

文章编号:1001-4888(2018)01-0093-08

动静态压缩下岩石试样的长径比效应研究^{*}

李地元, 肖鹏, 谢涛, 李夕兵

(中南大学 资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要: 利用分离式霍普金森压杆(SHPB)实验装置和 INSTRON1346 液压伺服试验机分别对直径为 50mm, 长径比为 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0 的花岗岩试样分别进行水平冲击试验和单轴压缩试验, 研究岩石试样在动静态压缩下的长径比效应。结果表明: 动态冲击试验中, 长径比对试样两端的应力平衡状态有显著影响。随着试样长径比的增大($L/D > 1.2$), 应力均匀化条件难以得到满足。试样的 SHPB 冲击破坏模式具有显著的长径比效应, 随着长径比的增大, 试样破碎程度降低, 破坏模式由轴向劈裂破坏向轴向劈裂和层裂拉伸复合型破坏模式转变。在同应变率水平下, 岩石的动态抗压强度随试样长径比的减小而减小(当 $L/D < 1.2$ 时), 这与静载作用下岩石单轴抗压强度随长径比的减小而增大的变化规律有明显区别。对岩石类材料来说, 长径比的变化对静态抗压强度的影响程度要高于对动态抗压强度的影响, 主要是因为静载试验下加载板和试样之间的作用时间长, 而动载作用时间很短, 导致小长径比试样静载下具有明显的端部效应, 从而得到相对更高的名义单轴抗压强度。

关键词: 花岗岩; 抗压强度; 分离式霍普金森压杆(SHPB)试验; 长径比; 尺寸效应

中图分类号: TU45

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-16-254

0 引言

岩石试样的尺寸效应(size effect)、形状效应(shape effect)和应变率效应(strain rate effect)一直以来都是岩石力学试验特性分析的研究重点。岩石力学试验结果往往受试样形状、尺寸大小和加载应变率的影响, 试验所测得的力学参数也不能完全反映现场实际岩体工程的力学特性, 岩石力学参数具有多尺度性和应变率敏感性。因此研究岩石力学特性与岩石试样形状、尺寸及应变率效应的关系, 具有十分重要的理论和实践意义^[1]。

上述三个效应对岩石材料力学特性的影响是多方面的, 本文主要考虑长径比对岩石动静态抗压强度的影响。目前大部分的研究都是基于不同长径比试样对岩石静态强度特性的影响^[2], 如 J. A. Hudson、汤大明、梁昌玉、高富强^[3-7]等学者通过试验研究, 得到单轴压缩条件下岩石试样的抗压强度随试样长径比的增大而降低的一致结论。I. Hawkes 和 M. Mellor 通过统计大量岩石力学试验结果, 得出了试样单轴抗压强度与长径比的关系式^[8]:

$$UCS = \sigma_0 [0.778 + 0.222(L/D)^{-1}] \quad (1)$$

式中, UCS 表示任意长径比试样的单轴抗压强度; σ_0 表示长径比为 1 时的单轴抗压强度; L/D 为试样的

^{*} 收稿日期: 2016-11-23; 修回日期: 2017-02-05

基金项目: 国家自然科学基金(51474250)、国家重点研发计划(2016YFC0600706)和教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-13-0588)

通讯作者: 李地元(1981—), 男, 博士, 副教授, 博士生导师。主要从事岩石力学和岩石工程方面的教学科研工作。

Email: diyuan.li@csu.edu.cn

长径比。

冲击载荷作用下,有关长径比对岩石动态强度特性影响的研究很少,也缺乏一致的认识^[1,7,10]。如李夕兵^[11]对同直径下不同长径比($L/D=0.5, 1.0, 1.5, 2.0$; $D=50\text{mm}$)的石灰岩试样进行了 SHPB 冲击试验,得出岩石动态强度随试样长径比的增大而减小的结论;洪亮^[12]等对相同长径比不同直径($L/D=0.5$; $D=22\text{mm}, 36\text{mm}, 75\text{mm}$)的花岗岩、砂岩和石灰岩进行了不同应变率条件下的 SHPB 试验,结果表明在同应变率加载条件下,岩石动态强度随试样尺寸的增大而增大。杜晶^[13]对同直径不同长径比($L/D=0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0$; $D=50\text{mm}$)的砂岩进行了 SHPB 冲击试验,得到应变率相同的条件下,岩石的动态强度随试样长径比的增大而增大的结论。上述长径比对岩石动态力学特性影响的研究中,试样长径比范围大多在 $0.4\sim 2.0$ 之间,本文试图细化岩石的长径比对试样动态强度及破坏模式的影响范围,并以花岗岩为例探讨长径比对其动静态力学特性的影响。

1 试验方案

1.1 试验设备

本次研究进行了静态单轴压缩试验和分离式霍普金森压杆(SHPB)动态冲击试验。试验过程已采取涂抹黄油等措施尽可能减小端部效应的影响。静载试验采用中南大学高等研究中心 INSTRON1342 型电液伺服控制材料试验机,以载荷控制方式对试样进行加载,加载速率为 2kN/s 。动态试验在 SHPB 试验装置上进行,采用纺锤形冲头,入射应力波为半正弦波,入射杆和透射杆杆径均为 50mm ,采用 40Cr 合金钢,其弹性极限达 800MPa ,纵波波速为 5400m/s ,密度为 7810kg/m^3 ^[10]。为方便观测裂纹的发展,试验采用 FASTCAM SA1.1 型高速摄像机同步记录试样受冲击过程。高速摄像机所设帧数为 100000fps ,每 $10\mu\text{s}$ 拍摄一张照片,可以实时观测岩石的动力响应特征和裂纹扩展全过程。

1.2 试样制备

本次试验选用均质花岗岩为母材,通过钻孔取芯、切削和研磨加工了直径为 50mm ,长径比分别为 $0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0$ 的 7 组试样,每组 4 个试样。本次试验按静载和动载两种加载模式进行试验。其中,静载试验中试样按 UC 标示,动态试验中试样用 DC 标示,每组试样依序编号,如 DC-1.0-2 表示动载试样长径比为 1.0 组的第 2 个试样,依此类推。

2 试验结果

2.1 不同长径比花岗岩静态抗压强度

利用液压伺服控制试验机 INSTRON1346,对取自同一试块的 7 组不同长径比的花岗岩试样进行了单轴压缩试验,静载下试验结果如表 1 所示。岩石的单轴抗压强度随长径比的减小而增大,试验结果与目前的研究结论是一致的^[3-7]。其中 UC-1.0 和 UC-1.2 试样的静载强度变化趋势有所偏差。从试样波速反映出 UC-1.0 试样的纵波波速比 UC-1.2 试样低近 10% ,此偏差应是岩石试样本身微观缺陷的离散性所造成的。

表 1 静载下单轴压缩试验结果
Tab. 1 Testing results of uniaxial compressive tests

编号	直径/mm	长度/mm/	波速/(m/s)	峰值强度/MPa	平均应变率/ s^{-1}
UC-0.5	48.85	25.98	4330.6	237.5	6.1×10^{-5}
UC-0.6	49.75	30.46	4230.1	224.5	7.6×10^{-5}
UC-0.8	49.70	39.76	4467.4	187.6	7.9×10^{-5}
UC-1.0	49.65	47.53	4028.3	155.9	6.9×10^{-5}
UC-1.2	49.59	60.34	4437.0	165.9	5.6×10^{-5}
UC-1.6	49.74	79.63	3756.1	108.6	5.8×10^{-5}
UC-2.0	49.52	100.26	3931.6	94.2	6.5×10^{-5}

2.2 不同长径比花岗岩动态抗压强度

根据 SHPB 应力均匀化条件,可以求得试样的平均应力和应变率随时间的变化。根据式(2)可以

通过编制程序将杆件上应变片的电信号计算转化为应力、应变信号,从而计算得到试样的应力、平均应变率等参数^[10]。

$$\left. \begin{aligned} \sigma(t) &= [\sigma_I(t) - \sigma_R(t) + \sigma_T(t)]A_e/(2A_s) \\ \epsilon(t) &= \frac{1}{\rho_e C_e L_s} \int_0^t [\sigma_I(t) + \sigma_R(t) - \sigma_T(t)] dt \\ \dot{\epsilon}(t) &= \frac{1}{\rho_e C_e L_s} [\sigma_I(t) + \sigma_R(t) - \sigma_T(t)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, $\sigma_I(t)$ 、 $\sigma_R(t)$ 和 $\sigma_T(t)$ 分别为某一时刻 t 的入射应力、反射应力和透射应力,入射应力和透射应力取压应力为正,反射应力取拉应力为正; $\rho_e C_e$ 为弹性杆的波阻抗; L_s 为试样长度; t 为应力波延续时间; A_e 、 A_s 分别为弹性杆和试样的截面积。

通过计算,可以得到图1所示结果,反映了不同长径比试样的动态抗压强度和加载应变率之间的关系。图1中,试样的应变率可根据公式(2)计算得到的应变率时间曲线,实际取值取其在动态应力平衡时间范围内的平均应变率。已有研究表明:岩石的动态力学特性有很强的应变率相关性,研究岩石的尺寸效应,必须将形状与应变率解耦,即保持相同的应变率水平才能保证尺寸效应研究结果的有效性。从图1可见,在不同长径比试样的 SHPB 动态冲击试验中,随着试样长径比的增加,试样的加载应变率逐渐减小,试样长径比从0.5增加到2.0,其平均加载应变率约从 66s^{-1} 减小到 45s^{-1} ,试样的应变率基本在 55s^{-1} 上下波动,可视为同一应变率水平。此外,从图1还可以发现,试样的动态抗压强度随长径比的增大有逐渐增大的趋势。

3 讨论

3.1 长径比对试样动态应力平衡状态分析

SHPB 冲击试验中,在岩石试样发生破坏前保证试样加载方向上应力达到均匀化非常关键^[14-16]。对试样应力平衡程度,通常采用试样两端的相对应力差来进行描述。李夕兵等^[16]引入应力平衡因子 η 来表示试样两端应力之差 $\sigma_{SI} - \sigma_{ST}$ 与其平均值 $\frac{\sigma_{SI} + \sigma_{ST}}{2}$ 之比来描述试样的应力平衡程度:

$$\eta = \frac{2(\sigma_{SI} - \sigma_{ST})}{\sigma_{SI} + \sigma_{ST}} \quad (3)$$

式中, $\sigma_{SI} = \sigma_I + \sigma_R$,即入射应力与反射应力之和(图2中的 int+re 曲线); $\sigma_{ST} = \sigma_T$,即透射应力(图2中的 tra 曲线)。图2是4个典型试样的应力平衡关系图。

图2(a)、(b)中,当 $L/D=0.5$ 和 1.0 时, σ_{SI} 曲线和 σ_{ST} 曲线重合度高,应力平衡因子 η 在试样达到峰值强度前后阶段基本维持在0左右波动。可以认为,岩石试样在发生破坏前,试样两端已达到应力平衡状态。而图2(c)、(d)中,当 $L/D=1.6$ 和 2.0 时, σ_{SI} 曲线和 σ_{ST} 曲线重合度较差,应力平衡因子 η 波动范围大,可以认为岩石在发生冲击破坏的过程中,试样两端应力处于非平衡状态。按照图2的计算处理方法,分析了其他试样在冲击载荷作用下的应力平衡状态。研究结果表明,试样长径比为0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2时,试样的应力平衡程度较高;试样长径比为1.6, 2.0时,试样难以达到应力平衡状态。以上结果表明,冲击载荷作用下,岩石试样存在应力平衡要求的长径比临界值,高于此临界值后岩石试样在 SHPB 试验过程中将达不到应力平衡条件。

3.2 长径比对试样破坏模式的影响

岩石在 SHPB 冲击载荷作用下的破坏模式主要表现为劈裂破坏和压剪破坏^[17]。表2为6个不同长径比试样在静态和动态载荷作用下的典型破坏模式。

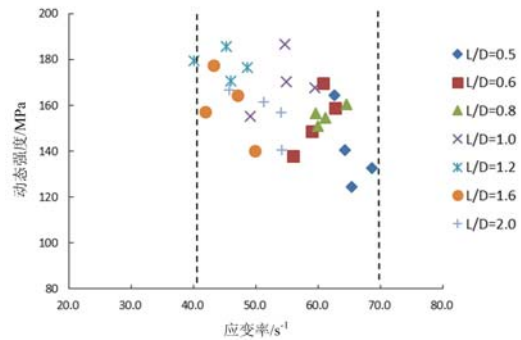


图1 不同长径比试样的动态强度—应变率关系

Fig. 1 Dynamic strength-strain rate relationships of rock specimens with different length-diameter ratio

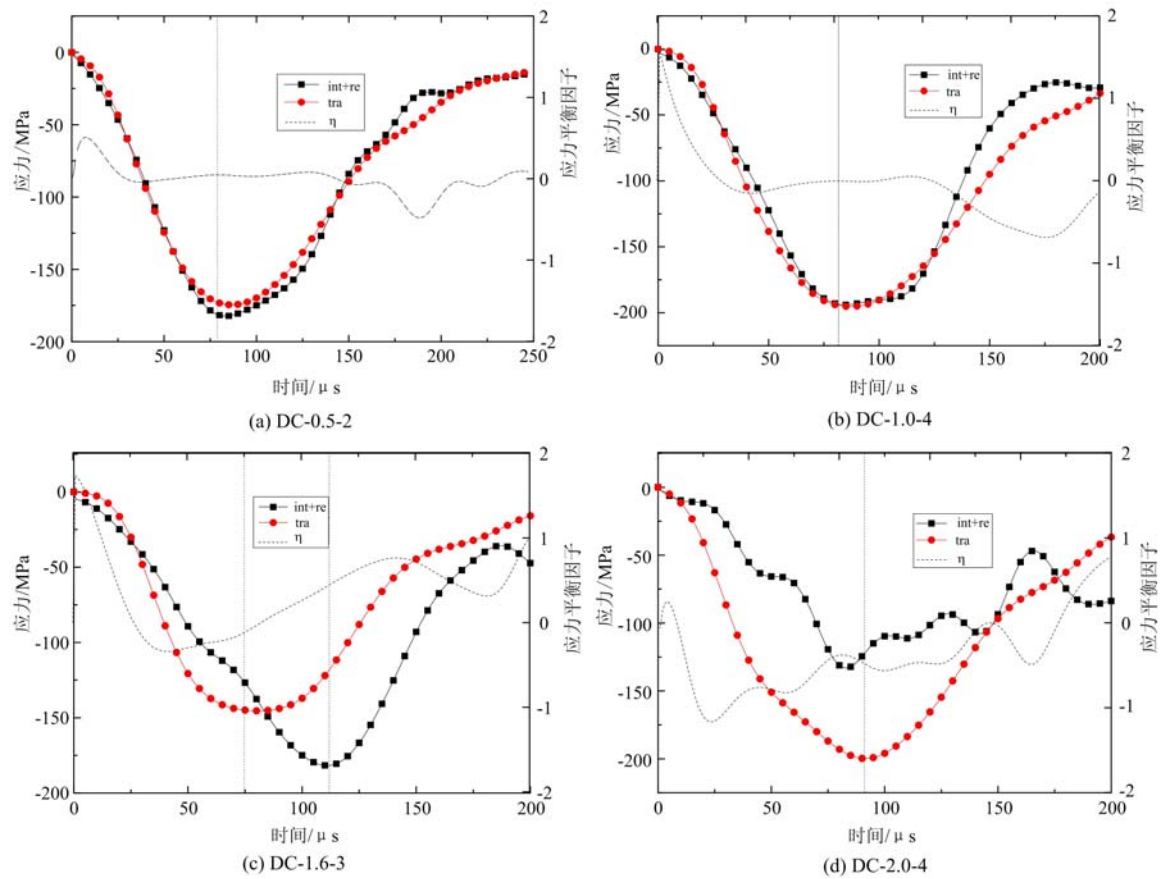


图 2 不同长径比试样的应力平衡程度

Fig. 2 Stress equilibrium of specimens with different length to diameter ratios

表 2 动静态载荷作用下不同长径比试样的典型破坏模式

Tab. 2 Typical failure modes of specimens with different length to diameter ratios under impact and static loading

试样编号	静态压缩下试样破坏照片	试样编号	动态冲击压缩下试样破坏照片
UC-0.5-1		DC-0.5-4	
UC-1.0-1		DC-1.0-2	
UC-2.0-1		DC-2.0-3	

静态压缩试验下, 试样 UC-0.5-1 的破坏模式为压剪破坏, 试样两端呈明显倒三角锥形破坏; 试样 UC-1.0-1 的破坏模式为剪切加劈裂复合型破坏; 试样 UC-2.0-1 的破坏模式为明显的劈裂破坏。可以看出, 静载试验中, 试样的破坏模式随着长径比的增大由压剪破坏逐渐向轴向劈裂破坏过渡。尽管试验前采取了一定措施减少端部效应的影响, 但当试样长径比低于 1.0 时仍存在明显的端部效应, 这是造成矮试样压剪破坏的主要因素。

动态冲击压缩试验下, 根据高速摄影仪实时拍摄的试样破坏过程, 可以发现当试样长径比小于 1.2

时,试样以轴向劈裂破坏为主;当试样长径比达到 2.0 时,试样除发生轴向劈裂破坏外,还出现了明显的纵向层裂拉伸破坏面。图 3 给出了两组不同长径比试样利用高速摄像仪拍摄的试样典型破坏过程。以长径比为 1.0 的试样 DC-1.0-2 为例,在水平冲击载荷作用下,试样首先沿平行于轴向加载方向出现初始劈裂裂纹(图 3(b)),随着应力波载荷的继续作用,初始劈裂裂纹扩展成宏观主裂纹(图 3(c)),随后,一些次生裂纹也相继扩展形成,与初始宏观裂纹相互贯通,试样最终破碎分离、破坏(图 3(d))。而当长径比达到 2.0 时,以试样 DC-2.0-2 为例,在水平冲击载荷作用下,试样表面并未观察到明显可见的轴向劈裂裂纹,反而是在试样中部位置出现了垂直于加载方向的纵向层裂拉伸裂纹,且随着试样逐渐脱离入射杆和透射杆,层裂拉伸裂纹贯通试样形成宏观拉伸破坏面。

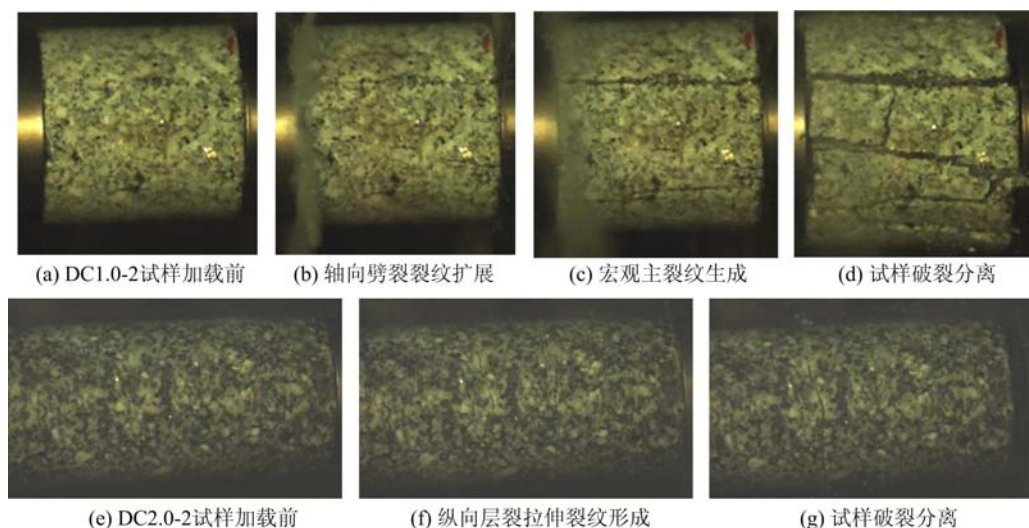


图 3 SHPB 试验中两组不同长径比花岗岩试样高速摄像破坏过程分析照片

Fig. 3 Failure processes of granite specimens with length to diameter ratios of 1.0 and 2.0 by high speed camera under SHPB tests

此外,从最终的破坏结果也可以发现冲击载荷作用下试样的破坏模式主要为劈裂破坏。其中,试样长径比越小,试样破坏程度越剧烈;随着长径比的增大,试样破碎程度逐渐减弱,碎块数量减少,破裂块度变大。长径比为 2.0 时,试样发生轴向劈裂和纵向层裂拉伸复合型破坏,如图 3(g)中的 DC-2.0-2 试样及表 2 中 DC-2.0-3 的破坏图样。这是因为随着试样长度增加,压缩应力波传播至透射杆端时,在试样内形成反射拉伸波,由于试样较长,入射波和反射波叠加后在试样内的一定位置产生了较大的拉力,从而导致试样发生纵向层裂拉伸和轴向劈裂的复合型破坏状态。

3.3 长径比对试样动态抗压强度的影响

本次冲击试验中,试样的平均动态加载应变率基本处于同一水平,可以保证强度结果受应变率影响范围较小。图 4 为不同长径比试样的平均动态抗压强度分布情况。

可见,当试样长径比小于 1.2 时,花岗岩的动态强度随长径比的增大而增大;长径比大于 1.2 后,花岗岩的峰值强度随着长径比的增大呈缓慢下降趋势。根据之前的分析,当试样长径比为 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 时,试样两端在冲击过程中可以达到应力平衡状态,试样的动态强度随长径比的增大而增大,这和静载试验具有显著差别。而当试样长径比为 1.6, 2.0 时,试样在冲击过程中难以满足应力平衡条件,且试样破坏模式也发生改变,这是导致试样强度降低的主要因素。SHPB 冲击试验必须满足应力均匀化假定,试验结果才是有效的^[10,13]。根据本文的研究结果,岩石类材料在冲击载荷作用下存在满足应力平衡条件的长径比临界值,当试样长径比高于此临界值之后,应力均匀化条件得不到满足。本文研究的花岗岩长径比临界值定为 1.2。

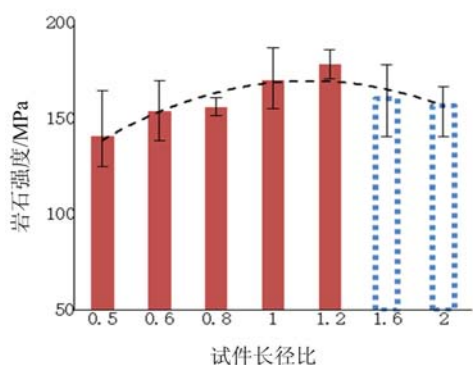


图 4 不同长径比花岗岩试样的动态抗压强度

Fig. 4 Dynamic strength of granite specimens with different length to diameter ratios

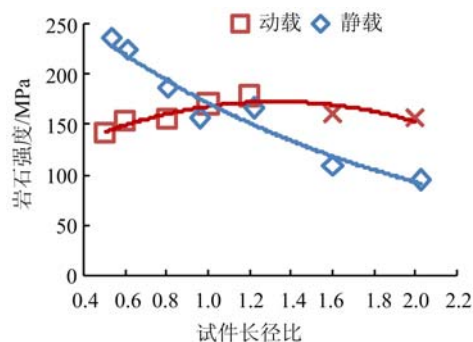


图 5 花岗岩静动载强度随试样长径比的变化趋势

Fig. 5 The effect of length to diameter ratios on the static and dynamic compressive strength of granite specimens

3.4 长径比对试样动静态抗压强度的比较分析

图 5 为试样动静态抗压强度随长径比的变化关系。可见,静载强度随着试样长径比的增大而减小,这与现在普遍认可的研究结论是一致的。而动载强度随长径比的增大而增大,这与静载结果是不同的。但值得一提的是,长径比对试样动静态压缩强度的影响程度有较大差别。冲击试验下,试样的动态强度随长径比的变化总体相差不大,所有试样的平均动态强度为 159.6MPa,而当长径比为 0.5 和 1.2 时,两组试样的平均动态抗压强度分别为 140.6MPa 和 178.1MPa,最大差值相差仅为 11.9%;而静载下,与所有试样的平均抗压强度的最大差值比例达到了 43.8%。图 5 中静载曲线的变化范围也明显比动载曲线的变化范围大,即试样长径比对试样的动态抗压强度的影响低于静载下的单轴抗压强度。这也表明,当试样长径比小于 2 时,端部效应对岩石单轴抗压强度的影响很大,而对动态抗压强度的影响则相对较小。

此外,从图 4 可见,当试样长径比为 1.0 和 1.2 左右时,花岗岩的动态强度和静态强度值非常接近。长径比小于 1.0 时,花岗岩静态强度明显高于动态强度;长径比大于 1.0 时,花岗岩动态强度开始高于其静态强度。

4 结论

通过试验对比研究发现,岩石试样的长径比对岩石动静态力学特性影响显著,主要体现在动态应力平衡程度、试样破坏模式、动静态强度变化规律等方面,具体包括:

(1) 试样长径比对 SHPB 冲击试验的试样两端的应力平衡程度有着显著影响,SHPB 试验存在试样长径比临界值,当长径比超过该临界值时,试样两端的应力平衡条件将难以得到满足,本文花岗岩临界长径比为 1.2。

(2) 冲击载荷作用下,当长径比范围在 0.5~1.2 之间时,试样主要为轴向劈裂破坏;长径比为 1.6~2.0 时,试样除轴向劈裂破坏外,还可能发生纵向层裂拉伸破坏现象。而静态试验中,随着长径比的减小,试样的破坏模式逐渐由轴向劈裂破坏向压剪破坏过渡。

(3) 试样长径比对岩石动静态抗压强度均有影响,当试样长径比小于 2.0 时,岩石静态抗压强度随长径比的增大而减小;当试样长径比小于 1.2 时,岩石动态抗压强度随长径比的增大而增大;长径比的变化对岩石静态抗压强度的影响程度要高于其对动态抗压强度的影响。

参考文献:

- [1] Mervyn S P, Wong T F. Experimental rock deformation-the brittle field[M]. Springer Berlin, 2005.
- [2] 郭子红. 岩石损伤变形与尺寸效应研究[D]. 成都: 西华大学, 2007 (GUO Zihong. Study of rock's damage

- deformation and size effect[D]. Chengdu: Xihua University, 2007 (in Chinese))
- [3] Hudson J A, Crouch S L, Fairhurst C. Soft, stiff and servo-controlled testing machines: a review with reference to rock failure[J]. *Engineering Geology*, 1972, 6(3):155—189.
- [4] 汤大明, 杨寿成. 岩石单轴抗压强度的尺寸效应研究[J]. *四川水力发电*, 2011, 30(增刊):119—122 (TANG Daming, YANG Soucheng. Study of size effect for uniaxial compression strength of rock[J]. *Sichuan Water Power*, 2011, 30(S):119—122 (in Chinese))
- [5] 梁昌玉, 李晓, 张辉, 等. 中低应变率范围内花岗岩单轴压缩特性的尺寸效应研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2013, 32(3):528—536 (LIANG Changyu, LI Xiao, ZHANG Hui, et al. Research on size effect of uniaxial compression properties of granite under medium and low strain rates[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2013, 32(3):528—536 (in Chinese))
- [6] 高富强, 杨军, 刘永茜, 等. 岩石准静态和动态冲击试验及尺寸效应研究[J]. *煤炭科学技术*, 2009, 37(4):19—23 (GAO Fuqiang, YANG Jun, LIU Yongxi, et al. Research on rock parastatic and dynamic impact test and size effect[J]. *Coal Science and Technology*, 2009, 37(4):19—23 (in Chinese))
- [7] 洪亮. 冲击荷载下岩石强度及破碎能耗特征的尺寸效应研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008 (HONG Liang. Size effect on strength and energy dissipation in fracture of rock under impact loads[D]. Changsha: Central South University, 2008 (in Chinese))
- [8] Hawkes I, Mellor M. Uniaxial testing in rock mechanics laboratories[J]. *Engineering Geology*, 1970, 4(70):179—285.
- [9] Li D, Li C C, Li X. Influence of sample height-to-width ratios on failure mode for rectangular prism samples of hard rock loaded in uniaxial compression[J]. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2011, 44(3):253—267.
- [10] 李夕兵. 岩石动力学基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013 (LI Xibing. The foundation and application of dynamics of rock[M]. Beijing: Science Press, 2013 (in Chinese))
- [11] 李夕兵. 冲击荷载下岩石能耗及破碎力学性质的研究[D]. 长沙: 中南工业大学, 1986 (LI Xibing. Research on energy consumption and the breakage of rock mechanical properties under impact load[D]. Changsha: Central South University of Technology, 1994 (in Chinese))
- [12] 洪亮, 李夕兵, 马春德, 等. 岩石动态强度及其应变率灵敏性的尺寸效应研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27(3):526—533 (HONG Liang, LI Xibing, MA Chunde, et al. Study on size effect of rock dynamic strenght and strain rate sensitivity[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(3):526—533 (in Chinese))
- [13] 杜晶. 不同长径比下岩石冲击动力学特性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011 (DU Jing. Size effect on the dynamic mechanical properties under impact loads of rock[D]. Changsha: Central South University, 2011 (in Chinese))
- [14] 平琦, 马芹永, 袁璞. SHPB 试验岩石试样应力平衡时间预估分析[J]. *振动与冲击*, 2013, 32(12):55—60 (PING Qi, MA Qinyong, YUAN Pu. Prediction for stress equilibrium time in rock SHPB test[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2013, 32(12):55—60 (in Chinese))
- [15] 宋力, 胡时胜. SHPB 测试中的均匀性问题及恒应变率[J]. *爆炸与冲击*, 2005, 25(3):207—216 (SONG Li, HU Shisheng. The uniformity of the SHPB test and constant strain rate[J]. *Explosion and Shock*, 2005, 25(3):207—216 (in Chinese))
- [16] Li X, Zou Y, Zhou Z. Numerical simulation of the rock SHPB test with a special shape striker based on the discrete element method[J]. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2014, 47(5):1693—1709.
- [17] 宫凤强. 动静组合加载下岩石力学特性和动态强度准则的试验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010 (GONG Fengqiang. Experimental study of rock mechanical properties under coupled static-dynamic loads and dynamic strength criterion[D]. Changsha: Central South University, 2010 (in Chinese))

On the effect of length to diameter ratio of rock specimen subjected to dynamic and static compression

LI Di-yuan, XIAO Peng, XIE Tao, LI Xi-bing

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: In this paper, based on split Hopkinson pressure bar (SHPB) and INSTRON1346 hydraulic servo testing machine, horizontal impact experiment and uniaxial compression experiment were carried out for granite specimens with diameter of 50mm and different length to diameter ratios of 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6 and 2.0, respectively, to study the effect of length to diameter ratio on rock mechanical behavior under dynamic and static compression. Experimental results show that in dynamic impact experiment, length to diameter ratio has a significant influence on stress equilibrium at both ends of specimen. With the increase of length to diameter ratio ($L/D > 1.2$), the stress equilibrium condition at specimen's both ends is difficult to satisfy. The failure mode of specimen subjected to SHPB impact loading has remarkable length/diameter ratio effect. As the length to diameter ratio increases, the crushing degree of specimen decreases, and the failure mode transforms from axial split failure to axial split and spall tensile failure mixed mode. Under the condition of approximately same strain rate level, the dynamic compression strength of granite decreases with the decrease of length/diameter ratio when $L/D < 1.2$. There is obvious difference between dynamic and static compression, in the later case, the uniaxial compression strength of rock increases with the decrease of length/diameter ratio. For rock materials, the effect of length to diameter ratio on static compression strength is more remarkable than that on dynamic compression strength. The main reason maybe is that under static loading, the loading time between loading plate and specimen is much longer than that in dynamic loading, which results in obvious end effect in static loading for specimen with smaller length/diameter ratio. Thus, relatively higher nominal uniaxial compressive strength is obtained in static loading.

Keywords: granite; compression strength; split Hopkinson pressure bar (SHPB) test; length to diameter ratio; size effect