第33卷 第1期
2011年3月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 33 No. 1
March, 2011

地形变监测地震能力的评价

张四新，王双绪，张 希，刘立炜
（中国地震局第二监测中心，陕西 西安 710054）

摘 要：利用中国地震局第二监测中心1992－2007年的年度地震趋势研究报告为统计样本，对青藏块体东北缘地区的年度地震预报进行了检验，从一个侧面评价了当前地形变监测地震能力。结果显示在16年中无中强地震漏报，其中报对地震4个，报错地震19个，对错比例为21%。这表明地形变对中强以上地震有较强的监测能力，但由于二者之间尚无确定的对应关系，导致了错报率较高的现象。

关键词：地形变；地震监测；评价；青藏块体东北缘；年度地震预报
中图分类号：P315.72+5 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－0844(2011)01－0015－05

Evaluation for Seismic Monitoring Ability of Crustal Deformation

ZHANG Si-xin, WANG Shuang-xu, ZHANG Xi, LIU Li-wei
(*Second Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China*)

Abstract: Taking the annual seismicity trend reports from 1992 to 2007 given by Second Monitoring and Application Center, CEA, as statistical sample, the seismic monitoring and annual earthquake prediction for northeast margin of Qinghai－Tibet block using crustal deformation data are tested. The capacity of earthquake prediction using crustal deformation anomalies is evaluated. The results show that there was no pretermission of prediction for moderate-strong earthquake in 16 years, 4 events were predicted correctly and 19 times failed, the accuracy ratio of prediction is about 21%. It is indicated that crustal deformation monitoring has good predictive capacity to moderate-strong earthquake. But caused by the uncertainty of corresponding relationship between crustal deformation and earthquake event, the percentage of failure is much higher than one of accuracy.

Key words: **Crustal deformation; Seismic monitoring; Evaluation; Northeast margin of Qinghai－Tibet block; Annual earthquake prediction**

0 引言

2008年汶川8.0级地震发生后地震预报受到了社会各界的普遍关注。震后国家汶川地震专家委员会新闻发布会表示："从龙门山及其外围地区多年连续观测的地球物理资料来看，此次地震之前尚未能认定有显著的异常，因此也未能给出短期和临震预报。"这也引起了人们对目前地震监测手段效能的疑虑。因此客观的总结评估当前的地震监测和预报工作就显得很有必要。我国的地形变监测地震研究工作始于1966年邢台地震之后，近年来随着GPS、INSAR等高新技术的应用而发展迅速。中国地震局第二监测中心是承担中国西部地区地震形变监测和地震预测研究的专业单位，本文以1992－2007年间的"年度地震趋势研究报告"为统计样本，以我国重点地震监测区——青藏块体东北缘年度地震预报为例，试图从一个侧面反映当前地形变手段监测地震能力的强弱。

收稿日期：2009-09-24
基金项目：国家科技攻关计划子专题大地形变与大地震危险区预测研究（2008BAC44B02－0103）
作者简介：张四新(1967－)，男(汉族)，陕西麟游人，高级工程师，主要从事大地形变与现今地壳运动、地震预测研究.

1 思路与方法

评价一种手段的地震监测能力可能有不同的方法，但主要还是包括两个方面：(1)客观因素，即该手段实际监测地震的能力、范围及不间断性。如 2001 年昆仑山口西 8.1 级大震就不在监测能力范围内；而 2008 年汶川 8.0 级大震前虽然震前跨断裂水准发现龙门山断裂有阶段性异常[1-2]，但可惜到后来停测。客观条件不具备使得对这两次大震的监测无法评价。(2)主观因素，即能否根据监测到的现象作出准确的地震预测。我们常说，监测是基础，预报是体现。但是目前真正意义上的地震三要素短期预报还很难实现。

综上所述，参照我国目前的地震预报评价机制，结合地形变手段时空大尺度的特点，本文选择各种形变监测手段多，且一直处于不间断监测的青藏块体东北缘作为研究区域，以这一区域从 1992 年到 2007 年 16 年的年度地震预报作为统计样本，统计其有震预报和无震预报的对错比例，错报率及漏报率，试图从一个局部客观地反映当前地形变监测地震的能力。

2 青藏块体东北缘年度地震预报检验

青藏块体东北缘(33°～41°N，96°～108°E)是我国主要地震活动区之一，地域广阔，地质构造复杂，属于中国地震局第二监测中心重点监测区，多年来一直处于不间断的监测之中。区域内布设有区域水准、GPS、重力和跨断层短测线等不同时间、空间尺度的形变监测手段(图 1 给出了区域水准和 GPS 分布)，这为年度地震预报提供了可靠、详实的预报依据。笔者在对青藏块体东北缘年度地震预报统计基础上，制作了表 1，其中预报意见和预报检验均选自当年和次年年度地震趋势研究报告。

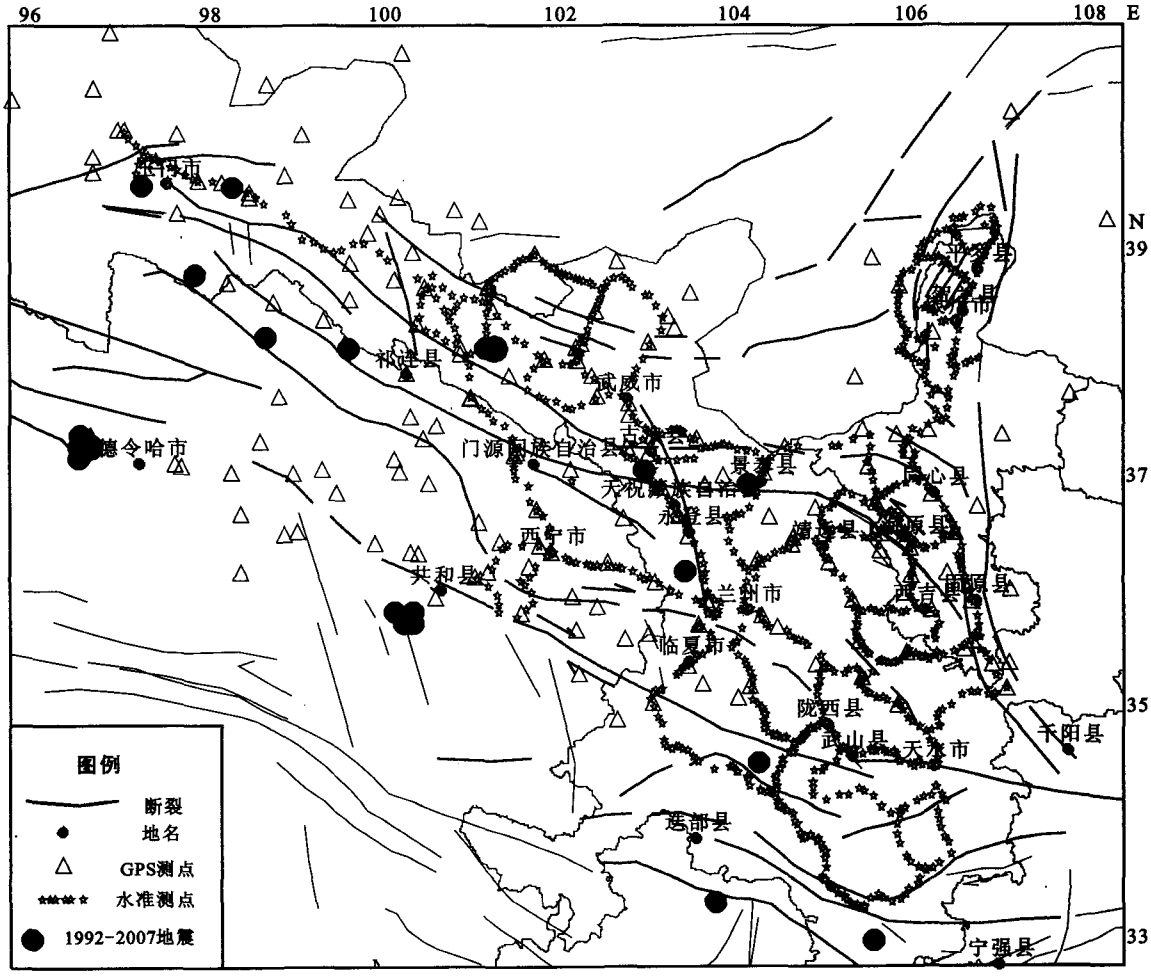

图 1 青藏块体东北缘水准、GPS 测点与地震分布图

Fig. 1 Distribution of leveling and GPS survey stations and main earthquake epicentres in northeastern margin of Qinghai－Tibet block.

表 1　青藏块体东北缘年度地震预报检验

预测年度	祁连—河西地区		西(吉)海(原) 固(原)地区		兰(州)天(水)武(都)地区	
	预测意见	预测检验	预测意见	预测检验	预测意见	预测检验
1992	无 $M_S>6.5$	√	无 $M_S>6.0$	√	无 $M_S>6.0$	√
1993	无 $M_S>7.0$；警惕 6 左右	√	5～6	×	无 $M_S\geqslant 6.0$	√
1994	无 $M_S\geqslant 6.0$	√	无 $M_S\geqslant 6.0$	√	无 $M_S\geqslant 6.0$	√
1995	$M_S=6\pm$	√	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√
1996	中西段 $M_S=6\pm$	×	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√	$M_S\geqslant 6.5$ 可能小；警惕 5～6	√ ×
1997	$M_S=6\pm$(中段) $M_S\geqslant 6.5$ 可能小	× √	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√
1998	$M_S=5\sim 6$(西段) $M_S>6.0$ 可能小	× √	$M_S=6\pm$	×	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√
1999	$M_S=5\sim 6$(西段) Ms>6.0 可能小	× √	$M_S>6$ 可能不大甘宁交界 5～6	√ ×	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√
2000	$M_S=6\pm$ 中东段	√	$M_S\geqslant 6$ 可能不大	√	$M_S\geqslant 6$ 可能不大	√
2001	$M_S=6\pm$ 中东段	×	$M_S\geqslant 6$ 可能不大	√	$M_S\geqslant 6$ 可能不大	√
2002	中东段 5～6	×	$M_S\geqslant 6$ 可能小	√	$M_S=6\pm$	×
2003	中东段 6±	√			$M_S=6\pm$	基本√
2004	东段 6±	×			6±	×
2005	中东段 6±	×			6±	×
2006	东段 6±	×			6±	×
2007	东段 6±	×			6±	×

分析表 1，有以下几点认识：

(1) 地震预报类型分无震预报和有震预报 2 类。统计显示 3 个小区域 16 年中提出无震预报 25 次，有震预报 23 次。其中：祁连—河西地区、西海固地区和兰天武地区的无震预报分别为 6 次、9 次和 10 次；有震预报分别为 13 次、3 次和 7 次。相对而言，祁连－河西地区的有震预报较多，而后 2 个地区的无震预报偏多。主要因为这一时期祁连－河西地区地震相对活跃，形变异常较多，而后 2 个地区地震较为平静，形变异常较少。

(2) 从历年地震预报的震级分布看，有震预报一般为 6±或 5～6 级，无 5 级以下或 6～7 级的有震预报；而无震预报的震级下限也在 6.0～7.0 级之间。这反映受监测地震形变前兆能力、积累震例所限，预报地震的重点仍主要以 6±及 6 级以上的中强地震为主。

(3) 年度地震预报检验以反映地震预报工作质量的重要指标——错报率和漏报率作为判别标准。无震预报不论无震预报的下限取 M_S6.0 还是 M_S7.0，历年的错报率均为零。固然中等地震的发生是一个小概率事件，报无震预报的正确率要大于有震预报，尤其是地震相对平静的西海固地区、兰天武地区这种机会更大。但我们也注意到即使地震相对活跃的祁连－河西地区，仅有的 6 次无震预报错报率也为零。这反映在形变监测手段齐全的青藏块体东北缘，尚没有出现中强地震漏报的例子。

但有震预报情况则大有不同，不容乐观。16 年之中有震预报仅报对地震 4 次，报错地震却达 19 次，对错比例仅为 21 %，错报率高达 83 %。其中祁连－河西地区地区报对地震 3 次，报错地震 10 次，对错比例为 30 %，错报率为 77 %；西海固地区无报对地震，报错地震 3 次，错报率高达 100 %；兰天武地区报对地震 1 次，报错地震 6 次，对错比例为 17 %，错报率高达 86 %。从 3 个区域的地震预报对错比例看，地震活跃的祁连－河西地区相对偏高，而地震平静的西海固地区最低。这也表明监测到的形变异常并不一定都能导致地震发生，即使是中期的年度地震预报要报对地震也是一件相当困难的事情，即使在地震相对活跃的祁连－河西地区，其年度地震预报错报率也高达 77 %。

3　青藏块体东北缘年度地震预报状况分析

按照唯物辩证法观点，事物短期的变化可能无法准确把握，但是长期发展趋势还是可以判断清晰的。地震的孕育是一个应变能随时间不断积累的过程，而地形变则是地壳运动变化的几何表象，所以中长期来看，理论上在监测条件具备的情况下一个地区是否存在中强地震在地形变上应该能够得到反映，这也可以从青藏块体东北缘 16 年之中无地震漏报得到映证。但是，中短期来看一个地区出现形变异常后是否发生地震，若发生，其震级、时间和地点

三要素的判断仍面临很大的不确定性，迄今仍是一个尚未有效解决的难题。

从判据方面分析。首先由于地壳运动产生的形变异常效应反映的只是地壳运动的变化，地面形变出现剧烈变化之后可能发生地震，也可能不发生地震，因此“形变异常”与“地震前兆”并不简单是同一概念。况且引起形变异常的原因很多，既有长周期的，如断层蠕动、静地震与慢地震；也有快速变化的外界非构造因素影响；也有来自局部构造应力变化，包括孕震所引起的等。其次，现在还只能在地表一些主要断裂带布设一些极为稀疏的观测场地，而且分布也不均匀。由于震源的复杂性，地下构造的多样性，形变前兆有些可观测到，有些观测不到，这就存在地震漏报的可能。

从地震预报的三要素分析。首先地震的发生是滞后于的形变异常的，换句话说，即使监测到地震形变前兆，何时发生地震仍是一个未知数。其次，监测范围内出现的形变前兆是否一定意味着本区域存在发生地震危险性也是一个存在争议的问题。根据梅世蓉先生的“坚固体孕震模式”[3]理论，地壳不稳定区即形变前兆先出现在外围，由外向内扩展包围震源区，而震源区在震前数年整体呈现“形变空区”，显示相对稳定或“相对闭锁”的坚固体特征。汶川8.0地震前多种资料显示龙门山断层活动处于相对闭锁状态[4]，但是处在西秦岭构造带与南北地震带的交汇区[5-6]、距汶川地震最近的测点仅2百多公里的兰州－天水－武都地区，在震前却存在形变前兆突出的现象，同期位于甘川交界地区的武都地震台应变、地电阻率资料也存在明显异常变化[7]，导致表1中2004－2007年对兰州－天水－武都地区有震预测的虚报。现在回过头来看，这些异常出现可能与汶川8.0地震有关系。此外，目前只是定性的说地震越大孕震区也越大，但多大范围、多大幅度的形变前兆对应多大震级的地震目前也仍无可靠的定量关系，当前只能根据某些现有的经验性认识来判断形变异常是否为地震前兆，根据经验性认识来判断地震发生的三要素，这就不可避免的出现错报、虚报率较高的现状。

从预测过程的合理性分析。虽然有形变异常不一定要地震，但要地震尤其较大地震则必定有形变异常。地震是应变能积累到一定程度的突然释放的结果，而在这个发展过程中必然有一些“蛛丝马迹”可寻。事实证明，由于地壳形变测量“点多面广”的特点，在有监测资料覆盖范围内在不间断观测条件下，地壳形变还是可以捕捉到某些地震孕震信息的。自开展地形变监测地震以来，我国已获得地震前后地形变异常的大量资料，其中包括一些强烈地震的震例，如邢台、海城、唐山地震等。这些震例表明，一次大震的震前、震时和震后，地壳都发生明显的形变，尤其是地震时引起的形变十分剧烈。即使象汶川8.0级被专家认为是一次低滑动速率、长复发周期和高破坏强度的巨大地震[4]，在地震前跨龙门山断裂带“茂汶－绵竹”水准剖面也曾出现明显的阶段性活动迹象，而流动重力更是在震前的2002－2005年重力正负差异变化明显增大，并在汶川—马尔康一带形成重力变化高梯度带[8]。

从预测的前提及因素分析。不同地震的震前地形变持续时间、规模、幅度也不相同，一般而言震前地形变异常程度与地震的震级大小成正比。从青藏块体东北缘多年来的年度地震预报统计结果看，限于目前的监测条件及能力，形变手段对6±及6级以上的强震具有较强的映震能力，如1986年门源6.4级地震、1995年永登5.8级、2000年景泰5.9级地震、2003年民乐－山丹6.1级地震[9-12]等；对5级以下地震尚无监测能力[9]。

综上所述，一方面地形变具有一定的地震监测能力，预报地震具有重要的科学含量而决非瞎碰，另一方面也显示出目前的年度预报地震水平还很低，已经取得的进展离最终的目标还有遥远的距离。

4 认识与结论

（1）年度地震预报实践表明地形变具有一定的地震监测能力。但由于地震孕育的复杂性和地下构造的多样性，形变异常与地震之间并没有确定的对应关系，这也直接导致较高的年度地震预报错报率。从以往震例看，虽然形变异常不一定是地震发生的充分条件，但可能是一个必要条件，尤其是较大地震。

（2）从统计结果看，限于目前的监测条件，形变手段主要以6±及6级以上的中强地震作为监测和预报目标，对5级以下的中小地震尚无映震能力。

[参考文献]

[1] 张四新，刘文意，王双绪. 四川西部现今地壳形变与地震[J]. 地壳形变与地震，1998，18(4)：48-54.

[2] 张四新，张希，王双绪. 汶川8.0级地震前后地壳垂直形变分析[J]. 大地测量与地球动力学，2008，28(6)：43-46.

[3] 梅世蓉. 地震前兆场物理模式与前兆时空分布机制研究(三)——强震孕育时地震活动与地壳形变异常及机制[J]. 地

震学报,1996,18(2):170-178.

[4] 张培震,许锡伟,闻学泽,等. 2008 年汶川 8.0 级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J]. 地球物理学报,2008,51(4):1066-1073.

[5] 袁道阳,何文贵,刘小凤,等. 10 余年来甘肃省中强地震发震构造特征[J]. 西北地震学报,2006,28(3):235-241.

[6] 郑文俊,刘小凤,赵广,等. 2003 年 11 月 13 日甘肃岷县 M_S5.2 地震基本特征[J]. 西北地震学报,2005,27(1):61-65.

[7] 高曙德,杜学彬,苏永刚,等. 甘川交界地区近年地震活动与武都地震台前兆资料变化特征[J]. 西北地震学报,2009,167-173.

[8] 祝意青,梁伟锋,许云马. 流动重力资料对汶川 M_S8.0 地震的中期预测[J]. 国际地震动态,2008,28(11) : 118.

[9] 巩守文. 门源、江口地震的断层形变前兆分析[J]. 地震,1992,22(1):34-40.

[10] 江在森,祝意青,王庆良,等. 永登 5.8 级地震孕育发生过程中的断层形变与重力场动态图像特征[J]. 地震学报,1998,20(3):264-271.

[11] 王双绪,江在森,陈文胜,等. 景泰 5.9 级地震的断层形变异常及中短期预报[J]. 地震学报,2001,23(2):151-158.

[12] 张四新,王双绪,张希,等. 民乐－山丹 6.1 级地震前后的地壳垂直形变[J]. 大地测量与地球动力学,2006,26(1):42-48.

(上接 8 页)

[13] 万永革, 沈正康, 盛书中,等. 2008 年汶川大地震对周围断层的影响[J]. 地震学报,2009,31(2): 128-139.

[14] 单斌, 熊熊, 郑勇, 等. 2008 年 5 月 12 日 M_w7.9 汶川地震导致的周边断层应力变化[J]. 中国科学 D 辑, 2009,39(5): 537-545.

[15] 刘力强, 马胜利, 马瑾, 等. 岩石构造对声发射统计特征的影响[J]. 地震地质, 1999,21 (4): 377-386.

[16] Locker D A, Beeler N M. Premonitory slip and tidal triggering of earthquakes[J]. J. Geophys. Res., 1999,104: 20133-20151.

[17] 崔永权, 马胜利, 刘力强. 应力扰动对断层摩擦影响的实验研究[J]. 地震地质, 2005,27(4): 645-652.

[18] 黄元敏, 马胜利, 缪阿丽, 等. 剪切载荷扰动对断层摩擦影响的实验研究[J]. 地震地质, 2008,31(2): 276-286.

[19] 刘力强, 马胜利, 马瑾, 等. 不同结构岩石标本声发射 b 值和频谱的时间扫描及其物理意义[J]. 地震地质, 2001,23(4): 481-492.