第 27卷第 6期
2007年 12月

大 地 测 量 与 地 球 动 力 学
JOURNAL OF GEODESY AND GEODYNAMICS

Vol 27 No. 6
Dec., 2007

文章编号: 1671-5942(2007)06-0017-05

河北文安地震前后首都圈跨断层位移的变化特征*

焦 青 范国胜
(中国地震局地壳应力研究所,北京 100085)

摘 要 根据 2006年 7月 4日河北文安 5.1级地震前后首都圈跨断层位移的变化特征,结合该区 1970年以来区域断层及区域地震活动特征分析认为: 1) 2000年以来首都圈 NNE向断层逆冲活动增强,显示首都圈现今区域主压应力为 NEE方向; 2)首都圈及周边地区可能将进入下一个中强地震的活跃时段,河北文安地震是进入这一时段的标志; 3)首都圈及周边地区 NE向断层垂直活动起伏变化较大,其起伏变化幅度可作为中、长期地震的预测指标。

关键词 文安地震 首都圈地区 跨断层位移 区域地震活动 地震预报
中图分类号: P315.72+5 **文献标识码**: A

ON CHARACTERISTICS OF FAULT-CROSSING DISPLACEMENT VARIATION IN IN CAPITAL AREA BEFORE AND AFTER WENAN EARTHQUAKE

Jiao Qing and Fan Guosheng

(Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085)

Abstract By analyzing the characteristics of fault-crossing displacement variation in the Capital area before and after the M_S 5.1 Wenan earthquake of Hebei on July 4, 2006, and combining the characteristics of regional fault activities and regional seismicity in the area since 1970, it is concluded: 1) Since 2000 the thrust activities of NNE directional faults in the Capital area have been increasing, it shows that the present principal compressive stress in the Capital area is in NEE direction; 2) The Capital area and surrounding regions may enter the next active period of medium-strong earthquakes; the Wenan earthquake marks the beginning of this period; 3) The vertical activities of NE directional faults in the Capital area and surrounding areas change strongly, the amplitude of variation may be taken as an index for medium long-term earthquake prediction.

Key words: Wenan earthquake, Capital area, fault-crossing displacement, regional seismicity, earthquake prediction

1 引言

2006年 7月 4日河北省文安县发生 M_S5.1地震,此次地震是首都圈自 1999年 11月 1日浑源-阳原 M_S5.6地震后,在 $M_S \geq 5.0$地震平静了近 7年的背景上发生的一次令人瞩目的地震。此次地震前,首都圈的跨断层位移测点均不同程度地出现了较为显著的背景异常和中短期异常。

* 收稿日期: 2007-08-25
基金项目: "十一五"国家科研计划支撑项目 (2006BAC01B02-02-03); 地震科学联合基金 (A07130)
作者简介: 焦青,女,1956年生,高级工程师,主要从事地壳形变与地震预测研究工作. E-mail: jq_602@163.com

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

目前,首都圈有 28处跨断层位移测点,主要测项为水准和基线,测点均布设在活动断层上,每月或数月观测一次,已有 30余年的观测历史,获得了一批有价值的观测资料和研究成果,并历经了华北地区多次中强地震的检验[1,2]。实践表明,地壳形变观测可以获取地震孕育过程中的一些相关信息,是较重要的地震监测预报手段[3~5]。跨断层位移观测能监测现今断层活动状况及其动态过程,分析较大范围断层群体活动特征、应力场的演化过程和强震孕育中断层形变的发展演变过程,从而提高地震的预测预报能力。本文根据文安 5.1级地震前后首都圈跨断层位移观测资料,结合区域断层活动性与地震活动特征,对首都圈现今构造活动进行了初步分析,以期获得一些对该地区未来地震形势进行判定的参考依据。

2 震前测点变化特征

2003年前后,首都圈跨断层位移出现群体趋势性转折现象。该现象表明,首都圈正在受着某种力的作用,使得区域构造出现较显著的活动。图 1和图 2分别给出了首都圈跨断层位移测点的分布及测点出现群体转折的时间、数量和空间分布概况。一般认为,区域构造活动随时间的演变具有动力学意义,区域构造活动增强、减弱是孕育地震的一个标志。2005年笔者曾对首都圈地区的区域构造活动与地震活动的关系进行过分析研究[1],并提出了首都圈及邻区即将进入地震活跃期的结论。所以,在文安 5.1级地震前,异常的时间、范围和特征都充分表明,华北地区发生中强地震的背景比较突出。

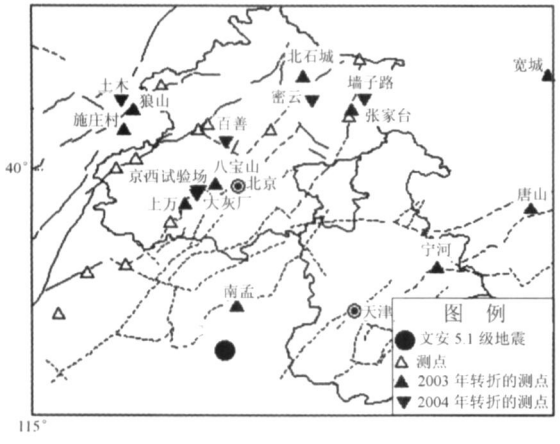


图 1 首都圈地区趋势变化出现准同步转折的跨断层位移测点分布图

Fig 1 Distribution of the fault-crossing displacement observation stations showing quasi-synchronous turning trend in the Capital area

由图 2可看出,2006年 5~6月部分背景异常的测点出现反向和加速反向变化,并与 2005年张山营、墙子路、小水峪等测点的基线观测曲线(图 3)变化相配套,此时地壳形变出现了明显的短期异常。

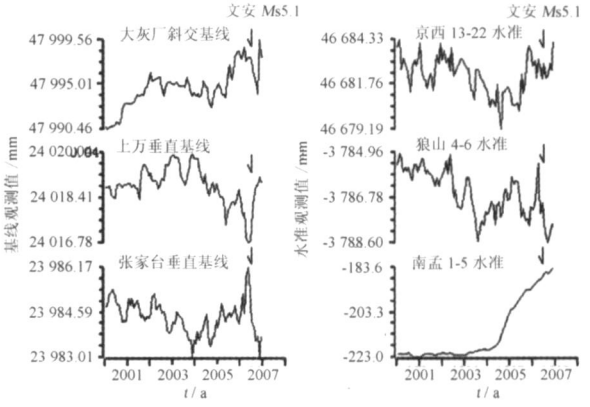


图 2 部分趋势转折测点曲线

Fig 2 Some of the observation curves showing turning trend

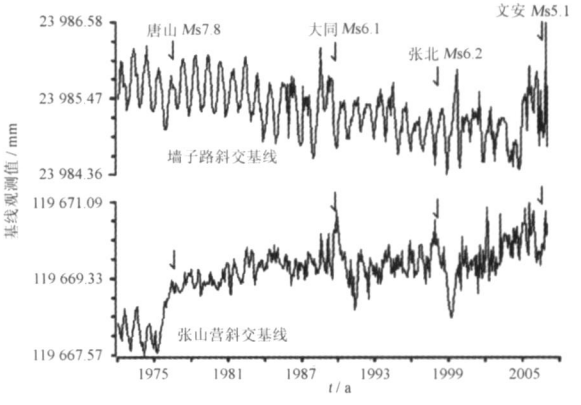


图 3 部分中短期异常测点曲线

Fig 3 Some of the observation curves showing medium to short-term anomalies

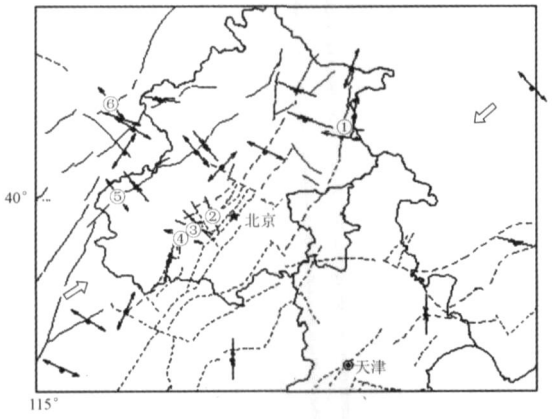
3 震前区域构造活动特征

根据模拟实验[6],当压应力方向与断层夹角从 0°~90°变化时,断层显示由张性-张扭性-扭性-压扭性-压性活动的演变过程,进而显示出在同一压应力作用下不同方向断层的活动方式。

图 4是利用首都圈 28处跨断层位移测点的观测资料,由断层两盘的相对变化定性得出的该区域现今构造活动特征。图 4给出了 2006年 7月 4日文安 5.1级地震前(取 2000~2006年 6月的资料)该区断层的活动方式及区域主导压应力方向。由图 4可见,首都圈地区在 1998年 1月 10日张北 6.2级地震后,从 2000年(所取时间是为了避开张北地震的震后扰动)至文安 5.1级地震前区域主压应力大致为 NEE方向。这与整个华北地区构造应力场背景相符[7],也与文安地震的震源机制解基本相

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

近[8]。文献[9]的三维数值模拟研究结果认为,北京地区跨断层位移测量的水准和基线资料能够反映区内主要断层的最新活动情况,可以作为断层现今活动、构造应力状态的研究手段。



①张家台测点;②八宝山测点;③大灰厂测点;④上万测点;⑤燕家台测点;⑥小水峪测点
←→ 断层受张力作用;→← 断层受压力作用; ⇧ 区域主压应力方向

图 4　2000～2006年 6月首都圈跨断层位移测点处的受力状态

Fig 4　Stress mode at the fault-crossing displacement observation stations in the Capital area from 2000 to June, 2006

4　震后测点变化特征

由图 2可见,文安地震后部分趋势转折测点出现显著的反向变化,但还有部分测点(占总测点数的 32%)的变化趋势不明显。其中,距这次文安地震震中约 30 km的南孟水准测点(距震中最近的测点),在 1996～2003年持续多年的张性活动的背景上,2004年曲线开始呈现出压性活动特征,9月加速,总变化幅度达 31. 36 mm,是年平均变化速率的 10倍;文安 5. 1级地震后,观测曲线仍继续上升(资料截止到 2007年 1月,图 5)。

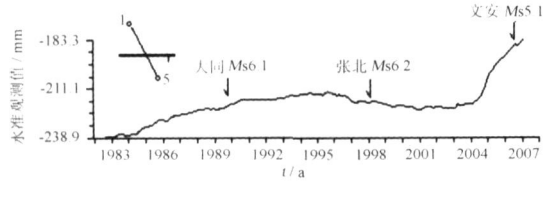


图 5　南孟 1、5测点间水准观测曲线

Fig 5　The leveling observation curve between spot 1 and 5 in Nanmeng

图 6为首都圈跨断层位移测点的垂直和水平位移速率合成曲线。图 6表明,文安地震后水平位移速率显示为增大、垂直位移速率呈减小的态势;回顾首都圈及周边地区现今 6. 0级以上地震发生前,本研究区内的跨断层位移测点的水平位移速率均为增大。这可能反映在地震孕育过程中,区域地壳应力在继续增强。

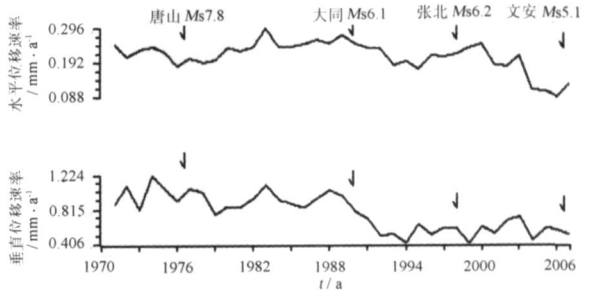


图 6　首都圈跨断层位移测点速率合成曲线

Fig 6　The synthetic rate curve of fault-crossing displacement observations in the Capital area

5　断层活动与区域地震活动特征

焦青等[1,5]通过跨断层位移测点的变化对区域构造活动进行了研究,研究表明:地震活动与构造应力状态和断层活动强度及方式有直接关系。考虑到地震目录的完整性,选取首都圈及周边地区 1970～2006年 12月 $M_S \geq 5.0$地震,由该区 6个具有两条基线观测且均为跨 NE-NEE走向断层的测点(图 4),分析区域地震活动与区域构造活动的特征。

表 1给出了研究区内地震活动和断层活动的统计结果。其中断层活动方式由文献[10]给出的公式计算:

$$\Delta S \approx \frac{\sin\alpha_2 \Delta L_1 - \sin\alpha_1 \Delta L_2}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$\Delta H \approx \frac{\cos\alpha_1 \Delta L_2 - \cos\alpha_2 \Delta L_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \operatorname{tg}\beta$$

已知断层倾角 β,由两条基线求断层水平扭动量,式中 ΔL_1、ΔL_2 分别为斜交测线和正交测线的测值变化,α_1、α_2 分别为两条基线与断层走向的夹角(以断层走向为起算边逆时针转到测线方向所得的角度),$0° < \alpha < 180°$。当断层水平扭动量 $\Delta S > 0$时,断层为左旋走滑,反之为右旋走滑;断层张压活动量 $\Delta H < 0$时,断层为压性活动;$\Delta H > 0$时,则为张性活动。

由表 1可见,唐山地震前首都圈地区 NNE向断层挤压活动较强,1973～1975年断层垂直活动量年均值达 - 8. 45 mm;中强地震活跃时段的 1973～1981年,断层垂直活动起伏变化高达 5. 79 mm,但水平扭动较弱;1989～1999年的地震活跃时段,断层垂直活动量亦出现较大起伏变化,变幅达 6. 09 mm,且此时段中张北 6. 2级地震前的 1995～1997年,断层出现显著的张性活动,而此时水平扭动相对

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 首都圈及周边地区地震与断层活动概况

Tab. 1 Brief of the seismic and fault activities in the Capital area and adjacent areas

	地震活动分段(年)	发震时间(年 月 日)	纬度 N(°)	经度 E(°)	震级(*M*s)	水平扭动量年均值(mm)	张压活动量年均值(mm)	断层活动特征
活跃	1973	1973-12-31	38.40	116.80	5.3	-2.01	-8.33	压性右旋
	1974	-				-1.44	-8.81	
	1975	-				-1.36	-8.20	
	1976	1976-04-06	40.10	112.08	6.2	-1.00	-8.14	
		1976-07-28	39.70	118.58	5.5			
		1976-07-28	39.20	117.80	6.2			
		1976-07-28	39.70	118.50	7.1			
		1976-07-28	39.40	118.00	7.8			
	1977	-				-1.47	-5.94	
	1978	-				-2.13	-4.51	
	1979	1979-09-02	39.70	118.30	5.0	-2.16	-5.09	
	1980	-				-1.89	-3.81	
	1981	1981-08-13	40.50	113.40	5.5	-1.98	-3.02	
	1973～1981					-1.71	-6.21	
平静	1982	-				-2.87	-2.48	压性右旋
	1983	-				-2.99	-2.23	
	1984	-				-2.42	-2.00	
	1985	-				-2.55	-2.42	
	1986	-				-2.48	-2.10	
	1987	-				-2.35	-2.25	
	1988	-				-2.56	-3.03	
	1982～1988					-2.60	-2.36	
活跃	1989	1989-10-18	39.50	113.40	5.7	-2.52	-3.28	压性右旋
		1989-10-19	39.90	113.90	6.1			
	1990	-				-2.76	-3.11	
	1991	1991-03-26	39.90	116.90	5.8	-3.08	-0.70	
		1991-05-30	39.70	118.30	5.1			
	1992	-				-2.94	0.60	
	1993	-				-2.63	0.00	
	1994	-				-2.63	-0.25	
	1995	1995-10-06	39.80	118.50	5.0	-2.71	1.85	
	1996	-				-2.84	2.81	
	1997	-				-2.25	1.58	
	1998	1998-01-10	41.10	114.30	6.2	-2.29	0.63	
	1999	1999-03-11	41.20	114.60	5.6	-2.34	-0.76	
		1999-11-01	39.80	113.90	5.6			
	1989～1999					-2.63	-0.06	
平静	2000	-				-3.00	-4.30	压性右旋
	2001	-				-3.19	-6.50	
	2002	-				-3.53	-7.76	
	2003	-				-3.07	-5.83	
	2004	-				-2.59	-4.65	
	2005	-				-2.00	-6.24	
	2000～2005					-2.90	-5.88	
活跃	2006	2006-07-04	38.90	116.30	5.1	-2.83	-7.33	压性右旋

注:表中地震选自中国地震局《震情》并去除余震

较平稳。在平静时段水平扭动和垂直活动起伏不大,断层活动相对平稳。2005年以来NNE向断层压性活动明显增强,2006年7月4日发生了文安5.1级地震。

上述分析结果表明,研究区内NE向断层的活动与其周边地区的中强地震活动有着明显的相关性,这一特征由图7的断层水平扭动、垂直活动速率可更直观地看出。大量的震例证明,跨断层位移在地震前会出现不同程度的加速变化,这种变化可以作为地震前兆的断层活动异常。依据图7,首都圈

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

及周边地区可能将进入下一个中强地震的活跃时段。

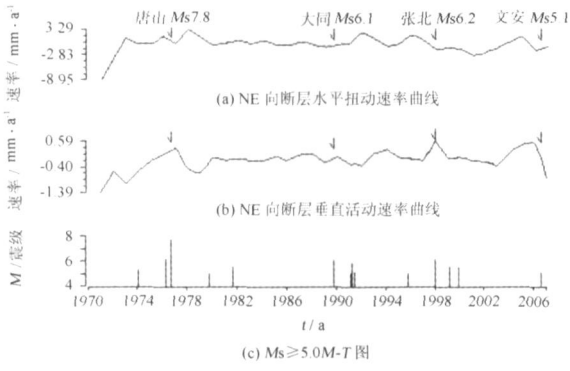


图 7　首都圈及周边地区 *M*-*T*图和断层活动曲线

Fig 7　*M*-*T* diagram and fault activity curves in the Capital and adjacent areas

6　分析与结论

1)通过对文安地震前后首都圈跨断层位移的变化分析认为,2000年以来首都圈 NE向断层呈逆走滑活动。一般来说,正走滑表明区域主压应力方向与断层走向夹角较小,逆走滑表明区域主压应力方向与断层走向夹角较大。由此可以推断,首都圈地区现今区域主压应力为 NNE方向;

2) 2005年以来 NNE向断层压性活动明显增强,2006年 7月 4日的文安 5.1级地震说明 2006年之后首都圈及周边地区可能将进入下一个中强地震的活跃时段;

3)对首都圈 NE向断层活动特征的定量分析表明,地震活动与构造应力状态和断层活动强度及方式有直接关系,当该区及周边地区中强地震处于活跃时段,NE向断层垂直活动起伏变化加大,其起伏变化幅度可作为中、长期地震的预测指标。

References

1　焦青,邱泽华,范国胜. 北京地区八宝山、黄庄-高丽营断裂近期构造活动与地震分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(4): 50～54.

1　Jiao Qing, Qiu Zehua and Fan Guosheng. An analysis of recent activity and earthquakes on Babaoshan and Huangzhuang-Gaoliying fault in Beijing area [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2005, 25(4): 50 - 54. (in Chinese)

2　刘善华. 华北地区强震前断层形变异常与演化特征 [J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(2): 15～22.

2　Liu Shanhua. Fault deformation anomaly and its evolutionary character before strong earthquakes in North China [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2003, 23(2): 15 - 22. (in Chinese)

3　郭良迁,等. 北京地区近十年应变场变化特征 [J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(3): 46～52.

3　Guo Liangqian, et al. Characteristics of strain field variation in Beijing area [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2006, 26(3): 46 - 52. (in Chinese)

4　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.

4　Zhang Yuegang, et al. Study on evolution of deformation field in North China area with GPS data [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2006, 26(1): 36 - 41. (in Chinese)

5　焦青,等. 文安 5.1级地震前兆变化特征分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(6): 96～99.

5　Jiao Qing, et al. On precursor variation characteristics before Wenan *M*5.1 earthquake [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, 27(6): 96 - 99. (in Chinese)

6　曾秋生. 中国地壳应力状态 [M]. 北京:地震出版社, 1990.

6　Zeng Qiusheng. Crustal stress state of China [M]. Beijing: Seismological Press, 1990. (in Chinese)

7　李钦祖. 华北地壳应力场的基本特征 [J]. 地球物理学报, 1980, 23(4): 376～388.

7　Li Qinzu. The basic characteristics of crustal stress field of north China [J]. Chinese J. Geophysics, 1980, 23(4): 376 - 388. (in Chinese)

8　刁桂苓,等. 2006年 7月 4日文安 5.1级地震 [J]. 地震地质, 2006, 28(3): 497～502.

8　Diao Guiling, et al. Wenan *M*5.1 earthquake of July 4, 2006 [J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 497 - 502. (in Chinese)

9　赵希俊,等. 北京地区主要断层的最新活动特征 [A]. 北京大学国际地质科学研讨会论文集 [C]. 北京:地震出版社, 1998.

9　Zhao Xijun, et al. Characteristics of the most recent activities of the major faults in Beijing area [A]. Symposium of international geological science of Peking university [C]. Beijing: Seismological Press, 1998. (in Chinese)

10　张超. 跨断层位移测量与局部断层活动 [J]. 地震, 1981, 1(5): 24～25.

10　Zhang Chao. Cross-fault displacement measurement and local fault activity [J]. Earthquake, 1981, 1(5): 24 - 25. (in Chinese)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net