

文章编号: 1000-582X(2012)09-121-05

煤与瓦斯突出灾变预警与应急辅助决策

杨守国^{1,2}, 唐建新¹, 文光才³, 康建宁³, 刘程^{1,3}

(1. 重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400044; 2. 西安科技大学能源学院, 西安 710054;
3. 中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400037)

摘要: 为了实现煤与瓦斯突出灾变预警, 以便及时采取应急措施防止事故扩大, 提出了煤与瓦斯突出灾变预警与应急辅助决策技术。具体对瓦斯涌出异常特征进行了分析, 给出了煤与瓦斯突出灾变的监测与识别方法; 结合煤矿现有的安全监测系统, 对灾变后瓦斯涌出量预测、波及范围预测、区域断电措施等技术进行了研究; 并利用以上技术对大平煤矿“10·20”瓦斯爆炸事故进行了反演, 该技术能在瓦斯波及之前发出将波及预警和给出相关应急措施建议。

关键词: 煤矿; 瓦斯突出; 预警; 应急; 辅助决策

中图分类号: TD713.4

文献标志码: A

Coal and gas outburst disaster early warning and emergency response decision support technology

YANG Shouguo^{1,2}, TANG Jianxin¹, WEN Guangcai², KANG Jianning², LIU Cheng^{1,2}

(1. College of Resource and Environment Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. College of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
3. Chongqing Research Institution, China Coal Technology Engineering Group Corporation, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to realize early warning of coal and gas outbursts, and take timely emergency response, the technology of coal and gas outburst early warning and emergency response decision support is brought forward. The characteristics of abnormal gas outburst are specially analyzed, thus methods are given to monitor and identify the coal and gas outburst disaster. Combined with existing safety monitoring system in the mine, researches of such techniques are carried out as outburst gas content predicting, spread range forecasting and regions of power cutoff. Through those techniques, the Daping coal mine gas explosion disaster is retrieved. In the process of simulation, gas spreading early warning and related emergency response proposals can be issued before the gas arrive.

Key words: coal mines; gas bursts; early warning; emergency response; decision support

中国是产煤大国, 同时也是煤矿安全形势极为严峻的国家, 建国以来发生一次死亡百人以上的特别重大事故 23 起, 其中 21 起属于瓦斯事故^[1], 仅在 2004 年到 2005 年, 全国就发生了 6 起百人以上煤

矿事故, 其中 5 起是瓦斯事故, 在国内外造成了极其恶劣的影响。经过分析, 不少重特大瓦斯事故的发生是由局部灾害事故在一定的时间内演化而来的, 比如: 大平煤矿瓦斯爆炸事故是先发生了煤与瓦斯

收稿日期: 2012-04-03

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项资助项目(2005DIB2J214)

作者简介: 杨守国(1978-), 男, 重庆大学博士研究生, 主要从事矿井安全及应急救援技术的研究。

唐建新(联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, (E-mail)jxtang@cqu.edu.cn。

突出事故,经过 29 min 后演化为特别重大瓦斯爆炸事故^[2];孙家湾煤矿瓦斯爆炸事故是先发生了冲击地压,经过 11 min 后演化为特别重大瓦斯爆炸事故;新兴煤矿是发生煤与瓦斯突出后 1 h 后演化为特别重大瓦斯爆炸事故。这几起事故的原因和过程给我们带来一个启示或教训:在某些局部性灾害发生后,如果能在很短的时间内对可能发生的更大规模的灾变做出预判,并在灾变发生前采取应急措施,消除发生灾变的必要条件,从而就可避免造成更大的瓦斯爆炸事故损失或伤亡。

1 灾变预警

国内外学者对煤与瓦斯突出机理和突出预测做了深入的研究^[3-7],但对煤与瓦斯突出后的有害气体传播^[8],以及突出后的应急措施^[9-10]研究较少。

目前,国内高瓦斯、突出矿井基本上都装备了安全监测系统^[11],可以实时地监测到瓦斯浓度的变化,但监测系统只简单反映传感器所在位置的瓦斯浓度变化情况,缺乏综合分析功能。因此,为了有效防止因为局部性灾害引起的瓦斯爆炸事故发生,需要研究和开发井下灾变预警及应急辅助决策信息分析技术和软件系统,以达到充分利用现有监测系统,

及时、自动地捕捉煤与瓦斯突出、冲击地压、瓦斯喷出、局部瓦斯积聚等瓦斯异常事故,快速、准确地判断瓦斯异常的性质、发生的地点,及其产生的灾害气体可能波及的范围,瓦斯灾害产生的动力效应对通风设施的破坏情况,为矿井迅速采取有效的应急处理措施提供决策依据,从而避免发生更大的瓦斯爆炸事故,将已发生的瓦斯灾害带来的损失控制在最低程度。

1.1 瓦斯涌出特征

为了实现对煤与瓦斯突出灾变的在线识别,首先对煤矿常见瓦斯异常涌出进行分析。常见瓦斯异常涌出浓度曲线如图 1 所示。放炮后瓦斯涌出表现为突然升高到一定峰值后,马上开始下降,其峰值一般较小;传感器调校直接表现为传感器显示值在瞬间显示为标准气样浓度,并保持基本稳定,一段时间后恢复正常;局扇供风故障主要包括局扇停机、风筒破坏 2 种情况,其基本特征是工作面瓦斯浓度逐步上升,由局扇或风筒开关传感器可以直接监测;瓦斯异常涌出(如冲击地压引发)、煤与瓦斯突出直接表现为传感器监测值瞬间升高、溢出或断线等,瓦斯浓度一般会达到 4% 以上,并维持数分钟或更长时间。

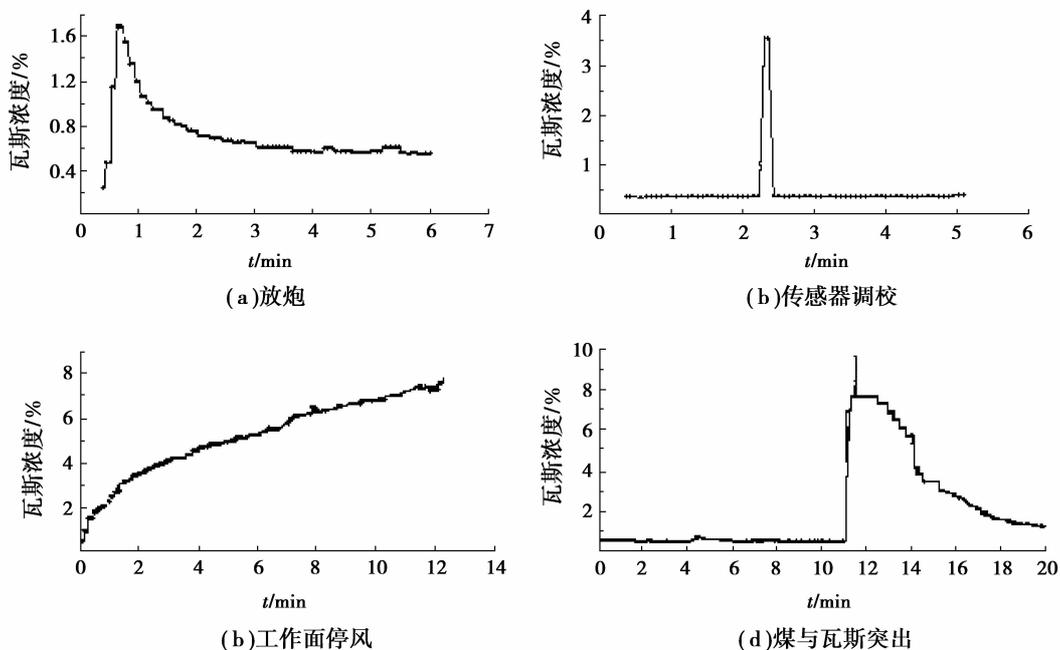


图 1 常见瓦斯异常涌出特征

1.2 灾害监测

煤与瓦斯突出灾变监测以采掘工作面作为监测对象,这就需要将现有各个传感器与采掘工作面建

立关联关系。采煤工作面与其进风瓦斯传感器、上隅角瓦斯传感器、中部瓦斯传感器、下隅角瓦斯传感器、回风瓦斯传感器相关联;掘进工作面应与其工作

面矿头瓦斯传感器、回风瓦斯传感器相关联;如果是临时掘进突出危险煤层,或施工大直径钻孔到突出危险煤层,尽量在施工位置布置瓦斯监测传感器,或者将距离其施工位置最近的回风侧瓦斯传感器与其相关联。每个采掘工作面均可以建立与多个传感器的关联关系,但是每个传感器只能关联到一个工作面,每个被关联的传感器作为灾变重点监测单元。

1.3 灾变辨识

设采掘工作面集合为 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, 与采掘工作面关联的瓦斯传感器集合为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, 则 G 与 S 之间具有映射关系 $f: S \rightarrow G$ 。当有传感器 $S_i (i=1, 2, \dots, m)$ 发生超限、监测值上溢、断线等异常现象时, 查询该传感器所关联的工作面 $g_j (j=1, 2, \dots, n)$, 以 g_j 为中心, 沿着矿井原通风系统风流方向, 搜索是否至少有一个瓦斯传感器在较短时间内发生了瓦斯涌出超限、监测值上溢、断线或异常, 如果有则可以初步判断为该工作面发生了瓦斯异常涌出或突出事故; 沿着矿井原通风系统风流逆向, 搜索是否至少有一个瓦斯传感器在较短时间内发生了瓦斯涌出超限、监测值上溢、断线或异常, 如果有也可以确定或进一步佐证该工作面发生了瓦斯异常涌出或突出事故, 且已经发生了风流逆流。

根据已知突出事故案例分析, 发生煤与瓦斯突出后, 工作面及其回风瓦斯传感器浓度值均在 4% 以上, 甚至导致传感器上溢。

2 辅助决策

2.1 涌出量预测

对大量实测的突出发生后的瓦斯浓度随时间变化关系的回归分析表明, 幂函数对突出后随时间变化的单位时间内瓦斯涌出量具有很好的拟合效

果^[12], 其关系式为

$$Q_i = kt^\mu \quad (1)$$

式中: Q_i 为每 i 个时间段内的突出瓦斯涌出量, m^3 ; k, μ 为系数; t 为时间, min 。

瓦斯突出发生后, 回风巷瓦斯浓度一般都较高, 当安装在工作面的瓦斯浓度传感器为低浓度传感器时, 往往会因为瓦斯浓度超过传感器量程而没有监测数据; 当突出强度大、瓦斯涌出量大时, 工作面或采区的通风系统可能会遭到破坏, 不仅风量数据不准确, 而且采区回风巷、矿井回风巷的瓦斯浓度都可能超过传感器的量程, 得不到前期高浓度阶段的瓦斯浓度或风量数据。因此, 首先应尽量选用靠近突出工作面、而且瓦斯浓度测值没有超过测量仪器量程的测点数据, 当发生瓦斯逆流或局部通风系统遭到破坏时, 应选用采区、矿井一翼或总回风流中的测点数据计算。

2.2 波及范围预测

煤与瓦斯突出时, 破碎的煤与瓦斯在压力作用下由煤体内突然向采掘空间大量喷出, 当发生煤与瓦斯突出灾害后, 有毒气体、高浓度瓦斯会沿回风方向从风井排出, 也可能在灾害地点破坏通风设施后发生逆流^[13-15], 有毒气体进入进风巷, 从而影响到由该进风巷供风的其他井下区域。

由此可得出煤与瓦斯突出可能威胁的区域: 事故发生点下游巷道全部为将波及区, 按风速计算当前波及位置, 如图 2(a) 所示, 风速可按两传感器先后超限的时间差及两传感器之间巷道的长度计算; 当发生风流逆流时, 逆流所到巷道的所有下游巷道都为将波及区, 如图 2(b) 所示, 是否发生逆流可根据进风巷道内的瓦斯浓度及风门是否破坏进行判断。

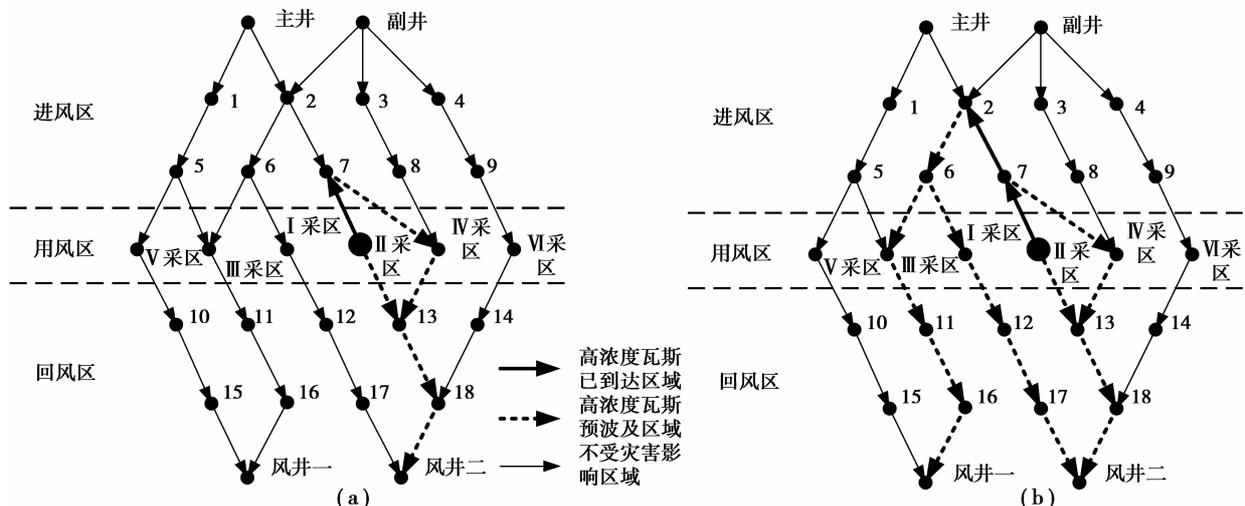


图 2 突出波及范围示意图

2.3 区域断电措施

当煤与瓦斯突出后,将受威胁区域或高浓度瓦斯将到达区域提前断电为最佳选择。当发生煤与瓦斯突出时,可通过配电开关将相应的采区或区段电源切断。但在突出发生后的较短时间内,做出是否断电及断电范围的决策,并通过人工实施相当困难。所以需要事先制定相应的断电策略,以备灾害发生后应用信息化、自动化的手段快速、准确、远程断电,最大程度地避免灾害进一步扩大。

煤与瓦斯突出后,首先确保突出地点断电,通过采区变电所相应配电开关断电;当瓦斯逆流至采区进风巷道时,应通过主变电站配电开关对该采区全部断电;当瓦斯逆流至水平运输大巷时,应通过主变电所相应配电开关对将受影响的采区断电;当瓦斯逆流至井底车场时,应通过主变电所对全部井下非本质安全型设备断电。远程断电操作执行后,应通过馈电开关监控相关设备的运行状态,确保断电操作的有效。如不能有效地通过远程控制断电,可通知相关变电站人员进行人工操作,如果时间紧急,可通过控制上一级断电开关进行断电,确保断电操作的有效性。

3 实例反演

3.1 事故概况

2004年10月20日22时09分,大平煤矿21岩石下山发生煤与瓦斯突出事故,突出瓦斯逆流进入西大巷主要进风流中,导致13、15采空区巷道和工作面的瓦斯浓度突然上升,并使西大巷局部地段和13采区瓦斯浓度达到爆炸浓度。22时40分,在西大巷与11轨道石门交汇点附近的西大巷内,由架线电机车电火花引起瓦斯爆炸,并迅速传到13采区,波及11、15采区、西大巷、21岩石下山和西翼回风巷。造成矿井西翼供电线路、电器设备、运输设备、通风设施、安全监控系统及排水系统严重破坏,148人死亡,32人受伤。

3.2 事故反演

收集安全监测系统突出事故发生后监测数据,得到井下主要瓦斯传感器瓦斯异常及传感器断线时间,见表1。

利用开发的“煤与瓦斯突出灾变预警及应急辅助决策系统”,结合安全监测数据和矿井通风系统,对该事故进行反演,可得出,22:09:12,21岩石下山发生突出,已波及区为本工作面,将波及区21采区回风;22:16:04,已波及区为21采区、西大巷、13采区瓦斯泵房,将波及区为11采区、15采区及13采

区回风;22:26:44,波及到13工作面;22:32:42,波及到15采区;22:40:36,监测系统断线。

表1 突出后传感器异常时间统计表

序号	传感器安装地点	开始超限时刻	断线时刻
1	21 下山回风	22:09:12	22:12:56
2	13 瓦斯泵站	22:16:04	22:40:30
3	13 采区变电所	22:16:54	22:40:30
4	13 采区回风	22:20:20	22:40:38
5	13051 上付巷	22:26:44	22:40:35
6	13121 工作面	22:29:53	22:36:52
7	15 下车场	22:32:42	22:40:34
8	11301 工作面	—	22:40:33
9	11 东翼轨道巷	—	22:40:36

由以上反演可得,发生煤与瓦斯突出后,系统立即捕获到了灾变信息,并在逆流瓦斯分别到达13采区、15采区之前10分40秒、16分38秒发出了将波及预警。如图3所示。

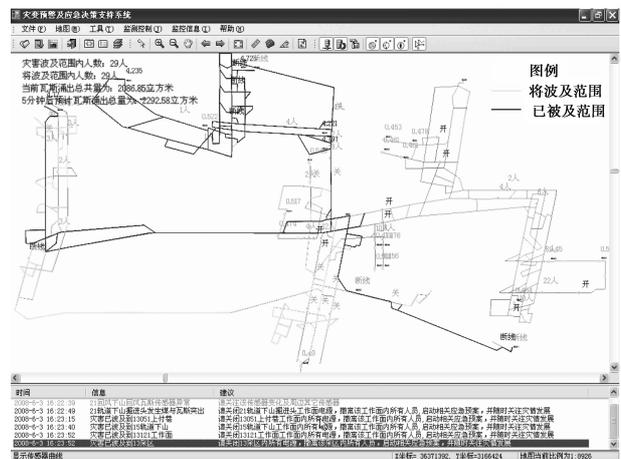


图3 灾变波及范围及预警

4 结 语

煤与瓦斯突出灾害是国内煤矿中最严重的灾害之一,特别是在发生了煤与瓦斯突出之后,由于处理不当或不及时,致使灾害扩大,形成重特大事故的事例经常发生。利用本研究成果,可实现在发生局部煤与瓦斯突出灾变后,对其进行实时监测,动态计算涌出瓦斯量、波及范围和将波及范围,并给出相应的断电措施建议,可提高应急决策科学性和反应速度,对防止灾害扩大、减少灾害损失有重要作用。

参考文献:

- [1] 张德江. 大力推进煤矿瓦斯抽采利用[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(1): 5-7.
ZHANG Dejiang. Fully advancing methane drainage and utilization in coal mine [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2010, 6(1): 5-7.
- [2] 刘金城, 郭德勇, 邹山旺. 大平煤矿瓦斯爆炸事故原因分析及对策[J]. 矿业安全与环保, 2006, 33(2): 23-25.
LIU Jincheng, GUO Deyong, ZOU Shanwang. Cause analysis of gas explosion accident and countermeasures in DaPing coal mine [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2006, 33(2): 23-25.
- [3] He J, Chen X S, Ouyang W F. Study on chaos characteristics of gas dynamic emission preceding coal and gas outburst [C] // The 2008 International Symposium on Safety Science and Technology, Sept 24-27, 2008, Beijing. Beijing: State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, 2008: 1676-1679.
- [4] 许石青, 吴华帮. 煤与瓦斯突出预测方法研究现状与进展[J]. 矿业快报, 2008, 24(5): 21-23.
XU Shiqing, WU Huabang. Present situation and advances of research on prediction methods of coal and gas [J]. Express Information of Mining Industry, 2008, 24(5): 21-23.
- [5] Li S, Zhang H. Pattern recognition and forecast of coal and gas outburst [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 15(3): 251-254.
- [6] Song W H, Zhang H W. Regional prediction of coal and gas outburst hazard based on multifactor pattern recognition [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1): 347-353.
- [7] Hudecek V. Analysis of safety precautions for coal and gas outburst-hazardous strata [J]. Journal of Mining Science, 2008, 44(5): 464-472.
- [8] 郝宇. 煤与瓦斯突出沿井巷传播规律研究[J]. 煤炭技术, 2009, 28(11): 74-76.
HAO Yu. Research on propagation law of coal and gas outburst in road-way network [J]. Coal Technology, 2009, 28(11): 74-76.
- [9] 邓智高. 突出矿井直流架线远距离断电装置的应用[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(1): 55-56.
DENG Zhigao. Application of remote cut-off device of DC overhead line in an outburst mine [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2004, 31(1): 55-56.
- [10] Furukawa H, Li B R, Tomita S. Prevention of explosion in coal mine and management of coal mine gas [J]. Journal of Coal Science and Engineering, 2009, 15(2): 215-219.
- [11] Hou Y F, Meng Q R, Tong M M. Study on gas monitoring technology based on information fusion [J]. Journal of Coal Science and Engineering, 2010, 16(1): 57-63.
- [12] 胡千庭. 煤与瓦斯突出的力学作用机理及应用研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2007.
- [13] 董钢锋, 梁运培. 突出煤瓦斯涌出规律及逆流形成条件分析[J]. 煤炭科技, 2001, 22(4): 46-48.
DONG Gangfeng, LIANG Yunpei. Analysis of contra flow forming condition and gas flooding Law in outburst coal seam [J]. Coal Science & Technology Magazine, 2001, 22(4): 46-48.
- [14] Jin H W, Hu Q T, Liang Y P. Coal damage mechanism in the developing process of coal and gas outburst [J]. Journal of Coal Science and Engineering, 2009, 15(2): 138-142.
- [15] Otuonye F, Sheng J. A numerical simulation of gas flow during coal and gas outburst [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 1994, 12(1): 15-34.

(编辑 郑洁)