

电力系统 AI 能效优化经济模型设计

李润宸

澳大利亚国立大学 澳大利亚 堪培拉 333000

摘要：本文聚焦电力系统AI能效优化经济模型设计。阐述电力系统能效优化、AI技术应用、电力经济模型等理论基础，以及AI与经济模型融合依据。构建包含目标约束、分层框架、数据输入、AI分析、经济核算的模型。提出面向发电企业、电网企业、用户侧的应用策略，旨在实现电力系统全环节能效最优与经济收益最大化，为电力行业可持续发展提供理论支撑与实践参考。

关键词：电力系统；AI能效优化；经济模型；成本收益分析

引言：在能源需求增长与环保要求提升的背景下，电力系统能效优化与经济运行至关重要。AI技术凭借强大数据处理与智能决策能力，为电力系统能效优化带来新契机。将AI融入电力经济模型，可精准分析电力系统运行，实现能效与经济协同提升。本文深入探讨电力系统AI能效优化经济模型的理论基础、构建方法及应用策略，助力电力系统向高效、经济、绿色方向发展。

1 电力系统AI能效优化经济模型理论基础

1.1 电力系统能效优化核心理论

电力系统能效优化核心理论以能量平衡和资源最优配置为核心，涵盖电力生产、传输、分配全环节的效率提升原理。该理论强调在满足电力供需平衡的前提下，通过技术手段降低各环节损耗，实现能源利用效率最大化。其中，电力系统潮流优化理论为能效提升提供基础支撑，通过调整发电机出力、变压器分接头位置及无功补偿装置参数，减少输电线路的有功功率损耗。同时，需求侧管理理论也是重要组成部分，通过引导用户合理调整用电时间和负荷分布，避免电网高峰负荷过载导致的效率下降^[1]。能源梯级利用理论倡导根据不同用户的用能品质需求，合理分配不同品位的电能，提高整体能源利用效率，这些理论共同构成了电力系统能效优化的核心框架，为后续模型构建提供理论指引。

1.2 AI技术在能效优化中的应用原理

AI技术在电力系统能效优化中的应用基于数据驱动的建模与决策机制，通过机器学习、深度学习等算法实现对复杂电力系统的精准分析与优化控制。机器学习算法中的回归分析可建立电力负荷、发电效率与各类影响因素之间的映射关系，实现负荷预测和发电效率预测，为能效优化提供数据支撑。深度学习中的神经网络模型能够处理电力系统中多维度、高噪声的海量数据，如发电机运行参数、输电线路状态监测数据等，通过特征提

取挖掘数据背后的隐藏规律，识别能效损耗的关键节点。强化学习则通过与电力系统运行环境的实时交互，不断优化控制策略。

1.3 电力经济模型核心理论

电力经济模型核心理论围绕电力市场供需关系、成本核算与收益分析展开，为电力系统经济运行提供理论支撑。其中，电力市场均衡理论是核心内容之一，通过分析发电企业、电网企业与用户之间的交易行为，研究电力价格形成机制，实现电力资源在市场中的最优配置。成本效益分析理论为电力项目投资和运营决策提供依据，涵盖发电成本、输电成本、配电成本的核算，以及能效优化措施实施后的收益评估，包括节能收益、减排收益和可靠性提升收益等。另外，边际成本理论在电力定价中应用广泛，通过计算增加单位发电量或供电量所增加的成本，确定合理的电力上网电价和销售电价，引导电力资源向高效益领域配置。电力需求弹性理论用于分析电力价格变动对用户用电需求的影响，为需求侧管理和电价调整提供理论依据，这些理论共同构成了电力经济模型的核心框架。

1.4 AI与经济模型融合的理论依据

AI与电力经济模型融合的理论依据源于复杂系统建模理论、数据驱动决策理论和跨学科融合理论的交叉支撑。复杂系统建模理论认为电力系统是典型的非线性、多变量复杂系统，传统经济模型难以精准刻画系统内部复杂的耦合关系，而AI技术具备强大的非线性拟合能力，可弥补传统模型在复杂系统建模中的不足，实现对电力系统经济运行状态的精准描述。数据驱动决策理论强调数据在决策中的核心作用，AI技术可通过海量电力数据的挖掘分析，为经济模型提供更精准的参数输入和边界条件，提升经济模型的预测精度和决策科学性。跨学科融合理论则为两者融合提供方法论支撑，将计算机科学

中的AI算法与经济学中的电力市场理论、成本效益分析理论相结合,实现技术层面与经济层面的协同优化。

2 电力系统AI能效优化经济模型构建

2.1 模型构建目标与约束条件

模型构建目标以实现电力系统全环节能效最优和经济收益最大化为核心,具体包括降低发电环节煤耗率、输电环节线损率和配电环节损耗率,同时提升电力市场交易收益和用户用电满意度。在发电侧,目标为通过优化发电机组降低单位发电量成本;在电网侧,目标为通过潮流优化减少输电损耗,提升电网运行稳定性;在用户侧,目标为通过需求侧管理引导用户合理用电,降低用户用电成本。模型约束条件涵盖技术约束、市场约束和安全约束。技术约束包括发电机出力上下限、输电线路载流量限制、变压器容量限制和无功功率平衡约束;市场约束包括电力市场交易规则、上网电价和销售电价限制、燃料供应约束;安全约束包括电网频率稳定约束、电压质量约束和供电可靠性约束,这些约束条件共同确保模型优化结果的可行性和安全性^[2]。

2.2 模型总体框架设计

模型总体框架采用分层架构设计,从上至下依次为决策输出层、经济核算层、AI分析层、数据输入层,各层之间通过数据接口实现信息双向交互,形成“数据输入—分析优化—经济核算—决策输出”的闭环运行机制。数据输入层负责收集电力系统全环节数据,为上层分析提供数据支撑;AI分析层基于输入数据进行负荷预测、效率评估和优化策略生成;经济核算层对AI分析层输出的优化策略进行成本效益核算,评估策略的经济可行性;决策输出层根据经济核算结果,向发电企业、电网企业和用户侧输出具体的执行指令。框架设计遵循模块化原则,各层内部采用模块化结构,可根据不同应用场景进行模块增减和参数调整,提升框架的灵活性和扩展性。

2.3 数据输入层设计

数据输入层采用多源数据融合采集架构,覆盖发电、输电、配电、用电全环节,确保数据的全面性和时效性。发电侧数据包括各类型发电机的运行参数,如燃煤机组的煤耗量、蒸汽参数,燃气机组的燃气消耗量、发电功率,新能源机组的风速、光照强度、出力数据等,通过发电机监控系统实时采集。输电侧数据涵盖输电线路的电流、电压、功率损耗、温度监测数据,以及变压器的运行参数和无功补偿装置的运行状态,通过电网调度自动化系统和在线监测装置采集。配电侧数据包括配电网的节点电压、线路损耗、配电变压器负载率等,通过配电自动化系统采集。用户侧数据包括工业、商业、居民

用户的实时用电负荷、用电时段、电价执行情况等,通过智能电表和用电信息采集系统采集。数据输入层还设置数据预处理模块,对采集的原始数据进行清洗、去噪、归一化处理,消除数据异常值和冗余信息,为AI分析层提供高质量数据。

2.4 AI分析层构建

AI分析层采用“预测—评估—优化”三级架构,整合多种AI算法实现对电力系统能效的精准分析和优化策略生成。预测模块基于长短期记忆神经网络算法,利用数据输入层提供的历史数据,建立电力负荷预测模型、发电效率预测模型和新能源出力预测模型,实现对未来24小时电力负荷、各发电机发电效率及新能源出力的精准预测。评估模块采用随机森林算法,构建能效评估指标体系,涵盖发电效率、输电损耗率、配电损耗率、用户用电效率等指标,对当前电力系统运行能效进行全面评估,识别能效损耗的关键节点和原因。优化模块融合粒子群优化算法和强化学习算法,以预测模块和评估模块的结果为输入,结合模型约束条件,构建多目标优化模型,优化目标包括能效最高、成本最低、碳排放最少,通过算法迭代求解得到最优的发电机组方案、电网潮流调整方案和用户用电引导方案,为经济核算层提供优化策略。

2.5 经济核算层构建

经济核算层以成本效益分析为核心,构建全环节经济核算模型,对AI分析层输出的优化策略进行经济可行性评估。成本核算模块涵盖发电成本、输电成本、配电成本和优化实施成本。发电成本包括燃煤机组的燃料成本、运维成本,燃气机组的燃气成本、运维成本,新能源机组的运维成本和补贴成本等,根据各发电机的运行参数和市场价格数据计算^[3]。输电成本包括输电线路的运维成本、损耗成本和折旧成本,基于输电线路运行数据和资产价值核算。配电成本包括配电网的运维成本、损耗成本和设备折旧成本,根据配电侧运行数据计算。优化实施成本包括设备改造费用、AI系统运维费用和人员培训费用等。收益核算模块包括节能收益、减排收益、市场交易收益和可靠性提升收益。节能收益通过优化前后的能耗差值和能源价格计算;减排收益根据碳排放减少量和碳交易价格核算;市场交易收益通过优化后的电力交易价格和交易量计算;可靠性提升收益通过减少停电损失核算。

3 电力系统AI能效优化经济模型应用策略

3.1 面向发电企业的应用策略

面向发电企业的应用策略以提升发电效率和经济收

益为核心,分步骤推进模型落地实施。首先,推动发电企业搭建数据采集体系,整合现有发电机监控系统和生产管理系统,实现对发电过程中煤耗、燃气消耗、出力等数据的实时采集,对接模型数据输入层,为模型运行提供数据支撑。其次,基于模型AI分析层的预测结果,指导发电企业制定动态发电计划,对于燃煤机组,根据负荷预测调整机组出力,避免低负荷运行导致的效率下降;对于新能源机组,结合风光出力预测优化并网策略,提升新能源消纳率。同时,利用模型经济核算层的成本分析结果,优化燃料采购计划,根据不同燃料的价格波动和机组煤耗特性,选择最优燃料配比。另外,通过模型评估模块识别的能效损耗节点,指导发电企业开展设备改造,如对老旧机组进行节能改造、加装余热利用装置,提升发电效率。最后,建立模型应用效果评估机制,定期对比模型应用前后的发电成本和收益,持续优化应用策略。

3.2 面向电网企业的应用策略

面向电网企业的应用策略聚焦电网运行效率提升和安全稳定运行,构建“监测—优化—管控”一体化应用体系。在输电环节,利用模型AI分析层的潮流优化结果,制定电网动态潮流调整策略,通过调整变压器分接头和无功补偿装置,减少输电线路损耗,例如在负荷高峰时段优化潮流分布,避免线路过载导致的损耗增加^[4]。在配电环节,基于模型对配电网负荷的预测和损耗评估,优化配电网规划和运行方式,合理调整配电变压器的供电范围,更换高损耗变压器,提升配电效率。利用模型实现电网风险预警,通过对电网运行数据的实时分析,提前识别线路过载、电压越限等风险,输出预警信息和处置方案,提升电网供电可靠性。结合模型经济核算结果,电网企业可优化电网投资方向,将资金投向能效提升效果显著的输电线路改造和配电自动化建设项目,实现电网投资效益最大化。

3.3 面向用户侧的应用策略

面向用户侧的应用策略以引导合理用电和降低用电成本为目标,针对不同用户制定差异化应用方案。对于工业用户,基于模型输出的用电负荷预测和成本分析结果,指导企业优化生产工艺和用电流程,同时利用模型评估工业用户的能效水平,提供节能改造建议,如更换高耗能设备、加装能源回收装置。对于商业用户,通过模型分析其用电负荷特性,推荐错峰用电策略,如商场可在高峰电价时段适当降低空调负荷,在谷段电价时段提前储备冷量,同时结合商业用户的经营特点,提供电价套餐选择建议,降低用电成本。对于居民用户,通过智能电表和手机APP向用户推送模型生成的用电分析报告,包括峰谷用电比例、高耗能电器用电情况等,提供个性化用电建议,如鼓励居民在谷段时段使用洗衣机、热水器等大功率电器,同时结合阶梯电价政策,引导居民合理控制总用电量,实现用户侧能效提升和成本降低。

结束语

本文围绕电力系统AI能效优化经济模型展开研究,从理论阐述到模型构建,再到应用策略提出,形成完整体系。该模型融合AI与电力经济理论,为电力系统能效提升与经济决策提供有力工具。未来,随着技术发展,需持续优化模型,拓展应用场景,加强跨领域合作,推动电力系统智能化、绿色化转型,实现能源可持续发展与经济效益双赢。

参考文献

- [1]崇瑞堂.电力系统的规划与设计中的关键技术探讨[J].电子元器件与信息技术,2023,7(04):237-240.
- [2]丛晶.电力工程设计中电力系统规划设计的运用分析[J].科技创新与应用,2022,12(07):86-88.
- [3]王明.电力系统能效优化策略研究与实践[J].电力工程与管理,2022,10(2):45-58.
- [4]杨勇.电力系统中的电力质量分析与改进[J].电力科技进展,2023,15(3):78-91.