

数字化技术在天然气管道运输运营管理中的应用探索

李香婷 范 倩(山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要:本文聚焦数字化技术在天然气管道运输运营管理中的应用,开篇阐述研究背景,点明当下数字化浪潮与天然气管道运输亟待革新的现状。深入剖析行业传统运营管理模式弊病,凸显数字化转型迫切需求。详细解读大数据、物联网、云计算、人工智能、数字孪生等数字化技术体系构成及其在管道监测、调度、维护等环节的适用性,呈现技术融合协同效应。

关键词:数字化技术;天然气管道运输;运营管理;技术融合;智能决策

中图分类号: TE832 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)014-0109-03

Exploration of the application of digital technology in the operation and management of natural gas pipeline transportation

Li Xiangting, Fan Qian (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: This paper focuses on the application of digital technology in the operation and management of natural gas pipeline transportation, begins with the background of the research, and points out the current situation of digitalization and the urgent need for innovation in natural gas pipeline transportation. In-depth analysis of the shortcomings of the traditional operation and management model of the industry, highlighting the urgent need for digital transformation. Explain in detail the composition of digital technology systems such as big data, Internet of Things, cloud computing, artificial intelligence, and digital twins, and their applicability in pipeline monitoring, scheduling, maintenance, etc., and present the synergistic effect of technology integration.

Keywords: digital technology; natural gas pipeline transportation; operations management; technology convergence; Intelligent decision-making

1 天然气管道运输运营管理现状剖析

1.1 行业发展概述

在能源运输中,天然气管道运输占据着举足轻重的地位。与其他运输方式相比,天然气管道运输具有诸多优势。首先,运输量大,一条管径为 1000 mm 的天然气管道,年输气量可达 100 亿立方米以上,能够满足大规模的能源输送需求。其次,管道运输具有连续性强、运行稳定的特点,可实现天然气的不间断输送,保障能源供应的稳定性。再者,管道运输的安全性较高,由于天然气在密闭的管道中输送,减少了与外界环境的接触,降低了发生泄漏、爆炸等事故的风险。而且,相较于公路、铁路等运输方式,天然气管道运输的能耗较低,对环境的影响较小,符合可持续发展的要求。

1.2 传统运营管理模式解析

在传统的天然气管道运输运营管理模式中,管道建设流程相对复杂且依赖大量人工操作。在项目规划阶段,主要通过人工实地勘察、收集地质、地形等基础数据,再结合经验进行线路规划和设计。在施工过程中,管道铺设、焊接等关键环节多依靠人工技术和传统施工设备,如使用人工焊接技术连接管道,不仅效率较低,而且焊接质量受人为因素影响较大,容易

出现焊接缺陷,为管道日后的安全运行埋下隐患。例如,在某长距离天然气管道建设项目中,由于施工人员技术水平参差不齐,部分管道焊接处出现了气孔、夹渣等问题,在后续的管道检测中不得不进行返工处理,这不仅增加了建设成本,还延误了工程进度。

1.3 数字化转型的迫切需求

在天然气管道运输运营管理中,提高效率是数字化转型的关键驱动力之一。传统运营管理模式下,数据采集与处理依赖人工操作,效率低下且易出错。例如,在管道巡检数据记录方面,人工记录不仅耗时费力,还可能因人为疏忽导致数据不准确。据相关统计,人工数据采集的错误率约为 5% – 10%,这使得运营管理人员认知困难,难以及时、准确地掌握管道运行状态,影响了决策的及时性和科学性。而数字化技术中的物联网技术,能够实现管道设备的互联互通,实时采集管道运行的压力、流量、温度等关键数据,并通过传感器将这些数据实时传输至监控中心。

大数据分析技术则可对海量的管道运行数据进行快速处理和分析,为运营管理提供准确、及时的决策支持。通过数字化技术的应用,可将数据处理效率提高数倍甚至数十倍,大大缩短了决策周期,提高了运营管理的效率。

2 数字化技术全景扫描

2.1 各技术在管道运输中的适用性分析

在天然气管道运输的监测环节，物联网技术具有显著的适用性。通过在管道沿线密集部署各类传感器，如压力传感器、流量传感器、温度传感器、泄漏传感器等，物联网能够构建起一个全方位、多层次的感知网络，实现对管道运行状态的实时、精准监测。

大数据技术在监测环节也发挥着重要作用。它能够对物联网采集到的海量、多源、异构数据进行高效整合、存储和分析，挖掘数据背后隐藏的信息和规律。在预警环节，人工智能技术展现出独特的优势。利用机器学习、深度学习等人工智能算法，对管道运行数据进行实时分析和处理，能够快速、准确地识别潜在的安全风险，并及时发出预警信息。数字孪生技术也为预警环节提供了有力支持。通过创建与真实管道系统高度相似的数字孪生模型，实时反映管道的物理状态和运行情况。在调度环节，人工智能技术能够实现智能决策，优化管道运输调度方案。通过对天然气需求、管道运行状态、气源供应等多方面数据的实时采集和分析，运用人工智能算法，如遗传算法、模拟退火算法等，能够快速生成最优的调度方案，实现天然气的高效输送和资源的合理配置。

云计算技术为调度环节提供了强大的计算资源和存储能力。在处理大规模的管道运输调度数据时，云计算平台能够快速完成复杂的计算任务，实现对调度方案的实时优化和调整。

2.2 技术融合趋势与协同效应

在当前数字化时代，多种数字化技术融合应用已成为天然气管道运输运营管理领域的显著趋势。这种融合趋势不仅体现了技术发展的内在需求，更是适应复杂多变的运营环境、提升管理效能的必然选择。大数据技术与物联网技术的融合，为天然气管道运输运营管理带来了全新的模式。物联网技术通过在管道沿线部署大量传感器，实现了对管道运行状态数据的实时、全面采集。这些海量的数据被源源不断地传输至大数据平台，为大数据分析提供了丰富的素材。

人工智能技术与云计算技术的融合，为天然气管道运输的智能决策和高效调度提供了有力支持。云计算技术为人工智能算法提供了强大的计算资源和存储能力，使得人工智能能够对大规模的管道运行数据进行快速处理和分析。人工智能技术则通过机器学习、深度学习等算法，对管道运行数据进行学习和训练，实现对管道运行状态的智能预测和决策。

多种数字化技术的协同应用能够显著提升管道运输运营管理的整体效能。在数据处理方面，不同数字

化技术相互配合，实现了数据的高效采集、传输、存储和分析。物联网技术负责数据的实时采集，大数据技术进行数据的存储和深度分析，云计算技术提供强大的计算资源支持数据处理，人工智能技术则对分析结果进行智能决策。这种协同工作模式大大提高了数据处理的效率和准确性，为运营管理提供了更加及时、可靠的数据支持。

3 应用成效与挑战应对

3.1 数字化应用的显著成效

数字化技术在天然气管道运输运营管理中的应用，显著提高了运营效率。在数据采集与传输方面，传统方式依赖人工定期巡检记录，不仅效率低下，而且容易出现数据遗漏和错误。据统计，传统人工数据采集的周期通常为1~2天，且错误率高达5%~10%。而物联网技术的应用，实现了数据的实时自动采集和传输，数据采集频率可达到每秒一次，数据传输延迟时间缩短至毫秒级，确保了数据的准确性和及时性。通过实时监测管道的压力、流量、温度等关键参数，运营管理人员能够及时掌握管道的运行状态，为高效的运营管理提供了有力支持。

在设备维护管理方面，数字化技术实现了从传统的定期维护向预测性维护的转变。传统的定期维护方式往往缺乏对设备实际运行状态的精准监测和分析，容易导致过度维护或维护不足。

数字化技术的应用为天然气管道运输的安全保障提供了全方位的支持。在安全监测方面，智能监测系统利用传感器、卫星遥感、无人机巡检等技术，实现了对管道的全方位、实时监测。通过在管道沿线部署大量的传感器，能够实时采集管道的压力、流量、温度、泄漏等信息，一旦发现异常情况，系统立即发出警报。卫星遥感技术则可以对管道沿线的地形、地貌变化进行监测，及时发现可能对管道安全造成威胁的第三方施工活动和地质灾害隐患。无人机巡检利用高清摄像头和热成像仪，对管道进行近距离、快速巡检，能够及时发现管道的外部损伤和泄漏点。

数字化技术的应用在降低天然气管道运输运营成本方面取得了显著成效。在能源消耗方面，通过数字化技术实现了管道运输系统的优化调度，降低了能源消耗。利用人工智能算法对天然气需求、管道运行状态、气源供应等多方面数据进行实时分析，制定最优的调度方案，合理调整压缩机的运行频率和功率，使管道输送系统在最经济的工况下运行。据统计，采用数字化智能调度系统后，天然气管道运输的能源消耗降低了10%~15%，有效降低了运营成本。

在人力成本方面，数字化技术的应用实现了部分

工作的自动化和智能化，减少了人工干预，降低了人力成本。

数字化技术为天然气管道运输运营管理的决策提供了科学、准确的数据支持，提升了决策的科学性。在市场分析与预测方面，大数据技术能够对天然气市场的历史数据、实时数据以及宏观经济数据、政策法规等多方面信息进行综合分析，预测天然气市场的消费需求变化趋势和价格走势。通过对市场需求的精准预测，企业能够合理安排天然气的生产、运输和储存计划，优化资源配置，提高市场竞争力。

3.2 面临的挑战与障碍

数字化技术在天然气管道运输运营管理应用中面临着诸多技术挑战。一方面，不同厂家、不同时期建设的天然气管道设备和系统，其数据格式、通信协议和接口标准存在较大差异，这给数据的互联互通和系统集成带来了极大困难。

随着数字化技术的不断发展，天然气管道运输运营管理面临的安全威胁日益复杂多变。新的网络攻击手段不断涌现，如勒索软件攻击、高级持续性威胁（APT）等，传统的网络安全防护措施难以有效应对。同时，由于天然气管道运输系统的数字化程度不断提高，网络安全防护的范围和难度也在不断增加。例如，物联网技术的应用使得大量的管道设备接入网络，这些设备的安全防护能力相对较弱，容易成为网络攻击的突破口。

3.3 针对性的解决方案与策略

针对数字化技术在天然气管道运输运营管理中面临的技术难题，应加大技术研发投入，鼓励企业、高校和科研机构开展产学研合作，共同攻克技术难关。在数据格式和通信协议统一方面，制定统一的数据格式标准和通信协议规范，推动不同厂家、不同时期建设的管道设备和系统之间的数据互联互通。例如，建立天然气管道运输行业的数据格式标准库，明确规定各类数据的格式、编码规则和传输协议，促进数据的标准化和规范化。同时，开发通用的数据转换接口和中间件，实现不同协议之间的数据转换和通信，打破数据孤岛，提高系统集成的效率和稳定性。

4 未来发展趋势展望

4.1 新兴技术的潜在应用

区块链技术作为一种分布式账本技术，具有去中心化、不可篡改、可追溯等特性，在天然气管道运输运营管理中展现出广阔的应用前景。在数据共享与协作方面，天然气管道运输涉及多个参与方，包括上游气源供应商、中游管道运营商、下游用户以及监管部门等。传统的数据共享方式存在信息不对称、数据易

篡改等问题，导致各参与方之间的协作效率低下。而区块链技术可以构建一个安全、透明的共享平台，所有参与方都可以在这个平台上实时共享数据，且数据一旦记录在区块链上，就无法被篡改，从而保证了数据的真实性和可靠性。例如，在天然气贸易中，通过区块链技术可以实现交易信息的实时共享，包括天然气的价格、数量、质量等，让交易双方都能清晰了解交易详情，提高交易的透明度和信任度，减少交易纠纷。

4.2 行业数字化转型的深化方向

随着数字化技术在天然气管道运输运营管理中的广泛应用，行业数字化转型正朝着智能化决策、绿色低碳运营、产业链协同等方向不断深化，为行业的可持续发展开辟新路径。

4.3 对天然气产业发展的深远影响

数字化技术的广泛应用将深刻重塑天然气产业的市场格局。随着数字化技术在天然气管道运输运营管理中的深入应用，市场竞争将更加激烈且多元化。拥有先进数字化技术和高效运营管理的企业，将能够更精准地把握市场动态，快速响应客户需求，从而在市场竞争中占据优势地位。例如，通过大数据分析，企业可以深入了解客户的用气习惯和需求变化趋势，提前调整生产和运输计划，提供更加个性化的服务，吸引更多客户。而那些数字化转型缓慢的企业，可能会因无法及时适应市场变化而逐渐失去市场份额。

数字化技术还将促进天然气市场的开放和融合。通过数字化平台，天然气产业链上下游企业之间的信息交流将更加便捷，合作将更加紧密。上游的天然气生产企业可以通过数字化平台实时了解下游用户的需求，优化生产计划；下游用户也可以通过平台获取更多的气源信息，选择更合适的供应商。这种信息的共享和合作的加强，将打破传统的市场壁垒，促进市场的开放和融合，推动天然气产业的协同发展。

5 结论与展望

本研究深入剖析了数字化技术在天然气管道运输运营管理中的应用，取得了一系列重要成果。在应用模式方面，全面梳理了大数据、物联网、云计算、人工智能、数字孪生等数字化技术在天然气管道运输运营管理各环节的应用方式。

参考文献：

- [1] 马彬, 王会师, 马旭卿. 信息技术在城镇燃气管道完整性管理的应用 [J]. 煤气与热力 ,2023,43(2):B38-B42.
- [2] 郑洪龙, 赵忠刚, 胡博仲. 智能油气管网系统建设与运行方法论研究 [J]. 油气储运 ,2024,43(9):957-964.