

文章编号:1671-251X(2015)05-0083-05 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.05.020
王水生. 基于振动特性分析的采煤机煤岩识别控制系统[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5): 83-87.

基于振动特性分析的采煤机煤岩识别控制系统

王水生

(河北旅游职业学院 机械电子系, 河北 承德 067000)

摘要:针对采煤机截割过程中的煤岩识别及滚筒自动调高控制问题,提出并设计了一种基于振动特性分析的采煤机煤岩识别控制系统。该系统采用传感器检测采煤机滚筒在截割煤岩过程中3个方向的振动信号,采用PLC进行振动信号的分析 and 处理,得到采煤机滚筒在截割煤岩过程中的振动特性规律,由此建立采煤机滚筒调高控制规则表,并通过反馈信号偏差在线查表和控制信号输出的闭环控制方法实现采煤机滚筒的自动调高控制。相似模拟截割试验结果表明,该系统能够较好地实现煤岩界面识别和滚筒自动调高控制,具有良好的动态性能。

关键词:采煤机;煤岩识别;自动调高;振动信号

中图分类号:TD632 文献标志码:A 网络出版时间:2015-04-30 08:50

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150430.0850.020.html>

Coal-rock recognition and control system of shearer based on
vibration characteristics analysis

WANG Shuisheng

(Department of Machinery and Electric, Hebei Tourism Vocational College,
Chengde 067000, China)

Abstract: In order to solve problems of coal-rock recognition and automatic height regulation control of shearer during cutting process, a kind of coal-rock recognition and control system of shearer was put forward and designed which was based on vibration characteristics analysis. The system detects vibration signals of three directions of shearer drum in process of cutting coal and rock, and uses PLC to analyze and process the vibration data, so as to obtain law of vibration characteristics of the shearer drum in process of cutting coal and rock. Then it establishes automatic height adjustment control rule table of shearer drum, and realizes automatic height regulation control of shearer drum by using closed loop control method combining with online discrete look-up table of feedback signal error and control signal output. The results of similar simulation cutting test show that the system can realize coal-rock interface recognition and automatic height regulation control of shearer drum with good dynamic performance.

Key words: shearer; coal-rock recognition; automatic height adjustment; vibration signal

0 引言

采煤机自动调高是综采工作面全自动化运行、有效降低截割能耗的关键技术,而煤岩识别技术决定采煤机自动调高的实现,也是实现无人自动化开

采的先决条件^[1-4]。采用先进的煤岩识别技术实现采煤机滚筒的自动调高控制,能够有效提高采煤机的工作效率和煤的输出率,减少截割岩石对采煤机截齿的磨损,延长采煤机滚筒及截齿的使用寿命,降低成本和能耗。

国内外专家学者针对煤岩界面识别进行了很多研究。基于煤岩自然伽马射线(Natural Gamma Radiation, NGR)辐射特性的 NGR 传感器法特别适用于高瓦斯矿井,但对采煤工艺要求很高,必须预留一定厚度的顶煤,一定程度上降低了煤的输出率,且要求顶底板围岩必须有放射性元素。英国有 50% 的矿井适用该方法,美国有 90% 的矿井适用,而中国仅有 20% 左右的矿井适用^[5],其推广应用具有很大的局限性。基于采煤机切割力响应的煤岩界面识别传感器法^[6]使用传感器拾取滚筒轴的扭矩信号以及调高油缸的压力信号来识别煤岩界面。由于采煤过程中滚筒做旋转运动,所以传感器的安装以及信号的传输都受到很大影响,目前为止尚未形成成熟的技术。记忆截割技术^[7]目前已被应用于部分矿井中,但该技术从严格意义上讲并不属于煤岩识别技术的范畴,且不能处理岩石突变和工作面的突发情况等。基于电磁测试技术的煤岩界面识别方法主要有雷达测试方法和电子自旋共振法^[8],雷达测试方法通过对接收到的发射波进行信号处理来确定顶煤的厚度,而电子自旋共振法则根据共振频率处的功率下降幅值进行测定。但采用电磁测试技术实现煤岩识别对地质条件具有很大的依赖性,因此推广具有很大的局限性。煤岩界面红外线探测装置^[9]采用热成像红外摄像机探测开采煤层和邻近岩层的温度变化,当装置的视频探测装置发现煤层或岩层的温度发生变化后,即发出报警信号,可在一定程度上识别煤岩界面,但无法实现采煤机滚筒的自动调高控制。基于现有方法的缺陷和不足,本文提出并设计了基于振动特性分析的采煤机煤岩识别控制系统。

1 煤岩截割振动特性分析

1.1 截齿受力分析及振动传感器分布

采煤机滚筒产生的振动是采煤机截割过程中受到截割阻力时的一种运动现象^[10]。滚筒在旋转过

程中,由于制造装配的偏心问题,必然使调高系统产生振动,研究滚筒的受力情况是分析截割振动特性的重要依据。采煤机滚筒在截割过程中的受力情况如图 1 所示,各截齿所受的截割阻力分别表示为其在 x, y, z 轴上的分力 $F_{x_i}, F_{y_i}, F_{z_i}$,则采煤机滚筒在 x, y, z 轴上所受的力即各截齿的合力为

$$\begin{cases} F_x = \sum_{i=1}^n F_{x_i} \\ F_y = \sum_{i=1}^n F_{y_i} \\ F_z = \sum_{i=1}^n F_{z_i} \end{cases} \quad (1)$$

式中: i 为采煤机滚筒的截齿序号; n 为采煤机滚筒截齿数。

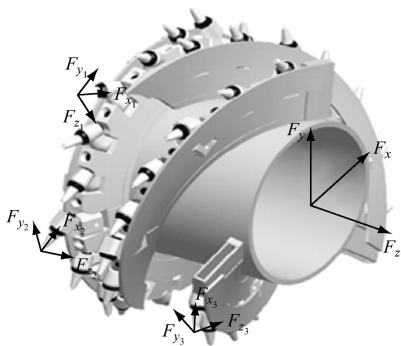
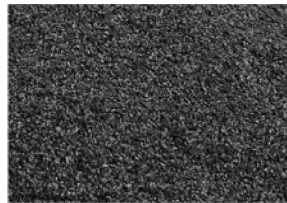


图 1 采煤机滚筒截割受力情况

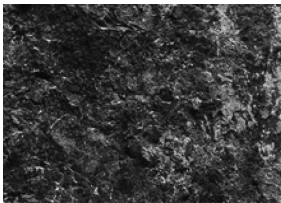
将采煤机滚筒在截割过程中截齿所受的截割阻力等效为滚筒在 x, y, z 轴上所受的力。参考滚筒受力的坐标系,分别对滚筒在截割过程中 x, y, z 轴上的振动信号进行检测。

1.2 不同煤岩试件截割振动信号提取

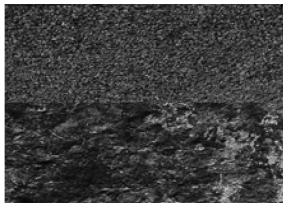
为了识别不同煤岩界面分布的振动信号,采用相似材料试验截割方法对不同煤岩试件进行截割振动信号的检测。试验采用的煤岩试件如图 2 所示。模拟不同煤岩工况下的截割状态,得到的 x, y, z 轴方向的振动特性曲线如图 3 所示。



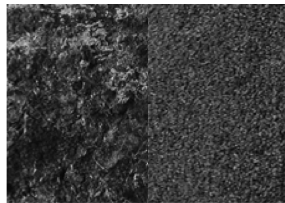
(a) 煤壁试件



(b) 岩壁试件



(c) 煤岩水平混合试件



(d) 煤岩过渡试件

图 2 试验用煤岩试件

2 煤岩识别自动调高控制方案

2.1 煤岩识别振动信号模糊规则

从图 3 可看出,不同煤岩试件在截割时, x, y 轴

方向的振动幅度变化较大,截割岩石时振动较截割煤时更为剧烈, z 轴方向的振幅变化相对较小。因此,主要考虑通过 x, y 轴方向振动信号的特征提取,建立煤岩识别的模糊规则表,采用模糊控制

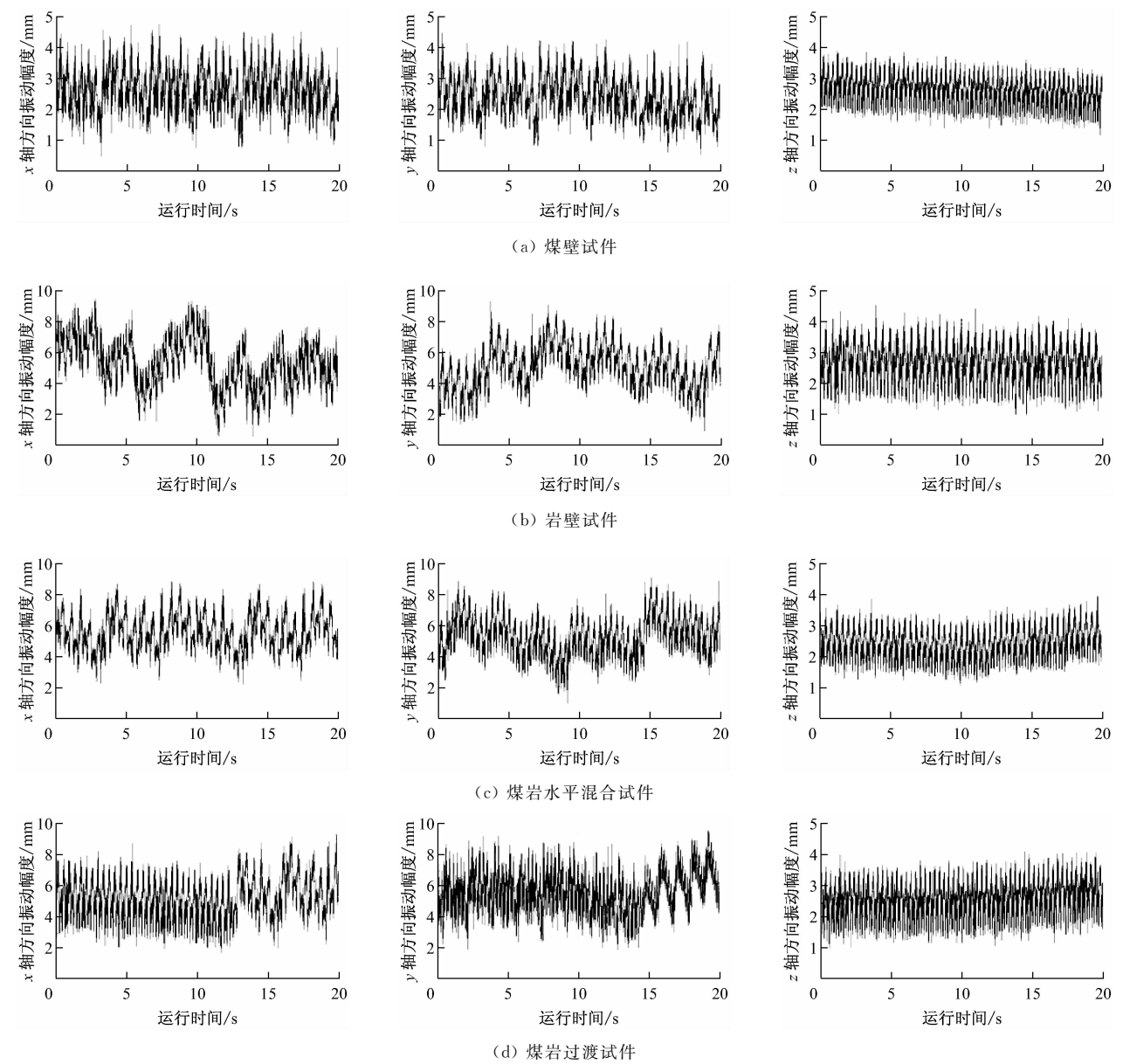


图 3 不同煤岩试件截割的 x,y,z 轴方向振动曲线

方法实现对采煤机滚筒的自动调高控制。

以半煤半岩截割时 x,y 轴方向的振幅均值 $\bar{x},\bar{y}$ 为零偏差基准值,则系统输入变量 e_1,e_2 分别为 x,y 轴方向实时振幅均值与基准值的计算差值; u 为系统的输出变量,词汇描述为{煤,煤岩比 4:1,煤岩比 2:1,半煤半岩,岩煤比 2:1,岩煤比 4:1,岩},输入变量和输出变量的模糊子集为[NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB],量化后论域为 $[-3,-2,-1,0,1,2,3]$,系统输入、输出隶属度函数如图 4 所示,输入选用三角形隶属函数,分辨率较高,输出采用高斯型隶属函数,中间采用三角形隶属函数。

图 3 中不同煤岩试件截割时 x,y 轴方向的振幅相差较大,半煤半岩试件在截割过程中 x,y 轴方向的振幅均值分别为 5.6,4.9 mm, x 轴方向的振幅

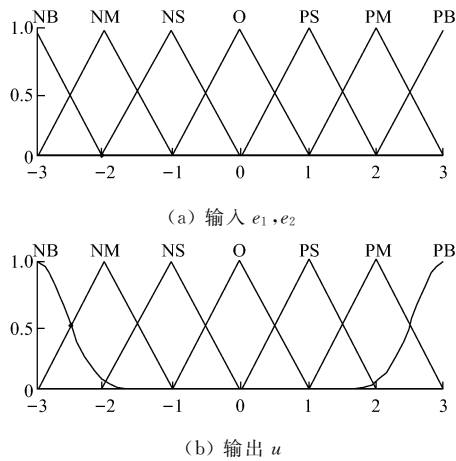


图 4 系统输入、输出隶属度函数

偏差 e_1 范围为 $[-0.80,+0.80]$, y 轴方向的振幅偏差 e_2 范围为 $[-0.75,+0.75]$,输出变量 u 范围

为 $[0, +20]$,由此可计算出输入变量 e_1, e_2 的量化因子和输出变量 u 的比例因子分别为 3.75, 4.0, 0.15。根据采煤机滚筒 x, y 轴方向的振动特性曲线和输入输出规则,构建系统的模糊控制规则(表 1)及输出曲面(图 5)。

表 1 模糊控制规则

u	e_2							
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB	
e_1	NB	NB	NM	NM	NS	O	O	
	NM	NB	NM	NS	O	O	PS	
	NS	NM	NS	O	O	O	PS	
	O	NM	NS	O	O	PS	PM	
	PS	NS	O	O	PS	PS	PM	
	PM	O	PS	PS	PS	NM	PB	
	PB	O	PS	PM	PM	PB	PB	

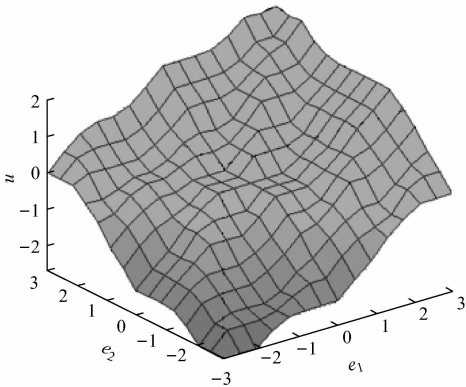


图 5 模糊控制规则输出曲面

2.2 自动调高控制方法与实现

采煤机煤岩识别自动调高控制流程如图 6 所示。系统根据振动传感器采集到的 x, y 轴方向的实时振动信号,计算出振幅均值与基准值的差值 e_1, e_2 ,采用离线计算、在线查询的方法查询输出变量 u 的值,进而控制采煤机调高电动机,实现采煤机滚筒高度的快速调节。其 PLC 模糊规则离散查表关键程序如图 7 所示。

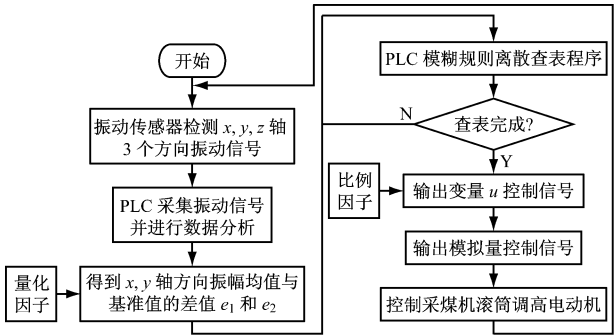


图 6 采煤机煤岩识别自动调高控制流程

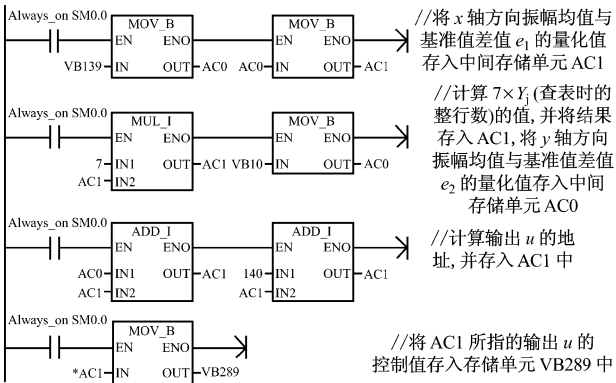
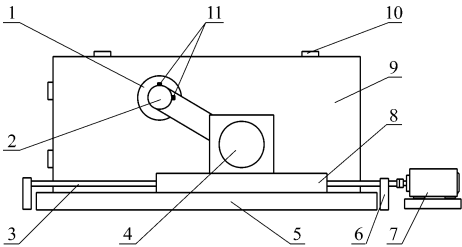


图 7 PLC 模糊规则查表关键程序

3 截割试验

采煤机在作业过程中往往处于重载荷工况,且由于信号采集和系统反馈具有一定的滞后性,系统并不能实现理论上完全、快速、无误差的煤岩识别和自动调高控制。为了验证系统的煤岩识别能力和自动调高控制的精确性,进行了模拟截割试验。

根据采煤机滚筒的工作及调高机构搭建如图 8 所示的实验台模型,将尺寸为 900 mm×600 mm×200 mm 的试验煤岩水平混合试件通过夹具进行固定,截割电动机转速为 30 r/min,工作台水平移动速度为 0.06 m/s,采用机床用三面铣刀模拟滚筒,高度调节通过固定在工作台上的大扭矩低转速电动机驱动来实现。整个截割过程持续 150 s,在截割电动机的 x, y 轴方向分别安装振动传感器,检测截割滚筒的实时振动信号。



1—滚筒;2—截割电动机;3—丝杠;4—调高电动机;5—导轨;
6—轴承支架;7—驱动电动机;8—工作台;9—煤岩试件;
10—夹具;11—振动传感器

图 8 采煤机煤岩识别自动调高控制实验台

试件原始煤岩界面及滚筒截割轨迹对比如图 9 所示。从图 9 可看出,滚筒在截割过程中遇到岩石断面时可较快速地进行高度调节,虽然在该过程中由于受本身载荷、牵引速度以及信号滞后的影响,有少量岩壁被截割,但滚筒截割轨迹基本与试件初始的煤岩界面吻合,表明系统具有良好的动态性能。同时,可考虑降低牵引速度,以取得更好的煤岩识别和调高控制效果。

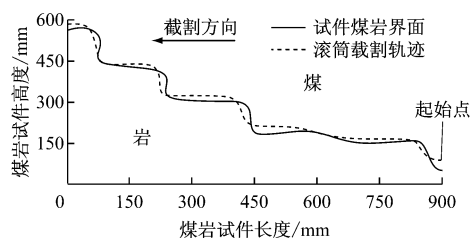


图9 试件原始煤岩界面及滚筒切割轨迹对比

4 结语

(1) 分析了采煤机滚筒在截割过程中的受力情况,通过分析滚筒的三向受力情况,确定振动传感器的布置方法,得到了不同煤岩试件截割过程中 x , y , z 轴方向的振动幅度曲线。

(2) 根据不同煤岩试件截割时的振动特性规律,构建煤岩识别自动调高控制的模糊规则表,并对PLC查表关键程序进行了研究。

(3) 采用基于振动特性分析的采煤机煤岩识别控制系统进行相似模拟试验,结果表明,该系统能够根据滚筒的振动特性进行煤岩快速识别,从而快速调整滚筒高度,最大程度地避开岩石断层,并具有很好的动态性能。

参考文献:

- [1] 季瑞,王忠宾,关明. 采煤机滚筒自动调高的液压控制方法[J]. 机床与液压,2013,41(4):100-101.
- [2] 洪云,胡绍忠. 采煤机滚筒智能调高控制系统研究[J]. 煤炭技术,2014,33(3):115-117.
- [3] 郝清玉,朱元忠,陈健. 基于图像小波变换的煤岩界面识别[J]. 工矿自动化,2015,41(2):50-53.
- [4] 田子建,彭霞,苏波. 基于机器视觉的煤岩界面识别研究[J]. 工矿自动化,2013,39(5):49-52.
- [5] 任芳,杨兆建,熊诗波. 国内外煤岩界面识别技术研究动态综述[J]. 煤,2001,10(4):54-55.
- [6] 赵学雷. 基于多传感器信息融合的载荷及煤岩判定与识别技术研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2011.
- [7] 王增才. 综采放顶煤开采过程煤矸识别研究[J]. 煤矿机械,2002(8):13-14.
- [8] 徐志鹏. 采煤机自适应截割关键技术研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2011.
- [9] 孙继平,余杰. 基于小波的煤岩图像特征抽取与识别[J]. 煤炭学报,2013,38(10):1900-1904.
- [10] 刘俊利,赵豪杰,李长有. 基于采煤机滚筒截割振动特性的煤岩识别方法[J]. 煤炭科学技术,2013,41(10):93-95.