

# 探究发电厂集控运行节能降耗技术

姜贺译

汕头华电发电有限公司 广东汕头 515132

**摘要:** 在“双碳”目标的战略引领下,我国能源结构正经历深刻转型,火力发电作为电力供应的重要支柱,面临着降碳减排与能效提升的双重挑战。集控运行作为火电厂生产管理的核心模式,通过对机、炉、电等关键设备的集中监控与协同调度,为节能降耗提供了技术支撑与管理平台。当前,火电厂集控运行已从传统的自动化控制向智能化、数字化方向演进,融合大数据、人工智能、物联网等技术的节能降耗创新实践不断涌现,成为破解能源效率瓶颈、推动行业绿色发展的关键路径。

**关键词:** 发电厂;集控运行;节能降耗技术

随着社会用电需求的持续增长与环保标准的日益严格,火电厂既要保障电力供应的稳定性与可靠性,又要最大限度降低能源消耗与污染物排放。集控运行系统凭借其实时监测、精准调控与优化决策能力,能够实现机组运行参数的动态调整、设备状态的预知性维护以及各环节的协同优化,有效提升能源利用效率。

## 一、智能算法驱动的运行优化技术

### 1. 燃烧智能调控技术

燃烧系统是火力发电厂能源消耗的核心环节,传统依赖人工经验的调控模式难以适配复杂工况下的动态变化。燃烧智能调控技术通过在炉膛、烟道、送粉管道等关键部位部署高精度传感器,实时采集炉膛三维温度场、烟气含氧量、煤粉浓度分布、排烟温度及成分等多维度运行数据,构建覆盖全负荷区间的燃烧特性数据库。基于人工智能算法的燃烧优化模型,可对海量数据进行深度挖掘与关联分析,精准识别燃料特性、负荷波动与燃烧效率之间的动态映射关系。模型通过实时计算最佳风煤配比、二次风分级开度、燃烧器摆角及燃尽风比例等参数,自动调整执行机构,实现燃料与空气的动态精准匹配。在负荷变化时,模型可在毫秒级时间内完成控制策略迭代,维持炉膛内燃烧区域温度分布均匀性,减少局部富燃或贫燃现象,从而降低不完全燃烧损失;同时通过动态优化过剩空气系数,在保证燃料充分燃烧的前提下,最大限度降低排烟热损失。此外,针对煤质频繁波动的场景,模型可通过在线学习不断更新控制策略,确保燃烧过程始终处于高效稳定状态。

## 2. 机组负荷智能分配技术

多机组发电厂的负荷分配合理性直接决定全厂整体能耗水平,传统“平均分配”或“经验调度”模式往往忽略机组间的能耗特性差异与设备健康状态。机组负荷智能分配技术通过建立各机组的供电煤耗特性曲线,结合大数据分析 with 多目标优化算法,实现负荷的全局最优分配。该技术首先对每台机组的历史运行数据进行深度挖掘,构建包含负荷率、主蒸汽参数、辅机电耗、环境温度等影响因素的能耗特性模型,精准刻画不同工况下的机组能耗水平。同时,通过设备状态监测系统实时获取机组振动、温度、磨损程度等健康数据,将设备安全约束纳入负荷分配决策体系。在接收电网负荷指令后,优化算法以全厂总能耗最低为核心目标,综合考虑电网频率稳定、机组出力上下限、爬坡速率、旋转备用容量等约束条件,自动计算各机组的最佳负荷分配方案。对于热电联产机组,该技术可进一步实现电热负荷的联合优化,通过建立热电耦合模型,在满足热负荷需求的同时,动态调整发电负荷,使综合能耗降至最低。系统还可通过设定负荷调节死区,减少机组变负荷频度,降低设备磨损与能耗波动,提升运行经济性与稳定性。

## 二、数字孪生与状态感知技术

### 1. 设备数字孪生建模

设备数字孪生建模是通过构建与物理设备高度一致的虚拟镜像,实现设备全生命周期的可视化管理与智能化运维。该技术以关键设备的设计图纸、结构参数、运行逻辑为基础,在虚拟空间中精准还原设备的物理形态与工作机理,形成可交互、可仿真的数字模型。模型通

过集成部署在设备关键部位的传感器，实时采集振动、温度、压力、电流、流量等多维度运行数据，并与虚拟模型进行动态同步，实现物理设备状态在数字空间的实时映射。基于实时数据与历史运行档案，结合人工智能算法，模型可模拟设备在不同工况下的性能表现，精准识别设备性能退化趋势，提前预判潜在故障风险。通过对设备磨损、腐蚀、疲劳等劣化过程的数字化仿真，为预防性维护提供科学依据，避免因设备故障导致的非计划停机与能耗激增。

## 2. 全域状态感知网络

全域状态感知网络是实现电厂运行数据全面采集与高效传输的基础支撑，通过集成物联网、5G通信、工业以太网等技术，构建覆盖锅炉、汽轮机、发电机、辅机系统及各生产环节的感知体系。网络在电厂各关键部位部署高精度传感器、智能仪表与数据采集终端，实时采集设备运行参数、环境变量、能耗数据等多源信息，实现对电厂运行状态的全域、全时、全维度感知。

通过5G通信技术的低延迟、高带宽特性，感知网络可实现海量数据的高速、稳定传输，确保运行数据实时同步至集控中心与数据分析平台。平台对采集的数据进行清洗、融合与深度分析，构建电厂能耗模型与运行状态评估体系，精准识别能耗异常点与效率损失环节。通过对锅炉热效率、汽轮机内效率、辅机耗电率等关键指标的实时监测与趋势分析，及时发现运行偏差并触发预警，为运行调整与节能改造提供数据支撑。

## 三、系统级节能优化技术

### 1. 热力系统深度节能改造

热力系统是发电厂能源转换的核心环节，其运行效率直接决定着全厂的能耗水平。通过对汽轮机通流部分、辅机系统及冷端系统的深度改造，可有效降低能源损失，提升机组热经济性。对汽轮机通流部分进行优化改造，是减少内部漏汽损失、提高汽轮机内效率的关键。采用新型柔性汽封技术替代传统梳齿汽封，可大幅减小动静间隙，降低蒸汽泄漏量；同时，通过优化叶片型线、调整通流面积，使蒸汽在通流部分的流动更加顺畅，减少涡流与摩擦损失。凝结水泵、循环水泵等辅机系统是厂用电消耗的主要组成部分，传统定速运行方式存在较大的节流损失。通过实施变频改造，可根据机组负荷变化动态调整水泵转速，使水泵出力与实际需求精准匹配，避免不必要的电能消耗。此外，采用高效水泵、优化管路布局等措施，可进一步降低辅机电耗，使厂用

电率降低0.5~1个百分点。冷端系统优化是提升机组真空度、减少冷源损失的重要手段。通过对凝汽器进行在线清洗、优化管束布局，可提高凝汽器换热效率，降低端差；采用高效抽真空设备、加强真空系统严密性管理，可维持更高的真空度；通过智能控制循环水流量与冷却塔运行方式，可在保证冷却效果的前提下，减少循环水泵与冷却塔的能耗。冷端系统优化可使机组真空度提升0.5~1kPa，降低供电煤耗0.5~1g/kWh。

### 2. 工质回收与梯级利用技术

工质的回收与梯级利用是实现节能降耗的重要途径，通过对水、汽、固体废弃物等资源的高效利用，可减少能源消耗与环境污染。建立疏水回收系统，对暖风器、管道疏水等进行回收处理，是减少热量损失的有效措施。疏水回收系统可将各系统产生的疏水收集后，通过疏水器、疏水泵等设备输送至除氧器或凝结水系统，回收其中的热量与工质，避免直接排放造成的能源浪费。同时，优化疏水系统的运行方式，减少疏水排放次数与排放量，可进一步提升回收效率。优化冷却水系统，采用闭式循环、梯级利用等方式，可显著提高水资源利用率。闭式循环冷却水系统通过封闭式换热，避免了冷却水的蒸发损失与污染，节水率可达80%以上；梯级利用方式则根据不同设备对冷却水温度、水质的要求，将冷却水按温度梯度依次用于不同设备，实现水资源的最大化利用。此外，采用高效冷却设备、优化冷却流程等措施，可进一步降低冷却水消耗。实现粉煤灰、脱硫石膏等固体废弃物的资源化利用，是降低综合能耗、推动循环经济发展的重要举措。

## 四、智慧管理与决策支持技术

### 1. 能耗在线分析与评估系统

能耗在线分析与评估系统是实现发电厂节能降耗精细化管理的核心工具，通过实时监测、分析与评估机组能耗水平，为节能措施的制定提供量化依据。系统通过集成DCS、SIS、智能仪表等多源数据，实时采集机组供电煤耗、厂用电率、锅炉热效率、汽轮机内效率等关键能耗指标，并将数据传输至分析平台进行处理。平台基于历史运行数据与机组设计参数，建立覆盖全负荷区间的能耗基准模型，精准刻画不同工况下的理论最优能耗水平。通过对比实际运行数据与理论最优值，系统可实时计算能耗偏差，识别高能耗运行工况，并分析偏差产生的原因，如煤质变化、设备性能退化、运行参数偏离等。系统还具备能耗趋势分析与预测功能，通过对历史

数据的深度挖掘，分析能耗随负荷、环境温度、煤质等因素的变化趋势，预测未来能耗水平。

## 2. 智能调度与协同运营平台

智能调度与协同运营平台是实现发电厂多环节协同优化、提升整体经济效益的关键支撑，通过打破数据壁垒，实现生产、经营、燃料、财务等各系统的信息共享与协同决策。平台集成生产运行、燃料管理、财务管理、物资管理等多个系统的数据，构建统一的数据仓库，消除“数据孤岛”，实现各环节数据的互联互通。基于大数据分析技术，平台可对燃料市场供需情况、价格走势进行分析预测，优化燃料采购策略，降低标煤单价；通过分析机组能耗特性与煤质数据，优化燃料掺烧方案，在保证机组安全稳定运行的前提下，最大限度降低燃料成本。在库存与物流管理方面，平台通过实时监测燃料库存水平、机组消耗速率与运输情况，智能调度燃料采购与运输计划，减少库存积压与物流成本；同时，优化备品备件库存管理，实现按需采购与精准配送，降低库存资金占用。在成本核算与利润预测方面，平台通过集成生产、燃料、财务等数据，实时计算机组发电成本、利润水平，并分析成本构成与利润变化趋势，为企业经营决策提供数据支撑。

## 五、新型节能技术应用

### 1. 纯氧燃烧点火技术

纯氧燃烧点火技术通过纯氧与燃料预混燃烧的方式，从根本上改变传统空气助燃的燃烧模式，大幅提升煤粉着火性能，实现锅炉低负荷稳燃与少油点火。该技术的核心原理在于利用纯氧的高氧化性，降低煤粉着火温度阈值。纯氧与少量燃料预混后点燃，形成高温烟气，与一次风粉混合物充分掺混，迅速将煤粉颗粒温度提升至着火点，实现煤粉的稳定燃烧。与传统空气点火方式相比，纯氧燃烧可使火焰温度大幅提升，燃烧更加充分，有效减少未燃尽煤粉的产生。纯氧燃烧点火技术的节能效益十分显著，可大幅降低锅炉启动与低负荷运行时的燃油消耗。对于启停频繁的热电厂锅炉，采用该技术后启动用油可节省70%以上，一台300MW机组锅炉启动费用仅为常规油枪点火技术的1/10。此外，该技术还具有煤种适应性强的特点，适用于烟煤、贫煤、无烟煤及掺

烧煤矸石等多种煤种的锅炉点火与稳燃。在环保方面，由于燃烧效率的提高，氮氧化物等污染物排放也显著减少，有效降低对大气环境的影响。

### 2. 余热回收利用技术

发电厂在生产过程中会产生大量低品位余热资源，如排烟、循环水、乏汽等，这些余热若直接排放，将造成巨大的能源浪费。余热回收利用技术通过采用热泵、余热发电等方式，将低品位热能转化为电能或用于供暖、制冷，实现能源的梯级利用，提高能源综合利用效率。针对电厂排烟余热，可采用烟气余热回收装置，通过加装相变换热器、热管换热器等设备，将排烟温度降低至合理范围，回收的余热可用于加热凝结水、补充供热等。相变换热器以热管换热器为基础，通过持续细化、优化壁面温度控制原理，在满足控制低温腐蚀要求的前提下，实现高效换热。在余热回收过程中，合理设置排烟温度至关重要，既要最大限度降低排烟热损失，又要避免低温腐蚀与除尘器运行效率下降等问题。对于汽轮机循环水余热，可采用热泵技术进行回收。热泵技术能够利用少量电能从低温热源中吸收热量并输送到高温热源中，从而回收利用冷却水余热。该技术具有节能环保、运行稳定等优点，是燃煤发电厂余热回收利用的重要技术之一。

综上所述，本文将围绕发电厂集控运行节能降耗技术展开探究，分析集控运行系统的核心架构与节能潜力，从智能算法驱动的运行优化、数字孪生与状态感知、系统级节能改造、智慧管理决策以及新型节能技术应用等多个维度，系统阐述当前行业内的先进技术与实践路径，为火电厂提升能效水平、实现绿色低碳转型提供参考。

## 参考文献

- [1] 张蕾玲. 火电厂集控运行节能降耗技术探析[J]. 电力设备管理, 2024(16): 253-255.
- [2] 刘日. 火电厂集控运行节能降耗技术研究[J]. 中国仪器仪表, 2024(05): 81-84.
- [3] 刘文. 火电厂集控运行节能降耗措施分析[J]. 工程施工新技术, 2025, 4(04): 127-129.
- [4] 左马. 火力发电厂集控运行节能降耗技术措施探析[J]. 电力设备管理, 2024(08): 246-248.