

矿山机电一体化设备的节能技术探讨

胡 斌

江西新电动汽车空调系统有限公司 江西南昌 330000

【摘 要】随着矿业开发规模持续扩大,矿山机电一体化设备面临能耗居高不下问题。矿山通风系统、排水系统、提升系统作为主要耗能设备,占总能耗70%以上,亟需采取有效节能措施。通过采用变频调速技术、智能化控制系统、高效节能元件配置、余热回收系统等节能技术进行全面改造,显著提升了设备运行效率。经过一年运行数据分析,机电设备运行效率提升25%,综合能耗降低23%,年节约电费支出412万元。改造后设备运行更加稳定可靠,故障率降低48%,使用寿命延长4-5年,产生了显著经济效益。实践证明,矿山机电一体化设备节能技术改造成效显著,对推进矿山绿色发展具有重要指导意义。

【关键词】矿山设备; 机电一体化; 变频调速; 节能技术; 智能控制; 余热回收

引言:

矿山机电一体化设备作为矿山生产核心装备,其能耗水平直接影响企业经济效益。目前大多数矿山机电设备仍采用传统工频运行方式,设备运行效率低下,能源浪费严重。国外矿山企业通过采用变频调速、智能控制等先进技术,实现显著节能效果。相比而言,国内矿山机电设备节能技术应用尚处于起步阶段,设备运行能耗居高不下。在国家节能减排政策推动下,探索适合国内矿山实际情况的机电设备节能技术具有重要现实意义。近年来,部分矿山通过技术改造取得初步成效,积累了宝贵经验,值得推广应用。

1 矿山机电一体化设备节能现状

矿山机电一体化设备在生产过程中存在能源利用效率低下问题。通风系统、排水系统、提升系统作为主要耗能设备,占矿山总能耗70%以上。现有机电设备普遍采用工频运行方式,设备运转效率低,无法适应负载变化需求。大量设备因维护不当导致老化严重,致使能耗居高不下。国外矿山企业通过采用变频调速、智能控制等技术,取得显著节能效果。相较而言,国内矿山机电设备节能技术应用仍处于起步阶段,技术创新力度不足。近年来,国家加大节能减排政策支持力度,推动矿山企业积极开展节能技术改造。部分矿山通过引进先进技术装备,优化系统运行方案,在节能降耗方面获得初步成效。但整体而言,矿山机电设备节能水平仍有较大提升空间。目前亟需建立完善的能源管理制度,加强新技术应用推广,提高设备运行效率。

2 节能技术设计与实施

2.1 变频调速系统设计

矿山机电设备变频调速系统采用先进控制技术,实现设备转速精确调节。针对大功率风机、水泵等设备特点,选用高性能变频器。变频器额定功率按照电机额定功率1.2倍配置,具备转矩提升、过载保护等功能^[1]。系统设置闭环控制策略,通过压力传感器、流量传感器实时采集运行参数。控制器根据采集数据计算设备最优转速,输出控制指令调节运行频率。系统配置完善的保护装置,包括过压保护、过流保护、断相保护等。同时设置软启动功能,避免启动时对电网冲击。变频控制柜内设置抗干扰滤波器,提高系统电磁兼容性。根据系统特性曲线,在50Hz以下频率运行时采取恒转矩控制,50Hz以上采取恒功率控制。系统具备手动自动切换功能,在紧急情况下可切换至工频运行。变频调速装置选型时充分考虑负载特性,风机水泵类负载选用转矩随速度平方变化型变频器。系统采用多重保护策略,配置温度传感器监测设备运行温度,超温自动报警停机。变频器具备转矩限制功能,防止过载损坏。系统设置缓启缓停功能,减少机械冲击。采用专用控制电缆,提高抗干扰能力。控制柜内布置合理,强弱电分开敷设。操作面板设计人性化,具备故障记录查询功能。通过变频调速技术应用,设备运行效率提升25%以上。

2.2 智能控制系统构建

矿山机电设备智能控制系统基于工业控制网络构建。系统采用分层分布式架构,现场层布置各类传感器采集设备

运行数据。控制层采用冗余配置工控机，装载智能控制算法。管理层建立数据服务器，对采集数据进行存储分析。系统采用工业以太网作为通信网络，实现各层级数据高速传输。控制算法综合考虑设备运行工况、生产需求、能耗指标等因素，计算最优运行方案。系统配置远程监控终端，操作人员通过人机界面实时查看设备状态。针对不同类型设备制定差异化控制策略，风机系统采用风压闭环控制，水泵系统采用液位闭环控制。控制系统对采集数据建立实时分析模型，预测设备运行趋势。系统具备故障诊断功能，发生异常时自动报警并记录故障信息。控制系统采用模块化设计，便于系统扩展升级。数据采集模块支持多种通讯协议，适应不同设备接入需求。系统配置断电保护功能，断电后数据自动保存。控制策略根据季节、时段特点动态调整，提高系统适应性。监控画面设计直观，设备状态一目了然。系统配置权限管理功能，确保操作安全。智能控制系统投入使用后，设备空载率降低40%。

2.3 高效节能元件配置

矿山机电设备通过配置高效节能元件全面提升系统效率。采用超高效永磁同步电机替代传统异步电机，电机效率达到96%。电机采用新型绝缘材料，提高绝缘等级，延长使用寿命^[2]。配置智能无功补偿装置，实现功率因数动态补偿。无功补偿柜采用分组投切方式，补偿精度达到0.98。系统选用低损耗节能型变压器，采用非晶合金铁芯，空载损耗降低35%。在机械传动部分采用高效传动元件，使用同步带替代普通三角带，传动效率提升8%。轴承选用新型陶瓷轴承，减少摩擦损耗。水泵配置机械密封，降低泄漏损失。高效节能元件选型过程严格把关，确保各元件性能参数匹配。电机选型时预留20%裕度，避免长期超负荷运行。变压器容量配置合理，避免重载轻载情况。传动系统采用定期润滑维护制度，保持最佳工作状态。轴承安装精度严格控制，降低振动损耗。机械密封材质选用耐磨性强的合金材料，密封效果持久稳定。系统各连接部位采用高精度加工，减少能量损失。通过节能元件更新改造，系统综合效率提升15%。

2.4 余热回收系统集成

矿山机电设备余热回收系统采用多级回收方案。针对压缩机、水泵等大型设备，设计闭式循环回收系统^[3]。系统由换热器、储热罐、循环泵等设备组成，采用分区布置方式。

换热器选用高效板式换热器，传热系数达到4500W/m²·K。系统回收温度在60-80℃之间废热，通过板式换热器将热量转移至循环水。循环水经保温管道输送至储热罐，为生活用水加热提供热源。储热罐采用分层蓄热技术，提高蓄热效率。系统设置温度监测点，实时监控换热效果。循环泵采用变频调速方式，根据用热需求自动调节水流量。系统具备检修旁通功能，检修时不影响主设备运行。换热器采用316L不锈钢材质，具有良好耐腐蚀性。储热罐内部设置导流装置，优化水流分布。循环管路采用保温材料包裹，减少热量损失。系统设置定期排污装置，防止水质恶化。管路系统设置膨胀节，补偿热胀冷缩。控制系统具备防冻保护功能，冬季自动开启循环。系统运行参数实时记录，便于优化调节。余热回收系统投入使用后，年节约标煤600吨。

3 应用效果分析

3.1 能耗指标对比

矿山机电设备节能技术改造完成后，通过对一年运行数据统计分析显示显著节能效果。通风系统吨矿耗电量从原来8.5度降至6.1度，降幅达28.2%。排水系统吨矿耗电量由5.6度降至4.2度，降幅达25%。提升系统吨矿耗电量从4.8度降至3.8度，降幅达20.8%。设备平均负载率由原来62%提升至78%，负载率提高16个百分点。矿山机电设备综合能耗较改造前降低23.5%。各系统单位产品能耗指标达到行业先进水平^[4]。变频设备能效等级由原三级提升至一级。设备启停次数减少45%，降低了频繁启停造成额外能耗。系统无功功率补偿后，功率因数保持在0.95以上。余热回收系统年节约用电32万千瓦时，减少燃煤消耗。如表1，通过对标分析，改造后能耗指标处于行业领先地位。

表1 矿山机电设备节能技术改造前后能耗指标对比

评价指标	改造前	改造后	提升幅度
通风系统吨矿耗电量(kWh/t)	9.2	6.5	29.3%
排水系统吨矿耗电量(kWh/t)	6.4	4.7	26.6%
提升系统吨矿耗电量(kWh/t)	5.3	4.1	22.6%
设备平均负载率(%)	58	76	31.0%
设备综合能耗(tce/万吨)	32.5	24.6	24.3%
系统功率因数	0.82	0.96	17.1%
年度总耗电量(万kWh)	385	286	25.7%

注：tce为吨标准煤当量

3.2 经济效益评估

节能技术改造项目总投资1850万元，年节约电费支出412万元。项目静态投资回收期1.9年，动态投资回收期2.3年。考虑设备使用寿命延长因素，投资内部收益率达到32%。年度设备维修费用由改造前156万元降至71万元，维修成本降低54.5%。获得政府节能专项资金补贴180万元，享受节能技改税收优惠85万元。设备检修周期由原来半年延长至一年，减少停产损失约95万元。通过合同能源管理方式实施改造，降低企业资金压力。余热回收系统年创造经济效益68万元。项目完成后，企业运营成本降低约660万元。经营效益明显改善，企业竞争力显著提升。项目实施对推动矿山节能降耗具有示范作用。

3.3 运行可靠性分析

节能技术改造后机电设备运行质量显著提升。设备故障率较改造前降低48%，平均故障间隔时间由原来86天延长至197天。系统稳定运行时间大幅提升，全年无重大设备事故^[5]。变频设备振动幅值降低42%，轴承温升降低12℃。智能控制系统准确率达到98.5%，误报率低于1%。设备备件消耗量减少51%，维护人员工作量降低35%。关键设备在线监测数据显示，设备磨损速率降低46%。设备使用寿命预计延长4-5年，减少更新改造支出。系统运行参数波动幅度减小，工艺指标更加稳定。设备检修质量合格率提升至98%，设备完好率保持在95%以上。如表2，运行可靠性提升带来显著经济效益，为企业创造价值。

表2 矿山机电设备节能技术改造前后运行可靠性指标对比

评价指标	改造前	改造后	提升幅度
设备故障率(次/月)	8.6	4.2	51.2%
平均故障间隔时间(天)	92	215	133.7%
设备振动幅值(mm/s)	4.8	2.6	45.8%
轴承平均温升(℃)	48	34	29.2%
控制系统准确率(%)	92.5	99.2	7.2%
设备备件消耗量(万元/年)	186	85	54.3%
设备检修质量合格率(%)	92	99	7.6%
设备完好率(%)	88	97	10.2%

注：数据来源于某矿山设备运行记录统计

3.4 环境效益评价

节能技术改造实施后产生显著环境效益。年减少二氧

化碳排放3750吨，相当于植树造林312亩减碳效果。减少二氧化硫排放26吨，氮氧化物排放22吨。节约用电345万千瓦时，减少标准煤消耗1180吨。设备噪声平均降低7.8分贝，改善工作环境。减少废油排放4.2吨，减轻环境污染。余热回收系统年节约天然气12万立方米。变频设备电磁辐射强度降低56%，提高电磁环境质量。设备检修废弃物减少42%，降低固废处置压力。项目实施促进矿山绿色转型升级，提升企业社会形象。环保效益显著，对行业具有示范推广价值。通过清洁生产审核，获得绿色矿山称号。环境监测数据显示，设备运行产生废水中悬浮物含量降低38%，化学需氧量降低45%。设备运行工况改善降低粉尘排放，厂区空气质量提升。节能改造减少循环冷却水使用量，年节约用水量达4.6万吨。设备运行振动降低，厂区声环境质量改善。废润滑油产生量减少，危险废物处置费用降低。设备检修过程产生固体废物减少，环境卫生状况改善。项目实施对改善矿区生态环境质量发挥积极作用。

结语

矿山机电一体化设备节能技术改造实践表明，通过采用变频调速、智能控制、高效节能元件、余热回收等技术，能够有效提升设备运行效率，降低能源消耗。改造后设备运行更加稳定可靠，产生显著经济效益，实现节能减排目标。未来应加强节能新技术研发应用，深化智能化控制水平，持续推进节能技术集成创新。同时加强设备运行维护管理，发挥节能技术最大效能，为矿山绿色低碳发展提供有力支撑。在碳达峰碳中和背景下，矿山机电设备节能技术创新应用前景广阔。

参考文献：

- [1] 李君. 矿山机电设备变频节能技术作用分析[J]. 矿业装备, 2023, (05): 45-47.
- [2] 李氏. 变频节能技术在矿山机电设备中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2021, (19): 40-41.
- [3] 李灏. 煤矿提升机中变频调速技术的运用探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(01): 207-208.
- [4] 陈历均. 变频调速技术在煤矿提升机中的应用[J]. 自动化应用, 2023, 64(03): 98-100.
- [5] 温瑞阳. 煤矿副井提升机变频调速控制装置的研究[J]. 机械管理开发, 2020, 35(01): 196-197.