

油气运输管道中腐蚀问题及防护措施分析

薛谟超（安徽本质安全工程咨询有限公司，安徽 合肥 230001）

摘要：原油管道是保证油气安全输送的重要途径，其发生腐蚀会导致居民生活用气、供暖等行业陷入瘫痪，地下石油管道渗漏不仅造成了许多有益材料的流失，而且对周围的环境也造成了很大的影响，甚至引发火灾、爆炸等重大事故。针对目前广泛使用的金属腐蚀问题，人们提出了许多新的方法来防止或延缓其发展，为了解决管道的腐蚀危害，各大石油公司采用了新的金属防腐技术、新材料和新设备，通过添加药剂来改善水质，改进输送工艺，以此来提高管道设备的使用年限，节约成本，保障安全。因此，必须对腐蚀的环境特征有更加全面、更加深刻地认识，从材料的选择、材料的选择、材料的选择以及对腐蚀的防治等方面进行研究，并采用适当的工艺和方法进行防治，从而使油气管道的腐蚀损失降低到最小。

关键词：油气管道腐蚀；油气管道腐蚀原因；油气管道腐蚀防护

0 引言

油气是人类赖以生存的重要能源，油气输送也依赖于油气管道。管道的服役时间越长，其内部的腐蚀现象就越明显，对其输送的安全性构成了极大的威胁。文章对油气管道腐蚀的成因、类型及其防治方法进行了详细地阐述，以期引起人们对此问题的重视。

1 油气运输管道腐蚀问题的诱发因素

油气输送管道所处的地理环境非常复杂，且具有多种腐蚀性因子。一般来说，可将腐蚀因子分为直接和间接两种，在这些影响过程中，管道材料和组织结构是影响管道性能的重要原因，而外在影响是影响管道性能的重要因素。

1.1 外部腐蚀因素

当外界介质与管道发生一系列的电化学反应后，管道的外壁就会产生腐蚀，根据外界环境的不同，可以分为三种情况：

第一，是空气侵蚀。有些输送管道是在高压的条件下，空气中的水汽凝结在管道的上方，会产生一层水膜。而水膜则起到了电解质的作用，导致了材料的腐蚀问题。在这些环境条件下，空气腐蚀主要是由湿度、温度和氧气等多种因素共同作用的结果。

第二，是泥土侵蚀。一些油气输送管道埋置在地下，因其组成和组成比较复杂，空气、水和微生物等因素影响，产生了管道外部的腐蚀。例如，当土壤中的氧气含量差异较大时，极易形成氧气浓度差异较大的电池，从而导致了氧腐蚀现象的发生。另外，由于土壤中有大量的微生物，很容易造成细菌的侵蚀。

第三，就是被海洋侵蚀。海上石油和天然气的运输方式是通过水下管道输送，与陆地输送相比，海上

输送管道所处的工作条件更为苛刻，长期受到海水的侵蚀和冲刷。由于海水中含有大量的盐类，因此在石油和天然气管道中很可能会产生一些导电通道，导致管道发生局部的腐蚀。

1.2 内部腐蚀因素

第一，烃类介质。石油和天然气中普遍含有的溶解氧，会对输送管道产生侵蚀，有些石油和天然气中的酸性物质会使其严重地腐蚀。在这些材料中， CO_2 、 H_2S 等是最重要的腐蚀介质，当它们与水蒸气反应生成酸性或酸性气体时，会产生腐蚀管壁的能力。

第二，管道焊接区域。为了适应地区间对天然气的需要，石油和天然气管道通常都是长距离的，需要在管道上铺设多个管段。管道焊缝区通常分布在结构和性能的过渡区，在各种条件下，焊缝内部会产生各种类型的裂纹，并向焊缝部位发展，此外，在油气输送管道焊接中，极易形成残留应力，从而增加了诸如腐蚀裂纹等问题的概率。

第三个方面，就是速度。输气管道腐蚀速率与油气流体的流速密切相关，若其流速低于临界流量，则会使管道的石油和天然气传输性能下降，腐蚀产物、水和污垢沉积，极易产生局部腐蚀、点蚀问题。当石油和天然气的流动速度高于临界速度时，侵蚀效应显著加强，侵蚀生成薄膜不易生成，从而引起冲蚀。所以，在保证天然气资源的正常输送的前提下，必须根据临界速度来适当地控制流体的流动速度，从而达到对原油和天然气的有效输送。

第四个方面是管道内的气压。油气输送管道在输送过程中会对油气等流体施加一定的内压，从而在管内壁形成应力效应，引发腐蚀问题。在化学侵蚀和应

力作用的共同作用下，管内壁的腐蚀会迅速加剧，极易导致腐蚀开裂和失效等重大问题。

1.3 施工环境因素

在油气管道敷设过程中，因施工工艺的不合理而产生的各种不确定因素也会增加管道的锈蚀程度，这对管道的使用寿命构成了极大的威胁。在管道的铺设过程中，要对施工材料、人员和核心施工工艺等方面进行全面地考虑，通过严密的质量管理，才能在合理的程度上排除掉锈蚀的隐患。如果处理不好，不仅会对管道的安全运行产生不利的影 响，而且还会加剧管道的腐蚀。

1.4 油气管道自身因素

石油和天然气是由原油提炼而来，成分较为复杂，某些特定成分可能增大了原油的腐蚀概率，降低了管道的使用寿命，对管道构成了潜在的安全风险。

第一，管道受 H_2S 的侵蚀。经过研究，我们发现，硫化物是一种很不稳定的化合物，遇水即溶，因为其具有很高的亲水性，所以在接触到水的时候，会生成一种酸性的东西，这种东西会黏附在石油和天然气管道的内壁上，时间一长，就会对管道产生侵蚀，所以不能忽略。

第二，硫化物对管道的侵蚀。除 H_2S 以外， Na^+ 还是一种主要的腐蚀性介质，在石油开采、石油运输等过程中，常会碰到大量的强碱介质，使其对石油、天然气管道构成严重的危害，而且在多种因素的共同影响下，还可能发生对管壁的侵蚀，带来重大的安全隐患。由于硫化物是一种不稳定的碱金属，其在氧化态时会释放大量能量，导致管道内壁的金属元素大量流失，引发了腐蚀问题。但在实际的石油和天然气运输过程中，钠盐对管道的作用并不是一个确定的数值，而是根据外界的情况和自身硫化钠的含量来确定。

2 油气运输管道腐蚀防护技术

在油气输送管道中，一旦产生了腐蚀，就极易引发泄漏事故，造成大量的油气和石油资源的巨大损失，同时也会造成生态环境的严重污染与破坏，严重时还会引发火灾、爆炸等事故。为了保障油气资源的安全稳定输送，必须加强对输送天然气管道防腐的研究，以延长输送管道的服役寿命。

2.1 优化管道材料

管道材料的种类和质量决定着管道的防腐能力，若管道材料具有良好的防腐能力，就可以从根源上解决管道的腐蚀问题，在石油和天然气管道中，碳

钢是以碳钢为主，而长距离的长距离运输使其得到了广泛应用。为了提高碳钢钢管的抗侵蚀能力，人们采用了合金材料和不锈钢等材料，但是这种材料价格昂贵，制造过程繁琐^[1]。此后，又出现了非金属材料如陶瓷管和塑料管，塑料管价格低，抗腐蚀能力强，在选用管材时，应综合考虑输送介质和环境条件等方面的影响，在控制管材造价的前提下，确保天然气和天然气的输送需要都能被完全满足。

2.2 敷设保护层法

第一，埋地管道的内侧。在输送管道内壁铺设涂料，既可以对管道起到防护作用，又可以减小被输送介质的流阻，可以有效地降低管道内部的腐蚀概率，提高石油和天然气的运输安全性，目前使用最多的是环氧树脂和聚氨酯涂料。

第二，埋地管道的外侧。这种方法在工程中得到了广泛地使用，通过适当的铺设防腐涂料，能够有效地将外界腐蚀介质和管道隔绝开来，防止发生化学反应和电化学反应，有效地防治钢管的外表面腐蚀，这些涂料主要是无机涂料。其中，有机涂料的使用效率更高，品种也更多，比如环氧漆、聚氨酯漆等，环氧树脂涂料以其平滑的外观和优良的附着力而备受关注。无机涂料具有耐腐蚀和耐高温的优点，基本没有老化的问题，但是使用陶瓷涂料的费用比较高。

第三，加入阻锈剂。在油气原料中加入适当的阻锈剂，可以促使钢管内壁生成一层保护膜，从而对管壁起到很好地保护作用。目前主要采用无机缓蚀剂和有机缓蚀剂两大类，操作人员要综合分析腐蚀因子和使用环境等方面的影响，科学地选用缓蚀剂。缓蚀阻垢剂的加入并不困难，但在油气介质中存在着大量的阻化剂，因此必须对阻化剂的使用时间、方式及用量进行合理的调控，以防止其对油气的运移产生不良的影响。

2.3 电化学保护法

该工艺采用的是电化学防腐的原则，阴极防护工艺是其主要形式。第一个方面是采用了外加的阴极保护，利用外加电能调控管道的界面电势，维持管道表面多余的电子态，防止管道丢失引起的管道腐蚀。这种方法通常用于长距离输送油气管道的防护，但这种方法的检查和维修成本很高，并且需要不间断的外部供电，若操作不当，极易产生过防护问题^[2]。第二种，就是以阴阳为代价，来进行防御。这种方式是在管子外表面上添加一个高于管子电势的金属，促进了生

成原电池，减少了管道的阴极损耗，起到了对管道的防护效果，减少了管道的腐蚀问题，该工艺简单，维修成本低。

2.4 腐蚀发育预测

要想真正提高油气输送管道的防腐能力，除了要做好事前的防范工作，还要定期监测和评估管道的腐蚀状况，准确地预报管道的发展态势，并据此提出有针对性的防腐措施，在这一过程中，通常要经历数据的获取、模型的建立和反馈的修改。首先，利用先进的测试手段，获得了管道的锈蚀情况，例如管道的病害分布情况等。其次，将管道的监测结果相融合，建立管道的锈蚀预报模型，对管道的发展趋势进行较为准确的预报^[1]。最后，将预报结果和实测资料进行比较，并对误差产生的根源进行了分析，并对预报模型进行了修正。通过对管道进行防腐预报评估，可以使相关工作人员对管道进行更科学地维护，防止管道的腐蚀问题恶化，减少泄漏等油气意外事件的发生。

2.5 涂料的防腐工艺

在实际应用中，可以选择防腐涂料作为关键管道的防护，在进行防腐涂料施工时应考虑以下几个方面：第一，在进行防腐涂料选择之前，应根据所处的地质条件，选择合适的防腐涂料，以增强防腐作用。其次，实行严密的防腐蚀涂料工艺。结果表明，在大气环境下，低合金在长期暴露于空气中时，不会显示出腐蚀性，目前在实际应用中常用的是液态漆，例如厚浆型环氧液态漆等。该材质具有优良的综合性能，抗腐蚀性能较好，防腐效果显著。另外，还可以科学有效地对管道内部进行多层次的喷涂，从而提高管道的防腐能力，有些海洋管道对防腐的需求很高，因此会选用在环氧树脂涂层的基础上添加聚丙烯胶带等多种措施，共同提高防腐性能^[4]。

3 管道防腐工作中的建议

在管道施工中，要从根源上提升管道的质量，因此要选择优质的管道，同时要注意到材质的韧性等耐腐蚀性，黏合性好，透水透气性好，电气绝缘性好。因为涂料自身的工作性质取决于涂料的性质，不同地区的气候、土壤等自然条件对工程的影响是不同的，这就要求我们在实际的工程中，要根据不同的环境条件，因地制宜，选用合适的材料，以免造成盲目的施工和低效的生产^[5]。现在，随着石油和天然气工业的蓬勃发展，但在管道的建造过程中，防腐蚀的技术仍然停留在较低的层次，必须提高工程师们的个人素养，对研究资金进行严密的控

制，提高研究的能力，研发出一种适用于国内石油和天然气输送管道的防腐蚀技术。

在一线的工作中，一方面要加强工人的技术管理，另一方面要加大工程的管理和技术力量，并要加大工程的质量监督力度。从管理方面看，施工单位应与施工单位进行定期的交流，对项目进行及时、高效地检测和维修，对存在腐蚀隐患的区域要进行重点监测，以增强企业的竞争力。总之，油气是国家产业发展的基本能源，尽管中国拥有大量的油气资源，但其在地区间的分配与供需不平衡，迫切要求建立健全的油气储运体系，保障其在输送中的安全畅通。当前，许多石油、天然气在输送途中发生泄漏和破坏，其中管道的腐蚀是造成管道损伤的首要因素，所以对输送管道进行防护已成为当务之急。尽管当前国内油气及天然气的储存与运输工艺还比较滞后，但经过各级领导与科技工作者的通力合作，已有不少新型的管道防腐新工艺被研发出来，国内的油气管道工程也一定会有更大的发展。

4 结论

综上所述，在新经济条件下，需要对油气管道进行全面的防护，以提升项目施工效率，从而满足对能源供应的需求，防止浪费，油气运输具有重要的意义，是保障社会运行的重要保障，也是我国经济发展的重要环节。为了保证油气运输的稳定，减少意外发生，必须加强管道的防腐蚀性能，并通过对管道进行科学的防腐设计与维修，来达到延长管道服役年限的目的，为油气的供给打下坚实的基础。从目前的实践来看，阴极防腐技术、缓蚀防腐技术以及涂覆外部防腐技术都是比较靠谱的方法，在此基础上，应强化防腐管理，优化防腐材料，才能使油气管道的防腐工作达到更高的水平。

参考文献：

- [1] 蔡万超. 油气运输管道中腐蚀问题及防护措施分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(16): 22-24.
- [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] 张立初. 输油气管道腐蚀的防治策略 [J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(11): 125-126.
- [4] 郭文鑫, 星志涛. 油气管道腐蚀检测与防护 [J]. 化工管理, 2021(35): 114-115.
- [5] 罗登强. 油气长输管道阴极保护防腐技术管理研究 [J]. 化工管理, 2020(35): 131-132.