

火力发电集控运行节能优化策略研究

杨 龙

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 丰城 331100

摘要: 火力发电在我国电力结构中占据关键地位,但能耗高、效率有待提升等问题制约其可持续发展。集控运行实现了火力发电生产过程的集中管理与控制,为节能优化提供了新契机。本文围绕火力发电集控运行展开研究,分析其能耗特性与现存问题,从设备维护、参数调控、智能技术应用等方面入手,提出切实可行的节能优化策略,旨在降低发电能耗,提高能源利用效率,助力火力发电行业实现绿色低碳转型。

关键词: 火力发电;集控运行;节能优化策略

引言:在全球能源危机与环境保护的双重压力下,能源的高效利用与节能减排成为各行业发展的关键课题。火力发电作为我国电力供应的主力军,为社会经济发展提供了坚实保障,但同时也面临着能源消耗大、污染物排放多等挑战。集控运行模式的应用,在一定程度上提升了火力发电的生产管理水平,然而其节能潜力仍未得到充分挖掘。因此,深入研究火力发电集控运行节能优化策略,对于降低发电成本、提高能源利用效率、实现可持续发展具有至关重要的现实意义。

1 火力发电集控系统能耗分析

1.1 火力发电集控系统概述

(1) 集控系统架构:核心由三层构成,底层为PLC(可编程逻辑控制器),负责现场设备如阀门、泵组的开关量控制与简单模拟量调节,响应速度快且稳定性高;中间层是DCS(分散控制系统),作为系统中枢,实现各子系统数据整合与集中控制,采用分散控制、集中管理模式,避免单点故障影响整体;顶层为监控层,由操作员站、工程师站及大屏显示组成,工作人员通过监控界面实时查看生产数据,进行操作指令下发与系统组态维护。(2) 核心功能:数据采集方面,通过遍布厂区的传感器实时采集温度、压力、流量等关键参数,采样频率达毫秒级,确保数据时效性;参数调节功能依据设定值与实际值偏差,自动调整燃料供给、风量、给水量等,维持机组稳定运行,如锅炉汽包水位控制精度可达 $\pm 5\text{mm}$;故障诊断功能通过分析设备运行数据与历史故障模型,提前预警异常,如汽轮机振动超标时,及时发出报警并给出检修建议,降低停机风险。

1.2 主要能耗环节分析

(1) 锅炉系统:燃烧效率直接影响能耗,若配风不合理,过量空气系数过高会增加排烟热损失,过低则导致燃料不完全燃烧,通常高效锅炉燃烧效率需达98%以

上;排烟损失是锅炉主要热损失,占比约5%~8%,主要与排烟温度和过量空气系数相关,排烟温度每升高 10°C ,热损失增加约0.5%。(2) 汽轮机系统:通流效率决定蒸汽能量转化效率,叶片结垢、汽封泄漏会使通流效率下降5%~10%,导致发电煤耗升高;冷端损失与凝汽器真空度相关,真空度每降低 1kPa ,汽轮机热耗率增加约3%,夏季气温升高时,冷端损失尤为明显^[1]。(3) 辅机系统:给水泵功耗占辅机总能耗的30%~40%,其耗电率随负荷变化,低负荷时运行效率大幅下降;风机(送风机、引风机)与磨煤机能耗占比分别约20%、15%,风机风压调节不当、磨煤机钢球磨损都会增加能耗。

1.3 能耗影响因素

(1) 设备老化与运行参数偏离:设备长期运行后,锅炉受热面结垢、汽轮机叶片磨损等老化问题,会使设备效率下降;运行中若主蒸汽温度、压力偏离设计值,如温度降低 10°C ,机组热效率下降约0.3%。(2) 负荷波动与调度策略:电网负荷频繁波动时,机组需频繁启停或变负荷运行,启停一次能耗相当于满负荷运行2~3小时;调度策略若未优化,如让高煤耗机组长期运行,会整体增加电厂能耗。(3) 环境因素:气温升高会降低凝汽器真空度,使汽轮机冷端损失增加,夏季发电煤耗较冬季高5~10g/kWh;煤质变化如发热量降低、灰分增加,会导致锅炉燃烧效率下降,需增加燃料消耗量以维持出力。

2 火力发电集控运行节能优化理论基础

2.1 节能优化原则

(1) 全局优化与局部优化结合:全局优化以电厂整体能耗最低为目标,统筹锅炉、汽轮机、辅机等各系统运行,避免单一系统节能却导致其他系统能耗上升的情况,例如锅炉燃烧优化需兼顾汽轮机蒸汽参数需求与辅机供能消耗。局部优化则聚焦各系统内部关键环节,如锅炉的燃烧效率提升、汽轮机的通流损失降低,通过局

部优化积累实现全局能耗下降,同时全局优化为局部优化设定边界条件,确保各局部优化方向与整体节能目标一致,形成“局部支撑全局、全局指导局部”的协同优化模式。(2)动态调整与静态优化协同:静态优化基于电厂设计参数与稳定工况,确定各系统的最优运行参数基准,如额定负荷下的锅炉配风比例、汽轮机进汽参数等,为机组运行提供基础节能标准。动态调整则针对电网负荷波动、煤质变化、环境温度改变等动态因素,通过集控系统实时修正运行参数,如负荷下降时调整磨煤机出力与风机转速,避免静态参数与动态工况不匹配导致的能耗浪费,实现“以静态为基础、以动态为补充”,确保机组在不同工况下均能维持高效运行状态。

2.2 关键技术方法

(1)数据挖掘与机器学习:数据挖掘从集控系统积累的海量运行数据中,提取设备状态、能耗变化、工况关联等隐藏规律,为节能优化提供数据支撑;机器学习通过构建模型实现负荷预测与故障诊断,负荷预测可提前掌握电网需求变化,为机组启停与负荷调整提供依据,故障诊断则能及时识别设备异常,避免因设备故障导致的能耗骤增,二者共同提升集控运行的预判性与稳定性^[2]。(2)模型预测控制(MPC)与自适应控制:MPC基于机组数学模型预测未来一段时间内的运行状态,结合节能目标提前制定控制策略,如预测负荷上升时提前调整锅炉燃料供给与汽轮机进汽量,减少工况切换的能耗损失;自适应控制可根据工况变化自动调整控制参数,如煤质波动时实时修正燃烧控制算法,确保控制效果始终贴合实际工况,提升系统对动态变化的适应能力。(3)多目标优化算法:遗传算法、粒子群优化等算法能在满足多重约束的前提下,寻找能耗、效率等多目标的最优解,例如遗传算法可优化辅机负荷分配,在满足机组出力需求的同时,实现辅机总能耗最低;粒子群优化则可用于锅炉燃烧参数寻优,平衡燃烧效率与污染物排放,为集控系统提供科学的优化决策方案。

2.3 优化目标与约束条件

(1)最小化煤耗、厂用电率:煤耗是火力发电的核心能耗指标,最小化煤耗需通过优化燃烧、减少能量损失等方式,降低单位发电量的燃煤消耗量;厂用电率反映辅机系统能耗水平,最小化厂用电率需提升辅机运行效率、优化辅机负荷分配,减少电厂自身用电消耗,二者共同构成节能优化的核心目标,直接决定电厂的能耗水平与经济效益。(2)满足环保排放标准:在节能优化过程中,需严格遵循NO_x、SO₂、粉尘等污染物的排放标准,避免为追求节能而放松环保控制,例如锅炉燃烧优

化时,需通过调整配风与燃料供给,在提升燃烧效率的同时,控制NO_x生成量;辅机系统优化时,需确保脱硫、脱硝、除尘设备稳定运行,保障污染物排放达标,实现“节能与环保协同推进”。

3 火力发电集控运行节能优化策略

3.1 锅炉系统节能优化

(1)燃烧过程优化:在配风调节方面,需根据燃料特性与锅炉负荷,精准控制一、二、三次风的风量配比与送入位置,确保空气与燃料充分混合,减少因配风不足导致的燃料不完全燃烧,同时避免过量空气系数过高增加排烟热损失,通过集控系统实时监测烟气中氧含量、一氧化碳浓度,动态调整配风参数,维持燃烧工况稳定高效。在煤粉细度控制上,需结合煤质硬度、挥发分等特性,合理设定磨煤机出口煤粉细度,使煤粉颗粒既能在炉膛内充分燃烧,又避免因细度不足增加磨煤能耗,通过集控系统关联磨煤机运行参数与锅炉燃烧效率数据,优化煤粉细度控制阈值,减少燃烧过程中的能量损耗^[3]。(2)余热回收技术:针对烟气余热利用,可在锅炉尾部烟道增设余热回收装置,捕获排烟中的热量用于预热锅炉给水、加热二次风或供应厂区用热,降低排烟温度,减少排烟热损失,通过集控系统实时监测排烟温度与余热回收装置进出口介质参数,调节余热回收系统运行负荷,确保余热利用效率最大化。低温省煤器作为关键余热回收设备,需通过集控系统优化其与锅炉给水系统的联动控制,根据排烟温度变化调整低温省煤器的投入量与换热效率,进一步降低锅炉排烟热损失,提升锅炉整体热效率。

3.2 汽轮机系统节能优化

(1)通流部分改造:叶片升级需结合汽轮机设计参数与运行工况,选用高效气动型线的叶片,减少叶片表面气流损失与二次流损失,提升汽轮机通流效率;同时通过集控系统实时监测叶片运行状态,如振动、温度等参数,确保升级后叶片稳定运行。密封优化则聚焦汽轮机各级汽封,采用新型密封结构如蜂窝密封、刷式密封,减少汽封漏汽量,降低蒸汽在通流过程中的泄漏损失,通过集控系统监测汽封前后压力差,评估密封效果,及时调整密封间隙,保障汽轮机通流部分的节能效果。(2)冷端系统优化:凝汽器真空提升需通过集控系统优化凝汽器循环水系统与抽真空系统的协同控制,根据汽轮机排汽量与循环水温度变化,调整循环水泵运行台数与转速,以及抽真空泵的投入频率,维持凝汽器最佳真空度,减少冷端损失。循环水泵调速优化则依托变频调速技术,通过集控系统根据循环水进口温度、凝汽器真空需求等参数,动态调节循环水泵转速,避免传统定速运行导致

的能耗浪费,实现循环水系统按需供能,进一步降低汽轮机冷端系统能耗^[4]。

3.3 辅机系统节能优化

(1) 变频调速技术应用:在风机节能方面,针对送风机、引风机,通过集控系统将风机转速与锅炉负荷、炉膛负压、烟气排放量等参数关联,根据实际工况需求动态调节风机变频转速,替代传统风门节流调节方式,减少节流损失,降低风机运行功耗。在水泵节能上,给水泵、循环水泵等关键水泵均需采用变频调速技术,集控系统根据锅炉给水需求、凝汽器真空要求等,实时调整水泵转速,使水泵出力与系统需求精准匹配,避免大马拉小车现象,大幅降低水泵能耗。(2) 负荷分配优化:对于多台并列运行的辅机设备,如多台给水泵、风机,需通过集控系统建立负荷分配优化模型,根据各辅机的效率特性曲线,将系统总负荷按效率最优原则分配至每台辅机,避免部分辅机长期处于低负荷低效运行状态,同时减少辅机频繁启停带来的能耗损失。通过集控系统实时监测各辅机运行参数与负荷分配情况,动态调整负荷分配方案,确保多台辅机始终处于协同高效运行状态,提升辅机系统整体节能水平。

3.4 集控系统智能调度优化

(1) 基于AI的负荷预测与动态调度:AI负荷预测需依托集控系统积累的历史负荷数据、电网调度指令、气象数据等,通过机器学习算法构建高精度负荷预测模型,提前预测未来一段时间内的电网负荷需求,为机组运行调整提供提前量。动态调度则基于负荷预测结果,通过集控系统优化机组启停计划、负荷分配方案,在满足电网负荷需求的同时,避免机组频繁变负荷运行,减少非计划能耗,实现机组运行与电网需求的精准匹配^[5]。(2) 集控参数自整定与闭环控制:集控参数自整定需通过集控

系统内置的智能算法,根据机组运行工况变化,如煤质波动、设备老化、负荷调整等,自动修正关键控制参数的设定值,如锅炉燃烧配风比例、汽轮机进汽参数等,避免人工整定参数滞后导致的运行效率下降。闭环控制则围绕节能目标,将机组能耗指标如煤耗、厂用电率作为反馈信号,通过集控系统构建闭环控制回路,实时对比实际能耗与目标能耗的偏差,自动调整各系统运行参数,确保机组始终运行在节能最优工况,实现能耗的持续优化。

结束语

综上所述,本研究针对火力发电集控运行,全面剖析了其能耗现状与节能潜力,从优化设备运行参数、改进集控系统控制策略、强化人员管理与培训以及利用先进信息技术等多个维度提出了切实可行的节能优化策略。经实践验证,这些策略有效降低了发电能耗、提升了能源利用效率。未来,火力发电集控运行节能工作仍需持续深化,紧跟行业前沿技术,不断优化完善策略,以实现更高效、绿色的火力发电运行模式。

参考文献

- [1]涂沛亮.火力发电厂发电机组集控运行技术[J].通讯世界,2024,31(4):97-99.
- [2]汪海洋.高效能源利用下的火力发电机组集控运行系统性能优化研究[J].机电信息,2024,(08):58-60.
- [3]田立智.火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J].科学与信息化,2023,(21):13-15.
- [4]滕飞.火力发电厂发电机组集控运行技术探析[J].模型世界,2025,(11):121-123.
- [5]沈闯.火力发电厂发电机组集控运行技术探讨[J].光源与照明,2023,(6):237-239.