

“煤与瓦斯突出风险判识与监测预警技术”专题

【编者按】煤与瓦斯突出是煤炭开采过程中产生的瓦斯动力现象,对煤矿安全生产危害很大。随着我国煤炭开采深度和强度的增大,煤与瓦斯突出灾害日益严重。对煤与瓦斯突出进行监测预警,是防治煤与瓦斯突出灾害的重要手段之一。“十二五”期间,多家科研院所研发的“煤与瓦斯突出监控预警系统”大幅提高了煤与瓦斯突出预警的自动化和信息化水平,但依然存在预警指标不完善、预警模型自分析能力不足等问题。鉴于此,我刊策划了“煤与瓦斯突出风险判识与监测预警技术”专题,报道“十三五”国家重点研发计划“煤与瓦斯突出风险判识与监测预警理论及技术体系”的部分代表性学术论文。专题研究内容涉及煤与瓦斯突出灾害风险判识方法、煤与瓦斯突出事故风险多参量预警指标体系、基于异构数据集成的预警平台、智能煤与瓦斯突出预警系统等。在此,特别感谢中国矿业大学李忠辉教授在本专题组稿、审稿方面给予的大力支持和帮助,同时对所有为本专题撰稿的专家学者表示衷心的感谢!

文章编号:1671-251X(2018)01-0006-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17287

煤与瓦斯突出预警方法探讨

赵旭生^{1,2}, 宁小亮^{1,2}, 张庆华^{1,2}, 马国龙^{1,2}

(1. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039;
2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037)

摘要:给出了煤与瓦斯突出预警的定义,明确指出了突出预警与预测的区别;从空间、时间和指标体系的角度对突出预警进行了分类,并根据突出灾害特点提出了突出预警应该具有的特征;以系统论和事故理论为指导,分析了突出预警系统构成和实现途径,并阐述了从警源监测、警兆识别、警情分析、警度发布和预警响应5个方面进行突出预警的步骤,同时给出了采用预警总准确率、漏报率和虚报率3个指标进行预警效果评价的方法。现场应用结果表明,所提突出预警方法的平均状态预警总准确率为89.1%,平均趋势预警总准确率为92.5%,漏报率为0。

关键词:煤与瓦斯突出;突出预警;预警分类;平均状态预警总准确率;平均趋势预警总准确率;漏报率

中图分类号:TD713

文献标志码:A

网络出版时间:2017-12-15 11:23

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20171213.1532.008.html>

Discussion on early warning method of coal and gas outburst

ZHAO Xusheng^{1,2}, NING Xiaoliang^{1,2}, ZHANG Qinghua^{1,2}, MA Guolong^{1,2}

(1. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China; 2. State Key Laboratory for Gas Disaster Monitoring and Emergency Technology, Chongqing 400037, China)

Abstract: Definition of early warning of coal and gas outburst was given, and difference between the early warning and forecasting was clearly pointed out. The early warning of coal and gas outburst was

收稿日期:2017-09-18;修回日期:2017-11-16;责任编辑:胡娴。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801404);重庆市“科技创新领军人才支持计划”资助项目(CSTCKJCXLJRC14);中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2013ZD002)。

作者简介:赵旭生(1969—),男,陕西周至人,研究员,博士,现主要从事瓦斯灾害防治技术研究工作,E-mail: cq_zxs@163.com。通信作者:宁小亮(1984—),男,江西南城人,副研究员,硕士,从事瓦斯灾害防治技术研究工作,E-mail: nxl@foxmail.com。

引用格式:赵旭生,宁小亮,张庆华,等.煤与瓦斯突出预警方法探讨[J].工矿自动化,2018,44(1):6-10.

ZHAO Xusheng, NING Xiaoliang, ZHANG Qinghua, et al. Discussion on early warning method of coal and gas outburst[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(1): 6-10.

classified from angle of space, time and index system, and features of the early warning were put forward according to specific characteristics of coal and gas outburst disaster. System structure and implementation of the early warning were analyzed guided by system theory and accident theory. Steps of the early warning were described from five aspects of detection of risk source, warning sign identification, analysis of warning situation, alert release and early warning response. Method of effect evaluation of the early warning was put forward by using three indicators of initial warning accuracy, false negative rate and false alarm rate. The field application results show that the average accuracy rate of state warning is 89.1%, the average accuracy rate of trend warning is 92.5%, and the false negative rate is 0.

Key words: coal and gas outburst; early warning of outburst; classification of early warning; average accuracy rate of state warning; average accuracy rate of trend warning; false negative rate

0 引言

中国是世界上瓦斯灾害最严重的国家之一,而且随着开采深度和强度的增大,瓦斯灾害,尤其是煤与瓦斯突出(以下简称“突出”)灾害日益严重,突出防治一直是我国煤矿安全生产工作的重点^[1-2]。灾害预警作为事故防范的首要环节,能够对安全隐患进行超前、全方位的预测分析。突出预警技术目前在煤矿现场已得到一定应用,对突出隐患的监测、分析和管理水平的提升,以及突出事故的预防等起到了积极作用^[3-6]。但是,目前从理论的角度并未对突出预警方法进行深入研究,我国尚未形成突出灾害预警机制,同时也缺乏相应的行业标准。鉴此,本文从突出预警概念、实现途径与步骤等方面对突出预警方法进行探讨,以期为我国突出灾害预警机制的建立和行业标准的形成提供理论支撑。

1 突出预警的概念

1.1 突出预警的定义

突出预警是指在煤与瓦斯突出灾害发生前,根据收集到的各种隐患和前兆信息,分析其发生的可能性、危险程度和发展趋势,并按照一定规则,提前以颜色、文字、声、光等形式向相关部门和人员发出危险等级信号,以便及时采取防控措施,从而避免突出事故的发生或最大程度地减少事故所造成的损失的行为。

1.2 突出预警与预测的区别

突出预警与传统的突出预测从时间、空间、指标全面性等方面具有显著区别,主要体现在以下几方面。

(1) 从时间角度比较。传统的突出预测在时间上是静态的,属于“抽检”性质,可预测突出危险性的状态,但没有考虑危险性的发展趋势;突出预警从时

间角度对突出危险性的分析是动态的,既能反映突出危险性当前状态,又能分析其未来的发展趋势。

(2) 从空间上分析。传统突出预测仅能预测到钻孔接触到的空间范围,而且是“点式”的,空间上不连续;突出预警对突出危险性的分析在空间上是连续的、超前的。

(3) 传统突出预测一般根据个别预测指标值间接和部分地反映影响突出危险性的三大因素,且只对工作面客观突出危险性进行预测;突出预警是采用多指标对突出防治全过程的所有因素进行分析。

2 突出预警分类及要求

2.1 突出预警分类

从预警的范围、超前时间、采用的指标等角度,突出预警可划分为不同的类型。

按照预警的范围不同,突出预警可以分为宏观预警、中观预警和微观预警。例如全国煤矿突出危险性预警属于宏观预警,省级或矿区突出预警属于中观预警,矿井或采掘工作面突出危险性预警为微观预警。

按照预警的超前时间不同,突出预警可分为中长期预警、短期预警和紧急预警。

按照采用的预警指标体系的不同,突出预警可以划分为单因素预警和综合预警。单因素预警是指从影响事故发生的某一方面因素或反映危害事件发生、发展的某一类征兆出发进行的监测和预警;综合预警则是从影响事故发生的多方面因素及反映危害事件发生、发展的多类征兆出发进行的监测和预警。

依照上述分类方法,并根据突出灾害特点和矿井生产实际情况,目前在煤矿现场得到较好应用的预警方法主要是针对采掘工作面的微观、短期及紧急预警,有单因素预警,也有综合预警。

2.2 突出预警的特征

由于突出灾害自身的复杂性和特殊性,所采用的突出预警方法应该与之适应,才能使预警发挥其作用。根据突出灾害特点,突出预警应具有以下特征。

(1) 综合性。根据突出事故致因复杂、危险源众多的特点,从系统论和危险源理论出发,煤矿灾害预警应该坚持综合预警的方法,通过对引发具体事故的各种危险源进行全面监测、跟踪和综合分析,实现多方面、多因素、多指标的灾害预警。

(2) 动态性。根据煤矿井下作业动态变化、地质和环境条件多变的特点,突出灾害预警应坚持动态监测的原则,通过对危险源、环境条件参数、防治措施和管理进行动态监测,分析采取的措施是否适应灾害危险性的变化。

(3) 超前性。根据突出事故发生的突然性特点,突出预警要求在时间、空间 2 个方面都具有超前性,通过各种模型随时分析和预测工作面前方和今后一段时间预警指标的变化和发展趋势,在事故发生之前实现超前预警。

(4) 实时性。突出事故具有突发性,事故之前有些监测指标会发生突然的改变,所以突出灾害预警对实时性要求较强,要实时掌握监测地点的危险状态,以便及时采取防范措施,所以,进行警情分析的周期要求比较短,能够满足紧急预警的要求。

(5) 智能化。由于煤矿事故的突发性,预警要求具有非常强的时效性,预警应该在尽可能短的时间内完成,因此,煤矿灾害预警应尽量借助自动化、智能化手段完成。

(6) 简便性。煤矿灾害预警采用的监测指标较多,但是并不是所有指标都能同时获取,指标获取的同步性差异较大,而预警的实时性要求当出现危险情况时必须及时发布预警,所以,对预警模型的要求就是要能实现部分指标获取时的预警功能;同时,指标的获取和模型计算应该简便,不占用大量计算资源和时间,以便能够快速反应,所以,煤矿灾害预警模型和指标监测应该坚持简便易行的原则。

3 突出预警实现方法

3.1 突出预警系统构成

从系统论角度出发,突出预警包含信息、硬件、软件、人员和制度五大要素^[7-11],集突出警源监测、警兆识别、警情分析、警度发布和预警响应为一体的有机整体,其构成如图 1 所示。

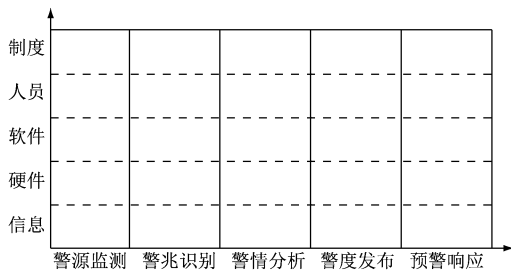


图 1 预警系统构成

Fig. 1 Components of early warning system

3.2 突出预警实现途径

突出预警的实现途径:在事故理论、预警理论、煤与瓦斯突出防治理论的指导下,借助煤矿井下监控环网和地面办公局域网,利用相关监测、检查仪器等,动态采集突出相关的各种隐患和前兆信息,并利用建立的预警指标和模型对其进行辨识和分析,对突出危险状态和发展趋势进行整体评价,确定预警等级结果并通过网络、电话、短信、广播等手段及时向相关机构和人员进行发布,提醒尽快采取防范措施,达到突出动态监测、智能分析、实时预报和趋势把握的目的。

3.3 突出预警步骤

煤与瓦斯突出预警包括突出警源监测、突出警兆识别、突出警情分析、突出警度结果和突出预警响应发布 5 个步骤。

(1) 突出警源监测。突出预警中需要监测的警源就是矿井生产过程中与突出事故相关的各种危险源,主要包括 2 类危险源:第 1 类危险源是储存有大量弹性潜能和瓦斯内能的客观突出危险煤体,其所具有的特征主要集中在瓦斯地质、应力集中、煤层赋存、煤层结构、煤体结构、日常预测等方面;第 2 类危险源主要包括防突措施缺陷和防突管理隐患 2 个方面。

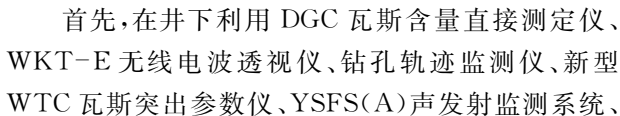
在突出预警过程中,针对客观突出危险煤体,应以突出煤体所具备的特征为监测要素;针对防突措施缺陷,应以防突措施实施参数为监测要素;而针对防突管理隐患,则应以防突流程为监测要素。可采用的监测方式主要有 2 种:一是通过煤矿安全监控系统对相关内容进行动态的监测;二是通过人工方式或借助相关仪器装备以人工或半自动的形式进行监测。

(2) 突出警兆识别。突出警兆是指突出警情发生的征兆,这些征兆与突出警源有直接或间接关系,反映了突出危险的状态及其发展趋势。突出警兆的识别是在对突出警源进行监测的基础上,从收集的

(5) 突出预警响应。根据警情类型和严重程度,采取相应的突出防治或保护措施,消除突出隐患,以避免突出事故的发生或降低事故造成的损失。预警响应包括自动响应和人工响应 2 种模式,自动响应模式一般通过建立预警与监控设备的联动来实现,主要用来执行自动断电等防护性措施;人工响应模式通常利用预警响应制度来实现,通过制定、执行防突措施,实现对突出事故的防控。

式中: n 为预警总次数, 即预警无突出危险次数与预警有突出危险次数之和; n_2 为漏报次数, 即预警无突出危险, 但实际有突出危险报警次数; n_3 为虚报

根据大湾矿地质环境、采掘情况及灾害特征,从区域和局部的角度构建突出预警指标体系(图2),并依据预警指标确定监测预警对象和内容,在试验矿井部署突出预警相关软硬件系统,其总体架构如图3所示。



GJJ100 激光测距仪、井下数据采集仪、瓦斯传感器等装备对瓦斯含量、地质构造、钻孔轨迹、声发射信息、钻屑指标、采掘进度、瓦斯浓度等预警信息进行监测、检测,并借助井下环网和办公网对这些信息进行传输与采集;接着,在通风科、抽采科、地测科等部门部署预警软件系统(图 4),实现对瓦斯地质异常、措施缺陷、瓦斯涌出异常、应力异常、日常预测指标异常等突出异常信息进行分析;然后,预警系统根据分析的结果发布不同等级预警结果,其中将预警结果分为状态预警和趋势预警两类,并分别划分为正常、威胁、危险和绿色、橙色、红色预警级别;最后,相关部门根据预警结果采取相应措施。试验期间对 111113 回采工作面及 120200、120200、120203 等工作面巷道进行了 152 d 跟踪预警,系统实现了突出危险监测、识别、分析与预警,多次对突出危险进行了超前预警提醒,保障了工作面的安全采掘。对预警结果与工作面实际突出危险进行跟踪对比和统计得出,预警系统的平均状态预警总准确率为 89.1%,平均趋势预警总准确率为 92.5%,漏报率为 0。

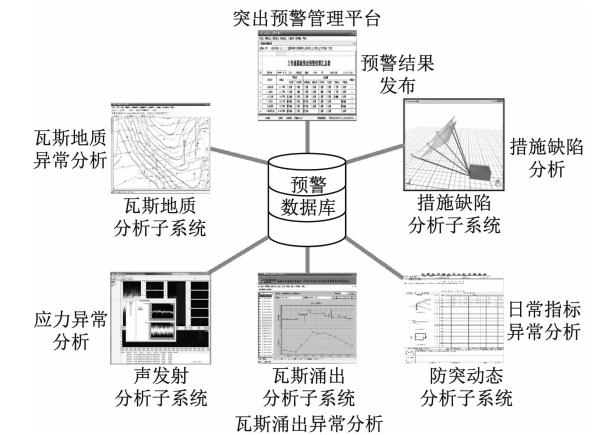


图 4 预警软件系统

Fig. 4 Software system of early warning

6 结语

对煤与瓦斯突出预警的概念进行了阐述,从空间、时间和指标体系的角度对突出预警进行了分类,根据突出灾害特点提出了突出预警的具体要求,同时探讨了突出预警的系统构成、实现途径及预警步骤,并构建了预警效果分析指标,形成了一套基于突出危险源全方位监测、识别和分析,进行全过程、多参量、实时预警的方法。现场试验结果表明,该方法可行、有效,对我国突出预警机制的形成和相关行业

标准的制定具有重要支撑作用。

参考文献(References):

[1] 胡千庭. 预防煤矿瓦斯灾害新技术的研究[J]. 矿业安全与环保,2006,33(5):1-7.
HU Qianting. Study on new techniques for preventing gas disaster in coal mines[J]. Mining Safety & Environmental Protection,2006,33(5):1-7.

[2] 李学来,刘见中. 瓦斯灾害治理新技术[J]. 中国安全科学学报,2004,14(7):101-104.
LI Xuelai, LIU Jianzhong. New achievements of gas control technology[J]. China Safety Science Journal, 2004, 14(7):101-104.

[3] 文光才,宁小亮,赵旭生. 矿井煤与瓦斯突出预警技术及其应用[J]. 煤炭科学技术,2011,39(2):55-58.
WEN Guangcai, NING Xiaoliang, ZHAO Xusheng. Coal and gas outburst early warning technology and application in coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(2):55-58.

[4] ZHAO Xusheng, HU Qiannting, NING Xiaoliang. Research on comprehensive early-warning technology of coal and gas outburst[J]. Procedia Engineering, 2011,26(Complete): 2376-2382.

[5] 宁小亮. 煤与瓦斯突出灾害监控预警技术[J]. 中国安全生产,2016(9):50-51.

[6] 宁小亮,蒲阳. 基于矿压监测动态特征的瓦斯突出预警系统设计[J]. 工矿自动化,2015,41(3):10-13.
NING Xiaoliang, PU Yang. Design of early-warning system of gas outburst based on dynamic characteristics of pressure monitoring [J]. Industry and Mine Automation,2015,41(3):10-13.

[7] 詹晓燕. 环境安全预警系统研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.

[8] 单慧. 企业可持续发展预警系统研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2007.

[9] GROSSI E, LOPS M. Multi-frame sequential procedures in early warning surveil-lance radar systems[C]//IEEE Radar Conference,Rome, 2008.

[10] LIU Kainan, NING Ling, ZHANG Meiyun. Research on the early warning technology of the mine safety based on wireless sensor networks [C]// International Conference on Advances in Energy Engineering, 2010.

[11] BALSTAD E. Benefits of early warning [J]. Turbomachinery International,2006,47(1):34-35.