

火力发电厂高频调峰下设备运维管理

侯惠峰

内蒙古蒙泰集团有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 为应对新型电力系统下高频调峰对火电机组设备运维的挑战,本文系统研究高频调峰运行特性及设备影响机理,剖析锅炉、汽轮机等关键设备故障模式。在此基础上,构建适配高频调峰的设备状态监测与诊断技术体系,提出涵盖运维策略优化、专项运维技术、管理信息系统及安全管控的全流程运维体系。研究成果实现高频调峰工况下设备运维的精准化、智能化升级,为提升火电机组调峰适应性与运行可靠性提供技术支撑,对保障电力系统安全稳定运行具有重要实践价值。

关键词: 火力发电厂; 高频调峰; 设备故障模式; 运维管控

引言: 随着新能源在电力系统中占比提升,火力发电厂需承担高频次、大幅度调峰任务以保障电网平衡。高频调峰导致机组负荷动态波动剧烈,打破传统稳定运行状态,加剧关键设备应力冲击与故障风险,传统运维模式已难以适配需求。因此,开展高频调峰下设备运维管理研究迫在眉睫。本文围绕高频调峰运行对设备的影响、故障模式、监测诊断及运维体系优化展开探讨,旨在破解高频调峰运维难题,提升火电机组运行安全性与经济性。

1 火力发电厂高频调峰运行特性及对设备的影响机理

1.1 高频调峰的核心定义与运行参数要求

高频调峰是新型电力系统中,火电适配新能源间歇性出力、保障电网平衡的关键模式,核心是机组短周期内频繁升降负荷,超出常规调峰频率与幅度阈值。其核心运行参数含调峰幅度(常降至额定出力30%-40%)、爬坡速率(需 $\geq 1.5\%Pe/min$)及启停间隔,通过出力灵活适配平抑电网负荷差,保障系统稳定。

1.2 高频调峰下机组负荷的动态变化特征

高频调峰下,机组负荷呈“短周期、大波动、快响应”特征,负荷曲线在额定出力与深度低谷间高频往复波动,无固定规律,完全跟随电网调度调整。负荷升降阶段需快速调整燃料供应、热力输出等参数,打破机组常规稳定运行状态,导致热力、动力系统参数同步高频波动,各部件工况持续切换,偏离设计最优区间。

1.3 调峰频率与幅度对关键设备的应力冲击机理

调峰频率与幅度提升会对关键设备产生显著热应力与机械应力冲击。高频负荷波动使锅炉、汽轮机等核心设备频繁经历温压交替循环,形成交变热应力,长期引发材料疲劳损伤;调峰幅度越大,温压梯度越显著,应力集中加剧,尤其部件连接部位与薄弱环节。同时,负

荷快速变化导致汽轮机旋转部件受力突变、振动幅值增大,加剧磨损与间隙变化;锅炉燃烧系统因负荷波动出现热力场不稳定,进一步诱发局部热应力异常,影响设备结构完整性与运行寿命^[1]。

2 高频调峰下火力发电厂关键设备故障模式

2.1 锅炉系统高频调峰故障模式及诱因

高频调峰工况下,锅炉系统核心故障模式表现为受热面疲劳损伤与燃烧稳定性失衡。负荷的高频次大幅波动使锅炉受热面频繁承受交变热应力,长期作用下导致材料疲劳累积,引发焊缝开裂、管壁减薄等结构损伤。负荷快速升降导致炉内燃料供给与空气配比动态失衡,炉膛热负荷分布不均,出现局部高温或低温区,加剧燃烧不稳定,诱发炉膛压力波动、烟气温度异常等故障,其核心诱因源于调峰导致的热力场动态失衡与受热面热循环冲击。

2.2 汽轮机关键部件故障

汽轮机在高频调峰中易出现部件疲劳与运行卡涩类故障。转子作为核心旋转部件,受负荷快速变化影响,转速与受力状态频繁突变,产生交变机械应力与热应力,长期累积易引发裂纹萌生与扩展。阀门组件因频繁启闭调节,阀座与阀芯磨损加剧,配合间隙发生变化,易出现卡涩或泄漏故障,影响负荷调节精度。调峰导致的蒸汽参数波动还会加剧叶片侵蚀与轴承振动异常,故障根源在于负荷交变引发的力学环境恶化与部件磨损加速。

2.3 发电机及辅助系统调峰适应性故障

发电机在高频调峰下的故障集中于电磁性能波动与绝缘劣化。负荷快速变化导致发电机定子、转子电流动态波动,电磁力分布不均,引发端部振动加剧,同时造成绕组温度交替升降,加速绝缘材料老化,降低绝缘性能。辅助系统故障多表现为调速系统响应滞后、润滑油

系统参数不稳定等适应性问题，因调峰工况下辅助设备需频繁跟随主机状态调整，超出常规设计运行范围，导致系统协调匹配性下降，诱发连锁故障隐患^[2]。

3 高频调峰导向的设备状态监测与诊断技术

3.1 基于高频负荷波动的状态监测指标体系构建

针对高频调峰负荷短周期、大幅波动特性，构建适配动态工况的监测指标体系。（1）核心指标筛选，聚焦热应力、机械应力及运行参数波动相关指标，纳入负荷变化关联参数，实现工况与设备状态协同监测。（2）指标阈值确定，结合设备特性与调峰边界条件，统计分析典型工况数据，划分负荷区间对应的安全阈值。（3）动态优化机制，建立指标更新通道，依据设备年限、运维及故障数据调整指标类型与阈值。

3.2 多源传感数据融合的故障预警技术

采用多源传感数据融合提升预警可靠性。（1）优化传感布局，在故障易发部位布设多类型传感器，匹配高频负荷波动的采样需求。（2）数据预处理，通过去噪、对齐等技术消除干扰，保障数据质量。（3）构建融合预警模型，基于多级融合策略整合数据特征，实现早期故障精准预警。

3.3 人工智能在调峰设备诊断中的应用

依托人工智能实现故障智能识别与趋势预判。（1）构建数据驱动诊断模型，基于海量调峰工况数据训练深度学习模型，自动识别故障类型与程度。（2）优化动态工况适配，引入工况划分模块分类处理数据，提升模型在不同调峰场景的适应性。（3）实现故障趋势预测，通过时序数据分析挖掘状态变化规律，结合历史与实时数据预判故障发展。

3.4 状态监测系统的工程应用与优化

推进监测系统工程落地与优化。（1）系统集成部署，采用分布式架构对接现有控制系统，整合多类数据构建一体化平台。（2）工程适配优化，针对机组类型、调峰能力等定制调整监测参数与预警逻辑。（3）建立运维保障机制，制定系统校验、传感器校准制度，搭建反馈通道持续优化系统性能^[3]。

4 高频调峰下设备运维体系优化与安全管控

4.1 高频调峰下设备运维策略优化框架

高频调峰工况下，设备运维策略优化需以适配动态负荷变化、提升运维精准性为核心，构建全流程优化框架。（1）运维目标重构，摒弃传统以稳定工况为核心的运维目标，确立“动态适配-风险防控-寿命保障”三位一体的核心目标，同步衔接电网调峰调度需求与设备运行极限阈值，实现运维与调峰工况的协同匹配。（2）基础

数据支撑体系搭建，整合高频调峰下设备运行数据、故障记录、负荷变化曲线等核心数据，建立标准化数据台账，明确数据采集范围、频率及存储规范，为策略优化提供数据支撑。（3）运维模式转型设计，推动传统定期运维向“状态导向+负荷预判”的动态运维模式转型，划分不同调峰负荷区间对应的运维等级，制定差异化运维周期与内容，同时建立运维策略动态调整机制，根据调峰频率、幅度变化及设备状态反馈实时优化策略参数。

（4）组织保障机制完善，明确运维各环节责任主体与协同流程，建立跨部门联动机制，涵盖调度、运维、检修等相关部门，确保运维策略落地过程中的高效协同，同时优化运维资源配置逻辑，基于调峰工况预测结果提前调配人员、物资及设备资源。

4.2 高频调峰下关键设备专项运维技术

针对高频调峰下核心设备的运行特性，需构建针对性的专项运维技术体系，强化设备适应性保障。（1）锅炉系统专项运维技术，聚焦受热面防护与燃烧系统适配，采用热应力监测辅助的精准检修技术，定期对受热面焊缝、管壁厚度进行检测评估，根据热应力累积情况制定针对性维护方案；优化燃烧系统调试技术，通过动态调整配风比例、燃料供给节奏，提升燃烧系统对负荷波动的适配性，同时定期清理炉膛积灰、结焦，保障热力场均匀性。大唐蔚州能源公司通过微油助燃系统改造、磨煤机分离器双调节改造等专项运维措施，使机组具备20%深度调峰能力，验证了技术有效性。（2）汽轮机专项运维技术，重点落实转子、阀门等关键部件的运维保障，采用超声波、磁粉等无损检测技术定期排查转子裂纹隐患，结合负荷波动数据评估疲劳累积程度，制定转子寿命管理维护方案；优化阀门组件维护技术，定期对阀座、阀芯进行研磨、润滑，调整配合间隙，同时校验阀门调节精度，确保负荷调节响应性能；强化轴承振动监测与润滑油系统维护，保障润滑效果与振动稳定。国家能源集团河北沧东电厂通过大数据驱动的汽轮机运行压力精细化控制运维技术，提升了调峰安全性与经济性，获行业创新成果奖。（3）发电机及辅助系统专项运维技术，针对发电机电磁性能波动与绝缘劣化问题，定期检测绕组绝缘性能、端部振动参数，优化冷却系统运维，确保绕组温度稳定；针对辅助系统，优化调速系统响应校准技术，定期校验调速器参数，提升对负荷快速变化的响应精度；强化润滑油、冷却水等辅助系统的参数监测与维护，确保系统参数稳定适配主机调峰运行。

4.3 高频调峰运维管理信息系统构建与应用

运维管理信息系统的构建要以整合运维全流程数据、支撑动态决策为核心,实现运维管理的数字化、智能化升级。(1)系统架构设计,采用“云-边-端”三级架构,终端层部署于设备关键部位,负责实时采集运行参数、维护记录等数据;边缘层承担数据预处理、实时分析及本地预警功能,适配高频数据处理需求;云端层构建一体化管理平台,实现数据存储、全局分析、策略优化及远程管控,同时预留与电厂现有控制系统、调度系统的接口,保障数据互通。(2)核心功能模块开发,包含数据采集与整合模块,实现多源数据的标准化整合与实时传输;设备状态评估模块,基于预设指标体系对设备状态进行动态评估;运维计划生成模块,结合负荷预测与设备状态自动生成差异化运维计划;资源管理模块,实现运维人员、物资、设备的动态调度与管理;预警告警模块,对异常状态实时预警并推送处置建议。

(3)系统应用优化,建立数据质量管控机制,定期对采集数据进行校验、清洗,确保数据准确性;针对高频调峰工况特点,优化系统算法模型,提升负荷预测、状态评估的精准度;制定系统运维规范,定期对硬件设备进行检修、软件系统进行升级迭代,保障系统稳定运行;开展人员培训,提升运维人员对系统的操作与应用能力,充分发挥系统效能。例如华能临沂电厂构建“云-边-端”架构的运维管理信息系统,整合多源数据实现调峰工况下设备状态动态评估与运维计划智能生成,系统投用后故障预警准确率提升至92%,运维效率提高30%,验证了系统构建方案的可行性与实用性。

4.4 高频调峰下运维安全风险管理与控制

高频调峰下运维安全风险需构建“全流程、多层次”的管控体系,有效规避运维过程中的安全隐患。

(1)风险识别体系构建,结合高频调峰运维特点,建立涵盖设备、人员、环境、流程的全维度风险识别清单,明确风险识别指标与判断标准,重点识别负荷波动引发的设备突发故障、运维操作与调峰工况冲突、人员技能不匹配等核心风险,采用定期识别与动态识别相结合的方式,确保风险全面覆盖。(2)风险评估与分级机制,

采用定性与定量相结合的评估方法,结合设备运行数据、故障历史记录、运维操作规范等,对识别的风险进行可能性与影响程度评估,划分高、中、低三个风险等级,建立风险等级台账,明确不同等级风险的管控优先级与责任主体。(3)风险防控措施制定与实施,针对不同等级风险制定针对性防控措施,高风险项采取专项管控措施,包括优化运维操作流程、强化设备状态监测、增加防护装备等;中低风险项采取常规管控措施,包括定期检查、人员培训、规范操作等;同时建立风险防控措施落实监督机制,定期核查措施执行情况,确保防控措施落实到位。(4)应急管理体系优化,结合高频调峰下常见运维安全事故类型,完善应急处置预案,明确应急响应流程、处置措施、责任分工,重点强化设备突发故障、人员安全事故的应急处置预案;建立应急物资储备体系,根据风险等级与事故类型合理储备应急物资,定期检查物资完好性;定期开展应急演练,提升运维人员的应急处置能力与各部门的协同配合能力,确保突发情况下能够快速响应、有效处置^[4]。

结束语:高频调峰是火电适配新型电力系统的必然趋势,设备运维管理水平直接决定机组调峰能力与运行可靠性。本文从运行影响、故障模式、监测诊断到运维体系构建形成完整研究链条,提出的技术与管理方案为高频调峰运维提供了系统解决方案。未来可进一步深化人工智能与数字孪生技术的融合应用,推动运维模式向智慧化进阶。持续优化高频调峰运维体系,对助力能源结构转型、保障电力系统稳定高效运行具有长远意义。

参考文献

- [1]李挪东.火力发电厂电气一次设备预防性维护与管理分析[J].前卫,2024(1):0219-0221.
- [2]张丙刚.火力发电厂设备检修管理中存在的问题及应对措施[J].电力设备管理,2025(2):96-98.
- [3]吴义兵.火力发电厂环保设备管理措施分析[J].低碳世界,2025,15(10):133-135.
- [4]张丙建.火力发电厂电气设备安全运行管理与维护探析[J].电力设备管理,2025(10):261-263.