

现代火电厂汽机系统的优化与能效提升

胡昌毅

贵州西电电力股份有限公司鸭溪运营分公司, 贵州 遵义 563108

摘要 : 本文开篇对火电厂汽机系统的组成、汽轮机工作原理、型号及参数以及汽轮机控制系统进行了详细概述, 为后续优化工作提供了基础。进一步地, 本文详细分析了汽机系统的优化方法, 涉及了优化原理、优化算法、优化目标函数以及优化过程, 从而为汽机系统的优化工作提供了理论上的支持和指导。本文总结了汽机系统能效提升的具体措施, 包括提高汽轮机效率、余热回收利用、减少泵与风机的功耗以及优化汽轮机启停过程等。这些措施旨在提高汽机系统的热效率, 降低能源消耗和污染物排放, 实现火电厂的经济性和环保性能的提升。

关键词 : 火电厂; 汽机系统; 优化; 能效; 提升; 热效率

Optimization and Energy Efficiency Improvement of Steam Engine System in Modern Thermal Power Plant

Hu Changyi

Yanxi Operation Branch, Guizhou Xidan Electric Power Co., LTD., Zunyi, Guizhou 563108

Abstract : At the beginning of this paper, the composition of the steam turbine system, the working principle, model and parameters of the steam turbine and the control system of the steam turbine in the thermal power plant are summarized in detail, which provides the basis for the subsequent optimization work. Further, this paper analyzes the optimization method of the turbine system in detail, involving the optimization principle, optimization algorithm, optimization objective function and optimization process, so as to provide theoretical support and guidance for the optimization work of the turbine system. This paper summarizes the specific measures to improve the energy efficiency of the turbine system, including improving the turbine efficiency, recycling waste heat, reducing the power consumption of the pump and fan, and optimizing the turbine start-stop process. These measures are aimed at improving the thermal efficiency of the turbine system, reducing energy consumption and pollutant emissions, and improving the economic and environmental performance of thermal power plants.

Keywords : thermal power plant; steam engine system; optimization; energy efficiency; up; thermal efficiency

引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护要求的日益严格, 火电厂作为我国电力供应的主要来源, 面临着巨大的挑战。汽机系统作为火电厂的核心部分, 其运行效率直接影响到整个电厂的经济性和环保性能。近年来, 虽然我国火电厂在汽机系统设计、制造和运行方面取得了显著成果, 但与发达国家相比, 仍存在一定的差距。主要体现在汽机系统的热效率偏低、能源消耗较高、污染物排放量大等方面。这些问题不仅制约了火电厂的经济效益, 还对环境造成了沉重负担。因此, 研究现代火电厂汽机系统的优化与能效提升具有重要的现实意义。

一、现代火电厂汽机系统概述

在现代火电厂中, 汽机系统作为电厂的核心部分, 承担着将热能转换为机械能, 进而通过发电机转换为电能的重要任务。本章将对火电厂汽机系统的组成、工作原理、型号及参数以及控制系统进行详细概述, 为后续对汽机系统优化与能效提升的研究提供基础。

(一) 火电厂汽机系统组成

汽机是火力发电厂的主要设备, 其状态对火力发电厂的安全和经济运行起着重要作用^[1]。火电厂汽机系统主要由锅炉、汽轮机、发电机、冷凝器、给水泵等组成。锅炉通过燃烧化石燃料产生高温高压的蒸汽, 蒸汽进入汽轮机, 推动汽轮机旋转, 汽轮机通过传动装置带动发电机发电, 发电机产生的电能经过变压器升压后送入电网。冷凝器则将汽轮机排出的低温低压蒸汽冷凝成

水，再通过给水泵送回锅炉，形成一个闭合的循环。

（二）汽轮机工作原理

汽轮机的基本工作原理从能量转换方面而言，是将机械运行过程中的热能蒸汽运用汽轮机内部喷嘴的膨胀而将其转变为汽流动能。在工作进行时需要内部动叶片将机械能进行转换，从而形成反动式叶片，增加汽轮机内部叶片膨胀的概率，使热能转化成工作所需的机械能带动整套机械的运行^[2]。随着蒸汽通过各级叶轮，其温度和压力逐渐降低，最终在冷凝器中凝结成水，循环回锅炉重新加热，形成一个闭合的能量转换循环。汽轮机根据蒸汽流动方向的不同，分为冲动式和反动式，分别以不同的方式优化能量转换效率。

（三）汽轮机型号及参数

汽轮机的型号与参数是汽轮机设计和运行的关键指标。根据蒸汽的压力和温度不同，汽轮机可分为低压、中压、高压直至超高压等多个级别，每种级别都代表着不同的技术要求和工程挑战^[3]。同时，汽轮机的转速也是区分其型号的重要依据。汽轮机的参数涵盖了蒸汽的压力、温度、流量、转速以及功率等多个维度。这些参数不仅是汽轮机设计和制造的基础，也是评估其运行表现的关键。蒸汽的压力和温度决定了汽轮机的工作强度和热效率，流量的控制影响着汽轮机的负载能力，而转速和功率的匹配则直接关联到汽轮机的输出稳定性和发电能力。

（四）汽轮机控制系统

汽轮机控制系统是由多个子系统协同工作，包括转速控制系统、负荷控制系统、给水控制系统以及蒸汽温度和压力控制系统等。这些系统共同构成了汽轮机的神经中枢，通过对汽轮机运行状态的实时监控和自动调节，确保汽轮机的最优运行。

转速控制系统负责调节汽轮机的转速，保持其在设定的工作点上运行，以确保发电的稳定性和电网的频率同步。负荷控制系统则根据电网的需求变化，调整汽轮机的输出功率，以实现能源的高效利用和供电质量的保障。给水控制系统负责维持锅炉给水的稳定，确保蒸汽产生过程的连续性和安全性^[4]。蒸汽温度和压力控制系统则通过对蒸汽参数的精确控制，优化汽轮机的热效率，同时保障设备的安全运行。

二、汽机系统优化方法

为了提高火电厂汽机系统的运行效率和能效，对其进行优化是至关重要的。本章将详细介绍汽机系统优化的原理、算法、目标函数以及优化过程，为汽机系统的性能提升提供理论支持和实践指导。

（一）优化原理

汽机系统优化原理涉及运用科学的方法和技术手段，对汽轮机的运行参数和结构进行精细的改进与调整，旨在提升汽轮机的热效率、可靠性和经济性，进而实现能源的高效利用以及节能减排的目标。

具体而言，这一原理涵盖了流体力学优化，通过改善汽轮机内部的流动通道以降低流动损失和泄漏损失，如优化叶栅设计和

叶片型线；热力学优化，通过调整汽轮机的工作过程来提升热效率，包括优化级数、叶片高度和冷却系统；结构优化，通过改进结构设计来增强汽轮机的可靠性和经济性，例如优化叶片连接方式和轴承设计；以及控制优化，通过提升控制系统的性能来提升汽轮机的自动化水平和运行稳定性，涉及启动、停车和负荷调节过程的优化^[5]。

（二）优化算法

汽机系统优化算法是一套应用于汽轮机系统的计算方法，它通过数学建模、仿真分析和智能算法等手段，对汽轮机的运行参数和结构设计进行优化，以达到提升热效率、降低能耗、增强可靠性和经济性的目的^[6]。这些算法包括但不限于遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法和神经网络等，它们能够有效地处理复杂的优化问题，并在多个方面对汽轮机系统进行优化。

在流体力学方面，优化算法可以帮助改进汽轮机内部的流动通道设计，减少流动损失和泄漏损失，提高汽轮机的运行效率。在热力学方面，算法可以优化汽轮机的工作过程，提高热效率，包括优化级数、叶片高度和冷却系统等。在结构方面，优化算法可以改进汽轮机的结构设计，提高其可靠性和经济性，如优化叶片的连接方式和轴承设计。在控制方面，算法可以优化汽轮机的控制系统，提高自动化水平和运行稳定性，包括优化启动、停车和负荷调节过程等。

（三）优化目标函数

汽机系统优化目标函数是一个复合的数学表达式，它综合了多个性能指标，旨在量化汽轮机系统优化的目标，以便通过算法寻找到最佳的设计参数和工作条件。该函数通常包含热效率、可靠性、经济性、环境友好性等多个子目标，每个子目标都对应着汽轮机系统的一个关键性能指标。目标函数的构建旨在确保优化过程能够在提升汽轮机整体性能的同时，平衡各个相互制约的因素，以实现最优化的系统运行。

汽机系统优化的目标函数融合了热效率、可靠性、经济性和环保性能等关键指标。热效率目标反映能量转换效率，以绝对或相对效率表示；可靠性目标评价长期运行稳定性与故障率；经济性目标涵盖全生命周期成本，包括投资和运维成本，旨在最大化经济效益；环境友好性目标则关注排放和噪音等环保指标，以符合环保法规^[7]。这些综合目标函数为汽轮机优化提供了全面评估框架，确保了优化结果的实际效益和效率。

（四）优化过程

汽机系统的优化过程融合了理论探索与实践验证的双重路径。这一过程始于对汽机系统全面的模拟与测试，旨在准确捕捉当前的性能状态，为后续的优化工作提供实证依据。

继而，在明确优化目标和原理的基础上，构建数学模型与目标函数，这些模型和函数是优化过程的灵魂，它们将复杂的工程问题转化为可量化的数学挑战。接下来，选取适宜的优化算法对参数进行细致的调整，这一步骤是优化过程中的核心，它要求工程师在算法的选择与应用上展现出高超的技艺和深刻的洞察力。

最终，对优化结果进行严谨的验证与分析，确保所提出的优化方案不仅理论上成立，而且在实际操作中可行、有效^[8]。整个

优化过程要求在理论分析上深入且透彻，同时在实际操作中细致入微，以确保汽机系统在优化后的运行稳定性和可靠性。

三、汽机系统能效提升措施

提升汽机系统的能效是火电厂实现节能减排、提高经济效益的关键。本章将探讨一系列具体的能效提升措施，包括提高汽轮机效率、余热回收利用、减少泵与风机的功耗以及优化汽轮机启停过程，旨在为火电厂提供实用的操作指南和技术支持。

(一) 提高汽轮机效率

提升汽轮机效率是汽机系统能效优化的核心所在，这是一项涉及多方面技术精进的综合性挑战。设计的创新，例如采用更为高效的叶轮机叶片设计、减少内部泄漏以及优化蒸汽通道，是提升汽轮机绝热效率的关键措施。这些设计上的改进，不仅需要深厚的理论知识，更需要丰富的工程经验和对细节的极致追求。

此外，工作流体和材料的合理选择，以及汽轮机运行参数——如温度、压力和转速——的精确控制，也是提高汽轮机效率的重要环节。这些参数的优化配置，需要综合考虑材料的物理特性、工作环境的适应性以及整个汽机系统的动态响应，以达到最佳的能量转换效率。

(二) 余热回收利用

在火电厂的生产过程中，余热回收系统不仅有效地利用了生产过程中产生的余热，还将这些热量重新转化为可用的能源，从而显著提升了整个汽机系统的能源利用率^[9]。这一过程不仅体现了对能源的充分利用，也是对环境保护和可持续发展的积极响应。

余热回收系统是利用锅炉给水预热器、空气预热器以及热泵等设备，对工业生产过程中产生的余热进行有效利用的节能系统。这些设备凭借其精密的设计和高效的运行机制，将原本可能被废弃的热能转化为可再用的热能资源，从而显著减少能源消耗，降低电厂的运营成本，实现能源的可持续利用。

(三) 减少泵与风机的功耗

泵与风机在能量转换过程中发挥着至关重要的作用。然而，泵与风机的功耗也不容忽视，因为它们在能量传递和流体输送过程中消耗了大量的能量。为了提高汽机系统的能效，减少泵与风

机的功耗成了一个重要的优化方向。

通过采用高效节能的泵与风机，并优化设备的选型和运行方式，可以显著降低功耗^[10]。这种优化不仅涉及设备本身的技术改进，还包括了对系统运行参数的调整，以实现流体流动特性的优化，从而降低泵与风机的能耗。

此外，通过改进流体的流动特性，减少管道阻力，也能有效降低泵与风机的能耗。这种优化不仅涉及流体动力学的理论分析，还包括了对实际运行条件的细致考量。通过这种方式，泵与风机的能耗可以得到有效地控制，从而提升整个汽机系统的能效。

(四) 优化汽轮机启停过程

汽轮机的启停过程是火电厂中的一个关键环节，其能耗水平相对较高。因此，优化汽轮机的启停策略对于提高整个汽机系统的能效具有重要意义。通过运用先进的控制系统和制定合理的操作程序，可以实现汽轮机的平稳启停，从而减少能源消耗和机械磨损，提升系统的运行效率和稳定性。

优化汽轮机启停过程不仅涉及技术层面的改进，还包括了对运行管理的优化。通过预测负荷变化，合理安排汽轮机的启停时间，可以实现能源的高效利用，进一步提升汽机系统的整体能效。这种策略的实施，有助于火电厂在满足电力需求的同时，降低能源消耗和环境影响，实现经济效益和环境效益的双赢。

四、结束语

本文旨在为火电厂汽机系统的优化与能效提升提供实践指导与理论支持，并且为相关领域的研究者和工程师开辟新的思考路径和方法。尽管本文在汽机系统优化和能效提升方面有了一定的深入研究，但仍有许多潜在的优化空间和挑战需要进一步探索。未来的研究可以聚焦于智能化控制技术在汽机系统中的应用，以及新型材料和技术在汽轮机制造中的集成，以实现更高效、更环保的火电生产。

总而言之，希望本文的研究成果能够激发更多研究者对火电厂汽机系统优化与能效提升领域的兴趣，共同推动我国火电行业的可持续发展和技术进步。

参考文献

- [1] 肖从付. 火力发电厂汽机常见问题及应对策略 [J]. 光源与照明, 2021, (07): 77-78.
- [2] 宋剑. 汽轮机运行中的节能技术研究 [J]. 应用能源技术, 2022, (04): 29-31.
- [3] 邱磊. 火电厂汽机锅炉 DCS 控制系统异常应急维护方法 [J]. 设备管理与维修, 2023, (20): 86-87. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.10D.36.
- [4] 李毅, 张文斌, 程磊. 火电厂甩负荷未进入 FCB 主要电气设备运行分析探讨 [J]. 电工技术, 2022, (05): 172-174. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.05.046.
- [5] 朱树基. 试论火电厂汽机运行中常见问题及解决措施 [C] // 江西省电机工程学会. 2020年江西省电机工程学会年会论文集. 大唐国际抚州发电有限责任公司; 2021: 2. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2021.000235.
- [6] 孙亦鹏, 曹红加, 白秀春, 等. 火电厂烟气余热利用系统改造经济性分析 [J]. 热能动力工程, 2019, 34(11): 140-145. DOI: 10.16146/j.cnki.rndgc.2019.11.021.
- [7] 胡为杰. 试论火电厂汽机运行中常见问题及解决措施 [J]. 科技资讯, 2019, 17(02): 74-75. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2019.02.074.
- [8] 李占京. 浅析火电厂汽机运行过程中的问题及应对措施 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2018, (18): 3. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201818003.
- [9] 丁俊宏, 丁宁, 苏焱, 等. 浙江省火电厂典型热控故障异常分析与建议 [C] // 浙江省电力学会, 上海市电机工程学会, 江苏省电机工程学会, 安徽省电机工程学会. 浙江省电力学会 2016 年度优秀论文集. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 2016: 8.
- [10] 司元林, 张少丽. 火电厂数据采集与处理系统的构建与实施 [C] // 战略风险管控与安全生产运行管理——2015 全国电力行业企业管理创新论文大赛获奖论文. 华电宁夏灵武发电有限公司, 2015: 2.