

基于物联网技术的智能燃气终端监测系统应用研究

张军锋

中海石油福建新能源有限公司，福建 厦门 361008

[摘要]城市的各类管网系统运行安全与人们的生活有着直接关系，并受到社会的广泛关注。基于物联网技术的智能燃气终端监测系统能以燃气管道系统传感器采集的实时流速、压力、环境数据为基础，使用低功耗广覆盖网络、窄带物联网技术实现有效信息传递，再配合大数据分析与智能计算用于问题预判和运营优化。其具有智能报警、预诊断维修和环境监测的能力，能对管道系统的运行方式进行调控，使得管道系统的运行效率和安全性大幅提升。文章论述了系统结构、数据分析方法、重点应用以及优化方法，旨在为燃气行业智能化转型提供参考。

[关键词]物联网技术；智能燃气终端；监测系统

DOI: 10.33142/ect.v3i10.18197

中图分类号: TU996

文献标识码: A

Research on the Application of Intelligent Gas Terminal Monitoring System Based on Internet of Things Technology

ZHANG Junfeng

CNOOC Fujian New Energy Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361008, China

Abstract: The safe operation of various pipeline systems in cities is directly related to people's lives and has received widespread attention from society. The intelligent gas terminal monitoring system based on Internet of Things technology can use real-time flow rate, pressure, and environmental data collected by gas pipeline system sensors as the basis, and use low-power wide coverage network and narrowband Internet of Things technology to achieve effective information transmission, combined with big data analysis and intelligent computing for problem prediction and operation optimization. It has the ability of intelligent alarm, pre-diagnosis and maintenance, and environmental monitoring, which can regulate the operation mode of the pipeline system, greatly improving the efficiency and safety of the pipeline system. The article discusses the system structure, data analysis methods, key applications, and optimization methods, aiming to provide reference for the intelligent transformation of the gas industry.

Keywords: Internet of Things technology; intelligent gas terminal; monitoring system

引言

随着城市的发展，燃气管网逐渐延伸，如何确保燃气管网的安全有效运行，持续保持稳定的运行状态是当前亟需解决的问题。当前燃气管道检测手段已难以适应现代化管理要求，物联网技术的推广运用为构建智能燃气管网体系开辟了全新路径。传统检测方法在实时性和覆盖范围方面存在明显不足，而新兴的物联网解决方案能够实现全天候监测与精准管控。通过多种传感器等设备采集信息并实时传送，及时对数据进行分析判断，从而实现对燃气管网运行的监控、运行分析预测等功能，防止突发事件的发生并及时调整管理对策。

1 物联网技术概述

物联网技术主要特点就是具有感应、运算及通信的能

力。可以使任何物品之间自动交换信息并完成操作任务。重点是对物品间的智慧互联和实时数据管理，在很多行业中的应用起着很大的推动作用，特别是燃气管道检测方面。通过物联网技术可实时收集并分析燃气管道的物质成分（如表1所示）、压力、流速、温湿度等关键参数，并将所有参数都通过无线网络将信息汇聚于中心管理平台，保证运输燃气管道安全稳定运行。近几年由于5G通讯、智能算法、大数据处理和云计算等技术的发展和进步，使得物联网在燃气输气管道监控方面的应用大大提高，同时还实现了监测系统的深入研究和智能分析实时信息数据，此举大大推动了燃气行业向智能化方向和精准化方向发展，使对于燃气管道故障预测的能力和预防能力大大提高。

表 1 燃气管道介质含量

指标	一类气	二类气	单位
高位发热量	≥36.0	≥31.4	MJ/m ³
总硫含量	≤20	≤100	mg/m ³
硫化氢	≤6	≤20	mg/m ³
二氧化碳	≤2.0	≤3.0	%

2 智慧燃气管网监测系统架构与技术要求

2.1 系统架构设计与组成模块

基于物联网技术的智能燃气终端监测系统大致可包含3个层级:感知层、网络层和应用层,结构示意见图1。其中感知层主要负责监测现场环境和管道内燃气流速、压力、温度等参数;网络层利用低能耗广覆盖无线通信技术(如LPWAN、蜂窝网络或5G)确保信息能够快速传输与远程控制;应用层作为系统核心,接收传感器返回的信息,对其进行处理与存储,再利用智能算法进行运算、预测。各模块之间存在闭环机制,即数据收集-返回云端计算-作出决策-反馈给用户,从而实现了对管网运行状态实施动态监测与智能化管控。采用分层级、多节点的架构设计,能够有效提升系统运行效能,同时具备优异的可拓展性和可靠性保障。

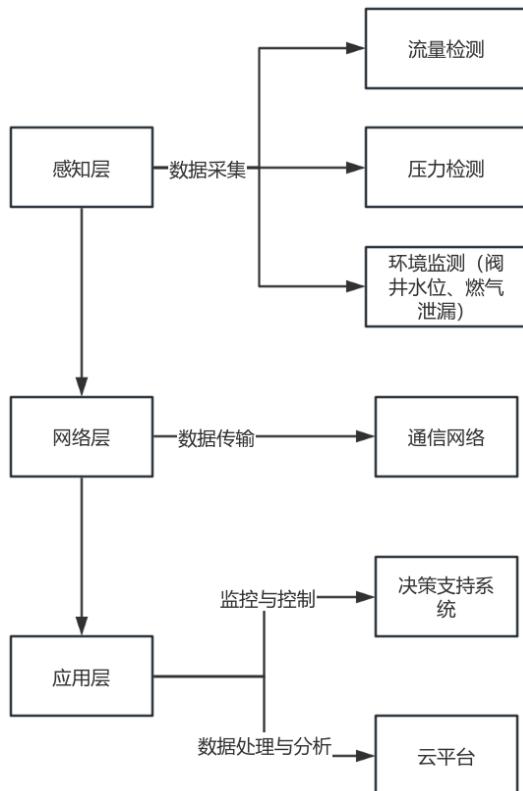


图 1 系统架构设计与组成模块图

2.2 物联网传感器与数据采集技术

物联网传感器实时采集并分析数据是智能燃气管道

监控系统中的重要环节。其使用的传感器主要是压力传感器、流速传感器、温度传感器、气体泄漏传感器等,都基于高敏感性和低功耗的MEMS(Micro Electro Mechanicalsy Stems,微型电子机械系统)技术实现。以压力传感技术为例,该传感器利用应变片压阻特性实现管道压力到电信号的转换。根据物理原理,其输出电势差V与压强P的数学关系可表述为:

$$V = K \cdot P + V_0 \quad (1)$$

式中:V代表传感器输出的电压信号;K代表灵敏度参数;P代表被测压力数值;V₀代表无压力条件下的基准电压。

在信号采集环节,系统配置了多路信号调理模块,对传感器输出实施滤波处理、信号放大及数字化转换,从而保障测量数据的精确度与可靠性。为增强响应速度,燃气输送网络普遍使用数转换器(ADC)将模拟信号转化为数字信号,随后利用Modbus、LoRaWAN或NB-IoT等无线传输协议将信息传递至网关节点。在此过程中,采用快速傅里叶变换(FFT)算法对流量波形进行频谱分析处理。这显著改善了信号质量与噪声抑制效果。计算公式如下:

$$X(f) = (t) \quad (2)$$

式中:X(f)代表频率f处的信号频谱特性;x(t)表示时域信号原始函数;t指代时间参数;j是复数虚部符号。借助这种技术整合方案,智能燃气管道监测网络完成了多角度、高准确度的信息获取,保障了管网监测过程的安全稳定运行。

2.3 数据传输与处理技术

智慧燃气管网监测体系的关键技术支撑在于数据传输机制,其核心功能是实现各类传感装置获取的多参数信息向主控平台的可靠传递。当前主流通信方案包括低功耗广域网络(LPWAN)、窄带物联网技术(NB-IoT)以及第五代移动通信技术。其中LPWAN凭借其超长传输距离与极低能耗特性,特别适合管网覆盖范围大且对功耗敏感的应用环境;而NB-IoT技术则展现出卓越的设备连接密度与信号穿透性能,可确保地下管网或复杂空间内的信息传输可靠性。针对数据处理需求,系统构建了分布式计算框架,通过云端与边缘端的协同计算来应对海量数据的实时处理挑战。原始监测数据首先在边缘节点完成预处理,采用基于离散余弦变换(DCT)的自适应压缩技术,有效降低数据传输过程中的冗余信息量。公式如下:

$$C(u, v) =$$

$$\frac{1}{4} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (3)$$

式中, $C(u,v)$ 是指变换后的图像空间位置为 (u,v) 的变换因子; $a(u)$ 是标准化因子; $f(x,y)$ 是原图或者块数据在 x 、 y 轴上的灰度值或者数字; N 是图的空间大小。将信息传给服务器, 利用 hadoop 的大数据处理技术对信息进行解码、存储, 利用主成分分析法 (PCA) 降低多维数据的特征值, 构建故障预测模式, 从而保证系统管道网络对任何异常迅速有效地做出响应。

2.4 系统的安全性与可靠性要求

一个安全、可靠的燃气管道监控系统对于管道安全稳定地运行、保障用户生命财产安全来说至关重要, 因此必须从硬件、软件等各个层面搭建完整的安全保障体系, 来保证信息传输的安全可靠与系统正常运行。从信息安全层面上来看, 采用端到端加密技术 (如 TLS/SSL 协议), 同时采用多因素身份验证手段, 来保证信息在传输过程中的隐私性和不可篡改性; 通过应用 IDS 和防火墙等系统实现对网络数据实时检测、阻断外部恶意攻击等实现系统可用性。在管道监控方面实现多重冗余设计, 例如通信线有多个备份路径, 核心部件采用热备用等切换机制方便快速切换, 在硬件层面实现传感器、网关自检机制, 出现故障时及时告警。定期完成压力测试、故障模拟等能力测试确认系统在边界条件下的可用性。在数据管理方面采用分布式存储设计及数据复原容错, 避免存储介质出现损坏而造成的数据丢失, 确保业务持续性和数据一致性。

3 燃气智能检测设备的分类与构成

3.1 移动互联网的应用

当气体浓度出现异常波动时, 系统能够迅速识别并精确定位泄漏源。依托北斗卫星导航系统的高精度定位功能, 可快速锁定厘米级误差范围内的泄漏点。作为我国自主研发的重大空间基础设施, 北斗系统已深度融入大数据应用体系, 在推进智慧城市发展进程中发挥着关键性支撑作用。北斗卫星导航系统以北斗高精度服务为基础, 在很多智慧城市的典型应用场景中发挥着积极作用。在燃气方面, 利用北斗高精度服务为全过程燃气泄漏监测工作奠定基础。防止管道腐蚀所致的泄漏事故发生。

3.2 实时智能化检测

目前的燃气管道泄漏智能化装置有着更明显的探测效果。相比于传统的自动化探测方法, 其不仅在实际运作中有着更有效的检测效果, 从而更有效地提升检测效率以及探测利用率。例如, 车载式燃气探测器作为燃气管网高效巡查手段, 能够在车载装置使用的过程中, 联网实时检测半径 150 米范围内的燃气管道是否有泄漏, 从而维护城

市的祥和环境。

3.3 手持实时监测

手持式检测设备获取并存储的测量结果能够为燃气泄漏浓度提供具体的信息以及泄漏的精确位置, 并能利用云计算功能实现上述功能。该设备不仅可以提高管道巡查效率, 而且比传统设备灵敏 1000 倍, 具有百万分之一级的精准性, 可在 150m 以内获得泄漏气体的位置, 开启后 2min 即可有效运行, 运营、维护成本也比较低廉, 易于操作。在环境外力和“第三方施工”导致泄漏时, 该设备能够快速起作用, 大大提高城市的安全保障能力, 防止燃气爆炸事故发生。

4 物联网技术在燃气管网监测中的应用

4.1 管网气体流量与压力监测

在智能燃气网络安全管理中, 实时监测管道内的气体流量、压力非常重要。基于物联网技术, 可以在管道内安装高质量的流量监测设备、压力监测设备, 对管道运行的动态参数、压力分布进行连续监测。其采用的微电子机械系统 (MEMS) 与压阻式技术, 能够在任意环境中保持灵敏且误差低。并且将收集到的海量数据通过 LPWAN 或者 NB-IoT 传输到监控中心进行在线跟踪和解析。本文通过对流量和压力信息进行数据运算、分析, 形成数据融合信息图, 感知整个管路的运行状态; 通过不同地点数据的时间序列分析, 可以发现有异常流或者压力波动的地方, 进一步分析可能泄漏的位置或堵塞段。基于流体力学的理论基础, 运用流量信息和压力信息进行计算, 得出现有管路的运行状态和运行的安全性, 并为管理决策提供依据。

4.2 智能报警与故障诊断

智能预警与设备故障识别的智能管网监控系统的主要技术特点是基于来自不同传感器的信息和人工智能技术, 实时识别管网运行中存在的异常。系统支持各种报警策略, 包括依据预设安全规范的数值比对实际测量值而产生的临界值报警, 根据时间序列技术 (例如 ARIMA 或者 LSTM) 做出未来可能的问题预测而产生的预测报警, 最后是根据多指标组成的综合异常指数判断更深层次存在的问题。图 2 表示了智能告警系统的各告警方式所占的比重。

对问题诊断方面, 系统整合特定知识数据库和人工智能方法 (例如决策树或者随机森林) 来分类不同类别的异常数据。这种方法通过这样的手段可以帮助系统能够准确判断出泄漏、堵塞或者零件老化等问题, 然后可以给出详细的修复措施。这种诊断结果可以直观地反映在可视化的界面上, 从而方便操作员通过可视化界面对具体问题位置、影响范围和解决方案一目了然。



图 2 智能报警系统的报警类型分布

4.3 数据分析与预测性维护

智能燃气管网监控系统的主要功能为数据分析与预测性维护，希望在采集的数据中进行挖掘和建模，预测未来发生的故障，并改善管道运营的方式。系统可以从任意的数据源例如流速、压力、温度等来检测运行情况以及不规范的行为。例如它可以使用如 K-Means 这样的聚类技术将操作情况分为正常、异常及警戒这 3 个类别以执行分类化操作。对于预测性维护这一块，系统使用如随机森林、长短期记忆 LSTM 网络这样的机器学习方法，根据历史记录训练模型，对重要的变量变化做出预测。通过剩余分析及健康指标计算将可能发生退化部位和隐性缺陷所在告知，从而降低未知停场保障的隐患；采用危害程度评估矩阵，为维修方案制订给出优先级序列，以提高维修活动的主动性与选择性。如图 1 所示，此段期间的数据处理结果包括部分参数偏离和建议的维修清单排序结果，可以作为管道运行的辅助决策。

表 1 系统采集的数据分析结果表

时间段	流量/(m ³ /h)	压力/kPa	温度/°C	异常状态	维修建议
01:00—03:59	48	95	22	正常	无需维护
04:00—06:59	52	120	25	压力超限	检查调压阀
07:00—09:59	55	98	24	正常	无需维护
10:00—12:59	60	130	28	多参数异常	检查管道泄漏

4.4 环境监测与管网优化

通过多种环境感测器的环境感测和网络优化，可为系统搜集到环境中的温度、湿度、风向、地形变化等诸多方面的信息。这种环境感测方法，可使燃气管线运行状态加入外部可能的破坏因子，从而让对任何可能的外部威胁的发现都实时掌握。例如，在地震活动性较强的地区，本系

统可以根据预测探测的地震移位或震动的迹象，避免因地质灾害致使的管道毁损、泄漏事故。网络优化则根据环境监测的数据借助大数据处理的方法，采用建立的多目标优化模型，对当前的管线运行方案进行一定的改进。最终实现对燃气输送路线的智能优化来减少损耗率，以及通过预估性调节方法来降低高峰压力波动的现象。还可以借助 GIS 和仿真技术方法，将优化方案以可视化的形式呈现给用户，为其直观迅速提供决策意见，即依据某个时期内的环境监测和优化建议报告的数据进行总结，具体见表 2。

表 2 环境监测与优化建议结果

时间段	环境温度/°C	湿度/%	风速/(m/s)	检测异常	优化建议
01:00~03:59	20	60	2.5	无	无需调整
04:00~06:59	35	70	5.0	高温	降低管网压力，减小风险
07:00~09:59	15	50	1.5	无	无需调整
10:00~12:59	10	80	0.8	湿度过高	检查管道防腐涂层、阀门井水位

5 结束语

本研究将智能预警与故障识别技术应用于潜在风险防控领域，不仅显著降低了事故发生率，同时借助数据分析与预防性维护策略，实现了运维成本的有效控制，提升了燃气设备的使用周期。通过实施环境监测技术与管道输送调控手段，进一步强化了天然气输送系统的稳定性与可靠性。该智能化管理系统以精准、高效为特点，构建了新型管道输送运营体系，有力推动了能源产业数字化转型升级进程。

[参考文献]

- [1] 李江波, 朱刚. 盐城市生命线安全工程燃气专项前端感知物联网建设研究 [J]. 科学技术创新, 2025(19):114-117.
 - [2] 黄志鹏. 数字化技术在燃气工程设计施工中的应用与创新 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(25):163-165.
 - [3] 雷学强, 何雷, 权亚强, 梁永增. 基于物联网的智能燃气表主控电路板自动检测方案研究 [J]. 物联网技术, 2025, 15(15):75-78.
 - [4] 高勇, 崔尧. 物联网技术在智慧燃气管网监测系统中的应用 [J]. 化工管理, 2025(21):92-95.
 - [5] 崔同伟, 董海申. 燃气输送过程中的多层次安全防护体系设计与优化 [J]. 石化技术, 2025, 32(7):404-405.
- 作者简介：张军锋（1986.5—），男，毕业于长江大学油气储运工程专业，目前就职于中海石油福建新能源有限公司，生产作业主管。