

油管内壁高性能防腐技术的研究进展与市场应用前景分析

牛大伟 霍轶偲 任伟 (中国石油化工股份有限公司临汾煤层气分公司, 山西 临汾 041000)

摘要:近年来,随着科学技术的高速发展,我国石油化工产业迎来了全新的发展机遇,但伴随着生产指标提升的同时,油管防护的难度也随之提升,尤其是在煤层气开采过程中遇到的腐蚀问题若处理不当会导致油管渗漏等问题出现,造成严重的经济损失,故而相关人员需要积极优化防护技术,起到推动行业发展的目的。基于此,本文通过分析油管内壁高性能防腐技术的优点,明确其研究进展,并结合市场情况,明确其发展前景,进而提高工作效率,推动行业进步。

关键词:油管内壁;高性能防腐技术;研究进展;市场应用前景

中图分类号: TE988 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 017-0007-03

Research progress and market application prospects analysis of high-performance anti-corrosion technology for the inner wall of oil pipes

Niu Dawei, Huo Yicai, Ren Wei (China Petroleum & Chemical Corporation Linfen Coalbed Methane Branch, Linfen Shanxi 041000, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of science and technology, China's petrochemical industry has ushered in a new opportunity for development. However, with the improvement of production indicators, the difficulty of oil pipe protection has also increased, especially the corrosion problems encountered during coalbed methane extraction. If improperly treated, it will lead to oil pipe leakage and other problems, resulting in serious economic losses. Therefore, relevant personnel need to actively optimize protection technology to promote industry development. Based on this, this paper analyzes the advantages of high-performance anti-corrosion technology on the inner wall of tubing, defines its research progress, and combines the market situation to clarify its development prospects, thereby improving work efficiency and promoting industry progress.

Keywords: inner wall of oil pipe; High-performance anti-corrosion technology; Research progress; Market application prospects

目前,国内外油气田都面临着严重的腐蚀问题,尤其是在煤层气开采过程中,伴生气体中的腐蚀性物质、水分及微生物等会对油管造成严重腐蚀,需要采用先进的防腐技术来保护油管,以延长其使用寿命。虽然传统的防腐技术能够有效处理油管内壁的腐蚀问题,但在实际应用中却存在着一些不足,故而相关人员为进一步提高油管内壁的防腐性能,延长油管使用寿命,需要客观分析各种高性能防腐技术的研究进展和市场应用前景,确定具体的优化方向,明确新型技术的优缺点及其在实际应用中存在的问题,展望其在石油煤层气行业中的发展前景,进而突破传统技术的限制,提高防腐蚀效果,助力煤层气产业的现代化转型与发展。

1 油管内壁高性能防腐技术的优势

1.1 性能稳定

在油管内壁的防腐施工中,由于煤层气开采过程中伴生的物质具有较强的腐蚀性,再加之油管经常保持长期运行状态,辅以高压、加热等工艺的环境影响,会导致油管腐蚀的速度加快,造成油管内壁的局部应力增高,这种情况下油管内壁受到应力作用产生腐蚀

问题。对此,工作人员为解决这个问题,会在油管内壁防腐施工中采用特殊的工艺方法,使其具备良好的耐腐蚀性,并且随着技术的不断发展,该技术已经成为复合施工工艺,可以有效地提高防腐涂层的性能稳定性,延长其使用寿命。究其根本,高性能防腐技术的性能体现为三个方面:其一,高性能防腐技术能够减少油管内壁和腐蚀介质的接触,防止出现腐蚀问题。如TPEP防腐钢管可以借助内熔结环氧粉末和聚乙烯材料形成防护层,借助其附着力、耐腐蚀性,有效降低腐蚀影响。其二,耐温性能。高性能防腐技术能够在较大的温差中使用,上至80摄氏度,下至-30摄氏度,完全可以满足煤层气开采的工况需求,确保生产设施的稳定运行。其三,机械强度较高。高性能防腐技术下的结构涂层和钢管贴合比较明显,能够承载更多重量,适合远距离输送任务,再加之其内部的涂层光滑、摩阻系数较小,所以能耗较少,突出了性能的稳定性^[1]。

1.2 卫生标准较高

油气田开发环境对产出物管理具有较高的要求,例如工作人员会对微生物、细菌和油污含量加以严格管理,否则一旦在油田开采过程中,油管内壁出现微

生物附着、细菌污染、油垢沉积等现象，其可能会与工作环境、采出物产生一系列的生物化学作用，严重影响油管质量。目前，针对油管内壁腐蚀的研究主要集中在涂层、复合材料等方面。这些研究主要是利用材料的独特性能，使其具有抗菌、抗污以及防腐等功能，但由于技术限制以及成本等问题，这些技术大多还处于实验室阶段，未进行广泛应用。此时，高性能防腐技术的出现解决了这一情况，经过其处理的管道内壁足以达到国家卫生标准，甚至可以用于城市的供水系统，运输饮用水。另外，高性能防腐技术下的油管内壁由于光滑、不易结垢等特质，还可以实现自清洁，将其应用于石油化工产业后能够有效减少职工工作压力，提高防护实效^[2]。

1.3 安装和维护成本低

与传统的油管防腐技术相比，高性能防腐技术具有更高的性价比。高性能防腐技术在油管内壁保护的同时，还能保证油管内壁的使用寿命，而且其防腐性能好、操作简单便捷，所以可以在油田现场直接开展，且由于高性能防腐技术具有更好的性能，因此对其进行定期维护时所需的费用也相对较低。另外，从工艺层面来分析，工作人员发现高性能防腐技术下的新型涂层具有材质轻便的优势，更加方便运输，并且其连接方式多样，促使整个工艺中涉及安装的内容都会降低难度，还能减少维修和更换的频率，从根本上降低运营成本，助力行业未来的发展。

2 油管内壁高性能防腐技术的研究进展

2.1 传统的防腐技术

2.1.1 涂层技术

涂层技术属于常见防腐技术中的一种手段，其所使用的涂料种类较多，如有机涂料、无机涂料和聚氨酯涂料等，较比其他体系，涂层技术成本低廉、使用便捷性显著，主要依靠自身防腐蚀和磨损性能来实现目标。但同样受制于材料特性的影响，涂层技术在使用后可能受热胀冷缩等问题的影响，出现起皮剥落的情况，导致防护效果大幅降低。这些传统涂层在煤层气开采环境中（高温、高压、腐蚀介质等）面临的主要问题是：无法长期抵抗腐蚀物质的侵蚀，使用寿命有限；附着力不足，在温度波动下易开裂剥落；机械强度不足，易受到流体冲刷损伤。

2.1.2 耐蚀合金

耐蚀合金可以作为金属基体与不同类型的耐腐蚀材料结合使用，从而得到不同的耐蚀性能。目前耐蚀合金在石油、化工、冶金等行业已有广泛应用，与金属基体相比，耐蚀合金具有耐腐蚀性能高、热膨胀系数小、加工性能好及加工成本低等优势，更可以通过

添加不同元素提高耐蚀合金的性能，满足不同行业对材料的要求。但经过实地考察后发现，很多地区常见的耐蚀合金为马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢和镍基铸造合金，相比之下其成本极高，还需要专业人士进行处理，加工难度较大，所以无法广泛全面使用^[3]。

2.2 新型防腐技术

新型防腐技术不需要添加辅助制剂，所以在内部原料流经油管时一般不会发生化学反应，油管内的腐蚀环境也不会发生变化，可有效解决煤层气开采过程中衍生的病害问题，降低各种腐蚀性物质对防腐涂层的破坏能力，提高了涂层的抗老化性能。同时，该防腐技术提高了油管内壁涂层的机械强度，降低了腐蚀介质对油管内壁涂层的破坏作用，延长了油管寿命^[4]。该防腐技术使用简便，施工效率高，可以直接在油管上进行施工作业，并且具有优异的附着力、硬度、耐磨性能、耐酸碱性和耐腐蚀性等特点，可以适应恶劣的油井环境。主要包括以下几种技术：

2.2.1 纳米合金电沉积技术

在煤层气开采伴生腐蚀性物质的防护体系下，纳米合金电沉积技术是一种基于电化学原理的表面处理工艺。在常温常压、非真空条件下，通过电解含有金属离子（如镍、钴等）的溶液，使金属离子在基体表面定向沉积，形成纳米级合金涂层。其核心结构有两部分：一是纳米固溶体基体：镍钴基固溶体的晶粒尺寸仅为5~6nm，规格为传统涂层晶粒的千分之一，且结构之间间隙极小，结合力更加显著。二是弥散强化相：均匀分布的金属间化合物颗粒，其平均规格约20nm，通过阻碍位错运动可以切实提升涂层强度。此外，与传统的防腐蚀技术相比，纳米合金电沉积技术镀态硬度达HV700~1100（HRC60~72），耐磨性为传统硬铬的3倍以上，适用于高摩擦工况，且在400~500℃时硬度和强度达到峰值，1000℃高温下性能无衰减，能够有效减少腐蚀问题。

2.2.2 纳米涂层

纳米涂层技术是在表面处理体系中最有效的手段之一，其可以减少工件表面的粗糙度，提高表面质量，而且涂层技术可以利用不同成分的原料、添加剂、涂料等对工件表面进行处理，科学利用电化学方法，使工件表面获得一层新的材料。与传统的机械、化学或电化学方法相比，该方法具有较高的效率和较好的性能，并具有操作简单、设备简单、污染少等特点，虽然成本略高但仍能在各个领域得到广泛应用。在实际施工过程中，相关人员需要注意纳米涂层的关键参数，如粒子尺寸需要控制在1~100nm以内，进而提高管道的抗腐蚀性。另外，相关人员需要基于纳米涂层等技

术的原理，控制好热传递效果^[5]。

3 油管内壁高性能防腐技术的市场应用前景

3.1 了解市场需求

油管内壁防腐技术的市场需求，将是今后推广技术的依据，也是石油化工产品进入市场的重要前提，因为只有在市场上不断发展的产品才能获得更多的客户和更大的利润。对此，工作人员在油管内壁防腐技术研究与推广应用过程中，应开展持续性的现场调查与数据收集，了解用户的使用现状、使用需求、使用环境和经济状况等方面，从而进一步加深对用户需求的认识。而且，通过对市场进行调查分析可以发现，防腐技术在油田中得到了越来越广泛地应用，已成为油田提高采收率和降低腐蚀危害的一项重要技术措施。另外，随着群众对生活品质要求的增高，管道腐蚀和破裂等情况会导致安全事故问题的出现，此时相关人员需要进行综合分析，了解工作重难点，合理利用大数据等技术手段实现大基数的分析，找出潜在的因素，促进高性能防腐技术市场需求的扩大。

3.2 创新技术手段

随着煤层气开采工艺的不断深入，油管的腐蚀问题日趋严重，若不加以控制可能会出现穿孔、泄漏等事故问题，给油田带来经济损失，故而如何解决油田开发中的油管内壁腐蚀问题已成为业内人员主要研究的课题。时至今日，传统防腐技术在防止油管腐蚀方面取得了一定成果，但仍无法完全解决油田开发中的腐蚀问题。其原因包括对防腐材料和工艺的了解不足，以及材料与工艺成本较高。对此，相关人员需要了解各项新型材料，如纳米复合材料和记忆合金材料，其能够提升液压冷拔焊管的结构强度，减少腐蚀介质的影响，同时工作人员需要开展高性能防腐耐磨双相合金油管的开发，推动其市场应用。另外，相关人员需要了解市面上的新型技术，分析其与工艺的适配性，必要时进行技术革新与替换，提升工作效率。以纳米合金电沉积技术为例，未来工作人员需要利用纳米物理学效应，即晶粒尺寸降至纳米级时，表面能级跃迁显著提升材料强度，并实行工艺革新，借助常温沉积避免晶粒粗化，直接获得高性能纳米结构，突破传统工艺依赖热处理的局限，进而实现材料科学与电化学工艺的深度结合。

3.3 了解应用场景

由于石油行业对产品质量要求高，所以为保证开采质量，石油公司在开采过程中要采用相应的技术和工艺措施，以减少资源的浪费和损失。但在开采过程中，由于复杂环境等多种因素影响，油管内壁可能会出现腐蚀问题，且其随之开采工艺的推进，油管内

壁的腐蚀程度会逐渐加重，会成为影响油田稳产、高产的瓶颈问题。近年来，随着石油工业对油气资源需求不断增大，在开采过程中采用了各种新技术、新工艺来控制腐蚀的发生，但相关人员需要充分了解技术的应用场景，进而展现技术优势。如高性能防腐技术在生产、排水等领域广泛应用，如内EP外PE的防腐钢管可以配合环氧树脂涂层提高腐蚀防护能力，其应用前景比较显著，但更多地会用于给排水系统中，所以需要针对性地实施方案。

3.4 遵守国家政策法规

近年来，在可持续发展观念的影响下，我国各级政府一直在加大环境保护力度，石油化工产业首当其冲得到优化，但能源浪费问题仍然存在，有关部门的工作方案应当立足于发挥资源优势的同时，减少能源浪费。此时，工作人员对国家政策法规的遵守，一方面可保证国家能源安全、促进经济社会发展，另一方面也可使企业在环保、节能方面更加规范，是企业自身发展的必然要求。对此，据光明网的报道可知，我国每年因为腐蚀问题导致的经济损失可达2800亿元，所以相关人员需要从根源入手，科学应用高性能防腐技术，同时需要了解我国法律红线，不做威胁环境、造成污染和影响安全的决策，确保石油化工产业的发展趋于稳定。

4 结束语

综上所述，随着油田开采的不断深入，各单位对油管内壁防腐性能要求越来越高，此时应用高性能防腐技术能够提高油管内壁防腐性能，随后工作人员结合实际情况，适当增加油管涂层厚度、优化油管涂层结构、采用新型工艺技术，可以发挥技术作用。但考虑到高性能油管内壁防腐技术是一项复杂的系统工程，所以相关人员还需要从多方面进行联合攻关，不断加大研发投入，逐步提高技术实效，进而实现石油化工产业未来的可持续发展。

参考文献：

- [1] 吴晨.石油油管防腐技术分析[J].石化技术,2023,30(12):56-58.
- [2] 阳俊龙.油管内壁防腐技术的研究进展[J].广东化工,2021,48(21):88-89.
- [3] 向招祥.内衬油管堵塞工具的开发与应用[J].化学工程与装备,2021(07):141-143.
- [4] 赵焰峰,廖茂,邓勇刚,等.油气钻采用油管的腐蚀机理及防护技术研究进展[J].石油化工腐蚀与防护,2021,38(03):23-29.
- [5] 邢希金.我国海上油井管腐蚀与防护研究进展[J].装备环境工程,2021,18(01):1-7.