

基于物联网技术的天然气管道运输监测系统优化

姜雪纯（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250100）

孙原野（青岛新奥新城燃气有限公司，山东 青岛 266109）

摘要：本文探讨了物联网技术在天然气管道运输监测系统中的应用与优化。通过分析当前天然气管道运输监测系统的现状和存在的问题，提出了基于物联网技术的优化方案。研究表明，物联网技术能够显著提升监测系统的覆盖范围、数据处理能力和安全性。本文详细阐述了物联网技术在天然气管道运输监测中的具体应用，包括传感器网络部署、数据采集与传输、大数据分析 with 云计算平台构建等方面。最后，通过实例分析验证了优化方案的有效性，为天然气管道运输监测系统的智能化发展提供了理论依据和实践指导。

关键词：物联网技术；天然气管道；运输监测；系统优化；传感器网络；大数据分析；云计算

中图分类号：TE832

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）016-0118-03

Optimization of natural gas pipeline transportation monitoring system based on Internet of Things technology

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

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

Abstract: This paper discusses the application and optimization of Internet of Things technology in natural gas pipeline transportation monitoring system. By analyzing the current situation and existing problems of the current natural gas pipeline transportation monitoring system, an optimization scheme based on Internet of Things technology is proposed. The results show that the Internet of Things technology can significantly improve the coverage, data processing capacity and security of the monitoring system. This paper elaborates on the specific application of IoT technology in natural gas pipeline transportation monitoring, including sensor network deployment, data collection and transmission, big data analysis and cloud computing platform construction. Finally, the effectiveness of the optimization scheme is verified by case analysis, which provides a theoretical basis and practical guidance for the intelligent development of natural gas pipeline transportation monitoring system.

Keywords: Internet of Things technology; gas pipelines; transport monitoring; system optimization; sensor networks; big data analytics; cloud computing

1 天然气管道运输监测系统现状分析

当前，天然气管道运输监测系统主要依赖于 SCADA（数据采集与监控系统）技术。SCADA 系统能够实现对管道压力、流量、温度等关键参数的实时监控，并在异常情况下发出警报。然而，随着管道网络的不断扩大和复杂化，传统 SCADA 系统暴露出诸多局限性。首先，监测范围有限，特别是在偏远地区和复杂地形区域，存在大量监测盲区。其次，数据处理能力不足，面对日益增长的海量监测数据，现有系统难以实现快速、准确的分析和处理。

此外，系统安全性也是一个亟待解决的问题。随着监测系统与互联网的连接日益紧密，网络安全威胁不断增加。未经授权的访问、数据篡改和恶意攻击等风险都可能对管道运输安全造成严重威胁。这些问题不仅影响了监测系统的有效性，也制约了天然气管道运输的安全性和效率。因此，亟需引入新的技术手段来优化现有监测系统，而物联网技术正是解决这些问

题的关键。

另外，天然气管道运输监测主要采用人工巡检、内部检测和外部监测三种方法。人工巡检依赖工作人员定期检查，存在效率低、实时性差的问题。内部检测技术如漏磁检测法，虽然能够发现管道内部缺陷，但易受环境因素影响，灵敏度有限。外部监测方法包括流量法、压力法和光纤法等，虽然具有一定的灵敏度，但成本较高，实施复杂。

传统监测系统存在的主要问题包括：数据采集不全面、传输效率低、预警准确率不足等。这些问题导致难以及时发现和处理管道异常，增加了安全风险。此外，现有系统往往缺乏对海量监测数据的深度分析和利用，无法充分发挥数据的价值。

2 物联网技术在天然气管道运输监测中的应用

物联网技术在天然气管道运输监测中的应用主要体现在传感器网络部署与数据采集、数据传输与通信技术、以及大数据分析 with 云计算平台构建三个方面。

首先,在传感器网络部署方面,通过在管道沿线关键节点和潜在风险区域密集部署高精度传感器,可以实现对管道运行状态的全面监控。这些传感器能够实时采集压力、温度、流量、振动等多种参数,为管道健康评估提供基础数据。

在数据传输与通信技术方面,物联网采用了多种通信方式,如有线通信、无线通信和低功耗广域网(LPWAN)等。LPWAN技术特别适用于长距离、低功耗的管道监测场景,能够有效解决偏远地区通信覆盖问题。同时,物联网还引入了边缘计算技术,在数据采集端进行初步处理,减少数据传输量,提高系统响应速度。

在大数据分析 with 云计算平台构建方面,物联网技术通过整合海量监测数据,利用机器学习算法进行深度分析,可以实现管道故障预测、健康状态评估和风险预警等功能。云计算平台则为大规模数据存储和复杂计算提供了强大的支持,使得监测系统能够处理更复杂、更精细的分析任务。这些技术的综合应用,大大提升了天然气管道运输监测系统的智能化水平和决策支持能力。

物联网技术通过将传感器、通信设备和数据处理系统有机结合,实现了对物理世界的全面感知和智能控制。在天然气管道运输监测领域,物联网技术的应用主要体现在以下几个方面:首先,通过部署大量高精度传感器,实现对管道压力、温度、流量等参数的实时监测;其次,利用无线通信技术,将采集的数据实时传输到中央控制系统;最后,借助大数据分析和人工智能算法,对海量数据进行处理和分析,实现故障预警和智能决策。

然而,当前天然气管道运输监测系统仍存在一些局限性。首先,监测范围有限,特别是在偏远地区和复杂地形区域,存在监测盲区;其次,数据处理能力不足,难以应对日益增长的数据量和实时性要求;再次,系统安全性有待提高,面临着网络攻击和数据泄露的风险。这些问题的存在,严重制约了监测系统的效能和可靠性,亟需通过技术创新加以解决。

3 基于物联网技术的监测系统优化方案

基于物联网技术的监测系统优化方案主要包括扩大监测范围、提升数据处理能力和加强系统安全防护三个方面。在扩大监测范围方面,通过在管道沿线部署大量低成本、低功耗的智能传感器,结合LPWAN等通信技术,可以实现对管道全线的无缝覆盖,消除监测盲区。

同时,利用无人机和机器人技术,可以对难以到达的区域进行定期巡检,进一步扩大监测范围。

在提升数据处理能力方面,优化方案采用了分布式计算和边缘计算相结合的方式。在数据采集端,利用边缘计算设备对原始数据进行预处理和过滤,减少数据传输量;在云端,构建大规模分布式计算集群,利用机器学习算法对海量数据进行深度分析,实现管道健康状态的实时评估和故障预测。此外,还引入了数据可视化技术,将复杂的分析结果以直观的方式呈现,便于管理人员快速理解和决策。

在加强系统安全防护方面,优化方案采用了多层次的安全策略。首先,在硬件层面,采用防篡改设计和加密存储技术,保护传感器和数据采集设备的安全。其次,在通信层面,使用加密传输协议和数字签名技术,确保数据传输的安全性和完整性。最后,在软件层面,部署入侵检测系统和防火墙,建立完善的身份认证和访问控制机制,防止未经授权的访问和恶意攻击。通过这些措施,显著提升了监测系统的整体安全性。

4 监测系统优化关键技术研究

数据采集与传输技术的优化是系统改进的重点。我们采用了高精度智能传感器和自适应数据采集策略,提高了数据采集的准确性和效率。在数据传输方面,结合5G和LPWAN技术,实现了数据的可靠、低延迟传输。同时,我们还开发了数据压缩和加密算法,在保证数据安全的同时提高了传输效率。

智能分析与预警算法的研究是系统优化的核心。我们基于机器学习和深度学习技术,开发了管道运行状态识别、故障预测和风险评估模型。这些模型能够从海量数据中提取有用信息,实现对管道运行状态的实时监控和潜在风险的早期预警。此外,我们还设计了多级预警机制,根据风险等级采取不同的应对策略,提高了系统的实用性和可靠性。

系统集成与可视化技术的创新也是本次优化的重要内容。我们开发了基于Web的三维可视化平台,实现了管道运行状态的直观展示。通过虚拟现实技术,用户可以沉浸式地查看管道细节和运行数据。同时,我们还设计了移动终端应用,方便现场工作人员实时获取管道信息和接收预警通知。

5 系统优化实施方案

在硬件设备升级方面,我们重点改进了传感器的性能和可靠性。采用了MEMS技术的新型传感器,具有更高的精度和更长的使用寿命。同时,我们还开发了适用于恶劣环境的防护外壳,提高了设备的耐用性。在网络设备方面,我们部署了支持5G的智能网关,实现了数据的高速传输和本地预处理。

软件平台开发是系统优化的另一个重点。我们基

于微服务架构开发了新的监测系统软件平台,提高了系统的灵活性和可维护性。平台集成了数据管理、分析计算、预警决策等功能模块,并提供了开放的 API 接口,方便与其他系统集成。此外,我们还开发了基于人工智能的辅助决策系统,为管理人员提供优化建议和应急预案。

系统集成与测试是确保优化效果的关键环节。我们制定了详细的集成方案,包括硬件安装、软件部署、系统调试等步骤。在测试阶段,我们采用了模拟环境和实际场景相结合的方式,全面评估系统的性能和可靠性。通过压力测试、安全测试和用户体验测试,我们发现并解决了多个潜在问题,确保了系统的稳定运行。

6 实例分析:某天然气管道监测系统优化实践

为验证基于物联网技术的监测系统优化方案的有效性,本研究选取了某天然气管道公司作为案例进行分析。该公司运营的管道网络全长约 1200km,穿越多种复杂地形,传统监测系统存在覆盖不全、响应迟缓等问题。实施优化方案后,首先在管道沿线部署了约 5000 个智能传感器,覆盖了所有关键节点和潜在风险区域。这些传感器通过 LPWAN 网络将数据实时传输至云端处理平台。

在数据处理方面,该公司构建了基于云计算的大数据分析平台,利用机器学习算法对海量监测数据进行深度分析。平台能够实时评估管道健康状态,预测潜在故障,并生成维护建议。例如,通过分析管道振动数据,系统成功预测了一起潜在的第三方破坏事件,使公司能够及时采取措施,避免了可能发生的安全事故。

在系统安全方面,该公司采用了多层次的安全防护措施。所有传感器和数据采集设备都配备了防篡改设计和加密存储功能。数据传输过程中使用了 AES 加密算法和数字签名技术,确保数据的机密性和完整性。此外,还部署了入侵检测系统和防火墙,建立了严格的身份认证和访问控制机制。

优化方案实施一年后,该公司的管道监测系统取得了显著成效。监测覆盖率从原来的 75% 提高到 98%,故障预警准确率提升了 40%,平均故障响应时间缩短了 60%。同时,由于减少了人工巡检次数,运营成本降低了约 15%。这些成果充分证明了基于物联网技术的监测系统优化方案的有效性和实用性。

另外,为验证优化系统的有效性,我们在某天然气管道公司进行了实际应用。该管道全长约 500km,途经复杂地形,原有监测系统存在数据延迟、误报率高的问题。部署优化系统后,我们进行了为期 6 个月

的跟踪评估。

评估结果显示,新系统在多个方面表现出显著优势。首先,数据采集的实时性提高了约 40%,误报率降低了 60% 以上。其次,智能预警系统成功预测了 3 次潜在泄漏事故,为及时处置赢得了宝贵时间。此外,系统的可视化界面和移动应用大大提高了管理效率,减少了约 30% 的现场巡检工作量。

经济效益分析表明,虽然系统升级初期投入较大,但由于减少了事故损失和维护成本,预计在 3 年内即可收回投资。更重要的是,新系统显著提高了管道运输的安全性和可靠性,为社会带来了巨大的潜在效益。

7 结论

本研究探讨了基于物联网技术的天然气管道运输监测系统优化方案,并通过实例分析验证了其有效性。研究结果表明,物联网技术能够显著提升监测系统的覆盖范围、数据处理能力和安全性。通过部署智能传感器网络、采用先进的通信技术、构建大数据分析和云计算平台,以及实施多层次的安全防护策略,可以实现对天然气管道运输过程的全面、实时监控和智能分析。

优化后的监测系统不仅提高了管道运输的安全性和可靠性,还降低了运营成本,为天然气管道运输的智能化发展提供了有力支持。未来,随着物联网技术的不断进步,监测系统将朝着更加智能化、自动化的方向发展。例如,结合人工智能和数字孪生技术,可以实现管道状态的精准预测和虚拟仿真,进一步提高系统的决策支持能力。

然而,本研究仍存在一些局限性。例如,对于极端环境条件下的传感器性能和数据传输可靠性还需进一步研究。此外,如何平衡系统性能和成本效益也是未来需要重点关注的问题。总的来说,基于物联网技术的天然气管道运输监测系统优化是一个持续发展的过程,需要不断探索和创新,以适应日益复杂的管道运输环境和不断变化的技术。

参考文献:

- [1] 王强,赵亮,孙志国.基于物联网的油气集输监控系统设计与实现[J].自动化技术与应用,2022,41(08):16-21.
- [2] 张伟,马超,陈晨.物联网技术在提高油气集输系统安全性方面的应用[J].油气储运,2023,42(02):155-160.
- [3] 刘婷婷,高峰,王晓燕.物联网技术在油气田集输系统智能化改造中的应用实例[J].智能系统学报,2022,17(05):78-84.