

李腊月、邢成起、武安绪等 2013 用主成分分析方法综合分析首都圈跨断层形变资料,中国地震 29( 2) 246 ~ 255。

# 用主成分分析方法综合分析 首都圈跨断层形变资料

李腊月<sup>1 2)</sup> 邢成起<sup>2)</sup> 武安绪<sup>2)</sup> 韩孔艳<sup>2)</sup> 王丽红<sup>2)</sup>

1) 中国地震局地震预测研究所,北京市海淀区复兴路 63 号 100036

2) 北京市地震局,北京市海淀区苏州街 28 号 100080

**摘要** 基于主成分分析方法,对大同 6.1、张北 6.2 和文安 5.1 级地震前后首都圈地区的跨断层形变资料进行了综合分析,计算了断层垂直形变速率及其各个主成分和能够反映断层总体活动水平的综合指标  $W$ 。结果表明,主成分分析方法能够最大限度地保留原始信息,去除相关干扰信息,有助于对前兆资料的分析研究;综合指标  $W$  可以较好地反映前兆资料的异常变化,能够代表一个地区前兆观测资料的总体映震水平;首都圈跨断层流动形变资料对大同 6.1、张北 6.2、文安 5.1 级地震都有较好的映震能力,从中可以捕捉到中强地震孕育、发展、发生过程中的前兆异常信息。

**关键词:** 跨断层观测 首都圈 主成分分析 映震能力

[文章编号] 1001-4683(2013)02-0246-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震的孕育和发生与活动构造有十分密切的关系,地震往往发生在大型活动断层、活动断块的边缘,通过跨断层形变测量可以直接测定活动断层两侧参考点水平距离和相对高差的微小变化,并用以推断断层两侧介质的三维运动,进而可以确定断层的运动方式、运动速率及两者随时间的变化(中国地震局监测预报司,2007)。因此,跨断层形变测量成为最有希望的地震前兆监测手段之一,得到广泛重视。

首都圈地区的跨断层形变测量始于 20 世纪 60 年代末,监测网点布设在北京周围广大地区,覆盖了区域内主要活动断裂带。该网施测已有近 50 年的历史,期间首都圈及其周边地区发生了多次中强地震,如 1976 年唐山 7.8、1989 年大同 6.1、1998 年张北 6.2 级及 2006 年文安 5.1 级地震。但已有实例表明,一些观测场地能较好地反映区域构造应力场的变化,而另一些观测场地则不能。此外,跨断层形变观测受气象、地下水位、震动和人为干扰等因素的影响,资料中包含着大量非构造活动的干扰信息(楼关寿等,2010)。这些都影响人们对地壳形变观测数据的分析和对异常信息的提取,给实际的地震分析预测带来困难。

[收稿日期] 2012-07-09; [修定日期] 2013-01-07。

[项目类别] 中国地震局专项(HBA2)、北京市自然科学基金(8022009)和地震科技星火计划(XH12001)联合资助。

[作者简介] 李腊月,女,1986 年生,2010 级在读硕士研究生,主要从事地震地质、地壳形变与地震预测研究。

Email: lilayue@126.com

主成分分析方法是一种多元统计分析方法,其思路是把原来的多个指标化为少数几个相互独立的综合指标,在最大限度地保留原始信息的基础上,提取若干个主成分,这些主成分可以尽可能地反映原来指标的信息,同时彼此间相互独立(李卫东 2008)。自 1933 年首次提出主成分分析方法以来,已用于多种学科的分析研究。庄世坚等(1990)把这种方法用于厦门市大气环境质量监测网的设计,结果表明,主成分分析法是优化布点的一种有效方法;王玮等(2005)将其用于地震预测研究,对地震活动性参数进行有效约减,结果表明,综合指标  $W$  可以较好地反映地震活动时、空、强异常特征;刘小菁等(2008)用主成分分析方法对福建晋江青阳基岩裂隙水观测井 2007 年 3~8 月的地下水位观测资料进行分析以研究降水对地下水的影响。韩鹏等(2009)将主成分分析方法和地磁日变分析方法相结合提取地震电磁信息,取得了有意义的结果。本文运用主成分分析方法,针对 1989 年大同地震、1998 年张北地震和 2006 年文安地震对首都圈地区的跨断层形变观测资料进行综合分析,有效提取地震前兆异常信息,获得了该地区前兆资料的总体映震水平。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

首都圈地区(38.5°~41.0°N、113.0°~120.0°E)目前有 24 处跨断层流动形变观测点,其中 13 个为水准观测点,10 个为基线、水准同桩观测点,1 个为基线、水准不同桩观测点。首都圈地区流动形变监测网点建设较早,点位布设较密,且大多数为基岩点,观测精度较高,对断层活动和地震活动反映较好。本文选用 1985~2011 年的流动水准资料进行相应的分析研究。

### 1.2 主成分分析方法

主成分分析又称主分量分析,是由 Hotelling 于 1933 年首先提出来的。主成分分析是在最大限度地保留原有信息的基础上,通过降维把多个指标转化为少数几个综合指标的多元统计方法。通常把转化生成的综合指标称为主成分,而每个主成分都是原始变量的线性组合,但各个主成分之间没有相关性,这就使得主成分比原始变量在反映问题本质上显得更优越。在研究复杂问题时,通过主成分分析可更容易抓住主要矛盾,有利于揭示事物内部变量之间的规律性,使问题得到简化,提高分析效率(Srivastava et al, 1998; Shinji et al 2003)。

记  $x_1, x_2, \dots, x_p$  为原变量指标,  $z_1, z_2, \dots, z_m$  ( $m \leq p$ ) 为新变量指标

$$\begin{cases} z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p \\ z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p \\ \dots\dots \\ z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \dots + l_{mp}x_p \\ l_{i1}^2 + \dots + l_{ip}^2 = 1 \end{cases}$$

系数  $l_{ij}$  的确定原则: ①  $z_i$  与  $z_j$  ( $i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, m$ ) 不相关; ②  $z_1$  是  $x_1, x_2, \dots, x_p$  的一切线性组合中方差最大者,  $z_2$  是与  $z_1$  不相关的  $x_1, x_2, \dots, x_p$  的所有线性组合中方差最大者;  $\dots$ ;  $z_m$  是与  $z_1, z_2, \dots, z_{m-1}$  都不相关的  $x_1, x_2, \dots, x_p$  的所有线性组合中方差最大者, 则新变量指标  $z_1, z_2, \dots, z_m$  分别称为原变量指标  $x_1, x_2, \dots, x_p$  的第 1, 第 2,  $\dots$  第  $m$  主成分。主成分分析法的步骤如下:

(1) 将原始数据标准化。

应用中,不同的变量有不同的量纲,由于不同的量纲会引起各变量取值范围的差异较大,这时总体方差则主要受方差较大的变量控制。为了消除由于量纲的不同可能带来的影响,常采用变量标准化方法,即令

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\text{var}(x_j)}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p)$$

其中  $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ ,  $\text{var}(x_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$ 。

(2) 根据标准化数据表  $(x_{ij}^*)_{p \times n}$ , 计算相关系数矩阵  $R = (r_{ij})_{p \times n}$ , 其中

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}}$$

(3) 计算  $R$  的特征值  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ , 其中  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  和相应的特征向量  $u_i = (u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, \dots, u_{ip})$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, p$ )。

(4) 计算主成分  $z_m = \sum_{j=1}^p u_{mj} x_j^*$ 。

(5) 计算主成分的贡献率  $e_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^p \lambda_k$  和累积贡献率  $E_m = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{k=1}^p \lambda_k$ 。

贡献率越大,说明该主成分包含的原始变量的信息越强。根据主成分的累积贡献率决定主成分个数  $k$ , 一般要求累计贡献率达到 85% 以上,这样才能保证综合变量能包括原始变量的绝大多数信息。

(6) 根据主成分分析得到的主成分  $z_i$  和相应的权值(贡献率)  $e_i$ , 计算断层垂直形变速率的综合指标  $W = \sum_{i=1}^m e_i z_i$ , 由于  $m$  个主成分已基本保留了这些资料的前兆异常信息, 所以综合指标就代表研究区跨断层形变资料的前兆综合信息。

## 2 数据处理及结果分析

### 2.1 数据处理

为了更客观地研究地震前后断层活动特征, 本文首先计算了断层垂直形变速率, 然后运用主成分分析方法得到了研究区断层垂直形变速率的各个主成分, 再根据每个主成分贡献率的大小计算了断层垂直形变速率的综合指标  $W$ 。资料处理具体步骤如下:

(1) 资料的预处理。消除观测资料中明确显示因干扰引起的突变, 对观测资料进行连续性检验, 剔除重复的数据, 然后采用线性插值法填补缺失的数据, 得到统一的每年 12 个周期的形变数据。

(2) 计算断层垂直形变年速率。为了消除季节和年变的影响, 用每月测值减去上年同期测值, 再除以 1 年时间尺度, 得到断层的年垂直形变速率。

(3) 采用主成分分析方法计算断层垂直形变速率的各个主成分和断层垂直形变速率的

综合指标  $W$ 。

## 2.2 结果分析

### 2.2.1 大同地震前后断层形变异常特征的主成分分析

对 1985 ~ 1991 年的断层年垂直形变速率进行主成分分析得到各主成分的特征向量、特征值与贡献率, 由于篇幅所限, 本文只列出前 6 个主成分的特征值、特征向量和贡献率(表 1、表 2)。从表 2 中可以看出, 主成分 1 的特征值和贡献率最大, 贡献率占总信息量的 18.0%, 而主成分 6 的特征值和贡献率最小, 贡献率占总信息量的 5.8%。当取 6 个主成分时, 累计贡献率已经达到了 58.6%, 这表明前 6 个主成分就已经包含了原始数据一半以上的信息。此外, 根据各主成分贡献率大小顺序, 给出了累计贡献率逐渐增加的综合指标随时间变化曲线(图 1), 其中每条曲线都是累加的结果。

表 1 前 6 个主成分的特征向量

主成分 测点	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6
八宝山(斜)	0.013	-0.139	0.195	-0.327	0.056	-0.122
八宝山(直)	0.393	-0.156	0.147	-0.154	-0.057	0.102
北石城	0.396	-0.199	-0.079	-0.012	-0.060	0.106
大灰厂(斜)	0.421	-0.161	-0.075	0.008	-0.067	0.062
...	...	...	...	...	...	...
狼山	-0.086	0.040	0.031	-0.375	0.214	0.148
南口	-0.272	-0.322	-0.089	-0.234	0.202	-0.220
宁河 12	0.230	0.379	-0.339	-0.088	0.030	-0.171
宁河 14	0.220	0.346	-0.350	-0.145	0.013	-0.240
紫荆关	0.215	-0.062	-0.194	-0.110	0.254	-0.158

注: 由于台站较多, 在此表内未全部列出。

表 2 前 6 个主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

主成分	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6
特征值	4.314	2.434	2.241	1.927	1.756	1.404
贡献率	0.180	0.102	0.093	0.080	0.073	0.058
累计贡献率	0.180	0.282	0.375	0.455	0.528	0.586

图 1(a) 是根据主成分贡献率从大到小的顺序进行累加的结果。从图 1(a) 可以看出, 最下面的 5 个主成分的累计贡献率已经超过了 50%, 继续累加曲线变化的幅度越来越不明显, 说明后面的主成分所占的信息量越来越少, 曲线总信息量增长速度也越来越慢。

图 1(b) 是根据主成分贡献率从小到大的顺序进行累加的结果。可见当累计贡献率小于 50% 时, 累计变化不明显, 曲线形态较稳定, 说明这些主成分所含的信息量较小; 当累计贡献率超过 50% 时, 曲线变化幅度逐渐增大, 表明综合指标包含的信息量开始迅速增加, 尤其是累加到最后 1 条曲线时, 曲线的形态变化尤为明显, 这是因为主成分 1 所包含的信息量最大。

从贡献率累加曲线可以看出, 前几个主成分的贡献率最大, 包含的信息量也最多, 在综合指标中起主要作用, 因此, 本文在以后的分析研究中只针对前 6 个主成分进行分析讨论(注: 张北、文安地震前后断层垂直形变速率的各个主成分的特征值、特征向量、贡献率和累

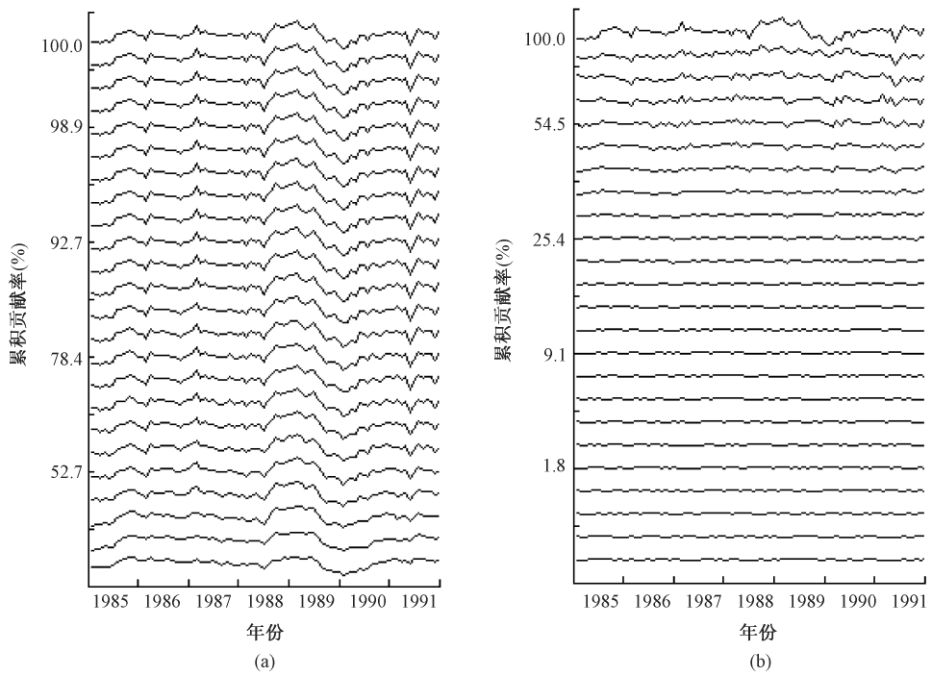


图1 累积贡献率不同的综合指标  $W$  随时间变化

积贡献率曲线略)。

图2是通过计算得到的前6个主成分随时间的变化曲线,从图2可以看出,各主成分随时间变化曲线在大同地震前都出现了不同形态的异常变化。主成分1在大同地震前的异常变化最为显著,1988年以前曲线变化平稳,在1988年中期出现向上的大幅度变化,向上变化持续1年左右,到1989年下半年转为下降,在下降过程中发生地震,震后曲线逐渐恢复到震前平稳的变化形态;主成分2与主成分1的变化趋势有所不同,其变化幅度很小,趋势平稳,大同6.1级地震前未出现明显异常变化,但在1991年出现向下的大幅度变化,本文分析认为这可能与1991年1月29日忻州5.1级地震有关;主成分3的异常变化形态与主成分1相似,1988年开始出现向上的大幅度变化,1989年转为下降,在下降过程中发生大同6.1级地震,地震后曲线再一次出现上升变化,1990年中期转为下降,下降过程中发生忻州5.1级地震;主成分4在1985年出现大幅度下降,1986年出现转折后逐渐趋于稳定,这可能是大同地震前的中长期异常;主成分5在1987年以前变化稳定,1988年变化幅度增大,1989年出现向上的高值区后发生地震;主成分6的异常变化并不显著,这可能是主成分6在总信息量中所占的比例较小的缘故。通过以上分析可知,前5个主成分对大同地震都有较好的反映,震前都出现了不同形态的异常变化且变化较为显著。

为了反映所研究区域断层活动的总体水平,我们对研究区内所有场地的断层垂直形变速率进行合成,得到了断层垂直形变速率的综合指标  $W$ ,它可以更客观地反映一个地区断层总体活动水平。图3是通过主成分分析得到的能够反映研究区整体断层活动水平的综合指标  $W$  随时间的变化曲线,可见其变化形态与图2中的主成分1的变化形态最相似,这是因为主成分1的贡献率最大,包含的信息量最多。 $W$  在大同地震前的异常变化更为显著,1985

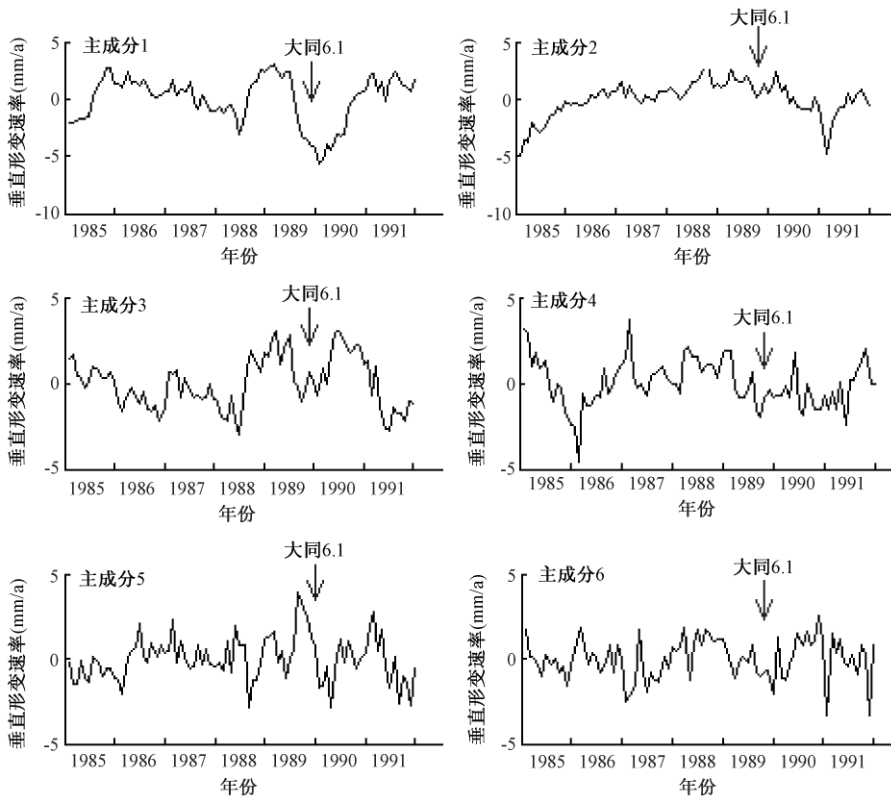


图2 大同地震前后各主成分随时间变化曲线

~1988年曲线变化稳定,上下波动幅度较小,1988年开始出现向上的大幅度异常变化,1989年转为下降,在下降过程中发生了大同6.1级地震,震后曲线逐渐恢复到震前平稳的变化形态。可见,综合指标W对大同地震有较好的反映,在大同地震前出现了较明显异常信息,可为大同地震前兆异常的识别与判定提供依据。



图3 大同地震前后断层垂直形变速率综合指标随时间变化

### 2.2.2 张北6.2级地震前后断层形变异常特征的主成分分析

图4是通过主成分分析得到的张北地震前后断层垂直形变速率的前6个主成分随时间变化曲线,从图4可以看出,张北地震前各主成分曲线都出现了不同形态的异常变化。主成分1在张北地震前的异常变化最为显著,在1994年出现大幅度的上升,1995年发生转折后

逐渐恢复稳定,1997年下半年,曲线出现大幅度的下降异常,持续半年后发生了张北地震;主成分2与主成分1的变化趋势有所不同,主成分2在1995年开始大幅度下降,1996年发生转折,曲线持续上升1年左右,1997年曲线再一次转为下降,下降过程中发生地震,地震后,异常持续一段时间后恢复;主成分3的异常变化趋势和主成分2相似,在1995年出现大幅度下降,1996年发生转折后逐渐恢复,张北地震发生在异常恢复后;主成分4在1996年以前变化形态基本稳定,1997年大幅度下降,异常达到最大值时发生地震,震后异常恢复;主成分5和主成分6的异常变化并不显著,这是因为主成分5、主成分6在总信息量中所占的比例较小。通过对张北地震前后各个主成分随时间变化曲线的分析可知,通过主成分分析方法得到的各个主成分(主要是前几个主成分)对张北地震都有较好的反映,在张北地震前都出现了不同形态的异常变化,尤其是主成分1,异常变化尤为显著。

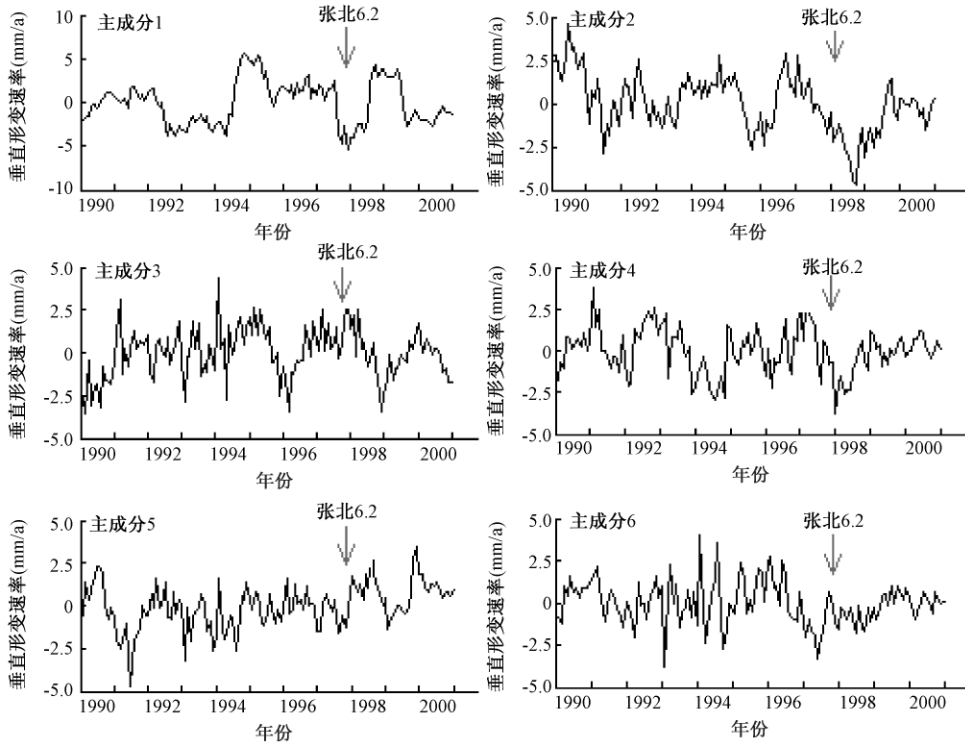


图4 张北地震前后各主成分随时间变化曲线

图5是张北地震前后断层垂直形变速率综合指标  $W$  随时间的变化曲线,从图5可见曲线在1990~1993年变化平缓,形态稳定,在1994年出现大幅度的向上变化,1995年发生转折后逐渐又趋于稳定,到1997年下半年曲线开始大幅度下降,直到地震发生,震后曲线逐渐恢复。通过首都圈断层垂直形变速率的综合指标随时间变化曲线可以看出首都圈的断层活动在1994年出现了异常变化,1997年6月断层活动再一次出现异常变化,这表明,首都圈地区正受着某种力的作用,导致该区域构造活动的增强。

2.2.3 文安地震前后断层形变异常特征的主成分分析

图6是文安地震前后断层垂直形变速率的前6个主成分随时间变化曲线,从中可以看



图5 张北地震前后断层垂直形变速率综合指标随时间变化曲线

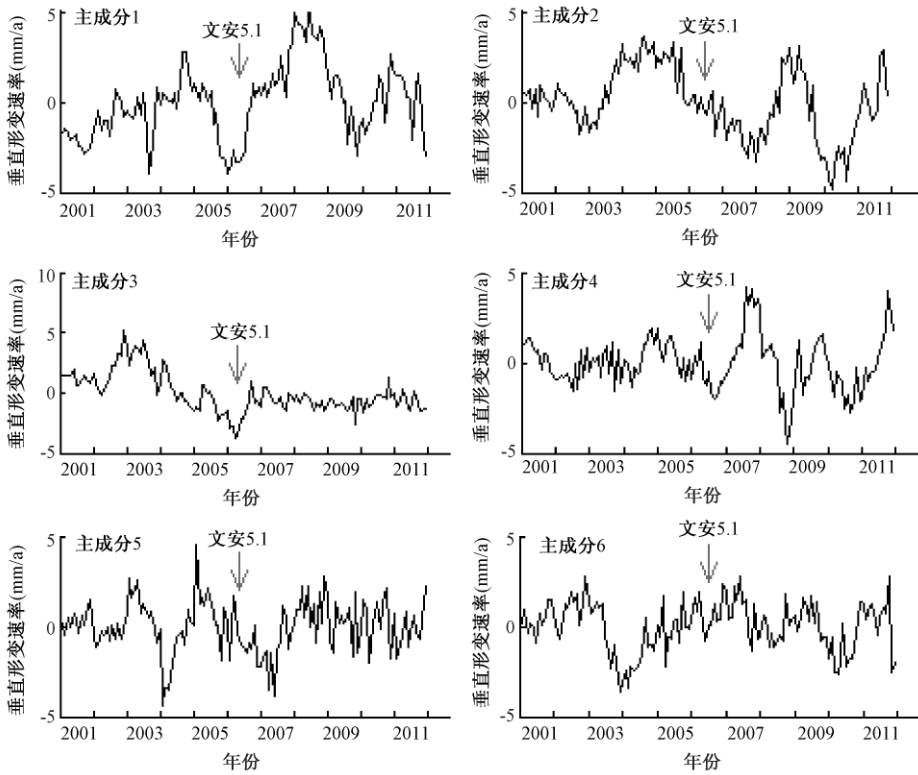


图6 文安地震前后各主成分随时间变化曲线

出这6个主成分在文安地震前的异常变化形态各不相同。主成分1在2004年开始出现大幅度下降,2005年发生转折,在转折过程中发生了文安5.1级地震,地震后曲线持续上升,到2008年达到最大值后再一次出现转折,到2009年曲线逐渐恢复平稳变化形态;主成分2的曲线在2003年开始上升,2004年达到最大值,2005年转为下降,在下降过程中发生地震,地震后曲线持续下降,2008年再一次转为上升,一年后转为下降。文安地震后,主成分1和主成分2再一次出现的大幅度变化,作者认为,可能与首都圈外围的大地震有关;主成分3显示的异常变化也较为显著,在2002年开始出现快速上升,2003年转为下降,在下降过程中发生地震,地震后曲线恢复平稳的变化形态,未再出现大幅度异常变化;主成分4震前曲线



变化幅度不大,2007年出现大幅度异常变化。主成分5显示在2003年出现大幅度下降变化,持续一年后发生转折,2005年再一次转为下降,在下降过程中发生地震,地震后异常持续一段时间后恢复平稳的变化形态。主成分6也显示在2003年出现大幅度的下降变化,持续1年后逐渐恢复平稳的变化形态,地震在异常恢复后发生。

图7为文安地震前后断层垂直形变速率的综合指标随时间变化曲线。可见文安地震前出现的异常变化较为显著,2004年以前曲线变化较为平稳,2005年开始出现大幅度的下降,向下达到最大值后发生转折,在转折过程中发生了文安5.1级地震。地震后曲线变化形态逐渐趋于稳定,但到2008年曲线再一次出现大幅度变化,本文分析认为这与首都圈外围发生的地震有关。通过对文安地震前后首都圈断层垂直形变速率综合指标随时间变化的分析可知,主成分分析得到了断层垂直活动速率综合指标对文安地震也有一定的反映,在文安地震前出现了明显的异常变化,可为文安地震前兆异常信息的识别与判定提供参考依据。

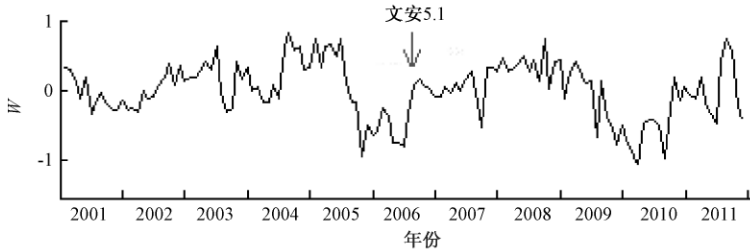


图7 文安地震前后断层垂直形变速率综合指标随时间变化曲线

### 3 结论与讨论

本文采用主成分分析方法,针对首都圈近20年来发生的大同6.1、张北6.2和文安5.1级地震前后首都圈跨断层流动水准资料进行了综合分析,结果表明:

(1) 主成分分析方法有助于我们对前兆资料的分析,它能够在最大限度地保留原有信息的基础上,提取若干个主成分,合理地确定各个测点的权数,更有效地提取主要信息。本文通过主成分分析得到的前几个主成分对地震都有较好的反映,地震前曾出现不同形态的异常变化且异常变化较为显著,我们针对贡献率较大的几个主成分进行重点分析表明,基于主成分分析方法计算的断层垂直形变速率综合指标在地震前的异常变化似乎较好地反映了震前前兆资料的异常变化,代表了1个区域一种观测资料的总体映震水平。

(2) 在地震前兆观测中,一些观测方法往往受外界条件变化的影响。如跨断层形变观测受气象、地下水位、震动和人为干扰等的影响(楼关寿等,2010),地磁观测受到固体地球之外的如太阳等外空场的影响(韩鹏等,2009),所以这些测点的观测资料往往具有一定的相关性。运用主成分分析方法可以去除一些相关干扰信息,有助于对前兆观测资料的分析,提高地震预测预报水平。

(3) 通过对首都圈跨断层形变资料的综合分析可知,首都圈跨断层形变资料对大同6.1、张北6.2、文安5.1级地震都有较好的映震能力,可以从中捕捉到中强地震孕育、发展、发生过程中的前兆异常信息。

致谢: 感谢匿名审稿老师提出的宝贵意见与建议。

## 参考文献

- 韩鹏、黄清华、修济刚 2009 地磁日变与地震活动关系的主成分分析——以日本岩手县北部 6.1 级地震为例, 地球物理学报, **52**(6), 1556 ~ 1563。
- 楼关寿、周伟、金鹏等 2010 跨断层形变观测干扰因素的调查, 大地测量与地球动力学, **30**(增刊), 68 ~ 74。
- 李卫东 2008 应用多元统计分析, 1 ~ 45, 北京: 北京大学出版社。
- 刘小菁、刘序伊、韦永祥等 2008 采用主成分分析方法研究降水对地下水水位的影响, 地震, **28**(4), 91 ~ 102。
- 王炜、马钦忠、林命邇等 2005 主成分分析及地震活动参数的约简, 地震学报, **27**(5), 524 ~ 531。
- 中国地震局监测预报司 2007 地震监测预报 40 年, 1 ~ 60, 北京: 地震出版社。
- 庄世坚、高诚铁、欧寿铭等 1990 用主成分分子集合选择法优选大气环境测点, 中国环境科学, **10**(2), 148 ~ 151。
- Shinji N, Hiroshi Y et al, 2003, A study on precursor signal extraction with PCA for predicting significant earthquakes, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, **E86A**(8), 2047 ~ 2052。
- Srivastava H N, Bhattacharya S N, 1998, Application of principal component analysis to some earthquake related data in the Koyna region, India, Engineering Geology, **50**(1), 141 ~ 151。

## Comprehensive analysis of fault-crossing data in Capital Circle based on principal component analysis

Li Layue<sup>1 2)</sup> Xing Chengqi<sup>2)</sup> Wu Anxu<sup>2)</sup> Han Kongyan<sup>2)</sup> Wang Lihong<sup>2)</sup>

1) Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

2) Earthquake Administration of Beijing Municipality, Beijing 100080, China

**Abstract** Based on principal component analysis method, we analyze comprehensively fault-crossing data before and after the Datong earthquake  $M_s6.1$ , the Zhangbei earthquake  $M_s6.2$  and the Wen'an earthquake  $M_s5.1$  in the capital region of China, calculated the fault vertical deformation rate, all principal components and the composite indicator  $W$  of fault vertical deformation rate that could reflect the overall level of all faults activity. The results indicates that principal component analysis method could capture most of original information and remove the interference information. It is helpful for us to analyze precursor information. Comprehensive index  $W$  can reflect the abnormal changes of the precursor data well, and can also reflect the overall level of earthquake-reflecting of a regional precursor observations. Cross-fault flow deformation data in the capital region of China have strong earthquake-reflecting ability on the Datong earthquake  $M_s6.1$ , the Zhangbei earthquake  $M_s6.2$  and the Wen'an earthquake  $M_s5.1$ , and can better capture the precursory anomalies information of strong earthquake preparation, development and occurrence.

**Key words:** Fault-crossing measurement Capital Circle Region Principal component analysis Earthquake-reflecting