

钻孔四分量应变观测自检内精度分析^{*}

唐 磊 邱泽华 宋 莱
(中国地震局地壳应力研究所,北京 100085)

摘 要 根据钻孔四分量应变观测特点,分析了评价该观测手段的质量指标:相对标定自检内精度。介绍了相对标定自检内精度方法以及存在的问题。通过对比分析平均值、相关系数等,提出不同的求偏差方法,改进了相对标定自检内精度法,使其能尽量客观地评价观测质量。

关键词 钻孔四分量应变观测;相对标定;偏差;自检内精度;平均值
中图分类号:P315.72 **文献标识码**:A

SELF-TEST ACCURACY OF 4-COMPONENT BOREHOLE STRAIN OBSERVATION

Tang Lei, Qiu Zehua and Song Mo
(*Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085*)

Abstract According to the characteristic of 4-component borehole strain observations, we analyzed the quality indicators about this observation; the self-test accuracy of the relative calibration. We described the self-test accuracy of the relative calibration and the problems about this method. By analyzing the mean, correlation coefficient, we have proposed different methods of the deviation calculated thus it improved the method of the self-test accuracy, so as far as possible objective assessment of quality of the observation can be evaluated.

Key words: 4-component borehole strain observation; relative calibration; deviation; self-test accuracy; mean

1 引言

“十五”计划之前,中国钻孔应变台网主要以 TJ 式体应变台站为主,只有几个 RZB 型钻孔四分量应变台站,随着“十五”计划的完成,自 2007 年开始钻孔四分量应变台站迅速发展,到目前为止已有 44 个钻孔四分量应变台站在网运行,主要是 YRY-4 型和 RZB 型。随着台站数量的增多,相应地产出了大量的原始观测数据,如何正确、客观地评价这些观测资料,是需要及时解决的问题。一般来讲,体应变仪观测资料质量评价主要是根据潮汐因子内精度,所以

也将潮汐因子内精度作为钻孔分量应变观测资料的质量评价的一项重要指标,但根据钻孔四分量应变观测特点,潮汐因子内精度不能作为观测资料质量评价的唯一指标,所以,在此基础上,我们提出了相对标定自检内精度指标。在 2009 年钻孔四分量应变观测资料评比中,便利用了此种评价方法。本文主要根据钻孔四分量应变台站观测资料,深入分析相对标定自检内精度方法,在原先工作的基础上,通过对比分析平均值、相关系数等,通过不同的求偏差方法,改进相对标定自检内精度法,使此项指标能尽量客观评价钻孔四分量应变观测资料的质量。

* 收稿日期:2010-09-10

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(ZDJ2009-34);国家质量监督检验检疫总局行业专项(10-215)

作者简介:唐磊,男,1981 年生,硕士,研习员,研究方向:钻孔应力-应变观测. E-mail: TangLei06@163.com

2 相对标定自检内精度

邱泽华等^[1,2]根据四分量钻孔应变观测的特点,提出了钻孔四分量应变观测实地相对标定的方法,其具体方法如下:

$$K_1R_1 - K_2R_3 + K_3R_3 - K_4R_4 = 0 \tag{1}$$

其中, $K_1、K_2、K_3、K_4$ 表示4个分量元件的相对灵敏度,即相对标定系数; $R_1、R_2、R_3、R_4$ 表示4个分量的观测数据。利用公式(1)只能确定各灵敏度之间的相对大小,因而称为相对标定。在这种相对标定中,取其任一个未知相对灵敏度等于1,就可以解出其他3个未知相对灵敏度。例如将公式(1)两边同除以 K_1 ,得:

$$k_{11}R_1 - k_{21}R_2 + k_{31}R_3 - k_{41}R_4 \tag{2}$$

其中, $k_{11} = K_1/K_1 = 1, k_{21} = K_2/K_1, k_{31} = K_3/K_1, k_{41} = K_4/K_1$ 。这里的 R_i 都可以看成列向量,我们可以利用大量的观测值来统计确定 k_{21}, k_{31}, k_{41} 。

仿照公式(2)分别在公式(1)两边同除以 K_2, K_3, K_4 ,得:

$$k_{12}R_1 - k_{22}R_2 + k_{32}R_3 - k_{42}R_4 \tag{3}$$

$$k_{13}R_1 - k_{23}R_2 + k_{33}R_3 - k_{43}R_4 \tag{4}$$

$$k_{14}R_1 - k_{24}R_2 + k_{34}R_3 - k_{44}R_4 \tag{5}$$

其中 $k_{ij} = K_i/K_j (i, j = 1, 2, 3, 4)$ 。利用公式(2)~(5)求解元件的相对灵敏度,取平均值(仍然用 K 表示):

$$K_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \tag{6}$$

这样求出的相对标定系数将为确定值,大小应都在1附近^[1]。

通过上述方法分析,并根据钻孔四分量应变观测资料可以自检的优点,可以用相对标定结果来判断钻孔应变观测资料的质量。这种方法不仅相对简单,而且非常可靠。根据研究,对于理想情形,相对标定系数都应该等于1^[1]。我们初步判断,由实际资料得到的所有标定系数都比较接近1的台站,仪器工作状态比较好,产出资料质量比较高,可以比较可靠地用于科学研究。但是,单从标定系数来看,4个元件的标定系数可能都接近于1,也可能部分接近于1,台站较多的状况下,无法判定哪个台站的观测质量较高。由此,我们进一步由4个元件的标定系数求出均值和偏差,仿照潮汐因子内精度概念^[3],定义:

$$\alpha = \frac{S}{R}$$

其中, α 为自检内精度; S 是偏差,这里的偏差是相

对于4个元件标定系数的均值来计算的; R 为4个元件相对标定系数均值的绝对值。

用“自检内精度”来描述一个台站的仪器的观测质量。可以用这个指标来衡量各台站仪器工作状态的相对优劣。表1是2010年2月部分四分量钻孔应变台观测资料相对标定评估结果,包含了4个元件的相对标定系数、平均值、偏差、自检内精度。表1是根据自检内精度的大小排序,自检内精度越小,说明观测质量越好。

根据表1的结果,我们发现还存在一些问题。由表1可见,通化台比湟源台自检内精度高,但比较相对标定系数 $k_1、k_2、k_3、k_4$,湟源台的每个元件的相对标定系数反而更接近1。这一现象揭示出自检内精度的高低,实际上更取决于 $k_1:k_2:k_3:k_4$ 是否等于1,比值越接近1,内精度就越高。这和理想情形下,各标定系数都应该等于1的结果有些出入。为分析解决这一问题,我们对相对标定系数的平均值、自检内精度以及面应变相关系数做了以下对比分析。

1) 平均值

将表1按照元件相对标定系数的平均值进行降序排列,得到表2(表2中的序号是表1中的序号),可以发现,根据平均值的排序,表2和表1发生了比较大的变化。

2) 面应变相关系数

钻孔四分量应变观测,可以得到面应变1:分量1+分量3;面应变2:分量2+分量4。直接通过原始数据可以得到一组面应变;将原始数据进行相对标定后也可得到一组面应变,其计算公式为:

$$r = \frac{\sum S_{13}S_{24} - \frac{\sum S_{13} \sum S_{24}}{N}}{\sqrt{(\sum S_{13}^2 - \frac{(\sum S_{13})^2}{N})(\sum S_{24}^2 - \frac{(\sum S_{24})^2}{N})}} \tag{7}$$

其中: r 表示相关系数; S_{13} 表示分量1+分量3,即面应变1; S_{24} 表示分量2+分量4,即面应变2; N 表示数据个数。

将表1中的10个台站,按照面应变1、2相关系数进行降序排列,得到表3,表3中的序号是表1中的序号,表3是根据校正前的相关系数排序的,按照校正后的相关系数排序得到的结果和表3一致,所以这里作为同种情况考虑。根据表3,可以发现,表3和表1发生了比较大的变化。但表3的和表2比较接近,仅仅是玉树台和小庙台的位置互换。

理论上,对于理想情形,由元件1和3的数据相加得到的曲线(面应变1),应该与由元件2和4的数据相加(面应变2)得到的曲线,形态相同。实际

表 1 2010 年 2 月部分四分量钻孔应变台观测资料相对标定评估结果

Tab.1 Part of assessment results of the relative calibration of the four-component borehole strain observations in February 2010

序号	台站	元件相对标定系数						
		k_1	k_2	k_3	k_4	平均值	偏差	α
1	高台	0.936 9	0.925 7	0.976 4	0.913 7	0.938 2	0.023 6	0.025 1
2	格尔木	1.027 6	1.006 5	0.958 4	0.999 1	0.997 9	0.025 1	0.025 1
3	临夏	0.927 0	0.973 8	0.917 9	0.994 5	0.953 3	0.031 9	0.033 4
4	通化	0.783 3	0.864 4	0.840 2	0.831 2	0.829 8	0.029 5	0.035 5
5	玉树	0.875 5	0.911 4	0.961 6	0.827 7	0.894 0	0.049 0	0.054 8
6	小庙	0.824 8	0.886 9	0.962 3	0.844 5	0.879 6	0.052 8	0.060 0
7	湟源	1.014 4	0.920 1	0.931 6	1.066 3	0.983 1	0.060 3	0.061 3
8	奉节红土	0.625 3	0.595 1	0.629 5	0.520 8	0.592 7	0.043 6	0.073 5
9	安吉	0.683 3	0.710 3	0.728 3	0.833 2	0.738 8	0.056 8	0.076 9
10	徐州	0.893 7	0.858 8	0.820 6	0.720 3	0.823 3	0.064 9	0.078 8

注: k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 代表相对标定系数。

表 2 按照元件相对标定系数的平均值排序

Tab.2 The sequence of the average coefficients of relative calibration

序 号	台站	元件相对标定系数				
		k_1	k_2	k_3	k_4	平均值
2	格尔木	1.027 6	1.006 5	0.958 4	0.999 1	0.997 9
7	湟源	1.014 4	0.920 1	0.931 6	1.066 3	0.983 1
3	临夏	0.927 0	0.973 8	0.917 9	0.994 5	0.953 3
1	高台	0.936 9	0.925 7	0.976 4	0.913 7	0.938 2
5	玉树	0.875 5	0.911 4	0.961 6	0.827 7	0.894 0
6	小庙	0.824 8	0.886 9	0.962 3	0.844 5	0.879 6
4	通化	0.783 3	0.864 4	0.840 2	0.831 2	0.829 8
10	徐州	0.893 7	0.858 8	0.820 6	0.720 3	0.823 3
9	安吉	0.683 3	0.710 3	0.728 3	0.833 2	0.738 8
8	奉节红土	0.625 3	0.595 1	0.629 5	0.520 8	0.592 7

表 3 按照面应变相关系数排序

Tab.3 The sequence of the correlation coefficients of plane strain

序号	台站	元件相对标定系数				面应变 1、2 相关系数	
		k_1	k_2	k_3	k_4	校正前	校正后
2	格尔木	1.027 6	1.006 5	0.958 4	0.999 1	0.999	0.999 3
7	湟源	1.014 4	0.920 1	0.931 6	1.066 3	0.997 9	0.998 9
3	临夏	0.927	0.973 8	0.917 9	0.994 5	0.996 4	0.996 4
1	高台	0.936 9	0.925 7	0.976 4	0.913 7	0.992 2	0.992 4
6	小庙	0.824 8	0.886 9	0.962 3	0.844 5	0.982 3	0.984 3
5	玉树	0.875 5	0.911 4	0.961 6	0.827 7	0.981 8	0.983
4	通化	0.783 3	0.864 4	0.840 2	0.831 2	0.978 9	0.979 2
10	徐州	0.893 7	0.858 8	0.820 6	0.720 3	0.978 8	0.979 9
9	安吉	0.683 3	0.710 3	0.728 3	0.833 2	0.937 1	0.938 6
8	奉节红土	0.625 3	0.595 1	0.629 5	0.520 8	0.809 5	0.811 5

上二者或多或少有些差别,如图 1(a)。一般地,经过相对标定,四分量钻孔应变观测面应变 1 和面应变 2 的曲线形态更接近,由图 1(b)可以看出,两条

面应变曲线几乎重合。从表 2 中也可以看出,经过标定后,面应变 1、面应变 2 相关性更好,相关系数更接近 1。

3) 相对于 1 的自检内精度

表 1 中的偏差是相对于 4 个元件的平均值计算得到的。计算相对标定系数时,我们根据观测数据,依次设定 $k_1=1, k_2=1, k_3=1, k_4=1$, 利用回归分析计算了 4 组 k 值, 然后取平均得到相对标定系数。所以,理论上, k 值越接近 1, 观测质量越高, 但观察表 1, 我们发现用偏离于平均值计算的偏差更符合 $k_1:k_2:k_3:k_4=1$ 。为了适合我们的 k 值设定, 在计算偏差时用的是 4 个标定系数相对于 1 的偏差, 公式为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{4}} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (8)$$

根据偏差,进而计算了自检内精度,计算结果如表 4。通过表 4 可知,表 4 和表 1 排序差别较大, 但和表 2 相比,只是临夏和湟源位置互换, 和表 3 相比,只是玉树和小庙位置互换。

表 4 相对于 1 计算得到的自检内精度排序

Tab.4 The sequence of the calculated self-test accuracy related to 1

序号	台站	元件相对标定系数				平均值	偏差 (相对于 1)	α
		k_1	k_2	k_3	k_4			
2	格尔木	1.027 6	1.006 5	0.958 4	0.999 1	0.997 9	0.025 2	0.025 2
3	临夏	0.927	0.973 8	0.917 9	0.994 5	0.953 3	0.056 5	0.059 3
7	湟源	1.014 4	0.920 1	0.931 6	1.066 3	0.983 1	0.062 6	0.063 7
1	高台	0.936 9	0.925 7	0.976 4	0.913 7	0.938 2	0.066 2	0.070 5
5	玉树	0.875 5	0.911 4	0.961 6	0.827 7	0.894	0.116 7	0.130 4
6	小庙	0.824 8	0.886 9	0.962 3	0.844 5	0.879 6	0.131 4	0.149 4
4	通化	0.783 3	0.864 4	0.840 2	0.831 2	0.829 8	0.172 8	0.208 2
10	徐州	0.893 7	0.858 8	0.820 6	0.720 3	0.823 3	0.188 2	0.228 6
9	安吉	0.683 3	0.710 3	0.728 3	0.833 2	0.738 8	0.267 3	0.361 8
8	奉节红土	0.625 3	0.595 1	0.629 5	0.520 8	0.592 7	0.409 6	0.6912

根据以上分析,发现表 2、表 3、表 4 排序差别不大,但表 4 的自检内精度同时考虑了偏差和平均值,使得这一指标较客观地反映出观测资料的质量状况。按照表 1 的方法计算的自检内精度来衡量观测资料质量,可能存在着一定缺陷,所以,我们认为,在利用自检内精度方法评价钻孔四分量应变观测的质量时,应该运用改进的方法,即表 4 用的方法来计算自检内精度。总体来看,相对标定自检内精度方法可以对各台站的观测质量给予相对客观的评价。

3 讨论

本文分析了邱泽华研究员根据钻孔四分量应变观测的特点提出的相对标定自检内精度方法,并在原先工作的基础上,通过对比分析平均值、相关系数

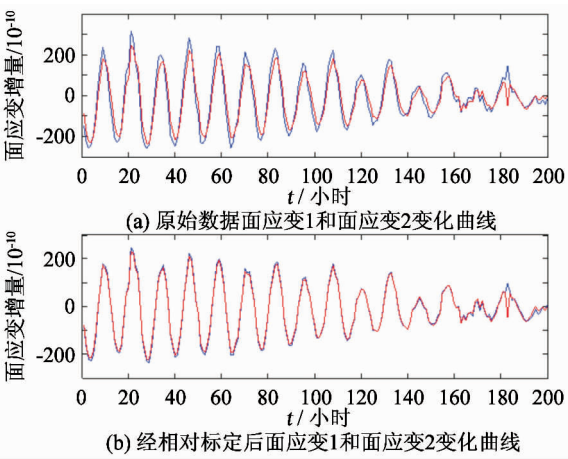


图 1 余山台四分量钻孔应变观测校正后面应变曲线
Fig.1 Plane strain curves of 4-component borehole strain observation of Sheshan station before and after correction

等,提出通过改变求偏差的方式改进此种方法,达到了所需效果,使得此项指标能更客观地反应钻孔四分量应变观测资料的质量。

参 考 文 献

1 邱泽华,石耀霖,欧阳祖熙. 四分量钻孔应变观测的实地相对标定[J]. 大地测量与地球动力学,2005, (1):118 - 122.

2 阚宝祥,邱泽华,唐磊. 泰安台钻孔差应变观测的实地标定[J]. 大地测量与地球动力学,2007, (6):119 - 123.

3 中国地震局地壳形变学科技术协调组. 2008 年度钻孔应变台站观测资料精度计算结果及说明[J]. 形变学科通讯,2009, (1):71 - 75.