

Application of Auxiliary Machine Variable Frequency Energy-saving Control Technology in Centralized Control Operation of Thermal Power Plants

Shiqiang Zhao

Guoneng Bengbu Power Generation Co., Ltd., Bengbu, Anhui, 233000, China

Abstract

Driven by the dual forces of energy structure transformation and the “dual carbon” goals, thermal power plants, as the core entities of energy production, have their energy conservation and consumption reduction levels directly linked to the sustainable development of the industry. Auxiliary systems, as a crucial component of centralized control operations in thermal power plants, exhibit persistently high energy consumption. Traditional control methods, due to issues such as low adjustment accuracy and severe energy waste, have become difficult to adapt to the energy conservation needs of modern power plants. Variable frequency energy-saving control technology, with its precise regulation and control capabilities for auxiliary machine speeds, enables dynamic matching between load and energy consumption, becoming a core technical means for cost reduction and efficiency enhancement in thermal power plants. Based on the system characteristics of centralized control operations in thermal power plants, this paper deeply analyzes the core principles of variable frequency energy-saving control technology for auxiliary machines, focuses on discussing the application points of this technology in typical auxiliary machines such as fans and pumps, analyzes the problems and optimization strategies encountered during application, and finally looks forward to the technological development trends, providing theoretical and practical references for the energy conservation upgrade of auxiliary machine systems in thermal power plants.

Keywords

thermal power plant; centralized control operation; auxiliary equipment; variable frequency energy saving; control technology

火电厂集控运行中辅机变频节能控制技术应用

赵士强

国能蚌埠发电有限公司, 中国·安徽 蚌埠 233000

摘要

在能源结构转型与“双碳”目标的双重驱动下,火电厂作为能源生产核心主体,其节能降耗水平直接关乎行业可持续发展。辅机系统作为火电厂集控运行的关键组成部分,能耗占比居高不下,传统控制方式因调节精度低、能源浪费严重等问题,已难以适配现代电厂的节能需求。变频节能控制技术凭借其辅机转速的精准调控能力,可实现负荷与能耗的动态匹配,成为火电厂降本增效的核心技术手段。本文基于火电厂集控运行的系统特性,深入剖析辅机变频节能控制技术的核心原理,重点探讨该技术在风机、水泵等典型辅机中的应用要点,分析应用过程中存在的问题及优化策略,最后展望技术发展趋势,为火电厂辅机系统的节能升级提供理论与实践参考。

关键词

火电厂;集控运行;辅机;变频节能;控制技术

1 引言

火电厂作为我国电力供应的主力军,在保障能源安全中发挥着不可替代的作用,但同时也是能源消耗和碳排放的重点领域。随着电力行业市场化改革的推进以及环保政策的日趋严格,火电厂面临着“降本增效、低碳减排”的双重压力,节能技术的研发与应用成为提升电厂核心竞争力的关键。随

着电力电子技术、自动控制技术的发展,变频节能控制在火电厂辅机系统中的应用日益广泛,但在集控运行的复杂环境下,技术应用仍面临兼容性、稳定性、调控精度等方面的挑战。因此,深入研究火电厂集控运行中辅机变频节能控制技术的应用逻辑与优化路径,对推动火电厂节能转型具有重要的现实意义^[1]。

【作者简介】赵士强(1991-),男,中国安徽淮北人,硕士,工程师,从事火电厂集控运行研究。

2 火电厂集控运行中辅机变频节能控制技术核心原理

2.1 变频调速的节能机理

辅机系统中风机、水泵等设备均属于平方转矩负载，其输出功率与转速的三次方成正比关系，流量与转速成正比关系，压力与转速的平方成正比关系。传统定速运行模式下，当负荷降低需要减小流量时，只能通过关小挡板或阀门开度实现，此时电机仍维持额定转速运行，多余的能量通过节流损失消耗。而变频调速技术通过变频装置改变异步电机的供电频率，进而调节电机转速。根据电机转速公式 $n=60f(1-s)/p$ （其中 n 为电机转速， f 为供电频率， s 为转差率， p 为电机极对数），在极对数和转差率基本不变的情况下，电机转速与供电频率呈线性关系。当负荷降低时，变频装置降低供电频率，电机转速随之下降，辅机输出流量同步降低，输出功率则随转速的三次方大幅下降。例如，当辅机流量需求降至额定流量的 80% 时，转速降至额定转速的 80%，输出功率仅为额定功率的 51.2%，相比传统节流调节，可实现显著的节能效果。这种“按需调速”的控制方式，从根本上消除了节流损失，是变频技术节能的核心逻辑^[2]。

2.2 变频节能控制系统的架构

火电厂辅机变频节能控制系统采用“分层控制、集中监控”的架构，主要由变频功率单元、控制器、检测单元及通信接口四部分组成。变频功率单元是核心执行部件，采用交—直—交变换拓扑结构，将电厂提供的工频交流电转换为可调频率的交流电供给辅机电机，其性能直接决定调速精度和运行稳定性，通常采用 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）作为开关器件，以提升开关频率和控制精度。控制器承担逻辑运算与指令输出功能，采用 PLC（可编程逻辑控制器）或 DCS（分散控制系统）模块，根据检测单元采集的负荷信号（如流量、压力、液位等），结合预设的控制算法生成频率调节指令，实现对变频功率单元的精准控制。检测单元包括流量传感器、压力变送器、转速传感器等，实时采集辅机运行参数和工艺系统状态参数，为控制器提供精准的反馈信号。变频控制系统与火电厂集控系统的通信接口采用工业以太网等现场总线技术，让集控室操作人员实时监控辅机运行状态，根据全厂负荷变化下发控制指令，实现辅机运行与主系统负荷的协同匹配^[3]。

2.3 与集控运行系统的融合机制

集控运行是火电厂的核心运行模式，通过 DCS 系统实现对主设备、辅机系统及辅助工艺的集中监控与统一调度。辅机变频节能控制在集控系统中并不独立运行，而是深嵌在集控系统中，形成“主—辅协同”的控制体系。其融合机制主要体现在三个方面：一是数据共享层面，变频控制系统通过通信接口将辅机转速、电流、功率、变频装置运行状态等参数上传至集控 DCS 系统，同时接收 DCS 系统下发的主系统负荷指令（如锅炉蒸发量、汽轮机功率等），实现

参数的双向交互；二是控制逻辑协同层面，集控系统根据全厂负荷需求生成辅机负荷基准值，变频控制器结合该基准值与本地检测参数，采用 PID（比例—积分—微分）控制或模糊控制算法进行转速调节，确保辅机出力与主设备需求精准匹配；三是故障联动层面，当变频装置出现故障（如过流、过压、模块故障）或辅机运行参数异常时，变频控制系统立即向集控 DCS 系统发送报警信号，DCS 系统根据故障等级自动执行应急预案，如切换至工频运行模式、启动备用辅机等，避免故障扩大影响主系统稳定运行。这种深度融合机制，确保了变频节能技术在提升节能效果的同时，不影响集控运行的稳定性和可靠性^[4]。

3 辅机变频节能控制在火电厂集控运行中的应用要点

3.1 风机类辅机的变频节能应用

风机电机功率通常较大（从数百千瓦到数千千瓦不等），变频装置的选型需重点考虑功率匹配、电压等级及抗干扰能力。对于大功率风机，变频装置启动时，为了防止变频装置对电网的冲击，一般采用高压变频，变频装置的电压等级要与电厂高压供电系统相同，例如 6kV 或 10kV；另外，由于锅炉车间粉尘、高温等恶劣环境，变频装置采用封闭风冷或水冷散热结构，并具备完善的防尘、防潮保护措施。另外，风机是感性负载，变频器需设置适当的滤波装置，减少谐波对电网及电机的影响，并与集控系统电磁兼容。风机变频控制应以锅炉燃烧稳定性为主要目标，结合燃烧系统的动态特性设计控制策略。以送风机为例，其控制目标是稳定锅炉炉膛负压，满足燃烧所需空气量，传统的控制用“风量—挡板”控制，变频改造后用“风量—转速”控制。在控制逻辑设计中，控制器以集控 DCS 系统下发的锅炉负荷指令为前馈信号，以炉膛负压传感器和风量传感器的检测值为反馈信号，采用前馈—反馈复合控制算法：当前馈信号（锅炉负荷）变化时，控制器提前调节风机转速，实现负荷的快速响应；同时根据反馈信号修正转速偏差，确保风量和负压稳定。对引风机，与送风机协同控制，避免炉膛负压波动太大，因此在变频控制系统中需加入联锁控制逻辑，使引风机转速跟随送风机转速同步调整，保持两者的风量平衡。

3.2 水泵类辅机的变频节能应用

给水泵是锅炉给水系统的核心设备，对运行可靠性和调节精度要求非常高，而且一般采用大功率高压电机，变频改造要采用高压变频装置，且配置冗余设计，以保证在出现故障时不影响给水供应。对于凝结水泵，其负荷变化范围很大，传统节流调节耗能损失大，变频改造后采用“一拖二”变频方案，减少设备投资。循环水泵的运行受环境温度的影响比较大，夏季负荷高、冬季负荷低，有的电厂采用“变频+工频”联合运行模式，夏季两台水泵均采用变频运行以满足高负荷的需要，冬季一台变频运行、一台停运，达到节能

和可靠性之间的平衡。水泵变频控制，必须根据工艺系统的压力、流量或液位的稳定性，结合其动态特性设计控制逻辑。以给水泵为例，控制目标是维持锅炉汽包水位稳定和给水压力达标，控制逻辑采用“汽包水位—给水流量—转速”串级控制：主控制器以汽包水位检测值与设定值的偏差为输入，输出给水流量基准值；副控制器以给水流量检测值与基准值的偏差为输入，输出给水泵转速调节指令，通过串级控制提高对汽包水位的控制精度，避免水位大幅波动影响锅炉安全。对于循环水泵，控制目标是维持凝汽器真空度稳定，控制逻辑以凝汽器真空度检测值为反馈信号，结合环境温度和机组负荷前馈信号，调节水泵转速，确保真空度满足汽轮机运行要求，同时避免过度冷却造成的能源浪费。

4 火电厂辅机变频节能控制技术应用的问题及优化策略

4.1 主要应用问题

变频装置在交-直-交变换过程中会产生大量高次谐波，这些谐波不仅会影响风机、水泵电机的正常运行（如导致电机发热、振动增大、绝缘老化加速），还会通过电网传导至集控 DCS 系统，干扰检测信号和控制指令的传输，导致控制系统误动作。部分电厂在变频改造后出现转速检测信号波动、DCS 系统报警误触发等问题，均与谐波干扰有关。火电厂负荷经常在 50% 以下的低负荷工况运行，此时辅机转速降至额定转速的 50% 以下，传统异步电机在低转速运行时，转差率增大，电机效率显著下降，同时会出现转矩脉动、振动增大等问题，影响辅机运行稳定性。例如，引风机在低转速运行时，可能出现风机喘振现象，不仅影响锅炉燃烧稳定，还会对风机设备造成机械损伤。部分电厂在变频改造过程中，仅对单台辅机进行变频控制，未充分考虑与其他辅机及主设备的协同逻辑，导致“局部节能、整体低效”的问题。例如，送风机变频改造后单独调节转速，未与引风机、一次风机的控制逻辑联动，导致炉膛负压波动增大，反而增加了其他辅机的调节能耗；此外，变频控制系统与集控 DCS 系统的通信延迟也会影响协同控制效果，导致指令执行滞后，影响系统响应速度。

4.2 优化策略

针对谐波干扰，可从源头抑制、中间治理、终端防护三个层面采取措施。源头抑制方面，选用低谐波变频装置，采用多重化拓扑结构（如 12 脉波、24 脉波整流），减少谐波的产生；中间治理方面，在变频装置输出端安装交流滤波器或电抗器，滤除高次谐波，同时在电网侧安装有源电力滤波器，补偿电网谐波；终端防护方面，对风机、水泵电机采

用耐谐波绝缘设计，对集控 DCS 系统的检测线路和控制线路采用屏蔽电缆，并合理布置电缆走向，避免与变频装置的动力电缆平行敷设，减少电磁耦合干扰。通过综合谐波抑制措施，可有效降低谐波对系统的影响。针对低负荷运行稳定性问题，可从电机选型和控制策略两方面优化。

电机选型：对于经常工作在低负荷工况的辅机，采用高效永磁同步电机代替传统异步电机，永磁同步电机在低转速工作时效率高、转矩稳定，可大大提高低负荷运行稳定性；控制策略：采用变结构 PID 控制算法，根据转速范围动态调整 PID 参数，在低转速区间加大比例系数和积分时间，提高转矩稳定性；同时针对风机喘振问题，在变频控制系统中加入喘振监测模块，实时监测风机进出口压力差，在接近喘振前提高控制逻辑协同性，以集控 DCS 系统为核心，构建主设备与辅机、辅机与辅机之间的协同控制体系。一方面，优化变频控制系统与 DCS 系统的通信协议，采用高速工业以太网提高通信速率，减少指令传输延迟；另一方面，重构控制逻辑，以主设备负荷指令为核心前馈信号，建立多变量协调控制模型，使送风机、引风机、一次风机等辅机的转速实现协同调节，保证锅炉燃烧系统的整体优化。例如，建立锅炉燃烧模型，根据主蒸汽流量指令，同步计算送风量、引风量、一次风量的需求值，分别下发给各风机变频控制器，进行多风机协同调速，提高燃烧效率和节能效果。

5 结语

辅机变频节能控制技术，通过改变电机转速实现辅机出力与负荷需求的精准匹配，从根本上解决了传统节流调节的能耗问题，是火电厂集控运行中提升节能效益的核心技术手段。其核心优势有：一是节能效果好，通过转速与功率的三次方关系可以降低 30% ~ 50% 的辅机能耗；二是调节精度高，结合 PID 等控制算法，可以实现对流量、压力等参数的准确控制，提高了工艺系统稳定性；三是与集控系统深度融合，通过数据共享和逻辑协同，达到节能和安全的平衡。在应用实践中，风机、水泵等典型辅机的变频改造需要结合设备特性制定差异化方案：风机类辅机应注重变频装置的抗干扰能力和与锅炉燃烧系统的协同控制；水泵类辅机注重安全保护机制和差异化的变频改造方案。

参考文献

- [1] 张鸣立.火电厂集控运行中节能降耗技术探析[J].电力设备管理,2025,(18):267-269.
- [2] 李小龙.火电厂集控运行中节能减排与环保方面的技术创新策略分析[J].价值工程,2025,44(28):141-144.
- [3] 栾天.火电厂集控运行中节能减排技术的探讨与实践[J].清洗世界,2025,41(10):16-18.