

Application of centralized operation technology in thermal power plant generator set

Xinya Li

Shaanxi Zhuangao Hongdunjie Coal Power Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 718500, China

Abstract

This paper focuses on the discussion of centralized control operation technology for thermal power plant generator sets, conducting an in-depth analysis of key technical aspects in system composition, control mechanisms, operational monitoring, and fault diagnosis. Addressing current technical bottlenecks in dynamic response, multivariable coupled control, precise parameter identification, and fault tolerance within centralized control systems, we propose optimization strategies to enhance thermal efficiency stability. Key research directions include: online parameter identification and model adaptation, feature-based fault diagnosis with fault-tolerant control, operational optimization-oriented online economic and constraint management methods, multivariable model predictive control, and coordinated control of boilers, steam turbines, and generator sets. These efforts provide verifiable pathways and engineering implementation guidelines for advancing centralized control technology in power generation units.

Keywords

centralized control operation; generator sets; multivariable control; online parameter identification; optimization strategies

火力发电厂发电机组集控运行技术应用

李欣雅

陕西枣矿红墩界煤电有限公司, 中国·陕西 榆林 718500

摘要

基于此, 本文着重对火力发电厂发电机组集控运行技术展开探讨, 深入剖析集控系统在构成、控制、运行监测以及故障诊断方面的关键技术要点。针对当下集控运行在动态响应、多变量耦合控制、精细化参数辨识以及容错性等领域所面临的技术瓶颈, 提出一套可提升机组热效率稳定性的优化举措。重点探讨方向锚定: 在线参数辨识与模型自适应、基于特征的故障诊断与容错控制、面向运行优化的在线经济与约束管理方法、多变量模型预测控制, 以及锅炉—汽轮机—发电机组协同控制。为深化发电机组集控运行技术提供可验证路径和工程落地要点。

关键词

集控运行; 发电机组; 多变量控制; 在线参数辨识; 优化策略

1 引言

火力发电厂的集控运行技术主要是借助统一的控制平台对锅炉、汽轮机、励磁与发电机等关键设备开展集中监测、协调控制以及运行优化工作, 以此达成机组安全、稳定且高效运行的目的。近年来, 面对机组低负荷运行、环保排放以及灵活调峰的多重要求, 集控系统从单一逻辑控制逐渐演变成一套涵盖先进控制算法、在线诊断以及运行优化闭环的技术体系; 另一方面, 对机组多物理场耦合、非线性时变特性的建模与控制策略是新一代研究的重点, 这既展现出技术机会, 又覆盖工程现实面临的挑战并预防。

2 火力发电厂发电机组集控运行面临的主要技术瓶颈

在火力发电厂的集控运行进程中, 热工系统、汽轮系统以及电气系统之间的动态交互, 凸显了多变量耦合与协调的困难程度。这种复杂性的根源在于热—力—电这些多物理量所具备的非线性耦合特质, 以及彼此之间相互依赖的关系。例如, 蒸汽参数的瞬态变化直接受锅炉燃烧过程的热输入影响; 而锅炉燃料供给与主蒸汽压力稳定又反向受汽轮机负荷调节作用; 再者, 汽轮机运行状态通过轴系动力学反馈受制于发电机电磁转矩变化的影响^[1]。可见这种交织关系使得传统分散控制架构很难构成统一的协调控制律, 尤其在燃料品质波动明显或是负荷频繁波动的特定情境里, 各子系统的响应时序呈现出非同步状态。这种非同步性致使控制器输出之间出现彼此干扰现象, 最终引发响应滞后、超调甚至振荡等一系列问题。

【作者简介】李欣雅(1998-), 女, 中国陕西宝鸡人, 硕士, 助理工程师, 从事电厂智能化管控研究。

在火力发电机组集控运行中，模型不确定性以及参数漂移问题导致系统辨识模型、运行工况产生动态偏离，归根结底是受时间演化特性与环境适应性影响。体现在长期运行中机组因负荷调度模式、燃料结构、空气湿度以及设备磨损等外部条件不断改变，使得热力学参数、燃烧效率和传热系数等核心变量展现出明显的时变性。此外，集控系统在故障早期识别能力上表现出局限性：如对隐性异常、复合耦合故障以及渐进性劣化过程的敏感度欠缺，并且随着系统复杂度和自动化程度的不断提高，这一问题愈发凸显。而现行告警机制大多依靠固定阈值触发或者单变量偏离检测，从而对多变量间的关联特征以及异常模式的微弱演化难以捕捉。

3 火力发电厂发电机组集控运行技术优化措施

在火力发电厂发电机组集控运行技术的实际应用过程中，随着设备自动化程度的提升与信息系统的复杂化，如何在保障系统稳定性的前提下进一步提升运行效率与智能协同能力，已成为技术优化的关键方向。具体可由如下几方面着手，为机组的安全、经济、稳定运行奠定坚实的技术基础。

3.1 建立分层但紧耦合的控制架构

在火力发电厂集控运行系统中，构建分层且紧耦合的控制架构是关键，旨在借助模型预测控制（MPC）达成多变量过程的协调与解耦，从而应对锅炉—汽轮机—发电机这一典型多变量耦合系统所面临的大惯性、大延迟以及强扰动等挑战。该架构实践的技术要点是构建与集成多层次预测模型：其中上层 MPC 并非单纯将多个单回路进行组合，而是要对能够反映机组全局动态的集成模型予以整合。这涵盖针对特定过程（如脱硝系统）建立受负荷、阀门开度影响的非线性内部模型；以及运用状态空间模型描述多变量间的耦合关系。在创新维度，可引入非线性模型自动拟合与在线校正机制至前沿探索中，凭借实时采集的输入输出数据动态更新模型参数，以此来适应因煤质变化、催化剂损耗等引发的特性漂移，进而在架构中层为精准预测与协调优化奠定基础^[2]。

其次，决策的紧耦合以及约束管理的优化质量与架构的效能紧密相连。可行性路径遵循：基于集控主控站的上层设定值与约束后，MPC 模块的优化目标函数要综合权衡输出跟踪（像主汽压力、负荷功率）和控制增量（给水阀、燃烧配风）的加权平衡。因为火电机组的控制作用受限，而 MPC 能够把喷氨调门开度等控制量的物理限幅直接放进优化问题的求解范畴，以此达成带有约束条件的动态优化。另外，以全新视角将“试探式预测控制”与高效优化算法相结合得到启发：在控制量的可行范围之内生成有限的候选控制序列，借由性能指标评估快速寻优。这一研究有利于在复杂工况里确保协调控制具备快速性与鲁棒性，体现在其计算量小、响应快，与集控系统的实时性要求相契合。

最后，为了达成分层架构中各层级之间的动态协同，实施智能化的前馈与动态解耦策略必不可少。因为仅靠反馈

优化难以将系统耦合与大延迟完全克服（如脱硝系统中从 NH₃ 流量到出口 NO_x 浓度的响应时长可达十几分钟），可见在 MPC 优化层面要结合解耦状态空间模型，从机理角度对锅炉侧燃料、送风变化给主汽压力、蒸汽温度等多个被控量带来的关联影响予以补偿。在控制回路上，要引入智能前馈，把机组负荷、总送风量、总给煤量等能够测量的扰动当作前馈信号，再借助智能前馈控制器或者通过函数模型，生成先进前馈量，使控制指令具备前瞻性。这是在中层 MPC 与底层快速回路间基于扰动预测建立起协同通道，帮助架构应对磨组启停、负荷升降等扰动，使响应速度与控制品质显著提升，确保运行波动最小化。

3.2 集控系统中的在线参数辨识与模型自适应机制

于火力发电厂而言，模型自适应机制与在线参数辨识是保障发电机组在复杂多变工况下保持高效且安全运行的关键技术。借助集控平台该机制能够将实时数据流与先进算法有效整合，实现控制模型的安全验证闭环与动态优化，促使技术内涵从多维度纵深剖析^[9]。

首先，在智能算法融合维度里，传统在线辨识方法：诸如递推最小二乘法（RLS）、扩展卡尔曼滤波（EKF），以此为基础通过深度学习或结合其他前沿技术可实现自身能力升级。就拿 RLS 算法来说，遗忘因子的引入能有效处理系统时变特性，实现对动态模型参数在线估计；而新兴的“离线学习+在线修正”混合范式直接作用于离线阶段，借助长短期记忆神经网络（LSTM）从历史数据里提取时序特征，继而结合 RLS 展开在线误差增量的辨识与修正工作。该范式有利于轴向力系数等关键参数在动态过程中的辨识精度、计算效率显著提升，可见这种混合模型有效弥补了传统机理模型在复杂工况下，适应性不足的缺陷以及纯数据驱动方法对数据质量过度依赖的问题。

其次，在对闭环自适应机制展开优化进程中，实践路径应以机制达成“从数据感知参数予以辨识、模型实施更新直至控制予以执行”的完整闭环。在此领域，数字孪生技术有着前沿应用，其卓越性展现在通过机组高保真虚拟模型的构建，为参数辨识创设了高精度仿真测试环境。此结论已得到相关研究验证，这种嵌入式高精度数字孪生系统实现了与现场 DCS 数据库、逻辑的无失真转换，为运行人员提供了和生产现场工况相符的培训平台，并且也为控制策略的验证及优化提供了安全可靠的沙箱。另外，作为传统最优控制（如 LQR）的补充，强化学习等人工智能方法，给解决非线性、高维度系统的策略寻优问题开辟了新途径。

3.3 基于集控运行平台的特征驱动故障诊断与容错控制

在火力发电厂发电机组集控运行技术领域，基于集控平台开展的故障诊断与容错控制正经历以特征驱动朝着多模态感知智能诊断、协同容错深度融合的方向发展。该体系核心是构建一个“从信号感知到容错执行”的闭环自治系统，

其技术内涵已超脱传统单点诊断,演变成覆盖信号、特征以及决策的三维融合分析框架。

伴随科技更新迭代,智能诊断混合智能模型逐渐取代单一支持向量机分类器,凭借深度融合因果推理和数据驱动迎合技术趋势,以应对故障样本稀缺这一挑战。在实际操作中,将基于机电系统第一性原理的残差生成器嵌入集控平台,并以大模型中智能运维的深度信念网络展开端到端的故障特征提取,以此构建双驱动诊断机制^[4]。在决策阶段,可借助多智能体协同推理架构的引入,使各虚拟智能体(如针对汽轮机、锅炉、发电机的专用诊断体)能够依据局部特征以及全局系统状态展开分布式决策,最终经证据理论或者贝叶斯网络融合,致力将复合故障的类型与部位精准定位,极大地降低误报和漏报情况。

在系统恢复与容错控制层面,集控平台的应急控制模块正从依据预设规则的被动响应模式朝着基于数字孪生与强化学习的主动容错及自适应决策方向进行升级。创新路径的研究方向是依托工业元宇宙以及空间计算技术,构建发电机组的高保真虚拟映射,同时在数字空间里对降负荷、励磁调整、系统重构等容错策略的执行效果展开预演,实现在线优化控制指令。此外,平台借鉴复杂装备大模型智能运维的系统构建思路,将历史故障处置案例、专家经验和实时诊断结果深度融合,有利于生成拥有在线学习能力的容错策略库,达成从“故障—响应”到“预警—自适应”的范式转变。总而言之,在集控平台内构建“感知—诊断—决策—执行—优化”的自治闭环,不仅提高了故障处理的实时性与准确性,更是为达成发电机组从“被动防护”迈向“主动免疫”的智能运维目标奠定技术根基。

3.4 集控运行环境下的基于约束的在线运行优化

在火力发电机组集控运行的环境里,基于约束的在线运行优化技术正从传统的局部静态模式朝着全流程且强耦合的动态协同调控范式不断演进。这一示范的核心是在确保安全边界前提下,借助实时求解高维约束来优化问题,最终达成能效与动态响应的最优状态。在线优化的首要挑战是多维约束的协同建模与快速求解,因此燃烧稳定性、汽轮机调

节精度、排放指标等多重约束有待现代优化模块处理,它本质上是一个有着复杂不等式约束的动态优化问题。在应对燃料热值波动、负荷指令快速切换等场景时,模型预测控制(MPC)及其二次规划(QP)求解器虽已成为主流方法,然而却仍面临实时性压力。在此背景下,前沿探索可借鉴显式模型预测控制思路,把部分优化问题转为离线计算、在线阶段查询分区控制律以大幅提升响应速度^[5]。另外,可进一步探索把安全边界模型和强化学习相结合,让算法不但能应对已知约束,还能够凭借历史数据自主摸索约束的潜在变化规律,进而形成前瞻性的规避策略。由此可见,火力发电集控运行从整体状况来看,在线优化技术正朝着快速求解与精准预测深度融合的方向发展。

4 结语

综上所述,集成多变量协调控制、在线参数辨识、智能故障诊断与容错控制,以及约束驱动的在线优化是促使火力发电机组集控运行技术从传统逻辑控制向系统化体系转型的关键。特别是在多物理耦合且扰动频繁的工况下,借助特征驱动的故障诊断、多维自适应模型以及分层紧耦合架构,机组能够达成稳定且高效的运行状态,进一步强化模型自适应与多智能体协同决策。在未来,火力发电厂应持续推进拓展数字孪生及强化学习的应用,以提升实时约束优化的能力,为火力机组集控运行智能化提供技术支撑与可行路径。

参考文献

- [1] 曲延东.探讨火力发电厂发电机组集控运行技术[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(003).
- [2] 张浩.火电厂集控运行节能降耗技术措施研究[J].中国科技期刊数据库 工业A,2024(003).
- [3] 李海峰.火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究[J].水利电力技术与应用,2024(3).
- [4] 刘峰.火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究[J].工程管理与技术探讨,2023(18).
- [5] 李雷.发电厂330MW电机集控运行技术分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(2):4.