

文章编号:1671-251X(2011)09-0001-05

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110828.1417.001

基于关联性模型的煤矿安全监控系统报警方法

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:针对煤矿安全监控系统可靠性不高、监测数据未得到充分利用等问题,提出了可通过提高关键设备的无故障工作时间来提高系统可靠性、通过数据处理或冗余方法来提高数据可信性的观点;提出了基于关联性模型的煤矿安全监控系统报警方法,其主要思路是将原来独立判别的测点数据通过一种关联性模型与其它测点数据或工艺环境联系起来,当系统发现关联性模型不成立时报警,该报警方法是对现行报警方法的补充,可以发现传感器不按规定使用和传感器失效等情况,但在实际应用中应考虑模型的易用性和适用性;以煤矿工作面瓦斯监测为例,基于对工作面瓦斯涌出规律的分析,对瓦斯传感器数据分别建立了基于相关性、基于极差值、基于最小值的关联性模型,并通过实际的瓦斯监测数据对该三种模型进行了验证,结果表明该三种模型对不同煤矿和不同工作面均有较好的适用性。

关键词:煤矿安全;监控系统;数据可信性;数据冗余;报警方法;关联性模型;数据相关性;数据极差值;数据最小值

中图分类号:TD76

文献标识码:A

网络出版时间:2011-08-28 14:17

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110828.1417.001.html>

Alarm Method of Safety Monitoring System of Coal Mine Based on Relevance Model

ZOU Zhe-qiang, QU Shi-jia

(Changzhou Automation Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group Corporation, Changzhou 213015, China)

Abstract: For problems of low reliable performance and inadequate utilization of monitored data of safety monitoring system of coal mine, a viewpoint was proposed that system reliability could be improved by prolonging mean time between failures of important equipments and credibility of monitored data could be improved by method of data processing or redundancy. A new alarm method of safety monitoring system of coal mine based on relevance model was proposed for improving credibility of monitored data, whose basic idea is connecting data of a measuring point with data of others or process environment by a related model, and the system would alarm when the model is not tenable. The alarm method could be a complement of existing alarm methods and find irregular usage and invalidity of sensors, while usability and suitability of the relevance models in application must be considered. Relevance models of data of gas sensors were established separately based on correlation coefficient, difference between the maximum and the minimum, and the minimum according to analysis of law of gas outburst by example of gas monitoring of working face of coal mine, and the models were verified by use of practical monitored gas data with a

收稿日期:2011-06-16

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

conclusion that all the models are suitable for different coal mines and working faces.

Key words: coal mine safety, monitoring system, data credibility, data redundance, alarm method, relevance model, data correlation, data difference between the maximum and the minimum, data of the minimum

0 引言

煤矿安全监控系统主要用于监测煤矿井下各种环境参数和设备的状态,当发现环境或设备异常时进行报警和断电控制,为煤矿安全生产提供重要保障。但目前煤矿安全监控系统的技术现状还不能完全满足煤炭企业的高要求,存在着可靠性不高、监测数据的作用没有得到充分发挥等不足之处^[1-2]。近几年发生的一些事故中,由于监控系统可靠性不高,以致管理人员对系统报警不重视,事故发生后管理人员首先反应是监控系统故障而没有及时采取事故处理措施,使事故后果扩大^[1]。个别煤矿基层班组因担心监控系统检测到瓦斯超限后被处罚或瓦斯超限断电影响产量,存在人为改变瓦斯传感器安放位置或人为封堵瓦斯传感器探头的情况,目前的监控系统还不能识别这种安全隐患。另外,随着基于激光、红外原理的甲烷传感器的推出,煤矿可以大大延长对甲烷传感器的调校检查周期,这对减轻煤矿工作负担具有重要意义。但由于甲烷传感器在恶劣环境下极易发生探头被煤尘堵住或其它失效的情况,如果没有合适的方法来发现这种失效,延长检查周期也存在一定不安全性。所以提高煤矿安全监控系统的可靠性和监测数据的可信性是煤矿安全生产领域的一个重要课题。

要提高煤矿安全监控系统的可靠性和监测数据的可信性,一方面要通过提高关键设备的无故障工作时间(MTBF)来提高系统的可靠性^[3];另一方面可通过数据处理或冗余方法来提高数据的可信性,及时发现监测设备和生产系统的故障。

本文通过研究基于关联性模型的报警方法,使监控系统对监测数据进行主动检验,从而提高煤矿安全监控系统数据的可信性,并对传感器非正常工作的情况进行识别和报警。

1 基于关联性模型的报警方法基本思路

目前所有的煤矿安全监控系统对CH₄、CO、风速等模拟量信号异常的判别方法都是当传感器的测量值超过或低于一定值(统称为超限)时进行报

警^[4]。这种报警方法的缺点:(1)假设传感器测量数值都是正确的,系统不会自动判别数据的可信性;(2)采用超限原理以测量值的大小作为判别依据,只要不超限就认为正常;(3)根据单个测点的数据独立给予警示;(4)报警对象都是环境或监测量的异常,不能发现将传感器人为移位或屏蔽等不按规定使用的情况。

因此,必须突破现有方法,寻求一种新的报警机制,主动发现监测数据本身的异常。对监控系统不同测点的监测数据进行关联性分析,并在此基础上建立测点监测数据的关联性模型,是一种提高监控系统监测数据可信性的有效方法。其基本思路是把过去彼此独立判别的测点数据通过一种关联性模型与其它测点或工艺环境联系起来。这种关联性模型是基于正常情况建立的,所以在正常情况下,传感器数据满足关联关系,系统不会报警。当传感器工作不正常时,关联关系一般也不再成立,系统进行报警。这种方法不仅能发现传感器工作不正常的情况,还能发现生产系统不正常的情况。比如在两个瓦斯传感器之间出现异常的瓦斯涌出点时,关联关系一般不再符合,系统就会报警。

这种报警方法本质上也是一种利用冗余技术提高系统可靠性的方法。建立监测点数据关联的过程本质上是给监测点数据增加信息冗余度。冗余的信息(关联性模型)起着校验传感器数据的作用,一旦发生故障,利用冗余的信息就能通过其它途径(不符合关联性模型)发现异常。

下面以矿井工作面各瓦斯传感器测点数据为例进行探讨。

2 关联性分析用监测点和监测数据的选择

本文进行的关联性分析是直接为煤矿安全监控系统服务的,所以在监测点和监测数据的选取上应该尽量与现行煤矿安全监控系统执行的规范一致。以矿井工作面各瓦斯传感器测点数据为例,《煤矿安全规程》和《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》详细规定了煤矿井下各瓦斯传感器布置的具体位置。无论低瓦斯矿井还是高瓦斯矿井或者煤

(岩)与瓦斯突出矿井,回风巷道里至少要设置工作面瓦斯传感器和回风巷瓦斯传感器。本文所进行的矿井工作面各瓦斯传感器数据的关联性分析主要针对以上位置的传感器。

目前所有煤矿安全监控系统的数据库都能根据AQ6201—2006的要求提供各瓦斯传感器每5 min之内的最大值、最小值和平均值,本文的研究将以这些数据组为基础数据。

3 基于相关性的关联性模型

相关关系是指现象之间存在一定的联系,但数量关系表现为不严格相互对应关系。相关性分析研究变量之间关系的紧密程度,并用相关系数来表示。相关系数是直线相关条件下说明两个变量之间相关关系密切程度的统计分析指标。相关系数的大小可以确定现象变量之间相关关系的密切程度和方向^[5]。

瓦斯传感器测出的浓度值和区域瓦斯涌出量及风流风量存在着直接的关系,一般情况下工作面下游区域对应的区域瓦斯涌出量主要都是工作面的瓦斯涌出量,回风巷道中的瓦斯涌出量比例相对较低。在工作面瓦斯传感器和回风巷瓦斯传感器之间没有新风流入时,两个传感器的测量值之间必然存在一定的相关性,所以可以考虑采用两个传感器测量数据的相关系数来建立关联性模型。

相关系数 r 的计算公式为^[5]

$$r = \frac{E\{[X - E(X)][Y - E(Y)]\}}{\sqrt{E(X^2) - E(X)^2} \sqrt{E(Y^2) - E(Y)^2}} \quad (1)$$

式中: X 、 Y 表示两组传感器的测量数据; $E(X)$ 表示变量 X 的数学期望。

一般认为相关系数 r 满足 $0.3 \leq |r| < 0.5$ 为低度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为显著相关, $0.8 \leq |r| < 1$ 为高度相关^[5];或者 $|r| < 0.4$ 为低度线性相关, $0.4 \leq |r| < 0.7$ 为中度相关, $0.7 \leq |r| < 1$ 为高度相关^[6]。考虑到煤矿井下的实际情况,可以把“上游测量点测量值平移一定时间和下游测量点测量值之间的相关系数大于0.4”作为两个传感器之间的关联性模型。

选取中平能化集团瑞平公司庇山煤矿11060工作面瓦斯数据为研究对象进行分析。11060工作面共设置上隅角、工作面 and 回风巷三个瓦斯器,工作面和回风巷这两个传感器在2010年12月4日

00:00—08:00共480 min内监测到的瓦斯平均浓度曲线如图1所示。

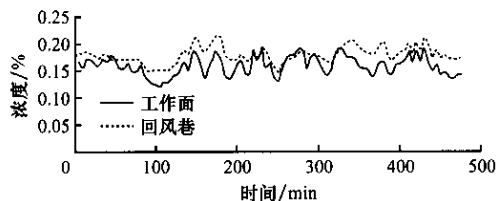


图1 11060工作面传感器监测的瓦斯平均浓度曲线

以工作面处传感器的监测数据为自变量,计算其相关系数。若将两个传感器所测的每5 min内的瓦斯平均浓度值直接代入式(1),可得 $r=0.3594$ 。但考虑同一团气流经过两个传感器时存在时间差,因此需进行时间上的修正,将工作面传感器数据延迟5 min后重新计算,得 $r=0.6835$,表明两个传感器存在较为显著的相关性。

4 基于极差值的关联性模型

瓦斯传感器监测到的都是风流中的瓦斯浓度,监测值也能反映瓦斯在空气中的混合均匀度。由于工作面瓦斯的涌出从时间到空间都是不均匀的,瓦斯随风流的扩散混合也需要一段时间,所以靠近工作面处的瓦斯会以类似一片片瓦斯气团的状态存在。瓦斯气团在巷道中沿着风流方向逐渐扩散,瓦斯和空气逐步混合均匀。

根据这一关系可以建立关联性模型:定义极差值 D 等于传感器5 min内监测数据的最大值减去最小值,两个瓦斯传感器应该存在“靠近瓦斯主要涌出点处的传感器 D 值大于等于远离瓦斯主要涌出点处的传感器 D 值”的关联关系。

使用基于相关性的关联性模型中的研究数据计算工作面和回风巷两个传感器的 D 值。同样考虑同一团气流经两个传感器的时间差,将工作面传感器数据延迟5 min计算 D 值,得到的 D 值曲线如图2所示。

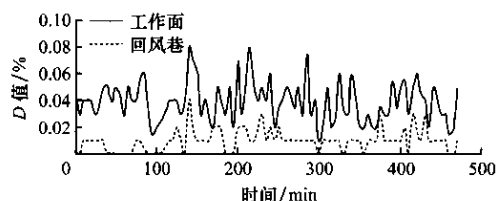


图2 11060工作面传感器 D 值曲线

从图2可看出,靠近工作面处的传感器 D 值明

显大于回风巷处的传感器 D 值,符合建立的基于极差值的关联性模型。

5 基于最小值的关联性模型

由于工作面瓦斯涌出后瓦斯气团随风流从不均匀向均匀变化,加上不断有沿巷道煤壁瓦斯随风流涌出,因此,同一团风流中瓦斯浓度的最小值是不会降低的。

根据这一原理可建立关联性模型:定义 C 为 5 min 内传感器监测数据的最小值,同一巷道在没有新鲜风流混入的条件下,两个瓦斯传感器应该存在“靠近瓦斯主要涌出点处的传感器 C 值小于风流下游的传感器 C 值”的关联关系。

采用同样的数据并考虑时间上的修正,将工作面传感器 C 值延迟 5 min 后与回风巷传感器 C 值进行比较,得到的曲线如图 3 所示。

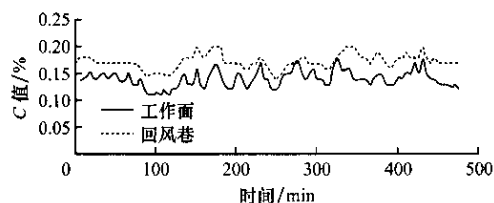


图3 11060工作面传感器 C 值曲线

从图3可看出,在11060工作面区域,回风巷处的瓦斯浓度值在一段时间(此处选择5 min)内的最小值严格地不小于工作面处瓦斯浓度的最小值,符合本文建立的基于最小值的关联性模型。

6 三种关联性模型对掘进工作面的适用性

掘进面瓦斯和回采面瓦斯有相似之处,同时也存在一些各自的特点。首先,掘进巷道的通风方式大多为局部通风机压入式通风,由于该通风方式自身的特点,势必在迎头处造成较大的风速甚至在局部区域形成风流的涡旋,故掘进头的瓦斯传感器监测数值可能随风流的变化有很大波动;其次,与回采面相比,掘进巷道四周煤壁在空气中的暴露时间较短,特别是在煤层瓦斯含量较高的采区,掘进巷道煤壁的瓦斯涌出量相对大一些,所占巷道瓦斯涌出总量的比例也会高于回采面。

选取庇山矿12020风巷掘进巷道在2010年12月2日00:00—08:00共480 min内掘进面和回风巷两个传感器的浓度监测值。首先分别得到两个传感器的 D 值。考虑到两个传感器之间的距离和

风速造成的时间差异,将工作面传感器监测数据延迟10 min,得到的 D 值曲线如图4所示。

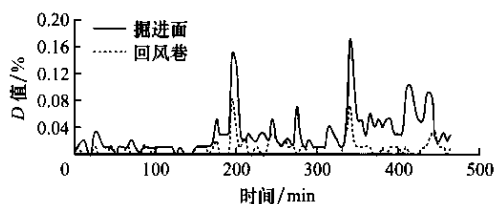


图4 12020风巷传感器 D 值曲线

从图4可看出,靠近掘进面处的传感器 D 值明显大于回风巷处的传感器 D 值,也就是说靠近瓦斯主要涌出点处的传感器 D 值大于远离瓦斯主要涌出点处的传感器 D 值;比较图2后可看出,在掘进工序时间段(图4中200 min和350 min),掘进面的两个传感器 D 值迅速增大且两个传感器 D 值的差值变大,而在准备或者后续工艺中,两个传感器的 D 值都比较小。

采用同样的数据和延迟时间,所得的 C 值曲线如图5所示。

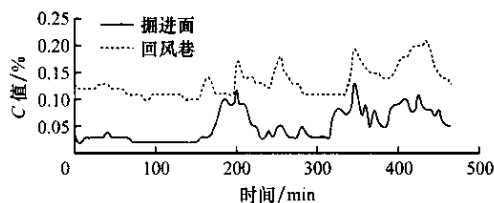


图5 12020风巷传感器 C 值曲线

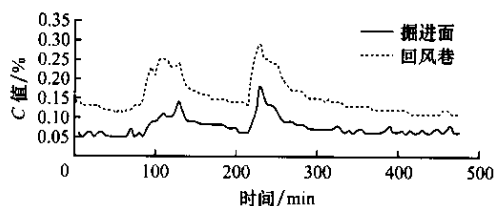
从图5可看出,12020掘进面回风巷处瓦斯浓度的 C 值不小于掘进面处瓦斯浓度的 C 值。

同样地,掘进巷道两个传感器监测数据也符合线性相关。将所选时间段内两个传感器所测的每5 min内的瓦斯平均浓度值代入式(1),考虑时间的修正后,计算得到 $r=0.7348$,表明存在较为明显的相关性。

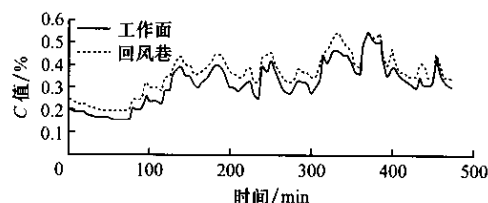
7 三种关联性模型对其它矿的适用性

为验证提出的三种关联性模型在其它矿的适用性,分别选取高河煤矿e1305掘进面和余吾煤矿S2205工作面8 h内的传感器监测数据进行分析,经过时间上的修正后,其 C 值、 D 值结果分别如图6、图7所示。

高河煤矿e1305掘进面 $r=0.9926$,余吾煤矿S2205工作面 $r=0.9375$ 。可见这两个矿的传感器监测数据均满足三种关联性模型。

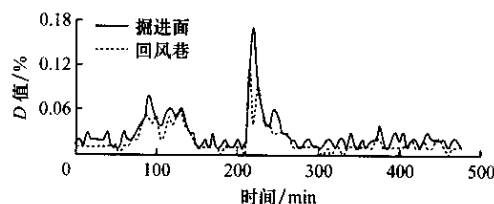


(a) 高河煤矿 e1305 掘进面

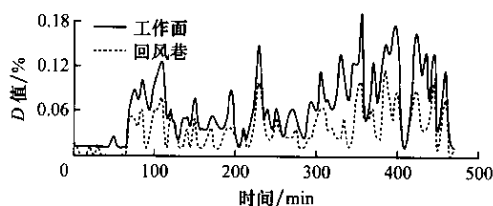


(b) 余吾煤矿 S2205 工作面

图6 工作面传感器C值曲线



(a) 高河煤矿 e1305 掘进面



(b) 余吾煤矿 S2205 工作面

图7 工作面传感器D值曲线

8 三种关联性模型对传感器异常的发现能力

对基于相关性的关联性模型来说,若其中任一传感器探头被人为屏蔽或发生故障,则相关系数会变小,使该关联性模型不再成立。以底山矿 11060 工作面传感器监测数据为例,取 0.1 作为瓦斯探头被堵住瓦斯探头时输出的数据,随着堵塞时间的变长,相关系数会相应地变小,如图 8 所示。

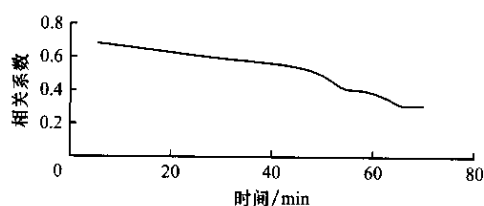


图8 模拟条件下相关系数的变化曲线

从图 8 可看出,当堵塞时间达到 60 min 时,相

关系数下降为 0.377 2,已经不满足相关性模型预设的相关系数大于 0.4 的要求。

对基于极差值的关联性模型来说,当工作面瓦斯传感器探头被人为屏蔽时,传感器的 D 值会很快变小,使得该关联性模型不再成立。

对基于最小值的关联性模型来说,当回风巷瓦斯传感器探头被人为屏蔽时,传感器的 C 值会很快变小,使得该关联性模型不再成立。

9 结语

提出的基于关联性模型的煤矿安全监控系统报警方法是对现行煤矿安全监控系统模拟量报警方法的补充,可以发现传感器不按规定使用和传感器失效等情况。分析表明,针对煤矿采掘工作面瓦斯传感器而建立的基于相关性、基于极差值、基于最小值的 3 种关联性模型对不同煤矿和不同工作面均有较好的适用性。

理论上能建立关联性模型的煤矿安全监控系统的测点数据的范围可以很广,模型可以更复杂(包括使用专家推理模型)。但在实际应用中应考虑模型的易用性和适用性。测点的关联关系可以是不同测点之间的关联,也可以是测点和特定生产工艺、环境之间的关联。本文仅对矿井工作面的瓦斯传感器数据进行了 3 种关系的关联性分析,而且仅收集了 3 个矿井的部分数据对关联性模型进行了验证。今后将在更大范围内收集数据,验证 3 种关联性模型的适用普遍性。另外,还可以寻找更多种类的测点的关联关系。

参考文献:

- [1] 范维唐,卢鉴章,申宝宏. 煤矿灾害防治的技术与对策[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007:33-35.
- [2] 仲丽云. 煤矿安全监控系统存在的问题及其改进探讨[J]. 工矿自动化,2010(6):92-94.
- [3] 邹哲强. 煤矿安全监控系统可靠性指标的测定方法[J]. 工矿自动化,2010(4):1-4.
- [4] AQ6201—2006 煤矿安全监控系统通用技术要求[S]. 北京:煤炭工业出版社,2007.
- [5] 赵玮. 应用统计学教程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [6] MBA智库百科. 相关系数[EB/OL]. [2011-04-03]. <http://wiki.mbalib.com/wiki/%E7%9B%B8%E5%85%B3%E7%B3%BB%E6%95%B0>.