

火电厂汽轮机运行与检修的节能降耗策略分析

黄彪 张东连 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：在能源需求持续增长与节能减排要求日益严格的背景下，火电厂作为能源消耗大户，其汽轮机运行与检修的节能降耗工作至关重要。本文深入分析了影响汽轮机能耗的主要因素，包括汽轮机本体性能、运行参数控制、辅机效率及设备老化等，并从优化运行工况、加强设备维护、严格参数控制、提高辅机效率及开展节能改造等方面提出了针对性的节能降耗策略。通过实际案例验证，这些策略可有效降低汽轮机能耗，提升火电厂经济效益与社会效益，为火电厂的可持续发展提供有力支持。

关键词：火电厂；汽轮机；节能降耗；运行优化；设备检修

1. 引言

随着社会经济的快速发展，能源需求量不断增加，而能源短缺与环境污染问题也日益突出。火电厂作为我国主要的电力供应方式，其能源消耗量巨大，节能降耗已成为火电厂面临的重要课题。汽轮机作为火电厂的核心设备，其运行效率直接影响电厂的经济效益与环境效益。因此，深入研究火电厂汽轮机运行与检修的节能降耗策略，对于提高能源利用效率、降低生产成本、减少污染物排放具有重要意义。

2. 影响火电厂汽轮机能耗的主要因素

2.1 汽轮机本体性能

汽轮机的缸效率和机组通流性能是影响其能耗的关键因素。缸效率是指汽轮机将其他形式的能转化为电能的效率，我国汽轮机标定值往往高于实际运行效率，缸效率降低会导致汽轮机整体功耗增加^[1]。机组通流性能与汽轮机效率成正比，流动面积和蒸汽流量的增大有助于提高节能效果。此外，汽轮机的汽缸、叶片、轴承等关键部件的性能也会影响能耗。汽缸性能不佳会导致蒸汽泄漏，增加能耗；叶片表面光洁度和型面精度不足会影响气动效率，增加流动损失；轴承磨损会导致振动加剧，降低机械效率，增加功耗。

2.2 运行参数控制

汽轮机的运行参数，如主蒸汽和再热蒸汽的温度、压力，以及给水温度等，直接影响其效率。主蒸汽温度过低会增加叶片出口湿度，降低效率；过高则会增大叶片热应力，易损坏设备。主蒸汽压力过低会减少进汽量，降低出力；过高则会增加调节阀压差，增加节流损失。再热蒸汽温度和压力的

控制不当也会产生类似的影响。给水温度过低会增加排汽湿度，增加排汽损失；过高则会降低凝汽器真空度，增加排汽损失。

2.3 辅机效率

汽轮机的辅机，如凝汽器、给水泵、真空泵等，其效率也会影响汽轮机的功耗。具体情况如下表：

表 1：辅机性能及功耗影响

辅机	性能问题	对功耗的影响
凝汽器	真空度不足、冷却水问题、管束泄漏、水室结垢	传热效率下降，增加功耗
给水泵	效率低、出口压力不稳定、给水温度波动	增加电耗和热耗率
真空泵	效率低、漏汽	真空度下降，背压升高，功耗增加

2.4 设备老化

随着汽轮机的长期运行，内部零部件会出现磨损、变形、腐蚀等老化现象，导致效率降低，功耗增加。例如，叶片容易变形、开裂，影响气动效率；汽缸内部的密封件如隔板、迷宫片等，其密封性能会随运行时间增加而磨损、变形，导致漏汽增加，功耗上升；轴承磨损、间隙增大会导致振动加剧，机械效率降低，功耗增加；转子可能变形、不平衡，导致振动增加，效率降低，功耗上升。长期运行后的汽轮机叶片可能出现变形、开裂等情况，这会改变叶片的气动外形，使蒸汽流经叶片时的气流紊乱，影响气动效率，降低汽轮机做功能力，为维持输出功率，必然增加能耗。汽缸内部的隔板、迷宫片等密封件因长期受蒸汽冲刷、摩擦，易磨损、变形，密封性能下降，导致蒸汽泄漏，蒸汽能量无法充分用于推动汽轮机转子，功耗上升。轴承磨损使间隙增大，转子运行时

的振动加剧,机械效率降低,功耗增加。转子若出现变形、不平衡,运行过程中的振动也会明显增加,导致汽轮机整体效率降低,能耗上升。

3. 火电厂汽轮机运行与检修的节能降耗策略

3.1 优化运行工况

根据电网负荷需求,合理安排汽轮机负荷,尽量使汽轮机在最佳工况点附近运行。负荷调度时,要充分考虑机组特性,避免低负荷运行和频繁启停^[2]。低负荷运行时,蒸汽流量减少,叶片利用率下降,压力分布不均,效率下降;负荷过高时,蒸汽流量增加,末级叶片易喘振、磨损,效率下降。汽轮机采用定—滑—定的运行方式,即在极低负荷时为了保证锅炉的水循环工况和燃烧的稳定性、给水泵轴临界转速的限制,采用低水平的定压调节;在高负荷区域采用喷嘴调节,用改变通流面积的方法(定压)以保持机组的高效率;在中间负荷区采用一个(或两个)调节汽门关闭处于滑压运行状态,此时通过锅炉调整压力来加减负荷。此种方式适应负荷变化能力强,能满足机组一次调频的需要,且只有一个调节汽门未全开,减少了节流损失。加强汽轮机运行过程中的工况监测,包括汽轮机振动、轴位移、轴承温度等,及时发现和解决负荷不合理、背压过高、真空度不足等问题,保证汽轮机在最佳工况下运行。

3.2 加强设备维护

制定完善的汽轮机设备维护保养计划,定期对汽轮机进行检修,及时发现和处理汽轮机零部件的老化问题。例如,定期更换汽轮机的叶片、密封件等易损件,保证设备的正常运行。某电厂通过定期更换不锈钢叶片,汽轮机的发电煤耗下降了 3.2g/kWh;对汽轮机高压缸和中压缸的内部密封件进行更换,汽轮机的漏汽率从原来的 1.2% 下降到 0.8%,发电煤耗进一步下降了 1.5g/kWh。利用先进的检测技术,如金属磁记忆检测、涡流检测等,对汽轮机关键部位进行无损检测,及早发现潜在缺陷,避免汽轮机非计划停运。例如,某电厂利用金属磁记忆检测技术,在汽轮机定期检修前,对汽轮机转子进行了检测,发现转子表面存在微小裂纹,及时进行了修复,避免了汽轮机非计划停运,减少了检修费用。

3.3 严格参数控制

加强汽轮机运行参数的监测和控制,确保主蒸汽温度、压力,再热蒸汽温度、压力,给水温度等参数在设计值范围内。同时,优化汽轮机调节系统,提高调节精度,保证汽轮

机运行参数的稳定性。例如,某电厂通过优化汽轮机调速系统,提高了调速系统的响应速度和调节精度,使主蒸汽压力和再热蒸汽压力的波动幅度控制在 0.2MPa 以内,给水温度的波动幅度控制在 2℃ 以内,汽轮机的发电煤耗下降了 1g/kWh。加强锅炉水质管理,控制给水水质,确保主蒸汽和再热蒸汽的品质符合要求。蒸汽品质下降会导致汽轮机叶片和汽缸的水侵蚀加剧,影响汽轮机的运行效率。例如,某电厂通过加强锅炉水质管理,使主蒸汽和再热蒸汽的含盐量降低了 50%,汽轮机的叶片水侵蚀问题得到了有效解决,发电煤耗下降了 0.5g/kWh。

3.4 提高辅机效率

选用高效节能型汽轮机辅机,如采用不锈钢管束的高效凝汽器,高效真空泵等,提高辅机效率^[3]。例如,某电厂将原有的铜合金凝汽器管束更换为不锈钢管束后,凝汽器换热效率提高了 8%,汽轮机背压下降了 0.5kPa,发电煤耗下降了 1.2g/kWh;将原有的水环式真空泵更换为高效的液环式真空泵,真空泵效率提高了 10%,汽轮机背压进一步下降了 0.3kPa,发电煤耗下降了 0.8g/kWh。加强汽轮机辅机的日常维护,定期清洗凝汽器管束,保证真空泵、给水泵等设备的运行效率。例如,某电厂采用高压水射流技术对凝汽器管束进行在线清洗,清洗后凝汽器端差温度下降了 5℃,真空度提高了 0.5kPa,发电煤耗下降了 1.5g/kWh。

3.5 开展节能改造

凝汽器是汽轮机冷端系统的重要设备,其性能直接影响汽轮机的运行效率。对凝汽器进行节能改造,可从凝汽器真空、凝结水过冷、凝汽器端差等方面入手。例如,在凝汽器喉部增设雾化式喷头,通过接触式传热,吸收部分蒸汽凝结热,减轻表面式凝汽器的热负荷,提高真空;定期对凝汽器管束进行清洗,降低管壁污染热阻,提高换热效率。对汽轮机的通流部分进行改造,优化叶片型线,提高通流效率。例如,选用高效平衡动叶并改良动叶围带结构,增多叶顶汽封齿数量,降低漏汽损失;静叶选用子午端壁型线,降低二次损失。某电厂对汽轮机的通流部分进行改造后,汽轮机的缸效率提高了 2%,发电煤耗下降了 2.5g/kWh。

4. 实际案例分析

某火电厂拥有两台 300MW 汽轮机组,在运行过程中存在能耗较高的问题。为了降低能耗,提高经济效益,该电厂采取了一系列节能降耗措施。

4.1 优化运行工况

该电厂根据电网负荷需求,合理安排汽轮机负荷,避免低负荷运行和频繁启停。同时,采用定一滑一定的运行方式,加强工况监测,及时发现和处理负荷不合理、背压过高、真空度不足等问题。通过这些措施,汽轮机的平均负荷率提高了 6%,热耗率下降了 1.8g/kWh。

4.2 加强设备维护

该电厂制定了完善的汽轮机设备维护保养计划,定期对汽轮机进行检修,更换易损件。利用金属磁记忆检测技术对汽轮机关键部位进行无损检测,及早发现潜在缺陷。通过这些措施,汽轮机的故障发生率降低了 30%,发电煤耗下降了 1.2g/kWh。

4.3 严格参数控制

该电厂加强了汽轮机运行参数的监测和控制,确保主蒸汽温度、压力,再热蒸汽温度、压力,给水温度等参数在设计值范围内。同时,加强锅炉水质管理,控制给水水质,确保蒸汽品质符合要求。通过这些措施,汽轮机的运行参数稳定性得到了提高,发电煤耗下降了 0.8g/kWh。

4.4 提高辅机效率

该电厂选用了高效节能型汽轮机辅机,如不锈钢管束的高效凝汽器,高效真空泵等。加强辅机的日常维护,定期清洗凝汽器管束^[4]。通过这些措施,凝汽器的换热效率提高了 7%,汽轮机背压下降了 0.4kPa,发电煤耗下降了 1.0g/kWh。

4.5 开展节能改造

该电厂对汽轮机的凝汽器和通流部分进行了改造。在凝汽器喉部增设雾化式喷头,提高真空;对汽轮机的通流部分进行优化,提高通流效率。通过这些改造措施,汽轮机的缸效率提高了 1.5%,发电煤耗下降了 2.0g/kWh。通过采取以上节能降耗措施,该火电厂的两台 300MW 汽轮机组的发电煤耗平均下降了 6.8g/kWh,年节约标准煤约 2.5 万吨,取

得了显著的经济效益和环境效益。

5. 结论

火电厂汽轮机运行与检修的节能降耗是一项系统工程,需要从优化运行工况、加强设备维护、严格参数控制、提高辅机效率及开展节能改造等多方面入手。通过合理安排负荷、采用定滑定运行方式、加强工况监测等措施优化运行工况;通过制定完善的维护保养计划、利用先进检测技术等加强设备维护;通过监测和控制运行参数、控制蒸汽品质等严格参数控制;通过选用高效节能型辅机、加强辅机日常维护等提高辅机效率;通过凝汽器改造、汽轮机通流部分改造等开展节能改造。实际案例表明,这些节能降耗策略可有效降低汽轮机能耗,提升火电厂经济效益与社会效益,为火电厂的可持续发展提供有力支持。未来,随着技术的不断进步和管理的不断完善,火电厂汽轮机的节能降耗工作将取得更加显著的成效。

参考文献:

- [1] 徐岸楠. 火电厂汽轮机运行中的问题及解决措施研究 [J]. 中国设备工程, 2025, (10): 80–82.
- [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] 肖乃康. 火电厂的能源利用与节能技术改造措施 [J]. 工程建设与设计, 2025, (02): 34–36.
- [4] 韩家欣. 火电厂汽轮机真空系统凝气设备运行优化分析 [J]. 机械管理开发, 2023, 38(11): 160–162.

作者简介: 黄彪, 1985.9, 男, 汉, 宁夏, 本科, 东方汽轮机服务事业部, 高级工程师, 通流提效优化

张东连, 1979.5, 男, 汉, 河南, 本科, 东方汽轮机服务事业部, 高级工程师, 通流提效优化

李泽培, 1983.11, 男, 汉, 湖北, 本科, 东方汽轮机服务事业部, 高级工程师, 通流提效优化