

地震前后唐山地震台地形变数据 频谱特征分析*

李文静, 杨国华, 武艳强

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

摘要:该文以唐山地震台 1984 年以来的地形变数据为研究对象, 对其用自回归模型分析后, 采用 Daniell 滑动窗得到其频谱。通过唐山地方震($M_L \geq 5.0$)与华北强震($M_L \geq 6.0$)前后自回归阶数变化的对比, 表明基线的自回归阶数在震前较大, 震后变小。水准数据除了在 1995 年唐山地震的例子中, 也有类似的特征。频谱分析也表明, 唐山地震台形变数据中反映的周期在 2 ~ 11 天之间。震前的谱成分多于震后的谱成分, 基线的频谱变化较水准的频谱变化显著。

关键词:唐山地震台; 地形变数据; 频谱分布; 区域地震活动

中图分类号:P315.7

文献标识码:A

文章编号:1000-3274(2009)02-0141-06

引言

1976 年 7 月 28 日的唐山 7.8 级地震是近几十年来中国大陆东部发生的最大地震, 地震在震中区(地震破裂断层)导致了断层两侧出现了大约 1 m 的相对下沉以及 1.5 m 的水平错动^[1]。其升降和错动形变大体上都以发震断层为界面, 由于深部形变与强烈地震波的共同作用, 在震区形成了大量的总体走向为 $N30^\circ \sim 40^\circ E$ 呈雁状排列的地裂缝, 其中发震断层附近尤为明显^[2]。

为追踪大震后该断层动态应力场的调整过程, 研究断层活动与唐山地震区余震活动的关系, 中国地震局第一监测中心经过遴选, 在地表裂缝出露最典型的原唐山十中院内布置了形变监测台站, 到目前为止已进行了近 30 年的连续监测。台站的监测网跨越了被多数学者确认为 7.8 级地震的主体发震的 5 号断层。这为研究唐山地震后发震断层及周围地区的地壳应力场变化、获得与发震构造直接有关的形变信息提供了宝贵资料。唐山地震观测台形变数据是分析该地区断层活动状态及地震的最直接、最有效的方法^[3]。谢觉民等^{[4],[5]}根据震后唐山地震观测台 18 年的形变观测资料对唐山断层活动及其地区余震活动的关系进行了研究, 认为发震断层的垂直和水平形变主要集中在大震之后的 7 年内, 1983 年是震后形变的转折期, 大面积垂直形变显示的形变与断层形变强度的变化规律基本一致。在分析

* 收稿日期: 2008-03-13; 修改回日期: 2008-06-02

基金项目: 中国地震局三结合项目(43 号)

作者简介: 李文静(1982-), 女, 天津市人, 助理工程师, 主要从事大地测量与地球动力学等研究。

了唐山地震后的几次余震,认为唐山发震断层的形变可作为一个"窗口",用以监视本区或其邻区的形变场动态。

为了能够让唐山地震观测台的地形变数据在日常的监测预报中发挥更大的作用,需将数据分析方法从原始观测曲线的主观判断提升到统计方法的定量分析上。本文在前人研究的基础上,通过地形变数据时间序列与唐山地方震($M_L \geq 5.0$)和华北强震($M_L \geq 6.0$)发生时间的对比分析,引入了自回归模型和 Daniell 滑动方法,通过分析地震前后的频谱阶数变化探讨了地形变数据趋势变化与区域地震活动特征的关系。

1 台站情况及相关研究资料

唐山地震观测台成立于 1978 年,并于该年下半年开始观测,现今正式公布的数据从 1984 年 1 月 1 日开始。该台站主要观测项目及测量方法见表 1。其中,台站基线尺长度为 24 m,测量顺序是 B1、B2、C、B3、B4、C、B1,然后返测。水准测量时,测量仪器在 C 点,

表 1 唐山地震台观测项目及仪器情况

观测项目	仪器名称	仪器精度	测量方法
气温	自计温度计	1℃	模拟记录
降雨	量筒	0.1 ml	每日记录一次
短水准	Ni007, Ni002, DiNi11	0.01 mm	上午往测、下午返测,求平均值
短基线	钢瓦基线尺	0.01 mm	往测和返测中间不间断,求平均值

测量顺序依次是 L1、L2、L3、L4,然后下午返测(图 1)。1984 年以来的短水准、短基线观测变化曲线见图 2。

在台站数据同时间段内(1984 年 1 月 1 日至 2007 年 9 月 30 日),唐山地区共发生 3.0 级以上地震 417 次,其中 5.0 级以上 2 次。根据这些地震的震中分布特征和唐山地震台地形变数据的曲线变化初步认为,5.0 级以下的地方震不改变地形变数据的变化特征。因此,本文扩大了研究范围和震级。1984 年 1 月 1 日至 2007 年 9 月 30 日华北地区($37^\circ \sim 43^\circ \text{N}$, $110^\circ \sim 120^\circ \text{E}$)共发生 $M_L \geq 5.0$ 地震 18 次,本文选择了其中华北地区 6 级以上地震 2 次和唐山地区 2 次 5 级以上地震(表 2)。

2 数据分析

图 2 显示了唐山地震观测台 1984 年以来的地形变记录及唐山地区 $M_L \geq$

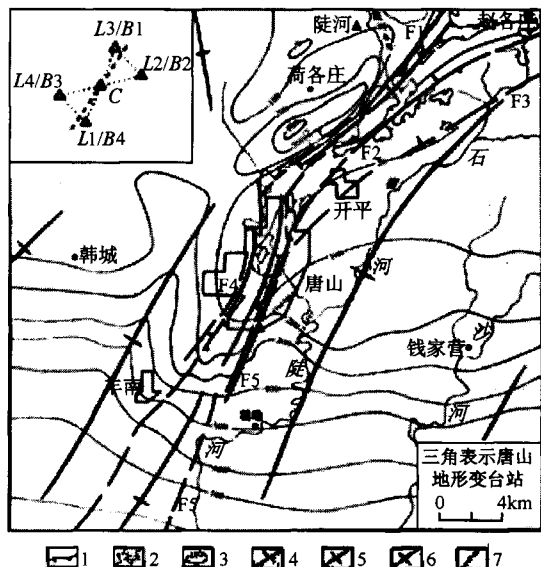


图 1 唐山地震观测台位置及测量场地构造示意
(地质构造图来自文献[6])

1. 山地与平原分界; 2. 基岩地质界线; 3. 第四系等厚度线;
4. 断裂及编号; 5. 背斜; 6. 向斜; 7. 地震地表破裂带;
- F1 为陡河断裂; F2 为魏山-长山南坡断裂; F3 为唐山-古冶断裂; F4 为唐山-丰南断裂; F5 为唐山断裂

表 2 1984 年至 2007 年 9 月唐山地区 $M_L \geq 5.0$ 和华北地区 $M_L \geq 6.0$ 地震统计

编号	发震时间 (年-月-日-时:分:秒)	震中位置		震级(M_S)	震源深度 /km	震中地名
		φ_N	λ_E			
1	1989-10-19-01:01:33.6	39°56.5'	113°50.6'	6.1	14	大同市新堡村 ^[7]
2	1991-05-30-07:06:57.1	39°43.8'	118°22.2'	5.3	10	唐山 ^[7]
3	1995-10-06-06:26:53.6	39°40'	118°20'	5.0	5	唐山 ^[8]
4	1998-01-10-11:50:39.0	41°06'	114°18'	6.2	10	张北 ^[9]

5.0 和华北地区 $M_L \geq 6.0$ 地震的时间。从原始曲线上可看出,在每次地震前两年左右开始出现不规则的曲线变化,如图 2 中基线 B1—B2 的 1995—1998 年数据,基线 B2—B3 的 1987—1990 年的数据,基线 B3—B4 和 B4—B1 的 1988—1991 年的数据,水准各测段 1996—1998 年的数据等。为分析这种不规则变化中所包含的信息,并比较震前和震后的特征,本文选取了地震前 2 年,震后 1 年的数据,运用统计地震学软件进行自回归分析和频谱分析^[10]。其中,自回归分析采用 AIC 准则,自动选择最佳的回归阶数。做频谱分析时,采用修正了的 Daniell 滑动平均窗口,对不同时段的数据做了频谱分析。原始 Daniell 滑动窗口是平均分配周期图值,即每个频率密度的估计值是前一个周期图值和后一个周期图值的平均值,其权重为 $1/2m+1$,其中 m 为核函数宽度。在修正的 Daniell 滑动窗口中,加大了最后一个周期值的权重,即前面 m 个周期图的权重均为 $1/2m$,最后一个值的权重为 $1/2$ 。

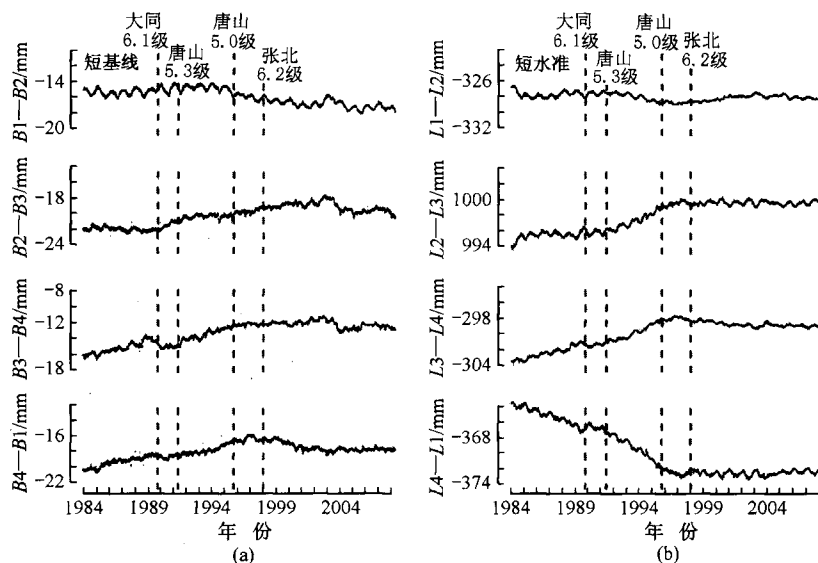


图 2 1984 年以来短基线(a)和短水准(b)观测变化曲线

这里以 1989 年大同地震为例,说明地震前后的地形变数据中所包含的信息成分的变化。图 3 给出了用基线和水准数据得到的结果。

由图 3 可看出:① 自回归分析中,其阶数有比较明显的变化,在 8 条测线上,其中 6 条测线的震前自回归阶数大于震后自回归阶数,另 2 条测线的震前自回归阶数小于震后自回归阶数;② 频谱分析显示,震前数据中包含的谱成分要稍多于震后的谱成分,基线数据的谱成分变化比水准数据的谱成分变化显著。这些谱成分主要集中 2~11 天之间,即在半

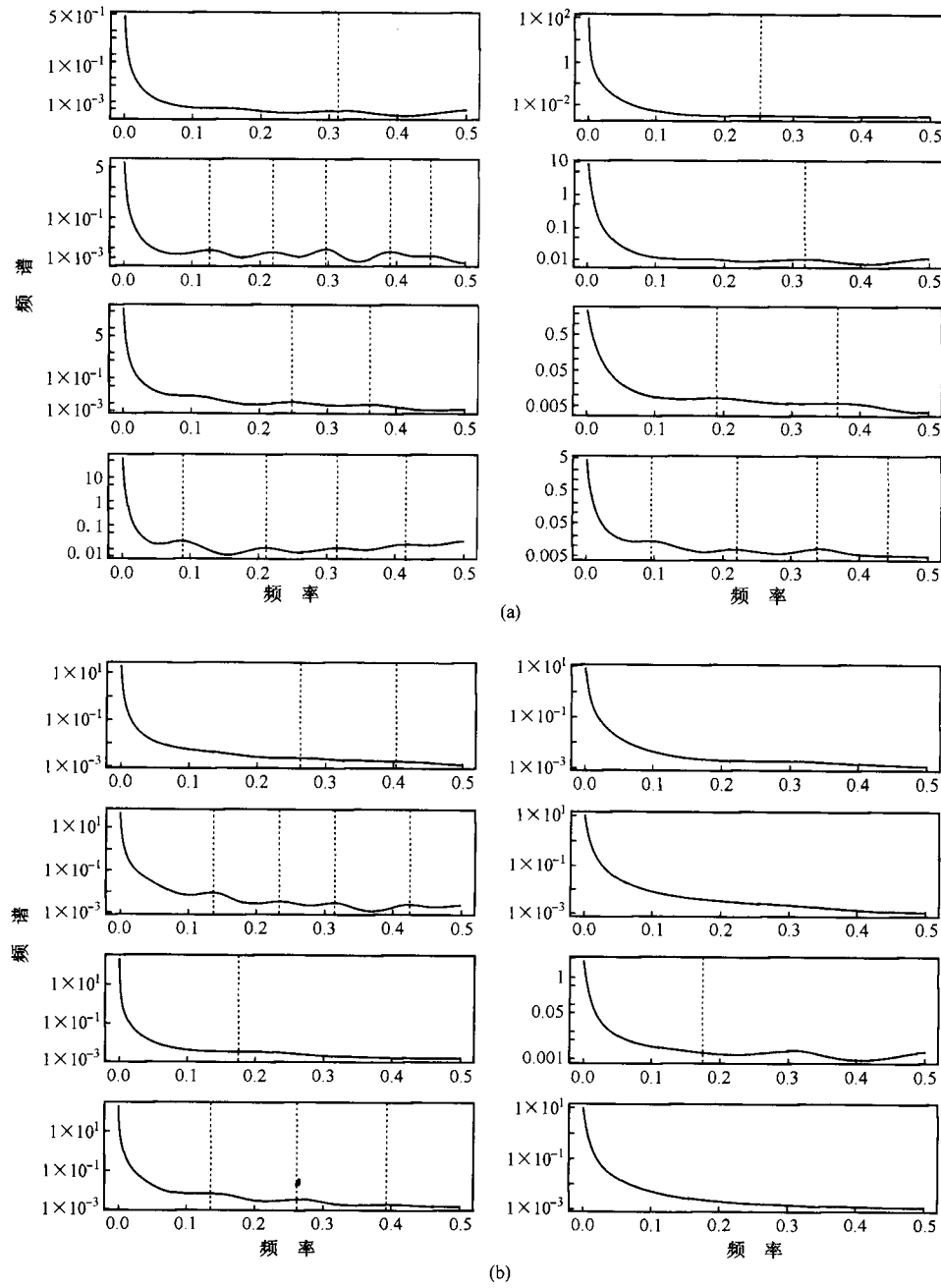


图3 1989年大同地震地形变数据自回归频谱变化曲线
(a) 1989年大同地震前后基线数据自回归分析及其频谱; (b) 1989年大同地震前后水准数据自回归分析及其频谱

个月以内的短周期变化。

对其他3个地震分析结果表明了部分一致的特征,即震前基线数据的自回归分析阶数大于震后基线数据的自回归分析阶数,除1995年唐山地震前后的水准数据外,其他2次地震前后的水准数据震前自回归阶数大于震后自回归阶数(表3)。频谱分析中震前数据中包

含的谱成分要稍多于震后的谱成分,基线数据的谱成分变化比水准数据的谱成分变化显著。

表 3 4 次地震前后基线和水准数据的自回归阶数对比

地震	时间段	B1—B2	B2—B3	B3—B4	B4—B1	L1—L2	L2—L3	L3—L4	L4—L1
1989 年大同地震	前 2 年	6	3	8	10	7	12	5	9
	后 1 年	4	6	5	9	3	3	6	3
1991 年唐山地震	前 2 年	28	9	8	11	5	4	4	3
	后 1 年	5	6	3	7	5	2	2	1
1995 年唐山地震	前 2 年	3	4	4	5	2	1	3	1
	后 1 年	6	4	3	5	4	2	4	2
1998 年张北地震	前 2 年	5	6	6	8	4	1	5	1
	后 1 年	4	5	5	6	3	8	4	1

3 结论与讨论

(1) 自回归分析表明,基线的自回归阶数在震前较大,震后变小;水准数据除了在 1995 年唐山地震的例子中,也有类似的特征。自回归阶数越小,即是当前输出与前面关联的项越少,这表明震后的观测更多地反映了短期内的变化。而震前的阶数较大,反映的是较长时间内的变化。这与一般的认识一致,即基线反映的是趋势性变化。但是使用自回归模型需要假定序列是平稳时间序列,并要对序列做白噪声处理的平稳性分析。这在本文中都是假定成立的。另外,基线测量不仅有自身的回归特征,大气环境因素如气温,也会对基线测量有一定时间长度的滞后影响效应。这有待于进一步深入分析。

(2) 频谱分析表明,唐山地震观测台形变数据中反映的周期成分在 2~11 天之间。震前的谱成分较多于震后的谱成分,基线的频谱变化较水准的频谱变化显著。但在频谱分析中没有显示出显著的年变成分,这也有待今后进一步研究。

参考文献:

- [1] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组. 一九七六年唐山地震[M]. 北京:地震出版社,1982.
- [2] 邱群. 1976 年 7 月 28 日河北省唐山 7.8 级地震的发震背景及其活动性[J]. 地球物理学报, 1976, 19(4): 259-269.
- [3] 黄立人. 用广义逆法分析唐山地震的水平位移场及其与经典方法的比较[J]. 地壳形变与地震. 1981, (4): 1-9.
- [4] 谢觉民,王若柏,薄万举,等. 唐山地震后发震断层和周围地区的地壳形变[J]. 地震学报, 1997, 19(5): 487-492.
- [5] 谢觉民,华彩虹. 唐山地震发震断层动态及其与较强晚期余震的关系[J]. 地震地质, 1999, 21(1): 18-20.
- [6] 尤惠川,徐锡伟,吴建平,等. 唐山地震深浅构造关系研究[J]. 地震地质, 2002, 24(4): 571-582.
- [7] 张肇诚. 《中国震例(1989—1991 年)》[M]. 北京:地震出版社,2000.
- [8] 陈棋福. 《中国震例(1995—1996 年)》[M]. 北京:地震出版社,2002.
- [9] 陈棋福. 《中国震例(1997—1999 年)》[M]. 北京:地震出版社,2002.
- [10] R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing[J]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Autoregression and Spectrum Analysis of Tangshan Deformation Data before and after Earthquakes

LI Wen-jing, YANG Guo-hua, WU Yan-qiang

(The First Deformation Monitoring Centre, CEA, Tianjin 300180, China)

Abstract: Based on the Tangshan deformation data since 1984, the autoregression (AR) model and spectrum analysis with Daniell moving windows are applied. The order of AR model is compared around the time of Tangshan local earthquakes ($M_L \geq 5.0$) and strong earthquakes in North China ($M_L \geq 6.0$). The result shows that the orders based on the analysis on baseline data are larger before the earthquakes than those after the earthquakes. So are the orders based on the analysis on leveling data excepting the 1995 Tangshan earthquake. The spectrum analysis shows that the main spectrum is about 2~11 days and the spectrum is more plentiful before earthquakes than that after earthquakes. The variation is clearer in baseline spectrum than in the leveling one. However, the yearly spectrum is unclear in the spectrum analysis, which needs further study.

Key words: Tangshan seismic station; Deformation data; Daniell; Regional seismicity