

甘肃景泰 Ms6.2 级地震前兰州倾斜、 伸缩和重力潮汐观测结果的异常变化

唐九安

(兰州地震研究所现象台)

摘 要

1990 年 10 月 20 日甘肃景泰 Ms=6.2 级地震前,兰州形变台水管倾斜仪(FSQ)、水平摆倾斜仪(SQ70B)、石英伸缩仪(SSY-I)、和重力仪(GS11-150)的观测结果均有异常显示,本文介绍并分析了这些异常变化。

一、观测结果的前兆异常现象与分析

(一) 伸缩仪 M_2 波潮汐因子异常

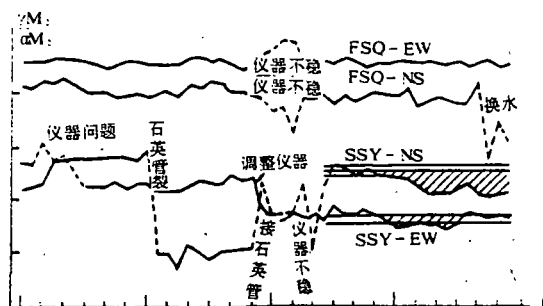


图 1 M_2 波潮汐因子逐月计算结果

Fig1 The Tide Factors of M_2 wave Month by Month

图 1 给出了水管仪和伸缩仪之 M_2 波潮汐因子逐月计算结果。由图中结果可见,FSQ 两分量 1989 年 1—3 月、SSY-NS 分量 1988 年 2 月、SSY-EW 分量 1987 年 4—5 月待结果明显离群,这些孤立点的离群现象均由于仪器不稳定所致。FSQ-NS 分量 1990 年 9 月 18—10 月 5 日因换水中断记录,换水后的结果也明显离群且跳动大。SSY-NS 分量因石英管断裂从 1988 年

12 月起突然下降,造成该分量全年质量降低,经当年 12 月初重新粘接石英管后又突然上升,直至 1989 年 6 月期间其结果仍摆动较大,这些摆动显然是由于仪器尚未稳定所致,1989 年 7 月以后日趋稳定,但其变化的幅值明显低于 1987 年的平均值。SSY-EW 分量因 1988 年 12 月曾调整过标定系统,其前后也存在明显的系统偏差。排除以上各种干扰因素后就不难看出,各分量的潮汐因子一般是比较稳定的。

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,月结果离散中误差(μ)一般小于 0.01,这就是说,以 2μ 为极限误差,在正常工作条件下,无论是 FSQ 型浮子水管倾斜仪或是 SSY-I 型石英伸缩仪对 M_2 波潮汐因子的监测能力均优于 0.02。

SSY-NS 之 α_{m2} 从 1989 年 11 月以后有一缓慢下降的趋势性变化,次年 7—8 月有所回升,但 9 月份又下降,10 月份达到全年的最低值,11 月—12 月仅略有回升。SSY-EW 之 α_{m2} 也从 1989 年 11 月之后出现了缓慢下降的趋势性变化,7 月份开始回升,至 8 月恢复到正常水平。两

分量最低值与 1989 年正常区段的平均值相比, NS 分量低 11%, EW 分量低 6%, 均超过了 2μ 。由于两道变化趋势明显且又大致同步, 故认为其变化与地下介质的物理性质变化有关, 进而推测其物性变化可能与 10 月 20 日景泰 6.2 级地震有关。但水管倾斜仪两分量的 M2 波潮汐因子均无明显异常。

(二) 水管倾斜仪 FSQ—NS 分量图异常

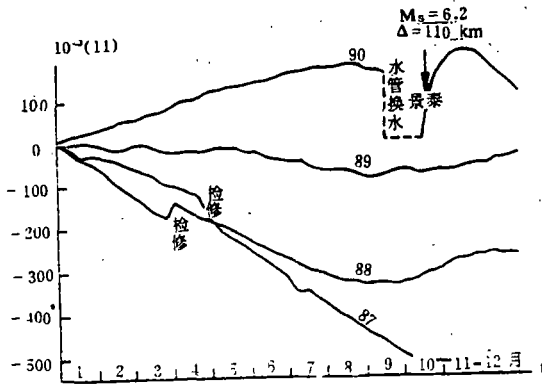


图 2(a) FSQ—NS 年变曲线

Fig2(a) The Annual Variation of FSQ—NS

漂的 5 日均值曲线。由图中可见, 该分量 1987 年 1 月至 1988 年 7 月呈大幅度下降, 在不到两年的时间里累计下降值达 $0''.8$, 从 1988 年 8 月前后停止下降直到 1989 年 11 月均呈水平伸展, 然后又转成上升之势。1988 年 12 月至 1990 年 8 月累计上升值达 $0''.18$ 。8 月中旬以后至 9 月 18 日水管换水前呈下降趋势。10 月初重新记录到 11 月中旬呈快速上升, 之后到目前一直呈快速下降。四年中各年度漂移总量依次为 $-0''.5$ 、 $-0''.27$ 、 $-0''.03$ 和 $0''.17$ (90 年限于 1—8 月)。取其绝对值的均值来表征该分量四年内的平均漂移量, 则该分量年平均漂移量为 $0''.245$ 。如果零漂异常主要反映了地面倾斜的变化, 则表明观测台地基面自 1988 年 7—8 月份以后出现了逐步朝北倾的异常变化, 而每年朝北倾斜的年递增率约 $0''.2$ 。

(三) 水管倾斜仪 FSQ—EW 分量图异常

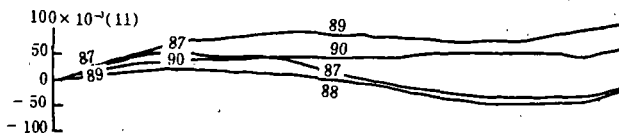


图 3 FSQ—EW 年变曲线

Fig3 The Annual Variation of FSQ—EW

图 3 为 FSQ—EW 分量零源五日均值曲线。总的来看, 该分量比 NS 分量要平缓得多, 各年中漂移变化总量依次为 $-0''.04$ 、 $-0''.04$ 、 $+0''.08$ 和 $0''.03$ 。年平均漂移量 (绝对值均值) 为 $0''.05$, 仅为 NS 分量的 $1/5$ 左右。最大年变化仅 $0''.08$ 。87—89 年有明显的年变周期, 周期变化的高值在 4 月份前后, 低值在 10 月分前后, 周期变化的幅值都小于 $0''.1$ 。1987 年和 1988 年两年的曲线非常接近, 1989 年 2—3 月前后出现了明显异于前几年的趋势性抬升异常, 全年比前一年累计抬升约 50 毫秒。同时该年的年变周期的振幅也比前两年小得多。1990 年的变化趋势更为平缓, 总的变化量比 1989 年有所减小, 年变中的正弦波形态完全消失。该分量图异常起始时间为 1989 年 2—3 月, 异常特点是: 1989 年东倾、年变中的正弦形态消失。联系图 2 分析不难看出, 该台倾斜异常变化于 1989 年前后更向南北方向集中。

(四) 伸缩仪 SSY—EW 分量图异常

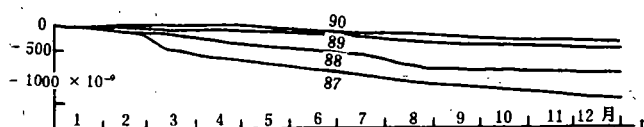


图 4 SSY—EW 年变曲线

Fig4 The Annual Variation of SSY—EW

10^{-6} 单位,年平均变化量为 -0.85×10^{-6} 单位。由该分量的变化情况推测,测量方向地基所受挤压作用呈逐年减弱趋势。

(五) 伸缩仪 SSY—NS 分量图异常

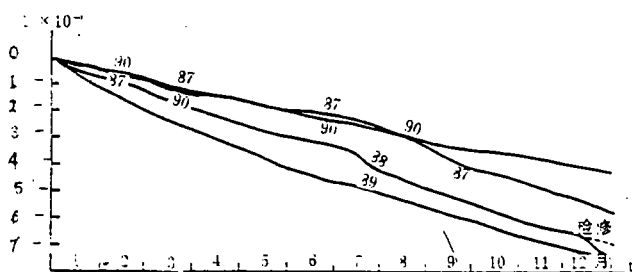


图 5(d) SSY—NS 年变曲线

Fig2(d) The Annual Variation of SSY—NS

1990 年总变幅降到最低值 (-4×10^{-6} 单位),仅相当于 1989 年的 1/2 左右。由该分量的变化情况推测,测量方向地基所受挤压作用在 1987—1989 年期间呈逐年增强趋势。89 年年度变化达到最大值,但 90 年又突然减弱,其年度变化量低于前几年任何一年。联系图 4 不难看出,该台地基受挤压力也于 1989 年更向南北方向上集中。

(六) 水平摆倾斜仪—NS 分量图异常

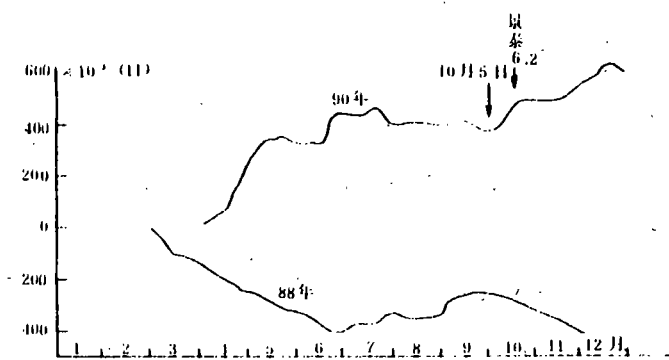


图 6 SQ70B—NS 年变曲线

一直到 11 月中旬。前后的水平伸展衬托出震前 16 天的急剧上升段的典型异常图象。

SSY—EW 分量零漂

五日均值曲线见图 4。从图中看,该分量各年变化趋势平缓且大致相同,但逐年有所抬升。各个年度的变化总量依次为 -1.5 、 -1.0 、 -0.5 和 $-0.4 \times$

图 5 为 SSY—NS 分量的零漂五日均值曲线。该分量除 1988 年 5 月因检修仪器产生上升变化外,从开始记录到目前一直处于大幅度下降趋势。各年下降的总量依次为 -5.7 、 -7.0 、 -7.6 和 -4.0×10^{-6} 单位。四年平均变化量为 -6.1×10^{-6} 单位,是 EW 分量的 7 倍多。89 年的总变化量达到最大值 (-7.6×10^{-6} 单位)。但

图 6 给出了水平摆倾斜仪—NS 分量 88 年 3—12 月和 90 年 4—12 月的零漂五日均值曲线。从图中看,两年的漂移方向相反,88 年以负漂为主,而 90 年以正漂为主,其变化的总趋与水管仪 NS 分量的大体一致。90 年 7、8、9 三个月基本上水平伸展,但 10 月 5 日—20 日则急剧上升,16 天累计上升约 120 毫秒。10 月 20 日景泰地震后又突然转平,转平延伸

(七) 水平摆倾斜仪—EW 分量图异常

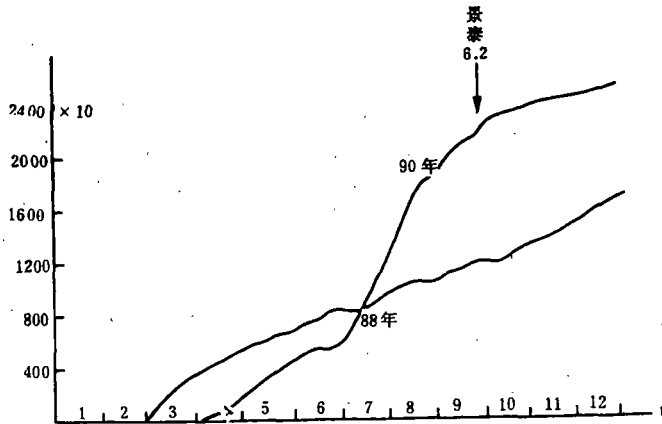


图 7 SQ70B—EW 年变曲线

减小的转折时间与 NS 分量 10 月初的加速上升时间的巧合决非偶然。该分量 7—9 月的急剧上升 10 月初的突然转折构成了景泰地震的短临前兆又一典型的异常图象。

(八) 水管倾斜仪矢量图异常

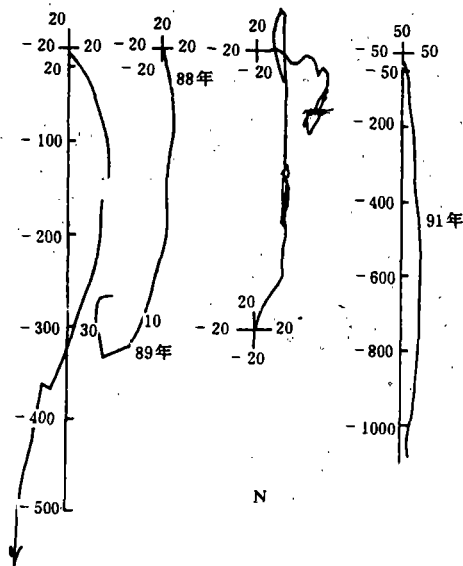
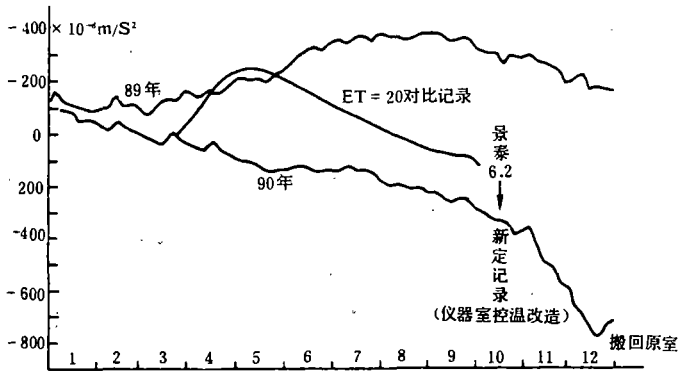


图 8 为水管倾斜仪 10 日均值矢量图,从图中不难看出 88 年 8 月份以前同 87 年同期矢量图形态完全相似,但 8 月份以后出了变异,89 年出现了更为明显的异常,8—12 月打“结”。90 年又是另一番异常形态,1—4 月分朝北北东倾斜,5—8 月份又打“结”,这一个节略比 89 年的要小。如果把四年的矢量图依次相接不难发现,88 年 7 月—89 年 2 月也有一个“结”;另外,87 年底还有一个小“结”。89 年打“结”后 4 个月来了共和地震,90 年打“结”3 个月后来了景泰地震。至于 88 年 7 月—89 年初的打结现象也很可能与这一时期南北带和青藏板块界上几次 7 级以上大震有关。显然水管倾斜仪的形态异常和矢量打“结”现象可供台站周围强震的时间预测参考。

(九) 重力仪分量图异常



GS11-150 重力仪经改型后于 1988 年 9 月投入使用。89-90 年有连续整年度观测资料。90 年 3 月拉柯斯特 ET-20 重力仪又置于同一仪器室工作(该仪器工作到 10 月初)。10 月 18 日 GS11-150 因仪器室控温改造移至旁室观测直到 12 月 18 日才搬回原室记录。图 9 给出了各仪器漂移五日均值曲线。从图中看, GS11-150 重力仪分量图形态两年各异。89 年表现为上升为主的

年度形态。而 90 年则表现为持续下降趋势形态。3 月底 ET-20 进入仪口室工作可能对 GS11-150 的漂移有一定影响。但不会影响年变的总趋势,尤其是 ET-20 到 6 月份已完全进入稳定工作状态后,但它 7、8、9 三个月的下降斜率与 GS11-150 的几乎完全一致。9 月底到 10 月初两台仪器都有加速下降趋势,可惜 ET-20 停止了工作。但仍可看出直到停机时两台仪的漂移曲线都是同步变化。因此我们认为尽管 GS11-150 两年漂移曲线异常变化的物理基因尚不清楚,但仍可作为景泰地震之前兆的参考指标。

二、讨 论

1990 年 10 月 20 日的景泰地震震中位于兰州形变台的 $N9^{\circ}W$,震中距仅 110KM。以上介绍的兰州台的各变化量很可能包含了该地震的孕育信息,现对它们之间关系的初步认识讨论如下。

(一)近年来兰州地区主要受近南北向挤压力作用,四年间平均年应变约 -6×10^{-6} 单位,87-89 年期间的挤压变化逐年增大,年加速度约为 $-1 \sim -2 \times 10^{-6}$ 单位。EW 分量也呈压应变区势,但年均变幅仅 NS 分量的 1/7 左右。而景泰地震震中基本上位于兰州形变台的正北,由此推测该地震的孕震力源主要来自青藏板块的向北推挤。87-89 年期间挤压变化的加速可认为是这次地震的水平应变之中期前兆异常。因该台工作仅始于 1987 年,而这年的应变就处在较高值(-5.6×10^{-6} 单位),因此有理由认为表征该地震加速孕育的水平挤压异常出现的时段很可能早于 1987 年。另外,由于该台 NS 分量基线中有一大约 16 米的断层破碎带通过,这一破碎带必然对挤压形变起放大作用,所以就一般地质条件而言,一个 6 级左右的中强地震在其 100 余公里的外侧,加速孕震期的水平应变年加速变化量可能低于 $1-2 \times 10^{-6}$ 单位。因此要用水平应变方法监测地震的中期异常,观测仪器必须要有足够高的精度,例如,对年变化总量的监测精度应达到 1×10^{-6} 单位。

(二)兰州地区 1987-1988 年 7 月期间地面以北升南降为其变化的主要特征,但 1988 年 8 月起明显转向,至 1989 年 11 月期间南北向的升降速率近于零。1989 年 12 月到 1990 年 8 月期间转为明显的南升北降。四年间,地面有逐渐朝北倾的变化趋势,北倾的年速率约 $0''.2$,该方向的这种北倾趋势变化反应了景泰地震孕育的倾斜中期前兆过程,进而可推测震源区地面在震前是下沉的。这与 1989 年 10 月 18-23 日的山西阳一高地震前的形变特征类似【1】

【2】。如果把 FSQ-NS 分量 1988 年 8 月的明显转折作为该地震之倾斜中期异常的起始段,由文献【3】给出的形变前兆持续时间与震级的经验关系式:

$$\text{LGT(天)} = 0.46M - 0.26$$

可得出景泰地震震级应为 6.8 级,比实际震级偏大约 0.5 级。如果将异常时间只延展到 1990 年 4 月 26 日,预测震级为 6.7 级,于共和地震的震级接近。但东西方向的年均升降速率仅南北向的 1/5 左右(1989 年期间有明显的西升东降趋势)。根据目前的预报经验是很难据此去预测共和地震的。

(三)兰州地区 1987 年至 1990 年期间南北向垂直升降的平均速率约为 $1.2 \times 10^{-3} \text{MM/M/年}$,水平收缩平均速率为 $6.1 \times 10^{-3} \text{MM/M/年}$ 。这表明该地区地壳的水平运动速率远大于垂直向运动速率。由此可以认为景泰地震的孕震过程的地壳是受水平挤压为主要特征的,如果这种现象带有普遍性,今后在地震监测中应加强水平应变的监测。或者说今后地震监测工作中如能加强水平应变的监测工作,则很可能将地震的中期预测水平大大提高一步。

(四)景泰地震震中位于兰州形变台 $\text{N}9^\circ\text{W}$ ($\Delta = 110\text{KM}$) 处,而该台水平应变和倾斜变化的极化矢量方向为 $\text{N}10^\circ\text{W}$,二者相当一致。这对于利用具有水管倾斜仪和石英伸缩仪的综合形变台资料的极化矢量方向预测未来强震的方位有重要的参考价值。

(五)从水平摆分量图形态看,有短期和临震异常显示,但变化的量级太大,不能直接用区域构造活动加以解释。我们的看法是:仪器室西侧 20 米处地面凸起形变肉眼可见,它可能导致水平摆变化过大。而地面凸起又可能是地下水引起的,但地下水的变化又可能受区域构造活动所制约。这就是说各物量变化的联系如下式:景泰地震孕育——区域构造活动——地下水——地面凸起——水平摆异常。照此推测,就不难理解水平摆的大幅度异常与景泰地震有关了,或者说与地震有关的区域构造活动经过仪器室附近特定的地质条件和地下水作用而得到放大。因此今后为监测兰州周围的强震既须重视水平摆分量图的定量分析,也需重视其定性分析。

(六)1990 年 4 月 26 日青海共和 ($\lambda = 103^\circ.3, \phi = 36^\circ.1$) 发生了 $\text{MS} = 6.9$ 级强震,震中位于兰州台正西 330KM 处。本文介绍的兰州台水管仪 EW 分量的零漂异常变化 1989 年明显抬升(地面东倾 50 毫秒左右)可能包含了对该地震的响应,但由于 NS 分量的变化幅度远远大于 EW 分量,根据目前的预报经验很难据此去预测共和地震的位置。至于为什么兰州形变台对共和地震的响应如此不明显,这可能是它们各自所处的地质构造部位不同所致。

三、结 语

景泰地震前,兰州台固体潮观测资料有不同程度的异常显示。其中中期异常显示有:水管倾斜仪 NS 分量自 88 年 8 月以后每年朝北倾斜递增约 0.2 ;EW 分量自 1989 年起明显东倾;伸缩仪 1989 年以前南北挤压加速,每年递增约 1×10^{-6} 单位。中短期异常显示有:水管倾斜仪 NS 分量 90 年相对前几年一反常态,大幅度朝北倾斜;EW 分量年变中的正弦形态消失;伸缩仪 NS 分量于 90 年挤压速率突然减小,(从 1989 年 7.6 降至 1990 年的 4.0×10^{-6} 单位);重力仪 1990 年的漂移曲线相对于 1989 年反向;以及伸缩仪两分量潮汐因子的负异常等。短期异常显示有:水管倾斜仪矢量图打“结”,水平摆 EW 分量 1990 年 7—9 月的每天 20 毫秒左右;NS 分量从 10 月 5 日起,由 6—9 月的大致水平伸展突变为斜率为每天 8—9 毫秒的加速上升等,且两分量于震前几天内均出现转平趋势。两台重力仪于 9 月底均出现了加速下降趋势等。

兰州台潮汐观测中各项异常从单项看,预报指标并不确定,而且各种变化量也难于用共同的物理基因解释。但从总体上看,异常指标还是有一定可信度的,特别是中期异常显示的几个指标更是如此。由此看来,将兰州台的几种潮汐观测仪器综合起来看,对其周围邻近地区的强震还是有监测能力的。所以,今后应加强对各变化量之间物理联系方面的综合研究,做到不漏掉中期异常,并进一步配合其它手段做好短临预报,以使该台在今后兰州的地震监测中发挥应有的作用。

参 考 文 献

- (1)谢觉民,大同一阳高 6.1 级地震的地壳形变前兆,中国地震,1990 年,VOL8,NO4
- (2)李孟聪等,大同一阳高地震定点形变异常的初步研究,地震,1990 年,4 期
- (3)高旭等,我国地震前兆特征的统计分析与研究,地震,1985 年,5 期