DR技术在长输管道固定连头根焊检测中的应用

余国民　李新宁
北京隆盛泰科石油管科技有限公司　北京　100020

摘　要：长输管道固定连头根焊施工容易产生隐蔽性焊接缺陷，传统检测手段存在一定局限性，其检测效率、检测精度与数据管理能力都难以满足现场施工管控标准。本文对数字化射线检测技术的应用方式展开研究，分析该技术的工作原理与设备组成，梳理整套标准化检测工序，归纳现场检测工作的质量控制要点。该技术能够弥补传统检测方式的不足，可为长输管道根焊无损检测的质量管控工作提供可行的技术参考。

关键词：长输管道；固定连头；根焊检测；DR技术；质量控制

引言：长输管道固定连头根焊施工质量，对管道后续运行安全和使用周期有着直接影响。野外施工环境的不确定性，会让根焊焊缝产生较多隐蔽性缺陷，常规检测手段的综合性能已经无法适配当下工程质量管控标准。本文依托现场施工实际情况，系统梳理DR检测技术的应用流程与质量控制内容，探析该技术在管道根焊检测中的实际应用价值，能够为同类型管道焊接检测工作提供规范的技术参照依据。

1 长输管道固定连头根焊检测概述

长输管道固定连头焊接属于非常规施工工序，现场作业条件会限制设备布置与人员操作，施工过程比较依赖人工施焊，管道对接偏差和外界环境干扰，都会让根焊工序产生各类隐蔽缺陷。这类缺陷包含未焊透、气孔、夹渣和微裂纹等类型，缺陷会破坏焊缝结构完整性，会给管道长期运行带来安全隐患[1]。现阶段工程常用的传统胶片射线检测方式存在一定缺陷，检测精度和作业效率都比较有限，数据存储追溯工作也难以开展，现场适配能力不足。DR数字射线检测技术具备精度高、效率快、数据可留存、环保性好等多项优势，可以弥补传统检测方式的不足，能够满足现阶段长输管道固定连头根焊检测的数字化与精细化管控需求。

2 DR 检测技术核心原理与系统构成

2.1 DR技术成像核心原理

DR检测技术主要依靠X射线穿透衰减特性和数字信号转换原理完成焊缝检测工作。设备工作时会发射X射线，射线穿过管道根焊焊缝位置时，致密金属和缺陷区域对射线的吸收程度会产生区别。焊缝内部存在缺陷的位置密度更低，射线穿透量更大，完整金属区域的射线穿透量相对更小。平板探测器可以采集这类差异化射线信号，并将信号转换为数字信号传输至计算机设备。工作人员可以借助图像处理软件优化原始成像画面，根据图像灰度变化和影像形态，判断焊缝缺陷的具体情况。该技术能够灵活调整图像参数，整体检测的精准度会优于传统胶片成像检测方式。

2.2 DR检测系统核心组成

适用于长输管道固定连头根焊检测的DR设备多为便携式结构，能够适应野外复杂的施工环境，整套设备主要分为四个工作模块，各个模块相互配合，以此保障检测工作的稳定开展。射线发生模块可以输出可控的X射线，工作人员能够根据管道实际规格调整设备参数，适配狭小的作业空间[2]。平板探测器模块负责采集射线信号，设备成像灵敏度较高，可以有效捕捉焊缝根部的细微缺陷，减少漏检问题的发生。图像传输处理模块能够完成图像传输和优化工作，可清晰呈现焊缝缺陷细节。辅助工装模块能够固定检测设备，保障设备运行稳定，也能提升现场作业的整体安全性。

2.3 DR技术核心技术特性

DR技术可以适配长输管道固定连头根焊的现场检测条件，该技术对比传统检测方式具备多项实用性能优势。该设备拥有良好的成像灵敏度，设备可以识别焊缝根部的细小缺陷，能够满足隐蔽缺陷的检测工作需要。设备成像速度较快，整体检测流程相对简单，能够有效缩减现场检测耗费的时间。检测图像能够借助软件进行调整优化，可以降低野外作业环境带来的干扰，提升缺陷判定的准确程度。所有检测数据都可以以数字形式保存，方便后期查阅与追溯，也可以契合现行工程质量的管理要求。便携式设备的环境耐受能力较强，可以在各类复杂野外场地稳定开展检测工作。

2.4 DR与传统RT检测技术差异化对比

DR检测技术和传统RT胶片检测技术存在较为明显的性能差异，相关差异可以从多个工程应用维度进行对比分析。传统RT检测的成像分辨率比较固定，缺陷识别

能力有限，作业流程繁琐且检测效率偏低，检测数据的保存与调取工作存在不便，作业过程还会产生污染废弃物，整体使用成本相对更高。DR检测技术可以动态调整成像参数，检测结果的准确度会更高，检测作业的整体流程更加简便，数据可以实现数字化保存和长期追溯，设备后期维护成本较低，作业过程也不会产生污染物，综合使用优势更加明显，能够更好地适配现阶段管道根焊检测的施工与管理要求。

3 DR 技术在固定连头根焊检测中的标准化应用流程

3.1 检测前期准备

检测前期准备工作能够保障DR检测作业的精度与整体安全性，相关准备内容主要包含设备校准、工况核查以及安全防护三个基础环节。工作人员需要在检测作业开展前对DR检测设备进行整体校准处理，调试配套图像处理软件，确认设备运行参数符合行业规范要求，以此规避设备精度偏差带来的检测误差。作业人员还要清理管道焊接作业表面的各类杂质，核对管道规格参数与现场施工环境条件，初步确定检测所需的工艺参数，同步完成现场焊口信息的登记工作。工作人员需要按照行业规范划定检测警戒区域，落实现场防护措施，检查设备的绝缘与接地状态，消除现场作业存在的安全隐患，保障野外DR检测作业可以合规稳定开展。

3.2 设备精准布设与参数调试

长输管道固定连头的作业空间较为狭小，设备布设的精准程度会直接影响最终成像效果，工作人员需要按照规范要求完成设备的安装与固定工作。现场一般采用双壁单影的透照方式布置检测设备，工作人员需要合理摆放射线发生装置与探测设备的位置，让射线可以垂直对准焊道中心，保证检测范围可以完全覆盖焊缝及周边热影响区域。工作人员需要借助专用夹具固定设备位置，避免设备在作业过程中出现晃动和偏移的情况[3]。设备安装完毕以后，工作人员需要结合管道的管径与壁厚参数调整设备曝光配置，同时根据现场光照、湿度等环境条件微调设备工作参数。现场需要完成试拍检测工作，工作人员可以根据试拍图像调整画面参数，去除环境因素带来的图像干扰，保障成像质量可以满足正式检测的基本标准。

3.3 正式成像检测与图像优化

工作人员在完成设备调试与前期准备工作后，就可以开展正式的成像检测工作，作业人员需要遵照规范的曝光方式完成管道根焊的全周检测，以此避免出现检测漏点。检测人员一般会采用远程操控的方式启动设备成像，能够有效规避射线辐射带来的安全风险。单道焊口检测结束以后，工作人员需要利用专业软件处理采集到的检测图像，适配根焊检测的成像特点完成图像优化工作。工作人员需要对图像进行降噪处理、细节增强、灰度调整和尺寸标定等基础操作，以此消除现场环境带来的成像干扰，突出焊缝根部的缺陷特征，同时记录好相关检测数据。整套成像与优化操作需要按照统一标准执行，工作人员不能随意改动设备参数，能够有效减少人为操作造成的检测误差，保障检测数据的真实性与完整性。

3.4 缺陷评定与数据归档管理

工作人员在完成图像优化处理以后，需要参照现行行业标准与管道施工验收规范开展焊缝缺陷评定工作。工作人员可结合成像画面的形态特征判别根焊缺陷的具体类型，再根据缺陷的尺寸大小、分布位置和密集程度划定焊缝质量等级，以此确定焊口的验收状态。存在超标缺陷的焊口需要被完整记录相关参数，工作人员需要整理对应的检测资料，为现场焊接返修工作提供数据参考。所有检测工作结束后，工作人员需要统一整理各类检测资料并完成归档处理，相关数据会按照工程编号与施工时间建立数字化档案，同步上传至工程管理平台完成留存溯源。工作人员也会定期整理检测数据，总结根焊缺陷的产生规律并反馈给施工班组，相关工艺可以得到持续优化，以此搭建完整的质量管控闭环体系。

4 DR 技术在固定连头根焊检测中的应用质量控制要点

4.1 设备精度管控

设备检测精度会直接影响DR检测结果的可靠程度，施工单位需要搭建常态化的设备管控体系，以此规避设备精度偏差引发的检测误差。工作人员需要按照通用计量规范开展设备校准工作，企业可以每季度对整套DR检测系统进行内部校准，每年委托具备资质的计量机构完成专业检定工作，检定内容主要包含设备成像精度、射线输出稳定性和尺寸测量准确度等关键指标，所有检定数据都需要整理归档留存。操作人员需要在每次野外作业前后检查设备整体状态，及时清理设备表面污物，检查线路结构和工装配件的完好情况，避免设备故障干扰成像质量[4]。作业结束后，工作人员需要对设备进行防护存放，降低设备损耗速度。相关单位还需要建立检测参数数据库，结合管道施工工况设定标准参数，现场作业人员不得随意改动设备核心参数，作业前需要核对参数适配情况，以此保障检测工作的规范性与准确性。

4.2 作业工艺管控

野外检测作业的施工场景普遍存在复杂性，标准化的工艺管控能够减少人为操作引发的检测误差，是提升

DR检测整体质量的重要方式。工艺管控工作主要围绕作业流程规范、操作标准执行以及现场工况适配三个维度开展。作业人员需要按照标准工序推进检测工作，依次完成各项作业内容，每完成一道工序都需要开展质量核查，核查合格后才能继续后续施工。工作人员需要根据现场实际情况调整检测方案，作业环境出现变化时，设备布置方式和运行参数都需要做出对应调整，以此适配不同的施工条件。检测作业的核心操作需要由持证在岗人员负责执行，非专业人员不得操作检测设备。工作人员在处理检测图像的过程中，不能随意修改设备运行参数与原始影像数据，这样能够保障检测成果的真实性，也可以维持检测工作的整体客观性。

4.3 图像评定管控

焊缝图像评定的规范性，是保障管道根焊检测结果准确的关键，完善的管控机制可以减少检测过程中出现的错评、漏评问题。检测人员需要依照国家及行业现行标准开展评定工作，结合项目实际质量要求统一判定尺度和焊缝质量等级，杜绝依托个人主观经验完成判定作业。施工单位需要执行双人复核制度，由两名持证检测人员独立完成图像评定，评定结果一致后方可归档资料。若两次评定结果存在偏差，工作人员需要核对图像细节与检测参数，通过集体研判的方式确定最终结论。检测人员需要准确识别焊缝缺陷成像特征，区分真实缺陷与设备噪点、外界杂物带来的伪缺陷影像，以此规避判定失误，保障所有焊口检测数据真实可靠。

4.4 环境与安全管控

长输管道固定连头的检测作业多在野外露天环境开展，现场环境条件与安全管理工作，都会对检测精度和作业稳定性产生直接影响，这就要求作业全过程落实环境与安全管控措施。工作人员需要做好作业环境管控，在恶劣天气下停止检测施工，维持作业场地的整洁干燥，保障检测设备可以维持稳定运行状态[5]。现场射线安全防护工作需要严格落实，作业人员需要设置警戒区域并安排专人值守，管控设备辐射范围与曝光时长，按规定佩戴防护用具并定期参与职业健康检查。工作人员需要提前排查野外作业场地的各类安全风险，针对设备做好防滑、防坠落与防漏电防护工作，规避设备损坏、人员受伤等问题，保障野外DR检测作业能够安全、有序且稳定地开展。

结束语

综上所述，数字化射线检测技术适配长输管道固定连头根焊的野外施工场景，该技术弥补了传统检测方式存在的各类短板，在检测精度、作业效率和数据留存方面都具备明显优势。规范落实该技术的整套检测流程，做好设备、工艺、评定及现场环境的全方位质量管控，能够有效降低检测误差，减少焊缝缺陷漏判、误判问题。稳定的检测作业与完善的质控体系，可以切实提升管道根焊施工的整体质量，保障长输管道长期运行的稳定性与安全性，契合管道工程精细化质量管控的发展需求。

参考文献

[1]孙正卓.长输管道全自动焊接机组的管理现状分析[J].中国金属通报,2021(14):291-292.

[2]高阳.长输管道施工常见焊接缺陷及控制措施分析[J].石油和化工设备,2026,29(6):172-174.

[3]张玮博.油气长输管道地面焊接技术控制因素分析与优化[J].化工设计通讯,2025,51(7):113-115.

[4]蔡亮.长输管道自动焊工艺关键技术探讨[J].全面腐蚀控制,2022,36(8):68-70.

[5]萧成珺,贾航,蒲飞航.长输天然气管道环焊缝安全状况等级评定及修复[J].建材技术与应用,2022(5):45-48.