

# Application Research of Frequency Converter in Speed Control of Coal Mine Electromechanical Equipment

Li'e Li Shifei Wang Song Yang

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

## Abstract

Coal mining environments are characterized by high-risk operations, intense load fluctuations, and enclosed spaces. As the core infrastructure for coal extraction, transportation, ventilation, and drainage systems, the stability, precision, and energy efficiency of electromechanical equipment directly determine production efficiency, operational safety, and cost-effectiveness. Traditional coal mine electromechanical systems predominantly employ power-frequency starting and fixed-speed operation modes, which suffer from excessive energy consumption, severe mechanical shocks, insufficient speed regulation accuracy, and high maintenance costs—issues that hinder their adaptation to the demands of intelligent and green coal mining. Frequency converters, as advanced speed regulation devices integrating power electronics and automatic control technologies, achieve stepless smooth motor speed control through precise frequency and voltage adjustment. These devices offer multiple advantages including energy conservation, soft-start protection, and precise speed regulation, gradually replacing traditional speed control methods and being widely adopted in various coal mine electromechanical systems.

## Keywords

inverter; coal mine electromechanical equipment; speed control; energy saving and consumption reduction; safe operation

## 变频器在煤矿机电设备调速控制中的应用研究

李利娥 王世飞 杨松

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

## 摘要

摘煤矿生产环境具有高危险性、强负荷波动、空间密闭等显著特点, 机电设备作为煤炭开采、运输、通风、排水的核心载体, 其调速控制的稳定性、精准性与节能性直接决定煤矿生产效率、作业安全与运营成本。传统煤矿机电设备多采用工频启动与固定转速运行模式, 存在能耗偏高、机械冲击强烈、调速精度不足、维护成本高昂等突出问题, 难以适配煤矿智能化、绿色化生产的发展需求。变频器作为一种基于电力电子技术与自动控制技术的新型调速设备, 通过精准调节输出频率与电压, 实现电机转速的无级平滑调控, 兼具节能降耗、软启动保护、精准调速等多重优势, 已逐步取代传统调速方式, 广泛应用于煤矿各类机电设备的调速控制中。

## 关键词

变频器; 煤矿机电设备; 调速控制; 节能降耗; 安全运行

## 1 引言

随着电力电子技术、自动控制技术与煤矿智能化技术的快速发展, 变频器技术日趋成熟, 为煤矿机电设备调速控制升级提供了全新路径。变频器通过改变电机供电频率实现无级调控, 可精准匹配设备输出功率与负载需求, 兼具节能、减冲击、高精度等优势, 已广泛应用于煤矿各类核心机电设备, 取得良好效果。本文基于变频器工作原理与调速特性, 探讨其在煤矿机电设备中的具体应用, 分析现存问题并提出优化对策, 为煤矿企业推广应用变频器技术提供支撑。

【作者简介】李利娥(1985-), 中国陕西榆林人, 工程师, 从事煤矿机电研究。

## 2 变频器核心原理与调速特性

### 2.1 核心工作原理

变频器是一种将工频交流电转换为频率、电压可调节交流电的电力电子设备, 核心是通过电力电子器件通断控制, 实现电能频率与电压转换, 进而调节电机转速。其基本结构包括整流单元、滤波单元、逆变单元、控制单元四大组成部分, 各单元协同完成电能转换与转速调控。

整流单元为输入端, 由二极管整流桥或可控整流桥组成, 将工频交流电转换为直流电; 滤波单元位于两者之间, 由电容、电感组合构成, 滤除脉动直流电中的谐波, 提供稳定直流电源; 逆变单元为输出端, 由 IGBT 等功率半导体器件组成, 通过 PWM 控制技术, 将直流电逆变为频率、电压可调节的交流电, 控制电机转速; 控制单元作为“大脑”, 由微处理器、

检测电路等组成,接收外部信号并生成控制指令,同时具备故障检测与保护报警功能,保障设备安全运行<sup>[1]</sup>。

## 2.2 核心调速特性

变频器相较于传统调速方式,具有五大突出特性,可充分满足煤矿机电设备恶劣工况需求:一是调速精度高,采用PWM与微处理器控制,频率调节范围0.5~50Hz,调速精度可达±0.5%以内,适配提升机、胶带输送机设备的精准调速需求;二是节能效果显著,电机功率与转速三次方成正比,变频器可根据负载实时调节转速,避免空载或低负载电能浪费,风机、水泵等设备节能率可达15%~40%;三是软启动软停止,启动电流控制在1.5倍额定电流以内,减小电机与电网冲击,避免机械部件磨损,适配重载设备;四是保护功能完善,内置过流、过压、过载等多种保护,实时监测运行参数,及时处理故障;五是适配性强,可灵活调节频率与电压,适配不同电机,且能与PLC、传感器联动,融入智能化控制系统。

## 3 煤矿机电设备调速控制现状与需求

### 3.1 调速控制现状

目前全球煤矿行业向智能化、绿色化转型,机电设备调速技术不断升级,但部分煤矿仍沿用传统调速方式,存在诸多问题:一方面是传统调速应用广泛,能耗损失严重,串电阻、变极调速无法无级调控,电阻损耗占电机总能耗10%~20%;另一方面是调速精度不足,分级调速无法匹配工况变化,易造成电能浪费或安全隐患;最后是机械冲击大,工频启动冲击电流大,设备部件磨损严重,故障率偏高

### 3.2 调速控制核心需求

结合煤矿生产工况与设备运行特点,调速控制核心需求体现在五方面:一方面是节能性,风机、水泵等设备能耗占煤矿总能耗60%以上,需通过精准调速减少浪费;其次是稳定性,设备需具备强抗干扰能力,在恶劣工况下长期稳定运行,保障生产连续;接着是精准性,不同设备对调速精度需求不同,需满足提升、运输、通风等不同场景需求;然后是安全性,需具备完善保护功能与软启停能力,保障设备与人员安全;最后是智能化,需与PLC、远程监控系统联动,实现自动化调速与故障诊断。变频器的特性与上述需求高度契合,推广应用具有重要现实意义。

## 4 变频器在煤矿机电设备调速控制中的具体应用

煤矿机电设备种类繁多,工况与调速需求差异较大。本文重点探讨变频器在胶带输送机、矿井水泵、矿井通风机、提升机四大核心设备中的应用,分析选型、控制方案与应用效果。

### 4.1 在胶带输送机中的应用

胶带输送机是煤料运输核心设备,具有负载波动大、启动转矩大、长期连续运行的特点,传统调速方式存在启动

冲击大、能耗高、调速精度低等问题。变频器应用可有效解决上述问题,实现平稳节能运行<sup>[2]</sup>。

选型上,优先选用矢量控制变频器,启动转矩可达150%以上,满足重载启动需求,且调速精度高、动态响应快;结合井下环境,选用矿用防爆型变频器,保障安全稳定。控制方案采用“PLC+变频器+传感器”联动模式,通过煤量、速度、跑偏传感器采集参数,PLC分析处理后控制变频器调节转速,实现煤量与运输速度匹配,避免堆积或打滑,同时利用软启停功能减少机械冲击。

应用效果显著,能耗可降低15%~25%,设备故障率降低30%以上,维护成本大幅下降,且实现自动化调速与远程监控,提升智能化水平,生产效率显著提升。

### 4.2 在矿井水泵中的应用

矿井水泵是井下排水核心设备,长期连续运行且涌水量波动大,传统工频运行通过阀门调节排水量,能耗高、阀门磨损严重。变频器应用可实现排水量精准调节,降低能耗与维护成本。

选型上,根据水泵参数选用通用型电压型变频器,功率200kW以上选用高压变频器,结合井下环境选用防爆或防水防潮型。控制方案采用“PLC+变频器+液位传感器”联动模式,通过液位传感器采集水仓水位,PLC根据水位阈值控制变频器调节转速,实现排水量与涌水量匹配,避免空转或溢水,多台水泵可实现联动控制,进一步提升节能与稳定性。

应用后能耗降低20%~40%,设备使用寿命延长50%以上,维护成本降低40%左右,实现排水自动化,有效保障井下作业安全<sup>[3]</sup>。

### 4.3 在矿井通风机中的应用

矿井通风机是井下通风核心设备,负责输送新鲜空气、排出有毒有害气体,长期连续运行且通风量需求波动大,传统方式通过挡风板调节,能耗高、精度低。变频器应用可实现通风量精准调控,提升安全性与节能性。

选型上,通风机功率较大,优先选用高压矢量控制变频器,调节精度高、负载适应能力强;井下有易燃易爆气体,选用矿用防爆型变频器。控制方案采用“PLC+变频器+传感器+瓦斯监控系统”联动模式,根据瓦斯浓度、作业人数等参数,实时调节通风机转速,确保通风量满足安全标准,双风机双电源联动可保障通风连续,避免中断引发安全事故。

应用后能耗降低25%~40%,设备故障率降低40%以上,瓦斯浓度超标次数大幅减少,通风系统智能化水平提升,有效保障井下作业人员安全。

### 4.4 在矿井提升机中的应用

矿井提升机是井下与地面运输核心设备,负载变化大、启停频繁、调速精度与安全要求极高,传统调速方式存在精度低、冲击大、安全性不足等问题。变频器应用可实现精准、

平稳、安全调速，提升系统可靠性。

选型上，选用高压矢量控制变频器，调速精度可达 $\pm 0.1\%$ 以内，启动转矩180%以上，动态响应快，且具备完善安全保护功能；结合井下环境选用矿用隔爆型高压变频器。控制方案采用“PLC+变频器+编码器+安全保护装置”联动模式，根据提升阶段与负载变化，精准调节转速，实现软启停与匀速运行，同时通过安全保护装置与故障诊断功能，保障运行安全，减少停机时间。

应用后启动冲击大幅减小，设备使用寿命延长60%以上，维护成本降低50%左右，能耗降低10%~20%，实现自动化与远程监控，提升效率与安全性，有效避免过卷、超速等安全事故<sup>[4]</sup>。

## 5 变频器在煤矿机电设备应用中存在的问题

### 5.1 谐波干扰严重，影响电网与设备运行

变频器在运行过程中，由于逆变单元功率半导体器件的通断控制，会产生大量高次谐波，这些高次谐波会注入煤矿电网，对电网质量造成污染，同时影响其他机电设备的正常运行。具体而言，谐波会导致电网电压畸变、功率因数降低，增加电网损耗，缩短变压器、电缆等电力设备的使用寿命；谐波会影响电机的正常运行，导致电机发热加剧、振动增大、噪声升高，降低电机效率与使用寿命，甚至引发电机故障；谐波还会干扰煤矿井下的通信系统、监控系统等弱电设备，导致信号传输中断、数据失真，影响设备的正常运行与安全监控，严重时甚至会引发安全事故。此外，煤矿供电系统通常采用长距离电缆输送，谐波问题会进一步放大，严重威胁整个电力系统的稳定性。

### 5.2 环境适应性不足，设备故障率偏高

煤矿井下环境具有高温、高湿、高粉尘、强电磁干扰及潜在易燃易爆气体等特点，对变频器的环境适应性提出了严苛要求。目前，部分煤矿企业在选用变频器时，未充分考虑井下恶劣环境的影响，选用了普通工业变频器，而非矿用隔爆型、防水防潮型变频器，导致变频器在运行过程中，易受到粉尘、湿气的侵蚀，出现电路板短路、元件烧毁、散热不良等问题；同时，井下强电磁干扰（如高压设备、电机运行产生的电磁辐射）会影响变频器的控制信号，导致变频器出现控制失灵、调速精度下降等问题，甚至引发设备故障。此外，部分矿用变频器的散热设计不合理，井下通风条件有限，变频器运行过程中产生的热量无法及时散发，导致内部温度过高，触发过热保护，停机报警，影响生产连续性<sup>[5]</sup>。

## 6 变频器在煤矿机电设备应用中的优化对策

提升环境适应性，降低设备故障率

合理选用变频器类型。煤矿企业在选用变频器时，需充分考虑井下高温、高湿、高粉尘、强电磁干扰及易燃易爆气体等恶劣环境的影响，严格选用符合煤矿安全标准的矿用隔爆型、防水防潮型变频器，确保变频器的防护等级满足井下运行需求（通常防护等级不低于IP54）。对于井下存在瓦斯等易燃易爆气体的区域，需选用防爆等级符合要求的矿用隔爆型变频器，避免引发安全事故；对于高温、高粉尘区域，需选用防水防潮、防尘性能优良的变频器，并加强密封处理，防止粉尘、湿气进入变频器内部。

优化变频器的安装与散热设计。变频器的安装位置应尽量避开高湿、高粉尘、高温及强电磁干扰区域，选择通风良好、干燥、清洁的位置安装；同时，根据变频器的功率与散热需求，优化散热设计，对于大功率变频器，可采用独立风道散热、水冷散热或热管散热技术，提升散热效率，确保变频器内部温度控制在允许范围内（通常不超过60℃）。此外，定期对变频器的散热器进行清洁，清除粉尘堆积，避免影响散热效果。

## 7 结论

变频器凭借高精度、节能、安全、稳定的核心优势，在煤矿机电设备调速控制中发挥着不可替代的作用，有效解决了传统调速方式能耗高、冲击大、精度低等弊端，推动煤矿机电系统向高效、节能、智能化升级。应用中虽存在环境适应性不足、谐波干扰等问题，但通过科学选型、规范调试、强化维护等优化对策，可显著提升应用效果。未来，随着变频器与煤矿智能化技术深度融合，其应用场景将进一步拓展，为煤炭行业高质量、安全高效发展提供有力技术支撑。

### 参考文献

- [1] 吴贵鹏. 高压变频器在煤矿机电设备中的选型与运用[J]. 煤炭与化工, 2021, 44(S1): 61-63
- [2] 苏健. 煤矿机电设备中高压变频器的选型及应用分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(36): 85-86
- [3] 李建军, 刘晓峰. 煤矿机电设备中变频器的选择[J]. 当代化工研究, 2019, (08): 177-178.
- [4] 马毓轩. 变频器在煤矿矿区机电设备中的应用策略分析研究[J]. 石化技术, 2019, 26(05): 260-261.
- [5] 翟伟涛. 谈谈煤矿机电设备中变频器的选择[J]. 科技风, 2018, (17): 136