

文章编号:1671-251X(2018)06-0027-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018020020

# 综采放顶煤工作面自动放煤控制系统研究

牛剑峰

(北京天地玛珂电液控制系统有限公司,北京 100013)

**摘要:**针对综采放顶煤工作面人工放煤方式生产效率低的问题,研究了一种自动放煤控制系统。在液压支架上安装声波传感器、振动传感器和灰分传感器,通过人工示范操作和机器学习记忆传感器信号,确定放煤过程结束时传感器信号特征波形,比对采集的振动感知信号、声音感知信号与特征信号的相似度;通过灰分传感器有效辨识采出顶煤的含矸率;根据相似度和含矸率作出预警或直接控制。该系统实现了以传感器感知控制为主、时间控制为保护值、地面调度室远程干预控制为辅的自动化放煤控制,提高了综采放顶煤工作面的自动化水平和生产效率。

**关键词:**煤炭开采;厚煤层;综采放顶煤工作面;自动放煤;传感器感知;煤矸识别

中图分类号:TD823.49 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180517.1706.003.html>

## Research on automatic drawing control system on fully-mechanized coal face with sublevel caving

NIU Jianfeng

(Beijing Tiandi-Marco Electronic-Hydraulic Control System Company Ltd., Beijing 100013, China)

**Abstract:** In view of problem of low production efficiency of artificial drawing method on fully-mechanized coal face with sublevel caving, an automatic drawing control system was studied. Sonic sensors, vibrating sensors and ash sensors are installed on hydraulic supports. Through artificial demonstration operation and machine learning to memory sensor signals, sensor signal characteristic waveform during the end of drawing process is determined, and the similarity between collected vibration sensing signal, sound sensing signal and the characteristic signal is compared; the ash sensor is used to effectively identify inclusion rate of caved top coal. According to the similarity and inclusion rate, the system execute early warning or direct control to realize automatic drawing control which taking sensor-based sensing control as main control, time control as protection value, and remote intervention control as auxiliary control. The system improves automation level and production efficiency of fully-mechanized coal face with sublevel caving.

**Key words:** coal mining; thick coal seam; fully-mechanized coal face with sublevel caving; automatic drawing; sensor sensing; coal and gangue identification

收稿日期:2018-02-06;修回日期:2018-04-13;责任编辑:胡娟。

基金项目:能源自主创新资助项目(发改投资(2015)1780号);山西省煤基重点科技攻关资助项目(MJ2014-08)。

作者简介:牛剑峰(1961—),男,山西太原人,研究员,从事煤矿综采工作面自动化系统及产品的研发及管理工作,E-mail:njf@tdmarco.com。

引用格式:牛剑峰.综采放顶煤工作面自动放煤控制系统研究[J].工矿自动化,2018,44(6):27-30.

NIU Jianfeng. Research on automatic drawing control system on fully-mechanized coal face with sublevel caving[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(6): 27-30.

### 0 引言

中国厚煤层资源丰富,是一个厚煤层储量大国,也是厚煤层开采大国,厚煤层产量占原煤总产量的45%左右。厚煤层是中国实现高产高效开采的主要煤层,主要采用放顶煤开采方法,研究放顶煤自动化开采方法和技术对煤矿生产具有重要意义。

综采放顶煤工作面自动化技术经过几十年的发展,尤其是近10a的技术创新和关键技术装备的突破,工作面前部的综采自动化已经初步实现。综采放顶煤工作面控制技术与装备的发展趋势是智能化,通过智能化控制系统实现综采作业的自动化控制及远程遥控,完善采煤机、液压支架和运输系统的整体控制,实现综采设备的就地/集中/远程三级网络管理控制<sup>[1-2]</sup>。在放煤自动化方面,虽然初步具备了放煤过程自动化生产的条件,但由于理论研究和水平不成熟,还不能实现自动化生产<sup>[3]</sup>。

厚煤层开采包括前端采煤机割煤和后端液压支架放煤两部分。前端通过采煤机割煤开拓新的采场,液压支架前移支撑新的割煤空间,同时,液压支架移架后,工作面顶煤失去支撑,在矿山压力的作用下垮落,通过液压支架放煤口进行放煤。通过采煤机记忆割煤和液压支架跟机自动控制<sup>[4-5]</sup>可实现综采放顶煤工作面前端的综采自动化控制。综采放顶煤工作面后端的综放部分,由于处于液压支架后方的采空区,放煤口部位粉尘较大,不易观察,还没有通用的煤矸识别方法能够适用于不同煤层,综放部分主要采用人工操作进行放煤控制。操作人员一般通过耳朵听来判断放落的是煤炭还是矸石,确定顶煤是否放完。人工放煤控制方式生产效率低,成为制约厚煤层安全高效开采和煤炭资源协调开发的突出问题。鉴此,本文研究了一种综采放顶煤工作面自动放煤控制系统,实现了以传感器感知控制为主、时间控制为保护值、远程干预控制为辅的自动化放煤控制<sup>[6]</sup>。

### 1 放煤过程相关因素分析

在综采放顶煤工作面,伴随着采煤机滚筒割煤、破煤和液压支架放煤,垮落的煤炭和岩石会产生大量粉尘,煤炭暴露的面积增大,煤层中的压力释放会产生大量瓦斯。顶煤垮落会对液压支架产生冲击和振动,产生较大的响声,顶煤垮落与液压支架支撑力、煤层厚度、煤矸属性等多种因素相关<sup>[7]</sup>。随着煤层厚度的增加,矿山压力更加显性化,液压支架工作

阻力也相应加大。液压支架对顶煤的反复支撑使得顶煤不断下沉和顶起,可以在一定程度上实现对顶煤的挤压变形,有助于顶煤的裂隙发育。利用矿压和顶煤自重,通过移架使顶煤破碎、垮落,便于顶煤冒放<sup>[8]</sup>。采煤高度与放煤高度应控制在一定的比例,煤层构造(如夹矸等)对顶煤放落也有很大影响。放煤过程相关因素如图1所示。

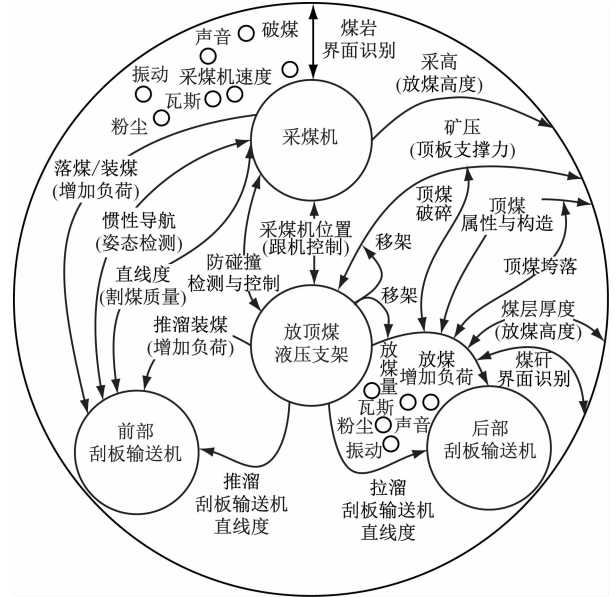


图1 放煤过程相关因素

Fig. 1 Related factors in coal caving process

### 2 自动放煤控制系统原理

在液压支架上安装声波传感器和振动传感器对放煤过程中垮落的煤矸进行感知,对关闭放煤口时的声波信号和振动信号进行分析,提取特征信号,并以此信号为判断放煤口自动关闭的条件。通过反复训练,对构建的模型进行修正。依据特征信号,采用自动和人工干预双模式并存的方式进行远程放煤控制,并通过一键启动实现在一个小的时间窗内的补放控制。

自动放煤控制系统的核心在于,根据人工操作实际中形成的范例和经验,通过设备学习模拟人的操作行为实现自动化放煤控制。首先,根据放煤特征,从范例库中检索出相似的范例,然后以知识库中的领域知识和经验为指导,根据问题的实际情况对检索到的范例加以调整、修改和综合,使之满足当前问题的求解需要<sup>[9]</sup>。

### 3 自动放煤控制策略

综采放顶煤工作面生产过程中,由于使用了大

功率采煤机、刮板输送机,采煤机速度可以达到10 m/min,而后部放煤控制还需要采用手动操作,放煤效率低,与前端割煤系统生产效率不匹配。使用自动化放煤后,可提高放煤速度,通过增加后部刮板输送机的运量,可以实现一采一放,最大限度地提高综采放顶煤工作面的生产效率。

### 3.1 跟机自动放煤

在液压支架完成移架后,顶煤出现悬臂结构,在顶板压力的作用下,顶煤垮落。依据放煤工艺,跟随采煤机位置,在完成移架的液压支架对放煤控制进行解锁,在与采煤机固定间距的位置启动自动放煤控制,实现逐架顺序放煤。

### 3.2 自动停止放煤控制

首先通过人工放煤操作,记忆下安装在液压支架上的振动传感器、声波传感器和刮板输送机上灰分传感器的信号波形<sup>[10-11]</sup>,特别关注即将关闭放煤口时的传感器信号。开始时可以多训练几次,尽量保证在该时间段的信号具有一定的重复度,以便找出信号特征。通过该信号特征可以指导或执行放煤口的自动关闭控制,自动结束放煤操作。

放煤结束时,以传感器控制为优先控制、放煤时间作为保护自动执行,同时操作人员可以在地面进行远程干预控制,并且远程控制优先级最高。当任意一个传感器信号或时间控制参数达到触发门限时,系统立即关闭放煤口,停止放煤。

(1) 振动传感器检测与控制。通过在液压支架尾梁上安装振动传感器,可以感知垮落的煤块和矸石砸在液压支架上的振动冲击信号。因为煤与矸石砸在金属的液压支架上的振动频率不同,所以根据振动频率可以有效辨识当前放落的顶煤情况<sup>[12-13]</sup>。结合人工放煤操作对振动传感器信号进行打标,将放煤过程分为碎矸、大块矸石等阶段,当采集的信号与煤矸特征信号相似度为85%~95%时进行预警,达到95%时自动关闭放煤口,停止放煤。

(2) 声波传感器检测与控制。通过在液压支架尾梁上安装声波传感器,可以感知放煤期间液压支架后部顶煤垮落时发出的声波,结合人工放煤操作对声波传感器信号进行打标,找出煤与矸石垮落的特征信号,进行煤矸界面识别<sup>[14]</sup>,当采集的信号与煤矸特征信号相似度为85%~95%时进行预警,达到95%时自动关闭放煤口,停止放煤。

(3) 灰分传感器检测与控制。通过后部刮板输送机上安装灰分传感器,可以有效辨识液压支架采出顶煤的含矸率<sup>[15]</sup>。当含矸率达到85%时将该

信息推送到地面调度室,提示操作人员关注工作面放煤情况;当含矸率达到95%时,通过网络发布工作面停止放煤命令,支架控制器接收到该命令后立即控制液压支架放煤口停止放煤。

(4) 放煤过程时间控制。在人工操作演练过程中,地面计算机记忆下放煤口动作操作流程和控制时间,并在此基础上增加10%作为自动放煤控制时间参数,当放煤时间达到该值时,立即停止放煤。

(5) 远程干预停止放煤控制。当振动传感器信号、声波传感器信号、灰分传感器信号与记忆特征信号相似度达到85%时,将经过处理的传感器信号波形和放煤结束控制标准信号特征波形同时推送到操作人员的计算机屏幕上,供操作人员判别。特征信号相似度为85%~95%时,操作人员可通过远程操作装置进行放煤口远程干预控制,停止放煤;当相似度达到95%时,自动停止放煤。当自动放煤控制时间达到人工操作记忆的时间参数时,系统自动弹出提示窗口,提示结束动作的时间,此时,操作人员也可以远程干预控制。

在地面调度室,操作人员还可以监听声波传感器的声音,如同在工作面液压支架上听放煤口放煤的声音一样,由于对噪声进行了剔除,其听到的声音更加清晰,可以准确控制放煤过程。

### 3.3 补放控制

为了保证煤炭含矸率达标,应尽量保证有效识别顶煤垮落的煤矸界面,并进行放煤口控制。当煤矸界面判断不准时,原则上应先停止放煤,待观察确认后再行补放。为此,在地面调度室设置一键补放控制功能,对刚完成放煤控制的支架再开一个时间窗口进行放煤控制,在补放过程中该时间窗口内传感器信号只起到监视作用,不参与放煤口的自动关闭控制。为确保煤炭含矸率达标,该时间窗口不宜过大,可通过多次补放使顶煤全部放出。同时,还可以利用该操作时间来修改记忆的放煤时间,以减少下一次自动放煤时的补放次数。

## 4 自动放煤控制系统调试

由于煤矿井下煤层赋存条件不断变化,如煤层厚度、煤矸属性等,所以,应以人工示范放煤为基础,通过在地面调度室远程干预,不断对控制时间、传感器特征信号波形进行修改,在系统自学习中使得控制模型不断完善,传感器煤矸信号特征界面更加清晰。在系统调试期间,可以在工作面通过人工巡视干预的方式放煤。在传感器信号与特征信号相似度

达到85%时,在正在放煤的支架控制器上进行预警,巡视人员可以观察放煤过程并进行人工干预,当系统运行稳定后,可以直接在地面调度室进行远程监视干预。

系统可以使用强约束放煤控制或弱约束放煤控制。强约束放煤控制,即单个传感器信号特征达到控制阈值时直接控制液压支架停止放煤,这样可以有效控制采出顶煤含矸率,确保煤炭质量。弱约束放煤控制,即具有2个及以上传感器信号特征达到控制阈值时才控制液压支架停止放煤,这样做的好处是一次性自动放煤完成率高,需要人工补放的次数较少。

## 5 结语

根据人工放煤过程采用的煤矸判别方法,在综采放顶煤工作面部署相应的传感器,感知振动、声波等信号并进行记忆,提取特征信号,通过系统自学习不断完善自动化控制模型,实现了多传感器融合、人机融合、多模式融合的自动放煤控制系统。该系统实现了以传感器感知控制为主、时间控制为保护值、地面调度室远程干预控制为辅的自动化放煤控制,提高了综采放顶煤工作面的自动化水平和生产效率,对综采放顶煤工作面实现无人化开采起到了积极的促进作用。

## 参考文献(References):

- [1] 王金华,黄乐亭,李首滨,等.综采工作面智能化技术与装备的发展[J].煤炭学报,2014,39(8):1418-1423.  
WANG Jinhua, HUANG Leting, LI Shoubin, et al. Development of intelligent technology and equipment in fully-mechanized coal mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1418-1423.
- [2] 王虹.综采工作面智能化关键技术研究现状与发展方向[J].煤炭科学技术,2014,42(1):60-64.  
WANG Hong. Development orientation and research state on intelligent key technology in fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 60-64.
- [3] 宋庆军.综放工作面放煤自动化技术的研究与应用[D].徐州:中国矿业大学,2015.
- [4] 陶显,林福严,张晓青,等.液压支架电液控制系统跟机自动化技术研究[J].煤炭科学技术,2012,40(12):84-87.  
TAO Xian, LIN Fuyan, ZHANG Xiaoqing, et al. Study on automatic following technology of electric and hydraulic control system applied in hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(12): 84-87.
- [5] 徐超.基于范例推理的钻井液配方专家系统的研究[J].石油工业计算机应用,2015(1):35-37.
- [6] 范志忠.自动化大采高综放工作面关键技术探讨[J].工矿自动化,2014,40(11):34-37.  
FAN Zhizong. Study on key technologies of automatic fully-mechanized top-coal caving face with large mining height[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(11): 34-37.
- [7] 马英.综采放顶煤液压支架智能控制技术研究[D].北京:煤炭科学研究总院,2015.
- [8] 邢占军.浅谈如何提高轻放综采工作面回采率[J].内蒙古煤炭经济,2017(23):42-43.
- [9] 田成金,魏文艳,朱小林.基于SAC型液压支架电液控制系统的跟机自动化技术研究[J].煤矿开采,2012,17(2):47-50.  
TIAN Chengjin, WEI Wenyan, ZHU Xiaolin. Automatic following coal-cutter technology of based on SAC electrohydraulic control system in powered support[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(2): 47-50.
- [10] 牛剑峰,李首滨,刘清,等.一种综采工作面带记忆功能的液压支架自动控制系统:201210349389.1[P].2012-09-20.
- [11] 牛剑峰.一种放顶煤工作面自动放煤控制系统及其放煤方法:201110388729.7[P].2011-11-30.
- [12] 张良,牛剑峰,代刚,等.综放工作面煤矸自动识别系统设计及应用[J].工矿自动化,2014,40(9):121-124.  
ZHANG Liang, NIU Jianfeng, DAI Gang, et al. Design of automatic identification system of coal and gague for fully-mechanized coal caving working face and its application [J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(9): 121-124.
- [13] 张良,牛剑峰,魏效征.一种使用煤岩识别处理器的煤岩识别方法:201310102321.8[P].2013-03-28.
- [14] 宋庆军,肖兴明,张天顺,等.基于声波的放顶煤过程自动控制系统[J].计算机工程与设计,2015(11):3123-3127.  
SONG Qingjun, XIAO Xingming, ZHANG Tianshun, et al. Automatic control system in top-coal caving based on acoustic wave[J]. Computer Engineering and Design, 2015(11): 3123-3127.
- [15] 邵高峰,杜恩友,梁文立,等.在线灰分检测仪在裴沟煤矿的应用[J].煤炭技术,2009(11):139.  
GAO Gaofeng, DU Enyou, LIANG Wenli, et al. Application of online ash onstrumentation unspction instrument in Peigou Coal Mine[J]. Coal Technology, 2009(11): 139.