

长输管道仪表自动化控制系统中计量精度优化与校准方法

李海东（中国石油管道局工程有限公司第一分公司，河北 廊坊 065000）

郭 敏（廊坊职业技术学院，河北 廊坊 065000）

摘要：为了提升长输管道仪表自动化控制系统的计量精度，本文简要分析了影响长输管道仪表自动化控制系统的计量精度的因素，制定了相应的计量精度优化策略，并针对仪表自动化控制系统的校准方法提出了相应的建议。研究表明，长输管道仪表自动化控制系统在运行过程中，面临着许多可能影响计量精度的因素，有效优化其计量精度，合理对仪表进行校准，有利于提升仪表自动化控制系统的计量精度和计量可靠性，为实时动态了解长输管道内部流量提供依据，保证天然气输送的稳定性。

关键词：长输管道；仪表自动化控制系统；计量精度；仪表校准

中图分类号：TE973 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)032-0097-03

Optimization and calibration method of measurement accuracy in instrumentation automation control system of long distance pipeline

Li Haidong (China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Co., Ltd. First Branch, Langfang Hebei 065000, China)

Guo Min (Langfang Vocational and Technical College, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In order to improve the measurement accuracy of the instrumentation and automation control system in long-distance pipelines, this paper briefly analyzes the factors affecting the measurement accuracy of the system, formulates corresponding optimization strategies for measurement accuracy, and provides suggestions for the calibration methods of the instrumentation and automation control system. The research shows that during the operation of the instrumentation and automation control system in long-distance pipelines, there are many factors that may affect measurement accuracy. Effectively optimizing measurement accuracy and reasonably calibrating the instruments can enhance the measurement accuracy and reliability of the system, providing a basis for real-time dynamic monitoring of the internal flow in long-distance pipelines and ensuring the stability of natural gas transmission.

Keywords: long-distance pipeline; automated control system; measurement accuracy; instrument calibration

天然气长输管道在天然气贸易运输过程中扮演着重要角色，其交接计量是关乎国家和企业利益的一项工作，在长输管道运行管理的重点。随着我国长输管道建设力度提升，用于天然气流量计量的自动化仪表得到了广泛应用，其计量精度的高低在一定程度上会影响长输管道运行管理的效果，决定了企业的经济效益^[1]。针对长输管道仪表自动化控制系统的运行，如何对其计量精度进行优化，并对仪表进行校准，已成为国内学术界关注的焦点。

1 影响长输管道仪表自动化控制系统的计量精度的因素

1.1 仪表的选择与维护

在长输管道仪表自动化控制系统中，仪表精度与计量范围不匹配，未结合计量点的气量大小、重要性等进行合理选型，或者在配置自动化仪表时存在参数设置不当的问题，都可能导致系统的计量精度下降。此外，自动化仪表投入使用后，可能存在维护保养不到位、仪表老化或损坏等问题，可能导致数据准确性下降，降低系统的计量精度。

1.2 外部环境因素

长输管道自动化控制系统在运行过程中，其计量点的环境温度、压力波动可能超出仪表的计量范围，容易引起计量误差。此外，在仪表自动化控制系统中，各类传感装置在运行过程中容易受到外部环境的影响，可能对系统运行稳定性带来不良影响，造成仪表测量的精度下降，难以获取高精度的原始数据，可能对仪表的实际计量结果造成影响，难以保证计量结果的精度。

1.3 长输管道故障

长输管道仪表自动化控制系统的计量精度，还与长输管道本身有关。部分长输管道的密闭性不佳，且管壁长期受到腐蚀存在穿孔的问题，或者受到外力破坏引发天然气泄露，在长输管道出现此类故障后也会影响仪表的计量精度，降低仪表自动化控制系统的应用效果。

2 长输管道仪表自动化控制系统的计量精度优化策略

2.1 合理选择仪表，加强运行管理

长输管道仪表自动化控制系统中，要想提高计量

精度，应做好仪表选型工作，通过合理选择计量仪表保证计量数据的精准性。计量仪表的选择，需要考虑仪表性能、天然气特性、安装要求、环境因素、维护要求和价格等，在保证计量仪表性价比的基础上，结合长输管道布置方向、天然气流动方向、上下游直管段长度、长输管道管径大小、长输管道及仪表自动化控制系统维护空间等。计量仪表的选择应保证所选仪表适用于长输管道沿线各类复杂环境，同时要保证计量结果的准确性，在运行时能够获取精准的数据，以便为天然气输配提供可靠的支持。所选计量仪表具备短周期检测的能力，能够及时将计量数据通过仪表进行显示，保证计量全过程的稳定性。在仪表选型后，企业要对仪表进行规范化管理，定期对系统中的计量仪表进行校准，制定完善的计量仪表周期检测计划，对不合格的计量仪表及时进行隔离和处理。在确定计量仪表的型号后，企业要严格把关计量仪表的质量，保证计量仪表符合长输管道天然气流量计量的要求，并加强对仪表的维护、管理与保养，从源头上保证仪表的计量精度，避免因设备质量问题可能对长输管道天然气流量计量带来的不良影响^[2]。在长输管道仪表自动化控制系统中，企业可以结合系统的实际运行需求，建立相应的计量管理机制，完善计量仪表的运行管理程序，对计量仪表的筛选、检定等可借助自动化控制系统提升计量仪表运行管理的自动化程度，在保证其计量精度的基础上降低系统运行管理投入的成本。

2.2 优化安装调试，消除计量误差

长输管道仪表自动化控制系统中，不同仪表的安装工艺存在一定差异。长输管道仪表自动化控制系统常用仪表为超声波流量计，其可以通过优化安装和调试方式来提升计量精度。在安装条件下，计量仪表的安装位置若处于上游直管端，距离不得小于10倍管径，若处于下游直管段则需要将距离控制在5倍管径以上、计量仪表的安装位置，应尽量远离磁场较强和振动较强的设备，尽量降低外部环境因素可能对计量结果造成的影响。系统的安装还需要确定好传感器的安装位置，以便系统有效传递信号。针对系统中的主要控制设备，可采取恒温密封舱设计形式，利用舱体结构有效降低外部环境变化可能对设备内部温度造成的影响，降低环境温度波动可能导致的计量精度下降的问题。智能传感器周边还可以设置减震设备，降低振动导致传感器振动，减少因振动导致的信号采集误差，通过优化系统的安装方式有效消除计量误差。系统安装结束后，还可以针对仪表接线口、盖子等容易受潮的部位进行密封处理，如涂抹润滑油预防密封胶条老化，闲置接线口可以采用专用堵头进行密封，使

用干燥剂、防潮柜等降低环境湿度，降低外部较高湿度环境可能对仪表计量精度造成的影响。在系统安装结束后，工作人员应及时进行调试，设定好计量仪表的参数，合理确定探头的间距、介质类型、管道材料等，做好信号角度工作，确保系统可实时采集和接收计量数据，保障计量结果的精确性。

2.3 加强管道监控，改善运行环境

长输管道仪表自动化控制系统运行时，还可以借助系统中的智能传感器、计算机程度对长输管道的运行情况进行监控，在仪表自动化控制系统中建立长输管道实时运行情况的计量数据库，便于掌握长输管道的运行情况，识别可能导致管道故障、气体泄漏等影响仪表计量精度的因素^[3]。在长输管道施工建设或运行管理过程中，企业可以构建一套基于仪表自动化控制系统的长输管道监控、计量与测算功能体系，以物联网技术、智能传感技术、自动化控制技术等作为支撑，借助各类智能传感器对长输管道及计量仪表的实时状态进行持续性监控，一旦发现监控参数发生变化，系统可以及时发出报警，提醒工作人员进行处理，在保证长输管道正常稳定运行的同时，通过改善长输管道运行环境提高仪表计量精度。

3 长输管道仪表自动化控制系统的校准方法

为进一步提高长输管道仪表自动化控制系统的计量精度，有效发挥计量仪表的综合性能，企业应做好长输管道仪表自动化控制系统的校准工作，具体可以采取以下几种校准方法：

3.1 搭建虚拟仪器平台

长输管道仪表自动化控制系统的校准，可以通过搭建虚拟仪器平台，应对海量数据处理和数据分析任务，提供强大的数据采集与数据分析能力。

在系统校准前，虚拟仪器平台的建立，应选择合适的硬件设施，如传感器、执行器、数据采集卡等，在虚拟仪器平台上设定数据采集、处理、分析等计算机软件，开发数据采集驱动、数据存储与管理、数据分析与可视化呈现等功能模块。在虚拟仪器平台的支持下，长输管道仪表自动化控制系统的校准，可以通过对计量仪表的结构、工作原理、工作性能等进行分析，搭建计量仪表的数学模型，将该模型应用于模拟计量仪表在不同工况下的运行状态，为后续仪表的校准提供支持^[4]。在数学建模的过程中，工作人员要综合考虑计量仪表的工作参数、运行环境、故障类型等，明确这些因素对仪表性能、计量精度等可能造成的影响，在完成数学建模后采用虚拟仪器技术对虚拟计量仪表进行测试和校准，通过将计量仪表的实际计量数据与仿真结果进行比较，判断仪表的性能是否符合使

用要求。

3.2 计量仪表智能校准

长输管道仪表自动化控制系统拥有完备的数据采集、预处理和分析功能，结合系统采集的各类数据可实现计量仪表的智能校准。因此，长输管道仪表自动化控制系统的校准，可以在系统中开发一套仪表自动化智能校准子系统，在对自动采集的数据进行清洗、过滤、降噪后，运用数据驱动算法通过不断进行实时监控和实时反馈调节优化校准参数，提升计量仪表的性能。例如，系统中可以引入遗传算法和粒子群优化算法建立智能模型，自动在多维度控制中通过高效搜索获取仪表校准的最优解，其目标函数设定如下：

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (1)$$

式（1）中： $f(x)$ 代表混合优化模型的目标函数； y_i 表示第 i 个测量值； \hat{y}_i 表示预测值； σ_i 为第 i 个测量值的标准差。

该目标函数可以利用最小化校准误差，对仪表校准的结果精度进行评价，在整个算法流程中粒子群优化算法可用于寻找最佳的仪表校准参数，提升校准效果并降低仪表计量结果与实际值存在的偏差。

长输管道仪表自动化控制系统的智能校准流程，以虚拟仪器平台的实时动态监控作为基础，利用自动化控制系统的数据采集模块获取计量仪表的运行状态与运行参数后，可以将流量、压力、温度等参数作为主要变量，为仪表的智能校准提供支持^[5]。长输管道仪表自动化控制系统的智能校准子系统，应具备自适应能力，可以根据长输管道及计量仪表所处的工作环境变化，自动调整智能校准策略，提高其在不同工况下的智能校准效果，保障计量仪表的适应性和稳定性，从根本上为提高计量精度提供支持。

3.3 完善量值溯源体系

在长输管道仪表自动化控制系统中，量值溯源是计量仪表校准的根本保障。长输管道仪表自动化控制系统的校准，只有结合国家计量法律法规和国际惯例，建立适应自身需求的量值溯源体系，才能保证仪表校准的效果。企业可以根据《计量标准考核规范》（JJF 103—2023）的规定，建立针对长输管道仪表自动化控制系统的最高计量标准，将其作为仪表校准的重要依据，在建立最高计量标准的同时组建相应等级的工作用计量标准，为各类仪表量值溯源提供依据，建立完善的量值溯源体系。此外，长输管道仪表自动化控制系统的校准过程，应加强对人、机、料、法、环等要素的控制，按照 JJF 103—2023 标准针对实际校准过程中采用的计量标准建立考核备案制度，明确具体的计量

标准。在建立计量标准的过程中，企业应遵循科学合理、实用性和兼容性等原则，充分论证计量标准的名称、等级、范围及数量，以便仪表校准能满足仪表计量精度提升的要求，使长输管道仪表自动化控制系统的校准工作有章可循。此外，长输管道仪表自动化控制系统的计量检定工作角度特殊，其计量和校准制度的制定，除了要符合 JJF 103—2023 标准外，还可以适当引入“ISO 10012”等标准工作，将其作为长输管道仪表自动化控制系统的计量精度优化和校准的参考指南。

3.4 仪表检定人机交互设计

传统计量仪表的校准，容易受人为主观因素的影响。基于智能检定的长输管道仪表自动化控制系统中，可以采取人机交互设计形式，将复杂的仪表校准过程及结果转化为可供用户直观了解的数据信息，提升仪表校准过程的可操作性^[6]。基于人机交互设计，用户可以通过人机交互界面对于长输管道、计量仪表等进行远程监控，或者远程执行仪表的校准工作，对仪表健康状态以及仪表校准过程的实时监控，保障仪表检定的结果。

4 结语

综上所述，本文简要分析了长输管道仪表自动化控制系统的计量精度影响因素，制定了计量仪表的计量精度优化策略，针对长输管道仪表自动化控制系统的校准工作，制定了基于虚拟仪器平台的智能化校准方案。研究认为，长输管道仪表自动化控制系统的计量精度，需要考虑计量仪表的选型以及长输管道的运行状态，需要在加强各类硬件设施监控的基础上，结合长输管道和计量仪表等的实时状态，采取针对性的计量精度优化与校准方法，以便长输管道仪表自动化控制系统在运行过程中更好地发挥出自身作用。

参考文献：

- [1] 何群,王苏雯,夏鹏,梁晓龙.天然气场站长输管网影响计量系统的因素及输差管控方法综述[J].仪器仪表标准化与计量,2025(04):43-45.
- [2] 何群,梁晓龙,贾春龙,李欣同.天然气输气站场计量仪表在线监测与智能分析系统的研究与应用[J].仪器仪表标准化与计量,2025(03):25-26+32.
- [3] 魏国池,张明月.燃气长输管道中的流量计量与误差控制研究[J].石化技术,2025,32(04):369-370.
- [4] 梁法春,梁晓瑜,郭立功,金曼青,陈婧.管道流量计量技术挑战与展望[J].前瞻科技,2024,3(02):121-132.
- [5] 高生.天然气长输管道输差控制与分析[J].石化技术,2024,31(04):299-301.
- [6] 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.