

文章编号:1000-582X(2011)04-134-07

采煤机自适应记忆切割

徐志鹏,王忠宾,米金鹏

(中国矿业大学机电工程学院,江苏徐州 221116)

摘要:针对以往的采煤机记忆切割技术在我国复杂地质条件下不适用的情况,提出了基于模糊控制理论的采煤机自适应记忆切割技术,设计出了采煤机位置、姿态定位系统和采煤机自适应切割模糊控制系统。该系统可以获取采煤机任意位置处的姿态和状态信息,自动跟踪所记忆的切割路径,基于模糊控制理论对是否切割到岩石进行判断并做出最优的处理方案。通过实验室的路径跟踪实验和西安煤矿机械有限公司的自适应调节实验证明:该技术在实现采煤机记忆切割的基础上能够识别出滚筒到切割岩石时的异常状态,并对牵引速度和滚筒高度做自适应调节,能够满足复杂地质条件下对采煤机的控制要求。

关键词:采煤机;自适应控制;记忆切割;模糊控制

中图分类号:TD421.6;TP273.4

文献标志码:A

Shearer self-adaptive memory cutting

XU Zhi-peng, WANG Zhong-bin, MI Jin-peng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology,
Xuzhou 221116, Jiangsu, P. R. China)

Abstract: Considering the previous technology of memory cutting cannot adapt to the complicated geological condition in China, the technology of shearer self-adaptive memory cutting based on fuzzy control theory, the shearer positioning system and fuzzy control system of self-adaptive cutting are designed. These systems can get the message of shearer's position and attitude at any point, trace the memorial cutting path automatically, judge whether the shearer cuts rocks based on fuzzy control theory and find the optimal scheme when it works. The authors make the experiment of path tracing in laboratory and the experiment of self-adaptive adjust in Xi'an Coal Mining Machinery Co., Ltd. All the experimental results show that this technology not only can realize the shearer memory cutting but also can discriminate the abnormal state of shearer cutting rocks, then adjust the drawing speed and drum height self-adaptively. This technology can satisfy the control requirements under the complicated geological condition.

Key words: shearer; adaptive control systems; memory cutting; fuzzy control

采煤机的自动化控制是实现采煤工作面自动化的重点和难点,而采煤机自动化的关键则是滚筒的自动调高。目前国内采煤机大多依靠人工通过红外

遥控器在近距离操控,大量的煤尘和水雾使得操作人员很难看清滚筒是否切割到岩石,仅能通过滚筒发出的声音进行判别。为此,国内外学者提出过利

收稿日期:2010-10-20

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)重点资助项目(2008AA062202);教育部霍英东基金优选资助课题(114003);教育部博士点新教师基金资助项目(20070290538)

作者简介:徐志鹏(1984-),男,中国矿业大学博士研究生,主要从事煤矿自动化方面的研究,(Tel)13775890239;
(E-mail)xuzhipeng1984@163.com。

用 γ 射线探测、雷达探测、红外温度探测、截割力分析、振动分析等方法来进行煤岩识别^[1-5],但实际应用的效果都不理想。20世纪80年代中期西德学者首次提出了记忆割煤行程自动调高系统,并成功应用于美国JOY公司的7LS6型、德国Eickhoff公司的SL500型和DBT公司的EL3000型等采煤机上。该方法避免了煤岩识别这一技术难题,便于实现且操作简单,但在我国采煤工作上的应用并不理想,主要原因在于:1)我国煤矿地质条件复杂,煤岩界面变化剧烈,所记忆的切割曲线不具有普遍性,当记忆路径失效时,就需要对切割路径重新进行记忆。2)随着我国采煤机功率的不断增大,同时为了移架、推溜的顺利进行和采煤效率的提高,较小的夹矸和断层均直接进行切割而不必频繁的调节滚筒高度且顶板和底板应尽量切割平整。因此,有必要针对我国复杂地质条件和当前煤矿生产需求对采煤机记忆切割技术进行研究和改进。笔者提出了基于模糊理论的采煤机自适应记忆切割技术,既遵从记忆切割路径以避免切割过硬岩石而导致的机械或电气部件损坏,又尽可能少的调节滚筒高度从而保持顶板和底板的平整性。

1 采煤机自适应记忆切割总体控制方案

采煤机工作过程中最主要的两个动作是机身的横向往复运动和摇臂的纵向升降运动,前者对应于牵引电机的转速;后者对应于调高油缸的伸缩量。因此对采煤机的控制也主要针对与牵引电机和调高油缸。传统的记忆切割技术要求采煤机切割到岩石后摇臂立即下降,以避免截割电机堵转或截割齿断裂。而随着电机功率的增大和截割齿材料的改进,使得采煤机可以对一般硬度的岩石直接进行切割。因此在本方案中,控制器根据采煤机的各项传感数据不仅可以识别出是否切割到岩石,而且还能够判断出是否允许对其直接切割。对于一般硬度的岩石采取降低牵引速度强行切割的方法,如果岩石硬度过大则采取调节滚筒高度进行避让的方法。该控制方案在采煤机机械部件和电器部件不受损伤的基础上,最大限度地保证了采煤效率。

采煤机自适应记忆切割总体控制流程如图1所示,可分为3个阶段:人工示教阶段、自适应切割阶段和人工修正阶段。每个阶段既相对独立又相互联系,如自适应切割与人工示教和人工修正都发生联系;人工示教和人工修正共享一个数据记忆集来记录人工操作。

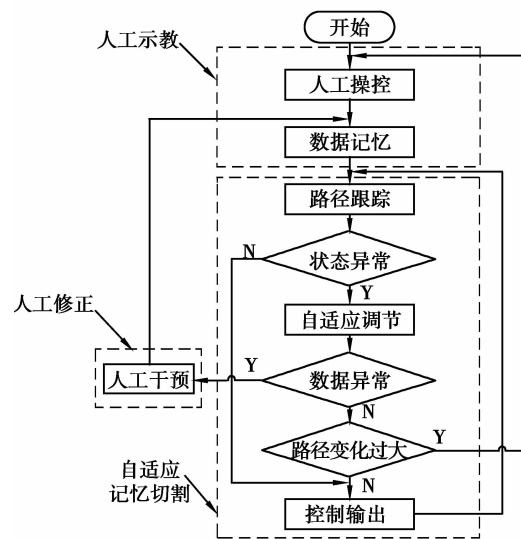


图1 采煤机自适应记忆切割总体控制流程图

人工示教由人工操控和数据记忆两部分组成。当操作人员控制采煤机进行切割时,机载控制器每隔一段时间便会记录下采煤机当前的位置、姿态、状态和动作等信息。其中,位置信息是指采煤机在工作面处的空间坐标;姿态信息是指采煤机的机身倾斜角度和滚筒的空间坐标;状态信息是指采煤机机械部件和电器部件运行的状态参数;动作信息是指操作人员对采煤机发出的控制命令。这些数据经过处理后存储于控制器中以指导采煤机的自动运行。显然,机载控制器的采集频率越大就越详细的记录下采煤机运行过程,但同时又会产生大量无用信息占用控制器的处理能力和存储空间;而如果频率过小,就有可能漏掉采煤机的一些重要动作。针对这一问题,本方案将控制器的采集点分为常规点和关键点。常规点沿采煤机运行方向等距离分布,其间相隔1 m。关键点则是操作人员对采煤机发出控制命令的点,如采煤机的启动、停止、加速、减速,摇臂的上升、下降等。关键点是人工示教的核心,直接反映了操作人员的操作方式和操作顺序。采取常规点和关键点相结合进行记忆的策略,既确保了记忆质量又降低了数据量,为后续的自适应切割过程提供了保障。

自适应切割是指由机载控制器控制采煤机按照人工示教的路径自动切割煤层。首先,机载控制器根据人工示教过程中所记忆的操作命令控制采煤机运行,在运行过程中机载控制器在每个常规点和关键点处将当前采集到的数据与所记忆的数据进行对比。而后,模糊控制器根据对比结果对当前的运行

状态进行判别:是否切割到岩石;是否需要停机;是否需要加速或减速;是否需要上升或下降摇臂;是否需要人工干预;是否需要重新人工示教等。最后,机载控制器根据模糊控制器的判别做出相应的控制输出,对于常规操作如加减速、升降摇臂等,可由控制器自行完成;而对于人工干预、人工示教操作,则需要向操作人员发出报警提示,请求人工介入。

人工修正是指当机载控制器遇到无法解决的故障或者无法识别的状态时,将控制方式从自动转换为手动,由操作人员控制采煤机进行切割。人工修正是自适应切割的有力补充,确保了在紧急情况下人工操作的优先权。机载控制器会记录下人工修正的操作步骤,作为关键点进行存储,下次遇到类似状况便可以自行解决。当人工修正完成后,操作人员可以将采煤机的控制方式从手动改为自动,由机载控制器根据记忆数据控制采煤机完成后续的切割任务。

2 采煤机的位置和姿态定位

由上文可知,采煤机位置和姿态是自适应记忆切割中的重要信息,直接影响到采煤机的控制效果。国内以往对于采煤机记忆切割的研究并不深入,对于采煤机位置和姿态的空间定位问题尚未有完整的解决方案。曾有学者提出利用轴编码器计算采煤机行走距离来进行位置定位,利用位移传感器获取调高油缸的伸缩量来进行姿态定位,但得到仅是位置和姿态的相对值而并非三维空间内的绝对值^[6-8]。因此,解决采煤机位置和姿态定位问题是实现自适应切割的前提和基础。

2.1 采煤机位置定位

要确定采煤机机身的位置最直观的方法就是获取其在三维空间内的坐标值,这就需要解决以下问题:选取采煤机上某一固定点作为位置定位的特征点;定义三维坐标系;推导特征点坐标值的计算公式。

1)特征点的选取。采煤机的机体过于庞大,因此需要在采煤机上选取一个特征点,并以此特征点的三维坐标来唯一确定采煤机的位置。本文选取采煤机行走齿轮与刮板输送机上导轨的接触点作为特征点进行定位计算,此时特征点的运行轨迹与刮板输送机的导轨重合。

2)三维坐标系的定义。初始状态下采煤机起始位置处的特征点为系统原点 o 。重力加速度反方向为 y 轴正方向,重力加速度方向为 y 轴负方向。平行于刮板输送机且与 y 轴垂直方向为 x 轴;面朝煤

壁,向右为 x 轴正方向,向左为 x 轴负方向。垂直于 xy 平面且指向煤壁方向为 z 轴正方向,相反为 z 轴负方向。需要注意的是,原点是在系统初始状态下设定的固定点,不随采煤机的横向运动或纵向运动而改变,并且原点与所对应刮板输送机推溜受力点的联机必须平行于 yz 平面。

3)特征点坐标值的计算。如图2所示为采煤机位置定位示意图,实线为刮板运输机的布置情况,实心圆点为各节刮板输送机间的铰接点。图中表示的是在初始状态下刮板输送机从圆点经过一次推溜后的情况,实际工作中要经过多次推溜。设刮板输送机共有 n 节,每节长度为 h ,初始状态下第 k 个铰接点处的坐标为 $(x_k, y_k, 0)$,第 k 节与 x 轴的夹角为 α_k ,其中 $n \in Z$ 且 $n > 0, k \in n$ 。则当采煤机行程为 s 时

$$\frac{s}{h} = k \cdots p. \quad (1)$$

其中 $k \in n$ 为商, $0 \leq p < h$ 为余数。由此可知采煤机特征点位于刮板输送机第 k 节上的 p 处。

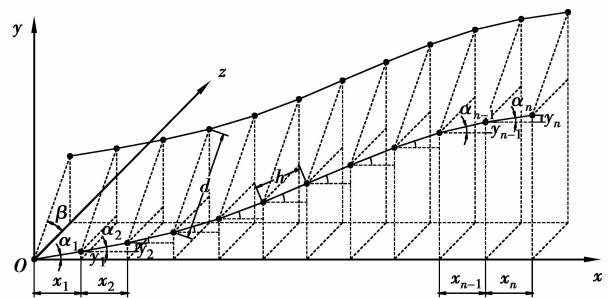


图2 采煤机位置定位示意图

设采煤机起始点经过 m 次推溜,每次推溜的距离为 d_m ,推溜方向与 z 轴方向的夹角为 β_m ,其中 $m \in Z$ 且 $m > 0$ 。则经过 m 次推溜后采煤机特征点的三维坐标值 (x_0, y_0, z_0) 为

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= h \sum_{i=1}^k \cos \alpha_i + p \cos \alpha_{k+1}, \\ y_0 &= h \sum_{i=1}^k \sin \alpha_i + p \sin \alpha_{k+1} + \sum_{i=1}^m d_i \sin \beta_i, \\ z_0 &= \sum_{i=1}^m d_i \cos \beta_i. \end{aligned} \right\} (2)$$

2.2 采煤机姿态定位

采煤机的姿态信息包括机身倾角和调高油缸位移量,其中机身倾角是由刮板输送机决定的;只有调高油缸位移量是可调的。这里采煤机的姿态定位是以滚筒空间坐标的形式给出的,因为可以综合反映机身倾角和调高油缸位移量;而采煤机的姿态控制

是以调高油缸位移量的形式给出的,因为姿态信息中只有该项是可控的。采煤机的姿态定位是建立在位置定位基础上的,确定了关键点的坐标值后,根据机身的横向倾角和纵向倾角确定滚筒坐标值。

1)只考虑采煤机横向倾角情况下根据关键点坐标求出滚筒的 x 轴和 y 轴坐标。如图3所示为采煤机调高系统机构简图在 xy 平面内的投影,图中共有0~4五个点,第 i 个点的坐标用 (x_i, y_i) 表示,点2、3间线段为调高油缸的伸出量,粗实线为采煤机机身,点0为位置定位中使用的特征点。其中左图为机身水平时的姿态,右图为机身前倾 α 角度时的姿态,从图中可以看出滚筒高度不仅取决于调高油缸伸出量还取决于机身的倾角。在图3中,当机身横向倾角为 α 时,根据特征点的坐标 (x_0, y_0) 可以求出固定点1、2的坐标 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 。在点1、2、3组成的三角形中,已知点1、2的坐标值及其与点3间的距离,可以由二维坐标系中两点间距离的公式列出关于 x_3 和 y_3 的二元二次方程,解此方程能够求出点3的坐标值 (x_3, y_3) 。同理在点1、3、4组成的三角形中能够求出点4的坐标值 (x_4, y_4) ,即为滚筒的旋转中心坐标值。

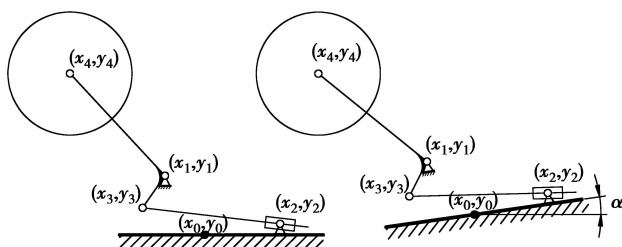


图3 采煤机姿态在 xy 平面内的投影简图

2)考虑采煤机纵向倾角情况下对滚筒的坐标值进行修正。设在位置定位中求得特征点坐标值为 (x_0, y_0, z_0) ,采煤机机身的纵向倾角为 β ,上一步得到的滚筒在 xy 平面内投影坐标值为 (x'_4, y'_4) ,则可由坐标投影关系求得滚筒的三维坐标值 (x_4, y_4, z_4) 为

$$\left. \begin{aligned} x_4 &= x'_4, \\ y_4 &= y_0 + (y'_4 - y_0) \cos \beta, \\ z_4 &= z_0 + (y'_4 - y_0) \sin \beta. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3 采煤机的自适应切割

自适应切割是采煤机控制部分的核心内容,主要由路径跟踪和自适应调节两大部分组成。路径跟踪是指在各设备工作状态正常的前提下,尽可能的按照人工示教时所记录的数据来复原采煤机的运行

过程。自适应调节是指在路径跟踪过程中判断出采煤机所处的运行状态,根据不同的情况采取相应的措施来将采煤机调节至正常工作状态。

3.1 路径跟踪策略

路径跟踪的依据是人工示教过程中各个记忆点中的数据,判断路径跟踪效果的指标包括滚筒坐标和牵引速度两部分。在未进行路径跟踪前,机载控制器根据当前刮板运输机的布置情况计算出采煤机运行到每个记忆点时的机身坐标值,将其与人工示教时记忆的身坐标值进行比较,求出机身的上升高度,并由此计算出此时滚筒应当升高的高度以及所对应的调高油缸位移量,作为本次运行的理想值存储至控制器中。在路径跟踪阶段,当采煤机运行到第 i 个记忆点时,机载控制器会读取第 $i+1$ 个记忆点处调高油缸位移量和机身牵引速度的理想值;根据 i 点与 $i+1$ 点的间距计算出调高油缸的运行时间和牵引变频器的加速曲线。当采煤机按照这种控制方案行驶到 $i+1$ 点时,机载控制器又会根据此时的调高油缸位移和运行速度来制定 $i+1$ 至 $i+2$ 点间的运行方案。这种控制策略在每个记忆点处都重新计算下一点的运行方案,从而消除了多点间的累计误差,保证了路径跟踪的精度。

为了验证路径跟踪策略的实际效果,本课题组研发了采煤机记忆切割实验平台,如图4所示该平台具有与真实采煤机相同的控制功能,可以模拟采煤机的工作过程。作者基于该平台进行了采煤机路径跟踪效果测试。实验所得的路径跟踪曲线如图5所示,图中实线部分为记忆路径,其上的实心点为记忆点,包括常规点和关键点;虚线部分为实际运行路径。实验结果表明:该路径跟踪策略可有效跟踪所记忆的切割路径,但在路径的拐点处尚存在一定的滞后,这主要是由于调高油缸对控制命令的响应具有一定的延时性。

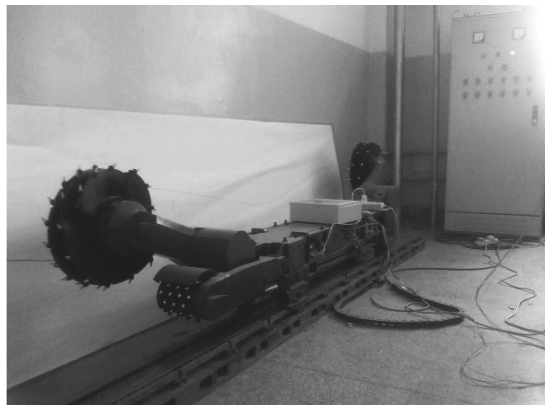


图4 采煤机记忆切割实验平台

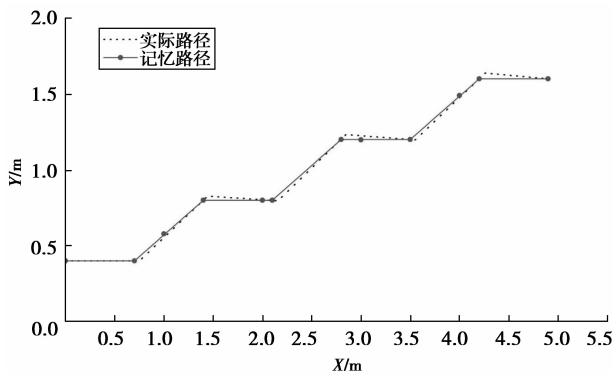


图 5 采煤机路径跟踪曲线

3.2 自适应调节策略

自适应调节的依据是路径跟踪过程中各设备的工作状态;调节的对象是采煤机的运行速度和滚筒高度。实践证明当采煤机切割到岩石后其切割电机温度、电流以及摇臂振动都将加大并超出正常范围,此时应首先降低牵引速度,之后如果采煤机状态恢复正常则直接切割岩石;如果持续降低牵引速度一段时间后采煤机状态仍然异常则降低滚筒高度;如果持续降低滚筒高度一段时间后采煤机状态仍无法恢复正常则向操作人员发出警报请求人工干预。自适应调节策略强调以降低牵引速度作为应对切割岩石时产生的电流、振动增大等问题的首选,而不是单一的降低滚筒高度。

由于对采煤机状态是否异常的判断主要来自于生产经验,而且很难建立采煤机的数学模型,因此本文采用模糊控制方法来实现采煤机的自适应调节。模糊控制的概念是由美国加州大学教授 L. A. Zadeh 首先提出的,其基本思想是将操作人员的控制经验用具有模糊含义的语言、变量加以描述,用一组条件语句构成控制规则以及相应的模糊推理,最终通过模糊决策得到精确控制量^[9-10]。模糊控制具有如下特点:1)不需要建立被控对象的数学模型,只需掌握现场操作人员或有关专家经验、知识和数据^[11-12];2)具有较强的鲁棒性,尤其适应于非线性时变、滞后系统的控制^[13-14];3)不用数值而用语言式的模糊变量来描述系统,使得操作人员易于使用自然语言进行人机对话^[15-16]。

结合采煤机具体情况,本模糊控制系统的输入量包括截割电机电流、摇臂振动幅值两部分。其中截割电机电流 C 的论域为 $[0, 2]$,摇臂振动幅值 V 论域为 $[0, 3]$,模糊控制输出量 O 的论域为 $[-2, 2]$,其模糊子集均为 $\{NB, NM, ZO, PM, PB\}$,分别对应“负大”、“负中”、“零”、“正中”、“正大”。该系

统的模糊控制规则如表 1 所示。

表 1 自适应调节模糊控制规则表

VOC	NB	NM	ZO	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	NB
NM	PB	PM	PM	NM	NB
ZO	PB	PM	ZO	NM	NB
PM	PB	NM	NM	NM	NB
PB	NB	NB	NB	NB	NB

其中, C, V, O 中每个模糊子集的取值都需要结合操作人员和生产厂家的经验来确定。本系统结合西安煤机厂 MG900/2210-WD 型电牵引采煤机的相关参数和设计人员的经验总结出了每个模糊子集的取值及其所对应的控制操作,如表 2-4 所示。其中截割电流的模糊子集 ZO 取值为 1.00 表示正常工作时的电流, NM 取值为 0.90 表示正常工作电流的 0.90 倍,其他取值同理。最终的模糊控制输出如图 6 所示。

表 2 截割电机电流的模糊子集

模糊子集	NB	NM	ZO	PM	PB
取值	0.80	0.90	1.00	1.30	2.00
控制操作	报警	加速	/	减速/降低滚筒	停车

表 3 振动幅值的模糊子集

模糊子集	NB	NM	ZO	PM	PB
取值	0.50	0.80	1.00	1.80	3.00
控制操作	报警	加速	/	减速/降低滚筒	停车

表 4 控制输出的模糊子集

模糊子集	NB	NM	ZO	PM	PB
取值	-2.00	-1.00	0	1.00	2.00
控制操作	停车	减速/降低滚筒	/	加速	报警

为了验证采煤机自适应调节策略的控制效果,作者在西安煤机厂的采煤机工况参数模拟实验台上进行了仿真测试。如图 7 所示,该实验台可以模拟采煤机在不同负载下的工况参数。实验过程中系统

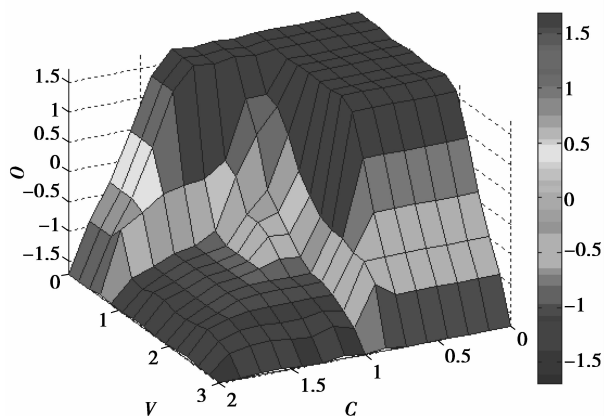


图6 采煤机模糊控制输出图

模拟出采煤机的截割电机电流、摇臂振动幅值,而后将其输入到模糊控制器中,模糊控制器根据模糊判别规则控制采煤机的牵引速度。如图8所示,当截割电机电流和摇臂振动幅值急速增加时模糊控制器控制牵引电机减速;随着牵引速度的降低截割电机电流和摇臂振动幅值均有所下降;当截割电机电流和摇臂振动幅值趋于正常值时模糊控制器不再降低牵引电机速度,此时牵引速度趋于平稳。



图7 采煤机工况参数模拟实验台

4 结论

作为综采工作面的关键设备,采煤机的自动化是实现综采工作面自动化和少人化的重点和难点。记忆切割技术是被实践证明最有效的采煤机自动控制方法,但在我国复杂的地质条件下煤岩界面变化剧烈,仅依靠记忆切割技术并不适用。针对这一问题,笔者提出了基于模糊控制理论的采煤机自适应记忆切割技术,设计出了采煤机位置、姿态空间定位系统和自适应切割模糊控制系统。在保证采煤机工作状态正常的前提下,该系统可以避免摇臂的频繁升降,确保了顶板、底板的平整性并提高了采煤效率。目前该系统在MG900/2210-WD型电牵引采煤

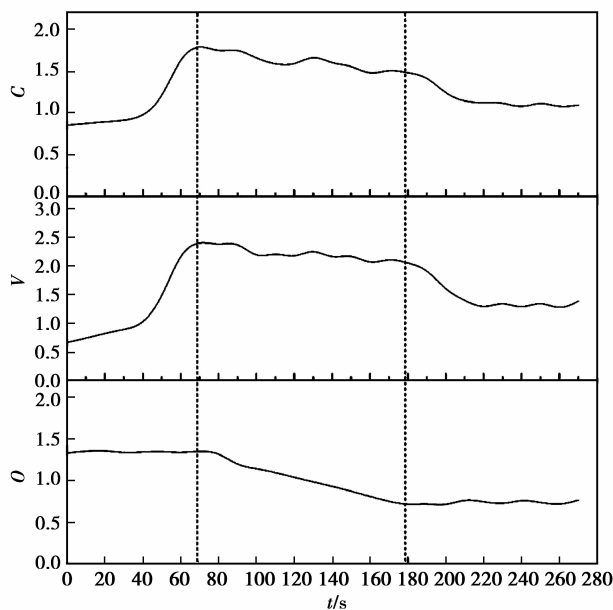


图8 采煤机自适应调节控制效果

机1:6样机模型构成的实验平台上进行了路径跟踪测试,证明了路径跟踪策略的可行性。并且在西安煤矿机械有限公司的采煤机工况模拟实验台上进行了自适应调节测试,实验数据表明:模糊控制系统可以识别采煤机的异常工作状态,并采取相应的控制方法将其恢复至正常状态。接下来将进行采煤工作面的现场实验,并根据实验结果对系统做进一步的改进和完善。

参考文献:

- [1] STEPHEN L BESSINGER, MICHAEL G NELSON. Remnant roof coal thickness measurement with passive gamma ray instruments in coal mine [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1993, 29 (3): 562-565.
- [2] ROBERT L CHUFO, WALTER J. JOHNSON. A radar coal thickness sensor [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1993, 29 (5): 834-840.
- [3] MARKHAM J R, SOLOMON P R, BEST P E. An FT-IR based instrument for measuring spectral emittance of material at high temperature [J]. Review of Scientific Instruments, 1990, 61 (12): 3700-3708.
- [4] 廉自生,刘混举,李文英. 基于切割力响应的煤岩界面识别技术研究 [J]. 山西机械, 1999, 103(3): 25-27.
LIAN ZI-SHENG, LIU HUN-JU, LI WEN-YING. Study on the coal/rock interface recognition based on the responses of shearer's cutting force [J]. Shanxi Machinery, 1999, 103 (3): 25-27.
- [5] GU TAO, LI XU. New equipment of distinguishing

- rock from coal based on statistical analysis of fast fourier transform [C] //WRI Global Congress on Intelligent Systems, May 19-21, 2009, Institute of Electrical an Electronics Engineers Computer Society, 2009: 269-273.
- [6] 夏护国. 采煤机位置监测装置的原理与应用 [J]. 矿山机械, 2007, 38(11): 25-27.
XIA HU-GUO. Principle and application of shearer position monitoring device [J]. Mining & Processing Equipment, 2007, 38 (11): 25-27.
- [7] 方新秋, 何杰, 张斌, 等. 无人工作面采煤机自主定位系统 [J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(2): 349-353.
FANG XIN-QIU, HE JIE, ZHANG BIN, et al.. Self-positioning system of the shearer in unmanned workface [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28 (2): 349-353.
- [8] 安美珍. 采煤机运行姿态及位置监测的研究 [D]. 北京: 煤炭科学总院, 2009.
AN MEI-ZHEN. Research on monitoring the shearer's running posture and position [D]. Beijing: China Coal Research Institute, 2009.
- [9] CAI KAI-YUAN, ZHANG LEI. Fuzzy reasoning as a control problem [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2008, 16 (3): 600-614.
- [10] LAURENT FOULLOY, SYLVIE GALICHET. Fuzzy control with fuzzy inputs [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2003, 11 (4): 437-449.
- [11] RODOLFO E HABER, JOSE R ALIQUÉ. Fuzzy logic-based torque control system for milling process optimization [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2007, 37 (5): 941-950.
- [12] LAM H K, SENEVIRATNE L D. Tracking control of sampled-data fuzzy-model-based control systems [J]. IET Control Theory and Applications, 2009, 3 (1): 56-57.
- [13] LIN W-S, HUANG C-L, CHUANG M-K. Hierarchical fuzzy control for autonomous navigation of wheeled robots [J]. IEE Proceedings Control Theory and Applications, 2006, 152(5): 598-606.
- [14] GANG FENG. A survey on analysis and design of model-based fuzzy control systems [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2006, 14 (5): 676-697.
- [15] GIOVANNI ACAMPORA, VINCENZO LOIA. Fuzzy control interoperability and scalability for adaptive domotic framework [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2005, 1(2): 97-111.
- [16] YU TANG, VELEZ-DIAZ DANIEL. Robust fuzzy control of mechanical systems [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2003, 11(3): 411-418.
- (编辑 张小强)
-
- (上接第 129 页)
- [11] KARABOGA D, AKAY B. A comparative study of artificial Bee Colony algorithm [J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 214 (1): 108-132.
- [12] CHETTO M, EL GHOR H. Real-time scheduling of periodic tasks in a monoprocessor system with rechargeable energy storage [C] // The 30th IEEE Real-Time Systems Symposium RTSS, December 1-4, 2009, Washington, D. C., USA Washington, D. C.: IEEE Computer Society, 2009: 45-48.
- [13] RUSU C, MELHEM R, MOSSE D. Multi-version scheduling in rechargeable energy-aware real-time systems [J]. Journal of Embedded Computing, 2005, 1 (2): 271-283.
- [14] 康飞, 李俊杰, 许青. 混合蜂群算法及其在混凝土坝动力材料参数反演中的应用 [J]. 水利学报, 2009, 39 (6): 736-742.
KANG FEI, LI JUN-JIE, XU QING. Hybrid simplex artificial bee colony algorithm and its application in material dynamic parameter back analysis of concrete dams [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 39 (6): 736-742.
- [15] DAVIS S, IMPAGLIAZZO R. Models of greedy algorithms for graph problems [J]. Algorithmica, 2009, 54(3): 269-317.
- [16] KARABOGA D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization [R]. Kayseri: Erciyes University, 2005.
- [17] GONG J Y, ZHONG X L, XU C Z. Energy and timing constrained system reward maximization in wireless networks [C] // The 28th International Conference on Distributed Computing Systems, June 17-20, 2008, Beijing, China. Washington, D. C.: IEEE Computer Society, 2008, 1-2: 809-816.
- (编辑 陈移峰)