工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

火电厂集控运行中电气系统节能优化研究

李春雷
大唐长春第二热电有限责任公司　吉林长春　130000

DOI：10.32629/ems.v8i10.22583

［摘　要］火电机组变负荷运行时，辅机供能与工艺需求错配，使电气节能受到系统耦合及信息时序差异的影响。本文分析电气系统节能运行的基本原理，辨析驱动损耗与节流损失的关系，分析耗电传导和辅机组合的约束因素，提出转速整定、组合调整与测量反馈措施，并以额定参数讨论电机容量和启动条件的匹配。变频应用应同时校核泵组吸入、电机冷却和备用切换条件，节电评价应比较同工况的系统输入电量，避免以电流下降或额定性能替代实际效果。

［关键词］火电厂；集控运行；电气系统；辅机节能；变频调速

引言

火电机组承担负荷调节任务后，辅机供能容易偏离实际需求；泵和风机的电动机消耗厂用电，供能变化又影响给水、燃烧及冷却过程。电气节能应在供电可靠性与工艺需求之间确定可行范围。本文以集控运行中的辅机驱动及厂用电环节为对象，讨论转速、设备组合和测量反馈的关系。传统的单台功率比较难以反映系统任务差异，节能运行还应核查工艺量、驱动损耗及操作条件的对应关系。

1 火电厂电气系统节能运行的理论基础

1.1 电气系统节能运行的基本原理

电气系统的节能对象是完成相同工艺任务所需的输入电能[1]。电动机损耗、变频器损耗和阀门节流损失分属不同环节，局部电流下降不能证明整体耗电减少。对泵类负载，应把流量、扬程与管网阻力同时纳入判断；静扬程占比较大时，降速可能使供水能力先触及边界。对风机，挡板开度与管路阻力改变工作点，转速调整只有在燃烧和排烟条件允许时才有节能意义。电机效率与功率因数也应区分，前者反映输入电能向轴端机械能的转换，后者影响供电电流及线路损耗。无功补偿和高效率电机均不能消除工艺节流损失。集控人员应先辨认多余供能发生在何处，再选择调速、组合切换或电气设备适配。

1.2 辅机节能运行的电气控制框架

辅机控制以工艺参数形成需求，由转速或启停指令作用于电动机；分散控制系统应接收驱动装置的实际转速、运行方式、输入有功功率及故障状态，并与流量、压力或风量对应显示。这样才能判断耗电变化来自工况改变，还是来自控制方式调整。保护逻辑与经济调节承担不同任务，工艺低流量、油压不足和电气故障等条件不宜仅作为节能算法的扣分项，而应构成指令允许条件。正常运行时经济调节可在允许范围内更新设定值；测点失效或故障出现时，则按经过校验的保持、退出或备用设备启动逻辑处理。

2 影响电气系统节能优化的关键因素分析

2.1 辅机运行高度耦合导致的耗电传导效应

给水、送引风及冷却辅机通过工艺过程相互作用，循环水泵减少耗电时，若冷却能力不足使凝汽器压力升高，主机经济性可能下降；送风量调整若引起燃烧偏离适宜状态，也可能抵消风机电耗的减少[2]。只按单台设备功率排序，容易把损失转移到相关环节。辅机电耗比较应保持凝汽器及燃烧条件可比；条件改变时，应补查机组净出力或供电煤耗，不能仅以辅机降功率评价全厂节能。出现多设备同步波动时，先查共同工艺需求及控制指令，再查电动机异常，避免把正常负荷响应误判为电气损耗增长。单台功率下降而并运设备增加功率时，总耗电未必减少。

2.2 集控运行中的电气信息联动不畅

工艺画面与电气画面分别记录压力、流量和电流时，操作人员难以直接看出供能与需求是否匹配[3]。变频器面板显示的输出电流若被当作厂用电计量，又会遗漏装置自身损耗。不同测量位置的读数并不能直接相减。应统一设备标识、测点位置和时间戳，在同一画面保留输入有功功率、工艺反馈、转速指令及实际转速。趋势记录还应标明手动、自动、工频和变频状态；运行方式不明的曲线只能用于异常追溯，不足以单独评价节电效果。各测点更新时刻不一致时，操作

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

人员还可能把时序错位读成设备响应异常。

2.3 辅机工况采集与转速指令的时序差异

负荷指令先变化而流量测量尚未反映新状态时，调节器可能继续增大转速；测量滞后叠加积分作用后，又可能出现过调和往复修正[4]。频繁改变转速既增加设备扰动，也使短时间功率比较失去同工况基础。采集与控制应共同校验时间关系。滤波时间不能为压平波动任意延长，指令变化速率也应与泵组惯性及工艺响应相适应。调速后应等待实际工艺量稳定，再判断耗电差异；若振荡持续，应先核查测点及控制参数，而非继续降低转速追求低功率。功率记录保留原始采样时刻，有助于区分真实调节滞后与记录系统延迟。

2.4 变负荷运行的辅机组合优化需求

并联辅机的台数增加并不等于可用流量按单机能力相加，并联系统工作点由设备曲线与系统曲线共同决定。低负荷下多台设备分担较小任务时，各机可能偏离适宜运行区；但减少台数又可能使剩余设备接近出力边界。组合调整必须同时考察总供量、单机工作点及备用条件。切换过程中两台泵短时并运，可能出现逆止阀动作或压力扰动。方案比较应包含过渡过程及新增辅助设备耗电，不能只比较切换完成后的单台功率。缺少系统曲线时，宜通过受控工况试验确认组合边界，不凭铭牌功率直接确定停运设备。

2.5 深度调峰工况下的辅机动态配电

深度调峰使辅机工作点下移，却不使润滑、控制及必要备用电源的可靠性要求随之降低。厂用变压器低负载运行时应考虑空载损耗，但合并供电会改变负荷分配、检修条件及故障影响范围。单纯减少带电设备数量不能作为动态配电原则。集控应结合实际接线核查各段负荷和备用电源可用性，再决定允许的运行方式。大电动机启动时还应评估母线电压及相互作用的辅机响应；未完成切换逻辑和保护配合校验的供电路径，不应进入经济调度方案。低负荷合并供电后若备用路径被占用，正常运行损耗的减少将伴随故障恢复能力变化。

3 降低电气系统运行耗电的优化措施

3.1 基于工况约束的辅机变频与转速整定

变频改造应先按辅机需求确定允许转速区间[5]。泵组应核查最低连续流量、扬程、汽蚀余量及前置泵供水条件；风机应核查运行稳定区与燃烧需求。不能把相似定律的理想功率关系直接用作全负荷范围的节电承诺。给水泵保留液力偶合器的方案中，前置泵可能仍由同一电动机驱动，前置泵转速会随调速变化。低速时应分别检查吸入条件和润滑供油，不能只依据给水压力正常就判定整个泵组安全。电机低速冷却能力、绝缘与变频供电适配同样影响允许范围。变频器与工频旁路之间能否带负荷切换，须以实际装置能力和试验结果为准，不因设有旁路就默认可无扰切换。

3.2 面向变负荷运行的辅机组合重排

辅机组合调整可从负荷较稳定的时段开始[6]。保持供量与所需扬程、入口条件共同满足同一工艺任务，分别记录原组合与候选组合的总输入功率、设备转速和工艺反馈，再确认单机运行区及备用设备投入条件。并联泵减台时，应按既定切换步骤建立剩余设备出力，再解除待停设备负荷，防止压力出现缺口。负荷上升时则根据实际响应提前投入必要设备。启停判据宜采用不同的投入与退出边界，并设置与工艺动态相符的保持条件，以减少边界附近反复切换。对不同容量辅机，不能按“大机优先”或“小机优先”固定排序。应把系统阻力、负荷持续时间和驱动损耗共同纳入比较。涉及供电方式改变的组合，还应经电气校核后纳入允许清单，由集控执行而非临时绕过保护。

3.3 强化集控人员技能以降低辅机运行耗电

集控操作训练应围绕实际耗电异常展开[7]。例如，在压力不变而泵输入功率升高时，先核查流量变化、阀位及运行台数，再检查机械阻力与电气状态；在电流下降而输入功率变化不明显时，核查功率因数、计量位置和运行方式，避免作出错误节电判断。交接班记录应写清自动调节是否投入、设定值调整原因及尚未恢复的异常测点。人员训练还应覆盖变频故障退出、备用启动和工频恢复的实际顺序，明确各步成立条件。经济操作的经验可形成可复查步骤，但不应把某次成功降速的数值固化成全部负荷下的通用指令。

3.4 构建耗电数据驱动的辅机反馈调节机制

耗电反馈的测量边界应覆盖被调整的驱动系统，变频方案若增加独立油泵或冷却设备，辅助设备电量应一并记录；在相同工艺任务和等时长窗口累计输入电量；负荷变化时，按同负荷分段及一致持续时间汇总。图中变频驱动包括变频器与电动机。工艺约束限定转速，工艺量与输入功率返回控制端，分别用于确认供能是否满足需求、比较同任务耗电。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

出现测点失效时，应将该段记录从经济比较中剔除，并按既定故障逻辑处理，不能把缺测记为零耗电。某一工况验证的组合只在相应边界内采用；负荷谱明显变化后重新评价，避免将历史最小功率点长期当作全工况最优点。图 1 给出了集控指令、工艺约束和电气耗电反馈之间的关系。

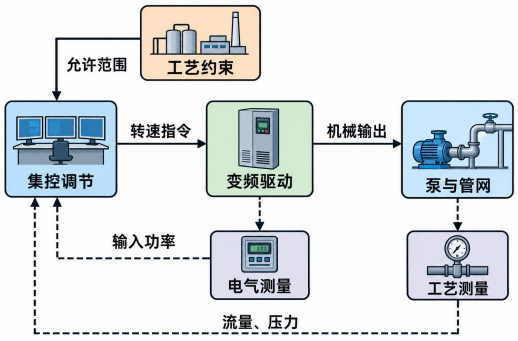

图 1　辅机集控调节与电气耗电反馈关系

3.5 建立变负荷运行的电机效率匹配方案

电机容量匹配应覆盖常用负荷、短时峰值与启动过程；同为十千伏、四极的同系列电机，不同容量规格的额定保证值可用于能效和启动预筛。电机效率为机械输出与电气输入有功功率的比值，功率因数不能代替效率；允许负载转动惯量与电机自身惯量也应分别核查。启动能力应覆盖全加速区间，电机转矩须超过负载转矩，并检查允许启动时间与次数的热条件。额定参数不能代替部分负荷效率曲线，候选电机应结合实际负荷持续时间比较驱动系统输入电量。不能因较大规格额定效率较高而放大容量，也不能为减少轻载损耗取消峰值出力和安全备用。表 1 列出同电压同极数电机的额定与启动参数。

表 1　YKK_{450}-4 电机不同容量规格的额定与启动参数

额定功率（kW）	电机效率（无量纲）	定子电流（A）	功率因数（无量纲）	允许负载转动惯量（kg.m²）	电机转动惯量（kg.m²）
220	0.904	16.3	0.86	78	7.6
250	0.908	18.3	0.87	87	7.6
280	0.913	20.1	0.88	97	8.6
315	0.917	22.5	0.88	107	9.3
355	0.92	25.3	0.88	119	10
400	0.924	28.4	0.88	133	13.8

表 1 中较大容量规格的额定效率较高，同时定子电流和转动惯量增大，容量选择还应核查供电及加速条件。允许负载转动惯量给出了各规格的启动适配边界，不能与电机自身惯量混同。额定效率只支持额定工况比较，实际低负荷匹配仍应核查负荷效率曲线，不能据此推算改造节电量。

结语

火电厂集控运行中的电气节能应从工艺需求与辅机供能的对应关系入手，将转速、设备组合、电机容量和输入电量测量联系起来。调速与减台操作均受工艺连续性和备用能力约束，额定参数仅用于容量及启动预筛。实际节电效果应通过同工况、同测量边界的对照确认，具体系统曲线和部分负荷效率则决定方案的适用范围。负荷谱改变或设备检修后，应重新检查组合的适用边界。

[参考文献]

[1]李冰浪.火电厂集控运行中电气系统节能优化研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):170-172.DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2024.10.052.

[2]任亚杰.火电厂集控运行节能优化技术[J].能源新观察,2026,(8):83-85.

[3]林燕.火电厂集控运行节能优化策略研究[J].中国设备工程,2026,(13):139-141.

[4]孙凯亮.火电厂集控运行节能降耗技术的应用研究[J].科技资讯,2026,24(13):88-90.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2511-5042-9243.

[5]田志杰.“双碳”目标下火力发电厂集控运行的节能优化策略研究[J].中国科技纵横,2026,(13):53-55.

[6]李克.火电厂机组集控运行中的节能降耗策略探析[J].清洗世界,2026,42(7):142-143+171.

[7]唐涛.燃煤电厂能耗现状及集控运行节能优化措施研究[J].中国新技术新产品,2026,(18):66-68.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2026.18.022.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.