

利用 GPS 资料分析汶川地震前后川滇及其邻区 水平运动及应变积累^{*}

张 希, 崔笃信, 王文萍, 蒋锋云, 王双绪, 张晓亮

(中国地震局第二监测中心, 西安 710054)

摘要: 利用 2004~2008 年间, 即 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级特大地震前后川滇及其邻区 (甘东南与陕西部分地区) GPS 水平运动观测资料, 借助形变应变场演化特征分析及负位错反演, 研究了大震前构造变形特征与应变积累背景、同震变形及可能的影响区域。分析表明: (1) 2004~2007 年, 龙门山中央断裂两侧出现的明显压性变化与阶段性应变积累特征对汶川大震有所反映 (可能为中期即数年尺度 6 级以上地震的孕震背景), 川滇菱形地块北—北东界、南界中—西段可能具有 6 级以上地震的孕震背景; 而滇南—滇西南、甘川交界东段—甘川陕交界及其以北的甘南地块则反映 6 级左右地震的孕震背景信息。(2) 2007~2008 年, 发震区呈现相当显著的逆冲兼右旋同震变化, 大震对其附近的甘川交界—甘川陕交界、鲜水河断裂南段及“Y”字型断裂交汇区影响相对明显, 对其应变积累状况的影响可能主要表现为一定程度的增强作用。

关键词: 汶川 8.0 级地震; GPS 形变应变场; 负位错; 同震变形

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)增刊-0464-07

0 引言

2008 年 5 月 12 日四川省汶川县 (103.4°E 31.0°N) 发生 8.0 级特大地震, 这是 1900 年以来龙门山断裂带发生的首次 8 级以上地震 (之前震中附近 200 km 范围内发生的最大地震为 1933 年迭溪 7.5 级地震), 余震波及甘肃东南缘的文县和陕西西南缘的宁强等地区。我们根据 2004~2007 年川滇及其邻区 (甘东南及陕西部分地区) GPS 水平运动观测资料, 通过形变应变场分析及负位错反演, 研究了大震前主要断裂带的构造活动特征及应变积累状况, 包括对发震构造孕震背景的分析; 进而利用汶川大震后应急观测获得的 2007 年 8 月至 2008 年 6 月 GPS 水平运动资料^①探讨、分析了其反映的大震同震变形及可能的影响区域。

1 汶川大震前 2004~2007 年川滇及其邻区水平相对运动特征

蒋锋云经 GAMIT/BLOCK 处理得到 IIRF2000

框架下相对欧亚板块的川滇及其邻区 (甘东南与陕西部分地区) 速度场结果 (图略)。笔者用江在森研究员的程序扣除测区整体平移与旋转 (相对欧亚板块各站点运动方向基本一致, 其反映的站点间或主要断裂带两侧差异运动特征没有扣除测区整体平移与旋转的矢量图明显) (江在森等, 2001; 张希等, 2005b), 由此获得了图 1 所示 GPS 相对水平运动矢量图。可以看出以鲜水河断裂—安宁河断裂—则木河断裂为界, 其东北侧以 NNE—N—NNW 向运动为主, 西南侧以 S—SSW 向运动为主, 差异运动明显 (20 世纪 90 年代 GPS 起测以来, 同一范围区域大体如此)。印度板块 NE 向推挤主动力作用传递到青藏块体东界时受到相对稳定的华南地块、鄂尔多斯地块、东南亚地块不同程度阻挡 (四川盆地也相对稳定; 研究区东面还受到太平洋板块和菲律宾海板块的西进作用影响), 故川滇菱形地块及其以南区域的顺时针旋转运动明显, 与鲜水河断裂—安宁河断裂—则木河断裂东北侧大范围区域 (扣除欧亚板块的运动矢量图也有顺时针旋转趋势, 但相对川滇菱形地块及其以南区域弱) 呈现相对运动差异。成都以

^{*} 收稿日期: 2008-07-10.

基金项目: 地震科学联合基金 (A07130) 与“十一五”国家科研计划支撑项目 (2006BAC01B02-02-03).

① 中国地震局汶川 8.0 级地震应急强化观测项目, 由武汉地震研究所、第二监测中心、第一监测中心、四川省地震局与云南省地震局共同完成

西龙门山断裂带南段的两侧挤压变形显著。

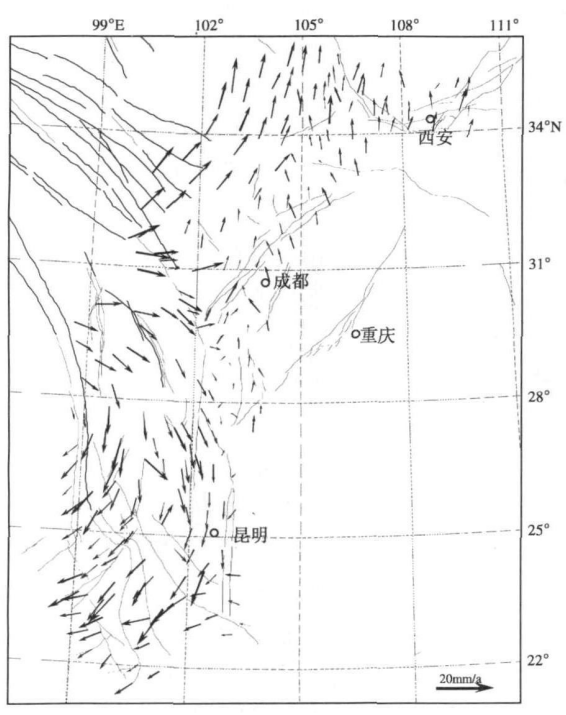


图 1 2004~2007年川滇及其邻区GPS水平运动矢量图 (235 个站点)

从借助最小二乘配置、位移与应变偏导关系(张希等, 1999 2003; 江在森等, 2003)计算获得的 2004~2007年川滇及邻区视应变场分布(图 2)来看, 川滇菱形地块北界(鲜水河断裂)、东界(安宁河—则木河—小江断裂)和南界(红河断裂)均呈现相对明显的最大剪应变率高值分布

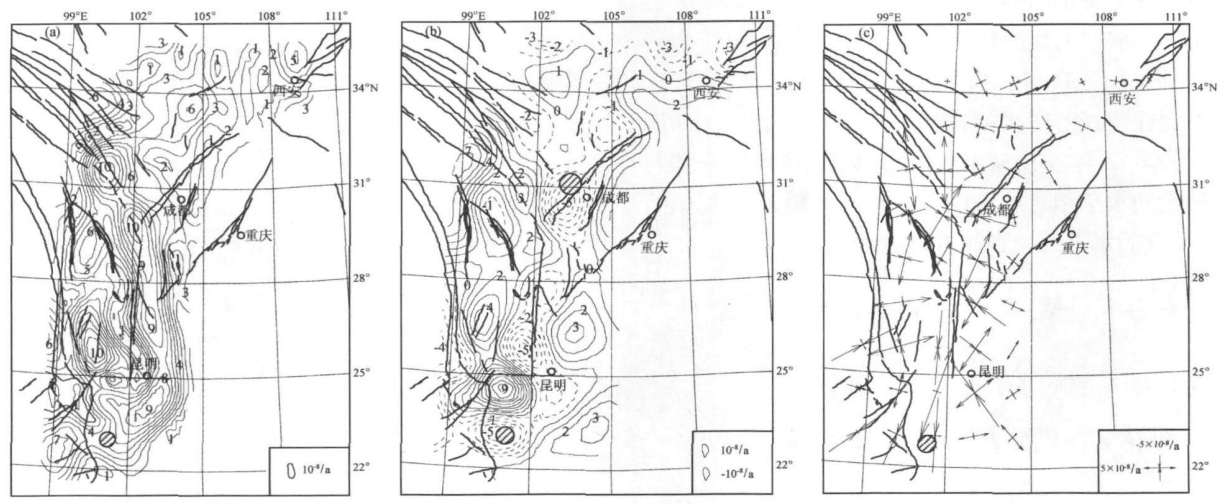


图 2 2004~2007年川滇及其邻区视应变场分布
(a) 最大剪应变率; (b) 面应变率; (c) 主应变率

($9 \times 10^{-8} \sim 10 \times 10^{-8} / a$); 其次是滇西南的澜沧—勐遮断裂以西 ($7 \times 10^{-8} / a$); 而甘川交界的南坪、舟曲、宕昌、武都一带达到 $5 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-8} / a$ 量级。面应变压性高值区或张、压交替高梯度带主要分布在川滇菱形地块北东界、南界及滇南地区。2007年 6月 3日云南普洱 6.4级与 2008年 5月 12日四川汶川 8.0级地震均发生在最高达 $-5 \times 10^{-8} / a$ 的压性高值区内 (分别位于无量山断裂南端和龙门山断裂南段), 最高达 $-5 \times 10^{-8} / a$ 的压性高值区全区仅 3个, 就有 2个发震。单就发生汶川大震的龙门山断裂来看, 最大剪应变值在全区并不突出; 面应变压性区却沿断裂走向清晰展布, 量值为 $-3 \times 10^{-8} \sim -5 \times 10^{-8} / a$ 尤其发生大震的南段, 与该断裂逆冲为主兼右旋走滑的构造活动背景相符, 对汶川大震(震后调查显示逆冲为主兼右旋走滑变化特性)有所反映。主应变率分布基本上以红河以北 NEE—WE—ES向压应变、红河以南 NS—SSW—SW向压应变优势分布, 与印度板块推挤主作用下长期的背景应力场大体一致(向宏发等, 2000; 谢富仁等, 2001; 徐锡伟等, 2003), 龙门山断裂南端 SEE向的压应变明显。

2 负位错模型反演揭示的汶川大震前应变积累特性

Matsuura (1986) 负位错模型认为, 受现今地壳运动驱动下的各活动地块间的相对运动在地块边界处有可能受到部分阻碍, 假设每个块体边界

下部的塑性区可自由滑动, 其上部的弹脆性区却因摩擦阻力等因素限制了这种相对运动从而导致应力应变积聚, 这个脆性区可认为是部分锁定的。即视块体边界区域的地表位移为块体 (刚性假设) 平移减去边界上部, 对块体相对运动的部分锁定在地表产生的位移, 边界上部由若干断层段构成, 每条断层段用 Okada (1985) 弹性均匀介质半空间的矩形位错模拟, 虽然这种单一矩形位错模型是位错模型中最简单的, 考虑到研究区块体及边界带数量较多, 若位错模型太复杂必导致实际求解困难, 故而在测点分布支持的情况下, 对边界带尽可能细划、每条断层段近似为平面较为可行。该脆性区具有联系块体与其边界断裂, 以寻求以块体边界负位错变形体现的、可能与强震孕育有关的高应变能积累闭锁段的研究和预报意义 (Matsuura等, 1986; 张希等, 2003b; 2004)。考虑到较大尺度区域地壳变形还应包含块体内部的变形, 张希等 (2005a; 2005b) 探索建立了块体弹性变形与其边界负位错部分锁定的复合模型, 较刚性块体假设该模型更符合青藏块体东北缘与川滇地区地壳运动实际。

如果模型由 P 个块体和 Q 个断层段组成。GPS 站点 (x_i, y_i) (由经纬度经高斯投影所得平面直角坐标; 并考虑该点所在子午线切线方向与投影平面直角坐标系 Y 轴方向夹角的影响, 对其运动速率值作了相应修正) 位于第 j 个块体上, V_{0x}^j, V_{0y}^j 为此块体质心 (x_0^j, y_0^j) E 向及 N 向平移量, $\epsilon_x^j, \epsilon_{xy}^j, \epsilon_y^j, \omega^j$ 为在 Matsuura (1986) 负位错模型基础上借助 Taylor 展式增加的块体 (相对质心) 均匀应变分量 (即 x 向正应变、剪应变, y 向正应变与旋转)。考虑到任何观测产生的位移场可能是多解的 (顾国华, 1990), 本文反演用的是已扣除测区整体平移与旋转量的水平相对运动速度场结果 (图 1)。那么第 i 个站点的水平运动观测方程可表示为

$$\begin{aligned} V_x^i + \gamma_x^i &= V_{0x}^j + \epsilon_x^j \Delta x + \epsilon_{xy}^j \Delta y + \omega^j \Delta y \\ &\quad - \sum_{k=1}^q F_x^k(x_i, y_i; D^k, \lambda^k, \alpha^k, W^k), \\ V_y^i + \gamma_y^i &= V_{0y}^j + \epsilon_{xy}^j \Delta x + \epsilon_y^j \Delta y - \omega^j \Delta x \\ &\quad - \sum_{k=1}^q F_y^k(x_i, y_i; D^k, \lambda^k, \alpha^k, W^k). \end{aligned} \quad (1)$$

等式左边第 1、2 项分别为观测值与改正值, $\Delta x =$

$x_i - x_0^j, \Delta y = y_i - y_0^j$; 而 $D^k, \lambda^k, \alpha^k, W^k$ 分别为第 k 个断层段的锁定位错量、错动角、倾角及宽度 (假设断层延伸至地表, 并由地质等资料已知断层轨迹, 以避免断层段起点、终点坐标作为参量反演在断层段交汇时导致的奇异问题) (Matsuura 等, 1986)。将 GPS 水平运动资料作为地表位移观测, 通过贝叶斯最小二乘法 (张希等, 2003b) 可以反演块体及其边界断层段的各项参数。先利用只有块体运动与应变参量的地壳运动模型根据最小二乘法则确定上式右边前 4 项 6 个参数的初值及先验误差; 再通过块体运动参量初值所反映的块体间相对运动状况 (包括块体间相对运动量在水平面上分别沿断层走向和法线方向的投影等)、断裂附近站点观测值反映的边界断裂活动状况, 参考已知地质或地球物理成果确定断层参数初值, 以保证反演所得断层左、右旋和张、压等特性与其两侧块体相对运动状况、与已有构造地质和地球物理成果基本一致。并采用年均负位错地震矩 $M_0 = \mu \text{DWD}$ (偏于反映能量积累速率) 与年均负位错应力降 $S_0 = \pi \mu \text{D}/8W$ (主要反映剪应力强度) 来度量锁定能量强度 (张希等, 2005a; 2005b), 这里的 μ 为地壳的刚性系数 (取 $4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$), L 为断层长度。基于计算中扣除正好位于断裂及其延伸线上的观测站点及贝叶斯最小二乘法的特性 (张希等, 2003b; 2005a), 这样的反演过程较为稳定, 不会造成奇异问题。

从负位错反演结果 (图 3、4 表 1) 来看: 2004 ~ 2007 年锁定程度最突出 (位错量接近 5 mm/a 及以上; 负位错地震矩 $10 \times 10^{17} \text{ N} \cdot \text{m/a}$ 左右及以上, 或应力降 10 kPa/a 左右及以上) 的断层段依次为则木河断裂 ($E_1 G_1$)、安宁河断裂北段 ($F_1 E_2$, 石棉—西昌); 锁定程度相对显著的断层段 (位错量 3 mm/a 以上、 4 mm/a 以下; 负位错地震矩 $5 \times 10^{17} \text{ N} \cdot \text{m/a}$ 以上或应力降 5 kPa/a 以上) 依次为鲜水河断裂 ($E_1 E_2$)、红河断裂中段 ($H_2 E_3$, 弥渡至墨江北侧)、丽江—小金河断裂 ($K_1 K_2$)、小江断裂北段 ($G_1 G_2$)、龙门山中央断裂北段 ($D_3 D_4$, 青川、广元、宁强一带); 位错量接近 3 mm/a 的断层段依次为红河断裂西段 ($H_1 H_2$ 洱源—弥渡)、龙门山中央断裂南段 ($D_1 D_2$ 发震段)、甘川交界东段—甘川陕交界的迭部以南—武都—略阳 ($C_2 C_3$)、澜沧—勐遮断裂 ($P_1 P_2$)、元

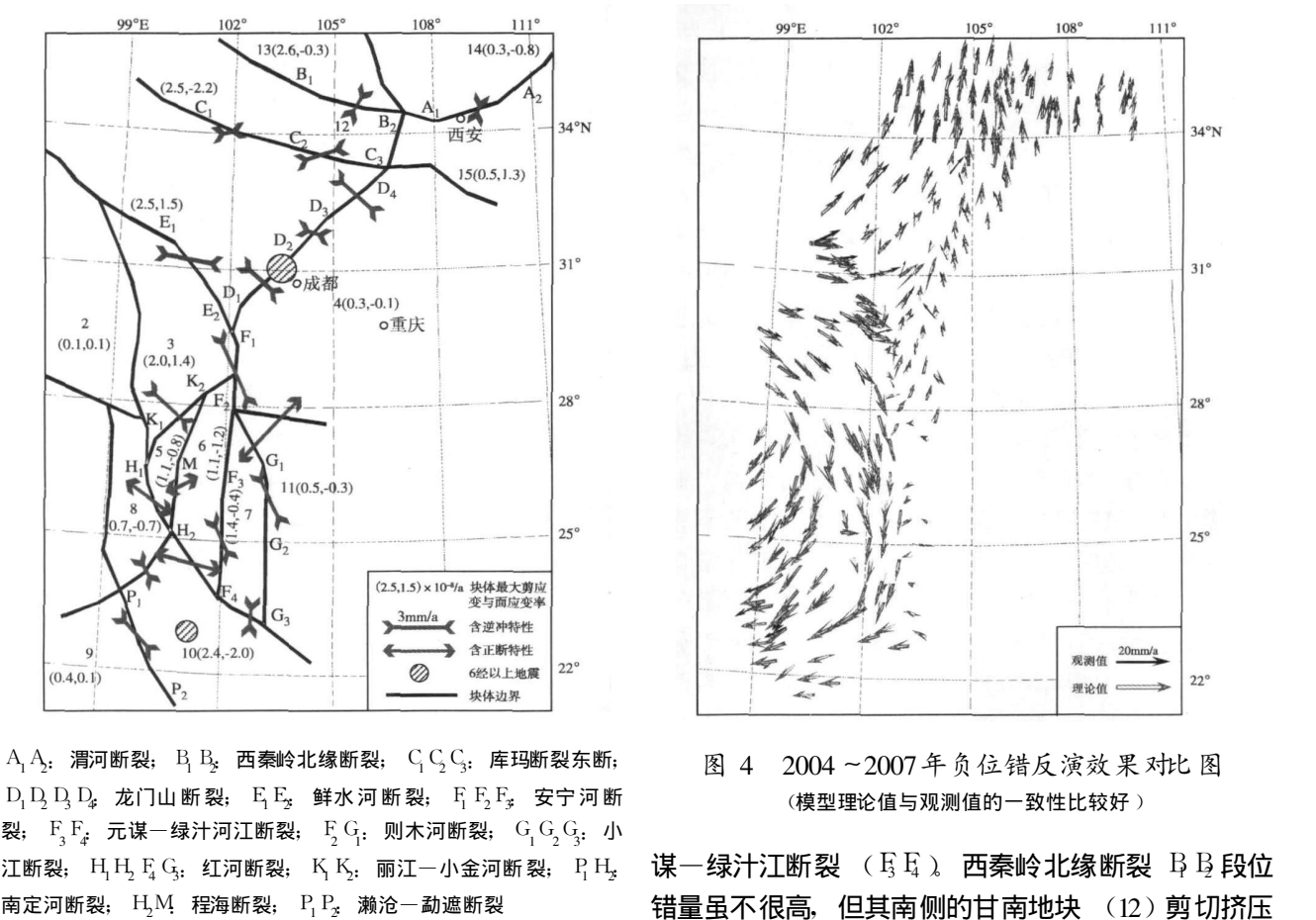


图 3 2004 ~ 2007 年负位错模型与反演结果

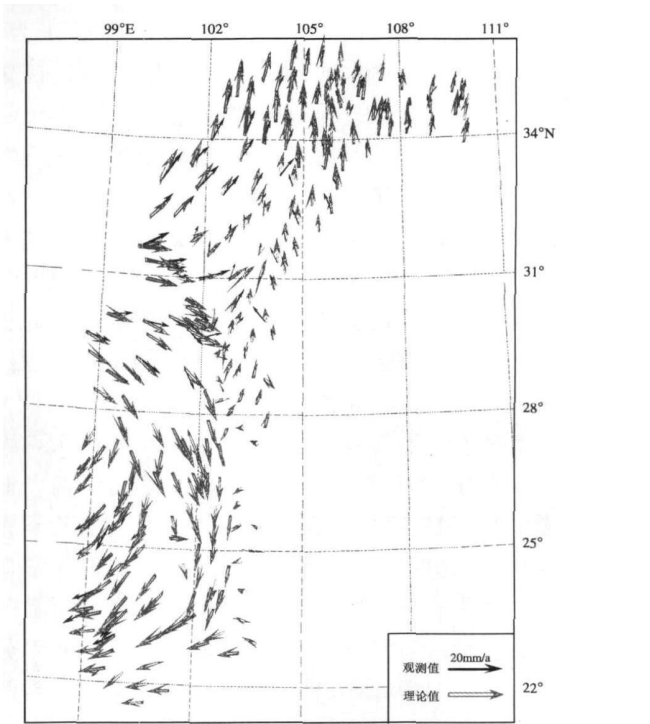


图 4 2004 ~ 2007 年负位错反演效果对比图
(模型理论值与观测值的一致性比较好)

A₁A₂: 渭河断裂; B₁B₂: 西秦岭北缘断裂; C₁C₂C₃: 库玛断裂东段;
D₁D₂D₃D₄: 龙门山断裂; E₁E₂: 鲜水河断裂; F₁E₂F₃: 安宁河断
裂; F₃F₄: 元谋—绿汁河江断裂; F₂G₁: 则木河断裂; G₁G₂G₃: 小
江断裂; H₁H₂F₄G₃: 红河断裂; K₁K₂: 丽江—小金河断裂; P₁H₂
南定河断裂; H₂M: 程海断裂; P₁P₂: 澜沧—勐遮断裂

谋—绿汁江断裂 (F₃F₄)。西秦岭北缘断裂 B₁B₂ 段位
错量虽不很高, 但其南侧的甘南地块 (12) 剪切挤压
显著; 其次是滇南的块体 (10) (图 3)。结合以往资

断裂或块体 边界名称		断层段	D/mm a ⁻¹	λ/(°)	δ/(°)	W/km	L/km	年均地震矩 /10 ¹⁷ N·m a ⁻¹	年均应力降 /kPa a ⁻¹	锁定特性
渭河断裂		A ₁ A ₂	0.8±0.2	68.0±7.5	S72.9±7.2	14.6±0.6	201.5	0.9	0.9	逆冲左旋
西秦岭北缘断裂		B ₁ B ₂	1.7±0.5	78.9±6.2	NNE71.0±8.8	13.9±1.6	282.3	2.1	1.8	逆冲为主
库玛断裂东段至甘 川、甘川陕交界		C ₁ C ₂	0.9±0.3	33.0±10.	SSW43.4±10.	11.5±1.6	239.5	1.2	1.2	左旋逆冲
		C ₂ C ₃	2.7±0.6	28.8±9.6	SSW65.8±4.3	31.9±0.7	216.9	7.5	1.3	左旋逆冲
龙门山中央断裂		D ₁ D ₂	2.7±0.9	99.4±9.1	NW25.3±5.2	11.8±1.5	169.0	2.2	3.7	逆冲为主
		D ₂ D ₃	1.0±0.6	121.3±10	NW25.3±5.0	15.9±0.9	161.1	1.0	1.0	逆冲右旋
		D ₃ D ₄	3.5±0.3	106.0±7.0	NW29.6±7.1	19.4±1.1	189.5	5.1	2.9	逆冲右旋
鲜水河断裂		E ₁ E ₂	3.9±0.8	42.2±10.	NE81.2±6.3	15.5±1.2	219.7	5.4	4.0	左旋逆冲
安宁河断裂		F ₁ E ₂	4.6±1.0	20.5±6.3	E35.2±10.	32.1±0.8	158.6	9.5	2.2	左旋逆冲
		E ₂ F ₃	—	—	—	—	219.5	—	—	不锁定
元谋—绿汁江断裂		F ₃ F ₄	2.6±1.0	15.7±6.2	E28.2±6.5	8.9±0.8	221.6	2.1	4.7	左旋逆冲
则木河断裂		F ₂ G ₁	5.6±1.1	283.7±7.0	SW81.6±7.1	8.5±0.7	176.2	3.4	10.7	左旋正断
小江断裂		G ₁ G ₂	3.6±0.4	28.8±7.7	E80.2±7.4	7.1±0.9	164.1	1.7	7.8	左旋逆冲
		G ₂ G ₃	—	—	—	—	210.6	—	—	不锁定
红河断裂		H ₁ H ₂	2.9±0.8	208.9±9.6	NE25.4±4.2	23.7±1.6	141.3	4.0	2.0	右旋正断
		H ₂ F ₄	3.9±0.4	218.3±6.6	NE48.1±6.2	16.3±1.5	210.2	5.5	3.9	右旋正断
		F ₄ G ₃	1.3±0.6	106.0±7.4	NE35.3±7.5	21.1±1.9	145.0	1.5	0.9	右旋逆冲
丽江—小金河断裂		K ₁ K ₂	3.6±1.0	101.9±6.6	SE24.9±3.5	23.8±2.0	182.7	6.2	2.4	右旋逆冲
程海断裂		H ₂ M	1.2±0.6	299.7±9.2	W36.4±11.	15.4±1.8	166.3	1.2	1.2	左旋正断
南定河断裂		P ₁ H ₂	1.3±0.4	76.0±6.0	E82.6±7.0	18.5±2.1	192.3	1.8	1.1	逆冲左旋
澜沧—勐遮断裂		P ₁ P ₂	2.6±0.4	193.0±4.8	NEE50.8±8.9	10.6±2.0	187.4	2.1	3.9	右旋正断

注: 拟合中误差 1.9 mm/a, 理论与观测值之差在 1 mm/a、2 mm/a、3 mm/a 之内站点所占比例分别为 64%、81%、92%。
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

料及震例（张希等，2003 a；2005 b）分析认为：菱形地块北界（鲜水河断裂及其延伸的川青藏交界）—北东界（安宁河—则木河断裂及与小江断裂交汇区）、滇西北与红河断裂中段附近、龙门山中央断裂可能具有6级以上孕震背景；滇南—滇西南、甘川交界东段—甘川陕交界及其以北的甘南地块反映6级左右背景信息。其中，发生汶川大震的龙门山中央断裂南段（ $D_1 D_2$ 段）及余震区的北段（ $D_3 D_4$ 段）震前均呈现位错量 3 mm/a 左右、逆冲为主兼右旋走滑的应变积累特征（可能反映6级以上地震的孕震背景。鉴于1996年丽江7.0级地震前只有1991年1期GPS观测，之后7级以上地震平静了12年，故难以分析7级大震前的孕震特点及断层锁定程度，何况8级地震）。但从常理推断，对一个8.0级特大地震而言，这种积累程度（反映由于块体相对运动在边界断裂处产生的部分锁定）没有图2 b所示的压性高值区（反映断裂两侧多站点之间相对运动差异）突出，鉴于大震孕育需要相当长的时间，2004~2007年仅是其中较接近发震时刻的一个阶段（张希等，2005 b）（GPS起测以来的1991~2001年龙门山断裂呈现位错量 $1.4\sim 2.0\text{ mm/a}$ 的逆冲兼右旋应变积累特性，2001~2004年我们积累的GPS资料在该断裂区域基本无站点），反映的是应变积累的阶段性（较1991~2001年增强）。当然，不排除1991~2001年龙门山断裂带两侧GPS站点只有不到10个、2004~2007年断裂带东南侧站点也相对偏少对反演效果的影响。

3 2008年5~6月强化应急观测资料反映的汶川大震情况

2008年5月12日汶川大震后，中国地震局汶川8.0级地震应急强化观测项目对该区实施应急观测。崔笃信与王文萍对原始观测数据经GAMIT/BLOCK处理获得了2007年8月至2008年6月IIRF2000框架下128个站点相对欧亚板块GPS水平运动速度场结果（云南中南部未测，图略），因为发震区（指震中及余震区 300 km 范围内）是其它区域变化幅度的100倍以上，笔者只能对发震区和非震区分别扣除整体旋转和平移量，由此得到了图5所示的相对水平运动矢量图。从图5可以看

出，龙门山断裂及其附近即发震区反映相当显著的逆冲兼右旋同震变化（差异最大的两点间相对运动投影至断裂上，得到沿断裂走向变化量为 2.1 m ，水平面上与断裂走向垂直的法向变化量 2.4 m ，逆冲右旋特性），而大震对甘川交界东段—甘川陕交界区、略阳—洋县断裂与秦岭北麓断裂之间局部区域（相对图1中2004~2007年运动方向偏转），鲜水河断裂南段、安宁河断裂北段及其附近影响相对明显。

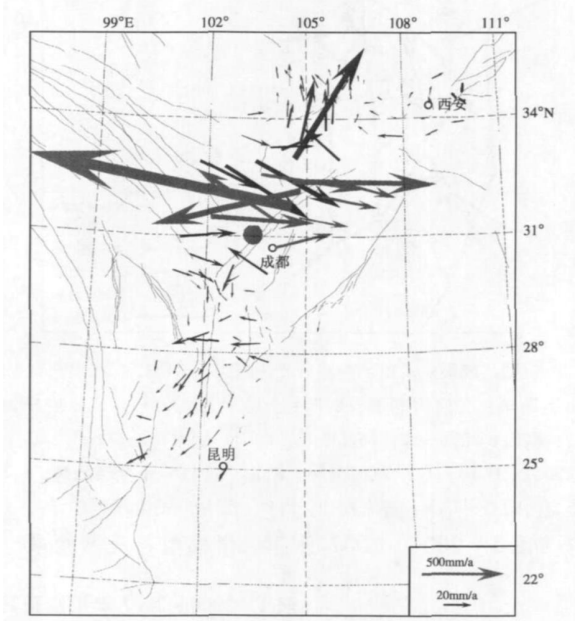


图5 2007年8月至2008年6月川滇及其邻区GPS水平运动矢量图
(对发震区及非震区分别扣除整体平移与旋转)

对非震区站点速度场资料求得的最大剪应变率与面应变率分布（图6）基本支持此推测，相对大震前（2004~2007年），非震区视应变率分布的非均匀性增强，甘川交界东段—甘川陕交界区，鲜水河断裂南段及与安宁河断裂、龙门山断裂交汇的“Y”字型交汇区应变率量值较其它区域高，且以压性变化为主，大震对其应变积累可能有一定程度促进影响。而发震区视应变率是非震区的100倍左右（反映的同震差异变化能达到 $10^{-5}/\text{a}$ 量级，图7）。进而，从图3与表1所示的2004~2007年汶川大震前各断层段锁定方式来看，大震破裂（逆冲为主兼右旋走滑）对甘川交界—甘川陕交界的左旋、鲜水河断裂的逆冲分量可能有增强影响。

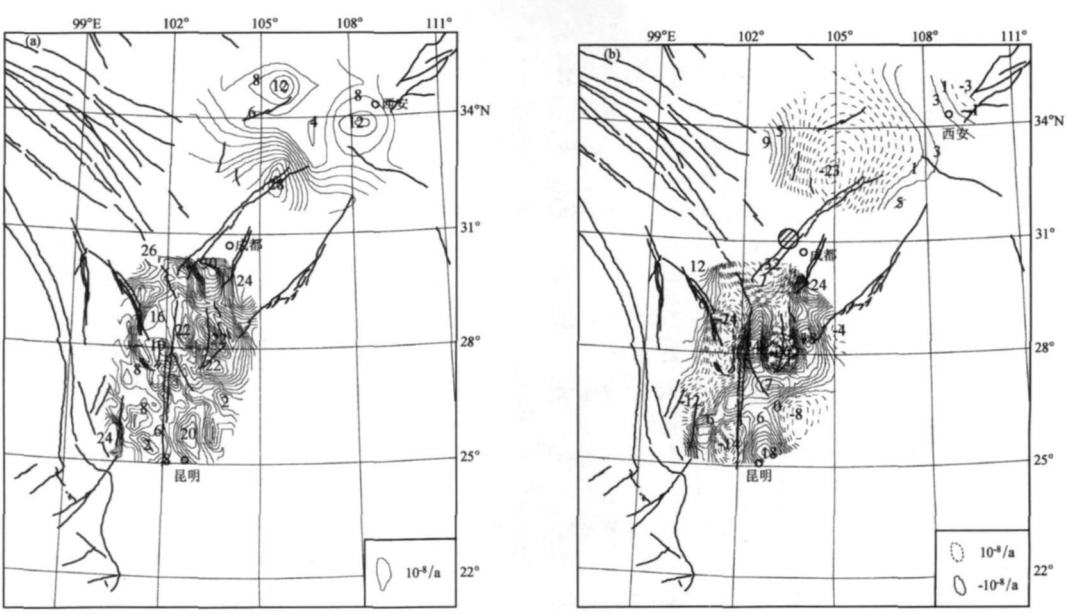


图6 2007年8月至2008年6月川滇及其邻区(非震区)视应变场等值线分布
(a) 最大剪应变率; (b) 面应变率

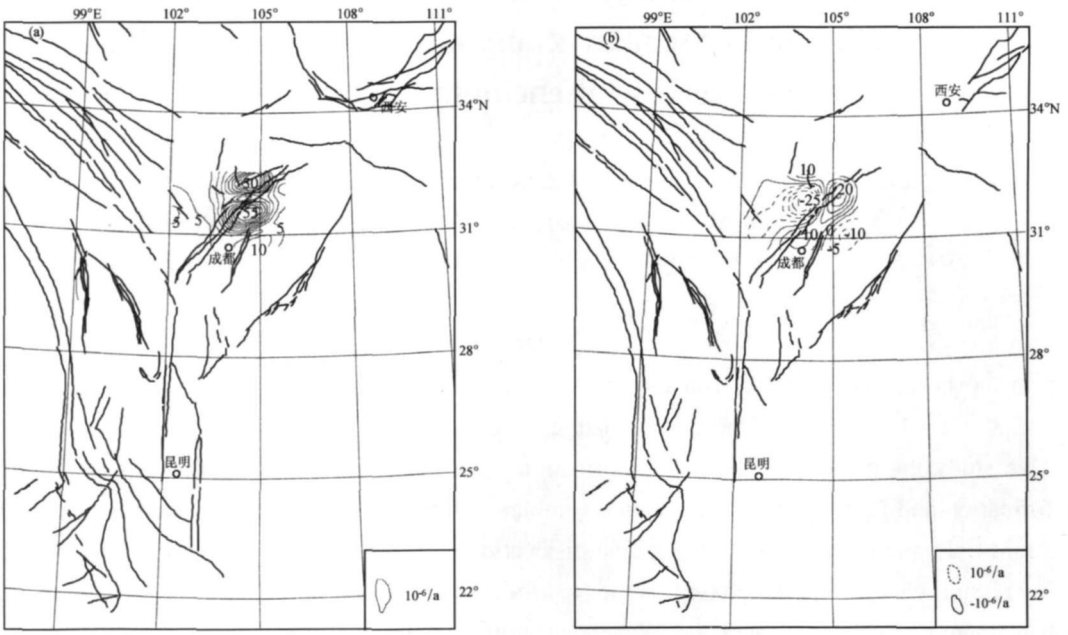


图7 2007年8月至2008年6月川滇及其邻区(发震区)视应变场等值线分布
(a) 最大剪应变率; (b) 面应变率

4 结论与讨论

(1) 2004~2007年汶川地震前,川滇菱形地块北界(鲜水河断裂及其延伸的川青藏交界)一北东界(安宁河一则木河断裂及与小江断裂交汇区)、滇西北与红河断裂中段附近、龙门山中央断裂可能具有6级以上孕震背景;滇南一滇西南、甘川交界东段一甘川陕交界及其以北的甘南地块反映6级左

右背景信息。龙门山中央断裂两侧明显压性变化与阶段性应变积累特征对汶川大震有所反映(可能表现为中期即数年尺度6级以上孕震背景,即从时间和震级上都不可能精确预测汶川大震)。
(2) 震后应急观测显示,2007年8月至2008年6月发震区呈相当显著的逆冲兼右旋同震变化,大震对其附近的甘川交界一甘川陕交界区、鲜水河断裂南段及“Y”字型断裂交汇区影响相对明显,对其应变积累状况的影响可能以一定程度增强作用为主。

参考文献:

- 顾国华. 1990. 形变监测网的基准与形变模型反演 [J]. 地壳形变与地震, 10 (1): 21—29.
- 江在森, 张希, 崔笃信, 等. 2001. 青藏块体东北缘近期水平运动与变形 [J]. 地球物理学报, 44 (5): 636—644.
- 江在森, 马宗晋, 张希, 等. 2003. GPS初步结果揭示的中国大陆水平应变场与构造变形 [J]. 地球物理学报, 46 (3): 352—358.
- 向宏发, 虢顺民, 徐锡伟, 等. 2000. 川滇南部地区活动地块划分与现今运动特征初析 [J]. 地震地质, 22 (3): 253—264.
- 谢富仁, 苏刚, 崔效锋, 等. 2001. 滇西南地区现代构造应力场分析 [J]. 地震学报, 23 (1): 17—23.
- 徐锡伟, 程国良, 于贵华, 等. 2003. 川滇菱形块体顺时针转动的构造学与古地磁学证据 [J]. 地震地质, 25 (1): 62—70.
- 张希, 江在森. 1999. 对华北 GPS监测区近期地壳应变连续分布的估计 [J]. 地震学刊, 75 (2): 57—62.
- 张希, 江在森, 王琪, 等. 2003^a. 川滇地区地壳水平运动特征与强震关系研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 23 (3): 35—41.
- 张希, 江在森, 王琪, 等. 2003^b. 1999~2001年青藏块体东北缘地壳水平运动的非震反位错模型及变形分析 [J]. 地震学报, 25 (4): 374—381.
- 张希, 王双绪, 崔笃信, 等. 2004. 民乐—山丹地震的区域构造变形背景与中短期前兆 [J]. 中国地震, 20 (3): 238—246.
- 张希, 江在森, 王琪, 等. 2005^a. 青藏块体东北缘弹性块体边界负位错反演与强震地点预测 [J]. 地震学报, 27 (6): 620—629.
- 张希, 江在森, 王双绪, 等. 2005^b. 川滇地区地壳水平运动的弹性块体边界负位错模型与强震地点预测 [J]. 地震研究, 28 (2): 119—124.
- Matsu'ura M, Jackson D D and Cheng A. 1986. Dislocation model for aseismic crustal deformation at Hollister, California [J]. JGR 91 (B12): 12 661—12 674.
- Okada Y. 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space [J]. BSSA 75 (4): 1 135—1 154.

Using GPS Data to Analyze Horizontal Movement and Strain Accumulation in Sichuan-Yunnan and Its Vicinity before and after the Wenchuan Earthquake

ZHANG Xi CUI Du-xin WANG Wen-ping JIANG Feng-yun

WANG Shuang-xu ZHANG Xiao-liang

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

Abstract

Based on the horizontal velocity data observed by GPS during 2004—2008, i.e., before and after the Wenchuan $M_{\text{s}}8.0$ earthquake in Sichuan-Yunnan and its vicinity (the southeastern Gansu and the part of Shaanxi), we study the present tectonic deformation features and strain accumulation background, the coseismic deformation and its possible influence area combining with the analysis on the features of evolution of deformation strain field and the inversion of negative dislocation. We conclude: (1) In the period of 2004—2007, obvious compression change and the phased feature of strain accumulation appeared in the two sides of the central Longmenshan fracture, which revealed the Wenchuan earthquake to a certain extent (it may be the medium-term background information of $M_{\text{s}}\geq 6.0$ earthquake). The north-northeast boundary, the middle west segment of south boundary of the Sichuan-Yunnan rhombus block probably had the background of $M_{\text{s}}\geq 6.0$ earthquake preparation. The south-southwestern Yunnan, the area from the east segment of Gansu-Sichuan boundary to Gansu-Sichuan-Shaanxi boundary and the southern Gansu block reflected the seismogenic information of the earthquake with magnitude about 6.0. (2) In the period of August 2007—June 2008, the Wenchuan earthquake area showed remarkable coseismic thrust and dextral deformation. The effect of the Wenchuan earthquake was comparatively obvious on the strain accumulation of Gansu-Sichuan boundary, Gansu-Sichuan-Shaanxi boundary, the south segment of Xianshuihe fracture and the Y-shape intersection region of fractures, which is possibly shown as a certain increase.

Key words: Wenchuan $M_{\text{s}}8.0$ earthquake; GPS deformation strain field; negative dislocation; coseismic deformation