

煤矿通风系统自动化技术的研究与应用

胡晨飞

(山西省节能中心有限公司,太原 030045)

摘要:通过分析国内煤矿的安全事故与通风系统的自动化技术,研究了PLC自动控制技术与变频调速驱动方式,并提出了一种通风控制系统的应用方案。研究了系统的控制技术,并分析了变频调速方式的节能效果,设计了系统的闭环控制原理与整体方案;对系统的硬件设备进行了设计,选型了PLC控制器、变频器,设计了传感器的接线图。系统将PLC自动控制与变频调速技术应用于矿井通风,提高了通风系统的自动化程度,减少了设备的电能消耗。

关键词: 矿井通风; 自动化; PLC; 变频调速

中图分类号: TP29

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research and Application of Automation Technology in Ventilation System of Coal Mines

HU Chenfei

(Shanxi Energy Conservation Center Co., Ltd., Taiyuan 030045, China)

Abstract: On the analysis of the security incidents and automation technology of ventilation system of mines in China, this article studies the PLC automatic control technology and the driving mode with frequency conversion speed regulation, and proposes an application of the ventilation control system. This article also studies the control technology and the energy-saving effect of the frequency conversion speed regulation, and then designs the closed-loop control principle and overall scheme for the ventilation system. In addition, the hardware equipment was designed, including the selection of the PLC controller and frequency converter and the wiring diagram of sensors. The application of the PLC automatic control and frequency conversion speed regulation technology improves the automation degree of the ventilation system and reduces the power consumption of equipment.

Key words: ventilation in mine; automation; PLC; frequency conversion and speed regulation

煤炭行业作为我国的支柱性产业,一直以来都是我国社会发展与经济快速增长的基础^[1]。由于我国煤炭多为地下开采,通风不便,频发的瓦斯爆炸事故对井下工人的生命安全构成了巨大威胁^[2]。通过对历史上多起煤矿爆炸事故的分析,发现多数事故矿井的通风设施不到位,通风系统不合理,控制方式不科学,最终酿成惨祸^[3]。近年来,随着电子

信息技术、微电子技术与控制理论的发展,PLC控制技术与变频调速技术应用范围越来越广^[4]。通过PLC控制煤矿通风机,可有效提高通风系统的自动化程度与工作的可靠性,通过变频技术驱动通风机可大幅降低风机的损耗,实现电机软启动与无级调速^[5]。本文将针对矿井通风系统,研究与应用系统的自动控制技术。

* 收稿日期: 2020-06-09

作者简介: 胡晨飞(1986-),男,山西太原人,本科,工程师,从事煤矿安全性能检测以及职业卫生危害检测工作, E-mail: jwxgex@sina.com

1 通风自动化控制技术

通风系统采用 PLC 自动控制技术与变频调速驱动技术,通信方式为 RS485 串行通信。RS485 串行通信具有抗干扰能力强,传输速率高等优点,满足 PLC 控制风机启动、正反转和调速等要求。

由电机工作原理可知,交流异步电机的转速为:

$$n = n_1(1 - s) = 60f_1/p(1 - s) \quad (1)$$

式中 n_1 为电机的同步转速; f_1 为定子的输入电压频率,Hz; p 为电机的极对数; s 为电机转差率。

由式(1)知,通过改变交流异步电机的输入电压频率 f ,可实现电机转速 n 的平滑调节。

由流体力学知,通风机的输出风量、电机转速与电机功率符合下列关系:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (4)$$

式中 n_1 、 n_2 分别为控制前后通风机的转速; Q_1 、 Q_2 分别为控制前后通风机的输出总风量, m^3/s ; p_1 、 p_2 为控制前后通风机的风压,Pa; P_1 、 P_2 为控制前后通风机的功率, kW。

由公式知,当通风机的转速降低至原先的 $1/2$ 时,通风机的输出风量也随之降至 $1/2$,通风机所消耗的功率降为原先的 $1/8$,所以通过变频驱动方式控制风机的转速,可有效减少通风系统不必要的能源消耗。

系统的自动控制原理如图 1 所示,采用闭环控制,由传感器监测风机出风口处的风速信号,通过与给定风量的差值计算,得到控制器的输入量,经过数据修正,保证风机输出风速恒定。

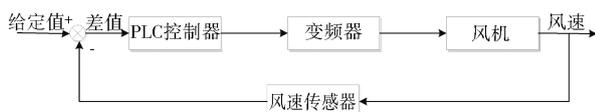


图 1 系统自动控制原理

Fig. 1 Automatic control principle of ventilation system

2 控制系统整体方案设计

2.1 系统功能设计

由于传统风机控制方案存在自动化程度低,启

动时间长、电流冲击大等缺点,会损坏电机的绝缘性能,缩短设备的使用寿命,并且造成较大的能源浪费。本文设计的控制系统主要实现的功能如下:实现风机的手动控制、自动控制与远程终端控制三种工作模式,并且三种模式可以任意切换;风机可实现软启动,并自动进入变频运行模式,当变频器故障时,可以切换到工频模式;当矿井发生爆炸或火灾时,PLC 控制风机反向运转;系统实时监测风机的运行参数,通过液晶屏显示风机的各组工作状态;当系统电气设备、电参数等工况数据异常时,系统发出报警信息,当参数超过设定值一定量时,切断电源,停止风机运行;当主风机故障时,自动运行切换程序,切断主风机电源,运行副风机。

2.2 系统结构方案设计

系统以 PLC 控制器为核心,整体结构如图 2 所示,包括远程监控机、上位机、交换机、控制器、变频器以及各类传感器。上位机与远程监控机可实现风机历史运行数据以及现场运行效果的实时监控功能,并通过互联网实现远程指导与信息交流。此外系统采用权限管理,权限低的用户只能查看,不能修改。系统的通讯介质为光纤电缆,通过 TCP/IP 协议实现信号传输,满足各设备之间的通讯功能。传感器部分包括温度传感器、风速传感器、湿度传感器与瓦斯浓度传感器,负责采集矿井与风机内的信号参数,实现风速的自适应调节。

3 系统设备选型设计

系统的硬件部分包括 PLC 控制器、变频器与传感器等部分,本节将对控制系统的部分设备进行选型设计。

3.1 PLC 控制器及外围模块选型设计

系统采用西门子公司 S7-300 PLC 控制器,负责对通风机设备、高低压电气设备等的监控。S7-300 PLC 编程功能强大,具有较好的电磁兼容性和抗干扰能力,满足矿井通风机的工作需求。S7-300 采用 PS307 电源模块供电,向控制器提供 5 V 直流电源与 24 V 直流电源。控制器 CPU 模块型号为 315-2DP,CPU 包括 384K RAM 存储器,2 个 DP 接口。控制器采用 SM321 数字量输入模块与 SM321 数字量输出模块,负责将外部数字信号转换为控制器内部信号或将内部信号转换为外部设备可用信号。通讯模块包括 CP343-1 与 CP341,分别满足控制器的以太网通讯需求与串口通信需求^[6-7]。

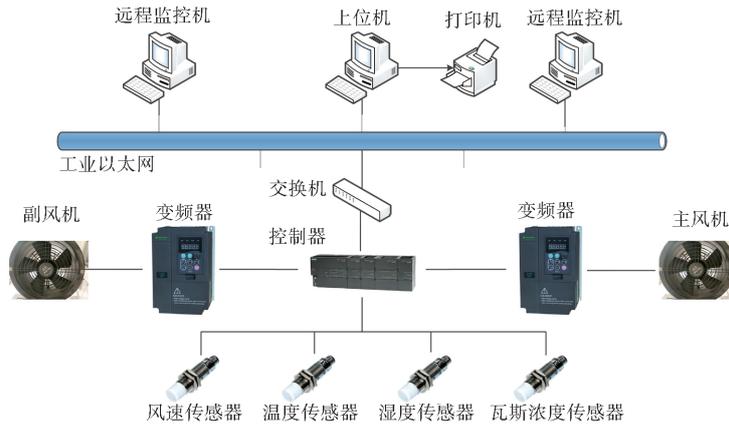


图 2 通风控制系统整体方案设计
Fig.2 Overall design of ventilation control system

3.2 变频器选型

目前变频器主要分为交-直-交变频器与交-交变频器两种,其中交-直-交变频器将一定频率的交流电整流转换为直流电,再通过逆变电路转换为所需频率的交流电。本文选用日立公司生产的 SJ700 交-直-交变频器,具有较高的启动转矩,保证风机的快速启动,具有过电流与过电压保护功能,减少跳闸风险,搭设噪音滤波器,降低变频器发出的噪音^[8]。

3.3 传感器模块设计

系统的传感器模块包括温度传感器、湿度传感器、风速传感器与瓦斯浓度传感器。其中温度传感器模块采用 NTC 热敏电阻材料,其接线图如图 3 所示,其中 R_2 为限流电阻, C_1 为滤波电容,传感器模块的测量范围在 $-20 \sim 75\text{ }^\circ\text{C}$ 之间,误差小于 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。

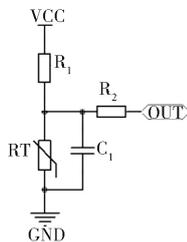


图 3 温度传感器接线图
Fig.3 Wiring diagram of temperature sensors

系统选用 DHT1 数字式湿度传感器,具有响应快、性价比高等优点,其接线图如图 4 所示,其中 R_3 为上拉电阻,当传输距离大于 20 m 时,需计算合适电阻值,电容 C_2 为滤波电容。

瓦斯浓度传感器选用 KG9701 智能沼气传感器,可实时监测附近范围内的 CO 气体浓度,并具有声光报警功能。系统选用 KGF2 型矿井专用风速传感器测量风机出风口处的风速信号。KGF2 传感器由 18 V 直流电源供电,可将信号传输到 PLC 控制

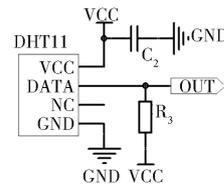


图 4 湿度传感器接线图
Fig.4 Wiring diagram of humidity sensors

器,也可直接通过液晶屏显示。传感器安装于出风口管道的墙壁上,保证传感器探头与出风的风向一致。

4 系统监测数据分析

系统通过各传感器设备监测矿井的通风参数,部分监测数值如表 1 所示。监测数据表明,当巷道风速达到 3 m/s 时,瓦斯等有害气体的浓度值较低,温、湿度保持在一个舒适值。当风速过大,不仅造成能源浪费,也会吹起粉尘,影响作业环境;当风速过小时,不能有效地输送新鲜空气,稀释瓦斯。系统根据监测数据,对通风机的转速进行实时控制,以达到良好的通风效果。

表 1 系统测量参数表

Table 1 Measurement parameters for ventilation system

监测地点	风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	瓦斯体积分数/%	温度/ $^\circ\text{C}$	相对湿度/%
进风巷道	3.2	0.03	22	65.2
综采工作面	3.1	0.21	29	87.4
综采上隅面	0.6	0.33	28	84.5
回风巷道	3.2	0.14	24	65.2
机巷口	1.3	0.12	25	83.1

5 结语

本文通过对 PLC 控制技术与变频技术的研究,提出了一种基于 PLC 控制器的矿井通风自动控制

系统,并分析了变频技术应用于通风机后的控制效果与节能效果。对控制系统的主要硬件设备与传感器进行了选型,并设计了温、湿度传感器的系统接线

方式。本控制系统与控制技术具有自动化程度高,节能效果好等优点,可满足通风系统的调速与监测需求,提高井下工作环境的安全性。

参考文献:

- [1] 李文斌. 变频技术在煤矿通风机控制系统中的设计应用[J]. 机械管理开发, 2015, 30(6): 67-69.
LI Wenbin. Application and design of converter technique in control system of ventilators[J]. Mechanical Management and Development, 2015, 30(6): 67-69.
- [2] 闫振国, 李川, 王延平, 等. 面向通风安全动态分析的多屏联动显示技术[J]. 工矿自动化, 2015, 41(3): 47-50.
YAN Zhenguo, LI Chuan, WANG Yanping, et al. Multi-screen joint display technology oriented to ventilation safety dynamic analysis[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(3): 47-50.
- [3] 孙涛, 夏振兴, 王前进. 矿井通风机倒机过程自适应PID抗饱和控制器设计[J]. 工矿自动化, 2019, 45(3): 90-94.
SUN Tao, XIA Zhenxing, WANG Qianjin. Design of adaptive PID anti-saturation controller in switchover process of mine ventilator[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(3): 90-94.
- [4] 陈祖安, 纪世章, 张永惠. 矿井通风机同步电机直接高压变频调速技术及应用[J]. 有色金属, 1998: 112-117.
CHEN Zu'an, JI Shizhang, ZHANG Yonghui. Development and application of the technique of directly frequency transforming under high voltage[J]. Nonferrous Metals, 1998: 112-117.
- [5] 杨鑫祥, 肖伟, 武猛猛, 等. 矿井通风网络解算软件的改进研究与实现[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(4): 80-83.
YANG Xinxiang, XIAO Wei, WU Mengmeng, et al. Improvement and realization of the software for mine ventilation network solution[J]. Mining Research and Development, 2015, 35(4): 80-83.
- [6] 杨艳国, 王祎, 周新雨. 基于无线传感器的矿井通风测试系统及软件开发[J]. 金属矿山, 2015(5): 149-152.
YANG Yanguo, WANG Yi, ZHOU Xinyu. Testing system and software development of mine ventilation based on wireless sensor[J]. Metal Mine, 2015(5): 149-152.
- [7] 孟琳山, 马小平, 李全保. 矿井主通风机不停风倒机控制系统改进方案[J]. 工矿自动化, 2012, 38(11): 9-10.
MENG Linshan, MA Xiaoping, LI Quanbao. Improvement scheme of switch over control system without blowing-out of mine main ventilator[J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(11): 9-10.
- [8] 徐维维, 胡亚非, 李解. 基于S7-300和Wincc的矿井通风机监测监控系统[J]. 煤矿安全, 2011, 42(7): 86-88.
XU Weiwei, HU Yafei, LI Jie. Monitoring and control system of mine ventilator based on S7-300 and Wincc[J]. Safety in Coal Mines, 2011, 42(7): 86-88.

(编辑: 单 婕)