

# 泛在电力物联网中电能计量数字化处理研究

曲万尧 侯鑫 姜琬琪

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘要:** 随着泛在电力物联网建设的持续深化,电能计量数字化成为电力系统智能化升级的核心支撑。明确泛在电力物联网环境下电能计量数字化的核心内涵,拆解感知、网络、平台、应用四层数字化处理核心架构,梳理计量数据全流程关键技术,从全链路效率、质量管控等维度提出优化路径,为电力计量数字化转型提供系统的理论参考。

**关键词:** 泛在电力物联网;电能计量;数字化转型;智能计量

引言:“双碳”目标引领下,能源互联网建设进程不断加快,泛在电力物联网正深度赋能电力系统发、输、配、用全环节的智能化升级。电能计量作为电力系统安全稳定运行的核心基础环节,传统人工化、单点式的计量模式,已无法适配海量数据感知、实时交互与智能价值挖掘的全新需求。数字化转型成为计量体系升级的必然方向,对其核心内涵、架构体系、关键技术与优化路径的系统性梳理,可为电力计量数字化落地提供完整的理论框架与实践指引。

## 1 泛在电力物联网环境下电能计量数字化的核心内涵

泛在电力物联网环境下电能计量数字化的核心内涵在于构建数据驱动的智能计量体系,实现电能数据从采集、传输到分析的全流程数字化重构。其本质是通过物联网技术融合传感器、通信网络与智能算法,形成覆盖发、输、配、用各环节的电能数据感知网络,支撑电能计量从传统人工抄读向自动、实时、精准的数字化模式转型。该内涵强调数据价值的深度挖掘与智能应用,通过高精度数据采集、分布式存储与智能分析技术,实现电能使用规律的精准刻画与设备运行状态的实时监测,推动电能计量从单一计量工具向能源管理核心载体演进,形成可支撑能源互联网高效运行的数字化计量基础<sup>[1]</sup>。

## 2 泛在电力物联网中电能计量数字化处理的核心架构

### 2.1 感知层数字化采集核心模块

感知层数字化采集核心模块以高精度传感器阵列与智能采集单元为核心,实现电能参数的多维实时感知与数字化转换。通过自适应采样算法动态匹配设备运行状态,优化采集频率与精度平衡,降低无效数据占比;集成边缘计算模块完成数据初步清洗、异常检测与特征提取,提升数据采集的实时性与可用性;采用多模通信接口支持有线/无线混合传输,适配不同网络环境下的数据上传需求。通过数据校验与纠错编码技术保障采集数据的完整性与可靠性,形成从物理信号到数字信号的精准

映射链路。该模块通过模块化设计与动态配置能力,支撑感知层向智能化、自适应方向持续演进,为上层数据处理提供高质量、高实时的数据源。

### 2.2 网络层数据传输与交互体系

泛在电力物联网中电能计量数字化处理的核心架构中,网络层数据传输与交互体系聚焦于构建高效、稳定的数据传输通道与智能交互机制;该体系采用高速通信协议与多路径传输技术,实现电能数据的低延迟、高可靠传输,保障数据在复杂网络环境中的实时性与完整性。其核心在于通过动态路由算法与自适应网络配置,优化数据传输路径,降低网络拥塞风险,提升数据传输效率;同时,集成数据加密与身份认证技术,构建安全的数据交互环境,防止数据泄露与非法访问。该体系支持多节点协同的数据交互模式,通过标准化接口实现不同设备、系统间的无缝对接,推动数据资源的共享与价值挖掘,形成可扩展、可演进的网络传输架构,为电能计量数据的深度分析与智能决策提供坚实的数据传输支撑,推动电力系统向数字化、智能化方向持续演进。

### 2.3 平台层数据处理与算力支撑体系

泛在电力物联网中电能计量数字化处理的核心架构中,平台层数据处理与算力支撑体系以数据价值挖掘为核心,构建全流程、高效率的数据处理链路;该体系集成分布式计算框架与智能算法库,支持海量电能数据的实时清洗、特征提取与模式识别,通过动态算力调度机制优化计算资源分配,提升数据处理效率与精度。其核心在于构建弹性可扩展的算力支撑平台,通过容器化技术与微服务架构实现计算资源的灵活调度与快速部署,适应不同场景下的算力需求变化;同时,集成机器学习与深度学习算法,对电能数据进行多维度分析,揭示设备运行规律与用户用电特征,为电力系统的精细化管理与智能化决策提供数据驱动的算力支撑,推动电能计量从数据记录向价值创造的转型,形成可动态演进、持续优化

的数字化处理平台<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 应用层计量数据价值落地路径

泛在电力物联网中电能计量数字化处理的核心架构中,应用层计量数据价值落地路径聚焦于数据驱动的精细化服务与系统协同优化。该路径通过构建用户用电行为分析模型,深度挖掘计量数据中的潜在价值,实现用户用电模式识别与能效提升建议的精准推送,推动用户侧能源管理效率提升。同时,集成多系统数据接口,实现计量数据与配电、调度等系统的无缝对接,支撑电力系统运行状态的实时监测与动态优化,提升系统运行的可靠性与经济性;其核心在于构建数据价值转化的闭环机制,通过数据可视化与智能决策工具,将计量数据转化为可操作的管理策略,推动电能计量从数据供给向价值创造的转型,形成可复制、可推广的数据价值落地模式,为电力系统的智能化升级与用户侧能源服务的持续优化提供坚实支撑。

### 3 电能计量数字化处理的核心关键技术

#### 3.1 计量数据高精度采集与预处理技术

电能计量数字化处理中,计量数据高精度采集与预处理技术以提升数据质量为核心,通过先进传感器阵列实现多维度电能参数同步采集,如电压、电流波形及谐波成分,确保原始数据完整性;采用自适应滤波算法消除环境噪声与电磁干扰,提升信号信噪比,保障采集精度。预处理环节聚焦数据清洗与特征增强,通过异常值检测与缺失值插补技术修正数据偏差,运用小波变换、傅里叶分析等数学工具提取时域、频域特征,为后续分析提供结构化数据支撑。该技术强调动态校准机制,通过实时反馈调整采集参数,适应不同工况下的精度需求,形成从采集到预处理的全链路质量控制体系,为电能计量数字化提供坚实的数据基础,推动计量技术向高精度、高可靠性方向演进。

#### 3.2 计量数据安全加密与可信传输技术

计量数据安全加密与可信传输技术以构建安全可信的数据传输通道为核心,通过非对称加密算法与动态密钥协商机制实现数据传输的机密性保护,确保电能计量数据在复杂网络环境中的安全流转;该技术集成数字签名与哈希校验算法,对传输数据进行完整性验证与身份认证,防止数据被篡改或伪造,保障数据传输的可信性。同时,采用自适应安全协议与动态防火墙技术,实现传输通道的实时安全监测与风险预警,提升数据传输的抗攻击能力;其核心在于构建端到端的安全传输体系,通过轻量级加密算法与高效密钥管理机制平衡安全性与传输效率,形成可动态调整、持续演进的安全传输架构,

为电能计量数据的全生命周期安全提供坚实保障,推动计量技术向高安全、高可信方向演进<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 计量数据分布式存储与高效调用技术

计量数据分布式存储与高效调用技术以构建弹性可扩展的存储架构为核心,通过数据分片与多副本冗余策略实现海量电能数据的高可靠存储,保障节点故障时数据的持续可用性;采用分布式哈希表与一致性哈希算法优化数据分布路径,结合动态负载均衡机制提升存储系统的扩展性与容错能力。该技术集成数据压缩算法与智能缓存策略,降低存储空间占用与访问延迟,通过元数据索引与多维标签体系实现数据的快速精准定位,提升数据调用效率;其核心在于构建动态适配的存储调用体系,通过自适应查询优化与预取机制减少数据访问延迟,形成可动态调整、持续优化的分布式存储架构,为电能计量数据的全生命周期管理提供坚实支撑,推动计量技术向高效率、高可靠性方向持续演进,形成可复制、可推广的存储调用范式。

#### 3.4 计量数据智能分析与深度挖掘技术

计量数据智能分析与深度挖掘技术聚焦于从海量电能数据中提取深层价值,通过机器学习与深度学习算法构建用户用电行为模式识别模型,实现用电特征提取与异常用电检测;采用时序分析算法对电能数据进行趋势预测,支撑设备运行状态预判与能效优化决策。该技术集成聚类分析与关联规则挖掘算法,发现用户用电规律与设备运行关联性,为精细化能源管理提供数据驱动的洞察;其核心在于构建自适应的智能分析框架,通过动态模型更新与特征工程优化分析精度,形成从数据到知识的价值转化链路。同时,注重分析结果的可解释性,通过可视化工具与交互式界面提升分析结果的可理解性,推动电能计量从数据记录向智能决策的转型,形成可动态演进、持续优化的智能分析体系,为电力系统的智能化升级提供核心技术支持。

### 4 泛在电力物联网中电能计量数字化处理的优化路径

#### 4.1 计量数字化处理全链路效率提升

计量数字化处理全链路效率提升聚焦于数据流转各环节的协同优化,通过算法加速与硬件协同实现采集、传输、存储、分析的全链路提速。在数据采集端,采用低功耗传感器与边缘计算单元协同工作,实现数据实时采集与初步处理,降低传输带宽需求;在传输环节运用高速通信协议与多路径传输技术,优化数据传输路径,减少网络延迟,提升传输效率;存储环节通过分布式存储架构与智能缓存策略,实现数据快速存取与高效调用;在分析环节集成并行计算框架与智能算法库,支持海量

数据的高效处理与深度挖掘。该路径强调全链路动态优化,通过实时监测与自适应调整机制,持续优化各环节性能,形成可动态演进、持续优化的全链路效率提升体系,为电能计量数字化处理提供高效、稳定的技术支撑<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 计量数据全生命周期质量管控

计量数据全生命周期质量管控聚焦数据价值持续释放,通过动态校准机制实现采集端数据精度动态匹配设备运行状态,结合边缘计算单元完成初步数据清洗与异常标记;传输环节采用智能路由选择与流量整形技术,优化网络带宽利用率,降低传输延迟波动;存储阶段引入分级存储策略,热数据采用高速存储介质保障快速访问,冷数据通过压缩编码技术降低存储成本;分析环节构建闭环反馈机制,将分析结果反向验证数据采集质量,形成“采集-分析-优化”的持续改进链路。该体系通过全流程质量监测与自适应调整,推动计量数据从静态记录向动态价值挖掘演进,形成可支撑智能决策的高质量数据资产。

#### 4.3 计量数字化处理系统兼容性优化

计量数字化处理系统兼容性优化聚焦于多系统协同工作的无缝衔接,通过标准化接口协议与数据格式转换实现跨平台数据互通;采用模块化架构设计,将系统分解为可独立运行、易于扩展的功能模块,提升系统灵活性与可维护性。该优化路径集成协议适配层,支持多种通信协议与数据格式的自动转换,消除不同设备、系统间的兼容壁垒;通过动态配置机制实现参数自适应调整,适应不同场景下的兼容需求。同时,引入兼容性测试与验证工具,对系统间的交互逻辑与数据一致性进行实时监测,确保兼容性优化的有效性;其核心在于构建可动态演进、持续优化的兼容性体系,通过实时反馈与自适应调整机制,推动系统兼容性向高适配、高稳定方向持续演进,为电能计量数字化处理提供坚实的技术支撑,形成可复制、可推广的兼容性优化范式。

#### 4.4 计量数字化处理安全防护体系完善

计量数字化处理安全防护体系完善以构建多层次、立

体化的安全防护网络为核心,通过动态加密算法与访问控制策略实现数据全生命周期的机密性保护;集成入侵检测与异常行为分析模型,实时监测系统运行状态,识别潜在安全威胁并触发预警机制;该体系采用零信任架构理念,对用户、设备、应用实施严格身份认证与权限管控,防止未授权访问与数据泄露。同时,引入安全审计与日志追踪功能,记录关键操作与数据流转轨迹,支持安全事件的可追溯与责任认定;其核心在于构建自适应、可演进的安全防护框架,通过持续安全评估与漏洞修复机制,提升系统抗攻击能力与安全韧性,形成可动态调整、持续优化的安全防护体系,为电能计量数字化处理提供坚实的安全屏障,推动安全防护技术向智能化、主动防御方向演进<sup>[5]</sup>。

结束语:泛在电力物联网环境下,电能计量数字化是电力系统全链路数字化转型的核心基础,其通过电能数据采集、传输、分析全流程的数字化重构,实现了计量体系从单一数据采集向能源价值深度挖掘的核心转变。基于四层架构搭建的数字化处理体系,结合核心关键技术的突破与多维度优化路径的落地,可全面提升计量体系的精度、效率与安全韧性,为能源互联网高效运行与电力行业智能化升级提供坚实的数字化支撑。

#### 参考文献

- [1]李欧.电能计量资产全生命周期管理与数字化转型研究[J].消费电子,2025(22):293-295.
- [2]刘彤,谢慧勤,崖耀铎.基于物联网技术的电力互感器多路自动检测系统研究[J].中国高新科技,2025(13):58-60.
- [3]鲍凡,王振亚.基于电能计量采集物联网的线损治理策略研究[J].电工技术,2024(S2):553-555.
- [4]李慧聪,郑宽昀,徐锋,等.基于物联网技术的智能电力计量系统研究[J].能源与环保,2022,44(1):230-235.
- [5]齐波,冀茂,郑玉平,等.电力物联网技术在输变电设备状态评估中的应用现状与发展展望[J].高电压技术,2022,48(8):3012-3031.