

兰州形变台潮汐形变观测结果与甘肃永登、天祝地震^{*}

常千军 张 昱 周志宇

(中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 分析研究了兰州形变台水管倾斜仪、石英伸缩仪和石英水平摆倾斜仪 1994—1996 年的观测资料, 发现在甘肃永登和天祝 2 次地震前 M_2 波潮汐因子有明显的异常显示. 各分量固体潮日均值曲线在 2 次地震前后出现明显的加速异常变化, 且震后速率明显大于震前.

主题词 甘肃 地倾斜固体潮 异常形态 水平应变固体潮 永登地震 天祝地震

中国图书分类号 P315; P312.4

1 引言

兰州形变台属于国家 I 类形变台. 该台配有 FSQ 浮子水管倾斜仪、SSY-II 石英伸缩仪和 SQ-70B 石英水平摆倾斜仪, 其它有关情况见文献[1]. 该台从 1987 年起正式投入观测, 至今已有 10 年的连续资料. 唐九安等人^[1, 2]对 1993 年以前的资料曾做过系统分析, 并且发现 1990 年景泰地震前该台观测资料出现中期异常. 1995 年和 1996 年在该台的西侧和西北侧分别发生了永登 $M_s 5.8$ 地震(1995-07-22, $\Delta \approx 70$ km)和天祝 $M_s 5.4$ 地震(1996-06-01, $\Delta \approx 110$ km), 为此, 本文选取 1994—1996 年的观测资料, 研究上述 2 次地震前该台潮汐形变观测资料的变化特征.

2 兰州形变台 M_2 波潮汐因子(γ_{m2} , α_{m2})逐月变化特征

FSQ 和 SQ-70B 仪观测的潮汐因子用 γ_{m2} 表示, SSY-II 仪观测的潮汐因子用 α_{m2} 表示. 为了考察潮汐因子自身的月重复精度, 我们排除仪器不稳定所引起的离群结果后, 以年度为单位作统计分析. 结果表明, 月均值离散相对中误差一般小于 0.01, EW 分量的重复精度高于 NS 分量, 同一方向各仪器的重复精度大致相当. 这就是说, 0.02 (2μ) 是正常工作条件下的极限误差, 各套仪器对 M_2 波潮汐因子的监测能力均优于 0.02^[3].

为了便于分析, 我们将各套仪器两分量的 M_2 波潮汐因子的调和分析结果列于表 1, 图 1 给出了 1994—1996 年 M_2 波潮汐因子的逐月计算结果.

由表 1 结果可以看出, FSQ 仪的 EW 分量 M_2 波潮汐因子正常值在 0.66 左右. 图 1 显示,

收稿日期: 1997-10-15.

^{*} 本文为中国地震局兰州地震研究所青年地震科学基金(96238)资助项目部分内容.

第一作者简介: 常千军, 男, 1958 年 11 月生, 工程师, 现主要从事潮汐形变的观测研究工作.

表 1 M₂ 波潮汐因子的调和分析结果

仪器型号	分向	资 料 长 度	M ₂ 波潮汐因子
FSQ	EW	1994 年 1 月 ~ 1996 年 12 月	γ_{m2} 0.6676±0.0015
FSQ	NS	1994 年 1 月 ~ 1996 年 12 月	γ_{m2} 0.5513±0.0027
SSY-II	EW	1994 年 1 月 ~ 1996 年 12 月	α_{m2} 0.3198±0.0024
SSY-II	NS	1994 年 1 月 ~ 1996 年 12 月	α_{m2} 0.3961±0.0032
SQ-70B	EW	1994 年 3 月 ~ 1996 年 12 月	γ_{m2} 0.7034±0.0035
SQ-70B	NS	1994 年 3 月 ~ 1996 年 12 月	γ_{m2} 0.6803±0.0045

1994 年 6 月 ~ 1995 年 6 月, 其值明显偏低, 约在 0.62 左右, 与正常值相比下降了约 6%. 1995 年 7 月 ~ 1996 年 4 月又恢复到正常值. 1996 年 5 月 ~ 1996 年 9 月其值又升高, 达到 0.69 左右, 上升了约 4.5%. FSQ 仪的 NS 分量 M₂ 波潮汐因子正常值在 0.55 左右, 1994 年 6 月 ~ 1995 年 5 月其值下降到 0.52 左右, 下降了约 5.5%. 1996 年 1 月下旬开始上升, 至 9 月上升到 0.6 左右, 上升了约 9%. 2 分量的 M₂ 波潮汐因子的变化均超过了其极限误差, 变化趋势明显且又大致同步. 永登地震就发生在第一次变化结束时段, 天祝地震则发生在第二次变化的过程中.

SSY-II 仪 EW 分量的 M₂ 波潮汐因子正常值约 0.32 (表 1). 由图 1 可以看出, 该分量的潮汐因子较稳定, 其中 1995 年 12 月 ~ 1996 年 1 月的下降为仪器故障所致. 该仪器 NS 分量 1994 年 6 月 ~ 1995 年 7 月因仪器故障无资料, 1996 年 8 月起正式记录, 由于该分量仪器恢复工作时间短, 资料稳定性相对较差. 总的来看, 两分量均未出现异常现象.

SQ-70B 仪 EW 分量 M₂ 波潮汐因子正常值约 0.70 (表 1). 由图 1 可见, 1994 年 11 月 ~ 1995 年 8 月其潮汐因子波动很大, 变化范围为 0.65 ~ 0.75, 1995 年 9 月 ~ 1996 年 4 月较稳定, 而 1996 年 5 ~ 8 月又明显下降, 最低值为 0.62, 下降了约 11.4%, 其后又恢复正常. NS 分量 M₂ 波潮汐因子的正常值在 0.68 左右 (表 1). 由图 1 可以看出, 其曲线变化形态与 EW 分量相似, 1995 年 2 ~ 9 月、1996 年 4 ~ 8 月其值分别出现了较大幅度的下降, 下降幅度分别为 11.6% 和 10.1%. 永登和天祝地震均发生在曲线下降的过程中.

3 日均值曲线的动态变化

图 2 ~ 图 5 给出了各分量固体潮日均值曲线. 由图 2 可以看出, 在无地震的 1994 年, FSQ 仪的 EW 分量固体潮日均值曲线有明显的年变特征, 年变幅约 80 ms, 其峰值出现在 4 ~ 6 月, 谷值出现在 10 ~ 11 月. 1995 年 1 ~ 6 月上旬

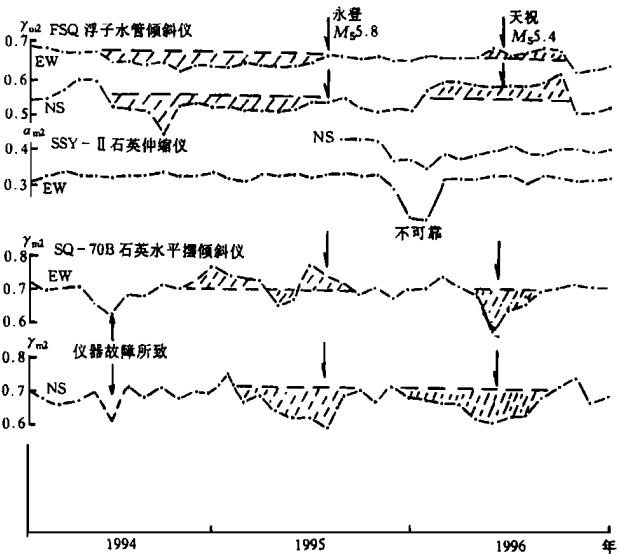


图 1 各分量 M₂ 波潮汐因子逐月变化曲线
Fig. 1 Curves of tide factor of M₂ wave month by month.

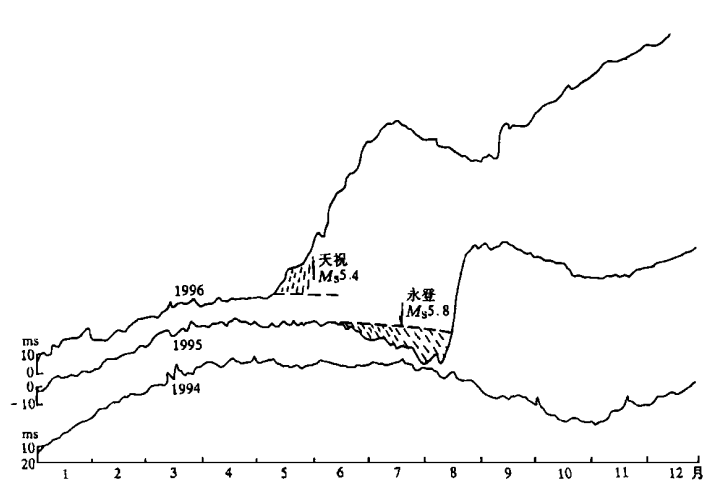


图 2 FSQ 仪 EW 分量固体潮日均值曲线

Fig. 2 Daily mean value curves of earth tide in component EW of instrument FSQ.

下降, 9 月中旬以后又呈上升趋势. 根据该曲线变化形态, 我们曾在 1996 年 5 月下旬提出过预报意见.

由图 3 可见, FSQ 仪 NS 分量固体潮日均值曲线呈现长趋势下降形态. 1994 年 1~5 月曲线变化较平缓, 下降幅度仅 80 ms, 从 6 月开始曲线变化速率加大, 6~12 月下降幅度达 320 ms. 1995 年上半年曲线下降速率同 1994 年下半年相当, 从 7 月上旬开始曲线出现异常变化, 先转为突升, 然后加速下降, 下降幅度达 40 ms, 之后转为缓慢回升, 7 月 22 日发生永登地震. 地震发生在曲线回升过程中. 地震后曲线继续大幅度回升, 7~9 月变化幅度达 120 ms. 9 月以后变化速率恢复正常. 与 1994 年和 1995 年相比, 1996 年曲线下降速率增大, 全年下降幅度达 570 ms, 天祝地震前曲线无转折显示.

SSY-II 仪 NS 分量应变日均值曲线在 1994 年 1~7 月持续下降, 1994 年 8 月起由于仪器故障停记. 1995 年 7 月重新安装仪器, 1995 年 8 月恢复记录, 当年的观测资料处于恢复阶段, 曲线变化呈上升状态, 速率较大. 1996 年曲线变化速率较稳定, 呈稳定上升趋势, 年变量为 4×10^{-7} 量级. 经仔细分析可以发现, 1996 年该曲线与 1994 年相比明显反向, 这种趋势异常可能是天祝地震前的异常显示. 对于 EW 分量, 1994~1995 年 5 月应变曲线呈缓慢下降形态, 表明地壳处于压缩状

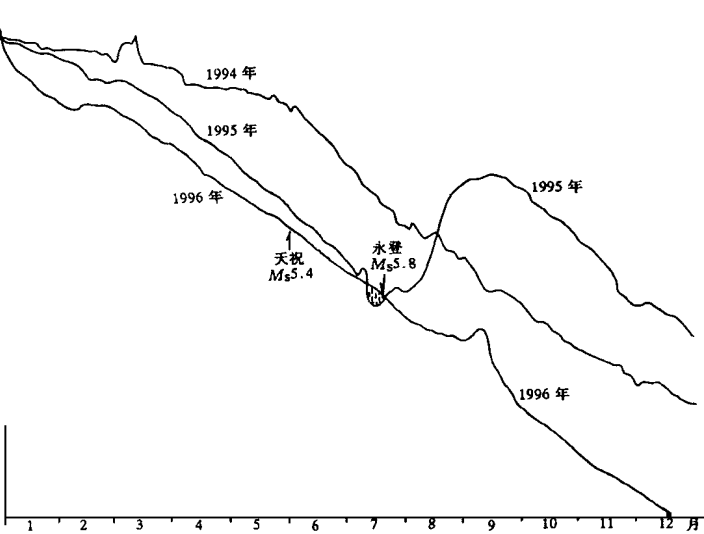


图 3 FSQ 仪 NS 分量固体潮日均值曲线

Fig. 3 Daily mean values of earth tide in components NS of instrument FSQ.

曲线变化与 1994 年同期一致, 从 6 月中旬开始曲线偏离正常值, 呈下降趋势. 最大下降幅度达 25 ms. 从 8 月中旬开始曲线急剧上升, 持续 20 天, 变化幅度达 70 ms, 其后又恢复正常. 永登地震发生在曲线下下降过程中. 1996 年 1 月~5 月中旬该曲线年变形态正常. 从 5 月中旬开始, 该曲线大幅度上升, 正常年变形态被破坏, 平均每日变化达 5~6 ms, 在 6 月 1 日发生了天祝地震. 震后该曲线继续急剧上升, 直到 7 月中旬, 最大上升幅度达 100 ms. 以后转为缓慢

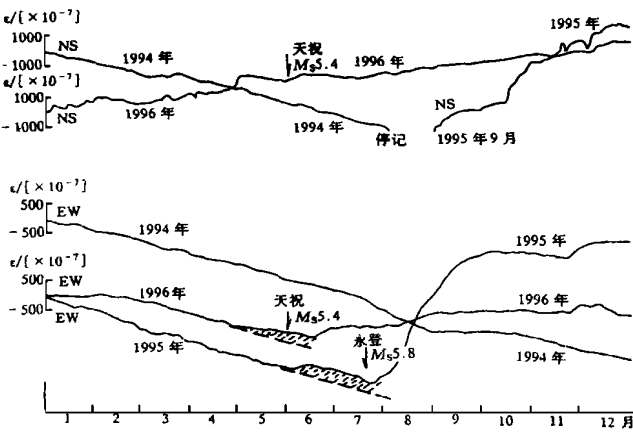


图 4 SSY-II 仪 2 分量应变固体潮日均值曲线
Fig. 4 Daily mean values of strain tide in two components of instrument SSY-II.

年相似,但变化幅度小,年变幅仅 200 ms,6 月 1 日发生了天祝 $M_s5.4$ 地震.

SQ-70B 仪 NS 分量固体潮日均值曲线 1994 年年变幅为 600 ms. 1995 年该分量曲线的变化趋势与 1994 年一致,但是变化幅度明显减小,年变幅约 380 ms,可能与 7 月 22 日的永登地震有关.震后曲线大幅度急剧抬升,然后转为正常变化. 1996 年曲线变化与前 2 年完全不同,年变幅仅 200 ms 左右.从年初开始曲线呈直线形缓慢抬升,2 月下旬至 3 月上旬,曲线大幅度急剧抬升,之后又缓慢下降,在下降过程中出现多次波动,6 月 1 日发生了天祝地震.震后曲线缓慢下降,但仍出现波动.

此外,1996 年 6 月 1 日天祝地震之前,FSQ 仪 EW 分量测值突跳、畸变明显增多,其中 5 月 29 日出现 3 次突跳、畸变,30 日出现 7 次,31 日 4 次,其变化幅度为 1~3 ms;SSY-II 仪 NS 分量测值 5 月 31 日出现 3 次突跳、

态.从 1995 年 6 月初开始曲线明显抬升直至发生永登地震,震后曲线大幅度抬升. 1996 年 4 月以前曲线缓慢下降,从 5 月初开始曲线下降速率平缓,之后变为缓慢抬升,持续 1 个月以后发生了天祝地震.地震后曲线继续缓慢抬升,表明地震后能量释放,地壳处于松弛状态.

SQ-70B 仪 EW 分量固体潮日均值曲线在 1994 年以前有较好的年变形态,年变幅约 580 ms. 1995 年的曲线变化形态与 1994 年明显不同,其上升趋势基本消失,年变幅不到 200 ms.这可能与 1995 年 7 月 22 日永登 $M_s5.8$ 地震有关. 1996 年曲线变化形态与 1994

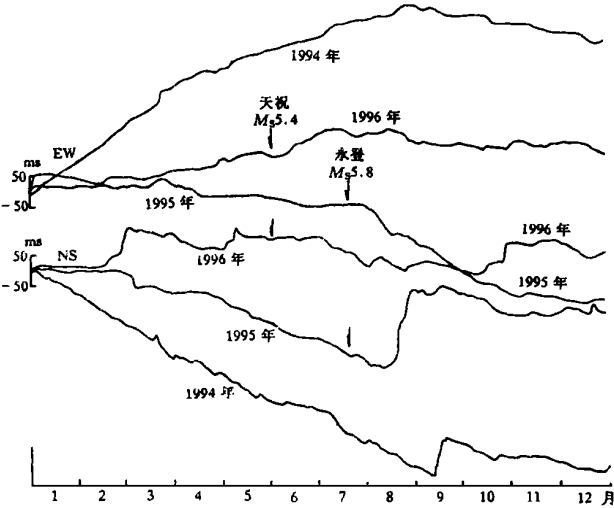


图 5 SQ-70B 仪 2 分量固体潮日均值曲线
Fig. 5 Daily mean values of earth tide in two components of instrument SQ-70B.

4
,
:
(1) [4],
.
1995 年永登 $M_s5.8$ 地震和 1996 年天祝 $M_s5.4$ 地震前兰州形变台的倾斜类仪器

1~3 ms;SSY-II 仪 NS 分量测值 5 月 31 日出现 3 次突跳、

FSQ 仪和 SQ-70B 仪所测得的 M_2 波潮汐因子都出现了异常变化，

，

，

，

．

(2) EW 和 NS 分量倾斜、 2 次地震都有不同程度的中短期前兆异常显示．

FSQ 仪测值的变化主要反映出震前的短期异常， SQ-70B 仪测值的变化主要反映出趋势异常， 3 个月到半年．

，

．SSY-II

， ， ， ， EW 分量的异常属于短期前兆异常，NS 分量的异常属于趋势异常． EW 分量前兆异常明显高于 NS 分量，

(3) ， FSQ 仪及 SSY-II

．

， ，

(4) ，

，

(5) ，

． EW 分量异常与 NS 分量的差别可以大致对地震发生的方位作出预测． M_2 波潮汐因子的异常幅度和异常时间以及应变固体潮日均值的变化速率可以对地震的震级作出预测．

M_2 波潮汐因子的异常变化，

2 次震例进行了分析，

．

1 ， ， ， ． ， 1991, 13(2): 63～67.

2 ， ， ， ． ， 1995, 15(3): 54～59.

3 ． $M_s6.2$ 地震前兰州倾斜、 ， 1992, 14(): 42～47.

4 ， ． γ ． ， 1982, 2(2): 63～67.

ANALYSIS ON OBSERVATION RESULTS OF LANZHOU DEFORMATION STATION BEFORE AND AFTER THE YONGDENG AND TIANZHU EARTHQUAKES

CHANG Qianjun ZHANG Yu ZHOU Zhiyu

(*Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

The observation data by water tube tiltmeter, quartz horizontal extensometer and quartz pendulum tiltmeter at Lanzhou deformation station during 1994—1996 are analysed. The results show that anomaly of the tidal factors of M_2 wave appeared before the Yongdeng $M_s 5.8$ earthquake on July 22, 1995 and the Tianzhu $M_s 5.4$ earthquake on June 1, 1996. Accelerating anomalous change with rate greater after earthquake than before earthquake in tide daily average values are obvious before and after the two earthquakes.

Key words Gansu, Ground tilt tide, Anomalous character, Horizontal strain earth tide, Yongdeng earthquake, Tianzhu earthquake