

李腊月、邢成起、武安绪等, 2012, 首都圈断层活动及其与地震关系探讨, 中国地震, 28(2), 167 ~ 178。

首都圈断层活动及其与地震关系探讨

李腊月^{1,2)} 邢成起²⁾ 武安绪²⁾ 胡乐银²⁾ 武敏捷²⁾

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 对首都圈地区 10 处跨断层流动观测场地 40 多年来的观测资料进行了系统研究, 计算了断层水平扭错量、水平张压量和垂直升降量。结合首都圈地区地质构造特征和该区 1970 年以来的区域地震活动特征, 分析了首都圈地区现今断层活动特征及其与地震的关系。结果表明, 首都圈地区断层活动较复杂, 目前总体活动水平与往期相比并不高, 大多数断层左旋活动增强, 右旋活动相对减弱; 张性活动也有逐渐增强的趋势; 断层垂直活动量小于水平活动量, 地壳运动仍以水平运动为主; 断层活动与地震活动存在一定的关系, 强震前断层活动明显增强, 并具有一定的异常特征。

关键词: 首都圈 跨断层观测 断层活动 地震活动

[文章编号] 1001-4683(2012)02-0167-12

[中图分类号] P315

[文献标识码] A

0 引言

大量地震地质研究工作表明, 我国大陆地震的孕育和发生与断层活动密切相关, 地震往往发生在大型的活动构造带上, 与活动断裂及其所控制的断陷盆地关系最直接(车兆宏, 1993; 周硕愚, 1994)。因此, 在各种尺度的活动构造带上, 对断层活动持续地进行直接监测, 获取地震孕育、发展和发生过程中的地形变信息, 对地震预测研究具有重大意义。

首都圈地处张家口-渤海地震带、华北平原地震带和汾渭地震带的交汇部位, 地震地质环境复杂, 地震活动强烈而频繁。据史料记载, 该区历史上曾发生过一系列强震, 其中震级最大的是 1679 年 9 月 2 日的三河-平谷 8 级地震, 其次为 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震。鉴于首都圈的震情特点和特殊的地理位置, 该区跨断层监测工作开展得比较早, 始于 20 世纪 60 年代末, 目前已积累了大量的形变观测资料, 为该区域的地震预测研究奠定了基础。我国地震工作者已经应用跨断层形变资料开展了许多相关研究, 并取得了丰硕的成果, 主要包括断层活动特征、断层活动与地震关系、块体边界划分等研究(薄万举等, 1998; 刘善华, 2003; 车兆宏等, 2004; 荆燕等, 2005; 李杰等, 2010)。

本文在前人研究的基础上, 系统整理并分析了首都圈地区 10 处跨断层流动形变观测资料, 计算了断层水平扭错量、水平张压量和垂直升降量, 定量分析了首都圈地区断层现今活

[收稿日期] 2012-04-09

[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、地壳形变与地震研究。

E-mail: lilayue@126.com

动方式,结合该区 1970 年以来的地震活动特征,从构造地质学的角度探讨了断层现今活动与地震活动的关系。

1 构造背景及资料概况

1.1 首都圈地区地震构造背景

首都圈地区位于华北地块的北部,地处燕山断块、华北平原断块和太行山断块交界的区域。区内活动断裂主要分 NNE-NE 向和 NW-EW 向两组,大部分为正断层,对各时期发育的断陷盆地起到不同程度的控制作用。这些断裂多集中成带分布,相应组成 4 条 NNE-NE 向和一条 NW 向的断裂带。这些断裂带直接控制了断陷盆地和拗陷的发育。这 4 条 NNE-NE 向的构造带自西向东分别是延庆-怀来构造带、怀柔-北京-涿县构造带、平谷-三河-廊坊构造带和沧东构造带;NW 向构造带为张家口-渤海构造带西段,该构造带从这 4 条 NNE-NE 向构造带的北段斜穿而过。它们的这种分布和交接组合形式,构成了首都圈新生代构造的基本格局(高文学等,1993)。

现今地表展布的断裂发育在不同的地质时期。其中,第四纪以来活动的断裂与现今的地震活动关系最为密切。这些活动断裂主要有位于北京城区及近郊区的黄庄-高丽营断裂、八宝山断裂、南口山前断裂、顺义-良乡断裂和南口-孙河断裂,位于东北部地区的大西山断裂、古北口断裂以及程各庄断裂,位于西北部地区的延矾盆地北缘断裂、新保安-大古城断裂、施庄断裂、紫荆关断裂以及东南部平原地区的通州-南苑断裂和牛驼镇凸起南断裂等。

1.2 资料情况

本文选取的首都圈范围为 $38.5^{\circ} \sim 41.0^{\circ}\text{N}$ 、 $113.0^{\circ} \sim 120.0^{\circ}\text{E}$ 。目前首都圈地区共有 24 处跨断层流动形变监测场地,其中 10 处为基线、水准同桩监测场地,13 处为水准监测场地,1 处为基线、水准不同桩监测场地。这些监测场地主要分布在首都圈的中部、西部和北部区域,大多数场地位于 NNE 向和 NE 向的断层上,少数位于 NW 向和近 EW 向断层上(图 1)。南孟、宁河、土木等 3 处场地为每 2 个月观测 1 次,其他场地均为每月观测 1 次。

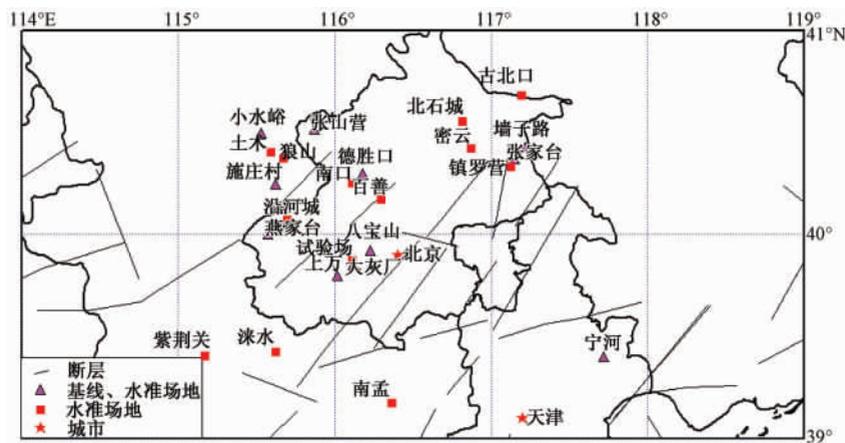


图 1 首都圈跨断层流动场地分布图

以上这些流动形变监测点的布设大致分为两种情况:一是断层出露较好,基岩比较完整。在这种情况下,测线布设的长度较短,测量绝对精度较高,水准精度大致在 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/km}$,绝大多数基线点和水准点为同桩体,基线的观测精度为 $(0.3 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ 。二是断层一侧或两侧覆盖层较厚,或基岩比较破碎,在这种情况下,只布设水准测线,且测线较长,观测精度大致在 0.3 mm/km 。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都有较好的反映。

考虑到资料的完整性及研究的主要目标,本文采用了 10 处基线、水准同桩监测场地的资料(图 1 中三角形符号标识,宁河测点除外),其中有 7 处场地各布设了两条与断层走向夹角不同的基线测边,两条测边分别与断层走向斜交和直交,短水准测点设置在基线墩旁,共同组成综合测量场地;3 处场地(德胜口、施庄村、张山营)布设了基线和水准各 1 条。所选的场地都是每月观测 1 次,皆为基岩端点,所用资料时间跨度长达 40 年。跨断层监测场地情况如表 1 所示。

表 1 首都圈跨断层监测场地情况统计表

测点编号	测点名称	经、纬度	起测时间 (年-月)	监测断层	断层走向	倾角	断裂性质
1	八宝山	116°14'E 39°55'N	1982-04	八宝山断裂	N70°E	SE30°~40°	压扭
2	大灰厂	116°07'E 39°51'N	1967-10	八宝山断裂	N70°E	SE68°	压扭
3	上万	116°01'E 39°48'N	1980-10	黄庄-高丽营断裂	N20°E	SE49°	张性
4	墙子路	117°13'E 40°26'N	1971-08	墙子路-兴隆断裂	N80°W	SE87°	压性
5	小水峪	115°32'E 40°30'N	1969-09	怀来-逐鹿北缘断裂	N51°E	SE44°	压性
6	燕家台	115°34'E 40°00'N	1974-08	南口-沿河城断裂	N55°E	SE57°	压扭
7	张家台	117°09'E 40°22'N	1971-06	程各庄断裂	N5°E	NW60°	压扭
8	德胜口	116°11'E 40°18'N	1982-07	南口山前断裂	N50°E	SE40°	张性
9	施庄村	115°37'E 40°15'N	1969-09	新保安-施庄断裂	N45°W	NE75°	压扭
10	张山营	115°52'E 40°31'N	1969-08	大西山断裂	S10°E	SE45°~60°	压性

2 数据处理

为了更好地反映断层活动特征,我们综合提取了断层活动参数以对断层活动状况进行定量分析。

2.1 方法与原理

根据跨断层形变测量的短水准、短基线、连通管、伸缩仪或大地测量小网等所获得的时间序列,可计算断层两盘测点的相对位移,进而分析断层两盘相对活动与地表两盘点位相对位移的关系。由于断层运动是微量的,介质应变在这一局部区域的影响可以忽略不计。因

此,可以将断层两盘作为不变形的刚体来处理,通过一系列的公式推导(张超,1981;薄万举等,1998),用3个断层活动参数定量地判断断层的活动特征。

对于仅布设1条基线和水准的场地(德胜口、施庄村、张山营),采用下式(张超,1981)来计算水平扭错量,垂直升降量直接采用水准资料进行计算

$$\Delta S = \frac{\Delta L}{\cos\alpha} + \Delta H \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} \quad (1)$$

对于布设2条基线的场地,采用下面3个公式(薄万举等,1998)来计算断层活动的3个分量

$$\Delta S = \frac{\Delta L_1 \sin\alpha_2 - \Delta L_2 \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (2)$$

$$\Delta R = \frac{\Delta S \cos\alpha_1 - \Delta L_1}{\sin\alpha_1} \quad (3)$$

$$\Delta H = \frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2) \quad (4)$$

其中, β 是断层倾角, ΔH 为水准变化量(以上盘相对下盘的上升为正), ΔL 为基线变化量(以伸长为正), ΔS 为断层水平扭错量(以两盘作顺时针方向的扭动为正), α 是由断层走向逆时针转动至基线方向的角度。当 $\Delta S > 0$ 时表示右旋, $\Delta R > 0$ 时表示压性。若符号相反则表示断层活动性质相反。

2.2 观测资料实际处理过程

(1)资料预处理。对原始观测资料,首先剔除重复数据,然后采用线性内插方法弥补缺失数据,获得等间隔单月观测数据。

(2)计算累积年变量。为了消除季节、年变化等因素对测值的影响,对预处理之后的数据,选用起始年观测数据作为参考基准年,计算每年在基准年基础上的基线和水准累积变化,利用每年某个月份的测值减去基准年对应月份的测值,得到相对于参考年的累计年变化量。

(3)计算断层累积滑动量。对累积年变化量应用上述公式计算断层水平扭错量、水平张压量和垂直升降量。将得到的每年12个月的相对滑动量取平均作为相对参考年的滑动量。从而可以综合客观地了解断层背景趋势活动方式及累计滑动量。

(4)对所有资料进行常用平滑滤波处理。本文经过试验,决定采用3点线性平滑滤波方法(蒋骏等,2000)对3个分量的数据进行滤波分析处理,并由得到的残差曲线即观测数据的高频变化部分,来判断断层短期活动特征。

3 结果分析

用上述计算方法,综合计算了首都圈地区断层的水平扭错量、水平张压量和垂直升降量,分别画出了各个场地3个分量的年度序列曲线(图2~4)。下面系统地分析断层现今活动特征及其与地震的关系。

3.1 不同断层活动的特性分析

将首都圈的断层分为NE及NNE向、NW向进行讨论。

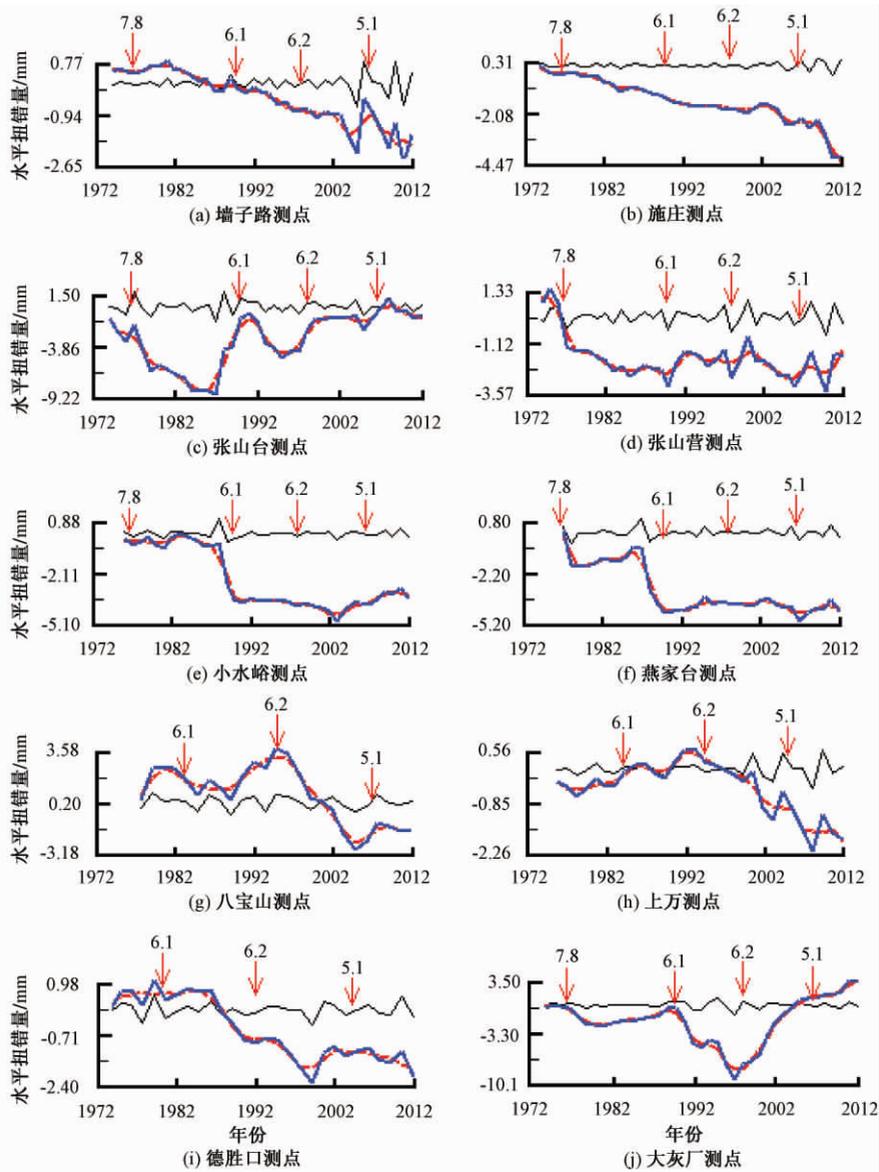


图 2 断层水平扭错量

蓝色线为原始曲线,红色线为滤波曲线,黑色线为残差曲线(后同)

7.8、6.1、6.2、5.1 分别代表 1978 年唐山 7.8 级地震、1989 年大同 6.1 级地震、1998 年张北 6.2 级地震、2006 年文安 5.1 级地震(后同)

3.1.1 NE 及 NNE 向断层

(1) 八宝山断裂。在八宝山测点,断裂走向为 $N70^{\circ}E$,倾向 SE,倾角 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$,该测点的测量结果显示,断层活动在 1985 ~ 1999 年以右旋滑动为主,2003 年以后转为左旋滑动。在观测期内整体呈压性活动,水准测量结果反映出断层上盘上升,总体反映了断层处于压性顺扭的活动状态。在大灰厂测点,断层走向 $N18^{\circ}E$,倾向 SE,倾角 77° ,八宝山断裂在大灰厂处

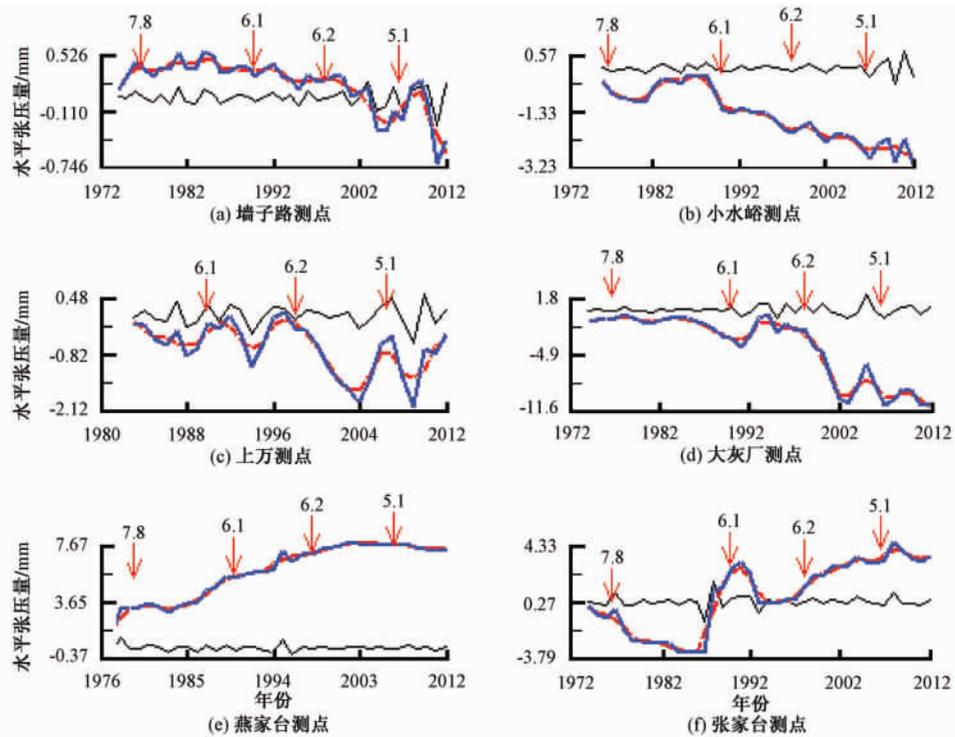


图3 断层活动水平张压量

的活动比较强烈,活动量较大,1973~2003年以左旋走滑为主,其后转变为右旋滑动。水平张压曲线反映出断层呈张性活动,但水准测量结果反映出断层为压性活动。八宝山断裂在上万测点的测量结果显示断层在观测期内以左旋走滑为主,在1989~1990年、1994~1998年出现反向滑动。水平张压曲线反映出断层呈张性活动,活动水平较低,年活动量在1mm左右。水准测量结果也反映了断层呈张性活动,垂直滑动量有逐年增大的趋势。

(2) 安营堡断裂。小水峪测点的测量结果反映出该断裂在观测期内一直表现为左旋滑动,1975~1987年水平滑动量在0~2mm范围内变化,1988~1989年出现加速运动,其后保持稳定。水平张压曲线反映出断层在观测期内为张性活动,并且张性活动有随时间增强的趋势。水准高差变化曲线也反映出断层呈张性活动,垂直活动量不大,但随时间有逐年增大的趋势,活动的规律性较强。

(3) 南口-沿河城断裂。燕家台测点的水平扭错曲线反映出断层在观测期内一直为左旋滑动,1976~1977年和1986~1988年间出现加速运动。垂直断裂走向的水平张压曲线反映出断层在观测期内为压性活动,并且压性活动量逐年增加。但水准测量结果反映出断层为张性活动,活动水平较低。

(4) 程各庄断裂。张家台测点的水平扭错曲线反映出断层活动较为复杂,在1972~1985年以左旋滑动为主,且左旋滑动量大致随时间线性增加,1986~1990年、1996~1998年、2004~2006年出现了3次反向快速滑动,并逐渐转为右旋滑动。水平张压曲线反映出断层在1973~1986年呈张性活动,其后快速转为压性活动,1992~1994年又出现反向活

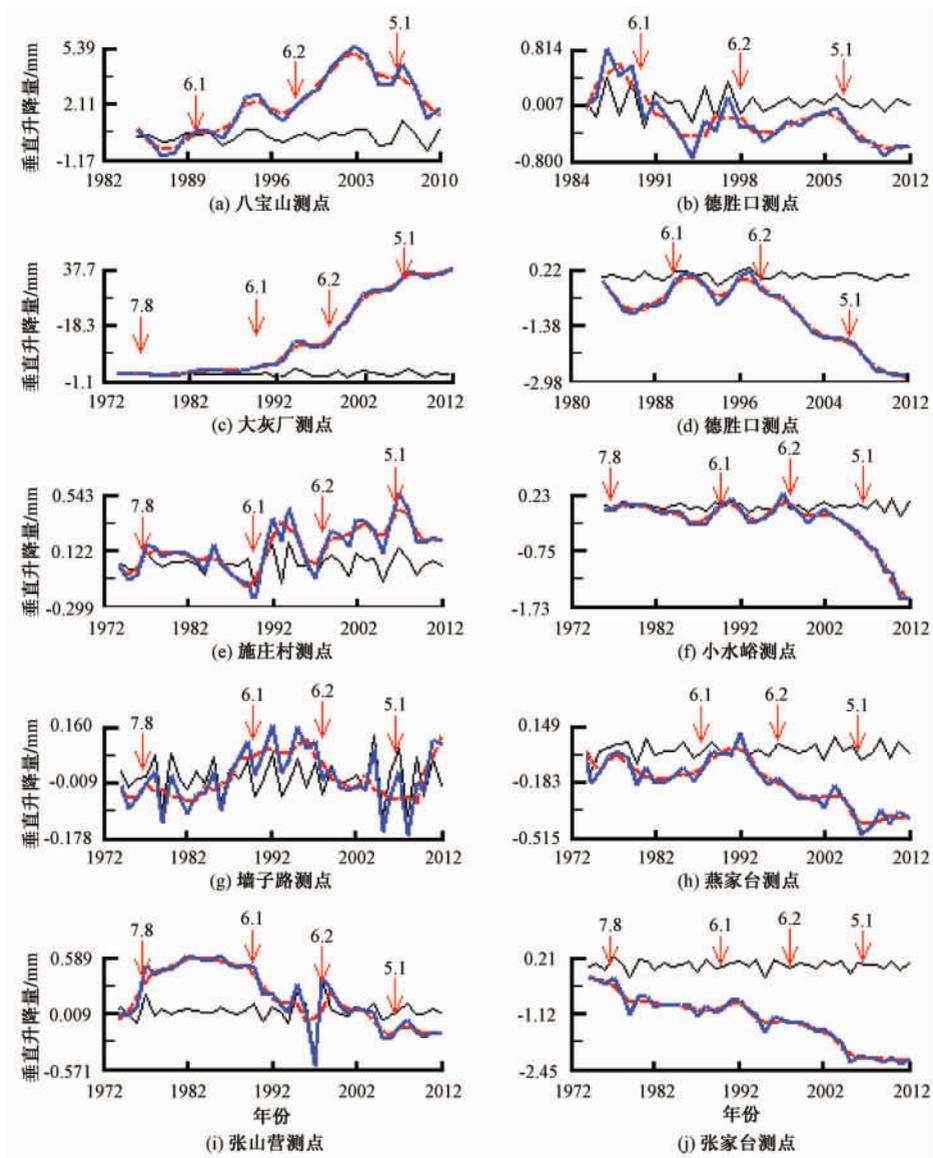


图4 断层垂直升降量

动,其后又转为压性活动,且活动量逐年增加。水准测量结果反映出断层为张性活动,且活动量大致随时间线性增加。

(5)南口山前断裂。德胜口测点的水平扭错曲线反映出南口山前断裂在1993年以前为右旋滑动,其后转为左旋滑动。水准测量结果反映出断层由压性活动逐渐转为张性活动,1989年以前为压性,其后转为张性。

(6)大西山断层。张山营测点的水平扭错曲线反映出大西山断裂在1972~1976年为右旋滑动,其后快速转为左旋滑动,水平滑动量相对稳定。水准测量结果反映出断层在1972~1986年为压性活动,其后逐渐转为张性,垂直滑动量不大,在0~1mm范围内变化。

3.1.2 NW向断层

(1) 墙子路断裂。墙子路测点的水平扭错曲线反映出墙子路断裂在1973~1985年为右旋滑动,其后逐渐转为左旋滑动,且滑动量大致随时间线性增加。水平张压曲线显示断层的张压活动水平较低,主要以张性活动为主。水准测量结果显示断层以张性活动为主,1986~1996年转为压性,其后又恢复张性。

(2) 施庄断裂。施庄断裂在观测期内一直表现为左旋滑动,水平扭错量大致随时间线性增加。水准测量结果显示断层以压性活动为主,1984~1989年、1993~1996年两次出现快速反向活动。

3.2 断层活动与地震的关系

现代地震学已证明,浅源构造地震与断层活动有关。我国大陆地震主要为浅源构造地震,而首都圈地区自1970年以来发生了多次中强地震,因此,结合该地区断层活动资料进行地震活动异常分析与总结具有实际意义。

参照中国地震台网中心编制的1970年以来的地震目录^①,并考虑到跨断层形变监测的特点和地震发生的时间及对首都圈地区的影响,本文重点针对1978年唐山7.8级、1989年大同6.1级和1998年张北6.2级地震震前断层异常活动特征进行了分析和讨论。此外,2006年7月4日文安5.1级地震是首都圈近些年来最显著的地震事件,尽管震级不大,但震前断层也出现了一定的异常活动,对此我们在文中也进行了相应的分析。

3.2.1 强震前断层异常活动特征

(1) 唐山地震。唐山地震发生在NE走向的宁河-唐山断裂与NE走向的开平向斜交叉部位。宁河-唐山断裂是在唐山地区插入燕山EW向构造带的沧东断裂带的一个组成部分。从区域构造来看,唐山地震位于沧东断裂带与燕山构造带交汇处,这两大构造带是构造运动较强烈的活动带,历史上曾发生过一系列中强以上地震(李杰等,2000)。唐山地震前首都圈地区的跨断层流动形变测点出现了一定的异常变化。从图2可见,张山营、张家台测点的水平扭错曲线显示断层由左旋滑动转为右旋滑动,地震后恢复左旋滑动。张家台测点的水平张压曲线表明震前断层活动由张性转为压性,震后恢复张性活动。张家台测点的水准高差变化也反映出震前断层由张性转为压性,震后恢复。张山营测点的水准高差变化反映出震前断层呈压性活动,震前断层活动加速表明压性活动加剧,震后继续保持压性活动,滑动量相对稳定。张家台、张山营和燕家台测点的水平扭错残差曲线在震前打破原有的变化规律,出现异常变化。燕家台测点的水平扭错残差曲线在震前出现了异常变化,震后恢复原有的变化规律。施庄村、张山营测点的水准残差曲线震前出现异常变化。

(2) 大同地震。大同地震发生在NNE走向的山西断陷带北段的大同盆地内,NNE走向的六棱山北麓断裂是控制盆地形成与发展的主导断裂,NE向的大王村断裂和NW向的团堡断裂是册田凹陷内的主要活动断裂。大同地震发生在上述3组断裂交汇部位,六棱山断裂是此次地震的控制构造,大王村断裂是主要发震断裂,团堡断裂是另一组可能的发震断裂(张肇诚,2000)。大同地震前的异常点较多,异常持续时间较长,异常形态复杂多样(图2~4)。小水峪测点和燕家台测点的水平扭错曲线变化形态基本一致,总体反映出断层左旋滑

^① 中国地震台网中心, <http://10.5.160.234:8443/login.do>

动的背景运动趋势(图 2)。大同地震前两年小水峪测点观测到断层出现加速运动,地震后保持稳定;燕家台测点观测到断层在震前 3 年出现快速扭动反向,震后恢复。张家台测点和张山营测点的水平扭错曲线变化形态大致相同,张家台测点观测到断层在大同地震前两年出现快速扭动反向,震后恢复;张山营测点的水平扭错曲线反映震前断层短时间加速运动,图像呈“V”或倒“V”字型,震后出现反向扭动。小水峪、张家台、上万等测点的水平张压曲线反映出大同地震前断层活动由张性转为压性,震后恢复张性运动。小水峪、上万、墙子路等测点的水准高差变化也反映出震前断层由张性转为压性,震后恢复;施庄村测点和德胜口测点的水准高差变化反映震前断层活动由压性转为张性。张家台测点的水准高差变化不明显。张家台测点和张山营测点的水平扭错残差曲线震前出现向上的大幅度同步变化,小水峪测点和燕家台测点的水平扭错残差曲线震前出现向下的大幅度同步变化。大灰厂测点和张家台测点的水平张压残差曲线震前出现异常变化(图 4)。

(3) 张北地震。张北地震发生在华北北部 3 组主要构造带的交汇部位,即燕山-阴山 EW 向断块隆起的南缘、NW 向张家口-蓬莱地震构造带和 NE 向的汾渭地震构造带交汇的晋冀北张性区。由于地震发生在首都圈重点监视区边缘,前兆观测台网相对密集,震前观测到的异常较多(陈棋福,2003)。此次地震前首都圈地区的张家台、八宝山、上万、德胜口等跨断层流动形变测点异常变化较显著(图 2~4)。张家台测点的水平扭错曲线显示断层在张北地震前由左旋滑动转为右旋滑动,八宝山、上万、德胜口等测点的水平扭错曲线反映出断层在地震前由右旋滑动快速转为左旋滑动,震后继续以左旋滑动为主,且滑动量较大。张家台测点水平张压曲线反映出地震前断层由张性转为压性。八宝山、张山营测点水准高差变化曲线显示震前断层由压性转为张性。燕家台测点和张山营测点的水平扭错残差曲线震前出现异常变化。大灰厂、燕家台测点的水平张压残差曲线震前出现大幅度变化。德胜口测点和张山营测点水准变化残差曲线震前出现高值和震荡。

(4) 文安地震。文安地震发生在河北平原强震构造带上,从公元 777~1977 年该构造带内共发生 6 级以上强震 19 次(刁桂苓等,2006)。此次地震是首都圈地区近期发生的一次令人瞩目的地震。地震前,首都圈的跨断层位移测点不同程度地出现了较为显著的异常变化。施庄村测点和墙子路测点的水平扭错曲线变化趋势一致,大体上随时间线性增加(图 2),反映出断层活动的总趋势为左旋走滑运动,水平扭错曲线在文安地震前出现较大幅度的波动变化,反映出断层在地震前出现加速运动;墙子路测点的水平张压曲线在地震前也出现较大幅度的变化,地震前出现加速运动;上万台测点的水平扭错曲线反映出断层活动在文安地震前出现加速和转折,地震后恢复,水准测量结果也表明地震前断层活动由张性转为压性,震后恢复之前的张性运动趋势。墙子路测点和施庄村测点水平扭错残差曲线震前出现明显异常变化,打破了原有的变化规律(图 2)。上万测点和大灰厂测点的水平张压残差曲线震前出现向上的大幅度变化。

3.2.2 地震与断层存在准同步性和周期性活动

图 5 是部分测点的原始观测曲线和首都圈 5.0 级以上地震的 $M-t$ 图。由图 5(a)~(e) 可以清楚地看出断层活动具有周期性特征。1977 年以前为形变活跃阶段(由于受所选资料时间的限制,这种特征并不明显),1978~1987 年为相对平静阶段,1988~1999 年为形变活跃阶段,2000 年至今为第 2 个相对平静阶段。平静阶段观测值曲线变化平稳,反映了断层

活动较为稳定;活跃阶段观测值曲线变化幅度较大,突变和阶跃较多,反映了断层活动较强烈。从首都圈 $M_s \geq 5.0$ 地震的 $M-t$ 图(图 5(f))也可以看出,在形变活跃阶段地震活动也较强烈,发生了唐山地震、大同地震、张北地震等中强地震,在两个相对平静阶段地震活动也相对平静。以上结果表明,断层活动与地震活动具有一定的同步性和准周期性,在时间序列上相互对应,均有活跃期与平静期交替出现的演化特征。这与薄万举等(2001)及刘善华(2003)所得结果一致,但他们的统计资料分别截止到 1996 年和 2001 年,阶段性和周期性尚不太完整。本文所用资料截止到 2011 年底,这种特征更加明显。

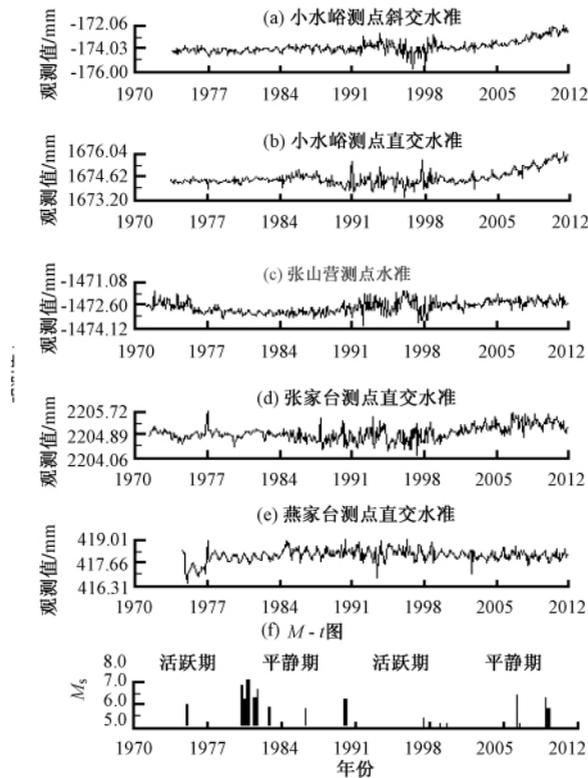


图 5 首都圈地区部分测点的原始观测曲线和首都圈 5.0 级以上地震的 $M-t$ 图

目前首都圈地区断层活动还处于相对平静阶段,且这种状态持续了 10 年之久。根据断层活动的周期性特征,首都圈地区断层活动在未来几年可能会转入活跃阶段。与此同时,首都圈地区的地震活动也可能相应地转入活跃阶段。

4 结论与讨论

(1) 通过以上计算,得到了首都圈断层运动的 3 个分量,即断层水平扭错量、水平张压量和垂直升降量。计算结果表明,目前首都圈地区的断层总体活动水平不高,总体上反映出断层左旋活动相对增强,右旋活动相对减弱;张性活动相对增强,压性活动相对减弱;断层水平活动量大于垂直活动量,断层活动以水平运动为主。通过定量分析得到的断层活动性质与车兆宏(1993)的研究结果基本一致。

(2) 断层的演化与地震活动具有以下 3 点关系:

① 强震发生前区域断层活动加剧。断层现今活动与地震活动在时间序列上相互对应,均有活跃期与平静期交替出现的演化特征;大多数测点曲线反映出一种趋势运动,主要包括准线性与非线性,震前形变曲线大幅度快速升高或降低,反映出断层在趋势运动背景下有许许多多次短时间的加速运动,这种特点在墙子路、施庄村、张山营等测点较为明显。

② 强震前断层活动性质(左旋与右旋,张性与压性)出现反向变化。在趋势运动背景下断层间或出现反向活动,在一定范围内可以发现每当反向活动出现,其后都有一个强震发生,这或许具有一定的前兆意义。

③ 强震发生前,断层活动出现群体性特征。在一定区域内不同测点的形变曲线异常出现的时间、形态具有准同步相似性变化的特点,这种特点在墙子路、施庄村、小水峪、燕家台、张家台和张山营等测点较明显。

(3) 除了施庄村、墙子路等少数测点的观测值向同一方向变化外,多数测点在总的趋势上波动起伏,反映出断层活动的复杂性及非均匀性,有些测点的水准和基线资料反映的断层活动不一致,如大灰厂测点的水平张压曲线显示断层呈张性活动,而水准测量结果显示断层呈压性活动,这种现象可能与断层的受力方向有关。

本文定量地给出了首都圈断层现今活动特征,并对其与地震活动的关系进行了分析与研究。但由于首都圈地区跨断层综合观测场地较少,本文所得结果可能具有局限性。对于如何有效地去除干扰、提取异常及研究断层活动的动力学成因等问题也将随着研究工作的深入而逐一探讨。

致谢:在本文研究工作中,得到了张晶研究员、陆明勇研究员、曹建玲博士的热心指导和大力帮助,陆明勇研究员、张晶研究员为本文研究提供了首都圈跨断层流动形变资料,在此一并致以衷心的感谢!

参考文献

- 薄万举、谢觉民、郭良迁,1998,八宝山断裂带形变分析与探讨,地震,18(1),63~68。
- 薄万举、杨国华、郭良迁等,2001,地壳形变与地震预测研究,38~42,北京:地震出版社。
- 车兆宏,1993,首都圈断层活动性研究,华北地震科学,11(2),23~34。
- 车兆宏、范燕,2004,华北地区震前断层异常活动方式,地震,24(2),109~118。
- 陈棋福,2003,中国震例(1997~1999),146~169,北京:地震出版社。
- 刁桂苓、张四昌、孙佩卿等,2006,2006年7月4日文安5.1级地震,地震地质,28(3),498~502。
- 高文学、马瑾,1993,首都圈地震地质环境与地震灾害,30~45,北京:地震出版社。
- 荆燕、赵营海、张鸿旭等,2005,独山子-安集海断裂单基线双分量斜跨断层监测研究,地震研究,28(2),185~188。
- 蒋骏、李胜乐、张雁滨等,2000,地震前兆信息处理与软件系统,43~45,北京:地震出版社。
- 李杰、冯志军、马玉香,2000,华北地区跨断层形变中短期异常特征研究,地震学刊,20(1),10~18。
- 李杰、刘文义、楼关寿等,2010,跨断层形变观测显示的断裂活动特征分析研究,中国地震,26(1),46~59。
- 刘善华,2003,华北地区强震前断层形变异常与演化特征,大地测量与地球动力学,23(2),15~22。
- 张超,1981,跨断层位移测量与局部断层活动,地震,1(5),24~25。
- 张肇诚,2000,中国震例(1989~1991),87~95,北京:地震出版社。
- 周硕愚,1994,断层形变测量与地震预报,地壳形变与地震,14(4),90~96。

Fault activities based on fault-crossing observation in the Capital Circle Region of China and its relationship with earthquakes

Li Layue^{1,2)} *Xing Chengqi*²⁾ *Wu Anxu*²⁾ *Hu Leyin*²⁾ *Wu Minjie*²⁾

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

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

Abstract In this paper, we made a systematic study on observational data of more than 40 years of ten temporary fault-crossing measurement sites in the Capital Circle Region of China. We calculated horizontal and vertical components of fault slip, and horizontal tension or compression component. Considering the tectonic characteristics of the Capital Circle Region and regional seismicity, we analyzed the present fault activity of the Capital Circle Region and the relationship with earthquake. The results show the complexity of fault activities in the region: the level of activity of all faults is low; most faults are mainly left-lateral strike-slip faults; vertical activity is less than the level of activity and crustal movement is still controlled by horizontal movement; fault activity and earthquake activities have a certain relationship, regional fault activity strengthens before the earthquake and fault activity has certain abnormal features before the strong earthquakes.

Key words: Capital Circle Region Fault-crossing measurement Fault activity
Earthquake activity