

永磁调速技术在脱硫系统节能中的应用效果分析

董旭 孙凯 张广瑞 乐家锦 李敏

华电江苏能源有限公司 江苏 南京 210000

【摘要】：为解决脱硫系统浆液循环泵工频运行调节不足、阀门节流耗能及传统调速方案适配缺陷等问题，本文探究永磁调速技术在脱硫系统的节能应用效果。以华电江苏能源有限公司浆液循环泵为研究对象，通过精准匹配设备参数、设定宽幅无级调速范围、联动DCS智能调控，以气隙调节替代阀门节流，优化转矩传递效率及场景适配能力。结果表明，该技术有效提升了调速精度与运行稳定性，适配脱硫系统恶劣工况，简化运维流程，显著降低能源消耗与运行成本，为燃煤电厂脱硫系统节能改造提供了可行路径，具备突出的实际应用价值。

【关键词】：永磁调速技术；脱硫系统；节能应用

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.058

引言

“十四五”时期，节能提效是碳达峰碳中和目标的关键支撑，燃煤电厂为重点用能单位，脱硫系统节能改造刻不容缓。脱硫系统内浆液循环泵为核心耗能设备，传统工频运行调节灵活性不足，阀门节流导致能源大量损耗，变频调速等传统方案存在谐波干扰、适配性不足等问题。永磁调速技术具备无机械硬连接、无级调速、抗恶劣环境等固有优势，为上述问题提供全新方向。本文以相关电厂浆液循环泵改造为实例，剖析永磁调速技术的实施路径与应用效果，为脱硫系统节能优化提供实践借鉴，推动电厂达成环保与经济双重效益。

1 脱硫系统节能改造背景与永磁调速技术应用基础

“十四五”时期，节能提效是碳达峰碳中和目标的支撑，电机、调速器等用能设备能效提升计划持续推进，为燃煤电厂脱硫系统改造提供政策导向^[1]。脱硫系统是电厂环保核心环节，电耗占比突出，浆液循环泵电耗占比超脱硫系统80%，华电江苏能源有限公司一期脱硫系统近半年电耗占厂用电0.9%，折算标煤耗2.8g/kWh，这类泵组传统工频运行缺乏调节能力，存在能源浪费，节能改造需求迫切。永磁调速技术依托磁性耦合原理，气隙调节完成转矩传递，调速范围覆盖30%-97%，实现无级调速，无机械硬连接，拥有无谐波干扰、维护简便、适应高温高湿粉尘工况等优势，对比改造周期60天、投资较高的变频调速方案，40天工期、适中投资成本及高可靠性，更契合脱硫系统浆液循环泵的运行特征，为技术在脱硫系统的应用筑牢基础。

2 脱硫系统节能运行核心问题聚焦

2.1 浆液循环泵工频运行缺乏灵活调节能力

脱硫系统内浆液循环泵属核心耗能设备，运行状态直接关联节能效果与脱硫效率。华电江苏能源有限公司1E浆液循环泵电机额定功率1800kW，额定转速1490rpm，工频驱动模式下，无法依托吸收塔内部工况动态调整供浆量。吸收塔喷淋层为“4+1”配置，需在50%BMCR至BMCR工况区间适配，燃

煤含硫量超设计值20%以内时投用四层喷淋层，含硫量较低时仅部分喷淋层运行，供浆需求差异明显。工频运行的浆液循环泵缺乏调节能力，全程维持100%开度运行，全年启停次数多，难以匹配不同工况供浆需求，脱硫反应效果受限，功率余量偏大引发能源浪费，构成脱硫系统节能的关键制约点^[2]。

2.2 依赖阀门节流调节流量造成能源损耗

传统脱硫系统的流量调节依靠阀门节流，该方式存在能源损耗症结。流体力学原理表明，阀门改变开度控制流量时，电机与负载转速维持额定状态，电机输入功率不会随阀门开度减小而降低。阀门开度不足100%时，流体流经阀门产生能量损失，两端形成压差，使浆液循环泵运转点偏离最佳效率点，电能多以热能形式消耗。浆液循环泵电耗占脱硫系统电耗80%以上，华电江苏能源有限公司一期脱硫系统近半年电耗占厂用电0.9%，折算标煤耗2.8g/kWh，阀门节流造成的能源浪费在整体能耗中占比不小，放大了脱硫系统运行成本。

2.3 传统调速方案存在场景适配缺陷

当前主流传统调速方案依托变频调速技术，脱硫系统场景下适配缺陷突出。高压变频调速依靠电源频率调整实现转速控制，诸多问题随之显现：电子元器件寿命有限、可靠性不足，脱硫系统高温高湿高粉尘环境下长期运行易出现故障；输入谐波干扰电力系统运行，破坏其他设备稳定性；低频启动阶段电机发热量骤增，效率同步下滑，电机寿命被缩减的同时伴随安全隐患。变频调速改造需拆除原有异步三相电机，增设变频器控制模块，改造工期耗时60天，工程量庞大且投入成本偏高。脱硫系统隶属电厂环保核心环节，设备稳定性、维护便捷度与运行安全性均需达到高标准，变频调速既有缺陷无法支撑脱硫系统长期稳定运行，场景适配度偏低。

3 永磁调速技术针对性破解核心问题的实施路径

针对脱硫系统存在的调速不足、能耗浪费及场景适配差三大核心问题，永磁调速技术从硬件适配、能耗管控、场景优化三个维度构建了系统性解决方案。以下实施路径既聚焦单个问

题的精准破解，又注重各环节的协同联动。

3.1 强化浆液循环泵调速适配性

3.1.1 精准匹配泵组参数选型

1E 浆液循环泵 1800kW 额定功率、1490rpm 额定转速参数下，选定 KLFH850 型永磁调速器，11537Nm 额定扭矩与泵组匹配，6kV 电压等级、水冷冷却方式与原有系统契合，无兼容性冲突（见图 1）^[3]。贴合现场空间布局采用卧式箱体结构，设备中心高度调整至 1630mm，减少基础改造工程量，预留 1250mm 电机后移空间，测算泵体与电机安装间距，调速器与电机、泵体对中偏差控制在允许范围，为后续调速功能稳定发挥奠定硬件基础，达成设备选型与现场工况的适配。

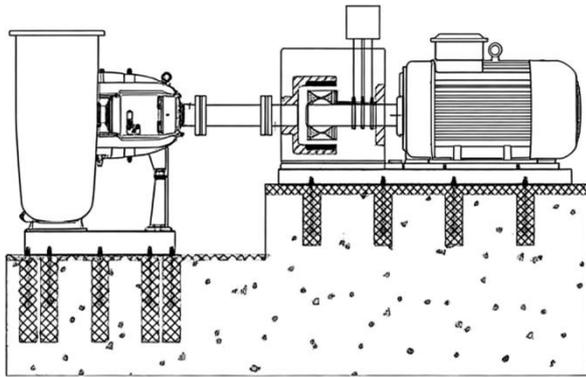


图 1 脱硫系统浆液循环泵-永磁调速装置安装结构示意图

3.1.2 设定宽幅无级调速范围

脱硫系统 50%BMCR 至 BMCR 全工况供浆需求下，永磁调速器负载调速区间设为 30%-97%。气隙长度经电动执行器调整，达成 1347rpm-1462rpm 的无级转速切换，覆盖不同燃煤含硫量下的供浆需求。泵组全年启停频繁，设低载（空载）启动模式，启动时气隙调至最大，减少启动电流冲击对设备的影响。按喷淋层投用数量预设转速阈值：四层喷淋层投用应对高含硫量燃煤，转速不低于 1462rpm；两层及以下喷淋层投用，转速降至 1400rpm 以下，确保供浆量与脱硫反应需求匹配。

3.1.3 联动 DCS 系统实现智能调控

永磁调速器接入电厂 DCS 集中控制系统，吸收塔安装流量、压力传感器及 SO₂ 浓度监测装置，这些装置持续捕捉运行状态数据，采集工况实时数据，传输至 PLC 逻辑控制器。逻辑控制器对数据进行快速运算处理，经 PID 调节输出 4-20mA 信号，驱动执行器调整气隙。原烟气 SO₂ 浓度 ≥2300mg/m³，转速自动提升，供浆量相应增加；浓度 ≤1500mg/m³，转速下调，供浆量同步减少。转速随烟气成分变化实时响应，无需人工介入即可维持脱硫反应平衡，逻辑闭环保障调节的及时性与合理性。预留远程手动干预功能，操作人员借助人机界面设定目标转速，紧急情况下可直接介入调整，灵活应对突发工况。控制器运算处理高效，指令传输无延迟，气隙调整精准对应供

浆需求，达成供浆量自适应调控与人工应急干预的双向保障，省去现场频繁操作的繁琐，确保脱硫系统在不同工况下均能稳定运行，兼顾自动化效率与操作灵活性^[4]。

3.2 减少流量调节环节能源损耗

3.2.1 气隙调节替代阀门节流操作

拆除原浆液循环泵出口调节阀门组件，永磁调速器的气隙调节模式全数替代节流控制，现场信号箱或 DCS 系统可远程调整气隙长度，改变磁场啮合面积直接调控泵组输出流量，从根源上消除阀门节流造成的管网阻力损耗。改造全程按施工方案完成电机基础后移 1250mm 调整，铺设永磁调速器至冷却站的水冷管道线路，管道长度控制在 5 米范围内，法兰连接方式保障密封无渗漏，反复调试确认气隙调节与流量变化线性关系，不同供浆需求下气隙调整均可适配满足，无需借助其他额外节流装置。

3.2.2 优化转矩传递效率设计

电机与负载采用非机械硬连接传递转矩，借助导体转子与永磁转子间的感应涡电流传递动力，降低机械接触引发的能量损耗。安装阶段执行轴系对中标准，借助专业校准仪器把控端面与圆周偏差，二者均不超过 0.05mm，校准过程需反复核验数据，确保偏差值稳定在允许范围。斜垫铁需成对选用，斜度控制在 1:10 至 1:20 区间，垫铁与基础台板接触面均匀度需达到 75%以上，贴合过程中需逐点检查接触状态。底座二次灌浆选用 C80 高强度灌浆料，灌浆前需清理底座下方杂质，保证接触面洁净，灌注过程中确保浆料填充底座下方全部空间，无任何气孔残留。安装精度的把控可降低转矩传递过程中的能量损耗，传动系统整体效率随之提升，电能向机械能的转化更直接、更高效，为设备长期稳定运行提供动力传输保障。

3.2.3 按需调控负载转速降低冗余消耗

电厂发电负荷变化规律为参照，运行工况划分高峰负荷（≥80%）、中负荷（50%-80%）和低峰负荷（≤50%）三个区间，不同转速阈值按区间设定：高峰负荷时转速维持 1462rpm 左右，保障满负荷供浆需求；低峰负荷时转速下调至 1347rpm-1400rpm，削减冗余功率消耗。DCS 系统调取历史运行数据，搭建“负荷-转速-供浆量”对应关系模型，实时负荷输入模型匹配最优转速，每月统计不同转速下能耗数据，结合脱硫效率动态调整转速设定值，电机始终运行于高效率区，无效能耗彻底规避。

3.3 优化调速方案场景适配能力

3.3.1 无谐波干扰适配电力环境

依托永磁调速非接触性机械联接特性，不产生谐波干扰电力系统，无需额外安装滤波装置增加成本。改造时遵循电气施工规范回接高压电机动力电缆，调速器供电线路与脱硫系统

400V 配电室线路物理隔离,降低相互干扰^[5]。接线完成后开展绝缘测试与谐波检测,无谐波污染且绝缘性能达标,优化接地设计将永磁调速器外壳与电机接地系统可靠连接,形成完整接地回路,维持设备在电厂复杂电磁环境下的稳定运行,避免谐波影响其他精密仪器和电力设备。

3.3.2 恶劣环境适配结构改造

脱硫系统高温、高湿、高粉尘的恶劣工况下,采用整体箱式密封结构设计,永磁调速器主体、调节套筒、轴承均密封于罩壳内,冷却与润滑共用同一介质,从根源规避混合污染问题。浆液泵房外侧开挖 3.5m×2.3m×1.2m 的辅机基坑,基坑顶部高出地面 0.2m,阻挡暴雨冲刷与路面雨水漫入。搭建防雨棚、设置积水池,基坑四周做防渗处理并安装固定安全防护栏,契合电厂安全防护规范。冷却系统采用水冷方式,专用管道连通调速器,设备在高粉尘、高湿度环境中维持稳定运行状态,隔绝外界环境干扰。

3.3.3 简化维护流程降低运维负荷

永磁调速器设计预留观察窗口,转动部分采用全包围结构,隔绝粉尘与水汽侵蚀,日常点检无需拆卸罩壳即可直观查看内部运转,提升点检便捷性。制定维护流程:每日检查冷却系统压力、流量及密封状况,排查渗漏隐患;每周监测轴承振动数值与温升情况,严格控制振动不超过 4.6mm/s、温升不高于 80℃;每 6 个月拆解气隙调节机构护罩,清理内部积尘杂物,加注专用润滑脂保障活动顺畅;每年对轴承进行全面拆解检查,更换老化润滑介质,确保转动阻力符合设计标准。变频调速依赖复杂电子元器件,维护工序繁琐,本流程通过简化操作步骤,缩短单次维护耗时,减少运维人员投入频次,降低备件更换成本,完全贴合脱硫系统对设备维护便捷性的实际需

参考文献:

- [1] 邢鹏.永磁调速技术在电机节能自动化控制中的应用[J].模具制造,2025,25(03):192-194+197.
- [2] 杨武,贺凯,李德权,等.基于永磁调速技术的核电站辅助冷却水系统调节方式优化[J].节能,2024,43(07):60-62.
- [3] 李伟,林晓斌.燃煤电厂脱硫浆液循环泵节能改造及效果分析[J].节能与环保,2022,(12):77-79.
- [4] 姚杰.永磁调速技术节能分析[J].电气时代,2021,(06):58-60.
- [5] 方进,吴志祥.1000MW 机组脱硫系统浆液循环泵永磁调速改造项目的技术经济性分析[J].节能,2020,39(04):1-4.

求,兼顾实用性与经济性,适配电厂连续运行的运维节奏。

4 永磁调速技术在脱硫系统的应用效果验证

永磁调速技术在华电江苏能源有限公司脱硫系统的应用,量化数据与实际运行表现验证其综合成效。改造后 1E 浆液循环泵年节电量 897868.8kW·h 至 2394316.8kW·h,折算节能量 110.35 吨至 294.26 吨标准煤,综合节能率 8.02%至 21.39%,按当地工业电价 0.45 元/kW·h 核算,年节约用电成本 40.40 万元至 107.74 万元,节能效果远超预期。30%-97%的无级调速范围适配脱硫系统不同工况,电机运行电流从改造前 187A 降至最低 147A,转速可在 1347rpm 至 1462rpm 间切换,供浆量随 SO₂ 浓度变化动态匹配,启停冲击降低,运行稳定性提升。无谐波干扰设计保障电力系统安全,全密封水冷结构令其在高温高湿粉尘环境中故障率低于传统方案,振动隔离效果达 80%以上,延长泵组及配套设备使用寿命。简化的维护流程减少运维人力与物料投入,脱硫效率始终稳定达标,契合“双碳”目标下的节能要求,提升电厂环保运营的可靠性与经济性,验证该技术在脱硫系统的应用价值。

5 结语

永磁调速技术通过针对性破解脱硫系统核心问题,展现了显著的应用价值。其通过参数精准匹配、智能调速调控强化了泵组适配性,以气隙调节替代阀门节流根除了无效能耗,凭借无谐波设计、密封结构及简化运维优化了场景适配能力。该技术不仅有效提升了脱硫系统运行稳定性与环保达标率,还显著降低了运行成本,为同类高耗能设备改造提供了可复制的实践经验。未来,需进一步深化技术研发,针对不同规模脱硫系统优化永磁调速器参数设计,提升极端工况下的适配能力。