

基于 GPS 观测的汶川地震参数反演 与库仑应力变化分析*

张希^{1,2}, 崔笃信², 蒋锋云²

(1. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036; 2. 中国地震局第二监测中心, 西安 710054)

摘要: 利用汶川 $M_s 8.0$ 地震前后的 GPS 观测资料, 借助 Okada 矩形位错模型反演汶川地震参数, 进而应用反演所得地震参数, 计算地震在其周围 GPS 资料负位错反演所得震前应变积累断层段上可能造成的库仑破裂静应力变化, 分析地震对其周围构造断裂应变积累的影响。结果表明, 汶川震区呈显著逆冲兼右旋走滑同震变化, 对甘川交界东段—甘川陕交界区、鲜水河断裂南段与安宁河断裂北端应变积累有一定程度影响, 可能以增强作用为主。

关键词: 汶川地震; 参数反演; 库仑应力; 位错

中图分类号: P315.72⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2009)04-0351-06

0 引言

2008年5月12日四川省汶川县 $M_s 8.0$ 特大地震, 是1900年以来龙门山断裂带首次发生的8级以上地震。断层错动以逆冲为主、兼右旋走滑(陈运泰等, 2008; 徐锡伟等, 2008; 王卫民等, 2008; 中国地震局监测预报司, 2008; JiC et al, 2008), 余震持续时间长、波及范围广(四川、甘肃和陕西三省交界区及其附近发生了数次 $M_s 5.5 \sim 6.4$ 余震)。本文利用汶川震区2007年8月至2008年6月间的GPS水平位移资料, 借助 Okada (1985) 弹性均匀介质半空间矩形位错模型反演汶川地震错动参数, 并与上述陈运泰等的科考与地质调查结果作对比分析。

Matsu'ura 等(1986)认为在现今地壳运动驱动下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。即视块体边界区域的地表位移为弹性块体变形(平移与均匀应变)减去边界上部(由若干断层段构成, 每条断层段用 Okada 弹性均匀介质半空间矩形位错模拟)对块体相对运动的部分锁定在地表产生的

位移。它具有联系区域深部块体与其边界断裂, 以寻求由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段的研究和预报意义(Matsu'ura et al, 1986; 张希等, 2005a, 2005b)。张希等(2008)利用汶川地震前四川及其邻区(川滇及甘东南地区)2004~2007年GPS水平运动观测资料, 借助负位错反演获得了该地区主要断裂的应变积累情况。

目前国内库仑静应力触发模型的应用, 以余震分析及借助地质资料研究其对周围构造活动的影响为主(陈化然等, 2003; 韩竹军等, 2003; 万永革等, 2002)。从研究地震对周围构造断裂应变积累影响的角度来看, 长时间尺度地质资料仅能给出断裂倾角的大概范围及左旋或右旋、逆断或正断的特性, 实际错动角难以确定, 多数情况下只能对断裂作简化处理, 如假设其直立、纯走滑或纯逆断。我们利用反演所得地震错动参数将地震可能造成的库仑破裂静应力变化, 作用于2004~2007年四川及其邻区的GPS资料负位错反演所得震前应变积累断层段上, 研究汶川地震对其周围地区构造断裂应变积累的影响, 并与万永革等(2009)利用沈正康等(2009)地震参数及邓起东等(2002)断层参数计算所得相应库仑应力变化结果做对比分析。

* 收稿日期: 2009-04-19.

基金项目: 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项“青藏块体东北部强震孕育—发生动态过程研究”与国家自然科学基金课题(40674010)联合资助。作者张希为中国地震局地震预测研究所客座研究员。

1 基于 GPS 观测的汶川地震参数反演

汶川地震断层错动以逆冲为主、兼右旋走滑(陈运泰等, 2008; 徐锡伟等, 2008; 王卫民等, 2008; 中国地震局监测预报司, 2008; JiC *et al.*, 2008)。除陈运泰等(2008)认为地震断层长度较长(青川至宝兴及其附近, 300 km 以上)外, 其余研究人员基本认为破裂断层从青川至映秀(即震中)附近, 长度约 200 多公里, 以北川—映秀断裂(属龙门山中央断裂)和灌县—江油断裂(属龙门山前边界断裂)为主。2008 年 6 月中国地震局汶川地震应急观测项目(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)在四川及其邻区获得了 128 个站点的 GPS 观测资料(张希等, 2008)。图 1 中蓝色箭头为汶川震区 300 km 范围内相对于 2007 年 8 月变化量超过 0.1 m 的 10 个站点、扣除

整体平移与旋转后相对水平位移结果, 最大变化量达到 2 米多。20 世纪 90 年代 GPS 起测以来至汶川地震前川滇及其邻区 GPS 相对水平运动年变速率仅十几毫米(张希等, 2005b, 2008), 与图 1 位移结果(接近 1 年的变化)的分米至米级差 10~100 倍以上, 基本上反映的是汶川地震同震变化(误差椭圆半径 2.7~6.8 mm, 平均 4.2 mm)。因此可以利用 Okada (1985) 弹性均匀介质半空间矩形位错模型模拟地震错动。假设 10 个站点 x 与 y 向位移观测值为 v_{ix}, v_{iy} ; 相应中误差值为 e_{ix}, e_{iy} , ($i = 1, \dots, 10$); 由地震错动断层起点与终点经纬度 $a_x, a_y; b_x, b_y$ (反演中转换为高斯平面坐标)、断层走滑量 u_1 与倾滑量 u_2 、宽度 W 、上界深度 d 、倾角 δ 这 9 个参数反映的 Okada 模型在站点 x_i, y_i 上产生的 x 与 y 向位移为 $F_{ix}(a_x, a_y, b_x, b_y, u_1, u_2, W, d, \delta)$ 与 $F_{iy}(a_x, a_y, b_x, b_y, u_1, u_2, W, d, \delta)$, 则可以借助拟牛顿最小二乘法求式 (1) 最小, 从而获得这 9 个待定参数值。

$$\sum_{i=1}^{10} \left[\left(v_{ix} - F_{ix}(a_x, a_y, b_x, b_y, u_1, u_2, W, d, \delta) \right)^2 / e_{ix}^2 + \left(v_{iy} - F_{iy}(a_x, a_y, b_x, b_y, u_1, u_2, W, d, \delta) \right)^2 / e_{iy}^2 \right] \quad (1)$$

我们参考有关科考与地质调查结果(陈运泰等, 2008; 徐锡伟等, 2008; 王卫民等, 2008; 中国地震局监测预报司, 2008; JiC *et al.*, 2008) 确定反演参数特性(约束为右旋、逆断特性, 深度 5~20 km 范围内, 长度 400 km 范围内, 倾角 NW0°~85°等)及其初值: 起点与终点经纬度取青川与宝兴两地区经纬度; 走滑与倾滑、宽度、倾角初值取陈运泰等(2008)科考结果(走向 229°, 倾角 43°, 滑动角 123°, 深度 10 km, 最大错动量 6.7 m, 推算可得最大走滑量约 3.6 m, 倾滑量约 5.6 m, 宽度约 13.7 km), 断层上界深度初值取 0 km。

图 1 中黑色虚线为反演所得地表断层轨迹, 起点变动很小, 断层长度缩短, 终点移至震中以南不远处, 与徐锡伟等(2008)、王卫民等(2008)、中国地震局监测预报司(2008)、JiC 等(2008)所给出的地表破裂带比较接近。反演所得各项参数见表 1 (拟合中误差 0.3 m), 模型理论值与位移观测值的拟合程度也较好(图 1)。虽然徐锡伟等(2008)、王卫民等(2008)、中国地震局监测预报司(2008)均认为破裂还在灌县—江油断裂上体现, 鉴于 GPS 站点个数有限, 其分布范围也会对反演结果产生影响, 只能简化为一条断层段, 反演所得断层段更接近龙门山中央断裂, 故基本反映出了北川—映秀断裂的错动变化。此外, 从断层错动量来看, 倾滑略

占优势, 反映逆冲兼右旋走滑的同震变化特性, 这与上述文献结果总体一致。但从其它参数来看, 断层深度小于徐锡伟等(2008)、王卫民等(2008)的结果(15 km 左右), 错动量较徐锡伟等(2008)的平均值(2.2 m)大, 最大垂直位移均和最大右旋走滑位移均小于徐锡伟等(2008)的结果(分别为 6.2 m 和 4.9 m), 最大滑动量也小于王卫民等(2008)的结果(约 12 m)。

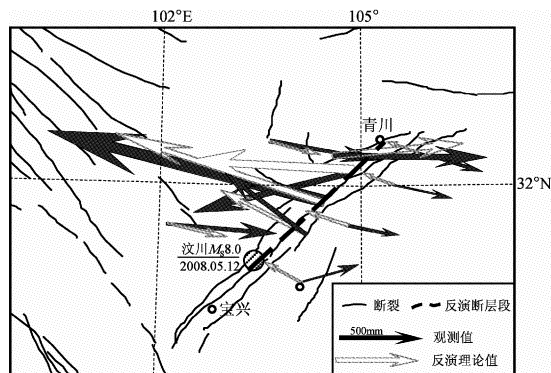


图 1 2007 年 8 月~2008 年 6 月汶川震区 GPS 水平运动位移矢量及矩形位错反演效果
Fig. 1 Vector of GPS horizontal displacement at the Wenchuan earthquake area from August of 2007 to June of 2008 and its inversion effect of rectangle dislocation model

表 1 GPS 资料反演所得反映汶川地震同震变化的断层位错模型参数

Tab. 1 Fault dislocation parameters of the great Wenchuan earthquake from inversion for GPS data

起点 经纬度/(°)	终点 经纬度/(°)	走滑 /m	倾滑 /m	倾角 /(°)	宽度 /km	上界深度 /km	推算走向 /(°)	推算滑动角 /(°)	推算下界深度 /km	推算长度 /km
(105. 3, 32. 6) ± (0. 2, 0. 1)	(103. 3, 30. 8) ± (0. 5, 0. 4)	4. 0 ± 0. 3	5. 7 ± 0. 4	65. 0 ± 8. 2	10. 9 ± 0. 9	0. 8 ± 0. 3	225. 3	125. 2	10. 7	244. 4

事实上，仅凭 10 个 GPS 站点位移观测值获取反演结果，站点个数、分布范围均可能影响反演结果，所以表 1 与图 1 获得的基于 GPS 观测的汶川地震错动参数不一定与科考及地质调查结果完全一致，但本文中我们进行反演的主要意义在于对中国地震局汶川地震应急地形变观测资料的充分应用，以提取地形变观测所反映的地震错动特征。

2 基于负位错反演所得断层参数的库仑破裂静应力变化计算方法

针对四川及其邻区，作为相对统一的多应力集中点场即多源孕震体系，其内一条断裂上强震尤其大震的发生很可能会对研究区其它断裂的应变积累有所影响（加速或减缓）。结合震源参数信息，计算地震引起的库仑破裂静应力变化，可以在一定程度上对断层之间的相互作用给以定性和定量描述，对分析地震发生后应力应变状况和判定后续强震地点有参考意义。本文中我们采用国内外惯常的库仑静应力计算方法，根据表 1 所得地震参数，借助 Okada（1992）模型及应变—应力关系计算地震在地壳某一深度产生的应力场（陈化然等，2003）。库仑破裂静应力变化值

$$\Delta CFS = \Delta \tau_{rake} + \mu \Delta \sigma_n.$$

(2)

其中， $\Delta \tau_{rake}$ 为断层面和滑动方向上的静态剪应力变化； $\Delta \sigma_n$ 为断层面的正应力； μ 为考虑孔隙压力的摩擦系数（取 0.4）； $\Delta \tau_{rake} = P_{str} \cos(\lambda_s) + P_{dip} \sin(\lambda_s)$ ，这里， P_{str} 、 P_{dip} 分别为断层走向和倾向力， λ_s 为后续地震断层的滑动角。式（2）中后续地震断层的走向、倾角、滑动角取负位错反演所得应变积累断层段的走向、倾角及错动角，深度均取 10 km，目的是为了分析汶川地震对负位错反演所得震前断层段应变积累状况的影响。

3 基于负位错反演所得断层参数的汶川地震库仑破裂静应力变化分析

张希等（2008）利用汶川地震前四川及其邻区（川滇及甘东南地区）2004 ~ 2007 年 GPS 水平运动观测资料，借助负位错反演获得了其内主要断裂的应变积累情况。反演所得断层段主要的锁定参数见表 2，断层倾向与特性主要参考马杏垣等（1989）与邓起东等（2002）的研究结果，其中邓起东等（2002）只给出主要断裂的活动特性，而在基于 GIS 的地震预报分析系统 Mapsis 软件中给出了相对详细的倾向、倾角范围及总体活动特征（表 3），在部分断裂倾向不确定的情况下，两种倾向均反演取相对拟合较好的结果。利用表 1 所示断层参数及上节所述库仑应力计算方法，可以推算汶川地震在 2004 ~ 2007 年四川及其邻区能量积累断层段（图 2）上可能产生的库仑破裂静应力变化（图 3）。需要说明的是，因为龙门山断裂上 3 条断裂段已破裂或大半破裂，从分析地震对震前断裂段应变积累影响的角度来看，计算其库仑应力变化值意义已不大——从计算所得库仑应力变化等值线图上看，有正、有负，中间段落尤其震中及其附近负值明显，靠近龙门山断裂带两端正值则相对明显，说明对尚未完全破裂的两端应变积累可能有促进影响。笔者推测认为：地震对其附近的甘川交界东段及其北侧、甘川陕交界区、鲜水河断裂南段与安宁河断裂北端具有一定程度影响（ 10^{-3} MPa 量级，甘川陕交界区相对明显），对其应变积累可能以增强作用为主。而 2007 年至 2008 年 6 月四川及其邻区 GPS 水平运动观测结果（张希，2008）显示震区逆断兼右旋走滑同震变化，地震对其附近的甘川交界—甘川陕交界区、鲜水河断裂南段及与龙门山断裂、安宁河断裂的 Y 字型交汇区附近影响相对明显，且压性变化占明显优势，与上述推测大体相符。

表 2 川滇及其邻区 2004 ~ 2007 年主要的锁定负位错参数反演结果

Tab. 2 Main parameters of locked negative dislocation in Sichuan - Yunnan and its nearby area during the period of 2004 - 2007

断裂或块体 边界名称	断层段	$D/\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$	$\lambda/(^{\circ})$	$\delta/(^{\circ})$	W/km	L/km	年均地震矩积累 $/10^{17} \text{Nm} \cdot \text{a}^{-1}$	年均应力降积累 $/(\text{kPa/a})$	锁定特性
渭河断裂	$A_1 A_2$	0.7 ± 0.2	65.6 ± 5.4	$N73.8 \pm 5.8$	13.6 ± 0.7	201.5	0.7	0.8	逆冲左旋
西秦岭北缘断裂	$B_1 B_2$	1.5 ± 0.5	68.1 ± 6.7	$SW38.5 \pm 6.3$	13.2 ± 1.4	282.3	1.4	1.8	逆冲为主
库玛断裂东段	$C_1 C_2$	1.1 ± 0.3	37.8 ± 6.7	$N42.8 \pm 7.9$	22.1 ± 1.5	239.5	2.8	0.8	左旋逆冲
至甘川陕交界	$C_2 C_3$	2.8 ± 0.6	22.2 ± 6.6	$N65.2 \pm 4.4$	33.2 ± 0.8	216.9	8.0	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	$NW25.3 \pm 5.2$	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	$NW25.3 \pm 5.0$	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	$NW29.6 \pm 7.1$	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	$NE81.2 \pm 6.3$	15.5 ± 1.2	219.7	5.4	4.0	左旋逆冲
安宁河断裂	$F_1 F_2$	4.6 ± 1.0	20.5 ± 6.3	$E35.2 \pm 10$	32.1 ± 0.8	158.6	9.5	2.2	左旋逆冲
	$F_2 F_3$	—	—	—	—	219.5	—	—	不锁定
元谋—绿汁江断裂	$F_3 F_4$	2.6 ± 1.0	15.7 ± 6.2	$E28.2 \pm 6.5$	8.9 ± 0.8	221.6	2.1	4.7	左旋逆冲
则木河断裂	$F_2 G_1$	5.0 ± 1.0	285.3 ± 6.6	$NE77.1 \pm 6.9$	8.5 ± 0.8	176.2	3.0	9.5	左旋正断
小江断裂	$G_1 G_2$	3.6 ± 0.4	28.8 ± 7.7	$E80.2 \pm 7.4$	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	$NE25.4 \pm 4.2$	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	$NE48.1 \pm 6.2$	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	$NE35.3 \pm 7.5$	21.1 ± 1.9	145.0	1.5	0.9	右旋逆冲
丽江—小金沙河断裂	$K_1 K_2$	3.6 ± 1.0	101.9 ± 6.6	$SE24.9 \pm 3.5$	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	$W36.4 \pm 11$	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	$ES82.6 \pm 7.0$	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	$NEE50.8 \pm 8.9$	10.6 ± 2.0	187.4	2.1	3.9	右旋正断

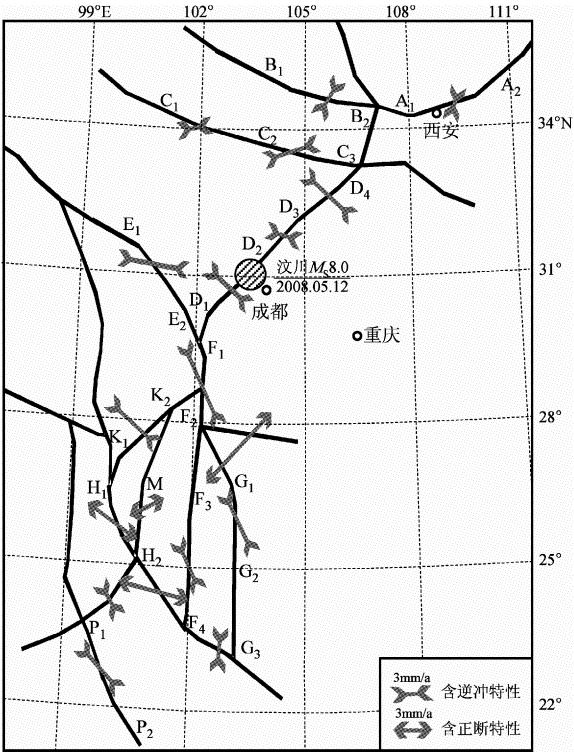


图 2 2004 ~ 2007 年四川及其邻区 GPS 资料的负位错反演结果

Fig. 2 Inversion result of negative dislocation in Sichuan-Yunnan and its nearby area during the period of 2004 - 2007

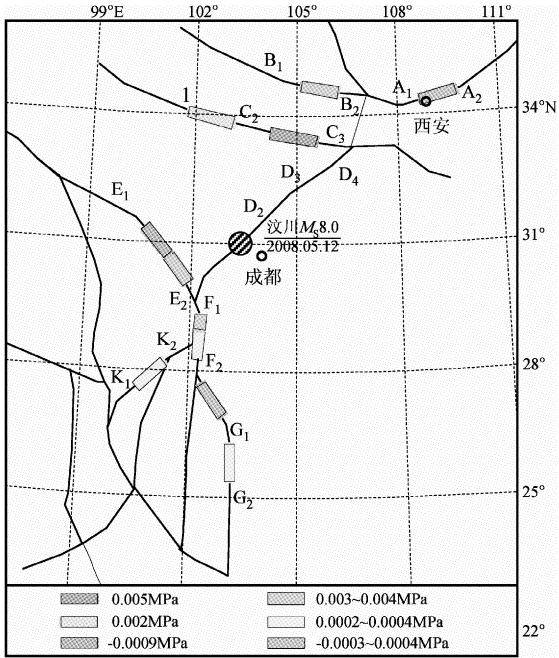


图 3 汶川地震在 2004 ~ 2007 年锁定断层段上产生的库仑应力变化

(图注: 给出的是断层段上库仑静应力变化平均值, 深度取地下 10 km; 红河断裂、程海断裂、小江断裂南段、澜沧—勐遮断裂 $\leq 10^{-5}$ MPa)

Fig. 3 Variation of Coulomb stress which the great Wenchuan earthquake acted on locked faults during the period of 2004 - 2007

表 3 邓起东等（2002）得出的断层特性

Tab. 3 Features of faults activity from Deng Qidong *et al* (2002)

断裂	特性	倾角	断裂	特性	倾角
渭河断裂	正断	N65 – 80	则木河断裂	左旋逆断	NE60 – 70
西秦岭北缘断裂	左旋逆断	SW40 – 80	小江断裂	左旋	E/W、陡
东昆仑断裂带	左旋逆断	N55 – 85	红河断裂	右旋正断	SW/NE60 – 85
龙门山中央断裂	逆断	NW60	小金河断裂	左旋正断	SE/NW、陡
鲜水河断裂	左旋	NE/SW、陡	程海断裂	左旋正断	W、陡
安宁河断裂	左旋逆断	E/W、陡	南定河断裂	左旋	无信息
元谋—绿汁江断裂	无信息	无信息	澜沧—勐遮断裂	右旋	无信息

蔡明军等（2008）利用陈运泰等（2008）的科考结果计算了龙门山断裂及其两端附近库仑静应力变化，对龙门山断裂两端及陕甘川交界区正影响的结论与本文一致，与 Toda *et al*（2008）的结果也比较一致。此外，与万永革等（2009）计算结果相同的断裂有西秦岭北缘断裂东段（相当于图 2 中 B₁B₂ 段，万永革等取倾角 60°、滑动角 15°，库仑应力变化以正值为主，0.004 Mpa 以下）、东昆仑断裂东段（相当于图 2 中 C₁C₂ 段，万永革等取倾角 70°、滑动角 15°，库仑应力变化为正值，0.000 4 ~ 0.007 Mpa）、秦岭南缘断裂（相当于图 2 中 C₂C₃ 段，万永革等取倾角 75°、滑动角 80°，库仑应力变化以正值为主，0.03MPa 以下）、鲜水河断裂（相当于图 2 中 E₁E₂ 段，万永革等取倾角 90°、滑动角 0°，库仑应力变化是北段负值而南段正值，-0.01 ~ 0.005 MPa）、安宁河断裂（相当于图 2 中 F₁F₂ 段，万永革等取倾角 90°、滑动角 45°，微弱正值）、则木河断裂（相当于图 2 中 F₂G₁ 段，倾角 65°、滑动角 45°，微弱正值）、小金河断裂（倾角 75°、滑动角 0°，微弱正值）。比较本文与万永革等（2009）的研究结果，除则木河断裂与小金河断裂活动特性差异明显，其它断裂段活动特性（左旋或右旋、正断或逆断特性）总体一致，但倾角、滑动角存在差异，两种库仑静应力变化计算结果的正、负性在则木河断裂上差异明显，在其它断裂上正负性基本一致，量值有差异，应该是地震参数、断层参数、计算深度不同等因素造成的。

4 结论

（1）基于负位错反演所得断层参数的库仑破裂应力变化计算方法可以在一定程度上反映地震

对周围地区活动断裂带应变积累状况的影响。

（2）汶川 M_s8.0 地震呈相当显著的逆冲兼右旋走滑同震变化；地震对甘川交界东段及其北侧的西秦岭北缘断裂东段、甘川陕交界、鲜水河断裂南段与安宁河断裂北端应变积累有一定程度影响，可能以增强或加速作用为主。

参考文献：

蔡明军，叶建庆．汶川 8.0 级地震余震特征参数与共震应力变化 [J]．地震研究，31（增刊）：471–475.

陈化然，李铁群，马宏生，等．2003．基于断层相互作用理论的强震成组孕育发生初步研究 [J]．地震，23（3）：51–56.

陈运泰，许力生，张勇，等．2008．初步研究及考察成果（一）2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告．<http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf>.

邓起东，张培震，冉勇康，等．2002．中国活动构造基本特征 [J]．中国科学（D 辑），32（12）：1020–1030.

韩竹军，谢富仁，万永革．2003．断层间相互作用与地震触发机制的研究进展 [J]．中国地震，19（1）：67–76.

马杏垣．1989．中国岩石圈地球动力学图集 [M]．北京：中国地图出版社．

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

万永革，吴忠良，周公威，等．2002．地震应力触发研究 [J]．地震学报，24（5）：533–551.

王卫民，赵连锋，李娟，等．2008．四川汶川 M_s8.0 级地震震源过程 [J]．地球物理学报，51（5）：1403–1410.

徐锡伟，闻学泽，叶建青，等．2008．汶川 M_s8.0 地震地表破裂带及其发震构造 [J]．地震地质，30（3）：597–629.

张希，崔笃信，王文萍，等．2008．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 [J]．地震研究，31（增刊）：464–470.

张希，江在森，王琪，等．2005a．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．2005b．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.

中国地震局监测预报司. 2008. 汶川 8.0 级地震科学研究报告 [M]. 北京: 地震出版社.

JiC, Hayes G. 2008. Preliminary result of the May 12, 2008 M_w 7.9 eastern Sichuan, China earthquake, http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2008/us2008ryan/fi-nite_fault.php.

Matsu'ura M, Jackson D D, Cheng A. 1986. Dislocation model for aseismic crustal deformation at Hollister, California [J]. *J of Geophysical Research*, 91 (B12): 12, 661 – 12, 674.

Okada Y. 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half – space [J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*,

75 (4): 1135 – 1154.

Okada Y. 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half – space [J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82 (2): 1018 – 1040.

Shen Z K, Sun J, Zhang P, *et al.* 2009. A rare and unusual event: Deformation and slip of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake. (Submitted to *Nature Geoscience*) .

Toda S, Lin J, Meghraoui M, *et al.* 2008. 12 May 2008 $M = 7.9$ Wenchuan, China, earthquake calculated to increase failure stress and seismicity rate on three major fault systems [J]. *Geophys Res Lett*, 35, L17305, doi: 10.1029/2008GL034903.

Inversion of Seismic Parameters of the Wenchuan Earthquake and Analysis on Variation of its Coulomb Stress Based on GPS observation

ZHANG Xi^{1,2}, CUI Du-xin², JIANG Feng-yun²

(1. *Institute of Earthquake Prediction of CEA, Beijing 100036, China*)

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

Abstract

In this paper, using the GPS observational data before and after the great Wenchuan earthquake on 12 May 2008, aided by rectangle dislocation model, the seismic parameters of this earthquake are obtained. Applying these parameters, the variation of Coulomb rupture static stress caused by this earthquake, is acted on its peripheral fault segments reflecting strain accumulation, before this earthquake revealed by the inversion of negative dislocation from GPS data. The influences of this great earthquake on strain accumulation of peripheral tectonic faults are researched. The result shows that, this earthquake region displayed remarkable co-seismic deformation of thrust and dextral slip. This great earthquake affected the eastern boundary where Gansu and Sichuan provinces meet and the boundary where Gansu, Sichuan and Shaanxi provinces meet, together with the southern segment of Xianshuihe fault and the northern end of Anninghe fault, to some degree, mainly reflecting possible enhanced action for strain accumulation.

Key words: the great Wenchuan earthquake; parameters inversion; Coulomb stress; dislocation