

基于模糊控制的局部通风机智能控制系统

李文华, 李春雷, 于宁

辽宁工程技术大学机械工程学院, 阜新 123000

摘要 针对传统矿井局部通风机控制系统存在的缺陷, 设计了基于模糊控制理论的局部通风机智能控制系统。引入巷道温度、瓦斯浓度及巷道等效深度等参数, 应用模糊控制理论建立变频器控制电压与现场温度、瓦斯浓度的函数关系, 并建立考虑巷道等效深度影响的变频器控制电压计算方法, 利用变频调速技术, 实现了对局部通风机通风量的智能控制。实际运行结果显示, 该智能控制系统能够保证掘进巷道的通风安全, 可节约36.9%的电力消耗, 且可实现局部通风机工作效率的最大化。

关键词 局部通风机; 智能控制系统; 模糊控制

中图分类号 TP273

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.01.009

Intelligent control system of local fan based on fuzzy control

LI Wenhua, LI Chunlei, YU Ning

School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China

Abstract An intelligent control system of local fan based on fuzzy control theory was designed in view of the defects of control system of local fan in conventional mines. The roadway parameters of temperature, gas concentration and the equivalent depth were introduced, the functional relationship of voltage of frequency converter and field temperature and gas concentration was established by fuzzy control theory, and the algorithm of voltage of frequency converter based on the influence of equivalent depth of roadway was established to realize the intelligent control of local fan by frequency control. Practical operating results show that the system can guarantee the ventilation safety of excavation roadway, save 36.8% of electricity consumption and maximize the efficiency of the local fan.

Keywords local fan; intelligent control system; fuzzy control

矿井局部通风机功率的选取是以保证最大掘进深度时瓦斯浓度不超限为前提, 由于风机的功率与转速立方成正比, 而目前普遍的控制方式是风机始终全速运行, 通过调节风门开度或风叶安装角度来调整风量, 效率低, 尤其在巷道较短时经常出现“大马拉小车”现象, 电能浪费十分严重^[1]。由于变频调速在通风系统中具有节能作用^[2,3], 并考虑到以往系统忽略现场温度及巷道深度对通风系统的影响, 以及通风系统具有非线性、多耦合、多干扰的性质, 难以建立准确的数学模型, 而模糊控制方法能有效避免建模难问题, 实现良好的控制性能^[4,5], 因此, 本研究引入巷道温度、瓦斯浓度和巷道

等效深度等参数, 利用变频调速技术, 提出一种基于模糊控制方法的局部通风机新型智能控制系统, 以全面提高局部通风机系统的控制性能, 实现安全与节能的要求。

1 控制系统原理及结构

局部通风机通过变频调速实现既保证通风安全又提高运行效率的目的。由于采掘工作面的需风量主要与巷道温度、瓦斯浓度及巷道深度有关, 因此控制系统综合考虑这三种因素确定所需通风量, 控制原理如图1所示。

系统运行时, 由瓦斯传感器、温度传感器采集相应的瓦

收稿日期: 2014-06-10; 修回日期: 2014-11-05

作者简介: 李文华, 教授, 研究方向为流体机械设备测控及动力机械, 电子信箱: linet88@163.com; 李春雷(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为机电液一体化, 电子信箱: 1013601821@qq.com

引用格式: 李文华, 李春雷, 于宁. 基于模糊控制的局部通风机智能控制系统[J]. 科技导报, 2015, 33(1): 52-56.

斯浓度参数 r_{1t} 和温度参数 r_{2t} ，分别与瓦斯浓度、温度的安全设定值 r_{1g} 、 r_{2g} 进行比较，得到瓦斯浓度偏差 E_c 和温度偏差 E_t ，并进行模糊运算求出变频器的电压控制量 U_1 ；温度传感器采集到的信号经比例变换器 II 得到电压控制量 U_2 ；通过计算掘进面的等效深度 L_d ，并经比例变换器 I 求出电压控制量 U_3 。电压控制量 U_1 、 U_2 、 U_3 决定着变频器不同的输出频率，为确保通风安全，取其中最大值作为控制电压输入到变频器，从而调整通风机转速，实现对通风量的有效控制。数字信号处理器(DSP)的内部算法流程如图2所示。

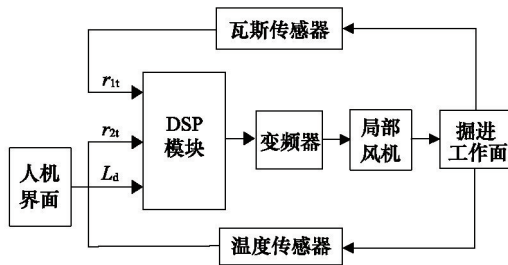


图1 系统控制原理

Fig. 1 Schematic diagram of the control system

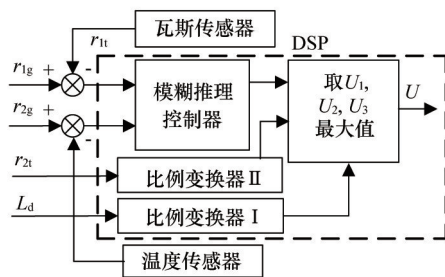


图2 DSP内部算法流程

Fig. 2 Flow chart of DSP internal algorithm

控制系统以DSP芯片TMS320F2407A为核心，主回路由整流滤波电路及逆变电路组成，驱动电路使用IR2132驱动芯片，利用模糊控制对采掘工作面的参数进行运算处理和智能判断^[6]，使局部通风机能够根据现场工况自动调节转速，始终在高效区运行。控制系统结构如图3所示。

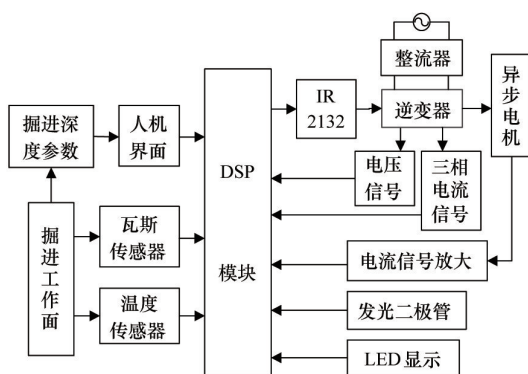


图3 控制系统结构

Fig. 3 Structure of the control system

2 系统控制算法

2.1 控制量 U_i 的计算

瓦斯浓度是影响通风安全的重要参数之一，瓦斯浓度不能高于《煤矿安全规程》规定的1.5%限制值，且由于瓦斯的引爆火花能量与环境温度有关，因此瓦斯浓度安全值应该随温度的增加而降低。模糊控制是一种基于规则的控制，在设计模糊规则时，要综合考虑瓦斯浓度偏差 E_c 、温度偏差 E_t 对控制电压 U_i 的影响^[7]，确保掘进面的安全生产。

2.1.1 精确量的模糊化

瓦斯浓度偏差 E_c 的模糊向量为 E_{c_j} ，其论域为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ，相应的模糊语言集为 $\{NB, NS, ZO, PS, PB\}$ ，分别表示瓦斯浓度状况为“很低、偏低、正常、偏高、很高”。高斯函数能够较好地反映偏差变化情况，三角函数算法简便，将两种函数作为隶属函数以提高系统运算效率和实现较好的控制效果^[8]。瓦斯浓度偏差模糊向量 E_{c_j} 的隶属函数如图4所示。

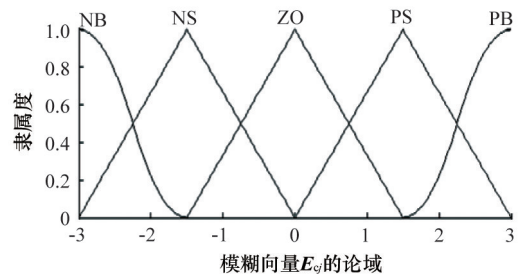


图4 模糊向量 E_{c_j} 的隶属函数

Fig. 4 Subordinate functions of the fuzzy vector E_{c_j}

温度主要影响瓦斯浓度的安全值，温度偏差 E_t 的模糊向量为 E_{t_j} ，其论域为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ ，相应的模糊语言集为 $\{ZE, PS, PM, PB, PV\}$ ，分别表示当前温度状况为“正常、偏高、较高、很高、非常高”。温度偏差模糊向量 E_{t_j} 的隶属函数如图5所示。

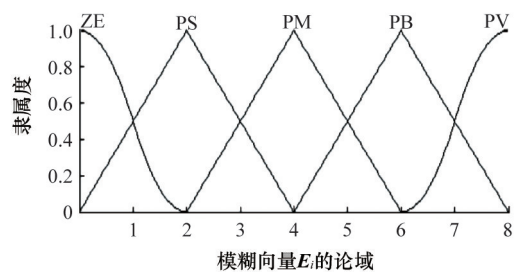


图5 模糊向量 E_{t_j} 的隶属函数

Fig. 5 Subordinate functions of the fuzzy vector E_{t_j}

变频器控制电压 U_i 的模糊向量为 U_{i_j} ，论域为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ，相应的模糊语言集为 $\{NB, NS, ZO, PS, PB\}$ ，分别表示通风机转速状况为“低、较低、额定、中、较高”。控制电压模糊向量 U_{i_j} 的隶属函数如图6所示。

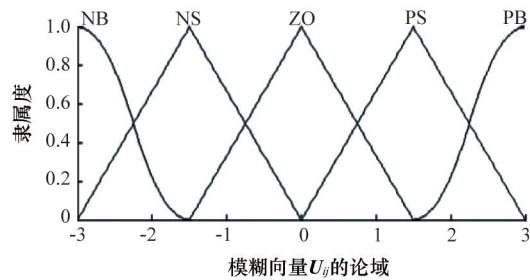


图6 模糊向量 U_{ij} 的隶属度函数

Fig. 6 Subordinate functions of the fuzzy vector U_{ij}

2.1.2 模糊控制规则的确定

建立一个完善的模糊控制规则是取得良好控制效果的关键,模糊控制器采用 Mamdani 模糊推理方式^[9],输入变量为温度偏差 E 的模糊向量 E_i (ZE, PS, PM, PB, PV)、瓦斯浓度偏差 E_c 的模糊向量 E_{ij} (NB, NS, ZO, PS, PB),输出变量为变频器控制电压 U_i 的模糊向量 U_{ij} ,共计 25 个控制规则。模糊控制规则表如表 1 所示。

表 1 U_{ij} 模糊控制规则

Table 1 Fuzzy control rule of U_{ij}

	NB	NS	ZO	PS	PB
ZE	NB	NS	ZO	ZO	PS
PS	NS	ZO	ZO	PS	PS
PM	ZO	PS	PS	PS	PB
PB	PS	PS	PS	PB	PB
PV	PS	PB	PB	PB	PB

运用 Matlab 中的模糊工具箱仿真模糊控制规则,得到的输入与输出关系如图 7 所示。

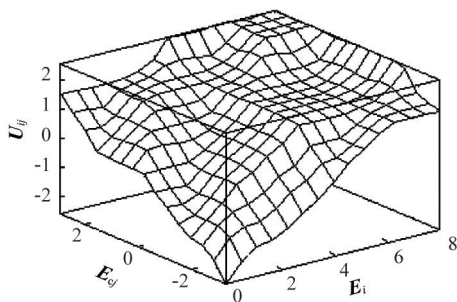


图7 模糊输入与输出相互关系

Fig. 7 Relationship of fuzzy input/output

2.1.3 模糊判决

模糊判决是根据模糊推理的合成规则,按模糊控制规则表由式(1)求出模糊向量 E_i 、 E_{ij} 及其对应的模糊控制向量 U_{ij} 的模糊关系矩阵 R_{ij} ,即

$$R_{ij} = (E_i \times E_{ij}) \times U_{ij} \quad (1)$$

根据式(1),将各模糊关系取并集可得出总的模糊关系矩阵 R ,即

$$R = \bigcup_{i,j=1}^5 R_{ij} \quad (2)$$

系统运行时,根据输入的模糊向量 E_i 、 E_{ij} 求出电压的模糊向量 U_{ij} ,即

$$U_{ij} = (E_i \times E_{ij}) \times R \quad (3)$$

由于重心法可全面反映模糊判决信息^[10],因此采用重心法进行模糊判决,即

$$U^* = \frac{\sum_{k=1}^7 \mu(u_k) u_k}{\sum_{k=1}^7 \mu(u_k)} \quad (4)$$

式中, U^* 为模糊判决后的控制量; u_k 为模糊向量 U_{ij} 中的元素; $\mu(u_k)$ 为该元素对应的隶属度。

2.1.4 模糊输出量的清晰化

由于实际被控对象变频器只能接受精确的电压控制量,而经模糊判决后的控制量 U^* 是模糊量,因此需将模糊控制量乘以比例因子 K_u 进行清晰化,求出精确的电压控制量 U_i ,即

$$U_i = K_u U^* \quad (5)$$

2.2 控制量 U_s 的计算

矿井局部通风机功率的选取是以保证最大掘进深度时瓦斯浓度不超限为前提,由于风机的功率与转速立方成正比,而局部通风机的转速应随着采掘深度的增加而增加^[11,12],因此在确定变频器电压的控制量 U_s 时,首先需要计算巷道掘进面等效深度,且要考虑巷道断面、岩石性质、瓦斯浓度等级和采掘面作业方式等对巷道等效深度的影响。

深度相同的巷道,由于巷道横断面的不同,对通风量的需要也不同。在计算巷道等效深度时,需将巷道断面换算为标准断面,换算公式为

$$K_s = S/S_b \quad (6)$$

式中, K_s 为换算系数; S 为掘进面的实际面积; S_b 为掘进面的基准面积。

采掘工作可能在不同岩石性质的巷道中进行,如煤、岩石和半煤岩。有害气体在不同岩石性质巷道的涌出量不同,含煤量越多的巷道,对通风量的需求越大。在计算巷道等效深度时要乘以岩石性质系数 K_r ,其取值为:岩石 $K_r = 1$,半岩 $K_r = 1.2 \sim 1.8$,煤 $K_r = 2$ 。

不同瓦斯浓度等级的矿井排放的瓦斯量也不同,在计算巷道等效深度时要乘以瓦斯浓度等级系数 K_w ,其取值为:浓度低 $K_w = 1$,浓度中 $K_w = 1.2 \sim 1.5$,浓度高 $K_w = 1.6 \sim 1.8$,浓度超高 $K_w = 2$ 。

采掘面不同的作业方式需求不同的通风量,综掘时需要较小的通风量,而炮采时则需要较大的通风量。在计算巷道等效深度时,应乘以相应的系数 K_z ,其取值为:炮采 $K_z = 1.2 \sim 1.5$,综掘 $K_z = 1$ 。

综合考虑上述影响因素,纯岩石巷道等效深度的计算公

式为

$$L_d = K_s L \quad (7)$$

含煤巷道等效深度的计算公式为

$$L_d = K_w K_x K_z K_s L \quad (8)$$

式中, L 为巷道的实际深度。

根据巷道等效深度 L_d 可计算变频器的电压控制量 U_3 , 即

$$U_3 = K_1 L_d \quad (9)$$

式中, K_1 为比例变换器 I 的变换系数。

3 系统软件设计

3.1 主程序

通过软件设计使电动机快速安全地启动, 实现友好的人机交互, 实时监测电动机的运行状态, 全面保障通风安全。

主程序包括: 程序初始化及开放中断; 控制器根据控制策略对 3 个输出信号 (电压控制量 U_1 、 U_2 、 U_3) 进行比较选择, 并根据选取的控制信号计算通风机的运行频率; 等待产生中断; 开启中断保护程序; 监测系统的电压电流信号。主程序流程如图 8 所示。

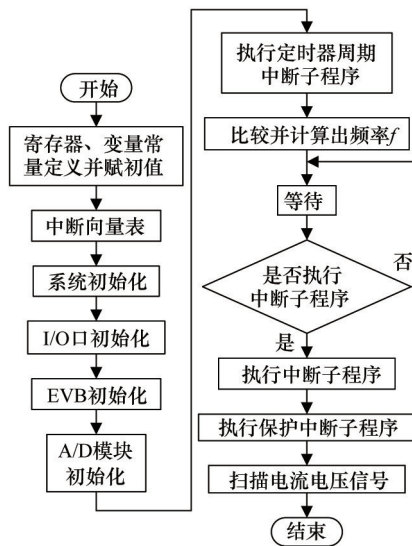


图8 主程序流程

Fig. 8 Flow chart of the main program

3.2 Spwm 程序

系统利用内部定时器产生中断, 完成启停控制、A/D 转换、Spwm 波形计算、参数修改与保存等, 实现变频器的功能^[3]。Spwm 程序流程如图 9 所示。

3.3 定时器中断程序

为减轻处理器负担, 将输入变量输出变量的隶属度函数与控制规则存放在 DSP 的内部存储器中, 在定时器中断服务程序中, 查询模糊规则求出幅值比 M , 由控制频率求出周期 T_p , 进而得到电压矢量的作用时间 t_1 、 t_2 , 根据 t_1 、 t_2 计算匹配

值^[14,15]。系统首先计算测量值的偏差并进行模糊处理, 再依据模糊控制规则进行模糊判决, 经解模糊后输出精确的控制量给执行机构。定时器中断程序流程如图 10 所示。

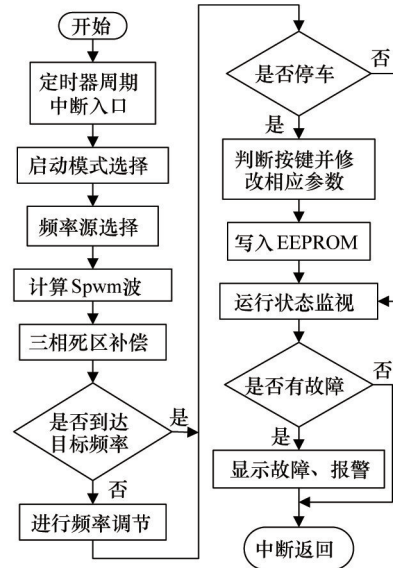


图9 Spwm 程序流程

Fig. 9 Flow chart of the Spwm program

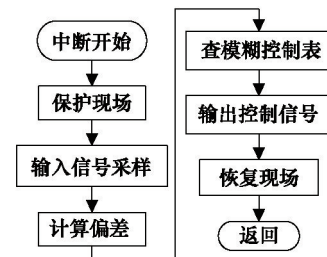


图10 定时器中断程序流程

Fig. 10 Flow chart of the interruption program of the timer

4 结论

综合考虑巷道温度、瓦斯浓度和巷道等效深度等影响因素, 建立了基于模糊控制理论的局部通风机新型智能控制系统。在河南义煤某煤矿进行了实际应用, 局部通风机在设计工况下的运行功率为 54 kW/h, 未采用智能控制系统时, 运行半年耗电量 2.36×10^5 kW·h; 采用智能控制系统后, 运行期间极大地提高了局部通风机的安全通风能力, 并根据现场工况利用变频技术自动调节风机转速, 减少了电动机由于长期在恒速下运行造成的能源浪费, 提高了风机的运行效率, 运行半年实际耗电量 1.49×10^5 kW·h, 平均运行功率 34 kW/h, 节约了 36.9% 的电力消耗。

参考文献 (References)

- [1] 彭云, 赵伏军. 煤矿局部通风机综合控制系统研究[J]. 煤矿机电, 2012(3): 45-47.
Peng Yun, Zhao Fujun. Study of integrated control system for local ventilator in coal mine[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2012(3): 45-47.
- [2] Cheng Yunjiang, Tang Yong. Extending fuzzy soft sets with fuzzy description logics[J]. Knowledge-Based Systems, 2011, 24(7): 1096-1107.
- [3] 秦书明, 吴利学. 煤矿智能局部通风系统的设计及应用[J]. 煤矿机电, 2014(1): 94-96.
Qin Shuming, Wu Lixu. Design an application of intelligent local ventilation system of mine[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2014(1): 94-96.
- [4] 祝龙记, 王汝琳. 矿用变频调速局部通风机的模糊控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2003, 31(4): 7-9.
Zhu Longji, Wang Rulin. Fuzzy control technology for mine local fan with frequency inverter speed control[J]. Coal Science and Technology, 2003, 31(4): 7-9.
- [5] 刘素芹, 刘新平, 戚平. PID与模糊控制算法的比较及改进[J]. 控制工程, 2003(3): 51-52.
Liu Suqin, Liu Xinping, Qi Ping. Comparison and improvement of the PID-control algorithm and fuzzy control algorithm[J]. Control Engineering of China, 2003, 10(1): 51-52.
- [6] 谢卫东, 程德福, 张贤涛. 基于DSP控制的三相交流电机变频调速系统[J]. 电力电子技术, 2007, 41(7): 64-66.
Xie Weidong, Cheng Defu, Zhang Xiantao. VVVF system of three phase AC motor based on DSP control[J]. Power Electronics, 2007, 41(7): 64-66.
- [7] 梁涛, 侯友夫, 吴楠楠. 掘进工作面局部通风智能监控系统的研究[J]. 矿山机械, 2008, 36(1): 19-21.
Liang Tao, Hou Youfu, Wu Nannan. Study on the intelligent monitoring system of local ventilation for developing face[J]. Mining & Processing Equipment, 2008, 36(1): 19-21.
- [8] 赵宇. 基于变隶属函数的倒立摆模糊控制算法的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
Zhao Yu. Research on inverted pendulum fuzzy control based on variable Membership function[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2007.
- [9] Azimi Y, Osanloo M. Prediction of the blastability designation of rock masses using fuzzy sets[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2010, 47(7): 1126-1140.
- [10] Huang C C. A fuzzy ranking method by the centers of fuzzy set[J]. International Journal of Information and Management Sciences, 2000, 32(1): 19-33.
- [11] 邢玉忠, 侯水云. 超长掘进工作面风量预测关键技术[J]. 煤炭学报, 2011, 36(9): 1051-1055.
Xing Yuzhong, Hou Shuiyun. Key technology of wind forecast in a long heading face[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(9): 1051-1055.
- [12] 陈强强, 冯荣. 双巷长距离掘进通风技术[J]. 煤矿安全, 2013, 44(4): 94-96.
Chen Qiangqiang, Feng Rong. Ventilation technology of long-distance double tunneling[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(4): 94-96.
- [13] 许宇翔, 马陈燕, 雷能玮. 基于Spwm技术的电机驱动电源设计[J]. 煤矿机械, 2014, 35(4): 25-27.
Xu Yuxiang, Ma Chenyan, Lei Nengwei. Design of motor driving power supply based on Spwm technology[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(4): 25-27.
- [14] Yamakawa T. Electronic circuits dedicated to fuzzy logic controller[J]. Scientia Iranica, 2011, 18(3): 528-538.
- [15] 许登旭, 李振璧, 高振江. 局部通风机自调整模糊控制系统的研究[J]. 煤矿机械, 2012, 33(10): 76-78.
Xu Dengxu, Li Zhenbi, Gao Zhenjiang. Research of self-adjusting fuzzy control system of mine local ventilator[J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(10): 76-78.

(责任编辑 韩星明)

·学术动态·



中华中医药学会第6次全国会员代表大会在北京召开

2014年11月21—22日, 中华中医药学会第6次全国会员代表大会在北京举行。全国政协副主席罗富和, 中国科协党组书记、书记处第一书记尚勇, 国家卫生和计划生育委员会副主任、国家中医药管理局局长、中华中医药学会会长王国强, 国家卫生和计划生育委员会副主任刘谦, 中国人民解放军总后勤部卫生部副部长李清杰等领导出席开幕式。

本次会议选举产生了中华中医药学会第6届理事会。在中华中医药学会第6届理事会第1次会议上, 选举产生了139名第6届理事会常务理事, 选举王国强为第6届理事会会长。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/16110364.html>。