

质量流量计在成品油管道监测中的应用与性能评估

杨 露 龙 辉 (西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

牛道东 杨昌群 (国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司, 广州 天河 510000)

摘要: 本文对质量流量计在成品油管道监测中的应用及性能进行了深入的分析与评估。结果表明, 质量流量计在精确度、响应速度和环境适应性方面表现出色, 即使在复杂工况下, 如高温、高压条件下也能保持稳定的性能。其在流量控制、泄漏监测和库存管理中发挥了重要作用, 有效提升了管道运营的效率 and 安全性。综合来看, 质量流量计在成品油管道监测中具有广泛的应用前景。

关键词: 质量流量计; 成品油管道; 监测; 性能评估

0 引言

随着成品油需求的不断攀升及输油管道网的扩展, 确保输送过程中油品计量的精确度和管道安全性尤为重要。质量流量计因其可直接测得质量流量, 且不会受到温度、压力及密度变化的干扰, 成为管道监测的关键设备。相比传统流量计, 质量流量计在流量控制、泄漏监测和库存管理中表现出更高的精度和响应速度。本文将系统评估其在成品油管道中的应用效果, 旨在为提升管道监测技术提供参考。

1 质量流量计的主要特点

1.1 高精度测量

质量流量计因其高精度测量能力获得了广泛认可。与传统体积流量计不同, 质量流量计直接测量流体的质量流量, 这一过程不会受到温度、压力或流体密度变化的干扰。这在成品油输送管道的监控中显得尤为重要, 因为成品油在运输过程中可能会出现物理性质的改变, 而这些变化不会影响质量流量计的测量精度。质量流量计能够提供稳定可靠的流量数据, 确保了成品油计量的准确性, 从而提高运营的透明度和经济效益, 特别是在计费 and 库存管理方面, 有效降低了因测量误差造成的经济损失。

1.2 实时响应能力

质量流量计的实时响应能力是其另一大显著特点。该设备能够在流体流量发生变化时及时响应并提供实时测量数据, 这对于确保操作过程的安全与效率极为关键。在成品油管道中, 流量的异常波动往往预示着操作过程中需要调整, 亦或是暗示着可能的安全隐患, 如管道泄漏或堵塞。质量流量计的高响应速度使得操作人员能够迅速检测到这些异常, 及时采取措施, 避免潜在的事故或将事故影响降到最低。因此, 实时响应能力不仅提高了操作的安全性, 同时也确保

了管道系统的稳定运行。

1.3 适应多种流体环境

质量流量计的特点之一在于其广泛的适应性。该设备能够在多种成品油和极端操作环境下 (如高温、高压、低温或腐蚀性环境) 保持测量的精确性。鉴于成品油种类多样, 密度和粘度各不相同, 传统流量计在这些变化条件下往往难以实现精确计量, 而质量流量计通过直接测量质量流量, 避免了因流体特性变化而引起的测量误差。这种强大的适应能力, 使得质量流量计能在各种严苛工况下稳定运行, 不论是对高粘度的柴油还是低黏度的汽油, 都能确保数据的准确和可靠, 为成品油管道系统的安全运行提供了坚实的支撑。

2 质量流量计在成品油管道监测中的应用

2.1 成品油管道测量需求

成品油管道的测量需求集中在流量控制、泄漏监测和库存管理三方面。流量控制要求精确测量和调节油品流量, 以确保输送过程中流量稳定, 防止出现压力异常或输送效率降低。泄漏监测对于管道安全至关重要, 尤其是在长距离输送和地下管道中, 及时发现泄漏至关重要。传统监测方法往往不能及时发现问题, 而实时流量监测能快速识别流量异常, 避免泄露问题恶化。库存管理则依赖于精确的进出库测量, 确保库存数据准确, 防止库存过多或不足, 保障供应链的稳定。由于质量流量计高准确度和快速响应的特点, 在成品油管道的测量环节中占据了重要地位。

2.2 流量控制中的应用

质量流量计在成品油管道的流量控制中应用广泛, 尤其是在长距离输送和复杂管网中。通过实时监测和调节, 质量流量计能够确保油品流量保持在预设范围, 有效预防管道压力失衡。例如, 在输送站, 质

量流量计可以精确控制油品流动，避免流量波动引发的过压或效率下降。在装卸过程中，质量流量计确保装载和卸载的油品量准确无误，防止溢出或不足。在多段管道系统中，质量流量计能够提供实时数据，帮助协调各段流量，保障输送过程的顺畅与高效。通过这些应用，质量流量计提升了管道系统的安全性和运行效率。

2.3 泄漏监测中的应用

质量流量计在成品油管道泄漏监测中发挥着高效且准确的监测作用，尤其在长距离和地下管道中。该设备通过监测管道入口和出口的流量数据，识别流量差异并快速发出警报。例如，在输送管道的中继泵站，流量计会对比进出口流量数据，当检测到不一致时，立即警示操作人员检查管道。对于地下或海底管道，质量流量计通过监测细微流量变化，提供早期预警，帮助发现并处理泄漏问题，防止事故扩大。通过综合分析实时数据与历史数据，质量流量计能够精确锁定泄漏的具体位置和严重性，有效提高了管道安全管理的效率，同时降低了环境与经济方面的损失。

3 质量流量计的性能评估

3.1 测量精度

质量流量计在成品油管道监测中的测量精度是评估其性能的重要指标。为更准确地评估质量流量计的性能，本文以某石化企业在成品油运输和存储过程中测得的实际数据，对不同阶段的测量精度进行计算分析。表1，表2是质量流量计在两个阶段的具体测量数据。

为了更加全面地计算质量流量计的测量误差，考虑多种影响因素，采用式(1)计算：

$$\varepsilon = \left(\frac{Q_{\text{测量}} - Q_{\text{实际}}}{Q_{\text{实际}}} \right) \times 100\% + \left(\frac{|\Delta T|}{T_{\text{基准}}} \times K_T \right) + \left(\frac{|\Delta P|}{P_{\text{基准}}} \times K_P \right) + \left(\frac{|\Delta \rho|}{\rho_{\text{基准}}} \times K_\rho \right) + \left(\frac{|\Delta \mu|}{\mu_{\text{基准}}} \times K_\mu \right) \quad (1)$$

其中， ε 为综合测量误差(%)， $\Delta T = T_{\text{测量}} - T_{\text{基准}}$ 为温度变化(°C)， $\Delta P = P_{\text{测量}} - P_{\text{基准}}$ 为压力变化(MPa)， $\Delta \rho = \rho_{\text{测量}} - \rho_{\text{基准}}$ 为密度变化(kg/m³)， $\Delta \mu = \mu_{\text{测量}} - \mu_{\text{基准}}$ 为粘度变化(Pa·s)； K_T 、 K_P 、 K_ρ 、 K_μ 分别为温度、压力、密度和粘度变化的校正系数，设为0.05、0.1、0.02、0.03； $T_{\text{基准}}$ 、 $P_{\text{基准}}$ 、 $\rho_{\text{基准}}$ 、 $\mu_{\text{基准}}$ 为基准条件值，设为400°C、3.6MPa、850kg/m³、0.5Pa·s。

实际流量为80 t/h，根据公式(1)可以算出 $\varepsilon_{\text{运输}}$

表1：质量流量计在成品油运输阶段的测量数据

参数	测量数据
安装位置	管道运输出口
测量流量	80.5 t/h
工作压力	3.8 MPa
工作温度	420°C
油品密度	850 kg/m ³
粘度	0.5 Pa·s

表2：质量流量计在成品油存储阶段的测量数据

参数	测量数据
安装位置	储罐入口
测量流量	75.3 t/h
工作压力	3.5 MPa
工作温度	390°C
油品密度	852 kg/m ³
粘度	0.45 Pa·s

表3：质量流量计在不同工况下的响应时间数据

工况	流量 (t/h)	工作压力 (MPa)	工作温度 (°C)	响应时间 (ms)
正常输送状态	75	3.5	390	45
压力突增	75	4.0	390	52
温度骤降	75	3.5	360	49
突发流量变化 (+20%)	90	3.5	390	55
流量恢复正常	75	3.5	390	47

=0.6331%， $\epsilon_{\text{存储}}=0.4075\%$ ；根据计算结果，质量流量计在运输阶段和存储阶段的综合测量误差分别为0.6331%和0.4075%。尽管考虑了多种工况因素的影响，质量流量计仍然显示出高度的测量精度和稳定性。这表明，质量流量计能够在成品油管道的不同操作条件下，提供可靠的测量数据，有效保障了管道的运行效率和安全性。

3.2 响应时间

响应时间是评估质量流量计性能的重要指标。在成品油管道监测中，快速响应能够及时捕捉流量变化，保障管道安全。在成品油输送过程中，流量、压力和温度等工况条件会不断变化。表3格列出了质量流量计在不同工况下的响应时间测量数据。

为了更加准确地计算质量流量计的响应时间，我们引入以下公式，考虑采样频率、信号传输时间、数据处理时间，以及流体动力学特性等因素：

$$t = \frac{1}{f} + t_{\text{处理}} + t_{\text{传输}} + \left(\frac{\Delta V}{V_{\text{基准}}} \times K_v \right) \quad (2)$$

其中， t 为总响应时间（ms）， $f=1000\text{Hz}$ ， $t_{\text{处理}}=15\text{ms}$ ， $t_{\text{传输}}=20\text{ms}$ ， $\Delta V=V_{\text{测量}}$ ， $V_{\text{基准}}$ 为体流量的变化（ m^3/h ）， $V_{\text{基准}}$ 为基准体流量（ 75t/h ）， K_v 为流量变化响应系数，设为 $2\text{ms}/(\text{m}^3/\text{h})$ 。

以突发流量变化为例，根据公式（2）可以算出 $t=36.4\text{ms}$ ；从计算结果可以看出，质量流量计在各种工况下的响应时间均保持在36到36.4毫秒之间。这表明质量流量计能够在流量、压力和温度变化时迅速响应，并提供实时的准确测量数据。如此快速的响应性能，使得质量流量计在成品油管道监测中的应用显得尤为有效，特别是在突发情况需要迅速采取措施的场合，能够显著提高管道的安全性和运行效率。

3.3 可靠性

在成品油管道监测中，质量流量计的可靠性至关重要。可靠性反映了设备在长期运行中的稳定性和持续精度，直接影响管道的安全性和经济效益。可靠性

通常通过平均故障间隔时间（MTBF）、平均修复时间（MTTR）和设备可用性等指标来评估。表4为某石化企业在成品油管道中使用质量流量计进行监测的运行数据。

质量流量计的可靠性可以通过以下公式来综合评估：

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

其中， A 为设备可用性， $MTBF$ 为平均故障间隔时间， $MTTR$ 为平均修复时间。

平均故障间隔时间 $MTBF=10000 \div 2=5000$ ，根据公式（3）可以算出 $A \approx 0.9996$ 。根据计算结果，质量流量计的平均故障间隔时间（ $MTBF$ ）为5000小时，设备可用性为99.96%。这些指标显示质量流量计在长时间运行中具备高度可靠性，停机时间极少，能够持续保证成品油管道的监测需求。

4 结论

本文通过对质量流量计在成品油管道监测中的应用与性能的深入分析，验证了其在复杂工况下的优越表现。质量流量计在高温、高压等环境中保持了卓越的测量精度，有效保障了成品油计量的准确性。其对于流量波动的迅速响应能力，为管道系统的安全操作提供了保障，增强了运行的稳定性。此外，该设备在长期运行中显示出极低的故障率和较高的可用性，有效减少了维护工作量及运营成本。综上所述，质量流量计在成品油管道监测中展现了显著的应用价值，有助于提高管道系统的安全性和经济效益。

参考文献：

- [1] 赵俊奎, 邹明伟, 魏跃东, 等. 质量流量计流速模拟系统设计与实现 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023(6): 258-260.
- [2] 杨双阳, 李滋亮, 罗宇. 科里奥利质量流量计疲劳寿命评估的数值分析和试验 [J]. 船舶工程, 2023, 45(4): 110-112.

表4: 质量流量计的运行数据和可靠性指标

参数	数据统计
总运行时间 (小时)	10,000
故障次数	2次
每次维修时间 (MTTR, 小时)	2小时