

大数据技术赋能电力系统的研究与应用

张帆¹, 曹林锋², 杨德胜³

(1. 国网江西省电力有限公司, 江西 南昌 330077; 2. 国网江西省电力有限公司经济技术研究院, 江西 南昌 330096;
3. 江西水利电力大学, 江西 南昌 330022)

摘要:随着新型电力系统建设的推进,源、网、荷、储各环节产生的海量数据呈现出爆炸式增长的趋势,具有规模大、类型多、速度快、价值密度低等特点。文中系统探讨了大数据技术在电力系统中的创新应用与发展前景,总结了电力大数据的关键技术,综述了在状态监测与故障诊断、负荷预测与优化调度、能源管理与市场分析三大核心领域的研究现状。虽然大数据技术已显著提升电网运行效率和安全性,但在数据质量、系统集成等方面仍面临挑战。未来,随着数字孪生、人工智能等新技术融合发展,大数据技术将持续推动电力系统向数字化、智能化方向转型升级,为构建新型电力系统提供关键技术支撑。

关键词:电力系统;大数据技术;状态监测;负荷预测

中图分类号:TM 711 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2025)06-0039-04

0 引言

能源电力是关系国计民生的关键基础,其发展水平会直接影响到国家的现代化进程。当前能源结构转型工作持续推进,风电、光伏等可再生能源大规模并网,分布式能源和电动汽车快速普及,这些变化在推动电力系统绿色低碳发展的同时,也带来了运行控制复杂性和管理难度的显著提升。为应对这些挑战,全球电力行业正加速推进智能电网建设,旨在构建更加安全、高效、智能的现代能源体系。这一转型过程催生了电力数据资源的爆发式增长。随着智能电表、在线监测装置、巡检无人机等终端设备的规模化部署,电力系统各环节产生的数据量呈现指数级增长态势,形成了具有海量规模、多元类型和高速产生特征的电力大数据生态。这些数据既包括电网运行的实时监测信息,也涵盖设备状态影像记录和气象环境数据,共同构成了洞察电网运行规律、优化系统运营的宝贵信息资源。

传统数据处理方法难以有效应对当前电力数据的规模与复杂性,在存储容量、计算速度和算法适应性等方面面临严峻考验;而大数据技术凭借其分布式架构和智能算法优势,为电力系统转型升级提供了新的技术路径。

该技术能够实现对海量数据的高效存储与并行计算,支持从历史规律挖掘到实时态势感知的全场景分析,并将数据资源转化为决策支持和运营优化的核心能力^[1]。

系统性研究大数据技术在电力领域的应用现状与发展方向,对促进行业数字化转型具有重要参考价值。文中立足电力系统实际需求,分析电力系统大数据的特点与分类,总结典型应用场景,探讨基于大数据技术的电力系统分析预测方法,并展望未来发展大数据技术的趋势,为构建新型电力系统提供助力。

1 电力系统大数据来源和特点

电力系统大数据的来源非常广泛。电力大数据产生于智能电网建设的全过程,其来源覆盖电力系统的发电、输电、配电和用电各个环节。发电侧主要包含风机光伏等新能源机组运行数据和火电机组工况参数;输配电侧涉及 SCADA 系统量测信息、在线监测装置采集的设备状态数据以及无人机巡检获得的影像资料;用电侧则来源于智能电表记录的负荷曲线和用户用电行为特征。此外,系统还整合了气象环境、地理坐标和电力市场交易等外部数据资源^[2]。

电力大数据的构成包括描述电网设备静态参数

收稿日期:2025-07-27

作者简介:张帆(1967),男,本科,高级工程师,主要从事电网规划工作。

的基础数据、反映系统实时运行状态的动态数据、记录业务处理流程的管理数据以及整合外部环境信息的跨界数据,共同形成了电力系统的完整数字映像。

这些数据呈现出规模大、类型多、速度快、价值密度低的典型特点。数据规模已从TB级扩展到PB级别,数据类型既包含结构化监测数据,也涵盖非结构化视频图像,数据采集频率实现毫秒级实时更新,而有效信息需通过专业分析方法,从海量原始数据中提取。

2 电力系统大数据关键技术

面对新型电力系统数据规模大、类型多、速度快等特点,传统数据处理技术已难以满足现代电力系统的需求。以集成管理技术、数据分析技术、数据处理技术和数据存储备份技术为核心的大数据新型技术体系由此产生,为电力系统的智能化升级提供了关键技术支撑。这些技术相互协作,共同构成了电力大数据处理的全流程解决方案,有效解决了数据采集、存储、分析和应用中的各类难题。

在集成管理技术方面,其主要任务是实现多源异构数据的统一接入与整合。电力系统数据来源广泛,包括发电侧的机组运行数据、输配电侧的监测数据、用电侧的计量数据以及气象环境等外部数据。这些数据在格式、频率和特征上存在显著差异,集成管理技术通过构建统一的数据模型和标准化的接口规范,建立企业级数据仓库,有效打破了各业务系统间的数据壁垒。该技术不仅实现了数据的集中存储和统一管理,更重要的是建立了完整的数据血缘关系,确保了数据的可追溯性,为后续的数据分析和应用奠定了坚实基础。

数据分析技术作为大数据价值挖掘的核心,在电力系统中发挥着关键作用。该技术运用机器学习、数据挖掘等先进算法,从海量数据中提取有价值的信息和规律。在设备状态评估方面,通过分析历史运行数据和实时监测信息,构建故障预测模型,实现设备健康状态的精准评估和早期预警。在负荷预测领域,结合气象因素、日期类型等多维数据,建立高精度预测模型,为电网调度提供决策支持。此外,数据分析技术还能识别用户用电行为特征,支撑需求侧管理策略的制定,提升电网运行的经济性和可靠性。

数据处理技术重点关注海量数据的高效处理能力。由于电力系统数据具有实时性强、规模大的特点,传统串行处理方式已无法满足要求。分布式计算

框架的应用使得数据并行处理成为可能,通过将计算任务分解到多个节点同时执行,显著提升了数据处理效率。流处理技术的引入更是实现了对实时数据的即时分析,能够快速响应电网运行状态的变化。这种批流一体化的处理架构,既保证了历史数据的深度挖掘,又满足了实时数据的快速处理需求,为电力系统的实时监控和快速决策提供了技术保障。

数据存储备份技术是支撑大数据应用的基础设施。面对电力系统产生的海量数据,分布式文件系统和NoSQL数据库提供了可靠的存储解决方案。这些技术不仅具备横向扩展能力,能够灵活应对数据量的持续增长,还通过多副本机制确保数据的可靠存储。在数据安全方面,完善的备份策略和容灾机制保障了数据的完整性和可用性,即使出现硬件故障或系统异常,也能快速恢复数据服务。此外,分级存储策略的实施,根据数据的热度特征自动调整存储位置,在保证访问效率的同时优化了存储成本。

这四大关键技术相互支撑、协同作用,共同构成了电力系统大数据处理的完整技术链条。集成管理技术为数据整合提供基础,数据存储备份技术确保数据安全可靠,数据处理技术实现高效计算,数据分析技术最终释放数据价值。随着技术的不断发展,这些关键技术将继续深化融合,为构建更加智能、高效、可靠的电力系统提供强大支撑。

3 大数据技术在电力系统中的应用

大数据分析技术正在深刻改变电力系统的运营管理模式,通过对海量数据的深入挖掘和分析,可以发现数据之间的关联性和规律性,从而为电力系统的运行管理提供有力的支持,为电网安全、经济、高效运行提供全新解决方案。

在设备状态监测与故障诊断领域,通过深度挖掘历史运行数据与实时监测信息,系统能够精准评估变压器、断路器等关键设备的健康状态,实现故障早期预警与诊断,显著提升电网运维的主动性与精准性^[3];在负荷预测与优化调度方面,基于海量用户用电数据、气象条件和节假日因素等多维信息,构建高精度负荷预测模型,为发电计划制定与电网实时调度提供决策依据,有效提升电网运行的经济性与安全性;在能源管理与市场分析领域,通过整合分析分布式能源出力、用户用电行为及市场交易数据,不仅支撑了清洁能源的消纳与优化

配置,还为电力现货市场出清价格预测、交易策略制定提供了数据驱动的新方法。

3.1 状态监测与故障诊断

电力设备状态监测与故障诊断正经历从定期检修到预测性维护的重要转型。随着智能电网建设的推进,电力系统已建立起完善的数据采集网络,为设备状态评估提供了坚实基础。在发电环节,发电机组的振动、温度等参数被实时记录;输变电环节中,变压器油色谱数据、局部放电信号等关键指标通过在线监测装置持续采集;配电设备则通过智能终端实现运行数据的远程传输。这些数据共同构成了设备健康状况的完整数字画像。

大数据分析技术在状态监测中发挥着核心作用。机器学习算法通过建立设备健康状态基准模型,能够及时识别异常波动并发出预警;深度学习网络在处理非结构化数据方面表现突出,可准确识别设备早期故障特征;时间序列分析技术则能捕捉设备参数的渐变趋势,实现对绝缘老化、机械磨损等缓慢发展缺陷的早期诊断。这些分析方法不仅考虑设备自身运行状态,还综合环境温度、负荷水平等外部因素,构建出多维度的设备健康评估体系^[4]。

在实际应用中,大数据驱动的状态监测系统已取得显著成效。某省级电网公司通过构建变压器综合监测平台,成功预警多起潜在故障,避免了重大设备事故。在旋转设备监测领域,通过对振动信号的频谱分析,系统能够精确诊断转子不平衡、轴承磨损等机械故障,为计划性检修提供科学依据。这些应用既提升了电网安全运行水平,也带来了显著经济效益。

未来,随着数字孪生技术的成熟,电力设备状态监测将进入新的发展阶段。通过构建与物理设备对应的虚拟模型,实现设备状态的实时仿真与预测将成为可能。边缘计算与云端分析的协同架构将进一步提升数据处理效率,人工智能技术的创新将为故障诊断提供更强大的工具,推动电力设备运维向更高水平的智能化、精准化迈进。

3.2 负荷预测与优化调度

负荷预测与优化调度是现代电力系统运行的核心环节,其精准程度直接影响电网的安全性与经济性。随着新能源大规模并网和用电负荷多样化发展,传统预测方法已难以满足实际需求。大数据技术通过整合海量历史负荷数据、气象监测信息、节假日特征、宏观经济指标等多维数据源,构建出具有更强泛化能力的预测模

型。这些模型不仅考虑温度、湿度等常规气象因素,还能捕捉特殊天气事件、社会活动规律等非线性特征,实现从短期到超短期不同时间尺度的精准负荷预测。

在优化调度领域,大数据分析为电网运行提供了全新的决策视角。基于精准的负荷预测结果,调度中心能够制定更加科学的发电计划,实现传统能源与新能源的协同优化。通过对全网机组运行状态、网络拓扑结构、实时潮流分布的深度分析,系统可以自动生成最优调度方案,有效降低网损,提高能源利用效率。特别是在应对新能源波动性方面,大数据技术通过分析风光功率预测误差的统计规律,建立了更加灵活的备用容量配置策略,显著提升了电网对可再生能源的消纳能力。

实际运行数据显示,采用大数据技术的负荷预测系统可将短期预测误差控制在2%以内,超短期预测误差达到1%以下。在日前市场交易中,基于大数据分析的报价策略帮助发电企业显著提升了市场竞争力和经济效益。随着5G通信、边缘计算等新技术的发展,负荷预测与优化调度将迈向更高水平的智能化。海量智能终端的实时数据接入将极大丰富预测数据维度,人工智能算法的持续优化将进一步提升预测精度。多时间尺度协调的优化调度体系将实现从秒级到年度的全周期协调控制,为构建新型电力系统提供坚实的技术支撑。

3.3 能源管理与市场分析

能源管理与市场分析作为电力系统运行的重要支撑,正随着能源结构转型和电力市场改革不断深化。大数据技术的应用为这一领域带来了革命性变化,通过整合发电侧、电网侧、用户侧及外部环境数据,构建起全方位的能源管理体系。这一体系不仅涵盖传统发电机组运行状态、新能源功率输出等供给侧数据,还包括用户用电特性、需求响应潜力等消费侧信息,以及电力市场交易行情、政策法规等环境要素,形成了完整的能源生态数据图谱^[5]。

在能源管理方面,大数据分析显著提升了清洁能源的消纳水平。通过对历史气象数据、机组运行数据和电网消纳能力的关联分析,系统能够精准预测区域新能源发电潜力,并制定最优消纳方案。在用户侧,基于智能电表采集的海量数据,分析不同行业用户的用电特性和需求响应潜力,为实施精准的需求侧管理提供了数据支撑。这些应用不仅提高了能源利用效率,也推动了能源消费结构的优化升级^[6-7]。

电力市场分析在大数据技术的赋能下实现了质的飞跃。通过对历史交易数据、供需关系、机组报价策略等多维度信息的深度挖掘,市场参与者能够更准确地预测现货价格走势,优化报价策略。市场监管机构则利用大数据分析工具,实时监测市场运行状态,及时发现异常交易行为,维护市场公平秩序。在实际应用中,某电力交易中心通过构建市场风险预警模型,成功识别多起市场操纵嫌疑,保障了市场健康运行。此外,基于用户用电行为和价格敏感度分析,售电公司可以制定差异化的售电套餐,提升市场竞争力。

随着电力市场建设的深入推进,大数据技术在辅助服务市场、容量市场等新兴领域也展现出巨大潜力。通过分析系统调频需求、机组调节性能等数据,为辅助服务产品定价和交易提供决策依据;基于长期负荷增长和电源建设数据,为容量市场机制设计提供支撑。这些应用不仅提高了市场运行效率,也促进了电力资源的优化配置。能源互联网建设的加快,能源管理与市场分析将迎来更广阔的发展空间;区块链技术的引入将提升交易数据的透明度和可信度,人工智能算法的持续优化将增强市场预测的准确性;多元数据的深度融合与智能分析,将为构建安全高效、清洁低碳的现代能源体系提供坚实支撑,推动能源行业向数字化、智能化方向转型升级。

4 研究现状与展望

目前,大数据技术在电力系统中的应用已经取得了显著进展。通过对海量数据的分析,电网公司能够更准确地预测用电负荷,及时发现设备隐患,优化电网运行方式。但在实际应用中,仍面临着数据质量不高、不同系统间数据难以共享、智能算法实用性不足等问题。电力系统未来将朝着更加智能化的方向发展,通过建立电网的数字克隆体,可以在虚拟空间中模拟和优化电网运行;人工智能技术让电网具备更强的自学习和决策能力;新的数据加密技术则能在保护隐私的前提下实现数据共享。这些技术的发展将帮助我们构建更安全、高效、绿色的电力系统。

5 结语

大数据技术在电力系统各环节的深度应用,正推动

着电力行业向数字化、智能化方向转型升级。从设备状态监测与故障预警,到负荷预测与优化调度,再到能源管理与市场交易,数据驱动的分析方法正在重塑传统电力系统的运营模式。实践证明,这些技术应用能够显著提升电网运行效率、设备可靠性和能源利用水平。

然而,必须清醒地认识到,当前大数据技术在电力领域的应用仍面临诸多挑战。数据质量参差不齐、多源数据融合困难、模型可解释性不足、系统集成复杂度高问题,都制约着大数据技术效益的充分发挥。要突破这些瓶颈,需要电力企业、科研机构 and 科技公司协同创新,共同推进关键技术攻关。

展望未来,随着数字孪生、人工智能、边缘计算等新兴技术的发展,大数据技术在电力系统中的应用将迈向更高水平。未来,通过持续的技术创新和实践探索,构建更加智能、高效、可靠的现代电力系统。这需要产学研用界的共同努力,不断深化理论研究,加快成果转化,为电力行业高质量发展注入新的动能。综上所述,大数据技术已成为推动电力系统现代化建设的核心驱动力。面对新的发展机遇,应当把握数字化浪潮,持续推动技术创新,为实现能源电力行业的可持续发展作出积极贡献。

参考文献:

- [1] 朱清,阮睿,蔡鹏程,等.大数据技术在电力系统中的应用现状与展望[J].集成电路应用,2023,40(08):266-267.
- [2] 余入丽,刘海艳,马先平,等.云计算下电力信息系统数据安全技术分析:评《电力大数据应用工程技术原理与案例分析》[J].现代雷达,2021,43(09):121.
- [3] 刘晟源,章天晗,林振智,等.数据赋能低压配用电系统精益化运行的关键技术与算法[J].电力系统自动化,2023,47(03):187-199.
- [4] 宋雨露,樊艳芳,刘牧阳,等.基于SC-DNN和多源数据融合的新能源电力系统状态估计方法[J].电力系统保护与控制,2023,51(09):177-187.
- [5] 郑秀杰,吴宁,张国洲,等.协同电力系统仿真平台的混合仿真技术研究及应用[J].电测与仪表,2023,60(03):86-91,135.
- [6] 蔡文婷,方文崇,朱文,等.基于CIM/SVG的电力系统图模数据融合技术[J].沈阳工业大学学报,2023,45(06):656-660.
- [7] 马玉玲,李朝祥,曹中枢,等.基于数据融合技术的电力系统鲁棒动态状态估计方法[J].智慧电力,2023,51(10):78-84.