

# Research on the status quo and development trend of corrosion protection technology of oil and gas storage and transportation pipelines

Yang Song

Liaohu Oilfield (Panjin) Gas Storage Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124100, China

## Abstract

As an important infrastructure for energy transportation, the safety and stability of oil and gas storage and transportation pipeline are of great significance to national energy security, economic development and environmental protection. However, the long-term operation of oil and gas pipeline is exposed to complex environmental conditions, which is prone to corrosion phenomenon, which may lead to serious accidents such as pipeline rupture, oil and gas leakage and environmental pollution and so on. Therefore, the research and application of corrosion protection technology, especially in the oil and gas storage and transportation pipeline, is an urgent technical problem to be solved. This paper will summarize the current situation of the corrosion protection technology of oil and gas storage and transportation pipelines, and discuss the future development trend, so as to provide reference for the research and engineering application in related fields.

## Keywords

oil and gas storage and transportation pipeline; corrosion protection technology; current situation and development trend

## 油气储运管道腐蚀防护技术的现状与发展趋势研究

宋杨

辽河油田(盘锦)储气库有限公司, 中国·辽宁 盘锦 124100

## 摘要

油气储运管道作为能源输送的重要基础设施,其安全性和稳定性对国家能源安全、经济发展以及环境保护具有重要意义。然而,油管道的长期运行暴露于复杂的环境条件下,容易发生腐蚀现象,严重时可能导致管道破裂、油气泄漏及环境污染等重大事故。因此,腐蚀防护技术的研究和应用,尤其是在油气储运管道中的防护技术,是当前亟待解决的技术难题。本文将对油气储运管道腐蚀防护技术的现状进行总结,并探讨未来的发展趋势,为相关领域的研究和工程应用提供参考。

## 关键词

油气储运管道; 腐蚀防护技术; 现状; 发展趋势

## 1 油气储运管道腐蚀防护技术的现状

目前,油气储运管道的腐蚀防护技术主要包括以下几种方法:

### 1.1 阴极保护技术

在石油和天然气储运管道腐蚀抑制中,作为管道腐蚀防护领域重要的手段之一的阴极保护技术得到了广泛的运用。其原理是根据电化学原理,当金属处于阴极极化状态时,其表面将不易被腐蚀从而减缓了腐蚀速率。通过向管道施加外电场使管道表面产生负电位,使其成为阴极,从而实现阴极保护的目的。通过外部电源向管道施加直流电流,使管道表面产生阴极保护电位,从而减缓腐蚀速率,从而对腐蚀反

应的产生加以抑制<sup>[1]</sup>。该技术通过对电流流的变化,使管道表面上的金属离子没有溶解起来,从而有效地延缓或阻止管道腐蚀的过程。阴极保护的应用的不仅可以使油管道的寿命得到明显的延长,而且可以使维护费用降低,从而保证了油气运输的万无一失。

牺牲阳极阴极保护主要是在管道表面附近安装锌、铝、镁等具有较低电位金属材料的一种传统的阴极保护方式。牺牲阳极作为阳极在电化学反应中发生氧化反应,放出电子,转移到管道金属表面,使管道表面变成阴极,从而起到阻止金属在管道中溶解、腐蚀的作用。该类方式通常适合应用在腐蚀保护要求相对较低、结构简单、施工维护方便的小型管道系统或局部区域性管道。不过,牺牲阳极会随着时间的推移而逐渐消耗,因此要求工作人员进行定期的检查与更换,所以应用范围受到一定限制。

【作者简介】宋杨(1988-),男,中国黑龙江大庆人,本科,工程师,从事石油与天然气、油气储运研究。

外加电流阴极保护技术是较先进的防护手段，其利用外部电源为管道系统提供直流持续稳定的电流，降低管道点蚀，防止金属腐蚀的出现，适用于大范围、长距离的管线。外加电流的阴极保护系统一般由具有高电流密度和强适应性的电源、阳极床、电流控制装置及接地系统组成。相对于牺牲阳极保护而言，外加电

流阴极保护的调节电流强度和分布更为精确，保证了管道受保护的面积。该技术尤其适用于跨区域、跨国界的大型油气管道系统，能够有效应对多变的土壤环境、复杂的电气干扰等外部因素，确保管道的长期安全。

在实际应用中，阴极保护技术的效果受到多个因素的影响，包括管道的材质、埋设深度、电流分布、电源的稳定性等。

## 1.2 涂层防护技术

涂层防护技术主要是将一层防腐涂层涂刷于管道表面，防止管道金属表面和外界环境中的腐蚀性介质相接触，从而将管道金属的腐蚀几率降低。环氧涂料是一种广泛应用于石油天然气管道防腐领域的一种常见的涂层防护材料。环氧涂层附着力优异，耐化学腐蚀，机械强度高，固化后能形成高耐磨性、抗冲击的坚硬保护膜。而且环氧树脂化学稳定性良好，可以有效抵抗酸、碱、盐的侵蚀。应用环氧涂层，能显著提高管材的耐久性，尤其在保护性能优异的潮湿、酸性及碱性介质中，更能发挥出卓越的保护作用，所以在各类腐蚀性环境下均能提供良好的保护效果<sup>[2]</sup>。

聚乙烯涂层是一种耐高温性高、耐腐蚀、抗紫外线能力强的石油天然气管道防腐常用涂层材料。将其涂刷于管道表面以形成一道厚实的防护层，以有效隔绝土壤中的水分、盐分以及氧气与管道的接触，从而对腐蚀反应产生有效的抑制作用。其凭借表面光滑、耐磨、抗冲击等特点，让防腐效果得以长时间维持，通常使用应用在范围较大的管道保护情况下，特别是含水量较高或是具有较强腐蚀性的土壤环境当中。

在具体应用土层防护技术时，要求将管道所处区域的土壤性质、气候条件及可能的腐蚀介质等进行全方位考虑以有针对性地选择相应的涂层材料，并且要严格把控涂层厚度、工艺以及质量，切实保证其防腐效果。

## 1.3 腐蚀监测技术

腐蚀监测技术主要是利用多种检测设备以及传感器来对管道腐蚀情况进行动态跟踪，让工作人员能够获得准确、及时的数据支撑，为腐蚀修复以及预防方案的制定提供可靠依据。

在管道防腐领域应用较多的一项腐蚀监测设备是电化学传感器，其基本原理在于根据电流或电压的变化来呈现出金属腐蚀情况，具体来说就是对管道金属与周围环境之间的电化学反应进行测量，以将管道表面腐蚀速率的变化动态反映出来<sup>[3]</sup>。相较于人工检查来说，具有高精度、高灵敏度和较长的使用年限，可为管道健康状态提供定量数据的支撑，

能够长期用于对管道腐蚀动态进行稳定监测。

管道腐蚀监测中，超声波传感器也是其中一项重要工具，其基本原理在于利用声波传播速度和信号反射时间对管道壁厚的变化实施监测，并根据所得数据来将管道腐蚀的程度推算出来。该类方式具有非侵入式的特点，不但可以对管路腐蚀进行实时掌握，而且可以早期识别管道内部存在的腐蚀缺陷，从而避免管道因腐蚀而发生破裂事故。其具有高度的可靠性和精确性，由其适合用在要进行长时间监测，且不能实施物理检查的管道系统。

此外，光纤传感器和无线传感技术也在腐蚀监测领域得到了应用。光纤传感器具有具有抗电磁干扰、适应性强等特点，主要是利用光信号传输来对管道表面细微的变化实施检测，及时将所得信息传输至监测中心，通常适合用在复杂环境下的腐蚀监测。无线传感器网络主要是利用无线网络来传送数据到远程服务器，以达到远程监控管道腐蚀的目的，能够大大提升了监测效率，降低了人工检查的频率和成本。

## 1.4 化学抑制技术

化学抑制技术主要通过向管道内注入腐蚀抑制剂，化学抑制剂通过与腐蚀介质发生反应或与管道金属表面相互作用，改变管道表面的化学环境，形成一层保护膜，从而阻隔腐蚀性物质与金属表面的接触，来有效降低或阻止腐蚀反应的发生，是一项重要的油气储运管道腐蚀防护手段。其主要是将腐蚀抑制剂注入到管道当中来达到降低或阻止腐蚀反应的发生。这一技术可以大大降低管道金属表面的腐蚀速率，让管道使用寿命得以延长，由其适用于管道内部腐蚀防护。

腐蚀抑制剂包括阳离子型、阴离子型、非离子型以及有机和无机类腐蚀抑制剂等多种类型。阳离子型抑制剂往往通过在管道金属表面的吸附来形成一层密度较高的膜层，使金属表面与腐蚀介质的接触减少；而阴离子型抑制剂往往是和金属离子反应，形成不溶于水的化合物，让金属表面的活性位点得以封闭；非离子型抑制剂的原理在于将腐蚀介质的活性降低或是溶液的表面张力进行改变来对腐蚀进行有效抑制<sup>[4]</sup>。在具体应用过程中要想能够获得理想的防护效果，就要求工作人员能够结合管道环境、输送介质及腐蚀类型的差异来选用相应的腐蚀抑制剂。

## 2 油气储运管道腐蚀防护技术的发展趋势

随着油气管道的使用年限逐渐增加，腐蚀防护技术面临着更多的挑战。未来，油气储运管道腐蚀防护技术将朝以下几个方向发展：

### 2.1 智能化与自动化技术的应用

随着信息技术、传感器技术及计算机技术的不断发展，油气储运管道的腐蚀防护技术正向智能化和自动化方向转型。物联网技术的引入，使得管道腐蚀监测能够实现设备间的互联互通，通过集成传感器网络，实时获取管道运行状态

数据。这些数据包括温度、压力、腐蚀速率等关键参数，并通过无线通信技术传输至监控中心，实现对管道的远程监控与管理。

在进行管道腐蚀防护工作中应用大数据分析技术能够获得强大的数据处理能力，通过收集与分析海量历史数据信息来将腐蚀类别以及规律辨识出来，进而对腐蚀的发展趋势进行科学预测。系统结合机器学习算法，可以由具体运行数据中实现自我优化，慢慢提升其预测精准程度，将潜在的腐蚀问题及时辨识并发出预警。这种为决策优化的数据驱动式预测模型，可以将不必要的检修与停机事件减少，使经营效率得到提高。另外，结合人工智能技术，使腐蚀防护自动化水平得到进一步提高。AI技术可以通过深度学习等方法，能够基于逐步累积的数据来进行自适应的防护策略调整。如阴极保护电流或抑制剂投加量自动调节，根据腐蚀状况来动态进行防护措施优化。这种智能化、自动化的技术应用，将显著提高管道腐蚀保护精度和响应速度，使管道使用年限得到有效延长，维护费用得到降低。

## 2.2 绿色环保技术的开发

随着环境保护要求的日益严格，油气储运管道腐蚀防护技术的发展逐渐倾向于绿色环保的方向。绿色环保技术的核心目标是减少对环境的污染，降低资源消耗，并推动可持续发展。当前，油气管道腐蚀防护技术的绿色化主要体现在两方面：抑制剂的环保性和防护材料的可降解性。

第一，在开发腐蚀抑制剂时，重点是开发替代传统化学抑制剂的无毒、无污染的绿色抑制剂。这些环保抑制剂既不会长期对生态环境造成负面影响，也不会对水体造成污染，能够防止管道腐蚀。以减少石油化工产品对自然环境的影响为目的的无机抑制剂、天然植物提取物抑制剂和生物降解型抑制剂等已成为研究的热点。第二，在防护材料方面，一个重要研究方向就是开发可降解、无害的涂层和保护膜。例如生物基涂层和纳米涂层材料在使用寿命结束后，不仅防腐性能更好，而且环保降解也比传统涂层材料更好。这种材料避免了有害物质的堆积和环境污染，同时提高了管道的抗腐蚀能力。

## 2.3 多重防护技术的融合

当前由其储运管道腐蚀问题非常严峻，单一防护技术

已无法满足现代管道系统的全面防护需求。因此，未来的管道腐蚀防护技术将朝着多重防护技术并轨的方向发展，通过对不同的防护手段进行整合，让其相互协作来切实提高管道抗腐蚀能力，让防护效果更为稳定与长久。多重防护技术融合的重点在于将如涂层防护、阴极保护、腐蚀监测和化学抑制等多种防护技术进行综合运用。涂层防护作为有效阻隔腐蚀性介质与管道金属表面接触的物理屏障，阴极保护则通过电流调节来降低金属表面腐蚀点位，为管道提供电化学保护，对其实施整合使用让管道腐蚀防护能力得到大幅提升。同时腐蚀监测技术能够根据资料反馈，对阴极保护电流及化学抑制剂的投加量进行实时检测，使管道腐蚀状态得到及时调整，从而达到最佳的防护效果。另外，化学抑制技术通过加入抑制剂使腐蚀速率进一步下降，尤其是对腐蚀性较强的环境中如含酸性气体或硫化氢等，使用抑制剂可以提供更强大的防护。需要注意的是对于管道不同部位需要使用相应的防护技术，形成多层次的防护体系以确保管道运行的稳定以及结构安全。通过这些技术的协同作用，可以实现管道腐蚀防护的系统性、精确性与高效性，显著提高管道系统的可靠性与安全性。

## 3 结论

油气储运管道腐蚀防护技术在多年的应用中取得了显著成效。未来，随着智能化技术、绿色环保材料、新型合金材料的不断发展，油气管道的腐蚀防护将更加高效、精确与可持续。相关科研人员和工程技术人员应进一步加强技术创新和应用研究，为保障油气储运安全、推动工业发展提供了重要的理论和实践指导。

## 参考文献

- [1] 赵承杰,李欣.油气储运管道防腐技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(4):4.
- [2] 刘祥福.油气储运过程中的腐蚀与安全防护技术研究[J].中国化工贸易, 2024, 16(17):130-132.
- [3] 陈晓龙.油气储运管道建设中的问题与对策分析[J].石油石化物资采购, 2023(14):46-48.
- [4] 高建新.油气储运过程中的常见安全问题及解决措施[J].中国储运, 2025(1).