

接收站天然气计量误差影响因素分析及校正策略研究

展茂杰（六盘水中石油昆仑天然气有限公司，贵州 六盘水 553000）

摘要：在全球LNG贸易不断扩大的背景下，接收站天然气计量精度对贸易公平性与运营安全至关重要。本文针对接收站天然气计量误差影响因素进行了分析，识别了设备、环境参数和人为操作等多方面的误差源。通过提出多维度的校正策略，本文针对设备层、系统层和智能技术融合进行了优化，设计了包括设备校准、实时监控和持续改进机制在内的误差校正框架，并为后续研究和标准制定提供一定的理论参考。

关键词：接收站；天然气计量；误差校正；技术融合；持续改进

中图分类号：TE973 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)022-0106-03

Analysis of Influencing Factors of Natural Gas Measurement Error in Receiving Stations and Research on Correction Strategies

Zhan Maojie(Liupanshui CNPC Kunlun Natural Gas Co., Ltd., Liupanshui Guizhou 553000, China)

Abstract: Against the backdrop of the continuous expansion of global LNG trade, the measurement accuracy of natural gas in receiving stations is crucial for trade fairness and operational safety. This paper analyzes the influencing factors of natural gas measurement errors in receiving stations, identifying error sources from multiple aspects such as equipment, environmental parameters, and human operations. By proposing multi-dimensional correction strategies, this paper optimizes at the equipment level, system level, and the integration of intelligent technologies, and designs an error correction framework including equipment calibration, real-time monitoring, and a continuous improvement mechanism. It also provides certain theoretical references for subsequent research and standard formulation.

Keywords: Receiving Station; Natural Gas Measurement; Error Correction; Technology Integration; Continuous Improvement

天然气作为清洁能源在全球能源结构中的地位日益凸显，接收站作为LNG（液化天然气）贸易交接的关键节点，其计量系统的准确性直接影响贸易公平性与运营安全性。近年来，随着国际LNG贸易规模扩大和计量技术迭代，计量误差控制已成为行业关注的焦点问题。

1 接收站天然气计量技术现状分析

1.1 主流计量技术应用特征

接收站天然气计量技术已发展多年，基于质量流量计和超声流量计的动态计量体系已成为行业标准。这些技术在一定程度上大幅提升了天然气计量的精度和实时性，尤其在LNG接收站中，能准确监测流量、温度和压力。然而，低温环境下对流量计的标定仍面临挑战，液化天然气的低温特性也可能导致标定偏差^[1]。虽然近年来流量计的低温标定技术有所突破，但极端温度波动对设备稳定性的影响仍需进一步研究。

1.2 计量设备性能参数分布

接收站天然气计量系统的精度与设备性能紧密相关。主要设备如流量计算机和温压补偿单元的精度存在明显差异，不同品牌设备间的兼容性问题可能导致系统误差，尤其在设备间的数据交换和补偿过程中，这些误差往往难以发现并消除。因此，设备的互操作

性和高精度要求对计量结果的准确性至关重要。

1.3 计量管理标准体系演进

随着LNG贸易的发展，计量管理标准也在不断完善。ISO 20765标准提升了气相计量的准确性，但对于LNG液态到气态的相变过程仍缺乏完整的动态计量标准。现有技术能够精准测量气态天然气，但在液态LNG相变过程中的计量精度保障方面仍存在空白，需要进一步研究和制定相关标准。

2 计量误差生成机制与影响因素

2.1 设备固有误差传导路径

在接收站天然气计量过程中，设备的固有误差是误差生成的主要来源之一^[2]。尤其是传感器漂移误差，这种误差会在计量链中逐步累积，最终影响整个计量系统的准确性。传感器，尤其是温度、压力和流量传感器，通常会随着使用时间的增加产生漂移，这意味着它们的测量值与实际值之间会有一定的偏差。低温环境对金属材料的热胀冷缩特性也会产生影响，尤其是在液化天然气接收站，温度波动较大，金属部件可能因为温度的变化发生机械形变，导致测量误差的出现。

2.2 环境参数扰动影响机制

接收站通常位于海边或开阔区域，环境参数的波

动对天然气计量也产生显著影响^[3]。接收站特有的昼夜温差波动是其中一个重要因素。昼夜温差较大的环境条件下，气体的密度和温度发生变化，进而影响流量和体积的测量。

此外，船舶在接收站停泊时，船舶晃动也会引起液态 LNG 的分层现象，这使得液体的密度测量难以准确反映真实工况。液体表面由于晃动而分层，可能导致低密度区域的气体测量误差，影响整体计量的准确性。这种环境因素的影响是系统性的，具有一定的周期性，容易形成长期的计量偏差，因此必须在计量系统中对这些扰动因素进行动态补偿。

2.3 人为操作误差形成规律

除了设备和环境因素外，人为操作误差也是计量误差的重要来源之一^[4]。在复杂工况切换时，参数补偿的设置滞后，可能导致实际计量值与预期值存在较大差异。尤其在接收站，涉及多种设备与参数，操作人员可能因经验不足或操作不当，导致设定值与设备状态之间的不匹配，进而产生误差。例如，在设备维护周期与设备性能衰减之间存在失配时，设备可能未能在最优状态下运行，从而影响计量精度。操作人员在设置补偿参数时，若未能及时调整设备状态或未能考虑设备老化的影响，也可能导致误差累积。

3 多维误差校正策略构建

在接收站天然气计量系统中，误差的产生是多方面因素共同作用的结果，因此，单一的校正方法往往难以全面解决所有误差问题。为此，本文提出了一个维度的误差校正策略体系，建议从设备层、系统层和智能技术融合等多个角度进行全面优化，确保计量结果的高精度与高稳定性。

3.1 设备层校正技术优化

设备层校正技术的优化是误差校正的基础。传统的计量系统通过周期性校准来控制误差，但这往往存在一定的滞后性和局限性。为提高设备校准的效率与精度，本文提出了一种基于贝叶斯网络的误差溯源方法。贝叶斯网络能够有效地量化设备之间的误差传递关系，并通过推理方法识别各个环节中误差的来源，从而实现精确的误差修正。这种方法不仅可以帮助判断设备故障的根本原因，还能够动态调整设备参数，及时进行补偿，从而减少由于设备漂移或环境变化带来的影响。

此外，本研究还提出一种流量计、温度传感器和压力变送器的误差耦合修正模型。该模型需要基于设备之间的误差传递关系，利用系统集成的优化算法，对各设备的测量值进行动态调整，确保每个设备的误差都能得到准确修正。通过这种耦合修正方式，可以

大大提高整体系统的计量精度，尤其在多种设备共同协作时，能够避免设备间误差的相互叠加，保证计量结果的可靠性。

为了适应接收站中不断变化的环境参数，本研究认为还需要开发一种自适应环境参数的动态补偿算法。该算法可以实时监控环境因素的变化，如温度、湿度等，并基于这些实时数据调整设备的测量设置，从而在不断变化的环境条件下保持计量精度。例如，当气温发生显著变化时，算法可以自动调整传感器的参数，以减少温度波动带来的误差影响。

3.2 系统层管理强化策略

除了设备层面的校正技术，系统层的管理强化也是提升计量精度的关键。接收站计量系统通常由多个子系统组成，每个子系统都可能存在不同程度的误差源。因此，系统层的管理策略不仅要关注设备本身性能，还需要通过全局优化来控制系统级别的误差^[5]。由此，本研究认为需要设计一种包含预防性维护、实时监测和异常诊断的三级管控体系，通过全方位的监控和维护，确保计量设备在其生命周期内保持最佳工作状态。

首先，预防性维护策略能够在设备出现明显故障前进行干预，避免由于设备老化或故障导致的误差增加。

其次，实时监测系统通过实时采集设备状态和环境数据，能够及时发现设备性能的波动，并进行自动调整或报警，确保系统始终处于最佳运行状态。

最后，异常诊断系统利用先进的故障诊断技术，结合设备历史数据与实时数据，通过智能分析判断设备是否出现异常，及时采取相应的处理措施，避免误差对整体计量结果的影响。

此外，还需要建立计量设备全生命周期健康状态评估指标库，以此提供更加准确的设备状态评估数据，指导设备的维护与更新。通过对设备性能的长期监测和评估，可以提前识别出设备潜在的问题，确保设备能够在最佳状态下工作。

3.3 智能校正技术融合路径

随着智能技术的快速发展，数字化技术和人工智能（AI）逐渐成为计量系统优化的重要工具。为了进一步提升计量精度和误差校正效率，本研究认为需要建立一种智能校正技术融合路径，探索数字孪生技术在计量系统中的应用。数字孪生技术能够通过创建虚拟模型对实际计量设备进行仿真，从而提前预知设备在不同工况下的运行表现。

通过对设备虚拟模型与实际设备的实时对比，系统可以及时识别出误差源，并进行智能调整。其中，

基于机器学习的误差趋势预测模块是智能校正技术的重要组成部分。通过大量历史数据的训练，机器学习算法可以对计量误差进行趋势分析，预测未来可能出现的误差变化，并提前采取校正措施。这不仅能够提高误差修正的时效性，还能根据设备和环境的变化，自主优化校正策略，形成一个闭环的智能优化系统。

此外，人工智能技术在数据处理和模式识别方面的优势，也可以用于识别系统中潜在的误差模式。通过大数据分析，AI 可以找出不同设备、不同操作条件下误差产生的规律，从而为制定更加精准的校正策略提供数据支持。

4 校正策略实施与验证体系

接收站天然气计量系统的精确性不仅依赖于合理的校正策略，还需要有效的实施框架和验证体系以确保校正措施的有效性。为了系统性地提升计量精度，必须制定一套完整的校正策略实施方案，并结合实时监控技术和持续优化机制，保障策略的落实和效果。

4.1 分级实施框架设计

在实施校正策略时，考虑到接收站天然气计量系统的复杂性和设备差异性，单一的校正方案可能无法全面解决所有问题。因此，本研究提出了一种“单设备校准—子系统调试—全站联调”的三阶段实施框架。

4.1.1 单设备校准

在这一阶段，首先需要对每个关键设备进行独立的校准，包括流量计、温度传感器和压力变送器等。这一环节的目标是确保每台设备的测量值能够达到其额定精度，并能够在标准环境条件下稳定运行。单设备校准是误差控制的第一步，通过对单个设备的精确调整，为后续的系统层校正提供基础数据。

4.1.2 子系统调试

在完成单设备校准后，接下来将对接收站的各子系统进行调试。这一阶段主要聚焦于设备间的协同工作，确保各个计量设备在运行过程中能够互相协调，避免由于设备间的兼容性问题而导致的误差传递。例如，流量计算机和温度压力补偿单元之间需要精确配合，才能准确地测量天然气的流量、压力和温度。通过子系统调试，系统集成误差得到进一步消除。

4.1.3 全站联调

最后，在单设备校准和子系统调试完成后，进行全站联调，确保所有设备和系统共同协调工作，满足最终的计量精度要求。在此阶段，调试过程中需要对设备的实时数据进行集成分析，确保系统能够在实际运行环境中稳定、精准地进行天然气计量。

4.2 过程监控技术集成

为了确保校正策略的实施效果，并在过程中及时

发现潜在问题，本研究认为需要构建一个多源数据融合的实时监控平台。该平台将集成 SCADA（监控与数据采集）系统与实验室信息管理系统（LIMS），实现对接收站天然气计量系统的全面监控。

4.2.1 实时监控平台

通过集成 SCADA 系统，平台可以实时采集现场设备的运行数据，如流量、温度、压力等关键参数。同时，结合实验室信息管理系统的数据，进行综合分析，确保实验室测试与现场测量结果的一致性。该平台不仅能提供设备的即时状态，还能根据设定的阈值自动报警或启动调节机制，确保设备和系统始终处于最佳工作状态。

4.2.2 误差校正效果的可视化追踪与量化评估

该平台通过图表和仪表盘等可视化方式，实时展示误差校正前后的效果。例如，展示流量计的测量偏差变化，或是温压补偿单位的调整效果。通过对比不同时间点的数据，能够清晰地看到误差校正带来的精度提升。这种实时的可视化追踪和量化评估，不仅为设备操作人员提供直观反馈，还能为后期的维护和优化提供数据支持^[6]。

5 结语

针对接收站天然气计量误差影响因素的研究，对于提升天然气计量系统的准确性和稳定性具有重要意义。在长期的 LNG 贸易发展过程中，需要持续优化计量设备的精度和增强系统的误差校正能力，解决设备间的兼容性问题、环境扰动带来的影响以及人为操作误差，从而实现计量精度的提升和系统的可靠性保障，完成对于全球能源贸易计量公信力的持续性优化。

参考文献：

- [1] 冯渝, 陈继, 向勇均. 天然气计量检定智能化技术研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(20):193-195.
- [2] 王力, 王寿喜, 邓传忠, 李伟, 高翔. 基于实时组分的天然气流量在线计量方法 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2024, 39(04):117-123.
- [3] 高京卫, 孙秀卿, 马啸, 胡项飞, 李佳. 天然气能量计量分析系统性能评价 [J]. 自动化与仪器仪表, 2024, (05):260-264.
- [4] 蔡英华, 吕寒英. 天然气流量计量仪表选型与应用探讨 [J]. 石油化工自动化, 2023, 59(S1):90-91.
- [5] 仇山珊, 付海泉, 等. 液化天然气槽车充装精准计量的研究与应用 [J]. 工业计量, 2023, 33(06):10-14+20.
- [6] 杨书忠, 殷丽秋, 李皓月, 等. LNG 接收站到港贸易交接计量误差及影响因素分析 [J]. 石油与天然气化工, 2022, 51(1):67-72.