

基于预测控制的采煤机滚筒自动调高系统^①

李晓豁, 李焯健, 刘述明, 曹江卫

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

摘要: 为了快速跟随工作面顶板的起伏变化, 提高采煤机截割滚筒调高系统的响应速度, 防止截割顶板而造成部件的损坏, 利用预测控制的理论和方法, 建立了基于预测控制的采煤机截割滚筒自动调高控制系统, 该系统通过历史数据对煤岩界面进行预测, 实时调节调高油缸的位移, 使采煤机的截割滚筒跟随煤岩界面。利用 MATLAB/simulink 构建了该系统的仿真模型, 仿真试验表明: 该系统对截割滚筒高度具有超前预见性, 较常规传统控制系统的调节时间缩短 0.25s, 超调量减小 4.8%, 反应灵敏、波动小、工作平稳。预测算法中采样点的增多, 对滚筒高度的波动和超调量有减小作用, 但是调节时间增大。

关键词: 采煤机; 截割滚筒; 预测控制; 调高

Automatic Adjusting Height System of Shearer Drum Based on Predictive Control

LI Xiao-Huo, LI Ye-Jian, LIU Shu-Ming, CAO Jiang-Wei

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

Abstract: In order to follow fast roof fluctuating of a face, improve response speed of an adjusting height system of a shearer cutting drum and prevent cutting roof which cause the damage of parts, an automatic adjustment height system of a shearer drum based on predictive control is established with the theory and method of predictive control. In the system, the coal-rock interface is predicted by means of historical data, a displacement of adjustment height cylinder is adjusted in real-time, to make the shearer cutting drum following the coal-rock interface. A simulation model of control system is constructed by the SIMULINK of MATLAB. Simulation results show that height of the shearer cutting drum can be anticipated in the system, the adjustment time is decreased by 0.25 s and overshoot is decreased by 4.8% than a conventional system. The system has sensitive response, small fluctuations and steady working. The increased of sampling point in predictive algorithm have decreased role to fluctuation and overshoot of height of the shearer cutting drum, but adjustment time increased.

Key words: shearer; cutting drum; predictive control; adjustment height

近年来, 截割滚筒(以下简称滚筒)自动调高技术对于有效地保护采煤机、提高其生产率有着重要的意义, 是采煤自动化的关键技术, 是实现综采工作面安全、高产高效的有效途径, 也一直被国内外研究人员高度关注, 人们利用人工射线、自然射线、截齿受力、振动测试以及雷达测试等方法进行煤岩界面识别, 以避免滚筒截割顶板岩石。但由于工作面环境较恶劣以及煤层特性的复杂性, 滚筒难

以识别煤岩界面, 这些技术没有得到实质性突破和实际应用^[1-3]。近年来, 有关专家把小波神经网络、自适应 PID、模糊和人工免疫等算法应用到采煤机滚筒记忆截割控制系统之中^[4-6], 但由于工作面煤岩空间界面是变化的, 当两个截割位置相距较远时, 如果控制系统继续按照记忆的截割参数运行, 可能导致滚筒截割到工作面顶板, 损坏采煤机截割部, 从而影响工作面产量, 否则就要频繁的“示教”, 以

① 基金项目:辽宁省第二批科学技术计划(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:2011-07-28;收到修改稿时间:2011-09-03

补偿煤岩界面立体结构的变化。可见，记忆截割控制方式在自动截割过程中也存在一定缺陷。

为了提高滚筒对顶板的跟随特性，实现采煤机滚筒自动调高，本文利用采煤机专家在滚筒调高方面的实际经验知识，提出了基于预测控制的采煤机滚筒自动调高控制系统。

1 控制系统的设计

根据采煤机滚筒调高机构的基本原理和特点，构建了基于预测控制的采煤机截割滚筒自动调高控制系统，其控制原理如图 1 所示。该系统主要由控制器（具有预测算法模块）、控制系统接口、调高部液压系统和检测装置等组成。采煤机在运行过程中，利用传感器实时监测采煤机的位置、截割电动机电流和摇臂摆角等信息，通过预测算法的计算，输出与采煤机滚筒的高度成比例的电磁阀的控制信号^[7]。调高部液压系统工作原理如图 2 所示，系统为典型“阀控缸”结构，通过实时调整电磁阀的流量以控制调高油缸活塞杆的伸缩，使摇臂摆动，实现滚筒高度的自动控制。

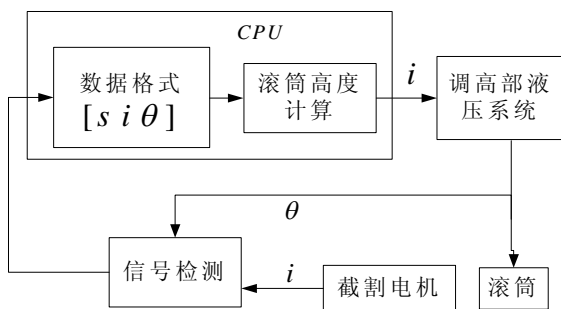


图 1 控制系统工作原理

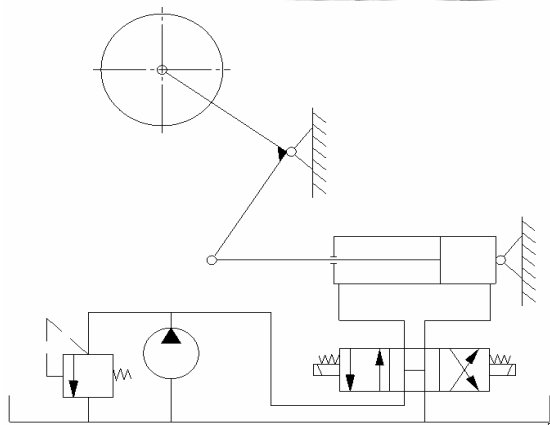


图 2 调高液压系统原理图

1.1 数据获取及表示

目前，采煤机都是通过调节调高油缸活塞杆的行程来改变摇臂的摆动角度，从而实现滚筒的高度控制。可以通过检测摇臂的摆角间接确定滚筒的高度，此方式易实现，较检测油缸行程更接近全闭环控制^[8]。

数据获取采用实际输出更加逼近期望输出的“有导师学习”方式，即操纵采煤机以较小的牵引速度匀速向前推移，割煤 3-4 刀，在采煤机推进过程中，不断调整摇臂的摆角，使滚筒截割微量靠顶板煤岩，利用角度传感器（安装在采煤机机身前端的摇臂支撑轴端）和截割电动机的电流传感器采集信号，记录煤岩界面（滚筒高度）信息。信号采样不以时间为单位，而是以距离为单位，采样间距为 10cm，这样可以避免因采煤机牵引速度变化引起采样间距的不等而导致的数据不稳定。系统数据库中的内容随采煤机的推进而改变，使系统数据库中的数据更接近当前截割区域，可以较好地适应工作面煤层特性的变化。

由于系统处理的是纯数据信息，因此将传感器采集的数据构成适合计算机处理、搜索速度快的“框架-特性表”式表示的知识单元，框架名为刀数，单采样点数据向量格式为： $[s \ i \ \theta]$ ，其中： s 为采煤机的当前位置， i 为截割电动机电流， θ 为摇臂摆角。在截割一刀中，这些单采样点的数据是等价的，不需要数据的辨识和分组，减少了数据处理的时间复杂度和空间复杂度，提高了数据的访问速度，增加了系统的实时性。同时将这些单采样点的数据综合，并存储为矩阵格式的知识结构，由于特定环境的需要，各采样点数据之间的顺序固定不变，以缩短系统对数据分类的时间，3-4 个这样的知识结构就可以构成工作面滚筒高度控制系统数据库。采煤机在自动运行过程中，利用上几刀同一位置和本刀上几个时刻的采煤机滚筒高度参数预测本刀当前的滚筒高度，其数据可随采煤机的推进实时更新（即有自学习能力）^[9,10]。

1.2 滚筒高度的预测控制

在采煤机中，只有滚筒与煤岩接触，因此可以利用截割电动机的信号对外界煤岩信息辨识。系统选择截割电动机的电流（反映煤岩的坚硬度 f ）为辨识信号，利用截割电动机电流大小区别煤和岩石的硬度差异。

在采煤机运行过程中，滚筒的高度不能只是简单的跟随记忆的路径，也不应具有后向性，而是根据历

史数据对当前煤层特性下的滚筒高度具有预测特性，即控制系统对下一时刻的滚筒高度具有超前预见性，当煤层特性变化时，采煤机滚筒应能自动适应顶板的起伏不平^[11]。

设采煤机运行在第 n 时刻，则要对第 $n+1$ 时刻采煤机滚筒高度参数进行预测。预测策略主要有以下四个部分：(1)提取数据库（历史知识）中上刀第 n 时刻的摇臂摆角 θ_n ；(2)提取知识库中上刀第 $n+2$ 时刻的摇臂摆角 θ_{n+2} ；(3)分别提取知识库中上 4 刀第 $n+1$ 时刻的摇臂摆角 $\theta_1 \sim \theta_4$ ，对这四个数据利用线性回归方法建立数学模型进行预测，可横向预测 $n+1$ 时刻的摇臂摆角，可得摇臂摆角的预测值为 θ_{n+1} 。提取本刀中 $n、n-1、n-2、n-3$ 四个时刻的摇臂摆角 $\theta'_1 \sim \theta'_4$ ，同样对这四个数据进行预测，可纵向预测 $n+1$ 时刻的摇臂摆角，得摇臂摆角的预测值 θ''_{n+1} 。 $n+1$ 时刻的预测摇臂摆角向量为：

$$x_{n+1} = [\theta_n \ \theta_{n+1} \ \theta'_{n+1} \ \theta''_{n+1}] \quad (1)$$

这 4 个值两面包围未截割区域，可以较好的预测未知的第 $n+1$ 时刻滚筒的运行高度。由于煤岩界面是三维立体曲面，因此应对预测值 x_{n+1} 融合。为了获得较好的实时性，系统采用了加权平均算法，加权系数向量为 $q = [0.2 \ 0.3 \ 0.3 \ 0.2]$ 。

在截割过程中，由于底板不平及姿态的改变，常引起当前滚筒基准零位与记忆的滚筒基准零位不一致，产生漂移。由于滚筒调高方式不依赖于煤岩界面识别传感器，为了实时跟随实际的煤岩界面，要对截割高度进行零位补偿修正，即实际输出 $x = x_{n+1} + \theta_0$ ，其中 θ_0 为滚筒零位偏移量。

一般，液压支架标准支撑宽度为 1.5m，为了提高液压支架的支护性能，使液压支架顶梁受力均匀，在支护宽度内任意两采样点之间截割高度的差值应小于许用值。由于系统为全数值量计算，因此采用欧式距离计算较好，采样点：

$$x_1 = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4] \quad (2)$$

$$x_2 = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4] \quad (3)$$

两点之间的距离为：

$$D(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (a_i - b_i)^2} \quad (4)$$

即 $\forall i, j \vee i - j < 15 \ D(x_i, x_j) < \theta_s$ ，其中 θ_s 为了适应支架的受力特性而设置的摇臂极限摆角，如果，则滚筒输出可强制修改为支护宽度范围内这 15（如果液压支架支撑宽度变化，此值也要相应的变化）点的均值。

当煤层特性变化较剧烈或者有断层时，需要采煤机司机远程引导采煤机，通过人工修正滚筒高度，使其顺利通过此局部区域。当再次运行到该位置时，为了避免滚筒剧烈震动，强制采用记忆的截割参数运行，而不采用预测控制的参数。

1.3 控制系统模型的建立

本文以 MG750/1820 型电牵引采煤机为例，其调高压系统的传递函数^[12]为：

$$G(S) = 46520 / [S(0.83S^2 + 0.17S + 1000)] \quad (5)$$

为了提高系统的抗干扰性，对系统输入低通滤波，以消除系统噪声；为了提高系统的动态特性和稳态特性，减小系统的延迟时间，控制器中使用了改进的数字 PID 控制算法。由此，得到该控制系统的框图如图 3 所示。

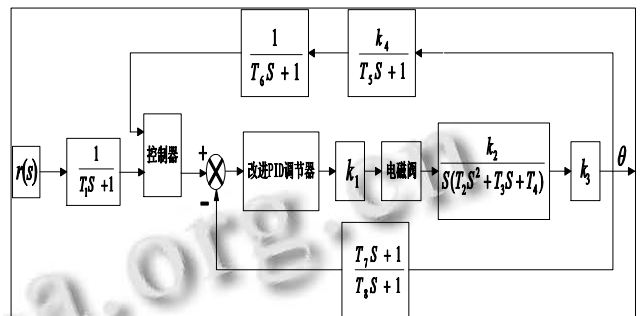


图 3 控制系统框图

参数定义如下：为系统增益；为控制系统的传递函数模型参数；为调高油缸活塞杆位移与摇臂摆角之间的比例参数；为传感器比例变换系数；为滤波时间常数；、和为控制系统的传递函数模型参数；为传感器时间常数；为信号采集回路滤波时间常数；和为微分控制器时间常数；为煤岩界面信息，可看作离散的单点函数（系统输入）。

2 仿真实验及结果分析

2.1 系统仿真模型的建立

取控制系统的模型参数： $k_1=0.006, k_2=46520,$

$k_3 = 4.5, k_4 = 0.025, T_1 = 0.41s, T_2 = 0.83s, T_3 = 0.17s,$
 $T_4 = 1000s, T_5 = 0.00316s, T_6 = 0.37s, T_7 = 0.51s,$
 $T_8 = 0.32s, r(s) = ks。$

根据图 3 的控制系统框图，可建立滚筒自动调高控制系统的 Matlab/simulink 仿真模型如图 4 所示，其中图 4(a)、图 4(b)分别为预测控制系统、传统控制系统的仿真模型^[13]。

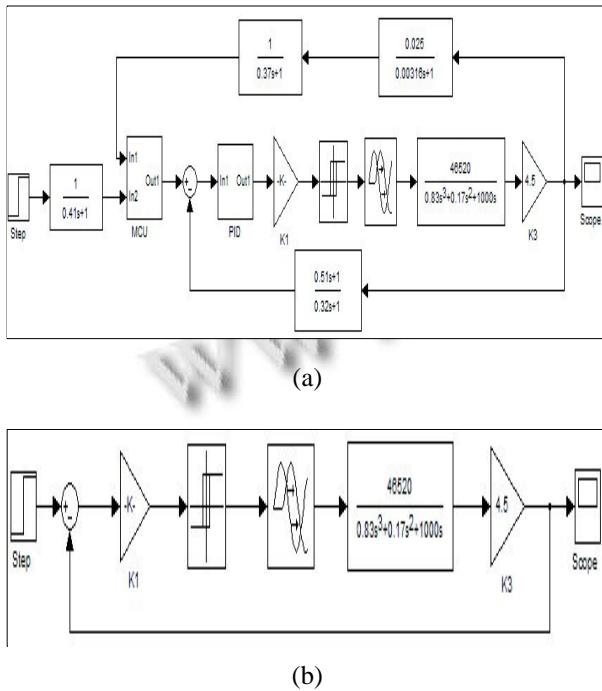


图 4 控制系统的仿真模型

2.2 仿真结果及其分析

结合采煤机滚筒液压控制系统硬件及预测算法的基本理论，利用 Matlab/simulink 软件对所建立的模型进行仿真，得到该采煤机采用传统控制方式和预测控制方式两种情况下滚筒高度的动态特性曲线，如图 5（见图中曲线 1、2）所示。

由图 5 可见，当截割高度从 0.1m 上升到 0.2m 的过程中，传统控制方式的上升较缓慢，调节时间为 1.83s，超调量为 0.0178m（为额定值的 8.9%），滚筒高度波动较大，但是有减小的趋势。由于较大的滞后和波动，截割滚筒可能截割到煤岩顶板，这将导致截割电动机功率有效利用率较低；采用预测控制后，调节时间较传统控制系统缩短 0.25s，系统具有较好的跟随特性，超调量为 0.0081m（为额定值的 4.1%）。因此，采用预测控制后，滚筒能快速跟随顶板的起伏变化，

而且上下波动较小，调节的滞后性也较小，降低了滚筒的动载荷，提高了采煤机工作的稳定性和滚筒的使用寿命。

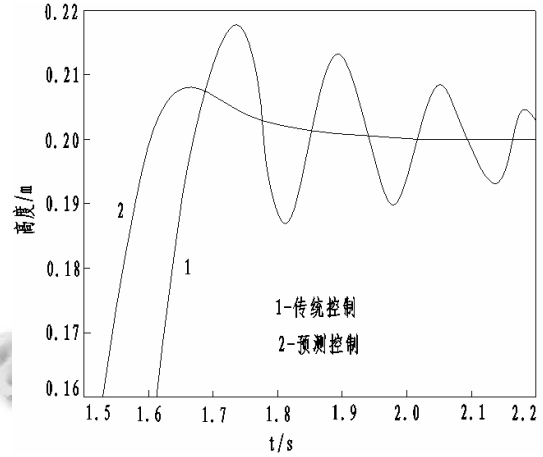


图 5 两种控制方式的仿真结果

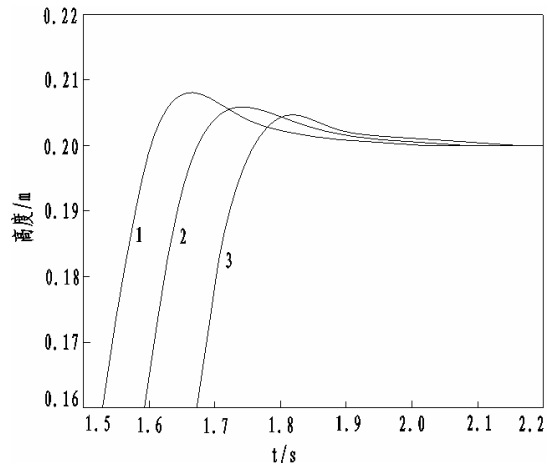


图 6 不同采样点个数预测控制的仿真结果

图 6 为仿真得到的不同采样点个数的预测控制方式下该采煤机滚筒高度的动态特性曲线。曲线 1 为 4 个采样点，曲线 2 为 5 个采样点，曲线 3 为 6 个采样点。由图可见，曲线的形状大致相同，随着算法中利用采样点个数的增多，曲线的上升时间和调节时间将增大，这会降低系统的实时性，系统反应速度会逐步下降、响应减慢，导致滚筒跟踪顶板不及时；系统超调量将减小，波动也减小，这可以减小滚筒的动载荷。对不同采样点个数的控制方式进行了比较，可知，当采样点个数较少时，系统预测控制较弱，所以系统超调量较大；当采样点个数增多，预测算法计算精度提高，系统超调量较小。因此，在预测算法中，不同的采样点个数对系统的波动和超调量有一定的影响，进

而影响滚筒运行的振动特性和导致附加载荷。这样,当煤层较软时,采煤机运行速度高,选择较少的采样点个数,可以提高系统的实时性;煤层较硬时,采煤机运行速度低,选择较多的采样点个数,可以较小滚筒的动载荷和波动。

3 结论

(1) 将预测控制的理论和方法应用于采煤机滚筒的高度控制,建立了根据历史数据预测采煤机滚筒高度的自动控制系统。

(2) 仿真结果表明,该系统使滚筒高度的调节时间减少 0.25s,超调量降低 4.8%,滚筒的动作更快、更平稳,具有很好的实时性。同时,合理确定预测算法中采样点个数,可以减小系统的波动、超调量和调节时间,有助于提高系统的精度和实时性。

(3) 所做的研究为改进采煤机滚筒高度控制系统、提高机器的工作效率提供了理论依据。

参考文献

- 1 任芳,刘正彦,杨兆建,梁国琴.扭振测量在煤岩界面识别中的应用研究.太原理工大学学报,2011,41(1):94-96.
- 2 焦丽,李晓豁,姚继权.采煤机截齿动力学模型及其求解方法.辽宁工程技术大学学报,2008,27(2),285-287.
- 3 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.

- 4 王玉萍,宋莹莹.采煤机调高系统的模糊神经网络自适应控制.煤矿机械,2009,30(8):188-189.
- 5 Yang TM, Xiong SB. Application of wavelet neural network for automatic ranging cutting height of shearer. Wavelet Analysis and its Applications (WAA),2003,12(6):478-483.
- 6 王忠宾,徐志鹏,董晓军.基于人工免疫和记忆切割的采煤机滚筒自适应调高.煤炭学报,2009,34(10):1405-1409.
- 7 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):823-827.
- 8 廉自生,刘楷安.采煤机摇臂虚拟样机及其动力学分析.煤炭学报,2005,30(6):801-804.
- 9 李晓豁,张景晖.连续采煤机装载系统故障诊断的专家系统.中国工程机械学报,2008,6(2),233-236.
- 10 张端,高岩,章苗根,何熊熊,邹涛.线性规划实现动态优化的模型预测控制策略.化工学报,2010,61(8),2121-2125.
- 11 张伟.基于采煤机 DSP 主控平台的自动调高预测控制.上海:上海交通大学,2007.
- 12 刘春生,荆凯,万丰.采煤机滚筒记忆程控液压调高系统的仿真研究.中国工程机械学报,2007,5(2):142-146.
- 13 程森林,师超超.BP 神经网络模型预测控制算法的仿真研究.计算机系统应用,2011,20(8):100-103.

(上接第 22 页)

采用该框架构建、通过 SOA 等技术实现的数据交换平台,具有易用、可移植扩展、安全可靠、传输性能高效、实时监控日志完善等特点。

5 结语

通过以上分析,通过利用 Webservice、XML、Java 等技术,可消除异构数据之间的差异、保证数据交换数据的安全,并可实现分布式跨平台的数据交换。基于 XML 的数据交换框架的电力信息系统数据交换平台,可通过简单配置而满足不断增长的数据交换需求,从而减少相关的开发和维护工作。

参考文献

- 1 Liu JD, Jiang XW. Research SOA-based public order management information system of special trade of public security. Computer Knowledge and Technology, 2008,32(16):37-40.
- 2 安云哲,周大海,夏秀峰,于戈.一种基于 Java 的 ODS 与 Excel 数据交换方法.计算机应用与软件,2008,25(10):95-103.
- 3 秦燕,李志蜀,陈伟鹏.异构数据库数据交换的安全解决方案.四川大学学报,2006,43(5):1015-1017.
- 4 刘恩海,刘斌,郭志涛,张健楠.基于 Hibernate 的异构数据共享的研究.计算机工程与科学,2008,30(10):87-89.