

周棕宏,章琦,杨安国,等.白云岩三维动静组合加载力学特性试验研究[J].矿业科学学报,2016,1(1):0001-0003.

Zhou Zonghong, Zhang Qi, Yang Anguo, et al. Experimental study on mechanical characteristics of dolomite under three-dimensional coupled static-dynamic loading[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2016, 1(1): 0001-0003.

白云岩三维动静组合加载力学特性试验研究

周棕宏¹, 章琦¹, 杨安国¹, 王春²

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093;

2. 中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要:为研究白云岩的力学特性和破坏模式,利用改进的三维 SHPB 动静组合加载试验装置,对白云岩进行三维加载、轴向冲击试验,分析轴压、围压和应变率对白云岩强度、变形模量、能量吸收等的影响,探讨岩石动静组合加载的应变率效应。试验结果表明:当围压一定时,白云岩的抗压强度随着轴压的增大呈现出先增大后减小的趋势,变形模量随着轴压的增大而减小;白云岩单位体积吸收能会随着轴压的增大而先增加后降低。在三维动静组合加载下,岩石的破坏模式为压剪破坏。

关键词:白云岩;力学特性;破坏模式;应变率效应;动态强度增长因子;能量传递

中图分类号:TD324

文献标志码:A

文章编号:

Experimental study on mechanical characteristics of dolomite under three-dimensional coupled static-dynamic loading

Zhou Zonghong¹, Zhang Qi¹, Yang Anguo¹, Wang Chun²

1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract: This paper investigates the mechanical characteristics and failure modes of dolomite. The dynamic triaxial compression tests of dolomite specimens under three-dimensional loading and axial impact were conducted by using the modified three-dimensional split Hopkinson pressure bar (SHPB) apparatus. The influence of axial pressure, confining pressure and strain rate on strength, deformation modulus and energy absorption of dolomite was analyzed. The strain rate effect of the coupled static-dynamic loading of rock was discussed. The test results show that: when the confining pressure is constant and the axial static pressure increases, the compressive strength of rock increases at first and then decreases while the deformation modulus decreases; the energy absorption per unit volume first increases and then decreases with the increasing of axial pressure. The failure pattern of dolomite is compression-shear under three-dimensional coupled dynamic and static loading.

Key words: dolomite; mechanical characteristics; failure mode; strain rate effect; dynamic strength increase factor; energy transfer

随着国内外对矿产资源需求量的增加和浅部资源不断消耗,越来越多的矿山相继进入深部资源

开采状态。深部矿岩体在受到爆破震动、开挖扰动等动载荷前,已经承受了地应力、构造应力等高静

收稿日期:2015-07-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51264018,51064012);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NECT-09-0258)

作者简介:周棕宏(1969—),男,安徽宿州人,教授,博士,从事采矿方法和工艺、矿山岩石力学与地压控制等研究。

Tel:0871-65171672, E-mail:zhou20051001@163.com

应力作用,处于“高应力+动力扰动”的多维受力状态下,是典型的动静组合加载问题。研究预静应力条件下岩石动静组合强度和变形性质,对揭示深部岩爆、冲击地压等灾害发生机理和防治有一定的理论意义和工程价值^[1-3]。

1 三维动静组合加载试验

1.1 试件制备

岩样均取自云南会泽铅锌矿麒麟坑地质钻孔,深度为1 200~1 400 m。白云岩试件经昆明理工大学分析测试中心检测,含碳酸镁钙 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 73.3%,碳酸钙 $[\text{CaCO}_3]$ 26.6%,其他矿物成分0.1%。岩样加工严格按照国际岩石力学学会 ISRM 建议的试验方法进行,试样为 $\phi 50 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 的圆柱体,并对其两端及侧面进行了仔细研磨,不平行度和不垂直度均小于0.02 mm。试样表面光滑,没有明显缺陷,呈灰白色、米黄色、肉红色。白云岩静载物理力学参数见表1。

表1 白云岩静载物理力学参数

Tab. 1 Physical and mechanical parameters of dolomite under static load

密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	加载率/ ($\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1}$)	应变 率/ s^{-1}	抗压强 度/ MPa	变形模 量/ GPa	泊松比
2 656	0.5	10^{-5}	44.6	20.18	0.27

1.2 试验设备

试验是在中南大学的三维 SHPB 动静组合加

表2 白云岩力学参数和三维动静组合加载下试验结果

Tab. 2 Mechanical parameters and experimental results of dolomite under 3D coupled static and dynamic loads

编号	试样直径/ mm	试样长度/ mm	纵波波速 ^① / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	冲击气压/ MPa	轴向静压/ MPa	围压 ^② / MPa	组合强度/ MPa	应变率/ s^{-1}	变形模量/ GPa
28	51.50	25.57	5 813	0.38	0	0	64.55	74.55	14.37
72	48.65	25.42	7 060	0.70	0	5	133.78	86.43	64.43
35	48.41	25.77	5 370	0.80	0	10	174.11	73.48	74.59
11	49.01	25.63	7 120	0.70	20	0	139.61	72.46	49.93
17	49.42	25.71	5 843	0.95	20	5	181.27	77.96	47.74

注:1. 综合注释。

2. 综合注释。

①呼应注释。

②呼应注释。

(1) 固定围压。图2(a)为白云岩在围压为5 MPa、应变率约 88 s^{-1} ,不同轴向静压下冲击加载的应力-应变试验曲线。可以看出,在轴压作用下,白云岩的抗压强度呈现出先增加后降低的趋势。

载系统完成的(图1)。本次试验对常规 SHPB 冲击试验系统进行了改进:在已有的 SHPB 试验系统上安设轴压及围压加载装置,同时施加轴向静压和围压时即可进行三轴预应力下的冲击试验。

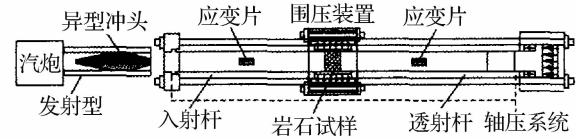


图1 三维动静组合加载 SHPB 试验系统

Fig. 1 SHPB apparatus of 3D coupled static - dynamic loading

1.3 试验方法

在三维动静组合加载试验前,先进行常规冲击试验。三维动静组合加载试验时,轴向静压取0、20和30 MPa,围压取0、5、10 MPa,冲击气压为0.4~1.2 MPa,每组设置4、5个等级,冲击载荷是由瓶装高压氮气推动纺锤形冲头撞击入射杆产生的半正弦应力波,通过调节气阀的压力值,控制冲头的发射速度,实现不同的应变率。每组试验重复3~5次,选取有代表性的数据进行对比。

2 试验结果及分析

2.1 强度特性

表2给出了动静组合加载试验中代表性试样的试验结果。白云岩的应力-应变曲线如图2所示。

(2) 固定轴压。图2(b)为轴压为30 MPa、应变率为 74 s^{-1} ,不同围压下组合加载得到的白云岩应力-应变曲线。可以看出,轴压一定、应变率接近时,白云岩的抗压强度随着围压的增加而增大。不同轴向静压下,围压的增加对白云岩的强度影响

较为显著,在30 MPa轴向静压下,围压为0、5和10 MPa的动静组合强度分别为87、146和172 MPa,即围压增加的情况下,组合强度分别增加了68%和98%。

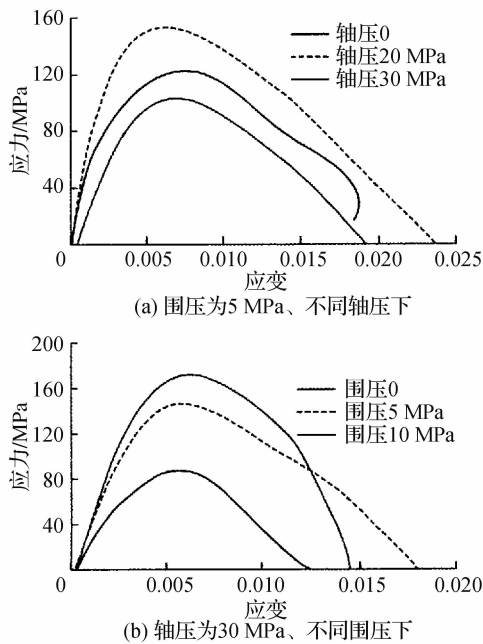


图2 白云岩的应力-应变曲线

Fig. 2 Stress-strain curves of the dolomites

白云岩属沉积岩,内部存在孔隙、微裂纹,在受到三维预应力时,在弹性范围内其内部孔隙闭合。随着围压增大,其强度逐渐增大。轴向静压下,在弹性范围内,试样承受组合载荷的能力随轴压的增大而增大,轴压起着抑制岩石内部微裂纹扩展的作用,岩样组合强度增大。随着轴向静压的继续增大,进入损伤阶段,岩石内部的孔隙被重新激活,应力波作用下,入射波在裂纹表面反射形成的拉伸波进一步加剧微裂纹的扩展、成核与聚集,导致岩石承载能力下降^[2,4]。

2.2 变形模量

压缩变形特性是岩石的重要力学特性,以变形模量(割线模量)作为衡量指标进行对比^[4],即

$$E_{50} = \frac{\sigma_{.50}}{\varepsilon_{.50}} \quad (1)$$

式中, E_{50} 为岩石的变形模量,GPa; $\sigma_{.50}$ 为动态抗压强度峰值50%时的应力值,MPa; $\varepsilon_{.50}$ 为 $\sigma_{.50}$ 对应的轴向应变值。

3 结论

(1)三维动静组合加载条件下,围压一定时,白云岩的抗压强度随轴向静压增大呈现出先增加后降低的趋势,在其静态单轴抗压强度45%左右时达到最大值;轴压一定时,白云岩抗压强度随着围压的增大而增大;强度增长因子随着冲击气压的增大先增大后变小。

(2)围压为0情况下,白云岩变形模量随着轴压的增大先增大后减小;围压为5、10 MPa条件下,则随着轴压的增大而减小;当轴压一定时,随围压的增加而增大。

(3)在冲击荷载作用下,白云岩的单位体积能量吸收随轴压和围压的增大先增大后减小,随着应变率的增加而提高。

(4)在三维动静组合加载下,岩石的破坏模式是压剪破坏。

参考文献

- [1] 唐礼忠,刘涛,汪令辉,等. 两种不同大理岩 SHPB 动态劈裂实验[J]. 武汉理工大学学报,2012,34(7): 72-77.
Tang Lizhong, Liu Tao, Wang Linghui, et al. Experimental study of dynamic split of two different marbles [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(7): 72-77.
- [2] Bailly P, Delvare F, Vial J, et al. Dynamic behavior of an aggregate material at simultaneous high pressure and strain rate: SHPB triaxial tests [J]. International Journal of Impact Engineering, 2011, 38: 73-84.
- [3] Li Xibing, Zhou Zilong, Tat-Seng Lok, et al. Innovative testing technique of rock subjected to coupled static and dynamic loads [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2008, 45: 739-748.
- [4] 金解放,李夕兵,钟海兵. 三维静载与循环冲击组合作用下砂岩动态力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2013,32(7):1358-1372.
Jin Jiefang, Li Xibing, Zhong Haibing. Study of dynamic mechanical characteristic of sandstone subjected to three-dimensional coupled static-cyclic impact loadings [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(7): 1358-1372.