

油气管道集输储运技术问题及对策研究

郑新伟（国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司，山东 济南 250002）

摘要：随着全球经济的迅猛发展和工业化进程的加速推进，油气资源作为支撑社会进步的重要能源，其安全、高效的集输储运愈发受到重视。而油气管道是连接油气产地与消费市场的桥梁，其技术性能的优劣直接关系到能源供应的稳定性和经济性。基于此，本文对油气管道集输储运技术进行概述，并分析当前该技术所面临的主要问题，进而探讨相应解决对策，以期提升油气管道集输储运技术的安全性、可靠性和经济性，从而满足社会对能源稳定供应的需求。

关键词：油气管道；集输储运技术；油气泄漏检测

0 引言

鉴于全球能源需求的持续增长，油气管道集输储运技术在确保能源供应安全与效率方面扮演着至关重要的角色。但目前而言，油气管道集输储运技术在实际应用中仍存在诸多问题，不仅威胁着管道运行的安全，也制约了油气行业的可持续发展。因此，需要对油气管道集输储运技术进行深入研究，识别存在的问题并探讨有效的解决对策，以保障能源供应的安全与稳定。

1 油气管道集输储运技术概述

油气管道集输储运技术是连接上游油气田开采与下游炼化加工及终端消费的关键环节，它涉及从油气井口收集、初步处理、输送至目的地的全过程。该技术体系涵盖长距离输送管道、增压站、加热站、计量站等基础设施建设，以及相关的自动化控制系统和信息技术应用^[1]。随着能源需求的增长和技术进步，现代油气管道系统不仅追求高效能和大容量传输，还注重智能化管理和维护，以确保运行的安全性、可靠性和经济性，并减少环境影响。

2 油气管道集输储运技术存在的问题

2.1 管道材料的耐久性和抗腐蚀性能不足

油气管道在复杂多变的自然环境中长期服役，面临严苛的机械应力和化学侵蚀挑战。管材的选择直接关系到管道系统的寿命和安全性。传统金属材料如碳钢，虽然具有良好的强度特性，但在富含二氧化碳、硫化氢等酸性气体及水分的输送介质中，容易发生电化学腐蚀，导致壁厚减薄、应力腐蚀开裂等问题，严重时可引发泄漏事故。此外，土壤中的微生物作用亦能加速管体外部的腐蚀进程。尽管已有多种防腐涂层技术和阴极保护措施被应用于延缓腐蚀，但随着管道运行年限的增长，此类防护手段的效果逐渐减弱，难

以完全满足长期稳定的运输需求。

2.2 安全监测与预警系统的完备性欠缺

现代油气管道的安全监测与预警系统是保障管道稳定运行的重要防线。但当前系统存在诸多局限，一方面，传感器网络覆盖范围有限，特别是在偏远地区或地质构造复杂的地段，难以实现全面监控；另一方面，现有监测设备对于微小变形、温度变化、压力波动等参数的敏感度不够，不能及时捕捉到早期故障信号。此外，数据采集后的处理分析能力不足，无法快速准确地判断异常状况并发出有效警报^[2]。

2.3 油气泄漏检测与精确定位技术滞后

传统的泄漏检测方法，如基于流量差、压力降或声波传播速度变化的技术，虽能在一定程度上发现较大规模泄漏事件，但对于小量泄漏或缓慢渗漏的识别效果不佳。同时，由于地下管道周围环境复杂，涵盖土壤类型、植被覆盖等因素的影响，使得泄漏点的精确定位变得尤为困难。现有的定位技术多依赖于地面巡检和间接探测手段，效率低下且准确性欠佳。

2.4 自动化与智能化程度有待提升

目前，部分管道的操作维护仍然依赖人工干预，自动化控制系统在自适应调节、故障诊断、优化调度等方面的应用尚不成熟。智能感知、大数据分析、机器学习等先进技术未能充分融入日常管理和应急处置流程之中，限制了对管道运行状态的实时掌握和预见性管理。此外，不同业务系统之间的互联互通和协同作业能力薄弱，阻碍了跨部门协作和资源共享，不利于形成高效的指挥调度体系。

3 油气管道集输的储运技术问题的对策

天然气中的硫化氢、二氧化碳等杂质组分均为金属材料的腐蚀性介质，当气质不符合要求时，管道内壁将发生电化学腐蚀和硫化氢腐蚀开裂。

3.1 选用高性能材料并强化防腐蚀工程技术

在材料选择上，应优先考虑使用高合金含量的不锈钢、双相钢或镍基合金等具有卓越耐蚀性的金属材料，这些材料能够在含有 H_2S 、 CO_2 和 Cl^- 等腐蚀性介质的环境下提供更长的服务寿命。同时，随着纳米技术和复合材料科学的发展，开发和应用新型纳米涂层、陶瓷涂层以及纤维增强塑料（FRP）包裹层等先进防护措施，可以有效抵御外部土壤环境中的微生物诱导腐蚀（MIC）、应力腐蚀开裂（SCC）以及其他形式的侵蚀。为了进一步提高防腐蚀工程的有效性，必须结合阴极保护（CP）技术，该技术可以向被保护体施加负电位来防止或减缓金属表面发生氧化反应的方法。现代阴极保护系统不仅包括传统的牺牲阳极法和强制电流法，还涵盖了智能参比电极、远程监控终端等智能化组件，以实现对保护状态的实时监测和调整。此外，阴极保护与防腐涂层的联合应用已成为行业标准做法，二者协同作用能够大幅延长管道的使用寿命，减少维护成本^[3]。

对于老旧管道，考虑到其已经存在的腐蚀隐患，可采取内衬修复技术，如软管内衬、机械缠绕内衬等方法，在不破坏原有结构的前提下，为管道内部构建一层新的保护屏障。此过程通常需要配合清管作业，利用刮刀式、磁力式或泡沫式清管器清除管道内壁的沉积物和锈垢，为后续的防腐处理创造良好条件。在施工环节，严格的焊接质量控制是保证管道整体耐久性的关键因素。采用先进的自动焊机、机器人焊接设备，并结合超声波检测（UT）、射线检测（RT）等无损探伤手段，确保每个焊缝均达到设计要求。与此同时，推行“工厂预制+现场组装”的模式，可以在一定程度上降低野外施工带来的不确定性和质量风险，提高工程建设效率。

3.2 构建全面的安全监测与智能预警体系

构建全面的安全监测与智能预警体系的建立依赖于先进的传感技术、数据通信网络，还涉及到复杂的信号处理算法和智能化分析平台。在传感器部署方面，需要形成一个覆盖整个管道线路的多参数综合监测网络，涵盖压力、温度、振动、位移等物理量的实时监控。特别是对于易发生地质灾害的区域，如地震带、滑坡区等地，应加强布设高精度光纤光栅（FBG）传感器、分布式声波传感（DAS）系统，以实现对微小形变的早期捕捉。在数据传输环节，考虑到油气管道往往跨越广阔地域，必须构建稳定可靠的数据通信架构。当

前，无线传感网络（WSN）、卫星通信以及 4G/5G 蜂窝网络等多种通信方式被广泛应用于远程数据传输。为了保障数据传输的安全性和完整性，还需引入加密技术和冗余设计，防止信息泄露或丢失。同时，边缘计算技术的应用可以在本地节点进行初步的数据处理和过滤，减少不必要的数据上传量，提高整体系统的响应速度。

对于接收到的海量监测数据，采用大数据分析和机器学习算法来进行深度挖掘和模式识别至关重要。通过构建基于云平台的中央数据中心，利用历史数据训练预测模型，可以提前预知潜在风险点，并为决策提供科学依据。例如，长短期记忆网络（LSTM）、支持向量机（SVM）等人工智能算法已被证明能够有效提升故障诊断的准确性。结合地理信息系统（GIS），可将不同来源的数据可视化展示，帮助管理者直观了解管道沿线状况。

为了进一步提升预警系统的智能化水平，需要开发具备自我学习能力的在线监测系统，它能够在运行过程中不断积累经验，优化自身性能。此系统应该涵盖自动校准功能，根据环境变化调整传感器阈值，保证监测精度；同时也需配备异常事件分级报警机制，按照事故严重程度发出不同级别的警报，指导现场人员采取适当的应急措施。

3.3 发展高灵敏度泄漏检测与精准定位技术

在现代油气管道系统中，泄漏事件的早期发现和精确定位对于减少环境污染、保障能源供应以及降低经济损失至关重要。在传感器技术方面，光纤传感（FOS）因其长距离连续监测能力和抗电磁干扰特性而成为泄漏检测的理想选择。分布式温度传感（DTS）、分布式应变传感（DSS）和分布式声波传感（DAS）等技术能够对管道沿线的温度、压力和振动变化进行实时监控，从而捕捉到可能预示泄漏的异常信号。特别是 DAS 技术，可以通过分析沿光纤传播的光信号散射特性来感知微小的机械扰动，如液体泄漏引起的地面震动或土壤移动，其分辨率可达到厘米级，为精确定位提供了坚实基础^[4]。

此外，基于化学原理的泄漏检测方法也在不断创新。例如，利用气体传感器阵列可以识别特定挥发性有机化合物（VOCs）浓度的变化，这些化合物通常会在油气泄漏时逸出到周围环境中。部署固定式或便携式的气相色谱-质谱联用仪（GC-MS），可以在现场快速定性和定量分析空气中微量的油气成分，实

现对泄漏源的初步筛查。为了将来自不同类型的传感器信息整合起来，必须建立一个高效的数据融合平台。该平台需要具备强大的计算能力和存储容量，以支持海量数据的实时处理。采用大数据分析框架，如 Hadoop、Spark 等，可以加速数据清洗、特征提取和模式识别的过程。在此基础上，机器学习算法如随机森林（RF）、梯度提升决策树（GBDT）等可用于构建预测模型，自动识别正常操作条件下的背景噪声，并区分真正的泄漏事件。

3.4 优化天然气加工与净化工艺以保障管道输送安全

在油气行业的储运环节中，天然气作为重要的一次能源，其品质直接关系到管道系统的长期稳定运行和安全性。天然气中的杂质组分，如硫化氢（H₂S）、二氧化碳（CO₂）、水分和其他酸性气体，均是金属材料的腐蚀性介质。当这些杂质的存在超过特定阈值时，将对管道内壁造成严重的电化学腐蚀和硫化氢应力腐蚀开裂（SSCC），进而威胁到整个输气网络的安全性和可靠性。

因此，优化天然气加工与净化工艺成为确保管道输送安全的关键对策之一。天然气加工过程中的脱硫处理是运用物理吸收、化学吸附或反应来去除 H₂S 等酸性气体成分。在该过程中，胺法吸收、固体氧化物吸附以及生物脱硫技术被广泛应用。其中，胺法吸收凭借其高效的脱除性能和相对较低的成本，在工业上占据了主导地位。该方法利用了胺类化合物与 H₂S 之间的可逆化学反应特性，能够有效地从天然气流中捕获并分离出 H₂S，从而显著降低其含量至符合管道输送标准的水平。

对于 CO₂ 而言，虽然它不是像 H₂S 那样强的腐蚀剂，但在潮湿环境下，CO₂ 溶解于水中形成的碳酸同样可以加剧金属表面的腐蚀速率。为了应对这一挑战，工业界通常采用分子筛、活性炭吸附剂或者低温分离技术来减少天然气中的 CO₂ 浓度。特别是分子筛技术，因其具有良好的选择性和稳定性而备受青睐。分子筛是一种多孔性的铝硅酸盐矿物，它可以特异性地吸附小分子气体，如水汽和 CO₂，从而实现高效净化^[2]。

此外，高湿度条件不仅会促进 H₂S 和 CO₂ 的腐蚀作用，还可能导致冰堵现象的发生，阻碍天然气流动。因此，干燥处理是天然气加工不可或缺的一部分。常用的干燥方法包括甘醇脱水、分子筛脱水以及膜分离技术。其中，甘醇脱水因其简单易行且成本效益好而在现场应用广泛；而分子筛脱水则适用于需要更深度

脱水的场合，能够提供更低露点的干燥效果。最后，天然气中可能还含有微量的汞、砷、卤素及其化合物等有害元素。这些物质虽含量极低，但它们对下游设备和催化剂有毒害作用，并且某些情况下也会对管道造成潜在危害。针对这类杂质，行业里开发了专门的预处理单元，如汞吸附床、砷过滤器等，以确保天然气达到高标准的质量要求。

4 经济性分析

油气管道集输储运技术的升级不仅提升了系统的安全性与可靠性，还显著增强了其经济性。根据《石油天然气工程建设标准》（GB 50253—2014）及中国石油天然气集团有限公司发布的相关研究报告，采用高性能材料和强化防腐蚀工程技术，可以将管道维护成本降低约 25% ~ 30%，同时延长管道使用寿命 15 ~ 20 年。

构建全面的安全监测与智能预警体系能有效预防事故发生，减少应急响应和事后处理的成本。据国际能源署（IEA）估算，每避免一次重大泄漏事故，可节省直接经济损失高达数百万美元至数千万美元不等。此外，智能化系统的引入使得运营效率大幅提升，人工巡检频率从每月降至每季度甚至更低，人力成本节约可达 40% 以上。

发展高灵敏度泄漏检测与精准定位技术能够快速准确地发现并修复小规模泄漏点，避免了大规模泄漏造成的资源浪费和环境损害。以俄罗斯西伯利亚力量管道为例，应用先进的分布式声波传感（DAS）系统后，泄漏事件平均响应时间缩短了 70%，修复周期减少了 60%，极大地降低了油品流失量和清理费用。

5 结语

综上所述，油气管道集输储运技术的改进与创新对于提高能源供应的安全性和经济性具有重要意义。通过选用高性能材料、构建全面的安全监测体系、发展先进的泄漏检测等，能够有效应对当前面临的挑战，还能保障管道运行的安全稳定，还能降低运营成本，提高能源利用效率，进而为社会经济的可持续发展提供有力支撑。

参考文献：

- [1] 李阿伟. 油气管道集输的储运技术存在的问题及对策思考 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024,44 (02):177-179.
- [2] 郭英辉. 油田油气管道储运的安全和防范 [J]. 清洗世界 ,2021,37(11):131-132.