

智能化技术在天然气管道运输调度中的应用研究

孙原野（青岛新奥新城燃气有限公司，山东 青岛 266109）

姜雪纯（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250100）

摘要：本研究聚焦于智能化技术在天然气管道运输调度领域的应用，全面剖析了实时监测与数据采集、数据分析与预测、自动化控制以及地理信息系统等技术在提升运输调度效率、降低成本和增强安全性方面的作用。通过对实际应用案例的分析，揭示了智能化技术应用带来的显著优势，同时探讨了应用过程中面临的数据安全、技术集成和人才短缺等挑战，并对未来发展趋势进行了展望。研究表明，智能化技术是推动天然气管道运输调度迈向高效、智能、安全新阶段的关键驱动力。

关键词：天然气管道运输；智能化技术；调度优化；安全保障

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)016-0139-03

Research on the application of intelligent technology in natural gas pipeline transportation scheduling

Sun Yuanye (Qingdao ENN Xincheng Gas Co., Ltd., Qingdao Shandong 266109, China)

Jiang Xuechun (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250100, China)

Abstract: This study focuses on the application of intelligent technology in the field of natural gas pipeline transportation scheduling, and comprehensively analyzes the role of real-time monitoring and data collection, data analysis and prediction, automatic control, and geographic information system in improving transportation scheduling efficiency, reducing costs, and enhancing safety. Through the analysis of practical application cases, the significant advantages brought by the application of intelligent technology are revealed, and the challenges faced in the application process such as data security, technology integration and talent shortage are discussed, and the future development trend is prospected. The research shows that intelligent technology is the key driving force to promote the transportation and scheduling of natural gas pipelines to a new stage of efficiency, intelligence and safety.

Keywords: natural gas pipeline transportation; intelligent technology; scheduling optimization; Safety and security

1 天然气管道运输调度概述

1.1 天然气管道运输系统组成

天然气管道运输系统宛如一个庞大而复杂的网络，主要由输气管道、站场、计量设备、控制设备以及通信系统等部分协同构成。输气管道作为天然气输送的核心载体，通常采用高强度钢材制造，依据不同的输送压力与管径要求，规格各异。这些管道纵横交错，绵延数千公里，将天然气从气源地源源不断地输送至各地用户端。

站场在整个运输系统中承担着至关重要的角色，包括首站、压气站、分输站、末站等。首站负责接收来自气源地的天然气，并进行初步处理与计量；压气站借助压缩机对天然气加压，克服管道输送阻力，保障天然气长距离、稳定输送；分输站根据下游用户需求，将天然气按比例分配至不同支线管道；末站则作为运输终端，负责将天然气输送给最终用户，并完成最后的计量与质量检测。

计量设备用于精确测量天然气的流量、压力、温度等关键参数。常见的流量计量设备有孔板流量计、

涡轮流量计等，它们能够准确测量天然气的瞬时流量与累计流量，为管道运输调度提供关键数据支撑。压力传感器和温度传感器则实时监测管道内天然气的压力与温度变化，确保管道运行在安全参数范围内。

控制设备是实现管道系统自动化运行的核心，通过对各类阀门、泵等设备的控制，实现对天然气输送量、输送压力等参数的精准调节。通信系统则如同整个运输系统的“神经脉络”，保障各设备间以及设备与监控中心的数据传输与信息交互，确保整个系统协同高效运转。

1.2 管道运输调度的任务与要求

管道运输调度的核心任务在于依据气源供应状况、用户实时需求以及管道系统实际运行状态，科学合理地规划天然气的输送量与输送路径，确保整个管道系统安全、稳定、高效运行。准确预测天然气需求是调度工作的首要任务。

实时监测管道系统运行参数是保障安全运行的关键。通过分布于管道沿线的各类传感器，实时采集管道内天然气的压力、温度、流量等参数，并及时传输

至监控中心。一旦参数出现异常，如压力过高或过低、流量突变等，能够迅速采取措施应对，防范事故发生。

优化管道运行方案是提升运输效率、降低运营成本的重要手段。通过对管道系统运行数据的深入分析，结合气源供应与用户需求，合理调整压气站压缩机运行参数、阀门开度等，优化天然气输送路径，降低能源消耗，提高管道输送能力。

保障管道系统安全是调度工作的重中之重。天然气属于易燃易爆气体，一旦发生泄漏等事故，将对人员生命安全与环境造成严重威胁。因此，需构建完善的安全监测与预警机制，加强管道日常巡检与维护，及时发现并处理管道腐蚀、泄漏等安全隐患，确保管道系统安全运行。

2 智能化技术在天然气管道运输调度中的应用

2.1 实时监测与数据采集技术

2.1.1 传感器技术

传感器作为实时监测的核心设备，在天然气管道运输系统中发挥着不可或缺的作用。压力传感器能够实时感知管道内天然气的压力变化，其精度可达小数点后多位，能敏锐捕捉到微小压力波动。温度传感器用于监测天然气温度，确保其在适宜温度区间输送。不同类型的温度传感器适用于不同环境与测量要求，如热电偶传感器适用于高温环境，热电阻传感器在中低温测量中精度更高。流量传感器是测量天然气流量的关键设备，孔板流量计通过测量流体流经节流装置时产生的压差计算流量，具有结构简单、可靠性高的优点；涡轮流量计则借助流体推动涡轮旋转，通过测量涡轮转速计算流量，精度较高，适用于对流量测量精度要求严苛的场景。

2.1.2 物联网技术

物联网技术的兴起，为天然气管道运输系统的智能化监测带来了革命性变革。通过物联网技术，将分布在管道沿线各处的传感器、设备、机器等连接成庞大网络，实现数据互联互通。实际应用中，每个设备都被赋予唯一标识，如同其“身份证”，通过无线网络将采集的数据实时传输至统一物联网平台。

调度人员在监控中心，只需通过系统界面，即可实时查看各个设备的运行状态、参数数据等信息。例如，在某大型天然气管道运输企业的监控中心，调度人员可通过大屏幕实时监控上千公里管道上的数百个设备，包括压气站压缩机运行状态、阀门开关位置、管道压力与流量数据等。一旦某个设备出现异常，系统立即发出警报，并在地图上精准定位故障设备，为维修人员快速赶赴现场提供便利。物联网技术的应用，极大提升了管道运输系统的可视化管理水平，使调度

人员能够全面、及时掌握管道系统运行状况。

2.2 数据分析与预测技术

2.2.1 大数据分析

天然气管道运输过程中，每日都会产生海量数据，涵盖管道运行参数、设备状态信息、维修记录、用户用气数据等多个方面。大数据分析技术能够对这些海量数据进行收集、整理、存储与深度分析，挖掘数据背后隐藏的规律与潜在信息。通过对历史运行数据的分析，可构建管道系统运行模型，预测管道压力变化、流量波动等趋势。

2.2.2 人工智能算法

人工智能算法可用于优化管道运行控制策略。通过对实时运行数据的分析，人工智能算法能够自动调整设备运行参数，实现管道系统最优运行。运用人工智能算法根据管道实时压力、流量以及下游用户需求等信息，自动调整压缩机转速与阀门开度，使管道系统在满足用户需求的前提下，实现能耗最低。实际应用结果显示，采用人工智能控制策略后，该压气站能耗降低 10% 以上。

2.3 自动化控制技术

2.3.1 SCADA 系统

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 系统即监控与数据采集系统，是天然气管道运输调度中应用最为广泛的自动化控制系统。该系统由控制中心、远程终端单元 (RTU)、通信系统等构成。控制中心是整个 SCADA 系统的核心，负责对管道系统进行集中监控与管理。调度人员在控制中心通过操作计算机，实时查看管道系统运行参数，并对管道设备进行远程控制。通信系统是连接控制中心与 RTU 的桥梁，确保数据快速、准确传输。常见通信方式有光纤通信、无线通信等。

2.3.2 智能阀门与执行器

智能阀门和执行器是实现管道自动化控制的重要设备。智能阀门能够根据接收到的控制信号自动调节阀门开度，实现对天然气流量、压力的精确控制。与传统阀门相比，智能阀门控制精度更高、响应速度更快。智能阀门还具备自我诊断功能，能够实时监测自身运行状态，如阀门开关位置、执行器扭矩、电机电流等参数，并将这些信息反馈给控制系统。当设备出现故障时，能够及时发出报警信号，并提供故障诊断信息，便于维修人员快速定位与解决问题。执行器作为智能阀门的驱动装置，负责将控制信号转化为阀门动作。常见执行器有电动执行器、气动执行器和液压执行器等。不同类型执行器适用于不同工作环境与控制要求。

2.4 地理信息系统（GIS）技术

2.4.1 管道可视化管理

GIS 技术能够将天然气管道的地理位置、走向、管径、材质等信息以直观地图形式呈现。在管道规划阶段，利用 GIS 技术可对不同管道铺设方案进行模拟与分析，综合考虑地形地貌、地质条件、周边环境等因素，选择最优管道走向与敷设方式。在管道运营阶段，调度人员可通过 GIS 系统清晰查看管道分布情况，以及管道沿线地形地貌、周边环境等信息。在进行管道巡检与维护时，维修人员可利用 GIS 系统提供的地图导航功能，快速找到需维护的管道位置，提高工作效率。

2.4.2 应急响应与决策支持

在天然气管道发生泄漏等事故时，GIS 技术能够发挥重要的应急响应与决策支持作用。通过与实时监测系统联动，GIS 技术可快速定位事故发生地点，并结合管道周边地理信息、人口分布等情况，制定合理应急响应方案。

3 智能化技术应用的优势

3.1 提高运输效率

通过实时监测与数据分析技术，能够精准把握天然气需求变化与管道系统运行状态，从而及时调整运输方案，优化管道运行参数。例如，利用大数据分析和人工智能算法预测天然气需求，合理安排气源调配，使管道系统能够根据实际需求动态调整输送量，避免管道拥堵或输送量不足情况发生。通过智能化调度系统应用，管道输送效率提高 15% 以上，有效满足了当地日益增长的天然气需求。

3.2 降低运营成本

智能化技术应用实现了对管道设备的精准控制与优化运行，减少设备能耗与磨损。自动化控制技术能够根据实际运行情况自动调整设备运行参数，避免设备过度运行或不必要启停。例如，在压气站中，通过智能控制系统根据管道压力和流量自动调节压缩机运行参数，使压缩机始终运行在高效区间，降低能源消耗。同时，通过数据分析和预测技术提前发现设备故障隐患，及时进行维护，减少设备故障带来的停机损失与维修成本。应用智能化技术后，设备维修成本降低 30%，能耗降低 20%。

3.3 增强安全可靠性

实时监测与预警技术能够及时察觉管道系统中的异常情况，如压力异常、泄漏等，通过自动化控制技术和应急响应系统迅速采取措施处理，有效预防事故发生。智能化技术还可对管道系统安全风险进行评估与预测，提前制定防范措施。利用传感器和物联网技术实时监测管道腐蚀情况，通过数据分析预测管道剩

余使用寿命，提前安排管道修复或更换计划，防止因管道腐蚀引发泄漏事故。

4 智能化技术应用面临的挑战

4.1 数据安全与隐私保护

在智能化技术应用过程中，大量天然气管道运输数据需进行收集、传输、存储与分析。这些数据涉及管道系统运行安全、商业机密以及用户隐私等重要信息。例如，管道运行参数、气源供应计划等属于商业机密，一旦泄露可能给企业造成巨大损失；用户用气数据涉及用户隐私，需严格保护。然而，当前网络安全形势严峻，数据面临被窃取、篡改或泄露风险。因此，需加强数据加密技术、网络安全防护技术研发，完善数据管理法律法规，确保数据安全与隐私保护。

4.2 技术集成与兼容性

天然气管道运输调度系统涉及多种智能化技术与设备，不同技术和设备间的集成与兼容性问题较为突出。不同厂家生产的传感器、控制系统等可能存在通信协议不兼容、数据格式不一致等问题，导致系统集成困难，影响智能化技术应用效果。为解决这一问题，需建立统一技术标准与规范，加强技术研发与设备制造企业间的合作，提高技术集成与兼容性。

4.3 人才短缺

智能化技术在天然气管道运输调度中的应用，需要既懂管道运输专业知识又掌握智能化技术的复合型人才。目前，行业内这类复合型人才相对匮乏，制约了智能化技术的推广与应用。因此，需加强相关专业人才培养，通过高校教育、在职培训等多种途径，提高从业人员专业素质与技术水平。

5 结论与展望

智能化技术在天然气管道运输调度中的应用成效显著，通过实时监测与数据采集、数据分析与预测、自动化控制以及地理信息系统等技术的综合运用，显著提升了运输效率，降低了运营成本，增强了安全可靠性。然而本研究仍存在一些局限性。例如，在极端环境下的系统稳定性还需进一步验证，机器学习算法的准确性也有待提高。未来的研究方向可以集中在提高系统的抗干扰能力、优化算法模型以及探索区块链技术在数据安全方面的应用。总的来说，本研究为天然气管道运输监测系统的智能化发展提供了新的思路和方法，对推动整个行业的技术进步具有重要意义。

参考文献：

- [1] 张明远, 李华强. 物联网技术在油气管道监测中的应用研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2020, 35(4):1-5.
- [2] 王立新, 陈思远, 刘伟. 基于 LoRa 的天然气管道监测系统设计与实现 [J]. 计算机应用研究, 2021, 38(6):1789-1793.