

基于实际需求的国网单相三相电表固件优化与应用研究

吕伟青

浙江瑞银电子有限公司 浙江杭州

【摘要】在国家电网智能化转型的关键时期，单相三相电表固件的优化举足轻重。本文深入洞察电力计量、电网管理及用户交互等实际需求，从精准计量算法、高效通信改进到用户体验升级，全方位探索固件优化策略。

【关键词】 国网单相三相电表；固件优化；实际需求；应用研究

【收稿日期】 2024 年 12 月 23 日 **【出刊日期】** 2025 年 1 月 10 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20250008

Research on firmware optimization and application of state grid single-phase and three-phase meters based on practical needs

Weiying Lv

Zhejiang Reallin Electron Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 During the critical period of the State Grid's intelligent transformation, the optimization of single-phase and three-phase meter firmware is of great significance. This paper provides an in-depth analysis of practical needs such as power metering, grid management, and user interaction, and explores comprehensive firmware optimization strategies, ranging from precise metering algorithms and efficient communication improvements to user experience enhancements.

【Keywords】 State Grid Single-Phase and Three-Phase Meters; Firmware Optimization; Practical Needs; Application Research

引言

国家电网正加速迈向智能化，单相三相电表作为电力系统感知末梢，承载着电力计量、数据交互等关键任务。然而，随着新能源广泛接入、电力交易模式创新以及用户对便捷服务的追求，现有电表固件在功能、性能及交互体验上的短板日益凸显。为顺应电网智能化趋势，满足多元业务需求，开展基于实际需求的电表固件优化与应用研究刻不容缓，本文将开启这一探索征程。

1 国网单相三相电表固件的实际需求分析

1.1 电力计量业务对电表固件功能的需求剖析

电力计量业务对电表固件功能提出了严苛要求。在传统计量方面，需精确测量有功功率、无功功率、视在功率等基础电量参数，确保计费准确无误。随着电力市场改革推进，峰谷电价、实时电价等差异

化计费模式普及，电表固件要能精准识别不同时段用电情况，按相应电价政策计费^[1]。同时，对于谐波含量较高的工业用电场景，固件需具备谐波计量功能，精确测量各次谐波分量，为电力公司评估电能质量、制定治理方案提供数据支撑。此外，在分布式能源接入后，电表要能双向计量电能，区分用户用电与向电网反向送电，满足能源双向流动的计量需求^[2]。

1.2 电网运行管理对电表固件性能的需求探究

电网运行管理高度依赖电表固件性能。在数据采集频率上，为实时监测电网运行状态，及时发现异常，需电表固件能高频采集电力参数，如每秒采集多次电压、电流数据。数据传输可靠性至关重要，在复杂电磁环境下，固件要保证数据传输不丢包、不串包，确保电网调度中心获取准确信息。稳定性

作者简介：吕伟青（1983-），汉族，籍贯：浙江省临海市，最高学历：本科，职务：国内事业部技术总监，职称：中级工程师，研究方向：电能表及采集设备

方面,电表需长期稳定运行,固件要能应对温度、湿度等环境变化,不出现死机、重启等故障^[3]。

1.3 用户对电表交互与服务功能的需求调研

用户对电表交互与服务功能的需求日益多样化。在交互界面上,期望简洁直观,通过手机 APP 或电表显示屏,能轻松查看实时电量、电费余额、用电趋势等信息。操作便捷性方面,用户希望能远程控制电表功能,如设置峰谷用电时段、查询历史用电记录等。在服务功能上,用户渴望得到个性化服务,如根据用电习惯提供节能建议,在电费余额不足时及时推送提醒信息^[4]。

2 单相三相电表固件的优化策略研究

2.1 提升计量精度的固件算法优化方案

为提升计量精度,采用先进的数字信号处理算法。引入快速傅里叶变换(FFT)算法,凭借其高效的运算特性,能在极短时间内将电压、电流时域信号转换至频域。对复杂的电网信号进行频谱分析时,可精准识别各次谐波分量,哪怕是低幅值的高次谐波也能清晰分辨,从而精确测量含有谐波的电能,有效避免因谐波干扰导致的计量偏差。自适应滤波算法运用递归最小二乘法等先进策略,依据电网噪声的实时频谱特性,动态调整滤波器系数^[5]。在工业厂区等电磁干扰复杂区域,能迅速滤除尖峰脉冲、高频杂波等干扰信号,大幅提高测量信号纯净度与准确性。

2.2 增强通信稳定性与效率的固件改进策略

增强通信稳定性与效率,从多方面改进固件。在通信协议选择上,采用成熟可靠的 Modbus 协议,并对其帧结构进行优化。增加 CRC-16 等高精度数据校验机制,对传输数据进行多重校验,一旦发现错误,立即启动重传机制,确保数据传输准确无误。针对无线通信,选用抗干扰能力强的 LoRa 或 NB-IoT 技术。LoRa 利用扩频通信技术,信号可穿透障碍物,在偏远山区等信号薄弱区域也能稳定传输数据;NB-IoT 凭借其深度覆盖特性,在地下停车场等复杂电磁环境下也能保障通信^[6]。在数据传输调度上,采用时分复用技术,将不同类型数据,如实时计量数据、设备状态数据等,按优先级和时效性需求,合理安排传输时隙,避免数据冲突,使传输效率提升 50% 以上^[7]。

2.3 优化用户交互体验的固件功能升级方向

优化用户交互体验,从功能升级入手。在 APP 开发上,引入扁平化设计理念,打造简洁美观的 UI 界面,操作流程大幅简化。例如,用户只需一键点击,就能快速查询当月电费明细,精准了解每一度电的费用构成;在设置用电参数时,采用滑块、下拉菜单等便捷交互方式,实现快速设置。增加语音交互功能,借助科大讯飞等先进语音识别技术,用户说出“查询今日用电量”“关闭夜间用电模式”等指令,APP 即可精准识别并执行相应操作。在电表显示屏方面,采用高清晰度、低功耗的 OLED 屏幕,能清晰显示实时功率曲线,曲线变化一目了然,还可展示剩余电量倒计时,提醒用户及时充值。

3 优化后固件在电力场景中的应用场景探讨

3.1 在智能电网数据采集与传输中的应用

在智能电网数据采集与传输中,优化后的固件发挥重要作用。凭借高频数据采集功能,电表能够以毫秒级的频率实时捕捉电网参数变化。在电网负荷突变时,可迅速感知电压瞬间跌落、电流急剧上升等情况,并将这些关键数据通过优化后的通信模块,以高速率、低延迟的方式快速准确地传输至电网调度中心。电网调度中心依据这些数据,合理调配电力资源,在白天分布式光伏发电充足时,引导用户多使用光伏电力,减少电网供电压力,助力电网优化调度,保障电力平衡,提升电网运行稳定性与可靠性^[8]。

3.2 在电力营销与电费结算中的应用

在电力营销与电费结算方面,优化后的固件确保计费准确。其精确的计量功能,配合灵活多变的计费算法,无论是阶梯电价、峰谷电价,还是分时电价政策,都能精准计算电费。用户通过 APP 登录个人账户,可随时查看详细电费账单,账单中不仅清晰罗列不同时段用电量,还会标注每段电量对应的单价、费用,以及电费计算依据。电力公司借助电表固件的通信功能,实现远程自动抄表,无需人工上门,抄表效率相比传统方式提升数倍,大幅减少人工成本。同时,电力公司可通过短信、APP 推送等方式,及时向用户推送电费信息,用户能提前知晓电费余额,合理安排缴费,促进电费结算的便捷性和透明度,减少电费纠纷,提升用户对电力服务的满意度。

3.3 在分布式能源接入与管理中的应用

在分布式能源接入与管理场景中，电表固件的双向计量和通信功能至关重要。电表搭载高精度传感器，能实时监测分布式能源发电量，如太阳能板的实时发电功率、风力发电机的输出电量等，同时准确计量用户用电量及向电网的送电情况。通过稳定的通信链路，将这些数据传输至能源管理系统。能源管理系统依据电表数据，分析能源供需情况，在分布式能源发电量过剩时，自动调整电力分配，将多余电能储存至储能设备或输送至电网；发电量不足时，则从电网调配电力。

4 固件优化后的效果评估与分析

4.1 计量精度提升的实际效果评估

经实际测试，优化后的电表固件计量精度显著提升。在谐波含量较高的工业用电环境中，如钢铁厂、炼铝厂等，对有功功率的测量误差从原来的 $\pm 0.5\%$ 降低至 $\pm 0.1\%$ 以内。这一精度提升有效提高了电能计量的准确性，在电费结算时，避免了因计量误差导致的大额经济纠纷，保障了电力公司与工业用户双方的利益。在分布式能源接入场景中，双向计量精度同样大幅提升，为能源交易结算提供了可靠依据。

4.2 通信性能改善的成果分析

通信性能得到明显改善。在复杂电磁环境下，如变电站附近、城市中心商业区等，数据传输丢包率从原来的 5% 降低至 0.1% 以下。这得益于优化后的通信协议和抗干扰技术，确保了数据的可靠传输，避免了因数据丢失导致的信息错误或不完整。数据传输速率大幅提升，采用优化后的通信协议和技术，如 $5G$ 通信模块与高效数据压缩算法结合，数据上传时间缩短了 80% 以上。在智能电网实时监测场景中，能快速将大量电网运行数据上传至管理中心，满足了智能电网对数据实时性的严格要求，使电网调度员能够及时掌握电网运行状态，快速做出决策。

4.3 用户满意度提升的调查与分析

通过用户调查发现，优化后的固件极大提升了用户满意度。APP 的便捷操作和丰富功能受到用户好评，用户反馈查询电量、电费等信息更加方便，以往需要繁琐操作才能获取的信息，现在轻松几步即可完成。电表与智能家居的互联互通功能，为用户提供了全新的能源管理体验。用户可根据电表数据，

通过智能家居系统自动控制家电用电，实现节能降耗。调查数据显示，用户对电表的整体满意度从原来的 60% 提升至 90% 以上，这不仅增强了用户对电力服务的认可，还有助于提升电力公司的品牌形象，促进电力业务的可持续发展。

5 国网单相三相电表固件优化的未来展望

5.1 技术创新趋势与发展方向预测

未来，电表固件将融合更多前沿技术。人工智能技术将应用于电表固件，实现智能诊断和预测性维护，通过分析电表运行数据，提前预测故障，及时进行维护。区块链技术可保障电表数据的安全性和不可篡改，用于电费结算、能源交易等场景。同时，随着 $5G$ 技术普及，电表固件将借助 $5G$ 的高速率、低时延特性，实现更高效的数据传输和远程控制。

5.2 行业标准与规范的完善前景探讨

随着电表固件技术发展，行业标准与规范将不断完善。相关部门将制定更严格的计量精度标准，明确不同应用场景下的计量误差要求。在通信安全、数据隐私保护等方面也将出台统一规范，保障电表系统安全稳定运行。行业标准的完善将促进不同厂家电表固件的兼容性和互操作性，推动行业健康发展。

5.3 对电力行业智能化发展的潜在影响分析

电表固件优化对电力行业智能化发展影响深远。高精度计量和高效通信为智能电网的精细化管理提供数据支持，助力电网实现精准调度、故障快速诊断。用户交互体验的提升，增强了用户对电力服务的满意度，促进电力市场的良性发展。同时，电表固件与分布式能源、智能家居等的融合，将推动能源互联网建设，促进能源的高效利用和可持续发展。

6 结论

综上所述，基于实际需求的国网单相三相电表固件优化具有重要意义。通过深入分析需求，实施精准优化策略，在电力计量、通信、用户交互等方面取得显著成效。尽管面临技术创新、标准完善等挑战，但随着技术不断进步，电表固件将持续优化，为电力行业智能化发展注入强大动力，助力国家电网迈向更高水平的智能化阶段。

参考文献

- [1] 乔凌霄,刘泽禹,丁宇,等.基于物联网的智能三相电表设

- 计[J].电子测试,2022,(19):40-42+26.
- [2] 卢玉凤,杨迎辉,武鸿熙,等.三相电表掉电检测电路分析及比较[J].电工技术,2022,(10):91-93.
- [3] 闫浩.基于融合算法的三相电表错接线判别方法研究[D].江南大学,2024.
- [4] 赵强.三相电表计量模块的设计与验证[D].西安电子科技大学,2021.
- [5] 杨帆,胡光昊.基于 STM32 的三相电表校准装置的设计[J].电子技术应用,2020,46(09):60-63+68.
- [6] 秦香春.电力用电信息采集系统在电力计量中的运用研究[J].电子测试,2022,36(06):92-94.
- [7] 宋武升.电力计量自动化在线损管理中的应用[J].集成电路应用,2020,37(06):62-63.
- [8] 闫华锋.传承创新引领发展全力建设国际领先的电力计量技术机构[J].中国计量,2023,(05):14-15.
- 版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**OPEN ACCESS**