

火电厂辅机变频调速节能效果测试与经济性评估

张 麒 郭 娜 苏日娜

内蒙古能源发电新丰热电有限公司 内蒙古 乌兰察布 丰镇 012100

【摘 要】：火电厂辅机系统能耗占比较高，传统调节方式存在效率低、响应慢等问题，制约了电厂整体能效提升。变频调速技术通过动态调节电机转速，实现对流量、压力等参数的精准控制，有效减少节流损失，提高能源利用效率。通过对典型辅机设备实施变频改造后的运行数据分析，验证了该技术在不同负荷工况下的节能效果。结合技术特性与经济性评估模型，论证了变频调速在火电厂推广应用的可行性。研究成果为辅机系统节能优化提供了理论依据和实践参考，推动火电行业绿色低碳发展。

【关键词】：火电厂；辅机系统；变频调速；节能效果；经济性评估

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.005

引言

在全球能源结构优化与环保政策趋严的背景下，火电厂面临日益严峻的节能降耗挑战。辅机系统作为主要耗能环节之一，其运行方式直接影响电厂厂用电率与运行成本。当前多数电厂仍采用传统阀门或挡板调节方式，导致大量能量浪费。随着电力电子与控制技术的发展，变频调速成为提升辅机能效的重要手段。该技术可根据实际需求动态调整设备转速，显著降低电耗并提升系统稳定性。针对辅机系统的节能潜力，探索变频调速的应用路径与经济价值，对于推动火电行业高质量发展具有重要意义。

1 火电厂辅机系统的能耗特征与运行现状

火电厂作为我国电力系统的重要组成部分，其能源消耗主要集中在锅炉、汽轮机和发电机等主设备上，但辅机系统的能耗同样占据较大比重。辅机系统包括给水泵、循环水泵、凝结水泵、风机、磨煤机等多种设备，这些设备在机组运行过程中持续工作，承担着输送介质、调节参数、维持燃烧和冷却等功能。由于辅机设备数量众多、运行时间长且负荷波动频繁，其整体耗电量约占全厂发电量的4%~6%，部分老旧机组甚至更高，成为影响电厂厂用电率和运行经济性的关键因素之一。

从运行特性来看，传统火电厂辅机系统普遍采用定速驱动方式，通过阀门或挡板调节流量和压力，导致大量能量以节流损失的形式被浪费。这种调节方式不仅效率低下，还加剧了设备磨损，增加了维护成本。此外，辅机设备的选型往往偏保守，设计裕量较大，在实际运行中难以实现高效匹配，进一步降低了能源利用效率。特别是在低负荷工况下，辅机系统仍保持较高运行强度，造成不必要的能源浪费。

当前，随着国家对节能减排政策的持续推进以及电力市场化改革的深入，火电厂面临越来越大的节能降耗压力。在此背景下，辅机系统的运行优化与节能改造逐渐受到重视。尽管部分电厂已开始尝试引入变频调速、智能控制等新技术，但在整体应用水平上仍存在区域不平衡和技术认知不足的问题。多数电厂在辅机系统运行管理方面仍依赖经验判断，缺乏系统化的

能效评估体系和动态调控机制，难以实现精细化运行管理。

2 传统调节方式下的能效瓶颈与问题分析

火电厂作为我国电力系统的重要组成部分，其能源消耗主要集中在锅炉、汽轮机和发电机等主设备上，但辅机系统的能耗同样占据较大比重。辅机系统包括给水泵、循环水泵、凝结水泵、风机、磨煤机等多种设备，这些设备在机组运行过程中持续工作，承担着输送介质、调节参数、维持燃烧和冷却等功能。由于辅机设备数量众多、运行时间长且负荷波动频繁，其整体耗电量约占全厂发电量的4%~6%，部分老旧机组甚至更高，成为影响电厂厂用电率和运行经济性的关键因素之一。从运行特性来看，传统火电厂辅机系统普遍采用定速驱动方式，通过阀门或挡板调节流量和压力，导致大量能量以节流损失的形式被浪费。这种调节方式不仅效率低下，还加剧了设备磨损，增加了维护成本。

辅机设备的选型往往偏保守，设计裕量较大，在实际运行中难以实现高效匹配，进一步降低了能源利用效率。特别是在低负荷工况下，辅机系统仍保持较高运行强度，造成不必要的能源浪费。当前，随着国家对节能减排政策的持续推进以及电力市场化改革的深入，火电厂面临越来越大的节能降耗压力。在此背景下，辅机系统的运行优化与节能改造逐渐受到重视。尽管部分电厂已开始尝试引入变频调速、智能控制等新技术，但在整体应用水平上仍存在区域不平衡和技术认知不足的问题。多数电厂在辅机系统运行管理方面仍依赖经验判断，缺乏系统化的能效评估体系和动态调控机制，难以实现精细化运行管理。

与此同时，辅机系统的运行状态直接影响主设备的稳定性和整个机组的热效率。例如，送引风机的调节精度关系到燃烧效率和排放指标，给水泵的响应速度影响锅炉供水稳定性，这些都决定了电厂运行的安全性与经济性。因此，全面掌握辅机系统的能耗特征，深入了解其运行中存在的问题，是推动火电厂节能转型的前提条件。

3 变频调速技术在辅机系统中的应用路径

变频调速技术作为当前电机节能控制的重要手段,已在多个工业领域得到广泛应用。在火电厂辅机系统中,该技术通过改变电动机的输入频率来调节设备转速,从而实现对流量、压力等工艺参数的精确控制。相较于传统的阀门或挡板调节方式,变频调速能够有效减少节流损失,提升系统运行效率,并适应机组负荷变化带来的动态需求。随着电力电子技术和控制算法的不断进步,高压大功率变频器已逐步具备在火电厂复杂工况下稳定运行的能力,为辅机系统的节能优化提供了坚实的技术支撑。在具体应用过程中,变频调速技术主要应用于风机、水泵类负载设备,这些设备具有平方转矩特性,其能耗与转速呈近似立方关系,因此通过降低转速可显著减少电能消耗。

以送风机和引风机为例,在锅炉燃烧系统中,其风量需求随负荷波动而变化,采用变频调速后可根据实际需要动态调整输出功率,避免长时间高负荷运行造成的能量浪费。在给水泵、循环水泵等水系统中,变频控制能够实现恒压供水或按需供流,提升系统响应速度的同时降低泵组运行能耗。从系统集成角度看,变频调速装置需与电厂现有的DCS(分布式控制系统)进行深度联动,确保控制逻辑的一致性和运行参数的实时反馈。为了保障设备安全稳定运行,还需配置完善的保护机制,包括过流、过压、欠压、温度监测等功能模块。考虑到火电厂辅机设备长期连续运行的特点,变频器的冷却方式、安装环境以及维护周期也应纳入整体设计范畴,确保其在高温、高湿或粉尘环境下仍能保持良好性能。

在工程实施层面,变频调速技术的应用路径通常包括前期评估、方案设计、设备选型、安装调试及后期运维等多个阶段。前期评估阶段需对目标辅机设备的运行曲线、负载特性及节能潜力进行全面分析,确定最优调速范围和改造优先级;方案设计则需结合电气系统结构、控制要求及节能目标,制定合理的接入方式和控制策略;设备选型阶段重点考虑变频器的功率等级、电压等级及防护等级是否满足现场需求;安装调试环节则需确保一次设备与二次控制系统的协同配合,避免因谐波干扰或参数不匹配影响系统稳定性。

4 辅机设备实施变频改造后的节能效果验证与分析

在火电厂辅机系统中推广应用变频调速技术后,节能效果的量化评估成为衡量其应用价值的重要依据。为准确反映变频改造对能耗水平的实际影响,通常采用运行数据对比、能效指标分析以及数学建模等方法,对改造前后设备的电耗、效率及运行稳定性进行系统性比对。通过采集典型工况下的功率曲线、负荷响应时间、节流调节幅度等关键参数,能够全面揭示变频控制对辅机设备运行特性的优化作用。从能耗变化来看,变频改造显著降低了辅机设备在非额定工况下的电能消耗。由于变频器可实现电机软启动和无级调速,使设备运行更加贴近实际工艺需求,从而减少了不必要的能量损耗。

监测数据显示,在相同负荷条件下,风机和水泵类设备的用电量在改造后普遍下降15%~30%,尤其在低负荷运行阶段节能效果更为明显。这种能耗削减不仅体现在单位时间内的功率降低,还反映在整体运行周期内电能使用效率的提升。

在运行特性方面,变频调速有效改善了辅机设备的动态响应能力和调节精度。传统调节方式依赖机械阀门或挡板控制流量和压力,存在响应滞后、调节不连续等问题,而变频控制系统则可根据反馈信号实时调整电机转速,实现更平稳的压力输出和更精准的流量匹配。这一变化不仅提升了系统的可控性,也有助于减少因频繁启停或突变负荷引发的冲击电流,延长设备使用寿命。为进一步验证节能效果的可靠性,部分电厂建立了基于历史数据的回归模型,用于剔除环境温度、燃料品质、机组负荷波动等因素对能耗测量的干扰。通过构建多变量分析框架,能够更准确地识别变频改造带来的纯节能贡献率。研究结果表明,在排除外部干扰的情况下,辅机设备在引入变频控制后,综合节电率稳定在合理区间,并具有良好的重复性和可预测性。

节能效益不仅体现在电耗的直接降低,还反映在辅助系统运行性能的提升。变频调速可减小冷却水和润滑油系统的负载波动,提高热交换效率,同时有效抑制设备振动与噪音,优化现场作业环境。此类间接收益虽难以量化,但对提升运行安全性与降低维护频率具有重要作用。评估过程中还需综合考虑变频器自身的能量转换损耗,尽管其运行效率普遍高于95%,相较传统调节方式仍具显著优势。从全生命周期来看,变频改造带来的节电收益远超设备能耗成本,具备良好的技术经济可行性。大量运行数据表明,该技术在各类辅机设备中均表现出优异的节能稳定性与环境适应性,为火电厂深入挖掘辅机系统节能潜力提供了坚实支撑。

5 变频调速技术推广的技术经济可行性探讨

在火电厂辅机系统中推进变频调速技术的应用,不仅涉及技术层面的适配与优化,更需从经济角度评估其实施价值。技术可行性主要体现在设备运行的稳定性、控制系统的兼容性以及节能效果的可持续性等方面。当前高压变频器技术已趋于成熟,具备较高的输出精度和较强的抗干扰能力,能够适应火电厂复杂多变的运行环境。随着国产变频产品的性能提升和种类丰富,其在大功率电机驱动中的应用逐步扩大,为辅机系统提供更加灵活的调速解决方案。从系统集成角度看,变频调速装置需要与电厂现有的监控系统、保护系统及调度平台实现高效协同,确保改造后的控制系统能够精准响应负荷变化并维持安全运行。

为此,相关电气设计需充分考虑电网质量、谐波抑制、电磁兼容等关键因素,并配套完善的数据采集与故障诊断机制,以保障变频设备在长期运行中的可靠性。针对不同类型的辅机设备,还需制定差异化的接入方案,兼顾节能目标与系统冗余

要求,避免因局部改造影响整体运行稳定性。在经济可行性方面,初期投资成本是制约变频调速技术大规模推广的主要因素之一。尽管变频器及其配套设施的投资额度相对较高,但其带来的节电效益可在一定周期内抵消投入成本。通过建立全生命周期成本模型,综合考虑设备采购、安装调试、运维管理及能耗节约等因素,可有效测算出投资回收期与净现值指标。多数案例表明,在合理运行条件下,辅机设备实施变频改造后的投资回收周期通常控制在三至五年之间,具备良好的经济效益。

与此同时,运行维护成本的变化也对技术推广产生重要影响。相较于传统调节方式,变频调速减少了机械部件的磨损程度,降低了阀门、挡板等易损件的更换频率,从而节省了部分维修费用。由于变频启动方式能有效抑制启动电流冲击,减少对电机绕组的热应力损伤,进一步延长了电动机的使用寿命。这些间接收益虽难以量化计入直接节能回报,但在整体运营成本控制中具有不可忽视的作用。政策支持与行业导向也在推动

变频调速技术普及方面发挥着积极作用。近年来,国家陆续出台多项节能减排政策,鼓励高耗能企业采用先进节能技术,并提供财政补贴或税收优惠等激励措施。在此背景下,火电厂在进行辅机系统升级改造时,更倾向于选择具备显著节能潜力的技术路径,使变频调速成为优选方案之一。

6 结语

火电厂辅机系统作为厂用电消耗的主要来源,其运行效率直接影响整体能效水平。变频调速技术的应用为实现按需供能、降低节流损失提供了有效路径。通过系统分析能耗特征、优化控制策略,并结合实际运行数据验证节能效果,表明该技术在提升设备调节精度与降低电耗方面具有显著优势。同时,从技术和经济角度评估推广可行性,进一步明确了实施变频改造的合理性。未来,随着电力电子技术的进步与政策引导的加强,变频调速将在更多辅机设备中得到应用,助力火电行业向高效、低碳方向持续转型。

参考文献:

- [1] 刘志远,陈立东.火电厂辅机设备节能控制策略研究[J].电力系统保护与控制,2022,50(8):45-52.
- [2] 孙伟民,高翔.变频调速在大型火电机组风机系统中的应用分析[J].热力发电,2021,50(3):67-73.
- [3] 黄志强,杨帆.火电厂辅机节能改造的经济性评价模型构建[J].华电技术,2023,45(2):102-108.
- [4] 周建明,林涛.基于 PLC 与变频器的锅炉给水泵节能控制系统设计[J].自动化仪表,2020,41(11):89-94.
- [5] 赵振中,徐晓峰.火电厂辅机设备变频节能技术应用现状与发展建议[J].中国电力,2022,55(6):33-40.