

不同性质岩块构成的样品破裂前的 波速变化

刘 晓 红

(国家地震局地球物理研究所)

摘要

用超声脉冲法研究了不同性质岩块构成的样品破裂前的波速变化。样品为长方形大理岩板,中心镶嵌大理岩、辉长岩、花岗岩,砂岩圆块。实验表明,样品破裂时裂纹穿过低强度镶嵌岩块而绕过高强度镶嵌岩块。在第一种场合样品破裂前,镶嵌岩块内波速变化显著,在第二种场合样品破裂前镶嵌岩块内波速变化不大。穿过两种岩石界面的波速测量表明,波速下降的起始点提前到样品破坏应力的 60% 左右。样品破裂前波速总的变化趋势是下降,但不是单调下降而呈现起伏。这说明介质不均匀性会对岩石破裂前的波速变化规律产生不可忽视的影响。

关键词 岩石破裂; 地震模拟实验; 地震前兆; 波速异常; 波速测量

一、引言

为了探索地震前的波速异常的物理机制,各国地震学家进行过许多岩石破裂实验^[1,2]。由于这一问题的复杂性,近二十年来人们一直在多方探讨影响波速异常的各种因素。O'connel 和 Budiansky 研究了水份对波速的影响^[3]。Gupta 用二轴实验研究了应力的各向异性引起的波速各向异性变化^[4]。高桥学等进一步在真三轴应力条件下探讨了这一问题^[5]。近年来西澤修等研究了包含定向裂隙的介质中波速的各向异性^[6]。笔者等研究了界面的存在和应力变化途径的不同对波速异常的影响^[7],并研究了裂纹扩展前裂纹周围沿不同测线的波速变化规律^[8]。这些研究均对阐明波速异常的影响因素有一定的参考意义。

近年来,地壳中的介质不均匀性的问题受到地球物理研究者的广泛重视。介质不均匀性的存在会给岩石破裂前的波速变化带来什么影响,是一个值得重视的问题。本文从实验的角度对此问题进行了初步的探讨。

二、样品和实验方法

样品由房山大理岩板制成。样品尺寸有 $120 \times 60 \times 20 \text{ mm}^3$ 和 $120 \times 60 \times 5 \text{ mm}^3$

1986 年 12 月 22 日收到本文初稿,1987 年 6 月 17 日收到修改稿。

表 1 实验所用岩石的基本力学性质

岩石品种	密度 ρ (g/mm^3)	杨氏模量 $E(10^3 \text{ MPa})$	泊松比 ν	强度 $\sigma_f(\text{MPa})$
房山大理岩	2.84	0.77	0.4	175
济南辉长岩	3.04	1.27	0.3	250
昌平花岗岩	2.60	0.93	0.3	180
小浪底砂岩	2.62	0.62	0.14	150

两种。在大理岩板的中心钻一个直径为 25mm 的圆孔。圆孔中镶嵌直径相同的圆形岩

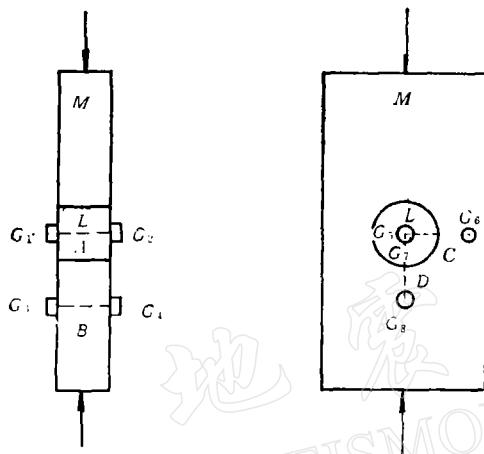


图 1 样品结构与探头的布置

块, 用环氧树脂粘结。镶嵌岩块的岩石分别为房山大理岩, 济南辉长岩, 昌平花岗岩和小浪底砂岩。各种岩石的基本力学性质在表 1 中给出。由表 1 看到, 辉长岩和花岗岩的强度大于大理岩, 为硬镶嵌块。砂岩的强度小于大理岩, 为软镶嵌块。样品的上下端面为受力端面, 用磨床精磨使其平行度的误差在 0.01mm 以内。样品的结构如图 1 所示, 图中 M 为大理岩板, L 为不同岩石的镶嵌圆块。

波速测量使用 SYC-2 型波速仪。探头的布点位置如图 1 所示。探头 G_1 和 G_2 一个作为发射探头, 一个作为接收

探头, 控制了通过镶嵌岩块的测线 A, 探头 G_3 和 G_4 控制通过大理岩板的测线 B。测线 C 和测线 D 均穿过大理岩板与镶嵌岩块的界面。其中测线 C 垂直于载荷方向, 测线 D 平行于载荷方向。探头由 PZT-5 压电晶片制成, 频率为 1MHz。波速测量的误差为 2%。测线 A 和测线 B 的实验用厚板样品在 200 吨单轴压机 (选用 80 吨档) 上进行。测线 C 和测线 D 的实验用薄板样品在 10 吨单轴压机上进行。薄板样品实验时使用了有机玻璃扶正器。实验的加载应变率为 10^{-4}s^{-1} 。用差动变压器式位移计测量了位移, 其误差为 1%。

三、实验结果及分析

样品实验后的破裂形态如图 2 所示。由图可见, 对于镶嵌同种岩块的样品 (图 2-1) 和镶嵌低强度砂岩块的样品 (图 2-4), 样品破裂后, 两条共轭的剪切破裂面穿过中心镶嵌岩块。对于镶嵌强度高于大理岩的辉长岩 (图 2-2) 和花岗岩 (图 2-3) 的样品, 破裂时剪切破裂面绕过中心镶嵌岩块。

图 3 给出了各种样品实验的应力-位移曲线。图中 0 号曲线代表完整大理岩样品的应力-位移曲线。1, 2, 3 和 4 号曲线分别代表图 2 所示的 1, 2, 3 和 4 号样品的实验曲线。由图 3 可见, 中心打孔镶嵌圆形岩块后, 样品的强度降低。值得注意的是, 在中心钻孔中镶嵌了比大理岩强度高的圆形岩块后, 样品的强度不但没有提高, 反而下降更多。这可能

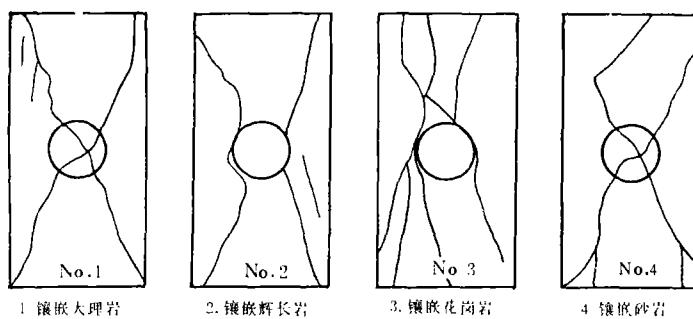
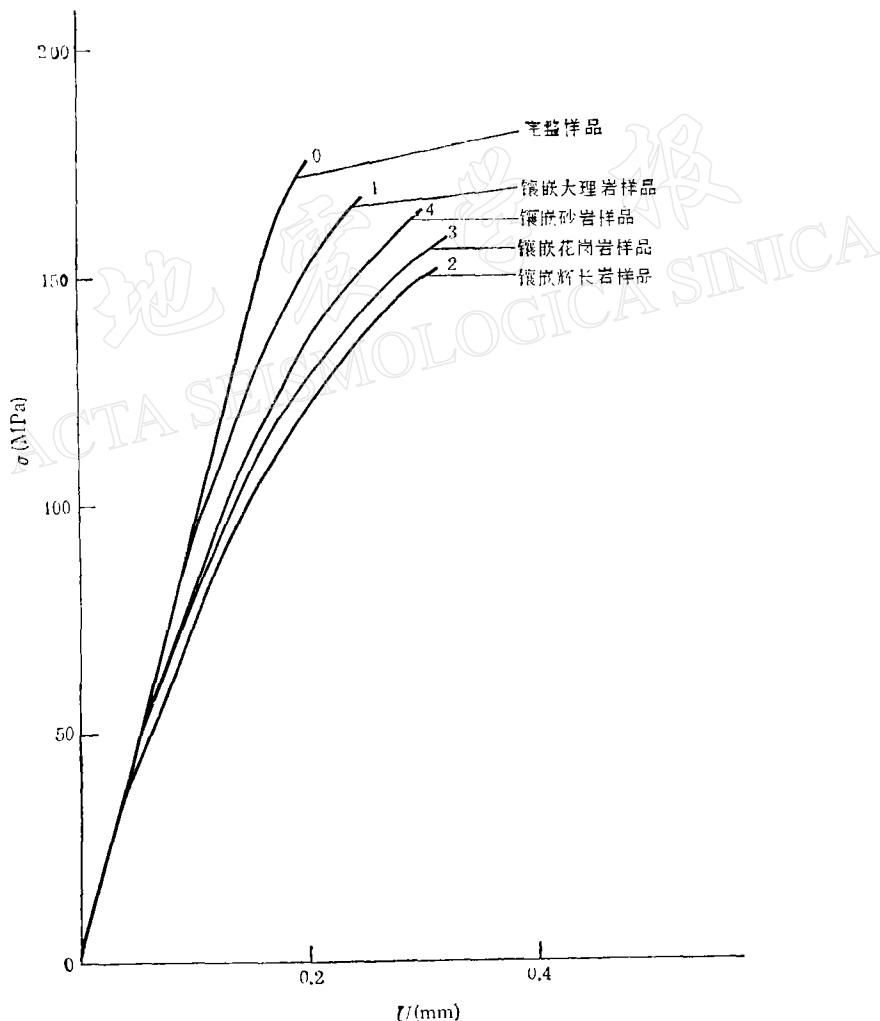


图 2 样品的破裂形态

图 3 各种样品的应力 (σ)-位移 (U) 曲线

是由于岩性差异引起应力集中的缘故。从图中还可看出, 镶嵌圆形岩块样品破裂前的变形量较完整岩石样品有所增加。

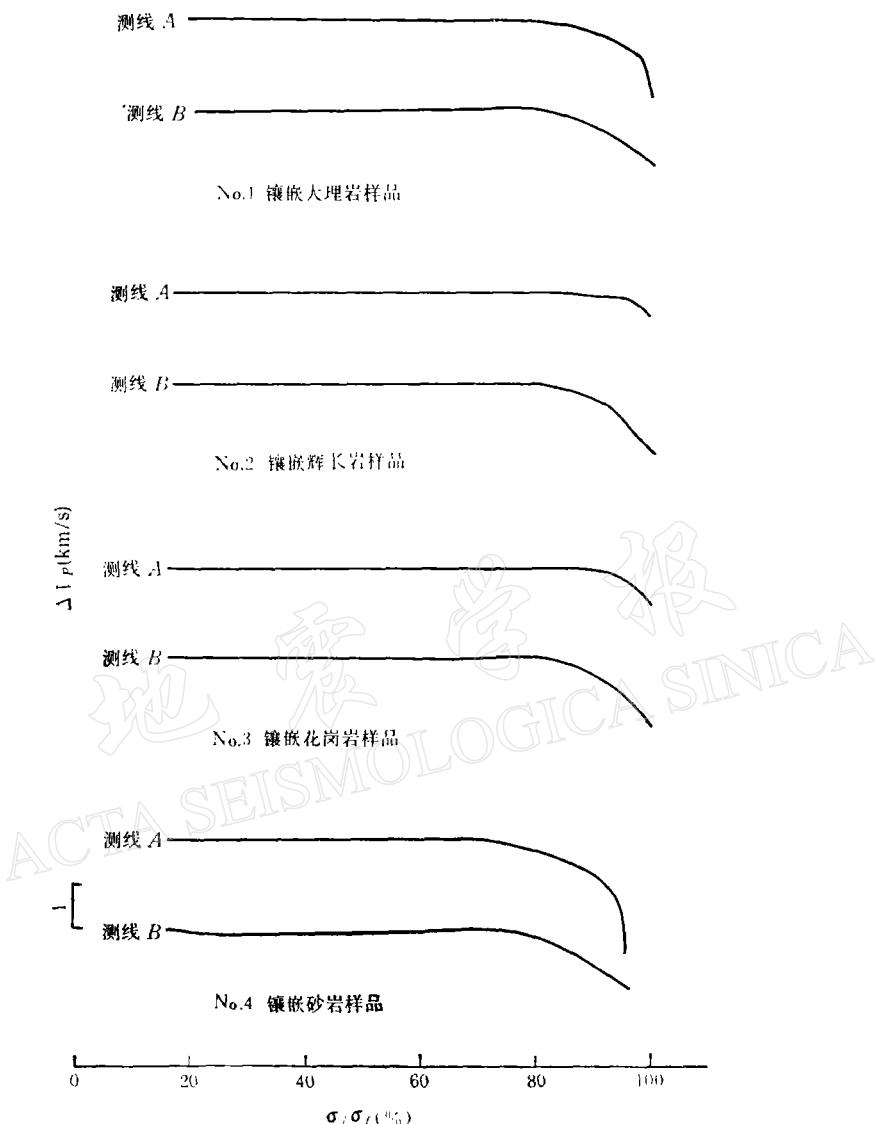


图 4 通过不同介质块体(测线 A)和大理岩岩板(测线 B)的波速变化

图 4 和图 5 给出了前述不同测线岩石样品破裂前的波速变化。图 4 中 1 号样品的结果与完整大理岩的测量结果相近^[8]。当应力增加到强度的 80% 左右时波速开始下降。样品破裂前测线 A 的波速下降大于测线 B, 这是由于测线 A 通过样品中心部位, 两个破裂面交叉穿过镶嵌块的缘故。2 号样品和 3 号样品的结果表明, 通过硬镶嵌块的波速下降现象出现晚, 下降量也小。这与前述断层面绕过硬镶嵌块的现象相符合。此时通过测线 B 的波速变化略大于 1 号样品测线 B 的值。4 号样品的结果表明, 通过砂岩镶嵌块波速下降现象出现早, 下降量大。

图 5 中 9 号样品的实验结果与完整大理岩样品的实验结果相近。图 5 中的其它曲线表明, 当测线通过不同介质界面时波速下降的起始点提前到强度的 60% 左右。在样品破

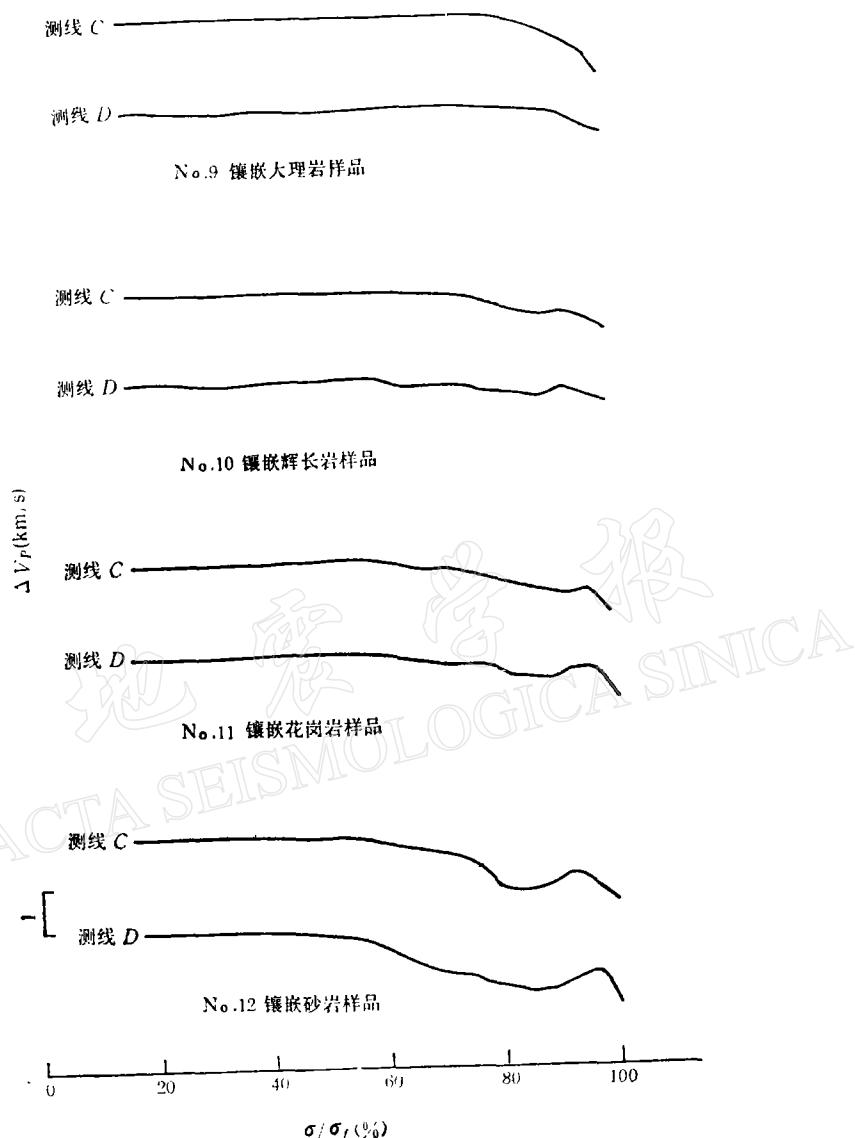


图 5 通过不同介质界面的波速变化

裂前波速总的变化趋势是下降,但不是单调地下降,呈现了下降—上升—下降的起伏,直到破裂。从变化幅值看,包含硬镶嵌块样品的波速变化量小,包含砂岩镶嵌块样品的波速变化量大。

分析不同介质的测线上的波速下降起始点的提前原因,可能是由于界面的存在,两侧岩石性质不同,变形量不同,从而容易引起微破裂的发育。波速的局部回升,可能是由于破裂面的发展,通过或绕过镶嵌岩块时界面上应力的调整所引起的。对比图 5 的 10 号,11 号和 12 号样品的波速变化还可以看到,在包含硬镶嵌块的场合,测线 C 和 D 的波速回升峰值是一致的。在包含软镶嵌块的场合,波速回升峰值测线 C 在前,测线 D 在后。实验

结果表明,垂直于最大主应力或主破裂方向的测线容易观察到波速异常。

四、结语

包含不同性质岩块的样品受压破裂前的波速变化的研究表明,在由多种岩石构成的复杂岩体中,在通过高强度岩石的测线上不容易观测到波速异常,而在通过低强度岩石的测线上有可能观测到波速异常。在穿过不同岩性界面的测线上也有可能观测到波速异常。这些结果在选择波速测量的测线时可供参考。

地壳中岩石的构成极为复杂。除存在不同类型的构造外,还存在不同性质介质的界面。在野外进行波速观测时,测线往往经过不只一个不同性质介质的界面,这就有可能引起地壳岩石破裂前波速变化出现多次起伏。一些地震发生前,波速变化的实例证实了波速变化过程是多次起伏的^[9]。实验研究表明,介质的不均匀性可能是引起震前波速起伏变化的原因之一。因此,介质不均匀性问题是探讨用波速异常预报地震的研究中不可忽视的一个问题。

陈运泰、耿乃光同志阅读了原稿并提出了宝贵意见。协助实验的有郝晋升、李纪汉等同志,作者在此谨致谢意。

本工作系地震科学联合基金资助项目。

参 考 文 献

- [1] Nur, A., and G. Simmons, Stress-induced velocity anisotropy in rock: An experimental study, *J. Geophys. Res.*, 1969, **74**, 6667—6674.
- [2] Seya, K., I. Suzuki, and H. Fujiyama, The change in ultrasonic wave velocities in triaxially stressed brittle rock, *J. Phys. Earth.*, 1979, **27**, 409—421.
- [3] O'Connel, R. J., and B. Budiansky, Seismic velocities in dry and saturated cracked solids, *J. Geophys. Res.*, 1974, **79**, 5412—5426.
- [4] Gupta, N. I., Seismic velocities in rock subjected to axial loading up to shear fracture, *J. Geophys. Res.*, 1973, **78**, 6936—6942.
- [5] 高橋学、木下重教、西澤修、小出仁、千葉洋, 真三軸圧縮下でのウェスター花崗岩の弾性波速度異方性について, 地震, 1984, **37**, 1, 67—79.
- [6] Nishizawa, O., Seismic velocity anisotropy in a medium containing oriented cracks-transversely isotropic case, *J. Phys. Earth.*, 1982, **30**, 331—347.
- [7] 刘晓红、赖德伦, 影响波速异常的两种因素, 地震学报, 1986, **8**, 50—56.
- [8] 刘晓红, 岩石裂缝扩展前波速异常的实验研究, 地震, 1986, **3**: 1—4.
- [9] 董颂声、黄才中、林命遇、周宝铮、孙庆煊、朱海林、陆振飞, 利用人工波源探测震前波速变化, 地震学报, 1982, **4**, 1—13.

THE VARIATION OF WAVE VELOCITY BEFORE RUPTURE OF SAMPLES COMPOSED OF ROCKS WITH DIFFERENT PROPERTIES

LIU XIAOHONG

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

The variation of wave velocity before rupture of samples composed of rocks with different properties was studied by the ultrasonic impulse method. The samples were rectangular plates of marble, in whose centre circular disks of marble, gabbro, granite and sandstone were inlaid. The experiments show that when the samples rupture the cracks extend through the rock disks with low strength, but round the rock disks with high strength. For the first group of samples the wave velocity in the inlaid rock disks varies visibly before rupture, while for the second group the wave velocity in the inlaid rock disks does not vary very much. Measurements of wave velocity through the interface between two rocks show that the wave velocity begins to decrease when the compression stress reaches 60% of rupture stress of the sample. The tendency of decrease of wave velocity before rupture of the samples is not monotonous, but it undulates. This makes clear that the heterogeneity of the medium can produce important influence on the law of wave velocity variation before rock rupture.