

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

詹林川（国家管网集团广东省管网有限公司，广东 广州 510799）

摘要：超声波流量计以其测量精度高、安装维护方便等优势，在天然气贸易计量中得到广泛应用。但超声波流量计易受安装条件、天然气物性参数等因素影响，导致实际运行中计量精度难以保证。本文在分析超声波流量计应用现状的基础上，剖析了制约其计量精度的关键因素，提出优化超声波流量计在天然气计量中的精度策略，为提高天然气超声波计量准确度提供参考。

关键词：超声波流量计；天然气贸易；计量精度；影响因素；提升策略

0 引言

天然气以其清洁高效、易于储运的优势，已成为仅次于煤炭、石油的第三大能源。随着天然气市场化改革的推进，天然气贸易计量的公平准确已成为产供储销各环节的核心诉求。超声波流量计作为先进的天然气计量仪表，以其测量精度高、安装维护灵活等特点受到市场青睐。但超声波流量计在实际应用中，计量误差往往超出规范要求，影响贸易结算的公平性。产生计量偏差的原因错综复杂，既有仪表本身测量原理、设计工艺的局限，也有安装使用、检定维护不到位等人为因素，还受天然气组分、温压等工况参数波动的影响。厘清制约天然气超声波计量精度的关键因素，研究精度提升的可行路径，对于规范天然气贸易市场，保障多方经济利益具有重要意义。

1 超声波流量计在天然气计量中的应用现状

超声波流量计是利用超声波在流体中的传播时间差或频移成线性测量流体体积流量的新型仪表。与传统差压、涡轮流量计相比，超声波流量计具有测量精度高、重复性好、压损小、量程比大、输出信号灵活等优点，特别适用于洁净无腐蚀性介质的流量测量。天然气作为一种清洁燃料，其计量过程不易被污染、结垢，加之越来越高的能源计量精度要求，超声波流量计成为天然气贸易计量的优选仪表。我国天然气体积约占一次能源消费总量的8%，对外依存度超50%，进口LNG、管道气等多个来源，天然气市场交易日益频繁。

据不完全统计，目前约90%的天然气管输、城市门站及LNG接收站采用超声波流量计进行贸易结算，成为天然气计量的主力军。一些大型石化企业、燃气公司还引入双声道、多声道超声波流量计，进一步提升天然气计量的准确度。但从实际运行情况看，超声波流量计计量精度并不理想，误差常超标准要求。有

资料显示，国内天然气管输领域超声波流量计的实际计量偏差普遍在1%~3%，最高超8%，明显高于0.5%的行业规范。如何在复杂工况下发挥超声波流量计的最佳性能，已成为天然气计量领域的技术难题。这就需要深入分析制约天然气超声波计量的影响因素，有针对性地制定提升策略，推动超声波流量计在能源计量中发挥更大作用。

2 超声波流量计在天然气计量中的精度影响因素

天然气超声波计量是一个系统工程，其测量精度易受多种因素影响。仪表本身设计工艺、安装调试、物性修正等每个环节都关系着计量结果的准确性。具体而言，影响天然气超声波计量精度的因素主要有：

一是流量计选型不当。超声波流量计有时差法、多普勒频移法等多种测量原理，不同类型适用的工况条件存在差异。部分用户盲目引进新产品，忽视介质物性、工艺条件的匹配性，导致测量时灵敏度不足或过量程、速度型误差超标等问题。

二是安装工艺不过关。超声波流量计对安装工艺的要求很高，上下游直管段长度、同心度都会显著影响测量精度。但许多用户为节约成本，简化安装流程，管段过短弯曲、变径过多，造成流场畸变、测量误差增大。

三是检定校验滞后。超声波流量的检定周期一般为1~2年，但不少用户为避免停工损失，长期不校验流量计。仪表长期使用易产生漂移，测量误差逐渐积累，且缺乏有效的误差修正机制。

四是物性修正不到位。天然气的组分和物性参数如密度、黏度等是流量计的重要修正参数，但许多计量点缺乏实时监测手段，难以获取动态准确的物性数据，采用标况数据折算，导致计量结果偏离实际值。五是工况波动影响大。天然气超声波计量对温度、压力波动较为敏感。当温压波动超过一定范围时，声速

等测量参数会发生漂移,引起系统误差。但目前缺乏有效的温压波动补偿机制,天然气水分含量、管壁污垢等因素也会对测量精度产生一定影响。

3 超声波流量计在天然气计量中的精度提升策略

3.1 优化超声波流量计选型,匹配工况条件

提高天然气超声波计量精度,首先要做好流量计选型工作。选型是测量的基础,直接关系到计量的可靠性和准确性。在超声波流量计选型时,要充分考虑天然气的工艺参数、管网条件等因素,针对不同的应用场景,选择合适的测量原理和规格型号。一般来说,对于低流速、含固体颗粒较多的天然气,应优先选用多普勒频移法超声波流量计。多普勒频移法利用声波频率的多普勒频移效应测量流体流速,对流体中悬浮颗粒的浓度和粒径要求较高,适用于脏污、夹杂固体颗粒的气体介质。而对于高流速、洁净度较好的天然气,时差法超声波流量计则更具优势。时差法通过测量声波顺流和逆流方向传播时间的差值来计算流速,对被测气体的洁净度要求较高,测量精度更优。

在选型过程中,还要重点关注流量计自身的设计工艺。由于天然气环境的复杂性,超声波流量计的材质选择、电极设计、信号传输方式等都会影响其测量性能。应选用耐腐蚀、耐高温的材料,如不锈钢、哈氏合金等,确保流量计在长期使用中性能稳定。电极结构要合理,宜采用插入式、夹持式等设计,避免电极与管壁直接接触,减少结垢腐蚀。信号传输线路要采用高质量的屏蔽电缆,传输方式宜采用数字通信,提高抗干扰能力,只有综合考虑天然气工况特点,选用设计先进、性能优良的产品,才能为测量精度控制打下良好基础。

3.2 规范超声波流量计安装,优化测量工况

提高天然气超声波计量精度,除了选对流量计,还要把流量计用对。安装工艺的优劣直接影响测量精度,是计量效果的关键影响因素。在超声波流量计安装时,要严格遵守国家标准和行业规范,细化安装要求,优化测量工况,为准确计量创造条件。安装前,要对天然气管道进行彻底清洗,去除管道内壁的氧化皮、焊渣、污垢等杂质,恢复管道的光滑度,减少气流的湍动。安装时,要严格控制上下游直管段长度,一般要求上游直管段长度不小于20倍管径,下游直管段不小于10倍管径。管段要保持良好的同心度,避免管道弯曲、扩缩等变径过多,减少局部阻力损失对测量的影响。流量计安装位置应避开管道的最低点,

防止因积液、泥沙沉积而堵塞流量计。如果管道设有压力调节阀、旁通阀等调节装置,应将流量计安装在调节阀的下游,避免调节阀开关等操作扰动引起的测量误差。流量计传感器的安装要格外讲究,是测量精度的决定性因素。传感器安装要严格对中,确保超声波发射与接收探头安装在同一根弦线上,且垂直于管道中心轴线。超声波入射角要符合设计要求,一般为45度,偏差不应超过1度。传感器与管道的耦合要紧密,中间不能有气泡,应使用专用的耦合剂,只有规范、细致、科学的安装,才能最大限度地发挥超声波流量计的测量性能。

3.3 加强超声波流量计维护,定期开展校验

影响天然气超声波计量精度的另一个关键因素是流量计的校验与维护。超声波流量计作为一种精密仪表,其测量原理复杂,涉及声学、流体力学、电子学等多个学科,产品技术难度大,生产工艺要求高,在复杂的天然气环境长期使用,其性能稳定性容易受到温度、压力等外界因素的影响,导致测量精度逐渐漂移。因此,有必要建立科学完善的超声波流量计检定校验规程,定期开展流量计校验维护,消除测量误差,确保天然气计量的准确可靠。在制定校验规程时,要紧密结合天然气计量的特点,在现行国家标准的基础上,补充流量计自诊断、零点测试、系统误差测试等关键项目,突出实用性、可操作性。

校验内容应涵盖流量计各项静态性能指标,如精确度、重复性、稳定性等,以及在不同工况条件下的动态性能表现。校验规程要明确流量计检定周期、检定条件、过程要求和判定标准,对流量计的检查、调试、测试、计算、评定等环节提供细化的操作指南,确保校验过程的规范性、一致性。在此基础上,还要加强天然气超声波流量计溯源传递体系建设。依托国家级天然气流量标准装置,构建从国家一级标准到省级标准再到用户工作标准的量值传递链条,定期开展流量比对,保障计量溯源的同一性。同时,应充分利用信息化、智能化手段,建立天然气超声波流量计远程在线校验系统,实现流量数据的网上实时比对和溯源传递,提高校验工作效率。

在日常运行维护中,要定期开展流量计检定校准工作。根据检定规程要求,有针对性地开展静态误差、重复性误差、系统误差等校验测试,重点评估流量计在不同工况点的实际计量表现,及时发现计量异常。对于超差的流量计,要及时进行修复、调试、复校或

报废更换。平时要加强流量计的维护保养,定期对天然气管道进行清洗,防止污垢积聚影响测量精度。传感器、电缆线路等核心部件要定期检查,发现松动、脱落、破损等问题要及时处理,流量计的检定校验如同体检,只有常抓不懈,才能确保天然气计量的生命力,让超声波流量计在复杂工况中始终以最佳状态服役。

3.4 建立天然气物性参数在线监测系统,精确修正流量计显值

天然气作为一种多组分混合物,其体积流量的精确计量依赖于气体物性参数的准确修正。天然气的物性参数如组分、密度、黏度、压缩因子等,都会影响超声波在气体中的传播时间,进而影响流量计显值的准确性。

传统的天然气物性参数测定大多采用人工取样、离线分析的方式,存在检测频次低、时效性差、代表性不强等问题,无法满足流量计实时修正的需求。因此,要建立天然气物性参数的在线监测系统,为流量计的物性修正提供实时可靠的数据支撑。天然气物性参数在线分析系统应该涵盖在线气相色谱仪、在线密度计、在线水露点仪等核心仪器,实时连续监测天然气的组分、热值、密度、湿度等关键参数。同时,在线分析仪表要满足防爆、耐腐蚀的要求,适应复杂的天然气工况条件。

建议在流量计的进出口管道上安装气体在线质量流量计,实时采集和传输天然气物性参数。流量计和在线监测仪表应实现数据共享,通过数据分析处理,形成动态更新的天然气物性数据库,为流量计修正提供第一手数据,及时、准确、可靠的物性参数,是天然气体积修正不可或缺的基础。以数据为纽带,打通物性检测和流量计量的数据链路,让流动的数据支撑流动的天然气,是提高天然气计量准确度的关键一招。

3.5 开发天然气计量修正与补偿算法,动态修正流量计系统误差

天然气超声波流量计虽然测量精度较高,但其测量原理决定了流量计的显值并非天然气的标准体积流量,需要进行标况修正。流量计的标况修正不能是一蹴而就的,而应该是一个动态的过程。天然气的物性参数如组分、温压等是时刻变化的,环境温度、大气压力也在动态波动,这就要求流量计具备实时修正的能力。但目前许多流量计的修正系数往往设置为固定值,缺乏与天然气参数动态匹配的机制,导致测量误

差难以消除。因此,有必要加强天然气计量数据的修正与补偿,开发科学合理的修正算法,实现流量数据与天然气状态参数的同步纠偏,最大程度上挖掘超声波流量计的测量潜力。在流量计系统中应设置独立的修正模块,将天然气物性参数、温压参数等引入,根据天然气的状态方程,在线修正流量计的标况体积流量。修正系数不能是一成不变的,而应根据天然气的工况条件实时校正。

在此基础上,还要充分考虑环境温度、大气压力的波动,建立天然气计量修正与补偿算法。运用数据挖掘、机器学习等技术,充分利用流量、温度、压力等历史数据,构建数据驱动模型,刻画环境参数波动与计量偏差的关联规律。通过算法自学习,不断修正完善流量计的测量模型,形成实时动态补偿修正量,在线叠加到流量计的输出信号中,实现整个计量系统的自适应动态修正。

4 结语

面向未来,天然气计量工作者要紧跟能源变革趋势,一方面加强超声波计量基础研究,优化传感器设计、信号处理等关键技术,提高流量计的本质精度;另一方面紧抓信息化发展机遇,加强天然气计量数据的分析与应用,助力天然气全产业链的数字化转型。持续创新,砥砺奋进,必将推动超声波流量计在天然气贸易计量中发挥更大的作用,助力天然气产业实现高质量发展。

参考文献:

- [1] 姜国芳.超声波流量计在天然气计量中的应用探析[J].工程技术,2022(12):3.
- [2] 袁巍穆,屈艳梅,林炜,等.超声流量计在天然气计量中的具体应用探讨[J].机械与电子控制工程,2022(09):93-95.
- [3] 黄永飞,郑洪龙,郑策,等.天然气超声流量计送检流程优化方法[J].油气储运,2024,43(1):111-119.
- [4] 聂文.影响超声波流量计计量准确性的因素与对策[J].石油石化物资采购 2022(2):101-103.
- [5] 冀守虎,孙晨,安永伟,等.超声波流量计对掺氢天然气管路结构的适应性研究[J].力学与实践,2023,45(2):333-344.
- [6] 王海涛,靳英涛.超声波流量计在青海油田天然气贸易计量中的应用[J].甘肃科技,2022,28(5):68-70.
- [7] 张树华.超声流量计在天然气计量系统应用中应注意的问题[J].计量技术,2022(8):14-16.