

# 地倾斜观测资料的归算

罗荣祥 杨惠荣

(国家地震局地震研究所, 武汉 430071)

**摘要** 本文针对我国地倾斜观测仪器设置的实情, 推导出由任意两方向设置的倾斜仪观测资料计算地倾斜角及其倾斜方位角的通用公式, 以及归算至南北、东西方位的公式。用本文的公式对泰安台两种类型倾斜仪观测资料进行了归算, 归算后其倾斜固体潮曲线同步变化, 相关性明显增强。对大同一阳高  $M_s=6.1$  地震前的倾斜异常资料也进行了归算, 归算后异常也比较明显。最后, 作者还对我国地倾斜观测资料的归算工作提出了具体意见。

**关键词:** 地倾斜观测 地倾斜固体潮 地倾斜异常

## 1 前言

根据作者对 78 个台站 120 套地倾斜观测仪器的设置方位的统计, 两分量偏离南北、东西方位的最大值分别达  $43^\circ.0$  和  $36^\circ.0$ , 两分量夹角与  $90^\circ$  之差  $|\gamma_N - \gamma_E|$  最大达  $33^\circ.0$ 。符合《地倾斜台站观测规范》要求者(偏角小于  $1^\circ$ ), 自记水管仪仅占 47.4%, 目视水管仪仅占 13.9%, 水平摆倾斜仪仅占 39.7%。两分量基本呈正交者( $|\gamma_N - \gamma_E| < 1^\circ$ )分别为 68.4%、25%和 38.3%。可见倾斜仪设置(定向)状况不太理想<sup>[1]</sup>。很多台站在处理观测资料时, 均将其视为南北或东西方位的倾斜; 也有人简单地借用坐标旋转公式进行归算, 而得出南北、东西方位的倾斜<sup>[2][3]</sup>; 在分析预报工作中, 则多利用两分量合成的倾斜矢量图。经严密推证, 上述处理方法含有较大误差, 且随仪器偏角和倾斜值而变化, 故应予纠正, 以充分发挥倾斜资料的使用价值。

## 2 地倾斜计算公式及归算公式

### 2.1 倾角及其方位角计算公式

如图 1 所示,  $ON$ 、 $OE$  分别为南北、东西方位;  $ON'$ 、 $OE'$  分别为倾斜仪设置方位, 也即测倾方位, 其偏角分别为  $\gamma_N$ 、 $\gamma_E$  (令其顺时针偏转为“+”, 反之为“-”);  $OZ$  为铅垂线。当地基由水平面  $EON$  倾斜至  $BAC$  平面时, 其倾角  $\varphi$  由两平面之间的二面角  $ODA$  来量度, 地倾斜方向  $OD$  由方位角  $\alpha$  来表示。可推得两分量仪器实测倾角  $\beta_N$ 、 $\beta_E$  与地倾角  $\varphi$  之关系为

$$\begin{cases} |tg \beta_N| = \cos(\alpha - \gamma_N) \cdot tg \varphi \\ |tg \beta_E| = \sin(\alpha - \gamma_E) \cdot tg \varphi \end{cases} \quad (1)$$

按正弦、余弦函数加法定理展开上式, 并顾及  $\beta_N$ 、 $\beta_E$  及  $\varphi$  均为小角(一年累积值不外几角秒), 则可得

$$a^* = \text{tg}^{-1} \left( \frac{|\beta_N| \cdot \sin \gamma_E + |\beta_E| \cdot \cos \gamma_N}{|\beta_N| \cdot \cos \gamma_E - |\beta_E| \cdot \sin \gamma_N} \right) \quad \left( -\frac{\pi}{2} < a^* < \frac{\pi}{2} \right) \quad (2)$$

式中  $\beta_N$ 、 $\beta_E$  及  $\varphi$  的单位为弧度,  $a^*$  为反正切函数的主值, 于是

$$a = a^* \quad \text{或} \quad a = a^* + \pi \quad (3)$$

$a$  究竟取(3)式的哪个值, 由约束条件(4)来确定

$$\begin{cases} |\alpha - \gamma_N| \leq \frac{\pi}{2} \\ |\alpha - (\gamma_E + \frac{\pi}{2})| \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (4)$$

最后可得

$$\begin{aligned} \varphi &= |\beta_N / \cos(\alpha - \gamma_N)| \\ \text{或} \quad \varphi &= |\beta_E / \sin(\alpha - \gamma_E)| \end{aligned} \quad (5)$$

(5)式中若  $|\cos(\alpha - \gamma_N)| \geq |\sin(\alpha - \gamma_E)|$  则取前式, 反之则取后式, 这样所得  $\varphi$  值精度较高。

### 2.2 归算公式

由(2)式算出  $a^*$  值, 并经(3)、(4)式确定出  $a$  值后, 将其代入(5)式之一得到倾角  $\varphi$ 。为便于分析, 对比各台站或同一台站各类倾斜仪的观测资料, 往往还需要知道南北、东西方位的倾斜, 由图1可推得

$$\begin{cases} \varphi_N = \varphi \cdot \cos a \\ \varphi_E = \varphi \cdot \sin a \end{cases} \quad (6)$$

此即地倾斜归算公式, 其几何意义(图解法)见图2。

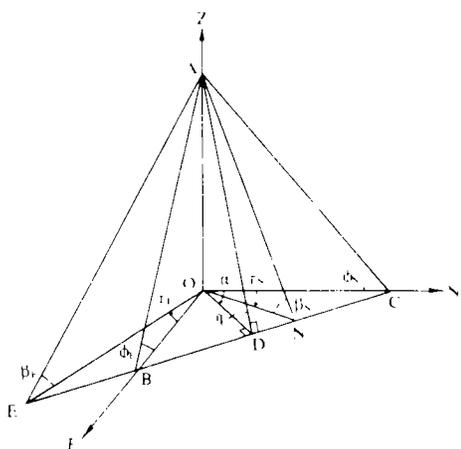


图1 地倾斜方位角  $a$  及倾角  $\varphi$  计算公式推证简图

Fig. 1 The sketch map for deducing the formulae of calculating the ground tilt azimuth  $a$  and the ground dip angle  $\varphi$ .

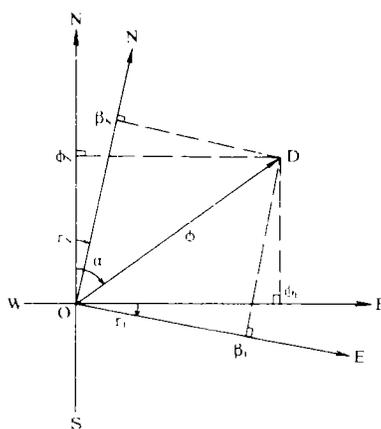


图2 地倾斜资料归算公式的几何意义

Fig. 2 The geometry meanings of the formulae for reducing the ground tilt data.

另外, 出于某些特殊需要, 还可将地倾斜  $\varphi$  归算至所需方位(例如平行及垂直于台站附近断裂带方位的地倾斜, 再如指向地震危险区方位的地倾斜)。设该方位角为  $\theta$ , 则其倾斜为

$$\varphi_\theta = \varphi \cdot \cos(\theta - a) \quad (7)$$

实际计算时,若 $\beta_N$ 为“—”,则以 $\gamma_N + \pi$ 取代上列公式中的 $\gamma_N$ ;若 $\beta_E$ 为“—”,则以 $\gamma_E + \pi$ 取代 $\gamma_E$ 。

### 3 算例

#### 3.1 泰安台两类倾斜仪资料的归算

泰安台设置SQ-70型石英水平摆倾斜仪及FSQ型自记水管倾斜仪各分量偏角列于表1。我们对1986年12月1日(石英摆偏角检测及重新定向前夕)的观测资料进行计算,并将结果归算至南北、东西方位(图3、图4)。还就两类倾斜仪资料归算前后相同分量之间,以及FSQ仪资料与同期理论倾斜固体潮分别进行了相关分析,结果分别见表2的(1)与(2)。

表1 泰安台倾斜仪偏角及固体潮资料相位差

仪器型号	仪器偏角			相位差(归算前)		相位差(归算后)	
	$\gamma_N$	$\gamma_E$	$ \gamma_N - \gamma_E $	$\theta_N$	$\theta_E$	$\theta_N$	$\theta_E$
FSQ	$39^\circ.812$	$34^\circ.625$	$5^\circ.187$	1—3h	1h	0h	0h
SQ-70	$0^\circ.798$	$-1^\circ.196$	$1^\circ.994$				

由图3、4和表2可知,资料归算前,两类倾斜仪相同分量记录曲线形态有明显差异(相位差1—3小时,零漂率及潮波幅度不等),尤其是南北分量更甚,基本上不相关。归算后两类倾斜仪同分量曲线同步变化,相关性显著增高,噪声水平下降2—5倍。FSQ型倾斜仪归算效果较SQ-70型倾斜仪的好,这与它的定向偏角较大( $34^\circ-39^\circ$ )及非正交设置( $|\gamma_N - \gamma_E| = 5^\circ.2$ )有关。FSQ仪资料归算后,与理论值接近,其间相关性增强,NS分量 $\rho$ 由0.649增至0.959,噪声水平 $\mu$ 降低3.53倍。

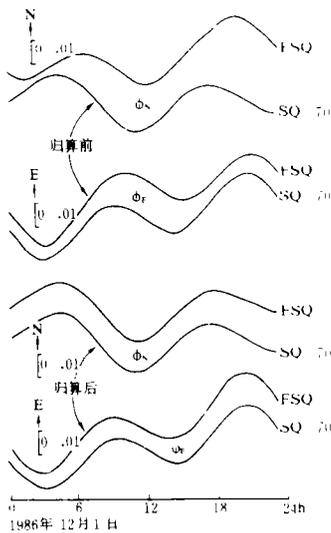


图3 泰安台两类倾斜仪观测资料归算前后的对比(分量图)

Fig. 3 The comparison between the reduced data and the unreduced data measured by two kinds of tiltmeters at the Taian observational station (content).

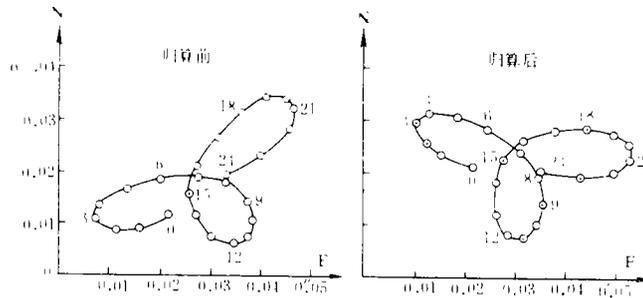


图4 泰安台两类倾斜仪观测资料归算前后的对比(矢量图)

Fig. 4 The comparison between the reduced data and the unreduced data measured by two kinds of tiltmeters at the Taian observational station (vector).

### 3.2 大同一阳高6.1级地震前的中期倾斜异常

1989年10月19日大同一阳高发生了  $M_s=6.1$  级地震,位于震中  $N88^\circ E$  方位约197 km 的香山台及  $S25^\circ W$  方向约268 km 的太原台目视水管倾斜仪于震前约一年均观测到异常倾斜<sup>[4]</sup>。运用本文方法对该异常进行计算,结果列于表3。从表中可知,若将两分量仪器实测值  $\beta_N, \beta_E$  直接视为南北、东西方位的倾斜,则产生  $0'.024-0'.209$  的差异,比倾斜仪分辨率大1个数量级,故不能忽略。另外,若直接用  $\beta_N$  与  $\beta_E$  合成矢量  $\varphi'$ ,则比表3所列  $\varphi$  值小  $0'.226$  (香山台),而矢量方位与表3所列  $\alpha$  值相差可达  $5'.67$  (太原台),如图5所示。

表2 泰安台两类倾斜仪资料归算前后相关分析结果

方位	NS					EW				
	相关系数		噪声水平			相关系数		噪声水平		
	$\rho_{前}$	$\rho_{后}$	$\mu_{前}$	$\mu_{后}$	$\mu_{前}/\mu_{后}$	$\rho_{前}$	$\rho_{后}$	$\mu_{前}$	$\mu_{后}$	$\mu_{前}/\mu_{后}$
(1)	0.298	0.972	$\pm 8.34$	$\pm 1.54$	5.42	0.951	0.991	$\pm 3.46$	$\pm 1.60$	2.16
(2)	0.649	0.959	$\pm 6.78$	$\pm 1.92$	3.53	0.946	0.977	$\pm 3.73$	$\pm 2.60$	1.43

注: (1)为FSQ仪与SQ-70仪相关分析结果;(2)为FSQ仪资料与理论值的相关分析结果; $\mu$ 的单位为 $10^{-3}(\mu)$

表3 大同一阳高6.1级地震前的倾斜异常

台站	仪器偏角		异常倾斜		矢量		归算值	
	$\gamma_N$	$\gamma_E$	$\beta_N$	$\beta_E$	$\alpha$	$\varphi$	$\varphi_N$	$\varphi_E$
	°	°	"	"	°	"	"	"
太原	5.286	6.108	0.252	-0.277	317.95	0.372	0.276	-0.249
香山	-17.635	3.543	-1.031	-0.421	201.90	1.337	-1.240	-0.499

从图5还可发现,所得异常矢量与震中方位的夹角约为  $66^\circ-67^\circ$ ,两台仅差  $1^\circ$ ,而异常量却相差3.6倍,似乎随震中距的增大而呈负指数函数衰减。由香山、太原两台的震中距  $\Delta$  及异常量  $\varphi$ ,可求得大同一阳高6.1级地震的中期倾斜异常衰减公式

$$\varphi = 4'.69 \times 10^9 \Delta^{-4.16} \quad (8)$$

式中  $\Delta$  的单位为 km。按(7)式还可得到指向震中方位的倾斜异常,太原台为  $0'.145$ ,香山台为  $0'.542$ 。

### 4 结束语

本文导出地倾斜矢量精确计算公式及归算公式,并对泰安台两种类型倾斜仪观测资料及大同一阳高6.1级地震前香山、太原台观测到的中期倾斜异常进行了试算,取得了较明显的效果。针对现有台网仪器设置方向欠佳,半数以上仪器的偏角未精

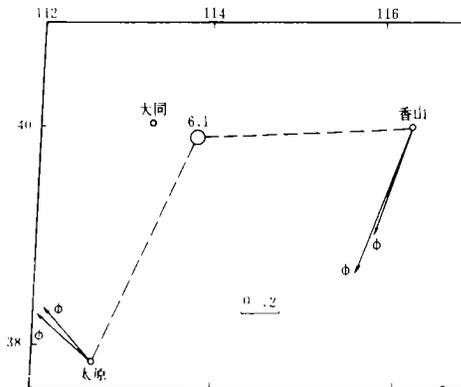


图5 大同一阳高6.1级地震前的倾斜异常  $\varphi$  为准确值,  $\varphi'$  为未经归算之值

Fig. 5 The tilt anomaly before the Datong-Yanggao  $M_s=6.1$  earthquake.

确测定的实情,笔者建议:

(1)尽快安排必要的财力、人力精确测量各台(仪)的偏角,水平摆倾斜仪摆杆实际偏角的普查及重调工作应继续进行下去。

(2)今后新凿洞室增上仪器,应准确定向并尽量沿南北、东西方位设置,部分台(仪)有困难,也应尽量使两分量倾斜仪呈正交。

(3)从理论及实用化出发,就地倾斜资料归算及有关问题进行深入研究,争取将归算方法早日列入观测规范或资料预处理软件内。

(4)对以往观测资料有重点地进行归算、订正,特别是涉及地震前兆及典型干扰图象的资料,应优先进行处理,以获取新信息。

(本文1993年1月15日收到)

### 参考文献

- 1 国家地震局地震研究所. 中国部分地倾斜台站观测资料汇编. 北京:地震出版社,1990
- 2 罗荣祥. 水平摆倾斜仪的精确定向. 西北地震学报,1989,11(1):53-58
- 3 高桥辰利,柳泽道夫. 油壺地壳变动观测所における观测. 日本东京大学地震研究所汇报,1991,66(1):259-284
- 4 王川华,王占勇,王宝坤. 大同地震前的地壳形变异常. 地壳形变与地震,1991,11(增刊)

### THE REDUCTION OF THE OBSERVATIONAL DATA ABOUT GROUND TILT

Luo Rongxiang and Yang Huirong

(*Seismological Institute, SSB, Wuhan 430071*)

#### Abstract

In this paper, in view of the actual situation of setting ground tiltmeters in our country, we have derived the current formulae which are used to calculate the ground tilt azimuth and the dip angle by using observations of the tiltmeters installed in two arbitrary directions and the formula which is used to reduce the data to NS and EW directions. For two kinds of tiltmeters of Taian station, the curves of ground tilt tide have presented synchronous changes after the data have been reduced by using the formulae, and the correlativity have increased obviously. Also, the great changes have taken place after the tilt anomaly data before the Datong—Yanggao Ms=6.1 earthquake have been reduced. In the end of this paper, the concrete opinions about the reduction of ground tilt observations are given.

**Subject words:** Crustal tilt, Ground tilt tide, Ground tilt anomaly