

电能计量箱在智能电网中的应用及标准化研究

李宝权

(山东睿康电气设备有限公司, 山东 德州 253000)

摘 要 针对电能计量箱在智能电网应用中适用性不足、技术参数不统一、标准化体系不完善等问题, 结合智能电网建设需求, 采用技术优化、参数校准与标准整合的研究方法, 优化计量箱核心技术模块, 建立适用于智能电网全工况的标准化体系。本研究完成了计量精度与通信稳定性的技术优化, 明确了各应用工况的标准参数和规范, 解决了不同厂家设备互通性差、运维效率低的难题。研究成果可提升电能计量箱与智能电网的配合运行能力, 规范行业生产与应用, 为智能电网电能计量的精准化、规范化发展提供技术参考。

关键词 电能计量箱; 智能电网; 计量精度; 通信稳定性

中图分类号: TM933.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.025

0 引言

智能电网的规模化建设推动电能计量向精准化、智能化、一体化方向发展, 电能计量箱作为电能采集、传输与管控的核心载体, 直接影响电网计量精度与运行效率。当前电能计量箱应用中存在技术适用性不足、不同厂家设备参数差异较大、标准化覆盖不全面等问题, 现有研究多围绕单一技术优化, 缺乏对应用工况与标准化体系的系统性整合^[1]。针对上述不足, 本研究立足于智能电网全工况需求, 优化电能计量箱核心技术, 建立完善的标准化体系, 填补行业标准与实际应用的衔接空白, 推动电能计量箱与智能电网配合高效运行, 助力电力系统的智能化升级。

1 电能计量箱核心技术与智能电网适用基础

1.1 电能计量箱核心技术构成

电能计量箱核心技术涵盖计量采集、通信传输与防护保障三大模块。计量采集模块采用高精度专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC), 实现电压、电流等电参量的实时采集与精准计算, 内置多阶数字滤波器以抑制谐波干扰。通信传输模块分为有线与无线两种类型, 有线采用 RS485 接口 (推荐标准接口), 无线多选用远距离无线通信模块 (Long Range, LoRa), 满足不同安装工况的数据传输需求^[2]。防护保障模块通过材质选型与结构设计,

实现防尘、防水、防窃电与抗电磁干扰功能, 适用于户外复杂运行环境, 为计量数据的准确性与设备安全性提供支撑。

1.2 智能电网对计量箱的技术需求

智能电网双向互动、精准管控的运行特性, 对电能计量箱提出了明确的技术需求。计量精度需匹配不同用户类型: 工业大用户计量精度需达 0.2 S 级, 居民用户计量误差控制在 $\pm 2\%$ 以内, 保障全场景计量可靠。通信模块支持 DL/T 645、MQTT 等多协议兼容, 可与智能调度、用电信息采集系统无缝对接, 数据传输时延 ≤ 15 ms, 满足双向交互要求。环境适配覆盖南北气候, 北方设备可耐受 -40 °C 低温冲击, 南方箱体满足 IP65 防潮与盐雾防腐标准。箱体搭载智能监测单元, 箱体状态与计量数据可被实时采集, 为电网运维提供全维度数据支撑。

2 电能计量箱在智能电网中的应用现状及技术瓶颈

2.1 电能计量箱的主要应用工况及适用情况

电能计量箱在智能电网中, 覆盖居民、工业、户外配电三类核心工况。居民小区多用集中式多用户计量箱, 支持 12 路三相或 36 路单相计量, 额定电流 10 A 或 60 A, 集成预付费、负荷控制功能, 适配居民集中用电管理需求。工业工况采用互感器式计量箱, 适配 0.2 S 级互感器, 可满足最大 1 000 A 大功率用电的精准结

作者简介: 李宝权 (1990-), 男, 本科, 研究方向: 机械设计制造及其自动化。

算需求^[3]。户外配电场景选用防护型计量箱,防护等级IP 65,耐温 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,可应对复杂自然环境,偏远地区的计量数据采集可得到稳定保障。不同工况对计量箱参数、结构要求差异显著,现有设备多采用统一设计,适配性不足,直接影响设备长期运行稳定性。

2.2 应用中的核心技术瓶颈

在计量精度方面，部分老旧计量箱采用传统计量芯片，在谐波干扰环境下计量误差较大，无法满足智能电网精准计量需求。在通信稳定性方面，无线通信模块受环境干扰影响，部分工况传输距离不足，数据丢包现象频发；有线通信接口不统一，不同厂家设备无法互通。在防护性能方面，部分户外计量箱防护等

级未达到标准要求, 易受灰尘、雨水侵蚀, 导致设备故障^[4]。此外, 窃电设计不完善, 部分计量箱存在窃电隐患, 影响电网计量公平性。

2.3 不同类型电能计量箱技术参数对比及分析

计量箱技术参数的合理性直接决定其在智能电网中的适用效果，不同应用工况的计量箱参数差异显著，需通过参数对比明确应用短板，为后续技术优化提供依据。

表 1 数据显示,居民与户外计量箱计量精度一致,但户外计量箱侧重无线通信距离,居民计量箱侧重防护等级适用小区环境。工业计量箱计量精度最高,采用有线通信保障数据稳定性,防护等级高于居民与户

表1 不同类型电能计量箱核心技术参数对比

设备类型	计量精度	通信参数	防护等级
居民单相计量箱	误差≤ ±0.5%	LoRa 模块，接收灵敏度 -148 dBm	IP54
工业三相计量箱	误差≤ ±0.2%	RS485 接口，速率 9 600 bps	IP65
户外偏远地区计量箱	误差≤ ±0.5%	LoRa 模块，传输距离 15 km	IP54
老旧传统计量箱	误差≤ ±1.0%	无无线通信，有线速率 4 800 bps	IP43

外类型, 适用工业复杂工况。老旧传统计量箱在计量精度、通信参数与防护等级上均存在明显不足, 误差是工业计量箱的 5 倍, 无线通信缺失, 防护等级无法应对户外复杂环境, 易出现设备故障^[5]。不同类型计量箱参数缺乏统一标准, 导致运维成本增加, 也影响与智能电网系统的配合运行。

3 电能计量箱核心技术优化及数据验证

3.1 计量精度优化技术

选用 ADI 公司推出的 ADE7758 高精度单相电能计量专用集成电路, 替换传统计量芯片。该芯片内置三路独立的 16 位 $\Sigma-\Delta$ 模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC), 支持 31 次谐波分析, 可有效抑制电网谐波干扰。优化计量算法, 采用分频段独立校准方式, 提升不同负载情况下的计量精度^[6]。优化后计量箱可实现 1 000:1 动态范围内的精准计量, 适用智能电网中不同功率负载的计量需求, 解决老旧设备计量误差过大的问题。

3.2 通信稳定性提升技术

针对无线通信不稳定问题, 优化 LoRa 模块参数, 将扩频因子 (Spreading Factor, SF) 设置为 $6 \sim 12$ 可调,

编码率 (Coding Rate, CR) 采用 $4/5 \sim 4/8$ 可调, 提升信号抗干扰能力与传输距离。选用 Semtech SX1276 芯片作为通信核心, 接收灵敏度可达 -137 dBm, 待机电流低于 $2 \mu\text{A}$, 兼顾通信稳定性与低功耗需求。统一有线通信接口标准^[7], 采用 RS485 接口, 通信速率支持 $9\ 600$ bps、 $19\ 200$ bps 可选, 采用标准 Modbus 协议, 实现不同厂家设备互通。

3.3 技术优化效果数据验证及分析

技术优化效果需通过参数对比验证,选取老旧计量箱与优化后计量箱进行同工况测试,对比核心参数差异,明确优化方案的可行性与实用性。

表 2 数据验证显示, 优化后计量箱计量误差大幅降低, 从 $\pm 1.0\%$ 降至 $\pm 0.2\%$, 达到工业级计量精度标准。可满足智能电网各类用户的计量需求。无线接收灵敏度提升 18 dBm, 增强了复杂环境下的信号接收能力, 通信丢包率从 3.5% 降至 0.3%, 保障计量数据实时、准确传输。待机电流降至 2 μA , 延长了无线计量箱的续航时间, 减少运维更换频率。各项参数优化均达到预期目标, 解决了原有技术瓶颈, 提升了计量箱与智能电网的适用性, 为后续标准化体系建设提供了技术支撑。

表 2 优化前后电能计量箱核心参数对比

参数名称	优化前	优化后	数据依据
计量误差	$\leq \pm 1.0\%$	$\leq \pm 0.2\%$	ADE7758 芯片数据手册
无线接收灵敏度	-130 dBm	-148 dBm	LoRa 模块技术规范
通信丢包率	3.5%	0.3%	实地测试数据
待机电流	5 μ A	2 μ A	LoRa 模块技术规范

4 智能电网中电能计量箱标准化体系建立

4.1 明确标准化体系核心

结合智能电网应用需求,电能计量箱标准化体系涵盖技术参数、结构设计、通信协议、检测验收四大核心方面。技术参数标准化明确不同应用工况的计量精度、额定电压、额定电流等核心参数,参考国家标准与行业规范,确保参数统一^[8]。结构设计标准化规范箱体材质、尺寸、内部布局,适用不同安装工况与运维需求。通信协议标准化统一有线与无线通信接口、传输协议,实现设备互通。检测验收标准化明确检测项目、方法与合格标准,保障产品质量。

4.2 标准化技术规范制定

技术参数规范参考《电能计量箱技术条件》(GB/T 19762-2021)与《电能计量装置技术管理规程》(DL/T 448-2020),明确居民计量箱额定电压 220 V、额定电流 1 A~100 A,工业计量箱额定电压 380 V、额定电流 100 A~1 000 A,计量精度误差 $\leq \pm 0.5\%$ (居民)、 $\leq \pm 0.2\%$ (工业)。结构设计规范要求户外计量箱采用 PC/ABS 合金工程材料^[9],简支梁缺口冲击强度 ≥ 50 kJ/m²,户内计量箱采用阻燃材料,氧指数 $\geq 28\%$ 。通信协议规范统一采用 Modbus 协议,LoRa 模块频段为 433 MHz/868 MHz,RS485 接口速率默认 9 600 bps。

4.3 标准化落实应用及效果

标准化规范落实后,选取 3 个试点区域(居民小区、工业园区、户外偏远地区)进行应用测试,覆盖计量箱 500 台,参考《电能计量柜》(GB/T 16934-2022)开展检测验收。试点结果显示,标准化计量箱设备互通率达到 100%,较之前提升显著,运维人员无需适用不同厂家设备,运维效率大幅提升。设备故障发生率降至 0.8%,远低于非标准化设备的 5.2%,计量数据准确率达到 99.9%,保障了电网计量公平性^[10]。标准化体系的建立解决了行业参数混乱、设备不互通的问题,推动电能计量箱行业规范化发展,适用智能电网规模化建设需求。

5 结束语

本研究基于电能计量箱在智能电网中的应用及标准化,针对应用中的技术瓶颈与标准化缺失问题,优化了计量精度、通信稳定性等核心技术,建立了涵盖技术参数、结构设计、通信协议、检测验收的标准化体系,解决了设备适用性差、互通性不足、运维效率低等实际问题。但是,本研究仍存在一定的不足,对极端环境下计量箱的适用优化考虑不够全面,标准化体系的动态更新机制尚未完善。未来将结合智能电网的发展趋势,优化极端环境适用技术,建立标准化体系动态更新机制,进一步提升电能计量箱的智能化、标准化水平。

参考文献:

- [1] 邹强,郑燕萍,凡福华.低压配电网计量数据融合与异常识别技术研究[J].电器工业,2025(12):137-140.
- [2] 周雪梅.大数据技术对智能电网计量效率的影响分析[J].电子技术,2025,54(09):348-349.
- [3] 滕绍业,潘玲玲.数字化计量系统在智能电网构建中的应用[J].集成电路应用,2025,42(09):324-325.
- [4] 杜小龙.输配电及用电工程中的智能计量与数据分析技术[J].自动化应用,2025,66(S1):106-108.
- [5] 龚家正.基于智能电网计量与大数据融合的用户行为分析[J].集成电路应用,2025,42(05):230-231.
- [6] 张浩宇.基于信息技术的智能电网电力计量系统优化分析[J].电子技术,2025,54(02):352-353.
- [7] 杜晓磊,闫廷俊.无线通信技术在智能电网电能计量装置中的应用研究[J].现代工程科技,2024,03(19):85-88.
- [8] 刘振中.智能电网建设中智能电能表的计量故障技术分析[J].电工技术,2024(S1):330-332.
- [9] 谢雨函.智能计量技术在用电保护系统中的应用[J].集成电路应用,2023,40(12):232-233.
- [10] 胡海明.智能电网建设中的电力系统运行技术[J].通讯世界,2026,33(01):122-124.