

# Analysis of Measurement Accuracy and Stability of Industrial Instrument under Complex Working Conditions

Zhihao Wang

Henan Shenma Nylon Chemical Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467000, China

## Abstract

With the continuous development of industrial production, the application of industrial instruments and meters in various complex working conditions is becoming increasingly widespread. The measurement accuracy and stability of these instruments are crucial for controlling and optimizing the production process. This paper starts with the working principles and classification of industrial instruments, analyzing the impact of complex working conditions on the measurement accuracy and stability of instruments and meters. It explores the interference of environmental factors, fluctuations in working conditions, and other factors on the instrument's response characteristics. By combining methods for evaluating accuracy and stability, effective strategies for measuring error analysis and correction are proposed. Additionally, this paper provides a detailed discussion of the optimization design and technical improvements of instruments in complex working conditions, focusing on methods to improve measurement accuracy and stability, as well as calibration and maintenance strategies. Through theoretical analysis and practical case studies, this paper offers effective guidance and recommendations for the application of industrial instruments, aiming to promote technological progress and application development in the field of industrial automation.

## Keywords

Industrial instruments and meters; Measurement accuracy; Stability; Complex working conditions; Optimization design

# 工业仪器仪表在复杂工况下的测量精度与稳定性分析

王志豪

河南神马尼龙化工有限责任公司, 中国·河南·平顶山 467000

## 摘要

随着工业生产的不断发展,工业仪器仪表在各类复杂工况下的应用越来越广泛,其测量精度与稳定性对生产过程的控制与优化至关重要。本文从工业仪器仪表的工作原理与分类出发,分析了复杂工况对仪器仪表测量精度和稳定性的影响,探讨了环境因素、工况波动等因素对仪器响应特性的干扰。结合精度与稳定性的评估方法,提出了有效的测量误差分析与修正策略。此外,本文还就仪器仪表在复杂工况下的优化设计和技术改进进行了详细阐述,重点探讨了提高测量精度与稳定性的技术途径及仪器仪表的校准与维护策略。通过理论分析与实际案例结合,本文为工业仪器仪表的应用提供了有效的指导建议,旨在推动工业自动化领域的技术进步与应用发展。

## 关键词

工业仪器仪表; 测量精度; 稳定性; 复杂工况; 优化设计

## 1 引言

在现代工业自动化生产中,仪器仪表的测量精度与稳定性直接影响到生产过程的效率和产品的质量。尤其是在复杂工况下,许多外部因素会对仪器仪表的性能产生干扰,导致测量误差的增加。复杂工况通常包括高温、高湿、高压、振动等恶劣环境条件,这些因素常常导致传统仪器仪表的性能下降。为了保证生产过程的稳定性与安全性,必须深入分析复杂工况对仪器仪表的影响,采取适当的评估方法和优化措施,提升仪器的测量精度和稳定性。因此,本研究将针对

工业仪器仪表在复杂工况下的测量精度与稳定性进行全面分析,重点探讨其应用中的挑战与改进方向,为工业自动化系统的优化提供理论支持和实践指导。

## 2 工业仪器仪表的基本原理与分类

### 2.1 工业仪器仪表的工作原理

工业仪器仪表用于测量、检测和控制生产过程中各种物理量与化学量的变化,依赖于不同的原理进行数据采集与处理。它们通过传感器将被测对象的物理或化学信号转换为电信号,利用电路或计算机系统对信号进行处理与分析,从而实现准确的测量、控制与反馈。常见的工作原理包括电阻、电压、电流变化原理、光电效应、热效应及磁效应等。例如,温度传感器通常依赖于热电效应工作,通过测量热电偶的电

【作者简介】王志豪(1986-),男,中国河南平顶山人,本科,助理工程师,从事仪器仪表选型、安装及维护研究。

势差来确定温度；压力传感器通过变形元件的形变与应力关系来测量压力变化。通过这些基本原理，工业仪器仪表能够在各类复杂的生产环境中进行精准的参数监控和控制，确保生产过程的稳定与安全。

## 2.2 常见工业仪器仪表的分类及应用领域

工业仪器仪表种类繁多，根据功能和应用领域的不同，通常分为测量类、控制类和检测类仪器。测量类仪器用于检测和量化温度、压力、流量、液位等物理量，如温度计、压力表、流量计等；控制类仪器则通过监测和反馈来调节生产过程中的各项参数，例如自动化控制系统、PLC 控制器等；检测类仪器则用于检测物质的化学成分和物理性质，如气体分析仪、液相色谱仪等。在应用领域上，工业仪器仪表广泛应用于石油、化工、电力、冶金、环保等行业，具体应用包括生产过程的实时监测、质量控制、设备维护与管理等方面。

## 2.3 工业仪器仪表的关键技术指标

工业仪器仪表的关键技术指标直接影响其性能和应用效果。常见的技术指标包括测量范围、精度、分辨率、响应时间和稳定性。测量范围决定了仪器可以测量的最小与最大物理量范围；精度表示测量结果与真实值之间的偏差，通常以误差范围或误差百分比表示；分辨率是仪器能够区分的最小信号变化量，反映了仪器的灵敏度；响应时间指仪器对信号变化作出反应的时间，越短说明仪器反应越灵敏；稳定性是指仪器在长期运行过程中，性能是否能够保持一致，不受外部环境变化的影响<sup>[1]</sup>。

# 3 复杂工况对测量精度与稳定性的影响

## 3.1 复杂工况的定义与特点

复杂工况指的是在极端或不稳定的环境条件下进行的工业生产过程，通常伴随着高温、高湿、振动、强电磁干扰等因素。这些工况的特点在于它们对仪器仪表的工作环境产生显著影响，可能导致仪器的测量误差和性能波动。例如，高温环境下，传感器的材料可能发生膨胀或变形，从而影响其测量结果；振动和冲击可能会导致仪器内部机械结构的松动或损坏，影响其长期稳定性。在这些条件下，传统的工业仪器仪表往往难以保持精度和稳定性，因此需要特别的设计与优化，以确保仪器能够在复杂工况下稳定运行。

## 3.2 环境因素对测量精度与稳定性的影响

环境因素是影响工业仪器仪表测量精度和稳定性的主要外部条件。温度、湿度、气压等因素可能会直接影响仪器的工作性能。例如，温度波动可能导致传感器的材料特性发生变化，从而使得测量结果出现偏差；湿度过高会引起电路短路或腐蚀，进而影响仪器的稳定性；气压变化则可能导致气体流量计和压力传感器的测量误差。因此，在设计和使用时，需要考虑到这些环境因素，采取措施如温控、加湿或除湿等，以降低环境变化对仪器性能的影响，保证测量精度。

## 3.3 工况波动与仪器仪表响应特性分析

在工业生产过程中，工况波动是常见的现象，如压力、流量、温度等参数的突然变化。这些波动对仪器仪表的响应特性产生重要影响。响应速度过慢的仪器可能无法及时捕捉到工况变化，导致测量失真或延迟反馈；而响应速度过快的仪器则可能出现过度反应，导致系统不稳定。因此，分析工况波动的特点并优化仪器的响应特性至关重要。对于复杂工况中的波动，仪器需要具备较强的抗干扰能力和自适应能力，能够在瞬间调整其测量和控制策略，减少波动对系统的影响，确保生产过程的平稳进行。

# 4 测量精度与稳定性的评估方法

## 4.1 精度评估的基本方法

测量精度评估主要通过误差分析来进行，常用的方法包括偏差分析、标准差计算和相对误差测量。偏差分析用于评估仪器测量值与真实值之间的差距，通常要求测量误差不超过实际值的 2%。标准差反映了测量值的离散程度，标准差越小，说明仪器测量的稳定性和精度越高。例如，温度传感器在测量 100° C 的温度时，如果其标准差为  $\pm 0.5^\circ \text{C}$ ，表示仪器的精度相对较高。相对误差则是测量值与真实值的差异与真实值的比值，通常用百分比表示。对于流量计来说，要求相对误差不大于  $\pm 1\%$ 。通过这些基本方法，可以较为全面地评估仪器的测量精度，确保其在实际应用中的可靠性。

## 4.2 稳定性评估的技术手段

稳定性评估通常依赖于长期运行测试、温度循环实验以及应力测试等手段。长期运行测试通过在不同时间段内对同一仪器进行多次测量，比较其输出信号的变化，评估其稳定性。例如，某台压力传感器在连续使用 6 个月后，其输出信号的漂移不超过  $\pm 0.3\%$ ，表明该仪器具有较好的稳定性。温度循环实验则通过在不同温度范围内反复测试仪器，观察其性能变化。经过 100 次温度循环后，温度传感器的测量误差未超过  $0.4^\circ \text{C}$ ，证明其温度适应性和稳定性较好。应力测试则模拟工况下的外部冲击，通过对仪器的耐受性分析，进一步验证其稳定性。如果应力测试过程中，仪器输出信号波动在  $\pm 0.2\%$  以内，则说明该仪器具备良好的稳定性，可以应对恶劣工况<sup>[2]</sup>。

## 4.3 测量误差分析与修正策略

测量误差的分析与修正是确保仪器精度和稳定性的关键步骤。常见的误差类型包括系统误差、随机误差和人为误差。系统误差通常由仪器的校准不准确或环境因素引起，对于流量计而言，通过定期校准，保证误差不超过  $\pm 0.5\%$  即可修正此类误差。随机误差则是由于测量环境的微小变化引起的波动，通常通过多次测量取平均值来减少误差。例如，某气体分析仪在测量时，其标准误差为  $\pm 0.3\%$ ，通过取 10 次测量值的平均值，误差可降至  $\pm 0.1\%$ 。人为误差主要源

于操作人员的使用方法不当,通过加强操作培训和标准化操作流程可以有效降低此类误差。对于复杂工况下的测量误差,除了常规校准和数据处理外,还可以通过建立误差模型,对仪器进行动态补偿,修正因工况波动引起的误差,保证测量结果的准确性。

## 5 工业仪器仪表在复杂工况下的优化设计与改进

### 5.1 仪器仪表设计的优化原则

仪器仪表的优化设计原则主要是提高其在复杂工况下的稳定性、精度和可靠性。首先,设计时需考虑仪器的抗干扰能力,特别是在高温、高湿、强振动等环境下,仪器应具备良好的抗电磁干扰能力和耐环境变化能力。例如,在电磁干扰较强的环境中,采用屏蔽设计和滤波技术,可以有效减少干扰信号,保证仪器的测量精度。其次,应优化仪器的结构设计,使其在恶劣环境下仍能保持较高的稳定性。在高温工况下,选择耐高温材料,并进行热隔离设计,可以有效减少温度波动对测量结果的影响。此外,模块化设计也是优化的重要方向,通过采用标准化模块和组件,可以提高仪器的维护性和更换便捷性,降低长期使用中的维护成本。优化设计还包括考虑仪器的自动化和智能化程度,提高其自适应能力。通过嵌入式系统与智能算法,使仪器能够根据环境变化自动调整工作参数,提升其在复杂工况下的适应性和稳定性<sup>[3]</sup>。

### 5.2 提高测量精度与稳定性的技术途径

提高测量精度与稳定性是优化设计的重要目标,可以通过多种技术途径来实现。例如,采用高精度传感器可以显著提高仪器的测量精度。某高精度温度传感器的误差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ,而常规传感器的误差通常在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内,通过采用这种传感器,精度得到了大幅提升。另一种方法是利用信号处理技术,对传感器输出信号进行过滤和补偿,从而减小噪声干扰对测量结果的影响。例如,使用高通滤波器可以有效消除低频噪声,确保信号的稳定性。此外,采用先进的温控技术,也能有效提高仪器在复杂工况下的稳定性。通过安装温控系统,使仪器在高温环境下能够保持恒定的工作温度,从而避免温度波动带来的测量误差。在一些高振动工况下,通过加装减震装置,可以减少振动对仪器测量的影响,提高测量的准确性和稳定性。通过这些技术途径的组合应用,可以显著提升工业仪器仪表的测量精度和长期稳定性。

### 5.3 仪器仪表校准与维护策略

仪器仪表的校准与维护对于保证其在复杂工况下的精

度和稳定性至关重要。定期校准是保障仪器精度的基本手段。例如,每隔6个月进行一次标准压力传感器的校准,确保其误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。对于测量误差较大的仪器,应根据生产环境的变化,缩短校准周期,确保其精度保持在要求范围内。校准过程中,需使用准确的标准设备和参照物,确保校准结果的可靠性。除了校准外,日常维护也非常重要。定期检查仪器的工作状态,及时清洁传感器和电路,以防止灰尘、腐蚀或其他污染物影响测量结果<sup>[4]</sup>。例如,在湿度较高的环境中,传感器的电极可能会受到腐蚀,因此定期清洁并涂覆保护层,可以延长仪器的使用寿命。对于长期使用的仪器,建立定期检测与故障预测系统也是提高其稳定性的有效手段。通过安装智能监控系统,实时检测仪器的工作状态,一旦发现异常,如信号漂移或误差增大,即可进行故障诊断和修复,避免因设备故障导致的生产停滞和数据失真。通过这一系列校准和维护措施,可以有效提高工业仪器仪表的长期稳定性和可靠性。

## 6 结语

工业仪器仪表在复杂工况下的测量精度与稳定性是确保现代生产系统高效、可靠运行的基础。本文通过分析仪器仪表的基本原理、复杂工况对测量精度和稳定性的影响,以及优化设计与改进策略,提出了提高测量精度和稳定性的有效技术途径。无论是选择合适的传感器、优化仪器结构,还是采用精确的校准与维护策略,都能显著提升仪器在恶劣工况中的表现。随着技术的不断进步,未来的工业仪器将更加智能化、自动化,能够更好地应对复杂多变的生产环境。通过不断优化设计和改进措施,工业仪器仪表将在保障生产过程精准控制、提高产品质量、降低成本方面发挥越来越重要的作用,为工业自动化和智能制造的发展提供坚实的技术支持。

### 参考文献

- [1] 焦兴.自动化控制技术在工业仪器仪表中的应用[J].世界有色金属,2025,(22):229-231.
- [2] 董建宁.自动化技术在热工仪器仪表计量检定中的应用及热工仪器仪表计量检定的发展趋势研究[J].质量与市场,2025,(10):72-74.
- [3] 潘帝池,刘畅.工业仪器仪表中自动化控制技术的应用探析[J].装备维修技术,2025,(03):49-51+55.
- [4] 罗朝珠.自动化仪表工程安装与调试问题探析[J].硫磷设计与粉体工程,2025,(02):40-43+56.