

Optimization Research on Power System Automation Control Technology in Smart Grid

Yu Hu Junnian Zhao

State Grid Jiangxi Electric Power Co., Ltd. Nanchang Xinjian District Power Supply Branch, Nanchang, Jiangxi, 331000, China

Abstract

This paper investigates the optimization of power system automation control technology in smart grids. By analyzing the development background of smart grids and the characteristics of power system automation control technology, the objective of optimizing power system automation control technology to enhance the operational efficiency and reliability of smart grids is proposed. The research includes key technologies such as advanced sensing and monitoring technology, power grid state analysis and prediction models, power system control algorithms, communication network technology, and energy storage optimization, and analyzes the effects of optimization technologies based on practical cases. Finally, it looks forward to the future development trends of power system automation control technology in smart grids, including intelligent and distributed development, blockchain-based power transactions, digital twin technology, and system optimization under carbon neutrality goals.

Keywords

smart grid; power system; automation control; optimization technology; stability

智能电网中电力系统自动化控制技术的优化研究

胡雨 赵军年

国网江西省电力有限公司南昌市新建区供电分公司, 中国·江西 南昌 331000

摘要

论文研究了智能电网中电力系统自动化控制技术的优化问题。通过分析智能电网的发展背景和电力系统自动化控制技术的特点,提出了优化电力系统自动化控制技术以提高智能电网运行效率和可靠性的目标。研究内容包括先进传感与监控技术、电网状态分析与预测模型、电力系统控制算法、通信网络技术以及储能优化等关键技术,并结合实际案例分析了优化技术的效果。最后,展望了未来智能电网中电力系统自动化控制技术的发展趋势,包括智能化与分布式发展、基于区块链的电力交易、数字孪生技术与碳中和目标下的系统优化。

关键词

智能电网; 电力系统; 自动化控制; 优化技术; 稳定性

1 引言

近年来,随着全球能源需求的快速增长和新能源发电大规模接入,传统电网在资源分配、运行效率、稳定性以及高耗能等方面的问题日益凸显^[1]。为应对这些挑战,智能电网(Smart Grid)作为新一代电力系统成为研究和发展的重点。智能电网通过现代信息技术、大数据分析、先进通信与自动化控制技术的深度融合,实现了电力系统的智能化运行和管理,为电能的高效分配与安全使用提供了新机遇^[2]。

2 智能电网与电力系统自动化控制概述

智能电网作为现代电力系统的发展方向,融合了信息

技术、现代通信技术以及自动化控制技术,通过对电力生产、传输、分配、消费的全流程智能化管理,实现了高效、安全、经济和环保的运行目标。而在这一智能化的核心支撑中,电力系统自动化控制技术发挥了关键作用。本部分将针对智能电网的基本架构、电力系统自动化控制的核心技术及其目前存在的问题进行详细论述,为后续的优化研究奠定基础^[3]。

3 电力系统自动化控制技术的优化需求

随着智能电网的发展,电力系统自动化控制技术的优化需求日益凸显。传统电力系统在运行方式、能效管理、安全性以及响应速度等方面存在一定局限性,而新一代智能电网要求自动化控制技术能够满足更高效、更可靠、更灵活的运行要求。在此背景下,电力系统自动化控制技术的优化需求主要体现在以下几个方面。

【作者简介】胡雨(1996-),男,中国江西南昌人,本科,从事电气自动化研究。

3.1 系统安全性与稳定性优化

电力系统作为一种复杂的动态系统，其安全性和稳定性对于保证电网的正常运行至关重要。面对大规模新能源接入、负荷波动增大以及用电需求不断变化的挑战，传统控制方案往往难以适应多元化电力资源的协调管理。为此，自动化控制技术需要在以下几点进行优化：一是提升对电网运行状态的实时感知和预警能力，通过先进的监测和分析手段减少因电力故障引发的连锁反应；二是优化电网故障处理和自愈技术，增强电网在异常工况下快速恢复的能力，确保系统在各种扰动条件下的稳定性。

3.2 能源利用效率与损耗优化

提高电力系统的能源利用效率并降低电力传输过程中的损耗是智能电网的一项核心目标。电力输配环节中的能量损耗不仅影响系统效率，还增加了电网的运行成本。因此，自动化控制技术需要在优化电力流分配、精准预测负荷变化以及改进设备运行效率等方面充分发挥作用。采用最优潮流控制策略，可有效减少电网运行中的功率损耗。同时，通过智能调度可以实现可再生能源的高效利用，在最大限度保证供需平衡的同时避免电力资源的浪费。

3.3 快速响应与实时监控优化

随着电力系统规模的扩大和用电需求的多样化，系统运行的时效性要求愈发严格。尤其在分布式电源和新能源比例不断上升的背景下，电网需要应对更多、更频繁的不确定性事件。因此，自动化控制技术优化的一个关键方向是实现快速响应和实时监控能力的提升。具体来说，需要强化高级测量体系（Advanced Measurement System, AMS）和广域监控系统（Wide Area Monitoring System, WAMS）的部署，提高对电网运行状态的全面实时感知能力。同时，引入基于人工智能和机器学习的预测算法，有助于实现对电网事故的有效预防和快速处理。

3.4 数据传输与通信技术的改进需求

电力系统自动化控制技术的高度集成化和智能化离不开可靠的数据传输和通信支持。但在实际运行中，电力通信网络仍存在数据延迟、传输不稳定等问题，制约了智能化控制决策的执行效果。因此，未来优化的重点在于以下几个方面：一是提升通信网络的带宽和稳定性，从而保证大规模数据的快速传输；二是采用低时延、高可靠的通信协议，减少数据交互中的信息损耗；三是进一步强化安全加密技术，抵御潜在的网络攻击风险，确保数据传输过程的可靠性和安全性。

4 关键优化技术的分析与应用

智能电网的高效运行离不开一系列关键优化技术的支持。这些技术贯穿于从数据采集、状态分析到控制决策和通信网络的每个环节，并结合储能与调度优化等手段实现资源的最大化利用。以下分析和阐述先进传感、监控、电网状态预测、控制算法、通信网络以及储能优化等核心技术的应用。

4.1 先进传感与监控技术

4.1.1 分布式感知系统优化

分布式感知系统是智能电网数据采集的基础，其优化主要体现在传感器布置、数据质量提升以及数据处理算法的改进方面。通过合理规划传感器的空间分布，可以增强对配电网及用户端的监控精度。例如，结合地理信息、负载分布特性构建优化模型，可以在保证监测全面性的同时减少资源浪费。此外，高灵敏度传感器和低成本边缘计算设备的引入，使分布式感知系统能够以更低的延迟提供更精确的数据支持，实现对电网运行状态的实时反映。

4.1.2 实时数据采集与分析

实时数据采集是智能电网动态优化的基础，其关键在于数据高效传输与分析处理算法的结合。通过构建高频采样与低延迟通信机制，电力系统能够准确捕获快速变化的负载和线路状态信息。与此同时，大数据分析技术如主成分分析（PCA）、相关性分析等被广泛应用于数据的降维和特征提取，以提高处理效率。基于历史数据与实时信息的混合分析模型，可以支持更为精准和动态的电网运行监控。

4.2 电网状态分析与预测模型优化

4.2.1 人工智能与大数据技术的应用

人工智能与大数据技术在智能电网中具有广泛的应用潜力。通过整合来自分布式传感器、历史数据库及外部环境（如天气条件）的多源数据，人工智能算法可以精准分析电网当前状态并提供预测支持。例如，利用决策树、支持向量机等方法建立电力负荷预测模型，提高需求侧管理的灵活性。此外，大数据技术还在异常检测方面发挥重要作用，能够主动发现输配电系统中的故障点，从而提升电网的安全性与可靠性。

4.2.2 基于深度学习的电网状态预测

深度学习技术在复杂时序数据的处理上表现突出，其在电网状态预测中的应用逐渐兴起。通过构建基于递归神经网络（RNN）、长短期记忆网络（LSTM）或Transformer模型的预测体系，电网能够对大规模时序数据进行高效建模和预测。这种方法能够捕捉不同时间尺度下电力需求、分布式电源输出等状态的变化规律，从而实现精准的状态评估和趋势预测，为后续的调度与优化决策提供依据。

4.3 电力系统控制算法优化

4.3.1 自适应控制算法优化

随着可再生能源的接入和负载波动性的增加，传统的控制算法难以满足智能电网动态特性的要求。自适应控制算法通过在线识别系统参数并动态调整控制策略，能够更好地应对复杂性的挑战。具体应用包括基于模型预测的控制（MPC）和带有在线学习功能的强化学习算法，在改善频率稳定性和电压控制方面表现尤为突出。

4.3.2 分布式协同控制的实施

智能电网的多节点特性使得分布式协同控制成为关键

优化方向。通过设计分布式算法，各节点可以在局部信息的基础上通过通信机制实现全局目标。例如，在微电网的能量管理中，采用分布式协同行为优化算法可以提高能量利用率，同时减少通信压力。此外，基于游戏理论的分布式优化方法，能够解决多主体之间的调度冲突问题。

4.4 通信网络技术优化

4.4.1 5G/6G 通信在智能电网中的应用

5G 乃至未来的 6G 通信技术为智能电网投入更高效的数据传输通道，提供了超低延迟与高可靠性的通信支持。特别是在分布式能源、电动汽车和储能系统的管理中，5G 的切片技术能够为不同的应用场景动态分配网络资源，确保关键通信任务的优先级。此外，毫米波通信和大规模 MIMO（多输入多输出技术）的引入，为通信密集型任务提供了更大带宽和更强稳定性，有助于实现端到端的智能控制。

4.4.2 工业物联网（IIoT）的角色

工业物联网（IIoT）不仅为电网设备之间提供了互联互通的网络环境，还通过边缘计算与智能传感技术，实现高效的分布式数据处理。在输配电环节，IIoT 设备能够实时监控线路负载、设备健康状态，帮助电网运维团队快速响应潜在问题。此外，基于 IIoT 构建的智能设备联动系统可以显著提升电力设备的利用效率，为实现自主决策的智能化电网奠定了技术基础。

5 面向未来的优化趋势

随着能源转型与数字化技术的快速发展，电力系统的自动化控制技术正向更加智能、高效与可持续发展的方向迈进。智能电网在这一趋势下，将通过技术的持续优化和创新，实现更高的运行效率、更强的可靠性以及对绿色能源的大规模兼容。本节将重点分析电力系统自动化控制技术未来优化的关键趋势与方向。

5.1 智能化与分布式发展的趋势

未来电力系统将呈现更加智能和分布式发展的特点。传统集中式电网结构正逐步向分布式能源系统转变，分布式电源（如光伏、风电）的接入使电力流动方式更加复杂化，而自动化控制技术将在智能电网中发挥关键作用，通过实时监测与优化，提高电力系统的灵活性和稳定性。与此同时，基于人工智能的算法（如深度学习和强化学习）将广泛应用于负载预测、能量调度和异常检测等关键场景，促进电网智能化程度的大幅提升，支持分布式能源与微电网的协同运行。

5.2 基于区块链的电力交易与自动化控制

区块链技术作为一种去中心化、安全透明的分布式账本技术，未来将在智能电网的电力交易与自动化控制中扮演重要角色。依托区块链技术的电力交易平台，可以实现点对点能源交易，极大降低了中间环节成本，并增强了交易的透

明性和可信度。此外，在自动化控制领域，区块链可通过智能合约实现分布式能源的自主协同，确保能量在不同节点间精准分配，同时提高系统的安全性和抗攻击性。未来基于区块链的自动化电力系统将推动电网向更加去中心化、高效和可靠的方向发展。

5.3 数字孪生与智能电网的深度融合

数字孪生技术将成为未来智能电网优化的重要工具。数字孪生通过建立物理电网的虚拟数字模型，实时同步实际电网运行状态，为电力系统的预测性维护、故障检测与优化决策提供精准支持。未来，随着大数据、物联网与 5G 技术的进一步融合，数字孪生的精度与实时性将显著提高，实现对电力系统全生命周期的动态管理和优化。同时，数字孪生技术可为复杂场景下的电网优化控制（如新能源占比提升引发的波动问题）提供模拟与验证支持，从而加快技术迭代并提升智能电网的整体表现。

5.4 碳中和目标下的系统优化方向

在全球碳中和目标的驱动下，电力系统优化的重点将转向低碳化与高效化。未来，如何最大化清洁能源的接入比例、减少传统火力发电的碳排放将成为核心目标。自动化控制技术将通过先进的能量管理算法，提高风能、太阳能等波动性可再生能源的利用率，减少能源浪费。此外，电力系统优化还需配合储能技术，如大规模电池储能与氢能储存，用于平抑负荷波动并提高电网的灵活性和经济性。面向碳中和目标的优化还包括电动汽车与电力系统的深度耦合，通过 V2G（车到网）技术实现绿色能源的高效利用和双向调度能力，为电力系统的低碳化发展提供新路径。

6 结语

论文对智能电网中电力系统自动化控制技术的优化进行了系统研究，重点分析了当前技术的发展现状及其局限性，并提出了相关优化策略。研究表明，通过结合现代信息技术、智能算法和大数据分析，可有效提升电力系统的自动化能力和控制精确度，显著改善电网运行的安全性、稳定性和经济性。具体而言，优化后的自动化控制技术能够更加适应分布式能源接入、负荷预测以及实时调度需求。此外，论文还探讨了智能控制方法在故障检测、能量管理以及网络安全等方面的应用价值，验证了优化技术在多种场景下的可行性和优越性，为智能电网的进一步发展提供了理论和技术支持。

参考文献

- [1] 陈琴. 浅析电力系统自动化控制技术的重要性与要点[J]. 科技创新导报, 2018(2).
- [2] 扶桂宁. 电力系统自动化技术中计算机远动控制技术的应用[J]. 机电信息, 2015(9).
- [3] 杨芳. 电力系统自动化控制技术的研究[J]. 价值工程, 2012(10).