

# 电力计量装置全生命周期数字化管理体系构建

王嘉宏

国网冀北电力有限公司张家口供电公司，河北 张家口 075000

**摘要：**智能电网建设中，电力计量装置的精准可靠对电力系统稳定运行意义重大，传统管理模式存在效率不足、信息孤立等问题，已难以契合发展要求。依托物联网、大数据及云计算技术搭建的全生命周期数字化管理体系，贯穿电力计量装置从规划设计到报废处置的各个环节，借助关键技术应用达成管理流程的数字化与智能化。此体系可有效整合数据资源，提升管理效率，精准保障计量的准确性，为电网可靠运行提供助力，并且针对构建过程中遭遇的技术、标准和安全等方面的挑战给出应对之策，推动行业的高质量发展。

**关键词：**电力计量装置；全生命周期；数字化管理；物联网；大数据

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.13

电力计量装置作为电能计量、贸易结算及用电监测的核心环节，其运行状态直接关联电力企业效益与用户权益保障，传统分散化、人工主导的管理模式凸显多重局限，规划设计阶段缺乏数据支撑，采购验收环节效率滞后，安装调试过程信息流通不畅，运行维护高度依赖人工操作，报废处置环节缺少科学评估机制，最终引发管理效能低下、信息孤岛突出、故障风险攀升等问题。伴随物联网、大数据及人工智能技术的演进，构建覆盖全生命周期的数字化管理体系成为必然选择，该体系不仅能够提升管理效率、保障计量精度，更对优化电力资源配置、推进智能电网建设以及提升企业管理层次具有重要价值。

## 一、电力计量装置全生命周期数字化管理体系架构

### （一）体系总体框架设计

电力计量装置全生命周期数字化管理体系以物联网技术为感知根基，云计算平台为数据支撑内核，大数据分析 with 人工智能算法为决策中枢，构建起覆盖规划设计、采购验收、安装调试、运行维护、报废处置五大环节的闭环管理框架<sup>[1]</sup>。在感知层级，通过布设智能传感

器、RFID 标签等设备，实现对计量装置运行状态、空间位置、环境参数等数据的实时抓取；网络层级运用 5G、光纤通信等技术，保障数据高速、稳定地传输至数据中心；平台层级依托云计算技术搭建统一数据管理平台，整合各阶段数据资源并构建标准化数据模型；应用层级开发规划设计辅助、采购智能决策、安装进度监控、运行状态诊断、报废评估等功能模块，为电力企业提供全流程数字化管理服务。该体系突破传统管理模式下的信息屏障，促成计量装置全生命周期数据的交互联通与协同共享。

### （二）各阶段数字化管理要点

规划设计环节，借助历史运行数据与负荷预测模型，参照区域电网发展规划，运用大数据分析辅助明确计量装置配置方案，优化选型及布局，采购验收环节，通过 RFID 标签赋予计量装置唯一标识，在生产、运输、验收各环节动态追踪设备信息，借助图像识别技术对设备外观、铭牌参数实施自动化检测，结合质量追溯系统完成供应商质量评估。安装调试环节，依托移动作业终端实时上传安装调试数据，通过三维建模技术模拟安装环境，优化安装流程以保障装置安装规范，运行维护环节，通过在

线监测传感器采集电压、电流、误差等数据，运用机器学习算法构建故障预测模型，实现状态检修与主动维护。报废处置环节，依据设备运行数据、性能评估结果及寿命预测模型，科学判定报废时间，通过区块链技术确保报废流程可追溯、可审计。

## 二、电力计量装置全生命周期数字化管理关键技术

### （一）物联网与感知技术应用

物联网感知层的多协议融合技术是实现电力计量装置全面感知的核心要素。在近距离通信场景中，采用遵循 ISO/IEC 15693 协议的无源 RFID 技术，该技术的标签识别范围为 1-10 厘米，可支持多标签同时读取。以某省级计量中心为例，其 2000 平方米的仓库部署该系统后，通过手持终端仅需 6 小时即可完成万余件待检设备的盘点工作，作业效率相比人工操作提升超过 20 倍。

中距离通信可采用 LoRaWAN 技术，基于 Sub-GHz 频段实现低功耗广域数据传输，在山区农村台区等传统通信覆盖薄弱区域，部署的 LoRaWAN 温湿度传感器以每分钟 1 次的频率上传数据，单电池续航能力可达 5 年，有效解决偏远地区设备监测难题<sup>[2]</sup>。远距离通信则采用 5G-MEC 架构，将计算资源下沉至网络边缘节点。以智能变电站为例，5G 工业模组与边缘计算节点结合后，110kV 及以上电压等级计量装置的数据处理时延从云端的 200 毫秒缩短至 30 毫秒，满足了继电保护装置对实时性的严苛要求，传感器选型严格遵循 IEEE1459 标准，其中罗氏线圈电流互感器精度达 0.1%，SHT45 温湿度传感器在极端环境下的精度分别为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  和  $\pm 1.5\%\text{RH}$ 。统一设备接入平台（UDAP）采用插件式架构设计，集成 12 种通信协议解析插件，协助某省级电力公司完成 8 家厂商 3000 余台设备的接入，数据采集成功率从 78% 提升至 99.2%。

### （二）大数据与人工智能技术支撑

大数据平台的 Lambda 架构整合离线分析与实时处理性能，批处理层基于 Hadoop 生态的 Hive，借助类 SQL 语言实现 PB 级历史计量数据的高效解析，例如对某城市 5 年小时级负荷数据进行聚合，挖掘季节、工作日与节假日的负荷规律，为电网规划提供支撑；实时处理层的 Flink 框架以毫秒级响应处理实时数据流，当某台区电流出现异常时，可在 100 毫秒内触发告警。数据治理依托主数据管理（MDM）系统，通过统一标准对设备编码、供应商名称等关键数据进行管控。某省电力公司通过 MDM 梳理出 2300 余条重复设备编码、1500 余条不一致供应商信息，数据质量评分从 68 分提升至 92 分，为分析工作筑牢基础。

设备健康度评估库运用随机森林算法，融合 20 项特征指标对装置状态进行评估，例如某运行 5 年的智能电表健康等级为 B 级（故障概率 8%），可辅助制定维护计划；异常检测库借助孤立森林算法捕捉异常情况，某工业园区通过电流骤降事件识别出窃电嫌疑，避免了损失；预测性维护库基于强化学习动态调整巡检计划，使某地区巡检效率提升 40%，降低了运维成本。模型训练引入迁移学习，新型智能电表投运时复用相似设备数据，并结合少量实时数据，一周内即可建成预测模型，时间成本较传统方式降低 80% 以上，解决了新设备数据不足的问题。

## 三、电力计量装置全生命周期数字化管理体系实施路径与成效

### （一）体系实施路径

以场景覆盖为导向，择取涵盖城市、农村、工业园区的 3 个地级市开展试点工作，通过现状调研梳理计量管理中的痛点问题，部署 5000 个智能传感器以覆盖多元场景，并搭建计量数据中台，借助 API 对接营销、生产系统实现数据壁垒的打通<sup>[3]</sup>。试点测试过程中发现 12 项

设备协议兼容性问题，通过优化3项接口规范达成全设备的稳定接入；同时建立运行监控机制，以实时采集用户反馈为优化工作提供支撑，在全省范围推进体系建设阶段，基于试点经验开发采购管理、运行维护、报废处置等6大业务模块，实现设备全生命周期管理环节的覆盖。采购模块实现从计划拟定到入库管理的数字化闭环，运维模块集成巡检任务、故障处理等功能，报废模块支持全流程跟踪追溯，为保障体系有效落地，构建“省级骨干集训—市级业务轮训—县级实操演练”三级培训体系，累计完成3200人次的培训，强化员工的系统操作能力。

引入数字孪生技术创建省级计量装置的数字镜像，借助设备数字化建模实现状态全景呈现与故障场景模拟，为提前制定运维策略提供辅助，组建跨部门联合工作组，建立每月优化机制，针对动态调整故障预警阈值等业务需求及时进行系统迭代。优化后预警准确率提升15%，形成“需求收集—技术迭代—效果验证”的持续改进闭环，推动计量管理向智能化、精准化方向升级。

## （二）实际应用成效

某省级电力公司推行新体系后，经济效益与管理效能实现双重提升，规划设计环节，智能选型结合负荷预测模型精准研判用电需求，优化设备配置，减少3800台过度配置设备，节省1.2亿元投资成本，设备运行损耗同步下降。采购验收阶段依托供应商质量追溯系统，综合评估供货质量、交货率等数据实施精准评价，使不合格产品退货率从3.2%降至0.8%，年减少质量纠纷损失800万元，激发市场良性竞争生态，运行维护领域以状态检修替代定期检修模式，依据设备状态数据实施精准维护，设备年均停电时间从45小时缩短至18小时，客户投诉率下降52%，年节省维护成本2800万元。报废处置环节借助LCC分析模型，综合考量设备价值、维修成本等要素优化更新周

期，年节约更新费用1500万元。管理效能层面，计量装置全生命周期管理流程从22天压缩至7天，数据共享机制打破部门壁垒，跨部门协作效率提升60%，与此同时，新体系为电力市场交易提供精准计量支撑，某年度因计量误差减少实现创收3500万元，显著增强企业市场竞争力。

## 四、电力计量装置全生命周期数字化管理体系构建面临的挑战与对策

### （一）面临的挑战

电力计量装置全生命周期数字化管理体系的构建面临诸多挑战，技术层面老旧机械式电能表因无通信接口难以接入系统，加装采集模块时易受信号干扰。例如某老旧小区改造后，电磁兼容问题导致电能表计量误差增大；不同厂家采集系统标准各异，最多需6层协议转换，传输效率降低30%。非结构化数据处理亦存在难题，巡检报告、故障图片等占比达40%，手写报告OCR识别率仅70%，故障图片人工识别效率低下且易漏判<sup>[4]</sup>。标准规范方面，行业缺乏统一的设备健康度评价标准，各企业评分体系不同，某区域电网与发电企业对同一批装置的评估结果一致性仅65%，影响设备管理与交易。数据交互标准的不统一，则增加了系统集成的难度与成本。

计量数据涉及用户隐私与商业机密，泄露会造成严重后果。某省曾发生计量系统SQL注入攻击事件，黑客构造恶意SQL语句获取2000条用户用电数据，包含用电量、用电时间等敏感信息，引发用户信任危机。伴随5G、物联网等新技术应用，网络攻击面持续扩大，传统安全防护手段难以适应新需求。人员层面基层运维人员对人工智能算法理解不深入，调整模型参数时易因专业知识不足降低准确率，如某批次故障预测模型因误操作准确率下降20%，企业同时缺乏兼具电力业务知识与数字化技术能力的复合型人才，制约体系优化创新进程。

## （二）应对策略

研发多协议兼容智能采集终端，模块化设计搭配隔离通信扩展模块，解决老旧设备电磁兼容难题，改造前开展电磁环境预评估保障计量合规，构建统一数据转换中间件，精简协议转换层级，运用异步传输技术，让不同厂商系统数据传输效率超95%。引入深度学习处理非结构化数据，BERT模型结合专业术语库，将巡检报告OCR识别率提至90%，YOLO算法实现故障图片自动标注分类，分析效率增长3倍。推动行业协会制定《电力计量装置健康度评价标准》，融合多维度指标构建统一评分体系、明确评估细则，联合龙头企业规范数据交互标准、建立认证机制，使系统集成成本降低30%，推动数据互联互通。

构建“数据加密—访问控制—实时监测”安全防护体系，SM4算法用于数据加密，搭配同态加密技术完成密文数据处理。以零信任架构搭建动态访问控制机制，部署Web应用防火墙、入侵检测系统等防护设备，借人工智能技术识别攻击行为<sup>[5]</sup>。定期维护5G和物联网

设备，部署边缘防护模块，网络攻击面缩小达60%。同时搭建“理论培训—实践演练—认证考核”一体化人才培养体系，为基层运维人员开设人工智能算法基础课，提供模拟操作平台积累经验，以导师制确保模型优化，面向全体员工开设跨领域融合课程，联合外部机构培养复合型人才，设立创新激励机制激发员工活力，为体系优化提供人力支撑。

## 五、结语

电力计量装置全生命周期数字化管理体系构建是电力行业智能化发展必然趋势。科学合理体系架构构建与物联网、大数据、人工智能等先进技术应用，可实现计量装置全流程数字化管理，有效提升管理效率、保障计量准确性、降低运行成本。体系构建过程存在技术、标准、安全等诸多挑战，随着技术创新、标准完善和管理优化，该体系会不断发展完善。未来需进一步深化数字化管理应用，推动电力计量装置管理向智能化、精益化方向迈进，为智能电网建设和电力行业高质量发展提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 仝霞,程鹏申,李雪城,等. 数字化电力计量智慧实验室构建与关键技术探讨[J]. 电测与仪表, 2025, 62(01): 89-100.
- [2] 奋楫扬帆正当时砥砺前行再出发[J]. 中国计量, 2024, (02): 8-33.
- [3] 张永旺, 邓珊. 电网企业计量资产数字化集约管理创新路径[J]. 企业管理, 2022, (S1): 122-123.
- [4] 李旭朝. 电能计量装置项目安全管理优化研究[D]. 西南石油大学, 2022.
- [5] 万鹏, 周峰, 胡浩亮, 等. 面向智能变电站的数字化计量标准进展与分析[J]. 供用电, 2021, 38(07): 34-39.

作者简介：王嘉宏（1980-），男，河北怀安人，本科，工程师，主要从事电能计量与用电信息采集。