

# 火电厂机组深度调峰下运行隐患及防控措施分析

秦 飞

内蒙古国华准格尔发电有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017100

**摘 要：**在双碳目标推进与能源结构转型的背景下，火电厂机组深度调峰已成为保障电力系统安全稳定运行、促进新能源消纳的重要手段，但其长期低负荷、工况频繁波动的运行特性，导致机组各系统易滋生各类运行隐患，严重威胁机组安全与调峰可靠性。本文围绕火电厂机组深度调峰运行场景，系统梳理锅炉、汽轮机、电气、辅助系统及人员操作等方面的主要运行隐患，深入剖析各类隐患的形成机理，结合调峰工况特点，针对性提出分系统、全方位的防控措施，涵盖设备维护、系统优化、人员管理等多个维度。

**关键词：**火电厂机组；深度调峰；运行隐患；防控措施

## 引言

深度调峰作为火电厂适配新能源消纳、保障电力系统供需平衡的核心手段，已逐步实现常态化运行，其核心是通过降低机组最小技术出力、频繁调整负荷，满足电力系统的动态调控需求。但火电厂机组的设计初衷多适配额定负荷运行，深度调峰下长期低负荷、负荷骤升骤降的工况，打破了机组原有的运行平衡，这些隐患若未及时防控，易引发设备损坏、机组非计划停运等问题，不仅影响火电厂的安全稳定运行与经济效益，还会制约电力系统的调峰能力与新能源消纳效率。

## 1 火电厂机组深度调峰下的主要运行隐患及成因分析

### 1.1 锅炉系统运行隐患及成因

(1) 低负荷稳燃困难是最为突出的问题，机组深度调峰要将负荷降至较低水平，此时炉膛内燃料燃烧强度减弱，炉膛温度大幅降低，火焰稳定性显著下降，极易出现燃烧不稳定甚至脱火现象。炉膛结焦则源于燃烧工况的失衡，低负荷下燃料燃烧不充分，未完全燃烧的煤粉颗粒易附着在炉膛水冷壁表面，长期积累便形成结焦，而结焦又会进一步影响炉膛受热均匀性，加剧稳燃困难。极端情况下，若燃烧调整不当或燃料特性突变，还会引发炉膛熄火，造成机组非计划停运<sup>[1]</sup>。(2) 汽水系统的隐患主要源于深度调峰时工况的剧烈波动，汽温汽压波动过大是最常见的问题。深度调峰过程中，机组负荷频繁升降，燃料燃烧量随之大幅变化，导致炉膛发热量波动剧烈，进而引发汽温汽压的快速波动，超出正常控制范围，不仅会影响汽水品质，还会加剧锅炉受热面的热应力，缩短设备使用寿命。水冷壁腐蚀则与水质控制不佳、工况波动导致的局部温度失衡有关，水质中的腐蚀性离子在高温高压环境下，会对水冷壁管壁造成侵蚀，而低负荷下管壁温度不均，会进一步加速腐蚀进程。

### 1.2 汽轮机系统运行隐患及成因

(1) 转子与缸体是汽轮机的核心部件，深度调峰下的工况波动，极易引发各类安全隐患。热应力超标是最突出的问题，深度调峰时，机组负荷频繁调整，导致转子与缸体的温度快速升降，温度变化速率远超常规运行状态，进而产生较大的热应力。这种热应力长期作用，会导致转子与缸体出现疲劳损伤，甚至产生裂纹，降低设备使用寿命。胀异常则因为温度场分布不均，负荷骤变时，转子与缸体的加热、冷却速度不一致，二者膨胀或收缩的幅度不同，导致胀差超出正常控制范围，严重时会引起动静部件摩擦，损坏设备。轴系振动过大同样与工况波动密切相关，负荷骤变会破坏轴系的动平衡，并且温度场不均、部件磨损等因素，会进一步加剧轴系振动，若振动值超出标准，会导致轴承损坏、轴系弯曲等严重隐患。(2) 调节阀门卡涩是常见问题，长期频繁的开关操作，会导致阀门阀芯、阀座出现磨损、结垢，加之油质劣化产生的杂质堵塞，会使调节阀门动作不灵活，出现卡涩现象，影响负荷调整的精准度。调速精度下降则与多方面因素相关，油质劣化会影响调速系统的液压传动效果，部件磨损会导致调节机构间隙增大，而控制逻辑不合理则会导致调速指令与实际负荷调整不同步，这些因素共同作用，使得调速系统无法精准响应负荷调整需求，影响机组调峰性能。(3) 真空度下降会直接导致汽轮机效率降低，能耗增加，甚至影响机组负荷调整能力，其主要成因是密封件老化，长期运行导致密封性能下降，出现真空泄漏，无法有效冷却排汽，也会导致真空度下降。真空泄漏则多因密封件磨损、管道接口松动等因素，深度调峰时工况波动带来的压力变化，会进一步加剧泄漏问题，若未及时处理，会形成恶性循环，严重影响汽轮机的安全稳定运行。

### 1.3 电气系统运行隐患及成因

(1) 发电机是电气系统的主要设备,深度调峰下的负荷波动的是引发其隐患的主要诱因。负荷频繁升降会导致发电机转子电流、定子电压频繁变化,进而引发转子过热,长期过热会加速转子绕组绝缘老化,降低设备使用寿命。定子绝缘损坏则与负荷波动带来的电场应力变化、绝缘层老化有关,加之励磁系统异常,会导致定子绕组电压分布不平均,进一步加剧绝缘损坏风险。(2) 变压器作为电能传输的关键设备,在深度调峰工况下也面临诸多隐患。负荷骤变会导致变压器负荷电流快速变化,损耗增加,进而引发油温过高,长期高温运行会加速变压器绝缘老化,降低绝缘性能<sup>[2]</sup>。局部放电则多因负荷骤变带来的电场强度不均、绝缘层破损,以及冷却系统故障导致的散热不及时,长期局部放电会进一步损坏绝缘,引发严重故障。(3) 配电装置的隐患主要源于工况不稳定和设备老化,深度调峰时工况的频繁波动,会导致配电装置承受的电压、电流不断变化,加之设备长期运行后的部件磨损、老化,易出现开关设备误动现象,影响负荷调整的准确性。

## 2 火电厂机组深度调峰运行隐患的防控措施

### 2.1 锅炉系统隐患防控措施

(1) 燃烧系统的防控核心的是优化运行工况,提升低负荷稳燃能力。需结合深度调峰低负荷特点,优化燃料配比,筛选适配低负荷燃烧的燃料,合理搭配不同热值、挥发分的燃料,确保燃料燃烧稳定。此外,改进稳燃技术,加强炉膛火焰监测,通过优化燃烧器布置、调整配风方式,提升火焰稳定性,避免出现脱火、熄火隐患。完善燃烧调整策略,要根据负荷变化实时调整燃烧参数,减少燃烧波动,抑制炉膛结焦,确保燃烧充分、稳定。(2) 汽水系统的防控重点是严控参数波动和水质管理,减少设备损伤。严格控制水质,建立完善的水质监测体系,定期检测汽水品质,及时处理水质超标问题,防止腐蚀性离子和杂质对水冷壁、省煤器造成侵蚀和堵塞。优化参数调节逻辑,结合负荷变化精准调整给水、汽温汽压等参数,减缓参数波动幅度,降低受热面热应力,避免汽温汽压异常波动带来的设备隐患。加强设备巡检,重点排查水冷壁、省煤器等关键部件,及时发现并处理腐蚀、堵塞等问题。(3) 烟气处理系统的防控关键是适配工况波动,保障环保达标。根据深度调峰工况变化,动态调整药剂投放量和投放方式,确保药剂与烟气充分混合,提高脱硝、脱硫效率,避免出现排放超标隐患。改进系统运行方式,优化烟气流量、温度调节,适应低负荷工况下的烟气特性,减少系统堵塞风险。

定期对烟气处理系统的管道、喷嘴等部件进行清理维护,清除沉积杂质,保障系统畅通,保证烟气处理效果稳定。

### 2.2 汽轮机系统隐患防控措施

(1) 转子与缸体的保护是防控核心,重点围绕负荷调整、温度控制和振动监测展开<sup>[3]</sup>。优化负荷调整速率,避免负荷骤升骤降,减少转子和缸体的热应力冲击,降低疲劳损伤风险。严格控制温度场均匀性,通过合理调整燃烧和换热系统,确保缸体各部位温度均衡,避免局部过热或过冷导致的胀差异常。加强振动实时监测,布置专用监测点位,及时捕捉振动异常信号,提前预警轴系失衡、部件磨损等问题,防范转子弯曲、缸体变形等严重隐患。(2) 调速系统的维护需聚焦设备状态和运行逻辑,筑牢安全防线。定期对调节阀门进行全面检查,清除阀门内积垢和杂质,确保阀门动作灵活,避免卡涩现象。强化油质管理,定期检测润滑油的纯度和粘度,及时更换老化油液,防止油质劣化影响调速精度。优化控制逻辑,结合深度调峰的负荷变化特点,调整调速参数,确保调速系统能够快速响应负荷调整需求,避免因调速滞后、控制偏差引发的运行风险。(3) 真空系统的管控需兼顾密封性能和冷却效果,从源头防范隐患。加强对密封部件的定期检查,及时更换老化、损坏的密封件,杜绝因密封不严导致的真空泄漏。优化冷却系统运行参数,确保冷却效果达标,减少因冷却不足导致的真空度下降,建立泄漏排查机制,定期对真空系统进行检测,及时发现并处理泄漏点,并清理系统内的积尘和杂物,保障真空系统稳定运行,为汽轮机高效工作提供保障。

### 2.3 电气系统隐患防控措施

(1) 发电机的安全保护是电气防控的首要环节,要持续优化励磁系统运行模式,根据深度调峰下负荷的动态变化,适时匹配励磁输出水平,平稳稳住机端电压与电流状态,减少工况波动对绕组的冲击。全程加强发电机本体及绕组的温度监测,依托在线监测装置实时捕捉温度变化趋势,及时发现局部过热苗头,避免长期温升累积造成内部损伤<sup>[4]</sup>。坚持周期性开展绝缘检测工作,掌握定子与转子绝缘性能的衰减趋势,提前排查绝缘老化、隐性破损等潜在问题,维持发电机在变负荷工况下的运行稳定性。(2) 变压器维护工作要适配深度调峰的负荷波动特征。注重优化冷却系统运行策略,依据负荷大小和环境温度灵活调整冷却设备运行状态,保证散热能力与实际发热负荷相互匹配,避免长时间高温运行加速绝缘老化。落实常态化现场巡检,重点关注本体温升、外部接线、运行声响等状态变化,及时捕捉异常运行征兆。对排查发现的绝缘性能下降、局部放电等隐患做到及早

处置,通过技术整治和状态管控延缓设备劣化速度,保障变压器在频繁变负荷过程中安全可靠。(3)配电装置的管控重在规范运行与准确监测,严格依照周期开展各类开关及配电设备的校验工作,校核动作定值与机械性能,保证设备动作灵敏可靠,规避非正常误动拒动问题。落实标准化操作流程,深度调峰期间负荷调整操作平稳有序,杜绝短时大幅操作带来的电流冲击,减少设备触头反复承受工况扰动。加强运行信号与工况数据的持续监测,跟踪电压、电流、接触状态等关键参数变化,及时捕捉接触不良、回路异常等隐性缺陷,通过全过程状态管控,让配电装置始终保持良好工作状态,为整台机组深度调峰提供稳定的电气支撑。

#### 2.4 辅助系统及其他隐患防控措施

(1)辅助系统的维护核心的是守住设备运行底线,重点围绕循环水和润滑油系统开展常态化管控。定期对循环水系统进行全面检查,排查管道堵塞、泄漏等问题,及时清理管道内的积垢,保证换热效率稳定,防止因循环不畅影响机组散热。并且,注重润滑油系统的维护,定期检测油质状态,及时更换老化、变质的润滑油,排查部件磨损情况,对磨损严重的部件及时更换,防止因润滑不足导致设备故障,保障辅助系统与主设备协同运行。(2)控制系统的优化需贴合深度调峰的工况需求,不断优化DCS控制逻辑,结合负荷波动特点调整控制参数,避免控制指令滞后或偏差<sup>[5]</sup>。加强信号抗干扰能力,优化线路布局,降低外界信号对控制系统的干扰,确保控制信号传输稳定。定期对控制设备进行校验,排查设备老化、信号异常等问题,及时校准参数,保障控制系统能够精准响应负荷调整

需求,避免因控制失误引发运行隐患。(3)人员管理与培训是隐患防控的重要环节,要立足深度调峰的操作特点,开展针对性专项培训,让操作人员熟练掌握负荷调整、设备操作的核心要点,规范操作流程。确定各岗位操作标准,避免因操作不当引发安全隐患。

#### 结语

综上所述,火电厂机组深度调峰是适配新能源消纳、保障电力系统稳定运行的必然选择,未来的研究可依托智能化监测技术,构建隐患实时预警与智能防控系统,推动隐患防控从“被动处置”向“主动预防”转变,为火电厂机组深度调峰的安全高效开展提供更有力的支撑,助力电力系统向清洁低碳、安全高效转型。

#### 参考文献:

- [1]李经纬.火电厂燃料输煤系统在深度调峰工况下的安全运行保障技术研究[J].电气技术与经济,2026,(3):158-160+164.
- [2]闵庆欢.深度调峰背景下火电厂集控运行优化策略[J].中国科技期刊数据库工业A,2025,(11):049-052.
- [3]岳龙.深度调峰对汽轮机转子寿命损耗影响分析及改进措施[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024,(12):070-073.
- [4]崔强.660MW燃煤锅炉深度调峰工况下防磨防爆措施研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(14):106-108.
- [5]张振宇,王刚,刘宗奎,高文松.330MW机组深度调峰控制系统问题分析及优化[J].能源研究与管理,2021,(2):119-123.