

编号: XH25EA070

核技术利用建设项目
广西交科集团有限公司
工业 X 射线移动式探伤项目
环境影响报告表

公示版

广西交科集团有限公司 (盖章)



2025 年 10 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目
广西文科集团有限公司
工业 X 射线移动式探伤项目
环境影响报告表



建设单位名称： 广西文科集团有限公司（盖章）

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址： 南宁市西乡塘区新康西路 158 号

邮政编码： 530000

联系人： 张焜宁

电子邮箱： gx2311803@sina.com

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

项目编号	rf368c		
建设项目名称	广西交科集团有限公司工业X射线移动式探伤项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	广西交科集团有限公司		
统一社会信用代码	9145000049850597XR		
法定代表人（签章）	冯坚		
主要负责人（签字）	张焜宁		
直接负责的主管人员（签字）	张焜宁		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	广州星环科技有限公司		
统一社会信用代码	91440106MA59DAA73A		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈健阳	20220503546000000001	BH061992	陈健阳
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈健阳	辐射安全管理	BH061992	陈健阳
宁锦清	项目基本情况、评价依据及评价标准、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、结论	BH048062	宁锦清

编制主持人环境影响评价工程师资格证书

中华人民共和国 专业技术人员职业资格证书 (电子证书) 环境影响评价工程师 Environmental Impact Assessment Engineer 本证书由中华人民共和国人力资源 和社会保障部、生态环境部批准颁发， 表明持证人通过国家统一组织的考试， 取得环境影响评价工程师职业资格。 制发日期：2022年08月31日	姓名：陈健阳 证件号码：23020 性别：男 出生年月：1989年09月 批准日期：2022年05月29日 管理号：20220501 二维码
--	---

目录

表 1 项目基本情况	1
1.1 项目概况	1
1.1.1 建设单位情况	1
1.1.2 项目来由和目的	2
1.1.3 项目建设规模	2
1.2 项目选址和周边关系	3
1.3 辐射实践的正当性和辐射防护最优化	5
1.3.1 辐射实践的正当性	5
1.3.2 辐射防护最优化	6
1.4 原有核技术利用项目情况	6
表 2 放射源	7
表 3 非密封放射性物质	7
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据	9
表 7 评价标准与保护目标	11
7.1 评价范围	11
7.2 保护目标	11
7.3 评价标准	11
7.3.1 职业照射及公众照射剂量控制要求	11
7.3.2 工作场所剂量率控制和分区要求	12
表 8 环境质量和辐射现状	13
8.1 项目地理和场所位置	13
8.2 环境质量和辐射现状	13
表 9 项目工程分析与源项	14
9.1 设备组成	14

9.2 工作原理	15
9.2.1 X 射线产生原理	15
9.2.2 工业 X 射线探伤原理	16
9.3 工作方式	17
9.4 工艺流程和产污环节	19
9.5 工作负荷和人员配置	22
9.6 污染源项描述	23
9.6.1 正常工况	23
9.6.2 事故工况	24
9.7 源强分析和参数	24
表 10 辐射安全与防护	25
10.1 现场管理和操作安全措施	25
10.1.1 作业前准备	25
10.1.2 安全信息和警告标志	25
10.1.3 安全操作	25
10.1.4 作业的边界巡查与监测	26
10.1.5 使用台账登记和设备保管措施	26
10.2 辐射防护措施	27
10.2.1 距离防护	27
10.2.2 时间防护	27
10.2.3 照射方向选取	27
10.2.4 设备的固有安全性能	28
10.2.5 检测仪器和安防用品	29
10.3 辐射工作场所布局和分区	30
10.4 辐射安全与防护对照分析	32
10.5 日常检查与维护	36
10.5.1 日常安全检查	36
10.5.2 设备维修维护	36
10.6 三废的治理	37
10.6.1 废气	37

10.6.2 感光材料废物	37
表 11 环境影响分析	40
11.1 辐射剂量率估算	40
11.1.1 计算公式	40
11.1.2 定向机剂量率估算结果	41
11.1.3 周向机剂量率估算结果	42
11.2 分区距离估算	45
11.3 人员受照剂量分析	47
11.4 事故影响分析	48
11.4.1 辐射事故类型	48
11.4.2 事故预防措施	48
表 12 辐射安全管理	50
12.1 辐射安全与环境管理机构的设置	50
12.2 辐射安全管理规章制度	50
12.3 辐射工作人员	51
12.4 辐射监测计划	52
12.4.1 个人剂量监测	52
12.4.2 工作场所监测	52
12.4.3 辐射检测方案	53
12.5 辐射安全年度评估计划	54
12.6 辐射事故应急	55
12.6.1 辐射事故应急机构	55
12.6.2 人员培训和演习计划	56
12.7 竣工环境保护验收要求	56
12.7.1 责任主体	56
12.7.2 工作程序	57
12.7.3 时间节点	57
12.7.4 验收清单	57
表 13 结论与建议	59

13.1 结论.....	59
13.1.1 辐射安全防护及管理结论	59
13.1.2 环境影响结论	59
13.1.3 可行性分析结论	59
13.2 建议.....	60
表 14 审 批	61
附件 1：委托书.....	62
附件 2：项目备案证明	63
附件 3：参数文件	64
附件 4：辐射安全管理规章制度.....	66

表 1 项目基本情况

建设项目名称		广西交科集团有限公司工业 X 射线移动式探伤项目			
建设单位		广西交科集团有限公司			
法人代表		冯坚	联系人	张焜宁	联系电话
注册地址		广西南宁市西乡塘区新康西路 158 号			
项目地点		广西壮族自治区内开展移动式探伤，无固定项目地点 设备存放：广西南宁市西乡塘区新康西路 158 号 4 号楼 1 层的 4-110 设备室			
建设项目总投资 (万元)		100	项目环保投资 (万元)	10	投资比例（环保投 资、总投资）
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m²）
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其它	/			
	1.1 项目概况 1.1.1 建设单位情况 广西交科集团有限公司（下称建设单位）于 1984 年经国家科委（现科学技术部）批准成立，主营业务为数智信息、数智工程、咨询检测、勘察设计、市政水务、生态环保 6 大板块，荣获全国五一劳动奖状、全国青年文明号、全国企业文化优秀成果奖等荣誉，入选国家科改示范企业、广西优秀企业、数字广西建设和政务服务工作突出贡献				

献先进集体，连续 6 年上榜广西高新技术企业百强、创新活力十强、创新能力十强榜单，成为广西交通运输系统科技研发、成果转化和产业化基地。

建设单位科研实力雄厚，人才团队云集，组建信息化软硬件研发、勘察设计、技术咨询、新材料新产品研发及生产等人才团队 50 余支；培养了国务院政府特殊津贴专家 5 人、省部级以上专家 50 余人，已成为广西交通行业人才小高地。能为项目建设提供前期规划、咨询、勘察、设计、环评，建设期的施工技术咨询、信息化技术研发与集成，运营期的维护、检测监测，以及项目建设科研攻关和相关产品生产等一体化、全过程、全生命周期技术服务，可实现包括公路、市政、水运、建筑、环境治理、新能源等多领域、跨专业的协调联动。

1.1.2 项目来由和目的

钢结构桥梁是交通工程的重要一环，钢结构焊缝质量是否合格对桥梁结构的安全起到至关重要的影响。根据国家与行业相关标准要求，桥梁钢结构的主要对接焊缝需要抽选一定比例的焊缝进行 X 射线探伤，以验证焊缝质量是否合格。广西交科集团有限公司作为全国八家具备全资质（公路水运工程质量检测资质）的检测机构之一、广西唯一一家具备全资质的检测机构，承担着自治区内重要钢结构桥梁工程的检测工作，因此，为满足对桥梁钢结构对接焊缝的 X 射线探伤需求，建设单位拟购置 3 台工业 X 射线探伤装置，用于开展桥梁钢结构对接焊缝的 X 射线探伤工作，根据探伤方式，本项目属于 X 射线移动式探伤。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，第 66 号）对射线装置的分类，本项目属于使用Ⅱ类射线装置（工业用 X 射线探伤装置），根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日实施），本项目应编制环境影响报告表，受广西交科集团有限公司委托（委托书见附件 1），广州星环科技有限公司对广西交科集团有限公司工业 X 射线移动式探伤项目进行环境影响评价。

1.1.3 项目建设规模

建设单位拟开展工业 X 射线移动式探伤项目，配套使用 3 台工业 X 射线探伤装置（其中 2 台定向机，1 台周向机），探伤方式为在广西壮族自治区内进行 X 射线移动

式探伤工作，无固定的项目地点。主要探伤对象为桥梁钢结构的对接焊缝，其中定向机的探伤对象为桥梁工型钢和箱型钢的直焊缝，周向机的探伤对象为桥梁管状钢的环型焊缝，工件均为 10mm~30mm 的钢材。建设单位已对本项目进行备案，备案代码为 2509-450111-04-05-415454，备案证明见附件 2。

拟用射线装置的基本参数信息见表 1-1。

表 1-1 拟使用装置信息一览表

序号	名称	厂家	型号	最大管电压	最大管电流	类别	类型	数量
1	X 射线探伤装置	黄石上方	XXG2505L	250kV	5mA	II类	定向机	2 台
2	X 射线探伤装置	黄石上方	XXGH3005Z	300kV	5mA	II类	周向机	1 台

1.2 项目选址和周边关系

本项目的工作场所主要根据公司承接的业务地点，在广西壮族自治区内对桥梁钢结构的对接焊缝进行 X 射线探伤，无固定项目地点，周围环境一般为道路、空地、河流等场所。进行移动式探伤前，工作人员应充分评估现场环境，使用定向机对直焊缝进行探伤时，有用线束固定朝地面照射，使用周向机对环型焊缝进行探伤时，周向机置于管材内部进行探伤有用线束垂直管壁，并适当的使用额外屏蔽，减小控制区和监督区的范围，从而对现场进行更好的管控。

探伤装置及配套设施平时存放于广西南宁市西乡塘区新康西路 158 号 4 号楼 1 层的 4-110 设备室，并设置专用储柜进行保管，设备室四周主要为建设单位的办公场所。设备室及专用储柜设有安全锁，钥匙由专门的管理人员负责管理，无关人员不能进入设备室。专用储柜只用于存放本项目设备，任何情况下都不会在该场所使用射线装置。拟将广西南宁市西乡塘区新康西路 158 号 5 号楼 3 层的 5-304 室设置为配套暗室，暗室用于胶片冲洗以及感光材料废物的暂存。

建设单位所在区域图见图 1-1，园区布局图见图 1-2，4 号楼 1 层平面布局图见图 1-3、5 号楼 3 层平面布局图见图 1-4。

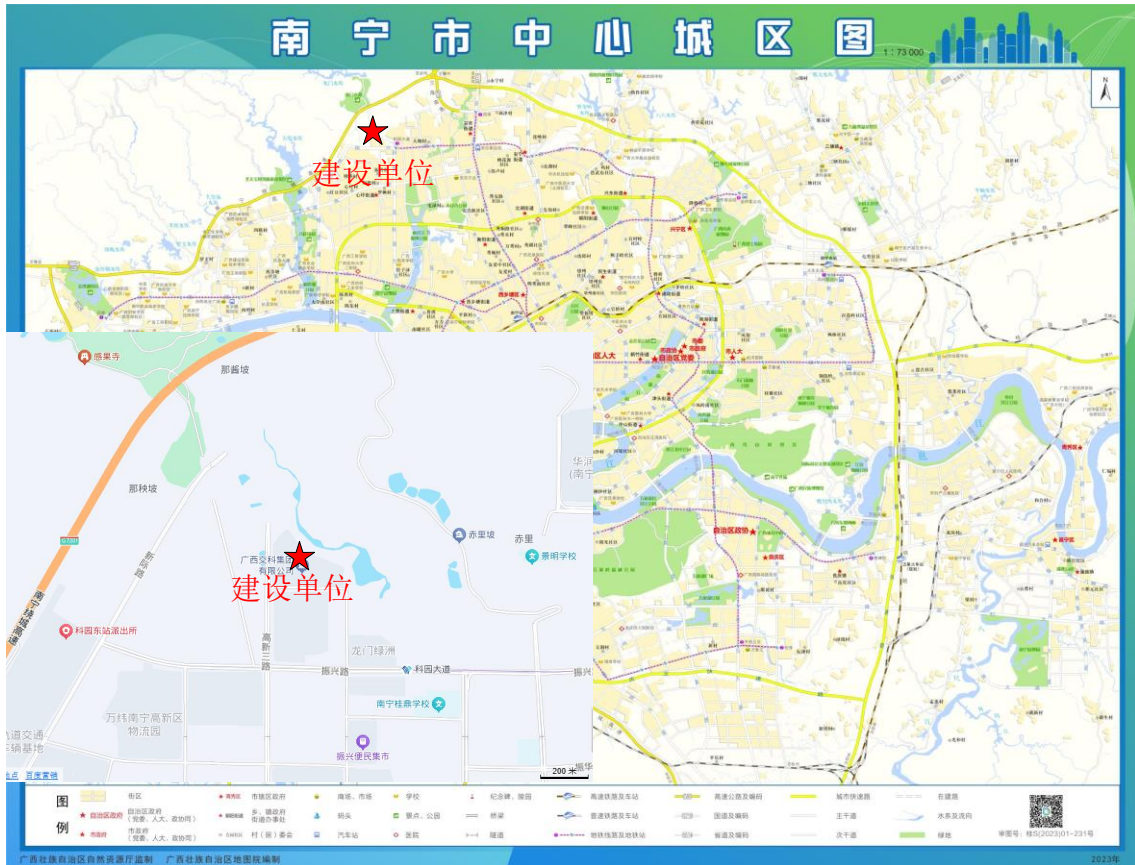


图 1-1 建设单位所在区域图



图 1-2 园区布局图

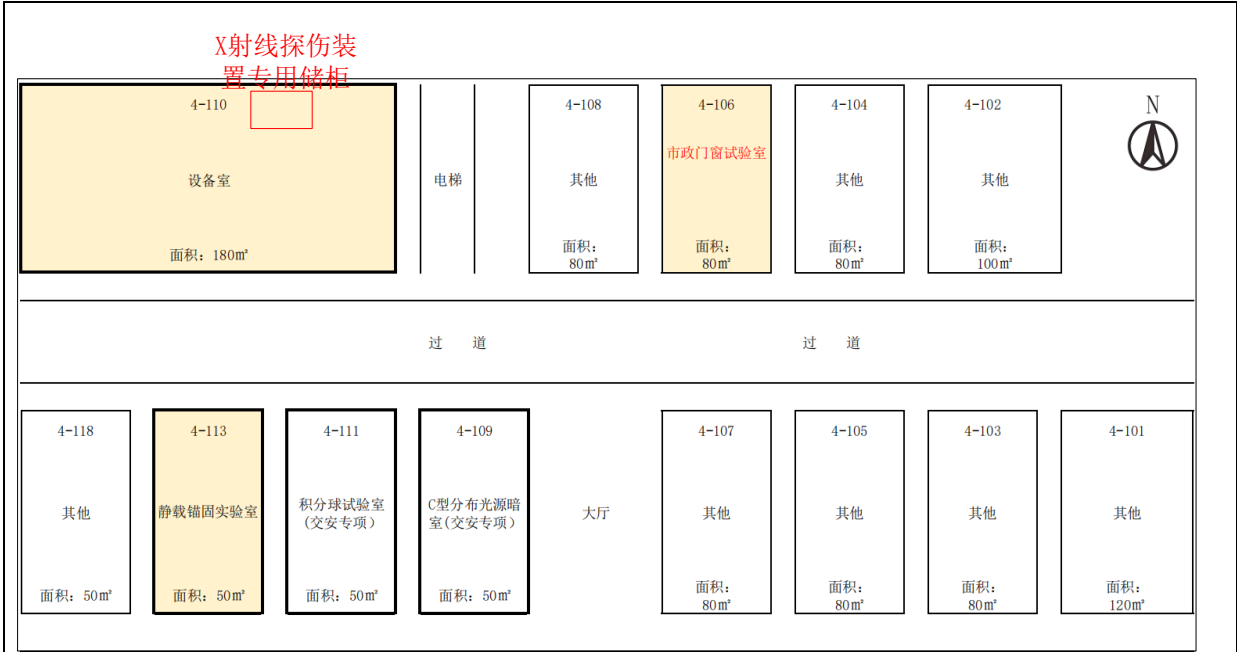


图 1-3 4 号楼 1 层平面布局图

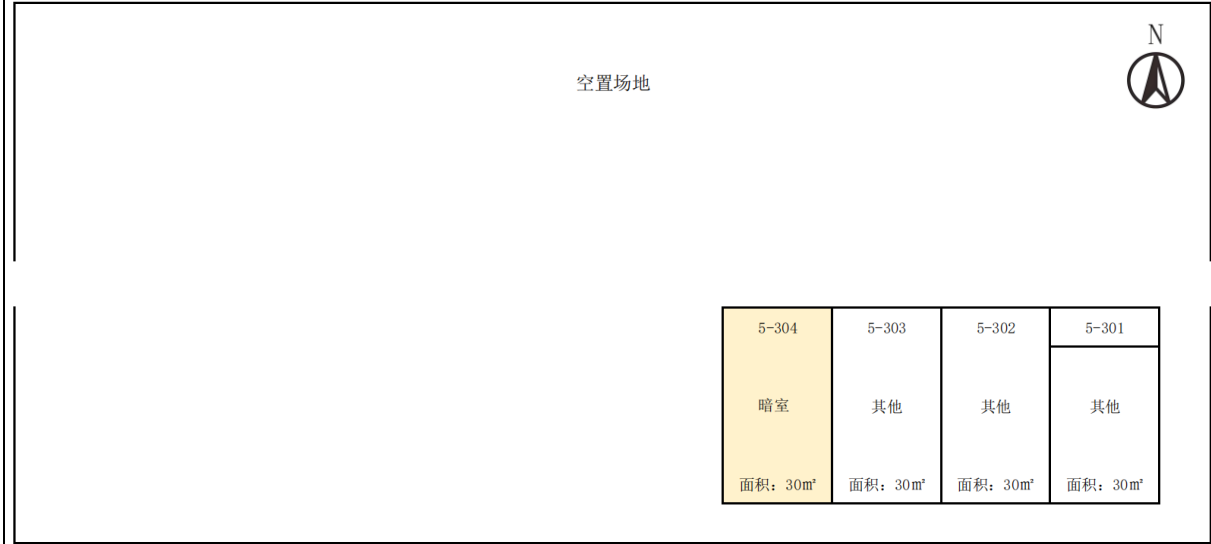


图 1-4 5 号楼 3 层平面布局图

1.3 辐射实践的正当性和辐射防护最优化

1.3.1 辐射实践的正当性

对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

建设单位拟开展工业 X 射线移动式探伤项目，对桥梁钢结构的对接焊缝进行 X 射线探伤，为消除缺陷隐患奠定基础，对桥梁工程的安全运行具有重要意义。

本项目如能充分利用现场环境条件，合理划分监督区和控制区，采取可靠的现场管理和辐射防护措施，辐射影响可控制在可合理达到的尽可能低的水平。从而，以较小的环境影响获得较大的社会效益。本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“三十一、科技服务业 5. 检验检测认证服务”类别，为鼓励类产业，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于辐射“实践的正当性”的要求。

1.3.2 辐射防护最优化

辐射防护最优化是指进行辐射实践时，考虑经济和社会因素之后，应保证将辐射照射保持在可合理达到的尽量低水平的原则。

本项目划分了合理且可操作的分区方式，通过采取距离防护、时间防护、合理选择照射方向、设备自带的安全设施、配备检测仪器与安防用品等，将辐射工作人员和公众的辐射照射保持在可合理达到的尽量低水平。根据表 11 理论估算，辐射工作人员和公众的年有效剂量均满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

1.4 原有核技术利用项目情况

本项目属于建设单位首次开展核技术利用项目，不存在原有核技术利用项目情况。

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
	无							

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作 量 (Bq)	日等效最大操作 量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式 与地点
	无									

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(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 装置	Ⅱ类	2 台	XXG2505L	250kV	5mA	对桥梁钢结构的直焊缝进 行无损探伤	移动式探伤，无固定场所	定向机
2	X 射线探伤 装置	Ⅱ类	1 台	XXGH3005Z	250kV	5mA	对桥梁钢结构的环型焊缝 进行无损探伤	移动式探伤，无固定场所	周向机

(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	

	无												
--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
感光材料废物	液态	/	/	/	120kg	/	在暗室暂存	交由有资质的危险废物 处置单位回收处置
废胶片	固态	/	/	/	48 张	/	在暗示暂存	交由有资质的危险废物 处置单位回收处置
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	微量	/	/	外环境

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

2.含有放射性的废弃物要注明,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	(1)《中华人民共和国环境保护法》(主席令第九号,2015 年 1 月 1 日实施) (2)《中华人民共和国环境影响评价法》(主席令第二十四号,2018 年 12 月 29 日修正) (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(主席令第六号,2003 年 10 月 1 日实施) (4)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第 449 号令,2005 年 12 月 1 日施行,2019 年 3 月 2 日修订) (5)《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》(国务院令 第 682 号,2017 年 10 月 1 日实施) (6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部第 20 号令,2021 年 1 月 4 日修改) (7)《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 18 号令,2011 年 5 月 1 日实施) (8)《关于发布射线装置分类的公告》(国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告第 66 号,2017 年 12 月 6 日发布) (9)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部令 第 16 号,2021 年 1 月 1 日起施行) (10)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令 第 9 号,2019 年 11 月 1 日起施行) (11)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发) (12)《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(2024 年 2 月 1 号实施)
------	--

	(13) 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）
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016） (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） (3) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022） (4) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014） (5) 《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） (6) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） (7) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） (8) 《<工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范>(GBZ/T250-2014)第 1 号修改单》（国卫通[2017]23 号） (9) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326—2023） (10) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）
其他	(1) 2023 年广西壮族自治区生态环境状况公报 (2) 《辐射防护导论》（方杰，原子能出版社 1991 年出版） (3) 《放射防护实用手册》（济南出版社，赵兰才、张丹枫） (4) 建设单位提供的资料

表 7 评价标准与保护目标

7.1 评价范围

本项目属于 X 射线移动式探伤，无固定使用场所，参考《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)的相关规定：无实体边界的项目评价范围应不低于 100m。本项目以理论计算的最小监督区（865m）范围确定为本项目的评价范围。

7.2 保护目标

结合本项目的评价范围，该项目将评价范围内的辐射工作人员和公众列为保护目标，具体保护目标分布情况见表 7-1。

表 7-1 评价范围内保护目标分布一览表

分布位置	保护目标	人员类型	居留因子	人数	剂量约束值
监督区	辐射工作人员	现场工作人员	1	3 人	5mSv/a
监督区外评价范围内	公众	探伤现场周围生产、生活的人群	1/40	人数不定	0.25mSv/a

7.3 评价标准

7.3.1 职业照射及公众照射剂量控制要求

（1）剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定：

①工作人员的照射水平不应超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

②实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

（2）剂量约束值

①工作人员：

本项目取职业照射年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的职业照射剂量

约束值，即本项目的辐射工作人员的年有效受照剂量应不超过 5mSv/a。

②公众：

取公众中有关关键人群年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的公众照射剂量约束值，即本项目的公众的年有效受照剂量不超过 0.25mSv/a。

7.3.2 工作场所剂量率控制和分区要求

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：

7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 15μSv/h 的区域划为控制区。对于 X 射线探伤，如果每周实际开机时间高于 7h，控制区边界周围剂量当量率应按以下公式计算：

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

式中：

$\dot{H}$ ——控制区边界周围剂量当量率，单位为 μSv/h；

τ ——每周实际开机时间，单位为小时（h）；

100——5mSv 平均分配到每年 50 工作周的数值，即 100μSv/周。

7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 2.5μSv/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。

本项目每周实际开机时间小于 7h，根据辐射防护最优化的原则，本项目将作业场所中周围剂量当量率大于 15μSv/h 的范围内划为控制区，将周围剂量当量率大于 2.5μSv/h 的范围划为监督区。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目的工作场所为在广西壮族自治区内，对桥梁钢结构对接焊缝进行 X 射线探伤工作，无固定的项目地点，周围环境一般为道路、空地、河流等场所。

8.2 环境质量和辐射现状

建设单位在广西壮族自治区内开展移动式探伤，无固定项目地点，引用 2023 年广西壮族自治区生态环境状况公报：2023 年，全区辐射环境质量总体良好。全区辐射环境质量监测点位 128 个，环境 γ 辐射剂量率处于本底涨落范围内。全区 20 个辐射环境自动监测站环境 γ 辐射剂量率连续自动监测结果处于本底涨落范围内，月均值测值范围为 54.4~88.2 纳戈瑞/小时，与 2022 年相比无明显变化。全区环境 γ 辐射剂量率累积监测结果处于本底涨落范围内，年均值范围为 63.3~208 纳戈瑞/小时，与 2022 年相比无明显变化。2023 年，在 14 个设区市各增加 1 个环境 γ 辐射剂量率即时监测点，测值范围为 75.5~134 纳戈瑞/小时，处于当地天然本底涨落范围内。广西壮族自治区内环境 γ 辐射现状未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 设备组成

本项目拟购置使用的 3 台工业 X 射线探伤装置中，包括 2 台定向机（最大管电压均为 250kV，最大管电流均为 5mA）和 1 台周向机（最大管电压为 300kV，最大管电流为 5mA）。工业 X 射线探伤装置主要由 X 射线发生器、控制台、电缆线三部分组成；定向机采用阳极靶平面产生的 X 射线束为固定单方向照射，呈圆锥形；周向机采用锥形阳极靶，阳极靶平面与电子束垂直，产生的 X 射线束是在与 X 射线管轴线成垂直方向的 360°圆周上同时辐射 X 射线。定向机设备组成图见图 9-1，周向机设备组成见图 9-2。



图 9-1 定向机设备组成图



图 9-2 周向机设备组成图

9.2 工作原理

9.2.1 X 射线产生原理

射线装置通过 X 射线管产生射线，X 射线管由密封在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，X 射线管示意图如图 9-3 所示。X 射线管阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，灯丝上产生大量活跃电子，聚焦杯使这些电子聚集成束，向嵌在阳极中的金属靶体射击，灯丝电流愈大，产生的电子数量越多。在阴阳两极高压作用下，电子流向阳极高速运动撞击金属靶，撞击过程中，电子突然减速，其损失的动能会以光子（X 射线）形式释放，形成 X 光光谱的连续部分，称之为轫致辐射，产生的 X 射线最大能量等于电子的动能。

从 X 射线装置阴极上产生射向金属靶上的电子形成的电流叫做管电流，加在 X 射线装置两极上的高压即为管电压。X 射线装置产生的 X 射线强度正比于靶物质的原子

序数、电子流强度和管电压的平方。所以 X 射线机的管电压、管电流和阳极靶物质是影响 X 射线强度的直接因素。虽然电子轰击靶体时所有方向都发射 X 射线，但当加速电压低于 400kV 时，有用的锥形 X 射线束都是在电子射束大致垂直的方向上通过 X 射线机保护罩上的薄窗口引出来，其他方向发射的 X 射线则被保护罩的铅屏蔽层屏蔽掉，准直性较高。

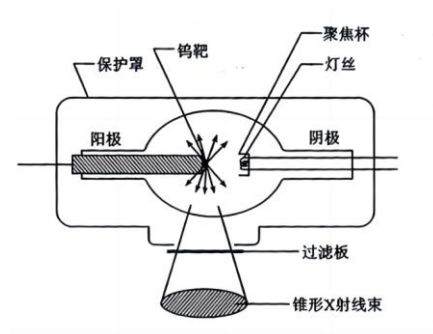


图 9-3 X 射线管示意图

9.2.2 工业 X 射线探伤原理

工业 X 射线探伤装置是利用 X 射线穿透物质和在物质中有衰减的特性，来发现其中缺陷的一种无损探伤方法。X 射线可以检查金属材料及其制品的内部缺陷，例如焊缝中的气孔、夹渣、未焊透等体积性缺陷。

工业 X 射线探伤装置的工作方式是根据被检工件与其内部缺陷介质对射线能量衰减程度的不同，使得射线透过工件后的强度不同，使缺陷能在底片上显示出来的方法。如图 9-4 所示，从 X 射线机发射出来的 X 射线透过工件时，由于缺陷内部介质对射线的吸收能力和周围完好部位不一样，因而透过缺陷部位的射线强度不同于周围完好部位。把胶片放在工件适当位置，在感光胶片上，有缺陷部位和无缺陷部位将接受不同的射线曝光。再经过暗室处理后，得到底片。然后把底片放在观片灯下就可以明显观察到缺陷处和无缺陷处具有不同的黑度，评片人员据此可以判断工件内部缺陷等情况。

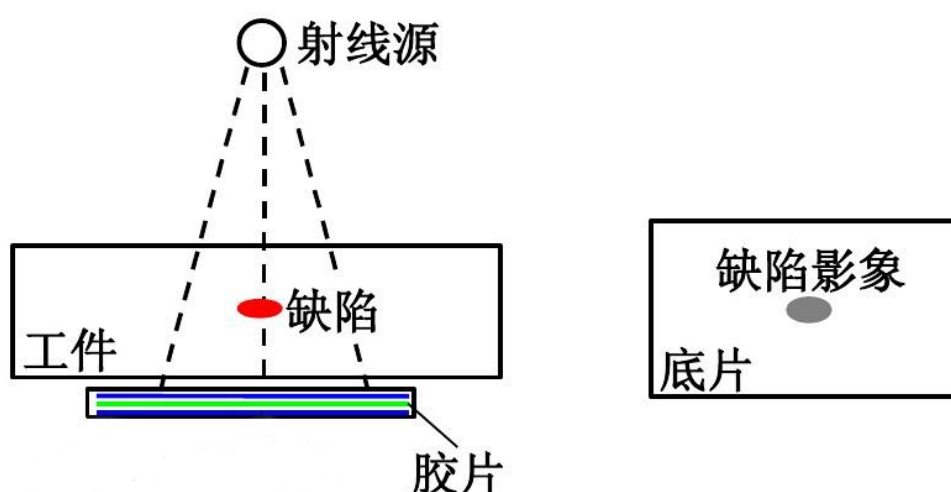


图 9-4 X 射线胶片成像示意图

9.3 工作方式

本项目 X 射线探伤工作方式如下：

(1) 本项目在广西壮族自治区内进行 X 射线移动式探伤工作，无固定的项目地点。主要探伤对象为桥梁钢结构的对接焊缝，其中定向机的探伤对象为桥梁工型钢和箱型钢的直焊缝，周向机的探伤对象为桥梁管状钢的环型焊缝，工件均为 10mm~30mm 的钢材，探伤工件实物图见图 9-5。在同一个场所中，辐射工作人员根据探伤的工件类型，每次探伤只操作 1 台设备，不会多台设备同时进行探伤。

(2) 进行探伤工作前，辐射工作人员佩戴反光衣、安全帽、个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式剂量率仪等安防用品。根据探伤的工件类型选择定向机或者周向机。根据探伤的工件类型，选择定向机和周向机进行探伤。选择定向机进行探伤时，辐射工作人员将定向机安装在工件上方，采用劳保安全带进行捆扎固定，并采用 1 张 1mm 铅毯进行包裹覆盖，有用线束固定朝地面照射，线束角度为 40°。选择周向机进行探伤时，辐射工作人员根据工件的管径选择合适的支架，将周向机采用劳保安全带捆扎固定在支架中间，再通过支架连同周向机一起传入工件内部需要进行探伤的位置，利用支架的自锁卡扣将支架固定在工件内部（周向机安装固定示例见图 9-6），从而固定周向机，周向机有用线束在工件内部朝外照射，线束角度为 30°×360°，照射时，在管状工件两端加盖与工件同等厚度的钢板，并在有用线束照射区域覆盖 2 张

1mm 铅毯进行屏蔽。

(3) 探伤工作由 3 名辐射工作人员共同完成，其中包括两名设备操作人员及一名现场管理人员。现场管理人员负责对周边的人群进行疏散、设置控制区和监督区、以及探伤过程中两区边界的剂量率检测、人员管控等工作。两名操作人员共同完成工件位置的调整、探伤装置的安装、探伤操作等工作。

(4) 本项目成像方式为胶片成像，检测后得到的胶片送回建设单位暗室进行洗片与评片。



工型钢



箱型钢



管状钢

图 9-5 探伤工件实物图



图 9-6 周向机的安装固定示例

9.4 工艺流程和产污环节

本项目移动式探伤的操作流程和产污环节如下：

（1）任务派单

根据公司安排的抽查任务，向辐射工作人员委派探伤任务。

（2）现场评估和工件选取

根据抽查的要求，随机抽取进行探伤的工件，并根据现场特点和周围环境，研判是否满足开展 X 射线移动式探伤的条件，如：是否满足“两区”的设置、周围是否有不可规避的敏感点。适合 X 射线探伤的，还需对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作，评估内容包括现场环境特点、附近人群、天气条件、探伤时间、作业空间、操作方式和安全措施等。

（3）现场准备

与现场施工单位做好协商工作，协商内容包括适当的探伤地点和探伤时间、现场通告、警告标识和报警信号等。辐射工作人员根据探伤计划办理 X 射线探伤装置的领用流程和归还流程，包括 1）填写使用登记表，按照探伤计划，填写探伤设备的领用情况，包括领用时间、使用人员、作业时间、作业地点、计划探伤工件对象、数量等情况；2）并领取足够的现场探伤所需的防护用品，包括个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式剂量率仪、对讲机、测距仪、警戒线、电离辐射警告标志、“禁止进入 X 射线区”警告牌、“当心电离辐射，无关人员禁止入内”警告牌、警示灯、警示喇叭等。

到达现场后，由现场管控人员负责组织无关人员撤离现场。工作人员进入现场前需检查防护用品是否准备齐全，佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪。核实各类作业文件齐全，检查安全器具和作业设备完好。核实工作票及安全措施票、接地线拆装登记表等齐全，核实确认各项安全措施已落实到位。

召开作业班前会。交代风险点和安全管理事项，包括 X 射线照射、人身触电等风险；检查人员精神状态；交代工作内容并确认签字人员精神状态、是否饮酒进行检查。

（4）现场分区

参考本报告表给出的理论分区方式，初步设定工作场所监督区和控制区，拉好安全围栏、警绳，由现场管理员负责警戒，防止人员误闯被误照射。在控制区边界设置警戒绳、警示灯、警示喇叭和控制区警示牌，防止人员误入。在监督区设置警戒绳和

警示牌，提醒公众勿接近辐射工作区。警示灯和警示喇叭在探伤工作期间保持开启，警示人员勿进入控制区，使用的探伤装置具有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，警示信号与探伤装置联锁且足够清晰，确保控制区的所有边界都可以听到；在监督区边界上的醒目位置悬挂清晰可见的“当心电离辐射，无关人员禁止入内”警告牌和电离辐射警告标志。

（5）探伤装置安装

根据探伤的工件类型，选择定向机和周向机进行探伤。选择定向机进行探伤时，辐射工作人员将定向机安装在工件上方，采用劳保安全带进行捆扎固定，并采用 1 张 1mm 铅毯进行包裹覆盖，有用线束固定朝地面照射。选择周向机进行探伤时，辐射工作人员根据工件的管径选择合适的支架，将周向机采用劳保安全带捆扎固定在支架中间，再通过支架连同周向机一起传入工件内部需要进行探伤的位置，利用支架的自锁卡扣将支架固定在工件内部，从而固定周向机，周向机有用线束在工件内部朝外照射，照射时，在管状工件两端加盖与工件同等厚度的钢板，并在有用线束照射区域覆盖 2 张 1mm 铅毯进行屏蔽。探伤装置安装完成后，需要再次确认探伤装置的安装是否牢固，确认无误后，通过电缆线将探伤装置和控制台进行连接，控制台需设置在控制区外的区域，并尽可以利用现场掩体进行防护。

（6）训机和曝光（涉源环节，产生 X 射线）

探伤装置安装完毕后，辐射工作人员退至控制台位置，开启控制台电源，待设备自检完成后，依次设置曝光时间、延迟出束时间、管电压等参数，现场管理人员对控制区和监督区进行巡查，并使用便携式剂量率记录环境 γ 辐射剂量率本底水平。经现场管理人员再次确认控制区内无任何人员、监督区内无公众人员后，向辐射工作人员下达训机或者初次曝光指令。

探伤装置超过 48 小时未使用时，控制台通电后，控制台上的“自动训机”状态灯会常亮，进入自动训机待机状态，此时按下高压开关会自动进入自动训机模式，训机过程会自动步进“kV”值，直至完成训机。如需训机先不安装胶片，待训机结束后再安装胶片。

如果不需要训机，辐射工作人员启动探伤装置高压，待延时出束时间倒数完毕后，开始初次曝光，现场管理人员使用便携式剂量率仪进行巡测确认分区合理性，并根据巡测结果调整分区方案。初次曝光确定分区无误后，进行正式曝光。曝光过程

中，现在管理人员对控制区和监督区的边界进行巡检，确保边界设置正确、无人员闯入。

(7) 探伤结束

探伤结束后，使用便携式剂量率仪确认 X 射线发生器已关闭后，工作人员收起设备、撤除警戒。设备归还并登记，包括：设备使用情况、现场安全分区情况、辐射事故发生情况、设备状态等，在建设单位内的暗室进行洗片和评片，洗片和评片过程会产生废胶片、废定影液和废显影液。

本项目的工艺流程和产污环节见图 9-7。

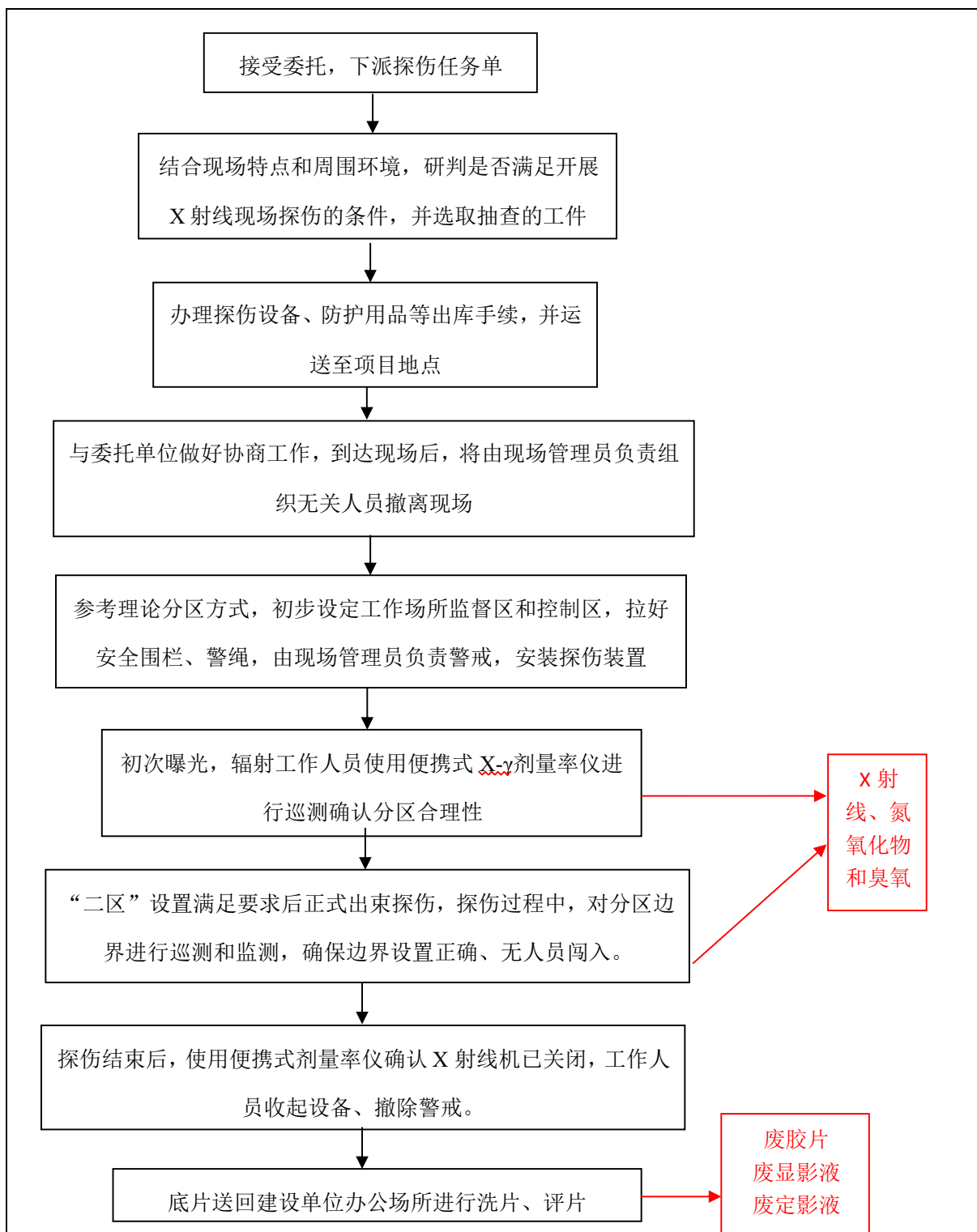


图 9-7 现场探伤工艺流程和产污环节

9.5 工作负荷和人员配置

建设单位拟安排 3 名工作人员经辐射安全与防护培训和考核后成为辐射工作人员。其中 1 名辐射工作人员为现场管理人员，负责现场安全管理，2 名辐射工作人员

负责现场探伤操作。

根据厂家提供资料，本项目拟使用的定向机和周向机拍摄一张胶片曝光时间均为 3~5 分钟，保守按 5 分钟计算。根据建设单位规划：由于本项目的 X 射线移动式探伤属于抽查性质，无固定的工作规律，预计每年工作 50 周，共抽查工件 300 个，每个工件曝光拍摄一次，其中定向机每次曝光可拍摄 1 张胶片，周向机每次曝光可根据工件大小拍摄 3~8 张胶片。每周约进行一次训机，每次训机出束时长为 15min。

工作负荷一览表见表 9-1。

表 9-1 工作负荷一览表

产污环节	周出束时间	年出束时间
探伤过程	0.5 小时	25 小时
训机	0.25 小时	12.5 小时
累计	0.75 小时	37.5 小时

9.6 污染源项描述

9.6.1 正常工况

（1）辐射污染源

本项目的污染因子是 X 射线，X 射线探伤装置只有在开机处于曝光状态下才会发出 X 射线。正常工况下通常分为三种射线，即（i）从 X 射线出束口发射出的有用射线；（ii）从 X 射线管防护套发射的漏射线；（iii）以上这些射线经过散射体后产生的散射线。有用射线是产生辐射剂量的主要部分，泄漏辐射和散射线的占比相对很小。

在正常工况下，距离、受检物体或探伤现场的其他物体会减弱 X 射线强度，但由于 X 射线的直射、反射及散射，可能有衰减后的射线对现场的辐射工作人员和周围的公众产生辐射影响，影响途径为 X 射线外照射。

（2）非辐射污染源

本项目采用胶片感光成像，正常工况下，胶片成像会产生感光材料废物（废定影

液、废显影液、废胶片等)，属危险废物；X 射线照射会使空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物。

9.6.2 事故工况

本项目在事故工况下，可能产生辐射影响的情形有：

（1）探伤现场控制区和监督区划分不合理，探伤过程中未对两区边界辐射水平进行监测，导致工作人员和周围公众受到不必要的照射；

（2）对现场管理不到位，射线出束时有工作人员滞留控制区，导致工作人员受到不必要的照射；

（3）设备控制系统发生故障，无法停止出束，造成人员不必要的照射。

9.7 源强分析和参数

本项目的射线装置最大管电压、最大管电流、有用线束角度、滤过条件、焦点尺寸等由设备厂家提供；距辐射源 1m 处输出量、距离辐射源 1m 处的泄漏剂量率根据 GBZ T250-2014 选取，本项目的源强有关数据见表 9-2，厂家参数说明文件见附件 3。

表 9-2 射线装置源项参数

项目	参数	
型号	XXG2505L 型	XXGH3005Z 型
最大管电压	250kV	300kV
最大管电流	5.0mA	5.0mA
有用线束角	40°	30°×360°
滤过条件	3mmAl	3mmAl
焦点尺寸	1.5mm×1.5mm	1.5mm×1.5mm
距辐射源 1m 处的最大输出量（mSv·m ² /（mA·min））	13.9	20.9
距离辐射源 1m 处的泄漏剂量率（μSv/h）	5000	5000

表 10 辐射安全与防护

10.1 现场管理和操作安全措施

10.1.1 作业前准备

(1) 每次探伤工作前，先对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作，评估内容包括现场环境特点、附近人群、探伤时间、作业空间、操作方式和安全措施等。

(2) 与现场施工单位做好协商工作，协商内容包括适当的探伤地点和探伤时间、现场通告、警告标识和报警信号等。

(3) 到达现场后，将由现场管理员负责组织无关人员撤离现场，无关人员一律不得在监督区范围内。工作人员进入现场前需检查防护用品、警袖、警绳是否准备齐全。根据工件情况和曝光条件用便携式剂量率仪确定监督区域，拉好安全围栏、警绳。由现场管理员负责警戒，防止人员误闯被误照射。

10.1.2 安全信息和警告标志

(1) 本项目拟使用的探伤装置控制台具有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，警示信号与探伤装置联锁且足够清晰，确保控制区的所有边界都可以听到。

(2) 拟在控制区边界配备警示灯和警示喇叭，警示灯和警示喇叭在探伤工作期间保持开启，警示人员勿进入控制区。

(3) 在控制区边界上悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警示牌，在监督区边界上和建筑物出入口的醒目位置悬挂清晰可见的“当心电离辐射，无关人员禁止入内”警示牌和电离辐射警告标志。

10.1.3 安全操作

(1) 将充分评估现场环境，选取最佳的设备布置方式，减小控制区和监督区的范围，从而对现场进行更好的管控。

(2) 操作人员位于控制区外操作射线装置。

(3) 根据探伤的工件类型，选择定向机和周向机进行探伤。选择定向机进行探伤时，辐射工作人员将定向机安装在工件上方，采用劳保安全带进行捆扎固定，并采用 1 张 1mm 铅毯进行包裹覆盖，有用线束固定朝地面照射。选择周向机进行探伤时，辐射工作人员根据工件的管径选择合适的支架，将周向机采用劳保安全带捆扎固定在支架中间，再通过支架连同周向机一起传入工件内部需要进行探伤的位置，利用支架的自锁卡扣将支架固定在工件内部，从而固定周向机，周向机有用线束在工件内部朝外照射，照射时，在管状工件两端加盖与工件同等厚度的钢板，并在有用线束照射区域覆盖 2 张 1mm 铅毯进行屏蔽。

(4) 辐射工作人员在监督区通过控制台控制出束前，现场管控人员应通过对讲机等多次确认现场人员已全部撤离控制区外，方可向操作人员下达出束指令。

(5) 探伤机设备出束过程中如果出现异常，操作人员应在控制台确定探伤机停止出束后，并携带便携式剂量率仪、个人剂量报警仪向划定的控制区缓慢行进，如果行进过程中仪器出现剂量异常报警，应立即停止行进并向管理员报告。

10.1.4 作业的边界巡查与监测

(1) 每次开始现场探伤前，现场管控人员对控制区和监督区进行巡查和清场，使用扩音器进行全面清场，确保在控制区内无任何人员、监督区内无公众人员。确认后，才向操作人员发出操作指令。

(2) 监督区和控制区的边界设置初步参照环评报告表提出的范围，每次探伤过程中，现场管理员将对分区边界进行巡测和监测，确保边界设置正确、无人员闯入。

(3) 配备 1 台便携式剂量率仪，用于确认分区的合理性，并根据巡测结果调整分区方案。便携式剂量率仪在探伤期间保持开机状态，防止 X 射线出束异常或不能停止出束。

(4) 为每个现场辐射工作人员各配备 1 个个人剂量计和 1 个个人剂量报警仪，个人剂量报警仪具有直读式剂量率显示功能，现场探伤期间按要求佩戴。

10.1.5 使用台账登记和设备保管措施

建立现场探伤工作记录表，记录每次外出探伤工作组的成员、携带仪器，探伤时间、地点，监督区和控制区的设置和剂量率等信息，并保存探伤作业的影像资料，以便对辐射工作进行全过程记录管理。

本项目的探伤装置将放置在设备存储室内，设备存储室专门为本项目探伤设备及配套设施的存放场所，任何情况下都不会在该场所使用射线装置。钥匙由专人负责保管，未经允许的情况下不能进入设备存储室。

10.2 辐射防护措施

10.2.1 距离防护

本项目现场探伤通过划分监督区和控制区，实施分区管理。根据探伤计划初步进行“二区划分”后，初次曝光时探伤作业人员携带个人剂量报警仪、个人剂量计和便携式剂量率仪对控制区、监督区边界进行巡测，验证和修正，必要时重新确定控制区和监督区边界。监督区和控制区边界均设置防护隔离警戒线，确保控制区范围内没有工作人员，并禁止无关人员进入监督区。曝光时探伤作业人员佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计、便携式剂量率仪在探伤机控制区外巡测。

10.2.2 时间防护

（1）熟练操作：本项目辐射工作人员上岗前均需取得无损检测人员资格证书并通过辐射安全与防护培训并取得合格成绩单，熟悉现场探伤操作规程。探伤人员熟练操作可尽可能地缩短照射时间，减少重复照射的几率。每次探伤作业前，辐射工作人员均提前制定探伤计划，做好充分准备，操作时力求熟练、迅速。如果工作量大，工作人员应采取轮流、替换的办法，严格限制每个人的操作时间，将每个人所受照的剂量控制在规定限值以内。

（2）优化曝光时间：在保证探伤质量的前提下，根据实际要求制定最优的探伤方案，选择合理的方案尽量缩短出束时间，减少工作人员和公众的照射时间。

10.2.3 照射方向选取

（1）充分评估现场环境，尽量利用现场的实体屏障作为分区边界，从而对现场进行更好的管控。通过现场勘查、卫星地图等方式勘查周围环境，确保监督区范

围内不会有公园、学校、住宅、办公区等有人员密集场所。

(2) 根据探伤的工件类型选择定向机或者周向机。选择定向机进行探伤时，定向机在工件上方进行安装，有用线束固定朝地面照射，减少控制区和监督区的范围。选择周向机进行探伤时，周向机在工件内部进行安装，有用线束在工件内部朝外照射，经工件屏蔽可有效减少控制区和监督区的范围。

10.2.4 设备的固有安全性能

本项目拟使用的探伤装置具有以下安全功能：

控制台：带有 LED 显示屏，可以实时显示射线装置的准备状态、故障状态、电压电流参数等；

曝光时间按钮：设置 0~5min 的出束时间；

内置蜂鸣器：开启控制台电源开关后，蜂鸣器会发出“滴”的一声响，进入自检状态，自检完成后，再次发出“滴”的蜂鸣声，并且“启动准备”指示灯常亮，进入待机状态，出束过程中发生故障，会持续发出蜂鸣并停止出束；

高压启动开关：控制射线装置高压电源的开启与关闭，即出束控制按钮；

高压停止开关/延时设置按钮：射线装置在出束状态时，按下高压停止开关，射线装置会紧急停止出束。当控制台处于待机状态时，长按该按钮 1.5s，时间显示闪烁，可以通过曝光时间按钮设置 0~5min 的延迟出束时间；

警示灯插口：可以外接警示灯，实现警示灯与射线装置联锁；

主电源开关：控制台的总电源控制；

安全联锁：控制台可以根据应用场景设置安全联锁情景，在本项目移动式探伤时，只有主电源开关打开、警示灯正常、蜂鸣器正常、LED 显示器正常，才能启动出束开关，使探伤装置正常出束。控制台安全设施分布图见图 10-1，安全联锁逻辑图见图 10-2。



图 10-1 控制台安全设施分布图

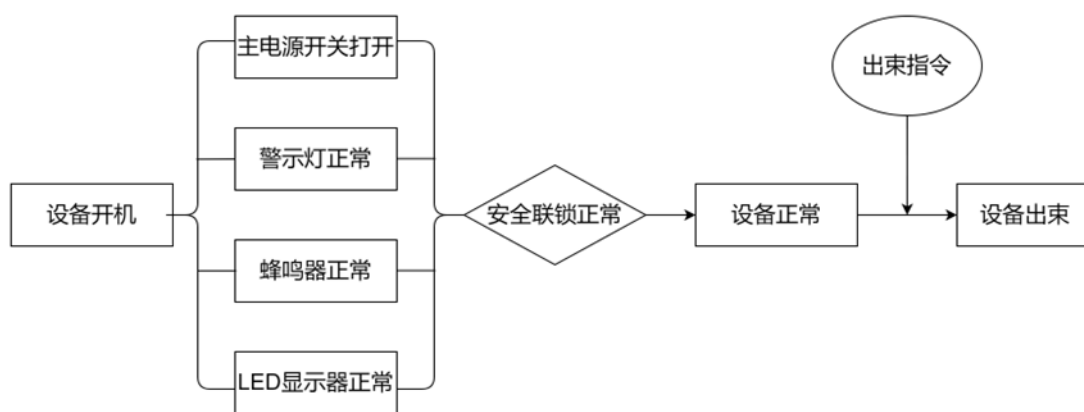


图 10-2 安全联锁逻辑图

10.2.5 检测仪器和安防用品

建设单位拟为现场探伤的辐射工作人员每人配备 1 个个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪，并在工作期间佩戴好，个人剂量报警仪工作期间保持开机状态，个人剂量计定期送检。个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，个人

剂量报警仪将设置剂量率阈值（15 μ Sv/h）与剂量阈值（100 μ Sv），可满足辐射工作人员日常工作时的辐射监测和自我防护的要求。当个人剂量报警仪报警时，辐射工作人员应立即停止工作，同时阻止其他人进入探伤工作区域，并立即向辐射工作负责人报告。当累积剂量超过剂量阈值时，辐射工作人员本周内不得继续从事探伤工作。

建设单位拟配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪用于现场辐射监测，使用便携式 X- γ 剂量率仪对现场探伤监督区和控制区边界周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。便携式 X- γ 剂量率仪在现场探伤工作期间保持开机状态，防止射线曝光异常或不能终止。便携式 X- γ 剂量率仪将设置剂量率报警阈值（2.5 μ Sv/h）。

建设单位拟为现场探伤配备警戒绳、警示灯、警示喇叭、警示牌等用于现场分区管理，在移动式探伤的控制区设置警戒绳、警示灯、警示喇叭和警示牌，防止人员误入；并在监督区设置警戒绳和警示牌，提醒公众勿接近辐射工作区。

本项目拟配备的检测仪器与安防用品见表 10-1。

表 10-1 检测仪器与安防用品配备一览表

名称	数量	用途
便携式剂量率仪	1 台	对分区边界的辐射水平进行巡测，确保合理分区，防止 X 射线出束异常或不能停止出束。
个人剂量报警仪	3 台	现场工作人员随身携带，具有直读式剂量率显示和报警功能。
个人剂量计	3 个	现场工作人员随身携带，记录辐射工作人员的累计受照剂量。
警戒绳	10m $\times$ 4、50m $\times$ 4	用于现场分区管理，在移动式探伤的控制区边界设置警戒绳、警示灯、警示喇叭和控制区警示牌，防止人员误入；并在监督区设置警戒绳和警示牌，提醒公众勿接近辐射工作区。
警示灯	4 个	
警示喇叭	4 个	
控制区警示牌	4 个	
监督区警示牌	8 个	
对讲机	1 套	用于移动式探伤现场沟通。
1mmPb 铅毯	2 张	用于附加屏蔽，减小控制区和监督区范围

10.3 辐射工作场所布局和分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应把辐射工作

场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

对于控制区：应采用实体边界划定控制区；采用实体边界不现实时也可以采用其他适当的手段。在控制区的进出口及其他适当位置处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；运用行政管理程序，如进入控制区的工作许可证制度和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。

对于监督区：采用适当的手段划出监督区的边界；在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求：一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为控制区。应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区。控制区的边界应临时拉起警戒线（绳）等。

本项目选择定向机进行探伤时，定向机在工件上方进行安装，有用线束固定朝地面照射。选择周向机进行探伤时，周向机在工件内部进行安装，有用线束在工件内部朝外照射。根据上述分区要求和表 11 的理论分析，制定本项目的分区范围。本项目移动式探伤监督区和控制区范围平面示意图见图 10-3 至图 10-4。

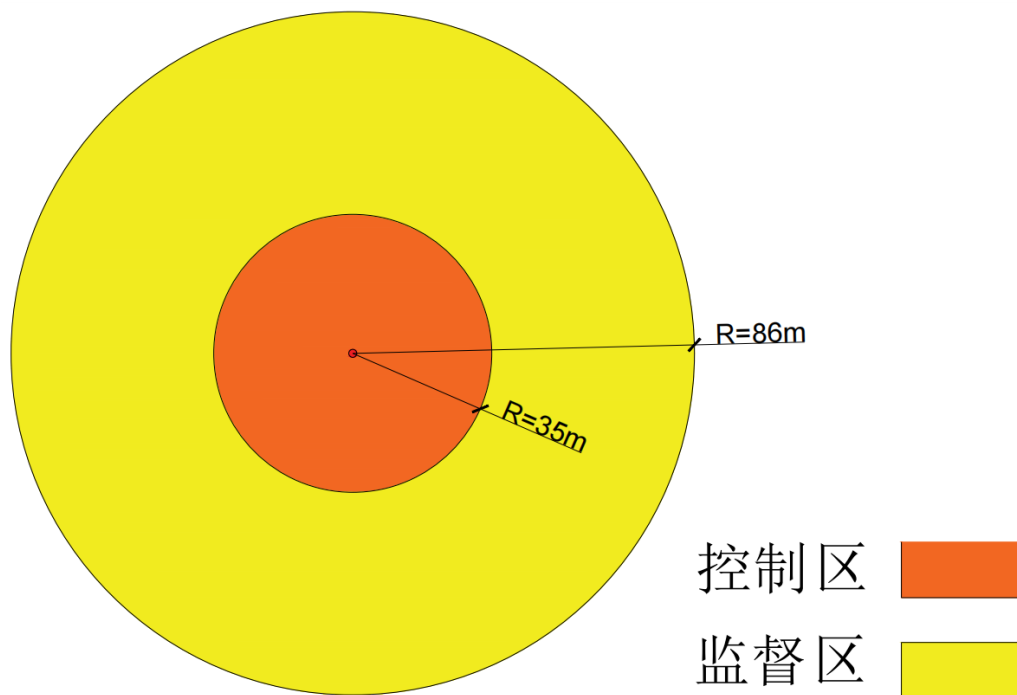


图 10-3 定向机监督区和控制区范围平面示意图

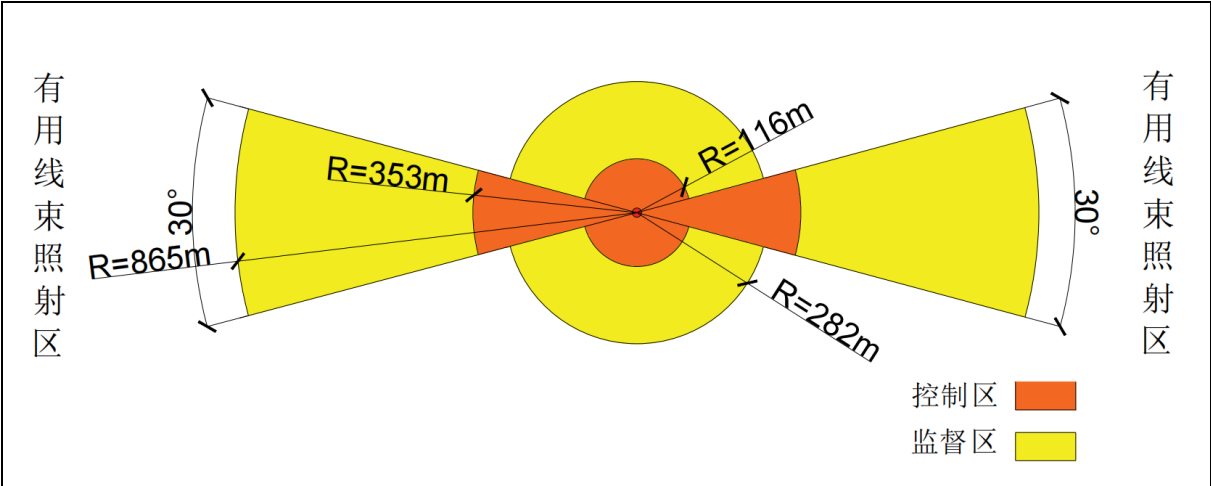


图 10-4 周向机监督区和控制区范围平面示意图

10.4 辐射安全与防护对照分析

对照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对本项目的作业前准备、辐射工作场所布局和分区、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求进行分析，对照分析表见表 10-2。

表 10-2 辐射安全与防护对照分析表

(GBZ117-2022) 要求	措施	结论
7.1.1 在实施移动式探伤工作之前，使用单位应对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）。	在每次探伤工作之前，建设单位会对工作环境、地点、探伤附近的人员、探伤时间、是否高空作业、作业空间等进行全面评估，并对探伤时对其他辐射探测装置的影响做评估。	满足要求
7.1.2 使用单位应确保开展移动式探伤工作的每台探伤机至少应配备两名专职工作人员。	本项目每次开展移动式探伤仅使用一台探伤机，配置了 2 名操作人员和 1 名现场管理人员，均为专职辐射工作人员。	满足要求
7.1.3 移动式探伤工作如在委托单位的工作场地实施准备和规划，使用单位应	在每次探伤工作前，建设单位与施工现场协商适当的探伤地点和时间，现	满足要求

与委托单位协商适当的探伤地点和探伤时间、现场的通告、警告标识和报警信号等，避免造成混淆。	场的通告、警告标识和报警信号均与委托单位区分开，避免混淆。	
7.2.1 探伤作业时，应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。	建设单位将参考国家标准的要求将工作场所合理划分为控制区和监督区，并按要求设置警示标识。	满足要求
7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为控制区。	建设单位将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的范围内划为控制区。	满足要求
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。	建设单位将按要求在控制区边界上悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌，辐射工作人员在控制区外操作探伤设备。	满足要求
7.2.4 控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线（绳）等。	建设单位将充分研判现场环境，尽可能利用现场的设施、天然屏障等作为控制区的边界；并在控制区边界临时拉起警戒绳。	满足要求
7.2.5 移动式探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小，应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施。	在探伤过程中，控制区内不同时安排其他工作。充分评估现场环境，选取最佳的设备布置方式，采取向上照射的方式，减小控制区和监督区的范围，从而对现场进行更好的管控。	满足要求
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。	建设单位拟为每个工作人员配备个人剂量报警仪，报警仪具有实时监测和报警功能；配备 1 台便携式剂量率仪，并定期对其进行校准。	满足要求
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	探伤期间，辐射工作人员将对控制区边界进行剂量率检测，确认分区的合	满足要求

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。	理性，并根据巡测结果调整分区方案。	
7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区，并在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒。	本项目将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区，在监督区边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌和电离辐射警告标志，必要时设专人警戒。	满足要求
7.2.9 移动式探伤工作在多楼层的工厂或工地实施时，应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区。	根据本项目探伤对象，开展移动式探伤工作时，一般为露天场所；将在控制区入口悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌和电离辐射警告标志，防止人员进入控制区。	满足要求
7.2.10 探伤机控制台（X射线发生器控制面板或 γ 射线绕出盘）应设置在合适位置或设有延时开机装置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。	本项目的探伤装置的控制台设置在监督区，并具有延时出束功能，可根据实际需要设置延时时间，可最大程度降低操作人员的受照剂量。	满足要求
7.3.2 应有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯。	本项目探伤装置设有“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与工作场所内使用的其他报警信号有明显区别，并在控制区边界配置警示灯。本项目不在夜间进行作业。	满足要求
7.3.3 X 射线探伤的警示信号指示装置应与探伤机连锁。	本项目探伤装置的警示信号与探伤装置进行连锁。	满足要求
7.3.4 在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。	本项目将确保探伤装置“预备”信号和“照射”信号足够清晰，在控制区的所有边界都可以听到。	满足要求
7.3.5 应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示	将在监督区边界醒目位置张贴电离辐射警告标志和警告标语。	满足要求

语等提示信息。		
7.4.1 开始移动式探伤之前，探伤工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控置区。	开始现场探伤前，现场管理员对控制区和监督区进行巡查，确保在控制区内无任何人员、监督区内无公众人员。确认后，才向操作人员发出操作指令。监督区和控制区的边界设置初步参照环评报告表提出的范围，探伤过程中，现场管理员将对分区边界进行巡测和监测，确保边界设置正确、无人员闯入。	满足要求
7.4.2 控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。	本项目采用警戒绳设置控制区边界，范围清晰可见，确保没有人员进入控制区。本项目将安排人员对现场分区边界进行巡查。	满足要求
7.4.3 在试运行（或第一次曝光）期间，应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时调整控制区的范围和边界。	本项目配备 1 台便携式剂量率仪，用于确认分区的合理性，并根据巡测结果调整分区方案。	满足要求
7.4.4 开始移动式探伤工作之前，应对便携式 X-γ 剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X-γ 剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止。	开始探伤前，先对便携式剂量率仪进行检查，确认能正常使用。便携式剂量率仪在探伤期间保持开机状态，防止 X 射线出束异常或不能停止出束。	满足要求
7.4.5 移动式探伤期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X-γ 剂量率仪，两者均应使用。	为每个现场辐射工作人员各配备 1 个人剂量计和 1 个人剂量报警仪，个人剂量报警仪具有直读式剂量率显示功能，现场探伤期间按要求佩戴；并配备便携式剂量率，用于现场剂量率检测。	满足要求
7.5.1.1 周向式探伤机用于移动式探伤时，应将 X 射线管头组装体置于被探伤	本项目的定向机，设备自带准直器。使用周向机时，置于工件内部进行照	不适用

物件内部进行透照检查。做定向照射时应使用准直器（仅开定向照射口）。	射，不作定向使用。	
7.5.1.2 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施。	建设单位将充分评估现场环境，选取最佳的设备布置方式，利用现场物体作为屏蔽物，减小控制区和监督区的范围，从而对现场进行更好的管控。	满足要求
小结：综上所述，建设单位拟为本项目采取的作业前准备、辐射工作场所布局和分区、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。 10.5 日常检查与维护 10.5.1 日常安全检查 射线装置使用时应检查控制系统以及出束信号指示灯等辐射安全与防护措施，若发现任意一项安全措施异常应立刻停止辐射工作，排除异常后才能继续工作。每次工作开始前应进行检查的项目包括： （1）探伤装置外观是否完好； （2）电池是否有老化、鼓包以及破损； （3）安全联锁是否正常工作； （4）报警设备和警示灯是否正常运行； （5）螺栓等连接件是否连接良好。 10.5.2 设备维修维护 （1）射线装置的维修维护由建设单位辐射安全管理机构进行监督和管理，做好设备维修维护记录。设备维修维护应由具备资质的设备厂家专业人员负责，按要求佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，并至少两人参与维修维护工作。 （2）维修维护前应拆卸设备的电源，并经启动复查确认无电后，做好现场管控。		

(3) 射线装置每年至少维护一次，设备维护包括射线装置的彻底检查和所有零部件的详细检查。

(4) 当发现设备有故障或损坏需更换维修时，应保证所更换的零部件为合格产品。与 X 射线管相关的维修，需由 X 射线机生产厂家或其授权单位的相关人员负责。

(5) 建设单位应与维修维护单位签订维修维护合同，在合同中明确双方的安全责任。

10.6 三废的治理

10.6.1 废气

本项目在室外开展 X 射线探伤，属于空旷场所，由空气电离产生的少量氮氧化物和臭氧将在环境中迅速稀释、分解，基本不会对环境造成污染。

10.6.2 感光材料废物

由于使用到胶片感光成像，本项目还会产生废显影液、废定影液和废胶片等感光材料废物。根据《国家危险废物名录（2025 年版）》，废显影液、废定影液和废胶片属于“HW16 感光材料废物”，废物代码为“900-019-16”，应委托有资质的危险废物处置单位进行回收处置。

(1) 产生量

根据建设单位的工作负荷，每年最多拍摄胶片 2400 张（按 300 个工件均使用周向机，每次最多拍摄 8 张胶片计算），平均每张胶片需产生废显影、定影液约 0.05kg，全年产生废液约 120kg。胶片作废率约 2%，全年产生的废胶片数量约 48 张。

(2) 暂存和处置措施

建设单位拟采取的感光材料废物暂存措施如下：

1) 建设单位拟在暗室内设置专门的废物区用于暂存感光材料废物。拟在废物区放置 2 个 50L 容量的塑料桶，用于装载废液，塑料桶顶部与液体表面之间至少保留 100 毫米的空间。每当装满 2 个塑料桶时，将与回收单位预约上门回收处理，并

由回收单位返回 2 个空桶用于下一轮的废液收集。

2) 按照 HJ1276 的要求在暗室门口张贴危险废物贮存场所标志、危险废物贮存分区标志，塑料桶和塑料盒箱上设置危险废物标签。

3) 建设单位承诺在正式开展探伤工作前与具备 HW16 危险废物处置资质的单位签订危险废物转移处置协议，由其定期上门回收处理探伤工作产生的感光材料废物。建设单位将制定感光材料废物产生和转移处置台账，记录好危险废物的名称、数量、转移日期及回收单位名称等信息，信息应保存 3 年。

(3) 暂存设施要求

1) 废物区拟设置 0.5m 高的围堰，并采用 2 mm 厚高密度聚乙烯膜进行防渗处理。围堰堵截容积约为 250L，并在底部设置渗滤液收集设施。

2) 塑料桶与危险废物相容，能有效防渗、防漏、防腐，塑料桶和塑料盒均带盖，封口密封存放。存放时容器内部预留适当的空间，防止收缩膨胀导致容器渗漏和变形，容器表面保持清洁。

3) 定期检查危险废物的贮存情况，及时清理地面，更换破损泄漏的容器，保证危废暂存间的设施功能完善。

综上分析，建设单位制定的感光材料废物处置措施合理，满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）要求，能有效避免感光材料废物随意排放、污染环境。

(4) 应急和预防措施

本项目感光材料废物暂存的情况主要包括：

- a) 暂存废液的塑料桶老化破损，导致废液流出；
- b) 未定时清运废液，导致废液满溢流出；
- c) 防渗层破损，导致塑料桶外溢的废液渗出。

当发生危险废物泄漏事故时，建设单位拟采取以下应急措施：

a) 当泄漏事故发生后，现场人员要立即报告企业负责人，并佩戴相应的护具（如防毒口罩、手套等）采用吸水毡、沙等对泄漏的废液进行吸收，防止进一步的外溢；

b) 如并发火情，应第一时间通知消防、公安等部门，请求援助；

本项目感光材料废物暂存时拟采取的事故预防措施如下：

a) 按照相关法律法规要求，制定完善的危险废物台账；

b) 定期检查废液暂存容器，如发现破损应及时更换；

c) 定期维护废液暂存区、暗室的防渗层，如有破损应重新敷设防渗层；

d) 加强应急演练，定期进行应急培训。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响 本项目为移动式 X 射线探伤，探伤装置生产和调试均由装置厂家完成，故本项目建设阶段不涉及射线装置使用和其他施工建设，对周围环境无影响。
运行阶段对环境的影响 11.1 辐射剂量率估算 通常情况下，移动式探伤无专设的辐射屏蔽设施，只能靠距离防护减少工作人员的受照剂量。进行移动式探伤作业前，需划出控制区和监督区。根据本项目探伤装置的使用情况，本报告按定向机和周向机分别分析两区的划分情况。 根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对移动式探伤的辐射防护分区的规定：一般将作业时被检物体周围剂量当量率大于 15μSv/h 的范围内划为控制区，控制区边界外周围剂量当量率大于 2.5μSv/h 的范围内划为监督区。 11.1.1 计算公式 参考《工业 X 射线探伤室屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），对于散射线束和泄漏射线束，给定屏蔽物质厚度 X 相应的辐射屏蔽透射因子 B 按公式（11-1）计算： $B=10^{-X/TVL} \quad (11-1)$ 有用线束在关注点的剂量率按公式（11-2）计算： $\dot{H}_1=\frac{\dot{H}_0\times B\times I}{R^2} \quad (11-2)$ 漏射线束在关注点的剂量率按公式（11-3）计算： $\dot{H}_2=\frac{\dot{H}_L\times B\times I}{R^2} \quad (11-3)$ 90°散射线在关注点的辐射剂量率按公式（11-4）计算： $\dot{H}_3=\frac{\dot{H}_0\times I\times B}{R_s^2}\times\frac{F\times a}{R_0^2} \quad (11-4)$ 式中： $\dot{H}_0$ 距辐射源点 1m 处输出剂量，单位为 mSv·m²/（mA·min）； I 最大管电压下的管电流，保守按 5mA 计算；

B	屏蔽透射因子;
R	辐射源点至关注点的距离, 单位为 m;
R _s	散射体至关注点的距离, 单位为 m;
X	屏蔽物质厚度, 单位为 mm;
TVL	屏蔽物质的什值层, 单位为 mm;
$\dot{H}_L$	距辐射源点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$;
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 (1 m ²) 散射体到其 1m 处的散射辐射剂量率的比。根据 (GBZ/T250-2014) 附录 B 表 B.3 保守取值 1.90E-03×10000/400;
R ₀	辐射源点至散射体的距离, 单位为 m;
$\frac{F \cdot a}{R_0^2}$	根据 GBZ/T250-2014, 当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20°时, 可取 1/50 (200kV~400kV)。

11.1.2 定向机剂量率估算结果

本项目使用的定向机最大管电压 250kV, 根据本项目定向机的工作方式, 在进行探伤时, 有用线束固定朝地面照射, 监督区和控制区边界距离的估算主要考虑工件散射、探伤装置漏射的辐射影响。为减少控制区和监督区的范围, 采用 1 张 1mm 铅毯将工件和探伤机覆盖。铅毯质地较柔软, 包裹后可以有效衰减漏射线束和散射线束。

定向机透射因子的计算参数和计算结果见表 11-1, 计算源项参数见表 9, 不同距离的剂量率计算结果见表 11-2。

表 11-1 定向机透射因子的计算参数及计算结果

线束类型	X (mmPb)	TVL (mmPb)	B
漏射线束	1.0	2.9	4.5E-01
散射线束	1.0	1.4	1.9E-01

表 11-2 定向机不同距离的的剂量率计算结果

距离 (m)	泄漏射线 的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射射线 的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
10	22.6	161.0	183.6
20	5.7	40.3	45.9
30	2.5	17.9	20.4
35	1.8	13.1	15.0
40	1.4	10.1	11.5
50	0.9	6.4	7.3
60	0.6	4.5	5.1
70	0.5	3.3	3.7
80	0.4	2.5	2.9
86	0.3	2.2	2.5
90	0.3	2.0	2.3
100	0.2	1.6	1.8

由表 11-2 可知，本项目使用的定向机正常工作时，距离辐射源点 35m 处叠加剂量率为 $15\mu\text{Sv/h}$ ，距离辐射源点 86m 处叠加剂量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

11.1.3 周向机剂量率估算结果

本项目使用的周向机最大管电压 300kV，根据本项目周向机的工作方式，周向机置于工件内部，有用线束朝工件照射，照射时，在管状工件两端加盖与工件同等厚度的钢板（保守按 10mm 钢板考虑），并在有用线束照射区域覆盖 2 张 1mmPb 铅毯进行屏蔽。

周向机探伤时，管壁两侧考虑夹角为 30° 有用线束环射的辐射影响，其他区域考虑有用线束的散射和漏射辐射，以及有用线束照射天空引起的天空反散射影响。周向机在工件内部的照射示意图见图 11-1。

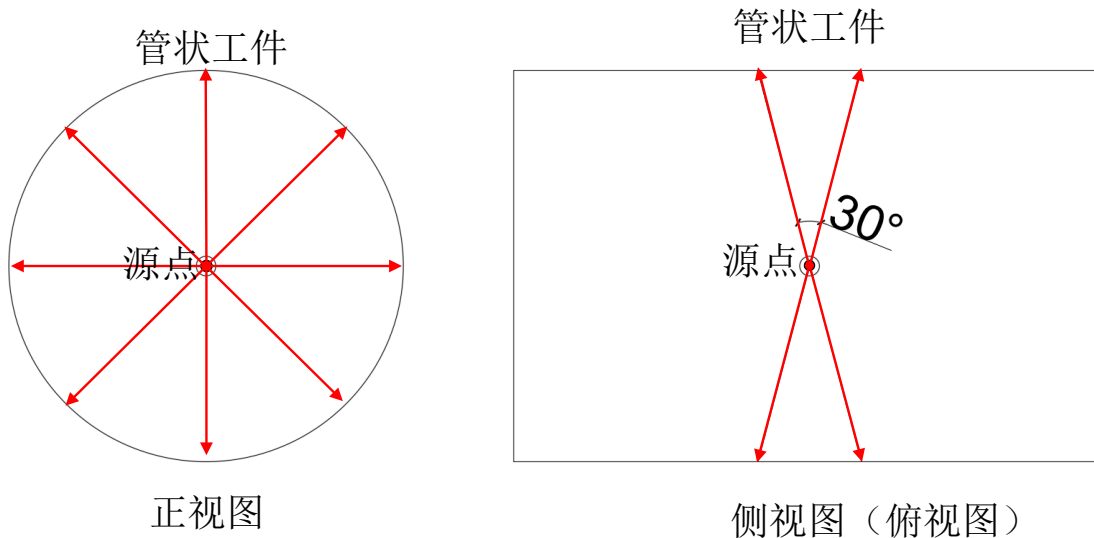


图 11-1 周向机在工件内部的照射示意图

天空反散射对地面影响，参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的关于天空反散射的计算公式：

$$\dot{H}_3 = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{XS} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \quad (11-5)$$

$\dot{H}_3$ 在距离 X 射线源 d_s 处地面，天空反散射的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

B_{XS} 屏蔽透射因子；

Ω 由 X 射线源与射线张角形成的立体角， $\Omega = 2\pi[1 - \cos(30^\circ/2)] = 0.214$ ；

d_i 在工件上方 2m 处离靶的垂直距离，取 2.0m；

d_s 辐射源点至关注点距离，m；

D_{10} 距辐射源点 1m 处剂量率，单位为 $\mu\text{Gy/h}$ 。

对于有用线束，参考《放射防护实用手册》，在 300kV 能量的 X 射线线下，10mm 的钢约等效为 1mmPb，有用线束的屏蔽透射因子保守按公式 11-1 计算。

周向机透射因子的计算参数及计算结果见表 11-3，计算源项参数见表 9，有用线束不同距离的剂量率计算结果见表 11-4，散射剂量率计算参数见表 11-5，非有用线束不同距离的剂量率计算结果见表 11-6。

表 11-3 透射因子的计算参数及计算结果

线束类型	X (mmPb)	TVL (mmPb)	B
有用线束 (天空反散射)	3.0	5.7	3.0E-01
漏射线束	1.0	5.7	6.7E-01
散射线束	1.0	1.4	1.9E-01

注：1.有用线束方向考虑 10mm 钢板和 2mmPb 铅毯的屏蔽，合计等效为 3mmPb，非有用线束方向考虑 10mm 钢板的屏蔽，等效为 1mmPb；

2.根据 GBZ/T250-2014，有用线束与漏射线束的半价层按 300kV 取 5.7mmPb，散射线束的半价层按 200kV 取 1.4mmPb。

表 11-4 周向机有用线束方向的剂量率计算结果

距离 (m)	剂量率 (μSv/h)
10	18661.7
50	746.5
100	186.6
150	82.9
200	46.7
250	29.9
300	20.7
353	15.0
400	11.7
500	7.5
700	3.8
800	2.9
865	2.5
900	2.3

表 11-5 周向机散射剂量率计算参数

项目	R ₀ (m)	F (m ²)	a
参数	0.5	0.842	0.0475

表 11-6 周向机非有用线束的剂量率计算结果

距离 (m)	泄漏线束的剂 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射线束的剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	天空反散射的剂 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
10	33.38	1936.6	15.72	1985.7
30	3.71	215.2	1.75	220.6
50	1.34	77.5	0.63	79.4
75	0.59	34.4	0.28	35.3
100	0.33	19.4	0.16	19.9
116	0.25	14.4	0.12	14.8
150	0.15	8.6	0.07	8.8
200	0.08	4.8	0.04	5.0
250	0.05	3.10	0.03	3.2
282	0.04	2.44	0.02	2.50
300	0.04	2.2	0.02	2.2

由表 11-5 可知，本项目使用周向机进行探伤时，有用线束方向距离辐射源点 353m 处剂量率为 $15\mu\text{Sv/h}$ ，距离辐射源点 865m 处叠加剂量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。由表 11-6 可知，本项目使用周向机进行探伤时，非有用线束方向距离辐射源点 116m 处叠加剂量率为 $14.8\mu\text{Sv/h}$ ，距离辐射源点 282m 处叠加剂量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2 分区距离估算

《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对移动式探伤的辐射防护分区的规定：一般将作业时被检物体周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的范围内划为控制区，控制区边界外周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围内划为监督区。

根据上面的剂量率估算结果，因此本项目使用定向机时保守将距离源点 35m 处划为控制区边界，距离源点 86m 处划为监督区边界，定向机分区示意图如图 11-2 所示。使用周向机时，保守将有用线束方向距离源点 353m 处划为控制区边界，距离源点 865m 处划为监督区边界。非有用线束方向距离源点 116m 处划为控制区边界，距离源点 282m 处划为监督区边界。周向机分区示意图见图 11-3。

理论计算结果仅为本项目 X 射线现场探伤控制区和监督区的划分提供参考。实际探伤过程中 X 射线探伤机的管电压的降低、被检测工件的厚度的增加以及探伤现场的遮蔽物都会使辐射场的辐射剂量率水平下降，从而缩小控制区和监督区的范围。

在实际探伤过程中探伤工作人员应根据 GBZ117-2022 的要求，在第一次曝光开始前，根据上述理论估算值和经验划定并标识出控制区边界，在试运行或第一次曝光期间，借助便携式剂量率仪进行检测或修正，将现场探伤作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为控制区，将控制区边界外作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区。

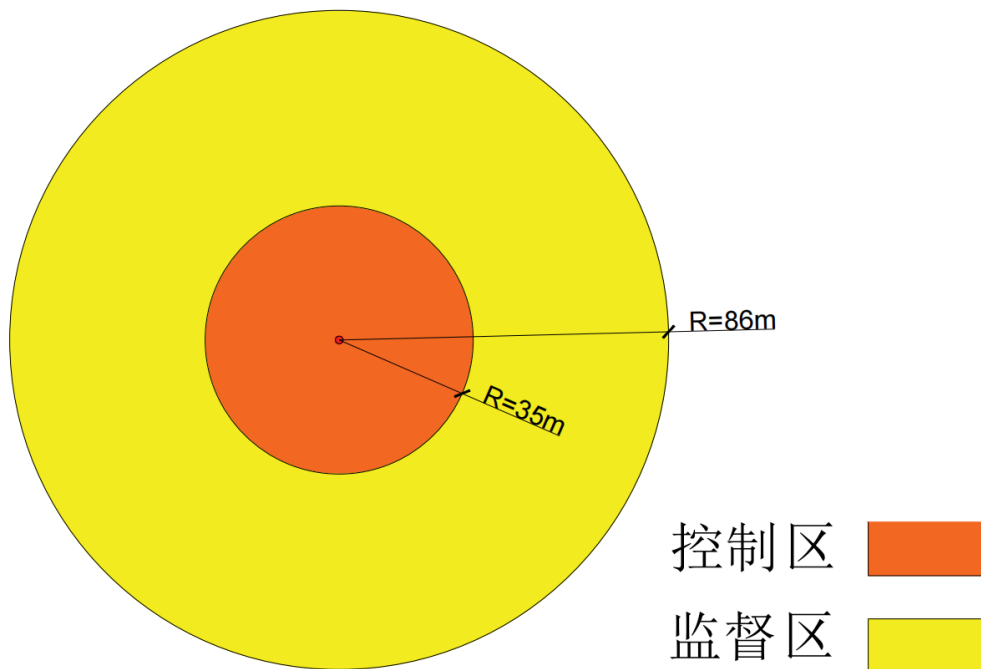


图 11-2 定向机分区示意图

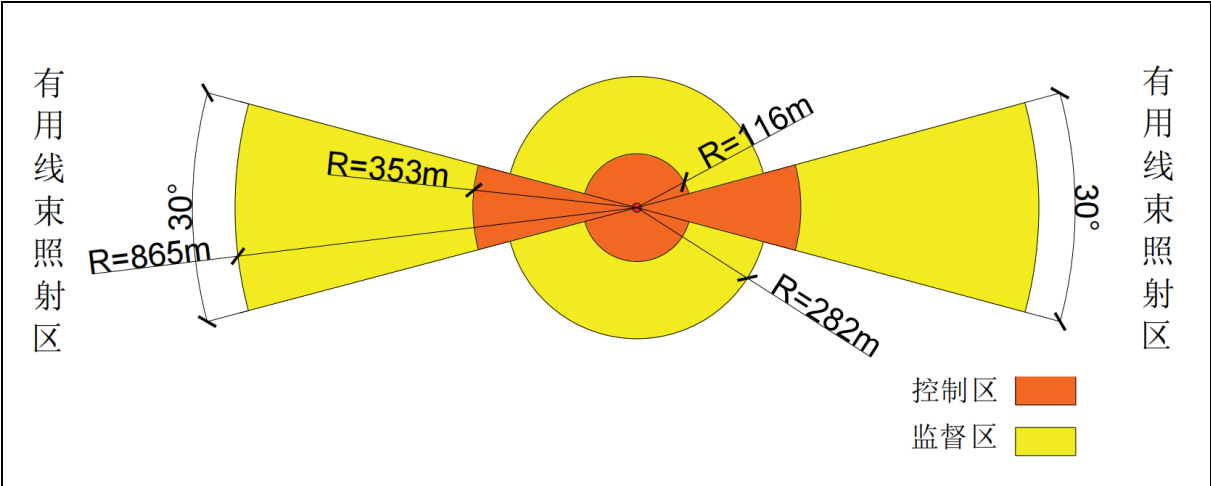


图 11-3 周向机分区示意图

11.3 人员受照剂量分析

保守以控制区边界的剂量率 $15\mu\text{Sv/h}$ 作为工作人员的受照剂量率，以监督区边界的剂量率 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 作为公众的受照剂量进行估算，人员受照剂量按公式 11-6 进行估算。根据表 9 工作负荷，估算结果见表 11-7。

$$E = \dot{H} \times t \times T \tag{11-6}$$

其中：

E：保护目标的受照剂量， $\mu\text{Sv/周}$ 或 mSv/年 ，以 mSv/年 为单位时还应 $\times 10^{-3}$ ；

$\dot{H}$ ：保护目标的受照剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t：本项目周出束时间或年出束时间，h；

T：保护目标的居留因子。

表 11-7 保护目标受照剂量估算结果

保护目标	受照剂量率	周出束时间	年出束时间	居留因子	周剂量当量 ($\mu\text{Sv/周}$)	年有效剂量 (mSv/年)
辐射工作人员	$15\mu\text{Sv/h}$	0.75h	37.5h	1	11.3	5.6E-01
公众	$2.5\mu\text{Sv/h}$	0.75h	37.5h	1/40	4.7E-02	2.3E-03

表 11-7 显示，本项目评价范围内辐射工作场所的周最大剂量当量为 $11.3\mu\text{Sv/周}$ ，公众场所的周最大剂量当量为 $4.7\text{E-}02\mu\text{Sv/周}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》

(GBZ117-2022)规定的“对放射工作场所,其值不大于 100 μ Sv/周,对公众场所,其值应不大于 5 μ Sv/周”的要求;本项目评价范围内辐射工作人员年最大有效剂量为 5.6E-01mSv/a,公众年最大有效剂量为 2.3E-03mSv/a,满足“辐射工作人员不超过 5mSv/a、公众不超过 0.25mSv/a”的年有效剂量约束要求,满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

11.4 事故影响分析

11.4.1 辐射事故类型

(1) 探伤现场控制区和监督区划分不合理,探伤过程中未对两区边界辐射水平进行监测,导致工作人员和周围公众受到不必要的照射;

(2) 对现场管理不到位,射线出束时有工作人员滞留控制区,导致工作人员受到不必要的照射;

(3) 设备控制系统发生故障,无法停止出束,造成人员不必要的照射。

本项目最严重的事故情景为:(2)人员在控制区内受到有用线束的直接照射。假设辐射工作人员距离出束口位置约 1 米,从发现意外出束后约 10s 发现并停止出束,则人员的受照剂量约为 $20.9 \times 60 \times 5 \times 10 / 3600 = 17.42 \text{mSv}$ 。

则本项目发生的辐射事故时,工作人员受到的意外受照剂量超过年剂量约束值,参照《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)第 40 条的分级规定评估各种事故可能的类别,本项目可能发生的辐射事故为“射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射”的类别,属于一般辐射事故。

11.4.2 事故预防措施

本项目发生辐射事故的风险主要于现场是否能规范作业、有效管理,应做好如下的防止误照射的措施:

(1) 充分评估现场环境,尽量利用现场的实体屏障作为分区边界,选取最佳的设备布置方式,减小控制区和监督区的范围,从而对现场进行更好的管控。

(2) 探伤过程中,操作人员应实时打开辐射监测报警仪器,加强辐射水平的巡测,当发现辐射水平异常时,应立即停止探伤工作,寻找原因。

(3) 工作人员在工作中应确保控制区、监督区划分合理，做好现场管控。

(4) 定期对设备进行检查，发现异常不得使用。

(5) 为防止事故的发生，必须严格执行各项管理制度，严格遵守制定的现场探伤操作流程和作业指导书，探伤过程中工作人员绝不能随便离岗，要密切观察探伤作业的现场情况。设置现场管理员岗位，专门负责边界巡查、作业规范监督。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

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

建设单位成立了辐射安全管理机构，落实了机构的成员及其职责。其组成名单见表 12-1。

表 12-1 辐射安全管理机构成员一览表

机构	姓名	职务	电话
辐射防护负责人	张焜宁	主管	
成员	毛晶	职员	
	周亭林	职员	

管理小组职责：

（2）结合单位实际负责拟定辐射防护工作计划和实施方案，制定相关工作制度，并组织实施；

（3）做好工作人员的辐射防护与安全培训、防护设施的供应与管理以及辐射防护档案的建立与管理等工作；

（3）组织实施辐射工作人员的职业健康检查和个人剂量监测，按要求建立个人剂量档案；

（4）定期对辐射安全与防护工作进行检查，检查本公司辐射工作人员的辐射安全操作情况，指导做好操作人员的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

小结：建设单位按照相关法规的要求成立了辐射安全管理机构，明确了管理机构人员职责。

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》，使用射线装置的单位应

有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

为规范管理本单位的辐射工作，有效预防和控制可能发生的辐射事故，强化辐射事故危害意识和责任意识，建设单位制定了《辐射安全管理规章制度》（详情见附件 4），包括以下章节：《辐射安全管理机构》、《辐射防护和安全保卫制度》、《岗位职责》、《安全操作规程》、《工作人员培训制度》、《辐射监测方案》、《辐射工作人员职业健康检查》、《个人剂量管理要求》、《射线装置维修维护制度》、《现场工作探伤登记制度》和《辐射事故应急预案》。

小结：建设单位制定的《辐射安全管理规章制度》较全面，易实行，可操作性强，一旦发生辐射事故时，可有效应对，满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求。

12.3 辐射工作人员

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照生态环境部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。对于从事使用Ⅱ类射线装置活动的辐射工作人员，应当接受辐射安全培训。

根据生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发的《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》的规定：自 2020 年 1 月 1 日起，辐射安全上岗培训应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习、报名并参加考核，考核成绩单有效期 5 年。

建设单位拟配置 3 名辐射工作人员，将在项目筹备阶段安排本项目的辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加“X 射线探伤”专业考核，考核通过后方可从事辐射工作。

小结：建设单位制定的辐射工作人员培训计划满足相关法律法规的要求。

12.4 辐射监测计划

12.4.1 个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案；个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案；辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定，职业照射个人剂量档案应终身保存。

建设单位将按照有关要求，对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查，经检查合格后方可从事辐射工作；委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人剂量当量 $H_p(10)$ ，作为相关人员个人有效剂量的估算值，监测周期为 3 个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。

小结：建设单位制定的个人剂量监测计划满足相关法律法规的要求。

12.4.2 工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责。

（1）年度监测

委托检测机构对在用的核技术利用项目进行辐射防护年度检测，每年一次，年度检测数据应作为本单位的射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，于每年 1 月 31 号前上报环境主管部门。

（2）日常监测

配备 1 台便携式剂量率仪，用于移动式探伤过程中的日常监测：

探伤前，应监测监督区和控制区边界距地 1m 高处的环境 γ 辐射剂量率；

初次曝光时，先使用便携式剂量率仪确认分区的合理性，并根据巡测结果调整分区方案；

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

小结：建设单位制定的工作场所辐射监测计划满足相关法律法规的要求。

12.4.3 辐射检测方案

（1）监测周期

建设单位制定的辐射监测周期一览表见表 12-2。

表 12-2 监测周期一览表

类型	内容	频率	方式
个人剂量	辐射工作人员外照射剂量	1 次/三个月	委托检测
工作场所年度检测	监督区和控制区边界周围剂量当量率	1 次/年	委托检测
工作场所日常检测	监督区和控制区边界周围剂量当量率	每次探伤现场分区时，或者调整照射条件后	自行检测

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

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

（2）控制要求

周围剂量当量率控制值：根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，本项目现场划分的监督区边界的周围剂量当量率应不超过 2.5 μ Sv/h，控制区边

界的周围剂量当量率应不超过 15 μ Sv/h。

职业照射剂量约束值：本项目的辐射工作人员受照的年有效剂量应不超过 5mSv/a

（3）工作场所检测方法

- ① 进行移动式探伤时，应通过巡测确定控制区和监督区。
- ② 当 X 射线探伤装置、场所、被检物体（材料，规格，形状）、屏蔽等条件发生变化时，均应重新进行巡测，确定新的划区界线；
- ③ 在工作状态下应检测操作位置，确保操作位置的辐射水平是可接受的；
- ④ 探伤机停止工作时，还应检测操作者所在位置的辐射水平，以确认探伤机确已停止工作。

（4）个人剂量监测方法

工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人剂量当量 Hp（10），作为相关人员个人有效剂量的估算值，监测周期为 3 个月；剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置。

12.5 辐射安全年度评估计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向相关机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

- （1）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （2）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （3）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （4）射线装置台账；

- (5) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (6) 辐射事故及应急响应情况；
- (7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (8) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (9) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

12.6 辐射事故应急

为使本单位一旦发生紧急辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众及环境的安全，建设单位制定了《辐射事故应急预案》，该《预案》包括：辐射事故应急处理机构与职责、预警机制、事故应急处理程序、事故调查和后期处理等。

12.6.1 辐射事故应急机构

建设单位成立了辐射事故应急小组，人员组成见表 12-3。

表 12-3 辐射事故应急小组成员一览表

应急机构	姓名	职务	电话
组长	姜洪亮	副总经理	-
成员	卓小丽	副院长	-
	于孟生	副院长	-
	毛晶	职员	-

应急职责：

辐射事故应急小组的组长为辐射事故应急第一责任人。主要职责为：

- (1) 贯彻执行国家和辐射事故应急处理工作的法律、法规及方针政策；
- (2) 负责公司辐射事故应急处理预案的审定和组织实施；
- (3) 组织、协调和指挥公司应急准备和应急响应工作，包括组织事故调查、评价，审定事故应急处理报告等工作；
- (4) 发生辐射应急处理事故时，向生态环境主管部门和卫生部门报告工作。

其他成员主要职责为：

(1) 定期组织开展辐射应急培训及演练。

(2) 发生辐射应急处理事故时，及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查，出现事故后应尽快有组织有计划的处理，减少事故损失。

(3) 向辐射事故应急小组和公司最高主管报告应急处理工作情况提出控制辐射事故危害，保障员工安全与健康，保护环境等措施建议

(4) 协助上级应急监测组开展辐射监测和评价工作。

(5) 事故处理后对于辐射事故进行记录及整理相关资料。

12.6.2 人员培训和演习计划

为使参加应急处理的人员能熟悉和掌握应急预案的内容，保持迅速、正确、有效地执行应急技能和知识，提高辐射工作人员应付突发事件的能力，应进行培训和演练。

(1) 人员培训

培训对象包括应急预案成员、辐射工作人员；

培训内容包括应急原则和实施程序，辐射安全与防护专业知识，可能出现的辐射事故及辐射事故经验和教训，辐射监测仪器、通讯及防护设施的使用和应急预案执行步骤等。

(2) 演练计划

辐射安全事故应急处理小组须定期（每年一次）组织应急演练，提高辐射事故应急能力，并通过演练逐步完善应急预案。

小结：建设单位按要求成立了辐射事故应急机构，明确了应急分工和职责，制定的《辐射事故应急预案》具有可操作性，保证在发生辐射事故时，做到责任和分工明确，能够迅速、有序处理。

12.7 竣工环境保护验收要求

12.7.1 责任主体

根据《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令第

682 号):“编制环境影响报告书、环境影响报告表的建设项目竣工后,建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序,对配套建设的环境保护设施进行验收,编制验收报告。”建设单位应承担本项目竣工环境保护验收的主体责任。

12.7.2 工作程序

根据《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326—2023),核技术利用项目竣工环境保护验收工作流程主要包括:验收自查、验收监测工作和后续工作,其中验收监测工作可分为验收监测、验收监测报告编制两个阶段;后续工作包括提出验收意见、编制“其他需要说明的事项”、形成验收报告、公开相关信息并建立档案四个阶段。

12.7.3 时间节点

本项目竣工后,建设单位应按照相关程序和要求,在项目竣工后组织自主竣工环保验收,除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外,其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月,需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的,验收期限可以适当延期,但最长不超过 12 个月。验收报告编制完成后 5 个工作日内,公开验收报告,验收报告公示期满 20 个工作日后应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台进行备案。

12.7.4 验收清单

本项目竣工环境保护验收“三同时”清单见表 12-4。

表 12-4 竣工环境保护“三同时”验收清单

项目	内容
辐射防护措施	射线控制台自带有显示屏、曝光时间按钮、蜂鸣器、高压启动开关、高压停止开关/延时设置按钮、警示灯插口、主电源开关等辐射安全设施;
	3 名辐射工作人员每人配备 1 个个人剂量计和 1 个个人剂量报警仪。
	配备 1 台便携式剂量率仪用于现场辐射监测。
	配备 8 条警戒绳、4 个警示灯、4 个警示喇叭、4 个控制区警示牌、8 个监督区警示牌、1 套对讲机、2 张 1mmPb 铅毯等安防用品。
	在实际划分两区时,根据 GBZ117 要求,在控制区边界设置警戒绳、警示灯、警示喇叭和控制区警示牌,防止人员误入;并在监督区设置警戒

	绳和警示牌，提醒公众勿接近辐射工作区。
三废的处理	在暗室设置废物区，采用 2 个 50L 塑料桶对感光材料废物进行暂存，定期委托有资质的危险废物处置单位回收处置。
辐射安全管理	设立辐射安全管理机构，明确职责与分工。
	制定相应的辐射规章制度和应急预案，规章制度应张贴在设备存放间墙面显眼位置。
	辐射防护负责人和辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加考核，持证上岗。
	对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查。 为每个辐射工作人员配备个人剂量计，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。
周围剂量当量率监测情况	本项目属于移动式探伤，控制区边界的周围剂量当量率的控制值为 15 μ Sv/h，设置监督区边界的周围剂量当量率的控制值为 2.5 μ Sv/h。

表 13 结论与建议

13.1 结论

广西交科集团有限公司拟开展工业 X 射线移动式探伤项目，配套使用 3 台工业 X 射线探伤装置，在广西壮族自治区内开展桥梁钢结构对接焊缝的 X 射线探伤，无固定的项目地点。本项目属于核技术利用新建项目。

13.1.1 辐射安全防护及管理结论

辐射安全防护分析表明，本项目拟采取的现场管理和操作安全措施、辐射防护措施、工作场所布局和分区方案、日常检查与维护措施等较合理，满足辐射防护最优化原则及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。

辐射安全管理分析表明，建设单位设置了辐射安全管理机构，制定的辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案、辐射工作人员培训计划、辐射监测计划等较合理，满足《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管理办法》的要求。

13.1.2 环境影响结论

理论分析表明，按要求对探伤现场进行分区管理后，本项目辐射工作人员及公众的有效受照剂量分别低于职业照射和公众照射剂量约束值，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

13.1.3 可行性分析结论

本项目对桥梁钢结构的对接焊缝进行 X 射线探伤，为消除缺陷隐患奠定基础，对桥梁工程的安全运行具有重要意义，所造成的辐射影响轻微、可控。本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“三十一、科技服务业 5. 检验检测认证服务”类别，为鼓励类产业，从代价和利益的角度考虑，符合辐射实践的正当性。

综上所述，在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，本项目对环境的辐射影响能够满足国家有关法规和标准的要求，从环境保护的角度考虑，该核技术利用建设项目是可行的。

13.2 建议

1、尽快组织本项目的辐射工作人员参加辐射安全与防护培训和考核，通过考核后方可从事辐射工作；

2、结合后期运行和管理情况，不断完善辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，使之更具有实操性和针对性。

