

# 变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中的应用研究

邓毅

(国能重庆电厂有限公司, 重庆 400800)

**摘要** 变频调速技术因为具有精确的转速调节能力以及高效能量转换的特点, 已经成为火电厂集控运行系统优化控制的主要支撑技术。本文从变频调速技术与火电厂集控系统的适应性入手, 对变频调速技术在锅炉燃烧控制、汽轮机辅助调节和循环水系统调控中的主要应用逻辑进行分析, 探讨在技术融合过程中控制策略优化路径, 阐述变频调速技术在提高集控系统响应速度、加强运行稳定性、实现精准调节方面的关键作用。研究结果表明, 变频调速技术与集控系统相融合后可以构成一个灵活、高效的控制系统, 为火电厂集控运行智能化升级提供技术支持。

**关键词** 变频调速技术; 火电厂; 集控运行系统

中图分类号: TM62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.003

## 0 引言

火电厂集控运行系统是电力生产的核心中枢, 承担着对机组各个设备进行集中监视、协调控制和优化调度的功能, 它的控制精度和运行效率直接影响电厂的生产效率和安全水平。随着电力行业对于节能降耗以及智能化运行的要求越来越高, 传统控制技术所存在的动态调节灵活性不足、负荷适配精度不够等问题也逐渐暴露出来。变频调速技术依靠改变供电频率来达到电机转速无级调节的目的, 具有响应迅速、调节平滑、能耗优化等优点, 正好符合集控系统对多设备协同控制、动态负荷匹配的要求。变频调速技术被运用到火电厂集控运行系统控制流程之中, 不仅可以对锅炉、汽轮机等辅助系统进行精细化的控制, 也可以利用 DCS 系统来实现联动, 形成闭环控制系统, 从而把集控运行由被动调节转变为主动适应。本文从变频调速技术原理出发, 分析火电厂集控系统控制特点, 系统地提出其应用模式和优化方案, 为相关技术的应用及工程实践提供参考。

## 1 变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中的技术适配与核心原理

### 1.1 变频调速技术的核心控制特性

变频调速技术以电力电子器件为依托, 依靠整流、逆变等电力转换过程来改变输出频率, 从而实现异步电机转速的精确控制, 其最大的优势就是调速范围广、

动态响应快, 并且能够根据负载需求实时调节运行参数。该技术利用电压空间矢量脉宽调制等控制算法, 可达到输出电压与频率的匹配, 使电机在不同转速下都能保持较高的效率, 具有软启动、过载保护、故障预警等功能集成, 给集控系统的集中控制提供丰富的控制接口和状态反馈渠道。

### 1.2 火电厂集控运行系统的控制需求适配逻辑

火电厂集控运行系统通过 DCS 平台来集中控制锅炉燃烧、汽轮机发电、循环水冷却等各个子系统, 核心控制需求为负荷动态适配、多设备协同联动、运行状态精确监控、故障快速响应。变频调速技术与集控系统之间的匹配性主要从控制指令传递、负荷调节和状态监控三方面进行论述。在控制指令传递方面, 变频装置支持 MODBUS、PROFIBUS 等工业通信协议, 能和 DCS 系统无间断数据交流, 保证控制指令快速传递与执行; 在负荷调节方面, 按照集控系统下达的负荷命令调整风机、水泵等动力设备的转速, 实现能量供需动态平衡; 在状态监控方面, 变频装置利用模拟量输出接口将电机转速、电流、温度等关键参数传送到集控中心, 给运行人员提供全方位的设备运行状况信息, 支撑集控系统的全局协调决策。

### 1.3 技术融合的核心控制原理

变频调速技术与火电厂集控运行系统相融合是以“指令下达、动态调节、状态反馈、优化修正”闭环

作者简介: 邓毅 (1990-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 火电集控。

控制为原理的。集控系统根据电网负荷、设备运行状态等信息综合生成的控制指令，经过通信网络传送到各个子系统的变频调速装置，变频装置再通过自身的控制算法把指令转化成频率调节信号，驱动电机转速发生变化，进而调节风机风量、水泵流量等关键运行参数；同时变频装置会实时采集电机运行数据及设备工况信息，经过处理后传送给集控系统，集控系统再将反馈的数据和预设的目标进行比较分析，如果存在偏差就及时下发修正指令，通过变频装置调整运行参数，直至被控对象达到最优运行状态。

## 2 变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中的关键应用场景

### 2.1 锅炉燃烧系统的变频调速控制应用

锅炉燃烧系统是火电厂能量转换的关键步骤，燃烧效率和稳定性的好坏直接影响机组的发电能力，集控系统对该系统的控制核心是实现燃料燃烧和空气供给的动态平衡<sup>[1]</sup>。变频调速技术在锅炉燃烧系统中主要应用在引风机、鼓风机、给粉机等关键设备的控制上；集控系统根据锅炉负荷需求和炉膛燃烧状态，通过DCS平台向变频装置发送转速调节指令，鼓风机变频装置根据指令调节风机转速，精准控制送风流量，保证燃料燃烧所需要的氧气供给；引风机变频装置同步响应，通过调节转速控制炉膛负压，防止出现正压喷烟或者负压过大导致的热量损失，实现送引风系统的协同联动；给粉机的变频控制根据燃烧效率反馈信号，动态调整给粉量，使燃料供给与负荷需求相匹配。

### 2.2 汽轮机辅助系统的变频调速控制应用

汽轮机为发电机的核心，汽轮机运行稳定性及调节精度需要辅助系统进行有效的配合，集控系统对于汽轮机辅助系统控制的重点是保证机组稳定运行、负荷匹配。变频调速技术在汽轮机辅助系统中的应用主要是循环水泵、凝结水泵和润滑油泵等设备的控制上；循环水泵的变频控制由集控系统根据汽轮机凝汽器真空度、冷却水温度等参数来动态调节水泵转速，保证凝汽器在最佳真空状态下运行，提高汽轮机的循环热效率；凝结水泵通过变频装置接收集控系统的液位控制指令，实时调节泵体转速，精准控制凝结水流量，保持除氧器水位稳定，防止因水位波动影响汽轮机正常运转；润滑油泵的变频调速是按照汽轮机转速、油温等运行参数，自适应调节供油量、供油压力，给汽轮机转动部件提供稳定的润滑保障<sup>[2]</sup>。

### 2.3 循环水与补给水系统的变频调速控制应用

循环水、补给水系统是火电厂保证机组正常运转的辅助系统，集控系统对循环水、补给水系统的控制

核心是保证水压、水量的稳定供应，满足各设备的冷却和补水需求。变频调速技术的应用使供水系统实现了智能化控制，集控系统通过压力传感器、流量传感器等实时采集循环水供回水压差、补给水压力等关键参数，将采集的数据和预设的控制目标相比较，产生压力调节指令；循环水泵变频装置接受指令之后，通过改变转速来调整供水流量，使供回水压差维持在设定的范围内，避免因为水压波动影响冷却效果；补给水系统的变频控制采用“压力闭环+备用联动”的方式，集控系统根据补给水母管压力信号，控制变频装置调节补给泵的转速，实现自动定压补水；当变频运行设备出现故障时，集控系统可以迅速切换到备用泵工频运行模式，保证补给水系统连续可靠。

## 3 变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中的优化路径

### 3.1 控制逻辑的精准化优化

为了提高变频调速技术在集控系统控制中应用的效果，需要根据火电厂的运行特性来优化控制逻辑，使变频调节更加符合集控系统的全局控制目标<sup>[3]</sup>。控制策略的设计要根据不同的设备运行特性和控制要求来确定，使用分段式的控制逻辑，对响应速度要求较高的引风机、鼓风机等设备采用PID闭环控制算法，集控系统实时采集炉膛负压、燃烧效率等反馈信号，动态调节变频装置的输出频率，缩短调节响应时间；对于负荷波动较大的循环水泵、补给泵等设备，用模糊控制逻辑，根据历史运行数据和实时工况自动优化调节参数，提高系统对负荷突变的适应能力。

### 3.2 集控系统的联动机制优化

变频调速技术与集控系统的深度融合，要依靠联动机制的高效运行，因此要从信号传输、指令执行、状态反馈三个方面优化联动机制<sup>[4]</sup>。从信号传输角度来讲，采用工业以太网和现场总线相结合的通信结构，提高了控制指令和反馈信号的传输速度，减少了信号延迟，使变频装置能够及时响应集控系统的调度指令；从指令执行来说，设置变频装置的分级执行制度，集控系统根据设备的重要性和运行工况把控制指令分为紧急指令、常规指令和优化指令，变频装置优先执行紧急指令，保证关键设备的运行安全；从状态反馈而言，改善变频装置的信号采集、处理过程，丰富反馈信息的种类，除了常规的转速、电流参数以外，增加设备运行温度、绝缘状态等状态信息，为集控系统的故障诊断和优化决策提供更加全面的数据支持。

### 3.3 安全冗余设计的强化优化

火电厂集控运行系统安全是变频调速技术应用的前提条件,因此要增强安全冗余设计,保证控制过程的稳定可靠。从硬件配置来说,使用“一拖二”或“N+1”的冗余配置方式,对重要的变频装置设置备用单元,当主用变频装置出现故障的时候,集控系统可以通过联动逻辑快速切换到备用变频装置,防止变频装置故障导致设备停机;从控制逻辑上来说,设置多重保护措施,变频装置内置过流、过压、过热等保护功能,集控系统建立设备运行安全阈值监测,在检测到参数超标时,及时下达停机或者降负荷指令,通过变频装置来实现设备的安全保护;在故障处理方面,建立集控系统和变频装置的故障联动响应机制,变频装置发生故障的时候立即向集控系统发出报警信号,集控系统会自动启动故障处理程序,调整其它相关设备的运行状态,减小故障影响范围,保证机组稳定运行。这种安全冗余设计给变频调速技术在集控系统中的应用提供安全保障,提高集控运行的安全性和稳定性。

## 4 变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中的应用效能与发展展望

### 4.1 核心应用效能体现

变频调速技术在火电厂集控运行系统中应用带来的控制效能的提升策略:从控制精度上讲,依靠无级调速的特点实现对风量、流量、压力等关键参数的精细调节,使得被控对象运行参数的误差控制在很小的范围里,从而提高了集控系统控制精度和稳定性;从运行效率方面来讲,变频调速技术按照负荷需求动态调整设备运行状态,避免了传统工频运行模式下无效能耗,降低了设备启动时的电流冲击,减少了设备的磨损,延长了设备的使用寿命;从系统响应方面来讲,变频装置的快速响应特性使集控系统控制指令迅速转化为设备动作,提高了整个控制系统的动态响应能力,加强了机组对于电网负荷变化的适应能力;从操作便捷性方面讲,变频调速技术与 DCS 系统相结合实现了设备的集中控制和远程操作,减少了人工干预,降低了运行人员的劳动强度,提升了集控运行的智能化水平<sup>[5]</sup>。这说明变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中起到的作用。

### 4.2 未来发展展望

火电厂智能化转型不断深入,变频调速技术在集控运行系统控制中的应用将会更广泛。从技术融合的角度来说,变频调速技术将会和人工智能、大数据分

析等先进技术深度融合,在集控系统上创建智能控制模型,实现工况预测的自适应调节,使控制更加精准和前瞻;从控制范围上看,应用场景将从传统的风机、水泵等辅助设备向汽轮机调速、发电机励磁控制等核心环节拓展,实现全机组设备的变频调速控制覆盖;从技术升级的角度来讲,高压变频技术、大功率变频装置的性能会不断优化,具备更高的可靠性和适应性,可以满足大型火电机组的控制需求;从绿色低碳角度来讲,变频调速技术将会和节能优化算法结合在一起,在集控系统的全局协调下,实现机组能耗的进一步降低,为火电厂的低碳转型提供技术支撑<sup>[6]</sup>。变频调速技术将会进一步推进火电厂集控运行系统向着智能、高效、可靠方向发展,成为电力行业高质量发展的重要驱动力。

## 5 结束语

变频调速技术与火电厂集控运行系统控制的深度融合,建立精准、高效、协同的控制体系,为火电厂的安全稳定运行和智能化升级提供核心技术支撑。本文系统研究变频调速技术在集控系统控制中技术适配的原理、关键应用场景、优化路径和应用效能,揭示了变频调速技术在集控系统控制中的核心作用与价值。实践证明,该技术利用集控系统的闭环协同,显著提高了锅炉燃烧、汽轮机运行及辅助系统的控制精度和运行效率,降低了能耗和设备损耗,有明显的技术优势。随着电力行业智能化、低碳化转型不断推进,变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中会得到更深、更广的应用,未来要持续加强技术创新和工程实践,优化控制策略与融合机制,提高技术应用深度和广度,为火电厂集控运行系统持续优化及电力行业高质量发展提供有力支撑。

## 参考文献:

- [1] 邵丰.变频调速技术在火电厂集控运行系统控制中的应用[J].电气技术与经济,2025(11):148-150,154.
- [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] 李伟.火电厂集控运行及机组协调控制系统优化设计[J].电气技术与经济,2025(08):159-161.
- [4] 韩彦廷.基于自动化技术的火电厂集控运行节能降耗系统设计探析[J].模具制造,2025,25(08):210-212,215.
- [5] 同[4].
- [6] 付业东.基于自动化技术的火电厂集控运行节能降耗系统设计[J].自动化应用,2025,66(01):206-208.