
研究简报

两次强震前地倾斜前兆异常图象的研究*

杨志荣

(中国新疆乌什 843400 新疆维吾尔自治区地震局乌什地震台)

1990年9月中旬开始,我台2号水平摆倾斜仪(以下简称2号仪)记录到了特大异常变化,异常持续约两个月,于1991年11月12日在我台西北方向220km的中苏边境发生了6.7级地震.随后异常继续缓慢发展,于1991年2月25日在我台西南94km的柯坪县境又发生6.5级地震.现就两次强震前观测到的异常图象作初步分析研究.

1. 观测条件及资料

新疆乌什地处北东向构造带和东西向构造带交汇部位,是一新构造运动活跃断层发育的中强震多发区.1986年在本台专用山峒内安装SQ-70石英水平摆倾斜仪开始观测,简况如表1所示.

表1 乌什台SQ-70石英水平摆倾斜仪观测条件及其概况

仪器编号	正式观测时间	基 本 情 况
2	1986.7.1	摆室进深35m,砂岩,覆盖厚度大于40m,格值 $0.0025-0.0035''/\text{mm}$,年温差 $0.18-0.20^{\circ}\text{C}$,日温差 $0.002-0.010^{\circ}\text{C}$,日记,光记录纸走速 $11\text{mm}/\text{H}$.
3	1988.1.1	摆室进深40m,其它同上.格值 $0.0012-0.0018''/\text{mm}$,年温差 $0.07-0.08^{\circ}\text{C}$,日温差 $0.002-0.008^{\circ}\text{C}$,周记,光记录纸走速 $5\text{mm}/\text{H}$.

注:1号倾斜仪因基建于1988年停测.

2号与3号仪在同一山峒的两个峒室中,相距约15m,分别处于一条小断层的两盘.2号仪峒室底板、侧壁、顶板小断裂相当发育,而3号仪峒室岩石极完整,表明前者处于应力相对集中部位(敏感点).正常情况下记录曲线光滑流畅,固体潮形态十分清晰(图1a).两次强震的前兆异常现象主要表现在2号仪的测值变化及原始光记录图上.从9月中旬开始,共记录到48张有特殊异常形态的光记录图,作者复制了其中部分编绘成图2.

2. 异常图象的分析研究

本文着重研究原始光记录图上的异常图象.为说明问题,对矢量、分量图的异常也作简要介绍.

2.1 原始光记录异常图象

我台倾斜仪(2号)在这两次强震前记录到了大量的光记录曲线错动和固体潮形态畸变,异常形态奇特.错动周期由几分至上百分钟不等,幅度由0.2至几十毫米不同.最大错幅为10月4日23时-5日2时,错幅达 23.5mm (约 $0.074''$),周期为180min;固体潮曲线最大畸变为9月28-29日,SN分量峰谷达70mm

* 1991年11月20日收到本文初稿,1992年2月7日决定采用.

约 $0.23''$)比正常值大十余倍,其周期为300多分钟(图2).为了叙述方便,我们称记录图上 $<1\text{mm}$ 的错动叫微错, $>1\text{mm}$ 的简称错动.从异常发展过程的角度看,整个异常过程可分为前期异常、主体异常、临震异常3个阶段,现分述如下:

2.1.1 前期异常的微错现象

本文所指的微错现象其形态如图1b中的(1),(2),(3),(4)所示,既有单次错动的,也有连续错动的.作者查阅了震前3年的光记录图,发现微错次数及错动方向显示了一定的规律.1988年2月以前,这种微错现象基本没有.从3月开始出现向SE方向的错动,然后逐渐增多,7月达到峰值,随后渐减,最后保持在每月数次的水平.而向NW方向的错动次数是从1989年9月以后渐次升高的,到1990年5月达到峰值(图1b),约半年后在台站西北方向发生6.7级地震.这一时期共记录到211次错动,幅度均小于 1mm ,因此也可称为微错出现期.伴随微错的出现,这一时期的倾斜速率也有逐年加快的特点,震前3年同期年倾斜量分别为 $0.99''$ 、 $1.33''$ 、 $2.18''$.

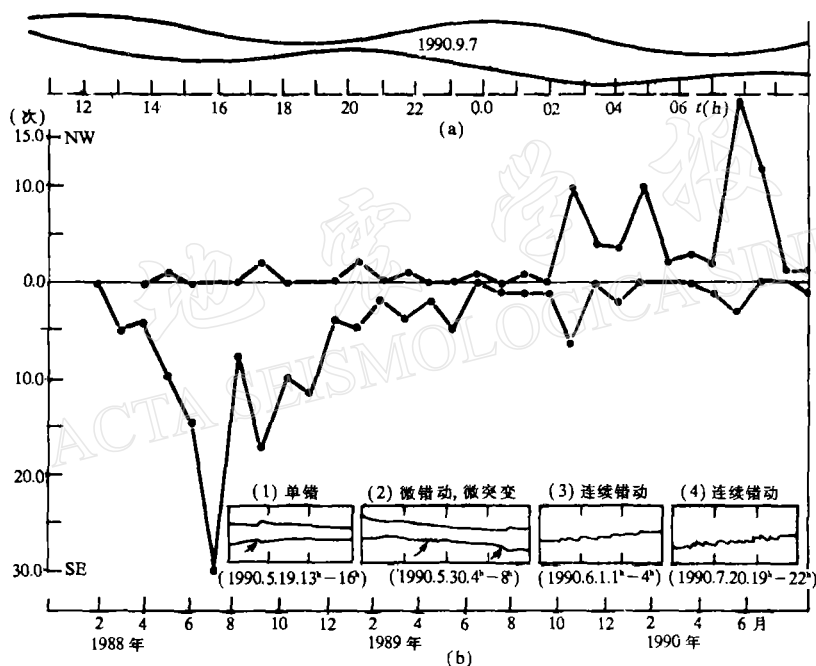


图1 (a) 乌什台水平摆倾斜仪(2号)固体潮正常日变化形态(原始光记录复制图)

(b) 乌什台水平摆倾斜仪(2号)光记录微错次数、方向及形态

2.1.2 主体异常期的异常图象

由原始光记录图和日矢量变化看,主体异常大体从1990年9月11日开始,持续约两个月,记录到了大量独具特色的异常图象,经分析有以下特征:

(1)前已述及,前期异常微错次数及方向具有一定的规律,但临近主异常爆发前约两个月,错动方向出现紊乱(即1990年7月向北西错动1次,向北东2次,向东16次),8月无微错事件出现,显示相对平静,随即爆发主体异常.作者认为,主异常变化之大,从某种角度讲其规模可以与主震相比拟,因此主异常爆发之前有类似主震发生前的某些特点.

(2)9月11日开始日变形态明显畸变,错动次数显著增多,幅度明显加大,形态变得更加多样而复杂(图2).这期间共记录到可识别的错动935次,其中向西错动433次,向南439次,其它方向53次.而同期矢量异常方向却是北东(图3),显示出错动方向与主异常倾斜方向相反的特征.它们与潮汐曲线形态畸变构成了异常主体,大约持续了两个月,在没有明显临震异常的情况下于11月12日发生了6.7级地震,而没

有明显临震异常恰恰是叠加异常重要判据之一(杨志荣, 1987)。

(3) 主体异常相对于正常背景或前期异常具有爆发性和突变特征。仅几天时间其倾斜速率的变化就超过了正常变化的数十倍。但若仔细分析主体异常开始后的演变过程, 也同前期异常相似具有渐变特点, 只不过它是在另一个层次上的渐变。

(4) 异常的变化具有间歇性和协同配合的特征。当大幅度加速变化后接着会出现一个相对平缓的时段; 较大幅度错动后则渐次转为微小错动; 连续错动后以及连续出现潮汐曲线畸变之后, 会出现相对小平静。由原始记录图中还可看出, 当 SN 分量记录曲线比较平静时, EW 分量出现异常, 反之亦然, 显示两个分量的异常此起彼伏协同配合的异常特点。

2.1.3 临震异常图象

6.7级地震后异常仍缓慢发展, 11月记录到几次错动(方向杂乱), 12月则无错动发生。从1991年1月开始又出现微错事件, 但仅表现在EW分量上, 大都向西错动。1月中旬开始错动次数增多, 下旬基本连续不断, 2月初渐减。与此相呼应, 倾斜日矢量方向、变化速率也在主异常背景值上出现动态性临震异常变化(杨志荣等, 1991)。2月9日后微错停止, 固体潮显示正常清晰, 记录线流畅光滑, 平静约半个月后于2月25日发生柯坪6.5级地震。

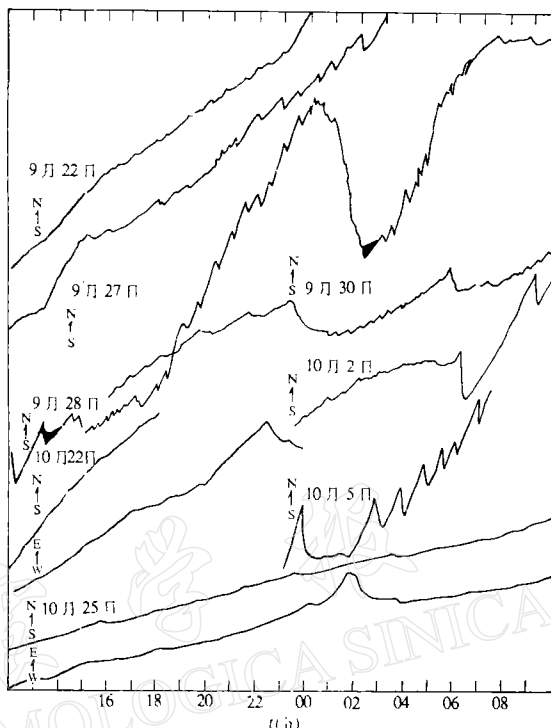


图2 乌什台水平摆倾斜仪(2号)原始光记录异常图象(局部复制)

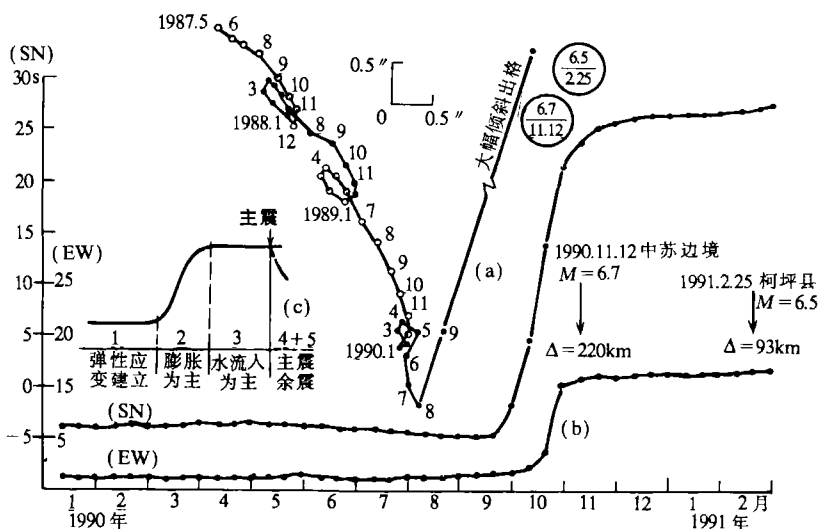


图3 乌什台水平摆倾斜仪(2号)月矢量、旬分量图

2.2 倾斜矢量异常图象

图 3a 是倾斜月均值矢量图,它具有十分清楚而规律的年变化形态,这种正常年变化形态是我们识别趋势异常的基础。作者(1991)曾指出,大幅度持续向某一个方向倾斜,矢量图打破年变化规律是将有近强震发生的重要判据。从图 3a 中可以看出,月矢量自 1990 年 2 月开始偏离正常背景,9 月中旬爆发的特大异常则一目了然。

2.3 倾斜单分量异常图象

图 3b 为旬均值单分量图,正常背景的测值变化相当平稳,波动很小,主异常的出现具有突变特征,其变化速率 SN 及 EW 分量分别为正常背景的 140 和 50 余倍。若单纯从异常图象来看,其形态与 1987 年 1 月 24 日乌什 6.4 级地震前用压容应变仪观测到的异常图象极相似(杨志荣, 1989),具有较规则的几何形态,可用 $y = Ae^{bx} + C$ 近似数学方程来描述。1973 年 Scholz 等以 Nur 的岩石模拟实验及 Witcomb 的研究结果为基础,提出用“扩容理论”来解释各种前兆现象,图 3c 是倾斜、应变等前兆典型的异常图象(Scholz *et al.*, 1973),有趣的是它和我们实际观测到的异常图象十分相似(图 3b)。

3. 讨论和结语

(1) 前期异常的主要特征是只有倾斜速率的渐次加大,而矢量图年变形态正常,原始记录曲线出现微错现象;主体异常的特征是爆发式的突变,倾斜速率比正常背景大 1—2 个数量级,矢量方向及形态发生极显著的变化,原始记录曲线连续出现严重畸变和大量的错动。从形变量级等方面看,其规模可与主震相比拟。异常发展全过程似乎与“扩容模式”各阶段有某些联系,并且具有多层次的特点。前期异常以正常变化值为背景,主异常以前期异常为背景,而临震异常则以主异常变化值为背景。

(2) 有关前兆叠加异常的问题,杨志荣(1980, 1987)曾进行过分析研究。本次异常过程中分别对应了两次强震,属叠加异常。前期异常微错次数有规律的变化,错动方向先背向后指向震中,显示了与 6.7 级地震的内在联系。主异常期错动事件的方向是 SW 方向,结果 6.5 级地震发生在 SW 方向。其震源机制解两个节面的方位分别为 $23^\circ, 45^\circ$, 发震断层走向 NE-SW, 可见主异常期错动事件的方向及矢量异常方向与发震断层走向和节面方位一致。判别叠加异常的基本经验是地震发生的远近、震级的大小应与已存在的异常相当。若震级偏小,震中偏远,发震时间偏早,特别是临震异常又不明显,则可能是叠加异常,意味着还将有较大地震发生。

(3) 异常量级大小及异常持续时间长短与未来地震震级有关,同时又受未来地震远近的影响。100 km 左右以内的 6.5 级左右地震,其异常时间可达 2 年左右,异常量级最大可达 1.5×10^{-4} rad。杨志荣(1991)给出的经验公式 $\lg T = 1.857 + 1.145 (M/\Delta^{1/2})$ 来计算柯坪 6.5 级地震的异常时间为 1.1 年,考虑 6.7 级地震叠加异常的影响,异常时间应始于 1990 年初,与图 3a 相吻合。

(4) 发震方向可能和倾斜矢量异常方向、光记录曲线错动方向有关。本次震例矢量异常方向背向震中,错动事件的优势方向在震前 4 个月左右指向震中,矢量异常方向、记录曲线错动方向和发震断走向一致。

(5) 发震时间大体在主异常出现后 3—6 个月内。主异常大变化背景值上再次出现的矢量小拐弯、打结,分量图上测值跳动性变化,倾斜速率的加快(减慢)等是转入临震异常阶段的标志。临震异常一般在震前一个月左右出现,有时临震异常可能出现几次才发震。识别短期异常转入临震异常的标志是预报发震时间的关键,难度甚大。

参加本台倾斜观测工作的有刘辉、黄宗英、赵智等同志,感谢他们辛勤工作获得了完整的资料。

参 考 文 献

- 杨志荣, 1987. 1987 年 1 月 24 日新疆乌什 6.4 级地震前兆异常及其预报. 中国地震, 3, 4, 6-12
- 杨志荣, 黄宗英, 1991. 新疆柯坪 6.5 级地震地倾斜临震异常对比观测. 内陆地震, 5, 358-361.
- 杨志荣, 1991. 地倾斜预报地震三要素某些判据的探讨. 地震研究, 14, 317-324.
- 杨志荣, 1989. 1987 年 1 月 24 日新疆乌什 6.4 级地震的短临异常. 内陆地震, 3, 369-370.
- 杨志荣, 1980. 地震前兆叠加异常的讨论. 西北地震学报, 2, 1, 73-77.
- Scholz, C. H., Sykes, L. R. and Aggrawal, Y. P., 1973. Earthquake prediction: A physical basis. *Science*, 181, 4102, 803-809.

第二届大陆地震国际讨论会在北京召开

第二届大陆地震国际讨论会于 1992 年 10 月 7 日至 10 日在北京召开. 此次国际学术会议由中国国家地局主办, 共同发起和资助单位还有联合国国际减灾十年秘书局、国际地震学和地球内部物理学会、中国自然科学基金会、中国地震学会、中国灾害防御协会等单位.

来自 20 多个国家和地区的 300 多名中外地震学家、工程地震专家、社会地震学家等出席了这次盛会.

国务委员、中国科学院学部委员宋健出席会议并讲了话. 他说, 地震科学是当代世界科学的前沿, 是世界性科学难题, 其中大陆地震问题更是世界普遍关注的科学问题. 随着社会经济的发展和城市化, 大陆地震对人类造成的威胁越来越大, 要提高地震科学水平, 攻克地震预报难关, 达到减轻地震灾害的目的, 就必须加强国际交流和合作.

在历时 4 天的会议中, 中外地震学者围绕大陆地震研究的各个领域进行了广泛而深入的交流和讨论.

其中中国学者就大陆地震的前兆观测和预报方法、地球动力学、地震灾害预测、地震危险区划、政府的地震减灾对策等方面的研究成果作了大会主题报告. 日本学者就大陆地震活动的规则性, 美国学者就地震前兆的判别标准, 地震工程中的强地面运动研究, 法国学者就地震的层析成像和地幔动力学, 强震的地面破裂研究, 墨西哥工程地震学家就工程结构的地震安全性分析等作了大会的主题报告.

除了大会主题报告外, 会议按大陆地震活动性、大陆地震前兆、大陆地震成因和震源过程、活动构造和内陆地震、地震工程和工程地震学及地震减灾对策等 6 个专题分组, 进行分组专题学术交流. 6 个专题共交流宣读了 120 多篇论文.

与此同时, 这次会议还专门开辟了学术交流的展览.

通过上述多途径的交流, 相当充分和全面系统地显示了世界各国在 80 年代, 尤其是 1982 年第 1 次大陆地震国际讨论会以来的 10 年间, 在大陆地震研究方面的成果和进展. 包括: 在大陆地震活动规律研究中的强震时空迁移图像、地震序列特征及震源参数, 大陆地震的前兆特征和地震前兆的复杂性及其物理机制, 对大陆地震孕育和发生过程的实验和理论研究, 大陆地震的孕震环境和构造物理的基础研究, 层析成像技术在地球科学中、尤其是在孕震的物理环境和地震成因研究中的应用, 以及在地震预报和地震减灾实用化方面的进展.

这次会议进一步推动了各国地震研究的交流和合作, 与会科学家在地震科学的未来发展方向方面交换了看法, 并建议把这次会议作为配合联合国倡导的国际减灾十年的重要科学活动之一, 将会议交流的论文汇编成文集出版, 以使其在推动大陆地震研究和地震减灾研究方面发挥更深远的影响.

(张国民)