

核技术利用建设项目

重装制造基地项目（核技术利用部分）

环境影响报告表

（公示本）

四川宜宾江源化工机械制造有限责任公司

二〇二五年八月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

重装制造基地项目（核技术利用部分）

环境影响报告表

建设单位名称：四川宜宾江源化工机械制造有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：宜宾市翠屏区象鼻镇十里村

邮政编码：644012

联系人：胡友文

联系电话：13118497476

电子邮箱：254051582@qq.com



编制单位和编制人员情况表

项目编号	3da3hz		
建设项目名称	重装制造基地项目（核技术利用部分）		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	四川宜宾江源化工机械制造有限公司		
统一社会信用代码	91511500744688063N		
法定代表人（签章）	袁建华		
主要负责人（签字）	袁代黎		
直接负责的主管人员（签字）	胡友文		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	四川省自然资源实验测试研究中心(四川省核应急技术支持中心)		
统一社会信用代码	12510000MB1P513986		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
廖敏	03520240551000000030	BH030032	廖敏
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
廖敏	评价依据、环境质量和辐射现状、辐射安全管理	BH030032	廖敏
钟贵江	项目基本情况、保护目标及评价标准、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、结论与建议	BH018430	钟贵江

目 录

表 1 项目概况	1
表 2 放射源	16
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	17
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6 评价依据	19
表 7 保护目标与评价标准	22
表 8 环境质量和辐射现状	25
表 9 项目工程分析与源项	28
表 10 辐射安全与防护	43
表 11 环境影响分析	61
表 12 辐射安全管理	104
表 13 结论与建议	112

附件：

附件 1：环评委托书

附件 2：项目备案表

附件 3：建设用地规划许可证

附件 4：公司现有辐射安全许可证

附件 5：辐射安全与环境保护管理机构文件

附件 6：宜宾三江新区城乡融合发展局《关于对四川宜宾江源化工机械制造有限公司重装制造基地项目环境影响报告表的批复》（宜环三江审批〔2025〕18 号）

附件 7-1：四川省环境保护局《关于对宜宾江源化工机械制造有限公司压力容器探伤室项目环境影响报告表的批复》（川环建函〔2005〕535 号）（1#、2#探伤室）

附件 7-2：建设项目竣工环境保护验收意见（1#、2#探伤室）（川环核验〔2006〕6 号）

附件 8-1：四川省环境保护局《关于对宜宾江源化工机械制造有限公司新建探伤室 X、 γ 射线探伤建设项目环境影响报告表的批复》（川环建函〔2008〕758 号）（3#、4#探伤室）

附件 8-2：建设项目竣工环境保护验收意见（3#、4#探伤室）（川环核验〔2009〕57 号）

附件 9-1：四川省环境保护厅《关于四川宜宾江源化工机械制造有限公司新增 γ 射线装置、直线加速器和工作场所项目环境影响报告表的批复》（川环审批〔2013〕418 号）（5#、6#探伤室）

附件 9-2：建设项目竣工环境保护验收意见（5#、6#探伤室）（川环核验〔2016〕34 号）

附件 10：危险废物终端处置委托协议

附件 11：四川宜宾江源化工机械制造有限公司重装制造基地项目（核技术利用部分）监测（辐宜监字〔2025〕第 F24 号）

附件 12：辐射工作人员培训及辐射工作场所监测情况的说明

附件 13：项目技术资料确认说明

附图：

附图 1 项目地理位置图

附图 2 项目所在厂区平面布局图

附图 3 项目外环境关系图

附图 4-1 容器车间探伤室平面布局及剖面图

附图 4-2 机加工车间后端探伤室平面布局及剖面图

附图 4-3 不锈钢车间探伤室平面布局及剖面图

附图 5-1 容器车间探伤室人流、物流路径示意图

附图 5-2 机加工车间后端探伤室人流、物流路径示意图

附图 5-3 不锈钢车间探伤室人流、物流路径示意图

附图 6-1 容器车间探伤室两区划分示意图

附图 6-2 机加工车间后端探伤室两区划分示意图

附图 6-3 不锈钢车间探伤室两区划分示意图

附图 7-1 容器车间探伤室辐射安全防护设施布置示意图

附图 7-2 机加工车间后端探伤室辐射安全防护设施布置示意图

附图 7-3 不锈钢车间探伤室辐射安全防护设施布置示意图

附图 8 项目辐射环境现状监测布点图

附图 9 宜宾市中心城区声环境功能区划分图

附图 10 宜宾临港经济技术开发区控制性详细规划图

表 1 项目概况

建设项目名称		重装制造基地项目（核技术利用部分）			
建设单位		四川宜宾江源化工机械制造有限责任公司			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		宜宾市翠屏区象鼻镇十里村			
项目建设地点		四川省宜宾市三江新区 DC-L-03-02（b）-01 地块			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		2000	项目环保投资（万元）	754.8	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☒ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其它	/			

项目概述

一、建设单位简介及项目由来

四川宜宾江源化工机械制造有限责任公司（统一社会信用代码：***）公司始创于 1984 年，专业从事压力容器、化工机械设计、制造，具备 A1（单层高压）、A2（一、二、三类中低压）压力容器设计、制造资格，是一家集科研、设计、制造、安装压力容器、化工机械为一体的科技型民营企业，是中国化工装备协会的成员单位。公司生产的各类塔器、换热器、聚合釜、反应器、大型储罐等非标设备压力容器及各种输送提升设备广泛用于石化、环保、化工、医药、冶金、轻工、电站等各个行业。

建设单位已取得了四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00008 号]）（附件 4），许可种类和范围为：使用 II 类放射源、使用 II 类射线装置，有效期至 2028 年 12 月 15 日。

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、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。为顺应时代的发展和社会的需求，四川宜宾江源化工机械制造有限公司拟在四川省宜宾市三江新区 DC-L-03-02（b）-01 地块建设重装制造基地项目，项目于 2024 年 11 月 14 日取得宜宾三江新区发展和政策研究局备案（备案号：川投资备【2411-511599-04-01-760397】F00B-0239 号）（附件 2），预计年产 300 台（套）特材及重大件化工设备，目前该项目已完成环境影响评价并取得了宜宾三江新区城乡融合发展局《关于对四川宜宾江源化工机械制造有限公司重装制造基地项目环境影响报告表的批复》（宜环三江审批〔2025〕18 号）（附件 6），项目正在建设中。重装制造基地项目建成后，公司将形成双基地的格局，即现位于翠屏区象鼻镇十里村的老基地和位于三江新区的重装制造基地，两个基地之间直线距离约 10km。

为确保产品质量，公司拟在三江新区的重装制造基地内的场地东侧建设 3 座探伤室（4 间曝光室），共使用 2 台电子直线加速器（II 类射线装置）、8 台 X 射线探伤机（II 类射线装置）和 6 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》等相关规定和要求，本项目需进行环境影响评价。

本项目涉及使用 II 类射线装置和 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。按照四川省生态环境厅《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》（川环规〔2025〕1 号），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，四川宜宾江源化工机械制造有限公司委托四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心）对该项目开展环境影响

评价工作。编制单位接受委托后，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《重装制造基地项目（核技术利用部分）环境影响报告表》。

二、环境影响评价报告信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，本项目环境影响报告表编制完成后，建设单位四川宜宾江源化工机械制造有限责任公司在公司网站对该项目进行了信息公开，截图如下：



图 1.1 项目信息公开网页截图

公示后，未收到任何单位和个人有关项目情况的反馈意见。

三、产业政策符合性

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），本项目属于其中鼓励类第三十一项“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。

四、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：重装制造基地项目（核技术利用部分）

建设单位：四川宜宾江源化工机械制造有限责任公司

建设性质：新建

建设地点：四川省宜宾市三江新区 DC-L-03-02 (b) -01 地块

(二) 建设内容与规模

本项目拟在重装制造基地东侧新建 3 座探伤室（共 4 间曝光室），并分别在各探伤室配置使用探伤机，其中的容器车间探伤室和机加工车间后端探伤室位于生产厂房外，不锈钢车间探伤室位于生产厂房内，所有探伤作业均在探伤室内开展，不涉及野外和室外探伤，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。具体为：

1、容器车间探伤室

容器车间探伤室为并联探伤室，包括 2 间曝光室，即北侧以 4MeV 电子直线加速器为主的曝光室（以下简称北侧 4MeV 曝光室）和南侧以 6MeV 电子直线加速器为主的曝光室（以下简称南侧 6MeV 曝光室），辅助工程包括为两间曝光室配套的两间操作室，面积分别为 36m² 和 26.9m²，以及共用的暗室（15.5m²）、晾片室（15.6m²）和评片室（22.7m²）。

(1) 北侧 4MeV 曝光室

曝光室：室内面积 257.5m²，净空尺寸长 25m×宽 10.3m×高 11.9m，采用钢筋混凝土结构；曝光室除南面与南侧 6MeV 曝光室共用的主屏蔽墙为 2.5m 厚外，其余三面墙体和屋顶均为 1.2m 厚，曝光室东侧的迷道内、外墙均为 1.2m 厚；工件进出门位于曝光室西侧，门洞尺寸高 7.3m×宽 6m，工件门为高 7.8m×宽 6.5m×厚 1.2m 的钢筋混凝土电动推拉门；曝光室内设平车轨道和储源坑（长 1.6m×宽 0.8m×深 0.6m），曝光室东侧的迷道出入口采用 5mmPb 手动推拉防护门。

探伤设备：使用 1 台 4MeV 电子直线加速器、1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机、1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机、1 台 ¹⁹²Ir-γ射线探伤机（装源 1 枚，活度 3.7×10¹²Bq）和 1 台 ⁶⁰Co-γ射线探伤机（装源 1 枚，活度 3.7×10¹²Bq）。

工作负荷：4MeV 电子直线加速器年出束时间 500h，YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机年出束时间各 300h，¹⁹²Ir-γ射线探伤机和 ⁶⁰Co-γ射线探伤机年出束时间各 400h。

(2) 南侧 6MeV 曝光室

曝光室：室内面积 403.5m²，净空尺寸长 30m×宽 13.45m×高 13.1m，采用钢

钢筋混凝土结构；曝光室除北面与北侧 4MeV 曝光室共用的主屏蔽墙为 2.5m 厚外，其余三面墙体和屋顶均为 1.4m 厚，曝光室东侧的迷道内外墙均为 1.4m 厚；工件进出门位于曝光室西侧，门洞尺寸高 10.3m×宽 9m，工件门为高 10.8m×宽 9.5m×厚 1.4m 的钢筋混凝土电动推拉门；曝光室内设平车轨道和储源坑（长 1.6m×宽 0.8m×深 0.6m），曝光室东侧的迷道出入口采用 5mmPb 手动推拉防护门。

探伤设备：使用 1 台 6MeV 电子直线加速器、1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机、1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机、1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机（装源 1 枚，活度 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ）和 1 台 ^{60}Co - γ 射线探伤机（装源 1 枚，活度 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ）。

工作负荷：6MeV 电子直线加速器年出束时间 300h，YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机年出束时间各 300h， ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 ^{60}Co - γ 射线探伤机年出束时间各 400h。

2、机加工车间后端探伤室

机加工车间后端探伤室包括曝光室和配套的操作室（31m²）、暗室（16m²）、晾片室（14.5m²）和评片室（15m²）。

曝光室：室内面积 132m²，净空尺寸长 15m×宽 8.8m×高 6.8m；采用钢筋混凝土结构，曝光室四周墙体均为 0.75m 厚，屋顶为 0.7m 厚，曝光室东侧的迷道内外墙均为 0.60m 厚；工件进出门位于曝光室西侧，门洞尺寸高 6.6m×宽 5.6m，工件门为高 7.1m×宽 6.1m×厚 0.75m 的钢筋混凝土电动推拉门；曝光室内设平车轨道和储源坑（长 1m×宽 0.8m×深 0.6m），曝光室东侧的迷道出入口采用 5mmPb 手动推拉防护门。

探伤设备：使用 1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机、1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机和 1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机（装源 1 枚，活度 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ）。

工作负荷：YG-XD-300 定向 X 射线探伤机年出束时间 200h，YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机年出束时间 400h， ^{192}Ir - γ 射线探伤机年出束时间 400h。

3、不锈钢车间探伤室

不锈钢车间探伤室包括曝光室和配套的操作室（23m²）、暗室（11.2m²）、晾片室（11m²）和评片室（12m²）。

曝光室：室内面积 230.4m²，净空尺寸长 24m×宽 9.6m×高 7.7m；采用钢筋混凝土结构，曝光室四周墙体均为 0.75m 厚，屋顶为 0.7m 厚，曝光室南侧的迷

道内外墙均为 0.60m 厚；工件进出门位于曝光室北侧，门洞尺寸高 7.5m×宽 6.5m，工件门为高 8m×宽 7m×厚 0.75m 的钢筋混凝土电动推拉门；曝光室内设平车轨道和储源坑（长 1m×宽 0.8m×深 0.6m），曝光室南侧的迷道出入口采用 5mmPb 手动推拉防护门。

探伤设备：使用 1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机、1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机和 1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机（装源 1 枚，活度 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ）。

工作负荷：YG-XD-300 定向 X 射线探伤机年出束时间 250h，YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机年出束时间 500h， ^{192}Ir - γ 射线探伤机年出束时间 250h。

表 1-1 项目主要建设内容统计表

序号	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	
			4MeV	6MeV	YG-XD-300 定向	YG-XZ-300 周向	¹⁹² Ir	⁶⁰ Co
1	容器车间探伤室	北侧 4MeV 曝光室	1	——	1	1	1	1
		南侧 6MeV 曝光室	——	1	1	1	1	1
2	机加工车间后端探伤室		——	——	1	1	1	——
3	不锈钢车间探伤室		——	——	1	1	1	——
合计			1	1	4	4	4	2

4、探伤工件情况

项目探伤工件为重装制造基地生产的聚合釜、换热器、汽提塔和普通压力容器等，工件直径约 2m-6m，长度约 8m-28m，厚约 10-200mm，主要材质为碳钢、钛材、镍材和不锈钢等。

5、项目组成

项目组成及主要环境问题见下表。

表 1-2 项目组成及主要环境问题表

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	容器车间探伤室 (并联探伤室)	北侧 4MeV 曝光室： (1) 曝光室：新建钢筋混凝土结构曝光室，曝光室内设平车轨道和储源坑。 (2) 探伤设备：1 台 4MeV 电子直线加速器、1 台 ¹⁹² Ir-γ射线探伤机、1 台 ⁶⁰ Co-γ射线探伤机、1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机。	扬尘 废水 固废 噪声	X 射线 γ射线 β射线 噪声 臭氧 氮氧化物 废放射源
		南侧 6MeV 曝光室： (1) 曝光室：新建钢筋混凝土结构曝光室，曝光室内设平车轨道和储源坑。 (2) 探伤设备：1 台 6MeV 电子直线加速器、1 台 ¹⁹² Ir-γ射线探伤机、1 台 ⁶⁰ Co-γ射线探伤机、1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机。		
	机加工车间后端探伤室	(1) 曝光室：新建钢筋混凝土结构曝光室，曝光室内设平车轨道和储源坑。 (2) 探伤设备：1 台 ¹⁹² Ir-γ射线探伤机、1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机。		
	不锈钢车间探伤室	(1) 曝光室：新建钢筋混凝土结构曝光室，曝光室内设平车轨道和储源坑。 (2) 探伤设备：1 台 ¹⁹² Ir-γ射线探伤机、1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机。		
辅助工程	(1) 容器车间探伤室（并联探伤室）：操作室（两间）、暗室、晾片室、评片室。 (2) 机加工车间后端探伤室：操作室、暗室、晾片室、评片室。 (3) 不锈钢车间探伤室：操作室、暗室、晾片室、评片室。		扬尘 废水 固废 噪声	废显影液 废定影液 废胶片 洗片废水
环保工程	依托重装制造基地拟建的污水收集处理设施、固体废物收运设施及危险废物暂存间等。			
公用工程	依托重装制造基地拟建的供水、供电等设施。		/	生活污水 生活垃圾
办公及生活设施	依托重装制造基地拟建的办公及生活设施。			
仓储及其它	依托重装制造基地拟建的产品储存场所。			

(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下表。

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（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ）、无水亚硫酸钠
	Co-60 放射源	2 枚	外购	约 12 年更换 1 次
	Ir-192 放射源	4 枚	外购	约 6 个月更换 1 次
能源	电	20000kWh	市政	—
水量	水	400m ³	市政	—

（四）本项目涉及的射线装置和放射源

本项目涉及的射线装置包括电子直线加速器和 X 射线探伤机，放射源包括 ^{60}Co 和 ^{192}Ir ，具体分别见表 1-4~1-7。

表 1-4 本项目电子直线加速器相关情况

名称	型号	生产厂家	参数	射线类型	投射方向	管理类别	使用场所	备注
电子直线加速器	DZ-6/1000	北京机械工业自动化研究所有限公司	X 射线束最大能量 6MeV，距离靶 1m 处最大 X 射线辐射剂量率为 600Gy/h	X 射线	水平向北 ~ 竖直向下	II	容器车间探伤室（南侧 6MeV 曝光室）	拟购 1 台
电子直线加速器	DZ-4/500	北京机械工业自动化研究所有限公司	X 射线束最大能量 4MeV，距离靶 1m 处最大 X 射线辐射剂量率为 300Gy/h	X 射线	水平向南 ~ 竖直向下	II	容器车间探伤室（北侧 4MeV 曝光室）	拟购 1 台
型 号			DZ-4/500		DZ-6/1000			
能量（MeV）			4		6			
1m 处剂量率（Gy/h）			300		600			
焦点直径（mm）			≤2		≤2			
剂量率稳定时间（s）			≤5		≤5			
X 射线场均匀度			＞75%		＞62%			
X 射线场对称性			≤±5%		≤±5%			
泄漏剂量率			0.1%		0.1%			
照射视野尺寸			由锥角 30°的圆锥形准直器限定		由锥角 30°的圆锥形准直器限定			
射线透射钢工件厚度			50-250mm		50-280mm			
可靠性			连续工作 8 小时稳定运行，在 8 小时内可由控制台操作人员恢复的短时间中断不超过 4 次，且每次时间不超过 30 分钟。					

表 1-5 本项目 X 射线探伤机情况

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	使用场所	辐射角度	最大穿透钢板厚度 (mm)	投射类型	数量 (台)
YG-XD-300	300	5	3	II	每间曝光室各一台	40°	50	定向	4
YG-XZ-300	300	5	3	II	每间曝光室各一台	40°	50	周向	4

表 1-6 本项目 γ 射线探伤机情况

设备名称	放射源核素	放射源数量 (枚)	单枚活度 (Bq)	放射源类别	使用场所	最大穿透钢板厚度 (mm)	数量 (台)
^{192}Ir - γ 射线探伤机	^{192}Ir	4	3.7×10^{12}	II	4 间曝光室各一台	100	4
^{60}Co - γ 射线探伤机	^{60}Co	2	3.7×10^{12}	II	容器车间探伤室的两间曝光室各一台	200	2

表 1-7 放射源基本参数情况

核素种类	活度 (Bq)	放射源类别	放射源数量	半衰期	辐射类型	辐射最大能量	备注
^{192}Ir	$3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$	II类	4 枚	74.3d	β 射线 γ 射线	$E\beta=0.35\text{MeV}$ $E\gamma=0.38\text{MeV}$	放射源活度不能满足要求时, 联系放射源厂家更换放射源
^{60}Co	$3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$	II类	2 枚	5.27a	β 射线 γ 射线	$E\beta=0.32\text{MeV}$ $E\gamma=1.33\text{MeV}$	

(五) 项目外环境关系及选址合理性分析

1、项目外环境关系

由项目所在厂区总平面布置图 (附图 2) 和项目外环境关系图 (附图 3) 可知, 公司重装制造基地项目占地面积较大, 场地东西长约 485m, 南北宽约 200m, 探伤室距离东侧厂界最近约 40m, 距离南侧厂界最近约 30m, 北侧和西侧 50m 范围均位于厂界以内。其中:

①容器车间探伤室: 该探伤室位于重装基地生产厂房外, 东侧 0-14m 为厂区内通道, 14-29m 为标件库、焊材库, 29-40m 为厂区内通道, 40-50m 为厂区外空地; 东南侧 24m 处为固废堆场, 38m 处为危废间和危化品库; 南侧 0-10m 为厂房间的设备布置区域, 10-20m 为热处理炉, 24-32m 为喷砂房, 32-42m 为油漆

房，42-48m 为厂房间空地，48-50m 为机加工车间后端探伤室；**西南侧** 23-50m 为不锈钢车间，30-50m 为预制区；**西侧** 3m 处为生产厂房中的重型容器车间和中型容器车间，18-50m 为酸洗区；**西北侧** 32-50m 为下料预制车间；**北侧** 5-10m 为喷砂房，15-20m 为油漆房，20-50m 为生产厂房内的抛光区。

②机加工车间后端探伤室：该探伤室位于重装基地生产厂房外，**东侧** 3-13m 为浴室和卫生间，13-31m 为厂区内通道，31-46m 为危废间、危化品库和气瓶库，46-50m 为厂区内通道；**南侧** 2-10m 为机修间，10-31m 为配电站和发电站，31-45m 为厂区内通道，45-50m 为兴港路；**西南侧** 3-20m 为机加工车间，20-40m 为废水设备区，33-50m 为空压站；**西侧** 0-3m 为厂房间空地，3-14m 为不锈钢车间，14-50m 为预制区；**西北侧** 25-50m 为重型容器车间和酸洗区；**北侧** 0-7m 为厂房间空地，10-17m 为油漆房，17-27m 为喷砂房，27-32m 为厂房间空地，32-42m 为热处理炉，42-48m 为厂房间的设备布置区域，48-50m 为容器车间探伤室；**东北侧** 34-50m 为固废堆场，43-50m 为标件库、焊材库。

③不锈钢车间探伤室：该探伤室位于重装基地生产厂房内，**东侧** 38-50m 为机加工车间和不锈钢车间，**东南侧** 13-28m 为空压站，28-50m 为废水设备区；**南侧** 0-30m 为厂区内通道，30-50m 为兴港路；**西南侧** 8-50m 为重型标件库；**西侧** 2-35m 为设备制造区，35-50m 为自动堆焊区；**西北侧和北侧** 2-42m 均为预制区，42-50m 为酸洗区；**东北侧** 2-38m 为预制区，38-50m 为重型容器车间。

项目**所有探伤室下方均无建筑**，容器车间探伤室和机加工车间后端探伤室位于生产厂房外，上方无建筑；不锈钢车间探伤室位于生产厂房内，**探伤室上方无行车操作人员**。

2、项目选址合理性分析

建设单位拟建重装制造基地位于宜宾市三江新区 DC-L-03-02 (b) -01 地块，本项目探伤场所位于重装制造基地项目用地范围内东侧。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。

本项目位于工业园区内，辐射工作场所周围 50m 范围内无学校、医院、居民等敏感目标，50m 评价范围基本上都位于厂界以内，仅有东侧和南侧有少部分范围超出厂界，且超出的部分分别为空地和道路。

本项目拟建的 3 座探伤室布置相对独立，布置在厂区东侧人员活动较少的区

域；辐射工作场所具有良好的实体屏蔽设施和防护措施，通过曝光室实体防护和距离衰减后，能够有效减少电离辐射对探伤室四周公众的影响，使职业人员和公众所受剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求和本报告表确定的剂量管理约束值要求。

综上所述，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

（六）实践正当性分析

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。建设单位拟对压力容器进行无损检测，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、 γ 射线和 X 射线探伤的方法效果显著，因此，该项目的实践是必要的。

由于探伤装置的应用可能会给周围环境和人员造成一定的辐射影响，探伤装置的使用或管理失误还可能造成辐射安全事故。建设单位在开展电子直线加速器、X 射线和 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安全防护要求落实相应措施，建立辐射安全管理规章制度并严格落实。

因此，在正确使用和严格管理好辐射源的情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目运行对环境和周围人员及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此，本探伤项建设具有实践正当性。

（七）劳动定员及工作制度

本项目拟新备 9 名辐射工作人员，其中 8 名探伤机操作人员，1 名辐射安全管理人员（不参与探伤操作），均为公司新配置辐射工作人员，所有操作人员仅开展本项目辐射工作，不参与公司原有辐射工作。公司拟将辐射工作人员分为 4 组，每组 2 人共同固定负责一间曝光室的探伤工作。项目实行 8 小时工作制，年工作时间 300 天。

建设单位今后可根据业务发展实际适当增加人员编制，并严格执行辐射工作人员培训制度，组织所有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，考核合格后方可上岗。

五、本项目依托条件及可行性分析

本项目所依托的重装制造基地项目已完成环评并取得生态环境主管部门批复，目前已开工建设，基地已设计的办公生活设施及环保工程如下：

1、办公生活设施：重装制造基地项目拟在厂区西侧建设办公楼（7F）和综合楼（3F），可以满足基地职工办公生活需要。

2、废水治理措施：重装制造基地项目拟在综合楼北侧建设一个容积为 60m³ 的预处理池，生活污水经预处理池处理后排入园区污水管网，最后进入宜宾市白沙城镇污水处理厂处理后达标排放。

3、固体废物治理措施：重装制造基地项目拟通过合理设置垃圾箱收集生活垃圾，每日交环卫部门统一处理；在厂区西侧设面积约 250m² 的固废堆场收集一般固体废物；在厂区东侧设置一处危废暂存间（80m²）用于暂存危险废物，危废暂存间将做地面防渗、防腐措施，满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中危险废物临时暂存间的要求。

综上所述，重装制造基地项目已全面规划了基地的公用工程、环保工程及办公生活等设施，且本项目是为重装制造基地项目生产的产品进行质量检测服务，将在重装制造基地工程建成之后才能建成运行，因此，本项目依托重装制造基地相关设施是可行的。

六、原有核技术利用项目情况

（一）原有核技术利用项目环保手续履行情况

建设单位在现有翠屏区象鼻镇十里村厂区已建设有 6 间探伤室，分三次开展了环评，并全部完成了竣工环境保护验收，具体见下表。

表 1-8 公司原有核技术利用项目环保手续履行情况

序号	项目名称	建设内容	环评批复	竣工验收
1	压力容器探伤项目	1、2 号探伤室	川环建函（2005）535 号	川环核验（2006）6 号
2	新建探伤室 X、γ射线探伤建设项目	3、4 号探伤室	川环建函（2008）758 号	川环核验（2009）57 号
3	新增γ射线装置、直线加速器和工作场所项目	5、6 号探伤室	川环审批（2013）418 号	川环核验（2016）34 号

（二）原有项目辐射安全许可证情况

建设单位已取得了四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（川环辐证

[00008 号]）（附件 4），许可种类和范围为：使用Ⅱ类放射源、使用Ⅱ类射线装置，有效期至 2028 年 12 月 15 日。具体情况见下表。

表 1-9 已获许可使用的放射源和射线装置

一、放射源					
序号	辐射活动场所	核素	活度（Bq）	类别	数量/枚
1	探伤室 1	Ir-192	3.70E+12	Ⅱ	1
2		Ir-192	3.59E+12	Ⅱ	1
3	探伤室 3	Co-60	3.70E+12	Ⅱ	1
4	探伤室 4	Ir-192	3.70E+12	Ⅱ	1
5	探伤室 5	Ir-192	3.70E+12	Ⅱ	1
6	探伤室 6	Co-60	3.70E+12	Ⅱ	1
二、电子直线加速器					
序号	辐射活动场所	名称	型号	类别	数量/台
1	探伤室 3	工业探伤用加速器	DZ-4/500	Ⅱ	1
2	探伤室 6	工业探伤用加速器	暂未购置	Ⅱ	1
三、X 射线探伤机					
序号	辐射活动场所	名称	型号	类别	数量/台
1	探伤室 1	工业 X 射线探伤装置	YG-XD-300	Ⅱ	1
2		工业 X 射线探伤装置	YG-XZ-300	Ⅱ	1
3	探伤室 2	工业 X 射线探伤装置	YG-B130G	Ⅱ	2
4	探伤室 4	工业 X 射线探伤装置	YG-XD-300	Ⅱ	1
5		工业 X 射线探伤装置	YG-XZ-300	Ⅱ	1
6		工业 X 射线探伤装置	YG-XD-250	Ⅱ	1
7	探伤室 5	工业 X 射线探伤装置	YG-XD-300	Ⅱ	1
8		工业 X 射线探伤装置	YG-XZ-300	Ⅱ	1
9	探伤室 6	工业 X 射线探伤装置	YG-XD-300	Ⅱ	1

（三）辐射工作人员培训及个人剂量情况

公司现有辐射工作人员共 11 名，其中 2 名为辐射安全管理人员，所有人员均严格按照国家相关规定参加培训并取得了成绩合格单，目前均在有效期内（附件 12）。建设单位为每名辐射工作人员均配备了个人剂量计，编号定人佩戴，每季度定期交有资质的机构进行检测，并建立了个人剂量档案，截止目前，所有在岗辐射工作人员的个人剂量检测结果均未超过单季度个人剂量 1.25mSv 和年

剂量 5mSv 的剂量约束值。

根据《放射性同位素与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》的相关规定，从事 II 类射线装置活动以及放射性同位素操作的工作人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。辐射安全与防护培训成绩合格单有效期为五年，有效期满应参加复训。

（四）辐射工作场所监测情况

建设单位于 2024 年 11 月委托四川谱识检测技术有限公司对现有 6 座探伤室开展了辐射环境现状监测，根据 2024 年度监测报告监测结果数据表明，各探伤室屏蔽体外 30cm 处 X-γ 空气吸收剂量率均未超过 2.5μSv/h，各探伤室屏蔽体外监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量约束值要求。

（五）年度评估报告

建设单位按要求于 2025 年 1 月 15 日在全国核技术利用申报系统中提交了“2024 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”，包括基本信息、辐射安全许可证符合性检查及变更情况、本年度放射性同位素与射线装置使用台账及变更情况、辐射防护设施设备及废物处置、辐射安全与防护制度的修订和落实情况、辐射工作人员和个人剂量情况、场所辐射环境监测及监测数据、辐射事故及应急响应情况、辐射安全隐患及整改情况等。

（六）辐射安全管理规章制度执行情况

建设单位已建立了辐射安全管理领导小组（附件 5），并制定有相对完善的管理制度，包括《辐射安全管理规定（综合性文件）》《辐射工作设备操作规程》《辐射安全和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账管理制度》《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》《辐射从业人员培训制度（或培训计划）》《辐射从业人员个人剂量管理制度》《辐射事故应急预案》等，并于 2024 年对辐射事故应急预案和上墙制度进行了修订完善。建设单位辐射安全管理机构健全，分工明确，各项制度执行有效，已具备辐射安全管理的综合能力。公司应根据本次项目建设内容对相关规章制度进行补充完善，并且根据国家新发布的相关法规内容，结合公

司实际情况及时对各项规章制度进行更新和修订。

（七）辐射事故及应急相关情况

建设单位已制定有《辐射事故应急预案》，并于 2024 年 4 月开展了辐射事故应急救援演练。经建设单位核实，自开展辐射活动以来，未发生过辐射事故。

（八）与本项目有关的原有主要环境问题

根据建设单位《2024 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》可知：公司放射源与射线装置管理账物相符，辐射安全许可证所规定的活动种类和范围未发生变化，辐射工作场所年度监测均满足相应标准要求，辐射工作人员个人剂量监测结果满足要求剂量约束值要求，危险废物均交由有资质单位处置，开展了辐射事故应急演练。经与建设单位核实，未发生过辐射事故，无遗留环境问题。

此外，由于本项目是在公司新的重装制造基地进行建设，与原有翠屏区象鼻镇十里村厂区相隔直线距离约 10km，两个厂区相对独立，在本项目拟建厂区无与项目相关原有环境问题。

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 ×4	II	使用	γ射线无损检测	每间曝光室各一枚	每间曝光室储源坑内各存 1 枚	拟购
2	⁶⁰ Co	3.7×10 ¹² ×2	II	使用	γ射线无损检测	容器车间探伤室两间曝光室内各一枚	容器车间探伤室两间曝光室储源坑内各存 1 枚	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

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/h)	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	600	无损检测	容器车间探伤 室南侧 6MeV 曝光室内	—
2	电子直线加速器	II类	1 台	DZ—4/500	电子	4	300	无损检测	容器车间探伤 室北侧 4MeV 曝光室内	—

(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	定向 X 射线探伤机	II类	4 台	YG-XD-300	300	5	无损检测	3 座探伤室的 4 间曝光室内	定向
2	周向 X 射线探伤机	II类	4 台	YG-XZ-300	300	5	无损检测	3 座探伤室的 4 间曝光室内	定向

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			—

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	—	收集存放在危险废物暂存间	定期委托有资质的单位处理处置
废显（定）影液	液态	—	—	—	各 1000L	—	收集存放在危险废物暂存间	定期委托有资质的单位处理处置
洗片废水	液态	—	—	—	20m ³	—	—	经厂区内污水预处理设施处理后排入园区污水管网，最后进入宜宾市白沙城镇污水处理厂处理后达标排放。
废放射源	固态	Ir-192	<3.7×10 ¹² Bq	4 枚，约 6 个月更换 1 次			暂存于探伤室储源坑内	由供源单位回收处理
废放射源	固态	Co-60	<3.7×10 ¹² Bq	2 枚，约 12 年更换 1 次			暂存于探伤室储源坑内	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	(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); (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); (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); (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会第十六次会议通过, 2020 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议第二次修订); (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); (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); (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); (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); (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); (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); (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); (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); (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);
------	--

	(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）； (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）； (16) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省第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）； (17) 《国家危险废物名录（2025 年版）》； (18) 《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）； (19) 《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）。
技 术 标 准	(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》（HJ 10.1-2016）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (5) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； (6) 《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB 22448-2008）； (7) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）； (8) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）； (9) 《γ射线探伤机》（GB/T 14058-2023）； (10) 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）； (11) 《无损检测用电子直线加速器》（GB/T 20129-2015）； (12) 《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ 785-2016）； (13) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）； (14) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ 114-2006）； (15) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）。

其他	(1) 环评委托书; (2) 《辐射防护手册》(第一、第三分册, 原子能出版社, 1987); (3) 《辐射防护导论》(方杰主编); (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)); (5) 《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》(川环函〔2016〕1400 号)。
----	---

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），本项目确定以各曝光室屏蔽墙为边界向外的周围 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本项目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。由于项目三座探伤室在临近区域分散建设，三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甚至三座探伤室的保护目标。由于各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。项目保护目标情况详见下表。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

序号	保护目标	与各曝光室相对方位及最近距离(m)			规模(人)	保护类型	年剂量约束值(mSv)
		容器车间探伤室	机加工车间后端探伤室	不锈钢车间探伤室			
1	北侧 4MeV 探伤室操作室内的工作人员	东，紧邻	/	/	2	职业	5
2	南侧 6MeV 探伤室操作室内的工作人员	东，紧邻	/	/	2		
3	机加工车间后端探伤室操作室内的工作人员	/	东，紧邻	/	2		
4	不锈钢车间探伤室操作室内的工作人员	/	/	南，紧邻	2		
5	标件库、焊材库工作人员	东，14	东北，43	/	2	公众	0.1
6	固废堆场工作人员	东南，24	东北，34	/	1		
7	危废间和危化品库工作人员	东南，38	东，31	/	1		
8	热处理炉工作人员	南，10	北，32	/	1		
9	喷砂房工作人员	南，24	北，17	/	1		
10	油漆房工作人员	南，32	北，10	/	1		
11	不锈钢车间工作人员	西南，23	西，3	东，38	5		
12	预制区工作人员	西南，30	西，14	东北，2	5		

序号	保护目标	与各探伤室相对方位及最近距离(m)			规模(人)	保护类型	年剂量约束值(mSv)
		容器车间探伤室	机加工车间后端探伤室	不锈钢车间探伤室			
13	重型容器车间和中型容器车间工作人员	西, 3	西北, 25	东北, 38	10	公众	0.1
14	酸洗区工作人员	西, 18	/	/	2		
15	下料预制车间工作人员	西北, 32	/	/	4		
16	喷砂房工作人员	北, 5	/	/	1		
17	油漆房工作人员	北, 15	/	/	1		
18	抛光区工作人员	北, 20	/	/	2		
19	浴室和卫生间人员	/	东, 3	/	5		
20	机修间工作人员	/	南, 2	/	2		
21	配电站和发电站工作人员	/	南, 10	/	1		
22	机加工车间工作人员	/	西南, 3	东, 38	10		
23	废水设备区工作人员	/	西南, 20	东南, 28	1		
24	空压站工作人员	/	西南, 33	东南, 13	1		
25	重型标件库工作人员	/	/	西南, 8	2		
26	设备制造区工作人员	/	/	西, 2	8		
27	自动堆焊区工作人员	/	/	西, 35	4		
28	酸洗区工作人员	/	/	西北 42	2		

评价标准

一、辐射环境影响评价标准

(一) 剂量限值及剂量约束值

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）屏蔽体外关注点剂量率控制水平

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。”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 $100\mu\text{Sv/h}$ 。”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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；曝光室顶部没有人员到达，本项目屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平保守取不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

二、非辐射环境影响评价标准

（一）环境质量标准

1、环境空气：《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 $\leq 0.2\text{mg/m}^3$ ，满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）中 1 小时均值 $\leq 0.16\text{mg/m}^3$ ；

2、地表水环境：《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类标准；

3、声环境：《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类标准。

（二）污染物排放标准

1、废气：《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

2、废水：《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的三级标准。

3、噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准限值；运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准。

4、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）。

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

本项目选址于宜宾市三江新区 DC-L-03-02（b）-01 地块，探伤场所位于公司重装制造基地厂区东侧。重装基地项目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场地平整。根据现场踏勘和调查，项目拟建地位于宜宾市三江新区的临港经济技术开发区，本项目辐射工作场所周边 50m 评价范围内无厂外环境保护目标；距离项目最近的企业为项目南侧宜宾天原锂电新材料有限公司，距离本项目辐射工作场所最近距离约为 60m。2025 年 5 月进行现场踏勘时，拟建场所现状见下图。



图 8-1 项目拟建区域现场现状图

二、项目拟建场所辐射环境现状监测

建设单位在厂区内开展室内探伤，在运营期对环境空气、水环境和声环境质

量影响较小，对周围环境的主要影响因素为电离辐射（ γ 射线和 X 射线）。因此，本次仅重点对评价区域开展辐射环境现状监测和评价。

为掌握项目拟建地的辐射环境现状，2025 年 5 月 30 日，四川省核工业辐射测试防护院宜宾检测中心有限公司对项目拟建场所进行了现场监测，监测布点图见附图 8，监测方法及监测仪器信息见下表。

表 8-1 监测因子、监测仪器及方法

监测因子	监测方法	监测仪器及参数
X- γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	仪器名称：环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪 仪器型号：RJ32-2102 仪器编号：RJ3200143 能量响应：20keV~7.0MeV 测量范围：10nGy/h~100 μ Gy/h 校准因子：0.98 校准证书编号：JL2400649932 校准单位：深圳市计量质量检测研究院 校准日期：2024 年 07 月 03 日 有效日期：2025 年 07 月 02 日

表 8-2 气象参数及监测仪器

气象参数	监测仪器
环境温度、环境湿度	仪器名称：便携式数字温湿度仪 仪器型号：FYTH-1 仪器编号：06M2943 环境温度分辨率：0.1℃ 环境湿度分辨率：0.1% 校准证书编号：Z20241-K007214 校准单位：深圳天溯计量检测股份有限公司 校准日期：2024 年 10 月 30 日 有效日期：2025 年 10 月 29 日 校准结论：合格

测试条件：2025 年 05 月 30 日，环境温度：25.1℃，环境湿度：58.9%，天气状况：阴。

项目监测所有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。

三、质量保证

四川省核工业辐射测试防护院宜宾检测中心有限公司通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。本次监测所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均具有有效的计量检定/校准证书，并有良好的日常质量控制程序。监

测人员均经具有相应资质的单位培训，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

四、监测结果

表 8-3 本项目拟建场所 X-γ辐射剂量率监测结果 单位：nGy/h

点位	监测位置	测量值	标准差	备注
1#	不锈钢车间探伤室拟建区域南侧厂界处	114	3.5	室外
2#	容器车间探伤室拟建区域东侧厂界处	112	3.0	
3#	容器车间探伤室和机加工车间后端探伤室拟建区域中部	115	3.1	
4#	容器车间探伤室拟建区域西侧的生产车间内	113	3.8	
5#	容器车间探伤室拟建区域北侧厂界处	91	2.2	
6#	项目南侧宜宾天原锂电新材料有限公司	101	2.1	
注：以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。				

由上表可知，本项目拟建区域的 X-γ辐射剂量率为 91nGy/h~115nGy/h，与四川省生态环境厅发布的《2024 年四川省生态环境状况报告》中 2024 年全省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率分布示意图中宜宾市的环境γ辐射剂量率监测结果（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宜宾江源化工机械制造有限公司重装制造基地厂区范围内，不新增用地。重装制造基地项目整体已进行过环境影响评价工作，本项目主要为探伤室的修建，下面仅对本项目施工期间产生的施工废水、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等简要分析。

本项目为新建项目，施工环节主要包括：土建施工、厂房装修、设施设备安装和场地清理等，施工期主要环境污染因子包括施工扬尘、装修废气、施工废水、噪声和固体废物等。由于本项目为核技术利用项目，下面仅对施工期做简要分析。项目施工期工艺流程及产污环节如下图所示。

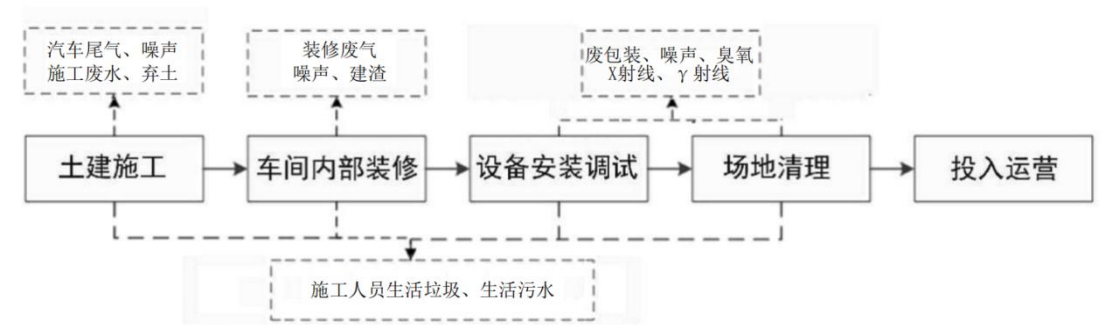


图 9.1 施工期工艺流程及产污环节示意图

本项目曝光室和工件大门设计均为钢筋混凝土结构，拟在每间曝光室工件门下的地沟内安装平车轨道，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。

为保证曝光室满足辐射防护要求，曝光室四周墙体和屋顶混凝土浇筑工序要整体连续浇筑，避免出现缝隙。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与曝光室墙体之间

的缝隙，从而减少射线泄露辐射，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，并预留防护门下沉沟槽。

（一）废气

项目施工期产生的废气主要包括：

1、施工扬尘：主要来自土建阶段的基础施工、混凝土浇筑、运输车辆装卸材料和行驶、建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运和堆放、施工垃圾清理和堆放，以及人来车往产生的道路扬尘。

2、施工废气：施工机械设备将排放一定量的无组织废气，施工期间的机动车行驶将排放一定量的 CO、NO_x 以及未完全燃烧的有机气体等。

3、装修废气：项目装修阶段使用的建材和涂料将挥发产生少量无组织废气。

（二）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。

1、施工废水：项目建设使用商品混凝土，不设置混凝土搅拌站，无搅拌废水产生。施工过程中的生产废水主要来源于机械冲刷、地面冲洗、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废水等。

2、生活污水：施工期的工人将产生少量生活污水。

（三）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各不相同，且场地内可能同时有多种设备交互作业，因此施工作业噪声将会对本项目外环境带来一定的影响。

（四）固体废物

施工期固体废物主要包括开挖土石方、建筑垃圾和施工人员生活垃圾。

1、本项目在重装制造基地项目厂区内建设，探伤场所前期三通一平等工作将由重装制造基地项目整体实施，因此本项目拟建场地土石方开挖量较小，且可以在厂区内就地平衡；此外，项目建设过程中将产生少量建筑垃圾。

2、施工期的工人将产生少量生活垃圾。

（五）调试阶段影响简要分析

项目调试期间重点为设备相关系统和联锁装置的性能检测及调整优化，通常为低负荷运行，电子直线加速器和 X 射线探伤机调试运行期间将主要产生 X 射

线， γ 探伤机调试期间主要产生 β 射线和 γ 射线，可能对环境造成一定的影响。

本项目各探伤设备的运输、安装和调试均由设备生产厂家专业人员进行操作。在加速器的运输、安装、调试过程中，建设单位应加强辐射防护管理。调试运行前应保证各曝光室屏蔽防护设施、通排风设施及相关安全联锁全部建成，并在曝光室外设立辐射警示标志和管控措施，禁止无关人员靠近。在设备的运行调试过程中，探伤设备的控制钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在曝光室入口等关键处设置醒目的警示牌；现场准备就绪，屏蔽体关闭到位，经巡查确认满足调试运行条件且无人员在曝光室内滞留之后，启动安全联锁，并经确认系统正常后才能设备。

由于本项目探伤设备的安装和调试均在曝光室内进行，调试运行的时间短，且负荷低，因此，经过各曝光室混凝土墙体的屏蔽和距离衰减后，对环境造成的辐射影响较小。

二、运营期

（一）探伤设备

四川宜宾江源化工机械制造有限公司拟建设3座探伤室，拟配备的探伤设备包括电子直线加速器、X射线探伤机和 γ 射线探伤机三种类型，所有探伤作业仅在曝光室内，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 项目探伤设备配置情况表

序号	设备名称	型号	数量	类别	额定参数	备注
1	电子直线加速器	DZ—6/1000	1 台	II 类射线装置	X 射线束最大能量 6MeV，1m 处最大 X 射线剂量率 600Gy/h	水平向北~ 竖直向下
		DZ—4/500	1 台	II 类射线装置	X 射线束最大能量 4MeV，1m 处最大 X 射线剂量率 300Gy/h	水平向南~ 竖直向下
2	X 射线探伤机	YG-XD-300	4 台	II 类射线装置	管电压 300kV、管电流 5mA	定向
		YG-XZ-300	4 台	II 类射线装置	管电压 300kV、管电流 5mA	周向
3	γ 射线探伤机	^{60}Co	2 台	II 类放射源	额定装源活度 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$	每台探伤机装 1 枚
		^{192}Ir	4 台	II 类放射源	额定装源活度 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$	每台探伤机装 1 枚

(二) 运行工况与人员分工

1、探伤工件及工作负荷

本项目拟建设 3 座探伤室开展压力容器类设备探伤作业, 根据工件尺寸及厚度选择合适的探伤室进行探伤, 年探伤各类工件约 500 件, 具体见表 9-2。由于项目拟探伤工件主要为重型和中型容器, 探伤作业相对于一般工业探伤项目存在探伤次数相对较少, 但每次探伤出束时间相对较长的特点。建设单位根据现有探伤作业经验, 保守估计各探伤室及探伤设备年工作负荷情况见表 9-3, 其中, 容器车间探伤室中的北侧 4MeV 曝光室年累计曝光出束时间为 1900h, 南侧 6MeV 曝光室年累计曝光出束时间为 1700h; 机加工车间后端探伤室年累计曝光出束时间为 1000h; 不锈钢车间探伤室年累计曝光出束时间为 1000h。

项目探伤主要工件照片如下:

表 9-2 项目主要探伤工件

名称	主要材料	典型照片	工件数量	工件尺寸
聚合釜	碳钢、钛材、镍材		50 件/年	直径 2m-6m 长度 8m-28m 厚 10-200mm
换热器	碳钢、不锈钢		200 件/年	
普通压力容器	碳钢、不锈钢		125 件/年	
汽提塔	不锈钢、钛材		125 件/年	

表 9-3 项目年探伤工作负荷统计表

序号探伤场所			探伤设备及年曝光出束时间					
			电子直线加速器		γ射线探伤机		X 射线探伤机	
			4MeV	6MeV	¹⁹² Ir	⁶⁰ Co	YG-XD-300 定向	YG-XZ-300 周向
1	容 器 车 间 探 伤 室（并联 探伤室）	北侧 4MeV 曝光室	4h/件	——	3h/件	3h/件	2.5h/件	2.5h/件
			500h/a		400h/a	400h/a	300h/a	300h/a
		南侧 6MeV 曝光室	——	6h/件	3h/件	3h/件	2.5h/件	2.5h/件
				300h/a	400h/a	400h/a	300h/a	300h/a
2	机加工车间后端探伤室		——	——	2h/件	——	1h/件	2h/件
					400h/a		200h/a	400h/a
3	不锈钢车间探伤室		——	——	2h/件	——	2h/件	4h/件
					250h/a		250h/a	500h/a

备注：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。

2、人员分工

本项目拟配置 9 名辐射工作人员，全部为新增，其中 1 名负责辐射安全管理，不参与探伤装置操作；探伤室拟配置 8 名辐射操作人员，分为 4 组，每组 2 人共同固定负责一间曝光室的探伤工作。

（三）电子直线加速器设备组成及探伤工作流程

1、设备组成

本项目拟使用的 DZ—6/1000 和 DZ-4/500 电子直线加速器为同一厂家生产的同系列产品，总体设备组成基本一致，仅部分参数不同。该加速器主要包括 X 射线机头、调制器柜、控制系统、温控水冷系统和稳压电源五大部分及它们之间连接电缆和水管组成。加速器的主体部分机头内装有电子枪、驻波加速管、聚焦线圈、微波功率源、微波功率传输系统、波导供气系统、射线准直及屏蔽装置、激光定位装置、剂量测量探头和控制电路等部分。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。

（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

机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）控制系统

控制系统由控制台桌、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）温控水冷系统

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 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

2、工作原理

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。

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。同类加速器外观如下图。



图 9-2 同类电子直线加速器外观图

3、电子直线加速器探伤工作流程及产污环节

(1) 加速器活动及照射范围

项目拟使用的电子直线加速器固定安装在曝光室内的行车悬臂上，出束方向只能围绕水平方向轴在竖直方向 90° 转动，最高出束方向为水平朝向主屏蔽墙，最低出束方向为竖直朝向地面，即北侧 4MeV 曝光室内的加速器出束方向为水平朝向南侧主屏蔽墙和竖直朝向地面之间，南侧 6MeV 曝光室内的加速器出束方向为水平朝向北侧主屏蔽墙和竖直朝向地面之间。

根据加速器安装行车轨道、探伤室空间结构及平板车轨道安装位置，水平方向上，加速器与南、北两侧墙体的最近距离不低于 2.0m，与东、西两侧墙体的最近距离不低于 3.0m。垂直方向上：①南侧 6MeV 加速器安装行车下沿离地高度为 10.3m，悬臂可上下伸缩，加速器上下行程 5.325m，与地面之间的最小距离为 1.5m，离地最高 6.825m；②北侧 4MeV 加速器安装行车下沿离地高度为 9.3m，悬臂可上下伸缩，加速器上下行程 4.185m，与地面之间的最小距离为 1.5m，离地最高 5.685m。加速器出束方向转动示意图见图 9-3，加速器在探伤室内的活动范围及射线照射范围示意图见图 9-4 和图 9-5。

图 9-3 电子直线加速器出束方向转动范围示意图

图 9-4 电子直线加速器垂直方向活动范围及射线照射范围示意图

图 9-5 电子直线加速器水平方向活动范围及射线照射范围示意图

由上图 9-4 和图 9-5 可知，项目两台加速器主射束均在主屏蔽墙体和曝光室地面范围内，不会直接照射其他方向屏蔽墙体。

(2) 加速器探伤工作流程

- ①安全检查：工作人员佩戴个人剂量计，检查警示灯和门机联锁系统。
- ②电源与预热：将直线加速器检测系统通上电源，并对加速器部分进行预热，观察设备是否启动正常。
- ③设置检测方式及参数：在控制台操作界面上设置检测方式以及相关参数。
- ④工件放置：打开工件门，通过轨道平板车运送至曝光室适当位置后，在拟检测位置张贴感光胶片，关闭工件门。
- ⑤清场巡检：加速器操作人员检查确认曝光室无人员滞留。
- ⑥关闭防护门：待摆好测试物件和巡检确认曝光室内无人后关闭人员门。
- ⑦准备出束：工作人员进入控制室，确认钥匙在“关”的位置，旋出控制箱急停开关，按“电源”按钮，“延时”灯亮，设备进入 3 分钟低预热状态，检查水泵运转、水温及水压。操作人员开机前开启固定式剂量报警仪，实时监测曝光室。
- ⑧出束检测：预置曝光剂量或曝光时间，将钥匙旋至“开”的位置，“准备好”灯亮起，曝光室内和机房门外报警铃响 10 秒。
- ⑨完成检测：按“出束”开始出束，达到预置剂量后，自动停束，此时“完成”灯亮，将“钥匙”旋至“关”，按“完成”按钮清零。
如需对工件多次检测，则重复执行④～⑨操作。
- ⑩关闭电源：所有检测工件测试完成后，关闭电源锁和加速器电源。
- ⑪检测完成：加速器停止运行后，工作人员进入曝光室取下胶片，并将工件通过轨道平板车移出工件。

本项目电子直线加速器探伤操作流程见下图。

图 9-6 电子直线加速器探伤工作流程及产污环节示意图

(四) X 射线探伤机设备组成及探伤工作流程

1、设备组成

本项目拟使用 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机。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熔金属（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。常见的 X 射线探伤机和典型的 X 射线管结构见下图。

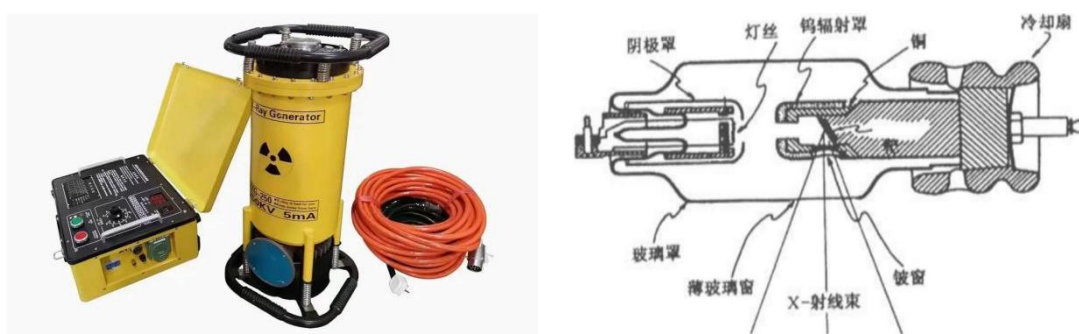


图 9-7 常见的 X 射线探伤机和典型的 X 射线管结构图

2、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。

3、X 射线探伤工作流程及产污环节

(1) 探伤机活动及照射范围

由于本项目拟探伤的工件尺寸较大，通常直径 2m-6m，长度 8m-28m，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，加上张贴胶片和安放探伤机操作等需要，因此探伤机不会过于靠近墙体，距离四周墙体最小距离不小于 2m，距离地面高度范围约为 1m-5m。

本项目每个探伤室中均拟配置一台定向机和一台周向机，因此，每间曝光室的四周和顶、底面均可能受到有用线束照射。

(2) X 射线探伤工作流程

本项目所有 X 射线探伤机均在固定的曝光室内探伤,即每间曝光室分别配备 1 台 YG-XD-300 定向探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向探伤机。探伤工作流程为:

①安全检查: 工作人员佩戴个人剂量计, 检查警示灯和门机联锁系统。

②放置工件: 将工件使用轨道平板车送入探伤室, 并将探伤机使用专用支架固定到工件附近适当位置, 在工件待检部位张贴胶片, 检查无误后, 工作人员撤离探伤室, 并将工件门关闭。

③设置检测方式及参数: 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电压、电流以及曝光时间。

④出束检测: 现场检查无误后工作人员即在操作室启动曝光, 当达到预定的照射时间后, 关闭电源。

⑤完成检测: 待全部曝光检测完成后, 工作人员进入探伤室, 从探伤工件上取下已经曝光的 X 片, 打开工件门将探伤工件送出探伤室外, 完成探伤。

X 射线探伤工作流程及产污环节情况见下图。

图 9-8 X 射线探伤工作流程及产污环节示意图

(五) γ 射线探伤机设备组成及探伤工作流程

1、设备组成

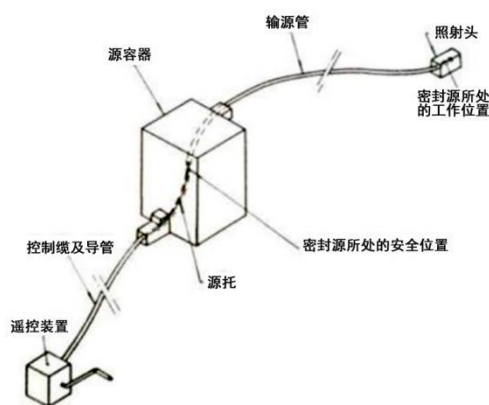
γ 射线探伤机一般由放射源及源容器(贮源容器)、源托、输源管、遥控装置和其他附件组成。源容器是探伤机主体, 用作放射源贮存和运输的屏蔽容器, 其最外层为钢包壳, 内部一般为贫铀屏蔽层。源容器的一端有联锁装置, 用来连接控制缆, 另一端通过管接头和输源管连接。未工作时放射源位于芯部的“S”形管道中央, 以防射线的直通照射。工作时, 用快速接头把输源管和源容器连起来, 输源导管的另一端构成照射头, 用钥匙打开储源器的安全锁, 再转动安全闸环到停止位置, 使其指针对准红字“打开”处(即快门已开); 操作自控仪预置启动延迟时间、输源管距离、曝光时间, 然后按下“启动”按钮, 自控仪将自动完成“送源→曝光→收源”的检测照相过程。典型的 γ 射线探伤机外观和结构图如下。



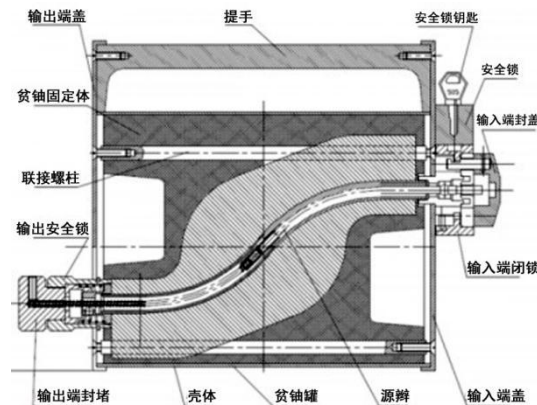
(^{60}Co - γ 射线探伤机)



(^{192}Ir - γ 射线探伤机)



(γ 射线探伤机外部组成示意图)



(γ 射线探伤机内部结构示意图)

图 9-9 γ 射线探伤机外观及结构示意图

2、工作原理

γ 射线探伤机在工作过程中，通过 ^{192}Ir 或 ^{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。

3、 γ 射线探伤工作流程及产污环节

(1) 探伤机活动及照射范围

由于本项目拟探伤的工件尺寸较大，通常直径 2m-6m，长度 8m-28m，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，加上张贴胶片和安放探伤机操作等需要，因此探伤机不会过于靠近墙体，距离四周墙体最小距离不小于 2m，距离地面高度范围约为 1m-5m。

本项目每间曝光室均拟配置 γ 射线探伤机，每间曝光室的四周和顶、底面均可能受到有用线束照射。

(2) γ 射线探伤工作流程

^{192}Ir 密封源和 ^{60}Co 密封源在探伤机出厂时就已安装在探伤机内，探伤机不工作时存放在曝光室中的储源坑内，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。探伤工作流程为：

①安全检查：工作人员佩戴个人剂量计，检查警示灯和门机联锁系统。

②放置工件：将工件使用轨道平板车送入探伤室，固定到适当位置，关闭曝光室工件大门，打开曝光室内固定式辐射剂量报警仪，在工件待检部位张贴胶片并加以编号。

③探伤准备：将 γ 射线探伤机从储源坑内取出，并将探伤机使用专用支架固定到工件附近适当位置，开启探伤机闭锁装置，工作人员清场退出曝光室，关闭曝光室迷道防护门。

④出束检测：工作人员在控制室内，接通探伤机电源，通过探伤设备控制面板遥控操作，将放射源推送至曝光位置进行曝光。

⑤完成检测：曝光结束后，通过遥控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。工作人员打开防护门进入曝光室，将探伤机放回储源坑，取下胶片。

将探伤机存放回储源坑之前，工作人员首先对探伤装置进行目测检查，确认设备完整没有被损坏；再采用便携式 X- γ 剂量率仪对 γ 射线探伤机表面进行检测，确认放射源已回到源容器的屏蔽位置。同时，对储源坑实行双人双锁管理，制定《放射源使用登记制度》，领取、使用和归还放射源时均及时进行登记和检查，做到账物相符。

⑥探伤结束：将工件移出曝光室；胶片经洗片和评片后出具检测结果。

探伤过程中若出现卡源状况时，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；若手动操作仍不能回源，则通知放射源生产单位到现场处理。

γ 射线探伤工作流程及产污环节见下图。

图 9-10 γ 射线探伤工作流程及产污环节示意图

(六) 辐射工作场所人流物流路径规划及合理性分析

1、容器车间探伤室

(1) 人流路径：工作人员从容器车间探伤室东侧进入南侧 6MeV 曝光室的操作室，分别向南经迷道进入南侧 6MeV 曝光室，向北经迷道进入北侧 4MeV 曝光室，曝光室内工作完成后再原路返回，分别经迷道和操作室后退出探伤场所。

(2) 物流路径：北侧 4MeV 曝光室西侧（工件门侧）紧邻中型容器车间，车间内需要探伤的工件采用轨道平板车由探伤室西侧工件门进入曝光室，探伤结束后，原路退出曝光室；南侧 6MeV 曝光室西侧（工件门侧）紧邻重型容器车间，车间内需要探伤的工件采用轨道平板车由探伤室西侧工件门进入曝光室，探伤结束后，原路退出曝光室。

容器车间探伤室人流物流路径规划示意图见下图 9-11。

2、机加工车间后端探伤室

(1) 人流路径：工作人员从机加工车间后端探伤室东北侧进入操作室，向南从操作室再向北经迷道进入曝光室，曝光室内工作完成后再原路返回，分别经迷道和操作室后退出探伤场所。

(2) 物流路径：机加工车间后端探伤室西侧（工件门侧）紧邻机加工车间，车间内需要探伤的工件采用轨道平板车由探伤室西侧工件门进入曝光室，探伤结束后，原路退出曝光室。

机加工车间后端探伤室人流物流路径规划示意图见下图 9-12。

图 9-11 容器车间探伤室人流物流路径规划示意图

图 9-12 机加工车间后端探伤室人流物流路径规划示意图

3、不锈钢车间探伤室

(1) 人流路径：工作人员从不锈钢车间探伤室东南侧进入操作室，向西经迷道进入曝光室，曝光室内工作完成后再原路返回，分别经迷道和操作室后退出探伤场所。

(2) 物流路径：不锈钢车间位于不锈钢车间探伤室东北侧，车间内需要探伤的工件采用轨道平板车由探伤室北侧的工件门进入曝光室，探伤结束后，原路退出曝光室。

不锈钢车间探伤室人流物流路径规划示意图见下图。

图 9-13 不锈钢车间探伤室人流物流路径规划示意图

由项目所在车间总平面布置及上述分析可知，项目依托重装制造基地建设，探伤室布局与各种设备生产线工艺流程衔接流畅，探伤室均布置在生产线末端或紧邻生产车间，工件生产完成后可以便捷进入探伤室检测；同时，工作人员从厂房外经操作室进入探伤区域，人流与物流路径相对独立不交叉。因此，项目人流、物流路径规划是合理的。

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：由前述工艺流程分析可知，本项目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和停止而对应产生和消失的。本项目两台电子直线加速器输出 X 射线的最大能量分别为 6MeV 和 4MeV，对应的 1m 处最大 X 射线剂量率分别为 600Gy/h 和 300Gy/h，不产生中子和感生放射性。

（2）X 射线探伤机：X 射线探伤机只有在开机其 X 射线管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 射线探伤机中含有密封放射源，一直会发出 γ 射线和 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 射线探伤机主要利用 ^{60}Co 和 ^{192}Ir 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；含放射源的 γ 射线探伤机在贮存过程中有少部分 γ 射线穿过探伤机屏蔽体和储源坑盖板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 $20\text{m}^3/\text{a}$ ；项目设9名工作人员，生活用水量按照每人 $0.13\text{m}^3/\text{d}$ ，排放系数取0.9，年工作300天，则生活污水产生量约为 $316\text{m}^3/\text{a}$ 。

4、噪声

本项目在4间曝光室各使用设置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，排风机噪声值约为 $75\text{dB}(\text{A})$ 。

5、固体废物

本项目产生的固体废物主要包括生活垃圾、废放射源、废胶片以及废显影液和废定影液。

(1) 生活垃圾：项目设9名工作人员，生活垃圾产生量按照每人 $0.5\text{kg}/\text{d}$ 计，年工作300天，则产生量为 $1.35\text{t}/\text{a}$ 。

(2) 废放射源：公司共使用2台 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和4台 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机，总共使用6枚密封放射源。放射源使用到一定时间不能满足探伤要求后，将退役成为废放射源。项目拟使用的 ^{192}Ir 放射源约6个月更换一次， ^{60}Co 放射源约12年更换一次。

(3) 废胶片、废显影液和废定影液：本项目探伤后在洗片和评片过程中将产生一定量的废胶片、废显影液和废定影液，该部分废物属于《国家危险废物名录（2025年版）》中感光材料废物，属于危险废物，其危险废物编号为HW16（900-019-16），无放射性。项目年拍片量为50000张，按洗1000张片用20L显（定）影液计，则每年产生的废显影液和废定影液各约1000L；废片率按5%计，则每年产生废胶片约2500张。项目产生的危险废物定期委托有资质的单位处理，完好的胶片由公司定期存档。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、项目平面布局

本项目选址于四川宜宾江源化工机械制造有限公司位于宜宾市三江新区的重装制造基地内，3 座探伤室均位于厂区东侧，其中：容器车间探伤室和机加工车间后端探伤室位于生产厂房外，两座探伤室西侧工件门均紧邻生产厂房内的生产区，生产完成的工件可以便捷进入探伤室进行探伤；不锈钢探伤室位于重装基地生产厂房内，探伤室北侧工件大门紧邻生产厂房内的生产区，生产完成的工件可以便捷进入探伤室进行探伤。

项目探伤室距离东侧厂界最近约 40m，40-50m 为厂区外空地；距离南侧厂界最近约 30m，30-50m 为兴港路；北侧和西侧 50m 范围均位于厂界以内，均为重装制造基地生产区。本项目曝光室均为一层建筑，无地下室。本项目所在重装制造基地总平面布置图及外环境关系见附图 2 和附图 3。

根据设计方案，每座探伤室均在迷道一侧配备了辅助用房，包括操作室、暗室、晾片室和评片室，探伤相关工作均位于相对独立的区域，且工作流程顺畅。各探伤室平面布置图分别见附图 4-1、附图 4-2 和附图 4-3。

二、辐射工作场所分区管理

1、辐射工作场所两区划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关规定，建设单位拟对本项目探伤工作场所进行分区管理：

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

本项目将各曝光室和迷道内部划分为控制区。

监督区：将通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划为监督区。

本项目将各探伤室辅助用房中即操作室、暗室、晾片室、评片室及工件进出

门外 1m 范围划为监督区。

项目两区划分情况见下表，各探伤场所两区划分见图 10-1、图 10-2 和图 10-3。

表 10-1 本项目辐射工作场所两区划分情况

场所	控制区	监督区
容器车间探伤室	北侧 4MeV 曝光室（含迷道）和南侧 6MeV 曝光室（含迷道）	操作室（北侧）、操作室（北侧）、暗室、晾片室、评片室、北侧 4MeV 曝光室工件进出门外 1m 范围、南侧 6MeV 曝光室工件进出门外 1m 范围
机加工车间后端探伤室	曝光室（含迷道）	操作室、暗室、晾片室、评片室、曝光室工件进出门外 1m 范围
不锈钢车间探伤室	曝光室（含迷道）	操作室、暗室、晾片室、评片室、曝光室工件进出门外 1m 范围

图 10-1 容器车间探伤室工作场所两区划分示意图

图 10-2 机加工车间后端探伤室工作场所两区划分示意图

图 10-3 不锈钢车间探伤室工作场所两区划分示意图

2、辐射工作场所两区管理措施

(1) 控制区管控措施

①在各探伤室工件门和操作室门外及迷道防护门外的醒目位置张贴“当心电离辐射”警告标志。电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求，如下图所示。



图 10-4 电离辐射警告标志

②在工件门和迷道门处地面以红线警示控制区边界，标明“控制区”等提示内容，制定职业防护与安全措施，对控制区进行严格控制，探伤过程中严禁任何人员进入曝光室。

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门

锁或门禁）限制人员进、出控制区。

④定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

（2）监督区管控措施

①在各曝光室工件门外1m范围外侧边界及各操作室门外侧地面以黄线警示监督区的边界，在监督区入口张贴醒目的电离辐射警告标志，并在监督区的入口处适当位置设立醒目的“监督区”字样等监督区提示或标牌。

②对操作室门采用门锁或门禁限制无关人员进入。

③探伤出束期间，除本项目辐射工作人员外，任何人不得在监督区逗留。

④定期检查各探伤室监督区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

三、辐射安全防护设施

（一）工作场所实体屏蔽防护

1、曝光室屏蔽设计

本项目拟建的3座探伤室（4间曝光室）均为一层建筑，各曝光室四周墙体和屋顶均采用钢筋混凝土一次性整体浇筑而成，各探伤室具体屏蔽防护设计方案见下表。

表 10-2 容器车间探伤室屏蔽防护设计方案

场所		项目	屏蔽防护方案
容器车间探伤室	北侧4MeV曝光室	净空尺寸	长 25m×宽 10.3m×高 11.9m
		四周墙体	南侧：2.5m 厚钢筋混凝土；其余三侧：1.2m 厚钢筋混凝土。
		屋顶	1.2m 厚钢筋混凝土
		地面	从下往上依次为：素土夯实+C15 混凝土垫层+0.8m 厚钢筋混凝土+砂石+0.2m 混凝土+金属骨料耐磨地面
		迷道	U 型迷道长 8.6m，内、外墙体均为 1.2m 厚钢筋混凝土。
		工件门	门洞：高 7.3m×宽 6m；工件门：高 7.8m×宽 6.5m×厚 1.2m 钢筋混凝土电动推拉门；门与墙体四周搭接均为 0.25m。
		迷道门	门洞：高 2.0m×宽 0.9m；迷道门：高 2.3m×宽 1.3m 手动推拉铅防护门，5mm 铅当量；门与墙体左、右搭接均为 0.2m，上下搭接分别为 0.2m 和 0.1m。
		储源坑	长 1.6m×宽 0.8m×深 0.6m，上盖 20mm 厚钢盖板。

南侧 6MeV 曝光室	穿墙管线	源管预埋管和电缆管线采用 U 型 45° 斜向下穿, 埋深 0.5m。
	排风管道	曝光室东南角设置下穿排风管, 管径为 350mm, 地下埋深 1m, 采用 U 型管穿墙后引至探伤室屋顶, 排风口高度为 15m; 曝光室不设置进风口, 采用门和门缝自然进风。
	净空尺寸	长 30m×宽 13.45m×高 13.1m
	四周墙体	北侧: 2.5m 厚钢筋混凝土; 其余三侧: 1.4m 厚钢筋混凝土。
	屋顶	1.4m 厚钢筋混凝土
	地面	从下往上依次为: 素土夯实+C15 混凝土垫层+0.8m 厚钢筋混凝土+砂石+0.2m 混凝土+金属骨料耐磨地面
	迷道	U 型迷道长 8.8m, 内、外墙体均为 1.4m 厚钢筋混凝土。
	工件门	门洞: 高 10.3m×宽 9m; 工件门: 高 10.8m×宽 9.5m×厚 1.4m 钢筋混凝土电动推拉门; 门与墙体四周搭接均为 0.25m。
	迷道门	门洞: 高 2.0m×宽 0.9m; 迷道门: 高 2.3m×宽 1.3m 手动推拉铅防护门, 5mm 铅当量; 门与墙体左、右搭接均为 0.2m, 上下搭接分别为 0.2m 和 0.1m。
	储源坑	长 1.6m×宽 0.8m×深 0.6m, 上盖 20mm 厚钢盖板。
	穿墙管线	源管预埋管和电缆管线采用 U 型 45° 斜向下穿, 埋深 0.5m。
	排风管道	曝光室东南角设置下穿排风管, 管径为 350mm, 地下埋深 1m, 采用 U 型管穿墙后引至探伤室屋顶, 排风口高度为 18m; 曝光室不设置进风口, 采用门和门缝自然进风。

表 10-3 机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室屏蔽防护设计方案

场所	项目	屏蔽防护方案
机加工车间 后端探 伤室	净空尺寸	长 15m×宽 8.8m×高 6.8m
	四周墙体	四周墙体 750mm 厚钢筋混凝土
	屋顶	700mm 厚钢筋混凝土
	地面	从下往上依次为: 素土夯实+C15 混凝土垫层+0.8m 厚钢筋混凝土+砂石+0.2m 混凝土+金属骨料耐磨地面
	迷道	U 型迷道长 7.2m, 内、外墙体均为 600mm 厚钢筋混凝土。
	工件门	门洞: 高 6.6m×宽 5.6m; 工件门: 高 7.1m×宽 6.1m×厚 0.75m 钢筋混凝土电动推拉门; 门与墙体四周搭接均为 0.25m。
	迷道门	门洞: 高 2.0m×宽 0.9m; 迷道门: 高 2.3m×宽 1.3m 手动推拉铅防护门, 5mm 铅当量; 门与墙体左、右搭接均为 0.2m, 上下搭接分别为 0.2m 和 0.1m。
	储源坑	长 1m×宽 0.8m×深 0.6m, 上盖 20mm 厚钢盖板。
	穿墙管线	源管预埋管和电缆管线采用 U 型 45° 斜向下穿, 埋深 0.4m。
	排风管道	曝光室东南角设置下穿排风管, 管径为 350mm, 地下埋深 1m, 采用 U 型管穿墙后引至探伤室屋顶, 排风口高度为 15m; 曝光室不设置进风口, 采用门和门缝自然进风。

不锈钢车间探伤室	净空尺寸	长 24m×宽 9.6m×高 7.7m
	四周墙体	四周墙体 750mm 厚钢筋混凝土
	屋顶	700mm 厚钢筋混凝土
	地面	C15 混凝土垫层+800mm 厚钢筋混凝土+砂石+200mm 混凝土+金属骨料耐磨地面
	迷道	U 型迷道长 6.8m，内、外墙体均为 600mm 厚钢筋混凝土。
	工件门	门洞：高 7.5m×宽 6.5m，工件门：高 8m×宽 7m×厚 0.75m 钢筋混凝土电动推拉门；门与墙体四周搭接均为 0.25m。
	迷道门	门洞：高 2.0m×宽 0.9m；迷道门：高 2.3m×宽 1.3m 手动推拉铅防护门，5mm 铅当量；门与墙体左、右搭接均为 200mm，上下搭接分别为 200mm 和 100mm。
	储源坑	长 1m×宽 0.8m×深 0.6m，上盖 20mm 厚钢盖板。
	穿墙管线	源管预埋管和电缆管线采用 U 型 45° 斜向下穿，埋深 0.4m。
	排风管道	在曝光室东南角设置下穿排风管，管径为 350mm，地下埋深 1m，采用 U 型管穿墙后引至探伤室屋顶，在厂房南侧排放，排风口高度为 15m；曝光室不设置进风口，采用门和门缝自然进风。

为保证曝光室满足辐射防护要求，**曝光室四周墙体和屋顶混凝土应一次性整体连续浇注，保证各屏蔽体有效衔接，防护门与墙体之间的搭接重叠宽度至少为门与墙体之间空隙的 10 倍。**曝光室的工件大门设计为钢筋混凝土结构，在门洞前的地沟凹槽内安装平车轨道，大门门体底部左右两侧安装主动轮箱和从动轮箱，门体上部设导轮组，在墙体上部设上部支撑架和上导轨，门体运行的两个终点均设置软、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、曝光室防泄漏措施

本项目各曝光室排风管道、源管和电缆管线均采用地下预埋方式“U 型”穿墙；平车轨道埋入地面，轨道旁地沟深仅 40mm，轨道顶仅比曝光室内地面高出 10mm，工件门关闭后，超边搭接的 250mm 可以将轨道完全遮挡，各种穿墙孔洞及平车轨道设计大样见下表。

表 10-3 各曝光室排风管道、源管、电缆管线及轨道穿墙示意

场所	容器车间探伤室	机加工车间后端探伤室	不锈钢车间探伤室
排风管道			
源管			
电缆管线			
平车轨道			
工件门与平车轨道位置示意			

(二) 设备固有安全性

1、电子直线加速器

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

(1) 钥匙控制：操作室控制台设有钥匙控制系统，操作人员取下钥匙后加速器无法开机，可避免误照射发生。

(2) 授权操作：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授权允许无法操作设备。

(3) 控制台复位确认按钮：曝光室清场巡检结束后，工作人员在控制台完成光电感应系统、巡检系统和急停系统等安全装置的复位操作后，加速器才能开机运行。

(4) 紧急停机按钮：在控制台和曝光室内均设有紧急停机按钮。一旦遇到紧急情况，按下紧急停机按钮即可切断加速器供电。

(5) 调制器联锁：只有在电子枪灯丝和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、柜门打开等故障，均会立即切断高压，加速器不出束，相应的故障灯亮。

(6) 水流联锁：一旦水冷系统的水温、水位或水压出现故障时，均会立即切断高压，同时水系统停止工作，加速器不出束，故障灯亮。

(7) 加速器机头设有锥角 30° 的圆锥形准直器，准直器把射线束准直成一定厚度扇形射线束或锥形束，可避免不必要的大范围照射。

(8) 在加速器系统出束前，设备带有不少于 10 秒的声、光预警信号，声、光预警信号结束后，加速器系统方可加高压出束；出束期间持续发出声、光信号，直至停止出束。在出束过程中，各项联锁条件一旦出现任一不满足，系统立刻自动切断高压停止出束，并发出警示信号。

加速器出束安全联锁逻辑示意图如下。

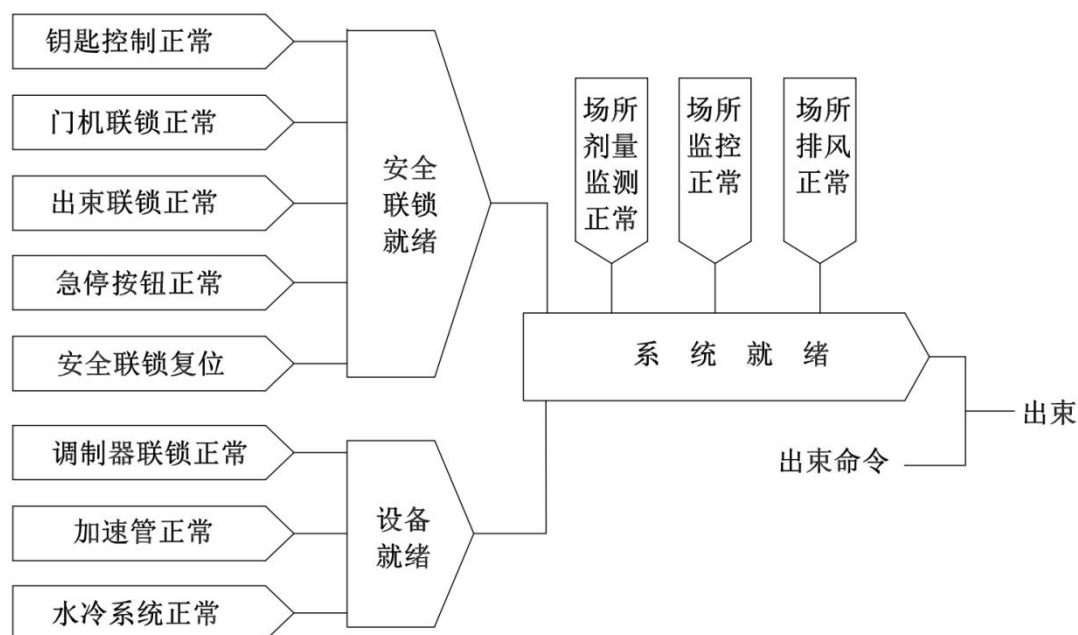


图 10-4 加速器出束安全联锁逻辑示意图

2、X 射线探伤机

(1) 开机自检系统：X 射线探伤机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训机或曝光操作；若诊断出故障，在显示器上显示出故障代码，提醒操作者关闭电源，并与厂家联系维修。

(2) 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。

(3) 当探伤机曝光正常结束后，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。

(4) 设备停止工作较长时间后，再次使用时需要进行训机操作后才可使用，避免 X 射线发生器损坏。

(5) 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。

3、 γ 射线探伤机

(1) 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。

(2) 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。

(3) γ 射线探伤机配有驱动/遥控装置和输源管道，通过输源管道将放射源输送到较远的照射头位置，可有效减小工作人员与放射源之间的距离。

(4) 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，不能出源；结束探伤照射后，放射源收回至探伤机贮源位，放射源回位时安全锁自动关闭；如需要继续出源照射，则需要再次开启安全锁钥匙。

(5) 安全锁锁死时，源辫不能移动，探伤机不会出源；安全锁打开时，源辫才能移动离开探伤机源容器。

(6) 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。

(7) γ 射线探伤机配置有源辨位置指示器系统, 具有显示放射源的具体位置、数字显示源辨离开源容器的距离和音响提示源辨已离开源容器的功能。

(三) 辐射安全防护措施

四川宜宾江源化工机械制造有限责任公司拟建设 3 座探伤室(4 间曝光室), 主要开展电子直线加速器、X 射线和 γ 射线室内探伤活动。根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013) 和《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 等相关要求, 为了保证项目运行期辐射安全, 建设单位拟按照相关标准和规范要求设置相应的辐射安全防护措施。由于本项目每间曝光室中均装备多台射线源装置, 场所辐射安全防护联锁措施必须具备方便切换功能, 确保任何一台设备作业时均能处于有效的安全联锁状态。主要包括以下方面:

1、警告标志: 在各曝光室工件门、迷道门及操作室门外醒目的位置分别设置“当心电离辐射”警告标志及相关中文警示说明, 提醒无关人员不靠近或不在场所逗留。

2、门-灯联锁: 在各曝光室工件门顶部拟设置红色信号灯, 并与防护门联锁, 防护门关闭时, 红色信号灯亮, 以警示周围人员注意安全; 当防护门打开时, 警示灯熄灭。

3、工作状态指示灯: 在各曝光室工件门外拟设置显示“预备”和“工作中”等工作状态的指示灯箱和声音提示装置。当探伤设备接通电源时, 显示“预备”信号和相应的声音提示, 且应持续足够长的时间; 当启动高压, X 射线管出束时, 显示“工作中”信号和相应的声音提示。“预备”信号和“工作中”信号有明显的区别, 并且与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。

4、钥匙控制开关: 项目拟在各探伤室的操作室内控制台上设置钥匙控制开关, 工作人员插入钥匙时设备才能被启动, 拔出钥匙设备立即停止运行。

5、门-机联锁: 项目各曝光室工件门和迷道门均设置门-机联锁装置, 探伤设备与防护门形成联锁, 只有在防护门关闭到位后, 探伤设备才能出束探伤; 探伤设备运行过程中, 一旦防护门被打开, 电子直线加速器和 X 射线探伤机立即断电停止出束, γ 射线探伤机则立即回源停止照射。

6、清场巡检按钮: 项目在容器车间探伤室两间使用电子直线加速器的曝光室内四周墙体上距地 1.2m-1.5m 高处分别设置至少 6 个清场巡检按钮(每间曝光

室南北两侧屏蔽墙上至少各 2 个巡检按钮，东西两侧屏蔽墙上至少各 1 个巡检按钮），在控制台上设置复位按钮并张贴中文标识，依次按下所有巡检按钮并按下控制台上的复位按钮后，方可启动加速器出束探伤。

7、急停按钮：项目拟每间曝光室内四周墙体上距地 1.2m-1.5m 高处分别设置急停按钮（其中：容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室 8 个，南侧 6MeV 曝光室 10 个；机加工车间后端探伤室曝光室 6 个；不锈钢车间探伤室曝光室 8 个），同时在各曝光室控制台上设置急停按钮，并张贴醒目中文标识，紧急情况下按下按钮可立即停止探伤设备出束。

8、紧急开门按钮：在各曝光室防护门内侧拟设置紧急开门装置，一旦出现紧急情况，按下此按钮可以从曝光室内侧打开防护门，门-机联锁装置随即启动，探伤设备立即停止出束。

9、视频监控设施：项目拟设置 24 小时视频监控系统，在各曝光室及相应的迷道中各设置 5 个摄像头，确保曝光室内全覆盖，在控制台操作者可以在控制室内屏幕上监视曝光室内探伤作业过程，查看是否有人员滞留在曝光室内；同时，视频监控系统还与重装制造基地厂区值班室联网。

10、固定式辐射监测报警装置：项目拟在各曝光室设置固定式辐射监测报警装置（带剂量显示功能），探头安装在迷道内靠近防护门入口处，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。

11、双人双锁管理：项目拟对每间曝光室储源坑实行双人双锁管理，要储源坑盖板上设置双锁，钥匙分别由两名工作人员管理，只有两人同时到场才能打开盖板使用 γ 射线探伤机，并对每次使用过程进行记录。

12、通排风装置：本项目拟在每间曝光室分别安装 1 套轴流风机排风装置，排风经 U 型埋地管道引出曝光室后由排气筒引到探伤室顶部排放，每小时换气次数应不小于 3 次。

13、便携式辐射剂量监测仪表：项目拟配备 1 台便携式辐射剂量监测仪。

14、个人剂量报警仪及个人剂量计：建设单位拟为每间曝光室分别配备 2 台个人剂量报警仪，并为所有辐射工作人员配备个人剂量计。

公司应每月对各曝光室辐射安全联锁装置、急停装置、工作状态显示、声光

报警装置、监控系统等辐射安全防护设施设备进行检查维护,发现问题及时处理,确保辐射安全防护系统有效运行。

(四) 放射源管理措施

公司对于拟使用 6 台含 II 类放射源的 γ 射线探伤机,在各曝光室设置储源坑暂存含放射源探伤机。曝光室具有防水、防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”管控措施,具体见下表。

表 10-4 项目各曝光室“六防”措施一览表

措施类别	措施内容
防火	各曝光室均为钢筋混凝土结构,储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	各曝光室在厂区内东侧相对集中布局,厂区内设有雨污分流设施,曝光室墙体四周和顶板均为钢筋混凝土,具有较好防水效果。
防盗、防丢失和防破坏	①项目各曝光室墙体四周和顶板均为钢筋混凝土,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项目拟对储源坑采用 20mm 钢板作为盖板,并且落实双人双锁和出入库台账管理。
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项目拟在各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。

此外,建设单位还应做好以下管理措施:

- 1、明确 2 名以上工作人员专职负责放射源的保管工作。
- 2、 γ 射线探伤机的安全使用期限为 10 年,禁止使用超过 10 年的 γ 射线探伤机。
- 3、每月定期对 γ 射线探伤机的配件进行检查、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、源辫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,并佩戴个人剂量计,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、每次探伤作业完成后，探伤工作人员应对探伤装置进行目视检查，确保设备完整没有被损坏。并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，建设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。

8、放射源换源工作必须由探伤机生产单位或有资质的专业机构进行，并做好必要的防护。

项目各探伤室拟采取的辐射安全防护措施布置示意图见附图 7-1、附图 7-2 和附图 7-3。

四、辐射安全防护设施对照分析

为防止发生辐射事故，尽可能减小项目对环境造成的辐射影响，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）《生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序》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，将本项目拟落实的设施和措施进行对照分析如下。

表 10-5 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	备注
一、电子直线加速器探伤机				
1	场所与警示	控制区、监督区划分标识	拟设置	/
2		机房入口电离辐射警告标志	拟设置	/
3		机房入口工作状态指示	拟设置	/
4		灯光和声音报警指示装置	拟设置	/
5		视频监控装置	拟设置	每个曝光室全覆盖
6		机房门内紧急开门按钮	拟设置	在工件大门和迷道出口处铅门内侧墙上各设一个按钮
7		紧急照明或独立通道照明系统	拟设置	/
8	安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	拟设置	/
9		防护门与高压联锁（门机联锁）	拟设置	/
10		曝光室有紧急停机按钮	拟设置	各曝光室四周墙上及迷道内墙上设置，并有中文标识

11		防夹人装置	拟设置	/
12	剂量监测	机房内固定式辐射剂量监测仪	拟配备	/
13		便携式辐射剂量监测仪(高量程满足 10mSv/h 以上)	拟配备	/
14		个人剂量计	拟配备	为所有辐射工作人员配备
15		个人剂量报警仪	拟配备	每个曝光室配备 2 个
16	其它	通风系统	已设计	/
17		个人防护用品(铅衣、铅帽、铅围脖等)	拟配备	/
18		灭火器	拟配备	/
二、 ⁶⁰ Co、 ¹⁹² Ir 放射源γ射线探伤机				
1	探伤机	源容器电离辐射标志	设备自带	/
2		探伤机表面金属铭牌文字和标识	设备自带	/
3		放射源编码卡	设备自带	/
4		安全锁和专用钥匙	设备自带	/
5		探伤装置外观无明显缺损	设备自带	/
6		探伤装置在有效期内(10 年)	设备自带	建设单位每台 γ 探伤装置使用不得超过 10 年
7		贮存场所安保措施	拟设置	双人双锁和 24 小时视频监控
8	固定式探伤室	场所分区	拟设置	/
9		机房入口电离辐射警告标志	拟设置	/
10		出入口工作状态显示	拟设置	/
11		探伤室防护门与探伤机联锁(电动)	拟设置	/
12		场所内固定式辐射剂量监测仪与门联锁	拟设置	/
13		紧急停止按钮	拟设置	各曝光室四周墙上及迷道内墙上设置, 并有中文标识
14	监测设备	便携式辐射剂量监测仪(高量程满足 10mSv/h 以上)	拟配备	/
15		个人剂量计	拟配备	为所有辐射工作人员配备
16		个人剂量报警仪	拟配备	每个曝光室配备 2 个
17	应急物资	个人防护用品	拟配备	/
18		应急处理工具(如长柄夹具等)	拟配备	/
19		放射源应急屏蔽材料	拟配备	/
20		灭火器材	拟配备	/
三、X 射线探伤机				

1	场所设施	入口处电离辐射警告标志	拟设置	/
2		入口处机器工作状态显示	拟设置	/
3		隔室操作	已设计	/
4		迷道	已设计	/
5		防护门	已设计	/
6		控制台有钥匙控制	拟设置	/
7		门机联锁系统	拟设置	/
8		机房内监控设施	拟设置	每个曝光室全覆盖
9		通风设施	已设计	/
10		机房内紧急停机按钮	拟设置	各曝光室四周墙上及迷道内墙上设置，并有中文标识
11		控制台上紧急停机按钮	拟设置	/
12		出口处紧急开门开关	拟设置	在工件大门和迷道出口处铅门内侧墙上各设一个按钮
13		准备出束声光提示	拟设置	/
14	监测设备	便携式辐射剂量监测仪	拟配备	/
15		个人剂量计	拟配备	为所有辐射工作人员配备
16		个人剂量报警仪	拟配备	每个曝光室配备 2 个
17	应急物资	灭火器材	拟配备	/

五、辐射安全防护与环保措施及投资

为了保证项目辐射安全和环境保护满足相关要求，建设单位将投入一定资金建设必要的辐射安全与环境保护设施及措施，配备相应的辐射监测仪器和防护用品。本项目总投资 2000 万元，环保投资 754.8 万元，占总投资的 37.7%。本项目辐射安全防护和环保设施（措施）及投资见下表。

表 10-6 项目辐射安全防护与环保设施（措施）及投资估算一览表

项目	相关设施、措施内容		数量	投资（万元）
各场所相同项	实体防护	探伤室（曝光室）	3 座（4 间）	700.0
	场所设施	入口处工作状态指示	4 套	2
		入口处电离辐射警示标志	11 套	0.8
		门机联锁装置	8 套	4
		通排风系统	4 套	8
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	4 套	4

		曝光室内紧急停机按钮	4 套	4
		准备出束声光提示	4 套	4
		出口处紧急开门按钮	8 个	1
		控制区、监督区标识	4 套	0.1
		固定式辐射剂量监测仪	4 套	8
		紧急照明或独立通道照明系统	4 套	1
		防夹人装置	2 套	0.5
		危险废物贮存间	1 间	依托基地
		废定、显影液收集桶	各 4 个	0.1
		废胶片专用储存柜	2 个	0.2
	监测设备	个人剂量计	9 套	0.5
		个人剂量报警仪	8 个	2
		便携式辐射剂量监测仪（高量程满足10mSv/h 以上）	1 台	3.5
其他	灭火器材	4 套	0.2	
	个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	8 套	1.6	
电子直线加速器	安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	2 套	设备自带
		控制台紧急停机按钮	2 套	设备自带
⁶⁰ Co、 ¹⁹² Ir 放射源γ射线探伤机	探伤机	源容器电离辐射标志（γ射线探伤机）	6 套	设备自带
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	6 个	设备自带
		放射源编码卡（γ射线探伤机）	6 个	设备自带
		安全锁和专用钥匙	6 个	设备自带
		放射源位置显示（γ射线探伤机）	6 个	设备自带
	安全保卫	储源坑	4 个	4
	应急物资	铅防护衣、铅手套、铅眼镜、铅围脖	4 套	0.8
		应急处理工具（如长柄夹具）	4 套	2
放射源应急屏蔽材料或容器		4 套	2	
X 射线探伤机	安全联锁	控制台钥匙控制	4 套	设备自带
		控制台紧急停机按钮	4 套	0.5
合计			/	754.8

建设单位在核技术利用项目实践中,应根据国家法律法规及地方生态环境主管部门发布的有关要求,结合公司实际对辐射安全和环境保护设施及措施进行调整和完善,使之能满足项目运行实际需要,并定期开展检查和维护。

三废的治理

一、废气治理

本项目拟使用的电子直线加速器、 γ 射线探伤机和 X 射线探伤机在探伤过程中会产生臭氧和少量氮氧化物,为了防止臭氧在曝光室内累积导致室内臭氧浓度超标,各曝光室均设计了通排风系统。

根据设计,本项目各曝光室均在东南角采用 U 型地埋式排风管将废气从曝光室内引出,再使用 4 台风机分别通过排气筒将废气抽出后高于探伤室屋顶排放(其中,位于生产厂房内的不锈钢车间探伤室排气筒向上引至厂房屋顶上方排放)。根据设计资料,项目容器车间探伤室的北侧 4MeV 曝光室、南侧 6MeV 曝光室、机加工车间后端探伤室曝光室和不锈钢车间探伤室曝光室的容积分别约为 3065m³、5286m³、898m³ 和 1774m³,各曝光室排风机风量分别为 10000m³/h、20000m³/h、5000m³/h 和 10000m³/h,设计排风次数分别约为 3.3 次/h、3.8 次/h、5.5 次/h 和 5.6 次/h,均大于每小时不低于 3 次的排风要求。

综上所述,本项目对各曝光室设置了排风系统,满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117—2022)中“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”的要求。

二、废水治理

项目运营期产生的污水包括工作人员生活污水和清洗胶片废水,其中生活污水产生量约为 316m³/a,洗片废水约 20m³/a。项目洗片废水和生活污水依托重装制造基地项目拟建的废水处理系统处理后排入园区污水管网,最后进入宜宾市白沙城镇污水处理厂处理后达标排放。

三、固体废物治理

本项目产生的固体废物主要包括生活垃圾和废放射源。

1、生活垃圾

工作人员产生的生活垃圾约 1.35t/a,依托重装制造基地厂区拟设置的垃圾桶分类收集后,由市政环卫部门统一清运处理。

2、废放射源

公司拟使用 2 枚 ⁶⁰Co 放射源和 4 枚 ¹⁹²Ir 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6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、危险废物治理

项目运营期产生的危险废物主要为废胶片以及废显影液和废定影液。

根据预计生产计划,项目每年将产生废显影液和废定影液分别约1000L,年产生废胶片约2500张。建设单位拟在每间暗室设置专用废液收集桶,及时将废显影液和废定影液收集后转移到探伤区域东侧的危废暂存间内暂存;建设单位拟使用纸质信封袋包装废胶片,并置于专用储存柜中暂存。以上危险废物定期交有资质的单位处置。

建设单位原有探伤项目运行中产生与本项目类别相同的危险废物,且建设单位已与有资质的单位签订了危险废物处理协议(附件10),本项目产生的危险废物可交由已签订协议的珙县华洁危险废物治理有限责任公司处理。

项目产生的危险废物暂存依托重装制造基地拟建的危险废物暂存间,暂存时间最长不超过1年。对于危险废物的管理,拟主要采取以下措施:

(1) 废液采用足够容量的专用容器收集,收集容器须具有防渗、防水和防腐蚀的效果,并在收集容器外张贴危险废物标志,暂存于危险废物暂存间内。

(2) 废液收集容器存放处四周须修筑堵截裙脚,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好防渗措施,防渗层为至少1m厚的黏土层(渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{cm/s}$),或2mm厚的高密度聚乙烯,或至少2mm厚的其它人工材料(渗透系数 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$)。

(4) 建设单位应建立危险废物产生、转移、处置及最终去向的管理台账,由专人进行管理,并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》相关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上必须按《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ 1276-2022)和《环境保护图形标志 固体废物贮存(处置)场》(GB 15562.2-1995)2023年修改单的规定设置危险废物标签,相关标志、

标签如下。



图 10-5 危险废物相关标志、标签

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》（GBZ 117-2022）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

建设阶段对环境的影响

一、土建施工及装修阶段影响

四川宜宾江源化工机械制造有限公司拟在其重装制造基地内新建 3 座探伤室（4 间曝光室）及辅助用房，探伤室施工期主要包括对曝光室采用钢筋混凝土连续浇筑，浇筑完成后对屏蔽墙体及辅助用房进行装修和辐射防护设施设备安装。施工期将会产生施工废水、扬尘、机械噪声、建筑垃圾以及施工人员生活污水和生活垃圾等。由于本项目依托的重装制造基地项目已完成环评工作并取得了主管部门批复，施工期的场地平整等内容已包含在重装制造基地项目中，本次仅对探伤室施工期的环境影响进行简单分析。

（一）大气环境影响分析

施工期的大气污染物主要是扬尘和装修废气，主要污染因子为无组织排放的 TSP 和装修材料释放的少量有机废气。

施工期间，施工单位主要通过施工管理和洒水降尘等措施进行扬尘控制，并通过选用优质建材和加强装修施工期间的室内通排风，加快废气扩散降解，对环境的影响很小。

（二）声环境影响分析

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备，由于项目所在重装制造基地厂界设有围墙，本项目探伤室建设位置距离厂界距离较远，且装修施工主要在室内进行，因此，经过建筑隔声和距离衰减后，施工噪声对周围环境影响较小。

（三）水环境影响分析

本项目施工期产生的废水包括施工作业废水和施工人员生活污水。

（1）施工废水

项目施工作业采用商品混凝土，施工废水主要为施工机械、车辆冲洗废水，主要污染物是悬浮物和石油类等。本项目依托重装制造基地项目在施场地修建的临时沉淀池对施工废水沉淀处理后回用于场地洒水降尘，不排放。

（2）生活污水

本项目施工期不在场地内设施工营地，施工人员租用附近居民房屋食宿，仅

在施工场地设临时旱厕。施工人员生活污水经临时旱厕收集处理后就按排入园区市政污水管网，对环境影响很小。

（四）固体废物影响分析

本项目依托重装制造基地项目一同建设，土石方可在场内平衡，无废弃土石产生；施工期固体废物主要包括少量建筑垃圾和施工人员生活垃圾。

（1）建筑垃圾

施工过程中会产生少量建筑垃圾，建设单位拟将可回收利用的废料回收利用或收集后销售处理，不能回收利用的由施工单位统一运送至政府指定建筑垃圾堆放场。

（2）生活垃圾

项目施工期产生的生活垃圾经分类收集后由环卫部门统一处理。

本项目施工期较短，施工量较小，且施工对环境产生的影响随着施工结束而消除，因此项目施工期对环境造成的影响较小。

二、设备安装及调试阶段影响

项目探伤室在建成后涉及到探伤设备和辐射安全防护设施的安装调试，探伤设备安装调试由经过辐射安全与防护培训的专业技术人员操作。在射线装置调试过程中，应加强辐射防护管理，保证屏蔽体屏蔽到位，辐射安全联锁和相关防护措施正常，并在防护门外设立当心电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试过程中，操作室控制台的电源开关钥匙应安排专人看管，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用电源运行射线装置。

电子直线加速器和 X 射线探伤机只有在开机出束检测过程中才会产生辐射，其产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失的。探伤设备调试过程主要是检测系统连接和控制功能，运行参数较小，因此产生的 X 射线能量较低。

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，建设单位不涉及换源工作，γ射线探伤机换装放射源具体实施过程不会对本项目辐射工作人员产生辐射影响。

由于探伤设备调试时间较短，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，经墙体和防护门屏蔽防护后，屏蔽体外周围剂量当量率水平能满足相关标准要求，因此，本项目设备调试阶段对环境和辐射工作人员的影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、项目探伤室及探伤设备

（一）项目探伤室及探伤设备基本情况

本项目拟建 3 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 16 台，根据前文分析，探伤室及探伤设备基本情况如下：

表 11-1 项目探伤室及探伤设备

序号	探伤场所		墙体厚度 (m)	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	容器车间探伤室	北侧 4MeV 曝光室	南侧：2.5 其余：1.2	4MeV (出束水平向南和竖直向下之间)	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	^{60}Co 、 ^{192}Ir
		南侧 6MeV 曝光室	北侧：2.5 其余：1.4	6MeV (出束水平向北和竖直向下之间)	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	^{60}Co 、 ^{192}Ir
2	机加工车间后端探伤室		四周：0.75 屋顶：0.7	——	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	^{192}Ir
3	不锈钢车间探伤室		四周：0.75 屋顶：0.7	——	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	^{192}Ir

（二）项目探伤设备作业情况

根据前文工程分析，本项目各曝光室中探伤机作业情况如下：

1、容器车间探伤室

容器车间探伤室为并联探伤室，两间曝光室共用 2.5m 厚的主屏蔽墙。

（1）北侧 4MeV 曝光室：4MeV 加速器出束方向为水平朝向南侧主屏蔽墙和竖直朝向地面之间，南侧主屏蔽墙体考虑有用线束影响，四周墙体和屋顶考虑散射和泄漏辐射影响，地下无地下室，不考虑地面影响；X 射线探伤机和 γ 射线探伤机可能朝向曝光室各面墙体出束，对各面墙体均考虑有用线束影响；各探伤设备与东、西两侧墙体之间的最小距离均为 3m，与南、北两侧墙体之间的最小距离均为 2m。

(2) 南侧 6MeV 曝光室：6MeV 加速器出束水平朝向北侧主屏蔽墙和竖直朝向地面之间，北侧主屏蔽墙体考虑有用线束影响，四周墙体和屋顶考虑散射和泄漏辐射影响，地下无地下室，不考虑地面影响；X 射线探伤机和 γ 射线探伤机可能朝向曝光室各面墙体出束，对各面墙体均考虑有用线束影响。各探伤设备与东、西两侧墙体之间的最小距离均为 3m，与南、北两侧墙体之间的最小距离均为 2m。

2、机加工车间后端探伤室

X 射线探伤机和 γ 射线探伤机可能朝向曝光室各面墙体出束，对各面墙体均考虑有用线束影响；各探伤设备与墙体之间的最小距离均为 2m。

3、不锈钢车间探伤室

X 射线探伤机和 γ 射线探伤机可能朝向曝光室各面墙体出束，对各面墙体均考虑有用线束影响；各探伤设备与墙体之间的最小距离均为 2m。

二、项目运行辐射环境影响分析

(一) 探伤设备输出量参数

1、电子直线加速器：根据建设单位提供的资料，本项目两台电子直线加速器输出 X 射线的最大能量分别为 6MeV 和 4MeV，对应的 1m 处最大 X 射线剂量率分别为 600Gy/h 和 300Gy/h。

2、X 射线探伤机：本项目拟使用 YG-XD-300 定向和 YG-XZ-300 周向两种型号探伤机，最大管电压均为 300kV，最大管电流均为 5mA。因未获得厂家提供的输出量，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，本项目保守按照管电压 300 kV 下较大的过滤片为 3mmAl 进行取值，即 X 射线输出量取 $20.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $1.254\times 10^6\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ 。

3、 γ 射线探伤机：本项目拟使用 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机，两种放射源装源活度均为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ，为II类密封放射源。对于放射源的周围剂量当量率常数，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的“表 A.1 射线探伤中最常用的放射性核素及其特性”：对于 ^{60}Co 放射源， $\Gamma=0.35\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，对于 ^{192}Ir 放射源， $\Gamma=0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。

(二) 加速器主屏蔽范围估算

本项目容器车间探伤室为并联探伤室，设计有 2 间共用主屏蔽墙的曝光室。

(1) 北侧 4MeV 曝光室

垂直方向：根据设计资料，4MeV 加速器与南侧主屏蔽墙体之间距离最大为 8.3m，离地最高为 5.685m，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 $5.685+8.3\times\tan(30\div2)=7.9\text{m}$ 。

水平方向：根据设计资料，4MeV 加速器与南侧主屏蔽墙体之间距离最大为 8.3m，与西侧屏蔽墙体之间最小距离为 2m，与东侧屏蔽墙体之间最小距离为 3m，加速器东西活动距离最大为 19m，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 $19+8.3\times\tan(30\div2)\times2=23.45\text{m}$ 。

北侧 4MeV 曝光室净空尺寸长 25m×宽 10.3m×高 11.9m，南侧主屏蔽墙宽度超过 27.4m ($25+1.2+1.2$)，主屏蔽墙体自行车位置距离地面高度 9.3m，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。

(2) 南侧 6MeV 曝光室

垂直方向：根据设计资料，6MeV 加速器与北侧主屏蔽墙体之间距离最大为 11.45m，离地最高为 6.825m，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 $6.825+11.45\times\tan(30\div2)=9.89\text{m}$ 。

水平方向：根据设计资料，6MeV 加速器与北侧主屏蔽墙体之间距离最大为 11.45m，与西侧屏蔽墙体之间最小距离为 2m，与东侧屏蔽墙体之间最小距离为 3m，加速器东西活动距离最大为 24m，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 $24+11.45\times\tan(30\div2)\times2=31.1\text{m}$ 。

南侧 6MeV 曝光室净空尺寸长 30m×宽 13.45m×高 13.1m，北侧主屏蔽墙宽度为 32.8m ($30+1.4+1.4$)，主屏蔽墙从行车位置距离地面高度 10.37m，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。

项目建设过程中，建设单位应按照设计要求确保曝光室屏蔽墙体宽度和高度尺寸，设备厂家和建设单位在进行电子直线加速器安装时，必须严格按照既定的设计方案进行安装，避免安装后主射束超出主屏蔽范围的情况出现。

(三) 探伤室关注点设置及参考剂量率水平

1、关注点设置

根据项目各探伤室结构和平面设计方案，结合工程分析中的探伤活动场景分析以及曝光室周边外环境，各探伤室屏蔽体外关注点设置情况分别如下：

(1) 容器车间探伤室

表 11-2 容器车间探伤室屏蔽体外关注点设置一览表

场所		关注点	位置描述	最小距离 (m)	需屏蔽的辐射源	
					加速器	其余探伤机
容器 车间 探伤 室	北侧 4MeV 曝光室	A	北侧 4MeV 曝光室北侧 墙体外 30cm	3.5	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		B	北侧 4MeV 曝光室东侧 墙体外 30cm（操作室）	4.5	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		C	北侧 4MeV 曝光室南侧 墙体外 30cm	4.8	有用线束	有用线束
		D	北侧 4MeV 曝光室西侧 工件门外 30cm	5.7	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		E	北侧 4MeV 曝光室西侧 墙体外 30cm	4.5	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		F	北侧 4MeV 曝光室顶部 屏蔽体外 30cm	7.7（加速器） 8.4（其他）*	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		G	北侧 4MeV 曝光室东侧 迷道门外 30cm	13.4	散射辐射 （O1→a1→ b1→c1→G）	散射辐射 （O1→a1→ b1→c1→G）
	南侧 6MeV 曝光室	H	南侧 6MeV 曝光室北侧 墙体外 30cm	4.8	有用线束	有用线束
		J	南侧 6MeV 曝光室东侧 墙体外 30cm（操作室）	4.7	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		K	南侧 6MeV 曝光室南侧 墙体外 30cm	3.7	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		L	南侧 6MeV 曝光室西侧 工件门外 30cm	6.1	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		M	南侧 6MeV 曝光室西侧 墙体外 30cm	4.7	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		N	南侧 6MeV 曝光室顶部 屏蔽体外 30cm	8.0（加速器） 9.8（其他）*	泄漏辐射 散射辐射	有用线束
		P	南侧 6MeV 曝光室东侧 迷道门外 30cm	12.8	散射辐射 （O2→a2→ b2→c2→P）	散射辐射 （O2→a2→ b2→c2→P）
备注：1、辐射源点至关注点的最小距离为图纸标注的最近距离（将探伤机活动范围矩形四周边界视为源点）加上屏蔽体厚度再加上 30cm；						
2、为保持各关注点距离数据有效数字一致，对曝光室屋顶与辐射源之间的最近距离进行了修约；						
3、*容器车间探伤室两间曝光室中，北侧 4MeV 加速器距地面高度范围为 1.5m-5.685m，南侧 6MeV 加速器距地面高度范围为 1.5m-6.825m，加速器与南、北两侧墙体的最近距离不低于 2.0m，与东、西两侧墙体的最近距离不低于 3.0m；γ射线探伤机和 X 射线探伤机活动范围均为距离四周墙体最小距离不小于 2m，距离地面高度范围约为 1m-5m，在下面的关注点设置示意图中不再单独标注。						
4、由于操作室关注点靠近迷道门外关注点，操作室关注点已考虑了有用线束、散射辐射和泄漏辐射，且在影响分析中考虑了两个关注点的剂量率叠加，因此对于迷道门外关注点仅考虑迷道散射辐射影响。						

图 11-1 容器车间探伤室屏蔽体外关注点设置示意图（平面）

图 11-2 容器车间探伤室屏蔽体外关注点设置示意图（剖面）

（2）机加工车间后端探伤室

表 11-3 机加工车间后端探伤室屏蔽体外关注点设置一览表

场所	关注点	位置描述	最小距离（m）	需屏蔽的辐射源
机加工车间后端探伤室	Q	曝光室北侧墙体外 30cm	3.05	有用线束
	R	曝光室东侧墙体外 30cm（操作室）	3.05	有用线束
	S	曝光室南侧墙体外 30cm	3.05	有用线束
	T	曝光室西侧工件门外 30cm	3.80	有用线束
	U	曝光室西侧墙体外 30cm	3.05	有用线束
	W	曝光室顶部屏蔽体外 30cm	2.80	有用线束
	V	曝光室东侧迷道门外 30cm	10.1	散射辐射 (O3→a3→b3→V)
备注：1、辐射源点至关注点的最小距离为图纸标注的最近距离（将探伤机活动范围矩形四周边界视为源点）加上屏蔽体厚度再加上 30cm。 2、由于操作室关注点靠近迷道门外关注点，操作室关注点已考虑了有用线束、散射辐射和泄漏辐射，且在影响分析中考虑了两个关注点的剂量率叠加，因此对于迷道门外关注点仅考虑迷道散射辐射影响。				

图 11-3 机加工车间后端探伤室屏蔽体外关注点设置示意图（平面）

图 11-4 机加工车间后端探伤室屏蔽体外关注点设置示意图（剖面）

（3）不锈钢车间探伤室

表 11-4 不锈钢车间探伤室屏蔽体外关注点设置一览表

场所	关注点	位置描述	最小距离（m）	需屏蔽的辐射源
不锈钢车间探伤室	Q1	曝光室东侧墙体外 30cm	3.05	有用线束
	R1	曝光室南侧墙体外 30cm（操作室）	3.05	有用线束
	S1	曝光室西侧墙体外 30cm	3.05	有用线束
	T1	曝光室北侧工件门外 30cm	3.80	有用线束
	U1	曝光室北侧墙体外 30cm	3.05	有用线束
	W1	曝光室顶部屏蔽体外 30cm	3.70	有用线束
	V1	曝光室南侧迷道门外 30cm	9.7	散射辐射 (O4→a4→b4→V1)
备注：1、辐射源点至关注点的最小距离为图纸标注的最近距离（将探伤机活动范围矩形四周边界视为源点）加上屏蔽体厚度再加上 30cm。 2、由于操作室关注点靠近迷道门外关注点，操作室关注点已考虑了有用线束、散射辐射和泄漏辐射，且在影响分析中考虑了两个关注点的剂量率叠加，因此对于迷道门外关注点仅考虑迷道散射辐射影响。				

图 11-5 不锈钢车间探伤室屏蔽体外关注点设置示意图（剖面）

图 11-6 不锈钢车间探伤室屏蔽体外关注点设置示意图（平面）

2、剂量率参考控制水平

本项目各探伤室曝光室屏蔽体外周围剂量率控制水平参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）标准要求：四周屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；曝光室顶部没有人员到达，本项目保守取屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

（四）关注点剂量率水平估算

由于项目拟建多座探伤室，且各探伤室的同一曝光室内使用多种探伤设备，下面根据探伤设备特点，分别按电子直线加速器、X 射线探伤机和 γ 射线探伤机三种类别进行分析。

1、电子直线加速器探伤时的关注点处剂量率水平估算

（1）屏蔽墙体外关注点处剂量率水平估算

本项目容器车间探伤室并联的两间曝光室共用主屏蔽墙体，北侧的 4MeV 电子直线加速器主射方向为水平朝向南侧主屏蔽墙和竖直朝向地面之间，南侧的 6MeV 电子直线加速器主射方向为水平朝向北侧主屏蔽墙和竖直朝向地面之间。

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 中的图 C.1，对于 4MeV 电子直线加速器，混凝土的十值层厚度约为 28cm；对于 6MeV 电子直线加速器，混凝土的十值层厚度约为 34cm。根据下图，能量为 4MeV 和 6MeV 的加速器 X 射线的平衡十值层曲线与第一个十值层曲线重合，可以认为其平衡十值层厚度与第一个十值层厚度相同，即分别为 28cm 和 34cm。

图 11-7 0.1MeV~100MeV 电子加速器的宽束 X 射线的混凝土十值层

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 中相关公式进行计算。

根据上述公式和前文分析相关参数，可得到容器车间探伤室两个曝光室屏蔽体外各个关注点处的辐射剂量率预测结果见下表。

表 11-5 加速器运行时容器车间探伤室关注点处剂量率预测结果

关注点			关注点 位置描述	D_0 (Gy/h)	d (m)	居留 因子	混凝土厚 S (cm)	T_l (cm)	T_e (cm)	剂量率 H_M (μ Sv/h)
容器 车间 探伤 室	北侧 4MeV 曝光室	A	北 侧 墙 体 外 30cm	0.3	3.5	1/4	120	28	28	1.90E-02
		B	东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	0.3	4.5	1	120	28	28	4.59E-02
		C	南 侧 墙 体 外 30cm	300	4.8	1/4	250	28	28	2.30E-04
		D	西 侧 工 件 门 外 30cm	0.3	5.7	1/4	120	28	28	7.16E-03
		E	西 侧 墙 体 外 30cm	0.3	4.5	1/4	120	28	28	1.15E-02
		F	顶 部 屏 蔽 体 外 30cm	0.3	7.7	1/40	120	28	28	3.92E-04
	南侧 6MeV 曝光室	H	北 侧 墙 体 外 30cm	600	4.8	1/4	250	34	34	1.73E-02
		J	东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	0.6	4.7	1	140	34	34	1.24E-01
		K	南 侧 墙 体 外 30cm	0.6	3.7	1/4	140	34	34	5.00E-02
		L	西 侧 工 件 门 外 30cm	0.6	6.1	1/4	140	34	34	1.84E-02
		M	西 侧 墙 体 外 30cm	0.6	4.7	1/4	140	34	34	3.10E-02
		N	顶 部 屏 蔽 体 外 30cm	0.6	8.0	1/40	140	34	34	1.07E-03

备注：本项目除主屏蔽墙体外 30cm 处的关注点之外，其他关注点处主要受到漏射线和散射射线的影响，因散射后射线能量较小，对曝光室外的影响可忽略。因此，对其他关注点处的影响主要考虑漏射线。根据加速器技术参数资料，项目两台加速器泄漏剂量率均为 0.1%，本表中预测电子直线加速器漏射剂量率均按照 0.1%进行取值。

由上表可知，两台加速器正常运行时：

①容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 B 点（东侧操作室），剂量率为 0.0459 μ Sv/h；

②容器车间探伤室南侧 6MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 J 点（东侧操作室），剂量率为 0.124 μ Sv/h。

（2）迷道防护门外剂量率水平估算

①迷道入口处剂量率估算

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，可以估算迷道外入口处的剂量率 H_m 。

将相关参数代入公式可得到容器车间探伤室迷道入口处散射剂量率见下表。

表 11-6 容器车间探伤室迷道入口处散射辐射剂量率预测结果

预测点		散射次数 (次)	H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射路径及距离 d (m)	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	A_3 (m^2)	H_m ($\mu\text{Sv/h}$)
北侧 4MeV 曝光室	G	3	300000	O1→a1→b1→c1→G 5.7, 2.6, 3.6, 1.2	6	2.25	2.25	9.70E-03
南侧 6MeV 曝光室	P	3	600000	O2→a2→b2→c2→P 5.6, 2.6, 3.6, 0.7	6	2.25	2.25	4.78E-02

②迷道防护门外关注点处剂量率估算

本项目两台加速器产生的 X 射线初始能量分别为 4MeV 和 6MeV，射线分别经过 3 次散射到达迷道防护门内侧。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中对于第 2 次及以后散射系数取值说明“ a_2 值通常使用附录 B 表 B.6 中 0.5MeV 栏内的值”，可以认为射线经过迷道 2 次散射后，到达迷道防护门内侧的射线能量已低于 0.5MeV；由于本项目射线在迷道内需经过 3 次散射才能到达迷道门内侧，所以对迷道门内侧的射线能量按 0.5MeV 取值是保守的。因此，对于迷道防护门外关注点处剂量率水平估算时，射线能量按 0.5MeV 取值是保守可行的。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979 - 2018）附录 A 中的表 A.3，0.5MeV 的 X 射线铅中的十值层厚度为 1.2cm。本项目两间加速器曝光室防护门均拟采用 5mmPb，据此可估算出迷道防护门外关注点处经铅防护门屏蔽后的剂量率水平为：

北侧 4MeV 曝光室防护门外 30cm 处的 G 点由迷道散射引起的辐射剂量率：
 $H_G = H_m \times 10^{-\frac{X}{\text{TVL}}} = 9.7 \times 10^{-3} \times 10^{(-0.5/1.2)} = 3.72 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ；

南侧 6MeV 曝光室防护门外 30cm 处的 P 点由迷道散射引起的辐射剂量率：
 $H_P = H_m \times 10^{-\frac{X}{\text{TVL}}} = 4.78 \times 10^{-2} \times 10^{(-0.5/1.2)} = 1.83 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述，本项目容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室和南侧 6MeV 曝光室迷道防护门外 30cm 处 G 点和 P 点的散射剂量率分别为 $3.72 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 和 $1.83 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 天空散射吸收剂量率估算

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.3，可以估算曝光室天空散射吸收剂量率 D_s 。

本项目各探伤室上方均无建筑，且无相邻高层建筑，因此不考虑侧向散射。

根据上述公式和前文分析相关参数，可得到容器车间探伤室两个曝光室天空散射吸收剂量率预测结果见下表。

表 11-7 加速器运行时容器车间探伤室天空散射吸收剂量率预测结果

关注点			关注点位置	D_0 (Gy/h)	d_s (m)	d_i (m)	T_c (m)	T_l (cm)	T_e (cm)	剂量率 D_s (μ Sv/h)
容器车间探伤室	北侧 4MeV 曝光室	F	顶部屏蔽体外	300	43	13.4	1.2	0.28	0.28	4.04E-06
	南侧 6MeV 曝光室	N	顶部屏蔽体外	600	57	14.8	1.4	0.34	0.34	3.91E-06

由上表可知，项目容器探伤室北侧 4MeV 曝光室天空散射吸收剂量率为 $4.04 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，南侧 6MeV 曝光室天空散射吸收剂量率为 $3.91 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ 。

2、X 射线探伤机探伤时各关注点处剂量率水平估算

(1) 屏蔽墙体外关注点处剂量率水平估算

建设单位拟在 3 座探伤室的 4 间曝光室中均分别使用 1 台 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机，由于探伤机出束方向不固定，偏保守考虑，对每间曝光室的四周墙体及屋顶均采用主射方向进行预测。由于 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 YG-XZ-300 周向 X 射线探伤机的技术参数除出束方向外均相同，因此下面简化为同一种探伤机进行预测。

各曝光室外关注点处的辐射剂量率计算模式根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）选取公式进行计算。

根据上述公式及项目工作计划，项目各曝光室各关注点年的剂量率水平预测结果见下表。

表 11-8 X 射线探伤机探伤时**容器车间探伤室**关注点处剂量率预测结果

关注点		位置描述	混凝土厚 (cm)	输出量 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/$ (mA·h)	十值 层厚 (cm)	关注点的距离 (m)	透射因子	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
容器 车间 探伤 室	北侧 4MeV 曝光 室	A 北 侧 墙 体 外 30cm	120	1.254E+06	10	3.5	1.00E-12	5.12E-07
		B 东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	120	1.254E+06	10	4.5	1.00E-12	3.10E-07
		C 南 侧 墙 体 外 30cm	250	1.254E+06	10	4.8	1.00E-25	2.72E-20
		D 西 侧 工 件 门外 30cm	120	1.254E+06	10	5.7	1.00E-12	1.93E-07
		E 西 侧 墙 体 外 30cm	120	1.254E+06	10	4.5	1.00E-12	3.10E-07
		F 顶 部 屏 蔽 体外 30cm	120	1.254E+06	10	8.4	1.00E-12	8.89E-08
	南侧 6MeV 曝光 室	H 北 侧 墙 体 外 30cm	250	1.254E+06	10	4.8	1.00E-25	2.72E-20
		J 东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	140	1.254E+06	10	4.7	1.00E-14	2.84E-09
		K 南 侧 墙 体 外 30cm	140	1.254E+06	10	3.7	1.00E-14	4.58E-09
		L 西 侧 工 件 门外 30cm	140	1.254E+06	10	6.1	1.00E-14	1.69E-09
		M 西 侧 墙 体 外 30cm	140	1.254E+06	10	4.7	1.00E-14	2.84E-09
		N 顶 部 屏 蔽 体外 30cm	140	1.254E+06	10	9.8	1.00E-14	6.53E-10

表 11-9 X 射线探伤机探伤时**机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室**关注点处
剂量率预测结果

关注点		位置描述	混凝土厚 (cm)	输出量 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/$ (mA·h)	十值 层厚 (cm)	关注点的距离 (m)	透射因子	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
机加工 车间后 端探伤 室	Q	曝光室北侧 墙体外 30cm	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	R	曝光室东侧 墙体外 30cm (操作室)	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	S	曝光室南侧 墙体外 30cm	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02

	T	曝光室西侧 工件门外 30cm	75	1.254E+06	10	3.80	3.16E-08	1.37E-02
	U	曝光室西侧 墙体外 30cm	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	W	曝光室顶部 屏蔽体外 30cm	70	1.254E+06	10	2.80	1.00E-07	8.00E-02
不锈钢 车间探 伤室	Q1	曝光室东侧 墙体外 30cm	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	R1	曝光室南侧 墙体外 30cm (操作室)	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	S1	曝光室西侧 墙体外 30cm	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	T1	曝光室北侧 工件门外 30cm	75	1.254E+06	10	3.80	3.16E-08	1.37E-02
	U1	曝光室北侧 墙体外 30cm	75	1.254E+06	10	3.05	3.16E-08	2.13E-02
	W1	曝光室顶部 屏蔽体外 30cm	70	1.254E+06	10	3.70	1.00E-07	4.58E-02

由表 11-7 和 11-8 可知，X 射线探伤机正常运行时：

①容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 A 点（北侧墙体外），剂量率为 $5.12 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ；

②容器车间探伤室南侧 6MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 K 点（南侧墙体外），剂量率为 $4.58 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ ；

③机加工车间后端探伤室曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 W 点（屋顶），剂量率为 $8.00 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；

④不锈钢车间探伤室曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 W1 点（屋顶），剂量率为 $4.58 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

（2）迷道入口关注点处剂量率估算

在 X 射线探伤机进行探伤作业时，迷道入口处的散射辐射剂量率可通过《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中公式进行计算。

根据上述公式，代入相关参数，经计算，迷道入口处的辐射剂量率见下表。

表 11-10 X 射线探伤机探伤时各曝光室迷道入口处剂量率预测结果

关注点	位置描述	输出量 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	门厚 (mmPb)	十值 层厚 (mm)	关注点 距离 (m)	靶点至散射 点距离 (m)	电流 (mA)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
北侧 4MeV 曝光室	G 曝光室东侧迷道门外 30cm	1.254E+06	5	1.4	7.7	5.7	5	3.73E-03
南侧 6MeV 曝光室	P 曝光室东侧迷道门外 30cm	1.254E+06	5	1.4	7.2	5.6	5	4.42E-03
机加工车间后端探伤室	V 曝光室东侧迷道门外 30cm	1.254E+06	5	1.4	6.1	4	5	1.21E-02
不锈钢车间探伤室	V1 曝光室南侧迷道门外 30cm	1.254E+06	5	1.4	5.8	3.9	5	1.41E-02

由上表可知，X 射线探伤机朝向迷道出束时：

①容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室：迷道入口处 G 点处的剂量率为 $3.73\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ；

②容器车间探伤室南侧 6MeV 曝光室：迷道入口处 P 点处的剂量率为 $4.42\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ；

③机加工车间后端探伤室曝光室：迷道入口处 V 点处的剂量率为 $1.21\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ ；

④不锈钢车间探伤室曝光室：迷道入口处 V1 点处的剂量率为 $1.41\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 。

3、 γ 射线探伤机探伤时各关注点处剂量率水平估算

(1) γ 射线探伤机未探伤时的辐射环境影响

未开展探伤作业时，放射源贮存在 γ 射线探伤机的源容器内，探伤机存放在曝光室内的储源坑内。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）和《 γ 射线探伤机》（GB/T 14058-2023），本项目拟使用的 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机属于 M 类移动式 γ 射线探伤机，离容器外表面 50mm 处周围当量剂量率极限值不超过 1mSv/h，离容器外表面 1m 处周围当量剂量率极限值不超过 0.05mSv/h； ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机属于 P 类便携式 γ 射线探伤机，离容器外表面 50mm 处周围当量剂量率极限值不超过 0.5mSv/h，离容器外表面 1m 处周围当量剂量率极限值不超过 0.02mSv/h。

①未采取屏蔽防护时 γ 射线探伤机不同距离处剂量率

根据空气比释动能率与距离平方成反比的规律，可计算得出距离探伤机不同

位置处的辐射剂量率水平。

距 γ 射线探伤机源容器表面不同距离处的辐射剂量率见下表。

表 11-11 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 R1 (m)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
^{60}Co - γ 射线 探伤机不 同距离处 的剂量率 (mSv/h)	6.25E-02	1.56E-02	6.94E-03	3.91E-03	2.50E-03	1.11E-03	6.25E-04	2.78E-04	1.56E-04	1.00E-04
^{192}Ir - γ 射线 探伤机不 同距离处 的剂量率 (mSv/h)	3.13E-02	7.81E-03	3.47E-03	1.95E-03	1.25E-03	5.56E-04	3.13E-04	1.39E-04	7.81E-05	5.00E-05

由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移动探伤机或在探伤机周围进行其他活动的过程中将受到一定的 γ 射线外照射。由于射线的空气比释动能率与距离平方成反比，随着距离增加而迅速减小，因此，在实际工作过程中，工作人员应注意保持尽量远离 γ 射线探伤机，并减少必需的近距离接触时间。

② γ 射线探伤机暂存时对周围保护目标的影响

项目容器车间探伤室同时使用 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机，机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室仅使用 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机。建设单位拟在每间曝光室中设置一个储源坑，用于存放 γ 射线探伤机。容器车间探伤室两间曝光室内的储源坑尺寸均为长 1.6m×宽 0.8m×深 0.6m，上盖 20mm 厚钢盖板；机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室曝光室内的储源坑尺寸均为长 1.0m×宽 0.8m×深 0.6m，上盖 20mm 厚钢盖板。

常见的便携式 γ 射线探伤机尺寸一般为 600mm（长）×500mm（宽）×350mm（高）左右，未使用时均暂存在曝光室内的储源坑内。因此，当 γ 射线探伤机处于暂存状态时，主要可能对曝光室内的辐射工作人员和曝光室外的公众产生一定影响。本项目 4 间曝光室四周混凝土墙体厚度在 600mm~2500mm 之间，探伤机内的放射源经贮源容器和曝光室墙体的屏蔽后， γ 射线对曝光室外公众的影响可忽略不计。因此，当 γ 射线探伤机处于储源坑内时，受辐射影响的对象主要为曝光室内的辐射工作人员。

本项目 4 间曝光室的空间尺寸均较大,且储源坑均设置在每间曝光室内靠近角落位置,从而可以使工作人员尽量远离放射源。储源坑距离曝光室内的辐射工作人员最近距离约 2m-5m,工作人员受到的辐射剂量可通过公式进行计算。

经计算可得出不同距离处的辐射影响见下表。

表 11-12 距 γ 射线探伤机储源坑不同距离处的辐射剂量率估算结果

关注点与储源坑的距离 (m)		2	3	4	5
^{60}Co - γ 射线探伤机	无屏蔽时的剂量率 (mSv/h)	6.25E-04	2.78E-04	1.56E-04	1.00E-04
	储源坑盖板屏蔽厚度 (mmFe)	20	20	20	20
	盖板屏蔽后的剂量率 (mSv/h)	3.51E-04	1.56E-04	8.76E-05	5.61E-05
^{192}Ir - γ 射线探伤机	无屏蔽时的剂量率 (mSv/h)	3.13E-04	1.39E-04	7.81E-05	5.00E-05
	储源坑盖板屏蔽厚度 (mmFe)	20	20	20	20
	盖板屏蔽后的剂量率 (mSv/h)	1.16E-04	5.16E-05	2.90E-05	1.86E-05

(2) γ 射线探伤机探伤时各关注点处剂量率水平估算

根据《辐射防护导论》(方杰主编),在 ^{60}Co - γ 射线探伤机和 ^{192}Ir - 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公式进行计算。

根据上述公式,代入相关参数,可以得出项目 ^{60}Co 探伤机探伤作业时容器车间探伤室各关注点处剂量率如下。

表 11-13 ^{60}Co 探伤机探伤作业时容器车间探伤室各关注点处剂量率预测结果

关注点			位置描述	混凝土厚 (cm)	放射源 活度 A (MBq)	Γ_k ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (MBq·h))	关注点 的距离 (m)	透射因子 B	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
容器 车间 探伤 室	北侧 4MeV 曝光 室	A	北 侧 墙 体 外 30cm	120	3.70E+06	0.35	3.5	6.91E-06	7.30E-01
		B	东 侧 墙 体 外 30cm(操 作室)	120	3.70E+06	0.35	4.5	6.91E-06	4.42E-01
		C	南 侧 墙 体 外 30cm	250	3.70E+06	0.35	4.8	1.77E-11	9.97E-07
		D	西 侧 工 件 门 外 30cm	120	3.70E+06	0.35	5.7	6.91E-06	2.75E-01
		E	西 侧 墙 体 外 30cm	120	3.70E+06	0.35	4.5	6.91E-06	4.42E-01
		F	顶 部 屏 蔽 体 外 30cm	120	3.70E+06	0.35	8.4	6.91E-06	1.27E-01

	南侧 6MeV 曝光室	H	北 侧 墙 体 外 30cm	250	3.70E+06	0.35	4.8	1.77E-11	9.97E-07
		J	东 侧 墙 体 外 30cm(操 作室)	140	3.70E+06	0.35	4.7	9.54E-07	5.59E-02
		K	南 侧 墙 体 外 30cm	140	3.70E+06	0.35	3.7	9.54E-07	9.02E-02
		L	西 侧 工 件 门外 30cm	140	3.70E+06	0.35	6.1	9.54E-07	3.32E-02
		M	西 侧 墙 体 外 30cm	140	3.70E+06	0.35	4.7	9.54E-07	5.59E-02
		N	顶 部 屏 蔽 体外 30cm	140	3.70E+06	0.35	9.8	9.54E-07	1.29E-02

表 11-14 ^{192}Ir 探伤机探伤作业时**容器车间探伤室**各关注点处剂量率预测结果

关注点			位置描述	混凝土厚 (cm)	放射源 活度 A (MBq)	Γ_k ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (MBq·h))	关注点 的距离 (m)	透射因子 B	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
容器 车间 探伤 室	北侧 4MeV 曝光室	A	北 侧 墙 体 外 30cm	120	3.70E+06	0.17	3.5	5.96E-08	3.06E-03
		B	东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	120	3.70E+06	0.17	4.5	5.96E-08	1.85E-03
		C	南 侧 墙 体 外 30cm	250	3.70E+06	0.17	4.8	8.88E-16	2.42E-11
		D	西 侧 工 件 门外 30cm	120	3.70E+06	0.17	5.7	5.96E-08	1.15E-03
		E	西 侧 墙 体 外 30cm	120	3.70E+06	0.17	4.5	5.96E-08	1.85E-03
		F	顶 部 屏 蔽 体外 30cm	120	3.70E+06	0.17	8.4	5.96E-08	5.31E-04
	南侧 6MeV 曝光室	H	北 侧 墙 体 外 30cm	250	3.70E+06	0.17	4.8	8.88E-16	2.42E-11
		J	东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	140	3.70E+06	0.17	4.7	3.73E-09	1.06E-04
		K	南 侧 墙 体 外 30cm	140	3.70E+06	0.17	3.7	3.73E-09	1.71E-04
		L	西 侧 工 件 门外 30cm	140	3.70E+06	0.17	6.1	3.73E-09	6.30E-05
		M	西 侧 墙 体 外 30cm	140	3.70E+06	0.17	4.7	3.73E-09	1.06E-04
		N	顶 部 屏 蔽 体外 30cm	140	3.70E+06	0.17	9.8	3.73E-09	2.44E-05

表 11-15 ^{192}Ir 探伤机探伤作业时机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室各关注点处剂量率预测结果

关注点		位置描述	混凝土厚 (cm)	放射源 活度 A (MBq)	Γ_k ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ ($\text{MBq}\cdot\text{h}$))	关注点 的距离 (m)	透射因子 B	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
机加工 车间后 端探伤 室	Q	曝光室北侧 墙体外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	R	曝光室东侧 墙体外 30cm (操作室)	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	S	曝光室南侧 墙体外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	T	曝光室西侧 工件门外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.80	3.05E-05	1.33E+00
	U	曝光室西侧 墙体外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	W	曝光室顶部 屏蔽体外 30cm	70	3.70E+06	0.17	2.80	6.10E-05	4.90E+00
不锈钢 车间探 伤室	Q1	曝光室东侧 墙体外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	R1	曝光室南侧 墙体外 30cm (操作室)	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	S1	曝光室西侧 墙体外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	T1	曝光室北侧 工件门外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.80	3.05E-05	1.33E+00
	U1	曝光室北侧 墙体外 30cm	75	3.70E+06	0.17	3.05	3.05E-05	2.06E+00
	W1	曝光室顶部 屏蔽体外 30cm	70	3.70E+06	0.17	3.70	6.10E-05	2.80E+00

由表 11-13、11-14 和 11-15 可知, γ 射线探伤机正常运行时:

① ^{60}Co - γ 探伤机运行时, 容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 A 点(北侧墙体外), 剂量率为 $7.30\times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$; 南侧 6MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 K 点(南侧墙体外), 剂量率为 $9.02\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$;

② ^{192}Ir - γ 探伤机运行时, 容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 A 点(北侧墙体外), 剂量率为 $3.06\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$; 南侧 6MeV 曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 K 点(南侧墙体外), 剂量率为 $1.71\times$

$10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ；机加工车间后端探伤室曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 W 点（屋顶），剂量率为 $4.90\mu\text{Sv/h}$ ；不锈钢车间探伤室曝光室外各关注点处最大剂量率出现在 W1 点（屋顶），剂量率为 $2.80\mu\text{Sv/h}$ 。

（3） γ 射线探伤机探伤时迷道防护门处剂量率水平估算

①迷道入口处剂量率估算

本项目 3 座探伤室（4 间曝光室）均采用“U”形迷道设计，利用散射降低迷道外的辐射水平，避免 γ 射线直接照射迷道入口，并在人员进出口采用 5mm 厚铅防护门。

根据项目各探伤室平面布置图，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 11-3 和图 11-6，射线在迷道内至少 2 次以上散射才能到达迷道门，各曝光室散射路径分别如下：

表 11-16 项目各曝光室迷道散射路径情况

预测点		散射次数 (次)	散射路径及距离 d (m)	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	A_3 (m^2)
北侧 4MeV 曝光室	G	3	O1→a1→b1→c1→G 5.7, 2.6, 3.6, 1.2	6	2.25	2.25
南侧 6MeV 曝光室	P	3	O2→a2→b2→c2→P 5.6, 2.6, 3.6, 0.7	6	2.25	2.25
机加工车间后端探伤室	V	2	O3→a3→b3→V 4.0, 2.3, 3.5	3.75	2.25	2.25
不锈钢车间探伤室	V1	2	: O4→a4→b4→V1 3.9, 2.2, 3.3	3.75	2.25	2.25

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 次散射后迷道外入口的剂量率可按公式计算。

本项目曝光室内探伤机产生的射线散射次数和距离见表 11-15。

将表 11-15 中数据及相关参数代入上述公式，可得到本项目各曝光室迷道入口处剂量率见下表。

表 11-17 γ 射线探伤时各曝光室迷道防护门内侧处剂量率预测结果

关注点	关注点 位置描述	放射源	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	$H_{I, rj}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
北侧 4MeV 曝光室	G	曝光室东侧迷 道门内侧	^{60}Co	1.30×10^6
			^{192}Ir	6.29×10^5
南侧 6MeV 曝光室	P	曝光室东侧迷 道门内侧	^{60}Co	1.30×10^6
			^{192}Ir	6.29×10^5
机加工车间 后端探伤室	V	曝光室东侧迷 道门内侧	^{192}Ir	6.29×10^5
不锈钢车间 探伤室	V1	曝光室南侧迷 道门内侧	^{192}Ir	6.29×10^5

②迷道防护门外关注点处剂量率估算

本项目各曝光室迷道均使用 5mmPb 防护门，可以得出本项目各曝光室迷道门外 30cm 处各关注点的剂量率如下。

表 11-18 γ 射线探伤时各曝光室迷道防护门外关注点处剂量率预测结果

关注点			关注点 位置描述	放射源	门内剂量率 $H_{I,rj}$ (μSv/h)	门厚 (mmPb)	屏蔽体半 值层厚度 (mm)	关注点 剂量率 (μSv/h)	
容器 车间 探伤 室	北侧 4MeV 曝光室	G	曝 光 室 东 侧 迷 道 门 外 30cm	⁶⁰ Co	7.71E-02	5	1.5	7.65E-03	
				¹⁹² Ir	3.73E-02	5	1.5	3.70E-03	
	南侧 6MeV 曝光室	P	曝 光 室 东 侧 迷 道 门 外 30cm	⁶⁰ Co	2.35E-01	5	1.5	2.33E-02	
				¹⁹² Ir	1.14E-01	5	1.5	1.13E-02	
机加工车间后 端探伤室			V	曝 光 室 东 侧 迷 道 门 外 30cm	¹⁹² Ir	2.05E+00	5	1.5	2.03E-01
不锈钢车间探 伤室			V1	曝 光 室 南 侧 迷 道 门 外 30cm	¹⁹² Ir	2.65E+00	5	1.5	2.63E-01

由上表可知， γ 射线探伤机运行时：

①容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室： ^{60}Co 探伤机对迷道门外 G 点处的剂量率为 $7.65 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ； ^{192}Ir 探伤机对迷道门外 G 点处的剂量率为 $3.70 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ；

②容器车间探伤室南侧 6MeV 曝光室： ^{60}Co 探伤机对迷道门外 G 点处的剂量率为 $2.33 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ； ^{192}Ir 探伤机对迷道门外 G 点处的剂量率为

1.13×10⁻²μSv/h;

③机加工车间后端探伤室曝光室：迷道门外 V 点处的剂量率为 2.03×10⁻¹μSv/h;

④不锈钢车间探伤室曝光室：迷道门外 V1 点处的剂量率为 2.63×10⁻¹μSv/h。

(五) 辐射环境影响综合分析

1、各曝光室关注点处辐射剂量率水平

本项目各探伤室曝光室内各类探伤设备不会 2 台及以上同时使用，每次仅使用 1 台探伤机。经上述分别对电子直线加速器、X 射线探伤机和 γ 射线探伤机的运行影响分析可以看出，使用各类型探伤装置进行探伤时，各曝光室屏蔽体外各关注点处的最大辐射剂量率分布情况见下表。

表 11-19 项目各探伤室各种探伤设备运行时屏蔽体外关注点处最大剂量率

场所		不同探伤设备运行时曝光室四周墙体关注点最大剂量率 (μSv/h)					
		电子直线加速器		X 射线探伤机	γ射线探伤机		迷道门外
		4MeV	6MeV	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	⁶⁰ Co	¹⁹² Ir	
容器 车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	B (操作室) 4.59E-02	/	A (北侧墙外) 5.12E-07	A (北侧墙外) 7.30E-01	A (北侧墙外) 3.06E-03	G 7.65E-03
	南侧 6MeV 曝光室	/	J (操作室) 1.24E-01	K (南侧墙外) 4.58E-09	K (南侧墙外) 9.02E-02	K (南侧墙外) 1.71E-04	P 2.33E-02
机加工车间后端 探伤室		/	/	Q、R、S、U 2.13E-02	/	Q、R、S、U 2.06E+00	V 2.03E-01
不锈钢车间探伤室		/	/	Q1、R1、S1、U1 2.13E-02	/	Q1、R1、S1、U1 2.06E+00	V1 2.63E-01
场所		不同探伤设备运行时曝光室屋顶外关注点剂量率 (μSv/h)					
容器 车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	F (屋顶) 3.92E-04	/	F (屋顶) 8.98E-08	F (屋顶) 1.27E-01	F (屋顶) 5.31E-04	/
	南侧 6MeV 曝光室	/	N (屋顶) 1.07E-03	N (屋顶) 6.53E-10	N (屋顶) 1.29E-02	N (屋顶) 2.44E-05	/
机加工车间后端 探伤室		/	/	W (屋顶) 8.00E-02	/	W (屋顶) 4.90E+00	/
不锈钢车间探伤室		/	/	W1 (屋顶) 4.58E-02	/	W1 (屋顶) 2.80E+00	/

由上表可知，项目拟建的 3 座探伤室（4 间曝光室）四周屏蔽体外 30cm 处的剂量率最大为 2.06μSv/h，低于 2.5μSv/h 的剂量率参考控制水平；各曝光室屋顶处的最大剂量率为 4.90μSv/h，低于 10μSv/h 的剂量率参考控制水平。

2、项目运行对保护目标的年有效剂量分析

(1) 辐射工作人员年有效剂量分析

①各探伤室操作人员的年有效剂量

根据前文按探伤设备分别进行的辐射环境影响分析,关注点处的年有效剂量H按下式计算:

$$H = \dot{H}_M \bullet t \bullet T \bullet 10^{-3} \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

式中:

H —年最大有效剂量;

$\dot{H}_M$ —关注点处剂量当量率,单位为微希伏每小时($\mu\text{Sv/h}$);

t —年最大出束时间(h),具体见表 9-3;

T —居留因子,均取 1。

本项目各探伤室操作室处的年有效剂量汇总如下。

表 11-20 各探伤室操作室处年有效剂量预测结果汇总 (mSv/a)

关注点	关注点 位置描述	电子直线加速器		X 射线探伤机	γ射线探伤机		年有效 剂量	受照 类型
		4MeV	6MeV	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	⁶⁰ Co	¹⁹² Ir		
北侧 4MeV 曝光室	B* 东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	2.30E-02	/	1.86E-07	1.77E-01	7.40E-04	2.09E-01	职业
	迷道门外 G	1.86E-03	/	2.24E-03	3.06E-03	1.48E-03		
南侧 6MeV 曝光室	J* 东 侧 墙 体 外 30cm (操作室)	/	3.72E-02	1.70E-09	2.24E-02	4.24E-05	8.16E-02	职业
	迷道门外 P	/	5.49E-03	2.65E-03	9.32E-03	4.52E-03		
机加工 车间后 端探伤 室	R* 曝光室东侧墙 体外 30cm (操作室)	/	/	1.28E-02	/	8.24E-01	9.25E-01	职业
	迷道门外 V	/	/	7.26E-03	/	8.12E-02		
不锈钢 车间探 伤室	R1 * 曝光室南侧墙 体外 30cm (操作室)	/	/	1.60E-02	/	5.15E-01	6.07E-01	职业
	迷道门外 V1	/	/	1.06E-02	/	6.58E-02		

备注: *因操作室处紧邻迷道门,工作人员同时受到透射和散射影响,因此将迷道门外关注点处的剂量与操作室处的剂量叠加。

②γ射线探伤机暂存时对工作人员的剂量

项目实行 8 小时工作制,年工作 300 天,工作人员在曝光室内开展探伤前准备及探伤后工件转移及场地整理等工作的时间约 4h/d,容器车间探伤室两间曝光

室考虑同时受到 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机的最大叠加影响，且保守按最近距离 2m 考虑，根据表 11-12，工作人员最大受照剂量约为 **0.56mSv/a**；机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室仅使用 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机，保守按最近距离 2m 考虑，则工作人员最大受照剂量约为 **0.14mSv/a**。

表 11-21 各探伤室 γ 射线探伤机暂存时对工作人员所致剂量 (mSv/a)

场所		工作天数 (d)	每天接触时间 (h)	2m 处剂量率 (mSv/h)	年剂量 (mSv/a)
容器车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	300	4	^{60}Co : 3.51E-04 ^{192}Ir : 1.16E-04	0.56
	南侧 6MeV 曝光室	300	4	^{60}Co : 3.51E-04 ^{192}Ir : 1.16E-04	0.56
机加工车间后端探伤室		300	4	^{192}Ir : 1.16E-04	0.14
不锈钢车间探伤室		300	4	^{192}Ir : 1.16E-04	0.14

③ γ 射线探伤机搬移和准备过程对工作人员的剂量

在使用 γ 射线探伤作业前，工作人员在放射源管理员处做好借出登记后，工作人员与管理人员同时用钥匙打开储源坑盖板，待放射源管理人员对设备外观和剂量完成检查和检测后，将探伤机从储源坑中取出，转移到探伤工件附近，并进行连接输源管、安装附件、根据探伤工件进行摆位、张贴胶片和固定照射头等操作；在探伤作业结束后，操作人员取下输源管等工件并锁定探伤机，将探伤机转移到储源坑中，经放射源管理人员检查设备外观并完成剂量检测确认无误后，将储源坑盖板上锁。

项目每间曝光室每天借出、归还 γ 射线探伤机最多共 4 次，每次最多搬移探伤机和准备及归还过程约 10min，则工作人员近距离接触 γ 射线探伤机时间约为 200h/a；搬移过程中操作人员与 γ 射线探伤机源容器最近距离约 0.6m，根据表 11-11 可知，**容器车间探伤室**保守按照 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机相关工作各占一半时间考虑，则操作人员每年搬移 γ 射线探伤机和准备过程受到的辐射剂量最大可能为 **1.04mSv/a**；**机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室**仅使用 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机，按照 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机考虑，则操作人员每年搬移 γ 射线探伤机和准备过程受到的辐射剂量最大可能为 **0.69mSv/a**。

表 11-22 各探伤室 γ 射线探伤机搬移和准备过程对工作人员所致剂量 (mSv/a)

场所		工作天数 (d)	每天接触时 间 (min)	0.6m 处剂量率 (mSv/h)	年剂量 (mSv/a)
容器车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	300	4×10	^{60}Co : 6.94E-03 ^{192}Ir : 3.47E-03	1.04
	南侧 6MeV 曝光室	300	4×10	^{60}Co : 6.94E-03 ^{192}Ir : 3.47E-03	1.04
机加工车间后端探伤室		300	4×10	^{192}Ir : 3.47E-03	0.69
不锈钢车间探伤室		300	4×10	^{192}Ir : 3.47E-03	0.69

备注：根据容器车间探伤室中 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机年工作负荷相同的情况，本表中估算时间按两者相同考虑。

④放射源管理人员所受剂量

建设单位拟在 3 座探伤室（4 间曝光室）内贮存和使用 ^{60}Co - γ 射线探伤机和 ^{192}Ir - γ 射线探伤机共 6 台，其中容器车间探伤室的两间曝光室分别使用 ^{60}Co - γ 射线探伤机和 ^{192}Ir - γ 射线探伤机各 1 台，机加工车间后端探伤室和不锈钢车间探伤室分别使用 ^{192}Ir - 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，每间曝光室每天借出和归还总共最多 4 次，检查和检测时间每次最多 1min，每次距离探伤机源容器最近距离约为 1m，贮存状态下距离源容器 1m 处最大辐射剂量率见表 11-11，放射源管理人员每年近距离接近 γ 射线探伤机的时间总共为约 80h，则放射源管理人员每年受到最大辐射剂量为 0.125mSv/a。

表 11-23 放射源管理人员所受剂量 (mSv/a)

场所		工作天数 (d)	每天借还接 触时间 (min)	1m 处剂量率 (mSv/h)	年剂量 (mSv/a)
容器车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	300	1min×4 次	^{60}Co : 2.50E-03 ^{192}Ir : 1.25E-03	0.125
	南侧 6MeV 曝光室	300	1min×4 次	^{60}Co : 2.50E-03 ^{192}Ir : 1.25E-03	
机加工车间后端探伤室		300	1min×4 次	^{192}Ir : 1.25E-03	
不锈钢车间探伤室		300	1min×4 次	^{192}Ir : 1.25E-03	

备注：根据容器车间探伤室中 ^{60}Co 放射源 γ 射线探伤机和 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机年工作负荷相同的情况，本表中估算时间按两者相同考虑。

综上所述，项目辐射工作人员中，操作人员可能受到操作探伤过程、 γ 射线探伤机暂存及 γ 射线探伤机搬移和准备过程的影响；放射源管理人员主要在 γ 射

线探伤机借出和归还过程中受到影响，汇总情况见下表。

表 11-24 辐射工作人员有效剂量预测结果汇总 (mSv/a)

关注点		操作过程 所受剂量	γ 射线探伤 机暂存所致 剂量	γ 射线探伤 机搬移和准 备所致剂量	合计	配置 人数	剂量 约束值
容器车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	2.09E-01	0.56	1.04	1.81	2	5
	南侧 6MeV 曝光室	8.16E-02	0.56	1.04	1.68	2	5
机加工车间后端探伤室		9.25E-01	0.14	0.69	1.76	2	5
不锈钢车间探伤室		6.07E-01	0.14	0.69	1.44	2	5
放射源管理人员		/	/	/	0.125	1	5

由上表可知，在不考虑每间探伤室 2 名工作人员工作量分配的情况下，本项目各探伤室所致职业人员年剂量最大为 **1.81mSv/a**，放射源管理人员年剂量为 **0.125mSv/a**，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 **20mSv/a** 的剂量限值和本项目 **5mSv/a** 的剂量约束值。

（2）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 3 座探伤室相对集中，部分环境保护目标可能同时受到两座甚至 3 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 11-25 保护目标的年剂量预测结果

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（μSv/h）			叠加 年剂量 （mSv）	年剂量 约束值 （mSv）
		容器车间 探伤室	机加工车间后 端探伤室	不锈钢车间探 伤室		
5	标件库、焊材库工作人员	东，14	东北，43	/	5.83E-04	0.1
		B: 4.42E-01 J: 1.24E-01	Q: 2.06E+00			
6	固废堆场工作人员	东南，24	东北，34	/	1.84E-04	
		K: 9.02E-02	Q: 2.06E+00			
7	危废间和危化品库工作人员	东南，38	东，31	/	2.02E-04	
		K: 9.02E-02	R: 2.06E+00			
8	热处理炉工作人员	南，10	北，32	/	3.19E-04	

		K: 9.02E-02	Q: 2.06E+00		
9	喷砂房工作人员	南, 24	北, 17	/	6.65E-04
		K: 9.02E-02	Q: 2.06E+00		
10	油漆房工作人员	南, 32	北, 10	/	1.87E-03
		K: 9.02E-02	Q: 2.06E+00		
11	不锈钢车间工作人员	西南, 23	西, 3	东, 38	1.35E-02
		L: 3.32E-02 D: 2.75E-01	T: 1.33E+00	Q1: 2.06E+00	
12	预制区工作人员	西南, 30	西, 14	东北, 2	3.06E-02
		L: 3.32E-02 D: 2.75E-01	T: 1.33E+00	T1: 1.33E+00	
13	重型容器车间和中 型容器车间工作人员	西, 3	西北, 25	东北, 38	6.06E-03
		L: 3.32E-02 D: 2.75E-01	T: 1.33E+00	T1: 1.33E+00	
14	酸洗区工作人员	西, 18	/	/	1.61E-04
		L: 3.32E-02 D: 2.75E-01			
15	下料预制车间工作人员	西北, 32	/	/	1.22E-04
		A: 7.30E-01			
16	喷砂房工作人员	北, 5	/	/	4.99E-03
		A: 7.30E-01			
17	油漆房工作人员	北, 15	/	/	5.55E-04
		A: 7.30E-01			
18	抛光区工作人员	北, 20	/	/	3.12E-04
		A: 7.30E-01			
19	浴室和卫生间人员	/	东, 3	/	2.06E-02
			R: 2.06E+00		
20	机修间工作人员	/	南, 2	/	4.64E-02
			S: 2.06E+00		
21	配电站和发电站工作人员	/	南, 10	/	1.85E-03
			S: 2.06E+00		
22	机加工车间工作人员	/	西南, 3	东, 38	1.34E-02
			T: 1.33E+00	Q1: 2.06E+00	
23	废水设备区工作人员	/	西南, 20	东南, 28	5.36E-04
			T: 1.33E+00	Q1: 2.06E+00	
24	空压站工作人员	/	西南, 33	东南, 13	1.21E-03
			T: 1.33E+00	Q1: 2.06E+00	
25	重型标件库工作人员	/	/	西南, 8	2.90E-03
				S1: 2.06E+00	

26	设备制造区工作人员	/	/	西, 2 S1: 2.06E+00	4.64E-02	
27	自动堆焊区工作人员	/	/	西, 35 S1: 2.06E+00	1.51E-04	
28	酸洗区工作人员	/	/	西北 42 S1: 2.06E+00	1.05E-04	

备注: 1、由于各探伤室使用多种探伤设备, 本次计算时取各曝光室关注点在各种探伤设备运行时的最不利剂量率(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。

2、根据表 1-2, 容器车间探伤室的北侧 4MeV 曝光室年累计曝光出束时间为 1900h, 南侧 6MeV 曝光室年累计曝光出束时间为 1700h; 机加工车间后端探伤室年累计曝光出束时间为 1000h; 不锈钢车间探伤室年累计曝光出束时间为 1000h。

由上表分析可知, 本项目建成投用后, 三座探伤室全部运行的情况下, 所致周边保护目标最大年有效剂量为 **0.0464mSv/a**, 均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中 **1mSv/a** 的剂量限值和本项目 **0.1mSv/a** 的剂量约束值。

二、非辐射环境影响分析

(一) 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 3 座探伤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:

$$Q = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S \cdot R \cdot g \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

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), 本项目两台加速器 1m 处

的剂量率分别为 300Gy/h·m² 和 600Gy/h·m²;

S—射束在距离源点 1m 处的照射面积 (m²) , 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

本项目拟使用 YG-XD-300 定向 X 射线探伤机和 YG-XZ-300 周向 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:

$$P = 2.43 \cdot D(1 - \cos\theta) \cdot R \cdot G \dots\dots\dots (式 11-15)$$

式中:

P—臭氧的产额, mg/h;

D—离辐射源 1m 处的辐射剂量率, 0.1045Gy·m²/min;

R—射线束中心轴上源点至曝光室内墙的最远距离, 本项目容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室取 23m, 南侧 6MeV 曝光室取 28m, 加工车间后端探伤室取 13m, 不锈钢车间探伤室取 22m;

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 20°。

(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:

$$P = 3.02 \cdot A \cdot K_r \cdot G \cdot V^{1/3} \dots\dots\dots (式 11-16)$$

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 O_3 的分子数，本项目取值为 10。

V —探伤室室内体积，容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室取 $3065m^3$ ，南侧 6MeV 曝光室机取 $5286m^3$ ，机加工车间后端探伤室取 $898m^3$ ，不锈钢车间探伤室取 $1774m^3$ 。

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：

$$C = \frac{P \bullet T}{V} \dots\dots\dots \text{(式 11-17)}$$

$$T = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots \text{(式 11-18)}$$

式中：

C —室内臭氧平衡浓度， mg/m^3 ；

P —臭氧产额， mg/h ；

T —臭氧有效清除时间，容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室 0.22h，南侧 6MeV 曝光室机取 0.2h，加工车间后端探伤室取 0.15h，不锈钢车间探伤室取 0.15h；

V —探伤室室内体积，容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室取 $3065m^3$ ，南侧 6MeV 曝光室机取 $5286m^3$ ，机加工车间后端探伤室取 $898m^3$ ，不锈钢车间探伤室取 $1774m^3$ ；

t_v —平均每次换气时间，容器车间探伤室北侧 4MeV 曝光室 0.3h，南侧 6MeV 曝光室机取 0.26h，加工车间后端探伤室取 0.18h，不锈钢车间探伤室取 0.18h；

t_d —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 11-26 各曝光室内不同探伤机运行时的臭氧产额及臭氧浓度

(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	
		4MeV	6MeV	YG-XD-300 定向 YG-XZ-300 周向	⁶⁰ Co	¹⁹² Ir
容器 车间 探伤室	北侧 4MeV 曝光室	产额: 4.485 浓度: 3.22E-04	/	产额: 3.52 浓度: 2.53E-04	产额: 8.44 浓度: 6.07E-04	产额: 3.08 浓度: 2.21E-04
	南侧 6MeV 曝光室	/	产额: 8.97 浓度: 3.36E-04	产额: 4.29 浓度: 1.61E-04	产额: 10.12 浓度: 3.79E-04	产额: 3.69 浓度: 1.38E-04
机加工车间后端 探伤室		/	/	产额: 1.99 浓度: 3.28E-04	/	产额: 2.05 浓度: 3.38E-04
不锈钢车间探伤室		/	/	产额: 3.37 浓度: 2.81E-04	/	产额: 2.58 浓度: 2.15E-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 6.07E-04mg/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“U 型”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。

(二) 声环境影响分析

本项目各曝光室均使用轴流式排风机排风, 轴流式排风机工作时将产生一定的噪声, 其距离设备 1m 处的声压级约为 75dB (A) 左右。本项目各曝光室的轴流式排风机均位于曝光室墙体外侧。由于该噪声源为点声源, 忽略建筑物和围墙的隔声降噪效果, 按照点声源衰减模式进行预测计算:

$$L_{(r)} = L_{(r_0)} - 20 \lg(r/r_0) \dots\dots\dots (式 11-19)$$

式中: $L_{(r)}$ —距离噪声源 r 处的等效 A 声级值, dB (A);

$L_{(r_0)}$ —距离噪声源 r_0 处的等效 A 声级值, dB (A);

r —预测点距噪声源距离, (m);

r_0 —源强外 1m 处。

表 11-27 噪声源衰减预测结果

距离 r (m)	1	2	5	10	15	20	30 (南侧最近厂界)	40 (东侧最近厂界)
$L_{(r)}$ (dB (A))	75	69	61	55	52	49	45	43

本项目曝光室噪声源距离公司南侧厂界最近约 30m，距离东侧厂界最近约 40m。因此，项目厂界昼间和夜间噪声均可以达到《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。

（三）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，项目所在的重装制造基地项目拟在综合楼北侧建设一个容积为 60m³ 的预处理池，生活污水和清洗废水经预处理池处理后排入园区污水管网，最后进入宜宾市白沙城镇污水处理厂处理后达标排放，对环境产生的影响很小。

（四）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、废定影液和废胶片。

（1）生活垃圾：工作人员产生的生活垃圾依托重装制造基地的生活垃圾收集设施分类收集后由市政环卫部门统一清运。

（2）废放射源：本项目拟使用的 γ 射线探伤机放射源将按照协议由设备厂家更换，每次更换后放射源由设备厂家回收处置。

（3）废显影液、废定影液和废胶片：建设单位原有探伤项目运行中产生与本项目类别相同和危险废物，且建设单位已与有资质的单位签订了危险废物处理协议（附件 10），本项目产生的危险废物依托重装制造基地拟在厂区内东侧建设 80m² 的危废暂存间暂存后，交由已签订协议的珙县华洁危险废物治理有限责任公司处理。

综上所述，项目运营期产生的固体废物经分类收集后交由相关单位处理处置，不排放，不会对环境造成影响。

三、射线装置报废和放射源退役处理

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。

对于退役的 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。

辐射事故影响分析

一、辐射事故风险识别

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 射线和 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下表。

表 11-28 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。

根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），急性放射病发生参考剂量见下表。

表 11-29 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~100.0Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	> 100Gy

二、辐射事故源项及最大可信事故分析

（一）电子直线加速器和 X 射线探伤机探伤可能发生的辐射事故

项目拟使用的电子直线加速器和 X 射线探伤机属于 II 类射线装置，设备只有在通电加高压的情况下才会产生射线，其余时间不产生射线，项目运行过程中可能发生的主要事故情景有：

①巡检人员或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。

②曝光室安全联锁装置或声光报警系统发生故障，无关人员在加速器或探伤机工作时打开探伤室工件大门或迷道门误入曝光室被误照。

③由于门-机联锁装置失效，曝光室防护门未完全关闭或射线装置工作时门被部分开启射线装置仍能开机出束，造成射线外泄，对曝光室防护门周围人员造成误照。

（二） γ 射线探伤机可能发生的辐射事故

项目拟使用的 ^{60}Co - γ 射线探伤机和 ^{192}Ir - γ 射线探伤机内含的放射源均为 II

类放射源，项目运行过程中可能发生的主要事故情景有：

①放射源丢失或被盗。

②人员滞留曝光室内尚未完全撤出， γ 射线探伤机启动探伤，造成工作人员被误照。

③ γ 射线探伤机在对工件探伤过程中，曝光室门机联锁失效，工作人员误入曝光室；或防护门未完全关闭，致使射线泄漏到曝光室外面，对曝光室防护门周围人员造成误照。

④出源或回源过程中，放射源源闸开关出现故障导致卡源，工作人员在不知情的情况下误入曝光室受到误照。

三、辐射事故情景及影响分析

（一）电子直线加速器事故情景及后果

1、事故情景

项目拟在容器车间探伤室的两间曝光室分别使用 1 台 6MeV 电子直线加速器和 1 台 4MeV 电子直线加速器，由于设备工作原理相同且工作场景近似，因此以其中能量较大的 6MeV 电子直线加速器作为事故源项进行代表性分析。

本项目 6MeV 电子直线加速器主射线束 1m 处辐射剂量率为 600Gy/h，辐射泄漏剂量率为 0.1/100。当人员误入，由于曝光室空间及探伤工件尺寸均较大，误入人员距离加速器辐射源的距离大约在 1-10m 之间，较大可能受到泄漏射线照射，也有一定受到主射线照射的可能；由于加速器只有在开机加高压的状态下才会产生X射线，曝光室四周墙壁、迷道内墙上和操作室控制台上均设有急停按钮，出现意外情况可立即按下按钮停止出束，因此，从发现情况到按下急停按钮受照时间范围最长考虑 2min。

2、事故后果

在无屏蔽防护设施情况下，距加速器辐射源不同距离、不同接触时间下的受照剂量估算见下表。

表 11-30 电子直线加速器事故情况下所致人员受照剂量估算结果

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	1.00E+00	2.00E+00	3.00E+00	5.00E+00	1.00E+01	2.00E+01
	漏射线	1.00E-03	2.00E-03	3.00E-03	5.00E-03	1.00E-02	2.00E-02
2m	主射线	2.50E-01	5.00E-01	7.50E-01	1.25E+00	2.50E+00	5.00E+00
	漏射线	2.50E-04	5.00E-04	7.50E-04	1.25E-03	2.50E-03	5.00E-03
3m	主射线	1.11E-01	2.22E-01	3.33E-01	5.56E-01	1.11E+00	2.22E+00
	漏射线	1.11E-04	2.22E-04	3.33E-04	5.56E-04	1.11E-03	2.22E-03
4m	主射线	6.25E-02	1.25E-01	1.88E-01	3.13E-01	6.25E-01	1.25E+00
	漏射线	6.25E-05	1.25E-04	1.88E-04	3.13E-04	6.25E-04	1.25E-03
5m	主射线	4.00E-02	8.00E-02	1.20E-01	2.00E-01	4.00E-01	8.00E-01
	漏射线	4.00E-05	8.00E-05	1.20E-04	2.00E-04	4.00E-04	8.00E-04
6m	主射线	2.78E-02	5.56E-02	8.33E-02	1.39E-01	2.78E-01	5.56E-01
	漏射线	2.78E-05	5.56E-05	8.33E-05	1.39E-04	2.78E-04	5.56E-04
7m	主射线	2.04E-02	4.08E-02	6.12E-02	1.02E-01	2.04E-01	4.08E-01
	漏射线	2.04E-05	4.08E-05	6.12E-05	1.02E-04	2.04E-04	4.08E-04
8m	主射线	1.56E-02	3.13E-02	4.69E-02	7.81E-02	1.56E-01	3.13E-01
	漏射线	1.56E-05	3.13E-05	4.69E-05	7.81E-05	1.56E-04	3.13E-04
9m	主射线	1.23E-02	2.47E-02	3.70E-02	6.17E-02	1.23E-01	2.47E-01
	漏射线	1.23E-05	2.47E-05	3.70E-05	6.17E-05	1.23E-04	2.47E-04
10m	主射线	1.00E-02	2.00E-02	3.00E-02	5.00E-02	1.00E-01	2.00E-01
	漏射线	1.00E-05	2.00E-05	3.00E-05	5.00E-05	1.00E-04	2.00E-04

由上表可知，按误入人员在距离靶 1m 处停留 0.5min 计，其在主射线方向所致效剂量已达 5Gy，在权重转换因子取 1 的情况下即 5Sv，远远超出《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 and 公众 1mSv/a 的剂量限值；根据表 11-29，已达到骨髓型急性放射病重度，事故后果属于表 11-28 中较大辐射事故。在非主射方向，则受泄漏射线所致效剂量约 5mSv，未超过《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，但已超过公众 1mSv/a 的剂量限值，属于一般辐射事故。

综上所述，项目加速器运行时，人员误入受照可能发生的辐射事故为较大辐

射事故：极端情况下，若误入人员在更近距离、更长时间受照情况下，也可能发生重大辐射事故。

(二) X 射线探伤机事故情景及后果

1、事故情景

项目拟在 3 座探伤室的每间曝光内均分别使用 1 台 YG-XD-300 定向探伤机和 1 台 YG-XZ-300 周向探伤机，由于各曝光室使用的探伤机相同且工作场景近似，因此统一按一种情景进行分析。

本项目 X 射线探伤机 1m 处输出量为 $20.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $1.254\times 10^6\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，单次最长曝光时间为 3min。当人员误入，由于曝光室空间和工件尺寸均较大，误入人员距离加速器辐射源的距离大约在 1-10m 之间；由于曝光室四周墙壁、迷道内墙和操作室控制台上均设有急停按钮，出现意外情况可立即按下按钮停止出束；根据探伤机技术参数，受照时间范围按单次最长曝光时间 3min 考虑。

2、事故后果

在无屏蔽防护设施情况下，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下式计算：

$$D = I\delta_x / r^2 \dots\dots\dots (\text{式 11-20})$$

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，本项目探伤机过滤片材料为 3mmAl，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 300kV 的探伤机 X 射线输出量取 $20.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；

r —参考点距 X 射线管焦斑的距离，m。

距 X 射线探伤机辐射源不同距离、不同接触时间下的受照剂量估算见下表。

表 11-31 X 射线探伤机事故情况下所致人员受照剂量估算结果

与 X 射线探伤机的距离 (m)	受照剂量 (mGy)					
	10s	20s	40s	1min	2min	3min
1m	1.74E+01	3.48E+01	6.97E+01	1.05E+02	2.09E+02	3.14E+02
2m	4.35E+00	8.71E+00	1.74E+01	2.61E+01	5.23E+01	7.84E+01
3m	1.94E+00	3.87E+00	7.74E+00	1.16E+01	2.32E+01	3.48E+01
4m	1.09E+00	2.18E+00	4.35E+00	6.53E+00	1.31E+01	1.96E+01
5m	6.97E-01	1.39E+00	2.79E+00	4.18E+00	8.36E+00	1.25E+01
6m	4.84E-01	9.68E-01	1.94E+00	2.90E+00	5.81E+00	8.71E+00
7m	3.55E-01	7.11E-01	1.42E+00	2.13E+00	4.27E+00	6.40E+00
8m	2.72E-01	5.44E-01	1.09E+00	1.63E+00	3.27E+00	4.90E+00
9m	2.15E-01	4.30E-01	8.60E-01	1.29E+00	2.58E+00	3.87E+00
10m	1.74E-01	3.48E-01	6.97E-01	1.05E+00	2.09E+00	3.14E+00

由上表可知，本项目 X 射线探伤机作业时，按照单次最长出束时间 3min 考虑，在主射方向 1m 处受照剂量可达 314mGy/次，在权重转换因子取 1 的情况下即 314mSv，已超过《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 的剂量限值和公众 1mSv/a 的剂量限值，属于一般辐射事故。

（三） γ 射线探伤机事故情景及后果

1、事故情景

（1）放射源丢失或被盜。由于各种原因，导致曝光室内的放射源丢失或被盜。本项目使用的放射源均贮存在 γ 射线探伤机内暂存在双人双锁的储源坑中，公司拟配专人负责设备管理，并做好设备的日常检查，并在曝光室设置 24h 视频监控探头和报警装置，确保放射源安全。因此，本项目放射源被盜或丢失事件发生的概率相对很小。

由于放射源正常情况下是贮存在探伤机的源容器内，因此，丢失后，一般情况下是处于探伤机内的源容器中；极端情况下，也有可能放射源脱离探伤机源容器。一旦发生放射源丢失或被盜，建设单位将立即启动辐射事故应急预案，并报公安、生态环境和卫生等相关部门，找回放射源的时间按 10h 考虑。

(2) 人员误入曝光室和卡源。项目拟在 3 座探伤室的 4 间曝光室内分别使用 ^{60}Co - γ 射线探伤机和 ^{192}Ir - γ 射线探伤机,当 γ 射线探伤机在出源探伤过程中有人员误入曝光室,由于曝光室空间及探伤工件尺寸均较大,误入人员距离放射源的距离大约在 1-10m 之间。由于曝光室四周墙壁、迷道内墙上和操作室控制台上均设有急停按钮,出现意外情况可立即按下按钮停止出束,因此,从发现情况到按下急停按钮受照时间范围最长考虑 2min。

当探伤结束后放射源未正常回源,即出现卡源,此时工作人员携带个人剂量报警仪进入曝光室,从进入曝光室到发现异常再到退出曝光室,整个过程按 1min 考虑。

2、事故后果

(1) 放射源丢失、被盗和失控

①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**。

②假设本项目 1 枚钴-60 放射源丢失,在放射源丢失、被盗失控过程中,当**放射源离开探伤机源容器**,相关人员接触放射源在不同时间和距离情况下的剂量可按式计算。

$$K = \frac{A \cdot \Gamma_k}{R^2} \dots\dots\dots (\text{式 11-21})$$

$$E = K \cdot t \cdot W_T \cdot W_R \dots\dots\dots (\text{式 11-22})$$

式中:

K —无屏蔽防护时,在距离放射源 R (m) 处的空气比释动能率, $\mu\text{Sv/h}$;

A —放射源的活度, $3.7 \times 10^6 \text{MBq}$;

Γ_k —周围剂量当量率常数, $\Gamma_k = 0.35 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$, 取自《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)表 A.1;

R —关注点与放射源之间距离, m;

E —受照剂量,

t —受照时间, h;

W_T —组织权重因子, 0.1;

W_R —辐射权重因子, 1。

根据上述公式，是丢失后的**放射源离开探伤机屏蔽**，随着时间的推移，人员与放射源不同距离处可能受到的剂量估算见下表。

表 11-32 人员接触放射源不同时间、距离处有效剂量估算（放射源离开源容器）

距离 (m)	不同时间 (min) 的受照剂量 (mSv)							
	0.5	1	5	10	30	60	120	600
0.5	4.32E+01	8.63E+01	4.32E+02	8.63E+02	2.59E+03	5.18E+03	1.04E+04	5.18E+04
1	1.08E+01	2.16E+01	1.08E+02	2.16E+02	6.48E+02	1.30E+03	2.59E+03	1.30E+04
5	4.32E-01	8.63E-01	4.32E+00	8.63E+00	2.59E+01	5.18E+01	1.04E+02	5.18E+02
10	1.08E-01	2.16E-01	1.08E+00	2.16E+00	6.48E+00	1.30E+01	2.59E+01	1.30E+02
20	2.70E-02	5.40E-02	2.70E-01	5.40E-01	1.62E+00	3.24E+00	6.48E+00	3.24E+01
30	1.20E-02	2.40E-02	1.20E-01	2.40E-01	7.19E-01	1.44E+00	2.88E+00	1.44E+01
50	4.32E-03	8.63E-03	4.32E-02	8.63E-02	2.59E-01	5.18E-01	1.04E+00	5.18E+00

由上表可知，若 1 枚 ^{60}Co 放射源在丢失后 10 小时内寻回，在距离放射源 0.5m 处的受照剂量可达 51.8Sv，远超过《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 的剂量限值和公众 1mSv/a 的剂量限值；根据表 11-29 可知，该剂量可致重度脑型急性放射病甚至死亡，因此可能发生的事故为**重大辐射事故**。

若是丢失后的**放射源未离开探伤机**，即放射源处于探伤机源容器屏蔽防护的情况下，随着时间的推移，人员与放射源不同距离处可能受到的剂量估算见下表。

表 11-33 人员接触放射源不同时间、距离处有效剂量估算（放射源处于探伤机内）

距离 (m)	不同时间 (min) 的受照剂量 (mSv)							
	0.5	1	5	10	30	60	120	600
0.2	5.21E-04	1.04E-03	5.21E-03	1.04E-02	3.13E-02	6.25E-02	1.25E-01	6.25E-01
0.4	1.30E-04	2.60E-04	1.30E-03	2.60E-03	7.80E-03	1.56E-02	3.12E-02	1.56E-01
0.6	5.78E-05	1.16E-04	5.78E-04	1.16E-03	3.47E-03	6.94E-03	1.39E-02	6.94E-02
0.8	3.26E-05	6.52E-05	3.26E-04	6.52E-04	1.96E-03	3.91E-03	7.82E-03	3.91E-02
1	2.08E-05	4.17E-05	2.08E-04	4.17E-04	1.25E-03	2.50E-03	5.00E-03	2.50E-02
2	5.21E-06	1.04E-05	5.21E-05	1.04E-04	3.13E-04	6.25E-04	1.25E-03	6.25E-03
5	8.33E-07	1.67E-06	8.33E-06	1.67E-05	5.00E-05	1.00E-04	2.00E-04	1.00E-03

由上表可知，若 1 枚在探伤机内的 ^{60}Co 放射源在丢失后 10 小时内寻回，在距离探伤机 0.2m 处的受照剂量约为 0.625mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871- 2002）规定的公众 1mSv/a 的剂量限值；但根据《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**。

（2）人员误入曝光室和卡源

当 γ 探伤机出源探伤过程中时，人员误入，在无其他屏蔽防护的情况下，位于有用射线束方向，根据上述公式和参数，随着时间的推移，人员与放射源不同距离处可能受到的剂量估算见下表。

表 11-34 γ 射线探伤事故状态下不同时间、距离处有效剂量估算

距离 (m)	不同时间 (min) 的受照剂量 (mSv)					
	0.1	0.2	0.3	0.5	1	2
1m	2.16E+00	4.32E+00	6.48E+00	1.08E+01	2.16E+01	4.32E+01
2m	5.40E-01	1.08E+00	1.62E+00	2.70E+00	5.40E+00	1.08E+01
3m	2.40E-01	4.80E-01	7.20E-01	1.20E+00	2.40E+00	4.80E+00
4m	1.35E-01	2.70E-01	4.05E-01	6.75E-01	1.35E+00	2.70E+00
5m	8.63E-02	1.73E-01	2.59E-01	4.32E-01	8.63E-01	1.73E+00
6m	6.00E-02	1.20E-01	1.80E-01	3.00E-01	6.00E-01	1.20E+00
7m	4.40E-02	8.80E-02	1.32E-01	2.20E-01	4.40E-01	8.80E-01
8m	3.37E-02	6.74E-02	1.01E-01	1.69E-01	3.37E-01	6.74E-01
9m	2.66E-02	5.32E-02	7.98E-02	1.33E-01	2.66E-01	5.32E-01
10m	2.16E-02	4.32E-02	6.48E-02	1.08E-01	2.16E-01	4.32E-01

由上表可知，当 γ 探伤机出源探伤时人员误入曝光室，在无其他屏蔽防护的情况下，人员位于有用射线束方向 1m 处 2min 所受有效剂量为 43.2mSv，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 的剂量限值和公众 1mSv/a 的剂量限值，构成**一般辐射事故**。

当探伤过程中出现卡源，工作人员进入曝光室，在无其他屏蔽防护的情况下，人员位于有用射线束方向 1m 处 1min 所受有效剂量为 21.6mSv，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，构成**一般辐射事故**。

（四）辐射事故风险综合分析

根据上述各种辐射事故分析，本项目主要辐射事故风险综合分析见下表。

表 11-35 项目辐射事故风险综合分析

设备名称	风险因子	事故场景	事故结果	事故等级
电子直线加速器	X 射线	①巡检人员或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。 ②曝光室安全联锁装置或声光报警系统发生故障，无关人员在加速器或探伤机工作时打开探伤室工件大门或迷道门误入曝光室被误照。	距靶 1m 处停留 0.5min，主射线方向所致效剂量为 5Sv	较大辐射事故
X 射线探伤机	X 射线	③由于门-机联锁装置失效，曝光室防护门未完全关闭或射线装置工作时门被部分开启射线装置仍能开机出束，造成射线外泄，对曝光室防护门周围人员造成误照。	距靶 1m 处停留 3min，主射线方向所致效剂量为 314mSv	一般辐射事故
γ射线探伤机	γ射线	①放射源丢失或被盗。	1 枚 ⁶⁰ Co 放射源在丢失后 10 小时内寻回，距离放射源 0.5m 处的剂量为 51.8Sv	重大辐射事故
		②人员滞留曝光室内尚未完全撤出，γ射线探伤机启动探伤，造成工作人员被误照。 ③γ射线探伤机在对工件探伤过程中，曝光室门机联锁失效，工作人员误入曝光室；或防护门未完全关闭，致使射线泄漏到曝光室外，对曝光室防护门周围人员造成误照。 ④出源或回源过程中，放射源源闸开关出现故障导致卡源，工作人员在不知情的情况下误入曝光室受到误照。	距放射源 1m 处 2min 所受有效剂量为 43.2mSv	一般辐射事故

根据上述辐射事故情景及后果分析，若本项目发生辐射事故，最大可信辐射事故为**重大辐射事故**。随着照射时间的增加，特别是放射源出现裸源或破损情况后，有可能造成事故等级升级。

四、事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，建设单位应严格落实以下事故防范措施：

1、制定完善的辐射安全管理规章制度，设专人监督核实各项规章制度的执行情况，定期检查或检测各探伤场所辐射安全和防护措施、设施的安全防护效果，对发现的安全隐患立即整改，避免发生事故。

2、辐射工作人员必须严格按照操作规程操作探伤设备，每间曝光室开展探伤作业时，至少同时有 2 名操作人员在场，并做好个人的防护，佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪。

3、每天检查辐射工作场所的视频监控系统、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等，确保定向安全设施、设备状态正常，方可开展探伤作业。

4、在每一次出束检测前，操作人员都应该检查确认曝光室内无人员滞留后才关闭防护门。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、定期对探伤装置进行维护和保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换，确保设备处于正常状态。

6、建设单位所有辐射工作人员均需参加辐射安全与防护培训，并经考核合格后方可上岗作业。

7、每次 γ 射线探伤结束后，均应使用监测仪器对探伤机进行辐射水平测量，以确认放射源回到探伤机的贮源容器内。

8、公司不得自行进行倒源操作，所有换源工作均根据协议由放射源生产厂家或有资质的第三方专业机构负责，倒源的安全责任由负责实施的单位负责。

9、当 γ 射线探伤机在工作状态下发生“卡源”、“源掉出”、自动回源装置失效等情况时，工作人员应实施手动回源。一旦发生无法回源等放射源失控的故障，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封锁并保护好现场，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，应及时采取相应措施。建设单位应做好设备维护保养，杜绝此类事故发生。

五、事故应急措施

一旦发生辐射事故，公司应迅速、有效采取以下应急措施：

1、当 γ 射线探伤机探伤过程中发生辐射事故，操作人员应立即将放射源收回探伤机贮源位；当电子直线加速器和 X 射线探伤机运行中发生辐射事故，操作人员应立即按下急停按钮关机断电，并对探伤设备、设施进行检查、检测，以确

定其是否处于已停机状态。

2、一旦发生辐射事故，应立即启动公司辐射事故应急预案，并采取必要的应急措施。发生辐射事故后，工作人员应立即向公司领导及生态环境、公安及卫生部门报告，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、发生辐射事故后，公司应立即安排受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、迅速查明和分析事故发生的原因，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做好现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

5、做好善后处理，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、被盗或失控事件，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、辐射安全与防护管理机构

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类放射源或使用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。

四川宜宾江源化工机械制造有限公司在本项目之前已取得使用Ⅱ类射线装置和Ⅱ类放射源的辐射安全许可，已成立了技安保卫环保部为公司辐射安全与环境管理机构，其成员组成和主要职责包括：

（一）人员设置

部门负责人：***

部门人员：***、***、***、***

（二）具体职责

- 1、全面负责对公司辐射安全防护工作和辐射环境保护工作（以下简称辐射安全与环境管理工作）实施统一监督管理。
- 2、负责协助集团办公室完成公司辐射环境影响评价“三同时”的申报、验收；辐射安全许可证的申报、延期审核等工作。
- 3、全面负责辐射作业场所安全监管和督促辐射制度执行落实。
- 4、监督公司辐射污染的防治工作；负责公司安全操作的日常监督管理；负责配合主管部门辐射安全与环境行政督查工作；负责组织公司辐射环境隐患排查，并督促生产有关单位全面落实整改。
- 5、负责制定辐射环境污染事故应急预案；组织开展一般辐射事故的应急响应工作；配合有关部门对公司一般以上辐射事故的应急响应、调查处理工作。
- 6、负责督促生产部探伤组强化危废暂存、转运、储存等环节的管理措施，确保危废管理工作落到实处。

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.mee.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成绩单到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名参加培训与考核。

本项目拟建4间曝光室，共配置9名辐射工作人员，全部为新增；每间曝光室配备2名辐射工作人员，其中1名负责辐射安全管理，不参与辐射操作。

建设单位从事探伤操作的辐射工作人员和辐射安全管理人员必须经过辐射安全和防护专业知识以及相关法律法规的培训，经考核合格后上岗。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。公司应当确保每次探伤操作时至少有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、档案资料管理分类

建设单位的辐射安全管理相关资料应按照档案管理的要求进行分类存档。档案资料可以分为以下九大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“培训档案”“辐射应急资料”和“废物处置记录”。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类射线装置和II类放射源，根据生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020年发布版）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）相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见下表。

表 12-1 辐射安全管理制度对照表

序号	项目	管理制度	具体要求	备注
1	综合	辐射安全与环境保护管理机构文件	应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，落实部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作	已制定 需修订
2		辐射安全与防护管理规定	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。	已制定 需修订
3		电子直线加速器操作规程		已制定 需修订
		X 射线探伤机操作规程		已制定 需修订
		γ射线探伤机操作规程		已制定 需修订
4		辐射工作人员岗位职责		已制定 需修订
		辐射安全与防护设施维修制度	应定期检查辐射安全防护设施的有效性	已制定 需修订
		辐射防护和安全保卫制度	制定辐射防护和安全保卫制度，严防放射源和射线装置损坏、丢失或被破坏等事件的发生	已制定 需修订
5	放射源	放射源管理规定	放射源台账和国家辐射安全管理系统档案是否一致；台账内容应包括：放射源名称、初始活度、放射源编码、购买时间、收贮时间；射线装置型号、管电压、管电流、购买时间、报废时间等	已制定 需修订
6		放射源、射线装置台账管理制度	已制定 需修订	
8	监测	工作场所及环境监测方案	每年委托有资质的单位进行 1 次场所年度监测；平时应定期开展自行监测，并做好记录；取得《辐射安全许可证》后 3 个月内完成验收监测。	已制定 需修订
9		监测仪表使用与校验管理制度	确保监测仪表数据的准确性和有效性	已制定 需修订
10	人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	个人剂量检测频率为 1 次/季。当单个季度个人剂量超过 1.25mSv/季时，建设单位应对该辐射工作人员进行干预，要调查明确原因，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 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，经本人签字确认后，上报发证机关。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。建设单位应当将个人剂量档案终生保存。	已制定 需修订
11		辐射工作人员培训/再培训管理制度	辐射工作人员和辐射防护负责人均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址： http://fuShe.mec.gov.cn ），学习辐射安全与防护知识并通过考核。	已制定 需修订
13	应急	辐射事故应急预案	辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织机构、应急职责分工、辐射事故应急处置（最大可信事故场景、应急报告、应急措施和步骤、应急联络电话）、应急保障措施、应急演练计划。应悬挂于辐射工作场所。上墙的应急响应程序应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性，尺寸不小于 400mm×600mm。	已制定 需修订
14	危废	危险废物管理规定	明确危险废物的种类、产生量、处理量、处理方式、危险废物处置单位、危险废物转移联单情况等。	已制定 需修订

建设单位已制定有整套辐射安全管理规章制度，满足原有核技术利用项目管理要求。由于本项目是在新的厂区内建设新的辐射工作场所，因此需要根据上表中的内容修订完善现有辐射安全管理制度，使之满足本项目管理要求，并指定专人监督各相关部门和人员对规章制度的执行情况。建设单位应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。

本项目在辐射工作场所需做好制度上墙，《辐射安全与防护管理规定》《辐射工作人员岗位职责》《电子直线加速器操作规程》《X射线探伤机操作规程》《γ射线探伤机操作规程》和《辐射事故应急预案》（应急响应程度）应悬挂于辐射工作场所内工作人员经常停留的醒目位置。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，且尺寸不小于 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》发放条件和《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），本项目应采取的辐射安全防护措施见下表。

表 12-2 《辐射安全许可证》发放条件对照表

序号	环保部第 3 号令要求	项目拟落实情况	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，拟为本项目配备 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。	人员配置到位后符合要求
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	公司需在项目建成之前组织辐射工作人员通过辐射安全与防护培训，并考核合格。	人员通过考核后符合要求
3	射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	本项目各曝光室均设计了辐射安全联锁及电离辐射警告标志和工作状态指示灯等安全措施	按要求配置后符合要求
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	本项目拟根据探伤设备类型配备便携式 X-γ 辐射监测仪和个人剂量报警仪	按要求配备后符合要求
5	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	公司已建立有辐射安全管理相关无规章制度，需根据本项目对现有规章制度进行修订完善	修订完善后符合要求
6	有完善的辐射事故应急措施	公司已建立有《辐射事故应急预案》和辐射事故应急措施，需根据本项目情况进行修订和完善	修订完善后符合要求
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	本项目不产生放射三废，拟使用的放射源退役后，将按协议返回生产厂家回收处理。	符合要求

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	本项目不涉及诊断和治疗	/
---	--	-------------	---

建设单位按照上述内容落实后，将具备《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类射线装置和Ⅱ类放射源的许可条件。公司在本项目建成具备《辐射安全许可证》申领条件后，应及时到四川省生态环境厅申请办理相关增项业务。

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辐射工作场所的电离辐射水平，防止人员受到过量照射。建设单位应根据项目实际建立个人剂量检测和工作场所监测制度。

一、个人剂量检测

个人剂量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，每名辐射工作人员工作期间均应正确佩戴个人剂量计，个人剂量监测周期最长不超过每季度 1 次。

1、当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位应对该辐射工作人员进行干预，调查明确原因，并由当事人在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。个人剂量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），辐射主要来自工作人员前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般为左胸前。

4、辐射工作人员的个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位和剂量监测结果等材料；公司应当将工作人员个人剂量档案终生保存。

二、工作场所监测

项目运营期间的工作场所监测包括年度监测和自行监测。

1、年度监测：建设单位应委托有资质的监测机构对辐射工作场所进行辐射环境监测，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、自行监测：建设单位应定期对辐射工作场所辐射环境开展自行监测，也可委托有资质的监测机构开展监测；制定工作场所及环境监测方案，监测数据应存档备查，监测频次根据公司的实际工作量自行确定，建议每月监测1次。

3、验收监测：建设单位在项目取得《辐射安全许可证》后3个月内，应委托有资质的单位开展1次辐射工作场所竣工环境保护验收监测，并编制验收监测报告表。

4、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：项目辐射工作场所监测布点应参考环评提出的下表中的监测计划，或参照竣工环境保护验收监测布点方案。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 12-3 工作场所监测计划

场所	设备	监测项目	监测频率	监测点位
3 座 探 伤室（4 间曝光 室）	电子直线加速器 X 射线探伤机 ^{60}Co - γ 射线探伤机 ^{192}Ir - γ 射线探伤机	X- γ 空气吸 收剂量率	验收监测：1 次； 年度监测：1 次/年； 自行监测：1 次/月。	各曝光室四周屏蔽墙体外 30cm 处、迷道门外 30cm 处、 工件门门缝处、迷道门门缝 处、操作室、管线穿墙处及 探伤室四周保护目标处等。

(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检定或校核；

②采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自行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辐射剂量率水平变化情况，发现问题及时分析原因并进行维护或整改。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。

三、年度评估报告

建设单位应于每年 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，《安全和防护状况年度评估报告》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。建设单位必须在“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

建设单位应根据《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，结合本项目实际，对现有《辐射事故应急预案》进行修订和完善，以加强对公司对射线装置和放射源的管理，预防辐射事故发生，控制或减轻辐射事故后果。

建设单位应充分结合本项目射线装置和放射源的使用情况，依据国家相关法律法规和标准，使修订后的《辐射事故应急预案》具有可操作性。并充分考虑到运行中可能出现的辐射事故情景，对电子直线加速器、X 射线探伤机和 γ 射线探伤机使用过程中的事故性出束、人员误入及安全联锁系统失效等辐射事故提出针对性应急措施。同时，还应加强辐射事故应急演练，提高辐射事故应急处置能力。辐射事故应急预案应主要包括以下内容：

- ①应急管理机构 and 职责分工；
- ②应急人员的组织、培训以及应急准备；
- ③可能发生的辐射事故类别与相应的应急响应措施；
- 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、公安部门及卫生主管部门报告。

一旦发生辐射事故，处理的基本原则为：

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，停止射线出束或使 γ 探伤机回源。

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

③及时处理，出现事故后，应尽快集中人力和物力，有组织、有计划地进行事故处理，尽可能可缩小事故影响和减少事故损失。

④在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员受照。

⑤事故处理后应及时总结报告，建设单位对于辐射事故进行记录，包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单，对任何可能受到照射的人员进行辐射剂量估算结果，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，并接受监督管理部门的处理。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：重装制造基地项目（核技术利用部分）
建设单位：四川宜宾江源化工机械制造有限公司
建设性质：新建
建设地点：四川省宜宾市三江新区 DC-L-03-02（b）-01 地块
建设内容：四川宜宾江源化工机械制造有限公司拟在三江新区的重装制造基地内的场地东侧建设 3 座探伤室（4 间曝光室）及配套辅助用房，共使用 2 台电子直线加速器（Ⅱ类射线装置）、8 台 X 射线探伤机（Ⅱ类射线装置）和 6 台γ射线探伤机（Ⅱ类放射源），用于产品焊缝质量检测。

二、项目产业政策符合性分析

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），本项目属于其中第三十一项“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、项目选址合理性分析

建设单位拟建重装制造基地位于宜宾市三江新区 DC-L-03-02（b）-01 地块，本项目探伤场所位于重装制造基地项目用地范围内东侧。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。

本项目位于工业园区内，辐射工作场所周围 50m 范围内无学校、医院、居民等敏感目标，50m 评价范围基本上都位于厂界以内，仅有东侧和南侧有少部分范围超出厂界，且超出的部分分别为空地和道路。

本项目拟建的 3 座探伤室布置相对独立，布置在厂区东侧人员活动较少的区域；辐射工作场所具有良好的实体屏蔽设施和防护措施，通过曝光室实体防护和距离衰减后，能够有效减少电离辐射对探伤室四周公众的影响，使职业人员和公众所受剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871 -2002）中的剂量限值要求和本报告表确定的剂量管理约束值要求。

综上所述，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，本项目拟建区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率为 91nGy/h~114nGy/h，属于当地正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价结论

1、施工期环境影响分析

本项目在建设施工期会产生施工扬尘、装修废气、施工废水、噪声和固体废物等，对环境存在一定影响。经过采取合理的污染防治措施后，对周围环境的影响较小。

2、运营期环境影响分析

(1) 电离辐射环境影响

本项目各探伤室探伤装置在正常运行情况下，所致辐射工作人员最大年有效剂量值为 1.75mSv/a，所致公众最大年有效剂量值为 4.64×10^{-2} mSv/a，分别满足职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束限值，同时也分别满足《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 和公众 1mSv/a 的剂量限值要求。

(2) 大气环境影响

本项目产生的臭氧室内浓度远低于《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 0.30mg/m³ 限值要求；各曝光室内臭氧经过“U 型”通风管道引出探伤室后高于探伤室屋顶排放，经自然分解和稀释扩散作用后，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。因此，本项目不会对环境空气造成明显影响。

(3) 水环境影响

项目清洗胶片时产生洗片废水约 20m³/a，工作人员生活污水产生量约 316m³/a。本项目产生的废水经重装制造基地拟建的污水处理系统预处理后排入园区污水管网，最后进入宜宾市白沙城镇污水处理厂处理后达标排放。

(4) 固体废物

工作人员产生的生活垃圾约 1.35t/a，依托重装制造基地厂区拟设置的垃圾桶分类收集后，由市政环卫部门统一清运处理。

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。

项目产生的危险废物分类收集后暂存在厂区危险废物暂存间，定期交有资质的单位处理。

六、环保设施与保护目标

按照本报告提出的措施和要求落实后，建设单位辐射安全与环保设施配置较完善，可使本次评价中确定的环境保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低水平。

七、事故风险与防范

建设单位按照要求修订完善辐射安全管理相关规章制度和辐射事故应急预案，通过认真贯彻执行，可避免或减少辐射事故发生。

八、辐射安全管理综合能力

按照要求落实报告提出的各项要求后，对本项目辐射工作场所和探伤设备而言，建设单位将具备相应的辐射安全管理综合能力。

九、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”原则，采取切实可行的辐射安全防护与环保措施前提下，本项目在重装制造基地内建设3座探伤室（4间曝光室），使用电子直线加速器、X射线探伤机和 γ 射线探伤机开展室内探伤活动，从辐射安全与环境保护角度是可行的。

十、项目竣工环保验收检查内容

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、建设单位可登录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（<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hbysjsgf/>），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。

（2）建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（3）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》（川环函〔2016〕1400号）文件，建设单位公开上述信息的同时，应当在全国建设项目竣工环境保护验收信息系统（<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 项目竣工环保验收检查一览表

项目	相关设施、措施内容		数量
各场所相同项	实体防护	探伤室	3座（4间曝光室）
	场所设施	入口处工作状态指示	4套
		入口处电离辐射警示标志	4套
		门机联锁装置	4套
		通排风系统	4套
		视频监控系统（接入保卫室和控制台）	4套
		曝光室内紧急停机按钮	4套
		准备出束声光提示	4套
		出口处紧急开门按钮	4套
		控制区、监督区标识	4套

		固定式辐射剂量监测仪	4 套
		紧急照明或独立通道照明系统	4 套
		防夹人装置	2 套
		危险废物贮存间	1 间
		废定、显影液收集桶	各 4 个
		废胶片专用储存柜	2 个
	监测设备	个人剂量计	9 套
		个人剂量报警仪	8 个
		便携式辐射剂量监测仪（高量程满足 10mSv/h 以上）	1 台
	其他	灭火器材	4 套
		个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖等）	8 套
电子直线加速器	安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	2 套
		控制台紧急停机按钮	2 套
^{60}Co 、 ^{192}Ir 放射源 γ 射线探伤机	探伤机	源容器电离辐射标志（ γ 射线探伤机）	6 套
		探伤机表面金属铭牌文字和标记	6 个
		放射源编码卡（ γ 射线探伤机）	6 个
		安全锁和专用钥匙	6 个
		放射源位置显示（ γ 射线探伤机）	6 个
	安全保卫	储源坑	4 个
	应急物资	铅防护衣、铅手套、铅眼镜、铅围脖	4 套
		应急处理工具（如长柄夹具）	4 套
		放射源应急屏蔽材料或容器	4 套
X 射线探伤机	安全联锁	控制台钥匙控制	4 套
		控制台紧急停机按钮	4 套
辐射事故应急预案	根据本项目建设内容修订完善辐射事故应急预案		/
规章制度	按照表 12-1 修订并完善辐射安全管理规章制度		/

建议和承诺

- 1、严格落实本报告中提出的各项辐射安全防护措施和管理要求。
- 2、组织所有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，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，且在培训有效期 5 年届满之前进行再培训考核。
- 3、将辐射工作人员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、每年对探伤设备使用情况进行安全和防护状况年度评估按照《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》要求编制年度评估报告，并将年度评估报告的电子档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辐射安全联锁设施、电离辐射警告标志及工作状态指示灯等，若出现故障或损坏，应及时修复或更换。
- 6、加强各辐射工作场所控制区和监督区的管理。
- 7、在申办辐射安全许可证之前，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及时在系统中申报。