

# 兰州安宁区人防山洞水平摆试测 资料的初步分析

彭正荣

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

兰州气象台地倾斜组于1982年6月至1983年5月在兰州市安宁区人防山洞内进行了金属水平摆倾斜仪的试验观测工作,取得了一部分连续观测资料。本文简要介绍了该山洞的环境条件及周围可能影响观测的干扰因素,并初步对1982年6月至12月的资料进行了相关分析、谐量分析和固体潮调和分析,得出了一些有用的结论。

## 一、前 言

定点形变台站对周围环境的要求在《地震台站观测规范》中已有规定,并在1983年又作过补充。但实际上有些地方由于客观条件的限制难以达到,而为了地震测报的需要又必须建台。因此,根据具体条件可否将某些要求灵活处理呢?某些条件的不足是否可以由于其他条件的优越而得到弥补呢?另外,加长金属水平摆倾斜仪的光杆距以提高灵敏度,在国内已有人作了实验,但其效果需要更多的试验来验证。本文通过对兰州市安宁区人防山洞水平摆试测资料的分析,试图为回答上述问题提供一些参考数据。

## 二、试测情况

试测仪器室设在兰州市安宁区人防山洞(安宁形变台拟建于附近另一山洞内)。该人防山洞位于安宁区十里店里城沟口,  $\lambda_E = 103^\circ 45'$ ,  $N = 36^\circ 05'$ , 海拔高程为1580米。

山洞格局如图1所示。仪器安装在作过扩建的14号支洞内。洞巷进深一百六十米左右。顶部覆盖大于40米,侧向覆盖大于30米。

洞内岩石为前寒武系皋兰群中厚状花岗片麻岩和石英云母片岩。石质坚硬、基本完整。室内温度为 $13.5 \sim 13.8^\circ\text{C}$ , 年变小于 $0.3^\circ\text{C}$ 。相对湿度为80—85%。

试测仪器采用国产JB—70型金属水平摆倾斜仪。原设计光杆距为1米,改装加长为5

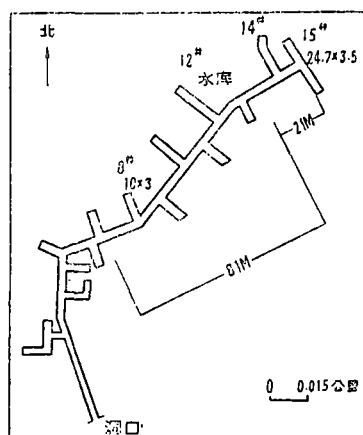


图1 安宁山洞布局示意图

Fig. 1 Sketch of Anning air-raid Shelter.

米。折合摆长 $L=14.6$ 毫米，实用格值调至 $0.00139''/\text{毫米}-0.00202''/\text{毫米}$ 之间。两摆体分别按东西、南北向安放。试测几个月内，除几次因停电、停钟等原因中断记录外，仪器运行基本正常，没有出现大的突跳等意外情况。

将实测值曲线和固体潮理论值曲线作对比（图2），可以看出该台能够较好地记录固体潮波。图3为1982年7月18—19日的记录图。

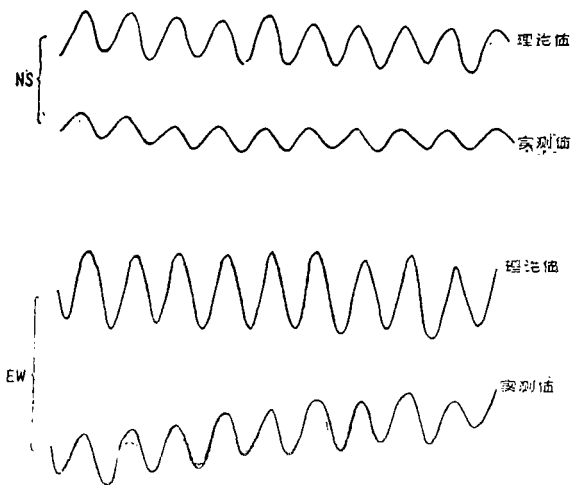


图2 1982年10月1—5日实测值理论值对比

Fig. 2 Contrast of theoretic values and observed values (Oct., 1—5, 1982).

为了配合实验，在8号洞内附设DD—1地震仪一套。

人防山洞西北850—1500米为采石场，东南侧700米左右为汽车制配厂。调查和实验证实，工厂开动汽锤对倾斜仪工作基本上无影响。

关于采石爆破的影响，1982年7月曾作过试验，证实小药量的爆破仅能引起摆体的微小

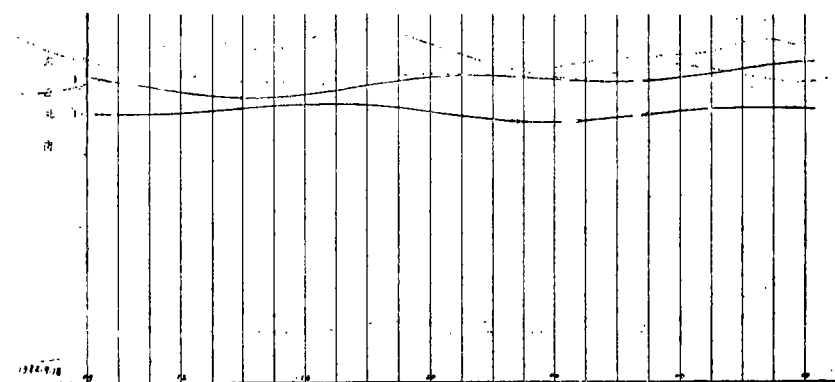


图3 兰州安宁人防山洞试测图纸(1982年7月18—19日)

Fig. 3 Tentative survey record of Anning air-raid Shelter (July 18—19, 1982)

振动，而北西方向上药量为360公斤的爆炸，则导致了记录曲线的突跳。

从现有数据和记录图纸还无法判定公路行车对倾斜观测有何影响。

附近其他单位均无大型机械设备，也没有构成物资大量集散的生产过程。

### 三、试测资料的分析

我们先将观测结果、黄河水位、深层地温等的变化曲线绘出并加以比较。为尽量减少随机误差和短周期干扰因素的影响，皆取十日均值点绘。

通过比较发现，东西向观测值变化曲线与3.2米深地温变化曲线，南北向观测值变化曲线与黄河水位变化曲线都有较好的一致性(图4、图5)。

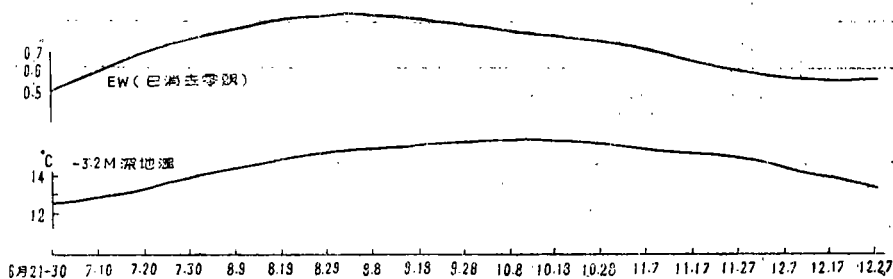


图4 1982年6—12月东西向观测值与地温对比图

Fig. 4 Contrast of observed values (EW) and underground temperatures (-3.2m) (June—Dec. 1982).

为此，用回归分析法<sup>[1]</sup>进行了验证。

表1、表2列出了观测值与各种干扰因素的相关分析结果。

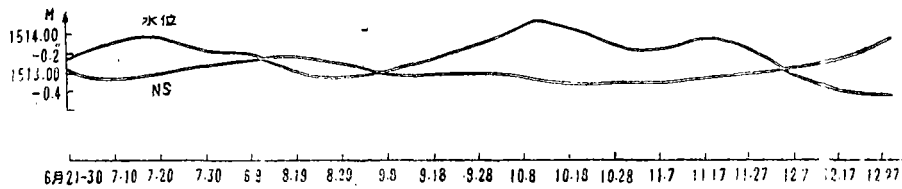


图5 1982年6月—12月南北向观测结果与黄河水位对比图

Fig. 5 Contrast of observed values(NS)and the Levels of Yellow River (June—Dec,1982).

东西向观测值与各辅助量的相关分析结果

表1

| 辅助量     | 子样个数 | $\rho$ | $\rho_{0.05}$ | $\rho_{0.01}$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\mu$ | $\mu_{\alpha}$ | $\mu_{\beta}$ |
|---------|------|--------|---------------|---------------|----------|---------|-------|----------------|---------------|
| 3.2米深地温 | 6    | 0.829  | 0.811         | 0.917         | 0.099    | 0.297   | 0.061 | 0.03           | 0.03          |
| 黄河水位    | 6    | 0.014  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 黄河含沙量   | 6    | 0.527  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 黄河输沙率   | 6    | 0.711  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 黄河流量    | 6    | 0.12   | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 兰州地区降水  | 6    | 0.658  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |

南北向观测值与各辅助量的相关分析结果

表2

| 辅助量     | 子样个数 | $\rho$ | $\rho_{0.05}$ | $\rho_{0.01}$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\mu$ | $\mu_{\alpha}$ | $\mu_{\beta}$ |
|---------|------|--------|---------------|---------------|----------|---------|-------|----------------|---------------|
| 3.2米深地温 | 6    | -0.484 | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 黄河水位    | 6    | -0.885 | 0.811         | 0.917         | -0.090   | -0.014  | 0.026 | 0.02           | 0.01          |
| 黄河含沙量   | 6    | 0.408  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 黄河输沙率   | 6    | 0.279  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 黄河流量    | 6    | -0.59  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |
| 兰州地区降水  | 6    | 0.443  | 0.811         | 0.917         |          |         |       |                |               |

由此可知,在0.05的置信水平下,3.2米深地温与东西向观测值显著相关,黄河水位与南北向观测值显著相关。而其他如输沙率,含沙量则与观测值不相关。

从表1还可以看出,将深层地温变化的影响除去后,残存的噪声仍很大, $\mu = \pm 0.06''$ , $\mu_{\alpha} = \pm 0.03''$ , $\mu_{\beta} = \pm 0.03''$ 。这也可能是所取子样太少的缘故。再改用十日均值计算(子样数为18, $\rho_{0.05} = 0.468$ , $\rho_{0.01} = 0.590$ )得:

$$\rho_{EW-地温} = 0.727, \quad \mu = \pm 0.03''$$

$$\mu_{\alpha} = \pm 0.02'', \quad \mu_{\beta} = \pm 0.01''$$

有趣的是,采用十日均值的一阶差分值对南北向观测值和黄河水位进行相关分析得到了否定的结论( $\rho_{NS-水位} = -0.264 < \rho_{0.05} = 0.468$ )。

为了进一步对上面的分析结果进行验证,还作了谱量分析。

表3列出了两分向观测值, 3.2米深地温和黄河水位的富氏系数及拟合振幅(D)。皆取五日均值计算。

拟合系数及振幅 表3

| k | EW向     |        |         | 3.2米深地温 |       |       | NS向     |        |        | 黄河水位   |       |        |
|---|---------|--------|---------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|
|   | A       | B      | D       | A       | B     | D     | A       | B      | D      | A      | B     | D      |
| 0 | 1664.69 | 0      | 1664.69 | 29.32   | 0     | 29.32 | -800.49 | 0      | 800.49 | 439.72 | 0     | 439.72 |
| 1 | -116.75 | 121.64 | 168.61  | -1.25   | 0.02  | 1.25  | 51.77   | 102.40 | 114.74 | -32.21 | 3.02  | 32.35  |
| 2 | -20.69  | 22.22  | 30.36   | -0.25   | -0.01 | 0.25  | 10.71   | 5.97   | 12.26  | 18.85  | 53.75 | 57.07  |
| 8 | -2.88   | 0.80   | 2.99    | -0.09   | 0.06  | 0.11  | -24.00  | -6.67  | 7.09   | -17.64 | 37.30 | 41.26  |
| 4 | -7.08   | 0.70   | 7.12    | -0.04   | 0.03  | 0.05  | 13.37   | -12.36 | 18.20  | 24.42  | 23.18 | 33.67  |

现将东西向观测值的拟合残差(V)和3.2米深地温残差V', 南北向观测值的拟合残差V和黄河水位之残差V'绘图进行比较(图6, 图7), 可以看出, 前两者仍有较好的一致性, 而后两者却表现出杂乱的特征, 检验其相关性(子样数=36)得:

$$\rho_{EW \cdot \text{地温}} = 0.524 > \rho_{0.01} = 0.424$$

$$\rho_{NS \cdot \text{水位}} = -0.129 < \rho_{0.05} = 0.330。$$

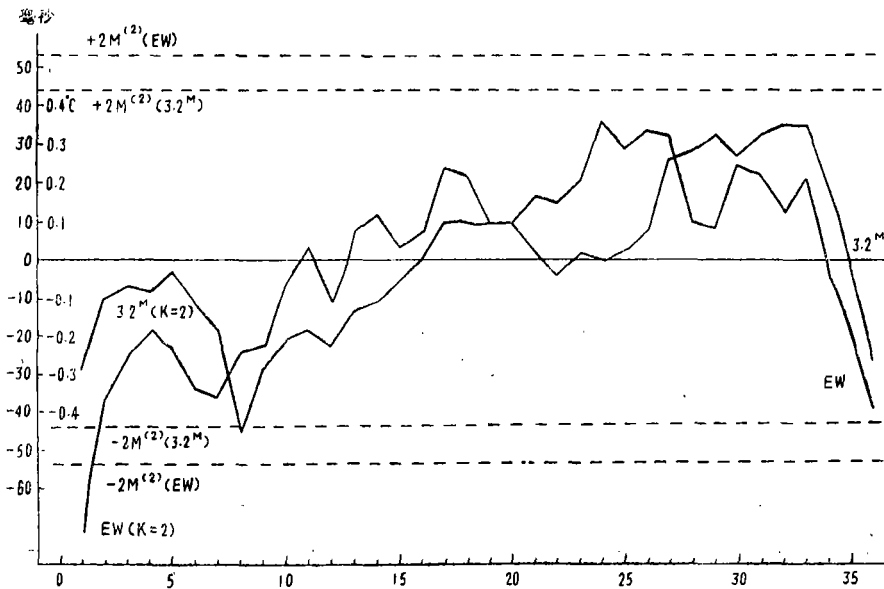


图6 东西向观测值、地温拟合残差(V)变化图

Fig. 6 Developed sketch of residual of fit about observed values(EW) and underground temperatures (-3.2m).

很明显, 除异常或错误外, V只包含有随机误差。现东西向观测值与3.2米深处的地温的拟合残差相关, 说明影响东西向观测的主要因素是热倾斜。此外也说明, 该数学模型仅能部分的排除“热倾斜干扰”。至于南北向观测值与黄河水位的拟合残差无关, 原因可能是取十日均值还无法消除一些较短周期的干扰, 也就不能突出较长周期的因素。而取月均

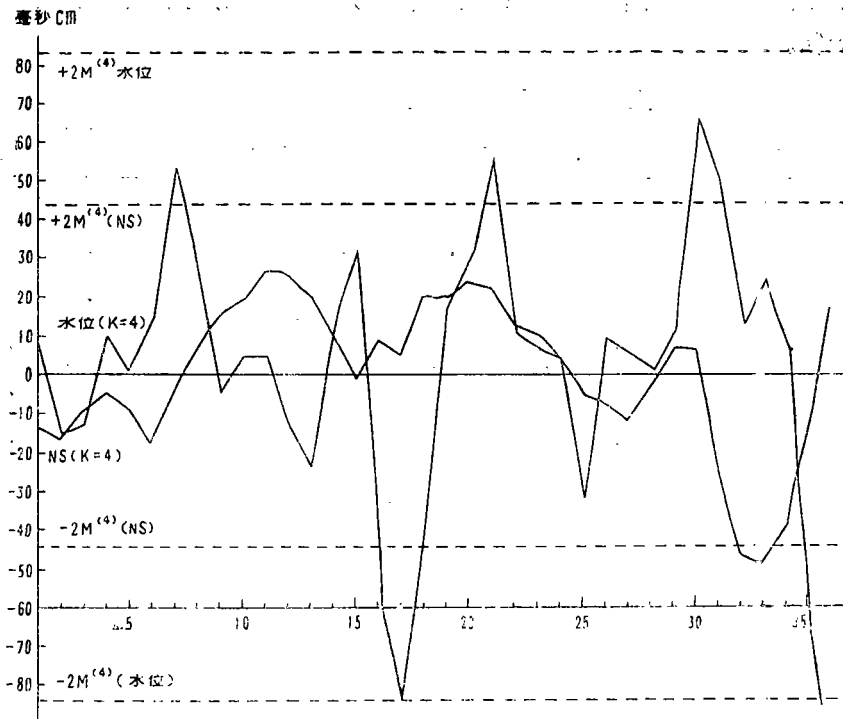


图7 南北向观测值、黄河水位拟合残差(V)变化图

Fig. 7 Developed sketch of residual of fit about observed values(NS) and the levels of Yellow River.

值，则可以达到这个目的。扣除了有规律的变化后所得V值的杂乱性显示，南北向观测除主要受南面地块上所承受的黄河水负荷改变的影响外，其后可能还有一种不可忽视的干扰因素。安宁人防山洞离西南方公路仅四百多米，公路行车是否影响观测，今后应进一步分析论证。

此外，我们还请国家地震局地震研究所的同志用维尼迪可夫调和分析方法将1982年9至

几种主要潮波的γ值中误差

表4

| 分向 | 波名<br>月份 | 日波误差           |                |                | 半日波误差          |                |                |
|----|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    |          | k <sub>1</sub> | O <sub>1</sub> | Q <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | S <sub>2</sub> |
| EW | 9        | 0.134          | 0.130          | 0.812          | 0.025          | 0.150          | 0.043          |
|    | 10       | 0.052          | 0.059          | 0.382          | 0.017          | 0.109          | 0.030          |
|    | 11       | 0.049          | 0.076          | 0.415          | 0.013          | 0.070          | 0.026          |
|    | 12       | 0.046          | 0.083          | 0.407          | 0.017          | 0.080          | 0.043          |
| NS | 9        | 0.153          | 0.105          | 0.901          | 0.020          | 0.126          | 0.034          |
|    | 10       | 0.091          | 0.101          | 0.586          | 0.015          | 0.105          | 0.027          |
|    | 11       | 0.088          | 0.139          | 0.675          | 0.019          | 0.105          | 0.037          |
|    | 12       | 0.073          | 0.137          | 0.601          | 0.018          | 0.089          | 0.045          |

12月的资料分段进行了处理,得到了几种主要潮汐波的潮汐因子 $\gamma$ 值和相位滞后 $\Delta$ 及其误差。现列出几种主要潮汐波的 $\gamma$ 值中误差(表4)。

目前大都用 $M_2$ 波的精度来衡量一个台记录固体潮的能力〔2〕。所处理的这四段资料中,除9月份EW向外,其他时段两分量 $M_2$ 波的误差均小于百分之二。将9月份EW向波形不好的两天剔除后重新计算,结果 $M_2$ 波的误差也降到了百分之二。表5为重新计算的结果。

数据取舍后几种主要潮汐波的 $\gamma$ 值中误差

表5

| 分向 | 波名<br>月份 | 日波误差  |       |       | 半日波误差 |       |       |
|----|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    |          | $k_1$ | $O_1$ | $Q_1$ | $M_2$ | $N_2$ | $S_2$ |
| EW | 9        | 0.094 | 0.098 | 0.610 | 0.020 | 0.120 | 0.034 |

## 四、结 论

1. 加长光杆距以提高金属水平摆倾斜仪的灵敏度在兰州安宁人防山洞的试测中取得了良好的效果。

2. 距观测点1.5公里左右的爆破,必须将药量控制在一定的限度内(如20公斤),否则可能会产生有害的影响。

3. 东西向观测值与3.2米深地温线性相关,说明较深的山洞能够排除短期温度变化的影响,但对于长期的变化(如年变)则无法排除。黄河水位的变化对南北向观测有所影响(或许还有其他因素叠加其上),其原因可能与黄河流经山洞的正南方有关。南面地块负荷的改变对南北向观测产生较显著的影响似乎是理所当然的。二者呈现负相关与该地区在黄河水涨时往南倾斜的情况相吻合。从调合分析的结果来看,精度较高说明使用合适的数字滤波器,能够有效地削弱前述各种干扰因素的影响。换句话说,若洞室和地质条件优越,数学处理方法得当,则是否可考虑将河流、工厂等的距离适当放宽,灵活处理。

先后参加仪器架设和测试工作的还有杨加文、杨存珍、武学文等同志。汽锤和爆破影响的结论摘自武学文、杨存珍二同志所作的“选台试测报告”。周志宇、王海英二同志曾协助抄、校数据。国家地震局地震研究所李平、陈德福、李旭东、张雁滨等同志在资料的计算与分析中曾给予大力帮助和指导,在此一并表示感谢。

(本文1984年4月21日收到)

## 参 考 文 献

〔1〕李庆海、陶本藻, 概率统计原理和在测量中的应用, 测绘出版社, 1982.

〔2〕李平、李旭东、兰印春, 我国几类地倾斜台站测定 $r$ 值的精度及其分析, 地壳形变与地震, №2, 1982.

PRELIMINARY ANALYSIS ON TENTATIVE SURVEY DATA OF HORIZONTAL  
PENDULUMS IN ANNING AIR-RAID SHELTER, LANZHOU

Peng Zhengrong

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological  
Bureau, Lanzhou, China*)

**Abstract**

Anning Tidal Station of Lanzhou (will be built up) is located in an air-raid shelter of Anning, Lanzhou. A group of tiltmeter observation from Seismological Observatory of Lanzhou made a tentative survey during June of 1982 to May of 1983 and had got a series of data. This article simply introduces the basic condition of the station and the disturbance factors around that may influence the observation. It also made a preliminary analysis about the tidal data (June through Dec. 1982) and obtained some useful conclusions.