

环境因素对天然气输送过程中计量精度的影响及应对策略

蒋昊展（国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司，山东 济南 250000）

摘要：天然气作为重要的清洁能源，其计量精度对能源交易、公平计费及安全管理具有重要意义。然而在输送过程中，天然气计量系统易受到环境温度、压力、湿度等外部因素的影响，导致计量误差加大，影响系统的稳定运行与商业公正性。本文从环境因素入手，系统分析其对天然气计量精度的具体影响机理，并提出温压补偿、传感器优化、动态调整等应对策略，结合典型案例评估措施效果，提出可持续优化路径，为天然气输送计量管理提供技术支持与决策参考。

关键词：天然气输送；计量精度；环境因素；传感器校准；动态调整策略

中图分类号：TE973 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)029-0094-03

The influence of environmental factors on the measurement accuracy during natural gas transmission and the corresponding strategies

Jiang Haozhan(Shandong Branch of National Oil and Gas Pipeline Network Corporation Limited,Jinan Shandong 250000,China)

Abstract: As an important clean energy source, the measurement accuracy of natural gas is of great significance to energy trading, fair billing and safety management. However, during the transportation process, the natural gas metering system is prone to be affected by external factors such as environmental temperature, pressure and humidity, which leads to increased metering errors and affects the stable operation of the system and commercial fairness. This paper analyzes the specific influencing mechanism of the measurement accuracy of natural gas, and proposes countermeasures such as temperature and pressure compensation, sensor optimization, and dynamic adjustment. It assesses the effectiveness of measures by combining typical cases and proposes sustainable optimization paths to provide technical support for the measurement management of natural gas transmission.

Key words: Natural gas transmission;Measurement accuracy;Environmental factors;Sensor calibration;Dynamic adjustment strategy

随着天然气在工业与民用领域的广泛应用，其计量的精准状况日益被留意，特别是在对精度要求极高的贸易结算以及能源管理情形里，细小的计量失误，都存在造成巨额经济亏损的可能，环境条件这般动态的改变，给系统稳定运行带来挑战，尤其是在温度、压力跟湿度频繁变化的区域，过去的补偿手段及装置，难以符合精度上的要求，细致分析环境因素干扰机制，制定可行的应对方案，成为保障天然气计量的精准度与系统可靠运行的核心要点。

1 环境因素对天然气计量的主要影响

1.1 温度变化对计量精度的影响机理

温度变化对天然气计量精度的影响主要反映在气体的体积与测量装置的性能两个层面，依照气体状态对应的那个方程，天然气遇温度上升时会出现体积胀大的情况，温度降低以后，体积呈现收缩状态，若不曾进行温度方面的补偿，会引起体积流量计读数存在偏差，误差随环境温差的起伏显著上升。温度变化能够引起差压变送器跟温度传感器灵敏性的漂移现象，尤其是在温度较低的环境中，热电偶反应变慢、电信号出现畸变，让误差的态势进一步加剧，要是导压管

两边温度不一样，也会因气体密度的差异变化，产生所谓“压头误差”，造成计量系统的双重困扰，控制住环境温度的影响，乃是保障天然气计量准确无误的关键环节。

1.2 压力波动引发的计量误差分析

压力波动对天然气计量误差的影响主要是气体密度的变化干扰了流量的计算操作，在体积式流量计里，压力稍微变动一下，就会引起气体密度明显的改变，由此造成计量差错，若处于10MPa输气压力的情境中，一旦系统实际压力出现 $\pm 0.1\text{ MPa}$ 的涨落，采用压缩因子修正办法计算，气体密度大约可出现 $\pm 1\%$ 的改变，直接引起的体积计量误差大概接近 $\pm 1\%$ 。针对凭借压差原理运行的孔板流量计而言，流量跟压差的平方根呈现为正比情形，倘若上游压力出现0.5MPa的波动，也许会引起流量误差超出1.5%，尤其是在缺少同步压力补偿手段时，误差会进一步加大，迅猛的压力变化也许会引起传感器动态响应滞后现象，导致系统无法及时对数据进行修正，进一步使计量实时精准度变差，实时对压力的变化进行监测与补偿，成为保障天然气计量系统精度稳定的核心要点。

1.3 湿度及杂质含量对测量装置的影响

湿度及杂质含量对天然气计量装置的影响主要体现在传感器性能下滑、计量结果失实，湿度偏高的天然气在低温环境当中容易形成冷凝水也或是水合物，造成导压管、孔板流量计节流孔堵塞现象，造成压差偏离正常或读数出现偏低；气体所包含的颗粒杂质、硫化物以及油雾等，较易黏附在超声波流量计传感器的表面那儿，影响到声波的传播路径以及信号的品质，造成时差测量出现偏差，误差可突破 $\pm 2\%$ 的界限。湿气以及杂质能加速热电偶或者热电阻的表面老化进程，造成热传导效率下滑，引发温度测量偏差逐步变大，进而对温压补偿的精确效果造成干扰，保障天然气纯度合适、设置起到作用的分离器以及定时去清洁测量设备，属于提高计量准确水平、延长设备存活期限的关键措施。

2 天然气计量精度提升的技术措施

2.1 温压补偿技术与装置优化

若温度和压力有变化，会直接且显著地波及天然气计量，精密的温压补偿技术是保障计量精度的核心关键，高精度差压变送器跟温度传感器必须协同工作，实时采集气体状态的各类参数，结合气体状态方程对流量数据做动态的修正处理，为达成补偿数据可靠的目标，必须要搞出严格的校准跟维护制度。仪表工按月度定期对差压变送器校准，能迅速发现零点漂移与灵敏度变弱的问题，规避长周期累积而出现的系统差错现象，每周给导压管进行全面检查，避免堵塞、腐蚀、冻结及漏气情况冒出来，为保证信号无误的关键要点，缺失此类维护的话，补偿系统输入的数据会有偏差。

环境温差在差压变送器导压管上造成的“压头误差”极为重要，尤其是冬春时节碰到极端的气候状况期间，导压管两边的温度落差程度甚至到数摄氏度，因密度差异，测得的压差值偏离了实际的真实值，为降低这一误差影响，采用联合保温途径，经由设置保温箱加上电伴热带，促使两根导压管维持一样的温度情形，算得上切实有效的方案。在工程实际开展阶段，伴热系统不但得覆盖导压管的裸露段，尚需顾及管线跟设备接口处的热能损失，以实现整体温度的协调统一，温度传感器的线路铺设与安装所处环境，对测量质量影响极大，杜绝测温线与动力电缆共用管道布线，采用屏蔽防护外皮，缓和电磁造成的干扰，属于增进传感器信号稳定效果的关键部分，定时对传感器外壳及保护管道开展清理工作。

2.2 精密传感器选型及校准管理

天然气计量系统里，传感器的选择直接关乎测量精准度与系统长期的稳定性，在差压变送器这个范畴，

优先选择具有高分辨率、广阔量程以及自动温度补偿效能的型号为好，保障在各类工况中均可提供精确的压力差数值，材质在耐腐蚀方面的表现极为关键，诸如钼合金、哈氏合金等材料能有效阻挡含硫和湿气对传感器内部结构的侵蚀作用，提高设备使用的存续时长。

温度测量传感器，可采用K型或N型热电偶，鉴于其高稳定、耐高温的特性，被普遍认可，但还需结合现场振动的实际环境，选用有抗震设计的物品，以防机械因疲劳出现性能上的下降，传感器的防护等级必须符合工业防爆标准，以保障安全运行。合理的选型可提高测量准确度，降低设备维护频次和故障率，提升系统整体可靠性。

在传感器管理方面，建立科学的校准及维护模式是保障计量准确程度的基础工作，要按照传感器所处使用环境以及厂家所推荐内容设定校准周期，就像热电偶，一般建议每6个月至1年开展一次校准，差压变送器每月至少得做一次零点以及灵敏度方面的检查。校准工作需依照国家《JJG 229-2010 热电偶检定规程》等计量检定的相关规程，并建立周全的校准情况档案，登记每次校准的结果及传感器性能的变化走势，做到精准溯源，为增进管理效率水平，可采用无线监测与远程诊断这套系统，实时获取传感器运转状态，自行识别异常信号，预先针对潜在故障示警，凭借数字化管理平台，把设备的各类数据和维护记录整合到一起，完成传感器从诞生到终结周期的管理，既维护了计量数据的稳定精准度，也降低了人工维护成本和突发故障风险。

2.3 测量环境监测与动态调整策略

天然气计量过程中，环境因素的动态变化对计量精度具有持续且复杂的影响，单一的静态补偿很难达到现代高精度计量的要求，建立完善妥帖的环境监测体系，实现实时多参数采集且动态调控，乃提升计量稳定性的核心，应当在计量点设置各类环境传感器具，例如温湿度感应设备、气体露点测定仪、振动监测器械及颗粒物检测器械，精准掌握关乎计量的环境相关变量。把这些实时数据传至边缘计算单元，让物理模型跟机器学习算法相结合，即时矫正补偿参数状态，做到计量参数的自动适配性变化，这类智能监测与控制系统可高效识别环境异样，还可依靠预警手段事先采取防护办法，杜绝环境突发变化引发计量误差的扩散现象。

在实际应用中，环境监测与动态调整策略的实施还需配合具体的工程措施。例如，针对高湿度和水合物风险，应在天然气入口端安装高效气液分离器并结

合自动排水系统，确保液态水及时排除，降低测量装置堵塞和腐蚀风险。

对导压管和关键传感器周边设置电伴热装置，保证温度维持在水露点以上，阻断水合物形成条件，提升冬季及寒冷地区计量稳定性。综合运用环境监测、智能调整与工程保障的多重策略，能够实现天然气计量系统的动态自适应运行，显著提升计量准确度和系统稳定性，为天然气行业的科学管理和公平结算提供坚实支撑。

3 典型应用案例及应对策略效果评估

3.1 案例背景

某北方天然气调压站位于寒冷地区，冬季气温常低至 -25°C 以下。该站为区域天然气输送重要节点，承担着输送压力调节和计量任务。由于环境极端寒冷且天然气含水量较高，长期存在计量误差大、仪表频繁故障的难题，给计量准确性和运营管理带来严重影响。调研显示，计量误差在冬季高达 $\pm 2.5\%$ ，远超行业标准要求（一般要求 $\pm 1\%$ 以内），且差压变送器导压管结冰、温度传感器信号异常频发，影响数据连续性和可靠性。

3.2 应用过程及应对策略

针对该调压站的具体问题，实施综合性技术和管理措施：①导压管保温伴热系统改造。为避免导压管因环境温差导致的“压头误差”，在两根导压管外包覆保温材料，统一设置电伴热带，并实时监控管道温度，确保两侧温度差控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内；②传感器布线与电磁兼容优化。重新设计温度传感器布线方案，确保传感器测温线与高功率动力电缆分管敷设，避免电磁干扰。采用双层屏蔽护套电缆，并在关键节点增加滤波器和隔离器，极大提高温度信号的稳定和准确；③气液分离器及自动排水装置升级。在气源入口端安装新型高效气液分离器，利用旋风分离原理有效剥离液态水和杂质。自动排水装置定时排除积水，防止液态水积聚引发水合物堵塞。并结合管道低点放空阀设计，确保管线内部不留死角积水，降低水合物形成风险；④电加热与化学抑制剂综合应用。对关键管段和测量装置区域布置电加热带，稳定气体温度保持在水露点以上，有效抑制水合物生成。针对湿度较高时段，采用智能化甲醇投加系统，按照实时监测的温湿度及流量参数自动调整抑制剂用量，既保证水合物抑制效果，又避免甲醇浪费和二次污染；⑤智能环境监测及动态补偿系统建设。电伴热系统采用分时段加热策略，最大限度减少能源消耗，甲醇投加量根据智能系统精准控制，避免过量使用，整体运行成本控制在预期范围内。

3.3 数据分析与效果评估

措施实施前后，通过连续3个月的计量数据对比分析，获得以下显著成效：①计量误差显著降低。实施前冬季计量误差平均为 $\pm 2.5\%$ ，经过系统优化及动态补偿后，误差稳定控制在 $\pm 0.4\%$ ，达到并优于行业标准；②传感器异常率下降。温度传感器信号异常次数由每月4次降至0次，差压变送器导压管结冰事件彻底消除；③系统稳定性提升。计量数据的连续性和可靠性大幅增强，系统整体故障率下降超过70%，运维工作负担明显减轻；④能耗与成本控制。电伴热系统采用分时段加热策略，最大限度减少能源消耗，甲醇投加量根据智能系统精准控制，避免过量使用，整体运行成本控制在预期范围内。

3.4 深度分析与总结

该案例充分体现了环境因素对天然气计量精度的复杂影响及综合应对策略的必要性。温度、湿度和杂质等环境变量的联合作用对计量误差产生叠加效应，单一技术手段难以根本解决问题。通过系统化的导压管保温伴热、传感器电磁兼容优化、湿度控制及智能动态补偿，形成了多层次、多角度的精度保障体系，实现了计量精度的根本提升。

4 结束语

环境因素对天然气计量精度影响深远且复杂，只有通过多层次、多维度的技术优化与科学管理，才能有效降低误差、提升系统稳定性。本文结合典型案例，系统分析了温度、压力、湿度及杂质等环境变量的作用机理，提出了包括温压补偿、精密传感器选型与动态环境监测在内的综合应对策略，验证了其在实际应用中的显著效果。未来，随着智能化技术的发展，天然气计量将向更加精准、智能和自动化方向迈进，为能源管理和公平交易提供坚实保障。

参考文献：

- [1] 蒋军, 巩莉, 李文艺, 等. 在LNG计量中影响质量流量计精度的因素分析[J]. 化工管理, 2023(32):44-46.
- [2] 韩冰, 丁凌. 天然气管道超声流量计计量方法研究[J]. 流体测量与控制, 2023, 4(1):13-16.
- [3] 詹林川. 超声波流量计在天然气贸易计量中的应用及精度提升策略[J]. 中国化工贸易, 2024(23):4-6.
- [4] 傅维禄. 天然气管道风险影响因素及对策[J]. 安全健康和环境, 2005(12):18-19.
- [5] 程洁雨. 天然气输气管道安全运行风险因素分析及管理措施[J]. 石油石化物资采购, 2023(20):116-118.

作者简介：

蒋昊展（1993—），男，汉族，河南永城人，本科，中级工程师，生产运维工程师，研究方向：仪表自动化。