

火电厂 DEH 系统运行优化模式分析

邓世维

江投国华信丰发电有限责任公司 江西 赣州 341606

摘要: 随着“双碳”目标推进与可再生能源占比提升,火电厂需从传统基荷电源向灵活调节电源转型,这对汽轮机DEH系统的控制性能提出更高要求。本文简要介绍了火电厂DEH系统典型运行问题,包括控制性能问题、设备可靠性问题、协同效率问题等方面,并针对如何构建火电厂DEH系统运行优化模式进行了讨论,旨在为火电厂DEH系统技术升级提供理论依据与实践路径。

关键词: 火电厂; DEH系统; 运行优化模式

引言

数字电液控制系统(DEH)作为汽轮机核心调节单元,直接决定机组转速、负荷、压力等关键参数的控制水平,是保障机组安全稳定与经济高效运行的关键环节。然而,当前部分火电厂DEH系统存在诸多问题,易引发负荷波动、节流损失偏大、设备磨损加剧等现象。为此,开展DEH系统运行优化模式研究,针对性解决现场控制短板,提升系统自适应能力与全工况适配水平,对提高机组运行效率、降低供电煤耗、增强电网调频能力具有重要工程价值与现实意义。

1 火电厂DEH系统典型运行问题

1.1 控制性能问题

火电厂汽轮机DEH系统的控制性能问题直接影响机组运行的安全性与经济性,其中调门抖动、转速超限及一次调频响应不足是典型表现。(1)调门抖动通常源于控制信号与机械执行环节的动态失配,当伺服阀的流量增益与调门阀芯的摩擦力、蒸汽作用力之间未能形成稳定平衡时,调门会在目标开度附近产生高频小幅振荡^[1]。这种振荡不仅加剧调门机械部件的磨损,缩短其使用寿命,还会通过蒸汽流量波动传递至汽轮机通流部分,引发主蒸汽压力周期性变化,严重时导致锅炉燃烧不稳甚至触发MFT保护动作。(2)转速超限问题多发生于机组启停或负荷突变阶段,其根源在于DEH系统的转速控制环路存在调节延迟或参数整定不当。当电网频率波动或汽轮机进汽参数突变时,若PID控制器的比例增益过高,易引发系统超调,使实际转速突破额定值上下限;而积分时间过长则会导致调节滞后,无法及时抑制转速偏差,最终造成转速保护动作或机组非计划停运。(3)一次调频响应不足则与DEH系统的能量平衡机制密切相关,传统控制模式下,DEH通过快速调节汽轮机进汽量实现功率输出变化,但锅炉侧的燃料-风量调整存在惯性延迟,

导致汽轮机与锅炉之间的能量供需失衡。当电网频率下降时,DEH虽能迅速开大调门增加进汽量,但锅炉因燃烧滞后无法同步提升蒸汽产量,反而因压力下降限制了调门的持续开大能力,形成“调门开大-压力下降-调门回缩”的恶性循环,最终使一次调频贡献率低于电网考核要求。

1.2 设备可靠性问题

(1)伺服阀作为DEH系统的关键执行元件,其卡涩现象多源于油液污染或机械磨损。EH油中的颗粒杂质会侵入伺服阀喷嘴与挡板间隙,破坏液压油的润滑特性,导致阀芯运动阻力增大甚至完全卡死;长期高频动作引发的阀套内壁磨损,会改变节流口几何形状,造成流量特性偏移,进而引发调门控制异常。(2)油质劣化则与EH油系统的运行环境密切相关,高温环境下油液氧化加速,生成酸性物质腐蚀金属部件,同时产生沉淀物堵塞滤芯;水分侵入会降低油的抗乳化性能,形成游离水加剧机械磨损,而空气混入则导致油液可压缩性增加,使系统响应迟缓。(3)传感器漂移问题主要涉及LVDT位移传感器与压力变送器,其本质是测量元件的零点或量程随时间发生非预期偏移。LVDT传感器因铁芯与线圈的相对运动产生感应电压,长期振动或温度变化会导致铁芯位置偏移或线圈绝缘老化,使输出信号与实际位移存在静态偏差;压力变送器的敏感元件在交变应力作用下易发生蠕变,导致测量特性线性度下降。传感器漂移会直接误导DEH系统的控制逻辑,例如将调门实际开度误判为大于目标值,触发保护性关小调门动作,造成机组负荷波动;压力信号失真则可能掩盖主蒸汽压力异常,延误故障处理时机。

1.3 协同效率问题

火电厂DEH系统与CCS、SCADA系统的协同效率问题集中体现在耦合调节矛盾上,其核心是动态响应特性

与控制目标的错配。DEH系统作为汽轮机执行机构，侧重于快速响应转速/负荷指令，其调节特性呈现“快开慢关”的非对称性。而CCS系统作为机炉协调核心，需兼顾锅炉能量平衡与汽轮机功率输出，其调节周期通常为DEH的3-5倍。这种时间尺度差异导致在变负荷工况下，DEH可能因CCS燃料调整滞后而频繁修正调门开度，引发“调门振荡”现象，严重时造成主蒸汽压力波动超限^[2]。另外，SCADA系统作为全厂监控中枢，其数据采集周期（通常为1-2秒）与DEH执行周期（毫秒级）存在量级差距，导致状态反馈延迟，使得CCS基于SCADA数据的协调控制指令与DEH实际动作产生相位偏差，进一步加剧系统耦合失配。

2 DEH系统运行优化模式构建

2.1 控制策略优化模式

火电厂DEH系统控制策略优化模式通过动态参数自适应调整、智能算法融合及抗干扰容错设计三大路径实现控制性能跃升。（1）动态参数自适应调整以工况识别为核心，通过实时监测机组负荷率、主蒸汽压力等关键参数，构建多维度工况特征向量，驱动PID参数在线整定机制。在变负荷段，系统自动强化积分作用以消除静态偏差，同时动态削弱比例增益防止超调；稳态工况下则增大微分时间提升阻尼特性，形成与运行状态匹配的参数组合。针对锅炉-汽轮机能量响应滞后问题，引入基于蒸汽流量前馈的补偿环节，通过解析锅炉蓄热能力与汽轮机进汽量的动态关系，提前调整DEH输出指令，使调门动作与燃料量变化同步，有效抑制主蒸汽压力波动。（2）智能算法融合方面，模糊控制通过构建调门开度-蒸汽流量-压力偏差的三维隶属度函数，对传统PID输出进行非线性修正，解决高负荷区调门非线性导致的控制失稳问题。模型预测控制（MPC）则建立包含调门开度、主蒸汽压力、机组负荷的多变量预测模型，采用滚动优化策略计算最优控制序列，实现多目标协同调节，显著提升变负荷工况下的动态响应品质。（3）抗干扰与容错设计采用分层防御体系，在信号处理层部署自适应数字滤波器，通过实时估计噪声频率特性动态调整滤波参数，有效抑制EH油压力脉动、电网频率波动等干扰信号^[3]。在通信架构层实施三重冗余传输机制，关键控制指令同时通过光纤、硬接线及无线通道并行发送，接收端采用投票算法确保数据可靠性。该优化模式通过参数-算法-架构的三维协同，使DEH系统在全工况范围内具备更强的环境适应性与故障自愈能力。

2.2 设备健康管理优化模式

火电厂DEH系统设备健康管理优化模式通过构建预

测性维护体系、强化关键部件可靠性及优化备件管理策略，实现设备全生命周期的主动运维。（1）预测性维护体系以状态监测为核心，针对伺服阀这一核心执行元件，通过部署高精度振动传感器与油液颗粒计数器，实时采集阀体振动频谱及EH油颗粒度数据，结合机器学习算法建立磨损程度与振动特征、油液污染度的映射模型，实现伺服阀剩余寿命的精准预测，提前触发维护工单避免突发故障。而对于LVDT传感器，采用动态在线校正技术，通过在调门全行程范围内注入已知位移激励信号，同步采集传感器输出与激光干涉仪基准值，利用最小二乘法实时修正传感器零点偏移与量程误差，消除因温度漂移或机械振动导致的测量失真，确保调门位置反馈信号的准确性。（2）关键部件可靠性提升方面，伺服阀采用双通道冗余配置，主备阀体通过独立液压回路并行连接。当主阀位移偏差超过设定阈值或油液污染度超标时，系统自动切换至备用阀并隔离故障通道，并启动在线清洗程序，通过交替施加高压脉冲与反向冲洗油流清除阀芯沉积物，恢复其动作灵活性。EH油系统实施全生命周期管理，建立油液颗粒度、水分、酸值等关键指标的实时监测网络，结合油液老化动力学模型预测剩余使用寿命，动态调整再生装置运行参数，在油液性能劣化初期启动硅藻土过滤器与真空脱水单元，延缓油质衰退速度。（3）备件管理优化聚焦库存动态调整，基于历史故障数据与设备运行工况构建备件故障率预测模型，通过分析伺服阀使用时长、负荷波动频率、油液维护周期等变量对故障概率的影响，建立备件需求概率分布函数，结合供应链交付周期与库存成本约束，运用遗传算法求解最优库存水平，实现备件数量与资金占用的平衡。

2.3 系统协同优化模式

火电厂DEH系统协同优化模式通过构建分层控制架构、实现工况自适应调节及深度集成智慧电厂系统，全面提升机组控制效能与运行灵活性。（1）在DEH-CCS分层控制架构中，DEH系统凭借毫秒级响应速度主导快速调频任务。通过实时追踪电网频率偏差快速调整汽轮机进汽量，实现一次调频的即时响应；CCS系统则基于锅炉蓄热能力与燃料供应周期，负责长期负荷平衡与机炉能量协调，通过慢速调节给煤量、风量等参数维持主蒸汽压力稳定。两者间设置交叉限制逻辑，当主蒸汽压力偏离安全阈值时，自动联动调整调门开度与燃料指令，压力过高时限制DEH关小调门并启动CCS减燃动作，形成动态安全约束。（2）工况自适应调节机制根据机组负荷率自动切换控制策略，低负荷工况（<30%额定负荷）时闭锁CCS调频功能，避免锅炉燃烧不稳引发的参数波动，

由DEH独立承担调频任务^[4]。满负荷工况(>95%额定负荷)时限制DEH调门开大方向,防止主蒸汽压力超限,同时通过CCS协调邻机负荷分配释放调节空间。(3)与智慧电厂系统集成方面,DEH通过OPCUA协议实现与边缘计算平台的高速数据交互,将调门开度、主蒸汽压力等关键参数实时上传至云端,同时接收来自大数据分析平台的优化指令,形成“端-边-云”协同控制闭环。基于DEH历史运行数据构建的数字孪生模型,可在虚拟环境中模拟不同工况下的系统响应特性,通过参数扫描与优化算法验证控制策略改进方案。

2.4 优化模式保障措施

火电厂DEH系统优化模式的顺利实施需构建涵盖组织管理、技术支撑、人员能力与应急保障的全方位保障体系。(1)组织管理层面建立跨部门协同机制,由生产技术部牵头,联合运行、维护、热控等专业团队组建DEH优化专项工作组,明确各环节责任分工与节点目标。通过周例会制度跟踪优化进度,确保技术方案与生产实际的深度契合;同时制定优化实施全过程管理制度,涵盖方案评审、现场调试、效果验证等环节,强化风险评估与预控措施,从流程上保障优化工作的规范性与安全性。(2)技术支撑方面构建多层次数据平台,部署高精度数据采集装置实现DEH关键参数的毫秒级同步采集。通过边缘计算节点完成数据预处理与特征提取,再上传至云端大数据平台进行深度分析,为优化策略提供数据基础;并且开发专用优化工具链,集成参数整定算法、数字孪生建模工具与故障诊断模块,支持从工况识别到策略生成的全流程自动化操作,降低人工干预带来的误差风险。(3)人员能力提升聚焦复合型人才培养,通过定期组织DEH系统原理、智能控制算法、工业互联网技术的专题培训,结合虚拟仿真实验室开展控制策略调试、故障场景模拟等实操训练,提升团队对优化模式的理解与应

用能力^[5]。另外,建立内部知识共享平台,沉淀优化过程中的经验案例与技术文档,形成可复用的知识资产。(4)应急保障体系强调快速响应与容错恢复,针对优化过程中可能出现的控制异常,制定分级应急预案,明确轻微偏差时的参数回调路径、中等故障时的控制权切换逻辑以及严重故障时的系统降级运行策略。接着,配置移动式调试终端与备用控制模块,确保在优化设备故障时能够快速恢复基础控制功能,最大限度减少对机组运行的影响。通过组织、技术、人员与应急的四维协同,为DEH系统优化模式提供全生命周期保障,确保优化目标的高效达成与持续稳定运行。

结语

综上所述,DEH系统运行优化是提升火电厂灵活性与竞争力的核心环节。通过动态参数自适应调整、智能算法融合及分层协同控制,系统实现了对复杂工况的精准响应;基于状态监测的预测性维护与全生命周期管理,显著延长了关键设备使用寿命。未来,随着技术的发展,相关人员应结合机组特性开展定制化优化研究,强化全生命周期管理与故障预警能力,为火电机组高质量转型与电力系统安全稳定运行提供坚实技术保障。

参考文献:

- [1]辛丽梅.火电厂热工自动化DCS控制系统的运用分析[J].科技视界,2024,14(33):65-68.
- [2]吴尔夫.浅析火电厂热工自动化DCS控制系统的运用[J].中国设备工程,2024,(10):117-119.
- [3]潘琛,向国进,朱晓锦.汽轮机数字电液控制系统的设计与实现[J].仪表技术,2021,(06):5-8.
- [4]崔怀明.火电厂汽轮机数字电液控制系统的设计与优化[J].科技资讯,2023,21(17):65-68.
- [5]刘大蔚,钟旭波,杨成银,等.汽轮机数字电液控制系统的国产化进程[J].应用能源技术,2022,(01):18-20.