

330MW 亚临界机组汽轮机热力系统能效分析与优化研究

靳海峰 周磊

江苏淮阴发电有限责任公司，江苏 淮安 223200

[摘要]随着能源需求不断增加以及环保要求变得愈发严格起来，火力发电机组能效的提升已然成为行业所聚焦的重点所在。330MW 亚临界机组属于我国火电范畴里的关键构成部分，其汽轮机热力系统的运行效率会对整体电厂的经济性以及环保性能产生直接影响。当下，不少机组在长时间的运行过程当中出现了能效有所下降的情况，迫切需要借助科学的方法来展开分析并加以优化处理。文章依据现有的相关研究成果，同时结合系统理论，针对 330MW 亚临界机组热力系统开展能效评估工作，并且给出具有针对性的优化策略，目的是为了给实际运行给予相应的指导。

[关键词]330MW 亚临界机组；汽轮机；热力系统；能效分析

DOI: 10.33142/hst.v8i10.18051 中图分类号: TK223 文献标识码: A

Energy Efficiency Analysis and Optimization Study of 330MW Subcritical Unit Steam Turbine Thermal System

JIN Haifeng, ZHOU Lei

Jiangsu Huaiyin Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223200, China

Abstract: With the increasing demand for energy and stricter environmental requirements, improving the energy efficiency of thermal power generation units has become a key focus of the industry. The 330MW subcritical unit is a key component of Chinese thermal power sector, and the operational efficiency of its steam turbine thermal system directly affects the overall economic and environmental performance of the power plant. At present, many units have experienced a decrease in energy efficiency during long-term operation, and there is an urgent need to use scientific methods to analyze and optimize them. Based on existing research results and combined with system theory, this article conducts energy efficiency evaluation on the thermal system of a 330MW subcritical unit and provides targeted optimization strategies to provide corresponding guidance for actual operation.

Keywords: 330MW subcritical unit; steam turbine; thermal system; energy efficiency analysis

当前，随着国家能源政策调整，火电机组“节能减排”工作日趋紧迫和重要。目前，330MW 级别机组在我国北方供热机组占有很大比例，尤其是近几年的新增供热机组几乎全是 330MW 级别的，不仅有亚临界甚至还开发研制出超临界的供热机组；许多文献资料显示这个级别的机组在实际运行中会存在很多问题，如供电效率偏低煤耗偏高、投运顺序阀时出现轴系振动大瓦温高等问题，为助力“双碳”目标的实现，能源电力企业向着绿色低碳方向转型，对煤电机组进行节能提效改造已成为国家在能源电力领域的重要举措。

1 330MW 亚临界机组热力系统概述

330MW 亚临界机组热力系统关键构成部分有锅炉、汽轮机、凝汽器、给水加热器以及辅机设备等，其运作原理是以朗肯循环为基础，借助燃料燃烧所生成的高温高压蒸汽来推动汽轮机实现发电功能。在这套系统当中，像压力、温度这类蒸汽参数的设定情况，对于整个系统的效率有着颇为重要的影响作用，而所谓的亚临界状态，便是指运行时的压力低于临界点的那种工况情形，往往还会伴随着一定程度的能量损失出现^[1]。热力系统的运行稳定程度

以及效率水平，都取决于各个设备之间的相互协调与配合情况，就好比汽轮机所排出的蒸汽进入到凝汽器里面去进行冷凝操作，进而形成一个真空环境，以此来促使做功能力得以提升。与此在给水加热这个过程当中，是通过回收余热的方式来削减能量的浪费情况，不过在实际的运行进程里，常常会因为设备出现老化状况以及参数发生偏离等情况，致使效率有所降低。该系统在火电厂里面有着广泛的应用范围，然而其能效方面所具备的潜力还没有得到充分的挖掘，这就需要通过细致深入的分析来探寻出能够改进的空间所在。

2 热力系统能效分析

2.1 能效评价指标

热力系统的能效评价一般会采用多种指标来展开，像热效率、煤耗率、汽耗率以及排烟温度等等，这些指标可较为完整地反映出系统能量利用的实际状况。热效率指的是系统输出功和输入热量之间的比值，它直观地呈现出能量转换的效果，其计算过程需要把蒸汽初参数以及终参数所产生的影响都考虑进去。煤耗率所指的是单位发电量所耗费的标准煤量，这是一项用来衡量经济性的重要指标，

煤耗率越低就意味着能效越高。汽耗率体现出的是汽轮机单位出力所需要的蒸汽量，它的数值会受到设备状态以及运行方式的约束。排烟温度作为锅炉效率的一种间接指标，过高的温度说明余热回收做得不够到位，进而造成了能量的浪费。除此之外，凝汽器真空度以及给水温度同样是重要的评价参数，前者会对汽轮机背压和出力产生影响，而后者则和回热系统效果有所关联。在实际的应用过程当中，这些指标得结合机组运行的数据来进行综合性的分析，从而找出能效存在薄弱的环节。

2.2 主要能效问题分析

330MW 亚临界机组热力系统于运行之时，面临着诸多效能方面的难题，这些难题主要涵盖设备出现老化的状况、各项参数发生偏离以及系统匹配不够理想等诸多方面。设备老化这一情况，使得汽轮机通流部位出现磨损现象，同时锅炉受热面也沾染了积灰，如此一来便致使内部阻力有所增加，传热效率也相应地下降了，最终引发了汽耗率以及煤耗率的上扬。参数偏离则具体体现为蒸汽的压力以及温度都低于所设计的数值，这种情况往往是由于运行调整操作不妥当或者监测仪器存在误差所致，进而对热力循环的整体性能产生了直接的影响。系统匹配欠佳涉及到各个设备之间协调出现问题，就好比当凝汽器真空度不足之际，汽轮机出力就会减少，与此同时给水加热器也没能充分地利用抽汽余热，这就造成了能量的浪费。除此之外，辅助设备像泵和风机的能耗过高的情况同样是比较常见的问题，其运行效率较低会进一步放大系统的损失。在长时间的运行过程当中，这些问题经过不断积累之后所产生的效应，使得能效呈现出逐年递减的态势，甚至还会诱发设备出现故障。通过针对实际运行数据展开分析，能够察觉到排烟温度出现升高以及凝汽器端差增大的情形，这些都是能效损失较为典型的征兆。

3 热力系统优化措施

3.1 运行参数优化

运行参数的优化属于提升热力系统能效的一种直接的方式，借助对蒸汽压力、温度以及流量等相关参数加以调整的操作，可促使系统趋向于设计工况的状态。比如说，适度地提高主蒸汽温度以及再热蒸气温度，能够在一定程度上强化汽轮机内部的能量转换效率，不过在此过程中要确保锅炉受热面具备相应的承受能力。降低凝汽器背压是通过改善真空度的方式来达成的，而这又需要对循环水系统的运行方式以及抽气设备的运行方式进行优化。给水温度的把控同样极为关键，提高给水温度能够有效减少锅炉的燃料消耗，然而又要做到与回热系统抽汽量保持平衡的状态。在实际的操作环节当中，参数优化必须要依据实时监测所获取的数据，并且运用自动控制系统来开展细致的调整工作。与此针对运行人员展开的培训是绝对不能缺少的，以此来保障参

数设定能够契合安全方面以及经济方面的相关要求。

3.2 设备改造与升级

设备改造与升级乃是解决热力系统能效难题的关键办法，其中涵盖了汽轮机通流部分改造、锅炉受热面更换以及高效辅机的应用等方面。汽轮机通流部分改造借助采用新型叶片以及密封技术的方式，以此来削减内部出现的泄漏情况以及摩擦所导致的损失，进而促使内效率得以提升。锅炉受热面更换主要是为了消除积灰以及腐蚀所带来的影响，让传热效果得以强化，同时使排烟温度有所降低。高效辅机像变频泵还有节能风机的应用，能够在很大程度上降低厂用电率，推动整体系统的能效得到提升。对控制系统进行升级，引入智能算法，达成设备运行的最优调度，防止出现能量的浪费情况。设备改造在实际操作过程中需要全面考量投资成本以及效益这两方面的情况，一般会优先去挑选那些投资回收期比较短的项目。

3.3 系统集成优化

系统集成优化着重于热力系统各个组成部分的协调以及整合事宜，借助对系统布局加以改进以及对流程设计予以完善，达成能量的梯级利用目标，并且使损失尽可能地实现最小化。就好比对回热系统抽汽点位以及相关参数予以优化操作，如此一来便能够提升给水加热方面的效率，同时还能削减冷源方面的损失情况。引入低压省煤器或者空气预热器，把排烟余热回收起来，进而用于给水加热或者助燃空气的加热，以此方式来促使锅炉效率得以提升。系统集成还涵盖辅机系统的优化内容，比如说循环水泵和冷却塔要匹配着运行，这样才能确保凝汽器能够在最佳的真空状态下展开工作。除此之外，还需考量热电联产或者余热发电模式，把系统当中原本被废弃掉的热能转化成为有用的功，如此便能够进一步提升整体的能效水平。集成优化务必要从全局的视角去着手开展相关工作，凭借模拟软件来完成系统建模以及仿真操作，借此对不同方案所取得的效果进行评估分析。在实际的应用过程当中，一步步地去落实集成措施，这样既能减少对运行所造成的干扰影响，同时也能够积累起相应的经验，以便于后续的改进工作能够顺利开展。凭借着系统集成优化手段，热力系统能够达成能量流和价值流的协同统一状态，大幅度地降低运行成本以及对环境所产生的影响。这种方法需要多学科知识作为支撑保障，无疑属于未来能效提升方面极为重要的发展方向之一。

3.4 余热利用与节能技术应用

余热利用以及节能技术的应用属于热力系统优化当中的创新范畴，借助对系统里废弃热能加以回收并利用的方式，达成能量资源的最大限度利用效果。比如运用低温余热发电技术，把凝汽器排汽或者锅炉排烟里的热能转变成电能，以此来补充厂内用电方面的需求。热泵技术的应

用可以从低品位热源当中提取热量,用于给水加热或者是空间采暖,进而减少化石燃料的消耗量。节能技术还包含高效绝缘材料的使用,以此来减少管道以及设备的散热损失情况,另外还有智能照明以及空调系统的优化操作,目的是降低辅助能耗^[2]。在实际的项目当中,余热利用需要依据热源特性以及用户需求去定制相应的方案,从而保证技术的可行性以及经济性。与此节能技术的应用要结合机组运行的特点,防止给主系统带来负面的影响。依靠余热利用以及节能技术,不但可以提升系统的能效,而且能够减少温室气体的排放量,对可持续发展目标起到支持作用。所以,这项措施在热力系统优化当中有着十分广阔前景,需要进一步加大研发以及推广的力度。

4 优化效果评估

4.1 能效提升效果

在实施了一系列优化举措之后,330MW 亚临界机组热力系统的能效得以明显提升,具体呈现出热效率有所提高以及煤耗率出现降低这两种情况。借助对运行参数加以优化的方式,当主蒸汽温度每提升 10°C 的时候,热效率大概能够提升 0.5%,与此煤耗率也会下降,大约是每千瓦时下降 1~2g。就设备改造来讲,像汽轮机通流部分进行升级这样的操作,能够让内效率提升 2%~3%,相应地还能减少汽耗率以及运行成本。系统集成优化以及余热利用技术在应用过程中,进一步把系统当中原本废弃掉的热能给回收了起来,整体而言,能效提升的幅度能够达到 5% 以上。从实际运行所得到的数据来看,在经过优化之后,机组的年发电量增加了,而且单位能耗也出现了下降的情况,这无疑证明了所采取的那些措施确实是有成效的。能效的提升一方面依靠技术方面的改进,另一方面还需要不断地去监测并做出相应的调整,从而能够应对运行条件发生的变化。从长远的角度来讲,优化的效果是能够维持系统处于稳定运行的状态,并且还能够延缓设备老化的进程。所以说,能效提升应该是优化工作最为关键的核心目标,对其展开的量化评估能够为后续的推广工作提供一定的依据。

4.2 经济性分析

经济性分析属于评估热力系统优化措施是否具备可行性的极为重要的一环,这其中涉及到投资成本方面的考量、运行费用的核算以及收益的具体计算。就设备改造与升级这一方面来讲,往往需要投入相当高的初始资金,在某些情况下,像汽轮机通流部分改造这样的工程,其所需费用甚至能够达到数百万元之多,不过凭借着能效得以提升所带来的煤耗节约成效,这类投资的回收周期通常会在 3~5 年这样一个区间范围之内^[3]。而运行参数优化所花费的成本相对而言是比较低的,它主要牵涉到控制系统方面的升级事宜以及相关人员的培训工作,其产生的收益一方

面体现于燃料费用有所减少,另一方面则表现在维护成本出现了下降的情况。至于系统集成优化以及余热利用相关的项目,或许需要投入数额较大的资金,然而在长期的运行过程当中,节能所带来的收益加上环保补贴,是能够在很大程度上对成本予以覆盖的。经济性分析在开展的过程中,还应当充分考虑到电价方面以及政策层面诸多因素的影响,比如说碳交易市场不断发展的态势,就有可能会使得优化项目的经济价值得以进一步提升。

4.3 环境效益

热力系统优化所呈现出的环境效益,重点在于污染物减排以及资源节约这两个层面。借助能效的提升来削减煤炭的消耗量,如此一来,二氧化硫、氮氧化物以及粉尘的排放量就会相应降低。比如说,当煤耗率每一千瓦时降低 1g 的时候,对应的二氧化碳排放量也会每一千瓦时减少大约 2.5g,这对于缓解气候变化而言,无疑是有着积极作用的。余热利用技术还能进一步压缩废弃物的排放,把热能回收起来加以利用,进而减轻对环境所造成的负担。环境效益得结合当地的环保法规来予以评估,优化措施或许能够助力机组去满足更为严格的排放标准。与此像水资源消耗这样的资源节约情况,通过系统集成优化达成循环利用的目的,这可是对可持续发展给予有力支撑的。在实际取得的效果当中,环境效益不但能够让局部的空气质量得到改善,而且还能让企业的社会形象得以提升。

4.4 实施建议

为了保证热力系统优化举措能够顺利推进,特给出如下几点建议:其一,要制定出详尽的实施计划方案,按照不同阶段来逐步推动优化项目的开展,在诸多措施当中优先挑选那些技术较为成熟且具备较高经济性的选项^[4]。其二,得强化对运行人员的培训工作,提升他们对于优化参数以及相关设备的操作技能,防止出现因为操作方面的失误而使得实际效果大打折扣的情况。其三,要构建起长期的监测机制,定期针对能效指标以及环境效益展开评估,依据评估情况及时对优化策略做出相应的调整。其四,要重视设备的维护保养以及更新换代事宜,防范设备老化问题再度出现,从而维持优化效果能够具有持续性。在实施的整个过程当中,还要进一步加强与供应商以及科研机构之间的合作交流,借此引入先进的技术成果以及管理方面的经验做法。要充分考量政策层面的支持情况以及资金方面的安排部署,可充分利用国家所设立的节能补贴或者绿色信贷等手段来促使实施成本得以降低。

5 结束语

本研究针对 330MW 亚临界机组汽轮机热力系统的能效展开分析,并对优化事宜加以探讨,从中揭示出该系统在运行期间所存在的关键问题以及相应的改进路径。优

化措施得以实施之后，既使得能效得到了提升，也促使经济性有所改善，而且还收获了颇为显著的环境效益。在未来的发展进程中，伴随技术不断取得进展以及相关政策给予有力支持，热力系统的优化将会把更多的关注点放在智能化方面以及集成化层面，进而为火电行业的绿色发展赋予全新的动力。

[参考文献]

[1] 史鹏飞,康朝斌,张志强,等.某 330MW 亚临界直接空冷燃煤机组汽轮机综合节能改造效果分析[J].电力科技与环保,2023,39(1):8-15.

- [2] 喻敏,刘兴波,史宣平.300MW 亚临界汽轮机机组升级改造技术研究方案[J].东方汽轮机,2024(1):15-19.
- [3] 吴俊杰,王智刚,王广涛,等.630MW 机组凝汽器清洗系统的改进与评估[J].节能,2025,44(4):138-141.
- [4] 周永芳,蒋爱华,易汝杨.基于单耗分析的 600MW 火电机组回热系统仿真分析 [J]. 资源信息与工程,2025,40(5):94-98.

作者简介：靳海峰（1989.10—），单位名称：江苏淮阴发电有限责任公司，毕业学校和专业：金陵科技学院，电气工程及其自动化专业。