

天然气管道输送计量准确性影响因素及控制措施

聂飞 王峰 李浩(太原天然气有限公司, 山西 太原 030000)

摘要:在能源结构加速调整的当下,天然气作为清洁高效能源,其在全球能源供应体系中的地位愈发关键。准确计量天然气输送量,作为保障供需双方贸易公平公正的基石,同时可以帮助实现天然气资源科学合理调配、提升管道输送系统运营管理精细化水平的核心需求。本研究聚焦天然气管道输送计量准确性,旨在全方位剖析影响计量精准度的多元因素,并针对性地构建高效控制策略,期望可以为相关人员提供参考帮助。

关键词:天然气管道;输送计量准确性;影响因素;控制措施

中图分类号: TE832 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 013-0071-03

Influencing Factors and Control Measures of Natural Gas Pipeline Transmission Metering Accuracy

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

Abstract: With the accelerated adjustment of the energy structure, natural gas, as a clean and efficient energy source, is playing an increasingly critical position in the global energy supply system. Accurate measurement of natural gas transportation, as the cornerstone of ensuring the fairness and justice of trade between supply and demand, can help realize the core demand of scientific and reasonable allocation of natural gas resources and improve the refined level of the operation and management of pipeline transportation system. This study focuses on the measurement accuracy of natural gas pipeline transportation, aiming to comprehensively analyze the multiple factors affecting the measurement accuracy, and build an efficient control strategy, which is expected to provide reference help for relevant personnel.

Key words: Natural gas pipeline; Accuracy of transmission measurement; Influencing factors and control measures

在全球能源加速转型时,天然气以清洁、高效、稳定等优势,广泛用于生活与工业,消费量攀升,在能源结构中愈发重要。准确计量天然气输送量极为关键,其作为供应商贸易结算的依据,可以避免经济纠纷,也为政府规划能源政策提供支撑。但实际输送中,因天然气特性复杂、工况多变及计量设备局限,计量误差频发。因此,探究影响因素并提出控制措施,对天然气产业的稳健发展意义重大。

1 常见计量方法

1.1 差压式流量计

差压式流量计工作原理基于伯努利方程,于管道内安装节流装置,诸如孔板、喷嘴等,当天然气流经节流件,流束收缩,流速增大,在节流件前后生成静压力差,依据压差与流量的对应关系,通过测量该压差,从而计算出天然气流量。此流量计适用场景广泛,可用于各类压力、温度及流量范围的天然气计量,在工业领域,尤其在大型天然气输送管道计量中应用普遍。差压式流量计具备诸多优点,其结构简洁,成本相对较低,技术成熟度高,拥有较长应用历史与丰富实践经验,相关标准规范完善,为选型、安装及维护工作提供便利。

但该流量计亦存在缺点,其测量精度相对欠佳,一般处于 $\pm 1\%- \pm 2\%$ 区间。而且节流装置会引发较

大压力损失,致使输送能耗增加。其对安装条件要求严苛,上下游需足够长的直管段,以此确保流场稳定,否则将严重影响测量精度,节流件易受天然气中杂质冲刷与腐蚀,进而导致测量精度降低^[1]。

1.2 容积式流量计

容积式流量计工作时,借助机械测量元件,将流体持续分割为单个已知体积单元,通过记录测量元件的转动次数,计算得出流体的总体积流量。常见类型包含罗茨流量计、椭圆齿轮流量计等。以罗茨流量计为例,天然气进入该流量计时,在进出口压差驱动下,促使罗茨转子旋转,转子每旋转一周,便会排出固定体积的气体,通过测定转子转数,即可获取气体流量。此类流量计适用于中小流量场景,且对计量精度要求较高的领域,如城市燃气分配站、工业企业内部的天然气计量等。

容积式流量计优势显著,其计量精度颇高,通常可达 $\pm 0.5\%- \pm 1\%$,同时其精度不受流体压力、温度、粘度等参数变化干扰,对气体清洁度要求相对较低,展现出较强的适应性。然而,容积式流量计存在局限性,其结构复杂,体积较大,致使成本偏高,因内部存在机械运动部件,长期运行中,部件易磨损,进而影响计量精度,因此需要定期进行维护与校准。此外,该类流量计流量范围相对较窄,并不适用于大流量的

测量场景。

2 天然气管道输送计量准确性的影响因素

2.1 计量设备自身因素

计量设备的核心零部件，如涡轮流量计的涡轮、差压式流量计的节流装置等，其制造精度对计量准确性起着决定性作用，以涡轮流量计而言，倘若涡轮叶片加工精度欠佳，叶片形状、尺寸存在偏差，则在相同流量状况下，涡轮的旋转速度便会产生误差，误差致使测量所得的脉冲信号频率不准确，最终引发流量计量误差。优质的制造工艺可确保零部件尺寸公差极小，表面光洁度良好，使设备在运行期间性能稳定，有效减少因零部件精度问题导致的计量偏差。

2.2 天然气物理特性因素

天然气作为多种成分构成的混合物，主要包含甲烷、乙烷、丙烷等烃类，以及氮气、二氧化碳等非烃类气体，不同成分的密度呈现较大差异，当天然气的组分产生波动时，其整体密度也会随之改变，如若甲烷含量增多，鉴于甲烷密度相对较小，天然气的整体密度便会降低；反之，若乙烷、丙烷等重烃含量上升，其密度则会增大。

在以体积流量计量并换算为质量流量的过程中，密度作为极为关键的参数，在运用孔板流量计这类基于体积流量测量的设备时，若密度计算不够精确，将会致使最终质量流量的计量出现偏差。假定起初依据某一固定密度值进行质量流量计算，当实际密度因组分变化而降低时，所计算出的质量流量将会高于实际值^[2]。

2.3 输送工况因素

温度与压力的剧烈起伏，对计量仪器性能有着直接的负面影响，众多计量设备的零部件，所用材料会因温度改变而热胀冷缩，极有可能致使设备内部结构出现细微形变。以涡轮流量计为例，当温度大幅波动时，其轴承间隙会发生变化，进而影响涡轮旋转的灵活性，将导致测量所得的脉冲信号出现偏差，最终引发流量计量误差。对于差压式流量计而言，压力波动会造成节流装置前后压力差不稳定，使得依据压力差计算出的流量值偏离真实值。

此外，部分计量仪器的电子元件对温度和压力极为敏感。过高或过低的温度，以及压力冲击，均可能干扰电子元件正常工作，致使数据采集与传输环节出错，最终影响计量准确性。

2.4 外部环境干扰因素

天然气管道沿线及计量站周边，常分布着各类电气设备，像高压输电线路、变电站、大型工业电机等，设备运行时，会产生强大电磁场。以高压输电线路为

例，其周围会形成交变的电场与磁场，当天然气计量设备处于该电磁场影响范围时，可能受到电磁感应与静电耦合作用。对于采用电子元件和传感器的计量设备，如智能涡轮流量计、电磁流量计等，电磁场可能在设备电路中感应出额外电流或电压信号，干扰正常测量信号的传输与处理，干扰会使计量设备显示的流量数据产生波动、跳变甚至出现错误，严重破坏计量准确性。

3 提升天然气管道输送计量准确性的控制策略

3.1 计量设备全生命周期管理

在选型前，对天然气输送工况进行全面评估不可或缺，以长输管道为例，若设计输气量为 $500 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，工作压力处于 4–6 MPa，温度范围在 -20°C 至 40°C，就需依据这些参数慎重挑选合适的流量计。当面对大流量且工况相对稳定的情况时，超声波流量计优势突出。其量程比很宽，可达 20:1 甚至更高，既能满足大流量范围的精确测量，测量精度又能达到 $\pm 0.5\% - \pm 1\%$ 。

同时，天然气的气质条件不容小觑。若气体含尘量较高，需选用对杂质不敏感的流量计，像某些特殊设计的容积式流量计，其内部结构可降低杂质对计量的影响^[3]。

深入研究不同厂家计量设备的性能指标与可靠性数据，通过查阅产品样本、行业报告以及咨询其他用户等多种方式，对比各品牌产品的稳定性，如某知名品牌的涡轮流量计，其平均无故障运行时间（MTBF）可达 8000 小时以上，远超行业平均水平。在选择时，优先考虑口碑好、性能可靠的产品，同时要求厂家提供详细的质量保证文件与售后服务承诺，以确保设备在长期使用过程中的稳定性与可维护性。

严谨安装调试遵循安装规范，严格按照设备厂家提供的安装手册操作，以超声波流量计为例，要求上下游直管段长度分别为前 10D（D 为管道内径）、后 5D。若管道内径为 500mm，则上游直管段长度至少需 5000mm，下游需 2500mm，以此确保流场稳定，减少因安装位置不当导致的测量误差。在安装过程中，使用专业测量工具保证流量计与管道的同轴度，将偏差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，避免因不同轴导致的流体扰动对计量准确性产生不良影响。

严控安装质量与密封性，加强安装过程中的质量控制，对每个安装环节进行检查记录。安装完成后，进行严格的密封性测试，如采用气压试验，试验压力为工作压力的 1.1 倍，保压时间不少于 30 分钟，确保无泄漏现象。对于螺纹连接部位，使用密封胶进行密封处理；对于法兰连接，选用合适的密封垫片，并确

保垫片安装正确、压紧力均匀，防止天然气泄漏影响计量准确性。

3.2 天然气特性监测与补偿

实时组分监测把在线气相色谱分析仪与管道的自动化控制系统相连，实现数据实时传输，借助专业的数据处理软件，对采集到的天然气组分数据进行分析计算，利用系统自带的算法，根据天然气组分的变化实时计算气体的密度、压缩因子等关键参数。计算密度时，采用国际通用的 AGA8 等相关标准方法，确保计算结果的准确性，将计算得到的参数实时传输至流量计算系统，为计量补偿提供数据支持。

动态参数修正流量计算系统依据实时更新的天然气组分数据及相关参数，对计量结果进行动态修正，如当检测到天然气中甲烷含量从 90% 下降至 85%，乙烷含量从 5% 上升至 8% 时，系统自动根据新的组分比例重新计算密度和压缩因子，并将修正后的参数应用到流量计算中。通过动态修正，可有效减少因天然气组分波动导致的计量误差，使计量准确性提高至 $\pm 0.5\%$ 以内，相比未进行实时组分分析和修正时，误差显著降低。

脱水装置适配根据天然气的含水量和输送量选择合适的脱水装置，常见的有分子筛脱水装置和三甘醇脱水装置。以分子筛脱水装置为例，其脱水深度可达露点降 80℃ 以上，能将天然气中的水含量降低至 1ppm 以下（标准状态）。在运行过程中，严格控制操作温度和压力。

通常吸附温度控制在 30–50℃，再生温度在 200–300℃，操作压力根据管道输送压力确定，通常在 4–8MPa 之间。通过合理控制这些参数，确保脱水装置高效稳定运行，有效去除天然气中的水分，防止因积液和水合物形成对计量准确性产生影响。

除砂设备配置在天然气进入计量系统前，安装高效的除砂设备，如旋风分离器和过滤式除砂器的组合。旋风分离器可去除粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的砂粒，去除效率可达 95% 以上。过滤式除砂器则进一步过滤掉更小粒径的砂粒，能将天然气中的含砂量降低至 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。除砂设备的处理能力应与天然气的输送流量匹配，例如，对于输送量为 $100 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的管道，选择处理能力为 $120 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的除砂设备，确保在最大流量工况下也能有效去除砂粒，减少砂粒对计量设备的磨损和干扰，提高计量准确性。

3.3 输送工况优化与稳定

高精度传感器选用与安装，选用具备高精度、高稳定性的温度与压力传感器，以某型号为例，其温度传感器精度可达 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，压力传感器精度可达

$\pm 0.05\%\text{FS}$ （满量程）。于管道恰当位置安装此类传感器，以精准测量天然气实际温度与压力。一般而言，在流量计上下游直管段，距流量计 5D（D 为管道内径）处安装温度传感器，在距流量计 3D 处安装压力传感器，借此获取稳定且具代表性的温度与压力数据。

3.4 外部环境干扰防护

在计量设备与数据采集系统间的信号传输线路中，采用双层屏蔽电缆，如选用由铜网编织屏蔽层与铝箔屏蔽层构成的电缆，其在 100kHz–1GHz 频率范围内的屏蔽效能可达 80dB 以上，能够有效阻隔外部电磁场对传输信号的干扰。在铺设电缆时，确保屏蔽层两端可靠接地，接地电阻不超过 4Ω ，以构建完整的屏蔽回路，防止电磁干扰信号侵入。针对计量设备的电子元件部分，安装金属屏蔽罩，如为涡轮流量计的传感器和信号处理单元定制厚度为 2mm 的不锈钢屏蔽罩，其可有效屏蔽外界电磁场。屏蔽罩需妥善接地，将接地电阻控制在 1Ω 以内，通过将屏蔽罩与大地相连，把感应到的电磁干扰电流引入大地，避免干扰设备内部电路的正常运作。

4 结语

综上所述，天然气管道输送计量准确性，对行业发展意义重大，通过对影响因素剖析，从设备管理、特性监测、工况优化到环境防护，采取多维度控制措施，能有效提升计量准确性。未来，随着技术革新与管理体系完善，有望进一步降低误差，为天然气高效利用、科学贸易结算筑牢基础，推动天然气行业稳健、可持续发展。

参考文献：

- [1] 王丹, 黄昱婷, 石云. 天然气管道输送计量输差的控制 [J]. 中国化工贸易, 2022(25):136-138.
- [2] 张镨, 周理, 张佩颖, 罗勤, 蒲长胜. 天然气管道掺氢对天然气分析计量的影响 [J]. 天然气工业, 2023, 43(8):135-145.
- [3] 刘振宇. 天然气长输管道分输站场的设计策略 [J]. 化工管理, 2023(8):142-144.

作者简介：

- 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。
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。