

浅谈油气集输管道内腐蚀及内防腐技术

景卓 李庆港 王帅 (新地能源工程技术有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 在油气工业中, 集输管道扮演着至关重要的角色, 它们作为连接油气生产地和加工地的重要通道, 承担着输送油气资源的重任, 在长期运行过程中, 集输管道内部往往会遭受腐蚀的影响, 这不仅会损害管道的结构完整性和安全性, 还可能导致油气泄漏、环境污染甚至人员伤亡, 对油气行业的安全生产和可持续发展构成威胁。基于此, 本文简单讨论内防腐技术在油气工业中的重要性, 深入探讨内管道腐蚀原因及内防腐技术, 以供参考。

关键词: 油气集输管道; 内腐蚀; 内防腐技术

0 前言

油气集输管道内腐蚀是一个复杂的问题, 其产生原因包括介质腐蚀、微生物腐蚀、电化学腐蚀等多种因素, 针对不同类型的腐蚀问题, 需要采用不同的内防腐技术进行处理, 常见的内防腐技术包括涂层防腐、阴极保护、缓蚀剂注入等, 这些技术在一定程度上可以减缓管道内腐蚀的发展速度, 延长管道的使用寿命, 提高管道的安全性和可靠性。

1 内防腐技术在油气工业中的重要性

内防腐技术在油气工业中具有至关重要的作用, 其在保护设备、管道和设施免受腐蚀损害方面发挥着关键作用, 油气工业中的设备和管道往往暴露在极端的环境条件下, 包括高压、高温、潮湿、盐水等, 这些因素都会导致腐蚀的发生, 采用内防腐技术是确保油气设施安全、可靠运行的不可或缺的一环。油气设备和管道的腐蚀损坏会导致漏油、漏气等严重后果, 不仅会造成经济损失, 还可能引发环境污染和安全事故, 通过内防腐涂层或内衬材料, 可以形成一层保护膜, 阻隔介质与设备表面直接接触, 减缓腐蚀速度, 从而延长设备的使用寿命, 降低维护成本。

腐蚀会导致设备表面粗糙度增加、管道内壁磨损加剧等问题, 进而影响油气流体的流动性能, 增加能源消耗, 降低生产效率, 采用内防腐技术可以有效减少这些问题的发生, 保持设备表面的光滑度, 保持管道内壁的清洁状态, 提高流体的输送效率, 降低能源消耗, 从而提高设备的运行效率。油气设备和管道的腐蚀损坏不仅会导致泄漏和爆炸等严重安全事故, 还可能对工作人员和周围环境造成严重威胁, 采用内防腐技术可以有效防止腐蚀的发生, 降低设备损坏的风险, 提高工作人员的安全保障水平, 保护周围环境免受污染。

2 油气集输管道内腐蚀原因

2.1 介质腐蚀

当油气流经管道时, 管壁与介质直接接触, 介质中存在的酸性、碱性物质以及含有硫化物、氧化物等成分会对管壁材料产生腐蚀作用, 特别是在管道弯曲处或凹凸不平的表面, 介质更容易在局部区域停留, 加剧了腐蚀的发生。油气在流动过程中, 由于摩擦和惯性作用, 介质中的杂质往往会沉积在管道的底部, 形成腐蚀的“热点区域”, 这些沉积物可能包括水分、盐类、硫化物等, 它们会在与管道材料接触的同时, 促进腐蚀的发生和扩展。

由于重力作用, 管道内的液态介质往往会沿着管壁下降, 而气态介质则会上升, 导致液态介质的侵蚀作用主要集中在管道的下部, 而气态介质的侵蚀则主要发生在管道的上部, 这种垂直方向上的不均匀腐蚀会加剧管道的损伤程度, 增加了维护和修复的难度。由于接头处存在焊缝、螺纹等几何不规则性, 介质在流经时容易形成涡流和局部振荡, 加剧了腐蚀的发生, 接头处的应力集中效应也会导致管道材料的局部腐蚀和疲劳裂纹的形成, 进一步加剧了管道的损伤情况。

2.2 电化学腐蚀

在油气集输管道中, 可能存在水、氧气、二氧化碳等电解质, 而这些电解质与金属管道表面形成的铁氧化物层之间可能形成微观电池, 从而引发电化学腐蚀, 特别是当管道内介质中存在硫化物等有害物质时, 其加速了电化学腐蚀的过程, 使得腐蚀更为严重。在管道内, 流动介质会不均匀地接触到管道表面, 形成了局部腐蚀的可能性, 例如, 在流体流动受阻或流动速度较低的区域, 往往容易形成腐蚀, 介质停留时间长、氧气和水分布不均匀, 加剧了电化学腐蚀的程度, 管道的弯曲处、焊缝、支架附近等几何特征不利于流

体流动，也容易成为电化学腐蚀的重点区域。

管道的运行工况也会对电化学腐蚀的位置产生影响，例如，管道的运行温度、压力等参数会影响介质的电化学活性，进而影响腐蚀的速率和位置，管道的运行周期、停运维护等因素也可能导致腐蚀位置的变化，例如在停运期间可能形成静置腐蚀，而在重新投入运行后，流体的重新流动可能引发动态腐蚀。

2.3 微生物腐蚀

不同类型的微生物在不同的环境中可能会引发不同形式的腐蚀，微生物腐蚀主要分为硫酸盐还原菌、硫醇菌、硫氧化菌等几类，这些微生物在管道中生长繁殖，通过代谢过程产生的酸性物质、硫化物等会直接作用于管道金属表面，引发腐蚀反应。微生物腐蚀的位置通常集中在管道内壁的缺陷处或是存在应力集中的区域，这些缺陷可能是管道制造过程中的缺陷、焊接处、管道连接处的腐蚀、划伤等，微生物通过在这些缺陷处聚集生长，加速了管道的腐蚀速度，由于微生物腐蚀通常发生在管道内壁，往往难以及时发现，可能会在管道内部形成严重的腐蚀损伤，直至引发管道泄漏或爆裂等严重事故。

3 油气集输管道内防腐技术

3.1 化学防腐涂层技术

化学防腐涂层技术的基本原理是利用特定的化学物质形成一层保护膜覆盖在管道内壁上，阻隔管道金属与外界环境的直接接触，从而达到防腐的目的，常用的化学防腐涂层包括环氧树脂、聚脲酰胺、聚氨酯等，这些材料具有良好的耐腐蚀性和附着力，能够有效防止管道内壁受到腐蚀和损伤，涂料的选择还要考虑到管道所处的环境条件、介质性质以及施工条件等因素，确保选用的涂料能够适应实际使用情况。

化学防腐涂层技术的施工过程需要严格按照标准操作，包括表面处理、底漆涂装、中涂涂装和面漆涂装等步骤，表面处理要对管道内壁进行除锈、打磨和清洁，确保涂层的附着力和密封性，选择适当的底漆涂料对管道内壁进行一次涂装，增强涂层与管道壁的结合力，采用适当的中涂涂料对底漆进行覆盖，形成均匀的涂层厚度，选择合适的面漆涂料对中涂进行覆盖，形成最终的防腐涂层。

涂层的质量受到材料选择、施工工艺和环境条件等多方面因素的影响，要选择符合规定标准的防腐涂料，具有良好的耐化学性、耐腐蚀性和耐高温性，适合油气集输管道的运行环境，严格按照标准操作流程

进行涂装，保证涂层的均匀性、完整性和密封性，避免在高湿度、高温或强风等不利条件下进行施工，影响涂层的质量和性能。管道内防腐涂层经过一定时间的使用会受到物理、化学和环境因素的影响，可能出现脱落、龟裂或老化等问题，影响防腐效果，需要定期进行涂层的检测和评估，发现问题及时修复或更换涂层，保证管道的长期稳定运行和安全性。

3.2 电化学防腐技术

电化学防腐技术的原理是基于金属在电解质溶液中的电化学反应，当金属表面暴露在介质中时，会发生阳极溶解和阴极析气两种电化学反应，通过施加外加电流，可以改变金属表面的电位，从而促使阳极反应转化为阴极反应，形成一层稳定的保护膜，阻止金属表面的进一步腐蚀。

常用的防腐涂层包括阳极保护涂层、阴极保护涂层和双层涂层等，阳极保护涂层通常是利用锌、铝等活泼金属作为阳极，通过与管道金属形成电化学电池，起到防腐作用，阴极保护涂层则是通过在金属表面涂覆含有阴极保护剂的涂层，使金属表面形成一层保护膜，防止腐蚀发生，双层涂层则是将阳极保护涂层和阴极保护涂层结合起来，既提高了防腐效果，又延长了防腐层的使用寿命^[1]。

电化学防腐技术的施工方法包括浸涂法、喷涂法、涂覆法等，浸涂法是将防腐涂层浸泡在含有防腐剂的液体中，使其吸附到金属表面形成防腐层，喷涂法是利用高压气体将防腐涂料喷射到金属表面形成涂层，涂覆法则是将防腐涂料直接涂抹在金属表面形成涂层，选择合适的施工方法可以确保防腐涂层的均匀性和质量稳定性，提高防腐效果和使用寿命。随着科技的不断进步，智能化防腐涂层和监测设备将逐渐应用于实际工程中，实现对防腐层的远程监测和智能控制，提高防腐效果和运行管理的效率，环保型防腐涂料和施工工艺的研发和推广将成为未来的重点方向，以减少对环境的污染和资源的浪费，推动电化学防腐技术的可持续发展。

3.3 热塑性粉末喷涂技术

热塑性粉末是热塑性树脂、助剂和颜料等原料混合而成的粉状材料，其选择应考虑管道介质、工作温度、压力等因素，常用的热塑性粉末包括环氧树脂、聚氨酯、聚酯等，其具有良好的耐腐蚀性、耐磨性和耐高温性能，可根据具体情况选择合适的粉末类型^[2]。热塑性粉末喷涂工艺包括预处理、喷涂、固化等步骤，

在预处理阶段，需要对管道内壁进行表面处理，包括除锈、清洁和表面处理等，以确保粉末能够牢固附着于管道表面，喷涂阶段需要控制喷涂设备的喷涂压力、喷涂速度和喷涂距离等参数，保证热塑性粉末均匀覆盖管道内壁，固化阶段需要控制固化温度和时间，确保粉末形成致密的保护膜。热塑性粉末的喷涂层厚度应符合设计要求，通常在 100-300 微米之间，过厚的喷涂层可能会导致固化不完全或形成气泡、裂纹等缺陷，影响防腐效果；而过薄的喷涂层则可能无法有效阻隔介质的侵蚀，降低管道的防腐性能，在喷涂过程中需要严格控制喷涂厚度，确保达到设计要求。

3.4 纳米材料防腐技术

纳米材料防腐技术的原理是利用纳米颗粒的特殊性质，在管道表面形成一层稳定的保护膜，从而阻隔外界环境对管道的腐蚀，纳米材料通常具有较大的比表面积和特殊的化学活性，能够与管道表面发生化学反应或物理吸附，形成致密、均匀的防腐膜，这种防腐膜不仅具有良好的抗腐蚀性能，还能够修复管道表面的微小损伤，延长管道的使用寿命。

常用的纳米材料包括纳米氧化铁、纳米二氧化硅、纳米氧化铝等，这些纳米材料具有良好的化学稳定性和机械强度，能够在管道表面形成均匀、致密的防腐膜，并且对不同类型的腐蚀介质都具有良好的抵抗能力，纳米材料防腐技术还可以与其他防腐方法相结合，如喷涂、浸涂、喷射等，以增强防腐效果。

纳米材料防腐技术的应用范围广泛，可以用于各种类型的油气集输管道，无论是在陆地还是海底，无论是在常温还是高温、高压条件下，纳米材料防腐技术都能够有效地保护管道免受腐蚀的侵害，纳米材料防腐技术还可以用于新建管道的防腐处理，也可以用于老旧管道的修复和更新，具有很强的适用性和实用性。

纳米材料防腐技术的发展还面临一些挑战和问题，首先是纳米材料的制备和应用技术还不够成熟，需要进一步深入研究和改进，其次是纳米材料防腐技术的成本相对较高，需要考虑其经济性和可行性，此外，纳米材料防腐技术在大规模工程中的应用还需要充分考虑环境和安全等方面的问题，确保其在实际工程中能够安全可靠地运行^[1]。

3.5 缓蚀剂注入防腐技术

缓蚀剂的选择应考虑管道运输的介质、管道材质以及环境条件等因素，常见的缓蚀剂包括有机缓蚀剂、

无机缓蚀剂和混合型缓蚀剂。有机缓蚀剂主要包括胺类、醇类和羧酸类等，适用于一般的管道介质和环境条件；无机缓蚀剂如亚磷酸盐、硫酸盐等对高温高压条件下的管道具有良好的缓蚀效果；而混合型缓蚀剂则是有机缓蚀剂与无机缓蚀剂的复合物，能够兼顾多种环境条件下的缓蚀需求。

缓蚀剂的注入方法包括定量注入和间歇注入两种，定量注入是指按照一定比例将缓蚀剂与介质一起注入管道内，保持缓蚀剂在管道内的浓度稳定；间歇注入则是在一定时间间隔内对管道进行缓蚀剂的注入，适用于缓蚀剂消耗较慢的情况，剂量的确定需根据管道的材质、介质的腐蚀性质以及管道的工作条件等因素进行综合考虑，通常需要进行实验验证确定最佳剂量^[4]。

在注入缓蚀剂过程中，需要采取措施保证缓蚀剂能够均匀分布在管道内，避免局部腐蚀造成的问题，可以采用多点注入或者循环注入的方式，确保缓蚀剂能够充分混合并覆盖整个管道内表面，还需要注意缓蚀剂的稳定性，避免因缓蚀剂的分解或挥发导致防腐效果降低，针对不同类型的缓蚀剂，可以采取适当的措施，如调整注入浓度、控制注入速率等，以保证缓蚀剂的稳定性和防腐效果。

4 结束语

通过不断改进现有技术、探索新型防腐方法，我们有望有效解决管道内腐蚀问题，提高管道的可靠性和安全性，确保能源的顺畅输送和供应，未来，随着科技的不断进步和工艺的不断完善，期待着更加高效、可持续的内防腐技术的出现，为油气集输管道的安全运行提供更加坚实的保障。

参考文献：

- [1] 郑鑫. 油气集输管道内腐蚀及内防腐技术研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(05): 128-129+132.
- [2] 吕明. 浅析油气管道段塞流腐蚀机理与内防腐技术 [J]. 石化技术, 2022, 29(05): 55-57.
- [3] 刘文庆. 油气集输管道内腐蚀及内防腐技术 [J]. 化学工程与装备, 2021, (11): 48+53.
- [4] 武亮亮. 油气集输管道内腐蚀及内防腐技术探讨 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(01): 122-123.

作者简介：

景卓 (1997-)，男，汉族，陕西宝鸡人，本科，研究方向 (主要从事的工作)：石油、天然气管道。