

文章编号: 1000-5773(2000)03-0171-05

# 高压下碳化钨压砧走时的测量

周文戈, 谢鸿森, 刘永刚, 郭捷, 许祖鸣

(中国科学院地球化学研究所地球动力学高温高压开放研究实验室, 贵州贵阳 550002)

**摘要:** 在常温、实验压力为 0~3GPa 条件下, 利用脉冲反射法测量了纵波在碳化钨压砧中的走时, 结果发现, 随实验压力升高, 碳化钨压砧的走时线性减少。碳化钨压砧被压缩是引起碳化钨压砧的走时减少的主要原因。实验压力( $p$ /GPa)与碳化钨压砧走时减少量( $\Delta t$ /μs)之间的关系为:  $\Delta t = 0.02233(\pm 0.00081)p$ 。运用这个关系式可以对所测量的岩石弹性波速度进行校正, 以获得更为精确的岩石弹性波速度。

**关键词:** 高压; 走时; 碳化钨压砧; 弹性波速**中图分类号:** O521+.21 **文献标识码:** A

岩石 -

## 1 引言

高压下物质中弹性波速度的测量设备主要有 3 种: (1) 活塞-圆筒装置<sup>[1,2]</sup>; (2) 多顶砧高压装置<sup>[3,4]</sup>; (3) 分割球高压装置<sup>[5,6]</sup>。测量方法主要有声脉冲透射法和反射法两种<sup>[7,8]</sup>。由于天然岩石由多种矿物组成, 常含有微裂隙<sup>[9]</sup>, 造成高压下反射波信号难以与噪音相区别, 因此高压下常用脉冲透射法测量天然岩石的弹性波速度。然而, 在用脉冲透射法测量天然岩石弹性波速度时, 通常假设在实验的压力条件下, 碳化钨压砧的走时不变<sup>[3,4]</sup>。实际情况是否果真如此? 徐有生曾尝试测量过不同压力下碳化钨压砧的走时, 结果显示在样品室压力为 0.2~4.5GPa 条件下, 碳化钨压砧的走时没有变化<sup>[10]</sup>。这与前人的结果不符。依据 Gerlich 等的实验, 碳化钨的体弹模量为 358GPa<sup>[11]</sup>。如果假设实验的压力(样品室压力)范围为 0~5.0GPa, 碳化钨压砧承受的平均压力小于 3.0GPa, 可以粗略地知道碳化钨压砧的体积压缩为  $0 \sim 8.3 \times 10^{-3}$ 。那么, 碳化钨压砧长度减少将引起其走时的减少。因此有必要实测高压下碳化钨压砧走时的变化, 以求获得更精确的岩石弹性波速度值。我们采用反射法在实验压力(样品室压力)为 0~3.0GPa 条件下实测了碳化钨压砧的走时, 得到了碳化钨压砧走时与样品室压力之间的关系。在此基础上对所测量的岩石弹性波速度进行校正, 获得了满意的结果。

## 2 实验方法

实验在 YJ-3000t 压力机的多顶砧波速测量装置上进行。该测量装置可以在 0.2~5GPa、室温至 1500℃ 条件下测量岩石的弹性波速度<sup>[12]</sup>。本次实验与谢鸿森等所述实验系统不同之处在于示波器和声波发射仪。我们使用了泰克公司生产的 TDS784A 示波器和汕头超声电子仪器厂生产的 CTS-22 型超声探伤仪。TDS784A 示波器的时间测量精度可达 2ns, 而 CTS-22 型

收稿日期: 1999-09-17; 修回日期: 2000-03-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(49774235); 高温高压地球动力学开放研究实验室基金

作者简介: 周文戈(1967—), 男, 博士, 副研究员。

超声探伤仪可以在一个通道里完成超声波的发射和接受,因此适合于反射法的测量。实验装置见图 1。虽然岩石样品的反射波难以读取,但是碳化钨压砧的反射信号却非常强(图 2)。图 1 中上下压砧后各放置一个换能器,用于获得上下压砧的反射信号,通过读取压砧的 1~4 次回波的到时( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ),以彼此相邻的两次到时之差除以 2,获得压砧的走时,最终以各次回波计算所得的走时的平均值作为压砧的走时。以叶蜡石块为实验样品,重复进行了两次实验。

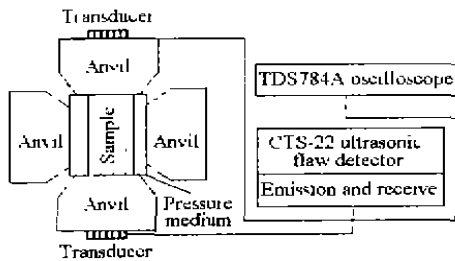


图 1 多压砧弹性波速度测量系统示意图

Fig.1 Schematic of elastic wave velocity measurement

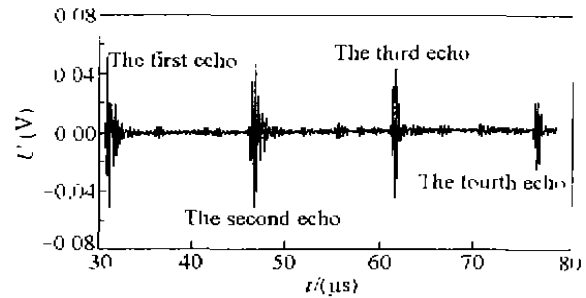


图 2 0.5GPa 时上碳化钨压砧的纵波反射信号

Fig.2 Acoustic signals at 0.5GPa for compressional waves in the upper WC anvil

### 3 实验结果

不同样品室压力条件下,碳化钨压砧的走时见图 3。由图 3 可知碳化钨压砧的走时与样品室压力线性相关,其相关系数大于 0.99。同一压砧两次实验结果非常吻合。以上压砧为例,第一次实验得到的线性回归方程为: $t = -0.02247p + 7.5739$ ,第二次实验得到的线性回归方程为: $t = -0.02339p + 7.5724$ 。其斜率仅相差 0.00092、截距相差 0.0015。另一方面,实验所得的上下压砧的线性趋势十分一致,它们的斜率变化在  $-0.02339 \sim -0.02151$  之间。同时以两次实验的结果进行拟合,得到上压砧的线性回归方程为: $t = -0.02383p + 7.5738$ ,下压砧的线性回归方程为: $t = -0.02142p + 7.6028$ 。在此,以两次实验结果得到的 4 条拟合直线斜率的平均值作为碳化钨压砧走时减少( $\Delta t/\mu\text{s}$ )随实验压力( $p/\text{GPa}$ )变化的斜率,得到碳化钨压砧走时的减少随实验压力变化的关系式: $\Delta t = 0.02233(\pm 0.00081)p$ (图 4)。

### 4 讨论和应用

本次实验得到的碳化钨压砧走时减少量远远大于徐有生得到的碳化钨压砧走时减少量(图 4)<sup>[10]</sup>。造成这一差别的主要原因有两个:(1)徐有生在实验中使用的是贵州省都匀市红华仪器厂生产的 COS5041 示波器,其计时精度为 40ns。由于时间测量精度不够,得不到走时的变化。(2)徐有生采用脉冲透射法测量碳化钨压砧的走时,由于脉冲透射法判读起跳点非常困难,这有可能带来  $\pm 20\text{ns}$  的误差。

在目前的压力范围内,如果假设碳化钨压砧的纵波速度( $v_p$ )几乎不变,那么碳化钨压砧的走时的减少量( $\Delta t$ )可表示为

$$\Delta t = (x_0 - x)/v_p \quad (1)$$

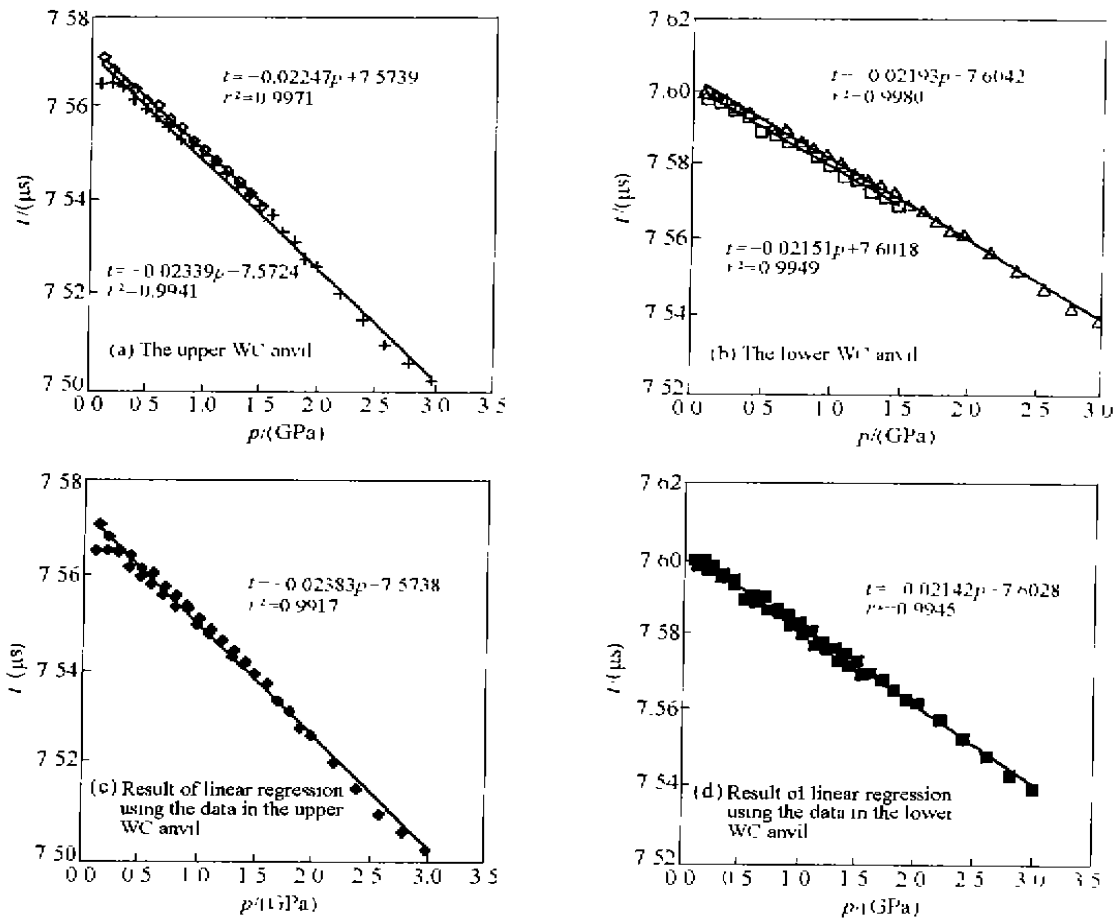


图 3 碳化钨压砧的走时随压力的变化(图中的公式为线性拟合)

Fig.3 Travel time in WC anvils as functions of pressures

(The formulas in the diagrams are the results of linear regression)

式中  $x_0$  和  $x$  分别为碳化钨压砧在常压和高压下的长度。

由于碳化钨压砧主要受到轴向的压力,因此可以认为加压时,碳化钨压砧只有  $x$  方向的尺寸变化,则碳化钨压砧的体积变化为

$$(V_0 - V)/V_0 = (\pi r_0^2 x_0 - \pi r_0^2 x)/\pi r_0^2 x_0 = (x_0 - x)/x_0 \quad (2)$$

式中:  $\pi$  为圆周率,  $r_0$  为常压下碳化钨压砧的半径,  $V_0$  和  $V$  分别为常压和高压下碳化钨压砧的体积。又因为

$$K = p/[(V_0 - V)/V] \quad (3)$$

式中  $p$  为压力,  $K$  为体积模量。将(2)式代入(3)式得

$$K = px_0/(x_0 - x) \quad (4)$$

再将(4)式代入(1)式得

$$\Delta t = px_0 / (Kv_p) \quad (5)$$

对于碳化钨压砧,有  $v_p = 6.89\text{km/s}$ ,  $x_0 = 5.2\text{cm}$ ,  $K = 358\text{GPa}$ ,则碳化钨压砧走时的减少量 ( $\Delta t/\mu\text{s}$ )与压力 ( $p/\text{GPa}$ )之间的关系为:  $\Delta t = 0.02108p$ ,这与实验结果基本一致(图 4),同时说明碳化钨压砧的压缩是引起其走时减少的主要原因。

将实验所得的碳化钨压砧走时减少量随实验压力变化的公式用于校正已测量的岩石样品的弹性波速度(见图 5,空心符号表示校正前的纵波速度,实心符号为校正后的纵波速度),结果发现低压下 ( $<0.8\text{GPa}$ )校正后的弹性波速度比校正前的弹性波速度约小 1%,高压下校正后的弹性波速度比校正前的弹性波速度约小 6%。

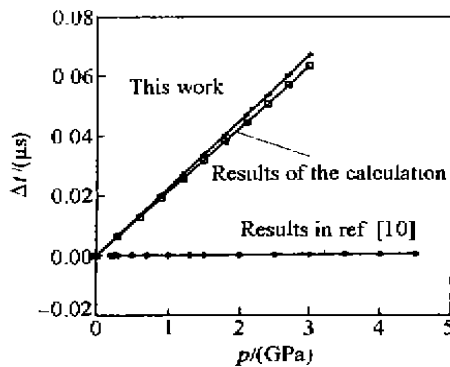


图 4 碳化钨压砧走时减少量随实验压力的变化

Fig.4 Travel time decrease in the WC anvil as a function of pressure

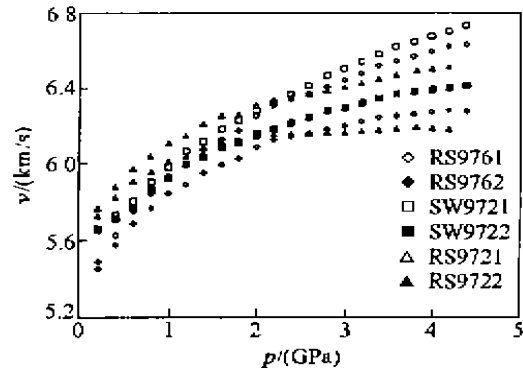


图 5 校正前和校正后的岩石纵波速度对比

Fig.5 Comparison of compressional wave velocities in three rocks with and without time correction

## 参考文献:

- [1] Burlini L, Fountain D M. Seismic Anisotropy of Metapelites from the Ivrea-Verbano Zone and Serie dei Laghi (Northern Italy) [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1993, 78: 301-317.
- [2] Christensen N I. Fabric, Seismic Anisotropy, and Tectonic History of the Twin Sisters Dunite, Washington [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1997, 82: 1681-1694.
- [3] Kern H, Liu B, Popp T. Relationship between Anisotropy of P- and S-Wave Velocities and Anisotropy of Attenuation in Serpentine and Amphibolite [J]. *J Geophys Res*, 1997, 102: 3051-3065.
- [4] Rigden S M, Gwanmesia G D, Liebermann R C. Elastic Wave Velocities of a Pyrope-Majorite Garnet to 3GPa [J]. *Phys Earth Planet Int*, 1994, 86: 35-44.
- [5] Knoche R, Webb S L, Rubie D C. Experimental Determination of Acoustic Wave Velocities at Earth Mantle Conditions Using a Multianvil Press [J]. *Phys Chem Earth*, 1997, 22(1-2): 125-130.
- [6] Fujisawa H. Elastic Wave Velocities of Forsterite and Its  $\beta$ -Spinel Form and Chemical Boundary Hypothesis for the 410-km Discontinuity [J]. *J Geophys Res*, 1998, 103(B5): 9591-9608.
- [7] 张友南, 马 瑾. 深部地壳镁铁质岩石波速的研究 [J]. *地球物理学报*, 1997, 40(2): 221-230.
- [8] Li B, Gwanmesia G D, Liebermann R C. Sound Velocities of Olivine and Beta Polymorphs of  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  at Earth's Transition Zone Pressures [J]. *Geophysical Research Letters*, 1994, 23(17): 2259-2262.
- [9] Greenfield R J, Graham E K. Application of a Simple Relation for Describing Wave Velocity as a Function of Pressure

- in Rocks Containing Microcracks [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(B3): 5643-5652
- [10] 徐有生, 谢鸿森, 张月明, 等. 铝在校正高压下物质弹性波速测量上的应用 [J]. *高压物理学报*, 1996, 10(2): 145-150.
- [11] Xu J, Zhang Y, Hou W, et al. Measurements of Ultrasonic Wave Velocities at High Temperature and High Pressure for Window Glass, Pyrophyllite, and Kimberlite up to 1400°C and 5.5 GPa [J]. *High Temperature High Pressure*, 1994, 26: 375-384.
- [12] 谢鸿森, 张月明, 徐惠刚, 等. 高温高压下测量岩石矿物波速的新方法及其意义 [J]. *中国科学(B辑)*, 1993, 23(8): 861-864.

## TRAVEL TIME MEASUREMENT IN TUNGSTEN CARBIDE ANVIL UNDER HIGH PRESSURE

ZHOU Wen-ge, XIE Hong-sen, LIU Yong-gang, GUO Jie, XU Zu-ming

(*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*)

**Abstract:** Travel time in WC anvils was measured using pulse reflect method at room temperature and under cell pressure up to 3.0 GPa. Experimental results indicate that the travel time in the WC anvils decreased linearly with cell pressure. A possible reason for this result is that the anvil was compressed during loading. The relationship between travel time decrease ( $\Delta t/\mu\text{s}$ ) and cell pressure ( $p/\text{GPa}$ ) is  $\Delta t = 0.02233(\pm 0.00081)p$ . Compressional wave velocity under high pressure can be corrected using this formula. As an example, compressional wave velocities under high pressure in three rock samples were corrected.

**Key words:** high pressure; travel time; tungsten carbide anvil; elastic wave velocity