

文章编号:0253-9993(2010)12-1975-04

煤层冲击倾向性与危险性评价指标研究

潘一山,耿琳,李忠华

(辽宁工程技术大学 力学与工程学院,辽宁 阜新 123000)

摘要:针对冲击倾向性指标不能完全反映实际煤层冲击危险程度的问题,提出了考虑时间效应的冲击能量速度指标、临界软化区域系数、临界应力系数 3 项新的指标,并与动态破坏时间、弹性能指数、冲击能指数和单轴抗压强度等 4 项传统的冲击倾向性指标结合,用于判断与评估煤层冲击危险性。煤样试验表明,其一定程度上解决了冲击倾向性判别结果误差大、离散性等难题,提高了煤层冲击危险性评判的精确性与可靠性。

关键词:煤层;冲击危险倾向性;评价指标

中图分类号:TD324.1 **文献标志码:**A

Research on evaluation indices for impact tendency and danger of coal seam

PAN Yi-shan, GENG Lin, LI Zhong-hua

(School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Aiming at the rockburst tendency indices could't completely impact dangerous degree of coal seam, the new impact energy speed indicator considering the time effect, the critical soften areas coefficient and the critical stress coefficient were put forward. Four traditional indices such as dynamic damage time, elastic energy index, impact energy index and uniaxial compressive strength in combined with the proposed three new indices were used to estimate the impact tendency risk of the coal seam. The test results of the coal samples show that the three new evaluation indices and the traditional indices, to a certain extent, are able to accurately assess the impact tendency and hazard from rock burst of the coal seam.

Key words: coal seam; rockburst impact tendency; evaluation indices

煤层冲击倾向性指标是衡量煤岩冲击倾向性大小、鉴别矿井冲击地压危害性的重要依据^[1]。国内外学者已从煤岩体积蓄能量、破坏时间、变形和刚度等方面提出了多种冲击倾向性评判指数,据此提出相应的判别指标与方法^[1]。我国现行煤层冲击倾向性指标主要有:弹性能指数、冲击能指数、动态破坏时间和单轴抗压强度^[2]。物理意义上^[3],弹性能指数是煤层积累弹性能与塑性变形能之比,表示煤岩变形弹性能的大小,反映出吸收施加能量的能力;冲击能指数为峰值前积蓄的变形能与峰值后残余变形能之比,表示煤岩破坏过程中剩余能量的大小,从能量方面揭示煤岩的冲击倾向性;而动态破坏时间表示煤岩破坏

经历的时间,从时间方面体现煤岩的冲击倾向性的内在规律。单轴抗压强度是无围压岩样在纵向压力作用下出现压缩破坏时单位面积上所承受的载荷,从强度方面揭示煤岩冲击倾向性。本质上,煤层冲击倾向性应该受到时间与能量的双重影响。上述 4 项煤层冲击倾向性指标只单方面地评价煤层冲击倾向性强弱,导致同时采用 4 项指标判断煤岩冲击地压倾向性时,评判结果可能存在不一致、离散性大等缺点^[4]。鉴于此,提出了可以考虑时间效应的冲击能量速度指数,加强评判煤层冲击倾向性的准确性,并通过试验验证了综合评判方法的正确性,并具有离散度小的优点。但是,冲击倾向性指标只能说明煤层的一种性

质,能否发生冲击还取决于外界作用的煤岩体应力是否达到临界值。为此,提出临界软化区域系数、临界应力系数两项指标进一步评判煤层冲击危险性。

1 冲击危险性指标的提出

冲击地压孕育与发生是煤岩体加载、储能、耗能和突然变形破坏并瞬间释放大能量物理过程,表现为能量基本形式的转化过程^[1-4]。由于煤岩加载过程中单位时间内耗能小、储能大,以至耗能不能吸收施加的全部能量而发生冲击式破坏;破坏过程中单位时间内释放的弹性能较大,超过煤岩破坏所损耗能量,使得剩余能需要以动能或冲击波的形式释放,产生冲击式破坏,其中剩余能就是冲击地压能量的主要来源。煤岩破坏过程中单位时间内释放的剩余能越多,转化的动能也越多,破坏动力效应越显著,呈现的冲击性能越强烈。

因此,煤岩破坏过程中单位时间内释放的剩余能表征了单位时间内弹性能转化成动能的多少(这里假设剩余能全部转化为动能),同时反映出冲击倾向性的强弱。可见,冲击倾向性评价不仅需要考虑能量因素,也应该考虑时间效应。

针对圆形巷道受静水压力的冲击地压问题,基于稳定性动力准则,文献[5-7]提出了冲击地压发生临界危险指标的理论计算公式,得到了采场巷道受静水压力作用下,发生冲击的临界峰值应力深度和发生冲击地压的临界开采深度。得出圆形巷道发生冲击地压的临界尺寸表达式为

$$\rho = a \sqrt{1 + \frac{E}{E_w}} = a \sqrt{1 + \frac{1}{K_E}} \quad (1)$$

发生冲击地压的临界岩体应力为

$$P = \frac{\sigma_c(1 + K_E)}{q - 1} \left[\left(1 + \frac{1}{K_E} \right)^{(q-1)/2} - 1 \right] \quad (2)$$

式中, ρ 为临界软化区半径; a 为巷道半径; E_w 为应力应变曲线峰后降模量; E 为应力应变曲线峰前弹性模量; K_E 为冲击能指数; P 为临界岩体应力; σ_c 为抗压强度; q 为与内摩擦角有关的变量。

理论公式(1)、(2)揭示出冲击地压发生的内因是煤层具有冲击倾向性,外因是岩体应力达到临界应力。这说明了冲击倾向性指标只能体现出煤层的一种性质,能否发生冲击还决定于外部荷载是否达到临界值。所以,煤岩冲击倾向性鉴定与判别是划分冲击地压区域的冲击倾向程度,而现场煤岩应力检测是划分冲击地压区域的冲击危险程度^[8-9]。为此在已有冲击倾向性指标的基础上提出3项冲击危险性指标。

1.1 冲击能量速度指数

基于已有的冲击能指数,考虑煤岩破坏时弹性储能、损耗能量及动态破坏时间因素,定义了一种新的指标——冲击能量速度指数,其物理意义为煤岩试块压缩过程中单位时间内的聚集与吸收能量之比,表示了煤岩试块压缩过程中破坏能量的冲击能力。可见,冲击能量速度指数越大,冲击能力越强。试件冲击能量速度指数为

$$W_{ST} = \frac{K_E}{t_D} \quad (3)$$

式中, W_{ST} 为冲击能量速度指数; t_D 为动态破坏时间,s。

1.2 临界软化区域系数

临界软化区域系数与冲击能指数直接相关,间接反映出支承压力峰值位置和临界阻力区的大小。通过其定义,得出临界软化区域系数越大,支承压力峰值位置离自由面越远,临界阻力区越大,冲击危险性越小。临界软化区域系数(K_ρ)具体表达式为

$$K_\rho = \sqrt{1 + \frac{1}{K_E}} \quad (4)$$

1.3 临界应力系数

临界应力系数是煤岩物理力学性质的综合体现,间接体现了岩体应力对冲击危险性的影响。临界应力系数越大,临界岩体应力越小,冲击危险性越大。临界应力系数具体表达式为

$$K_{KE\varphi} = \left\{ \frac{1 + K_E}{q - 1} \left[\left(1 + \frac{1}{K_E} \right)^{(q-1)/2} - 1 \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

由式(2)可进一步得到

$$K_{KE\varphi} = \frac{\sigma_c}{P} \quad (6)$$

根据临界软化区域系数、临界应力系数,进而可以估算圆形巷道发生冲击地压的临界尺寸及临界岩体应力。如果实测值接近临界值,则认为有冲击危险而进行预报。

综合以上公式,以及大量工程试验结果初步确定煤层冲击危险性指标界限值见表1,其精确标准还需要大量试验及工程的检验与不断完善。

表1 煤层冲击危险性指标

Table 1 Evaluation indexes for coal bursting danger

类 别	I 类	II 类	III 类
	无冲击危险	弱冲击危险	强冲击危险
冲击能量速度指数 W_{ST}/s^{-1}	$W_{ST} < 3$	$3 \leq W_{ST} < 100$	$W_{ST} \geq 100$
冲击临界软化系数 K_ρ	$K_\rho > 1.3$	$1.1 < K_\rho \leq 1.3$	$K_\rho \leq 1.1$
冲击临界应力系数 $K_{KE\varphi}$	$K_{KE\varphi} < 0.7$	$0.7 \leq K_{KE\varphi} < 1.6$	$K_{KE\varphi} \geq 1.6$

2 冲击倾向性及危险性试验

2.1 试验条件

河南某矿区在开采过程中冲击地压、煤与瓦斯突出等矿山动力灾害现象显著,对煤炭安全生产构成严重威胁。煤层冲击倾向性是区别冲击地压和其它动力灾害现象的重要标志之一^[10-11]。因此预测煤层动力灾害现象时,对煤层冲击倾向性的判定必不可少^[11]。为了获得更具有代表意义的煤岩冲击倾向性的评价依据与分类指标,分别在该矿区3个高应力矿井5个采样点取样,每个采样地点采集煤样一组,每组3块,加工成50 mm×50 mm×100 mm标准煤层试件^[10]。

2.2 试验结果及分析

采用动态破坏时间指标 t_D 、弹性能指数 W_{ET} 、冲击能指数 K_E 、抗压强度 σ_c 和本文提出新的冲击能量速度指数 W_{ST} 等5项指标来判断煤层的冲击倾向性。表2为煤层冲击倾向性指标试验结果。采用冲击临界软化系数 K_p 和冲击临界应力系数 K_{KEp} 并结合现场通过钻屑法测得临界岩体应力 P 和试验测得的抗压强度 σ_c 、 E 、 E_w 来研究煤层的冲击危险性。表3给出了煤层冲击危险性指标试验结果。得出河南某矿区A、B矿具有弱冲击倾向,C矿无冲击倾向。A矿1号采点、B矿4号采点冲击危险性弱,A矿2号采点、B矿3号采点、C矿5号采点无冲击危险性。上述评判结果将为该矿采取可行的防治措施提供必要依据。

表2 冲击倾向性指标试验结果

Table 2 Test results for coal bursting tendency

矿井	采样地点	动态破坏时间 t_D /ms	倾向性	弹性能指数 W_{ET}	倾向性	冲击能指数 K_E	倾向性	抗压强度/MPa	倾向性	冲击能量速度指数 W_{ST}/s^{-1}	倾向性	综合评判结果
A矿	1号	461	弱	2.23	弱	1.45	无	7.30	弱	3.14	弱	弱
	2号	537	无	2.08	弱	2.38	弱	7.79	弱	4.43	弱	弱
B矿	3号	674	无	2.23	弱	2.46	弱	8.66	弱	3.65	弱	弱
	4号	409	弱	2.16	弱	1.39	无	8.16	弱	3.40	弱	弱
C矿	5号	2 943	无	1.103	无	2.17	弱	2.193	无	0.737	无	无

表3 冲击危险性指标试验结果

Table 3 Test results for coal bursting danger

矿井	采样地点	抗压强度 σ_c /MPa	临界岩体应力 P /MPa	巷道半径 a /m	弹性模量 E /GPa	降模量 E_w /GPa	冲击临界应力系数 K_{KEp}	冲击临界软化系数 K_p	综合评判结果
A矿	1号	7.30	5.62	2.3	6.45	3.77	1.30	0.72	弱
	2号	7.79	5.81	2.2	4.94	6.80	1.34	0.60	无
B矿	3号	8.66	6.10	2.4	4.25	3.08	1.42	0.64	无
	4号	8.16	6.43	3.0	14.35	3.31	1.27	0.77	弱
C矿	5号	2.193	1.58	2.9	3.75	3.11	1.39	0.51	无

3 结论

(1)冲击倾向性的评价不仅需要考虑能量效应,也要考虑时间效应,提出冲击能量速度指标。冲击能量速度指数越大,冲击能力越强。

(2)由于煤层冲击地压发生与外部载荷能否达到临界值相关,提出了临界软化区域系数、临界应力系数两项新的指标评判煤层冲击危险性。临界软化区域系数越大,支承压峰值位置离自由面越远,临界阻力区越大,冲击危险性越小;临界应力系数越大,临界岩体应力越小,冲击危险性越大。

(3)冲击能量速度指数、临界软化区域系数及临

界应力系数等冲击危险性评价指标尚需要大量试验与工程实例的检验,以更好地指导工程实践。

参考文献:

- [1] 王淑坤,齐庆新,曾永志.我国煤岩冲击倾向研究的进展[J].煤矿开采,1998,3(3):30-32.
Wang Shukun, Qi Qingxin, Zeng Yongzhi. Research progress on coal bursting tendency in China[J]. Coal Mining, 1998, 3(3): 30-32.
- [2] MT/T 174-2000,煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法[S]. MT/T 174-2000, Classification and laboratory test method on bursting liability of coal[S].
- [3] 张绪言,康立勋,杨双锁.煤岩冲击倾向性与剩余能量释放速度的关系[J].煤矿安全,2009(2):74-76.
Zhang Xuyan, Kang Lixun, Yang Shuanguo. Relation of residual en-

- ergy delivery speed and bursting liability[J]. Safety in Coal Mines, 2009(2):74-76.
- [4] 张万斌,王淑坤.以动态破坏时间鉴定煤的冲击倾向[J].煤炭科学技术,1986,14(3):31-34.
Zhang Wanbin, Wang Shukun. To determine proneness of coal burst by dynamic failure time[J]. Coal Science and Technology, 1986, 14(3):31-34.
- [5] 潘一山.冲击地压发生和破坏过程研究[D].北京:清华大学,1999.
Pan Yishan. Study on rockburst initiation and failure propagation [D]. Beijing: Tsinghua University, 1999.
- [6] 章梦涛.冲击地压失稳理论与数值计算[J].岩石力学与工程学报,1987,6(3):197-204.
Zhang Mengtao. Instability theory and mathematical model for coal/rock bursts[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1987, 6(3):197-204.
- [7] 潘一山,李国臻,章梦涛.回采巷道冲击地压危险指标的确定[J].矿山压力与顶板管理,1994(1):56-59.
Pan Yishan, Li Guozhen, Zhang Mengtao. Determination of the rock burst hazardous indices in mining workings[J]. Ground Pressure and Strata Control, 1994(1):56-59.
- [8] 王淑坤,张万斌.模糊综合评判煤的冲击倾向性的研究[J].能源技术与管理,1992(1):75-79.
Wang Shukun, Zhang Wanbin. Application of fuzzy evaluation method in appraising coal seam pressure bump tendency [J]. Energy Technology and Management, 1992(1):75-79.
- [9] 赵本钧,腾学军.冲击地压及其防治[M].北京:煤炭工业出版社,1994.
Zhao Benjun, Teng Xuejun. Rock burst and prevention [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1994.
- [10] 郭建卿,苏承东.不同煤试样冲击倾向性试验结果分析[J].煤炭学报,2009,34(7):897-902.
Guo Jianqing, Su Chengdong. Analysis on experimental results of rock burst tendency of different coal samples[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(7):897-902.
- [11] 潘一山,李忠华,章梦涛.我国冲击地压分布、类型、机理及防治研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(11):1 844-1 851.
Pan Yishan, Li Zhonghua, Zhang Mengtao. Distribution, type, mechanism and prevention of rock burst in China [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11):1 844-1 851.

据《2010年版中国科技期刊引证报告(核心版)》,2009年度《煤炭学报》的总被引频次为1 574,在矿山工程技术类22种期刊中列第1位;影响因子为0.678,在矿山工程技术类22种期刊中列第4位;综合评价总分为73.8,在统计的1946种期刊中列第84位。