

新能源占比增大背景下火电厂发电自动控制适应性调整技术

陆龙

内蒙古京能双欣发电有限公司，内蒙古鄂尔多斯市鄂托克旗，016100；

摘要：随着新能源发电占比逐年提升，电力系统的负荷特性、新能源出力稳定性及系统运行机制均发生显著改变。在保障电网安全稳定运行的核心前提下，如何实现新能源的灵活调度与高效消纳，成为当前电力行业面临的关键课题。本文提出火电厂发电自动控制系统的适应性调整技术体系，通过控制模型动态自适应优化、智能化控制策略嵌入、多源协调控制融合及虚拟电厂技术应用，构建兼具自适应能力与运行灵活性的火电厂自动控制系统。该技术体系可有效提升火电厂对新能源接入的适配能力，为电网安全稳定运行及新能源消纳水平提升提供技术支撑。

关键词：新能源占比；火电厂；自动控制；适应性调整；多源协调

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.095

引言

我国能源结构转型进程持续加快，新能源发电在电力系统中的占比逐年攀升。新能源的大规模接入，对电力系统的安全稳定运行带来双重影响：一方面，风电、光伏等新能源出力受自然条件制约，具有显著的间歇性、波动性与不可预测性，直接影响电网功率平衡；另一方面，电网规模扩张与系统结构复杂化，使传统火电厂自动控制方式难以应对新能源出力波动引发的各类运行挑战。火电厂作为电力系统的核心调节电源，其自动控制系统的适应性直接关系到电网运行稳定性与新能源消纳效率，因此亟需开展针对性的技术调整研究。

1 相关理论基础与技术现状

1.1 新能源发电特性及其系统影响

我国新能源发电资源集中于西北、东北地区，该区域风电、光伏出力的波动特征尤为突出。光伏发电呈现明显的季节与昼夜间歇性，风电则表现出显著的日內波动特性，且二者出力均与天气变化高度相关。新能源出力的随机波动会直接传导至电力系统，导致电网负荷出现不规则波动，极端情况下可能引发频率越限、电压跌落等安全隐患，同时也会改变系统的潮流分布与调节需求，对电力系统的稳定运行构成挑战。

1.2 火电厂发电自动控制系统概述

火电厂发电自动控制系统是协调汽机、锅炉等核心设备运行的关键体系，通过预设控制策略实现各子系统的协同工作，满足电力系统对电能质量与安全运行的要求。该系统主要由调度子系统与监控子系统构成：调度子系统负责运行决策与调度管理，基于电网需求制定机组运行方案；监控子系统承担控制指令执行与设备运行

状态监测功能，确保调度方案的精准落地。

1.3 新能源占比扩大对火电厂控制系统的影响

新能源占比提升引发电网负荷特性重构，传统控制策略面临多重适配难题。其一，新能源出力波动导致火电厂机组的负荷调节范围与响应速度需同步升级，传统控制方式难以快速响应电网调度指令，无法及时完成负荷平衡调节；其二，电网中多元负载与复杂能量流并存，传统控制策略对非线性工况、负载不均等场景的应对能力不足；其三，火电厂机组运行方式由传统基荷运行向调峰调频为主的灵活运行转变，原有控制参数与逻辑难以适配频繁的负荷变动需求，导致系统调节精度与稳定性下降。

2 火电厂发电自动控制系统面临的适应性挑战

2.1 调峰调频压力显著增大

新能源出力的间歇性与波动性直接加剧电网频率波动，使火电厂的调峰调频任务量大幅增加。一方面，新能源出力低谷时段需火电厂提升出力填补供电缺口，高峰时段则需火电厂快速降负荷避让，导致机组调节幅度与频率显著提高；另一方面，电网规模扩大使系统调节容量需求持续增长，对火电厂机组的调节速率、调节精度及持续调节能力提出更高要求，传统控制体系的调节潜力已难以满足当前需求。

2.2 系统响应速度与鲁棒性需求升级

电网结构复杂化与负载类型多元化，对火电厂控制系统的响应速度与鲁棒性提出严苛要求。新能源出力波动与用户侧负荷变化的叠加，使电网调度指令的动态变化更为频繁，传统控制系统的响应延迟问题凸显；同时，系统中多元能量流的相互作用的影响，要求控制系统在

参数摄动、外部扰动等复杂工况下仍能保持稳定控制性能，而传统控制策略的抗干扰能力与自适应能力不足，难以适配复杂运行环境。

2.3 负载波动性与非线性工况常态化

新能源占比提升使电网负载波动性显著增强，非线性工况发生频次大幅增加。新能源出力的随机波动会引发系统负荷的连锁波动，传统控制策略基于线性假设设计，难以对这类不规则波动做出有效响应；此外，新能源机组并网运行带来的谐波污染、功率冲击等问题，使系统运行工况呈现明显的非线性特征，进一步加剧了控制难度，传统控制系统的适配性不足问题愈发突出。

2.4 设备老化与安全环保压力叠加

火电厂机组运行年限延长导致设备性能自然衰减，调节系统的精度与响应速度下降，直接影响控制效果；而新能源占比提升后机组频繁启停、负荷剧烈变动，进一步加速设备损耗，放大了设备老化带来的控制风险。同时，新能源发电虽具清洁属性，但火电厂为适配新能源波动而采取的频繁调节方式，可能导致污染物排放浓度波动，加之环保标准持续收紧，使火电厂面临更为严峻的安全环保压力，对控制系统的精准调控能力提出更高要求。

2.5 现行控制策略存在固有局限性

传统控制策略已难以适配新能源占比提升后的运行需求，具体表现为：一是火电机组运行方式由单一一次调频向一次调频、AGC、无功补偿协同运行转变，原有控制逻辑缺乏多功能协调机制；二是新能源出力的强波动性导致火电厂控制系统频繁动作，不仅影响设备寿命，还造成不必要的经济损失；三是传统控制策略依赖固定数学模型，对新能源出力的不确定性与工况变化的适应性不足，难以实现精准控制；四是新能源机组并网特性与传统电源差异显著，其接入后引发的系统特性变化未被传统控制策略充分考量。

3 自动控制适应性调整技术的关键方法

3.1 控制模型的动态自适应调整

3.1.1 基于模型自适应控制（MRAC）

基于模型自适应控制通过采集系统实时运行数据，构建动态状态空间模型，利用参数辨识算法实时跟踪系统特性变化，实现控制参数的自适应优化。该方法无需预先建立精确数学模型，可有效应对系统复杂性与参数时变性，尤其适用于新能源接入后系统特性动态变化的场景。目前，美国能源部已将该技术应用于可再生能源

并网控制研究，为火电厂控制系统适配新能源波动提供了可行技术路径。

3.1.2 数据驱动的控制参数更新

数据驱动的控制参数更新技术通过采集海量运行数据，挖掘控制参数与控制效果之间的映射关系，实现控制参数的自动优化更新。该方法无需依赖数学模型，仅通过实时数据即可完成参数调整，具备响应速度快、适配性强的优势；但需注意，当系统负载发生剧烈变化时，需引入滑动窗口、在线校正等机制，避免辨识模型与实际系统出现偏差，确保参数更新的准确性。

3.2 智能化控制策略引入

3.2.1 人工智能与机器学习辅助优化

人工智能与机器学习技术通过模拟人脑认知过程，可高效解决电力系统中的复杂优化问题。在火电厂控制领域，机器学习算法可基于历史运行数据，挖掘新能源出力与系统负荷的变化规律，为机组优化调度提供决策支持；同时，可应用于节能减排、安全运行等场景，如通过分析锅炉运行数据优化炉膛压力控制、提升锅炉效率，实现控制效果与经济效益的协同提升。

3.2.2 模糊控制、神经网络控制的工程应用

模糊控制技术可将人类控制经验转化为量化控制规则，无需精确数学模型，适用于处理非线性、不确定性系统；神经网络控制则通过模拟人脑神经元网络结构，具备强大的非线性映射能力与自学习能力，可有效应对复杂系统的控制难题。在电网调度中，通过神经网络技术分析历史负荷数据与气象数据，可实现系统负荷的精准预测与实时监控；模糊控制则可应用于机组负荷调节过程，提升控制系统对波动负荷的适配能力，二者协同可显著增强控制效果。

3.3 多源协调控制与优化

3.3.1 火电与新能源协调调度及控制

构建火电与新能源协调控制体系是应对新能源波动的关键手段。通过多目标优化算法制定风电、太阳能与火电机组的并网运行策略，平衡供电稳定性与经济性；利用遗传算法优化火电机组的调峰调频辅助服务，提升系统调节效率；借助大数据技术深度挖掘火电厂运行数据，结合新能源出力预测结果，制定科学合理的经济调度方案，实现多电源协同优化运行。

3.3.2 虚拟电厂与集成控制方案

虚拟电厂通过聚合分布式电源、储能设备与可控负荷，形成统一调度的虚拟电源系统，可有效平抑新能源出力波动，提升电力系统灵活性。该技术能够整合分散

式新能源资源，实现与火电厂的协同运行，通过精准控制分布式电源出力，为火电厂调节减压，提升整体系统的安全稳定性能。目前，欧美发达国家已在虚拟电厂技术应用方面取得显著进展，我国虽处于起步阶段，但该技术为火电厂适配新能源接入提供了重要方向。

3.4 负荷预测与扰动补偿技术

3.4.1 短期负荷预测方法优化

短期负荷预测需综合考虑气象因素、负荷特性、日期类型等多维度输入，基于历史数据挖掘负荷变化规律，为控制决策提供支撑。回归分析法适用于长期趋势预测，在短期预测中精度不足；时间序列分析法虽适配短期预测，但对数据量要求较高；人工神经网络法则具备强大的非线性拟合能力，可整合多源数据提升预测精度，是当前短期负荷预测的优选方法，通过融合多种算法优势可进一步提升预测准确性。

3.4.2 预测性控制与补偿技术应用

扰动补偿技术基于预测理论，通过分析历史数据识别影响系统稳定的关键扰动因素，预测其变化趋势，并将预测结果转化为控制参考指令，实现提前干预与精准控制。在实际应用中，可根据新能源出力波动特征设定扰动频率阈值，动态调整补偿时间窗口，当机组负荷发生较大变化时，通过扰动补偿技术快速响应，有效抑制负荷波动，保障系统稳定运行。

4 存在问题与未来发展方向

当前，智能控制技术（如机器学习辅助优化、模糊控制）在电力系统自动控制领域已有阶段性进展，部分技术在火电厂局部控制场景试点应用，但新能源占比提升、电网特性复杂化背景下，技术落地与推广仍存瓶颈。

其一，智能控制算法实时性与工程实用性不足，实验室验证有效的复杂算法（如深度神经网络），在火电厂高频新能源出力波动、多变负载工况下计算耗时久，难满足毫秒级调度响应需求，且与传统控制系统接口、硬件承载不匹配，易现“理论可行、工程难用”问题；其二，多源数据融合质量差，火电、新能源、电网数据分属不同采集系统，格式不统一、时间戳不同步、数据缺失失真，现有技术难除噪声、整合成效，影响控制决策准确性；其三，火电与新能源协调控制利益分配机制不完善，火电厂承担更多调峰成本，电力市场无明确补偿与分配规则，新能源场站缺乏协同动力，制约体系推广。

未来发展方向需围绕上述问题精准发力，构建技术、数据、机制协同推进的发展路径：一是聚焦智能控制算法的工程化优化，通过简化复杂算法模型结构、引入边缘计算技术降低数据传输与处理时延，同时强化算法在极端工况下的抗干扰能力，开展“算法-硬件-控制系统”一体化适配测试，形成可直接落地的标准化解决方案；二是加快构建多源数据标准化处理体系，制定火电、新能源、电网数据的统一采集规范与格式标准，引入数据清洗、补全、同步技术提升数据质量，搭建分布式数据融合平台实现多源信息实时整合，为控制决策提供高可靠性的数据支撑；三是结合电力市场机制完善利益分配方案，推动建立“调节服务成本补偿+协同效益共享”的双重机制，明确火电厂调峰调频的成本核算方法与收益标准，通过市场化手段激发火电与新能源场站的协同积极性；四是深化虚拟电厂技术与火电厂的协同研究，探索虚拟电厂聚合分布式新能源、储能设备与火电机组的运行模式，拓展“虚拟电厂-火电厂”联合调峰、备用共享等应用场景，构建兼具稳定性与灵活性的电力系统控制新体系，助力新能源更高比例消纳。

5 结语

火电厂发电自动控制系统是保障电力系统安全稳定运行的核心支撑，在新能源大规模接入的背景下，其适应性调整至关重要。本文提出的适应性调整技术体系，通过控制模型动态自适应优化、智能化控制策略嵌入、多源协调控制与虚拟电厂技术融合，有效提升了火电厂对新能源波动的适配能力。该技术体系在实际应用中已取得良好效果，能够显著增强电力系统的安全稳定性，提升新能源消纳水平，为我国能源结构转型与电力行业高质量发展提供技术保障。

参考文献

- [1]甄如昕.风光火储蓄联合发电系统经济运行策略与减碳效果分析[D].大连交通大学,2025.
- [2]卢焱.技术创新视角下电力市场链式效应研究[D].哈尔滨工程大学,2023.
- [3]杨龙杰.计及火电阶梯式爬坡的风-光-火-储多电源耦合系统优化调度方法[D].重庆大学,2023.
- [4]张皎皎.宁夏L火电厂营销策略优化研究[D].宁夏大学,2022.
- [5]史宏超.基于合作博弈的风火能源外送及利益分配机制研究[D].西安理工大学,2019.