

机电与自动化

煤矿重特大事故应急救援技术及装备

孙继平, 钱晓红

(中国矿业大学(北京), 北京 100083)

摘要:分析总结了煤矿事故应急救援技术现状,即煤矿事故发现和报警主要由人工完成,无便携式抗灾变应急通信装备,无遇险(难)人员定位系统,灾区远距离侦测主要采用高压气体发射探测球,应急预案针对性和实用性差,事故应急救援决策主要依靠经验,灾后风流调控通过主通风机反风,井下逃生通道构建主要靠人工等。提出了融合水源、水位、水质、隔水层和透水通道等多元信息的水灾事故自动发现和报警方法,融合温度、烟雾、气体等多元信息的火灾事故自动发现和报警方法,融合热、力、气等多元信息的瓦斯煤尘爆炸事故自动发现和报警方法。提出了抗灾变应急通信,遇险(难)人员定位,搜救机器人,灾区气体远距离遥测,基于大数据的应急预案和应急救援辅助决策,逃生通道机械化构建等方法。

关键词:煤矿事故;应急救援;灾害感知;应急通信;人员定位;灾区侦测

中图分类号:TD67 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)01-0112-05

Emergency rescue technology and equipment of mine extraordinary accidents

Sun Jiping, Qian Xiaohong

(China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The paper analyzed and summarized the emergency rescue technology status of the mine accidents. Thus the mine accident discovery and alarming were mainly completed manually and without the portable disaster emergency communication equipment and the refuge (distressed) personnel positioning system. A bulb detector launched with the high pressure gas was mainly applied to the remote detection of the disaster area. The pertinence and practicality of the emergency plan was poor and the decision making of the accident emergency rescue was mainly depended on the experiences. After the disaster occurred, the mine air flow was adjusted by the inverted ventilation of the main ventilator and the escape channel in the underground mine would be mainly set up manually and others. The auto discovery and alarm method of mine water disaster accident were provided with integrated water resources, water level, water quality, water isolated layer, water permeable channel and other multi element information. The auto discovery and alarm method of the mine fire accident was provided with integrated temperature, smoke, gas and multi element information. The auto discovery and alarm method of the mine gas and coal dust explosion accidents was provided with integrated heat, force, gas and other multi element information. An anti-disaster emergency communication, refuges (distress) personnel positioning, rescue robot, remote telemetering of the gas in the disaster area were provided based on big data emergency plan and emergency rescue assistant decision, mechanized construction of the escape channel and other method.

Key words: mine accidents; emergency rescue; disaster perception; emergency communication; personnel positioning; disaster area detection

收稿日期: 2016-10-29; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.01.019

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800)

作者简介: 孙继平(1958—),男,山西翼城人,教授,博士,博士生导师,现任中国矿业大学(北京)副校长。E-mail: sjp@cumt.edu.cn

引用格式: 孙继平, 钱晓红. 煤矿重特大事故应急救援技术及装备[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 112-116, 153.

Sun Jiping, Qian Xiaohong. Emergency rescue technology and equipment of mine extraordinary accidents[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 112-116, 153.

0 引言

我国煤矿重特大事故死亡人数中,瓦斯事故占66.5%,其次是水灾、火灾、提升等事故^[1]。事故调查结果表明,矿井火灾、瓦斯煤尘爆炸等事故,由于创伤和烧伤造成人员死亡人数不足20%,一氧化碳中毒窒息死亡人数达80%多。一氧化碳浓度越高、持续时间越长,对人体伤害越重,直至死亡。因此,快速有效的应急救援,将能挽救他们的生命。

2007年12月5日23时7分,山西洪洞瑞之源煤矿井下发生特别重大瓦斯爆炸事故,造成多人死亡。笔者作为国务院事故调查专家组组长,参加了本次事故调查。事故调查结果表明,爆源位于9号煤层40 m掘采工作面。爆源附近的24名作业人员发现事故后,及时逃生。而远离爆源的人员,因没有及时得到事故逃生通知,一氧化碳中毒死亡。这表明,及时发现事故并快速响应,可避免大量人员伤亡。

因此,研发灾害感知、应急通信、遇险(难)人员精确定位、灾区远距离侦测、灾后风流控制、逃生通道快速构建、智能应急预案和辅助决策等应急救援技术及装备,具有重要的理论意义和实用价值。

1 国内外现状

中国、美国、澳大利亚等主要产煤国都十分重视煤矿事故应急救援技术及装备研发和应用,减少了事故人员伤亡和财产损失,但仍难以满足煤矿事故应急救援的需求^[2-8]。

1) 灾害感知方面。现有各种安全监测监控技术、装备和系统,主要监测甲烷、一氧化碳、二氧化碳、氧气、烟雾、温度、风速、风压、风向、水位、水质等,不能辨识和感知瓦斯煤尘爆炸、火灾和水灾等。目前,煤矿事故发现和报警,主要由人工完成,存在发现晚、上报时间长、响应慢等问题,应急救援响应时间长,这将错过最佳黄金救援时间。特别当事故发生现场人员全部遇难,矿方将不能及时发现事故。

2) 应急通信方面。透地通信系统具有抗灾变能力强的优点,但存在着传输带宽窄、发射设备和发射天线体积大等问题,一般用于避难硐室或地面向井下单向通信。矿用有线调度系统可兼做应急通信系统,是迄今为止最经济有效的矿井应急通信系统,但通信终端为固定电话、不便携,抗灾变能力差,如果发生瓦斯爆炸、火灾、顶板冒落等事故,将会造成

通信线缆断缆和通信终端损坏等。矿用移动通信系统(包括感应、漏泄、PHS、WIFI、2G、3G、4G等)井下基站等需井下供电,当发生瓦斯超限,或瓦斯爆炸、火灾、水灾、顶板冒落等事故,井下电网停电后,系统将无法正常工作(备用电源维持正常工作时间一般为2 h)。矿用救灾通信系统装备由救护队随身携带,不能用于救护队员等没有到达的区域。

3) 遇险(难)人员定位方面。现有矿井人员定位系统分站和读卡器需井下供电,当发生瓦斯超限或瓦斯爆炸、火灾、水灾、顶板冒落等事故,井下电网停电后,系统将无法正常工作(备用电源维持正常工作时间一般为2 h),瓦斯爆炸等事故还会造成分站损坏、信号线缆断缆,存在着抗灾变能力差、定位精度低等问题,不能用于遇险(难)人员精确定位。

4) 灾区远距离侦测方面。现有灾区远距离侦测主要采用高压气体发射探测球的方法。将 CH_4 、 O_2 、 CO 、 CO_2 、温度等传感器和无线传输模块封装成侦测球;侦测球通过高压气体发射装置发射;侦测球检测到的 CH_4 、 O_2 、 CO 、 CO_2 、温度等灾区环境参数,通过无线电传输至终端(救护队员携带)。该系统存在着侦测距离近(不大于50 m)、侦测球碰撞巷道顶板和巷帮后易损坏(虽然侦测球有防护措施)等问题,特别是巷道坡度较大,侦测球落地后滚动,若向回滚动,侦测距离近;向前滚动,无线通信距离不够,无法将灾区侦测参数回传。

5) 应急预案和辅助决策方面。目前,应急预案针对性差、实用性差;事故应急救援决策主要依靠应急救援经验,决策慢、决策难。

6) 灾后风流调控与逃生引导方面。有效的灾后风流控制是减少人员伤亡的有效措施。目前,发生火灾和瓦斯煤尘爆炸事故后,通过主要通风机反风,不能及时有效控制灾后风流。煤矿井下灾后逃生引导主要是引导绳、标志和没有被破坏的广播通信系统等。

7) 逃生通道构建方面。目前,灾后逃生通道构建主要有便携式破拆工具、便携式支撑工具和救援钻机。便携式破拆和支撑工具采用液压方式,具有便于携带、无需其他动力、可用于狭小空间等优点,但存在着构建速度慢、效率低、救护队员劳动强度大、安全性差等问题。救援钻机具有效率高的优点,但需外部动力、作业空间大等。

因此,急需针对煤矿事故应急救援需求,进行灾害感知、应急通信、遇险(难)人员精确定位、灾区远

距离侦测、灾后风流控制、逃生通道构建、智能应急预案和辅助决策等应急救援技术及装备研究。

2 关键科学技术问题及主要研究内容

2.1 矿井水灾识别及时空演化模型

在矿井水灾发生机理研究的基础上,融合水源、水位、水质、隔水层、透水通道等信息,研究水灾识别方法;进而根据矿井巷道等环境信息,研究水灾的时空演化模型,对水灾波及区域进行时空估计和预测等;为水灾感知、应急预案、应急救援决策等提供支撑。

2.2 矿井火灾燃烧特性及烟流扩散规律

在矿井采空区和巷道等不同类型及不同环境火灾燃烧特性研究的基础上,研究火灾识别和火灾源分析方法;融合巷道、风流等信息研究火灾的演化规律、烟流动态传播与扩散模型等;为火灾感知、应急预案、应急救援决策等提供支撑。

2.3 瓦斯煤尘爆炸传播演化规律及识别方法

在矿井瓦斯煤尘爆炸的热、力、气等多元信息融合分析的基础上,研究瓦斯煤尘爆炸事故的快速识别方法;在瓦斯煤尘爆炸多场耦合研究的基础上,研究事故破坏效应评估方法和灾情演化模型;在灾情演化研究的基础上,研究二次爆炸危险性判断方法等;为瓦斯煤尘爆炸感知、应急预案、应急救援决策等提供支撑。

2.4 煤矿重大灾害感知技术和装备

在水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸识别模型研究的基础上,研究3种重大灾害的快速感知和多元信息融合技术,进而研发水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸感知报警装置,为水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸事故的快速发现和应急系统快速响应提供必要的技术和装备。

2.5 智能应急预案及应急救援辅助决策技术和系统

在水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸事故区域辨识、破坏效应评估和波及范围预测模型和方法研究的基础上,研发基于大数据的智能应急预案技术、应急预案快速启动技术、应急救援辅助决策技术、事故模拟推演技术等;研发智能应急预案系统、应急救援辅助决策系统、应急救援指挥系统等;为应急救援快速响应科学施救提供技术和系统支撑。

2.6 灾害矿井应急通信及人员定位技术和系统

研究煤矿井下水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸等灾变环境,应急通信及人员定位特点;研究煤矿井下灾

变环境无线传输规律;研发遇险(难)人员精确定位技术;研发系统抗爆炸冲击、高温、水淹等技术;研发事故后,煤矿井下全部停电后,应急通信及遇险(难)人员精确定位技术;研发事故后,电缆和光缆全部断缆后,应急通信及遇险(难)人员精确定位技术;研发系统本质安全防爆技术;研发抗灾变高可靠性矿井应急通信系统;研发抗灾变高可靠性遇险(难)人员精确定位系统等,为遇险人员应急通信、遇险(难)人员精确定位提供可靠的装备保障^[8-12]。

2.7 煤矿重大灾害紧急逃生与引导技术和系统

在火灾和瓦斯煤尘爆炸事故区域辨识、破坏效应评估和波及范围判定模型和方法研究的基础上,研发火灾和瓦斯煤尘爆炸灾后风流智能控制技术;研发电缆和光缆断缆后,智能风流控制技术;研发火灾和瓦斯煤尘爆炸灾后风流智能控制系统和装置。研发广播通信、人员定位、语音通信、视频监控、监测监控等多系统协同联动逃生引导技术和系统;研发单兵智能逃生引导装置。研发GIS多人协同应急救援演练技术和系统。为遇险人员提供安全逃生通道、逃生引导;为煤矿井下作业人员和救护队员培训,提供演练平台。

2.8 煤矿灾变环境信息侦测和存储技术及装备

针对矿井灾后巷道底板有冒落物和积水等实际,研发本质安全防爆灾后环境侦测飞行机器人;研发灾后环境侦测飞行机器人导航技术、避障技术、防碰撞技术和远距离通信技术;研发本质安全防爆动力约束下,灾后环境侦测飞行机器人挂载量、长飞行距离和续航时间技术^[8-12]。研发灾后环境气体遥感技术、爆炸危险性智能分析技术等^[8-12]。为救护队员提供远距离侦测装备,为应急救援指挥中心提供煤矿井下灾后环境气体、温度、图像、声音等信息,为逃生通道快速构建系统提供作业环境瓦斯遥测和监测装备。

2.9 煤矿重大灾害抢险救灾技术与装备

为满足煤矿井下防爆要求,研发不含铝、镉、锌、镁等便携式破拆和支护技术及装备。研发适应煤矿井下灾后环境、小型逃生通道快速构建系统及装备;研发逃生通道快速构建系统防爆动力技术;研发具有挖掘、清除、剪切、破碎、支撑、移位等多功能一体化抢险救灾技术和装备;研发抢险救灾作业环境安全保障技术等。为打通救援通道提供高效、快速、适用抢险救灾装备。

3 研究任务之间相互关系

主要研究任务之间逻辑关系如图1所示。

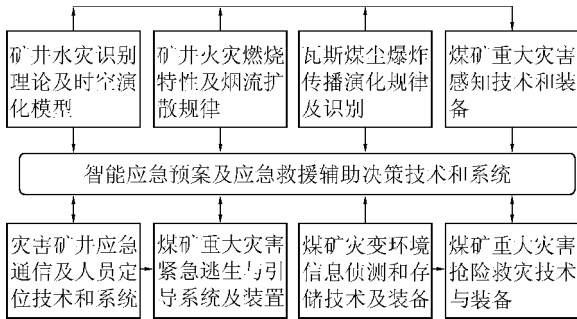


图1 主要研究任务之间逻辑关系

1) 矿井水灾识别理论及时空演化模型。研究煤矿水灾演化规律等,提出水灾辨识特征和波及范围判定模型和方法等,为“智能应急预案及应急救援辅助决策系统”提供支撑。其中,提出的水灾辨识特征,为“煤矿重大灾害感知技术和装备”提供支撑。

2) 矿井火灾燃烧特性及烟流扩散规律。研究煤矿火灾演化规律等;提出火灾辨识特征和波及范围判定模型和方法等,为“智能应急预案及应急救援辅助决策系统”提供支撑。其中,提出的水灾辨识特征,为“煤矿重大灾害感知技术和装备”提供支撑。

3) 瓦斯煤尘爆炸传播演化规律及识别。研究瓦斯煤尘爆炸演化规律及破坏效应等;提出瓦斯煤尘爆炸辨识特征和波及范围判定模型和方法等,为“智能应急预案及应急救援辅助决策系统”提供支撑。其中,提出的水灾辨识特征,为“煤矿重大灾害感知技术和装备”提供支撑。

4) 煤矿重大灾害感知技术和装备。依据“矿井水灾识别理论及时空演化模型”、“矿井火灾燃烧特性及烟流扩散规律”和“瓦斯煤尘爆炸传播演化规律及识别”提出的水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸辨识特征,研发水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸等煤矿重大灾害感知技术和装备,为“智能应急预案及应急救援辅助决策系统”提供支撑。

5) 智能应急预案及应急救援辅助决策技术和系统。根据“矿井水灾识别理论及时空演化模型”、“矿井火灾燃烧特性及烟流扩散规律”和“瓦斯煤尘爆炸传播演化规律及识别”提出的水灾、火灾和瓦斯煤尘爆炸辨识特征和波及范围判定模型和方法等,研发智能应急预案及应急救援辅助决策系统。

智能应急预案及应急救援辅助决策系统,通过煤矿重大灾害感知技术和装备、灾害矿井应急通信及人员定位系统等,获取煤矿井下灾变信息和人员位置信息等。煤矿重大灾害感知技术和装备发现事故发生后,自动快速启动(也可手动启动)智能应急预案及应急救援辅助决策系统。智能应急预案及应急救援辅助决策系统生成应急救援方案,并动态优化。根据应急救援方案,自动快速启动(也可手动启动)煤矿重大灾害紧急逃生与引导系统及装置,为遇险人员逃生提供支持。根据救援方案,救护队进行抢险救灾,救护队员使用煤矿灾变环境信息侦测、存储技术与装备,以及煤矿重大灾害抢险技术与装备进行救援。同时,智能应急预案及应急救援辅助决策系统,根据救护队员获取的灾变环境信息、通过灾害矿井应急通信及人员定位系统等获取的煤矿井下灾变信息和人员位置信息等,进一步优化应急救援方案。

6) 灾害矿井应急通信及人员定位技术和系统。研发的遇险(难)人员精确定位系统,实时将遇险(难)人员位置信息上传至智能应急预案及应急救援辅助决策系统;研发的应急通信系统,为遇险人员提供通信联络,同时为智能应急预案及应急救援辅助决策系统提供信息。

7) 煤矿重大灾害紧急逃生与引导系统及装置。研发的紧急逃生引导系统及装置,根据智能应急预案及应急救援辅助决策系统生成的应急处置方案,引导煤矿井下遇险人员逃生;研发的火灾和爆炸灾后风流控制系统及装置,根据应急救援方案,自动调控(也可手动)煤矿井下风流,为遇险人员逃生和救护队员救援提供安全通道。

8) 煤矿灾变环境信息侦测和存储技术及装备。研发的煤矿灾变环境信息侦测和存储装备,为救护队员侦测灾变环境提供手段。智能应急预案及应急救援辅助决策系统,通过煤矿灾变环境信息侦测和存储装备和救护队员侦测到的灾后环境信息等,进一步优化应急救援方案。

9) 煤矿重大灾害抢险救灾技术与装备。研发的煤矿重大灾害抢险技术与装备,为救护队员打通救援通道提供工具。抢险救灾根据智能应急预案及应急救援辅助决策系统生成的救援方案进行。

4 技术路线

根据煤矿重特大事故应急救援基础理论—关键

技术—核心装备—示范应用全链条融合的思路,采用理论分析、试验测试、数值模拟、物理模拟、现场测试等多种方法,开展矿井水灾、火灾、瓦斯煤尘爆炸灾情演变规律等研究;研发煤矿重特重大事故应急救援技术及装备研发等;并示范应用。拟采取的研究方法和技术路线如图2所示。



图2 技术路线

5 结 语

通过对水灾、火灾、瓦斯煤尘爆炸等重特大事故的发生和发展规律、灾害辨识和感知、智能应急预案和应急救援辅助决策支持、应急通信和人员定位、智能风流控制和逃生引导、侦测飞行机器人和气体遥感、应急救援通道快速构建等基础研究、技术和装备研发,最终形成定量分析、定性分析和经验分析结合互补的,具有事故识别及波及范围推定、智能化应急预案和辅助决策系统、遇险人员自救逃生保障系统和救灾技术支持等应急救援所需重要功能的煤矿重特重大事故应急处置和救援技术装备系统,解决煤矿重特重大事故应急处置和救援实践急需解决的共性关键性科学技术问题,具有重大的科学价值。

煤矿火灾、瓦斯煤尘爆炸等重特大事故发生后,其致灾影响程度和范围逐步扩大,因此,时间就是生命在煤矿火灾和瓦斯煤尘爆炸等重特大事故处理实

践得到最好的验证。遇险人员立即知情应急自救,可以使遇险人员在事故致灾影响波及到之前及时脱离灾害危险区域;救援指挥及时正确应急决策,可以使救援行动响应在应急救援的黄金时间内得以实施,将大幅减少遇险人员的死亡率;这将在事故发生后,尽可能多地挽救遇险人员的生命,具有重大的社会效益。

参考文献 (References) :

- [1] 孙继平.互联网+煤矿监控与通信[M].北京:煤炭工业出版社,2016.
- [2] 孙继平,钱晓红.煤矿事故与应急救援技术装备[J].工矿自动化,2016,42(10):1-5.
Sun Jiping. Coal mine accident and emergency rescue technology and equipment[J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(10): 1-5.
- [3] 孙继平.煤矿井下紧急避险与应急救援技术[J].工矿自动化,2014,40(1):1-4.
Sun Jiping. Technologies of emergency refuge and rescue used in underground coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(1): 1-4.
- [4] 孙继平.煤矿井下紧急避险关键技术[J].煤炭学报,2011,36(11):1890-1894.
Sun Jiping. Research on key technologies of emergency refuge system in underground coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(11): 1890-1894.
- [5] 孙继平.煤矿井下避难硐室与救生舱关键技术研究[J].煤炭学报,2011,36(5):713-717.
Sun Jiping. The key technologies of the refuge chamber and rescue capsule in the underground coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(5): 713-717.
- [6] 孙继平.煤矿井下紧急避险系统研究[J].煤炭科学技术,2011,39(1):69-71.
Sun Jiping. Research on emergency refuge system in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(5): 69-71.
- [7] 孙继平.井下紧急避险系统避难硐室建设方法与技术[J].煤炭科学技术,2013,41(9):40-43.
Sun Jiping. Construction method and technology of refuge chamber for emergency refuge system in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 40-43.
- [8] 孙继平.煤矿井下安全避险“六大系统”的作用和配置方案[J].工矿自动化,2010,36(11):1-4.
Sun Jiping. Effect and configuration of "six systems" for safe act of rescue of coal mine underground[J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(11): 1-4.
- [9] 孙继平.煤矿监控新技术与新装备[J].工矿自动化,2015,41(1):1-5.
Sun Jiping. New technologies and new equipments of coal mine mo-

(下转第153页)

- 1777-1782.
- [8] 梁利闯,田嘉劲,郑辉,等.冲击载荷作用下液压支架的力传递分析[J].煤炭学报,2015,40(11):2522-2527.
Liang Lichuang, Tian Jiajin, Zheng Hui, et al. A study on force transmission in a hydraulic support under impact loading on its canopy beam[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(11): 2522-2527.
- [9] 刘付营,张定堂,李宁宁,等.反四连杆放顶煤液压支架掩护梁受力对整架受力的影响[J].煤矿机械,2012,33(7):101-103.
Liu Fuying, Zhang Dingtang, Li Ningning, et al. Force effect of anti-four-link caving hydraulic powered support on shield beam forcing[J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(7): 101-103.
- [10] 陈冬方,李首滨.基于液压支架倾角的采煤高度测量方法[J].煤炭学报,2016,41(3):788-793.
Chen Dongfang, Li Shoubin. Measurement of coal mining based on hydraulic support structural angle[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(3): 788-793.
- [11] 马超,张连英,李雁.扭转工况支撑掩护式液压支架掩护梁力学性能分析[J].煤矿机械,2013,34(9):97-98.
Ma Chao, Zhang Lianying, Li Yan. Mechanical performance analysis of caving shield of supporting and shield hydraulic support during torsion[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(9): 97-98.
- [12] 章之燕.大倾角综放液压支架稳定性动态分析和防倒防滑措施[J].煤炭学报,2007,32(7):705-709.
Zhang Zhiyan. Dynamic analysis on stability of hydraulic powered support in deep inclined fully-mechanized wall and prevention slips measures [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(7): 705-709.
- [13] 卢国志,汤建泉,宋振骥.传递岩梁周期断裂步距与周期来压步距差异分析[J].岩土工程学报,2010,32(4):538-541.
Lu Guozhi, Tang Jianquan, Song Zhenqi. Difference between cyclic fracturing and cyclic weighting interval of transferring rock beams [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(4): 538-541.
- [14] 余龙,秦东晨,武红霞,等.基于Pro/E和ADAMS的液压支架虚拟样机建模与仿真研究[J].煤矿机械,2009,30(11):36-38.
Yu Long, Qin Dongchen, Wu Hongxia, et al. Virtual prototype modeling and simulation of hydraulic support based on Pro/E and ADAMS [J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30(11): 36-38.
- [15] 郑晓雯,张东杰,李锦彪,等.基于Pro/E与ADAMS的液压支架运动仿真分析[J].煤矿机械,2011,32(6):237-239.
Zheng Xiaowen, Zhang Dongjie, Li Jinbiao, et al. Movement simulation and analysis of hydraulic support based on Pro/E and ADAMS [J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(6): 237-239.
- [16] 徐亚军,王国法,任怀伟,等.液压支架与围岩刚度耦合理论与应用[J].煤炭学报,2015,40(11):2528-2533.
Xu Yajun, Wang Guofa, Ren Huaiwei, et al. Theory of coupling relationship between surrounding rocks and powered support [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(11): 2528-2533.
- [17] 于本胜,王志鹏,马建宏,等.复杂地址条件下综采液压支架适应性研究[J].采矿与安全工程学报,2009,26(1):101-104.
Yu Bensheng, Wang Zhipeng, Ma Jianhong, et al. Adaptability of hydraulic support in fully mechanized caving under complicated geological conditions [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2009, 26(1): 101-104.

(上接第116页)

- monitoring [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(1): 1-5.
- [10] 孙继平.煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J].工矿自动化,2015,41(2):1-5.
Sun Jiping. Characteristics of coal mine accidents and new technologies of coal mine communication, personnel positioning and monitoring [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(2): 1-5.
- [11] 孙继平.煤矿信息化与自动化发展趋势[J].工矿自动化, 2015, 41(4): 1-5.
Sun Jiping. Development trend of coal mine informatization and automation [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(4): 1-5.
- [12] 孙继平.煤矿信息化自动化新技术与发展[J].煤炭科学技术, 2016, 44(1): 19-23, 83.
Sun Jiping. New technology and development of mine informatization and automation [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 19-23, 83.