

油气储运中长输天然气管道防腐工艺分析

刘廷敬 汤 尧 常浩浩 赵浩东（山东信晟科技有限公司，山东 东营 257100）

摘要：油气储运是实现能源均衡的重要环节，常因天然气资源特殊性质以及长输天然气管道、储运环境的复杂性，进一步影响储运和运输安全性。为避免因腐蚀产物与天然气混合导致质量下降，管道破裂引发天然气泄漏并严重污染环境，同时防止爆炸事故威胁天然气运输、公共安全，应全面加强长输天然气管道防腐工艺研究。本文深入讨论煤焦油瓷漆、阴极保护等防护工艺要点，并针对性提出防腐蚀措施，以期保障油气管道储运安全性，进一步推动能源工业持续性发展。

关键词：油气储运；长输天然气管道；防腐工艺

中图分类号：TE988.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）017-0153-03

Analysis of anti-corrosion process of medium and long-distance natural gas pipelines for oil and gas storage and transportation

Liu Tingjing, Tang Yao, Chang Haohao, Zhao Haodong (Shandong Xinsheng Technology Co., Ltd., Dongying Shandong 257100, China)

Abstract: Oil and gas storage and transportation is an important part of achieving energy balance, which often affects the safety of storage, transportation and transportation due to the special nature of natural gas resources and the complexity of long-distance natural gas pipelines and storage and transportation environments. In order to avoid the quality degradation caused by the mixing of corrosion products with natural gas, the leakage of natural gas caused by pipeline rupture and serious environmental pollution, and to prevent explosion accidents from threatening natural gas transportation and public safety, the research on anti-corrosion technology of long-distance natural gas pipelines should be comprehensively strengthened. In this paper, the key points of protection processes such as coal tar enamel and cathodic protection are discussed in depth, and anti-corrosion measures are proposed to ensure the safety of oil and gas pipeline storage and transportation and further promote the sustainable development of the energy industry.

Keywords: oil and gas storage and transportation; long-distance natural gas pipelines; Anti-corrosion process

在可再生能源快速发展背景下，天然气作为能源转型桥梁作用的经济能源，其管道、接收站等基础设施建设，可促进国际贸易、能源资源优化配置^[1]。为进一步提高天然气资源利用率，我国正加大力度开展天然气长输管道建设，同时因腐蚀风险、地质灾害风险等因素，严重影响天然气运输效率。实际上，管道内壁腐蚀可增加天然气流动阻力，进而影响管道输送效率，并且管壁腐蚀可增加穿孔、破裂风险，可因天然气泄漏引燃火灾、爆炸等安全事故，其产生的有害气体、烟尘将进一步加重环境污染，严重威胁广大居民公共安全^[2]。

如何优化长输天然气管道防腐工艺已成为现阶段油气储运亟待解决的重要难题，笔者就长输天然气管道防腐工艺要点予以分析，旨在探讨如何保障油气管道安全运行。

1 油气储运中长输天然气管道防腐工艺的重要性

天然气输送期间可因管道材质与制造缺陷、杂质气体（硫化氢、二氧化碳）、土壤环境（酸碱度、含

盐量等）、杂散电流干扰（电气化铁路、高压输电线路等）、微生物作用（硫酸盐还原菌等）等因素引发管道腐蚀，进而影响油气储运。为保障天然气稳定输送，应全面加强长输管道防腐工艺。由于长输管道通常铺设于复杂环境中，其水分、盐分等物质均可不同程度地腐蚀管道，而防腐工艺可在其表面形成保护膜，有效延缓腐蚀速度，进一步延长管道使用寿命^[3]。实际上，管道可因腐蚀出现穿孔、破裂，进而增加天然气泄漏等安全事故发生风险，防腐工艺可降低泄漏、爆炸风险，避免因安全事故引发环境污染。其次，防腐工艺可有效阻止因腐蚀导致的内壁粗糙度增加，确保长输管道输送天然气能力良好，进而满足不同用户用气需求。此外，防腐工艺可大幅度降低维修、抢修费用、环境治理费用等，进一步提高相关企业经济效益。

2 油气储运中长输天然气管道防腐工艺要点

2.1 物理防护之增设涂层

2.1.1 煤焦油瓷漆

早期防腐层以石油沥青为主，其防腐层由石油沥

青、玻璃布等物质组成，虽然价格低廉，但存在易受细菌腐蚀、低温韧性差等缺点。而煤焦油瓷漆是由煤焦油、煤沥青等加热、熬制所得的制品，因其具有优良的化学稳定性，可通过与管道表面紧密结合，形成一层致密保护膜，进而有效抵抗水分、盐分等物质的侵蚀作用，极大缓解长输天然气管道腐蚀速度^[4]。

同时，煤焦油瓷漆整体抗渗透性能较强并且结构致密，可承受多种化学介质的腐蚀，不易出现脱落、起皮等现象，进一步保障长期使用长输天然气管道的安全稳定性。其次，在阴极保护条件下，煤焦油瓷漆的耐久性、稳定性特性可帮助其减少因外界物理冲击或环境变化等因素产生的不良影响，进一步延长管道使用寿命。施工工艺要点如下：利用喷砂等方式对长输管道表面予以除锈、除油，进一步保障表面粗糙度、清洁度。

涂覆方式通常为加热涂覆，即加热至特定温度后，喷涂或滚涂于管道表面，为增加物理涂层厚度、性能，可根据相关需求予以增加涂覆层数。为提高管道整体防腐性能，可在其表面设置玻璃纤维布或聚乙烯薄膜等外防护层。由于煤焦油瓷漆在生产、施工期间可产生苯、萘等有害物质，应针对性采取环保措施，并注意在寒冷地区采用特殊保温措施。

2.1.2 PE 两层结构

PE 两层结构是包含底层粘胶剂、外层聚乙烯在内的防腐涂层体系。前者可与管道表面的外处理层、外层 PE 紧密结合，增加整个防腐涂层的附着力，后者具有优异的耐磨、耐冲击性能，可为长输天然气管道提供有效保护。

实际上，PE 两层结构可阻断水分、氧气等腐蚀介质接触管道表面，抵御岩石冲击、土壤压力、机械挖掘等外力作用，有利于保持管道涂层完整性，进一步提高长输天然气管道的整体耐久性。这也就意味着 PE 两层结构对不同环境温度、湿度具有良好抵抗能力，可完美适应多种复杂地理环境。

此外，PE 两层结构施工方式较为简单，整体施工质量较易控制，整体可操作性强，可一定程度缩短施工周期。具体施工工艺如下：为确保管道表面清洁度、粗糙度达到相应标准，可利用喷砂、抛丸等方式去除管道表面杂质，并在保持干燥的基础上尽快开展后续涂层工作。首先将底层胶粘剂加热至特定温度，利用挤出机均匀涂覆于管道表面，其厚度不宜超过 0.3mm，随后将聚乙烯加热至熔融状态，利用缠绕或喷涂的方式均匀覆盖于胶粘剂表面，其厚度为 1.5-3.0mm。为确保涂覆质量，应严格控制加热温度、涂覆速度，并观察涂覆表面有无气泡、裂纹等缺陷，同时利用磁性

测厚仪等设备，确保涂覆厚度符合相关规定。

2.1.3 PE 三层结构

PE 三层结构是由环氧粉末涂层（底层）、胶黏剂层（中间层）、聚乙烯层（外层）组成的防腐涂层体系，底层具有良好附着力、耐化学腐蚀性，同时防止水、腐蚀介质渗入，可为长输天然气管道提供防腐屏障。中间层多采用改性聚烯烃胶黏剂，其作用在于连接底层、外层，使其形成牢固整体，进一步提高机械强度、抗冲击性^[5]。

外层常采用高密度聚乙烯，因其具有耐磨损、耐候性好等显著优势，可防止土壤侵蚀。三层结构相互配合具有良好防腐性能，可避免水分、氧气等腐蚀介质接触管道表面，同时可承受土壤压力、机械损伤等各种外力作用，极大延长天然气长输管道使用寿命，减少管道维修、更换频率。此外，热熔法施工可保障防腐层的完整性、密封性，不易因应力作用而发生开裂事件。

具体施工工艺如下：为确保管道表面清洁度、粗糙度为涂层提供良好的附着基础，应利用抛丸、喷砂工艺去除管道表面杂质，如：油污、氧化皮等，同时避免处理后的管道表面二次污染。准备工作就绪后，将管道预热至 200-250℃，利用静电喷涂设备，将其均匀喷涂于管道表面，随后加热固化为环氧粉末涂层，其厚度控制在 100 μm-300 μm。在确保涂层无缺陷（漏涂、气泡等）的基础上将改性聚烯烃胶黏剂加热至熔融状态，利用挤出机涂覆于涂层表面，涂层厚度为 170 μm-250 μm。

随后加热高密度聚乙烯颗粒并利用缠绕或挤出包裹的形式，将其覆盖于胶黏剂层，厚度设置为 1.8-3.7mm，同时严格控制涂覆温度、涂覆速度等相关参数。为确保涂层厚度满足相关规定，可使用相关设备（磁性测厚仪）予以抽检，并利用划格法、拉开法检测附着力。

2.2 化学防护之电化学防护法

2.2.1 阴极保护法外加金属

将长输天然气管道作为阴极，通过外加金属的方式，使其管道表面获取电子，进而抑制氧化反应发生风险，降低管道腐蚀速度。相较于传统长输天然气管道防腐蚀措施而言，阴极保护法可抑制金属失去电子的氧化反应，降低因泄漏、穿孔等故障导致的维护、更换频率，进一步提高油气储运的安全性、积极性。在土壤电解质中，利用电位更负的金属与管道连接可不断溶解、释放电子，具有结构简单、整体干扰较小的显著优势^[6]。

定期检测管道电位、保护电流等参数，有助于及

时调整、修复电位异常等问题，在其基础上联合远程监控技术，可实时了解长输天然气管道阴极保护运行情况，进而保障管道运行的安全性。

此外，阴极保护法外加金属工艺联合涂层防护可形成完整防腐体系，其施工流程为先涂层，再安装阴极保护系统，为充分发挥其协同功效，应保障两者之间的电气连接。

2.2.2 阴极保护法之外加电流

阴极保护法之外加电流是将金属管道、直流电源负极相连的重要防腐工艺，主要由电流电源（恒电位仪等）、辅助阳极（高硅铸铁、石墨等）、参比电极（测量管道点位）、长输天然气管道构成，适用于难以被镀层、牺牲阳极保护部位。外加电流阴极保护可促使长输天然气管道持续处于阴极状态，并通过调整强度、极性等参数，使其不断适应不同环境条件。

此外，优化长输天然气管道实际腐蚀状态、历史数据，并对外加电流阴极保护系统予以智能管理，有助于全面提高防腐效果。由于外部电源系统建设、运行成本较高，可能对周边金属建筑物产生电磁干扰，应根据管道实际情况针对性采取防护措施。

3 油气储运中天然气长输管道防腐策略

3.1 强化管道工艺监管

第一，健全监管制度，即完善管道设计、施工、维护等不同施工工艺监管制度，明确油气储运各个环节技术要求，结合天然气长输管道实际运行情况，针对性制定企业内部标准、操作规范等，如：涂层防腐工艺、焊接工艺等。

第二，加强人员培训，企业内部定期组织相关人员参与天然气长输管道防腐工艺系统培训，旨在逐步提高操作人员、监管人员的专业素养。其次，根据企业内部实际情况，完善人员考核机制，将理论、实践考核结果与绩效联系，确保各个员工均已熟练掌握天然气长输管道防腐工艺。

第三，强化监控与检测，利用自动化监控手段实时检测压力、温度等工艺参数，并定期开展管道内外检测工作，如：内壁腐蚀、变形及表面腐蚀程度等。第四，严格设备维护，定期对压缩机、阀门等相关设备予以维护、保养，并针对性完善设备档案，详细记录相关信息，为其全生命周期管理提供理论数据。

3.2 严格审核设计图纸

由资深工程师、专业技师等多名人员共同构建防腐工艺评审小组，其设计图纸应符合国家、行业标准规范，并评估防腐工艺与外部环境的适应程度，确保设计方案的科学、合理性。为确保审计工作的前瞻性，应定期组织防腐工艺评审小组成员参与系统性培训，

了解国内外先进技术，并借助 CAD、BIM 技术对管道三维结构予以模拟，直观发现施工难点并针对性处理，同时确保设计图纸的完整性，检查图纸设计各部分内容的协调性。

3.3 天然气净化

为高效剔除天然气中腐蚀性杂质（二氧化碳、硫化氢等），可利用先进净化工艺（膜分离、吸附等），减少设备腐蚀、环境污染风险。其中，膜分离工艺是利用混合气体在膜中溶解度、扩散速率差异，将各种杂质从气体中分离的技术。主要包括预处理（去除固体杂质、液滴等）、膜分离（分离渗透气、截留气等）、后处理（回收利用或达标排放）环节，具有操作简便、连续运行特点。

吸附法是利用吸附剂（活性炭、活性氧化铝等）选择性吸附杂质的净化工艺，可有效降低天然气杂质含量，脱除气体湿气、酸气。为实时检测天然气杂质、水分含量，应在长输天然气管道关键部位安装监测装置，以便操作人员及时掌握天然气质量变化情况，实现天然气净化的智能化、高效化。

4 结语

伴随广大群众对清洁能源需求量的增大，作为能源供应重要组成部分的天然气可带动勘探开采、管道建设等相关产业发展。然而，长输天然气管道的腐蚀问题（内壁腐蚀、外壁腐蚀、应力腐蚀等）可直接影响管道安全运行。为避免管道泄漏、破裂等腐蚀危害造成人员、财产损伤，应全面落实防腐工艺，加大物理防护、化学防护干预力度。同时，强化管道施工队伍素质水平，并严格审核设计图纸，进一步剔除天然气腐蚀性杂质，方可降低管道腐蚀风险，保证长输天然气管道经济性能。

参考文献：

- [1] 吕良辰. 油气储运中的管道腐蚀成因与防治探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(18):37-39.
- [2] 徐英杰. 油气储运管道防腐技术的应用现状 [J]. 新疆钢铁, 2024, (03):107-109.
- [3] 韩超, 王路远. 油气储运中长输天然气管道防腐工艺研究 [J]. 化学工程与装备, 2024, (07):37-40.
- [4] 孟琳琳. 油气储运中管道防腐技术研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(02):22-24.
- [5] 徐焕焕. 探析油气储运中管道防腐工艺 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(16):178-180.
- [6] 刘晴, 赵得强, 李京, 等. 油气储运管道的腐蚀机理与防腐技术研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(08):123-124+128.