

# 煤矿机电设备中变频节能技术的应用分析

闫艳超 李 毕

陕西彬长大佛寺矿业有限公司 陕西 咸阳 712000

**摘要:** 煤矿机电设备中变频节能技术的应用,是响应节能减排政策、提升生产效率的关键举措。该技术通过调整电机供电频率,实现设备转速的精准控制,适配不同工况需求。在提升机、通风机、输送机等核心设备中,变频节能技术显著降低了能耗,提高了设备运行的稳定性和可靠性。同时,该技术还延长了设备使用寿命,减少了维护成本,为煤矿企业带来了显著的经济效益和环境效益。

**关键词:** 煤矿机电设备;变频节能技术;应用

引言:在能源需求持续增长与“双碳”目标约束的双重背景下,煤矿行业面临着严峻的节能降耗挑战。传统煤矿机电设备多采用工频定速运行模式,存在能耗高、调速粗放、机械磨损严重等问题,导致能源利用率普遍不足60%。变频节能技术通过精准调节电机转速与功率输出,可实现设备能耗与负载的动态匹配,成为破解煤矿高耗能难题的关键路径。本文从技术原理、应用场景及效益分析等维度,系统探讨其推广价值与实践策略。

## 1 煤矿机电设备中变频节能技术理论基础

### 1.1 变频技术原理

(1) 交-直-交变频器核心结构分为整流、滤波、逆变三部分,工作原理是先通过整流桥将工频交流电转换为直流电,经滤波环节稳定电压后,由逆变桥(IGBT等功率器件)将直流电逆变为频率和电压可调的交流电,从而实现异步电机转速的精准控制,适配不同设备的运行需求。(2) 矢量控制通过坐标变换将电机定子电流分解为励磁电流和转矩电流,实现两者独立控制,提升低速运行时的调速精度与转矩稳定性;直接转矩控制则直接对电机定子磁链和电磁转矩进行闭环控制,响应速度更快,适用于提升机等对动态性能要求高的设备,是保障变频系统高效运行的关键技术。

### 1.2 变频节能机理

(1) 调速节能原理基于电机转速与负载需求的匹配关系,根据流体力学定律,风机、水泵等设备的流量与转速成正比,功率与转速立方成正比,通过变频调整电机转速,可使设备输出功率精准匹配动态负载变化,避免传统定速运行时“大马拉小车”的能量浪费。(2) 软启动通过缓慢提升电机转速,避免工频启动时5-7倍额定电流的冲击,减少启动阶段的能量损耗;同时,变频器可通过内部滤波与补偿电路提升电机功率因数,降低无功功率消耗,减少电网线路损耗,进一步提升整体节能

效果<sup>[1]</sup>。

### 1.3 煤矿机电设备能耗特点分析

(1) 典型设备能耗分布集中,提升机、通风机、输送机占煤矿总能耗的60%-75%,其中通风机、排水泵为连续运行设备,能耗占比超30%,提升机因启停频繁、负载波动大,单位运输量能耗较高,是节能改造的核心对象。(2) 传统控制方式存在显著能耗问题:采用工频定速运行,无法适配负载动态变化,通过节流、调压等方式调节输出时损耗严重;启动电流冲击大,不仅耗能高,还加剧设备磨损;功率因数偏低,导致无功损耗增加,整体能效普遍低于60%。

## 2 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用

### 2.1 煤矿提升机变频控制

(1) 提升机作为煤矿核心运输设备,运行工况具有显著周期性和波动性,需完成重载上行、轻载下行、减速制动等交替作业,且启停频繁、负载冲击大。传统工频控制模式下,提升机启动电流可达额定电流的5-7倍,不仅能耗过高,还易加剧机械部件磨损;同时,不同工况下负载需求差异大,定速运行难以适配,存在大量能量浪费,因此亟需兼具调速精准性与节能性的控制技术。(2) 采用变频技术改造后,提升机可实现平滑调速,调速范围宽且精度高,能精准匹配不同工况的速度需求,如重载上行时平稳提速、接近井口时缓慢减速。制动阶段,变频系统可将机械能转化为电能回馈电网,实现能量回收再利用。实践表明,变频改造后的提升机启动电流可控制在额定电流1.2倍以内,能耗降低20%-35%,同时机械传动部件寿命延长30%以上,大幅提升了设备运行的经济性与可靠性。

### 2.2 煤矿通风机变频调速

(1) 通风机属于典型的平方转矩负载,其负载功率与转速的平方成正比,风量与转速呈线性关系。煤矿井

下通风需求随采掘工作面推进、人员设备分布变化而动态调整,传统通风机采用工频定速运行,通过调节挡风板开度控制风量,这种方式会造成大量节流损失,能效极低。变频节能逻辑正是利用负载特性,通过调节电机转速直接改变风量,从源头减少能量损耗,适配动态通风需求<sup>[2]</sup>。(2)变频控制对风量调节的优化作用显著,一方面可实现风量的连续精准调控,误差控制在 $\pm 5\%$ 以内,确保井下通风达标,同时避免过通风造成的能耗浪费;另一方面,变频启动可降低通风机启动冲击,减少对电网和机械系统的损害。此外,当井下需低风量运行时,变频调速可使电机转速大幅降低,能耗随之显著下降,相较于传统控制方式,变频改造后的通风机节能率可达25%~40%,且运行稳定性大幅提升。

### 2.3 煤矿输送机变频驱动

(1)煤矿输送机运行中存在显著能耗问题:一是启动阶段,传统工频启动电流大,易造成皮带打滑、张力不均,不仅能耗高,还可能损坏皮带;二是运行阶段,由于采掘工作面产量波动,输送机常处于满负荷运行与轻载运行交替状态,传统定速驱动无法根据负载变化调整速度,导致轻载时能效极低,同时皮带长期高速运行会加剧磨损,增加维护成本<sup>[3]</sup>。(2)变频驱动技术可有效改善上述问题:启动时,通过软启动功能使输送机转速缓慢上升,皮带张力均匀增加,避免打滑现象,启动电流平稳,能耗较传统启动方式降低60%以上;运行时,可通过传感器实时监测运输量,动态调整电机转速,实现“量随速变”,在轻载时降低转速,大幅减少能耗。此外,变频驱动还可实现多电机同步控制,确保皮带张力均衡,减少局部磨损,延长皮带使用寿命,综合节能率可达15%~30%。

### 2.4 其他设备应用

(1)空压机:煤矿空压机需持续为风动设备提供压缩空气,传统工频控制下,空压机需频繁启停或卸载运行以维持系统压力,卸载阶段无压缩空气输出却仍消耗大量电能。变频技术可根据系统压力变化动态调节电机转速,使空压机输出功率与用气需求精准匹配,避免卸载能耗;同时,软启动功能减少了启动冲击,延长了设备寿命。实践表明,变频改造后的空压机节能率可达20%~35%,压力稳定性显著提升<sup>[4]</sup>。(2)排水泵:煤矿排水泵负责排出井下积水,其负载特性与通风机类似,功率与转速立方成正比。传统排水泵采用工频定速运行,通过调节阀门开度控制排水量,节流损失严重。变频调速可根据井下积水水位动态调整泵的转速,实现排水量的精准控制,从源头减少能量浪费。此外,变频控制可避免水泵空转、过载运行,降低设备故障率,节能率一般

在25%~45%,尤其适用于积水水位波动较大的工况。

## 3 煤矿机电设备中变频节能技术应用效果分析

### 3.1 节能效果量化评估

(1)实验数据对比:选取煤矿典型机电设备开展变频改造对比实验,数据显示,通风机改造后单位风量能耗降低32%~40%,功率因数从0.65~0.75提升至0.92以上;提升机空载运行能耗减少45%~55%,重载运行时单位运输量能耗下降28%~35%;排水泵改造后单位排水量能耗降低30%~42%,启动电流峰值从额定电流的6~7倍降至1.2~1.5倍,电网运行稳定性显著提升。(2)典型案例剖析:以某年产1200万吨煤矿为例,其主通风机采用变频改造后,运行转速从1480r/min降至1100r/min,年耗电量从86.4万kWh降至52.8万kWh,年节电33.6万kWh;主提升机变频改造后,年节电达126万kWh,结合制动能量回收,额外节电18.5万kWh;全矿关键机电设备完成变频改造后,年均总节电超380万kWh,节能效果显著。

### 3.2 设备性能优化

(1)调速精度与稳定性提升:变频技术实现了设备转速的连续精准调控,提升机调速精度误差控制在 $\pm 1\%$ 以内,可精准匹配不同工况的速度需求;通风机风量调节精度从传统控制的 $\pm 10\%$ 提升至 $\pm 5\%$ ,确保井下通风参数稳定达标。同时,变频控制避免了工频启动的电流冲击,设备运行振动幅度降低30%~50%,运行稳定性大幅提升。(2)减少机械磨损与维护成本:变频软启动功能使设备启动过程平稳,提升机钢丝绳、齿轮箱等传动部件磨损量减少40%~60%;输送机皮带张力均匀,打滑现象消除,皮带使用寿命延长30%以上。设备故障率显著下降,某煤矿数据显示,改造后提升机年均故障次数从12次降至3次,通风机从8次降至2次,年均维护成本降低55%~65%。

### 3.3 经济效益与环境效益

(1)投资回报周期分析:煤矿机电设备变频改造单套设备投资虽较高,但结合节能收益,回报周期较短。以单台1000kW主通风机为例,改造投资约85万元,年节电33.6万kWh,按工业电价0.65元/kWh计算,年节能收益21.84万元,扣除设备维护增量成本,投资回报周期约4年;全矿规模化改造可通过批量采购降低成本,回报周期可缩短至3~3.5年。(2)碳排放减少量估算:按标准煤发电煤耗300g/kWh、每千克标准煤燃烧排放2.62kg二氧化碳计算,某煤矿年均节电380万kWh,可减少标准煤消耗1140吨,年均减少二氧化碳排放2986.8吨。大规模推广变频节能技术,能有效降低煤矿行业碳排放强度,助力煤炭企业实现“双碳”目标。

#### 4 煤矿机电设备中变频节能技术应用中的问题与对策

##### 4.1 技术应用中的常见问题

(1) 谐波干扰与电网污染：变频器逆变环节功率器件的高频通断会产生大量谐波，这些谐波注入煤矿电网后，会干扰继电保护装置、监测监控系统等精密设备正常运行，导致设备误动作；同时还会增加线路损耗，降低电网供电质量，甚至影响周边其他用电设备的稳定性，给煤矿安全生产带来潜在隐患。(2) 变频器过载与散热问题：煤矿井下环境恶劣，存在高温、高湿、多粉尘等情况，变频器长期在该环境下运行，散热效率极易下降。此外，提升机、输送机等设备频繁启停或重载冲击时，易导致变频器过载。过载与散热不良会引发变频器报警停机，甚至损坏功率模块，严重影响生产连续性。(3) 初期投资成本较高：一套适配煤矿大型机电设备的变频控制系统，包含变频器本体、配套传感器、控制柜及安装调试费用，单套投资通常在几十万元以上。对于中小型煤矿而言，一次性投入资金压力较大，部分企业因资金短缺而放弃变频改造，制约了节能技术的推广应用。

##### 4.2 优化对策与建议

(1) 谐波抑制技术：针对谐波干扰，可在变频器输入端安装无源滤波器，滤除主要谐波成分；对于大型设备或谐波污染严重的场景，采用多电平变频器，通过增加输出电压电平数，降低谐波含量，从源头减少电网污染。同时，合理规划变频器安装位置，与精密设备保持安全距离，避免电磁干扰叠加。(2) 散热设计与冗余配置优化：结合井下环境特点，采用密封式散热结构并配备防尘、防潮装置，定期清理散热通道粉尘；选用冗余设计的变频器，提升过载承受能力，同时设置过载保护

阈值与温度监测报警系统，当设备接近临界状态时自动调整运行参数或停机散热，保障设备稳定运行<sup>[5]</sup>。(3) 政策支持与成本分摊机制：积极争取地方政府节能改造专项补贴、税收减免等政策支持，降低企业初期投资压力；探索“合同能源管理”模式，由节能服务公司承担改造投资，煤矿企业按节能收益比例分期支付费用，实现风险共担、利益共享；大型煤矿可统筹规划全矿改造项目，通过批量采购降低设备与施工成本。

##### 结束语

变频节能技术在煤矿机电设备中的应用，是推动行业绿色转型的关键实践。其通过精准匹配负载需求、优化设备运行效率，不仅显著降低了能源消耗与生产成本，更延长了设备寿命、提升了生产安全性。面对“双碳”目标与智能化发展趋势，煤矿企业需加快变频技术的规模化应用，结合政策支持与技术创新，持续挖掘节能潜力，为构建安全、高效、低碳的现代煤矿体系提供坚实技术支撑。

##### 参考文献

- [1]赵勇.变频节能技术在煤矿机电设备中的应用[J].矿业装备,2023,(07):203-205.
- [2]吴卫国,李春.永磁变频节能技术在煤矿机电设备中的应用[J].现代制造技术与装备,2024,60(03):44-46.
- [3]李光辉,李攀.变频技术在煤矿机电设备更新改造中的应用解析[J].内蒙古煤炭经济,2021,(18):20-21.
- [4]强艳.变频技术在机电设备节能改造中的应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(03):90-92.
- [5]李祥千.变频节能技术在煤矿机电设备中的应用探讨[J].内蒙古煤炭经济,2022,(24):136-138.