“三废”影响分析

（1）废气影响分析

本项目曝光室最大有效体积约为 1475m^3（含迷道、轨道地沟），曝光室设置机械排风装置，排风量不低于 8000m^3/h，曝光室有效通风次数不低于 5 次/h，能保证曝光室内空气的流通。

①便携式探伤机

本项目拟的便携式探伤机的最大管电压较小（360kV），产生的臭氧和氮氧化合物很少，通风次数满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“不小于 3 次/h”的要求。

②电子直线加速器

根据工程分析，曝光室臭氧产额为 5.38×10^{-2}mg/h，氮氧化物产额为 1.79×10^{-2}mg/h。根据建设单位提供的资料，曝光室排风量为 8000m^3/h。

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B.4 加速器长期正常运行期间，曝光室内臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

$$C（t）=\frac{PT_e}{V}(1-e^{-\frac{1}{Te}})\qquad（11-10）$$

式中：

C（t）—辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度（mg/m^3）；

P—单位时间 X 射线产生 O_3 的质量（mg/h）；

T_e—对臭氧的有效清除时间（h），按下式计算：

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad (11\text{-}11)$$

T_V—辐照室换气一次所需时间（h）；

T_d—臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟。

此种情况下，$T_V << T_d$，因而 $T_e \approx T_V$。当长时间辐照时，则辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (11\text{-}12)$$

本次核算考虑在设计通风情况下，曝光室内产生的臭氧浓度计算结果见表 11-7。

表 11-7　曝光室内 O_3 浓度计算结果表

机房名称	P（mg/h）	V（m^3）	t_v（h）	t_d（h）	T_e（h）	C_s（mg/m^3）
曝光室	5.38×10^{-2}	1396.2	0.2	0.83	0.16	6.17×10^{-6}

由上述计算可知，单次检测及保守考虑的连续照射情况下曝光室内产生的臭氧浓度均低于《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）、《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1 -2019）中规定的臭氧最高容许浓度 0.3mg/m^3，也低于《环境空气质量标准》（GB3095 -2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/m^3。

单次检测照射情况下曝光室内产生的氮氧化物浓度为 2.06×10^{-6}mg/m^3，远低于 GB/T 30371-2013、GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m^3，也远低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/m^3。

本项目检测工件较重，每次检测完成需要经平车通过轨道运输至曝光室外再由厂房内行车运走，下一个工件运进曝光室也需要相同的过程，因此，不同工件曝光期间的时间间隔较长，且曝光室内废气引至所在厂房外西侧排放，排风口高约 13m，远离人员活动区域，项目产生的臭氧、氮氧化物浓度低，远低于环境空气质量标准的限值要求，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低，因此项目废气不会对环境带来不利影响。

（2）废水影响分析

续表 11　环境影响分析

项目营运期无生产废水产生，主要为生活污水。生活污水依托重水公司厂区现有的污水管网及污水处理设施处理。项目生活污水产生量很小，且水质成分简单，不会对现有污水处理设施产生冲击，项目依托重水公司厂区现有的污水管网及污水处理设施可行，对地表水环境影响较小。

（3）固体废物影响分析

项目辐射工作人员产生的生活垃圾依托重水公司现有的生活垃圾收集点暂存交环卫部门处理，对环境的影响小。

电子直线加速器使用一段时间后需要更换结构部件，更换下来的结构部件依托重水公司的一般工业固废库暂存，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。

曝光过程中产生的废胶片和存档到期的废胶片，依托重水公司危废暂存间暂存，交有危废处理资质的单位收集处置。

洗片过程中产生的洗片废液依托重水公司危废暂存间暂存，定期交有危废处理资质的单位收集处置。

项目射线装置使用一定年限后报废，报废后的射线装置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。

（4）噪声影响分析

本项目拟配置的送风机、排风机噪声源较小，设置在曝光室顶部，在厂房内部，设备经减振措施、建筑隔声和距离衰减后对重水公司厂界的影响小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 风险事故类型

电子直线加速器、便携式探伤机是工业无损检测设备，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。项目射线装置包含 1 台电子直线加速器和 2 台便携式探伤机，3 台射线装置的启动钥匙串结在一起，不可能发生多台射线装置同时出束的情况。

基于射线装置固有的安全联锁装置，射线装置在正常使用的情况下发生事故的概率极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

（1）射线装置正常运行时门-机联锁装置失效造成误照射

因门机联锁装置失效，防护门尚未关闭到位射线就已出束，或出束过程中防护门意外打开，使人员误闯，使工作人员或公众造成不必要照射。

（2）设备调试、维修阶段或其他情况下人员滞留在曝光室内造成误照射

设备调试、维修阶段或其他情况下，工作人员未全部撤离曝光室，或辐射工作人员在进行现场清场过程中、人员在其他情况下未撤离曝光室滞留在曝光室内某个不易察觉的地方，辐射工作人员未发现即开启射线装置并出束，致曝光室内人员受到误照射。

（3）不按要求在规定范围内探伤，任意改变主射方向造成人员受到不必要的照射

维修人员恢复直线加速器的五个方向的自由调整，导致顶棚、侧向受到主射线方向的照射影响。

操作人员未按要求操作，不按要求在规定范围内探伤，或任意改变便携式探伤机的主射方向，探伤位置距离各侧墙体较近，或曝光室四周墙体均为主射墙，导致部分屏蔽体外（按照非 360kV 主射线考虑的墙体）出现高剂量率，人员受到不必要的照射。

11.3.2 事故风险危害影响分析

（1）设备正常运行时门-机联锁装置失效造成误照射估算

门-机联锁装置失效，防护门尚未关闭到位射线就已出束，致门外的人员受到误照射，按照最不利情况考虑，人员误照射的位置为工件进出门口处，该处所受到的辐射影响主要包括 X 射线漏射、散射辐射影响。

正常情况下，射线出束时，曝光室内声光报警装置会发出警示音，同时曝光室内设置有视频监控，工作人员或滞留人员听到声响后可就近按下曝光室内急停按钮或者系统控制室辐射工作人员发现后可按下急停按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次最大检测时间 5min。门-机联锁装置失效时人员受到的误照射剂量见下表。

表 11-8　门-机联锁装置失效事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	设备名称	射线类型	距离（m）	照射时间（min）	剂量（Gy）	
门-机联锁装置失	电子直线	散射	4.7	0.5	5.10×10^{-5}	1.09×10^{-4}

效、防护门尚未关闭到位射线就已出束，致门外的人员受到误照射	加速器	漏射	4.7		5.82×10^{-5}	
		散射	4.7	5	5.10×10^{-4}	1.09×10^{-3}
		漏射	4.7		5.82×10^{-4}	
	便携式探伤机	散射	4.76	0.5	4.10×10^{-5}	4.29×10^{-5}
		漏射	4.76		1.84×10^{-6}	
		散射	4.76	5	4.10×10^{-4}	4.29×10^{-4}
		漏射	4.76		1.84×10^{-5}	

备注：按照11.2.1章节和11.2.2章节计算公式进行计算。

（2）设备调试、维修阶段或其他情况下，人员滞留在曝光室内造成误照射估算

设备调试、维修阶段或其他情况下，人员滞留在曝光室内在不易察觉的位置，其距离分别考虑为主射方向1m处和非主射方向1m处；正常情况下出束后人员听到出束警报声响后可就近按下曝光室内急停按钮，或者从不易察觉的位置出来并被控制室辐射工作人员发现后立即按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为0.5min；非正常情况下，误入人员未出来无人按下急停按钮，受照时间考虑为单次最大检测时间5min。维修、滞留人员的事故受照剂量估算如下表所示。

表 11-9　维修、滞留事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	设备名称	射线类型	距离（m）	照射时间（min）	剂量（Gy）	
设备调试、维修阶段或其他情况下，人员滞留在曝光室内受到误照射	电子直线加速器	主射	1	0.5	1	
		主射	1	5	10	
		散射	1	0.5	1.13×10^{-3}	2.41×10^{-3}
		漏射			1.29×10^{-3}	
		散射	1	5	1.13×10^{-2}	2.41×10^{-2}
		漏射			1.29×10^{-2}	
	便携式探伤机	主射	1	0.5	4.65×10^{-2}	
		主射	1	5	4.65×10^{-1}	
		散射	1	0.5	9.30×10^{-4}	9.72×10^{-4}
		漏射			4.17×10^{-5}	
		散射	1	5	9.30×10^{-3}	9.72×10^{-3}
		漏射			4.17×10^{-4}	

（3）不按要求在规定范围内探伤，任意改变主射方向造成人员受到不必要的照射

维修人员恢复直线加速器的五个方向的自由调整，导致顶棚、侧向受到主射线方向的照射影响。便携式探伤机的探伤位置、主射方向为人为设定，若辐射工作人员不按照规程要求在便携式探伤机规定的范围内进行探伤，导致四周墙体作为主射方向。由于曝光室墙体对于便携式探伤机来说很厚，因此主要考虑直线加速器改方向的影响计算。

任意改变便携式探伤机主射方向和使用位置时人员的事故受照剂量估算如下表所示。

表 11-10　事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	墙体	射线类型	距离（m）	照射时间（min）	剂量（Gy）
任意改变主射方向和移动位置造成人员受到不必要的照射	东/西/北墙（墙体一样厚）	主射	1	5	2.44×10^{-5}
	南墙	主射	1	5	4.43×10^{-7}

11.3.3 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此所造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和确定性效应（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。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

组织反应以存在阈值剂量并且反应严重程度随剂量增加而加重为特征的细胞群体的损伤。早期组织反应（照射后几个小时到几周）可能具有炎症性质，其发生是细胞渗透性改变和炎症介质释放的结果。随后的组织反应通常是细胞丢失（例如表皮组织黏膜炎和脱皮）的结果，尽管组织的非细胞毒性效应也会在该早期反应中起一定作用。晚期组织反应（照射后几个月到几年）如果是由于靶组织直接损伤（例如分割照射后血管阻塞导致的深层组织坏死）引起的就称为“一般性的”，如果是由严重早期反应（例如作为大面积表皮剥蚀或慢性感染的真皮坏死和严重黏膜溃疡导致的小肠狭窄的结果）引起的就称为“结果性的”。这两种情况并不相互排斥，常常是同时存在。

不同照射剂量的 X、γ射线对人体损伤估计见表 11-11 所示。

表 11-11　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，但不伴有临床症象	
1.0～2.0	骨髓型急性放射病	轻度	乏力，不适，食欲减退	②
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)。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-12。

表 11-12　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。

续表 11　环境影响分析

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

综上，根据估算，项目射线装置正常运行时门-机联锁装置失效，防护门尚未关闭到位射线就已出束，致防护门外的人员受到误照射，单次人员受到的剂量最大为1.09×10^{-3}Gy，超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生，误照人员可能引起不明显和不易察觉的病变，随机性效应发生概率增加。

根据估算，设备调试、维修阶段或其他情况下，人员误入受到误照射的情况下，单次误入人员且位于主射方向上，受到的剂量最大为10Gy，造成较大辐射事故，可能造成肠型急性放射病，误入曝光室人员较多并长时间受到大剂量照射，可能会造成重大及以上辐射事故产生。

根据估算，辐射工作人员不按要求在规定范围内探伤，任意改变主射方向造成人员受到不必要的照射，单次人员受到的剂量最大为2.44×10^{-5}Gy，未超过年剂量限值。

11.3.4 射线装置事故防范措施

为减少各种辐射事故的发生，建设单位拟采取的防范措施如下：

（1）建设单位按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过电子直线加速器故障报警系统及时发现故障，及时修复；曝光室切换射线装置出束时，每次必须检查门机联锁等的接入情况；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生的辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需取得建设单位辐射安全管理机构的批准，并在维修后及时进行联锁恢复及功能测试。

（2）设备调试、维修前检查调试维修人员的证件，确保其真实有效才能委托维修调试工作。开机出束运行前，建设单位辐射工作人员按照操作规程认真巡检清场并清点人数，按程序通过监控系统对曝光室全视角搜寻；经常检查声灯报警系统，确保其能保持正常工作，出束前和出束时有报警信号。同时，经常检查

监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角地监控曝光室和迷道内情况。

（3）对操作人员进行专业培训，加强管理，禁止未经培训的操作人员操作探伤机；在曝光室内设置便携式探伤机活动范围和主射线方向指示语，确保操作人员能直观的设置便携式探伤机的活动范围和正确摆放探伤机的照射方向。

（4）加强对 X 射线探伤机和γ射线探伤机在贮存、使用现场的管理，建立相关管理制度，防止发生射线机的被盗、丢失。一旦发生此类事件时将及时报告当地生态环境部门、公安部门以及卫生部门。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.4 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

项目使用电子直线加速器、便携式探伤机的目的是开展生产中的产品无损质量检验，确保产品质量与使用安全。项目 X 射线装置的应用，对产品质量的无损探伤检测有其他技术无法替代的特点，项目建设为本公司或其他公司的工件提供无损探伤检测保障，对其产品质量保证可起到十分重要的作用，具有明显的社会效益；同时也将为公司创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内。

项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的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

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类第三十一项“科技服务业”中第 1 条“质量认证和检验检测服务”，属于鼓励类。因此，本项目射线装置无损检测符合国家产业政策。

表 12　辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：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，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

公司已成立辐射工作安全管理领导小组，并根据公司人员调动情况进行了人员调整，明确小组职责，小组成员由公司主要部门领导组成，并设置 1 名专职辐射安全管理员，负责公司辐射防护日常管理工作，该名人员由公司理化中心主任担任，人员学历为本科，满足《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。

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，公司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。为此，公司应按照相关规定制定相应的管理制度，包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、人员健康及个人剂量管理制度、监测方案、辐射事故应急措施等。

公司已制定《辐射防护安全管理制度》《X 射线机安全操作规程》《X 射线探伤室辐射防护制度》《放射设备维修保养制度》《暗室安全操作规定》《无损检测工作管理制度》《放射工作人员岗位责任制》《辐射安全和防护监测制度》《辐射工作人员健康管理规定》《辐射工作人员教育培训制度》《放射事故管理规定》《X 辐射防护安全应急预案》

上述各种制度考虑到了核技术利用项目的操作使用和安全防护，制度齐全且具有可操作性，公司在此之前严格按照各项管理制度执行，到目前为止未发生过放射事故。后期拟根据本项目情况制定操作规程、岗位职责等制度，并将工作场所安全防护管理等制度粘贴在辐射工作场所。

（2）辐射工作人员管理

①配置数量合理可行性

续表 12　辐射安全管理

本项目曝光室内配置1台电子直线加速器、2台便携式探伤机，拟配置6名辐射工作人员专职辐射曝光室的无损检测工作，辐射工作人员数量能够满足项目无损检测工作要求，6名辐射工作人员均为公司劳动定员内。

②辐射安全培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十五条的规定：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。同时，根据生态环境部《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》（2019年第57号），有相关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。新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。

公司现有辐射工作人员均按照上述要求取得了辐射安全和防护培训合格成绩单，定期进行了复训和考核。本项目拟配置6名辐射工作人员，拟按照上述要求取得辐射安全和防护培训合格成绩单后上岗，后期拟进行定期复训，此外本项目其他非辐射工作人员也可进行简单的辐射安全知识培训。

③个人剂量管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立放射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。

公司现有辐射工作人员均配置了个人剂量计，并按照要求进行了剂量监测，建立了个人剂量档案，满足上述要求。根据近一年个人剂量检测报告，现有辐射工作人员未发生年剂量超标的情况。

后续公司按照要求为本项目每名辐射工作人员配置个人剂量计，并按照要求

续表 12　辐射安全管理

进行剂量检测，建立个人剂量档案。另外，辐射工作人员上岗期间，要求必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，防止个人剂量计遗失和监测结果异常。

④职业健康体检

辐射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康体检，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，辐射工作人员应定期进行职业健康体检，两次检查的时间间隔不应超过 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，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。建设单位应建立和保存辐射工作人员的健康档案。

公司现有辐射工作人员均进行了职业健康体检，符合辐射工作人员健康标准，本项目辐射工作人员上岗前，拟进行上岗前职业健康检查、建立职业健康档案，并定期组织辐射工作人员进行在岗期间职业健康检查。

（3）年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

公司建立了年度评估制度，按规定开展年度评估检查，对检查中发现的问题或不足及时整改，消除安全隐患，按规定编制并上报了年度评估报告。待本项目建成运行后，将本项目纳入年度评估管理中，继续执行年度评估制度。

（4）档案管理

辐射环境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"。建设单位应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

根据调查，公司认真落实了相关制度和规定，所有放射工作人员均进行职业健康体检(两次检查的时间间隔未超过 2 年)、个人剂量监测(不超过 3 个月)、辐射安全与防护培训和考核，并将职业健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安

全培训合格成绩单等建立档案进行了分类保存。

本项目建成运营后，拟将本项目相关的档案资料建立档案，并纳入现有档案管理中，档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

（5）核安全文化建设

核安全文化是以“安全第一”为根本方针，以维护公众健康和环境安全为最终目标；保障核安全是培育核安全文化的根本目的，而培育核安全文化是减少人因失误的有力措施，是核安全“纵深防御”体系中的重要屏障。

核安全文化是核安全的基础，是从事核技术利用活动单位及其全体工作人员的责任心。对于核技术利用项目核安全文化建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化，核安全文化表现在从事核技术利用活动单位的相关领导与员工及最高管理者应具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识，提高并保持核安全意识。

建设单位已建立生产安全管理体系，将辐射安全管理纳入安全管理体系，设立了核安全保障机构，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生产（运营）和管理的各个环节；持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别单位内部核安全文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①在单位内开展核安全文化宣贯推进专项培训，严格落实岗位职责，对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。

②建设单位应不断总结、汲取经验教训，培植核技术利用项目领导及员工的全员核安全文化素养。

12.3 从事辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）的相关

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

表 12-1 从事辐射活动能力的评价

应具备条件	落实的情况
(一)使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	公司已设置辐射工作安全管理领导小组，并设置 1 名专职辐射安全管理人员，人员学历为本科，并且取得了辐射安全和防护培训合格成绩单。
(二)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。	公司将按照该规定，要求新上岗辐射工作人员需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核后，才能上岗。
(四)放射性同位素与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。	探伤工作场所适当位置及设备上安装紧急停机按钮，同时设置门机联锁、剂量报警、声光警示灯、射线源开关钥匙等具有安全联锁的装置。
(五)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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	公司拟为辐射工作人员配备个人剂量计，拟配备个人辐射报警仪、固定式辐射场报警仪等监测仪器。
(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。	公司制度满足现有工作运行要求，后期拟根据本项目实际情况制定相应操作规程、岗位职责等，并将相应操作规程、岗位职责和应急预案等制度张贴上墙。
(七)有完善的辐射事故应急措施。	公司已有完善的辐射事故应急预案。
(八)产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目曝光室拟设置机械通风换气系统，排风口周围区域基本无人员长时间居留，空气流通性强；项目无损检测洗片产生的废液作为危废交有资质单位处理，不产生洗片废水；电子直线加速器的冷却水循环使用不外排；电子直线加速器更换下来的结构部件根据建设单位相关要求处理。因此本项目产生的放射性废气、废液及固体废物均能到有效处理。

本项目尚未建设，但公司已开展有其他核技术利用项目。根据上表可知，公司已建立有相应的辐射环境管理体系，因此，本项目的辐射环境管理工作依托现

续表 12 辐射安全管理

有的管理体系，对于从事本项目的辐射活动有一定的能力。公司在认真落实上述要求后（辐射工作人员持证上岗、安装紧急停机按钮、设置安全联锁装置、配备一定数量的防护用品和监测仪器、补充操作规程、岗位职责等），本项目建成后，将本项目纳入现有制度中，并按照要求将本项目所有相关制度张贴上墙后，方具备从事本项目的辐射活动能力，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，本项目方可投入正式运行。

12.4 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，建设单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。

建设单位可配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及个人剂量进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。

建设单位现有辐射项目均按照要求配置了相应的监测仪器，每季度对公司辐射工作人员个人剂量计进行了监测，监测结果远低于公司年剂量约束限值；委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测，监测结果均满足相关标准的要求，现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

本项目辐射监测内容包括：

（1）个人剂量监测

对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月；

监测结果处理：季度剂量超过 1.25mSv，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

（2）工作场所及周围环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监

续表 12　辐射安全管理

测和日常监测。

①验收监测：项目建成后、辐射防护设施等发生大的变化、设备大修等之后进行验收监测，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

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

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

例行监测和日常监测的监测因子及执行标准如下表所示。

表 12-2　项目监测计划内容一览表

机房名称	监测地点	监测项目	限值要求	监测频次
曝光室	各屏蔽体外 30cm 处、防护门外、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处等	周围剂量当量率	各屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	每年一次，设备大修后，以及公司管理制度要求时一次

（3）设备日常辐射防护监测和检查

根据《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）附录 D 和《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015），项目射线装置工作场所辐射防护监测和检查的类别、内容和周期见表 12-3。

表 12-3　项目辐射防护监测和检查的类别、内容和周期一览表

用房名称	监测和检查类别	监测和检查内容	监测周期
曝光室及控制室	验收监测和检查	1）总体要求	设备投入使用前的监测和检查
		2）辐射安全与防护性能要求	
		3）工作场所的辐射安全与防护要求	
	常规监测和检查	1）警示标识	每天
		2）安全联锁	每天
		3）紧急停机按钮	每周
		4）射线源开关钥匙	每周
		5）声光报警装置	每天
		6）通风装置	每天
		7）固定式剂量监测装置	每天
		8）监视及通信装置	每天
		9）个人剂量监测	不超过 3 个月
		10）工作场所环境监测	每年至少一次

12.5 辐射事故应急

续表 12　辐射安全管理

（1）公司辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）、《重庆市辐射污染防治办法》，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。

按照上述要求，建设单位已制定了《放射事故管理规定》《X 辐射防护安全应急预案》，预案内容包括辐射事故分级管理、应急演练、事故应急报告程序和电话、应急处置、事故调查、后期事故预防等。

公司应进一步完善辐射事故应急预案，将应急物资准备、应急能力的培训等内容纳入其中。另外，公司目前位于重庆市沙坪坝区，本项目位于重庆市江津区，公司还应在本项目运营前修订相应的应急预案报告电话，将本项目工作场址纳入应急管理中。

根据调查，公司近年来未发生辐射事故，未启动应急预案。

同时，公司开展核技术利用工作多年，期间进行过多次辐射事故应急演练，最近一次辐射事故应急演练时间为 2024 年 6 月，事故类型为人员误入探伤室受到误照射。应急演练后做好了相关记录，并建档保存，事故演练加强了相关人员的辐射应急处置能力，达到了事故演练的目的。本项目建成后，公司后期应将本项目的辐射事故纳入应急演练中，以加强不同类型的辐射事故(事件)应急处理经验。

（2）事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日修订）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

本项目使用II类射线装置，发生门机联锁失效情况，人员在防护门外受到误照射时，造成一般辐射事故；发生人员滞留在曝光室内受到误照射，可能造成较大辐射事故，但不排除误入曝光室人员较多并长时间受到大剂量照射，可能会造成重大及以上辐射事故发生。

12.5.2 事故应急方案与措施

（1）事故报告程序

根据本项目的辐射事故等级，本项目一旦发生辐射事故，应迅速电话向内部管理机构、当地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》，向重庆市生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告，发生射线装置丢失被盗的还应向当地公安部门报告。

（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，事故单位应当立即将其送至当地卫生部门指定的医院或者有条件救治辐射伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

（3）辐射事故后处理

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和应急措施。

12.6 环保投资估算

本项目环保投资共约 66 万元，具体情况见表 12-4。

表 12-4 项目环保投资一览表

序号	辐射安全与防护设施名称	投资（万元）
1	辐射管理制度上墙、辐射工作人员职业健康体检、辐射安全培训和考核等	2
2	急停开关、视频监控、对讲系统、联锁装置、警示标志、警示语、应急开门、声光报警、工作状态指示灯等	15
3	个人剂量计、个人辐射报警仪、固定式辐射场报警仪、便携式监测仪等	15
5	防护门的安装、穿墙补偿等	10
6	排风系统、排水系统、暗室防渗处理、废液收集桶等	12
7	监测、环评、验收、办证等	12
/	合计	66

备注：曝光室墙体的建设计入工程投资。

续表 12　辐射安全管理

12.7 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应进行自主竣工环保验收。本工程竣工环境保护验收一览表见表12-5。

表 12-5　环保设施竣工验收内容和要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	建设内容	在公司结构件联合厂房内西侧内建设探伤工作场所，设置曝光室及辅助用房。 配置 1 台电子直线加速器，X 射线最高能量为 2MeV，X 射线输出剂量率 200cGy/min。 配置 1 台周向型便携式 X 射线探伤机（最大管电压 360kV，最大管电流 5mA）、1 台定向型便携式 X 射线探伤机（最大管电压 300kV，最大管电流 5mA）。	不发生重大变动
2	环保资料	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。	齐全
3	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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、人员健康及个人剂量管理制度、监测方案、辐射事故应急措施等。	档案管理规范
4	人员要求	辐射工作人员需经有关部门组织的辐射安全防护考核合格后，在有效期内持证上岗。	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》
5	周围剂量当量率控制	曝光室屏蔽体外周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。	HJ785-2016 GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
6	年有效剂量管理目标值	辐射工作人员：≤5mSv； 公众成员：≤0.1mSv。	GB18871-2002、 GB/T 30371-2013 HJ785-2016
7	辐射防护与安全措施	①曝光室的屏蔽能力能满足要求，各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力。 ②曝光室内设置固定式辐射场报警仪，并配置 X/γ 和中子便携式监测仪定期监测。 ③曝光室内安装摄像头，保证曝光室（含迷道）内全方位监控。 ④工件防护门口、人员防护门口内外均设有一组声光报警灯，声光报警灯旁设置相应状态标识；在工件防护门口、人员防护门口上设置电离辐射警告标	按要求建设，正常运行

		志，并根据项目分区，设置相应的分区标识。 ⑤曝光室四周墙体、迷道、加速器设备及电子直线加速器操作台上安装紧急停机按钮；曝光室内墙面、迷道安装现场清场复位按钮。紧急停机按钮、现场清场复位按钮处设置明显标识。 系统控制室人员防护门旁设置开门按钮；同时曝光室内工件门、人员进出防护门旁设置 2 个应急开门按钮，应急开门按钮处设置明显标识，人员防护门为铰链形式，停电情况下可人为手动缓慢推动打开防护门。工作人员均配用对讲机。	
8	通风要求	曝光室设置通风装置，通风换气次数应不小于 3 次/h；设计上确保曝光室内外空气质量达到 GB3095 要求。	GBZ117-2022 HJ785-2016

表 13　结论及建议

13.1 项目概况

重庆水泵厂有限责任公司拟在重庆市江津珞璜工业园区 B 区中兴二路 2 号公司的结构件联合厂房内西侧新建新建一处探伤场所，主要包括曝光室及辅助用房，总建筑面积约 333.7m^2。拟新购置 1 台 2MeV 电子直线加速器（II类射线装置）、1 台周向便携式 X 射线探伤机（最大管电压 360kV，最大管电流 5mA，II类射线装置）、1 台定向便携式 X 射线探伤机（最大管电压 300kV，最大管电流 5mA，II类射线装置），在曝光室内对金属材料焊接制品进行无损检测。

项目投资 500 万元，其中环保投资约 66 万元。

13.2 实践正当性

项目使用电子直线加速器、便携式探伤机的目地是开展生产中的产品无损质量检验，确保产品质量与使用安全。项目 X 射线装置的应用，对产品质量的无损探伤检测有其他技术无法替代的特点，项目建设为公司的生产提供无损探伤检测保障，对其产品质量保证可起到十分重要的作用，具有明显的社会效益和经济效益，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。

13.3 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类第三十一项“科技服务业”中第 1 条“质量认证和检验检测服务”，属于鼓励类，符合国家产业政策。

13.4 环境现状

项目探伤场所拟建址及周围的环境γ辐射剂量率为 60nGy/h～78nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），在重庆市 2023 年天然辐射本底水平正常涨落范围内。

13.5 选址和布局合理性

（1）选址可行性

项目建设已取得重庆市江津区经济和信息化委员会下发的备案证，项目的建设不与园区规划相冲突。项目拟建址及周围的环境γ辐射剂量率在重庆市2023年天然辐射本底水平正常涨落范围内，有利于项目的选址建设；本项目探伤场地位

续表 13 结论及建议

于公司结构件联合厂房内西侧，属于建筑一端，曝光室和辅助用房布置集中，并和厂房的其他区域相对独立，选址时充分考虑了其对周边环境的辐射影响。项目探伤工件尺寸较大，探伤场地东侧为待探伤工件生产线，便于待探伤工件直接通过轨道、行车、平车进行运输。因此，项目选址可行。

（2）布局合理性

本项目探伤场所包括曝光室及其配套的控制室、暗室等辅助用房，功能齐全。本项目3台射线装置的出束控制钥匙串结在一起，同一时间段只能开启1台射线装置出束，急停按钮、门机联锁等辐射安全设施能切换到出束设备，保证射线装置的运行安全；项目曝光室与系统控制室分开设置，辅助用房集中布置在曝光室北侧，与曝光室相邻；曝光室设置工件门、人员门及人员进出“多折”迷道，控制室与曝光室之间设置设备间和迷道，合理设置有用线束投照方向，有用线束不直接照向控制室、防护门，能有效减少项目对辐射工作人员的影响；曝光室及其东侧设置轨道，便于运输工件的平车运行；项目在曝光室内设置储存柜，存放便携式探伤机，设专人保管。因此，本项目工作场所布局合理。

13.6 辐射防护与安全措施结论

（1）辐射工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，项目探伤场所实行分区管理，将曝光室内部（包含迷道）划设为控制区，将曝光室外相邻区域划设为监督区。严格限制无关人员进出控制区，控制区防护门拟设置电离辐射警告标志、设置门机联锁装置、声光报警装置等。监督区进行日常的监测和评估。

（2）屏蔽体防护

本项目曝光室建设了足够厚度的屏蔽体，可保证曝光室屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求；穿墙管线采用“U”型电缆管沟、地下深埋水平直穿、“Z”型穿越方式，不影响其辐射屏蔽防护效果；防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保证施工质量。

（3）安全联锁装置及其他措施

本项目拟配置符合相关标准要求的电子直线加速器，具有：控制台配置专用

续表 13　结论及建议

钥匙进行控制，钥匙由专人保管；加速器机头设有准直器等线束装置；电子直线加速器控制系统的操作控制程序设有密码，未经单位辐射安全管理人员允许不得修改；系统控制程序显示照射参数预选值等。

项目拟配置符合相关标准要求的便携式探伤机，

曝光室拟设置门机联锁、射线源开关钥匙等安全联锁；曝光室内设置固定式剂量报警装置，实时测量曝光室内的剂量；设置视频监控系统，能全方位监控曝光室（含迷道）内的情况；工件防护门口、人员防护门口内外均设声光报警灯；工件防护门口、人员防护门口上设电离辐射警告标志，各区贴分区标识；曝光室四周墙体、迷道、加速器设备及电子直线加速器操作台上拟安装紧急停机按钮，曝光室内墙面、迷道拟安装现场清场复位按钮，紧急停机按钮、现场清场复位按钮处拟设置明显标识；拟在系统控制室人员防护门旁设置开门按钮；同时曝光室内工件门、人员进出防护门旁拟设置应急开门按钮，应急开门按钮处拟设置明显标识，人员防护门为铰链形式，停电的紧急情况下可人为手动缓慢打开人员防护门；工作人员均配用对讲机。

（4）通风系统

设置独立的通风系统，顶棚设置送风口1个，地面排风口共设3个，通风量8000m³/h，通风换气5次/小时。

（5）其他措施

公司拟配置个人剂量报警仪，并拟配置 X/γ监测仪等监测仪器，保证设备、辐射工作人员、公众成员的安全。

综上，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足辐射防护的要求。

13.7 环境影响分析结论

（1）辐射屏蔽防护效能核算

项目曝光室按照设计方案厚度建设，电子直线加速器、便携式探伤机各自运行时，曝光室屏蔽体外周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h，满足评价标准限值要求。

（2）剂量估算

辐射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均低于本环评的年有效剂量管理目标值（辐射工作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/a），满足《电离辐射防护与

辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）等相关标准的要求。

（3）环境保护目标影响

项目运行后，对周围 50m 范围内环境保护目标的影响甚微，基本与辐射背景水平相当，本项目对周围各环境保护目标的环境影响可以接受。

（4）废气环境影响

本项目不产生放射性“三废”，曝光室外少量臭氧和氮氧化物废气通过机械排风管道引至结构件联合厂房西侧外排放，废气排放口离地高度约 13m，避开了人员活动密集区，项目产生的废气对周围环境影响小。

（5）废水环境影响

本项目运营过程中不产生废水，工作人员生活污水依托重水公司现有生化池处理后排入市政管网。

（6）固废环境影响

项目工作人员产生的生活垃圾收集后交由环卫部门统一处理。

更换下来的结构部件及报废的去功能化的射线装置，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。

报废的胶片和存档到期的胶片依托重水公司危废暂存间暂存，交有危废处理资质的单位收集处置。

洗片废液依托重水公司危废暂存间暂存，交有危废处理资质的单位收集处置。

（7）噪声环境影响

项目曝光室拟使用的排风系统风机为低噪声节能排风机，噪声源强较小，采取减震措施、建筑隔声和距离衰减后对重水公司厂区厂界的噪声贡献较小，对项目所在区域声环境影响小。

项目运行过程中产生的废水、废气、固废、噪声对周围环境影响较小。

13.8 事故风险

根据预测，射线装置事故情况下，一般情况下造成较大辐射事故的发生，但

续表 13 结论及建议

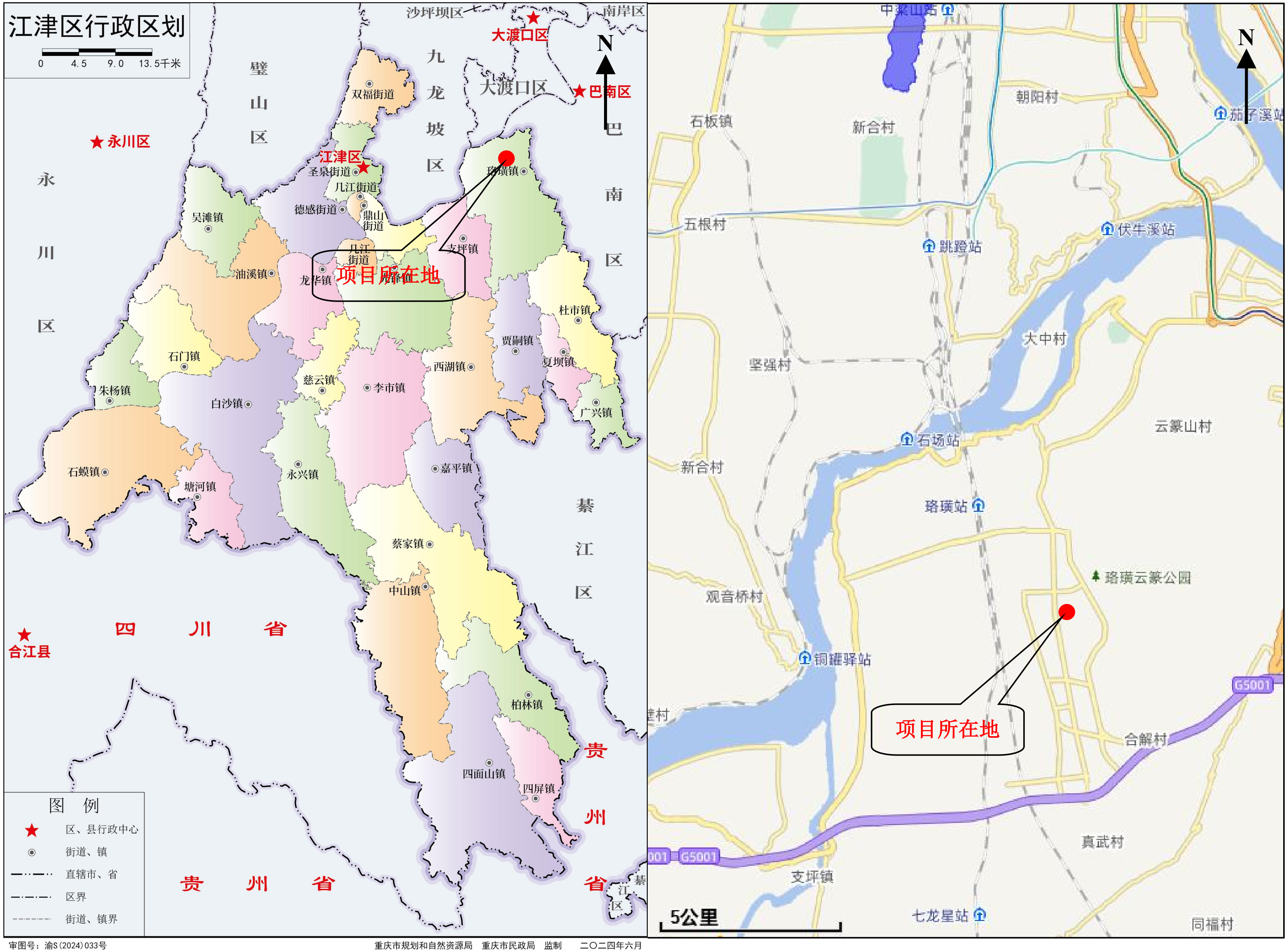
不排除误入曝光室人员较多并长时间受到大剂量照射，可能会造成重大及以上辐射事故发生。公司通过定期对各个联锁装置进行检查、撤离曝光室时应清点人数等措施后，本项目风险可防可控。

13.9 辐射安全管理

公司已成立辐射工作安全管理领导小组，负责公司的放射防护与安全管理工作，并明确了相应职责与分工；公司有较完善的辐射环境管理规章制度及辐射事故应急预案，具备一定从事辐射活动的能力，还应在本项目运行前完善操作规程、岗位职责等。公司应严格执行各项规章制度执行，辐射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期进行检测并进行职业健康体检。在今后的工作中，应不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

13.10 综合结论

重庆水泵厂有限责任公司系统成套平台技改项目（探伤部分）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。


江津区行政区划
0 4.5 9.0 13.5千米
沙坪坝区
南岸区
大渡口区
九龙坡区
璧山区
巴南区
永川区
江津区
双福街道
圣泉街道
几江街道
德感街道
鼎山街道
吴滩镇
油溪镇
龙华镇
珞璜镇
支坪镇
杜市镇
贾嗣镇
夏坝镇
广兴镇
石门镇
朱杨镇
白沙镇
慈云镇
李市镇
西湖镇
石蟆镇
塘河镇
永兴镇
嘉平镇
蔡家镇
中山镇
柏林镇
四面山镇
四屏镇
綦江区
四川省
合江县
贵州省
项目所在地
N
图例
区、县行政中心
街道、镇
直辖市、省
区界
街道、镇界
审图号：渝S(2024)033号
重庆市规划和自然资源局 重庆市民政局 监制 二〇二四年六月
石板镇
新合村
朝阳村
茄子溪站
五根村
跳蹬站
伏牛溪站
大中村
坚强村
云篆山村
石场站
新合村
珞璜站
珞璜云篆公园
观音桥村
铜罐驿站
G5001
合解村
真武村
支坪镇
七龙星站
同福村
5公里

附图 1　项目地理位置图