

## 电感地应力受力元件与悬空元件的相关关系

### 1. 前言

在电感法地应力观测中, 井下受力元件探头是否受到了与地应力变化无关的外界干扰因素的影响, 是人们关心的问题, 至今仍未得到完全满意的结果。在这种情况下, 利用井中不受力悬空元件来设法识别干扰的影响是值得研究的。而这就要首先判别在悬空元件和受力元件之间是否存在某种相关关系, 并研究其特征。

### 2. 资料及方法

本文分析了青铜峡、延庆、怀来、昌黎、太原、蔚县、烟台、南京、安丘、广州、泉州、剑川、泸定、建水和武都共十五个站的资料。对于青铜峡台N30°E元件, 使用了其1974年5月到1980年5月的旬均值资料, 对于N30°W和EW向元件, 使用了1977年1月到1980年8月的日均值资料。其他台均用的是1977年8月到1980年12月的日均值资料, 其中缺少1977年12月、1978年8月、1980年1月和4月的数据。

为了研究受力元件(简称L力)与悬空元件(简称L悬)之间是否存在相关关系, 首先要判断变化图形是否有所相似, 然后画出L力与L悬的相关图, 计算回归方程与相关系数。

设L力为Y, L悬为X, 则回归方程为:

$$\hat{Y}_i = a + bX_i$$

其中

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i Y_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{\sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N X_i \right)^2}, \quad a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N X_i Y_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^N X_i^2 - N \bar{X}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^N Y_i^2 - N \bar{Y}^2 \right)}}$$

然后对回归方程进行显著性检验。统计量

$$F = \frac{(N-2)S_{回}}{S_{剩}}$$

服从自由度为1和N-2的F分布。当计算得的F值大于F<sub>α</sub>(1, N-2)时, 说明线性回归方程中的一次项是必要的, 也说明L力与L悬之间存在显著的相关性。反之, 则回归方程不显著, 即L力与L悬之间不存在线性相关性。F值公式中的S<sub>回</sub>和S<sub>剩</sub>可表示为:

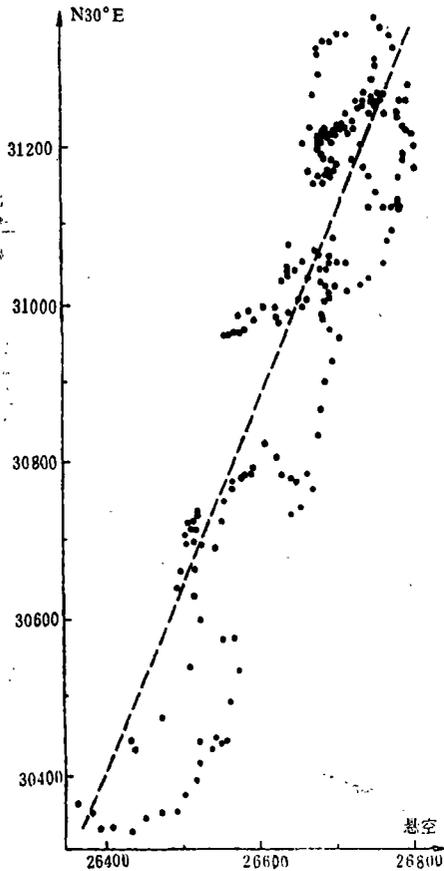


图1 青铜峡N30°E元件与悬空元件相关图 (1974.5—1980.5)

$$S_{总} = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N Y_i \right)^2$$

3. 结果与分析

相当一些台站的L力与L悬之间存在显著的相关性。图1—图3显示了一些典型的L力与L悬的相关图。表1和表2为各台站的相关计算结果，相关系数多在0.8至0.9左右，F值也远大于在显著性水平 $\alpha=0.01$ 以下的 $F_{\alpha}(1, N-2)$ ，表明回归方程是高度显著的，L力与L悬的线性相关性明显。

因悬空元件是不受地应力场作用的，所以L力与L悬之间的相关性只能解释为两种元件同时受到了某些外界干扰的影响。

由相关图可以看到L力与L悬相关关系的二个特点：

(1) L力与L悬的变化大体上沿着一条直线，但又周期性地沿直线摆动。如果单独取一年的数据点图，L力与L悬的变化有时会形成一个环状(图4)。说明L力除了受着同时作用于L悬的外界干扰影响外，还单独受到了某种未知因素的影响。

表1 青铜峡台受力元件与悬空元件的相关计算结果

元件方向	所用数据时间段	数据个数N	相关系数r	b值	均方差 $\sigma$	计算所得F值	$F_{\alpha}(1, N-2)$ $\alpha=0.01$	备注
N30°E	74年8月到80年5月	210	0.867	2.367	141.2	625.68	6.76	使用旬均值
N30°W	77年1月1日到12月31日	362	0.840	0.810	19.8	862.68	6.72	
	78年1月1日到2月19日	50	0.902	1.044	4.5	208.30	7.17	
	78年2月20日到5月10日	80	0.969	0.969	7.9	1184.92	6.96	
	78年5月18日到12月31日	210	0.938	1.097	11.1	1597.92	6.76	
	80年1月1日到5月5日	124	0.895	0.574	8.1	491.78	6.84	
	80年5月9日到8月8日	86	0.937	1.138	10.4	599.83	6.96	
EW	77年1月1日到12月31日	361	0.684	0.487	19.6	316.45	8.72	
	78年1月1日到2月13日	44	0.898	0.793	3.2	174.33	7.25	
	78年1月1日到2月13日	60	0.966	0.458	3.2	814.33	7.08	
	78年5月11日到12月31日	235	0.980	0.624	3.5	5555.45	6.76	
	80年1月10日到10月12日	275	0.973	0.881	10.1	48216.0	6.76	

表2 外区各台L力与L<sub>总</sub>的相关计算结果

台名	元件方向	所用数据时间段	数据个数N	相关系数r	b值	均方差σ	计算所得F值	$F_{\alpha}^2(1, N-2)$ $\alpha=0.01$	备注
建水	N30°W	77年10月1日到78年2月19日	110	0.986	0.972	45.1	3748.71	6.90	缺77年12月资料
		78年2月20日到5月8日	72	0.998	0.957	30.9	23025.39	7.08	
		78年9月4日到10月2日	29	0.971	0.782	25.8	438.12	7.60	
		78年10月3日到79年1月12日	99	0.976	0.916	28.9	1911.34	6.90	
		79年2月17日到7月9日	129	0.959	0.832	40.7	1466.33	6.90	
	N30°E	77年8月18日到78年4月13日	196	0.986	1.346	72.6	6964.23	6.81	缺77年12月资料
		78年9月1日到79年5月13日	236	0.958	1.551	82.4	2605.60	6.76	
EW	77年8月18日到78年4月13日	207	0.979	1.035	68.5	4724.45	6.76	缺77年12月资料	
广州	II号	79年6月14日到10月31日	135	0.712	0.597	63.9	136.83	6.90	
	I号	79年6月10日到11月12日	153	0.789	0.523	45.1	248.84	6.84	
烟台浅孔	SN	79年5月1日到8月20日	112	0.97	0.65	31.4	1800.37	6.90	
		79年9月7日到80年3月31日	173	0.98	0.86	55.0	4841.03	6.81	缺80年1月资料
		80年5月5日到5月22日	18	0.999	0.819	9.9	6448.29	8.29	
		80年5月23日到7月8日	47	0.999	0.827	12.1	21410.4	7.22	
		80年7月9日到8月22日	44	0.991	0.809	22.7	2249.01	7.25	
		80年10月13日到12月31日	71	0.975	0.644	25.1	1318.22	7.08	
怀来浅孔	N10°W	79年8月9日到12月31日	143	0.733	0.546	45.1	163.91	6.84	
		80年2月1日到8月31日	57	0.873	0.363	29.6	175.97	7.17	
		80年5月2日到9月30日	140	0.862	0.775	30.2	399.79	6.84	
	N70°W	80年2月1日到8月31日	60	0.880	0.335	25.9	199.75	7.08	
		80年5月2日到9月12日	121	0.846	0.798	34.7	298.57	6.90	
昌黎二号孔	N70°W	79年5月4日到12月31日	239	0.938	0.647	75.8	1720.96	6.76	
		80年2月1日到12月31日	299	0.924	0.702	100.9	1735.47	6.72	缺80年4月资料
	N50°E	79年5月4日到12月31日	234	0.771	0.389	96.0	339.33	6.76	
	N10°W	79年5月4日到12月31日	228	0.785	0.446	104.2	363.66	6.76	
泸定	N70°W	78年9月1日到79年9月29日	210	0.815	0.549	83.3	412.03	6.76	
剑川	N70°W	78年9月2日到12月22日	110	0.974	0.662	40.2	2034.74	6.90	
安丘深孔	N60°E	77年8月1日到79年2月11日	491	0.957	1.994	32.9	5383.96	6.69	缺77年12月、78年8月资料
		79年2月13日到7月12日	141	0.953	2.022	15.1	1361.69	6.84	
		79年7月14日到10月12日	90	0.916	1.634	10.9	461.14	6.96	
		79年11月11日到80年9月23日	255	0.920	1.672	29.9	1394.66	6.76	缺80年1月、4月资料

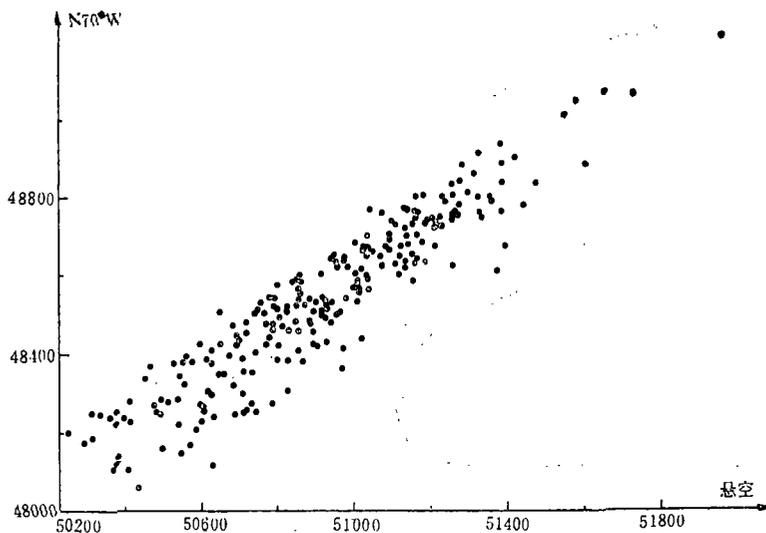


图2 昌黎二号孔N70°W元件与悬空元件相关图(1979.5—1979.12)

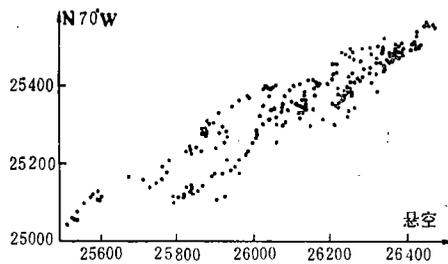


图3 泸定台N70°W元件与悬空元件相关图  
(1978.9—1979.4)

(2) 在某一时间内 $L$ 力与 $L_{悬}$ 沿某条直线变化,而在另一时间内却沿另一条直线变化。图5、图6是典型的例子。从图5 a可以看到青铜峡台N30°W元件与 $L_{悬}$ 自1978年1月1日到2月19日是沿一条直线线性变化的,2月20日N30°W元件突跳23微亨,这样从2月20日到5月上旬该元件与 $L_{悬}$ 就沿另一条直线变化了。从5月上旬起数据有缓慢飘移,到5月下旬又稳定下来,从5月下旬到12月底就一直沿第三条直线变化。这三条直线的斜率相差不多,b值分别为1.044、0.969和1.097。在这三段时间内 $L$ 力与 $L_{悬}$ 的相关系数均在0.9以上。再如图6,安丘台深孔N60°E元件与 $L_{悬}$ 自1977年8月1日到79年2月11日一直沿一条直线变化,1979年2月12日N60°E元件发生了100微亨左右的突跳后,该元件与 $L_{悬}$ 沿另一条直线变化。两条直线的b值分别为1.994和2.022。在沿第二条直线变化五个月之后变为沿第三条直线变化。这次变动似乎主要由于 $L_{悬}$ 变化引起,使直线发生了横移,斜率也有变化。在沿第三条直线变化二个月后,又发生漂移,到1979年11月11日起沿第四条直线(图6 b中所示)变化,且一直持续到1980年9月底。第三、四条直线的b值分别为1.634和1.672,相差不多。

分段线性相关现象在许多台站均可发现,变化原因可分为两类。一类是由于某一元件产生了幅度较大的突跳而引起的,一般对回归方程的b值影响不大。第二类是由于在一段时间

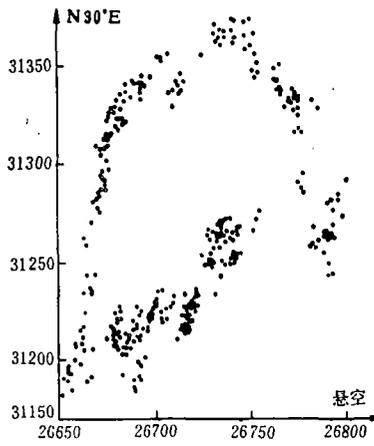


图4 青铜峡N30°E元件与悬空元件相关图(1978.1—12)

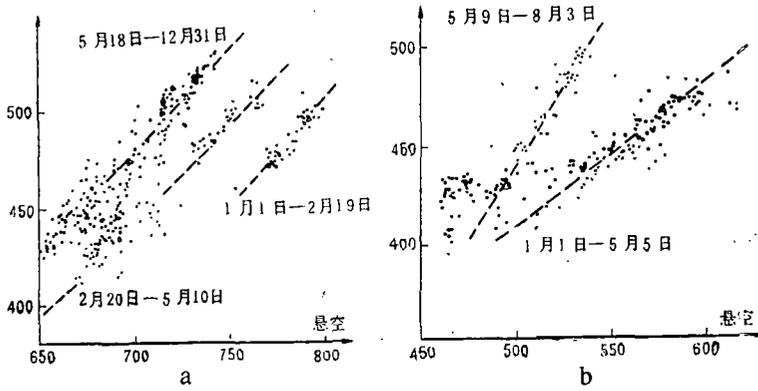


图5 青铜峡N30°W元件与悬空元件相关图

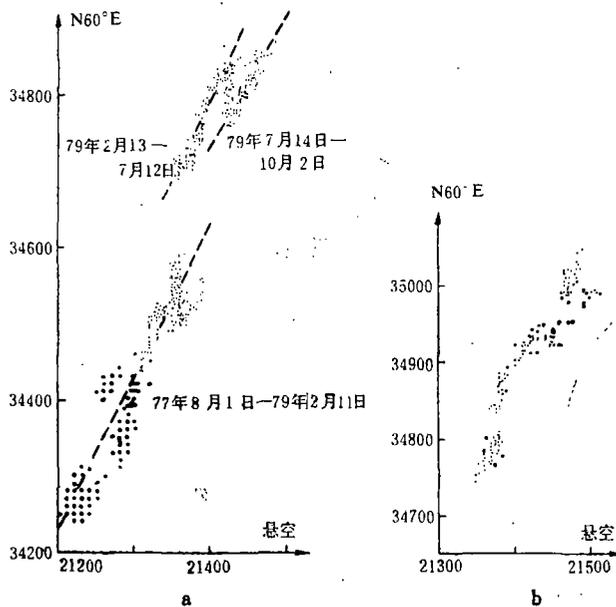


图6 安丘台N60°E元件与悬空元件相关图

内 $L_{力}$ 与 $L_{悬}$ 的变化比较乱， $L_{力}$ 与 $L_{悬}$ 的相关性变差甚至消失，而在过了这一段时间后， $L_{力}$ 与 $L_{悬}$ 的相关性又变好，又沿新的回归直线变化了。有时新的回归直线与原有直线的 $b$ 值会发生较大变化，最明显的如图5b中所示，在1980年1月到5月初， $b$ 值为0.574，而从5月中到8月初 $b$ 值却是1.138，斜率发生明显的改变，可能是有新的因素在起作用。

另外，并不是所有台站均存在 $L_{力}$ 与 $L_{悬}$ 相关性。有些台站的资料就没有相关性。有些台也并不是所有受力元件都与 $L_{悬}$ 存在相关关系。对单个受力元件来说，有些元件与 $L_{悬}$ 的相关性在很长时间里一直维持较好，有些则在某一段时间内与 $L_{悬}$ 的相关性非常显著，而在其他时间却较差。这些现象及其产生原因有待进一步探讨。

#### 4. 结论

(1) 通过相关分析说明，在相当一些台站的地应力观测中，受力元件与悬空元件之间确实存在相关关系，这说明有着某种干扰因素同时作用于各元件。所以把地应力元件测值的变化看成完全是由地下应力场变化引起，从而直接用受力元件的测值变化来分析预报地震是有问题的。

(2) 受力元件与悬空元件的相关关系主要表现出两种特点：第一种特点是它们的变化曲线有规律地沿一条回归直线摆动；第二种是分段线性相关，这种分段线性相关在多数情况下斜率变化不大，似乎表明外界的干扰因素基本上不变。

(3) 从上述结果看，在目前电感法地应力无法完全排除干扰因素对元件作用的情况下，利用受力元件与悬空元件的相关关系对受力元件进行改正，对于设法排除干扰，提高信噪比，提取真正的地应力变化信息可能是一种有益的方法。

(宁夏地震局 任庆维)

(本文1985年2月1日收到)

#### 参 考 文 献

- [1] 复旦大学数学系，概率论与数理统计，上海科学技术出版社，1962。
- [2] 上海师范大学数学系概率统计教研组，回归分析及其试验设计，上海教育出版社，1978。

### THE CORRELATION BETWEEN THE FORCED COMPONENTS OF INDUCTANCE STRESS AND THE SUSPENDED COMPONENTS

Ren Qingwei

(The Seismological Bureau, Ningxia Hui Autonomous Region)