

# 由瑞雷波方向性函数研究 1974 年 5 月 11 日云南省昭通地震的震源过程\*

刘万琴 陈运泰

(国家地震局地球物理研究所)

## 摘 要

根据国内外 100 多个地震台的  $P$  波初动符号资料, 确定了 1974 年 5 月 11 日昭通地震的断层面解。用面波方向性函数和广义的面波方向性函数, 确定走向为  $N45^{\circ}E$  的节面是这次地震的断层面, 破裂传播方向是北东向, 破裂速度为 1.3 公里/秒, 破裂长度为 53 公里。根据谱密度估算这次地震的地震矩为  $6.5 \times 10^{23}$  达因-厘米。从上述结果, 结合昭通地区的地震活动和区域构造特点, 认为昭通地震是在东西向构造应力场的作用下, 北东向的巧家-莲峰大断裂朝着北东方向继续破裂的结果, 它把中断了的巧家-莲峰大断裂和华璧山-宜宾大断裂贯通起来。基于上述发震模式, 我们认为, 在同一构造应力场的作用下, 与北东构造共轭的北西向的彝良-水城断裂及峨眉-盐津构造带的地震危险性应予以注意。

## 一、引 言

1974 年 5 月 11 日云南省昭通 7.1 级地震发生后, 许多作者对它进行了研究<sup>[1-5]</sup>。这次地震发生在云南省昭通地区的永善县和大关县交界的山区中, 所以有些作者称它为永善一大关地震或永善地震<sup>[1, 2, 4]</sup>。四川省地震台网测定这次地震的震中位置是北纬  $28.2^{\circ}$ , 东经  $103.9^{\circ}$ , 震源深度 10 公里, 发震时刻 03 时 25 分 16 秒(北京时间), 震级  $M_s$  为 7.1。成都地震大队由四川省地震台网和全国地震台网的一些台站资料, 得到了这次地震断层面解<sup>[2]</sup> (见表 1 第 1 行); 昆明地震大队由云南省地震台网和全国地震台网的一些台站的资料, 也得到了这次地震的断层面解<sup>[3]</sup> (见表 1 第 2 行)。两者的结果大体一致, 都认为昭通地震  $P$  波的两个节面分别是北东向和北西向的几乎直立的平面。参考文献 [3] 的作者根据同样的资料, 得到了和前面提到的两个结果差别较大的断层面解 (见表 1 第 3 行)。按照文献 [3] 的结果, 昭通地震  $P$  波的两个节面分别是北北东向和北北西向的平面, 且倾角不大。这就引出一个问题, 就是昭通地震是以走向滑动为主还是以倾向滑动为主?

在两个节面中, 究竟哪一个是真正的断层面? 参考文献 [3] 的作者根据震中区地壳形变的测量资料、地震烈度的衰减特点和余震区随时间推移等特征, 认为北北西向的节面是真正的断层面。他们认为这次地震的发震断层是走向为北北西的左旋逆断层。

这次地震发生在金沙江下游南岸的山区中。野外调查受到交通不便的影响, 在足迹

\* 1978 年 4 月 13 收到。

所能到达之处, 都没有见到原生的地震裂缝. 这给分析判断这次地震震源的性质增加了困难. 为了确定这次地震的性质, 我们利用国内和国外地震台的记录, 重新确定这次地震的断层面解, 并且运用地震面波的方向性函数, 确定地震的断层面和地震矩, 应力降等震源参数.

表 1 不同作者得到的昭通地震的断层面解

作 者	节 面 I			节 面 II			P 轴		T 轴		B 轴	
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角
成都地震大队 <sup>[2]</sup>	46°	北西	85°	320°	北东	80°	272°	3°	181.8°	11°	17°	79°
昆明地震大队 <sup>[2]</sup>	57°	北西	81°	328°	北东	85.5°	102.5°	3.2°	192.5°	9.2°	352°	80°
朱成男、陈承照 <sup>[3]</sup>	25°	北西	40°	349°	北东	63.0°	94°	71°	30.0°	15.8°	2°	9°
本文	45°	北西	86°	315°	南西	86°	90°	5°	179.0°	1.0°	268°	84°

## 二、昭通地震的断层面解

参考文献[3]所得到的昭通地震的断层面解尽管和文献[2]所引用的两个结果有很大的差别, 但所依据的资料大同小异. 图 1 是不同作者得到的这次地震的断层面解. 由图 1(a) 和图 1(b) 可见, 受资料限制, 在震源球球面上资料点的覆盖范围相当小. 为了改善这种状况, 我们在国内 60 个地震台的 P 波初动资料的基础上, 增加了 62 个国外地震台的 P 波初动资料, 得到了另外的结果 (见表 1 最后一行和图 1c). 对比参考文献[2]、[3]的结果和本文的结果, 可知本文的结果和文献[2]所引用的两个结果是接近的, 而与文献[3]的结果差别较大. 若无本文所增补的资料, 的确难以判断文献[2]、[3]所给的断层面解哪一个比较合理. 现在看来, [2]所给的结果和本文的结果可能合理些. 本文的结果表明, 昭通地震的发震断层或者是走向北东 45° 的右旋一正断层, 或者是走向北西

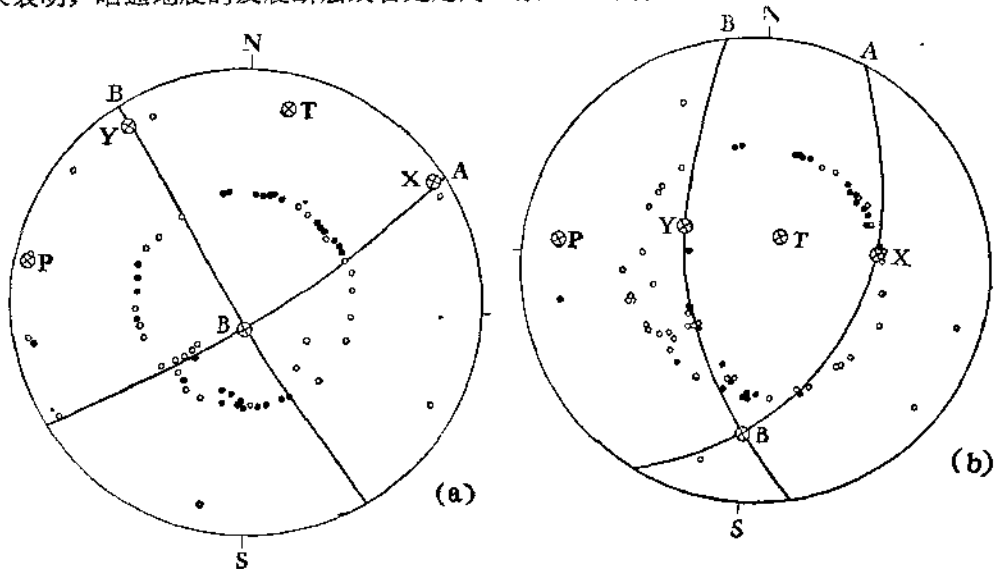


图 1 不同作者得到的昭通地震的断层面解

(震源球下半球投影在乌尔夫网上黑点表示初动是压缩圆圈表示初动是膨胀)

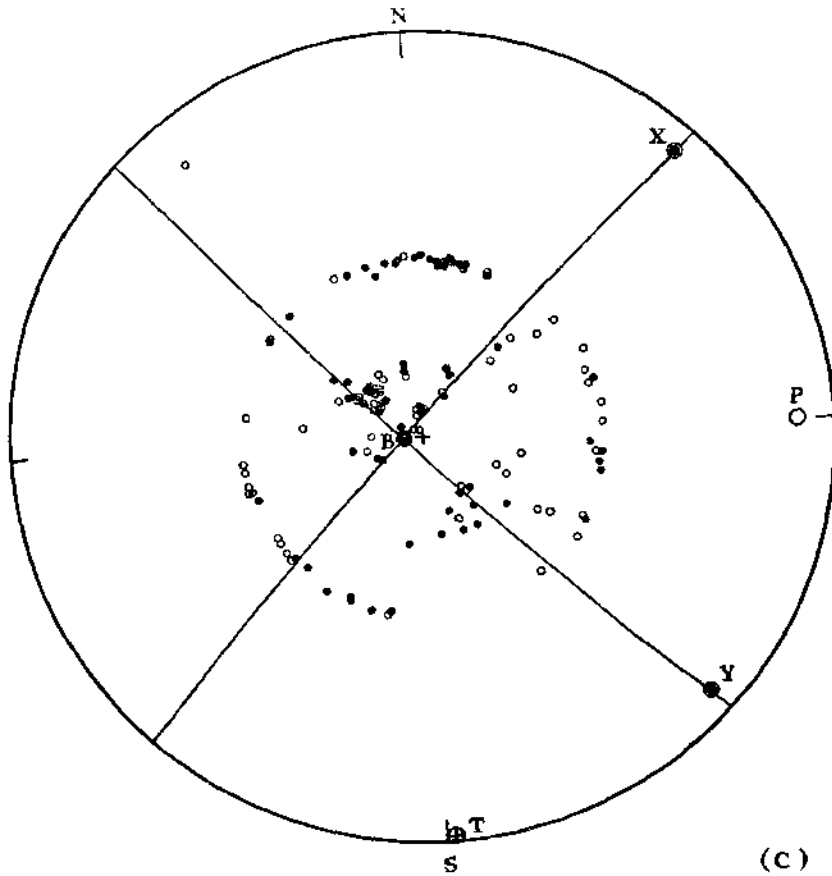


图 1 (续)

45° 的左旋—正断层。两个可能的断层面都是几乎直立的。并且，无论哪一个节面是断层面，错动的性质都是以走向滑动为主。

### 三、由瑞雷波的方向性函数确定昭通地震的断层面和破裂扩展方向

#### 1. 面波的方向性函数

为了确定昭通地震的断层面和破裂扩展方向，我们利用面波的方向性函数的特性。对于半无限介质中的一个长度为  $b$ ，宽度为  $d$  的垂直走向滑动断层，如果破裂以速度  $v_b$  沿着断层的走向扩展，则瑞雷波垂直分量的位移谱是<sup>[6]</sup>：

$$U_z^R = \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{r}} g_z(\omega) \sqrt{k_b} \frac{\sin X_R}{X_R} \exp \left[ i \left( \phi_R + \frac{3\pi}{4} \right) \right], \quad (1)$$

式中，

$$\begin{cases} X_R = \frac{\pi b}{\lambda} \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos \theta \right), \\ \phi_R = \omega \left( t - \frac{r}{c_R} \right) - X_R, \end{cases} \quad (2)$$

$c_R$  是瑞雷波相速度,  $\lambda$  是波长,  $r$  是震中距,  $\theta$  是从断层走向逆时针测量的台站方位角,  $k_b$  是横波的波数,  $g_s(\omega)$  是与震源时间函数、断层宽度、深度和圆频率  $\omega$  有关的一个函数。

方向性函数  $D$  是从相反方向离开震源的两条射线上面波振幅谱的比值, 也就是

$$D = \frac{|U_s^R(\theta)|}{|U_s^R(\theta + \pi)|} = \frac{\left| \sin \left[ \frac{\pi b f}{c_R} \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos \theta \right) \right] \left( \frac{c_R}{v_b} + \cos \theta \right) \right|}{\left| \sin \left[ \frac{\pi b f}{c_R} \left( \frac{c_R}{v_b} + \cos \theta \right) \right] \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos \theta \right) \right|} \quad (3)$$

式中,  $f$  是频率。

公式(1)中, 只有有限因子  $X_R$  和辐射图型因子  $\sin 2\theta$  中含有  $\theta$ , 所以方向性函数可以容易地推广到夹角为  $\alpha$  的任意两条射线上的面波振幅谱的比值:

$$D_\alpha = \frac{|U_s^R(\theta)|}{|U_s^R(\theta + \alpha)|} = \frac{\left| \sin \left[ \frac{\pi b f}{c_R} \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos \theta \right) \right] \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos(\theta + \alpha) \right) \sin 2\theta \right|}{\left| \sin \left[ \frac{\pi b f}{c_R} \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos(\theta + \alpha) \right) \right] \left( \frac{c_R}{v_b} - \cos \theta \right) \sin [2(\theta + \alpha)] \right|} \quad (4)$$

式中,  $D_\alpha$  称为广义的方向性函数<sup>[7]</sup>。

对于给定的  $b$ 、 $v_b$  及  $c_R$ , 广义的方向性函数  $D_\alpha$  有一系列的极大值和极小值, 它们分别发生在频率为

$$f_{\max} = \frac{n}{b \left[ \frac{1}{v_b} - \frac{\cos(\theta + \alpha)}{c_R} \right]}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

和

$$f_{\min} = \frac{n}{b \left( \frac{1}{v_b} - \frac{\cos \theta}{c_R} \right)}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

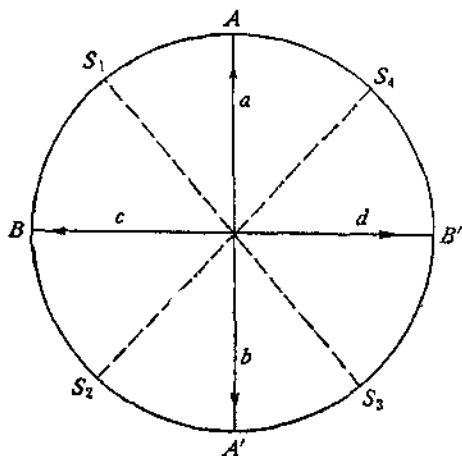


图2 用面波方向性函数确定断层面及破裂传播方向的方法示意图

处。由(5)、(6)式可见, 当  $\alpha = 180^\circ$  时, 若  $|\theta| < 90^\circ$ , 方向性函数的第一个极值是极大值; 若  $90^\circ < |\theta| < 180^\circ$ , 它的第一极值是极小值。这个性质可以用来判断两个节面中哪一个是真正的断层面。图2表示如何由观测资料判断断层面和确定破裂传播方向。设  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  等四个台分别处于两个节面  $AA'$  和  $BB'$  所隔开的四个象限中, 如果用这四个台的面波振幅谱得到  $\alpha = 180^\circ$  时的方向性函数  $D_{13} = S_1/S_3$  和  $D_{24} = S_2/S_4$ , 那么对于图中所示的四种可能的破裂方向中的每一个方向, 比值  $D_{13}$  和  $D_{24}$  的第一个极值的性质(极大或极小)如表2所示。

表 2 破裂面, 破裂方向与方向性函数的第一个极值性质的关系

破裂面	破裂方向	$D_{15}$	$D_{24}$
$AA'$	$a$	极大	极小
$AA'$	$b$	极小	极大
$BB'$	$c$	极大	极大
$BB'$	$d$	极小	极小

## 2. 昭通地震的发震断层和破裂传播方向

为了运用面波的方向性函数确定昭通地震的断层面和破裂传播方向, 我们利用了世界标准地震台网(WWSSN)的六个台的长周期地震仪垂直向的瑞雷波记录。这六个台站的名称、方位分布及所记录的垂直向瑞雷波如图 3 所示。它们构成了三对方位角相差大约  $180^\circ$  的台站对(表 3)。

先将上述六个台的瑞雷波记录数字化(NAI, KIP 台记录的采样间隔为 0.7 秒, SCP, LEM, RAB, NAT 台记录的采样间隔为 0.27 秒), 在 DJS-6 机上用快速富利叶变换(FFT)的方法对它们作频谱分析。频谱分析时, 采用矩形的时间窗, 窗长度 1—6 分钟不等。然后对所得的频谱扣除地震仪器的影响(图 4), 这样便得到如图 5 所示的瑞雷波振幅谱。

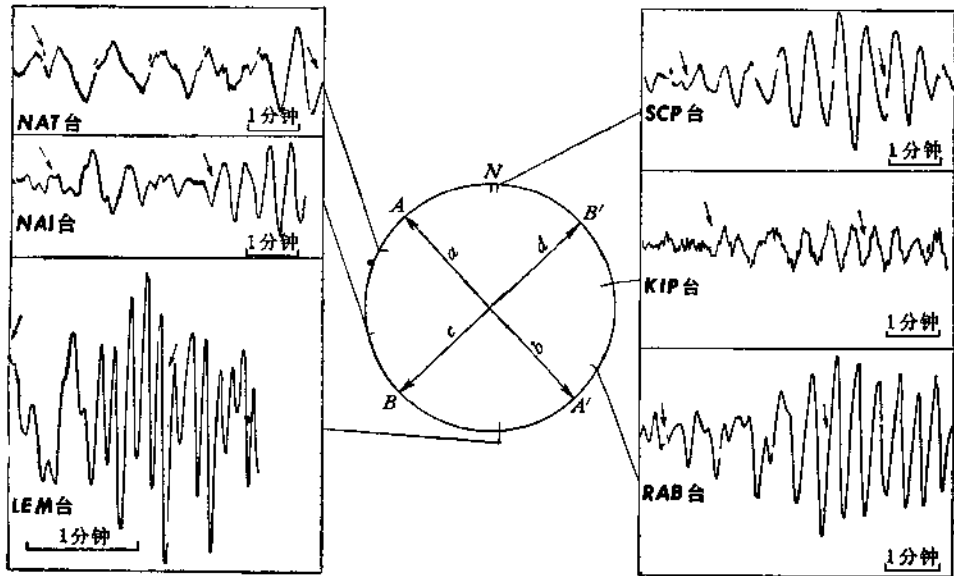


图 3 用以确定昭通地震的断层面和破裂传播方向的六个地震台的名称、方位分布及所记录的垂直向瑞雷波

(图中  $AA'$  和  $BB'$  表示本文得到的昭通地震的两个节面两个箭头分别表示瑞雷波波形成数字化的起始和终止位置)

面波的方向性函数是震中距相同的两个台的面波振幅的比值, 所以为求方向性函数, 我们将表 3 所示的台站对的一个台站的振幅谱归算到另一个台站距离处的振幅谱:

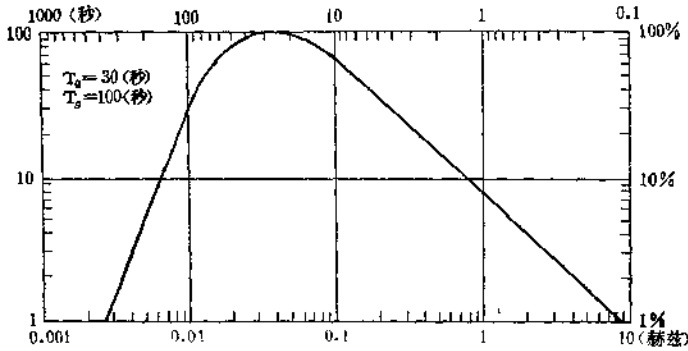


图 4 世界标准地震台网 (WWSSN) 长周期地震仪的频率特性。

( $T_s$  是摆的周期  $T_e$  是电流计的周期)

表 3 由三对地震台得到的瑞雷波方向性函数的第一个极值的性质

台站对	台站方位角之差 $\alpha$	第一个极值
KIP/NAI	174°	极大
RAB/NAT	175°	极大
SCP/LEM	172°	极大

$$A'_1 = A_2 \left( \frac{\sin \Delta_2}{\sin \Delta_1} \right)^{1/2} \exp [-(\Delta_1 - \Delta_2)\gamma], \quad (7)$$

然后将归算了的振幅谱相除便得到该台站对的瑞雷波方向性函数。在(7)式中,  $A_1$  表示第二个台站的振幅谱,  $\Delta_1$  和  $\Delta_2$  分别表示第一个和第二个台站的震中距,  $\gamma$  表示衰减系数,  $A'_1$  表示第 2 个台站归一化后的振幅谱。计算中, 取  $\gamma = 0.0002 \text{ 公里}^{-1[6]}$ 。

图 6 是 KIP/NAI, RAB/NAT, 和 SCP/LEM 等台站对的瑞雷波方向性函数, 及相应的极值频率—序数关系图。图中的黑点表示作者辨认的第一个极值的位置, 圆圈表示序数  $n \geq 2$  的极值的位置。公式(6)表明, 作为序数  $n$  的函数, 极值频率 ( $f_{\max}$  或  $f_{\min}$ ) 是通过坐标原点的直线。由图 6 中的极值频率和序数的关系图可见,  $f_{\max}-n$  图是通过坐标原点的直线, 这说明图中的黑点所指示的极值是方向性函数的第一个极值。显而易见, 上述 SCP/LEM 和 KIP/NAI 等两对台站的瑞雷波方向性函数的第一个极值都是极大值 (见图 6 及表 3)。

和 SCP/LEM 与 KIP/NAI 两对台站的情形不同, 从 RAB/NAT 这对台站的方向性函数中难以直接找到它的第一个极值。RAB 台相对于北东向节面  $BB'$  的方位角大约  $72^\circ$ , 如果  $BB'$  是断层面, 那么根据公式(5)、(6), 同序数的极大值与极小值的位置应当十分接近。图 6 中的极值频率—序数图所表明, 尽管同序数的极大值频率与极小值频率十分接近, 但极小值频率比极大值频率系统地偏高。这说明, 第一个极值应当是极大值。

对比图 3 和图 2 以及表 3 和表 2, 可以判断, 图 3 所示的  $BB'$  节面是断层面, 而  $d$  是破裂传播方向。

关于昭通地震主震的发震断层, 有许多不同的见解。国家地震局第一考察队认为这次地震的发震断层的走向是北西向, 而国家地震局第二考察队则认为走向为北东。按照

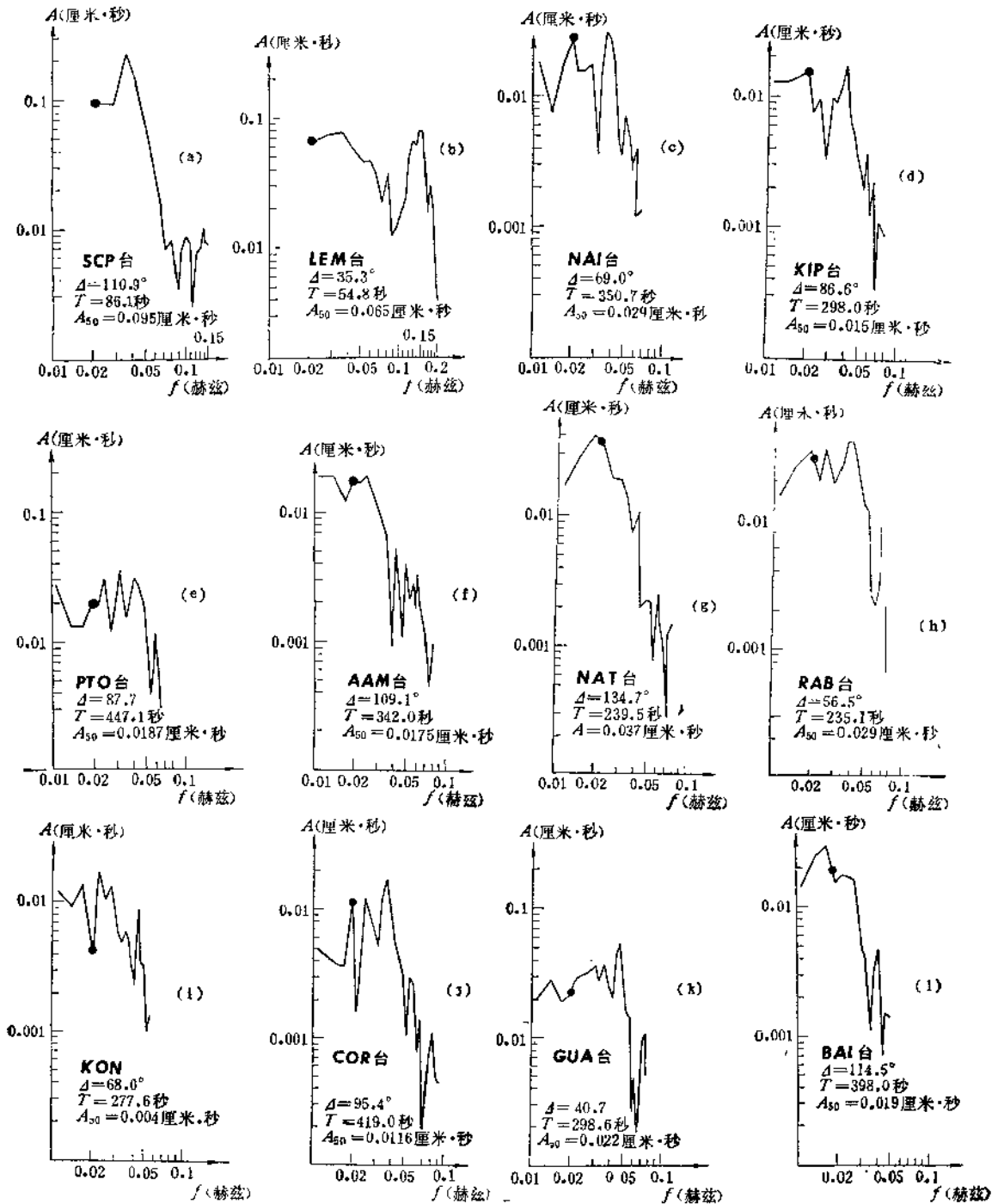


图 5 由世界标准地震台记录得到的昭通地震垂直向瑞雷波振幅谱

(黑点表示周期 50 秒的振幅  $\Delta$  表示震中距  $T$  表示时间窗的长度  $A_{50}$  表示周期为 50 秒时的振幅谱)

前面得到的结果, 作者认为, 昭通地震的断层面走向是北东  $45^\circ$ , 倾向北西, 倾角  $86^\circ$ , 它的破裂传播方向是北东向。

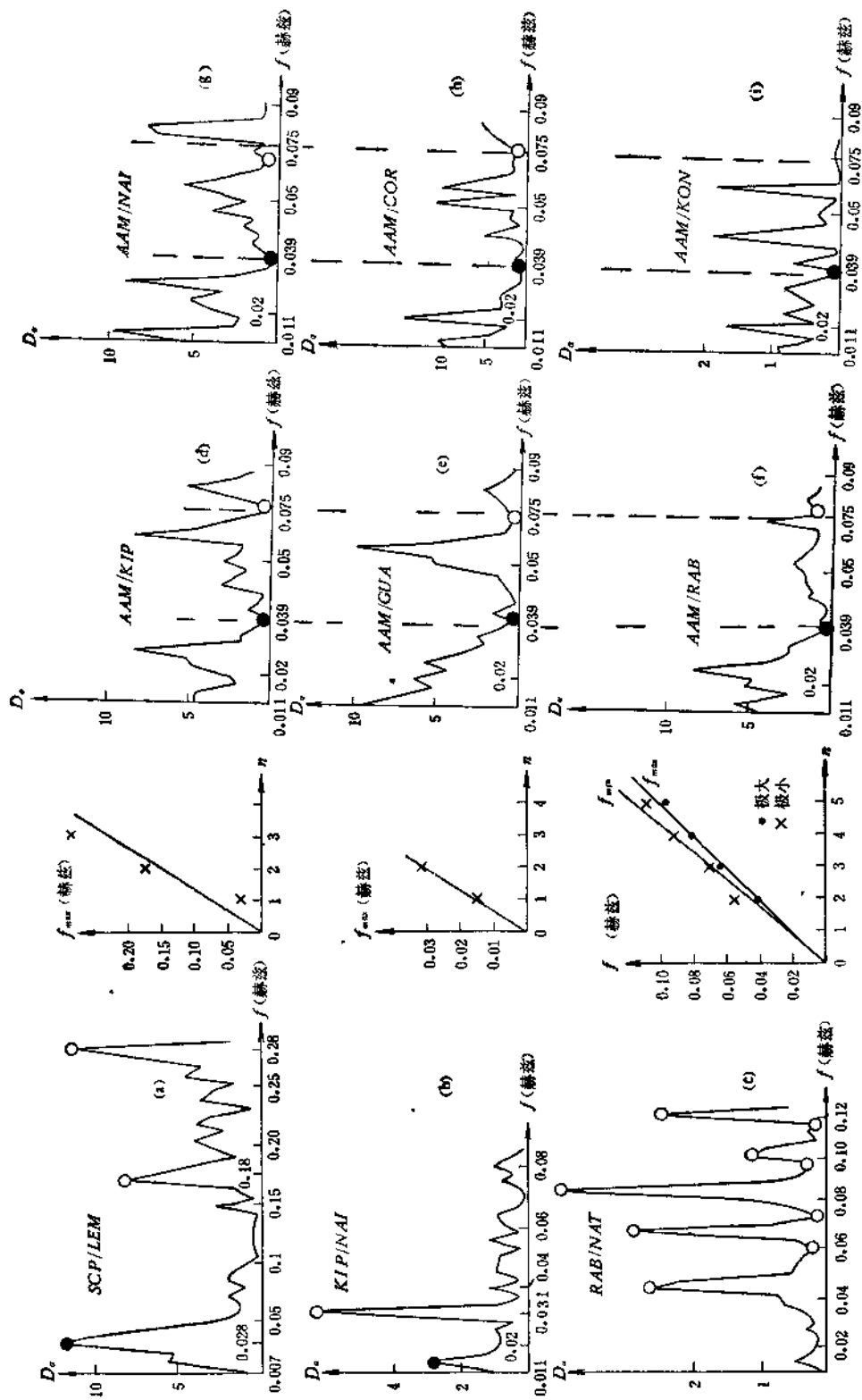


图6 由观测得到的瑞雷波广义方向性函数及相应的极值频率—序数关系图  
(黑点表示第一个极值 圆圈表示序数  $n \geq 2$  的极值)



### 3. 昭通地震的破裂传播速度和破裂长度

从公式(6)可知, 广义方向性函数的第一个极小点的周期  $T_{min}$  和  $c_R$ 、 $v_b$  以及  $\theta$  有关:

$$T_{min} = \frac{1}{f_{min}} = b \left( \frac{1}{v_b} - \frac{\cos \theta}{c_R} \right) \quad (8)$$

因此, 可以用方向性函数第一个极小值的周期确定破裂传播速度  $v_b$  和破裂长度  $b$ . 为此我们在上述六个台站的资料的基础上再增加 3 个台站的资料, 这样共有 9 个台站的资料, 它们的方位分布如图 7 所示.

按照前面叙述过的方法, 计算了这些台站记录的垂直向瑞雷波谱(图 5)和广义方向性函数(图 6). 然后利用广义方向性函数极小点只与方位角  $\theta$  有关而与  $\alpha$  无关的性质找出极小点, 再根据  $f_{min}-\theta$  图确定第一个极小点. 表 4 列出了各个台站的名称、方位和极小点的周期.

由图 8 可见, 极小点周期和  $\cos \theta$  呈线性关系. 取  $c_R = 3.14$  公里/秒, 由最小二乘法可以求得破裂长度为 53 公里, 破裂传播速度为 1.3 公里/秒.

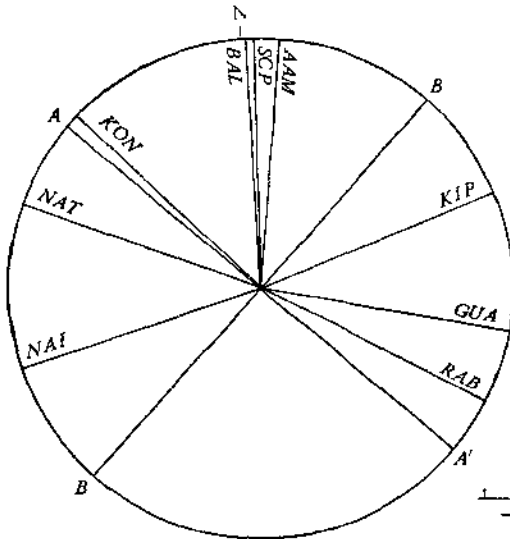


图 7 确定断层长度和破裂传播速度所用的台站的方位分布 (A'A', B'B' 是两个节面)

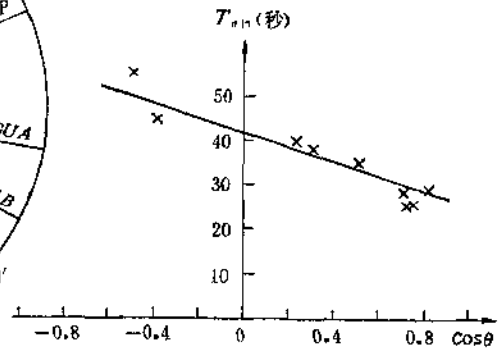


图 8 极小点周期和方位角余弦的关系

表 4 用以确定昭通地震的震源参数的台站名称, 方位和第一个极小点的周期

台 名	RAB	GUA	KIP	AAM	SCP	BAL	KON	NAT	NAI
$\theta$ (度)	288.0	302.5	327.0	39.0	44.0	41.1	76.0	113.0	148.2
$T_{min}$ (秒)	38.5	35.7	29.4	25.6	28.6	25.6	40.0	45.4	55.6

### 四、昭通地震的地震矩, 平均错距和应力降

由瑞雷波的振幅谱可以计算地震矩<sup>[9]</sup>

$$M_0 = \frac{|U_z^R(\omega)|(2\pi r)^{1/2}c_R e^{-\gamma r}}{N_z |\chi(\theta)|} \quad (9)$$

假定震源时间函数是阶梯函数,  $U_z^R(\omega)$  表示圆频率为  $\omega$  的瑞雷波垂直分量的振幅谱,  $r$  表示震源距,  $c_R$  表示相速度,  $N_{r,z}$  表示瑞雷波的单力转换函数,  $\chi(\theta)$  是辐射图型函数:

$$\chi(\theta) = d_0 + i(d_1 \sin \theta + d_2 \cos \theta) + d_3 \sin 2\theta + d_4 \cos 2\theta, \quad (10)$$

$$\begin{cases} d_0 = \frac{1}{2} \sin \lambda \sin 2\delta B(h), \\ d_1 = -\sin \lambda \cos 2\delta C(h), \\ d_2 = -\cos \lambda \cos \delta C(h), \\ d_3 = \cos \lambda \sin \delta A(h), \\ d_4 = -\frac{1}{2} \sin \lambda \sin 2\delta A(h), \end{cases} \quad (11)$$

$\lambda$  是滑动角,  $\delta$  是断层面的倾角,  $A, B, C$  是和震源深度  $h$  有关的函数. 我们以周期为 50 秒的振幅来计算地震矩. 结果得到昭通地震的地震矩  $M_0$  为  $6.5 \times 10^{25}$  达因-厘米.

平均错距可由下式求得:

$$M_0 = \mu \bar{u} b d, \quad (12)$$

式中,  $d$  是断层的宽度, 作为一种估计, 取它为震源深度的二倍, 即  $d = 20$  公里, 由前面可知,  $b = 53$  公里, 若取  $\mu = 3.3 \times 10^{11}$  达因/厘米<sup>2</sup>, 则可求得  $\bar{u} = 18.5$  厘米.

最大错距  $u_m$  和平均错距有如下的简单关系<sup>[10, 11]</sup>:

$$u_m = \frac{4}{\pi} \bar{u} \quad (13)$$

因此  $u_m$  为 23.6 厘米. 它沿走向和倾向的分量分别为

$$\begin{cases} u_m^{(s)} = u_m \cos \lambda \\ u_m^{(d)} = u_m \sin \lambda \end{cases} \quad (14)$$

由前面得到的结果可知  $\lambda = 4^\circ$ . 将这些数值代入(14)式, 就得到  $u_m^{(s)}$  和  $u_m^{(d)}$  分别为 23.5 厘米和 1.6 厘米.

表 5 昭通地震震源参数

$M_0$ (达因-厘米)	$E$ (尔格)	$b$ (公里)	$d$ (公里)	$\bar{u}$ (厘米)	$u_m$ (厘米)	$\Delta\sigma$ (巴)	$v_b$ (公里/秒)
$6.5 \times 10^{25}$	$7.6 \times 10^{20}$	53	20	18.5	23.6	2.1	1.3

应力降的走向分量  $\Delta\sigma_s$  和倾向分量  $\Delta\sigma_d$  为:

$$\begin{cases} \Delta\sigma_s = \mu \frac{u_m^{(s)}}{2d}, \\ \Delta\sigma_d = \mu \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \frac{u_m^{(d)}}{d}, \end{cases} \quad (15)$$

其数值分别为 1.9 巴和 0.2 巴. 而总的应力降是走滑分量和倾滑分量的向量和, 其数值  $\Delta\sigma = 2.1$  巴.

由走向滑动和倾向滑动释放的能量为:

$$\begin{cases} E_s = \frac{4}{\pi} \mu b \bar{u}^2, \\ E_d = \frac{8}{\pi} \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \mu b \bar{u}_d^2, \end{cases} \quad (16)$$

其数值分别为  $7.6 \times 10^{20}$  和  $4.7 \times 10^{18}$  尔格,因而总能量  $E$  为  $7.6 \times 10^{20}$  尔格。

为了清楚起见,表 5 列出了所得到的昭通地震震源参数。

### 五、讨 论

历史记载和二十世纪以来的仪器记录资料表明,滇东北地区的地震活动是相当频繁的(图 9),自 1844 年 8 月大关县元亨地震以来,滇东北的较大地震的分布大体呈北东向,而这次昭通地震正好发生在这个北东向地带的东北端。它的余震多数沿北东  $35^\circ$  方向分布(图 10)。余震区长约 45 公里,宽约 20 公里。在余震区内,北东向构造具有重要地位(图 11)。巧家一莲峰大断裂长达 150 公里,其西南起于巧家与宁南之间,向北东以走向  $40^\circ$  一直延伸到余震区南端的高桥西北,断层面倾向西北。它在晚古生代已有活动,燕山运动中发生了强烈的右旋-逆断层运动。余震区东北的华蓥山一宜宾大断裂是划分川中和川东两个构造区的重要断裂,这条大断裂在四川盆地内表现为梳状褶曲和间断分布

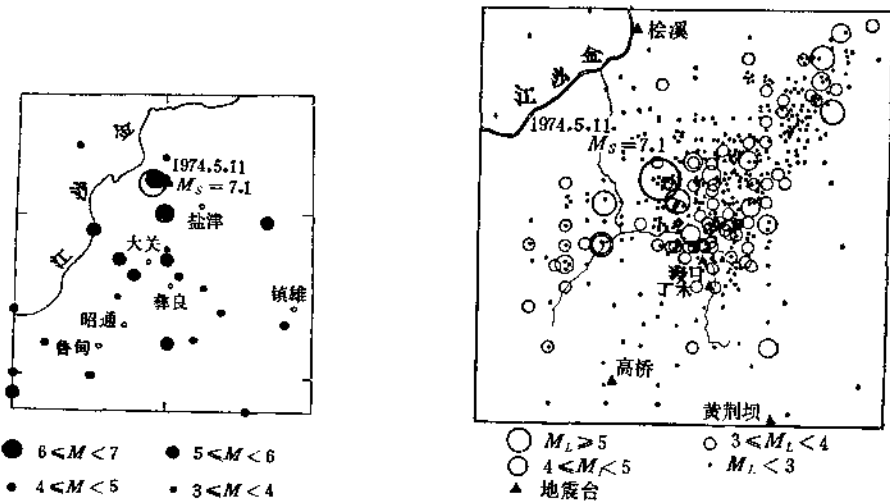


图 9 滇东北 4 级以上的历史地震和近期 3 级以上地震的震中分布图

图 10 昭通地震余震震中分布图 (1974 年 5 月 11 日至 7 月 31 日)

的断裂,它延伸到余震区附近,和巧家一莲峰大断裂遥遥相对,在余震震中区间断了大约 30 公里左右。根据前面所得的结果,可以推断昭通地震是在东西向构造应力场作用下,北东向的巧家一莲峰大断裂朝着北东方向继续破裂的结果,它终止于华蓥山一宜宾大断裂的西南端,把上述两条北东向的大断裂贯通起来(图 11)。余震区附近有两条规模宏大的北西向构造带,其东南是彝良一水城断裂,西北端终止于大关一带,其北面是峨眉一盐津构造带,在绥江一盐津一段分布着同方向的断裂和褶皱,在盐津一带和华蓥山大断裂相交。在近东西向构造应力场作用下,近年来北西向构造上陆续发生了一些中强震,如 1971 年 8 月 16 日马边 5.8 级地震,1973 年 4 月 22 日彝良 5 级地震和 1973 年 6 月 29 日马边 5.5 级地震。在这些中强震活动的背景下发生了 1974 年 5 月 11 日昭通 7.1 级地震,它把北东向的巧家一莲峰大断裂和华蓥山一宜宾大断裂贯通起来(图 12)。考虑到昭通地震已使上述两条北东向大断裂贯通起来,减轻了滇东北地区北东向大断裂上的地震危险性,所

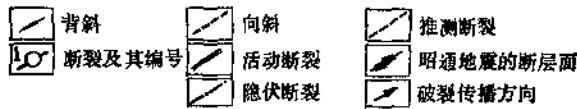
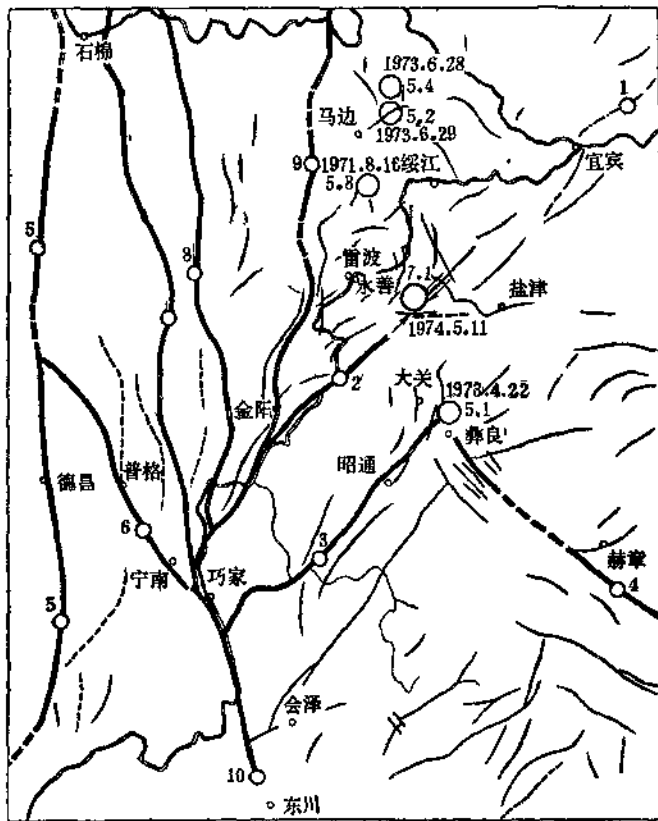


图 11 昭通地区区域构造略图

- ①—华蓥山—宜宾断裂 ②—巧家—莲峰断裂 ③—酒鱼河断裂  
 ④—彝良—水城断裂 ⑤—安宁河断裂 ⑥—普格断裂 ⑦—普雄河断裂  
 ⑧—汉源—甘洛断裂 ⑨—峨眉—金阳断裂 ⑩—小江断裂

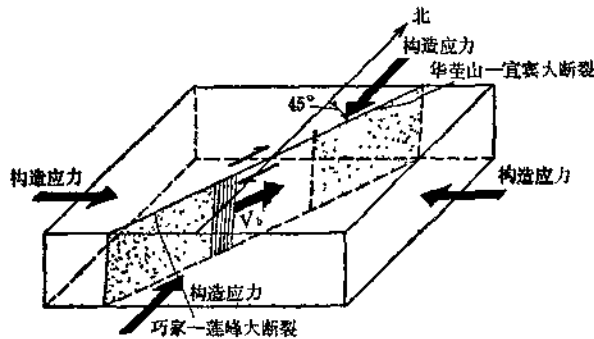


图 12 昭通地震的发震模式示意图

以作者倾向于认为，滇东北的强震活动将从北东向构造带转移到与它共轭的北西-北北

西向构造带。今后对北西向的彝良—水城断裂至峨眉—盐津构造带上的地震危险性更应予以注意。

### 参 考 文 献

- [1] 冯德益, 1974 年 5 月云南省永善—大关 7.1 级强震前波速比的异常变化, 地球物理学报, **18**, 4, 235—239, 1975.
- [2] 蜀水, 震源应力场岩石膨胀性和水的扩散作用——云南省永善 7.1 级地震及其前兆孕育发展过程, 地球物理学报, **19**, 2, 74—94, 1976.
- [3] 朱成男、陈承照, 1974 年云南省昭通地震破裂机制, 地球物理学报, **19**, 4, 317—329, 1976.
- [4] 刘正荣、雷素华、胡素华, 1974 年 5 月 11 日云南省永善—大关地震, 地球物理学报, **20**, 2, 110—114, 1977.
- [5] 曾融生、师洁珊, 1974 年 5 月 10 日云南省永善—大关主震的多重性, 地球物理学报, **21**, 2, 160—173, 1978.
- [6] A. Ben-Menahem, Radiation of seismic surface waves from finite moving sources, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **51**, 3, 401—435, 1961.
- [7] A. Udias, Source parameters of earthquakes from spectra of Rayleigh waves, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **20**, 4, 353—375, 1971.
- [8] E. Tryggvason, Dissipation of Rayleigh wave energy, *J. Geophys. Res.*, **70**, 6, 1449—1456, 1965.
- [9] A. Ben-Menahem and D. G. Harkerider, Radiation patterns of seismic surface waves from buried dipolar point sources in a flat stratified earth, *J. Geophys. Res.*, **69**, 12, 2605—2634, 1964.
- [10] L. Knopoff, Energy release in earthquakes, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **1**, 1, 44—52, 1958.
- [11] K. Aki, Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, part 2, Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum, *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.*, **44**, 1, 73—88, 1966.

**A STUDY OF THE FOCAL PROCESS OF THE ZHAO-TONG  
EARTHQUAKE ( $M=7.1$ ), YUNNAN PROVINCE OF  
MAY 11, 1974 FROM THE DIRECTIVITY  
FUNCTION OF RAYLEIGH WAVES**

LIU WAN-QIN

CHEN YUN-TAI

*(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)*

**Abstract**

Based on the data of the first P-motion recorded at more than 100 seismographic stations located in China and other parts of the world, the fault plane solution of the Zhao-Tong earthquake of May 11, 1974, Yunnan Province was determined. Using the directivity function and its generalized form of surface waves, the nodal plane striking  $N 45^{\circ}E$  has been preferred as the fault plane of this earthquake. The direction of propagation of the fracture is northeast with a velocity of 1.3 km/sec and the total length of the fracture 53 km. The estimation of the seismic moment of this earthquake by spectra density analysis gives a value of  $6.5 \times 10^{28}$  dyne-cm.

From the result thus obtained and in the light of the seismicity and tectonic features of the Zhao-Tong region, it is believed that this earthquake was caused by the action of eastwest tectonic stress field, under which the northeast striking Qiaojia-Lianfeng major fault continued to be fractured toward the northeast, so as to link-up with the Huaying-Yibin major fault by breaking through the gap between them.

From the above viewpoint for the model of focal process, we suppose that under the action of the same regional tectonic stress field, the conjugating geological figures, namely, the northwest striking Yiliang-Shuicheng fault and the Emei-Yanjin tectonic structural belt might be seismically dangerous.