



文章编号: 1671-251X(2022)01-0001-06

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.17881

煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法研究

孙继平, 程继杰

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 提出了基于温度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法: 使用红外热像仪等监测物体温度, 使用甲烷传感器监测环境甲烷浓度; 当物体温度高于煤矿井下环境温度和已暴露煤岩温度, 并且高于环境温度和已暴露煤岩温度的物体数量较多、体积和面积较大, 则判定发生冲击地压、煤与瓦斯突出、矿井火灾或瓦斯和煤尘爆炸事故; 进一步判别高温物体温度, 若大于设定阈值, 则判定发生矿井火灾或瓦斯和煤尘爆炸事故, 反之, 则判定发生冲击地压或煤与瓦斯突出事故; 进一步分析甲烷浓度变化, 若甲烷浓度迅速升高, 则判定发生煤与瓦斯突出事故, 反之, 则判定发生冲击地压事故。提出了基于速度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法: 使用激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、双目视觉摄像机等监测物体移动速度, 使用甲烷传感器监测环境甲烷浓度; 当物体移动速度不小于设定阈值时, 则判定发生冲击地压、煤与瓦斯突出或瓦斯和煤尘爆炸事故; 进一步判别速度异常物体的数量、体积和面积, 若速度异常物体的数量较少、体积和面积较小, 则判定发生瓦斯和煤尘爆炸事故, 若速度异常物体的数量较多、体积和面积较大, 则判定发生冲击地压或煤与瓦斯突出事故; 进一步分析甲烷浓度变化, 若甲烷浓度迅速升高, 则判定发生煤与瓦斯突出事故, 反之, 则判定发生冲击地压事故。提出了多信息融合的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警及灾源判定方法: 监测并融合温度、速度、加速度、掩埋深度、声音、气压、风速、风向、粉尘、甲烷浓度、设备状态、微震、地音、应力、红外辐射、电磁辐射、图像等多种信息, 感知冲击地压和煤与瓦斯突出; 通过不同位置参数变化的幅度、先后时序关系及传感器损坏情况, 判定灾源。

关键词: 冲击地压; 煤与瓦斯突出; 瓦斯和煤尘爆炸; 矿井火灾; 灾害感知; 灾害报警

中图分类号: TD324/712.7

文献标志码: A

Study on the perception and alarm method of coal mine rock burst and coal and gas outburst

SUN Jiping, CHENG Jijie

(School of Mechanical Electronic and Information Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The paper puts forward a perception and alarm method of rock burst and coal and gas outburst based on temperature. The infrared thermal imager is used to monitor the temperature of objects, and the methane sensor is used to monitor the concentration of ambient methane. When the temperature of the objects is higher than the ambient temperature of the coal mine and the temperature of the exposed coal rock, and the number, volume and area of objects that are higher than the ambient temperature and the temperature of the exposed coal

收稿日期: 2022-01-10; 修回日期: 2022-01-12; 责任编辑: 盛男。

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, 博士研究生导师, 中国矿业大学(北京)信息工程研究所所长, 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8项; 作为第1完成人主持制定中华人民共和国煤炭行业 and 安全生产行业标准38项; 作为第1发明人获国家授权发明专利100余件; 主持制定《煤矿安全规程》第十一章“监控与通信”; 作为第1作者或独立完成著作12部; 被SCI和EI检索的第1作者或独立完成论文90余篇; 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.

rock are large, it is determined that rock burst, coal and gas outburst, mine fire or gas and coal dust explosion accidents have occurred. The temperature of the high temperature object is further determine. If it is greater than the set threshold, it is determined that a mine fire or a gas and coal dust explosion accident has occurred. Otherwise, it is determined that a rock burst or a coal and gas outburst accident has occurred. The change of methane concentration is further analyzed. If the methane concentration rises rapidly, it is determined that a coal and gas outburst accident has occurred. Otherwise, it is determined that a rock burst accident has occurred. The paper puts forward a perception and alarm method of rock burst and coal and gas outburst based on velocity. The lidar, millimeter-wave radar, ultrasonic radar, binocular vision camera are used to monitor the moving speed of objects. The methane sensors are applied to monitor the concentration of ambient methane. When the moving speed of the object is not less than the set threshold, it is determined that rock burst, coal and gas outburst or gas and coal dust explosion accident have occurred. The number, volume and area of objects with abnormal velocity is further determined. If the number of objects with abnormal velocity is small, the volume and area are small, it is determined that a gas and coal dust explosion accident has occurred. If the number of objects with abnormal velocity is large, the volume and area are large, it is determined that a rock burst or a coal and gas outburst accident has occurred. The changes of methane concentration are further analyzed. If the methane concentration increases rapidly, it is determined that a coal and gas outburst accident has occurred. Otherwise, it is determined that a rock burst accident has occurred. A multi-information fusion method for perception, alarming and judging disaster source of rock burst and coal and gas outburst is proposed. The method monitors and integrates various information such as temperature, speed, acceleration, burial depth, sound, air pressure, wind speed, wind direction, dust, methane concentration, equipment status, micro-seismic, geosound, stress, infrared radiation, electromagnetic radiation and images so as to monitor the pressure and coal and gas outbursts. The source of the disaster is determined through the magnitude of parameter changes at different locations, the sequence relationship and sensor damage.

Key words: rock burst; coal and gas outburst; gas and coal dust explosion; mine fire; disaster perception; disaster alarm

0 引言

煤炭是我国的主要能源, 约占我国一次能源生产量的 70%、消费量的 60%。煤炭开采受瓦斯、水、火、冲击地压和顶板等事故困扰^[1-4]。冲击地压和煤与瓦斯突出是煤矿重特大事故, 发生突然, 破坏性强, 会造成设备和巷道损毁, 人员和设备掩埋, 巷道堵塞, 通风不畅, 瓦斯积聚。因此, 有必要及时发现冲击地压和煤与瓦斯突出事故并报警, 停电并停止作业, 及时撤出井下人员, 尽早疏通被堵塞巷道, 尽早救出遇险人员, 避免次生灾害发生, 减少人员伤亡和财产损失^[3-4]。

目前冲击地压和煤与瓦斯突出研究主要集中在致灾机理、预报预警和灾害防治方面, 感知报警研究较少。文献 [5] 提出了基于甲烷浓度、风向、风速、传感器故障的煤与瓦斯突出报警方法, 当满足下列条件时, 发出煤与瓦斯突出报警信号: 甲烷浓度迅速增高或超过报警浓度, 且风速不低于正常值; 甲烷浓度迅速增高或超过报警浓度, 进风巷风流逆转; 进风巷甲烷浓度迅速增高或超过报警浓度等。该方法已

被 AQ 6201—2019《煤矿安全监控系统通用技术要求》和 AQ 1029—2019《煤矿安全监控系统及检测仪器使用与管理规范》采纳, 在全国煤炭行业推广应用。文献 [6] 提出了基于声音的冲击地压、煤与瓦斯突出、瓦斯和煤尘爆炸(包括瓦斯爆炸、煤尘爆炸、瓦斯煤尘爆炸)、水灾等事故报警方法。文献 [7-15] 提出了矿井水灾、火灾、瓦斯和煤尘爆炸事故感知和报警方法。但是, 目前冲击地压感知报警主要依靠人工完成, 存在灾害发现不及时、灾情上报时间长、灾后响应速度慢等问题。特别当灾区人员全部遇险遇难, 将无法上报事故, 丧失宝贵的应急救援时间^[3-4]。因此, 研究冲击地压感知报警方法, 具有重要的理论意义和实用价值。同时, 研究新的煤与瓦斯突出感知报警方法, 对促进煤与瓦斯突出感知报警技术进步具有重要意义。

1 基于温度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法

地下煤和岩石(以下简称煤岩)温度随深度变化而变化。靠近地表的是变温带, 随地面温度变化而

变化,冬天温度低,夏天温度高;越靠近地表,受地表温度影响越大。变温带下面是恒温带,深度一般为20~30 m^[16],恒温带温度接近于当地年平均温度,地域不同,恒温带温度不同,一般为9~23 ℃^[16]。恒温带下面是增温带,每向下延伸100 m,温度增加3 ℃^[16]。增温带煤岩温度为^[16]

$$t = t_0 + k(H - H_0) \quad (1)$$

式中: t_0 为恒温带温度, ℃; k 为煤岩温度随深度变化率, ℃/m; H 为煤岩距地表深度, m; H_0 为恒温带深度, m。

根据《煤矿安全规程》第八十六条“新建非突出大中型矿井开采深度(第一水平)不应超过1 000 m,改扩建大中型矿井开采深度不应超过1 200 m,新建、改扩建小型矿井开采深度不应超过600 m”,取 $H=1\,200$ m,并将 $H_0=20$ m、 $t_0=23$ ℃、 $k=0.03$ ℃/m代入式(1),得到最大煤岩温度为58.4 ℃。

为稀释瓦斯,降低煤矿井下环境和设备温度,为煤矿井下作业人员提供新鲜空气,煤矿井下必须采用机械通风。煤矿井下采掘工作面空气温度一般不大于30 ℃,机电设备硐室空气温度一般不大于34 ℃。《煤矿安全规程》第六百五十五条规定,当采掘工作面空气温度大于30 ℃、机电设备硐室空气温度大于34 ℃时,必须停止作业。

掘进和回采形成的暴露煤岩温度随暴露时间增加,逐渐接近于环境温度。未暴露煤岩温度一般高于煤矿井下环境温度和已暴露煤岩温度。因此,可根据冲击地压和煤与瓦斯突出喷出的煤岩温度高于环境温度和已暴露煤岩温度的特征,感知冲击地压和煤与瓦斯突出;再通过甲烷浓度是否迅速升高,区分冲击地压和煤与瓦斯突出。

煤矿井下作业人员体温和运行的机电设备温度高于环境温度和已暴露煤岩温度,但作业人员和机电设备的数量、体积和面积远小于冲击地压和煤与瓦斯突出喷出的煤岩数量、体积和面积。因此,可根据高于环境温度物体的数量、体积和面积,排除煤矿井下作业人员体温和运行的机电设备温度对冲击地压和煤与瓦斯突出感知的干扰。

瓦斯和煤尘爆炸的温度大于1 850 ℃^[17],远高于环境温度。矿井火灾温度大于270 ℃(褐煤的着火温度为270~350 ℃,烟煤的着火温度为320~380 ℃,无烟煤的着火温度为400 ℃,燃烧温度远高于着火温度)^[17],远高于环境温度。而未暴露煤岩最高温度为58.4 ℃。因此,可根据高温,排除瓦斯和煤尘爆炸、矿井火灾对冲击地压和煤与瓦斯突出感知的干扰。

通过上述分析研究,笔者提出了基于温度的冲

击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法,流程如图1所示。使用红外热像仪等监测物体温度,使用甲烷传感器监测环境甲烷浓度;当物体温度高于煤矿井下环境温度和已暴露煤岩温度,并且高于环境温度和已暴露煤岩温度的物体数量较多、体积和面积较大,则判定发生冲击地压、煤与瓦斯突出、矿井火灾或瓦斯和煤尘爆炸事故;进一步判别高温物体温度,若大于设定阈值 A ($A \geq 150$ ℃),则判定发生矿井火灾或瓦斯和煤尘爆炸事故,反之,则判定发生冲击地压或煤与瓦斯突出事故;进一步分析甲烷浓度变化,若甲烷浓度迅速升高,则判定发生煤与瓦斯突出事故,反之,则判定发生冲击地压事故。

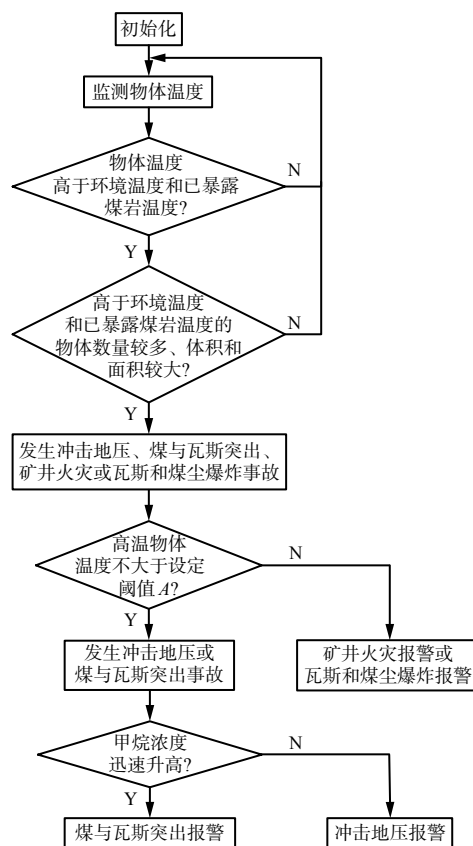


图1 基于温度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法流程

Fig. 1 Flow of rock burst and coal and gas outburst perception alarm method based on temperature

2 基于速度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法

冲击地压和煤与瓦斯突出会导致大量煤岩突然破坏并抛向巷道空间,造成大量煤岩短时间移动速度异常增加;喷出的煤岩和强气流等会对设备和支护等造成高能量冲击,导致支护和设备损毁、瞬间移位和倾倒等,支护和设备短时间内移动速度异常增加;随着与灾源距离的增加,喷出的煤岩移动速度逐渐减小。文献[18]通过实验观测到,在卸压口暴露

的瞬间发生持续时间约 0.5 s 的煤粉喷出现象, 喷出速度达 50 m/s。因此, 可通过监测物体移动速度异常, 感知冲击地压和煤与瓦斯突出; 通过监测和分析不同地点的物体移动速度异常增加、发生的先后时序关系和传感器损坏情况等, 判定灾源; 再通过甲烷浓度是否迅速升高, 区分冲击地压和煤与瓦斯突出。

为防止事故发生, 《煤矿安全规程》规定了煤矿井下设备最大移动速度: ① 第三百四十条规定, 井下用机车运送爆炸物品时, 列车行驶速度不得超过 2 m/s。② 第三百四十一条规定, 水平巷道和倾斜巷道内有可靠的信号装置时, 可以用钢丝绳牵引的车辆运送爆炸物品, 运输速度不得超过 1 m/s。③ 第三百七十五条规定, 生产矿井采用钢丝绳牵引带式输送机运输时, 运行速度不得超过 1.8 m/s。④ 第三百八十三条规定, 采用架空乘人装置运送人员时, 最大运行速度不得超过 1.7 m/s。⑤ 第三百八十五条规定, 采用平巷人车运送人员时, 列车行驶速度不得超过 4 m/s。⑥ 第三百九十二条规定, 采用无轨胶轮车运人时运行速度不得超过 25 km/h (6.94 m/s), 运送物料时运行速度不得超过 40 km/h (11.11 m/s)。

在正常情况下, 煤矿井下作业人员和设备移动速度不大于 11.11 m/s, 远小于冲击地压和煤与瓦斯突出发生时煤岩的喷出速度。因此, 可以通过监测速度异常, 感知冲击地压和煤与瓦斯突出事故; 再通过甲烷浓度是否迅速升高, 区分冲击地压和煤与瓦斯突出。

瓦斯和煤尘爆炸也会发生物体速度异常, 但速度异常物体的数量、体积和面积, 远小于冲击地压和煤与瓦斯突出喷出的煤岩数量、体积和面积。因此, 可根据速度异常物体的数量、体积和面积, 排除瓦斯和煤尘爆炸对冲击地压和煤与瓦斯突出感知的干扰。

通过上述分析研究, 笔者提出了基于速度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法, 流程如图 2 所示。使用激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、双目视觉摄像机等监测物体移动速度, 使用甲烷传感器监测环境甲烷浓度; 当物体移动速度不小于设定阈值 B ($B > 11.11$ m/s, 考虑超速 10% 和测量误差, 可取 $B = 13$ m/s) 时, 则判定发生冲击地压、煤与瓦斯突出或瓦斯和煤尘爆炸事故; 进一步判别速度异常物体的数量、体积和面积, 若速度异常物体的数量较少、体积和面积较小, 则判定发生瓦斯和煤尘爆炸事故, 若速度异常物体的数量较多、体积和面积较大, 则判定发生冲击地压或煤与瓦斯突出事故; 进一步分析甲烷浓度变化, 若甲烷浓度迅速升高, 则判定发

生煤与瓦斯突出事故, 反之, 则判定发生冲击地压事故。

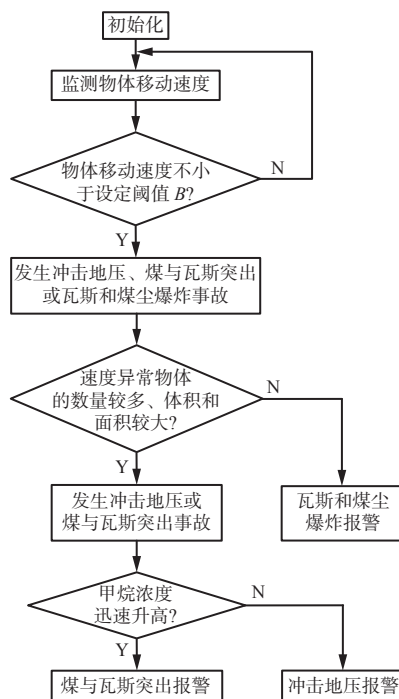


图 2 基于速度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法流程

Fig. 2 Flow of rock burst and coal and gas outburst perception alarm method based on velocity

3 多信息融合的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警及灾源判定方法

冲击地压和煤与瓦斯突出是 2 种不同的煤岩动力灾害, 内在作用机理不同, 但外在显现规律具有一定的相似性。煤与瓦斯突出除具有冲击地压特征外, 还具有大量瓦斯气体喷出、甲烷浓度迅速升高等特征。

冲击地压和煤与瓦斯突出具有以下特征: ① 大量煤岩突然破坏并抛向巷道空间; 大量喷出的煤岩在巷道空间扩散、堆积。② 喷出煤岩的温度高于正常生产时矿井环境温度和已暴露煤岩温度。③ 喷出煤岩的最大速度高于正常生产时矿井车辆、设备和人员最大移动速度。④ 造成巷道支护和机电设备等损毁、倾倒、变形、移动, 移动速度和加速度异常。⑤ 造成水管、电缆、瓦斯抽采管路等损毁、坠落。⑥ 巷道支护和机电设备被喷出的煤岩覆盖, 覆盖面积异常, 被覆盖面积变化速度与变化加速度异常。⑦ 产生大量粉尘。⑧ 产生煤岩破碎声响和强烈震动。⑨ 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。⑩ 产生红外辐射和电磁辐射。⑪ 造成井下作业人员伤亡。⑫ 冲击地压时甲烷浓度不会突然大幅升高, 煤与瓦斯突出时甲烷

浓度会突然大幅升高,这是区分冲击地压和煤与瓦斯突出的主要指标。

为进一步提高冲击地压和煤与瓦斯突出报警准确率,根据煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出特征,笔者提出了多信息融合的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警及灾源判定方法:监测并融合温度、速度、加速度、掩埋深度、声音、气压、风速、风向、粉尘、甲烷浓度、设备状态、微震、地音、应力、红外辐射、电磁辐射、图像等多种信息,感知冲击地压和煤与瓦斯突出;通过不同位置参数变化的幅度、先后时序关系及传感器损坏情况,判定灾源。

4 结论

(1) 未暴露煤岩温度一般高于煤矿井下环境温度和已暴露煤岩温度。因此,可根据冲击地压和煤与瓦斯突出喷出的煤岩温度高于环境温度和已暴露煤岩温度的特征,感知冲击地压和煤与瓦斯突出;再通过甲烷浓度是否迅速升高,区分冲击地压和煤与瓦斯突出。煤矿井下作业人员体温和运行的机电设备温度高于环境温度和已暴露煤岩温度,但作业人员和机电设备的数量、体积和面积远小于冲击地压和煤与瓦斯突出喷出的煤岩数量、体积和面积。因此,可根据高于环境温度和已暴露煤岩温度物体的数量、体积和面积,排除运行的机电设备温度和煤矿井下作业人员体温对冲击地压和煤与瓦斯突出感知的干扰。瓦斯和煤尘爆炸的温度大于 $1\,850\text{ }^{\circ}\text{C}$,远高于环境温度。矿井火灾温度大于 $270\text{ }^{\circ}\text{C}$,远高于环境温度。未暴露煤岩最高温度为 $58.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,可根据高温,排除瓦斯和煤尘爆炸、矿井火灾对冲击地压和煤与瓦斯突出感知的干扰。

(2) 提出的基于温度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法,不仅可用于冲击地压和煤与瓦斯突出事故感知和报警,还可用于矿井火灾、瓦斯和煤尘爆炸事故感知和报警:使用红外热像仪等监测物体温度,使用甲烷传感器监测环境甲烷浓度;当物体温度高于煤矿井下环境温度和已暴露煤岩温度,并且高于环境温度和已暴露煤岩温度的物体数量较多、体积和面积较大,则判定发生冲击地压、煤与瓦斯突出、矿井火灾或瓦斯和煤尘爆炸事故;进一步判别高温物体温度,若大于设定阈值 $A(A\geq 150\text{ }^{\circ}\text{C})$,则判定发生矿井火灾或瓦斯和煤尘爆炸事故,反之,则判定发生冲击地压或煤与瓦斯突出事故;进一步分析甲烷浓度变化,若甲烷浓度迅速升高,则判定发生煤与瓦斯突出事故,反之,则判定发生冲击地压事故。

(3) 正常情况下煤矿井下作业人员和设备移动

速度不大于 11.11 m/s ,远小于冲击地压和煤与瓦斯突出发生时煤岩的喷出速度。因此,可以通过监测速度异常,感知冲击地压和煤与瓦斯突出事故;再通过甲烷浓度是否迅速升高,区分冲击地压和煤与瓦斯突出。瓦斯和煤尘爆炸也会发生物体速度异常,但速度异常物体的数量、体积和面积,远小于冲击地压和煤与瓦斯突出喷出的煤岩数量、体积和面积。因此,可根据速度异常物体的数量、体积和面积,排除瓦斯和煤尘爆炸对冲击地压和煤与瓦斯突出感知的干扰。

(4) 提出的基于速度的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法,不仅可用于冲击地压和煤与瓦斯突出事故感知和报警,还可用于矿井瓦斯和煤尘爆炸事故感知和报警:使用激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、双目视觉摄像机等监测物体移动速度,使用甲烷传感器监测环境甲烷浓度;当物体移动速度不小于设定阈值 $B(B>11.11\text{ m/s}$,考虑超速 10% 和测量误差,可取 $B=13\text{ m/s}$)时,则判定发生冲击地压、煤与瓦斯突出或瓦斯和煤尘爆炸事故;进一步判别速度异常物体的数量、体积和面积,若速度异常物体的数量较少、体积和面积较小,则判定发生瓦斯和煤尘爆炸事故,若速度异常物体的数量较多、体积和面积较大,则判定发生冲击地压或煤与瓦斯突出事故;进一步分析甲烷浓度变化,若甲烷浓度迅速升高,则判定发生煤与瓦斯突出事故,反之,则判定发生冲击地压事故。

(5) 提出的多信息融合的冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警及灾源判定方法,可进一步提高冲击地压和煤与瓦斯突出报警准确率:监测并融合温度、速度、加速度、掩埋深度、声音、气压、风速、风向、粉尘、甲烷浓度、设备状态、微震、地音、应力、红外辐射、电磁辐射、图像等多种信息,感知冲击地压和煤与瓦斯突出;通过不同位置参数变化的幅度、先后时序关系及传感器损坏情况,判定灾源。

参考文献(References):

- [1] 孙继平,钱晓红. 2004—2015年全国煤矿事故分析[J]. 工矿自动化, 2016, 42(11): 1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Analysis of coal mine accidents in China during 2004-2015[J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(11): 1-5.
- [2] 孙继平. 煤矿事故分析与煤矿大数据和物联网[J]. 工矿自动化, 2015, 41(3): 1-5.
SUN Jiping. Accident analysis and big data and Internet of things in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(3): 1-5.

- [3] 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.
- [4] 孙继平, 钱晓红. 煤矿重特重大事故应急救援技术及装备[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 112-116.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Emergency rescue technology and equipment of mine extraordinary accidents[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 112-116.
- [5] 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.
- [6] 孙继平, 余星辰. 基于声音识别的煤矿重特重大事故报警方法研究[J]. 工矿自动化, 2021, 47(2): 1-5.
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.
- [7] 孙继平, 曹玉超. 基于图像纹理特征的矿井水灾感知方法[J]. 煤炭学报, 2019, 44(9): 2936-2944.
SUN Jiping, CAO Yuchao. Coal-mine flood perception method based on image texture features[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(9): 2936-2944.
- [8] 孙继平, 靳春海, 曹玉超. 基于视频图像的矿井水灾识别及趋势预测方法研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(7): 1-4.
SUN Jiping, JIN Chunhai, CAO Yuchao. Research on mine flood identification and trend prediction method based on video image[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(7): 1-4.
- [9] 孙继平, 靳春海. 矿井水灾感知与水源判定方法研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(4): 1-5.
SUN Jiping, JIN Chunhai. Research on methods of mine flood perception and water source determination[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(4): 1-5.
- [10] 孙继平, 孙雁宇. 矿井火灾监测与趋势预测方法研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(3): 1-4.
SUN Jiping, SUN Yanyu. Research on methods of mine fire monitoring and trend prediction[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(3): 1-4.
- [11] 孙继平, 孙雁宇, 范伟强. 基于可见光和红外图像的矿井外因火灾识别方法[J]. 工矿自动化, 2019, 45(5): 1-5.
SUN Jiping, SUN Yanyu, FAN Weiqiang. Mine exogenous fire identification method based on visible light and infrared images[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(5): 1-5.
- [12] 孙继平, 李月. 基于双目视觉的矿井外因火灾感知与定位方法[J]. 工矿自动化, 2021, 47(6): 12-16.
SUN Jiping, LI Yue. Binocular vision-based perception and positioning method of mine external fire[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(6): 12-16.
- [13] 孙继平, 崔佳伟. 矿井外因火灾感知方法[J]. 工矿自动化, 2021, 47(4): 1-5.
SUN Jiping, CUI Jiawei. Mine external fire sensing method[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(4): 1-5.
- [14] 孙继平. 煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与爆源判定方法研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(6): 1-5.
SUN Jiping. Research on method of coal mine gas and coal dust explosion perception alarm and explosion source judgment[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(6): 1-5.
- [15] 孙继平, 范伟强. 基于视频图像的瓦斯和煤尘爆炸感知报警及爆源判定方法[J]. 工矿自动化, 2020, 46(7): 1-4.
SUN Jiping, FAN Weiqiang. Gas and coal dust explosion perception alarm and explosion source judgment method based on video image[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(7): 1-4.
- [16] 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.
- [17] 张延松, 王德明, 朱红青. 煤矿爆炸、火灾及其防治技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
ZHANG Yansong, WANG Deming, ZHU Hongqing. Coal mine explosion, fire and prevention technology[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2007.
- [18] 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.