

# 天然气管道输送过程中管道防腐方法的研究

李文(中国石油化工股份有限公司东北油气分公司松原采气厂,吉林长春130062)

**摘要:**天然气管道输送过程中,天然气管道的安全性和使用寿命一直受管道腐蚀问题的影响。本文对天然气管道输送过程中常见的腐蚀原因进行了分析,并详细探讨了各种防腐方法,包括涂层防腐、阴极保护、缓蚀剂应用以及新型防腐材料的应用。通过分析这些常见的管道防腐方法,期望为天然气管道的安全运行和延长使用寿命提供理论依据和技术支持。

**关键词:**天然气;管道输送;管道防腐

中图分类号:TE988.2 文献标识码:A

文章编号:1674-5167(2025)021-0121-03

## Study on pipeline anti-corrosion methods in natural gas pipeline transportation

Li Wen (Songyuan Gas Production Plant, Northeast Oil and Gas Branch of Sinopec Corporation, Changchun Jilin 130062, China)

**Abstract:** During the transportation of natural gas through pipelines, the safety and service life of natural gas pipelines have always been affected by pipeline corrosion issues. This paper analyzes common causes of corrosion in natural gas pipeline transportation and provides a detailed discussion on various anti-corrosion methods, including coating protection, cathodic protection, application of corrosion inhibitors, and the use of new anti-corrosion materials. By analyzing these common anti-corrosion methods, it is hoped to provide theoretical basis and technical support for the safe operation and extended service life of natural gas pipelines.

**Key words:** natural gas; pipeline transportation; pipeline anti-corrosion

作为一种高效的清洁能源,天然气在全球能源消费中具有不可或缺的地位。天然气管道将天然气从生产地运输到消费地,它的经济性、可靠性和安全性直接影响到了国家能源安全和社会经济的发展。然而,由于天然气管道长期处于复杂的土壤环境和恶劣的输送介质中,管道腐蚀问题日益突出,严重威胁着管道的安全运行。所以研究探讨有效的天然气管道防腐方法可以很好的保障天然气管道的安全运行以及延长天然气管道的使用寿命。

### 1 天然管道腐蚀的原因

#### 1.1 内部腐蚀因素

天然气管道作为能源运输的重要基础设施,它的安全性和稳定性都是至关重要的。天然气成分中的杂质是导致内部腐蚀的重要因素之一。硫化氢是天然气中常见的腐蚀性气体,当管道内存在液态水时,硫化氢会溶解形成氢硫酸,进而引发电化学腐蚀反应。电化学腐蚀反应会在管道内壁形成腐蚀坑,严重时会导致管道穿孔。而二氧化碳在有水的情况下会形成碳酸,碳酸会使管道内环境呈酸性,加速对金属管道的腐蚀,二氧化碳腐蚀通常表现为均匀腐蚀或局部点蚀,对管道的整体强度造成严重的影响<sup>[1]</sup>。

天然气中携带的水分或者在管道运行过程中由于温度变化等原因产生的冷凝水等会在管道内壁形成水膜,这层水膜为腐蚀反应提供了电解质环境,促进了电化学腐蚀的发生。尤其是在管道低洼处或流速较低

的区域,水分更容易积聚,形成腐蚀热点。与此同时天然气流体的流速和流态所造成的影响也不容忽视,高流速的天然气流体会对管道内壁产生冲刷作用,破坏已有的防腐层,加速腐蚀的发生。而流态的不稳定如涡流和湍流,会导致管道内壁局部应力集中,增加腐蚀的风险。此外管道内的固体颗粒和杂质在高速流动下会对内壁产生磨损腐蚀,进一步加剧腐蚀程度。

温度变化同样是内部腐蚀的一个重要因素,温度的变化不仅影响水分的凝结和蒸发,还会影响腐蚀反应的速度。在高温环境下,腐蚀反应速率加快,而在低温环境下,水分容易凝结,形成腐蚀环境。特别是在温度频繁变化的区域,如管道的进出口和调节阀附近,腐蚀问题尤为突出。管道材料的本身特性也会影响内部腐蚀的发生。不同材料的抗腐蚀性能不同,如碳钢在含硫环境中容易发生腐蚀,而不锈钢和合金材料则具有较好的抗腐蚀性能。此外,管道内壁的表面粗糙度也会影响腐蚀的发生,粗糙的表面更容易积聚腐蚀介质,加速腐蚀的发展。

#### 1.2 外部腐蚀因素

天然气管道外部腐蚀也会受到土壤环境的影响。土壤中的酸碱度、水分、含盐量以及微生物活动都会对管道产生腐蚀作用。土壤环境过酸或者过碱性都会加速金属管道发生化学反应,进而导致管道的腐蚀。而且金属管道与土壤中的水分直接接触会产生电化学腐蚀反应,特别是在含盐量较高的土壤中,腐蚀速率

会显著增加。某些微生物，如硫酸盐还原菌，在新陈代谢过程中会产生硫化氢等腐蚀性物质，进一步加剧管道的腐蚀。杂散电流也是引起天然气管道外部腐蚀的重要原因。杂散电流主要来源于地铁、电车等交通工具的电力系统，以及附近其他电气设施。这些电流通过土壤流入管道，再流回到电源，形成电流回路，导致管道的金属离子在电流流出部位溶解，从而发生腐蚀。这种腐蚀通常表现为局部腐蚀，严重时会导致管道穿孔泄漏<sup>[2]</sup>。

大气环境中的腐蚀因素也不容忽视。在环境湿度过高的情况下，管道表面极易形成水膜，推动了电化学腐蚀的形成。而且大气中二氧化硫、氮氧化合物等污染物质会和水蒸气相结合形成酸性物质腐蚀管道，特别是在工业区或污染严重的地区，大气腐蚀的影响尤为明显。如果管道长期暴露在强太阳光下，管道表面的防腐涂层会被紫外线破坏，降低防腐涂层的防护效果。施工和运行管理中的不当操作也会加剧管道的外部腐蚀。例如，管道在施工过程中，如果防腐涂层施工不当，或者管道外壁受损，都会使管道暴露在腐蚀环境中。此外，管道设计不合理，比如管道弯曲半径过小、支撑不当等，会导致管道局部应力集中，加速腐蚀过程。在运行管理中，如果缺乏有效的监测和维护措施，未能及时发现并修复腐蚀缺陷，也会导致腐蚀问题加剧。生物因素也是天然气管道外部腐蚀的一个方面，某些水生物在管道表面附着生长，可能改变局部环境，导致腐蚀发生，特别是在管道穿越河流、湖泊等水域时，生物腐蚀的影响更为显著。

## 2 天然气管道输送过程中的常用防腐方法

### 2.1 防腐涂料

防腐涂料的原理是通过在天然气管道表面涂上一层保护膜以此来隔绝管道金属表面与腐蚀介质接触，防止天然气管道被腐蚀。根据使用环境和防护需求的不同，防腐涂料可分为多种类型，常见的包括环氧涂层、聚氨酯涂层、富锌底漆等。

环氧涂层因其良好的附着力和耐化学腐蚀性能，成为天然气管道内防腐的常用选择。其涂覆过程通常包括严格的表面预处理，如喷砂除锈，以确保涂层与管道表面紧密结合。随后，通过喷涂或刷涂的方式将环氧涂料均匀覆盖在管道内壁，形成有效的隔离层，防止天然气中的腐蚀性成分侵蚀金属。

聚氨酯涂层则因其出色的耐候性和机械性能，常用于管道外壁的防腐。这类涂层不仅能有效抵御紫外线、温差、雨水等自然因素的侵蚀，还具备一定的抗冲击和耐磨损能力。聚氨酯涂层的施工也需注意表面处理，确保涂层附着牢固，从而延长管道的使用寿命。

富锌底漆作为防腐体系中的第一层，通常用于提供额外的阴极保护。锌粉作为主要成分，在电解质环境中能够优先被腐蚀，从而保护管道基体金属。富锌底漆常与环氧云铁中间漆和聚氨酯面漆等配套使用，形成多层防护体系，增强整体的防腐效果。此外，针对特殊环境，如沿海或工业大气环境，氟碳涂料和丙烯酸涂料等也被用于提供更高的耐化学腐蚀和耐老化性能。这些涂料能够在恶劣环境下保持稳定性，减少因腐蚀造成的维护频率和成本<sup>[3]</sup>。

### 2.2 缓蚀剂技术

在天然气管道输送中，缓蚀剂通过特定的注入装置被添加到天然气流中，从而在管道内壁形成一层保护膜，抑制腐蚀反应的发生。缓蚀剂可以根据化学成分的差别分为无机缓蚀剂、有机缓蚀剂以及聚合物缓蚀剂三大种类。

无机缓蚀剂主要包括亚硝酸盐、铬酸盐、硅酸盐等，它们通常通过氧化金属表面形成钝化膜来抑制腐蚀。然而，这类缓蚀剂的使用受到环保要求的限制，因为某些成分可能对环境有害。有机缓蚀剂如咪唑啉类化合物，则通过吸附在金属表面改变其电化学状态，达到防腐蚀的效果。这类缓蚀剂因其高效和环境友好性而得到广泛应用。聚合物类缓蚀剂则是一些低聚物的高分子化合物，它们能够在金属表面形成更为持久的保护膜。

缓蚀剂分子能够在金属表面形成吸附膜，隔绝腐蚀介质与金属的直接接触，而且某些缓蚀剂成分能够与金属离子反应生成不溶性的沉淀膜，进一步阻止腐蚀反应。此外缓蚀剂还可以通过改变腐蚀反应的电化学过程，如抑制阳极或阴极反应，来减缓腐蚀速度。在实际应用中，缓蚀剂的注入量和频率需要根据天然气的成分、流量、管道运行温度等因素进行调整。通过合理的注入策略，可以确保缓蚀剂在管道内均匀分布，并持续发挥其防腐蚀作用。此外，定期监测和评估缓蚀剂的效果，及时调整注入方案，也是保障管道防腐效果的重要措施。

### 2.3 阴极保护

阴极保护的基本原理是通过电化学手段，使被保护的金属管道成为阴极，从而抑制其表面电子的迁移，避免腐蚀的发生。具体来说，该技术通过牺牲阳极和外加电流保护两种方法得以实现。牺牲阳极法是利用锌、镁等电位更负的金属作为阳极，与被保护的天然气管道电性连接。根据原电池原理，这些外接金属会优先失去电子，遭受腐蚀，而管道则作为阴极得到保护。这种方法适用于土壤电阻率较高的环境，具有安装简单、维护成本低等优点，但需要定期更换牺牲阳

极<sup>[4]</sup>。

外加电流保护法则是通过外部直流电源，将保护电流施加到管道上，使管道强制成为阴极。在外加电流保护系统中，辅助阳极被埋设在土壤中，与电源正极相连，而管道与电源负极相连。通过持续的电流供应，管道表面产生阴极极化，消除腐蚀电池的作用。外加电流保护法能够提供更大的保护电流，适用于长距离、高电阻率的土壤环境，但其设计和安装需要考虑对周围其他金属结构的影响。

近年来，随着可再生能源技术的发展，太阳能阴极保护系统逐渐受到重视。太阳能阴极保护系统可以利用太阳能电池板将太阳能转化为电能，为外加电流阴极保护系统提供动力。这种方法特别适用于远离市电、人烟稀少的地区，如沙漠戈壁中的天然气管道。太阳能系统具有安装简便、维护少、无污染等优点，但初期投资较高且受天气影响较大。阴极保护技术的应用，不仅显著提高了天然气管道的抗腐蚀能力，还降低了维护成本，延长了管道的使用寿命，为天然气输送的安全性和经济性提供了有力保障。随着技术的不断进步，阴极保护系统将更加智能化和环保，为全球能源输送网络的稳定运行贡献力量。

## 2.4 新型防腐材料

随着材料科学的发展，新型防腐材料在天然气管道防腐中的应用越来越广泛。新型防腐材料通常具有优异的防腐性能，可以显著提升管道的耐腐蚀性能和使用年限。作为一种利用纳米技术制备的一种新型防腐涂层，纳米涂层具有高耐腐蚀性、强耐磨性和良好的自修复性能。纳米涂层能够在管道表面形成一层致密的纳米结构，有效阻止腐蚀介质的渗透。石墨烯涂层则是利用石墨烯的优异性能制备的一种新型防腐涂层，具有极高的导电性、导热性和机械强度。石墨烯涂层能够在管道表面形成一层致密的石墨烯膜，有效阻止腐蚀介质的渗透，同时具有良好的自修复性能。

## 2.5 防腐工程的检测与维护

### 2.5.1 防腐工程的检测方法

泄漏检测是管道防腐工程中最基本也是最重要的一项检测内容。埋地管道泄漏检测仪采用高性能传感器和吸气泵，能够在地面直接检测地下输气管道的气体泄漏情况和泄漏位置，该仪器具有灵敏度高、可靠性好、响应速度快等特点，能够有效地检测出微小的泄漏点。在检测过程中，操作人员需注意环境温度、湿度以及污物、杂气的干扰，以确保检测结果的准确性。

涂层检测主要包括外观检查、厚度测量和附着力测试。外观检查主要是检查涂层是否有破损、气泡、裂纹等缺陷；厚度测量则是通过专用仪器检测涂层的

厚度是否符合设计要求；附着力测试则是评估涂层与管道基材之间的结合力是否牢固。阴极保护检测主要包括电位测量和电流测量。电位测量是通过测量管道的保护电位来判断阴极保护系统是否正常工作；电流测量则是通过测量保护电流的大小来评估阴极保护的效果。

### 2.5.2 防腐工程的维护措施

定期巡检是管道防腐工程维护的基础工作，巡检内容包括管道外观检查、泄漏检测、涂层检测和阴极保护检测等。巡检过程中发现的问题应及时记录并处理，以确保管道的防腐系统始终处于良好状态。对于检测中发现涂层有破损、老化等问题的部位，应及时进行修复。修复工作包括表面处理、涂层补涂等步骤，确保修复后的涂层与原涂层具有良好的相容性和防腐效果<sup>[5]</sup>。

阴极保护系统的维护主要包括对牺牲阳极的检查和更换，以及对电源设备和连接线路的检查。牺牲阳极在使用过程中会逐渐消耗，当其消耗到一定程度时应及时更换，以保证阴极保护系统的持续有效。建立完善的管道防腐数据管理系统，可以对检测和维护过程中产生的数据进行记录和分析，及时发现潜在的问题并采取相应的措施。通过数据分析，可以优化维护计划，提高管道防腐工程的管理水平。

## 3 总结

综上所述，天然气管道的防腐方法包括材料选择、涂层防腐、电化学防护以及新型管道材料的开发利用。合理选择和应用这些防腐措施，能够有效延长管道使用寿命，确保天然气管道的安全运行。未来，随着技术的不断进步，防腐方法将更加多样化和高效，为天然气管道的安全输送提供坚实保障。

## 参考文献：

- [1] 黄明敏. 浅析天然气管道输送过程中管道的防腐方式 [J]. 天津化工, 2023, 37(02):129-131.
- [2] 蔡明. 天然气管道输送过程中管道防腐的研究及防腐策略探析 [J]. 清洗世界, 2022, 38(08):64-66.
- [3] 傅宣豪, 罗云怀, 周志昊. 自动化技术在天然气管道输送过程中的应用 [J]. 化工管理, 2021(31):57-58.
- [4] 李成阳, 杨晶, 林冬华. 天然气管道输送过程中管道防腐的创新研究 [J]. 化工管理, 2021(09):131-132.
- [5] 李佳鹏, 陈刚, 王刚, 等. 天然气管道输送过程中管道防腐的研究及防腐方法 [J]. 当代化工研究, 2021(04):97-98.

## 作者简介：

李文（1997-），女，汉族，辽宁东港人，本科，助理工程师，研究方向：天然气管道运输。