

综合机械化固体充填采煤充填自动化系统

焦山林¹, 刘建功², 尚磊¹

(1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083; 2. 冀中能源集团有限责任公司, 河北 邢台 054000)

摘要: 针对目前综合机械化固体充填采煤充填效率低的问题, 设计开发了综合机械化固体充填采煤充填自动化系统, 介绍了综合机械化固体充填采煤技术, 给出了充填自动化系统总体设计方案; 介绍了充填自动化系统关键技术, 如工作面采煤与充填协同作业流程, 支架后端自动充填过程, 随动功能对工作面自动化充填系统的保护, 避免推压压实机构与多孔底卸式刮板输送机碰撞技术, 以及移架与充填刮板输送机后移协调同步控制技术。充填自动化系统在邢台某矿的应用结果表明, 使用该系统后, 单一支架平均充填时间与原来手动充填时间相比缩短了近1倍, 提高了充填自动化程度, 使充填采煤效率达到综采效率。

关键词: 综合机械化; 固体充填采煤; 充填自动化; 采煤效率

中图分类号: TD67; TP273.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)12-0109-05

Backfill automation system of comprehensive mechanized solid backfill coal mining

Jiao Shanlin¹, Liu Jianguo², Shang Lei¹

(1. School of Electromechanical and Information Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Jizhong Energy Group Co., Ltd., Xingtai 054000, China)

Abstract: According to a low backfill efficiency problem of the present comprehensive mechanized solid backfill coal mining, a backfill automation system of the comprehensive mechanized solid backfill coal mining was designed and developed. The paper introduced the comprehensive mechanized solid backfill coal mining technology and a general design plan of the backfill automation system was provided. The paper introduced the key technologies of the backfill automation system, including a collaborative operation procedure of the coal mining and backfill in the coal mining face, automatic backfill process behind the powered support, protection of the follow-up function to the automatic backfill system of the coal mining face, technology to avoid a collision between the pushing and compact mechanism and the multi boreholes bottom unloading type scraper conveyor, a coordinative synchronous control technology of the powered support pushing and backfill conveyor. The application results of the backfill automation system to Xingtai Mine showed that after the system applied, an average backfill time of a single powered support was a half time of the previous manual backfill time. Thus the backfill and coal mining efficiency could reach the fully mechanized coal mining efficiency and could improve the backfill automatic degree.

Key words: comprehensive mechanized solid backfill coal mining; backfill automation; backfill coal mining efficiency

0 引 言

综合机械化固体充填采煤是利用机械设备将矿区固体废弃物(包括矸石、粉煤灰、黄土、风积沙等)输送到充填采空区,并进行推压密实的一种充填采

煤方法^[1]。该方法在解决或降低地面沉降和塌陷的基础上,能够安全、高效地回收煤矿“三下”压煤及房柱式开采遗留煤柱,从而实现了提高煤炭资源采出率、提高矸石与粉煤灰等固体废弃物的循环利用率以及保护土地资源、保护环境和保护建筑物等

收稿日期: 2015-06-13; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2015.12.022

作者简介: 焦山林(1984—),男,河北邢台人,博士研究生。E-mail: aohan_007@163.com

引用格式: 焦山林,刘建功,尚磊.综合机械化固体充填采煤充填自动化系统[J].煤炭科学技术,2015,43(12):109-113,108.

Jiao Shanlin, Liu Jianguo, Shang Lei. Backfill automation system of comprehensive mechanized solid backfill coal mining[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 109-113, 108.

多重目标。从根本上解决煤炭资源开采引起的生态环境问题,是实现煤炭资源绿色开采及科学采矿理念的有效途径之一^[2]。但是,目前由于综合机械化固体充填采煤充填自动化程度低,导致充填效率低下,从而严重制约了煤炭的开采效率。为了提高煤炭开采效率,必须提高充填自动化程度,笔者设计开发了一套综合机械化固体充填采煤充填自动化系统,它不仅大幅提高了煤炭开采效率,而且也提高了充填开采过程的安全性和稳定性。

1 综合机械化固体充填采煤技术

1.1 固体充填采煤体系

固体充填采煤体系如图1所示,它主要由井上固体物料输送系统、固体充填物料垂直投放系统、井下固体物料输送系统和综合机械化固体充填采煤工作面等组成^[3-4]。地面矸石、粉煤灰、黄土等固体废弃物,经破碎、配比等处理后,由井上固体物料输送系统输送到固体充填物料垂直投放系统处,由固体充填物料垂直投放系统输送到井下,再由井下固体物料输送系统输送到充填工作面,最后由充填液压支架进行推压密实。

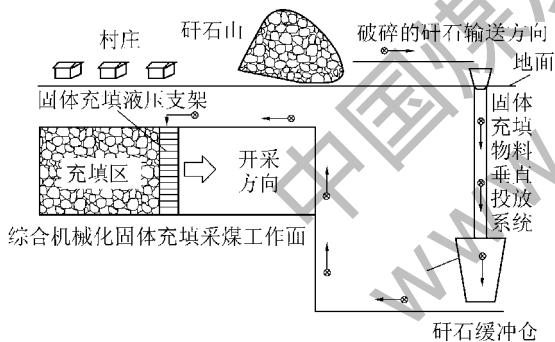


图1 固体充填采煤体系

Fig. 1 System structure of solid filling coal mining

1.2 固体充填采煤工作面布置

固体充填采煤工作面布置方式如图2所示,与传统综采工作面布置方式基本相同,其不同之处在于:在综合机械化采煤工作面的后部,即靠近采空区的一侧布置充填作业面,再在工作面回风巷内布置1部固体充填物料带式输送机,再在回风巷内布置1部固体充填物料自移式转载机,将固体充填物料输送至悬挂于充填采煤液压支架后顶梁下的多孔底卸式刮板输送机上,再经多孔底卸式刮板输送机的卸料孔落入采空区,最后经充填采煤液压支架底座上的推压密实机构对充填物料进行推压密实,达到密实充填采空区

的目的^[5-9]。在这种工作面布置方式中,充填采煤液压支架的前顶梁掩护采煤作业,后顶梁掩护充填作业,可实现充填与采煤在同一工作面中并行作业^[10-15]。

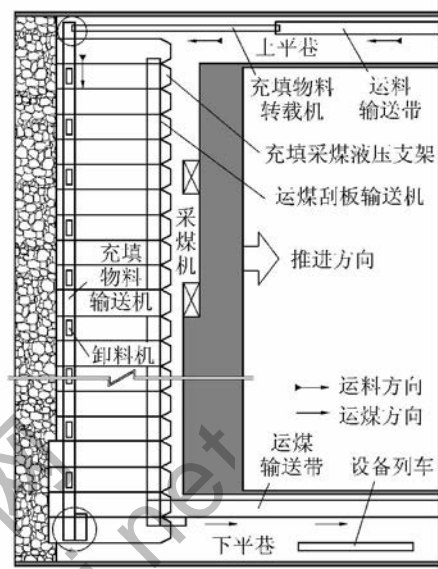


图2 固体充填采煤工作面布置方式

Fig. 2 Layout of solid filling coal mining face

1.3 充填采煤一体化液压支架

充填采煤一体化液压支架主要由多孔底卸式刮板输送机、推压密实机构等组成。支架前部为综采部分,后部为充填区,固体物料经多孔底卸式充填刮板输送机投放到采空区,之后由推压密实机构对其进行推压密实^[13]。

2 充填自动化系统总体设计方案

2.1 系统总体结构

综合机械化固体充填采煤充填自动化系统总体结构框图如图3所示。该系统采用集散控制方式,主要由巷道主控系统、充填液压支架控制系统、矸石输送系统、液压系统、视频系统和数据传输系统等组成。

2.2 系统整体控制流程

综合机械化固体充填采煤充填自动化系统控制流程如图4所示。首先,巷道主控系统根据实时检测的数据判断是否满足充填开采的条件,若满足,主控系统依次启动多孔底卸式刮板输送机、转载机和井下带式输送机,之后向相应的液压支架控制器发送充填指令,液压支架根据自身的程序来自动完成充填任务,完成后向巷道主控系统发送完成指令,并等待下一个循环的充填任务,巷道主控系统接到支

架完成充填任务反馈后,向该支架的下一个液压支架发送充填指令,从而依次控制所有充填液压支架完成充填任务。当所有充填任务结束后,巷道主控系统依次控制井下带式输送机、转载机、多孔底卸式刮板输送机停机。

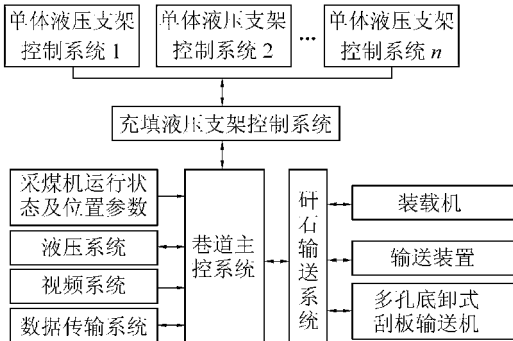


图3 充填自动化系统总体结构框图

Fig. 3 Overall structure diagram of filling automation system

2.3 巷道主控系统

工作面巷道监控中心主要由主控计算机、视频监视器、操作台、交换机等设备组成。主要功能有:

- ①依据充填采煤工艺,控制充填液压支架和矸石物料运输系统,实现自动化充填采煤的任务;
- ②充填液压支架采煤充填动作参数及矸石运输系统参数的调整;
- ③支架后端充填作业情况视频实时监控;
- ④工作面配套设备(转载机、破碎机、后部物料运输系统、液压系统)信息实时监控;
- ⑤实现数据处理、网络管理和诊断功能。

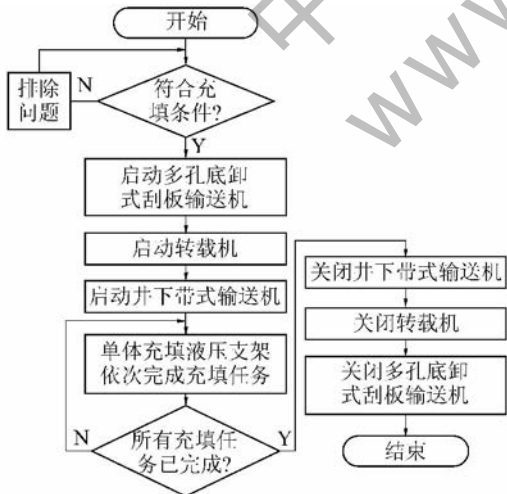


图4 充填自动化系统控制流程

Fig. 4 Control process of filling automation system

2.4 固体充填液压支架控制系统

1) 固体充填液压支架控制系统及相关传感器配置。相关传感器的布置如图5所示,在固体充填

液压支架的后梁下方和推压密实机构上分别安装了角度传感器,用来检测支架姿态,并可以控制推压密实机构的动作角度;在推压密实机构的千斤顶中分别安装了压力传感器和行程传感器,其中压力传感器用来检测推压密实机构的千斤顶压力,行程传感器用来检测推压密实机构的千斤顶伸缩行程,根据推压密实机构千斤顶压力和行程值共同判断充填效果是否达到要求,并进行相应的控制;在后梁下方安装落料高度检测传感器,用来检测下落固体充填物料堆积的高度,依据该值来判断充填物料下落是否达到要求,并进行相应的控制动作。充填液压支架系统控制原理如图6所示。

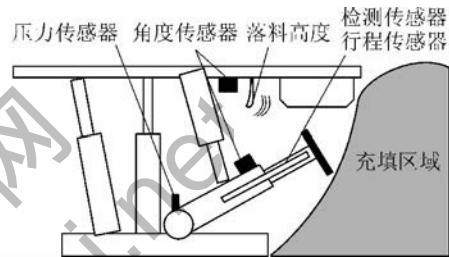
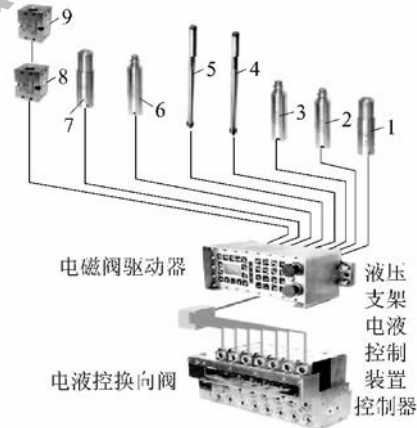


图5 固体充填液压支架相关传感器布置

Fig. 5 Relevant sensor arrangement of solid filling hydraulic support



- 1—红外接收器;2,3—前柱、后柱矿用压力传感器;
- 4,5—摆梁推移、升降行程传感器;6—摆梁升降矿用压力传感器;
- 7—落料高度检测传感器;8,9—摆梁、后梁升降矿用倾角传感器

图6 矸石自动充填捣实控制系统组成

Fig. 6 Automatic filling and compacting control system constitute

2) 固体充填液压支架控制模式。固体充填液压支架有手动、自动2种充填控制模式。在手动充填控制模式下,支架操作人员通过操作支架控制器上相应动作按键,来控制充填液压支架完成充填作业任务。在自动充填模式下,支架控制器等待主控制器的命令,当收到主控制器的充填命令时,支架控制器根据内部存储的充填控制程序和动作参数(压

力参数、角度参数、行程参数、时间参数等), 自动控制充填液压支架完成充填任务, 并实时将充填状态反馈给主控制器。

3 关键技术控制策略和方法

3.1 工作面采煤与充填协同作业流程

综合机械化固体充填采煤工作面采煤与充填协同作业流程如图 7 所示。在充填液压支架的前部是综采作业, 后部是自动化充填作业。当前端采煤机行走一段距离, 采煤机后方支架完成自动移架后, 巷道主控系统根据设定条件判断是否具备成组自动充填的条件, 若满足条件, 巷道主控系统向相应的充填液压支架控制器发送充填指令, 依次控制充填支架完成充填任务。

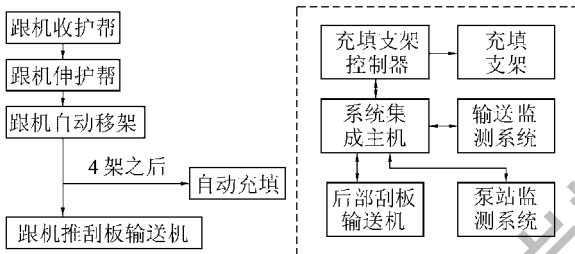


图 7 采煤与充填协同作业流程

Fig. 7 Collaborative operation process of coal mining and filling

3.2 支架后端自动充填过程

1) 启动矸石充填物料输送系统: 当采煤机行走一段距离后, 随着完成移架的支架数量的增加, 待充填区域距离采煤机位置大于 4 个支架距离(参数可调), 并且充填区域具备成组自动充填条件时, 巷道主控系统向相应的液压支架控制器发出启动充填作业信号, 同时启动矸石充填物料输送系统, 如图 8 所示。

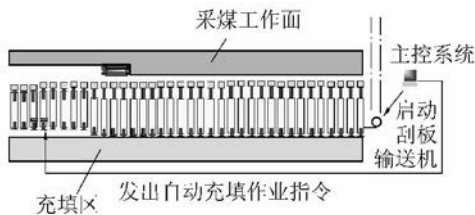


图 8 工作面自动充填启动示意

Fig. 8 Automatic filling start of working face

2) 巷道主控系统依次控制所有的充填支架进行充填作业任务, 如图 9 所示, 从跟机移架的第 5 架开始进行充填作业, 当充填支架完成充填任务后, 巷道主控系统根据其反馈信息, 向相邻的下一个充填支架发送启动充填作业任务, 从而依次控制所有充

填支架来完成充填作业任务。

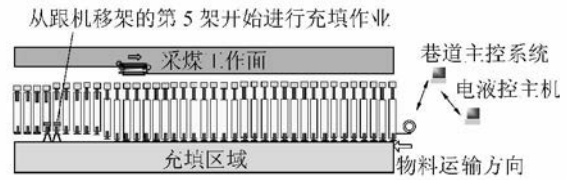


图 9 支架自动充填过程

Fig. 9 Automatic filling process of support

同时巷道主控系统实时监测前部采煤机系统信息、物料皮带秤数据信息、后部刮板输送机负荷信息及机头堆料信息等, 并根据上述信息数据控制正在执行充填任务支架的数量, 以及调整充填支架的充填动作参数。如果后部刮板输送机负荷较大或机头堆料较多, 则增加执行充填作业支架的数量, 反之, 则减少执行充填作业支架的数量, 如图 10 所示。

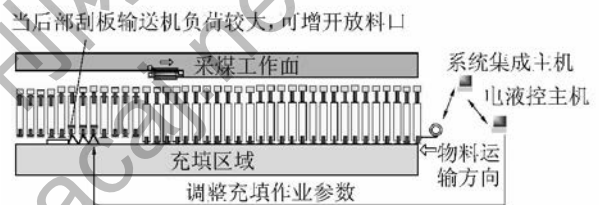


图 10 充填支架与后部刮板输送机随动示意

Fig. 10 Following sketch of filling frame and

rear scraper conveyor

3.3 随动功能对工作面自动化充填系统的保护

在机头安装监控摄像头, 用于监控机头的堆料情况作为辅助决策依据。当操作人员发现机头出现堆料情况, 且工作面执行充填任务的充填支架数量达到上限, 可及时对矸石物料运输系统参数进行调整, 如: 降低输送带、后部刮板输送机的速度, 甚至停机, 如图 11 所示。

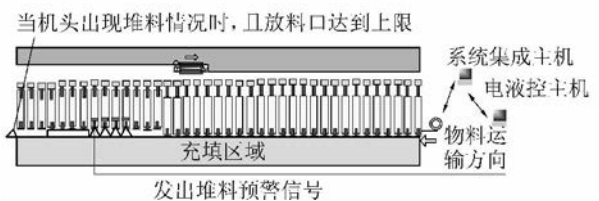


图 11 随动功能保护机制

Fig. 11 Protection mechanism of follow-up function

3.4 避免推压密实机构与刮板输送机碰撞

在充填过程中, 推压密实机构要对整个充填面进行推压密实, 如果推压密实机构仰角过大, 有可能会发生与多孔底卸式刮板输送机碰撞的事故, 导致

多孔底卸式刮板输送机受损,无法正常工作。为了解决这个问题,根据液压支架的倾斜角度、多孔底卸式刮板输送机位置、充填液压支架及推压密实机构相关尺寸,计算出推压密实机构最大允许仰角 θ_{\max} 。在充填过程中控制推压密实机构仰角小于 θ_{\max} ,就可以避免密实机构与充填刮板输送机碰撞。

3.5 移架与充填刮板输送机后移协调同步控制

在充填过程中,根据充填工艺的要求,所有充填刮板输送机要始终保持成一条直线,才能使得充填刮板输送机正常工作。但是在充填与采煤并行作业中,液压支架会跟随采煤机的移动自动完成跟机移架的动作,这就会导致充填液压支架后方的充填刮板输送机无法保持直线。为了解决此问题,在充填液压支架上安装相应的行程传感器,当液压支架跟机前移时,控制后方的充填刮板输送机同时移动相同的距离,从而保证在充填与采煤并行作业中,所有充填刮板输送机能够始终保持成一条直线。

4 工业性应用效果分析

综合机械化固体充填采煤充填自动化系统已在邢台某矿进行工业性试验,并取得了良好效果。与普通的综合机械化固体充填采煤技术相比,该自动化系统不仅大幅提高了煤炭充填开采效率,而且提高了充填开采过程的安全性和稳定性。

1) 采煤与充填平行作业。传统的综合机械化固体充填开采,由于充填部分采用人工手动控制,效率低,安全性和可靠性差,容易出现事故,所以一般都采用采煤与充填交替进行的模式,使得充填采煤效率低下。然而,由于充填自动化系统大幅提高了系统的稳定性,安全性和可靠性,在工业性试验中采用采煤与充填平行作业的模式,系统运行效果良好。

2) 在工业性试验期间,系统运行稳定,传感器及控制设备运行正常;数据之间的传输也稳定可靠。

3) 综合机械化固体充填开采,由于增加了矸石输送系统,在开机时需要工人手动依次打开多孔底卸式刮板输送机、转载机、运矸输送带等设备,费时费力。充填自动化系统根据程序依次安全可靠的顺序打开各个设备,大幅提高了开机时间。

4) 单架充填所需时间。经现场试验结果可知,应用自动化系统后,单一支架的平均充填时间与原来手动充填时间相比缩短了近 1 倍。大幅提高了整体充填效率,从而改善了整个综合机械化固体充填采煤效率,使其基本接近于综采效率。

参考文献:

- [1] 刘建功. 冀中能源低碳生态矿山建设的研究与实践[J]. 煤炭学报 2011, 36(2): 317-321.
Liu Jianguo. Study and practice of low-carbon ecological mining construction of Jizhong Energy Group [J]. Journal of China Coal Society 2011, 36(2): 317-321.
- [2] 缪协兴, 钱鸣高. 中国煤炭资源绿色开采研究现状与展望[J]. 采矿与安全工程学报 2009, 26(1): 1-13.
Miao Xiexing, Qian Minggao. Research on green mining of coal resources in China: current status and future prospects [J]. Journal of Mining & Safety Engineering 2009, 26(1): 1-13.
- [3] 刘建功, 赵庆彪. 邢台矿建筑物下综合机械化固体充填采煤技术[J]. 煤炭科学技术 2010, 38(3): 18-21.
Liu Jianguo. Coal mining technology with fully mechanized solid backfilling under the building structures in Xingtai Mine [J]. Coal Science and Technology 2010, 38(3): 18-21.
- [4] 张吉雄, 李剑, 安泰龙等. 矸石充填综采覆岩关键层变形特征研究[J]. 煤炭学报 2010, 35(3): 357-360.
Zhang Jixiong, Li Jian, An Tailong et al. Deformation characteristic of key stratum overburden by raw waste backfilling with fully-mechanized coal mine [J]. Journal of China Coal Society 2010, 35(3): 357-360.
- [5] 刘建功. 综合机械化固体充填采煤技术研究[J]. 煤炭与化工, 2013(5): 1-7.
Liu Jianguo. Research of the technology of coal mining solid filling integrated machine [J]. Coal and Chemical Industry 2013(5): 1-7.
- [6] 闫少宏, 张华兴. 我国目前煤矿充填开采技术现状[J]. 煤矿开采 2008, 13(6): 1-3.
Yan Shaohong, Zhang Huaxing. Status-quo of filling mining technology in coal mines of China [J]. Coal Mining Technology 2008, 13(6): 1-3.
- [7] 巨峰. 建筑物下矸石与粉煤灰充填综采关键技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
- [8] 王社平, 刘建功, 祁泽民等. 邢东煤矿绿色矿山建设集成技术[J]. 煤炭科学技术 2009, 37(11): 125-128.
Wang Sheping, Liu Jianguo, Qi Zemin et al. Integrated technology of green mine construction in Xingdong Mine [J]. Coal Science and Technology 2009, 37(11): 125-128.
- [9] 王占川, 周建保, 于利. 太平煤矿综采充填工作面充填回采实践[J]. 山东煤炭科技 2009(3): 2-6.
Wang Zhanchuan, Zhou Jianbao, Yu Li. The practice of refilled recovery in the fully mechanized mining refilled working face in Taiping Coal Mine [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2009(3): 2-6.
- [10] 郭信山, 庞继禄, 王贯东. 高效机械化采空区矸石充填技术[J]. 煤矿开采 2008, 13(2): 55-56.
Guo Xinsan, Pang Jilu, Wang Guandong. Technology of high efficient and mechanized gob filling with waste [J]. Coal Mining Technology 2008, 13(2): 55-56.

(下转第 108 页)

设备健康和故障 2 种故障,进一步定义指标,还可以判别故障发生可能性的大小。由于优化模式维数 Q 后,运算量少、速度快,非常适于煤矿井下旋转类机械设备运行状态的在线监测和判别。

5 结 语

给出了基于 TSDM 的选煤厂设备健康信任度判别方法,介绍了时间序列相似性原理,对时间序列数学分析方法进行说明,给出了基于 TSDM 的选煤厂设备健康信任度算法实现方案。在频率贴近度计算上,通过引用 Goertzel 算法,有效减少了运算量。同时通过实测数据验证了该分析方法的有效性。

参考文献:

- [1] 张 申. 煤矿自动化发展趋势[J]. 工矿自动化, 2013(2): 27-31.
Zhang Shen. The Development of coal mine automation[J]. Industrial mine automation 2013(2): 27-31.
- [2] 王国彪,何正嘉,陈雪峰,等. 机械故障诊断基础研究“何去何从”[J]. 机械工程学报, 2013, 49(1): 63-67.
Wang Guobiao, He Zhengjia, Chen Xuefeng et al. Basic research of mechanical fault diagnosis: what is the prescription[J]. Journal of Mechanical Engineering 2013, 49(1): 63-67.
- [3] Povinelli, Richard J, Feng Xin. Temporal pattern identification of time series data using pattern wavelets and genetic algorithms[J]. Artificial Neural Networks in Engineering, 1998(2): 691-696.
- [4] Povinelli, Richard J. Using genetic algorithms to find temporal patterns indicative of time series events [C]. GECCO 2000 Workshop: Data Mining with Evolutionary Algorithms 2000.
- [5] 苏圣超,张正道,朱大奇. 基于时间序列数据挖掘的旋转机械故障预报[J]. 南京航空航天大学学报, 2006, 38(7): 120-123.
Su Shengchao, Zhang Zhengdao, Zhu Daqi. Fault prediction for rotating machinery based on time series Data Mining[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics 2006, 38(7): 120-123.
- [6] 白亮,王瀚,李辉,等. 基于时间序列相似性挖掘的水电机组振动故障诊断研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(6): 229-236.
Bai Liang, Wang Han, Li Hui et al. Vibration fault diagnosis based on time-series similarity mining for hydropower units[J]. Journal of Hydroelectric Power 2010, 29(6): 229-236.
- [7] 吴冬敏,邵剑平,芮延年. 基于蚁群算法和神经网络的数控机床故障诊断技术研究[J]. 机械设计与制造, 2013(1): 165-167.
Wu Dongmin, Shao Jianping, Rui Yannian. Research on CNC machine fault diagnosis based on ant colony algorithm and neural network[J]. Mechanical Design and Manufacturing 2013(1): 165-167.
- [8] 程家堂,艾莉,熊伟. 基于蚁群神经网络的滚动轴承故障诊断[J]. 轴承, 2012(2): 34-36.
Cheng Jiatang, Ai Li, Xiong Wei. Fault diagnosis for rolling bearings based on ant colony algorithm-neural networks[J]. Bearing 2012(2): 34-36.
- [9] 王宏超,陈进,董广明,等. 基于快速 kurtogram 算法的共振解调方法在滚动轴承故障特征提取中的应用[J]. 振动与冲击, 2013, 32(1): 35-37.
Wang Hongchao, Chen Jin, Dong Guangming et al. Application of resonance demodulation in rolling bearing fault feature extraction based on fast computation of kurtogram[J]. Vibration and Shock, 2013, 32(1): 35-37.
- [10] 贾彭涛,何华灿,刘丽,等. 时间序列数据挖掘综述[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(11): 15-18.
Jia Pengtao, He Huacan, Liu Li et al. Overview of time series data mining[J]. Computer Application Research 2007, 24(11): 15-18.
- [11] 朱世松,汪云甲,魏连江. 基于时间序列相似性度量的瓦斯报警信号辨识[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(3): 474-480.
Zhu Shisong, Wang Yunjia, Wei Lianjiang. Gas monitoring warning signal identification based on time series similarity measure[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2012, 41(3): 474-480.
- [12] 杨叔子,吴雅. 时间序列分析的工程应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1991.
- [13] 王金福,李富才. 机械故障诊断的信号处理方法: 频域分析[J]. 噪声与振动控制, 2013(1): 35-36.
Wang Jinfu, Li Fucui. Machinery fault diagnosis method of signal processing frequency domain analysis[J]. Noise and Vibration control 2013(1): 35-36.
- [14] 王艳芬. 数字信号处理原理及实现[M]. 北京:清华大学出版社, 2012.
mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(4): 342-362.
- [14] Salomon M D G. Elastic analysis of displacement and stressed induced by the mining of seam or roof deposes [J]. J S Afr Inst Metall, 1963, 63: 11-20.
- [15] 刘建功,赵庆彪,张文海,等. 煤矿井下巷道矸石充填技术研究及实现[J]. 中国煤炭, 2005, 31(8): 15-18.
Liu Jianguo, Zhao Qingbiao, Zhang Wenhai et al. The study and practice of coal mine underground roadway waste-filling technology[J]. China Coal 2005, 31(8): 15-18.

(上接第113页)

- [11] 刘建功,赵庆彪. 综合机械化充填采煤[J]. 煤炭学报, 2010, 35(9): 1413-1418.
Liu Jianguo, Zhao Qingbiao. Comprehensive mechanized filling coal mining[J]. Journal of China Coal Society 2010, 35(9): 1413-1418.
- [12] 刘同友. 充填采矿技术与应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 2001: 1-11.
- [13] 钱鸣高,许家林,缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(4): 342-362.
Qian Minggao, Xu Jialin, Miao Xiexing. Green technique in coal