

长输管道全自动防腐施工工序衔接中的质量 风险识别与预控机制

梁照栋 管 林

中国石油管道局工程有限公司第三工程分公司 河南 郑州 451450

摘 要：长输管道是能源输送要道，露天安装时的全自动防腐施工对保障其安全耐久意义重大。本文先概述全自动防腐施工技术，分析施工工序划分与衔接关键环节。接着从人为、材料、设备、环境等方面识别质量风险，最后提出建立质量管理体系、风险预警与监控、应急预案制定与演练、培训与教育等预控机制，为长输管道全自动防腐施工质量控制提供参考。

关键词：长输管道；全自动防腐施工；质量风险识别；预控机制

1 长输管道安装全自动防腐施工技术的概述

长输管道作为能源输送的重要通道，露天安装环境下的安全性和耐久性至关重要。全自动防腐施工技术是保障管道长期稳定运行的关键手段，近年来在石油、天然气等长输管道工程中广泛应用。该技术通过自动化设备与智能控制系统有机结合，实现管道防腐作业的高效、精准与可控，显著提升防腐层质量与施工效率。

优势体现在：施工速度快，自动化设备可连续作业，大幅缩短工期；施工质量可控性强，通过实时数据反馈与调整，确保防腐层性能符合设计要求；安全性高，减少人工在露天高空、有毒有害环境中的作业时间，降低安全风险。实际应用中，需根据管道材质、输送介质及露天环境条件等因素，选择合适的防腐材料与工艺。例如埋地且处于露天环境的管道，常采用三层聚乙烯（3PE）防腐结构，利用全自动机械化设备达成防腐层紧密且均匀的包覆效果。全自动防腐施工技术的成功实施还依赖完善的施工管理体系与质量控制措施，从施工前的管道表面预处理，到施工过程中的工艺参数监控，再到施工后的质量检测与评估，每个环节都需严格遵循相关标准与规范，确保防腐层的长期有效性。随着物联网、大数据等技术的发展，全自动防腐施工正朝着智能化、远程化方向迈进，为长输管道的安全运行提供更可靠保障^[1]。

2 长输管道安装全自动防腐施工工序衔接分析

2.1 施工工序划分

长输管道安装全自动防腐施工在露天场景下需按“流水作业”逻辑划分工序，各环节需适配露天环境下的设备调度与质量控制要求：（1）预处理工序：作为防腐基础，需通过机械化设备完成管道表面除锈与清洁。首先采用全自动抛丸机对管道外表面进行除锈（达到

Sa2.5级标准），去除氧化皮、锈蚀及油污；随后使用高压空气吹扫机，将管道表面残留的丸粒与粉尘彻底清除干净。最后通过露点仪检测管道表面湿度，确保预处理后表面含水率 $\leq 3\%$ （露天环境易受雨雪、露水影响，需严格控制）。（2）机械化施工工序：依托先进的自动化防腐施工机组完成防腐层的构建。以3PE防腐为例，自动化防腐机组各功能模块有序协作。先由特定配合比底漆搅拌均匀后涂覆在管道表面，形成厚度为80-100 μm 的底胶层，期间利用红外测温仪实时监控底胶温度，确保其处于180-200 $^{\circ}\text{C}$ 的适宜范围，以保障底胶的附着性能。接着通过专业设备加热固化，形成厚度150-200 μm 的胶粘剂层。此过程中，同样借助红外测温仪对胶粘剂温度进行实时监控，保证其温度稳定在合适区间，增强与上下层的粘结效果。最后，聚乙烯层收缩套包裹在胶粘剂层外，形成厚度2-3mm的聚乙烯层。施工过程中，红外测温仪持续监控聚乙烯层成型温度，使其保持在220-240 $^{\circ}\text{C}$ ，确保聚乙烯层的质量和性能，进而保证各层间粘结力达标。（3）现场固化工序：露天环境下需通过机械化温控系统实现防腐层固化。对于3PE防腐层，采用中频加热车，配合智能温控器将固化温度控制在120-140 $^{\circ}\text{C}$ ，固化时间根据露天温度动态调整（常温下需4-6小时，低温环境下延长至8-10小时）；（4）检测与修补工序：防腐完成后需进行全流程质量检测与缺陷修补。采用超声波测厚仪检测防腐层厚度（允许偏差 $\pm 0.1\text{mm}$ ），通过电火花检漏仪（电压15kV）检测针孔缺陷，防腐完成后测试仪抽检粘结力（要求 $\geq 50\text{N/cm}$ ）；对于检测发现的缺陷（如针孔、局部厚度不足），采用机械化补口设备进行局部加热、补涂，补涂后需重新检测，确保防腐层完整性。

2.2 工序衔接中的关键环节

露天环境下工序衔接的顺畅性直接决定防腐质量,需重点关注四个核心衔接点:一是预处理与涂覆的衔接:预处理完成后管道表面易受露天环境二次污染(如沙尘附着、露水凝结),需严格控制“预处理-涂覆”间隔时间(晴天 ≤ 2 小时,阴雨天 ≤ 1 小时),且衔接过程中需用防尘罩覆盖管道表面,涂覆前再次通过压缩空气吹扫;同时,预处理后管道温度需与涂覆设备进料温度匹配(要求管道表面温度 $\geq$ 环境露点温度 $+3^{\circ}\text{C}$),避免露天温差导致涂覆层起泡;二是涂覆与固化的衔接:涂覆完成后需立即转入固化工序,露天环境下延迟固化易导致防腐层冷却过快,出现层间剥离。对于3PE防腐层,涂覆后管道采用底漆涂覆工艺,现场借助中频加热车进行固化操作。在温度较低时,利用隔热棉对管道进行保温处理,避免露天低温环境导致涂覆层温度过快散失;同时,要精准把控固化流程与涂覆作业的衔接,确保中频加热车及时对涂覆管道进行固化处理,避免出现“涂覆后待固化”的停滞情况。三是固化与检测的衔接:固化完成后需在露天环境下自然冷却至常温(约2-3小时),再开展检测作业,避免高温状态下检测导致的数据偏差(如超声波测厚仪在高温下误差增大);检测过程中需搭建临时遮阳棚,防止露天强光干扰检测设备读数(如电火花检漏仪显示屏反光),确保检测数据准确;四是检测与修补的衔接:检测发现缺陷后需立即标记并安排修补,露天环境下缺陷部位易受雨水侵蚀,需在标记后1小时内完成修补;修补设备需与检测工位就近布置,修补完成后需在2小时内复检,确保修补质量达标。另外,露天施工中各工序间的设备协同与信息传递尤为关键:需通过无线通讯系统实现预处理机、涂覆工序、固化设备的参数同步(如涂覆速度与固化温度联动调整);建立“工序交接单”制度,每道工序完成后需经质量员签字确认,记录露天环境参数(温度、湿度、风速)及设备运行数据,确保衔接过程可追溯^[2]。

3 长输管道安装全自动防腐施工中的质量风险识别

3.1 人为因素风险

人为因素是长输管道露天全自动防腐施工中不可忽视的质量风险来源,具体表现为:操作技能不足,全自动防腐施工对操作人员技能要求高,若操作人员未经充分培训或经验不足,可能导致设备操作不当、工艺参数设置错误等问题,影响防腐层质量;责任心不强,部分操作人员可能因疏忽大意或责任心不强,在施工过程中未严格按照操作规程执行,如未及时清理管道表面杂质、未按规定时间进行固化处理等,导致防腐层出现缺陷;沟通协调不畅,全自动防腐施工涉及多个工序与多

个作业班组,若沟通协调不畅,可能导致施工计划延误、问题处理不及时等问题,影响整体施工质量。

3.2 材料因素风险

防腐材料质量直接影响防腐层性能,若材料质量不稳定,如涂料粘度不一致等,可能导致防腐层厚度不均、粘结力不足等问题。防腐材料对储存条件要求高,若露天储存环境不符合要求,如温度过高、湿度过大等,可能导致材料性能下降或变质,影响防腐层质量。不同管道类型与输送介质需选用不同防腐材料,若材料选用不当,如未考虑管道所处露天环境的腐蚀性、输送介质的温度与压力等因素,可能导致防腐层过早失效。

3.3 设备因素风险

设备因素是全自动防腐施工过程中不容忽视的重要质量风险来源,全自动防腐施工所使用的设备结构复杂且精密,涵盖自动化喷涂、固化等多个环节的多种设备。若设备维护不到位,未按规定时间和标准进行保养、检修,或设备使用年限过长、老化严重,设备故障会频繁出现^[3]。例如,自动化喷涂设备可能因长期未清理而发生堵塞,导致材料无法均匀涂覆。全自动防腐施工对设备精度要求严格,一旦设备精度不足,如传感器测量数据不准确、控制系统响应迟缓等,会造成工艺参数控制偏差,无法精准控制涂覆厚度等关键参数,影响防腐层的均匀性与粘结强度。而且,全自动防腐施工涉及多种设备与系统协同作业,若设备间兼容性差,会引发数据传输不畅、控制逻辑混乱等问题,严重影响施工效率与质量。

3.4 环境因素风险

露天施工时,温度与湿度是影响防腐材料固化过程和最终性能的关键因素。温度过高,防腐材料可能过快固化,导致内部应力不均,出现开裂等问题;温度过低,材料可能无法充分固化,强度达不到要求。湿度过大,水分可能混入防腐材料中,影响其化学性能;湿度过小,可能导致材料干燥过快,产生裂纹。在户外露天施工时,风速与灰尘也是重要干扰因素。强风会使机械化涂覆作业困难,材料容易飞溅,造成浪费和环境污染,还可能影响涂覆的均匀性。灰尘会附着在管道表面或防腐层上,降低防腐层与管道之间的粘结强度,影响外观质量。另外,长时间暴露在强光或紫外线下,会加速防腐材料的老化过程,使其性能下降,缩短防腐层使用寿命。

4 长输管道全自动防腐施工工序衔接中的质量风险预控机制的建立

4.1 质量管理体系构建

构建完善的质量管理体系是预防质量风险、保障长输管道露天全自动防腐施工质量的基础。首先要制定质量管理制度,清晰界定各级管理人员与操作人员在质量管理中的职责与权限,避免职责不清、互相推诿。同时,制定详细且可操作性强的质量管理流程与操作规程,涵盖施工的每一个环节,确保施工过程严格遵循规范,实现标准化作业。其次,建立质量检查机制,设立专门的质量检查部门或岗位,配备专业检查人员,对施工过程进行全程监控与细致检查。检查内容包括露天管道表面预处理是否彻底、防腐层涂覆是否均匀、固化与检测是否达标等。最后,实施质量追溯制度,为每一根防腐管道建立详细的质量档案,记录施工中的关键数据与检测结果。一旦发现质量问题,能迅速追溯到具体工序与责任人,及时采取整改措施,防止问题扩大^[4]。

4.2 风险预警与监控机制

建立风险预警与监控机制是及时发现并有效处理质量风险的关键。设立风险预警指标,依据历史数据与经验,确定一系列具有代表性的指标,如防腐层厚度偏差率、粘结力下降率等。当实际采集的数据超过预设的预警阈值时,系统自动发出预警信号,提醒管理人员及时关注并采取应对措施。实施实时监控,借助物联网、大数据等技术手段,在施工过程中,通过传感器实时采集工艺参数、设备状态等数据,并运用数据分析模型对数据进行深度分析,预测潜在的质量风险,为管理人员提供科学、准确的决策支持。另外,定期组织专家对施工过程进行全面风险评估,识别新的质量风险点,制定针对性预防措施,同时对现有风险预警与监控机制持续优化改进,提升其有效性与准确性。

4.3 应急预案制定与演练

制定应急预案并定期进行演练是应对突发质量风险的重要手段,针对可能出现的各类突发质量风险,如设备突发故障、材料出现严重质量问题等,制定详细且全面的应急预案。预案内容涵盖应急组织机构的设置与职责分工、应急响应流程的清晰步骤、应急资源的合理调配等,确保在突发情况发生时,能够迅速、有序、有效地进行应对,将损失降到最低。定期组织应急演练活

动,模拟真实的突发质量风险场景,检验应急预案的可行性与有效性。通过演练,提高操作人员的应急处理能力和协同作战能力,使其在真实情况下能够迅速、准确地采取应对措施。每次应急演练结束后,及时总结经验教训,对应急预案进行修订与完善,并将演练成果应用到实际施工中,不断提升应对突发质量风险的能力与水平。

4.4 培训与教育

加强培训与教育是提高操作人员质量意识与技能水平的重要途径,开展质量意识教育,定期组织形式多样的质量意识教育活动,向操作人员深入灌输质量第一的理念,让他们深刻认识到防腐施工质量对于长输管道安全运行的重要性。通过实际案例分析、经验分享等方式,增强操作人员的责任感与使命感,使其在施工过程中自觉严格把控质量。培训内容包括设备操作技巧、工艺参数的精准设置、质量检测方法等,确保操作人员能够熟练掌握相关技能,并严格按照操作规程执行。建立考核机制,对操作人员的培训效果进行定期考核与评估,对于考核不合格的人员,安排补考或重新培训,直至达到合格标准。

结束语

长输管道露天全自动防腐施工工序衔接复杂,质量风险多样。通过构建质量管理体系、建立风险预警与监控机制、制定应急预案并演练以及加强培训教育等预控措施,能有效降低质量风险,保障防腐施工质量。未来,随着技术发展,还需不断优化预控机制,以适应更高标准的施工要求,确保长输管道长期稳定运行。

参考文献

- [1]权涛.中国长输油气管道自动焊技术应用现状及展望[J].化工管理,2021(05):69-70+72.
- [2]李祥,张剑锋,徐海峰.油气管道自动焊接技术的发展探讨[J].石油技师,2020(03):12-16.
- [3]杜保健.天然气长输管道全自动焊接质量的影响因素及管控措施[J].油气田地地面工程,2025,44(05):41-46.
- [4]李玮.油气长输管道焊接施工关键技术探讨[J].石油和化工设备,2025,28(01):89-92.