

核技术利用建设项目

四川科新机电股份有限公司

数字化智能化生产车间新建工业探
伤室项目环境影响报告表

(公示本)

四川科新机电股份有限公司

二〇二六年五月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

四川科新机电股份有限公司

数字化智能化生产车间新建工业探

伤室项目环境影响报告表

建设单位名称：四川科新机电股份有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：林祯华

通讯地址：什邡市沱江路西段 21 号

邮政编码：618400

联系人：蒯

电子邮箱：

联系电话：15

目 录

表 1	项目概况	1
表 2	放射源	17
表 3	非密封放射性物质	18
表 4	射线装置	19
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6	评价依据	22
表 7	保护目标与评价标准	25
表 8	环境质量和辐射现状	29
表 9	项目工程分析与源项	32
表 10	辐射安全与防护	53
表 11	环境影响分析	81
表 12	辐射安全管理	140
表 13	结论与建议	148

附件：

- 附件 1 环评委托书；
- 附件 2 四川科新机电股份有限公司原辐射安全许可证；
- 附件 3 四川科新机电股份有限公司产权证明；
- 附件 4 2025 年科新机电高端装备数智化生产及研发基地项目-备案证明表
- 附件 5 德阳市生态环境局关于《2025 年科新机电高端装备数智化生产及研发基地项目环境影响报告表》的批复；
- 附件 6 关于变更公司环境保护管理委员会的通知；
- 附件 7 科新机电辐射安全管理规及制度；
- 附件 8 废物处置协议；
- 附件 9 辐射工作人员培训证书一览表；
- 附件 10 2025 年度个人剂量报告；
- 附件 11 2025 年度辐射工作场所环境监测报告；
- 附件 12 本项目拟建辐射工作场所 X- γ 辐射环境监测报告；
- 附件 13 本项目资料确认文件。

附图：

- 附图 1 本项目地理位置图；
- 附图 2 本项目所在单位平面布局图及外环境关系图；
- 附图 3 本项目备料车间探伤室平面布局图；
- 附图 4 本项目重型车间探伤室平面布局图；
- 附图 5 本项目备料车间探伤室剖面图；
- 附图 6 本项目重型车间探伤室剖面图；
- 附图 7 本项目备料车间人流、物流示意图；
- 附图 8 本项目重型车间人流、物流示意图；
- 附图 9 本项目备料车间两区划分图；
- 附图 10 本项目重型车间两区划分图；
- 附图 11 本项目备料车间穿线孔位置示意图；
- 附图 12 本项目重型车间穿线孔位置示意图；
- 附图 13 本项目穿线孔大样图；

附图 14 本项目备料车间曝光室工件大门剖面图；

附图 15 本项目重型车间曝光室工件大门剖面图；

附图 16 本项目备料车间探伤室通风管道平面图及大样图；

附图 17 本项目重型车间探伤室通风管道平面图及大样图；

附图 18 本项目备料车间辐射安全防护设施平面布局图；

附图 19 本项目重型车间辐射安全防护设施平面布局图。

表 1 项目概况

建设项目名称		四川科新机电股份有限公司数字化智能化生产车间新建工业探伤室项目				
建设单位		四川科新机电股份有限公司				
法人代表		■	联系人	■	联系电话	■
注册地址		四川省德阳市什邡市什邡马祖镇				
项目建设地点		什邡市沱江路西段 21 号公司数字化智能化生产车间				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		■	项目环保投资 (万元)	■	投资比例 (环保投资/总投资)	■%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	约 1470
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
其它	/					
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介及项目由来</p> <p>四川科新机电股份有限公司 (统一社会信用代码: ■) 成立于 1997 年 3 月 11 日, 是专业从事压力容器设计、制造及安装的公司。</p> <p>建设单位已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》(川环辐证[00139]), 许可的种类和范围: 使用 II 类放射源; 使用 II 射线装置。发证日期: 2023 年 04 月 03 日, 有效期至 2028 年 04 月 15 日。</p> <p>近年来, 全球化工及能源工业加速更新升级, 特别是新能源行业(如: 氢能源、</p>						

光伏多晶硅、光热发电等清洁能源)大型化项目建设的加速推进,带动了聚合釜、反应器、压力容器、换热器及塔器等化工专用设备制造业的快速发展。为了顺应时代的发展和社会的需求,四川科新机电股份有限公司利用现有厂区闲置土地及紧邻现有厂区的80亩新增土地,扩建高端装备数字化智能化生产车间51000平方米、研发实验室6200平方米。购置:纵缝焊接系统、机器人管板全自动焊接系统、激光TIG复合焊、热处理机器人、电液伺服万能试验机、断裂韧性试验机、扫描电子显微镜等近150台套先进的生产、研发及检测设备,打造世界一流的高端装备智能制造及研发基地。项目达产后预计每年新增产能1.69万吨。该项目于2025年4月3日取得什邡市经济信息化和科学技术局备案(备案号:川投资备【2504-510682-07-02-141564】JXQB-0333号)(附件4)。目前该项目已完成了环境影响评价并取得了德阳市生态环境局关于《2025年科新机电高端装备数智化生产及研发基地项目环境影响报告表》的批复(德环审批〔2025〕344号)(附件5)。

为配合新的产线,四川科新机电股份有限公司拟在新建成的数字化智能化生产车间内配套建设2座工业探伤室(共4间曝光室),共使用3台电子直线加速器(II类射线装置),24台X射线探伤机(II类射线装置)和8台 γ 射线探伤机(II类放射源),用于产品焊缝质量检测。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定和要求,本项目需进行环境影响评价。

本项目涉及使用II类射线装置、II类放射源,根据《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(生态环境部 部令第16号,2021年1月1日起施行),本项目属于“第五十五项—172条核技术利用建设项目—使用II类射线装置、使用II类放射源”,应编制环境影响报告表。又根据四川省生态环境厅关于印发《四川省生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录(2025年本)》的通知,本项目环境影响评价报告表应报四川省生态环境厅审查批准,因此,四川科新机电股份有限公司委托四川同佳检测有限责任公司对该项目开展环境影响评价工作。四川同佳检测有限责任公司接受委托后,通过现场勘察、收集资料等工作,结合本项目的特点,按照国家有关技术规范要求,编制完成《四川科新机电股份有限公司数字化智能化

生产车间新建工业探伤室项目环境影响报告表》。

二、产业政策符合性

本项目系核和辐射技术用于工业检测领域，属高新技术。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令）相关规定，本项目属于鼓励类第三十一项“科技服务业”中第1条“检验检测服务”，符合国家现行的产业政策。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：四川科新机电股份有限公司数字化智能化生产车间新建工业探伤室项目

建设单位：四川科新机电股份有限公司

建设性质：新建

建设地点：什邡市沱江路西段21号公司数字化智能化生产车间

（二）建设内容与规模

本项目拟在数字化智能化生产车间内新建2座探伤室（共4间曝光室），并分别在各曝光室内配置使用探伤机。其中备料车间探伤室位于备料车间内西南侧，包含2间曝光室（含迷路）及辅助用房，2间曝光室分别命名为11#曝光室和12#曝光室；重型车间探伤室位于重型车间外东南侧，包含2间曝光室（含迷路）及辅助用房，2间曝光室分别命名为13#曝光室和14#曝光室。本项目涉及使用的探伤机和电子直线加速器属于II类射线装置；涉及使用的 γ 放射源属于II类放射源。

1、备料车间探伤室

备料车间探伤室为并联探伤室，包含两间曝光室，即北侧的11#曝光室和南侧的12#曝光室，辅助工程采用2层设计，1层为操作室（57.6m²）、加速器机房（15.1m²），2层为暗室（24.3m²）、晒片室（68.0m²）。

①11#曝光室：曝光室（不含迷道）占地面积为49.8m²（净空尺寸为：长8.3m×宽6m×高7.2m），西南侧、西北侧、东北侧墙体均为1.2m厚钢筋混凝土，东南侧墙体为11#曝光室和12#曝光室共用屏蔽墙体，为1.4mm厚钢筋混凝土，西侧“Z字形”迷道内、外墙体均为1.2m厚钢筋混凝土，屋顶为1m厚钢筋混凝土，西北侧工

件进出门为 1.2m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 6.2m×高 6.7m），西侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室东侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤机。

②12#曝光室：曝光室（不含迷道）占地面积为 81.34m²（净空尺寸为：长 9.8m×宽 8.3m×高 10.2m），西南侧墙体 7.4m 以下为 1.4m 厚钢筋混凝土，7.4m-10.2m 为 1m 厚钢筋混凝土，西北侧、东南侧墙体均为 1.4m 厚钢筋混凝土，东北侧墙体为电子直线加速器主射束方向墙体，7.4m 以下为 2.5m 厚钢筋混凝土，7.4m-10.2m 为 1.7m 厚钢筋混凝土，南侧“Z 字形”迷道内墙为 1.4m 厚钢筋混凝土，外墙为 1.2m 厚钢筋混凝土，屋顶为 1m 厚钢筋混凝土，东南侧工件进出门为 1.6m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 8m×高 7.7m），南侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室东北侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤机。

2、重型车间探伤室

重型车间探伤室为并联探伤室，包括 2 间曝光室，即东侧的 13#曝光室和西侧的 14#曝光室。辅助工程采用 1 层设计，包括操作室（93.5m²）、13#加速器机房（19.3m²），暗室（14.3m²）、14#加速器机房（22.3m²）、晒片室（25.8m²）。

①13#曝光室：曝光室（不含迷道）占地面积为 278.4m²（净空尺寸为：长 29.3m×宽 9.5m×高 12m），西北侧、东南侧墙体均为 1.4m 厚钢筋混凝土，东北侧墙体 9.4m 以下为 1.4m 厚钢筋混凝土，9.4m-12m 为 1m 厚钢筋混凝土，西南侧墙体为电子直线加速器主射束方向墙体，同时也是与 14#曝光室共用屏蔽墙体，9m 以下为 2.4m 厚钢筋混凝土，9m-9.4m 为 1.7m 厚钢筋混凝土，9.4m-11.8m 为 1.2m 厚钢筋混凝土，东侧“Z 字形”迷道内墙为 1.3m 厚钢筋混凝土，外墙为 1.4m 厚钢筋混凝土，屋顶为 1m 厚钢筋混凝土，西北侧工件进出门为 1.6m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 8m×高 9.7m），东侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室南侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤机。

②14#曝光室：曝光室（不含迷道）占地面积为 337.4m²（净空尺寸为：长 28m×宽 12.05m×高 11.8m），西北侧和东南侧墙体均为 2m 厚钢筋混凝土，西南侧墙体为

电子直线加速器主射束方向墙体，9m 以下为 2.5m 厚钢筋混凝土，9m-11.8m 为 1.9m 厚钢筋混凝土，东北侧墙体 9m 以下为 2.4m 厚钢筋混凝土，9m-9.4m 为 1.7m 厚钢筋混凝土，9.4m-11.8m 为 1.2m 厚钢筋混凝土，南侧“Z 字形”迷道内、外墙体均为 2m 厚钢筋混凝土，屋顶为 1.2m 厚钢筋混凝土，西北侧工件进出门为 2m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 10.4m×高 9.7m），南侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室西南侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 ¹⁹²Ir-γ 射线探伤机、⁶⁰Co-γ 射线探伤机。

3、拟使用探伤设备情况

本次拟新增使用 24 台 X 射线探伤机、8 台 γ 射线探伤机和 3 台电子直线加速器，具体分配见表 1-1。

表 1-1 拟使用探伤设备一览表

探伤场所		探伤设备及数量（台）									
		电子直线加速器		X 射线探伤机						γ 射线探伤机	
		6MeV	9MeV	XXG350 5C 周向	RX-3505 GC 周向	XXHA30 05 周向	XXHA25 05 周向	RX3505 G 定向	XXG-30 05 定向	¹⁹² Ir	⁶⁰ Co
备料车间探 伤室	11#曝光 室	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
	12#曝光 室	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
重型车间探 伤室	13#曝光 室	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
	14#曝光 室	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
合计		2	1	4	4	4	4	4	4	4	4

根据《四川省环境保护厅关于四川科新机电股份有限公司工业 X、γ 射线野外探伤项目环境影响报告表的批复》（川环审批[2016]75 号），建设单位具备野外（室外）探伤的许可，因此本项目场所可用于室外探伤，但本项目以上涉及探伤机均只开展室内探伤，室内探伤时不涉及 2 台射线装置同时使用的情况，建设单位将严格按照批复要求，室外探伤专机专用。探伤机的检修等均由设备厂家负责，本项目只负责探伤机的使用。

4、探伤工件情况

项目探伤工件为公司生产厂房生产的压力容器、核电再热管道、汽轮机汽缸、

阀壳等，工件直径/宽度约 0.4m~8m，长度约 5m~25m，厚度约 2.5~200mm，工件形状为圆柱状或异形，主要材质为碳钢、不锈钢、铸钢等。

5、工作负荷

根据建设单位提供的资料，当工件厚度<50mm 选用 X 射线探伤机或 ¹⁹²Ir-γ射线探伤机，工件厚度在 50-200mm 之间时选用 ⁶⁰Co-γ射线探伤机或 6MeV 电子直线加速器，工件厚度>200mm 时选用 9MeV 电子直线加速器。

根据任务分配，公司使用 X 射线探伤机单次曝光时间约 3~5min，单个工件需拍片 1~10 次，11#曝光室年探伤工件约 600 件，年最大曝光时间约 500h（包含训机时间）；12#曝光室年探伤工件约 768 件，年最大曝光时间约 640h（包含训机时间）；13#曝光室年探伤工件约 768 件，年最大曝光时间约 640h（包含训机时间）；14#曝光室年探伤工件约 600 件，年最大曝光时间约 500h（包含训机时间）。

使用γ射线探伤机单个工件曝光时间≤2.5h，11#曝光室年探伤工件合计约 400 件，年最大曝光时间约 1000h（两台 γ 射线探伤机各 500h）；12#曝光室年探伤工件合计约 240 件，年最大曝光时间约 600h（两台 γ 射线探伤机各 300h）；13#曝光室年探伤工件合计约 240 件，年最大曝光时间约 600h（两台 γ 射线探伤机各 300h）；14#曝光室年探伤工件合计约 400 件，年最大曝光时间约 1000h（两台 γ 射线探伤机各 500h）。

使用电子直线加速器单词曝光时间约 3~5min，单个工件拍片 1~10 次，14#曝光室年探伤工件约 360 件，年最大曝光时间约 300h；13#曝光室年探伤工件约 360 件，年最大曝光时间约 300h；14#曝光室年探伤工件约 240 件，年最大曝光时间约 200h。

项目组成及主要环境问题见表 1-2。

表 1-2 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	建设内容及规模	可能产生的环境问题	
		施工期	营运期
11#曝光室			
主体工程	11#曝光室（不含迷道）占地面积为 49.8m ² （净空尺寸为：长 8.3m×宽 6m×高 7.2m），西南侧、西北侧、东北侧墙体均为 1.2m 厚钢筋混凝土，东南侧墙体为 11#曝光室和 12#曝光室共用屏蔽墙体，为 1.4m 厚钢筋混凝土，西侧“Z 字形”迷道内、外墙体均为 1.2m 厚钢筋混凝土，屋顶为 1m 厚钢筋混凝土，西北侧工件进出门为 1.2m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 6.2m×高 6.7m），西侧迷道门为	扬尘、 废水、 固体废物、 噪声	X 射线探伤机工作时产生的 X 射线、臭氧、氮氧化物；换气风机产生的噪声；γ射

		20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室东侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 192Ir- γ 射线探伤机、60Co- γ 射线探伤机。		线探伤机产生的 γ 射线、 β 射线、氮氧化物、臭氧，换气风机产生的噪声，废放射源。
	探伤装置情况	（1）拟使用 6 台 X 射线探伤机：XXG-3505C 型周向、RX-3505GC 周向、XXHA3005 周向、XXHA2505 周向、RX3505G 定向、XXG3005 定向 X 射线探伤机各 1 台，均属于 II 射线装置。 （2）拟使用 2 台 γ 射线探伤机：1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、1 台 ^{60}Co - γ 射线探伤机，均属 II 类放射源。	/	
12#曝光室				
主体工程	12#曝光室结构	曝光室（不含迷道）占地面积为 81.34m ² （净空尺寸为：长 9.8m×宽 8.3m×高 10.2m），西南侧、西北侧、东南侧墙体均为 1.4m 厚钢筋混凝土，东北侧墙体为电子直线加速器主射束方向墙体，为 2.5m 厚钢筋混凝土，南侧“Z 字形”迷道内墙为 1.4m 厚钢筋混凝土，外墙为 1.2m 厚钢筋混凝土，屋顶为 1m 厚钢筋混凝土，东南侧工件进出口为 1.6m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 8m×高 7.7m）南侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室东北侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 192Ir- γ 射线探伤机、60Co- γ 射线探伤机。	扬尘、废水、固体废物、噪声	电子直线加速器工作时产生的 X 射线、氮氧化物、臭氧；X 射线探伤机工作时产生的 X 射线、臭氧、氮氧化物； γ 射线探伤机产生的 γ 射线、 β 射线、氮氧化物、臭氧，换气风机产生的噪声，废放射源
	探伤装置情况	（1）拟使用 6 台 X 射线探伤机：XXG-3505C 型周向、RX-3505GC 周向、XXHA3005 周向、XXHA2505 周向、RX3505G 定向、XXG3005 定向 X 射线探伤机各 1 台，均属于 II 射线装置。 （2）拟使用 2 台 γ 射线探伤机：1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、1 台 ^{60}Co - γ 射线探伤机，均属 II 类放射源。 （3）拟使用 6MeV 电子直线加速器 1 台，型号为 DZ—6/1000，属于 II 类射线装置。	/	
13#曝光室				
主体工程	13#曝光室结构	曝光室（不含迷道）占地面积为 278.4m ² （净空尺寸为：长 29.3m×宽 9.5m×高 12m），西北侧、东北侧、东南侧墙体均为 1.4m 厚钢筋混凝土，西南侧墙体为电子直线加速器主射束方向墙体，同时也是与 14#曝光室共用屏蔽墙体，为 2.4m 厚钢筋混凝土，东侧“Z 字形”迷道内墙为 1.3m 厚钢筋混凝土，外墙为 1.4m 厚钢筋混凝土，屋顶为 1m 厚钢筋混凝土，西北侧工件进出口为 1.6m 厚钢筋混凝土电动推拉门（宽 8m×高 9.7m），东侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑，贮源坑（长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m）位于曝光室南侧，贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板，用于存放 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤机。	扬尘、废水、固体废物、噪声	电子直线加速器工作时产生的 X 射线、氮氧化物、臭氧；X 射线探伤机工作时产生的 X 射线、臭氧、氮氧化物； γ 射线探伤机产生的 γ 射

	探伤装置情况	(1) 拟使用 6 台 X 射线探伤机: XXG-3505C 型周向、RX-3505GC 周向、XXHA3005 周向、XXHA2505 周向、RX3505G 定向、XXG3005 定向 X 射线探伤机各 1 台, 均属于 II 射线装置。 (2) 拟使用 2 台 γ 射线探伤机: 1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、1 台 ^{60}Co - γ 射线探伤机, 均属 II 类放射源。 (3) 拟使用 6MeV 电子直线加速器 1 台, 型号为 DZ—6/1000, 属于 II 类射线装置。	/	线、 β 射线、氮氧化物、臭氧, 换气风机产生的噪声, 废放射源
14#曝光室				
主体工程	14#曝光室结构	曝光室(不含迷道)占地面积为 337.4m ² (净空尺寸为: 长 28m×宽 12.05m×高 11.8m), 西北侧和东南侧墙体均为 2m 厚钢筋混凝土、西南侧墙体为电子直线加速器主射束方向墙体, 为 2.5m 厚钢筋混凝土, 东北侧墙体为 2.4m 厚钢筋混凝土, 南侧“Z 字形”迷道内、外墙体均为 2m 厚钢筋混凝土, 屋顶为 1.2m 厚钢筋混凝土, 西北侧工件进出门为 2m 厚钢筋混凝土电动推拉门(宽 10.4m×高 9.7m), 南侧迷道门为 20mmPb 铅钢电动推拉门。曝光室内设有贮源坑, 贮源坑(长 0.9m×宽 1.5m×深 1.5m)位于曝光室西南侧, 贮源坑上盖 5mm 厚钢盖板, 用于存放 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤机。	扬尘、废水、固体废物、噪声	电子直线加速器工作时产生的 X 射线、氮氧化物、臭氧; X 射线探伤机工作时产生的 X 射线、臭氧、氮氧化物; γ 射线探伤机产生的 γ 射线、 β 射线、氮氧化物、臭氧, 换气风机产生的噪声, 废放射源
	探伤装置情况	(1) 拟使用 6 台 X 射线探伤机: XXG-3505C 型周向、RX-3505GC 周向、XXHA3005 周向、XXHA2505 周向、RX3505G 定向、XXG3005 定向 X 射线探伤机各 1 台, 均属于 II 射线装置。 (2) 拟使用 2 台 γ 射线探伤机: 1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、1 台 ^{60}Co - γ 射线探伤机, 均属 II 类放射源。 (3) 拟使用 9MeV 电子直线加速器 1 台, 型号为 DZ—9/1000, 属于 II 类射线装置。	/	线、 β 射线、氮氧化物、臭氧, 换气风机产生的噪声, 废放射源
环保工程	依托厂区已建污水收集处理设施、固体废物收运设施等		扬尘、废水、固体废物、噪声	废显影液 废定影液 废胶片 洗片废水
辅助工程	辅助用房包括操作室、设备机房、暗室、晒片室等		扬尘、废水、固体废物、噪声	生活污水 生活垃圾
公用工程	依托厂区已建的卫生间、淋浴室、更衣间等		/	/
办公及生活设施	依托厂区已建办公设施		/	/
仓储其它	厂区其他设施		/	/

(三) 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-3。

表 1-3 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	年耗量(单位)	来源	主要化学成分
主(辅)料	胶片	50000 张	外购	卤化银

		显影液	1000L/a	外购	溴化钾、无水亚硫酸钠
		定影液	1000L/a	外购	硫代硫酸钠(Na ₂ S ₂ O ₃)、无水亚硫酸钠
能源	煤(T)	—	—	—	—
	电(度)	探伤用电	30000kWh	—	—
	气(Nm ³)	—	—	—	—
水量	地表水	自来水	2000m ³ /a	—	—
	地下水	—	—	—	—

(四) 本项目涉及射线装置

本项目涉及射线装置的情况见表 1-4~表 1-6。

表 1-4 本项目射线装置基本情况一览表

使用场所	设备型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	曝光时间(min/次)	管理类别	辐射角度	最大穿透钢板厚度(mm)	投射类型	数量(台)
每间曝光室各一台	XXG3505GX	350	5	3~5	II	30°×360	40	周向	4
	RX-3505GC	350	5	3~5	II	30°×360	40	周向	4
	XXHA3005	300	5	3~5	II	30°×360	35	周向	4
	XXHA2505	250	5	3~5	II	30°×360	20	周向	4
	RX3505G	350	5	3~5	II	30°	40	定向	4
	XXG-3005	300	5	3~5	II	30°	35	定向	4

表 1-5 本项目使用电子直线加速器的相关情况

使用场所	设备型号	额定参数	最大源强(Gy)	曝光时间(min/次)	管理类别	辐射角度	最大穿透钢板厚度(mm)	数量(台)
12#曝光室	DZ-6/1000	6MeV	10	3~5	II	30°	280	1
13#曝光室	DZ-6/1000	6MeV	10	3~5	II	30°	280	1
14#曝光室	DZ-9/1000	9MeV	30	3~5	II	30°	380	1

表 1-6 本项目拟使用的放射源的相关情况

使用场所	设备名称	可移动性类别	放射源核素	放射源数量(枚)	出厂活度(Bq)	放射源类别	最大穿透钢板厚度(mm)	数量(台)
每间曝光室各一台	⁶⁰ Co-γ射线探伤机	M类	⁶⁰ Co	1枚/台	3.70E+12	II	200	4
	¹⁹² Ir-γ射线探伤机	P类	¹⁹² Ir	1枚/台	3.70E+12	II	100	4

(五) 项目外环境关系及选址合理性分析

1、项目外环境关系

本项目选址于什邡市沱江路西段 21 号新建的数字化智能化生产车间内，四川科新机电股份有限公司所在厂区已取得了什邡市自然资源和规划局颁发的不动产权证（附件 3），用地性质为工业用地，用地性质符合园区规划和准入条件。公司外环境关系及选址在《2025 年科新机电高端装备数智化生产及研发基地项目环境影响报告表》中进行了论述，并取得了德阳市生态环境局的批复（附件 4）。

由项目所在厂区总平面布置图可知，公司数字化智能化生产车间整体呈“L”型，占地面积较大，探伤室距离南侧厂界最近为 46m，东侧、西侧和北侧 50m 范围均位于厂界以内。其中：

①**备料车间探伤室**：该探伤室位于备料车间内西南侧，东北侧 0~9m 为厂区内通道，9m~50m 为纵缝区；东侧 10m~27m 为卷板区，27~50m 为金工车间；东南侧 6m~22m 为卷板区、25m~50m 为 260 镗铣床区 42m~50m 为龙门铣；南侧 11m~34m 为喷砂室、22m~40m 为退火炉、33m~50m 为 13#曝光室、40m~50m 为 14#曝光室；西南侧 9m~50m 为平车区；西侧 30m~50m 为试压区；西北侧 0~7m 为厂区内通道、19~30m 为板材翻转区、33~50m 为货车来料区和钢板平放区；北侧 8~21m 为卷板区、21~50m 为钢板立放区。

②**重型车间探伤室**：该探伤室位于重型车间外东南侧，东北侧紧邻退火炉、10m~22m 为喷砂室、27m~47m 为 260 镗铣床区、33m~50m 为卷板区；东南侧 12m~24m 为 35kV 变电站区域、24m~45m 为厂区内道路、45~50m 为岷江路西段；西南侧紧邻退火炉、11m~22m 为喷砂室、22m~33m 为空压机房、33m~50m 为储罐区；西北侧 5m~35m 为平车区、35m~50m 为试压区。

本项目所有探伤室下方均无建筑，备料车间探伤室位于生产厂房内，探伤室上方无行车操作人员；重型车间探伤室位于生产厂房外，由于紧邻的退火炉和喷砂房略高于探伤室，且退火炉上方留有检修口，故视作**重型车间探伤室上方可上人**。本项目平面布局示意图，见附图 2。

2、项目选址合理性分析

通过外环境关系可知，建设单位拟新建探伤室均位于厂界内，不新增用地，用地性质符合园区规划和准入条件。

本项目探伤室布置相对独立，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；建设单位在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。建设单位新建了专门的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。因此，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

（六）实践的正当性

射线探伤作为五大常规无损检测方法之一，可以探测各型金属内部可能产生的缺陷，如气孔、针孔、夹杂、疏松、裂纹、偏析、未焊透和熔合不足等，且能较直观地显示工件内部缺陷的大小和形状，对保障产品质量起了十分重要的作用。建设单位拟在压力容器和压力管道的生产、安装的环节进行无损检测，可达到一般非放射性探伤方法所不能及的诊断效果，是其它探伤项目无法替代的，由于电子直线加速器、X、 γ 射线探伤的方法效果显著，因此，该项目的实践是必要的。但是，由于在探伤过程中探伤装置的应用可能会给周围环境和辐射工作人员造成一定的辐射影响，同时探伤装置的使用及管理的失误会造成辐射安全事故。建设单位在开展电子直线加速器、X、 γ 射线探伤过程中，对辐射源的使用将严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对辐射源的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理辐射源的情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，本项目应用的实践具有正当性。

（七）劳动定员及工作制度

本项目拟配备18名辐射工作人员，其中16名探伤机操作人员，2名管理人员（兼探伤机及放射源管理员），其中16名探伤机操作人员为公司新配置辐射工作人员，2名管理人员为既有员工。本项目每个探伤室配4名操作人员，需要交叉作业，采用两班倒工作制度，同时制定有无损检测人员工作制度，每位人员年工作时间不超过1200小时。本项目实行8小时工作制度，年工作时间为300天。

今后根据开展的项目和工作量等实际情况适当调整人员编制。公司应严格执行辐射工作人员培训制度，组织辐射工作人员及相关管理人员在国家核技术利用辐射

安全与防护培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn>) 上参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核, 考核通过后方可上岗。

四、原有核技术利用情况

(一) 原有核技术利用项目环保手续履行情况

建设单位现有什邡市沱江路西段 21 号厂区已建设有 8 间探伤室, 什邡市马祖、双盛生产区已建设有 2 间探伤室, 同时具备开展野外 (室外) 探伤的能力, 分 5 次开展了环评, 并全部完成了竣工环境保护验收, 具体见下表。

表1-7 四川科新机电股份有限公司环保手续履行情况

序号	项目名称	建设内容	环评批复	竣工验收
1	城南新区探伤室建设项目	4#探伤室、5#探伤室、6#探伤室	川环建函 [2006]94 号	川环核验 [2009]38 号
2	X 射线及 ^{192}Ir - γ 射线探伤室建设项目	1#探伤室、3#探伤室	川环建函 [2008]49 号	
3	工业 X 射线室内探伤项目	2#探伤室	川环建函 [2008]50 号	川环核验 [2009]37 号
4	重型压力容器 (含核级) 制造基地新建探伤室项目	7#探伤室、8#探伤室、9#探伤室、10#探伤室	川环建函 [2011]44 号	川环核验 [2013]19 号
5	工业 X、 γ 射线野外探伤项目	野外 (室外探伤)	川环审批 [2016]75 号	川环核验 [2016]52 号

(二) 原有项目辐射安全许可情况

(1) 目前, 四川科新机电股份有限公司已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》(川环辐证[00139]), 许可的种类和范围: 使用 II 类放射源; 使用 II 射线装置。发证日期: 2023 年 04 月 03 日, 有效期至 2028 年 04 月 15 日。

(2) 四川科新机电股份有限公司现有核技术利用项目的许可情况见下表。

表1-8 四川科新机电股份有限公司已获许可使用放射源

序号	核素名称	类别	数量/枚	总活度 (Bq)	活动种类	工作场所名称
1	^{192}Ir	II	7	$3.7\text{E}+12$	使用	城南生产区 (沱江路西段 21 号)
2	^{60}Co	II	4	$3.7\text{E}+12$	使用	城南生产区 (沱江路西段 21 号)
3	^{192}Ir	II	1	$3.7\text{E}+12$	使用	野外 (室外) 探伤全国范围内

表 1-9 四川科新机电股份有限公司已获许可使用射线装置

序号	装置分类名称	规格型号	类别	用途	工作场所	数量 (台)
1	工业探伤用加速器	DZ-6/1000	II	工业探伤	城南生产区 (沱江路西段 21 号)	1

2	工业用 X 射线探伤装置	XXH-3005	II	工业探伤		3
		XXHA-3005X		工业探伤		
		XXHA-3005CDHG		工业探伤		
3	工业用 X 射线探伤装置	XXG-3005	II	工业探伤		4
		RX3005C		工业探伤		
		RX3005C		工业探伤		
		XXG-3005		工业探伤		
4	工业用 X 射线探伤装置	XXGHA-2505	II	工业探伤		7
5	工业用 X 射线探伤装置	XXG3505	II	工业探伤		8
		XXG3505		工业探伤		
		XXG3505		工业探伤		
		XXG-3505		工业探伤		
		XXG3505		工业探伤		
6	工业用 X 射线探伤装置	/	II	工业探伤	马祖、双盛生产区	2
7	工业用 X 射线探伤装置	XHA-3005	II	工业探伤	野外(室外)探伤全国范围内	1
8	工业用 X 射线探伤装置	RD-3505	II	工业探伤	野外(室外)探伤全国范围内	1

该建设单位现有核技术利用项目环保措施和设施均运行正常；经现场踏勘，未发现环境遗留问题。

(二) 原有核技术利用情况

建设单位目前已获许可使用 II 类射线装置共计 27 台，II 类放射源共计 12 枚。建设单位现有核技术利用情况如下：在用 II 类射线装置 19 台、II 类放射源 7 枚。具体情况如下表。

表1-10 四川科新机电股份有限公司在用放射源一览表

序号	核素名称	类别	放射源编码	总活度 (Bq)	使用场所
1	¹⁹² Ir	II	03251R010162	3.7E+12	9#探伤室
2	¹⁹² Ir	II	03251R006402	3.7E+12	4#探伤室
3	¹⁹² Ir	II	03251R014382	3.7E+12	5#探伤室
4	¹⁹² Ir	II	03241R017792	3.7E+12	3#探伤室
5	⁶⁰ Co	II	0318C0001232	3.7E+12	8#探伤室
6	⁶⁰ Co	II	0321C0002742	3.7E+12	7#探伤室
7	⁶⁰ Co	II	032400009672	3.7E+12	6#探伤室

表1-11 四川科新机电股份有限公司在用射线装置一览表

序号	装置名称	类别	设备型号	额定参数	使用场所
----	------	----	------	------	------

1	X 射线探伤机	II	XXHA-3005	300kV 5mA	1#探伤室
2	X 射线探伤机	II	XXHA-3005	300kV 5mA	3#探伤室
3	X 射线探伤机	II	XXH-3005	300kV 5mA	4#探伤室
4	X 射线探伤机	II	XXHZ-3005	300kV 5mA	5#探伤室
5	X 射线探伤机	II	RX3005C	300kV 5mA	6#探伤室
6	X 射线探伤机	II	XXG-3005	300kV 5mA	7#探伤室
7	X 射线探伤机	II	XXG-3005	300kV 5mA	8#探伤室
8	X 射线探伤机	II	XXG-2505	250kV 5mA	2#探伤室
9	X 射线探伤机	II	XXH-3005	300kV 5mA	9#探伤室
10	X 射线探伤机	II	RX3005C	300kV 5mA	10#探伤室
11	X 射线探伤机	II	RX3005C	300kV 5mA	6#探伤室
12	X 射线探伤机	II	XXG-3005C	300kV 5mA	1#探伤室
13	X 射线探伤机	II	XXG-2505	250kV 5mA	7#探伤室
14	X 射线探伤机	II	XXH-3005P	300kV 5mA	8#探伤室
15	X 射线探伤机	II	RD-3505	300kV 5mA	野外探伤
16	直线加速器	II	DZ-6/1000	4MeV/6MeV	7#探伤室
17	X 射线探伤机	II	XXG3505C	300kV 5mA	8#探伤室
18	X 射线探伤机	II	XXG3505C	300kV 5mA	9#探伤室
19	X 射线探伤机	II	XXG3505C	300kV 5mA	10#探伤室

(三) 原有辐射工作场所监测

2025年度，建设单位已委托了四川同佳检测有限责任公司对全厂辐射工作场所进行了年度监测，根据提供的年度监测报告（同环（辐）检字（2025）第0303号）可知：放射源5cm处和100cm处以及全厂射线装置工作场所屏蔽体外30cm处的辐射剂量均符合（GBZ117-2022）中所规定的剂量当量率限值要求。

同时建设单位配备有便携式辐射剂量监测仪，不定期对辐射工作场所进行监测。

(四) 个人剂量检测情况

建设单位目前登记在册的辐射工作人员共30名，建设单位对于所有入职、在职和离职人员均组织了岗前、在岗和离岗职业健康体检并建档管理；建设单位为每名辐射工作人员配备有个人剂量计并且编号定人佩戴，定期交由有资质的检测部门进行检测，建立有个人剂量档案；目前在岗的辐射工作人员的职业健康体检及个人剂量检测结果均合格。

建设单位委托四川同佳检测有限责任公司对全厂辐射工作人员个人剂量进行

监测，提供了最近 4 个季度的个人剂量年度检测报告：根据检测报告可知，建设单位近一年度辐射工作人员单季度个人剂量最大值为 1.23mSv（陶庆明），年剂量值最大为 1.39mSv（陶庆明），均未超过单季度个人剂量 1.25mSv 和年剂量 5mSv 的剂量约束值。

（五）辐射工作人员培训情况

建设单位严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。现有登记在册的辐射工作人员共25人。从事操作 II 类射线装置的放射工作人员均按要求参加了国家核技术利用辐射安全与防护学习平台学习辐射安全与防护知识并通过考核并取得合格证。

（六）年度评估报告

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条“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”。建设单位已编制《2025年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》并上交发证机关（已按时登录全国核技术利用辐射安全申报系统 <http://rr.mee.gov.cn> 在单位信息维护界面完成了年度报告上传工作）。

现建设单位辐射安全管理情况如下：

- (1) 现单位名称、地址，法人代表未发生改变；
- (2) 辐射安全许可证所规定的活动种类和范围未发生改变；
- (3) 辐射防护与设施运行、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射应急处理措施均满足相应规定要求；
- (4) 建设单位自从工业探伤工作以来，严格按照国家法律法规进行管理，没有发生过辐射安全事故；

（七）辐射管理规章制度执行情况

根据相关文件的规定，结合建设单位实际情况，制定有相对完善的管理制度，包括《辐射安全管理制度》、《射线探伤工安全技术操作规程》、《加速器射线探伤机安全操作规程》、《辐射安全与防护设施维护维修制度》、《辐射工作人员岗

位职责》、《放射源与射线装置台帐管理制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》、《监测仪表使用与校验管理制度》、《辐射工作人员培训管理制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故应急预案》、《辐射工作场所安全管理要求》等。建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度后，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。建设单位应根据本次项目建设内容补充完善，并根据国家发布新的相关法规内容，结合建设单位实际及时对各项规章制度补充修改。

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
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	11#曝光室	11#曝光室贮源坑	拟购
2	⁶⁰ Co	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	11#曝光室	11#曝光室贮源坑	拟购
3	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	12#曝光室	12#曝光室贮源坑	拟购
4	⁶⁰ Co	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	12#曝光室	12#曝光室贮源坑	拟购
5	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	13#曝光室	13#曝光室贮源坑	拟购
6	⁶⁰ Co	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	13#曝光室	13#曝光室贮源坑	拟购
7	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	14#曝光室	14#曝光室贮源坑	拟购
8	⁶⁰ Co	3.7×10 ¹² ×1	II	使用	γ射线无损检测	14#曝光室	14#曝光室贮源坑	拟购

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（本项目不涉及）

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
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器。

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	在 X 射线束中心轴线上距离靶 1m 处剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	电子直线加速器	II类	1 台	DZ—6/1000	电子	6	10	无损检测	12#曝光室	定向
2	电子直线加速器	II类	1 台	DZ—6/1000	电子	6	10	无损检测	13#曝光室	定向
3	电子直线加速器	II类	1 台	DZ—9/3000	电子	9	30	无损检测	14#曝光室	定向

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	X 射线探伤机	II类	1	XXG3505C	350	5	无损检测	11#曝光室	周向
2	X 射线探伤机	II类	1	RX-3505GC	350	5	无损检测	11#曝光室	周向
3	X 射线探伤机	II类	1	XXHA3005	300	5	无损检测	11#曝光室	周向
4	X 射线探伤机	II类	1	XXHA2505	250	5	无损检测	11#曝光室	周向
5	X 射线探伤机	II类	1	RX3505G	350	5	无损检测	11#曝光室	定向
6	X 射线探伤机	II类	1	XXG-3005	300	5	无损检测	11#曝光室	定向
7	X 射线探伤机	II类	1	XXG3505C	350	5	无损检测	12#曝光室	周向
8	X 射线探伤机	II类	1	RX-3505GC	350	5	无损检测	12#曝光室	周向
9	X 射线探伤机	II类	1	XXHA3005	300	5	无损检测	12#曝光室	周向
10	X 射线探伤机	II类	1	XXHA2505	250	5	无损检测	12#曝光室	周向
11	X 射线探伤机	II类	1	RX3505G	350	5	无损检测	12#曝光室	定向
12	X 射线探伤机	II类	1	XXG-3005	300	5	无损检测	12#曝光室	定向

13	X射线探伤机	II类	1	XXG3505C	350	5	无损检测	13#曝光室	周向
14	X射线探伤机	II类	1	RX-3505GC	350	5	无损检测	13#曝光室	周向
15	X射线探伤机	II类	1	XXHA3005	300	5	无损检测	13#曝光室	周向
16	X射线探伤机	II类	1	XXHA2505	250	5	无损检测	13#曝光室	周向
17	X射线探伤机	II类	1	RX3505G	350	5	无损检测	13#曝光室	定向
18	X射线探伤机	II类	1	XXG-3005	300	5	无损检测	13#曝光室	定向
19	X射线探伤机	II类	1	XXG3505C	350	5	无损检测	14#曝光室	周向
20	X射线探伤机	II类	1	RX-3505GC	350	5	无损检测	14#曝光室	周向
21	X射线探伤机	II类	1	XXHA3005	300	5	无损检测	14#曝光室	周向
22	X射线探伤机	II类	1	XXHA2505	250	5	无损检测	14#曝光室	周向
23	X射线探伤机	II类	1	RX3505G	350	5	无损检测	14#曝光室	定向
24	X射线探伤机	II类	1	XXG-3005	300	5	无损检测	14#曝光室	定向

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源（本项目不涉及）

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	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

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
废胶片	固态	—	—	—	2500 张	—	晒片室	定期委托有资质的单位处理处置
废显影液	液态	—	—	—	1000L	—	暗室废弃药水暂存槽	定期委托有资质的单位处理处置
废定影液	液态	—	—	—	1000L	—	暗室废弃药水暂存槽	定期委托有资质的单位处理处置
洗片废水	液态	—	—	—	80m ³	—	—	经厂区内污水预处理设施处理后排入什邡市城市生活污水处理厂处理。
废放射源	固态	¹⁹² Ir	< 3.7×10 ¹² Bq	4 枚，约 3 个月更换 1 次			不暂存	由供源单位回收处理
废放射源	固态	⁶⁰ Co	< 3.7×10 ¹² Bq	4 枚，约 12 年更换 1 次			不暂存	由供源单位回收处理
臭氧及氮氧化物	气态	—	—	少量	少量	少量	不暂存	大气环境

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

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

表 6 评价依据

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第九号，2014年4月24日修订）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号，2018年12月29日修正）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（1995年10月30日第八届全国人民代表大会常务委员第十六次会议通过，2020年4月29日第十三届全国人民代表大会常务委员第十七次会议第二次修订）；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第682号令，2017年10月1日实施）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》（生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第449号令，2005年12月1日起实施，2014年7月29日修订）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第31号发布，生态环境部令第20号第四次修订，自2021年1月4日起施行）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原中华人民共和国环境保护部第18号令，2011年5月1日起施行）；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行）；</p> <p>(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》（国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日）；</p> <p>(12) 原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评（2017）4号，2017年11月22日起施行）；</p> <p>(13) 关于发布《射线装置分类》的公告（原中华人民共和国环境保护部、国家卫生和计划生育委员会第66号令，2017年12月6日起施行）；</p>
------------------	---

	<p>(14) 《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》（生态环境部第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 第 9 号，2021 年 3 月 15 日起施行）；</p> <p>(16) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起施行）；</p> <p>(17) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知（川环函[2016]1400 号）；</p> <p>(18) 《国家危险废物名录（2025 年版）》（生态环境部 2024 年第 5 次部务会议审议通过，2025 年 1 月 1 日起施行）</p> <p>(19) 《关于印发<四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2020 版）>的通知》（川环发[2020]2 号）。</p> <p>(20) 《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，原国家环保总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日起施行）；</p> <p>(21) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号，原环保部文件，2012 年 7 月 3 日起施行）。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则·核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021）；</p> <p>(5) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）；</p> <p>(6) 《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB22448-2008）；</p> <p>(7) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）；</p> <p>(8) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）；</p> <p>(9) 《γ射线探伤机》（GB/T14058-2023）；</p> <p>(10) 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T30371-2013）；</p> <p>(11) 《无损检测用电子直线加速器》（GB/T 20129-2015）；</p>

	<p>(12) 《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》 (HJ785-2016) ；</p> <p>(13) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)；</p> <p>(14) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》 (GBZ114-2006) ；</p> <p>(15) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019) ；</p> <p>(16) 《危险废物贮存污染控制标准》 (GB18597-2023) 。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 《辐射防护手册》 (第一、第三分册，原子能出版社，1987) ；</p> <p>(3) 《辐射防护导论》(方杰主编)；</p> <p>(4) 《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》 (生态环境部 (国家核安全局)) ；</p> <p>(5) 《四川省核技术利用单位辐射安全工作指引 (2025 版) 》</p> <p>(6) 《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》 (生态环境部公告 2019 年第 57 号) ；</p> <p>(7) 《关于印发<四川省生态环境厅 (四川省核安全管理局) 辐射事故应急预案 (2024 版) >的通知》 ；</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，参照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021）对辐射监测技术要求，确定以曝光室实体墙为边界，周围 50m 内区域作为评价范围。

保护目标

根据本项目的平面布局及外环境关系，确定主要环境保护目标为辐射工作人员以及探伤室周围 50m 范围内其他工位的工作人员。由于本项目两座探伤室在临近区域建设，两座探伤室的评价范围存在部分区域相互重叠的情况，因此部分保护目标同时为两座探伤室的保护目标。由于探伤室周边均有相对固定的保护目标，因此对于辐射工作场所周围通道路过的流动人员在下表中不再具体列出，保护目标情况详见表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标

编号	保护目标	与各曝光室相对方位及距离源点最近距离（m）				照射类型	年剂量约束值（mSv）
		备料车间探伤室		重型车间探伤室			
1	备料车间探伤室操作室内的辐射工作人员	西南	3	东北	30	职业	5.0
2	重型车间探伤室操作室内辐射工作人员	南	40	东南	3.1	职业	5.0
3	备料车间120、250卷板区工作人员	东南	8	东北	37	公众	0.1
4	备料车间260镗铣床工作人员	东南	28	东北	30	公众	0.1
5	备料车间金工车间工作人员	东	32	/	/	公众	0.1
6	备料车间纵缝区工作人员	东北	11	东北	50	公众	0.1
7	备料车间20、40、70卷板区工作人员	北	12	/	/	公众	0.1
8	备料车间货车来料区、板材翻转区、钢板立放区工作人员	西北	20	/	/	公众	0.1

9	重型车间试压区工作人员	西	34	西北	37	公众	0.1
10	重型车间平车区工作人员	西南	14	西北	15	公众	0.1
11	重型车间喷砂室1工作人员	南	13	东北	13	公众	0.1
12	重型车间退火炉1工作人员	南	23	东北	7	公众	0.1
13	35kV变电站巡检工作人员	/	/	东南	13	公众	0.1
14	岷江路西段的公众	/	/	东南	50	公众	0.1
15	重型车间退火炉2工作人员	/	/	西南	10	公众	0.1
16	重型车间喷砂间2工作人员	/	/	西南	16	公众	0.1
17	气瓶存放区工作人员	/	/	西南	48	公众	0.1
18	空压机房巡检人员	/	/	西南	26	公众	0.1

一、环境质量标准

环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准；臭氧需满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级浓度限值中1小时均值 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，本项目辐射工作场所臭氧浓度限值为：《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）室内臭氧最高允许浓度 $0.30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

地表水环境质量执行国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类标准；

声环境质量执行国家《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类标准。

二、污染物排放标准

废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

废水：本项目工作人员产生的生活废水经预处理池处理后排入园区污水管网，废水执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的三级标准。

噪声：①施工期：《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）标准限值；②运营期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准。

固体废物：一般固废执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。

三、剂量限值及剂量约束值

(一) 剂量限值

(1) 职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第4.3.2.1条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯平均)20mSv。本项目环评取上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的1/4(即**5mSv/a**)作为职业人员的年剂量约束值。

(2) 公众照射：第B1.2.1条的规定，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应超过年有效剂量1mSv。本项目环评取上述标准中规定的公众照射年剂量限值的1/10(即**0.1mSv/a**)作为公众的年剂量约束值。

(二) 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中“6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：b)屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5 μ Sv/h。”以及“6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同6.1.3；b)对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面30cm处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取100 μ Sv/h。”的要求确定本项目曝光室屏蔽体外关注点处剂量率控制水平如下：

本项目曝光室四周屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平不大于2.5 μ Sv/h；11#和12#曝光室顶部没有人员到达，该两间曝光室顶部外30cm处周围剂量当量率参考控制水平保守取不大于10 μ Sv/h；13#和14#曝光室顶部人员可达，该两间曝光室顶部外30cm处周围剂量当量率参考控制水平保守取不大于2.5 μ Sv/h。

四、臭氧浓度限值

本项目辐射工作场所臭氧浓度限值为：《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)室内臭氧最高允许浓度0.30mg/m³；曝光室外臭氧排放浓度限值为：《环境空气质量标准》(GB3095-2012)规定的室外臭氧小时平均浓度二级标准0.20mg/m³。

五、通风

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)相关规定，探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

本项目选址于四川科新机电股份有限公司数字化智能化生产车间，探伤室分别位于备料车间内西南侧和重型车间外东南侧。数字化智能化生产车间目前尚处于刚开工建设阶段，探伤室拟建位置及其余部分厂区还未完成。根据现场踏勘和调查，项目拟建位置位于什邡市沱江路西段 21 号，本项目辐射工作场所周边 50m 范围内仅有岷江路西段位于范围内，其他均位于厂界内。距离项目最近的企业为项目西南侧的四川得福制衣有限公司，距离本项目辐射工作场所最近距离约为 80m。

在接受本项目环境影响评价委托后，编制人员对项目拟建场所进行了勘察，辐射工作场所现状见图8-1。



图 8-1 拟建探伤室及周边环境现状图

二、本项目所在地 X-γ辐射剂量率率现状监测

四川同佳检测有限责任公司技术人员于 2025 年 12 月 1 日按照要求对四川科新机电股份有限公司数字化智能化生产车间新建工业探伤室项目进行辐射环境本底检测，其监测项目、分析及来源见表 8-1。监测报告见附件 12。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源

项目	监测方法	仪器使用	仪器参数
X-γ辐射剂量	《环境地表γ辐射剂量率测定规范》HJ 1157-2021	环境监测用 X-γ辐射空气比释动能率仪	①能量响应：48keV~3.0MeV ②测量范围：

率	《辐射环境监测技术规范》 HJ 61-2021	型号：NT6101 编号：TJHJ2021-49 校准因子：1.019（使用 ¹³⁷ Cs 校准源）	10nGy/h~200μGy/h ③检定/校准有效期： 2025.11.07~2026.11.06
---	-------------------------	---	---

辐射监测仪器已经由计量部门年检，且在有效期内，测量方法按国家相关标准实施，可以作为电离辐射环境现状的科学依据。

三、质量保证

本项目环境现状监测单位四川同佳检测有限责任公司，该公司通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

四川同佳检测有限责任公司质量管理体系：

（1）计量认证

从事监测的单位四川同佳检测有限责任公司通过了四川省市场监督管理局的计量认证（计量认证号：222312051472），有效期至2028年11月21日

（2）仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

（3）记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。

四、监测结果

表 8-2 本项目拟建辐射场所本底值监测结果 单位：nGy/h

点位	测量位置	测量值	标准差(S)	备注
1	11#曝光室位置	92	3	见监测布点图一
2	12#曝光室位置	93	3	
3	11#曝光室北侧	91	2	
4	11#曝光室西侧	92	3	
5	12#曝光室南侧	94	4	
6	12#曝光室东侧	92	3	
7	13#曝光室位置	91	3	见监测布点图二
8	14#曝光室位置	92	2	
9	13#曝光室东侧	93	3	

10	13#曝光室北侧	92	2
11	14#曝光室西侧	92	2
12	14#曝光室南侧	93	3

注：以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

监测表明：根据现场监测报告，本项目拟建探伤室所在区域环境的 γ 辐射剂量率为91nGy/h~94nGy/h，与四川省生态环境厅发布的《2024年四川省生态环境状况公报》中德阳市空气吸收剂量率年均值范围（70nGy/h~100nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目探伤室位于四川科新机电股份有限公司厂区范围内，不新增用地，本项目主要施工内容为曝光室及辅助用房的修建和设备的安装。本项目施工期间会产生施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、施工人员生活污水和生活垃圾、废弃装修材料等。本项目施工期工艺流程及产污环节见图 9-1。

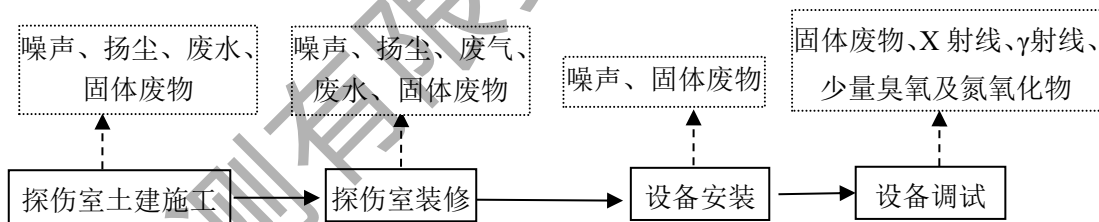


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

本项目施工工艺：本项目曝光室工件门均设计为混凝土结构，拟在门洞前的地沟内安装一条平车轨道，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。门体采用摆线针轮减速机作为驱动机构，通过主动轮箱内齿轮间的啮合来实现门体的左右移动，门体上导轨防止门体的左右倾斜，使门体平稳移动，软、硬限位和缓冲机构保证门体精确的行程，以达到门体安全精确的开启和关闭。

为保证探伤室满足辐射防护要求，环评要求必须使用铅密度为 $11.3\text{t}/\text{m}^3$ ；使用混凝土容重满足 $2350\text{kg}/\text{m}^3$ ，即混凝土必须振捣密实，不能产生质量缺陷。并且，曝光室四周墙体和屋顶混凝土浇筑工序要整体连续浇注，避免墙体或两面墙体衔接处有漏缝，当墙体很难一次性浇筑完成时，留置的施工缝应选择在适宜的位置，并做企口或错口处理。工件大门和防护门由生产厂家负责订做和安装，工件大门和防护门应考虑门因自身重量而发生形变、频繁开关门致使其连接松动、屏蔽体老化龟裂等问题。工件大门和防护门应尽可能减小缝隙泄露辐射，通常防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍，墙体与防护门应有足够的搭接宽度，应预留防护门下沉沟槽。

本项目曝光室被探工件进出曝光室的方式均采用平车轨道运送，安装工件进出门地沟处平车轨道为断开，避免阻碍工件进出门关闭，使用平车采用过桥方式将被探工件送入曝光室。

本项目 11#曝光室工件门为电动轨道平移混凝土防护门，门与墙体左右搭接均为 1000mm，上搭接 500mm，下沉入地面 200mm（见图 9-2），尺寸为 6.2m（宽）×6.7m（高）×1.2m（厚）。

本项目 12#曝光室工件门为电动轨道平移混凝土防护门，门与墙体左右搭接均为 1000mm，上搭接 500mm，下沉入地面 200mm（见图 9-2），尺寸为 8m（宽）×7.7m（高）×1.6m（厚）。

本项目 13#曝光室工件门为电动轨道平移混凝土防护门，门与墙体左右搭接均为 1000mm，上搭接 500mm，下沉入地面 200mm（见图 9-3），8m（宽）×9.7m（高）×1.6m（厚）。

本项目 14#曝光室工件门为电动轨道平移混凝土防护门，门与墙体左右搭接均为 1000mm，上搭接 500mm，下沉入地面 200mm（见图 9-3），尺寸为 10.4m（宽）×9.7m（高）×2m（厚）。

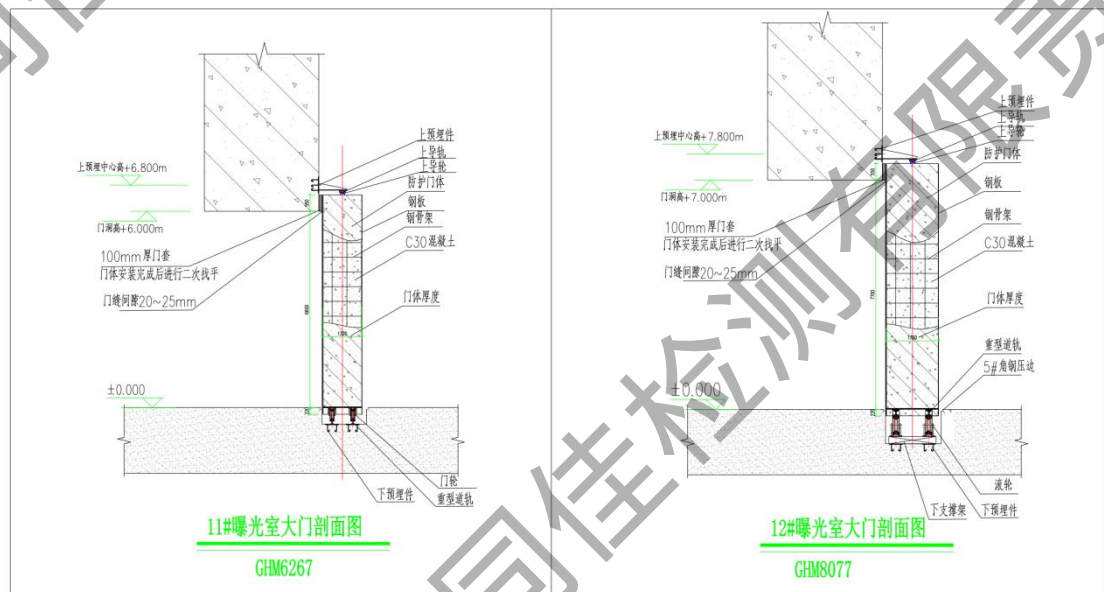


图 9-2 11#曝光室和 12#曝光室工件门结构示意图

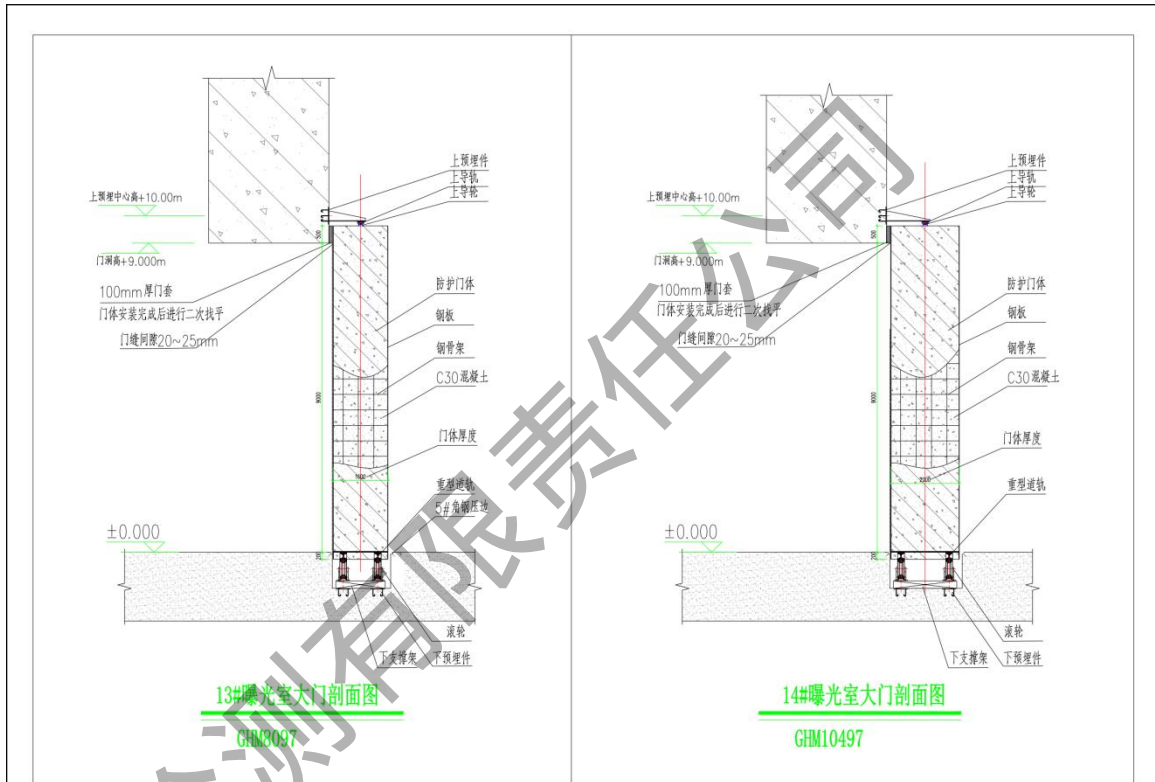


图 9-3 13#曝光室和 14#曝光室工件门结构示意图

1、废气

扬尘： 土建混凝土浇筑、运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

施工机械设备排放的少量无组织废气等。

施工机械废气： 施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的CO、NO_x以及未完全燃烧的THC等。

装饰废气： 主要为装修阶段使用的涂料等挥发的有机废气以及装修施工产生的扬尘，该废气的排放属于无组织排放，涂料挥发废气主要污染因子为二甲苯和甲苯等，此外还有极少量的汽油、乙醇和丙醇等。

2、废水

施工期废水主要为建筑施工产生的生产废水及施工人员生活污水。

施工废水： 项目不设置混凝土搅拌站，因此无搅拌废水产生。施工过程中的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保湿、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。

3、噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，不同施工阶段和不同施工机械发出的噪声水平是不同的，且有大量设备交互作业，因此施工作业噪声将会对本项目外环境带来一定的影响。

4、固体废物

施工期固体废物主要包括开挖土石方、施工人员生活垃圾和少量建筑垃圾。

①根据现场踏勘，拟建场地基本为平地，本项目土方开挖量较小。

②由于本项目在施工期间，会产生少量的生活垃圾。

③本项目用地范围内不涉及拆迁工程，仅施工工程会产生少量的建筑垃圾。

二、运营期

(一) 探伤设备配置情况

公司拟新建2座探伤室，拟配备电子直线加速器、X射线探伤机和 γ 射线探伤机。本项目涉及探伤机不存在室外或野外探伤，且同一曝光室内不存在两台及两台以上探伤设备同时运行的情况。项目拟配备的探伤设备见下表。

表 9-1 探伤设备配置情况表

位置	设备名称	型号	数量	类别	额定参数	备注
11# 曝光室	X射线探伤机	XXG3505C	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	周向
		RX-3505GC	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	周向
		XXHA3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
		XXHA2505	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
		RX3505G	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	定向
		XXG-3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	定向
	γ 射线探伤机	^{192}Ir	1台	II类放射源	^{192}Ir 密封源，额定装源活度为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$	便携式 (P)
		^{60}Co	1台	II类放射源	^{60}Co 密封源，额定装源活度为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$	移动式 (M)
12# 曝光室	X射线探伤机	XXG3505C	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	周向
		RX-3505GC	1台	II类射	最大管电压为350kV	周向

				线装置	最大管电流为5mA	
		XXHA3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
		XXHA2505	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
		RX3505G	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	定向
		XXG-3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	定向
	电子直线加速器	DZ-6/1000	1台	II类射线装置	X射线最大能量6MeV, 1m处最大 X射线剂量率10Gy/min	定向
γ射线探伤机	¹⁹² Ir	1台	II类放射源	¹⁹² Ir密封源, 额定装源活度为 3.7×10 ¹² Bq	便携式 (P)	
	⁶⁰ Co	1台	II类放射源	⁶⁰ Co密封源, 额定装源活度为 3.7×10 ¹² Bq	移动式 (M)	
13# 曝光室	X射线探伤机	XXG3505C	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	周向
		RX-3505GC	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	周向
		XXHA3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
		XXHA2505	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
		RX3505G	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	定向
		XXG-3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	定向
	电子直线加速器	DZ-6/1000	1台	II类射线装置	X射线最大能量6MeV, 1m处最大 X射线剂量率10Gy/min	定向
	γ射线探伤机	¹⁹² Ir	1台	II类放射源	¹⁹² Ir密封源, 额定装源活度为 3.7×10 ¹² Bq	便携式 (P)
		⁶⁰ Co	1台	II类放射源	⁶⁰ Co密封源, 额定装源活度为 3.7×10 ¹² Bq	移动式 (M)
	14# 曝光室	X射线探伤机	XXG3505C	1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA
RX-3505GC			1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	周向
XXHA3005			1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
XXHA2505			1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	周向
RX3505G			1台	II类射线装置	最大管电压为350kV 最大管电流为5mA	定向

		XXG-3005	1台	II类射线装置	最大管电压为300kV 最大管电流为5mA	定向
	电子直线加速器	DZ-9/3000	1台	II类射线装置	X射线最大能量9MeV, 1m处最大 X射线剂量率30Gy/min	定向
	γ射线探伤机	¹⁹² Ir	1台	II类放射源	¹⁹² Ir密封源, 额定装源活度为 3.7×10 ¹² Bq	便携式 (P)
		⁶⁰ Co	1台	II类放射源	⁶⁰ Co密封源, 额定装源活度为 3.7×10 ¹² Bq	移动式 (M)

(二) 运行工况与人员配置计划

1、运行工况

(1) 探伤机的选择

根据X射线与γ射线的穿透能力差异性, X射线探伤机穿透能力中等, 更适合中薄壁工件, X射线能清晰呈现内部气孔、未焊透等缺陷, 且成像分辨率高于γ射线, 对结构复杂的薄壁件(如多通道阀壳的交叉焊缝)能精准区分微小缺陷, 避免误判; γ射线探伤机穿透能力更强, 适合厚壁或超厚工件, 对于存在“检测死角”的复杂结构(如压力容器接管与筒体的角接焊缝、阀壳的异形腔室), γ射线可通过调整放射源位置(如倾斜照射、深入腔室)覆盖盲区, 而X射线因设备固定难以实现, 电子直线加速器穿透能力强, 更适合超厚工件或材料密度更高的工件。通常情况下, 当工件厚度<50mm选用X射线探伤机或¹⁹²Ir-γ射线探伤机, 工件厚度在50-200mm之间时选用⁶⁰Co-γ射线探伤机或6MeV电子直线加速器, 工件厚度>200mm时选用9MeV电子直线加速器。

(2) 探伤工件

探伤工件主要为公司生产的铸造件, 如压力容器、核电再热管道、汽轮机汽缸、汽轮机阀壳等。检测方式为“分级检测”, 即核心承压工件、关键焊缝需100%全检, 次要部件或非关键区域可按比例抽检。工件材质为碳钢、不锈钢、铸钢, 形状多为圆柱状或异形。

(3) 工作负荷

建设单位根据现有探伤作业经验, 保守估计探伤设备年工作负荷, 具体情况见表9-2。

表9-2 项目年探伤工作负荷统计表

探伤室	探伤设备		探伤工件量	单次曝光时间	单个工件探伤次数	曝光时间	
11#	X	XXG3505C 周向	100件	3~5min	1~10次	83.3h	500h

曝光室	射线	RX-3505GC 周向	100件	3~5min	1~10次	83.3h	1000h
		XXHA3005 周向	100件	3~5min	1~10次	83.3h	
		XXHA2505 周向	100件	3~5min	1~10次	83.3h	
		RX3505G 定向	100件	3~5min	1~10次	83.3h	
		XXG-3005 定向	100件	3~5min	1~10次	83.3h	
	γ射线	¹⁹² Ir	200件	≤3h/件		500h	
⁶⁰ Co		200件	≤3h/件		500h		
12#曝光室	X射线	XXG3505C 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	640h
		RX-3505GC 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		XXHA3005 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		XXHA2505 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		RX3505G 定向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		XXG-3005 定向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
	γ射线	6MeV电子直线加速器	360件	3~5min	1~10次	300h	300h
		¹⁹² Ir	120件	≤3h/件		300h	600h
⁶⁰ Co	120件	≤3h/件		300h			
13#曝光室	X射线	XXG3505C 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	640h
		RX-3505GC 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		XXHA3005 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		XXHA2505 周向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		RX3505G 定向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
		XXG-3005 定向	128件	3~5min	1~10次	106.6h	
	γ射线	6MeV电子直线加速器	360件	3~5min	1~10次	300h	300h
		¹⁹² Ir	120件	≤3h/件		300h	600h
⁶⁰ Co	120件	≤3h/件		300h			
14#曝光室	X射线	XXG3505C 周向	108件	3~5min	1~10次	90h	540h
		RX-3505GC 周向	108件	3~5min	1~10次	90h	
		XXHA3005 周向	108件	3~5min	1~10次	90h	
		XXHA2505 周向	108件	3~5min	1~10次	90h	
		RX3505G 定向	108件	3~5min	1~10次	90h	
		XXG-3005 定向	108件	3~5min	1~10次	90h	
	γ	9MeV电子直线加速器	240件	3~5min	1~10次	200h	200h
		¹⁹² Ir	200件	≤3h/件		500h	1000h

射线	⁶⁰ Co	200件	≤3h/件	500h
----	------------------	------	-------	------

注：X射线探伤机一般在停用较长时间后重新启用需训机，由于本项目探伤工作负荷较大，基本不会出现较长时间停用，因此将训机时间考虑到设备年出束时间中，不再单独计算训机时间，即每台X射线探伤机的出束时间已包含训机时间。

2、人员配置

本项目拟配备 18 名辐射工作人员，其中 16 名探伤机操作人员，2 名管理人员（兼探伤机及放射源管理员），其中 16 名探伤机操作人员为公司新配置辐射工作人员，2 名管理人员为既有员工。本项目每个探伤室配 4 名操作人员，需要交叉作业，采用两班倒工作制度，同时制定有无损检测人员工作制度，每位人员年工作时间不超过 1200 小时。本项目实行 8 小时工作制度，年工作时间为 300 天。各探伤室年最大照射时间见下表。

表 9-3 年最大拍片量及最大照射时间一览表

场所	探伤机类型	探伤钢结构工件厚度 (mm)	人员配置	年最大曝光时间 (h/a)	工作人员年最大受照时间 (h/a)
11#曝光室	X 射线探伤机	XXG3505C 周向	4 人 (2 组)	500	250
		RX-3505GC 周向			
		XXHA3005 周向			
		XXHA2505 周向			
		RX3505G 定向			
	XXG-3005 定向				
	γ射线探伤机	¹⁹² Ir		10~100	500
⁶⁰ Co		40~200	500	250	
12#曝光室	X 射线探伤机	XXG3505C 周向	4 人 (2 组)	640	320
		RX-3505GC 周向			
		XXHA3005 周向			
		XXHA2505 周向			
		RX3505G 定向			
	XXG-3005 定向				
	电子直线加速器	6MeV		50~280	300
γ射线探伤机	¹⁹² Ir	10~100	300	150	
	⁶⁰ Co	40~200	300	150	
13#曝光室	X 射线探伤机	XXG3505C 周向	4 人 (2 组)	640	320
		RX-3505GC 周向			
		XXHA3005 周向			
		XXHA2505 周向			
		RX3505G 定向			

		XXG-3005 定向	0~35			
	电子直线 加速器	6MeV	50~280		300	150
	γ射线探 伤机	¹⁹² Ir	10~100		300	150
		⁶⁰ Co	40~200		300	150
14#曝 光室	X 射线探 伤机	XXG3505C 周向	0~40	4 人 (2 组)	540	270
		RX-3505GC 周向	0~40			
		XXHA3005 周向	0~35			
		XXHA2505 周向	0~20			
		RX3505G 定向	0~40			
		XXG-3005 定向	0~35			
	电子直线 加速器	9MeV	70~380		200	100
	γ射线探 伤机	¹⁹² Ir	10~100		500	250
⁶⁰ Co		40~200	500	250		

(三) 电子直线加速器工作原理和探伤工作流程

1、工作原理及设备组成

DZ-6/1000和DZ-9/3000电子直线加速器主要包括X射线机头、调制器柜、控制台和温控水冷机组四个部分，该加速器基于逆变串联谐振原理进行充电，具有射线能量高、穿透力强、剂量率大、焦点小的特点。本项目选用DZ系列驻波电子直线加速器，是利用工作在S波段（3GHz）的微波，加到由一系列谐振在该频率的谐振腔组成的腔链中，在高真空状态下，激发起高强度驻波电场，电子枪产生的电子在该电场下加速，最终达到所要求的能量后，达到重金属靶上，产生韧致辐射—X射线。该加速器的参考外观如图9-4。



图 9-4 电子直线加速器参考外观图

(1) X 射线机头

机头内装有加速器的核心部件——产生X射线的全密封驻波加速管、作为加速管微波功率源的磁控管、微波功率传输系统、波头匹配箱、脉冲变压器、微波功率传输系统绝缘所需的充气系统、作为X射线剂量仪探头的电离室、APC（自动频率控制）系统的微波采样电路、APC执行机构、激光定位装置（便于确定机头的照射位置和方向）、限制照射野尺寸的准直器等。

(2) 调制器

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，如+24V、±15V 直流电源以及触发电路、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。

(3) 控制台

控制台由控制台桌、控制箱、可编程序控制器柜组成。控制箱的前面板上方有运行加速器的操作按钮，显示加速器运行状态和故障的指示灯，指示剂量率、曝光剂量和曝光时间的仪表。后面板上装有测试工作参量波形的插座。

可编程序控制器柜内装有一组可编程序控制器及其电源系统。本次使用加速器的一个重要特点是使用了可编程序控制器来控制加速器的运行和联锁保护。与常规的继电器控制比较，体积更小、更可靠、抗干扰能力强。

(4) 温控水冷机组

驻波电子直线加速器的一些发热元件，都是利用闭路循环冷却水（蒸馏水或去离子水）进行冷却的。而闭路循环水采用制冷机组冷却。水冷机组采用单片机控制冷却水的温度。温控电路可以保证冷却水工作温度的变化不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

该加速器是利用材料厚度对射线吸收程度的差异，通过射线透射摄片，从胶片显示出材料、零件及焊缝的内部缺陷。利用 X 射线管产生的 X 射线透照被检测时，在被检测物的缺陷部位和其他部位射线减弱的程度会不同。根据这一原理可采用射线照相，记录被检物信息，根据摄像黑度获得被检物的有关信息，将被检物中的缺陷显现出来，以确定缺陷的位置、大小、形状和种类。

（5）设备其他组件

本项目电子直线加速器要实现曝光室内固定探伤检测，配备了行车轨道、行车、伸缩柱、限位器。本项目电子直线加速器 X 射线机头与伸缩柱连接，实现 X 射线头在曝光室内上下移动，可移动范围分别为+1.8m~+4.885m（12#曝光室），+1.8m~+5.485m（13#曝光室），+1.8m~+5.885m（14#曝光室），电子直线加速器伸缩柱分别与曝光室+7.7m（12#曝光室）、+9.3m（13#曝光室）、+9.7m（14#曝光室）处的行车导轨连接，可实现通过曝光室内的行车沿着东西方向移动，在曝光室内东西走向架设的行车通过轨道向南北移动。在 12#曝光室内西北侧最大可移动到距离墙体内表面 2m 的位置；东北侧最大可移动到距离墙体内表面 1m 的位置，东南侧最大可移动到距离墙体内表面 2m 以及到工件门 3.55m 的位置，西南侧最大可移动到距离墙体内表面 3.4m 的位置；在 13#曝光室内西北侧最大可移动到距离墙体内表面 2m 以及到工件门 3.55m 的位置；东北侧最大可移动到距离墙体内表面 3.05m 的位置，东南侧最大可移动到距离墙体内表面 2m 的位置，西南侧最大可移动到距离墙体内表面 1.5m 的位置；在 14#曝光室内西北侧最大可移动到距离墙体内表面 2.5m 以及工件门 4.62m 的位置；东北侧最大可移动到距离墙体内表面 3.15m 的位置，东南侧最大可移动到距离墙体内表面 2.5m 的位置，西南侧最大可移动到距离墙体内表面 1.5m 的位置；此外，电子直线加速器出束角度为 30° ，X 射线机头设有限位器，X 射线机头出束方向分别只能朝向东南侧墙面（12#曝光室），西南侧墙体（13#曝光室和 14#曝光室），只能水平方向和俯角向下方向，不能仰角朝上。加速器移动范围见下图。

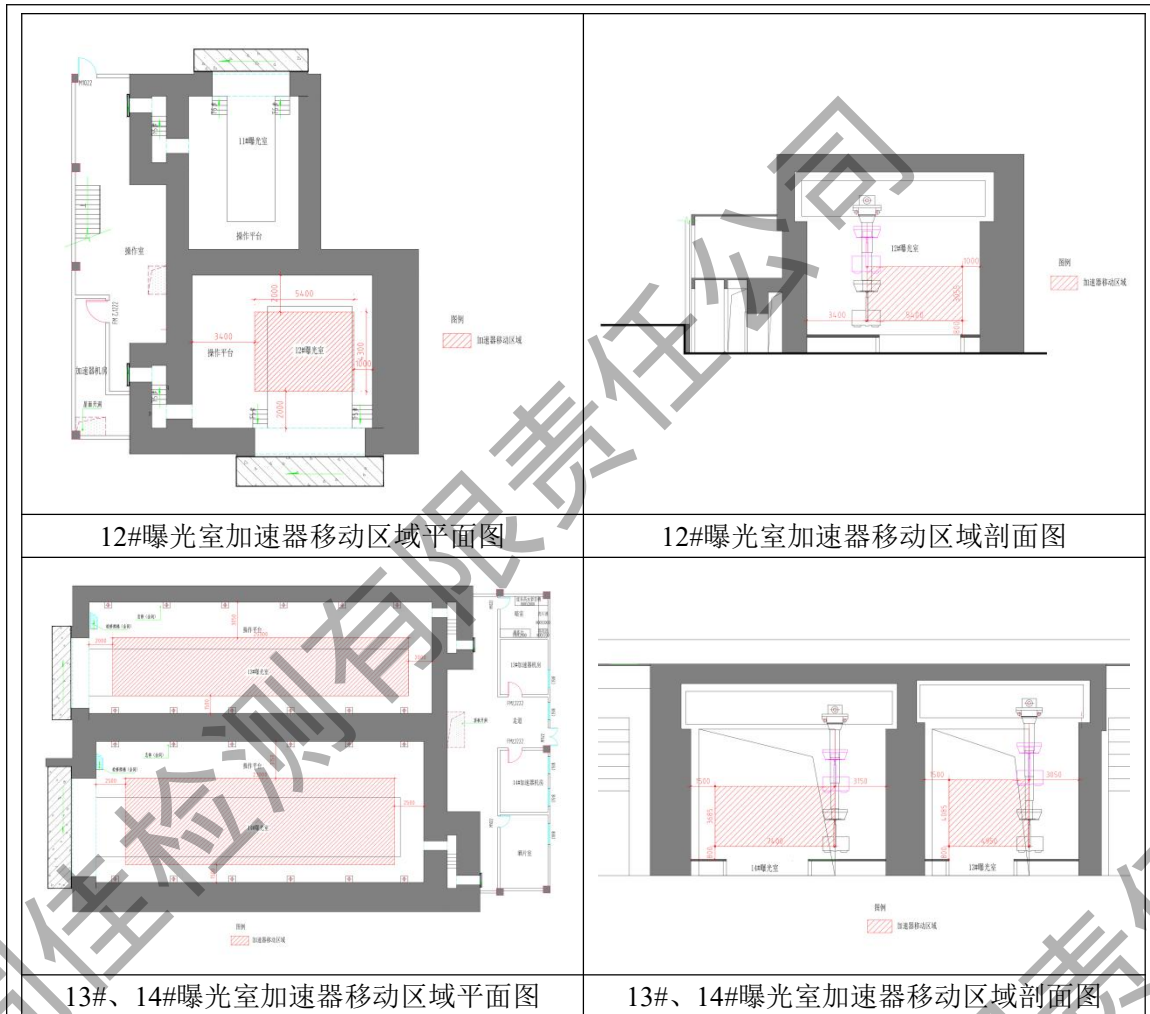


图 9-5 电子直线加速器移动范围示意图

电子直线加速器主要参数见表 9-4。

表 9-4 电子直线加速器主要参数情况表

型号	DZ-6/1000	DZ-9/3000
X 射线束能量	6MeV	9MeV
X 射线剂量率	在 X 射线束中心轴线上距靶 1m 处 10Gy/min	在 X 射线束中心轴线上距靶 1m 处 30Gy/min
焦点直径	≤2mm	≤2mm
X 射线不对称性	偏离射线束中心轴线±7.5°两共轭点 测量的剂量率偏差的绝对值不大于 5%	偏离射线束中心轴线±7.5°两共轭点 测量的剂量率偏差的绝对值不大于 5%
泄漏剂量	在准直射束以外距靶点 1m 的球面 上任何 100cm ² 面积上辐射泄漏剂量 率与距靶点 1m 处射线束中心轴线上 剂量率的百分比不大于 0.1%	在准直射束以外距靶点 1m 的球面 上任何 100cm ² 面积上辐射泄漏剂量 率与距靶点 1m 处射线束中心轴线上 剂量率的百分比不大于 0.1%
X 射线的均匀度	±7.5°处均匀性≥60%	±7.5°处均匀性≥55%
X 射线照射野	由准直器（钨门）开合决定	由准直器（钨门）开合决定
剂量率大道稳定所需时间	从加高压开始计时，剂量率达到标称 值 90%所用时间不超过 5s	从加高压开始计时，剂量率达到标称 值 90%所用时间不超过 5s

设备厂家和建设单位在进行电子直线加速器安装时，应严格按照既定的方案进行安装限位器，通过限位器对加速器行车轨道运行范围和加速器机头出束方向进行严格限值。在项目运营期间，应定期对限位器及本项目使用的探伤装置进行维护、验证，确保实时有效。在此基础上，本项目电子加速器在曝光室内开展探伤是可行的。

2、电子直线加速器探伤工作流程及产污环节

首先将电子直线加速器通上电源，对加速器部分进行预热；在控制台操作界面上设置检测方式以及相关参数；打开曝光室工件入口防护门，将检测工件通过轨道平板车运送至曝光室后，在拟检测位置张贴感光胶片，再将待检测工件送到检测位置，关闭探伤室防护门；检查曝光室工件入口防护门、迷路防护门关闭情况，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加速器进行出束；探伤完成后加速器自动停止出束，打开防护门，由工件轨道平板车将工件传送到装卸位置，完成一次探伤。加速器检测结束后，加速器重新完成预热，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。其中，X射线机箱是加速器的主体部分，其工作原理为：主要通过电子枪产生电子，利用驻波加速管使电子加速获得较高能量，由高能电子轰击靶物质，发生韧致辐射产生X射线，从而利用产生的X射线对工件实施无损检测。由于加速器产生的X射线具有较强的贯穿能力，所以在屏蔽设计中以防护X射线为主。对于加速器运行过程中产生的电子，其贯穿能力较弱，在物质中射程较短，在通过一定厚度的混凝土或铅屏蔽X射线的同时已完全屏蔽加速器产生的电子，故无需考虑电子防护问题。

本项目电子直线加速器操作流程见图9-6。

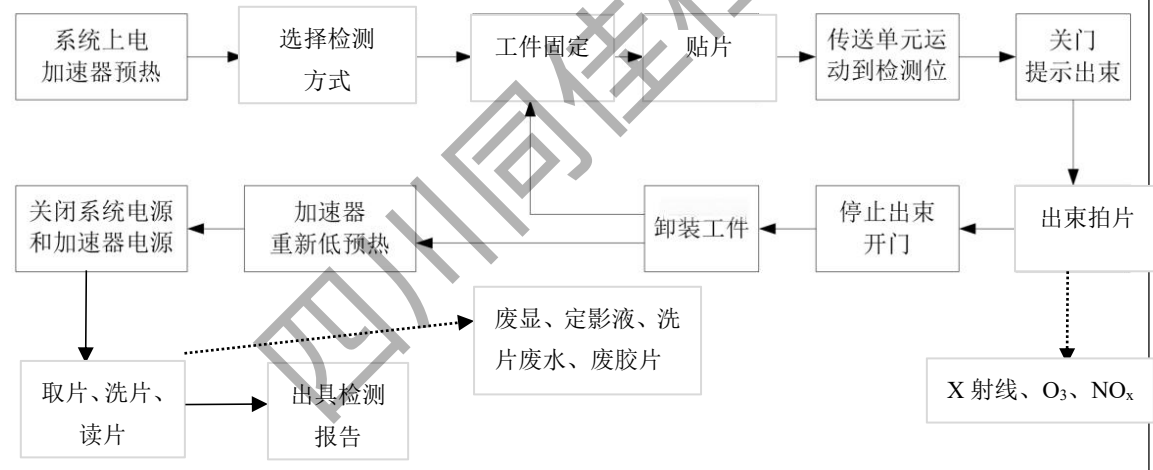


图 9-6 电子直线加速器工作流程及产污环节示意图

由图 9-6 可知，本项目电子直线加速器在运营过程中，产生的主要污染物为电子直线加速器检测拍片过程中产生的 X 射线、少量臭氧和氮氧化物，在洗片过程中产生的废显、定影液、废胶片及洗片废水，室内探伤时风机产生的噪声。

(四) X射线探伤机工作原理和探伤工作流程

1、工作原理

X 射线探伤机是利用 X 射线对物件进行透射拍片的检测装置。通过 X 射线管产生的 X 射线对受检工件焊缝处所贴的 X 线感光片进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置，X 射线探伤机据此实现探伤目的。

X 射线探伤机主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难融金属（如钨、铂、金等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两级之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管结构件图 9-7。

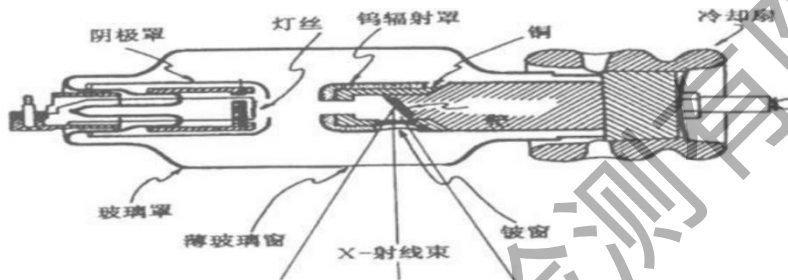


图 9-7 典型的 X 射线管结构图

2、X 射线室内探伤工作流程及产污环节

建设单位使用 X 射线探伤机在固定的曝光室内探伤，将需要进行射线探伤的工件使用轨道平板车送入探伤室，设置适当位置，在工件待检部位布设 X 射线胶片并加以编号，检查无误，工作人员撤离探伤室，并将工件门关闭，然后按照检测标准选择透照方式，根据工件规格选择一次透照长度及张数，根据曝光曲线选择合适的管电压以及曝光时间，检查无误即进行曝光，当达到预定的照射时间后，关闭电源。待全部曝光摄片完成后，工作人员进入探伤室，打开工件门将探伤工

件送出曝光室外，从探伤工件上取下已经曝光的 X 片，待暗室冲洗处理后给予评片，完成一次探伤。

X 射线探伤机探伤工作流程及产污环节情况见图 9-8。

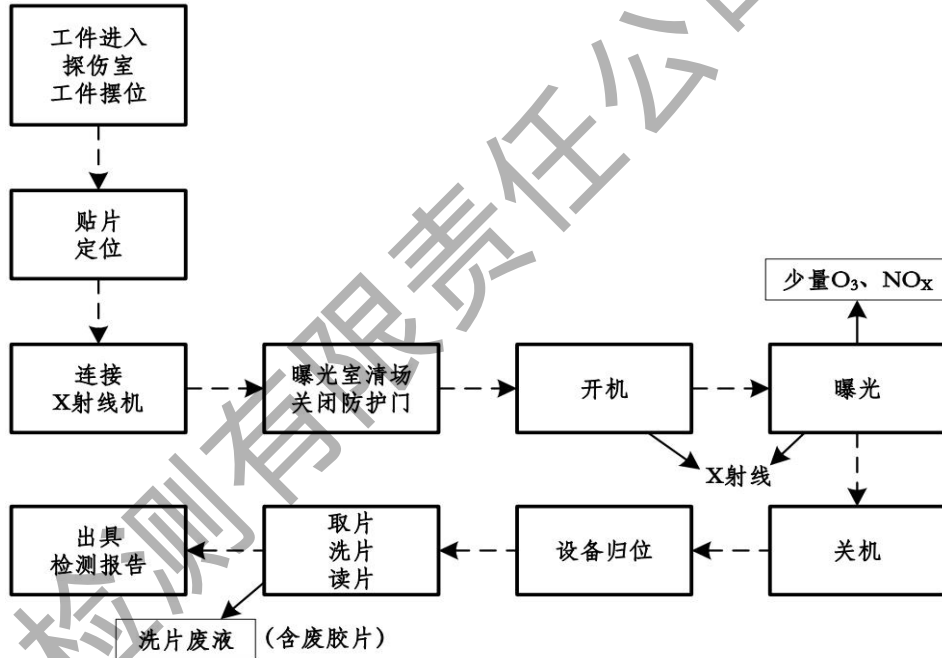


图 9-8 X 射线探伤机探伤工作流程及产污环节示意图

由图 9-8 可知，本项目 X 射线探伤机在运营过程中，产生的主要污染物为 X 射线探伤机曝光拍片过程中产生的 X 射线、少量臭氧和氮氧化物，在洗片过程中产生的废显、定影液、废胶片及洗片废水，室内探伤时风机产生的噪声。

(五) γ 射线探伤机工作原理和探伤工作流程

1、工作原理

γ 射线探伤机在工作过程中，通过 ^{192}Ir 、 ^{60}Co 密封源产生的 γ 射线对受检工件进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，根据曝光强度的差异判断焊接的质量。如有焊接质量问题，在显影后的胶片上产生一个较强的图像，显示裂缝所在位置。

γ 射线探伤机一般由放射源及源容器（贮源容器）、源托、输源管、遥控装置和其他附件组成。源容器是探伤机主体，用作放射源贮存和运输的屏蔽容器，其最外层为钢包壳，内部一般为贫铀屏蔽层。源容器的一端有联锁装置，用来连接控制缆，另一端通过管接头和输源管连接。未工作时放射源位于芯部的“S”形管道中央，以防射线的直通照射。本项目 γ 射线探伤机为电动驱动，在探伤作业前，

用快速接头把输源管和源容器连起来，输源导管的另一端构成照射头，用钥匙打开储源器的安全锁，再转动安全闸环到停止位置，使其指针对准红字“打开”处(即快门已开)；操作自控仪预置启动延迟时间、输源管距离、曝光时间，然后按下“启动”按钮，自控仪将自动完成“送源→曝光→收源”的检测照相过程。

典型的 γ 射线设备结构图见图 9-9。

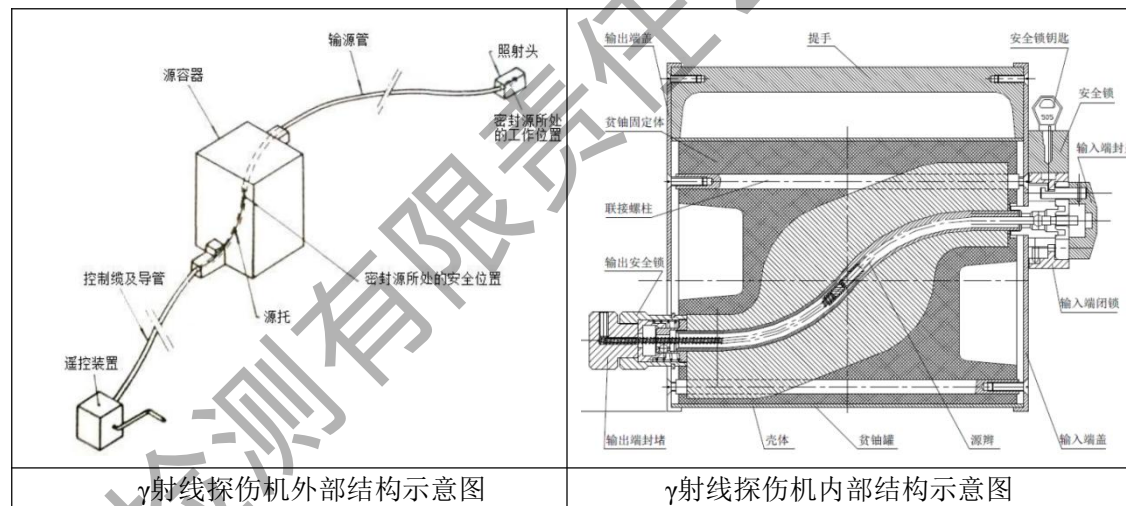


图 9-9 γ 射线探伤机结构示意图

2、 γ 射线室内探伤工作流程及产污环节

^{192}Ir 、 ^{60}Co 密封源在探伤机出厂时就已安装在探伤机内。探伤机不工作时，放射源位于探伤机内贮存位置，密封源发射的 γ 射线通过探伤机自身的贫铀结构屏蔽和防护。

放射源退役和换源均由 γ 探伤设备生产单位负责。

当需要对工件进行探伤操作前，操作人员必须关闭曝光室大门、打开曝光室内固定式辐射剂量率报警仪。布设胶片并加以编号完毕后，将 γ 射线探伤机从贮源坑内取出，放置工件附近，开启探伤机闭锁装置，工作人员清场退出曝光室，关闭曝光室防护门。人员在控制室内，接通探伤机电源，通过探伤设备控制面板电动驱动，将放射源推送至曝光位置进行曝光。待曝光结束后，通过电动装置再将放射源收回探伤机贮源位，放射源回位后关闭安全锁。人员打开防护门进入曝光室，将探伤机放回贮源坑，收取工件上的贴片。经洗片、评片，给出无损检测结果。

探伤作业完成后，放射源存放于贮源坑前，探伤人员对探伤装置进行目测检查，确认设备没有被损坏。采用便携式 X- γ 剂量率仪对 γ 射线探伤机进行检测，确

认放射源回到源容器的屏蔽位置。同时，贮源坑实行双人双锁管理，建设单位应制定《放射源使用登记制度》，贮存、领取、使用、归还放射源时，应及时进行登记、检查，做到账物相符，以确保放射源的安全监管，防治放射源意外丢失，对公众人员造成不必要的危害。

出现卡源状况时，可在控制室内通过遥柄手动送源/回源方式驱动放射源回到贮源位，并再次确认放射源回到贮源位。若手动仍不能回源的，通知放射源生产单位到现场处理。

γ 射线室内探伤工作流程及产污环节见图9-10。

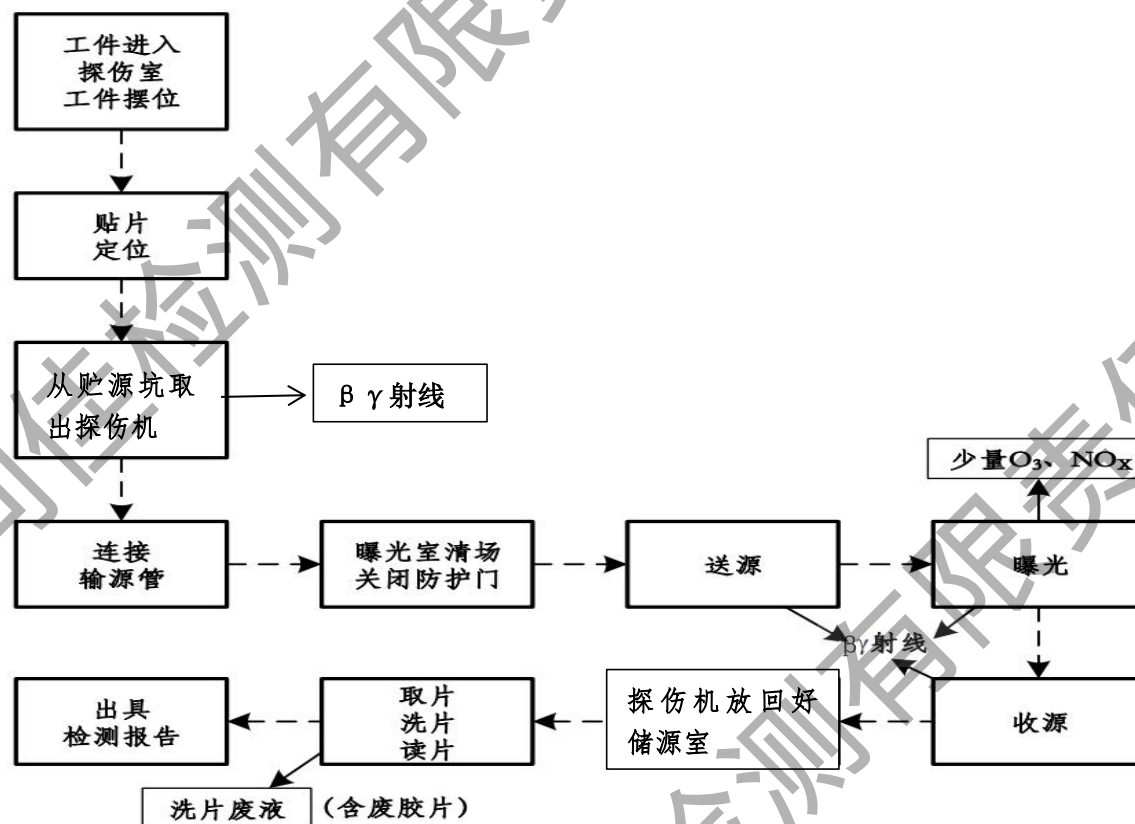


图9-10 γ 射线室内探伤工作流程及产污环节示意图

由图 9-10 可知，本项目 γ 射线探伤机在运营过程中，产生的主要污染物为 γ 射线、 β 射线、少量臭氧、氮氧化物，在洗片过程中产生的废显、定影液、废胶片及洗片废水，室内探伤时风机产生的噪声。

(六) X 射线探伤机和 γ 射线探伤机移动范围

由于本项目拟探伤的工件尺寸较大，因此工件通过轨道平板车运至曝光室内之后，工件的摆放位置总体上靠近曝光室中部，探伤时多为将探伤机固定在容器内部进行探伤（采用内照法），探伤机因自重无法置于大型工件顶部，采用内照

法放置于工件内部，因此其距地面高度控制在 1-3m 范围内，距离墙面距离则根据实际工件大小情况而定，因此各探伤室探伤机移动范围见图 9-11。

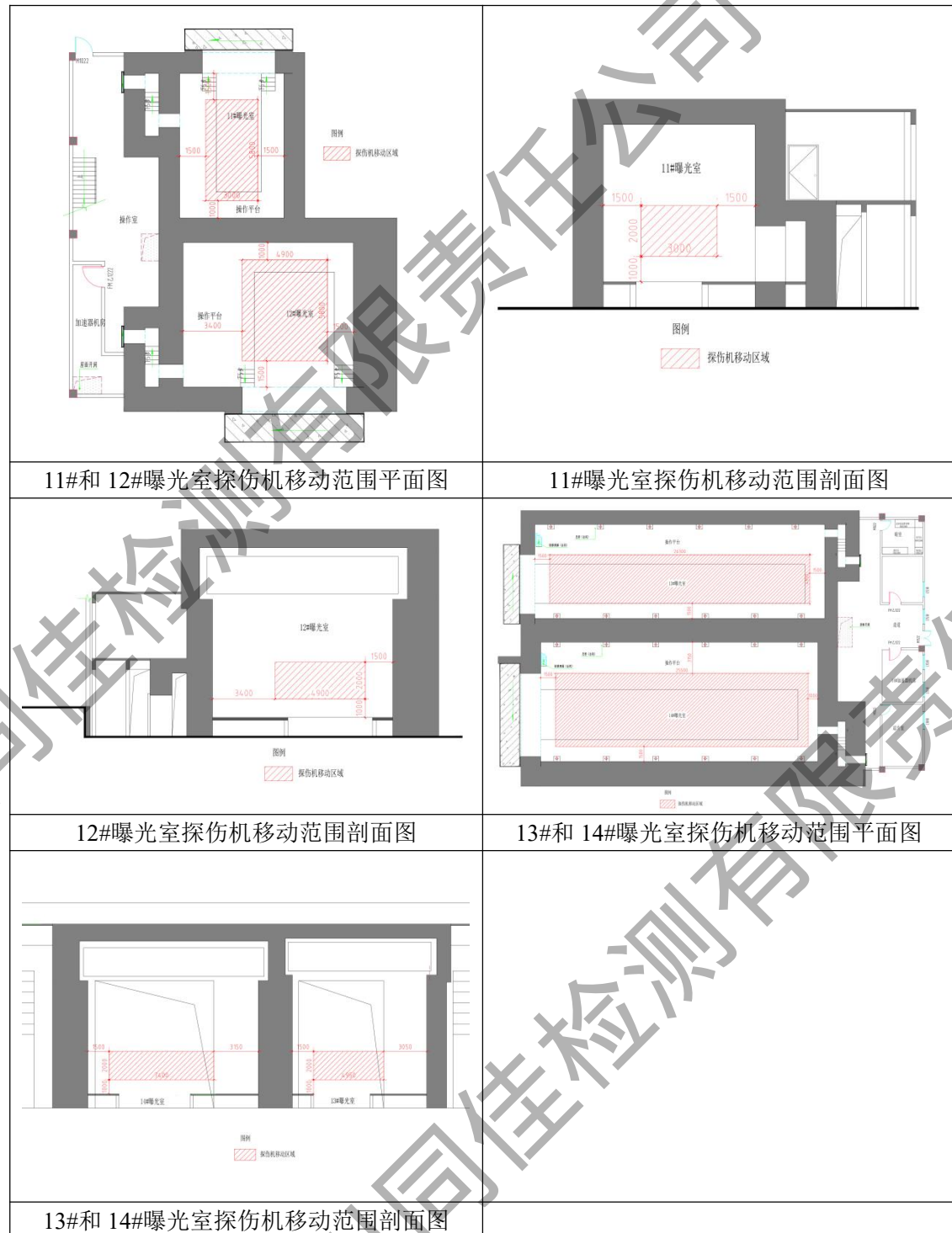


图 9-11 本项目 X 射线和 γ 射线探伤机移动范围示意图

(六) 人流、物流路径

工件路径：在生产车间内加工焊接后的工件经过轨道运入曝光室内合适位置进行探伤，探伤结束后的工件原路径返回车间内。

工作人员路径：工作人员依次经过操作室和迷道后进入曝光室内进行相关操作，完成相关操作后，沿原路径返回；探伤任务结束后，工作人员从曝光室取下的胶片放至暗室进行洗片工作，再至晒片室进行晒片工作，产生的废显影液、废定影液暂存在暗室的废弃药水暂存槽，产生的废弃胶片暂存在晒片室的废胶片暂存柜。

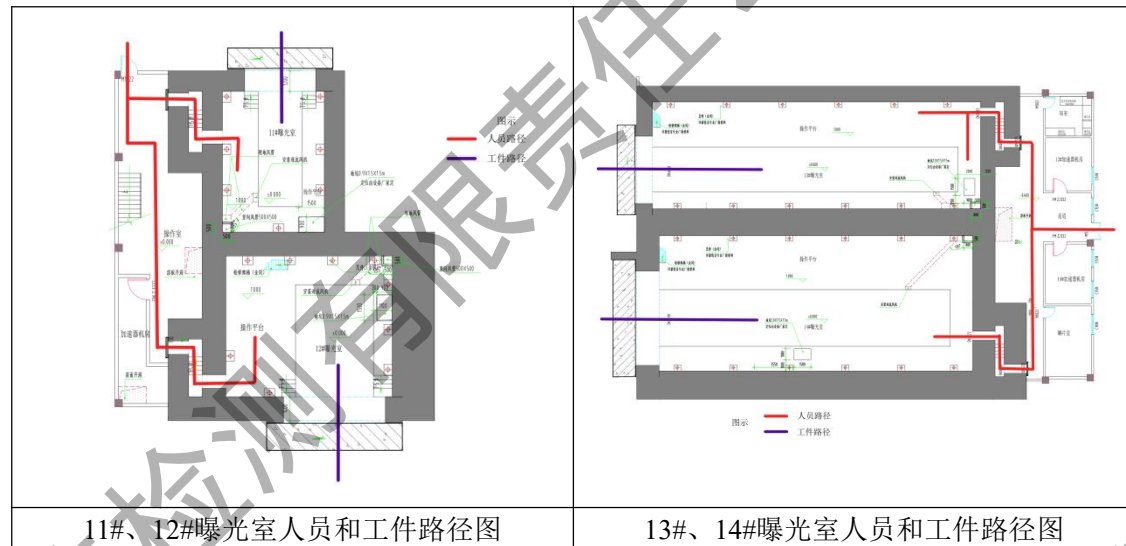


图 9-12 X 射线/γ 射线探伤工件及人员路径示意图

污染源项描述

根据前述工程分析，项目在施工期和运营期主要污染源项如下：

一、施工期

- 1、施工将产生施工扬尘、施工废气和少量装修废气。
- 2、施工将产生少量施工废水和施工人员生活污水。
- 3、施工机械将产生施工机械噪声。
- 4、施工将产生废弃土石方、建筑垃圾和施工人员生活垃圾。

二、运营期

1、电离辐射

(1) 电子直线加速器：电子直线加速器运行过程中产生的电子受到靶物质阻挡而发生韧致辐射，即产生 X 射线。该射线是随着加速器出束状态的进行、停止而对应产生或消失的。本项目电子直线加速器输出 X 射线的最大能量分别为 6MeV 和 9MeV，对应的 1m 处最大 X 射线剂量率分别为 10Gy/min 和 30Gy/min，不产生中子和感生放射性，主要环境影响为 X 射线。

(2) X射线探伤机：X射线探伤机只有在开机状态，并且其X射线探伤机组件处于出束状态时（曝光状态）才会发出X射线，不开机状态不产生辐射。

(3) γ 射线探伤机： γ 射线探伤机一直会发出 γ 射线、 β 射线， β 射线射程较短，能量较小，对工作人员和周围环境的影响较小。 γ 射线探伤机利用 ^{192}Ir 、 ^{60}Co 衰变时发射的 γ 射线， γ 射线具有较强贯穿能力，因此 γ 射线探伤机的主要污染因子是 γ 射线；放射源贮存过程中有小部分穿过储源室屏蔽体及防护门泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 射线外照射。

2、废气

电子直线加速器、X射线探伤机和 γ 射线探伤机在工作状态时，会使曝光室内的空气电离产生臭氧和少量氮氧化物。

3、废水

本项目产生的废水主要包括洗片废水和工作人员生活污水，其中洗片废水约 $80\text{m}^3/\text{a}$ ，工作人员生活污水约 $20\text{m}^3/\text{a}$ 。本项目产生的废水经现有污水处理池预处理后，什邡市城市生活污水处理厂处理。什邡市城市生活污水处理厂服务对象包含生活污水和工业废水，具备处理工业废水的能力。

4、噪声

本项目在4间曝光室内拟各使用设置1台轴流式排风机，排风机工作时将产生一定的噪声，建设单位拟采用低噪声设备，噪声值低于 $65\text{dB}(\text{A})$ 。

5、固体废物

本项目产生的固体废物主要为生活垃圾、废放射源、废显影液、废定影液、废胶片。

(1) 生活垃圾：工作人员产生的生活垃圾约 $16.0\text{kg}/\text{d}$ ，依托厂区现有垃圾桶统一收集后由市政环卫部门统一清运。

(2) 废放射源：公司使用的放射源到一定时间后，不能满足无损检测要求，将退役成为废放射源。经与建设单位核实，本项目放射源 ^{192}Ir 约3个月更换一次， ^{60}Co 约12年更换一次。公司应按照国家有关废放射源处置的相关规定要求，及时与供源单位签订废放射源回收协议。

(3) 废显影液、废定影液、废胶片：本项目电子直线加速器、X射线探伤机、 γ 射线探伤机探伤会产生一定量的废显影液、废定影液、废胶片，属于《国家危险

废物名录（2021年本）》中感光材料废物，其危险废物编号为HW16（900-019-16），并无放射性。本项目年拍片量为50000张，按洗1000张片用20L显（定）影液，则每年产生的废显、定影液约1000L，每年产生废胶片约2500张（废片率按5%计算），该部分危险废物暂存至危废暂存间，并定期委托有资质的单位处理，完好的胶片由公司定期建档备查。

根据建设单位提供的材料，暗室内设有废弃药水暂存槽，暂存区域地面做了防渗措施。存放废显影液、定影液的容器为耐酸耐碱的塑料桶，不与废液产生化学反应。项目产生的废胶片拟用纸质信封袋包装，存放在晒片室。

建设单位应按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）要求，危险废物暂存区域基础必须做防渗措施，防渗层为至少1m厚的黏土层，或2mm厚的高密度聚乙烯，或至少2mm厚的其它人工材料；危险废物暂存区域要防风、防雨、防晒，地面应进行硬化，做好防渗处理。废胶片可采用纸质信封袋进行包装后，装袋完毕、封口严实，贴上标签，暂存在废胶片暂存柜内。本项目产生的危险废物暂存期最长不超过1年，应定期交由具有危险废物处置资质的单位进行处置，并填写危险废物转移联单。公司危险废物汇总情况见表9-5。

表 9-5 危险废物汇总情况表

序号	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	年产生量	产生工序及装置	形态	主要成分	危险特性	最长暂存周期	污染防治措施
1	废显影液	感光材料危险废物	HW16 (900-019-16)	1000L	暗室洗片工序	液态	硫酸甲基对氨基苯酚、对苯二酚	T（毒性）	1年	暂存暗室内废液桶，定期交由有资质的单位处置
2	废定影液			1000L		液态	硫代硫酸钠、钾矾、铬矾	T（毒性）	1年	
3	废胶片			2500张	评片室	固态	溴化银	T（毒性）	1年	

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、平面布局合理性分析

本项目选址于什邡市沱江路西段 21 号新建的数字化智能化生产车间内，两座探伤室分别位于备料车间内西南侧和重型车间外东南侧。4 间曝光室工件门开口均朝向生产厂房内，生产完成的工件可以便捷进入探伤室进行探伤。

本项目探伤室距离南侧厂界最近约 46m，东侧、西侧和北侧 50m 范围均位于厂界内，详见附图 2。本项目所有探伤室下方均无建筑，备料车间探伤室位于生产厂房内，探伤室上方无行车操作人员；重型车间探伤室位于生产厂房外，由于紧邻的退火炉和喷砂房略高于探伤室，且退火炉上方留有检修口，故视作重型车间探伤室上方可上人。

通过本项目外环境分析可知，曝光室布置相对独立，检测过程中产生的 X 射线、 γ 射线经实体屏蔽防护后对周围环境的辐射影响是可以接受的。总体来看，曝光室的位置选取分别在备料车间的西南侧中部和重型车间的东南侧外部，避开工作人员密集区。拟建探伤室的位置既能满足被检测工件检测的需要，又便于进行分区管理和辐射防护，从辐射安全防护的角度分析，其总平布置是合理的。

二、工作区域管理

根据《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）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关规定，对本项目探伤工作场所进行分区管理：

控制区：将本项目曝光室（含迷路）内部划分为控制区，对控制区进行严格控制，探伤过程中严禁任何人员进入。控制区外应设置清晰可见的电离辐射警告标志，并设置红色地面划标线，并标出“控制区”字样。

监督区：将操作室、晒片室、暗室、设备机房的区域为监督区。监督区入口应张贴可见的电离辐射警告标志，出束期间，禁止非辐射工作人员进入，监督区入口处设置黄色带“监督区”字样的地面标识线。控制区和监督区以外区域，人员活动不受限制，本项目两区划分情况见表 10-1。

表 10-1 本项目辐射工作场所两区划分情况

项目	控制区	监督区
备料车间探伤室	11#曝光室（含迷路、贮源坑）	操作室、晒片室、暗室、加速器机房、工件进出门外 1m 的区域
	12#曝光室（含迷路、贮源坑）	
重型车间探伤室	13#曝光室（含迷路、贮源坑）	操作室、暗室、晒片室、加速器机房、工件进出门外 1m 的区域
	14#曝光室（含迷路、贮源坑）	

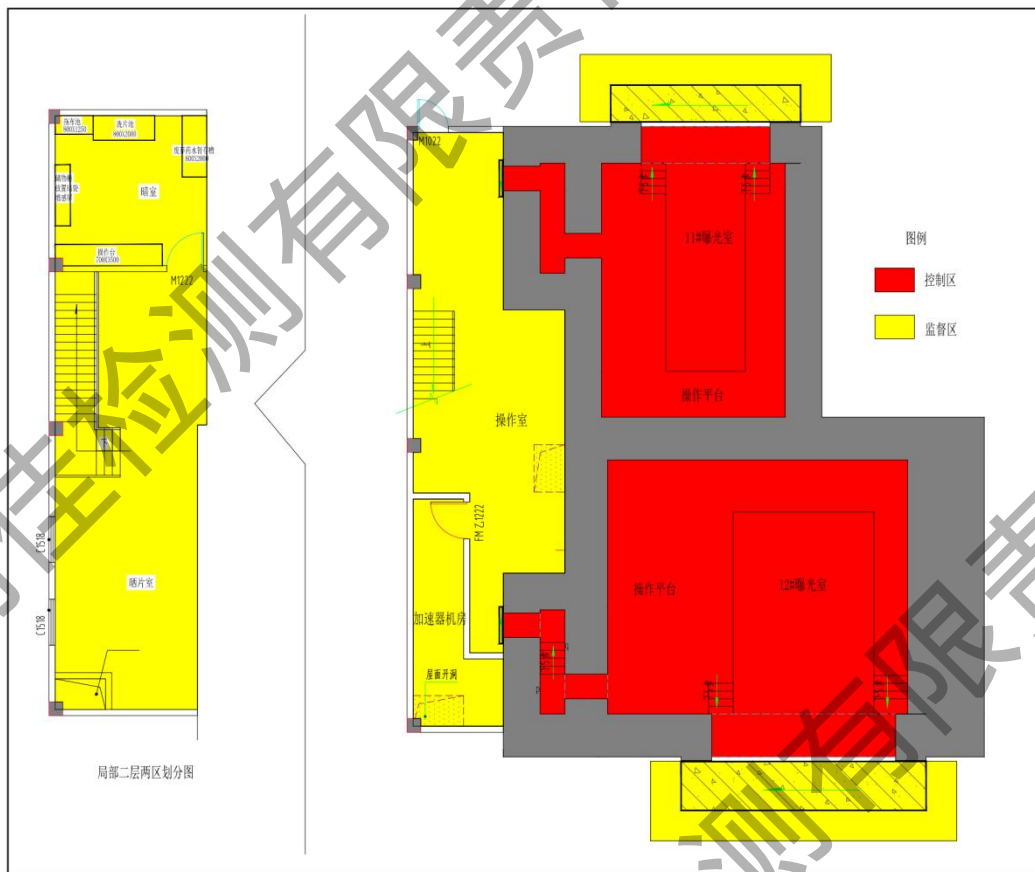


图 10-1 本项目 11#曝光室和 12#曝光室所在两区分示意图

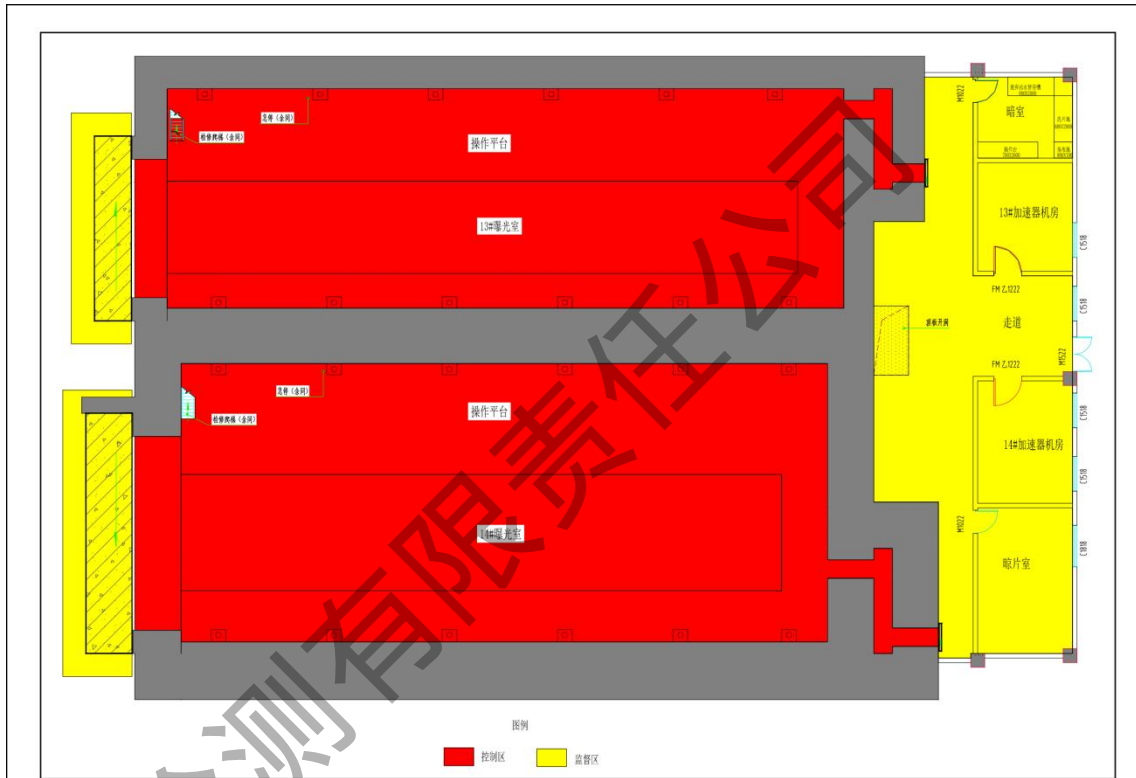


图 10-2 本项目 13#曝光室和 14#曝光室所在两区划分示意图

三、工作场所实体辐射防护情况及设备固有安全性分析

(一) 工作场所实体辐射防护情况

1、曝光室实体防护情况

本项目曝光室为一层建筑，四周墙体和顶棚拟采用标准混凝土一次性整体浇筑而成，具体屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2 本项目曝光室屏蔽防护设计方案情况表

11#曝光室	
外尺寸	面积为91.56m ² ，10.4m(长)×8.4m(宽)×8m(高)
内尺寸	面积为49.8m ² ，8.3m(长)×6m(宽)×7.2m(高)
四周墙体	东北侧、西南侧和西北侧均为1.2m厚钢筋混凝土；东南侧墙体为1.4m厚钢筋混凝土。
顶棚	1m厚钢筋混凝土。
地坪	地坪荷载5T/m ² ，由素土夯实+混凝土垫层+厚钢筋混凝土+砂石+混凝土+金属骨料耐磨地面构成，高度为1000mm。
工件门	C30混凝土电动防护门，门洞尺寸为4.2m(宽)×6m(高)，门体尺寸为6.2m(宽)×6.7m(高)×1.2m(厚)，门与墙体左、右搭接1000mm，上搭接为500mm，下沉入地面200mm。
迷路门	20mm铅当量钢铅结构电动防护门，门洞尺寸为0.8m(宽)×2.2m(高)，门体尺寸为1.2m(宽)×2.5m(高)，门与墙体左、右搭接均为200mm，上

	搭接为200mm，下沉入地面100mm，按照搭接长度须大于等于10倍间隙的原则，间隙应尽量小。
迷路	Z型，迷路外墙1.2m厚钢筋混凝土，侧墙1.2m厚钢筋混凝土。
电缆管线	X射线、 γ 射线探伤机穿地下月弯型管4根，尺寸 $\Phi 159\text{mm}$ ，埋深350mm
通排风管道	在11#曝光室西侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸500mm \times 500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量1500m ³ /h，换气次数约为4次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构。
12#曝光室	
外尺寸	面积为152.07m ² ，13.7m(长) \times 11.1m(宽) \times 11m(高)
内尺寸	面积为81.34m ² ，9.8m(长) \times 8.3m(宽) \times 10.2m(高)
四周墙体	东北侧墙体7.4m以下为2500mm厚钢筋混凝土，7.4~10.2m为1900mm厚钢筋混凝土；西北侧和东南侧墙体为1400mm厚钢筋混凝土；西南侧墙体7.4m以下为1400mm厚钢筋混凝土，7.4~10.2m为800mm厚钢筋混凝土
顶棚	800mm厚钢筋混凝土
地坪	地坪荷载5T/m ² ，由素土夯实+混凝土垫层+厚钢筋混凝土+砂石+混凝土+金属骨料耐磨地面构成，高度为1000mm。
工件门	C30混凝土电动防护门，工件门门洞尺寸为6m(宽) \times 7m(高)，门体尺寸为8m(宽) \times 7.7m(高) \times 1.6m(厚)，门与墙体左右搭接均为1000mm、上搭接700mm，下方工件门与地面间距15mm，为防漏线，故在曝光室室内的轨道区域设置有三段防射线混凝土，尺寸为1600mm(长) \times 6000mm(宽) \times 150mm(高)。
迷路门	10mm铅当量钢铅结构电动防护门，门洞尺寸为0.8m(宽) \times 2.2m(高)，门体尺寸为1.2m(宽) \times 2.5m(高)，门与墙体左、右搭接均为200mm，上下搭接分别为200mm，100mm，按照搭接长度须大于等于10倍间隙的原则，间隙应尽量小
迷路	Z型，迷路外墙1200mm厚钢筋混凝土，侧墙1400mm厚钢筋混凝土。
电缆管线	加速器线缆穿U形地槽1根，尺寸 $\Phi 400\text{mm}$ ，埋深350mm；X射线、 γ 射线探伤机穿地下月弯型管4根，尺寸 $\Phi 159\text{mm}$ ，埋深350mm
通排风管道	12#曝光室东侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸500mm \times 500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量3000m ³ /h，换气次数约为3.5次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构。
13#曝光室	
外尺寸	面积为430.92m ² ，32.4m(长) \times 13.3m(宽) \times 13m(高)
内尺寸	面积为284.16m ² ，29.6m(长) \times 9.6m(宽) \times 12.2m(高)
四周墙体	东北侧墙体9.4m以下为1400mm厚钢筋混凝土，9.4~11.8m为1100mm厚钢筋混凝土；西北侧和东南侧墙体为1400mm厚钢筋混凝土；西南侧墙体9.4m以下为2400mm厚钢筋混凝土，9.4~11.8m为1800mm厚钢筋混凝土
顶棚	800mm厚钢筋混凝土
地坪	地坪荷载5T/m ² ，由素土夯实+混凝土垫层+厚钢筋混凝土+砂石+混凝土+金

	属骨料耐磨地面构成，高度为1000mm。
工件门	C30混凝土电动防护门，工件门门洞尺寸为6m（宽）×9m（高），门体尺寸为8m（宽）×9.7m（高）×1.6m（厚），门与墙体左右搭接均为1000mm、上搭接700mm，下方工件门与地面间距15mm，为防漏线，故在曝光室室内的轨道区域设置有三段防射线混凝土，尺寸为1600mm（长）×6000mm（宽）×150mm（高）。
迷路门	10mm铅当量钢铅结构电动防护门，门洞尺寸为0.8m（宽）×2.2m（高），门体尺寸为1.2m（宽）×2.5m（高），门与墙体左、右搭接均为200mm，上下搭接分别为200mm，100mm，按照搭接长度须大于等于10倍间隙的原则，间隙应尽量小
迷路	Z型，迷路外墙1400mm厚钢筋混凝土，侧墙1400mm厚钢筋混凝土。
电缆管线	加速器线缆穿U形地槽1根，尺寸 ϕ 400mm，埋深350mm；X射线、 γ 射线探伤机穿地下月弯型管4根，尺寸 ϕ 159mm，埋深350mm
通排风管道	13#曝光室南侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸500mm×500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量12000m ³ /h，换气次数约为3.5次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构。
14#曝光室	
外尺寸	面积为547.56m ² ，32.4m(长)×16.9m(宽)×13m（高）
内尺寸	面积为340.8m ² ，28.4m(长)×12m(宽)×11.8m（高）
四周墙体	东北侧墙体9.4m以下为1400mm厚钢筋混凝土，9.4~11.8m为1100mm厚钢筋混凝土；西北侧和东南侧墙体为1400mm厚钢筋混凝土；西南侧墙体9.4m以下为2400mm厚钢筋混凝土，9.4~11.8m为1800mm厚钢筋混凝土
顶棚	800mm厚钢筋混凝土
地坪	地坪荷载5T/m ² ，由素土夯实+混凝土垫层+厚钢筋混凝土+砂石+混凝土+金属骨料耐磨地面构成，高度为1000mm。
工件门	C30混凝土电动防护门，工件门门洞尺寸为8.4m（宽）×9m（高），门体尺寸为10.4m（宽）×9.7m（高）×2m（厚），门与墙体左右搭接均为1000mm、上搭接700mm，下方工件门与地面间距15mm，为防漏线，故在曝光室室内的轨道区域设置有三段防射线混凝土，尺寸为2000mm（长）×8400mm（宽）×150mm（高）。
迷路门	12mm铅当量钢铅结构电动防护门，门洞尺寸为0.8m（宽）×2.2m（高），门体尺寸为1.2m（宽）×2.5m（高），门与墙体左、右搭接均为200mm，上下搭接分别为200mm，100mm，按照搭接长度须大于等于10倍间隙的原则，间隙应尽量小
迷路	Z型，迷路外墙2000mm厚钢筋混凝土，侧墙2000mm厚钢筋混凝土。
电缆管线	加速器线缆穿U形地槽1根，尺寸 ϕ 400mm，埋深350mm；X射线、 γ 射线探伤机穿地下月弯型管4根，尺寸 ϕ 159mm，埋深350mm
通排风管道	14#曝光室东侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸500mm×500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量14000m ³ /h，换气次数约为3.5次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构。

为保证探伤室满足辐射防护要求，探伤室四周墙体和屋顶混凝土浇筑工序要整体连续浇注，保证各屏蔽体有效衔接，防护门与墙的重叠宽度至少为空隙的10倍，避免各屏蔽体之间有漏缝产生；曝光室的工件大门均设计为钢筋混凝土结构，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。门体采用摆线针轮减速机作为驱动机构，通过主动轮箱内齿轮间的啮合来实现门体的左右移动，门体上导轨防止门体的左右倾斜，使门体平稳移动，软、硬限位和缓冲机构保证门体精确的行程，以达到门体安全精确的开启和关闭。

2、通排风管道设置情况

根据设计图纸，本项目11#曝光室、12#曝光室、13#曝光室和14#曝光室的曝光时均设置有专门的通排风管道，采用地沟式设计，排风口均设置于平板车轨道地沟内，排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构，见下图。

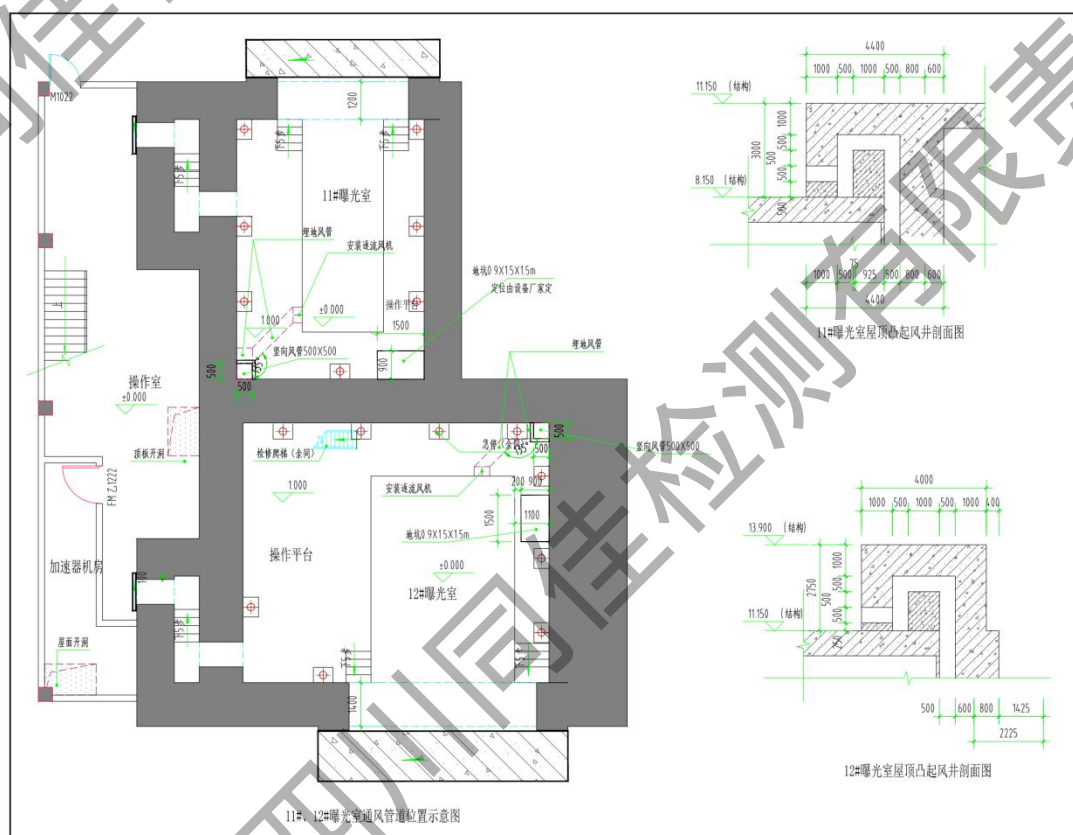


图 10-3 11#、12#曝光室通风地沟及凸起式风井剖面示意图

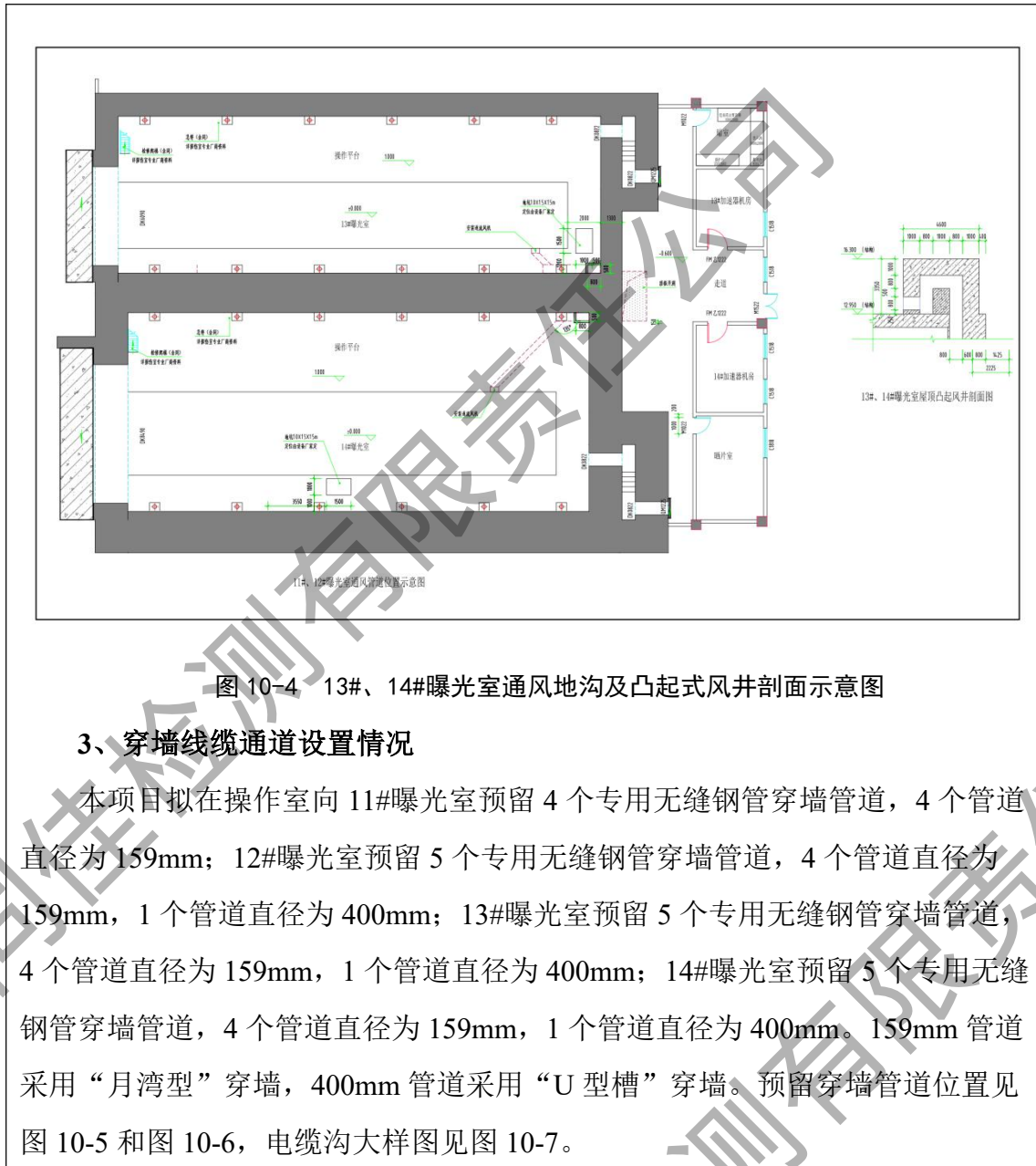


图 10-4 13#、14#曝光室通风地沟及凸起式风井剖面示意图

3、穿墙线缆通道设置情况

本项目拟在操作室向 11#曝光室预留 4 个专用无缝钢管穿墙管道，4 个管道直径为 159mm；12#曝光室预留 5 个专用无缝钢管穿墙管道，4 个管道直径为 159mm，1 个管道直径为 400mm；13#曝光室预留 5 个专用无缝钢管穿墙管道，4 个管道直径为 159mm，1 个管道直径为 400mm；14#曝光室预留 5 个专用无缝钢管穿墙管道，4 个管道直径为 159mm，1 个管道直径为 400mm。159mm 管道采用“月湾型”穿墙，400mm 管道采用“U 型槽”穿墙。预留穿墙管道位置见图 10-5 和图 10-6，电缆沟大样图见图 10-7。

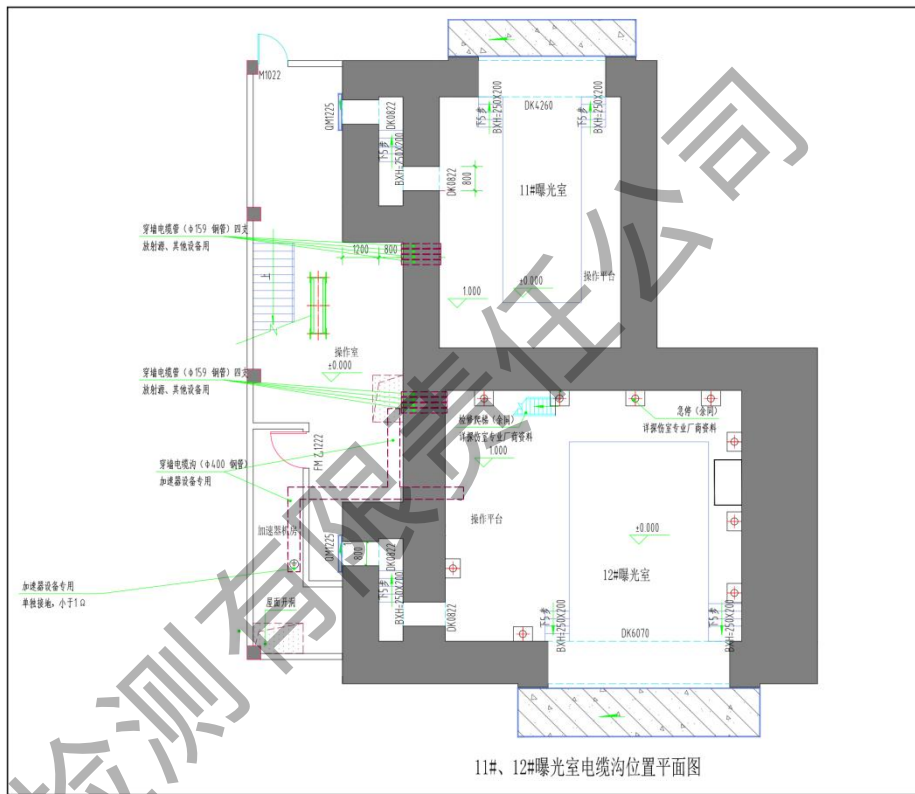


图 10-5 本项目 11#、12#曝光室线缆穿线孔位置示意图



图 10-6 本项目 13#、14#曝光室线缆穿线孔位置示意图

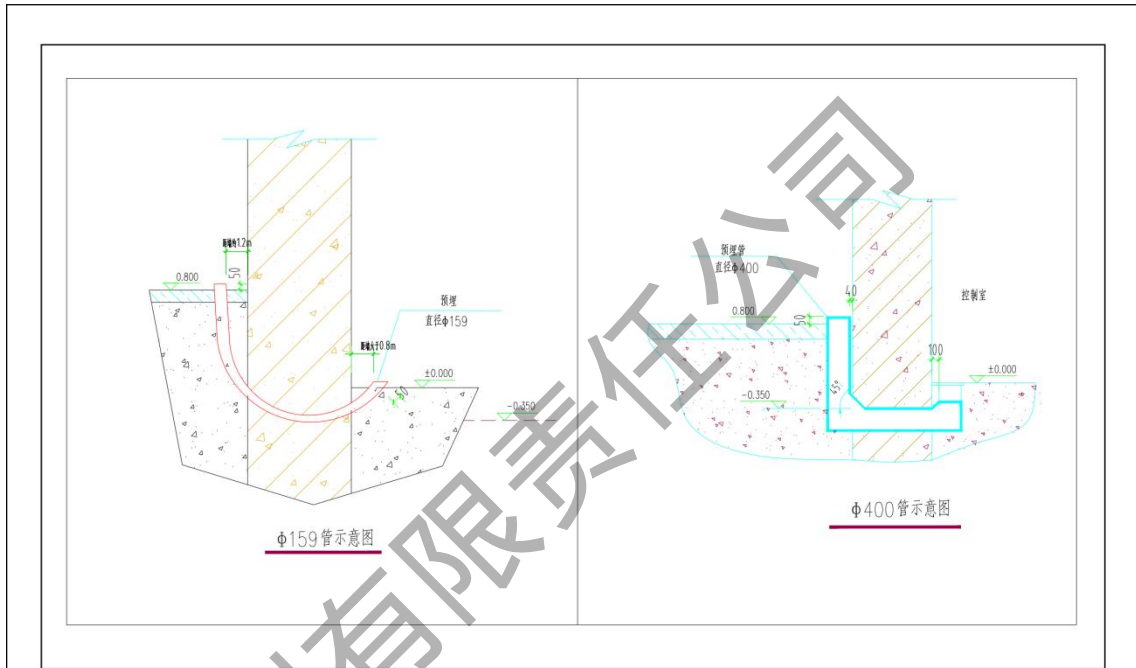


图10-7 本项目线缆穿线孔大样图

(二) 设备的固有安全性

(1) 电子直线加速器

本项目加速器从正规厂家购买。电子直线加速器本身设有多重安全保护措施：钥匙控制、急停装置、调制器门联锁、水流联锁等。本项目加速器的固有安全性良好，产生的辐射主要都是采用混凝土墙体和铅材料屏蔽，其设备固有安全性如下：

①调制器联锁：只有在电子枪灯丝、磁控管灯丝预热完毕，且没有故障出现时，调制器才允许加高压，加速器才可以出束。一旦出现充电过流、反峰过荷、无触发、柜门打开的故障，均切断高压，加速器不出束，相应的故障灯亮。

②水流联锁：一旦水冷系统的水温、水位、水压等出现故障时，均切断高压，同时水系统停止工作，加速器不出束，故障灯亮。

③限位装置：加速器机头应有射线限位装置，如准直器，射线限束装置把射线束准直成一定厚度扇形射线束或锥形束，使其射线束的扇角或锥角应尽可能的小。

④密码控制系统：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。

⑤安全钥匙控制：电子直线加速器配置有安全锁钥匙，在探伤作业时，未开

启安全锁钥匙，控制柜不可工作，电子直线加速器不能曝光照射；结束探伤照射后，人工旋转钥匙关闭控制柜。

(2) X 射线探伤机

①自检系统：开机后控制器首先进行系统诊断测试，若诊断测试正常，会示意操作者可以进行曝光或训机操作。若诊断出故障，在显示器上显示出故障代码，提醒用户关闭电源，与厂家联系并维修。

②高压系统：当 X 射线发生器接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线发生器的各种参数，当发生异常情况时，控制器自动切断 X 射线发生器的高压。在曝光阶段出现任何故障，控制器都将立即切断 X 射线发生器的高压，蜂鸣器会持续响，提醒操作人员发生了故障。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，在休息阶段将不理睬任何按键，所有指示灯均熄灭，停止探伤作业。

③过流保护：设备带有过电流保护继电器，当管电流超过额定值或高压对地放电时，设备会自动切断高压；当管电压低于相关限值时，自动切断高压。

④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。

⑤安全钥匙控制：X射线探伤机配置有安全锁钥匙，在探伤作业时，未开启安全锁钥匙，控制柜不可工作，X射线探伤机不能曝光照射；结束探伤照射后，人工旋转钥匙关闭控制柜。

(3) γ 射线探伤机

①固有屏蔽体： γ 射线探伤机具有放射源贮存和运输的屏蔽容器，其最外层为钢包壳，内部一般为贫铀屏蔽层，能够有效屏蔽放射源产生的 γ 射线。源容器的一端有安全联锁装置，可连接控制缆，另一端通过管接头和输源管连接。

②安全钥匙控制： γ 射线探伤机配置有安全锁钥匙，在探伤作业时，未开启安全锁钥匙，控制柜不可工作， γ 射线探伤机不能出源；结束探伤照射后，人工旋转钥匙关闭控制柜。

③源容器性能： γ 射线探伤机出厂时，探伤机容器已经进行了相关性能检测，表面辐射剂量率满足《 γ 射线探伤机》（GB/T14058-2023）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的相关要求。

④源位置显示及报警： γ 射线探伤机配置有源辫位置指示器系统，具有显示放射源的具体位置、数字显示源辫离开源容器的距离、音响提示源辫已离开源容器的功能。

⑤放射源的顶源辫：顶源辫是用来输送放射源的传动机构，源辫是由弹性很好的钢丝编织而成。通过连锁装置与源连接后，由手动（摇把子）或自动传输装置（电动），通过输源管螺旋通道将放射源顶到顶端。

⑥专用止动弹簧：位于输源电缆与 γ 探伤机的接口处，出源时由辐射工作人员向下按动弹簧解锁后，方可出源；回源时专用止动弹簧向上弹起，源自动收回 γ 射线机内。

（三）探伤室辐射安全防护设施

探伤室辐射安全防护设施针对使用 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机、电子直线加速器而设置。

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)、《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016) 的要求，本项目探伤室投入使用前，必须具备以下辐射安全和防护措施：

（1）门-机连锁：工件门和工作人员出入门拟安装门—机连锁安全装置和灯光警示装置，工件进出门和人员通道门没有关闭到位，探伤机不能启动（放射源不离开贮源箱、射线机高压不开启，下同）；探伤机在启动状态下，人员通道门不能从外面打开。

（2）门-灯连锁：在曝光室外墙安装灯光、灯箱、警笛等警示装置。当探伤室工件门和迷路门关闭时，警示灯为黄色，灯箱显示“预备照射”；当探伤机开机时，警笛开启，警示灯为红色，灯箱显示“正在照射”，探伤作业结束，工件门打开时，自动关闭上述警示。

（3）门-剂量连锁：在曝光室内安装固定式辐射剂量监测仪，辐射剂量信号与人员通道门连锁，当曝光室内辐射剂量率水平低于 $10\ \mu\text{sv/h}$ 时，人员通道门可以通过操作程序打开，当高于 $10\ \mu\text{sv/h}$ 时，人员通道门不能从外面打开（可以被迷道内紧急开门按钮打开）。

（4）紧急停机按钮：曝光室内墙壁，迷路、控制柜上安装紧急停机按钮，

并给出清晰的标记和说明。确保出现紧急事故时或人员被误关闭在曝光室时，能立即停止照射，并打开人员通道门，紧急停机按钮触发后需人工检查确认后复位。

(5) 视频监控系统：探伤室拟设视频监控系统，全方位监控曝光室内情况，若有人员滞留于曝光室内，可以在操作室内及时观察发现，视频贮存 ≥ 90 天。

(6) 钥匙连锁：操作人员必须使用主控柜钥匙启动探伤机或打开人员通道门。探伤机启动状态下，钥匙无法取出，人员通道门不能从外面开启；人员通道门开启的情况下，钥匙无法取出，探伤机不能启动；

(7) 停电自动回源装置（含手动回源功能）：本项目停电自动回源装置配备 UPS 应急电源， γ 射线探伤机驱动装置与源容器连接，遇到紧急停电可以通过应急电源将源鞭送回源容器内，也可以通过手动将源鞭摇回源容器内。

(8) 无人复位开关：在曝光室内迷道出入口安装无人复位开关，操作人员确认曝光室无人，按下无人复位开关，探伤机才能启动，否则探伤机无法启动。

(9) 放射源卡源或脱落自锁及解除装置：探伤作业时，若出现放射源卡源或脱落，曝光室辐射剂量异常，人员通道门自锁（可以被迷道内紧急开门按钮打开）。需在做好各项安全防护措施后，通过系统密码解锁，打开人员通道门进行处置。

(10) 固定式场所辐射探测报警装置：在曝光室设置固定式辐射监测报警装置（带剂量显示功能），监测探头安装在迷道内靠近曝光室一侧的入口处，主机显示屏安装于控制台上；当迷道内靠近防护门处剂量水平超过预设的阈值，报警装置就会报警提示。

辐射安全装置分布见图 10-8 和图 10-9 所示。

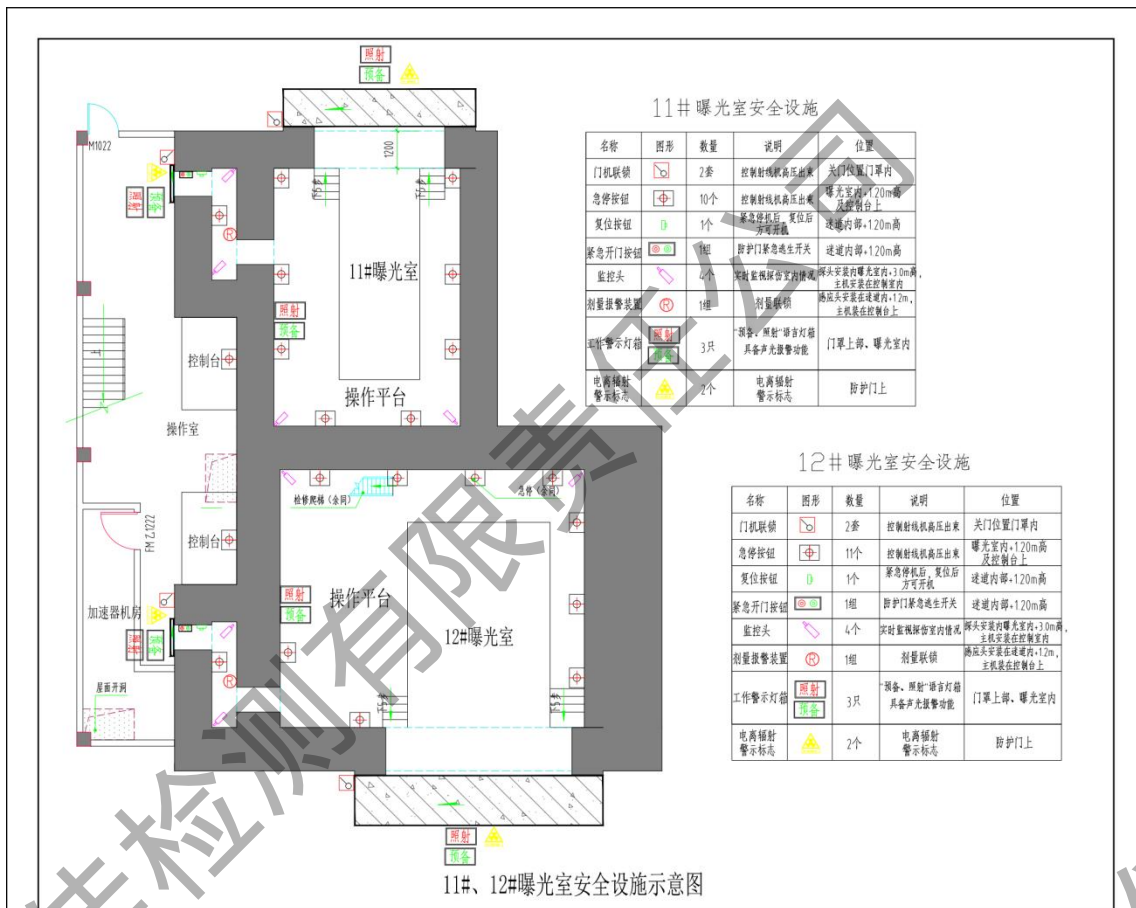


图10-8 本项目11#曝光室和12#曝光室辐射安全装置布置平面图

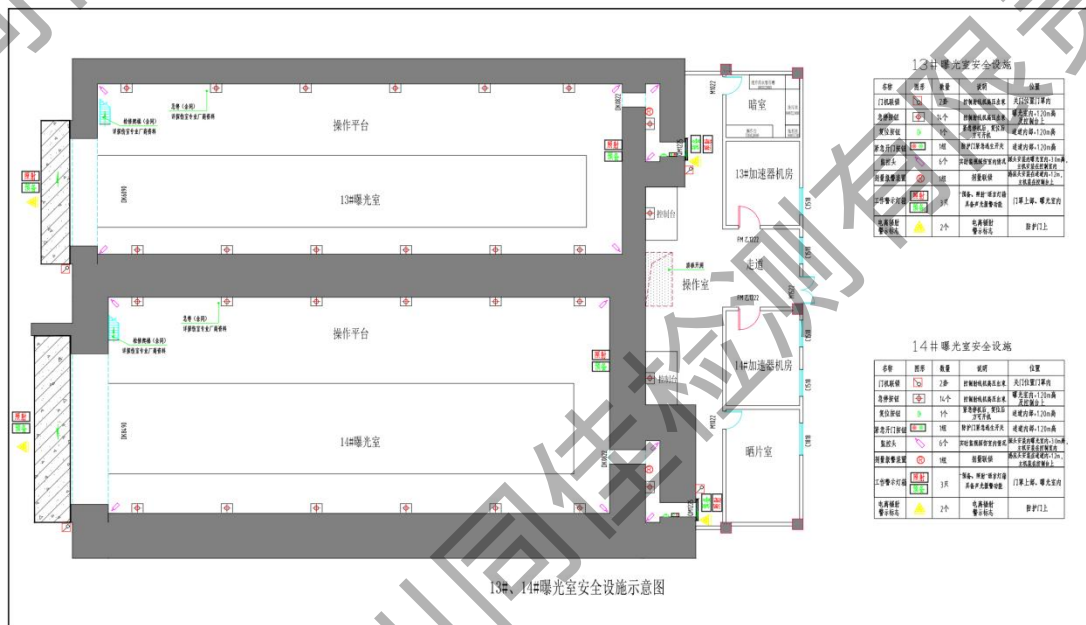


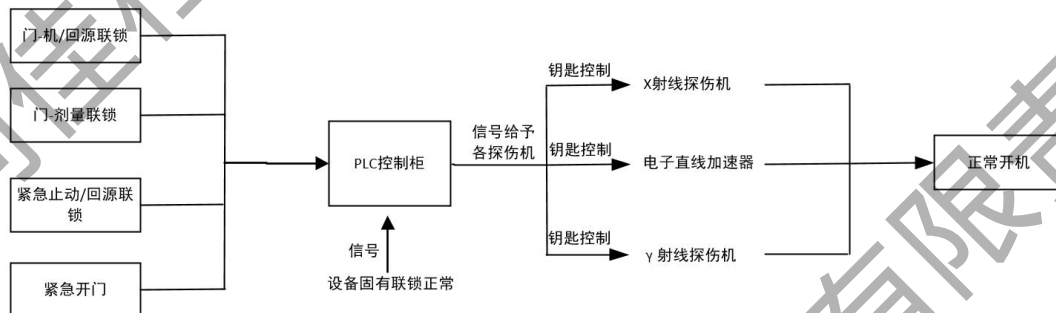
图 10-9 本项目 13#曝光室和 14#曝光室辐射安全装置布置平面图

(五) 控制系统联锁逻辑

本项目控制系统将辐射安全工作中“人（操作人员及公众）、机（探伤机）、

门（人员和工件进出门）、仪（辐射剂量监测仪）、警（声光警示）”等5种要素集成为系统，实现系统管理，其示控制系统管理意图如图10-9、图10-10所示。

控制系统采用PLC智能控制，人机界面显示操作，通过空气断路器、接触器、继电器等控制元件，根据辐射安全防护的特殊性、复杂性、冗余性。建立多输入多输出函数数学模型，设计控制软件和逻辑程序，实现多重连锁功能。具有兼容接口，能实现电频和通信协议的自动转换。利用PLC可编程技术，灵活实现了并口之间的自动切换，串并口的自动转换，并具有电平兼容能力，大大简化接口安装与调试。本项目11#曝光室联锁装置分别连接X射线探伤机、 γ 射线探伤机；本项目12#曝光室、13#曝光室和14#曝光室联锁装置分别连接电子直线加速器、X射线探伤机、 γ 射线探伤机。当收到急停按钮信号后，控制系统将触发所有探伤装置急停或回源，因探伤室内仅仅使用1台探伤装置，故将实现触发该台探伤机的急停或回源功能。探伤室辐射防护安全设施逻辑设计见图10-10、图10-11。



注：控制台每次仅插入单个控制钥匙进行开机，若插入多个控制钥匙，整套联锁控制不能运行，且不能开机或出源。

图 10-10 探伤室辐射防护安全设施逻辑设计示意图

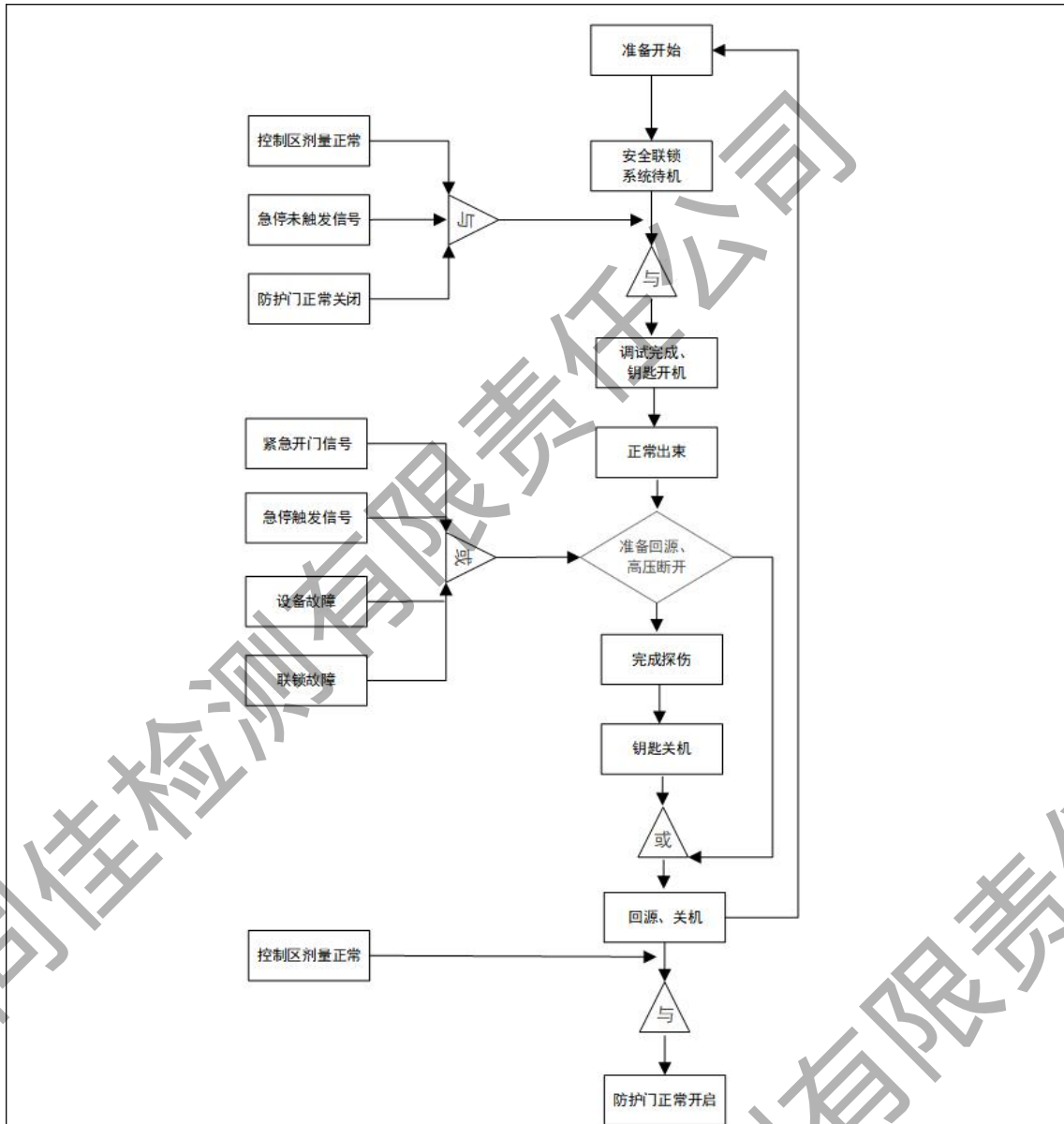


图 10-11 本项目探伤室安全联锁运行逻辑关系图

探伤室辐射安全防护设施，每个探伤机对应独立钥匙控制；该探伤室辐射安全防护设施运行逻辑可共用于 X 射线探伤机、电子直线加速器、 γ 射线探伤机。

在探伤作业时，若出现放射源卡源或脱落，曝光辐射剂量异常，人员通道门自锁（紧急事故开关也不能打开）。需在做好各项安全防护措施后，通过系统密码解锁“卡源开门”功能，可打开人员通道门。

急停开关（具备打开迷路门功能）通过 PLC 控制系统与各探伤设备并行连接，系统收到急停信号后，探伤机自动断高压、放射源自动回源。因探伤设备不存在同时作业情况，急停开关信号为单一路径。按下曝光室内急停开关，可立即打开迷路门，同时探伤机断高压，放射源自动回源。操作室按下急停开关，待探伤机

断高压、放射源自动回源，待辐射剂量正常后方打开迷路门。

门机联锁通过系统控制柜的并行线缆分别对应连接各种类型的探伤机，曝光室内不存在同时使用两种探伤设备的情况，所以曝光室内任意一种设备探伤时将自动连接门机、门剂联锁不需要人工转换。

(六) 辐射安全防护措施

(1) 两区控制：本项目划分了控制区和监督区，将曝光室（含迷路）实体墙作为本项目的辐射防护控制区边界，将曝光室外紧邻的操作室、暗室、晒片室、设备间等区域作为监督区。

(2) 警示标识：探伤室工件门和工作人员出入门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明。

(3) 定期维护：应定期对曝光室的防护门—机联锁装置、紧急停机按钮、出束信号指示灯等安全措施进行检查。

(4) 个人防护用品：辐射工作人员操作及进出曝光室时，需配戴个人剂量计、个人剂量报警仪及铅防护服等。

(5) 危废的暂存和处置：在开展探伤工作前，公司应与有危险废物处置资质单位签订废显（定）影液及废胶片的回收协议，且厂区内应设置专门存储危险废物的区域，其建设区域须满足“防风、防雨、防晒、防渗、防腐”等基本要求，地面须硬化处理，四周设围堰，并设危废标识，上锁由专人管理。同时，公司应建立危险废物管理台账，严格执行转移联单管理制度。

(6) 放射源“六防”措施：拟在4间曝光室内各设置1个贮源坑，每个贮源坑各设置2把钥匙，实行双人双锁，以确保探伤机和放射源的安全。探伤室还须设置24小时持续有效的视频监控系统，视频监控系统与值班室联网。曝光室内应设2个干粉灭火器。贮源室防护门及屏蔽墙体表面应设电离辐射警告标识，建设单位应认真做好防水、防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”工作。

表 10-3 曝光室“六防”措施一览表

措施类别	措施内容
防火	曝光室为钢筋混凝土结构，贮源坑四周为混凝土坑壁，采用钢板作为盖板；曝光室内拟安装烟雾报警装置，配备灭火器，不暂存易燃、易爆、腐蚀性物品，能够有效防火。

防水	曝光室在位于生产车间内，厂区内设有雨污分流设施，曝光室墙体四周和顶部均为钢筋混凝土，具有较好防水效果。
防盗、防丢失和防破坏	①曝光室墙体四周和顶部均为钢筋混凝土，并设有工件门和迷道门，场所内设置有无死角监控摄像头 24h 实时监控，公司专人值守； ②拟对贮源坑采用 5mm 钢板作为盖板，并且落实双人双锁和出入库台账管理。 ③贮源坑处于 24h 持续有效的视频监控范围内，录像保存时间在 30 天以上，并与值班室或门卫室联网；设置红外线报警装置，并与当地公安“110”联网，满足源库的“防盗、防破坏”要求。
防泄漏	①项目拟使用的 γ 放射源探伤机均购置于正规厂家，探伤机具有牢固的源容器，且在出厂前均进行了辐射剂量检测，满足剂量标准方可出厂； ②项目拟配备个人剂量报警仪和便携式辐射剂量率仪，可以对探伤机进行辐射剂量率水平监测； ③项目拟在曝光室设固定式辐射剂量报警仪，发现辐射剂量超过设定阈值，立即处理。

γ 射线探伤机及放射源的管理，还须满足：①明确 2 名以上工作人员专职负责放射源的保管工作；②探伤装置的安全使用期限为 10 年，禁止使用超过 10 年的探伤装置；③每个月对探伤装置的配件进行检查、维护，每 3 个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修，并做好记录。严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辨位置指示器等存在故障的探伤装置；④探伤作业时，至少有 2 名操作人员同时在场，每名操作人员应配备 1 台个人剂量报警仪和个人剂量计，个人剂量计应定期送交有资质的检测单位进行测量，并建立个人剂量档案；⑤每次探伤工作前，操作人员应检查探伤装置的安全锁、联锁装置、位置指示、输源管、驱动装置等性能；⑥探伤作业完成后，放射源贮存前，探伤人员对探伤装置进行目测检查，确保设备没有被损坏。采用便携式辐射剂量监测仪对探伤机表面进行检测，确认放射源回到源容器的屏蔽位置；⑦更换放射源时，探伤装置使用单位应向所在地省级生态环境主管部门提交《放射性同位素转让审批表》，申请转入放射源。

(7) 放射源换源工作必须由放射源生产单位进行，倒源时穿上专门的辐射防护服，并佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(8) 退役或不用的放射源 ^{192}Ir 、 ^{60}Co ，由放射源生产厂家回收处理，并委托有资质的单位运输，移交前应有详细的交接记录，档案长期保存。

(9) 公司须制定相关规章制度，禁止将 X、 γ 射线探伤机移出曝光室外作业。

(10) 本项目使用 8 枚 II 类放射源，风险等级及治安防范级别为二级，公司加强储源室和探伤室的安保措施，须满足：①设置保卫值班室，应 24 小时有专人

值守；②值班人员应认真履行岗位职责，及时制止非法侵入，严格执行交接班制度，并有记录；③曝光室内视频监控系统，应与值班室联网；④加强夜间和节假日巡逻，做好防盗和防破坏措施；⑤配备专人，对治安防范措施开展日常检查，及时发现、整改治安隐患，并保存检查、整改记录；⑥公司制定探伤室（放射源贮存场所）安全保卫制度，严防放射源损坏、丢失或恶意破坏等事件的发生。

四、辐射安全防护设施对照分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第 31 号）、《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》（生态环境部（国家核安全局））和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号）相关要求，将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-4。

表 10-4 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	是否符合
11#曝光室			
1	入口处电离辐射警示标志	拟在迷道门和工件门上醒目位置设置电离辐射警示标志	符合
2	入口处机器工作状态显示	拟在迷道门和工件门上方设置工作状态指示灯	符合
3	隔室操作	设置有曝光室一间，隔室操作	符合
4	迷道	设置有“Z”字型迷道	符合
5	防护门	设置有工件门和迷道门	符合
6	控制台有钥匙控制	控制台有钥匙开关	符合
7	门机联锁系统	设置有门机联锁系统	符合
8	照射室内监控设施	曝光室和迷道内设置有监控设施，并且无死角	符合
9	通风设施	拟设置	符合
10	照射室内紧急停机按钮	曝光室和迷道拟设置紧急停机按钮共9个	符合
11	控制台上紧急停机按钮	控制台上拟设置紧急停机按钮1个	符合
12	出口处紧急开门按钮	迷道出入口处拟设置紧急开门开关	符合
13	准备出束声光提示	工件门和迷道门处拟设	符合

			置准备出束声光提示	
14		固定式辐射剂量监测仪	拟在迷道内设置	符合
15	监测设备	便携式辐射剂量监测仪	已配备, 利旧	符合
16		个人剂量计	拟新增	符合
17		个人剂量报警仪	已配备, 利旧	符合
18	应急物资	灭火器	拟配备	符合
12#曝光室				
1	场所设施 (固定式)	入口处电离辐射警示标志	拟在迷道门和工件门上 醒目位置设置电离辐射 警示标志	符合
2		入口处机器工作状态显示	拟在迷道门和工件门上 方设置工作状态指示灯	符合
3		隔室操作	设置有曝光室一间, 隔室 操作	符合
4		迷道	设置有“Z”字型迷道	符合
5		防护门	设置有工件门和迷道门	符合
6		控制台有钥匙控制	控制台有钥匙开关	符合
7		门机联锁系统	设置有门机联锁系统	符合
8		照射室内监控设施	曝光室和迷道内设置有 监控设施, 并且无死角	符合
9		通风设施	拟设置	符合
10		照射室内紧急停机按钮	曝光室和迷道拟设置紧 急停机按钮共10个	符合
11		控制台上紧急停机按钮	控制台上拟设置紧急停 机按钮1个	符合
12		出口处紧急开门按钮	迷道出入口处拟设置紧 急开门开关	符合
13		准备出束声光提示	工件门和迷道门处拟设 置准备出束声光提示	符合
14		固定式辐射剂量监测仪	拟在迷道内设置	符合
15	监测设备	便携式辐射剂量监测仪	已配备, 利旧	符合
16		个人剂量计	拟新增	符合
17		个人剂量报警仪	已配备, 利旧	符合
18	应急物资	灭火器	拟配备	符合
13#曝光室				
1	场所设施 (固定式)	入口处电离辐射警示标志	拟在迷道门和工件门上 醒目位置设置电离辐射 警示标志	符合
2		入口处机器工作状态显示	拟在迷道门和工件门上 方设置工作状态指示灯	符合
3		隔室操作	设置有曝光室一间, 隔室 操作	符合
4		迷道	设置有“Z”字型迷道	符合

5		防护门	设置有工件门和迷道门	符合
6		控制台有钥匙控制	控制台有钥匙开关	符合
7		门机连锁系统	设置有门机连锁系统	符合
8		照射室内监控设施	曝光室和迷道内设置有监控设施，并且无死角	符合
9		通风设施	拟设置	符合
10		照射室内紧急停机按钮	曝光室和迷道拟设置紧急停机按钮共13个	符合
11		控制台上紧急停机按钮	控制台上拟设置紧急停机按钮1个	符合
12		出口处紧急开门按钮	迷道出入口处拟设置紧急开门开关	符合
13		准备出束声光提示	工件门和迷道门处拟设置准备出束声光提示	符合
14		固定式辐射剂量监测仪	拟在迷道内设置	符合
15	监测设备	便携式辐射剂量监测仪	已配备，利旧	符合
16		个人剂量计	拟新增	符合
17		个人剂量报警仪	已配备，利旧	符合
18	应急物资	灭火器	拟配备	符合
14#曝光室				
1	场所设施 (固定式)	入口处电离辐射警示标志	拟在迷道门和工件门上醒目位置设置电离辐射警示标志	符合
2		入口处机器工作状态显示	拟在迷道门和工件门上方设置工作状态指示灯	符合
3		隔室操作	设置有曝光室一间，隔室操作	符合
4		迷道	设置有“Z”字型迷道	符合
5		防护门	设置有工件门和迷道门	符合
6		控制台有钥匙控制	控制台有钥匙开关	符合
7		门机连锁系统	设置有门机连锁系统	符合
8		照射室内监控设施	曝光室和迷道内设置有监控设施，并且无死角	符合
9		通风设施	拟设置	符合
10		照射室内紧急停机按钮	曝光室和迷道拟设置紧急停机按钮共13个	符合
11		控制台上紧急停机按钮	控制台上拟设置紧急停机按钮1个	符合
12		出口处紧急开门按钮	迷道出入口处拟设置紧急开门开关	符合
13		准备出束声光提示	工件门和迷道门处拟设置准备出束声光提示	符合
14		固定式辐射剂量监测仪	拟在迷道内设置	符合

15		便携式辐射剂量监测仪	已配备, 利旧	符合
16	监测设备	个人剂量计	拟新增	符合
17		个人剂量报警仪	已配备, 利旧	符合
18	应急物资	灭火器	拟配备	符合

建设单位按照表 10-4 中提出的要求落实, 本项目辐射防护措施合理可行。

五、环保投资

为了保证本项目安全持续开展, 根据相关要求, 公司需要投入一定的资金来建设必要的环保设施, 配备相应的监测仪器和防护用品, 本项目环保投资估算见表 10-5。

表 10-5 环保设施及投资估算一览表

项目	设备设施	环保设施	数量	投资金额 (万元)
共用	实体防护	11#曝光室、12#曝光室、13#曝光室、14#曝光室	4 间	[REDACTED]
		防护门及安全驱动装置	8 套	
11#曝光室	场所设施	入口处工作状态指示灯箱	2 套	
		入口处电离辐射警示标志	2 套	
		通排风系统	1 套	
		视频监控系统	1 套 (4 个摄像头)	
		曝光室内紧急停机按钮	9 个	
		准备出束声光提示	3 套	
		出口处无人复位开关	1 个	
		控制区、监督区标识	1 套	
		固定式辐射剂量监测仪	1 套	
		紧急照明或独立通道照明系统	1 套	
		门灯联锁装置	2 套	
		危险废物贮存区域 (重点防渗处理)	1 处 (与 12#曝光室共用)	
		废定、显影液收集桶	各 1 个 (与 12#曝光室共用)	
		废胶片专用储存柜	1 个 (与 12#曝光室共用)	
监测设备		个人剂量计	4 套	
		个人剂量报警仪	2 套	
		便携式辐射剂量监测仪 (与原有核技术利用共用)	1 台	
其他		灭火器材	1 套	
		个人防护用品 (铅衣、铅帽、铅围脖等)	---	
		废显、定影液及废胶片处理	---	

		辐射安全与防护学习及考核	---		
安全联锁		控制台钥匙控制	1套		
		门机联锁装置、门灯联锁装置、门剂量联锁等	1套		
		急停开关联锁	1套		
		控制台紧急停机按钮	1套		
		控制台紧急回源按钮	1套		
	探伤机		源容器电离辐射标志（ γ 射线探伤机）	2个	
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2个		
		放射源编码卡（ γ 射线探伤机）	2个		
		安全锁和专用钥匙	2个		
		探伤装置外观无明显缺损	2个		
		放射源位置显示（ γ 射线探伤机）	2个		
应急物资		探伤装置生产日期（有效期10年）	2个		
		应急处理工具（如长柄夹具）	1套		
12#曝光室	场所设施	放射源应急屏蔽材料或容器（铅板等）	1套		
		入口处工作状态指示灯箱	2套		
		入口处电离辐射警示标志	2套		
		通排风系统	1套		
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	1套（4个摄像头）		
		曝光室内紧急停机按钮	10个		
		准备出束声光提示	3套		
		出口处无人复位开关	1个		
		控制区、监督区标识	1套		
		固定式辐射剂量监测仪	1套		
		紧急照明或独立通道照明系统	1套		
		门灯联锁装置	2套		
		危险废物贮存区域（重点防渗处理）	1处（与11#曝光室共用）		
		废定、显影液收集桶	各2个（与11#曝光室共用）		
		废胶片专用储存柜	1个（与11#曝光室共用）		
		监测设备		个人剂量计	4套
				个人剂量报警仪	2个
				便携式辐射剂量监测仪（与原有核技术利用共用）	1台
		其他		消防器材	1套
				个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	---
	废显、定影液及废胶片处理		---		
	辐射安全与防护学习及考核		---		
安全联锁	电子直线	防止非工作人员操作的锁定开关	1套		
		控制台紧急停机按钮	1套		

13#曝光室	加速器		
	192Ir、 ⁶⁰ Co γ射线探伤机、X射线探伤机	控制台紧急回源按钮	1套
		控制台钥匙控制	1套
		控制台紧急停机按钮	1套
	共用	门机联锁装置、门灯联锁装置、门剂量联锁等	1套
		急停开关联锁	1套
	探伤机	源容器电离辐射标志（γ射线探伤机）	2个
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2个
		放射源编码卡（γ射线探伤机）	2个
		安全锁和专用钥匙	2个
		探伤装置外观无明显缺损	2个
		放射源位置显示（γ射线探伤机）	2个
	应急物资	探伤装置生产日期（有效期10年）	2个
		应急处理工具（如长柄夹具）	1套
	场所设施	放射源应急屏蔽材料或容器（铅板等）	1套
		入口处工作状态指示灯箱	2套
		入口处电离辐射警示标志	2套
		通排风系统	1套
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	1套（6个摄像头）
		曝光室内紧急停机按钮	13个
		准备出束声光提示	3套
		出口处无人复位开关	1个
		控制区、监督区标识	1套
		固定式辐射剂量监测仪	1套
		紧急照明或独立通道照明系统	1套
		门灯联锁装置	2套
		危险废物贮存区域	1处（与14#曝光室共用）
废定、显影液收集桶		各1个（与14#曝光室共用）	
废胶片专用储存柜	1个（与14#曝光室共用）		
监测设备	个人剂量计	4套	
	个人剂量报警仪	2台	
	便携式辐射剂量监测仪（与原有核技术利用共	1台	

14#曝光室	其他	用)		
		消防器材	1套	
		个人防护用品(铅衣、铅帽、铅围脖等)	---	
		废显、定影液及废胶片处理	---	
	安全 连锁	电子 直线 加速 器	防止非工作人员操作的锁定开关	1套
			控制台紧急停机按钮	1套
		¹⁹² Ir、 ⁶⁰ Co γ射 线探 伤 机、 X射 线探 伤机	控制台紧急回源按钮	1套
			控制台钥匙控制	1套
		共用	控制台紧急停机按钮	1套
			门机连锁装置、门灯连锁装置、门剂量连锁等	1套
		探伤机	急停开关联锁	1套
			源容器电离辐射标志(γ射线探伤机)	2个
			探伤机表面金属铭牌文字和标记	2个
			放射源编码卡(γ射线探伤机)	2个
	安全锁和专用钥匙		2个	
	探伤装置外观无明显缺损		2个	
	放射源位置显示(γ射线探伤机)		2个	
	应急物资	探伤装置生产日期(有效期10年)	2个	
		应急处理工具(如长柄夹具)	1套	
		放射源应急屏蔽材料或容器(铅板等)	1套	
	场所设施	入口处工作状态指示灯箱	2套	
		入口处电离辐射警示标志	2套	
		通排风系统	1套	
		视频监控系统(接入保卫室和控制台)	1套(6个摄像头)	
		曝光室内紧急停机按钮	16个	
		准备出束声光提示	3套	
		出口处无人复位开关	1个	
控制区、监督区标识		1套		
固定式辐射剂量监测仪		1套		
紧急照明或独立通道照明系统		1套		
门灯连锁装置		2套		
危险废物贮存区域		1处(与13#曝光室共用)		

		废定、显影液收集桶	各 1 个(与 13# 曝光室共用)
		废胶片专用储存柜	1 个(与 13# 曝光室共用)
监测设备		个人剂量计	4 套
		个人剂量报警仪	2 台
		便携式辐射剂量监测仪(与原有核技术利用共用)	1 台
其他		灭火器材	1 套
		个人防护用品(铅衣、铅帽、铅围脖等)	---
		废显、定影液及废胶片处理	---
		辐射安全与防护学习及考核	---
安全联锁	电子直线加速器	防止非工作人员操作的锁定开关	1 套
	¹⁹² Ir、 ⁶⁰ Co γ 射线探伤机、X 射线探伤机	控制台紧急停机按钮	1 套
		控制台紧急回源按钮	1 套
		控制台钥匙控制	1 套
		控制台紧急停机按钮	1 套
	共用	门机联锁装置、门灯联锁装置、门剂量联锁等	1 套
	急停开关联锁	1 套	
探伤机		源容器电离辐射标志(γ 射线探伤机)	2 个
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2 个
		放射源编码卡(γ 射线探伤机)	2 个
		安全锁和专用钥匙	2 个
		探伤装置外观无明显缺损	2 个
		放射源位置显示(γ 射线探伤机)	2 个
		探伤装置生产日期(有效期 10 年)	2 个
应急物资		应急处理工具(如长柄夹具)	1 套
		放射源应急屏蔽材料或容器(铅板等)	1 套
合计			

本项目总投资 [] 万元，环保投资 [] 万元，占总投资的 [] %。今后公司在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合公司实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。公司应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、废气

本项目探伤装置在探伤过程中会产生有害气体臭氧，为防止臭氧在曝光室内使用不断累积导致室内臭氧浓度超标。在 11#曝光室西侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸 500mm×500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量 1500m³/h，换气次数约为 4 次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构；12#曝光室东侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸 500mm×500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量 3000m³/h，换气次数约为 3.5 次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构；13#曝光室南侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸 500mm×500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量 12000m³/h，换气次数约为 3.5 次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构；14#曝光室东侧设置了专用排风系统，排风系统采用地沟式设计，排风口（尺寸 500mm×500mm）设置于平板车轨道地沟内，并安装轴流风机（风量 14000m³/h，换气次数约为 3.5 次/h），排风管道沿墙面向上直通探伤室屋顶，顶部设有凸起式风井结构。4 间曝光室排风系统通风次数均不小于 3 次/h，且排风口高于探伤室，探伤室产生的臭氧和少量氮氧化物经自然分解和空气稀释后，对周围环境影响较小。

本项目产生的臭氧经过排风系统排入环境大气后，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级浓度限值中 1 小时均值 ≤0.2mg/m³，不会对环境空气造成明显影响。

二、废水

本项目产生的废水主要包括洗片废水和工作人员生活废水，其中洗片废水约 80m³/a，工作人员生活污水产生量约 20m³/a。本项目产生的废水经污水预处理设施处理后排入市政污水管网，通过市政污水管网进入什邡市城市生活污水处理厂处理。什邡市城市生活污水处理厂服务对象包含生活污水和工业废水，具备处理工业废水的能力。

三、固体废物

本项目产生的固体废物主要为生活垃圾、废放射源、废显影液、废定影液、废胶片。

1、生活垃圾

本项目工作人员产生的生活垃圾约 16kg/d, 依托厂区垃圾桶统一收集后由市政环卫部门统一清运。

2、废放射源

公司拟使用 4 枚 ^{60}Co 放射源、4 枚 ^{192}Ir 放射源, 放射源使用一定时间不能满足无损检测要求后, 将退役成为废放射源。根据建设单位提供资料和行业经验, ^{60}Co 放射源约 12 年更换一次、 ^{192}Ir 放射源约 3 个月更换一次。公司将按照国家废放射源处置的相关规定要求, 在购买放射源时与供源单位同时签订废放射源回收协议, 及时将产生的退役放射源返回生产厂家处理。

四、危险废物

废显影液、废定影液、废胶片

本项目每年产生的废显影液、废定影液各约 1000L, 均属于危险废物, 建设单位拟采用专用废液收集桶收集暂存在暗室废弃药水暂存槽贮存区域, 定期送交有回收处理资质的单位进行处置。本项目每年产生废胶片约 2500 张 (废片率按 5% 计算), 属于危险废物, 建设单位拟用纸质信封袋包装, 置于晒片室专用储存柜收集, 定期送交有回收处理资质的单位进行处置。本项目产生的危险废物暂存期最长不超过 1 年。对于危险废物管理, 主要采取如下措施要求:

(1) 所有收集的危废液应采用足够容量的专用容器进行收集, 并暂存于暗室废弃药水暂存槽贮存区域, 且收集容器具有防渗、防水和防腐蚀的效果, 并在收集容器外张贴危险废物标志。

(2) 危险废物收集容器四周修筑堵截的裙脚, 地面与裙脚所围建的容积不小于单个容器最大储存量, 且设置收集容器防倾倒措施。

(3) 危险废物贮存区域基础必须做防渗措施, 防渗层为至少 1m 厚的黏土层, 或 2mm 厚的高密度聚乙烯, 或至少 2mm 厚的其它人工材料; 晒片室贮存区域要防风、防雨、防晒, 地面应进行硬化, 并做好防渗处理。

(4) 建立危险废物产生、外运、处置及最终去向的详细台帐，由专人进行管理，同时建设单位应与具有相应危险废物处理资质的单位签订处理协议，并按照《危险废物转移联单管理办法》的要求做好危险废物转移联单填报登记工作。

(5) 危险废物贮存区域和危险废物收集桶必须按《危险废物识别标志设置技术规范（HJ 1276-2022）》、《环境保护图形标志—固体废物贮存（处置）场》（GB 15562.2-1995）修改单的规定设置危险废物标签（如图 10-12）。



a、危险废物暂存设施警告标志

b、粘贴于危险废物收集桶上的危险废物标签

图10-12 危险废物标志

五、射线装置报废和放射源退役处置

根据《四川省辐射污染防治条例》及《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)有关规定，射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。本项目生产使用的 X 射线管需要报废时，应将 X 射线的真空玻璃部件、陶瓷部件和灯丝等破碎损坏，使射线管无法通电运行。

对于 γ 射线探伤机内置放射源，建设单位将按照国家废旧放射源处置相关规定和要求，与供源单位签订废放射源回收协议，及时将退役的废放射源返回生产厂家处理。

表 11 环境影响分析

建设期环境影响分析

一、施工期

四川科新机电股份有限公司在备料车间内西南侧新建 1 座探伤室，包含 2 间曝光室（含迷路）及辅助用房，分别为 11#曝光室和 12#曝光室；在重型车间外东南侧新建 1 座探伤室，包含 2 间曝光室（含迷路）及辅助用房，分别为 13#曝光室和 14#曝光室。不新增其他用地，本次仅对探伤室施工期的环境影响进行评价。施工期将对探伤室所在区域进行场地平整，探伤室墙体采用混凝土连续浇筑，浇筑完成后对屏蔽墙体进行装修（如表面粉刷，喷涂，镶贴等），最后安装设备。施工期会产生施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾以及施工人员生活污水和生活垃圾等。施工期建设单位应采取以下环保措施：

1、大气污染环境影响分析

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是来自土方的挖掘扬尘及现场堆放扬尘；二是来自建筑材料包括白灰、水泥、沙子等搬运和搅拌扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。**采取措施：**

①工程建设期间，应在施工场地边界设置 1.8m 以上的围挡，围挡还应视地方而适当增加，围挡底端设置防溢座，顶端内设置喷雾降尘。

②工程建设期间，其所使用的具有粉尘逸散性的工程材料，砂石、土方或废弃物，应当密闭处理。若在工地内堆置，则应采取覆盖防尘布、覆盖防尘网、配合定期喷洒粉尘抑制剂等措施，防止风蚀起尘。

③工程建设期间，施工工地内车行路径，应采取措施，防止机动车扬尘。

④工程建设期间，建设和施工单位应负责工地周边道路的保洁与清洗责任。本项目采取以上措施实施后，对大气环境影响较小。

2、声环境影响分析

为减小施工噪声对周围声环境的影响，需采取以下措施：

①施工单位要合理安排施工作业时间。施工作业特别是高噪声作业尽量安排在昼间进行。汽车晚间运输尽量用灯光示警，禁鸣喇叭。

②规范使用施工现场围挡，充分发挥其隔声降噪作用。

③施工设备尽量采用先进低噪声设备，对产生噪声的施工设备加强维护和维修工作。

④施工单位要加强对职工的教育，提高作业人员的环保意识，坚持科学组织、文明施工。

采取上述噪声防治措施，可最大程度缓解施工噪声对周围声环境的影响。

3、水环境影响分析

施工期废水主要生产废水及施工人员生活污水。生产废水经沉淀池沉淀后回用。生活污水经厂区既有厕所收集后排入市政污水管网，通过市政污水管网进入什邡市城市生活污水处理厂处理达标后，排入十二号支渠。

4、固体废物

施工期固体废物主要包括开挖土石方、施工人员生活垃圾和少量建筑垃圾。

开挖土石方：拟建场地基本为平地，本项目土方开挖量较小，不会产生多余弃方。

生活垃圾：施工期生活垃圾产生量较小，采用垃圾桶收集后由市政环卫部门统一清运。

建筑垃圾：本项目产生的建筑垃圾主要是一些包装袋、包装箱、碎木块、废水泥等。首先对其中可回收利用部分进行回收，不可回收的外运至指定的建筑垃圾堆放场。本项目施工期较短，施工量较小，对环境的影响不大，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

二、设备调试阶段

本项目探伤涉及到辐射安全防护设施和射线装置联锁的安装调试。由于电子直线加速器和X射线探伤机只有在无损检测过程中才会产生辐射，其产生的X射线随射线装置的开、关而产生和消失，曝光室内拟安装辐射安全联锁装置。根据《关于〈关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（原国家环境保护总局文件 环发[2007]8号）的要求：“探伤装置装源（包括更换放射源）应由放射源生产单位进行操作，并承担安全责任。生产、销售、使用探伤装置单位不得自行进行装源操作”，本项目γ射线探伤机内置放射源将由放射源生产单位定期更换，公司内部不涉及换源工作，期间换装放射源具体实施过程不会对公司辐射工作人

员产生辐射影响。因设备调试时间较短，且电子直线加速器、X射线探伤机和 γ 射线探伤机均位于曝光室内，因此，本项目设备调试阶段对辐射工作人员的影响较小。

运行期环境影响分析

一、辐射环境影响分析

本项目拟建 2 座探伤室（4 间曝光室），分别使用电子直线加速器、 γ 射线探伤机和 X 射线探伤机共计 35 台，根据前文分析，探伤室及探伤设备基本情况如下：

表 11-1 本项目探伤室及探伤设备

序号	探伤场所		各曝光室中的探伤设备		
			电子直线加速器	X 射线探伤机	γ 射线探伤机
1	备料车间 探伤室	11#曝光室	/	XXG3505C 周向 RX3505GC 周向 XXHA3005 周向 XXHA2505 周向 RX3505G 定向 XXG3005 定向	^{192}Ir : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ^{60}Co : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$
		12#曝光室	6MeV	XXG3505C 周向 RX3505GC 周向 XXHA3005 周向 XXHA2505 周向 RX3505G 定向 XXG3005 定向	^{192}Ir : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ^{60}Co : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$
2	重型车间 探伤室	13#曝光室	6MeV	XXG3505C 周向 RX3505GC 周向 XXHA3005 周向 XXHA2505 周向 RX3505G 定向 XXG3005 定向	^{192}Ir : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ^{60}Co : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$
		14#曝光室	9MeV	XXG3505C 周向 RX3505GC 周向 XXHA3005 周向 XXHA2505 周向 RX3505G 定向 XXG3005 定向	^{192}Ir : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ^{60}Co : $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$

本项目以上涉及探伤设备作业仅在本项目曝光室内，不存在室外或野外探伤，且曝光室内不存在两台及两台以上探伤设备同时运行的情况。根据前文描述各探伤装置在曝光室内移动范围，保守考虑射线装置与各屏蔽体外的距离。

(一) 对保护目标的辐射环境影响

1、关注点位设立

所有探伤室的曝光室建在地上一层，地下无建筑，故曝光室地下不作为关注点。4间曝光室内 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机有用线束可能照向曝光室各面墙体，因此对各面墙体均考虑有用线束影响。12#曝光室使用电子直线加速器探伤时，将东北侧墙体作为主射方向，其余方向为非主射方向；13#曝光室和 14#曝光室使用电子直线加速器探伤时，将西南侧墙体作为主射方向，其余方向为非主射方向。

由于本项目各曝光室使用设备不同，且主射束方向也有不同，因此本报告对各曝光室使用电子直线加速、X 射线探伤机探伤和 γ 射线探伤机的不同情形，列表展示靶点（放射源）与各关注点处的最近距离及需要考虑的射线类型，各关注点见图 11-1 至图 11-8，射线类型见表 11-2 至表 11-8。

表 11-2 11#曝光室使用 X 射线、 γ 射线探伤机靶点距离关注点处最近距离参数表

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
A1	11#曝光室	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	3	主射线	职业照射
B1		西北侧墙体外 30cm (过道)	3.2	主射线	公众照射
C1		工件门外 30cm	4.35	主射线	公众照射
D1		东北侧墙体外 30cm (过道)	3	主射线	公众照射
E1		东南侧墙体外 30cm (12#曝光室)	2.7	主射线	职业照射
F1		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G1		迷路门外 30cm	漏射: 5.1 散射: 3.5、1.7、2.1	漏射线、散射线	职业照射
H1		11#曝光室顶 30cm	4.5	主射线	公众照射
I1		西南侧墙体外 30cm	3.2	主射线	职业照射

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
(二楼暗室)					
表 11-3 12#曝光室使用 X 射线、γ 射线探伤机靶点距离关注点处最近距离参数表					
A2	12#曝光室	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	5.1	主射线	职业照射
B2		东南侧墙体外 30cm (过道)	3.3	主射线	公众照射
C2		工件门外 30cm	4.95	主射线	公众照射
D2		东北侧墙体外 30cm (过道)	4.3	主射线	职业照射
E2		西北侧墙体外 30cm (过道)	2.7	主射线	公众照射
F2		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G2		迷路门外 30cm	漏射: 6.8 散射: 5.7、1.6、2.1	漏射线、散射线	职业照射
H2		12#曝光室顶 30cm	7.45	主射线	公众照射
I2		西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	5.2	主射线	职业照射
J2		西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	7.6	主射线	公众照射
K2	东北侧 7.4 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬空)	8.7	主射线	公众照射	

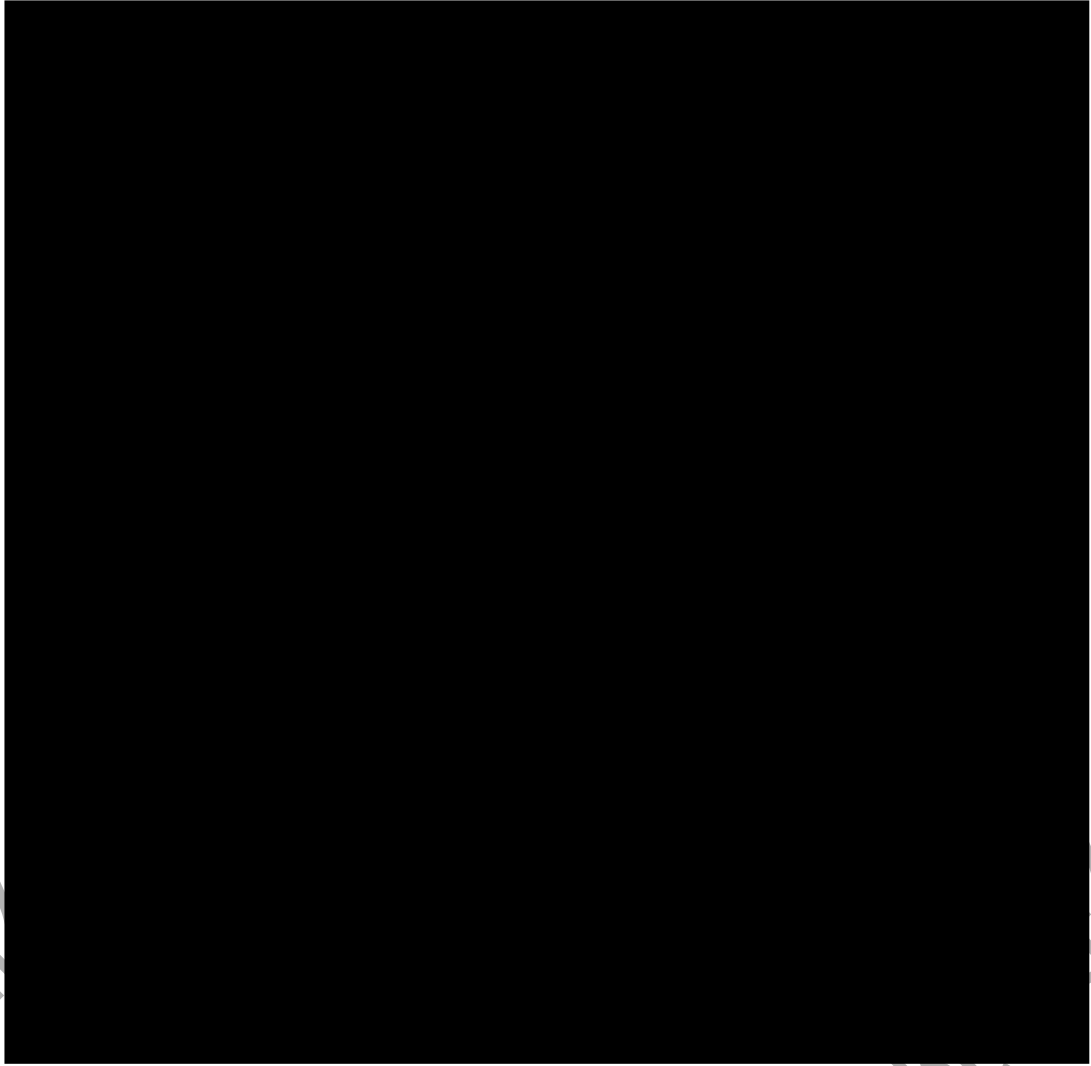


图 11-1 11#曝光室、12#曝光室关注点平面图（X 射线探伤机、 γ 射线探伤机）

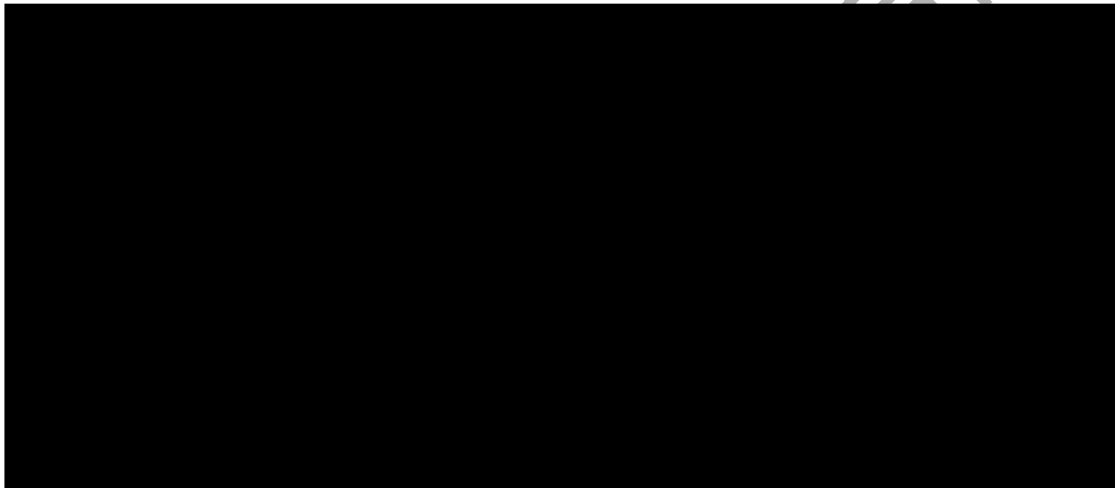


图 11-2 11#曝光室、12#曝光室关注点剖面图（X 射线探伤机、 γ 射线探伤机）

表 11-4 12#曝光室使用电子直线加速器靶点距离关注点处最近距离参数表

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
A2	12#曝光室	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	5.1	漏射线、散射线	职业照射
B2		东南侧墙体外 30cm (过道)	3.8	漏射线、散射线	公众照射
C2		工件门外 30cm	5.45	漏射线、散射线	公众照射
D2		东北侧墙体外 30cm (过道)	3.8	主射线	职业照射
E2		西北侧墙体外 30cm (过道)	3.7	漏射线、散射线	公众照射
F2		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G2		迷路门外 30cm	漏射: 6.8 散射: 5.7、1.6、2.1	漏射线、散射线	职业照射
H2		12#曝光室顶 30cm	6.645	漏射线、散射线	公众照射
I2		西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	5.1	漏射线、散射线	职业照射
J2		西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	6.7	漏射线、散射线	公众照射
K2		东北侧 7.4 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬空)	7.6	漏射线、散射线	公众照射

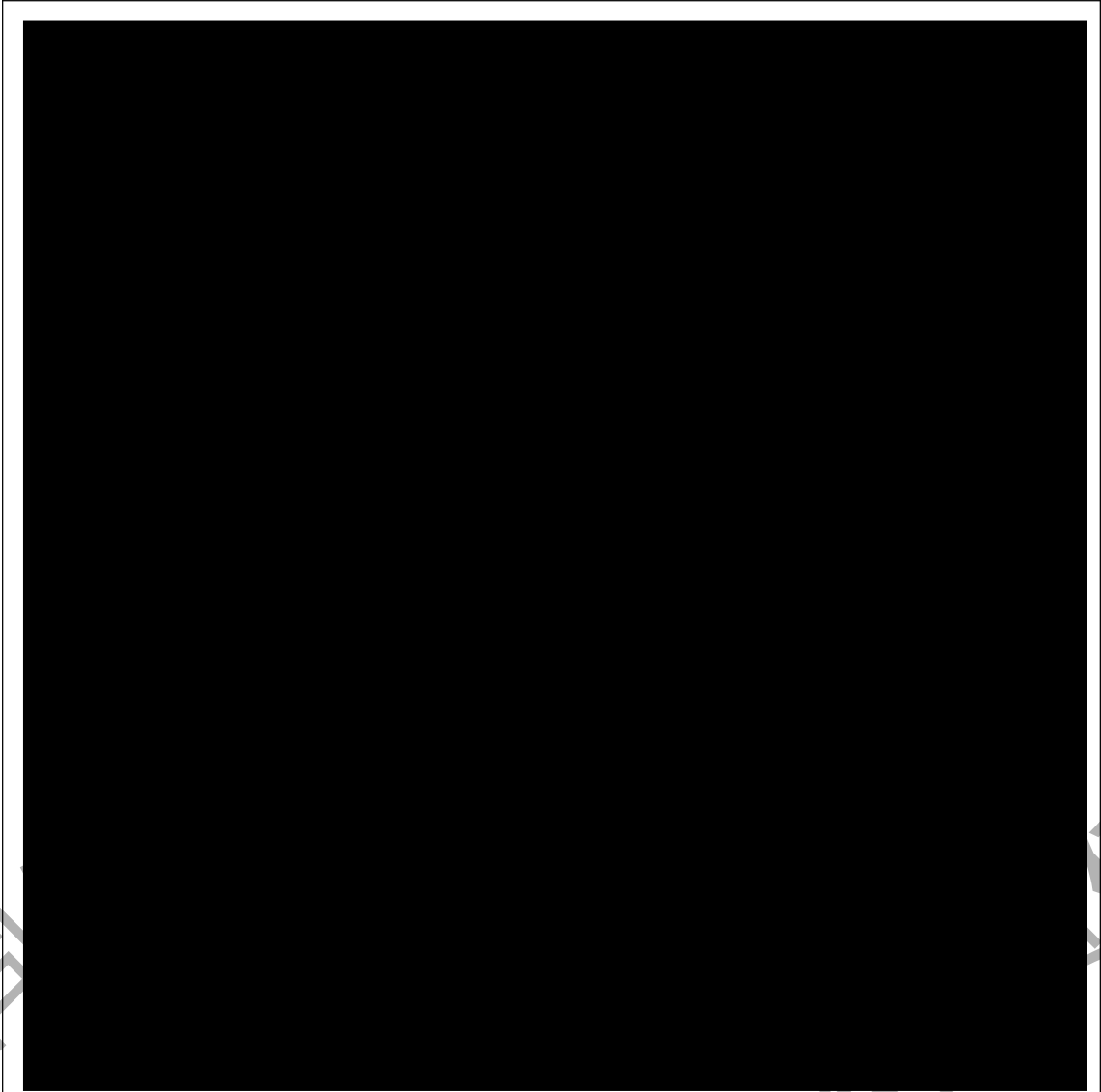


图 11-3 12#曝光室关注点平面图（电子直线加速器）

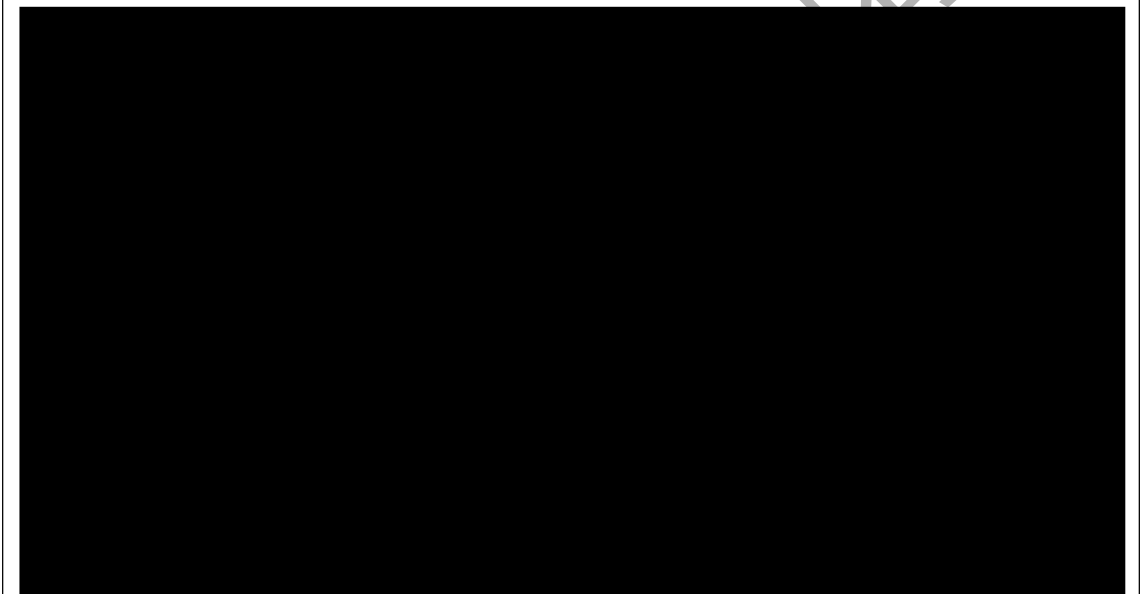


图 11-4 12#曝光室关注点剖面图（电子直线加速器）

表 11-5 13#曝光室使用 X 射线、γ 射线探伤机靶点距离关注点处最近距离参数表

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
A3	13#曝光室	东南侧墙体外 30cm (操作室)	3.1	主射线	职业照射
B3		东北侧墙体外 30cm (退火炉)	4.75	主射线	公众照射
C3		西北侧墙体外 30cm (过道)	3.3	主射线	公众照射
D3		工件门外 30cm	4.95	主射线	公众照射
E3		西南侧墙体外 30cm (14#曝光室)	4.2	主射线	职业照射
F3		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G3		迷路门外 30cm	漏射: 6.3 散射: 5.8、3.1、2.2	漏射线、散射线	职业照射
H3		13#曝光室顶 30cm	9.3	主射线	公众照射
I3		西南侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (14# 曝光室上空)	10.2	主射线	职业照射
J3		东北侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (退火 炉上空)	10.1	主射线	公众照射

表 11-6 14#曝光室使用 X 射线、γ 射线探伤机靶点距离关注点处最近距离参数表

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
A4	14#曝光室	东南侧墙体外 30cm (操作室)	3.3	主射线	职业照射
B4		东北侧墙体外 30cm (13#曝光室)	5.85	主射线	职业照射
C4		西北侧墙体外 30cm (过道)	4.2	主射线	公众照射
D4		工件门外 30cm	5.92	主射线	公众照射
E4		西南侧墙体外 30cm (退火炉)	4.3	主射线	公众照射
F4		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G4		迷路门外 30cm	漏射: 6.5 散射: 3.8、2.5、2.8	漏射线、散射线	职业照射
H4		14#曝光室顶 30cm	9.3	主射线	公众照射

I4	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退火炉上空)	10.9	主射线	公众照射
J4	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (13# 曝光室上空)	10	主射线	职业照射

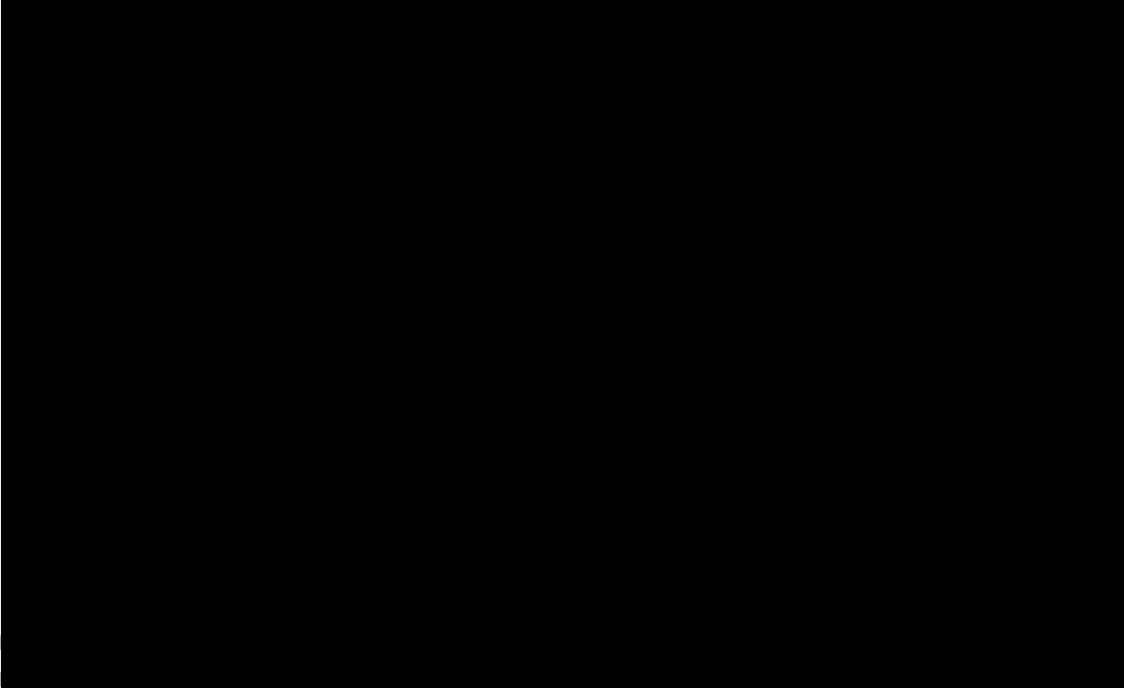


图 11-5 13#曝光室、14#曝光室关注点平面图 (X 射线探伤机、 γ 射线探伤机)

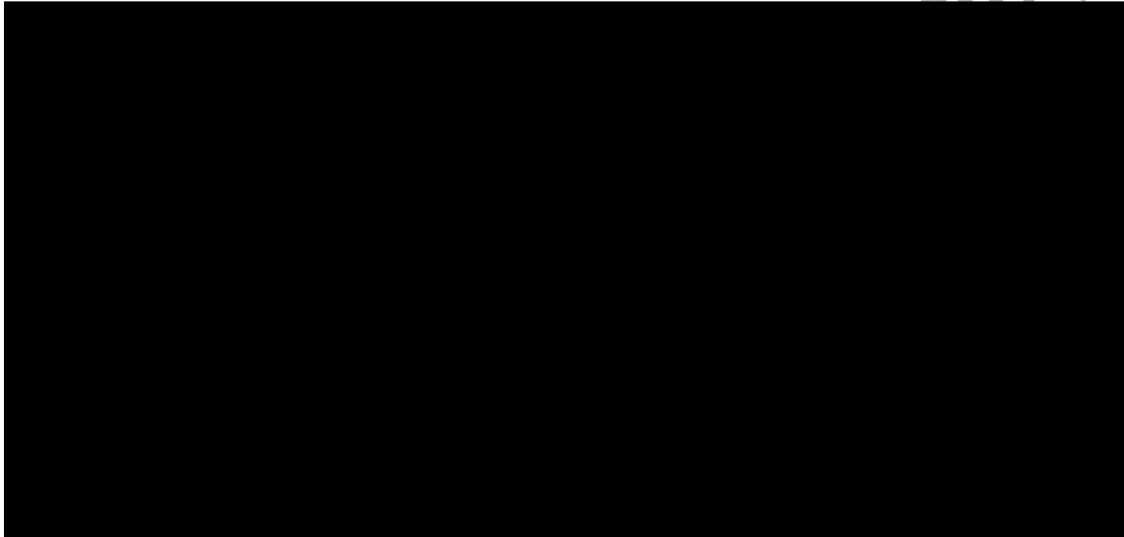


图 11-6 13#曝光室、14#曝光室剖面图 (X 射线探伤机、 γ 射线探伤机)

表 11-7 13#曝光室使用电子直线加速器靶点距离关注点处最近距离参数表

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
A3	13#曝光室	东南侧墙体外 30cm (操作室)	3.6	漏射线、散射线	职业照射
B3		东北侧墙体外 30cm (退火炉)	4.75	漏射线、散射线	公众照射
C3		西北侧墙体外 30cm (过道)	2	漏射线、散射线	公众照射
D3		工件门外 30cm	5.45	漏射线、散射线	公众照射
E3		西南侧墙体外 30cm (14#曝光室)	4.2	主射线	职业照射
F3		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G3		迷路门外 30cm	漏射: 6.3 散射: 5.8、3.1、2.2	漏射线、散射线	职业照射
H3		13#曝光室顶 30cm	7.45	漏射线、散射线	公众照射
I3		西南侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (14# 曝光室上空)	7.7	漏射线、散射线	职业照射
J3		东北侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (退火 炉上空)	7.7	漏射线、散射线	公众照射

表 11-8 14#曝光室使用电子直线加速器靶点距离关注点处最近距离参数表

序号	工作场所	关注点相对位置描述	屏蔽体外30cm处 最小距离 (m)	主要需屏蔽的辐射源	照射类型
A4	14#曝光室	东南侧墙体外 30cm (操作室)	4.8	漏射线、散射线	职业照射
B4		东北侧墙体外 30cm (13#曝光室)	5.85	漏射线、散射线	职业照射
C4		西北侧墙体外 30cm (过道)	5.1	漏射线、散射线	公众照射
D4		工件门外 30cm	6.92	漏射线、散射线	公众照射
E4		西南侧墙体外 30cm (退火炉)	4.3	主射线	公众照射
F4		迷路门内	/	漏射线、散射线	职业照射
G4		迷路门外 30cm	漏射: 7.8 散射: 5.3、2.5、2.8	漏射线、散射线	职业照射
H4		14#曝光室顶 30cm	7.815	漏射线、散射线	公众照射

I4	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退火炉上空)	8.9	漏射线、散射线	公众照射
J4	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (13#曝光室上空)	8	漏射线、散射线	职业照射

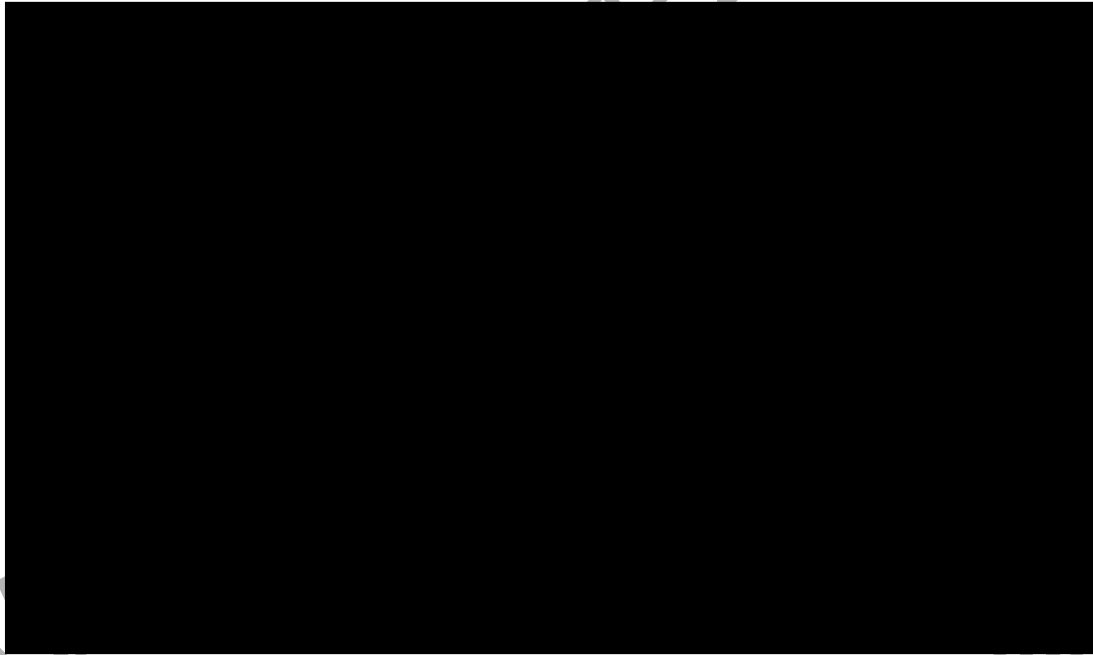


图 11-7 13#曝光室、14#曝光室关注点平面图 (电子直线加速器)

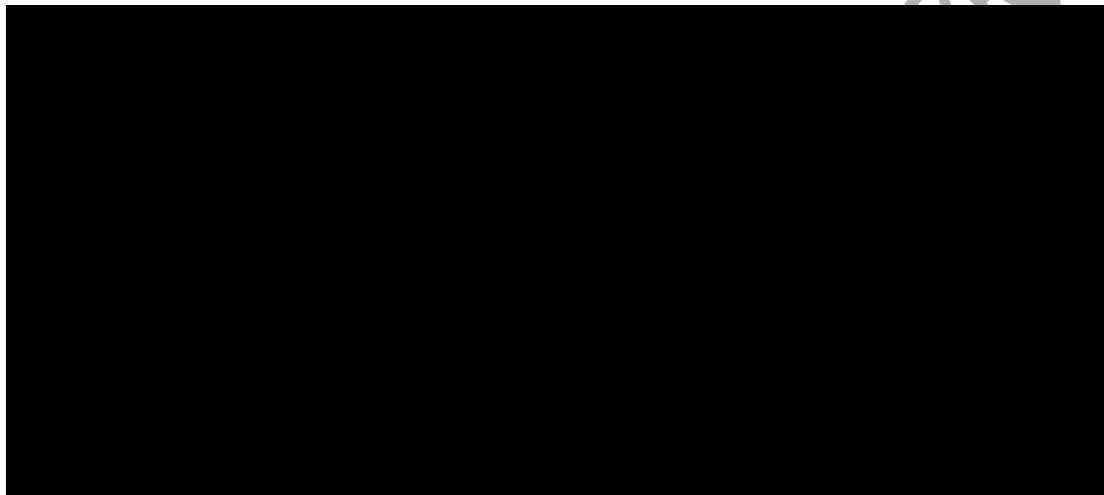


图 11-8 13#曝光室、14#曝光室剖面图 (电子直线加速器)

2、关注点控制剂量水平参数

(1) 11#曝光室墙体外各关注点剂量控制水平参数

建设单位拟在 11#曝光室内使用 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机, 总曝光时间

共计 1500h，则周工作时间为 30h。

根据上述要求，本项目各类型探伤装置在探伤时，各关注点处的控制剂量率保守通过下式进行保守预测：

$$\dot{H} = \dot{H}_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots(\text{式 11-1})$$

式中：

\dot{H} —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_c —周剂量参考控制水平，职业人员取 $100\mu\text{Sv/周}$ ，公众取 $5\mu\text{Sv/周}$ ；

μ —探伤装置向关注点照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —探伤装置周工作时间。

11#曝光室各墙面及屋顶参数选取及计算结果见表 11-9。

表 11-9 11#曝光室关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

序号	关注点	受照类型	周剂量参考控制水平($\mu\text{Sv/周}$)	使用因子	居留因子	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点的最高剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv/h}$)
A1	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	职业	100	1	1	3.33	2.5	2.5
B1	西北侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.83	2.5	0.83
C1	工件门外 30cm	公众	5	1	1/5	0.83	2.5	0.83
D1	东北侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.83	2.5	0.83
E1	东南侧墙体外 30cm (12#曝光室)	职业	100	1	1/4	13.33	2.5	2.5
F1	迷路门内	/	/	/	/	/	/	/
G1	迷路门外 30cm	职业	100	1	1	3.33	2.5	2.5
H1	11#曝光室顶 30cm	公众	5	1	/	10	100	10

注：11#曝光室顶棚及其立体角范围内，无其他建筑物，故 H1 点保守取屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 12#曝光室墙体外各关注点剂量控制水平参数

根据公式 11-1，本项目 12#曝光室探伤装置在探伤时，总曝光时间总计 1540h，则周工作时间为 30.8h，各关注点处的控制剂量率如表 11-10。

表 11-10 12#曝光室关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

序号	关注点	受照类型	周剂量参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	使用因子	居留因子	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注点的最高剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A2	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	职业	100	1	1	3.25	2.5	2.5
B2	东南侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.81	2.5	0.81
C2	工件门外 30cm	公众	5	1	1/5	0.81	2.5	0.81
D2	东北侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.81	2.5	0.81
E2	西北侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.81	2.5	0.81
F2	迷路门内	/	/	/	/	/	/	/
G2	迷路门外 30cm	职业	100	1	1	3.25	2.5	2.5
H2	12#曝光室顶 30cm	公众	5	1	/	10	100	10
I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	职业	100	1	1/4	12.99	2.5	2.5
J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	公众	5	1	1/16	2.60	2.5	2.5
K2	东北侧 7.4 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬空)	公众	5	1	1/16	2.60	2.5	2.5

注：12#曝光室顶棚及其立体角范围内，无其他建筑物，故 H2 点保守取屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(3) 13#曝光室墙体外各关注点剂量控制水平参数

根据公式 11-1，本项目 13#曝光室探伤装置在探伤时，总曝光时间总计 1540h，则周工作时间为 30.8h，各关注点处的控制剂量率如表 11-11。

表 11-11 13#曝光室关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

序号	关注点	受照类型	周剂量参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	使用因子	居留因子	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注点的最高剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A3	东南侧墙体外 30cm (操作室)	职业	100	1	1	3.25	2.5	2.5
B3	东北侧墙体外 30cm (退火炉)	公众	5	1	1/8	1.30	2.5	1.3
C3	西北侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.81	2.5	0.81
D3	工件门外 30cm	公众	5	1	1/5	0.81	2.5	0.81
E3	西南侧墙体外 30cm (14#曝光室)	职业	100	1	1/4	12.99	2.5	2.5

F3	迷路门内	/	/	/	/	/	/	/
G3	迷路门外 30cm	职业	100	1	1	3.25	2.5	2.5
H3	13#曝光室顶 30cm	公众	5	1	1/16	2.60	2.5	2.5
I3	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (14#曝光室上空)	职业	100	1	1/16	51.95	2.5	2.5
J3	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm(退火炉上空)	公众	5	1	1/16	2.60	2.5	2.5

注：13#曝光室顶棚及其立体角范围内，有其他建筑物，故 H3 点取 2.5 μ Sv/h 作为最高剂量率参考控制水平。

(4) 14#曝光室墙体外各关注点剂量控制水平参数

根据公式 11-1，本项目 14#曝光室探伤装置在探伤时，总曝光时间总计 1740h，则周工作时间为 34.8h，各关注点处的控制剂量率如表 11-12。

表 11-12 14#曝光室关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

序号	关注点	受照类型	周剂量参考控制水平(μ Sv/周)	使用因子	居留因子	\dot{H} (μ Sv/h)	关注点的最高剂量率参考控制水平(μ Sv/h)	剂量率参考控制水平(μ Sv/h)
A4	东南侧墙体外 30cm (操作室)	职业	100	1	1	2.87	2.5	2.5
B4	东北侧墙体外 30cm (13#曝光室)	职业	100	1	1	2.87	2.5	2.5
C4	西北侧墙体外 30cm (过道)	公众	5	1	1/5	0.72	2.5	0.72
D4	工件门外 30cm	公众	5	1	1/5	0.72	2.5	0.72
E4	西南侧墙体外 30cm (退火炉)	公众	5	1	1/8	1.15	2.5	1.15
F4	迷路门内	/	/	/	/	/	/	/
G4	迷路门外 30cm	职业	100	1	1	2.87	2.5	2.5
H4	14#曝光室顶 30cm	公众	5	1	1/16	2.30	2.5	2.3
I4	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm(退火炉上空)	公众	5	1	1/16	2.30	2.5	2.3
J4	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (13#曝光室上空)	职业	100	1	1/16	45.98	2.5	2.5

注：14#曝光室顶棚及其立体角范围内，有其他建筑物，故 H4 点取 2.5 μ Sv/h 作为最高剂量率参考控制水平。

3、X 射线探伤机探伤时各探伤室关注点辐射剂量预测分析

本项目各探伤室均会使用X射线探伤机，最大管电压和最大管电流分别是

350kV、5mA，故本项目按350kV，5mA保守分析各探伤室使用X射线探伤机时辐射剂量。

有用线束辐射剂量计算，根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），由式（11-2）、（11-3）计算。

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

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

式中： \dot{H} —— 剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —— 辐射源至关注点的距离，取 m；

I —— 最大管电流，取 5mA；

H_0 —— 距辐射源点（靶点）1m 处输出量，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZT250-2014）表 B.1，本项目保守估算采用管电压为 350kV 的探伤机计算。参照 400kV 探伤机靶过滤参数为 3mm 铜， H_0 保守取值 $23.5\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $1.41\times 10^6\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

TVL —— 屏蔽物的什值层；管电压 350kV 的探伤机 X 射线束在混凝土的什值层取值 100mm，铅中保守取值 6.95mm；可在《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.2 中查得；

漏射线辐射剂量用式（11-4）和式（11-5）计算

$$H = \frac{B \cdot H_L}{R^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-4})$$

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

式中： H_L —— 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希伏每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），当管电压 $\geq 200\text{kV}$ 时距靶点 1m 处 X 射线管组装体的漏射辐射剂量率取值为 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ ；查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1 中可得；

散射线辐射剂量由式（11-6）核算，屏蔽透射因子由式（11-7）计算。

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B \cdot F \cdot a}{R_s^2 \cdot R_0^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-6})$$

$$B = 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-7})$$

式中：H—关注点散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s —散射体至关注点的距离，m；

R_0 —靶点至探伤工件的距离，取0.5m；

I—最大管电流，取5mA；

X—屏蔽体厚度，mm；

B—屏蔽透射因子。由GBZ/T250-2014中的要求，在给定屏蔽物质厚度X时，相应的屏蔽透射因子B，按表2查出原始X射线电压值介于300kV与400kV之间，X射线90°散射辐射电压取值为250kV；

TVL—查附录表B.2查出，探伤机散射辐射管电压取250kV，铅什值层厚度2.9mm；混凝土铅什值层厚度90mm；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m处输出量；

F— R_0 处的辐射野面积，取第一个迷道截面积；

α —散射因子可保守取值为 $\alpha_w \cdot 10000/400$ ， α_w 保守取 1.9×10^{-3} ，则 α 取值0.0475，见GBZ/T250-2014附录B中表B.3。

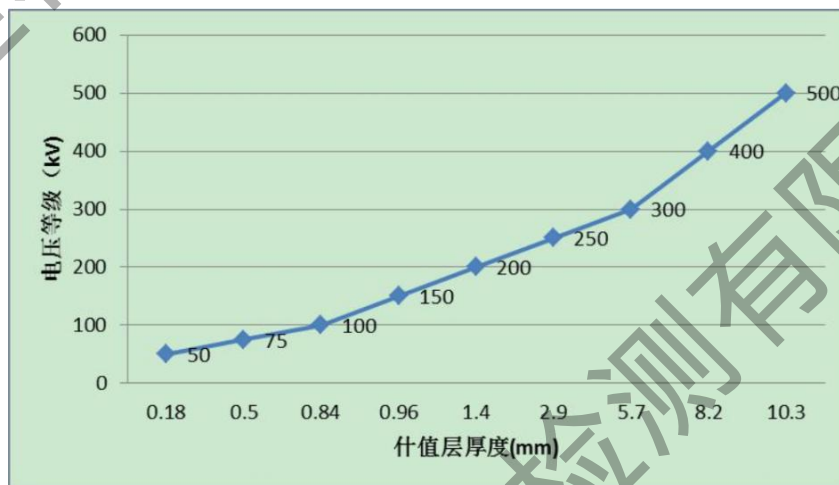


图11-9 不同电压X射线在铅中的什值层厚度相对关系

通过图11-9可知，X射线探伤机在电压介于300kV~400kV之间，其对应的X射线在铅中的什值层厚度大致呈线性关系，因此使用内插法计算出电压为350kV的X射线在铅中的什值层TVL厚度约为6.95mm，在混凝土中的什值层TVL厚度约为100mm。

3.1 11#曝光室使用X射线探伤机探伤时，曝光室墙体外各关注点辐射剂量

根据公式 11-2~11-7 预测 11#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果，年受照时间按 6 台 X 射线探伤机年总曝光时间 500h 计算，结果见表 11-12。

表 11-13 11#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果

序号	关注点位置	屏蔽体材质及厚度	距靶点1m处输出量 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	屏蔽体的什值层厚度 (mm)	靶点至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年受照射剂量 (mSv/a)	受照类型
A1	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	1200m m 混凝土	1.41E+06	100	3 (主束)	1.00E-12	7.83E-07	1	3.92E-07	职业
B1	西北侧墙体外 30cm (过道)	1200m m 混凝土	1.41E+06	100	3.2 (主束)	1.00E-12	6.88E-07	1/5	6.88E-08	公众
C1	工件门外 30cm	1200m m 混凝土	1.41E+06	100	4.35 (主束)	1.00E-12	3.73E-07	1/5	3.73E-08	公众
D1	东北侧墙体外 30cm (过道)	1200m m 混凝土	1.41E+06	100	3 (主束)	1.00E-12	7.83E-07	1/5	7.83E-08	公众
E1	东南侧墙体外 30cm (12#曝光室)	1400m m 混凝土	1.41E+06	100	2.7 (主束)	1.00E-14	9.67E-09	1/4	1.21E-09	职业
G1	迷路门外 30cm	20mm 铅板	5000	6.95	5.1 (漏射)	1.33E-03	2.28E-01	1	1.14E-01	职业
			1.41E+06	2.9	3.5、1.7、2.1 (散射)	1.27E-07	4.62E-04	1	2.31E-04	
H1	11#曝光室顶 30cm	1000m m 混凝土	1.41E+06	100	4.5 (主束)	1.00E-10	3.48E-05 <10		/	
I1	西南侧墙体外 30cm (二楼暗室)	1200m m 混凝土	1.41E+06	100	3.2 (主束)	1.00E-12	6.88E-07		8.60E-08	

由上表可知，在本项目11#曝光室内使用X射线进行探伤时，曝光室外各关注点处辐射剂量率最大为2.28E-01 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，没有人员到达的探伤室顶外30cm处参考控制水平100 $\mu\text{Sv/h}$ ”的规定，也满足本次评价确定的各关注点处辐射剂量率参考控制水平。

3.2 12#曝光室使用X射线探伤机探伤时，曝光室墙体外各关注点辐射剂量

根据公式 11-2~11-7 预测 12#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果，

年受照时间按 6 台 X 射线探伤机年总曝光时间 640h 计算，结果见表 11-14。

表 11-14 12#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果

序号	关注点位置	屏蔽体材质及厚度	距靶点1m处输出量 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	屏蔽体的什值层厚度 (mm)	靶点至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年受照射剂量 (mSv/a)	受照类型
A2	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	1400m m 混凝土	1.41E+06	100	5.1 (主束)	1.00E-14	2.71E-09	1	1.73E-09	职业
B2	东南侧墙体外 30cm (过道)	1400m m 混凝土	1.41E+06	100	3.3 (主束)	1.00E-14	6.47E-09	1/5	8.28E-10	公众
C2	工件门外 30cm	1600m m 混凝土	1.41E+06	100	4.95 (主束)	1.00E-16	2.88E-11	1/5	3.69E-12	公众
D2	东北侧墙体外 30cm (过道)	2500m m 混凝土	1.41E+06	100	4.3 (主束)	1.00E-25	3.81E-20	1/5	4.88E-21	公众
E2	西北侧墙体外 30cm (过道)	1400m m 混凝土	1.41E+06	100	2.7 (主束)	1.00E-14	9.67E-09	1/5	1.24E-09	职业
G2	迷路门外 30cm	20mm 铅板	5000	6.95	6.8 (漏射)	1.33E-03	1.44E-01	1	9.22E-02	职业
			1.41E+06	2.9	5.7、1.6、2.1 (散射)	1.27E-07	1.84E-04	1	1.18E-04	
H2	12#曝光室顶 30cm	1000m m 混凝土	1.41E+06	100	7.45 (主束)	1.00E-10	1.27E-05 <10		/	
I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	1400m m 混凝土	1.41E+06	100	5.2 (主束)	1.00E-14	2.61E-09	1/4	4.18E-10	职业
J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	1000m m 混凝土	1.41E+06	100	7.6 (主束)	1.00E-10	1.22E-05	1/16	4.88E-07	公众
K2	东北侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬空)	1700m m 混凝土	1.41E+06	100	8.7 (主束)	1.00E-17	9.31E-13	1/16	3.72E-14	公众

由上表可知，在本项目12#曝光室内使用X射线进行探伤时，曝光室外各关注点处辐射剂量率最大为1.44E-01 μ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5 μ Sv/h，没有人员到达的探伤室顶外30cm处参考控制水平100 μ Sv/h”的规定，也满足本次评价确定的各关注点处辐射剂量率参考控制水平。

3.3 13#曝光室使用X射线探伤机探伤时，曝光室墙体各关注点辐射剂量

根据公式 11-2~11-7 预测 13#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果，年受照时间按 6 台 X 射线探伤机年总曝光时间 640h 计算，结果见表 11-15。

表 11-15 13#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果

序号	关注点位置	屏蔽体材质及厚度	距靶点1m处 输出量 μ Gy·m ² /(mA·h)	屏蔽体的 半值 层厚度 (mm)	靶点至 关注点 的距离 (m)	屏蔽透 射因子	辐射剂量 率 (μ Sv/h)	居留 因子	年受照射 剂量 (mSv/a)	受照 类型
A3	东南侧墙体 外 30cm (操 作室)	1300m m 混凝 土	1.41E+06	100	3.1 (主 束)	1.00E-13	7.34E-08	1	4.70E-08	职业
B3	东北侧墙体 外 30cm (退 火炉)	1400m m 混凝 土	1.41E+06	100	4.75 (主 束)	1.00E-14	3.12E-09	1/8	2.50E-10	公众
C3	西北侧墙体 外 30cm (过 道)	1400m m 混凝 土	1.41E+06	100	3.3 (主 束)	1.00E-14	6.47E-09	1/5	8.28E-10	公众
D3	工件门外 30cm	1600m m 混凝 土	1.41E+06	100	4.95 (主 束)	1.00E-16	2.88E-11	1/5	3.69E-12	公众
E3	西南侧墙体 外 30cm (14#曝光 室)	2400m m 混凝 土	1.41E+06	100	4.2 (主 束)	1.00E-24	4.00E-19	1/4	6.40E-20	职业
G3	迷路门外 30cm	20mm 铅板	5000	6.95	6.3 (漏 射)	1.33E-03	1.68E-01	1	1.08E-01	职业
			1.41E+06	2.9	5.8、 3.1、2.2 (散 射)	1.27E-07	9.36E-05	1	5.99E-05	
H3	13#曝光室 顶 30cm	1000m m 混凝 土	1.41E+06	100	9.3 (主 束)	1.00E-10	8.15E-06	1/16	3.26E-07	公众
I3	西南侧 9m 以上 12m 以	1200m m 混凝	1.41E+06	100	10.2 (主 束)	1.00E-12	6.78E-08	1/16	2.71E-09	职业

	下墙体外 30cm (14# 曝光室上 空)	土								
J3	东北侧 9m 以上 12m 以 下墙体外 30cm (退火 炉上空)	1000m m 混凝 土	1.41E+06	100	10.1 (主 束)	1.00E-10	6.91E-06	1/16	2.76E-07	公众

由上表可知, 在本项目13#曝光室内使用X射线进行探伤时, 曝光室外各关注点处辐射剂量率最大为 $1.68E-01\mu\text{Sv/h}$, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中“屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 没有人员到达的探伤室顶外30cm处参考控制水平 $100\mu\text{Sv/h}$ ”的规定, 也满足本次评价确定的各关注点处辐射剂量率参考控制水平。

3.4 14#曝光室使用X射线探伤机探伤时, 曝光室墙体各关注点辐射剂量

根据公式 11-2~11-7 预测 14#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果, 年受照时间按 6 台 X 射线探伤机年总曝光时间 540h 计算, 结果见表 11-16。

表 11-16 14#曝光室各关注点辐射剂量预测参数及预测结果

序号	关注点位置	屏蔽体 材质及 厚度	距靶点1m处 输出量 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	屏蔽体 的什值 层厚度 (mm)	靶点至 关注点 的距离 (m)	屏蔽透 射因子	辐射剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年受照射 剂量 (mSv/a)	受照 类型
A4	东南侧墙体 外 30cm (操 作室)	2000m m 混凝 土	1.41E+06	100	3.3 (主 束)	1.00E-20	6.47E-15	1	3.49E-15	职业
B4	东北侧墙体 外 30cm (13#曝光 室)	2400m m 混凝 土	1.41E+06	100	5.85 (主 束)	1.00E-24	2.06E-19	1/4	2.78E-20	公众
C4	西北侧墙体 外 30cm (过 道)	2000m m 混凝 土	1.41E+06	100	4.2 (主 束)	1.00E-20	4.00E-15	1/5	4.32E-16	公众
D4	工件门外 30cm	2000m m 混凝 土	1.41E+06	100	5.92 (主 束)	1.00E-20	2.01E-15	1/5	2.17E-16	公众
E4	西南侧墙体 外 30cm (退 火炉)	2500m m 混凝 土	1.41E+06	100	4.3 (主 束)	1.00E-25	3.81E-20	1/8	2.57E-21	职业
G4	迷路门外 30cm	20mm 铅板	5000	6.95	6.5 (漏 射)	1.33E-03	1.57E-01	1	8.48E-02	职业

			1.41E+06	2.9	3.8、 2.5、2.8 (散 射)	1.27E-07	2.18E-04	1	1.18E-04	
H4	14#曝光室 顶 30cm	1200m m 混凝 土	1.41E+06	100	9.3 (主 束)	1.00E-12	8.15E-08	1/16	2.75E-09	公众
I4	西南侧 9m 以上 12m 以 下墙体外 30cm (退火 炉上空)	1900m m 混凝 土	1.41E+06	100	10.9 (主 束)	1.00E-19	5.93E-15	1/16	2.00E-16	职业
J4	东北侧 9m 以上 12m 以 下墙体外 30cm (13# 曝光室上 空)	1200m m 混凝 土	1.41E+06	100	10 (主 束)	1.00E-12	7.05E-08	1/16	2.38E-09	公众

由上表可知，在本项目14#曝光室内使用X射线进行探伤时，曝光室外各关注点处辐射剂量率最大为 $1.57E-01\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的规定，也满足本次评价确定的各关注点处辐射剂量率参考控制水平。

4、 γ 射线探伤机探伤时各探伤室屏蔽墙体外关注点处辐射剂量分析

4.1 γ 射线探伤机未探伤时辐射环境影响

当 γ 射线探伤机存放在探伤室储源室内，未开展探伤作业时，放射源处于 γ 射线探伤机源容器内。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）和《 γ 射线探伤机》（GB/T 14058-2008），本项目拟使用的 ^{192}Ir - γ 射线探伤机属于便携式 γ 射线探伤机（P类），容器外表面0.05m处周围当量剂量率极限值 $K\leq 0.5\text{mSv/h}$ ，容器外表面1m处周围当量剂量率极限值 $K\leq 0.02\text{mSv/h}$ ； ^{60}Co - γ 射线探伤机属于便携式 γ 射线探伤机（M类），容器外表面0.05m处周围当量剂量率极限值 $K\leq 1\text{mSv/h}$ ，容器外表面1m处周围当量剂量率极限值 $K\leq 0.05\text{mSv/h}$ 。

1) 无屏蔽防护时 γ 射线探伤机源容器外关注点处剂量率

根据而辐射剂量率与距离平方成反比的规律，可计算得出距离探伤机不同位置处的辐射水平。

$$\dot{K} = R_0^2 \cdot K / R_I^2 \dots\dots\dots (式11-8)$$

式中：

\dot{K} —距探伤机表面 R_I m 处的辐射剂量率，mSv/h；

K —距离探伤机表面 0.05m 处的辐射剂量率， ^{192}Ir - γ 射线探伤机 0.5mSv/h、 ^{60}Co - γ 射线探伤机 1mSv/h；

R_0 —源容器表面外 1m；

R_I —关注点与容器表面的距离，m。

表 11-17 距 γ 射线探伤机源容器表面不同距离处的辐射剂量率估算结果

关注点与容器表面的距离 (m)	0.05	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
^{192}Ir - γ 射线探伤机表面辐射剂量率 (mSv/h)	5.00E-01	3.13E-02	5.00E-03	1.25E-03	3.13E-04	1.39E-04	7.81E-05	5.00E-05
^{60}Co - γ 射线探伤机表面辐射剂量率 (mSv/h)	1.00E+00	6.25E-02	1.00E-02	2.50E-03	6.25E-04	2.78E-04	1.56E-04	1.00E-04

通过上表计算数据可以看出， γ 射线探伤机未工作时，工作人员在曝光室内使用移动探伤机或进行其他活动的过程中将受到一定的外照射。因此，实际工作过程中，工作人员应注意控制与 γ 射线探伤机接触时间，在曝光室内使用进行工件调运、摆位、胶片张贴取等活动时，应注意与 γ 射线探伤机和贮源柜保持一定的距离。

2) γ 射线探伤机暂存时对周围保护目标的环境影响

建设单位拟在各探伤室曝光室内设置贮源坑，用于存放 ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 ^{60}Co - γ 射线探伤机，贮源坑尺寸均为 900mm（长） \times 1500mm（宽） \times 1500mm（深），顶部设置 1 个 5mm 厚的碳钢盖板，并用双锁进行控制。不使用 ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 ^{60}Co - γ 射线探伤机时， γ 射线探伤机处于贮源坑内、放射源位于 γ 射线探伤机源容器内。常见便携式 γ 射线探伤机尺寸一般为 600mm（长） \times 500mm（宽） \times 350mm（高）。因此，在 γ 射线探伤机处于贮源坑内时，主要影响为曝光室外的公众和曝光室内辅助操作的辐射工作人员。本项目探伤室四周墙体厚度均为 1200~2500mm 厚混凝土，源容器表面的 γ 射线经过至少 10 个半值层厚度衰减后，贮源坑内存放的 γ 射线探伤机对曝光室外公众的影响可忽略不计。因此，在 γ

射线探伤机位于贮源坑时，受到到地面的屏蔽，主要影响为贮源坑正上方曝光室内辅助操作的辐射工作人员。

本项目贮源坑均位于曝光室内角落，本次预测偏保守考虑， γ 射线探伤机源容器外表面距离辅助操作的辐射工作人员最近距离约 2m，不考虑大地屏蔽的情况下，在曝光室内辅助操作的工作人员受到的辐射剂量通过下式进行计算：

$$\dot{H}_{\text{辅}} = H_2 \cdot 2^{-X/HVL} \dots\dots\dots \text{(式11-9)}$$

式中：

$\dot{H}_{\text{辅}}$ —贮源坑外距关注点最近的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_2 —距离探伤机表面关注点处的辐射剂量率， ^{192}Ir 为 $3.13 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$ ， ^{60}Co 为 $6.25 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$ ；

X —屏蔽材质的厚度，贮源坑盖板为 20mm 钢；

HVL —屏蔽材料的半值层厚度，mm。对 ^{192}Ir 钢的 HVL 为 14mm；对 ^{60}Co 钢的 HVL 为 24mm。

经计算得出， ^{192}Ir 探伤机在贮源坑内，对距离 2m 处的辅助操作的工作人员最大辐射剂量率为 $2.44\text{E-}01 \mu\text{Sv/h}$ ； ^{60}Co 探伤机在贮源坑内，对距离 2m 处的辅助操作的工作人员最大辐射剂量率为 $5.41\text{E-}01 \mu\text{Sv/h}$ 。本项目在开电子直线加速器和 X 射线探伤机时，最大可能受到贮源坑内 2 台 γ 射线探伤机的影响，2 台 γ 射线探伤机影响叠加后，工作人员辅助操作处的最大辐射剂量率为 $7.85\text{E-}01 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据建设单位反馈，不同探伤室辅助操作时间不同，按保守估计，每个探伤室每天辅助工作最多耗费约 2h，全年辅助操作最长时间约 600h，操作人员与 γ 射线探伤机的最近距离约 2m，则辅助操作的辐射工作人员年最大受照剂量为 0.47mSv。

3) γ 射线探伤机搬移过程对操作人员的影响

在使用 γ 射线探伤作业前，操作人员在放射源管理员做好登记后，分别用钥匙打开贮源坑盖板，取出 γ 射线探伤机，待放射源管理人员检查设备外观和剂量检测后，操作人员从将探伤机移动至探伤工件附近。在探伤作业结束后，操作人员将 γ 射线探伤机移动到贮源坑外，等待放射源管理人员检查设备外观和剂量检

测后，将 γ 射线探伤机放入贮源坑内。本项目贮源坑与探伤区域的最远距离为26m。每天 γ 射线探伤机借出、归还最多共4次，每次最多10min，则每年 γ 射线探伤机搬移时间最多200h，操作人员与 γ 射线探伤机源容器最近距离约0.5m，根据表11-18可知，距离源容器0.5m处最大辐射剂量率为 $1.00 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$ ，则操作人员每年搬移 γ 射线探伤机受到最大辐射剂量为 2mSv/a 。

4) γ 射线探伤机取出后辅助操作对操作人员的影响

在探伤作业前，操作人员还要进行输源管连接、附件安装、探伤工件摆位、胶片张贴、照射头固定；探伤作业后，取胶片、移动照射头、更换探伤工件、拆除输源管及附件等工作。根据建设单位反馈，不同探伤室使用 γ 射线探伤机辅助操作时间不同，本项目按保守估计，每天辅助工作约耗费2h，全年最长辅助操作时间约600h， γ 射线探伤时间占本项目4个探伤室探伤拍片总时间的最大占比为66.7%，保守取2/3，操作人员与 γ 射线探伤机的最近距离约4m，根据表11-18可知，距离源容器4m处最大辐射剂量率为 $1.56 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$ ，则操作人员每年 γ 射线探伤机辅助操作受到最大辐射剂量为 0.06mSv/a 。

5) 放射源管理人员的辐射影响分析

建设单位拟在各探伤室曝光室内使用保存 ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 ^{60}Co - γ 射线探伤机各1台，放射源管理人员每次负责对 γ 射线探伤机的借出前外观检查、归还 γ 射线探伤机前屏蔽体外辐射剂量率检测，每天借出和归还总共最多4次，每次距离探伤机源容器最近距离为1m，检查和检测时间每次最多1min，距离源容器1m处最大辐射剂量率为 $2.50 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ，则放射源管理人员年最长近距离接近 γ 射线探伤机约20h，则放射源管理人员每年受到最大辐射剂量为 0.05mSv/a 。同时，因本项目放射源管理人员还要参与管理既有放射源的管理，还需要考虑既有项目的剂量叠加，参考2025年度个人剂量报告年剂量最大值 1.39mSv 进行叠加，则本项目运行后，放射源管理人员每年收到最大辐射剂量为 1.44mSv/a 。

4.2 γ 射线探伤机探伤时对各关注点的辐射环境影响

根据《辐射防护导论》(方杰主编)，在 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤机分别进行探伤作业时，对关注点处的辐射环境影响可以通过下式进行计算：

$$K = \frac{A \cdot \Gamma_k \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots(\text{式11-10})$$

$$B = 2^{-X/HVL} \dots\dots\dots(式11-11)$$

$$H = K \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots(式 11-12)$$

式中：

K —关注点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —放射性活度， MBq ；

Γ_k —周围剂量当量率常数，单位为微希沃特平方米每兆贝可每小时 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2$ ($/\text{MBq} \cdot \text{h}$)]，根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)“表 A.1”，对于 ^{192}Ir ， $\Gamma_k=0.17\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；对于 ^{60}Co ， $\Gamma_k=0.35\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；

R —关注点与放射源的距离， m 。

X —屏蔽体厚度， mm ；

HVL —屏蔽体的半值层厚度，对于 ^{192}Ir ，混凝土的 HVL 取值为 50mm ；对于 ^{60}Co ，混凝土的 HVL 取值为 70mm ；

t —年最大出源检测时间， h 。

表 11-18 11#曝光室 γ 射线探伤机探伤作业时各关注点处辐射剂量预测结果

序号	关注点	屏蔽体材质及厚度 (mm)	放射源活度 (MBq)	放射源类型	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{MBq} \cdot \text{h})$)	放射源至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	预测点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年最大有效剂量 (mSv/a)	照射类型
A1	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	1200mm 混凝土	3.70E+06	^{192}Ir	0.17	3	5.96E-08	4.17E-03	1	2.09E-03	职业
				^{60}Co	0.35		6.91E-06	9.94E-01	1	4.97E-01	
B1	西北侧墙体外 30cm (过道)	1200mm 混凝土	3.70E+06	^{192}Ir	0.17	3.2	5.96E-08	3.66E-03	1/5	3.66E-04	公众
				^{60}Co	0.35		6.91E-06	8.74E-01	1/5	8.74E-02	
C1	工件门外 30cm	1200mm 混凝土	3.70E+06	^{192}Ir	0.17	4.35	5.96E-08	1.98E-03	1/5	1.98E-04	公众
				^{60}Co	0.35		6.91E-06	4.73E-01	1/5	4.73E-02	
D1	东北侧墙体外 30cm (过道)	1200mm 混凝土	3.70E+06	^{192}Ir	0.17	3	5.96E-08	4.17E-03	1/5	4.17E-04	公众
				^{60}Co	0.35		6.91E-06	9.94E-01	1/5	9.94E-02	
E1	东南侧墙	1400mm	3.70E+06	^{192}Ir	0.17	2.7	3.73E-09	3.22E-04	1/4	4.03E-05	职业

	体外 30cm (12#曝光室)	混凝土		⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	1.69E-01	1/4	2.11E-02	
F1	迷路门内	1200mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	5.1	5.96E-08	1.44E-03	/	2.09E-03	职业
				⁶⁰ Co	0.35		6.91E-06	3.44E-01	/	4.97E-01	
H1	11#曝光 室顶 30cm	1000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.5	9.54E-07	2.96E-02 <10	/	/	公众
				⁶⁰ Co	0.35		5.01E-05	3.20E+0 0	/	/	
I1	西南侧墙 体外 30cm (二楼暗 室)	1200mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	3.2	5.96E-08	3.66E-03	1/4	4.58E-04	职业
				⁶⁰ Co	0.35		6.91E-06	8.74E-01	1/4	1.09E-01	

表 11-19 12#曝光室 γ 射线探伤机探伤作业时各关注点处辐射剂量预测结果

序号	关注点	屏蔽体材质及厚度 (mm)	放射源活度 (MBq)	放射源类型	空气比释动能率常数 (μSv·m ² /(MBq·h))	放射源至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	预测点辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	年最大有效剂量 (mSv/a)	照射类型
A2	西南侧墙 体外 30cm (一楼操作 室)	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	5.1	3.73E-09	9.02E-05	1	2.71E-05	职业
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	4.75E-02	1	1.43E-02	
B2	东南侧墙 体外 30cm (过道)	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	3.3	3.73E-09	2.15E-04	1/5	1.29E-05	公众
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	1.13E-01	1/5	6.78E-03	
C2	工件门外 30cm	1600mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.95	2.33E-10	5.98E-06	1/5	3.59E-07	公众
				⁶⁰ Co	0.35		1.32E-07	6.98E-03	1/5	4.19E-04	
D2	东北侧墙 体外 30cm (过道)	2500mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.3	8.88E-16	3.02E-11	1/5	1.81E-12	公众
				⁶⁰ Co	0.35		1.77E-11	1.24E-06	1/5	7.44E-08	
E2	西北侧墙 体外 30cm (过道)	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	2.7	3.73E-09	3.22E-04	1/5	1.93E-05	公众
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	1.69E-01	1/5	1.01E-02	
F2	迷路门内	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	6.8	3.73E-09	5.07E-05	/	/	职业
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	2.67E-02	/	/	
H2	12#曝光 室顶 30cm	1000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	7.45	9.54E-07	1.08E-02 <10	/	/	公众

				⁶⁰ Co	0.35		5.01E-05	1.17E+00	/	/	
I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	5.2	3.73E-09	8.68E-05	1/4	6.51E-06	职业
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	4.57E-02	1/4	3.43E-03	
J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	1000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	7.6	9.54E-07	1.04E-02	1/16	1.95E-04	公众
				⁶⁰ Co	0.35		5.01E-05	1.12E+00	1/16	2.10E-02	
K2	东北侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬空)	1700mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	8.7	5.82E-11	4.84E-07	1/16	9.08E-09	公众
				⁶⁰ Co	0.35		4.89E-08	8.37E-04	1/16	1.57E-05	

表 11-20 13#曝光室 γ 射线探伤机探伤作业时各关注点处辐射剂量预测结果

序号	关注点	屏蔽体材质及厚度 (mm)	放射源活度 (MBq)	放射源类型	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)	放射源至关注点的距离 (m)	屏蔽透射因子	预测点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年最大有效剂量 (mSv/a)	照射类型
A3	东南侧墙体外 30cm (操作室)	1300mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	3.1	1.49E-08	9.75E-04	1	2.93E-04	职业
				⁶⁰ Co	0.35		2.57E-06	3.46E-01	1	1.04E-01	
B3	东北侧墙体外 30cm (退火炉)	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.75	3.73E-09	1.04E-04	1/8	3.90E-06	公众
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	5.48E-02	1/8	2.06E-03	
C3	西北侧墙体外 30cm (过道)	1400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	3.3	3.73E-09	2.15E-04	1/5	1.29E-05	公众
				⁶⁰ Co	0.35		9.54E-07	1.13E-01	1/5	6.78E-03	
D3	工件门外 30cm	1600mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.95	2.33E-10	5.98E-06	1/5	3.59E-07	公众
				⁶⁰ Co	0.35		1.32E-07	6.98E-03	1/5	4.19E-04	
E3	西南侧墙	2400mm	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.2	3.55E-15	1.27E-10	1/4	9.53E-12	职业

	体外 30cm (14#曝光室)	混凝土		⁶⁰ Co	0.35		4.77E-11	3.50E-06	1/4	2.63E-07	
F3	迷路门内	1300mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	6.3	1.49E-08	2.36E-04	/	/	职业
				⁶⁰ Co	0.35		2.57E-06	8.39E-02	/	/	
H3	13#曝光 室顶 30cm	1000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	9.3	9.54E-07	6.94E-03	1/16	1.30E-04	公众
				⁶⁰ Co	0.35		5.01E-05	7.50E-01	1/16	1.41E-02	
I3	西南侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (14# 曝光室上 空)	1200mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	10.2	5.96E-08	3.60E-04	1/16	6.75E-06	职业
				⁶⁰ Co	0.35		6.91E-06	8.60E-02	1/16	1.61E-03	
J3	东北侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (退 火炉上 空)	1000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	10.1	9.54E-07	5.88E-03	1/16	1.10E-04	公众
				⁶⁰ Co	0.35		5.01E-05	6.36E-01	1/16	1.19E-02	

表 11-21 14#曝光室 γ 射线探伤机探伤作业时各关注点处辐射剂量预测结果

序号	关注点	屏蔽体材 质及厚度 (mm)	放射源活 度 (MBq)	放射 源类 型	空气比释 动能率常 数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)	放射 源至 关注 点的 距离 (m)	屏蔽透 射因子	预测点辐 射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居 留 因 子	年最大有 效剂量 (mSv/a)	照射 类型
A4	东南侧墙 体外 30cm (操作 室)	2000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	3.3	9.09E-13	5.25E-08	1	2.63E-08	职业
				⁶⁰ Co	0.35		2.51E-09	2.98E-04	1	1.49E-04	
B4	东北侧墙 体外 30cm (13#曝 光室)	2400mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	5.85	3.55E-15	6.52E-11	1/4	8.15E-12	职业
				⁶⁰ Co	0.35		4.77E-11	1.80E-06	1/4	2.25E-07	
C4	西北侧墙 体外 30cm (过道)	2000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.2	9.09E-13	3.24E-08	1/5	3.24E-09	公众
				⁶⁰ Co	0.35		2.51E-09	1.84E-04	1/5	1.84E-05	
D4	工件门外	2000mm	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	5.92	9.09E-13	1.63E-08	1/5	1.63E-09	公众

	30cm	混凝土		⁶⁰ Co	0.35		2.51E-09	9.27E-05	1/5	9.27E-06	
E4	西南侧墙体外 30cm (退火炉)	2500mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	4.3	8.88E-16	3.02E-11	1/8	1.89E-12	公众
				⁶⁰ Co	0.35		1.77E-11	1.24E-06	1/8	7.75E-08	
F4	迷路门内	2000mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	6.5	9.09E-13	1.35E-08	/	/	职业
				⁶⁰ Co	0.35		2.51E-09	7.69E-05	/	/	
H4	14#曝光室顶 30cm	1200mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	9.3	5.96E-08	4.33E-04	1/16	1.35E-05	公众
				⁶⁰ Co	0.35		6.91E-06	1.03E-01	1/16	3.22E-03	
I4	西南侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (退火炉上空)	1900mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	10.9	3.64E-12	1.93E-08	1/16	6.03E-10	公众
				⁶⁰ Co	0.35		6.75E-09	7.36E-05	1/16	2.30E-06	
J4	东北侧 9m 以上 12m 以下 墙体外 30cm (13# 曝光室上空)	1200mm 混凝土	3.70E+06	¹⁹² Ir	0.17	10	5.96E-08	3.75E-04	1/16	1.17E-05	职业
				⁶⁰ Co	0.35		6.91E-06	8.95E-02	1/16	2.80E-03	

4.3 γ 射线探伤机探伤时迷路防护门内外辐射剂量分析

本项目探伤室均采用“Z型”迷路设计，利用散射降低迷路外的辐射水平，避免 γ 射线直接照射迷路入口，所有探伤室均采用20mm厚铅防护门。本次评价保守考虑，选择散射次数最少的路径进行预测，根据图11-1、图11-5，散射路径为：“o→p→q→F”，则射线在迷路内至少2次以上散射，才能到达迷路门F处。

根据 NCRP Report No.51: Radiation protection design guidelines for 0.1-100MeV particle accelerator facilities(0.1-100MeV 粒子加速器设施辐射防护设计准则)中 P63 公式(13)，无屏蔽防护时，经*i*次散射后迷路外入口的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_{l,rj} = \frac{H_0 \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-23})$$

式中：

$\dot{H}_{l,rj}$ —经 i 次散射后关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 ——对于 γ 辐射源，数值上由 $A\Gamma_k$ 确定，其中 A 是放射源活度，均为 $3.7 \times 10^6 \text{MBq}$ 。

对于 ^{192}Ir ， $\Gamma_k=0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，则 $H_0=6.29 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ；

对于 ^{60}Co ， $\Gamma_k=0.35\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，则 $H_0=1.30 \times 10^6 \mu\text{Sv/h}$ ；

a_1 —入射到第一个散射体的 γ 射线的散射系数；

a_2 —从以后的物质散射出来的 γ 射线的散射系数；

本次评价偏安全考虑， γ 射线散射后能量等同原射线，对于后续散射过程，假设能量不在改变，由 NCRP Report No.51: Radiation protection de sign guidelines for 0.1-100MeV particle accelerator facilities (0.1-100MeV 粒子加速器设施辐射防护设计准则) 中 P110 附录 E.15，本项目 a_1 保守取 0.01，第二次以上散射的散射系数均取 0.02。

A_1 — γ 射线入射到第一散射物质的散射面积；

A_2, A_3 —迷路的截面积；

d_1 — γ 射线源与第一散射物质的距离，m；

$d_{r1}, d_{r2}, d_{r3}, d_{r4}$ — γ 射线源与散射物质的距离，m；

j —指第 j 个散射过程；

本项目曝光室内探伤机产生的射线散射次数为 2 次。

将相关参数代入（式 11-13），可得到本项目迷路入口散射剂量率。

表 11-22 本项目迷路入口散射辐射剂量率预测结果

曝光室	探伤机放射源	预测点	散射次数	D_{10} ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)	散射路径 (d_1, d_{r1}, d_{r2}), m	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	$H_{l,rj}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
11#曝光室	^{192}Ir	F1	2	6.29E+05	3.5, 1.7, 2.1	1.76	1.92	2.72
	^{60}Co	F1	2	1.30E+06	3.5, 1.7, 2.1	1.76	1.92	5.63
12#曝光室	^{192}Ir	F2	2	6.29E+05	5.7, 1.6, 2.1	1.76	1.92	1.16
	^{60}Co	F2	2	1.30E+06	3.5, 1.7, 2.1	1.76	1.92	2.40
13#曝光室	^{192}Ir	F3	2	6.29E+05	5.8, 3.1, 2.2	1.76	2.08	2.94E-01
	^{60}Co	F3	2	1.30E+06	5.8, 3.1, 2.2	1.76	2.08	6.08E-01
14#曝光室	^{192}Ir	F4	2	6.29E+05	3.8, 2.5, 2.8	1.76	2.08	6.51E-01
	^{60}Co	F4	2	1.30E+06	3.8, 2.5, 2.8	1.76	2.08	1.35

根据前文表11-18-表11-21，防护门内侧F点处，最大剂量率为 γ 射线探伤机产生的 γ 射线经过迷道的透射剂量与散射剂量的叠加值，则迷路入口防护门外侧G

点处辐射剂量率见下表。

表 11-23 γ 射线探伤机探伤作业时迷路门 G 处辐射剂量预测结果

探伤室	预测点	探伤机类型	散射剂量率 (uSv/h)	透射剂量率 (uSv/h)	屏蔽体半值层厚度 (mm)	防护门厚度 (mm)	辐射剂量率 (uSv/h)	年最大出源检测时间 (h)	居留因子	年最大有效剂量 (mSv)
11#曝光室	G1	^{192}Ir - γ 射线探伤机	2.72	1.44E-03	1.505	20	2.72E-04	500	1	1.36E-04
		^{60}Co -射线探伤机	5.63	3.44E-01	1.505	20	5.97E-04	500	1	2.99E-04
12#曝光室	G2	^{192}Ir - γ 射线探伤机	1.16	5.07E-05	1.505	20	1.16E-04	300	1	3.48E-05
		^{60}Co -射线探伤机	2.40	2.67E-02	1.505	20	2.42E-04	300	1	7.26E-05
13#曝光室	G3	^{192}Ir - γ 射线探伤机	2.94E-01	2.36E-04	1.505	20	2.94E-05	300	1	8.82E-06
		^{60}Co -射线探伤机	6.08E-01	8.39E-02	1.505	20	6.91E-05	300	1	2.07E-05
14#曝光室	G4	^{192}Ir - γ 射线探伤机	6.51E-01	1.35E-08	1.505	20	6.50E-05	500	1	3.25E-05
		^{60}Co -射线探伤机	1.35	7.69E-05	1.505	20	1.35E-04	500	1	6.75E-05

综上，本项目 γ 射线探伤设备运行，曝光室四周屏蔽体外30cm处的剂量率最大值为9.94E-01 $\mu\text{Sv/h}$ ，低于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率参考控制水平；曝光室屋顶处的最大剂量率为3.20 $\mu\text{Sv/h}$ ，低于10 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率参考控制水平，均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）标准要求。

5、电子直线加速器探伤时各探伤室各关注点辐射剂量预测分析

5.1 加速器主屏蔽范围估算

(一) 12#曝光室

垂直方向：根据设计资料，12#曝光室加速器与东北侧主屏蔽墙体之间距离最大为6.4m，离地最高为4.855m，加速器出束角度最大为30°圆锥形，则射线照射到屏蔽墙体上的最高距离为 $4.855+6.4 \times \tan(30 \div 2) = 6.57\text{m}$ 。

水平方向：根据设计资料，12#曝光室加速器东北侧主屏蔽墙体之间距离最大为6.4m，与西北侧墙体之间最小距离为2m，与东南侧墙体之间最小距离为2m，加速器东西活动距离最大为4.3m，加速器出束角度最大为30°圆锥形，则射线

照射到屏蔽墙体上的最大宽度为 $4.3+6.4\times\tan(30\div 2)\times 2=7.72\text{m}$ 。

12#曝光室东北侧主屏蔽墙宽度超过 11.1m ($8.3\text{m}+1.4\text{m}+1.4\text{m}$)，主屏蔽墙体自行车位置距离地面高度 7.4m ，主屏蔽墙体宽度和高度分别大于射线水平和垂直方向照射范围，满足屏蔽范围要求。

(二) 13#曝光室

垂直方向：根据设计资料，13#曝光室加速器与西南侧主屏蔽墙体之间距离最大为 6.45m ，离地最高为 5.885m ，加速器出束角度最大为 30° 圆锥形，则射线照射到屏蔽墙体上的最高距离为 $5.885+6.45\times\tan(30\div 2)=7.61\text{m}$ 。

水平方向：根据设计资料，13#曝光室加速器西南侧主屏蔽墙体之间距离最大为 6.45m ，与西北侧墙体之间最小距离为 2m ，与东南侧墙体之间最小距离为 2m ，加速器东西活动距离最大为 25.3m ，加速器出束角度最大为 30° 圆锥形，则射线照射到屏蔽墙体上的最大宽度为 $25.3+6.45\times\tan(30\div 2)\times 2=28.76\text{m}$ 。

13#曝光室东北侧主屏蔽墙宽度超过 33.6m ($29.6\text{m}+2\text{m}+2\text{m}$)，主屏蔽墙体自行车位置距离地面高度 9.4m ，主屏蔽墙体宽度和高度分别大于射线水平和垂直方向照射范围，满足屏蔽范围要求。

(二) 14#曝光室

垂直方向：根据设计资料，14#曝光室加速器与西南侧主屏蔽墙体之间距离最大为 8.9m ，离地最高为 5.485m ，加速器出束角度最大为 30° 圆锥形，则射线照射到屏蔽墙体上的最高距离为 $5.485+8.9\times\tan(30\div 2)=7.87\text{m}$ 。

水平方向：根据设计资料，14#曝光室加速器西南侧主屏蔽墙体之间距离最大为 8.9m ，与西北侧墙体之间最小距离为 2.5m ，与东南侧墙体之间最小距离为 2.5m ，加速器东西活动距离最大为 23m ，加速器出束角度最大为 30° 圆锥形，则射线照射到屏蔽墙体上的最大宽度为 $23+8.9\times\tan(30\div 2)\times 2=27.77\text{m}$ 。

13#曝光室东北侧主屏蔽墙宽度超过 32.4m ($28.4\text{m}+2\text{m}+2\text{m}$)，主屏蔽墙体自行车位置距离地面高度 9m ，主屏蔽墙体宽度和高度分别大于射线水平和垂直方向照射范围，满足屏蔽范围要求。

5.2 各探伤室曝光室屏蔽墙体外关注点处辐射剂量率分析

根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T 30371-2013)附录 C，关注点辐射剂量率 H_M 可通过推导公式 11-14~11-16 进行计算：

$$H_M = 1 \times 10^5 \cdot \frac{D_{10}}{1.67 \times d^2} \cdot T \cdot B_{x1} \dots \dots \dots \text{(式 11-14)}$$

$$B_x = 10^{-[(S+T_e-T_1)/T_e]} \dots \dots \dots \text{(式 11-15)}$$

式中：

S—屏蔽体厚度（m）；

B_x—X射线的屏蔽透射比，指在屏蔽体入射面的吸收剂量率，经屏蔽厚度按该透射比减弱，使屏蔽体的出射面剂量率达到所要求的水平；

H_M—参考点周围剂量当量率（μSv/h）；

d—X射线源与参考点之间的距离（m）；

T—居留因子；

D₁₀—距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/min），对于 6MeV 加速器取 10Gy/min，9MeV 加速器取 30Gy/min。本次预测电子直线加速器漏射剂量率均按照 0.1%进行取值。

S—屏蔽体厚度（m）；

T₁—在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层（cm），对于 6MeV 加速器取 34cm，对于 9MeV 加速器取 39cm；

T_e—平衡十分之一值层，该值近似于常数（cm），对于 6MeV 加速器取 34cm，对于 9MeV 加速器取 38cm；

T₁ 和 T_e 的取值参考《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T 30371-2013)附录 C 图 C.1。

将相关参数代入根据公式 11-14~11-16 后，可得到各个关注点处的辐射剂量率，预测结果见表 11-24 至表 11-26。

表 11-24 12#曝光室外透射辐射剂量率预测参数及结果

序号	关注点位置描述	D ₁₀ (Gy/h)	d (m)	混凝土厚度 S (cm)	T ₁ (cm)	T _e (cm)	居留因子	H _M (μSv/h)
A2	西南侧墙体外 30cm（一楼操作室）	0.6	5.1	140	34	34	1	1.05E-01
B2	东南侧墙体外 30cm（过道）	0.6	3.8	140	34	34	1/5	3.80E-02
C2	工件门外 30cm	0.6	5.45	160	34	34	1/5	4.77E-03
D2	东北侧墙体外 30cm（过道）	600	3.8	250	34	34	1/5	2.21E-02
E2	西北侧墙体外 30cm（过	0.6	3.7	140	34	34	1/5	4.00E-02

	道)							
F2	迷路门内	0.6	6.8	140	34	34	1	5.93E-02
H2	12#曝光室顶 30cm	0.6	6.645	100	34	34	1/16	5.85E-02 < 10
I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	0.6	5.1	140	34	34	1/4	2.63E-02
J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	0.6	6.7	100	34	34	1/16	5.75E-02
K2	东北侧 7.4 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬空)	0.6	7.6	170	34	34	1/16	3.89E-04

表 11-25 13#曝光室外透射辐射剂量率预测参数及结果

序号	关注点位位置描述	D_{10} (Gy/h)	d (m)	混凝土厚度 S (cm)	T_1 (cm)	T_e (cm)	居留因子	H_M (μ Sv/h)
A3	东南侧墙体外 30cm (操作室)	0.6	3.6	130	34	34	1	4.16E-01
B3	东北侧墙体外 30cm (退火炉)	0.6	4.75	140	34	34	1/8	1.52E-02
C3	西北侧墙体外 30cm (过道)	0.6	3.8	140	34	34	1/5	3.80E-02
D3	工件门外 30cm	0.6	5.45	160	34	34	1/5	4.77E-03
E3	西南侧墙体外 30cm (14#曝光室)	600	4.2	240	34	34	1/4	4.45E-02
F3	迷路门内	0.6	6.3	130	34	34	1	1.36E-01
H3	13#曝光室顶 30cm	0.6	7.415	100	34	34	1/16	4.70E-02
I3	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (14#曝光室上空)	0.6	7.7	120	34	34	1/16	1.12E-02
J3	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退火炉上空)	0.6	7.7	100	34	34	1/16	4.36E-02

表 11-26 14#曝光室外透射辐射剂量率预测参数及结果

序号	关注点位位置描述	D_{10} (Gy/h)	d (m)	混凝土厚度 S (cm)	T_1 (cm)	T_e (cm)	居留因子	H_M (μ Sv/h)
A4	东南侧墙体外 30cm (操作室)	1.8	4.8	200	39	38	1	2.71E-02
B4	东北侧墙体外 30cm (13#曝光室)	1.8	5.85	240	39	38	1/4	4.04E-04
C4	西北侧墙体外 30cm (过道)	1.8	5.1	200	39	38	1/5	4.81E-03

D4	工件门外 30cm	1.8	6.92	200	39	38	1/5	2.61E-03
E4	西南侧墙体外 30cm (退火炉)	1800	4.3	250	39	38	1/8	2.04E-01
F4	迷路门内	1.8	7.8	200	39	38	1	1.03E-02
H4	14#曝光室顶 30cm	1.8	7.815	120	39	38	1/16	8.15E-02
I4	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退火炉上空)	1.8	8.9	190	39	38	1/16	9.01E-04
J4	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (13#曝光室上空)	1.8	8	120	39	38	1/16	7.78E-02

5.3 防护门处辐射剂量率分析

根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T 30371-2013)附录 C 中的公式 C.4, 可以保守估算迷道外入口的剂量率 $H_{l, rj}$:

$$H_{l, rj} = \frac{D_{10} \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \dots\dots\dots \text{(式 11-17)}$$

式中:

D_{10} —辐射源距离参考点 1m 处的吸收剂量率;

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数, 保守取值 5×10^{-3} ;

α_2 —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数(假设对以后所有散射过程是相同的), 保守取值 2×10^{-2} ;

A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积 (m^2);

A_2 —迷道的截面积 (m^2);

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离 (m);

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —沿着迷道长轴的中心线距离, j —指第 j 个散射过程;

将相关参数代入公式 11-17, 可得到本项目迷道入口散射剂量率。

表 11-27 本项目迷道入口散射辐射剂量率预测结果

探伤室	预测点	散射次数	$D_{10} (Gy/h)$	散射路径 (d_1, d_{r1}, d_{r2}), m	$A_1 (m^2)$	$A_2 (m^2)$	$H_{l, rj} (\mu Sv/h)$
12#曝光室	F2	2	600	5.7, 1.6, 2.1	1.76	1.92	5.53E-04
13#曝光室	F3	2	600	5.8, 3.1, 2.2	1.76	2.08	1.40E-04
14#曝光室	F4	2	1800	5.3, 2.5, 2.8	1.76	2.08	4.79E-04

在迷道入口防护门内侧 F 处, 最大剂量率为电子直线加速器发出的 X 射线

经过迷道的透射剂量与散射剂量的叠加值。根据《电子直线加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ 979-2018）附录 A，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，根据表 A.2 查得，对于 0.5MeV 的 X 射线，铅的 T_1 为 0.5cm， T_e 为 1.2cm，则迷道防护门外 F 处辐射剂量率见下表。

表 11-28 本项目迷道门外辐射剂量率预测结果

探伤室	预测点	散射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽体厚度 (cm)	屏蔽透射因子	经防护门屏蔽后辐射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)
12#曝光室	G2	5.53E-04	5.93E-02	5.99E-02	2	5.62E-03	3.37E-04
13#曝光室	G3	1.40E-04	1.36E-01	1.36E-01	2	5.62E-03	7.64E-04
14#曝光室	G4	4.79E-04	1.03E-02	1.08E-02	2	5.62E-03	6.07E-05

5.4 天空反散射

因本项目所有电子直线加速器主射束方向均不朝向曝光室屋顶，因此，仅考虑靶的漏射辐射影响，泄漏率为 0.1%。已知屏蔽体厚度，天空散射至关注点的剂量率计算公式如下：

根据 NCRP151 报告，X 射线天空反散射计算公式如下：

$$H_{\text{天}} = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{\text{xs}} \cdot D_{10} \cdot \Omega^{1.3})}{(d_i \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{(式 11-18)}$$

$$\Omega = 4 \arctan \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \dots\dots\dots \text{(式 11-19)}$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \dots\dots\dots \text{(式 11-20)}$$

式中：a——屋顶长度之半；

b——屋顶宽度之半；

c ——辐射源到屋顶表面中心的距离；

d ——辐射源到屋顶边缘的距离，按式（11-20）计算得。

$H_{\text{天}}$ ——在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

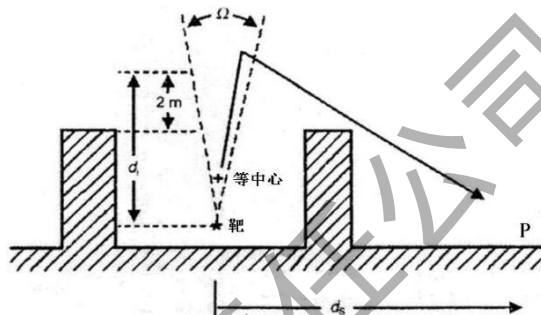
B_{xs} ——X 射线屋顶的屏蔽透射比；根据公式 11-15 所得；

Ω ——X 射线源于屏蔽墙对向的立体角

d_i ——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m）；

d_s ——X 射线源至公众关注点 P 点的距离（m）；取 20m（经验值）

D_{10} —距靶 1m 处的泄露辐射剂量率；



将以上参数代入式 (11-18) 计算得到天空散射至关注点的剂量率为见表 11-29。

表 11-29 本项目探伤室天空反散射辐射剂量预测结果

探伤室	D_{10} (Gy/h)	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	Ω^{13}	屏蔽体厚 度 (cm)	d_i (m)	B_{ss}	$H_{\text{天}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
12#曝光室	0.6	4.15	5.65	5.345	8.82	2.22	100	8.345	1.15E-03	1.37E-03
13#曝光室	0.6	14.65	5.35	6.115	16.75	3.49	100	9.115	1.15E-03	1.81E-03
14#曝光室	1.8	14	6.675	6.315	16.75	3.98	120	9.515	7.39E-04	3.65E-03

由上表可知，天空反散射对周边环境影响较小。

5.5 侧向散射

除 13#和 14#曝光室以外，其余探伤室周围均无多层建筑，因此 13#和 14#曝光室还应考虑侧向散射。根据《电子直线加速器辐照装置辐射安全与防护》(HJ 979-2018) 附录 A，侧向散射计算公式如下：

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \frac{(t-T_e)}{T_e}}} \dots\dots\dots \text{(式11-21)}$$

式中：H——X 射线侧向散射周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

D_{10} ——靶上方 1m 处 X 射线的吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)，本项目加速器主束方向不朝上方，因此取 0.1% 主束能量，对 6MeV 加速器取 $0.6 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ ，对 9MeV 加速器取 $1.8 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ ；

F——靶上方 1m 处照射野的面积 (m^2)，本项目保守取 1m^2 ；

$f(\theta)$ ——由表 A.5 中给出的 X 射线角度分布函数，本项目加速器 X 射线角度为 30，故取 0.26；

d_R ——从屋顶上方束流中心到关注点的距离 (m)，本项目取 20m；

t——屋顶的厚度 (cm)，本项目 13#曝光室取 100cm，14#曝光室取 120cm；

T_1 、 T_e ——分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层（cm），对6MeV加速器分别取34cm和34cm，对9MeV加速器分别取39cm和38cm。

则求出13#曝光室的侧向散射为0.45 μ Sv/h，13#曝光室加速器年累计探伤时间为300h，居留因子取1/8，则年受照剂量为0.02mSv/a；14#曝光室的侧向散射为0.86 μ Sv/h，14#曝光室加速器年累计探伤时间为200h，居留因子取1/8，则年受照剂量为0.02mSv/a。

5.6 屏蔽体外各关注点处最大辐射剂量综合分析

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，可得出距离较远的保护目标处辐射剂量率。临近探伤室外的保护目标叠加电子直线加速器天空反散射剂量率。电子直线加速器周围各关注点辐射剂量率见表11-30，周围目标年最大有效剂量见表11-31。

表 11-30 电子直线加速器周围各关注点辐射剂量率

探伤室	关注点	关注点点位描述	透射剂量率 (μ Sv/h)	天空反散射 (μ Sv/h)	综合剂量率 (μ Sv/h)
12#曝光室	A2	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	1.05E-01	/	1.05E-01
	B2	东南侧墙体外 30cm (过道)	3.80E-02	1.37E-03	3.94E-02
	C2	工件门外 30cm	4.77E-03	1.37E-03	6.14E-03
	D2	东北侧墙体外 30cm (过道)	2.21E-02	1.37E-03	2.35E-02
	E2	西北侧墙体外 30cm (过道)	4.00E-02	1.37E-03	4.14E-02
	H2	12#曝光室顶 30cm	5.85E-02	/	5.85E-02
	I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	2.63E-02	/	2.63E-02
	J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	5.75E-02	1.37E-03	5.89E-02
	K2	东北侧 7.4 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬 空)	3.89E-04	1.37E-03	1.76E-03
13#曝光室	A3	东南侧墙体外 30cm (操作室)	4.16E-01	/	4.16E-01

	B3	东北侧墙体外 30cm (退火炉)	1.52E-02	1.81E-03	1.70E-02
	C3	西北侧墙体外 30cm (过道)	3.80E-02	1.81E-03	3.98E-02
	D3	工件门外 30cm	4.77E-03	1.81E-03	6.58E-03
	E3	西南侧墙体外 30cm (14#曝光室)	4.45E-02	/	4.45E-02
	H3	13#曝光室顶 30cm	4.70E-02	/	4.70E-02
	I3	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (14#曝光室上空)	1.12E-02	/	1.12E-02
	J3	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退 火炉上空)	4.36E-02	/	4.36E-02
14#曝 光室	A4	东南侧墙体外 30cm (操作室)	2.71E-02	/	2.71E-02
	B4	东北侧墙体外 30cm (13#曝光室)	4.04E-04	/	4.04E-04
	C4	西北侧墙体外 30cm (过道)	4.81E-03	3.65E-03	8.46E-03
	D4	工件门外 30cm	2.61E-03	3.65E-03	6.26E-03
	E4	西南侧墙体外 30cm (退火炉)	2.04E-01	/	2.04E-01
	H4	14#曝光室顶 30cm	8.15E-02	/	8.15E-02
	I4	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退 火炉上空)	9.01E-04	/	9.01E-04
	J4	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (13#曝光室上空)	7.78E-02	/	7.78E-02

综上,当电子直线加速器运行时,12#、13#、14#曝光室四周屏蔽体外 30cm 处的剂量率最大值为 4.16E-01 μ Sv/h, 低于 2.5 μ Sv/h 的剂量率参考控制水平。

表 11-31 电子直线加速器探伤时各关注点处保护目标年最大辐射剂量

探伤室	关注点	关注点点位描述	综合剂量率 (μ Sv/h)	居留因子	年最大曝光时间(h)	年受照射剂量 (mSv/a)	保护目标类型
12#	A2	西南侧墙体外 30cm	1.05E-01	1	300	3.15E-02	职业

曝光室		(一楼操作室)					
	B2	东南侧墙体外 30cm (过道)	3.94E-02	1/5	300	2.36E-03	公众
	C2	工件门外 30cm	6.14E-03	1/5	300	3.68E-04	公众
	D2	东北侧墙体外 30cm (过道)	2.35E-02	1/5	300	1.41E-03	公众
	E2	西北侧墙体外 30cm (过道)	4.14E-02	1/5	300	2.48E-03	公众
	G2	迷路门外 30cm	3.37E-04	1	300	1.01E-04	职业
	I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒片室)	2.63E-02	1/4	300	1.97E-03	职业
	J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (辅助用房顶)	5.89E-02	1/16	300	1.10E-03	公众
	K2	东北侧 7.4 以上 10.2m 以下墙体外 30cm (悬 空)	1.76E-03	1/16	300	3.30E-05	公众
13# 曝光室	A3	东南侧墙体外 30cm (操作室)	4.16E-01	1	300	1.25E-01	职业
	B3	东北侧墙体外 30cm (退火炉)	1.70E-02	1/8	300	6.38E-04	公众
	C3	西北侧墙体外 30cm (过道)	3.98E-02	1/5	300	2.39E-03	公众
	D3	工件门外 30cm	6.58E-03	1/5	300	3.95E-04	公众
	E3	西南侧墙体外 30cm (14#曝光室)	4.45E-02	1/4	300	3.34E-03	职业
	G3	迷路门外 30cm	7.64E-04	1	300	2.29E-04	职业
	H3	13#曝光室顶 30cm	4.70E-02	1/16	300	8.81E-04	公众
	I3	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm(14# 曝光室上空)	1.12E-02	1/16	300	2.10E-04	职业
J3	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退 火炉上空)	4.36E-02	1/16	300	8.18E-04	公众	
14# 曝光室	A4	东南侧墙体外 30cm (操作室)	2.71E-02	1	200	8.13E-03	职业
	B4	东北侧墙体外 30cm (13#曝光室)	4.04E-04	1/4	200	3.03E-05	职业
	C4	西北侧墙体外 30cm (过道)	8.46E-03	1/5	200	5.08E-04	公众
	D4	工件门外 30cm	6.26E-03	1/5	200	2.50E-04	公众
	E4	西南侧墙体外 30cm (退火炉)	2.04E-01	1/8	200	5.10E-03	公众

G4	迷路门外 30cm	6.07E-05	1	200	1.21E-05	职业
H4	14#曝光室顶 30cm	8.15E-02	1/16	200	1.02E-03	公众
I4	西南侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (退火炉上空)	9.01E-04	1/16	200	1.13E-05	公众
J4	东北侧 9m 以上 12m 以下墙体外 30cm (13#曝光室上空)	7.78E-02	1/16	200	9.73E-04	职业

6、辐射环境影响综合分析

项目运行对保护目标的年有效剂量分析

①各探伤室周围关注点年有效剂量

综上，4 间曝光室建成投用后，各类探伤机所贡献辐射剂量见表 11-32。

表11-32 各曝光室辐射剂量综合预测结果

探伤室	关注点	关注点点位描述	X射线贡献年剂量 (mSv/a)	γ射线贡献年剂量 (mSv/a)		电子直线加速器贡献年剂量 (mSv/a)	职业类别	综合年剂量 (mSv/a)
				¹⁹² Ir	⁶⁰ Co			
11# 曝光室	A1	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	3.92E-07	2.09E-03	4.97E-01	/	职业	4.99E-01
	B1	西北侧墙体外 30cm (过道)	6.88E-08	3.66E-04	8.74E-02	/	公众	8.78E-02
	C1	工件门外 30cm	3.73E-08	1.98E-04	4.73E-02	/	公众	4.75E-02
	D1	东北侧墙体外 30cm (过道)	7.83E-08	4.17E-04	9.94E-02	/	公众	9.98E-02
	E1	东南侧墙体外 30cm (12#曝光室)	1.21E-09	4.03E-05	2.11E-02	/	职业	2.11E-02
	G1	迷路门外 30cm	1.14E-01	1.36E-04	2.99E-04	/	职业	1.14E-01
	I1	西南侧墙体外 30cm (二楼暗室)	8.60E-08	4.58E-04	1.09E-01	/	职业	6.21E-03
12# 曝光室	A2	西南侧墙体外 30cm (一楼操作室)	1.73E-09	2.71E-05	1.43E-02	3.15E-02	职业	4.58E-02
	B2	东南侧墙体外 30cm (过道)	8.28E-10	1.29E-05	6.78E-03	2.36E-03	公众	9.15E-03
	C2	工件门外 30cm	3.69E-12	3.59E-07	4.19E-04	3.68E-04	公众	7.87E-04
	D2	东北侧墙体外	4.88E-21	1.81E-12	7.44E-08	1.41E-03	公众	1.41E-03

		30cm (过道)						
	E2	西北侧墙体外 30cm (过道)	1.24E-09	1.93E-05	1.01E-02	2.48E-03	公众	1.26E-02
	G2	迷路门外 30cm	8.46E-02	3.48E-05	7.26E-05	1.01E-04	职业	8.48E-02
	I2	西南侧墙体外 30cm (二楼晒 片室)	4.18E-10	6.51E-06	3.43E-03	1.97E-03	职业	5.41E-03
	J2	西南侧 7.4m 以上 10.2m 以 下墙体外 30cm (辅助用 房顶)	4.88E-07	1.95E-04	2.10E-02	1.10E-03	公众	2.23E-02
	K2	东北侧 7.4 以 上 10.2m 以下 墙体外 30cm (悬空)	3.72E-14	9.08E-09	1.57E-05	3.30E-05	公众	4.87E-05
13# 曝 光 室	A3	东南侧墙体外 30cm (操作 室)	4.70E-08	2.93E-04	1.04E-01	1.25E-01	职业	2.29E-01
	B3	东北侧墙体外 30cm (退火 炉)	2.50E-10	3.90E-06	2.06E-03	6.38E-04	公众	2.70E-03
	C3	西北侧墙体外 30cm (过道)	8.28E-10	1.29E-05	6.78E-03	2.39E-03	公众	9.18E-03
	D3	工件门外 30cm	3.69E-12	3.59E-07	4.19E-04	3.95E-04	公众	8.14E-04
	E3	西南侧墙体外 30cm (14#曝 光室)	6.40E-20	9.53E-12	2.63E-07	3.34E-03	职业	3.34E-03
	G3	迷路门外 30cm	9.80E-02	8.82E-06	2.07E-05	2.29E-04	职业	9.83E-02
	H3	13#曝光室顶 30cm	3.26E-07	1.30E-04	1.41E-02	8.81E-04	公众	1.51E-02
	I3	西南侧 9m 以 上 12m 以下墙 体外 30cm (14#曝光室 上空)	2.71E-09	6.75E-06	1.61E-03	2.10E-04	职业	1.83E-03
	J3	东北侧 9m 以 上 12m 以下墙 体外 30cm (退 火炉上空)	2.76E-07	1.10E-04	1.19E-02	8.18E-04	公众	1.28E-02

14# 曝光室	A4	东南侧墙体外 30cm (操作 室)	3.49E-15	2.63E-08	1.49E-04	8.13E-03	职业	8.28E-03
	B4	东北侧墙体外 30cm (13#曝 光室)	2.78E-20	8.15E-12	2.25E-07	3.03E-05	职业	3.05E-05
	C4	西北侧墙体外 30cm (过道)	4.32E-16	3.24E-09	1.84E-05	5.08E-04	公众	5.26E-04
	D4	工件门外 30cm	2.17E-16	1.63E-09	9.27E-06	2.50E-04	公众	2.59E-04
	E4	西南侧墙体外 30cm (退火 炉)	2.57E-21	1.89E-12	7.75E-08	5.10E-03	公众	5.10E-03
	G4	迷路门外 30cm	8.00E-02	3.25E-05	6.75E-05	1.21E-05	职业	8.01E-02
	H4	14#曝光室顶 30cm	2.75E-09	1.35E-05	3.22E-03	1.02E-03	公众	4.25E-03
	I4	西南侧 9m 以 上 12m 以下墙 体外 30cm (退 火炉上空)	2.00E-16	6.03E-10	2.30E-06	1.13E-05	公众	1.36E-05
J4	东北侧 9m 以 上 12m 以下墙 体外 30cm (13#曝光室 上空)	2.38E-09	1.17E-05	2.80E-03	9.73E-04	职业	3.78E-03	

综上，各曝光室周围关注点年有效剂量最大值为 $4.99E-01\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）的剂量限值和本项目的剂量约束值。

2、本项目辐射工作人员受照剂量综合分析

本项目除管理人员外，其余辐射工作人员均为新招，且本项目探伤室50m范围内无其他辐射源项，因此，操作人员不考虑既有项目的剂量叠加，管理人员需考虑既有项目叠加。本项目正常运行过程中，操作人员不仅会受到探伤机穿过墙体的照射，还会受到 γ 射线探伤机暂存时、搬运时的照射，放射源管理人员会受到管理放射源时的照射，综合前文分析，则本项目辐射工作人员受照剂量如下表：

表 11-33 本项目关注点及保护目标辐射剂量率计算结果汇总表

辐射工作 人员	设备运行年 受照剂量 (mSv/a)	γ 射线探伤机 暂存时年受照 剂量 (mSv/a)	γ 射线探伤机 搬运时年受照 剂量 (mSv/a)	γ 射线探伤机 准备时年受照 剂量 (mSv/a)	放射源管理 年受照剂量 (mSv/a)	总受照剂量 (mSv/a)
------------	--------------------------	--	--	--	---------------------------	------------------

操作人员	4.99E-01	0.28	2	0.06	/	2.84
放射源 管理人员	/	/	/	/	0.05+1.39	1.44

综上，本项目探伤室建成投用后，所致职业人员年总附加有效剂量最大为**2.84mSv/a**，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员**20mSv/a**的剂量限值和本次评价确定的职业人员**5mSv/a**的管理约束值。

3、本项目周围保护目标年有效剂量分析

根据本项目辐射工作场所布局和外环境关系，结合表7-1中的环境保护目标分析，本项目拟建的2座探伤室相对集中，部分环境保护目标可能同时受到2座探伤室的影响。因此，对于保护目标的影响分析首先考虑以距离保护目标最近的曝光室墙体外关注点为影响源，根据距离关系分析各探伤室周围较近的保护目标，再结合场所布局对同时受多座探伤室影响的保护目标进行相应的剂量叠加影响分析。各保护目标年剂量预测结果见下表。

表11-34 探伤室周围保护目标年有效剂量预测结果

序号	保护目标	与各曝光室相对方位、距离(m) 及参照点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)				叠加 年剂量 (mSv/a)
		备料车间探伤室		重型车间探伤室		
		11#曝光室	12#曝光室	13#曝光室	14#曝光室	
3	备料车间120、250 卷板区工作人员	/	东南，8	东北，37	/	3.10E-02
		/	B2 (γ 射线) 1.13E-01	B3 (γ 射线) 5.48E-02	/	
4	备料车间260镗铣床 工作人员	/	东南，28	东北，30	/	4.53E-03
		/	B2 (γ 射线) 1.13E-01	B3 (γ 射线) 5.48E-02	/	
5	备料车间金工车间 工作人员	/	东，32	/	/	2.11E-03
		/	B2 (γ 射线) 1.13E-01	/	/	
6	备料车间纵缝区工 作人员	东北，16	东北，11	东北，50	/	5.72E-02
		D1 (γ 射线) 9.94E-01	D2 (加速器) 2.21E-02	B3 (γ 射线) 5.48E-02	/	
7	备料车间20、40、70 卷板区工作人员	北，12	北，18	/	/	9.92E-02
		B1 (γ 射线) 8.74E-01	E2 (γ 射线) 1.69E-01	/	/	
8	备料车间货车来料	西北，20	西北，24	/	/	3.69E-02

	区、板材翻转区、钢板立放区工作人员	B1 (γ射线) 8.74E-01	E2 (γ射线) 1.69E-01	/	/	
9	重型车间试压区工作人员	西, 34	西, 34	西北, 37	西北, 37	1.48E-02
		A1 (γ射线) 9.94E-01	A2 (γ射线) 4.75E-02	C3 (γ射线) 1.13E-01	C4 (加速器) 4.81E-03	
10	重型车间平车区工作人员	西南, 14	西南, 14	西北, 15	西北, 15	8.75E-02
		A1 (γ射线) 9.94E-01	A2 (γ射线) 4.75E-02	C3 (γ射线) 1.13E-01	C4 (加速器) 4.81E-03	
11	重型车间喷砂室1工作人员	南, 20	南, 13	东北, 13	/	5.61E-02
		A1 (γ射线) 9.94E-01	B2 (γ射线) 1.13E-01	B3 (γ射线) 5.48E-02	/	
12	重型车间退火炉1工作人员	南, 24	南, 23	东北, 7	/	6.57E-02
		A1 (γ射线) 9.94E-01	B2 (γ射线) 1.13E-01	B3 (γ射线) 5.48E-02	/	
13	35kV变电站巡检工作人员	/	/	东南, 13	东南, 13	5.55E-02
		/	/	A3 (加速器) 4.16E-01	A4 (加速器) 2.71E-02	
14	岷江路西段的公众	/	/	东南, 50	东南, 50	3.77E-03
		/	/	A3 (加速器) 4.16E-01	A4 (加速器) 2.71E-02	
15	重型车间退火炉2工作人员	/	/	/	西南, 10	6.56E-02
		/	/	/	E4 (加速器) 2.04E-01	
16	重型车间喷砂间2工作人员	/	/	/	西南, 16	2.56E-02
		/	/	/	E4 (加速器) 2.04E-01	
17	气瓶存放区工作人员	/	/	/	西南, 48	2.85E-03
		/	/	/	E4 (加速器) 2.04E-01	
18	空压机房巡检人员	/	/	7	西南, 26	9.71E-03
		/	/	/	E4 (加速器) 2.04E-01	
<p>备注：1、由于各曝光室内使用多种探伤设备，本次计算时取各曝光室关注点在各种探伤设备运行时最不利剂量率（最大值），根据保护目标距离关系，并按照各曝光室全年工作时间和居留因子为1进行保守计算。</p> <p>2、由于备料车间探伤室和重型车间探伤室均为并联探伤室，即曝光室并排相连，因此部分保护目标考虑了有多层防护墙防护，其最近点贡献的年剂量可忽略不计。</p> <p>3、根据前文统计，11#曝光室年累计出束时间为1500h，12#曝光室年累计出束时间1540h，13#曝光室年累计出束时间为1540h，14#曝光室年累计出束时间为1740h。</p>						
<p>由上表分析，本项目建成投用后，两座探伤室（4间曝光室）全部运行情况下，所致周边保护目标最大年有效剂量为9.92E-02mSv/a，均低于《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中1mSv/a的剂量限值和本项目</p>						

0.1mSv/a的剂量约束值。

此外,电子直线加速器在实际运行过程中,拍片剂量率随工件厚度进行调节,低于预测剂量率,X射线探伤机探伤实际管电压、管电流也会根据工件厚度实际调整,低于预测工况, γ 射线探伤机中放射源随着时间的推移和衰变,探伤装置产生的电子直线加速器、X、 γ 射线经探伤室墙体和防护门屏蔽、距离衰减后,本项目周围环境保护目标受照剂量远低于预测剂量,对项目周围公众影响更小。

二、大气环境影响分析

空气在辐射照射下产生臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)等有害气体,其中氮氧化物产额约为臭氧的三分之一,且臭氧的毒性更高,因此本评价主要对臭氧进行分析。

由于本项目4间曝光室使用了不同种类的探伤机,每间曝光室内的各类型探伤机均是单独使用,不会同时使用2台或以上探伤机。下面分别对每间曝光室使用每种探伤机单独进行臭氧产生量及浓度进行分析。

1、臭氧产额

(1) 电子直线加速器

电子直线加速器臭氧产额计算公式如下:

$$Q = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S \cdot R \cdot g \dots\dots\dots \text{(式 11-22)}$$

式中:

Q-臭氧产率(mg/h);

G-射束在距离源点 1m 处的剂量率(Gy/h · m²), 本项目加速器 1m 处的剂量率;

S-射束在距离源点 1m 处的照射面积(m²), 取 0.23;

R-射束径迹长度(m), 取 1;

g-空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O₃ 的分子数, 取 10。

(2) X 射线探伤机

本项目最大拟使用 350kV, 5mA 的 X 射线探伤机, 根据《辐射所致臭氧的估算与分析》(王时进、娄云, 中华放射医学防护杂志, 1994 年 4 月第 14 卷第 2 期, P101), 假设在射线照射期间臭氧无分解, 臭氧在曝光室内均匀分布, 则臭

氧的产额由下式进行计算：

$$P = 2.43 \cdot D(1 - \cos\theta) \cdot R \cdot G \dots\dots\dots \text{(式 11-23)}$$

式中：

P-臭氧的产额，mg/h；

D-离辐射源 1m 处的辐射剂量率，本项目取功率最大探伤机（350kV 5mA），即 0.1175Gy/min · m²；

R-射线束中心轴上源点至曝光室内墙的最远距离，本项目 11#曝光室取 7.3m，12#曝光室取 8.3m，13#曝光室取 27.8m，14#曝光室取 27m；

G-空气每吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 的分子数，本项目取值为 10。

θ-射线束的半张角，本项目取值 15°。

(3) γ 射线探伤机

本项目使用 ⁶⁰Co-γ 射线探伤机和 ¹⁹²Ir-γ 射线探伤机，根据《辐射所致臭氧的估算与分析》(王时进、娄云，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期，P101)中对点状 γ 密封源臭氧产额计算公式如下：

$$P = 3.02 \cdot A \cdot K_r \cdot G \cdot V^{1/3} \dots\dots\dots \text{(式 11-24)}$$

式中：

P-臭氧的产额，mg/h。

A-放射源的活度，3.7TBq。

K_r-放射源的空气比释动能率常数，Gy · m² · TBq⁻¹ · min⁻¹；根据《辐射防护导论》(方杰主编)P75 表 3.2 可知：对于 ⁶⁰Co，K_r=5.20×10⁻³Gy · m² · TBq⁻¹ · min⁻¹；对于 ¹⁹²Ir，K_r=1.89×10⁻³Gy · m² · TBq⁻¹ · min⁻¹。

G-空气每吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 的分子数，本项目取值为 10。

V-探伤室室内体积，11#曝光室取 359m³，12#曝光室取 830m³，13#曝光室取 3340m³，14#曝光室取 3981m³。

2、臭氧浓度

当照射时间足够长，浓度均匀，则可根据以下公式计算曝光室内臭氧浓度：

$$C = \frac{P \cdot T}{V} \dots\dots\dots \text{(式 11-25)}$$

$$T = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots (\text{式 11-26})$$

式中:

C 一室内臭氧平衡浓度, mg/m³;

P 一臭氧产额, mg/h;

T 一臭氧有效清除时间, 11#曝光室取 0.19h, 12#曝光室取 0.21h, 13#曝光室取 0.21h, 14#曝光室取 0.21h;

V 一探伤室室内体积, 11#曝光室取 359m³, 12#曝光室取 830m³, 13#曝光室取 3340m³, 14#曝光室取 3981m³;

t_v 一平均每次换气时间, 11#曝光室取 0.25h, 12#曝光室取 0.29h, 13#曝光室取 0.29h, 14#曝光室取 0.29h;

t_d 一臭氧分解时间, 0.83h。

经计算, 项目电子直线加速器、X 射线探伤机和 γ 射线探伤机在工作状态下, 曝光室内臭氧产额及臭氧浓度如下表所示:

表11-35各曝光室内不同探伤机运行时的抽样产额及抽样浓度
(产额单位: mg/h, 浓度单位mg/m³)

场所		电子直线加速器	X射线探伤机	γ 射线探伤机	
				⁶⁰ Co	¹⁹² Ir
备料车间探伤室	11#曝光间	/	产额: 0.71 浓度: 3.76E-04	产额: 4.13 浓度: 2.19E-03	产额: 1.50 浓度: 7.94E-04
	12#曝光间	产额: 8.97 浓度: 2.27E-03	产额: 0.81 浓度: 2.05E-04	产额: 5.46 浓度: 1.38E-03	产额: 1.98 浓度: 5.04E-04
重型车间探伤室	13#曝光间	产额: 8.97 浓度: 5.64E-04	产额: 2.71 浓度: 1.70E-04	产额: 8.69 浓度: 5.46E-04	产额: 3.16 浓度: 1.99E-04
	14#曝光间	产额: 26.91 浓度: 1.42E-03	产额: 2.63 浓度: 1.39E-04	产额: 9.21 浓度: 4.86E-04	产额: 3.35 浓度: 1.77E-04

由上表可知, 本项目各曝光室在各种探伤机运行时产生的臭氧室内浓度最大仅为 2.27E-03mg/m³, 远低于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中规定的 O₃ 的最高允许浓度 0.3mg/m³ 限值要求。同时, 曝光室内臭氧经过通风管道引出探伤室后高于探伤室屋顶排放, 经大气的稀释和扩散作用后, 其浓度进一步的降低, 远低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中 O₃ 的 1 小时平均浓度限值 0.2mg/m³ 的要求。

三、声环境影响分析

本项目使用轴流式排风机功率较大，且为连续排风。轴流式排风机位于曝光室内，并采取隔声、减振等降噪措施，采取措施后噪声值为 65dB(A)（声功率级）。由于该噪声源为点声源，且处于半自由空间，按照“导则”中的推荐预测模式进行预测计算：

$$L_{A(r)} = L_{WA} - 20 \lg r - 8 \quad (\text{式 11-27})$$

式中：

$L_{A(r)}$ —距噪声源不同距离处的声级值，dB（A）；

L_{WA} —噪声源的声功率级 dB（A），65dB（A）。

表 11-36 噪声源衰减预测结果情况表

距离r（m）	1	2	3	4	5	6	7
$L_{A(r)}$ （dB（A））	57	51	47	45	43	41	40

本项目噪声源距离公司厂界最近约 44m，因此厂界昼间和夜间噪声可以达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348—2008）3 类区标准限值的要求，对厂界噪声贡献值很小，不会对周围声环境产生明显影响。

四、水环境影响分析

本项目产生的废水主要包括洗片废水和工作人员生活污水，其中洗片废水约 80m³/a，工作人员生活污水约 20m³/a。本项目产生的废水经厂区污水预处理设施处理后排入市政污水管网，通过市政污水管网进入什邡市城市生活污水处理厂处理。

五、固体废物环境影响分析

本项目产生的固体废物主要为生活垃圾、废放射源、废显影液、废定影液、废胶片。

（1）生活垃圾：工作人员产生的生活垃圾约 16.0kg/d，依托厂区现有垃圾桶统一收集后由市政环卫部门统一清运。

（2）废放射源：本项目使用的γ射线探伤机放射源由设备厂家更换，每次更换后放射源由设备厂家回收处置，公司不擅自更换和处置。

(3) 废显影液、废定影液、废胶片：公司每年探伤作业预计产生废显影液、定影液各 1000L/a、废胶片 2500 张/a。根据生态环境部和国家发展改革委联合发布《国家危险废物名录（2025 年版）》（2025 年 1 月 1 日实施）中的危险废物划分类别，废显影液、定影液及胶片属于编号为 HW16 的危险废物。产生的废显影液、定影液及废胶片需用专用的、设置了危险识别标志的容器进行收集贮存，公司应与有处理资质的单位签订回收处理协议，并严格按照要求实施。

废显影液、定影液不得外排，废胶片不得作为一般固体废物处理。产生的废显影液、定影液采用未破损的密封桶包装，包装桶的材质为能够完全防渗漏的钢、铁和高密度塑料，选用的包装容器不能与所装的废显、定影液发生化学反应，所装废显、定影液的液面须距桶盖 10cm，桶重量不能超过 50kg。废胶片可用中度强度以上的不破损的塑料编制袋进行包装，装袋完毕，封口严实，每袋重量不超过 50kg。应在废显、定影液和废胶片的包装物上粘贴包括“危废标识和危废类别、存放时间、责任人及处置单位”等相关信息标签，并醒目显示收集废液的名称。废液收集桶及废胶片暂存柜放置地点应做好防渗、防水、防倾倒、防腐等工作，防止泄漏后造成二次污染，严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中要求：①产生的废显影液、定影液及废胶片需用专用的容器进行收集贮存，存放容器及暂存区域应当设置危险识别标志；②禁止将不相容（相互反应）的危险废物在同一容器内混装，不相容的危险废物必须分开存放，并设有隔离间隔断；③危险废物贮存容器：应当使用符合标准的容器盛装，容器及材质要满足相应的强度要求，容器必须完好无损，盛装容器的材质和衬里要与危险废物相容（不相互反应）；④危险废物暂存区域地面与裙脚要用坚固、防渗的材料建造（建筑材料必须与危险废物相容），必须有耐腐蚀的硬化地面，且表面无裂隙，干片室要有安全照明设施和观察窗口；⑤应设计堵截泄漏的裙脚，地面与裙脚所围建的容积不低于堵截最大容器的最大储量。

公司需加强废显定影液、废胶片的产生、贮存、转运、处置等环节的管理，由专人负责管理，建立完整的台帐，对产生的数量和去向进行严格登记，填报危废转移联单。

六、射线装置报废处理

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 449 号令）第

33 条要求“报废的射线装置应去功能化处理”和《四川省辐射污染防治条例》要求“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目电子直线加速器和 X 射线探伤机涉及报废时，必须进行去功能化，使电子直线加速器和 X 射线探伤机不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

七、放射源的退役处理

γ 射线探伤机使用的放射源到一定时间后，因衰变不能满足无损检测要求，将退役成为废放射源，公司应按照国家有关放射源购买、运输、退役的相关要求，到省级生态环境主管部门办理相关手续。公司应严格按照国家有关放射源更换和处置的相关规定要求，与设备厂家签订废放射源回收协议，由放射源生产厂家或者设备厂家派专业技术人员到公司回收和更换 γ 射线探伤机内的放射源，完成放射源更换或者回收后，公司不得擅自处理放射源和更换放射源。

事故影响分析

一、环境风险评价目的

环境风险评价是为了分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、事故风险识别

本项目所用电子直线加速器、X 射线探伤机属于 II 类射线装置， γ 射线探伤机使用的 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 放射源属于 II 类放射源，其风险因子为 X 射线、 γ 射线。按照国务院 449 号令第四十条关于事故的分级原则现将项目的风险物质、风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于表 11-37 中。

表11-37 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级情况表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失

	控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本项目根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）表1的骨髓型急性重度放射病的受照剂量范围参考值，如下表11-38：

表 11-38 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50.0Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

三、源项分析及最大可能性事故分析

1、电子直线加速器、X 射线探伤机探伤可能发生的辐射事故

①探伤工件搬运人员还未全部撤出探伤室，操作人员违反操作规程启动加速器或探伤机，造成曝光室内滞留人员被误照，引发辐射事故。

②安全联锁装置或声光报警系统发生故障，加速器或探伤机工作时无关人员打开探伤室大门误入探伤室造成人员被误照射，引发辐射事故。

③由于门-机联锁装置失效，防护门未完全关闭或射线装置工作时门被开启，射线装置仍能开机出束，造成大量射线外泄，对防护门外活动的工作人员及公众产生较大剂量照射。

④加速器或探伤机在检修时，未采取断电作业，误启动开关，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

2、 γ 射线探伤机可能发生的辐射事故

①γ射线探伤机在对工件进行照射的工况下，探伤室门机联锁失效，工作人员误入探伤室，或铅防护门未完全关闭，至使射线泄漏到曝光室外面，给工作人员及周围活动的人员造成不必要的照射。

②人员滞留曝光室内尚未完全撤出，γ射线探伤机对工件进行探伤，造成工作人员受到额外的照射。

③放射源源闸开关出现故障未能及时收回，工作人员在不知情的情况下误入探伤室，将受到较大额外辐射照射，造成严重的安全隐患。

④检修机器时，γ射线探伤机中的放射源从容器中掉出来，会对操作人员及可能到达的公众产生辐射照射。

⑤放射源丢失或偷盗事件，将造成严重的安全隐患，可能导致重大辐射事故。

四、辐射事故影响分析

1、X 射线探伤机事故情形

假定在事故情况下，人员误入探伤室、误操作、未关闭防护门等情况下，X射线直接照射到人员，人员与X射线探伤机靶点最近距离为1m，人员受到的有效剂量与X射线探伤机产生的初级射线束造成的空气吸收剂量有关，在空气中探伤机产生的初级射线束造成的空气吸收剂量可用式 11-28 计算：

$$D = I\delta_x / r^2 \quad \dots\dots\dots \text{(式 11-28)}$$

式中：

D —空气吸收剂量率， $\text{mGy}\cdot\text{min}^{-1}$ ；

I —管电流， mA ；本项目取 5mA ；

δ_x —距辐射源点（靶点） 1m 处输出量，本项目探伤机最大管电压 350kV ，参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（ GBZ/T 250-2014 ，表 B.1），管电压为 400kV ，滤过材料为 3mm 铜的探伤机 X 射线输出量取 $23.5\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；

r —参考点距 X 射线管焦斑的距离， m 。

在探伤过程中，发生辐射事故时，相关人员可以立即通过切断探伤机电源结束探伤机出束或按下紧急停机按钮，整个处理时间为 0.5min ，辐射事故受照射剂量计算结果见表 11-39。

表11-39 事故情况下受到的剂量估算结果情况表（无防护）

与 X 射线探伤机的距离 (m)	受照剂量 (mGy)					
	0.1min	0.2min	0.3min	0.5min	1min	2min
1m	11.75	23.5	35.25	58.75	117.5	235
2m	2.94	5.88	8.82	14.7	29.4	58.8
3m	1.31	2.62	3.93	6.55	13.1	26.2
4m	0.73	1.46	2.19	3.65	7.3	14.6
5m	0.47	0.94	1.41	2.35	4.7	9.4
6m	0.33	0.66	0.99	1.65	3.3	6.6
7m	0.24	0.48	0.72	1.2	2.4	4.8
8m	0.18	0.36	0.54	0.9	1.8	3.6

根据表 11-39 项目探伤作业时在主射方向上最大可能受照剂量为 235mGy/次, 高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值, 公众 1mSv/a 的剂量限值, 根据表 11-37、11-38, 会构成一般辐射事故。

2、电子直线加速器事故情形

本项目使用 6MeV 和 9MeV 电子直线加速器, 为保守考虑, 采用 9MeV 电子直线加速器作为事故分析。

当 9MeV 电子直线加速器处于出束状态时, 假如有人员滞留于曝光室内, 可能会对相关人员造成严重的放射损伤或超剂量照射。本项目 9MeV 电子直线加速器主射线束 1m 处辐射剂量率取 30Gy/min, 辐射泄漏剂量率取 1/1000, 在无屏蔽设施情况下, 对距 X 射线辐射源不同距离、不同接触时间下的受照剂量进行估算, 估算结果见表 11-40。

表 11-40 电子直线加速器事故情况下滞留于探伤室人员所受剂量估算结果表

与电子直线加速器辐射源的距离 (m)		受照射剂量 (Gy)					
		0.1min	0.2min	0.3min	0.5min	1min	2min
1m	主射线	3	6	9	15	30	60
	漏射线	3.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}	9.0×10^{-3}	1.5×10^{-2}	3.0×10^{-2}	6.0×10^{-2}
2m	主射线	7.50×10^{-1}	1.50	2.25	3.75	7.50	15
	漏射线	7.50×10^{-4}	1.5×10^{-3}	2.25×10^{-3}	3.75×10^{-3}	7.50×10^{-3}	1.5×10^{-2}
3m	主射线	3.33×10^{-1}	6.67×10^{-1}	1	1.67	3.33	6.67
	漏射线	3.33×10^{-4}	6.67×10^{-4}	1×10^{-3}	1.67×10^{-3}	3.33×10^{-3}	6.67×10^{-3}
4m	主射线	1.88×10^{-1}	3.75×10^{-1}	5.62×10^{-1}	9.38×10^{-1}	1.88	3.75
	漏射线	1.88×10^{-4}	3.75×10^{-4}	5.62×10^{-4}	9.38×10^{-4}	1.88×10^{-3}	3.75×10^{-3}
5m	主射线	1.20×10^{-1}	2.40×10^{-1}	3.60×10^{-1}	6.00×10^{-1}	1.20	2.40
	漏射线	1.20×10^{-4}	2.40×10^{-4}	3.60×10^{-4}	6.00×10^{-4}	1.20×10^{-3}	2.40×10^{-3}
6m	主射线	8.33×10^{-2}	1.67×10^{-1}	2.5×10^{-1}	4.17×10^{-1}	8.33×10^{-1}	1.67
	漏射线	8.33×10^{-5}	1.67×10^{-4}	2.5×10^{-4}	4.17×10^{-4}	8.33×10^{-4}	1.67×10^{-3}

7m	主射线	6.12×10^{-2}	1.22×10^{-1}	1.84×10^{-1}	3.06×10^{-1}	6.12×10^{-1}	1.22
	漏射线	6.12×10^{-5}	1.22×10^{-4}	1.84×10^{-4}	3.06×10^{-4}	6.12×10^{-4}	1.22×10^{-3}
8m	主射线	4.69×10^{-2}	9.38×10^{-2}	1.41×10^{-1}	2.34×10^{-1}	4.69×10^{-1}	9.38×10^{-1}
	漏射线	4.69×10^{-5}	9.38×10^{-5}	1.41×10^{-4}	2.34×10^{-4}	4.69×10^{-4}	9.38×10^{-4}

由于加速器只有在开机的状态下才会产生X射线，一旦发现有人员误入，只要关闭电源或误入人员启动紧急逃逸装置即可解除辐射事故，本项目在曝光室内使用墙上、迷路内墙上分别安装“紧急停机按钮”，因此，在正常情况下处理加速器辐射事故的时间较短，整个处理时间约0.5min。

由表11-45可以看出，曝光室内误入人员在距离靶1m处停留0.5min，其所受有效剂量最高达15Gy/次，远远超出标准规定的限值；根据表11-37、11-38，可能发生的辐射事故为较大辐射事故。

3、 γ 射线探伤机事故情形

(1) 放射源丢失、被盗

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号），II类放射源丢失、被盗、失控，属于重大辐射事故。

本项目涉及的放射源在 γ 射线探伤机内，在日常工作中，公司拟配专人负责设备管理，并做好设备的日常检查，拟在探伤室门口设置远程监控探头和报警装置，确保放射源安全。因此，本项目放射源被盗或丢失事件发生的概率相对很小，而一旦发生，应立即启动事故应急预案。

(2) 人员误入、滞留探伤场所辐射事故影响分析

假设考虑 γ 探伤机出源检测时，人员误入探伤工作场所，在无其他屏蔽的情况下，位于有用射线束方向，则事故情况下误入人员随着时间推移受到的辐射剂量见表11-41。

表11-41 γ 射线探伤事故状态下随时间推移人员受照射剂量情况表

与辐射源的距离 (m)	受照剂量 (mSv)					
	0.1min	0.2min	0.3min	0.5min	1min	2min
1m	2.16	4.32	6.48	1.08×10^1	2.16×10^1	4.32×10^1
2m	5.40×10^{-1}	1.08	1.62	2.70	5.40	1.08×10^1
3m	2.40×10^{-1}	4.80×10^{-1}	7.19×10^{-1}	1.20	2.40	4.80
4m	1.35×10^{-1}	2.70×10^{-1}	4.05×10^{-1}	6.74×10^{-1}	1.35	2.70
5m	8.63×10^{-2}	1.73×10^{-1}	2.59×10^{-1}	4.32×10^{-1}	8.63×10^{-1}	1.73
6m	6.00×10^{-2}	1.20×10^{-1}	1.80×10^{-1}	3.00×10^{-1}	6.00×10^{-1}	1.20
7m	4.40×10^{-2}	8.81×10^{-2}	1.32×10^{-1}	2.20×10^{-1}	4.40×10^{-1}	8.81×10^{-1}

8m	3.37×10^{-2}	6.74×10^{-2}	1.01×10^{-1}	1.69×10^{-1}	3.37×10^{-1}	6.74×10^{-1}
----	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

根据表 11-46，假设考虑 γ 探伤机出源检测时，人员误入探伤工作场所，在无其他屏蔽的情况下，位于有用射线束方向，人员所受的最大有效剂量为 43.2mSv/次，高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值，公众 1mSv/a 的剂量限值，结合表 11-37、11-38，会构成一般辐射事故。

本项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级情况见表 11-42。

表 11-42 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	环境风险因子	事故场景	危害结果	事故等级
电子直线加速器	电子线、X射线	①探伤工件搬运人员还未全部撤出探伤室，操作人员违反操作规程启动加速器或探伤机，造成曝光室内滞留人员被误照，引发辐射事故。②安全联锁装置或声光报警系统发生故障，加速器或探伤机工作时，无关人员打开探伤室大门误入探伤室造成人员被误照射，引发辐射事故。③由于门-机联锁装置失效，防护门未完全关闭或射线装置工作时门被开启，射线装置仍能开机出束，造成大量射线外泄，对工作人员及公众产生较大剂量照射。④加速器或探伤机在检修时，未采取断电作业，误启动开关，造成有关人员被误照，引发辐射事故。	事故状态下，所受有效剂量最高为 15Gy/次	较大辐射事故
X射线探伤机	X射线	① γ 射线探伤机在对工件进行照射的工况下，探伤室门机联锁失效，工作人员误入探伤室，或铅防护门未完全关闭，致使射线泄漏到曝光室外，给工作人员及周围活动的人员造成不必要的照射。②人员滞留曝光室内尚未完全撤出， γ 射线探伤机对工件进行探伤，造成工作人员受到额外的照射。③放射源源闸开关出现故障未能及时收回，工作人员在不知情的情况下误入探伤室，将受到较大额外辐射照射，造成严重的安全隐患。④检修机器时， γ 射线探伤机中的放射源从容器中掉出来，会对操作人员及可能到达的公众产生辐射照射。	事故状态下，所受有效剂量最高为 235mGy/次	一般辐射事故
γ 射线探伤机	γ 射线	① γ 射线探伤机在对工件进行照射的工况下，探伤室门机联锁失效，工作人员误入探伤室，或铅防护门未完全关闭，致使射线泄漏到曝光室外，给工作人员及周围活动的人员造成不必要的照射。②人员滞留曝光室内尚未完全撤出， γ 射线探伤机对工件进行探伤，造成工作人员受到额外的照射。③放射源源闸开关出现故障未能及时收回，工作人员在不知情的情况下误入探伤室，将受到较大额外辐射照射，造成严重的安全隐患。④检修机器时， γ 射线探伤机中的放射源从容器中掉出来，会对操作人员及可能到达的公众产生辐射照射。	事故状态下，所受有效剂量最高为 43.2mSv/次	一般辐射事故
		放射源丢失或偷盗事件，将造成严重的安全隐患。	/	重大辐射事故

根据上述情况及其危害结果，若本项目发生辐射事故，最大可能辐射事故为重大辐射事故。随着照射时间的增加，有可能造成事故等级升级。本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源、立即按下紧急停机按钮，停止射线装置。

公司在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

五、事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，环评要求建设单位严格执行以下风险预防措施：

(1) 定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定完善的辐射安全规章制度并有专人监督核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

(2) 凡涉及射线装置操作，必须有明确的操作规程，探伤作业时，至少有2名操作人员同时在场，操作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

(3) 每天检查曝光室内的监控系统、联锁系统、门机联锁装置、门灯联锁装置、声光报警装置、通排风系统和固定式辐射剂量监测仪，确保一切正常并安全的情况下，射线装置才能进行照射。

(4) 在每一次照射前，操作人员都应该确认曝光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。

(5) 定期对射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换。

(6) 建设单位所有辐射工作人员均需参加辐射安全与防护考核，并需取得合格证书，所有辐射工作人员均需持证上岗。

(7) γ 射线探伤结束后，应进行辐射水平测量，确认放射源已经回到探伤机的源容器内。

(8) 公司不得自行进行倒源操作，所有换源工作由放射源生产厂家负责，其中倒源的安全责任由放射源生产厂家负责。

(9) 探伤机工作状态下，“卡源”或“源掉出”发生，回源装置失效，工作人员手动回源。一旦发生此类故障，应关闭探伤室防护门，立即封锁并保护好现场，严禁无关人员进入探伤室。同时，现场的工作人员第一时间联系放射源生

产厂家，在专业人员的指导下严格按照生产厂家提供的操作规程处理卡源故障。处理卡源故障的工作人员应穿戴好个人防护用品（铅衣、铅手套、铅眼镜等），佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，利用长柄夹等辅助工具进行操作。如公司不具备能力处理卡源故障，应在放射源生产厂家工作人员到场前务必封锁并保护现场，严禁无关人员靠近，待处理完卡源故障后，尽快对处理卡源故障的工作人员个人剂量计进行监测，一旦发现个人剂量超标显像，及时采取相应的措施。建设单位应定期检查，维修设备，杜绝此类事故发生。

六、事故应急措施

假若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效的采取以下应急措施：

①当 γ 射线探伤机探伤过程中事故发生时，设备操作人员应立即收回放射源；当电子直线加速器、X射线探伤机发生意外事故时，应立即关机断电。并对相关受照人员送至专业医院进行身体检查，确定对人身是否有损害，以便采取相应救护措施，再对仪器设备、设施进行性能检测，确定其状态。

②一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案并采取必要的防范措施。发生辐射事故时，应立即向公司领导及生态环境、公安和卫生部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。由辐射事故应急小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门，同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

③事故发生后，应立即安排受辐照人员接受医学检查，在指定的医疗机构救治，并保护好现场，如实向调查人员报告情况，以利于估算受照剂量，判定事故等级，提出控制措施，并及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作，不得隐瞒事故的真实情况。

④迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地生态环境主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

⑤事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

⑥当发生放射源丢失、被盗、失控事件，应立即报告公安部门、生态环境主管部门和卫生行政主管部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射防护与安全管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职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具有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和环境保护管理工作。

四川科新机电股份有限公司拟使用II类放射源和II类射线装置，现已成立了辐射安全与环境保护管理机构（附件6），由公司生产安全部全面负责公司辐射安全管理工作，并以文件明确机构成员组成，详见表12-1，其主要职责包括：

- (1)全面负责公司内的辐射安全管理工作；
- (2)认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合公司实际制定安全规章制度并检查监督实施；
- (3)负责公司内放射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；
- (4)检查安全环保设施，开展环保监测，对公司内使用的X射线探伤机、电子直线加速器、同位素伽马源探伤机的安全防护情况进行年度评估；
- (5)实施放射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；
- (6)妥善处理本公司的辐射事故；
- (7)定期向环保和主管部门报告安全工作，接受环保监督、监测部门的检查指导。

表12-1 辐射安全与环境保护管理领导小组设置表

职务	备注
组长	
副组长	
主要成员	
备注：辐射防护工作小组设在生产安全部。	

二、辐射工作人员配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017年修正）第十

六条规定：“使用放射性同位素或射线装置的单位，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核”。根据生态环境部《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》（公告 2019 年第 57 号），有辐射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fuShe.mec.gov.cn>）免费学习相关知识；自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员以及原持有的辐射安全培训合格单到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。

本项目拟配置 18 名辐射工作人员，其中 16 名探伤工为新增，其余 2 名管理人员为既有员工，并实行 8 小时工作制。辐射安全管理人员不参与探伤操作；4 个探伤室拟各配置 4 名辐射操作人员。

公司从事探伤操作的辐射工作人员和负责辐射安全防护的相关管理人员必须经辐射安全和防护专业知识以及相关法规的培训和考核，持证上岗。未取得辐射安全与防护培训成绩合格单的人员，不得进行探伤操作。公司应当确保探伤操作时有 2 名操作人员同时在场，每名操作人员均应配备个人剂量计。

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

辐射工作单位的相关资料应按照档案管理的基本规律和要求进行分类归档放置。建设单位档案资料主要包括：“单位许可制度执行资料”“项目环保手续履行资料”“台账管理档案”“辐射工作人员管理档案”“工作场所档案管理”“辐射事故应急管理资料”“年度评估报告”“整改落实资料”等资料。建设单位应当根据单位辐射项目开展的实际情况将档案资料进行分类管理。

二、辐射安全管理规章制度

本项目涉及使用 II 类放射源、II 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第 3 号）“第十六条”、《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》及《四川省核技术利用单位辐射安全工作指引（2025 年版）》的相关要求中的相关规定，建设单位制度清单分析及执行情况见表 12-2。

表12-2 管理制度汇总对照表

序号	需定制度名称	公司制定情况
----	--------	--------

1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定
2	辐射安全管理规定（综合性文件）	已制定
3	辐射工作设备操作规程	已制定
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定
5	辐射工作人员岗位职责	已制定
6	射线装置台账管理制度	已制定
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定
8	监测仪表使用与校验管理制度	已制定
9	辐射工作人员培训制度（或培训计划）	已制定
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定
11	辐射事故应急预案	已制定

建设单位应根据上表制定完善的辐射安全管理制度，并且指定专门的人员监督各相关部门和人员对规章制度的执行情况。建设单位定期对辐射工作人员进行辐射安全防护知识培训，强化辐射工作人员的辐射安全意识。

需上墙的规章制度：《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。上墙制度的内容应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性，尺寸不小于400mm×600mm。

三、辐射安全许可证发放条件对照分析

结合《辐射安全许可证》发放条件、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017年修订，原环保部第31号令），将本项目采取的辐射安全防护措施列于表12-3。

表12-3 《辐射安全许可证》发放条件与本项目评价结果表

序号	环保部第3号令要求	项目实际情况	评价结果
1	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	公司已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，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	满足要求
2	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	公司需尽快组织辐射工作人员通过辐射安全与防护专业知识及相关法律法规的学习和考核	人员通过考核后，满足要求
3	射线装置使用场所所有防止误操作、	公司需在探伤场所配置电离	配置后满足

	防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	辐射警告标志和工作状态指示灯等	要求
4	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，包括个人剂量报警仪、辐射测量仪器等	公司需配备便携式 X-γ 辐射监测仪、个人剂量报警仪	配备后满足要求
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案	公司需按照要求制定各项规章制度	制定后满足要求
6	有完善的辐射事故应急措施	应按照相关要求编制辐射事故应急措施	制定后满足要求
7	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	本项目不涉及	/
8	使用射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有 1 名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作	本项目不涉及	/

公司完成上述内容后，具备《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于使用 II 类射线装置、II 类放射源的许可条件。

公司在具备《辐射安全许可证》申领条件后，及时到四川省生态环境厅申请办理相关业务。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量检测。依照《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》HJ785-2016，X、γ 环境辐射剂量仪有效量程范围至少为：10nSv/h~250μSv/h；剂量当量有效量程范围至少为：10nSv~10mSv；能量响应范围至少为：50keV~3MeV，在此能量范围内的响应与对 137Cs γ 参考辐射源响应不得超过±30%。

一、工作场所监测

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

2、日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定场所及环境监测方案，监测数据应存档备查，监测频次1月/次。

3、验收监测：公司在取得《辐射安全许可证》后三个月内，应委托有资质的单位开展1次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。

二、个人剂量检测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季。

(1) 当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5.0mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。公司应当将个人剂量档案保存终身。

三、监测内容和要求

(1) 监测内容：X-γ空气吸收剂量率。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表12-4）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立监测数据台账。

表12-4 工作场所监测计划建议

设备	监测项目	监测周期	监测点位
X射线探伤机、	X-γ辐射剂量率	验收监测1次；委托有资质的单位监测，周期为1次/年；自行开展辐射监测1月/次	曝光室四周屏蔽体外30cm处、探伤室工件门门缝处、迷路防护门门缝处、辅助用房、管线穿墙处、四周保护目标处等。

电子直线加速器	X-γ辐射剂量率	验收监测 1 次；委托有资质的单位监测，周期为 1 次/年；自行开展辐射监测 1 月/次	主射束照射墙体外 30cm 方向处、曝光室四周屏蔽体外 30cm 处、探伤室工件门门缝处、迷路防护门门缝处、辅助用房、管线穿墙处、四周保护目标处等。
¹⁹² Ir-γ射线探伤机、 ⁶⁰ Co-γ射线探伤机	X-γ辐射剂量率	验收监测 1 次；委托有资质的单位监测，周期为 1 次/年；自行开展辐射监测 1 月/次	源容器表面 5cm、100cm 处；贮源坑盖板外 30cm 处；曝光室四周屏蔽体外 30cm 处、探伤室工件门门缝处、迷路防护门门缝处、辅助用房、管线穿墙处、四周保护目标处等。

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

(4) 监测工况：按照最大额定工况进行监测。

(5) 监测质量保证

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，公司需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

四、年度监测报告情况

公司应于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。公司应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。公司必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mee.gov.cn/>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

公司应根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性核素与射线装置安全与防护条例》、《放射性核素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，制定《辐射事故应急预案》，以加强对公司对射线装置的安全管理，预防辐射事故的发生、控制或减轻事故后果。

环评要求：公司应充分结合本项目放射源及射线装置的使用情况，依据国家相关法律法规和标准，使制定出来的应急预案具有操作性和可行性。公司应充分考虑到运行中可能出现的辐射事故，对电子直线加速器、X射线探伤机、 γ 射线探伤机使用过程中的事故性出束、人员误入、急停开关失灵、安全连锁系统失效等辐射事故，提出针对性应急措施。同时应加强辐射事故应急预案的演练，提高事故应急处置能力。辐射事故应急预案应报所在地区级生态环境主管部门备案。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

①立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源或按下急停开关，停止射线的产生。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

④在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤事故处理后应及时总结报告，公司对于辐射事故进行记录，包括事故发生的时间和地点，所有涉及事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；采取的任何纠正措施；分析事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

⑥对可能发生的辐射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理。

事故应急预案应包括以下内容：

①应急机构和职责分工；

②应急人员的组织、培训以及应急；

③可能发生辐射事故类别与应急响应措施；

④辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。

发生辐射事故时，建设单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的应急措施，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫健主管部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：四川科新机电股份有限公司数字化智能化生产车间新建工业探伤室项目

建设单位：四川科新机电股份有限公司

建设性质：新建

建设地点：什邡市沱江路西段 21 号公司数字化智能化生产车间

建设内容：四川科新机电股份有限公司数字化智能化生产车间内新建2座探伤室（共4间曝光室），其中备料车间探伤室位于备料车间内西南侧，包含2间曝光室（含迷路）及辅助用房，2间曝光室分别命名为11#曝光室和12#曝光室，并拟在11#曝光室内使用6台X射线探伤机，2枚放射源（ ^{192}Ir 和 ^{60}Co ），拟在12#曝光室内使用6台X射线探伤机，2枚放射源（ ^{192}Ir 和 ^{60}Co ），1台6MeV电子直线加速器；重型车间探伤室位于重型车间外东南侧，包含2间曝光室（含迷路）及辅助用房，2间曝光室分别命名为13#曝光室和14#曝光室，并拟在13#曝光室内使用6台X射线探伤机，2枚放射源（ ^{192}Ir 和 ^{60}Co ），1台6MeV电子直线加速器，拟在14#曝光室内使用6台X射线探伤机，2枚放射源（ ^{192}Ir 和 ^{60}Co ），1台9MeV电子直线加速器。本项目涉及使用的X射线探伤机和电子直线加速器属于II类射线装置；涉及使用的 γ 放射源属于II类放射源。本项目所涉及的所有探伤设备的探伤作业均在本项目探伤室内开展，本项目探伤机不涉及野外和室外探伤，且曝光室内不存在两台及两台以上探伤设备同时运行的情况。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核和辐射技术用于工业检测领域，属高新技术。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令）相关规定，本项目属于鼓励类第三十一项“科技服务业”中第 1 条“检验检测服务”，符合国家现行的产业政策。

三、本项目选址合理性分析

建设单位拟新建探伤室位于厂区内，所在厂区取得了什邡市自然资源和规划局的不动产权证，项目所在厂区进行了环境影响评价；本项目探伤室布置相对独立，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；建设单位在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，且厂区内室外探伤有控制区、监督区划分和严格的作业管理制度，监督区范围均在厂区内，产生的辐射对监督区以外的环境影响较小；新建了专门的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。因此，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据现状监测报告，本项目所在区域的 X- γ 辐射剂量率背景值为 91~94nGy/h，属于当地正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目在施工活动中，会产生施工噪声、施工废渣、施工废水，对环境存在一定影响。经过采取合理的防护措施后，对周围环境的影响较小。

2、营运期环境影响分析

（1）电离环境影响

本项目投入运行以后，所致职业人员年总附加有效剂量最大为 2.84mSv/a，所致公众受年附加有效剂量最大为 9.92E-02mSv/a。职业照射低于本次评价确定的剂量约束值 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 的要求；公众照射低于本次评价确定的剂量约束值 0.1mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

（2）大气环境影响

本项目探伤室产生的废气经排风系统通风后，浓度低于《环境空气质量标准》

(GB3095-2012)中规定的二级标准限值要求,同时不会对周围大气环境造成明显影响,产生的臭氧经自然分解和稀释后,对周围大气环境影响较小。

(3) 水环境影响

本项目产生的废水经现有污水处理池预处理后,进入什邡市城市生活污水处理厂处理。什邡市城市生活污水处理厂服务对象包含生活污水和工业废水,具备处理工业废水的能力,处理达到排放标准后经管道排入石亭江。

(4) 固体废物

工作人员产生的生活垃圾,依托厂区现有垃圾桶统一收集后由市政环卫部门统一清运。

本项目产生的废定影液、废显影液采用专用废液收集桶收集,暂存在暗室废弃药水暂存槽,定期送交有回收处理资质的单位进行处置;产生的废胶片采用纸质信封袋包装,置于专用储存柜收集,定期送交有回收处理资质的单位进行处置,对环境的影响较小。

六、环保设施与保护目标

按照要求落实后,建设单位环保设施配置较全,总体效能良好,可使本次环评中确定的绝大多数保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

七、事故风险与防范

建设单位按照要求修订或制订合理可行的辐射事故应急预案和安全规章制度,并认真贯彻实施,可减少和避免发生辐射事故与突发事件。

八、辐射安全管理的综合能力

按照要求落实后,对本项目辐射设备和场所而言,建设单位具备辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”原则,采取切实可行的环保措施,落实本报告提出的各项污染防治措施的前提下,本项目在公司备料车间内西南侧和重型车间外东南侧新建探伤室内,开展固定式室内探伤活动,从环境保护和辐射防护角度看项目建设是可行的。

十、项目环保竣工验收检查内容

1、根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施）文件第十一条规定：

（1）编制环境影响报告表的建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

（2）建设单位在环境保护设施验收过程中，应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，不得弄虚作假。

（3）除按照国家规定需要保密的情形外，建设单位应当依法向社会公开验收报告。

2、根据生态环境部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）规定：

（1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://kjs.mee.gov.cn/hjbhbz/bzwb/other>）。

（2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。

（3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）本项目设计的固体废物污染环境防治设施必须经生态环境行政主管部门验收合格后，该建设项目方可投入生产或者使用。

（5）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

根据《关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环办发〔2016〕1400 号）文件，建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205>）中备案，同时应当向所在

地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

表 13-1 11#曝光室项目环保竣工验收检查一览表

项目	设备设施	环保设施	数量
11#曝光室	场所设施	入口处工作状态指示灯箱	2 套
		入口处电离辐射警示标志	2 套
		通排风系统	1 套
		视频监控系统	1 套（4 个摄像头）
		曝光室内紧急停机按钮	9 个
		准备出束声光提示	3 套
		出口处无人复位开关	1 个
		控制区、监督区标识	1 套
		固定式辐射剂量监测仪	1 套
		紧急照明或独立通道照明系统	1 套
		门灯连锁装置	2 套
		危险废物贮存区域（重点防渗处理）	1 处（与 12#曝光室共用）
		废定、显影液收集桶	各 1 个（与 12#曝光室共用）
	废胶片专用储存柜	1 个（与 12#曝光室共用）	
	监测设备	个人剂量计	4 套
		个人剂量报警仪	2 套
		便携式辐射剂量监测仪（与原有核技术利用共用）	1 台
	其他	灭火器材	1 套
		个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	---
		废显、定影液及废胶片处理	---
		辐射安全与防护学习及考核	---
	安全连锁	控制台钥匙控制	1 套
		门机连锁装置、门灯连锁装置、门剂量连锁等	1 套
		急停开关联锁	1 套
		控制台紧急停机按钮	1 套
		控制台紧急回源按钮	1 套
	探伤机	源容器电离辐射标志（ γ 射线探伤机）	2 个
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2 个
		放射源编码卡（ γ 射线探伤机）	2 个
		安全锁和专用钥匙	2 个
探伤装置外观无明显缺损		2 个	
放射源位置显示（ γ 射线探伤机）		2 个	
探伤装置生产日期（有效期 10 年）		2 个	
应急物资	应急处理工具（如长柄夹具）	1 套	
	放射源应急屏蔽材料或容器（铅板等）	1 套	

表 13-2 12#曝光室项目环保竣工验收检查一览表

项目	设备设施	环保设施	数量	
12#曝光室	场所设施	入口处工作状态指示灯箱	2 套	
		入口处电离辐射警示标志	2 套	
		通排风系统	1 套	
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	1 套（4 个摄像头）	
		曝光室内紧急停机按钮	10 个	
		准备出束声光提示	3 套	
		出口处无人复位开关	1 个	
		控制区、监督区标识	1 套	
		固定式辐射剂量监测仪	1 套	
		紧急照明或独立通道照明系统	1 套	
		门灯联锁装置	2 套	
		危险废物贮存区域（重点防渗处理）	1 处（与 11#曝光室共用）	
		废定、显影液收集桶	各 2 个（与 11#曝光室共用）	
		废胶片专用储存柜	1 个（与 11#曝光室共用）	
	监测设备	个人剂量计	4 套	
		个人剂量报警仪	2 个	
		便携式辐射剂量监测仪（与原有核技术利用共用）	1 台	
	其他	灭火器材	1 套	
		个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	---	
		废显、定影液及废胶片处理	---	
		辐射安全与防护学习及考核	---	
	安全联锁	电子直线加速器	防止非工作人员操作的锁定开关	1 套
			控制台紧急停机按钮	1 套
		¹⁹² Ir、 ⁶⁰ Co γ射线探伤机、X 射线探伤机	控制台紧急回源按钮	1 套
			控制台钥匙控制	1 套
		共用	控制台紧急停机按钮	1 套
			门机联锁装置、门灯联锁装置、门剂量联锁等	1 套
探伤机	急停开关联锁	1 套		
	源容器电离辐射标志（γ射线探伤机）	2 个		
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2 个	

应急物资	放射源编码卡（ γ 射线探伤机）	2个
	安全锁和专用钥匙	2个
	探伤装置外观无明显缺损	2个
	放射源位置显示（ γ 射线探伤机）	2个
	探伤装置生产日期（有效期10年）	2个
	应急处理工具（如长柄夹具）	1套
	放射源应急屏蔽材料或容器（铅板等）	1套

表 13-3 13#曝光室项目环保竣工验收检查一览表

项目	设备设施	环保设施	数量	
13#曝光室	场所设施	入口处工作状态指示灯箱	2套	
		入口处电离辐射警示标志	2套	
		通排风系统	1套	
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	1套（6个摄像头）	
		曝光室内紧急停机按钮	13个	
		准备出束声光提示	3套	
		出口处无人复位开关	1个	
		控制区、监督区标识	1套	
		固定式辐射剂量监测仪	1套	
		紧急照明或独立通道照明系统	1套	
		门灯联锁装置	2套	
		危险废物贮存区域	1处（与14#曝光室共用）	
		废定、显影液收集桶	各1个（与14#曝光室共用）	
	废胶片专用储存柜	1个（与14#曝光室共用）		
	监测设备	个人剂量计	4套	
		个人剂量报警仪	2台	
		便携式辐射剂量监测仪（与原有核技术利用共用）	1台	
	其他	灭火器材	1套	
		个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	---	
		废显、定影液及废胶片处理	---	
	安全联锁	电子直线加速器	防止非工作人员操作的锁定开关	1套
			控制台紧急停机按钮	1套
		^{192}Ir 、 ^{60}Co	控制台紧急回源按钮	1套

	γ射线探伤机、X射线探伤机	控制台钥匙控制	1套
		控制台紧急停机按钮	1套
	共用	门机联锁装置、门灯联锁装置、门剂量联锁等	1套
		急停开关联锁	1套
	探伤机	源容器电离辐射标志（γ射线探伤机）	2个
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2个
		放射源编码卡（γ射线探伤机）	2个
		安全锁和专用钥匙	2个
		探伤装置外观无明显缺损	2个
		放射源位置显示（γ射线探伤机）	2个
	应急物资	探伤装置生产日期（有效期10年）	2个
		应急处理工具（如长柄夹具）	1套
		放射源应急屏蔽材料或容器（铅板等）	1套

表 13-4 14#曝光室项目环保竣工验收检查一览表

项目	设备设施	环保设施	数量
14#曝光室	场所设施	入口处工作状态指示灯箱	2套
		入口处电离辐射警示标志	2套
		通排风系统	1套
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	1套（6个摄像头）
		曝光室内紧急停机按钮	16个
		准备出束声光提示	3套
		出口处无人复位开关	1个
		控制区、监督区标识	1套
		固定式辐射剂量监测仪	1套
		紧急照明或独立通道照明系统	1套
		门灯联锁装置	2套
		危险废物贮存区域	1处（与13#曝光室共用）
		废定、显影液收集桶	各1个（与13#曝光室共用）
	废胶片专用储存柜	1个（与13#曝光室共用）	
	监测设备	个人剂量计	4套
		个人剂量报警仪	2台
		便携式辐射剂量监测仪（与原有核技术利用共用）	1台
其他	灭火器材	1套	
	个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	---	

		废显、定影液及废胶片处理	---
		辐射安全与防护学习及考核	---
安全 联锁	电子 直线 加速 器	防止非工作人员操作的锁定开关	1 套
		控制台紧急停机按钮	1 套
	¹⁹² Ir、 ⁶⁰ Co γ射 线探 伤 机、 X 射 线探 伤机	控制台紧急回源按钮	1 套
		控制台钥匙控制	1 套
		控制台紧急停机按钮	1 套
	共用	门机联锁装置、门灯联锁装置、门剂量联锁等	1 套
		急停开关联锁	1 套
探伤机		源容器电离辐射标志（γ射线探伤机）	2 个
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	2 个
		放射源编码卡（γ射线探伤机）	2 个
		安全锁和专用钥匙	2 个
		探伤装置外观无明显缺损	2 个
		放射源位置显示（γ射线探伤机）	2 个
		探伤装置生产日期（有效期 10 年）	2 个
应急物资		应急处理工具（如长柄夹具）	1 套
		放射源应急屏蔽材料或容器（铅板等）	1 套

建议和承诺

- 1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 2、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核。公司应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fuShe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得辐射安全培训成绩合格单，今后培训时间超过 5 年的辐射工作人员，需进行再考核，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fuShe.mee.gov.cn>）。
- 3、将个人剂量信息和年度监测报告作为年度评估报告的内容。
- 4、每年要对射线装置使用情况进行安全和防护状况年度评估，安全和防护状况年度评估报告要按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全

和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；并且年度评估报告的电子档还应上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。

5、定期检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

6、建设单位须重视控制区和监督区的管理。

7、单位在申办辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），完善相关信息。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。