

智能电网背景下电能计量数字化体系构建研究

侯 鑫 曲万尧 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: 在智能电网发展背景下, 电能计量数字化体系集成物联网、大数据与人工智能技术, 实现向全数字化、智能化转型。本文采用分层分布式架构, 融合高精度电子互感器、5G通信及云端数据分析平台, 支撑电网运行状态监测、用户用电行为分析及能源优化调度, 强化数据全生命周期管理与多层次安全防护, 推动电能计量向综合能源服务延伸, 助力智能电网运行与可持续发展。

关键词: 智能电网; 电能计量数字化体系; 技术架构

引言: 智能电网建设对电能计量提出高效、精准、智能的新要求。传统机械式计量模式已难以适应分布式能源接入、电动汽车充电等新兴场景需求。数字化体系通过集成智能电表、高速通信网络及数据分析平台, 实现电能参数实时采集、传输与智能处理, 支撑电网精细化管理与用户侧能源服务, 成为智能电网发展的重要技术支撑与数据基础。

1 智能电网背景下电能计量数字化体系概述

智能电网背景下, 电能计量数字化体系集成物联网、大数据与人工智能技术, 实现从传统机械式向全数字化、智能化转型。该体系以高精度电子互感器、智能电表为核心硬件, 依托高速通信网络构建传输通道, 结合云端数据分析平台完成数据实时采集、处理与应用, 支撑电网运行监测、用电行为分析及能源优化调度等功能。(1) 技术架构创新: 采用分层分布式设计, 分为感知层、网络层与应用层; 感知层通过智能电表与传感器实现数据精准采集; 网络层利用5G、电力线载波等技术保障高速传输; 应用层通过大数据平台实现数据存储、分析与应用, 支撑电网运行优化与用户服务升级。(2) 数据管理优化: 建立全生命周期数据管理体系, 实现采集、传输、存储到应用全流程标准化管理; 通过数据清洗、校验与挖掘, 提升数据质量与价值密度, 为电网评估、故障预测与能源管理提供支撑。(3) 安全防护强化: 构建多层次安全防护体系, 通过加密传输、访问控制与入侵检测保障数据安全; 采用区块链实现数据存证溯源, 确保数据真实、完整、不可篡改, 提升系统安全性与可信度^[1]。该体系通过技术、数据与安全协同创新, 推动电能计量向综合能源服务转型, 为智能电网高效可靠运行提供支撑, 助力能源互联网建设与可持续发展。

2 智能电网背景下电能计量数字化体系核心构建要素

2.1 电能计量数字化体系架构设计

智能电网背景下电能计量数字化体系架构设计以高可靠性、可扩展性为核心原则, 通过分层解耦实现功能模块化与系统灵活性。体系划分为感知层、传输层与应用层, 各层间通过标准化接口实现数据交互与功能协同, 支撑电能计量从数据采集到价值挖掘的全流程数字化。(1) 感知层精细化: 采用高精度电子互感器与智能电表组合, 实现电压、电流、功率等电能参数的实时精准采集, 同时集成温度、湿度等环境传感器, 为计量数据提供多维校准依据, 提升数据采集的全面性与准确性。(2) 传输层高效化: 基于5G、电力线载波等通信技术构建高速数据传输网络, 确保海量计量数据实时、可靠上传至云端或边缘计算节点, 同时采用数据压缩与加密技术优化传输效率与安全性。(3) 应用层智能化: 依托大数据平台与人工智能算法, 实现计量数据的深度挖掘与智能分析, 支撑电网运行状态监测、负荷预测、能效优化等高级应用, 推动电能计量从单一计量向综合能源服务延伸。该架构通过分层设计、模块化构建与智能化应用, 实现电能计量体系高效运行, 为智能电网稳定运行与能源互联网发展提供坚实技术支撑。

2.2 电能计量数字化采集技术支撑

电能计量数字化采集以高精度、高可靠性为核心目标, 通过集成传感器、通信与数据处理技术, 实现电能参数的实时、精准采集与传输。该技术体系聚焦提升数据采集全面性、传输高效性及处理智能性, 为电能计量数字化体系提供技术基础。(1) 高精度传感器技术: 采用新型电子互感器与智能电表, 实现电压、电流、功率等电能参数的高精度采集, 同时集成温度、湿度等环境传感器, 为计量数据提供多维校准依据, 确保数据采集的准确性与可靠性。(2) 高速通信技术: 基于5G、电力线载波等通信技术, 构建高速、稳定的数据传输通道, 确保海量计量数据实时上传至云端或边缘计算节点, 同

时采用数据压缩与加密技术,优化传输效率与安全性。(3)智能数据处理算法:依托人工智能与大数据分析技术,实现计量数据的实时清洗、校验与挖掘,提升数据质量与价值密度,支撑电网运行状态监测、负荷预测等高级应用,推动电能计量向智能化、服务化转型^[2]。该技术支撑体系通过三类技术协同创新,实现电能计量采集的高效、精准与智能,为智能电网稳定运行与能源互联网深度发展提供关键技术保障。

2.3 电能计量数据数字化处理机制

电能计量数据数字化处理机制聚焦于数据全生命周期管理,通过智能化技术实现数据从采集到应用的高效流转与价值挖掘。该机制强调数据处理的实时性、准确性与安全性,支撑智能电网运行状态精准感知与能源优化调度。(1)数据清洗与校验:采用自适应滤波算法与异常检测模型,对原始计量数据进行实时清洗,剔除噪声与错误数据,同时通过多源数据交叉校验提升数据准确性,确保输入数据的可靠性。(2)分布式存储架构:构建基于云计算与边缘计算协同的存储体系,实现海量计量数据的高效存储与快速访问;通过数据分片、冗余备份与访问控制技术,保障数据存储的安全性与可扩展性。(3)智能分析算法:集成机器学习与深度学习算法,对计量数据进行趋势预测、负荷分析与能效评估,挖掘数据潜在价值,支撑电网运行优化、故障预警与用户用能行为分析等高级应用。该处理机制通过数据清洗、存储与分析技术的深度融合,推动电能计量数据从被动采集向主动服务转型,为智能电网的精细化管理与能源互联网的创新提供数据驱动与决策支持。

2.4 电能计量数字化体系运行保障

电能计量数字化体系运行保障是确保系统稳定、高效运行的关键环节,需围绕安全防护、智能运维与标准规范三大核心要素构建,支撑体系全生命周期的可靠性与可持续性。(1)安全防护体系:采用多层次安全防护技术,通过数据加密、访问控制与入侵检测实现计量数据在传输、存储、处理全流程的安全性,同时结合区块链技术实现数据存证与溯源,确保数据不可篡改与可追溯。(2)智能运维机制:构建基于人工智能的运维系统,通过设备状态实时监测、故障自动预警与远程诊断功能,实现运维从被动响应向主动预防转型,提升系统运行效率与故障处理速度。(3)标准规范建设:制定统一的技术标准与操作规范,覆盖数据采集、传输、处理、存储等全流程,确保各环节技术接口统一、数据格式兼容,支撑体系跨平台、跨区域的协同工作与数据互通^[3]。该运行保障体系通过安全、运维与标准三方面的协同作用,推

动电能计量数字化体系从技术实现向价值创造转型,为智能电网的稳定运行与能源互联网的深度发展提供坚实保障,助力能源系统向更高效、更智能、更可持续的方向演进。

3 智能电网背景下电能计量数字化体系的优化与发展

3.1 电能计量数字化体系现存短板

智能电网背景下,电能计量数字化体系构建需突破传统模式局限,以适应新型电力系统运行需求;当前体系在技术融合、数据应用、服务能力等方面存在明显短板,需针对性优化。(1)技术协同性不足:现有计量设备与通信网络、数据分析平台间存在接口标准不统一问题,导致数据传输效率低、信息孤岛现象突出;例如,部分智能电表与主站系统兼容性差,影响实时数据采集精度。(2)数据价值挖掘浅:海量计量数据未被充分开发利用,多停留在基础电量统计层面,缺乏对用户用电行为特征、负荷预测模型构建等深度分析,难以支撑电网精细化调度与用户侧能源管理。(3)服务响应滞后:传统计量服务体系对用户需求变化的适应性较弱,如故障响应时间长、用电信息反馈不及时,难以满足分布式能源接入、电动汽车充电等新兴场景下的快速响应要求。优化方向应聚焦于技术标准统一、数据价值深化与服务模式创新,通过构建开放兼容的数字化平台,整合设备、网络、应用资源,实现从“计量数据采集”向“能源数据服务”的转型,推动电能计量体系与智能电网发展需求深度融合,提升电网运行效率与用户服务体验。

3.2 电能计量数字化体系优化路径

智能电网背景下,电能计量数字化体系优化需聚焦技术标准统一、数据价值深化与服务模式创新,以适应新型电力系统运行需求。当前体系优化路径应围绕以下方向展开:(1)技术标准统一:通过制定统一的设备接口与通信协议标准,解决智能电表、主站系统等设备间的兼容性问题,提升数据传输效率与系统集成能力,避免信息孤岛现象,保障多源数据无缝对接与实时共享。(2)数据价值深化:运用大数据分析与人工智能技术,对海量计量数据进行深度挖掘,构建用户用电行为特征模型与负荷预测体系,支撑电网精细化调度与用户侧能源管理,实现从基础数据统计向能源数据服务的转型,释放数据潜在价值。(3)服务模式创新:建立快速响应机制,优化故障处理流程与用电信息反馈渠道,提升对分布式能源接入、电动汽车充电等新兴场景的适应性,增强用户服务体验与需求响应能力,推动服务从“被动应对”向“主动支撑”转变^[4]。通过技术、数据、服务的协同优化,电能计量数字化体系将实现向能源数据服务的转型,提升

电网运行效率与用户服务体验,更好适应智能电网发展需求,形成技术驱动、数据赋能、服务导向的新型体系架构。

3.3 电能计量数字化技术升级方向

智能电网发展对电能计量技术提出更高要求,数字化技术升级需聚焦核心能力提升,以支撑系统高效运行与精准服务。技术升级方向应围绕以下层面展开:(1)感知层精准化:研发高精度、宽量程的智能传感器,提升电流、电压采集的分辨率与稳定性,适应分布式光伏、储能设备等新型负荷的计量需求,减少因设备误差导致的计量偏差,保障数据采集的准确性。(2)通信层高效化:采用低时延、高可靠的通信技术,如5G切片网络或电力线载波通信升级方案,优化数据传输路径与协议,提升实时数据上传效率,确保电网状态监测与控制指令的快速响应,避免通信延迟引发的系统风险。(3)分析层智能化:引入机器学习算法与边缘计算架构,对计量数据进行实时处理与模式识别,构建动态负荷预测模型与异常用电检测机制,实现从被动数据记录向主动能源管理的转变,提升系统自适应能力与决策支持水平。技术升级需注重感知、通信、分析的协同优化,通过硬件创新与软件算法的深度融合,推动电能计量体系向更智能、更可靠、更高效的方向演进,为智能电网的可持续发展提供坚实的技术支撑。

3.4 数字化体系与智能电网的深度融合路径

智能电网背景下,数字化体系与智能电网的深度融合需以系统协同、生态共建为核心,推动从单一功能实现向整体效能提升转变^[5]。(1)系统集成优化:通过模块化架构设计,实现计量设备、通信网络、数据分析平台的无缝集成,提升系统协同运行效率,减少冗余环节,确保各环节数据一致性与实时性,支撑电网精细化管理与动态响应。(2)协同运行机制:建立跨系统协同机制,如电网调度与计量数据的实时交互,实现负荷预测、故障定

位、能源分配的精准协同,提升电网应对分布式能源接入、电动汽车充电等复杂运行场景的能力,增强系统稳定性与适应性。(3)生态共建共享:推动产业链上下游企业合作,构建开放共享的数字化生态,促进技术标准统一、数据资源共享、服务模式创新,形成良性互动产业生态,支撑智能电网可持续发展与能源互联网建设^[6]。通过系统集成优化、协同运行机制创新与生态共建共享,数字化体系将深度融入智能电网运行体系,实现从“计量数据采集”向“能源数据服务”的转型,提升电网效率与用户服务体验,推动能源互联网协同发展,形成技术驱动、生态赋能的新型融合模式

结束语:未来,需深化物联网、人工智能与区块链技术融合,提升数据采集精度与处理效率;拓展用户用电行为分析、需求响应及能源交易等场景,支撑电网精细化调度;完善安全防护、智能运维及标准规范体系,强化系统可靠性与可持续性。通过技术、数据、服务协同创新,推动能源互联网协同发展,助力新型电力系统高效运行与绿色转型,实现能源可持续发展目标。

参考文献:

- [1]薛雁峰.数字化转型背景下区域供电公司电力计量大数据深度应用与管理创新研究[J].知识经济,2025(35):15-17+21.
- [2]李凌鹤.智能技术在电能计量中的应用[J].计算机产品与流通,2025(10):62-64.
- [3]陈义林,单永梅,孙永.数字化计量箱在台区数字化管理中的应用研究[J].自动化应用,2025,66(10):129-131.
- [4]王冰,杨雪.电力计量装置故障智能诊断与预警技术研究[J].低碳世界,2025,15(11):139-142.
- [5]孔敏儒."双碳"目标下分布式光伏接入的配网智能计量与营销互动机制研究[J].今日自动化,2025(11):148-150.
- [6]王令君,关潇卓,闫明月.拆回电能表分拣管理体系的构建与实践[J].农电管理,2024(11):57-58.