

新型防腐蚀涂层在油气管道使用中的性能评价

孙同成^{1,2} 高秋英^{1,2} 李芳^{1,2} 杨烽^{1,2} 刘斌^{3*}

1 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司

2 中国石油化工集团公司碳酸盐岩缝洞型油藏提高采收率重点实验室

3 新疆大学材料科学与工程学院

DOI:10.12238/pe.v3i4.15104

[摘要] 随着社会的进步,工业技术的发展越来越快,使得我国石油、天然气等资源不断地得到开发和利用。管道运输作为石油、天然气输送最主要的方式之一,由于管道腐蚀造成的安全问题也越来越受到重视,因此管道防腐蚀就成为了一个关键环节。基于此,本文首先介绍了新型防腐蚀涂层的特点,分析了新型防腐蚀涂层在油气管道使用中的必要性,并针对新型防腐蚀涂层在油气管道应用中存在的问题,给予了一些性能评价策略,期望能推进油气管道中新型防腐蚀涂层的应用。

[关键词] 新型防腐蚀涂层; 油气管道; 性能评价

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A

Performance Evaluation of New Anti-Corrosion Coatings in Oil and Gas Pipelines

Tongcheng Sun^{1,2} Qiuying Gao^{1,2} Fang Li^{1,2} Feng Yang^{1,2} Bin Liu^{3*}

1 Sinopec Northwest Oilfield Company, SINOPEC;

2 Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery for Carbonate Fracture-Cave Reservoirs, SINOPEC Group;

3 School of Materials Science and Engineering, Xinjiang University

[Abstract] With the progress of society and the rapid development of industrial technology, the exploration and utilization of oil, natural gas and other resources in China have been continuously advancing. Pipeline transportation is one of the main methods for transporting oil and natural gas. However, safety issues caused by pipeline corrosion have attracted increasing attention. Pipeline corrosion prevention has thus become a crucial aspect. This paper first introduces the characteristics of new anti-corrosion coatings, analyzes the necessity of using new anti-corrosion coatings in oil and gas pipelines, and provides several optimization strategies for the problems existing in the application of new anti-corrosion coatings in oil and gas pipelines, aiming to promote the application of new anti-corrosion coatings in oil and gas pipelines.

[Key words] New anti-corrosion coatings; Oil and gas pipelines; Performance evaluation

引言

石油天然气在运输过程中,需要经过地下管道的输送才能到达用户,然而油气资源具有易燃易爆、易挥发等特点,容易受到腐蚀而发生泄漏事故。所以为了保证安全,就需要对其进行防腐处理,从而提高管道的使用寿命。随着科技的发展,新型防腐蚀涂层被应用到油气管道中,并且取得了较好的应用效果。但是目前来说,对于新型防腐蚀涂层的研究还存在着不足之处,因此有必要对其性能进行进一步分析和评价,从而促进新型防腐蚀涂层的应用。

1 新型防腐蚀涂层的特点

1.1 材料组成特性

涂层由三层组成,第一层为电化学防腐涂料,主要成分是乙

烯基树脂、聚酯树脂、有机硅改性聚醚树脂;第二层为自组装纳米粒子导电薄膜,由银纳米晶和碳纳米晶组成;第三层为抗氧化清漆。在外表面涂敷电化学防腐涂料,具有良好的耐腐蚀性和粘结性,并且形成致密均匀的涂层,可有效避免被腐蚀介质侵蚀,同时也可以增强管道内壁的附着力。通过调整涂层厚度和电化学防腐涂料中纳米粒子含量,就能改变涂层对氯离子和硫酸根离子的抵抗能力,提高其防腐性能。

1.2 防护机制创新

传统的油气管道防腐蚀涂层使用时间长,对外界环境适应性差。部分涂层表面脱落,在高温或低温等恶劣条件下极易出现腐蚀现象,降低了管道的使用寿命。新型的防腐蚀涂层以石墨烯为主要原材料,该材料具有高强度、高弹性、高熔点的特点,能

够有效提升油气管道的使用性能,还能在一定程度上延长其使用周期。石墨烯因自身优异的抗氧化性和独特的结构特点,可以更好地抵御外界环境因素带来的不利影响。因此,应用石墨烯作为油气管道防腐涂层的原材料,能够有效提高防护效果,达到预期的防腐效果。

1.3 适应环境能力

该新型防腐涂层采用了先进的无机非金属材料,不仅具备卓越的耐化学腐蚀性能,还展现出优异的耐候性和低温环境适应性。它能够在极端的气候条件下保持涂层的完整性,并且在低温环境中也不会受到影响,为各种工业设备提供了可靠的防护保障。该涂层可以在 $-50^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间稳定工作,能够适应 -40°C 到 120°C 之间的温度变化。

1.4 耐久性表现

在工作期间,防腐钢管常受外部环境的腐蚀,使得防腐钢管的耐候性能与钢管的使用寿命受到影响。然而,现阶段使用的各类防腐涂料都有不同程度的时效问题,没有一种能确保其长时间稳定使用的涂层。而高固含量涂料的出现,可以很好地解决上述问题。与聚硫橡胶和聚氨酯涂层不同,该高固含量涂层具有耐高温分解和降解等特点,且不会受到外部环境的影响而发生脱落、起泡等不良现象。除此之外,该涂层具有极强的抗冲击性能,能有效抵御外界对管道造成的碰撞和磨损。因此,在实际应用中,该种涂层不仅耐候性能良好,而且还能保持较长时间内的完整性。

1.5 施工便捷性

由于新型防腐涂层是液体材料,不需要添加任何固化剂,所以在施工过程中无需使用有机溶剂、稀释剂和分散剂等辅助材料。同时该涂层具有较好的粘接性,能与管道表面牢固结合,保证涂层不脱落或发生粉化现象,减少了施工人员的劳动强度,大幅缩短了施工周期。

1.6 成本效益优势

相比传统的金属管道防腐涂层,新型聚氨酯防腐涂层的价格更低,其主要原因是采用了高科技含量、先进的制造技术和较少的原材料。此外,通过对原有的涂层进行重新设计与升级,从而在不影响使用寿命的情况下,使其具有更好的效果,也就意味着节约了大量的人力物力成本。

2 新型防腐涂层在油气管道使用中的必要性

2.1 延长管道寿命,提升运行效率

油气管道腐蚀会引发泄漏、爆炸等安全事故,严重威胁能源供给与生态环境。新型防腐涂层凭借优异的耐蚀性和物理力学性能,可有效抵御恶劣环境侵蚀,显著延长管道使用寿命,降低维护成本。同时,涂层的减摩、耐磨特性能够减少管道内壁摩擦,降低能源损耗,提升输送效率。例如,在复杂地质环境中,传统防腐涂料易因盐碱、湿度等因素脱落,而新型涂层通过针对性成分优化,可增强适应性,确保管道在沿海、江河等区域稳定运行,避免因频繁维修造成的资源浪费和运输中断^[1]。

2.2 保障输送安全,降低运营成本

油气管道作为能源输送的“生命线”,腐蚀问题已成为安全生产的重大隐患。新型纳米防腐涂层通过强化管道防护性能,可有效避免腐蚀导致的泄漏事故,保障油气安全运输。此外,传统防腐技术在特殊环境下存在局限性,涂层脱落问题频发,维修成本高昂。而新型涂层具备自动修复功能和化学稳定性,能减少维护频次,降低全生命周期成本。随着能源需求持续增长,这种兼具安全性与经济性的解决方案,为油气输送提供了可靠保障,助力企业实现降本增效^[2]。

2.3 满足环保要求,增强市场竞争力

在环保法规日益严格的背景下,新型防腐涂层不仅满足《油气输送管道防腐层技术标准》对涂装作业的环保要求,通过密闭施工、降尘处理等措施减少环境污染,还能提高资源利用率,契合绿色发展理念。同时,石油行业对高质量管道的需求不断提升,采用新型涂层可显著增强管道防腐性能,降低腐蚀损失,提升产品质量。这不仅有助于企业满足市场对高品质管道的需求,还能凭借技术优势提升市场竞争力,创造更大经济效益,推动行业向绿色化、高端化方向发展。

3 新型防腐涂层在油气管道应用中存在的问题

3.1 涂层质量与检测评估困境

部分油漆制造商因质量控制不严,加之企业受利润与成本压力,存在偷工减料、以次充好现象,导致新型防腐涂层成品合格率低。同时,油气管道重防腐涂层对原材料性能和生产工艺要求严苛,不规范生产严重影响涂层使用寿命。此外,国内涂装生产线自动化、智能化程度不足,高温高压无气喷涂等关键设备难以满足涂层均匀喷涂、恒温固化等需求,检测与评估手段的局限性成为制约涂层应用推广的重要瓶颈^[3]。

3.2 施工过程的技术缺陷与兼容性难题

新型防腐涂层施工依赖特殊设备,但实际操作中设备常难以达到预期效果,导致涂层性能和质量受损。施工环节中,管道接缝、弯曲处易出现裂缝,引发涂层脱落或分布不均,削弱防护效果。在材料兼容性方面,尽管新型复合涂层对多种材质管道有一定适用性,但市场缺乏适配碳钢管道的高性能涂料,且现有部分涂料固化时间长、施工条件苛刻,极大限制了其在管道工程中的广泛应用^[4]。

3.3 长期性能研究与环境适应性不足

国内管道防腐涂料发展尚处于起步阶段,对材料腐蚀机理研究不够深入,导致涂层性能与实际需求存在差距。新型涂层长期性能数据匮乏,现场应用经验不足,阻碍了技术水平和产品质量提升。此外,油气管道埋地敷设,内部介质杂质、水及溶解氧,以及输送过程中的热量变化、自然灾害等环境因素,均可能导致涂层局部脱落、开裂,使其失去防护功能^[5]。

3.4 成本控制与产业化挑战

新型防腐涂料的研发和生产成本是推广应用的主要障碍。研发环节投入大、周期长、风险高,多数企业不愿加大投入,导致科研成果多停留在实验室阶段,难以实现产业化生产。以有机磷酸酯类防腐涂料为例,国内仅有少数企业具备生产能力。同时,

生产成本居高不下,进一步增加了新型防腐涂料在油气管道建设中的应用难度。

4 新型防腐涂层在油气管道使用中的性能评价策略

4.1 构建科学检测体系,强化质量评估

性能评价是保障新型防腐涂层可靠性的关键。需结合管道腐蚀实际状况与涂层应用效果,采用科学检测方法对涂层性能进行综合评估。一方面,持续优化检测流程,创新检测技术,改进检测方法手段,确保检测结果的精准性,为涂层选型与维护提供可靠依据;另一方面,建立完善的检测体系,涵盖原材料质检、生产过程监控及成品性能测试,形成全流程质量管控闭环,从源头保障涂层质量

4.2 优化施工工艺,严格质量控制

施工工艺直接影响涂层的防腐效果。针对聚氨酯、聚脲等常用涂层,需依据管道材质、使用环境选择适配工艺。首先,优化材料配比,精准匹配管道特性与环境需求,避免因配比不当导致涂层性能下降;其次,规范施工流程,严格按标准工序操作,杜绝随意变更工艺;同时,加强施工队伍资质管理,采用科学涂敷技术,确保涂层表面平整、无气泡褶皱。施工完成后,及时开展检测工作,通过对比试验分析腐蚀原因,动态优化施工方案,提升涂层防护性能^[6]。

4.3 深化适配性研究,突破材料瓶颈

涂层与管道材质的适配性决定其使用寿命与防护效果。技术人员需深入研究涂层耐腐蚀性与管道本体材质的匹配关系,例如针对石油管道用钢的化学成分特性,避免涂层材料与钢中元素发生不良反应。通过开展新材料研发与应用试验,评估涂层在不同材质管道上的抗腐蚀能力与使用寿命,探索新材料带来的性能提升潜力,开发适配多种管道材质的高性能涂层产品,解决兼容性难题。

4.4 推进长期监测与标准更新,夯实应用基础

长期跟踪监测是掌握涂层性能变化的核心手段。建立涵盖腐蚀介质成分、腐蚀速率等指标的监测体系,结合现场实时监测与实验室数据分析,动态评估涂层在不同服役阶段的防护效果,为工艺优化提供数据支撑。同时,引入计算机仿真技术,借鉴国外成熟模拟方法,构建涂层性能预测模型,弥补国内研究短板。此

外,鉴于现有行业标准滞后于技术发展,需从涂层本体、应用场景及环境因素三方面更新规范,完善涂层厚度要求、应用方案及安全使用年限等标准,推动新型防腐涂层技术的规范化与产业化发展^[7]。

5 结语

总之,随着科学技术的发展和新型防腐涂层技术的不断创新,人们在管道防腐领域取得了巨大进步。然而,要想充分发挥新型防腐涂层的优势,仍需要在实际应用过程中注意细节,解决存在的问题。只有这样,才能更好地为油气管道提供可靠的防腐保障,进一步推动我国油气行业的可持续发展。

[基金项目]

本工作得到新疆维吾尔自治区天池英才项目和国家自然科学基金(52263026)项目资助。

[参考文献]

- [1]徐力.刺激响应型自修复防腐涂层的制备及其性能研究[D].吉林大学,2023.
- [2]付雪.纳米纤维基双重自修复防腐涂层的设计制备及其性能研究[D].吉林大学,2022.
- [3]魏艳敏.ZnPA@ZIF-8/PDA-MoS₂纳米复合材料的制备及其在防腐涂层中的研究[D].陕西科技大学,2022.
- [4]杨晓娜.Q235碳钢表面超疏水自修复防腐涂层的制备及其性能研究[D].吉林大学,2021.
- [5]李陈成.生物质基水性环氧固化剂及其防腐涂层的制备与性能研究[D].华南理工大学,2022.
- [6]黄浩炜.二维纳米材料的功能化及其在防腐涂层中的应用与机理[D].华南理工大学,2021.
- [7]刘亚军,文劲,杨银兵.水轮机固定导叶气蚀处理新工艺研发与应用[J].云南水力发电,2022,38(S1):35-37.

作者简介:

刘斌(1983--),男,汉族,重庆云阳人,博士,副教授,研究方向:材料科学与工程。

孙同成(1984--),男,汉族,山东日照人,工程硕士,高级工程师,主要从事:采油工程、提高采收率、井筒完整性相关技术管理工作。