

# 煤矿主通风机变频调速智能控制策略与节能应用

杨强研

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

**【摘要】**：煤矿主通风系统作为矿井安全与生产效率的核心环节，其能耗占矿井总能耗的显著比例。变频调速结合智能控制可实现风机运行的实时调节，使风量与矿井实际需求高度匹配，从而降低不必要的能耗波动。通过动态监测矿井风压、风量及环境参数，智能算法能够优化风机转速，实现平稳调节和快速响应。系统对异常工况具备自适应调整能力，提升通风系统的稳定性与安全性。在实际应用中，风机能耗曲线显示出明显下降趋势，节能效率得到显著提升。该技术不仅改善矿井通风质量，还为能源管理提供数据支撑，为矿山安全与绿色生产奠定基础。

**【关键词】**：煤矿通风；变频调速；智能控制；节能；风机优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.019

## 引言

矿井通风系统的高效运行直接关系到地下作业环境的安全与空气质量。传统通风方式常常导致风量过剩或不足，造成能源浪费和运行不稳定。随着自动化与智能化技术的发展，将变频调速与智能控制相结合，使风机能够根据实时矿井条件进行动态调节，成为提升通风效率的关键路径。通过精准控制风机转速，不仅能够降低能耗，还能保证风量稳定供应，为复杂矿井环境提供可靠通风支持。智能控制策略能够快速响应矿井工况变化，实现风机运行平稳、响应迅速，为安全作业和生产效率提供保障，显著增强系统灵活性与经济性。

## 1 煤矿通风能耗与效率瓶颈分析

### 1.1 风机运行中的能量浪费表现

煤矿主通风机在长期运行过程中存在明显的能量浪费现象。风机在负荷不均或工况变化时仍以高转速运行，导致空气过量供应而未能与矿井实际需求匹配。这种过度运行不仅增加电能消耗，还加剧机械磨损，缩短设备寿命。风机启停频繁或者持续满负荷运转时，瞬时功率波动较大，造成系统稳定性下降，同时增加了电网负荷波动风险<sup>[1]</sup>。在矿井不同作业区域，风量需求差异明显，而固定转速运行无法实现局部调节，形成能源浪费的集中表现。长期累积下，矿井通风系统的能效水平低于理论值，电能消耗在矿山总能耗中占比持续偏高，直接影响矿井整体运行成本和经济效益。

### 1.2 传统调速方法的局限性

传统风机调速方式主要依赖机械叶片调节或固定速运行，难以满足矿井复杂环境对风量的动态要求。固定速运行无法应对矿井生产变化带来的风量波动，导致部分区域通风不足，而其他区域风量过剩。机械叶片调节在响应速度上有限，调整精度不高，频繁操作会增加设备磨损和维护成本。自动化程度低的传统控制方式缺乏对实时风压、风量和环境参数的快速反馈，无法实现风机运行的精细化管理。在风机功率消耗与通风需求之间存在不可避免的矛盾，使得节能潜力难以充分发挥，

同时也影响矿井作业环境的稳定性和安全性，形成制约通风系统效率提升的重要瓶颈。

### 1.3 矿井风量需求波动特征

矿井通风需求呈现明显的时空波动特征，不同作业区域对风量的需求差异显著。采掘、运输和通风支路的运行状态会随生产活动而快速变化，导致局部风量需求出现峰谷波动。风机如按单一固定风量运行，无法匹配瞬时需求，形成局部风压过高或不足的情况。通风系统的阻力和管路分布差异也会加剧风量波动，使部分区域风速不均，影响作业环境安全。在长期运行中，这种不均衡造成风机效率下降和能源浪费，同时增加对矿井通风监测和管理的压力。对风量波动特征的深入理解成为优化风机调控策略、提升系统能效和保障矿井安全的前提条件。

## 2 主通风机变频调速技术探讨

### 2.1 变频调速原理及特性

变频调速通过改变电机输入电压和频率，实现风机转速的连续调节，使风机能够在不同负荷条件下灵活运行。其核心在于将电能与机械输出的关系精确匹配，避免固定转速运行造成的能量浪费。风机转速可以随矿井风量需求自动调整，保证空气流量与作业环境同步变化，同时减轻机械冲击和磨损。该技术具备调节精度高、响应速度快的特性，使系统能够在短时间内适应工况波动<sup>[2]</sup>。变频器还能对电机启动和停机过程进行平滑控制，降低启动电流对电网的冲击，提高系统稳定性。智能化接口进一步支持参数实时监控和远程调整，为矿井通风系统的安全、稳定和节能运行提供技术保障。

### 2.2 风机转速动态调节方法

风机转速动态调节基于对矿井风量、风压和作业环境的实时监测，通过算法模型计算最佳转速，实现精细控制。不同矿区和作业环节的通风需求差异大，动态调节能够根据区域负荷变化分配风量，减少局部过量或不足。调节过程中，系统会连续分析风机负载特性，预测负荷波动趋势，并调整转速曲线，

使空气流量与矿井实际需求高度匹配。动态控制不仅优化能耗结构，还降低机械磨损和系统振动，同时对风压波动提供抑制作用，保持矿井通风稳定。结合智能调度算法，转速调整能够实现平滑过渡和快速响应，提升整个通风网络的灵活性与安全性，确保矿井作业环境始终保持在最佳状态。

### 2.3 调速技术对能耗的影响分析

调速技术在矿井通风中对能耗的控制效果显著，通过精确匹配风机输出与通风需求，减少多余空气供应，降低电机功率消耗。在传统固定速运行下，风机能耗常常与实际需求不一致，导致能源浪费，而变频调速能够将风机功率与实际风量同步调整，使能效曲线更加平滑。动态调节能够在不同生产阶段及时响应负荷变化，减少高峰能耗和启动冲击，从而降低总能耗。实际应用数据显示，调速技术不仅改善了风机运行效率，还延长设备使用寿命，同时优化矿井能源管理策略，为节能减排提供可靠数据支撑。通过对能耗变化的连续监控和分析，能够识别潜在节能空间，为通风系统整体优化提供依据。

## 3 智能控制策略设计与实现

### 3.1 实时监测参数与数据采集

矿井通风系统的高效运行依赖对风机及矿井环境参数的精准把控，实时监测和数据采集成为智能控制的基础环节。通过安装压力传感器、风量计、温湿度传感器及风机转速监控装置，能够获取矿井各风道的瞬时风量、风压和环境状态。数据采集不仅涵盖主通风机运行状况，还包括支路分流、局部作业区域的风量需求和阻力变化。这些实时数据通过控制中心进行集成和处理，为智能算法提供输入依据，使系统能够全面感知矿井通风动态<sup>[3]</sup>。持续的数据记录还可用于分析通风系统的长期趋势，识别异常波动和潜在能耗浪费点。在复杂矿井环境中，高精度的数据采集为风机运行的动态调节提供可靠支撑，同时为后续智能优化和异常工况处理奠定基础，实现通风控制与能源管理的精准衔接。

### 3.2 智能算法对风机运行优化

智能算法通过分析实时监测数据，对风机运行状态进行动态优化，实现能源消耗和通风效率的平衡。算法能够根据矿井各作业区的风量需求和管网阻力分布，计算最优风机转速曲线，使风量供应与实际需求高度匹配。在算法调控下，风机运行避免了过载或空载运转，提高系统能效比，并降低机械磨损风险。结合预测模型，算法可以提前识别负荷变化趋势，调整转速响应策略，使风量波动得到平稳处理。多参数优化还考虑电网波动、电机特性及风机机械效率，综合调整输出，实现整体通风网络的协同控制。智能算法在控制精度、响应速度和节能效果上显著优于传统调速方式，同时为矿井安全作业提供稳定的通风保障，实现风机运行的高效、灵活和可靠。

### 3.3 异常工况自适应调整机制

矿井通风环境复杂多变，异常工况如局部阻力增加、支路风量偏差或风机负荷突变可能对系统稳定性产生影响。自适应调整机制能够在异常事件发生时，自动分析风机运行状态与矿井环境参数，生成调整策略以迅速恢复平衡。机制通过算法实时识别异常信号，并根据风机转速、风压及风量需求进行动态修正，避免单点过载和局部通风不足。系统对异常波动具备快速响应能力，使风量调整平稳且可控，同时减少对矿井作业和电能消耗的冲击。长期运行数据进一步优化自适应策略，使调整更加精准，提升整体通风网络的灵活性和可靠性。自适应机制不仅确保通风安全，还在维持节能效果的同时，实现风机运行的稳定性和矿井环境的持续优化。

## 4 节能效果评估与运行优化

### 4.1 风机能耗变化与节能曲线

风机能耗在矿井通风系统中占据显著比例，变频调速与智能控制的应用使其消耗呈现明显下降趋势。通过对风机实际运行数据进行分析，可以绘制能耗随风量变化的曲线，反映不同负荷下的节能效果。在负荷波动较大的工况下，风机能量消耗曲线呈现平滑下降，避免了固定速运行中出现的功率峰值和无效能耗。动态调节过程中，风机功率随矿井需求变化及时响应，使供风效率与电能消耗达到最优匹配<sup>[4]</sup>。能耗曲线的连续监测不仅验证了节能策略的有效性，还能够发现潜在的节能空间，为后续调控提供数据支持。通过对比传统风机运行模式和智能调速模式下的能耗曲线，可以直观显示出节能水平的提升幅度和效率改善，为矿井能源管理提供可靠依据。

### 4.2 风量稳定性与响应速度分析

风机在矿井不同作业区域的风量需求变化快速且复杂，智能调节能够在保持稳定风量供应的同时，实现响应速度的优化。动态调速结合实时数据采集和控制算法，使风机能够快速适应负荷波动，避免风量过量或不足引起的局部通风失衡。系统在响应过程中保持风压平稳变化，减轻风机机械震动和管网压力波动，保证矿井作业环境安全。对比传统固定速运行，智能控制下风量波动幅度明显减小，响应延迟时间大幅缩短，使通风系统在面对复杂工况时表现出更高的灵活性和可靠性。风量稳定性和快速响应能力的提升为后续节能效果的持续保持提供了支撑，确保通风效率与安全性同步提高。

### 4.3 节能效率提升的关键因素

节能效率的提高依赖于风机运行与矿井需求的精准匹配以及系统对异常工况的快速调整能力。智能控制算法通过对风量、风压和负荷变化进行实时分析，优化风机转速，使能耗在满足通风需求的前提下保持最低水平。风机机械特性、电机效率和管网阻力的协同考虑，是实现节能效率提升的重要因素。动态调节和预测性控制减少了过量供风和空载运行的发生概

率,同时降低启动和制动过程中的能量浪费。长周期监测与分析帮助识别系统能耗模式,为调整策略提供依据。整体来看,风机节能效率的提升不仅体现在电能消耗的减少,还体现在通风稳定性和矿井作业安全性的增强,为矿井绿色、高效运行奠定基础。

## 5 系统性能综合分析与应用价值

### 5.1 运行安全性与稳定性验证

矿井通风系统的安全性直接影响地下作业环境和生产可靠性,通过智能控制与变频调速结合的运行模式,风机能够在不同负荷和复杂工况下保持平稳运转。系统在运行过程中实时监测风压、风量和机械状态,能够及时发现异常波动并进行调节,使风机输出与矿井通风需求保持同步,减少局部过压或风量不足对作业环境的影响<sup>[5]</sup>。风机启停和负荷变化过程中的振动、冲击被有效抑制,减少设备磨损和潜在故障风险。长期运行数据表明,智能控制系统能够稳定维持风量分布,实现矿井各作业区域通风均衡,确保人员作业环境的安全,同时提升了系统整体的抗干扰能力,使矿井通风网络在复杂工况下具备更高的稳定性和可靠性。

### 5.2 经济效益与能源管理评价

通过变频调速和智能控制技术,风机运行能耗得到明显降低,矿井能源消耗结构优化,经济效益得到提升。智能调节使风机在满足矿井通风需求的前提下减少电能浪费,降低运行成本。能耗曲线和节能曲线的对比显示,动态控制模式下电能消耗比传统固定速运行下降幅度显著,能源利用率得到有效提高。系统能够提供实时运行数据和历史能耗分析,为矿井能源

管理和调度优化提供科学依据。经济效益不仅体现在电力消耗减少,还包括设备维护成本降低和风机寿命延长,使矿井在通风系统投资与运行成本之间达到优化平衡,为矿山高效、安全和绿色运营提供经济保障。

### 5.3 技术推广与矿井适用性分析

变频调速与智能控制技术在不同类型矿井中表现出良好的适应性和推广价值。系统能够根据矿井规模、风道结构和生产负荷灵活调整运行策略,使风机在复杂网络中实现高效配风和节能运转。技术应用范围覆盖深井、巷道复杂和负荷波动明显的矿井,能够在保证通风安全的同时实现能耗优化。实践中,技术推广不仅提高了矿井通风系统的管理水平,也为能源数据采集、监控和分析提供基础支撑。对新建和改造矿井而言,该技术方案可快速集成现有通风网络,实现智能化控制,提升系统可靠性和经济性,为矿山通风系统现代化提供可行路径和参考价值。

## 6 结语

煤矿主通风机在运行过程中面临能耗高、风量不均和设备磨损等挑战,变频调速与智能控制技术为这些问题提供了有效解决途径。智能化的实时监测和数据分析能够精确匹配风机输出与矿井实际需求,实现风量稳定供应并显著降低能耗。动态调节与自适应控制机制不仅提高了系统响应速度和稳定性,还减少了异常工况对运行安全的影响。能耗曲线和节能效果分析显示,该技术在提升能源利用效率的同时,也改善了矿井作业环境,为经济性与安全性提供支撑。变频调速结合智能控制在矿井通风中的应用展现出高效、可靠和可推广的价值,为矿山绿色、节能、高效运行奠定基础。

## 参考文献:

- [1] 赵磊科.自动化控制技术在煤矿通风系统中的应用探究[J].矿业装备,2025,(11):124-126.
- [2] 贺建勋.声音识别技术在煤矿通风防爆事故隐患监控中的应用[J].电声技术,2025,49(08):48-50.
- [3] 邢秉江.基于无线传感器网络的煤矿通风机监测系统研究[J].能源与节能,2025,(08):67-69.
- [4] 王智欣,刘立仁,陈博,等.煤矿通风系统反风效果动态模拟及风流调控参数库构建[J].工矿自动化,2025,51(07):27-35.
- [5] 史晓菲.煤矿通风机智能变频调速控制研究[J].能源与节能,2025,(03):77-79+84.