

# 1995 年 10 月 24 日云南武定 $M_s=6.5$ 地震的震源机制解<sup>\*</sup>

马淑田<sup>1)</sup> 赵 薇<sup>2)</sup>

1) 中国北京 100101 中国科学院地球物理研究所

2) 中国北京 100045 国家地震局地震数据信息中心

**摘要** 本文用地震矩张量反演方法反演了 1995 年 10 月 24 日云南武定  $M_s=6.5$  地震的震源机制, 得到: 两主轴方向近水平, 主压力轴位于北偏西  $30^\circ$  方向, 方位角  $105^\circ$  (西偏北  $15^\circ$ ) 的共轭面可能与实际的地震破裂面一致.

**主题词** 格林函数 震源机制解 地幔波 简正振型 武定地震

## 引言

1995 年 10 月 24 日云南武定发生  $M_s=6.5$  中强地震, 造成人员伤亡和经济损失. 鉴于此次地震是中缅边界地区进行着的力学过程中的又一次较大事件, 搞清楚该震源区的受力状态, 对研究该区及其周围的构造运动、估计云南省及其邻区的地震活动趋势都有意义. 本文估算了该次地震的震源机制.

## 1 原理和方法

对应每条经预处理的 VH (Very long period high gain) 频道数字化地震波形记录, 利用  $2\sim 8$  mHz 间的理论地球自由振荡振型 (S, T 型) 构造 6 个格林函数, 分别与矩张量的相应元素相乘再相加得理论地震图. 将两者一并变换到频域, 建立线性方程组, 用奇异值分解法求矩张量的 6 个元素或 5 个元素 (Gilbert, Dziewonski, 1975; 马淑田, 1994).

## 2 资料

所用数字化资料先后由国家地震局地震数据信息中心数据部和国家地震局地球物理研究所 CDSN 台网提供. 经严格筛选后保留 10 个台的 10 条垂直向记录.  $M_s=6.5$  地震激发的地幔波较弱, 可用记录较少, 但提供的信息量足以得到稳定的震源机制解. 图 1 中每对波形的上图是记录图, 左端标出相应台站的名称、分向、震中距和台站方位角等, 所用初

\* 地震科学联合基金会部分资助课题.

1996-03-27 收到初稿, 1996-11-06 收到修改稿并决定采用.

动符号来源于大震速报台网和全国基准台网，先后从国家地震局分析预报中心二室和国家地震局地球物理研究所九室摘录.

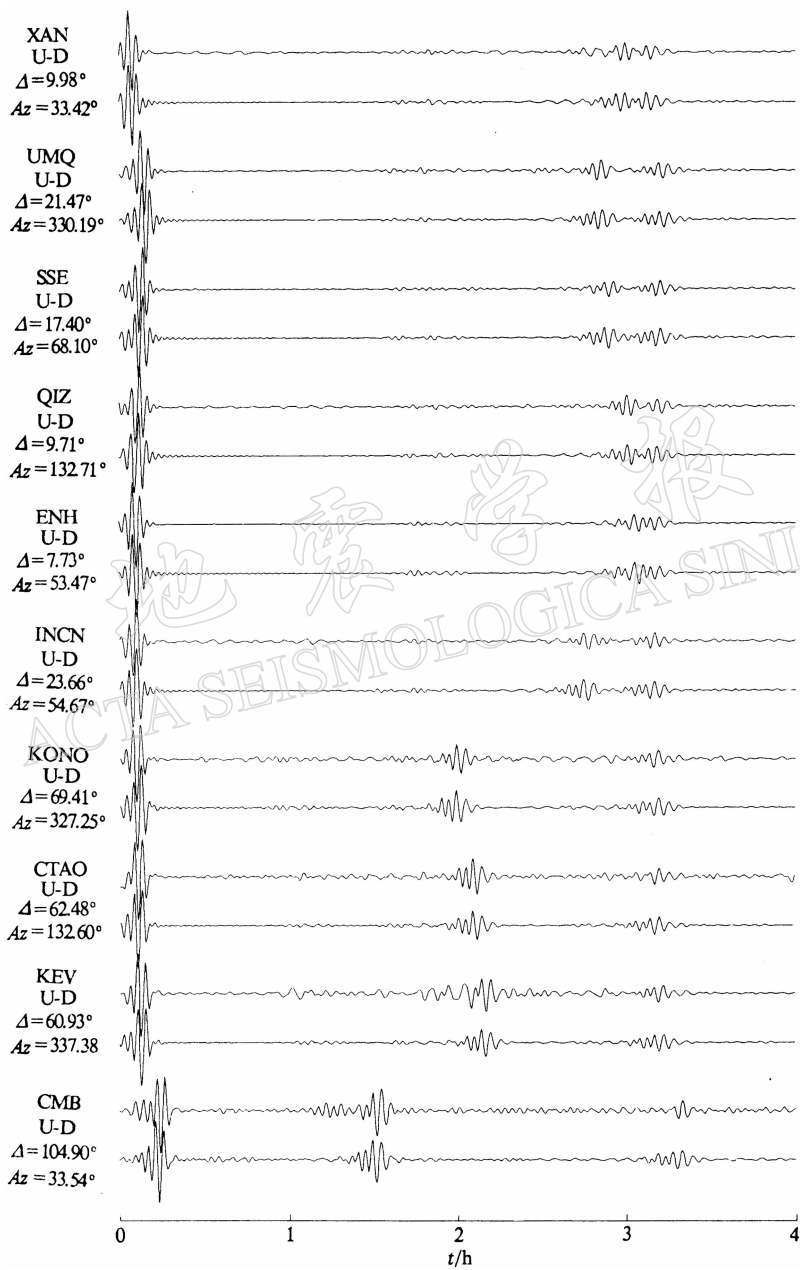


图 1 武定地震合成地震图与记录的比较(每对波形中的下图是合成图)

3 地震矩张量反演结果

3.1 所用的地震参数

发震时刻: 1995-10-23, 22 : 46 : 52.2(世界协调时)

震中坐标:  $25.83^{\circ}\text{N}, 102.32^{\circ}\text{E}$   
震源深度:  $H=15\text{ km}$  (以上参数由云南省地震局田其华提供).

3.2 矩张量 6 元素的一组解(单位  $10^{20}\text{ N}\cdot\text{m}$ )

	$M_{rr}$	$M_{\theta\theta}$	$M_{\varphi\varphi}$	$M_{r\theta}$	$M_{r\varphi}$	$M_{\theta\varphi}$
数值	$0.329\ 88\times10^{-3}$	$-0.120\ 11\times10^{-1}$	$0.107\ 99\times10^{-1}$	$0.468\ 25\times10^{-5}$	$-0.355\ 89\times10^{-4}$	$-0.188\ 74\times10^{-1}$
方差	$0.114\ 01\times10^{-3}$	$0.653\ 29\times10^{-3}$	$0.784\ 97\times10^{-3}$	$0.261\ 57\times10^{-5}$	$0.106\ 01\times10^{-5}$	$0.310\ 29\times10^{-3}$

3.3 主轴解

	总强度/ $10^{20}\text{ N}\cdot\text{m}$	偏差部分/ $10^{20}\text{ N}\cdot\text{m}$	方位角	仰角
P:	$-0.226\ 6\times10^{-1}$	$-0.223\ 6\times10^{-1}$	$331^{\circ}(330.57)$	$0^{\circ}(0.03)$
T:	$0.214\ 5\times10^{-1}$	$0.217\ 4\times10^{-1}$	$61^{\circ}(60.57)$	$0^{\circ}(0.09)$
N:	$0.329\ 8\times10^{-3}$	$0.623\ 9\times10^{-3}$	$220^{\circ}(220.27)$	$90^{\circ}(89.90)$

3.4 各向同性部分  $\Delta M=-0.294\ 08\times10^{-3}<0$

3.5 最大双力偶解

	走向	倾角	滑动角	地震矩 $M_0/10^{20}\text{ N}\cdot\text{m}$
节面 1:	$106^{\circ}(105.572)$	$90^{\circ}(89.912)$	$180^{\circ}(179.96)$	$0.223\ 64\times10^{-1}$
节面 2:	$196^{\circ}(195.572)$	$90^{\circ}(89.960)$	$0^{\circ}(0.088)$	

3.6 震源时间函数

所用震源时间函数为三角形脉冲. 底边长约  $3\sim5\text{ s}$  时得到相对最优解, 说明地震破裂过程持续时间不长. 括号前的数字据括号内的数字取舍, 有关符号和约定与矩心矩张量 CMT 的等同, 大双力偶与最佳双力偶等同.

4 与哈佛大学快速 CMT 解的比较

图 2 和图 3 是用本文和矩心矩张量(CMT)结果(从 INTERNET 网获取)画的震源机制解的等面积下半球投影. 可见两者的主轴方向及双力偶解极其接近, 但非双力偶成分差别较大. 本文  $N$  轴(第二主轴, 或  $B$  轴)数值为正(张性), CMT 的  $N$  轴为负(压性); 本文  $N$  轴数值与地震矩的比为  $2.789\ 8\times10^{-2}$ , 小于 CMT 的相应比值  $1.755\ 9\times10^{-1}$ . 关于 CMT 的非双力偶成分有人正在进行专门研究(张家俊, 个人通讯). 初步试算表明, 若将所用记录的起点后移, 上述比值就会变大, 这意味着地球结构对地震波的影响强加在震源机制上. 本问题需进一步研究, 可能很复杂.

5 结果

本次地震的震源机制也已算过多次(先用卫星传输的 IRIS 台网的数据, 后用 CDSN 台网的数据, 又用初动符号), 本文给出的是一组用两台网数字化资料的计算结果. 震源深度取  $10\sim17\text{ km}$  时, 计算结果类似;  $17\text{ km}$  以上的计算结果差别较大, 与初动分布的一致性较差, 所以给出  $H=15\text{ km}$  时的计算结果. 总的来看, 主压力轴和主张力轴的仰角都不大, 说明震源区主要受到水平力的作用. 主压力轴的方向在北偏西约  $30^{\circ}$ , 这与“西藏东部岩壳

向东南方向推挤”(马杏垣等, 1989, 第 51 幅, 新生代构造轮廓)的效应吻合. 据余震分布 (云南省地震局的余震目录从国家地震局地震数据信息中心数据部拷贝)(图 2)估计, 双力偶解的节面 1 可能与实际破裂方向一致, 为西偏北向右旋走滑断层(图 5), 与云南“现今地震构造活动的基本特征以水平走滑为主要形式”(马杏垣, 1989)的结论一致. 两盘的交接面近垂直, 且盘间有挤压作用(因各向同性分量是负值), 但不大.

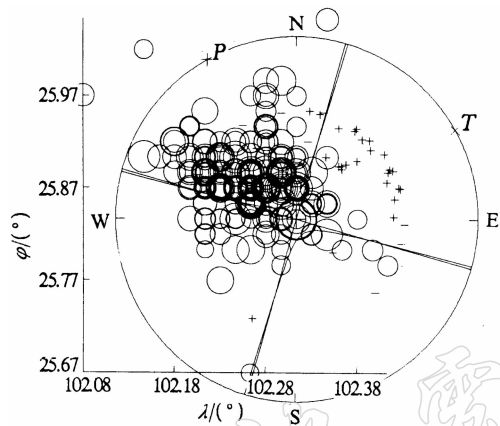


图 2 震源机制解的等面积下  
半球投影、余震及初动分布

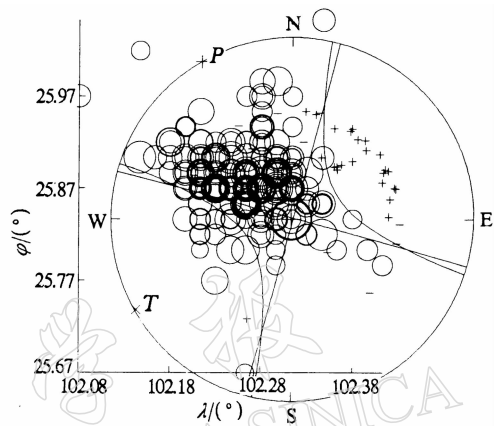


图 3 CMT 震源机制解的等面积下  
半球投影、余震及初动分布

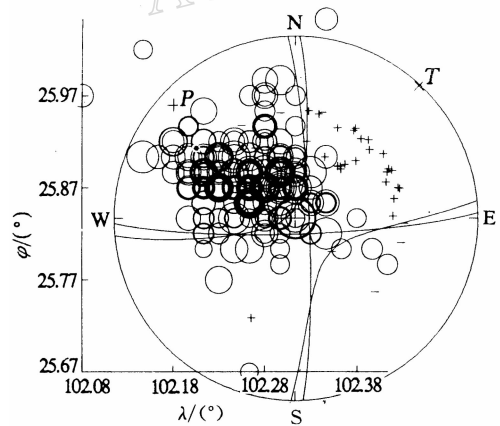


图 4 P 波初动解的等面积下  
半球投影、余震及初动分布

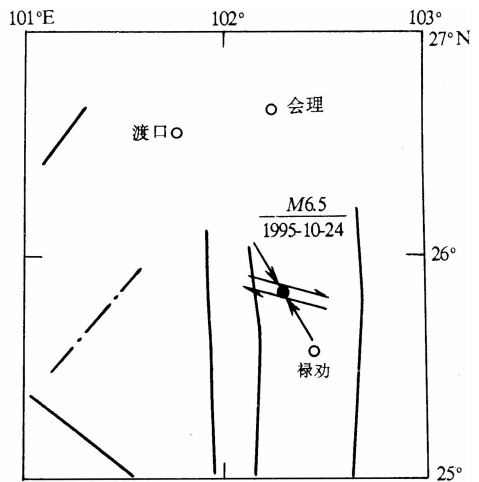


图 5 武定地震的地理位置、主压力轴  
方向、断层的可能走向和性质

## 6 结论与讨论

图 1 给出合成图与记录图的比较(每对波形下图是合成图), 从图中看到波包间的一致程度比较好. 图 1 中的 10 条记录是从 100 多条记录中挑选的信噪比高的、直观看波包清楚

的记录. 波包不清楚的, 或大的波包间“杂波”较多的记录全部删掉. 这样做的目的是尽可能减小介质结构对波产生的影响, 最大限度提取震源的信息. 若让信噪比小的记录参加反演, 所得的非双力偶成分变大, 说明地球结构的信息转嫁到震源机制上. 利用地幔波反演震源机制时, 利用分布较好的 5~6 个台的好资料可得到稳定解<sup>①</sup>. 在满足记录条数的下限后尽可能加选好的资料. Gilbert 和 Masters(1989)说: 得到好的地球结构的分辨率需要的是资料质量, 而不是数量.

曾多次碰到资料质量好(波包清楚, 杂波少)而用不上的情况(波形拟合差), 可能的主要原因有: ① 仪器响应不匹配; ② 地球三维结构、非球形结构的影响; ③ 震源破裂过程; ④ 震源位置不当. 后 3 条原因可以进行专门的研究.

对于地幔波来说  $M_s 6.5$  的地震是小震, 震源时间函数取三角形脉冲是可以接受的近似(Gilbert, Masters, 1989). 但若研究震源破裂过程对超长周期波的影响, 则需找一个或一些更大的地震.

本文选用的记录全是垂直向, 可能的解释之一是: 介质横向不均匀性等对地幔波水平向比垂直向有更大的影响.

图 2 中还标有初动符号作为外符合检验(与震源机制解的投影方式相同), 其分布与所得的震源机制解有一致性. 由于初动是破裂开始的表现, 长周期波反映破裂全过程, 以及 P 波节面附近初动符号不清等因素, 两者很难做到完全一致.

因为震源较浅时与  $M_{10}$  和  $M_{rg}$  分量相应的由振型叠加计算的格林函数数值较小, 导致反演出的这两个元素的数值小, 从而据矩张量解算出的断层面会很陡, 因此出现一种不确定性——断层面的确很陡还是反演方法所致. 为处理这一现象, 仅用初动符号估算了武定地震的震源机制(软件由姚振兴及其同事编写). 从图 4 看到, 断层面也很陡. 据两种完全不同的方法所得结果的一致性看, 断层面可能的确很陡.

1996 年 2 月 3 日在丽江一带发生  $M_s=7.0$  主震, 此次地震迟后武定地震约 3 个半月, 相距约 280 km, 故武定地震可能是丽江主震的前震, 且可能是同一力学过程中的不同事件. 丽江主震位于武定地震震源机制解的主压力轴向与一个断层面走向形成的扇区内. 这一现象与 1995 年 7 月的中缅边界地震有相似之处(马淑田, 郝建国, 1996).

笔者对审稿专家提出的宝贵意见表示感谢.

## 参 考 文 献

- 马淑田, 1994. 常规地震矩张量反演系统 MTIS-R486 的开发以及矩心矩张量(CMT)反演算法研究. 北京: 国家地震局地球物理研究所硕士学位论文. 60
- 马淑田, 郝建国, 1997. 1995 年 7 月 12 日中缅边界  $M_s=7.3$  地震的震源机制解. 地震学报, **19**(1): 107~109
- 马杏垣(主编), 1989. 云南地震构造. 中国岩石圈动力学图集. 北京: 中国地图出版社. 51
- Gilbert F, Dziewonski A M, 1975. An application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mechanisms from seismic spectra. *Phil Trans R Soc, A* **278**: 187~269

① Gilbert F, Masters G, 1989. *Low-Frequency Seismology*. University of California, San Diego, USA(博士生讲义).