

Application Analysis of Intelligent Metering and Testing Technology in Energy Metering

Wanjie Ren Haitao Han

Ili Prefecture Inspection, Testing and Certification Research Institute, Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract

As the energy structure transformation deepens and refined management models are fully implemented, traditional energy measurement systems can no longer meet the core requirements of modern energy management systems for high precision, real-time performance, and traceability. Intelligent metering technologies, leveraging integrated applications of cutting-edge technologies including sensors, IoT, big data, and AI, enable automated data collection, remote transmission, intelligent analysis, and dynamic monitoring of energy metrics. This significantly enhances measurement accuracy, system operational efficiency, and comprehensive management standards. This paper systematically analyzes the current application status of intelligent metering technologies in core energy measurement fields such as electricity, natural gas, and petroleum. Through concrete engineering case studies and field measurement data, it elucidates the working principles, technical characteristics, and application outcomes of key technologies including smart meters, ultrasonic flowmeters, mass flowmeters, and online component analyzers. The study further explores practical challenges encountered during technology adoption, such as data security protection, unified technical standards, and system integration. It proposes future directions for technological innovation and policy support frameworks, aiming to provide theoretical and practical references for the intelligent transformation of energy measurement systems.

Keywords

intelligent metering and testing; energy metering; big data analysis

智能化计量检测技术在能源计量中的应用分析

任万杰 韩海涛

伊犁州检验检测认证研究院, 中国·新疆 伊宁 835000

摘要

伴随能源结构转型进程的深化与精细化管理模式的全面落地,传统能源计量模式已无法匹配现代能源管理体系对高精度、实时性、可追溯性的核心要求。智能计量检测技术依托传感器、物联网、大数据及人工智能等前沿技术的集成应用,实现能源数据的自动化采集、远程化传输、智能化分析与动态化监控,大幅提升计量数据精准度、系统运行效能与全流程管理水准。本文对智能计量检测技术在电力、天然气、石油等核心能源计量领域的应用现状展开系统性剖析,结合具体工程实践案例与实测数据,阐释智能电表、超声波流量计、质量流量计、在线成分分析仪等关键技术的工作原理、技术特征及应用成效,进一步探究该技术推广应用过程中面临的数据安全防护、技术标准统一、系统协同集成等现实挑战,就未来技术融合创新方向与政策配套支撑体系提出展望,旨在为能源计量体系的智能化转型升级提供理论与实践参考。

关键词

智能化计量检测; 能源计量; 大数据分析

1 智能化计量检测技术

能源计量是能源管理、贸易结算、能效评估及政策制定的核心技术支撑。传统能源计量模式以机械式计量仪表为载体,依托周期性人工抄表模式开展工作,存在计量精度偏低、数据时效性不足、数据易被篡改、人工运维工作量繁重等固有缺陷。智能计量检测技术是一项集成现代传感技术、

微电子技术、通信技术与数据处理技术的综合性技术体系,可实现能源消耗量的自动化、连续性、高精度测量,并依托网络完成计量数据的远程传输与智能化管控^[1]。其核心组成架构包含智能传感单元、数据采集与处理单元、通信模块、数据管理与分析平台四个方面。

在智能传感单元方面,以电子式电能计量芯片、超声波换能器、科里奥利质量流量传感器等高精度传感器为核心载体,承担原始能源数据的实时化、高精度采集任务。在数据采集与处理单元方面,内置微处理器模块,对采集的原始信号依次开展滤波、放大、模数转换及初步运算处理,生成累计电量、瞬时流量、累计质量等标准化计量数据。在通信

【作者简介】任万杰(1985-),男,中国河南周口人,硕士,高级工程师,国家一级注册计量师,从事质量管理与计量检测研究。

模块方面，兼容 RS-485、电力线载波等有线通信方式与无线通信模式，保障计量数据向数据中心或云平台实施安全、稳定的远程传输。在数据管理与分析平台方面，负责海量计量数据的接收、存储与管理，依托大数据分析、人工智能算法开展数据校验、异常工况诊断、负荷预测、能效评估等工作，为能源管理决策提供科学的数据支撑。该技术体系的落地应用，推动能源计量领域实现从单一计量器具向计量系统，乃至计量生态系统的层级跃升，达成了从数据采集到价值挖掘的全流程智能化转型。

在全球视野下，能源精细化管控体系构建、碳交易市场机制落地、智能电网建设提速及工业互联网深度赋能，共同构成智能计量检测技术迭代发展的核心驱动力。以欧盟为例，其颁布的《能源效率指令》中，已对各成员国智能计量系统的规模化推广作出强制性规范。在我国，国家电网有限公司于“十二五”时期便已全面启动智能电表换装工程与用电信息采集系统的建设工作。据国家电网有限公司社会责任报告披露的数据，截至 2023 年末，其经营区域内智能电表覆盖率已突破 99%，用电信息采集成功率稳定保持在 99.5% 以上。在油气领域，国际贸易交接结算、管道资源公平准入、管输损耗精准管控等现实需求，对计量精度与运行可靠性提出严苛标准。例如，中国石油天然气集团有限公司西气东输管道沿线各分输站，均已配备高精度超声波流量计用于贸易交接计量，其配套标准装置的测量不确定度优于 0.1%。

2 智能化计量检测技术在电力计量中的应用

电力计量领域是智能化技术应用起步最早且发展最为成熟的领域，其核心技术装备为智能电表与用电信息采集系统。

2.1 智能电表的技术特点与应用数据

相较于传统机械式电表或电子式电表，智能电表集成计量、数据存储、信息通信、事件记录、费率调控等多元功能^[2]。以我国现阶段广泛应用的单相智能电表为研究样本，其核心技术参数详见下表 1。

表 1 典型单相智能电表主要技术参数表

参数类别	技术指标	备注
准确度等级	1 级或 0.5S 级	在 5%I _b 至 I _{max} 范围内误差不超过 ±1% 或 ±0.5%
电流规格	5(60)A,10(100)A 等	括号内为最大电流，宽量程设计
通信方式	载波 (PLC)、微功率无线、RS-485、NB-IoT	支持多种通信方式，适应不同安装环境
数据存储	至少存储 12 个月的历史月用电量数据	支持数据冻结与查询
费控功能	支持远程 / 本地费控，具备跳闸、合闸指令执行能力	实现预付费或后付费管理
事件记录	失压、失流、断相、开盖、清零、校时等事	用于异常分析与防窃电

2.2 用电信息采集系统架构与大数据应用

用电信息采集系统普遍采用“主站—集中器—采集器 /

智能电表”三级架构体系。主站系统作为数据汇聚、运算处理与指令下发的核心枢纽，其大数据分析功能的核心应用场景主要涵盖线损精细化管理、负荷预测与需求侧管控、电能质量监测、用户用电行为分析与增值服务供给维度。线损精细化管理维度，通过对台区总表与用户分户表计量数据开展实时协同校验，实现台区线损的动态核算，精准定位高损台区与线路异常节点。例如，某市级供电企业应用该技术方案后，台区日线损可核算率由 75% 提升至 100%，年度综合线损率降低 0.3 个百分点。负荷预测与需求侧管控维度，基于历史负荷数据与实时监测数据构建预测模型，开展短期、中期用电负荷预测，为发电计划编制、电网调度优化提供科学依据。同时，可向终端用户推送分时电价激励信号，引导用户实施削峰填谷用电策略。电能质量监测维度，部分高端智能电表配置相关功能模块，可实现电压、频率、谐波等电能质量指标的实时监测，为供电质量提升与用户端用电设备安全防护提供数据支撑。用户用电行为分析与增值服务供给维度，通过深度挖掘用户用电行为特征与负荷模式，可为用户提供能效诊断分析报告、定制化用电优化建议等个性化增值服务。

3 智能化计量检测技术在天然气计量中的应用

天然气计量主要涵盖贸易交接计量与生产过程计量两大类型，对计量精度、运行稳定性及系统安全性提出严苛要求。

3.1 超声波流量计成为贸易计量主流

气体超声波流量计凭借无运动部件、宽量程比、高计量精度、支持在线故障诊断等技术优势，已成为大型天然气输配场站贸易交接计量场景中的主流优选计量仪表。以某进口品牌六声道气体超声波流量计为典型样本，在标准参比工况条件下，该型仪表计量精度等级可达 0.5 级，最大量程比可达到 1:400。

其智能化特征具体体现在在线实时诊断功能、压力温度在线动态补偿功能、数据远程传输与集中监控功能三个方面。通过对各声道信号质量、声波传播速度、信噪比及流速剖面等核心参数开展持续性监测，一旦侦测到管道内壁脏污附着、介质结垢沉积、流体流态异常等工况，即刻触发预警响应机制，保障计量过程的稳定可靠性。集成高精度压力与温度传感模块，对工况状态下的压力、温度参数进行实时采集，参照《天然气计量系统技术要求》(GB/T 18603) 等国家标准，自动将工况体积换算为标准状态下的体积参数，降低人工换算等中间环节引入的计量误差^[3]。流量数值、压力、温度及设备诊断状态等全量数据，通过远程终端单元实时上传至数据采集与监视控制系统，实现计量数据的集中化监控与设备的远程化运维管理。

3.2 智能体积修正仪与网络化管理系统

在中小流量天然气计量场景中，涡轮流量计、膜式流量计等传统计量仪表仍保持广泛应用态势，但其配套的智

能体积修正仪（下称智能积算仪）已完成智能化技术迭代升级。该设备不仅可完成介质温度与压力参数的动态补偿运算，还集成了IC卡预付费管控、无线远程数据传输、智能阀控、异常用气工况诊断等多元功能。国内某城市燃气企业为逾10万户工商业用户部署搭载NB-IoT通信模块的智能积算仪。该计量管理系统月度自动抄表成功率达99.5%以上，依托内置大数据分析模型，可精准识别用户异常用气模式。2023年度，该系统累计主动甄别并处置各类用气安全隐患与计量纠纷超800起，显著提升燃气计量与安全管控水平。

4 智能化计量检测技术在石油及液体能源计量中的应用

石油及其衍生品的计量工作涵盖开采、集输、储运、销售等全流程环节，智能化计量技术的核心要义在于提升贸易交接计量的公平公正性与生产过程计量的精准性。

在成品油终端销售环节，智能化发油系统集成流量计、控制终端、防溢油检测探头、静电接地监测装置、车牌识别系统、视频监控单元等多元设备。作业人员依托IC卡或移动终端APP完成自助提油操作，系统可自动开展订单核验、装车流程联锁管控、计量数据实时采集及单据自动生成打印等系列操作。该系统实现提油单据至物流数据的全流程数字化转型，所有交易环节中的油品品类、交割数量、作业时间、运输车辆及客户信息均实现精准记录与全流程可追溯，为供应链体系优化、库存精细化管控及舞弊行为甄别提供了关键性技术支撑。

5 技术挑战与发展趋势

尽管智能化计量检测技术已取得阶段性显著成效，但在规模化推广应用进程中仍面临诸多亟待突破的现实挑战。

5.1 数据安全与隐私防护

海量高粒度能源消费数据涉及用户隐私与商业机密范畴，如何防范数据在传输、存储、应用全生命周期内发生窃取、篡改或滥用风险，成为亟待解决的核心问题。需强化通信加密、访问权限管控、数据脱敏等技术防护手段，同时推动相关法律法规体系的健全完善。

5.2 标准协议与互联互通

不同厂商的设备与系统存在技术壁垒及标准不统一问题，引发“信息孤岛”效应，抬升系统集成与运维管理成本。亟待构建并完善统一的国家及行业标准体系，破除技术兼容障碍。

5.3 长期运行可靠性验证

智能化计量设备长期处于复杂现场工况下运行，其电

子元器件服役寿命、传感器性能长效稳定性、软件系统抗攻击能力等均需持续开展验证与优化提升工作。

5.4 海量数据处理与价值挖掘

如何从PB级计量数据中高效、智能地挖掘提取高价值信息，对数据分析算法模型与计算支撑平台提出更高层级的技术要求。

未来该技术的发展趋势将聚焦于技术深度融合应用、感知层智能化升级、系统级协同智能构建、服务模式创新拓展四大方向。技术深度融合应用中，5G通信、边缘计算、数字孪生、区块链等新一代信息技术将与智能化计量技术实现深度融合。感知层智能化升级方向中，计量传感终端将集成更多自感知、自诊断、自校准功能模块，同时朝着微型化、低功耗、多参数集成化方向演进。系统级协同智能构建中，从单点设备的智能化，向全计量系统乃至能源系统的协同智能化方向升级演进。依托“云-边-端”协同架构，实现更精准的能源调度管控、更高效的故障预测与健康管理。服务模式创新拓展中，基于智能化计量数据资源，将衍生出多元增值服务形态，例如深度能效优化服务、碳排放精准核算及交易服务、基于用能行为特征的金融保险产品创新等。

6 结语

智能计量检测技术是能源领域数字化转型进程中的核心支撑性基础设施。该技术在电力、天然气、石油等核心能源领域的规模化应用实践充分验证，其可从底层逻辑层面提升能源计量工作的精准性、实时性与可靠性，显著降低全流程管理成本与运营风险敞口，为能源贸易公平化、利用高效化、运营安全化及决策科学化筑牢坚实的数据底座。针对数据安全防护、技术标准统一等现实挑战，亟需产业界、学术界与政策制定部门开展协同攻关，持续推动技术迭代创新与标准体系的完善构建。未来，伴随更多前沿技术的深度融合与渗透，智能计量领域将实现从“数据计量”到“智慧计量”的范式跃迁，在构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系进程中发挥更为关键的支撑作用。

参考文献

- [1] 吕鲁望.基于移动互联网的计量检测智能化管理体系开发[J].信息记录材料,2021,22(08):153-155.
- [2] 厉旻,卢小霖,李何良.基于智能化管理的压力传感器计量检测方法[J].自动化技术与应用,2024,43(09):8-11+20.
- [3] 王惠君,王凯,武宏璋,等.基于AI大模型的计量检测机构智能化升级路径探索[J].衡器,2025,54(06):47-49.