

Research on Coordinated Control of Steam Turbine Generators with New Energy Integration

Jinghai Wang

Lanzhou Thermal Power Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730000, China

Abstract

As the proportion of new energy generation continues to rise, the uncertainty and volatility of power grid operations have significantly increased, posing new challenges to the coordinated control of traditional steam turbine generators. This paper focuses on the coordinated control of steam turbine generators under new energy integration, analyzing the impact of high-proportion wind and photovoltaic power integration on frequency regulation, voltage regulation, and load response. Based on the operational characteristics of power systems, multiple coordinated control strategies are proposed, including predictive control, distributed control, and intelligent optimization scheduling methods. Simulation results demonstrate their advantages in stability, response speed, and system economics. The study indicates that scientifically designed coordinated control can effectively address new energy fluctuations, enhance the operational stability and regulation capability of steam turbine generators, and provide technical support for high-proportion new energy integration.

Keywords

new energy integration; steam turbine generator set; coordinated control

新能源接入下汽轮发电机组协调控制研究

王景海

兰州热电有限责任公司, 中国·甘肃 兰州 730000

摘要

随着新能源发电比例持续上升, 电网运行的不确定性和波动性显著增加, 对传统汽轮发电机组的协调控制提出了新的挑战。本文以新能源接入背景下的汽轮发电机组协调控制为研究对象, 分析高比例风电、光伏接入对机组调频、调压及负荷响应的影响。结合电力系统运行特点, 提出多机组协调控制策略, 包括预测控制、分布式控制及智能优化调度方法, 并通过仿真验证其在稳定性、响应速度和系统经济性方面的优势。研究表明, 科学合理的协调控制能够有效应对新能源波动, 提高汽轮发电机组的运行稳定性和调节能力, 为新能源高比例接入提供技术保障。

关键词

新能源接入; 汽轮发电机组; 协调控制

1 引言

随着可再生能源如风能和光伏发电快速发展, 新能源对电网的接入比例不断提高, 电力系统的频率稳定性和电压调节面临更大挑战。在新能源高比例接入条件下, 机组输出受负荷波动和新能源发电波动的影响, 需要协调控制策略来保证系统频率和电压的稳定。本文以新能源接入下的汽轮发电机组为研究对象, 分析其协调控制问题, 探讨适应新能源波动的控制策略及优化方法, 为提升机组响应能力、确保电网安全运行提供理论参考和实践指导。

【作者简介】王景海(1989-), 男, 中国甘肃武威人, 本科, 工程师, 从事热力发电厂, 锅炉, 汽轮机及发电系统研究。

2 新能源接入对汽轮发电机组的影响

2.1 新能源波动对机组调频的冲击

随着风电和光伏发电在电力系统中的比例不断提高, 其间歇性与随机性特征对传统机组调频能力提出了新的挑战。新能源出力受风速、光照强度及气象条件变化影响较大, 功率波动频繁, 导致电网功率平衡状态不断变化, 从而增加了系统频率波动的风险。为维持电网频率稳定, 汽轮发电机组需要频繁进行功率调节。然而, 传统汽轮发电机组受机械惯性、调速系统响应速度及控制滞后等因素限制, 其调频响应能力相对有限, 难以完全适应新能源快速变化的出力特性。在新能源高比例接入条件下, 机组不仅承担更大的调频负荷, 还可能因频繁调节而影响设备运行稳定性和效率。因此, 需要通过优化控制策略和提升机组调节能力, 以增强电力系统应对新能源波动的能力。

2.2 电压调节与负荷响应影响

新能源接入不仅对系统频率稳定产生影响，也改变了电网中无功功率的分布格局。风电和光伏发电通常通过电力电子装置接入电网，且多位于配电网或中压侧，当新能源出力波动时，局部区域电压容易出现波动现象。为保持电网电压稳定，汽轮发电机组需要通过励磁系统调节无功功率输出，从而对电压进行支撑。同时，机组还需响应电网负荷变化，实现有功功率与无功功率的协同调节。新能源接入后，电网运行状态更加复杂，对机组动态调节能力提出了更高要求。在协调控制过程中，不仅需要考虑到有功功率调节，还需综合考虑电压稳定和系统安全运行，通过合理配置调压和调频资源，确保电力系统在复杂运行环境下保持稳定。

2.3 新能源接入对系统经济性的挑战

新能源的大规模接入虽然能够减少传统能源消耗，但其波动性也给电力系统经济运行带来了新的挑战。由于新能源出力变化较大，电力系统需要保持一定的备用容量以应对功率波动，从而增加了系统运行成本。同时，汽轮发电机组需要频繁进行负荷调节甚至启停操作，这不仅会增加燃料消耗，还可能降低机组的热效率和设备寿命。频繁调节还可能导致机组运行状态偏离最佳经济区间，使整体运行效率下降。因此，在新能源高比例接入条件下，需要通过优化协调控制策略和智能调度方法，实现机组功率的合理分配和运行方式优化，以在保证电网安全稳定运行的同时，尽可能降低系统运行成本，提高电力系统的整体经济性。

3 汽轮发电机组协调控制策略

3.1 预测控制与负荷分配

在新能源大规模接入电力系统的背景下，风电和光伏发电具有明显的随机性与波动性，容易对电网频率稳定和功率平衡产生影响。因此，引入预测控制方法对系统运行状态进行提前调节具有重要意义。预测控制通过对风电、光伏出力变化以及电网负荷需求进行短期预测，结合机组动态响应特性，对汽轮发电机组的功率输出进行提前调整，从而实现系统功率平衡和频率稳定。在具体应用过程中，可通过建立新能源功率预测模型，对未来一段时间内的出力变化趋势进行分析，并将预测结果输入到控制系统中，使机组能够在新能源波动发生前完成部分功率调节。与此同时，在负荷分配过程中还需要综合考虑机组运行效率、燃料消耗及设备运行状态等经济性指标，通过优化算法对各机组出力进行合理分配，从而实现系统稳定运行与经济运行之间的平衡。预测控制与负荷分配的结合，不仅能够减少频率偏差，还能够提高机组调节效率，为电力系统安全稳定运行提供重要保障。

3.2 分布式协调控制方法

随着电力系统规模扩大和新能源接入比例提升，传统集中式控制在信息处理效率和响应速度方面逐渐受到限制。分布式协调控制通过将系统控制任务划分为多个局部控制

单元，使各机组在局部控制器作用下进行自主调节，并通过通信网络共享系统频率、电压和负荷等运行信息，实现整体协调。上级调度系统主要负责运行状态监控和必要的全局调度。该结构能够降低集中控制系统计算负担，提高信息处理效率，使机组更快速地响应新能源出力波动。当系统功率发生变化时，各机组可通过协同调节实现功率再平衡，从而增强电力系统的稳定性与抗扰动能力。

3.3 智能优化调度策略

在多机组协调控制过程中，引入智能优化调度策略能够进一步提升系统运行效率和稳定性。智能优化调度通过结合遗传算法、粒子群优化以及深度强化学习等先进计算方法，对机组功率分配、启停策略以及调节优先级进行综合优化。在调度过程中，需要同时考虑系统频率稳定、电压控制、机组运行成本以及设备运行安全等多方面因素，从而构建多目标优化模型。通过不断迭代计算和动态调整，可以获得最优或接近最优的调度方案，使机组之间形成更加合理的功率分配关系。当新能源出力发生变化时，智能调度系统能够根据实时运行数据迅速调整机组运行策略，实现动态调度与自适应控制。与传统调度方法相比，智能优化调度具有更强的数据处理能力和决策效率，能够在复杂运行环境下保持系统稳定运行，同时提高新能源消纳能力和机组经济性，为构建高效、灵活的现代电力系统提供重要技术支撑。

4 协调控制的仿真分析

4.1 仿真模型构建

为系统分析新能源接入条件下多机组协调控制策略的运行效果，需要建立较为完整的电力系统仿真模型。模型主要包括汽轮发电机组动态模型、风电与光伏发电功率波动模型以及系统负荷模型等关键组成部分。在建模过程中，应充分考虑机组惯性特性、励磁系统调节能力、调速器响应特性及机组功率上下限约束，使模型能够真实反映电力系统运行状态。同时，通过引入新能源功率随机波动模型，可以模拟风速变化和光照强度变化对发电功率的影响，从而分析新能源接入对系统频率和电压稳定性的冲击。该仿真模型能够在不同运行工况下模拟机组功率调节过程和系统动态响应，为后续协调控制策略的研究提供可靠的数据基础和分析平台。

4.2 仿真结果分析

在建立仿真模型基础上，对不同协调控制策略进行对比分析。仿真结果表明，当系统采用预测控制与分布式协调控制策略时，电力系统运行稳定性明显提高。与传统控制方式相比，系统频率波动幅度显著减小，机组负荷变化更加平稳，电压稳定性也得到有效改善。同时，通过引入智能优化调度算法，在综合考虑系统经济性与运行安全性的前提下，可以实现机组功率的合理分配，使多机组之间形成协同调节关系。当新能源出力出现波动时，系统能够快速完成功率再分配，缩短频率恢复时间，提高整体响应速度。仿真结果充

分说明,协调控制策略在提升电力系统抗扰动能力方面具有明显优势。

4.3 策略优化与应用建议

基于仿真分析结果,可对多机组协调控制策略提出进一步优化建议。首先,应提高机组的动态调节能力,通过优化调速系统和控制器参数,使机组在功率变化时能够实现更快速的响应。其次,应结合新能源功率预测技术,对风电和光伏出力变化进行提前估计,从而在调度层面提前调整机组运行状态,提高系统调频精度。与此同时,可引入智能调度算法,通过对系统运行数据进行实时分析,实现多机组之间的协同调节与经济性优化。在实际应用中,应根据电网结构、机组容量以及新能源接入比例等因素,选择适合的协调控制方案,使系统在保证安全稳定运行的同时兼顾经济性与灵活性。

5 控制策略优化及实施要点

5.1 多机组协同机制

在新能源大规模接入电力系统的背景下,建立科学有效的多机组协同机制对于提升系统稳定性和调节能力具有重要意义。传统单机独立调节方式难以适应新能源发电波动性强、随机性大的运行特点,因此需要通过多机组协同控制实现整体功率平衡。协同机制应在系统层面明确各机组的调节优先级与功能分工,使不同类型机组在频率调节、无功支撑以及负荷分配等方面形成互补。例如,在系统频率出现波动时,可由响应速度较快的机组承担初级调频任务,而容量较大的机组承担持续功率支撑,从而实现稳定而高效的调节过程。同时,通过构建统一的信息通信平台,实现机组之间运行数据的实时共享,使调度中心能够根据系统运行状态对机组出力进行动态优化调整。多机组协同机制的建立不仅能够提高电力系统的整体调节能力,还能够减少新能源波动对系统运行造成的冲击,从而保障电网安全、稳定和高效运行。

5.2 控制策略参数优化

控制策略参数的合理设置是实现多机组协调控制的重要基础,其直接影响机组响应速度、控制精度以及系统运行稳定性。在新能源发电波动频繁的运行环境下,传统固定参数控制方式往往难以满足动态调节需求,因此需要通过数据分析和仿真验证对控制参数进行持续优化。具体而言,可通过建立电力系统动态仿真模型,对不同运行工况下的调节过程进行模拟分析,从而对PID控制器参数、预测控制模型以及调度优化算法进行系统优化。通过对历史运行数据和实时监测数据进行综合分析,可以识别系统频率波动和电压变

化的规律,并据此调整控制策略,使机组在不同负荷条件和新能源出力水平下均能够保持良好的响应性能。参数优化不仅能够提升机组调节效率,还能够有效降低频率波动幅度和电压偏差,提高新能源消纳能力。同时,通过优化控制策略,还可以减少机组频繁启停和不必要的调节动作,从而提升机组运行的经济性和可靠性。

5.3 信息化与智能化实施

信息化与智能化技术为多机组协调控制的实现提供了重要技术支撑。在现代电力系统中,通过建设高性能监控平台和完善的数据采集系统,可以实现对各机组运行状态的实时监测,包括功率输出、负荷变化以及设备运行状态等关键参数。这些数据通过统一的信息平台进行集中管理,为调度系统提供准确、及时的运行信息。在此基础上,引入智能调度算法和数据分析技术,可以实现对机组出力的动态优化调节。例如,通过新能源功率预测模型对风电和光伏发电的出力进行提前预估,再结合系统负荷需求对机组运行方案进行优化安排,从而提高系统调节效率。信息化平台还能够对大量运行数据进行分析 and 挖掘,为系统运行提供决策支持。随着人工智能和大数据技术的不断应用,电力系统调度逐渐向智能化方向发展,这不仅能够提高系统响应速度和控制精度,还能够增强电网对新能源波动的适应能力,为构建安全、高效和可持续发展的现代能源系统奠定技术基础。

6 结语

新能源高比例接入对传统汽轮发电机组协调控制提出了新的挑战,涉及频率稳定性、电压调节及系统经济性问题。通过采用预测控制、分布式协调控制及智能优化调度策略,可有效应对新能源波动,提高机组调节能力和系统运行稳定性。仿真分析表明,多机组协同机制、控制参数优化及信息化实施是实现协调控制优化的关键要素。研究结果为新能源接入条件下的汽轮发电机组运行管理提供了理论依据和技术参考,能够有效保障电网安全、稳定和经济运行。未来应进一步结合大数据与人工智能技术,提升机组协调控制的智能化水平,为新能源高比例接入及电力系统现代化发展提供支撑。

参考文献

- [1] 詹锦皓,李维波,高佳俊,等.基于串级前馈PID协调控制的汽轮发电机组建模方法[J].中国舰船研究,2020,15(S1):149-156.
- [2] 颜洋.汽轮发电机主蒸汽温度多模型协调控制系统的应用[J].自动化应用,2015,(06):13-14.
- [3] 李啸鹰,鹿建成,韦善革,等.汽轮发电机组轴系扭振多指标非线性协调控制[J].电力系统保护与控制,2014,42(06):1-7.