

# 试论电网信息采集中的智能电表技术

李筱琦 李 佳 郑建宏

青岛高科通信股份有限公司 山东 青岛 266101

**摘要:** 智能电表作为电网信息采集的关键设备, 正经历从传统计量向智能化、多功能化的转型。借助物联网、大数据、AI等技术, 智能电表实现了高精度计量、实时数据传输、故障预警、负荷优化等功能, 显著提升了电网运行效率与安全性。随着“双碳”目标推进及智能电网建设加速, 智能电表技术持续创新, 成为构建新型电力系统、推动能源数字化转型的重要支撑。

**关键词:** 电网; 信息采集; 智能技术

**引言:** 在能源转型与智能电网加速建设的大背景下, 电网信息采集的精准性、实时性与智能化成为关键需求。智能电表作为电网末端的核心感知设备, 不仅承担着电能计量基础功能, 更通过集成物联网、大数据、人工智能等技术, 实现对电网运行状态的全面感知与智能调控。其技术发展直接关系到电网的可靠性、经济性与用户服务质量, 成为推动能源互联网建设的重要引擎。

## 1 电网信息采集系统中智能电表应用现状分析

### 1.1 传统智能电表架构与功能局限

(1) 硬件组成: 传统智能电表核心由基础测量单元、简单数据处理模块及单一通信接口构成, 主要采集正向有功电能、基础电压电流等核心参数, 依赖RS485总线或GPRS窄带通信实现数据上传, 搭配集中器完成区域数据汇聚, 形成“电表-集中器-主站”的基础传输链路。硬件设计侧重计量功能实现, 缺乏环境感知、故障自诊断等拓展模块, 本地存储容量有限, 仅能满足基础结算数据留存需求, 无法适配复杂电网工况下的多维度数据采集要求。(2) 软件功能: 以单一电能计量与数据上报为核心, 具备基础的分时计费、数据冻结与简单异常标记功能, 软件架构采用中心化被动响应模式, 数据处理能力薄弱。受限于硬件性能, 无法实现本地实时分析, 仅能支撑电量统计、基本负荷监测等基础应用, 且采用的DL/T645旧版协议兼容性差, 难以与新型电网调度系统无缝对接, 无法满足2025版电力标准对数据交互、智能响应的全新要求<sup>[1]</sup>。

### 1.2 传统电表与现行标准的适配缺口及挑战

(1) 数据精度与采集维度不足: 传统智能电表计量误差率多在 $\pm 2\%$ 左右, 且仅能实现电能核心参数采集, 缺乏对谐波、漏电、温度等关键辅助参数的感知能力。2025版电力标准要求电表计量误差率控制在 $\pm 1\%$ 以内, 且需具备多维度工况感知功能, 传统电表已无法满足电网精准调

控与安全监测的新需求, 曾出现因漏电数据缺失导致入户用电安全隐患的案例。(2) 通信效率与互联兼容性差: 传统电表依赖窄带通信技术, 数据传输速率低、延迟高, 采集频率多为15分钟/次, 无法满足2025版标准对毫秒级实时数据传输的要求。同时, 不同厂商设备协议差异大, 缺乏统一物联架构, 某地区电网曾存在10种不同协议的传统智能电表, 数据采集错误率超2%, 设备互联壁垒显著。(3) 安全防护与智能化水平滞后: 传统电表缺乏加密认证机制, 通信数据易被篡改, 存在数据泄露风险, 且无主动预警功能。2025版标准明确要求电表具备全流程数据加密、身份认证与主动告警功能, 传统电表的安全防护体系已完全无法适配, 成为电网信息采集系统的安全短板。

## 2 智能电表核心技术与应用突破

### 2.1 物联网 (IoT) 技术赋能2025版电表升级

(1) 全维度感知硬件升级: 2025版智能电表采用“测量单元+物联感知模块”的一体化设计, 集成漏电监测、温度感知、谐波分析等多维度采集功能, 搭载高精度传感器与自校准模块, 计量误差率控制在 $\pm 1\%$ 以内, 较传统电表精度提升50%以上。依托南方电网“电鸿”物联操作系统, 实现与源荷网储各环节设备的泛在互联, 破解了传统设备的互联壁垒, 使电表从单一计量工具升级为电网末端智能感知节点。在广州南沙试点应用中, 搭载非侵入式监测模块的2025版电表可精准实现漏电告警, 为消防部门提供实时预警, 有效保障入户用电安全<sup>[2]</sup>。(2) 广域物联通信优化: 2025版智能电表采用LoRa+NB-IoT融合的低功耗广域通信技术, 契合2025版标准对通信覆盖与能效的要求。支持节点自动发现、动态组网与链路自愈功能, 当通信节点故障时, 可在500毫秒内重新规划传输路径, 保障数据传输连续性。通信协议采用标准化物联接口, 实现不同厂商设备的即插即用, 数据传输误码率低于0.1%, 且续航时长延长至5年以上, 大幅降低运维成本。

## 2.2 大数据与云计算驱动电表智能分析能力提升

(1) 多源数据融合处理: 2025版智能电表具备海量数据本地预处理能力, 可整合自身采集的电能数据、环境数据与外部气象、负载数据, 通过内置轻量化算法完成数据清洗、去重与标准化处理。依托南方电网计量自动化系统3.0的云化算力支撑, 采用神经网络融合算法挖掘数据关联关系, 例如将负荷数据与气象数据融合分析, 精准预测区域用电高峰。数据融合后的预测精度较传统单一数据采集提升25%以上, 为电网精益化调度提供有力支撑<sup>[3]</sup>。(2) 分布式存储与弹性适配: 2025版智能电表配备大容量本地存储单元, 可存储近12个月完整结算数据与96组整点冻结数据, 断电后数据留存时长不低于10年, 满足2025版标准对数据长期留存的要求。同时, 采用“本地预处理+云端汇总”的存储模式, 仅将核心分析数据上传至云端, 依托HDFS分布式存储技术实现海量数据安全留存, 存储容量可根据采集需求动态扩展, 适配电网长期数据积累与分析应用。

## 2.3 人工智能算法嵌入实现电表智能决策

(1) 深度学习赋能异常精准检测: 2025版智能电表内置轻量化AI分析模块, 基于CNN-LSTM融合模型构建异常识别体系, 通过海量历史数据训练, 可精准识别漏电、电压骤变、计量故障等异常模式。相较于传统阈值检测方法, 能捕捉到更隐蔽的潜在故障前兆, 异常识别准确率达98%以上。在深圳试点小区应用中, 2025版智能电表可辅助工作人员准确定位分支故障点, 将停电排查时间缩短30分钟以上, 大幅提升抢修效率<sup>[4]</sup>。(2) 智能优化负荷采集策略: 依托AI算法实现采集频率动态调整, 根据电网负荷变化、用电高峰时段等场景自主优化采集策略, 在用电高峰时段将采集频率提升至毫秒级, 平段时段自动降低频率以节省能耗。同时, 通过负荷曲线分析实现用户用电行为画像构建, 为个性化电价制定、需求响应调度提供数据支撑, 契合2025版标准对电表智能化调度赋能的要求。

## 2.4 边缘计算集成实现本地实时响应

(1) 本地化实时决策机制: 2025版智能电表内置边缘计算节点, 实现采集数据的本地实时分析与决策响应, 契合2025版标准对设备自主响应能力的要求。可优先处理漏电告警、过负荷等关键故障数据, 直接驱动本地告警装置或联动负荷开关实现快速处置, 决策响应时间从传统的秒级缩短至毫秒级。在浙江低压台区应用中, 搭载边缘计算模块的2025版电表可实时监测台区电压异常, 将故障排查时间从30分钟压缩至3分钟, 显著提升低压供电可靠性。(2) 云端负载优化: 通过边缘计算实现“本

地筛选+核心数据上传”的分级处理模式, 电表先对采集的海量数据进行过滤、聚合与初步分析, 仅将故障告警、关键负荷等核心数据上传至云端主站。经统计, 可使上传至云端的数据量减少60%以上, 大幅降低云端存储与计算压力, 同时减少通信带宽占用, 提升整个采集系统的运行效率与经济性。

## 3 智能电表适配电网信息采集的优化策略

### 3.1 硬件层优化: 契合新版标准的全维度升级

(1) 新型核心硬件研发应用: 重点推进量子计量、光纤传感等前沿技术与电表的融合应用, 研发量子标准电能表, 依托量子纠缠特性实现电能参数的超高精度检测, 测量准确性较传统技术提升5倍, 可替代进口高端标准电能表, 满足2025版标准对高精计量的极致要求。同时, 优化电表硬件结构设计, 采用高耐候性材料与模块化封装技术, 提升电表在高温戈壁、高寒山区等极端环境下的适应性, 保障极端工况下数据采集的连续性与准确性。(2) 低功耗广域网(LPWAN)全域部署: 结合2025版标准对通信覆盖的要求, 全面推进LPWAN网络规模化部署, 整合LoRa、NB-IoT技术优势, 构建覆盖城市配网、偏远农网的全域多层级通信网络。针对不同应用场景差异化配置网络节点, 搭建网络运维管理平台, 实现对电表通信状态的实时监控与故障自愈, 保障数据传输的稳定高效。内蒙古电力集团通过批量更换2025版智能物联电表并配套部署LPWAN网络, 大幅提升了电表与终端的通信率, 优化了用户用电体验。

### 3.2 软件层优化: 构建标准化智能交互体系

(1) 基于区块链的数据可信传输: 引入区块链技术构建去中心化的电表数据传输与认证体系, 契合2025版标准对数据安全的严格要求。通过分布式账本实现电表数据全流程溯源, 每一笔数据传输均生成不可篡改的时间戳与加密记录; 采用智能合约机制自动完成电表与主站、电表与用户终端的身份认证与权限校验, 防止数据被恶意篡改或窃取。依托“电鸿”物联操作系统的统一架构, 实现不同厂商电表数据的标准化交互, 让所有设备“说普通话”, 提升数据共享效率。(2) 数字孪生技术融合应用: 运用数字孪生技术构建2025版智能电表的虚拟映射模型, 融合电表采集的全维度数据, 精准复刻电表运行状态、计量参数与环境工况。基于虚拟模型进行场景仿真, 模拟不同负荷、不同环境下电表的运行表现, 提前预判设备故障与性能瓶颈。通过仿真优化电表采集频率、通信参数配置, 为电表运维与升级提供数据驱动的决策依据, 提升电表运行可靠性与适配性。

### 3.3 安全防护体系: 契合新版标准的全流程保障

(1) 动态加密与精细化访问控制: 构建符合2025版安全标准的动态加密机制, 采用AES-256、SM4等高强度加密算法对电表采集数据的传输与存储全流程加密, 加密密钥定期自动更新, 提升数据抗破解能力。建立基于角色的权限管理(RBAC)模型, 明确运维人员、调度系统、用户等不同主体的访问权限, 引入密码+硬件密钥的多因素认证机制, 防止非法操作与数据窃取, 保障电表数据安全。(2) 智能入侵检测与主动防御: 部署基于机器学习的智能入侵检测模块, 集成于2025版智能电表本地芯片, 实时分析电表通信流量与操作行为, 精准识别恶意攻击、异常访问等危险行为, 检测准确率达99%以上。建立主动防御机制, 当检测到入侵行为时, 自动触发通信阻断、故障隔离等防御策略, 快速遏制攻击扩散; 通过电网威胁情报共享, 实时更新防御规则, 提升对新型攻击的应对能力, 构建全方位安全防护屏障。

#### 4 智能电表应用的挑战与未来展望

##### 4.1 技术瓶颈与适配难题

(1) 极端环境下的设备可靠性提升: 2025版智能电表虽优化了耐候性设计, 但在高温、高寒、强电磁干扰等极端环境下, 仍存在电池续航衰减、计量精度波动、通信模块故障等问题。如何进一步提升电表核心部件的环境适应性, 保障极端工况下数据采集的连续性与准确性, 成为契合新版标准要求的关键技术瓶颈。(2) 新旧系统衔接与升级成本压力: 存量传统智能电表数量庞大, 全面更换为2025版电表需承担高额硬件与运维成本。同时, 旧有采集主站系统与2025版电表的适配改造难度大, 存在数据接口不兼容、调度流程不匹配等问题, 如何实现新旧系统平稳过渡, 降低升级改造对电网运行的影响, 是当前推广应用的主要挑战。

##### 4.2 发展趋势与前沿方向

(1) 5G+AI融合的全域智能采集: 5G技术的高带宽、

低延迟特性与AI的智能分析能力深度融合, 将推动2025版智能电表进一步升级。基于5G切片技术构建专属采集通信通道, 实现电表海量实时数据的毫秒级传输; 结合AI算法优化电表采集策略与通信资源调度, 提升数据采集效率与网络抗干扰性能。未来电表将具备更精准的负荷预测、更智能的故障预警能力, 成为电网全域感知的核心节点。(2) 自主进化型智能电表架构: 依托“电鸿”物联操作系统的开源特性, 未来智能电表将朝着自主进化方向发展, 构建具备自感知、自诊断、自优化能力的架构体系。通过嵌入自适应算法, 实时监测自身运行状态, 自动识别性能短板并完成参数优化; 基于海量运行数据持续学习, 动态适配电网发展需求, 无需大规模改造即可对接新型分布式能源、储能设备等业务场景, 实现全生命周期自主迭代升级, 提升电表的长期适用性与经济性。

#### 结束语

智能电表技术作为电网信息采集的核心支撑, 正通过多技术融合实现从单一计量工具向电网智能终端的跨越。其高精度感知、实时通信与智能决策能力, 不仅提升了电网运行效率与安全性, 更为能源数字化转型奠定了坚实基础。未来, 随着5G、AI及自主进化架构的深化应用, 智能电表将进一步赋能新型电力系统, 推动电网向更加智能、绿色、高效的方向演进。

#### 参考文献

- [1]王欢,尹潇.智能电表的数据采集与故障原因分析[J].集成电路应用,2024,41(10):102-103.
- [2]刘晨,白泰.用户用电信息采集系统的深化应用研究综述[J].电测与仪表,2022,59(02):81-82.
- [3]刘志宏,周倩.基于机器学习的智能电表异常数据检测方法研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(14):112-118.
- [4]何彬,汪磊.岳西供电公司线损管理中智能电表数据采集异常小结[J].电工技术,2023,(02):162-163.