

冲击载荷下花岗岩裂纹贯通规律研究

李进

中国矿业大学 北京

【摘要】 本文通过霍普金森杆冲击试验,分析了不同角度下试件的破坏过程的不同,试样表面的裂纹由出现到发展为贯通裂纹、直至试样失效破坏的各个阶段中,预制裂纹的角度的变化对试件裂纹产生直至试件破坏的时间影响较小,但预制裂纹的角度对裂纹的扩展方式以及扩展方向有较大的影响。

【关键词】 霍普金森杆; 冲击荷载; 裂纹扩展

Study on crack transfixion of granite under impact load

Jin Li

China University of Mining and Technology Beijing

【Abstract】 Through hopkinson bar impact test, this paper analyzes the different failure processes of specimens at different angles. In each stage from the appearance to the development of the crack on the specimen surface to the failure and failure of the specimen, the change of the Angle of the prefabricated crack has little influence on the time of the crack generation to the failure of the specimen. However, the Angle of the prefabricated crack has great influence on the propagation mode and direction of the crack.

【Keywords】 Hopkinson bar; Impact load; Crack propagation

1 引言

随着我国地下工程的高速发展,岩石的动力学性质在许多领域中发挥着越来越重要的作用,在采矿业、地下工程、隧洞等工程施工时,爆破开挖和机械碎岩产生的应力波对岩体会产生扰动作用,在国防设施和人防设施的设计中,需考虑爆炸冲击波和地震波的动态荷载影响等。由于惯性力的作用,岩石的动态强度往往比其静态强度高得多,对于工程上遇到的岩石动态强度问题,传统的处理方法是单纯地把岩石静态材料参数乘以一个动态强化因子来使用,这样的处理方法在当今岩石动态力学理论看来是不明智的,因为不同的岩石在不同的应变率下其动态强化因子是不同的^[1-2],使用岩石的静态力学参数乘以一个动态强化因子有时过于冒险,有时又过于保守。但是由于岩石材料动态测试的复杂性,之前国际上并没有统一的测试方法和合理标准。因此在2012年国际岩石力学学会岩石动力学专业委员会首次提出了三个岩石动态力学测试方法,并将其作为标准^[3],近些年来,岩石在静载和动态载荷共

同作用下的力学响应成为研究的热门并取得了较多的进展^[4]。与此同时,岩石的动态测试方法和技术也取得了巨大的进步和发展如动态压缩强度测试技术^[5]、动态拉伸测试方法^[6]。

2 试验方案

试件几何形状、预制缺陷及相应试件如图1所示。试验材料为花岗岩圆盘试件,规格为直径50 mm×厚度25 mm。在圆盘中设置两条预制裂纹,长度均为10 mm,宽度约为1 mm。定义预制裂纹长度方向与水平方向夹角为 θ ,取 θ 分别为 0° , 15° , 30° , 60° , 75° 。

如图2所示的霍普金森杆实验装置主要由三部分组成:压杆系统、测量系统以及数据采集与处理系统。其中压杆系统是由吸收杆、透射杆、入射杆和撞击杆四部分组成。撞击杆也称之为子弹,压杆所采用的截面面积和材料一般来说是相同的,因此入射应力脉冲的宽度 λ 的大小就取决于子弹的长度,一般取 $\lambda=2L$ (L 为子弹的长度),为了削弱二次波的加载效应,所以设置了吸收杆,用来吸收来自透

射杆传递的动能，一般情况下入射杆的长度取大于两倍子弹的长度，从而保证获得完整的入射和反射波形，此外，为了能够忽略杆中的惯性效应的影响，所以压杆的直径应远远小于入射应力脉冲的波长。

3 试验结果

0°时，试件首先在试件的两个预制裂纹中间部分，即“岩桥”处产生裂纹，并向两侧预制裂纹扩展，随后裂纹扩展没有立即在 A 点扩展，而是稍有停顿，在裂纹尖端积聚足够的能量后，裂纹再次起裂，向两端扩展，形成贯穿主裂纹，最终导致试件的破裂，如图 3 所示。

15°试件起始阶段的破坏类似于 0°的试件也是首先在“岩桥”产生裂纹，然后，在裂纹尖端积聚足够的能量后，裂纹再次起裂，拉伸裂缝从外部顶端开始并进一步向加载点传播，由于冲击荷载作用下导致预制裂纹变宽，从而在左侧产生平行于预制裂纹角度方向次裂纹和右侧产生另一条向加载点传播的次裂纹，最终主、次裂纹逐渐扩展贯通，导致试件的破裂，如图 4 所示。

30°试件起始阶段类似于 0°和 15°的裂纹首先在“岩桥”产生裂纹，此后，在裂纹尖端积聚足够的能量后，裂纹再次起裂，两条拉伸裂缝一条从外部顶

端开始并进一步向加载点传播，一条从缺陷内部顶端开始向加载点传播，并由于冲击荷载作用导致左侧预制缺陷轻微变窄，产生平行于预制裂纹方向的并由试件壁面向左侧预制裂纹尖端扩展的次裂纹和多条由加载点或平行于缺陷方向向右侧预制裂纹尖端传播的次裂纹，最终主、次裂纹逐渐扩展贯通，导致试件的破裂，如图 5 所示。

60°试件起始阶段同样在“岩桥”产生贯通裂纹，然后从两侧缺陷壁面上产生向加载点传播的裂纹，同样，由于冲击荷载作用，左侧预制裂纹内尖端发生较明显变窄，此后裂纹进一步扩展产生从试件外壁出发平行于缺陷并向缺陷外顶端扩展的裂纹和由右侧内尖端向左侧外尖扩展的次裂纹，主、次裂纹进一步扩展，最终导致试件的破裂，如图 6 所示。

75°试件起始阶段在“岩桥”产生贯通裂纹，同时岩桥的贯通裂纹进一步扩展向加载点传播，然后裂纹扩展类似于 60°样品，从缺陷壁面上产生向加载点传播的裂纹，裂纹进一步扩展产生从试件外壁出发平行于缺陷并向缺陷外顶端扩展和由左右预制裂纹壁面产生向试件内外壁扩展的次裂纹，裂纹进一步扩展最终导致试件的破裂，如图 7 所示。

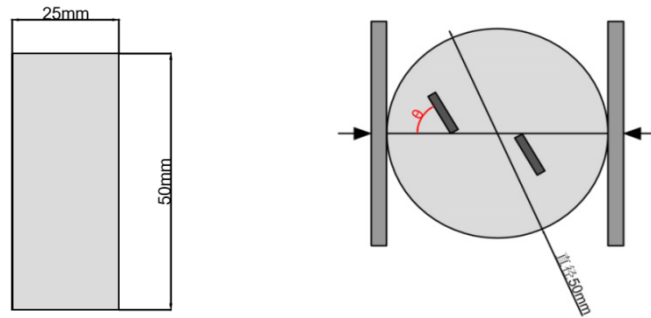


图 1 试件几何尺寸示意图

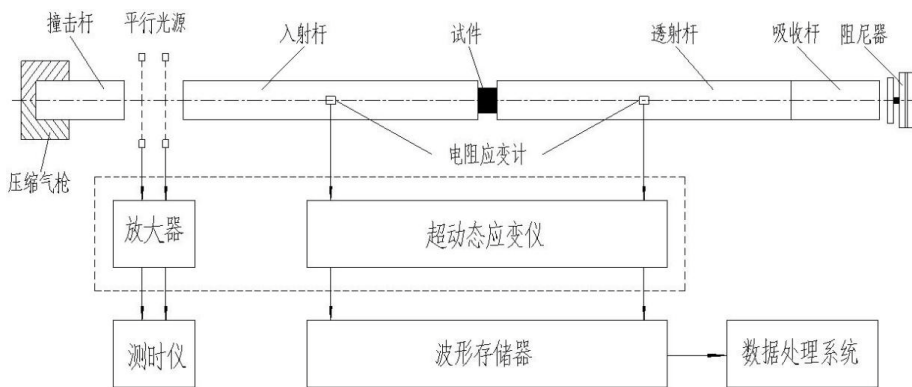


图 2 试验设备

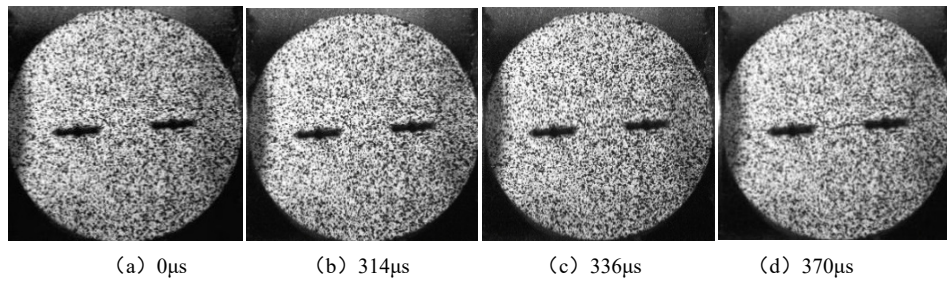


图 3 0°试件破坏过程

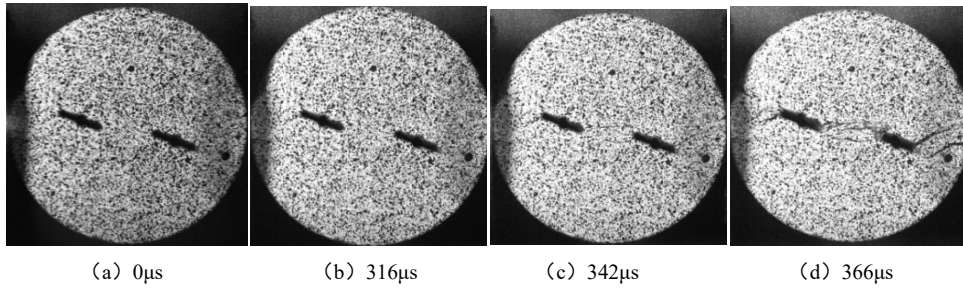


图 4 15°试件破坏过程

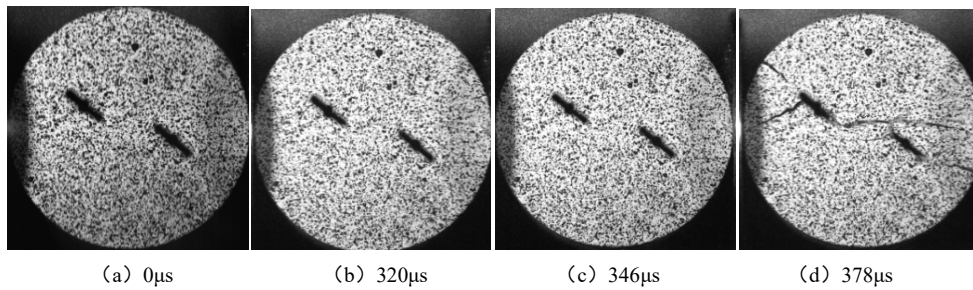


图 5 30°试件破坏过程

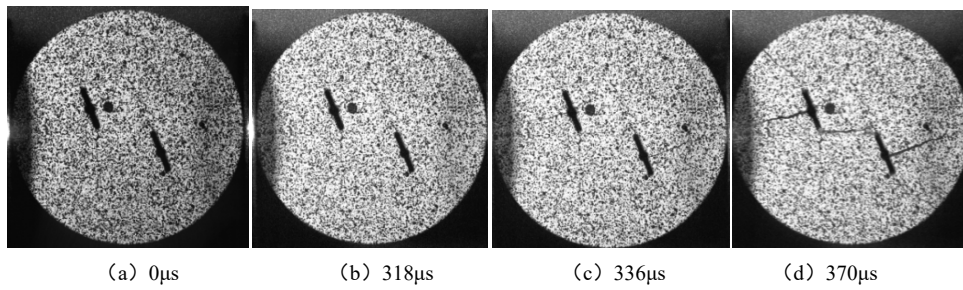


图 6 60°试件破坏过程

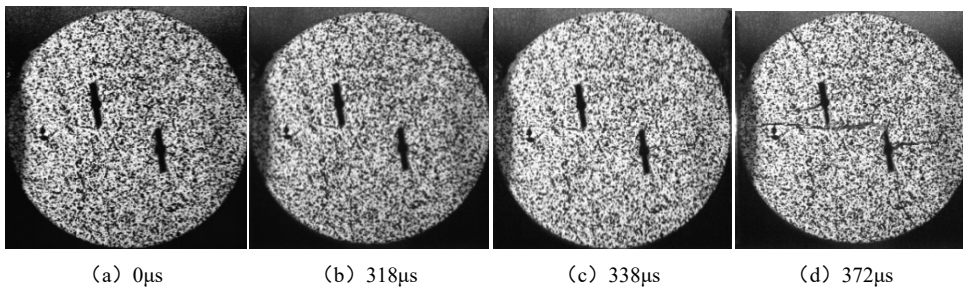


图 7 75°试件破坏过程

表 1 试件破坏时间

试件编号	0°	15°	30°	60°	75°
加载速率 (m/s)	8	8	8	8	8
初始时刻 t0(μs)	0	0	0	0	0
首条裂纹出现时刻 t1(μs)	314	316	320	318	318
出现裂纹贯通时刻 t2(μs)	336	342	346	336	338
岩石完全破坏时刻 t3(μs)	370	366	378	370	372

此外, 本实验还选取了初始时刻 t0、首裂纹出现时刻 t1、贯通裂纹出现时刻 t2, 岩石完全破坏时刻 t3 几个时间点为参考时间点, 研究了不同预制裂纹角度对试样表面裂纹传播的影响, 结果详见表 1。

由此可以看出, 试样表面的裂纹由出现到发展为贯通裂纹、直至试样失效破坏的各个阶段中, 预制裂纹的角度的变化对试件裂纹产生直至试件破坏的时间影响较小, 但预制裂纹的角度对裂纹的扩展方式以及扩展方向有较大的影响。

含预制缺陷岩体受力后的破坏是由于裂纹尖端的应力集中, 岩体中缺陷的力学特性与缺陷的尺寸以及相对于岩体的角度有密切关系, 而缺陷的几何参数如缺陷的数量、形状、连续程度、密度、排列方式等对岩体宏观力学行为有较大的影响, 由于缺陷的空间分布的不确定性和不规则性, 所以它与不同应力状态组合下使得岩体的强度和在发生变形破坏时的特征具有各向异性和复杂性。并且由于岩桥的存在改变了岩体在受力发生变形破坏的特性, 所以带有预置缺陷试件的变形破坏机理比岩块单元堆砌体试件复杂得多。

缺陷倾角对于试件抗压强度的影响主要体现在试件发生非岩桥区域贯通破坏时。当试件发生岩桥贯通破坏时, 缺陷倾角对于试件强度的影响较弱, 而当试件破坏模式为由单一缺陷尖端微裂纹起裂、扩展引起的破坏或缺陷尖端无微裂纹出现的整体脆性破坏型破坏时, 缺陷倾角对试件强度有较大影响。岩桥倾角对于试件强度的影响是在试件发生岩桥贯通破坏时, 试件强度一般随岩桥倾角的增大而增大。

4 结论

试样表面的裂纹由出现到发展为贯通裂纹、直至试样失效破坏的各个阶段中, 预制裂纹的角度的变化对破坏时间影响较小, 但预制裂纹的角度对裂纹的扩展方式以及扩展方向有较大的影响。由此可以看出, 试样表面的裂纹由出现到发展为贯通裂纹、

直至试样失效破坏的各个阶段中, 预制裂纹的角度的变化对试件裂纹产生直至试件破坏的时间影响较小, 但预制裂纹的角度对裂纹的扩展方式以及扩展方向有较大的影响。

参考文献

- [1] 宋义敏, 何爱军, 王泽军, 陈浩哲. 冲击载荷作用下岩石动态断裂试验研究[J]. 岩土力学, 2015, 36(04): 965-970.
- [2] 朱晶晶, 李夕兵, 宫凤强, 等. 冲击载荷作用下砂岩的动力学特性及损伤规律 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2012(7): 2701-2707.
- [3] 李地元, 成腾蛟, 周韬, 等. 冲击载荷作用下含孔洞大理岩动态力学破坏特性试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2015(2): 249-260.
- [4] 郭连军, 杨跃辉, 华悦含, 等. 冲击荷载作用下花岗岩动力特性试验分析 [J]. 工程爆破, 2014(1): 1-4.
- [5] Dai F, Xia K, Zuo J P, et al. Static and Dynamic Flexural Strength Anisotropy of Barre Granite[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering . 2013 46(6): 1589-1602.
- [6] Huang S, Chen R, Xia K. Quantification of dynamic tensile parameters of rocks using a modified Kolsky tension bar apparatus[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2010, 2(2): 162-168.

收稿日期: 2022 年 4 月 1 日

出刊日期: 2022 年 5 月 7 日

引用本文: 李进, 冲击载荷下花岗岩裂纹贯通规律研究[J]. 建筑工程进展, 2022, 2(1): 1-4

DOI: 10.12208/j.ace.20220007

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS