

核技术利用建设项目
广西白龙核电项目部工业 X、 γ 射线固定探
伤及移动探伤应用项目
环境影响报告表
(公示本)

中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部 (盖章)

2025 年 7 月



核技术利用建设项目
广西白龙核电项目部工业 X、 γ 射线固定探
伤及移动探伤应用项目
环境影响报告表

建设单位名称：中国核工业第五建设有限公司广西白龙核

电项目部（盖章）

建设单位法人代表（签名或签章）：张百勤

通讯地址：广西壮族自治区防城港市防城区江山镇白龙村

双墩组王芝友住宅楼

邮政编码：538021

联系人：李建业

电子邮箱：543601022@qq.com 联系电话 13109762417

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	7
表 3 非密封放射物质	7
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	9
表 6 评价依据	10
表 7 环境保护目标与评价标准	13
表 8 环境质量现状和辐射现状	23
表 9 项目工程分析与源项	28
表 10 辐射安全与防护	45
表 11 环境影响分析	63
表 12 辐射安全管理	95
表 13 结论与建议	102

表 1 项目基本情况

建设项目名称	广西白龙核电项目部工业 X、 γ 射线固定探伤及移动探伤应用项目					
建设单位	中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部					
法人代表	张百勤	联系人	李建业	联系电话	*	
注册地址	广西壮族自治区防城港市防城区江山镇白龙村双墩组王芝友住宅楼					
项目建设地点	广西壮族自治区防城港市江山半岛南端					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资 (万元)	*	项目环保投资 (万元)	16	投资比例	*%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	/	
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"/> VI类 <input type="checkbox"/> V类			
	放射源	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> VI类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射药物			
	非密封放射物质	<input type="checkbox"/> 销售	/			
	非密封放射物质	<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			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
	其他	/				

1. 项目概述

1.1 建设单位情况

本工程建设单位为中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部(以下简称“项目部”), 成立于 2025 年 5 月 20 日, 统一社会信用代码为 91450603MAEL59EX26, 经营范围为一般经营项目: 承接总公司工程建设业务; 普通机械设备安装服务: 对外承包工程; 凭总公司授权开展经营活动(除依法须经批准的项目外, 凭营业执照依法自主开展经营活动) 许可经营项目: 民用核安全设备安装; 建设工程施工(依法须经批准的项目, 经相关部门批准后方可开展经营活动, 具体经营项目以相关部门批准文件或许可证件为准)。

1.2 项目目的和任务由来

为了满足广西白龙核电项目设施对工程施工质量的高要求, 中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部拟在项目部生产临建区内建设 1 座探伤室、源

库及配套的器材室、值班室、操作室等，利用 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机（含放射源）开展白龙核电项目固定探伤及移动探伤作业，不对外承担其他探伤业务。本工程源库用于核电站施工过程中各施工承包商 γ 射线探伤机的存放，以实现对 γ 射线探伤机的安全控制和集中管理。

根据原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号《关于发布放射源分类办法的公告》和原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号《关于发布射线装置分类的公告》对射线装置的分类，本工程使用的 X 射线探伤机为 II 类射线装置； $^{192}\text{Ir}/^{75}\text{Se}$ γ 射线探伤机内含放射源的额定装源活度均为 $4.2 \times 10^{12}\text{Bq}/\text{枚}$ ，属于 II 类放射源。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本工程属于“五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目”。本次评价内容为使用 II 类射线装置、使用 II 类放射源，应编制环境影响报告表。受中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部委托，中国能源建设集团广西电力设计研究院有限公司对中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部工业 X、 γ 射线固定探伤及移动探伤应用项目进行环境影响评价。

1.3 项目建设规模

中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部拟在项目部生产临建区东北部建设 1 座探伤室、源库及配套的器材室、值班室、操作室等；于生产临建区综合用房一层设置暗室、审片室、底片储存室等；依托临建区内的危废暂存间暂存危险废物。

本工程共设置 16 台 X 射线探伤机和 39 台 γ 射线探伤机（已包含其他施工承包商所用的 γ 射线探伤机）用于固定场所和移动场所的无损检测。其中 16 台 X 射线探伤机贮存于探伤室器材室内，均属 II 类射线装置；28 台 ^{192}Ir γ 射线探伤机、11 台 ^{75}Se γ 射线探伤机贮存于源库内，每台 γ 射线探伤机内置 1 枚放射源，额定装源活度均为 $4.2 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，属于 II 类放射源。

本工程拟使用的 X 射线装置信息见表 1-1， γ 射线放射源信息见表 1-2，工程所在地理位置见图 1。

表 1-1 本工程 X 射线装置信息一览表

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压	最大管电流	类别	类型
1	X 射线探伤机	II类	3	XXG-3505	350kV	5mA	II类	定向机
2	X 射线探伤机	II类	3	XXG-3505ZD	350kV	5mA	II类	定向机
3	X 射线探伤机	II类	2	XXGH3005Z	300kV	5mA	II类	定向机
4	X 射线探伤机	II类	2	XXG2505	250kV	5mA	II类	定向机
5	X 射线探伤机	II类	2	XXG2005	200kV	5mA	II类	定向机
6	X 射线探伤机	II类	2	XXG1605D	160kV	5mA	II类	定向机
7	X 射线探伤机	II类	2	SMART EVO 300D	300kV	3mA	II类	定向机

表 1-2 本工程 γ 射线放射源信息一览表

序号	名称	核素名称	枚数	额定装载活度	类别
中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部					
1	^{192}Ir γ 射线探伤机	^{192}Ir	14	$4.2 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$	II类
2	^{75}Se γ 射线探伤机	^{75}Se	6	$4.2 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$	II类
其他施工承包商					
3	^{192}Ir γ 射线探伤机	^{192}Ir	14	$4.2 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$	II类
4	^{75}Se γ 射线探伤机	^{75}Se	5	$4.2 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$	II类
总计					
	^{192}Ir γ 射线探伤机	^{192}Ir	28	$4.2 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$	II类
	^{75}Se γ 射线探伤机	^{75}Se	11	$4.2 \times 10^{12}\text{Bq/枚}$	II类



图 1 工程地理位置图

2. 项目选址情况及周边保护目标

2.1 探伤室、源库位置及其外环境

本工程探伤室及源库选址位于广西壮族自治区防城港市中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部生产临建区东北部。探伤室及源库为单层建筑，顶棚以上无其他构筑物，地面以下为建筑基层，无地下室。探伤室及源库西北侧为规划的不锈钢管段堆放区（含废料场）、周转材料（泵管、脚手架）存放区、阀门维修和试压间，西南侧为规划的喷砂防腐车间、碳钢管道预制车间，南侧为不锈钢管道预制车间、通风保温预制车间，东南侧为规划的碳钢管段存放区、板材和土建原料存放区、危废暂存间、危化品库房，东北侧为规划的垃圾堆场。

探伤室及源库位于项目部生产临建区边缘，可避免人员混杂，有利于分区管

理。防护门朝向西北侧的通道，便于工件运转和送检，探伤房周边 50m 范围内无居民区和学校等敏感建筑物，周边相邻场所均是人员居留因子较小的场所，与《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求相符，选址合理。

2.2 洗片和评片及危废暂存间位置

本工程固定式探伤和移动式探伤均固定在暗室和评片室内进行洗片和评片工作，废显（定）液、废胶片及洗片废液等危险废物集中收集后及时转移至危废暂存间进行暂存，最终委托有资质的单位处理处置。

洗片和评片室设置在生产临建区综合用房一层，暗室位于综合用房东部，由干湿两间组成；审片室设置在暗室西侧，以满足短期内快速处理和评估检测结果的需求；评片室设在暗室东侧。本工程危险废物依托生产临建区建设的危废暂存间进行暂存，该危废暂存间设置在探伤室和源库的东南侧。

2.3 移动探伤作业地点

本工程移动探伤作业地点为施工临建区和广西白龙核电厂区，具体操作地点的选择严格按照相关管理制度进行。

2.4 周边环境保护目标

（1）固定式探伤

本工程固定式探伤环境保护目标主要为探伤室和源库 50m 评价范围内从事放射源管理和 X、 γ 射线固定式探伤操作的辐射工作人员、临建区内非辐射工作人员及其他公众。

（2）移动式探伤

本工程移动式探伤环境保护目标主要为施工临建区和广西白龙核电厂区移动探伤区域外 100m 评价范围内辐射工作人员、厂区非辐射工作人员及其他公众。

3. 实践正当性

使用 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机进行无损检测时，X 射线、 γ 射线在穿透物体过程中与物质发生相互作用，缺陷部位和完好部位的透射强度不同，底片上相应部位会呈现黑度差，评片人员根据黑度变化判断缺陷情况，评价焊接焊缝的质量。使用 X 射线探伤机或 γ 射线探伤机进行探伤（无损检测），判断探件是否有缺陷，以及缺陷类型，出具探伤报告，从而保证施工质量或产品质量。

X 射线或 γ 射线探伤作为一种无损检测方法，能在不损害或不影响被检测对象使用性能的前提下，对材料、零件、设备等探件进行缺陷检测，具有明显的经济效益和社会效益。在做好辐射安全防护的条件下，可保证项目周边辐射剂量率水平控制在合理水平，项目所致人员有效剂量满足项目管理目标要求。因此，本项目产生的辐射危害远小于企业和社会从中取得的利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的辐射防护“实践正当性”的要求。

4. 产业政策符合性

本工程属于 X、 γ 射线固定探伤及移动探伤应用。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本工程属于“鼓励类”中“十四、机械，1.科学仪器和工业仪表，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”，符合国家产业政策的要求。

5. 原有核技术利用项目许可情况

无。

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	$1.176 \times 10^{14} / 4.2 \times 10^{12} \times 28$	II类	使用	固定、移动工 业探伤	探伤室、探伤 现场	贮存在γ射线探伤机 内，随探伤机一起贮 存在源库内	便携式
2	⁷⁵ Se	$4.62 \times 10^{13} / 4.2 \times 10^{12} \times 11$	II类	使用	固定、移动工 业探伤	探伤室、探伤 现场	贮存在γ射线探伤机 内，随探伤机一起贮 存在源库内	便携式

表 3 非密封放射物质

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额度电流 (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	最大管电流	用途	工作场所	备注
1	X 射线探伤机	II类	3	XXG-3505	350kV	5mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机
2	X 射线探伤机	II类	3	XXG-3505ZD	350kV	5mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机
3	X 射线探伤机	II类	2	XXGH3005Z	300kV	5mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机
4	X 射线探伤机	II类	2	XXG2505	250kV	5mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机
5	X 射线探伤机	II类	2	XXG2005	200kV	5mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机
6	X 射线探伤机	II类	2	XXG1605D	160kV	5mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机
7	X 射线探伤机	II类	2	SMART EVO 300D	300kV	3mA	固定场所探伤和移动场所探伤	探伤室、探伤现场	定向机

(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	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	年发放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
退役放射源	固态	¹⁹² Ir	/	/	/	/	源在 γ 射线探伤机源容器内, γ 射线探伤机置于源库储源柜内	放射源生产厂家回收, 如因故无法回收, 退役放射源委托有资质的单位回收处置
	固态	⁷⁵ Se	/	/	/	/	源在 γ 射线探伤机源容器内, γ 射线探伤机置于源库储源柜内	放射源生产厂家回收, 如因故无法回收, 退役放射源委托有资质的单位回收处置
退役 γ 射线探伤机	固态	/	/	/	/	/	/	探伤机由厂家回收
废显(定)影液	液态	/	/	/	0.498t	/	施工临建区内的危废暂存间	交由有相应资质的危废处理单位处置
废胶片	固态	/	/	/	0.010t	/	施工临建区内的危废暂存间	交由有相应资质的危废处理单位处置
非放射性有害气体	气态	/	/	/	/	/	/	通过探伤室和源库排风装置排至外环境, 移动探伤现场自然通风

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/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》（2014 年修订本），2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正本），2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修正本），2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《产业结构调整指导目录》（2024 年本）；</p> <p>(7) 《广西壮族自治区环境保护条例》（2019 年修订版），2019 年 7 月 25 日起施行；</p> <p>(8) 广西壮族自治区生态环境厅关于印发《广西壮族自治区建设项目环境影响评价文件分级审批管理办法（2025 年修订版）》的通知（桂环规范〔2025〕2 号）；</p> <p>(9) 《广西壮族自治区辐射事故应急预案》，2022 年 1 月 14 日施行；</p> <p>(10) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，2017 年 11 月 20 日发布并施行；</p> <p>(11) 《国家危险废物名录（2025 年版）》；</p> <p>(12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正本），2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(13) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日修订施行；</p> <p>(15) 《射线装置分类》，2017 年 12 月 5 日发布施行；</p>
------	---

	<p>(16) 《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》，2006年9月26日起施行；</p> <p>(17) 《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》，2020年1月1日起施行；</p> <p>(18) 《关于印发<关于γ射线探伤装置的辐射安全要求>的通知》环发〔2007〕8号原国家环境保护总局，2007年1月15日起施行；</p> <p>(19) 《关于做好放射性废物(源)收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609号，原环境保护部办公厅，2017年4月21日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)；</p> <p>(6) 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)及其1号修改单；</p> <p>(7) 《γ射线探伤机》(GB/T14058-2023)；</p> <p>(8) 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(10) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006)；</p> <p>(11) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(12) 《中国环境天然放射性水平》(2015年)；</p> <p>(13) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)；</p> <p>(14) 《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ 1276-2022)；</p> <p>(15) 《核技术利用放射性废物库选址、设计与建造技术要求》(HJ1258-2022)。</p>

其他	<p>(1) 委托书（见附件 1）；</p> <p>(2) 营业执照（见附件 2）；</p> <p>(3) 项目辐射环境现状监测报告（见附件 3）。</p>

表 7 环境保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本工程为使用II类射线装置和II类放射源项目。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）中评价范围的规定：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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），确定本工程辐射环境评价范围如下：

- (1) 固定探伤时，评价范围为探伤室及源库墙体外 50m 区域，见附图 3；
- (2) 移动探伤时，无实体屏蔽，参照理论计算的监督区边界范围及 HJ10.1-2016 要求，评价范围不低于 100m。

7.2 保护目标

本工程环境保护目标为评价范围内从事探伤的辐射工作人员以及周边其他非辐射工作人员和公众。

辐射工作人员包括辐射安全管理人员、源库值班人员、探伤工作人员。非辐射工作人员和公众为探伤室、源库、 γ 射线探伤机运输车辆、移动探伤现场周围及核电厂、生产临建厂区非辐射工作人员和公众。

本工程环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本工程探伤室及源库环境保护目标一览表

场所名称	环境保 护目标	方位	最近距 离	规模	辐射类 型	年有效剂量、 管理约束值要 求	
探 伤 房 和 源 库	操作室	辐射工 作人员	/	紧邻	2 人	职业照 射	连续 5 年的年 平均有效剂 量, 20mSv; 本工程取其四 分之一即 5mSv 作为管 理约束值。
	器材室	辐射工 作人员	/	紧邻	2 人		
	源库值班室	辐射工 作人员	/	紧邻	4 人		
	源库	辐射工 作人员	/	紧邻	2 人		
	垃圾场	公众	东侧	紧邻	1 人	非职业 照射	年有效剂量, 1mSv; 本工程 取其十分之一 0.1mSv 作为 管理约束值。
	生产临建区道路	公众	西北侧 和西南 侧	西北侧 紧邻, 西 南侧 17m	流动 人员		
	生产临建区 D1 堆场(含废料场)	公众	西北侧	8m	5 人		
	生产临建区阀门 试压间	公众	西侧	31m	10 人		
	生产临建区喷砂 防腐车间	公众	西南侧	24m	30 人		
	生产临建区碳钢 管道预制车间	公众	南侧	28m	30 人		
移 动 探 伤	生产临建区不锈 钢管道预制车间	公众	南侧	45m	30 人	职业照 射	连续 5 年的年 平均有效剂 量, 20mSv; 本工程取其四 分之一即 5mSv 作为管 理约束值。
	生产临建区 D2 堆场	公众	/	紧邻	流动 人员		
移 动 探 伤	移动探伤控制区 边界外	辐射工 作人员	/	/	32 人	公众照 射	年有效剂量, 1mSv; 本工程 取其十分之一 0.1mSv 作为 管理约束值。
	移动探伤监督区 边界外	非辐射 工作人 员、公众	/	/	流动 人员		

7.3 评价标准

7.3.1 职业照射和公众照射

职业照射和公众照射执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第4.3.2.1款，应对个人受到的正常照射加以限值，以保证本标准7.2.2款规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录B(标准的附录B)中规定的相应剂量限值。

(1) 剂量限值

①职业照射

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

②公众照射

第B1.2.1款实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

(2) 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)11.4.3.2节中规定：剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%(即0.1mSv/a~0.3mSv/a)的范围之内。

本工程辐射工作人员的辐射剂量约束值取职业照射的四分之一，即5.0mSv/a；公众成员的辐射剂量约束值取公众照射的十分之一，即0.1mSv/a。

7.3.2 剂量率控制目标和管理要求

一、《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006)

(1) 密封 γ 放射源容器的放射防护要求

第5.1款 密封 γ 放射源容器的结构、材料质量和体积设计，应根据装载种类活度、射线能量、使用及运输放射，包装等级和泄露辐射水平内容综合考虑，确保

放置稳定、装卸容易、运输安全和使用方便。

第 5.8 款 距离装有活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 以下的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.05 \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ ；距离装有活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.2 \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

第 5.9 款 密封 γ 放射源容器外表面的非固定性放射性污染， β 不得超过 $4 \text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ ， α 不得超过 $0.4 \text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

（2）密封源贮存的放射防护要求

第 7.1 款 使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态核查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

第 7.2 款 根据密封源类型、数量及总活度，应分别设计安全可靠的贮源室，贮源箱等相应的专用贮源设备。

第 7.3 款 贮源室应符合防护屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮源室应有专人管理。

第 7.5 款 贮源室应设置醒目的电离辐射警告标志，严禁无关人员进入。

第 7.6 款 贮源室应有足够的使用面积，便于密封源存取；并保持良好的通风和照明。

第 7.7 款 贮源室以及贮源柜、箱等均应有防水、防火、防爆、防腐蚀与防盗等安全设施。

第 7.8 款 无使用价值或不继续使用的退役密封源应退回生产厂家。

二、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

本标准适用于使用 600kV 及以下的 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机进行的探伤工作。

（1）探伤机的放射防护要求

① X 射线探伤机

第 5.1.1 款 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7-2 要求，在随机文件中应有这些指标的说

明。其他放射防护性能应符合 GB/T26837 的要求。

表 7-2 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

管电压 kV	漏射线所致周围剂量当量率 mSv/h
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

② γ 射线探伤机

第 5.2.1.1 款：当源容器装载最大活度值的密封源并处于锁定状态且装配好保护盖（若有）时，源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率应不超过表 7-3 规定的控制值，随机文件中应有该指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T14058 的要求。

表 7-3 源容器外表面一定距离处周围剂量当量率控制值

探伤机类别	探伤机型号	最大周围剂量当量率 mSv/h	
		离源容器表面 5cm 处	离源容器表面 100cm 处
便携式	P	0.5	0.02
移动式	M	1	0.05
固定式	F	1	0.1

③放射源的贮存和领用

第 5.2.3.1 款 使用单位应设立专用的放射源（或带源的探伤机）的贮存库。

第 5.2.3.2 款 移动式探伤工作间歇临时贮存含源容器或放射源、控制源，应在专用的贮存设施内贮存。现场存储设施包括可上锁的房间、专用存储箱或存储坑等。应具有与使用单位主要基地的存储设施相同级别的防护。临时贮存完毕，应进行巡测，确保存储安全。

第 5.2.3.3 款 放射源贮存设施应达到如下要求：

- a)严格控制对周围人员的照射、防止放射源被盗或损坏，并能防止非授权人员采取任何损伤自己或公众的行动，贮存设施门口应设置电离辐射警告标志；
- b)应能在常规环境条件下使用，结构上防火，远离腐蚀性和爆炸性等危险因素；

c)在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 或者审管部门批准的控制水平；

d)贮存设施的门应保持在锁紧状态，实行双人双锁管理；

e)定期检查物品清单，确认探伤源、源容器和控制源的存放地点。

第 5.2.3.4 款 放射源的储存应符合 GA1002 的相关要求

第 5.2.3.5 款 使用单位应制定放射源领用及交还制度，建立领用台账，明确放射源的流向，并有专人负责。

第 5.2.3.6 款 领用、交还含放射源的源容器时，应对离源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器内。含放射源的源容器应按规定位置存放，领用和交还都应有详细的登记。

④放射源的运输和使用

第 5.2.4.1 款 放射源的货运运输要求按 GB11806 的规定执行，应满足 A 类与 B 类运输货包要求。在运输过程中，源窗应处于关闭状态，并有专门的锁定装置。

第 5.2.4.2 款 含源装置应置于储存设施内运输，只有在合适的源容器内正确锁紧并取出钥匙后方能移动。

第 5.2.4.3 款 在不涉及公用道路的厂区内外移动时，应使用小型车辆或手推车，使含源装置处于人员监视之下。

⑤废旧放射源的处理

使用单位应与生产销售单位签订废旧放射源返回协议，当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回生产单位或原出口方。放射源的购买及报废手续应遵照相应审管部门的具体规定，相关文件记录应归档保存。

（2）固定式探伤的放射防护要求

第 6.1 款 探伤室放射防护要求

第 6.1.1 款 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于

同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。

第 6.1.2 款 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 的要求。

第 6.1.3 款 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对辐射工作场所周围剂量当量值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对周围公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

第 6.1.4 款 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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

第 6.1.5 款 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。

第 6.1.6 款 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

第 6.1.7 款 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

第 6.1.8 款 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

第 6.1.9 款 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要

穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。

第 6.1.10 款 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。

第 6.1.11 款 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

三、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

第 3.1 款 探伤室墙和人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 ($\dot{H}_{c,d}$)：

1) 人员在关注点的周剂量参考控制水平 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 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按式 (1) 计算：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad \text{式 (1)}$$

式中： H_c ——周剂量参考控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ ——参考点处剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

t ——探伤装置周照射时间， $\text{h}/\text{周}$ ；

U ——探伤装置向关注点照射的使用因子；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ： $\dot{H}_{c,max} = 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

c) 关注点剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

\dot{H}_c 为上述 a) 中的 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的 $\dot{H}_{c,max}$ 二者的较小值。

第 3.1.2 款 探伤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）在该立体角区域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 3.1.1。

b) 除 3.1.2 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 3.1.1c) 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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

本工程 X 射线探伤机固定探伤年拍片量 0.6 万张, 单个工件平均出束时间为 5min, 年曝光时间 500h, 全年按 50 周计, 则周曝光时间约为 10h。

本工程配备 X 射线固定探伤工作人员 2 名, 正常工况下, 探伤时仅需 1 名辐射工作人员进行操作, 故每个辐射工作人员年受照射时间为 250h, 周照射时间为 5h/周。

按式 (一) 计算, 探伤室周围辐射剂量率参考控制水平见表 7-4。

表 7-4 探伤室周围辐射剂量率参考控制水平

点位	探伤装置周照射时间(h/周)	使用因子(U)	居留因子(T)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1#	5	1	1/16	5	16	2.5	2.5
2#	5	1	1/40	5	40	2.5	2.5
3#	5	1	1/40	5	40	2.5	2.5
4#	5	1	1	100	20	2.5	2.5
5#	5	1	1/16	100	320	2.5	2.5
6#	5	1	0	5	/	100	100

综合以上标准, 本工程人员及工作场所辐射控制水平见表 7-5。

表 7-5 本工程人员及工作场所辐射控制水平

控制对象		控制项目	控制水平	
保护目标	辐射工作人员	年管理剂量约束值	$5\text{mSv}/\text{a}$	
	公众人员	年管理剂量约束值	$0.1\text{mSv}/\text{a}$	
探伤室四周墙体、防护门外 30cm 处	辐射工作场所	周围剂量当量	$100\mu\text{Sv}/\text{周}$	
		剂量率	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$	
	公众场所	周围剂量当量	$5\mu\text{Sv}/\text{周}$	
		剂量率	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$	
探伤室顶外表面 30cm 处		剂量率	$100\mu\text{Sv}/\text{h}$	
源库的四周墙体外、防护门和室顶外表面 30cm 处		剂量率	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$	

(3) 移动式探伤的放射防护要求

①分区设置

第 7.2.1 款 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。

第 7.2.2 款 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 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下式计算:

$$\dot{H} = 100/\tau$$

式中: \dot{H} ——控制区边界周围剂量当量率, 单位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

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

τ ——每周实际开机时间, 单位为 h。

根据建设单位提供资料, 本工程 X 移动探伤曝光时间为 375h/a , 2 组探伤人员平均分担探伤工作, 则周开机曝光时间为 $375/(50 \times 2) = 3.75\text{h}$, 该值低于 7h, 因此, X 移动探伤控制区边界周围剂量当量率取 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

第 7.2.8 款 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 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。

b) 对于 γ 射线探伤, 控制区距离的确定如下:

对于移动式探伤, 控制区边界的周围剂量当量率为 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$, 可由公式 (A.1) 计算确定控制区的距离:

$$L_1 = \sqrt{\frac{A \times \tau}{15}}$$

式中: L_1 ——无工件衰减时需要的控制区距离值, 单位为 m;

A ——放射源的活度, 单位为 MBq;

τ ——周围剂量当量率常数, 单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{MBq} \cdot \text{h})$, 见表 A.1;

15 ——控制区边界周围剂量当量率, $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

综上所述, 本次评价以 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 分别作为 X、 γ 移动探伤现场监督区及控制区边界剂量率控制目标。

表 8 环境质量现状和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本工程中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部生产临建区位于广西壮族自治区防城港市江山半岛南端，探伤室和源库位于生产临建区东北部，为单层结构，地下为土层，周围环境概况见表 8-1 和图 8-1。

移动探伤的作业地点位于施工临建区和广西白龙核电厂区，具体操作地点的选择严格按照相关管理制度进行。

表 8-1 本工程探伤室和源库周围环境一览表

场所名称	规划环境	方位	现状
探伤室和源库	操作室	紧邻	养殖塘、荒地
	器材室	紧邻	
	源库值班室	紧邻	
	源库	紧邻	
	垃圾场	紧邻	
	生产临建区道路	西北侧紧邻，西南侧 17m	荒地
	生产临建区 D1 堆场 (含废料场)	西北侧 8m	荒地
	生产临建区阀门试压间	西侧 31m	荒地
	生产临建区喷砂防腐车间	西南侧 24m	荒地
	生产临建区碳钢管道预制车间	南侧 28m	荒地
	生产临建区不锈钢管道预制车间	南侧 45m	荒地
	生产临建区 D2 堆场	紧邻	空地

备注：探伤室和源库周边的厂房现已拆除，现状为荒地。





图 8-1 本工程探伤室和源库周围环境现状

8.2 环境现状评价对象

8.2.1 环境天然放射性水平

根据《2024 年广西壮族自治区生态环境状况公报》（2025 年 6 月 5 日发布），广西全区环境 γ 辐射剂量率处于本底涨落范围内，辐射环境自动监测站月均值测值范围为 45.9~93.1 纳戈瑞/小时，环境 γ 辐射剂量率累积监测年均值范围为 62.1~217 纳戈瑞/小时，环境 γ 辐射剂量率即时监测结果测值范围为 74.8~143 纳戈瑞/小时，与 2023 年相比无明显变化趋势，与 1983-1990 年全国环境天然放射性水平本底调查结果（广西原野 γ 辐射剂量率范围为 10.7~238.7 纳戈瑞/小时）基本相符。

8.2.2 辐射环境现状监测

（1）评价对象

探伤室和源库及周围的辐射环境质量现状。

（2）监测因子

X - γ 辐射剂量率。

（3）监测时间

2025 年 7 月 16 日。

（4）监测环境条件

监测时段：10:40~11:30；气象条件：天气：晴；温度：29°C；相对湿度：81%。

（5）监测点位

本工程探伤室和源库所在位置主要为已拆除的废弃养殖场，根据工程布置，在探伤室及源库拟建位置及周围共布设 13 个监测点位，监测布点见表 8-2 和图

8-2、图 8-3。

表 8-2 环境辐射监测点位一览表

编号	测点名称
1#	拟建曝光间位置
2#	拟建源库位置
3#	拟建器材室位置
4#	拟建操作室位置
5#	拟建源库值班室位置
6#	拟建垃圾场
7#	拟建生产临建区道路
8#	拟建生产临建区 D1 堆场（含废料场）
9#	拟建生产临建区阀门试压间
10#	拟建生产临建区喷砂防腐车间
11#	拟建生产临建区碳钢管道预制车间
12#	白龙村田辽港组
13#	拟建生产临建区 D2 堆场

图 8-2 探伤房和源库监测布点图

图 8-3 探伤房和源库周边监测布点图

（6）监测项目、监测仪器及监测规范

本工程监测项目、监测仪器及监测规范见表 8-3。

表 8-3 监测项目、监测仪器及监测规范一览表

监测项目	X- γ 辐射剂量率
仪器名称	X- γ 辐射剂量仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10 型 X- γ 剂量率仪
仪器出厂编号	031073+11377
能量响应范围	40keV~4.4MeV
量程	1nGy/h~100 μ Gy/h
校准证书编号	2024H21-10-5547846001
校准日期	2024 年 10 月 23 日
监测依据	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

8.6 质量保证措施

(1) 检测单位

本次评价委托具备辐射检测资质的广西壮族自治区辐射环境监督管理站开展检测，该检验检测机构已通过生态环境部门认证。

(2) 检测仪器

检测仪器为 FH40G+FHZ672E-10 型 X- γ 剂量率仪，设备出厂编号为 031073+11377；量程范围为 1nGy/h~100 μ Gy/h，能量响应范围为 40keV~4.4MeV；校准证书编号为 2024H21-10-5547846001，校准日期为 2024 年 10 月 23 日。

(3) 检测和数据读取方法

依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求和方法进行现场测量。将仪器接通电源预热 15min 以上，仪器探头离地 1m，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算均值和标准偏差。

(4) 其他保证措施

本次由两名检测人员共同进行现场检测，由检测人员按操作规程操作仪器，并做好记录。检测时获取足够的数据量，以保证检测结果的统计学精度，建立完整的文件资料。仪器检定证书、检测布点图、测量原始数据、统计处理记录等全部保留，以备复查。检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，最后由技术负责人审定。

8.7 辐射监测结果

本次监测结果见表 8-4。

表 8-4 监测结果一览表

序号	点位描述	X- γ 辐射剂量率 (nGy/h)	标准差	备注
1#	拟建曝光间位置	*	0.4	室外
2#	拟建源库位置	*	0.4	
3#	拟建器材室位置	*	0.4	
4#	拟建操作室位置	*	0.4	
5#	拟建源库值班室位置	*	0.5	

6#	拟建垃圾场	*	0.5	
7#	拟建生产临建区道路	*	0.3	
8#	拟建生产临建区 D1 堆场 (含废料)	*	0.5	
9#	拟建生产临建区阀门试压间	*	0.4	
10#	拟建生产临建区喷砂防腐车间	*	0.4	
11#	拟建生产临建区碳钢管道预制车间	*	0.4	
12#	白龙村田辽港组	*	0.5	
13#	拟建生产临建区 D2 堆场	*	0.4	
测值范围		43.5~75.4	/	/

备注：已根据 HJ1157-2021 的要求扣除仪器对宇宙射线的响应值。建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子取 1。

8.8 辐射环境现状监测结果评价

由表 8-4 的监测结果可知，本工程探伤房和源库及周围区域环境现状监测中 X- γ 辐射剂量率为 43.5~75.4nGy/h，广西原野 γ 辐射剂量率范围为 10.7~238.7nGy/h。对比可知，本工程所在区域辐射环境现状未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析与源项

本工程施工期主要包括基础工程、主体工程施工、防护设施安装及工程验收；施工过程产生的主要污染因子为扬尘、噪声、施工废水、施工人员生活污水及固体废物。本工程规模较小，施工期较短，随着施工期结束，影响也随之停止。

施工期工艺流程及产物环节如图 9-1 所示。

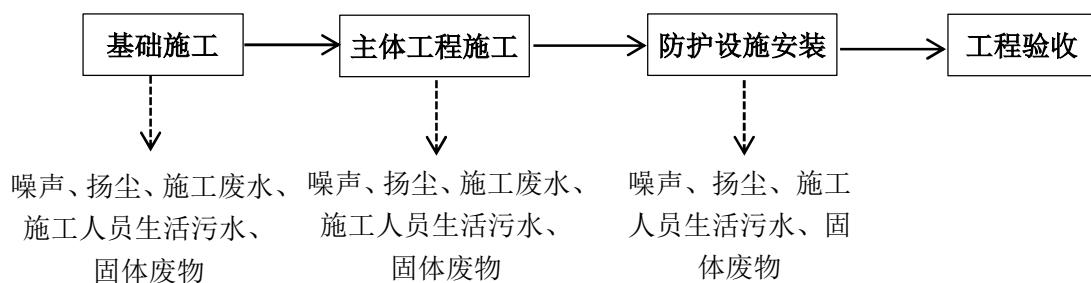


图 9-1 施工工艺流程及产污环节分析

9.2 运行期工程分析

开展探伤作业前，首先根据探伤要求以及工件尺寸、大小、厚度、材质等选择使用 X 射线探伤机或 γ 射线探伤机。通常情况下，工件厚度低于 50mm 的选用 X 射线探伤机，工件厚度高于 50mm 的选用 γ 射线探伤机。射线种类选择还需结合实际情况进行综合考量。

9.2.1 X 射线固定/移动探伤

(1) X 射线探伤机结构

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

典型 X 射线探伤机外形及内部结构见图 9-2。



图 9-2 典型 X 射线探伤机外形及内部结构

(2) X 射线产生的原理

X 射线机主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚光杯中的钨灯丝，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、钽等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚光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作用的轫致辐射即为 X 射线。

典型的 X 射线管结构见图 9-3。

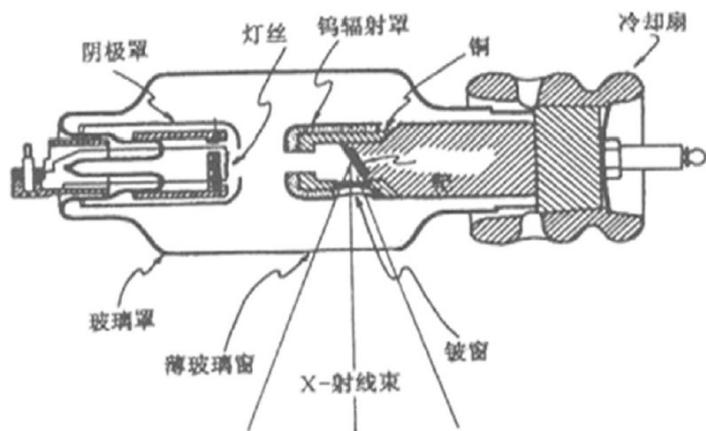


图 9-3 典型 X 射线管结构图

(3) X 射线探伤原理

X 射线探伤机在使用过程中，通过 X 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较强的图像显示裂缝所在的位置，X 射线探伤机据此实现探伤（无损检测）的目的。

(4) 本工程 X 射线探伤机技术参数

表 9-1 本工程 X 射线探伤机技术参数

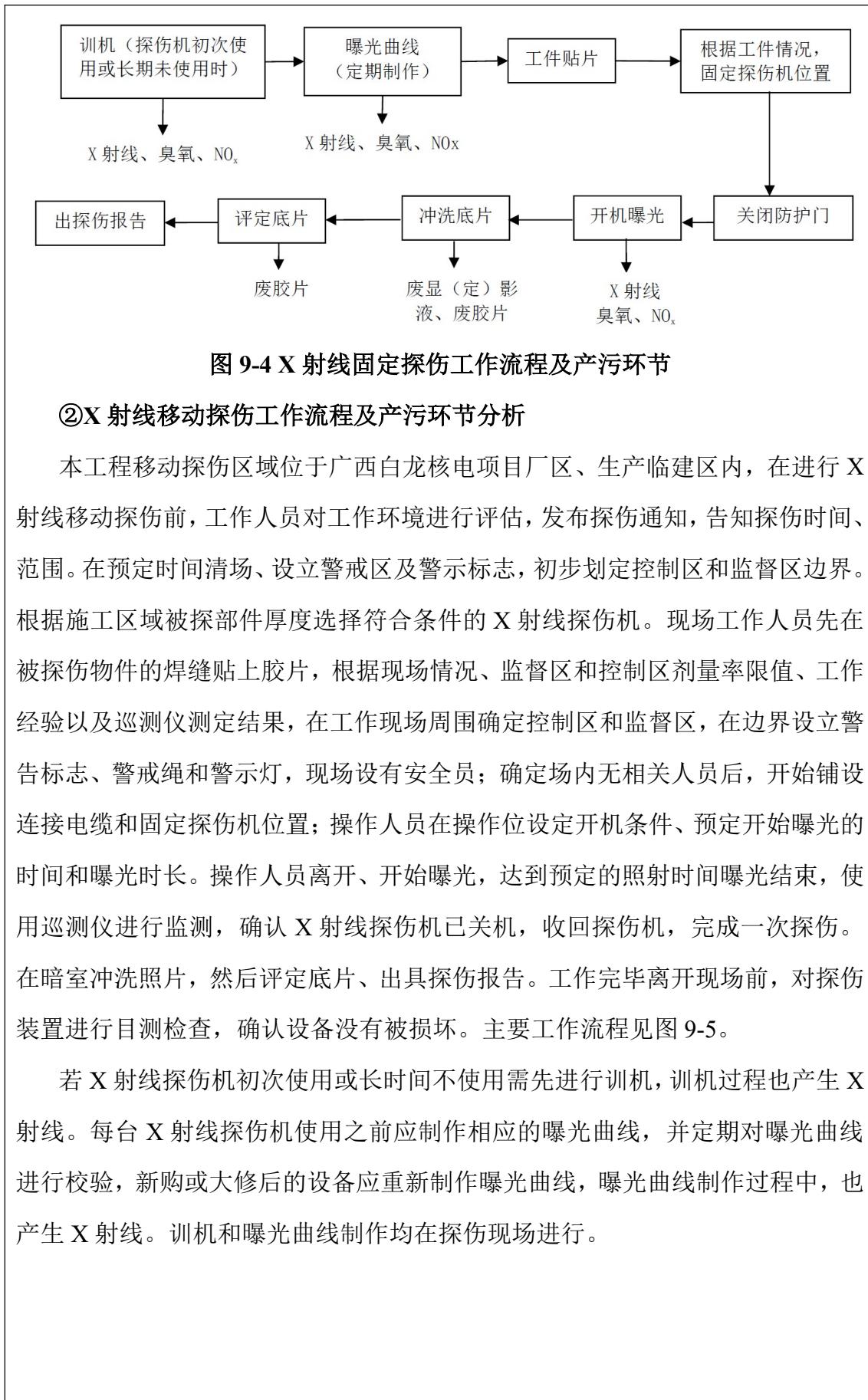
型号	输出电压(kV)	滤过条件	最大管电流(mA)	焦点尺寸(mm)	射线管射束辐射角(°)	最大穿透A3钢(mm)	备注
XXG-3505	350	3mm 铜	5	2.5×2.5	40°	50	定向机
XXG-3505ZD	350	3mm 铜	5	2.5×2.5	40°	60	定向机
XXGH3005Z	300	3mm 铝	5	3.5×3.5	40°	50	定向机
XXG2505	250	3mm 铝	5	2.5×2.5	40°	40	定向机
XXG2005	200	2mm 铝	5	2.0×2.0	40°	30	定向机
XXG-1605D	160	2mm 铝	5	1.5×1.5	40°	20	定向机
SMART EVO 300D	300	3mm 铝	3	3.0×3.0	40°	65	定向机

(5) X 射线探伤机工作流程及产污环节分析

① X 射线固定探伤工作流程及产污环节分析

工作人员在使用 X 射线探伤机前，先在待检工件焊缝或被探部位处贴上胶片，根据工件大小以及焊缝位置，将待检工件固定位置，确定探伤室内无人员，关闭防护门；工作人员在控制台上接通电源并开始曝光，达到预定照射时间后关机，完成一次探伤；探伤作业结束后关闭电源，固定剂量报警仪显示探伤室内剂量达到本底水平，工作人员打开防护门进入探伤室内，将被检工件及胶片取出，清场撤出并关闭防护门；工作人员冲洗照片、观察照片（评定底片）、出具探伤报告。X 射线探伤机日常存放于探伤室器材室内。

X 射线固定探伤工作流程及产污环节图见图 9-4。



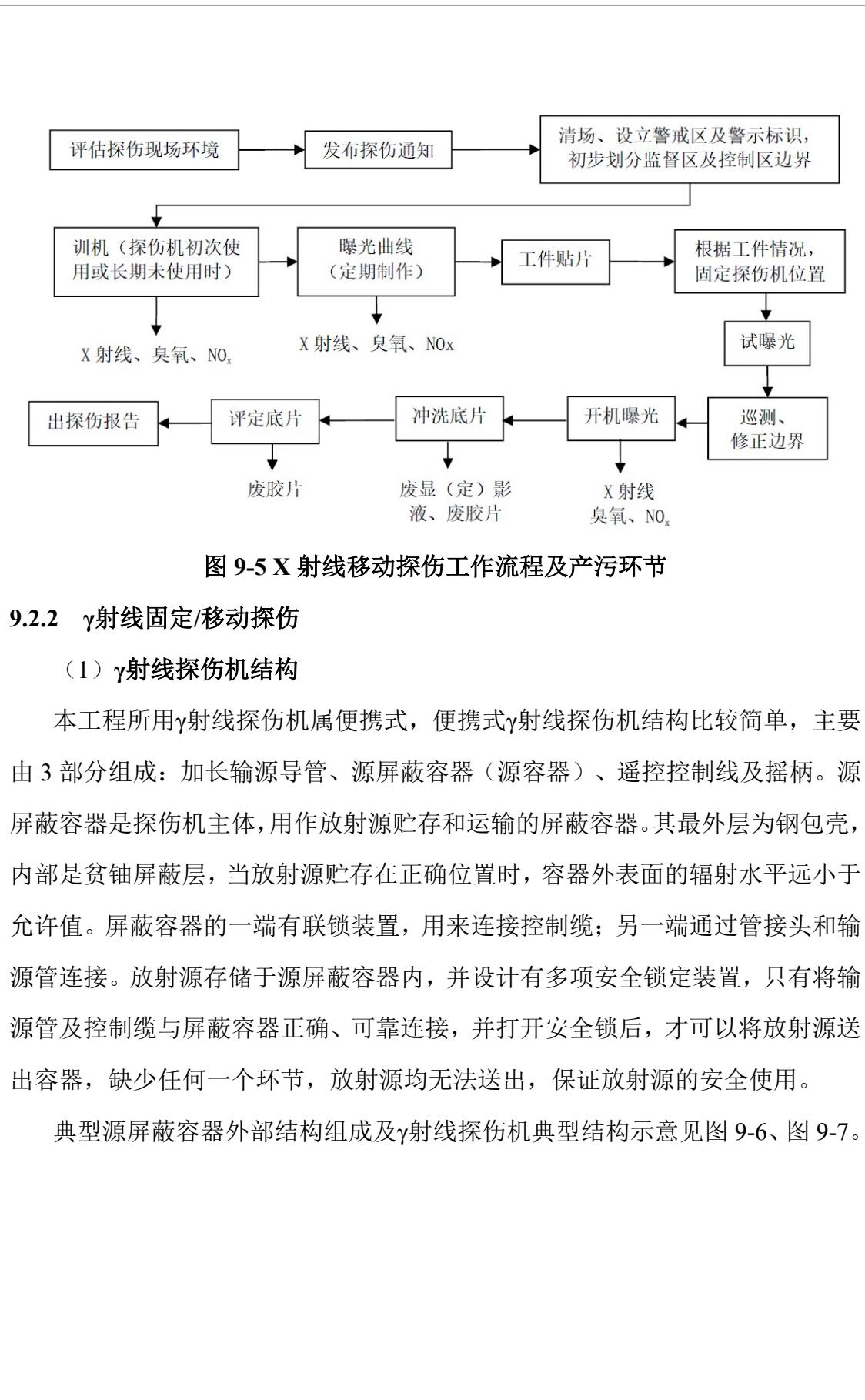


图 9-5 X 射线移动探伤工作流程及产污环节

9.2.2 γ 射线固定/移动探伤

(1) γ 射线探伤机结构

本工程所用 γ 射线探伤机属便携式，便携式 γ 射线探伤机结构比较简单，主要由3部分组成：加长输源导管、源屏蔽容器（源容器）、遥控控制线及摇柄。源屏蔽容器是探伤机主体，用作放射源贮存和运输的屏蔽容器。其最外层为钢包壳，内部是贫铀屏蔽层，当放射源贮存在正确位置时，容器外表面的辐射水平远小于允许值。屏蔽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。放射源存储于源屏蔽容器内，并设计有多项安全锁定装置，只有将输源管及控制缆与屏蔽容器正确、可靠连接，并打开安全锁后，才可以将放射源送出容器，缺少任何一个环节，放射源均无法送出，保证放射源的安全使用。

典型源屏蔽容器外部结构组成及 γ 射线探伤机典型结构示意见图9-6、图9-7。



图 9-6 γ 射线探伤机典型源屏蔽容器外部结构组成图

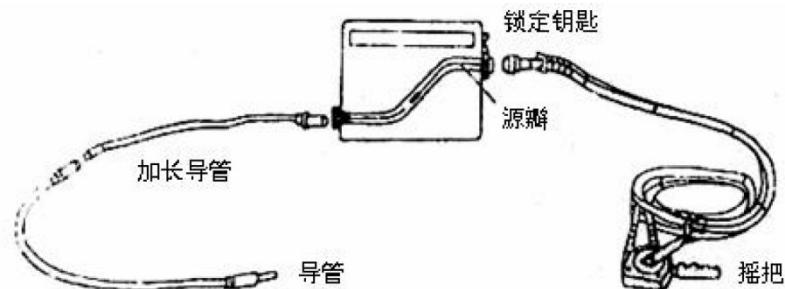


图 9-7 γ 射线探伤机典型结构示意图

(2) γ 射线探伤原理

通过 $^{192}\text{Ir}/^{75}\text{Se}$ 产生的 γ 射线对受检工件进行照射, 当射线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的位置, γ 射线探伤机据此实现探伤目的。

(3) γ 射线探伤机技术参数

^{192}Ir γ 射线探伤机: 表面剂量 $< 2\text{msv/h}$, 装源活度 $4.2 \times 10^{12}\text{Bq}$;

^{75}Se γ 射线探伤机: 表面剂量 $< 2\text{msv/h}$, 装源活度 $4.2 \times 10^{12}\text{Bq}$ 。

(4) 核素特性

①核素形态: 固态密封源。

② ^{192}Ir 核素特性

半衰期: 74.02d。

衰变方式: $\beta\% = 95.4\%$, 主要有 3 种能量的 β 射线, 分别为 225.9KeV (5.95%)、256.0KeV (41.3%)、672.3KeV (5.95%)。EC% = 4.6%。

^{192}Ir 发射的 X 射线份额较少, 有 20 余种不同能量的 γ 射线, γ 射线有 4 种分支比较大, 能量分别为 316.5keV(82.8%)、468.1keV(47.7%)、308.5keV(29.8%)、296.0keV(28.6%)。

③ ^{75}Se 核素特性

半衰期: 120.0d。

衰变方式: EC% = 100%。

^{192}Ir 发射的 γ 射线有 20 余种, 其中 4 种分支比较大, 能量分别为 264.7keV(59.1%)、36.0keV(59.0%)、279.5keV(25.2%)、121.1keV(17.3%)。

(5) γ 射线探伤工作流程及产污环节分析

① γ 射线固定探伤工作流程及产污环节分析

a) 工作人员在使用 γ 射线探伤机前, 先在待检工件焊缝或被探部位处贴上胶片, 根据工件大小以及焊缝位置, 将待检工件固定位置。

b) 工作人员将 γ 射线探伤机提离源库源柜, 将其置于探伤室工作位置, 将驱动缆、源导管与主机正确、可靠连接。

c) 按拍片技术要求, 将源导管另一端的源端子 (曝光头) 固定于曝光位置, 检查驱动缆和源导管曲率半径不得小于 300mm; 检查驱动缆及源导管的摆放位置, 其周边不可有容易倾倒的物体或工件, 以免在曝光过程中砸伤导管造成卡源事故; 人员撤离的同时, 最后一名操作者用钥匙打开主机安全锁, 将开关环旋至工作位置, 注意此时主机前方会有一束射线向正前方射出, 应保证主机前方无人员经过; 确认探伤室内无人、确认所有安全装置起作用, 关闭防护门。

d) 工作人员在操作室工作台预置启动延迟时间、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”的检测过程。

e) 曝光完毕收源, 固定剂量报警仪显示探伤室内剂量达到本底水平, 然后工作人员进入探伤室, 将主机开关关闭, 再进行下一步操作, 同时使用检测仪器检测放射源是否已收入 γ 射线探伤机源容器中。

f) 将驱动缆及源导管从主机上拆下并妥善保管，将 γ 射线探伤机撤离放入源库源柜并锁闭。然后冲洗照片、评定底片，出具探伤报告。

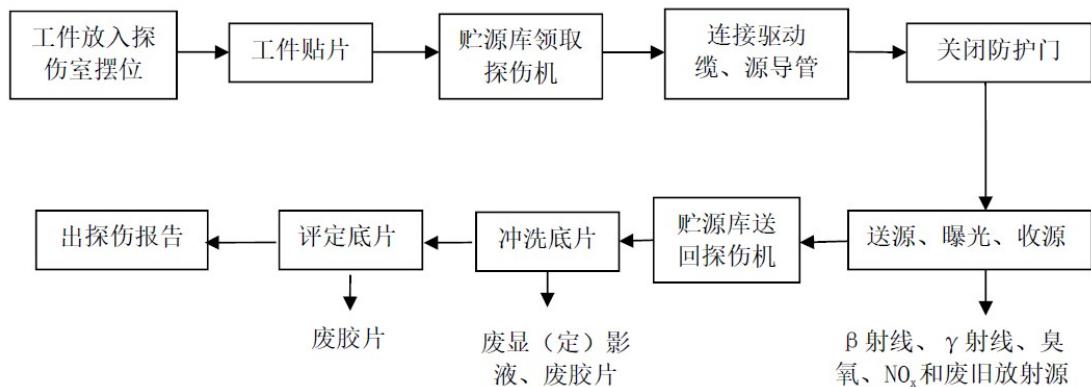


图 9-8 γ 射线固定探伤工作流程及产污环节图

② γ 射线移动探伤工作流程及产污环节分析

本工程移动探伤区域位于广西白龙核电厂厂区、生产临建区内，在进行 γ 射线探伤前，工作人员对工作环境进行评估，发布探伤通知，告知探伤时间、范围。在预定时间清场、设立警戒区及警示标志，初步划定控制区和监督区边界。根据施工区域被探部件厚度选择符合条件的最低源活度。现场工作人员先在被探伤物件的焊缝贴上胶片，根据现场情况、监督区和控制区剂量率限值、工作经验以及巡测仪测定结果，在工作现场周围确定控制区和监督区，在边界设立警告标志、警戒绳和警示灯，现场设有安全员；确定场内无相关人员后，开始铺设输源管；确定放射源的位置和照射时间后，在操作位置的的操作人员将放射源通过输源管迅速送入被探伤物件腔内（或者贴胶片的背面），然后迅速离开，并开始计时；达到预定的照射时间后，回到操作位置迅速收回放射源，完成一次探伤。最后冲洗照片、观察照片、出具探伤报告。工作完毕离开现场前，对探伤装置进行目测检查，确认设备没有被损坏。使用放射检测仪器对探伤机进行检测确认放射源回到源容器的屏蔽位置。

γ 射线移动探伤工作流程及产污环节见图 9-9。

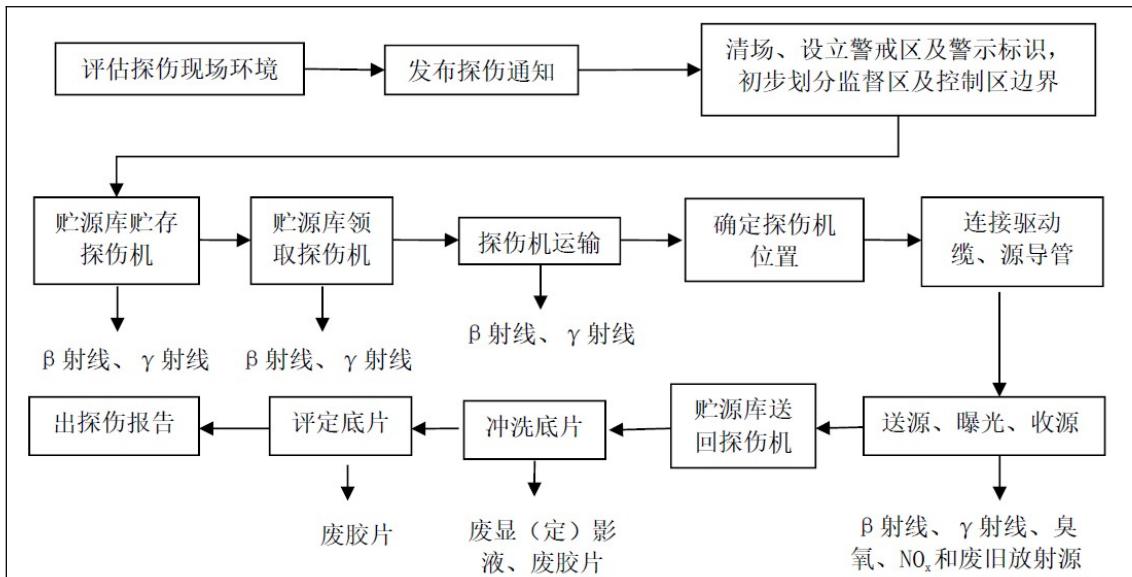


图 9-9 γ 射线移动探伤工作流程及产污环节图

9.2.3 源库

(1) 源项

本工程源库用于核电站施工过程中各施工承包商 γ 射线探伤机的存放，源库内东西两侧各设置有 15 个立式储源柜，两侧储源柜均为 3 层布置，每层 5 个，共设置 30 个储源柜，每个储源柜可存放 2 台 γ 射线探伤机，最大存储能力为 60 台。

本工程项目部与其他施工承包商共有 39 台 γ 射线探伤机，其中 28 台为 ^{192}Ir γ 射线探伤机、11 台为 ^{75}Se γ 射线探伤机。

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)第 5.2.1.1 款，当源容器装载最大活度值的密封源并处于锁定状态且装配好保护盖(若有)时，源容器外表面对一定距离处的周围剂量当量率应不超过表 9-2 规定的控制值。

表 9-2 源容器外表面一定距离处周围剂量当量率控制值

探伤机类别	探伤机型号	最大周围剂量当量率 mSv/h	
		离源容器表面 5cm 处	离源容器表面 100cm 处
便携式	P	0.5	0.02

(2) 工作流程

为了确保 γ 射线探伤机的辐射安全与防护，中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部为广西白龙核电项目建设期间探伤使用单位设立专用的源库。

中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部负责源库管理，安排专人作为源库保管人员。源库主要工作流程可分为：放射源首次入库、放射源日常领用及归还、放射源最终出库三个流程。

①放射源首次入库

各施工承包商使用的 γ 射线探伤机申请入库前必须申请辐射安全许可证。各施工承包商探伤负责人与源库管理人员确定 γ 射线探伤机入库时间后，由各探伤单位负责将 γ 射线探伤机由厂外运送至本源库。源库管理人员和探伤单位负责人共同清点核对，并对源盒表面的X- γ 辐射剂量率水平进行确认后，完成入库，并按照要求填写出入库登记表。

②放射源领用、归还

γ 射线探伤机入库后， γ 射线探伤日常领取和归还流程如下：

- a) 施工承包商（探伤单位）根据现场探伤工作安排情况提前提出用源申请，并填写《探伤机领用申请表》，交由相关负责人审核签字；
- b) 审核完成后，施工承包商（探伤单位）安排领源人员，出示《探伤机领用申请表》、《源领用人授权书》等信息，到源库领取 γ 射线探伤机；
- c) 源库管理人员核对《探伤机领用申请表》并核实源领用授权人身份，并在出库台账上进行登记；
- d) 施工承包商（探伤单位）人员至源库内领取 γ 射线探伤机，管理人员确认其取源情况，取出后对设备表面进行剂量率监测，确认源在源容器中；
- e) 源库管理人员和领用人分别在台账上签字后，方可将源取走，《探伤机领用申请表》暂由源库管理人员保存；
- f) γ 射线探伤机使用完毕后，应及时归还，一般情况下，探伤作业结束半小时内入库；
- g) γ 射线探伤机归还时，源库管理人员需要对源容器表面剂量率进行检测，确认源在源容器后，源库管理人员和归还人在台账上签字，方可入库；
- h) 入库后，源库管理人员在《探伤机领用申请表》上签字，并将该表复印，复印件归还至施工承包商（探伤单位），原件留存。

γ射线探伤机领用、归还的工艺流程及产污环节如图 9-10 和 9-11 所示。

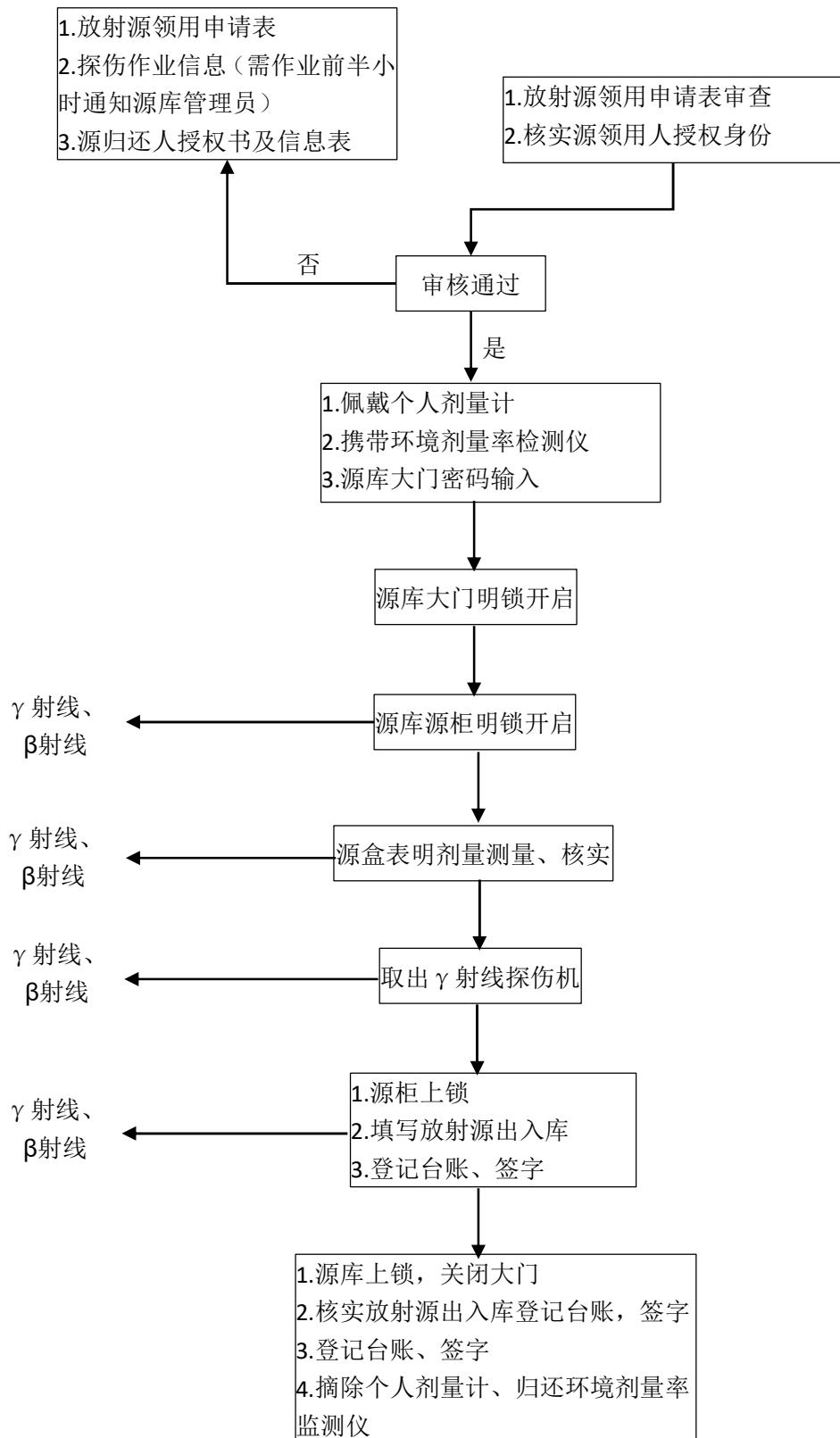


图 9-10 γ射线探伤机领用过程及产污环节图

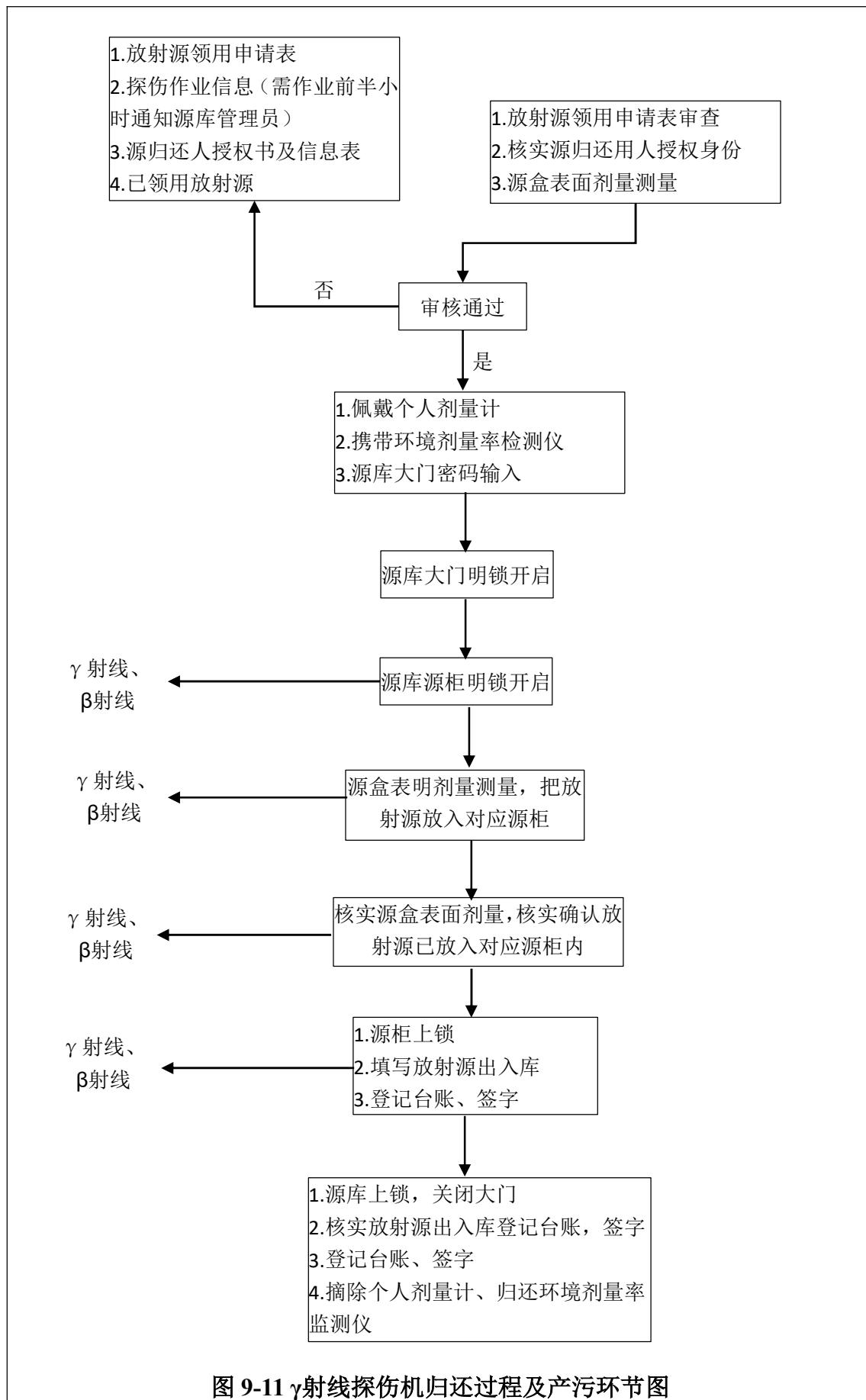


图 9-11 γ 射线探伤机归还过程及产污环节图

③放射源最终出库

当放射源活度不能满足现场探伤使用需求,本工程项目部和其他施工承包商(探伤单位)因自身原因需要将 γ 射线探伤机运送出时,需要履行放射源出库手续。 γ 射线探伤机使用单位需提前告知中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部运送时间,并填写《探伤机领用申请表》,明确说明用源目的。放射源出库流程如下:

- a) 探伤单位提出 γ 射线探伤机(放射源)出库申请,并填写《探伤机领用申请表》,明确运输车辆及运输路线,交由相关负责人审核签字。
- b) 审核完成后,探伤单位安排领源人员,出示《探伤机领用申请表》、《源领用人授权书》等信息,到源库领取 γ 射线探伤机;
- c) 源库管理人员核对《探伤机领用申请表》并核实源领用授权人身份,并在出库台账上进行登记;
- d) 探伤单位人员至源库内领取 γ 射线探伤机,管理人员确认其取源情况,取出后对设备表面进行剂量率监测,确认源在源容器中;
- e) 源库管理人员和领用人分别在台账上签字后,方可将源取走,《探伤机领用申请表》由源库管理人员保存;
- f) γ 射线探伤机出库后, γ 射线探伤机的运送管理等均由探伤单位负责。探伤单位应按照申请表核准时间,将 γ 射线探伤机按时运出厂区,并妥善保管。

9.2.4 人员配置和工作负荷

(1) 辐射工作人员

本工程设置38名辐射工作人员,其中2名辐射安全管理人员,4名源库保管人员,32名探伤人员,每2名探伤人员为1组开展X、 γ 射线探伤工作,共16组探伤人员均分担固定探伤、移动探伤相关工作。

项目部拟安排所有辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的培训,参加相应类别的考核,考核合格后上岗。其中32名探伤人员需同时参加X射线探伤类别、 γ 射线探伤类别的考核。

(2) 工作负荷

实际探伤时，项目部根据待检产品的厚度，选择合适的探伤装置进行无损检测。

探伤室内探伤时，探伤室每次仅开启 1 台探伤机，不存在 2 台及 2 台以上探伤机同时运行的工况。移动式探伤时，每个作业地点仅开启 1 台探伤机，不存在 2 台及 2 台以上探伤机同时运行的工况。

本工程探伤工作负荷见表 9-3。

表 9-3 本工程探伤工作负荷一览表

探伤类型	工作区域	设备名称	年拍片量 (万张)	单个工件平均出束时间 (min)	年曝光时间 (h)
固定探伤	探伤室	X 射线探伤机	0.60	5	500
		¹⁹² Ir 射线探伤机	0.36	10	600
		⁷⁵ Se 射线探伤机	0.18	10	300
移动探伤	广西白龙核 电项目厂区 和项目部施 工临建区	X 射线探伤机	0.45	5	375
		¹⁹² Ir 射线探伤机	0.60	10	1000
		⁷⁵ Se 射线探伤机	0.30	10	500
源库		¹⁹² Ir 射线探伤机、 ⁷⁵ Se 射线探伤机	配备 4 名人员对源库进行管理，24 小时轮岗，负责源库的出入库登记、 γ 射线探伤机表面进行剂量率监测、源库领用和归还放射源登记工作及源库日常巡检。		清点核对 38.9，出入 库 20

根据建设单位提供的资料，本工程探伤室计划每日工作 8h，年工作 350 天，年曝时间为 1400h，全年按 50 周计，则周曝光时间为 28h。源库配备 4 名人员，分 2 组（每组 2 人）进行值班和工作。

考虑实际工作中移动探伤业务的不均匀性，本报告保守按照年工作 50 周来计，X、 γ 射线移动探伤小组平均分别按 2 组和 14 组同时开展作业，则每组 X 射线移动探伤的年曝光时间为 187.5h，周曝光时间为 3.75h；每组 γ 射线移动探伤的年曝光时间为 107.1h，周曝光时间为 2.1h。

9.3 污染源项

本工程污染源项为退役放射源、废旧源机、X射线、 γ 射线、非放射性有害气体、废胶片和废显（定）影液。

（1）放射性污染源项

①X射线

由X射线探伤机的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失。本工程X射线探伤机只有在开机并处于出线状态时（曝光状态）才会发出X射线。因此，在开机曝光期间，X射线成为污染环境的主要污染因子，污染途径是X射线外照射。辐射场中的X射线主要包括有用线束、泄漏辐射和散射辐射。

② γ 射线和 β 射线

本工程放射源应用的放射性核素为 ^{192}Ir 、 ^{75}Se 。

^{192}Ir - γ 射线探伤机内含的放射源 ^{192}Ir 衰变时会发射出不同能量的 β 射线和 γ 射线， ^{75}Se - γ 射线探伤机内含的放射源 ^{75}Se 衰变时仅发射出不同能量的 γ 射线。根据《 γ 射线探伤机》（GB/T 14058-2023）中第5.4.1.1款规定，当 γ 射线探伤机采用贫化铀作为屏蔽材料时，其外表面包覆足够厚度的低原子序数的非放射性材料，以减弱和吸收贫化铀发射的 β 辐射；其源通道也应包覆足够厚度的非放射性材料。 β 射线穿透能力相对较小，已基本被源容器屏蔽。因此， β 射线对周围环境的辐射影响甚微，可忽略不计，而 γ 射线具有较强的贯穿能力，因子 $^{192}\text{Ir}/^{75}\text{Se}$ - γ 射线探伤机的污染因子主要是 γ 射线。

③废旧放射源

γ 放射源活度随着时间衰减，到无法满足探伤要求后，需对放射源进行更换，产生退役放射源，由放射源厂家回收，如因故无法回收，退役放射源委托有资质的单位回收。

γ 射线探伤机（源机）使用期限为10年，满10年后需要更换，源机因含有贫化铀，属于放射性固体废物，应由设备厂家回收。

（2）非放射性污染源项

①臭氧和氮氧化物

本工程探伤室曝光间探伤过程中产生的臭氧和氮氧化物，通过机械通风装置排至室外。源库内储存的放射源与空气电离产生臭氧和氮氧化物，通过机械通风装置经源库的排风口及时排出。

移动式探伤过程中产生的臭氧和氮氧化物，由于产生量小且作业场地为开放式场所，臭氧在常温常压状态下可自行分解为氧气，氮氧化物的产额约为臭氧的1/3且其毒性低于臭氧，对周围环境影响较小。

②废胶片、废显（定）影液

拍片过程中可能产生少量废胶片，探伤完成后的洗片过程会产生废显（定）影液，洗后正常显影的胶片在项目部底片存储室存放，工程全部建设完工后移交。

废胶片和废显（定）影液均属于《国家危险废物名录（2025年版）》规定的危险废物，废物类别为“HW16 感光材料废物”，废物代码为“900-019-16”，为其他行业产生的废显（定）影剂、胶片和废像纸，危险特性为毒性，应交由有资质的单位处置。

本工程固定探伤、移动探伤的所有胶片均在项目部暗室洗片，废胶片以及废显（定）影液，在处置前分区依托项目部内的危废暂存间存放；正常显影的胶片暂存于项目部底片存储室，存放期满后按照危险废物处置。

项目部严格控制拍片过程中的废片率，根据建设单位提供资料及工作经验，胶片废品率将控制在5%以下。结合本工程的工作负荷，预计每年最多拍片2.49万张（含废片），平均每张片子约8g，胶片产生量约199.2kg/a，则预计一年最多产生废片不超过9.96kg，废片产生后暂存于项目部危废暂存间内；一般每洗2000张片子约产生废显（定）影液40kg，则本工程废显（定）影液产生量共计约498kg/a。

本工程危险废物产生情况见表9-4。

②噪声

本工程噪声源主要为风机噪声，风机为低噪声设备，噪声源强一般小于70dB(A)。

表 9-4 本工程危险废物产生情况及处置措施

名称	类别	代码	产生量 (kg/a)	产生工序	形态	主要成分	有害成分	危险特性	暂存和处置措施
废胶片	HW16 感光材料废物	900-01 9-16	9.96	洗片及评片	固态	PC/PP/PET/P VC、卤化银	卤化银	毒性	①固定探伤、移动探伤洗片未正常显影的胶片以及废显（定）影液分区暂存于项目部危废暂存间，定期交由有资质的单位处置；②正常显影的胶片暂存于项目部底片存储室，工程完工后移交；③废胶片和废显（定）影液分区存放，废胶片使用塑料箱或纸箱；废显（定）影液采用加盖的加厚塑料桶，下方设置托盘，托盘收集容积不小于单一塑料桶的最大容量。
废显 (定) 影液			498	洗片	液态	对甲氨基酚硫酸盐、亚硫酸钠、对苯二酚、碳酸钠、溴化钾、卤化银等	对甲氨基酚硫酸盐、亚硫酸钠、对苯二酚、碳酸钠、溴化钾、卤化银等	毒性	

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

(1) 布局

① 固定探伤

本工程探伤室及源库位于中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部生产临建区东北侧，曝光间、源库、器材室、操作室和源库值班室集中布置在1个独立的建筑内，紧邻临建区道路，便于被检工件的运输和放射源的领取与归还。暗室、评片室、底片存储室所在临建区综合用房与危废暂存间距离较近，便于洗片后危险废物收集。

考虑到项目特点和项目对周围环境可能存在的影响，本工程各场所布局紧凑，有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确；暗室、评片室、底片存储室等其他辅助房间与固定探伤工作场所、移动探伤区域分开设立且相距较近，利于探伤后检测报告的出具及储存。因此，本项目各工作场所既能有机联系，又不互相干扰，工作场所布局相对合理。

② 移动探伤

本工程移动探伤场所为施工临建区和广西白龙核电厂区，可与固定探伤共用暗室和评片室。

综上，本工程探伤工作场所的功能设计较为完善，满足固定式/移动式探伤的基本用房配置需求。探伤室的尺寸设计已预留宽裕的作业空间，满足最大工件位于探伤室内关门探伤的要求。探伤室的设置已充分注意周围的辐射安全，布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）第6.1.1款要求，合理可行。

(2) 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第6.4款规定，辐射工作场所划分为控制区和监督区，其划分原则如下：控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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。

根据两区划分原则，结合《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）规定，本工程对辐射工作场所实行分区管理，具体划分情况如下：

①固定探伤

本工程曝光间及源库内部为控制区，各辅助房间划分为监督区。

②移动探伤

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“7.2 分区设置”，开展探伤作业时，根据现场具体情况，利用便携式 X- γ 剂量率仪巡测，一般将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的区域划为控制区，控制区边界上合适的位置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，控制区的边界尽可能设定实体屏蔽，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；将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 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。

10.1.2 屏蔽设计

(1) 探伤机

便携式 γ 射线探伤机在储存、使用和运输过程中，放射源均置于探伤机源容器内。本工程 γ 射线探伤机采用贫化铀作为屏蔽材料，其外表面和源通道均包覆了低原子序数的非放射性材料，可有效屏蔽 γ 射线、 β 射线。

(2) 探伤室及源库

本工程探伤室及源库等防护参数见表 10-1。

表 10-1 本工程探伤机、探伤室及源库设施及防护参数一览表

工作场所	项目	设计方案
曝光间	室外尺寸	曝光间室外东西宽 8.7m，南北长 15.7m，高 7.1m。
	室内尺寸	曝光间室内东西宽 7.0m，南北长 14.0m，高 6.0m。
	四周墙体	四周墙体为 85cm 厚钢筋混凝土墙。
	室顶	室顶为 80cm 混凝土墙。
	迷道	于曝光间内西南侧设置有迷道，Z 型布设，迷道南北净长 1.0m，东西净宽 0.9m，迷道墙为 85cm 混凝土。
	大防护门	曝光间西北侧位置设有 1 个大防护门，用于探伤工件进出；防护门为电动双轨横拉式密封防护铅门，门内铅板厚度为 65mm，屏蔽能力为 80mmPb；门洞宽 3.0m、高 2.4m；防护门宽 3.6m、高 3.0m；防护门左侧、右侧与墙体搭接量均为 30cm，上侧与墙体搭接量为 30cm，下侧与墙体搭接量为 30cm，防护门与墙体之间缝隙不大于 1cm，满足设计防护门四周搭接宽度和防护门与墙壁间隙满足 10:1 比例。
	小防护门	曝光间迷道出口位置设有 1 个小防护门，用于辐射工作人员进出；防护门为电动平移式，铅钢结构，屏蔽能力为 40mmPb；门洞宽 1.0m、高 2.4m；防护门宽 1.5m、高 2.8m；防护门左侧、右侧与墙体搭接量均为 25cm，上侧与墙体搭接量为 20cm，下侧与墙体搭接量为 20cm，防护门与墙体之间缝隙不大于 1cm，满足设计防护门四周搭接宽度和防护门与墙壁间隙满足 10:1 比例。
	通风口	曝光间西北墙西部上方设置 1 处方形通风口，尺寸为 45cm×45cm，通风口底部距地面 4.8m，安装机械通风装置，设计有效通风换气量不低于 1800m ³ /h，有效通风换气次数大于 3 次/h，可使室内保持良好的通风；风机安装完成后外设铅板，防护能力不低于 40mmPb；通风口外主要为露天堆场，少有人员到达，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.10 款要求。
	操作位	设置于曝光间南侧操作室内。

源库	射束方向	X 射线探伤机射束方向为向东、向西、向南、向北、向上、向下照射, γ 线探伤机射束方向为 4π 全方向照射。
	紧急停机按钮	曝光间各侧墙体、迷道出入口处各设置 1 处紧急停机按钮, 操作位控制台设置 1 处紧急停机按钮, 紧急停机按钮带有标签, 标明使用方法, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 第 6.1.9 款要求。
	门机联锁系统	曝光间大防护门、小防护门均为自动防护门, 配有电机可自动开关, 配开关按钮, 可由联锁系统控制, 防护门关闭后, X/ γ 射线装置方能出束, 当防护门意外打开时, X/ γ 射线装置立即中止出束, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中第 6.1.5 款规定。
	监控系统	曝光间、操作室内及四周设置监控摄像头, 可实时查看曝光间、操作室内外情况, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 第 6.1.7 款要求。
	固定式剂量监测系统	在曝光间内设置 1 套固定式剂量监测系统, 系统配置探头拟安装于探伤室大、小防护门处, 在线监测探头设置处的 X- γ 剂量率水平; 剂量报警显示屏设置在控制台, 实时显示探伤室内的辐射剂量值并报警; 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中的第 6.1.11 款规定。
	安全联锁系统	安全联锁系统包括门机联锁、工作状态指示灯、固定式剂量监测系统、屏蔽防护门、声光报警系统等组成的屏蔽安全联锁系统, 具备测量室内 X- γ 剂量率以及联锁反应等功能。满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中的 6.1.5 款规定。
	其他	大防护门、小防护门外及曝光间内部均设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置, 且与探伤机联锁; 大防护门、小防护门中间位置张贴电离辐射警告标志, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中的 6.1.6、6.1.8 款规定。
	室内尺寸	库内东西净长 3.025m、南北净宽 4.0m、净高 6.0m。
	四周墙体	四周墙体均为 85cm 混凝土, 其中东北侧墙与曝光间共用。
	室顶	室顶为 80cm 混凝土。
	防护门	源库西北侧设有 1 个防护门, 电动平移式, 屏蔽能力为 15mmPb, 双人双锁设计, 用于 γ 射线探伤机进出; 防护门宽 1.2m、高 2.2m; 门洞宽 1.0m、高 2.0m; 防护门左侧、右侧、上侧、下侧与墙体搭接量均为 10cm, 防护门与墙体之间缝隙不大于 1cm, 满足设计防护门四周搭接宽度和防护门与墙壁间隙满足 10:1 比例。
	源柜	源库内东西两侧各设置有 15 个立式储源柜, 两侧储源柜均为 3 层布置, 每层 5 个, 共设置 30 个储源柜。每个储源柜长 56cm、高 42cm、深 50cm, 为混凝土砌筑, 两侧源柜与源库墙体的间隔为 10cm 混凝土, 其余每层、侧间隔均为 20cm 混凝土, 柜顶距地面 2.06m。储源柜可防渗并保持柜内干燥, 安装平开式柜门, 铅钢结构, 防护能力 20mmPb, 柜门加锁; 每个储源柜放置 2 台 γ 射线探伤机, 可满足 60 台 γ 射线探伤机贮存要求, 满足《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》

		(GBZ114-2006) 中的 7.6 款等规定。
	通风口	源库西墙南部上方设置 1 处方形通风口，尺寸为 45cm×45cm，通风口底部距地面 4.8m，安装机械通风装置，设计有效通风换气量不低于 300m ³ /h，有效通风换气次数大于 3 次/h，可使室内保持良好的通风；风机安装完成后外设铅板，防护能力不低于 40mmPb。
器材室	室内尺寸	器材室内东西净长 2.8m、南北净宽 3.7m、净高 6.0m。
	四周墙体	器材室西北墙为 85cm 混凝土结构（与源库共用），东北墙为 85cm 混凝土结构（与曝光间共用），东南墙和西南墙为 20cm 厚蒸压加气混凝土砌块墙。
	室顶	室顶为 80cm 混凝土。
	防盗门	西南侧设置 1 扇防盗门，手动式，双人双锁管理，用于 X 射线探伤机及配套装置进出。
	防盗窗	南侧设置 1 个防盗窗，加装有防盗网。
	监控系统	器材室室内及周围设有监控摄像头。
操作室	室内尺寸	库内东西净长 3.303m、南北净宽 4.0m、净高 6.0m。
	四周墙体	器材室西北墙为 20cm 厚蒸压加气混凝土砌块墙（与器材室共用），东北墙为 80cm 混凝土结构（与曝光间共用），东南墙和西南墙为 20cm 厚蒸压加气混凝土砌块墙。
	室顶	室顶为 80cm 混凝土。
	监控系统	室内及周围设有监控摄像头。
源库值班室	其他	源库设置一间值班室，用于 γ 射线探伤机出入库登记；值班内每班设 2 名源库保管人员，严禁无关人员进入；监视器设置在值班室内，监控与 2 名源库保管人员、辐射管理人员手机网络连通，监控和值班室内 24h 有人值班，可实现 24h 监控；值班室内设有紧急报警装置，人工触发即可报警；值班人员每 2 小时对源库外部进行一次巡视；项目部建立放射源台账管理制度，源库保管人员负责放射源领用、归还、去向、状态等信息登记，做到物账相符；领用、交还 γ 射线探伤机（含放射源）时，对 γ 探伤机表面周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器内。 γ 射线探伤机储存在源库的源柜中，领用和交还均有详细登记。满足《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）中的第 7.1、7.3 款等规定。

根据表 10-1 中的设计和管理措施，本工程探伤室符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），源库同时符合《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）对放射源储存的有关规定，符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）对放射源贮存场所要求的“贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施”。

10.1.3 探伤机运输和临时贮存安全防护措施

本工程 X、 γ 射线移动探伤均位于广西白龙核电站厂区及施工临建厂区，项目部按照下列要求开展 X、 γ 射线探伤机运输安全防护措施。

（1）X 射线探伤机运输

X 射线探伤机运输由辐射工作人员负责，如人员需离开车辆，至少保留 1 名辐射工作人员负责 X 射线探伤机的看管。

（2） γ 射线探伤机运输

本工程最多同时开展 16 个 γ 探伤工地工作，本工程配置 2 辆 γ 射线探伤机专用运输车，其中 1 辆为备用，每组 γ 探伤工作人员 2 人，运输人员为辐射工作人员。

γ 射线探伤机专用运输车辆车型为面包车或箱货车，车体长约 5m。根据项目部提供资料，每辆运输车最多同时运输 2 只运输箱，运输箱固定在运输车尾部，距车辆后座大于 1m。车体及运输箱上按照《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定粘贴相应的电离辐射警告标志、标牌等标志。运输箱外张贴电离辐射警告标志，运输箱材料为铅钢结构，屏蔽能力为 5mmPb，运输箱加锁，车内同时使用专用铁链对运输箱加以锁固。运输过程中专人负责押运。 γ 射线探伤机在车内时，车上至少保留一名押运人员，确保探伤机的安全。项目部制定相关的运输管理规定，辐射工作人员严格按照规定进行规范运输，使 γ 射线探伤机处于人员监视之下，防止放射源丢失或被盗。

（3）探伤机临时贮存

本工程在广西白龙核电项目厂区、施工临建厂区进行探伤作业，与源库、探伤室器材室距离较近，X、 γ 射线探伤机使用后均返回源库、探伤室器材室贮存并进行台账登记，不存在现场临时贮存情形。

10.1.4 移动探伤现场安全措施

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）以及相关资料，项目部采取的现场安全措施如下：

（1）作业前准备措施

①对现场探伤周围环境进行全面评估，以保证安全操作。评估内容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。考虑移动式探伤对工作场所内其他辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）。

②开展移动探伤工作时，每台探伤机至少 2 名辐射工作人员。

（2）分区设置措施

①探伤作业时，对工作场所进行分区管理，划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场探伤工作在划定的控制区的区域内进行。

②作业场所周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的区域划为控制区。

③在控制区边界上合适位置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，探伤作业人员在控制区边界外操作。

④控制区边界尽可能利用现场实体屏蔽，包括现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒绳等。

⑤作业过程中，控制区内不同时进行其他工作。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中第 7.2.5 款，为了尽量减小控制区范围，工作人员充分考虑放射源和被检工件的距离、照射时间、现场屏蔽条件等，视情况采取局部屏蔽措施。本工程配备拟准直器、定向曝光头等。

⑥每个探伤工地配置 1 台便携式辐射环境监测仪。每人配置 1 部个人剂量报警仪。根据（GBZ117-2022）中第 7.2.6 款，需对便携式辐射环境检监仪定期开展检定工作。

⑦对控制区边界上代表点剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时，适时调整控制区边界。

⑧控制区边界外、作业场所周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的范围划为监督区，在监督区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。

⑨在多楼层的工厂或工地作业时，在工作区上层或下层的人员通道处设置警戒绳或人员警戒，防止人员通过楼梯进入控制区。

⑩X射线探伤机的控制器以及 γ 射线绕出盘尽量设置在监督区内，利用X射线探伤机延时开机装置，尽可能降低操作人员受照剂量。

（3）安全警示措施

①核电厂内各单位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，通知到所有相关人员，防止误照射。

②现场设置提示“预备”和“照射”状态的指示灯声音提示装置。“预备”和“照射”信号有明显区别，并与该场所其他报警信号有明显区别。夜晚探伤作业时，控制区边界设置警示灯。

③X射线和 γ 射线探伤的警示信号灯与探伤机联锁。

④控制区所有边界都设置清晰可见或可听见的“预备”信号和“照射”信号。

⑤监督区边界和建筑物进出口醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示标语等提示信息。

（4）边界巡查与检测措施

①开始X射线探伤机和 γ 射线探伤机移动探伤前，辐射工作人员先清场，确保控制区内无任何其他人员，并防止有人进入控制区。

②确保控制区的范围清晰可见，工作期间设置良好的照明，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，则设置人员巡查。

③试运行期间，测量控制区边界剂量率以核实边界设置正确。必要时调整控制区范围和边界。

④开始X射线探伤机和 γ 射线探伤机移动探伤之前，检查便携式辐射环境监测仪，确认能正常工作。移动探伤工作期间，便携式辐射环境检测仪保持开机状态。

⑤ γ 射线探伤机移动探伤期间，辐射工作人员除进行常规个人剂量监测外（即3个月监测一次），另外佩戴个人剂量报警仪，便携式辐射环境检测仪和个人剂量报警仪两者均使用。

（5）安全操作措施

①X移射线探伤机动探伤时，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。

②工作人员根据要进行探伤的物体类型和尺寸，确定所使用的放射性核素。使用与获得所需射线照片相一致的最低活度源。

③探伤作业前备齐下列物品，并使其处于正常状态：便携式辐射环境检测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪；导向管（源导管）、控制缆（驱动缆）和摇柄；局部屏蔽（准直器、定向曝光头）；现场屏蔽物（铅皮）；警告提示和信号；应急箱，包括长柄钳和铅粒包；喊话器；安全信息公告牌。

④ γ 射线探伤机探伤工作完成后，操作人员使用便携式辐射环境检测仪进行监测，确保 γ 放射源已完全退回源容器，并且没有任何放射源留在曝光位置或脱落。检测结果与作业记录一并存档备查。

⑤操作人员离开现场前，进行目视检查，确保探伤设备没有损坏。通过锁定 γ 射线探伤机并将其置入运输箱，物理固定在运输车尾部，准备好运输。避免运输过程中脱落或掉落、损坏。

（6）其他

①现场1台 γ 射线探伤机配置2名辐射工作人员负责操作，其中1名兼职现场安全员，负责场所区域的划分与控制、场所限制区域的人员管理、场所辐射水平检测等安全工作，并承担探伤装置的领取、登记、归还以及确认放射源是否返回装置。

②安全信息公示牌将辐射安全许可证、公司法人、辐射安全负责人、操作人员和现场安全员的姓名、照片、资质证书和生态环境部门监督举报电话等信息进行公示，接受公众监督。安全信息公示牌面积应不小于2m²，公示信息应采取喷绘（印刷）的方式进行制作。安全信息公示牌应适应野外作业需要（具备防水、防风等抵御外界影响的能力），确保信息的清晰辨识。公示信息如发生变化应重新制作安全信息公示牌，禁止对安全信息公示牌进行涂改、污损。

③工作前检查 γ 射线探伤机源容器、传输导管、照射末端、螺母和螺丝、紧固装置、安全联锁等辅助设备，确保正常，无故障。并检测源容器表面一定距离处的周围剂量当量率，确保满足表面5cm处低于0.5mSv/h, 1m处低于0.02mSv/h。

项目部采取的以上安全措施满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)中有关要求,满足《关于进一步加强 γ 射线移动探伤辐射安全管理的通知》(环办函〔2014〕1293号)、《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》(环发〔2007〕8号)有关要求。

10.1.5 辐射防护设施、辐射监测仪器及防护用品配置

本工程拟采取的辐射防护设施、辐射监测仪器及防护用品配置见表 10-2。

表 10-2 本工程辐射防护设施、辐射监测仪器及防护用品配置一览表

类别	辐射防护设施	单组配置	备注
源库	双人双锁	1 套	
	电离辐射警告标志	1 个	
	红外报警器	1 个	
源库值班室	个人剂量计	2 枚	
	个人剂量报警仪	2 台	
	便携式 X- γ 剂量率仪	1 台	
器材室	双人双锁	1 套	
	电离辐射警告标志	1 个	
曝光间和操作室	个人剂量计	2 枚	
	个人剂量报警仪	2 个	
	便携式 X- γ 剂量率仪	1 台	
	固定式场所辐射探测报警装置	1 套	
	显示“预备”和“照射”状态的指示灯、声音提示装置,并与探伤机联锁	3 套	大防护门、小防护门外及曝光间内部各安装 1 套
	视频监控装置	5 个	曝光间内部安装 3 个,大防护门安装 1 个,迷道内安装 1 个
	电离辐射警告标志	2 个	
	监视器	1 个	安装在控制台附近
	紧急停机按钮	6 个	曝光间的四侧内墙、迷道和控制台各安装 1 个
	机械通风装置	1 套	
移动探伤	个人剂量计	32 枚	
	个人剂量报警仪	16 个	
	便携式 X- γ 剂量率仪	16 台	
	准直器	16 组	
	电离辐射警告标志	若干个	
	“禁止进入射线工作区”警告牌	32 个	
	“无关人员禁止入内”警告牌	32 个	
	提示“预备”和“照射”状态的指示灯、	32 套	

	声音提示装置，并与探伤机联锁		
	5mmPb 铅皮	16 块	
	警示灯	32 个	
	对讲装置	16 个	
	警戒绳（不低于 500m）	16 套	
	衣、铅围脖、铅帽、铅手套、铅防护眼镜	32 套	

本工程探伤室及源库辐射防护设施与《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相符性分析分别见表 10-3。

表 10-3 本工程辐射防护设施与《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相符合性分析一览表

序号	《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相关要求	本工程拟采取的措施	相符合性
1	<p>4. 使用单位放射防护要求</p> <p>4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。</p> <p>4.2 应建立放射防护管理组织, 明确放射防护管理人员及其职责, 建立和实施放射防护管理制度和措施。</p> <p>4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ128 的要求进行个人剂量监测, 按 GBZ98 的要求进行职业健康监护。</p> <p>4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。</p> <p>4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。</p> <p>4.6 应制定辐射事故应急预案。</p>	<p>4.1 本工程建设单位和其他承包商在开展探伤作业时对放射防护安全负主体责任。</p> <p>4.2 本工程后续将建立和实施放射防护管理制度和措施, 明确放射防护管理人员及其职责。</p> <p>4.3 本工程从事探伤作业的工作人员均配备有个人剂量计, 进行职业健康监护。</p> <p>4.4 本工程从事探伤作业的工作人员在参加国家核技术利用安全与防护培训平台的培训并考核合格后再上岗。</p> <p>4.5 本工程源库值班室、曝光间和操作室以及移动探伤作业时均配备有辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。</p> <p>4.6 本工程将严格按照《中华人民共和国放射性污染防治法》、《广西壮族自治区辐射事故应急预案》等法律法规要求制定辐射事故应急预案。</p>	符合
2	<p>5.2.2 γ射线探伤机的维护</p> <p>5.2.2.1 应定期对γ射线探伤机中涉及放射防护的部件进行检查维护, 发现问题及时维修。维修γ射线探伤机时, 应由厂家专业人员将放射源倒入换源器后进行。使用单位人员不应单独对探伤机进行维修。</p> <p>5.2.2.2 应经常对γ射线探伤机的控制组件包括摇柄、源传输导管进行润滑擦洗, 齿轮应经常添加润滑剂, 并对源传输导管接头进行擦洗, 避免灰尘和砂粒。</p>	<p>5.2.2.1 项目部定期对γ射线探伤机中涉及辐射防护的部件进行检查维护, 发现问题及时维修。维修γ射线探伤机由厂家将探伤机运回厂家, 由厂家专业人员负责。项目部不负责探伤机维修。</p> <p>5.2.2.2 项目部定期对γ射线探伤机的控制组件包括摇柄、源传输导管进行润滑擦洗, 齿轮经常添加润滑剂, 并对源传输导管接头进行擦洗, 避免灰尘和沙粒。</p>	符合
3	<p>5.2.3 放射源的贮存和领用</p> <p>5.2.3.1 使用单位应设立专用的放射源（或带源的探伤机）的贮存库。</p> <p>5.2.3.2 移动式探伤工作间歇临时贮存含源容器或放射源、控制源, 应在专用的贮存设施内贮存。现场存储设施包括可上锁的房间、专用存储箱或存储坑</p>	<p>5.2.3.1 本工程设置有源库, 各使用单位的γ射线探伤机（含源）均贮存于源库内。</p> <p>5.2.3.2 本工程采用加锁的运输箱运输γ射线探伤机, 运输箱材料为铅钢结构, 屏蔽能力为 5mmPb。</p> <p>5.2.3.3 本工程设置有源库, 各使用</p>	符合

	<p>等。应具有与使用单位主要基地的存储设施相同级别的防护。临时贮存完毕，应进行巡测，确保存储安全。</p> <p>5.2.3.3 放射源贮存设施应达到如下要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 严格控制对周围人员的照射、防止放射源被盗或损坏，并能防止非授权人员采取任何损伤自己或公众的行动，贮存设施门口应设置电离辐射警告标志； b) 应能在常规环境条件下使用，结构上防火，远离腐蚀性和爆炸性等危险因素； c) 在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 或者审管部门批准的控制水平； d) 贮存设施的门应保持在锁紧状态，实行双人双锁管理； e) 定期检查物品清单，确认探伤源、源容器和控制源的存放地点。 <p>5.2.3.4 放射源的储存应符合 GA 1002 的相关要求。</p> <p>5.2.3.5 使用单位应制定放射源领用及交还制度，建立领用台帐，明确放射源的流向，并有专人负责。</p> <p>5.2.3.6 领用、交还含放射源的源容器时，应对离源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器内。含放射源的源容器应按规定位置存放，领用和交还都应有详细的登记。</p>	<p>单位的γ射线探伤机（含源）均贮存于源库内。源库四周墙体均为 85cm 混凝土，室顶为 80cm 混凝土。西北侧设有 1 个防护门，电动平移式，屏蔽能力为 15mmPb，双人双锁设计，用于γ射线探伤机进出，门口附近设置电离辐射警告标志。源库在常规环境条件下使用，采用防火建筑材料，周边无腐蚀性和爆炸性等危险因素。根据计算分析，在源柜门关闭条件下，源库外 30cm 处最大剂量率为 $3.69 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$。因此，储源柜门关闭状态下贮源库屏蔽能力满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中规定的剂量率控制目标 $2.5 \mu\text{Sv/h}$。源库的防护门保持在锁紧状态，实行双人双锁管理。源库值班人员日常期间位于源库值班室内，负责γ射线探伤机出/入库登记、出/入库监测、定期清点、核对γ射线探伤机贮存情况以及巡视、值守工作。项目部建立放射源台账管理制度，源库保管人员负责放射源领用、归还、去向、状态等信息登记，做到物账相符；领用、交还γ射线探伤机（含放射源）时，对γ探伤机表面周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器内。γ射线探伤机储存在源库的源柜中，领用和交还均有详细登记。</p>	
5	<p>5.2.4.2 含源装置应置于储存设施内运输，只有在合适的源容器内正确锁紧并取出钥匙后方能移动。</p> <p>5.2.4.3 在不涉及公用道路的厂区内外移动时，应使用小型车辆或手推车，使含源装置处于人员监视之下。</p>	<p>本工程采用加锁的运输箱运输γ射线探伤机，运输箱材料为铅钢结构，屏蔽能力为 5mmPb。</p>	符合
6	<p>5.2.5 废旧放射源的处理</p> <p>使用单位应与生产销售单位签订废旧放射源返回协议，当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回生产单位或原出口方。放射源的购买及报废手续应遵照相应审管部门的具体规定</p>	<p>本工程使用单位后续将与生产销售单位签订废旧放射源返回协议，当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回生产单位或原出口方。放射源的购买及报废手续应遵照相应审管部门的具体规定，相关文件记</p>	符合

	定, 相关文件记录应归档保存。	录应归档保存。	
7	<p>6.1 探伤室放射防护要求</p> <p>6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全, 操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。</p> <p>6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足: a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平, 对放射工作场所, 其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$, 对公众场所, 其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$; b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$。</p> <p>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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$。</p> <p>6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置, 应在门(包括人员进出门和探伤工件进出门)关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中, 防护门被意外打开时, 应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时, 每台装置均应与防护门联锁。</p> <p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置, 在控制室的操作台应有专用的监视器, 可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p> <p>6.1.10 探伤室应设置机械通风装置, 排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。</p>	<p>本工程于曝光间内西南侧设置有迷道, Z 型布设, 迷道南北净长 1.0m, 东西净宽 0.9m, 迷道墙为 85cm 混凝土。</p> <p>6.1.2、6.1.3 根据计算分析, X 射线探伤机运行期间探伤室四周屏蔽墙、防护门外 30cm 处的最大剂量率为 $1.53\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 3.1 款、3.1.2 款的相关标准要求; 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 6.1.3 款“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$”的标准要求; 探伤室室顶外 30cm 处的最大剂量率为 $3.00 \times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 6.1.4 款“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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$”。</p> <p>6.1.5 探伤室设置门-机联锁装置, 关闭防护门后才能进行探伤作业, 设置的位置可方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室, 作业时, 防护门被意外打开能立刻停止出束或回源。</p> <p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口及控制室的操作台均安装监视装置。</p> <p>6.1.10 探伤室曝光间西北墙西部上方设置 1 处方形通风口, 尺寸为 $45\text{cm} \times 45\text{cm}$, 通风口底部距地面 4.8m, 安装机械通风装置, 设计有效通风换气量不低于 $1800\text{m}^3/\text{h}$, 有效通风换气次数大于 3 次/h, 可使室内保持良好的通风; 风机安装完成后外设铅板, 防护能力不低于 40mmPb。</p>	符合
8	<p>7.2 分区设置</p> <p>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</p>	本工程探伤作业时, 对工作场所实行分区管理, 将工作场所划分为控制	符合

	<p>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。</p> <p>7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的区域划为控制区。</p> <p>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。</p> <p>7.2.6 每一个探伤作业班组应至少配备一台便携式 X-γ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。</p> <p>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。</p> <p>7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 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。</p>	<p>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。</p> <p>本工程移动探伤机实际工作状态下可根据本环评提出的控制区和监督区范围以及工作经验,初步划定控制区和监督区范围。充分利用现场屏蔽物(如墙体、掩体等)以缩小控制区范围,将铅皮置于控制台前,合理利用准直器,遮蔽非有用束方向。在 X 射线探伤机处于照射状态下,用便携式辐射检测仪从探伤位置四周由远及近巡测辐射剂量率,对控制区和监督区进行核定和调整,到 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为监督区边界,到 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为控制区边界。探伤过程中,使用便携式 X-γ 剂量率仪进行监督监测。控制区边界上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。</p>	
9	<p>7.5.2.3 探伤工作完成后,操作人员应使用便携式 X-γ剂量率仪进行监测,以确保所有 γ 放射源均已完全退回源容器中,并且没有任何放射源留在曝光位置或脱落。操作人员在离开现场之前,应进行目视检查,以确保设备没有损坏。应通过锁定曝光设备并将防护屏蔽放在适当位置来准备好运输设备。曝光装置和辅助设备应物理固定在车辆中,以免在运输过程中脱落(或掉落)、损坏。</p>	<p>本工程探伤工作完成后,操作人员使用便携式 X-γ剂量率仪进行监测,确保所有 γ 放射源均已完全退回源容器中,并且没有任何放射源留在曝光位置或脱落。操作人员在离开现场之前目视检查,确保设备没有损坏。运输时,锁定曝光设备并将防护屏蔽放在适当位置,曝光装置和辅助设备物理固定在车辆中。</p>	符合

根据表 10-3 分析,本工程探伤室及源库辐射防护设施与《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 的要求相符。

10.1.6 探伤机检查、维护与换源

(1) X 射线探伤机检查、维护

①每次工作前均对探伤机外观、电缆、制冷设备、安全联锁、报警设备和警示灯、螺栓等连接件等进行检查，确认正常、无故障。

②每年至少对 X 射线探伤机维护一次，委托厂家或其他经过专业培训的工作人员进行；维护时，对 X 射线探伤机彻底检查，包括所有零部件的详细检测；当设备故障或损坏需更换零部件时，所更换的零部件为合格产品；做好设备维护记录。

(2) γ 射线探伤机检查、维护与换源

①每次工作前，检查源容器、源传输导管照射末端、螺母和螺丝、螺纹和弹簧、放射源锁紧装置、控制软轴末端、与控制导管的连接情况、安全联锁、报警设备和警示灯、源容器和源传输导管的连接情况、源传输导管和控制导管、警告标签和源的标志是否正常、无故障、无异常；测量源容器表面以及 1m 处剂量率，确保符合表面 5cm 处剂量率低于 0.5mSv/h，1m 处剂量率低于 0.02mSv/h；确认放射源位于源容器中，处于屏蔽状态。

②项目部定期对 γ 射线探伤机中涉及辐射防护的部件进行检查维护，发现问题及时维修。维修 γ 射线探伤机由厂家将探伤机运回厂家，由厂家专业人员负责。项目部不负责探伤机维修；定期对 γ 射线探伤机的控制组件包括摇柄、源传输导管进行润滑擦洗，齿轮经常添加润滑剂，并对源传输导管接头进行擦洗，避免灰尘和沙粒。

③换源事项由供源厂家负责，项目部不在源库内进行换源操作。

10.1.7 其他防护措施

(1) 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第五款要求，企业配备的防护用品和监测仪器需满足探伤工作的要求。项目部拟为辐射工作人员每人配置 1 支个人剂量计，委托有资质的单位每三个月检测 1 次，建立个人剂量档案，每人一档。拟为每人配置 1 部个人剂量报警仪，拟配置便携式辐射环境监测仪 18 台，满足使用需求。

(2) 项目部拟为辐射工作人员进行上岗职业健康查体，并定期为辐射工作人员进行健康查体，建立个人健康档案，每人一档。个人剂量档案和健康档案由专人负责管理，档案终身保存。

(3) 项目部拟购置的 γ 射线探伤机均满足《 γ 射线探伤机》(GB/T14058-2023)相关规定，与生态环境管理部门数据平台相连，纳入广西壮族自治区放射源在线监控系统管理，确保放射源安全，以满足《高风险移动放射源在线平台数据归集规则》要求。

10.2“三废”的治理

（1）退役放射源

项目部承诺与购源单位签订放射源回收协议，退役放射源由放射源厂家回收。如因故无法回收，退役放射源应委托有资质的单位回收。任何情况下退役放射源不得私自处置。应建立详细的放射源台账明细，归档保存。退役放射源的运输应委托有资质单位进行。

（2）退役 γ 探伤装置

γ 探伤装置使用年限为 10 年，退役 γ 探伤装置处置前暂存在源库源柜内，由设备厂家回收。

（3）臭氧和氮氧化物

固定探伤时，探伤室曝光间西北墙上方和源库西南墙侧上方各设置 1 处通风口，设计有效通风换气量分别不低于 $1800\text{m}^3/\text{h}$ 和 $300\text{m}^3/\text{h}$ ，有效通风换气次数大于 3 次/ h ，保持良好的通风，且通风口均位于墙体上方高处，通风口外区域为道路和露天堆场，均少有人员到达，影响较小。

移动探伤时，非放射性有害气体经开阔的现场自然通风，对周围环境和人员影响较小。

（3）废胶片和废显（定）影液

废胶片和废显（定）影液属于危险废物，危废类别 HW16 感光材料废物，废物代码为 900-019-16。应按照《危险废物贮存污染控制标准》和《危险废物转移管理办法》等危废管理相关规定要求，对危险废物规范贮存，实行联单管理和台账管理，并委托有相应危废处理资质的单位处置。

项目部暗室洗片产生的废显（定）影液、废胶片（未正常显影的）分类收集，暂存于项目部的危废暂存间。洗后的胶片（正常显影的）储存于项目部底片存储室，工程全部建设完工后进行移交。

（5）排风机噪声

探伤室和源库排风机运行过程中排放噪声。由于本工程位于施工临建区内，与周边居民点距离较远，通过采取低噪声设备，通过距离的衰减后，风机运行噪声对周边环境影响较小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响分析

本工程施工工程量较少，时间较为短暂，施工期对环境的影响较小，具体分析如下：

（1）施工废气

本工程施工废气主要为施工扬尘和车辆废气。

①施工扬尘

施工现场扬尘主要由构筑物基础开挖，建筑材料的现场搬动及堆放，施工现场运输车辆道路扬尘等引起。通过对施工场地及道路的路面进行洒水降尘，对散料堆场加盖篷布等措施，本工程施工扬尘对周边空气环境质量的影响较小。

②施工机械尾气

本工程施工机械主要有挖掘机、推土机、振捣器、运输车辆等燃油机械，排放的污染物主要有 CO、NO₂、THC。本工程建设规模较小，由于施工机械数量少且为流动性，污染物排放量不大，表现为间歇性特征，影响是短期和局部的，施工结束影响也随之消失，对大气环境的影响较小。

（2）施工废水

本工程施工期水污染源主要为施工废水和施工人员生活污水

施工废水沉淀处理后用于施工场地洒水抑尘；施工人员产生的生活污水依托广西白龙核电项目部生产临建区的化粪池进行处理，不单独外排，对周边地表水环境影响较小。

（3）施工噪声

本工程施工期噪声主要来源于施工机械作业、设备安装等过程产生的施工噪声，以及设备、材料运输车辆行驶产生的交通噪声。施工过程中应尽量采用低噪声施工设备，设置施工围挡，优化施工布局，优化施工时间，夜间禁止施工。由于本工程施工时间较短，施工噪声影响短暂，在采取以上降噪措施后，施工噪声对周边声环境影响较小。

（4）固体废物

本工程施工期固体废物主要为废弃土石方、建筑垃圾及施工人员生活垃圾。

本工程所在区域将在生产临建区建设中进行场平，少量的废弃土石方回填至施工区内低洼处。

施工产生混凝土碎块、废钢筋、各类建材包装箱袋和设备安装包装物等建筑垃圾。可回收

利用的各类建材包装箱和设备安装包装物统一回收后外卖给废品收购站综合利用，其他混凝土碎块等无法回收利用的集中运至市政指定消纳地点处理。

施工人员产生的生活垃圾集中收集，定期清运至市政部门指定的地点。

11.2 运行阶段环境影响分析

11.2.1 X、 γ 射线固定探伤辐射环境影响分析

本工程曝光间内采用 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机进行固定式无损探伤工作， γ 射线探伤机贮存于源库内的源柜中。本工程曝光间和源库均未建设，本次评价采用理论计算的方法评估 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机开机时对周围环境的影响。

一、X 射线探伤机辐射环境影响分析

(1) 照射途径分析和关注点的设置

根据设计，本工程曝光间室内东西净宽 7.0m，南北净长 14.0m，净高 6.0m。曝光间内 X 射线探伤机射束方向为向东、向西、向南、向北、向上、向下照射，曝光间各屏蔽体均接受到 X 射线主射束直接照射。

本工程使用多种 X 射线机开展无损探伤，由于使用的 X 射线探伤机辐射水平与其输出能量相关，因此，本次在曝光间 X 射线探伤机辐射防护能力理论计算时按照运行 XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机进行评估，以说明其对周围环境的最大影响。

本工程探伤机正常工作时，辐射源处于曝光间内划定的区域范围内作业，其中距离东北墙最近距离为 2m，距离其他侧墙体和迷道内墙的最近距离 1m，距离室顶 3.75m。

本次评价在曝光间屏蔽体（四周墙体、防护门）外以及室顶 30cm 处设置参考点，参考点和辐射路径示意图见图 11-1。

图 11-1 曝光间和源库辐射影响核算关注点及辐射路径示意图

图 11-2 曝光间室顶辐射影响核算关注点及辐射路径示意图

(2) 估算公式及相关参数取值

① 有用线束屏蔽

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），有用线束在关注点处剂量率可按以下公式进行估算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{式 (11-1)}$$

式中： \dot{H} —— 有用线束在关注点处剂量率，单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

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 6×10^4 , 见 GBZ/T250-2014 附录 B.1。

B ——屏蔽透射因子, 根据 GBZ/T250-2014 附录 B 中的图 B.1 和图 B.2 查询;

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离, 单位为米(m)。

②漏射辐射屏蔽

在给定屏蔽物厚度X时, 对于漏射辐射屏蔽采用以下公式计算关注点处的辐射剂量率:

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

式中:

\dot{H} ——泄露辐射在关注点的剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

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射线管组装体的泄露辐射剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, 根据 GBZ/T250-2014 中表 1 选取。

③散射辐射屏蔽

在给定屏蔽物质厚度X时, 关注点的散射辐射剂量率:

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot a}{R_0^2} \quad (\text{式 11-3})$$

式中:

I ——X射线探伤装置在最高管电压下的最大常用管电流, 单位为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 6×10^4 , 见 GBZ/T250-2014 中附录 B.1;

B ——屏蔽透射因子;

F —— R_0 处的辐射野面积, 单位为 m^2 ;

a ——散射因子, 入射辐射被单位面积(1m^2)散射体散射到距其1m处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比;

R_0 ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离, 单位为m;

R_s ——散射点至关注点的距离, 单位为m。

其中屏蔽透射因子采用以下公式计算：

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

式 (11-4)

式中：

B ——屏蔽透射因子；

X ——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —— X 射线在屏蔽物质中的什值层厚度，见 GBZ/T250-2014 表 B.2，具体见表 11-1。

表 11-1 X 射线束在铅和混凝土中的什值层厚度

X 射线管电压 (kV)	什值层厚度 TVL (mm)	
	铅	混凝土
150	0.96	70
200	1.4	86
250	2.9	90
300	5.7	100
400	8.2	100

(3) 计算结果

根据式 11-1，曝光间外参考点剂量率计算结果见表 11-2。

表 11-2 XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机运行期间曝光间周围剂量率

关注点	H_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{mA} \cdot \text{h}$)	I (mA)	R(m)	屏蔽物质及厚度	B	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	标准值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1#	$23.5 \times 6 \times 10^4$	5	$2 + 0.85 + 0.065 + 0.3 = 3.215$	80mmPb	1.0×10^{-6}	0.68	2.5
2#	$23.5 \times 6 \times 10^4$	5	$1 + 0.85 + 0.3 = 2.15$	850mm 混凝土	1.0×10^{-6}	1.53	2.5
3#	$23.5 \times 6 \times 10^4$	5	$1 + 0.85 + 0.3 = 2.15$	850mm 混凝土	1.0×10^{-6}	1.53	2.5
4#	$23.5 \times 6 \times 10^4$	5	$1 + 0.85 + 0.9 + 0.85 + 0.3 = 3.9$	850mm 混凝土 +40mmPb	1.0×10^{-6}	4.9 $\times 10^{-7}$	2.5
5#	$23.5 \times 6 \times 10^4$				1.0×10^{-6}		
6#	$23.5 \times 6 \times 10^4$	5	$3.75 + 0.80 + 0.3 = 4.85$	800mm 混凝土	1.0×10^{-6}	0.30	100

备注：①本工程 XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机管电压为 350kV，由于 350kV 未在 GBZ/T250-2014 表 B.2 中列出，本次评价保守取 400kV 条件下的射线输出量 H_0 为 $23.5 \text{mSv} \cdot \text{m}^2/\text{mA} \cdot \text{min}$ 。

②根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录 B 中图 B.1、图 B.2，80mm 厚的铅和 850mm 厚的混凝土渗透因子均可取 1×10^{-6} 。

③本工程曝光间四周钢筋混凝土墙的厚度为 850mm，室顶钢筋混凝土厚度为 800mm。

小防护门外参考点 4#受到主射束穿过迷道墙到达小防护门外的剂量率贡献，同时还受到主射束在迷道内至少经过 2 次散射后经过小防护门屏蔽后的剂量率贡献。考虑至少经过 2 次折射，每折射一次剂量率减小 1~2 个数量级，小防护门防护能力为 40mmPb，屏蔽透射因子为 $10^{-(40/8.2)}$ ，散射点至关注点的距离为 7.61m。本工程 X 射线束中心轴和射束边界夹角约为 20° ，

根据 GBZ/T250-2014 附录 B4.2 , $R_0^2/F \cdot a$ 因子的值为 50, 再根据式 11-4 计算, 4#点受到的散射线剂量率为 $3.22 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ($23.5 \times 6 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-(40/8.2)} \div 7.61^2 \div 50$), 2 次折射减小为 $3.22 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$, 则小防护门外剂量率为 $3.22 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ($3.22 \times 10^{-4} + 4.90 \times 10^{-7}$) 。

综上, 本工程 XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机运行期间探伤室四周屏蔽墙、防护门外 30cm 处的最大剂量率为 $1.53 \mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 3.1 款、3.1.2 款的相关标准要求; 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 6.1.3 款“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的标准要求; 探伤室室顶外 30cm 处的最大剂量率为 $3.00 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 6.1.4 款“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 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ”。

综上分析可知本工程各型号 X 射线探伤机运行期间, 探伤室四周墙体、防护门、室顶、通风口的防护均可以满足辐射防护要求。

二、 γ 射线探伤机辐射环境影响分析

放射性核素 ^{192}Ir 、 ^{75}Se 的周围剂量当量率常数分别为 $0.17 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ 、 $0.0720.17 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$, 对比可知 ^{192}Ir γ 射线探伤机的射线能量最大, 穿透性更强。若曝光间能够满足 ^{192}Ir 射线探伤机的辐射防护要求, 也能够满足 ^{75}Se 射线探伤机的辐射防护要求。因此, 本次评价选取 ^{192}Ir γ 射线探伤机进行 γ 射线探伤理论计算。

(1) 估算公式及相关参数取值

① 有用线束在关注点处的辐射剂量率

因各预测点位与放射源使用位置之间的距离比放射源本身的几何尺寸大 5 倍以上, 故可将放射源视为点源。根据《辐射防护导论》(方杰主编) P76 页式 (3.10) 中 γ 点源空气比动能率计算公式和减弱倍数的定义, 可推导出: 本工程 γ 射线室内探伤作业时, 有屏蔽体情况下有用线束辐射剂量率计算公式如下:

$$H = \frac{A \times F}{r^2} \times B_x \quad (\text{式 11-5})$$

式中: H ——有屏蔽体情况下参考点的直射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

A ——放射性活度, MBq , 本工程取值 $4.2 \times 10^{12} \text{Bq}$, 即 $4.2 \times 10^6 \text{MBq}$;

Γ ——照射量率常数, 根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)附录A表A.1可知: 对于 ^{192}Ir , $\Gamma=0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$;

r ——关注点距离放射源的距离, m;

B_x ——屏蔽透射比, 无量纲, 计算公式如下:

屏蔽透射比

$$B_x = 2^{-X/HVL} \quad (\text{式 11-6})$$

式中: B_x ——屏蔽透射比, 无量纲;

X ——屏蔽体厚度, 单位为 mm;

HVL ——根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)附录A中表A.2, ^{192}Ir 在混凝土中的半值层厚度为50mm, 在铅中的半值层厚度为3mm, 在钢中的半值层厚度为14mm。

②迷道散射辐射在关注点处的辐射剂量率

根据《辐射源室屏蔽设计与评价》(北京市放射卫生防护所, 王时进)中式3.2, 散射线计算公式如下:

$$H_{\text{散射}} = \frac{0.1 \times H_0}{r_0^2 \times r_s^2} \quad (\text{式 11-7})$$

式中: $H_{\text{散射}}$ ——注点处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;

H_0 ——距源1m处的辐射剂量率;

r_0 ——入射距离, m;

r_s ——散射距离, m。

(2) 计算结果

根据设计, 本工程曝光间室内东西净宽7.0m, 南北净长14.0m, 净高6.0m。曝光间内 γ 射线探伤机采用 4π 全方向照射, 因此探伤室内各屏蔽体均直接受到 γ 射线有用束照射。

在探伤室屏蔽体外30cm处设置参考点, 参考点和辐射路径示意见图11-1和11-2。

根据式11-5~11-7, 计算得探伤室外参考点剂量率见表11-3。

表 11-3 ^{192}Ir 放射源使用期间探伤室周围剂量率

关注点	A MBq	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)	r(m)	屏蔽物质及厚度	B_x	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	标准值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1#	4.2×10^6	0.17	$2+0.85+0.065+0.3=3.215$	80mmPb	$2^{-80/3}$	6.48×10^{-4}	2.5

2#	4.2×10^6	0.17	$1+0.85+0.3=2.15$	850mm 混凝土	$2^{-850/50}$	1.18	2.5
3#	4.2×10^6	0.17	$1+0.85+0.3=2.15$	850mm 混凝土	$2^{-850/50}$	1.18	2.5
4#	4.2×10^6	0.17	$1+0.85+0.9+0.85+0.3=3.9$	850mm 混凝土	$2^{-850/50}$	3.67×10^{-5}	2.5
				+40mmPb	$2^{-40/3}$		
5#	4.2×10^6	0.17	$1+0.85+0.3=2.15$	850mm 混凝土	$2^{-850/50}$	1.18	2.5
6#	4.2×10^6	0.17	$3.75+0.80+0.3=4.85$	800mm 混凝土	$2^{-800/50}$	0.23	100

备注：本工程曝光间四周钢筋混凝土墙的厚度为 850mm，室顶钢筋混凝土厚度为 800mm。

小防护门外参考点 4#受到有用线束穿过迷道墙到达小防护门外的剂量率贡献，还受到有用线束在迷道内至少经过 2 次散射后经过小防护门屏蔽后的剂量率贡献。考虑至少经过 2 次折射，每折射一次剂量率减小 1~2 个数量级，小防护门防护能力为 40mmPb。

本工程距 ^{192}Ir 源 1m 处的辐射剂量率为 $7.14 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ ($4.2 \times 10^6 \times 0.17$)，入射距离 2.10m，散射距离为 5.51m，小防护门屏蔽透射比为 $2^{-40/3}$ 。根据式 11-5、式 11-7 计算，散射线剂量率为 $5.17 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，2 次折射减小为 $5.17 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，则小防护门外剂量率为 $5.17 \times 10^{-4} + 3.67 \times 10^{-5} = 5.54 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ 。

由上述计算可知， ^{192}Ir 射线探伤机使用期间曝光间四周屏蔽墙、防护门外 30cm 处的最大剂量率为 $1.18 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 6.1.3 款“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求；探伤室室顶外 30cm 处的最大剂量率为 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 6.1.4 款“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 $100 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2 源库辐射环境影响分析

一、库容设计合理性分析

本工程源库共设计有 30 个储源柜，采用“两源一柜”的贮存方式，可存放 60 台含源 γ 射线探伤机，满足本次申报的 39 台含源 γ 射线探伤机（28 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 11 台 ^{75}Se - γ 射线探伤机），库容设计合理可行。

二、预测分析

(1) 预测工况确定

本次评价按照存放 28 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 11 台 ^{75}Se - γ 射线探伤机进行预测评价，每个源柜内可存放 2 台 γ 射线探伤机，剩余 10 个源柜用于特殊状态（如储源柜门故障）下应急存放。

为简化计算，本次评价考虑将 39 台 γ 射线探伤机置于上两层源柜中，每列最上层源柜视为一个点源，距离均保守取源柜到该点所在垂直平面的最短直线距离，源库四周墙外各关注点离

地高度为 1.55m，室顶关注点离地高度为 7.1m。

本工程 ^{192}Ir 探伤机和 ^{75}Se 探伤机均为便携式，本次评价以《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的便携式 γ 射线探伤机源离源容器表面 100cm 处的周围当量剂量率不大于 0.02mSv/h（20 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）作为 γ 射线探伤机源强进行计算，故两侧源柜中有 4 列源柜总剂量率为 80 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，1 列源柜的总剂量率为 60 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

（2）源库外剂量率

源库外剂量率主要为 γ 射线透过墙体或防护门的剂量率，保守全部按照主射线考虑，等效点源距参考点距离按照各列储源柜边缘到参考点最近距离进行计算。

在源库外 30cm 设置参考点，参考点示意见图 11-3 和图 11-4。

图 11-3 源库辐射影响核算关注点及辐射路径示意图

图 11-4 源库室顶辐射影响核算关注点及辐射路径示意图

图 11-5 源库内部剖视图

根据式 11-5、11-6 计算 39 台 γ 射线探伤机同时存放在源库内时，源库外剂量率见表 11-4。

表 11-4 源库外剂量率（储源柜门关闭状态下）

参考点	源柜编号	等效剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	屏蔽能力	r(m)	B_x	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合计 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	标准值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
A	1	80	850mm 混凝土+100mm 混凝土	1.23	$2^{-950/50}$	1.01×10^{-4}	1.09×10^{-3}	2.5		
	2	80	850mm 混凝土+300mm 混凝土	2.21	$2^{-1150/50}$	1.95×10^{-6}				
	3	80	850mm 混凝土+500mm 混凝土	2.47	$2^{-1350/50}$	9.77×10^{-8}				
	4	80	850mm 混凝土+700mm 混凝土	3.53	$2^{-1550/50}$	2.99×10^{-9}				
	5	80	850mm 混凝土+900mm 混凝土	4.49	$2^{-1750/50}$	1.15×10^{-10}				
	6	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	3.55×10^{-4}				
			850mm 混凝土	2.60	$2^{-850/50}$					
	7	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	2.38×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.18	$2^{-850/50}$					
	8	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.72×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.74	$2^{-850/50}$					
	9	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.26×10^{-4}				
			850mm 混凝土	4.37	$2^{-850/50}$					
10	60	20mmPb	0.05	2 ^{-20/3}		9.50×10^{-5}				

			850mm 混凝土	5.03	$2^{-850/50}$					
B	1	80	15mmPb+20mmPb	1.69	$2^{-35/3}$	8.62×10^{-3}	3.69×10^{-2}	2.5		
	2	80	15mmPb+20mmPb	2.43	$2^{-35/3}$	4.17×10^{-3}				
	3	80	15mmPb+20mmPb	2.95	$2^{-35/3}$	2.83×10^{-3}				
	4	80	15mmPb+20mmPb	3.67	$2^{-35/3}$	1.83×10^{-3}				
	5	80	15mmPb+20mmPb	4.60	$2^{-35/3}$	1.16×10^{-3}				
	6	80	15mmPb+20mmPb	1.69	$2^{-35/3}$	8.62×10^{-3}				
	7	80	15mmPb+20mmPb	2.43	$2^{-35/3}$	4.17×10^{-3}				
	8	80	15mmPb+20mmPb	2.95	$2^{-35/3}$	2.83×10^{-3}				
	9	80	15mmPb+20mmPb	3.67	$2^{-35/3}$	1.83×10^{-3}				
	10	60	15mmPb+20mmPb	4.60	$2^{-35/3}$	8.72×10^{-4}				
C	1	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.62×10^{-4}	2.42×10^{-3}	2.5		
			850mm 混凝土	3.85	$2^{-850/50}$					
	2	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	3.58×10^{-10}				
			850mm 混凝土	3.69	$2^{-850/50}$					
	3	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	2.12×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.37	$2^{-850/50}$					
	4	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.76×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.69	$2^{-850/50}$					
	5	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.62×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.85	$2^{-850/50}$					
D	6	80	850mm 混凝土	1.63	$2^{-850/50}$	2.30×10^{-4}	3.57×10^{-3}	2.5		
	7	80	850mm 混凝土	1.21	$2^{-850/50}$	4.17×10^{-4}				
	8	80	850mm 混凝土	1.14	$2^{-850/50}$	4.70×10^{-4}				
	9	80	850mm 混凝土	1.21	$2^{-850/50}$	4.17×10^{-4}				
	10	60	850mm 混凝土	1.63	$2^{-850/50}$	1.72×10^{-4}				
	1	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.14×10^{-4}				
			850mm 混凝土	4.60	$2^{-850/50}$					
E	2	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.78×10^{-4}	3.57×10^{-3}	2.5		
			850mm 混凝土	3.67	$2^{-850/50}$					
	3	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	2.76×10^{-4}				
			850mm 混凝土	2.95	$2^{-850/50}$					
	4	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	4.07×10^{-4}				
			850mm 混凝土	2.43	$2^{-850/50}$					
	5	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	9.27×10^{-4}				
			850mm 混凝土	1.61	$2^{-850/50}$					
F	6	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.14×10^{-4}	3.57×10^{-3}	2.5		
			850mm 混凝土	4.60	$2^{-850/50}$					
	7	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.78×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.67	$2^{-850/50}$					
	8	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	2.76×10^{-4}				
			850mm 混凝土	2.95	$2^{-850/50}$					

	9	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	4.07×10^{-4}				
			850mm 混凝土	2.43	$2^{-850/50}$					
	10	60	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	6.95×10^{-4}				
			850mm 混凝土	1.61	$2^{-850/50}$					
E	1	80	850mm 混凝土	1.63	$2^{-850/50}$	2.30×10^{-4}	6.81×10^{-3}	2.5		
	2	80	850mm 混凝土	1.21	$2^{-850/50}$	4.17×10^{-4}				
	3	80	850mm 混凝土	1.14	$2^{-850/50}$	4.70×10^{-7}				
	4	80	850mm 混凝土	1.21	$2^{-850/50}$	4.17×10^{-4}				
	5	80	850mm 混凝土	1.63	$2^{-850/50}$	2.30×10^{-4}				
	6	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.57×10^{-8}				
			850mm 混凝土	3.85	$2^{-850/50}$					
	7	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.71×10^{-8}				
			850mm 混凝土	3.69	$2^{-850/50}$					
	8	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	2.69×10^{-3}				
			850mm 混凝土	3.37	$2^{-850/50}$					
	9	80	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	2.24×10^{-3}				
			850mm 混凝土	3.69	$2^{-850/50}$					
	10	60	20mmPb	0.05	$2^{-20/3}$	1.22×10^{-4}				
			850mm 混凝土	3.85	$2^{-850/50}$					
F	1	80	800 混凝土+300 混凝土	5.55	$2^{-1100/50}$	2.61×10^{-5}	2.61×10^{-4}	2.5		
	2	80	800 混凝土+300 混凝土	5.45	$2^{-1100/50}$	2.71×10^{-5}				
	3	80	800 混凝土+300 混凝土	5.43	$2^{-1100/50}$	2.73×10^{-5}				
	4	80	800 混凝土+300 混凝土	5.45	$2^{-1100/50}$	2.71×10^{-5}				
	5	80	800 混凝土+300 混凝土	5.55	$2^{-1100/50}$	2.61×10^{-5}				
	6	80	800 混凝土+300 混凝土	5.55	$2^{-1100/50}$	2.61×10^{-5}				
	7	80	800 混凝土+300 混凝土	5.45	$2^{-1100/50}$	2.71×10^{-5}				
	8	80	800 混凝土+300 混凝土	5.43	$2^{-1100/50}$	2.73×10^{-5}				
	9	80	800 混凝土+300 混凝土	5.45	$2^{-1100/50}$	2.71×10^{-5}				
	10	60	800 混凝土+300 混凝土	5.55	$2^{-1100/50}$	1.96×10^{-5}				

备注：①本工程源库四周钢筋混凝土墙的厚度为 850mm，室顶钢筋混凝土厚度为 800mm。

②每个源柜均安装平开式柜门，铅钢结构，屏蔽防护能力为 20mmPb。

③源库防护门屏蔽防护能力为 15mmPb。

④置于源柜内的 γ 射线探伤机源容器距离柜门的距离按 50mm 计。

根据上表，在源柜门关闭条件下，源库外 30cm 处最大剂量率为 $3.69 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。因此，储源柜门关闭状态下贮源库屏蔽能力满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中规定的剂量率控制目标 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

（3）源库内剂量率

源库内剂量率主要为单个源柜门打开情况下 2 台 γ 射线探伤机外剂量率，以及其他 37 台未开源柜门的 γ 射线探伤机穿透源柜门的剂量率。由于源库保管人员进入源库取源过程需接触源

柜门，且一直处于运动状态，参考点处剂量率保守取 2 台 ^{192}Ir γ 射线探伤机表面 100cm 处剂量率、26 台 ^{192}Ir γ 射线探伤机和 11 台 ^{75}Se γ 射线探伤机表面 100cm 处（20mmPb 储源柜门屏蔽）剂量率、剂量率之和。

根据式 11-5、11-6 计算单个源柜门打开情况下源库内剂量率见表 11-5。

表 11-5 单个源柜门打开情况下源库内剂量率

等效剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	屏蔽能力	$r(\text{m})$	K	剂量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合计($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
40	/	1.0	/	40	47.29
520	20mmPb		$2^{20/3}$	5.12	
220	20mmPb		$2^{20/3}$	2.17	

11.2.3 X、 γ 射线移动探伤辐射环境影响分析

一、X 射线移动探伤辐射环境影响分析

（1）现场探伤作业时有用束方向剂量率

根据式 11-1 计算本工程 X 射线探伤机主射束方向，无屏蔽状态下不同距离处剂量率见表 11-6。

表 11-6 X 射线探伤机无屏蔽状态下有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$

型 号 / 距 离	100	501	575	647	686	758	761
XXG-3505	705	28.09	21.32	16.84	14.98	12.27	12.17
XXG-3505ZD	705	28.09	21.32	16.84	14.98	12.27	12.17
XXGH3005Z	627	24.98	18.96	14.98	13.32	10.91	10.83
XXG2505	495	19.72	14.97	11.82	10.52	8.62	8.55
XXG2005	867	34.54	26.22	20.71	18.42	15.09	14.97
XXG1605D	867	34.54	26.22	20.71	18.42	15.09	14.97
SMART EVO 300D	376	14.99	11.38	8.99	7.99	6.55	6.50
型 号 / 距 离	1226	1407	1584	1680	1856	1862	—
XXG-3505	4.69	3.56	2.81	2.50	2.05	2.03	—
XXG-3505ZD	4.69	3.56	2.81	2.50	2.05	2.03	—
XXGH3005Z	4.17	3.17	2.50	2.22	1.82	1.81	—
XXG2505	3.29	2.50	1.97	1.75	1.44	1.43	—
XXG2005	5.77	4.38	3.46	3.07	2.52	2.50	—
XXG1605D	5.77	4.38	3.46	3.07	2.52	2.50	—
SMART EVO 300D	2.50	1.90	1.50	1.33	1.09	1.09	—

备注：①XXG-3505、XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机电压等级为 350kV，滤过条件为 3mm 铜。距离辐射源点 1m 处的输出量保守按 400kV 的取值，根据 GBZ/T250-2014 附录 B 中的表 B.1，距离辐射源点 1m 处的输

出量为 $23.5 \text{mSv m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

②XXGH3005Z、SMART EVO 300D 型 X 射线探伤机电压等级为 300kV，滤过条件为 3mm 铝。根据 GBZ/T250-2014 附录 B 中的表 B.1，距离辐射源点 1m 处的输出量为 $20.9 \text{mSv m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

③XXG2505 型 X 射线探伤机电压等级为 250kV，滤过条件为 3mm 铝。根据 GBZ/T250-2014 附录 B 中的表 B.1，距离辐射源点 1m 处的输出量为 $13.9 \text{mSv m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

④XXG2005 型 X 射线探伤机电压等级为 200kV，滤过条件为 2mm 铝。根据 GBZ/T250-2014 附录 B 中的表 B.1，距离辐射源点 1m 处的输出量为 $28.7 \text{mSv m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

⑤XXG-1605D 型 X 射线探伤机电压等级为 160kV，滤过条件为 2mm 铝。距离辐射源点 1m 处的输出量保守按 200kV 取值。根据 GBZ/T250-2014 附录 B 中的表 B.1，输出量为 $28.7 \text{mSv m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。

根据表 11-6 计算结果，无屏蔽条件下，本工程 X 射线探伤机有用束方向的控制区和监督区边界列于见表 11-7。

表 11-7 X 射线探伤机在无屏蔽条件下有用束方向控制区与监督区的边界

型号	XXG-3505	XXG-3505ZD	XXGH3005Z	XXG2505	XXG2005	XXG1605D	SMART EVO 300D
控制区 边界(m)	686	686	647	575	761	761	501
监督区 边界(m)	1680	1680	1584	1407	1862	1862	1226

本工程 X 射线移动探伤时，被探工件厚度较多的为 20~30mm。本次评价以典型的 20~30mm 厚的钢工件屏蔽条件下进行剂量率计算。根据《辐射源室屏蔽设计与评价》（王时进，北京市放射卫生防护所）对于 150kV~400kV 的 X 射线探伤机，20~30mm 钢约相当于 2.0mmPb。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），式 11-1 中的屏蔽透射因子应由附录 B 中的图 B.1 曲线查出。由于附录 B.1 曲线未给出本工程所有型号探伤机电压等级、滤过条件对应的屏蔽透射因子 B，故屏蔽透射因子采用式 11-4 计算。将同一电压、滤过条件和铅厚度下的查曲线值和计算值进行比较，计算值大于查曲线值，即计算值较保守，故采用计算值可行。

根据式 11-4 计算，本工程各型号探伤机透射因子见表 11-8。

表 11-8 各型号探伤机 X 射线在 20~30mm 厚的钢屏蔽条件下透射因子一览表

型号	XXG-3505	XXG-3505 ZD	XXGH300 5Z	XXG2505	XXG2005	XXG1605 D	SMART E VO 300D
透射因子	0.57	0.57	0.46	0.20	0.04	0.04	0.45

备注：XXG-1605D 型 X 射线探伤机电压等级为 160kV，保守参照 200kV 取值。

根据式 11-1 计算有用束方向在有 2.0mmPb 屏蔽条件下，距探伤机不同距离处剂量率见表 11-9。

表 11-9 X 射线探伤机在 20mm~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

型 号 和 距 离	100	147	260	335	358	432
XXG-3505	402	186.06	70.39	35.83	31.37	21.54
XXG-3505ZD	402	186.06	70.39	35.83	31.37	21.54
XXGH3005Z	280	129.35	48.93	24.91	21.81	14.98
XXG2505	85	39.43	14.92	7.59	6.65	4.57
XXG2005	32	14.85	5.62	2.86	2.50	1.72
XXG1605D	32	14.85	5.62	2.86	2.50	1.72
SMART EVO 300D	168	77.61	29.36	14.94	13.09	8.99
型 号 和 距 离	518	584	819	1057	1268	/
XXG-3505	14.98	11.79	5.99	3.60	2.50	/
XXG-3505ZD	14.98	11.79	5.99	3.60	2.50	/
XXGH3005Z	10.42	8.20	4.17	2.50	1.74	/
XXG2505	3.18	2.50	1.27	0.76	0.53	/
XXG2005	1.20	0.94	0.48	0.29	0.20	/
XXG1605D	1.20	0.94	0.48	0.29	0.20	/
SMART EVO 300D	6.25	4.92	2.50	1.50	1.04	/

根据表 11-9 计算结果, 在 20~30mm 钢 (相当于 2.0mmPb) 屏蔽条件下, X 射线探伤机有用束方向的控制区和监督区边界见表 11-10。

表 11-10 X 射线探伤机在 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下各有用束方向控制区与监督区的边界

型号	XXG-3505	XXG-3505ZD	XXGH3005Z	XXG2505	XXG2005	XXG1605D	SMART EVO 300D
控制区边界(m)	518	518	432	260	147	147	335
监督区边界(m)	1268	1268	1057	584	358	358	819

(2) 现场探伤作业时非有用束方向剂量率

有工件条件下, 非主射束方向主要考虑漏射线和散射线, 根据式 11-2、11-3, 计算非主射束方向距探伤机不同距离处的漏射线剂量率和散射线剂量率见表 11-11~表 11-17。

表 11-11 XXG-3505 型 X 射线探伤机无屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	10	50	98.7	100	150	241.8	300
漏射线剂量率贡献值	50.0	2.00	0.51	0.50	0.22	0.09	0.06
散射线剂量率贡献值	1410.00	56.40	14.47	14.10	6.27	2.41	1.57
剂量率	1460.00	58.40	14.98	14.60	6.49	2.50	1.62

表 11-12 XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机无蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	10	50	98.7	100	150	241.8	300
漏射线剂量率贡献值	50.00	2.00	0.51	0.50	0.22	0.09	0.06
散射线剂量率贡献值	1410.00	56.40	14.47	14.10	6.27	2.41	1.57
剂量率	1460.00	58.40	14.98	14.60	6.49	2.50	1.62

表 11-13 XXGH3005Z 型 X 射线探伤机无屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	10	50	93.3	100	150	228.2	300
漏射线剂量率贡献值	50.00	2.00	0.57	0.50	0.22	0.10	0.06
散射线剂量率贡献值	1254.00	50.16	14.41	12.54	5.57	2.41	1.39
剂量率	1304.00	52.16	14.98	13.04	5.79	2.50	1.45

表 11-14 XXG2505 型 X 射线探伤机无蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	10	50	76.8	100	150	188	200
漏射线剂量率贡献值	50.00	2.00	0.85	0.50	0.22	0.14	0.13
散射线剂量率贡献值	834.00	33.36	14.14	8.34	3.71	2.36	2.09
剂量率	884.00	35.36	14.99	8.84	3.93	2.50	2.21

表 11-15 XXG2005 型 X 射线探伤机无屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	10	50	100	108	150	264.5	300
漏射线剂量率贡献值	25.00	1.00	0.25	0.21	0.11	0.04	0.03
散射线剂量率贡献值	1722.00	68.88	17.22	14.76	7.65	2.46	1.91
剂量率	1747.00	69.88	17.47	14.98	7.76	2.50	1.94

表 11-16XXG1605D 型 X 射线探伤机无屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	10	50	100	108	150	264.5	300
漏射线剂量率贡献值	25.00	1.00	0.25	0.21	0.11	0.04	0.03
散射线剂量率贡献值	1722.00	68.88	17.22	14.76	7.65	2.46	1.91
剂量率	1747.00	69.88	17.47	14.98	7.76	2.50	1.94

表 11-17 SMART EVO 300D 型 X 射线探伤机无屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

剂量率 距离(m)	10	50	73.2	100	150	179	300
漏射线剂量率贡献值	50.00	2.00	0.94	0.50	0.22	0.16	0.06
散射线剂量率贡献值	752.40	30.10	14.04	7.52	3.34	2.34	0.84
剂量率	802.40	32.10	14.98	8.02	3.56	2.50	0.90

根据表 11-11 和表 11-17, 无屏蔽条件下, X 射线探伤机非有用束方向控制区和监督区边界划分见表 11-18。

表 11-18 各 X 射线探伤机无屏蔽状态下非有用射束方向控制区和监督区边界

型号	XXG-3505	XXG-3505Z D	XXGH3005 Z	XXG2505	XXG2005	XXG1605D	SMART E VO 300D
控制区 边界(m)	98.7	98.7	93.3	76.8	108.0	108.0	73.2
监督区 边界(m)	241.8	241.8	228.2	188.0	264.5	264.5	179

X 射线现场探伤时, 项目部配备有 5mmPb 铅皮, 用于 X 射线探伤机非有用束方向屏蔽。根据式 11-1、式 11-4, 各型号探伤机非有用束方向距探伤机不同距离处的漏射线剂量率和散射线剂量率计算结果见表 11-19~表 11-25。

表 11-19 XXG-3505 型 X 射线探伤机在 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

剂量率 距离(m)	5	9.06	10	15	20	22.2	30
漏射线剂量率贡献值	49.12	15.96	12.28	5.46	3.07	2.49	1.36
散射线剂量率贡献值	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	49.14	14.97	12.29	5.46	3.07	2.49	1.36

表 11-20 XXG-3505ZD 型 X 射线探伤机在 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

剂量率 距离(m)	5	9.06	10	15	20	22.2	30
漏射线剂量率贡献值	49.12	15.96	12.28	5.46	3.07	2.49	1.36
散射线剂量率贡献值	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	49.14	14.97	12.29	5.46	3.07	2.49	1.36

表 11-21XXGH3005Z 型 X 射线探伤机在 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

剂量率 距离(m)	5	6.66	10	16.3	20	25	30
漏射线剂量率贡献值	26.54	27.69	6.63	2.50	1.66	1.06	0.74

散射线剂量率贡献值	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	26.55	14.96	6.63	2.50	1.66	1.06	0.74

表 11-22 屏蔽条件下 XXG2505 型 X 射线探伤机在 5mmPb 非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	2.51	5	6.15	10	15	20	25
漏射线剂量率贡献值	14.98	3.77	2.50	0.94	0.42	0.24	0.15
散射线剂量率贡献值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	14.98	3.78	2.50	0.94	0.42	0.24	0.15

表 11-23 XXG2005 型 X 射线探伤机在 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	0.22	0.52	5	10	15	20	25
漏射线剂量率贡献值	13.86	2.48	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
散射线剂量率贡献值	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	13.88	2.48	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00

表 11-24 XXG1605D 型 X 射线探伤机在 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	0.22	0.52	5	10	15	20	25
漏射线剂量率贡献值	13.86	2.48	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
散射线剂量率贡献值	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	13.88	2.48	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00

表 11-25 SMART EVO 300D 型 X 射线探伤机在 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向剂量率 单位 $\mu\text{Sv/h}$

距离(m) 剂量率	5	6.66	10	15	16.3	20	25
漏射线剂量率贡献值	26.54	14.96	6.63	0.74	2.50	1.66	1.06
散射线剂量率贡献值	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
剂量率	26.54	14.96	6.64	0.74	2.50	1.66	1.06

根据表 11-19~表 11-25 计算结果, 在 5mmPb 铅皮屏蔽条件下, 各型号 X 射线探伤机非有用束方向的控制区和监督区边界见表 11-26。

表 11-26 X 射线探伤机在 5mmPb 铅皮屏蔽条件下非有用射束方向控制区和监督区边界

型号	XXG-3505	XXG-3505Z D	XXGH3005 Z	XXG2505	XXG2005	XXG1605D	SMART EV O 300D
控制 区边 界(m)	9.06	9.06	6.66	2.51	0.22	0.22	6.66
监督 区边	22.2	22.2	16.30	6.15	0.52	0.52	16.30

界(m)							
------	--	--	--	--	--	--	--

综上所述,在控制区边界和监督区边界剂量率控制目标分别为 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 和 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的情况下,本工程各型号 X 射线探伤机控制区、监督区范围如下:

①XXG-3505 型探伤机在 $350\text{kV}/5\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 686m, 监督区范围为 1680m; $20\sim30\text{mm}$ 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 518m, 监督区范围为 1268m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 98.7m, 监督区范围为 241.8m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 9.06m, 监督区范围为 22.2m。

②XXG-3505ZD 型探伤机在 $350\text{kV}/5\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 686m, 监督区范围为 1680m; $20\sim30\text{mm}$ 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 518m, 监督区范围为 1268m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 98.7m, 监督区范围为 241.8m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 9.06m, 监督区范围为 22.2m。

③XXGH3005Z 型探伤机在 $300\text{kV}/5\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 647m, 监督区范围为 1584m; $20\sim30\text{mm}$ 厚钢工件屏蔽条件下主射束方向控制区范围为 432m, 监督区范围为 1057m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 93.3m, 监督区范围为 228.2m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 6.66m, 监督区范围为 16.30m。

④XXG2505 型探伤机在 $250\text{kV}/5\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 575m, 监督区范围为 1407m; $20\sim30\text{mm}$ 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 260m, 监督区范围为 584m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 76.8m, 监督区范围为 188.0m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 2.51m, 监督区范围为 6.15m。

⑤XXG2005 型探伤机在 $220\text{kV}/5\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 761m, 监督区范围为 1862m; $20\sim30\text{mm}$ 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 147m, 监督区范围为 358m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 108.4m, 监督区范围为 265.0m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 0.22m, 监督区范围为 0.52m。

⑥XXG1605D 型探伤机在 $200\text{kV}/5\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 761m, 监督区范围为 1862m; $20\sim30\text{mm}$ 厚钢工件屏蔽条件下主射束方向控制区范围为 147m, 监督区范围为 358m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 108.0m, 监督区范围为 264.5m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 0.22m, 监督区范围为 0.52m。

⑦SMART EVO 300D 型探伤机在 $300\text{kV}/3\text{mA}$ 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范

围为 501m，监督区范围为 1226m；20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 335m，监督区范围为 819m；无屏蔽条件下非有用束方向，控制区范围为 73.2m，监督区范围为 179m；5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 6.66m，监督区范围为 16.30m。

（3）实际探伤条件下控制区和监督区边界

本工程 X 射线探伤机实际工作状态下的控制区与监督区的边界确定，可以根据使用的防护屏蔽材料，由《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）附录 A 中提供的方法进行估算。实际工作中，监督区和控制区的划分主要采用以下方法：根据本环评提出的控制区和监督区范围以及工作经验，初步划定控制区和监督区范围。充分利用现场屏蔽物（如墙体、掩体等）以缩小控制区范围，将铅皮置于控制台前，合理利用准直器，遮蔽非有用束方向。在 X 射线探伤机处于照射状态下，用便携式辐射检测仪从探伤位置四周由远及近巡测辐射剂量率，对控制区和监督区进行核定和调整，到 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为监督区边界，到 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为控制区边界。探伤过程中，使用便携式辐射环境巡测仪进行监督监测。

二、 γ 射线移动探伤辐射环境影响分析

（1）放射源在探伤机内时周围剂量率

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 2，距便携式 γ 射线探伤机源容器表面 1m 处的周围剂量当量率控制值 $0.02\text{mSv}/\text{h}$ （即 $20\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）。

根据式 11-5 计算源在探伤机内时周围剂量率见表 11-27。

表 11-27 源在探伤机内不同距离的 γ 空气吸收剂量率 单位: $\mu\text{Sv}/\text{h}$

距离(m)	1	3	5	10	30	50
剂量率	20	2.22	0.80	0.2	0.020	0.008

（2）现场探伤作业时周围剂量率

①无屏蔽状态（裸源）时周围剂量率

由式 11-5 估算本工程无屏蔽状态（裸源）不同距离的剂量率，估算结果见表 11-28。

表 11-28 ^{192}Ir 无屏蔽状态下与源不同距离处剂量率 单位: $\mu\text{Sv}/\text{h}$

距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	714000
10	7140
50	285.6
100	71.40
150	31.73

200	17.85
218	15.00
250	11.42
300	7.93
350	5.83
400	4.46
450	3.53
500	2.86
534	2.50
550	2.36
1000	0.71

根据表 11-28 的计算结果可知, 无屏蔽状态下随着距放射源距离的增大, 源的辐射水平逐渐降低。

②控制区与监督区边界

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022), γ 射线探伤设备动探伤时, 控制区边界外剂量率低于 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$, 监督区外边界外剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

根据表 11-28 计算结果, 本工程 ^{192}Ir 无屏蔽状态(裸源)下的控制区与监督区的边界见表 11-29。

表 11-29 本工程 ^{192}Ir 无屏蔽状态(裸源)下的控制区与监督区的边界

区域	距离
控制区边界 (m)	218
监督区边界 (m)	534

本工程 ^{192}Ir 在裸源状态下控制区与监督区的边界范围比较大, 因此在探伤过程中需要充分利用现场屏蔽、防护材料等的屏蔽作用, 减少辐射影响范围。项目部配备有 5mmPb 铅皮, γ 射线探伤时用于遮住探伤位置以减小辐射影响范围。根据式 11-5、式 11-6, 计算 5mmPb 铅皮屏蔽条件下控制区和监督区边界, 见表 11-30。

表 11-30 本工程 ^{192}Ir 在 5mmPb 铅皮屏蔽条件下的控制区与监督区的边界

控制区边界 (m)	控制区边界处剂量率	监督区边界 (m)	监督区边界处剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
122	15.0	300	2.5

③典型探伤条件下控制区和监督区边界

结合本工程探伤工件的特点, 本次评价以检测典型厚度 60mm 钢工件条件下进行制区和监督区距离估算。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）附录 A 中表 A.2，¹⁹²Ir 在钢中的半值层厚度为 14mm，经式 11-5 计算，¹⁹²Ir 放射源照射 60mm 钢工件时，控制区距离 L2 为 49.4m，监督区距离为 121m。

综上所述，为了指导实际现场探伤作业，典型工件条件下，本工程 ¹⁹²Ir 放射源在工件屏蔽下的控制区距离为 49.4m，监督区距离为 121m。

④定向屏蔽条件下控制区和监督区边界

无需使用 γ 线探伤机的 4 π 射方向时，在非有用束方向使用 15mmPb 定向曝光头或准直器进行屏蔽。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）附录 A 中 A.2，¹⁹²Ir 射源非有用束方向控制区距离计算公式如下：

$$L_3 = \sqrt{2 \frac{t_2}{HVL_2}}$$

式中： L_3 ——有用线束方向以外，经源容器或其他屏蔽物屏蔽后要求的控制区距离值，单位为 m；

L_1 ——无工件衰减时需要的控制区距离值，单位为 m；

t_2 ——源容器或其他屏蔽物厚度，单位为 mm；

HVL_2 ——源容器或其他屏蔽物的半值层厚度，单位为 mm，近似值见表 A.2，¹⁹²Ir 在钢中的半值层厚度为 14mm。

根据上式，经计算 ¹⁹²Ir 放射源非有用束方向控制区距离 L_3 为 38.53m，监督区距离为 94.39m。

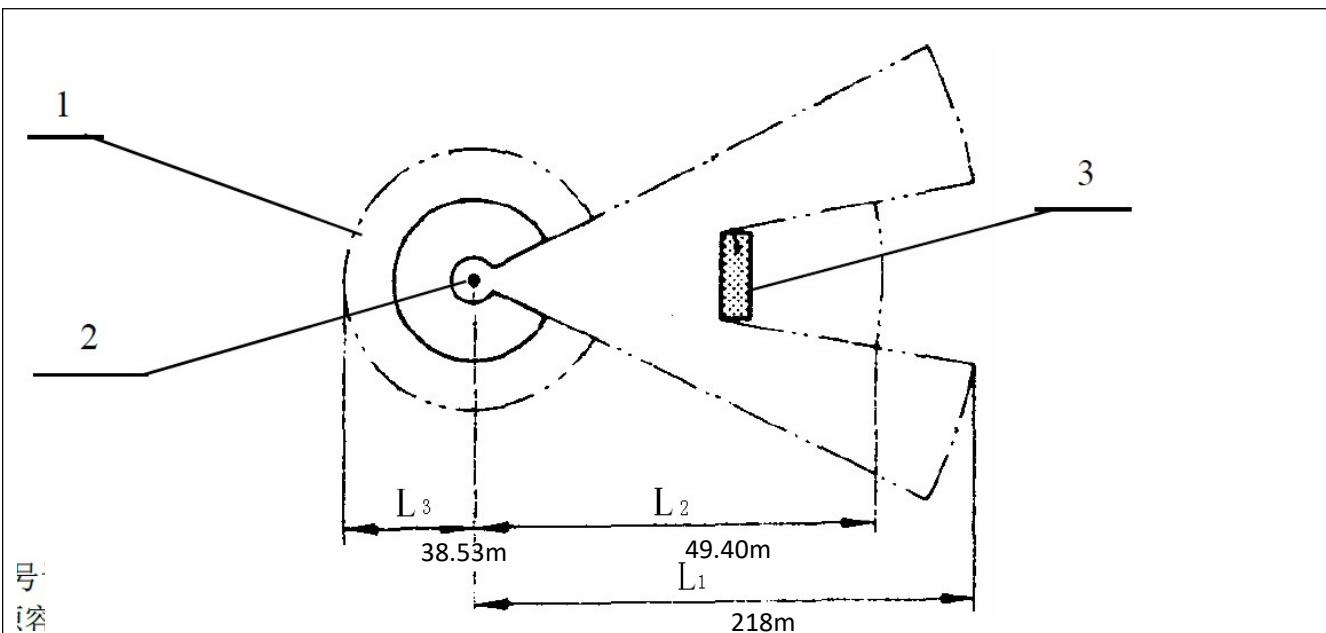


图 11-5 ^{192}Ir 放射源应用屏蔽物的控制区示意图（无比例）

（3）运输过程 γ 射线探伤机周围剂量率

项目部配专用运输箱，铅钢结构，屏蔽能力 5mmPb，1 个运输箱放置 1 台 γ 射线探伤机。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），离源容器表面 100cm 处的最大周围当量剂量率为 0.02mSv/h，根据式 11-1、式 11-2 计算，本工程运输箱不同距离处的剂量率见表 11-31。

表 11-31 距运输箱不同距离处的 γ 空气吸收剂量率 单位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$

距离 (m)	1	2	3	5	10
剂量率	6.30	1.57	0.70	0.25	0.17

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），探伤机表面 5cm 处周围剂量当量低于 0.5mSv/h，1 运输车最多载 2 个运输箱（每个运输箱放置 1 台 γ 射线探伤机），再加上运输箱的屏蔽，车体外表面剂量率低于 1mSv/h，满足《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）规定的运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过 2mSv/h 的要求。

由表 11-31 可知，在忽略运输箱距运输车距离条件下，距离运输车外表面 2m 处的 γ 空气吸收剂量率为 $3.14 \times 10^{-3}\text{mSv}/\text{h}$ ，低于《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）规定的运输工具外表面 2m 处辐射水平应不超过 0.1mSv/h 标准限值。

（4）实际探伤条件下控制区和监督区边界

实际工作状态下的控制区与监督区的边界确定，可以根据使用的防护屏蔽材料，由《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）附录 A 中提供的方法进行估算。实际工作中，主要采用

以下方法：根据本环评提出的控制区和监督区范围，初步划定控制区和监督区范围。

在 γ 射线探伤机处于照射状态下，用便携式辐射环境检测仪从探伤位置四周由远及近检测辐射剂量率，对控制区和监督区进行核定和调整，到 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 为监督区边界，到 $15\mu\text{Sv/h}$ 为控制区边界。探伤作业期间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。

探伤作业期间，在控制区边界上用警戒绳等围住控制区，安排人员对控制区边界进行巡逻，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监测，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，如有必要可调整控制区的边界。

11.2.4 人员年有效剂量

一、年有效剂量估算公式

$$H = D_r \times T \quad \text{式 (11-8)}$$

式中： H ——年有效剂量当量， SV/a ；

T ——年受照时间， h ；

D_r —— $\text{X-}\gamma$ 辐射剂量率， Gy/h 、 SV/h ；

二、照射时间确定

本工程在探伤室内固定探伤累计总曝光时间不超过 1400h/a ， X 射线移动探伤曝光时间不超过 375h/a ， γ 移动探伤年曝光时间不超过 1500h/a 。

三、居留因子确定

参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），不同环境条件下的居留因子见表 11-32。

表 11-32 居留因子的选取

场所	居留因子	示例	本工程
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区	操作室、源库值班室、源库、生产临建区阀门试压间、生产临建区喷砂防腐车间、生产临建区碳钢管道预制车间、生产临建区不锈钢管道预制车间
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间	器材室
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道	垃圾场、生产临建区道路、生产临建区 D1 堆场（含废料场）、生产临建区 D2 堆场

四、职业人员年有效剂量

(1) 固定探伤过程

① 曝光过程

曝光间运行过程中，探伤人员受照剂量主要为操作室操作时和源库值班室值班时产生，根据表 11-2 和表 11-3 曝光间周围剂量率计算结果，曝光期间探伤人员活动区域辐射水平为最大为 $1.53\mu\text{SV}/\text{h}$ ；根据表 11-4 源库外剂量率计算结果，源库西南墙外的剂量率 $3.57 \times 10^{-3}\mu\text{SV}/\text{h}$ ，同时考虑曝光间和源库贮源期间对操作室和源库值班室的影响，操作室和源库值班室受照剂量率最大为 $1.5336\mu\text{SV}/\text{h}$ 。项目部配置 16 组探伤人员，居留因子取 1，年曝光时间为 1400h，则探伤过程中每组探伤人员年受照剂量为 0.13mSv 。

② 取放及连接 γ 射线探伤机

曝光间使用 γ 射线探伤机进行探伤前，需从源库取出 γ 射线探伤机置于曝光位置，将输源管等进行连接，曝光结束回源后，再将 γ 射线探伤机放回源库源柜中。本工程源库与曝光间相邻，整个过程持续时间较短，每次取放及连接过程持续时间约 3min（其中取放过程约 1min，连接过程约 2min），每组探伤人员每年固定探伤取放及连接最多 56 次，取放过程受照剂量率按照 γ 射线探伤机源容器表面 5cm 处的最大辐射剂量率（ $0.5\text{mSv}/\text{h}$ ）考虑，连接过程受照剂量率按照 γ 射线探伤机源容器表面 1m 处的最大辐射剂量率（ $0.02\text{mSv}/\text{h}$ ）考虑，则该环节每组探伤人员的年有效剂量为 0.50mSv 。

③ 摆位过程

曝光间间歇摆位时，探伤人员在 γ 射线探伤机外 1m 处累计操作时间约为 2min，每组辐射工作人员此操作一年不超过 56 次，则该环节每组探伤人员的年有效剂量为 0.22mSv 。

综上，本工程固定探伤过程每组辐射工作人员年有效剂量为 0.85mSv 。

(2) X 射线移动探伤过程

X 射线探伤机一般具备延时曝光功能，X 移动探伤时，操作人员已撤至控制区以外较远的区域，且避开主射束；警戒人员一般距离设备还要远些，通常操作人员受到的剂量率大于警戒人员。由于 X 射线机具备延时曝光、自动停止出束的功能，操作人员受到的照射主要是在开机初期，开机后已离开操作位到更远的区域等候，设备停止出束后再回到操作位置，继续下一步工作。不使用延时曝光功能时，控制台距探伤机至少 20m，使用 5mmPb 铅皮屏蔽，根据表 11-19~表 11-25，此时控制台处最大剂量率为 $3.07\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。居留因子取 1，项目部配置 16 组探伤

人员, X 射线探伤机移动探伤的年曝光时间为 375h, 则 X 移动探伤对每组辐射工作人员最大附加年有效剂量为 0.07mSv。

(3) γ 射线移动探伤过程

①运输过程

一辆运输车一次最多运输 2 只运输箱, 一只运输箱放置 1 台 γ 射线探伤机, 16 组平均每组每年最多参加 γ 射线移动探伤 94 次, 每次运输往返约需 0.5h, 则运输时间为 47h/a。

通常押运人员距离探伤机 1m 外, 根据表 11-31 可知, 2 个运输箱外 1m 处剂量率为 $2 \times 6.3 = 12.6 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。 ^{192}Ir 放射源每经过 74 天后即衰减 50% 活度, 考虑到放射源全周期使用, 本次按照 1/3 时间运输 113.5Ci 源, 1/3 时间运输 56.8Ci 源, 1/3 时间运输 28.4Ci 源考虑。则运输过程每组辐射工作人员所受剂量为 0.34mSv/a。

②现场探伤过程

取放及连接 γ 射线探伤机: 近距离接触 γ 射线探伤机的过程有辐射工作人员从源柜中取、放探伤机, 以及在现场从运输箱中取、放探伤机, 并将输源管等进行连接, 每次取放及连接过程持续时间约 3min (其中, 取放过程约 1min, 连接过程约 2min), 每组探伤人员每年移动探伤取放及连接最多 94 次, 则该环节每组辐射工作人员的年有效剂量为 0.84mSv。

送源、收源过程: 送源、收源的操作位距 γ 射线探伤机约 10m, 探伤机距离照射位置约 10m, 平均每秒送源/收源 1m, 每次探伤送源和收源时间各 10S, 共计 20S。放射源送到预定位置后探伤人员立即离开探伤地点, 退到控制区边界外。

本工程拟购 γ 射线探伤机额定装源活度最大为 113.5Ci, 一般情况衰变到活度为 10Ci 时停止使用。保守考虑, 按活度 113.50Ci ($4.2 \times 10^{12} \text{Bq}$) 进行核算。

在送源、收源过程中, 人员距离放射源的距离不断变化 (15m~25m), 因此操作位置的剂量率也是变化的, 可以由下列方法估算出送收源过程的平均 γ 剂量率。

在距离探伤人员 15m~25m 内设置 11 个点位, 分别为 15m、16m.....25m。由式 11-5 估算距离放射源 15m~25m 各点位的 γ 剂量率, 见表 11-33。

表 11-33 距离 ^{192}Ir 放射源 15m~25m 各点位的 γ 剂量率 单位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$

距离(m)	15	16	17	18	19	20
剂量率	3173	2789	2471	2204	1978	1785
距离(m)	21	22	23	24	25	—
剂量率	1619	1475	1350	1240	1142	—

由表 11-33 可计算, 送/收源过程中操作位置的平均 γ 剂量率为 $1930\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。每组探伤人员每年最多操作 γ 射线探伤机送收源的次数 94 次。则送、收源过程中接受剂量约为 $1.01\text{mSv}/\text{a}$ 。

警戒过程: 移动探伤控制区边界外 γ 剂量率低于 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。每组探伤人员出现场次数不超过 94 次, 每次探伤警戒时间约 40 分钟, 则警戒过程受到的年有效剂量为 $0.94\text{mSv}/\text{a}$ 。

探伤人员参加完送源工作后, 从距放射源 15m 处到控制区边界 218m 以外参与警戒工作, 警戒结束后, 从 218m 处返回 15m 处进行回源。15m 到 218m 间往返速度按 5m/s 计算, 则单程用时 40.6S。人员远离时, 0S 距源 15m、1S 时距源 20m、2S 时距源 25m, 40.6S 时距源 218m, 以 5m 为间隔计算出不同距离处剂量率, 则远离放射源过程所受剂量为 $0.29 \times 10^{-3}\text{mSv}$ 。则往返过程所受剂量为 $0.46 \times 10^{-3}\text{mSv}$ 。每年参加 94 次现场探伤, 则所受剂量为 $0.04\text{mSv}/\text{a}$ 。

则警戒过程每组探伤人员所受剂量为 0.98mSv 。

如果考虑辐射工作人员全过程参加运输、探伤、警戒, 则其受到的年有效剂量见表 11-34。

表 11-34 γ 射线移动探伤过程所致辐射工作人员年有效剂量 单位 mSv/h

运输工程	取放及连接 γ 射线探伤机	送源、收源过程	警戒	年有效剂量
0.34	0.84	1.01	0.98	3.17

综上所述, γ 射线移动探伤过程辐射工作人员附加年有效剂量最大为 3.17mSv 。

(4) 源库值班过程

2 名源库值班人员日常期间位于源库值班室内, 负责 γ 射线探伤机出/入库登记、出/入库监测、定期清点、核对 γ 射线探伤机贮存情况以及巡视、值守工作。源库值班人员每天核对一次 γ 射线探伤机贮存情况, 一个储源柜核对结束后关闭, 再打开另一个源柜, 其余源柜处于关闭状态。

本工程源库内每个源柜放置 2 枚放射源, 打开单个放射源柜门时, 根据表 11-5, 源库内剂量率总剂量率为 $47.29\mu\text{Sv}/\text{h}$, 则核对期间贮源库内剂量率不超过 $47.29\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。需核对 20 个源柜, 每次核对时打开源柜门的时间为 20S。本工程源库内共贮存 28 枚 ^{192}Ir 放射源、11 枚 ^{75}Se 放射源。2 名源库值班人员轮流进行清点核对, 一次进入 1 名源库值班人员, 第二天另外一名进入源库进行清点核对, 轮流工作, 年工作 350 天, 则每名源库值班人员所受剂量为 $0.92\text{mSv}/\text{a}$ 。

γ 射线探伤机出入源库时, 由源库值班人员对 γ 射线探伤机表面进行剂量率检测, 并负责登记检测结果和出入库情况。 γ 射线探伤机表面剂量率不超过 $0.02\text{mSv}/\text{h}$, 每次近距离接触 γ 射线探伤机时间为 0.5min。根据建设单位提供资料, γ 射线探伤机预计年出入源库总计不超过 2400

台次/年，则所受剂量为 0.40mSv/a 。

源库值班人员巡视源库时不进入源库，每 2h 巡视一次，一天巡视 12 次，每次 2min ，2 名源库值班人员轮流工作，年工作 350 天，则每名源库值班人员居留时间为 60h 。根据上文计算，源库值班人员巡视可达区域辐射水平最大为 $1.18\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取 1，则巡视过程所受剂量为 0.08mSv/a 。

综上所述，则源库值班人员所受剂量为 1.40mSv/a 。

（5）小结

本工程辐射工作人员均参与固定探伤、移动探伤工作，其中参加探伤工作的辐射工作人员有效剂量为 4.09mSv/a ，源库值班人员有效剂量为 1.40mSv/a ，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定职业人员的剂量限值 20mSv/a ，也低于本报告提出的 5.0mSv/a 的剂量约束限值。

五、公众成员年有效剂量

（1）固定探伤时周围公众

结合本工程曝光间和源库评价范围 50m 内的环境保护目标分布情况，根据公式（11-8），本工程曝光间和源库同时运行时周围公众及评价范围内其他代表性的环境保护目标年有效剂量估算结果见表 11-35 和表 11-36。

表 11-35 曝光间和源库周围公众及环境保护目标年有效剂量估算

人员属性	关注点	周围剂量当量 $D_r(\mu\text{Sv/h})$	年受照时间(h)	居留因子 T	年有效剂量 $H(\text{mSv/h})$
公众	垃圾场	1.53	1400	1/40	0.0536
	生产临建区道路	0.68		1/16	0.0595
	生产临建区 D1 堆场（含废料场）	0.68		1/40	0.0238
	生产临建区阀门试压间	2.42×10^{-3}		1	0.0034
	生产临建区喷砂防腐车间	2.42×10^{-3}		1	0.0034
	生产临建区碳钢管道预制车间	2.42×10^{-3}		1	0.0034
	生产临建区不锈钢管道预制车间	2.42×10^{-3}		1	0.0034
	生产临建区 D2 堆场	1.53		1/40	0.0536

（2）X 射线探伤机移动探伤时周围公众

X 射线探伤机移动探伤过程中，公众人员不得进入划定的监督区，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），监督区外边界外剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，X 射线探伤机移动探伤地点不固定，公众成员为偶然居留，居留因子取 $1/40$ ，年曝光时间为 375h/a ，则公众成员年有

效剂量为 0.023mSv/a 。

(3) γ 射线探伤机移动探伤时周围公众

γ 射线探伤机移动探伤过程中，公众人员不得进入划定的监督区，监督区外 γ 剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

γ 射线探伤机移动探伤地点不固定，公众成员为偶然居留，居留因子取 $1/40$ ，年曝光时间为 1500h/a ，则公众成员年有效剂量为 0.094mSv/a 。

(4) 小结

本工程运行期间，公众成员所受年最大受照剂量为 0.094mSv/a ，该年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的 1mSv/a 剂量限值，也不超过本报告提出的 0.1mSv/a 的年管理剂量约束值。

11.2.4 “三废”影响分析

本工程使用 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机进行探伤过程中，不产生放射性固体废物、放射性废水和放射性废气。随活度衰减和使用时间到期产生退役放射源、废旧源机，探伤过程还产生非放射性有害气体以及废胶片和废显（定）影液。

（1）退役放射源、退役 γ 探伤装置

项目部后续与购源单位签订放射源回收协议，退役放射源由厂家回收，任何情况下退役放射源不得私自处置。建立放射源台账明细，归档保存。退役放射源的运输由有资质的单位进行。退役放射源得到妥善处置，对周围环境影响较小。

γ 射线探伤机源机使用期限为 10 年，待产生废旧源机时交由源机厂家回收，废旧源机得到妥善处置，对周围环境影响较小。

（2）非放射性有害气体

探伤室和源库均设置有机械通风装置，有效通风换气量不低于 $1800\text{m}^3/\text{h}$ 和 $300\text{m}^3/\text{h}$ ，换气次数均不小于 3 次/h，均可保持良好的通风，且通风口外均位于墙外上方高处，该区域无人员到达，对周围人员影响较小。

移动探伤时，非放射性有害气体经开阔的现场自然通风，对周围环境和人员影响较小。

（3）废胶片和废显（定）影液

废显（定）影液和废胶片属于危险废物，废胶片年产生量 0.010t，废显（定）影液年产生量 0.498t，分别收集后，均暂存生产临建区危废暂存间内，定期交由有相应危废处理资质的单位处置。

本工程危险废物的处理措施和处置方案满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）要求。建设单位应规范生产临建区危废暂存间管理，建立台账，严格“四防”措施。

11.3 探伤设施的退役

当探伤设施退役时，采取以下措施：

（1）当 X 射线探伤机不再使用时，项目部应将 X 射线发生器处置至无法使用，或经相关部门批准后，转移给其他已获许可的机构。

（2）有使用价值的 γ 射线探伤机在经相关部门批准后，可转移到另一个已获许可的机构，

或者交由厂家回收。

(3) 源库内所有放射源移走后, 按照相关生态环境部门要求办理相关手续。

(4) 清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

(5) 对源库相关物品进行全面辐射监测, 确认现场没有留下放射源, 并确认污染情况。

公司源库服务期满, 需按照上述有关要求以及生态环境部门要求, 对源库进行监测, 如未发现污染, 进行环境影响登记备案; 如发生污染, 另行按相关要求办理退役手续。

11.4 事故影响分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号)、《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), 辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

本工程使用II类射线装置、使用II类放射源, 有可能发生特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故。

11.4.1 可能的辐射事故

一、固定探伤辐射事故

固定探伤发生的事故工况主要为人员滞留探伤室内受到误照射, 以及安全联锁装置失灵、防护门未完全关闭的情况下就出束, 致使 X 射线、 γ 射线泄漏到探伤室外, 给周围活动的人员造成额外的照射。

二、移动探伤辐射事故

(1) X 射线移动探伤

①X 射线移动探伤工作过程中, 探伤机延时开机功能故障, 工作人员还未撤离即曝光, 对工作人员造成额外照射。

②操作人员违规操作, 造成周围人员的不必要照射, 严重者可能造成辐射损伤甚至危及生命。

③X 射线探伤机被盗, 使 X 射线探伤机使用不当, 造成周围人员的不必要照射, 严重者可能造成辐射损伤甚至危及生命。

(2) γ 射线移动探伤

① γ 射线探伤机漏射线指标达不到《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的要求，从而造成工作人员不必要的照射；运输过程，运输箱防护不满足要求，使运输工具和车辆周围剂量率不能满足《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）要求，造成工作人员不必要的照射。

②运输或使用过程发生“卡源”、“源掉出”、“回源装置失效”等放射源不能正常收回探伤机内，从而造成工作人员不必要的照射。

③贮存、运输或使用过程放射源划破或磨损腐蚀、火灾等使源破损等，可造成一定区域内的环境放射性污染和照射。

④贮存、运输或使用过程放射源被盗或丢失，放射源丢失，使公众人员受到超剂量照射。

⑤在探伤现场没有做好警戒工作，工作人员误留在控制区内，公众误留在监督区内，以及监督区和控制区划分不规范，对工作人员或公众造成不必要的照射。

⑥工作人员不按要求佩戴个人剂量报警仪或未合理使用防护用品，造成超剂量照射。

11.4.2 辐射事故预防措施

一、固定探伤辐射事故预防措施

辐射工作人员定期检查安全防护设施防护性能，监测仪器及个人剂量报警仪等仪器是否正常运行，及时发现问题并解决，把安全隐患控制在萌芽状态。设备控制线路故障或机械故障时必须停止探伤，经检修达到技术要求后方能进行使用；维修人员须严格遵守各项操作规程，经常检查设备防护性能，及时处理和排除故障，保证设备正常运行。

二、移动探伤辐射事故预防措施

（1）X射线探伤机移动探伤辐射事故预防措施

①定期对X射线探伤机进行维护，移动探伤时，先清场，控制区边界及监督区边界设置相应的警告牌、工作信号灯等，设置专人警戒巡逻。

②辐射工作人员均进行专业培训，并加强管理。辐射工作人员上岗前均进行国家核技术利用辐射安全与防护考核，经考核合格后上岗，禁止考核不合格的工作人员操作射线装置。

③加强对X射线探伤机在贮存、运输、使用现场的管理，防止发生射线机的被盗、丢失。发生上述不必要的照射事故（件）时，对环境只是造成暂时性的辐射污染，停机后污染随之消失。发生照射事故时应及时切断电源，必要时启动应急预案，对受照人员进行剂量评估，同时要进

行医学处理。

（2） γ 射线移动探伤辐射事故预防措施

①配置必要的便携式辐射环境检测仪对源容器表面实施监测，尤其是换源前后、 γ 射线探伤机出入库前后以及现场探伤收源前后，及时发现使用过程中射线的泄露；配备运输箱为5mmPb铅钢结构，确保可满足《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）规定的运输工具周围剂量当量率限值。

② γ 射线探伤机应定期进行检查、维护和保养。 γ 射线探伤机工作状态下，“卡源”或“源掉出”事故发生，回源装置失效，工作人员手动回源。处理卡源事故的工作人员应按照厂家提供的操作规程进行，且持证上岗。在处理完事故后，尽快对处理卡源事故的工作人员个人剂量计进行监测。一旦发现个人剂量超标现象，及时采取相应的措施。建设单位应定期检查、维修设备，杜绝此类卡源事故的发生。经常对摇柄、源传输导管进行润滑清洗，齿轮经常添加润滑剂，对源传输导管接头进行擦洗，避免灰尘和沙粒。运输过程将 γ 射线探伤机固定在运输箱，运输箱物理固定在运输车内，防止晃动，对 γ 射线探伤机造成损伤。

③应严格制定防范措施，经常对 γ 射线探伤机的辐射防护部件进行检查，禁止使用超过10年的探伤装置，做好探伤机的贮存工作。运输过程做好探伤机和运输箱固定，安全驾驶。

④加强对 γ 射线探伤机的贮存、运输、使用现场的管理，防止 γ 射线探伤机被盗、丢失。按照相关操作规范，现场出源和回收源后进行监测，确认放射源已收回，防止放射源遗漏。运输过程中专人负责押运， γ 射线探伤机在车内时，车上应至少保留一名押运人员，确保探伤机的安全。现场使用时，在工作地点不涉及公用道路的厂区移动时， γ 射线探伤机使用小型车辆或手推车，使 γ 射线探伤机处于人员监视之下。

⑤制定严格的规章制度，制定运输过程的相关应急预案，加强安全防护意识，在探伤现场做好警戒工作，合理划分控制区和监督区，严防工作人员和公众误留在警戒区内。

⑥加强工作人员的教育与培训，正确佩戴个人剂量报警仪和个人剂量计，每三个月检测一次个人剂量。如发现即将超过或已经超过有效剂量管理约束值，应进行调查控制工作量或改善防护条件和防护措施。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理与环境保护管理机构的设置

12.1.1 管理机构

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）中对核技术利用单位的要求，经授权后中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部负责人为辐射安全工作第一责任人，项目部成立辐射安全与防护管理机构，由该机构负责项目部辐射安全与环境防护管理，并指定专人负责辐射安全与管理工作，辐射安全管理机构应给出人员组成、联系方式和具体职责。

12.1.2 辐射工作人员

项目部拟配备 38 名辐射工作人员（2 名辐射安全管理人员、2 名源库保管人员、32 名探伤人员）专职从事辐射相关工作。项目部安排所有辐射工作人员参加国家核技术利用安全与防护培训平台的培训，参加相应类别的考核，考核合格后上岗。既从事 X 射线探伤也从事 γ 射线探伤的辐射工作人员，除参加 X 射线探伤类别的考核，同时也应参加 γ 射线探伤类别的考核；辐射管理人员和源库保管人员应参加辐射管理类别的考核。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等要求，项目部拟制订以下辐射管理规章制度。

（1）《X 射线机操作规程》《 γ 射线探伤操作规程》《暗室胶片处理操作规程》《X 射线机维护保养制度》《 γ 源维护保养制度》《放射工作人员安全培训制度》《放射源源库安全管理规定》《辐射监测管理规定》《放射工作人员健康管理规定》《辐射源管理程序》《辐射事故应急预案》《X 射线机厂内运输方案》《 γ 放射源厂内运输方案》《X、 γ 射线现场作业区划分制度》《X、 γ 射线探伤工作人员职责》《辐射安全保卫制度》《自行检查与年度评估制度》《退役放射源和源机处置方案》《危险废物管理计划》等。

（2）项目部拟制定的辐射安全管理规章制度，对操作人员岗位责任、辐射防护和安全保卫、设备检修、辐射设备运输、使用等方面分别做出明确的要求和规定，保障从事辐射工作的人员和公众的健康与安全，保护环境。本项目投入使

用时，应切实落实各项辐射管理规章制度，并建立辐射安全管理档案。

(3) 本项目由辐射安全与防护管理机构以及辐射安全管理人员负责宣传贯彻辐射安全的相关政策及法规，制定合理的规章制度及防护措施，对辐射工作提出合理建议并进行监督管理，对环境风险事故进行处理，对辐射工作人员的工作过程进行管理。

12.3 辐射监测

12.3.1 辐射监测仪器

项目部拟配置便携式辐射环境监测仪 18 台，其中探伤室和源库各用 1 台，移动探伤现场使用 16 台；探伤室拟配置固定式剂量监测系统 1 套。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 7.2.6 款要求，需定期对项目部所持便携式辐射环境监测仪进行检定或校准，使用前进行检查，确保能够正常使用。

项目部为所有辐射工作人员每人配备 1 支个人剂量计，并根据辐射监测方案对工作场所和周围环境进行监测，对工作人员个人剂量进行定期检测。

12.3.2 辐射监测方案

一、辐射环境监测

(1) 监测因子

X- γ 辐射剂量率

(2) 监测区域

①探伤室、源库

探伤室、源库为中心，周围 50m 范围内。

探伤室、源库室顶上方 30cm；四周墙体外 30cm，离地面高度 1m 处；周围人员经常活动的位置。

②射线探伤机防护性能，源容器（ γ 探伤机）表面 5cm、表面 1m 处。

③X、 γ 射线探伤机移动探伤现场

a) γ 射线探伤机表面、运输箱周围、运输车周围。

b) 划区监测：在 X/ γ 射线探伤机处于照射状态时，从探伤位置周围由远及近测量射剂量率，直到 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为控制区边界，到 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为监督区边界；探伤作业

期间对控制边界和监督区边界上的代表点进行剂量率监测。停止工作时，监测探伤机操作位剂量率，以确认探伤机已停止工作。监测源容器表面，确认源已收回，没有掉落。

（3）监测频率

①自行监测

- a) 探伤室、源库：正常情况下每年 1 次；异常情况或怀疑有异常情况，随时进行监测。
- b) 每次移动探伤时需自行监测，进行监督区和控制区划分与校核；曝光结束后，对作业场所进行监测，确保已停止曝光。
- c) γ 射线探伤机（含源）出入源库前后，对源容器表面、源柜门前方、源库周围各监测一次。
- d) 每次 γ 射线探伤机探伤前后，对源容器表面进行监测，确保源在源容器内。每次 γ 射线探伤机探伤时需进行监测，进行监督区和控制区划分与校核。

②委托年度监测

每年委托有资质的单位对探伤室周围、源库周围、运输车周围、运输箱周围以及 γ 射线探伤机周围、现场探伤分区情况进行年度监测。

（4）监测人员和监测记录

①自行监测

- a) 探伤室、源库周围：相应的辐射工作人员负责监测，并记录监测结果、监测人员、监测工况，监测记录存档。
- b) 换源前后监测、 γ 射线探伤机（含源）出入库监测、源库周围：由 2 名源库保管人员负责监测，并记录监测结果、监测人员、监测工况，监测记录存档。其中对于 γ 射线探伤机运输车和运输箱的检测。
- c) 移动探伤现场监测：由现场辐射工作人员进行监督区和控制区划分监测，并记录监测结果、监测人员、监测工况，监测记录存档。

②委托年度监测

每年委托有资质的单位进行年度监测，监测报告与年度评估报告一起上报生

态环境部门。

（5）监测结果评价

X 射线探伤机防护性能检测结果应满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中第 5.1.1 款要求。 γ 射线探伤机源容器表面一定距离处剂量率应满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中第 5.2.1.1 款要求。探伤室四周屏蔽墙及防护门外剂量率满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 目标控制水平，室顶外剂量率满足 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 目标控制水平；源库外剂量率满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 目标控制水平。运输车辆表面剂量率和 2m 处剂量率应满足《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）要求。

二、个人剂量的监督与检测

- （1）进行相关辐射工作时，辐射工作人员均应规范佩戴个人剂量计。
- （2）个人剂量委托有资质的单位进行检测。
- （3）个人剂量计读取周期不超过 90 天。
- （4）进行涉源应急处理时，对相应人员进行应急监测。
- （5）建立个人剂量档案，每人一档，检测结果录入档案，并经当事人签字确认。个人剂量档案由专人负责管理，个人剂量档案终身保存。
- （6）个人剂量管理约束值（调查水平）为 $5\text{mSv}/\text{a}$ 。如发现超过调查水平，项目部应按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）附录 C 的 C.4 所示内容进行调查，并采取改进措施。
- （7）个人剂量检测和个人剂量档案管理应遵循《职业性外照射个人监测规范》（BZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）相关要求。

11.5 辐射事故应急

11.5.1 环境风险事故应急预案

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《广西壮族自治区辐射事故应急预案》等法律法规，项目部制定《辐射事故应急预案》，一旦发生风险事件时，能迅速采取必要和有效的应急

响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。《辐射事故应急预案》应包括以下内容：

（1）成立应急机构，明确机构职责

成立辐射事故应急工作领导小组，负责辐射事故应对工作。给出人员组成和联系方式。明确应急机构职责：贯彻执行本辐射事故应急预案和国家辐射事故应急有关规定，决定本项目部辐射事故的应急响应预警、启动和终止。组织营救受害人员，组织撤离或者采取其他措施保护危害区域的其他人员；迅速控制事态，并对事故造成的危害进行监测，确定事故的危害区域、危害性质及危害程度；消除危害后果，做好现场恢复；查清事故原因，评估危害程度。

（2）辐射事故分级

①特别重大辐射事故

项目II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。

②重大辐射事故

项目II类放射源丢失、被盗、失控，或者射线装置失控导致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。

③较大辐射事故

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。

④一般辐射事故

射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

（3）辐射事故应急响应

根据辐射事故等级和事故类型，上报生态环境部门、卫健部门以及公安部门。

①X射线探伤辐射事故（事件）应急措施

发生X射线探伤机误照射或额外照射事故时，立即切断电源。启动应急预案，对受照人员进行剂量评估，并进行必要的医学处理。

发生射线探伤机丢失或被盗时上报有关部门，配合公安等部门进行调查和查找。

②γ射线探伤辐射事故（事件）应急措施

因γ射线探伤机漏射线超标以及探伤现场人员误入探伤工作区，或者放射源破损、工作人员不按要求佩戴防护用品和个人剂量计等，造成额外照射或超剂量照射时，对受照人员进行剂量评估，并进行必要的医学处理。

发生“卡源”、“源掉出”、“回源装置失效”时，立即封锁现场，撤离无关人员，使用长柄夹等工具手动回源，对受到照射的人员进行剂量评估，并进行必要的医学处置。

发生放射源破损时，隔离出泄漏区，立即封锁现场，撤离无关人员，待在上风向，禁止未授权人员进入，隔离未受损但怀疑受到污染的人员或设备。在专业人员指导下用铲子或其他工具将被污染的土壤、破损的源使用铅粒包覆盖或者放入铅罐。对受到照射的人员进行剂量评估，并进行必要的医学处理。

③辐射事故报告

发生辐射事故时，立即启动项目部的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并立即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，还应同时向当地卫健部门报告；并在 2 小时内填写辐射事故初始报告表上报当地政府及有关部门。给出各部门（生态环境部门、卫健部门、公安部门）联系方式。发生运输事故时，首先拨打运输文件中的应急响应电话，如果没有运输文件或者应急响应电话无应答，则拨打其他适当的电话。

④应急响应启动

项目部辐射事故应急机构发布应急响应命令后，机构各成员按照辐射事故应急预案要求和辐射事故严重程度，立即派人赶赴现场，根据各自职责，配合有关部门进行现场调查、监测和保卫等工作，采取有效措施，控制并消除事故影响，防止辐射影响蔓延。

⑤应急响应的终止

符合下列条件之一的，即满足应急终止条件：

- a) 辐射污染源的泄漏或释放已降至规定限值以内。
- b) 事故所造成的危害已经被彻底消除，无继发可能。

- c) 事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。
- d) 具备应急响应终止条件的，由辐射事故应急领导机构根据有关规定宣布辐射事故应急响应终止。
- e) 应急响应终止后，辐射事故应急领导机构配合有关部门查出事故原因，防止重复发生相似事故；做好善后工作，编制辐射事故应急响应总结报告。根据实践经验，及时对辐射事故应急预案及有关实施程序进行修订。

（4）辐射事故应急培训和演

项目部辐射事故应急机构根据自身特点，制定辐射事故应急培训计划和方案，对辐射事故应急响应有关人员和所有辐射工作人员每年至少进行一次培训，开展一次应急演练。

辐射事故应急机构中涉及的各部门应当根据本预案中规定的职责和任务，明确辐射事故应急预案演练的组织机构、责任人、演练频次。各部门主要负责人是辐射事故应急预案演练的第一责任人，分管负责人是辐射事故应急预案演练的直接责任人。项目部根据实际情况，每年演练一次。演练结束后，应及时总结评估辐射事故应急预案的可行性，必要时，对应急预案做出修改和完善。

（5）应急保障

应备应急物品：便携式辐射环境监测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计、铅衣、铅眼镜、警戒绳、长柄钳、铅粒包等。

其他详细内容应参照《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》和《广西壮族自治区辐射事故应急预案》中的有关要求进行完善。企业应根据自身情况制定辐射事故应急预案。

11.5.2 应急演练

项目部根据应急演练计划以及项目实际情况，每年至少开展一次辐射事故应急演练，编制应急演练记录，对演练效果进行总结和评价，对演练过程中存在的不足进行改正，适时修订应急预案。

表 13 结论与建议

13.1 结论

一、项目概况

中国核工业第五建设有限公司广西白龙核电项目部拟在项目部生产临建区东北部建设 1 座探伤室、源库及配套的器材室、值班室、操作室等；于生产临建区综合用房一层设置暗室、审片室、底片储存室等；依托临建区内的危废暂存间暂存危险废物。

本工程共设置 16 台 X 射线探伤机和 39 台 γ 射线探伤机用于固定场所和移动场所的无损检测。其中 16 台 X 射线探伤机贮存于探伤室器材室内，均属 II 类射线装置；28 台 ^{192}Ir γ 射线探伤机、11 台 ^{75}Se γ 射线探伤机贮存于源库内，每台 γ 射线探伤机内置 1 枚放射源，额定装源活度均为 $4.2 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，属于 II 类放射源。

项目总投资 490 万元，其中环保投资 16 万元，计划于 2025 年 8 月开工，2026 年 7 月竣工投产。

二、产业政策符合性

本工程属于 X、 γ 射线固定探伤及移动探伤应用。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本工程属于“鼓励类”中“十四、机械，1. 科学仪器和工业仪表，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”，符合国家产业政策的要求。

三、辐射现状

根据《2024 年广西壮族自治区生态环境状况公报》（2025 年 6 月 5 日发布），广西全区辐射环境自动监测站月均值测值范围为 45.9~93.1 纳戈瑞/小时，环境 γ 辐射剂量率累积监测年均值范围为 62.1~217 纳戈瑞/小时，环境 γ 辐射剂量率即时监测结果测值范围为 74.8~143 纳戈瑞/小时，处于本底涨落范围内。

本工程探伤房和源库及周围区域环境现状监测中室内 X- γ 辐射剂量率为 43.5~75.4nGy/h，在广西原野本底（10.7~238.7nGy/h）的范围内，所在区域辐射环境现状未见异常。

四、辐射安全与防护

（1）探伤室和源库已采取实体屏蔽，其屏蔽防护性能均能符合《工业探伤

放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关要求。

（2）探伤室、源库和移动探伤均按标准要求划分控制区和监督区，针对 X、 γ 射线探伤装置的固有安全属性、储存、运输、固定式探伤、移动式探伤等环节均采取相应的辐射安全和防护措施，采用 5mmPb 铅皮用于屏蔽 X 射线非有用束方向和遮住 γ 射线探伤位置，并配套足够数量的防护用品和检测仪器。

五、环境影响分析结论

（1）X 射线探伤机固定探伤时，曝光间四周屏蔽墙、防护门外 30cm 处的最大剂量率为 $4.82 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（BZ117-2022）第 6.1.3 款“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求；曝光间室顶外 30cm 处的大剂量率为 $3.00 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（BZ117-2022）第 6.1.4 款“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 $100 \mu\text{Sv/h}$ ”。

（2） γ 射线探伤机固定探伤时，曝光间四周屏蔽墙、防护门外 30cm 处的最大剂量率为 $1.18 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）6.1.3 款“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求；探伤室室顶外 30cm 处的最大剂量率为 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）6.1.4 款“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 $100 \mu\text{Sv/h}$ 。

（3）源库在源柜门关闭条件下，源库外 30cm 处最大剂量率为 $0.884 \mu\text{Sv/h}$ 。因此，储源柜门关闭状态下贮源库屏蔽能力满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中规定的剂量率控制目标 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

（4）进行移动探伤时，先初步将工作区划分为控制区和监督区。控制区外辐射水平不大于 $15 \mu\text{Sv/h}$ ，监督区外边界外辐射水平不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。边界设置电离辐射警告标志、标牌、工作信号灯，控制区内严禁人员进入，公众不得进入监督区，设置人员警戒。

（5）X 射线探伤机移动探伤时，在控制区边界和监督区边界剂量率控制目标分别为 $15 \mu\text{Sv/h}$ 和 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。本工程各型号 X 射线探伤机控制区、监督区如下：

①XXG-3505 型探伤机在 350kV/5mA 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 686m, 监督区范围为 1680m; 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 518m, 监督区范围为 1268m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 98.7m, 监督区范围为 241.8m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 9.06m, 监督区范围为 22.2m。

②XXG-3505ZD 型探伤机在 350kV/5mA 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 686m, 监督区范围为 1680m; 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 518m, 监督区范围为 1268m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 98.7m, 监督区范围为 241.8m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 9.06m, 监督区范围为 22.2m。

③XXGH3005Z 型探伤机在 300kV/5mA 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 647m, 监督区范围为 1584m; 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下主射束方向控制区范围为 432m, 监督区范围为 1057m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 93.3m, 监督区范围为 228.2m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 6.66m, 监督区范围为 16.30m。

④XXG2505 型探伤机在 250kV/5mA 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 575m, 监督区范围为 1407m; 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 260m, 监督区范围为 584m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 76.8m, 监督区范围为 188.0m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 2.51m, 监督区范围为 6.15m。

⑤XXG2005 型探伤机在 220kV/5mA 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 761m, 监督区范围为 1862m; 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 147m, 监督区范围为 358m; 无屏蔽条件下非有用束方向, 控制区范围为 108.4m, 监督区范围为 265.0m; 5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 0.22m, 监督区范围为 0.52m。

⑥XXG1605D 型探伤机在 200kV/5mA 工况下, 无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 761m, 监督区范围为 1862m; 20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下主射

束方向控制区范围为 147m，监督区范围为 358m；无屏蔽条件下非有用束方向，控制区范围为 108.0m，监督区范围为 264.5m；5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 0.22m，监督区范围为 0.52m。

⑦SMART EVO 300D 型探伤机在 300kV/3mA 工况下，无屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 501m，监督区范围为 1226m；20~30mm 厚钢工件屏蔽条件下有用束方向控制区范围为 335m，监督区范围为 819m；无屏蔽条件下非有用束方向，控制区范围为 73.2m，监督区范围为 179m；5mmPb 屏蔽条件下非有用束方向控制区范围为 6.66m，监督区范围为 16.30m。

(6) γ 射线探伤机移动探伤时，在无屏蔽（裸源）状态下， ^{192}Ir 活度为额定装载量 $4.2 \times 10^{12}\text{Bq}$ 工况下，控制区范围为 218m，监督区范围为 534m；5mmPb 铅皮屏蔽条件下，控制区范围为 122m，监督区范围为 300m，60mm 钢工件屏蔽条件下，有用束方向控制区范围为 49.4m，监督区范围为 121m；使用 15mmPb 局部屏蔽条件下，非有用束方向控制区范围为 38.53m，监督区范围为 94.39m。

(7) 实际工作中，监督区和控制区的划分主要采用以下方法：根据本环评提出的控制区和监督区范围以及工作经验，初步划定控制区和监督区范围。充分利用现场屏蔽物（如墙体、掩体等）以缩小控制区范围，合理使用铅皮、准直器、定向曝光头等。在照射状态下，用便携式辐射巡测仪从探伤位置四周由远及近巡测辐射剂量率，对控制区和监督区进行核定和调整，到 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为监督区边界，到 $15\mu\text{Sv}/\text{h}$ 为控制区边界。探伤过程中，使用便携式辐射环境巡测仪进行监督监测。对控制区边界上代表点剂量率进行检测，其是探伤的位置在此方向或者辐射束的方向发生改变时，如有必要可调整控制区的边界。

现场 2 名辐射工作人员负责探伤机操作，其中 1 名兼职现场安全员。作业现场边界外公众可达地点放置安全信息公示牌。

(8) 使用运输箱运输 γ 射线探伤机，一次最多运输 2 台 γ 射线探伤机，运输车外表 2m 处的 γ 空气吸收剂量率 $3.14 \times 10^{-3}\text{mSv}/\text{h}$ ，低于《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）规定的运输工具外表面 2m 处辐射水平应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ 的标准限值。

(9) 探伤工作的辐射工作人员有效剂量为 4.09mSv/a, 源库值班人员有效剂量为 1.40mSv/a, 均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中规定职业人员的剂量限值 20mSv/a, 也低于本报告提出的 5.0mSv/a 的管理约束限值。

本工程曝光间及源库周围公众年有效剂量最大为 0.0595mSv/h, X 移动探伤现场周围公众个人年有效剂量最大为 0.023mSv/a; γ 移动探伤现场周围公众个人年有效剂量最大为 0.094mSv/a; 均于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的 1.0mSv/a 的剂量限值, 也低于本报告提出的 0.1mSv/a 的年管理剂量约束值。

(10) “三废”的治理

①项目部承诺与放射源和源机厂家签订退役放射源、废旧源机回收协议, 由相应的厂家负责回收。任何情况下退役放射源和废旧源机不得私自处置。

②探伤室、源库设计有通风系统, 可保持室内良好的通风, 通风口外为临建区道路和露天堆场, 不属人员聚集区, 对周围影响较小。

③移动探伤现场一般比较开阔, 经自然通风对周围环境和人员影响较小。

④产生的废胶片和废显(定)影液暂存于临建区的危废暂存间内, 委托有相应危废处置资质的单位运输和处置。项目产生的危险废物按照《危险废物贮存污染控制标准》、《危险废物转移管理办法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《广西壮族自治区固体废物污染环境防治条例》的相关要求进行管理。项目部编制关于危险废物泄漏等事故情况下的应急预案, 并到当地生态环境主管部门进行备案。

六、辐射安全管理

项目部成立辐射安全与防护管理机构, 制定各项辐射安全管理规章制度。在运行过程中将各项安全防护措施落实到位, 在此条件下, 可以确保工作人员、公众的安全, 并有效应对可能的突发事故(事件)。

七、人员培训

本工程配置 38 名辐射工作人员(2 名辐射安全管理人员、4 名源库保管人员、32 名作业人员), 项目部组织所有辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全

与防护培训平台的培训，参加相应响应类别的考核，考核合格证后上岗。

八、环境风险

本工程设施较为简单，环境风险因素单一，项目部制定《辐射事故应急预案》，在根据本次评价要求完善各项风险防范措施的条件下，环境风险是可控的。

综上，本工程在严格落实相关法律法规和本次评价所提出的安全防护措施后，该项目对辐射工作人员、公众成员和周围环境产生的辐射影响均满足评价标准要求，因此，从环境保护角度分析，项目建设可行。

13.2 建议和承诺

(1) 按照环境影响评价文件及批复文件、生态环境主管部门提出的要求，同步进行主体工程和环保设施的建设，落实各项环保措施和辐射环境管理措施。

(2) 配置与辐射工作人员开展固定探伤、现场探伤相匹配的安全防护用品和辐射检测仪器。

(3) 按相关要求处理退役放射源、废旧源机以及危险废物；制定危险废物管理计划和关于危险废物泄漏等事故情况下的应急预案，并到当地生态环境主管部门备案。

(4) 按照相关法规要求，按时申领辐射安全许可证以及开展竣工环境保护验收。

(5) 加强对工作人员的教育培训以及辐射安全防护培训，避免辐射事故(件)的发生。

(6) 落实操作规程以及各项管理制度。落实应急响应方案，并定期演练。

(7) 对辐射操作人员要求熟知防护知识，能合理地应用“距离、时间、屏蔽”的防护措施，使公众成员和工作人员所受到的照射降到“可合理达到的尽量低水平”。