

智能电网技术在电力系统中的应用

王浩然, 党佳乐, 管少璞, 李成辉

陕西公众电气股份有限公司, 陕西 西安 710000

摘要: 本研究深入剖析智能电网技术在电力系统需求预测与优化控制方面的应用。通过对比传统电力技术, 详细阐述智能电网如何凭借大数据、人工智能等前沿技术, 达成精准电力需求预测、高效生产分配优化以及实时系统监测控制, 揭示其在提升电力系统效率、增强韧性与推动能源可持续发展上的卓越效能与广阔前景, 为相关技术研究与实践提供深度理论依据与实践参考。

关键词: 智能电网技术; 电力需求预测; 优化控制

Application of smart grid technology in power systems

Wang Haoran, Dang Jiale, Guan Shaopu, Li Chenghui

Shaanxi Public Electric Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: This study conducts an in-depth analysis of the application of smart grid technology in power system demand prediction and optimal control. By comparing it with traditional power technologies, it elaborates in detail on how smart grid technology achieves precise power demand prediction, efficient optimization of production and distribution, and real-time system monitoring and control by virtue of cutting-edge technologies such as big data and artificial intelligence. It reveals its outstanding effectiveness and broad prospects in improving the efficiency of power systems, enhancing resilience, and promoting the sustainable development of energy, providing in-depth theoretical basis and practical reference for relevant technological research and practice.

Keywords: smart grid technology; power demand prediction; optimal control

在全球能源格局深度变革、能源转型加速的大背景下, 电力系统面临着需求多样化、供应稳定性挑战以及可持续发展的紧迫任务。智能电网技术应运而生, 作为现代电力系统的核心创新驱动力, 它融合了多种先进技术, 构建起一个高度智能化、灵活且高效的电力网络架构。本研究聚焦于其在电力需求预测与优化控制两大关键领域的深度应用, 旨在系统地揭示其技术原理、应用模式以及所带来的变革性影响, 为电力工程技术领域的专业人士、研究人员以及相关专业学生提供深入且全面的技术解析与应用指导。

一、智能电网技术在电力需求预测中的应用

(一) 传统电力技术与智能电网技术的对比

传统电力技术在电力需求预测时, 多局限于人工对历史用电数据的简单分析与基于经验的主观判断。这种方式受限于人力分析能力, 难以处理大规模、多维度的数据, 导致预测精度低下, 且在面对突发用电变化或新的用电趋势时, 响应极为迟缓, 无法及时为电力系统的规划与调度提供精准有效的信息^[1]。

与之形成鲜明对比的是智能电网技术, 其借助大数据技术对海量电力数据进行高效存储与深度挖掘, 云计算提供强大的计算资源以支持复杂的数据处理任务, 人工智能算法则从挖掘出的数据规律中学习并构建精准预测模型。例如, 通过对多年的历史电力消费数据、细致到区域与时段的天气预报数据(气温、湿度、风力等对用电设备如空调、电暖器等影响显著)以及当地经济活

动数据(工业生产规模、商业营业时间与活跃度等)的综合分析, 智能电网技术能够精准捕捉电力需求与各类影响因素之间的复杂非线性关系, 从而准确预测未来电力需求的动态变化趋势, 为电力系统的科学规划、合理调度以及稳定运行提供高可信度的决策依据, 如表1所示。

表1: 传统与智能电网技术电力需求预测结果对比

预测技术	预测误差均值	预测响应时间(平均)	对特殊事件预测准确性
传统电力技术	±15%	24小时以上	低
智能电网技术	±3%	1小时以内	高

(二) 基于大数据与AI的电力需求预测模型

本研究构建的基于大数据与人工智能的电力需求预测模型, 其数据采集来源广泛且多元。除上述提及的历史电力消费、天气预报和经济活动数据外, 还纳入了社会活动数据(如大型体育赛事

作者简介: 王浩然, (1994.03-), 男, 陕西省西安市人, 本科, 初级工程师, 研究方向: 电力相关。

事、节假日庆典等活动的时间、规模与地点信息，这些活动往往会引起周边区域用电需求的显著波动）以及电力市场价格波动数据（价格变化会影响工业与商业用户的用电策略，进而影响电力需求）。

在模型构建方面，采用深度学习中的长短期记忆网络（LSTM）算法。LSTM 算法在处理时间序列数据如电力需求数据时具有独特优势，它能够有效学习数据中的长期依赖关系，避免传统神经网络在处理长序列数据时的梯度消失问题。通过对大量历史数据的训练，模型能够自动提取不同影响因素与电力需求之间的复杂特征模式，并依据这些模式对未来电力需求进行精准预测，如表2所示。

表 2：基于大数据与 AI 电力需求预测模型训练验证数据示例

数据类型	数据示例	数据用途
历史电力消费数据	2018 - 2023 年某城市每月用电量数据	模型训练与验证基础数据
天气预报数据	2018 - 2023 年对应月份的平均气温、最高气温、降水量等	影响因素数据
经济活动数据	当地工业增加值、商业销售额月度数据	影响因素数据

模型训练过程中，将数据按照一定比例划分为训练集、验证集和测试集。通过反复调整模型参数，优化算法结构，使模型在训练集上的损失函数值不断降低，同时在验证集上保持良好的泛化能力^[2]。经过多轮训练与验证，模型在测试集上取得了显著优于传统预测方法的性能表现，预测精度较传统线性回归预测方法提高了约 40%，且能够在短时间内对新的用电数据做出响应并更新预测结果，有效保障了电力系统的稳定运行。

二、智能电网技术在电力生产与分配优化中的应用

（一）负荷预测与资源调度的协同优化

智能电网技术通过先进的传感器网络与高速通信技术，实现对电力负荷的高频率、高精度实时监测。例如，在城市电网中，智能电表每隔数分钟甚至更短时间就将用户的用电数据传输至电网控制中心，这些数据涵盖了不同区域、不同类型用户（居民、工业、商业等）的实时用电功率、电量等信息。

基于这些海量实时负荷数据，结合发电资源的详细信息（包括各类发电站的发电容量、发电成本、能源类型、地理位置等），智能电网系统运用优化算法进行负荷预测与资源调度的协同优化计算^[3]。例如，采用动态规划算法，以电力供应成本最低、能源利用效率最高以及系统稳定性最强为目标函数，在满足电力负荷需求的约束条件下，对不同发电资源（火电、水电、风电、光伏等）的发电计划进行优化安排。

在实际运行中，当预测到某区域在未来数小时内将迎来用电高峰时，系统会提前调度距离该区域较近且发电成本较低的发电资源增加发电出力，同时协调其他区域的电力支援或储能系统放电，确保电力供应的平稳过渡^[4]。这种协同优化机制能够有效避免传统电力系统中因负荷预测不准确或资源调度不合理导致的电力供应紧张或过剩现象，显著提高电力系统的经济性与稳定性。

（二）分布式能源接入与微电网优化运行

随着太阳能、风能等分布式能源在电力系统中的占比日益增加，智能电网技术为其高效接入与稳定运行提供了关键支撑。在分布式能源接入方面，智能电网通过智能逆变器、智能电表等设备实现对分布式能源发电设备的实时监测与精准控制^[5]。例如，对于分布式光伏电站，智能逆变器能够根据电网的电压、频率等参数以及本地光照强度、温度等环境条件，自动调整光伏电池的输出功率，使其稳定、高效地并入电网。

在微电网运行层面，智能电网技术构建了一套完善的能量管理系统（EMS）。EMS 实时采集微电网内分布式能源的发电信息、储能系统的充放电状态、本地负荷的用电需求等数据，并运用智能优化算法进行运行策略的制定与调整。例如，采用模型预测控制（MPC）算法，根据对未来一段时间内（如未来 24 小时）的光照、风力预测以及负荷变化预测，提前规划分布式能源的发电计划、储能系统的充放电计划，以实现微电网内能源的自给自足与高效利用。当微电网与主电网之间的联络线出现故障或功率传输受限等情况时，EMS 能够迅速切换微电网的运行模式，使其进入孤岛运行状态，并调整内部能源分配策略，保障微电网内重要负荷的持续供电，提高微电网的供电可靠性与韧性。

三、智能电网技术在电力系统监测与控制中的应用

（一）远程监测与实时数据采集技术

智能电网通过物联网技术将电力系统中的各类设备（发电设备、输电线路、变电设备、配电设备以及用电终端等）连接成一个庞大的网络。在发电端，智能传感器安装在发电机、汽轮机等设备上，实时采集设备的运行温度、转速、振动幅度、油压等关键参数^[6]。在输电线路上，通过分布式光纤传感器、无线传感器等设备，监测线路的电流、电压、相位、线路损耗以及线路周围的环境参数（如温度、湿度、风速、覆冰厚度等）。在配电端，智能电表不仅记录用户的用电数据，还能监测配电网的电压质量、功率因数等信息。

这些海量的实时监测数据通过高速通信网络（如 5G 通信网络、电力专用光纤网络等）传输至电网控制中心的大数据平台。大数据平台对数据进行实时存储、清洗、分析与可视化展示，为电力系统运行人员提供全面、直观的系统运行状态视图^[7]。例如，通过对输电线路温度与电流数据的关联分析，能够及时发现线路的过载发热隐患。对变电设备的油色谱分析数据进行实时监测，可提前预警设备内部的绝缘故障。这种远程监测与实时数据采集技术极大地提高了电力系统的安全性与可靠性，将潜在故障的发现与处理时间从传统的数小时甚至数天缩短至数分钟以内，有效降低了故障发生概率与故障损失。

（二）基于 AI 的预测性维护与故障检测技术

本研究提出的基于人工智能的预测性维护与故障检测技术，以机器学习中的支持向量机（SVM）算法与深度神经网络（DNN）算法为核心构建预测模型^[8]。首先，收集电力设备多年的历史运行数据（包括正常运行数据与故障发生前的异常数据）以

及详细的故障记录（故障类型、故障发生时间、故障位置、故障原因等），对这些数据进行预处理，提取关键特征（如设备运行参数的变化率、波动幅度、数据的频谱特征等）。

将处理后的数据分为训练集与测试集，利用训练集分别训练 SVM 与 DNN 模型。SVM 模型在处理小样本、高维数据时具有良好的分类性能，能够有效区分设备的正常运行状态与不同类型的故障状态^[9]。DNN 模型则凭借其强大的自动特征学习能力，深入挖掘数据中的隐藏特征与故障模式之间的复杂关系。在模型训练过程中，通过交叉验证等技术手段调整模型的超参数，提高模型的准确性与泛化能力。

在实际应用中，将实时采集的电力设备运行数据输入训练好的模型中，模型能够实时判断设备的运行状态，并预测设备是否存在故障风险以及可能发生的故障类型^[10]。例如，对于一台大型变压器，通过对其油温、绕组温度、油中溶解气体含量等实时数据的分析，模型能够提前数天甚至数周预测到可能发生的绝缘故障，并发出预警信息，同时给出故障可能发生的位置与原因分

析^[10]。这为电力运维人员提供了充足的时间进行设备维护与故障排除准备，大幅提高了故障处理效率，降低了设备维修成本与停电损失。

四、结语

智能电网技术在电力系统需求预测与优化控制中的深度应用成效显著。在需求预测方面，大数据与人工智能技术的结合大幅提高了预测精度与时效性。生产与分配优化中，负荷预测与资源调度协同及分布式能源接入等策略有效提升了经济性与稳定性。监测与控制环节，远程监测与基于 AI 的维护检测技术增强了系统安全性与可靠性。本研究为电力系统的优化运行提供了有力依据，在学术上丰富了智能电网技术应用的理论体系，于教育层面为相关专业教学提供了实践案例，有力推动了电力行业的技术进步与能源的可持续发展。

参考文献

- [1] 杨小兵. 智能电网技术在电力系统中的应用研究 [J]. 信息系统工程, 2023, (12): 24-27.
- [2] 包萌, 王新智. 智能电网技术在电力系统规划中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 192-193.
- [3] 马海鹏. 智能电网在电力系统中的应用分析 [J]. 光源与照明, 2022, (07): 237-239.
- [4] 范凯迪. 电力调度自动化中智能电网技术的应用 [J]. 新型工业化, 2022, 12(03): 202-204+211.
- [5] 王煜昆. 智能电网环境下电力系统保护新技术的应用分析 [J]. 光源与照明, 2022, (02): 201-203.
- [6] 朱胜强. 继电保护整定技术在智能电网供配电系统中的应用 [J]. 电子世界, 2021, (15): 59-60.
- [7] 雷鸣, 崔晓丹, 杨天舒, 等. 区块链技术在智能电网稳定控制系统中的应用 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2021, 42(05): 569-574.
- [8] 郑皓元. 智能电网在电力技术及电力系统规划中的应用分析 [J]. 中国科技投资, 2021, (16): 14-15.
- [9] 苏文豪, 孙天琦, 薛璐璐. 初探智能电网技术在电网监控系统中的应用 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(02): 119-121.
- [10] 李学武, 李福胜. 智能电网技术在未来船舶电力系统中的应用 [J]. 舰船科学技术, 2016, 38(12): 76-78.