



文章编号:1671-251X(2013)06-0001-05

DOI:

邹哲强,屈世甲.煤矿瓦斯异常数据报警方法应用研究[J].工矿自动化,2013,39(6):1-5.

煤矿瓦斯异常数据报警方法应用研究

邹哲强, 屈世甲

(中煤科工集团常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

摘要:对基于极差值、最小值、相关系数 3 种关联模型的煤矿瓦斯异常数据报警方法在应用中存在的 2 个传感器之间数据的延滞时间如何确定、传感器误差的影响、报警的准确率等问题进行了详细分析,提出应采用数据曲线比较法而不是距离风速计算法来确定延滞时间,同时发现巷道中瓦斯气团的运动速度低于风速的现象并对这一现象进行了初步解释;提出采用数理统计法消除传感器误差影响的方法;结合现场数据,对 3 种关联模型的准确率进行了验证,结果表明该报警方法完全可以在实际中有效应用。

关键词:煤矿安全监控; 瓦斯传感器; 报警方法; 瓦斯扩散; 数据异常; 传感器误差; 报警准确率; 关联模型

中图分类号:TD712

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Application research of alarming method for abnormal data of coal mine gas

ZOU Zhe-qiang, QU Shi-jia

(Changzhou Automation Research Institute of CCTEG, Changzhou 213015, China)

Abstract: The paper detailedly analyzed problems of how to determine lag time of data between two sensors, effect of sensor error, accuracy rate of alarm in application of alarming method for abnormal data of coal mine gas based on three kinds of correlation models of difference between the maximum and the minimum, the minimum and correlation coefficient, and proposed that data curve comparison method should be used instead of distance anemometer algorithm to determine the lag time, meanwhile, found phenomenon that movement speed of gas air mass in roadway is lower than wind speed and gave preliminary explanation for the phenomenon. It proposed a method to use mathematical statistics method to eliminate effect of sensor error. Combined with field data, verification was conducted on accuracy rate of the three kinds of correlation models, and the result shows that the alarming method can be effectively applied in practice.

Key words: coal mine safety monitoring; gas sensor; alarming method; gas diffusion; data abnormality; sensor error; accuracy rate of alarm; correlation model

0 引言

在一些煤矿,不按规定使用安全监控系统并导致重大事故的情况时有发生,主要是采煤工作面瓦

斯传感器不按规定要求使用^[1]。2012 年 9 月,国家安全生产监督管理总局和国家煤矿安全监察局发布的《安监总煤调〔2012〕115 号》通报了发生在四川、吉林和江西的 3 起煤矿瓦斯爆炸事故。这 3 起事故

收稿日期:2013-03-15。

基金项目:“十一·五”国家科技支撑计划项目(2009BAK54B05)。

作者简介:邹哲强(1962—),男,江苏无锡人,研究员,长期从事煤矿自动化技术研究工作,E-mail:zzq@cari.com.cn。

都和煤矿安全监控系统的瓦斯传感器不正常使用有关。一起是瓦斯传感器没有安装在采煤工作面而是放在进风巷中,一起是瓦斯传感器探头损坏而没有及时更换,还有一起是没有在巷道中按规定设置瓦斯传感器。

煤矿安全监管部门对这些逃避监管的不良行为不能及时发现,原因是目前的煤矿安全监控系统只对瓦斯传感器测量到超限的情况进行报警,却不能发现瓦斯传感器探头失效和不按规定放置的情况。针对这种情况,参考文献[2]提出了一种新的采煤工作面瓦斯监测数据异常报警方法,该方法的原理是对《煤矿安全规程》中规定的应在采煤工作面布置的上下游处 2 个瓦斯传感器(分别布置在靠近采煤工作面和靠近回风巷处)建立了 3 种关联模型:① 基于极差值的关联模型;② 基于最小值的关联模型;③ 基于相关系数的关联模型。如果 2 个传感器工作均正常,则符合这 3 种关联模型,系统不报警。如果靠近采煤工作面的瓦斯传感器损坏或不按规定放置,则不符合基于极差值的关联模型,系统报警;如果靠近回风巷的瓦斯传感器损坏或不按规定放置,则不符合基于最小值的关联模型,系统报警;如果 2 个瓦斯传感器都损坏或都不按规定放置,则不符合基于相关性的关联模型,系统报警。所以通过在今后的煤矿安全监控系统中增加基于关联模型的报警模块,就能发现采煤工作面瓦斯传感器探头失效

和不按规定放置的情况,弥补目前煤矿安全监控系统的不足。但是,3 种关联模型要在实际中应用,还需要解决以下问题:① 以上 3 种关联模型中,都要将上游处传感器测量值平移一定时间后再与下游处传感器测量值进行比较,该时间理论上为同一瓦斯气团流经 2 个传感器的时间差,应该如何确定。② 瓦斯传感器本身的误差对关联模型的影响应该如何有效消除。③ 关联模型的准确率如何。本文对此进行了研究,解决了基于关联模型的煤矿瓦斯异常数据报警方法在应用中的几个关键问题。

1 瓦斯气团在 2 个传感器间移动时间的确定

可以把从煤壁或采空区中进入巷道的瓦斯看作是由一个个头尾相连的瓦斯气团组成的。瓦斯气团从上游的采煤工作面处传感器移动到下游的回风巷处传感器需要一定的时间,所以用关联模型进行数据对比和计算时应考虑数据的时间滞后^[2]。一般认为,巷道中瓦斯气团的运动速度应该基本等于巷道中的平均风速^[3-4],或者考虑到瓦斯传感器一般放置在巷道顶部,应该基本等于 2 个传感器探头位置的平均风速。可是经过对数据的认真比对和现场的实地测量后发现,巷道中瓦斯气团的移动速度不仅远远小于巷道中的平均风速,甚至也远小于瓦斯探头处位置的平均风速。笔者针对瓦斯气团移动速度在现场做了一些统计,结果见表 1。

表 1 瓦斯气团流经 2 个传感器的时间

巷道名称	传感器间距离/m	巷道平均风速/(m·s ⁻¹)	探头处平均风速/(m·s ⁻¹)	监测数据观察时间差/min
庇山矿 12020 工作面	380	1.05	0.85	15
庇山矿 11060 工作面	500	3.00	2.30	10
黄陵 1 号井 306 工作面	700	4.00	3.20	10
黄陵 1 号井 308 工作面	650	3.50	3.00	10
余吾煤矿 2205 工作面	1 000	5.00	4.00	10

由表 1 可看出,即便是用探头处平均风速来计算瓦斯气团流经 2 个传感器的时间,也远远小于监测数据观察所得到的时间值。用传感器间距离除以平均风速计算得到的时间值约为观察数据得出的时间值的 35%~50%。对于这一现象尚没有权威的解釋,本文分析原因认为,瓦斯气团在随风流运动的同时还在进行着扩散运动。扩散运动的方向是从瓦斯体积分数高的位置到瓦斯体积分数较低的位置。而根据分析和实测结果,煤矿巷道中上游处瓦斯最小体积分数小于下游处瓦斯最小体积分数^[2],所以瓦斯的扩散方向应该是从下游往上游,即瓦斯扩散

运动方向和风流运动方向相反。这种瓦斯逆流扩散现象在全真模拟实验中也发现过^[5]。因此,笔者认为,瓦斯扩散运动可能是导致瓦斯气团在巷道中的运动速度远小于平均风速的主要原因。

确定采煤工作面 2 个瓦斯传感器之间数据的延滞时间不能通过风流平均速度和上下游处传感器间的距离计算。由于扩散运动的情况比较复杂,目前还不具备通过计算得出延滞时间的条件。所以采用了观察 2 个传感器之间数据的波动得到延滞时间的方法。

以庇山矿 11060 工作面为例,该工作面和回风

巷处传感器瓦斯数据的变化曲线如图 1 所示。从图 1 中波峰和波谷对应关系明显的一段曲线可以看出,2 组瓦斯测量数据的时间滞后,该工作面 2 个传感器之间数据的平均滞后时间在 10 min 左右。

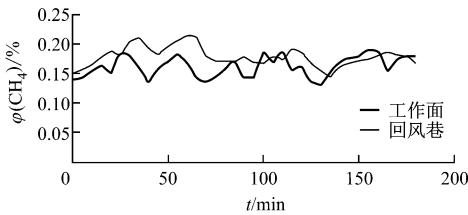


图 1 11060 工作面瓦斯数据变化曲线

在关联模型现场应用中,对延迟时间的计算都采用了这种人为观察的方法来处理,均取得了令人满意的结果。

2 传感器误差对关联模型的影响

传感器本身是有测量误差的。对于单个传感器误差,AQ 6206—2006 和 AQ 6211—2008 分别给出了煤矿用高低浓度甲烷传感器及煤矿用非色散红外甲烷传感器的测量误差^[6-8],见表 2。

表 2 传感器最大误差允许统计

标准代号	传感器类型	测量范围/%	最大误差限/%
AQ 6206—2006	催化元件	0.00~1.00	±0.10
AQ 6211—2008	红外元件	0.00~1.00	±0.06

根据瓦斯传感器的特性,这种误差在使用中的表现是每个传感器的个体差异和一段时间内漂移产生的误差,而不是在很短的测量周期内产生的随机误差。所以这种误差对于 3 种关联模型的影响是不同的。对于相关系数模型和极差值模型,起作用的是相对变化值,传感器的这种误差对模型没有什么影响。但对于最小值模型,起作用的是测量值。在考虑了传感器的误差后,基于最小值的关联模型应修正为“采煤工作面处瓦斯传感器的最小值和回风巷处瓦斯传感器的最小值之差应小于两传感器的误差和”。如果按照瓦斯传感器行业标准允许的误差范围来考虑,单个传感器的误差都在±0.10 或±0.06。当 2 个传感器的误差达到相反方向的最大值时,即便是按照误差±0.06 来考虑,“两传感器的误差和”也可能达到 0.12。但这种极端情况在实际中未必都会出现,如果每个采煤工作面都按 0.12 的误差范围做修正,虽然可以避免传感器误差所造成的误报警情况,但会对报警灵敏度有较大的影响。

本文提出一种数理统计的方法来确定“两传感器的误差和”:选择已确定为正常的 2 个传感器 1—

3 d 数据,统计 2 个传感器间实际发生的差值,以该差值分布的以均值为中心 97% 概率区间的上限值作为“两传感器的误差和”。

以山西潞安集团余吾煤矿的 S1202 采煤工作面为例,选择 2012 年 2 月 10 日至 2 月 12 日 3 d 的数据,如图 2 所示。

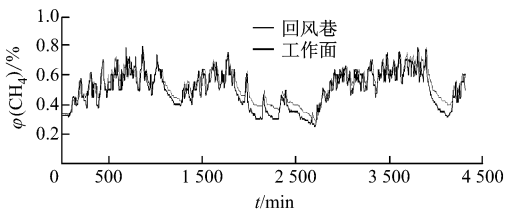


图 2 S1202 采煤工作面 2 个瓦斯传感器测量数据

首先对 2 个传感器的最小值之差的分布情况用 Minitab 工具软件来处理^[9],拟合正态分布概率如图 3 所示。

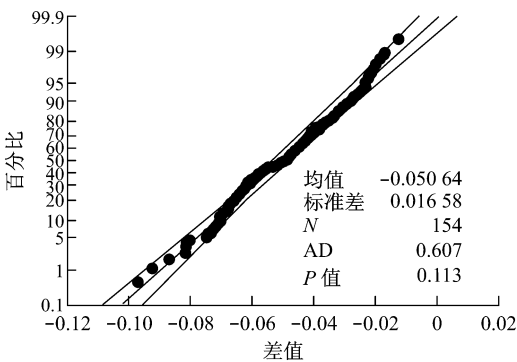


图 3 最小值差值的 Minitab 正态分布拟合

从图 3 可看出,数据基本落在正态分布 95% 置信区间内,且 $P>0.05$,可认为符合正态分布。由 Minitab 给出的正态分布的拟合结果:均值为 $-0.050\ 64$,标准差为 $0.016\ 58$ 。该正态分布以均值为中心的 97% 概率区间为 $(-0.086\ 5, -0.014\ 7)^{[10]}$,如图 4 所示。取区间上限(保留到百分位,对应瓦斯传感器的分辨率) -0.01 作为“两传感器的误差和”。

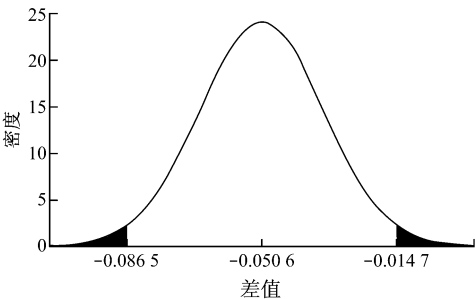


图 4 最小值差值的 Minitab 正态分布概率

如果不采用以上方法,最小值关联模型判定值

至少应该为 0.12。显然采用数理统计的方法大大提高了判别灵敏度。而且该方法可以做成自动模式,定期或标定后自动进行“两传感器的误差和”计算,从而自动适应传感器长时间漂移和标定后造成的误差变化。

虽然上述传感器误差不会对极差值模型造成影响,但在采煤工作面不采煤时段,极差值会变得很小。在对 2 个很接近的测量数据进行比较时,传感器的量化误差和随机误差会成为主要因素。为了防止这种误差对模型的影响,也可以采用与上述类似的统计方法来确定模型报警限值。这时基于极差值的关联模型应修正为“采煤工作面处瓦斯传感器的极差值和回风巷处瓦斯传感器的极差值之差应大于某限值”。该限值应取工作面处传感器极差值和回风巷处传感器极差值的差值分布的以均值为中心的 97% 概率区间的下限值。

3 基于关联模型报警方法的准确率分析

基于关联模型报警方法的准确率取决于关联模型的准确率。基于相关系数的关联模型只有在采煤工作面的瓦斯涌出量占巷道中瓦斯的主要部分时才成立。在现场试验中以 8 h 的数据窗口计算相关系数,统计了多个采煤工作面的数据,发现上游处传感器测量值和下游处传感器测量值之间的相关系数随采煤工作面作业与否呈波动关系。采煤工作面作业时,相关系数大于 0.4。如果整个作业班工作时段内相关系数都小于 0.4,则认为传感器不是实际安装在采煤工作面,或者至少有 1 个传感器已经失效。

图 5 为底山矿 12-11000 采煤工作面 2011 年 8 月 16 日至 8 月 19 日 4 d 内的 8 h 数据窗口的相关系数变化曲线。

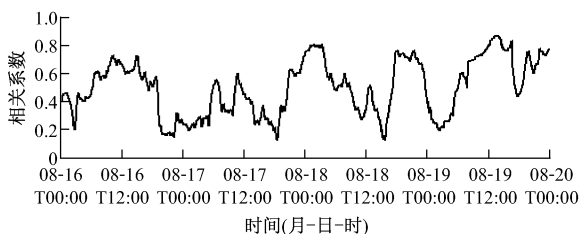


图 5 12-11000 采煤工作面相关系数曲线

图 6 为余吾煤矿 S1202 采煤工作面 2012 年 2 月 11 日至 2 月 14 日 4 d 的 8 h 数据窗口的相关系数变化曲线。

从图 5 和图 6 可看出,余吾煤矿的采煤作业强度较高,这和实际情况是完全符合的,因为余吾煤矿

1 d 只有 2 h 检修,其余时间都在采煤作业,所以该矿采煤工作面的瓦斯测量数据相关系数持续维持较高值。

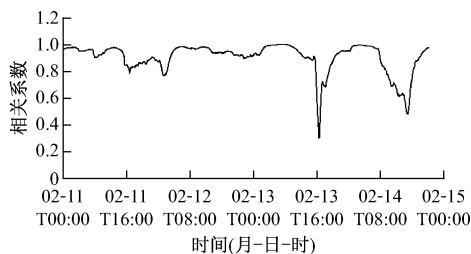


图 6 S1202 采煤工作面相关系数曲线

基于最小值和极差值的关联模型与采煤工作面是否进行作业关系不大。分别对底山矿和余吾煤矿各 1 个采煤工作面和掘进工作面的数据进行了分析。

在底山矿,选取了 12-11000 采煤工作面和西翼泄水巷掘进工作面 2011 年 8 月 14 日至 8 月 23 日共 10 d 的数据进行分析。具体结果:

(1) 对于 12-11000 采煤工作面,关于极差值模型,10 d 共有 2 880 个极差值数据,其中符合模型的数据为 2 830 个,数据的符合率为 98.26%,且没有连续 3 个点不符合的情况;关于最小值模型,10 d 共有 2 880 个最小值数据,其中符合模型的数据为 2 730 个,数据的符合率为 94.79%,且没有连续 5 个点不符合的情况。

(2) 对于西翼泄水巷掘进工作面,关于极差值模型,10 d 共有 2 880 个极差值数据,其中符合模型的数据为 2 800 个,数据的符合率为 97.22%,且没有连续 3 个点不符合的情况;关于最小值模型,10 d 共有 2 880 个最小值数据,其中符合模型的数据为 2 780 个,数据的符合率为 96.52%,且没有连续 5 个点不符合的情况。

在余吾煤矿,选取了 S1202 采煤工作面和 S1206 掘进工作面 2012 年 2 月 13 日至 2 月 27 日共 15 d 的数据进行分析。具体结果:

(1) 对于 S1202 采煤工作面,关于极差值模型,15 d 共有 4 320 个极差值数据,其中符合模型的数据为 4 250 个,数据的符合率为 98.38%,且没有连续 3 个点不符合的情况;关于最小值模型,15 d 共有 4 320 个最小值数据,其中符合模型的数据为 4 180 个,数据的符合率为 96.76%,且没有连续 3 个点不符合的情况。

(2) 对于 S1206 掘进工作面,关于极差值模型,15 d 共有 4 320 个极差值数据,其中符合模型的数据

据为4 165个,数据的符合率为96.41%,且没有连续3个点不符合的情况;关于最小值模型,15 d共有4 320个最小值数据,其中符合模型的数据为4 120个,数据的符合率为95.37%,且没有连续3个点不符合的情况。

以上数据说明,基于关联模型的报警方法具有很高的准确率(94%以上),只要采取一定的抗干扰措施(连续出现3—5个点不符合才报警),准确率可以达到100%。

4 结语

对煤矿安全监控系统基于关联模型的煤矿瓦斯异常数据报警方法在现场应用过程中的相关问题进行了分析研究,主要包括以下几点:

(1) 对瓦斯在上下游处传感器间移动的时间进行了研究,发现了巷道中瓦斯气团的运动速度低于平均风速的现象并对这一现象进行了初步解释,指出不能通过平均风速与传感器间距离来计算延迟时间,而应通过对上下游处传感器数值曲线波峰和波谷等特征的比对,人为观察得到延迟时间。

(2) 对传感器本身的误差对关联模型的影响进行了分析,特别是对最小值模型的应用中必须考虑到上下游处2个传感器所造成的误差,提出了选择1—3 d确定无异常的数据,经过分布拟合后采用以均值为中心的97%概率区间上限作为判别修正值

的方法。

(3) 结合现场数据,对3种关联模型的准确率进行了分析,证明了基于关联模型的煤矿瓦斯异常数据报警方法完全可以在实际中有效应用。

参考文献:

- [1] 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.
- [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] 魏引尚, 常心坦. 瓦斯在通风巷道中流动分布情况研究[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(3): 271-273, 282.
- [4] 鹿广利, 李崇山, 辛嵩. 集中有害气体在通风网路中传播规律的研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2000, 19(2): 120-122.
- [5] 傅培舫, 王国超, 叶汝陵. 巷道顶板瓦斯积聚现象的模拟研究[J]. 煤炭工程师, 1994(4): 12-15, 21.
- [6] AQ 6201—2006 煤矿安全监控系统通用技术要求[S].
- [7] AQ 6206—2006 煤矿用高低浓度甲烷传感器[S].
- [8] AQ 6211—2008 煤矿用非色散红外甲烷传感器[S].
- [9] 马逢时, 周晖, 刘传冰. 六西格玛管理统计指南——MINITAB使用指导[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
- [10] 赵玮, 温小霓. 应用统计学教程[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.