

石油化工管道防腐关键技术分析

郭亮亮（北京帮安迪信息科技股份有限公司，北京 101149）

摘要：石油和天然气作为石化行业的主要原料，其输送需要借助管道这一重要载体。但石油化工管道长期处于复杂的环境中，在各种腐蚀因素的共同作用下，严重影响管道的使用寿命和运行安全。因此，应采用先进的防腐技术，延长管道的使用寿命，保障石油化工管道的安全、稳定运行。本文通过分析石油化工管道腐蚀的原因，深入探讨了石油化工管道防腐的关键技术，并以具体项目入手，以期为石油化工管道的防腐设计和施工提供有效支持，推动石油化工行业的可持续发展。

关键词：石油化工管道；涂层防腐；阴极保护技术；缓蚀剂

中图分类号：TE988.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)016-0163-03

Analysis of Key Technology of Corrosion Prevention in Petrochemical Pipeline

Guo Liangliang (Beijing Bangandi Information Technology Co., LTD., Beijing 101149, China)

Abstract: Oil and natural gas as the main raw materials of the petrochemical industry, its transportation needs to rely on the pipeline as an important carrier. However, the petrochemical pipeline is in a complex environment for a long time, and the service life and operation safety of the pipeline are seriously affected by various corrosion factors. Therefore, advanced anti-corrosion technology should be adopted to extend the service life of the pipeline and ensure the safe and stable operation of the petrochemical pipeline. By analyzing the causes of corrosion of petrochemical pipeline, this paper discusses the key technologies of corrosion prevention of petrochemical pipeline, and starts with specific projects, in order to provide effective support for the design and construction of corrosion prevention of petrochemical pipeline and promote the sustainable development of petrochemical industry.

Key words: Petrochemical pipeline; Coating anticorrosion; Cathodic protection technology; Corrosion inhibitor

随着科技的不断进步，各种先进的防腐技术不断涌现，为石油化工管道的防腐提供了更多的选择和可能性。特别是近年来我国管道防腐技术水平有了显著提升，在实际防腐工程中，多采用三层聚乙烯、熔结环氧粉末等技术。这些材料性能已达到国际先进水平，而且成本相对低廉，在一些重点输油管道建设中广泛应用。液态聚氨酯防腐涂料作为一种新兴的防腐技术，不仅在管道防腐中应用，还能够为旧管道的修复提供有效的解决方案。无机非金属防腐材料也逐渐在管道防腐领域中应用，为管道防腐技术的发展开辟了新的方向。但在实际管道防腐过程中，还需要结合不同管道所处环境和输送介质，制定相应的防腐技术方案，以此来提高管道防腐的针对性和有效性。

1 石油化工管道腐蚀的原因分析

1.1 化学腐蚀

石油化工管道通常采用金属材质，如碳钢、合金钢等，这些材质在与土壤中的酸性物质、盐类物质等接触时，容易发生化学反应，导致管道腐蚀。同时石油化工管道在运行过程中，不可避免会与空气接触。当空气中含有硫化物、氯化物等有害物质时，这些物质会依附在管道表面，与管道金属发生化学反应，从而导致管道腐蚀。而且石油作为一种复杂的混合物，其中含有硫化物、有机酸、盐类等化学物质。这些化

学物质在石油输送过程中，会与管道内壁发生化学反应，导致管道腐蚀。另外，石油中还含有一定量的环烷酸、脂肪酸等有机酸。这些有机酸在高温、高压的条件下，也会对管道金属产生强烈的腐蚀作用。

1.2 电化学腐蚀

当石油化工管道的金属材质与管道内外部的电解质接触时，会发生电化学反应，导致管道腐蚀。在实际的石油化工管道运输中，管道通常会穿越不同的地质区域，这些区域的土壤性质、含水量、酸碱度等存在差异，从而形成不同的电解质环境^[1]。当管道在这些不同的电解质环境中时，就会形成电位差，导致电化学腐蚀的发生。当石油化工管道所处的环境水分含量较高时，管道表面会因依附性而形成一层水膜。这层水膜与管道自身的金属材质接触后，会产生电化学反应，进而导致管道腐蚀。特别是在酸雨频繁的地区，管道表面形成的水膜酸性更强，管道的腐蚀速度也会更快。

1.3 微生物腐蚀

在石油化工管道的运行过程中，土壤中的微生物对管道的腐蚀作用不容忽视。土壤中存在着大量的微生物，如硫酸盐还原菌、铁细菌、硫氧化菌等。这些微生物在适宜的环境条件下，会在管道表面生长繁殖，形成生物膜，从而加速管道的腐蚀。当微生物在管道

表面大量附着时，会形成局部的腐蚀热点，加速管道的腐蚀；而在微生物附着量较少的区域，管道的腐蚀速度相对较慢。这种因微生物附着量差异导致的局部腐蚀现象，在石油化工管道中较为常见，对管道的安全运行构成了严重威胁。

2 石油化工管道防腐关键技术

2.1 涂层防腐技术

涂层防腐技术主要以无机非金属涂层、有机涂层和复合涂层为主。无机非金属涂层在石油化工管道防腐领域占据重要地位。陶瓷涂层作为无机非金属涂层中的典型代表，由耐高温的陶瓷材料通过特定工艺涂覆在管道表面形成的。在高温环境下，陶瓷涂层能够保持稳定的结构和性能，有效抵御高温气体和液体的侵蚀，延长管道的使用寿命。搪瓷涂层也是一种常见的无机非金属涂层，它是将无机玻璃质材料通过高温熔融涂覆在金属管道表面，经冷却固化形成坚硬、光滑的涂层。

搪瓷涂层具有良好的耐腐蚀性，对多种化学物质具有优异的耐受性，在化工管道中，能有效抵御酸、碱、盐等介质的侵蚀。玻璃涂层也是其中一种，其具有较高的致密性，在石油管道中能够防止水分、氧气等腐蚀介质与管道金属接触，减缓管道的腐蚀速度。而且玻璃涂层的绝缘性能良好，可避免因电化学腐蚀而导致的管道损坏。

有机涂层在石油化工管道防腐领域应用广泛，其种类丰富，性能各异，能够满足不同工况下的管道防腐需求。油漆作为一种常见的有机涂层材料，具有良好的装饰性和一定的防腐性能。它可以通过刷涂、喷涂等方式涂覆在管道表面，形成一层保护膜，阻挡腐蚀介质与管道金属的接触。涂料是有机涂层的重要组成部分，包括环氧树脂涂料、聚氨酯涂料、丙烯酸涂料等。环氧树脂涂料具有优异的附着力、耐化学腐蚀性和机械性能，能够在各种恶劣环境下为管道提供可靠的防护。塑料涂层也是有机涂层的一种，常见的有聚乙烯涂层、聚丙烯涂层等。这些塑料涂层具有良好的耐腐蚀性、绝缘性和耐水性，能够有效保护管道。

复合涂层是将不同材料的优势结合起来，充分发挥各组成材料的特性，以达到更好的防腐效果。复合涂层由底层、中间层和面层组成。底层一般采用附着力强的材料，为整个涂层体系提供良好的基础。中间层则根据具体需求选择具有特定性能的材料，如具有良好屏蔽、缓冲等性能的材料。面层则多选用耐候性好、耐磨性强的材料，以保护整个涂层免受外界环境的侵蚀。通过这种多层结构的设计，复合涂层能够综合各层材料的优点，形成一个坚固、耐用的防腐屏障。

2.2 阴极保护技术

阴极保护技术以牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护为主，两种技术各有其优缺点，在实际应用中需要根据具体情况进行选择。牺牲阳极阴极保护技术的结构简单，不需要外部电源，安装和维护相对方便。在一些偏远地区或难以接入电源的场合，如海上石油平台、山区的小型管道等，牺牲阳极阴极保护技术具有明显的优势。其对周围环境的干扰较小，不会产生杂散电流，对邻近的金属结构物影响较小。外加电流阴极保护技术的优势在于其输出电流可以根据需要进行调节，能够适应不同的腐蚀环境和保护要求，保护范围较大，适用于大型的石油化工管道和复杂的腐蚀环境。通过恒电位仪等设备的精确控制，可以实现对管道电位的实时监测和调整，确保管道始终处于良好的保护状态。在实际应用中，选择阴极保护技术的依据主要包括被保护管道的规模、所处环境、土壤电阻率、电源条件等因素。对于小型的石油化工管道，如城市中的燃气管道、小型储罐的管道等，当土壤电阻率较低且电源接入困难时，牺牲阳极阴极保护技术是较为合适的选择。对于长输石油管道、大型油罐等大型金属结构，且所处环境电源条件较好时，外加电流阴极保护技术更具优势。其能够提供较大的保护电流，满足大面积金属结构的防腐要求，同时通过精确的控制，确保管道的长期安全运行。

2.3 缓蚀剂防腐技术

缓蚀剂是一种抑制金属在特定环境中腐蚀的化学物质，能够在金属表面形成一层保护膜。这层保护膜能够阻隔金属与环境介质的直接接触，从而降低金属的腐蚀速率。在酸性介质中，有机缓蚀剂分子中的极性基团能够通过物理或化学作用力吸附在金属表面，而非极性基团则排列在介质中，形成一层隔离层，阻止腐蚀介质与金属基体的接触，阻碍腐蚀反应产物的扩散，同时改变双电层结构，提高腐蚀反应的活化能，进而抑制腐蚀反应的进行^[2]。缓蚀剂还可以通过减少阳极反应，降低金属在阳极上的电化学反应速率，从而防止金属表面的阳极溶解和金属离子的释放。缓蚀剂也可以作为外部电子供体，向金属表面提供电子，形成局部的阴极保护，使金属处于较低的腐蚀电位，减少腐蚀反应的发生。在某些情况下，缓蚀剂中的某些成分能够与金属表面的阴极区发生反应，增加阴极极化过程，或者提高阴极反应的过电位，从而抑制阴极反应，进而抑制整个腐蚀过程。

3 石油化工管道防腐技术的应用案例分析

3.1 管道的特点及采用的防腐技术

某长输石油管道全长 1200km，管径为 1016mm，

主要输送的介质为原油。管道途经多个省份，穿越了山区、平原、河流、沙漠等多种复杂的地理环境。

该工程采用了多种先进的防腐技术，以确保管道的安全运行。在涂层防腐技术方面，选用了三层聚乙烯防腐涂层。这种涂层由环氧粉末底层、胶粘剂中间层和聚乙烯外层组成，具有良好的粘结性、抗腐蚀性和机械性能^[3]。在施工过程中，首先对管道表面进行严格的预处理，采用喷砂除锈的方式，使管道表面达到要求级别的除锈标准，确保涂层与管道表面的良好附着力。然后，将环氧粉末通过静电喷涂的方式均匀地涂覆在管道表面，形成相应厚度的底层。接着，在环氧粉末尚未固化时，立即涂覆胶粘剂中间层。将高密度聚乙烯挤出缠绕在管道表面。在整个施工过程中，严格控制各层涂层的厚度和质量，确保涂层的均匀性和完整性^[4]。

为了进一步提高管道的防腐效果，该工程还采用了阴极保护技术。根据管道途经地区的土壤电阻率、地形地貌等因素，综合考虑采用了牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护相结合的方式。在土壤电阻率较低、地形较为平坦的平原段，主要采用牺牲阳极阴极保护技术。选用镁合金作为牺牲阳极，根据管道的腐蚀速率和保护年限，合理计算并确定牺牲阳极的安装间距和数量。

将镁合金阳极通过电缆与管道进行可靠连接，确保电流能够顺畅地从阳极流向管道。在山区段和河流穿越段，由于土壤电阻率较高，地形复杂，采用外加电流阴极保护技术。在这些区域设置阴极保护站，配备恒电位仪作为直流电源，通过辅助阳极将电流均匀地分布到管道周围的土壤中。辅助阳极采用高硅铸铁材料，通过深井阳极的方式进行埋设，以提高电流的分布效果和保护范围^[5]。在实施过程中，通过参比电极实时监测管道的电位，根据监测数据及时调整恒电位仪的输出电流，确保管道的电位始终处于保护电位范围内。

3.2 防腐效果

通过定期对管道进行检测和监测，对该工程的防腐效果进行了评估。在涂层检测方面，采用了电火花检漏仪对3PE防腐涂层进行检测，检测结果表明，涂层的绝缘性能良好，未发现明显的漏点和缺陷。对涂层的附着力采用划格法和拉开法进行检测，涂层的附着力均符合相关标准要求，能够有效地保护管道不受外界腐蚀介质的侵蚀^[6]。

在阴极保护效果评估方面，通过对管道电位的定期测量，发现管道的电位始终稳定在保护电位范围内，表明阴极保护系统运行正常，能够有效地抑制管道的

腐蚀。在管道运行5年后，对管道进行了开挖检查，发现管道表面基本无腐蚀迹象，仅在个别部位出现了轻微的腐蚀痕迹，腐蚀深度远远低于允许的腐蚀余量。

在评估过程中也发现了一些问题。在部分河流穿越段，由于河水的冲刷和泥沙的磨损，管道的防腐涂层出现了局部破损的情况，虽然阴极保护系统能够在一定程度上保护管道，但仍存在一定的安全隐患。在沙漠地区，由于风沙的侵蚀，管道表面的防腐涂层出现了轻微的磨损，需要定期对涂层进行维护和修复。针对这些问题，提出了相应的改进方向。在河流穿越段，加强对管道的防护措施，如增加防护套管、设置护岸等，减少河水和泥沙对管道的冲刷和磨损。在沙漠地区，采用更加耐磨的防腐涂层材料，或者在管道表面增加防护层，如安装防风沙罩等，以提高管道的抗风沙侵蚀能力。加强对管道的日常监测和维护，及时发现并处理潜在的安全隐患，确保管道的长期安全运行。

4 结束语

石油化工管道的防腐工作至关重要，直接关系到石油化工行业的安全稳定发展。随着技术的不断发展，涂层防腐技术、阴极保护技术以及缓蚀剂防腐技术等都在不断进步与完善。但在管道防腐技术实际应用过程中，不同的地理环境、输送介质等因素都会对管道的防腐效果产生影响，这就要求根据具体情况灵活运用防腐技术，并且不断探索新的防腐技术和材料。在管道建设与运营过程中，也要重视管道防腐工作的全过程管理，从管道的前期设计、施工过程中的质量控制到后期的运营维护，每个环节都不容忽视。只有这样，才能有效延长石油化工管道的使用寿命，减少因管道腐蚀带来的经济损失和安全风险，保障石油化工产业的可持续发展。

参考文献：

- [1] 王清春,王洁光.石油化工管道防腐关键技术研究[J].化工管理,2025(02):129-132.
- [2] 李强.管道防腐技术在油气储运中的全程应用[J].当代化工研究,2022(04):81-83.
- [3] 张晓晴.浅谈石油化工管道防腐技术[J].当代化工研究,2024(08):129-131.
- [4] 王志海.工业管道防腐技术在石油化工中的应用分析[J].石化技术,2025(04):7-9.
- [5] 张浩.油田集输管线内外防腐技术及运用分析[J].全面腐蚀控制,2021(04):98-100.
- [6] 陈俊辉,张亿.浅析石油天然气管道工程的关键防腐技术[J].中国设备工程,2025(06):16-17.