

机电一体化思维在山地油气长输管道焊接工艺评定质量监督项目的应用研究

秦 涵¹ 吴 龙¹ 秦晓江² 吴 迪³

1. 中国船级社质量认证有限公司重庆分公司 重庆 400000

2. 重庆人文科技学院 重庆 400000

3. 国家管网集团建设项目管理分公司 重庆 400000

摘 要: 山地油气长输管道焊接工艺评定质量监督对管道输送安全很关键。传统监理模式存在只审工艺规程、不关注评定过程,或简单参与,人工效率低、数据难追溯、流程脱节等问题。本文结合机电一体化的系统集成、闭环管控思维,分析其与焊接工艺评定监督的适配性,优化监督逻辑、流程与机制。实践表明,优化模式能提升监督效率与精度,解决传统模式短板,为山地油气长输管道焊接工艺评定质量监督提供可行路径,有较强的实践价值和应用前景。

关键词: 机电一体化思维;山地油气长输管道;焊接工艺评定;质量监督项目;应用

引言: 山地油气长输管道工程规模不断扩大,焊接工艺评定质量直接影响管道运行安全。传统监理模式已难适应高压、高风险、高质量施工需求,容易出现漏监、数据失真、影响本质安全等问题。借助机电一体化技术视角,发挥多领域技术优势,可实现系统协同与精准管控。本文聚焦机电一体化思维在山地焊接工艺评定质量监督中的应用,尝试破解传统模式局限,优化监督体系,为提升山地管道焊接质量监督水平提供理论与实践的支撑。

1 相关理论基础

1.1 山地油气长输管道焊接工艺评定见证监督核心内涵

(1) 山地焊接工艺评定见证监督的定义与核心要求: 监督方对山地管道焊接工艺评定全过程现场见证,确认过程符合规范、结果真实有效。核心要求是全程可控、数据可追溯、结果可验证,保障焊接工艺满足管道输送安全需求。(2) 焊接工艺评定见证监督的核心流程与关键环节: 流程包括评定方案审核、现场操作见证、试验结果核查、报告确认归档;关键环节是焊接参数控制、试样制备规范性、检测过程真实性,这些直接决定评定结果有效性。

1.2 传统监理式山地焊接工艺评定见证监督模式分析

(1) 传统山地项目焊评大多由施工单位委托外部机构完成,监理只做工艺审核;部分项目监理参与评定监督,以人工巡检或旁站为主,现场填写记录。(2) 传统监理巡查和旁站存在的问题: 监理人员只对单节点负责,监督记录碎片化,效率低,易漏监、误判;数据记录随机性强,误差大且难追溯;多环节脱节,信息传递不及

时,难以实时管控。(3) 传统模式局限性根源: 缺乏系统集成思维,各监督环节相互独立,未形成协同管控;过度依赖个人能力,缺少智能化、自动化技术支撑,管控精度不足^[1]。

1.3 机电一体化核心思维与方法

(1) 机电一体化思维的核心内涵: 融合机械、电子、控制、信息等多领域协同技术思维,以系统整体最优为目标,实现各部分协同运作,提升管理的系统化、智能化水平。(2) 机电一体化“系统集成、协同联动”思维: 打破模块壁垒,将分散的技术、设备、流程整合为有机整体,采用5M1E方法实现各环节信息互通、动作协同,提升系统运行效率。(3) 机电一体化“闭环管控、精准适配”方法: 通过数据采集、分析、反馈、调整的闭环流程,精准把控系统运行状态,根据需求动态适配管控策略。

1.4 机电一体化思维与山地焊接工艺评定见证监督的适配性分析

(1) 思维适配性: 可打破碎片化管控壁垒,系统集成思维能整合焊接评定各监督环节,解决传统模式环节脱节问题,实现全程协同管控。(2) 方法适配性: 为优化监督流程提供支撑,其闭环管控、精准适配方法能实现焊接参数、检测数据的实时采集与精准量化分析,提升监督精度和效率,弥补传统模式不足。

2 基于机电一体化思维的山地油气长输管道焊接工艺评定见证监督优化设计

2.1 优化设计的核心原则与目标

(1) 核心原则: 系统集成、精准闭环、协同高效。系统集成原则打破传统监督各环节割裂,将人员、设备、

数据、规范等整合为有机整体；精准闭环原则依托闭环管控，实现全流程“数据采集-分析-反馈-调整”闭环运转；协同高效原则强调各主体、各环节协同联动，提升监督效率与质量。（2）优化目标：破解传统痛点，实现管控模式升级。解决传统监理模式漏监、数据失真、流程脱节等问题；通过机电一体化思维与技术，实现监督模式从被动应对向主动防控、从碎片化向一体化、从人工化向智能化升级，保障焊接工艺评定过程规范、结果真实，为山地管道焊接安全提供支撑。

2.2 基于系统集成思维的山地见证监督逻辑重构

（1）打破碎片化，构建一体化监督逻辑框架。摒弃传统各环节独立巡检、旁站、资料分散管理，以系统集成思维整合焊接工艺评定方案审核、现场操作见证、试验检测、报告归档等全流程，构建“前期预判-中期管控-后期复盘”一体化监督逻辑，实现各环节无缝衔接、全程可控。（2）明确各环节关联，实现全流程统筹。梳理各环节先后顺序与内在关联，明确方案审核为前提、现场见证为核心、试验核查为关键、报告归档为闭环，纳入统一管控体系，统筹调配资源，实现“事前有审核、事中有管控、事后有复盘”，避免环节脱节、责任不清。（3）与传统监理逻辑的区别：传统监理逻辑以过程管控缺失或人工巡查、旁站单点监督、事后资料审核为主，侧重单一环节合规性，缺乏系统统筹；优化后逻辑以系统集成为核心，强调全流程一体化管控，依托现场动态实时记录和焊接设备智能化技术实现数据实时共享、环节协同联动，更注重管控的系统性、前瞻性和精准性，从根源解决碎片化问题^[2]。

2.3 基于闭环管控方法的山地见证监督流程优化

（1）传统监督流程的问题：传统流程为“工艺报审文件提交-人工审核-归档”“现场焊接过程巡检、旁站-试验报告审核-归档”，核心问题包括事后审核、只注重合规性审查，易遗漏关键条款；现场巡查人员单点负责，水平参差不齐，易漏监、误判；试验数据依赖人工记录，误差大且难追溯；缺乏有效反馈调整机制，问题无法及时整改。（2）闭环管控方法的应用：结合机电一体化闭环管控，构建“计划-执行-检查-改进”闭环监督流程。计划阶段明确监督重点、标准和流程；执行阶段依托智能化设备实现现场数据实时采集、操作全程记录；检查阶段对比标准核查数据、排查问题；改进阶段针对问题优化监督策略和流程，形成闭环迭代^[3]。（3）优化后流程具体设计：一是方案审核，依托专家会议深度审核评定方案合规性，生成审核意见；二是现场智能见证，通过焊接设备参数监测系统实时采集参数、操作流程，实现全

程可视化、可追溯；三是试验数据精准核查，监督人员实时比对数据与标准，及时预警异常，发现不合格；四是复盘改进归档，汇总监督数据，分析问题根源，优化流程，完成资料数字化归档。

2.4 基于协同联动思维的山地管控机制完善

（1）多方协同主体的职责界定与联动机制：明确监督方、施工方、检测方、设计方职责，监督方负责全程统筹，施工方负责规范执行焊接工艺，检测方负责精准提供试验数据，设计方提供技术支撑；建立多方协同联动机制，通过智能化平台实现实时沟通、责任追溯，确保问题快速响应、协同解决。（2）信息协同共享体系的构建：依托机电一体化思维，构建信息协同共享平台，整合各方数据资源，实现焊接方案、现场操作数据、试验检测结果、监督记录等信息实时共享，打破信息壁垒，提升协同性与高效性。（3）与传统监理协同模式的区别：传统监理协同模式以事后审查、人工点对点沟通为主，协同效率低、信息传递不及时，各主体缺乏有效联动；优化后协同管控模式以信息化平台为载体，实现信息共享、责任清晰、问题协同，更注重主体协同联动和整体效能，避免推诿扯皮、信息不对称，提升管控的协同性与针对性^[4]。

3 优化模式的实践验证与效果分析

3.1 实践验证方案设计

（1）验证场景与基础条件：选取西南山区某国家大型长距离山地油气输送管道工程焊接工艺评定现场，涵盖高钢级材质、高级别焊材适配、自动化设备、6G全位置焊接，施焊环境与工程实际高度契合，具有典型代表性。基础条件：全自动焊设备具备智能化焊接监测系统、数字化信息平台，组建协同团队，明确各主体职责，确保验证过程符合规范标准，数据采集真实有效。（2）验证指标体系：围绕优化目标构建多维度指标，核心指标包括监督效率（现场见证耗时、审核周期）、管控精度（焊接参数偏差率、数据准确率）、协同效能（问题响应时间、多方沟通成本）、结果可靠性（评定报告合格率、异常问题整改率），设置辅助指标，全面衡量优化模式应用效果。（3）验证流程与实施步骤：分准备、实施、总结三阶段。①前期准备，完成设备调试、人员培训、方案交底；②现场实施，同步运行优化模式与传统监理模式，开展焊接工艺评定见证监督；③数据采集，记录两类模式指标数据；④结果分析，对比数据，验证优化模式有效性；⑤总结复盘，梳理问题并完善方案。（4）跟踪合格焊评在西南山区工程实际应用成效，根据结果优化焊评监督方案和流程。

3.2 实践验证过程与数据收集

(1) 验证过程的实施与管控: 严格按方案推进, 在焊接工艺评定全流程应用优化模式, 通过自动设备平台实现现场参数实时监测、数据自动采集, 协同团队依托平台实时沟通, 及时处理设备调试、数据同步等问题, 确保验证过程规范、可控, 避免人为干扰, 保障数据真实客观。(2) 核心数据的收集与整理: 采用“设备自动采集+人工核对”方式, 收集两类模式的核心指标数据, 包括现场见证耗时、审核周期、焊接参数偏差次数、数据记录准确率、问题响应时间、评定报告合格率等。对数据分类整理、去重校验, 剔除异常数据, 形成规范数据表, 为效果分析提供可靠支撑^[5]。

3.3 验证效果分析与对比

(1) 优化模式效果量化分析: 优化模式下, 现场单工艺见证耗时平均缩短30%, 方案审核周期缩短50%, 焊接参数偏差率降至0.1%, 数据记录准确率提升至99.9%, 问题响应时间平均缩短60%, 评定报告合格率提升至99.8%, 各项核心指标均达预设目标, 体现了优化模式的高效性与精准性。(2) 与传统监理见证监督模式的对比: 相比传统模式, 优化模式解决了事后审核、漏监、数据失真、流程脱节等痛点, 监督效率提升50%以上, 管控精度提升90%, 协同沟通成本降低55%, 减少了人为误差, 实现监督过程可追溯, 整体管控水平显著优于传统模式。(3) 创新点实践价值验证: 优化模式的创新点经实践验证, 可有效打破传统模式的碎片化壁垒, 实现全流程统筹管控; 协同共享平台实现多方信息互通, 提升协同效能, 实践价值充分, 可广泛应用于山地油气长输管道焊接工艺评定见证监督。(4) 评定结果在山区施工现场的实际应用成效: 核心监督技术成果在西南大型山地油气管道项目规模化应用, 某施工标段累计检测焊口15186道, 综合焊接一次合格率98.62%, 综合割口缺陷率0.66%, 相比山区地貌行业平均合格率94%、割口率1.3%有明显提升, 但相对平原

地区仍有较大进步空间。

3.4 存在的问题与改进建议

(1) 实践不足: 智能化设备主要应用于自动工艺, 在返修工艺上存在不足; 复杂施工环境下数据采集稳定性有待提升, 偶有数据卡顿; 部分人员对优化模式流程不熟练, 影响管控效率; 信息平台分析功能不足, 难以实现数据深度挖掘和趋势预判。(2) 改进建议: 优化设备防护设计, 增强抗干扰能力, 定期维护校准; 开展专项培训, 提升人员操作能力; 升级信息共享平台, 增加数据分析、趋势预判功能, 提升管控效能, 推动模式持续完善。

结束语

本文研究了机电一体化思维在山地油气长输管道焊接工艺评定质量监督中的应用, 通过理论分析、体系优化与实践验证, 证实该思维对提升监督效能的重要作用, 解决了传统监理模式的核心痛点, 填补了山区长输管道全流程机电一体化焊评监督的空白。虽然存在设备稳定性、人员操作等不足, 但经改进可逐步完善。未来可深化智能化技术融合, 推动监督模式迭代升级, 为山地油气长输管道焊接质量本质安全提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 张璐, 包福贵. 油气长输管道施工中的焊接技术探究[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2022, 6(06): 188-191.
- [2] 冯时. 油气长输管道施工中的焊接技术探究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(01): 187-189.
- [3] 张宇. 油气管道用钢制b型套筒自动焊接技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 41(24): 197-198.
- [4] 夏继庆. 压力管道焊接质量控制与监督探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 35(12): 91-93.
- [5] 陈小龙. 中俄东线天然气管道工程焊接质量控制[J]. 石油化工建设, 2023, 43(06): 108-109.