

对天水土应力异常的分析

测量土层中的应力或应变变化,以获取地震的前兆信息,为地震预报服务,这种方法应用已久。在一些大震之前土应力往往有明显的变化。甘肃天水地应力站所观测到的土应力变化曲线即是一例。图1中所表示的是弹性传力体上四个不同位置上的应变片的变化曲线。

由图1可见,曲线有三个明显的特点:

1. 阶段性:该曲线可明显地分为三个阶段:曲线中部由1975年11月4日开始至1976年11月的一段表现出剧烈的起伏变化,测值突升突降,幅度变化很大,并出现了三次超出量程以外的大幅度异常,时间长短不等。在这一段的前后两段,曲线比较平稳,测值几乎没有变化,这种状态一直持续到1978年3月停止观测。

值得注意的是,75年11月8日发生于静宁的3.9级地震前的异常是该曲线由平稳状态转入剧烈变化状态的标志,而该曲线再次进入平稳状态则是松潘7.2级地震后余震活动逐渐趋于平静的时候。

2. 幅度大:在该曲线上,静宁、武山、松潘等地震都是以超出仪器量程以外的大幅度异常为其短临前兆特点的。根据这一特点,该站对1976年6月5日发生于武山的3.6级地震做了较好的预报。

3. 同步性:图1所示的四条曲线的变化形态几乎完全是同步的。由该曲线所表现出来的特点,与周围水准、三角网和跨断层的基线测量^{[1]*},以及电感地应力的观测资料互相对比,可以认为,该曲线对一些地震有着较好的前兆反映。

对曲线所示的变化,我们进行了一些实验和分析工作。

1. 水压率定试验表明,该土应力探头及导线均不漏电,可以排除漏电的影响。

2. 由于公用补偿片 R_0 的存在(参见图2),温度变化的影响是可以大大减小的。下面的计算是按没有补偿的情况做的,显然在这种情况下温度的影响是最大的。

温度的变化引起应变片电阻变化的量可由下式表达:

$$\Delta R = R\alpha\Delta t + RK_0\beta_{试}\Delta t$$

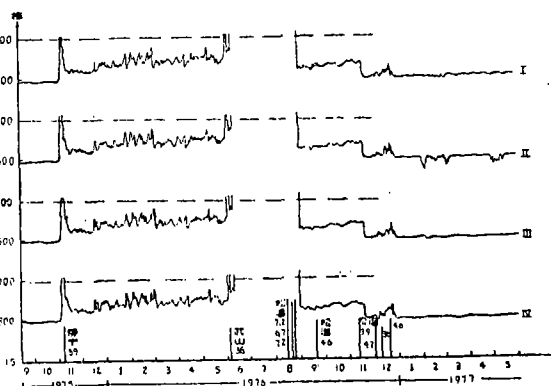


图1 天水土应力观测曲线

Fig. 1 Observation curves of soil layer stress in earth's crust in the Tianshui area.

式中 α 为电阻丝材料的电阻温度系数;

$\beta_{\text{试}}$ 为试件材料的线膨胀系数。

取 $\alpha = 15 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, $\beta_{\text{试}} = 7.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, 由上式可得:

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{R} / (\alpha + K_0 \beta_{\text{试}}) = \frac{3}{7} / (15 \times 10^{-5} + 2.2 \times 7.2 \times 10^{-5}) = 1390^{\circ}\text{C}$$

这就表明, 若单纯由于温度的变化而引起上述超量程的异常, 就需要有超过 1390°C 以上的温度变化。这显然是不可能的。探头的温度系数实际测定结果为 $100 \mu\text{e}/^{\circ}\text{C}$ 。因此温度的变化对探头测值变化没有什么影响。

3. 实验表明, 静态的电磁场对该测量系统没有影响。

为检验仪器的高频响应, 在仪器正常工作的情况下, 在电桥的输出端接入一交流讯号, 逐渐增加幅度, 使仪器出现似超量程异常的状态, 记下此时电桥输出端高流电压的幅度。改变输入交流信号的频率重复上述试验。结果如表 1 所示。

表 1

信号频率K	200	150	30	25	20	20	15	10	8	6	5
输入电压mV	6.9	6.8	6.9	6.9	7.0	13.2	13.4	15.5	27.5	68.3	225

这个结果表明, 由于异常时间长, 仪器输入端阻抗低, 要长时间地建立起实验中所需幅度的电压是不可能的。更何况在上述异常出现期间, 该站人员每次观测时, 仪器的电零点都是可调的。这些事实说明该异常并非电磁场变化引起。通过实验和分析, 我们认为曲线的变化在一定程度上反映了土层中应力的变化。

我们又对台站使用的土应力探头、仪器及周围环境进行了一些分析和实验。

1. 探头: 传力弹性体用聚氯乙烯塑料圆筒, 外径 85mm , 壁厚 2mm , 长 150mm , 敏感元件采用标准器件——纸基电阻丝应变片。将四片应变片沿周(环)向贴于塑料筒中部四个不同位置, 圆心角互成 45° 。另取一片同类型应变片悬在筒内作为温度补偿片, 与其它应变片连接好后将筒两端及引出线密封即构成了探头。该探头埋设在水源县下渠湾台站旧址处一个黄土陡坎下 2.5m 深的黄土层中。距渭河断层带不到一公里。这样的位置是有利于应力集中的。

2. 仪器: 仪器是采用惠更斯电桥的原理进行测量的, 图 2 是仪器原理图。由图可见, 贴于塑料筒上的受力片 R_1 (或 R_2 、 R_3 、 R_4) 公用补偿片 R_0 与设在仪器中的固定电阻 R_5 、 R_6 及多卷电位器 W 构成了电桥的四个桥臂。该电桥的平衡检测器由一只处理品集成运算放大器 BG3056 和一只微安表构成。该仪器采用平衡电桥的原理工作, 读数由附属于多卷电位器上的度盘给出。

3. 量程: 这里指的是仪器的应变量程。将图 2 简化为图 3 计算。以动臂到 A 点指示为压应变, 读数为 1000 格; 相反到 B 点时指示为张应变, 读数为 0 格。平时无应变时, 应指示在 500 格左右。

由电桥平衡原理即可求得 $\frac{\Delta R}{R}$, 动臂滑到 A 点时, 可列出平衡方程:

$$(R_1 - \Delta R)(R_0 + W) = R_0 R_5$$

从而可求得:

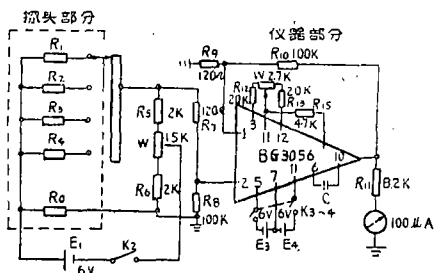


图2 探头及仪器原理图

Fig.2 The principle of the instrument and the observation system.

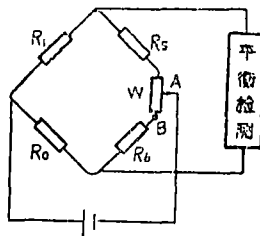


图3

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{W}{R_0 + W} = \frac{1.5}{2 + 1.5} = \frac{3}{7}$$

由应变片灵敏系数定义：

$$K = \frac{\Delta R}{R} / \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta R}{R} / \epsilon \quad \text{取 } K = 2.2$$

$$\text{则量程} \quad \Sigma_{M1} = \frac{\Delta R}{R_1} / K \approx 0.19 = 1.9 \times 10^5 \mu\epsilon$$

同样可求得张应变量程为 $3.4 \times 10^5 \mu\epsilon$ ，这样的量程在应变测量中可说是极大的了。

为检验仪器性能，对上述计算结果进行了实验验证，将 R_1 用一电阻箱代替，改变电阻箱阻值模拟应变片的阻值变化，使平衡时电位器读数为1000和0，即可求得量程，与计算结果相符，说明上述计算结果正确，仪器工作正常。此方法称为替代法。

4. 拾值：即多卷电位器每格读数相应于应变的数值。仍利用电桥平衡条件求得。设变形为压性，应变片有增量 $-\Delta R$ ，为使电桥平衡，W动臂应向A点滑动（见图3），其改变量为 ΔW ，则可列出平衡方程：

$$(R_1 - \Delta R) \left(R_0 + \frac{W}{2} + \Delta W \right) = R_0 \left(R_0 + \frac{W}{2} - \Delta W \right)$$

$$\text{令 } \frac{\Delta W}{W} = \frac{1}{1000}, \text{ 即可求得格值为 } 495 \mu\epsilon. \text{ 使用该土应力仪和 YJ-5 型电阻应变仪测}$$

量同一应变可以测得土应力仪格值平均为 $454 \mu\epsilon/\text{格}$ ，与计算值大致相符。

由于多卷电位器变化一格，表头指示约变化10格，故而分辨率可达 $50 \mu\epsilon$ 。这样的应变灵敏度在土应力测量中显然是不够的。

5. 应变灵敏度：这里所指的是探头的应变灵敏度。考虑到该曲线的同步性特点，且便于实验验证，故仅计算了该探头在围压状态下的灵敏度。根据材料力学中有关厚臂圆筒在轴对称应力状态下应力和位移的解，令内应力为0，外压力 $P_b = 1 \text{ kg/cm}^2$ ，即可求得探头灵敏度 K_{s1} ：

$$K_{s1} = \frac{2 P_b b^2}{E(b^2 - a^2)}$$

式中：a、b分别为塑料筒的内外半径， $a = 4.05 \text{ cm}$ ， $b = 4.25 \text{ cm}$

E为聚氯乙烯塑料的弹性模量，经实际测定为 $E = 2.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

将以上各数值代入上式即可求得:

$$K_{et} = \frac{2 \times 1 \times 4.25^2}{2.5 \times 10^4 (4.25^2 - 4.05^2)} \approx 800 \mu\epsilon / \text{kg/cm}^2$$

进行了两次水压率定实验, 水深分别为 0.73m 和 1.50m, 用电阻应变仪测定应变变量, 结果见表 2:

表 2

	I	II	III	IV
第一次 0.73m	370	210	260	290
第二次 1.50m	480	370	270	230
平均值	430	290	270	260

单位 $\mu\epsilon / \text{kg/cm}^2$

表中数字远小于计算值, 且互相之间亦相差较大, 这可能是由于筒长有限, 两端封闭而产生的端部效应和粘贴方面的原因所致。

此外将该探头外面浇注 $\phi 130\text{mm}$ 的石膏外壳后放到 CW-250S 型围压率定器中率定, 结果见图 4。其灵敏度最高者仅为 $44 \mu\epsilon / \text{kg/cm}^2$ 。

以上是对该站所使用的土应力探头和仪器性能的实验分析, 结果表明该仪器量程大, 格值大, 探头应变灵敏度低, 是不适合于土应力观测的。

综合上述结果, 我们认为曲线中部的剧烈变化段内, 土应力探头不是处于正常工作状态的, 因此该变化及异常不能按常规方法折算成应变或应力。但是将该曲线与大地测量等其它资料对比的结果证实, 土层中的应力变化与区域构造应力场的变化是有联系的, 用土应力手段可以捕捉到地震发生的前兆信息。因而用适当的探头和仪器布设土层应力观测网, 对区域构造应力场的研究和地震预报无疑将会提供出有益的资料。

为此建议: 土层应力的测量工作, 今后仍应继续开展。用于土层应力测量的探头及仪器也要精心设计, 尽量采用标准器件, 严格制作工艺, 使之能明确反应土层中应力(应变)的变化。在发生变化或异常的时候, 应及时分析计算, 确定仪器的工作状态, 确认异常的性质。

(兰州地震研究所 李成文 本文 1981 年 6 月 5 日收到)

参 考 文 献

[1] 张远孚, 用地形变资料预报地震的初次尝试, 西北地震学报, Vol. 4, No. 3, 1982.

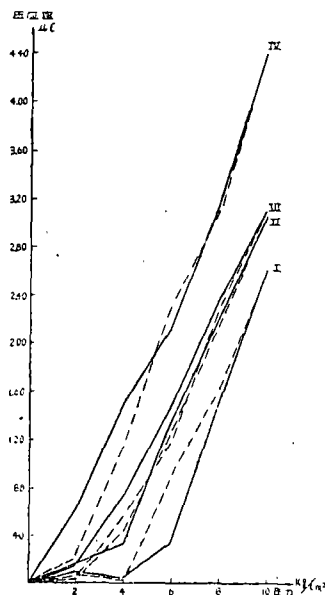


图 4 实验结果

Fig. 4 Result of experiment

ON THE ANOMALY OF SOIL LAYER STRESS IN EARTH'S CRUST IN TIANSHUI AREA OF GANSU PROVINCE

Li Cheng-wen

(Lanzhou Seismological Institute)