

# 油气管道腐蚀因素及防腐措施的研究

李鑫

广东白云学院, 广东 广州 510000

**[摘要]**油气管道作为重要的能源运输通道,其安全运行直接关系到国家经济发展和能源安全。由于长期暴露在恶劣的自然环境中,油气管道普遍存在着腐蚀问题,这不仅会导致管道的结构强度下降,还可能引发泄漏事故,造成严重的环境污染和经济损失。文章分析了油气管道腐蚀的特点和机理,探讨了影响油气管道腐蚀的主要因素,提出了几种有效的防腐措施,包括防腐涂层技术、电化学防护、内部防腐技术以及材料选择和改良等方法,以期油气管道的安全运行和长期使用提供理论依据。

**[关键词]**油气管道; 腐蚀类型; 影响因素; 防腐措施

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13428

中图分类号: TE9

文献标识码: A

## Research on Corrosion Factors and Anti-corrosion Measures of Oil and Gas Pipelines

LI Xin

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

**Abstract:** As an important energy transportation channel, the safe operation of oil and gas pipelines is directly related to national economic development and energy security. Due to long-term exposure to harsh natural environments, oil and gas pipelines commonly suffer from corrosion problems. This not only leads to a decrease in the structural strength of the pipeline, but also may cause leakage accidents, resulting in serious environmental pollution and economic losses. The article analyzes the characteristics and mechanisms of corrosion in oil and gas pipelines, explores the main factors affecting pipeline corrosion, and proposes several effective anti-corrosion measures, including anti-corrosion coating technology, electrochemical protection, internal anti-corrosion technology, and material selection and improvement methods, in order to provide theoretical basis for the safe operation and long-term use of oil and gas pipelines.

**Keywords:** oil and gas pipelines; corrosion type; influencing factors; anti-corrosion

### 引言

油气管道作为能源运输的关键基础设施,其安全运营对于能源供应链的稳定性至关重要。由于油气管道常常经历复杂的地质和环境条件,包括高温、高压、湿度以及多种化学物质的存在,这些条件易导致管道材料的腐蚀问题,进而影响管道的结构完整性和运营安全。管道腐蚀不仅导致能源输送效率降低,还可能引发严重的环境污染事件和安全事故<sup>[1]</sup>。因此,研究油气管道的腐蚀机理和防腐措施,是确保能源安全、环境保护和经济效益的重要内容。随着全球对能源需求的持续增长和油气田开采条件的日益恶劣,加强对油气管道腐蚀问题的科学研究,开发更有效的防腐技术,已成为行业迫切需要解决的问题。

### 1 油气管道腐蚀

油气管道在运营过程中经常面临严峻的腐蚀挑战,这些挑战主要源于其输送介质的复杂性以及外部环境的多变性。管道内部的腐蚀主要由输送的原油或天然气中含有的腐蚀性物质(如H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>、水分和盐分等)引起,这些物质可以与管道材料发生化学或电化学反应,导致材料逐渐损失。外部腐蚀则主要来自土壤和水环境中的电化作用,特别是在管道埋设的环境复杂,如不同类型的土壤和水分条件下更为明显。

### 2 油气管道腐蚀因素

#### 2.1 化学腐蚀

化学腐蚀发生在管道内部,当腐蚀性气体(如H<sub>2</sub>S和CO<sub>2</sub>)溶解在水中,形成酸性环境,从而加速管道钢材的腐蚀过程。例如,CO<sub>2</sub>与水反应生成碳酸,使环境酸化,碳酸可以与铁反应生成可溶性的铁离子和碳酸盐,从而导致管道壁的均匀腐蚀。H<sub>2</sub>S腐蚀则更为复杂,它不仅形成强酸性的硫化氢酸,还可能在管道表面产生硫化物应力开裂。

化学腐蚀是油气管道腐蚀的重要原因,其机制复杂且影响深远。为有效应对化学腐蚀问题,需要综合考虑管道材料的选择、防护涂层的应用、定期检测和维护等多种措施,以提升管道的耐腐蚀性能,延长使用寿命,保障油气输送系统的安全和稳定运行。

#### 2.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀主要是由于管道金属与其环境(土壤或水)中的电势差差异造成的。当管道表面与土壤中的其他电位不同的金属或导电介质接触时,就会形成电池效应,电流的流动会促使管道金属在阳极部分溶解,导致腐蚀。这种腐蚀通常在管道外壁较为严重,尤其是在湿润的土壤或

海底管道。

电化学腐蚀的基本过程包括阳极和阴极反应。在油气管道中,通常情况下金属表面的某些区域充当阳极,而其他区域则充当阴极。在阳极区域,金属释放电子并溶解成金属离子;而在阴极区域,电子被还原,通常是通过氧化物、水等物质的还原。这种电流在电化学腐蚀过程中流动,导致金属表面的局部溶解和损坏。

电化学腐蚀的速率受多种因素影响。例如,电解质的浓度、温度、氧含量以及电流密度等都会显著影响腐蚀的发生和加剧程度。高电解质浓度和温度有助于增强电化学反应的速率,从而加速金属的溶解;而在低氧含量的环境中,阴极反应的速率可能减慢,导致阳极区域的腐蚀速率增加。

此外,油气管道在运输过程中,由于液体和气体的流动,会导致局部电池的的形成和移动。这种动态电化学环境可能引起管道金属表面不均匀的腐蚀,出现腐蚀坑和裂纹,从而影响管道的完整性和安全性。

### 2.3 点蚀

点蚀是油气管道腐蚀中的一种局部腐蚀形式,其特征是在金属表面形成小孔洞或凹坑,但相比于表面腐蚀,其深度通常较大,危害性更为严重。点蚀腐蚀主要受到环境条件、金属材料特性和腐蚀介质影响。

点蚀的发生与环境条件密切相关。在油气管道运输过程中,金属表面接触到含氧、含二氧化碳和硫化氢等腐蚀性物质的水合物形成的环境时,这些物质可以作为电解质,形成局部电池,导致金属表面发生阳极和阴极反应。由于点蚀通常发生在局部缺陷或不均匀的金属表面上,这些区域可能是金属晶粒边界、氧化物夹杂物等位置,从而加速了腐蚀的发生。

金属材料的组成和结构对点蚀的敏感性也很大。例如,不锈钢等特殊合金通常比普通碳钢具有更高的耐蚀性,因为其添加了抗点蚀元素如铬和镍。然而,在恶劣的环境条件下,即使是抗蚀性较好的材料也可能发生点蚀,特别是在高温、高压和含氯环境中。当流体在管道内快速流动时,局部液体的速度和冲击力会增加,有时可以促进点蚀的形成和扩展。高浓度的腐蚀介质如含氯水可以加速金属表面的腐蚀速率,形成更深的点蚀孔洞。

点蚀作为油气管道腐蚀的一种严重形式,其复杂的发生机制和危害性要求工程师和操作人员综合应用多种手段来预防和控制,以保障管道系统的安全和可靠运行。

### 2.4 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂 (Stress Corrosion Cracking, SCC) 是油气管道腐蚀中最为严重和难以预测的一种形式,它通常发生在特定的环境和应力条件下,导致管道金属出现沿晶或横晶的开裂现象。这种腐蚀类型与环境介质、应力状态和金属材料的微观结构密切相关。

一些特定的环境因素,如含氯离子的盐水、硫化物环境、高温高压条件下的酸性或碱性溶液等,都可能促进应力腐蚀开裂的发生。这些介质可以通过化学反应或电化学反应与金属表面相互作用,减弱或损害金属的保护膜,从而使金属更容易发生应力腐蚀开裂。应力是引发应力腐蚀开裂的另一个关键因素。应力可以由多种来源产生,包括机械载荷、热应力、残余应力或外部电化学影响。当金属表面处于应力状态下时,其结构的原子间距和化学键可能发生变化,从而使金属的原子在应力环境中更易受到环境介质的影响和腐蚀,导致应力腐蚀开裂的发生<sup>[2]</sup>。

另外,金属材料的微观结构和化学成分也对应力腐蚀开裂的敏感性有显著影响。晶界、晶粒内的包含物、氧化物夹杂物等缺陷可能成为应力集中点,容易促进开裂的形成。特定的金属合金,例如高强度钢、不锈钢等,由于其特殊的组织结构和成分,可能对特定环境介质更为敏感,增加应力腐蚀开裂的风险。

### 2.5 微生物腐蚀

微生物腐蚀 (MIC) 也是油气管道腐蚀的一种重要形式,尤其是在埋地管道和海底管道中较为常见。这种腐蚀是由管道内外的微生物活动引起的,微生物通过其代谢过程产生腐蚀性物质 (如硫酸盐还原菌产生的硫化氢), 这些物质能够直接攻击管道材料或改变管道周围环境的化学性质,从而加速腐蚀过程。微生物腐蚀通常表现为管道表面的坑蚀或腐蚀产物沉积,严重时会导致管道壁薄化甚至穿孔。

油气管道的腐蚀是一个涉及多种因素和机制的复杂过程。了解和掌握这些腐蚀机理及其形态对于设计更安全、更经济、更可靠的输油气系统至关重要。通过科学的管理和技术的应用,可以有效延长管道的使用寿命,保障油气输送的安全和效率。

## 3 油气管道防腐措施

### 3.1 防腐涂层技术

防腐涂层技术在油气管道的保护中起着至关重要的作用,它是通过在管道表面形成一层耐蚀性和耐磨性的涂层,防止管道金属与外部环境直接接触,从而延长管道的使用寿命和提高其安全性。

首先,根据管道所处的环境条件、运输介质的性质以及预期的使用寿命,工程师会选择不同类型的涂层。常见的涂层材料包括环氧树脂、聚氨酯、环氧-酚醛树脂等,这些涂层能够提供优良的耐化学腐蚀性能和机械强度,同时在不同的温度和湿度条件下保持稳定。在管道制造和安装过程中,涂层的质量取决于涂布技术、表面处理和施工环境的控制。通常,涂层施工前需要对管道表面进行喷砂或化学清洗,以去除油脂、锈斑和其它污物,确保涂层与金属表面的良好附着。

涂层的厚度直接影响其对外部环境的隔离效果和耐

久性。因此,通常会采用非破坏性测试方法如超声波测厚仪进行涂层厚度的检测,并进行质量控制和保证措施,以确保涂层在管道整个使用寿命内能够保持其预期的防护效果。此外,还应注重新型涂层材料的研发和应用。例如,具有自修复功能的涂层、耐高温和耐化学侵蚀的先进涂层等,不断推动着防腐技术的进步和应用领域的拓展。

### 3.2 电化学防护

电化学防护是保护油气管道免受电化学腐蚀的有效技术,其原理是通过在管道表面施加电流,使其成为一个电化学电池中的阴极,从而抑制金属表面的阳极反应,减少或延缓腐蚀的发生<sup>[3]</sup>。

电化学防护技术的关键在于阴极保护系统的建立和维护。这种系统通常包括两大部分:一个是阴极保护电源系统,用于提供恰当的电流以保持管道表面为阴极;另一个是阳极,通常选择成为电化学电池中的阴极所需的材料。阳极可以是铝、锌或者特殊的合金,这些材料被设计成在电化学环境中比管道金属更容易溶解,从而吸引外部环境可能产生的腐蚀性离子,减少金属的损耗。电流的密度和分布是影响电化学防护效果的重要因素。电流密度越高,阴极保护的效果越强,但过高的电流密度可能导致阳极材料过早耗损。因此,在设计阴极保护系统时,需要进行精确的电流密度计算和分析,以平衡保护效果和系统耗能的需求。

电化学防护技术的应用范围广泛,不仅适用于地面和水下的油气管道,也可以用于储罐、海洋平台等设施的腐蚀防护。相比传统的防腐涂层,电化学防护技术具有能耗低、环境适应性强、维护管理简单等优点,特别是在高腐蚀环境或难以涂覆的区域,更是一种有效的选择。

### 3.3 内防腐技术

内防腐技术主要通过管道内部形成一层防护涂层或使用特殊的涂层材料,防止介质对管道内壁的腐蚀,从而延长管道的使用寿命并确保运行安全。对于不同类型的管道,内防腐技术要求不同。例如,在含硫化氢等腐蚀性气体的天然气管道中,通常采用高性能环氧树脂涂层或聚乙烯材料,以有效隔离管道壁和腐蚀性气体的直接接触。

合适的防腐涂层不仅需要具备良好的耐腐蚀性能,还需要考虑到施工过程中的操作便捷性、涂层的附着力和耐久性等方面。在涂层施工前,通常需要对管道内壁进行严格的清洁和表面处理,确保涂层能够牢固附着在金属表面上,并形成连续的保护膜。另外,随着技术的进步,新型的内防腐技术不断涌现。例如,纳米涂层技术能够在涂层表面形成微观尺度的保护层,提高了涂层的抗腐蚀性能和耐磨性;另外,具有自修复功能的涂层材料能够在发生微小损伤时自动修复,延长了涂层的使用寿命和维护周期。

内防腐技术的有效性还需要定期的检测和维护。通过

无损检测技术如超声波检测、磁粉检测等监测管道内壁的涂层状况,及时发现涂层损伤或腐蚀现象,并进行修复和更新,以帮助管道运营者保持管道系统的健康状态,避免因腐蚀导致的意外事故和损失。

### 3.4 材料选择和改良

在油气管道的防腐措施中,材料选择和改良是至关重要的步骤,直接影响到管道的抗腐蚀性能、使用寿命和安全性。正确选择材料并对其进行改良,能够有效地降低管道的腐蚀率和维护成本,提高其运行可靠性<sup>[4]</sup>。

材料选择考虑到管道所处的环境条件和输送介质的性质。不同的介质可能对材料的腐蚀性要求不同,比如含硫化氢的天然气对管道材料的选择提出了更高的要求。常见的管道材料包括碳钢、不锈钢、合金钢等。碳钢因其经济性和强度而广泛应用,但在腐蚀环境中需要通过涂层或阴极保护进行保护;而不锈钢和合金钢则因其抗腐蚀性能较好,适用于更恶劣的环境条件。

同时,通过改良材料的成分和结构可以提高其抗腐蚀性能。例如,添加合金元素如铬、镍、钼等可以显著提高钢材的耐腐蚀性,使其在酸性或高温环境中具备更长的使用寿命。通过调整热处理工艺、优化晶界结构等方式,也能改善材料的耐腐蚀性和机械性能。在选用材料时,通常会参考国际标准化组织(ISO)标准以及各国家的管道建设规范,确保所选材料符合运输介质的特性和管道操作的要求。最后,还应通过非破坏性测试技术如超声波检测、X射线衍射分析等对管道材料进行定期检测,及时发现材料的老化、腐蚀或损伤情况,并采取必要的维护和修复措施,以保证管道系统的长期稳定运行。

## 4 结束语

油气管道腐蚀是一个复杂的系统工程问题,其防腐措施需要从多方面入手,基于化学、电化学和生物因素的综合分析和应对。通过科学合理的防腐技术措施,可以有效保障油气管道的安全运行,提高其使用寿命,减少环境和经济损失的发生。

### [参考文献]

- [1]方勇,陈景杨.浅析油气管道腐蚀原因及影响因素[J].全面腐蚀控制,2023,37(10):103-106.
  - [2]常胜龙.油气储运中输油管道防腐工艺的研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(15):13-15.
  - [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(4):92-94.
  - [4]孙玉,张薇,唐成瑞,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(3):115-118.
- 作者简介:李鑫(1989.9—),单位名称:广东白云学院,毕业学校和专业:郑州大学 过程装备与控制工程。