

核技术利用建设项目

**X 射线数字成像检测系统扩建项目
环境影响报告表**

瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司

2021 年 9 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

X 射线数字成像检测系统扩建项目

环境影响报告表

建设单位名称： 瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司

建设单位法人代表：（签名或签章） 张晓平

通讯地址： 瑞安经济开发区开发区大道 2666 号

邮政编码： --- 联系人： 姜凯

电子邮箱： --- 联系电话： 15057747723

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	5
表 3	非密封放射性物质.....	5
表 4	射线装置.....	5
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	6
表 6	评价依据.....	7
表 7	保护目标与评价标准.....	9
表 8	环境质量和辐射现状.....	14
表 9	项目工程分析与源项.....	16
表 10	辐射安全与防护.....	19
表 11	环境影响分析.....	22

表 1 项目基本情况

建设项目名称	X 射线数字成像检测系统扩建项目				
建设单位	瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司				
法人代表	张晓平	联系人	姜凯	联系电话	15057747723
注册地址	瑞安经济开发区开发区大道 2666 号				
项目建设地点	瑞安经济开发区开发区大道 2666 号				
立项审批部门	——		批准文号	——	
建设项目总投资 (万元)	150	项目环保投资 (万元)	50	投资比例(环保 投资/总投资)	33.3%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	64
应用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射 性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	1.1 建设单位基本情况及项目由来				
<p>瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司成立于 2004 年 3 月 4 日，位于浙江省瑞安经济开发区开发区大道 2666 号，企业经营范围为：生产销售汽车零部件（不含发动机）、轨道交通零部件；对贵金属行业的投资；汽车零部件、轨道交通零部件研发；空压机、电动转向泵、电子水泵、真空泵研发、制造、加工、销售；润滑油批发、零售（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动）。</p> <p>企业于 2018 年委托浙江中蓝环境科技有限公司编制完成《瑞立集团瑞安有限公司北拓展区扩建项目环境影响报告表》并于 2018 年取得了原瑞安市环境保护局的批复意见（瑞环建（2018）50 号）。企业现有 1 台 XYG-1610/5X 射线数字成像检测系统，已取得原温州市环境保护局批复，《关于瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司 X 射线数字成</p>					

像检测系统应用项目环境影响报告表审批意见的函》（温环辐[2017]2号），并按要求申领了《辐射安全许可证》，发证单位：浙江省生态环境厅颁发的，证书编号：浙环辐证[C2503]。

现因生产发展需要，公司拟在其厂区 17 号车间内新增 1 套 X 射线数字成像检测系统（XG-160ST/C 型）用于对生产的汽车零部件进行无损检测，最大管电压 160kV，管电流 2mA，所有探伤作业仅限在探伤机房内。

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射：“172.核技术利用建设项目”：“使用 II 类射线装置”，应编制辐射环境影响报告表，并及时向有权限的生态环境部门申领辐射安全许可证。为此，瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司委托浙江问鼎环境工程有限公司对本建设项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘、检测和收集有关资料的基础上，依据《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》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的辐射环境影响报告表。

1.2 评价目的

- （1）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- （2）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境行政主管部门的管理提供依据；
- （3）通过项目辐射环境影响评价，为建设单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- （4）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；
- （5）评价项目的可行性，从环境保护角度为生态环境主管部门和建设单位进行辐射环境管理提供科学依据。

1.3 建设内容及规模

经与建设单位核实，本次评价规模见表 1-1。

表 1-1 本项目建设内容与规模

序号	设备名称	类别	规格型号	数量	管电压	管电流	用途
1	X 射线数字成像检测系统	II 类	XG-160ST/C	1 台	160kV	2mA	室内探伤

1.4 周围环境概况

瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司位于瑞安经济开发区开发区大道 2666 号，本项目拟建于瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司厂区 17 号车间内，企业厂区西北侧为瑞安市云江混凝土有限公司、浙江澳翔自控科技等企业、西南侧为瑞安市隆山船舶修理厂和飞云江、东南侧现状为空地、东北侧为金石家具用品有限公司和东曹（瑞安）聚氨酯有限公司等工业企业。

拟建 X 射线数字成像检测系统位于公司厂区 17 号车间内西北侧，西北侧隔通道为员工宿舍，东北侧隔厂区道路为企业其余厂房，东南侧和西南侧为探伤室所在车间工作场地。

评价范围 50m 内主要为厂区内生产车间、员工宿舍与道路，无居民点与学校等环境敏感点。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及落实辐射安全措施的基础上，本项目 X 射线数字成像检测系统投入使用后对西侧员工宿舍的辐射影响符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员剂量限值的要求。因此，本项目选址是可行的。

1.5 原有核技术利用项目许可情况

本项目为扩建项目，公司持有辐射安全许可证，证书编号：浙环辐证[C2503]，许可种类和范围：使用 II 类射线装置，有效期至：有效期至 2022 年 8 月 2 日。公司已有射线装置环保履行情况详见表 1-1

表 1-2 建设单位现有射线装置环保履行情况一览表

序号	射线装置名称	规格型号	技术指标	数量	类别	场所	环评批复	验收情况
1	X 射线数字成像检测系统	XYG-1610/5	160kV, 10mA	1	II 类	6 号车间	温环辐 [2017]2 号	已通过 自主验收

公司现有 X 射线数字成像系统均已按相关法规要求进行了环境影响评价及环境保护竣工验收，取得了环评批复及自主验收意见，且辐射安全许可证登记 X 射线数字成像系统与实际使用 X 射线数字成像系统一致，现有 X 射线数字成像系统无遗留环保问题。

(1) 公司已成立了辐射安全管理机构并明确了职责，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括辐射事故应急预案、安全培训制度、岗位职责、操作规程、设备登记制度、设备检修维护制度、自行检查和评估制度、监测制度等。公司原有管理制度内容

较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足公司从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。公司严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

(2) 公司现有 4 名辐射工作人员均已通过核技术利用安全与防护考核，持证上岗，满足 2 台 X 射线成像检测系统的同时开展。

(3) 公司已委托浙江鼎清环境检测技术有限公司开展了辐射工作人员个人剂量监测，由结果可以看出公司现有辐射工作人员年度个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(4) 公司已组织现有辐射工作人员进行职业健康体检，根据提供的 2021 年度职业健康检查报告书，现有辐射工作人员 4 名可从事放射工作。

(5) 公司现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、警戒线、视频监控装置等。根据项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(6) 公司每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，现有射线装置工作场所均满足相关标准。公司现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。

(7) 辐射应急演练和年度评估

公司已制定有《辐射事故应急预案》，有完善的应急处理措施，经与公司核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。公司执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有 X 射线数字成像系统辐射工作场所防护状况、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况等进行了年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

1.6 三线一单的符合性分析

对照《瑞安市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于温州市瑞安经济开发区产业集聚重点管控区（ZH33038120002），该单元准入要求如下：

空间布局约束：

禁止新建、扩建不符合园区发展（总体）规划及当地主导（特色）产业的其他三类工业建设项目。合理规划居住区与工业功能区，限定三类工业空间布局范围

污染物排放管控：

新严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平。加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。加强土壤和地下水污染防治与修复。

环境风险防控：

定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险。强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。

资源开发效率要求：无。

符合性分析：

本项目拟建的 X 射线数字成像检测系统位于瑞安经济开发区开发区大道 2666 号，50 米评价范围内除本企业一幢 7 层的员工宿舍外，无其它住宅等环境敏感点，布局合理。

本项目的污染因子为 X 射线，本次新增 X 射线数字成像检测系统通过自带铅房进行射线屏蔽。根据理论计算结果，铅房屏蔽设计符合《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）的要求，该公司从事辐射操作的工作人员和公众成员所受到的辐射照射符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。公司已制定有《辐射事故应急预案》，有完善的应急处理措施。本项目建设符合与《瑞安市“三线一单”生态环境分区管控方案》管控要求。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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)	年最大操作量 (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》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	X 射线数字成像检测系统	II类	1 套	XG-160ST/C	160	2	无损检测	17#车间无损检测室内	定向机，实时成像，无需洗片
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 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	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和 NOx	气体	/	/	少量	少量	少量	不暂存	直接进入大气，臭氧在常温常压下可自行分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/kg，固体为 mg/kg，气态为 mg/m²，年排放总量为 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修改），国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修改），国家环保部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(10) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部办公厅环办辐射函（2016）430 号，2016 年 3 月 7 日；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》；</p> <p>(12) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单 2015 年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知，原浙江省环境保护厅浙环发（2015）38 号，2015 年 10 月 23 日；</p> <p>(13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2021 年 2 月 10 日修正；</p> <p>(14) 《浙江省辐射环境管理办法》，2021 年 2 月 10 日修正。</p>
------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015)；</p> <p>(4) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 营业执照；</p> <p>(2) 辐射许可证；</p> <p>(3) 非放环评批文；</p> <p>(4) 原核利用技术环评批文、自主验收意见；</p> <p>(5) 检测报告。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目使用的 X 射线数字成像检测系统是 II 类射线装置，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》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”等相关规定，确定本项目评价范围为铅房边界外 50m 范围内区域。

7.2 保护目标

本项目主要考虑 X 射线数字成像检测系统工作时产生的 X 射线可能对周围环境产生的辐射影响，新建 X 射线探伤室边界外 50m 范围内环境保护目标情况见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

周边环境状况描述	保护对象		人数	相对位置	年剂量约束值
X 射线检测室	职业	辐射工作人员	2	铅房东南侧	5mSv
员工宿舍	公众	企业职工	300	铅房西北侧约 10m 处，7 层宿舍楼	0.25mSv
车间生产区		生产人员	/	铅房东南、西南侧	
厂区道路		公司及外来人员	/	铅房东北侧、西北侧	

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）4.3.3 防护与安全的最优化 4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），

20mSv。本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

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下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

(2) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015)

本标准规定了工业 X 射线探伤装置、探伤作业场所及放射工作人员与公众的放射卫生防护要求和监测方法。

3.1 设备技术要求

3.1.2 控制台

3.1.2.1 应设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示,以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置。

3.1.2.2 应设置有高压接通时的外部报警或指示装置。

3.1.2.3 控制台或 X 射线管头组装体上应设置与探伤室防护门联锁的接口,当所有能进入探伤室的门未全部关闭时不能接通 X 射线管管电压;已接通的 X 射线管管电压在任何一个探伤室门开启时能立即切断。

3.1.2.4 应设有钥匙开关,只有在打开控制台钥匙开关后, X 射线管才能出束;钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。

3.1.2.5 应设置紧急停机开关。

3.1.2.6 应设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

4.1 防护安全要求

4.1.1 探伤室的设置应充分考虑周围的辐射安全,操作室应与探伤室分开并尽量避开有用线束照射的方向。

4.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区,与墙壁外部相邻区域划为监督区。

4.1.3 X 射线探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应同时满足:

a) 人员在关注点的周剂量参考控制水平,对职业工作人员不大于 100 μ Sv/周,对公众不大于 5 μ Sv/周;

b) 关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

4.1.4 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 4.1.3；

b) 对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

4.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，并保证在门（包括人员门和货物门）关闭后 X 射线装置才能进行探伤作业。门打开时应立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。

4.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。

4.1.7 照射状态指示装置应与 X 射线探伤装置联锁。

4.1.8 探伤室内、外醒目位置处应有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

4.1.9 探伤室防护门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明。

4.1.10 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应当带有标签，标明使用方法。

4.1.11 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

4.2 安全操作要求

4.2.1 探伤工作人员进入探伤室时除佩戴常规个人剂量计外，还应配备个人剂量报警仪。当辐射水平达到设定的报警水平时，剂量仪报警，探伤工作人员应立即离开探伤室，同时阻止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

4.2.2 应定期测量探伤室外周围区域的辐射水平或环境的周围剂量当量率，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应当与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

4.2.3 交接班或当班使用剂量仪前，应检查剂量仪是否正常工作。如在检查过程中

发现剂量仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

4.2.4 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

4.2.5 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

4.2.6 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大必须开门探伤，应遵循 5.1、5.3、5.4、5.5 的要求。

(3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

1 范围

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

3.2 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

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

3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（HVL）。

3.3 其他要求

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

(4) 项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）等评价标准，确定本项目的管理目标。

①辐射剂量率控制水平：探伤室表面外 30cm 处剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；考虑到铅房西北侧约 10m 处，有公司 7 层宿舍，对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平从严要求，剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②辐射剂量控制水平：职业人员年有效剂量不超过 5mSv ；公众年有效剂量不超过 0.25mSv 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目场所位置

瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司位于瑞安经济开发区开发区大道 2666 号，本项目拟建于瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司厂区 17 号车间内，企业厂区西北侧为瑞安市云江混凝土有限公司、浙江澳翔自控科技等企业、西南侧为瑞安市隆山船舶修理厂和飞云江、东南侧现状为空地、东北侧为金石家具用品有限公司和东曹（瑞安）聚氨酯有限公司等工业企业。

拟建 X 射线数字成像检测系统位于公司厂区 17 号车间内西北侧，西北侧隔通道为员工宿舍，东北侧隔厂区道路为企业其余厂房，东南侧和西南侧为探伤室所在车间工作场地。

8.2 辐射环境现状

为了解瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司 X 射线数字成像检测系统及其周围的辐射环境背景水平，评级单位委托浙江鼎清环境检测技术有限公司于 2020 年 8 月 6 日对 X 数字成像检测系统拟建址进行辐射环境背景水平进行了现场检测。

8.2.1 监测方案

评价对象：拟建址辐射环境背景水平。

检测因子：X- γ 射线空气吸收剂量率。

检测点位：机房周围，重点考虑人员可能到达的场所。

8.2.2 质量保证措施

- (1) 合理布局监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采取国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 检测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

表 8-1 监测仪器参数与规范

仪器名称	便携式多功能射线检测仪
仪器型号	BG9512（内置探头：BG9512；外置探头：BG7030）
生产厂家	贝谷科技股份有限公司
仪器编号	DQ2015-XJ37
能量范围	内置探头：50keV~1.3MeV $\leq\pm 30\%$ ；外置探头：25KeV~3MeV $\leq\pm 30\%$
量程	内置探头：0.05 μ Sv/h-30mSv/h；外置探头：30nGy/h-200 μ Gy/h
检测单位	上海市计量测试技术研究院（华东国家计量测试中心）
检定证书	2019H21-10-2094469001
检定有效期	2019 年 10 月 16 日至 2020 年 10 月 15 日
监测规范	GB/T14583-93《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》 HJ/T61-2001《辐射环境监测技术规范》

8.2.3 检测结果及评价

表 8-2 X 射线数字成像检测系统拟建址辐射剂量率检测结果

点位编号	点位描述	X- γ 辐射剂量率（nGy/h）	
		平均值	标准差
★1	X 射线数字成像检测系统拟建址区域北侧	101	3
★2	X 射线数字成像检测系统拟建址区域东侧	100	2
★3	X 射线数字成像检测系统拟建址区域南侧	103	3
★4	X 射线数字成像检测系统拟建址区域西侧	100	3
★5	X 射线数字成像检测系统拟建址区域中心	101	2

注：检测值未扣除宇宙射线的响应值。

由表 8-2 的检测结果可知，X 射线数字成像检测系统拟建址各检测点位的 γ 辐射剂量率在 100~103nGy/h 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，温州地区室内 γ 辐射剂量率在 73~198nGy/h 之间，可见其 γ 辐射剂量率处于一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 项目设备组成

该公司拟购的 X 射线成像系统主要由高频固定式 X 射线探伤机、数字平板成像系统、计算机图像处理系统、机械电气系统、射线防护系统等几部分组成的高科技产品。设备示意图见图 9-1。



图 9-1 X 射线成像系统示意图

9.1.2 设备特点及作业方式

X 光机通过恒功率控制持续输出稳定的 X 射线，波动小，保证了优质的图像质量。高频技术缩短了开关机时间，有助于缩短检测周期，提高工作效率。

该公司所用的 X 射线数字成像检测系统自带射线防护系统，X 射线探伤机只在铅房内工作。公司最大工作工况为周工作探伤时间 24 小时（4h/天，每周工作 6 天）。X 射线主射束定向朝东北。

该设备主要用于检测压铸件，检测最大产品外形尺寸为 500mm×450mm×600mm。

9.1.3 无损检测原理

X 射线数字成像检测系统是新一代的无损检测设备，以数字实时成像的技术，取代传统的拍片方式。通过 X 射线管产生的 X 射线透过被检测物体后衰减，由图像增强器接收并转换成数字信号，利用半导体传感技术、计算机图像处理技术和信息处理技术，将检测图像直接显示在显示器屏幕上，可显示出材料内部的缺陷性质、大小、位置等信息，按照有关标准对检测结果进行缺陷等级评定，从而达到无损检测的目的。

高频 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。阴极是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则用高原子序数的难融金属制成。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 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管结构见图 9-2。

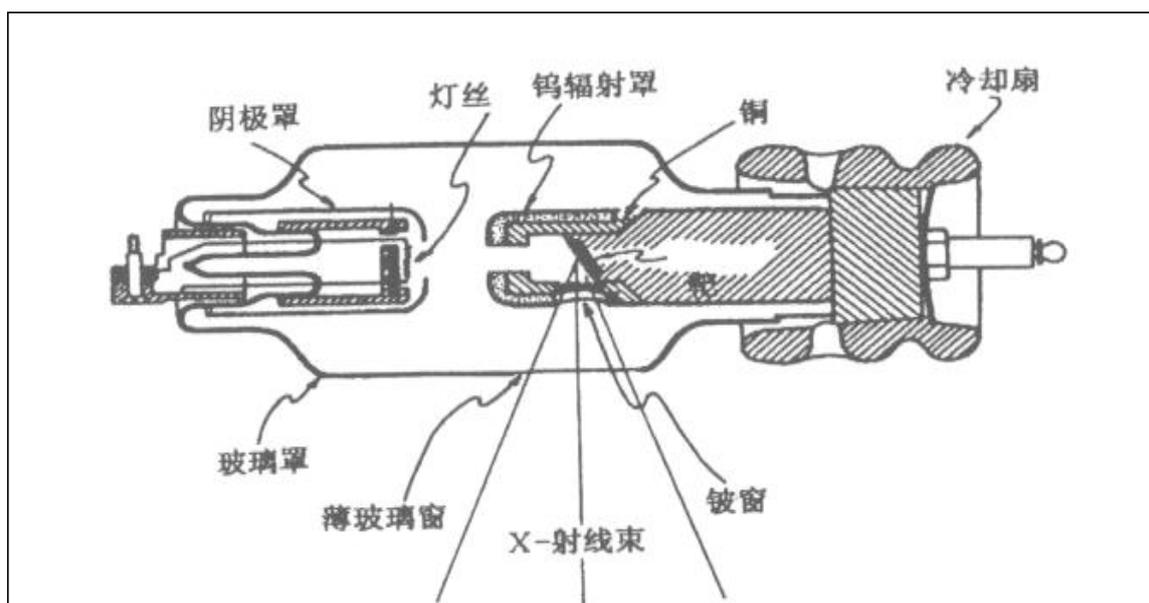


图 9-2 典型的 X 射线管结构图

9.1.4 工作流程及产污环节分析

该公司的探伤工件均在固定的铅房内进行探伤检测，探伤前，将需要进行射线探伤的工件送入铅房，关闭铅门、按光栏水平、上下调整按钮，选择合适的光栏。然后根据探伤工件材质厚度、待检部位、检查性质等因素调节相应管电压、管电流和照射时间，检查无误及进行探伤，X 射线管产生的 X 射线透过被检测物体后衰减，由图象增强器接收并转换成数字信号，将检测图像直接显示在显示器屏幕上。通过机械传动装置使待检

产品实行上下、左右、前后、纵向旋转及横向摆动等，对待检产品进行全面、整体的检测。其工艺流程见图 9-3。

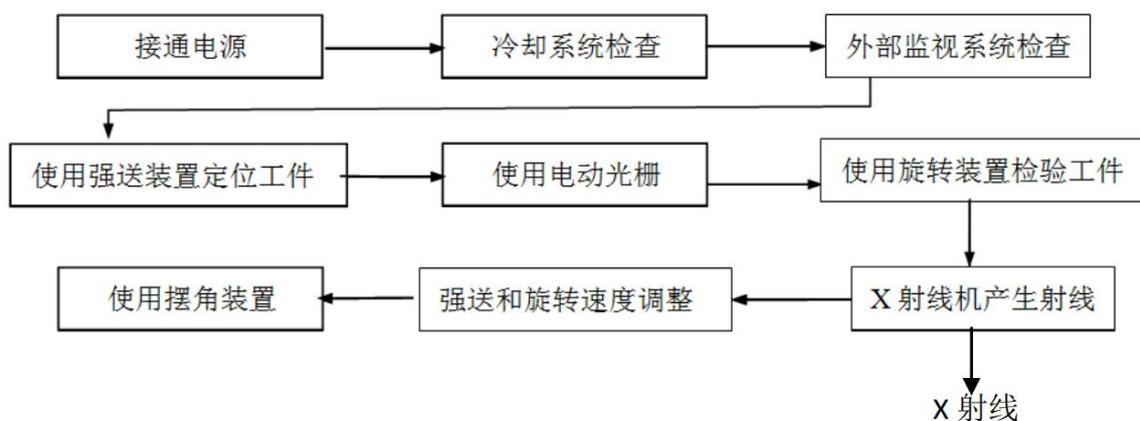


图 9-3 X 射线无损检测工艺流程图

9.2 污染源项分析

9.2.1 辐射污染源分析

X 射线：由 X 射线探伤机的工作原理可知，当 X 射线探伤机只有在开机并处于出束状态（曝光状态）时，才会发出 X 射线，对周围环境产生辐射影响。X 射线随探伤机器的开、关而产生和消失。因此，X 射线辐射是本项目的主要环境污染因子。

9.2.2 非辐射污染源分析

本项目 X 射线数字成像检测系统无需洗片，无固废产生。

NO_x 及臭氧：探伤机工作时产生射线，会造成铅房内空气电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。少量臭氧和氮氧化物可通过机械排放方式排出无损检测室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局

本项目 X 射线数字成像检测系统位于厂区 17 号车间西北侧，X 射线数字成像检测系统自配有射线防护系统，是一个独立的工作场所。无损检测工作人员有独立的操作位并避开了有用线束的照射方向，项目布局基本合理。

10.1.2 辐射工作场所分区原则及区域划分情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应把辐射工作场所划分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区定义：“注册者和许可证持有者应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”，注册者、许可证持有者应：采用实体边界划定控制区；采用实体边界不现实时也可以采用其他适当的手段；在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录 F（标准的附录）规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序；运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；限制的严格程度应与预计的照射水平和可能性相适应；按需要在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜；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或安全措施或该区的边界。

监督区定义：“注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中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”，注册者和许可证持有者应采用适当的手段划出监督区的边界，在监督区入口处的适当地点设立表面监督区的标牌，定期审查该区的条件，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。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的控制区、监督区的划分原则，结合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）的相关规定，本项目对探伤工作场所实行分区管理，详见表 10-1。

表 10-1 本项目探伤工作场所两区划分与管理

室内探伤	控制区	监督区
划分范围	X 射线数字成像检测系统 (探伤室)	将 X 射线数字成像检测系统铅房(探伤室) 所在房间设定为监督区
辐射防护措施	对控制区进行严格控制,探伤过程中严禁任何人员进入,探伤室墙上设置醒目的电离辐射警告标识和中文警示说明	监督区为 X 射线数字成像检测系统铅房(探伤室)放置场所,禁止非相关人员入内,房间进出门口处采用黄色警戒线作为标志,设置无关人员禁止入门标志

10.1.3 工作场所辐射屏蔽设计

X 射线数字检测系统探伤作业在铅房内进行,工作人员在铅房外系统操作位上进行操作。铅房屏蔽设计参数见表 10-2。

表 10-2 铅房屏蔽设计参数一览表

内容		参数
探伤室尺寸		长 1808mm×宽 1534mm×高 1970mm
屏蔽厚度	东北墙(主射面)	2mm 钢+6mm 铅+2mm 钢,综合防护当量约 9.2mm 铅
	其他墙体	2mm 钢+4mm 铅+2mm 钢,综合防护当量约 7.2mm 铅
	顶棚	2mm 钢+4mm 铅+2mm 钢,综合防护当量约 7.2mm 铅
	地板	2mm 钢+4mm 铅+2mm 钢,综合防护当量约 7.2mm 铅
	防护门(东南侧)	2mm 钢+4mm 铅+2mm 钢,综合防护当量约 7.2mm 铅
	电缆孔(西南侧)	开口约 100×80mm,采用 U 型管设置,外侧防护罩固定
	通风孔(顶棚)	设置于铅房顶部,设计风量 400m ³ /h,采用迷道结构,外部设置防护罩

10.1.4 工作场所污染防治措施

本项目 X 射线数字成像系统为一体化设备,设备已具有以下辐射安全与防护措施:

(1) X 射线数字成像系统通过自带铅房进行射线屏蔽,自带的屏蔽铅房和操作台分开。

(2) 防护门设计安装门-机联锁装置,工件门完全关闭后 X 射线才能出束照射。

(3) 铅房顶部设有工作状态指示灯,并与 X 射线机联锁。X 射线管工作时,警示灯开启,警告无关人员勿靠近铅房或期周围区域作不必要的逗留。

(4) 铅房表面均贴有电离辐射警告标识和中文警示说明。

(5) 铅房和操作台设有紧急停机按钮,紧急事故时能立即停止照射。

(6) 设有视频监视系统,操作人员能够实时监控 X 射线机工作状态和铅房内部情

况。

(7) 铅房内设有机械排风设施，确保每小时有效通风换气次数不小于 3 次。

(8) 操作台室避开有用线束照射的方向。

除了上述污染防治设施及措施外，企业还应采取以下措施：

(1) X 射线数字成像系统周围 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

(2) 各项辐射环境管理制度张贴于工作现场。

(3) 每名辐射工作人员配备个人剂量计、铅房配备 1 台个人剂量报警仪，工作期间必须佩戴。

10.2 三废的治理

本项目没有放射性三废产生。无损检测时产生的 X 射线会致使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。铅房内应设置机械排放装置，换气率应满足 GBZ117-2015 中的铅房换气频率不低于 3 次/小时的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

由于 X 射线探伤机只有在无损检测过程中才会产生辐射，其产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失的。在 X 射线探伤室建设过程中，X 射线探伤机未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废物产生。

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目 X 射线机只在探伤铅房内工作，X 射线出线方向固定，理论计算分别考虑有用线束和散射、漏射辐射的屏蔽。

1、主射面

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）推荐的计算公式计算透射因子，然后据此可查透射量图得 X 射线初级防护铅屏蔽的厚度。

$$B = (\dot{H}_c \times R^2) / (I \times H_0) \dots\dots\dots (1)$$

其中： \dot{H}_c ：剂量率参考控制水平，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

R：辐射源点至关注点的距离，单位为 m；

I：X 射线管的最大管电流，单位为 mA；

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

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (2)$$

H_c ：周剂量率参考控制水平，单位为 $\mu\text{Sv/周}$ ；

T：人员在相关关注点驻留的居留因子；

U：探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

t：探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/周）。

按约束值 0.25mSv/a 、每年 50 周计算，可取周剂量限值为 $0.25\text{mSv}/50\text{W}=0.005\text{mSv/W}$ ；每天开机探伤时间 4h，每周工作 6 天，居留因子取 1/8，使用因子取 1，则 $\dot{H}_{c,d}$ 为 $1.7\mu\text{Sv/h}$ 。因此 \dot{H}_c 取 $1.7\mu\text{Sv/h}$ 。

根据公式（1）计算得出各设备的透射因子，然后查对应电压宽束 X 线对铅的透射曲线图可知主射线方向所需的铅防护的厚度，考虑 2 倍安全系数，加上一个半阶层厚度。半阶层厚度可查“不同管电压下铅和混凝土的半阶层”表可知道，综上得出各设备主射方向所需的铅防护厚度。具体计算结果见表 11-1。

表 11-1 主射方向屏蔽厚度理论计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
R (m)	1
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	1.7
H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$)	3.12×10^5
透射因子 B	2.67×10^{-6}
查宽束 X 线对铅的透射曲线图所需的铅防护的厚度	6.5mm
半阶层厚度	0.32mm
理论计算厚度	5.32mm
设计厚度（综合铅当量）	9.2mm
达标分析	符合

2、非主射面屏蔽厚度估算

主要考虑散射辐射和泄露辐射的屏蔽厚度。

查“X 射线 90°散射辐射最好能量相应的 kV”表可得，160kV X 射线 90°散射辐射最高能量为 150kV。

a、散射辐射

泄露射线的屏蔽透射因子可由式（3）计算得出，可得各设备其他非主射面屏蔽散射辐射所需的铅当量。具体计算结果见表 11-2。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot \alpha} \dots\dots\dots (3)$$

其中：

I: X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

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

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

B: 屏蔽透射因子;

F: R_0 处的辐射野面积, 单位为平方米 (m^2);

α : 散射因子;

R_0 : 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m);

R: 散射体至关注点的距离, 单位为米 (m)。

所需屏蔽体厚度 X

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

表 11-2 散射辐射屏蔽厚度理论计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
I (mA)	2
R (m)	1
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	1.7
H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$)	3.12×10^5
$R_0^2/F\alpha$	60
透射因子 B	1.63×10^{-4}
TVL	0.96mm
铅屏蔽计算厚度 X	3.64mm
设计厚度 (综合铅当量)	7.2mm
达标分析	符合

b、泄露辐射

泄露射线的屏蔽透射因子可由式 (5) 计算得出。

$$B=R^2\times \dot{H}_c/\dot{H}_L\dots\dots\dots (5)$$

其中:

B: 屏蔽透射因子;

R: 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为 m;

\dot{H}_L : 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$, 取值见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 表 1。

屏蔽泄露辐射的屏蔽厚度的具体计算结果见表 11-3。

所需屏蔽体厚度 X

$$X = -TVL \cdot \lg B \dots\dots\dots (6)$$

表 11-3 泄露辐射屏蔽厚度理论计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
R (m)	1
H _C (μSv/h)	1.7
\dot{H}_L	2.5×10 ³
透射因子 B	6.8×10 ⁻³
TVL	1.05mm
所需的防护体的厚度	3.32mm
设计厚度 (综合铅当量)	7.2mm
达标分析	符合

c、综合考虑散射和泄露辐射的屏蔽厚度计算

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)，当可能存在泄露辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度或者更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个什值层时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度。综上非主射方向的综合屏蔽厚度理论计算结果见表 11-4。

表 11-4 非主射方向综合屏蔽厚度 (综合考虑散射和泄露辐射)

计算项目	计算结果
散射辐射屏蔽厚度计算值	3.64mm
泄露辐射屏蔽厚度计算值	3.32mm
什值层厚度	0.96mm
半阶层厚度	0.32mm
综合理论计算防护厚度	3.96mm
屏蔽厚度设计值 (综合铅当量)	7.2m
设计是否符合要求	符合

由表 11-1 和 11-4 可见探伤铅房的设计屏蔽厚度均能够满足屏蔽要求。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），结合各 X 射线数字成像系统铅房设计屏蔽厚度，计算铅房周围的剂量率，计算结果见表 11-5 和 11-6。

11.3 附加剂量估算

1、主射方向的剂量率计算

关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 (7) 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

I: X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安 (mA)；

H₀: 距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ；

B: 屏蔽透射因子；

R: 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离，单位为 m。

表 11-5 主射方向的剂量率计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
管电压、管电流	160kV、2mA
H ₀ 距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$)	3.12×10^5
主射方向设计厚度 (综合铅当量) (mm)	9.2
屏蔽透射因子 B	2×10^{-7}
R 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离 R (m)	1
剂量率计算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.125

2、非主射方向的剂量率计算

非主射方向的剂量率考虑考虑散射和泄露辐射的叠加影响。

①泄露辐射剂量率：

泄漏辐射在关注点的剂量率 \dot{H} ，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ 可按下面公式 (8) 计算：

$$\dot{H} = \frac{H_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

B：屏蔽透射因子；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为 m；

\dot{H}_L ：距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

B：相应的辐射屏蔽透射因子

$$B = 10^{-X/TVL}$$

表 11-6 泄露辐射剂量率计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
管电压、电流	160kV、2mA
\dot{H}_L 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ 。	2.5×10^3
非主射方向设计厚度（综合铅当量）（mm）	7.2
TVL（mm）	1.05
屏蔽透射因子 B	$1 \times 10^{-3.8}$
R 辐射源点（靶点）至关注点的距离（m）	1
剂量率计算结果 $\mu\text{Sv/h}$	0.00035

② 散射辐射剂量率

散射辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按公式 (9) 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

I：X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

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

B：屏蔽透射因子；

F： R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（ m^2 ）；

α ：散射因子；

R_0 ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

R：散射体至关注点的距离，单位为米（m）；

$$B = 10^{-X/TVL}$$

表 11-7 散射辐射剂量率计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
管电压、电流	160kV、2mA
H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$)	3.12×10^5
非主射方向设计厚度 (综合铅当量) (mm)	7.2
屏蔽透射因子 B	$1\times 10^{-4.2}$
TVL (mm)	0.96
R 散射体至关注点的距离 (m)	1
$\frac{F\cdot a}{R_0^2}$	1/60
剂量率计算结果 $\mu\text{Sv/h}$	0.00033

③非主射方向的剂量计算结果 (散射和漏射叠加)

考虑散射和漏射叠加影响, 则非主射方向的剂量计算结果为 $0.00068\mu\text{Sv/h}$ ($0.00035+0.00033\mu\text{Sv/h}$)。

3、年附加剂量的估算

(1) 估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) --2000 年报告附录 A, X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算:

$$H_{E,r} = D_r \times t \times 10^{-3} (\text{mSv})$$

式中: $H_{E,r}$: 射线外照射人均年有效剂量当量;

D_r : 射线空气吸收剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

T: 射线照射时间, h;

(2) 估算结果

①辐射工作人员

结合 X 射线数字成像系统的使用情况做保守假设: a、每次检测时, 工作人员所在区域的辐射剂量率保守取计算的最大值 $0.125\mu\text{Sv/h}$; b、每年的开机探伤工作时间约为 1200 小时设置工作人员 2 名。则根据上式, 可以计算出该辐射工作人员的年附加有效剂量约为 0.15mSv 。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业

业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

建设单位已建的 X 射线数字成像检测系统位于中压铸车间内，未在本项目的评价范围内，无需考虑两台设备的叠加影响。

②环境敏感目标、公众成员

环境敏感目标：

本项目环境敏感目标为西北侧 10m 处员工宿舍楼，敏感点目标处辐射剂量率主要为泄露辐射和散射辐射，根据理论计算，可得敏感点目标处辐射剂量率为 $5.59 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，计算结果见表 11-8 及表 11-9。根据年附加剂量估算公式，结合探伤机的年工作时间，可得敏感目标处的年附加剂量为 $6.71 \times 10^{-6} \text{mSv}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众年有效剂量不超过 0.25mSv 的要求。同时建议建设单位探伤机使用时间尽量安排在昼间，避开夜间员工处于宿舍楼休息时段。

表 11-8 敏感点目标处泄露辐射剂量率计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
管电压、电流	160kV、2mA
\dot{H}_L 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ 。	2.5×10^3
非主射方向设计厚度（综合铅当量）（mm）	7.2
TVL（mm）	1.05
屏蔽透射因子 B	$1 \times 10^{-3.8}$
R 辐射源点（靶点）至关注点的距离（m）	11
剂量率计算结果 $\mu\text{Sv/h}$	$2.87 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$

表 11-9 敏感点目标处散射辐射剂量率计算结果

计算项目	探伤铅房计算参数
管电压、电流	160kV、2mA
H_0 （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ）	3.12×10^5
非主射方向设计厚度（mm）	4
屏蔽透射因子 B	$1 \times 10^{-4.2}$
TVL（mm）	0.96
R 散射体至关注点的距离（m）	11
$\frac{F \cdot a}{R_0^2}$	1/60
剂量率计算结果 $\mu\text{Sv/h}$	$2.72 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$

公众成员：

X 射线探伤机开机工作时，将开启工作灯光警示装置，告诫车间其他工作人员不要在 X 射线探伤机房周围停留。公司有严格的管理制度，公众成员不能进入探伤区域，车间其他工作人员和公众人员不会接受额外的辐射照射，因此，公众成员所接受的剂量也能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故工况

公司拟建的 X 射线数字成像检测系统属于 II 类射线装置，可能的事故工况主要有以下几种情况：

（1）X 射线检测系统作业时，门-机联锁失效，铅防护门未完全关闭，X 射线泄露，给周围人员造成意外照射。或在门-机联锁失效起期间探伤，工作人员误打开防护门，使其受到额外的照射。

（2）人为故意引起的辐射照射。

（3）辐射工作人员未发现铅房内仍有人员滞留情况下即开始无损检测作业，致使人员受到意外照射。

11.3.2 事故后果

X 射线数字成像检测系统属于 II 类射线装置，为中危险射线装置，事故可能引起急性放射性损伤。长时间、大剂量照射甚至导致死亡。

11.3.3 事故预防措施

为了杜绝事故发生，公司分析事故发生的原因，此类事故大部分是忽视辐射安全管理，违规操作造成的辐射事故。为有效预防各类辐射事故发生，建议企业采取以下事故预防措施：

（1）企业内部加强辐射安全管理，管理人员定期开展监督检查。

（2）必须进行门-机联锁装置的定期检查，严格按照操作规程进行作业，确保安全。每天无损检测作业前，检查确认辐射安全联锁、急停开关、视频监控、探伤机完好性等各项安全措施，避免联锁失灵等设施设备事故。杜绝联锁装置旁路情况下开机操作。

发生辐射事故时，事故单位应当立即切断电源、保护现场，并立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成超剂量照射的，还应当同时向当地卫生行政部门报告。对于射线装置被盗事故还应向公安部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》使用Ⅱ类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

根据建设单位提供资料，公司已制定《放射防护安全管理机构及职责》，成立了辐射安全领导小组。

12.2 辐射安全管理规章制度

本项目 X 射线数字成像检测系统属于扩建项目，根据建设单位提供资料，企业已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等的要求，制定以下规章制度：

- (1) 《辐射防护安全管理工作制度》；
- (2) 《X 射线探伤机安全操作规程》；
- (3) 《辐射工作人员岗位职责》；
- (4) 《仪器登记管理制度》；
- (5) 《自行检查和年度评估制度》；
- (6) 《设备检修和维护制度》；
- (7) 《辐射防护和安全保卫制度》；
- (8) 《辐射工作人员健康管理和培训制度》。

上述制度须符合国家法律法规的要求且企业应根据实际生产情况不断补充完善各种辐射环境管理规章制度，相关辐射安全管理规章制度已张贴于工作现场。

12.3 辐射检测

一、环境检测及场所检测

根据年度评估制度，公司原有核技术利用项目已定期（每年 1 次）请有资质的单位对 X 射线数字成像检测系统周围环境进行检测，并建立检测技术档案。检测数据每年年底向当地生态环境部门上报备案。扩建后项目继续按要求执行。

- (1) 检测频度：每年常规检测一次。

(2) 检测范围：探伤机房屏蔽墙外、防护门及缝隙处、工作人员操作室、周围其他工作室等。

(3) 检测项目：X- γ 辐射剂量率。

(4) 检测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

二、个人剂量检测及职业健康检查

(1) 原有核技术利用项目辐射工作人员均配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到相关部门检测一次，并建立了个人剂量档案。个人剂量档案包括个人基本信息、工作岗位、剂量检测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

(2) 放射工作单位组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对于本项目新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；在本单位从事过辐射工作的人员在离开工作岗位时也要进行健康检查。

(3) 公司须组织所有从事辐射操作的工作人员参加有资质单位的辐射防护培训，原有核利用技术项目辐射工作人员已持有上岗证，本项目新辐工作人员经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗。

12.4 辐射事故应急

本项目 X 射线数字成像检测系统属于扩建项目，公司已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条之规定，制定了《辐射事故应急方案》。

结合公司的实际情况，应急方案已包括下列内容：

- (一) 应急机构和职责分工；
- (二) 应急人员的组织、培训以及应急；
- (三) 可能发生辐射事故类别与应急响应措施；
- (四) 应急方案已明确应急的具体人员和联系电话。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

- (五) 辐射事故调查、报告和处理程序。

表 13 结论与建议

13.1 实践的正当性

瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司使用 X 射线数字成像检测系统的目的是为了对产品进行无损检测，提高产品的质量与生产安全，符合辐射防护“正当实践”原则。因此，该项目使用 X 射线数字成像检测系统的目的是正当可行的。

13.2 选址合理性分析

X 射线数字成像检测系统（探伤室）评价范围 50m 内主要为厂区内生产车间、员工宿舍与道路，无居民点与学校等环境敏感点。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及落实辐射安全措施的基础上，本项目投入使用后对前方西侧员工宿舍的辐射影响符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对公众成员剂量限值的要求。因此，本项目选址是可行的。

13.3 辐射防护屏蔽能力分析

公司对设备工作场所实行分区管理，将 X 射线数字成像检测系统区域划为控制区，与墙壁外部相邻的区域划为监督区。根据理论计算结果，探伤机房设计墙体、防护门、顶棚的屏蔽能力，均能符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）的要求。

13.4 主要污染因子及辐射环境影响评价

本项目无损检测时不进行洗片，无固废产生，项目的主要污染因子为 X 射线，无损检测过程中会产生一定量的臭氧和氮氧化物。

该公司通过墙体、天棚及防护门来屏蔽 X 射线。根据理论计算结果，探伤室屏蔽设计符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）的要求，该公司从事辐射操作的工作人员和公众成员所受到的辐射照射，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。

无损检测过程中 X 射线会致使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。铅房内应设置机械排放装置，换气率应满足 GBZ117-2015 中的铅房换气频率不低于 3 次/小时的要求。

13.5 辐射环境管理制度

X 射线数字成像检测系统属于扩建项目，因原有核利用技术项目，企业已制定《操作规程》、《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射工作安全责任书》、

《设备检修维护制度》等规章制度，要求企业严格执行相关制度。

13.6 安全培训及健康管理

(1) 原有核利用技术项目已为辐射工作人员均配备个人剂量计，个人剂量仪每 3 个月到相关部门检测一次，并建立了个人剂量档案。个人剂量档案包括个人基本信息、工作岗位、剂量检测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

(2) 放射工作单位已按要求组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查，检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对于本项目新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；在本单位从事过辐射工作的人员在离开工作岗位时也要进行健康检查。

(3) 公司须组织所有从事辐射操作的工作人员参加有资质单位的辐射防护培训，原有核技术利用项目的辐射工作人员已取得上岗证，本项目扩建所从事辐射操作的工作人员经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗。

13.7 结论

瑞立集团瑞安汽车零部件有限公司拟扩建的 X 射线数字成像检测系统，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，该公司做好其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

13.8 建议和承诺

13.8.1 建议

- (1) 应结合工作实际情况对辐射安全管理制度进行不断修改和完善；
- (2) 应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.8.2 承诺

(1) 承诺在本项目新增的 X 射线数字成像检测系统正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，在规定的验收期限内（一般不超过 3 个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

(2) 承诺在探伤机正式启用前，将张贴悬挂相应规章制度于探伤室墙面上，并在

探伤室外设立符合规范要求的电离辐射警告标志。

(3) 承诺严格执行辐射监测计划，发现隐患及时整改；对门-机联锁装置、警示灯联锁装置等防护设施进行经常性检查，发现防护设施故障或失灵应立即维护、修复。

