

# 火电厂汽轮机运行节能降耗策略研究

冯广超 韩鹏程 李佳蔚

呼和浩特热电厂 内蒙古呼和浩特 010000

**摘要:** 在全球能源危机与生态环境保护双重压力下,我国能源结构正加速向清洁低碳转型。火电厂作为传统能源消耗大户,其能源消耗占比高、污染物排放量大的现状,与“碳达峰、碳中和”战略目标形成尖锐矛盾。汽轮机作为火电厂能量转换的核心枢纽,其运行效率直接决定了全厂能源利用水平。

**关键词:** 火电厂;汽轮机;节能降耗;运行优化;技术创新

## 前言

在全球能源结构转型与“双碳”目标驱动下,火电厂作为我国电力供应的主力军,面临着巨大的节能降耗压力。呼和浩特热电厂 $2\times 350\text{MW}$ 机组采用哈尔滨有限责任公司主机产品:超临界、中间再热、单轴、双缸双排汽、直接空冷、采暖供热抽汽式汽轮发电机组。型号:CZK350/320-24.2/0.4/566/566;呼和浩特热电厂 $2\times 350\text{MW}$ 机组是供热机组,电厂为呼和浩特市及金川开发区大部分用户供热,供热管线分城市热网东线、西线、金川线,巴彦线和富泰,现有实际供热面积2974万平方米。

## 一、汽轮机设备优化策略

### (一) 汽轮机本体结构优化

汽轮机本体结构的优化是实现火电厂汽轮机运行节能降耗的基础与核心环节,其设计的合理性与先进性直接决定了能量转换效率的高低,对降低火电厂整体能耗、提升经济效益意义深远。在叶片设计优化上,某大型火电厂采用了前沿的三维气动设计技术对汽轮机叶片进行重新设计。技术团队通过计算流体力学(CFD)模拟,对叶片的叶型曲线、安装角度以及叶片间距进行反复调试与优化。将原本的等截面直叶片改为变截面扭叶片,使得叶片从根部到顶部能够更好地适应蒸汽流速和压力的变化。改造后,蒸汽在叶片通道内的涡流现象明显减少,动能损失降低,汽轮机的做功能力提升了约3%,显著提高了能源利用效率。

在通流部分优化方面,另一火电厂针对汽轮机通流

间隙过大导致蒸汽泄漏严重的问题,引入了蜂窝式汽封技术。该技术将传统的梳齿汽封更换为蜂窝状结构,蜂窝状的密封腔室能够有效阻滞蒸汽的泄漏路径。同时,结合先进的激光加工技术,对汽封环的安装精度进行严格把控,将动静部件之间的间隙精确控制在极小范围内。改造完成后,经过实际运行监测,汽轮机的蒸汽泄漏量减少了20%左右,热效率得到显著提升,每年可节约大量标准煤,实现了良好的节能降耗效果。

### (二) 辅助设备性能提升

辅助设备是保障汽轮机稳定高效运行的重要组成部分,其性能的提升对火电厂汽轮机运行节能降耗有着不可忽视的作用。从凝汽器到给水泵,每一个辅助设备的优化改进,都能在细微之处减少能量损耗,为火电厂带来显著的节能效益。通过对辅助设备的技术升级与管理优化,不仅能降低运行成本,还能延长设备使用寿命,提升火电厂整体竞争力。

例如,某沿海火电厂在运行过程中发现,由于海水冷却导致凝汽器冷却水管内壁附着大量海生物与水垢,严重影响换热效率,使得汽轮机排汽压力升高,能耗增加。为解决这一问题,该厂采用了在线清洗与化学清洗相结合的方式。在机组运行期间,利用胶球清洗系统持续对冷却水管进行在线清洁,通过胶球与管壁的摩擦,去除表面松散污垢;同时,定期安排停机化学清洗,使用专门配制的环保型清洗剂,深入溶解顽固水垢和海生物附着物。此外,该厂还对凝汽器的冷却水系统进行了智能化改造,安装了流量传感器和智能调节阀,根据汽轮机负荷实时调整冷却水量。改造后,凝汽器的真空度提高了3%,汽轮机热耗率降低了2.5%,年节约标煤超5000吨。

在给水泵性能提升方面,另一内陆火电厂为应对高能耗问题,对给水泵进行了全面升级。将原有的定速给

**作者简介:** 冯广超(1993.03——),男,汉族,内蒙古赤峰市人,本科,工程师,现就职于:呼和浩特热电厂,研究方向:自动化。

水泵更换为配备变频调速装置的高效节能型给水泵，并对叶轮和导叶进行了优化设计。技术人员通过水力模型试验，重新设计了叶轮的叶片形状和导叶的流道结构，使给水在泵内的流动更加顺畅，减少了水力损失。同时，通过变频器根据锅炉负荷变化自动调节给水泵转速，避免了传统定速泵在低负荷时因节流调节造成的能量浪费。改造完成后，给水泵的电耗降低了18%，厂用电率下降了0.8个百分点，每年可节省电费支出数百万元，节能降耗效果十分显著。

## 二、运行参数优化与调整策略

### (一) 蒸汽参数合理控制

蒸汽参数的精准调控是释放汽轮机运行效能的关键钥匙，其数值的细微变动都会在能量转换链条上引发连锁反应。合理控制蒸汽参数，不仅能充分挖掘汽轮机的做功潜力，更能从源头上降低能量损耗，是火电厂实现精细化运营与节能降耗的核心着力点。

例如，某北方大型火电厂在长期运行中发现，汽轮机主蒸汽参数波动较大，导致机组热效率不稳定。为解决这一问题，该厂成立专项技术小组，深入研究锅炉与汽轮机的匹配特性，并引入先进的参数监测与控制系统。技术人员首先对锅炉燃烧系统进行优化，通过调整燃烧器角度、优化配风方式，使炉膛内燃烧更加均匀稳定，从而保证主蒸汽压力和温度的稳定输出。同时，在汽轮机主蒸汽管道上加装高精度压力和温度传感器，实时监测蒸汽参数变化，并将数据反馈至中央控制系统。一旦参数偏离设定值，系统将自动调节锅炉的燃料供给量和给水流量，实现蒸汽参数的动态平衡。此外，针对再热蒸汽温度偏低的问题，该厂对再热蒸汽管道进行了保温改造，采用新型高效保温材料，减少管道散热损失，并在再热器出口处增设了烟气旁路调节装置，根据再热蒸汽温度实时调整烟气流量，确保再热蒸汽温度稳定在设计值附近。经过一系列改造后，该火电厂汽轮机主蒸汽压力波动范围从原来的 $\pm 0.5\text{MPa}$ 缩小至 $\pm 0.1\text{MPa}$ ，主蒸汽温度偏差控制在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内，再热蒸汽温度平均提高了 $8^\circ\text{C}$ ，机组热效率提升了2.3%，每年可节约标煤约6000吨，显著降低了发电成本。

### (二) 负荷优化分配

负荷优化分配是平衡火电厂电力供应与能耗控制的核心策略，其通过科学调配机组负荷，能够在满足电网需求的同时，最大限度降低整体煤耗。合理的负荷分配不仅能提升设备运行效率，还能减少机组频繁启停带来的损耗，对火电厂实现降本增效、可持续发展具有重要意义。

例如，某区域火力发电集团旗下拥有多台不同型号、不同能耗水平的机组，在电网负荷波动较大的情况下，机组能耗居高不下。为改善这一状况，该集团组建专业团队，基于各机组历史运行数据，建立了高精度的煤耗特性曲线模型。团队通过收集机组在不同负荷工况下的煤耗、热效率、蒸汽参数等数据，运用大数据分析机器学习算法，精准绘制出每台机组的煤耗特性曲线。在此基础上，开发了智能负荷分配系统，该系统可实时接收电网负荷指令，并结合各机组的实时状态、煤耗特性以及环保排放指标，通过优化算法计算出最优的负荷分配方案。

在实际运行中，当电网负荷处于高峰时段，系统优先将负荷分配给高效超临界机组，使其保持在高负荷、高效率区间运行；对于能耗较高的亚临界机组，则适当降低负荷，承担部分辅助调峰任务。当负荷处于低谷时段，系统通过优化组合，关停部分低效机组，同时调整运行机组的负荷，采用滑压运行方式，降低汽轮机进汽节流损失。经过一段时间的运行实践，该集团整体煤耗下降了12克/千瓦时，厂用电率降低了0.6个百分点，年节约标煤超8万吨，大幅提升了企业的经济效益与市场竞争力。

## 三、技术创新与应用策略

### (一) 新型节能技术应用

新型节能技术的应用是火电厂突破传统能耗瓶颈、实现跨越式发展的关键路径。在能源技术革新浪潮中，通过引入前沿的热力系统集成与余热回收技术，不仅能深度挖掘汽轮机运行中的能源潜力，还能推动火电厂向资源高效利用、低碳环保的方向转型。这些技术的落地应用，为火电厂在保障电力供应的同时降低能耗、提升经济效益开辟了新途径。

例如，某中部地区的火电厂面临着能源利用效率不足、余热浪费严重的问题。为改变这一现状，该厂率先引入了先进的热力系统集成技术与余热回收装置。在热力系统集成方面，技术团队对全厂热力循环进行系统性优化，重新调整了回热系统的抽汽参数与级数。通过计算机仿真模拟，将原本不合理的回热抽汽分配进行修正，新增了一级低压加热器，并优化了各级加热器之间的连接管路，使给水温度从原来的 $230^\circ\text{C}$ 提升至 $250^\circ\text{C}$ ，有效减少了冷源损失。同时，针对汽轮机排汽余热和锅炉排烟余热，该厂分别安装了高效的余热回收设备。在汽轮机排汽口处增设了余热锅炉，将排汽余热转化为低压蒸汽，用于驱动小型汽轮机发电；在锅炉尾部烟道安装了热管式余热回收装置，将排烟温度从 $180^\circ\text{C}$ 降至 $120^\circ\text{C}$ ，回收的热量用于预热进入锅炉的助燃空气。经过一系列

改造后，该厂能源综合利用率提高了8%，每年可多发电约3000万千瓦时，同时减少了大量的煤炭消耗与污染物排放，实现了节能降耗与环保效益的双赢。

## （二）智能化控制技术应用

智能化控制技术是推动火电厂汽轮机运行从传统粗放模式向精准高效模式转型的核心驱动力。在数字化、智能化浪潮席卷能源行业的当下，借助先进的传感器技术、大数据分析 with 智能算法，可实现对汽轮机运行状态的实时感知、精准调控与智能预测，不仅能有效降低人为操作误差导致的能耗浪费，还能挖掘设备潜在运行优化空间，为火电厂节能降耗开辟新的技术路径。

例如，某大型火电厂在汽轮机运行过程中面临参数波动大、设备故障预警不及时等问题，严重影响机组运行效率与能耗水平。为解决这些难题，该厂引入了一套基于物联网与人工智能的汽轮机智能控制系统。首先，在汽轮机关键部位加装高精度传感器，实时采集温度、压力、振动等上百个运行参数，并通过5G网络将数据传输至中央控制室。其次，运用深度学习算法对海量历史数据与实时数据进行分析，构建汽轮机运行健康评估模型和故障预测模型。系统能够提前识别设备异常状态，如通过分析轴承振动数据预测轴承磨损趋势，提前安排检修计划，避免因设备故障导致的非计划停机和能源浪费。在运行参数优化方面，采用模型预测控制（MPC）算法，根据电网负荷需求、实时煤价、设备状态等多因素，动态调整汽轮机的主蒸汽压力、温度、给水量等参数。例如，当电网负荷降低时，系统自动计算并调整汽轮机运行参数，使其在低负荷工况下仍保持较高效率；当煤价上涨时，系统优先优化运行参数以降低煤耗。经过智能化改造后，该厂汽轮机运行参数波动范围缩小了60%，设备故障停机时间减少了40%，机组热效率提高了3%，每年可节约标煤约7000吨，显著提升了火电厂的经济效益与能源利用效率。

## 四、管理体系完善策略

完善的管理体系是火电厂汽轮机节能降耗策略落地的坚实保障。技术措施需依托科学管理才能充分发挥效能，通过建立健全节能管理制度、强化人员培训与技术交流，不仅能规范生产运营流程、提升全员节能意识，还能形成持续优化的长效机制。这种“软实力”与设备技术“硬实力”协同发力，可系统性破解火电厂节能降耗中的管理短板与执行难题。

例如，某区域火电厂集团在节能降耗工作中，深刻认识到管理体系的重要性，全面启动管理优化工程。在

制度建设上，集团制定了覆盖全流程的《节能降耗专项管理办法》，明确各部门职责分工：生产部门负责设备运行参数优化与日常巡检，技术部门主导节能技术改造方案制定，财务部门则对节能项目进行成本效益核算。同时，建立“日监测、周分析、月考核”机制，每日通过能源管理系统监测汽轮机及辅助设备能耗数据，每周组织技术骨干召开节能分析会，针对异常能耗数据深入剖析原因；每月对各电厂、各部门的节能指标完成情况进行考核，将考核结果与绩效奖金、评优晋升直接挂钩。在人员培训方面，集团定期邀请行业专家开展专题讲座，并组织内部技术能手进行经验分享，重点培训汽轮机运行优化、节能设备操作等知识，全年累计开展培训20余场，覆盖员工超1500人次。此外，积极搭建技术交流平台，与国内外先进火电厂建立长期合作关系，先后引入了先进的能源计量管理系统和节能评估体系，并结合自身实际进行本土化改造。经过一年多的管理体系完善，该集团旗下火电厂汽轮机平均热耗率下降3.2%，厂内能源浪费现象减少40%，通过节能增效增收超千万元，成功构建起管理驱动与技术创新双轮并进的节能降耗新模式。

## 结语

火电厂汽轮机运行节能降耗是一项系统工程，涉及设备优化、运行参数调整、技术创新和管理体系完善等多个方面。通过对汽轮机本体结构和辅助设备的优化，合理控制运行参数，应用新型节能技术和智能化控制技术，以及建立健全节能管理制度和强化人员培训，能够有效提高汽轮机的运行效率，降低能源消耗，实现火电厂的可持续发展。在未来的发展中，火电厂应持续关注行业技术发展动态，不断探索和创新节能降耗技术与管理模式，为我国能源行业的绿色低碳转型贡献力量。

## 参考文献

- [1] 朱术磊. 火电厂汽轮机节能降耗技术的应用与研究[J]. 能源与节能, 2023(05): 123-126.
- [2] 骆风彬. 汽轮机设备优化设计对节能降耗的影响分析[J]. 电力设备与新能源, 2022(10): 89-93.
- [3] 赵亮. 基于智能化控制的火电厂汽轮机节能运行策略研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2024(03): 156-160.
- [4] 陈群. 火电厂汽轮机运行参数优化与节能分析[J]. 热力发电, 2021(08): 67-72.
- [5] 孙燕. 火电厂节能管理体系的构建与实践[J]. 企业管理与创新, 2023(12): 45-49.