

引用格式: 韩耀中,陈建强,刘昆轮,等.基于区间估计法的井下巷道风量稳定性分析[J].山东科技大学学报(自然科学版), 2019,38(5):39-45.

HANYaozhong, CHEN Jianqiang, LIU Kunlun, et al. Analysis of air volume stability of underground roadway based on interval estimation method[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2019, 38(5): 39-45.

基于区间估计法的井下巷道风量稳定性分析

韩耀中¹, 陈建强², 刘昆轮², 王 刚^{1,3}

(1. 山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 神华新疆能源有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830000;

3. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建国家重点实验室培育基地, 山东 青岛 266590)

摘要:由于矿井通风系统的多变性,目前国内分析风量稳定性时采用的评判标准不符合现场实际要求。利用区间估计法计算了风流置信区间,提出了安全阈值区间计算公式,建立了基于置信区间与安全阈值区间的井下巷道风量稳定性评判标准;并将该评判标准分别应用于唐口煤矿、梁宝寺煤矿及巴彦高勒煤矿的通风监测数据分析。结果表明:95%置信区间锁定了风量的稳定极限,安全阈值区间界定了风量的安全范围;在井下巷道风量监测数据分析中,前者可作为风量稳定性的评判标准,后者可作为风量安全性的评判标准。该评判标准对井下巷道风量变化适应性强,对其风量变化的监控预警具有借鉴意义。

关键词:矿井通风;稳定性;风量;置信区间;安全阈值

中图分类号:TD726

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2019)05-0039-07

DOI:10.16452/j.cnki.sdkjzk.2019.05.005

Analysis of air volume stability of underground roadway based on interval estimation method

HAN Yaozhong¹, CHEN Jianqiang², LIU Kunlun², WANG Gang^{1,3}

(1. College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Shenhua Xinjiang Energy Co. Ltd, Urumqi, Xinjiang 830000, China;

3. State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Due to the variability of mine ventilation system, the current evaluation criteria used in the analysis of air volume stability in China do not meet the actual requirements of the site. In this paper, the interval estimation method is used to calculate the confidence interval of wind flow, and the safety threshold interval calculation formula is proposed. The stability criteria for the downhole roadway airflow based on the confidence interval and safety threshold interval is established. This evaluation criteria is applied to Tangkou coal mine and beam respectively. The analysis of ventilation monitoring data of Liangbaosi and Bayan Gullah coal mine shows that the 95% confidence interval locks the stability limit, and the safety threshold interval defines the safety range. In the analysis of underground tunnel air volume monitoring data, the former can be used as air volume. The criteria for stability can be used as a criteria for air volume safety. The evaluation criterion has strong adaptability to the change of air volume in under-

收稿日期:2019-03-01

基金项目:国家自然科学基金项目(51674158,51604168)

作者简介:韩耀中(1994—),男,山东新泰人,硕士研究生,主要从事矿井通风与安全方面的研究. E-mail:sdkdhyz@163.com

王 刚(1984—),男,山东兰陵人,教授,博士生导师,主要从事矿井“一通三防”方面的研究.

E-mail:gang.wang@sdu.edu.cn

ground tunnels, and it has reference significance for monitoring and warning of wind volume changes.

Key words: mine ventilation; stability; air volume; confidence interval; safety threshold

矿井通风系统是保障矿井安全生产最主要、最基础、最经济的技术手段^[1],随着机械化的快速发展,矿山的生产能力得到了很大的提高^[2-9]。如果矿井通风系统的稳定性较差,轻则导致井下需风地点供风不足,重则导致井下局部地点瓦斯积聚,引发人员窒息和瓦斯爆炸事故。因此,加强矿井通风系统的监测监控、加强井下巷道风量稳定性的研究,对于保证矿井的安全高效生产具有重要意义。

近年来,国内外研究人员对矿井通风系统风流稳定性进行了研究和探索,其中朱政宏等^[10]利用 Fuzzy 模型分析了矿井通风系统风流稳定性;Euler 等^[11]演示了利用通风管理计划响应井下现场风量检查和审核的案例;Luo 等^[12]利用不相交布尔代数法计算了矿井通风网络的可靠性;Cheng 等^[13]利用最优指标选择和风险评估两个子模型构成的预警模型深入分析了矿井通风监测数据;Jia 等^[14]基于多元回归分析法通过阻力测定评价了矿井通风系统的稳定性;刘晓南等^[15]利用 FA-FDA 判别分析法进行矿井通风系统安全评价;徐凯^[16]基于 BP 神经网络进行了矿井通风系统安全性评价;梁志强等^[17]通过建立矿井通风系统安全可靠性二级模糊综合评价模型,划分评价等级和模糊综合评价矩阵,对矿井通风系统安全可靠性进行了模糊综合评价;贾进章等^[18]根据矿井风阻与风量等数据建立了风量灵敏度理论,并利用自主开发的软件求出了通风系统的灵敏度,分析了矿井通风系统的稳定性。

综上所述,国内外学者虽开展了诸多方面的研究,但均未明确指出单一巷道风量稳定性的评判方法,也没有开展基于现场数据的巷道风量稳定性动态评价标准的相关研究。近年来,部分研究人员将区间估计法引入到矿井安全评价中,比如褚程程等^[19]利用区间估计法确定了矿井突水预警值;赵红梅等^[20]利用一元线性回归及区间估计法对矿井瓦斯涌出量进行了预测。以上研究过程立足于大量实测数据,评价过程能够根据现场时空情况动态调整,取得了良好的应用效果。受此启发,本研究分析了多个矿井、多条巷道的风量数据,根据区间估计法计算出各巷道 95%置信水平下的风量置信区间,将计算结果作为衡量巷道风量稳定性的标准,用于对矿井通风系统稳定性的评价,并进一步将风量富裕量或者不影响安全的匿风考虑在内,提出了安全阈值区间的计算公式,利用安全阈值区间进行巷道风量安全预警。最后将该评价方法进行现场应用,取得了良好的应用效果。

1 置信区间与安全阈值区间的计算方法

研究过程充分利用各待测巷道测风站布置的风速传感器,并参考矿井通风日报表,在矿井正常生产时期,对研究对象进行不少于 60 d 的通风实时监测。为排除监测过程中数据采集时间的不均匀性带来的数据冗余影响,统一选取 20 min 的时间间隔采集所有待测巷道的风量数据。

1.1 风量置信区间

如图 1 所示,置信区间的计算按照确定样本数据分布、确定置信水平、计算得到置信区间的步骤逐步进行。国内煤矿井下通风管理中普遍使用 10%膨胀系数,即实际风量与设计配风量相差不超过 10%。本研究中风量置信区间用于衡量巷道风量的稳定极限,所以区间估计误差应小于 10%。本研究将置信水平定为 95%,选取这一数值的原因是该数值比现场使用的 10%膨胀系数的估计误差降低了 50%,能够达到精度要求,并且实际应用中置信区间习惯上选取 5%的间隔来确定置信水平数值。

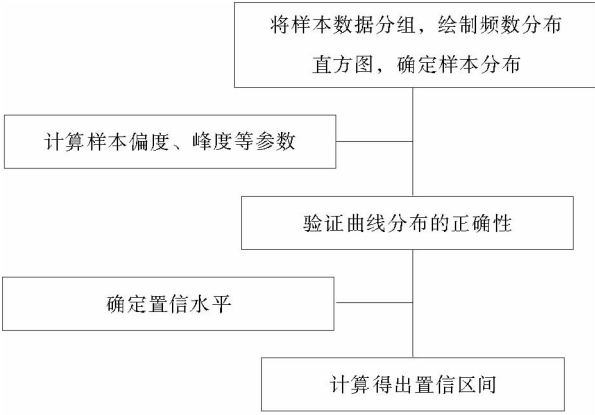


图 1 置信区间计算步骤图
Fig. 1 Diagram showing steps involved in confidence interval calculation

1.2 风量安全阈值区间

试验矿井采区大巷连续监测的结果显示:该巷道风量值围绕平均值上下波动,风门开闭、临时生产变动等异常时刻的风量数据都落在某一区间之外,本研究将该区间定义为安全阈值区间。为准确得到这一区间,通过逐渐增加样本数量确定区间边界,同时分析样本特征数据与该区间边界的关系。安全阈值区间的确定过程如表 1 所示。

表 1 安全阈值区间得出过程
Tab. 1 Safety threshold interval derivation process

样本数量 n	样本均值 $\mu/(\text{m}^3/\text{s})$	样本第 10 百分位数 $x_{10}/(\text{m}^3/\text{s})$	样本第 90 百分位数 $x_{90}/(\text{m}^3/\text{s})$	安全阈值区间
50	24.52	18.62	29.75	(21,30)
100	25.18	18.13	31.22	(20,31)
150	26.07	17.34	33.35	(19,32)
200	26.68	17.76	33.91	(19,33)
250	26.32	17.14	34.21	(18.85,33.15)
300	26.36	17.03	34.87	(18.65,33.35)
350	26.36	16.93	35.75	(18.50,33.50)
400	26.36	16.71	35.33	(18.46,33.54)
450	26.36	16.57	35.43	(18.46,33.54)
500	26.36	16.49	35.62	(18.46,33.54)

从表 1 可以看出,随着样本数据量的增大,样本均值及安全阈值区间逐渐收敛。安全阈值区间可以通过样本数据的第 10 百分位数和第 90 百分位数配合一定的无量纲系数进行描述。无量纲参数由风量数据的离散程度决定,对于固定生产布局的采区大巷,该数值为 0.8。安全阈值区间的计算公式为:

$$(a,b)=(\mu - |x_{10} - \mu| \cdot \eta, \mu + |x_{90} - \mu| \cdot \eta)。$$
 (1)

式中: μ 为数据样本均值, m^3/s ; x_{10} 为数据样本第 10 百分位数, m^3/s ; x_{90} 为数据样本第 90 百分位数, m^3/s ; η 为阈值系数,无量纲参数,由数据离散程度确定,采区大巷取 0.8。

2 现场应用

2.1 研究对象概况

选取唐口煤矿、梁宝寺煤矿及巴彦高勒煤矿为研究对象,其中唐口煤矿与巴彦高勒煤矿采用中央并列式通风系统,梁宝寺煤矿采用一矿两井分区式通风系统。从上述三座煤矿各选取一条采区大巷进行数据采集,分别是南回大巷、35000 采区大巷、17 盘区回风巷。3 条巷道所在分支比较稳定,服务的采区在研究过程中保持固定的生产布局,能最大程度地排除各种因素对风量监测数据的干扰。3 条巷道的基本情况如表 2。

表 2 所选巷道基本情况
Tab. 2 Basic conditions of the selected roadway

所属矿井	巷道名称	全长/m	断面/ m^2	巷道位置	主要作用
唐口煤矿	南回大巷	3 180	17.0	1 [#] 回风石门东段以南	五、九采区回风
梁宝寺煤矿	35000 采区大巷	1 190	17.6	西翼轨道大巷以南	35000 采区进风
巴彦高勒煤矿	17 盘区回风巷	2 380	15.5	矿井西 3-1 煤运输巷以北	17 盘区回风

2.2 风量置信区间与安全阈值区间计算

现场测量中对唐口煤矿南回大巷 2017 年 6 月 1 日至 2017 年 7 月 30 日共 60 d 的通风情况进行了实时监测;对梁宝寺煤矿 35000 采区大巷 2017 年 5 月 20 日至 2017 年 7 月 19 日共 60 d 的通风情况进行了实时监测;对巴彦高勒煤矿 17 盘区回风巷 2017 年 6 月 1 日至 2017 年 7 月 30 日共 60 d 的通风情况进行了实时监测。

1) 确定样本的分布

将样本数据分组,并统计每组的频数(表 3)。如图 2,从频数分布直方图中可以看出,3 条巷道的数据均呈“钟形”分布,近似符合正态分布的特征,因此可以将样本初步确定为正态分布。

表 3 风量数据样本区间划分及频数分布

Tab. 3 Airflow data sample interval division and frequency distribution

南回大巷		35000 采区大巷		17 盘区回风巷	
区间	频数	区间	频数	区间	频数
[10.2,13.6)	1	[49,50)	1	[4,4.6)	1
[13.6,17.0)	2	[50,51)	3	[4.6,5.2)	2
[17.0,20.4)	4	[51,52)	4	[5.2,5.8)	6
[20.4,23.8)	5	[52,53)	6	[5.8,6.4)	14
[23.8,27.2)	6	[53,54)	6	[6.4,7)	6
[27.2,30.6)	5	[54,55)	4	[7,7.6)	2
[30.6,34.0)	3	[55,56)	3	[7.6,8.2)	1
[34.0,37.4)	2	[56,57)	1		
[37.4,40.2)	1				

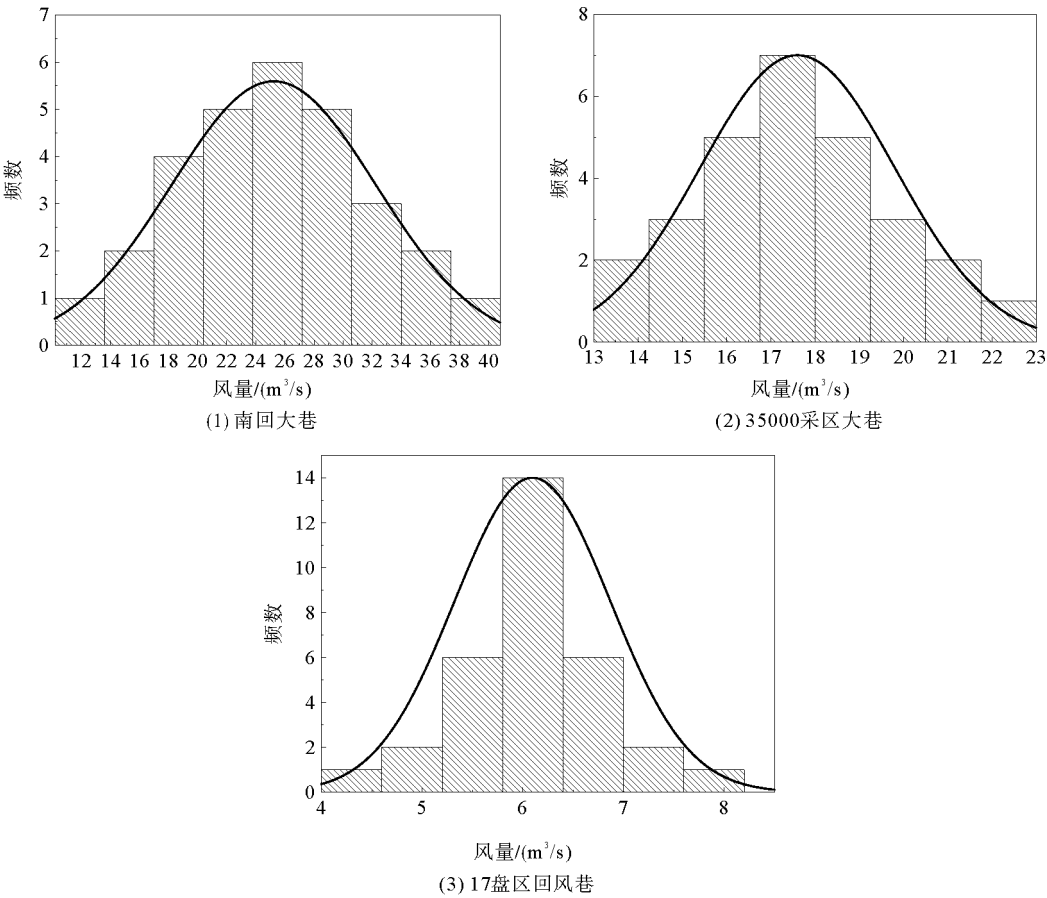


图 2 频数分布直方图及正态分布拟合曲线

Fig. 2 Frequency distribution histogram and normal distribution fitting curve

2) 验证曲线分布的正确性

根据 95%置信水平将显著水平选取为 0.05,经过查表可得 $u_{0.05}=1.96$ 。通过计算得出样本数据偏度 u_1 及峰度 u_2 并与 $u_{0.05}$ 进行比较,即可检验样本分布是否属于正态分布,风量数据样本偏度及峰度计算结果如表 4 所示。

偏度及峰度绝对值均小于 $u_{0.05}$,因此所选巷道的风量近似服从正态分布。

3) 计算风量置信区间

选取的 95%置信水平对应 $\alpha=0.05$,经查表得 $z_{\alpha/2}=1.96$ 。利用如下置信区间计算公式得到的计算结果如表 5 所示。

$$\mu - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq M \leq \mu + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}。$$

(2)

式中, μ 为数据样本均值, m^3/s ; x_{10} 为数据样本第 10 百分位数, m^3/s ; σ 为数据样本标准差, m^3/s ; n 为样本数据量; M 为处于置信区间内的估计数值, m^3/s 。

4) 计算风量安全阈值

将 3 条巷道的风量数据样本代入式 (1),得到的风量安全阈值结果如表 6。

2.3 应用效果分析

将计算得出的 3 条巷道的风量置信区间与安全阈值区间应用在风量的监测评价中。在数据样本采集完成后的 30 d 内,随机选取 3 条巷道的风量监测数据,其中南回大巷提取了 100 个数据,35000 采区大巷、17 盘区回风巷各提取了 120 个数据,用计算出的置信区间及安全阈值区间进行数据分析。为使结果更加明确,将整理后的各条巷道的风量数据分别与置信区间、安全阈值区间统一绘制成分布图,并统计了研究对象风量数据相对于置信区间与安全阈值区间的分布情况及超出区间的原因。图 3~4 分别为监测数据相对于置信区间与安全阈值区间的分布情况,其中上下两条虚线为区间上下限,两条虚线之间的阴影部分为区间范围。

从表 7 中可以看出,风量的置信区间覆盖了 65%以上的实测风量数据样本,反映了巷道风量的稳定程度。风量的安全阈值区间覆盖了 90%以上的实测风量数据,只有少量数据落在该阈值区间之外。经查明,有 35%左右的风量测量值落在了置信区间以外,主要原因是巷道配风富裕量或少量匿风导致的风量不稳定。极少量的数据处在安全阈值区间之外,经过现场查看,这些数据采集的时刻风量超出安全阈值区间的原因分为两种:临时生产变动和通风管理失误。前者不产生安全隐患,而后者则相反。通风管理失误产生的安全隐患主要是:唐口煤矿南回大巷因南 2# 轨胶联络巷风门漏风导致风量多次超过 $35 \text{ m}^3/\text{s}$,超出安全阈值上限,造成南部采区各用风地点不同程度的少风;梁宝寺煤矿 35000 采区大巷因四采 2# 轨胶联络巷风门漏风导致风量达到 $25 \text{ m}^3/\text{s}$,超出安全阈值上限,造成四采区掘进工作面风量减少近一半。

现场应用的结果表明,通过该方法计算得出的风量置信区间能够锁定巷道风量的稳定极限,风量的安全阈值区间能够确定巷道风量的安全范围,并准确地对风流的异常状态作出预警。相比以前的定值比较方法,该评价方法基于现场数据计算,适用性更强。

表 4 风量数据样本偏度及峰度计算结果

Tab. 4 Air volume data sample skewness and kurtosis calculation result

参数	南回大巷	35000 采区大巷	17 盘区回风巷
$ u_1 $	0.117	0.21	0.23
$ u_2 $	0.164	0.24	0.93
$ u_1 <u_{0.05}$	是	是	是
$ u_2 <u_{0.05}$	是	是	是

表 5 风量置信区间计算结果

Tab. 5 Air volume confidence interval calculation result

巷道名称	均值 $\mu/(\text{m}^3/\text{s})$	标准差 $\sigma/(\text{m}^3/\text{s})$	置信区间 (θ_1, θ_2)
南回大巷	25.24	6.91	(22.63,27.84)
3500 采区大巷	17.60	2.17	(16.78,18.42)
17 盘区回风巷	6.10	0.76	(5.81,6.38)

表 6 风量安全阈值区间计算结果

Tab. 6 Air volume safety threshold interval calculation result

参数	南回大巷	35000 采区大巷	17 盘区回风巷
x_{10}	14.88	14.36	5.25
x_{90}	34.94	20.60	6.95
(a, b)	(16.95,33.00)	(15.01,20.00)	(5.42,6.78)

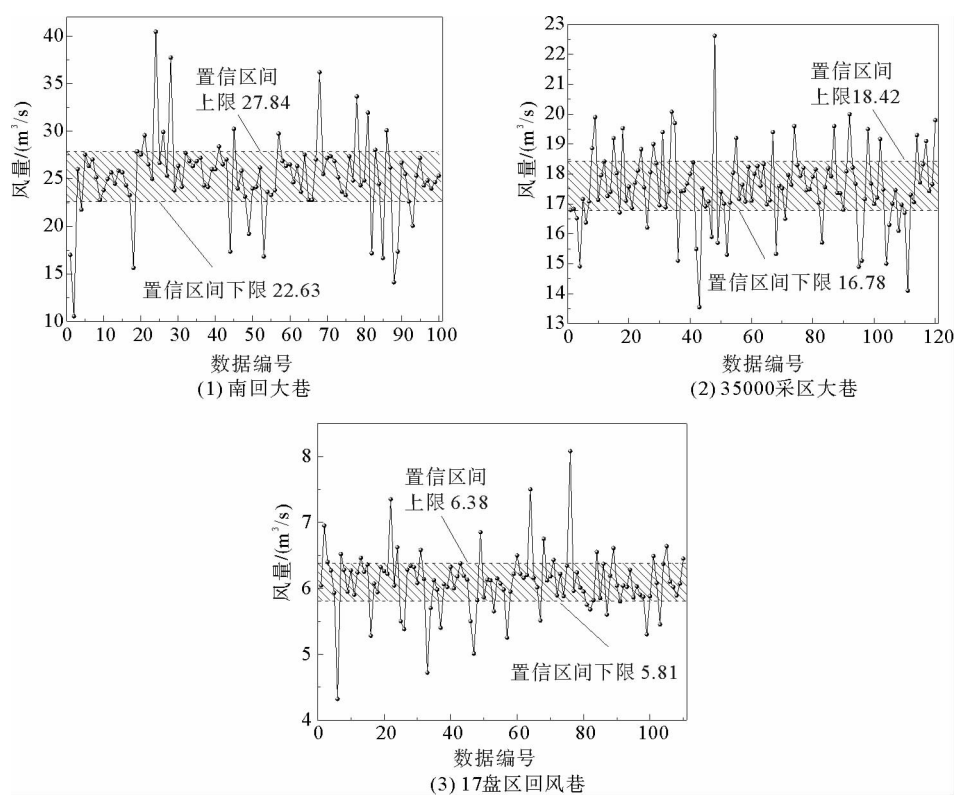


图 3 置信区间分布图

Fig. 3 Confidence interval map

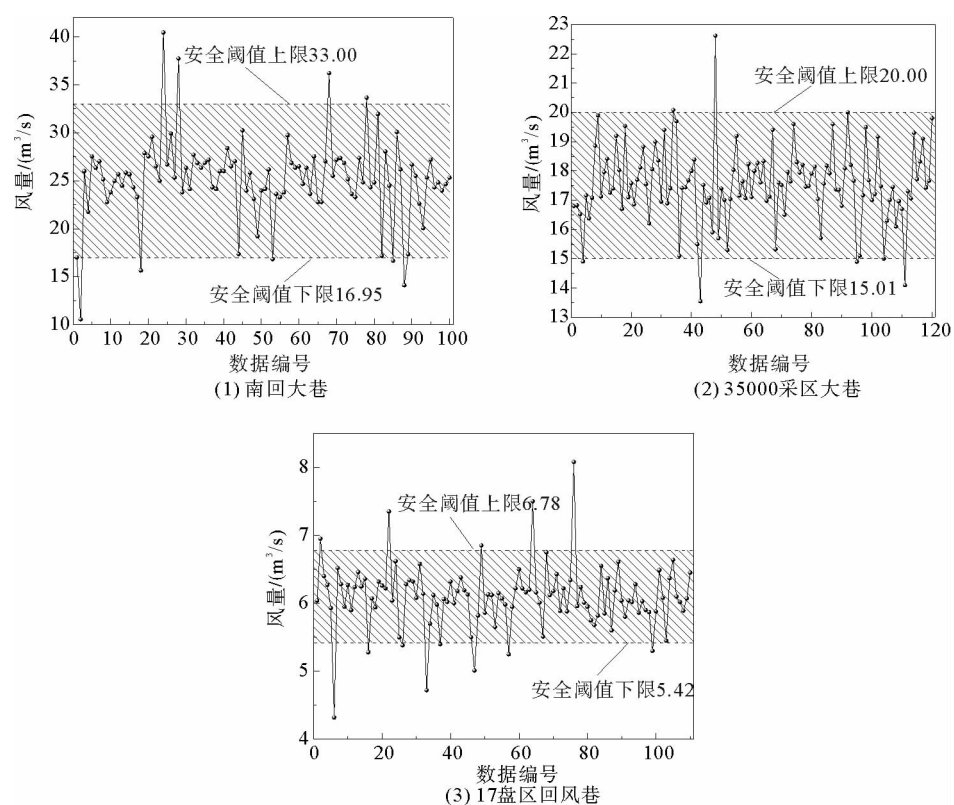


图 4 安全阈值区间分布图

Fig. 4 Safety threshold interval map

表 7 图形分布情况统计
Tab. 7 Graphic distribution statistics

巷道名称	数据总量	置信区间 覆盖率/%	阈值区间 覆盖率/%	超出阈值区间 上限原因	超出阈值区间 下限原因
南回大巷	100	67.0	95.0	南 2# 轨胶联络巷风门漏风	南风井风机调整工况点,回风量加大
35000 采区大巷	120	65.8	94.2	四采 2# 轨胶联络巷风门漏风	35000 采区煤仓装满,停产检修
17 盘区回风巷	110	66.1	93.6	16 盘区联络巷施工调整风流	17 盘区工作面防灭火工程控风

3 结论

1) 提出了选取风量 95%置信水平置信区间锁定巷道风量的稳定极限、使用风量安全阈值区间对巷道风量进行安全预警的井下巷道风量稳定性评价方法,提出了风量安全阈值区间的计算公式。

2) 将该评价方法在唐口煤矿、梁宝寺煤矿、巴彥高勒煤矿进行了现场应用,结果表明风量置信区间能够锁定巷道风量的稳定极限,风量的安全阈值区间能够确定巷道风量的安全范围,并准确地对风流的异常状态作出预警。

参考文献:

[1]WEI L J,ZHOU F B,CHENG J W,et al.Classification of structural complexity for mine ventilation networks[J].Complexity,2014,21(1):21-34.

[2]NI G H,DONG K,LI S,et al.Gas desorption characteristics affected by the pulsating hydraulic fracturing in coal[J].Fuel,2019,236:190-200.

[3]CHENG W M,HU X M,XIE J,et al.An intelligent gel designed to control the spontaneous combustion of coal fire prevention and extinguishing properties[J].Fuel,2017,210:826-835.

[4]CHENG W M,LIU Z,YANG H,et al.Non-linear seepage characteristics and influential factors of water injection in assy seams[J].Experimental Thermal and Fluid Science,2018,91:41-53.

[5]CHEN L J,LI P C,LIU G M,et al.Development of cement dust suppression technology during shotcrete in mine of China-A review[J].Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2018,55:232-242.

[6]YANG H M,WEN G C,HU Q T,et al.Experimental investigation on influence factors of acoustic emission activity in coal failure process[J].Energies,2018,11(6):1414.

[7]WANG H,NIE W,CHENG W M,et al.Effects of air volume ratio parameters on air curtain dust suppression in a rock tunnel's fully mechanized working face[J].Advanced Powder Technology,2018,29:230-244.

[8]ZHOU G,FAN T,XU M,et al.The development and characterization of a novel coagulant for dust suppression in open cast coal mines[J].Adsorption Science & Technology,2018,36(1/2):608-624.

[9]WANG G,JIANG C H,SHEN J N,et al.Deformation and water transport behaviors study of heterogenous coal using CT-based 3D simulation[J].International Journal of Coal Geology,2019,211:103204.

[10]朱政宏,程昊,郭良经.基于 Fuzzy 模型的矿井通风系统风流稳定性评判[J].煤炭工程,2011(11):103-105.
ZHU Zhenghong,CHENG Hao,GUO Liangjing.Evaluation of airflow stability of mine ventilation system based on Fuzzy model[J].Coal Engineering,2011(11):103-105.

[11]EULER D S.Application of ventilation management programs for improved mine safety[J].International Journal of Mining Science and Technology,2017,27(4):647-650.

[12]LUO W G,XIE X P,XIAO H Z,et al.Reliability calculation of mine ventilation network[J].Procedia Engineering,2014,84:752-757.

[13]CHENG J W,YANG S Q.Data mining applications in evaluating mine ventilation system[J].Safety Science,2012,50(4):918-922.

[14]JIA T G,LIU J.Stability of mine ventilation system based on multiple regression analysis[J].Mining Science and Technology (China),2009,9(4):463-466.

- GUO Xiaonong, QIU Linong, LUO Yongfeng, et al. Seismic performance of concrete-filled double skin composite shear wall with opening[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2015, 47(6): 69-76.
- [8] 赵宝成, 柳骏飞, 顾强, 等. 双钢板内填混凝土短肢组合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(1): 28-36.
ZHAO Baocheng, LIU Junfei, GU Qiang, et al. Experimental investigation on seismic behavior of short-limb composite shear wall with double steel plates and infill concrete[J]. China Civil Engineering Journal, 2017, 50(1): 28-36.
- [9] 程春兰, 周德源, 叶珊, 等. 低剪跨比带约束拉杆双钢板混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2016, 46(1): 126-132.
CHENG Chunlan, ZHOU Deyuan, YE Shan, et al. Experimental research on seismic behaviors of low shear-span ratio composite concrete and double steel plate shear walls with binding bars[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2016, 46(1): 126-132.
- [10] 范重, 王金金, 王义华, 等. 钢板混凝土组合剪力墙拉弯性能研究[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(7): 1-9.
FAN Zhong, WANG Jinjin, WANG Yihua, et al. Research on tension-bending performance of steel plate concrete composite shear walls[J]. Journal of Building Structures, 2016, 37(7): 1-9.
- [11] 王威, 张龙旭, 苏三庆, 等. 波形钢板-混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(10): 75-84.
WANG Wei, ZHANG Longxu, SU Sanqing, et al. Experimental research on seismic behavior of corrugated steel plate-concrete composite shear walls[J]. Journal of Building Structures, 2018, 39(10): 75-84.
- [12] 黄一杰, 王长青, 孙黄胜, 等. 钢管混凝土静力力学性能理论研究现状[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2015, 34(5): 32-39.
HUANG Yijie, WANG Changqing, SUN Huangsheng, et al. Theoretical research status of concrete-filled steel Tube's static mechanical behavior[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2015, 34(5): 32-39.
- [13] 王来, 陈相龙, 关巧英. 反复荷载下端板连接半刚性钢框架滞回性能研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2013, 32(4): 52-56.
WANG Lai, CHEN Xianglong, GUAN Qiaoying. Analysis of hysteretic performance of steel frames with end-plate semi-rigid connections under periodic load[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2013, 32(4): 52-56.

(责任编辑:吕海亮)

(上接第 45 页)

- [15] 刘晓南, 葛少成, 武宇. FA-FDA 判别分析的矿井通风系统安全评价[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014, 33(9): 1221-1225.
LIU Xiaonan, GE Shaocheng, WU Yu. Safety evaluation of mine ventilation system based on FA-FDA discriminant analysis[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2014, 33(9): 1221-1225.
- [16] 徐凯. 基于 BP 神经网络的矿井安全性评价[J]. 内蒙古煤炭经济, 2016(15): 29-31.
XU Kai. Mine safety evaluation based on BP neural network[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2016(15): 29-31.
- [17] 梁志强, 卿黎, 杨永盛. 矿井通风系统安全可靠综合评价研究[J]. 煤矿机械, 2017, 38(2): 33-36.
LIANG Zhiqiang, QING Li, YANG Yongsheng. Comprehensive evaluation of safety and reliability of mine ventilation system[J]. Coal Mine Machinery, 2017, 38(2): 33-36.
- [18] 贾进章, 宋磊, 冯路阳. 广宁阳晖煤矿通风系统稳定性分析[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(1): 86-89.
JIA Jinzhang, SONG Lei, FENG Luyang. Stability analysis of ventilation system in Yanghui coal mine of Guangning[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2018, 45(1): 86-89.
- [19] 褚程程, 杨滨滨. 利用区间估计确定某矿矿井突水预警值[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(1): 30-32.
CHU Chengcheng, YANG Binbin. Using interval estimation to determine the water inrush warning value of a mine[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2012, 39(1): 30-32.
- [20] 赵红梅, 陈开岩, 张作华. 矿井瓦斯涌出量一元线性回归及区间预测探讨[J]. 能源技术与管理, 2007(3): 144-145.
ZHAO Hongmei, CHEN Kaiyan, ZHANG Zuohua. Discussion on linear regression and interval prediction of mine gas emission[J]. Energy Technology and Management, 2007(3): 144-145.

(责任编辑:吕海亮)