

形变台点异常事件与强震活动关系的研究*

薄万举¹, 郭卫星², 郭良迁¹, 杜雪松¹, 周伟¹

(1. 中国地震局第一地形变监测中心, 天津 300180;

2. 山西省地震局大同地震台, 山西大同 037006)

摘要:收集了我国大部分跨断层流动测量和跨断层形变台站资料, 统计了阶跃、突跳、趋势转折和年变规律改变等异常变化, 并与相应区域内 $M_s \geq 6.0$ 以上地震的时空分布进行了对比分析, 结果认为 (1) 突出的台点形变异常和强震活动在上一个强震活动高潮期均存在由西南向华北往复迁移的特征 (2) 突出的台点形变异常峰值期与强震活动高潮期存在一定的对应关系 (3) 1987 年以来形变异常和强震活动由西南向华北迁移的特征不明显, 但地震活动在南北带上往复迁移的特征仍然存在 (4) 未来一段时间内, 华北发生 $M_s 6.0$ 以上强震的可能性不大, 而南北带的北部不能排除。

关键词:形变异常; 地震; 跨断层测量

中图分类号: P315.75⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2004)02-0144-05

0 前言

地壳形变异常与地震孕育发生的过程有着必然的联系。作者对单个台点和区域形变测点中出现的形变异常与地震之间的关系做过若干研究^[1-5], 并得到了一系列新的认识。但以前的研究成果均着眼于对局部或区域范围内的地壳形变与地震的研究, 在更大范围内二者的对应关系尚未见系统的研究结果。为了研究大陆强震机理, 在更大范围内寻找地壳形变的演化规律及其与地震时空分布的对应关系, 本文收集了首都圈、山西带、郟庐带、辽宁、内蒙古、陕西、宁夏、四川、云南等地的跨断层流动资料和外围地区部分形变台站资料, 进行了统一的分析与研究, 并取得了一些有益的认识。

1 资料概况

本文收集到了部分形变台站和首都圈、山西带、辽宁、内蒙、苏鲁皖、宁夏、陕西、四川、云南等地区的跨断层流动测量共 159 个台点、343 个测项(线)的形变资料, 主要为短水准和短基线资料。除少数测点从上世纪 70 年代开始有资料外, 大部分测点因改造等原因只收集了 80 年代开始的资料。

在上述形变资料覆盖的时空范围内, 统计了自 1970 年以来 $M_s 6.0$ 以上地震的样本。具体空间范围为中国大陆, 考虑有些区域收集到的形变资料太少, 去掉了北纬 43° 以北的东北三省区, 北纬 35° 以南、东经 105° 以东的华南区域, 北纬 42° 以北和东经 85° 以西的新疆地区及大部分西藏区域。经计算机统计, 统计区自 1970 年以来共发生 $M_s 6.0$ 以上地震 115 次。

2 突出形变异常的定义

形变异常资料的分析即通过地壳形变的变化规律与地震活动的对比确定异常的标准, 然后再利用这一标准对未来进行地震预测的尝试, 是一个不断自我学习和改进的过程。本文在较大的几个区域内来研究形变异常与地震的关系, 着眼于大幅度的、显著变化的异常与强震活动之间的关系, 重点是捕捉多年才出现一次的突出变化, 以求在更大的时空尺度上对我国大陆强震孕育、时空演化规律及其机理进行探索和

* 收稿日期 2003-06-12

基金项目: 中国地震局“十五”重点项目中期预报(005-01-05-06)课题资助

作者简介: 薄万举(1967-), 男(汉族), 天津市人, 研究员, 主要从事大地形变测量与地震预测研究工作。

解释,而幅度相对较小的异常变化不作为重点研究对象。

基于上述理由,本文对明显的阶跃、明显的突跳性变化、明显的趋势性转折和年变规律发生明显改变等特别突出的异常变化进行了统计。为便于计算机统计,根据大量的资料和多年的经验,总结出作为突出异常的指标为(1)一年内的最大变化量大于等于其前三年间最大变化量的3倍(2)连续三年的平均变化速率与其前三年平均变化速率相差3倍以上,并且其量值相差在0.5 mm/年以上。没有明显干扰因素给予合理解释,且具备以上两个指标之一的异常变化,即可认定为异常。在343项资料中共统计出251次这样的异常事件。用这样的指标确定异常,虽然会含有局部形变或干扰信息的存在,但其反映更大范围内地壳应力场变化及强震活动规律的可能性更大一些。

3 时空分布图像

图1为本文所收集到的全部形变台点的分布,图2为突出异常事件的空间分布,图3为自1970年以来 $M_s \geq 6.0$ 以上地震的空间分布。从图1看出,形变台点主要分布在郯庐带、燕山带、山西带、渭河盆地、南北带等几个主要的大构造带上;从图3看出,除新疆、西藏部分形变资料较少的区域外,地震主要发生在这些构造带上,图2给出的突出异常事件的分布也基本相似。这一结果是必然的,因为哪里有地震,就在哪里建台点进行观测,形变异常也只能出现在相应的区域内。

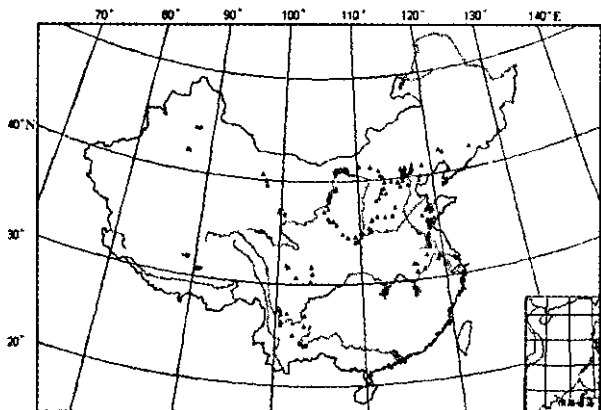


图 1 形变台点的分布

Fig. 1 Distribution of deformation monitoring stations and sites.

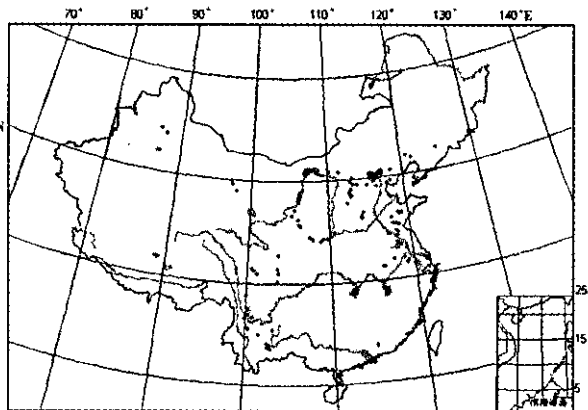


图 2 突出台点形变异常的分布

Fig. 2 Distribution of remarkable anomalies monitored at the stations and sites.

在有台点形变资料的区域内分别统计了突出异常事件和 $M_s \geq 6.0$ 以上地震的年发生频次,统计结果见图4。看出,异常频次有1976年、1988~1989年和1995~1996年三个高峰期,而 $M_s \geq 6.0$ 以上地震有1976年、1988~1989年和1995~1998年三个高峰期,二者有较好的对应关系。图4(a)中1984年以前异常频次总体水平偏低,是因收集到的早期资料太少所致。由于缺少资料,略去了1975年以前的资料。

图5和图6分别给出了形变异常事件和地震事件在经度和纬度方向上的动态迁移曲线。由图5看出,1987年以前异常事件在经度和纬度方向上的迁移存在同步特征,即经度高时纬度也高。这就意味着突出形变事件在我国西南地区和华北地区存在往返迁移

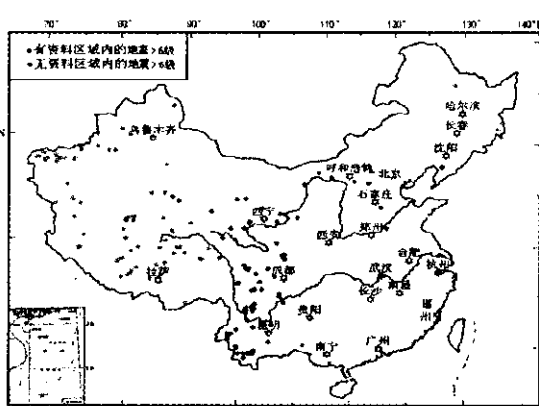


图 3 $M_s \geq 6.0$ 以上地震的空间分布 (1970 ~ 2001)

Fig. 3 Distribution of earthquakes with $M_s \geq 6.0$ (1970 - 2001).

的特征,而1987年以后这种对应规律不十分明显。由图6看出,1987年以前 $M_s6.0$ 以上的强震在经向和纬向存在同样的迁移现象,即由西南向东北迁移的现象。而1987年以后南北向迁移存在,东西向迁移不明显。即主要在南北带上活动,华北地区的强震活动较少。

4 解释与探讨

本文给出的统计图像之间的对应关系不是偶然的,应该从大陆地壳动力学的角度给出恰当的解释。尽管资料覆盖时段仅20多年,难以揭示完整的地壳活动规律,但仍可联想到下面几个特征的存在:

(1)上世纪60年代至80年代间西南地区大震连发,华北地区发生多次7级以上地震,形变异常和地震都存在由西南向东北迁移的现象;

(2)1987年以后迁移特征不明显,西南地区7级以上地震次数较少,华北地区无7级以上地震;

(3)台点形变异常与强震活动从西南向华北往复迁移的特征与GPS和大规模水准给出的我国大陆地壳活动特征^[6]相似;

(4)这些特征均直接或间接地支持了印度板块向欧亚板块挤压,从而造成我国地壳形变剧烈、强震频发的结论^[6]。

综上所述,本文统计得到的台点突出形变异常和强震时空迁移特征可以在较大尺度块体活动的假说下得到进一步的解释。但也应注意到本文给出的图像中,尚

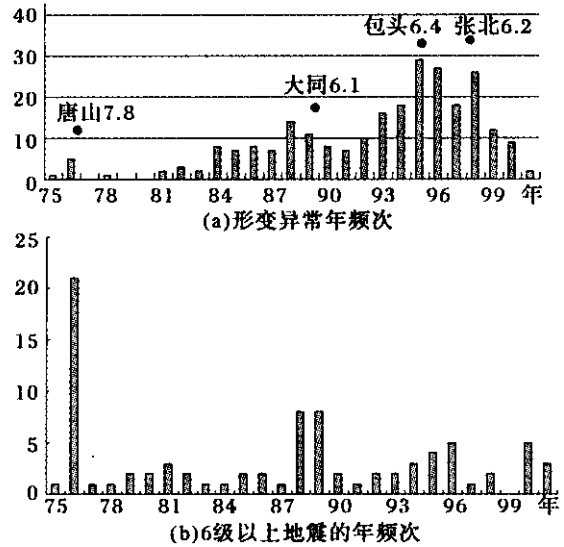


图4 形变异常与 M_s6 以上地震年频次的统计对比

Fig. 4 Comparison between yearly frequency of deformation anomalies and yearly frequency of earthquakes with $M_s \geq 6.0$.

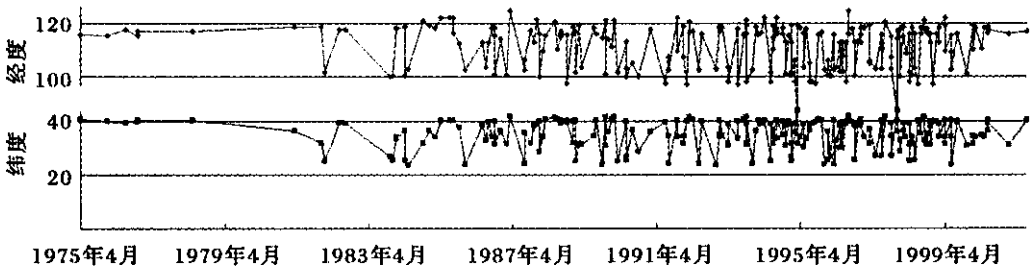
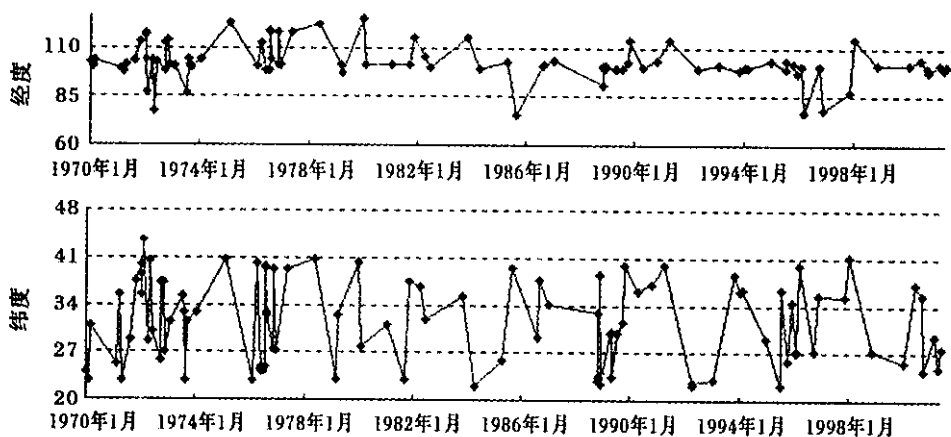


图5 台点突出形变异常的动态迁移曲线

Fig. 5 The migrate curve of deformation anomalies among the stations and sites.

有几处未能解释的疑点,有必要进一步探讨。

(1)异常频次存在的几个问题:首先,图4中异常频次在1987年以前普遍偏低,以后普遍偏高。经分析认为有两个原因:一是前期施测并收集到的资料很少,而后期较多,出现异常的本底概率自然会不一样,但其相对高值仍有指示意义;二是经过70年代一系列的7级以上强震活动后,使很多断层活化,80年代以后即使孕育6级左右地震,也会在活化的断层上显示出较强的形变信息。其次,异常频次似乎与华北地震的对应关系更好,如1976年唐山地震、1989年大同地震、1996年包头地震、1998年张北地震都处于异常频次高峰期,这主要因为首都圈观测台点最为密集,在统计中华北地区信号的比重自然最强。此外,假如认为华北地震活动也与印度板块对我国大陆的挤压有关的话,则华北的强震活动与我国强震活动高潮

图6 $M_s \geq 6.0$ 以上地震的动态迁移曲线Fig. 6 The migrate curve of earthquakes with $M_s \geq 6.0$.

期的对应可能有更强的指示作用。因为印度板块对我国大陆的作用达到一定的强度后,才能影响到华北,并需要较长的传递时间,而这一过程就可能对应了一个强震活动期。这一点在图4中也得到了一定的印证。

(2) 1987年以后西南、华北之间迁移特征的消失:1987年以前的十几年内,尤其在70年代前后,我国出现了大震频发的时段,仅华北就有邢台、海城、唐山三次7级以上地震发生,而且与川、滇、藏地区的强震活动遥相呼应。在这一期间西南与华北地区出现大震迁移特征很可能是印度板块对我国大陆挤压活动增强的体现。而1987年以后印度板块的挤压作用可能相对减弱或遇到了较强烈的阻挡,在华北积累的能量较少,孕育7级以上强震的可能性减小。形变异常主要由震后效应和局部应力场调整的信息构成。在局部应力场活动中大多孕育6级左右地震,因而西南与华北之间的台点形变异常和地震的迁移关系就大大地减弱了。但是印度板块对中国大陆挤压力的减弱或受到阻挡并不等于其作用的消失,在南北带上的作用仍然存在。并且,如果存在强烈的阻挡的话,还将会在能量传递受阻的区域孕育更强的地震。因此图6显示地震在纬向往复迁移的活动特征还是很明显的,但与强活动时段相比,地震数量偏少,震级偏低。

应当指出,2001年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 大地震可能就是因强烈阻挡积累能量的一次大释放。因该地区缺少形变资料,在本文的形变异常统计中未见到相应的显示。但在作者进行中长期地震预报研究的结果^[7]中,利用GPS等多种资料对 $M_s 8.1$ 大地震给出较好的预测。

5 结论

通过本文的统计、分析与探讨,得出如下几点结论:

(1) 突出的台点形变异常和强震活动在上一个强震活动高潮期均存在由西南向华北往复迁移的特征;

(2) 突出的台点形变异常峰值期与强震活动高潮期存在一定的对应关系;

(3) 1987年以来,形变异常和强震活动由西南向华北迁移的特征不明显,支持印度板块对我国大陆的挤压作用相对减弱或遇到了强烈的阻挡的观点,但地震活动在南北带上往复迁移的特征仍然存在;

(4) 据图6给出的结果认为,未来一段时间内,中国大陆高经度区发生强震的可能性不大,高纬度区存在发生地震的可能性。换句话说,华北发生 $M_s 6.0$ 以上的强震的可能性不大,而南北带的北部不能排除。

(5) 2001年昆仑山口发生了 $M_s 8.1$ 大地震,但本文仅用台站形变异常统计未见到相应的显示。结合

(4)的结论和文献[7]的研究结果认为临夏地区、银川地区和玛多地区应列为今后加强监测的地区。

顺便指出,因形变台点资料空间分布的限制,本文研究的主要空间为南北带和华北地区,其结论用来描述整个中国大陆形变异常和地震活动的迁移特征,显得有些勉强,但与作者在GPS和大面积水准等手段研究中给出的结论和观点有相互支持和印证的作用,进而在一定程度上显示了形变台点资料用于地震活动性研究的有效性。因篇幅所限,不同形变资料的对比研究将另文讨论。

[参考文献]

- [1] 薄万举,谢觉民,刘世荣. 短水准高频形变信息与小震活动关系的研究[J]. 地壳形变与地震,1993,13(增2):72-79.
- [2] 薄万举. 用流动点资料进行地震中短期预报的方法和尝试[J]. 地壳形变与地震,1988,8(4):359-369.
- [3] 薄万举. 用非线性动力学的观点分析形变异常与干扰初探[J]. 地壳形变与地震,1992,12(4):44-48.
- [4] 薄万举. 系统工程学在大地形变测量预报地震中的应用[J]. 地震,1991,11(3):22-30.
- [5] Wanju Bo, Yanxing Li, Guohua Yang et. al. . Crustal deformation state shown by fault measurement and GPS[J]. Journal of seismology, 2000, 4(3):259-266.
- [6] 薄万举,郭良迁,董桂英,等. 坝体决口孕震模式[J]. 大地测量与地球动力学,2001,21(4):103-107.
- [7] 薄万举,杨国华,郭良迁,等. 地壳形变与地震预测研究[M]. 北京:地震出版社,2001.

RESEARCH ON RELATIONSHIP BETWEEN DEFORMATION ANOMALIES MEASURED AT STATIONS OR SITES AND STRONG EARTHQUAKE ACTIVITIES

BO Wan-ju¹, GUO Wei-xing², GUO Liang-qian¹, DU Xue-song¹, ZHOU Wei¹

(1. First Monitoring Center, CSB, Tianjin 300180, China;

2. Datong Seismological Station, Seismological Bureau of Shanxi Province, Datong 037006, China)

Abstract :Most of the crass-fault deformation data measured at fixed stations and mobile sites in China are collected, the obvious anomaly variations of it such as stepping, pulse, tendency change and anniversary rule change are searched, and the comparison analysis between the anomalies and earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the same area is made to find their distribution regulation both in time and space. The results show (1)Both of the anomalies and strong earthquakes migrate to and fro from Southwest to North China in the last active cycle of strong seismicity.(2)There is a corresponding relation between the peak of abnormal deformation at stations and the active period of strong earthquakes.(3)Since 1987, both the deformation anomalies and activities of strong earthquake not migrate obviously from Southwest to North China yet, but the migrate feature is also existent in North-South seismic belt of China.(4)In the next period, the probability of occurring earthquake with $M_s \geq 6.0$ in North China is low, but we are not sure about it for North-South seismic belt of China.

Key words : Deformation anomaly; Earthquake; Across-fault surveying