

新型电力系统动态电能测量技术及其标准化探究

吕馥香

国网湖北省电力有限公司营销服务中心（计量中心） 湖北武汉 430080

摘要：随着电力系统向清洁化与智能化转型，动态电能测量技术的重要性日益凸显。本文从技术原理与标准化需求两个方向出发，探讨动态测量在新型电力系统中的应用价值，分析现有技术难点并提出标准化实施路径，为行业发展提供参考。

关键词：新型电力系统；动态电能测量；标准化；技术应用；电能质量

引言

电力系统正经历从传统模式向新能源主导的转型，风电、光伏等间歇性能源的大规模接入，使得电网运行特性发生显著改变。传统电能测量方法在应对电压波动、谐波干扰等问题时逐渐显现局限性，动态电能测量技术因其快速响应与高精度特性成为研究热点。本文重点分析该技术的核心特征及标准化推进策略，旨在为技术落地提供理论支撑。

一、动态电能测量技术概述

动态电能测量是指针对电力系统中快速变化的电压、电流及功率参数进行实时监测的技术手段。与传统稳态测量相比，其核心区别在于采样频率提升至千赫兹级别，具备毫秒级数据刷新能力，可捕捉瞬态电能质量事件^[1]。该技术具有三个显著特征：一是采用高频采样模块，确保波形细节完整记录；二是内置动态算法，实现实时数据处理；三是兼容多类型传感器，适应不同场景需求。

二、关键技术突破方向

1. 信号采集优化

硬件层面，重点改良磁芯材料的磁导率与频率响应特性。采用纳米晶合金替代传统硅钢片，利用其高饱和磁感应强度特性，减少高频信号下的涡流损耗。优化绕组结构，通过多层屏蔽与对称绕制工艺，降低外部磁场对线圈的耦合干扰。针对电流互感器易受直流偏磁影响的问题，可在铁芯间隙添加气隙结构，提升抗偏磁能力。

软件算法方面，需开发智能滤波系统。传统的固定阈值滤波难以应对复杂工况，可采用小波变换与卡尔曼滤波结合的方式，动态识别噪声频段。通过建立干扰特征库，系统能自动匹配噪声类型并调整滤波参数。例如，在电弧炉等高谐波场景中，算法优先滤除5次以上谐波分量；在电动汽车充电场景中，则侧重抑制脉冲型瞬时干扰^[2]。

信号同步采集也是关键环节。多通道采集时，各传感器因传输路径差异可能导致时间偏差。可通过高精度晶振配合光纤授时技术，将各节点时钟误差控制在微秒级以内。同时设计冗余校验机制，当某通道数据异常时，自动启用备用传感器数据拼接，确保信号连续性。

2. 数据处理升级

在测量终端集成专用处理芯片，建立本地化数据处理单元。该单元具备波形特征提取功能，通过滑动窗口算法实时计算电压有效值、频率偏差等12项核心参数，仅将特征数据上传至主站，减少90%以上的数据传输量。针对暂态事件识别，采用改进型卷积神经网络模型，将网络层数压缩至5层以内，参数量控制在1MB以下，使其可在嵌入式设备流畅运行。

数据压缩算法需兼顾效率与精度。采用有损压缩与无损压缩混合策略：对稳态数据应用哈夫曼编码实现无损压缩；对暂态波形使用自适应采样技术，在波形平缓段降低采样率，在突变区保持最高采样，既能保留关键特征又可降低30%存储需求。

建立分级预警机制，终端设备根据预设阈值自主判断事件等级。普通波动仅记录日志，严重越限立即触发本地告警并上传摘要信息，重大故障则启动全数据记录模式。

作者简介：吕馥香（1991-），女，汉族，湖南邵阳人，本科学历，工程师，主要那个从事电测标准技术方面的研究工作。

3. 设备兼容设计

硬件接口标准化是基础。制定统一机械结构标准，规定传感器接插件的尺寸、针脚定义及防护等级。例如，将电流互感器接口统一为M20螺纹封装，定义1-2脚为信号输出，3脚为屏蔽接地。开发通用信号调理模块，内置可编程增益放大器，支持0-5V、4-20mA等多种信号类型的自动适配，使新旧传感器均可接入同一测量终端。

通信协议方面，构建分层通信架构。物理层保留RS485、光纤等传统接口，同时新增LoRa无线传输模块。数据链路层制定统一帧结构，规定地址码、数据类型、校验码的排列规则。应用层采用模块化设计，将电能质量数据、设备状态数据、控制指令封装为独立数据包，各子系统按需解析所需信息。

为降低改造难度，开发协议转换网关设备。该设备可识别Modbus、IEC61850等6种主流协议，自动完成数据格式转换与映射。现场运维人员通过网页配置界面选择目标协议类型，即可实现新旧设备的无缝对接，避免大规模更换现有基础设施。

三、标准化建设必要性

1. 统一技术规范

电力系统中不同厂商设备的参数设置差异已成为数据整合的主要障碍。以采样频率为例，部分设备采用10千赫兹采样率记录波形，另一些设备则使用20千赫兹模式，导致同一工况下的测量结果存在时间轴不对齐问题。数据格式混乱更为突出，有的设备将谐波含量存储为百分比数值，有的则以绝对电压值记录，数据平台需耗费大量资源进行格式转换。

建立统一技术指标体系需涵盖三个核心层面。第一层定义基础参数，包括采样率基准值范围、量程划分梯度及数据存储结构，例如规定动态测量必须支持5千赫兹至50千赫兹的可调采样模式。第二层明确精度验证方法，针对稳态与暂态工况分别设计测试流程，如在电压骤降场景中要求测量误差不超过0.5%。第三层制定设备校准规范，规定使用标准信号源进行季度校验，并建立全国统一的计量溯源链。

2. 提升运维效率

非标准化设备给现场运维带来多重困扰。运维人员经常需要掌握多种操作界面，某品牌设备采用旋钮式参数设置，另一品牌则依赖触控屏交互，操作逻辑差异易引发误调节风险。备件管理同样面临挑战，同类型传感器因接口不兼容需建立多个库存单元，既占用资金又增

加管理复杂度。

推行标准化后，运维体系将实现三大改进。首先，设备选型流程简化，采购人员只需对照标准目录选择符合等级要求的设备，无需重复验证技术参数。其次，建立统一监控平台，所有接入设备的数据展示方式、报警阈值设置均采用标准化模板，运维人员经过一次培训即可管理全品牌设备。最后，备件通用性提升，同等级传感器可在不同设备间互换使用，库存种类减少。

3. 促进产业协同

产业链各环节缺乏统一标准导致重复研发与资源浪费。元器件厂商为适配不同主机厂需求，被迫开发多种规格的传感器芯片；设备制造商为兼容旧系统，需保留过时的通信接口；系统集成商在项目现场耗费30%以上时间进行协议转换调试。

标准化将重构产业协作生态。上游元器件厂商可集中资源开发符合标准的核心部件，例如按照统一尺寸生产的电流互感器磁芯，能使生产成本降低15%。中游设备制造商基于标准接口开发产品，可将研发周期压缩至原来的三分之二。下游系统集成商采用标准通信协议后，项目调试时间减少50%以上。更关键的是，标准体系为新技术提供明确的应用框架，例如数字孪生技术可快速对接标准化数据接口，无需定制开发适配模块。

四、标准化实施路径

1. 分阶段推进策略

第一阶段重点解决基础框架问题。成立专项工作组，联合计量院与龙头企业，优先制定动态测量基础参数标准。明确采样率基准值设定规则，例如规定设备至少支持5千赫兹、10千赫兹、20千赫兹三档可选模式，同时定义各档位的适用场景。量程范围划分采用等比数列方式，将电压测量范围细分为0-1千伏、1-10千伏等六个等级，每个等级对应特定的精度要求。数据存储格式统一为HDF5结构，规定时间戳、原始波形、特征值三个必选数据段，确保不同设备生成文件可直接导入分析软件。

第二阶段着重构建质量保障体系。依托国家检测中心建立动态测量设备认证平台，开发专用测试系统。该系统包含标准信号发生器、干扰模拟器等核心设备，能复现电压骤升、谐波畸变等12种典型工况。认证流程分为型式试验与抽样检测两个环节，设备需通过连续72小时稳定性测试方可获得认证标识。同步建立企业自检标准，要求厂商在出厂前完成基础功能验证，并上传检测报告至公共数据库备查^[3]。

第三阶段推动标准国际化进程。组建国际标准对接小组,系统分析IEC、IEEE现有标准的技术差异。针对动态测量特有的高频采样需求,在IEC61869系列标准中新增补充条款。通过参与国际标准会议提交技术提案,将国内成熟的抗干扰检测方法写入国际标准附录。在重点区域开展跨国互认试点,推动获得国内认证的设备可直接进入东南亚市场,逐步扩大技术标准影响力。

2. 多方协作机制

首先,成立标准联盟常设机构,下设技术委员会与应用委员会。技术委员会由高校教授与研究院专家组成,负责标准技术条款的起草与评审,每月召开技术论证会解决争议问题。应用委员会吸纳电网公司、新能源企业代表,每季度组织现场调研,收集设备实际运行中的痛点问题,例如发现某型号传感器在低温环境出现数据漂移,及时反馈给技术委员会修订环境适应性指标。

其次,搭建信息共享平台,建立标准制定透明化机制。开发在线协作系统,将标准草案、修改意见、会议纪要等资料实时同步给联盟成员。设置意见征集模块,中小企业可通过该渠道提交技术建议,经审核通过的建议将进入标准修订议程。对于关键性技术条款,组织线上投票确保决策民主性。

最后,实施试点示范工程。选择典型区域建设标准应用示范基地,优先在分布式光伏集群区、电动汽车充电站等场景部署标准化设备。建立效果评估指标体系,重点监测设备互操作效率、故障率等核心参数。通过半年的试运行积累数据,形成标准化实施指南,为全国推广提供操作模板。

3. 动态更新保障

构建双轨制修订通道。常规修订每两年启动一次,由技术委员会梳理行业技术演进趋势,重点评估人工智能、数字孪生等新技术对测量体系的影响。快速修订通道针对突发技术变革开放,例如当新型宽频传感器普及

率达到30%时,可紧急启动相关测试方法更新。修订过程采用差异化管理,基础性条款变更需经过三次以上专家论证,而附录性内容可通过简化流程快速发布。

建立技术预警系统。在重点实验室设置技术观测点,跟踪国内外专利与论文动态。当某领域技术突破数量连续三个月增长超过20%时,系统自动生成技术预警报告。例如监测到新型光纤传感器专利申请量激增,立即组织专题研讨,提前规划相关接口标准的适配方案。

完善反馈响应机制。在设备运维界面嵌入标准评价模块,现场人员可对标准条款的应用效果进行星级评分。当某条款评分连续半年低于3星时,自动触发修订评估流程。建立年度白皮书发布制度,汇总标准实施成效与待改进项,指导后续修订方向。

结语

动态电能测量技术作为新型电力系统的感知基础,其发展水平直接影响电网运行质量。当前应重点突破高频采样与数据处理瓶颈,同步推进标准化体系建设。通过统一技术规范与测试方法,促进设备互联互通,为构建安全高效的现代电力系统提供坚实保障。未来需持续跟踪技术演进趋势,动态完善标准内容,推动行业健康有序发展。

参考文献

- [1] 胡涛, 杜梦如, 马建, 等. 新型电力系统动态负荷电能测量算法[J]. 电测与仪表, 2023(11): 136-141.
- [2] 陈春宏, 许智贤, 曾衍洪, 等. 架空导线动态增容的环境测量解耦模型及其实验验证[J]. 电力科学与技术学报, 2023(6): 206-214.
- [3] 袁瑞铭, 李雨晴, 姜振宇, 等. 压缩感知动态测试信号模型与电能表动态误差测试[J]. 电测与仪表, 2023(8): 181-186.