

首都圈地震短临预报新方法 观测与研究

国家地震局科技监测司 编

·形变方法			
	·电磁辐射方法	·地下流体方法	
			·地 热与其他方法



地 震 出 版 社

首都圈地震短临预报新方法 观测与研究

国家地震局科技监测司 编

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

首都圈地区近几年开展了多种地震短临预报新方法的试验观测、预报和研究工作,并取得了一定进展。本书汇集了有关单位在这方面所取得的经验与认识和研究成果,内容涉及应力-应变、电磁、地温和地下水气灵敏组分等新方法的观测原理、台点建设、异常指标、判据分析和震例研究。对于首都圈以及其他地区今后利用这些新方法进行地震短临预报实践具有参考和指导意义。本书适于地震科研人员阅读,并可供有关大、中专院校师生参考。

首都圈地震短临预报新方法观测与研究

国家地震局科技监测司 编

责任编辑:吴 冰

责任校对:李 珩

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 10.25 印张 259 千字

1994年7月第一版 1994年7月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1117-6/P·679

(1510) 定价: 10.00 元

序

从地震工作和防震减灾的角度看，首都圈地区主要是指以北京为中心包括北京、天津、唐山、张家口及其边邻地区，通常称之为京津唐张地区。该区是我国华北地区地震活动最强、地震灾害最严重的地区之一。近代唐山 7.8 级大震，为世人留下惨绝人寰的灾难；清代的三河—平谷 8 级大震，伤亡十万人，震憾皇宫。

唐山地震后，尽管从总体上地震活动有所下降，但中强地震仍十分活跃，4—5 级中等地震活动更为频繁。从地震监测预报、防震减灾的现实需要和对地震规律研究的长远探索之双重目的出发，国家地震局不仅从各方面加强了对该区监测预报和基础探测的整体安排，而且还把其作为首都圈地震预报试验场做更长远的部署。本文集中所汇集的有关论文，就是反映这双重探索中在地震前兆，尤其是短临前兆新技术、新方法探索中的一部分研究成果。

众所周知，对地震前兆的探测和研究，尤其是对短临前兆的探测研究始终是地震预报的关键问题。为此，80 年代以来，在国家地震局的统一部署下，在地震短临前兆的观测技术和观测方法方面，进行了新方法、新技术和新理论的探索。在首都圈地区进行的短临前兆新方法探索中，包括地热、地声、应变（体应变、线应变和应变）、电磁前兆（电磁波、大气电位、电磁脉冲）、断层气、地下水灵敏组分等观测方法；在短临前兆分析方法和短临预报理论方面，提出了加卸载响应比、非线性科学的应用等新的理论和方法。在十多年的探索中，这些新方法、新技术的研究以其自身的特点显示了其有意义的进展和在监视预报中的作用。这些特点主要表现在下述几个方面：

1) 这些新探索的短临前兆方法的科学原理和物理基础都比较明确和扎实。

2) 观测仪器的技术指标、标定方法、观测精度、异常的物理意义和用以预报的科学原理比较清楚。

3) 台址要求、工作条件和观测环境等有关的技术要求明确。

4) 在以 1989 年大同 6.1 级和 1991 年大同 5.8 级为代表的一系列中强震和其他一些 4—5 级中等地震中取得了一批有意义的实际震例资料，使这些方法在实践检验中逐步完善。

5) 这些新方法 with 首都圈常规监测台网一道，在首都圈的监视预报中，尤其是在像 1990 年亚运会那样重大国际活动的地震监测预报工作中作出了重要的贡献。

虽然这本文集还不能全部包括首都圈地区地震短临预报新方法、新技术探索的全部内容，但从其所收集的有关应变、地热、电磁前兆、断层气、地下水灵敏组分等多种方法的阶段性研究成果中可以看到这方面探索的重要进展，及其所显示出的可喜的前景。

当然，需要指出的是，当前地震科学的发展特点决定了地震预报探索的长远性和艰难性。因此，本文集所给出的成果，乃是整个地震科学和地震预报的发展长河中的一个特定阶段有关进展的记录。笔者相信，这些有意义的进展，将是地震预报继续前进的基石之一。

張國民

1994.4.25

目 录

形变方法

首都圈 TJ-1A 型体应变仪观测资料的分析	杨修信 等 (1)
用固体潮确定钻孔应变仪的原地测量灵敏度	陈沅俊 等 (11)
体应变台网在首都圈地震前兆观测中的作用	
..... 国家地震局分析预报中心体应变组	(16)
西拨子台形变观测及资料分析	刘惠琳 (23)

电磁辐射方法

地磁脉动预报地震方法的研究	周军成 等 (27)
震前大气电场观测研究初探	郝建国 等 (31)
首都圈数字化地磁脉动观测台网	周军成 等 (40)
震前大气电场观测概述	郝建国 等 (44)
岩石破裂过程中超长波段的电、磁、声信号的实验研究	曹惠馨 等 (48)
华北浅层地震电磁辐射异常特征	陈智勇 等 (57)
大同 6.1 级地震的电磁前兆异常	徐东红 等 (64)
电磁辐射资料处理及地震短临预报方法研究	
..... 河北省地震局地方工作处 地震电磁台网中心	(70)

地下流体方法

惰性气体同位素观测及其与地震活动关系的研究	孔令昌 等 (79)
首都圈测汞网的建设及其预报效能评价	魏家珍 等 (85)
首都圈断层气地震前兆监测与试验研究	高清武 (93)
隐伏活断层的地球化学特征研究	张玉松 (105)

断裂逸出氡观测用于地震短临预报的初步研究	宇文欣 等 (112)
塔院井逸出氢气变化与地震关系的初步探讨	范树全 等 (118)
断层气观测在化探及地震预报中的应用	范思源 等 (123)
怀来后郝窑断层气 CO ₂ 释放与地震关系研究	林元武 等 (127)
水化多项灵敏组分观测与地震短临预报	宋贯一 等 (131)

地热与其他方法

首都圈精密地温动态观测研究	陈沅俊 等 (134)
利用地热和体应变前兆观测进行地震预报	杨修信 等 (141)
首都圈地热、体应变异常的核实与分析	杨修信 等 (146)
一个地震前兆敏感点	陈沅俊 等 (153)

• 形变方法 •

首都圈 TJ-1A 型体应变仪观测资料的分析

杨修信 姚宝树 刘冬英

(国家地震局地壳应力研究所)

一、前 言

自本世纪 70 年代初开始, 由美国卡奈基研究所和得克萨斯大学研制生产的高精度 Sacks-Evertson 体应变仪在美国、日本等国得到了广泛的应用。我国自行研制生产的 TJ-1A 型体积式钻孔应变仪, 也于 80 年代在我国华北地区陆续布设。目前, 首都圈范围内有 3 台 TJ-1A 型体应变仪正常运行, 已取得了几年的连续观测资料, 在地震监测预报中发挥着应有的作用。

二、观测仪器系统和台站概况

70 年代末, 为了适应我国地震科学研究不断深入和地震监测预报的需要, 国家地震局提出了研制高灵敏度、高稳定性和高可信度的应变、形变观测仪器系统的要求, 并将观测到地球固体潮作为仪器系统的一项技术指标。由于钻孔式应变测量可大大削弱地面观测中不可避免的多种干扰因素, 因此, 几种类型的高精度钻孔应变仪在我国相继研制成功, TJ-1 型体积式钻孔应变仪就是其中的一种。

TJ-1 型体积式应变仪是由国家地震局地壳应力研究所和中国科学院力学研究所共同研制的, 1984 年通过了由国家地震局和中国科学院数学学部共同组织的技术鉴定^①。TJ-1 型体积应变仪具有很高的灵敏度。当体应变相对变化 1×10^{-10} 时, 差动变压器的电压输出为 0.0238mV, 双压电晶片输出为 3.66mV, 灵敏度达到了同类仪器的国际先进水平。该仪器系统的频率范围为 0—5Hz, 应变测量范围为 1×10^{-10} — 1×10^{-4} , 分辨率达到 10^{-11} 量级。工作状态时的漂移量为 $3.6 \times 10^{-8} / d$ — $9.8 \times 10^{-8} / d$ 。该仪器可采用热标定方法进行内标定。可进行模拟输出或数字输出。TJ-1 型体积应变仪在主要技术指标上达到了国际同类先进仪器的水平, 填补了我国体积应变测量仪器的空白。

近些年来, 由地壳应力研究所苏恺之、刘瑞民等改进生产的 TJ-1A 型体积式应变仪已有多台投入野外观测, 取得了一批观测资料和一些震例。实践证明, 该仪器观测系统适用于野外台站条件下的应变观测, 能记录到清晰的地球应变潮汐(图 1), 在某些地震前记录到了地壳应变异常^[1, 2], 震时能记录到震波(图 2), 是一种比较好的地壳应变测量仪

^①TJ-1型体积式应变仪技术鉴定证书, 震仪研84-004号, 科学院(85)产鉴字008号, 1984年。

器，也是观测地震短临前兆的一种有效工具。

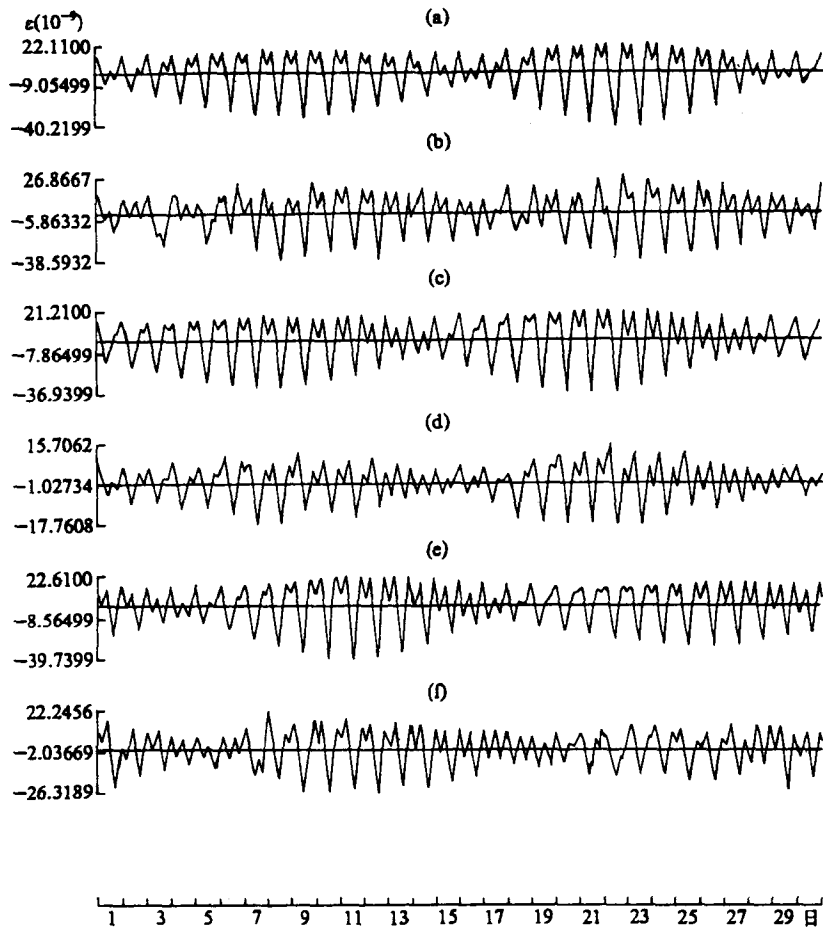


图 1 TJ-1A 型体应变仪记录到的应变固体潮及相应的理论潮汐曲线

(a)、(b) 1990 年 6 月张家口台体应变理论潮汐曲线和实测曲线；(c)、(d) 1990 年 7 月怀来台体应变理论潮汐曲线和实测曲线；(e)、(f) 1991 年 7 月昌平台体应变理论潮汐曲线和实测曲线

自 80 年代初开始，我国研制的体应变仪相继在华北地区一些地震台站安装使用，如河北省的峰峰、张家口、怀来台，江苏省的徐州台，北京的温泉、香山、昌平台等。在首都圈范围内，目前已投入正常观测并按时报送数据的台站概况如表 1 所示，其台站位置示于图 3。

表 1 首都圈 TJ-1A 型体应变仪观测台站概况

台 站	探头埋深 (m)	井 孔 岩 性	仪器安装日期
张家口台	55.0	火山岩	1989.5
怀 来 台	61.0	花岗岩	1988.4
昌 平 台	58.18	雾迷山组白云质灰岩	1987.7

由图 3 可见，目前 TJ-1A 型体应变仪在首都圈内的布点较少，且都集中在京西北至张家口一线。而在北京附近及其南部和东南部，国家地震局分析预报中心在顺义二张营、

马坊、东三旗、昌平、黄村、涑水和宝坻等地，布设了引进的 Sacks-Evertson 体应变仪。二者共同形成了首都圈部分地区的应变观测台网。

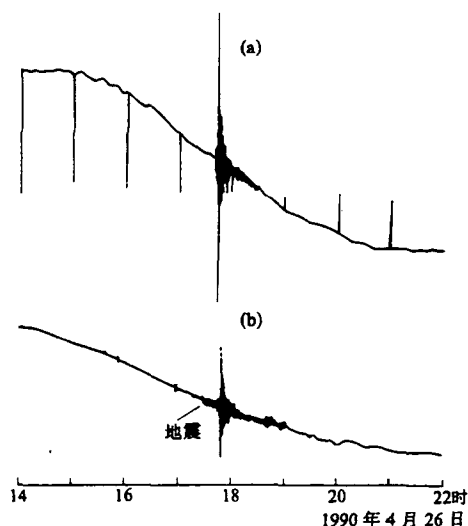


图2 张家口台(a)和怀来台(b)TJ-1A 型体应变仪记录到的 1990 年 4 月 26 日 17 时 37 分我国青海省共和 7.0 级地震的地震波图

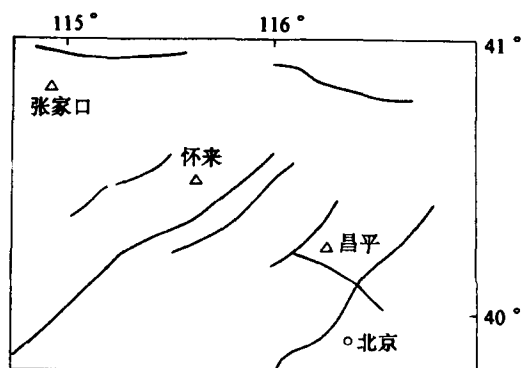


图3 首都圈 TJ-1A 型体积式钻孔应变仪测量点分布图

三、应变资料趋势性变化分析

TJ-1A 型体积式钻孔应变仪，可以记录到由日、月对地球的引潮力所引起的多种周期波叠加形成的潮汐应变（图 1）。同时，其测值也会出现缓慢的趋势性变化。其中属于仪器自身的零点漂移，其主要成分是线性的。构造形变及其所引起地壳应变变化一般是缓慢的。在震源孕育阶段，孕震区的应变积累通常也是比较缓慢的。它们都可能是应变测量出现趋势性变化的原因。此外，气象因素和某些低频的干扰成分，也会对应变测值产生一定的影响。因此，识别和排除干扰因素，提取地壳应变变化的中短期趋势性异常信息，是将应变观测资料用于地震短临监测预报的一项带探索性的重要工作。

为了更好地分析、使用体应变观测资料，首先要针对不同台站的具体情况，对其资料进行预处理。它主要包括以下内容：

1) 定性验证观测数据的增大、减小与测区体应变张、压性质的关系。由于天体间相对位置的变化，体应变固体潮理论振幅和相位总是随时间而不断变化的。但是其数值的增、减，与测区受天体引潮力作用而产生的体应变状态的张、压性质的关系是固定的，是不随时间而变化的。数值增大表示体膨胀，数值减小表示体压缩。在使用钻孔式体应变仪对地壳应变进行实测的过程中，大都习惯于将测值上升表示为测区压应变增强，而将测值下降表示为测区压应变相对减弱，或称之为出现了附加张应变。这种习惯说法并不影响我们对应变资料的使用和分析。但是，作为一个台站的资料，其各个时段的表示方式应当一致，否则，就会使由其测值所计算得到的测区应变变化的张压性质产生混乱。

为此，我们将台站的实测体应变整点值曲线，与该测点相同时段的体应变潮汐理论值曲

线进行了对比。结果表明,体应变台站的实测资料在反映测区体应变状态的张、压性质方面基本上是统一的、正确的。其中个别不协调的部分,视其具体情况,给予了必要的改正。

2) 分析实测数据变化量级的可靠性。对于首都圈内位于北纬 40° — 41° 的体应变观测点而言,其潮汐理论值的变化幅度一般不超过 7×10^{-8} 应变量,实测体应变固体潮波幅通常不应大于此值。通过对比理论值曲线与消除漂移后的实测体应变固体潮曲线,我们发现,体应变实测结果与上述情况基本相符。对于在体应变量的换算中存在的个别问题,给予了核实与更正,从而得到了被测地区比较真实的体积应变变化,为定量地分析体应变观测资料打下了基础。

3) 观测数据的拼接和插补。在台站观测条件下,由于仪器维修、供电电源故障等原因,会造成观测资料的中断。这不仅破坏了数据的连续性,给数据的处理、分析带来一些不便,有时还会使中断前后的数据出现跃变而不能直接使用。例如,数据中断之后,数据的基值变化很大,有时甚至造成数据的符号相反。有的在恢复观测以后,数据的变化一时不能恢复正常,需待十几甚至几十个小时后,数据才真正恢复到原来的正常变化状态。在上述情况下,就需要用适当的方法对观测资料进行插补和拼接。

在作了预处理的基础上,可对观测资料作进一步的处理分析。对于趋势变化的研究来说,应变观测资料中的潮汐成分也是一种干扰。为了滤除固体潮的影响,比较理想的方法是别尔采夫滤波法。24 小时组合法(即日均值)的滤波效能不及别尔采夫法,但由于使用方便,其滤波效果通常能满足应变趋势分析的要求,所以被广泛采用。以下拟根据首都圈内几个体应变观测点的具体情况,对其日均值序列作一些趋势变化分析。

1. 张家口地震台

图 4(a)示出了张家口台体应变观测日均值原始曲线。为了更好地突出体应变资料中可能与震源孕育有关的几天至几个月的中短期趋势性变化,我们一方面滤除原始观测序列中周期小于几天的高频部分,同时也从中消去可能属于系统零点漂移的,或者缓慢地壳形变产生的长周期成分,其结果示于图 4(b)。

体应变观测结果通常会受到气压变化的影响。对作了上述数学处理之后的应变测值与气压观测值进行相关分析。对于 1990 年 1 月至 1992 年 6 月的资料(样本数 $N=912$),相关系数 $r=0.6874$,在 $\alpha=0.01$ 的水平上是高度显著的。其残差曲线示于图 4(c),剩余标准差(含异常段) $S=14.6 \times 10^{-9}$ 。

由图 4 可以看出:① 张家口台体应变日均值曲线的漂移不甚明显,两年半时间内,测值变化未超出 1.8×10^{-7} 范围。② 该测点应变观测值具有“冬高夏低”的准年周期变化,但年变幅度较小,且各年度不等,最大变化幅度为 10^{-7} 应变量级。造成年周期变化的主要原因,可能是气象因素对应变测值的影响。③ 图 4 中三条曲线均显示出,1991 年 4 月下旬至 8 月上旬是一个明显的应变异常时段:测值先以较大速率下降,6 月 24 日出现转折反向,接着又以更高的速率回升。反映测区出现了一次张性应变异常变化。这次趋势性异常持续约 100 天,最大异常幅度为 10^{-7} 量级。它在日均值曲线(图 4a)上,表现为明显偏离年变轨迹线。在经气压改正的曲线(图 4c)上,异常超出了 3 倍标准差,异常是可信的。我们曾将这一短期趋势异常作为依据之一,于 1991 年 9 月 27 日正式提出了地震短临预报

意见, 并取得了较好的对应效果^①。

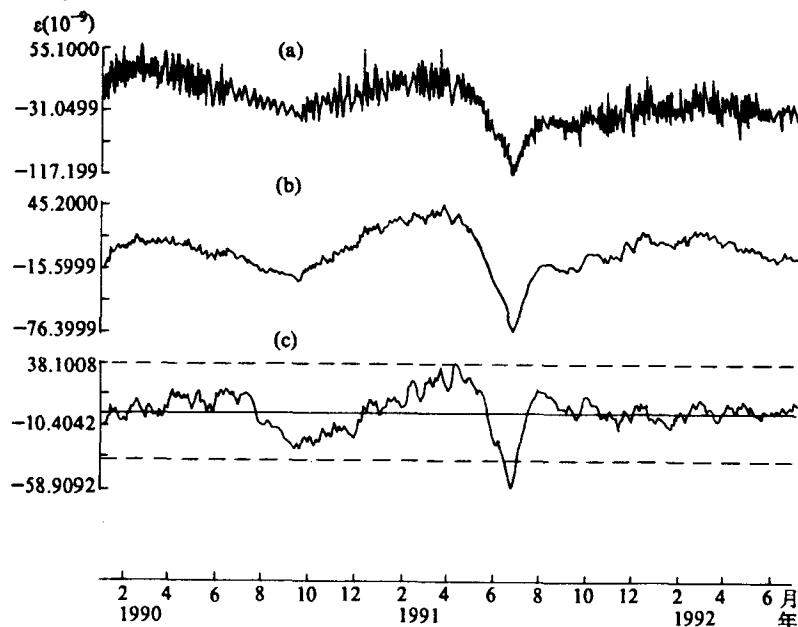


图4 张家口台 TJ-1A 型体应变仪观测曲线

(a)日均值曲线; (b)带通滤波后的曲线; (c)气压改正后的曲线

2. 怀来地震台

怀来台体应变仪 1990 年 1 月至 1992 年 6 月的观测日均值曲线示于图 5(a)。由图看出, 该测点体应变测值的一个突出特点是漂移量很大。在图中示出的 912 天的资料, 应变漂移总量为 2.44×10^{-5} , 平均月漂移约 8.1×10^{-7} 。各个月份的应变漂移量如表 2 所示。

表 2 1990 年 1 月至 1992 年 6 月怀来台体应变月漂移量($\times 10^{-7}$)

应变 量 月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1990	14.4	13.0	12.6	15.0	9.7	9.8	11.0	9.5	10.0	8.8	7.0	8.1
1991	7.3	7.2	6.7	6.0	5.0	5.6	6.1	3.8	8.2	7.3	4.8	5.2
1992	7.3	7.1	4.9	7.5	7.7	8.4						

为了更清楚地显示怀来台体应变漂移速率的变化情况, 我们对其原始观测日均值序列作消除线性趋势的处理, 其结果如图 5(b)所示。

由表 2 和图 5(b)可见: ① 怀来台体应变各个月份的漂移量差异很大, 有的相差几倍。② 应变漂移速率的增减变化无明显主周期成分(功率谱密度分析结果), 有时几个月持续增大, 有时增大不足一个月即又相对变缓。③ 该测点应变速率变化的总趋势是: 1990 年 1 月至 1991 年 8 月, 其速率有逐渐减小的趋势, 之后, 变化速率大致平稳而略有回升势头。对该测点应变漂移速率之大、持续时间之长及其各个时段的差异性, 目前还缺乏有说服力的物理解释。

对怀来台体应变观测日均值作多项式拟合, 求得其残差, 见图 5(c), 以便消除原始观

①杨修信等, 利用地热和体应变前兆观测新方法进行地震预报实践, 1992。

测值中因各种因素引起的长周期变化。由图 5(c)看出,在两年半的时间内,去掉长趋势变化的怀来台体应变值,其变化范围不超过 5.7×10^{-7} 。残差序列($N=912$)的剩余标准差 $S=106.8 \times 10^{-9}$ 。图 5(c)清楚地显示,体应变测值在连续几个月不断下降的背景上,1991

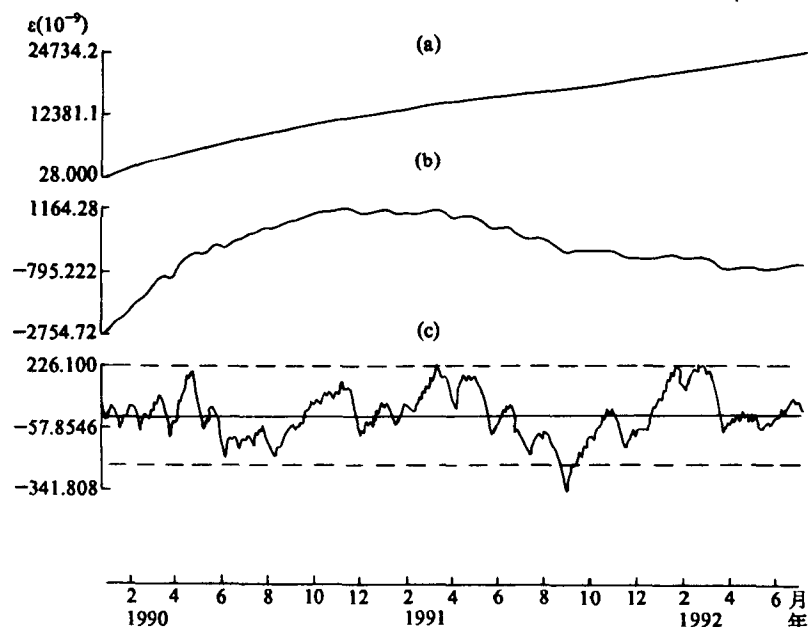


图 5 怀来台 TJ-1A 型体应变仪观测曲线

(a)日均值原始曲线; (b)消除线性漂移; (c)多项式拟合残差曲线

年 7 月持续下降,8 月底反向回升。8 月下旬至 9 月上旬的应变值明显偏离其均值基线,超出了 3 倍标准差,形成一个可信的张性应变异常。我们认为,该异常可能是 1991 年 9 月 30 日苏尼特右旗 5.4 级地震的前兆反应。

3. 昌平综合台

昌平台除了用 TJ-1A 型体应变仪进行观测外,同时还进行气压、水位等项辅助观测。1990 年 1 月至 1992 年 6 月的体应变日均值曲线和相应的水位、气压观测曲线示于图 6。

由图 6(a)看出,昌平台体应变存在一定的漂移。两年半时间内,总漂移量约为 2.5×10^{-6} ,月平均 8.3×10^{-8} ,漂移幅度不大。相应的水位曲线,见图 6(b),总体表现为逐渐上升,反映测孔实际水位在波动中有下降趋势。气压观测值见图 6(c),其准年周期变化明显,但其变化幅度不等,1991 年 7 月至 1992 年 6 月的年变幅度比以往相应时段小约 36%。

(1) 长趋势变化的消除

为了突出观测资料中的中短期趋势性变化,用多项式拟合方法消除其长周期成分后的体应变、水位和气压残差曲线分别示于图 7(a)、(b)、(c)。与图 6 对比可见,几天至几个月的测值变化更为明显,气压测值的年变周期更加突出。

(2) 相关分析

为了定量地分析体应变测值与干扰因素的关系,我们对其进行了相关分析。

由图 7(a)、(b)易见,去掉长趋势后的体应变曲线与水位变化曲线形态非常相似,这表明体应变观测值明显受到测区水位变化的影响。同时也可发现,体应变对水位变化的响

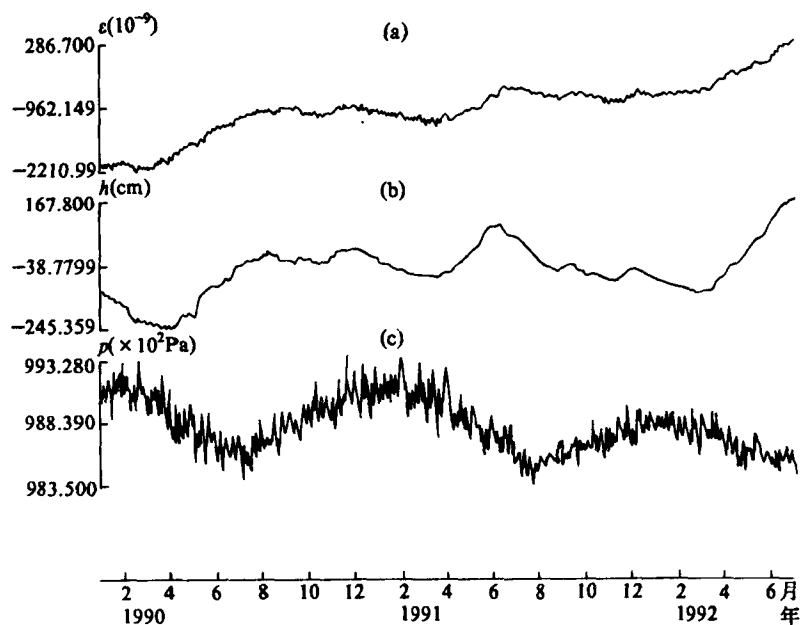


图 6 昌平台 TJ-1A 型体应变仪观测及辅助观测曲线

(a)体应变日均值曲线; (b)水位日均值曲线; (c)气压日均值曲线

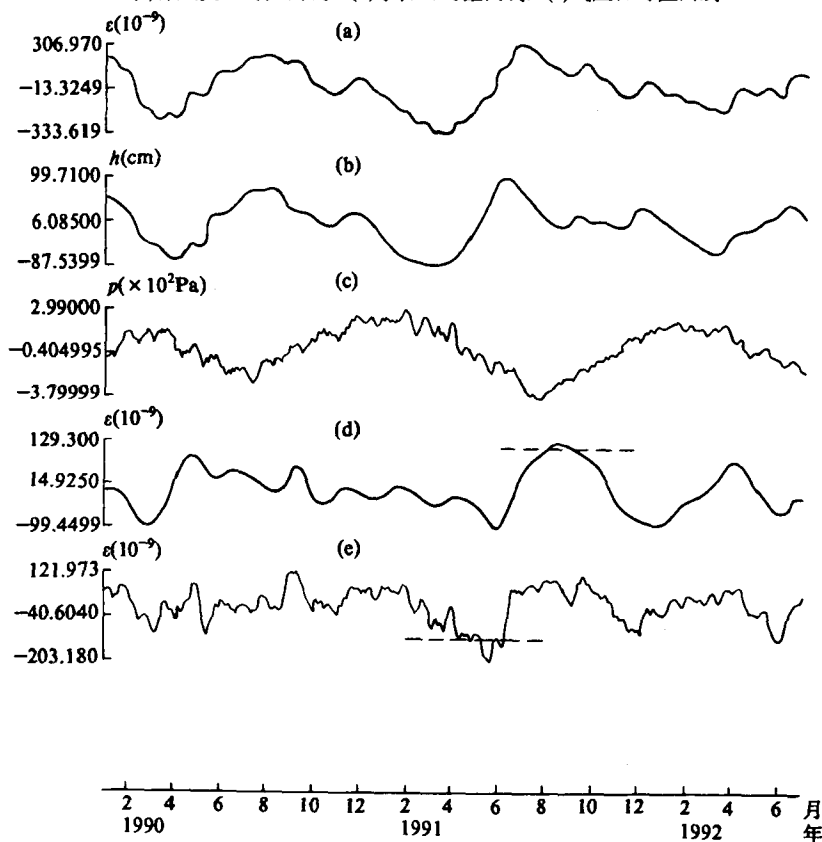


图 7 昌平台体应变和辅助观测资料处理结果

(a)、(b)、(c)分别为消除长趋势变化后的体应变、水位和气压曲线; (d)经水位改正后的体应变曲线; (e)同时经水位、气压改正后的体应变曲线

应,有明显的滞后效应。用不同滞后天数的体应变测值序列对水位测值序列作回归分析,其相关系数出现有规律的变化。当滞后时间为7天时,二者的相关系数最高, $r=0.9181$,在 $\alpha=0.01$ 的水平上显著相关。图7(d)示出了体应变观测序列滞后7天时与水位测值进行回归分析得到的残差曲线。与图7(a)相比,经水位改正后的应变变化最大幅度,比未排除干扰时缩小了64%。由相关分析得到昌平台体应变的水位系数为 $3.1 \times 10^{-9} / \text{cm}$ 。残差序列的标准差 $S=59.8 \times 10^{-9}$ 。由图7(d)可见,昌平台体应变在排除水位变化的影响之后,于1991年8月至9月上旬出现了超出2倍标准差的应变异常。

昌平台体应变与气压测值相关分析的结果表明,二者为负相关关系。同时,体应变对气压也存在滞后现象。其绝对值最大的相关系数 $r=-0.7735$,在 $\alpha=0.01$ 的水平上显著相关。由此求得的气压系数为 $-7.5 \times 10^{-10} / \text{Pa}$ 。

同时考虑水位、气压对体应变测值的影响而对其作二元回归计算,所得到的残差曲线示于图7(e)。其复相关系数 $R=0.8897$ 。体应变与水位和气压的偏相关系数分别为 $R_1=0.8350$ 和 $R_2=-0.2300$ 。因为偏相关系数是在除去其他自变量影响的情况下所得到的相关系数,所以它能够较真实地反映两个变量间的本质联系。可见,昌平台体应变与水位测值之间存在非常显著的相关关系。由二元线性回归结果得到体应变对水位的标准回归系数 $B_1=0.8160$,对气压的标准回归系数 $B_2=-0.1270$ 。由于两个自变量——水位和气压测值序列间的相关系数 $r=-0.0906$,其绝对值很小。所以,可以根据与水位、气压所取的单位(如 cm , Pa)无关的标准回归系数的绝对值大小,来判别水位、气压对体应变影响的主次关系。 B_1 比 B_2 的绝对值大得多。显然,昌平台体应变主要受水位变化的影响。同时考虑水位和气压对体应变的影响时,所得到的水位系数为 $2.8 \times 10^{-9} / \text{cm}$,气压系数为 $-1.15 \times 10^{-10} / \text{Pa}$ 。与一元回归结果相比,水位系数变化不大,而气压系数的绝对值大大减小。二元回归得到的结果更符合实际。

从经过水位、气压改正后的应变曲线[图7(e)]可见,从1991年4月初开始,体应变测值偏离其均值基线的幅度越来越大,5月中旬反向变化,6月中旬基本恢复正常。其中5月中旬至6月上旬的应变值超过了2倍标准差,异常最大幅度为 2×10^{-7} 。

初步认为,上述用不同方法提取的1991年4—6月和8—9月的昌平台体应变异常,可能分别与5月30日唐山、丰南附近的5.1级地震和9月30日苏尼特右旗5.4级地震有关。

四、应变潮汐因子

由固体潮理论和应变测量原理可知,应变观测系统对潮汐应变的响应与测区岩石的物理力学性质密切相关。岩性不同的地区,应变观测的响应情况不同。同一地区,如果岩石力学性质发生了变化,应变观测对潮汐应变的响应程度也会改变。有关实验和研究表明,当震源孕育到一定阶段时,孕震区的微裂隙出现扩展、串通,致使介质特性发生变化。对于孕震区内的高精度应变测量系统而言,此时所记录到的潮汐应变将可能会出现异常变化,即出现应变潮汐的畸变。根据TJ-1A型体应变仪的分辨率和观测精度,这种固体潮波形畸变,可从应变潮汐振幅因子的变化中检测出来。因为潮汐振幅因子通常只在一定范围内波动,当测区介质性质发生变化时,它就可能偏离正常变化范围。

为了计算体应变潮汐因子，我们编制了维涅第科夫调和分析方法的计算机程序。经对潮汐理论值计算验证，程序正确。

图 8(a)、(b)、(c)分别示出了 1990 年 1 月至 1992 年 6 月张家口台、怀来台和昌平台体应变(经别尔采夫滤波)潮汐振幅因子随时间的变化曲线。由于各台站观测系统、岩石条件、观测环境等方面的差异，它们对固体潮的响应各不相同。张家口台的体应变 M_2 波潮汐振幅因子在 0.78—1.0 之间，怀来台在 0.24—0.54 之间，昌平台在 0.48—0.73 之间。

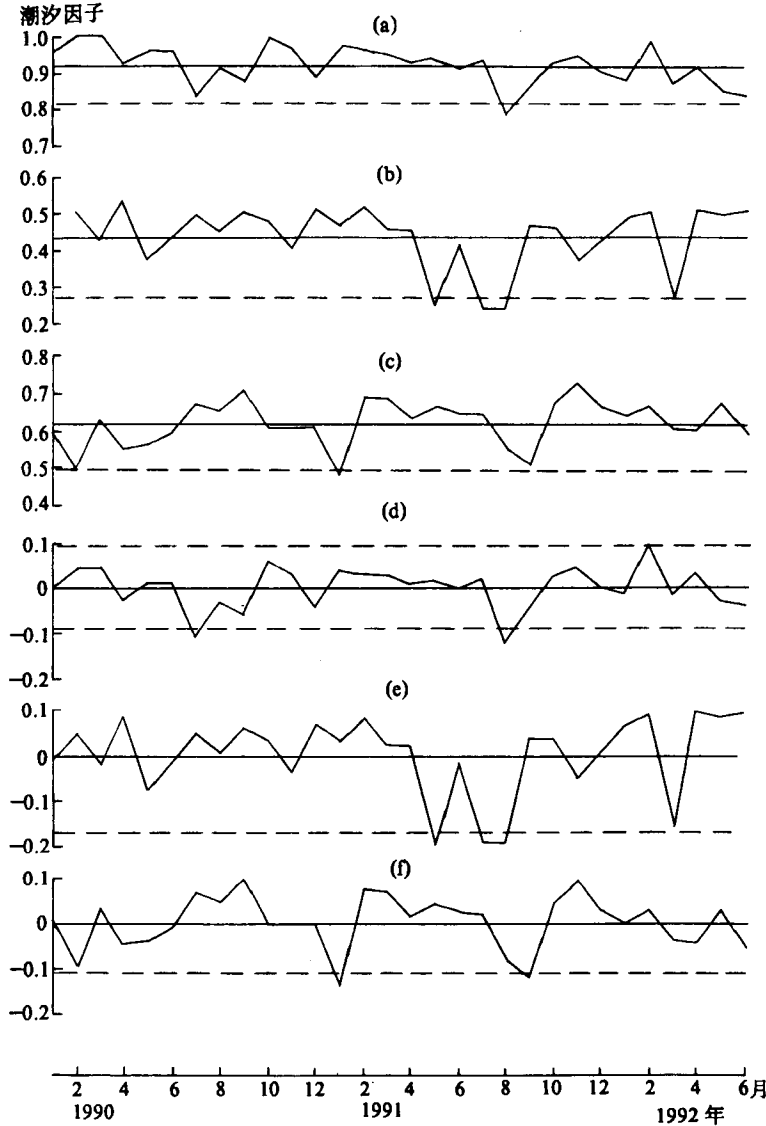


图 8 TJ-1A 型体应变仪观测资料 M_2 波潮汐振幅因子

(a)张家口台；(b)怀来台；(c)昌平台；(d)、(e)、(f)分别为张家口台、怀来台和昌平台

M_2 波潮汐因子消除线性漂移后的曲线

通常，人们把固体潮振幅因子的精度 m 作为观测精度的评定指标。张家口台、怀来台和昌平台 M_2 波振幅因子的平均 m 值分别为 0.038，0.044 和 0.056，与其他体应变测

点的计算结果相近。而它所反映的体应变固体潮观测质量,目前尚略低于 I 类石英伸缩仪、倾斜仪观测^[3]。

从潮汐因子随时间的变化曲线(图 8)看出,张家口台在 1991 年 8 月出现了超过标准差 $S(S=0.052)$ 2 倍的异常。怀来台在 1991 年 5 月、7 月和 8 月连续出现超出 $2S(S=0.087)$ 的异常,1992 年 3 月的数值也达到 $2S$ 。昌平台 1991 年 1 月的异常数值超过 $2S(S=0.060)$ 。

从图 8(a)、(b)、(c)看出,三个台站体应变潮汐因子的变化都存在一定程度的漂移。消除线性趋势后的残差曲线分别示于图 8(d)、(e)、(f)。由此看出,张家口台在 1990 年 7 月和 1991 年 8 月出现超出 $2S(S=0.047)$ 的明显异常。怀来台超出 $2S(S=0.086)$ 的异常时间为 1991 年 5、7、8 月。昌平台在 1991 年 1 月和 9 月出现的异常也超出了 $2S(S=0.059)$ 。

在上述三个台站潮汐因子出现明显异常的月份或其后两个月内,首都圈及其邻区都有中强以上地震发生,如 1990 年 7 月 21 日大海坨山 4.6 级地震,1991 年 3 月 26 日大同—阳高 5.8 级地震,1991 年 5 月 30 日唐山、丰南附近的 5.1 级地震和 9 月 30 日苏尼特右旗 5.4 级地震。而在苏尼特右旗地震前,三个台的潮汐因子都出现了明显的异常变化。

从以上结果可以看出,应变潮汐因子确实包含一定的地震前兆信息。

五、结 语

1) 首都圈内几个台站的 TJ-1A 型体应变仪观测资料,经过一定的数学处理之后,在其周围一定范围内的中强以上地震前显现出明显的短期和临震异常。体应变测量作为地震短临监测预报的一种新方法,有实际应用和推广价值。

2) 钻孔体应变资料所包含的信息非常丰富,同时也受到某些干扰因素的影响,从中提取地震前兆信息,是一项带探索性的工作。本文的分析还是很初步的。

3) 使用不同的数据处理方法,即使对同一资料也可能会产生不同的异常显示。目前所说的地震前的异常变化,多数还是指异常出现和地震事件在时间上的联系,而其在物理上的本质联系尚须作深入研究。

参 考 文 献

- [1] 拾礼勤、张绍治、季幼庭,山东菏泽 5.9 级地震前体积应变仪记录到的应变变化,地震学刊, No.2, 1984.
- [2] 李志民、纪运刚,几次地震前峰峰地震台记录的体应变异常及其特征,西北地震学报, Vol.14, No.3, 1992.
- [3] 吴翼麟、李旭东、周景明,我国地倾斜台站观测精度的评定,国家地震局科技监测司,地震监测与预报方法清理成果汇编 重力、地倾斜、地应力分册,地震出版社,1989.