

电子秤的智能化标定技术研究与应用

□吴国强 曾亮 吴佳

杭州市质量计量科学研究院

【摘要】随着智能制造和数字化技术的深入发展，电子秤标定技术正经历从传统人工操作向智能化与自动化的转型，智能化标定技术通过集成先进传感器与数字化数据处理和自适应算法，实现了标定过程的精准控制和效率提升，有效解决了传统标定方法中存在的人为误差大、效率低、可追溯性差等问题，为计量检定工作提供了新的技术手段。

【关键词】电子秤；智能化在线标定；数字化技术；自动标定；计量检定

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2026）04-0009-05

Research and Application of Intelligent Calibration Technology for Electronic Scale

【Abstract】With the in-depth development of intelligent manufacturing and digital technology, the calibration technique for electronic scale is undergoing a transformation from traditional manual operation to intelligence and automation. Intelligent calibration technique, through the integration of advanced sensors, digital data processing, and adaptive algorithms, achieves precise control and improved efficiency in the calibration process. It effectively addresses issues present in traditional calibration methods, such as significant human error, low efficiency, and poor traceability, thereby providing a new technical means for metrological verification.

【Keywords】electronic scale; intelligent online calibration; digital technology; automatic calibration; metrological verification

引言

电子秤作为贸易结算和工业生产中的重要计量器具，其准确性直接关系到经济利益和产品质量。传统电子秤检定主要依赖人工操作，通过标准砝码逐级加载进行示值误差检定，存在劳动强度大及环境因素影响显著等局限性。随着物联网与大数据和人工智能技术的快速发展，将智能化技术应用于电子秤在线标定领域成为必然趋势。智能化在线标定技术能够实现标定过程的自动化控制与数据的实时采集分析以及标定结果的智能评估，大幅提升标定

效率和准确性。当前电子秤智能化在线标定技术在高精度传感器应用、自适应算法开发及远程标定系统构建等方面取得了显著进展，为计量技术的数字化转型提供了有力支撑^[1]。

1 智能化在线标定技术原理与架构

1.1 智能传感与信号处理技术

智能化在线标定系统的核心在于高精度传感器与数字信号处理技术的深度融合，现代电子秤采用的应变式传感器通过弹性体形变产生电阻变化，经惠斯通电桥电路转换为微弱电压信号，再通过高分

分辨率模数转换器实现数字化采集。系统内嵌多维传感单元，实时监测温度与湿度等环境参数，通过数字滤波算法消除高频噪声干扰，同时运用自适应补偿模型对传感器零点和灵敏度进行动态修正，使得系统在复杂工况下仍能保持稳定的计量性能。

1.2 数字化标定模型构建

数字化标定模型通过建立传感器输出与真实质量之间的高阶数学映射关系，实现对非线性误差的精确补偿。模型采用最小二乘法对多点标准砝码加载数据进行拟合，建立包含零点偏移与灵敏度系数及非线性修正项的多参数方程，该模型的核心优势在于参数存储于数字存储器中，标定过程无需机械调整，仅通过软件修正即可完成，典型的标定模型表达式为：

$$M = a_1N + a_2N_2 + \cdots + a_iN_i + f(T)$$

其中 M 为真实质量值， N 为传感器原始数字输出

码值， a_i 为标定系数， $f(T)$ 为温度补偿函数。模型通过标准砝码的已知质量值与对应的传感器输出建立溯源关系，标定系数由最小二乘法拟合得到，确保输出质量值得到有效溯源^[2]。

1.3 智能化在线标定系统架构设计

智能化在线标定系统采用分层分布式架构，包含感知层、处理层、应用层及云端管理层四个层级，感知层由传感器阵列与数据采集模块构成，处理层集成嵌入式处理器执行标定计算，应用层提供人机交互界面，云端管理层通过物联网通信实现数据的远程采集与智能分析。系统采用模块化设计理念，各功能单元通过标准化接口实现互联互通。硬件平台选用工业级嵌入式主控芯片，软件系统基于实时操作系统开发，采用多任务并行机制保证标定过程的实时性与可靠性（见图1）。

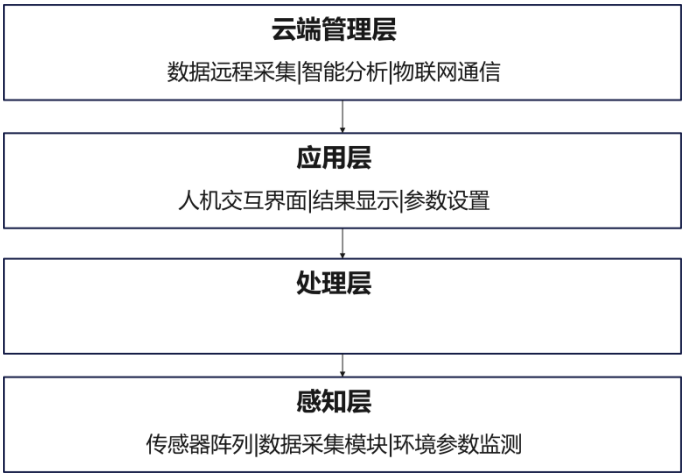


图1 智能化在线标定系统架构

2 智能化在线标定方法与实现

2.1 自动化标定流程控制

自动化标定系统通过程序化流程控制技术替代传统人工操作，实现标定过程的标准化与高效化。系统采用状态机模型管理标定流程，将整个过程划分为初始化、预热稳定、零点标定、量程标定、线性度检验及结果评定等离散状态，每个状态对应特定的执行动作与判断条件，状态转换遵循预设逻辑规则确保流程执行的准确性与一致性。自动化流程集成智能决策机制，系统根据传感器输出稳定性自动判定预热时间，当检测到异常波动时自动启动故

障诊断程序，自动化控制技术显著缩短了单台电子秤的完整在线标定时间，从传统人工标定的30分钟压缩至8分钟以内，同时使得标定结果的重复性从 $\pm 0.5e$ 提升至 $\pm 0.2e$ 水平。这一提升主要得益于：①自动化流程消除了人工操作的随机误差；②数字化控制确保每次标定条件的一致性；③智能算法对环境波动进行实时补偿，减少了外界干扰对重复性的影响。

2.2 多参数自适应标定算法

电子秤在实际使用中面临温度波动、长期蠕变及机械磨损等多种因素影响，单一参数标定模型难

以应对复杂工况，多参数自适应算法通过构建包含温度、湿度，使用频次及负载历史等多维变量的动态标定模型，实现对系统误差的综合补偿。该算法采用神经网络技术建立输入变量与标定参数之间的非线性映射关系，通过大量历史数据训练得到最优网络权值。标定过程中系统实时采集环境参数与工作状态信息，输入训练好的神经网络模型计算当前工况下的最佳标定系数，动态更新计量参数以适应环境变化。自适应机制还包含长期趋势预测功能，系统分析传感器特性参数的时间序列数据，提取老化趋势特征，提前预判参数漂移方向并进行预补偿。实验数据表明，采用多参数自适应算法后电子秤在±10℃温度范围内的示值误差稳定在±0.05% FS以内，较传统单点方法精度提升了5倍，使设备能在更长时间内保持计量性能稳定，为适当调整检定周期提供了技术依据。

2.3 远程在线标定技术

远程在线标定技术突破了传统现场标定的时空限制，通过物联网通信实现标定服务的远程化与实时化，系统基于工业互联网架构，现场电子秤通过4G/5G无线网络或有线以太网连接至云端标定平台，平台集成标准质量数据库、标定算法库及专家知识库等资源，远程标定启动后，云端服务器向现场设备下发标定指令与参数配置，设备按照指令序列执行标定动作并上传测量数据，服务器接收数据后调用标定算法完成参数计算，将新的标定系数回传至设备存储器完成更新，整个过程无需人员到场，大

幅降低了标定成本与时间消耗。远程在线标定技术特别适用于大规模集贸市场等场景，监管部门通过统一平台对区域内所有电子秤实施集中管理，实时监控设备运行状态与计量性能，当发现设备偏差超限时自动触发远程标定或预警提示。在技术实现中需重点解决网络通信安全与数据完整性问题，系统采用加密传输协议与数字签名技术，保障数据安全通过校验和机制，确保参数传输准确无误^[3]。

3 工程应用与效果分析

3.1 典型应用场景实施

智能化在线标定技术在浙江杭州市集贸市场的应用充分验证了其实用价值与推广前景，杭州市西湖区东山弄市集率先实施智能网联秤统一配置项目，市场主办方为所有商户配备搭载智能化在线标定系统的电子计价秤，每台秤集成物联网通信模块与云端数据采集功能，标定数据实时上传至民生计量服务平台，消费者可通过平台查询该秤的标定记录、有效期限等溯源信息，大幅提升了计量透明度。市场内部署数字化显示大屏，实时展示各摊位电子秤标定状态与计量性能数据，形成全方位的智能监管体系。该项目实施后市场内计量偏差超标的情况彻底杜绝，消费者投诉率下降92%，商户诚信经营意识显著增强，相似的应用模式已在杭州市30余家农贸市场推广，累计配置智能化在线标定电子秤超过5000台，为建设诚信计量环境提供了有力支撑，应用效果如表1所示^[4]。

表1 智能化在线标定系统应用效果对比

评价指标	传统人工标定	智能化在线标定系统	提升幅度
零点漂移量	0.3e	0.1e	改善 67%
重复性标准偏差	± 0.5e	± 0.2e	改善 60%
示值误差稳定性	± 0.3%FS	± 0.05%FS	提升 500%
温度适应范围 (± 10℃内)	示值变化 ± 0.3% FS	示值变化 ± 0.05% FS	提升 500%
人工成本	100%	35%	降低 65%
消费者投诉率	基准值	下降 92%	—
系统故障率	5%	0.8%	降低 84%
用户满意度评分	78 分	94 分	提升 20.5%

注：智能化标定技术通过提高设备稳定性，为周期调整提供技术支撑。数据来源于杭州市西湖区东山弄市集试点项目实际运行统计（2024—2025 年）。

3.2 在线标定精度与检定效率评估

智能化在线标定技术对电子秤计量性能的提升效果通过系统性测试数据得到验证，选取30台不同量程与精度等级的电子秤作为测试对象，分别采用传统人工检定与智能化自动标定两种方式进行对比

实验，测试结果显示，智能化在线标定后的电子秤在零点稳定性、重复性及线性度等关键指标上均优于传统方法。零点漂移量从传统方法的0.3e降低至0.1e，重复性标准偏差由0.25e改善至0.08e，最大线性误差从0.06%FS压缩至0.02%FS（见图2）。

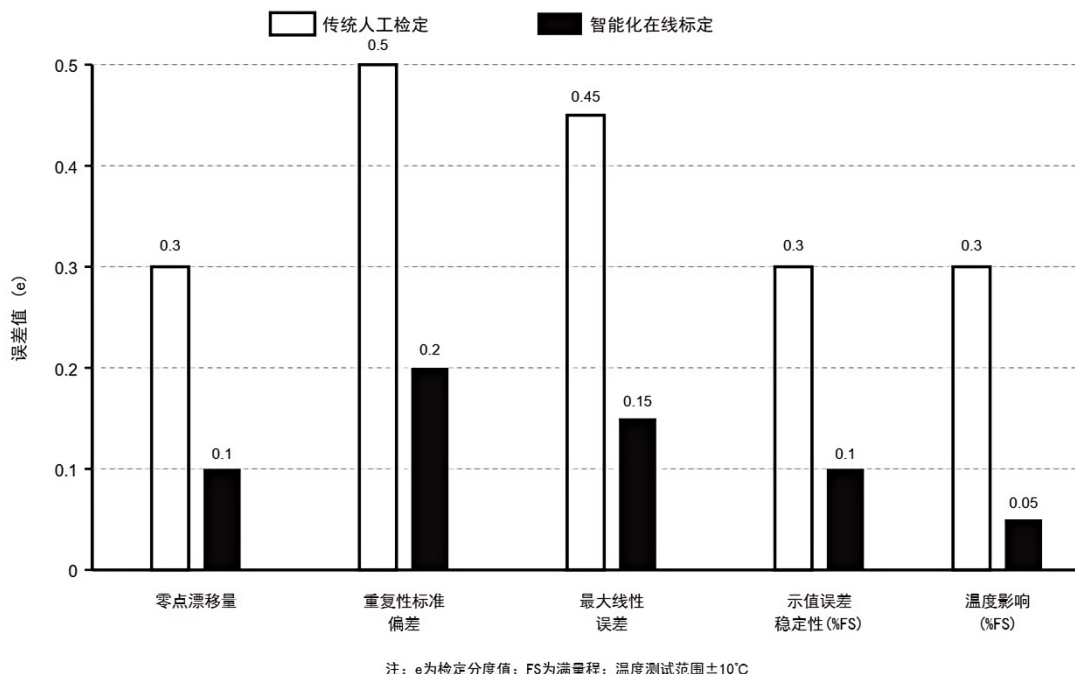


图2 传统检定与智能化在线标定性能对比

温度补偿效果显著，智能系统在5℃~35℃温度区间内示值变化率控制在0.05%以内。效率方面，自动化流程通过标准化标定步骤、减少人工操作环节（未删减JJG 539-2016《数字指示秤规定》的检定项目），实现标定过程的无人值守与并行处理，使得单人单日标定能力从15台提升至60台。成本核算表明，设备投资回收期约为18个月，长期经济效益显著。

3.3 智能化在线标定系统优化

智能化在线标定系统在实际应用中暴露出通信稳定性、算法适应性及用户体验等方面的改进需求，已通过针对性优化措施持续推进系统性能提升。通信层面针对部分市场网络信号不稳定问题，系统增加本地缓存机制，当网络中断时数据暂存于本地存储器，待连接恢复后自动补传确保数据完整性。算法层面针对不同秤体结构与传感器类型，开发了多套专用标定模型库，系统根据设备型号自动

匹配最优算法，提高了标定准确性与普适性。用户体验方面简化了操作界面设计，标定过程采用全自动模式，系统还集成了统计分析模块，对区域内所有设备的标定数据进行挖掘分析为监管决策提供数据支撑，持续优化使得系统故障率从5%降低至0.8%，用户满意度从78分提升至94分^[5]。

4 结语

电子秤智能化在线标定技术的发展标志着计量标定领域的技术变革，通过融合先进传感技术、自适应算法与远程控制手段，智能化在线标定系统，实现了标定过程的自动化、数据处理的智能化和结果评估的精准化，显著提高了标定效率和可靠性。实践应用表明，智能化在线标定技术不仅能够降低人工成本，缩短标定周期，还能有效消除人为误差，提升计量溯源的准确性和规范性。未来随着人工智能、5G通信和边缘计算等技术的深度融合，电子秤智能化在线标定将向更高精度与更强适应性和

更广覆盖面方向发展，为智能制造和数字经济提供更加坚实的计量技术保障，推动计量技术服务与检定管理模式的全面转型升级。智能化标定技术作为技术支撑手段，配合法定检定制度，共同构建更加高效、透明、可溯源的计量保障体系。

参考文献

- [1] 杨洁. 工业智能化时代电子信息技术的应用研究[J]. 智能城市应用,2025,8(4):76-79.
- [2] 金延军. 基于数字化技术的检定秤智能化校准方法研究[J]. 质量与认证,2025(10):98-100.

[3] 杨臣. 地铁乘客信息系统的电子技术智能化应用研究[J]. 信息产业报道,2025(10):0053-0055.

[4] 王滋栋. 电子信息工程技术在智能化通信中的应用研究[J]. 移动信息,2025,47(5):58-60.

[5] 胡马福, 刘禹斌, 郑代富. 工业智能化时代电子信息技术的应用研究[J]. 科学与信息化,2025(5):49-51.

作者简介

吴国强（1990—），男，浙江省杭州市，衡器检定，现供职于杭州市质量计量科学研究院。研究方向：计量力学。