

## 核技术利用建设项目

陕西海泰电子有限责任公司  
车载工业 CT 无损检测系统和 DR 成像检测系统  
核技术利用建设项目  
环境影响报告表

建设单位：陕西海泰电子有限责任公司

编制单位：核工业二〇三研究所

编制日期：二〇二三年十二月

# 目录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	11
表 3	非密封放射性物质 .....	11
表 4	射线装置 .....	12
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	14
表 6	评价依据 .....	15
表 7	保护目标与评价标准 .....	18
表 8	环境质量和辐射现状 .....	25
表 9	项目工程分析及源项 .....	26
表 10	辐射安全与防护 .....	34
表 11	环境影响分析 .....	44
表 12	辐射安全管理 .....	62
表 13	结论与建议 .....	69

## 附件：

- 附件 1 委托书
- 附件 2 建设项目环境影响评价信息公开说明
- 附件 3 市场主体环境信用承诺书
- 附件 4 公示截图
- 附件 5 执行标准申请文

**表 1 项目基本情况**

<b>建设项目名称</b>		陕西海泰电子有限责任公司车载工业 CT 无损检测系统和 DR 成像检测系统核技术利用建设项目				
<b>建设单位</b>		陕西海泰电子有限责任公司				
<b>法人代表</b>	范江鹏	<b>联系人</b>	白俊锋	<b>联系电话</b>	[REDACTED]	
<b>注册地址</b>		西安市高新区团结南路 35 号航海科技园十、十一楼				
<b>项目建设地点</b>		需要展开无损检测的地点（无固定场所）				
<b>立项审批部门</b>		/		<b>批准文号</b>	/	
<b>建设项目总投资（万元）</b>		400	<b>项目环保投资（万元）</b>	16.2	<b>投资比例（环保投资/总投资）</b>	4.05%
<b>项目性质</b>		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			<b>占地面积（m<sup>2</sup>）</b>	70
<b>应用类型</b>	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	/				
	<b>1.1 单位简介</b>					
<p>陕西海泰电子有限责任公司成立于 1997 年 3 月 13 日，注册地位于西安市高新区团结南路 35 号航海科技园十、十一层，经营范围包括代理报关服务；计算机测控技术、计算机外围设备、工业自动化仪表、机电一体化、电子测量仪器及其相关软硬件产品的开发、研制、生产、销售、售后服务；测试系统与过程控制方面系统的集成及技术服务；电磁兼容检测、试验、整改及咨询服务；货物与技术的进出口经营（国家限定公司经营或禁止进口、出口的商品除外）；电子元器件、机械电器设备、一类医疗器械、仪器仪表的销售。截止 2023 年 11 月为止，公司未开展过核技术利用项目，未申请过辐射安全许可证。</p>						
<b>1.2 核技术应用目的</b>						

公司为满足业务发展需要，确保产品质量，计划购置 1 套车载工业 CT 无损检测系统、2 套 DR 成像检测系统用于对特定的钢结构工件缺陷进行无损检测，根据陕西海泰电子有限责任公司提供资料，本项目预计检测的钢结构工件一般情况下移动不便，无法放入探伤室进行检测，且项目探伤具有不固定性等特点，因此为了现场检测该产品是否存在缺陷，陕西海泰电子有限责任公司拟建设“陕西海泰电子有限责任公司车载工业 CT 无损检测系统和 DR 成像检测系统核技术利用建设项目”，该项目拟使用 1 套车载工业 CT 无损检测系统（最大管电压/最大管电流：450kV/3.3mA），2 套 DR 成像检测系统（最大管电压/最大管电流：300kV/4.5mA）用于现场钢结构工件的无损检测，本项目工作场所为需要展开无损检测的地点（无固定场所）。

### 1.3 项目由来

根据原国家环保部、国家卫生和计划生育委员会总局联合发布的《射线装置分类》（2017 年第 66 号公告），陕西海泰电子有限责任公司本次拟购置的 1 台车载工业 CT 无损检测系统，2 套 DR 成像检测系统属于 II 类射线装置。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》以及《建设项目环境保护分类管理名录》（2021 年版）相关规定，本项目作为“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”项目，需编制环境影响报告表。

为此，陕西海泰电子有限责任公司于 2023 年 7 月委托核工业二〇三研究所对该项目进行环境影响评价。接受委托后，我所立即组织专业技术人员对项目所在地及周边环境进行实地调查，收集相关基础资料，根据国家、省市的有关环保法规和《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），编制了该项目环境影响报告表。

### 1.4 编制目的

（1）估算本项目车载工业 CT 无损检测系统、DR 成像检测系统无损检测过程中辐射环境影响。通过对本项目设备运行过程中辐射环境影响的理论估算，确定其对周边环境的影响范围及程度，分析项目采取辐射防护措施的有效性，并提出合理的意见与建议。

（2）为建设单位改进和完善辐射防护设计、安全防护措施和辐射管理提供建议，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

（3）满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定要求，为生态环境主管部门和公司的辐射环境管理提供科学依据。

## 1.5 原有核技术利用情况

根据调查可知，本项目为公司首次开展核技术利用项目，不涉及原有核技术利用的情况。

## 1.6 项目概述

### 1.6.1 项目概况

项目名称：陕西海泰电子有限责任公司车载工业 CT 无损检测系统和 DR 成像检测系统核技术利用建设项目

建设单位：陕西海泰电子有限责任公司

建设地点：无固定场所

建设内容：拟购置 1 台车载工业 CT 无损检测系统（该设备为一体化设备，自带屏蔽铅房）、2 套 DR 成像检测系统（均为定向）用于现场无损检测。

存放地点：陕西海泰电子有限责任公司拟使用公司现有的一间占地面积约 40m<sup>2</sup> 库房存放购置的 2 套 DR 成像检测系统，在陕西海泰电子有限责任公司办公楼西侧停车场划分了一块面积约 30m<sup>2</sup> 的地方用于专门停放运载了车载工业 CT 无损检测系统的货车。

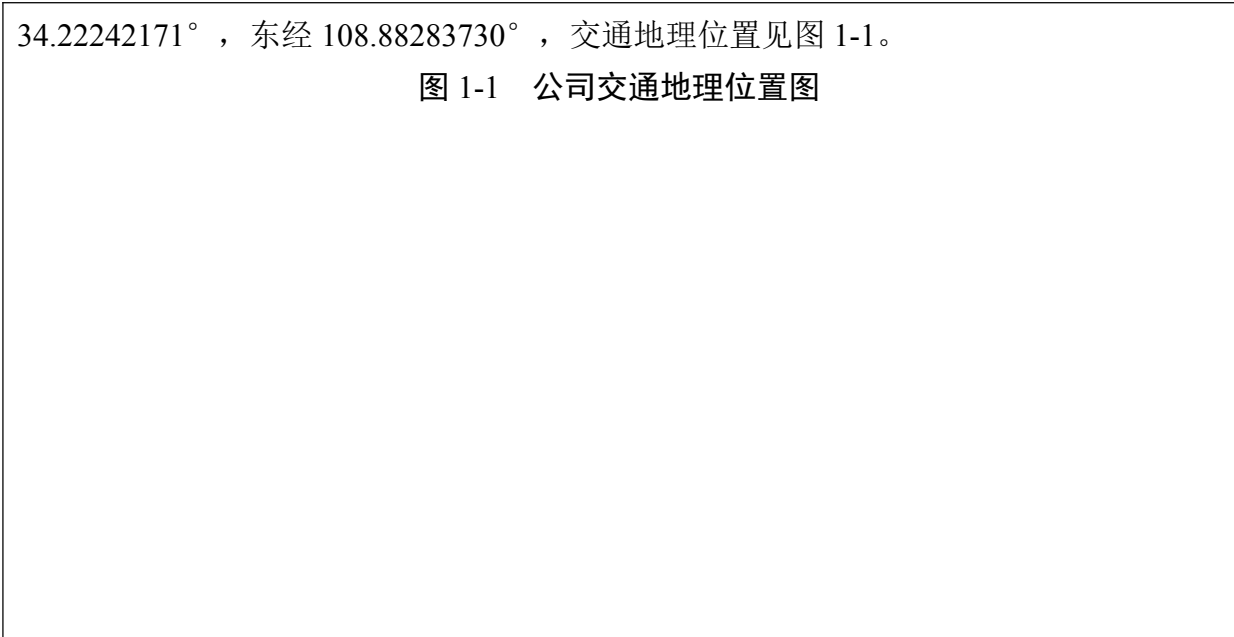
### 1.6.2 公司交通地理位置

陕西海泰电子有限责任公司位于陕西省西安市团结南路 35 号航海科技园，北临科技三路，西临团结南路，地理位置优越，交通便利。公司所在地地理坐标为北纬



34.22242171° ，东经 108.88283730° ，交通地理位置见图 1-1。

图 1-1 公司交通地理位置图



### 1.6.3 周边环境关系

陕西海泰电子有限责任公司位于陕西省西安市团结南路 35 号，公司北侧、西侧分别为科技三路、团结南路，东侧为永春科技产业中心，南侧为高新新天地办公楼。公司周边位置关系示意图见图 1-2。



图 1-2 陕西海泰电子有限责任公司与周边环境关系示意图

### 1.6.4 陕西海泰电子有限责任公司平面布局

本项目拟购置的 2 套 DR 成像检测系统日常存放于公司库房内，车载工业 CT 无损检测系统因其为一体化设备（放置在货车上），自带屏蔽铅房，日常存放在厂区内停车场中，公司平面布局示意图见图 1-3 所示。

由于本项目在对材料及构件进行无损检测时，所使用的 1 台车载工业 CT 无损检测系统（该设备为一体化设备，自带屏蔽铅房）、2 套 DR 成像检测系统，均由软件分系统计算机重建出被检测工件的多层断层图像，因此，在整个无损检测过程中不使用显影液和定影液进行洗片等工作。本项目平面布局中无存放废显影液、废定影液和废胶片的危废贮存库。

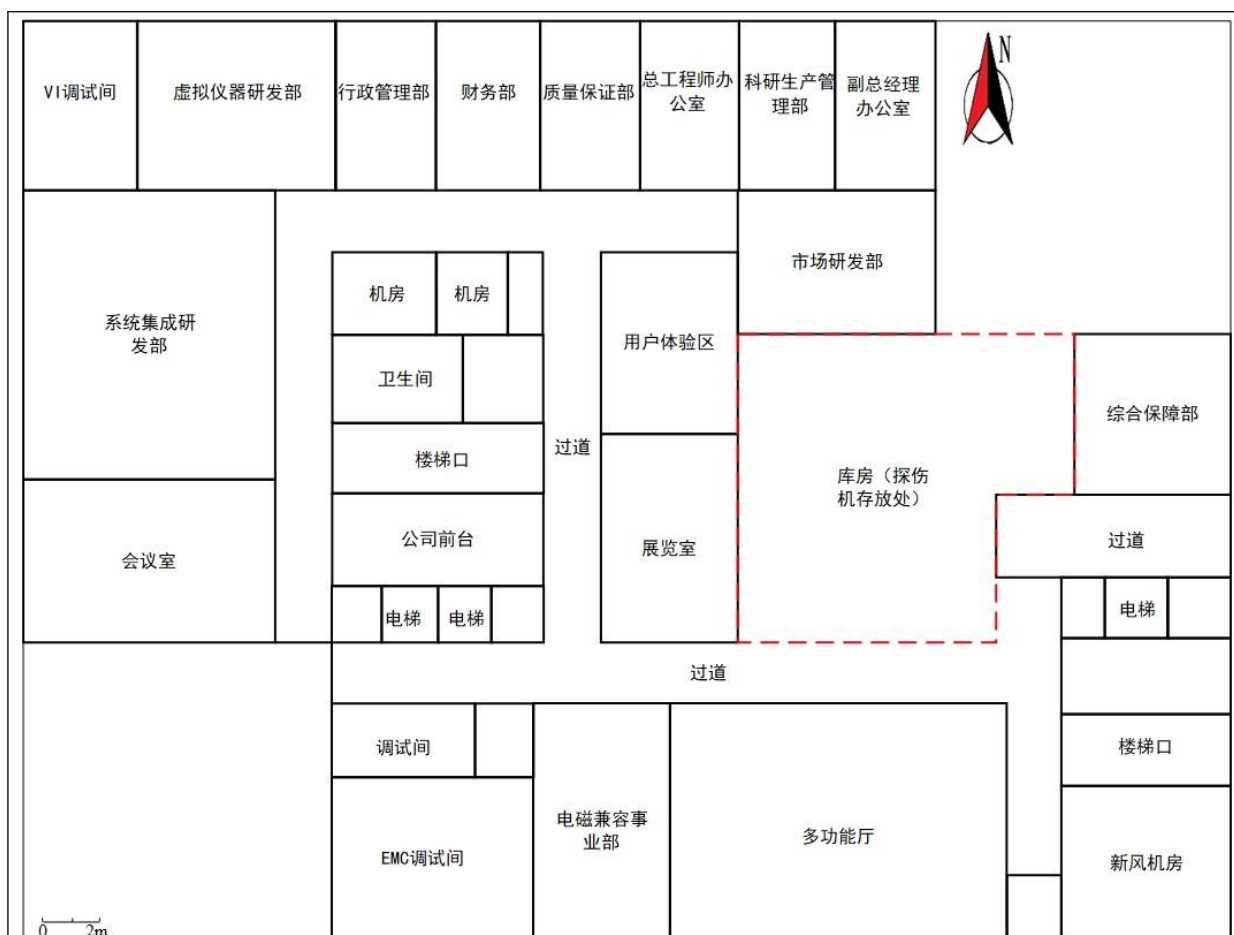


图 1-3 公司十一层平面布局示意图

### 1.6.5 项目建设内容与规模

#### (1) 射线装置

为满足业务发展需要，确保产品质量，陕西海泰电子有限责任公司计划购置 1 套车载工业 CT 无损检测系统、2 套 DR 成像检测系统用于对特定的钢结构工件缺陷进行无损检测。拟新增的 1 套车载工业 CT 无损检测系统，最大管电压为 450kV，最大管电流为 3.3mA。拟新增的 2 套 DR 成像检测系统最大管电压均为 300kV，最大管电流均为 4.5mA，射线装置相关技术参数见表 1-1。本项目工业 CT 系统为一体化设备(车机一体)，系统自带屏蔽铅房，工件需要人工进入铅房内进行摆放、固定，且本系统具有计算机断层扫描成像功能，因此，根据《射线装置分类》（2017 年第 66 号公告）相关要求，该系统属于 II 类射线装置，使用和管理均按 II 类射线装置进行要求。



表 1-1 本项目射线装置相关技术参数

名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	类型
车载工业 CT 无损检测系统	II 类	1 套	VeMoCT	450	3.3	定向
DR 成像检测系统	II 类	1 套	300DS-FB	300	4.5	定向
DR 成像检测系统	II 类	1 套	PXS EVO 300DSW	300	4.5	定向

(2) 铅房平面布局图

本项目车载工业 CT 无损检测系统自带屏蔽铅房，铅房四周屏蔽墙体、顶棚及底部、防护门均采用铅材料进行屏蔽防护，X 射线机安装在铅房内固定区域。铅房内部净尺寸为：2.68m×1.38m×1.97m（长×宽×高）；铅房主照射面防护铅厚为 58mm，主照射面两侧防护铅厚为 35mm，顶面墙防护铅厚为 35mm，左侧墙防护铅厚为 35mm，底部防护铅厚为 35mm，防护门铅厚为 35mm；无损检测工作时主要利用 X 射线机产生 X 射线对材料进行成像检测，辐射工作人员在操作台进行操作。

铅房俯视图见图 1-5 所示、剖面图见图 1-6 所示。

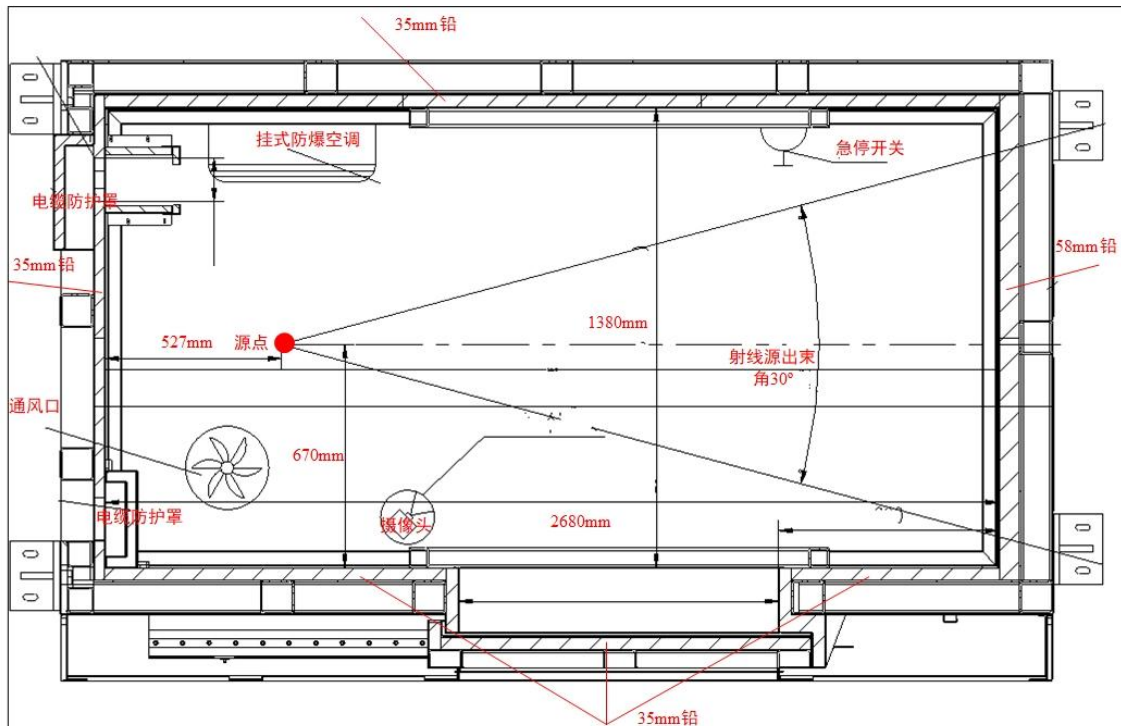


图 1-4 铅房俯视图

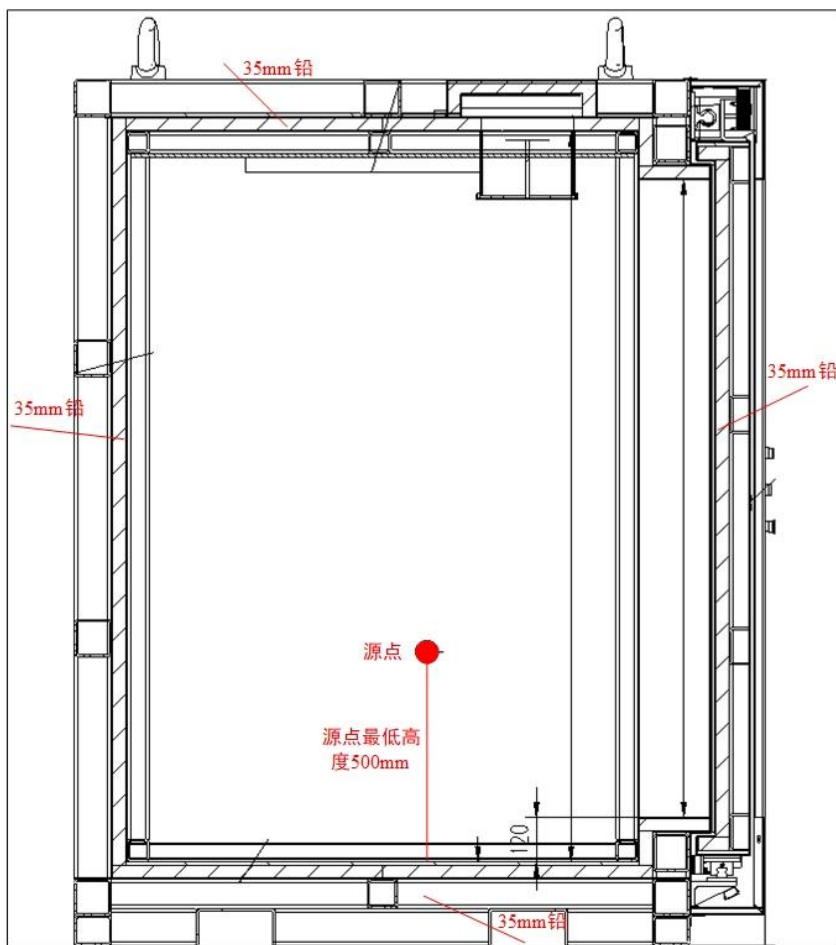


图 1-5 铅房剖面图

### (3) 射线装置存放及管理要求

陕西海泰电子有限责任公司拟使用公司现有的一间占地面积约 40m<sup>2</sup> 库房存放购置的 2 套 DR 成像检测系统，在陕西海泰电子有限责任公司办公楼西侧停车场划分了一块面积约 30m<sup>2</sup> 的地方用于专门停放运载了车载工业 CT 无损检测系统的货车。

为了保证射线装置存放的安全性，项目建成后陕西海泰电子有限责任公司应采取以下措施：

① 库房只能存放 DR 成像检测系统、辐射防护用品、工装等无损检测相关用品，不得堆放与无损检测无关的杂物；

② 项目建设单位应制定射线装置台账管理制度，射线装置台账应记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。建立射线装置使用登记制度，每次进行无损检测应进行基本信息记录；

③ 建立设备出入库台账。根据设备出入库管理制度，辐射工作人员应持现场无损检

测计划书，经过设备管理员确认后领取设备，并在出入库台账上登记设备出库时间、设备型号、使用地点、领用人等信息。检测完毕后，经过设备管理员确认后归还设备，并在出入库台账上登记开机时间、入库时间等信息；

④库房采取安保措施，如安装防盗门，采用双人双锁的管理制度等，同时无损检测作业结束后，辐射工作人员应及时将射线装置放回到库房，确保射线装置不会被盗和遗失；

⑤车载工业 CT 无损检测系统在陕西海泰电子有限责任公司办公楼西侧停车场停放时，应在货车四周布置警戒线，并设置专人看管车载工业 CT 无损检测系统。

#### (4) 人员编制及工作制度

工业 X 射线无损检测工作实行双人共同操作，不允许单独作业。根据建设单位提供的资料，本项目拟配备辐射工作人员 4 人，分为 2 组，均为新增人员，作为本项目拟配备车载工业 CT 无损检测系统、DR 成像检测系统的工作人员，1 组人员负责操作车载工业 CT 无损检测系统，1 组人员负责操作 DR 成像检测系统（2 套 DR 成像检测系统 1 台正常使用，1 台作为备用机，2 台 DR 成像检测系统不同时使用）。根据建设单位提供的资料，项目车载工业 CT 无损检测系统对每个工件多次曝光，每个工件最大累计曝光时间 20min（已包括车载工业 CT 无损检测系统进行无损检测前的训机时间），每周最多检测工件数 4 个，年工作 50 周，年最大检测工件数 200 件，则每周最长照射时间 1.3h，年照射 50 周，年最长照射时间 66.67h。移动式 DR 成像检测系统检测工件时，单个工件每次进行 1~2 次曝光，单个工件单次最大曝光时间约为 3min，DR 成像检测系统检测工件时需要考虑控制区、监督区划区时间，故探伤时间按照实际曝光时间和划分控制区、监督区共同考虑单次 4min，每周最多检测工件数 4 个，年工作 50 周，年最大检测工件数 200 件，则每周最长照射时间 0.53h，年照射 50 周，年最长照射时间 26.67h。

#### (5) 检测工件情况

本项目拟配备的车载工业 CT 无损检测系统、移动式 DR 成像检测系统对特定的钢结构工件的缺陷进行无损检测，根据建设单位提供资料，本项目待测工件外形为圆柱状，待测工件直径最大为 324mm，高度最大为 315mm，待测工件外壳为 4mm 钢，内部为非金属填充物，年检测工件数约为 400 件。

### 1.6.7 项目组成

本项目具体组成情况见表 1-2。

表 1-2 项目组成一览表

名称	建设内容与规模	
主体工程	购置 1 台车载工业 CT 无损检测系统、2 套 DR 成像检测系统对特定的钢结构工件的缺陷进行无损检测。	
辅助工程	库房	在公司设置库房一间，用于日常存放 2 套 DR 成像检测系统。
	停车场	使用公司办公楼西侧停车场作为车载工业 CT 无损检测系统日常存放位置。
公用工程	给水	日常生活依托公司办公区现有设施。
	排水	无损检测过程依托无损检测现场周围公共设施；日常生活依托公司办公区现有废水处理设施。
	供暖	空调制热。
	制冷	空调制冷。
环保工程	废水	无损检测过程依托无损检测现场周围公共设施；日常生活依托公司办公区现有废水处理设施。
	生活垃圾	无损检测过程依托无损检测现场周围公共设施；日常生活依托公司办公区现有垃圾箱收集，由环卫部门统一清运。

### 1.6.8 项目符合性分析

#### (1) 项目产业政策符合性

本项目拟新增 1 台车载工业 CT 无损检测系统、2 套 DR 成像检测系统对特定的钢结构工件缺陷进行无损检测，系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），属于鼓励类中“十四、机械—6、科学研究、智能制造、测试认证用测量精度达到微米以上的多维几何尺寸测量仪器，自动化、智能化、多功能材料力学性能测试仪器，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，用于纳米观察测量的分辨率高于 3.0 纳米的电子显微镜”中的“工业 CT 无损检测设备”，符合国家产业政策。

#### (2) 项目实践正当性分析

本项目在进行无损检测过程中对工作人员及周围环境造成一定的辐射影响。建设单位在开展无损检测过程中对射线装置的使用将严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并对射线装置的安全管理建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，该项目对周围环境和人员产生辐射影响可以控制在相关标准允许范围之内。陕西海泰电子有限责任公司车载工业 CT 无损检测系统和 DR 成像检测系统核技术应用建设项目的开展所带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的“实践的正当性”原则。

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	贮存方式及地点	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)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	车载工业 CT 无损检测系统	II类	1 套	VeMoCT	450	3.3	无损检测	无固定场所	/
2	DR 成像检测 系统	II类	1 套	300DS-FB	300	4.5	无损检测	无固定场所	/
3	DR 成像检测 系统	II类	1 套	PXS EVO 300DSW	300	4.5	无损检测	无固定场所	/

(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 (μA)	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
本项目运行过程中不产生放射性“三废”，仅有少量的O <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub>	/	/	/	/	/	/	/	经空气稀释、自身衰减后，排入大气环境中
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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，气态单位为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg。

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



表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日)；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年 12 月 19 日修正)；</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) 《修改&lt;建设项目环境保护管理条例&gt;的决定》(国务院令 第 682 号修改, 2017 年 10 月 1 日施行)；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例(修订)》(国务院令 第 709 号第二次修订, 2019 年 3 月 2 日)；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(国家环保部 18 号令, 2011 年 5 月 1 日)；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部令 第 20 号, 2021 年 1 月 4 日修订)；</p> <p>(8) 《关于发布&lt;射线装置分类&gt;的公告》(国家环保部、国家卫生和计划生育委员会总局 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日)；</p> <p>(9) 《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)；</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发[2006]145 号, 2006 年 9 月 26 日)；</p> <p>(11) 《陕西省放射性污染防治条例》(陕西省人大, 2014 年 10 月 1 日起施行, 2019 年修正)；</p> <p>(12) 《关于进一步加强流动放射性同位素和射线装置应用监督管理工作的通知》, 陕环函〔2012〕681 号；</p> <p>(13) 《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》(原陕西省环境保护厅办公室陕环办发[2018]29 号文, 2018 年 6 月 6 日)。</p> <p>(14) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(国家发展和改革委员会令 第 49 号, 2021 年 12 月 27 日修改施行)；</p> <p>(15) 《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 2019 年第 57 号公告, 2020 年 1 月 1 日实施。</p> <p>(16) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》, 中华人民共和国卫生部令 第 55</p>
------	--

号，2007年11月1日施行。

<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），2016年4月1日；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(6) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）（参照）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人检测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(8) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其修改单（参照）；</p> <p>(9) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的其他资料。</p>

**表 7 保护目标与评价标准**

**7.1 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》（HJ 10.1-2016）中“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”要求，确定本项目车载工业 CT 无损检测系统评价范围以铅房屏蔽体边界外 50m 范围内的区域，详见图 7-1。本项目配备 2 套 DR 成像检测系统开展现场无损检测作业，一般无实体边界；根据“环境影响分析”章节计算结果，有用线束和非有用线束方向的监督区范围见表 7-1。

**表 7-1 有用线束和非有用线束方向的监督区范围**

设备	射线方向	屏蔽方式及其铅当量	监督区距离（m）
DR 成像检测系统	有用线束	局部屏蔽（7mmPb）	194.21
	非有用线束	无局部屏蔽	154.01

由上述计算结果可知，本项目拟配备 DR 成像检测系统（300kV）有用线束、非有用线束方向监督区最大范围分别为 194.21m、154.01m，因此，本项目 DR 成像检测系统开展现场无损检测作业时评价范围取 195m。

**7.2 保护目标**

本项目使用车载工业 CT 无损检测系统进行无损检测时环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及周围 50m 区域的公众，环境保护目标见表 7-2。本项目使用移动式 DR 成像检测系统进行无损检测时环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及 195m（评价范围）区域内活动的其他公众人员，环境保护目标见表 7-3。

**表 7-2 主要环境保护目标一览表（车载工业 CT 无损检测系统）**

序号	保护对象		人数（人）	距射线装置最近距离	剂量约束值
1	职业 人员	操作间 CT 操作人员	1	约 1.4m	5mSv/a
2		安全员	1	约 2.5m	
3	公众	无损检测现场附近停留的其他人员	流动人员	50m 范围内	0.1mSv/a

备注：1、表中保护目标距离以铅房屏蔽墙体外表面作为起点进行计算。

**表 7-3 环境保护目标一览表（DR 成像检测系统）**

序号	保护对象		人数（人）	距射线装置最近距离	剂量约束值
1	职业 人员	DR 成像检测系统操作人员	1	控制区边界	5mSv/a
2		安全员	1	控制区边界~195m	
3	公众	评价范围内其他人员	流动人员	控制区边界~195m	0.1mSv/a

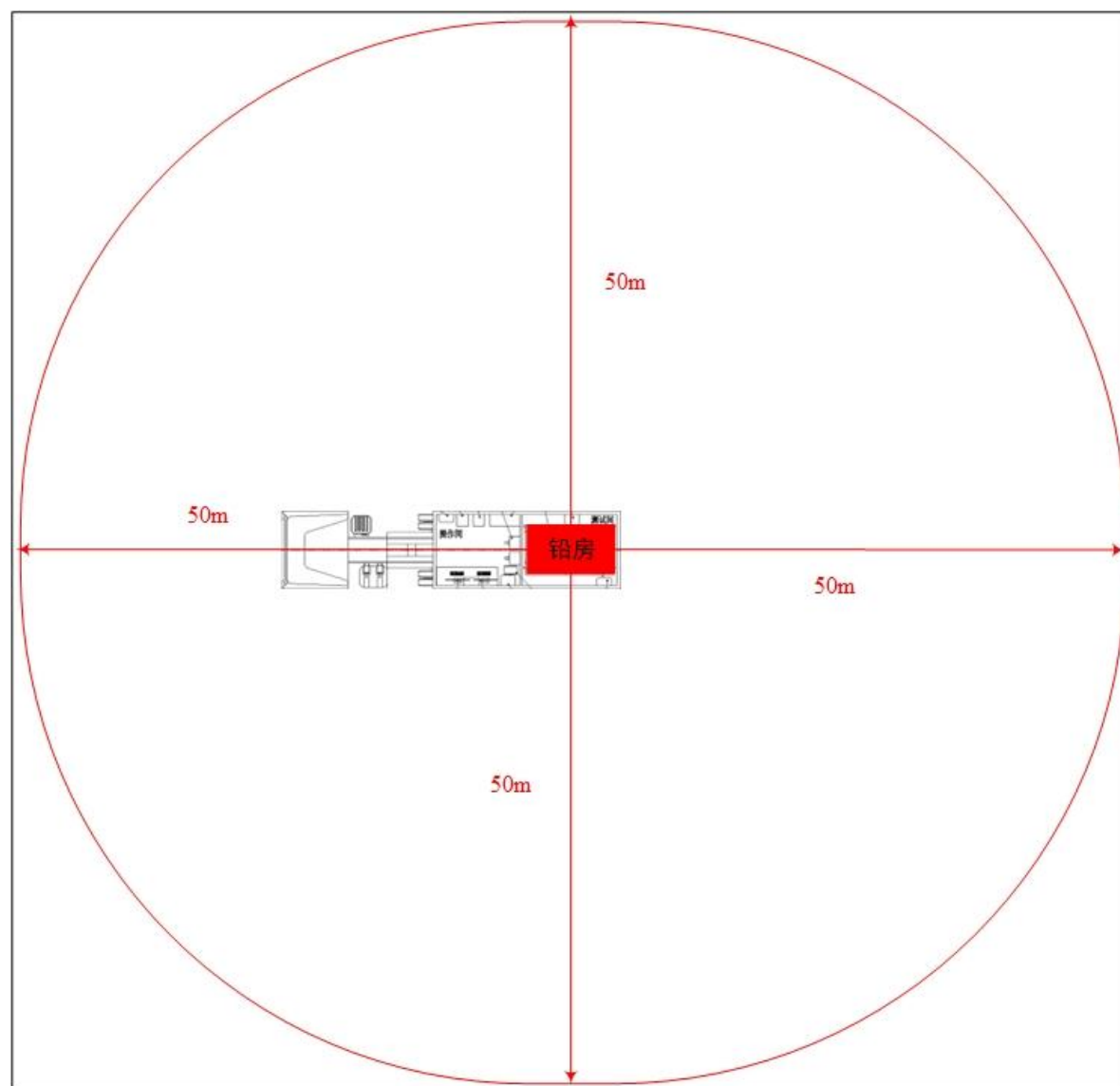


图 7-1 本项目评价范围示意图（车载工业 CT 无损检测系统）

## 7.3 评价标准

### 1、剂量限值及剂量约束值

#### (1) 剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关规定：

“标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平：

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

B1.2.1 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算值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。”

#### (2) 剂量约束值

根据辐射防护最优化原则，结合该项目的辐射影响，并为其它辐射设施和实践活动留有余地，本次评价工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a，公众照射的剂量约束值为0.1mSv/a。

### 2、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117—2022）相关规定（参照）

“本标准适用于使用600 kV及以下的X射线探伤机和γ射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业CT探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

#### 7 移动式探伤的放射防护要求

##### 7.1 作业前准备

7.1.1 在实施移动式探伤工作之前，使用单位应对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）。

7.1.2 使用单位应确保开展移动式探伤工作的每台探伤机至少应配备两名专职工作人员。

7.1.3 移动式探伤工作如在委托单位的工作场地实施准备和规划，使用单位应与委托单位协商适当的探伤地点和探伤时间、现场的通告、警告标识和报警信号等，避免造成混淆。委托单位应给予探伤作业人员充足的时间以确保探伤工作的安全开展和所需安全措施的实施。

## 7.2 分区设置

7.2.1 探伤作业时，应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作应在指定为控制区的区域内进行。

7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于  $15\mu\text{Sv/h}$  的区域划为控制区。

a)对于 X 射线探伤，如果每周实际开机时间高于 7h，控制区边界周围剂量当量率应按公式（1）计算：

$$H = \frac{100}{t} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

H—控制区边界周围剂量当量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

100—5mSv 平均分配到每年 50 工作周的数值，即  $100\mu\text{Sv/周}$ ；

t—每周实际开机时间，单位为小时（h）。

7.2.3 控制区边界上合适的位置应设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌，探伤作业人员应在控制区边界外操作，否则应采取专门的防护措施。

7.2.4 控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线（绳）等。

7.2.5 移动式探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小，应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施。

7.2.6 每一个探伤作业班组应至少配备一台便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪，并定期对其开展检定/校准工作。应配备能在现场环境条件下可听见、看见或产生震动信号的个人剂量报警仪。

7.2.7 探伤作业期间还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时，适时调整控制区的边界。

7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的范围划为监督区，并在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒。

7.2.9 移动式探伤工作在多楼层的工厂或工地实施时，应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区。

7.2.10 探伤机控制台（X 射线发生器控制面板或 $\gamma$ 射线绕出盘）应设置在合适位置或设有延时开机装置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。

### 7.3 安全警示

7.3.1 委托单位（业主单位）应配合做好探伤作业的辐射防护工作，通过合适的途径提前发布探伤作

业信息，应通知到所有相关人员，防止误照射发生。

7.3.2 应有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“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。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯。

7.3.3 X 和 $\gamma$ 射线探伤的警示信号指示装置应与探伤机联锁。

7.3.4 在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。

7.3.5 应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息。

### 7.4 边界巡查与检测

7.4.1 开始移动式探伤之前，探伤工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控制区。

7.4.2 控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。

7.4.3 在试运行（或第一次曝光）期间，应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时调整控制区的范围和边界。

7.4.4 开始移动式探伤工作之前，应对便携式 X- $\gamma$  剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X- $\gamma$  剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止。

7.4.5 移动式探伤期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，两者均应使用。

### 7.5 移动式探伤操作要求

#### 7.5.1 X 射线移动式探伤

7.5.1.1 周向式探伤机用于移动式探伤时，应将 X 射线管头组装体置于被探伤物件内部进行透照检查。做定向照射时应使用准直器（仅开定向照射口）。



7.5.1.2 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施。

## 8 放射防护检测

### 8.1 检测的一般要求

#### 8.1.1 检测计划

使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参考控制水平时应采取的行动措施。

#### 8.1.2 检测仪器

应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

### 8.2 探伤机检测

#### 8.2.1 防护性能检测

##### 8.2.1.1 检测方法

X 射线探伤机防护性能检测方法按 GB/T 26837 的要求进行； $\gamma$ 射线探伤机防护性能检测方法按 GB/T14058 的要求进行。

##### 8.2.1.2 检测周期

使用单位应每年对探伤机的防护性能进行检测。探伤机移动后，应进行安全装置的性能检测。

##### 8.2.1.3 结果评价

X 射线探伤机防护性能检测结果评价按本标准第 5.1.1 条的要求。 $\gamma$ 射线探伤机防护性能检测结果评价按本标准第 5.2.1.1 条的要求。

### 8.4 移动式探伤放射防护检测

#### 8.4.1 检测要求

##### 8.4.1.1 进行移动式探伤时，应通过巡测确定控制区和监督区。

8.4.1.2 当 X 射线探伤机或 $\gamma$ 放射源、场所、被检物体（材料、规格、形状）、照射方向、屏蔽等条件发生变化时，均应重新进行巡测，确定新的划区界线。

##### 8.4.1.3 在工作状态下应检测操作位置，确保操作位置的辐射水平是可接受的。

8.4.1.4 探伤机停止工作时，应检测操作者所在位置的辐射水平，以确认探伤机确已停止工作。

#### 8.4.2 检测方法

在探伤机处于照射状态，用便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪从探伤位置四周由远及近测量周围剂量当量率，参照本标准第 7.2.2 条确定的剂量率值确定控制区边界，以 2.5 $\mu$ Sv/h 为监督区边界。 $\gamma$ 射线探伤机收回放射源至屏蔽位置或 X 射线探伤机停止照射后，确定控制区边界和监督区边界。

#### 8.4.3 检测周期

每次移动式探伤作业时，运营单位均要开展此项监测。凡属下列情况之一时，应由有相应资质的技术服务机构进行此项监测：

- a) 新开展现场射线探伤的单位；
- b) 每年抽检一次；
- c) 在居民区进行的移动式探伤；
- d) 发现个人季度剂量（3 个月）可能超过 1.25mSv。

#### 8.4.4 结果评价

控制区边界不应超过本标准第 7.2.2 条确定的剂量率值，监督区边界不应超过 2.5 $\mu$ Sv/h。

### 8.5 放射工作人员个人监测

8.5.1 射线探伤作业人员（包括维修人员），应按照 GBZ 128 的相关要求进行外照射个人监测。

8.5.2 对作业人员进行涉源应急处理时还应进行应急监测，并按规定格式记入个人剂量档案中。”

**表 8 环境质量和辐射现状**

**8.1 项目所在区域辐射环境现状**

(1) 公司地理位置

陕西海泰电子有限责任公司位于陕西省西安市高新区团结南路 35 号航海科技园，公司地理位置见图 1-1。

本项目车载工业 CT 无损检测系统存放在陕西海泰电子有限责任公司西侧停车场中、移动式 DR 成像检测系统存放场所位于陕西海泰电子有限责任公司内一间专用库房内。

(2) 项目场所位置

陕西海泰电子有限责任公司拟在需要展开无损检测的地点（无固定场所）进行 X 射线无损检测工作，属流动式作业，不在某一场所长期作业。

**8.2 辐射环境现状评价**

本项目主要的污染因子为电离辐射，对环境空气的影响很小，不会对水环境、声环境产生影响。由于本项目不涉及固定探伤室的建设，且项目为流动式作业，不在某一场所长期作业，故本次评价未开展辐射环境现状监测。

表 9 项目工程分析及源项

### 9.1 工程设备和工作原理

#### 1、工程设备

本项目车载工业 CT 无损探伤系统主要包括以下部分：电源分系统、X 射线源分系统、探测采集传输分系统、运动调节分系统、控制分系统、辐射安全防护分系统、辅助检测分系统、防爆分系统、车载平台分系统和方舱分系统。

本项目使用的 DR 成像检测系统主要包括以下部分：X 射线发生器、DR 成像板、X 射线远程控制器、工作站。

#### 2、工作原理

本项目使用的车载工业 CT 利用微焦点 X 光机作为射线源产生 X 射线对物件进行透射的检测装置,利用 X 射线成像技术对被测物件焊点和内部质量进行无损检测和三维立体成像。车载式 CT 无损探伤系统开启后,远程控制器控制射线源发出锥束 X 射线,穿透被放置在高精度转台系统上进行 360° 旋转运动的被测对象,通过平板探测器上将得到的大量 X 射线衰减信号,转换成数字信号后,工作站对数字信号进行算法重建后得到被测对象的断层图像。本项目车载工业 CT 无损检测系统原理图见图 9-1。

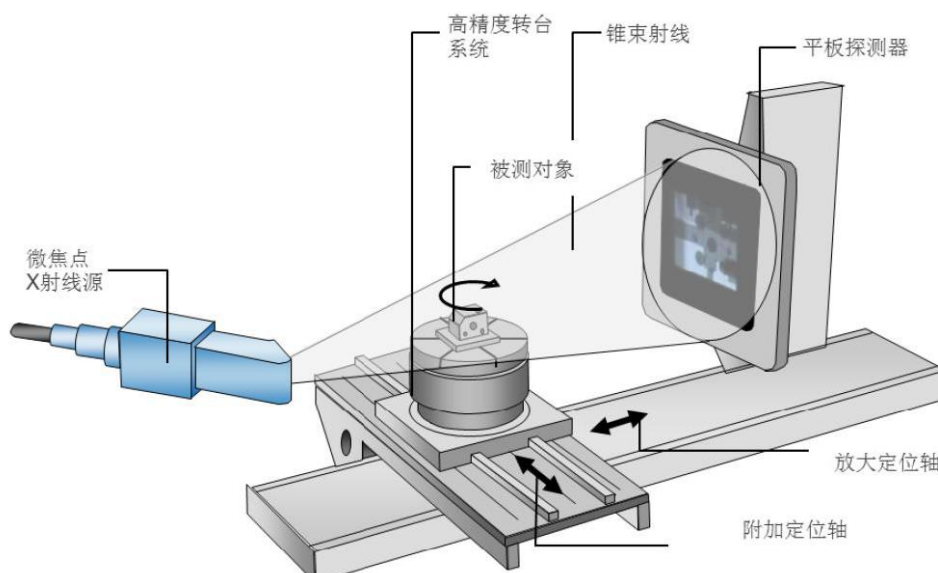


图 9-1 车载工业 CT 无损检测系统原理图

本项目使用的移动式 DR 成像检测系统利用便携式 X 射线发生器作为射线源产生 X 射线对物件进行透射的检测装置,利用 X 射线成像技术对被测物件焊点和内部质量进行无损检测和二维成像。便携式 X 射线发生器通过 X 射线远程控制器控制,设备开启后,

发出 X 光束透照被测件，在 DR 成像板上将 X 光信号转换成数字信号，工作站对数字信号进行采集、处理，形成二维图像。本项目移动 DR 成像检测系统原理如图 9-2 所示。

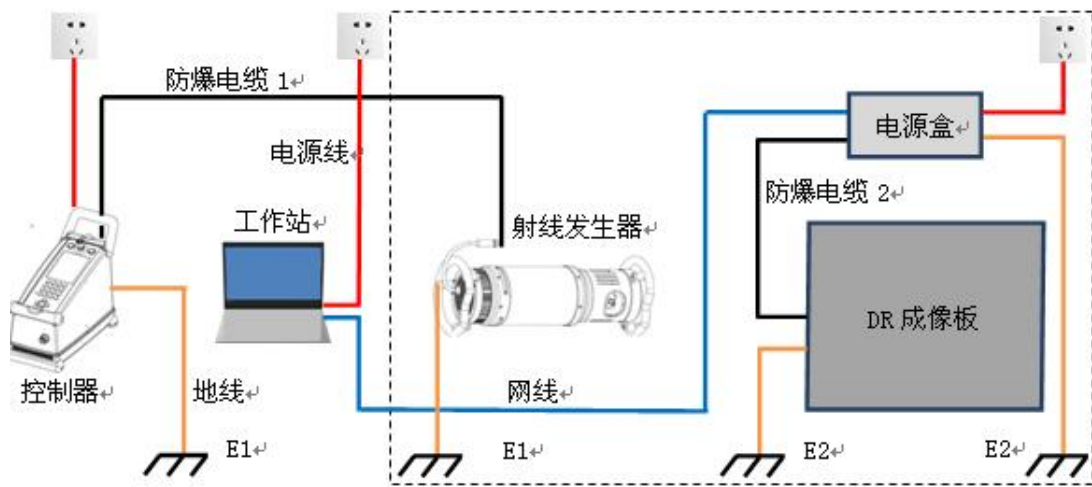


图 9-2 移动式 DR 成像检测系统原理图

本项目使用的车载工业 CT 无损检测系统、移动式 DR 成像检测系统使用的 X 射线均由 X 射线管产生。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、钼等）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被靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管的结构详见图 9-3。

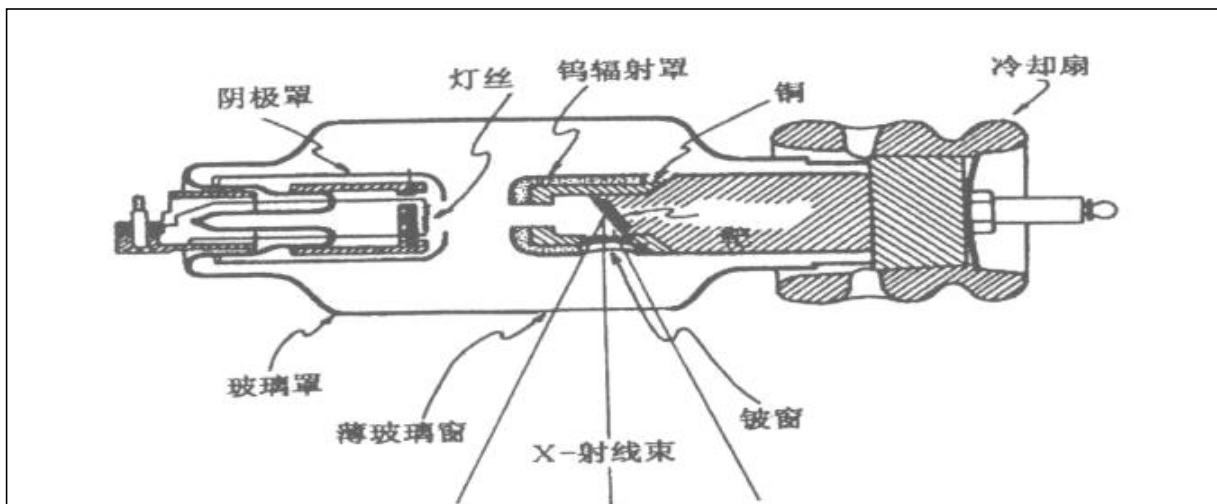


图 9-3 典型 X 射线管的结构

## 9.2 操作流程及产污环节

### (1) 车载工业 CT 无损检测系统操作流程

① 先观察设备的样品转台上是否有未移出的样品，如果有，把样品从样品台拿走，保证样品台上是空的。打开扫描软件，然后在操作面板上点击“清除报警/重置”然后点击“机械归零”。

② 将样本固定于样本台上并确保样本在轴线位置。

③ 调整好适当的电流和电压，然后打开射线，点击开始采集，在操作面板上显示设置中勾选“Roi 模式”，在操作面板上调整好对样品的感兴趣区域，然后旋转转台，看样品是否在所选区域内，并随之做出调整。

④ 然后在操作面板项目设置中，选好数据存储的路径及项目名称，还有滤波片的选用信息，接着选好合适的探测器模式，以及合适的积分时间。

⑤ 然后把样品移出显示区域，可选择调整样品台的高低来移出样品，或者关掉射线，先把样品拿下来，此步骤为了给探测器做校准；

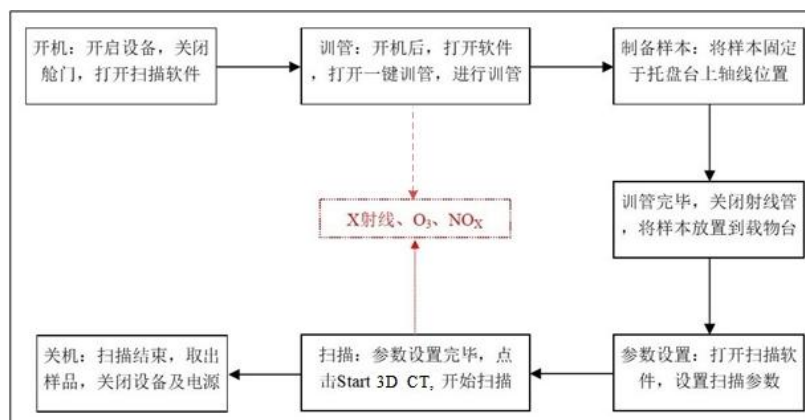
当样品不显示在显示区域后，关掉采集，关掉射线源，等电流电压变为 0 后，点击“暗场校准”，校准完成后，打开射线，等电流电压值稳定于设定值后，点击“亮场校准”，校准完成后，勾选“校准启用”。点击开始采集，同时把样品移回到显示区域。

⑥ 调整合适的投影数量与滤波模式，点击“Start 3D CT”，开始扫描。

⑦ 利用重建软件对扫描软件获得的数据进行图像三维重构，获得三维体数据。

⑧ 确定扫描结束后，关闭射线管，待射线源处于未发射 X 射线状态，打开舱门将样品取出，运动轴归零，关闭软件、关闭电脑，关掉总电源。

### (2) 车载工业 CT 无损检测系统产污环节



车载工业 CT 无损检测系统工作流程及产污环节图见图 9-4。

图 9-4 车载工业 CT 无损检测系统工作流程及产污环节图

### (3) 移动式 DR 成像检测系统操作流程

1、陕西海泰电子有限责任公司接受无损检测委托任务后，对工作环境进行全面评估（工作地点的选择、附近公众、天气条件、是否高空作业、作业空间等），根据工作场所及检测对象情况制定无损检测计划书。计划书含本次现场无损检测任务的人员安排、时间安排、检测人员职责及无损检测现场辐射防护方案和辐射事故应急预案等内容。

2、陕西海泰电子有限责任公司工作人员持计划书，根据设备出入库管理制度，向仪器设备管理员办理设备出入库台账登记，领取设备。

3、设备交接：采用专用车辆将移动式DR成像检测系统运输至拟开展现场无损检测的场地，并与现场无损检测人员办理设备交接手续，由无损检测小组的安全员负责看管。

4、在移动式DR成像检测系统入场前，探伤工作人员对区域内的无关人员进行清场，做好准备工作。

5、摆放好移动式DR成像检测系统位置，检查电源电压是否正常（220V），电源插头是否安全可靠，控制箱与电缆连接是否良好。控制箱可以直接放置地面上，如在上木箱搁置，应连接接地。检查安全示警范围是否有人停留，警报灯是否开启，防护措施是否安全，检查完毕后方能开机。

6、划定控制区和监督区：根据现场无损检测工件位置，初步划定控制区和监督区；测试工作首次开始时，在设备开启状态下，需使用X- $\gamma$ 辐射剂量率仪对操作现场进行扫描，通过巡测再次确定控制区和监督区边界并进行调整，确保控制区边界周围剂量当量率 $<15\mu\text{Sv/h}$ （依据见“表10 辐射安全与防护”的“1、控制区、监督区的理论划分”），监督区边界周围剂量当量率 $<2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7、X射线发生器预热：每次开机后，在检测前打开电脑扫描软件中预热功能，对射线管进行预热，时间30min，预热期间射线源处于未发射X射线状态。

8、放置安全围栏和警戒标识：在控制区边界悬挂清晰可见的“禁止进入X射线区”的警告牌，在监督区边界悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，并放置“当心电离辐射”警示标志，警示无关人员不可误入作业现场，醒目位置张贴电离辐射警示标识和警告标语等提示信息。作业期间，安排1名工作人员（安全员）在监督区进行警戒，严禁未经许可人员进入。

8、应有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“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。若在夜晚

进行无损检测作业时，应在控制区边界设置警示灯。

9、参数设置：预热完毕后，关闭射线管，设定kV、mA和Time等参数，并进行偏差校正、增益校正。

10、待测工件摆放：按要求将DR成像板安装于X射线管对侧，便携式X射线发生器焦点到DR成像板的距离为1350mm。摆放完成后探伤小组的操作人员开始无损检测作业，确定照射时间后，在操作位开机曝光（设置延时），并采集图像。

11、现场无损检测的每台探伤机应至少配备一台便携式剂量仪。开始无损检测工作之前，应对剂量仪进行检查，确认剂量仪能正常工作。在现场无损检测工作期间，便携式剂量仪应一直处于开机状态，防止X射线曝光异常或不能正常终止。

12、现场无损检测期间，工作人员应佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪、铅衣等个人防护用品。个人剂量报警仪不能替代便携巡测仪，两者均应使用。

13、图像采集完成后，操作人员关闭电源，待设备冷却完成后拆解打包设备。整个无损检测过程工作人员应确保个人剂量报警仪处于工作状态。DR成像检测系统停止工作时，应检测操作者所在位置的辐射水平，确保DR成像检测系统停止工作后再进入控制区。

13、作业结束后，建设单位将DR成像检测系统运回建设单位专用库房贮存，并做好入库记录。

#### (4) 移动式DR成像检测系统产污环节

移动式DR成像检测系统工作流程及产污环节图见图9-5。

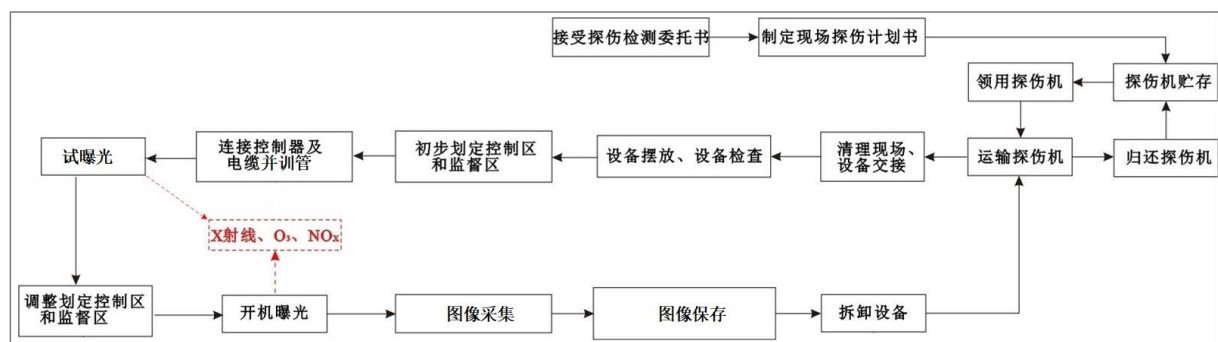


图9-5 DR成像检测系统移动探伤工作流程示意图

#### (5) DR成像检测系统移动现场无损检测情景

本项目为现场无损检测，工作现场均分布在野外，不会在居民区开展无损检测作业，且由于野外夜间操作环境较差，因此无损检测作业主要在白天进行；如在夜晚作业时控



制区边界应设置警示灯，且工作期间应有良好的照明，确保控制区的范围清晰可见，无人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。

本项目在对工件进行无损检测时，DR成像板安装于X射线管对侧，便携式X射线发生器射线源出束口与DR成像板的中心水平位置对齐，移动小车滚轮确保在锁死状态，待测工件位于DR成像板成像侧，不存在向下或向上照射的情况，具体探伤操作见图9-6。

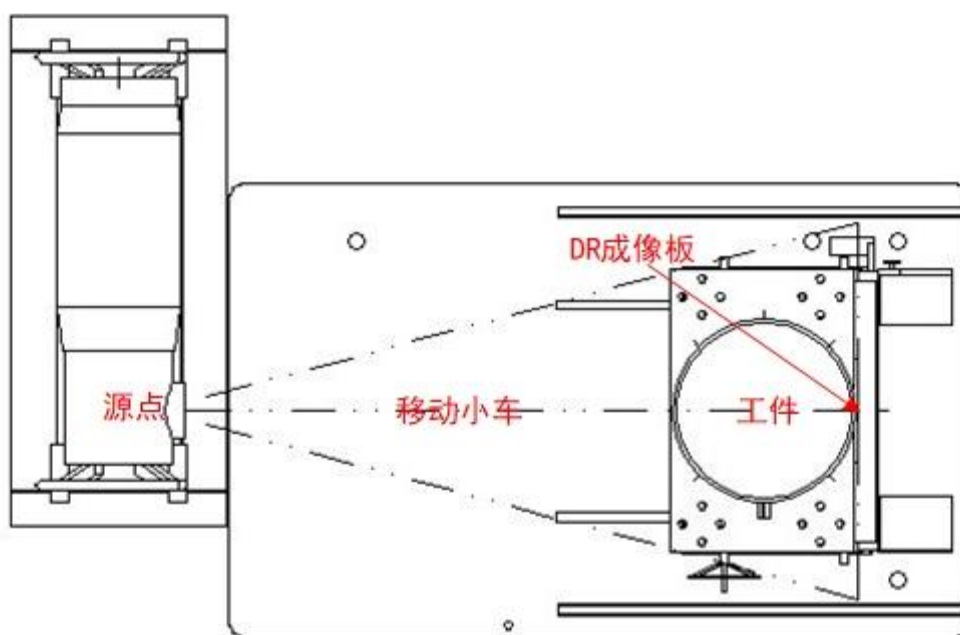


图9-6 实际操作示意图

### 9.3 源项分析与污染途径

#### 9.3.1 源项分析

根据工艺流程可知，本项目车载工业CT无损检测系统、移动式DR成像检测系统运行期产生的污染物主要为X射线管出束时的电离辐射影响、废气（臭氧、氮氧化物）。

##### (1) 电离辐射

由车载工业CT无损检测系统、移动式DR成像检测系统工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失，本项目使用的车载工业CT无损检测系统、移动式DR成像检测系统只有在开机状态，并且其X射线管处于出束状态时才会发出X射线，因此，在开机出束期间，X射线成为污染环境的主要污染因子。

根据项目车载工业CT无损检测系统、移动式DR成像检测系统工作流程，本项目与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为X射线球管出束照射工件期间，它产生的X射线能量为连续能谱分布，其穿透能力与X射线管的管电压和出口滤片有关。辐射场中的X射线包括有用线束、漏射线和散射线。

有用线束：直接由 X 射线管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射工件，形成工件无损检测的射线。其射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测工件、射线接收装置、地面、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、工业 X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

## （2）臭氧和氮氧化物

车载工业 CT 无损检测系统运行时产生的 X 射线会使铅房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，但是产生量较少，可以通过机械排风排入外环境中。移动式 DR 成像检测系统运行时产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，但是产生量较少，无损检测现场为空旷的野外，经自然分解和稀释后，对周围环境及工作人员不会产生明显影响。

### 9.3.2 污染途径

本项目车载工业 CT 无损检测系统铅房放置在一辆货车上，铅房墙体及防护门均采用铅进行防护，出束时，辐射工作人员在操作台进行操作。无损检测作业前，工作人员根据待测工件实际情况，设置相应探伤机管电压、管电流、曝光时间，严格按照规程操作，完成无损检测作业；本项目作业时，其污染物主要为射线装置工作时（包括训机过程和无损检测工作过程）所产生的 X 射线，污染途径主要为：正常工况下，由于铅房的屏蔽墙和防护门的屏蔽缺陷而导致 X 射线外泄，从而对周边人群、环境产生辐射影响。在事故工况下，安全联锁装置出现故障，设备屏蔽体维修铅门、防护铅门未完全关闭就出束，造成门外泄漏射线量大大增加，导致室内工作人员受到额外的照射。

对于 X 射线检测过程中产生的少量臭氧和氮氧化物，通过在铅房内设置通风装置，将臭氧和氮氧化物抽出至外环境，经空气稀释、自然分解后，基本上不会周边环境产生较大的影响。由于本项目在整个无损检测过程中不使用显影液和定影液进行洗片等工作。因此，本项目无废显影液、废定影液和废胶片产生。

本项目移动式 DR 成像检测系统无损检测现场位于空旷的野外，出束时，辐射工作人员在监督区里的操作台进行操作。无损检测作业前，工作人员根据待测工件实际情况，设置相应探伤机管电压、管电流、曝光时间，严格按照规程操作，完成无损检测作业；

本项目作业时，其污染物主要为射线装置工作时所产生的 X 射线。

本项目 X 射线检测过程中产生的少量臭氧和氮氧化物，因无损检测现场位于空旷的野外，可将臭氧和氮氧化物直接排至外环境，经空气稀释、自然分解后，基本上不会周边环境产生较大的影响。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 辐射防护屏蔽设施

根据陕西海泰电子有限责任公司提供的资料，本项目车载工业 CT 无损检测系统产生的射线为 X 射线，针对射线设置所使用的最大工作状态（最大管电压 450kV、最大管电流 3.3mA），对设备自带铅房屏蔽墙体以及防护门进行辐射防护屏蔽设计，铅房辐射工作场所已采取屏蔽措施具体如下：

铅房内部净尺寸为：2.68m×1.38m×1.97m（长×宽×高）；铅房主照射面防护铅厚为 58mm，主照射面两侧墙防护铅厚为 35mm，顶面墙防护铅厚为 35mm，左侧墙防护铅厚为 35mm，底部防护铅厚为 35mm，防护门铅厚为 35mm；检测系统安装在固定区域内，照射方向为向主照墙照射。根据公司提供资料，设备出束作业时，源点距离靠近操作间侧屏蔽墙体最近距离为 0.53m，距离主照墙屏蔽墙体最近距离为 2.15m，距离铅门侧屏蔽墙体最近距离为 0.67m，距离侧面（非铅门侧）屏蔽墙体最近距离为 0.71m，距离顶面屏蔽墙体最近距离为 0.42m，距离底部屏蔽墙体最近距离为 0.50m（源点可上下调节，不可左右调节）。屏蔽体各方向屏蔽参数见表 10-1。

表 10-1 车载工业 CT 无损检测系统屏蔽体各方向屏蔽参数

序号	位置	设计防护铅当量
1	主照面	58mm Pb
2	侧面（靠近操作间侧）	35 mm Pb
3	侧面（铅门侧）	35 mm Pb
4	侧面（非铅门侧）	35 mm Pb
5	顶部	35 mm Pb
6	底部	35 mm Pb
7	铅防护门	35 mm Pb
8	铅房尺寸	外部尺寸：3.00m×2.55m×2.40m 内部尺寸：2.68m×1.38m×1.97m

通风口、线路孔、防护门等辐射防护薄弱环节应有辐射防护补偿设计，根据建设单位提供资料，排风管道、电缆穿过铅房位置处，采取 35mm 铅当量的电缆罩对穿墙位置处进行包裹，避免射线泄露。铅防护门与门洞接触位置处，采取“L”型设计，对接触位置进行包裹，避免射线泄露。本项目辐射防护补偿设计示意图见图 10-1。

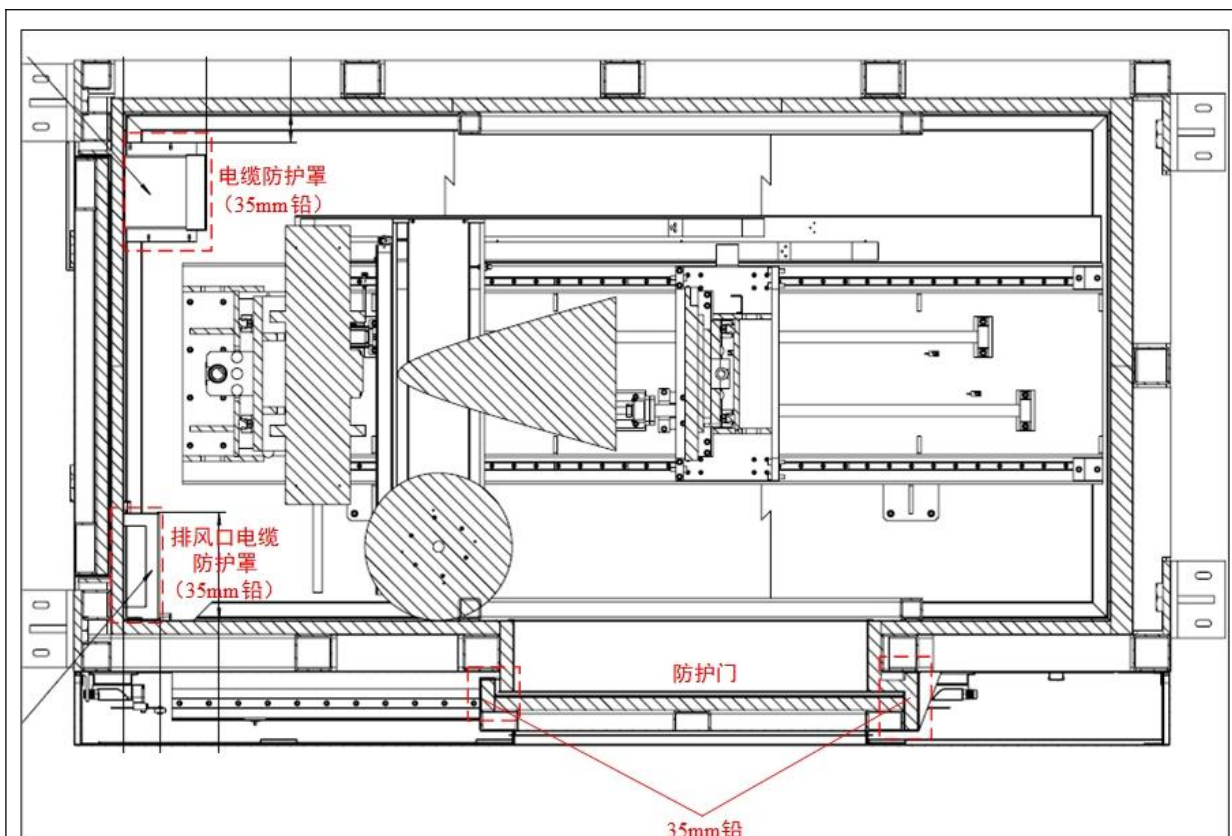


图 10-1 辐射防护补偿设计示意图

## 10.2 工作场所分区管理

### (1) 车载工业 CT 无损检测系统工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中有关条款的要求，本项目应对设备工作场所实行分区管理，并在相应的边界设置警示标识。其中控制区要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区通常不需要采取专门防护手段和措施，但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

本项目设备自带屏蔽铅房，根据实际情况，本项目将检测系统屏蔽铅房内区域划分为控制区，将操作间以及与铅房相邻其他区域（1m 以内）划分为监督区，本项目辐射工作场所分区如图 10-2 所示：

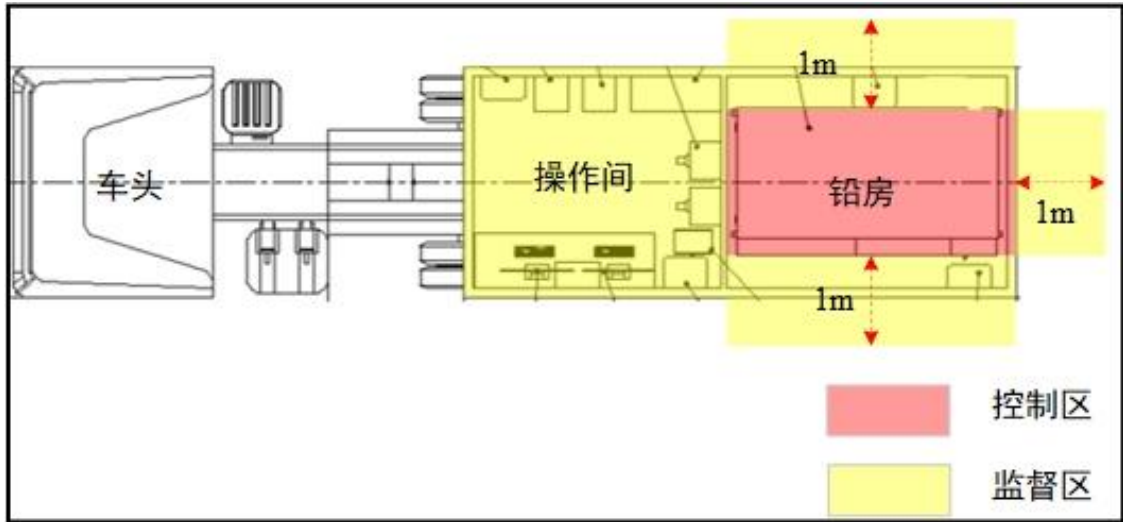


图 10-2 辐射工作场所分区图

根据上述分区，建设单位须采取必要的措施加强分区管理，主要措施如下：

控制区：设置门-机联锁装置、工作状态指示灯和声音提示装置等设施，严格限制人员随意进入控制区。

监督区：铅房外设置电离辐射警示标识，警告无关人员远离该区域。对该区不采取专门的防护手段安全措施，但要定期检查其周围剂量当量率。

## (2) 移动式 DR 成像检测系统工作场所分区管理

### 一、控制区、监督区的理论划分

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），X 射线现场无损检测作业时，“一般应将作业场所中周围剂量当量率大于  $15\mu\text{Sv/h}$  的范围内划为控制区。对于 X 射线探伤，如果每周实际开机时间高于 7h，控制区边界周围剂量当量率应按公式 10-1 计算：

$$H = \frac{100}{t} \dots\dots\dots \text{（公式 10-1）}$$

式中：

H—控制区边界周围剂量当量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

100—5mSv 平均分配到每年 50 工作周的数值，即  $100\mu\text{Sv/周}$ ；

t—每周实际开机时间，单位为小时（h）。

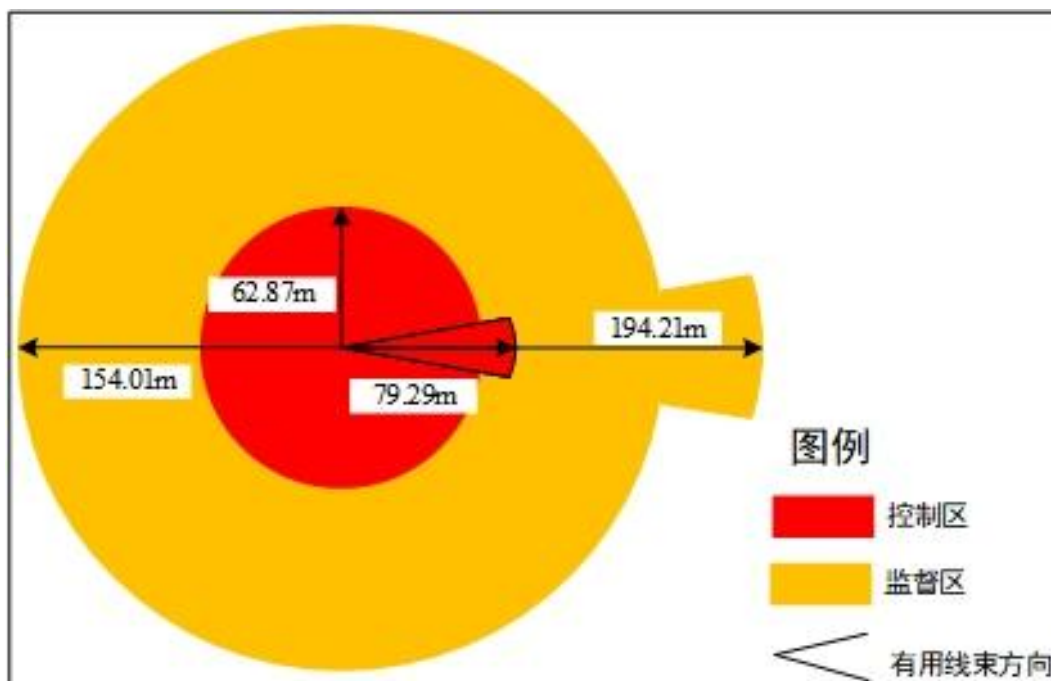
本项目使用的移动式 DR 成像检测系统，每周最多检测工件数为 4 个，每个工件最多进行 2 次曝光，每次最长曝光 4min 分钟（考虑控制区、监督区划区时间），则每周实际开机时间约 0.53h，小于 7h，则本项目控制区边界周围剂量率当量为  $15\mu\text{Sv/h}$ 。为达到分区管控的目的，便于控制正常工作条件下的辐射防护管理和职业照射控制，本次

评价将周围剂量当量率大于  $15\mu\text{Sv/h}$  的区域划为控制区，周围剂量当量率大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的区域划分为监督区。

根据建设单位提供资料，无法判定项目滤过条件，因此以最不利情况考虑，参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1 X 射线输出量，根据建设方提供资料，本项目 300DS-FB、PXS EVO 300DSW 型 DR 成像检测系统实际工作时，最大管电压、最大管电流取值分别为 280kV、2.5mA，滤过条件选取 3mm 铝，则 X 射线距辐射源点（靶点）1m 处输出量  $H_0$  取  $18.1\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。考虑到 DR 成像检测系统进行无损检测时若不进行局部屏蔽，控制区和监督区的范围过大，不利于现场无损检测工作的进行，本次评价要求陕西海泰电子有限责任公司在使用 DR 成像检测系统现场无损检测过程中，应根据现场实际情况进行调整，若现场无损检测过程中无其他屏蔽体遮挡，导致控制区和监督区范围过大，则需对 300DS-FB、PXS EVO 300DSW 型 DR 成像检测系统采取 7mm 厚的铅皮（1 块 4mm 铅皮，1 块 3mm 铅皮叠放，总厚度达到 7mm）进行局部屏蔽；具体计算结果见 11 章（计算过程见表 11-3、表 11-4、表 11-7 和表 11-8）。

300DS-FB、PXS EVO 300DSW 型 DR 成像检测系统（工况：管电压：280kV,管电流：2.5mA）局部屏蔽下监督区和控制区范围：

有用线束方向，在局部屏蔽（铅厚度为：7mmPb）的情况下，控制区范围为 79.29m，监督区范围为 194.21m；非有用线束方向，漏射线和散射线累加计算，无局部屏蔽，控



制区范围为 62.87m，监督区范围为 154.01m。分区示意图见图 10-3 所示。

图 10-3 DR 成像检测系统局部屏蔽分区示意图

## 二、实际探伤过程中控制区和监督区的划分

实际无损检测时，由于探伤对象不同、工件厚度的变化，控制区和监督区边界随着现场情况的不同其距离也不同。一般的做法是：

1、首先根据理论计算保守的设定控制区和监督区边界。

2、然后保持操作人员与现场安全员联系畅通，在操作人员试曝光的情况下，现场安全员使用便携式 X- $\gamma$ 剂量率监测仪从探伤位置四周由远及近测量周围剂量当量率，到 2.5 $\mu$ Sv/h 划定监督区边界，到 15.0 $\mu$ Sv/h 划定控制区边界；

3、关机后，在无损检测位置四周以该剂量的等剂量线为基础，确定控制区边界和监督区边界。无损检测过程中，安全员使用便携式 X- $\gamma$ 剂量率监测仪进行监督监测。

4、当 DR 成像检测系统场所、被检物体（材料、规格、形状）、照射方向、屏蔽等条件发生变化时，均应重新进行巡测，确定新的划区界线。

无损检测作业期间，在控制区和监督区边界放置“当心电离辐射”警示标志；在控制区边界还应放置“禁止进入 X 射线区”标牌，在监督区边界放置“无关人员禁止入内”标牌，警示无关人员不可误入作业现场。设安全员对控制区、监督区边界进行巡逻，未经许可人员不得进入边界内，还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或者辐射束的方向发生改变时，如有必要需要调整控制区的边界。

### 10.3 辐射安全措施

#### (1) 车载工业 CT 无损检测系统现场无损检测辐射安全措施

为保障工作场所以及周边环境的辐射安全，减轻无损检测过程中对周边环境的影响程度，预防辐射事故发生，本项目设备自带铅房参照《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)的相关要求，采取辐射安全设施包括：急停开关、门机联锁开关、安全联锁钥匙开关、声光报警器、警示标识、视频监控设备等，辐射安全设施分布图见图 10-4 所示。

1、门机联锁开关：铅房设置门-机联锁装置，保证防护门处于关闭状态下设备才能进行出束检测，防护门打开时设备无法开启；

2、急停开关：在铅房内部墙壁、系统控制台上等处安装有急停按钮开关，任何一个急停开关被按下时，射线源停束、扫描装置停止运动，切断射线源安全联锁信号与伺



服驱动器电源，急停开关必须手动复位才能重启系统。

3、安全联锁钥匙开关：系统控制台上安装安全联锁钥匙，直接与射线源联锁，作为出束授权。具有关闭、就绪、待机等功能。

4、声光报警器：作用是提醒工作人员在射线源出束前撤出铅房，在射线源出束期间不进入铅房。声光报警器安装在铅门外，根据射线源不同的工作状态提供声音和灯光提示。系统上电时显示绿灯，安全联锁就绪时显示黄灯并蜂鸣预警，出束时显示红灯及蜂鸣报警。

5、警示标识：在铅房、方舱外安装电离辐射警示标牌。

6、视频监控：在铅房内安装 1 套彩色摄像机，操作间安装平板电视，供操作人员对铅房内的设备、工件和人员情况进行监视。

7、通风装置：在铅房内设置通风装置，排风量为 200m<sup>3</sup>/h，经计算，每小时通风换气次数为 27 次，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定“每小时通风换气次数应不小于 3 次”要求。

8、工作人员需要随身携带个人剂量报警仪，当铅房辐射剂量超过标准时，仪器发出警报声，提示工作人员。

9、对铅房防护门、紧急停机按钮、声光报警装置等设施应进行经常性的检查、维护，防止设备带故障运行。

10、分区管理，将铅房屏蔽体内划分为控制区，将铅房所在检测室区域划分为监督区。

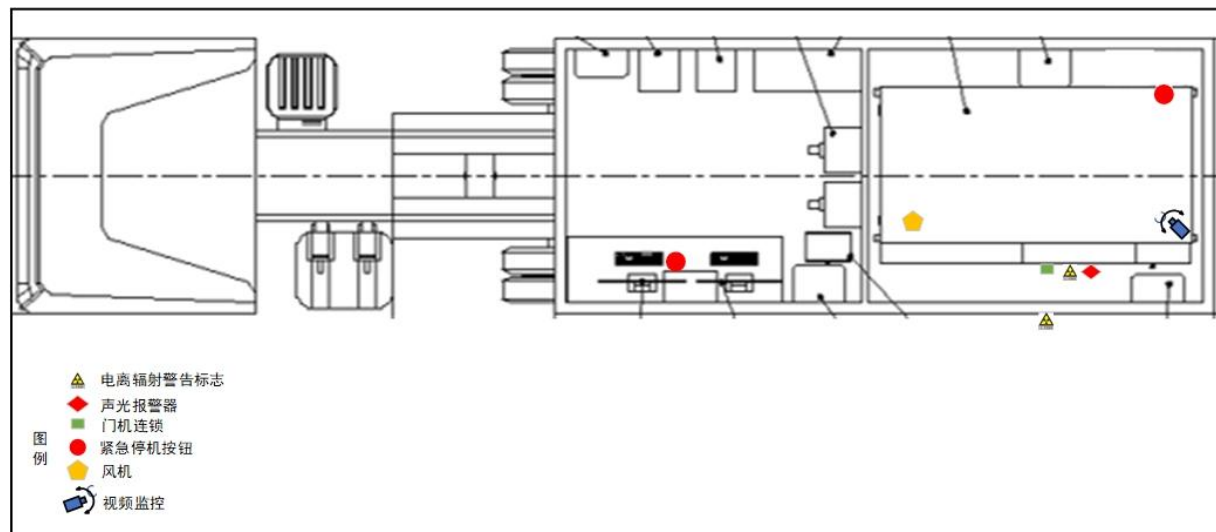


图 10-4 车载工业 CT 无损检测系统部分防护设施示意图

对于安全操作要求，操作人员应做到：

1、操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。

2、辐射工作人员在工作时，必须佩戴个人剂量计、剂量报警仪、铅衣等个人防护用品。当辐射水平过高时，剂量仪报警，工作人员应立即离开铅房，同时阻止其他人进入铅房，并立即向辐射防护负责人报告。

3、工作期间认真做好当班记录，严格执行交接班制度。交接班或当班使用剂量仪前，应检查剂量仪是否正常工作。

4、严禁操作人员擅自离开岗位，密切注视控制台仪表及设备状况，发现异常及时处理。

5、工作期间，除工作人员外，其他人员禁止靠近正在工作的铅房附近。

6、只有通过专用钥匙才能使设备出束，钥匙由专人保管。操作人员离开检测室时，拔出专用钥匙，妥善保管，以防他人误操作而发出射线。

7、在每次工作开始前，工作人员应检查的设备安全联锁是否正常工作、铅房的辐射防护设施是否完好等。

#### (2) 移动式 DR 成像检测系统现场无损检测辐射安全措施

1、开展 X 射线现场无损检测工作的每台 DR 成像检测系统至少配备 2 名工作人员；

2、DR 成像检测系统配备 1 台 X- $\gamma$  剂量率监测仪、工作状态指示灯、声光报警装置；

3、拟设置警戒线、警戒标识：在控制区、监督区的边界设置警戒线，并悬挂清晰可见的“探伤作业禁止入内”、“当心电离辐射”等警告牌及电离辐射警示标识；

4、拟为移动式 DR 成像检测系统配备 7mmPb 的铅皮（1 块 4mm 铅皮，1 块 3mm 铅皮叠放，总厚度达到 7mm）用于局部屏蔽，移动式 DR 成像检测系统进行无损检测作业时，辐射工作人员使用手推车将 2 块铅皮运至工作现场，将 2 块铅皮叠放放置于 DR 成像板后，以发挥局部屏蔽作用。根据建设单位提供资料，本项目 X 射线发生器焦点与 DR 成像板的距离为 1.35m，则 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界夹角为 20° 时，DR 成像检测系统 1.35m 处辐射野面积为 0.75m<sup>2</sup>（半径为 0.49m），因此环评要求本项目配备的两块铅皮至少为长宽 1m 的矩形铅皮，面积为 1m<sup>2</sup>。

5、无损检测作业前，划定作业场所工作区域，并在相应边界设置警示标识。在试

曝光条件下，以 DR 成像检测系统射线管为中心由远到近用 X- $\gamma$  剂量率监测仪进行工作区域划分，并保存巡测记录。

6、本项目将作业时被检物体周围的剂量当量率大于 15.0 $\mu$ Sv/h 的范围划为控制区。控制区边界应悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌，探伤作业人员在控制区边界外操作。控制区的边界外、作业时周围剂量大于 2.5 $\mu$ Sv/h 的范围划为监督区，并在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，设专人警戒。

7、现场无损检测操作人员必须经过操作业务培训，熟练掌握操作方法后方可开展现场无损检测工作。

8、尽量避免在人群密集区和居民区进行现场无损检测，无法避免时，划定工作区域，把无关人员疏散至监督区以外；控制区的边界尽可能设定实体屏障，利用无损检测具体地点、地形特征及周围设施防护，如大石、墙体、拐角、坑体等有利地形，因地制宜。根据具体照射情况选择射线装置的出束方向，尽可能降低射线对人体的照射剂量。

9、DR 成像检测系统控制台设置在合适的位置或者设有延时开机装置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。

10、无损检测现场配备“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置；“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且与该工作场所内其他报警信号有明显区别；警示信号指示装置应与 DR 成像检测系统连锁；在控制区所有边界都应能听见或看见“预备”信号和“照射”信号。若在夜晚进行无损检测作业时，在控制区边界设置警示灯。

11、控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。

### (3) 个人防护用品及监测仪器

为保障现场无损检测工作安全有序进行，陕西海泰电子有限责任公司需为每位辐射工作人员配备个人剂量计，应保证每个无损检测工作现场至少有 1 台 X- $\gamma$  剂量率监测仪。本项目拟配置的个人防护用品及监测仪器见下表。

表 10-2 个人防护用品及监测仪器

序号	名称	数量	用途
1	剂量报警仪	2 个	辐射工作人员佩戴，实时监测辐射剂量是否超标
2	铅衣	4 套	辐射工作人员穿戴，减小辐射工作人员受到的附加剂量
3	个人剂量计	4 枚	辐射工作人员工作期间佩戴，对个人受到的附加剂量进行记录

4	便携式 X-γ剂量率监测仪	2 台	车载工业 CT 无损检测系统无损检测现场用于确认是否有射线泄露、移动式 DR 成像检测系统无损检测前由远及近、由小到大确定控制区、监督区
---	---------------	-----	--

本项目拟配备辐射工作人员 4 名，分为 2 组，1 组人员负责操作车载工业 CT 无损检测系统，1 组人员负责操作 DR 成像检测系统（2 套 DR 成像检测系统 1 台正常使用，1 台作为备用机，2 台 DR 成像检测系统不同时使用）。故辐射工作人员数量满足要求，公司拟配置的个人防护用品和监测仪器能满足项目运行的需要。

#### 10.4 其他辐射安全管理措施

1、为落实辐射安全防护措施、确保射线装置安全操作，保证操作人员个人剂量低于限值要求，应按照国家标准和法律法规要求，制定相关管理制度。

2、公司拟配备的 4 名辐射工作人员应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号）要求，在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上报名学习并通过考核后方可上岗。

3、公司拟配备的 4 名辐射工作人员上岗前均需进行健康检查，体检合格后方可上岗，上岗后根据国家相关标准规定定期体检，并建立健康检查档案。

4、公司为辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪，专人专戴，保证每名辐射工作人员个人剂量计每个季度送有资质单位检测 1 次，并建立个人剂量档案。公司拟配备 4 套铅当量为 0.5mm 的铅衣，辐射工作人员进行无损检测作业时，应全程穿戴。

5、DR 成像检测系统无无损检测作业时，放置于库房内，且库房安装防盗门窗。

6、项目建成投运后对本单位的射线装置进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的辐射安全年度评估报告。

#### 10.5 辐射安全管理标准化建设

根据陕环办发〔2018〕29 号《关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表〉的通知》，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。根据建设单位提供资料，陕西海泰电子有限责任公司目前尚未开展过核技术利用项目。本次环评要求在本项目建成后，企业需按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》进行辐射安全标准化建设，详见表 10-3。

表 10-3 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理）

管理内容		管理要求
人员	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作

管理		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责
		建立辐射环境安全管理档案
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理
	机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人
	制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整
		建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账
建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案		
建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案		
建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性		
建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性		
建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）		
建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案		
建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案		
应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	
	应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	

表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目为现场移动无损检测，现场无损检测不建设专用探伤室，故不存在建筑物建设和设备的安装过程，不存在建设阶段对外环境产生影响的环境因素。

### 11.2 运行阶段环境影响分析

#### 11.2.1 环境辐射剂量估算

##### (1) 车载工业 CT 无损检测系统

本项目车载工业 CT 无损检测系统自带屏蔽体，安装于车上，照射方向为向车尾方向照射，设备最大管电压均为 450kV，最大管电流为 3.3mA，X 射线机放置于铅房内，项目运行期间产生的放射性污染物主要为 X 射线。

对于本项目使用的车载工业 CT 无损检测系统而言，主要照射方向墙体应考虑有用线束屏蔽，其余方向屏蔽墙体应考虑漏射线、散射线屏蔽。本次对铅房主墙主要考虑有用线束屏蔽，对其余墙体、顶部、防护门均考虑漏射线、散射线屏蔽。估算时，根据 X 射线机可能出现的位置，本次主要考虑最不利情况下进行铅房的屏蔽防护能力分析。根据公司提供资料可知，本项目车载工业 CT 无损检测系统在工作时，X 射线源点距离靠近操作间侧屏蔽墙体最近距离为 0.53m，距离主照墙屏蔽墙体最近距离为 2.15m，距离铅门侧屏蔽墙体最近距离为 0.67m，距离侧面（非铅门侧）屏蔽墙体最近距离为 0.71m，距离顶部屏蔽墙体最近距离为 0.42m（源点高度可自由调节，最低 0.5m.最高 1.55m），距离铅门最近距离为 1.00m。

根据铅房内所使用的设备曝光类型以及照射方向，本次铅房辐射屏蔽能力计算主要参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的公式进行计算，计算理论依据如下：

#### 一、理论计算依据

参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)，对本项目设备铅房屏蔽能力进行理论预测，其辐射屏蔽的剂量参考控制水平如下：

(1) 铅房墙和入口门外周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周周围剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

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

1) 人员在关注点的周围剂量参考控制水平  $H_c$  如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 相应  $H_c$  的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{cd}$  ( $\mu\text{Sv}$ ) 按式 11-1 计算:

$$\dot{H}_{cd} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-1)$$

式中:

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

$U$ ——探伤装置向关注点方向照射的使用因子;

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子;

$t$ ——探伤装置周照射时间, 单位为小时每周 ( $\text{h}/\text{周}$ )。

$t$  按式 11-2 计算:

$$t = \frac{W}{60I} \quad (11-2)$$

式中:

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

60——小时与分钟的换算系数;

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

b) 关注点最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{cmax}$ ;

$$\dot{H}_{cmax} = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h} \quad (11-3)$$

c) 关注点剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ ;

$\dot{H}_c$  为上述 a) 中的  $\dot{H}_{cd}$  和 b) 中的  $\dot{H}_{cmax}$  二者的较小值。

(2) 防护铅房室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求:

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, 距探伤室顶外表面 30cm 处和 (或) 在该立体角内的高层建筑物中人员驻留处, 辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 (1)。

b) 除 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应关注点的剂量率总和, 应按 (1) 的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 加以控制。

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

本项目使用的车载工业 CT 无损检测系统安装在 1 辆货车上, 设备上方无需要人员到达,

因此，本次设备屏蔽体顶部辐射屏蔽的剂量参考控制水平参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中相关规定，结合辐射环境影响取 100 $\mu$ Sv/h。

依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），对铅室屏蔽厚度进行理论校核，探伤室辐射屏蔽估算公式如下：

(1) 有用线束辐射屏蔽

a) 利用下列公式对进行屏蔽计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \times R^2}{\dot{H}_0 \times I} \quad (11-4)$$

式中：

B——屏蔽透射因子，无量纲；

$\dot{H}_c$ ——关注点处确定的剂量率控制水平， $\mu$ Sv/h；

$\dot{H}_0$ ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/（mA·h），以 mSv·m<sup>2</sup>/（mA·min）为单位的值乘以 6 $\times 10^4$ ；

R——辐射源点至关注点的距离，m；

I——X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA。

b) 屏蔽透射因子 B 和辐射屏蔽厚度 X 计算

对于估算出的屏蔽因子 B，所需要的屏蔽物质厚度 X 按下式进行估算：

$$X = TVL \times \lg B^{-1} \quad (11-5)$$

式中，TVL——十分之一值层厚度，cm；

X——关注点达到参考剂量率控制水平所需要的厚度，cm；

根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），对于给定屏蔽物质厚度X时，可由透射曲线图查出相应屏蔽透射因子B，计算出屏蔽墙体外关注点的剂量率，计算公式如下：

c) 对于给定屏蔽物质厚度X时，相应的辐射屏蔽透射因子B为：

$$B = 10^{-\frac{X}{TVL}} \quad (11-6)$$

式中，TVL——什值层厚度，cm；

X——屏蔽物质厚度，cm；

d) 有用线束辐射剂量率计算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \times I \times B}{R^2} \quad (11-7)$$

式中， $\dot{H}$ ——关注点剂量率， $\mu$ Sv/h；



$\dot{H}_0$ ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$  为单位的值乘以  $6\times 10^4$ ；

R——辐射源点至关注点的距离，m；

I——X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA。

## (2) 泄漏辐射屏蔽

a) 关注点达到剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  时所需的屏蔽透射因子 B 按 (11-8) 计算：

$$B_1 = \frac{\dot{H} \times R^2}{\dot{H}_L} \quad (11-8)$$

式中：B——屏蔽透射因子，无量纲；

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

$\dot{H}_L$ ——距靶点 1m 处 X 射线管组装体的漏射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

R——辐射源点至关注点的距离，m；

b) 对于估算出的屏蔽因子 B，所需要的屏蔽物质厚度 X 按式 (11-9) 进行估算：

$$X = TVL \times \lg B^{-1} \quad (11-9)$$

式中，TVL——十分之一值层厚度，cm；

X——关注点达到参考剂量率控制水平所需要的厚度，cm；

c) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式 (11-10) 计算，然后按 (11-11) 计算泄漏辐射在关注点的剂量率  $\dot{H}$  单位为  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ：

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

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

B——屏蔽透射因子，无量纲；

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

$\dot{H}_L$ ——距靶点 1m 处 X 射线管组装体的漏射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

R——辐射源点至关注点的距离，m；

## (3) 散射辐射屏蔽

a) 关注点达到剂量率参考水平  $\dot{H}_c$  时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式 (11-12) 计算。另确定  $90^\circ$  散射辐射的 TVL，然后计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B_2 = \frac{\dot{H} \times R_s^2 \times R_0^2}{H_0 \times I \times F \cdot \alpha} \quad (11-12)$$

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

$R_s$ ——散射点至关注点的距离，m；

$R_0$ ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离，m；

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

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

$F$ —— $R_0$  处的辐射野面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )；

$\alpha$ ——散射因子，入射辐射被单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 $\alpha$ 值时，以水散射体的 $\alpha$ 值保守估计，见附录 B 表 B.3。

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按表 2 并查附录 B 表 B.1 的相应值，确定  $90^\circ$  散射辐射的 TVL，关注点的散射辐射剂量率  $\dot{H}$  按式 (11-13) 计算：

$$\dot{H} = \frac{B \cdot I \cdot H_0}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad (11-13)$$

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

$R_s$ ——散射点至关注点的距离，m；

$R_0$ ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离，m；

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

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

$F$ —— $R_0$  处的辐射野面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )；

$\alpha$ ——散射因子，入射辐射被单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 $\alpha$ 值时，以水散射体的 $\alpha$ 值保守估计，见附录 B 表 B.3。

## 二、铅房屏蔽能力理论校核

本项目主照墙体的屏蔽估算主要考虑车载工业 CT 无损检测系统产生的 X 射线有用线束影响；靠近操作间侧屏蔽墙体、铅门侧屏蔽墙体、非铅门侧墙体、顶部、防护门的屏蔽估算主要考虑车载工业 CT 无损检测系统产生的 X 射线漏射线、散射线影响。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、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厚度，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)。

依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），考虑本项目车载工业 CT 无损检测系统周工作负荷、人员停留情况，计算时选择铅室屏蔽墙体外表面 30cm 处作为关注点，关注点剂量率控制水平取 2.5 $\mu$ Sv/h。车载工业 CT 无损检测系统最大管电压取 450kV，管电流为 3.3mA。距辐射源点（靶点）1m 处输出量为 34.1mGy·m<sup>2</sup>/(mA·min)（来源：ICRP33 号报告），该电压下铅半值层厚度取 9.25mm，铅半值层取 2.79mm。对于泄漏辐射，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1，该车载工业 CT 无损检测系统 X 射线管 1m 处最大泄漏辐射剂量率取 5 $\times$ 10<sup>3</sup> $\mu$ Sv/h；对于散射辐射，散射过程中 X 射线能量降低，450kV 管电压下 X 射线 90° 散射辐射，散射线最高能量与 275kV 管电压下有用线束 X 射线能量相对，此时铅半值层厚度为 4.3mm。本次铅室理论估算结果见表 11-2。

本项目车载工业 CT 无损检测系统每周预计开机累计时间最长为 1.3h，由于设备自带屏蔽铅房安装在一辆货车上，在正常工作期间，其它非辐射工作人员不会靠近货车，因此本项目在进行关注点的导出剂量率参考控制水平估算时，主要考虑职业工作人员：

$H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ，因此根据公式 11-1、11-2 计算出本项目导出剂量率参考控制水平，具体见表 11-1。

表 11-1 剂量率参考控制水平核算表

序号	方向	使用因子 U	居留因子 T	周照射时间 t (h/周)	距离 R (m)	关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	需屏蔽的辐射
1	主照面	1	1	1.3	2.15	76.9	2.5	有用线束
2	铅防护门	1	1/8	1.3	1.00	615.4	2.5	泄漏辐射、散射辐射
3	铅门侧	1	1	1.3	0.67	76.9	2.5	泄漏辐射、散射辐射
4	侧面（非铅门侧）	1	1	1.3	0.71	76.9	2.5	泄漏辐射、散射辐射
5	靠近操作间	1	1	1.3	0.53	76.9	2.5	泄漏辐射、

	侧面							散射辐射
6	顶部	/	/	/	/	/	100	泄漏辐射、 散射辐射

本项目铅房辐射屏蔽厚度估算结果见表 11-2 所示。

**表 11-2 本项目铅房辐射屏蔽厚度估算结果**

关注点	类别	参考限值 μSv/h	距离 m	理论计算 厚度	设计厚度	符合性
铅房主照面墙体外表面 30cm 处	有用线束	2.5	2.45	52.3mm 铅	58mm 铅	符合
铅房铅门侧墙体外表面 30cm 处	泄漏辐射、 散射辐射	2.5	0.97	30.8mm 铅	35mm 铅	符合
铅房侧面（非铅门侧）墙体外表面 30cm 处		2.5	1.01	30.5mm 铅	35mm 铅	符合
铅房靠近操作间侧面墙体外表面 30cm 处		2.5	0.83	32.0mm 铅	35mm 铅	符合
铅房顶部墙体外表面 30cm 处		2.5	0.72	33.2mm 铅	35mm 铅	符合
铅房防护门外表面 30cm 处		2.5	1.30	28.4mm 铅	35mm 铅	符合

备注：1、辐射屏蔽厚度估算时，考虑铅房墙体对 X 射线辐射屏蔽效果。

2、本次估算时，保守考虑距离选取关注点距离辐射源最近的距离；

3、表中理论计算厚度除有用线束外，其余均考虑了散射和漏射的复合作用后给出的厚度。

理论估算结果表明，本项目铅房在其最大管电压工作状态下，其配套屏蔽墙体设计厚度均大于理论估算厚度，铅房能够有效屏蔽 X 射线，其辐射屏蔽能力满足相关辐射防护要求。

本项目铅房在各屏蔽防护情况下，对关注点进行辐射剂量率估算，选择距铅房四面墙体、顶部及防护门外表面 30cm 处以及周边人员停留处作为关注点，依据公式计算得到各关注点剂量率。各关注点辐射剂量率估算结果见表 11-3 所示。

**表 11-3 设备工作期间铅房外各关注点辐射剂量率计算结果**

序号	关注点	类别	距离 m	剂量率 (μSv/h)		
1	铅房主照面墙体外表面 30cm 处	有用线束	2.45	6.04E-01		
2	铅房铅门侧墙体外表面 30cm 处	泄漏辐射、 散射辐射	0.97	漏射	8.74E-01	8.75E-01
				散射	1.04E-03	
3	铅房侧面（非铅门侧）墙体外表面 30cm 处		1.01	漏射	8.06E-01	8.07E-01
				散射	9.60E-04	

4	铅房靠近操作间侧面墙体外表面 30cm 处	0.83	漏射	1.19E+00	1.20E+00
			散射	1.13E-03	
5	铅房顶部墙体外表面 30cm 处	0.72	漏射	1.59E+00	1.59E+00
			散射	1.89E-03	
6	铅房防护门外表面 30cm 处	1.30	漏射	4.87E-01	4.87E-01
			散射	5.79E-04	
7	人员操作位	1.33	漏射	4.65E-01	4.66E-01
			散射	5.54E-04	

注：1、本次估算时，保守考虑距离选取关注点距离辐射源最近的距离；

2、表中关注点辐射剂量率除有用线束外，其它关注点均为泄漏辐射、散射辐射共同贡献结果。

3、由于本项目屏蔽体设计中内壁钢板、外壁钢板的折算铅当量均较小，因此，在本次计算中屏蔽设计铅当量的辐射防护效果，仅按照铅板的铅当量进行计算；

4、关注点剂量率估算时不考虑被照射工件的屏蔽作用。

由表 11-3 理论计算结果可知：车载工业 CT 无损检测系统在其最大管电压工作状态下，其配套的铅房四周屏蔽墙体及防护门表面 30cm 处的周围剂量当量率为 0.466~1.20 $\mu$ Sv/h，周围剂量当量率估算结果均小于 2.5 $\mu$ Sv/h，铅房顶部墙体周围剂量当量率为 1.59 $\mu$ Sv/h，估算结果小于 100 $\mu$ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》

（GBZ117-2022）（参照）“剂量限值”要求。理论估算结果表明，本项目铅房具有较好的辐射屏蔽能力，满足标准相关屏蔽要求。

## （2）移动式 DR 成像检测系统

### ①有用线束方向辐射剂量率及控制区、监督区边界距离估算

根据建设单位提供资料，本项目待测工件外形为圆柱状，待测工件直径最大为 324mm，高度最大为 315mm，待测工件外壳为 4mm 钢，内部为非金属填充物，工件无法起到屏蔽作用，故本项目不考虑工件屏蔽作用，因此射线探伤机工作时控制区和监督区的范围过大，不利于实际探伤工作的进行。为尽可能的减小控制区和监督区的范围，拟对 300DS-FB、PXS EVO 300DSW 型 DR 成像检测系统（管电压：300kV，管电流：4.5mA）采取 7mm 厚度的铅皮（1 块 4mm 铅皮，1 块 3mm 铅皮叠放，总厚度达到 7mm）进行局部屏蔽。

根据建设方提供资料，本项目 DR 成像检测系统实际工作时，最大管电压、管电流取值分别为 280kV，2.5mA，参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），关注点辐射剂量率计算参数见表 11-4；根据公式 11-6 和公式 11-7，在局部屏蔽状态下有用线束方向控制区和监督区范围计算结果见表 11-5。

表 11-4 关注点辐射剂量率计算参数

管电流 I (mA)	管电压 (kV)	距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量 $H_0$ ( $\mu$ Sv·m <sup>2</sup> / (mA·h))	铅的什值层厚度 (mm)
2.5	280	18.1×6×10 <sup>4</sup>	4.6

备注：采用差值法，利用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.1、B.2 得到在 280kV、2.5mA 工况下距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量 H0 及铅的什值层厚度。

表 11-5 有用线束方向控制区和监督区边界范围计算结果

管电压 (kV)	局部屏蔽配备的铅厚度 (mm)	屏蔽所需透射因子 B	控制区边界 (m)	监督区边界 (m)
280	7	$3.01 \times 10^{-2}$	79.29	194.21

②非有用线束辐射剂量率估算

(1) 泄漏辐射屏蔽估算模式

泄漏辐射在关注点的剂量率 $\dot{H}$ ，按公式（11-11）计算，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），其中，本项目非有用线束方向不考虑屏蔽，故屏蔽透射因子 B 取 1， $\dot{H}_L$ （距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）），其典型值取自 GBZ/T 250-2014 中表 1 内容，当 X 射线管电压大于 200kV 时，取值为  $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 散射辐射屏蔽估算

关注点的散射辐射剂量率 $\dot{H}$ ，按公式（11-13）计算，单位为微希每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），其中本项目非有用线束方向不考虑屏蔽，故屏蔽透射因子 B 取 1。根据 GBZ/T 250-2014 附录 B 中 B.4.2，当 X 射线管电压为 200kV~400 kV 时，当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界夹角为 20°时， $R_0^2/F \cdot \alpha$ 取 50。

③非有用线束的控制区与监督区的边界范围估算

由于待检工件与散射线、漏射线的方向基本不在一个方向，本次评价不考虑工件的屏蔽作用。

1、非有用线束方向控制区和监督区边界范围估算

参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）和公式 11-11 和公式 11-3，无屏蔽状态下，非有用线束方向控制区和监督区边界范围估算接管见表 11-6、11-7。

表 11-6 非有用线束方向辐射剂量率（300kV）

辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ） 距离（m）	DR 成像检测系统（300kV）		
	泄漏辐射	散射辐射	总辐射
10.00	50.00	543.00	593.00
20.00	12.50	135.75	148.25
30.00	5.56	60.33	65.89
40.00	3.13	33.94	37.06
50.00	2.00	21.72	23.72
60.00	1.39	15.08	16.47
<b>62.87</b>	<b>1.26</b>	<b>13.74</b>	<b>15.00</b>
70	1.02	11.08	12.10

80	0.78	8.48	9.27
90	0.62	6.70	7.32
100	0.50	5.43	5.93
110	0.41	4.49	4.90
120	0.35	3.77	4.12
130	0.30	3.21	3.51
140	0.26	2.77	3.03
150	0.22	2.41	2.64
<b>154.01</b>	<b>0.21</b>	<b>2.29</b>	<b>2.50</b>
160	0.20	2.12	2.32

表 11-7 非有用线束方向控制区与监督区边界范围一览表

序号	管电压 (kV)	控制区范围 (m)	监督区范围 (m)
1	<b>280</b>	62.87	154.01

#### ④X 射线现场无损检测环境影响分析

根据以上计算，300DS-FB、PXS EVO 300DSW型DR成像检测系统有用线束方向（7mm铅局部铅屏蔽条件）控制区范围为79.29m，监督区范围为194.21m；非有用线束方向（无屏蔽条件）的控制区范围为62.87m，监督区范围为154.01m。

无损检测作业期间，操作人员在控制区边界操作 DR 成像检测系统，安全员在控制区和监督区边界之间进行巡检；在控制区和监督区边界放置“当心电离辐射”警示标志；在控制区边界还应放置“禁止进入 X 射线区”标牌，在监督区边界放置“无关人员禁止入内”标牌，警示无关人员不可误入作业现场。在采取以上措施后，无损检测过程中，对职业人员和周边环境的影响较小。

#### 11.2.2 职业人员及公众剂量分析

##### (1) 车载工业 CT 无损检测系统

##### 一、辐射工作人员

根据公司提供的资料可知，公司拟配备辐射工作人员 2 人专职操作车载工业 CT 无损检测系统，无损检测系统每个工件最大曝光时间为 20min，每周最长照射时间 1.3h，年照射 50 周，年最长照射时间 66.7h。

根据表 11-3 理论估算结果，从保守角度考虑，取辐射工作人员操作位处的剂量率“0.466 $\mu$ Sv/h”作为该铅房辐射工作人员停留位置处附加剂量率。根据 X 射线机的曝光时间、人员停留位置处周围剂量当量率、居留因子（取 1）进行剂量估算。其中，年有效剂量计算公式如下：

$$H = \dot{H} \times T \times Q \times 10^{-3} \quad (11-14)$$

式中，H——职业照射实践所致工作人员个人年附加有效剂量，mSv；

$\dot{H}$ ——照射时，工作人员停留处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T——DR 成像检测系统累计曝光时间；

Q——居留因子；

经计算，该项目设备最大工作状态下，所致辐射工作人员最大年附加有效剂量为 0.03mSv。理论估算结果表明，该项目设备运行所致辐射工作人员的年附加有效剂量小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年有效剂量基本限值 20mSv，远低于本次评价剂量约束值 5mSv/a。

## 二、公众人员

车载工业 CT 无损检测系统检测期间，对公众的辐射影响对象主要考虑 50 米评价范围内，考虑公众的停留位置，从保守角度考虑，取铅房四侧墙壁最大剂量率“1.20 $\mu\text{Sv/h}$ ”作为公众停留位置处附加剂量率（公众均为偶然停留，居留因子取 1/16），根据建设单位提供资料，本项目为移动无损检测，为流动式作业，不会在同一位置长期作业，车载工业 CT 无损检测系统在需要进行无损检测的单位进行工作的最长时间约为 1 个月，车载工业 CT 无损检测系统年最长照射时间为 66.67h，则公众的停留时间约为 66.67/12=5.56h，经计算，该项目设备最大工作状态下，所致公众最大年附加有效剂量为  $4.17 \times 10^{-4}\text{mSv}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定年有效剂量 1mSv 基本限值和本次评价公众剂量 0.1mSv 约束值。

### (2) 移动式 DR 成像检测系统

#### 一、辐射工作人员

移动式 DR 成像检测系统无损检测时需根据现场情况对探伤检测现场划分控制区和监督区，控制区边界剂量率应不大于 15 $\mu\text{Sv/h}$ ，监督区边界剂量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）相关要求，探伤作业人员在控制区边界外操作。安全员主要负责现场无损检测过程中的 DR 成像检测系统的看管、控制区和监督区的划分和警戒、对作业区边界上的实时剂量率进行巡测和安全巡视。探伤作业期间，安全员一直在控制区~监督区边界进行巡邏。

本项目 X 现场无损检测拟配备 2 名职业人员（1 名操作人员和 1 名安全员）。根据企业提供的资料，本项目 DR 成像检测系统检测工件时，单个工件单次最大曝光时间约为 3min，每个工件曝光 1~2 次，DR 成像检测系统检测工件时需要考虑控制区、监督区划区时间，



故探伤时间按照实际曝光时间和划分控制区、监督区共同考虑单次 4min，每周最多检测工件数 4 个，年工作 50 周，年最大检测工件数 200 件，则每周最长照射时间 0.53h，年照射 50 周，年最长照射时间 26.67h。

正常作业情况下 DR 成像检测系统对操作人员的最大年附加有效剂量进行核算。根据表 11-6 的计算结果，300DS-FB、PXS EVO 300DSW 型 DR 成像检测系统非有用线束方向（无屏蔽条件）的控制区范围为 62.87m。

假设现场无损检测过程中，由探伤小组中的 2 人共同完成 DR 成像检测系统的操作，其中 1 人（安全员）负责现场无损检测过程中的安全巡查。操作人员和安全员与探伤机的最近距离均位于控制区边界外，控制区边界剂量率应不大于  $15\mu\text{Sv/h}$ ，出束时间为 26.67h/a，则每个职业人员年附加有效剂量最大值为  $15\mu\text{Sv/h}\times 26.67\text{h/a}\div 1000=0.40\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射限值和本环评提出的年剂量约束值（5mSv）。

## 二、公众人员

本项目公众活动区域主要位于监督区外，监督区边界剂量率应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。移动式 DR 成像检测系统无损检测时公众一般为监督区以外流动人员，根据建设单位提供资料，本项目为移动无损检测，为流动式作业，不会在同一位置长期作业，移动式 DR 成像检测系统在需要进行无损检测的单位进行工作的最长时间约为 1 个月，移动式 DR 成像检测系统年最长照射时间为 26.67h，则公众的停留时间约为  $26.67/12=2.22\text{h}$ ，则公众年附加有效剂量最大值为  $2.5\mu\text{Sv/h}\times 2.22/16/1000=3.47\times 10^{-4}\text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射限值和本环评提出的年剂量约束值（0.1mSv）。可见，在无损检测过程中，探伤机产生的 X 射线对公众的影响很小。

企业在无损检测前预先划定了控制区和监督区，在控制区和监督区边界放置“当心电离辐射”，在控制区边界还应放置“禁止进入 X 射线区”标牌，在监督区边界放置“无关人员禁止入内”标牌，警示无关人员不可误入作业现场；且现场无损检测多为流动式作业，不会在同一位置长期作业，故一般情况下无损检测过程对公众的影响甚微。

### 11.2.3 废气对环境影响分析

本项目车载工业 CT 无损检测系统在对工件进行检测作业时，X 射线使空气电离产生少量臭氧( $\text{O}_3$ )和氮氧化物(主要为  $\text{NO}_2$ )。本项目铅房内安装通排风装置，其排风量为  $200\text{m}^3/\text{h}$ ，经计算，铅房每小时通风次数为 27 次，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

规定“每小时通风换气次数应不小于 3 次”要求。

本项目移动式 DR 成像检测系统无损检测时产生的 X 射线使空气电离产生少量臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（主要为 NO<sub>2</sub>）。由于现场无损检测地点均为开阔的场所，经自然分解和稀释后，对周围环境及工作人员不会产生明显影响。

### 11.3 事故影响分析

#### 11.3.1 事故风险类型识别

##### 1、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-9。

表 11-8 辐射事故等级划分表

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

本项目所使用车载工业 CT 无损检测系统、DR 成像检测系统属 II 类射线装置，可能发生射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射或急性重度放射病、局部器官残疾，属于较大辐射事故、一般辐射事故。

##### 2、辐射事故识别

车载工业 CT 无损检测系统：

（1）车载工业 CT 无损检测系统在铅房内对工件进行检测时，防护门被意外打开，人员误入铅房，使其受到额外的照射；或者防护门未完全关闭，致使 X 射线泄漏到铅房外面，给防护门附近活动的人员造成不必要的照射。

（2）工作人员滞留铅房内尚未完全撤出，其他工作人员即开启 X 射线机，对工件进行照射，导致室内工作人员受到额外的照射。

（3）检修人员在设备未关闭的情况下，误入铅房内，导致检修工作人员受到额外的照射。

移动式 DR 成像检测系统：

(1) 仪器故障：DR成像检测系统漏射线指标达不到《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)规定的要求，或探伤机故障以及控制系统失灵，出现异常曝光导致人员受到一定的照射剂量，造成工作人员不必要的照射。

(2) 未分区管理：DR成像检测系统在照射状态，作业现场未标划控制区和监督区，使人员误入或误留辐射区，受到不必要的照射；或探伤作业人员未按规定撤离到安全区域，导致工作人员受照剂量偏高，超出剂量限值。

(3) 人员误照：在无损伤检测现场没有做好警戒工作或曝光前未清查现场，工作人员和公众误留在监督区内，使工作人员或公众造成不必要照射。

(4) 在不适合无损检测的场地实施现场工作，且未做好相应的防护措施（如增加局部屏蔽等措施），造成公众或者工作人员受到不必要的照射。

(5) 由于公众对于射线装置认识不足，可能存在DR成像检测系统被拾取或偷盗后接通电源，造成公众受到不必要的超剂量照射。

### 11.3.2 事故风险及后果分析

一、车载工业 CT 无损检测系统：

本项目为工业 X 射线无损检测项目，检测作业时，待检测工件被放置于铅房内，采取预警灯装置、门-机联锁安全装置、紧急停机按钮等安全设施后，加强安全设施的维修、维护，一般情况下不会发生门-机联锁失效情况，不会对操作人员、附近公众产生较大的辐射影响。

考虑到当射线装置处于工作状态时，铅房内人员尚未撤离、控制台工作人员即开机进行扫描状态下的误照射事故，铅房内人员受照射剂量可根据距工业 X 射线机不同距离剂量率以及照射时间进行计算，其距工业 X 射线机不同距离处剂量率计算公式如下：

$$X = \frac{I \times X_0}{R^2} \quad (11-15)$$

式中：X<sub>0</sub>—X 射线装置 1m 米处的输出量，mGy·m<sup>2</sup>/（mA·min）；

R—计算点距 X 射线装置辐射源的距离，m；

I—X 射线装置最大管电流，mA；

本次计算时，考虑车载工业 CT X 射线机产生的 X 射线能量与管电压的关系，从保守角度，选择 X 射线机最大管电压 450kV、管电流为 3.3mA 进行计算，对于有用线束，X 射线机该管电压下距靶 1m 处输出量取 34.1mGy·m<sup>2</sup>/（mA·min），代入公式进行估算，估

算结果见表 11-9。

表 11-9 车载工业 CTX 射线机出束状态下不同距离、不同接触时间的有效剂量 (mGy)  
(管电压为 450kV, 管电流为 3.3mA 状态下, 位于有用线束方向上事故照射)

距离(m) 时间(min)	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5
0.5	6.1	2.2	0.9	0.6	0.4	0.2
1	12.2	4.4	1.7	1.1	0.8	0.5
2	24.4	8.8	3.4	2.2	1.5	1.0
3	36.7	13.2	5.2	3.3	2.3	1.5
4	48.9	17.6	6.9	4.4	3.1	2.0

由表 11-9 所接受的剂量估算结果可以看出, 当工业 X 射线装置处于工作状态, 门-机联锁失效并且人员滞留铅房内情况下时, 人员将会接受大剂量辐射照射, 可能产生辐射损伤情形。故在射线装置在工作期间, 应加强射线装置的安全维护, 保证门机联锁处于良好的工作状态, 防止人员误入以减小对人员产生的辐射影响。另外, 铅房内外均设置急停按钮, 误入铅房的人员及控制室内工作人员发现误照射后, 通过急停按钮紧急停机, 以此避免发生人员在铅室周边环境受到超剂量照射的事故。

## 二、DR 成像检测系统:

当 X 射线无损检测工作过程中, DR 成像检测系统定时开机功能故障, 工作人员还未撤离即曝光, 对工作人员造成误照射; 或无关人员误闯入控制区, 对该人员造成误照射。为避免此类情况发生, 建设单位应定期检查、维护设备, 强化探伤机运输和探伤过程规章制度。

本次事故分析假设在不同情况下发生误照射。根据辐射事故识别, 本次针对人员未及时撤离控制区情况, 职业人员或公众在不同方向达到剂量限值所需时间, 本次计算时, 考虑 DR 成像检测系统 X 射线机产生的 X 射线能量与管电压的关系, 从保守角度, 选择 X 射线机最大管电压 300kV、管电流为 2.5mA 进行计算, 预测结果见表 11-10。

表 11-10 事故情况下预测结果一览表 (单位: mSv)

设备	人员方位	距 X 射线机	停留时间 (s)					
		距离	0.06	2.87	5	10	30	60
DR 成像检测系统(管电压 300kV, 管电流 5mA)	有用线束方向	1m	<b>0.10</b>	<b>5.00</b>	8.71	17.42	52.25	104.50
		2m	0.03	1.25	2.18	4.35	13.06	26.13
		3m	1.16E-02	0.56	0.97	1.94	5.81	11.61
		4m	6.53E-03	0.31	0.54	1.09	3.27	6.53
		5m	4.18E-03	0.20	0.35	0.70	2.09	4.18

		10m	1.05E-03	5.00E-02	8.71E-02	0.17	0.52	1.05
		20m	2.61E-04	1.25E-02	2.18E-02	4.35E-02	1.31E-01	0.26
		50m	4.18E-05	2.00E-03	3.48E-03	6.97E-03	2.09E-02	4.18E-02
	/	/	3.46	5	10	30	60	138
	非有用 线束方 向	1m	<b>0.10</b>	0.18	0.36	1.09	2.17	<b>5.00</b>
		2m	0.02	0.05	0.09	0.27	0.54	1.25
		3m	1.11E-02	0.02	0.04	0.12	0.24	0.56
		4m	6.25E-03	1.13E-02	2.26E-02	0.07	0.14	0.31
		5m	4.00E-03	7.24E-03	1.45E-02	4.35E-02	8.69E-02	0.20
		10m	1.00E-03	1.81E-03	3.62E-03	1.09E-02	2.17E-02	5.00E-02
		20m	2.50E-04	4.53E-04	9.06E-04	2.72E-03	5.43E-03	1.25E-02
		50m	4.00E-05	7.24E-05	1.45E-04	4.35E-04	8.69E-04	2.00E-03

### 11.3.3 事故防范措施

#### 一、车载工业 CT 无损检测系统：

(1) 检修、调试应由专业技术人员进行。工作人员按要求佩戴个人剂量报警仪，不得擅自改变、削弱或破坏 X 射线铅房的屏蔽墙体和防护门。

(2) 撤离铅房时应清点人数，辐射工作人员应确认无人停留在内后才能开始进行操作。同时，如遇 X 射线出束情况下人员滞留铅房内，控制室人员、铅房滞留人员应立即按下急停按钮，停止照射。

(3) 定期检查铅房的门-机联锁装置、指示灯和声音提示装置的有效性，发现故障及时清除，严禁违规操作。对项目布置的紧急停机按钮完成显著的标识，出现问题时，应就近按下急停按钮。对于本项目涉及的安全控制措施各机构及电控系统，制定有定期检查和维护的制度。确保安全装置随时处于正常工作状态。辐射工作场地因某种原因损坏，公司应立即停止使用，修复后再投入使用。

(4) 配置便携式 X-γ辐射剂量率仪，定期巡查（每周）铅房屏蔽体的屏蔽效能，做好记录，重点巡查管线口及通风口接缝处，以确保屏蔽体有足够的屏蔽能力。若发现问题，应及时解决，不得在屏蔽体出现问题后继续作业。

(5) 定期认真的对本单位 X 射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故发生。

#### 二、DR 成像检测系统：

(1) 无损检测作业前告知业主单位的责任，应配合做好探伤作业的辐射防护工作，提前发布探伤作业信息，应通知到所有相关人员，防止误照射发生。

(2) 无损检测期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式X- $\gamma$ 剂量率仪，两者均应使用。

(3) 现场无损检测作业时，先进行清场，并对工作现场进行分区管理，在相应边界设置警示标识。控制区边界悬挂“禁止进入X射线区”警告牌，监督区边界设置“无关人员禁止入内”警告牌，设置专人警戒巡逻。

(4) 控制区的边界尽可能采用实体屏障，包括利用现有结构（如墙体），临时屏障或临时拉起警戒线等，防止无关人员误闯入控制区或监督区而造成误照射。

(5) 加强对DR成像检测系统在领用、贮存、运输、使用现场的管理，防止发生射线机的被盗、丢失情况的发生，造成公众超剂量辐射事故。

(6) DR成像检测系统控制台应设置在合适的位置或者设有延时开机装置，避免工作人员还未撤离即曝光，对工作人员造成误照射。

(7) 开始无损检测工作之前，应对便携式X- $\gamma$ 剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在无损检测工作期间，便携式X- $\gamma$ 剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止。

(8) 无损检测现场应有“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置；“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其他报警信号有明显区别；警示信号指示装置应与探伤机联锁；在控制区所有边界都应能听见或看见“预备”信号和“照射”信号，防止无关人员误闯入控制区而造成误照射。

(9) 控制区的方位应清晰可见，工作期间要有良好的照明，确保没有无关人员进入控制区；如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排人员进行巡查，防止无关人员误闯入控制区而造成误照射。

(10) 应严格按照操作规程进行，对未经培训的探伤工作人员严禁进行探伤操作；防止操作人员不遵守操作规程或违规操作而造成周围人员的不必要照射。

(11) 定期对DR成像检测系统进行检查，对发现有问题的部件应及时更换或维修。

(12) 及时制定辐射事故风险的应急预案，一旦发生事故能及时启动应急预案，使事故能得到及时有效的处理。

另外，辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照要求进行工作。

#### 11.3.4 辐射应急措施

一旦发生辐射事故，处理的原则为：

(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，停止 X 射线的产生。

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

(3) 出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划地进行处理。

(4) 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

(5) 事故处理后应累计资料，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，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所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；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) 对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并上报生态环境等相关行政部门，接受监督部门的处理。

**表 12 辐射安全管理**

### **12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

#### **1、辐射安全管理机构设置**

根据《中华人民共和国环境保护法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；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”的要求，为了加强射线装置的安全和防护监督管理，以正确应对辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命和财产安全。陕西海泰电子有限责任公司拟成立以公司法人作为组长，辐射工作人员为成员的辐射安全与环境保护管理小组，负责公司日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员负责单位辐射安全工作。

#### **2、辐射安全与环境保护管理小组主要职责**

- (1) 认真贯彻落实国家法律法规的有关规定；
- (2) 对本公司使用的射线装置的安全和防护工作负责，并依法对其造成的放射性危害承担责任；
- (3) 组织制定并落实辐射防护相关管理制度；
- (4) 按照国家有关规定，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，发现安全隐患的应及时进行整改，确保设备正常使用；
- (5) 组织对放射性操作人员进行辐射与安全防护培训，进行个人剂量检查、职业健康检查，并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；
- (6) 制定辐射事故应急预案并定期组织演练；
- (7) 记录该单位发生的放射事故并及时报告卫生行政部门、环境保护主管行政部门。

#### **3、辐射人员配备与职能**

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，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。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。



公司拟为本项目配备 4 名辐射工作人员，分为 2 组，作为本项目车载工业 CT 无损检测系统、移动式 DR 成像检测系统操作人员，辐射工作人员、辐射安全与环境保护管理专职管理人员应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年 第 57 号）要求，需参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习报名并通过考核后方可上岗。

## 12.2 辐射安全管理规章制度

陕西海泰电子有限责任公司使用 II 类射线装置，公司应根据《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）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令第 31 号）等相关法律、法规要求，结合所使用的 X 射线装置情况，应制定辐射安全管理制度、岗位职责和操作规程，通过不断完善相关的辐射安全管理制度，加强对辐射工作人员的培训，确保射线装置的安全使用。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，陕西海泰电子有限责任公司必须培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生。为此，建设单位应针对本项目应用的工业 X 射线探伤装置，按照相关规定制定并完善相应的管理制度，包括：《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《射线装置管理制度》、《射线装置台账》、《射线装置岗位职责、操作规程》、《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作人员职业健康体检管理制度》、《辐射安全防护设施的维护与维修制度》、《辐射环境监测制度》、《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》、《辐射事故应急预案》等。各制度应健全，内容应齐全。且在项目运营前，应将《射线装置岗位职责》、《辐射操作规程》、《辐射事故应急预案》等制作后悬挂于辐射工作场所。

另外，建设单位应在工作中认真落实相关制度，并根据陕西省环境保护厅《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）相关规定，不断对制定的操作规程、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、监测方案加以更新和完善，使其具有更强的针对性和可操作性。

陕西海泰电子有限责任公司应针对本项目应用的工业 X 射线探伤装置，按照相关规定制定并完善相应的管理制度，且在项目运营前，应将《射线装置岗位职责》、《辐射操作规程》、《辐射事故应急预案》等制作后悬挂于辐射工作场所。通过不断完善相关的辐射安全管理制度，加强对辐射工作人员的培训，确保射线装置的安全使用。

### 12.3 个人剂量监测与职业健康检查

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定:生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当安排专人负责个人剂量监测管理,建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当终生保存。

公司应建立辐射工作人员个人剂量档案,包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员上岗前,应当进行上岗前的职业健康检查。符合放射工作人员健康标准的方可上岗。辐射工作单位应当组织上岗后的辐射工作人员定期进行职业健康检查,两次检查的时间间隔不应超过2年,并建立职业健康监护档案。

### 12.4 辐射监测

本项目辐射监测和检查计划应满足如下要求:

(1) 设备正式投运前,公司需在取得《辐射安全许可证》且通过项目竣工环境保护验收合格后方可正式进行现场无损检测工作,现场无损检测过程中应严格按照规章制度执行,按照监测计划对辐射环境进行监测,编制年度辐射安全与环境管理评估报告。

(3) 设备和铅房屏蔽墙体进行重大维修后,应及时委托有资质单位进行重新监测,经监测合格后,方可继续投入使用。

(4) 辐射工作人员必须按照相关要求佩戴个人剂量计,个人剂量计每季度送有资质单位检测一次,并建立个人剂量档案。

(5) 操作人员上岗前、在岗、离岗前均应接受职业健康检查,建立个人健康档案。

(6) 公司辐射工作人员应定期对预警灯、紧急停机按钮、钥匙开关等辐射安全设施进行检查,及时排除安全隐患,杜绝事故发生。

(7) 公司每年应对铅房安全设施的状态和防护进行一次安全评估,安全评估报告应对存在的安全隐患及时提出整改方案,并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(8) 当射线装置设备的结构、屏蔽设施、位置发生变更时,及时委托有资质的监测单位进行监测和重新评价。进行监测合格和重新评价后,方可继续使用。

(9) 异常监测:当个人剂量超过年剂量限值、辐射工作场所出现异常情况时,应进行监测,查明原因。发生意外事故,应按辐射事故管理规定,及时监测和处理。

项目运行前,委托有资质的监测单位对辐射工作场所和防护设施进行全面的验收监

测，监测合格后方可投入使用。本项目辐射监测计划、检查计划见表 12-1。

表 12-1 本项目工作场所辐射监测计划、检查计划一览表（建议）

监测或检查项目	监测点或检查内容	监测周期
周围剂量当量率 (车载工业 CT 无损检测系统)	射线装置辐射工作人员操作位置、车辆人员驾驶 操作位置	竣工验收监测：设备投入 前监测 1 次；
	铅房屏蔽墙体外表面 30cm 处，防护门及缝隙外 表面 30cm 处，管线口位置	常规监测：每年委托有资 质单位监测一次；
	铅房周边人员停留位置、射线装置周边环境	自主监测：建设单位每季 度至少监测 1 次；
周围剂量当量率 (移动式 DR 成 像检测系统)	射线装置辐射工作人员操作位置	竣工验收监测：设备投入 前监测 1 次；
	控制区、监督区边界	常规监测：每年委托有资 质单位监测一次； 自主监测：建设单位每次 无损检测时检测 1 次；
个人剂量计	辐射工作人员佩戴的个人剂量计	每 3 个月送有资质单位检 测 1 次
职业健康检查	对放射性工作人员进行职业病健康检查	至少每 2 年进行 1 次

环评要求：公司应配备辐射剂量率监测仪器，应定期进行检定，确保仪器处于有效的范围之内。按照监测计划定期对铅房屏蔽墙体及防护门表面、操作位置及周边环境进行日常监测，将监测结果与参考控制水平进行比较，做好日常监测记录，存档备查。当测量值高于参考控制水平时，终止工作并向辐射防护负责人报告。

### 12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》(国务院令第 709 号)第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修订，国务院第 709 号令)第四十一条的规定：“使用射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备”。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修订，国务院第 709 号令)第四十条规定以及陕西省环境保护厅《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》(陕环办发〔2018〕29 号)相关规定，公司应设立辐射事故应急领导小组作为应急响应机构，明确机构组长、成员相关职责；针对可能发生辐射事故类型，指明了环境风险因素，严格按照事故应急处理程序进行事故处理，采取的应急处置措施；明确了事故状态下信息报告与联系方式；日常工作中，加强对公司辐射事故应急机构成员的培训，提高领导小组成员应对辐射突发公共事件的能力和知识。针对辐射工作人员，加强教育，严格按照规程操作，提高核安全文化素

养。

环评要求：为确保在发生事故时能够及时启动应急预案，公司应不定期组织相关部门开展辐射事故应急演练，总结演练中存在的问题，及时修订事故应急预案，确保应急预案能及时、有效得到应用。今后在应急预案实施过程中，应根据国家发布的最新法律法规、标准内容，结合公司实际情况，不断对应急预案补充修改、完善，使应急预案更具有操作性、可行性，提高事故应急处置能力。

## 12.6 环保投资及竣工环境保护验收清单

### 12.6.1 环保投资

本项目总投资 400 万元，环保投资额为 16.2 万元，占核技术项目投资的 4.05%。环保投资主要包括辐射工作人员个人剂量计和辐射检测仪购买、职业健康体检费用、辐射工作场所周边环境监测费用等。

表 12-2 环保投资估算表

序号	环境保护设施或措施	数量	费用（万元）
1	购置个人剂量报警仪	2 台	0.4
2	便携式 X-γ 剂量率监测仪	2 台	1
3	铅衣	4 套	1.2
4	职业健康检查费用	4 人	0.3
5	个人剂量计配备以及检查费用	4 人	0.3
6	工作场所以及周边环境监测费用		1
7	环评及验收技术服务		8
8	车载工业 CT 无损检测系统：门机联锁装置 1 套、急停开关 2 个、声光报警器 1 套、警示标识若干、警戒线 1 盘、视频监控 1 套、通风装置 1 套等 移动式 DR 成像检测系统：警戒线 1 盘、警示标识若干、局部屏蔽用铅皮 2 块（1 块 3mm，1 块 4mm）、工作状态指示灯 1 套，声光报警装置 1 套等		4
	合计		16.2

### 12.6.2 项目竣工环境保护验收

根据《建设项目环境保护管理条例》(国务院第 682 号令, 2017 年 10 月 1 日起实施), 工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设单位应对本项目进行竣工环保验收。

建设项目正式投产运行前, 建设单位应进行自主竣工环保验收, 编制验收监测报告。验收合格后, 方可投入生产或使用。本项目竣工环境保护验收清单见表 12-3。

表 12-3 环保验收清单（建议）

验收项目	验收内容	验收指标
年有效剂量	辐射工作人员、公众年有效剂量	辐射工作人员、公众年有效剂量分别小于 5mSv、0.1mSv
铅房外周围剂量当量率	屏蔽墙体外表面 30cm、防护门表面及缝隙表面 30cm 处、工作人员操作位置处、铅房周边人群容易到达位置处周围剂量当量率	各监测点位处周围剂量当量率满足 GBZ 117-2022 标准限值要求
分区管理	控制区、监督区划分范围	按照 GBZ117-2022 标准进行划分控制区、监督区
安全设施	车载工业 CT 无损检测系统：门机联锁装置、急停开关、声光报警器、警示标识、视频监控、通风装置等 移动式 DR 成像检测系统：警戒线、工作状态指示灯、屏蔽用铅皮、声光报警装置等	车载工业 CT 无损检测系统：门机联锁装置 1 套、急停开关 2 个、声光报警器 1 套、警示标识若干、警戒线 1 盘、视频监控 1 套、通风装置 1 套等；移动式 DR 成像检测系统：警戒线 1 盘、警示标识若干、局部屏蔽用铅皮 2 块（1 块 3mm，1 块 4mm）、工作状态指示灯 1 套，声光报警装置 1 套等，各安全设施能够正常有效运行，且具备 GBZ117-2022 标准要求的功能
个人防护用品	个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式 X-γ 剂量率监测仪、铅衣	个人剂量计 4 个、个人剂量报警仪 2 台、便携式 X-γ 剂量率监测仪 2 台、铅衣 4 套
辐射安全与环境保护机构	机构是否完整、职责是否明确	机构完整、人员配备到位、职责分明
监测计划	监测项目、频次、监测点位依据表 12-1 中进行制定	监测仪器在有效期范围内，按照监测计划对工作场所及周边环境进行监测
环保管理规章及制度	《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《射线装置管理制度》、《射线装置台账》、《射线装置岗位职责、操作规程》、《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作人员健康体检管理制度》、《辐射安全防护设施的维护与维修制度》、《辐射环境监测制度》、《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》、《辐射事故应急预案》等规章制度	各项辐射环境管理制度依据项目实际情况进行制定，可操作性强、能够较好地贯彻落实。
应急预案	制定辐射事故应急预案，明确应急领导机构和人员职责，明确人员组织与培训、物资准	应急预案符合项目实际情况，应急预案切实可行，具

	备、应急响应程序、辐射事故报告和处理程序等内容。	备可操作性
人员培训	辐射工作人员、辐射防护负责人	经辐射防护和安全培训合格，持证上岗
剂量档案和职业健康档案	是否建立个人剂量档案、职业健康监护档案	档案是否完整

表 13 结论与建议

### 13.1 环境影响分析结论

(1) 公司为满足业务发展需要，确保产品质量，计划购置 1 套车载工业 CT 无损检测系统、2 套 DR 成像检测系统用于对特定的钢结构工件的缺陷进行无损检测。该项目符合国家产业政策，该项目产生的经济效益、社会效益远大于其辐射影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”要求。

(2) 根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），车载工业 CT 无损检测系统探伤作业时，将检测系统屏蔽铅房内区域划分为控制区，将操作间以及铅房外侧 1m 范围内划分为监督区。车载工业 CT 无损检测系统设置门-机联锁装置、急停开关、声光报警器、警示标识、视频监控、通风装置等辐射安全措施。移动式 DR 成像检测系统现场无损检测作业时，将周围剂量当量率大于  $15\mu\text{Sv/h}$  的区域划为控制区，周围剂量当量率大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的区域划分为监督区。作业控制区、监督区边界设置警戒线，在控制区边界还应放置“禁止进入 X 射线区”标牌，在监督区边界放置“无关人员禁止入内”标牌，警示无关人员不可误入作业现场。作业现场设专人警戒，避免无关人员进入。

(4) 公司车载工业 CT 无损检测系统在其最大管电压工作状态下，其配套的铅房四周屏蔽墙体及防护门表面 30cm 处的周围剂量当量率为  $0.466\sim 1.20\mu\text{Sv/h}$ ，周围剂量当量率估算结果均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，铅房顶部墙体周围剂量当量率为  $1.59\mu\text{Sv/h}$ ，估算结果小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“剂量限值”要求。理论估算结果表明，本项目车载工业 CT 无损检测系统自带铅房具有较好的辐射屏蔽能力，满足标准相关屏蔽要求。

(5) 本项目运行过程中，该项目车载工业 CT 无损检测系统最大工作状态下，所致辐射工作人员最大年附加有效剂量为  $0.03\text{mSv}$ ；所致周围公众最大年附加有效剂量为  $4.17\times 10^{-4}\text{mSv}$ ；该项目移动式 DR 成像检测系统最大工作状态下，所致辐射工作人员最大年附加有效剂量为  $0.40\text{mSv}$ ；所致周围公众最大年附加有效剂量为  $3.47\times 10^{-4}\text{mSv}$ ；该项目运行所致辐射工作人员的年附加有效剂量小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年有效剂量基本限值  $20\text{mSv}$  和本次评价  $5\text{mSv}$  剂量约束值；所致公众最大年附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定年有效剂量  $1\text{mSv}$  限值和本次评价公众  $0.1\text{mSv}$  剂量约束值。

综上所述，本项目利用 X 射线进行无损检测，以提高产品质量，项目开展具有积极

的意义，符合辐射防护实践正当性原则；项目采取辐射防护措施后，能够使其对周边环境的辐射影响降到了尽可能合理低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则；从辐射环境保护角度，该项目在严格落实各项辐射防护措施情况下，项目对环境的影响是可以接受的。

### **13.2 要求**

(1) 严格按照原陕西省环境保护厅《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》，完善辐射防护与环境保护管理机构、人员管理、规章制度等管理要求。

(2) 利用配备辐射剂量率监测仪器，定期对射线装置工作场所及周边环境进行监测，所有监测数据归档备查。

(3) 辐射工作人员和辐射管理人员通过辐射安全和防护培训考核，持证上岗。放射操作人员严格按照操作规程操作，每天作业前，应仔细检查射线装置安全设施性能，确保其处于正常的运行状态；定期对射线装置安全设施进行维修、维护，保证其安全性和可靠性。

(4) 公司辐射工作人员应定期进行职业病检查，建立个人职业病健康监护档案；所有辐射工作人员均应配备个人剂量计，每季度检测一次，建立个人剂量档案。

(5) 公司应针对射线装置可能发生的事故，依据国家相关法律法规，制定《辐射事故应急预案》，并根据运行实际情况，不断完善该预案，确保在发生事故能及时启动应急预案。

### **13.3 建议**

(1) 公司应按照国家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，并编制验收报告，验收合格并取得辐射安全许可证才能正式投入使用。

(2) 辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，并进行岗前职业健康检查工作。

(3) 辐射工作人员、辐射安全与环境保护管理人员必须取得辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训合格证后才能上岗，严禁无证上岗。

(4) 培养并提高辐射工作人员的辐射防护安全意识，严格按照 X 射线无损检测操作规程操作，每次无损检测作业前，应仔细检查辐射安全设施的性能，确保其处于正常的



工作状态。

(5) 不断完善各项辐射安全管理规章制度和对事故的预防、处理等措施，定期开展辐射事故应急演练，并总结演练过程中出现的问题，不断细化和完善辐射事故应急预案，确保其具有较好的适用性和可操作性。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日