

大数据驱动的电力能效管理在变配电系统中的实践与创新

陈向东

广东东南能源系统科技有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/EPTSM.2025020001

摘要 : 随着能源问题日益凸显, 电力能效管理在变配电系统中的重要性愈发突出。本文聚焦大数据驱动的电力能效管理在变配电系统中的实践与创新。首先阐述了大数据技术在电力领域应用的背景, 分析了变配电系统对高效电力能效管理的迫切需求。接着深入探讨大数据驱动的电力能效管理系统架构, 涵盖数据采集与传输、存储与处理以及分析与决策等关键环节。详细介绍在变配电系统中实现电力能效管理的创新技术, 如负荷预测、设备状态监测与故障诊断等方面应用大数据技术的原理与优势。同时, 对实践过程中面临的数据安全、隐私保护以及技术整合等挑战进行剖析, 并提出相应解决策略。研究表明, 大数据技术为变配电系统的电力能效管理带来了新的机遇与变革, 有效提升系统运行效率, 降低能源损耗, 对推动电力行业可持续发展具有重要意义。通过本文的研究, 期望为相关领域的进一步发展提供有益参考。

关键词 : 大数据; 电力能效管理; 变配电系统; 负荷预测; 设备状态监测

Practice and Innovation of Big Data-driven Power Energy Efficiency Management in the Transformer and Distribution System

Chen Xiangdong

Guangdong Southeast Energy System Technology Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : With the increasingly prominent energy problems, the importance of power energy efficiency management in the transformer and distribution system is becoming more and more prominent. This paper focuses on the practice and innovation of big data-driven power energy efficiency management in the transformer and distribution system. Firstly, the background of the application of big data technology in the power field is expounded, and the urgent demand of the transformer and distribution system for efficient power efficiency management is analyzed. Then, the architecture of the power energy efficiency management system driven by big data is deeply discussed, covering the key links such as data collection and transmission, storage and processing, and analysis and decision-making. The principles and advantages of the innovative technologies of realizing power energy efficiency management in the transformer and distribution system, such as load prediction, equipment condition monitoring and fault diagnosis, are introduced in detail. At the same time, the challenges of data security, privacy protection and technology integration faced in the practice process are analyzed, and the corresponding solutions are put forward. The research shows that the big data technology has brought new opportunities and changes to the power energy efficiency management of the transformer and distribution system, effectively improving the operation efficiency of the system and reducing the energy loss, which is of great significance to promote the sustainable development of the power industry. Through the research of this paper, it is expected to provide a useful reference for the further development of relevant fields.

Keywords : big data; power energy efficiency management; power transformation and distribution system; load forecasting ; equipment status monitoring

引言

在全球倡导节能减排和可持续发展的大背景下, 电力行业作为能源消耗和供应的关键领域, 面临着巨大的挑战与机遇。变配电系统作为电力传输和分配的核心环节, 其运行效率和能源利用水平直接关系到整个电力系统的能效表现。传统的变配电系统管理方式, 往往依赖于人工经验和简单的数据监测, 难以实现对系统运行状态的全面、精准掌握, 导致能源浪费现象较为严重。

大数据技术的兴起，为电力能效管理注入了新的活力。大数据具有数据量大、数据类型多样、处理速度快和价值密度低等特点，能够对变配电系统中产生的海量、复杂数据进行高效处理和深度分析。^[1]通过大数据技术，可挖掘出隐藏在数据背后的运行规律和潜在价值，为电力能效管理提供科学依据和创新手段，从而实现变配电系统的智能化、精细化管理，提升电力系统整体的能源利用效率。因此，研究大数据驱动的电力能效管理在变配电系统中的实践与创新，具有重要的现实意义和广阔的应用前景。^[2]

一、大数据驱动的电力能效管理系统架构

（一）数据采集与传输

变配电系统中存在众多数据源，包括各类电力设备的传感器、智能电表、监控系统等。这些数据源产生的数据类型丰富，有实时的电气参数数据、设备运行状态数据以及环境数据等。为实现全面的数据采集，需部署多样化的数据采集设备，如基于物联网技术的传感器节点，能够实时采集设备的温度、湿度、电流、电压等关键参数。

在数据传输方面，采用可靠的通信网络，如无线传感器网络（WSN）、电力线载波通信（PLC）以及光纤通信等。其中，WSN 适用于分布广泛、布线困难的传感器节点数据传输；PLC 利用电力线作为通信介质，成本较低；光纤通信则具有高速、大容量、抗干扰能力强的优势，适用于对数据传输速度和可靠性要求较高的场景。^[3]通过合理组合这些通信方式，确保采集到的数据能够准确、及时地传输至数据处理中心。

（二）数据存储与处理

面对海量的电力数据，传统的数据存储方式难以满足需求。大数据存储技术采用分布式文件系统，如 Hadoop 分布式文件系统（HDFS），它能够将数据分散存储在多个节点上，提高存储容量和可靠性。同时，利用 NoSQL 数据库，如 Cassandra，可处理非结构化和半结构化数据，满足电力数据多样性的存储需求。

数据处理是挖掘数据价值的关键步骤。借助 MapReduce 等分布式计算框架，能够对大规模数据进行并行处理，提高处理效率。在数据处理过程中，首先对采集到的数据进行清洗，去除噪声数据和异常值；然后进行数据集成，将来自不同数据源的数据整合到一起；最后进行数据转换，将数据格式转换为适合分析的形式，为后续的数据分析和决策提供高质量的数据支持。

（三）数据分析与决策

数据分析是大数据驱动的电力能效管理的核心环节。运用数据挖掘、机器学习等技术，对处理后的数据进行深入分析。例如，通过聚类分析可将电力设备的运行状态进行分类，找出相似运行模式的设备群体；利用关联规则挖掘，发现不同电气参数之间的潜在关联，为设备故障预测提供线索。^[4]

在负荷预测方面，采用时间序列分析、神经网络等算法，结合历史负荷数据、气象数据、节假日信息等多维度数据，建立高精度的负荷预测模型。准确的负荷预测能够帮助变配电系统合理安排电力资源，优化设备运行方式，降低运行成本。基于数据分析结果，制定科学的决策方案，如调整设备的运行参数、优化电网的运行拓扑结构等，实现电力能效的提升。

二、大数据驱动的电力能效管理在变配电系统中的创新技术应用

（一）负荷预测

准确的负荷预测是实现电力能效优化的基础。传统负荷预测方法受限于数据量和模型复杂度，预测精度往往不高。大数据技术为负荷预测带来了新的突破。通过收集大量的历史负荷数据、气象数据、用户用电行为数据等，利用深度学习算法，如长短期记忆网络（LSTM），能够捕捉到负荷变化的长期趋势和短期波动特征。

LSTM 模型通过记忆单元和门控机制，有效解决了传统神经网络在处理时间序列数据时的梯度消失和梯度爆炸问题，能够更好地学习负荷数据中的时间依赖关系。在实际应用中，将收集到的多源数据进行预处理后输入 LSTM 模型进行训练，训练完成后可根据实时采集的数据进行负荷预测。预测结果可为变配电系统的发电计划制定、设备调度以及无功补偿配置等提供重要依据，避免因负荷预测不准确导致的电力资源浪费和设备过载运行。

（二）设备状态监测与故障诊断

变配电系统中的设备众多，设备故障可能导致停电事故，影响电力供应的可靠性。大数据技术在设备状态监测与故障诊断方面具有显著优势。通过在设备上安装各类传感器，实时采集设备的运行数据，如温度、振动、声音等。利用大数据分析技术，对这些数据进行实时监测和分析。

例如，采用主成分分析（PCA）和支持向量机（SVM）相结合的方法进行设备故障诊断。PCA 用于对多维度的设备运行数据进行降维处理，提取主要特征，减少数据冗余；SVM 则根据提取的特征进行分类，判断设备是否处于正常运行状态以及故障类型。当监测到设备数据出现异常时，系统能够及时发出预警信号，通知运维人员进行检修，避免故障进一步扩大。这种基于大数据的设备状态监测与故障诊断技术，实现了从传统的定期检修向状态检修的转变，提高了设备的可用性和可靠性，降低了运维成本。

（三）电力系统优化运行

大数据驱动的电力能效管理有助于实现电力系统的优化运行。通过对变配电系统中各类数据的分析，可优化电网的运行拓扑结构。例如，利用潮流计算和优化算法，根据实时的负荷分布和设备状态，动态调整电网中开关的开合状态，使电力传输路径更加合理，降低线路损耗。

在无功补偿方面，根据大数据分析得到的负荷功率因数变化情况，实时调整无功补偿装置的投入容量和位置，提高电网的功率因数，减少无功功率的传输，从而降低线路损耗和变压器的铜损。此外，通过对电力市场数据的分析，结合变配电系统的运行状态，合理安排电力交易策略，实现电力资源的优化配置，提高

电力企业的经济效益。

三、大数据驱动的电力能效管理在变配电系统中面临的挑战及解决策略

(一) 数据安全与隐私保护

在大数据环境下，电力数据的安全和隐私保护面临严峻挑战。电力数据包含大量用户信息和关键运行数据，一旦泄露，将对用户权益和电力系统安全造成严重影响。为保障数据安全，需采用多重加密技术，如数据传输过程中的 SSL/TLS 加密以及数据存储时的 AES 加密，防止数据被窃取和篡改。^[1]

在隐私保护方面，采用数据脱敏技术，对涉及用户隐私的数据进行匿名化处理，在不影响数据分析结果的前提下，保护用户的个人信息。同时，建立严格的数据访问控制机制，根据用户角色和权限，对数据访问进行精细化管理，确保只有授权人员能够访问特定数据。

(二) 技术整合与人才短缺

大数据技术在变配电系统中的应用涉及多个领域的技术整合，如电力技术、信息技术、数据分析技术等。目前，不同技术之间存在一定的壁垒，导致技术整合难度较大。为解决这一问题，需建立跨学科的研发团队，加强各领域专业人员之间的沟通与协作。同时，制定统一的技术标准和接口规范，促进不同技术之间的无缝对接。

此外，大数据驱动的电力能效管理需要既懂电力系统又熟悉大数据技术的复合型人才。然而，当前这类人才短缺。因此，电力企业应加强与高校和科研机构的合作，开展相关专业培训和人才培养计划，提高员工的大数据技术应用能力，为大数据技术在变配电系统中的广泛应用提供人才保障。

(三) 数据质量与管理

电力数据的质量直接影响到数据分析结果的准确性和可靠性。在数据采集过程中，由于传感器故障、通信干扰等原因，可能导致数据缺失、错误或异常。为保证数据质量，需建立数据质量监测与评估机制，实时监测数据的准确性、完整性和一致性。对于出现质量问题的数据，及时进行修复和补充。

在数据管理方面，制定完善的数据管理制度，明确数据的采集、存储、处理、使用等各个环节的责任和流程。建立数据目录和元数据管理系统，方便对数据进行查询和管理，提高数据的可用性和利用效率。

(四) 成本投入与效益平衡

大数据驱动的电力能效管理系统建设与运维需要大量资金投入。一方面，在硬件设施上，需购置高性能的数据采集设备、存储服务器以及运算能力强大的分析平台，这些设备的采购与更新

换代成本高昂。另一方面，软件研发与授权、数据存储介质扩容以及专业技术服务费用等，也构成了不菲的开支。然而，短期内能效提升带来的经济效益可能并不显著，这就需要谨慎权衡成本投入与效益产出。

为解决这一问题，电力企业应进行全面的成本效益分析，制定合理的预算规划。在设备采购时，综合考量性能与价格，选择性价比高的产品。对于数据存储与处理需求，可灵活采用云服务模式，降低初期建设成本，按使用量付费，根据业务发展灵活调整资源配置。同时，注重长期效益评估，从减少设备故障率、降低能耗、提升供电可靠性等多方面综合计算潜在收益，逐步实现成本投入与效益的平衡。

(五) 系统兼容性与升级难题

变配电系统往往存在多种品牌、型号各异的设备与子系统，且部分老旧系统已运行多年。大数据驱动的电力能效管理系统在融入过程中，面临着与现有系统兼容性的巨大挑战。新老系统数据格式、通信协议不一致，接口不匹配等问题，阻碍了数据的顺畅交互与共享，严重影响整体系统效能。而且，随着技术的快速发展，大数据相关技术不断迭代升级，如何在不影响现有系统正常运行的前提下，实现电力能效管理系统的平稳升级，也是亟待解决的问题。

对此，需建立兼容性测试机制，在引入新设备或系统前，全面测试其与现有架构的兼容性，提前发现并解决问题。制定统一的数据标准与通信协议规范，对老旧系统进行必要的改造升级，使其符合新的标准要求。在系统升级方面，采用渐进式、分阶段的升级策略，先在小范围试点运行，充分验证新功能的稳定性与兼容性后，再逐步推广至整个系统，保障系统的持续稳定运行与功能提升。

四、结束语

大数据技术的应用为变配电系统的电力能效管理带来了前所未有的机遇与变革。通过构建完善的大数据驱动的电力能效管理系统架构，运用创新的技术手段，如负荷预测、设备状态监测与故障诊断以及电力系统优化运行等，能够有效提升变配电系统的运行效率，降低能源损耗，提高电力供应的可靠性和稳定性。然而，在实践过程中，也面临着数据安全与隐私保护、技术整合与人才短缺以及数据质量与管理等诸多挑战。通过采取相应的解决策略，加强技术研发和人才培养，完善数据管理机制，能够逐步克服这些挑战，推动大数据技术在变配电系统电力能效管理中的广泛应用。未来，随着大数据技术的不断发展和创新，相信其将在电力行业的可持续发展中发挥更加重要的作用，为实现能源的高效利用和绿色发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 李祯. 大数据在电力营销信息化系统中的应用研究 [J]. 数字化用户, 2023, 29:16-18.
- [2] 周刚, 王玥, 艾芊, 等. 大数据下中压线路安全评估系统架构设计与场景应用 [J]. 电器与能效管理技术, 2018(9):7.
- [3] 吴国强. 基于大数据分析的智慧火力发电厂运行优化 [C]// 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(六). 2024.
- [4] 周凯, 马智远, 许中. 基于大数据技术的智能电网态势感知分析 [J]. 低压电器, 2018, 000(021):70-76.
- [5] 戚颖, 如天一, 朱琳, 等. 电力大数据增值服务在智慧地块能效评估中的应用 [J]. 科技资讯, 2021, 19(10):3.