

# 压容式钻孔应变仪的初步试验结果\*

池顺良

(河南省鹤壁市地震办公室)

## 摘要

本文介绍一种应变灵敏度达到  $1 \times 10^{-11}$  的压容式钻孔应变仪，该仪器在软地层中接收到地震波和固体潮波，至少对于周期从 0.3 秒到数天的频段所收到的信号中包含着地层应变变化的真实信息。

## 一、引言

在钻孔中观测地层应力、应变的相对变化是研究地震前兆的一个重要方面。我国在这方面的工作开展较早。所用的仪器通常称为钻孔地应力仪。本文叙述的仪器则在其基础上，对传感器本身及其与地层的耦合、防水结构与记录方式等方面作了较大的改进。目前，仪器的应变灵敏度可达到  $10^{-11}$  (在讯噪比为 0db 时)；通频带为 0—20 Hz，零漂约  $1 \times 10^{-8}$ /日。在沉积地层中的试验结果记到了地震波和固体潮波。

## 二、仪器的构造

压容式钻孔应变仪的探头是长薄圆筒结构的径向位移式探头，用以检测垂直于钻孔轴线的平面内的应变三分量。探头直径为 107 毫米。

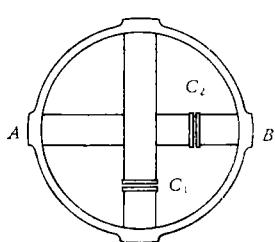


图 1 电容测微传感器力学结构  
电容  $C_1, C_2$  由石英棒支撑并与环形支架固结。 $A-B$  方向受压时，电容  $C_2$  即增大， $C_1$  则减少。

探头筒壁的径向位移用差动电容测微传感器检测。传感器的力学结构见图 1。由石英棒支撑的电容片，随筒壁直径的变化改变极片间隙，因而电容量改变。通过电子线路转换成与筒壁直径的形变成比例的直流电压输出。电子线路部分与传感器一起，均装于探头内，以减小引线分布电容及地面温度变化对电路的影响。能检测到的最小应变位移差为 0.03 埃。

为了减小温度漂移，除了用石英作长度基准杆外，将差动电容线路与传感器的力学结

\* 1980 年 3 月 4 日收到。

构结合,以补偿温度变形,因而温漂可降低约两个量级。

为了检测垂直于钻孔轴线的平面内的应变三分量(两个主应变及最大主应变的方位角),一般在探头内(或钻孔中)安装三个互成 $120^{\circ}$ 角的径向测微传感器。但也可按照将应变张量分解为体应变与剪切应变的方法,安装两个剪应变传感器(反映两个互相垂直的径向变形之差),一个体应变传感器(反映两个互相垂直的径向变形之和),同样可以确定平面内的应变三分量。

为了试验这些不同的测量方法的抗干扰性能,几个试验探头分别按照剪应变方式、单径向应变方式及体应变方式安装了传感器。

传感器的机械零点调整装置用来保持传感器在线性区工作,由地面遥控操作。

周期10秒以上的长周期讯号用自动平衡记录仪记录。属于地震波频段的信号则接上各型的滚筒记录器记录。

### 三、仪器的安装

1978年8月30日,在河南省鹤壁市(东经 $114^{\circ}$ ,北纬 $36^{\circ}$ )出露地表的奥陶纪灰岩中下了第一号试验探头。孔深11米。探头下入钻孔后,用砂掩埋。稳定约一个月后,记到了日变曲线(图2)。这种日变化看来是由于钻孔浅,岩石出露地表受气温影响产生的热应变所致。这种应变的日变幅约为 $3 \times 10^{-7}$ 。

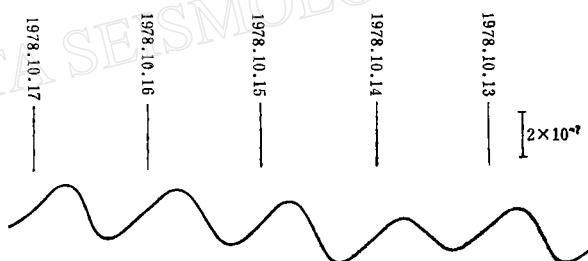


图2 浅钻孔中探头记到的日变

1978年10月9日,在第三纪未成岩的湖相沉积层中,下了第二号探头,埋深为18米,内装两个剪应变传感器。探头下钻孔后,用原土回填,使其自然沉实,让地层尽可能恢复原状。经过一个月的稳定,应变固体潮开始显现,幅度约 $2 \times 10^{-8}$ 。也记到了地震波。

为了比较三种不同的应变传感方式的抗外界干扰性能,在距第二号探头14米处,打了第二个钻孔,孔深40米。在40米深处下了第三号探头,内装两个剪应变传感器,在20米处下了第四号探头,内装一个体应变传感器,一个单径向传感器。

接着,又在距第三号探头13米,第二号探头19米处,打了一个65米深的钻孔,进入灰岩层,下了第五号探头。但是由于调零装置失效,该探头未能工作。

### 四、记录及其分析

钻孔应变仪承受地层应力、应变而变化是通过从地层到记录器间一系列转换环节而

实现的。由于对地层不能施加人为的应变，所以只有依靠接收地震波和固体潮波来分别检验仪器在不同频段的响应，以了解其反映地层应力、应变变化的性能。

根据弹性理论，地震波在传播过程中引起的介质应变

$$\epsilon = \frac{v}{c} \quad (1)$$

式中  $c$  为波的传播速度， $v$  为地层质点的振动速度。

设沿水平  $x$  轴传播的简谐纵向波，其位移由下式表示：

$$u = A \cos [k(x - ct) + \varphi] \quad (2)$$

式中  $A$  为振幅， $k$  为波数， $\varphi$  为初相，于是：

$$\epsilon = \frac{2\pi}{Tc} A \sin [k(x - ct) + \varphi] \quad (3)$$

由(3)式可知，相同地动位移的地震波，周期越长，地层的应变越小。一个地动位移为 1 微米，周期为 1 秒的地震波引起地层应变的幅值约  $1 \times 10^{-9}$  (取  $c = 6$  公里/秒)。

图 3 及图 5 是应变仪收到的地震记录。图 4 及图 6 是与应变仪相距约 1 公里处的地震台上放大倍率为 6.4 万倍的 DD-1 型地震仪记到的这两个地震的记录。

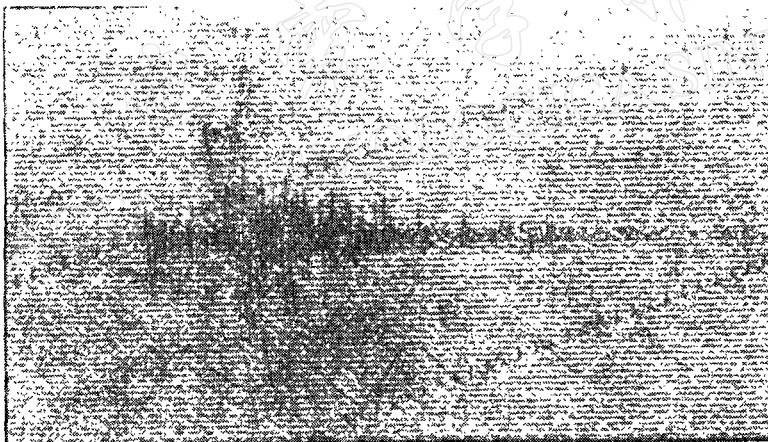


图 3 1980 年 3 月 22 日河北磁县 3 级地震的应变仪记录，距离 56 公里

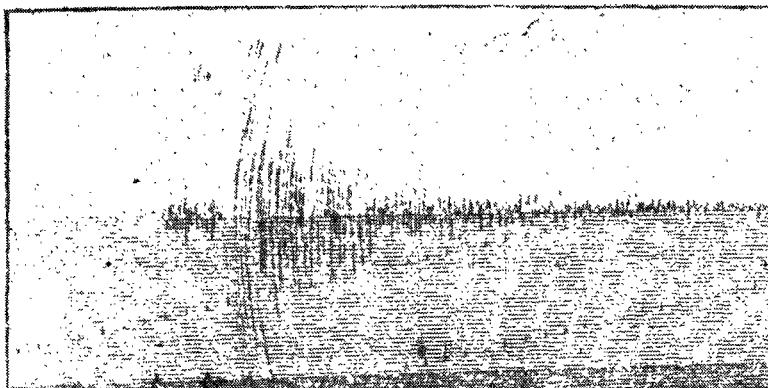


图 4 与图 3 同一个地震用 DD-1 型地震仪的记录

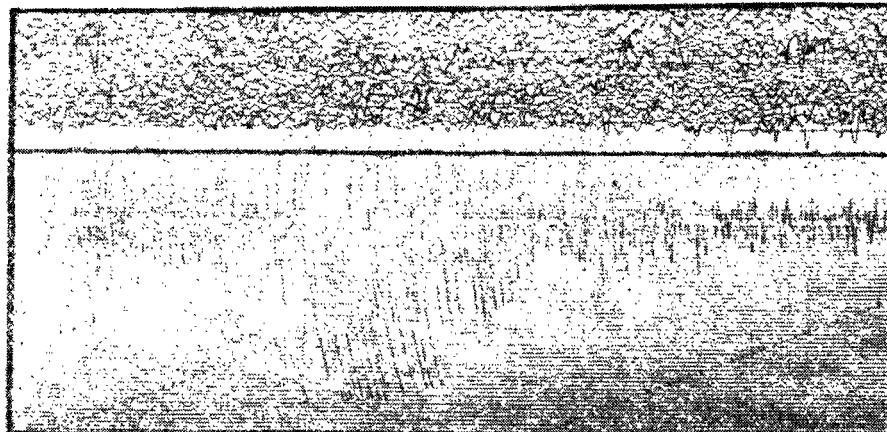


图 5 1980 年 3 月 9 日山西平遥 5 级地震的应变仪记录, 距离 245 公里

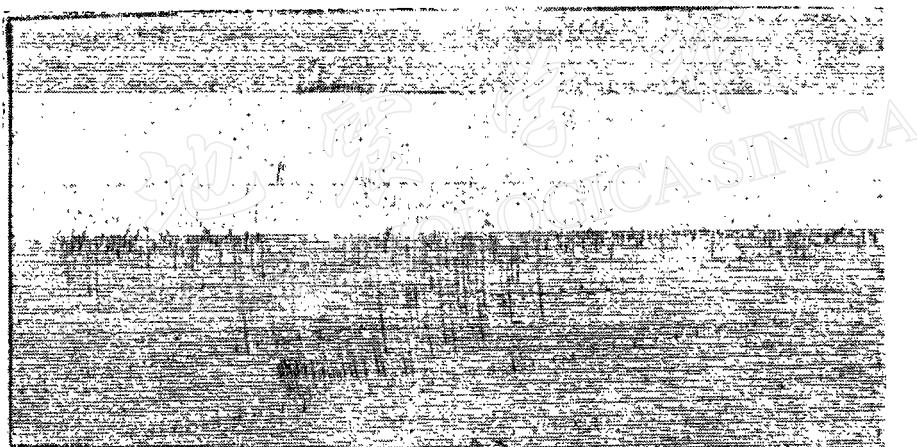


图 6 与图 5 同一个地震用 DD-1 型地震仪的记录

探头经过约一个月的稳定之后, 记到了应变固体潮。

根据固体潮理论, 地壳应变固体潮理论值可由下式表示:

应变南北分量:

$$\varepsilon_{NS} = l \frac{\partial^2 W}{g R \partial \varphi^2}$$

应变东西分量:

$$\varepsilon_{EW} = l \frac{\partial^2 W}{g R \cos^2 \varphi \partial \lambda^2}$$

剪应变分量为:

$$\gamma = 2l \frac{\partial^2 W}{g R \cos \varphi \partial \varphi \partial \lambda}$$

式中  $W$  为引潮位,  $g$  为重力加速度,  $l$  为勒夫数,  $R$  为地球半径。

钻孔应变仪径向传感器的应变固体潮测值  $\psi$  可表为:

$$\phi = a(\varepsilon_{NS} + \varepsilon_{EW}) + b[(\varepsilon_{EW} - \varepsilon_{NS}) \cos 2\theta + \gamma \sin 2\theta] \quad (4)$$

式中  $a, b$  为常数;  $\theta$  为探头方位角。

对于剪应变传感器, 测值  $\phi$  可表为:

$$\phi = 2b[(\varepsilon_{EW} - \varepsilon_{NS}) \cos 2\theta + \gamma \sin 2\theta] \quad (5)$$

图 7 是 2 号剪应变探头 56 小时的固体潮记录(已作零漂校正)与固体潮理论值的比较。实测的固体潮应变幅度约为  $2 \times 10^{-8}$ 。

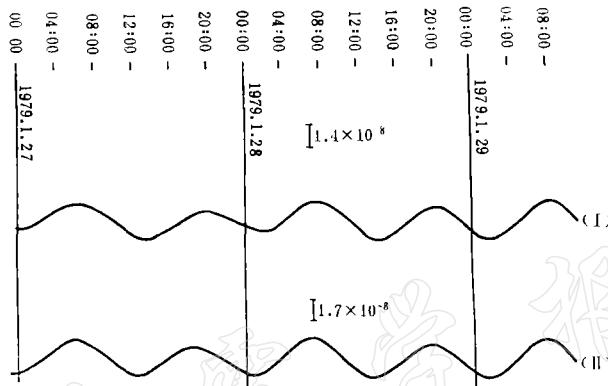


图 7 记录到的应变固体潮 (I) 与理论值 (II) 的比较

图 8 是接成体应变、剪应变及通常的单径向应变方式工作的三个传感器的 7 天记录及气压记录的对照。由图可见, 体应变受气压变化干扰的影响要比剪应变大得多。单径向应变的测值中包含了体应变成份, 因此受气压的影响也较大。

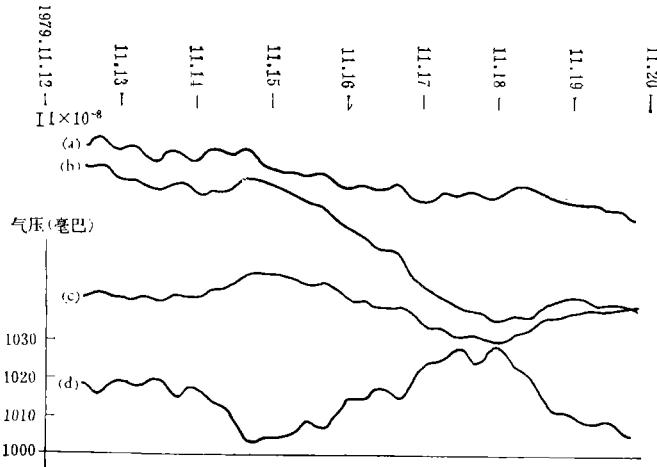


图 8 记录到的剪应变 (a)、体应变 (b)、单径向应变 (c) 和气压变化 (d) 的对照

图 9 是距仪器 30 公里处发生一次 3 级地震前后四天的剪应变记录(已作零漂校正)。从记录可见, 震前 20 小时开始出现一幅度约为  $4.5 \times 10^{-8}$  的剪切应变, 而震后并未发现可见的应变阶跃。

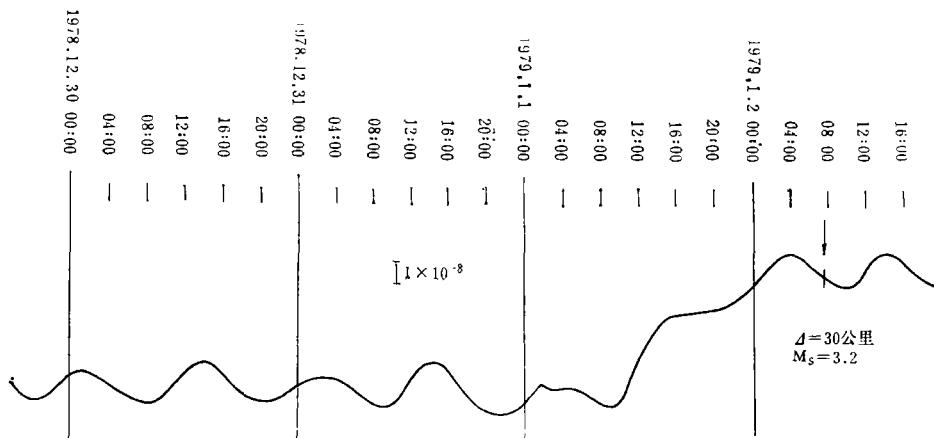


图9 距离30公里处,发生一个3级地震前后四天的剪应变记录

## 五、结 论

仪器的初步试验结果说明,用钻孔式的小尺度仪器,甚至在软地层中也是可以反映地层应力、应变的相对变化的,至少对于从周期0.3秒到数天的频段,仪器收到的信号中包含着地层应变变化的真实信息。

此外,试验结果告诉我们,应该特别注意对剪切应变的观测。因为它比体应变观测受到的外界干扰更小,有可能较多地包含着震前信息。

此项工作得到国家地震局地球物理研究所高龙生、河南省地震局杨向东、王启民、骆鸣津等同志的热情帮助,特此致谢。

杨士安、董国庆、藏志伟、谢寒芳等同志参加了部分工作。

## PRELIMINARY EXPERIMENTAL RESULT OF A CAPACITANCE-TYPE BORE-HOLE EARTH STRAIN METER

CHI SHUNLIANG

(Hebi Seismological Office of Henan Province)

### Abstract

A bore-hole earth strain meter of sensitivity as high as  $1 \times 10^{-11}$  (at zero S/N ratio) has been constructed. Experimental result shows it can record seismic waves and strain tides in soft geological formations. It is believed that within at least the frequency band, corresponding to periods from 0.3 second to a few days, the signals thus recorded should contain the true informations of strain variation of the geological formations under stress.