

文章编号: 1001-4888(2010)06-0723-08

花岗岩动态力学性能的实验研究^{*}

任兴涛^{1,2}, 周昕清¹, 钟方平², 胡永乐², 王万鹏²

(1. 中国科学技术大学 近代力学系, 安徽 合肥 230026; 2. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要: 介绍了利用 $\phi 74\text{mm}$ SHPB 试验装置进行花岗岩的动态压缩试验和动态劈裂拉伸试验的结果。通过试验获得了花岗岩在 $10^0\text{s}^{-1} \sim 10^2\text{s}^{-1}$ 应变率加载时的动态力学参数。同时, 对试件内的动态应力分布进行了数值模拟, 验证了动态试验的有效性。试验结果表明, 花岗岩的动态压缩和动态劈裂拉伸的力学性能表现出显著的应变率效应。随着应变率的增加, 其冲击压缩破坏应力、冲击压缩破坏应变、弹性模量、冲击压缩应变能密度和动态劈裂拉伸破坏强度均有一定程度的增加。

关键词: 花岗岩; 动态压缩; 动态劈裂; 分离式霍普金森压杆 SHPB; 应变率效应

中图分类号: O347; TU452

文献标识码: A

0 引言

岩石的动态力学性能是认识岩石介质中应力波传播规律和岩石动载破坏机理的关键, 是评价岩石结构在爆炸、地震等动荷载作用下稳定性的重要参数, 同时也是开展岩石材料和结构动荷载作用下的数值计算以及抗震抗爆结构工程设计的基础。因此开展其动态力学性能的试验研究具有重要的理论意义和军事、民用价值。

分离式霍布金森压杆 (Split Hopkinson Pressure Bar, SHPB), 经过近百年的发展, 现已成为材料动态力学性能研究的重要工具。利用 SHPB 技术研究岩石的动态力学性能可追溯到 20 世纪 60 年代。1968 年 Kumar^[1] 利用 SHPB 对玄武岩、花岗岩进行了研究; 1970 年 Hakalento^[2] 利用 SHPB 对大理岩、花岗岩和砂岩进行了研究; 1983 年 A. Kumano 和 W. Goldsmith^[3], B. Mohanty^[4], T. L. Blanton^[5] 等利用 SHPB 对三轴应力条件下的砂岩、石灰岩、凝灰岩页岩等进行了研究。在我国, 从上世纪 80 年代至今众多学者对岩石的动态力学性能进行了大量的试验研究。李夕兵等^[6] 就岩石冲击动力学所涉及的内容及其范围进行了总结, 同时介绍了该学科领域的工程应用; 楼涛涛^[7] 研究了干燥和水饱和花岗岩试件的动态应力应变关系; 席道瑛等^[8] 应用埋入式 PVDF 应力计测量了岩石长杆中应力波的衰减规律, 并获得了大理岩、砂岩的动态本构关系; 尚嘉兰等^[9] 认为在一维应变状态下, Bukit Timah 花岗岩的应力依赖于瞬态应变和应变率, 以及波动过程的应变率历史; 单仁亮等^[10] 利用 SHPB 装置对花岗岩的单轴冲击本构特性进行了研究, 对其冲击应力应变曲线进行了详细解读; 刘剑飞等^[11] 利用预留间隙法对花岗岩实施了高应变率动态实验, 发现花岗岩有很明显的应变率硬化效应和损伤软化效应; 李海波等^[12] 在动态压缩实验的基础上建立了花岗岩材料的裂纹模型; 翟越等^[13,14] 采用动态滑移型裂纹模型定量地分析了不同应变率下花岗岩材料的微裂纹特征对材料动态强度及破碎的影响; 陈荣等^[15] 利用 SHPB 装置获得了 Barre 花岗岩三个主轴方向不同加载应变率下的应力—应变关系。

本文介绍了利用 $\phi 74\text{mm}$ 变截面大直径 SHPB 试验装置进行的花岗岩动态压缩和动态劈裂拉伸试

^{*} 收稿日期: 2010-08-11; 修订日期: 2010-09-14

通讯作者: 周昕清 (1954—), 男, 副教授, 主要从事爆炸力学及爆炸技术研究。E-mail: ztq@ustc.edu.cn

验,得到了花岗岩在不同应变率加载时的动态力学参数和变化规律。

1 原材料及试件制作

1.1 原材料

花岗岩样本采自某山脉,含有石英、钾长石、斜长石、黑云母等多种矿物成分。其组分体积比和岩相学特征为:石英约占 25%~30%,它形粒状,强烈的碎裂化为细小的颗粒;钾长石约占 30%~35%,它形不规则状,粒度大小不一;斜长石约占 30%~35%,板条状,粒度大小不一,不同程度的绢云母所替代,不均匀分布;黑云母约占 5%~10%,片状,常呈团粒状分布,少数被绿泥石替代;其他暗色物质约占 1%。

1.2 试件制作

在 SHPB 冲击压缩试验中,为使试件中的入射波迅速达到均匀,满足应力均匀假定,试件的长径比一般不大于 0.5^[16]。因此,本试验中试件的尺寸取直径 60mm,长 25mm。

在动态劈裂试验中,试件采用巴西圆盘形式。传统的巴西圆盘在加载过程中会在施力部位形成应力集中,造成施力点先破坏的不合理模式。王启智等^[17]将试件改成平台巴西圆盘,即在圆盘上加工两个互相平行的平面作为加载面,可以有效地改善施力部位的应力集中程度,并可选择合理的平台中心角来保证试件在中心起裂。参考文献^[17]的做法,本文试件的两侧加工中心角为 25°的平台。加工好的试件如图 1 所示。



图 1 加工好的试件

Fig. 1 Specimens

2 试验设备及试验方法

2.1 SHPB 试验设备

本试验利用合肥工业大学 $\phi 74\text{mm}$ 变截面大直径 SHPB 装置,装置示意图见图 2。

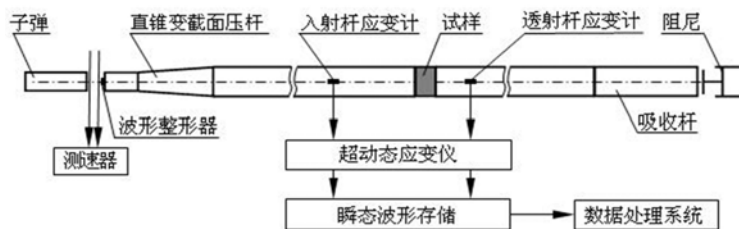


图 2 SHPB 试验装置示意图

Fig. 2 Sketch of Split Hopkinson Pressure Bars(SHPB) test apparatus

2.2 试验方法

为消除大直径压杆质点横向惯性运动引起的弥散效应,减小波形振荡的幅值,增加脉冲的上升沿时间,以利于试件内部的应力均匀,本试验中在入射杆被撞击端加垫了波形整形器,如图 3 所示。

波形整形器的材料为 $\phi 12\text{mm} \times 2\text{mm}$ 紫铜片和 $\phi 12\text{mm} \times 1\text{mm}$ 黄铜片。图 3 中左侧为波形整形器在设备中的安装位置,中间和右侧分别为试验前后波形整形器的形状。

为减少压杆和试件端面处的摩擦效应,除对试件端面进行精细打磨外,还在安装试件的界面上涂抹凡士林。

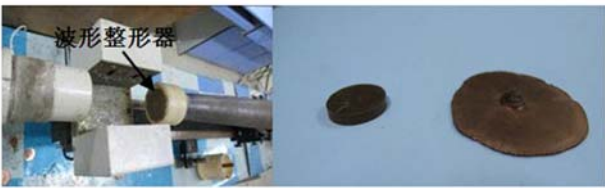


图 3 波形整形器

Fig. 3 Pulse shaper

对于混凝土类材料,由于其峰值应变只有千分之几,传统 SHPB 方法在数据处理时,入射波和透射波波头的选取对应力—应变曲线的影响很大^[18]。因此,为了减少波头选取产生的误差,在试件的侧面直接贴应变片。利用实测的试件应变,得到试件的初始弹性模量,并利用此弹性模量值调整入射波和透射波的波头,然后使用 SHPB 数据处理程序求得混凝土材料的应力—应变曲线。应变直测法与传统的间接法相比,具有更高的可靠性。为了减少试件中材料的节理、裂缝等对应变片记录信号的影响,在横截面处均匀地贴两个应变片并进行数据比较与平均。

3 试验结果

3.1 冲击压缩试验结果

通过对试验结果进行分析和处理,取得 24 组有效数据。剔除部分离散数据,对相近应变率下的试验结果取平均值后所得结果见表 1,其应力—应变曲线如图 4 所示。试验后试件破坏状态如图 5 所示。

表 1 相近应变率试验数据平均结果

Tab. 1 The average results of signals under similar strain rates

序号	编号	σ_b (MPa)	$\epsilon_b \times 10^{-6}$	E (GPa)	$\dot{\epsilon}$ (s ⁻¹)	DIF
1	YCS1	165	3592	61.1	23.9	1.10
2	YCS2	236	5060	57.4	45.2	1.57
3	YCS3	261	6008	62.2	64.1	1.74
4	YCS4	260	6903	61.6	81.2	1.73
5	YCS5	259	6548	64.3	108.4	1.73
6	YCS6	150	4360	49.8	2.0e-5	—

表中: σ_b 为破坏应力; ϵ_b 为破坏应变; E 为动弹性模量; $\dot{\epsilon}$ 为应变率; DIF 为动态增长因子。

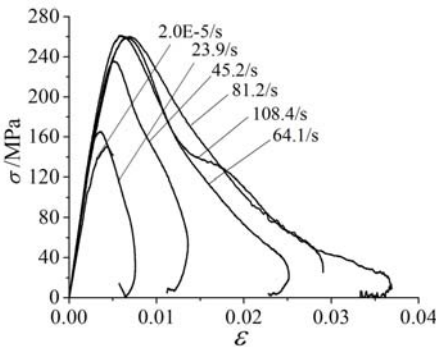


图 4 不同应变率下试件应力—应变曲线

Fig. 4 Stress-strain curves of specimens under different strain rates

3.2 动态劈裂试验结果

通过对试验结果进行分析处理,取得 29 组有效数据。剔除部分离散数据,对相近应变率下的试验结果取平均值后所得结果见表 2。试验后试件破坏状态如图 6 所示。



图 5 试件动态、静态压缩破坏形态
Fig. 5 Fracture patterns of specimens under dynamic and static compression tests



图 6 试件动态、静态劈裂破坏状态
Fig. 6 Fracture patterns of specimens under dynamic and static tensile tests

表 2 相近应变率试验数据平均结果
Tab. 2 The average results of signals under similar strain rates

序号	编号	σ_b (MPa)	ϵ_b (1/s)	DIF
1	YPS1	25.9	2.3	1.68
2	YPS2	37.3	4.9	2.42
3	YPS3	54.3	15.1	3.52
4	YPS4	45.5	10.1	2.99
5	YPS5	58.0	25.6	3.77
6	YPS7	15.4	4.3e-6	—

4 试验结果分析

4.1 试验有效性的验证

(1)冲击压缩试验

SHPB 试验技术是建立在两个基本假定的基础上,即:①杆中一维应力波假定;②短试件应力/应变沿其长度均匀分布假定^[19]。杆中一维应力波假定可通过调节入射波的波长来保证。一般认为,只要满足入射波波长是压杆半径的 10 倍以上即可满足一维应力波假定。因此,如何满足试件应力沿其长度均匀分布假定是 SHPB 试验是否有效的关键。

李夕兵等^[6]认为,应力波在岩石试件中来回反射 2~3 次后,两端的应力差值已变得很小,试件中的应力即开始达到均匀。由表 1 数据知,花岗岩在应变率为 20/s~110/s 范围内,其单轴压缩破坏应变在 3.5%~6.5%之间,试件受力破坏前最短的加载时间为 60 μ s 左右;取花岗岩中的波速为 4500m/s,应力波在试件中的传播距离约为 25mm,传播一个来回约需 11 μ s。在试件破坏之前,应力波能够在试件内来回反射 5 次以上,可使试件内部的应力达到均匀,满足一维应力假定。

另外,Ravichandran 等^[20]用 $\alpha(t)$ 来表示试件内应力不均匀的程度:

$$\alpha(t) = \frac{|\sigma_1(t) - \sigma_2(t)|}{|\sigma_1(t) + \sigma_2(t)| / 2} \quad (1)$$

式中, $\sigma_1(t)$, $\sigma_2(t)$ 为试件两端的应力。

他们认为, $\alpha(t) \leq 5\%$ 时, 可近似地认为试件中的应力分布满足“均匀化”假设的要求。本文利用 LS-DYNA 有限元软件对 SHPB 试验过程进行了数值模拟, 得到了冲击压缩试验中试件两加载端的应力—时间曲线, 经过处理, 生成 $\alpha(t)$ —时间曲线, 如图 7 所示。结果表明, 在试件破坏之前, 能够满足 $\alpha(t) \leq 5\%$ 的条件, 试件内部应力可以达到均匀。

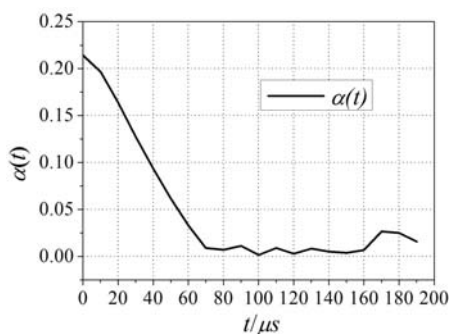


图 7 冲击压缩下试件两端应力 $\alpha(t)$ —时间曲线
Fig. 7 $\alpha(t)$ — t curves of specimens' end surface of compressive test under impact loading

(2) 动态劈裂试验

动态劈裂沿用了静态下的弹性力学分析方法。文献[21]指出, 在平台巴西圆盘内部应力达到平衡后, 其应力分布与准静态情况下试件内部的应力分布基本一致, 微小的差别仅在于试件入射杆侧端面应力分布的情况, 因此弹性行为的假设在动态冲击下是合理的。由试件上应变片采集的数据可以判断, 试件的破裂是由中心引发的; 由图 6 可知, 试件是沿加载直径劈裂的。这都满足常规巴西试验的有效性条件。

利用 LS-DYNA 有限元软件对动态劈裂过程进行了模拟, 获得试件的动态应力分布, 与文献[21]的结果是一致的。试件中应力平衡后的应力分布见图 8。

试件中应力达到平衡的时间约为 $40\mu\text{s}$, 由试验所得数据知, 在应变率 $2/\text{s} \sim 25/\text{s}$ 范围内, 花岗岩动态劈裂的最短破坏时间为 $50\mu\text{s}$, 因此, 在试件破坏前, 试件内的应力能够达到平衡。

综上所述, 可以判定本试验所得数据是有效的。

4.2 应变率效应

与其它脆性材料类似, 花岗岩在冲击荷载作用下同样表现出应变率效应。

(1) 冲击压缩试验

第一, 冲击压缩破坏应力、破坏应变表现出应变率增强效应。冲击压缩破坏应力的动态增长因子 (Dynamic Increase Factor, DIF), 在应变率为 $23.9/\text{s}$ 、 $45.2/\text{s}$ 、 $64.1/\text{s}$ 、 $81.2/\text{s}$ 和 $108.4/\text{s}$ 时, 分别为 1.10、1.57、1.74、1.73 和 1.73。冲击压缩破坏应力、破坏应变随应变率的增加而增加, 但应变率高于 $81.2/\text{s}$ 后, 破坏应力和破坏应变不再增加, 如图 9、图 10 所示。这与其它文献中的结论有所不同, 笔者认为与材料的微观结构有较大的联系。目前对岩石材料的应变率效应有多种解释, 其中最主要的是以下两种: ①静态损伤演化机制的区别, 即静态下以主裂纹扩展为主, 动态下多裂纹同时扩展; 静态下主裂纹沿试样的薄弱环节扩展贯通, 动态下各处裂纹均衡扩展。②横向惯性效应, 即高速横向扩展导致的“动围压”效应引起材料的“伪增强”。本试验中的试样来自爆破开挖产生的岩块, 岩块受爆炸作用后, 其内部萌生很多微裂纹。在静态和较低应变率加载时, 微裂纹的弱化效应未被激活, 但达到一定应变率后, 微裂纹的弱化效应超出了横向效应和材料本身损伤演化方式的应变率增强时, 其强度和延性即取决于前者。从图 5 可以看出, 在冲击压缩前四个应变率, 随应变率增加, 试样破坏程度增加, 而 $81.2/\text{s}$ 和 $108.4/\text{s}$ 的试样破碎程度基本相同。

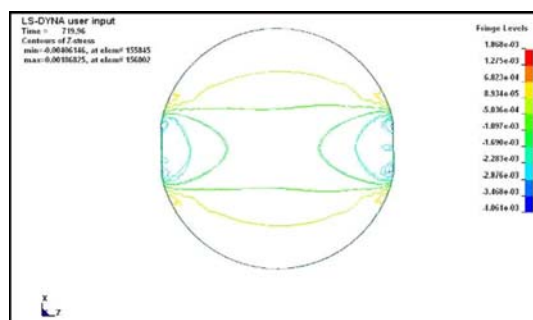


图 8 动态劈裂下试件应力平衡时的应力分布
Fig. 8 The stress distribution of specimen under dynamic splitting tensile experiment

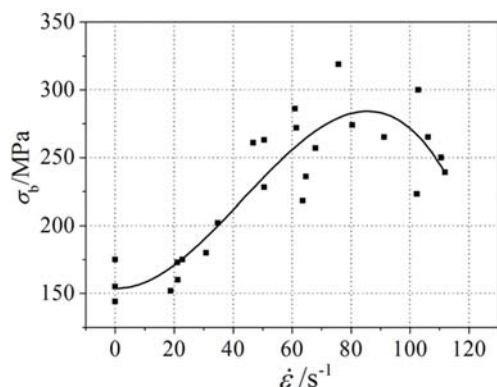


图 9 冲击压缩破坏应力—应变率曲线
Fig. 9 $\sigma_b - \dot{\epsilon}$ curve of compressive test under impact loading

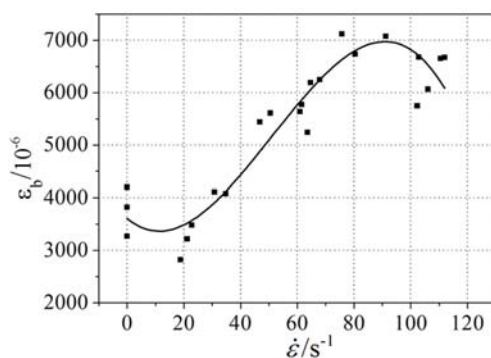


图 10 冲击压缩破坏应变—应变率曲线
Fig. 10 $\epsilon_b - \dot{\epsilon}$ curve of compressive test under impact loading

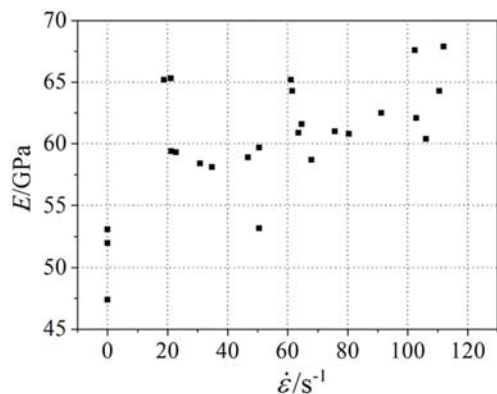


图 11 冲击压缩弹性模量—应变率曲线
Fig. 11 $E - \dot{\epsilon}$ curve of compressive test under impact loading

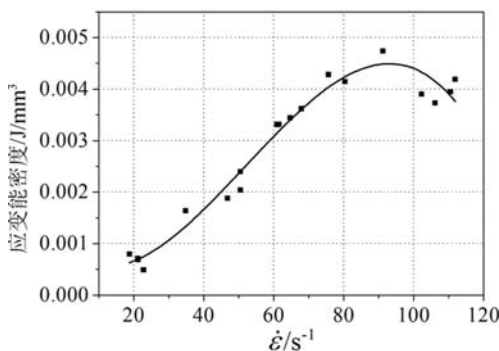


图 12 冲击压缩应变能密度—应变率曲线
Fig. 12 Stain energy density—strain rates curve of compressive test under impact loading

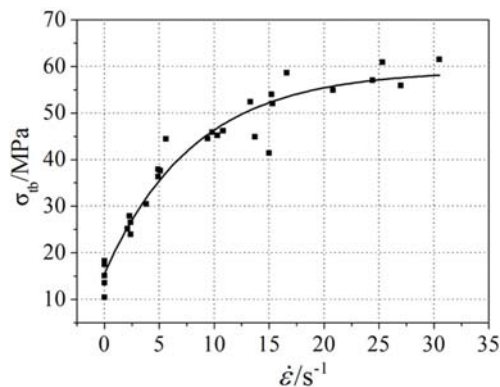


图 13 动态劈裂破坏强度—应变率曲线
Fig. 13 $\sigma_b - \dot{\epsilon}$ curve dynamic splitting tensile test

度在本试验应变率范围内随应变率的增加而增加,因此,花岗岩的韧性也表现出很强的应变率相关性,但应变率高于 81.2/s 后,应变能不再增长。原因与破坏应力和破坏应变变化趋势的原因相同。

(2) 动态劈裂试验

动态劈裂破坏强度也表现出应变率增强效应,如图 13 所示。动态劈裂破坏强度的 DIF 在应变率为 2.3/s、4.9/s、10.1/s、15.1/s 和 25.6/s 时,分别为 1.68、2.42、2.99、3.52 和 3.77。

第二,冲击压缩应力—应变曲线初始上升段的弹性模量表现出应变率增强效应,如图 11 所示。花岗岩的动态弹性模量相比静态弹性模量有较大增加,动态下随应变率增加略有增加,体现了应变率硬化的特点,但其应变率相关性不明显。

第三,从宏观角度,韧性可以定义为材料从加载到失效时吸收能量的能力,因此韧性是材料强度和延性两种机制的综合。单纯用延性指标—峰值应变反映材料的韧性具有一定的片面性,应该采用应变能密度来衡量。破坏时的应变能密度可以通过积分破坏应力之前应力—应变曲线的面积得到。花岗岩应变能随应变率的变化趋势见图 12。花岗岩的应变能密度

动态劈裂破坏强度随应变率增加而增加,但应变率超过 15/s 后增长幅度有所减弱。这也反映了花岗岩动态劈裂损伤演化形式与静态不同,在动态荷载作用下,随着应变率的增大,初裂缝来不及扩展,而是以多个新裂缝产生来消耗能量。因此,其劈裂破坏强度随应变率的增加而增加。

4.3 花岗岩动态拉压比

本试验中,花岗岩的冲击压缩破坏应力和动态劈裂破坏强度均表现出明显的应变率效应。由表 1、表 2 中的相关数据可知,花岗岩动态劈裂破坏强度随应变率的增长幅度要大于冲击压缩破坏应力的增长幅度。因此,花岗岩的动态拉压比大于其静态拉压比,也有一定的应变率相关性。花岗岩这一特性的体现对于建立花岗岩的动态破坏准则是十分重要的。例如,Hoek-Brown 破坏准则的表达式为:

$$F = \sigma_1 - \sigma_3 - \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2} = 0 \quad (2)$$

式中 m 即为反映材料拉压比的参数。

5 结论

(1) 通过试验,获得花岗岩在 $10^0 \text{ s}^{-1} \sim 10^2 \text{ s}^{-1}$ 应变率加载时的动态力学性能参数,为开展相关数值模拟打下了一定基础。

(2) 花岗岩具有较强的应变率效应。在动态荷载作用下,其冲击压缩破坏应力、冲击压缩破坏应变、冲击压缩初始段弹性模量、冲击压缩应变能密度和动态劈裂破坏强度均随应变率的增加有一定增加。

(3) 花岗岩的动态拉压比也表现出一定的应变率相关性。

(4) 数值模拟并结合理论计算表明,本试验所得数据是有效可信的。本试验所采用的技术方案、技术措施可在类似试验中使用。

参考文献:

- [1] Kumar A. The effect of stress rate and temperature on the strength of basalt and granite[J]. Geophysics, 1968, 33(3): 501—510.
- [2] Hakalento W A. Brittle fracture of rock under impulse loads[J]. Int. J. Frac. Mech., 1970, (6).
- [3] Kumano A, Goldsmith W. An analytical and experimental investigation of the effect of impact on coarse granular rocks[J]. Rock Mech., 1982, 15: 67—97.
- [4] Mohanty B. Strength of rock under high strain rate loading conditions applicable to blasting[J]. Proceeding of 2th Int. Symp. On Rock Frag. Blasting, 1988: 72—78.
- [5] Blanton T L. Effect of strain rates from 10^{-2} to 10 s^{-1} in triaxial compression tests on three rocks[J]. Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr., 1981, 18(1): 47—62.
- [6] 李夕兵, 古德生. 岩石冲击动力学[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1994 (Li Xibing, Gu Desheng. Rock impact dynamic[M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1994 (in Chinese))
- [7] 楼涛涛. 干燥和水饱和花岗岩的动态断裂特性[J]. 爆炸与冲击, 1994, 14(3): 53—57 (LOU Weitao. Dynamic fracture characteristics of dry and saturated Granite[J]. Explosion and Shock Waves, 1994, 14(3): 53—57 (in Chinese))
- [8] 席道瑛, 郑永来, 张涛. 大理石和砂岩动态本构的实验研究[J]. 爆炸与冲击, 1995, 15(3): 259—266 (XI Daoying, ZHENG Yonglai, ZHANG Tao. The experimental research on dynamical constitutive laws of marble and shale[J]. Explosion and Shock Waves, 1995, 15(3): 259—266 (in Chinese))
- [9] 尚嘉兰, 沈乐天, 赵宇辉 等. Bulit Timah 花岗岩动态本构关系[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 634—641 (Shang Jialan, Shen Letian, Zhao Yuhui, et al. Dynamic constitutive equation of the Bulit Timah granite[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1998, 17(6): 634—641 (in Chinese))
- [10] 单仁亮, 陈石林, 李宝强. 花岗岩单轴冲击全过程本构特性的实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2000, 20(1): 32—38 (SHAN Renliang, CHEN Shilin, LI Baoqiang. Experimental Study of Granite Constitutive Properties under Uniaxial Impact[J]. Explosion and Shock Waves, 2000, 20(1): 32—38 (in Chinese))
- [11] 刘剑飞, 胡时胜, 胡元育 等. 花岗岩的动态压缩实验和力学性能研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 618—

- 621 (Liu Jianfei, Hu Shisheng, Hu Yuanyu, et al. Research on dynamic compressive testing and mechanics properties of granite[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(5): 618—621 (in Chinese))
- [12] 李海波, 赵坚, 李俊如 等. 三轴情况下花岗岩动态力学特性的实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2004, 24(5): 470—474 (Li Haibo, Zhao Jian, Li Junru, et al. Triaxial compression tests of a granite[J]. Explosion and Shock Waves, 2004, 24(5): 470—474 (in Chinese))
- [13] 翟越, 马国伟, 赵均海 等. 花岗岩在单轴冲击压缩荷载下的动态断裂分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(3): 385—390 (Zhai Yue, Ma Guowei, Zhao Junhai, et al. Dynamic failure analysis on granite under uniaxial impact compressive load[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(3): 385—390 (in Chinese))
- [14] 翟越, 马国伟, 赵均海 等. 花岗岩和混凝土在单轴冲击压缩荷载下的动态性能比较[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(4): 762—768 (Zhai Yue, Ma Guowei, Zhao Junhai, et al. Comparison of dynamic capabilities of granite and concrete under uniaxial impact compressive loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(4): 762—768 (in Chinese))
- [15] 陈荣, 林玉亮, 卢芳云 等. Barre 花岗岩动态压缩破坏特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增 1): 2743—2748 (Chen Rong, Lin Yuliang, Lu Fangyun, et al. Analysis of failure feature of barre granite under dynamic compression[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(supp. 1): 2743—2748 (in Chinese))
- [16] Grote D L, Park S W, Zhou M. Dynamic behavior of concrete at high strain rates and pressures; I. experimental characterization[J]. International Journal of Impact Engineering, 2001, 25: 869—886.
- [17] Wang Q Z, Xing L. Determination of fracture toughness K_{IC} by using the flattened Brazilian disk specimen for rock [J]. Eng. Fract. Mech., 1999, 64: 193—201.
- [18] 巫绪涛, 胡时胜, 杨伯源, 董钢. SHPB 技术研究混凝土动态力学性能存在的问题和改进[J]. 合肥工业大学学报, 2004, 27(1): 63—66 (WU Xutao, HU Shisheng, YANG Boyuan, DONG Gang. An improvement in measuring the dynamic properties of concrete material by the traditional SHPB technique[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2004, 27(1): 63—66 (in Chinese))
- [19] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005 (WANG Lili. Foundation of stress waves[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005 (in Chinese))
- [20] Ravichandran G, Subhash G. Critical appraisal of limiting strain rates for compression testing of ceramics in a split Hopkinson bar [J]. Journal of American Ceramic Society, 1994, 77(1): 263—267.
- [21] 李伟, 谢和平, 王启智. 大理岩动态劈裂拉伸的 SHPB 试验研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(1): 12—20 (LI Wei, XIE Heping, WANG Qizhi. An experimental study for the dynamic split tension of marble disc using SHPB[J]. Explosion and Shock Waves, 2006, 26(1): 12—20 (in Chinese))

Experimental Study for the Dynamic Mechanical Behavior of Granite

REN Xing-^{1,2}, ZHOU Ting-qing¹, ZHONG Fang-ping², HU Yong-le², WANG Wan-peng²

(1. Department of Modern Mechanics, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China;

2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an, Shanxi 710024, China)

Abstract: Granite dynamic compression and dynamic tensile tests were carried out by using a $\phi 74$ mm split Hopkinson pressure bar setup. Granite dynamic mechanical parameters under different strain rates ranging from 10^0 s^{-1} to 10^2 s^{-1} were obtained. At the same time, numerical simulation of dynamic stress distribution in specimens was performed to validate the experiment. Test results show that granite dynamic mechanical behavior of compression and splitting tensile has distinguishable strain rate effect. With the increasing of strain rate, the impact compression failure stress, the impact compression failure strain, the elastic modulus, the strain energy density of impact compression and the failure strength of dynamic splitting tensile present increase with different degrees.

Keywords: granite; dynamic compression; dynamic splitting tensile; SHPB (split Hopkinson pressure bar); strain rate effect