

大型燃煤火力发电机组的调峰优化控制系统研究

王鑫阳

汕头华电发电有限公司 广东汕头 515000

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15737

[摘要] 本文针对电网调峰优化控制方面的问题,提出了一种面向大型燃煤火力发电机组的调峰优化控制技术,其目的是实现电网源荷供需的动态平衡,同时确保火力发电机组调峰运行过程的稳定性。这项技术通过构建以爬坡压力缓解作为目标的函数模型,并且引入对火电机组运行、负荷损失、储能设施以及光伏发电的约束条件,有效减轻了机组面临的爬坡压力。进一步来说,本文建立了考虑火力发电机组运行功率、功率平衡以及启停机时间等约束条件的调峰优化控制目标函数,以此实现对大型燃煤火力发电机组的调峰优化。实验验证的结果表明,所提出的技术有效降低了机组的爬坡压力,提升了机组响应电网调峰需求的速度,并且确保了火力发电在调峰过程中的稳定运行,最终圆满完成了电网调峰任务。

[关键词] 火力发电机组;源荷平衡;优化控制;燃煤机组;调峰优化

1 前言

火力发电系统有着明显的不确定性和动态波动特征,当大规模燃煤发电机组接入到电网当中时,可能让电力供需平衡调节的难度进一步加剧,造成调峰资源短缺的状况,进而引发比较严重的可再生能源消纳问题,针对这种现象需要尽快开发火力发电机组的调峰潜力,完善调峰控制策略来提升机组运行可靠性,相关研究(王婧等)显示电网调峰资源能够从负荷侧与电源侧双向去挖掘,负荷侧可通过调节大型工业用电设备以及电动汽车充电负荷参与调峰,电源侧则可通过优化燃煤机组调度策略提升调峰性能,基于此构建火力发电机组调峰优化控制模型减轻机组爬坡约束,被证实能够显著增强电网调峰能力,李玲团队基于亚临界机组非线性动力学特性研究,揭示了机组在宽负荷区间运行时的参数演变规律,创新性地把PID控制策略与参数自适应调整机制相结合,建立了适应调峰工况变化的优化控制算法,实验数据表明经深度调峰技术改造的330MW机组,其负荷调节范围可扩展至33%~100%额定容量,验证了该控制方法的有效性。赵雪杉研究团队选东北地区某600MW燃煤发电机组做实验对象,在1号机组现有变频控制架构的基础上,创新性融合空间矢量脉宽调制技术与径向基函数模糊神经网络算法,构建出一种新型复合控制策略,实验数据表明在50%负荷工况下,该复合控制策略可使系统响应时间缩减40%,同时能有效抑制电磁转矩波动达25.7%,还可将转速超调量控制在3.33%以内,显

著提升600MW机组运行稳定性,不过针对大型火电机组在负荷升降过程中的动态响应特性,该方法存在爬坡时间过长和响应迟滞等问题,难以满足电网快速调峰需求,基于此情况本文聚焦大型燃煤机组调峰优化,通过减轻机组爬坡负荷压力与建立调峰优化控制模型两条路径,目的是实现电网源荷动态平衡,增强火力发电机组参与调峰运行的可靠性与经济性。

2 理论基础

2.1 大型燃煤火力发电机组调峰特性

在大型的燃煤火力发电系统当中,机组的调峰性能主要受限于锅炉和汽轮机动态特性的匹配程度,作为热力系统核心设备的锅炉,其变负荷速率通常维持在额定负荷的1.5%~3%/min范围以内,就拿600MW亚临界机组这种情况来说,其锅炉负荷从50%提升到90%所需要的时间大概是13~27分钟,和锅炉相比作为动力转换装置的汽轮机,具备更快的负荷调节能力且变负荷速率可达额定负荷的5%~8%/min,当锅炉负荷突然发生较大幅度变化的时候,主蒸汽参数的剧烈波动会让汽轮机热端产生明显的温差膨胀,进而有可能引发动叶片和转子之间的机械干涉故障,与此同时频繁参与深度调峰运行的情况之下,会加快水冷壁管材的疲劳损伤进程并对锅炉安全运行寿命造成不利影响,所以提升燃煤机组调峰性能的关键之处在于,在保证设备能够安全运行的前提条件下,通过优化锅炉-汽轮机协调控制系统,改进炉水循环与汽

机调节相关策略,并且应用智能化在线监测技术,最终达成机组运行灵活性和经济性的统一目标。

2.2 大型燃煤火力发电机组调峰控制技术原理

燃煤火力发电机组调峰控制技术要点是达成锅炉-汽轮机系统动态特性匹配,以此确保负荷指令、蒸汽参数和核心设备协同优化运行,针对660MW超临界机组采用动态矩阵控制策略,通过实时求解二次规划问题把负荷调节速率提升至6%-8%额定负荷/分钟,但该方案存在计算复杂度较高问题,在1000MW超超临界机组里融合模型预测控制与智能决策复合控制技术,基于机组动态特性建模和专家系统知识库,实现40%-100%负荷区间灵活运行且峰值调节速率达10%额定负荷/分钟,对于600MW亚临界机组采用多目标优化协调控制方法,通过引入前馈补偿机制和动态解耦技术,有效整合燃烧调节、水位控制和调速系统使负荷响应速率提升至8%额定负荷/分钟,当前智能软测量技术、基于深度学习优化控制算法和设备健康状态预测性维护等创新方法,为燃煤机组调峰性能持续改进提供新的技术路径,有助于实现深度调峰与设备可靠性运行双重优化目标。

3 大型燃煤火力发电机组的调峰优化控制系统设计

本文构建起来的大型燃煤发电机组调峰优化控制系统由四个核心功能单元构成,分别是负荷预测与分析单元、机组运行优化单元、调峰决策单元以及执行监控单元,具体来说,负荷预测单元借助算法模型对未来电力需求开展精准预估工作,运行优化单元专注于提升机组在不同运行工况下的能效水平,调峰决策单元依据负荷预测数据、机组运行特性和电网调度要求等多维因素,生成最优的机组出力分配方案,执行监控单元负责把调度指令准确下达到各执行机构,同时对机组运行参数进行实时监测以保障安全稳定运行。

3.1 负荷预测与分析模块

本文构建的负荷预测与分析系统依靠海量历史运行数据,运用融合时间序列分析和机器学习的前沿算法,能够完成24小时甚至更长时间跨度的电力需求预测,并且可以量化评估预测结果的不确定性,为调峰决策提供科学依据,系统借助专用数据接口和调度中心进行互联,实现分钟级别的实时数据采集,同时构建历史数据库来支撑模型训练,在算法

方面,本文创新性地提出一种增强型LSTM神经网络架构,传统LSTM模型虽能借助门控单元捕捉时序依赖关系,但在处理兼具趋势性和周期性的复合序列时存在精度局限,而本文提出的改进方案采用显式分解策略,把负荷序列解构为基准负荷、周期性波动和随机噪声三个分量,通过结构化特征提取和专用网络设计,显著提升模型对复杂负荷动态特性的表征能力,该预测引擎部署在高性能计算服务器上,预测结果通过专用数据通道实时推送至调峰优化模块,为控制策略生成提供可靠的数据支撑。

3.2 机组性能优化模块机组性能优化

本系统模块依靠负荷预测数据来对发电机组运行参数做在线动态优化,以此确保设备在各类负荷条件下都能达成高效节能与环保运行,基于热力系统集成仿真平台构建起涵盖锅炉本体、汽轮发电机组、凝汽装置及供热管网的全厂热力系统数字孪生模型,并且通过1秒采样周期和DCS控制系统保持实时数据交互,研究运用改进型自适应差分进化算法(ADE)开展运行参数优化工作,此算法把机组净效率、氮氧化物排放强度及负荷响应速率作为多目标优化函数,借助自适应变异因子调整机制并结合非支配排序策略,有效化解了多目标优化过程里全局搜索与局部开发的矛盾,优化输出的控制指令(包含燃烧配风比例、制粉系统运行方式及给水调节阀开度等关键参数)通过OPC通信协议传输到DCS系统,从而实现机组全工况范围内的最优运行调控。

3.3 调峰策略制定模块调峰策略

调峰优化控制系统的决策中枢是策略生成模块,此模块依据电网运行需求、机组特性参数以及设备安全边界等多维因素,来构建最优发电调度方案,进而实现机组在多种时间维度下的调峰运行指导,模块依托省级调度数据平台获取时间分辨率为15分钟的24小时负荷预测数据,并且整合机组性能优化模块输出的最佳运行参数,主要约束条件包含机组发电功率区间、出力变化速率、锅炉压力安全阈值以及汽轮机温度限制等,为解决这类多约束非线性优化问题,本文设计了一种改进型禁忌搜索算法,通过建立禁忌列表与候选解集有效规避局部最优陷阱,结合变邻域搜索机制和自适应记忆功能显著增强算法的全局优化性能,最终生成的调度方案

以15分钟为时间单元覆盖24小时负荷周期,通过数据通信网络实时传输至分散控制系统,与机组协调控制系统形成闭环控制确保调峰指令的高效执行。

3.4 执行控制与监督模块

执行控制与监督模块作为调峰优化控制系统核心功能单元,承担策略实施和运行保障双重职责,该模块借助分布式控制系统(DCS)实现与底层设备无缝对接,其架构涵盖多层级控制单元,炉水协调控制子系统负责维持汽水系统动态平衡,旁路减温水调节单元确保蒸汽参数稳定,主蒸汽温度控制器采用先进算法实现精确调控,系统配置工业级高性能计算机平台,以20毫秒为周期实时采集汽包压力等关键工艺参数,在控制算法方面基于Lyapunov稳定性理论设计的自校正控制器有严格数学稳定性证明,显著提升机组在变负荷工况下适应能力,现场总线网络(Profibus)作为信息传输通道将优化指令同步传送到执行终端,实现全厂设备协调运行,此外系统配备的智能诊断单元持续监测设备状态参数,检测到异常工况时自动触发分级报警机制并执行相应保护动作。

4 系统性能验证

本文围绕设计的峰值调节优化控制系统展开,专门选取一台600MW亚临界燃煤发电机组当作试验实体,并且运用ABB公司的Precontrol-PDCS系统开展实际控制工作。实验总共分成了三组来进行,基准组实施的是常规PID控制方式,对比组采用的是模型预测控制(MPC),试验组应用的则是本论文所提出的峰值调节优化控制系统。每组实验的时长为72小时,负荷调节的范围处于300-600MW之间,数据采集的周期设定为1秒。实验所涉及的主要设备包含6台ZKY型中速磨煤机、NI型烟气脱硫系统以及SCR脱硝系统等。在实验过程中,对锅炉煤料供给量、一二次风量分配比例、减温水流量等关键参数进行了调控操作,同时通过OPC接口实时抓取PDCS数据用于分析。实验结果以表格的形式进行展示,数据显示本文提出的峰值调节优化控制系统在多个性能指标方面均比常规PID控制和MPC控制更具优势。

下面进行具体分析,在负荷追踪误差方面,本文方法产生的误差是1.85MW,相较于PID控制和MPC控制分别减少了68.5%和45.9%,体现出更高的负荷追踪精确度,该策略通过

在线递推估算受控对象模型并自适应调整增益系数,显著提升了控制的精确度,在负荷变动速度方面,本文方法实现的负荷变动速度 v 值达到7.23%额定负荷/分钟,明显高于PID控制的2.35%和MPC控制的4.76%,此结果证实了峰值调节策略设计模块的有效性,基于禁忌搜索的智能优化算法有效突破了传统控制方法的性能限制,在机组热耗率方面,本文方法把热耗率降低到9186kJ/kWh,和PID控制以及MPC控制相比分别降低了2.8%和1.5%,所提出的机组性能优化模块有效提升了机组效率,自适应差分进化算法在多目标优化中表现出色,在NO_x排放浓度方面,本文方法的排放浓度 E 值为32.7mg/m³,比PID控制和MPC控制分别降低了15.3%和7.1%,该结果证明了本论文提出的多目标优化方法在平衡经济效益与环保要求方面具有优势,实验结果充分验证了所设计的峰值调节优化控制系统的优越性与实效性,在提升负荷调节能力的同时实现了提高机组效率和减少排放的多重目标。

结束语

本文针对大型燃煤火力发电机组在电网调峰过程中面临的挑战做了深入细致的调峰特性分析,充分考虑机组运行各项约束条件以及不同负荷需求下运行效率差异,提出一个集成负荷预测、性能优化、策略制定与执行控制于一体的智能化调峰优化控制系统,该系统采用先进预测算法可准确预测未来电网负荷变化趋势,为制定合理调峰策略提供有力支撑,同时系统内置基于运行数据和热力模型的热效率优化算法,能在满足调峰需求前提下最大限度提高机组热效率并降低煤耗,更为重要的是系统能根据负荷预测结果和机组运行状态自动生成最优调峰策略,将其转化为具体控制指令实现对机组运行参数精准控制,实验验证表明该系统在负荷响应速度方面表现出色可快速响应电网调峰指令,在热效率方面取得显著提升有效降低发电成本。

[参考文献]

- [1]周海纯.超临界火电机组FCB过程动态特性研究[D].吉林:东北电力大学,2018.
- [2]王迪.火电机组建模及快速变负荷控制[D].吉林:东北电力大学,2018.