

石油管道腐蚀原因及防护策略分析

刘秋丽（航天氢能沧州气体有限公司，河北 沧州 061000）

摘要：本文旨在深入探讨石油管道腐蚀原因，并提出防护策略。随着石油资源需求量的不断增加，石油管道作为石油运输的重要工具，其安全性和可靠性显得尤为重要。本研究通过分析石油管道腐蚀的多种原因，如土壤腐蚀、杂散电流腐蚀、内腐蚀等，并结合当前防腐技术的发展状况，提出包括涂层防腐、阴极保护、添加缓蚀剂等多种有效的防腐策略。结果表明，通过科学合理的防腐措施，可提高石油管道的抗腐蚀性能，保障石油运输的安全和高效。

关键词：石油管道；腐蚀原因；防护策略；涂层防腐

中图分类号：TE988 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）013-0155-03

Analysis of Corrosion Causes and Protection Strategies for Petroleum Pipelines

Liu Qiuli(Cangzhou Aerospace Hydrogen Energy Gas Co. Ltd, Cangzhou Hebei 061000, China)

Abstract: This paper aims to explore the causes of oil pipeline corrosion and put forward protection strategies. With the increasing demand of petroleum resources, as the important tool of oil transportation, the safety and reliability of oil pipeline is particularly important. In this study, we analyzed various causes of petroleum pipeline corrosion, such as soil corrosion, stray current corrosion, internal corrosion, and combined with the current development of anticorrosion technology, and proposed various effective anticorrosion strategies including coating corrosion, cathodic protection and corrosion inhibitor. The results show that the scientific and reasonable anticorrosion measures can improve the corrosion resistance of oil pipeline and ensure the safety and efficiency of oil transportation.

Key words: petroleum pipeline; corrosion cause; protection strategy; coating corrosion prevention

石油管道作为石油运输的重要通道，其安全性和可靠性直接关系到石油资源的有效利用和环境保护。然而，在石油管道运输过程中，由于各种因素的影响，管道腐蚀问题日益突出。腐蚀不仅会导致管道材料性能的下降，还会引发泄漏、破裂等安全事故，给石油运输带来极大的风险。

1 石油管道腐蚀原因

1.1 土壤腐蚀

由于石油管道通常采用地下施工的方式，土壤的物理和化学环境对管道的影响不容忽视。土壤中含有各种液、固、气相物质，元素种类非常丰富。如果土壤中含有过多的盐分，容易让管道出现离子导电或者化学分解的现象，对石油管道造成非常强的腐蚀作用^[1]。土壤中的细菌种类和数量也较多，这些细菌在新陈代谢过程中会释放出很多化学物质，将硫酸盐还原成硫化氢，使管道环境呈现酸性，从而加速管道的腐蚀。

1.2 杂散电流腐蚀

随着工业和社会的不断发展，各种地下电缆工程越来越多，这些线缆由于各种因素容易出现电流泄漏的现象。当杂散电流流动的地方埋有地下金属构件（如石油管道）时，杂散电流就会从金属构件上流入和流出，流入处形成阴极区，流出处形成阳极区，从而导

致金属腐蚀。

1.3 内腐蚀

石油管道的内腐蚀主要由输送介质中的腐蚀性成分引起。原油和成品油中含有大量的二氧化碳、溶解盐和硫化氢等物质，这些物质在运输过程中很容易与管道内部发生化学反应，导致管道腐蚀。特别是在油田开发后期，由于注水开采，运输介质的含水量增加，从而加剧了管道内部的腐蚀。

1.4 其他因素

除了上述主要原因外，石油管道腐蚀还受到其他多种因素的影响。例如，管道自身质量不过关，包括管道材质问题和腐蚀防护质量不达标等，都会导致管道腐蚀现象的发生。管道使用过程中的压力因素也是造成管道腐蚀的一个重要原因。如果管道运输压力波动过大，就容易造成管道内壁材料的应力波动，进而引发微裂纹和腐蚀穿孔。

2 石油管道腐蚀防护策略

2.1 涂层防腐技术：构建物理屏障

在石油管道的腐蚀防护策略中，涂层防腐技术占据着举足轻重的地位，它如同为管道披上了一层坚固的“盔甲”，有效抵御着腐蚀介质的侵袭。这项技术通过在管道外表面涂覆一层具有优异抗腐蚀性能的材料，构建了一道坚实的物理屏障，将管道与土壤、水

等腐蚀介质隔离开来,从而大大减缓了腐蚀过程,延长了管道的使用寿命^[2]。

涂层材料的选择是涂层防腐技术的关键。面对复杂多变的土壤环境、温度变化以及管道内部压力等因素,必须综合考虑涂层材料的介电性能、物理稳定性、化学稳定性和温度适应性。聚烯烃和环氧树脂等复合材料因其出色的综合性能,成为了石油管道涂层防腐的首选材料。它们不仅能够耐受各种恶劣环境的考验,还能保持涂层的长期稳定性和完整性。

在涂覆工艺上,同样不容忽视。涂层的厚度、均匀性和附着力是衡量涂覆质量的重要指标。过薄或厚薄不均的涂层容易导致腐蚀介质渗透,而附着力不足则会使涂层易于脱落,从而失去防腐效果。因此,在涂覆过程中,应严格控制各项工艺参数,确保涂层能够紧密贴合在管道表面,形成一层连续、致密且牢固的保护层。为进一步提升涂层防腐的效果,还需在管道铺设前进行详尽的勘测工作。通过了解铺设地区的地下电网和大型电力设施分布情况,合理规划管道走向,尽量避开这些可能产生杂散电流的区域。在必要时,还应在管道周围设置足够的安全距离,以进一步减少外部干扰对管道安全运行的潜在威胁。

2.2 阴极保护技术:电化学防腐的智慧之选

阴极保护技术,作为电化学防腐领域的佼佼者,以其独特的防腐机制,为石油管道的安全运行提供了强有力的保障。这项技术通过精妙地调整管道在腐蚀环境中的电位状态,使管道金属摇身一变,成为受保护的阴极,从而大大降低了腐蚀速率,甚至能让腐蚀现象彻底销声匿迹。

外加电流阴极保护技术,作为阴极保护技术的两大支柱之一,其原理简单而高效。通过外接电源的持续供电,为管道注入阴极电流,使管道的电位降低至腐蚀电位之下,从而构建了一个电化学保护伞,让管道金属免受腐蚀的侵扰^[3]。这项技术特别适用于那些长距离、大口径的石油管道,虽然检测与维护的成本相对较高,但其卓越的防腐效果却足以让人信服。而牺牲阳极阴极保护法,则是另一种别具匠心的阴极保护方式。它巧妙地利用了金属活泼性的差异,选择比管道金属更活泼的金属(如镁、铝等)作为阳极,与管道金属紧密相连后埋入地下。

当阳极金属在腐蚀环境中率先“牺牲”,释放出电子并流向管道金属时,管道金属便得到了这层电子的“庇护”,从而免受腐蚀的侵袭。这种方法不仅操作简单、维护费用低廉,而且能够根据管道的具体工作环境、腐蚀介质和施工条件进行灵活调整,展现出极高的实用性和适应性。

2.3 缓蚀剂应用:化学防腐的得力助手

在石油管道的防腐技术体系中,缓蚀剂的应用无疑是一股不可忽视的力量。缓蚀剂,作为一种能够减缓或抑制金属腐蚀的特殊添加剂,通过其独特的化学作用,为管道金属披上了一层隐形的防护衣。

当缓蚀剂被添加到石油管道中时,它们会迅速在金属表面展开行动,形成一层惰性的保护层。这层保护层如同一道坚固的屏障,将腐蚀物质与管道金属隔绝开来,从而大大降低了腐蚀速度。缓蚀剂的使用不仅投资少、操作简便,而且其防腐效果往往令人瞩目,因此已成为石油管道防腐技术中不可或缺的一部分。然而,缓蚀剂的应用并非一劳永逸。

为了确保其最佳的缓蚀效果和稳定性,必须根据管道的材质、腐蚀介质以及工作环境等因素进行综合考虑和精心选择。缓蚀剂的用量、周期和加注方法也需严格控制,以避免因过量使用或加注不当而导致的效果不佳或资源浪费。定期对管道进行监测和评估也是必不可少的环节,这样才能及时了解缓蚀剂的使用效果,并根据实际情况进行调整和优化,确保管道始终处于最佳的保护状态。

2.4 优化管道材质:提升耐腐蚀性能的关键

管道材质的选择是石油管道腐蚀防护策略中的核心环节,它直接决定了管道在复杂环境下的耐腐蚀性能和使用寿命。面对不同的输送介质和环境条件,合理选择管道材料不仅关乎成本控制,更是确保油气工程安全稳定运行的关键。传统上,碳钢管因其良好的机械性能和相对较低的成本,在石油管道中得到了广泛应用。

然而,随着输送介质中腐蚀性成分的增加,碳钢管的耐腐蚀性能逐渐成为限制其应用的一大瓶颈。为了提升管道的耐腐蚀性能,不锈钢和合金钢管应运而生。这些材料通过调整合金成分,提高了管道的抗腐蚀能力,尤其是在面对高含硫、高含盐等恶劣环境时,表现出更加优异的性能。

为了寻求更为经济且耐腐蚀的管道材料,非金属管道,如陶瓷和塑料管道,逐渐进入了人们的视野。陶瓷管道以其极高的耐腐蚀性和耐磨性,在特定环境下展现出了独特的优势。而塑料管道,尤其是那些经过特殊改性的塑料管道,不仅具有良好的耐腐蚀性能,还具备重量轻、安装方便等优点,逐渐成为石油管道领域的新宠。

除了选择现有的耐腐蚀材料外,通过合金化技术提升管道材质的耐腐蚀性能也是一种有效的策略。例如,向管道材料中加入特定元素,如镁或钙,可以促进管道表面的钝化作用,形成一层致密的保护氧化膜。

这层氧化膜具有出色的化学稳定性和热稳定性，能够有效隔绝腐蚀介质与管道金属的直接接触，从而显著提升管道的耐腐蚀性能。

2.5 加强管道检测与维护：构建腐蚀防护的安全网

在石油管道的腐蚀防护策略中，加强管道的检测与维护如同一张紧密的安全网，守护着管道的安全稳定运行，确保及时发现并处理潜在的腐蚀问题。

为了有效监测管道的腐蚀状况，必须建立完善的检测与养护机制。这包括定期对管道进行全面的腐蚀评估和检测，采用先进的检测技术，如超声波检测、磁粉检测、涡流检测等，对管道壁厚、裂纹、腐蚀坑等进行精确测量和分析。通过这些检测手段，可以及时发现管道的腐蚀问题，为后续的修复工作提供科学依据。在检测的基础上，维修工作的及时性和有效性同样至关重要。这要求维修工作人员不仅具备丰富的实践经验和专业知识，还需不断提高综合素质，以适应不断变化的腐蚀防护需求。

随着科技的飞速发展，计算机实时监控手段为管道腐蚀防护带来了新的机遇。通过安装传感器和监控系统，可以实时监测管道的运行状态，包括压力、温度、流量等关键参数，以及腐蚀速率、腐蚀位置等腐蚀相关信息。

这些数据通过计算机网络传输至监控中心，经过分析和处理，可以及时发现异常状况，并发出预警信号，为管道的维护和管理提供有力支持。利用大数据分析技术，还可以对管道的历史腐蚀数据进行挖掘和分析，找出腐蚀规律和趋势，为未来的腐蚀防护工作提供预测和指导。这不仅能够提高腐蚀防护的效率和准确性，还能有效降低管道的运行风险，保障石油运输的安全性和可靠性。

3 石油管道腐蚀防护案例分析：长庆油田的实践

长庆油田，坐落于鄂尔多斯盆地，随着开发时间的不断延长，原油含水率的上升导致原油集输管道面临严峻的腐蚀挑战。长庆油田从2015年起，对各采油厂的管道使用情况进行了全面普查与分析。

普查结果显示，管体腐蚀穿孔是管道损坏的主要原因，占比高达81.2%。其中，出油管道和集油管道成为腐蚀穿孔的“重灾区”，占管道腐蚀穿孔总长度的93.33%^[4]。进一步分析发现，管道穿孔以内腐蚀为主，且多发生在管体中下部，部分则位于焊缝或焊缝附近，外腐蚀相对较轻。

为了深入探究腐蚀原因，长庆油田截取了8条不同层位、含水和服役年限的腐蚀穿孔管道进行细致检测。检测结果表明，管道材质化学成分和拉伸性能均符合标准，但管道内局部腐蚀明显，腐蚀产物主要为

氧化铁、羟基氧化铁、硫化亚铁和碳酸亚铁盐。

基于腐蚀产物的分析和腐蚀性因素的检测，长庆油田对30个主要油田区块、层位进行了管输原油腐蚀因素检测和腐蚀性分析，并据此划分了低、中、高三个腐蚀区域。针对不同腐蚀区域的特点，长庆油田采取了针对性的防腐措施。

为了实时监测管道腐蚀状况，长庆油田在采油单井、增压站、转油站、联合站等关键节点安装了管道在线腐蚀监测装置。通过下入的挂环评价管道腐蚀状况，并建立了覆盖油田区块的腐蚀监测网，实现了对管道腐蚀程度的长期、全面监测。监测结果显示，较低的含水原油附在挂环上起到了缓蚀作用，且管道结蜡也对管道具有一定的保护作用。随着季节的变化，较重和严重级别腐蚀区的数量也有所减少，表明防腐措施取得了初步成效。

4 结束语

综上所述，石油管道腐蚀问题是一个复杂且关键的问题，它涉及到金属物质与外界环境之间的相互作用以及由此产生的化学变化和物理溶解等现象。通过深入分析石油管道腐蚀的主要原因并结合当前防腐技术的发展状况，本文提出了包括涂层防腐、阴极保护、添加缓蚀剂等多种有效的防腐策略。可以提高石油管道的抗腐蚀性能，保障石油运输的安全和高效。未来，随着科技的不断进步和防腐技术的不断发展，石油管道腐蚀防护工作将面临更多的挑战和机遇。需要继续关注和研究新的防腐材料和防腐技术，提高管道的抗腐蚀性能；要加强管道的检测与维护工作，建立完善的管道腐蚀防护质量评估体系，及时发现并处理管道腐蚀问题。才能确保石油管道的安全运行和高效利用，为石油工业的发展提供保障。

参考文献：

- [1] 刘树岭, 刘喜, 贺毅龙. 石油专用管腐蚀因素分析及腐蚀防护策略探讨 [J]. 中国设备工程, 2024, (17): 189-191.
- [2] 樊兴. 石油化工工艺管道的腐蚀及防护技术应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(10): 157-159.
- [3] 汪仙明, 靳培培, 王傲, 等. 石油天然气管道腐蚀与防护 [J]. 辽宁化工, 2023, 52(11): 1602-1605.
- [4] 王哲, 马勤云, 张会英, 等. 石油管道腐蚀因素及其防护策略分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(16): 27-28+30.

作者简介：

刘秋丽 (1977-), 河北石家庄人, 学历: 本科, 职务: 设备管理员, 职称: 注册安全工程师中级。