

Analysis of corrosion causes of long distance pipeline and anti of corrosion strategy during engineering period

Yanchong Hou

National Pipeline Network Group Engineering Quality Supervision and Inspection Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510710, China

Abstract

Long-distance pipeline is the main means of transportation of energy and commodities in China, but the corrosion problem of pipeline poses a serious threat to its safe operation. Through the induction and analysis of the existing scientific research data, we find that microbial corrosion, electrochemical corrosion and stress corrosion produced by water molecules and salt ions are the main causes of the damage of long-distance pipeline. Secondly, combined with the specific engineering situation, we put forward strategies such as design optimization, material selection, anti-corrosion layer addition and electrochemical protection for how to effectively prevent long-distance pipeline corrosion during the engineering period, and conducted empirical tests on these strategies. Research shows that the above strategies can significantly reduce the corrosion rate of long distance pipelines, prolong their service life, prevent safety problems caused by corrosion, and help us to use and manage long distance pipeline resources more effectively.

Keywords

long distance pipeline; corrosion cause; anti-corrosion strategy; electrochemical protection; safety management

长输管道腐蚀原因分析及工程期防腐策略探讨

侯艳冲

国家管网集团工程质量监督检验有限公司，中国·广东 广州 510710

摘 要

长输管道是我国能源和商品的主要运输工具，而管道的腐蚀问题却对其安全运行构成严重威胁。本文通过对已有的科研资料进行归纳和分析，我们发现微生物腐蚀、水分子和盐离子产生的电化学腐蚀、应力腐蚀等是造成长输管道损伤的主要原因。其次，结合具体的工程情况，我们对于如何在工程期有效防止长输管道腐蚀提出了设计优化、材质选择、防腐层的添加、电化学保护等策略，并对这些策略进行了实证检验。研究显示，以上策略能显著降低长输管道的腐蚀速率，延长其使用寿命，防止因腐蚀导致的安全问题，有助于我们更有效地利用和管理长输管道资源。

关键词

长输管道；腐蚀原因；防腐策略；电化学保护；安全管理

1 引言

长输管道是一个非常重要的运输工具，它像我们身体中的血管一样，把能源和商品送到各个地方。但是，就像身体会生病一样，管道也会出现腐蚀的问题，这会使得管道运行出现不稳定情况。文章里讲述了管道为什么会腐蚀，主要是因为一些微小的生物、电的作用和应力。我们需要采取一些有效的方法来保护管道，比如用合适的防腐材料、给管道穿上保护层和用电化学的方式来防止腐蚀。这样可以让管道用得久。希望通过这些办法，我们能够更好地保护这些重要的“运输血管”。

2 长输管道的腐蚀原因分析

2.1 微生物腐蚀的原理与影响

微生物腐蚀是长输管道腐蚀中一个不容忽视的重要因素，其主要由微生物在管道表面附着并代谢生成腐蚀性物质，从而对金属材料产生破坏作用^[1]。这种腐蚀通常发生在埋地或水下管道环境中，特别是在缺氧条件下更加活跃。参与腐蚀的微生物主要包括硫酸盐还原菌、铁细菌和硝酸盐还原菌。这些微生物通过其生物代谢活动，产生如硫化氢、酸性物质等腐蚀性产物，破坏管道的金属结构。硫酸盐还原菌通过还原硫酸盐生成硫化氢，这种气体能够与金属铁反应生成硫化铁，从而加速金属的腐蚀速率。铁细菌则通过氧化亚铁生成铁锈状沉淀，加速腐蚀进程。微生物腐蚀不仅能够引发点蚀、局部均匀腐蚀，还会导致应力腐蚀开裂，严重时甚至可能造成管道泄漏等安全隐患。腐蚀速度不仅取决于菌种

【作者简介】侯艳冲（1987-），男，中国河南洛阳人，本科，工程师，从事长输管道工程建设期避免管道腐蚀研究。

类型，还与环境温度、湿度、管道材质等因素相关。研究微生物腐蚀的机理以及其影响因素，对于制定有效的防腐策略至关重要，从而尽可能地降低管道腐蚀风险，保障长输管道的安全运行。

2.2 电化学腐蚀的过程与效应

电化学腐蚀是长输管道腐蚀的主要形式之一，其过程涉及多个复杂的电化学反应。管道材料通常为金属，曝光在土壤、水分和空气中的不同环境条件下时，会构成一个原电池系统。原电池系统包括阳极、阴极和电解质。阳极区域的金属失去电子发生氧化反应，形成金属离子。这些金属离子通常与环境中的水和氧气等反应生成腐蚀产物，如铁锈。电化学腐蚀的基本反应可表示为 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ （在阳极），以及 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ （在阴极）。

电解质（例如水和土壤中的离子）在阳极和阴极之间传导电流，使得电化学反应得以持续进行。电化学腐蚀的速率和形式受到诸多因素影响，包括金属的成分、环境的pH值、氧气的浓度和温度等。当金属表面存在裂纹或缺陷时，电腐蚀的速率往往更高，腐蚀产物也可能更为严重。

长输管道的电化学腐蚀不仅影响其结构完整性，还可能产生严重的安全隐患。腐蚀产物如氧化铁（铁锈）通常会在管道表面形成一个疏松的层，这一层不仅不能有效防止进一步腐蚀，反而可能促进腐蚀进程。电化学反应导致的离子迁移和电子流动会引发金属的溶解和剥落，最终可能造成管道的穿孔或断裂。

为了控制电化学腐蚀，必须采取有效的监测和防护措施。例如，应用阴极保护技术，通过附加电源使整个金属表面成为阴极，从而防止金属失电子。使用合适的防腐涂层也可以将管道与腐蚀性环境隔离^[2]。

2.3 应力腐蚀的形成及其负面影响

应力腐蚀是长输管道腐蚀中一种极具破坏性的形式，其发生机制复杂且隐蔽，往往给管道的安全运行带来严重威胁。在长输管道的服役过程中，由于材料内部或外部存在的应力，与特定的腐蚀介质相互作用，导致金属在低于其强度极限的条件下发生开裂。这种开裂通常沿着晶界或穿晶扩展，具有突发性和不可预测性，一旦发生，往往迅速导致管道的失效。应力腐蚀的形成受到多种因素的共同影响，包括管道材料的化学成分、组织结构、应力状态以及腐蚀介质的性质等。在复杂的外部环境中，如高温、高压、高湿度或含有腐蚀性离子的土壤和水体中，应力腐蚀的风险显著增加。此外，管道的焊接接头、弯头、三通等几何形状变化处，由于应力集中，也更容易成为应力腐蚀的敏感区域。

预防应力腐蚀需要从多个方面入手，包括优化管道材料的选择，以减少对应力腐蚀的敏感性；改善管道设计和制造工艺，以降低应力水平；加强管道的腐蚀监测与评估，及时发现并处理潜在的应力腐蚀隐患。通过这些措施的综合应用，可以有效降低长输管道应力腐蚀的风险，保障其安全稳定运行。

定运行。

3 工程期防腐策略

3.1 设计优化的重要性及实施策略

设计优化在长输管道的防腐策略中起着至关重要的作用。合理的设计可以有效减少腐蚀因素的影响，从而延长管道的使用寿命。设计优化需要考虑多种因素，包括地质条件、环境因素和管道材料特性等。

在管道路径的选择过程中，应尽量避免腐蚀性较强的土壤和水体。路径设计时，还需综合考虑地形变化，以避免管道长时间处于应力较大的环境中。应采用科学的地质与环境评估手段来支持路径的选择和设计。

对于管道壁厚的设计，应根据输送介质的类型、压力和温度等因素进行计算。在腐蚀风险较高的区域，适当增加壁厚不仅能提高抗腐蚀能力，还能提升管道的耐久性。

设计阶段还应重视管道的接头和焊缝设计，这是腐蚀易发的薄弱环节。采用符合标准的焊接工艺和材料，通过多重检测手段确保接头和焊缝的质量。

在防护设施的设计中，应根据实际情况布设阴极保护系统，以降低电化学腐蚀的发生率。管道设计需确保其与其他地下设施有足够的距离，以防止杂散电流对管道的腐蚀。

通过这些设计优化策略的实施，可以在施工初期有效降低腐蚀风险，为管道的长期平稳运行奠定坚实基础。

3.2 材质选择的原则与建议

材质选择在工程防腐策略中具有至关重要的作用。适当的材质选择不仅可以大幅降低管道的腐蚀速率，还能延长管道的使用寿命，减少维护成本。为实现这一目标，需遵循以下几个原则。

第一，应选择耐腐蚀性能优异的材料。目前，常见的耐腐蚀材料包括不锈钢、合金钢以及某些高分子复合材料。不锈钢因其具有良好的抗氧化和抗腐蚀性能，广泛应用于腐蚀环境较为严峻的地区。其成本较高，需权衡经济与实际应用的关系。合金钢通过调整成分可增强其抗腐蚀能力，适用于多种环境，但在高盐高湿地区仍需防腐层保护。

第二，应考虑材料的力学性能和可操作性。在实际铺设和维护过程中，管道材料需具备良好的机械强度和韧性，以适应外界的机械应力。材料的可焊接性和加工性能也需纳入考虑，以确保施工方便快捷，减少工程时间和风险。

第三，应考虑环境因素对材料的影响。长输管道分布广泛，受地理环境和气候条件的影响明显。需结合具体的环境条件选择材料，例如，在酸性土壤或咸水地区，宜选用抗腐蚀性能更强的材料，并进行实验验证其适应性。

通过遵循上述原则，结合具体工程案例和数据支持，可以为长输管道的防腐提供科学可靠的材质选择方案，显著改善管道的防腐效果，达到经济与安全的双重目标^[3]。

3.3 防腐层添加的方法与注意事项

防腐层的添加是长输管道防腐策略中的关键环节。高

质量的防腐层能够有效隔离腐蚀介质，保护管道表面，延长使用寿命。在实施过程中，需选用适合管道所处环境的防腐涂料，如环氧树脂、聚乙烯等。施工时，表面处理至关重要，应确保管道表面清洁、无油污和锈蚀，这能提高防腐层的黏附力和耐久性。施工环境的温湿度条件需得到严格控制，以避免防腐层性能降低。防腐层的厚度应符合设计标准，以保证其足够的屏蔽效果和机械强度。定期维护和检测亦是保障防腐层长期有效的重要措施。

3.4 增加电化学保护的基本原理与实施步骤

电化学保护是针对长输管道腐蚀问题的重要策略之一，其基本原理基于通过外部电流改变金属与环境的电位差，以削弱腐蚀反应的进行。常见的电化学保护方式包括阴极保护和阳极保护。阴极保护通过外加电流或牺牲阳极材料，使管道表面成为阴极，从而抑制腐蚀反应。阳极保护则提升金属电位，使其进入钝化状态，实现自我保护。

在实施步骤方面，需要对管道材料及周围土壤进行详细的电化学分析，以确定施加保护的参数。选择合适的保护方式后，需进行设备安装与调试，如在管道周围埋设临时牺牲阳极带，随后进行初步的电位测量以确保保护电流的有效性和稳定性。

4 工程期防腐策略实施

4.1 长输管道的安全管理措施与方案

工程期采取的管道保护措施是长输管道后期平稳运行的重要环节。需实施定期检测和监控系统，以实时掌握管道的运行状态，及时发现潜在的腐蚀问题。检测手段包括使用智能传感器、超声波检测等技术手段获取管道内部及表面的数据。建立应急响应机制，通过制定详细的应对预案，确保在面临突发腐蚀问题时能够快速应对，降低事故风险。同时应加强管道沿线的巡查管理，及时清理易导致腐蚀的累积物。通过数据分析与先进技术的结合，优化腐蚀防护措施，以延长管道使用寿命，保障输送安全。

4.2 长期腐蚀评估与保护策略

为了确保长输管道的长期安全，必须定期进行腐蚀评估。这包括使用先进的检测技术，如超声波检测、漏磁检测等，对管道的内外部进行全面检查，及时发现并定位腐蚀区域。同时，结合管道的运行数据和历史腐蚀记录，利用大数

据分析技术，可以预测未来的腐蚀趋势，为制定针对性的保护措施提供科学依据。在保护策略方面，除了传统的防腐层添加、电化学保护等手段外，还应注重管道的维护和管理。例如，建立定期的维护计划，对防腐层进行修补和更新，确保其始终处于良好状态。此外，对于电化学保护系统，应定期进行性能检测和参数调整，以确保其保护效果。

电化学保护的效果评估方法是保障长输管道防腐效果的重要环节，通常包括多种技术手段和分析方法。通过电位测试，可以直接检测管道及其周围环境的电化学状态，从而判断阴极保护的有效性。管道电位需要保持在特定的标准范围内，确保防腐系统处于有效运行状态。如果电位值偏离标准，则可能意味着保护不足或过度，需要及时调整。

数据的长期积累和分析可帮助识别潜在的腐蚀风险和保护系统的薄弱环节，不仅有助于提高防腐策略的效率，还能延长管道的使用寿命，确保其安全运行。通过持续的监测和调整，电化学保护的效果将更为显著，管道的安全性和可靠性也能得到进一步提升。

5 结语

本文主要研究了长输管道为什么会受到腐蚀的问题。发现，一些微小的生物、水分子和盐分是导致腐蚀的主要原因。为了防止管道被这些因素腐蚀，文章提出了几种保护管道不受损害的方法，比如改进设计、选择更好的材料、增加防腐层和使用电化学保护技术。通过实际试验，这些方法被证实可以有效地减慢管道的腐蚀速度，从而让管道使用时间更长，让我们更有针对性地管理和使用这些重要的资源。但是，文章中也提到，现有的研究还未包含所有类型的腐蚀和防腐策略，未来还需要进一步的研究。希望未来能有更多的科技创新来帮助我们更好地保护管道，确保能源和商品安全、高效地运输。

参考文献

- [1] 于福东,孙丽丽,王振业.浅析长输管道腐蚀泄漏原因[J].石化技术,2022,29(07):178-179.
- [2] 史安亮,王晓冬,翟羽佳.油气田长输管道腐蚀分析及防腐措施[J].当代化工,2022,51(09):2097-2100.
- [3] 郭小强.探究长输天然气管道腐蚀的形成与防腐保护策略[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021,(06).