

火电厂 AGC 与一次调频协调控制性能提升研究

王嘉俊

江投国华信丰发电有限责任公司 江西 赣州 341606

摘要:为解决火电厂AGC与一次调频协调控制中存在的响应滞后、控制冲突及性能退化等问题,保障电网安全经济运行,本文基于二者核心原理与协调逻辑,分析问题成因及典型工况表现,设计动态优先级协调策略、参数智能优化方法、逻辑优化及硬件通讯升级方案。通过理论分析与工况验证,所提策略可有效提升协调控制的快速性、稳定性与精准度,缓解频率波动,降低发电成本,为火电厂协调控制性能提升提供可靠理论与实践支撑。

关键词:火电厂AGC;一次调频;协调控制;性能提升

引言:电网频率稳定是电力系统安全运行的核心,AGC与一次调频作为电网调频的关键手段,二者协同性能直接影响电网供电可靠性与经济性。当前火电机组长期运行中,协调控制存在诸多瓶颈,难以适配复杂多变的电网工况,制约调频效能发挥。结合新型电力系统建设需求,开展AGC与一次调频协调控制性能提升研究,破解现存技术难题,对优化火电厂运行、保障电网稳定具有重要现实意义与工程价值。

1 火电厂AGC与一次调频协调控制相关理论基础

1.1 AGC与一次调频核心原理

(1) AGC工作原理:核心目标是维持电网频率稳定和联络线功率平衡,保障电网经济高效运行。控制流程主要包括:接收电网调度中心下发的负荷指令,结合机组运行状态进行功率分配,通过闭环调节机制,实时调整机组出力,抵消负荷波动对电网的影响。其在电网调频中承担着二次调频职责,弥补一次调频的调节偏差,实现电网负荷的精准匹配。(2) 一次调频工作原理:核心是快速响应电网频率波动,触发条件为电网频率偏离额定值(如50Hz)。通过机组调速器自动响应频率变化,依据频率偏差大小调整气门开度,改变机组出力,无需人工干预,响应时间快。其核心功能是快速平抑电网频率的瞬时波动,为电网频率稳定提供第一道保障^[1]。

1.2 协调控制的核心逻辑与约束条件

(1) 协调控制核心逻辑:二者协同互补,一次调频优先响应瞬时频率波动,AGC在一次调频基础上进行精准调节和负荷分配。控制时序上,一次调频瞬时响应,AGC延时补偿;功率分配上,一次调频承担短时波动负荷,AGC负责稳态负荷调节,实现路径为通过控制系统联动,共享机组运行数据,避免调节冲突。(2) 约束条件:火电机组自身受出力上下限、调节速率限制,无法无限制调整出力;电网运行需满足频率偏差阈值要求,

避免频率超标;控制系统存在通讯延时,会影响调节及时性,三者共同制约协调控制的效果和响应速度。

1.3 相关控制算法基础

(1) 传统控制算法:PID控制通过比例、积分、微分环节调节参数,结构简单、易于实现,广泛应用于AGC与一次调频控制,但难以适应机组非线性特性,调节精度有限。模糊控制无需精确数学模型,能处理复杂不确定性问题,但存在稳态误差较大的局限性。(2) 智能控制算法:LSTM神经网络擅长处理时序数据,可精准预测负荷和频率变化;粒子群优化算法能高效优化控制参数,提升调节精度。二者在预测控制、参数整定中优势明显,为协调控制策略优化提供重要理论支撑。

1.4 协调控制性能评价指标

(1) 响应性能指标:主要包括调频响应时间、频率恢复速率、功率调节精度,重点评价协调控制的快速性,即能否快速响应频率波动、快速恢复额定频率、精准匹配负荷需求。(2) 稳定性指标:包括频率波动幅度、功率超调量、稳态误差,用于评价协调控制的稳定性与可靠性,确保调节过程中频率和功率波动在允许范围,稳态运行时无明显偏差。

2 火电厂AGC与一次调频协调控制现存问题及成因分析

2.1 协调控制现存核心问题

(1) 响应滞后问题:在实际运行中,一次调频常出现响应不及时的情况,调速器对电网频率波动的感知存在延迟,无法瞬时启动调节动作;同时AGC指令从接收、解析到执行存在明显滞后,尤其是多机组协同场景下,指令分配与执行衔接不畅,导致频率波动抑制效果不佳,难以应对突发负荷扰动,无法快速平抑频率偏差,影响电网频率稳定性。(2) 控制冲突问题:AGC以维持联络线功率平衡、实现经济调度为核心目标,而一次调

频重点聚焦于快速响应频率波动,二者控制目标存在本质差异。由于缺乏有效的协同联动机制,两者调节指令常出现对抗现象,例如一次调频为平抑频率增加出力时,AGC为维持功率平衡下达减负荷指令,导致调频效果相互抵消,降低整体控制效能^[2]。(3)性能退化问题:随着机组长期运行,调速器核心参数逐渐失配,原有控制逻辑难以适配机组老化后的运行特性,导致一次调频调节精度下降,频率恢复偏差增大;同时AGC调节效率降低,负荷分配合理性不足,出现机组出力波动过大、稳态调节时间延长等问题,严重影响协调控制整体性能。

2.2 问题成因分析

(1)控制策略层面:当前多数火电厂采用的传统协调控制策略缺乏动态适应性,控制优先级固定不变,未根据电网频率波动的大小、速率实时调整一次调频与AGC的调节权重;同时智能控制算法的应用不够充分,未能有效利用时序数据预测负荷与频率变化,难以应对复杂多变的电网运行工况,导致控制效果不佳。(2)系统参数层面:调速器PID参数整定多基于固定工况,未结合机组不同负荷、不同运行状态进行动态调整,参数适配性差;AGC功率分配系数长期保持固定,未考虑机组煤质变化、设备损耗等因素,无法根据实际运行工况优化负荷分配,导致在复杂工况下出现调节偏差,加剧协调控制问题。(3)硬件与集成层面:部分火电厂控制设备使用年限较长,出现老化、性能衰减现象,影响信号传输与指令执行的及时性;通讯链路存在延时,导致AGC与一次调频系统之间的运行数据无法实时交互;同时两大系统多独立运行,集成度低,缺乏统一的控制平台,数据共享不顺畅,进一步加剧了响应滞后与控制冲突问题^[3]。

2.3 典型工况下的问题验证

(1)稳态负荷工况:在常规稳态负荷运行时,通过实时监测机组出力与电网频率,验证协调控制的稳态误差。结果表明,由于调速器参数失配、AGC功率分配不合理,机组出力存在持续小幅波动,频率偏差超出最优范围,充分体现了参数失配对协调控制精度的直接影响,也反映出控制策略的不足。(2)突发负荷扰动工况:模拟电网突发负荷骤增、骤减等典型扰动场景,记录协调控制的完整响应过程。监测发现,一次调频响应延迟,无法及时应对负荷突变,AGC指令执行滞后且与一次调频指令存在冲突,导致频率波动幅度较大、恢复时间延长,明确了响应滞后与控制冲突在极端工况下的具体表现,为后续问题解决提供了数据支撑。

2.4 问题对电网运行的影响

(1)频率稳定性影响:协调控制性能不足会导致电网频率波动超出允许阈值,严重时可能引发频率崩溃,威胁电网安全稳定运行。同时,频率的持续波动会影响电网内其他机组的正常运行,导致连锁反应,降低整个电网的供电可靠性,甚至影响民生与工业生产用电。(2)经济性影响:协调控制存在的问题会导致机组频繁启停、功率大幅波动,不仅增加煤炭消耗,提升发电成本,还会加剧锅炉、汽轮机等核心设备的损耗,缩短设备使用寿命,增加设备维护成本。此外,调频效果不佳可能导致电厂面临电网调度考核,进一步影响火电厂的经济收益。

3 火电厂AGC与一次调频协调控制性能提升策略设计

3.1 动态优先级协调控制策略

(1)优先级分配模型:构建基于模糊逻辑控制器的动态优先级分配模型,解决传统策略优先级固定的弊端,实现调节权重的实时自适应调整。模型以电网频率偏差、频率变化率、AGC指令调节量作为核心输入参数,通过模糊化处理将各参数转化为模糊语言变量,结合专家经验设定模糊规则库,对输入参数进行模糊推理与解模糊运算,最终输出一一次调频与AGC的动态响应权重。当电网频率波动剧烈、频率变化率较大时,增大一次调频权重,确保快速平抑波动;当频率趋于稳定、AGC指令调节量较大时,提升AGC权重,实现负荷精准匹配与经济调度,兼顾调频快速性与经济性。(2)控制权平滑切换逻辑:为避免控制权切换过程中出现指令冲突、出力突变等问题,设计合理的切换阈值与过渡环节,实现一次调频与AGC控制权的平滑过渡。设定频率偏差上下限作为切换阈值,当电网频率偏差超出阈值时,系统自动优先激活一次调频,赋予其最高控制权,全力响应频率波动;当频率恢复至阈值范围内、波动趋于平缓时,启动过渡环节,通过线性调节响应权重,逐步降低一次调频权重、提升AGC权重,直至切换至AGC主导控制模式。同时,加入缓冲延时环节,避免因频率微小波动导致控制权频繁切换,确保机组出力平稳,提升协调控制的稳定性^[4]。

3.2 控制参数智能优化方法

(1)基于LSTM的功率预测补偿:针对AGC指令执行滞后、难以应对突发负荷扰动的问题,引入LSTM神经网络实现短期功率波动预测,为AGC指令优化提供支撑。收集电网历史负荷数据、频率数据、机组运行参数等时序数据,对LSTM模型进行训练与验证,使其能够精准预测未来5-10分钟的电网功率波动趋势。根据预测结果,提前修正AGC负荷指令,优化调节步长与时序,避免AGC指令与实际负荷波动脱节;同时,当预测到突发负荷扰动时,提前触发一次调频预备调节,缩短响应滞

后时间,提升协调控制的快速性与精准度。(2)基于粒子群优化的PID参数整定:针对调速器与AGC的PID参数整定不合理、适配性差的问题,采用粒子群优化算法对参数进行智能整定,提升调节精度。以调频响应时间、稳态误差、功率超调量作为目标函数,构建参数优化模型,设定PID参数的取值范围作为搜索空间,通过粒子群算法的全局搜索能力,迭代优化比例、积分、微分参数,找到最优参数组合。将优化后的PID参数应用于调速器与AGC控制系统,有效解决传统参数固定导致的调节灵敏度不足、稳态误差大等问题,适配不同运行工况下的调频需求,提升协调控制的整体性能。

3.3 协调控制逻辑优化设计

(1)指令叠加与闭锁逻辑:优化协调控制指令交互逻辑,采用指令叠加与闭锁结合的方式,避免AGC与一次调频指令对抗。将一次调频有功功率指令与AGC功率给定值进行数学叠加,形成机组最终出力指令,确保二者调节方向一致、协同发力;同时,设计AGC闭锁逻辑,当一次调频启动且频率偏差未恢复至允许范围时,闭锁AGC指令的调节动作,避免AGC过早介入干扰一次调频的快速响应,待频率趋于稳定后,解除闭锁,让AGC逐步接管稳态调节,实现二者的协同互补^[5]。(2)多机组协同分配策略:针对多机组火电厂,优化AGC功率分配方案,实现机组资源的最优配置。建立各机组调频能力在线评估模型,实时监测各机组的出力上下限、调节速率、运行效率等参数,量化评估各机组的调频潜力与调节成本;基于评估结果,采用动态分配算法,将AGC负荷指令优先分配给调频能力强、运行效率高的机组,同时兼顾各机组负荷均衡,避免部分机组过载运行,减少设备损耗,提升多机组协同调频的整体效能与经济性。

3.4 硬件与通讯系统优化建议

(1)硬件升级:针对控制设备老化、响应速度不足的问题,开展硬件设备升级改造。更换老化的调速器、执行机构与控制模块,采用高性能FPGA芯片搭建实时控

制单元,实现电网频率的实时检测、指令快速运算与控制权切换,将频率检测响应时间缩短至毫秒级,大幅提升系统的响应速度;同时,升级机组监测设备,实现机组运行参数的实时采集与精准反馈,为控制策略的实施提供可靠的数据支撑。(2)通讯优化:优化通讯链路设计,提升系统集成度与数据共享效率。采用高速以太网与光纤传输技术,替换传统低速通讯链路,选用TCP/IP高速传输协议,减少数据交互延时;搭建统一的数据共享平台,打破AGC与一次调频系统的独立运行壁垒,实现机组运行数据、控制指令、频率数据的实时共享与协同决策;同时,增加通讯冗余链路,避免单一链路故障导致的系统瘫痪,提升通讯系统的可靠性,为协调控制策略的高效实施提供保障。

结束语

本文围绕火电厂AGC与一次调频协调控制性能提升展开系统研究,明确了现存问题及成因,提出多维度优化策略并完成工况验证。研究表明,优化后的协调控制系统可有效解决响应滞后与控制冲突问题,提升调频精度与稳定性。后续可结合实际机组运行数据持续优化控制参数,拓展智能算法应用场景,进一步完善协调控制体系,为火电厂节能降耗与电网安全稳定运行提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]邢峰,褚文超.基于AGC预测指令的火电机组控制策略[J].现代电力,2023,40(5):742-750.
- [2]韩立军,王爱.基于数据挖掘的一次调频综合性能提升[J].电工技术,2021,(17):151-154.
- [3]张堃,施明.基于火力发电厂DCS系统的厂级AGC系统研究[J].云南水力发电,2021,37(9):126-130.
- [4]蒋静江.大型火电厂辅助调频控制系统研究与应用[J].中小企业管理与科技,2021,(8):170-171.
- [5]罗建科,王军泓.火电厂AGC及一次调频控制逻辑优化分析[J].中国新技术新产品,2020,(5):48-49.