



文章编号: 1671-251X(2024)05-0001-06

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.18188

煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故 自动发现与报警方法研究

孙继平, 程继杰

(中国矿业大学(北京)人工智能学院, 北京 100083)

摘要: 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出自动感知报警方法是及时发现事故并应急救援, 减少人员伤亡, 避免或减少瓦斯和煤尘爆炸等次生事故发生, 遏制事故迟报、漏报和瞒报的有效措施。煤矿冲击地压事故感知难, 目前还没有煤矿冲击地压事故自动发现和报警方法, 煤矿冲击地压事故主要靠人工发现。目前仅有基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法, 但存在响应速度慢、甲烷传感器损毁前监测不到甲烷浓度大幅升高等问题。提出了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法: 根据煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出温度、颜色、深度、掩埋等图像特征, 识别煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出; 再根据巷道空间和采掘工作面的甲烷浓度变化, 区分冲击地压和煤与瓦斯突出, 如果甲烷浓度大面积迅速升高, 则判定为煤与瓦斯突出, 否则判定为冲击地压。该方法具有直观、响应速度快、非接触、监测范围广、简单可靠等优点, 可直观地记录煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出真实情况; 当煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故报警后, 调度室值班人员可以通过录像, 立即确认事故, 及时进行应急救援。提出了减少煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩对图像感知影响的方法: 摄像机多点布置, 摄像机设置在较高位置, 视频数据及时传输, 甲烷传感器多点布置等。

关键词: 冲击地压; 煤与瓦斯突出; 煤矿事故感知; 灾害报警; 图像识别

中图分类号: TD324/712.7

文献标志码: A

Research on automatic detection and alarm methods for coal mine rock burst and coal and gas outburst accidents

SUN Jiping, CHENG Jijie

(School of Artificial Intelligence, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The automatic perception and alarm method for coal mine rock burst and coal and gas outburst is an effective measure to timely detect accidents and emergency rescue, reduce casualties, avoid or reduce secondary accidents such as gas and coal dust explosions, and curb delayed, missed, and concealed reporting of accidents. It is difficult to perceive coal mine rock burst accidents, and there is currently no automatic detection and alarm method for coal mine rock burst accidents. Coal mine rock burst accidents are mainly discovered manually. At present, there are only automatic alarm methods for coal and gas outbursts based on methane, wind

收稿日期: 2024-04-22; 修回日期: 2024-05-26; 责任编辑: 盛男。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0801800)。

作者简介: 孙继平(1958—), 男, 山西翼城人, 教授, 博士, 博士研究生导师, 中国矿业大学(北京)原副校长; 获国家科技进步奖和技术发明奖二等奖4项(第1完成人3项); 作为第1完成人获省部级科技进步特等奖和一等奖9项; 作为第1完成人主持制定中华人民共和国煤炭行业、安全生产行业和能源行业标准48项; 作为第1发明人获国家授权发明专利130余件; 主持制定《煤矿安全规程》第十一章“监控与通信”; 被SCI和EI检索的第1作者或独立完成论文100余篇; 作为第1作者或独立完成著作12部; 作为国务院煤矿事故调查专家组组长参加了10起煤矿特别重大事故调查工作; E-mail: sjp@cumt.edu.cn。



扫码移动阅读

引用格式: 孙继平, 程继杰. 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故自动发现与报警方法研究[J]. 工矿自动化, 2024, 50(5): 1-5, 13.

SUN Jiping, CHENG Jijie. Research on automatic detection and alarm methods for coal mine rock burst and coal and gas outburst accidents[J]. Journal of Mine Automation, 2024, 50(5): 1-5, 13.

speed, and direction sensors. There are problems such as slow response speed and inability to detect significant increases in methane concentration before methane sensor damage. A method for image perception and alarm of coal mine rock burst and coal and gas outburst has been proposed. Based on the image features of coal mine rock burst and coal and gas outburst temperature, color, depth, burial, etc., the method recognizes coal mine rock burst and coal and gas outburst. Based on the changes in gas concentration in the roadway space and mining face, the method distinguishes between rock burst and coal and gas outburst. If the gas concentration rapidly increases over a large area, it is judged as coal and gas outburst, otherwise it is judged as rock burst. This method has the advantages of intuitiveness, fast response speed, non-contact, wide monitoring range, simplicity and reliability, and can intuitively record the real situation of coal mine rock burst and coal and gas outburst. When the coal mine rock burst and coal and gas outburst accidents are alarmed, the personnel on duty in the control room can immediately confirm the accident through video recording and carry out emergency rescue in a timely manner. A method has been proposed to reduce the impact of coal mine rock burst and coal and gas outbursts on image perception, including multi point arrangement of cameras, setting of cameras at higher positions, timely transmission of video data, and multi-point arrangement of methane sensors.

Key words: rock burst pressure; coal and gas outburst; perception of coal mine accidents; disaster alarm; image recognition

0 引言

煤炭是我国主要能源,一次能源占比超 60%,是国家能源安全稳定供应的“压舱石”,并且煤炭的主体能源地位短期内无法改变^[1-2]。煤炭行业是高危行业,随着煤炭开采深度和强度的增加,煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出已成为我国煤炭开采的主要灾害,严重威胁煤矿安全生产^[1-2]。

目前煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出监测预警方法主要有钻屑法、微震法、声发射法、电磁辐射法、电测法、声波探测法、顶板离层观测法、煤岩体变形测量法、应力监测法及红外辐射法等^[3-9],在煤矿安全生产中发挥着重要作用。目前煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出监测预警方法通过分析有关参数变化趋势,判断动力灾害发生的危险性和可能性;但无法预报动力灾害发生时间、位置和强度等;在煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出发生时,也不能精准报警。目前煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出监测预警方法主要用于长期监测预警,指导钻孔卸压和抽采等防治冲击地压和煤与瓦斯突出作业,消除冲击地压和煤与瓦斯突出危险因素,但不能替代煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故报警。

煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故诱因复杂,目前致灾机理尚不完全清楚,煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出监测预警效果还难以满足我国煤矿安全生产需求,煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故仍时有发生。目前,煤矿冲击地压事故主要靠人工发现,如果灾源附近人员全部遇难或被困,不在灾源的井下作业人员和地面调度室则不能及时发现灾害并应急

救援,进而导致遇险人员窒息或失血过多而死亡,还会引发瓦斯和煤尘爆炸等严重次生事故。及时发现灾害,尽早疏通堵塞巷道和应急救援,争取黄金救援时间,则可减少掩埋和窒息造成的人员死亡,避免或减少瓦斯和煤尘爆炸等次生事故造成的大量人员伤亡,也可有效遏制煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故的迟报、漏报和瞒报。因此,研究煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法,具有重要理论意义和实用价值。

1 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故报警现状

1.1 煤矿冲击地压报警现状

煤矿冲击地压事故感知难。目前仅有基于声音的煤矿冲击地压感知报警的设想^[10],但难以排除采掘和运输等声音的影响,并且受声音传播速度慢的影响,响应速度慢。因此,目前煤矿冲击地压主要靠人工发现,还没有自动发现和报警的方法。

1.1.1 煤矿井下人工就地报警

当煤矿井下发生冲击地压事故,事故现场人员发现后,通过矿用调度电话向矿调度室报警。但如果灾源附近人员全部遇难或被困,不在灾源附近的井下作业人员不能尽早发现事故和报警,更不能及时应急救援。

1.1.2 调度室人工查看视频监控报警

目前煤矿井下设有摄像机,当发生事故时,如果调度员正好观察到该摄像机画面,可以发现事故。但煤矿井下摄像机多达数百台,地面调度室的调度员不能同时观察数百台摄像机画面。当冲击地压灾

害发生瞬间,地面调度室人员往往不能及时发现和报警。

1.2 煤与瓦斯突出报警现状

目前,煤与瓦斯突出自动报警方法仅有基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法^[11-12]和基于声音的煤与瓦斯突出感知报警的设想^[10]。

1.2.1 基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法

基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法已推广应用^[11-12]。煤与瓦斯突出喷出的瓦斯运移到甲烷传感器时间长,多达数分钟。甲烷传感器将甲烷浓度转换为电信号的响应时间多达20 s。煤与瓦斯突出抛出的煤岩速度快。因此,基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法受甲烷运移时间和传感器响应时间等影响,存在响应速度慢、甲烷传感器损毁前监测不到甲烷浓度大幅升高等问题。

基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法主要根据甲烷浓度异常变化等进行报警。冲击地压灾害发生时,一般情况不会造成甲烷浓度明显变化。因此,基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法不能用于煤矿冲击地压报警。

1.2.2 基于声音的煤与瓦斯突出感知报警的设想

煤与瓦斯突出声音相对采掘和运输等声音较弱。因此,基于声音的煤与瓦斯突出感知报警的设想^[10]难以排除采掘和运输等声音的影响,并且受声音传播速度慢的影响,响应速度慢。

2 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出特征

煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出均是由于煤岩体承受压力超过自身强度极限,使得聚集在巷道周围煤岩体中的能量突然释放,导致大量破碎煤岩抛向采掘工作面 and 巷道空间的煤岩动力灾害。煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出虽内在机理不同,但外在显现规律具有相似性^[13-15]: ① 大量煤岩突然破坏,并抛向采掘工作面 and 巷道空间。② 大量抛出的破碎煤岩速度较高,可达50 m/s。③ 大量抛出的破碎煤岩在采掘工作面 and 巷道空间扩散和堆积。④ 造成巷道支护和机电设备等损毁、倾倒、变形和移动。⑤ 造成水管、电缆、瓦斯抽采管路等损毁和坠落。⑥ 造成巷道毁坏及支护、机电设备和人员等被抛出煤岩掩埋。⑦ 造成采掘工作面 and 巷道空间产生强烈震动和煤岩破碎声响。⑧ 造成矿井风速和空气压力迅速增

大后回落,风流反向,通风系统损毁。⑨ 造成采掘工作面 and 巷道空间产生电磁辐射和红外辐射。⑩ 造成煤矿井下人员伤亡。

冲击地压发生时,瓦斯释放量远小于煤与瓦斯突出,一般情况下甲烷浓度没有明显变化。煤与瓦斯突出发生时,会释放大量瓦斯,巷道中甲烷浓度升高,升高速度及波及范围远大于冲击地压。因此可根据甲烷浓度升高速度和波及范围,区分煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出。

3 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法

文献^[16]和文献^[17]揭示了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出的温度特征:煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩温度高于巷道、煤壁和已剥离煤岩的温度。文献^[18]和文献^[19]揭示了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出的颜色特征:煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩颜色与井下设备非黑色和非褐色有明显差异。文献^[20]揭示了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出的深度特征:煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩深度变化速度高于正常生产和顶板冒落造成的深度变化速度。文献^[21]揭示了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出的掩埋特征:煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩造成的颜色及其图形面积、形状(圆形度、矩形度和面积周长比)变化,不同于正常生产和顶板冒落的变化,其变化速度快、规则度低。

根据煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出温度、颜色、深度、掩埋等图像特征^[16-21],本文提出了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法,流程如图1所示。根据煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出温度、颜色、深度、掩埋等图像特征,识别煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出;再根据巷道空间和采掘工作面的甲烷浓度变化,区分冲击地压和煤与瓦斯突出,如果甲烷浓度迅速大面积升高,则判定为煤与瓦斯突出,否则判定为冲击地压。

煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法具有直观、响应速度快、非接触、监测范围广、简单可靠等优点。该方法可直观地记录煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出真实情况。当煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故报警后,调度室值班人员可通过录像,立即确认事故,及时进行应急救援。

4 减少煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩对图像感知影响的方法

煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩,会

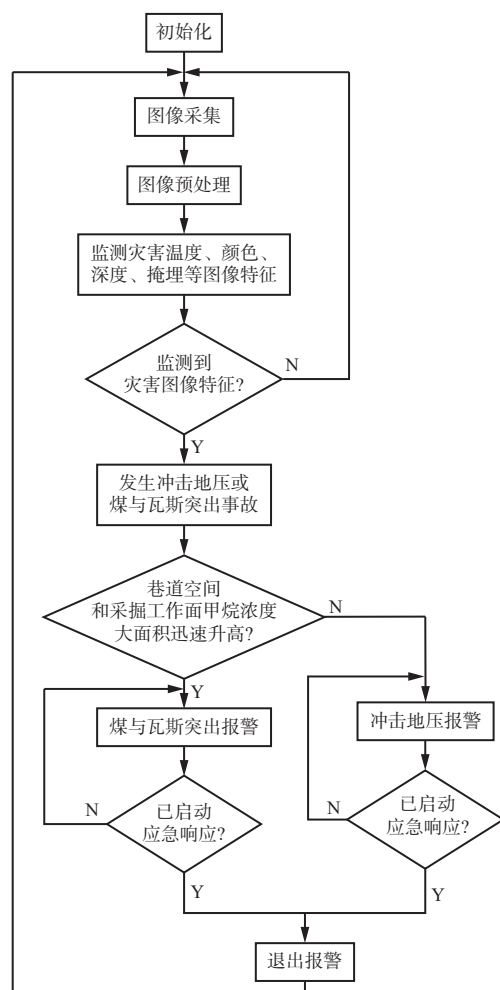


图 1 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法

Fig. 1 Image perception alarm method of coal mine rock burst and coal and gas outburst

造成摄像机和传感器损毁。为减少煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩对图像感知的影响,本文提出了减少煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩对图像感知影响的方法,具体内容如下。

1) 摄像机多点布置。煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出的发生是一个短时、急剧而又猛烈的过程,可造成数百米范围内的巷道和设备损坏。为防止煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩造成摄像机损毁或失效,摄像机应多点布置。摄像机应安装在掘进工作面、掘进巷道中间和入口,回采工作面、进风巷道中间和入口,主运输大巷和辅助运输大巷等地点。煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出发生时,靠近灾源附近的摄像机会被损毁,但离灾源较远的摄像机会被保存下来,用于动力灾害感知报警。

2) 摄像机设置在较高位置。在同样条件下,靠近顶板的位置受煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩影响小。因此,摄像机应设置在巷道顶板、巷道两帮靠近顶板、液压支架顶部及液压立柱靠近顶

部等较高位置,以减小煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩影响。

3) 视频数据及时传输。光信号传播速度远大于煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩速度。因此,抛出的煤岩到达摄像机之前,摄像机已采集到煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像。光信号和电信号传输速度远大于煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩速度。因此,及时通过光缆和电缆等传输视频数据,可以在摄像机及线缆(电缆和光缆)损毁前,将已采集到的图像信号传输到地面,用于煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警。

4) 甲烷传感器多点布置。甲烷传感器应设置在掘进工作面及其回风流、采煤工作面及其回风巷和进风巷、总回风巷等地点,感知瓦斯是否大范围大幅升高。如果甲烷浓度均大幅升高,则判定为煤与瓦斯突出;否则,判定为冲击地压。当然,煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩会造成传感器损毁或失效,但未被损毁或失效的传感器可用于煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警。

5 结论

1) 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出自动感知报警方法是及时发现事故并应急救援,减少人员伤亡,避免或减少瓦斯和煤尘爆炸等次生事故发生,有效遏制事故迟报、漏报和瞒报的有效措施。

2) 煤矿冲击地压事故特征感知难,目前仅有基于声音的煤矿冲击地压感知报警的设想,但难以排除采掘和运输等声音的影响,并且受声音传播速度慢的影响,响应速度慢。因此,目前煤矿冲击地压主要靠人工发现,还没有自动发现和报警的方法。

3) 目前,煤与瓦斯突出自动报警方法仅有基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法和基于声音的煤与瓦斯突出感知报警的设想。但基于甲烷、风速和风向传感器的煤与瓦斯突出自动报警方法存在响应速度慢、甲烷传感器损毁前监测不到甲烷浓度大幅升高等问题;基于声音的煤与瓦斯突出感知报警的设想难以排除采掘和运输等声音的影响,并且受声音传播速度慢的影响,响应速度慢。

4) 提出了煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法:根据煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出温度、颜色、深度、掩埋等图像特征,识别煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出;再根据巷道空间和采掘工作面的甲烷浓度变化,区分冲击地压和煤与瓦斯突出,如果甲烷浓度大面积迅速升高,则判定为煤与瓦斯突

出,否则判定为冲击地压。该方法具有直观、响应速度快、非接触、监测范围广、简单可靠等优点,可直观地记录煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出真实情况;当煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出事故报警后,调度室值班人员可以通过录像,立即确认事故,及时进行应急救援。

5) 提出了减少煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出抛出的煤岩对图像感知影响的方法:摄像机多点布置,摄像机设置在较高位置,视频数据及时传输,甲烷传感器多点布置等。

参考文献(References):

- [1] 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, QIAN Xiaohong. Coal mine accident and emergency rescue technology and equipment[J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(10): 1-5.
- [2] 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.
- [3] GB/T 25217.4—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第4部分:微震监测方法[S].
GB/T 25217.4-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst-Part 4: Monitoring method of microseismicity[S].
- [4] GB/T 25217.5—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第5部分:地音监测方法[S].
GB/T 25217.5-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst-Part 5: Monitoring method of earth-sound[S].
- [5] GB/T 25217.6—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第6部分:钻屑监测方法[S].
GB/T 25217.6-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst-Part 6: Monitoring method of drilling bits[S].
- [6] GB/T 25217.7—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第7部分:采动应力监测方法[S].
GB/T 25217.7-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst-Part 7: Monitoring method of mining-induced stress[S].
- [7] GB/T 25217.8—2021 冲击地压测定、监测与防治方法 第8部分:电磁辐射监测方法[S].
GB/T 25217.8-2021 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst-Part 8 : Monitoring method of electromagnetic radiation[S].
- [8] MT/T 839—1999 石门揭穿煤层煤与瓦斯突出危险性的测定方法[S].
MT/T 839-1999 Measuring method of coal and outburst risk while a cross-cut passing through a seam[S].
- [9] 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2019.
State Administration of Coal Mine Safety. Rules of coal and gas outburst prevention[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2019.
- [10] 孙继平,余星辰. 基于声音识别的煤矿重特大事故报警方法研究[J]. 工矿自动化, 2021, 47(2): 1-5, 44.
SUN Jiping, YU Xingchen. Research on alarm method of coal mine extraordinary accidents based on sound recognition[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(2): 1-5, 44.
- [11] 孙继平. 煤与瓦斯突出报警方法[J]. 工矿自动化, 2014, 40(11): 1-5.
SUN Jiping. Alarm methods of coal and gas outburst[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(11): 1-5.
- [12] AQ 6201—2019 煤矿安全监控系统通用技术要求[S].
AQ 6201-2019 General technical requirements of coal mine safety supervision[S].
- [13] 聂百胜,马延崑,孟筠青,等. 中等尺度煤与瓦斯突出物理模拟装置研制与验证[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(5): 1218-1225.
NIE Baisheng, MA Yankun, MENG Junqing, et al. Middle scale simulation system of coal and gas outburst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2018, 37(5): 1218-1225.
- [14] 袁瑞甫,李怀珍. 含瓦斯煤动态破坏模拟实验设备的研制与应用[J]. 煤炭学报, 2013, 38(增刊1): 117-123.
YUAN Ruifu, LI Huaizhen. Development and application of simulation test apparatus for gassy coal dynamic failure[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S1): 117-123.
- [15] 龙荣生. 矿井地质学[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1991.
LONG Rongsheng. Mine geology[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1991.
- [16] 孙继平,程继杰. 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(1): 1-6.
SUN Jiping, CHENG Jijie. Study on the perception and alarm method of coal mine rock burst and coal and gas outburst[J]. Industry and Mine Automation, 2022, 48(1): 1-6.
- [17] 程继杰,刘毅,李小伟. 基于热红外图像的煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法[J]. 煤炭学报, 2023, 48(5): 2236-2248.
CHENG Jijie, LIU Yi, LI Xiaowei. Coal mine rock burst and coal and gas outburst perception alarm method based on thermal infrared image[J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48(5): 2236-2248.