

600MW 超超临界机组主蒸汽参数优化与热经济性分析

朱留强

江苏阚山发电有限公司 江苏省徐州市 221000

摘 要：随着我国电力行业迈向高效低碳，600MW 等级超超临界机组成为主力电源，其主蒸汽参数优化对提升热经济性、降低供电煤耗意义重大。本文基于热力学原理，系统剖析主蒸汽压力、温度等参数对机组循环效率、汽轮机做功特性及整体热经济性的影响。经理论推导与定性分析，明确参数优化边界条件与技术路径，指出主蒸汽压力与温度合理匹配是平衡热效率提升和设备材料要求的关键。现有技术体系下，优化需综合考量汽轮机通流设计、锅炉受热面布置、管道材料性能等多因素约束。适度提高蒸汽参数（如协同调整压力与温度），可显著改善朗肯循环效率、降低发电煤耗，为同类机组参数选型与运行优化提供理论支撑。

关键词：600MW 超超临界机组；主蒸汽参数；热经济性；参数优化

我国以煤为主的能源结构决定了燃煤发电机组在电力供应中的基础性地位，而 600MW 等级超超临界机组作为现阶段高效清洁煤电的代表，其供电煤耗较亚临界机组降低约 20%–30%，碳排放强度显著下降，是实现“双碳”目标的重要技术支撑。主蒸汽参数是决定超超临界机组热力循环效率的核心要素——更高的蒸汽压力与温度可提升工质在汽轮机中的做功能力，扩大朗肯循环的平均吸热温度，从而提高循环效率；但参数的提升也对锅炉受热面材料、汽轮机通流部件强度、管道耐高温高压性能提出了更严苛的要求。因此，科学优化主蒸汽参数，在技术可行性与经济性之间寻求平衡，成为当前燃煤发电领域的研究热点。

现有研究多聚焦于超超临界与超超超临界参数的对比分析，但对 600MW 等级机组主蒸汽参数的具体优化逻辑、参数调整对热经济性的影响路径缺乏系统性阐述。本文基于热力学理论与工程实践经验，从参数影响机制、优化约束条件及实施路径三方面展开研究，旨在为 600MW 超超临界机组的参数设计与运行优化提供理论依据。

1. 主蒸汽参数对热经济性的影响机制

1.1 热力学基础与朗肯循环原理

热力发电的核心是基于朗肯循环的热功转换过程。在朗肯循环中，水在锅炉中被加热成高温高压蒸汽，蒸汽进入汽轮机膨胀做功，做功后的乏汽在凝汽器中被冷凝成水，再由给水泵送回锅炉，完成一个循环。主蒸汽参数，即主蒸汽的压力和温度，是朗肯循环的起始状态点参数，对整个循环

的热效率有着关键影响。

从热力学角度来看，提高主蒸汽压力和温度，能够使蒸汽在汽轮机中具有更高的能量，从而增加汽轮机的做功能力。同时，较高的主蒸汽温度可以提高循环的平均吸热温度，根据卡诺定理，循环的平均吸热温度越高，循环的理论热效率就越高。因此，主蒸汽参数的优化本质上是通过调整朗肯循环的起始状态，来提高循环的热效率，进而提升机组的热经济性^[1]。

1.2 主蒸汽压力对热经济性的影响

主蒸汽压力的变化对汽轮机的做功过程和循环效率有着显著影响。当主蒸汽压力升高时，蒸汽的比容减小，相同质量的蒸汽在汽轮机中占据的体积减小，使得汽轮机的通流部分尺寸可以相对减小，从而减少了汽轮机的流动损失。同时，较高的主蒸汽压力意味着蒸汽具有更高的能量，能够使汽轮机在相同的膨胀过程中输出更多的功，提高了汽轮机的相对内效率。

然而，主蒸汽压力的升高也会带来一些负面影响。过高的主蒸汽压力会增加锅炉的承压要求，对锅炉的受压部件，如锅筒、集箱、管道等的强度和材料性能提出了更高的要求。此外，高压蒸汽在管道中流动时，会增加管道的流动阻力和应力，对管道的设计和制造也提出了更严格的标准。如果主蒸汽压力过高，超过了设备和管道的承受能力，不仅会增加设备的安全风险，还可能导致设备的损坏和故障，影响机组的正常运行。

1.3 主蒸汽温度对热经济性的影响

主蒸汽温度的升高对热经济性的提升具有积极意义。提高主蒸汽温度可以增加蒸汽的焓值,使蒸汽在汽轮机中具有更高的做功能力。同时,较高的主蒸汽温度可以提高循环的平均吸热温度,从而提高朗肯循环的理论热效率。从汽轮机的角度来看,较高的主蒸汽温度可以减少蒸汽在汽轮机中的湿度,降低蒸汽对汽轮机叶片的侵蚀和腐蚀,提高汽轮机的可靠性和使用寿命^[2]。

但是,主蒸汽温度的升高也会面临诸多挑战。高温蒸汽对锅炉的受热面材料、汽轮机的通流部件材料等提出了极高的要求。需要采用耐高温、高强度的材料来制造锅炉的过热器、再热器等受热面和汽轮机的高温部件,这不仅增加了设备的制造成本,还对材料的供应和加工技术提出了更高的要求。此外,高温蒸汽在运行过程中还会面临热膨胀、热应力等问题,需要采取有效的措施来保证设备的安全运行。

2. 参数优化的约束条件分析

2.1 汽轮机通流设计约束

汽轮机的通流设计堪称机组运行的核心关键环节,而主蒸汽参数的优化与之紧密相连、相辅相成,必须实现精准匹配。汽轮机的通流部分涵盖喷嘴、动叶等众多关键部件,这些部件的设计皆是依据特定的主蒸汽参数精心打造。主蒸汽参数犹如汽轮机运行的“指挥棒”,一旦其发生变化,蒸汽的流量、速度、压力等特性便会随之改变,进而对汽轮机的通流部件产生截然不同的作用力,深刻影响着汽轮机的运行状态。

当主蒸汽压力和温度超出常规范围、过高时,蒸汽的流速和蕴含的能量会显著增加,犹如汹涌的浪潮对汽轮机的喷嘴和动叶发起更为猛烈的冲击。这就要求汽轮机的通流部件具备更高的强度和卓越的耐冲蚀能力,以抵御强大的冲击。所以,在优化主蒸汽参数的过程中,必须全面考量汽轮机通流部件的设计强度以及材料性能,为汽轮机在新的参数环境下安全稳定运行筑牢根基^[3]。此外,汽轮机的通流设计还涉及级的数量、级的反动度、叶片的形状等诸多参数,这些参数的优化同样需要与主蒸汽参数的变化紧密适配,唯有如此,才能全方位提高汽轮机的整体效率和性能,实现机组的高效稳定运行。

2.2 锅炉受热面布置约束

锅炉作为燃煤发电机组的核心设备之一,在机组运行中占据着举足轻重的地位。而主蒸汽参数的优化,无疑给锅

炉的受热面布置带来了全新的挑战与要求。主蒸汽压力和温度的升高,本质上意味着锅炉肩负着更为艰巨的任务——需要将水加热到更高的温度和压力水平。这一变化并非孤立存在,它会对锅炉的受热面面积、受热面的布置方式以及受热面的材料产生多方面的连锁影响,牵一发而动全身。

为了契合主蒸汽参数升高的需求,锅炉必须做出相应调整。一方面,要增加过热器和再热器的受热面面积,如此才能进一步提升蒸汽的加热程度,确保蒸汽达到所需的参数标准。另一方面,受热面的布置方式也亟待优化,要保证蒸汽在受热面中能够均匀受热,防止出现局部过热或者加热不均的状况,否则可能影响锅炉的整体运行效率和安全性。此外,锅炉的受热面材料也需具备更高的耐高温、耐高压性能,以此承受主蒸汽参数升高所带来的巨大压力和高温。所以,在优化主蒸汽参数时,必须全面考虑锅炉受热面的布置和材料选择,保障锅炉在新的参数环境下能够安全可靠地运行。

2.3 管道材料耐温耐压性能约束

锅炉作为燃煤发电机组的核心设备之一,在机组运行中占据着举足轻重的地位。而主蒸汽参数的优化,无疑给锅炉的受热面布置带来了全新的挑战与要求。主蒸汽压力和温度的升高,本质上意味着锅炉肩负着更为艰巨的任务——需要将水加热到更高的温度和压力水平。这一变化并非孤立存在,它会对锅炉的受热面面积、受热面的布置方式以及受热面的材料产生多方面的连锁影响,牵一发而动全身。

为了契合主蒸汽参数升高的需求,锅炉必须做出相应调整。一方面,要增加过热器和再热器的受热面面积,如此才能进一步提升蒸汽的加热程度,确保蒸汽达到所需的参数标准。另一方面,受热面的布置方式也亟待优化,要保证蒸汽在受热面中能够均匀受热,防止出现局部过热或者加热不均的状况,否则可能影响锅炉的整体运行效率和安全性。此外,锅炉的受热面材料也需具备更高的耐高温、耐高压性能,以此承受主蒸汽参数升高所带来的巨大压力和高温。所以,在优化主蒸汽参数时,必须全面考虑锅炉受热面的布置和材料选择,保障锅炉在新的参数环境下能够安全可靠地运行^[4]。

3. 主蒸汽参数优化的技术路径

3.1 合理匹配压力与温度参数

主蒸汽压力和温度是相互关联的两个参数,它们的合理匹配是实现机组热经济性优化的关键。在优化主蒸汽参数时,不能仅仅单独提高压力或温度,而需要综合考虑两者的协同作用。一般来说,适当提高主蒸汽压力和温度可以同时提高循环

的平均吸热温度和汽轮机的做功能力,从而提高循环效率^[9]。

但是,压力和温度的提高幅度需要根据机组的具体情况 and 设备的承受能力来确定。如果压力和温度的提高幅度过大,可能会导致设备和管道的应力过大,增加设备的安全风险和运行成本。因此,需要通过理论计算和实验研究,确定主蒸汽压力和温度的最佳匹配范围,以实现机组热经济性的最大化。

3.2 汽轮机与锅炉的协同优化

汽轮机和锅炉是燃煤发电机组的两个核心设备,它们之间的协同运行对机组的热经济性有着重要影响。在优化主蒸汽参数时,需要考虑汽轮机和锅炉的协同优化。一方面,锅炉需要根据主蒸汽参数的变化,调整燃烧和蒸汽生产过程,以保证提供符合要求的蒸汽品质和数量。另一方面,汽轮机需要根据锅炉提供的蒸汽参数,优化通流设计和运行控制,以提高汽轮机的效率和可靠性。

例如,锅炉可以采用先进的燃烧技术和受热面布置方式,提高蒸汽的加热效率和质量;汽轮机可以采用高效的通流部件和控制系统,提高蒸汽的做功能力和运行稳定性。通过汽轮机和锅炉的协同优化,可以实现主蒸汽参数的优化和机组热经济性的提升。

3.3 采用先进的材料和技术

为了满足主蒸汽参数优化带来的更高要求,需要采用先进的材料和技术。在锅炉和管道方面,可以采用耐高温、耐高压的新型合金材料,如镍基合金、钛合金等,以提高设备的耐温和耐压性能。在汽轮机方面,可以采用先进的叶片材料和制造工艺,如镍基高温合金叶片、精密铸造技术等,以提高叶片的强度和耐冲蚀能力。

此外,还可以采用先进的监测和控制技术,对主蒸汽参数、设备和管道的运行状态进行实时监测和控制,及时发现和处理潜在的安全隐患,保证机组的安全稳定运行。通过采用先进的材料和技术,可以为 600MW 超超临界机组主蒸汽参数的优化提供有力的保障。

4. 结论与建议

4.1 研究结论

本文围绕 600MW 超超临界机组主蒸汽参数优化与热经济性展开分析,得出关键结论:主蒸汽的压力和温度是影响该机组热经济性的核心要素。合理设定主蒸汽参数,可有效提高朗肯循环效率,增强汽轮机做功能力,进而降低机组供电煤耗,显著提升热经济性,对机组的节能降耗与高效运行意义重大。

不过,主蒸汽参数优化面临诸多约束,汽轮机通流设计、锅炉受热面布置以及管道材料耐温耐压性能等,都会对优化过程产生限制。在优化时,必须全面考量这些条件,以保障机组设备和系统的安全稳定运行。实现优化的技术路径涵盖合理匹配压力与温度参数、推动汽轮机与锅炉协同优化以及采用先进材料和技术等,通过落实这些路径,能有效提升机组的热经济性与运行可靠性。

4.2 建议

在 600MW 超临界机组的设计与建设阶段,需将主蒸汽参数优化问题置于重要地位。要紧密结合机组的运行需求以及当地的能源资源实际状况,审慎且合理地选定主蒸汽参数。如此,方能有效提升机组的热经济性,使其在市场竞争中占据更有利的位置,实现经济效益与环境效益的双赢。

对于已投入运行的 600MW 超超临界机组,要定期开展主蒸汽参数的评估与优化工作。借助技术改造和设备升级手段,像更换高效的汽轮机通流部件、优化锅炉受热面布置等,提高主蒸汽参数的利用效能,切实降低机组供电煤耗。同时,要大力加强对主蒸汽参数优化相关技术的研究与开发,增加在先进材料、先进监测和控制技术等领域的研发投入,为参数进一步优化提供坚实的技术支撑。此外,还应构建完善的机组运行监测和管理体系,对主蒸汽参数、设备及管道的运行状态进行实时监测与分析,及时察觉并处理潜在的安全隐患与运行问题,确保机组安全稳定运行,保障主蒸汽参数优化取得良好成效。

参考文献:

- [1] 王丽花. 超超临界机组电厂热力系统优化措施 [J]. 节能与环保, 2022,(10):47-49.
- [2] 傅小军, 郑国强. 超临界 600 MW 机组凝汽器经济性分析与改进措施 [J]. 科技创新导报, 2017,14(08):18-19.
- [3] 史鹏飞, 康朝斌, 王书超, 等. 某 600 MW 超临界空冷燃煤机组深度调峰运行热经济性研究 [J]. 电力科技与环保, 2023,39(02):147-156.
- [4] 赵斌, 王喆, 闫晨帅, 等. 超临界 600 MW 燃煤机组深度调峰运行热经济性分析 [J]. 热力发电, 2022,51(01):109-114.
- [5] 沈邱农, 程钧培. 超超临界机组参数和热力系统的优化分析 [J]. 动力工程, 2004,(03):305-310+405.

作者简介: 朱留强 (1992 年 8 月) 男 汉族 河南省项城市 本科 电力工程专业, 工程师 研究方向 电气自动化, 火电运维