

# 油气管道腐蚀因素及防腐措施的研究

杨贵山 (国家管网西部管道新疆输油气分公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 管道输送是我国油气运输的重要方式, 有着输送成本低、安全性能高的优势, 而油气管道作为重要输送通道, 其在实际运行中受到外部压力、温度、湿度等方面的影响作用, 容易产生一定的腐蚀问题, 轻则会引起油气泄漏, 引发一定的安全事故, 重则会给生态环境带来不可挽回的破坏。因此必须要进一步明确油气管道的腐蚀因素, 提出针对性的措施以预防腐蚀问题的发生, 提高油气管道的安全性和可靠性。本文则以油气管道腐蚀为核心问题, 阐述了油气管道的腐蚀机理, 并就具体的腐蚀因素进行了分析, 基于此提出具体的油气管道防腐措施, 旨在为油气管道的防腐施工提供一定的参考作用。

**关键词:** 油气管道; 腐蚀因素; 防腐措施

现阶段, 随着社会经济的快速发展, 对油气资源的需求也进一步增加, 油气管道作为输送油气的重要基础设施, 油气管道在长期运营过程中, 暴露在复杂的环境条件下, 容易受到各种腐蚀因素的影响而产生腐蚀现象, 这不仅会导致管道强度被削弱, 甚至有可能会破坏管道, 引起穿孔、泄漏等问题, 给管道正常输送作用的实现带来不利影响。但油气管道防腐技术难度较大, 应用不当可能无法起到一定的防腐效果, 故而有必要就具体防腐措施进行深入的探究, 这将有助于进一步提高防腐措施的应用效果, 保证油气管道的输送安全。

## 1 油气管道腐蚀及危害分析

油气管道腐蚀是指管道内或外部表面受到化学或电化学作用而逐渐失去金属或合金材料特性的过程。简而言之, 腐蚀作用的存在使得油气管道原本结构及性能遭受到破坏, 可能会导致管壁变薄、出现裂纹、产生穿孔等问题, 给油气的安全输送带来极为严重的不利影响。结合以往油气管道腐蚀案例来看, 管道腐蚀的危害主要表现在以下几个方面:

### 1.1 带来安全威胁

油气管道会因为腐蚀作用会使得其承压能力和机械强度等指标显著下降, 从而使得管道破裂和泄漏风险进一步加大。而输送的油气又具备一定的易燃易爆特性, 一旦产生泄漏问题, 在明火或静电等因素的作用下, 极易引发火灾或爆炸事故, 造成设备设施的破坏, 同时给人们生命财产安全带来威胁。

### 1.2 造成经济损失

油气管道腐蚀会直接造成经济损失, 这主要是由于后期为修复被腐蚀的管道, 需要投入大量的人力、物力及材料进行维修或更换, 维护成本较为高昂。而

油气管道因腐蚀而产生的泄漏和损坏, 则会造成大量油气资源的浪费, 给企业带来直接的经济损失。

### 1.3 形成环境污染

油气物质对环境有一定的污染作用, 在油气管道泄漏的情况下, 油气进入土壤、水源、大气等环境中, 会造成原有生态环境的破坏, 比如说改变水体生态平衡, 影响土壤通透性、降低空气质量等情况。而这种环境污染在短时间内往往无法消除, 会持续很长一段时间, 这就使得油气污染持续性较强, 容易进一步威胁到人类和其他生物的生殖健康系统。

## 2 油气管道腐蚀机理及其形态

油气管道通常为金属材质, 而造成金属材质腐蚀的机理通常包括物理腐蚀、化学腐蚀和电化学腐蚀几种。其中物理腐蚀主要是由于溶液对金属所产生的溶解破坏, 以及应力作用所产生的损伤性腐蚀, 而当前油气物质中很少含有相应的破坏物质, 管道敷设应力也都进行了处理, 使得这种情况并不多见。化学腐蚀则是管道同环境因素发生化学反应, 如输送介质中的  $H_2S$ 、 $SO_2$ , 所埋置土壤中的水汽等, 同管道金属产生化学反应, 造成管道被腐蚀破坏。但在管道的实际应用中, 很少见单纯的化学反应, 往往还伴随一定电流的产生, 即存在阳极区和阴极区, 形成了电化学腐蚀的条件。当金属表面处于不同电位下时, 形成了电化学电池, 导致腐蚀过程发生。

油气管道腐蚀根据其形态的不同, 通常可以将其分为点状腐蚀、均匀性腐蚀、线状腐蚀、丝状腐蚀等几种。其中点状腐蚀属于一种常见的腐蚀形态, 呈现局部表面凸起或凹坑, 通常是由于局部腐蚀介质浓度过高所引起的局部腐蚀。点状腐蚀容易引发穿孔问题, 并且由于孔径通常较小, 往往不易被巡检人员发

现, 使得其危害性较强。均匀性腐蚀即在管道表面所产生的大面积腐蚀, 腐蚀程度比较统一, 容易导致管道管壁变薄并失去强度, 可能最终会导致管道破裂, 通常多发生在直接裸露的金属管道部位。线状指的是在金属管道表面沿着长度方向所产生的细长形状的腐蚀, 多见于流速较高的油气管道中。丝状腐蚀通常呈现为管道外表面或内壁出现细长、细丝状的腐蚀缝纹, 这种腐蚀形态在管道表面呈现出像细丝一样的腐蚀痕迹, 有时也称为“丝裂纹腐蚀”, 是由于腐蚀介质的不均匀分布或管道表面不均匀性所致。

### 3 油气管道腐蚀因素分析

#### 3.1 介质性质影响

油气管道受输送介质影响极大, 油气介质中通常包含大量的烃类气体、硫化氢气体等组分, 以及油气中所夹杂的水汽, 都有可能会在长期的作用下同管道材料产生化学反应, 加速金属材料的腐蚀过程, 从而形成管道内壁的腐蚀问题。不同种类的介质具有不同的腐蚀性质, 对管道腐蚀的影响也不同。例如, 硫化物容易导致金属腐蚀, 尤其对于碳钢管道来说具有较强的腐蚀性; 而一些酸性物质也可能对金属材料造成强烈侵蚀。

#### 3.2 温湿度影响

温度和湿度对油气管道腐蚀的速率和形态都有着显著的影响。就温度而言, 高温环境往往会加快腐蚀作用的进行, 特别是一些介质性质容易引发高温腐蚀的情况, 其腐蚀速率会进一步加快, 导致管道腐蚀速度加剧。而低温则容易造成冷凝水凝结, 引起潮湿问题, 增加腐蚀的风险。湿度对管道腐蚀影响更为直接, 液态水或水蒸气, 提供了大量氧化元素、电解质等腐蚀所必需的条件, 增加了管道腐蚀发生的可能性。

#### 3.3 土壤环境影响

油气管道通常埋置于土壤中, 这就使得其容易受到土壤环境因素影响而产生腐蚀。一般来讲, 土壤中含有各种盐分和微量元素, 同时具备一定的湿度条件, 使得土壤中的管道更容易产生电化学反应而形成腐蚀。特别是土壤性质对管道影响极大, 酸性土壤更容易引起管道腐蚀, 中性干燥的砂土则可对管道起到保护作用。此外, 土壤的运动和沉降可能会对管道造成应力, 导致管道的变形或损坏, 引起部分区域保护层失效, 增加管道腐蚀的概率。

#### 3.4 微生物活动影响

微生物活动是影响油气管道腐蚀的重要因素之

一。微生物在油气管道系统表面附着繁殖, 并在自身新陈代谢作用下产生酸性、硫化物等对金属具有腐蚀性的物质, 使得金属管道产生腐蚀问题。其中以硫酸盐还原菌所产生的危害最大, 其不仅会产生硫化氢对管道进行腐蚀, 通常所生成的硫化铁还容易引起管道的堵塞。此外, 腐生菌、铁线菌等微生物, 还容易产生粘液附着在管道上, 导致管道产生腐蚀。

#### 3.5 力学因素影响

力学因素主要是由于管道压力、应力等原因, 而导致管道所产生的腐蚀开裂等问题。比如说, 管道焊接区域可能会因为组织结构的变化或残余应力而使腐蚀差异化, 更容易受到腐蚀侵蚀。

### 4 油气管道防腐措施

#### 4.1 防腐涂层技术

防腐涂层技术是油气管道防腐中常见和有效的措施, 也是油气管道防腐的基本办法, 其通过在管道表面涂刷一层防腐层, 阻断金属管道与外部环境介质的直接接触, 使得腐蚀作用得到控制。

##### 4.1.1 环氧类防腐涂层

常规涂层一般是指环氧类防腐涂层, 例如环氧树脂复合涂层、环氧煤沥青防腐蚀涂料等, 前者能够实现绝大多数化学元素的腐蚀作用, 如水汽因素、盐溶液等, 可以有效对管道进行保护; 后者则具备优秀的耐水性和耐腐蚀能力, 能够防止多种离子穿透保护膜而避免对管道形成腐蚀。此外, 环氧类防腐涂层与管道材料之间的粘结力也比较强, 能避免环境因素而导致的涂层脱落问题, 可以抵抗土壤应力和冲击损伤作用。

##### 4.1.2 聚氨酯防腐涂层

聚氨酯防腐涂层是指含有聚氨酯成分的双组分涂料所形成的涂层, 一般使用树脂材料来对其黏度进行调节, 待其充分混合后即可用以进行管道涂刷, 固化后形成可靠的厚膜对管道进行保护。聚氨酯防腐涂层成膜效果比较好, 与金属材质的油气管道有着极强的附着力, 成膜效果也基本不受温度因素的影响, 有利于保持涂层的耐用能力。同时其化学性质稳定, 能够有效抵抗多种化学离子的腐蚀, 如氯离子、硫酸根离子等, 拥有不俗的耐腐蚀能力。

##### 4.1.3 无机非金属防腐层

无机非金属防腐层是油气管道的一种重要保护措施。由于无机非金属材料特性, 使得防腐层表现出耐老化、耐温度变化等方面的优势, 在油气管道防腐

中有着极为常见的应用。此类防腐层通常包括搪瓷、陶瓷及玻璃防腐层几种，通过工业工艺涂敷在管道表面，形成可靠的保护层，避免管道被化学因素腐蚀。无机非金属防腐层在实际应用需要注意控制涂层均匀性和厚度，确保与管道表面的紧密结合，确保防腐层的长期有效性。

#### 4.2 阴极保护

油气管道的阴极保护法是通过施加外部电流或牺牲阳极的方式，促使管道金属在化学电池中成为阴极，从而抑制或减缓腐蚀的一种保护办法。阴极保护法通常被用于涂层保护无法兼顾的部位，通过促使管道对地点位负向极化，实现保护目的。阴极保护包括牺牲阳极的阴极保护法和外加电流的阴极保护法。

##### 4.2.1 牺牲阳极的阴极保护法

牺牲阳极的阴极保护法是在管道系统中安装更活泼电位的金属或合金，促使其成为腐蚀的牺牲物被腐蚀，从而保护油气管道金属不被腐蚀。牺牲阳极的阴极保护法利用了金属间的电位差，促使腐蚀作用转移到更为活泼的阳极金属上，阳极金属与管道金属处于同一电解质中，会优先被腐蚀，从而使得油气管道得到保护。牺牲阳极的阴极保护法无需外部电源施加电流，安装维护也比较简单，但其往往只能起到局部性的保护作用。在实际的管道防腐中，可在管道系统特殊位置进行应用，如管道接头、焊缝等部位，实现局部防腐的效果。同时要定期检查阳极的状态，包括检查其腐蚀程度、电位值等，确保阳极保持有效状态。当阳极消耗殆尽时，需要更换或添加新的阳极来继续提供保护。

##### 4.2.2 外加电流的阴极保护法

外加电流的阴极保护法是通过外部施加电流，促使管道作为阴极被极化而避免受到腐蚀。主要技术原理在于，通过施加外部直流电源，将管道系统连接在电源负极上，此时电源向被保护金属提供大量电子，防止其失去电子而产生腐蚀。外加电流的阴极保护系统需要利用电源装置来提供稳定的电流，并通过合理的设计和调节，控制外加电流的密度，促使管道金属表面始终处于理想的阴极保护点位，减缓金属的腐蚀速率。外加电流的阴极保护法通常适用于管道系统的整体保护，尤其是在长距离油气输送、高腐蚀环境下管道防腐应用中效果显著。

#### 4.3 缓蚀剂防腐

油气管道领域，利用缓蚀剂进行管道防腐是一种

常见的防腐蚀方法。缓蚀剂是一种化学物质，可以通过氧化还原反应、沉淀反应以及吸附作用等，在金属表面形成一层保护膜，降低或抑制金属的腐蚀反应。缓蚀剂的防腐机理强调改善管道金属的表面状态，降低腐蚀因子同金属的反应速率常数，尽可能地阻止氧、水和其他腐蚀介质与金属表面发生直接反应，从而降低管道的腐蚀速率。常见的缓蚀剂包括有机缓蚀剂、无机缓蚀剂和混合缓蚀剂。不同种类的缓蚀剂适用于不同的管道材料和工况，需要根据实际情况选择合适的缓蚀剂。在实际的应用中，通常将缓蚀剂混合到输送介质中，通过油气的流动，带动缓蚀剂均匀附着在管道内壁，形成保护膜，实现防腐作用。缓蚀剂的使用需要定期对缓蚀剂的效果进行检测，及时调整缓蚀剂的浓度，确保防腐效果的持续有效。

#### 5 结束语

综上所述，油气管道在长期运行过程中，受到多种腐蚀因素的影响作用，产生一定的腐蚀问题是在所难免的。而做好油气管道的防腐，对保障管道的安全运行，延长管道的使用寿命而言，有着非常重要的意义。油气管道受到介质性质、温湿度、土壤环境、微生物活动及应力作用的影响，而容易形成腐蚀问题，在防腐措施的选择上，可以考虑使用防腐涂层保护、电化学保护和缓蚀剂防腐等策略，兼顾经济性和可操作性，确保油气管道防腐的有效性。需要注意的是，油气管道防腐并非一劳永逸，在实际应用中依然需要做好防腐措施的监测，及时发现并解决潜在问题，避免油气管道腐蚀带来不可挽回的损失。

#### 参考文献：

- [1] 吴有更. 油气管道外腐蚀风险管理探索 [J]. 石油工业技术监督, 2023, 40(03): 44-48.
- [2] 郭晶利, 梁彦章, 韩海红, 吕红苗, 韩薇薇. 油气集输管道腐蚀及防护对策的研究进展 [J]. 化工技术与开发, 2024, 53(Z1): 49-52.
- [3] 郑中亮, 徐振. 油气管道腐蚀因素及防腐措施的研究 [J]. 清洗世界, 2023, 39(04): 92-94.
- [4] 辛佳音. 油气集输管道的腐蚀机理与防腐措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(07): 21-23.
- [5] 孙玉, 张薇, 等. 油气管道腐蚀因素与防腐措施进展 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(03): 115-118.
- [6] 吴豫江. 油气管道腐蚀的因素分析与防腐对策探讨 [J]. 科教导刊(电子版), 2021(5): 11-13.