

# 基于专家系统的采煤机截割电动机恒功率控制<sup>①</sup>

李晓豁, 李焯健, 王超, 范超

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

**摘要:** 为了很好地适应煤岩特性的变化、有效发挥采煤机截割电动机的能力, 解决采煤机截割电动机运行时功率波动较大的问题, 利用专家系统的理论和方法, 建立了基于专家系统的采煤机截割电动机恒功率控制系统, 该系统通过对牵引速度实时调节, 使采煤机的截割电动机恒功率运行。利用 MATLAB/simulink 构建了该系统的仿真模型, 仿真试验表明, 该系统对牵引速度具有超前预见性, 比一般控制系统的调节时间缩短 0.62s, 截割电动机的功率超调减小 3.8%, 反应灵敏、波动小、工作平稳。

**关键词:** 采煤机; 截割电动机; 专家系统; 恒功率控制

## Constant Power Control of Shearer Cutting Motor Based on ES

LI Xiao-Huo, LI Ye-Jian, WANG Chao, FAN Chao

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

**Abstract:** In order to better adapt to coal and rock characteristics change, exert the ability of shearer cutting motor effectively and solve the problem of power fluctuation in the shearer cutting motor runtime, a constant power control system of shearer cutting motor based on expert system (ES) is established with the theory and method of expert system. In the system, the haulage speed is adjusted in real-time, to make the cutting motor of shearer run in constant power. The model of control system is constructed by the SIMULINK of MATLAB. The simulation results show that haulage speed can be anticipated in the system, adjustment time is decreased by 0.62s and the power of cutting motor overshoot is decreased by 3.8% than conventional system. The system has sensitive response, small fluctuations and Steady working.

**Key words:** shearer; cutting motor; expert system; constant power control

近年来, 为了增大采煤机的截割能力, 世界各国都在不断地增大截割电动机的功率, 目前国产双滚筒采煤机截割电动机的功率已达  $2 \times 1000 \text{ kW}$  (国际上最大)。然而, 如何提高采煤机的自适应性, 充分利用截割电动机的功率, 使其高效地工作已成为人们非常关注、并重点研究的课题。目前, 国外主要采用远程操纵采煤机方式, 自动调节牵引速度, 或利用一定的算法自动调节, 使截割电动机恒功率运行, 控制器大多采用 PLC, 动态特性主要取决于其计算速度<sup>[1,2]</sup>。国内近年来把磁流变阀引入到截割电动机恒功率控制之中, 利用磁流变阀的触觉力反馈装置把截割阻力的大小按照一定的比例映射到阀的手柄, 司机通过感觉手柄力的大小调节采煤机牵引速度, 使截割电动机恒功

率工作。操作者的差异会导致截割电动机的功率利用率低、功率波动大, 因此控制特性不理想, 影响采煤机截割电动机的使用寿命。分析表明, 算法优化对象的数学模型中通常含有与煤的特性有关的参数, 不易建立精确的数学模型, 这就使得传统控制方式难以提高控制性能<sup>[3-5]</sup>, 因此寻找合适的控制方式已成为采煤机恒功率控制的关键问题。

为了提高采煤机牵引速度的实时性, 减小煤层特性参数对系统模型的影响, 实现截割电动机恒功率、稳定工作, 充分利用采煤机专家的实际经验知识, 以提高截割电动机功率的利用率, 本文提出了基于专家系统 (Expert System, 简称 ES) 的采煤机截割电动机恒功率自动控制系统。

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)

收稿时间: 2011-04-28; 收到修改稿时间: 2011-06-03

## 1 系统的设计

根据采煤机运行的原理和特点,开发了基于专家系统的采煤机截割电动机恒功率控制系统,其原理如图 1 所示。该系统主要由控制器(专家系统模块)、控制系统接口、采煤机和传感测量装置组成。控制器实时监测采煤机的位置和截割电动机电流等信息,经过专家系统推理策略的推理优化,输出采煤机的牵引速度,通过实时调整其大小,使采煤机的截割电动机处于恒功率运行的状态。

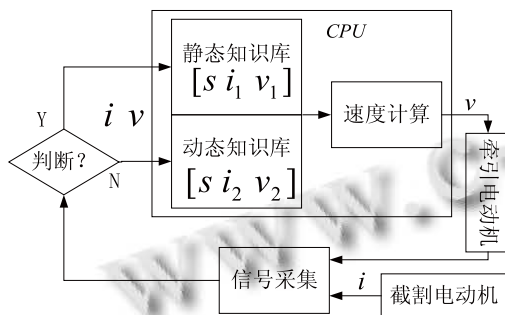


图 1 控制系统原理

### 1.1 知识库的建立

本系统设有静态、动态两个独立的知识库,前者内容不随采煤机推进而改变,以适应整个工作面煤层特性的变化,使系统具有较稳定的数据基础;后者的内容随采煤机推进随时修正和扩充,以适应当前截割区域煤层特性的变化,使控制系统具有较好的实时性。

### 1.2 知识的获取和存储

通过操纵采煤机,使其全功率割煤 3-4 刀,用传感器采集信号,将其构成“框架-特征表”式的矩阵结构的静态知识库  $[s \ i_1 \ v_1]$ , 其中:  $s$  为采煤机的位移,  $i_1$  为截割电动机电流,  $v_1$  为牵引速度,即把专家的经验知识融入到传感器采集的数据中。截割一刀可创建一个  $n \times 3$  的矩阵,列元素为属性值,知识在矩阵的每行中顺序不改变,这样可减少数据分类环节。利用上一时刻和上一刀同一位置采煤机运行参数预测本刀当前的运行参数,将这两个参数的综合作为动态知识库  $[s \ i_2 \ v_2]$ , 其知识可实时更新(即具有自学习性能)<sup>[6-8]</sup>。

因传感器安装在采煤机机身上,工作环境较恶劣,应采用软件抗干扰措施,故加入软件滤波环节。考虑到系统实时性的要求,滤波算法应具有较小的时间复杂度,以缩短系统的滞后时间。

### 1.3 推理和控制策略的实现

本系统采用混合加权推理方式,控制规则为“if A and B then C”的形式。

系统以截割电动机的电流(反映煤岩的坚硬度  $f$ )为输入量,通过调节采煤机牵引速度,使截割电动机恒功率运行<sup>[9,10]</sup>。提取静态知识库中的电流  $i_1$ 、动态知识库中的电流  $i_2$ ,计算当前传感器检测的电流  $i_3$ ,利用式(1)、(2)得到推理算法的输入电流  $i$ 。

$$i = 0.4i_1 + 0.3i_2 + 0.3i_3 \quad (1)$$

$$i_3 = 0.8i_4 + 0.2i_5 \quad (2)$$

式中  $i_4$ 、 $i_5$  分别为截割电动机和牵引电动机的当前最大电流。

提取知识库中与当前时刻同一位置的牵引速度  $v_1$  和  $v_2$ , 当它们之间的差值较大时,需要对其进行拟合修正。以输入电流为条件,搜寻知识库中与当前电流相同的牵引速度,并去掉最大值和最小值,对剩余的牵引速度求均值,可得到推理后的牵引速度  $v_3$ 。

为防止某个大的参数误差对控制系统产生较大的影响,采用式(3)的加权方式可得到专家系统输出的截割电动机恒功率运行的牵引速度,此即正向推理。

$$v = 0.4v_1 + 0.3v_2 + 0.3v_3 \quad (3)$$

再以  $v$  为初始目标,进行反向推理,即  $v$  与  $v_1$ 、 $v_2$  比较,如果偏差较大,则进行插值修正,以输出理想的牵引速度  $v$ 。

由于该控制系统中具有 ES,所以对下一刀的牵引速度具有超前预见性,比传统控制方式(采用直接加减速度变量的速度控制方式)波动小,控制特性较好。

本文以 MG750/1820 型电牵引采煤机为仿真研究实例,可知本型号采煤机牵引部调速系统的传递函数为:

$$G(S) = 0.51S + 1 / 0.00156S^2 + 0.12S \quad [11]$$

为了增加系统抗干扰性能,在系统输入端加入低通滤波器,以拦截高频干扰,尽可能多的保留有用信号;为进一步提高系统的动态特性和稳态性能,系统中加入了数字 PID 控制算法。由此,得到该控制系统的框图如图 2 所示。

参数定义:  $i$  为当前截割电动机电流(系统输入);  $K_1$  为牵引机构传动比;  $K_2$  为截割螺旋滚筒的功率变换系数;  $K_3$  为传感器信号比例变换系数;  $K_4$  为反馈

回路中互感器电流反馈系数;  $T_1$  为滤波时间常数;  $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  为控制系统的传递函数模型合并的系数;  $T_5$  为电动机转动惯量;  $T_6$  为传感器时间常数。

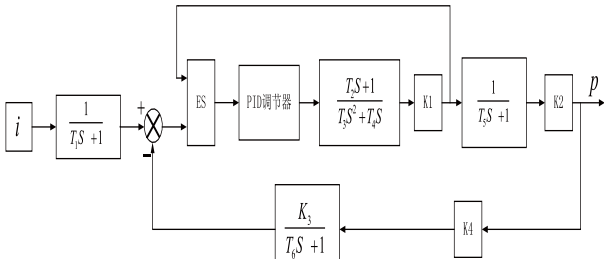


图 2 控制系统框图

### 2 仿真实验及结果分析

根据采煤机控制系统硬件及专家系统的理论, 利用 Matlab/simulink 软件对该系统建模、仿真和分析, 以比较传统控制方式和专家系统控制方式下采煤机的响应和动态性能<sup>[12]</sup>。

#### 2.1 系统仿真模型

取控制系统的模型参数如下:  $i=165A$ ,  $K_1=0.006$ ,  $K_2=40\sim 200kW\cdot min/m$ ,  $K_3=0.0033$ ,  $K_4=0.32\sim 1.95V/A$ ,  $T_1=0.35s$ ,  $T_2=0.51s$ ,  $T_3=0.00156s$ ,  $T_4=0.12s$ ,  $T_5=0.0135kg\cdot m^2$ ,  $T_6=0.00195s$ 。

建立的该控制系统 simulink 仿真模型如图 3 所示。

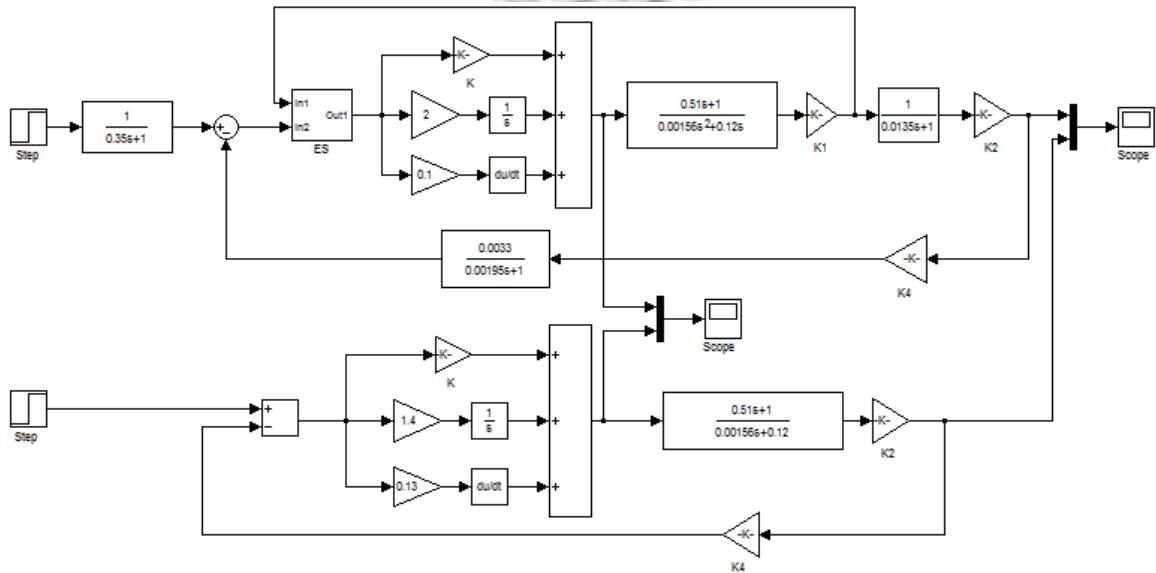


图 3 系统的 simulink 仿真模型

#### 2.2 仿真及其结果分析

对系统进行仿真, 得到该采煤机采用传统控制方式和专家系统控制方式两种情况下牵引速度随时间变化的曲线, 如图 4 所示。

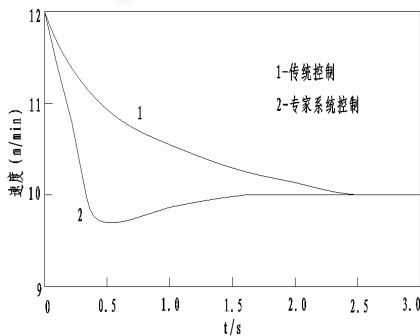


图 4 牵引速度仿真结果

由图 4 可见, 当采煤机滚筒遇到硬质煤岩, 其牵引速度从 12m/min 降到 10m/min 的过程中, 传统控制方式虽然无超调, 但是曲线变化缓慢, 调节时间 (达到误差为±5%的时间) 为 2s, 系统响应较缓慢, 牵引速度不能快速跟踪煤层特性的变化, 动态特性较差。而控制系统中加入专家系统后, 调节时间比传统控制方式缩短 0.62s, 在 1.6s 牵引速度可稳定无误差输出, 虽然在 0~0.4s 内牵引速度变化较大, 具有 0.31m/min 的超调量, 但系统具有较高的响应速度, 有利于减小截割电动机的功率波动, 可使其稳定恒功率工作。

图 5 为仿真得到的两种控制方式下该采煤机截割电动机的功率曲线。可见, 当截割电动机功率从 1400kW 上升到 1800kW 的过程中, 传统控制方式上升

时间为 1.42s, 上升较缓慢, 调节时间为 1.72s, 超调为 178kW (为额定值的 10%)。曲线波动较大, 这使采煤机总在超载和欠载之间工作, 功率波动较大, 控制特性较差。采用专家系统控制方式以后, 上升时间较传统控制缩短 0.1s, 系统能及时跟随煤岩特性变化, 超调为 110kW (为额定值的 6.2%), 调节时间为 1.43s, 系统动态特性较好, 截割功率能对煤岩做出快速反应, 避免了电动机的超载和欠载, 有效的保护了截割滚筒。

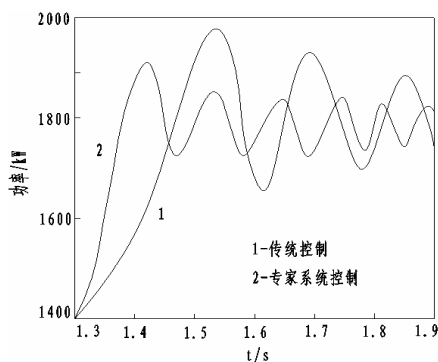


图 5 截割电动机功率仿真结果

### 3 结语

(1) 将专家系统的理论和方法用于采煤机截割电动机的恒功率控制, 建立了根据煤岩性质实时调整采煤机牵引速度的截割电动机恒功率控制系统。

(2) 仿真结果表明, 加入专家系统后的控制系统使牵引速度的调节时间缩短 0.62s, 截割电动机功率的调节时间减少 0.29s, 超调量降低 3.8%, 提高了功率的稳定性和实时性。

(3) 所做的研究为合理设计采煤机控制系统、改善机器的工作性能提供了理论依据。

(4) 在实际应用中, 本控制系统中的专家系统还需进一步训练, 不断完善和更新知识库。

### 参考文献

- 1 Reid DC, Hainsworth DW, Ralston JC, et al. Shearer guidance: a major advance in long-wall mining. *Field and Service Robotics: Recent Advances in Research and Application*, 2006,24: 469-476.
- 2 刘长海,徐宏兴,王大宇.大功率电牵引采煤机的发展概况及趋势. *煤矿机械*,2010,31(8):7-10.
- 3 葛红兵.大功率采煤机的应用及技术发展展望. *煤矿开采*, 2010,15(1):4-7.
- 4 刘建功,王汝琳.采煤机电磁调速技术研究. *中国矿业大学学报*,2005,33(6):107-111.
- 5 刘丹丹,赵灿,汤春瑞.基于磁流变阀的采煤机恒功率控制应用. *煤炭学报*,2009,34(7):988-999.
- 6 Yoo SI, Kim I, DIASI. An expert system diagnosing automobiles with ECUs. *Expert System with Applications*, 1992(4):69-78.
- 7 李晓豁,杨国栋.掘进机冷却喷雾系统故障诊断的专家系统. *中国矿业*,2006,15(9),67-69.
- 8 胡俊,张世洪,汪崇建.基于 CLIPS 的电牵引采煤机故障诊断专家系统开发研究. *矿山机械*,2009,37(13):11-14.
- 9 李晓豁,宋纪侠,赵树强,蒲双全.采煤机滚筒瞬时载荷的模拟研究. *矿山机械*,2004,32(12):25-25.
- 10 安道星.采煤机电牵引的调速原理及牵引特性分析. *煤矿机械*,2005,(9):47-49.
- 11 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.
- 12 张立,方斌,陈振伟,李莉.基于 Matlab 的无刷直流电动机闭环调速系统研究. *煤矿机械*,2010,31(6):133-135.