川滇地区中小震重新定位与速度 结构的联合反演研究

马宏生^{1,2},张国民¹,周龙泉³,刘 杰³,邵志刚¹,夏 红⁴ (1.中国地震局地震预测研究所,北京 100036; 2.中国地震局地球物理 研究所,北京 100081; 3.中国地震台网中心,北京 100036; 4.中国地震应急搜救中心,北京 100049)

摘要:通过震源与速度结构联合反演,利用 2000 年 4 月至 2006 年 3 月云南和四川区域地震台 网给出的 P 波初至走时资料,确定了川滇地区的三维速度结构,同时获得了川滇地区 6 642 次 中小地震的重新定位结果。结果表明:① 川滇地区地震震源平均深度随震级增大而加深的特 征明显,地震震级越大,震源深度越深,但震源下界不超过 25 km;② 在瑞丽-龙陵、丽江-小 金河以及龙门山等断裂带以西地区,震源深度偏浅,大多在 15 km 以上,15 km 深度以下地震 稀少;③ 川滇地区中小地震分布具有与强震相同的地壳深部介质背景,震源大多分布于正、 负异常过渡区的速度相对较高一侧,而其下方主要为低速异常分布。

关键词:川滇地区;联合反演;重新定位;速度结构 中图分类号:P315.7 文献标识码:A 文章编号:1000-3274(2008)02-0029-10

引言

地震是构造运动的一种形式,地震震源分布是研究孕震环境、深部结构以及强震成因 的重要基础。震源位置的精度主要受到台网布局、可用定位震相、到时读数精度以及地壳 速度结构模型等因素的影响^{[1],[2]}。目前常规的地震定位方法大多源于一种线性的绝对定位 方法^[3],该方法对初始值的依赖性较大。为减小速度结构误差的影响,许多学者提出并采 用相对地震定位方法在不同区域给出了一些构造意义更为清晰的小震定位结果^[4~12]。

随着地震层析成像技术的发展^[13~16],大量三维地壳速度结构模型为地震定位提供了 极好的研究基础; Smith 等^[17]研究表明,三维定位结果相对于一维模型结果,定位偏差可 减少 40%左右。震源和速度结构联合反演方法的提出与应用^[18~20,14,21~23],使得我们在提 高定位精度的同时获得区域内三维速度分布,这为孕震环境解释又提供了物理基础。

川滇地区位于青藏高原东南缘,受高原隆升、物质侧向挤出影响,活动断裂发育,新

^{*} 收稿日期: 2007-10-15; 修改回日期: 2008-01-21

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAC01B02-01-02)

作者简介:马宏生(1976-),男,新疆和静人,副研究员,2007 年获博士学位,主要从事地震预报、地震学及地球 动力学等研究。

构造活动十分强烈^[24~30]。本文采用震源位置和速度结构的联合反演方法对川滇地区的 6642次中小地震进行重新定位,并对重新定位后的震源深度分布特征进行了分析,结合速 度结构特点,初步探讨了川滇地区的孕震介质环境。

1 地震定位

1.1 资料

本研究的范围为 21°~34°N,97°~106°E,主要涉及川西、滇中、马尔康、保山一普洱 等活动块体以及扬子块体(含四川盆地)的一部分。震源位置和速度结构的联合反演使用的 地震走时资料来自云南、四川区域地震台网(数字,模拟)以及中国地震局 2004—2005 年在 南北地震带新建的若干数字地震台。为确保三维速度结构反演中有足够多射线的均匀覆盖 和高精度的数据,采用了以下原则对数据进行筛选:① 定位精度为1类的地震;② 所选用 的地震至少被 3 个台站记录到;③ 最大的走时残差不超过 3.0 s。最后挑出 2000 年 4 月至 2006 年 3 月由 205 个台站记录的 7529 次地震共 58 828 条 P 波射线数据(图 1)。



图 1 川滇地区 2000-2006 年区域地震分布(a)与台站分布(b)

1.2 定位方法

本研究采用网格方法对速度模型进行模型参数化^[14],在平面上将研究区划分成 0.5° ×0.5°的均匀网格,模型中的速度分布用连续函数表示,网格内任意一点的速度用内插方 式计算^{[14].[16]}。综合多年来发表的有关该区及其邻近区域的地壳速度结构研究成果^[31~36], 选定本区成像的一维参考速度模型如表 1 所示。

在震源位置和速度结构的联合反演过程中,走时残差 δt 是由于震源参数的扰动和速度 的扰动引起的。根据有关研究文献^{[13], [14], [21]},该问题可以用以下线性化方程表示:

表1 本文采用的川滇地区初始网格速度模型

| 深度/km | 0 | 5 | 15 | 25 | 35 | 45 | 65 | 85 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $v_{\rm P}/{\rm km} \cdot {\rm s}^{-1}$ | 5.5 | 5.9 | 6.1 | 6.4 | 6.8 | 7.5 | 7,8 | 7.9 |

$$\delta t = \Delta t + \frac{\partial t}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial t}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial t}{\partial z} \Delta z + \sum_{n=1}^{N} \frac{\partial t}{\partial v_n} \Delta v_n$$
(1)

式中, Δt 、 Δx 、 Δy 、 Δz 和 Δv_n 分别表示震源的发震时刻、经度、纬度、深度的扰动以及速 度的扰动; N 为速度参数的总个数。对于 个地震和 i 个台站, 可以将式(1)写成如下的紧 凑形式:

$$\delta t = A \delta v + B \delta x \tag{2}$$

式中, $\delta t \in m$ 维走时残差向量; $\delta v \in n$ 维节点速度扰动向量; $\delta x \in 4l$ 维震源参数扰动向 量; A 是 $m \times n$ 维走时对速度的偏导数矩阵; B 是 $m \times 4l$ 维走时对震源参数的偏导数矩阵。

根据联合反演的基本公式(2),速度参数和震源参数是相互耦合着的。要在同一个方 程中同时反演两种不同量纲的参数,除了会增加算法的数值不稳定性外,在实用上需要大 量的计算机内存和机时,因此必须进行参数分离^[19~21]。本文采用刘福田^[21]提出的正交投 影算子, 將式(2)分解为以下两个分别求解速度参数和震源参数的方程组:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{P}_{\mathbf{B}})\mathbf{A}\boldsymbol{\delta}\mathbf{v} = (\mathbf{I} - \mathbf{P}_{\mathbf{B}})\boldsymbol{\delta}\mathbf{t}$$
(3)

$$B\delta x = P_B(\delta t - A\delta v) \tag{4}$$

式中, P_{a} 为与震源参数有关的从 R^{m} 到 B 的像空间 R(B)上的正交投影算子。速度参数和 震源参数解耦后的分析表明,速度扰动量的确定与震源位置扰动量无直接关系,仅与它的 初值有关,而震源位置扰动量则与速度扰动量明显有关。地震定位精度除了受地震台网的 布局、可用定位的震相和地震波到时读数的精度的影响外,还主要受到速度结构的影响。 根据式(3)和式(4),联合反演过程中先确定研究区的速度结构参数,再确定震源参数,从 而消除了速度结构的不确定性对定位精度的影响。因此,通过震源位置和速度的联合反演 可以有效提高地震定位质量。

定位结果与震源深度分布特征分析 2

川滇地区共7529次地震经重新定位后,6642次地震得到了重新定位后的震源参数, 其中震源深度大于0km的有6157次。对川滇地区震源位置和地壳P波速度进行联合迭代 反演,初始走时残差平方和为 62 410.63, RMS 残差为 1.03 s; 经过 4 次迭代后,初始走时 残差平方和减为 22613.48, RMS 残差减为 0.62 s。定位偏差在水平方向上平均为 0.2 km, 垂直方向上为 1.2 km。

图 2 为重新定位前后相同数量地震(6642 次)震中分布图。由图可见,重新定位后震中 分布出现一定程度的线性集中。重新地位前 7529 次地震有 25%的数据没有给出定位深 度,震源深度在10km以上的约占81%;重新地位后的6642次地震,平均震源深度为7.5 km, 震源深度在 10 km 以上的占 67%, 90%的小震震源深度都在 15 km 以上。

张国民等[37]曾研究给出了中国大陆地区和各分区震源深度分布图像及其多种统计结 果。其研究结果认为,震源的平均深度随震级增大而加深。在重新定位获得相对精确的震 源深度数据后,本文统计了各震级档的平均震源深度与震源下界深度(表2)。其中,地震

31



图 2 川滇地区地震重新定位前后震中分布图及震源深度图(2000 年 4 月至 2006 年 3 月)

数为各震级档震源深度大于0 km 的地震个数;震源深度下界定义为该深度至地表发生的 地震占地震总数 95%以上的特定深度。由表 2 可见,川滇地区地震震源平均深度随震级增 大而加深的特征明显,即地震震级越大,震源深度越深,但平均深度均不超过 15 km;各震 级档地震的震源下界则在 25 km 以上,意味着这一区域的脆韧性转换带深度大致位于 25 km 深度附近。与熊熊等^[38]利用青藏高原东部岩石层温度场的分布计算了这一地区岩石层 耒3 Ⅲ漬地区冬活动性体 2000—2006 年雲頂深度統计

| 农业 川展地区展际体及与展现力印机件 | | | | 秋5 川满地世日旧朝大中 2000 2000 平波城州及新 | | | | |
|--------------------|------|-------------|-------------|-------------------------------|------|---------------|--------------|--|
| 震级 | 地震数 | 平均深度 /km | 震源下界 /km | 活动块体 | 地震数 | 震源平均 深度/km | 震源下界 /95% | |
| 1~1.9 | 1901 | 7.4 | 13 | 马尔康 | 1746 | 6.9 | 14.7 | |
| 2~2.9 | 3122 | 7.9 | 14 | 川西北 | 845 | 6.2 | 13,9 | |
| 3~3.9 | 1054 | 8.9 | 15 | 滇中 | 1107 | 9.9 | 16.7 | |
| 4~4.9 | 119 | 9.0 | 15 | 四川盆地 | 1853 | 7.6 | 15.2 | |
| $5 \sim 5.9$ | 19 | 11.9 | 21 | 保山-普洱 | 606 | 11.2 | 19.4 | |

的强度分布基本一致,其研究结果认为,沿三江地区岩石层整体强度较弱,地壳高强度部 分仅局限于上地壳 20~25 km。

朱艾斓等^[12]使用双差地震定位法对川西地区 1992-2002 年的 13 367 个小震进行了重 新定位,其研究结果表明,川西高原在 15~20 km 的深度范围内普遍存在厚度约 5 km 的 缺震层,认为缺震层的出现具有地壳物质塑性变形基础。本文统计了各构造分区的平均震 源深度与震源下界(95%以上地震数)深度(表 3),其中马尔康块体和川西北块体的平均震 源深度均在 7 km 以上、震源下界深度均在 15 km 以上,滇中块体与保山-普洱块体的平均震 震源深度则达 10 km 左右、保山-普洱块体的震源下界深度甚至达 20 km,四川盆地震源平 均为 7.6 km、震源下界深度也达 15.2 km。以上统计结果再次表明,在瑞丽-龙陵、丽江-小 金河以及龙门山等断裂带以西地区,即川西高原,10 km 尤其是 15 km 深度以下地震已十 分稀少。

3 川滇地区地壳介质孕震背景分析

川清州区電源深度与雪级分布统计

本文采用检测板方法来估计不同深度上解的分辨率^{[39].[40]}。由于 90%的小震震源深度 都在 15 km 以上,图 3 给出了 5 km、15 km 和 25 km 等不同深度上解的分辨率。由图 3 可 见,无论在 5 km、15 km 还是 25 km 深度的大部分节点上,解的分辨率都是令人满意的。



图 3 不同深度 P 波检测板分辨检测结果

图 4、图 5 给出 5 km、15 km 两个层位的速度分布以及 0~10 km、10~20 km 两个深 度上经过重新定位后的震中分布。从图 4 可以看到, 0~10 km 这一深度上重新定位后的地

主う

震

震分布相对较广,但沿主要活动断裂,如龙门山断裂带、安宁河断裂带、则木河断裂带以 及大凉山断裂带、丽江-小金河断裂带等构造块体边界带上丛集了这一深度的大多数地震。 从上地壳 5 km 深度的速度分布来看,这些活动断裂恰恰是这一深度的高低速过渡区,因 此,这一深度的地震震源大多位于其高低速过渡区。此外,在速度相对较高区域,如马尔 康附近、西昌北以及四川盆地南缘的宜宾南、北的两处,也有较多的中小地震分布。

从图 5 可以看到,10~20 km 这一深度上重新定位后的地震主要分布在瑞丽-龙陵断裂、丽江-小金河断裂以及龙门山断裂等北东向断裂带的东侧,且集中于两个区——四川盆地西缘和滇西的保山至丽江地区;而在瑞丽-龙陵、丽江-小金河以及龙门山等断裂带西侧基本没有地震发生。从中上地壳 15 km 深度的速度分布来看,瑞丽-龙陵、丽江-小金河以及龙门山等断裂带以西地区整体速度偏低,而地震分布较为集中的四川盆地西缘和滇西的



图 4 5 km 深度上的 P 波速度与 0~10 km 深度震中分布





图 6 25 km 深度上的 P 波速度与重新定位后地震分布

34

保山至丽江地区则是低速区之间的高速区。

图 6 给出了 25 km 层位上的速度分布以及重新定位后所有地震的震中分布。从图 6 可 以看到,川滇地区近几年来发生的中小地震主要集中于龙门山断裂带、安宁河断裂带、则 木河断裂带以及大凉山断裂带、丽江-小金河断裂带等构造块体边界带上;而从区域震源下 界 25 km 深度的速度分布来看,中小地震集中的安宁河断裂带、则木河断裂带以及大凉山 断裂带、丽江-小金河断裂带等构造块体边界带普遍表现为负速度异常。龙门山断裂带在这 一深度上表现为正的速度异常,与其震源深度相对较浅关系密切,反映了其基岩埋深较 浅。腾冲火山区的地震大多位于中上地壳的低速区,而震源下方表现为正的速度异常;由 此推断,腾冲火山区的中小地震可能主要是由于岩浆等流体活动引起孕震区弱化而发生 的。

此前多项研究表明,地震多发生在高速、低速体之间^{[41~44], [35]}。一般认为,由于结构 和应力场的变化,这一区域有利于应变能的积累和释放^[45]。黄金莉等^[46]和 Huang 等^[35]研 究认为川滇地区下部低速层是其上部中强震的一个重要构造背景。王椿镛等^[34]和 Wang 等^[47]研究认为川滇地区的大多数强烈地震的地壳深部环境是,震源部位具有正常的速度 或正异常速度,而其下方是负速度异常分布,负速度异常的存在有利于应力在其上部的脆 性地壳内集中。近年来的研究则重视地壳流体对地震发生的影响^{[48~50], [43], [44]},认为由于 构造应力的变化,造成了孕震区的弱化,因此促成地震发生^[51]。以上观点均侧重于对强震 震源分布的解释,本文给出重新定位后的中小震分布,进一步揭示了地震孕育的这一地壳 深部介质环境。

4 结论

本文采用震源位置和速度结构的联合反演方法,利用 2000—2006 年云南和四川区域 地震台网给出的初至 P 波走时资料,重新确定了川滇地区的地震分布和三维速度结构。该 方法首先确定研究区的速度结构,然后在该速度结构的基础上对地震重新定位。结果表 明:

(1) 川滇地区地震震源平均深度随震级增大而加深的特征明显,地震震级越大,震源 深度越深,但平均震源深度总体不超过 15 km,地震震源下界则在 25 km 附近。

(2)在瑞丽-龙陵、丽江-小金河以及龙门山等断裂带以西地区,即位于川西高原的各块体,震源深度下界均不超过15 km。而在瑞丽-龙陵、丽江-小金河以及龙门山等断裂带以东的四川盆地、滇中块体、保山-普洱块体的震源深度下界则达20 km。

(3)川滇地区中小地震分布具有与强震相同的地壳深部介质背景,大多数震源也位于 高低速体的过渡区域,尤其是速度相对较高一侧有较多的中小地震分布,而其下方主要为 低速异常分布。

笔者衷心感谢中国地震局地球物理研究所南北带项目工作组、云南省地震遥测台网中 心、四川省地震局监测研究所的同志对本工作给予的多方面支持。

参考文献:

 $\begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}$ Pavlis L G. Appraising earthquake hypocenter location errors: a complete, practical approach for

single-event locations[J]. Bull Seism Soc Am, 1986, 76; 1699-1717.

- [2] Gomberg J S, Shedlock K M, Roecker S W. The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation[J]. Bull Seism Soc Am, 1990, 80: 1605-1628.
- [3] Geiger L. Probability method for the determination of earthquake epicenters from arrival time only
 [J]. Bull St Louis Univ, 1912, 8: 60-71.
- [4] Poupinet G, Ellsworth W L, Fréchet J. Monitoring velocity variations in the crust using earthquake doublets: an application to the Calaveras fault, California [J]. J Geophys Res, 1984, 89: 5719-5731.
- [5] Got J L, Fréchet J, Klein F W. Deep fault plane geometry inferred from multiplet relative relocation beneath the south flank of Kilauea[J]. J Geophys Res, 1994, 99: 15375-15386.
- [6] Spence W. Relative epicenter determination using P-wave arrival-time differences[J]. Bull Seism Soc Am, 1980, 70: 171-183.
- [7] Ito A. High resolution relative hypocenters of similar earthquakes by cross-spectral analysis method
 [J]. J Phys Earth 1985, 33: 279-294.
- [8] Frémont M J, Malone S D. High precision Relative locations of earthquakes at Mount St. Helens, Washington[J]. J Geophys Res, 1987, 92: 10223-10236.
- [9] 周仕勇,许忠淮,韩京,等. 主地震定位方法分析及 1997 年新疆伽师震群高精度定位[J]. 地震学报, 1999, 21(3): 258-265.
- [10] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: Method and Application to the Northern Hayward fault[J]. Bull Seism Soc Am, 2000, 90(6): 1353-1368.
- [11] 杨智娴,陈运泰,郑月军,等.双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J].中国 科学(D辑): 2003, 33(增刊): 129-134.
- [12] 朱艾斓,徐锡伟,周永胜,等. 川西地区小震重新定位及其活动构造意义[J]. 地球物理学报, 2005,48(3):629-636.
- [13] Aki K, Lee W H K. Determination of three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using P arrival times from local earthquakes. 1. A homogeneous initial model[J]. J Geophys Res, 1976, 81: 4381-4399.
- [14] Thurber C H. Earthquake locations and three-dimensional crustal structure in the Coyote late area, Central California[J]. J Geophys Res, 1983, 88: 8226-8236.
- [15] 刘福田,李强,吴华,等. 用于速度图像重建的层析成像法[J]. 地球物理学报,1989,32(1): 46-61.
- [16] Zhao D, Hasegawa A, Horiuchi S. Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan[J]. J Geophys Res, 1992, 97: 19909-19928.
- [17] Smith G P, Ekstrom G. Improve teleseismic event location using a three-dimensional earth model
 [J]. Bull Seism Soc Am, 1996, 86: 788-796.
- [18] Crosson R S. Crustal structure modeling of earthquake data, 1, Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters[J]. J Geophys Res, 1976, 81: 3036-3046.
- [19] Pavlis L G, Booker J R. The mixed discrete-continuous inverse problem: Application to the simultaneous determination of earthquake hypocenters and velocity structure[J]. J Geophys Res, 1980, 85: 4801-4810.
- [20] Spencer C, Gubbins D. Travel time inversion for simultaneous earthquake location and velocity structure determination in laterally varying media[J]. Geophys J R Astron Soc, 1980, 63(1); 95-116.

- [21] 刘福田. 震源位置和速度结构的联合反演([)——理论和方法[J]. 地球物理学报,1984,27(2): 167-175.
- [22] Michael A J. Effects of three-dimensional velocity structure on the seismicity of the 1984 Morgan Hill, California, aftershock sequence[J]. Bull Seism Soc Am, 1988, 78: 1199-1221.
- [23] Kissling E, Ellsworth W L, Eberhard-Phillips D, et al. Initial reference models in local earthquake tomography[J]. J Geophys Res, 1994, 99: 19635-19646.
- [24] 李坪,汪良谋.云南川西地区地震地质基本特征的探讨[J].地质科学,1975,(4):308-325.
- [25] 阚荣举,张四昌,晏风桐,等.我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨[J].地球物理学报,1977,20(2):96-109.
- [26] 马杏垣主编. 中国岩石圈动力学图集[M]. 北京: 地图出版社, 1989.
- [27] 丁国瑜.活动亚板块、构造块体相对运动[A].丁国瑜主编.中国岩石圈动力学概论[C].北京:地 震出版社,1991.142-153.
- [28] 邓起东,张培震,冉勇康,等.中国活动构造基本特征[J].中国科学(D辑),2002,32(12):1020-1030.
- [29] 张培震,邓起东,张国民,等.中国大陆的强震活动与活动地块[J].中国科学(D辑),2003,33(增 刊):12-20.
- [30] 徐锡伟,闻学泽,郑荣章,等.川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J].中国科学 (D辑),2003,33(增刊):151-162.
- [31] 刘建华,刘福田,吴华,等.中国南北带地壳和上地幔的三维速度结构[J].地球物理学报,1989, 32(2):143-151.
- [32] 陈培善,刘福田,李强,等. 云南地区速度结构的横向不均匀性[J]. 中国科学(B), 1990, (4): 431-438.
- [33] 王椿镛,王溪莉,颜其中. 昆明地震台网下方的三维速度结构[J]. 地震学报, 1994, 16(2): 167-175.
- [34] 王椿鏞, Mooney W D, 王溪莉, 等. 川滇地区地壳上地幔三维速度结构研究[J]. 地震学报, 2002, 24(1): 1-16.
- [35] Huang J, Zhao D, Zheng S. Lithosphere structure and its relationship to seismic and volcanic activity in southwest China[J]. J Geophys Res, 2002, 107(B10), doi: 10.1029/2000JB000137.
- [36] 何正勤,叶太兰,苏伟.云南地区地壳中上部横波速度结构研究[J].地球物理学报,2004,47(5): 838-844.
- [37] 张国民, 汪素云, 李丽, 等. 中国大陆地震震源深度及其构造含义[J]. 科学通报, 2002, 47(9): 663-668.
- [38] 熊熊,许厚泽,滕吉文. 青藏高原物质东流力学背景探讨[J]. 地壳形变与地震, 2001, 21(2): 1-7.
- [39] Humphreys E, Clayton R W. Adaptation of back projection tomography to seismic travel time problems[J]. J Geophys Res, 1988, 93: 1073-1085.
- [40] Inoue H, Fukao Y, Tanabe K, et al. Whole mantle P-wave travel time tomography[J]. Phys Earth Planet Inter, 1990, 59: 294-328.
- [41] 金安蜀,刘福田,孙永智.北京地区地壳和上地幔的三维 P 波速度结构[J].地球物理学报,1980, 23(2):172-182.
- [42] 朱露培,曾融生,刘福田.京津唐张地区地壳上地幔三维 P 波速度结构[J]. 地球物理学报,1990, 33(3): 267-277.
- [43] 齐诚,赵大鹏,陈颙,等. 首都圈地区地壳 P 波和 S 波三维速度结构及其与大地震的关系[J]. 地球物理学报,2006,49(3):805-815.

| | · |
|------|---|
| [44] | 周龙泉,刘杰,陈晓非,等. 2003 年大姚 6.2、6.1 级地震序列震源位置及震源区速度结构的联合 反演[1], 地震, 2008, 28(3), (待刊) |
| [45] | 刘福田,曲克信,呈华,等,华北地区的地震厚析成像[I] 地球物理学报,1986,29(5),442-449 |
| [46] | 黄金莉,赵大鹏,郑斯华.川滇活动构造区地震层析成像[J].地球物理学报,2001,44(增刊): 127-135. |
| [47] | Wang Chunyong, Chan W, Winston, et al. Three-dimensional velocity structure of crust and upper |
| | mantle in southwestern China and its tectonic implications [J]. J Geophys Res, 2003, 108(9): 2442. |
| [48] | Zhao D, Kanamori H, Wiens D. State of stress before and after the 1994 Northridge earthquake[J]. Geophys Res Lett, 1997, 24: 519-522. |
| [49] | Kayal J R, Zhao D, Mishra O P et al. The 2001 Bhuj earthquake: Tomographic evidence for fluids at the hypocenter and its implications for rupture nucleation[J]. Geophys Res Lett, 2002, 29(10): 1029/2002GL015177. |
| [50] | Mishra O P, Zhao D. Crack density, saturation rate and porosity at the 2001 Bhuj, India, earth- quake hypocenter: A fluid driven earthquake? [J]. Earth Planet Sci Lett, 2003, 212; 393-405. |
| [51] | Zhao D, Mishra O, Sanda R. Influence of fluids and magma on earthquakes: seismological evidence [J]. Phys Earth Planet Inter, 2002, 132: 249-267. |
| | Simultaneous inversion of small earthquake relocation |
| | and velocity structure in Sichuan-Yunnan area |
| | MA Hong-sheng ^{1,2} , ZHANG Guo-min ¹ , ZHOU Long-quan ³ |

LIU Jie³, SHAO Zhi-gang¹, XIA Hong⁴

 Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036; 2. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081; 3. China Earthquake Networks Center, CEA, Beijing 100045; 4. China National Earthquake Response and Support Service, CEA, Beijing 100049, China)

Abstract: Using the data of P wave travel time recorded at Yunnan and Sichuan local networks from April 2000 to March 2006, we implemented a simultaneous inversion of earthquake relocation and velocity structure, and got the new location of 6642 small and medium earthquakes in Sichuan-Yunnan region. The results show that: ① There is an obvious relationship between the focal depth and the magnitude. The bigger the magnitude, the deeper the focal depth, but all the focal depths values are shallower than 25 km; ② There are few earthquakes occurred at the depth deeper than 15 km in regions west of Ruili-Longling, Lijiang-Xiaojinhe and Longmenshan faults; ③ Small and medium earthquakes have the similar seismogenic background as large earthquakes. Along the transitional zone of high velocity and low velocity, most of the earthquakes happened at the higher velocity side, and usually there is a low velocity zone below where earthquakes happened.

Key words: Sichuan-Yunnan area; Simultaneous inversion; Earthquake relocation; Velocity structure

震

地