

根据地震定标律研究汶川 8.0 级地震的破裂特征^{*}

秦嘉政, 刘丽芳, 钱晓东

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 根据二维地震位错模式导出的地震定标律关系, 估算了汶川 8.0 级地震的断层破裂参数和震源应力参数, 结果给出: 主破裂断层长度 $L=218\text{ km}$, 破裂宽度 $W=29\text{ km}$, 断层破裂面积 $S=6\,310\text{ km}^2$, 最大位错 $D=5.01\text{ m}$, 断层破裂速度 $v_f=2.8\text{ km/s}$, 主破裂过程持续时间为 78 s , 地震矩 $M_0=7.94\times 10^{20}\text{ N}\cdot\text{m}$, 矩震级 $M_w=7.9$. 这些断层破裂参数与有关的研究结果基本一致. 对主震和 3 次 6 级强余震的震源应力参数进行了估算, 结果给出: 主震应力降 $\Delta\sigma=6.34\text{ MPa}$, 视应力 $\sigma_n=0.60\text{ MPa}$, 剪应力 $\tau_0=22.13\text{ MPa}$, 表明主震的发震应力场处于构造环境剪应力为 22.13 MPa 的高值背景, 主震发生后, 6 级强余震剪应力 τ_0 下降了约一半, 平均约为 10 MPa , 应力降 $\Delta\sigma$ 则没有明显变化, 平均为 7.0 MPa 左右. 结合余震序列空间分布情况, 分析认为主震破裂为单侧破裂, 走向为 NE 方向, 断层从初始破裂点开始主破裂长度约 200 km 范围内是地震能量主要的释放区. 由于主震为浅源大震, 震源离地表较近, 因而在破裂过程中释放的巨大地震波能量对震区造成了烈度高达 XI 度的破坏.

关键词: 地震定标律; 破裂过程; 震源参数; 汶川 8.0 级地震

中图分类号: P315.75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)增刊-0458-06

0 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分四川省汶川县发生 8.0 级特大地震, 震中位于青藏高原东缘的龙门山断裂带上, 距成都市约 70 km . 这次地震造成了巨大的地震灾害, 死亡和失踪人数约 9 万人, 近 40 万人受伤, 直接经济损失无法估量. 许多地球物理学家和地震学家分析认为, 这次地震的动力成因, 是由于印度板块向东北推挤与欧亚板块碰撞 (许忠淮, 2001; 成尔林, 1981; Lithgow 等, 2004), 使青藏高原地块向 ES 方向滑动, 受阻于龙门山断裂带, 而其东面是整体性和刚性强的成都平原地质, 因此, 地震能量在龙门山断裂带上不断积累直至发生本次地震.

这次地震发生后, 给我们提出了许多关于强震活动规律、复发周期、动力源成因与机制以及地震预测预报的新问题, 尤其是如何认识此次地震对云南地区地震活动的影响, 这些都需要我们以科学发展观为指导, 在今后的地震科研工作中加以认真思考, 努力探索. 笔者根据地震定标律关系, 研究和分析了汶川 8.0 级特大地震的震源破

裂特征参数: 断层破裂规模、地震矩 M_0 、地震视应力 σ_n 、地震应力降 $\Delta\sigma$ 、震源应力强度 τ_0 值等, 进而深入认识汶川 8.0 级地震的破裂过程.

1 震源参数的定标关系

地震定标律是试图解决大、小地震的相似性问题, 也是建立震源参数之间定量统计关系的理论基础. Tsuboi (1956) 研究了地震的相似性问题, 他试图用一个参数把大、小地震联系起来, 而后 Ak 等 (1967) 系统地研究了震源参数与源谱的关系, 对地震标定律作出了开拓性的贡献. 最近十多年来许多地震学家做了大量有关地震定标律的研究工作, 如 Geller 等 (1976)、陈培善等 (1991, 1994)、秦嘉政等 (1997), 他们的研究工作极大地丰富了地震定标律的研究内容, 并把这些研究成果应用到地震关系统计中检验, 使我们对震源物理过程及震源参数特征的认识更为透彻.

地震发生过程是一个复杂的地球物理过程和地球动力学过程. 迄今为止, 对地震过程的许多细节了解和认识还不多, 对地震前兆机理的内在联系尚不能作出客观的认识, 这些都严重阻碍了

^{*} 收稿日期: 2008-08-01.

基金项目: 中国地震局“川滇重点强化地震跟踪专题”和云南省重点项目“云南强震活动与动力学研究”联合资助.

地震预报科学水平的提高。在震源物理模型的基础上来研究地震定标律关系，为我们解决复杂的震级标度以及对了解和分析震源参数间的相互关系提供了一种全新的视野。

1.1 地震定标律的理论基础

尽管真实的地震破裂过程是复杂的，但从震源理论考虑，把地震破裂面假定成具有一定长度 L 和宽度 W 的矩形位错模式，同时考虑位错时的断层破裂速度 V 、震源破裂上升时间 τ 以及断层位错 D 。采用这五个简单的参量对复杂地震破裂过程进行定量研究是非常有效的，由此可以了解地震破裂过程的运动学和动力学特征。由位错模式导出地震波的远场位移为

$$u(x, y) = \frac{\mu R_0^c}{4\pi \rho r^2} \Omega(x, y) \quad (1)$$

式中 u 代表位移， r 为震源距， ρ 为介质密度， μ 为介质刚度， c 为地震波速度（S波 $c=\beta$ 或 P波 $c=\alpha$ ）， R_0^c 代表方向性因子， $\Omega(x, y)$ 是断层面上平均瞬时位错的时间导数的积分，定义为

$$\Omega(x, y) = \iint_{\Sigma} u(x, y, t - \frac{r}{c}) d\Sigma \quad (2)$$

$\Omega(x, y)$ 相当于位错速度在断层面上的积分，代表 P波 或 S波 远场位移波形。当考虑采用 Haskel 矩形二维破裂模式，假定断层的破裂长度为 L 、破裂宽度为 W 并且破裂沿长边以恒定破裂速度 V 传播时，我们可以得到地震波远场位移谱的一般形式：

$$|\Omega(\omega)| = M_0 \left| \frac{\sin(\omega \chi_L)}{\omega \chi_L} \right| \left| \frac{\sin(\omega \chi_W)}{\omega \chi_W} \right| \left| \frac{\sin(\omega \chi_\tau)}{\omega \chi_\tau} \right| \quad (3)$$

式中 M_0 是地震矩， ω 为圆频率。 χ_L 、 χ_W 和 χ_τ 分别代表与断层长度 L 、宽度 W 和震源上升时间 τ 相关的破裂持续时间，它们在震源球上的平均值为：

$$\langle \chi_L \rangle = \frac{L}{2V} = C_L L, \quad (4)$$

$$\langle \chi_W \rangle = W \cos \delta / 2c = C_W L, \quad (5)$$

$$\langle \chi_\tau \rangle = \frac{\tau}{2} = C_\tau L \quad (6)$$

式中 C_L 、 C_W 和 C_τ 为与带宽有关的标定常数，它

们具有相同的量纲 $[s/km]$ ，由观测资料确定。

1.2 震源参数间的定标关系

地震标定律关系虽然成功地解释了许多观测现象，统一了地震参数间的换算关系，由一个震级值就可估算出一系列的震源参数值，但建立地震标定关系的三个相似条件是最重要的基础，其中，环境应力条件相似起着关键作用。深入的研究认为，板内地震和板缘地震的应力环境有明显差别，不同地区由于地质构造条件及地球内部介质状态不同，也有差别，这样的问题都需要进一步研究给予解决。我们给出面波震级 M_s 系统与震源参数间的地震定标律关系如下：

地震矩与面波震级的标定关系：

$$\lg M_0 = \begin{cases} 1.0M_s + 18.6 & M_s \leq 5.6 \\ 1.5M_s + 15.6 & 5.6 < M_s \leq 7.8 \\ 3.0M_s + 3.9 & 7.8 < M_s \leq 8.5 \\ M_{s_{max}} \approx 8.5 \end{cases} \quad (7)$$

面波震级与破裂面积的标定关系：

$$\lg S(km^2) = \begin{cases} 2/3M_s - 2.60 & M_s \leq 5.6 \\ 1.0M_s - 4.43 & 5.6 < M_s \leq 7.8 \\ 2.0M_s - 12.2 & M_s > 7.8 \end{cases} \quad (8)$$

面波震级与位错的标定关系：

$$\lg D(m) = \begin{cases} 1/3M_s - 0.42 & M_s \leq 5.6 \\ 1/2M_s - 1.40 & 5.6 < M_s \leq 7.8 \\ M_s - 5.30 & M_s > 7.8 \end{cases} \quad (9)$$

地震定标律关系的明显优势在于，当一次强震发生后，可由一个震级值估算出一系列相关的震源参数值，这对大震发生时快速分析地震破裂过程的某些基本特征和震情趋势判定是非常有用的。

2 汶川 8.0 级地震破裂过程特征分析

根据上述给出的地震定标律关系，我们结合区域构造应力场、震源机制解、震源应力参数等，分析研究汶川 8.0 级特大地震破裂过程特征。

2.1 USGS 给出的主震矩心张量解

主震发生时间：2008 年 5 月 12 日 16 时 28 分 49.29 秒，记录台站数：155

震中位置：30.969°N 103.186°E 矩震级 $M_w=7.9$ 震源深度 $h=16$ km

矩张量分量 (单位: 10^{20} N m):
 $M_{rr}=5.47$ $M_{tt}=-0.57$
 $M_{pp}=-4.90$ $M_{rt}=-4.34$
 $M_{rp}=1.10$ $M_{pt}=-3.48$
主轴:
T轴 $V_{a1}=8.27$ $P_g=57$ $A_m=202$
N轴 $V_{a1}=-1.31$ $P_g=31$ $A_m=36$
P轴 $V_{a1}=-6.96$ $P_g=6$ $A_m=302$
最佳双力偶解: 标量地震矩 $M_0=7.6\times10^{20}$ N m
 NP_1 : strike=2 dip=47 slip=45
 NP_2 : strike=238 dip=59 slip=128

2.2 地震定标律估算的断层参数

根据地震定标律关系估算的主震断层破裂参数为: 地震矩 $M_0=7.94\times10^{20}$ N m; 矩震级 $M_w=7.9$ 断层破裂面积 $S=6\,310$ km², 根据陈运泰等给出的断层破裂宽度 $W=29$ km (陈学忠等, 2008) 估算的断层破裂长度 $L=218$ km, 最大错距 $D=5.0$ m, 平均错距=2.5 m, 取 $C_L=0.175$ 估算的断层破裂速度 $V=2.8$ km/s, 断层破裂持续时间 $T_r=78$ s. 美国 USGS 给出的主震地震矩 $M_0=7.6\times10^{20}$ N m, $M_w=7.9$, 哈佛大学地震研究所给出的主震地震矩 $M_0=9.43\times10^{20}$ N m, $M_w=7.9$, 日本东京大学给出的主震地震矩 $M_0=1.02\times10^{21}$ N m, $M_w=7.9$. 这些结果与我们用地震定标律给出的估算结果是一致的. 表 1 给出了部分研究机构和研究小组给出的汶川 8.0 级地震震源断层参数, 图 1 给出的是美国 USGS 测定的汶川主震和部分强余震矩心张量解以及高烈度区分布.

表 1 汶川 8.0 级地震震源断层破裂参数

来源	M_0 /N m	h /km	M_w	L /km	W /km	D /m	S /km ²
USGS	7.6×10^{20}	16	7.9		37		
哈佛大学	9.43×10^{20}	12	7.9		44		
陈运泰小组	4.4×10^{21}	10	8.3		29	1.5	
日本东大	1.02×10^{21}	11	7.9	230	40		9 200
王卫民等	1.04×10^{21}		7.9	216		2.2	
本文	7.94×10^{20}		7.9	218	29	2.5	6 310

2.3 震源应力参数

震源应力参数对分析主震破裂过程的力学特性是十分重要的, 我们利用根据美国 USGS 发布的有关汶川 8.0 级地震和部分强余震地震波辐射能 E_s 的测定结果, 估算了地震视应力 σ_a , 根据地震定标律, 估算了震源应力参数, 如地震应力降 $\Delta\sigma$,

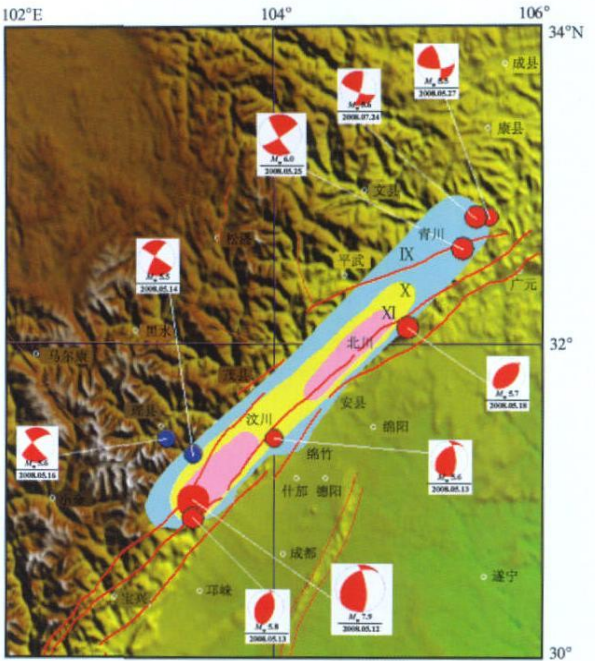


图 1 美国 USGS 测定的主震和部分强余震矩心张量解及 IX ~ XI 度高烈度区分布的初步结果

震源环境剪应力 τ_0 值. 相关的测定关系如下. 地震视应力

$$\sigma_a = \mu \frac{E_s}{M_0} \tag{10}$$

式中, μ 为剪切模量, 一般取 $\mu=3.0\times10^4$ MPa, E_s 为地震波辐射能, M_0 为地震矩.

地震应力降

$$\Delta\sigma = \frac{4M_0}{S^2} \tag{11}$$

式中 S 代表断层破裂面积.

震源环境剪应力 τ_0 值 (陈培善等, 1994):

$$\lg\tau_0 = 0.15M_w + 0.16 \tag{12}$$

式中 M_w 为矩震级.

利用上式及美国 USGS 给出的地震波辐射能 $E_s=1.58\times10^{16}$ N m, 计算给出 8.0 级特大地震的地震视应力 σ_a 为 0.60 MPa, 应力降 $\Delta\sigma$ 为 6.34 MPa, 震源环境剪应力 τ_0 值为 22.13 MPa. 表 2 列出了汶川 8.0 级主震和 3 次 6 级强余震估算的震源应力参数, 其中 $M_6.4$ 强余震是主震发生至今最大的强余震.

表 2 汶川 8.0 级地震震源应力参数

日期	M_S	$M_0/N\cdot m$	$E_S/N\cdot m$	M_W	σ_a/MPa	$\Delta\sigma/MPa$	τ_0/MPa	T_v/s	$V_r/km\cdot s^{-1}$
2008-05-12	8.0	7.94×10^{20}	1.58×10^{16}	7.9	0.60	6.34	22.13	78	2.8
2008-05-13	6.1	5.60×10^{17}	1.40×10^{13}	5.8	0.75	6.99	10.72		
2008-05-18	6.0	3.98×10^{17}	2.80×10^{13}	5.7	2.11	7.03	10.35		
2008-05-25	6.4	1.60×10^{18}		6.1		7.10	11.89		

2.4 汶川 8.0 级主震破裂过程分析

根据由地震定标律估算的汶川 8.0 级地震及震源机制解、震源应力参数估算结果, 结合余震序列空间分布和随时间衰减趋势, 我们讨论和分析了汶川 8.0 级地震的主破裂特征。

(1) 龙门山断裂带构造特征及主震破裂方向

本次主震发生在四川龙门山构造带的汶川县境内, 距成都市直线距离约 70 km。龙门山断裂带是青藏高原内部巴颜喀喇地块与中国东部地块的边界构造带, 该断裂带地质构造运动十分复杂, 由数条相互平行、走向以北东为主的断裂组成, 晚新生代的构造变形主要集中于 3 条主要的断裂带上, 即龙门山山前断裂带 (沿都江堰—安县主边界断裂)、龙门山中央主断裂带 (沿映秀—北川断裂) 和龙门山后山断裂带 (沿汶川—茂汶断裂), 汶川 8.0 级地震震中位于映秀—北川断裂带上。主震震源机制解表明, 地震破裂以逆冲为主兼少量右旋走滑分量, 错动方向为 NE 向, 主破裂方向为 NE229°, 断层面向 NW 方向倾斜, 倾角 32°, 主震发生在逆冲断层的上盘, 四川盆地位于逆冲断层的下盘, 因此遭受的地震灾害相对较小, 而映秀—北川断裂带附近破坏最为惨烈, XI 度破坏区就位于该断裂带上。主震发生后张培震等对龙门山断裂带的地质调查显示, 在映秀—北川断裂带上产生的垂直和水平向位错最大错距为 4.5~5.0 m, 平均为 2 m, 这与我们用地震定标律估算的结果基本一致。

汶川 8.0 级地震余震序列分布明显地受控于龙门山断裂带, 从余震序列的优势分布方向也能证实主震破裂的走向。图 2 给出了由四川地震台网测定的余震序列空间分布, 图中分别给出了主震发生后 1 天内的余震分布图 (图 2a) 和截止到 7 月 31 日共 80 天的余震分布图 (图 2b)。由图中看出, 主震发生后 1 天内, 余震分布沿龙门山断裂带的 NE 方向迅速扩张约 300 km, 其后 2 个多月的时间余震几乎被限制在 IX 度区域范围内。对余震序列统计显示, 共发生 4 级地震 494 次, 5 级地震 52 次, 6 级地震 6 次, 而主震后 1 天内发生的 4 级

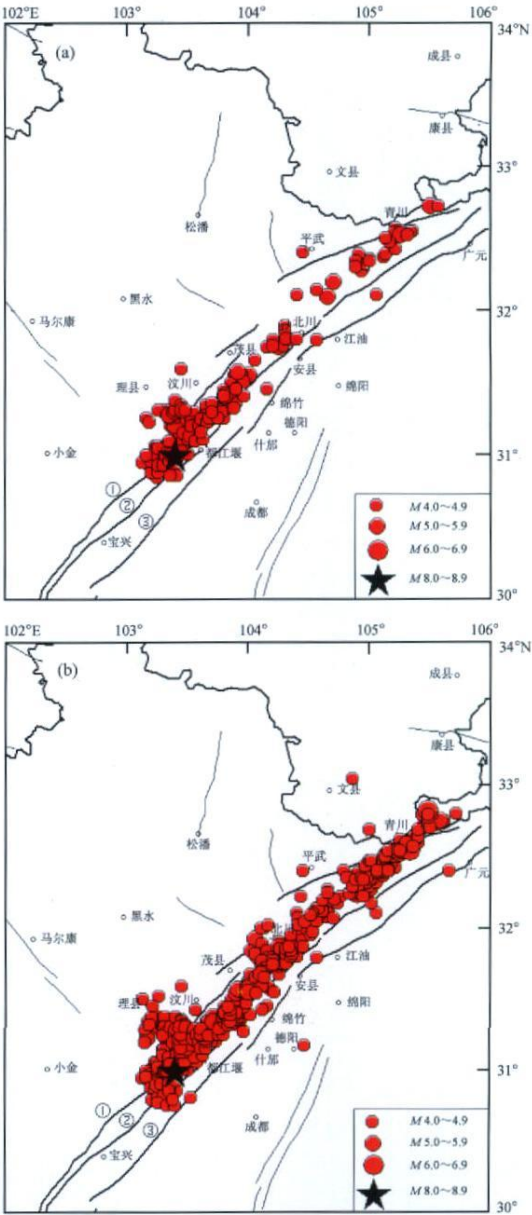


图 2 汶川 8.0 级地震余震序列震中分布图

(a) 主震发生后 1 天内余震分布;

(b) 主震发生后 80 天内余震分布

① 龙门山后山断裂带; ② 龙门山中央主断裂带; ③ 龙门山山前断裂带

地震占 31%, 5 级地震占 52%, 6 级地震占 33%, 由此表明主震后第 1 天的余震能量释放是十分强烈的, 尤其是 5 级地震发生率超过全序列的一半以上。

(2) 主震破裂过程特征

根据地震定标律的估算结果, 汶川 8.0 级地震主破裂长度为 218 km, 主震估算的震源环境剪应力 τ_0 值为 22.13 MPa, 表明主震发生在高应力背景条件下, 断层破裂速度 v_f 高达 2.8 km/s, 断层破裂过程总持续时间为 78 s。在图 1 中, IX 度烈度范围基本覆盖了汶川 8.0 级主震余震区的范围, 长约 300 km, X 度区长约 200 km, 代表了主破裂断层长度, 两个 XI 度区分别位于主破裂初始点和北川附近, 可能反映了龙门山中央断裂带存在的两个断层障碍体。由于障碍体破裂需要有很高的应力, 因此, 地表破坏显得异常严重。王卫民和姚振兴等用汶川 8.0 级主震远震波形资料, 构造了一个双铲状有限断层震源模型, 用此模拟反演汶川 8.0 级地震破裂过程, 结果给出, 主震破裂长度为 216 km, 地震破裂释放能量主要集中于前 80 s, 在主震发生约 80 s 内, 主断层破裂已基本完成, 此后断层破裂进入愈合阶段, 但其后仍发生一些规模较小的断续破裂过程, 余震序列分布在长约 300 多公里的断层带上。主震应力降 $\Delta\sigma$ 为 6.34 MPa, 视应力 σ_a 为 0.60 MPa, 低视应力结果表明主震发生后构造应力场已降到一个相对较低的水平 (秦嘉政等, 2006)。3 次 6.0~6.4 级强余震估算的应力降约为 7 MPa, 剪应力 τ_0 值约为 10 MPa 左右, 表明主震发生后区域构造应力强度下降很快, 但仍有较高的应力背景, 因此余震仍会持续相当长的时间 (秦嘉政等, 2000; 钱晓东等, 2006)。不同机构给出的主震震源深度 h 为 10~16 km, 属浅源地震, 主破裂离地表越近, 产生的振动就越强烈, 因而造成的破坏越严重。

从地震发生的物理力学背景分析, 汶川 8.0 级地震发生在青藏高原东缘龙门山断裂带上。全球板块构造表明, 青藏高原隆起显示了该区域为全球地壳运动最激烈的地区 (Bird 等, 1996), 由于印度板块向北推挤与欧亚板块的碰撞, 造成青藏高原周边分布有高大山脉和范围广大的形变区域, 这也是这一地区至今强震活动不断的主要动力源成因。图 3 给出了东亚地区从 1970 年至 2008 年 7 月 5.0~9.0 级地震的震中分布图, 图中给出印度板块以平均每年 4 mm 的速度向北运动, 挤压中亚从西向东推挤西藏, 青藏高原东缘被迫向东运动 (Lai 等, 2005; Zbacek 等, 1992)。四川盆地是一个根基深、刚性强、力学上坚固的稳定地块, 因此是造成东部边界的龙门山山脉持续抬升的主要原因。由于长期持续不断的作用, 龙门山断裂带产生了大

的构造应力场, 汶川 8.0 级地震就发生在该断裂带上。中国大陆 GPS 观测结果显示, 印度板块向北运动非常显著, 图 4 给出了中国大陆 GPS 观测速度场的结果 (肖亮等, 2008)。

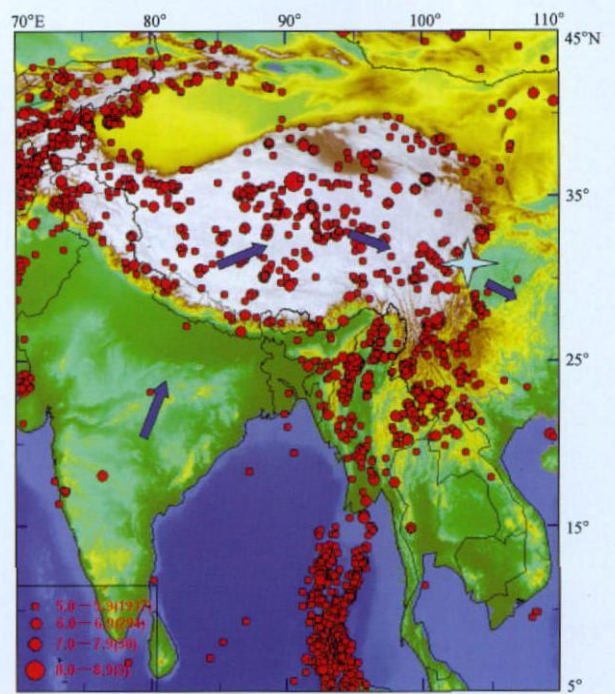


图 3 1970 年至 2008 年 7 月东亚地区 5.0~9.0 级地震的震中分布
(图中箭头表示印度板块向北的运动, 箭头大小表示板块运动的相对速度, 星号代表汶川 8.0 级地震)

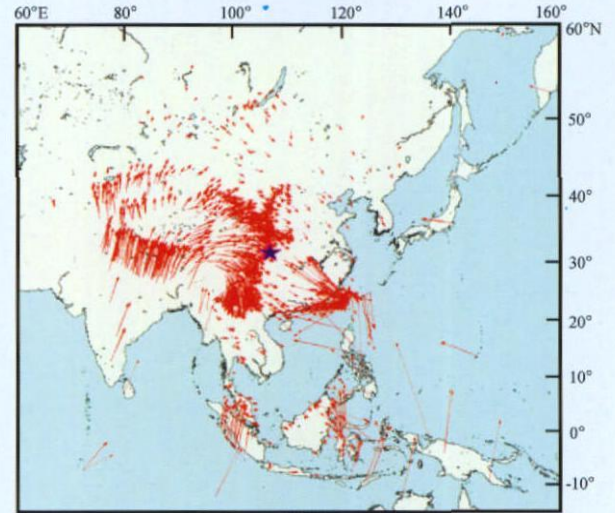


图 4 中国大陆 GPS 速度场观测结果
(星号表示汶川 8.0 级地震震中位置)

3 结论与讨论

根据地震定标律关系估算了汶川 8.0 级地震的

断层破裂参数和震源应力参数, 所得结果与不同机构和某些研究者已报道的相关结果基本一致, 表明我们用地震定标律估算方法是合理的。用地震定标律估算地震参数是建立在统计平均基础上的。强震发生后, 用该方法迅速估算出断层参数和震源力学参数, 从而初步了解强震的震源特征、破裂过程、应力背景等是十分有意义的, 对震后震情趋势判定也能起到重要的参考作用。

汶川 8.0 级地震的发生, 造成了惨重的人员伤亡和巨大的经济损失, 同时, 在地震监测和科学研究方面也给了我们许多启示和思考, 例如, 如何深入认识川滇地区强震活动的规律、周边地区强震活动对云南地震的影响、强震孕育过程的力学成因、构造特征与强震复发周期、地震前兆异常识别以及如何提高地震预测预报科学水平等。我们有理由相信, 从多学科、多领域深入开展对汶川 8.0 级地震的研究和探讨, 对上述问题必将会有新的认识和理解。

参考文献:

- 陈培善, 白彤霞. 1991 震源参数之间的定量关系 [J]. 地震学报, 13 (4): 401—411.
陈培善, 肖磊, 白彤霞, 等. 1994 唐山地震序列的环境应力场

- [J]. 地震学报, 16 (4): 441—447.
陈学忠, 李艳娥, 郭祥云. 2008 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震前后震源区应力水平估计 [J]. 国际地震动态, (6): 1—3
成尔林. 1981 四川及其邻区现代构造应力场和现代构造运动特征 [J]. 地震学报, 3 (3): 231—241.
钱晓东, 秦嘉政, 叶建庆. 2006 云南地区的环境应力参数及其在地震短临预报中的应用 [J]. 地震研究, 29 (1): 7—12
秦嘉政, 刘祖荫. 1997 用地震标定律研究丽江 7.0 级地震的破裂过程 [J]. 地震研究, 20 (1): 47—57.
秦嘉政, 钱晓东, 张俊伟. 2000 武定地震序列剪应力场的时空分布特征 [J]. 地震研究, 22 (1): 8—16
秦嘉政, 钱晓东. 2006 云南地区地震视应力的时间和空间分布研究 [J]. 地震学报, 28 (3): 221—229.
肖亮, 韩鹏, 靳超宇, 等译. 2008 USGS 中汶川地震情况 [J]. 国际地震动态, (6): 16—26.
许忠淮. 2001 东亚地区现今构造应力图的编制 [J]. 地震学报, 23 (5): 492—501
Bird P and Li Y. 1996 Interpolation of principal stress direction by non-parametric statistics: Global maps with confidence limits [J]. JGR 101: 5435—5443.
Lithgov-Berelkni C and Guynn JH. 2004. Origin of the lithospheric stress field [J]. JGR 109 (B0148): 1—32.
Lag T and Kanamori H. 2005. The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 December 2004 [J]. Science 308: 1127—1133.
Zoback M L. 1992 First- and second-order pattern of stress in the lithosphere: the world stress project [J]. JGR 97 (B8): 11703—11728.

Analysis of Rupture Characteristics of the $M_s 8.0$ Wenchuan Earthquake Based on Seismic Scaling Law

QIN Jia-zheng, LIU Li-fang, QIAN Xiao-dong

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Based on seismic scaling law from two-dimensional faulting model, we estimate the fault rupture parameters of the $M_s 8.0$ Wenchuan earthquake. The length of fault is 18 km, the width 29 km, the area 6 310 km², the maximum offset 5.01 m, the rupturing velocity 2.8 km/s, the duration of rupture process 78 s, the seismic moment 7.94×10^{20} N·m, the moment magnitude 7.9, which are basically consistent with the results of related studies. We also calculate the focal stress parameters of the main shock and three strong aftershocks with $M \geq 6$. The stress drop of main shock is 6.34 MPa, the apparent stress 0.60 MPa, the shear stress 22.13 MPa, which shows the high tectonic ambient shear stress for the main shock. The average shear stress of the $M \geq 6$ aftershocks is about 10 MPa, about one half of the main shock, the stress drops have no apparent changes, and the average is about 7.0 MPa. Combined with the distribution of aftershocks, the fault plane of the main shock is unilateral rupture and rupture trend is in NE. The main release region of seismic energy is about 200 km from the initial fault rupture. Because the main shock is shallow and large and the seismic source near the surface, the enormous seismic energy released by the main shock during the rupture process cause the destruction with XI degree intensity in the seismic area.

Key words: seismic scaling law; rupture process; source parameter; Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake
©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>