文章编号:1671-251X(2013)01-0013-04
芦建军,屈世甲. 瓦斯突变预警上限值确定方法的研究[J]. 工矿自动化,2013,39(1):13-16.

瓦斯突变预警上限值确定方法的研究

芦建军[1], 屈世甲[2]

(1. 潞安矿业(集团)有限责任公司 余吾煤业,山西 长治 046103;
2. 中煤科工集团常州自动化研究院,江苏 常州 213015)

摘要:针对现有煤矿安全监控系统采用超限原理,以瓦斯传感器测量值为判断依据,无法及时发现预定报警值以下范围内瓦斯异常变化的问题,提出了一种不超限瓦斯突变预警方法,介绍了静态预警和动态预警两种不超限瓦斯突变报警方法。结合余吾煤业 N2202 工作面探头数据,分别对不超限瓦斯突变预警基础数据的静态数据和动态数据进行了分层抽样及分布的验证和拟合,得出静态预警和动态预警的基础数据基本符合正态分布的结论。提出采用假设检验和区间估计等实时计算静态预警和动态预警上限值的方法,并采用 N2202 工作面探头数据进行了验证。

关键词:煤矿监控;瓦斯突变预警;不超限预警;静态预警;动态预警;瓦斯体积分数;巡检周期
中图分类号:TD76 文献标志码:A 网络出版时间:
网络出版地址:

Research of determination method of upper limit value of gas mutation pre-warning

LU Jian-jun[1], QU Shi-jia[2]

(1. Yuwu Coal Mine, Lu'an Coal Mining (Group) Co., Ltd., Changzhi 046103, China;
2. Changzhou Automation Research Institute of CCTEG., Changzhou 213015, China)

Abstract: For problem that abnormal gas change below pre-set warning value cannot be found in time because existing safety monitoring and control systems of coal mine use overrun theory and take measured value by gas sensors as criterion, the paper proposed a pre-warning method for gas mutation below the pre-set limit value, and introduced two gas mutation pre-warning methods named static pre-warning and dynamic pre-warning. It did stratified sampling as well as distribution validation and fitting of static data and dynamic data of pre-warning basic data of gas mutation below the limit value according to probed gas data of N2202 working face of Yuwu Coal Mine, and got a conclusion that the basic data distribution of the static pre-warning and dynamic pre-warning is both in normal distribution. It also proposed a method to real-timely calculate upper limit value of the static pre-warning and dynamic pre-warning with hypothesis testing and interval estimation, which was verified by use of probed gas data of N2202 working face.

Key words: coal mine monitoring and control; gas mutation pre-warning; pre-warning below pre-set limit value; static pre-warning; dynamic pre-warning; gas volume fraction; inspection cycle

0 引言

当前我国煤矿安全监控系统的基本功能是通过实时监测矿井各采掘面瓦斯体积分数、CO 体积分数等参数的动态变化,采用超限原理,以测量值的大小作为判别依据,只要不超限即认为正常,当达到预定报警值时报警[1]。系统不能及时捕捉和发现预定报警值以下的瓦斯动态异常变化,不能提前采取有

收稿日期:2012-09-21。
基金项目:中煤科工集团常州自动化研究院研发项目(12TY002)。
作者简介:芦建军(1974-),男,山西长治人,工程师,长期从事煤矿现场安全管理以及生产技术指导工作,E-mail:ljj21657@163.com。

针对性的防范措施，在很大程度上制约了矿井瓦斯等危险因素的治理工作[2]。

瓦斯突变预警方法是一种不超限范围内瓦斯体积分数变化异常的预报警方法。该方法可使煤矿对危险或事故提前采取防治措施，将生产现场对危险或事故的响应时间提前，从而防止事故的发生或者降低危险的伤害。该方法考虑了瓦斯体积分数变化的敏感性，及时发现和掌握瓦斯体积分数在低于安全监控系统报警值时的瓦斯异常变化情况，改变了安全监控系统较为单一和死板的瓦斯报警方式。

1 不超限范围内瓦斯异常预报警方法

发生煤矿瓦斯突出（以下简称突出）事故时，瓦斯体积分数在数秒内即可达到 30%，上升至 5%用时则更短。5%是瓦斯爆炸下限，必须在瓦斯体积分数上升的极早期进行分析、判断和识别[3]。瓦斯体积分数在不同的涌出强度下差别明显，在突出事故中的变化比涌出时更剧烈[4]。可根据安全监控系统每次巡检得到的瓦斯体积分数值快速分析瓦斯体积分数的波动，在极早期准确区分突出与涌出，及时发现瓦斯体积分数值在低于设定报警值时出现的异常现象，最大程度地预防瓦斯突出等事故的发生[5]。

快速分析瓦斯体积分数波动的关键是如何通过 2 次巡检返回的体积分数值来发现不超限范围内瓦斯体积分数的异常变化[6]。现有的不超限预报警方法分为静态报警方法和动态报警方法。静态报警方法较为简单，主要是将瓦斯体积分数的一次梯度作为输入，对涌出与突出进行识别，实现突出的极早期预警。一次梯度表达式为

$$G(k) = | C(k) - C(k-1) | \tag{1}$$

式中：$C(k)$ 为当前巡检周期内测得的瓦斯体积分数。

静态报警方法在传感器巡检周期固定或者误差较小的情况下判断较准确，但在使用过程中有一定的局限性：该方法本身没有考虑巡检时间的变化，当巡检周期变化较大时，会出现误报和漏报情况。假设第一次巡检周期为 5 s，下一次巡检周期为 15 s，2 次巡检时间误差达 200%，势必导致误报警；反之，当第一次巡检周期为 15 s，下一次巡检周期为 5 s 时，由于巡检时间大大缩短，很难捕捉到瓦斯体积分数的异常变化，从而导致漏报。这种巡检时间上的误差在矿井监测数据通过光纤环网等光网络传输后会进一步增大。

为了解决该问题，提出了动态预报警方法。该方法在模型建立初期就考虑了巡检时间，利用模糊数学方法，以瓦斯体积分数的一次梯度和相应的巡检时间为输入，对涌出与突出进行准确识别，实现突出的极早期预警。在静态报警模型的基础上，假定 k 次到 $k+1$ 次巡检的时间间隔为 $t(k)$，对当前瓦斯体积分数动态数据与监控系统前一个巡检周期内检测到的瓦斯体积分数值进行增幅预警，计算公式为

$$D(k) = G(k)/t(k) \tag{2}$$

将式(2)的计算结果作为预警基础数据，这样就弥补了由于巡检时间变化所造成的误差，从而提高预报警的可信度和可靠性。

2 不超限范围内瓦斯突变预警上限值的确定方法

报警上限的合理确定是报警模型正常工作和准确发现瓦斯异常变化的关键问题之一。对于静态报警模型，由于默认巡检周期基本相同，常用方法是通过现场经验给定报警上限，比如设置工作面传感器输出值大于 0.2 时报警，回风巷传感器输出值大于 0.1 时报警等，完全凭借经验人为设置。该方法对现场经验丰富的人员来说具有一定的适用性，但现场经验相对欠缺的人员则无法准确给出报警上限值，导致模型经常误报警或不能充分发挥作用。

对于动态报警模型报警上限的确定，由于巡检周期时刻发生着较大变化，即使是现场经验丰富的人员也很难给出一个合适的变化率来作为报警上限值，必须采用数理统计上基于假设检验和置信区间估计的方法实时计算报警上限值。

假设检验的基本思想是小概率反证法思想。小概率思想是指小概率事件（$a>0.01$ 或 $a>0.05$）在一次试验中基本上不会发生。反证思想是先提出假设，再用适当的统计方法确定假设成立的可能性，若可能性小则认为假设不成立，若可能性大则不能认为假设不成立[7]。

置信区间是由样本统计量所构造的总体参数的估计区间[8]。在统计学中，一个概率样本的置信区间是对该样本某个总体参数的区间估计。置信区间展现的是该参数的真实值有一定概率落在测量结果周围的程度，即“一定概率”。该概率称为置信水平。对于一组给定的数据，定义 Ω 为观测对象，W 为所有可能的观测结果，X 为实际观测值，则 X 实际上是一个定义在 Ω 上、值域在 W 上的随机变量。对于某个观测值 $X=x$，其置信空间为 $(u(x), v(x))$。实际上，若真实值为 w，则置信水平为

$$c = \Pr(u(x) < w < v(x)) \tag{3}$$

$U=u(X)$和$V=v(X)$都是统计量(即可观测的随机变量)，而置信空间是一个随机区间(U, V)。该正态总体的置信度$1-\alpha$的置信区间为

$$P\left(\bar{X}-\frac{u_{\alpha/2}}{\sqrt{n}}<\mu<\bar{X}+\frac{u_{\alpha/2}}{\sqrt{n}}\right)=1-\alpha \qquad (4)$$

u检验就是统计量为u的假设检验，当样本数量n较大(如$n>30$)时，样本均数符合正态分布，可用u检验进行分析[9]。总之可根据选取的样本量和样本数据分布类型来确定检验方法，然后给定95%或99%的置信区间，求出当前静态或者动态报警的上限值。这样得到的报警上限值在很大程度上保证了预报警模型在现场应用的可靠性。

3　用于实时确定报警上限值的基础数据分布验证

要通过数理统计的知识在均值和置信区间基础上实时计算静态和动态报警上限值，首先要了解传感器测得的瓦斯体积分数差值的数据分布规律以及考虑巡检周期后瓦斯体积分数差值的二次梯度值分布规律。通过抽样方法获取较多的原始数据来分析巡检数据，同时为了提高样本的可靠性和代表性，采用分层抽样的方法来考察基础数据。以潞安矿业(集团)有限责任公司余吾煤业N2202工作面探头数据为例来分析。在2012年8月1日至10日正常生产期间，随机选取并记录该探头每次巡检得到的瓦斯体积分数值和巡检时间值。对于静态数据不考虑巡检周期值，只记录每次巡检得到的瓦斯体积分数值。将连续2次的巡检值相减，得到9 949组差值数据，通过Minitab1.6进行数据分析，得到的差值数据分布直方图如图1所示。

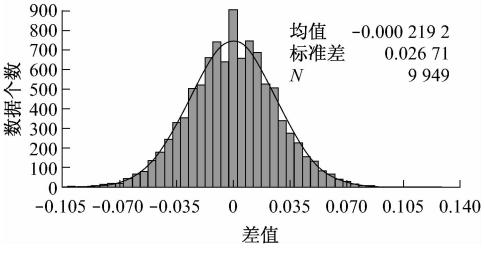

图1　N2202工作面探头测量值差值的分布直方图

为进一步验证该数据是否满足或接近正态分布，绘制了正态分布概率图，如图2所示。

由图1、图2可知，该工作面探头测得的瓦斯体积分数的差值数据基本符合正态分布，可按照正态分布数据的处理方法，通过置信区间的方式求得静态报警上限值。

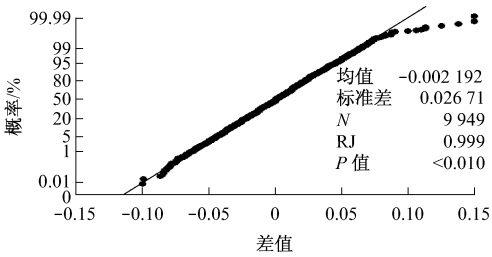

图2　N2202工作面探头测量值差值的正态分布概率

下面验证动态报警数据的分布规律。在瓦斯体积分数差值的基础上，考虑2次巡检时间值，将体积分数差值的梯度值作为基础数据来分析，分布直方图如图3所示。正态分布概率如图4所示。

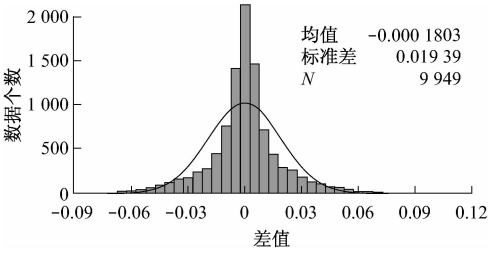

图3　N2202工作面探头测量值差值的梯度值分布直方图

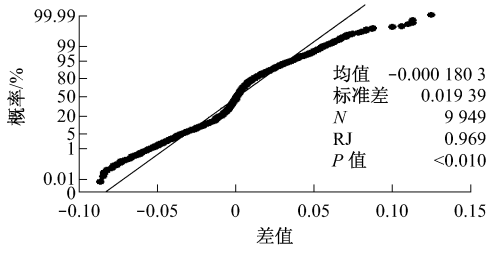

图4　N2202工作面探头测量值差值的梯度值正态分布概率

从图3、图4可看出，该工作面探头测量值差值的梯度值基本符合正态分布，可按照正态分布数据的处理方法，通过假设检验和置信区间的方式求得动态报警上限值。

4　瓦斯突变预警上限值确定方法的验证

现场应用过程中，为了保证数据的实时性，需要进行多次现场测试，选取近2 h的巡检数据作为基础数据来分别实时计算静态报警上限值和动态报警上限值。由于单次巡检周期不得超过30 s，2 h内取得的巡检数据最少有240组，当巡检周期缩短时数据会更多，此时样本均数符合正态分布，可用u检验进行分析，u值可通过查表获得。以余吾煤业N2202工作面探头的监测数据为例来说明静态报警上限值和动态报警上限值的计算方法。选取2012年8月10日8时至10时的300组基础数据，带入式(4)得

静态报警上限值：$\bar{X}\pm\frac{u_{\alpha/2}}{\sqrt{n}}=0.005\ 0\pm2.326\ 0\times0.057\ 74=0.005\ 0\pm0.134\ 30$，即 $-0.112\ 93\leqslant X_f\leqslant0.139\ 30$，静态报警上限值可设定为 0.139 30。

动态报警上限值：$\bar{X}\pm\frac{u_{\alpha/2}}{\sqrt{n}}=0.000\ 43\pm2.326\times0.057\ 74=0.000\ 43\pm0.134\ 30$，即 $-0.133\ 87\leqslant X_f\leqslant0.134\ 73$，动态报警上限值可设定为 0.134 73。

5 结语

（1）通过对传统煤矿安全监控系统报警方法和不超限范围内瓦斯体积分数突变预警方法的比较，提出了可及时发现瓦斯体积分数值在低于安全监控系统报警值时异常变化情况的不超限瓦斯预报警方法；提出了静态预警和动态预警两种不超限瓦斯突变报警方法，并全面分析了该方法的报警模型和基础数据的获取方法。

（2）结合余吾煤业 N2202 工作面探头数据，分别对静态数据和动态数据进行了分层抽样以及分布验证和拟合，得出静态和动态预警的基础数据分布基本符合正态分布的结论，可以采用正态分布数据处理方法来分别处理静态和动态预警的基础数据。

（3）提出了利用假设检验和区间估计等处理方法来实时计算静态和动态预警上限值的方法，并结合 N2202 工作面探头数据对该方法进行了验证。

参考文献：

[1] 刘明光，陈新军. 我国煤矿瓦斯安全监控系统综述[J]. 煤矿安全，2007，38(3)：38-39.

[2] 邹哲强，屈世甲. 基于关联性模型的煤矿安全监控系统报警方法[J]. 工矿自动化，2011，37(9)：1-5.

[3] 张纯如，汪勇，丁梅生，等. 矿井瓦斯浓度异常变化危险性预警的研究[J]. 安徽理工大学学报：自然科学版，2011，31(3)：62-65.

[4] 王恩营. 低瓦斯矿井煤层基本瓦斯参数测定与应用[J]. 煤矿开采，2005，10(3)：1-3.

[5] 郭玉森，林柏泉，吴海进，等. 回采工作面瓦斯涌出分布规律的研究[J]. 华北科技学院学报，2007，4(1)：5-7.

[6] 邵良杉，付贵祥. 基于数据融合理论的煤矿瓦斯动态预测技术[J]. 煤炭学报，2008，33(5)：551-555.

[7] 李克荣. 安全生产管理知识[M]. 北京：中国大百科全书出版社，2011.

[8] 戴维 M 莱文. 六西格玛绿带统计分析[M]. 熊伟，译. 北京：机械工业出版社，2007.

[9] 丁正生，杨力. 概率论与数理统计[M]. 北京：高等教育出版社，2005.