

# 变频技术在电厂循环泵节能改造中的应用效果研究

朱新平<sup>1</sup> 季周盈<sup>2</sup> 杨晓波<sup>1</sup> 周昊<sup>1</sup> 吴神通<sup>1</sup>

1.浙江浙能兰溪发电有限责任公司 浙江 金华 321100

2.浙江浙能电力股份有限公司 浙江 金华 321100

**【摘要】**：电厂循环泵是电厂运行中至关重要的设备，传统的循环泵常因能效较低导致大量能量浪费。为提高能源利用率，变频技术作为一种有效的节能改造手段，逐渐被应用于电厂循环泵系统中。本文对变频技术在循环泵节能改造中的应用效果进行研究，分析了变频技术的原理及其在电厂循环泵中的应用现状。通过案例分析，阐述了该技术在降低电能消耗、提升系统稳定性和优化运行效率方面的优势。研究表明，变频技术的应用能够显著提高电厂循环泵的运行效率，实现能源的高效利用。

**【关键词】**：变频技术；电厂；循环泵；节能改造；运行效率

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.024

## 引言

电厂循环泵作为能源转换过程中不可或缺的设备，长期高强度运行往往导致较高的能耗问题。传统的泵系统运行模式无法有效调整负载变化，造成能源浪费和设备磨损。近年来，随着节能减排政策的推进，变频技术逐渐在电厂循环泵系统中得到应用，成为一种行之有效的节能改造措施。通过变频器调节电机的转速，可以根据负载需求自动调节泵的运行状态，从而实现能效的优化。本研究旨在探讨变频技术在电厂循环泵节能改造中的应用效果，揭示其在节能减排中的潜力。

## 1 变频技术在电厂循环泵中的应用背景与必要性

### 1.1 电厂循环泵的能效现状

电厂循环泵承担着冷却水或凝结水循环输送任务，其运行工况直接影响机组的热效率与安全性。当前多数电厂循环泵仍采用工频恒速运行方式，通过阀门节流或旁路调节流量来适应负荷变化，这种调节方式在低负荷工况下易产生较大的节流损失和水力损耗，使电机长期处于偏离最佳效率点运行状态。由于循环泵装机容量大、运行时间长，其轴功率与流量、扬程之间呈立方关系，轻微的流量波动即可引起显著的功率变化。部分老旧机组存在选型裕度偏大、系统阻力匹配不合理、效率曲线与实际工况偏离等问题，导致单位发电量耗电率偏高，增加厂用电比例和运行成本。在“双碳”目标和节能降耗指标约束下，循环泵系统能效偏低已成为制约电厂经济运行的重要因素，迫切需要通过技术升级实现系统优化。

### 1.2 节能改造的紧迫性与可行性

循环泵系统在电厂总厂用电中占比较高，其能耗水平直接关系到发电成本和综合能效评价指标。环保政策趋严、电力市场竞争加剧以及机组深度调峰常态化运行，使循环泵频繁处于变负荷状态，传统调节方式难以满足高效、灵活运行的要求<sup>[1]</sup>。在此背景下，实施节能改造已成为提升企业竞争力的现实选择。变频调速技术通过改变电源频率调节电机转速，使泵的流量与扬程随工况需求动态匹配，实现按需供水和最佳效率点运

行，能够有效降低无效功率消耗。现代变频器具备软启动、功率因数改善及故障诊断功能，可减少机械冲击和电气冲击，提高设备运行可靠性。从技术成熟度、投资回收周期及运行维护条件来看，变频技术已具备在电厂循环泵系统中推广应用的基础，为实现节能降耗目标提供了切实可行的路径。

### 1.3 变频技术的基本原理与特点

变频技术以电力电子变换与电机调速理论为基础，通过整流、直流滤波与逆变环节，将工频交流电转换为频率、电压可调的交流电源，实现对电动机转速的连续调节。在电厂循环泵系统中，电机转速与电源频率成正比关系，当输出频率降低时，泵的转速同步下降，其流量、扬程及轴功率依据相似定律发生变化，从而在满足工艺参数要求的前提下减少无效能耗。通过矢量控制或V/F控制策略，变频器能够保持电机磁通稳定，确保在宽负载范围内具备良好的转矩输出特性，使循环泵运行更贴合实际工况需求。

变频技术在循环泵节能改造中的优势体现在动态调节能力与系统综合优化效果上。频率的平滑调节可实现电机软启动与软停机，降低启动电流峰值和机械冲击，减小轴承及密封件磨损，延长设备使用寿命。负荷波动时，控制系统可依据压力、流量等反馈信号进行闭环调节，使泵组始终运行于高效区间，提升系统效率并改善功率因数。与传统节流调节方式相比，变频运行减少了管网压差损失和振动噪声，有利于实现电厂循环水系统的稳定、节能与智能化运行目标。

## 2 变频技术在电厂循环泵节能改造中的实施与效果

### 2.1 变频技术的应用流程

电厂循环泵实施变频改造通常以系统能效诊断为起点，对现有泵组的额定功率、运行电流、扬程裕度及年运行小时数等参数进行测试与数据采集，建立负荷曲线和能耗模型。在明确节能潜力后，结合循环水系统的水力计算结果，对电机容量、变频器额定电流及过载能力进行匹配选型，并校验供配电系统容量和谐波抑制措施。设计阶段需完成一次接线方案、控制逻

辑图及保护定值整定,确保改造后系统满足电气安全规范和继电保护要求。

工程实施环节涉及设备安装、控制系统接入及调试优化。变频器与原有电机之间需配置输入输出电抗器、滤波装置及旁路回路,以保障电网电能质量并提高运行可靠性。调试过程中设定加减速时间、PID控制参数和压力或流量反馈信号,实现循环泵的闭环自动调节,使其在不同工况下保持稳定运行。投入运行后还需开展阶段性性能测试,对比改造前后的厂用电率和电流波动情况,通过数据分析评估节能效果,为后续运行管理和优化控制提供依据。

## 2.2 节能效果分析与评估

电厂循环泵实施变频改造后,其节能效果需通过系统化数据监测与技术指标对比进行综合评估。评估内容涵盖电机输入功率、运行电流、功率因数、厂用电率以及单位供水量耗电指标等关键参数,并结合不同负荷区间的运行数据建立对比模型<sup>[2]</sup>。依据泵类相似定律,当转速降低时轴功率呈立方关系下降,变频运行可显著减少低负荷阶段的无效功率输出。通过在线监测系统采集改造前后的日电耗曲线及季节性负荷变化数据,可以量化节电率和年节电量,并折算为标准煤节约量与二氧化碳减排量,体现节能与环保双重效益。

对设备振动值、轴承温升及启动电流峰值进行对比分析,可评价变频运行对设备可靠性的改善程度。综合技术指标与经济指标,如投资回收期、内部收益率等,可形成完整的节能效果评价体系,为电厂后续技术推广提供科学依据。在具体分析过程中,应将节电量、厂用电率下降幅度、设备可利用率提升情况等技术参数与工程投资总额、运行维护成本及设备折旧费用进行系统测算,建立全生命周期成本模型。通过对比改造前后的现金流变化,可量化节能收益与风险水平,评估项目的经济可行性与抗风险能力。结合碳减排收益及政策激励因素,开展敏感性分析与情景预测,为管理层制定投资决策和推广计划提供数据支撑,确保节能改造兼具技术先进性,又具经济合理性。

## 2.3 实际案例分析与经验总结

某大型火电机组对两台高压循环泵实施变频改造后,对运行数据的持续跟踪,验证了变频调速在节能降耗方面的实际成效。改造前泵组长期以额定转速运行,依靠出口阀门调节流量,电流波动范围较大,系统压差损失明显。改造完成后,采用压力闭环控制方式,根据凝汽器真空度及循环水温度变化自动调节转速,使泵运行点更加接近最佳效率区。实际运行数据显示,在机组中低负荷阶段,电机输入功率明显下降,年节电率达到预期设计目标,厂用电比例得到有效控制。

工程实施过程中积累的经验表明,合理的容量选型、完善的谐波治理措施以及精细化参数整定是保证节能效果的重要

前提。运行管理人员加强在线监测与定期性能校核,可持续优化控制策略,使变频系统在复杂工况下保持稳定高效运行,为同类型电厂循环泵节能改造提供了可借鉴的实践路径。在实际运行中,应建立涵盖电气参数、机械振动、轴承温度及系统压力等指标的综合监测体系,结合历史运行数据开展趋势分析与对标评估,及时发现效率偏移和能耗异常情况。通过阶段性开展泵效率测试与性能曲线复核,可判断设备是否偏离最佳工况区间,并据此调整变频控制参数和PID整定值。将运行数据纳入信息化管理平台,实现多机组横向对比与节能绩效考核,有助于形成持续改进机制,不断提升循环泵系统的经济性与可靠性水平。

## 3 变频技术在电厂循环泵节能改造中的挑战与发展方向

### 3.1 面临的技术挑战

电厂循环泵在实施变频改造过程中面临多方面技术难题。高压大功率电机在低频运行时易出现转矩脉动和温升增加现象,对绝缘系统和轴承结构提出更高要求;长电缆传输条件下可能产生过电压和 $dv/dt$ 冲击,影响电机寿命。变频器投入后还会向电网注入谐波电流,若未配置滤波或无功补偿装置,可能导致母线电压畸变率升高,影响其他设备稳定运行。循环水系统水力特性复杂,若控制参数整定不当,易引发压力波动甚至水锤风险。原有DCS控制逻辑与变频控制策略之间在信号接口、控制权限划分及联锁条件设定等方面可能存在差异,若协调不当,容易引发误动作或拒动现象,对机组安全运行造成潜在威胁。

特别是在紧急停机、事故切换及旁路投运等工况下,控制响应时序必须精确匹配,否则可能削弱原有保护体系的完整性与可靠性,从而进一步提升系统改造与调试的复杂程度。在循环泵突发故障或母线电压异常时,变频器与DCS系统之间的信号传递、联锁闭锁及跳闸逻辑需保持高度一致,确保动作顺序符合电气一次系统和热控保护要求。若响应延迟或逻辑冲突,可能导致泵组无法及时切换至工频旁路运行,甚至引发凝汽器真空下降、水温异常等连锁问题。为避免此类风险,需要在改造阶段开展充分的仿真测试与联锁逻辑校核,对各类极端工况进行预演验证,并通过分步调试和动态试验确认控制策略的可靠性,从而保障系统在复杂运行环境下的安全稳定。

### 3.2 解决方案与创新发展的

针对上述问题,需要在设计与运行管理层面采取综合性技术措施。选用具备矢量控制功能的高性能变频器,并配置输出电抗器、正弦滤波器和绝缘加强型电机,可有效抑制电压冲击与谐波干扰,保障电气系统安全<sup>[3]</sup>。结合循环水系统特性开展水力仿真分析,对PID参数进行优化整定,使泵组在不同工况下保持稳定运行状态。引入智能监测与故障诊断技术,在线振

动分析和温度监测实现预测性维护，可进一步提升系统可靠性。

近年来，数字化技术与工业互联网平台在电厂中的应用不断深化，基于大数据分析的能效优化算法逐步成熟，为循环泵变频系统的精细化运行和远程运维提供了新的技术支持。构建实时数据采集与边缘计算体系，可对电流、电压、振动及流量等运行参数进行在线监测与趋势预测，结合机器学习模型实现能效评估与异常预警，提高系统运行的可视化水平与管理效率。在具体实施过程中，可在循环泵电机与关键管段布置多类型传感器，形成覆盖电气参数与机械状态的综合监测网络，并通过工业以太网将数据传输至边缘计算节点进行预处理与特征提取。借助历史运行数据库与负荷曲线模型，构建能效基准模型和健康状态评估模型，实现对设备效率偏移、振动异常及温升异常的提前识别。数据结果可同步上传至云端平台，实现远程诊断与集中运维管理，为运行人员提供决策支持，进一步提升循环泵变频系统的智能化与精细化管理水平。

### 3.3 未来发展趋势与推广策略

电厂循环泵节能改造的发展方向正由单一设备调速向系统整体优化转变。未来技术应用将更加注重新多泵协同控制和负荷自适应调节，构建模型预测控制体系，实现对流量、压力及温度参数的动态平衡。高压大容量变频器的国产化水平不断提

升，设备可靠性和功率密度持续提高，为大规模推广创造了条件。在政策层面，节能减排指标考核与电力市场化改革推动电厂更加重视厂用电管理，为变频技术应用提供制度保障。推广过程中应结合不同机组规模与运行方式制定分级实施方案，加强人员培训和运行数据分析能力建设，形成技术标准化与管理规范化相结合的推广路径，从而实现循环泵系统节能效益与经济效益的长期稳定提升。针对新建机组与存量机组的差异，应在设备选型、控制模式及投资强度上进行差异化配置，避免“一刀切”式改造带来的资源浪费。建立完善的运行考核机制与节能评价体系，将节电指标纳入绩效管理，提升运行人员对变频系统优化运行的重视程度。借助持续的数据跟踪与对标分析，不断修正控制参数与运行策略，可确保节能成果在长期运行中保持稳定与可持续。

## 4 结语

本文围绕变频技术在电厂循环泵节能改造中的应用效果展开研究，系统分析了循环泵能效现状、改造实施流程及节能效果评估方法，并结合实际运行案例探讨了技术应用中的关键问题与优化路径。研究表明，合理配置变频系统并优化控制策略，能够显著降低厂用电率，提升设备运行稳定性与经济性。相关技术措施与管理经验为电厂循环泵节能升级提供了实践参考。

## 参考文献：

- [1] 范勇. 火电厂汽动给水泵振动异常及诊断处理研究[J]. 电力设备管理, 2025, (23): 44-46.
- [2] 孙家兴. 变频调速技术在超临界循环流化床机组上的应用及研究[D]. 中国矿业大学, 2021.
- [3] 刘雨. 变频水泵在水厂取水系统中的优化运行研究[D]. 扬州大学, 2018.