

[研究简报]

文章编号: 1003-1375(2008)02-0049-04

泰安地震台钻孔应变固体潮畸变的分析探讨^{*}

卢双苓, 李 峰, 王 强, 于庆民, 刘厚明, 曲保安

(泰安地震台, 山东 泰安 271000)

摘要: 通过对泰安地震台多年应变观测资料的分析, 探讨了地震发生时的同震变化以及地震前后固体潮异常变化过程, 结合全国其他台站观测到的典型震例, 分析了地震孕育、发生过程中应变固体潮的趋势性异常及畸变等各种异常现象, 得出了应变固体潮的异常变化在地震监测预报中的作用。

关键词: 应变固体潮; 同震变化; 泰安钻孔

中图分类号: P312.4 文献标识码: A

0 引言

使用钻孔方法观测地壳应变变化进行地震预报研究, 在我国是从 60 年代中期开始的。李四光首先倡导在地震预报研究中使用钻孔式的应力—应变观测方法, 成为我国钻孔应变观测技术发展的先驱者。经过国内外专家几十年的探索, 根据我国地壳运动观测技术发展的实际情况, 确认钻孔应力—应变观测技术应以能够观测到地壳的应变本底—地球应变固体潮及应变地震波等, 为仪器研制的目标。这就是我国的第二代钻孔应力—应变仪器。

与我国发展多分量式钻孔应变仪同时, 澳大利亚的 Gladwin 研制成功三分量的张量应变仪。日本研究组也在研究发展多油腔的三分量应变仪。经过数十年的发展和改进, 这些钻孔应变仪的记录灵敏度达到了 10⁻¹⁰, 成为地球科学研究中重要的观测仪器。近年来, 正在加紧实施的地球透镜计划 (Earth Scope) 要在美国西部布设 175 台钻孔应变仪, 与新增设的 875 个 GPS 观测站一起, 对北美大陆西部地区板块边缘变形的演化、地震的孕育等科学问题的解答提供观测数据¹⁾。如将钻孔应变仪充实到以 GPS 为主要测量手段的“中国地壳运动观测网络”中, 就有可能在从数秒到数十年的时间尺度上, 对中国大陆的形变加以监测, 这将是地球物理研究的大趋势。张跃刚等应用 GPS 空间大地测量数据研究显示, 华北地区的地震活动与应变场演化存在对应关系^{1,2)}。

随着观测资料的积累, 对观测资料综合分析、探讨应变固体潮在监测预报地震中的重要作用势在必行。本文就根据泰安台钻孔仪器长期观测记录, 通过对数据资料进行对比分析, 总结本台资料的映震变化情况, 并通过对典型震例的分析, 说明应变固体潮震前会伴随异常及畸变的发生, 分析探讨了应变固体潮在地震前后及地震过程中的表现形式, 从而希望发现对地震监测预报有用的信息。

1 泰安地震台钻孔应变观测情况简介

泰安地震台始建于 1967 年 2 月, 是 1966 年邢台地震以后为监测华北地区的地震活动而专门增设的首批台站, 为建国后山东省境内第一个地震台。台站的地理座标是 36°12'44"N, 117°07'18"E, 海拔高度为 240m。自 1975 年本台就开始了有了钻孔应力—应变观测, 先后安装使用了压磁电感应力仪, 振弦式应变仪, 差应变应变仪、体积式应变仪进行钻孔应力—应变观测, 积累了大量的钻孔应力—应变观测资料。目前有 TJ-2B 型体积式和 YRY-2 型压容差两套钻孔应变仪并行观测。TJ-2B 型体积式应变仪是 1998 年 9 月安装的, 探头安装在 T-2 号孔内, 孔深 69.9m, 孔径 130mm。YRY-2 型压容差应变仪是 1999 年 11 月安装的, 探头安装在 T-3 号孔内, 孔深 28.5m, 孔径 130mm。两孔岩性均为太古代花岗片麻岩, 结构致密完整。

钻孔应变观测是在钻孔内对岩体应变状态随时间的相对变化进行观测。观测仪器包括: 体应变仪、

* 收稿日期: 2007-12-29

作者简介: 卢双苓(1973—), 女(汉族), 河北省文安县人, 山东省地震局泰安基准地震台工程师, 主要从事地壳形变观测工作。

1) 摘自《YRY-4 型钻孔应变仪说明书》

差应变仪、分量应变仪。

2 泰安地震台钻孔应变资料简介及与其他应变观测资料的对比情况

泰安台的钻孔应变有三十多年的历史,取得十二年全国资料评比第一名,获得2006年中国地震局科技进步二等奖。其观测资料连续完整可靠,有很高的利用价值。本文根据泰安台钻孔仪器长期观测资料,通过对数据资料进行总结对比分析,探讨应变固体潮在地震前后及地震过程中的表现形式,从而希望发现对地震监测预报有用的信息。

2.1 钻孔应变观测基本情况

台钻孔应变观测记录资料连续完整,稳定性好,资料连续率在99.5%以上,许多年份连续率都达到100%,应变潮汐因子的观测精度在全国同类仪器中名列第一名。图1为YRY-2型压容差应变仪无震情况下正常观测到的固体潮日变曲线图,图2则选取了2007年1月1日-2月28日较长时间资料做出的正常固体潮连续曲线图。

2.2 与本台其他形变仪器观测资料的对比

一些作者计算过孕震过程中,由于地壳介质的弹性参数的变化引起潮汐响应幅度的变化。计算指出,这是一种可为现有技术检测的效应。在重力、倾斜及应变三种固体潮中,应变固体潮对地壳介质弹性性质的改变最为敏感。一个7级地震,相距一、二百公里的测点处,可以引起千分之几的重力,百分之

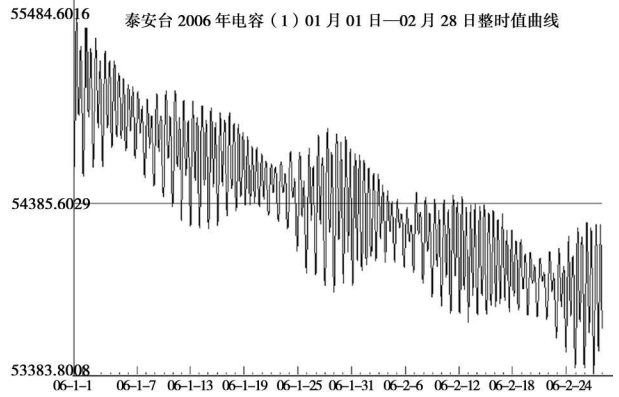


图2 差应变2006年1月1日-2月28日连续曲线图

几的倾斜和百分之十几的应变潮汐幅度的变化。显然,钻孔应变仪固体潮的观测在地震孕育发生过程中都有不可忽视的作用。

本台钻孔应变观测资料的精度连续十几年都在全国同类仪器中名列首位,在本台6套形变观测仪器中,钻孔应变观测资料的精度也是最高的,与本台洞体应变仪器SS-Y伸缩仪相比精度甚至高出一个数量级。表1即为本台2005年形变仪器部分观测资料精度对比。

3 对泰安地震台钻孔应变资料同震变化的统计分析

因为有了长期连续稳定的钻孔应变观测资料,所以本文就应变观测资料进行了一些分析研究,通过分析查找应变固体潮在地震孕育发生过程的表现形式,从而探讨应变固体潮与地震孕发的关系,以期找到一些有用的信息。由于十几年来泰安地震台周围未发生过4级以上地震,很难通过典型地震捕捉到前兆异常,所以我们首先对本台的钻孔应变同震和阶跃变化进行了统计分析,并做了钻孔应变映震能力统计图。我们对2000年元月1日至2003年4月30日间体应变和差应变的分钟值曲线图进行了统计分析,统计落实了220个有同震变化的地震。其中体应变、差应变(1)、差应变(2)共同都有同震变化的是135个,并找出了本台同震变化规律图。

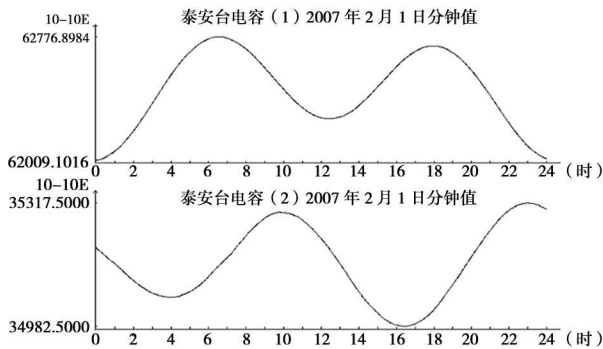


图1 2007年2月1日差应变固体潮日变曲线图

表1 2005年泰安地震台部分观测资料精度对比表

2005年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
体应变	0.0012	0.0015	0.0015	0.0022	0.0122	0.0032	0.0032	0.0017	0.0023	0.0016	.0010	0.0015
伸缩 NS	0.0059	0.0097	0.0231	.0123	0.0166	0.0154	0.0265	0.0120	0.0112	0.0092	0.0068	0.0082
水管 NS	0.0036	0.0053	0.0078	0.0084	0.0075	0.0184	0.0058	0.0057	0.0067	0.0050	0.0052	0.0040

注:精度计算所用程序为山东省地震局邹钟毅编制的《形变前兆台网及台站数据处理系统》

3.1 钻孔应变映震能力统计图分析

对泰安台 2000 年 1 月 1~2003 年 4 月 30 日间有同震变化的地震作了两份统计图, 一份是以同震变化的地震震级为纵座标, 以震中距 D 为横座标, 计算结果为(见图 3):

$$M = 1.964 \log D - 2.973$$

另一份是以同震变化的地震震级 M_s 为纵座标, 以震中距的对数(以 10 为底) $\log D$ 为横座标, $M = 2.308 \log D - 4.0$ (见图 4)。公式中, M 为震级, D 为震中距。

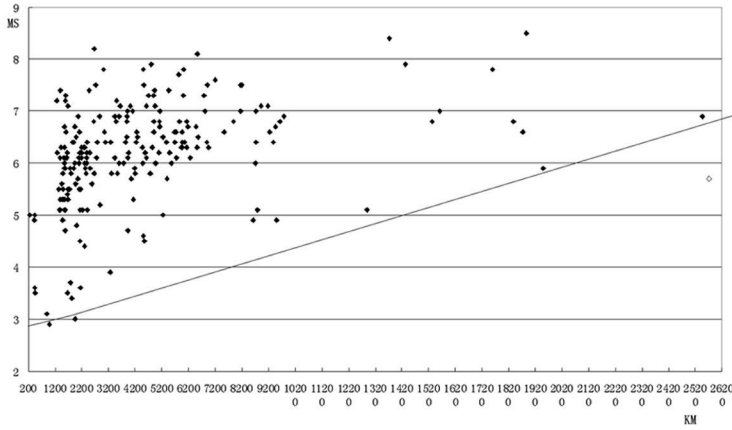


图 3 泰安台钻孔应变映震能力统计图

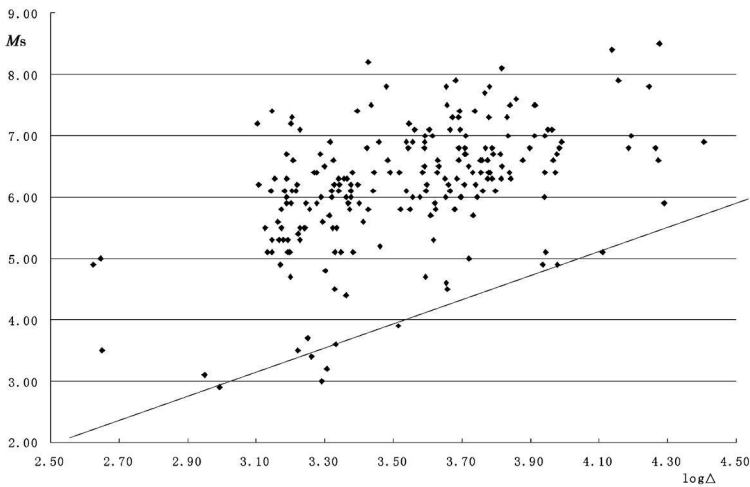


图 4 泰安台钻孔应变映震能力统计图

从做出的统计图看, 所有观测到同震变化的地震点在该图上基本分布在左上部分, 反应出本台钻孔应震能力范围。若震中距小于 1000km, 3.0 级以上地震本台两套钻孔应变仪都应该有同震变化, 超过这个范围的地震则记录不到。

3.2 钻孔应变典型同震变化及应变阶现象

通过对阶跃变化的统计分析, 上述 220 个有同震变化的地震中有阶跃变化的是 30 个。其中震前有阶跃变化的是 6 个, 震时有阶跃变化的是 15 个, 震后有阶跃变化的是 9 个。为什么有的地震震前有阶跃变化, 有的没有, 这个问题值得研究, 对地震分

析预报工作也很有意义。有学者指出, 这与地震所发生的地理位置、构造位置及震源深度等诸多因素有关, 这些地震可能触发了台站附近的断层错动, 导致地震过程中有应变阶跃, 这也是为目前国际地震学界非常关心的“应力触发和应力影”问题的研究提供了新依据, 至于具体是什么原因引起, 还有待于进一步总结资料, 研究、探讨¹⁾。例如: 2004 年 12 月 26 日发生在印尼苏门答腊 8.7 级地震, 本台体积式、压容差应变仪的记录曲线都有大幅度的同震变化, 差应变(1)和差应变(2)均出现了较大的应变阶(见图 5)。

1) 摘自邱泽华等《钻孔应变观测的新时代》

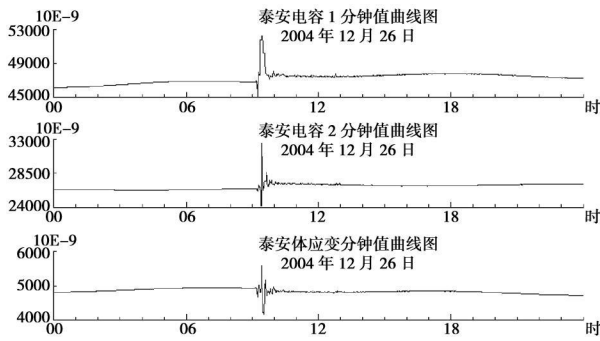


图 5 泰安台 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级地震
钻孔应变仪观测记录曲线

4 泰安地震台应变资料震前固体潮畸变震例分析

通过对本台 30 多年应变观测资料的统计分析,发现有的地震前后应变固体潮也存在着阶跃、畸变现象,这都是分析捕捉地震前兆异常非常有用的信息,本台资料有一例这方面的例证,1985 年 11 月 28 日 19 时 47 分至 20 时,在泰安市城区附近(北纬 $36^{\circ}09'$,东经 $117^{\circ}12'$),先后发生了震级为 1.2~3.1 级的 5 次地震,泰安市城区强烈有感并伴有闷雷似的地声两次,震中距 15km。震前我台 ZX-79 型应变仪的记录有明显的临震异常(见图 6)。

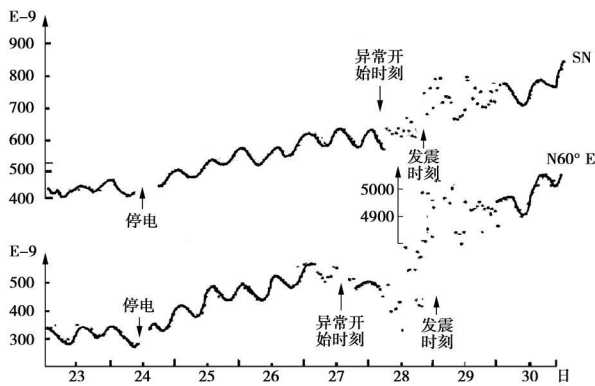


图 6 泰安台弦频式应变仪 1985 年 11 月整时值曲线图

(图片选自《泰安小震群应变固体潮临震异常》泰安基准地震台 孙其贵)

从图 6 中可以看到比较明显的临震异常。即 SN 向在震前 14 小时, N60°E 在震前 25 小时应变固体潮发生畸变,震时固体潮发生应变阶跃。其应变

参考文献:

- [1] 张跃刚,等. 华北地区地壳水平运动演化特征研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(1): 56-62.
- [2] 张跃刚,等. 从 GPS 观测看华北地区的形变场演化[J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(1): 36-41.
- [3] 蒋靖祥,等. 新疆地区钻孔应变观测及地震前兆研究[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 2004, 17: 45-46.
- [4] 石玉燕,钟普浴,等. 根据历史地震和应变能积累释放过程分析山东地区近期地震活动趋势[J]. 华北地震科学, 2005(2): 50-54.

阶跃为 10^{-6} 。在震后 24 小时内固体潮仍无规律,之后恢复震前有规律的变化。两条曲线急剧上升,表明受到了较强张应力的作用。这与震后调查的宏观有感范围是相吻合的。泰山震群存在可信的临震异常,在震前和震后 24 小时内表现为固体潮畸变,震时伴有应变阶跃,之后恢复震前正确变化形态,由地震引起的应变量为 $10^{-6} \times 23$ 。

由于泰安地震台处于少震区,十几年来台站周围未发生过 4 级以上地震,应变仅有此一例较明显的固体潮曲线畸变。

通过调研,我们收集了一些多震地区的钻孔应变台站利用所获应变固体潮分析预报地震的情况,许多震例都有成功的预报或有震前信息,例如:新疆地区的钻孔应变观测利用其所获得的应变固体潮资料多次预报成功,20 多年来经历新疆境内 6 级以上强震及邻区 7 级以上强震共 30 次,在 30 次地震事件中,63% 的地震前钻孔应变仪记录到了异常变化。其中,天山地震带上有 17 次地震,有明显地震前兆记录的 13 次,占 76%,钻孔应变台站均分布在此带上,对地震震前异常记录效果更好;昆仑山地震带上有 9 次地震,其 5 次地震前记录到应变异常,占 56%,并且进行了多次成功的预报^[3]。

5 结束语

我们认识到应变固体潮对地壳介质弹性性质的改变最为敏感,地震发生前地壳介质弹性性质会发生改变,进而所测应变固体潮曲线发生畸变。一个地震中的应变是与构造应力、地震过程联系最为密切的一个物理量,在地震研究中较为常用^[4]。所以根据应变固体潮在地震前后及地震过程的变化情况,总结出本地区地震孕育过程中应变固体潮变化规律,是非常有意义的。

可以设想,如果在一个地区设立足够多的钻孔应变台站,形成一定密度的台网,进行长期观测,获取一份长期稳定可靠的应变固体潮资料,及时发现并跟踪固体潮畸变现象,认真分析研究,找出规律,总结经验,对一定距离的中、强地震做出相应程度的分析预测意见是有可能的。

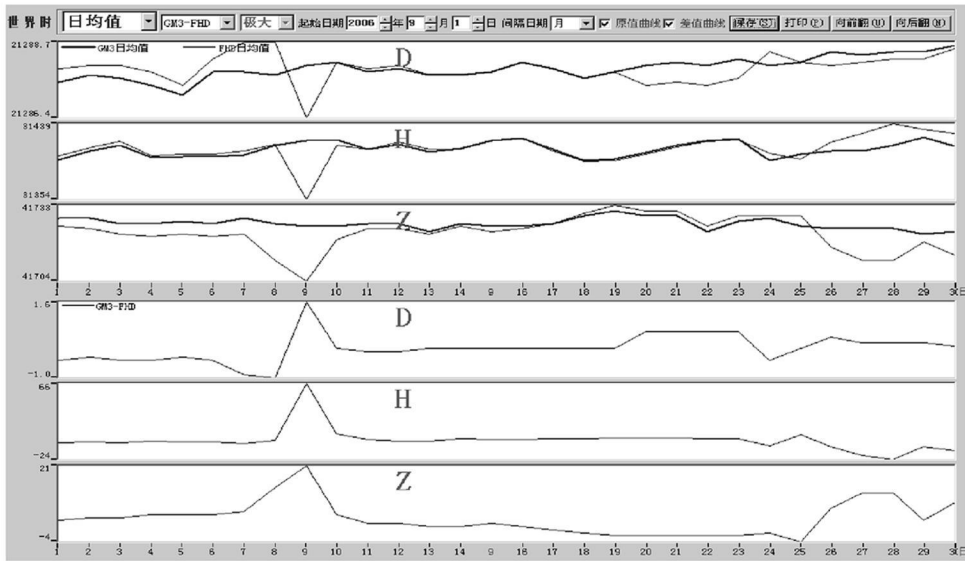


图6 泰安台2006年9月GM3-FHD-1三分量日均值变化曲线

3 结论

造成FHD-1核旋仪记录资料出现上述情况的

原因,初步认为是由仪器自身故障造成的,需要对仪器进行改进和更新,否则难以记录到连续、及时、准确可靠的资料。

参考文献:

- [1] 中国地震局监测预报司.地震前兆台网技术[M].北京:地震出版社,2001.
- [2] FHD-1型质子磁力仪研制报告[R].北京:地震出版社,1999:1-3.

Analysis to the data distortion of FHD-1 proton vector magnetometer

XING Wei-wei, SUN Qi-gui, CHEN Chuan-hua, LIN Xiu-na, JIA Li-guo

(Taian Standard Seismostation, Taian 271000, Shandong Province, China)

Abstract: The data curve of FHD-1 nuclear precession magnetometer in Taian station always shows some accented variation in recent years. After study we found out that it is caused by instrumental malfunction.

Key words: Taian Seismostation; nuclear precession magnetometer; concave-convex; scope

(上接第52页)

Analysis on the aberrance of solid tide from borehole strain in Taian Seismostation

LU Shuang-ling, LI Feng, WANG Qiang, YU Qing-min, LIU Hou-ming, QU Bao-an

(Taian Seismostation, Taian 271000 Shandong Province, China)

Abstract: Through analysis to the strain data in Taian Seismostation, the coseismic effect and aberrance of solid tide before and after earthquake are discussed. Based the typical earthquake examples recorded by other stations, the characteristic of solid tide anomalies from strain data is analyzed.

Key words: strain solid tide; coseismic variation; Taian Borehole