

天然气管道输送计量数据的实时监测与远程传输技术

李 浩 聂 飞 王 峰 (太原天然气有限公司, 山西 太原 030000)

摘要: 在全球能源需求持续增长的背景下, 天然气作为清洁高效能源, 其管道输送的精确计量至关重要。本研究旨在攻克天然气管道输送计量数据实时监测与远程传输的技术难题, 提升天然气输送管理的智能化与精细化水平。通过综合运用高精度流量计量技术、压力温度等辅助参数测量技术搭建实时监测体系; 采用无线与有线传输技术, 结合数据加密、身份认证等安全保障机制, 构建远程传输系统, 旨在为提高天然气管道输送质量。

关键词: 天然气管道输送; 计量数据; 实时监测; 远程传输技术

中图分类号: TE873 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 016-0121-03

Real-time Monitoring and Remote Transmission Technology of Natural Gas pipeline Transmission Metering Data

Li Hao, Nie Fei, Wang Feng (Taiyuan Natural Gas Co., LTD., Taiyuan Shanxi 030000, China)

Abstract: In the context of the continuous growth of global energy demand, natural gas as a clean and efficient energy, the accurate measurement of its pipeline transmission is crucial. This study aims to overcome the technical problems of real-time monitoring and remote transmission of natural gas pipeline transmission metering data, and improve the level of intelligence and refinement of natural gas transmission management. Real-time monitoring system and the remote transmission system with wireless and wired transmission technology and data encryption, identity authentication to improve the quality of natural gas pipeline.

Key words: Natural gas pipeline transportation; Measurement data; Real-time monitoring; And remote transmission technology

随着全球工业化推进与生活水平提高, 天然气作为清洁高效能源, 在能源结构中占比攀升, 管道输送成为主要方式。天然气管道计量数据对产业链至关重要, 能助力生产规划、保障贸易公平、监测管道安全。但传统人工巡检与抄表的监测传输方式, 耗时费力, 数据滞后且易出错。如今信息技术发展, 天然气行业智能化需求迫切, 因此, 本研究聚焦相关技术, 整合多领域技术构建精准、可靠的监测传输系统, 推动产业高质量发展。

1 天然气管道输送计量数据实时监测技术核心

1.1 高精度流量计量技术

涡轮流量计的技术核心在于动量矩守恒原理, 流体经管道冲击涡轮叶片时, 涡轮开始旋转, 其转速与流体流速成正比例关系; 对涡轮转速进行测量, 再经过一系列转换与计算, 就能获取流体流量, 涡轮流量计内部结构精细, 主要包含涡轮、轴承、前置放大器、显示仪表等部分。数据参数方面, 其测量精度一般处于 $\pm 0.2\%R - \pm 0.5\%R$ (R 为量程比) 范围, 在部分高精度应用场景下, 精度可达到 $\pm 0.1\%R$; 量程比较宽, 通常在 1:10-1:20 之间, 部分高性能产品量程比能达到 1:30^[1]。

超声流量计的技术核心利用超声波在流体中的传播特性来测量流量, 主要工作原理有传播速度差法、

多普勒法等, 以传播速度差法为例, 在管道上下游分别安装超声换能器, 由于流体流动, 超声波在顺流和逆流方向的传播速度会产生差异。测量这个传播时间差, 结合管道几何参数, 计算出流体的流速和流量, 超声流量计没有可动部件, 不会给流体增添额外阻力, 适用于多种工况。

1.2 压力、温度等辅助参数测量技术

应变片式压力传感器的技术核心基于金属或半导体材料的压阻效应, 当此类材料受压力作用, 其电阻值会产生相应改变。实际应用中, 将应变片粘贴于弹性元件。弹性元件受压发生形变时, 应变片电阻值随之变化。

通过测量电阻变化量, 经惠斯通电桥等电路转换, 最终输出与压力成比例的电信号。在数据参数方面, 其测量精度通常可达 $\pm 0.1\%FS - \pm 0.5\%FS$ (FS 为满量程), 足以满足多数天然气管道压力测量对精度的要求; 量程覆盖范围广泛, 从几十 kPa 至数百 MPa, 可依据管道实际压力灵活选用。并且, 该传感器响应时间较快, 一般处于几毫秒到几十毫秒区间, 能迅速感知压力动态变化。

热电偶测温技术核心依托塞贝克效应, 即两种不同成分导体两端连成闭合回路, 若两连接点温度不同, 回路便会产生热电动势, 热电动势大小与两连接点温

度差及导体材料特性相关。在天然气管道温度测量中，一般把热电偶一端置于被测介质以感知温度，另一端处于已知温度环境作为参考端，通过测量热电动势大小来计算被测介质温度。

从数据参数来看，热电偶测量范围极广，不同类型适用温度范围各异，如K型热电偶测量范围在-200℃-1300℃，S型热电偶测量范围为0℃-1600℃，可契合天然气管道在不同工况下的温度测量需求。其精度一般处于±1℃-±3℃。在对温度测量精度要求较高的场景，可借助采用高精度补偿导线、冷端补偿技术及更精准的测量仪表，进一步提升测量精度。热电偶响应时间通常在几十毫秒到数秒之间，具体取决于其结构与尺寸^[2]。

1.3 数据采集系统设计与实现

数据采集算法的技术要点在于，从各类传感器按特定时间间隔采集数据，并对采集数据进行初步格式化。为保障数据准确性与完整性，常利用定时中断触发数据采集，确保采集间隔精准稳定，采集过程中，对传感器数据实施校验和纠错处理，避免数据传输出错。数据采集的时间间隔可依实际灵活设定，在天然气管道数据监测中，压力、温度这类变化缓慢的参数，采集间隔一般设为几秒至几分钟；如流量等变化较快的参数，采集间隔多在几百毫秒到几秒之间。压力和温度传感器每5秒采集一次数据，涡轮流量计则每1秒采集一次；数据校验方面，常用CRC（循环冗余校验）算法，其误码检测率超99%，能有效发现数据传输中的错误。数据预处理算法是对原始采集数据做进一步处理，涵盖数据滤波、去噪、量程转换及数据融合等操作。

2 天然气管道输送计量数据远程传输技术

2.1 无线传输技术在数据传输中的应用

LoRa技术基于扩频原理，实现远距离、低功耗的无线通信，在天然气管道监测体系中，沿管道走向按一定间距部署LoRa终端节点，节点连接流量计、压力传感器、温度传感器等数据采集设备，承担起采集管道计量数据的任务，采集所得数据，由终端节点通过LoRa无线信号发送至LoRa网关。LoRa网关发挥数据汇聚与转发功能，将多个终端节点传来的数据整合后，经以太网或其他有线网络上传至远程监控中心，LoRa网络采用星型拓扑结构，该结构简单且可靠性高，管理与维护工作较为便捷。

在传输距离上，空旷地带中LoRa终端与网关间通信距离可达10km甚至更远，此特性使长距离天然气管道监测时，无需密集部署网关，极大降低建设成本。其传输速率相对不高，一般处于几百bps到几十

kbps范围，但鉴于天然气管道计量数据量较小、对实时性要求并非极其严苛，这样的速率足以满足应用需求。

LoRa技术功耗极低，LoRa终端节点若采用电池供电，可连续稳定工作数年。有效减少频繁更换电池的维护成本。频段方面，常见工作频段为433MHz、868MHz、915MHz等，不同频段在传输距离、穿透能力以及数据速率上存在细微差异，可依据实际应用场景的环境条件，选择最为适配的频段^[3]。

2.2 有线传输技术方案

在天然气管道铺设工程中，光缆铺设工作需紧密依循管道走向，同时进行精准规划，全力保障光缆铺设后的安全性与稳定性，在实际铺设作业时，地理环境因素必须纳入考量。当光缆面临穿越河流、山脉、道路等复杂地形的情况时，需采取适宜的保护措施，如可采用深埋方式，将光缆深深埋入地下，避免其遭受地面活动带来的外力影响；或者加套管，利用坚固的套管包裹光缆，增强其抗外力破坏的能力。

在光端机配置方面，需在管道沿线的各个监测站点以及远程监控中心部署光端机，于监测站点，光端机承担着将各类传感器所采集的天然气管道计量数据对应的电信号转换为光信号的任务，转换后的光信号借助光缆进行传输。而远程监控中心的光端机则负责将接收到的光信号逆向转换为电信号，以满足后续数据处理与分析的需求，光端机选型环节，需综合实际数据传输需求，如传输距离长短、数据速率高低等关键因素加以确定。

谈及光纤网络拓扑，常见类型为环型与星型，环型拓扑结构具备高可靠性优势，一旦某段光缆发生故障，信号能够沿着环网的另一方向传输，有效保障数据传输的连续性。星型拓扑结构则以远程监控中心作为核心节点，各监测站点作为分支节点，通过光缆连接，这种结构便于管理与后期扩展^[4]。

在传输距离方面，单模光纤在不借助中继器的情况下，传输距离可达几十公里甚至上百公里，如在部分长距离天然气管道项目中，选用G.652单模光纤，其无中继传输距离可达80km，能够充分满足多数管道沿线站点间的距离要求。

从数据速率而言，光纤通信的数据速率极高。常见速率有1Gbps、10Gbps甚至更高。就天然气管道计量数据传输而言，一般情况下1Gbps的速率便足以满足大量数据的快速传输需求，有力确保数据的实时性。光纤的带宽极为宽广，可达数THz，这使其能够同时传输多路信号。如此不仅能够满足当下天然气管道监测数据的传输需求，还为未来可能开展的业务扩展预

留了充裕空间。

2.3 数据传输安全保障机制

天然气管道计量数据传输前，发送端凭借预先共享的对称密钥，运用 AES 加密算法处理数据。AES 算法将数据切分为固定长度（通常 128 位）的数据块，针对每个数据块执行多轮复杂替换、移位与混合操作，生成密文。密文经网络传至接收端后，接收端采用相同对称密钥，依与加密相反步骤解密，还原原始数据。实际应用中，对称密钥管理为关键环节，可借助安全的密钥分发中心（KDC），为发送端与接收端分配、管理密钥，确保密钥安全与保密。AES 算法支持多种密钥长度，常见的有 128 位、192 位和 256 位。密钥越长，加密强度越高，破解难度越大，如 128 位密钥的 AES 算法安全性较高，以当前计算能力，破解难度极大。该算法加密与解密速度较快，处理大量天然气管道计量数据时效率较高^[5]。

以硬件实现的 AES 加密，加密速度可达数 Gbps，能满足实时数据传输需求。天然气管道远程传输系统引入数字证书颁发机构（CA），CA 为各合法网络节点（如远程监控中心、管道沿线监测站点设备等）颁发数字证书；数字证书涵盖节点身份信息（如设备名称、IP 地址）、公钥及 CA 数字签名。节点间进行数据传输时，发送方将自身数字证书发送给接收方；接收方通过验证数字证书上 CA 签名，确认证书合法性，进而确认发送方身份；仅通过身份认证的节点间可进行数据传输，有效防止非法设备接入网络窃取或篡改数据。

3 抗干扰技术应用

在数据采集系统软件层面，运用数字滤波算法处理采集数据，常见数字滤波算法包括均值滤波、中值滤波以及卡尔曼滤波。均值滤波通过对连续多个采样值进行算术平均操作，有效消除随机噪声干扰，中值滤波则将一定数量采样值按大小排序，选取中间值作为滤波后输出，可高效去除脉冲干扰。卡尔曼滤波借助建立系统状态方程与观测方程，对含噪声测量数据进行最优估计，尤其适用于动态变化信号处理，如针对天然气流量数据处理，运用均值滤波算法对连续 10 个采样值实施平均计算，进而获取更为准确的流量数据^[6]。

在均值滤波算法中，参与平均计算的采样值数量依据信号特性与干扰状况确定，通常取值范围在 5~20 之间。如针对波动较小的压力数据，可采用 5 个采样值进行均值滤波；而对于波动相对较大的流量数据，采用 10 个采样值更为适宜。

中值滤波算法里，排序窗口大小通常设定为奇数，

一般在 3 至 9 之间。卡尔曼滤波算法需依据系统实际情形确定过程噪声协方差、观测噪声协方差等参数，以此实现最优滤波效果。于数据传输进程中，采用数据校验与纠错技术保障数据完整性和准确性，常见校验算法包含 CRC（循环冗余校验）、奇偶校验等，发送端在发送数据时，依据数据内容计算校验码，并将其与数据一同发送。接收端接收到数据后，依照相同算法计算校验码，再与接收到的校验码进行对比。若二者一致，则判定数据传输无误；若不一致，则表明数据可能受干扰出现错误，对于部分简单错误，可利用纠错码予以纠错。例如在基于无线传输的天然气管道数据传输中，采用 CRC-16 校验算法对每个数据包进行校验。

4 结语

总而言之，天然气管道输送计量数据的实时监测与远程传输技术，作为保障天然气行业高效、安全运行的关键支撑，通过高精度流量计量技术、压力温度等辅助参数测量技术，实现对管道输送计量数据的精准实时采集。数据采集系统从硬件架构到软件算法的精心设计，确保数据的稳定收集与初步处理。在远程传输方面，无线传输技术如低功耗广域网技术和卫星通信技术，为数据的远程传输提供了多样且可靠的途径。

参考文献：

- [1] 艾力群, 张鹏, 艾浩安, 孙晓波, 贺中强, 张华斌. 基于“全国一张网”的天然气调度应急系统设计与应用 [J]. 石油工程建设, 2023, 49(1):72-78.
- [2] 刘喆, 郑宏伟, 郭哲, 彭世亮, 张佩颖, 李振林, 苏怀. 天然气超声流量计健康状态评价方法初探 [J]. 石油与天然气化工, 2024, 53(2):112-118.
- [3] 刘明亮. 优化遗传算法在天然气管网流量分配过程模拟计算中的应用 [J]. 计量学报, 2024, 45(6):848-856.
- [4] 邱绍东, 徐旷宇. 管道天然气超声流量计的检测方法研究 [J]. 中国检验检测, 2024, 32(5):35-40, 60.
- [5] 李刚. 天然气能量计量适应性改造与数据上传 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(14):107-109.
- [6] 刘伟, 赵明, 孙红梅. 基于物联网的天然气管道远程监测系统研究 [J]. 自动化仪表, 2020, 41(5):56-60.

作者简介：

李浩（1986-），男，汉族，山西太原人，本科，助理工程师，研究方向：燃气计量。

聂飞（1989-），男，汉族，山西临汾人，本科，助理工程师，研究方向：天然气输配计量。

王峰（1989-），男，汉族，山西太原人，本科，工程师，研究方向：燃气开发与利用。