

管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用策略

杨文博（国家管网集团液化天然气接收站管理公司，天津 300452）

王丽（国家管网集团储运技术发展有限公司，天津 300457）

摘要：本文以“管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用策略”为题，对油气储运过程中管道腐蚀问题进行深入分析。通过探讨油气储运中存在的问题、管道腐蚀的原因以及防腐技术的应用策略，本文旨在为油气行业提供一套全面、系统的管道防腐解决方案。油气储运过程中，管道面临着复杂多变的内外部环境，极易发生腐蚀问题，严重威胁着管道的安全运行和使用寿命。因此，研究管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用策略具有重要的理论意义和实践价值。本文将从材料选择、设计优化、施工管理、在线监测等方面入手，提出一套全流程、多维度的管道防腐技术应用策略，以期为油气行业的安全生产和可持续发展提供参考和指导。

关键词：油气储运；管道腐蚀；防腐技术；全程控制

0 引言

油气储运是石油和天然气从开采到消费过程中的重要环节，管道是油气储运的主要载体。然而，由于油气储运过程中复杂的内外部环境，管道极易发生腐蚀问题，严重威胁着管道的安全运行和使用寿命，给油气企业带来巨大的经济损失和安全隐患。因此，研究管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用策略具有重要的理论意义和实践价值。

本文将从油气储运中存在的问题入手，深入分析管道腐蚀的原因，并提出一套全流程、多维度的管道防腐技术应用策略，以期为油气行业的安全生产和可持续发展提供参考和指导。

1 油气储运中的问题

1.1 管道内外壁腐蚀严重

油气管道长期处于复杂的腐蚀环境中，如含硫化氢、二氧化碳等腐蚀性介质的输送，高温高压条件下的电化学腐蚀，土壤环境中的微生物腐蚀等。这些因素导致管道内外壁发生严重的腐蚀损伤，如全面腐蚀、点蚀、孔蚀、应力腐蚀开裂等。腐蚀使管道壁厚减薄，机械强度下降，增大了管道泄漏和爆炸的风险。同时，腐蚀产物的堆积还会影响管道的输送效率，增加能耗。管道腐蚀已成为油气储运中亟待解决的关键问题，严重威胁着管道的安全运行和经济效益。

1.2 管道泄漏事故频发

油气管道泄漏事故时有发生，其原因包括管道腐蚀、材料缺陷、施工质量问题、第三方破坏等。管道泄漏不仅造成油气资源的损失，还会引发火灾、爆炸等次生灾害，对环境和人民生命财产构成严重威胁。

泄漏的油气还会污染土壤和水体，破坏生态平衡，后果十分严重。频发的管道泄漏事故暴露出油气管道完整性管理存在的诸多问题，亟需加强管道风险评估、隐患排查和应急处置能力建设，从源头上防范和遏制事故发生。

1.3 管道维护成本高昂

油气管道维护是一项复杂的系统工程，涉及管道检测、评估、修复、更换等多个环节，需要投入大量的人力、物力和财力。随着管道腐蚀老化问题的加剧，管道维护频次增加，维护难度和成本不断攀升。特别是对于埋地管道和海底管道，检测和维修更加困难，成本高昂。同时，管道维护还面临技术难题，如高效率、低成本的管道内检测技术，长输管道的定位修复技术等，亟需加大科研投入和技术攻关。合理控制管道维护成本，延长管道使用寿命，已成为油气企业面临的重大挑战。

2 油气储运中出现管道腐蚀的原因

2.1 油气介质的腐蚀性

油气介质中通常含有多种腐蚀性物质，如硫化氢、二氧化碳、有机酸等，这些物质与管道材料发生电化学反应，导致管道腐蚀。其中，硫化氢是最严重的腐蚀性介质之一，它可以与管道钢材发生硫化反应，生成硫化亚铁等腐蚀产物，导致管道发生硫化氢应力腐蚀开裂。二氧化碳与水共存时，会形成碳酸，降低介质的pH值，加速管道的电化学腐蚀过程。此外，原油中还含有难以去除的有机酸，如奈弗塔烯酸等，这些酸性物质会直接腐蚀管道内壁，导致局部腐蚀加剧。油气介质的流动状态也影响管道腐蚀，高流速条件下，

腐蚀性介质不断冲刷管道内壁，加速腐蚀产物的脱落，暴露新的金属表面，加速腐蚀过程。低流速或滞留条件下，腐蚀性介质在管道局部富集，形成局部腐蚀电池，导致严重的点蚀和孔蚀。因此，油气介质的腐蚀性是管道腐蚀的主要原因之一。

2.2 环境因素的影响

油气管道所处的环境条件对管道腐蚀有重要影响。对于埋地管道，土壤环境的物理化学性质直接影响管道的腐蚀速率。酸性土壤、含氯离子土壤、含硫土壤等都会加速管道的电化学腐蚀过程。土壤含水量、含氧量、电阻率等因素也影响管道腐蚀，高含水量、高含氧量、低电阻率的土壤环境更易导致管道腐蚀。此外，土壤中的微生物活动也会引起管道的微生物腐蚀，如硫酸盐还原菌、铁氧化菌等微生物的代谢产物会直接腐蚀管道。对于海底管道，海水的高氯离子浓度、溶解氧含量、温度等因素都会影响管道的腐蚀速率。海水动力条件如海流、潮汐等也会加剧管道腐蚀，引起管道的疲劳损伤和腐蚀疲劳。大气环境中的湿度、温度、污染物浓度等因素也会影响地上管道的大气腐蚀速率。因此，全面评估管道所处的环境条件，采取针对性的防腐措施，是控制管道腐蚀的关键。

2.3 管道材料选择不当

管道材料的选择直接影响管道的耐腐蚀性能。常用的管道钢材如普通碳钢、低合金钢等，其耐腐蚀性能相对较差，在腐蚀性介质和环境中易发生腐蚀。而耐蚀合金钢，例如不锈钢、双相钢等，虽然耐腐蚀性能优异，但成本较高，限制了其大规模应用。管道钢材的冶炼质量、化学成分、力学性能等因素也影响其耐腐蚀性能。钢材中的非金属夹杂物、晶界偏析等缺陷，会成为腐蚀的优先发生点，加速局部腐蚀的发展。钢材的组织结构如晶粒度、析出相等也影响其耐蚀性，细晶组织、均匀分布的析出相有利于提高钢材的耐蚀性。此外，管道连接方式如焊接、法兰连接等，也影响管道的耐蚀性能。焊缝区的组织结构、残余应力、缺陷等因素，易引发焊缝区的局部腐蚀。因此，根据油气介质特性和环境条件，合理选择管道材料及连接方式，是控制管道腐蚀的重要手段。

2.4 防腐措施不完善

完善的管道防腐措施是延长管道使用寿命、降低腐蚀风险的关键。然而，在实际工程中，由于防腐措施不完善，管道腐蚀问题仍然频发。常见的问题包括防腐涂层质量差、涂层破损、阴极保护不足等。防腐

涂层是管道抵御腐蚀的第一道屏障，但如果涂层材料选择不当、施工质量低劣、涂层厚度不均匀等，都会降低涂层的防腐性能，导致涂层破损、剥落，暴露管道基体，加速腐蚀。即使涂层质量合格，在管道运输、安装、投运过程中，也可能发生机械损伤、老化失效等问题，导致涂层防腐功能丧失。阴极保护是控制管道腐蚀的有效电化学方法，但如果阴极保护电位不足、阳极材料选择不当、阴极保护范围不完全等，都会降低阴极保护效果，无法有效控制管道腐蚀。此外，管道内防腐涂层、缓蚀剂注入等内防腐措施的缺失，也是导致管道内壁腐蚀的重要原因。因此，建立完善的管道防腐体系，加强防腐措施的设计、施工和维护管理，是控制管道腐蚀的重要保障。

3 管道防腐技术在油气储运中的应用策略

3.1 优选管道材料，提高抗腐蚀性能

在油气储运系统中，选择合适的管道材料是防腐的关键。常用的管道材料包括碳钢、不锈钢、合金钢等，其中不锈钢和合金钢具有较高的抗腐蚀性能。根据输送介质的特性和环境条件，选择耐腐蚀性能优异的材料，如奥氏体不锈钢、双相不锈钢、镍基合金等。同时，考虑管道的强度、韧性、焊接性等综合性能，确保管道在长期服役过程中保持良好的完整性。此外，可以采用内衬塑料复合管等新型复合材料，通过内层耐腐蚀材料与外层高强度材料的有机结合，进一步提升管道的抗腐蚀性能和使用寿命。

3.2 优化管道设计，减少腐蚀隐患

合理的管道设计是减少腐蚀隐患的重要手段。在设计阶段，应充分考虑管道的走向、坡度、支撑方式等因素，避免出现死角、积液等易发生腐蚀的区域。合理选择管道直径，确保输送介质的流速满足防腐要求，减少低流速或滞留导致的局部腐蚀。在管道连接处、阀门、法兰等易发生腐蚀的部位，采用合适的密封材料和连接方式，减少介质泄漏引起的腐蚀。同时，针对特殊环境如海底管道、高温高压管道等，采用特殊的防腐设计，如加装阳极保护、隔热层等，提高管道的耐腐蚀性能。通过优化管道设计，从源头上减少腐蚀隐患，延长管道的使用寿命。

3.3 加强施工管理，确保防腐质量

施工过程中的质量控制直接影响管道的防腐性能。施工前，应对管道材料进行严格的质量检验，确保材料符合防腐要求。在管道焊接过程中，采用合适的焊接工艺和参数，减少焊接缺陷对防腐层的破坏。

对焊缝进行无损检测，及时发现和修复缺陷。在防腐涂层施工中，严格控制涂层材料的质量，确保涂层厚度均匀、附着力良好，避免出现针孔、气泡等缺陷。对涂层施工过程进行全程监督，确保每道工序符合规范要求。施工完成后，对管道防腐层进行严格的检验，包括目视检查、涂层厚度测量、附着力测试等，确保防腐质量满足设计要求。通过加强施工管理，从施工源头上保障管道防腐性能。

3.4 采用先进的防腐涂层技术

防腐涂层是管道防腐的重要屏障，选择先进的防腐涂层技术可以显著提高管道的耐腐蚀性能。常用的防腐涂层包括环氧涂层、聚乙烯涂层、聚氨酯涂层等。环氧涂层具有优异的耐化学性能和机械强度，适用于各种腐蚀环境。聚乙烯涂层具有优异的绝缘性能和耐候性，常用于埋地管道的防腐。聚氨酯涂层具有优异的耐磨性和耐冲击性，适用于高流速和颗粒磨损环境。此外，还可采用先进的复合涂层技术，如三层聚乙烯涂层、熔结环氧粉末涂层等，通过多层涂层的协同作用，进一步提高防腐性能。在涂层选择时，应考虑输送介质的特性、环境条件、施工工艺等因素，选择最优的防腐涂层体系。

3.5 实施阴极保护，延长管道寿命

阴极保护是一种有效的电化学防腐方法，通过外加阴极电流或牺牲阳极，使管道成为阴极，抑制腐蚀反应的发生。外加电流阴极保护通过在管道表面施加负电位，使管道成为阴极，阻止阳极溶解反应的进行。牺牲阳极阴极保护通过将比管道更容易溶解的金属（如镁、锌等）连接到管道上，利用金属电位差形成电池，使管道成为阴极，牺牲阳极优先溶解，保护管道免受腐蚀。阴极保护设计需要考虑管道的材质、埋设环境、土壤电阻率等因素，合理选择阴极保护方式和参数。通过实施阴极保护，可以显著延长管道的使用寿命，减少腐蚀引起的事故风险。

3.6 建立在线监测系统，实时掌控管道状态

在线监测是管道腐蚀控制的重要手段，通过实时监测管道的腐蚀状态，及时发现和预警腐蚀问题。常用的在线监测技术包括超声波检测、电化学噪音监测、光纤传感等。超声波检测通过发射和接收超声波信号，评估管道壁厚变化和缺陷情况。电化学噪音监测通过分析管道表面的电位和电流噪音信号，评估腐蚀活性和腐蚀速率。光纤传感通过布设光纤传感器，监测管道应力、应变、温度等参数变化，

及早发现腐蚀引起的异常。在线监测系统可以与管道地理信息系统（GIS）、数据库等集成，实现数据的采集、传输、分析和预警。通过建立完善在线监测系统，实时掌控管道的腐蚀状态，为管道维护和决策提供数据支撑。

3.7 定期开展管道检测与维护，及时消除隐患

管道运行过程中，定期开展检测与维护是及时发现和消除腐蚀隐患的关键。常用的管道检测方法包括内检测、外检测和在线检测。内检测通过智能检测器（如磁通检漏、超声波检测器等）在管道内部运行，全面扫描管道内壁状况，发现腐蚀、裂纹等缺陷。外检测通过目视检查、涂层检测等方式，评估管道外表面的腐蚀状况和涂层完整性。在线检测通过在线监测系统实时监控管道状态，及早发现腐蚀问题。根据检测结果，制定针对性的维护措施，如更换损坏的管段、修复防腐涂层、调整阴极保护参数等。同时，建立完善的管道完整性管理体系，编制检测与维护规程，明确责任人和实施周期，确保管道检测与维护工作的持续改进。通过定期开展管道检测与维护，及时发现和消除腐蚀隐患，确保管道的安全可靠运行。

4 结语

总之，管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用是一项复杂的系统工程，需要从材料选择、设计优化、施工管理、在线监测等多个环节入手，采取针对性防腐措施。本文提出的管道防腐技术应用策略，涵盖了油气储运过程中管道防腐的各个关键环节，具有全流程、多维度的特点，对于提高管道的抗腐蚀性能、延长管道的使用寿命、保障油气储运的安全与效率具有重要意义。未来，随着油气行业的不断发展和新技术不断涌现，管道防腐技术也将进一步创新和完善。在大数据、人工智能等新兴技术的助力下，油气企业将能够更加精准、高效实施管道防腐，为油气储运的安全与可持续发展提供更有力的保障。

参考文献：

- [1] 赵亮.管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(01):172-174.
- [2] 许竹馨.管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用分析[J].全面腐蚀控制,2020,34(03):39-40.
- [3] 赵凯,杨平锋.管道防腐技术在油气储运中的全程控制与应用[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2015,(12):237.