

PLC 控制在煤矿通风机电系统中的改造应用

唐全海

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：煤矿通风机电系统直接关系到井下作业安全 and 生产连续性，传统控制方式存在启停依赖人工、运行参数反馈滞后、故障保护不够及时、能耗控制粗放等问题。PLC 控制技术可通过传感器采集风压、风量、电流、温度等参数，并结合变频调速、联锁保护、故障报警和远程监控功能，实现通风机电系统自动启停、状态判断、异常处理和节能运行。改造后，通风设备运行更加平稳，故障响应速度加快，人工巡检压力降低，系统安全性、可靠性和经济性得到提升，为煤矿通风机电系统智能化升级提供可行路径。

【关键词】：PLC 控制技术；煤矿通风机；机电系统；自动化改造；节能控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.040

引言

煤矿井下空间封闭、气体环境复杂，通风机电系统承担着输送新鲜空气、排出有害气体、维持安全作业环境的重要任务。一旦通风设备控制不准、保护失灵或故障处理滞后，极易影响井下生产秩序和人员安全。传统通风机控制多依赖人工巡检和继电器控制，参数采集不够连续，设备运行状态难以及时判断，能耗浪费问题也较为突出。PLC 控制技术具备逻辑控制稳定、抗干扰能力强、扩展灵活、便于远程监控等特点，能够针对通风机电系统中的启停控制、故障保护、风量调节和运行管理进行细化改造。通过构建自动采集、自动判断、自动调节和自动报警的控制体系，可使煤矿通风机电系统运行更加安全、高效、稳定，为正文中具体改造路径和应用效果分析奠定基础。

1 煤矿通风机电系统运行特征分析

1.1 通风机设备运行环境特征

煤矿通风机长期处于高负荷、连续化运行状态，设备运行环境具有粉尘浓度高、湿度变化大、电磁干扰强、负载波动频繁等特征。主通风机承担井下风流组织任务，运行过程中需要保持风压、风量和电机转速的稳定匹配，一旦外部巷道阻力变化或风门状态改变，通风机负载便会产生明显波动。传统控制方式难以及时捕捉细微变化，容易造成电机温升异常、轴承磨损加剧、能耗增加等问题。绿色低碳和智能矿山建设理念要求通风机电系统具备更强的环境适应能力，PLC 控制技术可通过实时采集温度、振动、电流、风压等数据，为设备运行状态识别和精准调节提供基础条件。

1.2 机电控制环节运行要求

煤矿通风机电系统的控制环节不仅包括电机启停，还涉及供电切换、变频调速、联锁保护、故障报警、数据传输等多项内容，各环节之间具有较强的连续性和关联性。通风机启动时需要避免大电流冲击，运行时需要根据井下需风量变化调节转速，停机或切换备用设备时需要保证风流不断档^[1]。控制系统若缺少稳定的逻辑判断和快速执行能力，容易出现启停顺序混

乱、保护动作滞后、运行参数失真等情况。新型机电管理理念强调自动感知、精准控制和协同运行，PLC 控制系统能够将风压检测、电机保护、变频器控制和远程监控集中到统一平台，实现控制指令、设备状态和安全保护之间的闭环衔接。

1.3 安全生产对通风控制的要求

煤矿安全生产对通风控制的要求集中体现在稳定供风、异常预警、故障隔离和持续监测等方面。井下瓦斯、粉尘和有害气体浓度受风量变化影响明显，通风机运行状态直接关系到作业空间空气质量和安全边界。通风控制系统需要在风压下降、电流异常、轴承温度升高、设备振动增大等情况出现时及时发出报警，并根据设定逻辑完成保护动作，避免故障进一步扩大。传统依赖人工巡检的方式存在信息获取间隔长、判断标准不统一、处理速度受限等不足。智能化发展理念要求通风控制由被动处理转向主动预警，PLC 技术可通过多点监测、逻辑联锁和远程数据反馈，提高通风机电系统对安全风险的识别速度和处置精度。

2 传统通风机电控制方式存在的主要问题

2.1 人工启停控制响应滞后

传统通风机启停控制依赖人工操作或继电器逻辑，响应速度受限，难以及时应对负荷波动或风压异常。启停指令传递过程中存在信号延迟和人为判断间隔，导致电机启动冲击大、停机滞后，风量调节无法精确匹配井下需风量变化，易产生局部通风不均或瓦斯积聚风险。连续性负荷情况下，频繁手动操作还增加设备磨损、启动电流波动和能耗浪费。新型智能化理念要求控制系统具备快速响应和自主判断能力，以确保通风机在负荷变化时即时启停，减少系统惯性和滞后对安全生产的影响。

2.2 运行参数监测不够连续

传统监测手段依赖定点巡检或间歇式采集，风压、风量、电机电流、振动和温度等关键运行参数无法实现实时、连续采集。数据滞后导致运行状态无法即时判断，系统对负载突变、

设备异常或井下阻力变化的识别能力不足,难以形成完整的运行趋势分析^[2]。缺乏连续数据的支撑,通风调节策略多依靠经验判断,调速、启停和保护动作无法精准执行。智能矿山发展要求对关键参数进行多点实时采集与数据融合,确保控制决策基于高精度、连续和可靠的实时信息,实现通风机电系统精细化管理。

2.3 故障保护处理不够精准

传统通风机电系统保护依赖机械继电器和单点报警,故障检测逻辑单一,无法对多参数耦合异常或复杂状态进行综合判断。风机过载、轴承温升、电流波动或振动异常时,保护动作响应缓慢或误动作频繁,导致设备潜在损伤扩大,风量供应和安全环境维持能力下降。缺少智能逻辑和数据分析支撑的保护机制,不能实现多级联动控制与自动隔离异常设备。现代控制理念强调预测性维护和逻辑联动保护,通过实时分析多维参数,实现故障快速识别、精确切断和连续保障通风稳定运行的能力。

3 PLC 控制技术改造方案设计

3.1 PLC 控制核心模块配置

PLC 控制系统作为通风机电改造的核心,实现逻辑判断、数据处理、信号输出和设备联动功能的集中化管理。系统采用高性能模块化 PLC,具备多任务并行处理能力和抗干扰性能,通过中央处理单元对各通风机及外围设备状态进行实时采集和分析。核心模块包括高速输入输出模块、模拟量处理模块、通信模块及扩展控制模块,高速 I/O 模块用于捕捉风压、风量、电流、电压等关键参数变化,模拟量模块实现传感器连续数据处理和信号转换,通信模块确保 PLC 与上位监控系统及变频器之间的数据实时交互。扩展模块可灵活增加控制回路,实现多台通风机联动调节。模块化配置保证系统在负荷波动或设备故障时能快速响应,同时便于维护和扩展,为自动化和智能化控制奠定坚实基础。

3.2 传感器数据采集路径设计

数据采集路径设计以实现通风机电系统运行状态的实时监测和精准控制为目标。传感器布置覆盖风压、风量、电机电流、振动、温度及环境气体浓度等关键点,形成多维度、连续、可靠的数据采集网络^[3]。传感器信号经信号调理、滤波和隔离处理后,通过高速数据总线传送至 PLC 中央控制模块,实现实时采集和处理。采集路径设计强调数据冗余和多点覆盖,提高系统对局部异常或突发波动的识别能力,同时通过分层数据汇总和逻辑分析,实现参数与控制指令的闭环联动。数据采集路径优化还保证了与变频器、远程监控系统和上位机通信的兼容性,为通风机电系统运行状态分析、故障诊断和调速控制提供可靠支撑。

3.3 变频调速控制流程设置

变频调速控制流程以适应井下需风量变化和降低能耗为目标,流程由 PLC 控制逻辑主导,结合传感器实时数据实现精细调节。系统通过设定目标风量、实时监测风压及电机负载,计算差值并生成调速指令,驱动变频器精确调整通风机转速。控制流程包括启动缓冲、加减速梯度控制、稳态维持及故障保护联动,确保启停顺序平稳,负载突变响应迅速。PLC 可在风量异常或设备异常时自动修正转速或执行安全停机,防止过载和能耗浪费,同时实现多台风机的协同调速,优化井下风流分配。流程设计强调自动化闭环控制、逻辑联动保护和节能策略集成,使通风机电系统在安全、高效和节能运行之间实现平衡,为智能矿山通风控制提供技术支撑。

4 PLC 技术在通风机电系统中的具体应用

4.1 自动启停控制应用

PLC 自动启停控制应用重点在于将传统人工操作转化为程序化、联锁化和条件化控制。通风机启动前,PLC 先对供电电压、断路器状态、风门位置、润滑系统、轴承温度、变频器状态和急停回路进行顺序检测,所有条件满足后才允许启动指令输出,避免设备带病运行或误启动。启动过程中,PLC 按照预设程序控制风门开启、变频器软启动和电机升速过程,使电流变化保持在合理范围内,减少大电流冲击对电机绕组和供电线路的损伤。运行阶段,PLC 根据风压、风量和负载变化判断设备运行是否稳定,并将主通风机和备用通风机纳入统一控制逻辑,在主机异常、风量不足或供电中断时,自动执行备用设备切换程序,缩短人工判断和现场操作时间。停机控制同样采用分步执行方式,先降低风机转速,再完成风门调整和电源切断,防止气流突变造成系统波动。该应用体现智能矿山对设备自主控制、稳定运行和连续供风的要求,使通风机电系统由单一启停操作转向全过程自动管控。

4.2 故障报警保护应用

PLC 故障报警保护应用通过多参数监测和逻辑联锁实现通风机电系统异常状态的快速识别。系统将电机电流、电压、轴承温度、绕组温度、振动幅值、风压变化、风量变化和变频器运行状态接入 PLC 输入端,形成连续监测数据链。PLC 根据设定阈值和运行逻辑对各类信号进行判断,当出现过载、缺相、过压、欠压、温升过高、振动异常、风压突降或风量不足等情况时,立即触发声光报警、画面提示和故障代码显示,便于值班人员准确定位异常部位。对于影响通风安全的严重故障,PLC 可按照保护等级执行降速、切换备用风机、切断故障回路等控制动作,避免单点故障扩大为系统性停风风险^[4]。报警保护程序还可设置延时判断和多信号交叉验证,减少瞬时波动引起的误报警,提高保护动作的准确性。故障信息通过通信模块上传至监控平台,形成运行记录和维修依据,为预测性维

护提供数据支撑。该应用使通风机系统从被动故障处理转向主动识别、分级处置和闭环保护。

4.3 节能调速控制应用

PLC 节能调速控制应用以需风量变化为依据,通过变频器调节通风机转速,减少长期恒速运行造成的电能浪费。系统运行时,风压传感器、风量传感器和电机负载检测装置持续向 PLC 传输数据,PLC 将实时参数同设定目标值进行比较,并根据偏差大小输出频率调节指令,使变频器平稳改变电机转速。井下用风需求较低时,PLC 控制通风机降低运行频率,减少无效风量和电机功耗;用风需求升高时,PLC 按照升频曲线逐步提高转速,保证风量补充稳定,避免频繁大幅调节造成设备冲击。节能控制并非单纯降速,而是在安全风量、瓦斯稀释、设备负载和电机效率之间进行综合匹配。PLC 还可根据不同时段、不同生产状态和巷道阻力变化设置多级运行模式,使通风机保持在较优效率区间。与传统工频控制相比,变频调速减少启动损耗、降低机械磨损,并提升通风量调节精度。该应用契合绿色矿山建设理念,实现安全供风、精准控制和低耗运行的协调统一。

5 PLC 改造后的运行成效评价

5.1 设备运行稳定性提升

PLC 控制改造后,通风机系统的启停和调速过程实现精确程序化管理,运行过程中负载波动对设备的冲击明显减小。通过实时监测风压、风量、电流及电机振动等关键参数,PLC 可动态调整启停顺序和转速曲线,使通风机在不同工况下保持平稳运行。多机联动逻辑确保主机异常或负载突变时,备用风机自动接入,实现风量连续稳定输出。电机温升、轴承振动幅度及电流波动幅值均得到控制,减少长期运行造成的机械疲劳和线路损耗。稳定性提升不仅降低设备维护频率,还延长电机

和传动系统使用寿命,同时保证井下通风连续性,为安全生产提供坚实支撑。

5.2 安全保护响应能力增强

PLC 改造引入多参数逻辑判断和联动保护机制,通风机系统能够在故障初期快速识别异常并执行分级保护。系统对过载、缺相、过压、欠压、温升异常和振动超标等情况进行实时监测,触发声光报警及控制指令输出,故障隔离和备用风机切换均在毫秒级完成^[5]。多点交叉验证减少误动作,提高保护精度,关键设备运行风险得到有效控制。信息上传至监控平台,为运行分析和预测性维护提供数据支撑。响应能力的增强确保井下空气流量和安全环境稳定,显著降低因设备异常导致的生产中断或安全事故风险,实现通风机系统高安全性运行。

5.3 通风能耗控制水平改善

PLC 控制结合变频调速实现通风机转速与井下风量需求动态匹配,有效降低能耗浪费。系统实时采集风压、风量及负载数据,通过闭环调节输出最优频率指令,使通风机在不同工况下保持高效率运行。低负荷状态下转速自动下降,避免无效风量产生;高负荷状态下精确升频,满足通风需求同时控制电流冲击。多机协同调速进一步优化风流分配,减少局部超压和能耗波动。节能效果表现为总功率消耗下降、电机负载均衡和设备磨损减缓,既保障安全供风,又降低运营成本,为绿色智能矿山建设提供可量化技术支撑。

6 结语

PLC 控制技术的引入显著提升了煤矿通风机系统的智能化水平,实现了启停逻辑精准、参数监测实时、故障保护快速响应及节能调速优化,增强了通风设备的稳定性与安全性,提高了通风能耗控制能力,为煤矿通风机系统高效运行和绿色矿山建设提供了重要支撑。

参考文献:

- [1] 庞维建.PLC 技术在煤矿通风控制系统中的应用[J].自动化博览,2025,42(5):64-67.
- [2] 林邦舜.PLC 技术在机电一体化控制系统中的应用研究[J].微型计算机,2025(23):40-42.
- [3] 秦娜,张西望.基于 PLC 技术的机电设备智能控制系统设计与研究[J].电气技术与经济,2025(9):182-184.
- [4] 张帅.煤矿通风机在线监控系统关键技术研究[J].能源与节能,2025(1):157-160+173.
- [5] 苗壮,徐彦兵,詹海涛.PLC 技术在煤矿主通风机监控系统中的应用研究[J].中国科技期刊数据库工业 A,2025(4):037-040.