

临震前地壳变形不动点现象与机制研究

牛安福¹ 张凌空¹ 章 静¹ 李 媛²
赵 静¹ 闫 伟¹ 岳 冲¹ 苑争一¹

1 中国地震台网中心,北京市三里河南横街5号,100045

2 中国地震局第一监测中心,天津市耐火路7号,300180

摘 要: 在综合分析国内外地形变前兆研究现状的基础上,结合汶川8.0级地震前GPS、应变、重力等研究结果,提出临震前震源区域可能出现变形不动点现象。地壳变形过程中的不动点现象是临震前区域应力场进入临界状态的重要标志,是地震潜在危险区域划定的重要依据。借助不动点理论,给出汶川地震前变形不动点集合的演化,结合大区域地震活动空区与远场显著形变异常分布,探讨变形不动点现象发生的动力学背景,验证了汶川地震前地壳变形的不动点现象是大区域应力场有序运动的结果。

关键词: 汶川地震;地形变观测;变形不动点;动力背景

中图分类号: P228;P313;P315

文献标识码: A

2004年美国Parkfield地震前,观测到发震断层周边的地倾斜、钻孔应变和GPS等都没有任何显著的异常变化,以监测断层预滑动预报地震的思路开始受到质疑^[1-2]。其后,2009年意大利L'Aquila地震震前地形变观测也遇到同样的问题^[3]。

2008-05-12汶川8.0级地震发生在我国南北地震带中段,位于青藏高原东缘、巴颜喀拉地块东边界南段的NE向龙门山断裂带上。地震发生时沿龙门山中央断裂以及前山断裂形成长约240 km的地表破裂带,且伴有4~6 m的同震垂直位移以及3~5 m的右旋水平位移^[4-5]。这样大的地震震前没有观测到显著的形变异常变化,无疑会令学者们质疑地形变观测的意义及现有的预报思路是否存在问题^[6-7]。

为解释形变前兆观测到的现象,本文引入有普遍意义的临界概念。临界通常是指物质在外部参数(如温度、压力、磁场等)连续变化之下发生的状态改变,或简称相变。强地震发生之前,在观测台站密集地区有可能观测到一些显著的形变异常变化,这是强震前地壳应力进入临界状态的重要标志之一。此时,有的区域变形速度可能出现增大,有的区域则可能出现变形速度减小。变形速度减小的区域称为弱变形区,弱变形区域内速度

接近零的点称为变形不动点。

1 汶川地震前近震源区域形变分布特点

汶川地震前汶川形变台两套仪器记录了自2002-10至临震前较长时间的变化过程。该台站位于龙门山后山断裂附近,是距汶川地震震中最近的一个形变观测站,整体上处在汶川地震的震中区。震前该台站有金属摆倾斜与石英摆倾斜两套仪器同时进行观测,两套仪器均位于同一洞室内。洞深25 m,覆盖层40 m,年温差低于0.3℃,大理石墩,光杆距分别为5.1 m和5.0 m,均为模拟记录。自观测以来,记录正常,曲线变化较稳定,汶川地震后洞室和仪器受到严重破坏,现观测停止。

从最原始的数据可以看出,地震前1.5 a,两套倾斜仪观测结果均无显著的异常变化(图1)。两套倾斜仪NS向记录的曲线较光滑,相关性较好,地倾斜观测年变化与气温或洞室温差具有较好的相关性。不同倾斜仪器观测到的年变化差异很大程度上依赖于吊丝对气温的敏感性,金属摆倾斜仪的记录通常比石英摆倾斜仪记录到的年变幅度要大。2016年金属摆倾斜最大年变幅为460 ms,石英水平摆为280 ms,两者之比约1.6:1.0。两

收稿日期:2019-02-10

项目来源:国家重点研发计划(2018YFC1503606);国家自然科学基金(41330314)。

第一作者简介:牛安福,博士,研究员,主要从事地形变观测机理和地震预测方法研究,E-mail:niuanfu01@sina.com。

通讯作者:李媛,博士生,研究实习员,主要从事形变数据处理与模型研究,E-mail:lilyuaner@126.com。

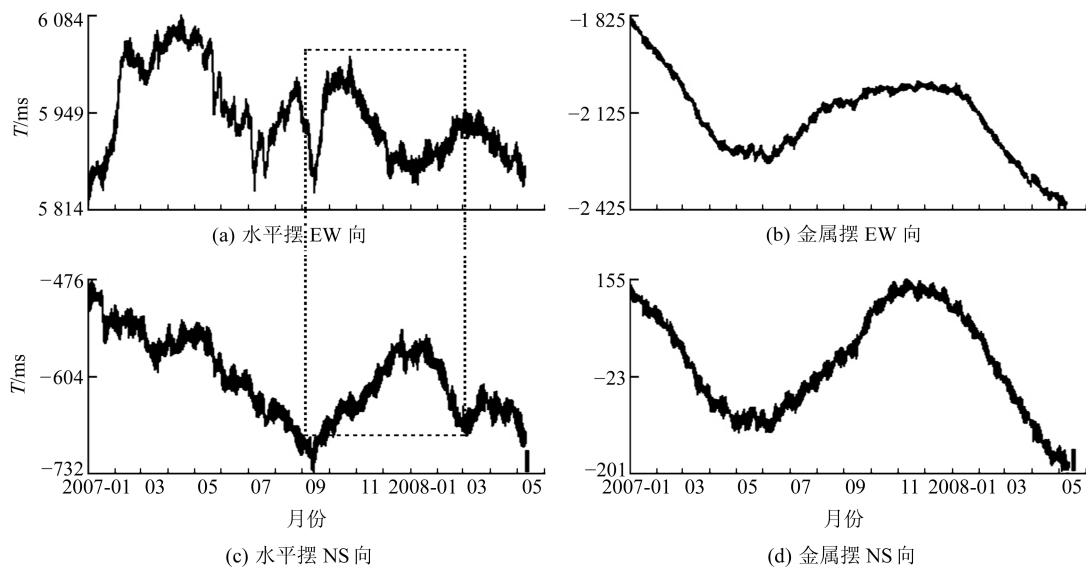


图1 汶川台水平摆与金属摆倾斜仪记录(2007-01~2008-05)

Fig. 1 The variations of horizontal pendulum and metal pendulum tilt-meters at Wenchuan station (2007-01—2008-05)

套倾斜仪 EW 向记录的相关性较差,主要呈现负相关。2007-09~2008-03 金属摆年变幅为 147 ms,水平摆年变幅为 135 ms,两者之比为 1.1:1.0。

汶川地震震中区附近还有茂县台、峨眉台、西昌台、康定台、姑咱台、松潘台等台站的多套地倾斜仪进行观测,仪器类型为垂直摆倾斜仪与金属摆倾斜仪。按照数据分析结果,两种类型倾斜仪受年温度变化的影响约为 1.6:1~1.1:1。为与周围地倾斜变化进行对比,图 2 给出汶川地震前 1 a 各测点地倾斜矢量的变化图像。考虑到不同类型倾斜仪器响应系数的差异,汶川地震震中两套倾斜仪记录的倾斜矢量具有一致性,且倾斜矢量模量变化是其中最小的。

地倾斜分布特征表明,震中区域临震前的变形过程与外围是有差别的,靠近震中区其矢量变化较小,而外围变化显著。因此,从空间上看,震中区域地倾斜变化呈现压缩现象。

2 临近强地震前变形不动点现象及收敛性

临近强地震前的变形不动点现象反映了发震断层活动趋于静止或固体形成的过程^[8],与以往提出的地形变异常空区概念有一些相似之处^[9-10]。周硕愚等^[9]利用精密水准复测结果和跨断层资料研究唐山地震前震源区形变场的演化,验证了形变空区与地震活动区及断层闭锁区之间的联系。牛安福等^[10]利用 F 检验方法研究丽江等地震前后形变异常强度的分布,在研究 1.0 等值线分布特征的基础上提出变形异常强度空区,

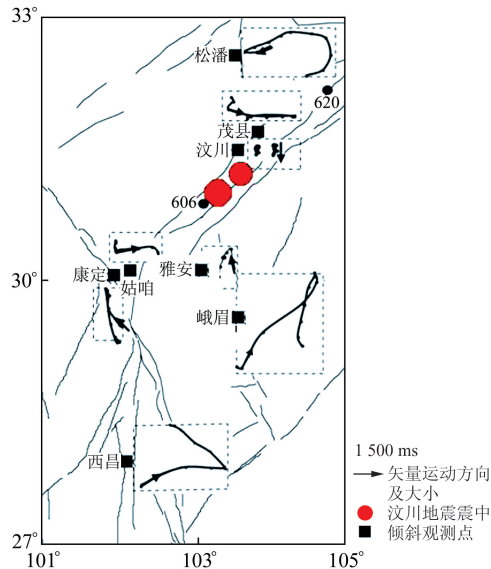


图2 汶川地震前 1 a 地倾斜矢量变化对比

Fig. 2 The tilt vectors around the epicenter in 1 year before Wenchuan earthquake

并对形变异常强度空区内外地震活动性差异进行研究,给出空区内外地震活动的差异性特征。对汶川地震和芦山地震前变形现象的研究结果也表明,这两个地震临震前震中区也存在变形不动点现象^[6-7,11-14]。

另外,临近地震前,重力测量和 GPS 观测结果同样存在类似现象,且震中多分布在不动点附近。如祝意青等^[12-13]发现,2008 年汶川地震、2013 年芦山地震都发生在正、负重力异常的高梯度带上,而重力异常不动点通常位于高梯度带附近。张祖胜等^[15]、杜方等^[16]和王敏等^[11]分别研究唐山地震和汶川地震震中附近地壳垂直运动的变化发现,震中区附近不存在显著的地壳运动,这

种现象实质上体现了地壳变形作为一个数学变换存在不动点现象。

在受力作用下,地壳变形过程可以认为是一个数学变换,也称为一个映像。因此,可以应用不动点理论解释自然条件下临震前地壳变形中的小变形区域或形变空区。不动点理论产生于拓扑变换理论,是在分析学中具有重要应用的一门抽象数学理论。不动点理论有着悠久的历史,法国数学家 Poincare 在 1895~1900 年间提出满足某种条件的平面连续变换不动点的存在问题;1922 年法国数学家 Banach 使用 Picard 迭代方法创立了著名的压缩映像原理。经过几代人的努力,不动点理论得到进一步发展,开始走向理论的多元化,并被运用在各个方面,逐步形成了一个格外引人注目的数学分支。

一些集合(聚点、内点、外点、开集、闭集等)是建立在一定算法的基础上的。依据点之间距离定义的空间为距离空间;在距离空间中对开集的基本性质进行抽象,对开集系、闭集系、算子等之间的运算称为拓扑。依据算法可将拓扑分为拓扑线性空间、Banach 空间和 Hilbert 空间。Banach 空间是以距离范数定义且完备的空间,Hilbert 空间是以内积定义且完备的空间。在每个空间上的变换,也称为一个映像。每一个映像中是否存在不动点,如何寻找不动点,有多种方法。如在 Banach 空间的非扩张映像中存在多种迭代方法,其中典型的方法包括 Meir-Keeler 方法、Banach-Caristi 方法和 Browder-Gohed-Caristi 方法等。

Browder-Gohed-Caristi 方法的基本思想在于构建序列。设 C 是一个 Banach 空间 E 中的非空有界闭凸子集, $T: C \rightarrow E$ 是非扩张映像,满足弱内向条件,则 T 在 C 中至少有一个不动点,而且 T 的不动点集 $\text{Fix}(T) = \{x \in C; Tx = x\}$ 是 E 中的非空闭凸子集。

对任意 $n \geq 1$,取 $u \in C$,定义映像 $T_n: C \rightarrow E$,有:

$$T_n x = \frac{1}{n+1}u + \left(1 - \frac{1}{n+1}\right)Tx, x \in C \quad (1)$$

对于任意 n ,可证明在 T_n 中有唯一不动点 $x_n \in C$,即

$$x_n = T_n x = \frac{1}{n+1}u + \left(1 - \frac{1}{n+1}\right)Tx_n \quad (2)$$

由极限 $x_n - T_n \rightarrow 0, \{x_n\}$ 是有界的,不妨设 $x_n \rightarrow x$,即得到不动点 $x \in \text{Fix}(T)$ 。类似的不动点迭代方法同样可用于小变形状态下。假定某研究区域 C 内任意一点 $X, X \in C$,受力作用下发生变形,即存在一个变换映像 T ,若 $T_X \in C$,则 T 为非

扩张映像;若映像集合属于 C 的子集,则称 T 为压缩映像。对于非扩张映像或压缩映像 T ,通过构建序列的方法可迭代求出数列的收敛值,该值也是 T 的不动点。

在某区域有 N 个台站,在 i 时刻有 N 组观测值,进行 Lagrange 多项式拟合,使得在每个台站上与观测值相等。对区域进行网格化,求出每个网格节点的拟合值,并求出量值最小的点,记为 X_i 。为检验强地震前是否存在不动点现象,需要研究震前 $\{X_i\}$ 的收敛性。

对汶川地震前研究区内 10 套地倾斜仪(图 2)观测结果,应用上述思路,拟合给出汶川地震前地倾斜年变化幅度最小值点的演化情况(图 3)。图 3(a)、(b)表示不同视角展布,五角星表示汶川地震的时空位置。由图可知,2006~2007 年底最小地倾斜年变化幅度点基本上分布在 $(29^\circ \sim 30.5^\circ \text{N}, 101^\circ \sim 102.5^\circ \text{E})$,震前 1 a 向汶川地震震中附近迁移。

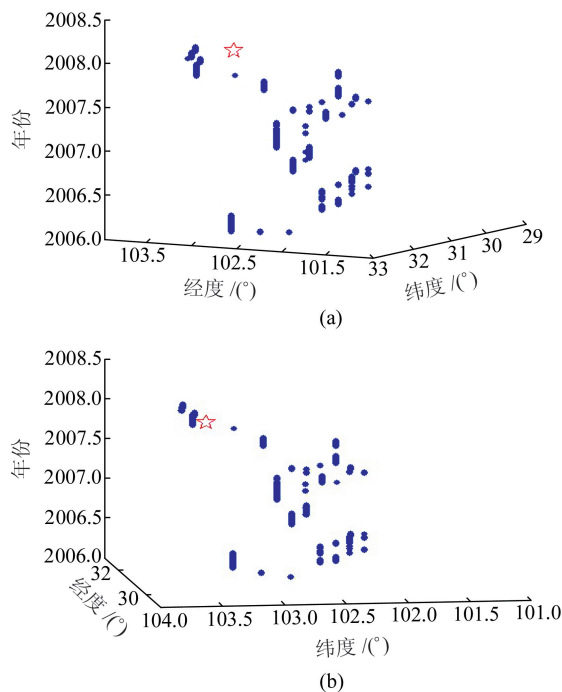


图 3 汶川地震前年变化幅度最小值点的演化
Fig. 3 The evolution of points of annual minimum variation amplitude before Wenchuan earthquake

值得一提的是,在提取信息特征时必须考虑观测仪器的周期特点,如设置滑动步长 1 d、滑动窗长 1 a,选择年变化幅度为状态参数进行迭代。

3 汶川地震临震前形变不动点现象发生的动力学背景

为揭示汶川地震前震源区域变形特征发生的原因,可以从临界的角度认识汶川地震孕育发生

的时空过程。

进入临界状态的一个重要标志是地震孕育动力系统 在变形过程中出现显著的特征差异,一是某一区域发生显著的变形增大与另一些区域出现变形减小,二是出现地震活动空区与地震活动增强区。

3.1 汶川地震前临界状态下的地震活动分布与显著形变异常分布

地震空区是强地震活动的重要特征之一。从历史上地震活动的分布规律来看,汶川地震震中位于南北地震带 7 级地震活动的空区内^[17]。与 7 级地震空区不同,本文主要讨论的是汶川地震前几年 5.5 级地震活动形成的空区。

从地震孕育过程的角度来讲,地震空区最可能成为未来强地震应变积累的区域,特别是到了孕育过程的后期,应是绝对应变高值区。从地震破裂过程模拟结果来看,沿龙门山断裂带附近是高应变集中区域^[18]。郭啟良等^[19]曾通过水压致裂测量地应力的方法,在汶川地震前测得龙门山中央断裂带的水平构造应力作用强烈。

图 4 给出了 2001-11 昆仑山地震后至 2008 年汶川地震前我国及周边 5.5 级以上地震活动分布。可以看出,在汶川地震前地震主要集中在青藏块体、南北地震带南段及台湾东部地区。2005 年九江地震后,围绕龙门山地震带形成一个庞大的地震活动空区。由于变形过程与地震过程一样,均是释放区域应变能的一种方式,这里依据形变异常点与地震活动可构建一个新的空区。取最小面积的椭圆,使得显著形变异常点多数分布在椭圆外围(广州-泸州 GPS 基准站间基线异常,不同于其他前兆观测异常),称该区域为

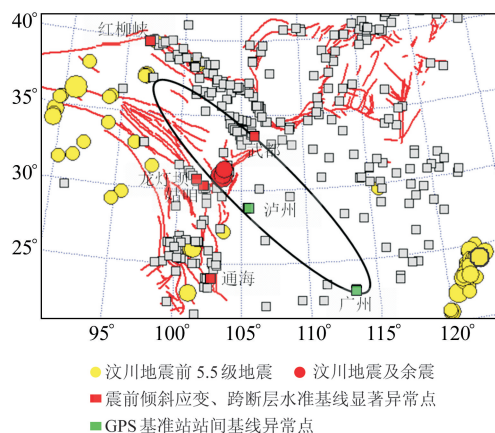


图 4 昆仑山地震后至汶川地震前 5.5 级地震及显著形变异常观测点分布

Fig. 4 Seismic activity before Wenchuan earthquakes and deformation sites of significant anomaly

地震椭圆空区。

从地震椭圆空区外围 5.5 级地震活动的 $M-T$ 图像及地震释放蠕变曲线(图 5)可知,昆仑山地震后 4 a 内研究区内地震活动较有规律,地震释放蠕变呈现较快速的增加;2005 年以后,应变释放速度有所减缓,地震活动间隔 $\Delta T-T$ 曲线展示,汶川地震前 5.5 级地震活动有一次 4 个月左右的平静。这种情况表明,汶川地震前地震椭圆空区外围的地震活动经历了慢释放-平静的过程。

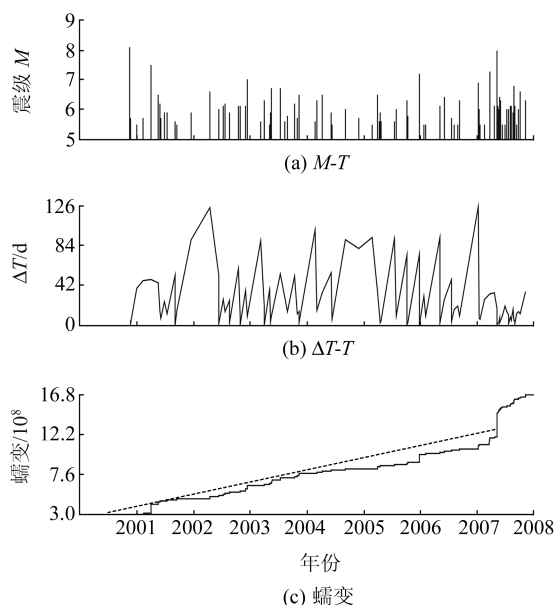


图 5 研究区域内地震活动的 $M-T$ 、 $\Delta T-T$ 及蠕变图像
Fig. 5 The curves of $M-T$, $\Delta T-T$ and released strain creep

3.2 汶川地震临震前显著形变异常的分布

中国大陆受到欧亚板块、印度洋板块和太平洋板块的联合作用,与汶川地震孕育相关的动力因素具有大尺度与深层次性^[20]。从汶川地震前南北地震带地倾斜、应变、跨断层与 GPS 等显著形变异常分布来看,震前显著形变异常点包括甘肃境内的红柳峡跨断层水准、武都钻孔应变,四川境内的姑咱石英摆倾斜及龙灯坝断层蠕变基线,云南境内的通海水准等。

对 GPS 基线计算发现,在地震活动应变能释放减速的 2005 年,沿地震椭圆空区近于长轴方向上的广州至泸州 GPS 基准站间基线呈现快速压缩。在 2005 年初,压缩速度达 12 mm/a。这种压缩变化持续到 2007 年底,之后开始快速恢复,直到汶川地震发生。这种情况表明,震源区周围存在应变积累加速过程,且应变积累与地震椭圆空区外的地震活动能量释放有关。

从南北地震带断层观测结果来看,震前最早出现异常且断层活动幅度在震前达到最大的站点

位于与龙门山地震带相邻的祁连山地震带。该断裂带上红柳峡水准观测结果受2001年昆仑山地震的影响,均发生显著的趋势改变,2007-03~2008-01出现快速增加,单方向突变持续时间为8个月。该异常点距离汶川地震约1200 km。依据短期突变持续与地震震级之间的关系^[21],相关地震震级估计可达7.4级。类似的变化也出现在2017年九寨沟M_s7.0地震前。

武都应变、姑咱石英摆倾斜等也出现显著的异常,异常持续时间及幅度都满足8.0级地震的指标。

4 结 语

对汶川地震前远近场地倾斜、断层、重力和GPS、水准等资料的分析认为,汶川地震临震前近场的变形不动点现象与远场的应力场变化具有较密切的关系。

1)临震前近震源区域地倾斜、应变、重力与GPS等表现出的变形不动点现象是应力场变化进入临界状态的一个重要的前兆特征。震前有的区域变形速度大、有的区域变形速度小,变形速度小的地方则更接近未来地震的发震区。

2)汶川地震前的变形不动点现象突破了对地形变观测及地震预测问题的认识。地形变观测短期变化反映的并非一个局部的变形状态,而是整个区域应力状态的迁移过程,是地应力扰动的结果,笔者将其定义为地应力波^[22]。在地应力波概念的基础上,则容易理解困扰前兆及预测的诸多问题,并为前兆台网布局提供新的思路。

参考文献

- [1] Bilham R. Coseismic Strain and the Transition to Surface Afterslip Recorded by Creepmeters Near the 2004 Parkfield Epicenter[J]. *Seismological Research Letters*, 2005, 76(1): 49-57
- [2] Bakun W H, Aagaard B, Dost B, et al. Implications for Prediction and Hazard Assessment from the 2004 Parkfield Earthquake[J]. *Nature*, 2005, 437(7061): 969
- [3] Amoruso A, Crescentini L. Limits on Earthquake Nucleation and Other Pre-Seismic Phenomena from Continuous Strain in the Near Field of the 2009 L'Aquila Earthquake[J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(10)
- [4] 闻学泽,张培震,杜方,等.2008年汶川8.0级地震发生的历史与现今地震活动背景[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(2): 444-454(Wen Xueze, Zhang Peizhen, Du Fang, et al. The Background of Historical and Modern Seismic Activities of the Occurrence of the 2008 M_s8.0 Wenchuan, Sichuan, Earthquake[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(2): 444-454)
- [5] 徐锡伟,闻学泽,叶建青,等.汶川M_s8.0地震地表破裂带及其发震构造[J]. *地震地质*, 2008, 30(3): 597-629(Xu Xiwei, Wen Xueze, Ye Jianqing, et al. The M_s8.0 Wenchuan Earthquake Surface Ruptures and Its Seismogenic Structure[J]. *Seismology and Geology*, 2008, 30(3): 597-629)
- [6] 牛安福,张凌空,闫伟,等.汶川地震前南北地震带中北段地形变化特征的研究[J]. *地震*, 2009, 29(1): 100-107(Niu Anfu, Zhang Lingkong, Yan Wei, et al. On the Characteristics of Ground Deformation Anomalies in the Middle and Northern Part of the South-North Seismic Belt prior to the Wenchuan Earthquake[J]. *Earthquake*, 2009, 29(1): 100-107)
- [7] 牛安福,张凌空,闫伟,等.汶川地震近震源区地形变短期前兆现象的解析[J]. *地震*, 2012, 32(2): 52-63(Niu Anfu, Zhang Lingkong, Yan Wei, et al. On the Short-Term Precursory Phenomena of Ground Deformation Associated with the 2008 M_s8.0 Wenchuan Earthquake[J]. *Earthquake*, 2012, 32(2): 52-63)
- [8] 梅世蓉.地震前兆物理模式及前兆分布特征与机制研究进展[J]. *地震*, 1995(增1): 2-22(Mei Shirong. Development of Research on the Physical Model of Earthquake Precursor Field and the Mechanism of Precursors Time-Space Distribution[J]. *Earthquake*, 1995(S1): 2-22)
- [9] 周硕愚,施顺英,帅平.唐山地震前后地壳形变场的时空分布、演化特征与机理研究[J]. *地震学报*, 1997, 19(6): 559-565(Zhou Shuoyu, Shi Shunying, Shuai Ping. Research on Temporal and Spatial Distribution, Evolutionary Character and Mechanism of Crustal Deformation Field before and after the Tangshan Earthquake[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 1997, 19(6): 559-565)
- [10] 牛安福,张雁滨,刘祖荫,等.地震前地壳形变异常分布的非均匀性特征[J]. *地震*, 1999, 19(2): 149-154(Niu Anfu, Zhang Yanbin, Liu Zuyin, et al. On the Heterogeneity of the Crustal Deformation prior to Earthquakes[J]. *Earthquake*, 1999, 19(2): 149-154)
- [11] 王敏,沈正康.2008年汶川大地震临震前震中附近是否存在显著的地壳垂直运动? [J]. *地震地质*, 2014, 36(4): 956-963(Wang Min, Shen Zhengkang. Was There Significant Vertical Crustal Motion in Epicenter Region prior to 2008 Great Wenchuan Earthquake? [J]. *Seismology and Geology*, 2014, 36(4): 956-963)
- [12] 祝意青,徐云马,吕戈培,等.龙门山断裂带重力变化与汶川8.0级地震关系研究[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(10): 2538-2546(Zhu Yiqing, Xu Yunma, Lü Gepei, et al. Relations between Gravity Variation of Longmenshan Fault Zone and Wenchuan M_s8.0 Earthquake[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(10): 2538-2546)
- [13] 祝意青,闻学泽,孙和平,等.2013年四川芦山M_s7.0地震前的重力变化[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(6): 1887-1891(Zhu Yiqing, Wen Xueze, Sun Heping, et al. Gravity Changes before the Lushan, Sichuan, M_s=7.0 Earthquake of 2013[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2013, 56(6): 1887-1891)
- [14] 李媛,牛安福,赵静,等.汶川地震前龙门山区域地壳密度动态变化分析[J]. *地震*, 2015, 35(1): 77-90(Li Yuan, Niu

- Anfu, Zhao Jing, et al. Dynamic Variations of Crustal Density in the Longmenshan Area before the 2008 Wenchuan 8.0 Earthquake[J]. *Earthquake*, 2015, 35(1): 77-90
- [15] 张祖胜, 谢觉民, 徐峰壮, 等. 唐山 7.8 级地震的地壳垂直形变[J]. *地球物理学报*, 1981, 24(2): 182-191 (Zhang Zusheng, Xie Juemin, Xu Fengzhuang, et al. Vertical Deformation Associated with the 1976 Tangshan $M=7.8$ Earthquake [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1981, 24(2): 182-191)
- [16] 杜方, 闻学泽, 张培震, 等. 2008 年汶川 8.0 级地震前横跨龙门山断裂带的震间变形[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(11): 2 729-2 738 (Du Fang, Wen Xueze, Zhang Peizhen, et al. Interseismic Deformation across the Longmenshan Fault Zone before the 2008 $M_s8.0$ Wenchuan Earthquake [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(11): 2 729-2 738)
- [17] 陈章立, 赵翠萍, 王彩勤, 等. 汶川 $M_s8.0$ 级地震发生背景与过程的研究[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(2): 455-463 (Chen Zhangli, Zhao Cuiping, Wang Caiqin, et al. A Study on the Occurrence Background and Process of Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(2): 455-463)
- [18] Wang Q, Qiao X J, Lan Q G, et al. Rupture of Deep Faults in the 2008 Wenchuan Earthquake and Uplift of the Longmenshan [J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4(9): 634-640
- [19] 郭敬良, 王成虎, 马洪生, 等. 汶川 $M_s8.0$ 级大震前后的水压致裂原地应力测量[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(5): 1 395-1 401 (Guo Qiliang, Wang Chenghu, Ma Hongsheng, et al. In-Situ Hydro-Fracture Stress Measurement before and after the Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake of China [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(5): 1 395-1 401)
- [20] 许绍燮. 从汶川地震震前现象认识其发震动力应具有的大尺度与深层次性[J]. *中国工程科学*, 2009, 11(6): 16-18 (Xu Shaoxie. Based on the Phenomena before Wenchuan Earthquake, the Characteristic of Large Scale and Deep Layer on Dynamic Force of Earthquake Occurrence Has been Recognized [J]. *Chinese Engineering Science*, 2009, 11(6): 16-18)
- [21] 牛安福. 地倾斜变化的突变性及与地震关系的研究[J]. *地震学报*, 2003, 25(4): 441-445 (Niu Anfu. Study on the Sudden Changes in Ground Tilt and Earthquakes [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2003, 25(4): 441-445)
- [22] 牛安福. 地应力波与地震预测基础[M]. 北京: 地震出版社, 2017 (Niu Anfu. The Basis of Ground Stress Wave and Earthquake Prediction [M]. Beijing: Seismological Press, 2017)

On the Fixed Points in Crust Deformation prior to Wenchuan Earthquake and Dynamic Background

NIU Anfu¹ ZHANG Lingkong¹ ZHANG Jing¹ LI Yuan² ZHAO Jing¹

YAN Wei¹ YUE Chong¹ YUAN Zhengyi¹

¹ China Earthquake Networks Center, 5 Nanheng Street, Sanlihe, Beijing 100045, China

² The First Monitoring and Application Center, CEA, 7 Naihao Road, Tianjin 300180, China

Abstract: Based on comprehensive analysis of the research of deformation precursors at home and abroad, this paper, based on the results of GPS, strain and gravity before the Wenchuan earthquake, and applying the tilt data observed around the Wenchuan earthquake, puts forward the phenomenon of ‘fixed point’, that may occur in the focal area before the earthquake. The fixed point phenomenon in crustal deformation is an important marker of the critical state of regional stress field before earthquakes, and is an important basis for the delineation of seismic risk area. With the help of the fixed point theory, the evolution of the set of deformation fixed points before Wenchuan earthquake is shown, and the deformation fixed point phenomenon before earthquakes is also explained by thin plate theory. Finally, combined with the distribution of seismic activity and the far field significant deformation anomaly, we discuss the dynamic background of the deformation fixed point phenomenon, and verify that the fixed point phenomenon of the crustal deformation before the Wenchuan earthquake is the result of the orderly movement of the stress field in the large area.

Key words: Wenchuan earthquake; deformation measurements; fixed points in deformation; dynamic background

Foundation support: National Key Research and Development Program of China, No. 2018YFC1503606; National Natural Science Foundation of China, No. 41330314.

About the first author: NIU Anfu, PhD, researcher, majors in topographic variation observation mechanism and earthquake prediction method, E-mail: niuanfu01@sina.com.

Corresponding author: LI Yuan, PhD candidate, research assistant, majors in deformation data processing and model, E-mail: lilyuaner@126.com.