

文章编号:1671 - 251X(2009)11 - 0072 - 04

煤矿通风机变频控制系统的开发与应用

孙传余¹, 肖林京¹, 孙 慧¹, 王书平²

(1. 山东科技大学机械电子工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 山东水利职业学院, 山东 日照 276826)

摘要:针对煤矿通风系统存在通风机利用率低、系统耗能大、自动化水平低等问题,提出了一种煤矿通风机变频调速改造方案,开发了一种变频控制系统,详细介绍了控制系统的组成、PLC 控制系统及计算机控制的设计等。该控制系统采用性能可靠的 Siemens PLC 为核心控制器,使用“高 - 低 - 高”的变频控制方案,节能效果显著。

关键词:煤矿通风机; 变频调速; 变频控制; PLC; DANFOSS 变频器; 组态软件; 节能

中图分类号:TD635 **文献标识码:**B

0 引言

矿井通风机是煤矿生产中极其重要的设备,担负着向井下输送新鲜空气、排出粉尘、瓦斯和污浊气流、确保矿井安全生产的重任。通风机也是大功率连续运行的大型设备,是煤矿生产中主要能耗设备之一,目前煤矿通风系统存在以下主要问题:(1) 通风机利用率低,系统耗能大:某煤矿的通风机额定转速为 980 r/min,额定风量为 10 800 m³/min,当前所需风量仅为 7 100 m³/min,系统过量的风量均消耗在风门阻力上,通风机运行效率低;(2) 系统自动化水平低:通风机的控制系统一般为传统的继电器控制,通风机的启停、倒风、反风以及风门的调节等操作,都是由人工手动完成,并且系统所需风量改变后,调节过程往往不及时;(3) 办公效率低:通风机房内的控制参数,如电流、电压、流量、负压、温度等,均由工人定期巡检记录,效率低且不便进行计算机存储、管理和打印,更无法实现数据共享和远程监控。针对以上问题,笔者开发了一种煤矿通风机变频控制系统,通过对煤矿通风机系统实行变频技术

改造,有效地解决了上述问题。

1 变频控制系统的组成

某煤矿的原通风机控制系统采用 6 kV 电压供电,有 4 台 285 kW 电动机,配有 11 个电气柜:联络柜、1 # 进线柜、2 # 进线柜、1 # PT 柜、2 # PT 柜、1 # 正逆换向柜、2 # 正逆换向柜、1 - 1 # 东通风机馈电柜、1 - 2 # 东通风机馈电柜、2 - 1 # 西通风机馈电柜、2 - 2 # 西通风机馈电柜。在 380 V 低压柜里,主要控制 3 kW 的斜式风门电动机、7.5 kW 的立式风门电动机、电机加热、照明等。该系统基本上为人工手动操作,系统的自动化、智能化、信息化水平低,机房内控制参数孤立,不能实现远程共享,为此,采用变频技术对其进行改造。改造后的通风机变频控制系统主要包含三大部分:变频器、PLC 控制模块组、工控机及触摸屏。如图 1 所示,PLC 控制模块组的供电串联了不间断电源 UPS,以确保控制电源的持续性和稳定性,采集的信号主要包括开关状态、电压值、电流值、负压值、温度值等,并通过 Profibus 总线接口与 2 台变频器相连,通过以太网通信模块 CP343 - 1 与以太网交换机相连,最后连接到工控机。工控机位于调度室内,只能显示不能控制,便于领导层了解情况,作出决策;触摸屏位于通风机房内,既能显示也能控制,配合使用控制台上的按钮,完成不同情形下的通风机控制。

收稿日期:2009 - 07 - 13

作者简介:孙传余(1982 -),男,山东日照人,硕士,现为山东科技大学机械电子工程学院在读博士研究生,主要从事煤矿控制设备的研究工作。E-mail:yake2147@126.com

- [2] 王孝良,周广辉,安 毅. 有害气体检测仪设计中的数据处理[J]. 仪表技术与传感器,2006(3):12-13.
- [3] 沈 悦,梁 坚,胡 真,等. 智能气体识别仪的研究[J]. 仪器仪表学报,1998,19(1):41-44.

- [4] 罗亚非. 凌阳 16 位单片机应用基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [5] 侯媛彬,袁益民,霍汉平,等. 凌阳单片机原理及其毕业设计精选[M]. 北京:科学出版社,2006.

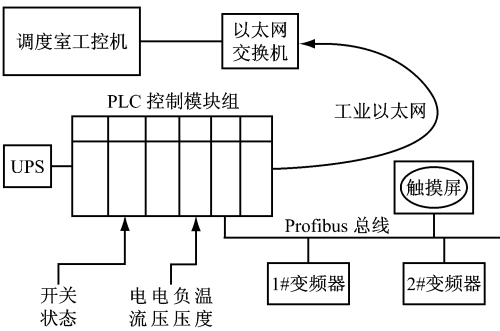


图 1 通风机变频控制系统组成图

2 变频调速方案

目前,变频调速分为高压变频和低压变频 2 种,由于该通风系统中的 4 台 285 kW 电动机均采用 6 kV 供电,若直接使用高压变频器,原通风机电的电气控制柜改动较少,仅增加 2 个高压变频器柜和 1 个控制台,相对简单,但高压变压器设备造价非常高,可靠性不及低压变频器。若直接使用低压变频器,在改造方面需要将 4 台 6 kV 的电动机全部更换掉,同时增加 2 个变压器柜,原来的控制系统无法兼容使用,不能起到应急情况下备用的目的,而且施工非常麻烦。结合高压变频和低压变频的优点,考虑既降低成本、又能保留原控制系统,且施工方便,该系统采用“高 - 低 - 高”变频方案,如图 2 所示。通过降压变压器将电压由 6 kV 转换到 690 V,通过 2 ×320 kW 的变频器进行变频,经滤波器后,再通过升压变压器变为 6 kV 高压输出给驱动电动机。

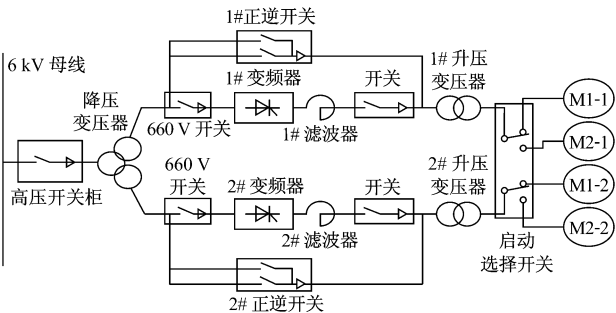


图 2 变频调速方案示意图

通风系统中,对旋式轴流通风机 2 个叶轮的作用是不完全相同的,一个用来调节风压,一个用来调节流量,为了达到最优的控制效率,两者应存在 2 % ~ 5 % 的转差率,所以系统采用了 2 个低压 DANFOSS FC301 变频器,经升压变压器和启动选择开关后,给轴流通风机的 2 台电动机供电。启动时先将启动选择开关控制在合适的位置,然后使用变频器缓慢启动,运行时每台变频器拖动 1 台电动机,从而有效保护电动机并充分发挥各自不同的作用。

为保证变频器故障后,通风机仍能正常地工作,系统中备用了正逆开关直接启动,一个正转使用,一个反转使用,由 PLC 输出的信号,经隔离继电器逻辑后,直接控制每个开关的状态。为方便检修,每个变频器和变压器都有各自的供电开关,不使用时可将电断掉,符合煤矿安全操作规程。变频调节和开关控制均在低压过程完成,全部由 PLC 输出控制,系统所有开关均允许电动操作,无需人工干预,操作员只需操作控制台上的按钮或触摸屏上的按键即可,紧急情况下,允许人工手动操作。系统能够自动在主通风机和备用通风机间切换,按一定的周期交替运行,发现通风机故障后,可及时报警,以便及时进行维修。变频器故障后,系统自动切换到备用开关直接启动,控制台显示器上会弹出明显的故障提示。通风机不会自动反转送风,只有在人工干预下,才能反转送风。

3 PLC 控制模块组成与开发流程

3.1 PLC 控制模块组成

PLC 控制模块采用性能可靠稳定的 Siemens S7 - 300 中型 PLC,通过模拟输入/输出模块和数字输入/输出模块实现对信息的采集和输出控制,并将信息直观地显示在控制界面里。DANFOSS FC301 变频器通过 Profibus 总线与 PLC 相连,11 个电源切换开关也均由 PLC 控制运行,另外在通风机房原有的 1 # PT 柜、2 # PT 柜以及 690 V AC 低压线路中,加入电压变送器和电流变送器。在联络柜,1 - 1 # 东通风机馈电柜、2 - 1 # 西通风机馈电柜里引出“合/分闸信号”、“手动/自动信号”、“合闸指示信号”、“分闸指示信号”、“保护动作信号”、“高压储能信号”等。煤矿通风系统中有 4 个 6 kV、285 kW 的轴流式风扇电动机,在每台电动机的 B 相交流电和轴向两侧各有 3 个热敏电阻输出,用来测量电动机的温度;有 2 个 380 V AC、7.5 kW 的立式风门电动机,有 2 个 380 V AC、3 kW 的斜式风门电动机。这 8 个电动机均需正反转,其中 4 个通风电机由变频器改变转向,另外 4 个风门电动机由 8 个接触器改变转向。2 个风门共有 4 个开关状态,每个状态需要 2 个行程开关进行检测,共有 8 个行程开关,有 4 个负压传感器,另外系统预留 20 % 的接口。系统共计有 80 个 DI 信号、56 个 DO 信号、24 个 AI 信

号。由于系统处理信息较多,且 PLC 需通过 Profibus 总线与 DANFOSS FC301 变频器、工控机和触摸屏通信,完成数据运算、时间统计、过压/过温次数统计、查询历史记录、故障记录、信息认证、参数设置、状态查询等功能。因此,选择 Siemens PLC

模块组架构,如图 3 所示,除电源模块、CPU 模块、接口模块外,PLC 控制模块组共有 11 个 SM 信号模块、1 个通信模块,还有机架、隔离继电器、接线端子、连接线等。

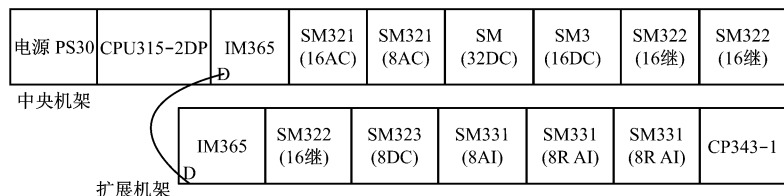


图 3 PLC 控制模块组的架构图

3.2 PLC 控制系统的开发流程

Siemens S7 - 300 PLC 采用 SIMATIC STEP7 V5. X 编程。该软件是 SIMATIC 可编程逻辑控制器组态和编程的标准开发包,作为一个平台可以集成各种控制设备的软件,使不同设备以及站点具有相同的数据库,可以完成所有设备的编程、配置、调试、数据路由和通信工作等,从而实现对项目中所有控制任务的集成。开发过程:(1) 创建一个项目。将所有数据都以分层的结构存于项目中,且所有任务都在这个项目下执行。(2) 组态网络和通信连接。通信的基础是预先组态网络,创建一个满足系统要求的子网,设置网络特性、网络连接端口和速度等。(3) 组态工作站硬件。组态工作站就是指定要使用的 CPU,如 S7 - 300、S7 - 400 等,并在组态表中指定系统的模块组成以及用户程序访问这些模块的地址,地址一般不用修改,程序自动生成。(4) 定义符号和使用组织块。在 CPU 的符号表中定义局部或共享符号,用户程序使用这些符号替代绝对地址,符号的命名一般不超过 8 个字母,否则对程序的执行有较大影响。添加所要使用的组织块 OB、功能块 FB 等,并使用语句表 STL、梯形图 LAD、功能块 FBD 等方式开发控制程序。常用的组织形式有基于一个 OB1 块内的线形编程、通过 OB1 调用功能块 FB 的分布编程、编写通用块的结构化编程等,后两种的应用比较广泛。(5) 保存、编译、下载。完成所有的组态、参数赋值和编程任务之后,编译无错,便可以下载整个用户程序到 PLC,在下载程序时 PLC 必须处于 STOP 工作模式,运行时 PLC 必须处于 RUN 工作模式,上电后系统自动进行硬件检测和执行程序。

4 工控机的硬件和软件

工控机选用研华工控机,其配置:奔腾双核 2.8 G/ 1 G/ 160 G 光驱/ 软驱/ 键盘/ 鼠标;使用 Phonix 工业以太网交换机,扩展网络为拓扑结构,其配置为 2 个 SC 型光纤接口,4 个快速以太网口,传输距离最大为 30 km,传输速率为 100 Mbit/ s。接线过程简单:只需用网线将 CP343 - 1 和以太网交换机相连,再用网线将以太网交换机和工控机内的 RTL8139(A) 网卡相接。其它端口还可接入具有以太网接口的各种智能设备或仪器。为了完成上述硬件间的通信,软件设置如下:在 SIMATIC STEP7 V5. X 软件中,安装 IE SOFTNET S7 和 IE SOFTNET PG 两个组件,并在 Set PG/ PC Interface 的参数列表中选择当前计算机的 TCP/ IP 网卡;组态 PLC 工作站硬件时,指定采用 CP343 - 1,并对其子网掩码、端口地址和 IP 地址等进行设置;正确编译后,下载到 PLC 控制器中;再在工控机组态软件 MCGS6. 5 里添加网络设备构件,指定预通信 PLC 的机架、槽号、IP 地址等属性。全部设置完毕,便可以完成 PLC 与 MCGS 之间的通信。与 Siemens MPI 通信的主要区别:不用专门配置 PCI 插卡 CP5611,以太网直接使用计算机内的网卡完成通信,具有数据速率高、网络拓扑结构灵活、传输距离远、标准开放等优点。

设置完成后,工控机软件就可以正常运行了。该通风系统包含 2 台 2 × 285 kW 的对旋式轴流通风机,每台通风机有独立风道,每台通风机装有 1 个立式风门和 1 个斜式风门,立式风门用于调节所需的风量,斜式风门用于开关风道,均为电动机带动,

当一台通风机工作时,另一台处于备用检修状态。软件显示界面如图 4 所示,从图 4 可以直观地看出设备的运行状态、风门的开关状态、压力传感器的示数、电压、电流、转速和风速流量等参数信息。图 4 中实线箭头代表该风道未使用,相应各个风门处于关闭状态,电流、电压、转速和流量等参数均显示为零;虚线箭头代表风道正在使用,相应各个风门处于打开状态,电流、电压、转速和流量等参数显示为变频调速后低压过程的数值。系统还可显示和记

录当前的时间,并能存储、回放和打印数据,能以曲线的形式显示各参数的变化规律,对于超限或者故障的设备进行报警提示等。该组态界面能实现系统的互联,使通风机房信息、设备参数等资源通过以太网实现了快速、高效、实时的共享,但是为了提高通风机房的安全性,不设置远程控制。所有的通风机控制只能通过通风机房内操作台按钮或者触摸屏按键完成。触摸屏上的控制界面与工控机的基本相似,但多了模式选择和控制功能,不再赘述。

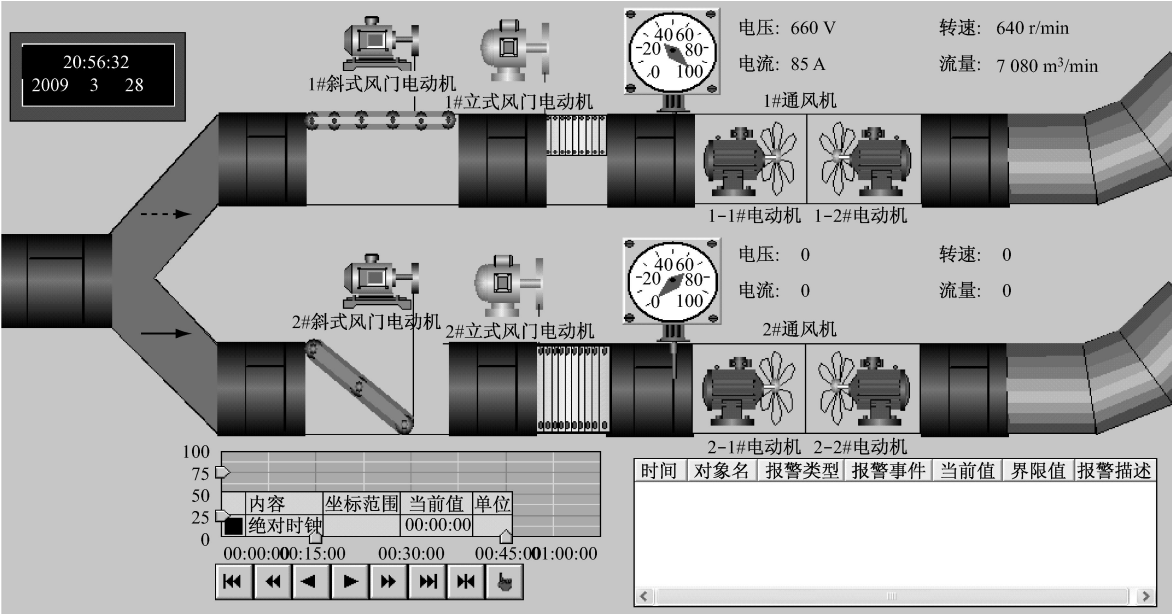


图 4 工控机软件显示界面

5 结语

煤矿通风机系统经变频技术改造后,通风机的启动电流和运行电流大大减小,节能效果十分明显。某矿对旋式轴流通风机配套电动机功率为 $2 \times P_1 = 2 \times 285 \text{ kW}$,额定转速为 $N_1 = 980 \text{ r/min}$,叶片安装角度为 $33^\circ 28'$,最大工作风量 $Q_1 = 10\,800 \text{ m}^3/\text{min} = 180 \text{ m}^3/\text{s}$,当前所需风量为 $Q_2 = 7\,100 \text{ m}^3/\text{min} = 118.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在最差的工况条件下,通风机按额定功率 $2 \times P_1$ 运行且风门全部打开,产生最大风量 Q_1 ,转速 N_1 ,运行频率 $F_1 = 50 \text{ Hz}$;采用变频调速后,风门的状态也是全部打开的,需要风量 Q_2 ,此时通风机功率为 $2 \times P_2$,转速为 N_2 ,通风机运行频率为 F_2 。由同条件下的比例公式近似有:

$$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = \frac{P_1}{P_2}$$

所以 $2 \times P_2 = 2 \times 81 \text{ kW}$, $N_2 = 644 \text{ r/min}$, $F_2 = 33 \text{ Hz}$ 。所以 2 台电动机每年节省的电费(电费按照 $0.60 \text{ 元/kW} \cdot \text{h}$ 计算)为

$$W|_{\text{元}} = (P_1 - P_2) \times 365 \times 24 \times 0.6 \times 2 = 2\,144\,448$$

综上所述,通过对煤矿通风机系统实行变频技术改造,有效地解决了通风机利用率低、系统耗能大等问题,对矿并节能降耗、改善矿井经济指标、提高矿井安全生产等都具有重要意义。

参考文献:

[1] 祝龙记,过希文.变频调速装置矿井通风机应用技术[J].煤矿机械,2006,27(10):181-183.
[2] 肖林京,孙传余,梁慧斌.PLC在水泵自动化监控系统中的应用[J].煤炭工程,2007(3):102-104.
[3] 范天吉.煤矿通风综合技术手册[M].长春:吉林电子出版社,2007.
[4] 赵广堂,郁庆林,耿同凡.可编程控制器在扇风机自动化变频控制中的应用[J].山东煤炭科技,2001(2).
[5] 马瑞军.煤矿风机监控管理软件系统设计[J].自动化仪表,2008(10).