

汽轮机背压供热性能优化与节能技术研究

吴鹏

华电国际电力股份有限公司天津开发区分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8442

[摘要] 本文对汽轮机背压供热性能优化与节能技术进行了全面且深入的研究。阐述了汽轮机背压供热系统的构成、工作原理，分析了系统运行现状及存在的问题，探讨了影响系统性能的各项因素，提出了针对性的性能优化策略和有效的节能技术，展望了该领域未来的发展趋势。旨在为提升汽轮机背压供热系统的运行效率、促进能源节约和高效利用提供更为详尽的理论参考。

[关键词] 汽轮机；背压供热；性能优化；节能技术；发展趋势

Research on Optimization of Back Pressure Heating Performance and Energy saving Technology for Steam Turbine

Wu Peng

Huadian International Power Co., Ltd. Tianjin Development Branch

[Abstract] This article conducts a comprehensive and in-depth study on the optimization of back pressure heating performance and energy-saving technology for steam turbines. This article elaborates on the composition and working principle of the steam turbine back pressure heating system, analyzes the current operation status and existing problems of the system, explores various factors affecting system performance, proposes targeted performance optimization strategies and effective energy-saving technologies, and looks forward to the future development trends in this field. Intended to provide more detailed theoretical references for improving the operational efficiency of steam turbine back pressure heating systems, promoting energy conservation and efficient utilization.

[Key words] steam turbine; Back pressure heating; Performance optimization; Energy saving technology; development trend

引言

在全球能源短缺问题日益严峻以及环境保护意识不断增强的当下，如何提高能源利用效率、降低能源消耗成为各国关注的焦点。汽轮机背压供热技术作为一种实现能源梯级利用的有效方式，能够在发电过程中充分利用蒸汽的余热进行供热，大幅提高能源的综合利用率，在工业领域和城市供暖系统中得到了广泛应用。但就目前而言，汽轮机背压供热系统在实际运行过程中，还存在着性能波动较大、能源浪费现象依然存在、运行成本偏高等问题，这些问题严重限制了该技术优势的充分发挥。因此，深入研究汽轮机背压供热性能优化与节能技术，对于推动能源的可持续利用、实现绿色发展目标具有重要的理论和实践意义。

一、汽轮机背压供热系统现状分析

（一）系统构成与工作原理

汽轮机背压供热系统是一个由多个关键部分紧密配合、协同工作的复杂系统，主要由蒸汽产生设备、汽轮机、发电机、

供热管网、热交换设备以及各类控制装置等组成。其工作流程大致如下：在蒸汽产生设备（通常为锅炉）中，燃料燃烧释放的热量将水加热成高温高压的蒸汽；这些蒸汽进入汽轮机后，推动汽轮机的转子旋转，将蒸汽的热能转化为汽轮机的机械能；汽轮机再带动发电机转动，实现机械能向电能的转化；而经过汽轮机做功后排出的背压蒸汽，仍具有一定的压力和温度，通过供热管网输送到热交换设备，与需要加热的介质（如供暖水）进行热量交换，完成供热过程后，蒸汽冷凝成水可回收再利用。整个系统形成了一个能源循环利用的闭环，实现了从燃料能量到电能和热能的高效转化。

（二）当前运行中存在的问题

汽轮机背压供热系统在长期的运行过程中，逐渐显现出一系列影响其性能的问题。系统的整体调控机制不够完善，发电与供热两大功能之间的协调不够顺畅，常常出现顾此失彼的情况，例如在用电高峰期过度追求发电效率，导致供热蒸汽量不足、温度偏低；而在供热高峰期又可能过度消耗蒸汽，影响发

电的稳定性和经济性。供热管网的老化问题较为突出，部分管网使用年限较长，管道内壁出现腐蚀、结垢现象，不仅增加了蒸汽在输送过程中的阻力，导致输送能耗上升，还使得蒸汽的热量损失加剧，降低了供热效率。此外，系统的信息化管理水平较低，对各项运行参数的监测不够及时、准确，难以实现对系统运行状态的精准把控，不利于及时发现和解决潜在问题。

（三）性能评价指标

评价汽轮机背压供热系统性能的指标是多方面的，除了常见的供热效率（即有效供热量与消耗的蒸汽热量之比）、能源利用率（系统输出的总能量与输入的燃料能量之比）、运行稳定性（系统在一定时间内保持正常运行状态的能力）外，还包括供热的持续性（能否在规定的供热周期内不间断地提供热量）、运行的安全性（系统运行过程中避免发生安全事故的能力）以及经济性（系统运行过程中的成本与收益之比）等。供热的持续性直接关系到热用户的正常用热需求能否得到保障；运行的安全性是系统稳定运行的前提，涉及到设备安全、人员安全等多个方面；经济性则是衡量系统是否具有推广价值的重要指标，涵盖了燃料成本、设备维护成本、人工成本等多个维度。这些指标共同构成了一个完整的评价体系，为系统的优化和改进提供了全面的衡量标准。

二、影响汽轮机背压供热性能的因素

（一）背压参数

背压参数是决定汽轮机背压供热性能的关键因素之一，其对系统的影响贯穿于发电和供热两个环节。背压的数值大小直接影响汽轮机的工作效率，背压过高时，汽轮机的排汽压力增大，蒸汽在汽轮机内的膨胀做功能力减弱，导致发电功率下降，同时排汽温度升高，可能会对汽轮机的末级叶片和供热管网的材料产生不良影响，缩短设备的使用寿命；背压过低时，虽然汽轮机的发电效率可能有所提高，但排汽的压力和温度也会降低，使得蒸汽的供热能力下降，无法满足热用户对高温高压蒸汽的需求，影响供热质量。而且，背压的稳定性也至关重要，若背压频繁波动，会导致汽轮机的运行工况不稳定，进而影响发电机输出电能的质量和供热的稳定性。

（二）供热负荷

供热负荷是影响汽轮机背压供热系统性能的另一个重要因素，其变化会对系统的运行状态产生直接影响。供热负荷的大小决定了所需背压蒸汽的数量，当供热负荷突然增大时，系统需要快速增加背压蒸汽的供应量，若汽轮机无法及时调整输出，可能会导致蒸汽压力和温度下降，影响供热效果；而当供热负荷减小时，多余的蒸汽若不能得到有效利用，会造成能源的浪费。供热负荷的性质也会对系统产生影响，例如，工业用热负荷往往具有较强的间歇性和波动性，而城市供暖负荷则具有明显的季节性变化特征，这些不同的负荷特性对系统的调节能力和适应能力提出了不同的要求，系统若不能很好地适应这些变化，会导致运行效率降低。

（三）设备状态

系统中各类设备的运行状态对汽轮机背压供热性能有着根本性的影响。汽轮机作为核心设备，其内部零件的磨损、间隙的变化等都会导致其内部效率下降，使蒸汽的做功能力降低，同时也会影响背压蒸汽的参数稳定性；锅炉作为蒸汽产生设备，其燃烧效率的高低直接关系到蒸汽的生产成本和质量，若锅炉燃烧不充分，不仅会增加燃料消耗，还会导致蒸汽参数不稳定；供热管网的泄漏、堵塞等问题会严重影响蒸汽的输送效率，增加能量损失；各类阀门、泵等辅助设备的性能好坏也会影响系统的整体运行效率，如阀门的调节精度不够会导致蒸汽流量控制不准确，泵的效率低下会增加输送能耗。

三、汽轮机背压供热性能优化策略

（一）背压调节优化

背压调节优化的核心在于实现背压参数的精准控制和动态调整。可以采用先进的自动控制系统，结合实时采集的供热负荷、蒸汽参数、汽轮机运行状态等信息，通过智能算法计算出最优的背压值，并通过调节汽轮机的排汽阀门等执行机构，实现背压的自动调节。在调节过程中，需要综合考虑发电和供热的需求，确定合理的背压调节范围，在保证发电效率的同时，确保供热质量。此外，还可以根据不同的运行工况（如不同的季节、不同的时间段），预设不同的背压调节模式，提高系统对不同工况的适应能力，使系统在各种情况下都能保持较好的运行性能。

（二）供热负荷匹配优化

供热负荷匹配优化的关键在于实现供热量与用热量的动态平衡。首先要加强对供热负荷的预测工作，通过分析历史供热数据、气象数据、热用户的用热规律等信息，建立科学的负荷预测模型，提高负荷预测的准确性。根据预测结果，合理安排汽轮机的运行计划，提前调整蒸汽的产量和参数，使系统能够及时满足供热负荷的变化。同时，对供热区域进行合理划分，针对不同区域的负荷特点采取差异化的供热策略，避免出现部分区域供过于求而部分区域供应不足的情况。此外，还可以通过安装热计量装置，引导热用户合理用热，减少不必要的热损失，提高供热负荷的合理性。

（三）设备维护与改造

加强设备的维护与改造是提升汽轮机背压供热系统性能的基础保障。要建立完善的设备定期维护制度，定期对汽轮机、锅炉、供热管网、阀门等设备进行检查、清洁、润滑和维修，及时发现和更换损坏的零部件，确保设备始终处于良好的运行状态。对于运行年限较长、性能下降明显的设备，要进行有针对性的技术改造，如对汽轮机进行通流部分改造，提高其效率；对锅炉进行燃烧系统改造，增强燃烧的充分性；对供热管网进行保温改造和防腐处理，减少热量损失和管道损坏；将传统的控制阀门更换为高精度的自动控制阀门，提高系统的调节精度。通过这些措施，能够有效提升设备的性能，保证系统的高效稳定运行。

四、汽轮机背压供热节能技术

（一）余热回收技术

余热回收技术是汽轮机背压供热系统实现节能的重要手段，其核心是将系统中未被充分利用的余热进行回收和再利用。可以在汽轮机的排汽管道、锅炉的排烟管道等部位安装余热回收设备，如余热锅炉、省煤器、空气预热器等。余热锅炉可以利用汽轮机排汽的余热或锅炉排烟的余热产生低压蒸汽，这些蒸汽可用于补充供热或作为其他工艺的热源；省煤器能够利用锅炉排烟的余热预热锅炉给水，降低锅炉的燃料消耗；空气预热器则可以利用排烟余热预热进入锅炉的空气，提高燃烧效率。通过对这些余热资源的回收利用，能够显著提高系统的能源利用率，减少能源浪费。

（二）变频调速技术

变频调速技术在汽轮机背压供热系统的节能方面发挥着重要作用，主要应用于系统中的各类泵类和风机等转动设备。这些设备在传统运行方式下，往往以额定转速运行，当系统负荷发生变化时，只能通过调节阀门开度等方式来改变流量，造成了大量的能量浪费。采用变频调速技术后，可以根据系统的实际负荷需求，通过改变电机的供电频率来调节设备的转速，使设备的输出功率与负荷需求相匹配。例如，当供热负荷降低时，循环水泵和风机的转速可以相应降低，从而减少电能消耗。同时，变频调速技术还具有启动平稳、对电网冲击小、延长设备使用寿命等优点，能够进一步降低系统的运行成本。

（三）保温与密封技术

加强保温与密封技术的应用是减少汽轮机背压供热系统能量损失的有效途径。在保温方面，对于汽轮机本体、供热管网、阀门、容器等设备和管道，应选用导热系数低、保温性能好、耐温性能强的保温材料进行全面保温处理，如高密度的岩棉制品、硅酸铝纤维制品等。同时，要确保保温层的施工质量，避免出现保温层脱落、破损等情况，减少热量通过设备表面向外界的散失。在密封方面，要对汽轮机的轴封、管道的法兰连接部位、阀门的密封面等容易出现蒸汽泄漏的部位进行严格的密封处理，采用高性能的密封材料和先进的密封结构，如金属波纹管密封、机械密封等，防止蒸汽泄漏，提高系统的密封性，从而减少能量损失。

五、汽轮机背压供热技术的发展趋势

（一）智能化控制

智能化控制是汽轮机背压供热技术未来发展的重要方向，其核心是利用先进的信息技术和智能算法实现对系统的智能化管理和控制。通过在系统中安装大量的传感器和智能仪表，实时采集各类运行参数，如蒸汽的压力、温度、流量，汽轮机的转速、振动，供热管网的压力、温度等，并将这些数据传输到中央控制系统。中央控制系统利用大数据分析、人工智能等技术对这些数据进行处理和分析，实现对系统运行状态的实时监测、故障诊断和预测预警。同时，系统能够根据分析结果自动调整各项控制参数，实现系统的自主优化运行，提高系统的

运行效率和可靠性，减少人工干预。

（二）多能互补集成

多能互补集成是提高汽轮机背压供热系统能源供应稳定性和经济性的重要发展趋势，其理念是将汽轮机背压供热与其他能源形式有机结合起来，形成多元化的能源供应体系。可以将太阳能、地热能、生物质能等可再生能源与汽轮机背压供热系统相结合，例如，在夏季光照充足时，利用太阳能集热器产生的热水补充供热，减少对背压蒸汽的依赖；在冬季供热负荷较大时，利用生物质锅炉辅助供热，提高供热能力。通过这种多能互补的方式，能够充分利用各种能源的优势，降低对传统化石能源的依赖，提高系统的能源供应安全性和环保性。

（三）环保与节能协同

环保与节能协同发展是汽轮机背压供热技术可持续发展的必然要求，其核心是在实现节能降耗的同时，有效减少污染物的排放。在系统设计和运行过程中，要采用环保型的燃料和设备，如使用天然气、生物质燃料等清洁能源替代传统的煤炭，减少二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放；安装高效的脱硫、脱硝、除尘设备，对锅炉燃烧产生的烟气进行净化处理，使其达到环保排放标准。同时，通过优化系统的运行方式，如提高燃烧效率、减少能源浪费等，在实现节能的同时，也能降低污染物的排放量。通过环保与节能的协同发展，实现经济效益、社会效益和环境效益的统一。

结束语

汽轮机背压供热性能优化与节能技术的研究对于提高能源利用效率、推动能源结构调整、实现绿色低碳发展具有重要的意义。通过对汽轮机背压供热系统现状的分析，明确了影响系统性能的主要因素，进而提出的性能优化策略和节能技术，为系统的高效运行提供了可行的解决方案。随着智能化控制、多能互补集成、环保与节能协同等技术的不断发展和应用，汽轮机背压供热系统将朝着更加高效、稳定、环保、经济的方向发展。未来，还需要进一步加强相关技术的研发和创新，不断完善系统的设计和运行管理模式，推动汽轮机背压供热技术在更多领域得到应用，为实现全球能源可持续发展贡献力量。

[参考文献]

- [1]戈志华，张允俊，熊念，赵世飞. 高背压供热汽轮机低压部分性能优化[J]. 化工进展，2023，38（12）：5264-5270.
- [2]李昂. 高背压供热汽轮机低压缸流场性能优化[D]. 华北电力大学（北京），2022.
- [3]肖烈晖. 燃煤发电直接空冷系统性能强化及运行优化研究[D]. 华北电力大学（北京），2021.
- [4]张虎男. 350MW超临界机组高背压供热改造研究及性能分析[D]. 大连理工大学，2023.
- [5]李开创，庞建锋，赵明德. 200MW联合循环机组低真空循环水供热性能试验研究[J]. 发电与空调，2022，36（05）：11-14+6.