

火电机组深度调峰对超临界锅炉的影响分析

徐琛辉

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331100

摘要:火电机组深度调峰对超临界锅炉的运行产生多方面影响。深度调峰虽有助于电网稳定运行,但会导致锅炉燃烧稳定性下降、水冷壁和受热面超温风险增加、脱硝装置效率降低以及热疲劳损伤加剧,设备寿命缩短。为确保超临界锅炉在深度调峰中的安全运行,需采取一系列技术措施,包括优化制粉系统运行、应用低负荷稳燃技术、调整锅炉燃烧、控制锅炉转湿态运行负荷、提升锅炉灵活性及加强汽水系统水质管控。

关键词:火电机组;深度调峰;超临界锅炉;影响分析

引言

电力需求的波动与可再生能源的普及,使得火电机组频繁参与深度调峰作业。在此过程中,超临界锅炉作为火电机组的关键部件,正面临前所未有的挑战。深度调峰不仅考验着锅炉的运行稳定性,更直接关系到电网的安全与能源供应的可靠性。因此深入剖析火电机组深度调峰对超临界锅炉的具体影响,并探索有效的应对措施,对于保障电网平稳运行和能源安全供给具有至关重要的意义。

1 火电机组深度调峰的必要性

火电机组深度调峰的背景与必要性,主要源于新能源电力发展的挑战以及大容量高参数燃煤火电机组在电网中的关键角色。新能源电力的崛起,虽然为电力行业带来了清洁、可持续的能源选项,但其波动大、规律性差的特点,也给电网的稳定运行带来了前所未有的挑战^[1]。大规模的新能源并网,使得电网的供电连续性、可靠性和安全稳定性面临严峻考验。为了应对这一挑战,大容量高参数燃煤火电机组被赋予了新的使命——全面参与电网的深度调峰。深度调峰,对于火电机组而言,意味着在低于其基本负荷的某个范围内进行功率的灵活调节,以满足电网对负荷变化的快速响应需求。这一技术的实施,不仅有助于维护电网的安全稳定,还能显著提高电力供应的灵活性和可靠性,为新能源电力的并网运行提供有力的支撑。大容量超(超)临界燃煤火电机组在参与深度调峰运行时,也面临着诸多难题。主辅设备接近安全运行边界,使得锅炉在低负荷下的稳燃安全性成为一大挑战。如何满足电网快速调峰和调频的需求,以及在低负荷运行下保持经济性,也是亟待解决的问题。在保证燃煤火电机组深度调峰安全运行的前提下,如何进一步提升机组的整体性能,成为当前电力行业研究的重点。这不仅是火电机组提升自身运行效率和经济效益的

关键,更是确保整个电网稳定运行与新能源电力高效并网的重要保障。在电力行业追求可持续发展的道路上,火电机组的深度调峰能力扮演着不可或缺的角色,它关乎能源结构的优化与电力系统的整体效能,是实现绿色转型与能源安全并重的关键环节。

2 火电机组深度调峰对超临界锅炉的影响

2.1 锅炉燃烧稳定性下降

在深度调峰过程中,锅炉处于低负荷运行状态,煤量减少,燃烧稳定性降低。这可能导致锅炉内部出现异常状况,甚至熄火。燃烧的稳定性直接影响锅炉安全性,低负荷时,影响锅炉燃烧的因素包括煤质变化、煤粉浓度、一次风速、二次风温度等。煤粉持续的稳定的燃烧是至关重要的,在深调时,煤粉悬停时间短、二次风温度低、一次风速低,导致着火阶段不稳定。低负荷时,炉膛平均温度降低,燃烧区域的烟温也降低,燃烧的过程很脆弱,极易被破坏。

2.2 水冷壁和受热面超温风险增加

与正常运行状况相比,深度调峰过程中低负荷会导致内部空气动力场出现变化,整体燃烧位置出现偏移,火焰中心下降,极易导致水冷壁超温运行状况。锅炉排烟温度降低,尾部换热管道面临低温腐蚀的风险。在火电机组深度调峰过程中,直流炉水动力面临的问题体现在水循环的不稳定性上,尤其是在机组低负荷运行时,炉内水动力情况急剧恶化,容易引起水循环问题。对于超临界直流炉而言,当整体负荷下降到约30%时,省煤器入口处的水流量将接近其保护定值,水动力恶化可能导致局部受热过度,进而引发爆管事件。

2.3 脱硝装置效率降低

深度调峰过程中,锅炉负荷降低,烟气温度变化,可能导致脱硝装置中的催化剂效率降低,甚至堵塞和老化。温度过低可能导致硫酸氢氨在催化剂表面或下游设

备上积累,不仅会降低催化剂的效率,还会引起催化剂堵塞,长期如此可能加速催化剂的老化和失活,进而影响整个脱硝系统的运行安全和效率。

2.4 热疲劳损伤与设备寿命缩短

启动分离器是超临界锅炉中非常重要的零部件之一,主要作用在于汽水分离。在发电机组进行深度调峰的过程中,内部的负荷会产生变化,而启动分离器则会在此过程中出现热应力,进而影响内部金属材料。这种持续性的热疲劳损伤不仅会导致启动分离器出现明显损坏,还会出现严重的资源浪费,缩短零件的使用寿命,使整个火电机组存在安全隐患。其中,裂纹的产生原因主要是由于结构中的应力幅度,即管道连接区域的应力集中增加,进而产生裂纹。

3 超临界锅炉在深度调峰中应采取的措施

3.1 制粉系统运行及优化

在30%额定容量的情况下,使用三组磨煤机和旋转备用磨煤机有助于防止燃烧锅炉恶化及异常情况下的处置。并且在机组负荷快速降低时,启用旋转备用磨煤机,并自动投入相应的稳燃措施,以防止锅炉燃烧不稳定,以及由于制粉系统故障停运而导致锅炉状态发生剧烈波动。超临界机组干态与湿态运行方式差异很大^[2]。干态运行时机组为直流运行方式,机组协调控制逻辑以获得最佳水煤配比为核心要素。湿态时机组以类亚临界汽包机组方式运行,机组控制目标转变为保持给水流量不变,依托燃料量的改变实现负荷的增减,通过寻优溢流阀开度控制分离器水位。由于分离器的蓄热能力非常有限,蒸汽流量、机组负荷等参数的变化对分离器水位影响巨大,自动控制难度很大。具体为:采用预测控制作为核心控制环节,提前预测被调量变化趋势,有效提前调节过程,提高机组协调控制系统的闭环稳定性和抗扰动能力;采用神经网络算法建立机组被控对象模型,实时校正与机组控制系统密切相关的特性参数,提高控制的实时性,不断向最优目标逼近;根据机组运行人员实际操作习惯、设备设施实际运行状态,结合专家智能算法,实现机组干湿态一键转换控制。

3.2 锅炉低负荷稳燃技术

锅炉低负荷稳燃技术是火电厂锅炉机组深度调峰运行中的核心问题,它直接关系到锅炉在低负荷状态下的稳定性和安全性。在深度调峰过程中,锅炉面临着蒸汽流量与机炉不匹配、受热面工质流量降低导致的冷却效果变差等挑战,这些都可能引发受热面超温等安全隐患。为了维持锅炉在低负荷下的稳定运行,需要采取一系列稳燃措施。(1)从燃烧条件出发,可以通过降低燃

烧反应活化能、提高燃烧反应放热量、降低散热系数、提高壁温和煤粉初温以及降低煤粉的着火温度等手段来提升燃烧稳定性。(2)改变煤种是一种直接有效的方法,采用高热值、高挥发分的烟煤作为低负荷稳燃的燃料,这就是双燃料仓稳燃技术的理论基础。然而,在实际操作中,煤种的选择往往受到多种因素的限制,(3)还需要探索其他稳燃技术。除了改变煤种外,锅炉稳燃的技术方向还包括提高煤粉气流初温、降低散热系数和提高壁温等。这些技术方向催生了预燃室改造、微油稳燃、等离子稳燃以及富氧点火等稳燃技术。这些技术通过不同的机制来改善燃烧条件,提高燃烧稳定性,从而满足锅炉在低负荷下的运行需求。已改灵活性调峰的锅炉主要采用了低负荷精细化燃烧调整、燃烧器和制粉系统优化改造等技术手段。这些改造使得锅炉机组能够在30%额定负荷下稳定运行,部分机组甚至可以在20%或25%BMCR负荷下短暂运行。

3.3 优化锅炉燃烧调整

为了保证配风优化的效果,必须对燃烧设备进行定期的状态检查和冷空气动力场工况试验。在低负荷下,锅炉烟气总量减少,送风机的二次风压力降低,炉子的火焰填充和炉子的温度也降低。传统的通风调节是由操作者根据主观经验进行定性调整,由于缺乏对燃烧炉热性能的认识,难以达到燃煤锅炉燃烧后的需氧量。鉴于这种技术状况,基于各种现场实践,利用了基于阻力系数的二次风控制技术。通过对锅炉空气分布极限的精细控制,将低负荷阶段锅炉主燃烧区的过剩空气系数控制在最佳,同时提高主燃烧区的温度,增加助燃能力,从而提高锅炉低负荷稳定燃烧性能。锅炉运行负荷主要指蒸汽流量D。D降低,煤耗量B相应减少,水冷壁总的吸热量Q也减少,但减少的幅度较小,Q/B反而增加,炉膛平均烟温及燃烧器区域烟温降低,对煤粉气流着火不利。锅炉负荷降到一定程度时,会危及着火稳定性,甚至可能引起熄火。这正是锅炉超低负荷稳定运行难点所在。机组运行中,需注重燃烧调整,合理使用减温水与吹灰,以降低烟温,确保受热面吸热均衡。同时,严格控制汽温和管壁温度及其变化,有效防止超温和温度突变,保障机组安全稳定运行。

3.4 锅炉转湿态运行的负荷控制

锅炉转湿态运行的负荷控制是火电机组深度调峰过程中的重要环节,其关键在于确保锅炉在转换过程中能够平稳、安全地运行,同时满足电网对负荷变化的快速响应需求。以下是对锅炉转湿态运行负荷控制的详细阐述:在锅炉由干态向湿态转换的过程中,机组负荷的

降低是关键触发因素。当机组负荷降至一定水平（如300MW左右）时，汽水分离器出口温度的过热度会显著下降，甚至消失，此时分离器内偶尔会出现水位显示，这是锅炉转湿态运行的明显信号^[3]。为了确保锅炉能够平稳转换至湿态运行，需要采取一系列负荷控制措施。首先，应适当减少燃料量，通常是通过减少磨煤机的出力并增投油枪来维持锅炉燃烧的稳定，防止因燃料量突减而导致的锅炉熄火或燃烧不稳定。需要维持机组负荷不大幅度下降，以保证电网的稳定运行。在给水方面，随着锅炉由干态向湿态转换，需要逐渐增加给水量，使汽水分离器和储水箱内重新见水。但给水的增加量应控制在一定范围内（如流量增加约100T/H），以防止主蒸汽温度骤降，影响机组的稳定运行。当储水箱水位达到设定值（如6000mm以上）时，可以启动炉水泵，并检查再循环电动门是否自动开启，以确保水循环的顺畅。在锅炉由干态转为湿态运行的过程中，必须密切关注锅炉主再热汽温、汽压等关键参数的变化情况。这些参数的稳定对于维持机组的正常运行至关重要。操作人员需确保这些参数在预设的允许范围内波动，以防止过大的参数波动对机组造成不必要的冲击。通过精确监控与及时调整，可以确保锅炉在转湿态运行过程中的平稳过渡，进而保障整个火电机组的安全与稳定运行。

3.5 强化锅炉深度调峰期间的灵活性与适应性

在超临界锅炉深度调峰过程中，除了上述措施外，还应进一步强化锅炉的灵活性与适应性，以更好地应对各种复杂工况和负荷变化。这要求我们在锅炉设计、运行策略以及技术支持等方面进行综合提升。（1）在锅炉设计方面，可以考虑采用更先进的燃烧技术和材料，以提高锅炉在低负荷下的燃烧效率和稳定性。采用更高效的燃烧器设计，能够更有效地利用燃料，减少不完全燃烧损失，同时提高锅炉对煤种变化的适应性。（2）在运行策略方面，应建立更加完善的负荷预测和调度机制，以便更准确地把握电网负荷需求的变化趋势，从而提前调整锅炉的运行状态。此外还应加强对锅炉运行数据的

实时监测和分析，及时发现并处理潜在的故障或隐患，确保锅炉在深度调峰期间的安全稳定运行。（3）在技术支持方面，可以引入更先进的自动化控制系统和人工智能技术，以提高锅炉对负荷变化的响应速度和精度。利用神经网络算法对锅炉运行数据进行建模和预测，可以实现对锅炉燃烧状态的实时监测和调整，从而提高锅炉在低负荷下的稳定性和经济性^[4]。还应加强对锅炉运行人员的培训和教育，提高他们的专业技能和应对复杂工况的能力。通过定期的培训和实践演练，使运行人员更加熟悉锅炉的深度调峰运行特点和要求，能够更好地掌握锅炉的运行状态和调整策略。强化锅炉深度调峰期间的灵活性与适应性是提升超临界锅炉运行性能和经济效益的重要途径。通过综合考虑锅炉设计、运行策略以及技术支持等方面的因素，我们可以更好地应对各种复杂工况和负荷变化，确保锅炉在深度调峰期间的安全、稳定和高效运行。

结语

综上，火电机组深度调峰对超临界锅炉构成显著影响，但通过采取多种技术措施，如优化燃烧、加强监控等，能显著提升锅炉在调峰期的稳定性和安全性。这些努力不仅保障了电网的可靠运行，也为能源行业的可持续发展奠定了坚实基础。展望未来，技术的持续进步和经验的不断积累，将助力我们进一步优化调峰策略，提高能源利用效率，为构建更加绿色、智能的电力体系贡献力量。

参考文献

- [1]于建明,钱林峰,赵加星.浅析火电机组深度调峰对超临界锅炉的影响[J].电站系统工程,2022,38(4):59-60,64.
- [2]常伟,徐贤,魏然,等.煤电机组深度调峰对锅炉受热面管的影响[J].电力科技与环保,2022,38(6):458-466.
- [3]王学华.600MW超临界锅炉深度调峰对燃烧及脱硝影响研究[J].能源与节能,2022(12):160-163.
- [4]李朋涛,邱靖.提高660MW超超临界火电机组深度调峰经济性的措施[J].黑龙江电力,2022,44(6):537-541.