

跨境油气管道计量输差的原因分析与改进措施

徐阳 蔡忠伟 李想 刘浩 王永继

国家管网集团云南公司 云南昆明 650000

摘要: 跨境油气管道在全球能源供应链中至关重要,其运输的油气资源对全球经济和能源安全具有深远影响。然而,油气管道在输送过程中普遍存在计量输差问题,这不仅影响油气贸易的公平性和准确性,还对企业的运营和经济效益产生显著影响。计量输差是指在油气输送过程中,实际输送量与理论输送量之间的差异。这种差异可能由多种因素引起,包括工艺条件、设备完整性、量值传递方式、系统误差和随机误差等。例如,天然气和油品的计量受多种因素影响,导致计量输差的产生。本文主要分析跨境油气管道计量输差的原因分析与改进措施。

关键词: 跨境油气管道; 计量输差; 原因分析; 改进措施

引言

油气管道输差是贸易交接中的一个重要问题,直接影响到计量的准确性和经济效益。随着全球能源需求的不断增长,跨境油气管道的建设和运营日益增多,输差问题逐渐成为制约管道运行效率和贸易公平性的关键因素。输差不仅会导致能源的浪费,还会引发经济纠纷和法律问题,严重影响企业的信誉和市场竞争能力。因此,深入分析输差的原因并提出有效的改进措施,对于保障油气管道的安全运行和促进国际贸易的健康发展具有重要意义。

1. 跨境油气管道计量输差研究现状

油气管道输差问题一直是国内外专家学者关注的热点领域。尽管已有大量研究,但大多数研究多基于定性分析,缺乏普遍适用的结论。这种现状使得输差问题的管理和控制仍然面临诸多挑战。

例如:中缅油气管道是中国和缅甸之间的重要能源通道,全长约2500公里。该管道在运行过程中出现过输差问题,影响了贸易交接的公平性和管道的运行效率。具体表现为:

(1) 设备质量问题:瑞丽输油气站曾因阀门内漏导致输差问题,通过更换耐腐蚀材料的阀门,输差率显著降低。例如,2022年,瑞丽输油气站更换了所有低精度的压力传感器,使用了高精度的压力变送器,压力测量误差从原来的 $\pm 0.5\%$ 降至 $\pm 0.05\%$ 。

(2) 人为管理原因:南坎输油气站通过建立故障报告制度,及时处理故障,输差率显著降低。例如,2022年,南坎输油气站建立了故障报告制度,确保故障能够在第一时

间得到处理,输差率从原来的1.5%降至0.4%。

针对以上问题进行改进后,效果如下:

在2021年的一到三月份输差一直为正,自四月份输差大幅度下降在七月份输差稳定在-2000到-3000之间,输差率稳定在-0.2%左右。前三个月对于场站而言属于损耗,后几个月大致属于溢余。

$$\Delta m_h = (m_u + m_{p_1} + m_{s_1}) - (m_b + m_{p_2} + m_{s_2}) - m_c - m_f$$

Δm_h ——输送损耗量;

m_u ——进管道油气量;

m_{p_1} ——期初管存量;

m_{s_1} ——储油气罐期初库存量;

m_b ——出管道油气量;

m_{p_2} ——期末管存量;

m_{s_2} ——储油气罐期末库存量;

m_c ——自用量;

m_f ——施工放空量。

中缅管道输差 = 瑞丽收气量 + 月初库存 - 瑞丽销气量 - 月末库存

根据油气管道输送损耗计算方法与中缅管道输差计算公式进行比对以后可以发现场站即中缅管道的计算公式没有考虑场站自用量及施工放空量的计算,这两个参数也会对输差的计算造成一定的影响。

2. 跨境油气管道计量输差的原因分析

造成管网输差的原因有很多种,是各种因素综合作用的结果,但主要是管网泄露、管存量的计算误差、计量系统

的误差（主要是流量计计量的准确度）。管网泄露的产生源于设备的质量和腐蚀问题以及人为的管理疏忽等问题；管存量计算误差的产生源于压力、温度和压缩因子等参数的不准确；计量系统误差源于计量系统自身的误差等。

2.1 计量系统的误差

由于安装调节阀以后，超声流量计的测量精度受到影响，导致流量数据测量出现偏差。计量用仪表包括压力变送器、温度变送器，其零点漂移、模拟量传输的通道漂移、流量计算机组分设置等因素均会导致计量的输差。天然气流过超声波流量计时，若天然气脱水或过滤不好，则可能含有水、铁屑或其他脏污时，这些混和的杂物会附着在流量计体内的管道壁上，或者在超声波的检测探头上慢慢堆积。这些微小颗粒改变了流量计的工作条件，就可能对超声流量计的计量产生偏差。



图1 调节阀现场示意图

2.2 系统本身参数测量的不准确

天然气是一种多组分混合气体，主要成分是甲烷，由于输送环境的差异，即输送时压力和温度的变化，会导致天然气偏离理想状态，这对天然气流量的计量带来较大误差。例如：温度、压力、压缩因子等参数的不准确会导致管存量计算的误差，从而对输差产生影响。并且天然气组分的变化也会导致计量系统测量的误差。

2.3 数据准确性

由于瑞丽输油气站运行倒班人员同时兼职计量工作，化验工作、计量数据计算、报表数据填报、场站运行操作和巡检无法同时兼顾均，计量工作的专业性无法得到保证，数据准确性无法有效保障。

2.4 管网泄露

由于设备的质量和腐蚀问题以及人为的管理疏忽，导致的如阀门内漏等泄露问题。管网系统泄漏可以分为偶然泄漏和长期泄漏，偶然泄漏指由于腐蚀和设备故障所导致的泄漏；长期泄漏指由于输送工艺本身的设计缺陷而导致的泄漏。普通运行泄漏是指由于某些场站在运行过程中由维修、防腐不当等各种原因造成腐蚀从而引发的偶然性泄漏。由上述各种原因而产生的天然气泄露，是真正损失的那部分气体，带来天然气输差。一般说来，输气系统的泄漏绝大部分属于偶然性泄漏。输气系统的泄漏直接导致系统起点与终点的流量计量值之间的差异，从而导致系统存在输差。对场站设备定期启闭并查漏，一经发现漏气，则及时消除隐患。

3. 跨境油气管道计量输差的改进措施

3.1 加强设备管理与维护

在跨境油气管道的运营中，计量设备的准确性和稳定性直接影响到输差的控制。为了有效降低计量输差，必须从加强设备管理与维护入手，确保计量设备的正常运行和准确计量。计量设备的管理和维护是确保其长期稳定运行的关键。根据国家管网云南公司德宏输油气分公司和西南石油大学的研究，调节阀在节流时产生的噪声和流场对超声波流量计的计量性能有显著影响。因此，必须加强对计量设备的日常管理工作，定期进行巡检和维护，及时发现并解决潜在问题。具体措施包括制定详细的设备巡检计划，明确巡检频次、内容和责任人；建立设备维护档案，记录设备的维护历史和故障情况；加强对设备的日常检查，包括外观检查、运行状态检查和性能测试等；以及定期对设备进行深度维护，如清洗、润滑、紧固等。

3.2 提高计量系统的准确性

在油气管道的计量系统中，提高计量系统的准确性是减少输差、确保贸易交接公平性和可靠性的关键措施。通过对调节阀与超声流量计的安装优化，以及定期校准计量设备，可以显著提高计量系统的测量精度。要定期对压力变送器、温度变送器等设备进行校准，定期校准可以及时发现和解决设备的潜在问题，延长设备的使用寿命。例如，定期校准可以发现传感器的磨损和老化问题，及时进行更换或维修。

3.3 提升数据准确性

在油气管道的计量系统中，数据的准确性是确保贸易交接公平性和可靠性的关键因素。为了提高数据的准确性，

需要从专业计量人员的培训和数据交叉计算核对两个方面入手。

一是培养专业的计量人员，确保数据采集和处理的规范性，通过案例学习，让计量人员了解常见的计量问题和解决方法。例如，通过学习瑞丽输油气站的案例，了解如何解决流量计的噪声干扰问题；二是采用数据交叉计算核对的方式，提高数据的准确性。

瑞丽输油气站计量专业人员每日早晚六点进行化验及计量数据计算，最终的计量数据提供给站控室值班人员进行PPS报表数据填报，填报完成后，由计量专业人员对填报的数据进行核对。计量工程师每日核对计量数据的准确性。

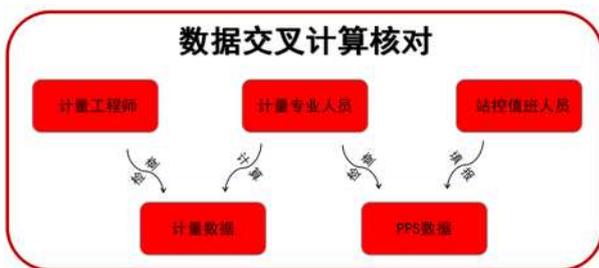


图2 数据交叉计算核对图示

3.4 改进系统参数测量

在油气管道的计量系统中，系统参数的测量精度直接影响到管存量和罐存量的计算结果，进而影响输差的准确性。为了提高系统参数测量的精度，需要从提高测量设备的精度和优化计算方法两个方面入手。

一是使用高精度的测量设备，确保压力、温度和压缩因子的准确性，如选择高精度的密度计，确保压缩因子计算的准确性。例如，使用精度为 $\pm 0.0001\text{g/cm}^3$ 的密度计，可以准确测量天然气的密度。瑞丽输油气站采用了精度为 $\pm 0.5\%$ 的气相色谱仪和精度为 $\pm 0.0001\text{g/cm}^3$ 的密度计，确保压缩因子计算的准确性。例如，2022年，瑞丽输油气站更新了气体组分分析仪和密度计，压缩因子计算误差从原来的 $\pm 1\%$ 降至 $\pm 0.5\%$ 。通过这些改进措施，瑞丽输油气站的系统参数测量精度显著提高，输差率从原来的 0.5% 降至 0.1% 。

二是采用更精确的计算方法，减少管存量和罐存量的计算误差。如采用三维建模计算罐存量，考虑储罐的几何形状和内部结构。例如，使用三维建模软件，建立储罐的三维模型，准确计算罐存量。或者采用多相流计算方法，考虑储罐内不同相态的流体分布。例如，使用多相流计算

方法，可以准确计算储罐内液体和气体的分布，提高罐存量计算的精度。

3.5 管道的可靠性保障

管道在投产初期常常会遇到干燥问题。根据 ASME B31.8《输气和配气管道系统》和《输气管道工程设计规范》(GB 50251-2003)，干燥是确保管道安全运行的重要步骤。如果干燥不彻底，管道内可能会形成水合物，导致“冰堵”现象，影响正常输送，从而增加计量输差。管道在运行过程中需要严格控制含水和杂质的含量。杂质的存在不仅会影响管道的输送效率，还可能导致流量计的磨损和腐蚀，增加计量误差。例如，根据《工业金属管道施工及验收规范》(GB 2050235-1997)和《油气长输管道工程施工及验收规范》(GB 50369-2006)，管道在设计和施工过程中应采取多种措施来控制 and 减少含水和杂质的含量。

管道的可靠性保障是减少计量输差的重要措施。可靠性保障包括管道的设计、施工、运行和维护等多个方面。管道设计不合理、施工质量不达标、运行管理不善等问题都可能导致管道故障和泄漏，进而影响计量准确性。例如，中亚管道哈国段在执行投产初期、验收前的管道内检测标准时，虽然存在一些困难和风险，但通过检测不仅能够判断管道的施工质量，还能够全面发现管道的缺陷，便于在施工末期就能够较快解决管道的隐患。管道的维护是保障管道长期稳定运行的重要手段。定期维护和检修可以有效发现和解决管道的潜在问题，减少故障和泄漏的发生。例如，国家管网云南公司德宏输油气分公司和西南石油大学的研究表明，通过建立输差预警机制、加强计量数据比对分析、调整流量计运行、调整工艺运行等措施，可以有效改善中缅天然气管道的输损情况。

结束语

跨境油气管道计量输差的影响因素多种多样，包括自然因素、人为操作与管理因素、设备因素以及安全与可靠性因素。自然因素如管道腐蚀、气候变化和地形变化等会对计量输差产生显著影响，特别是在复杂多变的地理环境中，这些因素可能导致管道的物理形态发生变化，从而影响计量的准确性。人为操作与管理因素也是导致计量输差的重要原因之一，操作人员的专业素质和责任心直接影响到计量数据的准确性，管理和制度的完善程度也决定了计量过程的规范性和可靠性。计量设备的准确性、稳定性和维护状况对计量输

差有直接影响, 设备的误差和维护不当会导致数据不准确, 从而产生输差。

参考文献:

[1] 梁挺, 苟洋, 梁龙贵, 等. 天然气管网输差计算方法研究与应用 [J]. 油气田地面工程, 2022, 41(6):34-40.

[2] 杜志波. 天然气管道输送计量输差的控制探讨 [J]. 科技风, 2021(1):2.

[3] 焦春锋. 成品油长输管道输差控制与分析 [J]. 科技成果纵横, 2020, 29(5):236-236.