

深度调峰环境下燃煤机组低负荷稳燃及经济性运行研究

贾谨盛

国家能源集团九江发电有限公司, 江西 九江 332000

摘要: 随着新能源发电在电力系统中占比持续提升, 燃煤机组逐渐从主力发电单元转变为调峰支撑单元, 深度调峰成为保障电力系统稳定运行的关键需求。深度调峰环境下, 燃煤机组需长期运行于低负荷工况, 这不仅带来低负荷稳燃难题, 还导致机组运行效率下降、能耗升高, 严重影响运行经济性。本文基于燃煤机组燃烧特性与运行机理, 首先剖析深度调峰环境对燃煤机组带来的多重挑战, 进而从燃烧系统优化、燃料调整、辅助设备协同等角度探索低负荷稳燃方法, 再结合能耗分析、系统优化、管理提升等层面提出经济性运行策略, 为燃煤机组在深度调峰环境下实现安全稳定与经济高效运行提供理论支撑与实践参考。

关键词: 深度调峰; 燃煤机组; 低负荷稳燃; 经济性运行; 燃烧优化

0 引言

全球能源转型促使风电、光伏等新能源快速发展, 其间歇性、波动性给电力系统的调峰能力提出了更高要求。我国正在构建以新能源为主体的新型电力系统, 燃煤机组的功能定位从电量型转向调节型, 深度调峰成为重要运行模式, 机组常需要降到额定负荷的50%以下, 甚至30%~40%, 与设计经济运行区间存在较大差异。低负荷下燃煤机组的燃烧系统容易出现着火难、火焰不稳定等问题, 热力系统效率降低导致耗煤量增加, 传统辅机适配性差会进一步加剧能耗, 若无法解决稳燃与经济性之间的矛盾, 易增加运行成本、影响调峰响应, 制约新能源消纳。因此, 针对深度调峰下燃煤机组的运行特性, 研究低负荷稳燃的方法和经济性策略, 对于燃煤机组适应调峰需求、推动电力系统高效清洁稳定发展有着重要的现实意义。

1 深度调峰环境的挑战

深度调峰环境对燃煤机组的挑战从燃烧系统来看, 低负荷运行导致炉膛热负荷显著降低, 炉膛平均温度下降, 会对燃料的着火与燃烧稳定性产生直接影响。燃煤机组设计时, 炉膛容积热负荷、断面热负荷等参数均基于额定负荷或较高负荷工况确定, 低负荷下炉膛内燃料燃烧释放的热量减少, 无法维持较高的温度水平, 而燃料的着火温度相对固定, 当炉膛温度低于燃料着火临界温度时, 燃料着火延迟, 火焰传播速度减慢, 易出现火焰飘忽、局部熄火等现象。同时, 低负荷下炉膛内烟气流动速度降低, 烟气在炉膛内的停留时间延长, 但由于温度偏低, 燃料燃烧反应速率下降, 反而导致燃烧不完全, 不仅增加飞灰含碳量, 还可能在炉膛出口、

烟道等部位形成积灰、结渣, 进一步影响炉膛传热效率, 形成燃烧效率下降、炉膛温度更低、燃烧更不稳定的恶性循环。

2 深度调峰环境下燃煤机组低负荷稳燃的方法

2.1 燃烧系统结构优化

燃烧系统结构优化是提高低负荷稳燃能力的基础, 主要通过调整炉膛和燃烧器结构, 改善炉膛内温度分布和气流组织, 为燃料着火燃烧创造有利条件。对炉膛结构进行改造, 缩小炉膛局部断面面积, 增大局部热负荷, 强化局部高温区的辐射换热, 有利于燃料着火^[1]。例如部分燃煤机组炉膛下部采用收缩型结构, 减小低负荷下炉膛下部的容积, 提高炉膛下部的温度水平, 为燃料着火创造高温环境。燃烧器的优化调整更加重要, 可以通过改变燃烧器的布置方式、喷嘴结构等改善煤粉气流的混合和燃烧过程。采用浓淡分离燃烧器是常用的优化手段, 该类型燃烧器可以将煤粉气流分成浓相和淡相, 浓相煤粉气流由于煤粉浓度高, 着火温度低, 容易在炉膛内形成稳定的火源; 淡相煤粉气流可以与空气充分混合, 保证燃烧的完全性。同时改变燃烧器的倾角可以改变火焰中心位置, 低负荷时适当降低燃烧器的倾角, 可以使火焰中心下移, 火焰在炉膛内的停留时间增加, 燃烧更加稳定。另外, 一些机组在燃烧器处设置卫燃带, 利用卫燃带蓄热来提高燃烧器处温度, 为煤粉着火提供持续的热量供应, 对于燃用劣质煤的机组在低负荷时的稳燃较为有效。

2.2 燃料特性调整

燃料特性调整是适应低负荷稳燃的一种方

法,需按照机组燃烧系统的特点,对燃料煤种选择、煤粉制备参数进行优化,保证燃料具有良好的着火和燃烧性能。在低负荷时应选择挥发分高、着火温度低的煤种,挥发分高的煤种在较低温度下能释放大量可燃气体,易形成稳定的火焰,缩短着火延迟时间。若受煤源限制必须使用劣质煤,可以采用掺烧煤种的方法,将劣质煤与优质煤按一定比例混合,利用优质煤的高燃烧性能带动劣质煤的着火和燃烧,但需要通过试验确定最佳的掺烧比例,避免劣质煤比例过高导致稳燃困难。煤粉制备参数调整主要包括煤粉细度和煤粉浓度调节^[2]。低负荷时适当减小煤粉细度,可以增大煤粉的比表面积,增加煤粉与空气接触面积,加快燃烧反应速率。同时提高一次风中的煤粉浓度,可以增强煤粉气流的着火能力,但是需要控制在合理范围内,防止因浓度过高导致燃烧不完全或者出现爆燃风险。另外,还要注意燃料的水分含量,水分过高会降低燃料的低位发热量,增加着火难度,低负荷时应加强对燃料水分的控制,采用干燥设备降低燃料水分,保证燃料有良好的燃烧性能。

2.3 辅助稳燃技术应用

辅助稳燃技术的应用,是对燃烧系统优化与燃料调整的一种补充,在燃烧系统优化和燃料调整的基础上,进一步提高火焰稳定性,以应对极端低负荷工况。等离子点火稳燃技术目前应用较多,该技术利用等离子发生器产生高温等离子体,直接点燃煤粉气流,在低负荷时可以作为稳定的火源,维持炉膛内燃烧温度,防止火焰熄火。等离子点火系统可以和主燃烧器配合使用,在负荷降低到临界值时投入,用高温等离子体加热煤粉气流,使其快速达到着火温度,根据燃烧情况调节等离子体功率,实现精准稳燃^[3]。另外,微油点火稳燃技术也被广泛应用,其可以把燃油雾化成微小油滴,点燃后产生高温火焰,高温火焰再点燃煤粉气流,具有点火能量高、稳燃效果好等特点,适用于燃用难着火煤种的机组。在使用辅助稳燃技术时应注意与主燃烧系统的协调控制,保证辅助稳燃装置投入和退出过程的平稳性,防止对炉膛燃烧工况造成剧烈冲击。

2.4 运行参数协同调节

运行参数的协同调节是维持低负荷稳燃的关键环节,需通过优化送风量、一次风温、炉膛负压等运行参数,为燃烧系统创造稳定的运行环境。送风量调节方面,低负荷下需控制总风量,避免过量空气带走炉膛内的热量,同时需保证二次风与煤粉气流的充分混合,促进燃烧完全。可采用低氧燃烧策略,适当降低炉膛

出口氧量,减少冷空气进入,提高炉膛温度,但需避免氧量过低导致燃烧不完全,需通过试验确定最佳氧量范围。一次风温调节也至关重要,提高一次风温可预热煤粉气流,降低燃料着火所需的热量,有助于燃料在低负荷下着火。可通过调整空气预热器的运行方式或利用辅助加热装置提高一次风温,确保一次风温满足低负荷稳燃需求。炉膛负压调节需保持稳定,避免负压波动过大导致炉膛内气流紊乱,影响火焰稳定性。低负荷下应减小炉膛负压的调节幅度,采用缓慢调节的方式,维持炉膛负压在合理范围内,同时加强对炉膛压力的监测,及时处理压力异常波动。

3 深度调峰环境下燃煤机组经济性运行策略

3.1 热力系统优化

热力系统优化是降低低负荷能耗的关键,可通过改善锅炉、汽轮机、回热系统的运行特性提高热力循环效率。锅炉系统优化方面,在低负荷下可以调整受热面的换热效率从而减少热量损失。针对锅炉结渣、积灰问题,采用在线吹灰技术,根据受热面污染程度制定不同的吹灰策略,避免盲目吹灰造成热量损失,保证受热面的清洁度,提高换热效率。对于锅炉给水系统,可优化给水温度与给水流量的匹配关系,在低负荷时适当降低给水温度,减少高压加热器的抽汽量,把更多蒸汽用于汽轮机做功,提高机组出力效率^[4]。汽轮机系统优化应主要关注通流部分的效率,在低负荷下可以调整汽轮机的配汽方式,采用滑压运行模式,使汽轮机进汽压力随负荷变化而改变,避免节流损失,提高汽轮机内效率。同时,加强对汽轮机真空系统的维护力度,使凝汽器的真空度处于最佳水平,减少排汽损失,可以通过调整循环水泵的运行方式,根据冷却水温度和机组负荷调节循环水的流量,在保证真空度的前提下降低循环水泵能耗。回热系统优化需重视加热器端差控制,低负荷时加热器易出现端差增大情况,需要定期检查加热器的抽气阀门、疏水阀门,保证阀门动作灵活,减少疏水不畅造成的端差升高,同时优化加热器的投入顺序,根据负荷变化及时调整高、低压加热器的投入状态,提高回热效率,降低机组煤耗。

3.2 辅机系统改造

辅机系统改造是降低厂用电率的关键,需通过采用高效辅机设备、优化辅机驱动方式,提升辅机低负荷运行效率。送风机、引风机的改造可采用变频调速技术,传统定速风机通过

挡板调节风量,存在较大节流损失,而变频风机可通过调整电机转速改变风量,使风机运行效率始终维持在较高水平,低负荷下变频风机的节能效果尤为显著。给水泵系统改造可采用汽动给水泵与电动给水泵联合运行的方式,低负荷下电动给水泵的能耗相对较高,可优先投入汽动给水泵,利用汽轮机抽汽驱动给水泵,减少电动给水泵的运行时间,降低厂用电率^[5]。同时,对于磨煤机系统,可根据燃料特性与负荷需求,优化磨煤机的运行台数,避免大马拉小车的现象,低负荷下若仅需一台磨煤机运行,应及时停运其他磨煤机,减少无效能耗,同时调整磨煤机的出力,确保煤粉制备量与锅炉耗煤量匹配,避免煤粉堆积导致的能耗浪费。

3.3 运行方式调整

运行方式的改变是提高经济性的方法之一,应按照深度调峰需求,改善机组的负荷分配、启停计划以及燃料管理,达成全工况的经济运行。负荷分配优化方面,多台燃煤机组联合参与深度调峰时,应根据各机组的能耗特性,采用等微增率原则分配负荷,将低负荷任务优先分配给能耗低的机组,降低整体能耗。同时合理安排机组负荷变化速率,防止负荷的频繁变化造成能耗增加,按照电力系统的调峰指令,制定平稳的负荷调整曲线,保证机组在负荷变化时始终处于比较经济的区间内。启停策略优化要重视机组调峰启停过程中的能耗控制,深度调峰要求机组频繁启停,传统的启停方式能耗较高,可以采用滑参数启停技术,即机组启动时缓慢提高蒸汽参数,防止参数突升造成热量损失,在机组停运时利用炉膛余热加热工质,减少燃料消耗。同时,合理安排辅机的启停顺序,避免辅机过早投入、过晚停运,减少启停过程中的厂用电消耗。燃料管理优化应构建完善的燃料采购和存储体系,依照机组低负荷稳燃需求及经济性要求,制订合理的煤种采购计划,优先采购性价比高、适宜低负荷燃烧的煤种,

还要强化燃料存储管理,防止燃料受潮、变质引发发热量降低,保证燃料品质稳定,从而为机组经济运行提供保障。

3.4 管理机制完善

完善管理机制是经济运行的重要保障,应建立能耗监测、考核激励、技术创新机制,提升机组运行管理水平。能耗监测机制方面搭建涵盖机组各个系统的能耗监测平台,对锅炉热效率、汽轮机内效率、辅机耗电率等主要的能耗指标实施实时采集,依靠数据分析找出能耗异常,随即采取改进措施。同时建立能耗对标体系,把本机组的能耗指标和同类型、同容量的机组先进水平对比,找出差距,确定改进方向。考核激励机制需要把经济性运行指标融入员工绩效考核体系,设定合理的考核标准,对在能耗下降、效率提高方面成绩显著的班组和个人予以奖励,从而调动员工参与经济性运行的积极性。同时,加强员工培训,提高运行人员的操作技能和经济运行意识,使各项经济性措施得以有效实施。此外,在技术创新机制上,推动开展深度调峰相关技术应用和研究,联合科研院所、设备厂家开展新型稳燃技术、节能设备应用研究,如新型低氮燃烧器、高效换热器等,依靠技术创新促进机组经济性水平不断提高。

4 结束语

总之,深度调峰是新型电力系统发展的大势所趋,燃煤机组作为电力系统调峰的重要支撑,其低负荷稳燃、经济性运行直接关系到电力系统的安全稳定和能源利用效率。深度调峰下燃煤机组存在较多难题,为提升低负荷稳燃能力,必须从燃烧系统优化、燃料调整、辅助稳燃技术应用等角度入手,还要依靠热力系统优化、辅机改造、运行方式调整、管理机制完善等途径改善经济性运行水平。

参考文献:

- [1] 李智.燃煤机组深度调峰技术及运用探析[J].电力设备管理,2024,(20):95-97.
- [2] 吕为智,赵旭,何翔,等.燃煤机组灵活性改造后燃烧优化试验研究[J].动力工程学报,2023,(11):1406-1412.
- [3] 薛剑琦.燃煤机组深度调峰技术的应用研究[J].现代制造技术与装备,2024,(03):1-3.
- [4] 王学华,史鹏飞,林波,等.某1050 MW超超临界燃煤机组深度调峰运行经济性与末级叶片安全性研究[J].电力科技与环保,2023,(05):429-435.
- [5] 袁荣胜,俞聪,刘明,等.燃煤机组调峰运行的碳经济性分析[J].动力工程学报,2022,(11):1033-1041.

作者简介: 贾谨盛(1995.09—),男,汉族,江西宜春人,本科,助理工程师,研究方向:火力发电厂集控运行。