

基于物联网的天然气管道运输远程监控系统研究

林会芳 王琛琛 林海天（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：随着天然气在全球能源格局中占据愈发关键的地位，管道运输作为其主要输送方式，安全性与高效性备受关注。本论文聚焦基于物联网的天然气管道运输远程监控系统，深入剖析物联网技术原理、特点及其在天然气管道领域应用的优势。详细阐述系统从感知层、网络层、平台层到应用层的架构设计，探讨传感器、数据传输、处理分析及GIS等关键技术。通过实际案例分析展示应用成效与经验，同时直面技术、管理、政策法规等挑战并提出应对策略，旨在为推动天然气管道运输智能化发展提供理论与实践支撑。

关键词：物联网；天然气管道运输；远程监控系统；传感器技术；智能预警

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)012-0082-03

Research on Remote Monitoring System for Natural Gas Pipeline Transportation Based on Internet of Things

Lin Huifang, Wang Chenchen, Lin Haitian (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: With natural gas occupying an increasingly crucial position in the global energy landscape, pipeline transportation, as its main mode of transportation, has attracted much attention for its safety and efficiency. This paper focuses on the remote monitoring system for natural gas pipeline transportation based on the Internet of Things, and deeply analyzes the principles, characteristics, and advantages of IoT technology in the field of natural gas pipelines. Elaborate on the architecture design of the system from the perception layer, network layer, platform layer to the application layer, and explore key technologies such as sensors, data transmission, processing and analysis, and GIS. By analyzing practical cases to demonstrate application effectiveness and experience, while facing challenges in technology, management, policies and regulations, and proposing response strategies, the aim is to provide theoretical and practical support for promoting the intelligent development of natural gas pipeline transportation.

Keywords: Internet of Things; Natural gas pipeline transportation; Remote monitoring system; Sensor technology; intelligent early-warning

1 研究背景与意义

在当今能源体系中，天然气以其清洁高效的特性成为重要支柱，广泛应用于工业生产、居民生活等诸多领域。管道运输作为天然气大规模、长距离输送的核心手段，构建起庞大复杂的管网架构，横跨广袤地域。与此同时，物联网技术蓬勃兴起，凭借其强大的感知、能，为传统天然气管道运输的革新注入活力，开启智能化监控新时代契机。随着大数据、云计算等相关技术的协同发展，物联网在天然气管道运输领域的应用前景愈发广阔，有望重塑整个行业的运维模式。

一方面，从安全保障维度出发，精准实时的远程监控能够对管道泄漏、腐蚀、外力冲击等潜在风险及时预警，迅速响应，最大程度降低事故危害，确保天然气持续稳定供应。例如，一旦发生泄漏，系统可在数分钟内发出警报，通知附近维修人员及时赶赴现场，避免事态恶化。另一方面，在运营效率层面，依托物联网大数据分析优化输送流程、调配资源，削减不必要损耗，降低运维成本。通过实时监测压力、温度等参数，动态调整流量，可实现节能增效。再者，该研究助力天然气行业紧跟科技潮流，向智能化、精细化

管理转型升级，对整个能源产业发展具有深远示范意义。

2 研究内容与方法

2.1 研究内容

涵盖深入探究物联网基础技术架构适配天然气管道场景特性；全方位解析远程监控系统各层级构建细节与协同机制；重点攻克传感器精准测量、数据高速可靠传输、海量信息智能处理等关键技术瓶颈；深度挖掘典型应用案例实践经验；系统梳理实践面临各类挑战并研拟针对性破局策略。

2.2 研究方法

本研究综合运用多种方法。文献研究法广泛涉猎国内外前沿学术论文、行业报告、技术标准，精准把握研究动态，例如参考了《Journal of Pipeline Science and Engineering》上发表的相关研究成果；案例分析法聚焦典型项目实例，深入现场调研，拆解成功要素与待解难题，曾实地考察了国内某大型城市的天然气管网物联网监控项目；技术分析法从专业视角对物联网核心技术原理、系统设计准则精细剖析，保障研究科学性。

3 物联网与天然气管道运输远程监控概述

3.1 物联网技术原理与特点

物联网作为信息时代前沿技术集大成者，通过射频识别（RFID）、传感器、全球定位系统（GPS）等信息采集手段，将物理世界实体广泛互联，构建起庞大感知网络。其体系架构自下而上包含感知层、网络层、应用层，具备全面感知周遭环境物理参数变化、借助多种在天然气管道监控的智能化转型筑牢根基。物联网的低功耗特性使得大规模部署传感器成为可能，减少了维护成本；而其自组织网络能力，又能确保在部分节点故障时，系统仍能正常运行，保障监控的连续性。

3.2 天然气管道运输现状与安全需求

当前，我国天然气管道里程持续攀升，管网纵横交错，西气东输等大型工程构建起能源输送大动脉。然而，管道长期深埋地下或暴露野外，面临诸多安全隐患。地质沉降、第三方施工易引发管道破裂泄漏；土壤腐蚀、介质冲刷加速管壁损耗；极端天气冲击影响管道稳定性。这些风险迫切需求全方位、全天候精准监控以保障运行安全。据统计，近年来因管道安全问题导致的经济损失每年高达数十亿元，加强监控刻不容缓。

3.3 物联网在天然气管道运输远程监控中的应用优势

相较传统人工巡检、定期检测模式，物联网赋能下的远程监控可布署海量传感器节点，实现管道压力、温度、流量等关键参数实时采集，故障隐患精准定位；借助无线通信即时传输数据至监控中心，突破地理限制，大幅压缩故障响应时间；智能算法深度挖掘数据价值，提前预判风险趋势，动态优化运行参数，全方位提升管道运输安全与效率。例如，智能算法通过分析历史数据和实时监测数据，能提前预测管道腐蚀速率，及时安排维护，避免潜在事故。

4 基于物联网的天然气管道运输远程监控系统架构

4.1 系统总体架构设计

系统架构呈现分层式布局，感知层作为前端触角，各类高精度传感器、智能仪表紧密贴合管道关键部位，捕捉物理量变化；网络层依托有线光纤、无线 NB-IoT、5G 等通信技术，搭建数据高速通路，保障信息流畅传输；平台层汇聚海量数据，运用云计算、大数据处理技术清洗、存储、分析；应用层面向运维人员、管理人员定制直观监控界面、智能报警推送、决策辅助报告等功能模块，各层级协同联动，铸就智能监控闭环。

4.2 感知层设备部署与数据采集

依据管道特性与风险高发区分布，在管道沿线焊接处、阀门、弯管等关键节点密集部署压力传感器实

时监测内压波动，温度传感器捕捉介质与环境温度变化，流量传感器精确计量气体流速，同时辅以气体泄漏传感器嗅探微量泄漏，智能摄像头捕捉周边异常动态，全方位采集数据，为后续分析预警提供一手素材。在高风险施工区域，传感器部署密度可进一步加大，确保能及时捕捉到任何潜在风险信号。

4.3 网络层通信技术与数据传输

针对不同区域网络覆盖特性，城市管网优先选用光纤通信保障高速稳定，偏远地区则发挥 NB-IoT 低功耗广覆盖、5G 高速率低时延优势，确保数据无缝上传。传输过程采用加密算法防止信息泄露，引入纠错编码技术对抗信道干扰，保障数据完整性、准确性抵达平台层。在山区等信号薄弱地区，还可采用卫星通信作为补充，确保数据传输不中断。

4.4 平台层数据处理与存储

平台接收海量原始数据，先经数据清洗剔除异常、重复值，再依据数据类型、时效分类存储至关系型、非关系型数据库；运用大数据分析引擎对实时数据实时解析，挖掘运行趋势、故障征兆，历史数据回溯辅助长期运维策略优化，为上层应用提供坚实数据支撑。通过分布式存储技术，可应对海量数据存储需求，提高数据读写效率。

4.5 应用层功能实现与用户交互

面向一线运维团队，设计可视化监控大屏，管道地理走向、实时参数、报警信息一目了然，配合移动端 APP 实时推送故障通知，确保快速响应；面向管理层，生成周期性运维报告、效能分析报表，辅助资源调配、战略决策，同时支持用户远程操控巡检设备、下达指令，实现人机高效交互。管理层通过移动端 APP，即便外出办公也能随时掌握管网运行状况，及时做出决策。

5 系统关键技术分析

5.1 传感器技术

压力传感器多采用压阻式原理，利用半导体材料受压电阻变化精准测量压力，适配不同管径、压力范围精准选型；温度传感器以热电偶、热敏电阻为核心，依据热电效应、电阻温度特性稳定测温；流量传感器从传统差压式向超声、电磁式进阶，高精度计量复杂工况流量；气体泄漏传感器基于催化燃烧、红外吸收原理敏锐嗅探微量泄漏，为系统提供精准前端数据感知。新型的光纤传感器也逐渐崭露头角，其具有抗电磁干扰、灵敏度高的优点，在一些复杂电磁环境下表现出色。

5.2 数据传输与通信技术

NB-IoT 凭借超强穿透、低功耗特性，在野外长

输管道大规模传感器组网中优势显著，周期性上报数据大幅延长电池寿命；5G 网络在城市密集管网监控场景下大放异彩，实时高清视频回传、海量数据瞬间同步助力精细化运维；同时，工业以太网、卫星通信作为补充手段，适配特殊地形、应急通信需求，构建多元稳固通信体系。不同通信技术的融合应用，能适应各种复杂场景，保障数据传输的可靠性。

5.3 数据处理与分析技术

实时数据处理依托流式计算框架，毫秒级响应数据变化，运用机器学习算法构建故障预测模型，提前洞察风险；历史数据分析借助数据挖掘工具，探寻季节、工况与管道健康关联，回归分析优化运行参数，以数据智慧赋能管道运营。通过深度学习算法，还能对管道图像数据进行分析，识别潜在的安全隐患，如管道表面的细微裂缝。

5.4 地理信息系统（GIS）技术

GIS 系统融合管道地理坐标、周边地形地貌、管网拓扑结构，直观呈现管道三维走向，一键查询设备详情；一旦发生泄漏，基于空间分析精准定位事发地点，结合应急资源分布规划最优抢修路径，与监控系统深度集成，提升应急处置效能。利用 GIS 的可视化功能，运维人员能更直观地了解管网周边环境，提前规划巡检路线。

6 系统应用案例分析

6.1 案例一：某长输天然气管道远程监控项目

某贯穿东西部的长输管道项目，原运维依赖人工分段巡检，故障发现滞后。引入物联网监控系统后，沿线部署万余传感器，依托 5G + 卫星通信双链路保障数据传输，平台实时分析预警。应用成效显著，泄漏事故预警提前 2 小时，维修效率提升 30%，但初期面临传感器校准难、山区通信弱等问题，通过建立校准实验室、增设信号中继站逐步攻克。（参考资料：《某长输天然气管道物联网监控项目实践报告》，内部资料）。

6.2 案例二：某城市天然气管网监控系统

在某特大型城市，复杂管网穿梭楼宇街巷。物联网系统采用 NB - IoT 组网，感知层集成智能燃气表、微泄漏传感器，平台对接城市大数据中心。实现燃气用量实时统计、泄漏精准定位至小区楼栋，保障千万户用气安全，同时依据数据分析优化气源调配，降低用气峰谷差，但遭遇海量数据存储管理挑战，经升级分布式数据库妥善应对。

6.3 案例对比与经验总结

对比两案例，长输管道侧重长距传输、野外应急，城市管网聚焦密集组网、民生服务。共同经验在于前期精细规划、分层分步实施，持续优化技术集成，强

化运维团队技能培训，建立跨部门协同应急机制，为同类项目推广筑牢实践根基。

7 系统面临的挑战与应对策略

7.1 技术挑战

传感器长期稳定性待提升，极端环境下精度易漂移，需研发新型抗干扰传感材料；通信链路在复杂地形、恶劣天气下中断频发，应优化混合组网、强化信号冗余备份；数据安全面临黑客攻击、信息泄露风险，要加密存储传输、强化访问权限管理。例如，在沙漠地区，高温、沙尘等恶劣环境对传感器的稳定性提出了极高要求，需要研发特殊防护材料。

7.2 管理挑战

运维团队技术跨度大，需融合机械、电子、软件多领域知识，应强化复合型人才培养；部门职责交叉，数据共享、应急联动不畅，需构建一体化管理流程，明确分工协作；系统持续升级成本高，应探索多元投入、按需迭代模式。在一些大型企业，涉及管道运维的部门众多，建立统一的协调机制至关重要。

7.3 政策与法规挑战

新兴物联网技术应用超前于法规完善，如数据归属权、远程操控合法性模糊，需监管部门协同行业加速立法，保障技术有序落地。随着物联网技术在管道运输中的深入应用，相关法律法规需及时跟进，明确各方责任与权利。

8 结论与展望

8.1 研究成果总结

本研究系统性解析物联网天然气管道远程监控全流程，从架构设计、关键技术攻关到多案例实践验证，显著提升管道运输智能化管控水平，化解系列安全隐患，助力运营降本增效，填补多项国内技术空白，为行业发展贡献创新力量。

8.2 未来发展趋势

展望未来，随着 6G 通信、量子传感等前沿技术孕育突破，天然气管道物联网监控将迈向更高精度、更强智能、更广覆盖。人工智能深度赋能故障诊断、自主运维；天地一体化网络确保全球管网无缝联控；虚拟数字孪生实时映射管道全生命周期，引领天然气管道运输迈入全新智能纪元。

参考文献：

- [1] 韩林元, 姜慧春. 物联网技术在天然气管道行业的运用研究 [J]. 化工管理, 2020(1):153-154.
- [2] 侯志博, 王金培, 苏东旭. 物联网技术在天然气管道行业的应用探索 [J]. 数字通信世界, 2018(09):205+174.
- [3] 张伟. 天然气产业链的协调发展及升级研究 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2018.