

燃煤发电机组深度调峰运行的能耗特性分析

李海强

陕西投资集团有限公司 陕西 西安 710061

摘要：燃煤发电机组在深度调峰运行时，面临能耗特性分析的挑战。本文重点探讨了深度调峰过程中的热力特性变化、煤耗特性及其影响因素，以及电厂效率与污染物排放特性。研究发现，低负荷运行导致煤耗增加、热效率降低，同时污染物排放浓度上升。本文提出了基于能耗特性优化的调峰策略，旨在为燃煤发电机组的深度调峰运行提供理论支持和实践指导，以促进电力系统的稳定运行和可持续发展。

关键词：燃煤发电机组；深度调峰运行；能耗特性

引言：随着能源结构转型和电力系统负荷峰谷差的不断增大，燃煤发电机组深度调峰运行已成为保障电力系统稳定的重要环节。在深度调峰过程中，机组需适应低负荷、变工况等复杂运行环境，其能耗特性表现出新的变化和特点。本文旨在综述燃煤发电机组在深度调峰运行时的能耗特性，探讨其在热力性能、煤耗及污染物排放等方面的影响规律，为优化机组运行策略和提高能源利用效率提供借鉴。

1 燃煤发电机组深度调峰运行概述

1.1 燃煤发电机组基本工作原理

燃煤发电机组是我国目前主要的电力供应方式之一，其工作原理主要基于热能转换。在燃煤发电机组中，煤作为一次能源，经过燃烧释放出大量的热能，这些热能通过传热介质（如水和蒸汽）传递给汽轮机。汽轮机受到热能作用后，其叶片高速旋转，进而驱动发电机轴转动，发电机则将机械能转换为电能。燃煤发电机组主要包括燃烧系统、汽水系统、电气系统和控制系统四大部分。其中，燃烧系统负责将煤燃烧产生热能；汽水系统则通过循环水或蒸汽来传递热能，并将其转化为汽轮机转动的机械能；电气系统负责将汽轮机的机械能转换为电能，并向电网供电；控制系统则监控整个发电过程，确保机组的安全、稳定运行。

1.2 深度调峰定义及运行特点

深度调峰是指燃煤发电机组在电网负荷较低时，通过调整机组的出力，使其在低负荷下运行，以满足电力系统的稳定需求。深度调峰能够增强电力系统的调节能力，平抑负荷波动，为可再生能源的接入提供更大的空间。深度调峰运行的特点主要有以下几个方面：（1）低负荷运行：燃煤发电机组在深度调峰时，常常需要在低于额定负荷的条件下长时间运行，这对机组的稳定性是一个巨大的考验。（2）热经济性降低：随着负荷的降

低，机组的热效率会相应下降，导致煤耗增加，经济性变差。（3）热应力增大：低负荷运行会导致机组各部件的温差增大，热应力增加，可能对机组的安全运行构成威胁。（4）调度灵活性提升：深度调峰增强了燃煤发电机组的调度灵活性，使其能够更好地适应电力系统的负荷变化^[1]。

1.3 燃煤发电机组深度调峰运行现状与挑战

现状：目前，随着可再生能源的大规模接入和电力负荷峰谷差的不断增大，燃煤发电机组深度调峰已成为常态。许多燃煤电厂都配备了相应的调峰技术，如低负荷稳燃技术、灵活启停技术等，以适应电网的调峰需求。

挑战：（1）技术挑战。深度调峰对机组的技术性能提出了更高的要求。如何在保证机组安全运行的前提下，提高其在低负荷下的经济性和稳定性，是当前面临的主要技术挑战。（2）经济挑战。深度调峰会增加机组的运行成本，这在一定程度上削弱了燃煤发电的经济竞争力。如何在保障电力供应的同时，实现经济效益和环保效益的双赢，是燃煤发电行业面临的重要经济挑战。（3）政策挑战。随着可再生能源的发展和国家对环保要求的提高，燃煤发电的政策环境日趋严格。如何在这样的政策背景下，找到燃煤发电机组深度调峰的可持续发展之路，是行业面临的重大政策挑战。

2 燃煤发电机组深度调峰运行的能耗特性分析

2.1 深度调峰过程中的热力特性变化

深度调峰是燃煤发电机组在电力系统中应对负荷低谷的重要手段。在这一过程中，随着机组负荷的显著降低，其热力特性也会发生一系列变化，这些变化不仅影响机组的运行效率，还直接关系到其安全性和经济性。

（1）蒸汽温度和压力的变化是深度调峰过程中最为显著的热力特性变化之一。随着负荷的降低，蒸汽流量相应

减少,导致蒸汽在汽轮机中的做功能力减弱。这不仅影响了机组的发电效率,还可能对汽轮机的运行稳定性构成挑战。为了确保机组在低负荷下的安全运行,通常需要对汽轮机进行调整和优化,以适应蒸汽参数的变化。

(2) 炉膛温度的变化也是深度调峰过程中的一个重要现象。低负荷运行意味着燃煤消耗量的减少,这直接导致炉膛温度下降。炉膛温度的降低不仅影响煤的燃烧效率,还可能导致燃烧不稳定,甚至产生局部熄火等安全风险。为了确保煤燃烧的稳定性和完全性,可能需要采取一系列措施,如调整燃煤的粒度、增加助燃剂等。

(3) 汽轮机进汽量的减少,低压缸长叶片根部将会产生较大的负反动度,造成蒸汽回流和根部汽边的冲刷,甚至形成不稳定的漩涡使叶片产生颤振。这不仅影响机组的输出功率,还可能对汽轮机的动态性能产生影响。为了确保汽轮机在低负荷下的稳定运行,可能需要对其控制系统进行调整和优化^[2]。

2.2 煤耗特性及其影响因素

深度调峰是燃煤发电机组在应对电力系统负荷低谷时的常见运行方式。在这一过程中,机组的煤耗特性成为评估其经济性和运行效率的重要指标。了解煤耗特性及其影响因素,对于优化燃煤发电机组的运行策略、提高能源利用效率具有重要意义。(1) 负荷率是影响煤耗特性的关键因素。燃煤发电机组在深度调峰时,通常会运行在较低的负荷率下。负荷率降低意味着机组的发电量减少,但煤耗量并不成比例地减少。这是因为在低负荷率下,煤燃烧不完全,热量损失增大,导致煤耗率上升。因此,在深度调峰过程中,如何优化负荷分配,提高负荷率,是降低煤耗率的关键之一。(2) 煤质变化对煤耗特性有着显著影响。煤质的好坏直接关系到燃烧效率的高低。煤质较差时,燃烧效率降低,煤耗自然会增加。此外,煤中的硫分、灰分等杂质含量也会对煤耗产生影响。高硫分煤燃烧时会产生更多的二氧化硫等污染物,不仅增加了环保压力,还可能导致锅炉结渣等问题,进一步影响煤耗。因此,在深度调峰过程中,选择优质煤源、合理调配煤质,对于降低煤耗、提高经济性至关重要^[3]。(3) 机组的运行方式、维护和操作水平也会对煤耗产生一定的影响。合理的运行方式可以提高机组的运行效率,降低煤耗。例如,在深度调峰过程中采用滑压运行方式,可以根据负荷变化调整汽轮机的进汽压力,使机组在最佳状态下运行。同时,定期的维护和良好的操作习惯也能减少机组的能量损失,提高煤耗效率。

2.3 电厂效率与污染物排放特性

深度调峰作为一种常见的电力系统运行策略,对燃煤发电机组的电厂效率和污染物排放特性带来了显著的影响。这些影响直接关系到电厂的经济性、环保性以及可持续发展能力。首先,从电厂效率的角度来看,深度调峰通常会导致电厂效率下降。这是因为在低负荷运行状态下,机组各部件的热效率会降低。例如,锅炉的燃烧效率、汽轮机的做功效率以及发电机的转换效率都可能受到影响。此外,低负荷运行还可能导致机组热损失增加、蒸汽参数波动等问题,进一步影响电厂的整体效率。其次,深度调峰对电厂的污染物排放特性也产生了不容忽视的影响。在低负荷运行状态下,由于燃烧不完全和辅助燃料的增加,一氧化碳、碳氢化合物等污染物的排放量可能会增加。这不仅会对大气环境造成负面影响,还可能引发公众对电厂环保性能的担忧。此外,为了维持稳定燃烧而增加的辅助燃料往往含有较高的硫分和灰分,这会导致二氧化硫和烟尘等污染物的排放量增加,进一步加剧环境污染。为了应对这些挑战,燃煤发电厂在深度调峰过程中需要采取一系列措施来提高电厂效率和减少污染物排放^[4]。例如,通过优化燃烧调整、提高煤质管理水平、采用先进的环保技术等手段来改善燃烧效果和减少污染物生成。同时,还需要加强机组维护和运行管理,确保机组在低负荷下能够稳定运行,减少非计划停机和故障发生。

2.4 不同调峰策略下的能耗对比分析

燃煤发电机组在应对负荷变化时,通常会采用不同的调峰策略。这些策略不仅影响机组的运行效率,而且直接关系到能源的消耗和环境污染的程度。因此,对不同调峰策略下的能耗进行对比分析至关重要。第一,快速启停策略是一种较为常见的调峰方式。它能够快速响应负荷的变化,但频繁的启停对机组部件的磨损较大,同时也会增加启动过程中的能耗。此外,快速的温度变化还可能对机组的热应力产生影响,从而缩短机组的使用寿命。第二,滑压运行策略是一种通过调整汽轮机进汽压力来适应负荷变化的调峰方式。这种策略可以在一定程度上减小煤耗,因为它可以根据实际负荷需求来调整机组的运行状态。然而,滑压运行也可能增加机组的热应力,从而对机组的安全性和稳定性构成挑战。第三,定压运行策略是一种相对稳定的调峰方式。它保持汽轮机进汽压力恒定,通过调整燃煤量来适应负荷变化。虽然这种策略相对稳定,但对煤耗的影响相对较大,因为在低负荷下,燃煤的利用效率会降低。为了更深入地了解不同调峰策略下的能耗特性,可以进行对比分析。通过收集实际运行数据,对比各种策略下的煤耗

率、污染物排放量、电厂效率等关键指标，可以清晰地评估各种策略的优劣。此外，还可以利用模拟仿真技术，预测不同调峰策略在不同负荷和煤质条件下的能耗表现，从而为机组的优化调度提供有力支持。

3 燃煤发电机组深度调峰运行优化策略

3.1 优化控制系统

优化控制系统是指导燃煤发电机组深度调峰运行的核心。控制系统的优化需要全面考虑电网的负荷需求、机组的技术特性、经济成本 and 环境影响等因素。在控制系统优化过程中，我们首先要明确目标，这通常包括总成本最低、排放量最小或系统运行最稳定等。随后，根据机组的出力范围、爬坡速度、最小启停时间等约束条件，我们制定最优的控制策略。随着电网负荷的不断变化，机组控制系统需要能够快速地调整调度策略，以适应新的运行条件。此外，通过引入预测算法和机器学习技术，我们可以进一步提高控制系统的准确性，确保调度决策的及时性和有效性。

3.2 考虑能耗特性的调峰策略优化

在深度调峰过程中，机组的能耗特性会发生显著变化。为了降低运行成本和提高能效，我们需要对调峰策略进行优化。首先，我们需要对机组的能耗特性进行深入研究，掌握其在不同负荷下的煤耗、热效率等关键指标。在此基础上，我们可以根据电网的负荷预测和机组的能耗特性，合理制定热力系统的参数，使机组在深度调峰时能够运行在最优的能耗区间。此外，我们还可以通过优化机组的燃烧过程、提高热效率、减少散热损失等措施来进一步降低能耗。同时，引入智能控制技术和先进的监测手段，可以实时调整机组的运行参数，确保其始终运行在最佳状态。

3.3 燃煤发电机组与其他电源的协同调度

在现代电力系统中，各种类型的电源共同构成了复

杂的电源结构。为了实现电力系统的稳定运行和可持续发展，燃煤发电机组需要与其他电源进行协同调度。在深度调峰过程中，我们可以根据各种电源的特性和优势，制定合理的协同调度方案。例如，在负荷低谷时段，我们可以优先调度可再生能源发电和储能设备，减少燃煤发电机组的运行时间；而在负荷高峰时段，则可以通过增加燃煤发电机组的出力来保障电力系统的稳定供应。同时，我们还应关注各种电源之间的互补性。例如，燃气轮机具有快速响应的能力，可以与燃煤发电机组协同工作，提高电力系统的调节速度和稳定性。通过综合考虑各种因素，我们可以制定出更加科学合理的协同调度方案，实现电力系统的优化运行。

结束语

经过对燃煤发电机组深度调峰运行的能耗特性进行简要综述，我们获得了丰富的理论与实践知识。研究表明，低负荷和变工况条件下，机组煤耗增加、热效率降低，污染物排放也相应上升。针对这些问题，本文提出了相应的优化策略，为燃煤发电机组的深度调峰运行提供了有益的参考。未来，随着技术的不断进步和环保要求的提高，我们期待燃煤发电机组能够在保障电力供应的同时，实现更高效的能源利用和更环保的排放控制。

参考文献

- [1]陈宇,应光耀.浙江省燃煤机组深度调峰汽轮机设备影响分析[J].浙江电力,2019,38(10):100-105.
- [2]祁乐,陈标,江平,赵燃,高小镜.燃煤火电机组提供调峰辅助服务的成本和效益分析[J].电力大数据,2019,22(10):23-29.
- [3]杨韵,蔡秋娜.燃煤机组调峰特性分析及优化运行[J].电气应用,2020,37(12):89-92.
- [4]阎喜宏,冯志强,李磊.火电燃煤机组深度调峰消纳控制技术优化[J].煤化工,2022,50(06):65-68.