

裂隙岩体动力特性的试验模拟研究

张海波^{1,2},王 媛¹,王鲁明³,张 伟²

(1.河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098;2.徐州空军学院机场工程系,江苏 徐州 221000;
3.工程兵指挥学院,江苏 徐州 221004)

摘要 针对地震、爆破等动力荷载作用下裂隙岩体的动力学特性问题,采用水泥浆制作试样,模拟具有不同数量平行贯通裂隙的岩体,利用 Hopkinson 压杆对试样施加应变率为 100,140,170 的动力荷载,得出试样在高应变率下的动态应力-应变曲线.对应力-应变曲线的分析表明,裂隙岩体具有应变率敏感性,破坏岩体的最终变形随着裂隙率降低而减小.

关键词 裂隙岩体;动力学特性;Hopkinson 压杆;半导体应变片;应变率敏感性

中图分类号 :TU452 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2007)03-0309-03

工程中遇到的岩体,其内部包括各种软弱结构面,如断层、节理、裂隙等,裂隙岩体由于内部裂隙的存在使得其力学特性与均匀介质显著不同,而裂隙率的大小影响着岩体的强度.同时,岩体的强度与其所受的荷载类型有着密切的关系,岩体在静荷载与动荷载下的力学特性区别很大.而实际工程中的岩体常处于地震、爆破及开挖扰动等动力荷载之下,裂隙岩体的破坏失稳与裂隙岩体的动力学特性密切相关.目前,关于对裂隙岩体和不同应变率条件下的完整岩块的力学特性以及非贯通裂隙岩体在低应变率下特性的研究已有许多^[1-7],但是对于在岩体中起控制作用的大量裂隙在高应变率下的研究目前还比较少.鉴于此,本文模拟具有平行贯通裂隙的岩体,利用 Hopkinson 压杆对试样施加不同的动力荷载,分析不同应变率及不同裂隙率下裂隙岩体的动力特性.

1 试验设计

目前,对材料进行高应变率下的动态力学性能试验基本上是采用分离式 Hopkinson 压杆(split Hopkinson pressure bar—SHPB)进行的^[8].本试验采用直径为 37 mm 的 Hopkinson 压杆对试样施加动力荷载.

试验以水泥浆为材料,利用钢模灌制试样,模拟天然裂隙岩体.试样由上、下 2 部分组成,2 部分的厚度之和约为 10 mm.根据试件的纵向惯性及横向惯性 2 个因素而得出的试样厚度与试样直径的关系: $l_0 \approx 0.433 d_0$,试样在试验前的形状及试验后的形状(试样裂隙率均为 D)如图 1 所示.裂隙对岩体中应力波的传播有很大影响,裂隙将导致波的振幅衰减及波传播速度减慢^[9],因此,裂隙的波阻抗将变小.应力波通过裂隙后进入透射杆的应变信号将降低,如果用普通电阻应变片,由于其灵敏度比较低(灵敏系数只有 2.2 左右),外界电磁信号等干扰信号将对波形产生很大影响,严重影响试验的精度.针对裂隙岩体低波阻抗的特点,试验利用半导体应变片对透射杆的微弱应变信号进行测量.与电阻应变片不同,半导体应变片的工作原理是半导体晶体的压阻效应,它的电阻率变化主要是由于材

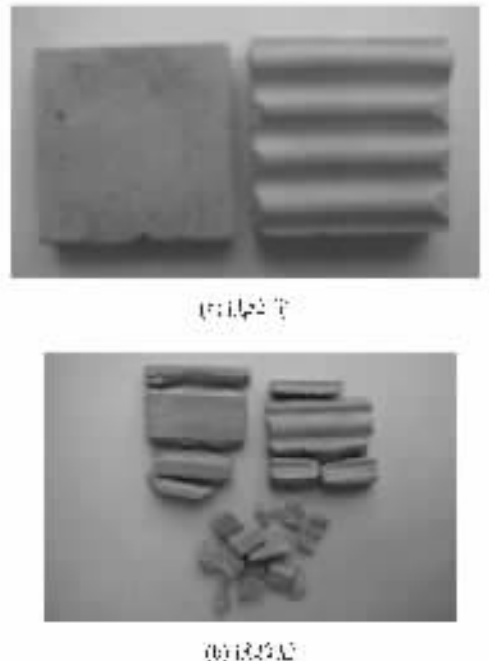


图 1 试样试验前、后的形状

Fig.1 Specimens before and after experiment

料受力时出现的能带变形所引起的,因此其压阻效应远比电阻应变片的电阻应变效应明显,其灵敏度系数可达 100 以上,比普通电阻应变片的灵敏度系数高出约 50 倍. 本文试验所用的半导体应变片的灵敏度系数动态标定为 108. 对于入射杆,如果也采用半导体应变片,由于入射信号比较强,有可能产生波形溢出现象,所以,入射杆采用电阻应变片的灵敏度系数动态标定为 2.28.

2 试验结果与分析

试样的上半部分具有数量不同的突起及光板等 5 种类型,下半部分全部为光板,利用 2 个水泥浆块体之间的间隙来模拟岩体中的平行贯通裂隙. 由于突起的数量不同,因此,相应的裂隙率也是不相同的,光板的试样是完全叠合的,其裂隙率为零. 试验按裂隙率由高到低的顺序将试样裂隙率分为 A, B, C, D, E (取值分别为 0.84, 0.76, 0.68, 0.6, 0), 相应接触部分的面积由小到大. 对发气枪施加的气压分别为 0.15 MPa, 0.25 MPa, 0.35 MPa, 对应试样破坏时的平均应变率分别为 100, 140, 170.

2.1 破坏形式分析

由图 1(b) 可以看出,由于试样上半部分具有突起,下半部分为光板,2 部分之间有接触部分,在受到动力荷载后,在接触部分发生破坏,其破坏具有劈裂破坏的特征,说明具有接触部分的岩体在受到动力荷载时,接触部分的劈裂强度决定了岩体的动态强度.

2.2 不同应变率下岩体动态应力-应变曲线比较

同类型的裂隙岩体在 3 种应变率下的动态应力-应变关系如图 2 所示. 从图 2 中可以看出,随着应变率的增加,各种类型试样的破坏应力不断增加,说明裂隙岩体的动态劈裂强度具有应变率敏感性. 同时,在应力达到峰值之前,在相同的裂隙率条件下,不同应变率下的应力-应变曲线基本上是沿着同一斜率上升,说明在试样破坏之前,具有相同裂隙率的裂隙岩体动态弹模是相同的,与应变率无关,即破坏前的动态弹模与应变率无关.

2.3 不同裂隙率下岩体的动态应力-应变曲线比较

在相同应变率下不同类型岩体的动态应力-应变曲线如图 3 所示. 由图 3 可知,在同一应变率下,岩体的动态强度随着裂隙率的降低而增大. 同时,岩体的动态弹模随着裂隙率的降低而增大. 随着裂隙率的降低,试样的最终应变逐渐变小. 因此,裂隙率对岩体的最终变形是有影响的.

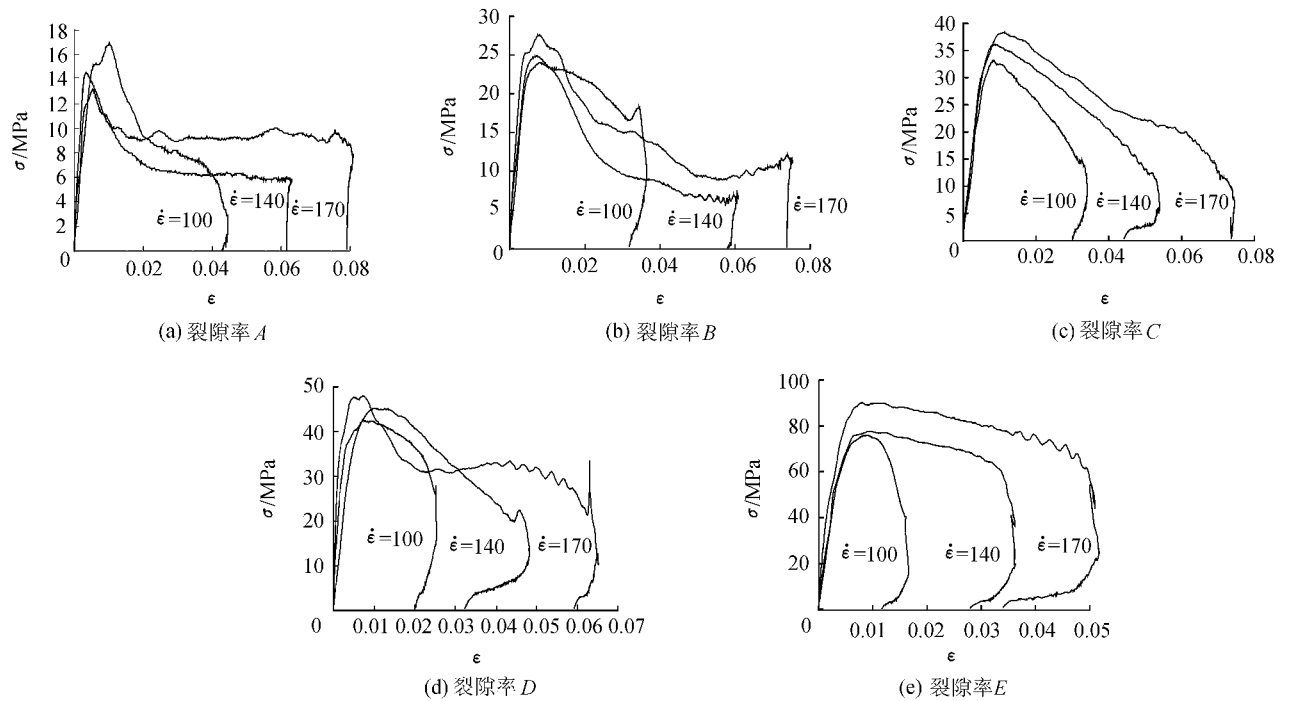


图 2 不同应变率下裂隙岩体的动态应力-应变曲线

Fig.2 Dynamic stress-strain curve of fractured rock mass at different strain rates

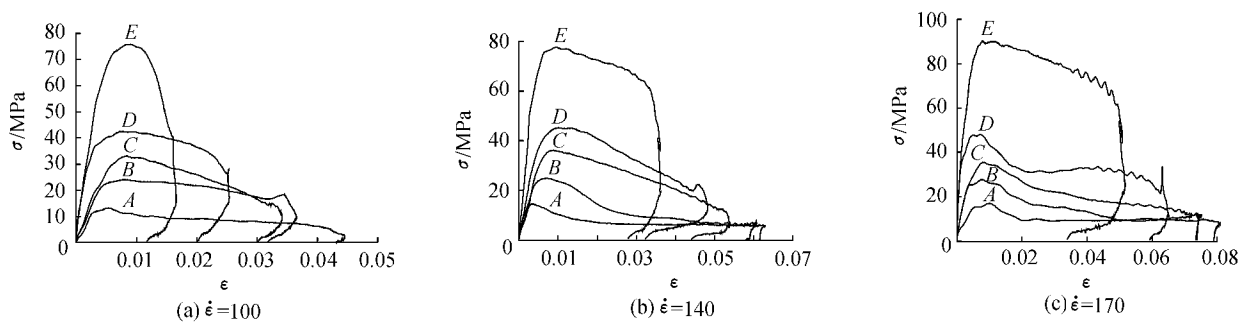


图 3 不同裂隙率下裂隙岩体的动态应力-应变曲线

Fig.3 Dynamic stress-strain curve of fractured rock mass at different fracture rates

3 结 论

- 具有接触部分的裂隙岩体在受到动力荷载时的破坏具有明显的劈裂破坏特征,其动态劈裂强度随着接触部分的面积增大而增大.
- 裂隙岩体具有应变率敏感性,因此,考虑地震、爆破、动力开挖等荷载对裂隙岩体稳定性影响的研究,要充分考虑应变率敏感性对裂隙岩体的影响.
- 在裂隙岩体破坏之前,岩体的动态弹模与应变率无关,但是与裂隙率是有关的,动态弹模随着裂隙率的降低而增大.
- 随着裂隙率的降低,裂隙岩体破坏后的最终应变逐渐减小.可见,裂隙率的大小对岩体的最终变形是有影响的.因此,在对裂隙岩体进行动力开挖时,破坏区的岩体变形研究要考虑裂隙率对最终变形的影响.

参考文献:

- [1] 盛金昌,速宝玉,詹美礼.裂隙岩体的弹塑性本构模型及有限元分析[J].河海大学学报:自然科学版,1999,27(5):27-33.
- [2] 席道瑛,郑永来,张涛.大理岩和砂岩动态本构的试验研究[J].爆炸与冲击,1995(3):259-266.
- [3] 梁庆国,韩文峰.岩体地震动力破坏问题研究[J].岩土力学与工程学报,2003,22(增刊 2):2783-2788.
- [4] 东兆星,单仁亮.岩石在动载作用下破坏模式与强度特性研究[J].爆破器材,2000,29(1):1-4.
- [5] 单仁亮,陈石林,李宝强.花岗岩单轴冲击全程本构特性的试验研究[J].爆炸与冲击,2000,20(1):32-38.
- [6] 张平,李宁.不同应变速率下非贯通裂隙介质的力学特性研究[J].岩土工程学报,2006(6):750-755.
- [7] 张平,李宁.动载下两条断续预制裂隙贯通机制研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(6):1210-1217.
- [8] 胡时胜.霍布金森压杆技术[J].兵器材料科学与工程,1991(11):40-47.
- [9] 王鲁明,赵坚.节理岩体中应力波传播规律研究的进展[J].岩土力学,2003,24(增刊):602-606.

Experimental research on dynamic characteristics of fractured rock mass

ZHANG Hai-bo^{1, 2}, WANG Yuan¹, WANG Lu-ming³, ZHANG Wei²

(1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Airfield Engineering Department, Xuzhou Air Force College, Xuzhou 221000, China ;

3. Engineer Command Academy, Xuzhou 221004, China)

Abstract In view of the dynamic characteristics of fractured rock mass under dynamic loads of earthquake, blasting, dynamic digging, and so on, specimens are made by cement grout to simulate rock mass with different quantities of parallel cross fractures. Then by using the Hopkinson pressure bar, the specimens are loaded at the strain rates of 100, 140 and 170 respectively, and the dynamic strain-stress curve of the specimens was obtained at high strain rate. The analysis of the strain-stress curve shows that fractured rock mass is sensitive to strain rate, and the final deformation of destructive rock mass will decrease with the lowering of fracture rate.

Key words fractured rock mass ; dynamic characteristic ; Hopkinson pressure bar ; semiconductor gauge ; strain rate sensitivity