

利用 GPS 资料研究印尼 8.7 级地震 对我国西部地震趋势的影响

王双绪, 丁平, 张希, 张晓亮

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘要:利用我国西部 20 世纪 90 年代以来不同来源的 GPS 观测资料, 结合地质构造和地震活动分析了区域现今地壳水平运动变形背景及其与地震活动的关系; 根据印尼 8.7 级地震后川滇地区 2005 年 1 月 GPS 应急观测结果研究了本区水平运动变形对印尼大震的远场响应特征; 初步分析探讨了印尼 8.7 级地震对我国西部地震活动趋势的影响。

关键词: 印尼 8.7 级地震; GPS 资料; 中国西部; 地震趋势

中图分类号: P228.4; P227; P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2005)04-0322-06

Research on Influence of Indonesia M_s 8.7 Earthquake to Western China Using GPS Data

WANG Shuang-xu, DING Ping, ZHANG Xi, ZHANG Xiao-liang

(Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China)

Abstract: Using the vary original GPS observation data since 1990s in western China, combining with the geological structure and recently earthquakes ($M_s \geq 6.0$) in the same area, the relationship between the background of regional nowadays horizontal crust movement and deformation which are revealed by GPS observation and strong earthquake activity are analyzed. Moreover depending on the emergency GPS observation results in Sichuan-Yunnan area in Jun. 2005 after Indonesia M_s 8.7 earthquake, the horizontal movement and deformation characteristic in this area as the far off field response to Indonesia M_s 8.7 earthquake are researched. In this foundation, the infection of Indonesia M_s 8.7 earthquake to earthquake activity tendency in western China are analyzed and discussed.

Key words: Indonesia M_s 8.7 earthquake; GPS datum; Western China; Earthquake tendency

0 引言

2004 年 12 月 26 日印尼苏门答腊岛西部近海发生了面波震级 8.7 级地震, 并在印度洋周边多个国家造成强烈海啸灾难。这次巨大地震发生在印度洋板块与缅甸板块的交界处, 震中位于安达曼弧俯冲带附近, 是在印度洋板块沿东北方向向缅甸板块下方俯冲的动力背景下发生的^[1]。由于安达曼弧与我国西部南北地震带的构造连通作用, 此次巨大地震动力作用对我国大陆、尤其是中西部目前和今后一

个时期的地壳构造活动的影响将是不可避免的。因而, 及时开展印尼 8.7 级大震对我国西部地区地震活动影响的研究对预测判断未来地震趋势很有意义。

基于 GPS 技术等大地形变监测获取的现今地壳运动的微动态定量信息对地震预测是十分重要的。20 世纪 90 年代后期以来, 随着国家重大科学工程《中国地壳运动观测网络》的建成和运行, 以及国

收稿日期: 2005-08-25

基金项目: 中国地震局“南北地震带震情跟踪项目”

作者简介: 王双绪(1959—), 男(汉族), 陕西岐山人, 研究员, 现主要从事地壳形变地震预报与地球动力学研究。

家重点基础研究“973”项目《大陆强震机理与预测》加密观测等的实施,使中国西部大地形变监测发生了革命性变化。在中国境内上千个GPS观测站(包括监测大型亚板块运动的28个连续观测基准站、控制构造块体运动的56个基本站)中,半数以上分布在中国西部地区,并已获得了1999、2001、2004年3期高精度($10^{-8} \sim 10^{-9}$)GPS观测资料。其中南北地震带、新疆天山等重点地区GPS监控能力相对较强。与此同时,我们在利用GPS等大地形变观测资料研究现今地壳运动变形时空分布特征、尤其是西部多震区形变应变场异常与强震关系方面取得了一定的进展^[2-4]。印尼8.7级地震发生后,中国地震局于2005年1月及时在南北地震带南段的川滇地区实施了130余个GPS点的应急观测。这些GPS观测资料和研究结果的积累,为我们分析研究印尼8.7级地震前后我国西部水平运动变形背景和大震响应特征,进而分析判断印尼8.7级大震对我国西部地震活动的影响、判断未来地震趋势提供了有力的依据。

1 印尼8.7级地震前我国西部地区GPS水平运动变形背景

1.1 GPS资料处理概况

根据我国西部GPS资料积累状况,我们在GPS数据处理时将西北地区(青藏块体东北缘和新疆)和西南地区(川滇块体及附近)分开进行。首先分别对两个区域各期观测结果进行GAMIT精密解算;其次用GLOBK平差求解出相邻两期资料组成的时间段全球参考框架下的水平位移速度值(西北地区1999-2001年和2001-2004年、川滇地区2001-2004年和2004年7月-2005年1月数据解算由王庆良等进行),再通过基准转换(扣除区域整体运动)得到“区域中心基准”下的相对水平运动速度;最后根据位移与应变的关系,并借助最小二乘配置解算出空间连续分布的水平形变应变场各种应变参数^[5](主应变、最大剪应变、面膨胀应变、第1剪应变和第2剪应变),建立反映西部地区现今水平运动与变形的形变应变场图像(限于篇幅,文中只列出了部分形变应变场图像)。

1.2 青藏块体东北缘和新疆地区水平运动变形背景分析

本区域GPS网(空间范围: $32^{\circ} \sim 48^{\circ}\text{N}$, $74^{\circ} \sim 108^{\circ}\text{E}$)基本覆盖了青藏块体东北缘、鄂尔多斯西缘、新疆塔里木—天山和准噶尔周缘构造带。

1999、2001和2004年三期240多个GPS区域站

观测得到的水平运动速度场、应变场图像显示:(1)地壳水平相对运动与变形的空间分布主要反映了大型构造块体边界及其附近的“挤压—逆冲—走滑错动”特征;帕米尔—天山构造带、祁连山—海原构造带挤压、剪切、扭动变形强烈,块体内部存在一定的张性变形而形成张、压交替的过渡带。(2)1999-2001年和2001-2004年两个资料时间段总体上运动趋势大体相似,但仔细分析对比则可看出,由于2001年11月昆仑山口西8.1级大震所产生的巨大影响,以及2003年9月中、俄交界7.9级大震的影响,2001-2004年相对1999-2001年区域形变应变分布状态确实发生了变化。具体表现在:①青藏块体东北缘西部($95^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$)1999-2001年时段的NE向强烈挤压缩短趋势明显减弱(反向),并在德令哈—祁连中段形成一个速率分化带(该带上发生了德令哈6.6级震群和民乐6.1级等地震),这与8.1级大震发生、压应变大释放引起的短期松弛调整有关;②塔里木块体南部NNW向运动加速;③中天山地区挤压运动增强;④准噶尔北部运动速度方向向西偏转、最大剪应变减弱,与中、俄交界7.9级大震的右旋错动应变释放有关(图1(a)、图2(a));⑤最大剪应变和面膨胀应变压性高值区向南天山西段与西昆仑交界、祁连山—海原—西秦岭断裂交界等构造汇聚部位集中和收缩(图1(b)、(c),图2(b)、(c)),NE—NEE向的南天山构造带、NNW向的祁连—海原断裂带与构造活动背景一致的左旋剪切变形显著,反映这些构造区域处于应变持续积累状态。

1.3 南北地震带地区水平运动变形背景分析

根据江在森等^①利用南北地震带及附近400多个GPS站点(包括2004年南北地震带震情跟踪项目加密观测的100个GPS点和我国地壳运动观测网络本区300多个GPS区域站)1992、2001和2004年三期观测资料得到的区域水平运动速度场结果,1992-2001年青藏块体东部和南北地震带构造区域水平变形背景总体呈北东向挤压、北西向引张状态,青藏块体东北缘和川滇块体东边缘呈持续挤压和左旋扭动特征,扭动速率分别为6 mm/a和10 mm/a。2001-2004年,青藏块体东部边界构造带汇聚率由1992-2001年的12 mm/a增加为20 mm/a,而东北缘边界带左旋扭动速率也由1992-2001年的6 mm/a增加为8 mm/a。

进一步分析认为,研究区两个时段区域水平相

① 江在森,等.2005年度全国地震趋势会商第一阶段会议地震大形势报告.2004.

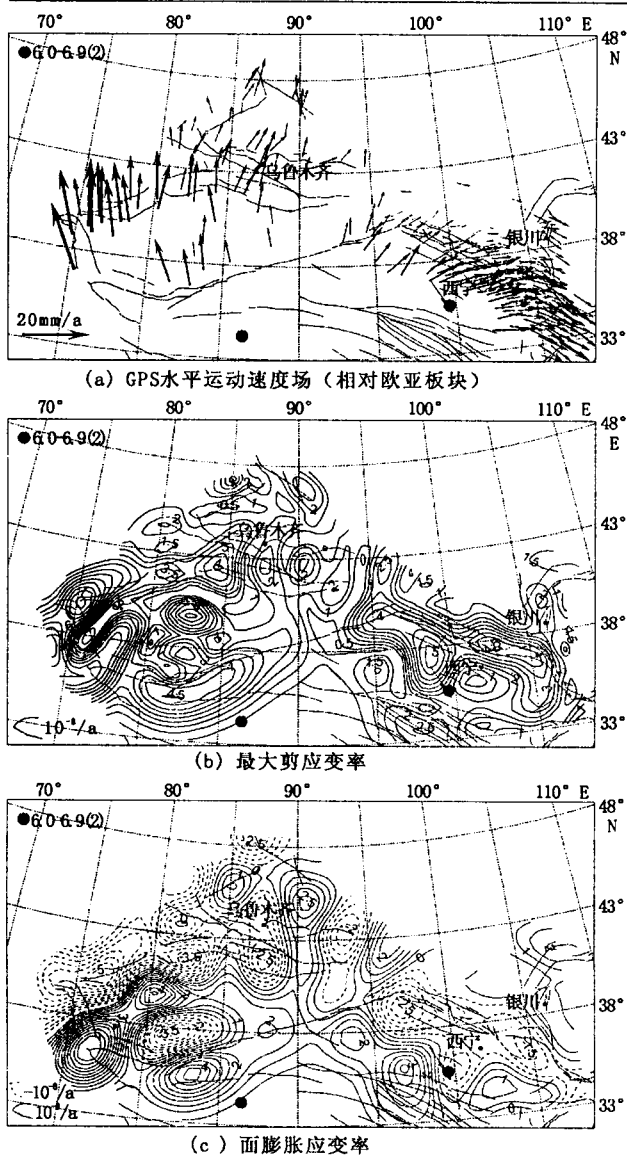


图1 1999 - 2001 年西北地区水平运动变形图

Fig.1 The horizontal movement deformation in northwestern China in 1999 - 2001.

对运动具有一致性,但2004年最新复测结果反映的北部总体左旋剪切变形、南部川滇地块东边界左旋剪切变形增强,甘青川交界东西汇聚率显著增强等(图3(a)、(b))。

1.4 区域水平运动变形背景特征与强震活动的关系

(1) 南北地震带及附近区域现今水平运动变形总体上呈挤压逆冲和走滑旋转为主的继承性运动,且水平运动和变形空间分布具有显著的不均一性,主要边界断裂附近运动和变形强烈,远离则衰减,形成一定宽度的变形带(区)。反映在印度板块北推碰撞作用下青藏块体北东向挤压和向东挤出构造应力

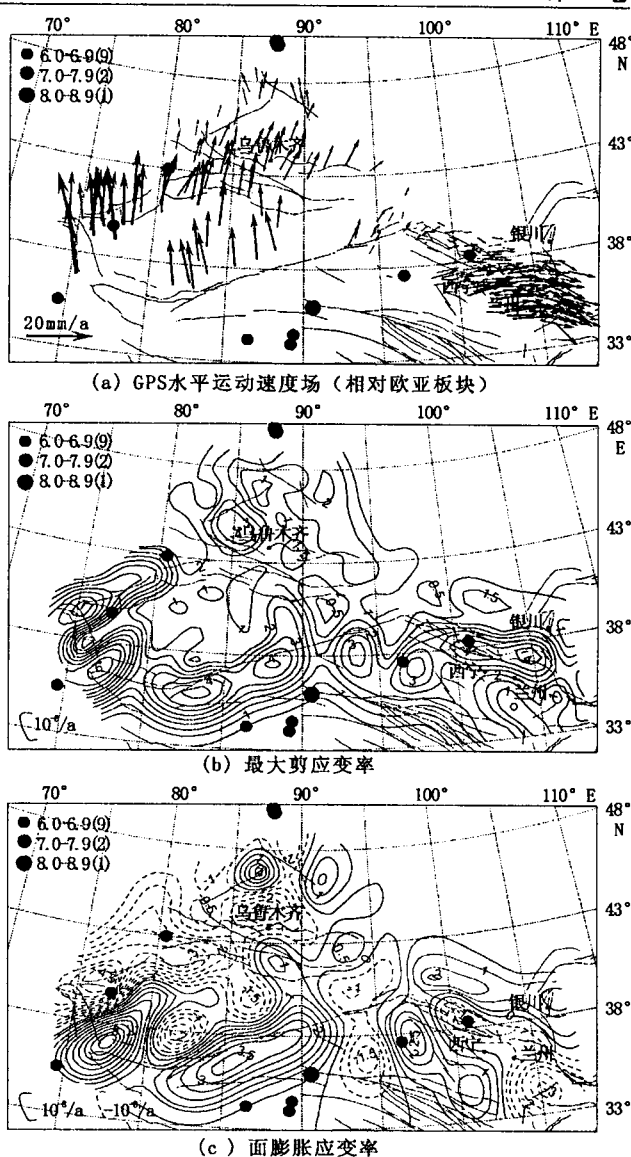


图2 2001 - 2004 年西北地区水平运动变形图

Fig.2 The horizontal movement deformation in northwestern China in 2001 - 2004.

是本区运动变形的主控应力。

(2) 构造块体不同边界断裂之间、同一条断裂的不同段落之间形变应变状态具有显著差异性,与强震活动密切相关。GPS资料积累以来, $M_s \geq 6.0$ 地震大多发生在活动块体边界水平运动速度矢量分化带,尤其是与构造活动背景一致的剪切变形显著的高应变集中区(带)(甘宁青地区剪切应变率 $\geq 6 \times 10^{-8}/a$,川滇地区剪切应变率 $\geq 7 \times 10^{-8}/a$),也是面应变张、压交界附近。这反映了不同构造单元之间运动变形的显著差异和非协调性导致的应变能积累和快速释过程。另外,从甘宁青和川滇两个构造区域不同时间段形变应变场时空分布背景看,祁连

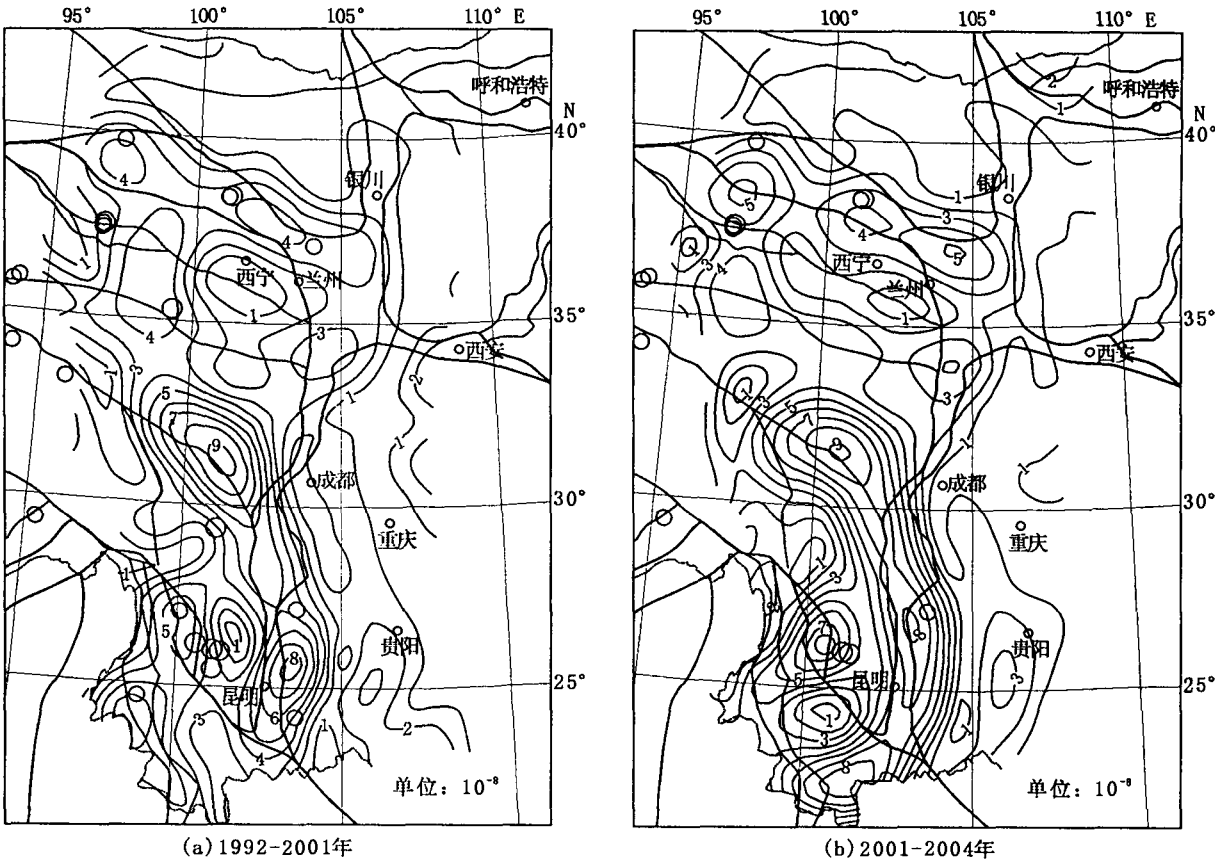


图 3 南北地震带 GPS 水平形变应变场最大剪应变分布图(据江在森等)
Fig. 3 Distribution of the maximum shear strain of GPS horizontal deformation strain field
in the south-north seismic belt area.

山断裂中东段、川滇块体东边界、红河断裂附近等一直处于应变持续积累状态。

2 印尼 8.7 级地震后川滇地区 GPS 水平运动变形响应特征

根据印尼 8.7 级地震后的 2005 年 1 月川滇地区 GPS 强化观测结果,与同范围的 2001、2004 年资料解算得到的 2001 - 2004 年、2004 - 2005 年两时段区域相对水平运动速度场图像(图 4(a)、(b)),结合构造分析比较认为,2004 - 2005 年川滇地区水平相对运动差异显著增大。其中鲜水河断裂南段与安宁河断裂、龙门山断裂交汇区域挤压增强明显;川滇交界东部、红河断裂带附近形成显著的拉张运动速度矢量分化带。

根据本区近期水平运动变形场应变率分布(图 5、图 6),2004 - 2005 年相对 2001 - 2004 年,区域最大剪应变和面膨胀应变张、压高值区范围及量值明显增大,尤其是红河断裂带及滇西南、川滇块体东部边界断裂与其他断裂汇聚部位多为剪切应变高值区

和张、压交替变化高梯度带,且与断裂构造活动背景一致。因而综合分析认为,目前川滇地区总体上呈现水平相对运动幅度加大、区域形变应变场空间分布差异增强特征,是印尼 8.7 级地震远场影响下的构造活动响应,它可能导致川滇块体东边界和南边界构造区域运动变形的非协调性增大,从而加速区域应变能的积累。

3 印尼 8.7 级地震对我国西部地震活动趋势影响的初步分析预测

根据大地构造,我国西部的南北地震带、青藏块体东北缘和新疆天山构造带是大陆板缘边界动力作用下大型构造块体的汇聚地带。尤其是南北地震带和青藏块体东北缘,是印度板块北推碰撞动力作用下青藏块体 NE 向挤压和向东挤出运动的阻挡边界,既受控于印度板块北推青藏块体产生的 NE 向挤压和向东挤出构造应力场,还受控于阿萨姆顶点的 NNE 向楔入和沿缅甸弧的 NNE 向侧向挤压作用。构造活动以挤压、逆冲和走滑、旋转运动为主要特

征,且以水平运动为主、垂直形变相伴生。在基本统一的大区域构造应力场背景下,当活动块体及边界断裂相对水平运动比较平稳和顺畅时,不容易产生趋势性应变积累;当块体边界水平运动受阻、非协调

性增大、形成高应变积累闭锁区段时,就容易形成应力相对集中而可能蕴育强震。这也是我们利用 GPS 水平运动复测资料预测判定强震危险性的构造和力学基础。

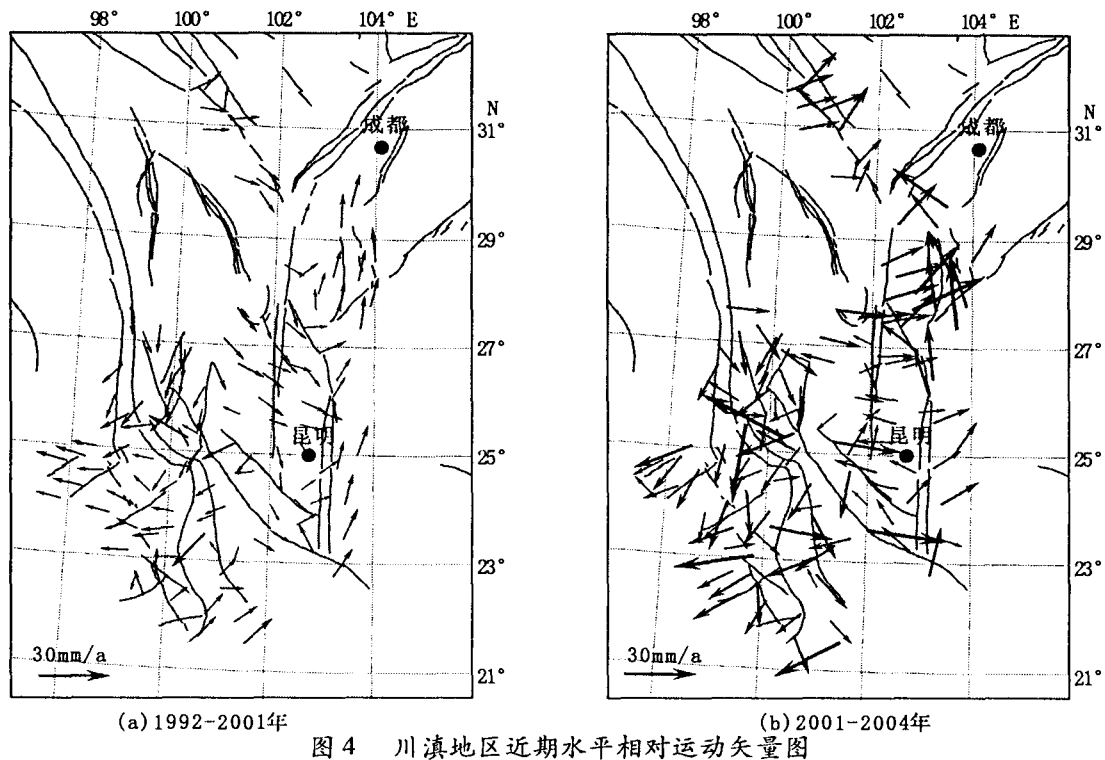


Fig. 4 The relative horizontal movement in recent years in Sichuan-Yunnan area.

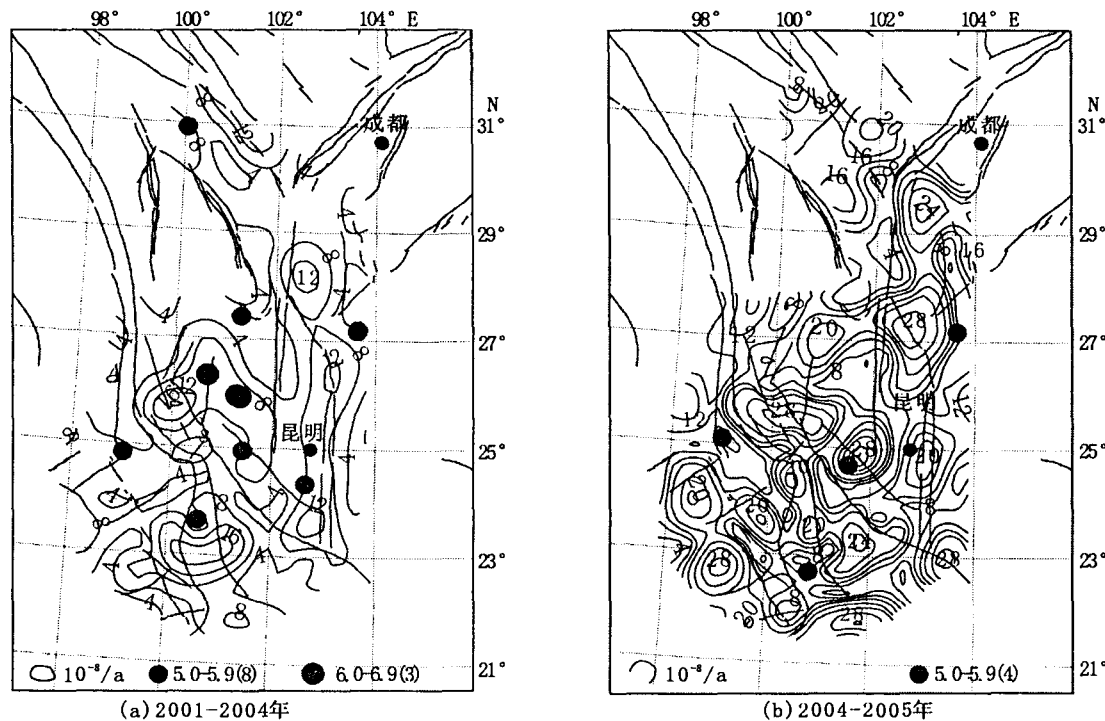


图 5 川滇地区近期水平形变应变场最大剪应变分布图

Fig. 5 Distribution of the maximum shear strain of GPS horizontal deformation strain field in recent years in Sichuan-Yunnan area.

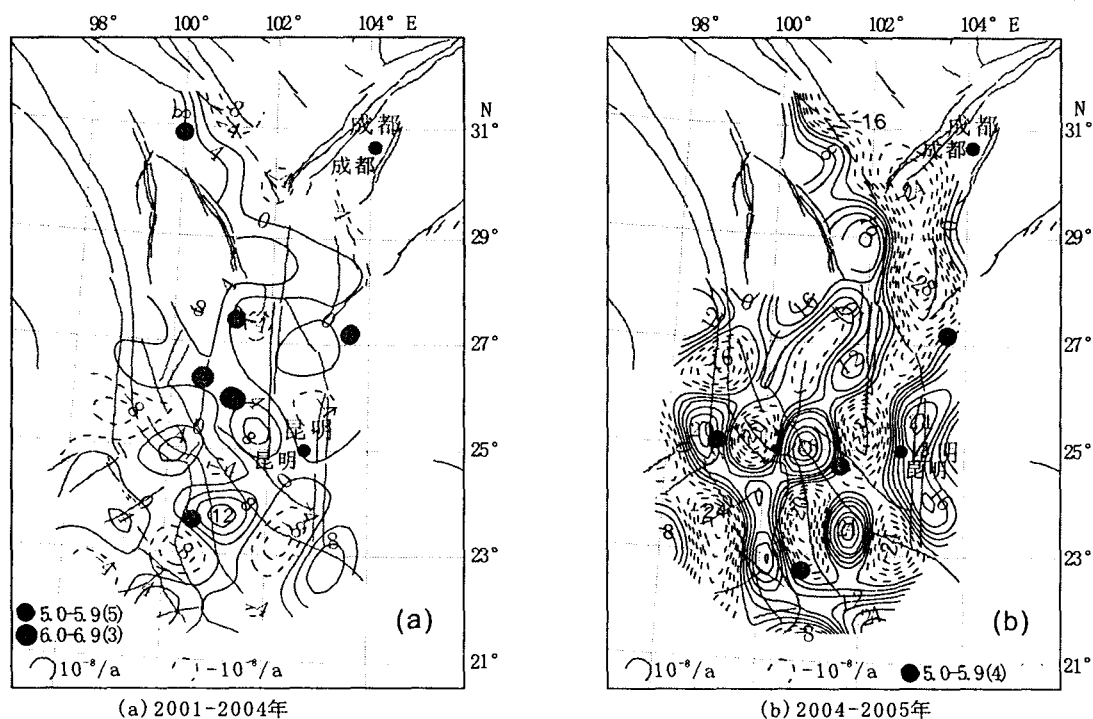


图 6 川滇地区近期水平运动变形场面膨胀应变分布图
Fig. 6 Distribution of the cover expand strain of GPS horizontal deformation strain field in recent years in Sichuan-Yunnan area.

丁国瑜先生认为:安达曼弧—爪哇弧段板块活动对中国大陆影响程度仅次于印度板块与欧亚板块在喜马拉雅碰撞的边界带;印度板块—欧亚板块碰撞带东端阿萨姆顶点的 NNE 向楔入和沿缅甸弧的 NNE 向侧向挤压是川滇地区构造运动和地震活动的主要力源^②。根据前述南北地震带及西北地区 GPS 复测资料反映的较长时间段水平运动变形背景、以及当前印尼 8.7 级地震后的形变响应特征,分析认为:印尼 8.7 级大震后南北地震带水平相对运动加大、与构造相关的剪切应变空间分布差异增强现象,在一定程度上反映了印尼 8.7 级巨震动力作用传递对我国大陆尤其是西部地区目前构造活动的显著影响。这种影响由缅甸弧对川滇及其邻区的作用最为直接,将会触发川滇块体东部、红河断裂带及其以南的滇西南地区存在高应变积累背景的构造部位能量释放发震;也可能加速南北地震带及其附近其他存在高应变积累背景的区域进一步积累或破裂释放。因而,当前和今后一段时间我国西部、尤其是南北地震带及附近发生较强地震的危险性依然存在。

4 结语

(1) 利用 GPS 技术监测现今地壳运动变形状况,分析研究与强震有关的区域构造变形背景特征,

判断与构造断裂活动差异有关的高应变积累状态,是利用大地形变进行强震趋势预测的有效途径。

(2) 印尼 8.7 级地震前后南北地震带区域水平运动变形的显著变化,是印尼大地震发生影响南北地震带构造活动的远场响应。这种影响可能加速南北地震带及其附近存在高应变积累背景的区域进一步积累或破裂释放。

(3) 鉴于印尼 8.7 级地震后 GPS 监测资料十分有限,因而上述有关印尼大地震对我国西部地震活动趋势影响的研究结果是很粗浅的,有待于更多资料的积累和不同学科的综合研究来完善。

[参考文献]

- [1] 陈学忠. 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级地震及其对我国大陆地震趋势的影响[J]. 国际地震动态, 2005, (1): 26 - 30.
- [2] 江在森, 张希, 崔笃信, 等. 青藏块体东北缘近期水平运动与变形[J]. 地球物理学报, 2001, 44(5): 636 - 644.
- [3] 江在森, 张希, 祝意青, 等. 昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震前区域构造变形背景[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(增刊): 163 - 172.
- [4] 王双绪, 江在森, 张希, 等. 青藏块体东北缘现今构造形变与强震特征[J]. 地震学报, 2002, 24(1): 27 - 34.
- [5] 江在森, 张希, 王双绪, 等. 利用地形变观测量求解地壳水平应变场的方法[J]. 地震, 1999, 19(1): 41 - 48.

② 丁国瑜. 中国地震局监测预报司预报骨干百人培训教材. 2000.