

# 应用振型叠加方法研究 1997 年 11 月 8 日 中国西藏玛尼地震震源机制

高原<sup>1)</sup> Suzan Van Der Lee<sup>2)</sup> Domenico Giardini<sup>2)</sup>  
Jochen Braunmiller<sup>2)</sup> 郑斯华<sup>1)</sup>

1) 中国地震局分析预报中心, 北京 100036

2) Institute of Geophysics, ETH-Honggerberg, 8093 Zurich, Switzerland

**[摘要]** 利用包括长周期体波、Rayleigh 波和 Love 波在内的三分向波形记录, 根据 PREM 模型应用自由振荡振型叠加方法计算理论地震图, 反演 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼  $M_S7.9$  地震的矩张量. 获得的最佳双力偶的节面解为: NP1 (走向  $343^\circ$ , 倾角  $76^\circ$ , 滑动角  $-177^\circ$ ), NP2 (走向  $252^\circ$ , 倾角  $87^\circ$ , 滑动角  $-13^\circ$ ); 地震矩为  $1.43 \times 10^{20}$  Nm,  $M_w$  为 7.4. 其结果与哈佛大学的 CMT 解较一致. 地震的发震断层面为北东东近东西方向, 断层性质主要为左旋走滑断层, 与地质背景、应力场特征相符合. 研究使用的是适用于区域性地震的矩张量快速确定的方法, 可以用来对区域性的地震活动给出准确而快速的监测.

**[关键词]** 矩张量, 地震波, 振型叠加, 西藏地区, 玛尼地震.

## 1 引言

近年来, 对地震震源的研究已经愈加注意震源过程和震源破裂的问题<sup>[1-3]</sup>. 地震矩张量已被广泛用来作为对震源特征的描述, 美国地质调查局 (USGS) 和哈佛大学对全球范围较大的地震快速地给出矩张量解. 利用远场或近场资料、使用体波或面波记录, 反演地震矩张量的研究不断出现<sup>[4-9]</sup>. 然而, 每种方法都只适用于一定的范围, 或需要满足一定的条件; 并且反演的非唯一性和相应的约束条件也是一个不容忽视的问题<sup>[10]</sup>. 本文研究采用振型叠加方法<sup>[11]</sup>, 使用中国大陆上的几个数字地震台站和周边台站的长周期波形资料中的地球自由振荡信息, 研究中国西藏地区 1997 年 11 月 8 日玛尼  $M_S7.9$  地震的震源性质. 本文采用的方法, 使用较长周期的数字波形资料, 反演的结果稳定、可靠, 已在地中海地区的 MEDNET 台网得到有效使用<sup>[12]</sup>. 本文从方法上和技术上, 分析仅仅使用国内少量台站或加上个别周边台站资料, 快速计算玛尼  $M_S7.9$  地震的震源性质.

青藏高原的隆起直接受到印度板块和欧亚板块碰撞的影响, 该地区强烈地震经常发

**[收稿日期]** 2001-12-18 收到, 2001-03-10 收到修定稿.

**[基金项目]** 国家留学基金委员会、国家人事部留学回国人员科技活动 (D类) 资助、国家科技部攀登项目.

生, 为进行震源性质的研究提供了大量重要的资料. 西藏地区构造运动强烈, 研究该区域内大地震的震源性质, 对于理解中国西部的构造运动、地球动力学和应力场等特征也都具有重要意义.

## 2 地震活动背景

青藏高原的大部分位于西藏境内, 地处中国大陆的西部, 平均海拔超过 4 000 m. 已有的研究表明, 该区非同寻常的地球表面的隆起是印度构造板块和欧亚构造板块碰撞的结果, 这种板块碰撞也是该地区强烈地震频发的原因. 图 1 给出 1987 年以来至 1999 年 3 月在  $28^{\circ}$ — $38^{\circ}$  N、 $76^{\circ}$ — $98^{\circ}$  E 范围内 5.5 级以上地震的分布和构造, 1997 年 11 月 8 日的玛尼地震是最大的地震. 在这个范围内, 各种大小断裂基本都为近东西走向. 根据 USGS 的测定, 玛尼地震的震中位置位于  $35.07^{\circ}$  N,  $87.32^{\circ}$  E, 震级为  $M_S 7.9$ . 从图 1 可见, 玛尼  $M_S 7.9$  地震发生在一条北东东近东西走向的断裂上, 其北面是著名的阿尔金山断裂带. 由于该次大地震没有发生在已知的大断裂上, 因而格外引人注目.

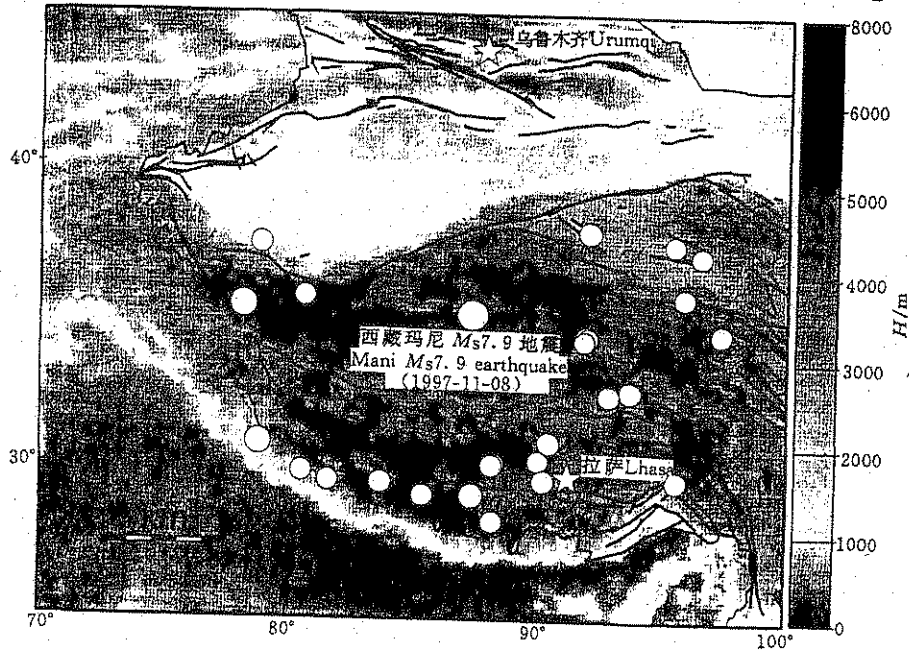


图 1 中国西藏地区及邻区强地震分布

资料取自 USGS 的结果, 显示了 1987 年以来至 1999 年 3 月  $28^{\circ}$ — $38^{\circ}$  N、 $76^{\circ}$ — $98^{\circ}$  E 范围内 5.5 级以上地震. 地震事件用空心圆表示, 3 种大小的圆由小到大分别表示 5.5—5.9、6.0—6.9 和 7.0 以上的地震. 城市位置用五角星表示, 右边的灰度标尺表示地势的海拔高度, 用  $H$  表示.

Fig. 1 Distribution of strong earthquakes within and near the Xizang Tibetan region of China from January 1987 to March 1999.

## 3 方法和计算

### 3.1 振型叠加计算理论地震图和矩张量反演

根据震源理论, 由点源激发的地面运动的一个分量可表示为<sup>[13]</sup>

$$u_k(x, t) = \sum_{i=1}^6 \Psi_{ki}(x, x_s, t) * f_i(t), \quad (1)$$

其中  $u_k$  是一组地震图中的第  $k$  个记录,  $x$  和  $x_s$  分别是接收点和源的位置, 激发核  $\Psi_{ki}$  依赖于地球的性质, 与本征值、本征函数有关,  $f_i(t)$  表示矩张量的 6 个独立分量,  $*$  为褶积符号. 进行振型叠加, 首先要有正确的本征函数和本征频率. 计算本征函数和本征频率的算法来自 Woodhouse 的研究<sup>[14]</sup>, 其核心为: 直接通过子式集合(minor set)建立本征函数和通过计数算法(counting algorithm)计算本征频率.

既然地震激发的地面运动分量可表示为(1)式, 如果已知(1)式的左边项和右边的第 1 项, 便可反演求得  $f_i(t)$ . 在实际计算中可采用微扰算法. 假定已经得到矩张量的初始值  $f^0$ , 则可以相对震源坐标  $(r_s, \theta_s, \varphi_s)$  和发震时间  $t_0$  的微小扰动展开(1)式<sup>[15]</sup>

$$u_k - u_k^{(0)} = a_k \delta r_s + b_k \delta \theta_s + c_k \delta \varphi_s + d_k \delta t_0 + \sum_{i=1}^6 \Psi_{ki}^{(0)} * \delta f_i. \quad (2)$$

式中  $u_k^{(0)}$  和  $\Psi_{ki}^{(0)}$  是初始估计值,  $a_k, b_k, c_k$  和  $d_k$  是核函数. 由上式进行反复迭代, 直到过程收敛, 即通过最小二乘方法拟合观测值和理论值至最小, 获得相应的震源位置及震源性质的参数.

### 3.2 实际程序计算

本文研究使用的是一种针对区域性地震的矩张量快速确定的方法<sup>[11,12]</sup>. 使用包括长周期体波、Love 波和 Rayleigh 波在内的三分向波形记录. 具体说来, 对于区域事件, 使用 20 min 的三分量波形数据, 足以包括 Love 波的 L1 相和 Rayleigh 波的 R1 相在内. 根据 PREM 模型<sup>[16]</sup>计算波的简正振型(normal modes)并对周期超过 100 s 的振型进行叠加产生理论地震图<sup>[14]</sup>, 在较为狭窄的频率段(例如 8—10 mHz, 以下同)进行反演计算, 这种几乎是单色的频率范围保证了不依赖频率的校正项的使用. 对矩张量的约束条件是体积膨胀分量为零<sup>[15]</sup>. 根据地球模型, 以固定的距离间隔、按某个确定的深度计算出构成理论地震图的核. 在不同深度下得到的核, 作为可随时读取的库文件集. 通过理论地震图与实际地震图的拟合, 计算出拟合的方差, 根据在不同深度下得到的方差结果, 给出最小方差下的深度参考值, 但这个值往往并不可靠<sup>[11,12]</sup>, 面波对深度变化不敏感, 有效范围仅为 20—30 km.

## 4 资料与结果

对于 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼  $M_S 7.9$  地震, 本文使用中国数字地震台网(CDSN)的台站 XAN、ENH 和 KMI 以及国外台站 ULN 和 CHTO 的波形资料. 图 2 为台站 ENH 记录的长周期地震波形记录图, 地震信号非常清晰. 这些三分量的长周期波形数据的采样率为每一秒一个采样点. 台站 ULN 位于蒙古, 台站 CHTO 位于泰国. 这些台站与地震震中的距离都不超过  $20^\circ$ .

为了描述玛尼地震的震源特性, 使用上述 5 个台站记录进行面波的矩张量反演. 图 3 给出了理论地震图与实际地震图的拟合结果, 可以看出拟合的程度很好. 图中直立的短直线段指出实际获得的地震波形数据的长度, 短线段右面的数据是在频率域补零后作 Fourier 反变换得到的结果. 图 4 为理论地震图与实际地震图的振幅谱和相位谱的比

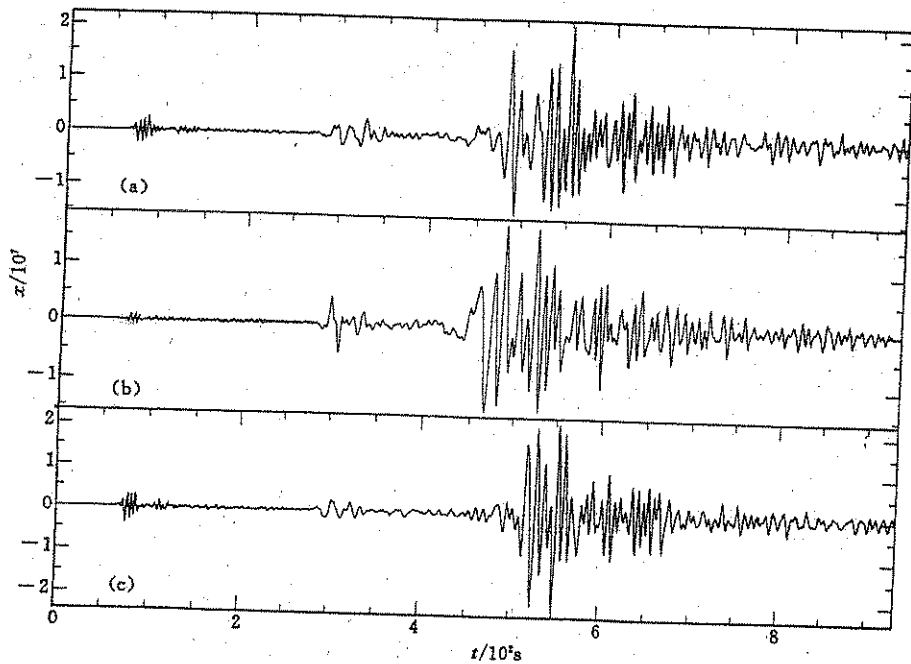


图2 台站 ENH 记录的 1997-11-08 中国西藏玛尼  $M_S7.9$  地震的长周期地震波形记录图

(a), (b), (c) 分别表示东西向、北南向和垂直向.  $x$  (counts, 数字数)

Fig.2 Long-period waveforms of large Xizang Mani  $M_S7.9$  earthquake of Nov. 8, 1997 at station ENH

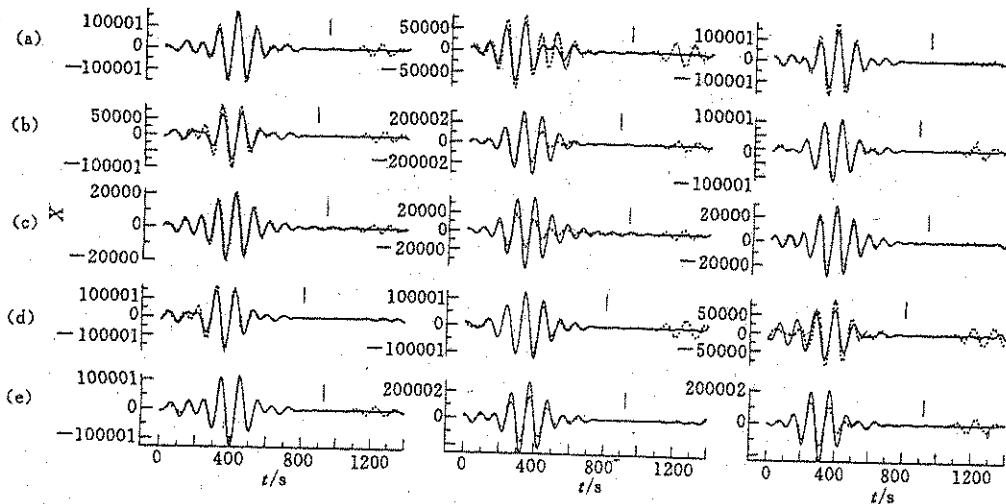


图3 玛尼  $M_S7.9$  地震的波形模拟

(a) 台站 ULN (乌兰巴托)  $A_z = 42.99^\circ$ ,  $D = 19.48$  km; (b) 台站 XAN (西安台)  $A_z = 87.11^\circ$ ,  $D = 17.82$  km; (c) 台站 ENH (恩施台)  $A_z = 98.17^\circ$ ,  $D = 19.25$  km; (d) 台站 KMI (昆明台)  $A_z = 122.49^\circ$ ,  $D = 16.60$  km; (e) 台站 CHTO (泰国清迈)  $A_z = 144.47^\circ$ ,  $D = 19.23$  km. 由左至右, 分别为垂直、北南和东西 3 个方向. 实线为记录波形, 虚线为理论波形.  $A_z$  为方位角,  $D$  为震中距,  $X$  (counts 数字数).

Fig.3 Waveform modeling of the Mani  $M_S7.9$  earthquake at five stations. Solid lines are for recorded waveforms, dashed lines are for synthetic ones. (Azimuths  $A_z$  and distances  $D$  are shown for each station)

较. 理论地震图的谱图与实际地震图的谱图十分接近.

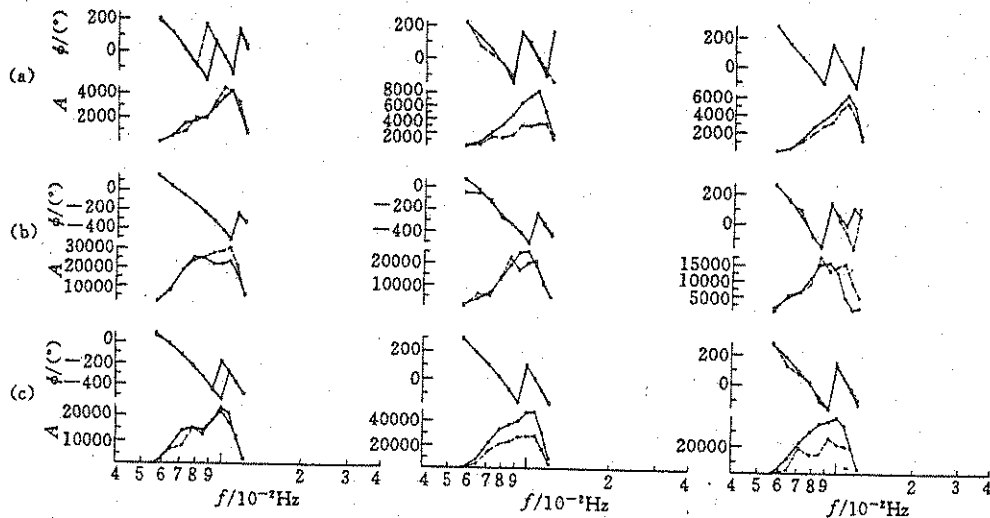


图 4 振幅谱和相位谱

(a) 台站 ENH; (b) 台站 KMI; (c) 台站 CHTO. 对于每个台站, 用  $\phi$  表示相位谱, 用  $A$  表示振幅谱. 实线为记录谱, 虚线为理论谱. 由左至右, 分别为垂直、北南和东西 3 个方向. 其他同图 3.

Fig. 4 Amplitude spectrum and phase spectrum. Deep black lines are for recorded spectra, light black (dashed) lines are for synthetic ones

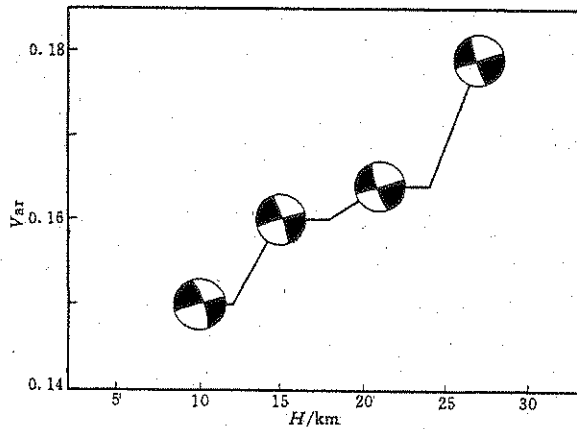


图 5 不同深度下矩张量反演的方差及震源机制解

$V_{ar}$  表示方差,  $H$  表示深度.

Fig. 5 Variances and source mechanisms from moment tensor inversion at different depths.

本文用不同深度对玛尼地震进行了反演计算, 获得了对于每个深度的波形拟合方差, 以考察反演结果对深度的依赖, 并根据最小方差值来确定震源深度的参考值(图 5). 由于本文方法不能很好地分辨深度小于 10 km 的浅震事件, 因而通过分析图 5 的方差图, 显示出这次大地震的震源深度在 10—12 km 左右. 哈佛大学的 CMT 解给出的矩心深度为 16.4 km. 本文使用的方法对深度没有很可靠的分辨<sup>[11]</sup>, 其反演结果也不太依赖于深度变化(如图 5), 因此通过方差给出的深度只具有参考意义.

通过对 3 个不同频率段的测试, 分析在不同频率段反演得到的矩张量结果的稳定性(图 6). 结果表明, 在这 3 个频

率段得到的震级  $M_w$  值相同, 但震源机制则有所不同, 在 8—10 mHz 范围, 反演的结果与哈佛大学给出的 CMT 解一致. 已有的研究表明<sup>[17]</sup>, 在一个较宽的频带范围(20 mHz)内, 用一个较窄的频带宽度(2—4 mHz)计算得到的震源矩张量是较稳定的. 在区域地震(震中距  $\leq 3\ 000$  km)中, 使用 8—10 mHz 频带可以得到可靠的矩张量<sup>[12]</sup>; 而在更远范围(震中距为 4 000 km 左右), 则使用 5—7 mHz 频带可以得到可靠的矩张

量<sup>[11]</sup>。本文研究使用的台站都位于震中距不超过 20° 范围，故使用 8—10 mHz 范围的结果。

通过反演计算得到，该次地震的最佳双力偶解为：NP1（走向 343°，倾角 76°，滑动角 -177°）、NP2（走向 252°，倾角 87°，滑动角 -13°），震源的半持续时间为 18.7 s，地震矩为  $1.43 \times 10^{20}$  Nm， $M_w$  为 7.4。哈佛大学的 CMT 解为：NP1（走向 348°，倾角 88°，滑动角 159°），NP2（走向 79°，倾角 69°，滑动角 2°），震源的半持续时间为 14.7 s，地震矩为  $2.23 \times 10^{20}$  Nm， $M_w$  为 7.5。两者的结果相当一致（表 1）。由此证明，该次地震的震源性质主要为走滑见图 7，发震断层

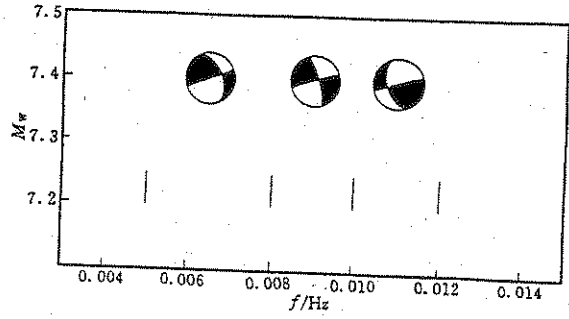


图 6 矩张量反演结果的稳定性对频率的依赖不同频率段区间用竖棒隔开，本文测试结果是在 10 km 深度下进行的。

Fig.6 Stability of moment tensor solution versus frequency at depth of 10 km.

表 1 1997 年 11 月 8 日中国西藏玛尼  $M_s7.9$  地震震源机制

Table 1 Source mechanisms of the Mani  $M_s7.9$  earthquake of 8 November 1997 in Xizang' China

节面 1			节面 2			T 轴		N 轴		P 轴		$M_w$	说明
走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	倾角	方位角	倾角	方位角	倾角	方位角		
79°	69°	2°	348°	88°	159°	16°	301°	69°	164°	14°	35°	7.5	哈佛大学 CMT 解
70°	89°	2°	340°	88°	179°	2°	295°	88°	87°	1°	205°	7.4	USGS 矩张量解
252°	87°	-13°	343°	76°	-177°	7°	298°	76°	61°	11°	207°	7.4	本文结果

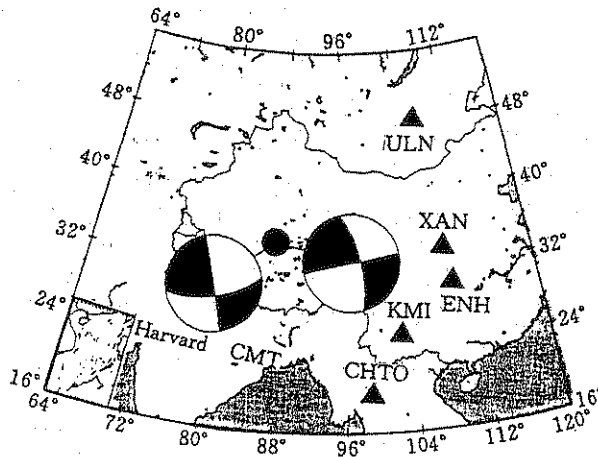


图 7 1997 年 11 月 8 日中国西藏玛尼  $M_s7.9$  地震的矩张量反演结果

断层右边的震源机制解为本文的结果，左边的震源机制解为哈佛大学的 CMT 结果。地震台站在图中用三角符号表示。

Fig.7. Moment tensor inversion of the Xizang Mani  $M_s7.9$  earthquake of 8 November 1997 in Chinese Xizang The solution on the right is from this paper, the solution on the left is from Harvard CMT

面为近东西方向的节面，具有左旋走滑性质。该结果与玛尼地震现场考察<sup>[18]</sup>和卫星合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar)的干涉测量研究<sup>[19]</sup>结果相符。

## 5 结论与讨论

本文研究使用振型叠加方法通过波形拟合反演求取玛尼  $M_S7.9$  地震的地震矩张量, 获得的最佳双力偶解与哈佛大学的 CMT 解结果较一致. 结合断裂构造和应力特征, 根据震源机制分析, 1997 年 11 月 8 日玛尼地震的发震断层为北东东方向的节面, 断层性质主要为左旋走滑.

根据本文矩张量反演的结果, 对于 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼  $M_S7.9$  这样的大地震, 利用少量的震中距不超过  $20^\circ$  的地震台站记录可以获得地震震源的矩张量解, 在台站分布对地震事件的张角远远小于  $180^\circ$  的情况下, 对解的约束也是很稳定的. 研究结果表明, 仅仅使用国内台站或加上少量周边台站资料, 对强震的震源性质进行快速计算, 从方法上和技术上都是可靠的和可行的. 随着中国国家数字地震台网的完成, 完全可以建立包括震源矩张量在内的现代地震目录.

本文研究使用的地震矩张量快速确定的方法<sup>[12]</sup>, 是一种建立在时间域上对长周期波形的反演算法, 可以用来对区域性的地震活动给出准确而快速的监测. 通过对这种矩张量反演技术的计算程序进行修改和扩展, 使之可以使用直至小于  $90^\circ$  震中矩的波形数据进行反演矩张量计算, 因而还可以利用这种技术, 使用我国数字化地震台网对国外的远震进行快速准确的分析和研究. 这将是下一步要继续的工作内容.

本文的前期工作是第一作者在访问瑞士 ETH 地球物理研究所时完成的. 研究过程中得到周蕙兰教授的帮助和支持, 特此致谢.

## 参 考 文 献

- [1] Chen Y T, Xu L S, Li X, Zhao M. Source process of the 1990 Gonghe, China, earthquake and tectonic stress field in the northeastern Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau. *Pageoph*, 1996, 146(3/4): 697—715.
- [2] 高原, 吴忠良. 1993 年 11 月 13 日堪察加大地震的破裂过程及其构造意义. *地球物理学报*, 1995, 38 (1): 55—63.  
GAO Yuan, WU Zhong-Liang. Rupture process of the 13 November 1993, Kamchatka,  $M_S7.1$  earthquake from broadband waveform analysis and its tectonic implications. *Chinese J. Geophys. (Acta Geophysica Sinica)*, 1995, 38(1): 79—88.
- [3] 许力生, 陈运泰. 1997 年中国西藏玛尼  $M_S7.9$  地震的时空破裂过程. *地震学报*, 1999, 21(5): 449—459.  
XU Li-Sheng, CHEN Yun-Tai. Time-space rupture process of Mani  $M_S7.9$  earthquake of 1997 of China Xizang. *ACTA Seismologica Sinica (English edition)*, 1999, 12(5): 495—506.
- [4] 姚振兴, 郑天愉, 曹柏如等. 用 P 波波形资料测定中强地震震源过程的方法. *地球物理学进展*, 1991, 6(4): 1—26.  
YAO Zhen-Xing, ZHENG Tian-Yu, CAO Bo-Ru, et al. The method of determining middle and strong earthquake's process using P waveform data. *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 1991, 6(4): 1—26.
- [5] 郑斯华, 铃木次郎. 西藏高原及其周围地区地震的地震矩张量及震源参数的尺度关系. *地震学报*, 1992, 14 (4): 423—434.  
ZHENG Si-Hua, Suzuki Ziro. Moment tensors of earthquakes in and near the Tibetan Plateau and their scaling law. *ACTA Seismologica Sinica*, 1993, 6(2): 365—377.
- [6] 吴忠良, 陈运泰, 倪江川等. 近震源宽频带记录的地震矩张量反演. *地震学报*, 1994, 16 (2): 141—152.  
WU Zhong-Liang, CHEN Yun-Tian, NI Jiang-Chuan, et al. Inversions of moment tensors of broadband data near source. *ACTA Seismologica Sinica (in Chinese)*, 1994, 16(2): 141—152.
- [7] Braunmiller J, Nabelek J, Leitner B. The 1993 Klamath Falls, Oregon, earthquake sequence: source mechanisms

- from regional data. *Geophys. Res. Lett.*, 1995, 22: 105—108.
- [8] 高原, 吴忠良. 用远震体波宽频带记录分析 1993 年 10 月 2 日中国新疆南部  $m_b 6.2$  地震的震源过程. 中国地震, 1995, 11(2): 147—160.  
GAO Yuan, WU Zhong-Liang. Teleseismic body wave broadband analysis on source process of the southern Xinjiang earthquake with  $m_b 6.2$  of 2 October, 1993 in China. *Earthquake Research in China* (in Chinese), 1995, 11(2): 147—160.
- [9] 马淑田, 姚振兴, 纪晨. 用长周期面波波形拟合及 P 波初动方向估计中地震的震源机制. 地球物理学报, 1999, 42(6): 785—799.  
MA Shu-Tian, YAO Zhen-Xing, JI Chen. To estimate focal mechanisms of moderate earthquakes using a long period surface waveform fitting method as well as first motion signs of P waves. *Chinese J. Geophys. (Acta Geophysica Sinica)*, 1999, 42(6): 785—799.
- [10] Das S, Kostrov B. Determination of the polynomial moments of the seismic moment rate density distribution with positivity constraints. *Geophys. J. Inter.*, 1997, 131: 115—126.
- [11] Giardini D, Beranzoli L. Waveform modelling of the May 20, 1990 Sudan earthquake. *Tectonophysics*, 1992, 209: 105—114.
- [12] Giardini D, Boschi E, Palombo B. Moment tensor inversion from MEDNET data (2) regional earthquakes of the Mediterranean. *Geophys. Res. Lett.*, 1993, 20(4): 273—276.
- [13] Gilbert F, Dziewonski A M. An application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mechanisms from seismic spectra. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 1975, Ser. A, 278: 187—269.
- [14] Woodhouse J H. The calculation of eigenfrequencies and eigenfunctions of the free oscillations of the Earth and the Sun. In: Doornbos D J (Editor). *Seismological Algorithms*. Academic Press, London, 1988, 321—370.
- [15] Dziewonski A M, Chou T A, Woodhouse J H. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *J. Geophys. Res.*, 1981, 86: 2825—2852.
- [16] Dziewonski A M, Anderson D L. Preliminary reference earth model, PREM. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1981, 25: 297—356.
- [17] Giardini D, Malagnini L, Palombo B, Boschi E. Broad-band moment tensor inversion from single station, regional surface waves for the 1990, NW-Iran earthquake sequence. *Annali Di Geofisica*, 1994, 37(6): 1645—1657.
- [18] 徐锡伟, 侯康明, 薄万举, 曹忠权. 玛尼地震地表破裂带特征及其启示. 中国地震局科学技术委员会, 科技委论坛, 2000, 12: 17—20.  
XU Xi-Wei, Hou Kang-Ming, BO Wan-Ju, Cao Zhong-Quan. Characteristics and from surface rupture of Mani earthquake. *Tribune of the Commission of Science and Technology of CSB* (in Chinese), 2000, 12: 17—20.
- [19] Peltzer G, Crampe F, King G. Evidence of nonlinear elasticity of the crust from the  $M_w 7.6$  Manyi (Tibet) earthquake. *Science*, 1999, 286: 272—276.



## A STUDY ON SOURCE MECHANISM OF LARGE MANI EARTHQUAKE OF 8 NOVEMBER 1997 IN CHINA XIZANG BY MODE SUMMATION

GAO YUAN<sup>1)</sup> SUZAN VAN DER LEE<sup>2)</sup> DOMENICO GIARDINI<sup>2)</sup>  
JOCHEN BRAUNMILLER<sup>2)</sup> ZHENG SI-HUA<sup>1)</sup>

1) *Center for Analysis and Prediction, China Seismological Bureau, Beijing 100036, China*

2) *Institute of Geophysics, ETH-Honggerberg, 8093 Zurich, Switzerland*

[Abstract] Using long-period body wave, Rayleigh wave and Love wave, we compute synthetic seismograms by the technique of modes summation of free oscillations under PREM and inverse moment tensor of the large Mani  $M_S7.9$  earthquake of 8 November 1997 in the China Xizang region. The moment tensor solutions from inversion in a narrow frequency band are very stable although only five stations are used in digital stations inside and near China. The best double-couple solutions are: NP1 (strike  $343^\circ$ , dip  $76^\circ$ , rake  $-177^\circ$ ), NP2 (strike  $252^\circ$ , dip  $87^\circ$ , rake  $-13^\circ$ ),  $M_W7.4$  and the seismic moment is  $1.43 \times 10^{27}$  dyne·cm, which is consistent with the Harvard CMT solution. The fault plane of the earthquake, along roughly East - West direction, is of sinistral strike-slip pattern. This result accords with the tectonic setting and the regional stress field. The rapid determination method of the moment tensor adopted in the paper is available for regional earthquakes, and can be applied to accurate rapid monitor of regional seismicity.

[Key words] Moment tensor, Seismic wave, Modes summation, Xizang region, Mani earthquake.