

基于 GAs 模糊控制的掘进机截割电动机恒功率控制^①

李晓豁, 刘志森, 张飞虎, 李烨健

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

摘要: 为了解决悬臂式掘进机截割随机分布的煤岩时载荷变化剧烈、能量消耗大、工作效率低的问题, 利用遗传算法对悬臂摆动速度进行模糊控制, 实现对截割电动机的恒功率控制。建立了掘进机悬臂水平摆动系统的仿真模型, 利用 Matlab 软件对模型进行仿真。结果表明: 该系统较传统控制方式的悬臂摆动速度波动减小 25.9%, 截割电动机功率超调小 5.0%, 调节时间缩短 0.1s, 响应速度快、精度高, 具有良好的控制特性, 能根据截割煤岩的不同, 自动调节悬臂摆动速度, 降低了掘进机功率损失、提高了工作效率。

关键词: 悬臂式掘进机; 截割电动机; 恒功率控制; 遗传算法; 模糊控制

Constant Power Control of Boom-Type Roadheader Cutting Motor Based on GAs Fuzzy Control

LI Xiao-Huo, LIU Zhi-Sen, ZHANG Fei-Hu, LI Ye-Jian

(College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to solve the problems of dramatic changes for loads, high energy consumption and low efficiency when a boom-type roadheader cut coal and rock in random distribution, using genetic algorithm is used to control fuzzily the boom swing speed to achieve constant power control of the cutting motor, a simulation model of the boom horizontal swing system was established, and simulation of the model was done with Matlab. Results show that the speed fluctuation of the system is reduced by 25.9%, the power overshoot of cutting motor is decreased by 5.0%, adjustment time is decreased by 0.1s compared with the traditional one, which indicates that the system has faster response, higher accuracy, as well as good control characteristics, it can automatically adjust the swing speed of roadheader according to different coal and rock, reduce the power loss of the machine and improve the working efficiency.

Key words: boom-type roadheader; cutting motor; constant power control; genetic algorithm; fuzzy control

悬臂式掘进机是通过水平和竖直两对液压缸带动悬臂摆动和截割头旋转实现对煤岩截割的。由于煤层特性的变化和煤岩分布的随机性, 使截割阻力变化十分剧烈, 加之煤、岩过渡时间短, 过渡区不明确, 如不及时根据工况对悬臂的摆动速度进行实时调整, 很容易造成截割电动机的过载, 甚至损坏^[1]。为此, 采取措施保证截割电动机在额定功率附近工作显得尤为重要。目前, 国内掘进机常采用节流式分流阀有级调速方式, 当截割阻力变化时, 通过损耗部分能量来实现两输出腔压差平衡, 达到恒功率。该方法节能效果

差, 系统发热量大。国外主要是通过对负载压力反馈多路换向阀控制来实现恒功率, 该方法输出流量与负载相匹配, 能量损失较小^[2]。但由于对阀的控制主要取决于煤岩特性, 所以不易对煤岩特性建立精确的数学模型。为减小煤层特性参数对系统模型的影响, 本文将模糊控制技术运用于调速系统中, 利用模糊控制器通过 GAs 优化自调整, 通过电流反馈使截割功率在额定功率左右小范围内波动, 对悬臂的摆动速度进行实时的控制, 确保截割系统的响应具有最优的动态和稳态性能。

^① 基金项目:国家自然科学基金(59774033);国家煤矿安全监察局安全生产科技发展指导性计划(06-292);辽宁省大型工矿装备重点实验室(辽宁省第二批科学技术计划项目,2008403010);辽宁省安全生产监督管理局安全生产科技发展(辽安监规划[2009]88 号文)

收稿时间:2011-08-11;收到修改稿时间:2011-09-04

1 控制系统设计

根据截割电动机电流反馈调速原理和特点,设计出调节悬臂摆动速度的模糊控制系统,原理如图 1 所示。液压缸由多路换向阀控制,通过电流反馈环节,在信号比较与模糊控制器的作用下,自动调节阀控电流的控制脉冲频率。若截割煤岩硬度增加,截割阻力增大,使截割电动机电流变大,控制器通过调节使控制脉冲频率减小,导致截割头横向进给速度降低,使截割电动机电流趋于调定,避免截割电动机过载;若截割煤岩硬度变小,则反向调节,使截割电动机电流趋近调定值,以此保证截割电动机的功率保持在额定值^[3-5]。

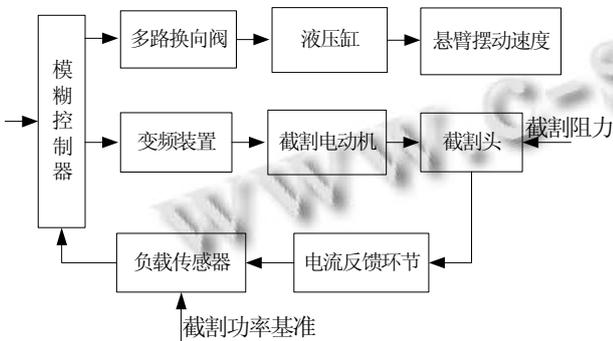


图 1 截割电动机恒功率控制系统原理图

系统的硬件结构主要由 ARM7 处理器、通讯接口、时钟电路、键盘与显示电路、光电耦合、霍尔传感器、报警电路、摆动液压缸等组成。

截割电动机的电流信号由霍尔传感器检测,通过采样,使外扩程序存储器和数据存储器接收信号,完成模糊推理、模糊调节,得到液压缸的驱动脉冲。一系列信号由 A/D 转换器转换后进入 ARM7 系统(主控系统)进行综合处理。

外扩芯片组建的键盘显示电路可以对检测到的信号进行接收,并对电动机转速、通讯时间等输出信号进行设定,从而实现人机对话。

在主控系统的控制下,对设定电流信号与检测电流信号进行比较,经参数模糊自调整控制器调节后,根据比较结果改变多路换向阀的阀口开度,进而改变液压缸的控制脉冲,调整悬臂的摆动速度。

2 模糊控制的原理及规则

2.1 模糊控制器的原理

为了达到更好的控制效果,模糊控制器采用二维

输入(采样环节采集的电流信号为输入信号)和单输出的结构^[6],原理如图 2 所示。

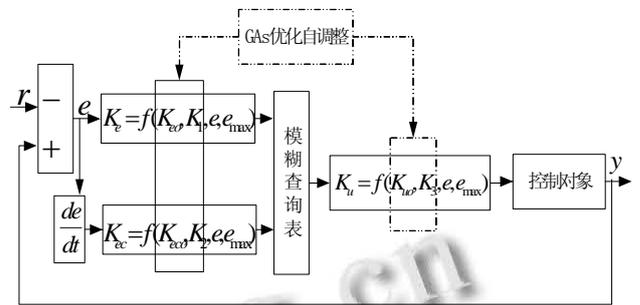


图 2 基于 GAs 优化的在线自调整模糊控制器原理图

图中虚线对应基于 GAs 的参数优化自调整部分, K_e 为误差量化因子, K_{ec} 为误差变化率量化因子, K_u 为比例因子, K_{eo} , K_{eco} 和 K_{uo} 为最优基准值, K_1, K_2 和 K_3 为微调参数值, e 为系统当前的动态误差, e_{max} 为误差基本论域的正最大值。

2.2 基于 GAs 的参数寻优流程和自调整

用遗传算法选择 K_{eo}, K_{eco} 和 K_{uo} 以及 K_1, K_2 和 K_3 的流程为:用完全随机方法产生种群,基于交叉率、变异率以及适应度函数的设计,通过计算机搜索。经过选择、交叉、变异过程,再通过解码得出参数值,在模糊控制查询表的控制下对控制对象进行控制。计算个体适应度,并判断是否符合优化标准,若符合,输出最佳个体及其代表的最优解,计算结束,否则重新选择^[7-9]。设定系统的性能指标期望值分别为: $M_{p0}=2\%, t_{s0}=0.3s, e_{sr0}=0.8\%$;权重系数: $\alpha=0.5, \beta=0.3, \gamma=0.2$ 。得到最优基准值和最优微调参数值如表 1 所示。

表 1 最优参数表

K_{eo}	K_{eco}	K_{uo}	K_1	K_2	K_3
14.063	5.045	4.918	5.372	4.380	3.285

在系统运行过程中,要根据控制进程,通过系统动态误差 e 为变量的运行参数对调节器参数进行在线自动调整,以获得优良的动态及稳态性能。

2.3 精确量的模糊化

选择误差 E 、误差变化率 E_c 以及输出控制量 U 的模糊语言变量为“负大(NB)”,“负中(NM)”,“负小(NS)”,“零(ZO)”,“正小(PS)”,“正中(PM)”,“正大(PB)”;定义误差、误差变化率和输出控制量的模糊论域为 $\{-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,+1,+2,+3,+4,+5,+6\}$ 。三者的

隶属度根据经验取值。本系统采用三角形隶属函数将精确量模糊化，图 3 为隶属函数图。

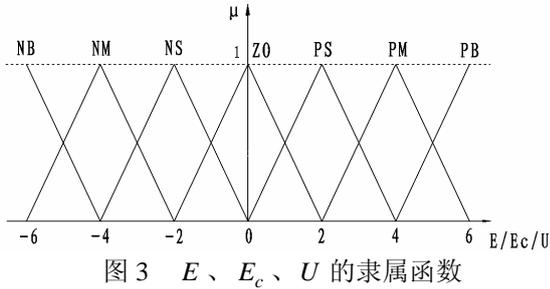


图 3 E、Ec、U 的隶属函数

本文便是采用一种在控制规则确定的情况下，利用遗传算法对模糊控制器的等腰三角形隶属函数的宽度进行自动调整的方法。

2.4 模糊推理及模糊判决

模糊控制器由系统输出的误差及误差的变化趋势两个量通过一定的模糊控制规则来消除系统误差，采用如表 2 的模糊控制规则表。误差定义为（输出值减去给定值）。模糊推理采用隶属度最大原则得到控制量，进而得到的控制查询表供在线使用。

表 2 模糊控制规则表

E	Ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PM	PS
NM	PB	PB	PM	PM	PM	PS	ZO
NS	PM	PM	PS	PS	ZO	ZO	ZO
ZO	PS	PS	ZO	ZO	ZO	NS	NS
PS	ZO	ZO	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	ZO	NS	NM	NM	NM	NB	NB
PB	NS	NM	NB	NB	NB	NB	NB

3 控制系统的建模与仿真

由于悬臂水平摆动和竖直摆动的控制机理相同，所以本文只对水平摆动进行仿真。以国产某型掘进机为例，其水平摆动液压系统的传递函数^[10]为

$$G(S) = \frac{261}{0.047s^3 + 0.789s^2 + s} \quad (1)$$

所建仿真模型如图 4 所示，模糊控制器由 Simulink 中的 S-Function 模块写入 M 文件程序创建^[11-13]。

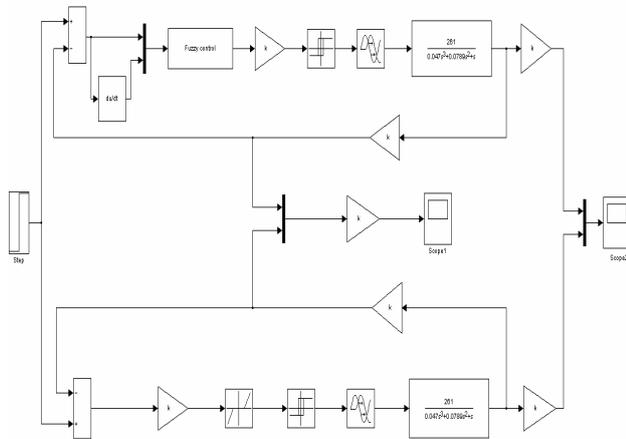


图 4 仿真模型

为研究系统的动态特性，现选择系统稳定运行 5s 后，输入阶跃截割电动机电流(起始电流 100A，终止电流 120A)，通过仿真计算得到悬臂摆动速度 v_b 和截割电动机功率 p_j 随时间 t 的变化分别如图 5、图 6 所示（图中曲线 1 为传统控制方式，曲线 2 为模糊控制方式）。

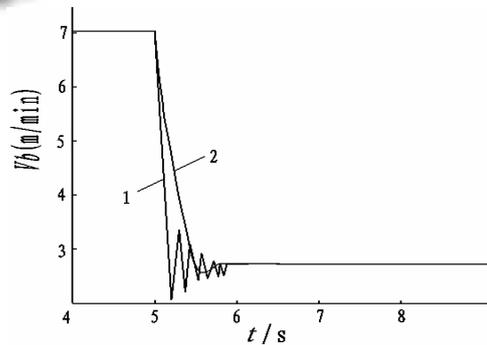


图 5 悬臂摆动速度变化曲线

由图 5 可见，传统控制的悬臂摆动速度在 5.2s 起呈衰减变化，幅值在 3.45~2.10m/min 之间，到 5.9s 后稳定于 2.95m/min，振幅较大，悬臂摆动速度不能快速跟

踪煤层特性的变化,调整时间长,响应速度较慢;而在系统中采用模糊控制后,悬臂摆动速度的变化幅度为0.3m/min,在5.5s时速度降为2.6m/min,5.8s后稳定在2.95m/min,调整时间缩短了0.1s,使速度波动减小25.9%,而且无振荡现象,工作稳定性明显提高。

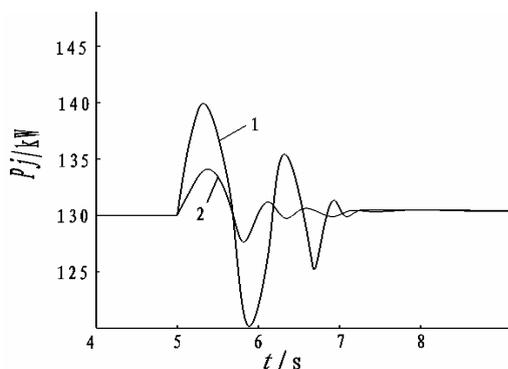


图6 截割电动机功率变化曲线

图6表明,传统控制方式的功率波动较大,5.3s时达最大值140kW,5.8s时降为最小值120kW,功率超调10kW(额定值的7.7%),在7.3s后稳定于额定功率130kW。整个过程掘进机功率波动较大,控制特性差;而采用模糊控制,在5.4s时功率达峰值134kW,5.7s功率降为127kW,功率超调仅3.5kW(额定值的2.7%),7.2s后稳定于额定功率130kW,功率波动很小。分析可知:模糊控制的最大功率超调量较传统控制的小5.0%,而且调整时间缩短了0.1s。可见,模糊控制有更好的适应性和自调整性,可使截割功率对煤岩的特性产生快速反应,而且较传统控制更稳定。

4 结论

将遗传算法用于掘进机悬臂摆动速度的模糊控制,能实现对截割电动机的恒功率控制。仿真结果表明,其功率的最大超调量较传统控制方式小5.0%,调整时间缩短0.1s,能根据截割煤岩特性的不同自动调节进给速度,使截割电动机的功率波动降低,调节速度快,提高了掘进机对负载变化和复杂工况的适应能

力,有利于提高机器的生产率和工作效率,为进一步改进掘进机调速系统提供了依据。

参考文献

- 1 李晓谿.掘进机截割的关键技术研究.北京:机械工业出版社,2007.
- 2 王志武.国内外掘进机截割调速系统的分析.煤矿机电,2004,(3):27-30.
- 3 李晓谿,吴志强.基于参数自适应模糊PID控制器的掘进机恒功率调速系统.制造业自动化,2009,31(1):45-47.
- 4 Han CW, Park JI. Designing a self-adaptive union-based rule-antecedent fuzzy controller based on two step optimization. Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 2006,4251:850-857.
- 5 魏景生,吴淼,刘建功.掘进机智能型自动成形恒功率截割控制系统的应用.工矿自动化,2007,7:118-120.
- 6 符海东,赵建峰.基于模糊控制及遗传算法的反向选择算法.计算机工程与设计,2007,28(21):5193-5288.
- 7 谭冠政,胡生.基于遗传算法的参数在线自调整模糊控制器.中南工业大学学报(自然科学版),2002,34(3):285-289.
- 8 Lassouaoui N, Ouslimani HH, Priou A. Optimization of radar absorber structures using genetic algorithms. Metamaterials and Plasmonics: Fundamentals, Modelling, Applications, 2009: 153-164.
- 9 朱力立,张焕春,经亚枝.基于六模糊控制器的自适应遗传算法.吉林大学学报(信息科学版),2003,21(4):329-333.
- 10 刘春生,杨秋,李春华.采煤机滚筒记忆程控截割的模糊控制系统仿真.煤炭学报,2008,33(7):822-825.
- 11 陈加胜,张康智,邓海顺.悬臂掘进机截割智能控制的Matlab仿真.采矿技术,2007,7(3):38-41.
- 12 彭天好,童小冬,郭亚军.掘进机电液比例摆动控制仿真研究.机床与液压,2008,36(5):38-40.
- 13 王宝军,李春华,肖洋.电牵引采煤机模糊控制系统调速特性的仿真.煤炭学报,2007,32(7):778-780.