

# 油气运输管道中腐蚀问题及防护措施分析

李怀才（中国石油华北油田公司第二采油厂，河北 任丘 062550）

**摘要：**管道运输是目前油气资源的主要输送方式，近年来随着能源需求量的不断提升，管道集输的负荷也随之不断增长，油气运输管道腐蚀问题也越来越受人们的重视。油气运输管道腐蚀问题的防护是保障油气资源运输安全的前提和基础，但由于油气运输管道腐蚀因素较多，因此其防护难度较高，需要结合具体的腐蚀因素采取针对性的防护措施，保障油气运输管道的安全运行，延长油气运输管道的使用寿命。基于此，本文分析了油气运输管道的腐蚀因素，并就相关防护措施进行探究。

**关键词：**油气运输管道；腐蚀问题；防护措施；电化学因素

社会经济的快速发展，对油气资源的需求量也在不断提升。管道运输是油气资源的主要输送方式，但油气运输管道工程多采用地下埋设的方式建设，所处的环境比较复杂，再加之管道输送的物质中含有腐蚀因素，使得油气运输管道腐蚀风险较大，不仅会影响油气输送的安全性，而且会缩短油气运输管道的使用寿命。做好油气运输管道腐蚀问题的防护是目前亟待解决的重要问题。本文在分析油气运输管道腐蚀因素的基础上，对相关防护措施提出相关建议。

## 1 油气运输管道腐蚀的危害

### 1.1 安全隐患大

油气运输管道腐蚀会导致管道壁厚变薄，甚至产生裂缝和孔洞，使管道失去正常的抗压能力和密封性，从而增加泄漏的风险。断裂或泄漏发生时，可能引发火灾、爆炸、环境污染等严重事故，威胁人员安全和周边环境。

### 1.2 造成经济损失

油气运输管道腐蚀会导致管道的损坏，并且缩短油气运输管道的使用寿命，需要进行修复和更换，同时还需要停工维修，这将导致生产中断以及大量的费用投入。此外，油气运输管道腐蚀还会造成所输送的油气资源泄漏，油气资源泄露会造成直接经济损失，同时油气资源泄露还会涉及环境污染，而环境恢复所需的费用也是巨大的经济负担。

### 1.3 环境污染

油气运输管道腐蚀容易造成管道泄漏，其输送的油气等物质会对土壤、水源等生态环境造成污染。除此之外，泄漏物质还可能对大气环境产生污染，对人类健康和生态系统产生长期的影响。泄漏的油气可能释放出有害的挥发性有机化合物和毒性气体，对附近居民的健康构成威胁。长期接触空气中的有害物质会

引发呼吸道疾病、皮肤问题等健康问题。

对于油气运输管道来说，腐蚀问题造成的危害十分严重，需要加强防护，降低腐蚀问题发生几率，切实保障油气运输管道运行安全。

## 2 油气运输管道腐蚀因素分析

### 2.1 化学因素

#### 2.1.1 土壤中的化学腐蚀

化学腐蚀是油气运输管道腐蚀因素中最为常见以及最为严重的类型，油气运输管道的内部和外部均存在化学腐蚀风险。目前我国油气运输管道工程建设通常都会采用地下埋设的方式，土壤会对油气运输管道造成外部腐蚀，土壤中的含水量、含气量以及含盐量等是影土壤腐蚀效果的主要因素。含水量是造成土壤腐蚀的先决条件，另外，土壤中的含盐量越高，土壤的腐蚀作用越强。土壤中的氯离子也会对油气运输管道造成一定的腐蚀，并且氯离子的腐蚀作用十分显著。除此之外，土壤中的硫酸盐还原菌也会加剧土壤的腐蚀作用。这是因为硫酸盐还原菌会将硫酸根离子还原成为硫离子，硫离子则会腐蚀钢铁生成硫化亚铁。

#### 2.1.2 二氧化碳腐蚀

干燥的二氧化碳气体没有腐蚀性，但二氧化碳溶于水之后则会对金属造成腐蚀。二氧化碳腐蚀具有蕈状腐蚀、台地腐蚀以及点蚀的特征，二氧化碳腐蚀会受金属的材质、温度、保护膜性质、流速与压力等因素的影响，会对油气运输管道造成严重的局部腐蚀或者全面腐蚀。

#### 2.1.3 硫化氢腐蚀

与二氧化碳相似，干燥的硫化氢气体同样没有腐蚀性，但与水接触后便会产生腐蚀性，会给油气运输管道运行安全带来巨大威胁。油气运输管道的硬度、强度以及管材自身的化学成分、硫化氢浓度、流体的

流速、流体的 pH 值、流体中的水含量等都会对硫化氢的腐蚀作用产生重要影响。硫化氢不仅能够造成严重的局部腐蚀以及全面腐蚀，而且还会容易引发开裂事故，如硫化物应力腐蚀开裂等。

## 2.2 电化学因素

在油气运输管道运行过程中，油气、污水会与内管道接触，土壤、湿冷气体、水等会与外管道接触，无论哪种接触都有可能形成电解质溶液，在金属表面形成原电池而引起腐蚀。对于油气运输管道而言通常情况下会同时遭受化学腐蚀和电化学腐蚀，相较于化学腐蚀，电化学腐蚀更为常见，并且速率更快，造成的危害更大。与其他腐蚀介质相比，土壤的腐蚀环境更加复杂。电解质在与管道接触的过程中产生的电离作用是造成电化学腐蚀的主要原因，受电离作用的影响，会使油气运输管道的材料结构出现脆化，影响材料性能，进而带来更多的安全隐患，容易引发安全事故。

## 2.3 生物因素

土壤中的微生物或者菌类在生长繁殖过程中会不断进行元素富集作用和呼吸作用，将油气运输管道埋设的土壤环境转变为腐蚀性环境，如果油气运输管道长时间处于腐蚀性环境之中，受化学反应以及电化学反应的影响，油气运输管道便会受到腐蚀。相较于单纯的化学腐蚀或者电化学腐蚀，由生物因素引起的化学或者电化学腐蚀影响范围更大，相应的防护难度也更高。能够引发生物腐蚀的微生物种类多样，但以硫酸还原菌以及铁细菌最为突出，硫酸还原菌会将硫酸根离子还原成为硫离子，硫离子则会腐蚀钢铁生成硫化亚铁。铁细菌主要生长在具有溶解氧的水中，同样会对油气运输管道造成腐蚀。

## 2.4 物理因素

对于油气运输管道而言，物理腐蚀主要包括土壤应力腐蚀以及油砂的冲蚀两类。油气运输管道的接口位置、焊接缝或者拐弯处容易受到土壤应力以及流体产生的热应力的共同作用，再加之相关腐蚀介质的影响，使得油气运输管道这些部位的腐蚀速度加快，容易出现泄露或者爆裂等问题。在油气输送过程中，原油中的油砂由于自身的粒径较大，在重力的作用下会在油气运输管道底部沉淀，而流体的流动会对油气运输管道底部产生一定的冲刷作用，加速油气运输管道内部磨损，甚至会导致油气运输管道底部穿孔。

## 3 油气运输管道的防护措施

在油气运输管道运行过程中，受腐蚀因素的影响

容易造成油气运输管道腐蚀，甚至导致管道串口或者爆裂，造成严重的安全事故。腐蚀会影响油气输送的安全性与稳定性，同时也会缩短油气运输管道的使用寿命。为更好地规避管道腐蚀，确保油气运输过程的安全性与稳定性，应做好油气运输管道的防护。

### 3.1 应用耐蚀材料

“打铁还需自身硬”，选用耐腐蚀材料是防腐的前提，是油气运输管道长期稳定安全运行的基础，同时方式防护措施的关键。油气运输管道材料的选择要综合考虑多方面因素，包括使用环境、流体介质、材料性质等，同时还要对管道材料使用过程中有可能发生的化学以及物理变化做出预判。除此之外，油气运输管道材料的选择还应从实际出发，针对油田实际情况合理选材。针对同时含有氯离子以及二氧化碳的油气田应选用铬为 22%–25% 的铬锰镍不锈钢作为油气运输管道材料。针对仅含二氧化碳的油气田，应选用铬含量为 9%–13% 的铬铁素体不锈钢管作为油气运输管道材料。再比如为了防止二氧化硫以及硫化氢对油气运输管道造成腐蚀，可以选择镀铝钢材作为油气运输管道材料。相较于其他材料镀铝钢材在耐硫化性以及耐热性等方面更具优势，选用镀铝钢材作为油气运输管道有助于提升管道的耐腐蚀性。近年来，随着油气运输管道防腐技术的发展与完善，越来越多的高分子材料被应用到油气运输管道防腐之中，如在金属表面喷涂聚氨酯或者聚氯乙烯等材料，这种方式既能起到一定的装饰作用，也能提升管道的防腐能力。另外玻璃钢材料具备良好的隔热、耐腐蚀以及电绝缘性能，近年来逐渐开始应用玻璃钢制作油气运输管道。

### 3.2 涂层防护技术

涂层防护技术是指在借助抗腐蚀性能强的材料在金属材料表面形成覆盖层，通过覆盖层将金属材料与腐蚀介质相隔绝，避免油气运输管道遭受腐蚀。覆盖层可以对金属材料起到有效地保护作用，不仅能够规避腐蚀，而且有助于延长油气运输管道使用寿命。根据覆盖层材料的不同可以将其分为金属镀层以及非金属镀层两类。前者是指将铜、锌、镍、铬等耐腐蚀性强的金属深入钢材表层形成覆盖层，或者借助电镀的方式将其电镀到钢材表层形成覆盖层。随着科技的发展，激光非晶态表面处理技术以及离子注入技术在制作金属镀层中也得到了广泛应用。后者是指借助抗腐蚀性能强的非金属材料在钢材表面形成一层覆盖层，借助非金属材料对钢材表面起到保护作用，隔绝腐蚀

介质。涂层防护技术的应用,能够强化油气运输管道的抗腐蚀能力,延长油气运输管道的使用寿命。但涂层在实际的应用过程中由于会长时间受到腐蚀介质的作用,导致涂层老化,影响其作用发挥。为保证防腐效果,通常在应用涂层防护技术的同时也联合应用阴极保护技术。

### 3.3 阴极保护技术

阴极保护技术是一种用于防止金属腐蚀的方法,它通过在金属结构表面建立一个阴极保护电位,使得金属处于被保护的状态,从而防止腐蚀的发生。阴极保护的基本原理是基于电化学反应。当金属结构与电解质接触时,会发生氧化和还原反应。阴极保护通过在金属结构表面提供足够的电子,使金属处于还原状态(阴极),从而抑制金属的氧化反应(阳极反应)。这样,金属结构就能够受到保护,不会发生腐蚀。阴极保护技术主要通过两种方式实现:外加电流法和外加阴极保护剂法。前者通过在金属结构表面施加一个外加电流,使金属表面成为阴极,从而抵消阳极反应。这种方法可以通过直流电源或者外加电流源来提供所需的电流。后者在金属结构表面涂覆一层阴极保护剂,这种保护剂可以提供足够的电子,使金属处于阴极状态。常用的阴极保护剂有锌粉、铝粉等。这种方法主要适用于暴露在空气或其他介质中的金属结构。阴极保护技术可以有效地抑制金属结构的腐蚀,进而延长油气运输管道的使用寿命。另外对于已经发生腐蚀的金属结构,阴极保护技术可以帮助修复损害,并防止进一步的腐蚀。需要注意的是,在阴极保护技术应用过程中,需要根据具体的腐蚀环境和金属结构进行设计和实施,而且还应定期检测和维护,以保证其有效性和持久性。

### 3.4 缓蚀剂技术

缓蚀剂可以起到降低腐蚀介质腐蚀性,是一种可以减缓金属腐蚀或者阻止金属腐蚀的化学物质。应用过程中只需少量添加便可以起到明显效果,因此缓蚀剂具有用量少,操作便捷等方面的优势,目前缓蚀剂技术已经在油气运输管道腐蚀防护中得到了广泛应用,其应用效果十分显著。缓蚀剂还具有适用性强的特点,可以应用于气体、中性、酸性介质之中。缓蚀剂的类型多样,按照不同的标准可以分为不同的类型,加以保护膜性质为标准可以将其分为吸附膜型缓蚀剂、氧化膜型缓蚀剂以及沉淀膜型缓蚀剂等。如以化学组成为标准则可以将其分为有机缓蚀剂以及无机缓

蚀剂。通常情况下,金属腐蚀因素都比较复杂,因此应用单一缓蚀剂难以起到理想的防护效果。在缓蚀剂技术应用过程中应结合实际情况选用协同作用良好的多种缓蚀剂复配使用,以便更好地保障防护效果。如果油气运输管道受到细菌腐蚀,在应用缓蚀剂技术的同时还应适量加入杀菌剂。

### 4 提升防护效果的保障措施

管道运输是目前油气资源运输的主要方式,在油气运输管道工程建设过程中,管道防腐是需要高度关注的。在油气运输管道运行过程中,一旦遭受腐蚀,容易使管道出现穿孔或者爆裂等问题,影响油气运输的安全性,因此做好油气运输管道的防护至关重要。为保证防护效果首先要合理选用防腐材料,确保防腐材料的质量与性能,应结合油气运输管道所处环境中存在的腐蚀介质合理选用防腐材料,提升防腐效果。其次应加强对防腐环境的控制,排除防腐技术应用的影响因素,保证防腐技术的应用效果。最后要加强质量检测,检验油气运输管道防腐处理效果,及时发现和排除缺陷或者隐患,确保油气运输管道防腐效果,降低腐蚀作用的危害,提升油气运输的安全性。

### 5 结束语

腐蚀会加速油气运输管道的老化,甚至导致油气运输管道穿孔或者爆裂,不仅会带来巨大的经济损失,而且还容易引发严重的安全事故。加强油气运输管道防腐的防护,保证油气运输管道安全稳定运行至关重要。不同的防护措施有着不同的特点,并且其适用范围也不相同,在油气运输管道防护过程中应结合管道材料、管道所处环境、流体的性质等合理选用防护措施,确保油气运输管道防护效果。

#### 参考文献:

- [1] 罗小武, 栾翔, 曾驿森等. 复杂环境下埋地钢质管道外防腐层检测技术优选 [J]. 管道技术与设备, 2023, (03):33-37.
- [2] 李茜, 宾帆, 周熙朋等. 油气管道动态直流与交流混合干扰分离检测方法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2023, 37(04):192-203.
- [3] 闫伟, 邵克拉, 王小玉等. 油气田集输管道完整性管理效能评价体系研究 [J]. 石油工业技术监督, 2023, 39(02):57-60.
- [4] 曹方圆, 李博, 董华清等.  $\pm 1100\text{kV}$  特高压直流接地极对埋地油气管道直流干扰实测与分析 [J]. 高压电器, 2023, 59(02):7-14+22.