

基于负荷前馈的捞渣机转速自动控制技术研究应用

曾春峰

郑州裕中能源有限责任公司, 河南 郑州 452375

DOI:10.61369/EPTSM.2026050013

摘 要 : 针对某电厂 #3、#4 机组捞渣机转速传统手动控制存在的调节滞后、精度差、设备磨损快等问题, 本文提出并创新性的实现了一种基于机组负荷前馈的捞渣机转速自动控制技术。该技术通过构建“机组负荷-驱动油压-转速指令”三层映射模型, 将常规一阶控制升级为“经验值+前馈”复合控制模式。核心在于利用锅炉热负荷(通过凝结水流量折算)作为前馈信号, 提前预判渣量变化趋势, 并通过数据采集与监控系统实现转速指令的自动生成与闭环调节。在 #3、#4 机组捞渣机的实际应用表明, 该技术将转速调节响应时间从 30 分钟缩短至 15 分钟, 在平均负荷 600MW 工况下, 平均运行转速从 5.2 m/min 降至 3.5 m/min, 关键部件磨损速率降低 30% 以上, 预计年节约备件成本约 85 万元, 同时大幅提升了设备自动化水平与运行安全性, 为同类型设备的智能化改造提供了可复用的工程实践范例。

关 键 词 : 捞渣机; 负荷前馈; 自适应控制; 降本增效; 状态监测

Research and Application of Automatic Speed Control Technology for Slag Recovery Machine Based on Load Feedforward

Zeng Chunfeng

Zhengzhou Yuzhong Energy Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 452375

Abstract : Addressing the limitations of traditional manual speed control systems for slag removers in Units #3 and #4 of a power plant—including adjustment lag, poor precision, and rapid equipment wear—this paper proposes and innovatively implements an automatic speed control technology based on unit load feedforward. By establishing a three-tier mapping model ("unit load-drive oil pressure-speed command"), the technology upgrades conventional first-order control to a hybrid "experience-based + feedforward" control scheme. Its core mechanism utilizes boiler thermal load (calculated from condensate flow rate) as a feedforward signal to predict slag volume trends in advance, enabling automatic generation and closed-loop regulation of speed commands through a data acquisition and monitoring system. Practical applications on Units #3 and #4 demonstrated that this technology reduced the speed regulation response time from 30 minutes to 15 minutes; under an average load of 600 MW, the average operating speed decreased from 5.2 m/min to 3.5 m/min, while the wear rate of critical components was reduced by over 30%. Annual spare parts cost savings are estimated at approximately -850,000. Additionally, the system significantly enhances equipment automation and operational safety/stability, providing a reusable engineering example for intelligent retrofitting of similar equipment.

Keywords : slag skimmer; load feedforward; adaptive control; cost reduction and efficiency improvement; condition monitoring

引言

捞渣机是火电厂锅炉灰渣处理的关键设备, 其运行状态直接影响机组的安全运行与经济性^[1]。传统捞渣机转速多采用运行人员依据经验手动调节, 存在明显弊端: 一是调节滞后性, 运行人员根据驱动油压或现场观察判断渣量变化后再调整, 响应慢(如图一); 二是调节精度差, 依赖个人经验, 难以保证转速始终处于最优经济区间^[2](如图一); 三是设备磨损加剧, 长期在非最优转速下运行, 加速了刮板、链条等易损件的磨损, 增加维护成本与设备故障风险^[3]。



(图一)

随着公司智能化转型与精细化管理的不断深入,实现捞渣机转速的自动、精准、自适应控制成为迫切需求^[4]。本文以公司#3、#4机组捞渣机为研究对象,引入机组负荷作为前馈信号,设计并实施了一套转速自动控制系统。该系统通过挖掘负荷与渣量、驱动油压的内在关联,实现了对捞渣机转速的预见性调节,有效解决了传统控制模式的痛点,取得了显著的技术经济效益。

一、控制策略与模型构建

(一) 核心控制理念

本方案核心思路是建立机组负荷变动→锅炉排渣量增减→捞渣机油压变化→转速智能自适应调节的前置联动控制逻辑。机组带载大小直接决定炉底废渣产生总量,负荷提升会加大燃煤消耗量,随之排渣量增多,捞渣机驱动油压同步升高。因此可把机组负荷作为废渣产量提前预判的先行依据。

(二) 三层映射控制模型

构建机组负荷—驱动油压—转速指令三级关联调控架构。

第一层为信号采集层:实时采集机组运行负荷参数,针对捞渣机就地装置无该测点的短板,采用锅炉热负荷做等效替代处理;采集3、4号机组前置过滤器凝结水流量,代入2.2倍经验折算系数,换算得出等效负荷数值。

第二层为关联映射层:依托历史运行工况大数据,建立负荷与油压匹配经验数据库,划定40%~100%额定负荷各分段对应的油压正常区间及安全极限值。

第三层为指令执行层:采用油压基准设定+负荷前馈动态补偿复合下发模式。以当前负荷匹配的标准油压对应转速作为基础定值,再根据负荷升降速率做实时修正;负荷上行时提前小幅升速,负荷下行时提前适度降速,实现设备超前智能调控。

(三) 控制函数升级

放弃传统单阶PID算法与固定逻辑整定方式,改用引入前馈补偿的自适应智能调控策略,提升系统动态适配能力。

二、系统实现与DCS一体化集成

(一) 数据采集与折算处理

借助DCS平台实时采集经换算后的锅炉热负荷、捞渣机实时

驱动油压及实际运行转速,通过DCS与现场捞渣机PLC控制柜内部双向通讯交互,搭建完整闭环自动调控回路。

(二) 控制功能开发

在DCS画面及逻辑中组态开发三项核心功能:

自动转速智能调控:依托三级映射模型实时运算,自动下发最优转速设定值;

故障报警联锁保护:设置油压上下限安全门槛,对油压异常、转速大幅偏离额定区间等工况触发声光预警,并联动投入保护闭锁逻辑;

手动/自动无扰切换:自控回路异常或特殊工况下,可平稳切换至就地手动模式,保障设备不间断安全运行。

(三) 参数整定与工况优化

装置投运后,在40%~100%额定负荷范围内开展多工况变负荷试验,批量采集负荷、油压、转速关联工况数据。通过对比分析反复调校前馈系数、调节死区、升降速幅值限制等关键参数,最终将捞渣机自动运行转速稳定控制在1.5~7.0 m/min经济安全区间。

三、应用效果分析

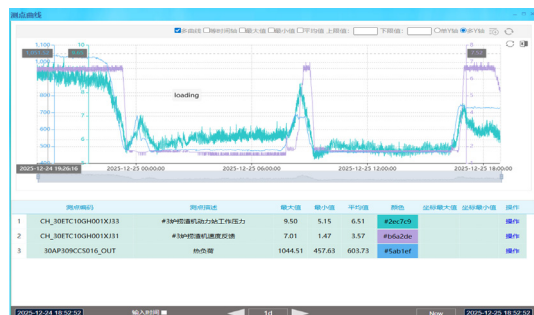
该智能调控方案在3、4号机组捞渣机现场投用后,综合运行效益提升效果十分显著。

(一) 经济效益

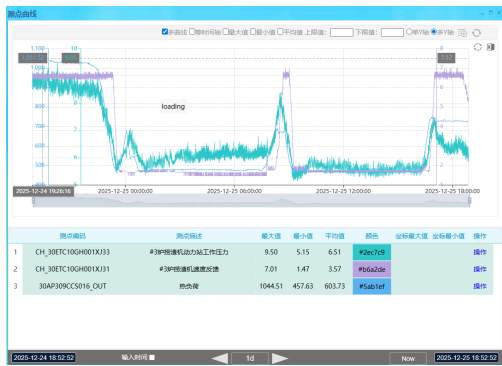
节能降耗效果突出:机组常年日均600MW带载工况下,捞渣机平均运行转速由人工调控的5.2 m/min(如图二),降至智能自控模式3.5 m/min(如图三),下调幅度达32.69%。转速合理下降大幅减缓设备机械磨损。



(图二)



(图二)



(图三)

降本增效方面：刮板、传动链条等易损配件磨损速率同比下降超30%，部件使用寿命可延长9～12个月。经现场成本核算，每年可节约备品采购、拆装检修、更换人工等运维开支约85万元，实现检修运维成本显著压降。

(二) 技术指标提升

响应时效明显改善：机组出现变负荷扰动时，捞渣机转速调控响应时间由人工操作30分钟，缩短至15分钟以内（如图三），调控响应效率实现翻倍提升。

自动化运行水平大幅提高：实现机组负荷动态波动与捞渣机转速随动适配的全流程闭环自控，运行人员日常监盘值守、人工干预操作工作量减少90%以上，有效降低现场人工劳动强度。

运行控制精度显著优化：设备转速全程运行平稳，可长期稳定处于经济最优工况，彻底消除传统人工粗放操作带来的转速频繁大幅波动问题。

(三) 安全与运行可靠性提升

实现故障提前预防管控：依靠驱动油压在线连续监测搭配转速自适应匹配逻辑，可有效应对短时排渣量突增工况，规避油压超限跳闸、机内堵渣卡滞等故障，设备运行油压稳定维持在5～10MPa合理区间（如图三）。

同时大幅减少链条异常磨损、轨道跑偏脱轨、链条断裂等缺陷引发的非计划停机，设备运行稳定性、安全冗余及抗扰动能力得到全面增强。

运行稳定：设备长期运行在健康工况下，整体运行可靠性得到根本性提升。

(四) 技术创新性

通过调研同类型电厂，如安徽铜陵某电厂、河南内乡某电厂等，这些电厂的捞渣机转速控制仍长期处于手动控制状态，正积极寻求捞渣机转速自动控制技术。发电部迎难而上，在各级领导

密切关心支持下，与生技部、设备管理部热工专业反复会商沟通，创新性的通过构建“机组负荷-驱动油压-转速指令”三层映射模型，将常规一阶控制升级为“经验值+前馈”复合控制模式，利用锅炉热负荷（通过凝结水流量折算）作为前馈信号，提前预判渣量变化趋势，并通过数据采集与监控系统实现转速指令的自动生成与闭环调节，捞渣机转速能长期自动维持在最佳经济速度附近，避免了人工调节的过大波动^[9]。

四、注意事项

尽管该自动控制系统成效显著，但在极端工况下仍需人工干预：

异常工况处理：当锅炉燃用劣质煤或发生突然掉大焦时，可能导致驱动油压在负荷未大幅变化的情况下急剧升高。此时，系统虽会报警，但为防止设备损坏，必须立即解除自动模式，切换至手动控制，并提高捞渣机转速直至大焦块被排出、油压恢复正常至8MPa以下。

现有控制模型是依据既定煤质特性与锅炉结构参数搭建而成。一旦入炉煤质指标出现大幅波动，需重新校核并修正负荷与油压之间的关联匹配曲线，完成模型参数重新整定优化^[10]

五、结论

本文提出并现场落地的机组负荷前馈式捞渣机转速智能自适应调控方案，为火电厂辅控设备智能化升级提供了可行实用路径。

通过搭建三级映射前馈控制架构，并完成与DCS系统深度融合，可将捞渣机自控运行转速稳定约束在1.5～7.0 m/min经济安全区间，达成设备转速精准预判、提前调节与全自动运行的控制目标。

该技术可明显减缓捞渣机机械损耗，刮板、链条等易损部件损耗速率可降低30%以上，设备服役周期可延长9～12个月。同时大幅提升系统自动化程度与运行安全稳定性，经济收益突出，具备行业大范围推广应用条件。

后续可引入机器视觉渣量在线识别、智能预测算法等新技术进行迭代升级，进一步增强控制系统自适应调节能力与故障容错性能。

参考文献

[1] 李益民, 史志刚. 锅炉捞渣机链环断裂原因分析 [J]. 热力发电, 2007(08):105-108.
[2] 吴宏旺, 孟庆鹏, 孙华超等. 基于计算机图像识别的捞渣机转速自动控制 [J]. 工业锅炉, 2025 (04):54-58.
[3] 陈辉, 周晓辉, 张强. 300MW 机组锅炉捞渣机改造及对锅炉经济性影响的研究 [J]. 电站系统工程, 2024, 40 (04):25-28.
[4] 邓绍贤. 660MW 超临界燃煤锅炉干式除渣系统改造及效益评价分析 [J]. 机电信息, 2024 (07):73-76.
[5] 赵宏伟. 湿式除渣系统节能改造技术研究及应用分析 [J]. 资源节约与环保, 2023 (10):5-8.
[6] 郭勇. 华能营口电厂 #4 机组锅炉捞渣机控制系统改造 [J]. 仪器仪表用户, 2016, 23 (10):98-100.
[7] 高奎, 谭祥帅, 郭三虎等. 超超临界机组辅机故障减负荷过程重要运行参数控制优化 [J]. 热力发电, 2021, 50 (07):1-6.
[8] 辛丽梅. 火电厂热工自动化 DCS 控制系统的运用分析 [J]. 科技视界, 2024, 14 (33):65-68.
[9] 孙长生, 朱北恒, 孙维本, 等. 火电厂热控系统可靠性配置与事故预控 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
[10] 吴尔夫. 浅析火电厂热工自动化 DCS 控制系统的运用 [J]. 中国设备工程, 2024 (10):117-119.