

马边—大关构造带震源参数及应力状态研究^{*}

阮 祥, 程万正, 乔惠珍, 张致伟, 傅 莺

(四川省地震局, 成都 610041)

摘要: 利用 2000~2009 年马边—大关构造带上的 115 次 3 级以上中小地震波形资料, 计算了地震震源机制解和视应力等震源参数。根据震源机制解分析, 马边—大关构造带平均主应力方向为 NW—SE 错动类型显示, 走滑型和倾滑型的地震所占比例相当。地震活动丛集的 3 个区段荣经—峨边、马边—盐津、鲁甸—巧家的平均主应力方向分别为 NW—SE、NW—SE、NW—SE 呈现局部构造应力场方向特征。马边—大关构造带视应力分布不均匀, 高值出现在云南大关—盐津一带地下 20 km 区域, 而利店断裂及以北的地区视应力值相对较低。分析认为马边—大关构造带南段未来存在潜在的强震危险性。

关键词: 震源机制; 视应力; 应力分布; 马边—大关构造带

中图分类号: P315.72⁺7 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2010)04-0294-07

0 引言

中国大陆现代构造应力场具有明显的分区性, 在不同地区应力作用方向和应力结构不同, 我国川滇地区构造应力场的这种空间非均匀特征尤为明显 (崔效锋等, 2006)。基于这一特征, 利用数字地震记录资料, 具体地针对一些潜在地震危险性较高的构造带进行研究, 给出构造带震源破裂参数及应力场特征的分析结果有实际的参考价值。

马边—大关构造带为川滇交界东侧地区复杂的强震构造带, 其主要构造系为 NNW 向的荣经—马边—盐津断裂带。该断裂带北起四川天全以南, 向南经荣经、峨边、马边至云南盐津北, 宽 25~30 km, 长约 250 km, 总体走向 NNW。在 NNW 向断裂之间还存在近 EW 向或 NEE 向断层。中强地震主要沿 NNW 向断裂带分布, 并在 NNW 断裂与近 EW 向断裂的复合部位丛集。据史料记载, 1216 年雷波马湖曾发生 7 级地震。1935 年 12 月到 1936 年 5 月马边发生 12 次 5 级以上地震震群, 最大震级 6.7 级 (2 次)。1974 年 5 月 11 日大关 7.1 级地震发生在 NW 与 NE 向断裂交而不汇的部位。

对于该构造带的研究更多的来自于地质构造方面 (李坪, 1979; 曹忠权等, 1993; 韩德润, 1993; 张世民等, 2005) 或单个强震或强震序列

方面 (刘振荣等, 1977; 张四昌等, 1994; 程万正等, 2002)。近年来随着数字遥测台网的不断完善, 越来越多的中小地震的数字地震波记录成为从物理上研究区域孕震构造环境的重要资源。本文正是利用马边—大关构造带的中小地震地震波资料反演包括震源机制解在内的各项震源参数, 并在此基础上进一步揭示该构造带孕震构造环境及应力场。

1 资料和研究方法

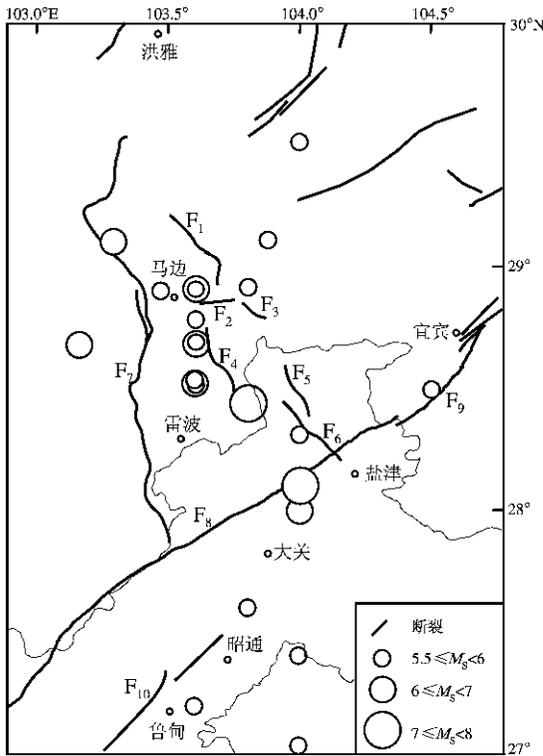
1.1 资料

为研究马边—大关构造带震源参数, 本文选取的研究区域为北起四川洪雅, 南至云南鲁甸的马边—大关构造带 (27.96°~30°N, 102.85°~104.76°E), 2000 年川滇数字地震台网正式投入运行。选用 2000~2009 年研究区域内川滇台网记录到的具有清晰波形记录的 3 级以上地震的数字地震波观测资料, 进行震源机制解反演及震源参数的计算。地震波形资料主要取自成都遥测台网, 部分取自昆明遥测台网。图 1 给出马边—大关构造带及附近地区通过研究得出震源参数的 5.5 级以上历史地震的分布情况。地震主要分布在 NNW 向利店断裂、中都断裂、玛瑙断裂、中村断裂、关村断裂段, 以及 NE 向靛兰坝断裂、莲峰断裂、华釜山

* 收稿日期: 2009-10-14

基金项目: 国家重点基础研究 9736 和国家十一五科技支撑计划子课题 (2006BA01B02-01-01) 资助。

断裂、洒鱼河断裂段附近。受构造断裂的影响, 2000~2009年 3级以上中小地震在构造带内呈现区域性丛集发生的特点(图 2), 洪雅西南是该构造带北部的一个小震密集区, 该构造带中段即马边至盐津区域是断裂密集分布区域, 该区历史上曾多次发生强震。本研究时段内小震分布也十分密集, 此外云南鲁甸附近 5级地震群也造成了区域的小震集中。从分布上看 3 个小震密集区有明显的间隔段。



F₁: 利店断裂; F₂: 靛兰坝断裂; F₃: 中都断裂; F₄: 玛瑙断裂;
F₅: 中村断裂; F₆: 关村断裂; F₇: 峨边—金阳断裂;
F₈: 莲峰断裂; F₉: 华蓥山断裂; F₁₀: 洒鱼河断裂

图 1 研究区历史中强地震与构造带的分布
Fig 1 Distribution of historical moderate strong earthquakes and tectonic zone in research area

1.2 震源机制解

对所选 3级以上地震进行震源机制解反演时, 以层状介质中一点源位错震源模型, 采用广义透射系数的快速算法和理论地震图拟合直达波最大振幅比的方法, 反演小震震源机制(梁尚鸿等, 1984; 刁桂苓等, 1993)。计算共给出 115个 3级以上震源的地震机制解结果。

震源机制解包括可能是震源断层的 2个节面的

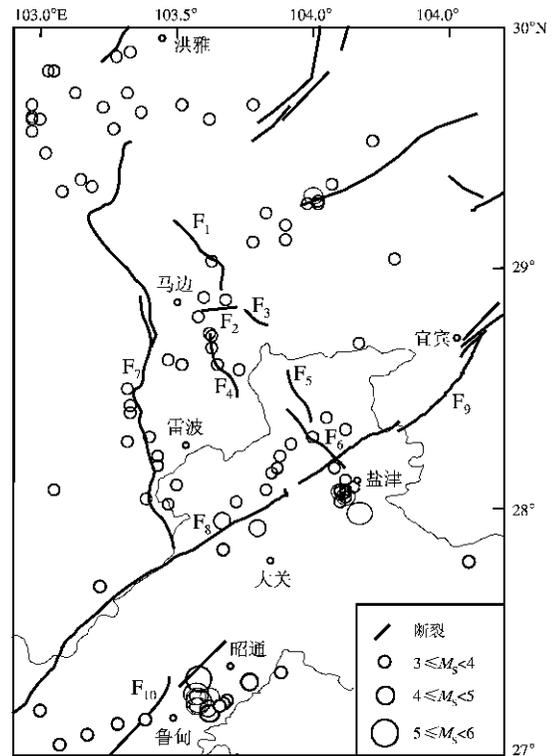


图 2 2000~2009年研究区中小地震分布
(断裂段名称同图 1)

Fig 2 Distribution of moderate small earthquakes (2000~2009) (The faults are the same with Figure 1)

参数, 滑动角 λ 是断层的运动参数, 其数值可描述断层的各种运动类型。如: $\lambda \approx 0^\circ$ 表示左旋走滑断层, $\lambda \approx \pm 180^\circ$ 表示右旋走滑断层, $\lambda \approx +90^\circ$ 表示逆断层, $\lambda \approx -90^\circ$ 表示正断层。分别对节面 1 和节面 2 统计, 使用滑动角来确定断层的错动性质, 并约定数值区间(程万正等, 2006)。

1.3 应力场方向的估计

除节面参数外, 震源机制解也包括了 3个应力轴的方位角和仰角, 基于此震源断层面解的空间取向及参数, 即力轴张量在地理坐标系中的表达式, 采用计算平均力轴张量及主值的方法(钟继茂等, 2006; 程万正等, 2006), 求解相应的本征方程, 可以求得构造区段的应力场方向。根据中小震震源机制解, 本文计算给出马边—大关构造带内几个构造区段的平均应力场方向及参数。

1.4 视应力分布

视应力与引起地震滑动的平均应力水平之间通过地震波辐射效率联系在一起。对一个地区中引起地震滑动的平均应力水平进行区域平均, 就可以作为当地的绝对应力水平的一个间接的估计

(吴忠良, 2002)。视应力被定义为地震效率和平均应力的乘积

$$\sigma_{app} = \eta \bar{\sigma} = \mu \frac{E_s}{M_b} \quad (1)$$

式中, 地震波辐射能量由下式求得

$$E_s = 4\pi \rho \beta S_v \quad (2)$$

式中, ρ 为介质密度, S_v 为速度的功率谱积分

$$S_v = 2 \int_0^{\infty} f^2 df$$

相应的位移功率谱积分

$$S_D = 2 \int_0^{\infty} f^2 df \quad (3)$$

$$\text{于是, } \Omega_0^2 = 4 S_D \sqrt{\frac{S_D}{S_v}} \quad (4)$$

地震矩可由下式求得

$$M_b = 4 \sqrt{\frac{5}{2}} \pi \rho \beta^3 \Omega_0 \quad (5)$$

根据视应力定义式 (1) 取 $\mu = 3.5 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2$, 求得视应力值 (程万正等, 2006)。

2 构造带的震源机制和应力状态

2.1 局部构造应力场分析

图 3 给出了 2000 ~ 2009 年马边一大关构造带及附近 115 次 3 级以上地震的震源机制解分布。这些地震主要分布在 3 个区段: 一是构造带北西端, 即洪雅西南面, 峨边—金阳断裂北端区域。二是构造带中段, 该段为多断裂密集分布区, 断裂走向既有北西也有北东, 即利店、靛兰坝、中都、玛瑙、中村、关村断裂段, 以及莲峰、华蓥山断裂段。三是构造带南西侧, 即鲁甸、昭通地区的洒鱼河断裂段。

基于图 3 中 115 次中小地震震源机制解的力轴空间方位参数, 计算平均应力张量, 进而得到平均应力场的主值及方位 (钟继茂等, 2006)。计算结果如图 4 所示, 其中根据整个研究区域内 115 次中小地震震源机制解得到的平均主压应力方位角

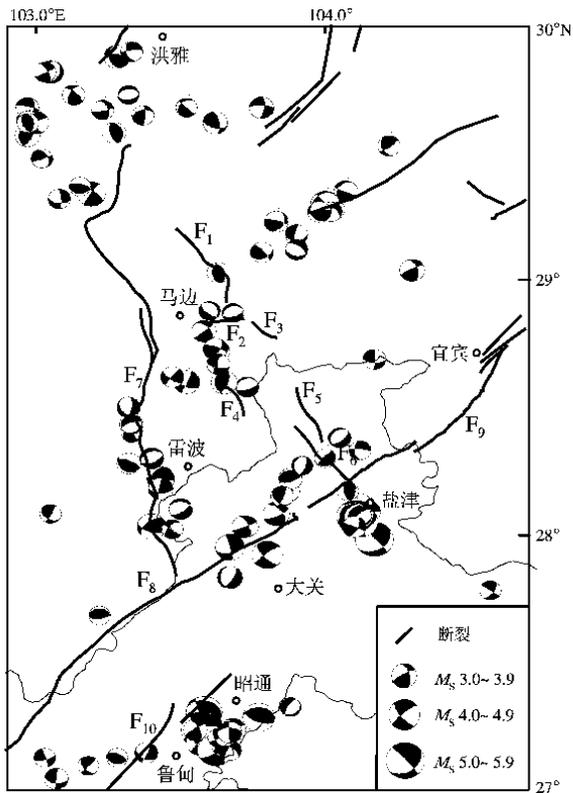


图 3 马边一大关构造带 3 级以上地震震源机制解分布图 (断裂段名称同图 1)

Fig 3 Distribution focal mechanism solutions of $M \geq 3.0$ earthquakes in Ma-Bian-Da-Guan tectonic zone (The faults are the same with Figure 1)

为 285° , 即主压应力方位呈现为近东西方向。这个结果与利用包括马边在内的川中地块的中强震资料计算的结果 (118°) 相差 13° (钟继茂等, 2006)。由于前人研究的川中地块相对本文研究区域范围较大, 两者在大方位一致的情况下有一定角度差异是合理的。

根据研究区域内反演的 2000 ~ 2009 年震源机制解的分布情况, 将这些解划分为 3 个局部构造区 (图 4)。

针对研究区域内地震相对集中分布在区域北段、中南段的特点, 对图 4 中 3 个地震集中区域的平均应力主值及方向也进行了计算。研究区域北段的洪雅—峨边区域平均应力主值方位角为 274° , 中南段的马边—盐津区域平均应力主值方位为 303° , 鲁甸—巧家区域平均应力主值方位角为 275° 。各区段局部构造应力场方向特征呈现的差异, 反映 2000 ~ 2009 年以来 3 级以上地震破裂机制呈现的局部特征。

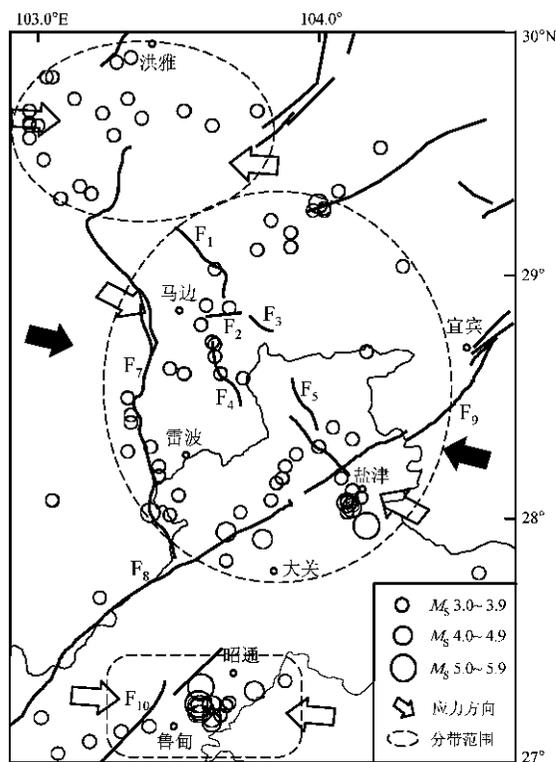


图 4 马边—大关构造带平均主应力方向 (实心箭头为整个研究区平均主应力方位, 空心箭头为各个构造区段平均主应力方位; 断裂段名称同图 1)

Fig 4 Mean principle stress of Mabian-Daguan tectonic zone

(Solid arrow presents mean principle stress of whole area hollow arrows present mean principle stress of each tectonic segment. The faults are the same with Figure 1)

2.2 震源机制及错动类型分析

根据马边—大关构造带 115 次地震震源机制解 2 个节面得到的滑动角, 图 5 中的序号对应了震源断层的错动类型。1 为逆倾滑动; 2 为左旋逆倾滑动; 3 为左旋走向滑动; 4 为左旋正倾滑动; 5 为正倾滑动; 6 为右旋正倾滑动; 7 为右旋走向滑动; 8 为右旋逆倾滑动 (程万正等, 2006)。将构造带内中小地震错动类型进行统计后, 结果显示错动类型较为复杂, 倾滑和走滑型地震比例相当 (图 5)。

对图 4 中 3 个分区地震分别统计错动类型, 结果显示洪雅到峨边中小地震活动分布区内, 左旋和右旋的纯走滑断层占了该段总地震的 50%, 该区域无大断裂通过, 主要是一些小断裂引起较小走滑型地震的丛集。

构造带中段的马边到盐津区段属于构造断裂密集分布地区, 属于中强地震活动区, 统计该区

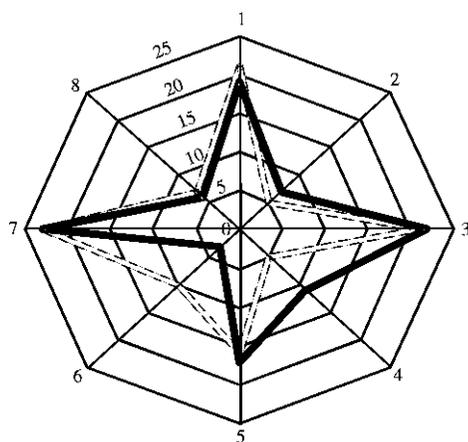


图 5 地震震源错动类型统计

Fig 5 Statistic of source dislocation type of earthquake in research area

段内 2000~2009 年地震震源错动类型, 结果显示走滑型占 33.8%, 倾滑占 45.2%; 历史上该区段发生过大震: 1216 年 3 月 17 日在雷波马湖发生 7.0 级地震, 地震与楔子坝断裂活动有关 (韩德润, 1993); 1974 年 5 月 11 日 $M_s 7.1$ 地震显示为右旋走滑断裂, 两节面分别为北东向 57° 和北西向 328° 。从地质构造上看, 该区域主要分布了北东向的莲峰断裂和华釜山断裂, 以及北西向的马边—盐津断裂带南段的多条断裂, 两个方向的断裂在大关、盐津一带交汇, 震源机制解的两个节面与该区域的断裂分布相一致。该次地震被认为是完整块体内双向共轭破裂的结果 (罗平, 1988)。通过分析, 认为该区段内中村断裂、关村断裂以及莲峰—华釜山断裂以走滑为主。

峨边—金阳断裂也是该区段内的一条主要断裂, 地震活动频度和强度均较低。马边—大关构造带整体受到 NWW—SEE 向的主压应力 (图 4), 沿断裂附近分布的地震主要呈现以倾滑为主的力学作用特征。另外, 1993~1995 年利店断裂中北段间的沐川发生过 3 次 5 级地震, 其震源机制显示为以右旋为主兼倾滑的特征 (程万正等, 2002)。

根据鲁甸地区震源错动类型的统计显示, 走滑类型的中小地震震源占了相当大比例, 达到 59.1%, 其中右旋走滑型占地震总数的 40.9%。2003 年 11 月到 2004 年 8 月在川、滇交界东侧的云南鲁甸发生 5 级地震群, 最大地震 $M_s 5.6$ 穿过地震分布区的主要断裂是洒鱼河断裂, 呈北东向展布。根据震源错动类型分析, 认为该断裂应为右旋错动断层。

2.3 视应力分布状况

根据区内 90 次中小地震波形资料计算了每个地震的视应力值, 经过 kriging 插值后在平面上绘制等值线 (图 6)。地震视应力最高值出现在云南盐津与大关之间, 达到 17 bar。分析其高值的原因, 认为该区域历史上就是中强震频发地区, 构造应力水平一直较高。该区域历史上最大曾发生 7.1 级地震。从断裂构造几何结构分析, NW—SE 向的马边—盐津断裂带与 NE 向的莲峰断裂带在此交汇, 使得应力容易积累。尤其在研究时段内该区域先后发生过几次中等地震, 这是呈现该区域构造构造活动和应力水平的标志。如 2006 年 7 月 22 日和 8 月 25 日在盐津发生 $M_s 5.1$ 地震。2003 年 11 月到 2004 年 8 月在川、滇交界东侧的云南鲁甸发生 5 级地震群, 即 2003 年 11 月 15 日、26 日 $M_s 5.1$ 、 5.0 地震和 2004 年 8 月 10 日 $M_s 5.6$ 地震。在该构造区发生的系列中等地震活动是 1974 年大关 7.1 级地震以来很少出现的现象, 表明研究时段的应力水平高值区也反映地震活动的实际水平。

此外, 四川马边南面和北面分别有两个相对高值区, 这两个区范围相对较小, 虽然视应力绝对值不高, 但相对周边大范围区域小于 1 bar 的视应力分布来看, 这两个区域显得较为突出。1974 年大关 7.1 级地震之后, 沿利店断裂地震活动水平一直处于较低水平, 仅在利店断裂北端的沐川附近发生过中等地震活动。1993~1995 年在沐川县发生 5.7 级震群, 由 1993 年 5.0 级、1994 年 5.7 级、1995 年 5.0 级地震序列组成。这些地震的震源机制解给出的主压应力方向为北西向, 呈近走滑兼倾滑型 (程万正等, 2002)。而在利店断裂南西面的雷波附近时有 4 级以上地震发生, 但强度均未超过 5 级。因此, 视应力值的平面分布图像反映了该区域地震活动不均匀分布的基本情况, 有助于对该构造区震情的分析和判断。

平面应力分布显示了应力水平的区域分布, 为了解应力值在地下深度分布的状况, 我们在对所研究的地震作精确定位的情况下, 给出全部地震的震源深度。这样我们就可以给出视应力值沿地面某一侧线在纵向的分布图像, 即视应力值随深度的分布图。依据马边—大关构造带的总体走向, 沿该构造带选取了剖面 AB (图 6), 以分析和观察视应力值在深度上的分布。在剖面 AB 上分别示出震源深度投影 (图 7a) 和视应力值的分布 (图 7b)。

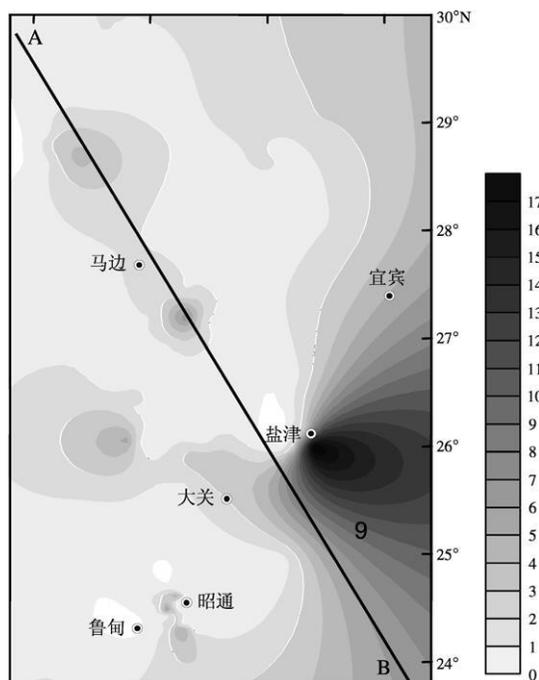


图 6 2000~2009 年地震资料计算的视应力值的在平面上的分布

Fig 6 Apparent distribution on the plane calculated by using seismic data from 2000 to 2009

图 7 显示所研究时段地震震源深度的分布, 在 0~60 km, 大部分地震震源深度不超过 20 km。深度分布显示地震活动相对集中分布在盐津—大关段、马边段和洪雅—峨边段。盐津—大关段及鲁甸的几次 5 级地震震源均较浅, 深度不超过 10 km。剖面中段即马边附近区域震源深度相对较深, 约 20 km, 个别达 60 km。洪雅—峨边段震源深度在 20 km 以内。

从图 7b 看, 在平面上的几个相对高值区 (图 6) 在深度分布上也是高值区域。特别突出的是, 盐津—大关段视应力值为高值密集区, 深度分布在 15~20 km 范围, 该段两端视应力值并不高。而其余 2 个相对高值区分布在峨边南西和马边南, 小于 10 km 的深度, 涉及范围小, 值也不高。

3 结语

过去针对大范围应力场的研究较多, 而针对具体断裂构造带给出细致刻画的研究结果很少, 原因在于区域数字测震台网投入观测前研究资料的缺乏。在一个断裂带上所能使用的震源机制及其他震源参数很少, 不能给出具体的描述。方法

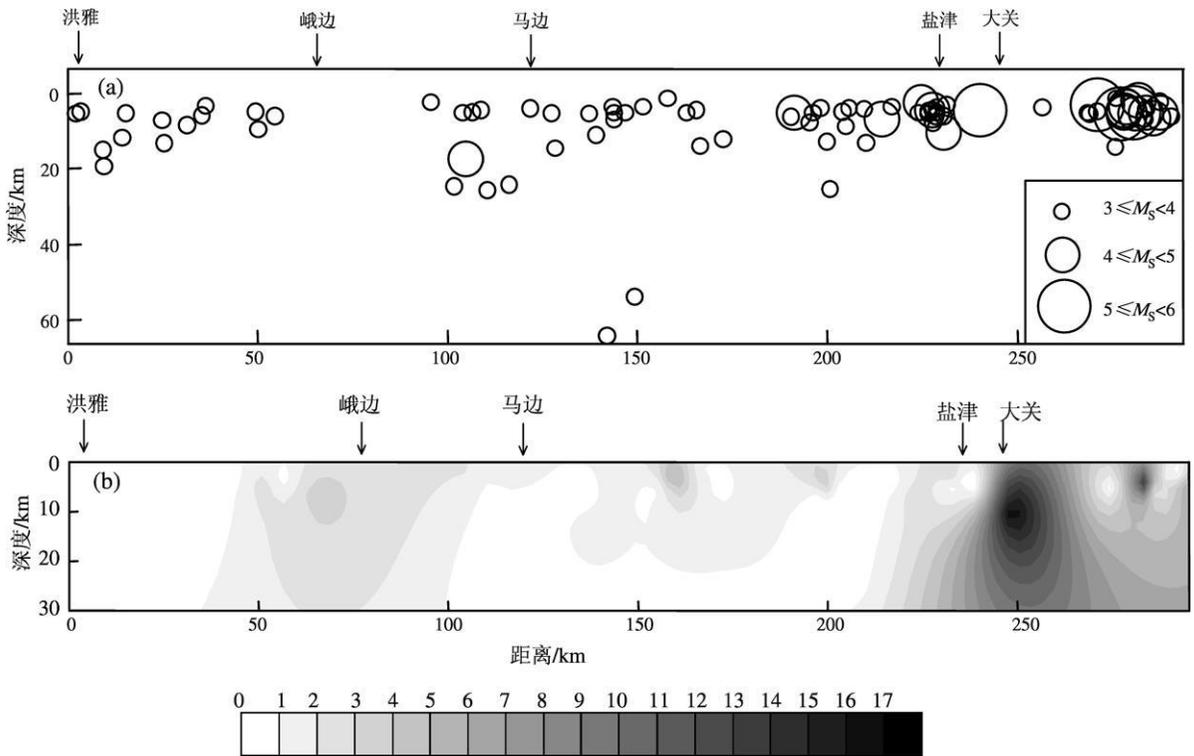


图 7 震源深度及视应力深度剖面图

(a) 震源深度剖面; (b) 视应力深度剖面

FIG 7 Section plane of sources and apparent stress
(a) source section plane; (b) apparent section plane

上, 连续数字测震波形资料提供了计算地震波辐射能量 (2) 式和地震矩 (5) 式的可能。否则, 没有这些资料及计算结果就不能给出马边—大关构造带的应力场的细致刻画。

对具体断裂带应力环境的研究有利于我们认识孕震环境及震情。本文利用 2000~2009 年马边—大关构造带 115 次 3 级以上中等地震的波形资料, 反演了震源机制解, 计算了平均应力主值、视应力等与地震孕育环境相关的震源参数。根据震源机制解分析, 马边—大关构造带平均主应力方向为 NWW—SEE, 中等地震多为左旋和右旋的走滑型, 逆和正倾滑动也占相当的比例。地震活动丛集的 3 个区段荣经—峨边、马边—盐津、鲁甸—巧家的平均主应力方向为 NWW—SEE, NW—SE, NWW—SEE, 呈现局部构造应力场方向特征。对局部地区应力场的调整和变动, 或动态应力场的分析, 是目前研究潜在震源区的重要手段之一 (程万正等, 1990)。

该构造带地震震源较浅。作为地下应力水平的估计, 马边—大关构造带视应力分布不均匀,

高值出现在云南大关—盐津一带地下 20 km 区域, 而利店断裂及以北的地区视应力值相对较低。这为震情的分析提供针对性强也有一定物理基础的动态跟踪方法, 同时也为该带中长期地震危险性的判定提供重要参考。马边—大关构造带未来仍存在潜在的强震和大震的危险性, 尤其应该注意该构造带南段的历史强震空段和现今中等地震活动丛集, 特别是利用数字地震波资料计算给出的高视应力值分布断裂段, 如图 6 和 7 清晰呈现的结果。另外马边—大关构造带的中北段也存在发生中强地震的危险性。

利用数字地震波资料开展震源参数的应用探索方面需要研究的问题还很多, 本文给出的结果是初步的, 特别是在地下应力水平估计方面还缺乏应用经验和检验。但作为孕震构造环境及潜在危险性的估计, 此类研究应有拓展空间和发展。

参考文献:

曹忠权, 汪一鹏, 殷秀华, 等. 1993. 马边地震带发震构造背景的初步研究 [J]. 中国地震, 9(4): 373—383.
程万正, 陈学忠, 乔惠珍. 2006. 四川地震辐射能量和视应力的研究

- [J. 地球物理学进展, 21(3): 692—699.
- 程万正, 李桂芳, 乔慧珍, 等. 2002. 四川沐川 5.7 级震群子序列的震源参数变化[J. 中国地震, 18(2): 203—213.
- 程万正, 李桂芳, 席敦礼. 1990. 马边地区地震动态应力场[J. 四川地震, 3: 26—31.
- 程万正, 阮祥, 张永久. 2006. 川滇次级地块震源机制解类型与一致性参数[J. 地震学报, 28(5): 561—573.
- 崔效锋, 谢富仁, 张红艳. 2006. 川滇地区现代构造应力场分区及动力学意义[J. 地震学报, 28(5): 451—461.
- 刁桂苓, 于利明, 宁杰远, 等. 1993. 1989年大同震群的破裂特征[J. 地球物理学报, 36(3): 360—368.
- 韩德润. 1993. 马边—永善地震带构造形式及地震特征[J. 地震地质, 15(3): 253—260.
- 李坪. 1979. 四川马边地震—一个震群型发震构造的实例[M. / 国家地震局西南烈度队著, 川滇强震区地震地质调查汇编. 北京: 地震出版社.
- 梁尚鸿, 李幼铭, 束沛镒, 等. 1984. 利用区域地震台网波振幅比资料测定小震震源参数[J. 地球物理学报, 27(3): 249—257.
- 刘振荣, 雷素华, 胡素华. 1977. 1974年 5 月 11 日云南省永善—大关地震[J. 地球物理学报, 20(2): 110—114.
- 罗平. 1988. 1974年 5 月 11 日云南省大关 7.1 级地震 / 张肇诚. 1988. 中国震例 (1966—1975)[M]. 北京: 地震出版社.
- 吴忠良, 黄静, 林碧蓉. 2002. 中国西部地震视应力的空间分布[J. 地震学报, 24(3): 293—301.
- 张世民, 聂高众, 刘旭东, 等. 2005. 荣经—马边—盐津逆冲构造带断裂运动组合及地震分段特征[J. 地震地质, 27(2): 221—233.
- 张四昌, 王绍晋, 刁桂苓, 等. 1994. 1974年永善—大关地震序列的破裂特征[J. 地球物理学报, 37(S2): 170—176.
- 钟继茂, 程万正. 2006. 由多个地震震源机制解求川滇地区平均应力场[J. 地震学报, 28(4): 337—346.

Research of Source Parameter and Stress State of Mabian-Daguan Tectonic Zone

RUAN Xiang CHENG Wanzheng QIAO Huizheng ZHANG Zhiwei FU Ying
(Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract

Source parameters such as focal mechanism solutions and stress were calculated by using the waveform data of 115 $M \geq 3.0$ moderate small earthquakes in Mabian-Daguan tectonic zone from 2000 to 2009. According to focal mechanism solutions the direction of mean principle stress of Mabian-Daguan tectonic belt is NWW—SEE and the proportion of strike slip earthquake is almost equal to dip slip. The mean principle stress of three earthquake cluster regions namely Yingjing-Ebian, Mabian-Yanjin and Ludian-Qiaojia is NWW—SEE, NW—SE and NWW—SEE respectively, which reveal the characteristic of direction of local tectonic stress field. As the estimation of underground stress level apparent stress in Mabian-Daguan tectonic distributed unevenly. High values appear in the underground 20 km area of Daguan-Yanjin region of Yunnan Province, while in the Lidian fault and its north area apparent stress is relatively low. We thought there is potential earthquake risk in future in the south segment of Mabian-Daguan tectonic zone.

Key words: focal mechanism, apparent stress, stress distribution, Mabian-Daguan tectonic zone



徐桂明 江苏省地震局高级工程师。毕业于河海大学水文地质与工程地质专业，获学士学位。主要从事地震流体预报地震工作。中国地震学会地震流体专业委员会委员。



刘锦 广东省地震局工程师。1991年毕业于防灾技术学院应用地球物理系，获大专学历；2004年毕业于华南理工大学工商管理系，获管理学学士学位。主要从事地下流体分析预报等研究。



阮祥 四川省地震局预报研究所助理工程师。2004年云南大学固体地球物理专业毕业，获理学学士学位；2007年中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获理学硕士学位。目前从事地震学与地震预报方面的研究。



杨晶琼 云南省地震局高级工程师。1990年毕业于云南师范大学地理系，获理学学士学位。主要从事地震分析编目与数字地震资料应用研究工作。



蒋翠荣 河北省地震局张家口中心台工程师。1985年毕业于河北电大。现主要从事地震台站监测工作。



王建军 甘肃省地震局工程师。1996年毕业于防灾科技学院地球物理系；2008年兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获硕士学位。曾参与开发中国地震前兆数据处理系统、中国地震前兆数据管理系统，现主要从事地震监测、软件开发、地磁基本场研究等方面的工作。



郭婷婷 山东省地震局助理研究员。2004年毕业于西北农林科技大学水利与建筑工程学院，获硕士学位；现就读于中国地震局地质研究所攻读博士学位。主要从事构造应力场分析及其相关数值模拟等工作。



马文娟 宁夏地震局工程师。1999年毕业于宁夏大学数学系软件工程专业，获理学学士学位；现为同济大学在读硕士研究生。主要从事前兆观测技术、数据处理、数据库开发利用等研究。2009年中国地震局地壳应力研究所交流访问学者。



单维锋 防灾科技学院讲师。1998年毕业于山东大学威海分校计算机应用专业；2005年毕业于云南大学软件工程专业，获硕士学位；现于北京工业大学计算机学院攻读博士学位。主要从事地震前兆数据处理、并行计算等方面研究工作。ACM专业会员，新加坡国际计算机科学与技术协会（ACSI）会员。

注：钱晓东、张希、苏琴、张昱、刘强、施伟华、吴立辛、曾宪伟、何案华、周光全的简历分别刊登在本刊 Vol.29 No.1; Vol.30 No.3; Vol.32 No.2; Vol.31 No.3; Vol.30 No.4; Vol.30 No.4; Vol.30 No.1; Vol.31 No.2; Vol.31 No.3; Vol.29 No.4