

火电厂汽轮机运行节能降耗策略研究

何磊 欧阳杰 李泽培

东方电气集团东方汽轮机有限公司 四川省德阳市 618000

摘要: 本文聚焦火电厂汽轮机运行节能降耗问题,对造成汽轮机能耗过高的关键要素展开了细致分析,涵盖汽缸工作效率、通流部分性能、主蒸汽的参数指标、出力系数等方面。结合国能某电厂等实际案例,从技术改造、运行优化、管理提升等方面提出了针对性的节能降耗策略,如汽轴封改造、高效供热柔性回热技术应用、真空系统优化、加强燃烧调整等。研究表明,通过实施这些策略,可有效降低汽轮机能耗,提高火电厂的经济效益和环境效益,对推动火电厂可持续发展具有重要意义。

关键词: 火电厂; 汽轮机; 节能降耗; 技术改造; 运行优化

1. 引言

在全球能源问题愈发严峻、环境保护标准持续提升的背景下,火电厂作为能源消耗与污染物排放的重点单位,正承受着沉重的节能降耗压力。而汽轮机作为火电厂的关键设备之一,其能耗占火电厂总能耗的较大比例。因此,研究火电厂汽轮机运行节能降耗策略具有重要的现实意义,不仅有助于降低火电厂的生产成本,提高经济效益,还能减少能源消耗和污染物排放,实现可持续发展。

2. 影响火电厂汽轮机能耗的主要因素

2.1 汽缸效率

汽缸效率是衡量汽轮机将热能转化为机械能效率的重要指标,其数值高低直接反映机组能量转换的核心能力^[1]。目前,我国部分火电厂汽轮机的汽缸效率普遍低于设计值,与发达国家同类设备相比存在 5%~8% 的差距。这一差距的形成,既源于设备安装阶段的精度偏差,如汽缸结合面密封不良、螺栓预紧力不均等导致的蒸汽内漏,也与维护过程中的技术短板相关,例如未能及时更换老化的汽封片、对通流间隙的调整精度不足等。此外,部分国产机组在材料耐高温性能、加工工艺精度上的局限,也会使汽缸在长期高温高压运行中出现变形,进一步加剧效率衰减。汽缸效率每降低 1%,汽轮机的整体能耗将上升约 1.2%,导致机组偏离最佳工况,形成“高耗低效”的运行循环。

2.2 通流性能

汽轮机的通流性能是决定气体做功效率的关键,其核心在于通流部分(如喷嘴、动叶、隔板等)对蒸汽流动的引

导与能量转换效果。当通流面积因设计优化或工况调整而合理增加时,气流量的提升能使蒸汽在缸内充分膨胀做功,推动缸效率提升 3%~5%,显著降低单位功率的能耗。但在实际运行中,通流部分易受多重因素影响:蒸汽中的杂质会在叶片表面形成结垢,使流道截面积缩小约 10%~15%;长期冲蚀导致的叶片型面磨损,会破坏气流的平顺性;此外,隔板与转子之间的径向间隙因磨损增大,还会引发级间漏汽。这些问题共同导致通流性能下降,使蒸汽能量损失增加,迫使机组消耗更多燃料以维持输出功率。

2.3 主蒸汽参数

主蒸汽压力和温度作为汽轮机的“能量输入基准”,其稳定性直接决定运行效率。在理想状态下,主蒸汽参数需与机组设计值匹配(如超临界机组主蒸汽压力约 25MPa、温度 566℃),此时蒸汽的焓值最高,能量利用率最优。当燃料供应波动(如燃煤热值下降、给粉机故障)导致主蒸汽压力降低 0.5MPa,或温度下降 10℃时,蒸汽的做功能力将衰减 2%~3%,热量损耗显著增加。尤其在低负荷运行时,若主蒸汽参数未能同步调整至对应工况的最优值(如压力维持过高),会导致调节阀节流损失增大,使汽轮机热耗率上升 5%~8%,进一步加剧能耗。不同主蒸汽参数下汽轮机热耗率变化情况如下:

表 1 (某机组) 不同主蒸汽参数下汽轮机热耗率变化

主蒸汽压力 (MPa)	主蒸汽温度 (℃)	热耗率 (kJ/kW·h)
16.0	530	8300
15.5	520	8450
15.0	510	8600

2.4 出力系数

我国电力系统的负荷特性呈现“峰谷差大、波动频繁”的特点，日最大负荷与最小负荷的差值可达 30%–50%。为响应这种波动，汽轮机需频繁在高、中、低负荷之间切换，而每次负荷调整都会伴随蒸汽参数的剧烈变化，导致缸体温度场分布不均，额外增加 2%–4% 的能耗^[2]。此外，机组启动时若暖机时间过长（如超过设计值 1–2 小时），会使大量蒸汽用于加热金属部件而非做功；停机过程中若操作不当（如真空破坏过早），则会浪费残余蒸汽的能量。这些非稳定运行状态下的能耗损失，约占机组总能耗的 3%–5%。

2.5 真空系统

凝汽器真空度是保障汽轮机经济性的“隐形基石”，其数值每下降 1kPa，汽轮机的排汽压力就会相应升高，导致循环热效率下降约 1%，能耗增加 0.8%–1%。真空系统的稳定性易受多因素干扰：真空泵叶轮磨损会导致抽气能力下降，使真空度降低 2–3kPa；凝汽器铜管泄漏会使循环水混入凝结水，破坏真空环境；循环水温度升高（如夏季冷却塔效率不足）或流量不足，会削弱蒸汽的冷凝效果，导致真空度波动。例如，某 300MW 机组曾因凝汽器结垢使真空度下降 4kPa，最终导致机组煤耗上升 8g/kWh，年增能耗约 1.2 万吨标准煤。

3. 火电厂汽轮机运行节能降耗策略

3.1 技术改造策略

3.1.1 汽轴封改造

以国能某厂为例，该厂在 3 号机组节能改造中，对汽轮机本体原有汽轴封部件进行升级优化。通过调研国内相关改造经验，经邀请专家深入分析研讨后，决定采用东汽厂的 DAS 汽封、大连华鸿的侧齿汽封以及哈尔滨布萊登汽封的混合改造方案。改造后，有效减少了级间损失，提高了汽轮机缸效，降低了热耗。据相关数据显示，改造后汽轮机热耗率明显降低，节能效果显著。

3.1.2 应用高效供热柔性回热技术

该厂 3 号机组首次使用了百万机组高效供热柔性回热技术，该技术首创主蒸汽抽汽与汽电双驱协同调控机制，集成烟气再循环智能切换与辅机单双列协同运行模式，重构了热能分配路径。在超低负荷工况下，能使主再汽温各超过 50 摄氏度，有效解决了低负荷欠温这一行业难题。仅此一项技术就可节煤 6.0 克/千瓦时以上、降低厂用电率约 2 个百分点，

显著提升了机组的经济性。

3.1.3 叶片改进

对汽轮机各级的动静叶片实施改进，采用新型高效的变截面扭曲式叶片，能够减少二次流造成的损失，提升热效率。以低压次末级为例，将拉筋型动叶替换为整圈自锁阻尼型长叶片，可更有效地确保末级叶片的运行安全性。提高汽轮机的整体性能。

3.2 运行优化策略

3.2.1 维持凝汽器最佳真空

定期开展真空严密性测试，每月测试次数不少于一次，该试验有助于汽轮机停机处于冷态时，对凝汽器实施灌水查漏操作。要确保机组轴封的供汽与回汽系统运行状态良好，在运行过程中需时常检查负压系统，一旦发现泄漏问题应及时处置。夏季时，依据负荷状况启动第二台循环水泵，同时检查凝汽器循环水的入口压力差，若发现入口过滤器出现堵塞，需及时联系检修人员进行清理^[3]。借助这些举措，能够有效提升凝汽器的真空程度，强化汽轮机组的做功效能，减少燃料的消耗量。

3.2.2 控制给水温度

要保证高压加热器的投入率，把高加进汽电动门改造为三态控制电动门，以此实现高加的滑启与滑停，避免高加出现泄漏情况。维持高加水位的稳定状态，开机前检查高加入口三通阀的开关是否正常，控制高加的滑启、滑停以及给水温升率，使其符合规程要求，发电机并网后及时投入高加，解列前则停止高加运行。检查高加旁路有无泄漏，抽汽逆止门或加热器进汽门的开度是否正常，确保抽汽管的压降处于正常范围。维持正常的给水温度可减少热量损失，提高机组热效率。

3.2.3 加强燃烧调整

锅炉运行期间，需科学调配风量与燃料量的比例，维持适宜的过剩空气系数。当负荷上升时，应先适度增大风量，再增加燃料量，确保风量调节优先于燃料量；而在负荷降低时，需先减少燃料量，随后再降低风量，使风量调节滞后于燃料量。通过这样的操作，能够保证燃料充分燃烧，减少因燃料不完全燃烧造成的热损失。处于低负荷状态时，要强化对风量、氧量的控制，避免因风量过大增加烟气流，导致损失增加。

3.2.4 优化运行方式

运用定—滑—定的运行模式,在高负荷区间,对通流面积加以改变;处于低负荷时,采用低水平的定压调节方式;而在中间负荷区域,则依据实际状况进行负荷的增减,让汽门的启闭处于滑压运行状态。这种运行方式能适应负荷的变化,减少节流损失,提高汽轮机的运行效率。

3.3 管理提升策略

3.3.1 加强设备维护管理

建立完善的设备维护管理制度,定期对汽轮机及其辅助设备进行检查和保养。加强对设备的巡检,及时发现和处理设备故障隐患^[4]。例如,定期检查凝汽器的铜管,清理水垢和杂质,保证凝汽器的换热效率;检查加热器的钢管是否有漏点,密封性是否良好,确保加热器的正常运行。

3.3.2 提高运行人员素质

加强对运行人员的培训,提高其专业技能和节能意识。运行人员要熟悉汽轮机的运行特性和节能降耗措施,能够根据机组负荷和运行工况及时调整运行参数,确保机组在最佳工况下运行。同时,要加强对运行人员的考核,建立激励机制,鼓励运行人员积极参与节能降耗工作。

3.3.3 实施节能目标管理

制定明确的节能目标和考核指标,将节能任务分解到各个部门和岗位。定期对节能目标的完成情况进行考核和评价,对完成节能目标的部门和个人进行奖励,对未完成节能目标的进行惩罚。通过实施节能目标管理,可提高全体员工的节能积极性,形成全员参与节能降耗的良好氛围。

4. 案例分析

4.1 国能某厂3号机组节能改造案例

国能某厂3号机组在节能改造中采用了多项创新技术,取得了显著的节能效果。该机组首次将全国产核电 iDCS 控制系统应用于火电机组,实现了芯片、软件、知识产权的100%国产化,搭建起主动防御、边界防护、集中监管的全方位安全架构,为机组的智能化运行提供了强大支撑。同时,应用了百万机组高效供热柔性回热技术、“多路分

仓+储能粉仓”技术、耦合热泵回收闭冷水废热技术等28项创新技术,使机组在能效提升、燃料供给灵活性、节能降耗等方面取得了重大突破。改造后,该机组年发电量可满足一定区域的用电需求,每年大约能节省1.5万吨标准煤,减少约4万吨二氧化碳排放,在经济与环境两方面都取得了明显成效。

4.2 某电厂汽轮机汽轴封改造案例

某电厂在对汽轮机汽轴封实施改造之前,其汽轴封存在间隙过大的问题,这一情况引发了级间损耗,进而使得汽轮机汽缸效率偏低、热消耗偏高。改造过程中,该电厂借鉴了上述电厂的经验,选用合适的汽封进行改造。改造后,汽轮机的热耗率明显降低,缸效得到提高。经测算,改造后每年可节约标准煤数百吨,降低了生产成本,提高了企业的经济效益。

5. 结论

火电厂汽轮机运行节能降耗是一个系统工程,需要从技术改造、运行优化和管理提升等多个方面入手。通过实施汽轴封改造、应用高效供热柔性回热技术、叶片改进等技术改造措施,维持凝汽器最佳真空、控制给水温度、加强燃烧调整等运行优化措施,以及加强设备维护管理、提高运行人员素质、实施节能目标管理等管理提升措施,可有效降低汽轮机的能耗,提高火电厂的经济效益和环境效益。相关案例表明,采用先进的节能技术和科学的管理方法,能够实现火电厂汽轮机的节能降耗目标,推动火电厂的可持续发展。

参考文献:

- [1] 王成辉. 火电厂汽轮机运行与检修的节能降耗策略分析[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2024,(12):85-87.
- [2] 吕永红. 火电厂汽轮机运行节能降耗策略研究[J]. 电力设备管理, 2025,(05):267-269.
- [3] 王洪沾. 火电厂汽轮机运行节能降耗措施的优化[J]. 中国高科技, 2019,(11):98-100.
- [4] 严鸿. 对火电厂汽轮机运行节能降耗措施的几点探讨[J]. 科技与创新, 2015,(11):155+159.