



文章编号:1671-251X(2020)06-0001-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17617

煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与 爆源判定方法研究

孙继平

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院,北京 100083)



扫码移动阅读

摘要:分析了煤矿瓦斯和煤尘爆炸特征:空气中 O_2 浓度迅速降低, CO_2 和 CO 等有毒有害气体浓度迅速升高;环境温度迅速升高,空气压力迅速增大后回落;产生较强的红外和紫外辐射;产生高温、高压、高速的爆炸冲击波和火焰锋面;产生爆炸音和震动;产生大量烟雾和粉尘;风速迅速增大后回落,风流反向;巷道垮塌、机电设备移动和损坏;造成大量人员伤亡。提出了气体(O_2 , CO_2 , CO)浓度、温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线、图像等多信息融合的煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与爆源判定方法:通过多参数变化,辨识瓦斯和煤尘爆炸;通过不同位置参数变化幅度、变化的先后时序关系和传感器损坏情况,判定爆源。提出了传感器防护与设置方法:传感器应采用流线形或圆弧形外壳,传感器外壳应采用耐高温、防火、隔热材料;传感器应设置在巷道顶部中央;采煤工作面和掘进工作面应设置传感器,传感器应设置在距工作面 10~15 m 处;每一段巷道(没有分支)中部应设置传感器。提出了电缆和光缆防护与设置方法:应采用铠装电缆和光缆,电缆和光缆应具有阻燃、耐高温、抗冲击等性能;电缆和光缆应埋入巷帮和底板的夹角处;电缆和光缆也可引入压风管,用压风管防护。

关键词:瓦斯爆炸;煤尘爆炸;瓦斯煤尘爆炸;灾害监测;灾害报警;爆源判定

中图分类号:TD712.7 文献标志码:A

Research on method of coal mine gas and coal dust explosion
perception alarm and explosion source judgment

SUN Jiping

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

Abstract: Characteristics of coal mine gas and coal dust explosion are analyzed: Concentration of O_2 in air decreases rapidly, while concentrations of CO_2 , CO and other toxic and harmful gases increase rapidly; Ambient temperature rises rapidly, and air pressure increases rapidly and then falls; Stronger infrared and ultraviolet radiation are generated; High-temperature, high-pressure, high-speed explosion shock wave

收稿日期:2020-05-29;修回日期:2020-06-03;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29项;作为第1发明人获国家授权发明专利80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。

引用格式: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.

and flame front are generated; Explosion sound and vibration are generated; A large amount of smoke and dust are generated; Wind speed increases rapidly and then falls, and wind flow reverses; Roadway collapses, electromechanical equipment is moved and damaged; A large number of casualties are caused. A coal mine gas and coal dust explosion perception alarm and explosion source judgment method based on multi-information fusion of gas (O_2 , CO_2 , CO) concentration, temperature, sound, vibration, air pressure, wind speed, wind direction, smoke, dust, infrared, ultraviolet and image is proposed: Gas and coal dust explosion can be identified through change of multi-parameters; Explosion source can be determined according to change range, change sequence of the parameters and sensor damage at different positions. Protection and setting methods of sensor are proposed: Sensor should be equipped with a streamlined or arc-shaped shell, and the sensor shell should use high-temperature resistant, fireproof and heat-insulating material; Sensor should be installed in center of roadway top; Sensor should be installed on mining face and heading face, and the sensor should be located 10-15 m away from the working face; Sensor should be installed in the middle of each roadway (without branches). Protection and setting methods of cable and optical cable are proposed: Armored cable and optical cable should be adopted, and the cable and optical cable should have properties of flame retardant, high-temperature resistance and impact resistance; Cable and optical cable should be buried at the angle between roadway side wall and floor; Cable and optical cable can also be protected by introducing into compressed air duct.

Key words: gas explosion; coal dust explosion; gas and coal dust explosion; disaster monitoring; disaster alarm; explosion source judgment

0 引言

瓦斯爆炸、瓦斯煤尘爆炸和煤尘爆炸(以下统称瓦斯和煤尘爆炸)会造成大量人员伤亡和财产损失,属于煤矿重特大事故^[1]。1949 年以来,全国煤矿共发生一次死亡百人以上特别重大事故 24 起,死亡 3 780 人,见表 1。其中瓦斯和煤尘爆炸事故 21 起,死亡 3 424 人,分别占 87.5%和 90.6%;煤与瓦斯突出事故 1 起,死亡 125 人,分别占 4.2%和 3.3%;透水事故 1 起,死亡 121 人,分别占 4.2%和 3.2%;火灾事故 1 起,死亡 110 人,分别占 4.2%和 2.9%^[2]。事故调查表明,瓦斯和煤尘爆炸事故中,由于创伤和烧伤造成的人员伤亡不足 20%,中毒窒息造成的人员伤亡高达 80%^[3]。瓦斯和煤尘爆炸后,环境中 O_2 浓度降低, CO_2 、 CO 浓度升高。特别是煤尘爆炸和瓦斯煤尘爆炸后,环境中 CO 浓度大幅升高。灾后环境中, O_2 浓度越低, CO 和 CO_2 等有害气体浓度越高,人员滞留时间越长,死亡概率越高。因此,尽早发现事故,尽早撤出遇险人员,是减少事故人员伤亡的有效措施。目前,煤矿瓦斯和煤尘爆炸事故发现和报警主要靠人工完成,存在发现晚、上报时间长、响应慢等问题。特别是当事故现场人员全部遇难,将不能及时发现事故。因此,研究煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与爆源判定方法,具有重要的理论意义和实用价值。

1 煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与爆源判定

1.1 煤矿瓦斯和煤尘爆炸特征

煤矿瓦斯和煤尘爆炸是化学爆炸,会产生剧烈的放热反应,高温、高压和冲击波,大量的有毒有害气体,造成人员伤亡及巷道、设备破坏等^[4]。煤矿瓦斯和煤尘爆炸具有下列特征:瞬时消耗大量 O_2 ,空气中 O_2 浓度迅速降低^[5];瞬时产生大量 CO_2 、 CO 等有毒有害气体,特别是煤尘爆炸和瓦斯煤尘爆炸后,空气中 CO_2 和 CO 浓度迅速升高^[4];瞬时产生大量热量,环境温度迅速升高,空气压力迅速增大后回落^[5];产生较强的红外和紫外辐射^[5];产生高温、高压、高速的爆炸冲击波和火焰锋面^[6];产生爆炸音和爆炸震动^[7];产生大量烟雾和粉尘^[7];造成巷道中风速迅速增大后回落,风流反向^[5];严重破坏矿井巷道及其支护、通风系统、巷道中设备,造成巷道垮塌、机电设备移动和损坏等^[4];造成大量人员因创伤、烧伤和中毒窒息伤亡^[3]。

针对煤矿瓦斯和煤尘爆炸特征,笔者提出了气体(O_2 、 CO_2 、 CO)浓度、温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线、图像等多信息融合的煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与爆源判定方法。

1.2 气体监测

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会消耗大量 O_2 ,产生大量

表 1 1949 年以来全国煤矿发生一次死亡百人以上特别重大事故统计

Table 1 Statistics of more than 100 persons dying in one extraordinarily serious accident of coal mines in China since 1949

日期(年-月-日)	地点	类型	死亡人数
1950-02-27	河南省宜洛煤矿老李沟井	瓦斯爆炸	187
1954-12-06	内蒙古包头市大发煤矿	瓦斯煤尘爆炸	104
1960-05-09	山西省大同矿务局老白洞煤矿	煤尘爆炸	684
1960-05-14	重庆市松藻矿务局松藻二井	煤与瓦斯突出	125
1960-11-28	河南省平顶山矿务局龙神庙矿(现五矿)	瓦斯煤尘爆炸	187
1960-12-15	重庆市中梁山煤矿南井	瓦斯煤尘爆炸	124
1961-03-16	辽宁省抚顺矿务局胜利煤矿	电气火灾	110
1968-10-24	山东省新汶矿务局华丰煤矿	煤尘爆炸	108
1969-04-04	山东省新汶矿务局潘西煤矿二号井	煤尘爆炸	115
1975-05-11	陕西省铜川矿务局焦坪煤矿前卫斜井	瓦斯煤尘爆炸	101
1977-02-24	江西省丰城矿务局坪湖煤矿	瓦斯爆炸	114
1981-12-24	河南省平顶山矿务局五矿	瓦斯煤尘爆炸	133
1991-04-21	山西省洪洞县三交河煤矿	瓦斯煤尘爆炸	147
1996-11-27	山西省大同市新荣区郭家窑乡东村煤矿	瓦斯煤尘爆炸	114
2000-09-27	贵州省水城矿务局木冲沟煤矿	瓦斯煤尘爆炸	162
2002-06-20	黑龙江省鸡西矿业集团城子河煤矿	瓦斯爆炸	124
2004-10-20	河南省郑煤集团大平煤矿	瓦斯爆炸	148
2004-11-28	陕西省铜川矿业集团陈家山煤矿	瓦斯爆炸	166
2005-02-14	辽宁省阜新矿业集团孙家湾海洲立井	瓦斯爆炸	214
2005-08-07	广东省兴宁市大兴煤矿	透水事故	121
2005-11-27	黑龙江省七台河矿业集团东风煤矿	煤尘爆炸	171
2005-12-07	河北省唐山市开平区刘官屯煤矿	瓦斯爆炸	108
2007-12-05	山西省临汾市洪洞瑞之源煤业有限公司	瓦斯爆炸	105
2009-11-21	黑龙江省龙煤集团鹤岗分公司新兴煤矿	瓦斯爆炸	108

CO₂,CO 等有毒有害气体。瓦斯和煤尘爆炸后,O₂ 浓度下降幅度、CO₂ 和 CO 浓度上升幅度随距爆源距离变化;距爆源越远,O₂ 浓度下降幅度越小、CO₂ 和 CO 浓度上升幅度越小。因此,可通过监测 O₂,CO₂,CO 浓度和浓度随时间的变化率,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监测和分析不同地点的 O₂,CO₂,CO 浓度及其变化幅度,变化的先后时序关系和传感器损坏情况等,判定爆源。矿井火灾也会造成 O₂ 浓度下降、CO₂ 和 CO 浓度上升,但 O₂,CO₂,CO 浓度随时间的变化率较低^[8]。因此,可通过监测和分析 O₂,CO₂,CO 浓度随时间的变化率,区分瓦斯和煤尘爆炸与矿井火灾。煤与瓦斯突出、冲击地压、通风系统故障等也会造成 O₂ 浓度下降、CO₂ 和 CO 浓度上升。因此,煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知和报警除需监测气体(O₂,CO₂,CO)浓度外,还需监测温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线、图像等,通过多信息融合分析,减小矿井火灾、煤与瓦斯突出、冲击地压、通风系统故障等对瓦斯和

煤尘爆炸辨识的影响。

1.3 温度监测

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会瞬时产生大量热量,使环境温度迅速升高。瓦斯和煤尘爆炸后,环境温度上升幅度随距爆源距离变化;距爆源越远,环境温度上升幅度越小。因此,可通过监测环境温度和温度随时间的变化率,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监测和分析不同地点的温度及其变化幅度、变化的先后时序关系和传感器损坏情况等,判定爆源。矿井火灾也会造成环境温度升高,但温度随时间的变化率较低^[8]。因此,可通过监测和分析环境温度随时间的变化率,区分瓦斯和煤尘爆炸与矿井火灾。煤与瓦斯突出、冲击地压,通风系统故障、水灾等也会造成环境温度变化^[9-10]。因此,煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知和报警除需监测环境温度外,还需监测气体(O₂,CO₂,CO)浓度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线、图像等,通过多信息融合分析,减小矿井火灾、煤与瓦斯突出、冲击地压、通

风系统故障、水灾等对瓦斯和煤尘爆炸辨识的影响。

1.4 声音和震动监测

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会产生爆炸音和震动,且随着距爆源距离的增加,爆炸音和震动强度逐渐衰减。因此,可通过监测爆炸音和震动,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监测和分析不同地点的爆炸音和震动强度、发生的先后时序关系和传感器损坏情况等,判定爆源。煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落、工作面落煤、采煤设备(采煤机、液压支架、刮板输送机、破碎机、转载机等)工作、掘进设备(掘进机、掘锚一体机等)工作、运输提升设备(带式输送机、胶轮车、电机车、柴油机车、提升机等)工作、水泵和通风机工作等也会产生声音和震动,但爆炸音和爆炸震动与其他声音和震动不同,可通过声音和震动智能分析进行区分。

1.5 气压、风速和风向监测

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会造成爆源及其附近空气压力和风速迅速增大再回落、风流反向,且随着距爆源距离的增加,气压和风速增大幅度逐渐变小。因此,可通过监测风向、气压、风速及气压和风速随时间的变化率,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监测和分析不同地点的气压及其变化幅度、风速及其变化幅度、变化的先后时序关系和传感器损坏情况等,判定爆源。煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落、矿井火灾、水灾、通风系统故障等也会造成气压和风速迅速增大、风流反向^[11-12]。因此,煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知和报警除需监测气压、风速和风向外,还需监测气体(O_2 , CO_2 , CO)浓度、温度、声音、震动、烟雾、粉尘、红外线、紫外线、图像等,通过多信息融合分析,减小煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落、矿井火灾、水灾、通风系统故障等对瓦斯和煤尘爆炸辨识的影响。

1.6 烟雾和粉尘监测

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会产生大量烟雾和粉尘,且随着距爆源距离的增加,烟雾和粉尘增加幅度逐渐变小。因此,可通过监测烟雾和烟雾随时间的变化率、粉尘和粉尘随时间的变化率,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监测和分析不同地点的烟雾及其变化幅度、粉尘及其变化幅度、变化的先后时序关系和传感器损坏情况等,判定爆源。矿井火灾和爆破作业也会产生烟雾^[8-13];爆破作业、工作面落煤、煤炭转载和运输、煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落等也会产生大量粉尘。因此,煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知和报警除需监测烟雾和粉尘外,还需监测气体(O_2 , CO_2 , CO)浓度、温度、声音、震动、气压、风速、风向、红外线、紫外线、图像等,通过多信息融合分

析,减小矿井火灾、爆破作业、工作面落煤、煤炭转载和运输、煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落等对瓦斯和煤尘爆炸辨识的影响。

1.7 红外线和紫外线监测

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会产生较强的红外和紫外辐射,且随着距爆源距离的增加,红外线和紫外线强度逐渐衰减。因此,可通过监测红外线和紫外线,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监测和分析不同地点的红外线和紫外线强度、发生的先后时序关系和传感器损坏情况等,判定爆源。温度高于绝对零度(即 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$)的物体都会辐射红外线,物体表面温度越高,红外线辐射能量越大;矿井火灾引起的红外线辐射能量较大^[8];人体,工作的照明设备,电动机、电缆、输送带托辊等发热的机电设备都会辐射能量较大的红外线;矿井火灾、矿用电气设备和电缆故障电弧放电等都会产生紫外线。因此,煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知和报警除需监测红外线和紫外线外,还需监测气体(O_2 , CO_2 , CO)浓度、温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、图像等,通过多信息融合分析,减小矿井火灾、人体、工作的照明设备和机电设备、电气设备和电缆故障电弧放电等对瓦斯和煤尘爆炸辨识的影响。

1.8 图像监视

煤矿瓦斯和煤尘爆炸会产生高温、高速的火焰锋面,产生大量烟雾和粉尘,造成巷道垮塌、机电设备移动和损坏等。随着距爆源距离的增加,火焰锋面逐渐消失,烟雾和粉尘逐渐减少,巷道和设备破坏程度逐渐变小。因此,可通过煤矿井下防爆工业摄像机摄取煤矿井下现场图像,通过图像智能分析和识别,提取火焰、烟雾、粉尘、巷道破坏、机电设备位移等信息,辨识瓦斯和煤尘爆炸。通过监视和分析不同地点的火焰大小、烟雾和粉尘浓度、巷道破坏程度、设备位移、变化的先后时序关系、摄像机损坏情况等,判定爆源。矿井火灾会产生火焰,但火焰推进速度远低于爆炸时的火焰推进速度。因此,可通过监测和分析火焰推进速度,区分瓦斯和煤尘爆炸与矿井火灾。矿井火灾和爆破作业会产生烟雾;爆破作业、工作面落煤、煤炭转载和运输、煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落等也会产生大量粉尘;煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落、水灾会造成巷道垮塌和机电设备位移^[11,12,14]。因此,煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知和报警除需监视图像外,还需监测气体(O_2 , CO_2 , CO)浓度、温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线等,通过多信息融合分析,减小矿井火灾、煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积冒落、水灾、爆破作业、工作面落煤、

煤炭转载和运输等对瓦斯煤尘和爆炸辨识的影响。

2 煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警系统组成与防护

2.1 系统组成

煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警系统由传感器(包括 O₂、CO₂、CO、温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线等传感器)、工业摄像机、分站、电源、网络交换机、电缆、光缆、接/分线盒、服务器、工作站、系统软件等组成。煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警系统除应满足煤矿井下电气防爆、防尘、防水等要求外,还应具有抗高温和冲击波破坏能力。

2.2 防护与设置

传感器和工业摄像机等应采用流线形或圆弧形外壳,减少爆炸冲击波对传感器的影响。传感器外壳应采用耐高温、防火、隔热材料,减少高温对传感器的影响。传感器和工业摄像机应设置在巷道顶部中央,不影响行人和行车,减少人员、车辆和设备遮挡。采煤工作面和掘进工作面应设置传感器,传感器设置在距工作面 10~15 m 处。每一段巷道(没有分支)中部应设置传感器。

分站、电源、网络交换机等应设置在硐室,减少爆炸冲击波和高温带来的影响。

为减小瓦斯和煤尘爆炸、火灾、水灾、煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板冒落等对电缆和光缆的损伤,应采用铠装电缆和光缆,电缆和光缆应具有阻燃、耐高温、抗冲击等性能。电缆和光缆应埋入巷帮和底板的夹角处^[15]。电缆和光缆也可引入压风管,用压风管防护。

3 结论

(1) 煤矿瓦斯和煤尘爆炸具有下列特征:空气中 O₂ 浓度迅速降低,CO₂ 和 CO 等有毒有害气体浓度迅速升高;环境温度迅速升高,空气压力迅速增大后回落;产生较强的红外和紫外辐射;产生高温、高压、高速的爆炸冲击波和火焰锋面;产生爆炸音和震动;产生大量烟雾和粉尘;风速迅速增大后回落,风流反向;巷道垮塌、机电设备移动和损坏;造成大量人员伤亡。

(2) 气体(O₂, CO₂, CO)浓度、温度、声音、震动、气压、风速、风向、烟雾、粉尘、红外线、紫外线、图像等多信息融合的煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警与爆源判定方法,可减小矿井火灾、煤与瓦斯突出、冲击地压、通风系统故障、水灾等对瓦斯和煤尘爆炸辨识的影响。

(3) 传感器应采用流线形或圆弧形外壳,传感

器外壳应采用耐高温、防火、隔热材料;传感器应设置在巷道顶部中央;采煤工作面和掘进工作面应设置传感器,传感器应设置在距工作面 10~15 m 处;每一段巷道(没有分支)中部应设置传感器。应采用铠装电缆和光缆,电缆和光缆应具有阻燃、耐高温、抗冲击等性能;电缆和光缆应埋入巷帮和底板的夹角处;电缆和光缆也可引入压风管,用压风管防护。传感器、电缆和光缆防护与设置方法除可减小瓦斯和煤尘爆炸对煤矿瓦斯和煤尘爆炸感知报警系统的影响,还可减小矿井火灾、水灾、煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板冒落等对系统的影响。

参考文献(References):

[1] 孙继平. 屯兰煤矿“2·22”特别重大瓦斯爆炸事原因及教训[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 72-75.
SUN Jiping. The causes and lessons of "2·22" gas explosion disaster at Tunlan Coal Mine[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 72-75.

[2] 孙继平. 互联网+煤炭监控与通信[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2016.
SUN Jiping. Internet plus coal monitoring and communication [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2016.

[3] 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.

[4] 孙继平. 电气火源引起的特别重大瓦斯爆炸事故案例分析[J]. 工矿自动化, 2012, 38(2): 1-5.
SUN Jiping. Case analysis of especially serious gas explosion disaster caused by electric fire source[J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(2): 1-5.

[5] 孙继平. 基于彩色图像监测设备的矿井爆炸监控系统: CN201810154660. 3[P]. 2018-08-03.
SUN Jiping. Mine explosion monitoring system based on color image monitoring equipment: CN201810154660. 3[P]. 2018-08-03.

[6] 孙继平. 基于物联网的煤矿瓦斯爆炸事故防范措施及典型事故分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(7): 1172-1176.
SUN Jiping. The accident prevention measure and analysis based on Internet of things in the gas explosion of coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(7): 1172-1176.

[7] 孙继平. 无安全监控系统的煤矿特别重大瓦斯爆炸事故案例分析[J]. 工矿自动化, 2012, 38(3): 1-4.
SUN Jiping. Case analysis of gas explosion disaster of

- coal mine without safety monitoring system [J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(3): 1-4.
- [8] 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.
- [9] 孙继平. 安全高效矿井监控关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2012, 38(12): 1-5.
- SUN Jiping. Research of key technologies for mine safety and efficiency monitoring [J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(12): 1-5.
- [10] 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.
- [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 mine gas outburst [J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(11): 1-5.
- [12] 孙继平, 刘毅. 煤矿掘进工作面煤与瓦斯突出报警方法: CN201410547224. 4[P]. 2015-04-08.
- SUN Jiping, LIU Yi. Alarm method of coal and gas outburst in coal mine heading face: CN201410547224. 4[P]. 2015-04-08.
- [13] 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.
- SUN Jiping. New technology and development of mine informatization and automation[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 19-23.
- [14] 孙继平, 刘毅. 基于图像的采煤工作面冲击地压报警方法: CN201410799590. 9[P]. 2015-03-25.
- SUN Jiping, LIU Yi. Alarm method of rock burst in coal face based on image: CN201410799590. 9[P]. 2015-03-25.
- [15] 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.