

Analysis of measurement and detection technology in instrument instrument

Jun Zhang

Hanzheng Testing Technology Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

Abstract

With the acceleration of industrial automation and intelligence, the application scenarios of instruments are increasingly complex, and the traditional detection technology is faced with challenges such as lack of dynamic environment adaptability and difficulty of multi-parameter collaborative calibration. At the same time, international measurement standards are constantly upgraded, putting forward higher requirements for the standardization of testing process and data traceability. This paper focuses on the key links of measurement and detection technology, and discusses the breakthrough path of technical bottleneck from the perspectives of calibration method optimization, uncertainty measurement analysis, and data processing logic reconstruction. Through the integration of theoretical analysis and practical verification, it aims to provide systematic solutions for improving the long-term stability and cross-scene applicability of instruments, while promoting the transformation of testing technology from single parameter verification to full life cycle management.

Keywords

instrument and instrument; measurement and detection; technical analysis

仪表仪器中的计量检测技术分析

张军

汉正检测技术有限公司，中国·四川 德阳 618000

摘 要

随着工业自动化与智能化进程加速，仪表仪器的应用场景日益复杂，传统检测技术面临动态环境适应性不足、多参数协同校准难度大等挑战。与此同时，国际计量标准不断升级，对检测流程的规范性、数据的可溯源性提出更高要求。本文聚焦计量检测技术的关键环节，从校准方法优化、不确定度量化分析、数据处理逻辑重构等角度切入，探讨技术瓶颈的突破路径。通过整合理论分析与实践验证，旨在为提升仪表仪器的长期稳定性与跨场景适用性提供系统性解决方案，同时推动检测技术从单一参数验证向全生命周期管理的转型。

关键词

仪表仪器；计量检测；技术分析

1 引言

仪表仪器是用于测量、检测和监控各种物理量和工艺参数的设备。而计量检测技术则是指通过各种手段和方法对仪表仪器进行校准、评估和验证，以确保其测量结果的准确性和可靠性。当前技术体系需应对两大矛盾：一是仪器复杂度提升与检测效率之间的矛盾，二是测量场景多样化与标准化流程之间的矛盾。本文通过解构计量检测的技术框架，揭示校准溯源机制的内在关联性，剖析不确定度传递对测量结果的影响权重，进而提出兼顾效率与精度的平衡策略。文章重点在于突破传统检测模式的线性思维，建立多维参数协同优化的方法论，为智能仪表、边缘计算设备等新兴领域提供

技术适配方案。

2 仪表仪器计量检测的重要性

仪表仪器计量检测技术是维护现代工业体系高效运转的核心支撑。在各类生产与科研活动中，测量数据的准确程度直接影响工艺调整、质量评估和决策制定。计量检测通过系统性校准与验证手段，消除仪器因环境变化、元件老化或人为操作导致的偏差，使仪表输出值始终贴近真实物理量。这种技术不仅针对单次测量的即时修正，更通过周期性维护建立长期稳定的性能保障机制，从而提升仪器在复杂工况下的抗干扰能力，降低因设备失准引发的连锁风险。从合规性角度看，计量检测是衔接技术实践与行业规范的桥梁。国际通用的计量标准与地方性法规共同构成技术应用的边界条件，而检测流程的标准化实施能够有效证明设备性能符合安全准入、质量认证及环保要求。这种合规背书既为企业规避

【作者简介】张军（1974-），男，中国四川广汉人，助理工程师，从事计量检测研究。

法律纠纷提供依据,也成为产品进入全球市场的重要技术通行证。在工业生产维度,计量检测技术的价值贯穿于全生命周期管理。精密仪器作为生产线上的感知节点,其测量精度直接决定原材料配比、工艺参数控制和成品质量判定等关键环节。当检测体系持续作用于仪器状态监控时,不仅能预防批量性质量事故,更能通过数据积累优化设备维护策略,形成从被动维修到主动预防的管理升级。

3 仪表仪器计量检测技术的关键环节

3.1 校准与检定

校准是通过标准参照物或已知量值对仪器进行调整,使其输出值与真实值最大限度接近的过程,其本质是修正系统误差,优化仪器的内在精度,而非单纯验证数据是否达标;检定的重点则在于确认仪器是否符合法定标准或行业规范,其流程包含性能测试、误差评估及合规性判定,最终形成具有法律效力的技术结论。校准与检定的逻辑顺序存在明显差异,前者侧重主动优化,后者强调被动验证,二者共同构成设备全生命周期管理的基础框架。校准技术的核心在于建立可溯源的传递链,通过高精度标准器向工作计量器具逐级传递量值,形成覆盖温度、压力、电信号等多维参数的完整溯源体系。现代校准技术已突破传统人工操作模式,引入自动化补偿算法和动态误差修正模型,使仪器在复杂工况下仍能保持稳定输出。检定的实施则依赖预先设定的允差阈值,采用极限值测试、重复性验证等方法,从法规层面划定设备可用性边界。值得注意的是,检定合格不代表测量绝对准确,仅表明误差处于允许区间,这要求校准环节必须持续跟进以提升实际测量精度。两类技术的协同应用构成了完整的质量控制闭环:周期性校准维持仪器的最佳工作状态,而强制性检定设备使用提供合法性背书^[1]。

3.2 不确定度评估

仪表仪器的工作特性决定了其测量结果容易受到环境因素、设备自身性能、操作规范等多重影响,不确定度评估需针对不同仪表的原理和应用场景构建数学模型,将温度漂移、信号噪声、校准偏差等变量纳入计算框架。例如,电子式仪表的非线性误差与传感器灵敏度关联,而机械式仪表的不确定度可能更多源于部件磨损或装配精度。评估过程中需区分系统性和随机性影响分量,前者通过校准修正降低,后者则需借助统计学方法进行概率分布建模。国际通行的GUM方法为不确定度评定提供了标准化流程,通过合成标准不确定度与扩展不确定度的计算,最终形成包含置信区间的测量结果表述。加之,仪表仪器的动态响应特性会引入时变不确定度分量,这对实时检测系统的评估提出了更高要求。合理的测量不确定度表征不仅为判定仪表性能提供科学依据,更是保证检测结果国际互认的关键技术基础。

3.3 数据处理与分析

仪表仪器在运行过程中产生的原始数据往往包含噪声、

偏差或冗余信息,需要通过系统化的处理流程提取有效特征。数据预处理阶段通常涉及信号滤波与降噪技术,例如采用数字滤波器消除高频干扰或环境波动带来的影响,其本质是通过算法分离有效信号与噪声成分,从而提升数据的信噪比。对于动态测量场景,时间序列数据的同步性与稳定性尤为重要,需结合标定参数对数据进行动态补偿,修正因仪器响应延迟或非线性特性导致的误差。数据校准环节则依赖于计量标准与数学模型,通过对比基准值与实际测量值的偏差,建立误差补偿函数。这一过程不仅需要验证仪器的量程精度,还需评估其重复性与长期稳定性,例如利用最小二乘法拟合校准曲线,动态调整参数以适配不同工况。误差分析需从系统误差与随机误差两个维度展开,前者通过溯源至标准计量单位进行修正,后者则需借助统计学方法评估数据离散程度,确定置信区间与测量不确定度^[2]。

3.4 质量控制与溯源

质量控制聚焦于全流程稳定性,从设备选型、环境参数调节到操作规范制定,每个环节均需围绕误差控制展开。仪器的重复性与复现性直接关联测量可信度,需建立标准化操作框架,通过参数阈值设定、异常数据识别机制形成动态监控网络,有效抑制温度漂移、电磁干扰等变量影响。现代智能检测系统引入闭环反馈调节功能,实时对比理论值与实际值差异,自动触发校准补偿程序,这种自我修正能力显著提升了检测过程抗干扰水平。溯源体系则着力打通测量结果的国际等效通道,其本质是建立量值传递的可验证路径。采用经认证的标准物质作为参照基准,通过逐级比对将工作标准器具的量值溯源至国家基准乃至国际单位制,形成完整证据链条。数字证书与区块链技术的融合应用,使每个检测节点的数据变动均被加密记录,确保溯源信息不可篡改。而对于非实物量具类仪器,需通过参考测量方法验证其计量特性,采用不确定度评定模型量化系统误差边界。这种多层次的技术架构既维持了检测体系的纵向一致性,又实现了跨区域、跨平台的横向可比性,为行业监管与国际贸易提供了技术互认的基础支撑。

4 仪表仪器计量检测技术的应用

4.1 温度仪表检测

温度仪表种类繁多,包括热电偶、热电阻、红外测温仪等,其检测需根据不同原理采取针对性方法。接触式检测通过直接接触被测介质获取温度数据,需关注传感器材质的热传导性与耐腐蚀性;非接触式检测依赖热辐射原理,需控制环境干扰因素以提升测量精度。检测过程中,校准需依据国际标准建立完整的溯源体系,例如采用恒温槽或黑体辐射源模拟不同温度场景,通过比对标准器与待测仪表的输出偏差实现校准。实际应用中,仪表可能面临高温、震动、电磁干扰等复杂工况,检测技术需模拟真实环境验证其稳定性。例如,通过温度循环测试评估仪表的热惯性误差,利用振动

台测试机械结构对测量精度的影响。检测技术需兼顾动态响应特性,尤其在快速变温场景中,需验证仪表的响应时间与恢复能力是否符合应用需求^[3]。

4.2 压力仪表检测

压力仪表检测的核心在于校准过程的科学性与误差控制的系统性,需通过标准压力源与被测仪表的信号比对,验证量程范围内各压力点的示值偏差是否符合技术规范。检测中需重点考虑环境温度、介质特性及机械振动等因素对传感器输出的干扰,尤其针对不同原理的压力仪表(如弹性元件式、压电式或电容式),需设计差异化的标定方案以适配其物理响应特性。现代压力仪表检测逐步融合自动化校准系统与数字化补偿技术,借助高精度数字传感器与智能算法,实现实时数据采集与误差修正的动态闭环控制。这种技术路径通过建立数学模型对非线性误差进行了预判和补偿,使仪表在复杂工况下仍能维持稳定输出。检测流程的标准化与智能化转型,进一步强化了压力仪表在能源、医疗、航空航天等领域的可靠性保障能力,推动计量检测从被动验证向主动预防的技术升级。

4.3 流量仪表检测

在石油化工、城市供热、水利监测等领域,流量仪表的计量检测需兼顾介质多样性、工况复杂性和动态响应特性,这就要求检测技术建立多维度的评价体系。通过标准表法检测时,需重点分析主标准器与被检仪表的量程匹配度,消除流体黏度、温度扰动引发的系统误差;采用标准体积管法则要关注管道振动、介质含气率对检测重复性的影响,通过压力补偿算法修正脉动流造成的计量偏差。动态误差分析技术通过建立流量阶跃模型,可有效捕捉仪表在启停、变负荷等瞬态工况下的响应滞后特性,为修正算法提供参数依据。随着智能化检测系统的发展,嵌入式自诊断模块能够实时监测传感器零点漂移和机械磨损状态,结合数字孪生技术实现预测性维护,这种技术融合既维持了传统检测的严谨性,又为流量仪表的长周期稳定运行提供了创新解决方案^[4]。

4.4 其他仪表检测

电学仪表的计量检测技术聚焦于电压、电流、电阻等基础参数的校准。对于数字万用表、示波器等设备,检测系统需建立标准信号源与比对模型,通过动态补偿算法消除环境温度、电磁干扰等因素产生的误差。以电阻测量为例,四

线制检测法通过分离电流施加与电压检测路径,有效规避导线电阻对结果的干扰。高频电信号检测则依赖阻抗匹配技术和时域反射分析,确保信号完整性在传输过程中不被破坏。光学仪表的检测体系围绕光强、波长、折射率等参数展开。光谱分析仪需借助标准光源进行波长标定,同时通过光栅分光系统与光电探测器协同工作,将光信号转化为可量化电信号。针对成像类设备,调制传递函数(MTF)成为评价光学分辨率的关键指标,检测过程通过标准靶标图像采集与频域分析完成。激光干涉仪等高精度设备则利用光的波动特性,通过干涉条纹计算微小位移或表面形变,其校准需在恒温恒湿环境中完成,以排除空气湍流对光路的扰动。特殊仪表的检测需应对极端环境或复杂工况,例如高温压力仪表采用耐热合金材料与隔离膜片结构,检测时需模拟实际工况温度梯度,验证传感器热漂移补偿机制的有效性;防爆类仪表则通过本质安全电路设计限制能量释放,检测重点集中于电路绝缘强度与火花抑制能力;而对于辐射环境使用的仪表,检测系统需集成屏蔽防护与远程操控模块,同时强化传感器抗辐照性能验证。

5 结语

仪表仪器中的计量检测技术是确保测量结果准确可靠的关键。通过校准、评估和验证等方法,可以了解仪器的性能指标,并选择适合的计量检测方法和工具。因此,校准参数的动态补偿机制、不确定度来源的精细化分解以及数据模型的鲁棒性设计,是提升检测效能的三大核心要素。针对未来发展趋势,需在智能化检测设备研发、跨学科技术融合、全链条质量追溯体系构建三个方向重点突破。建议强化计量基准与现场工况的关联研究,开发具备自诊断功能的嵌入式检测模块,同时推动行业标准与技术创新协同发展。

参考文献

- [1] 潘琨,李世君,李倩倩. 仪器仪表中计量检测技术分析[J]. 中国标准化, 2024, (11): 245-248.
- [2] 蒋卓. 浅谈电子仪器仪表计量管理标准及计量检测分析[J]. 中国标准化, 2024, (01): 198-201.
- [3] 胡凤岩. 基于仪器仪表计量检测重要性的管理措施[J]. 大众标准化, 2023, (20): 186-188.
- [4] 王凤云. 自动化仪表中的计量检测技术分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40 (09): 57-59.