

用瑞雷波广义方向性函数研究 5—6级地震的破裂过程*

刘万琴

(国家地震局地球物理研究所)

黄家正

(武汉地质学院)

摘要

本文直接利用瑞雷波广义方向性函数极小值的周期与台站相对于破裂方向的方位角的关系,估计了1979年6月19日山西省介休5.1级地震及1979年7月9日江苏省溧阳6.0级地震的破裂方向、破裂长度和破裂速度。结果表明,这两次地震都是以走向滑动为主,介休地震破裂方向是南南东,破裂速度为1.1公里/秒,破裂长度为11公里。溧阳地震破裂方向是南东,破裂速度为2.5公里/秒,破裂长度为15公里。这些结果与断层面解符合得较好。

一、引言

众所周知,研究强震的孕育和发展过程,需要了解震源的特征。对于强震来说,确定表征其震源特征的震源参数的方法较多,例如用观测到的P波、瑞雷波谱的一些特征估计震源参数,或用假定一定的震源模式计算理论地震图与台站记录到的地震图比较估计震源参数。强震的震源参数还可用地形变资料、等震线、余震的空间分布等方法估计。而对于5—6级地震则情况不同,由于它的能量比强震小得多,一般看不到地面的宏观破裂;地震台记录也因距离震中近的出格,距离震中远的(如震中距大于十度)P波不清楚使得有些资料不能用。然而,震中距在七度到十几度范围内基式仪的面波记录尚清晰可用。就我国基准台的分布情况而言,一个5—6级的国内地震,至少有九个台记录到面波。例如 $M_s = 5.1$ 的介休地震有十二个台的基式仪记到,这个数字是很可观的。

根据5—6级地震破裂过程比强地震简单,瑞雷波周期较长以及传播过程中受介质不均匀性影响较小的特点,本文试图直接利用瑞雷波广义方向性函数极小值周期与台站相对于破裂方向的方位角的关系,给出地震的破裂方向、破裂长度及破裂速度。

二、方法与结果

在半无限介质中,一个长度为 b ,破裂速度为 V ,的垂直走向滑动断层,瑞雷波相速度

* 1980年2月20日收到。

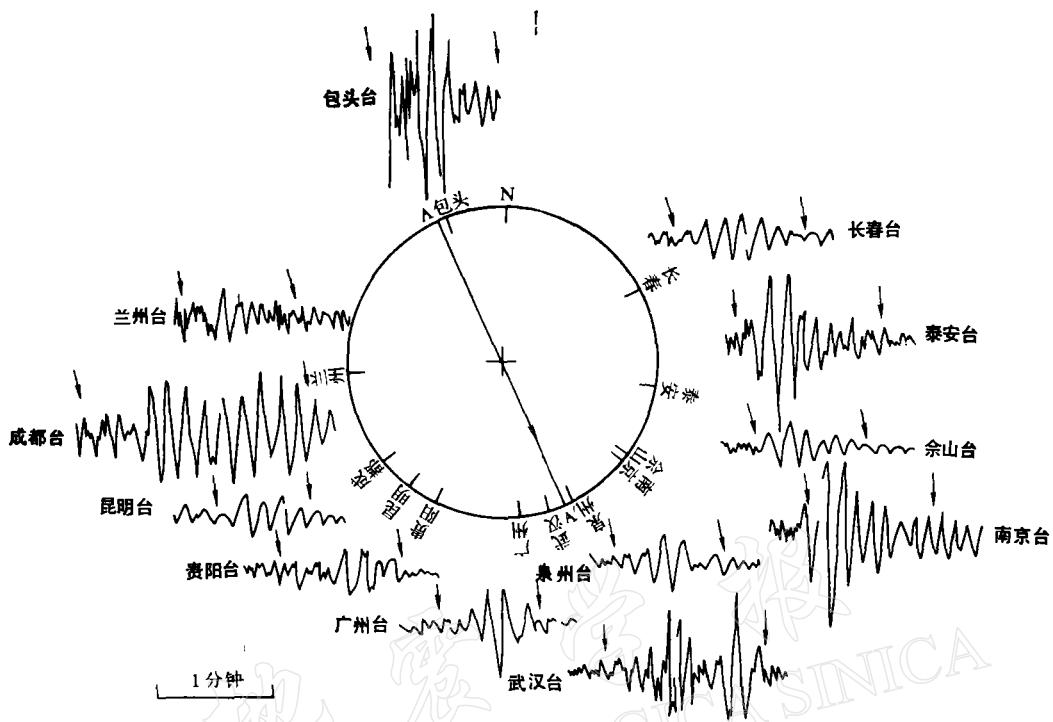


图 1 用以确定介休地震破裂方向的十二个地震台的名称、方位分布及瑞雷波垂直向记录

(图中 AA' 表示本文得到的断层面, AA' 上的箭头是本文得到的破裂方向, 记录图上的两个箭头, 分别表示瑞雷波形数字化的起点和终点位置)

C_R 已知, 则瑞雷波广义方向性函数 $D_\sigma^{[1]}$ 随频率变化有一系列极小值和极大值, 其中极小值的周期 T_{\min} 与方位角 θ 有关, θ 是从断层面走向逆时针测量的台站方位角, $\theta=0^\circ$ 时, T_{\min} 最小, $\theta=180^\circ$ 时, T_{\min} 最大. 本文利用这个性质估计破裂方向.

1979 年 6 月 19 日, 山西省介休发生 $M_s = 5.1$ 地震. 据山西省地震队测定, 这次地震的震中位置是北纬 $37^\circ 7'$, 东经 $111^\circ 57'$, 震源深度 14 公里, 发震时刻 12 点 15 分 17.2 秒(北京时间). 随后, 1979 年 7 月 9 日江苏省溧阳发生 $M_s = 6.0$ 地震, 据江苏省地震局测定, 这次地震的震中位置是北纬 $31^\circ 27.5'$, 东经 $119^\circ 15'$, 震源深度 12 公里, 发震时刻 18 点 57 分 23.1 秒(北京时间). 为了计算瑞雷波广义方向性函数, 本文使用了我国基准台的基式仪垂直向记录. 介休地震选用了 12 个台的记录, 溧阳地震选用了 11 个台的记录. 这些台站的名称、方位角分布及垂直向瑞雷波记录, 如图 1 和图 2 所示.

在资料处理过程中, 首先将各台的瑞雷波记录数字化. 采样间隔取 0.166 秒左右. 然后在 DJS-6 机上用快速富里叶变换 (FFT) 作谱分析. 谱分析时采用矩形窗. 介休地震记录窗长度为 1 分半钟左右, 溧阳地震记录窗长度为两分钟左右, 并对算出的谱扣除仪器影响. 最后将每一台站对中的一个台站的振幅谱, 归算到另一个台站距离处的振幅谱, 台站对的振幅谱相比便得瑞雷波广义方向性函数. 计算中衰减系数取 $\gamma = 0.00065^{[2]}$.

图 3、图 4 分别是介休、溧阳地震各台站对的瑞雷波广义方向性函数及相应的极小值

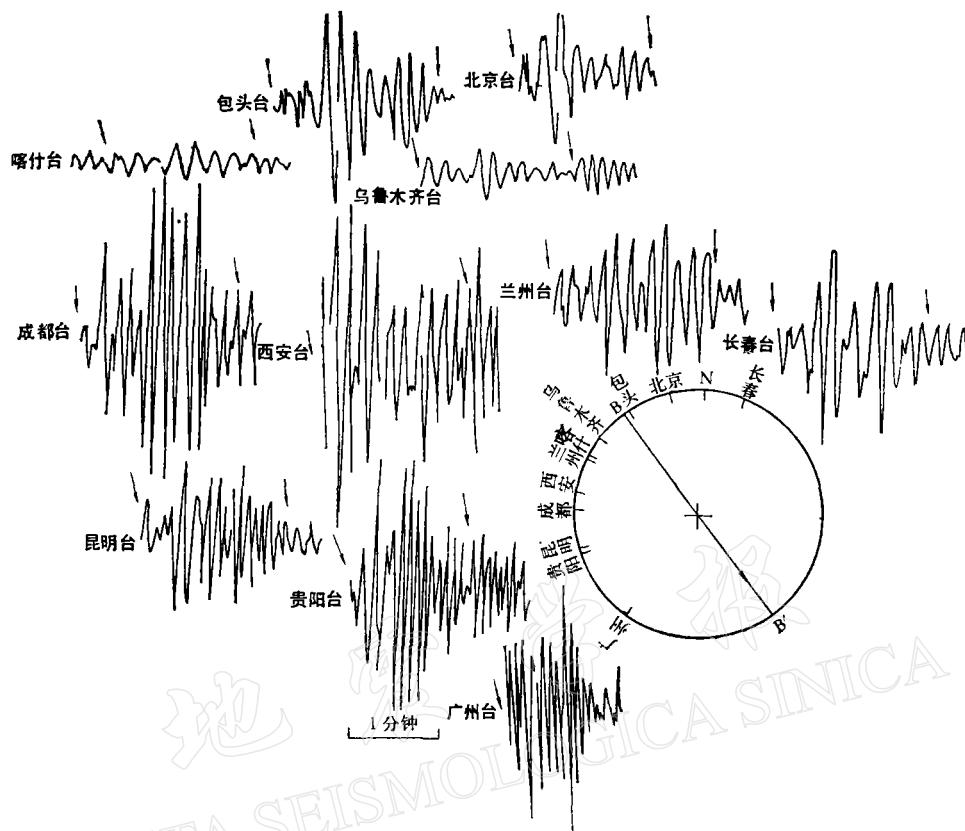


图 2 用以确定溧阳地震破裂方向的 11 个地震台的名称、方位分布及瑞雷波垂直向记录

(图中 BB' 表示本文得到的断层面, BB' 上的箭头表示本文得到的破裂方向、记录图上的两个箭头, 分别表示瑞雷波波形数字化的起点和终点位置)

频率——顺序图。图中的黑圈是本文辨认的极小值, 我们从极小值频率——顺序图确定第一极小值频率。

从所得到的极小值看出, 第一极小值的周期随方位角变化是明显的。对介休地震来说, 广州台、余山台、泉州台及南京台, 第一极小值的周期较小, 在 5.3—7.7 秒范围内; 而包头台、长春台及兰州台的第一极小值周期较长, 约为 11—12 秒。其它如泰安台、昆明台及成都台等第一极小值的周期居于两者之间。从图 1 的台站方位角分布可知, 介休地震破裂方向为南东方向, 我们假设三个可能的破裂方向, 它们的方位角从北顺时针依次是 165° 、 155° 、 150° 。分别作出 $T_{\min} - \cos \theta$ 图进行比较, 破裂方向的方位角为 165° 时, $T_{\min} - \cos \theta$ 关系图(图 5(a))线性关系较好, 设 $C_R = 3.14$ 公里/秒, 我们得到破裂速度 1.1 公里/秒, 破裂长度 10.7 公里。

对于溧阳地震, 广州台、昆明台及长春台的第一极小点周期较小, 在 5—6 秒之间; 而包头台的第一极小点周期长达 11 秒。从图 2 台站方位角分布看出, 溧阳地震的破裂方向也是南东方向, 我们假设破裂方向的方位角分别为 120° 、 140° 、 145° , 并作出 $T_{\min} - \cos \theta$ 图。其中 140° 的 $T_{\min} - \cos \theta$ 关系图(图 5(b))的线性关系较好。我们选择 140° 为溧阳

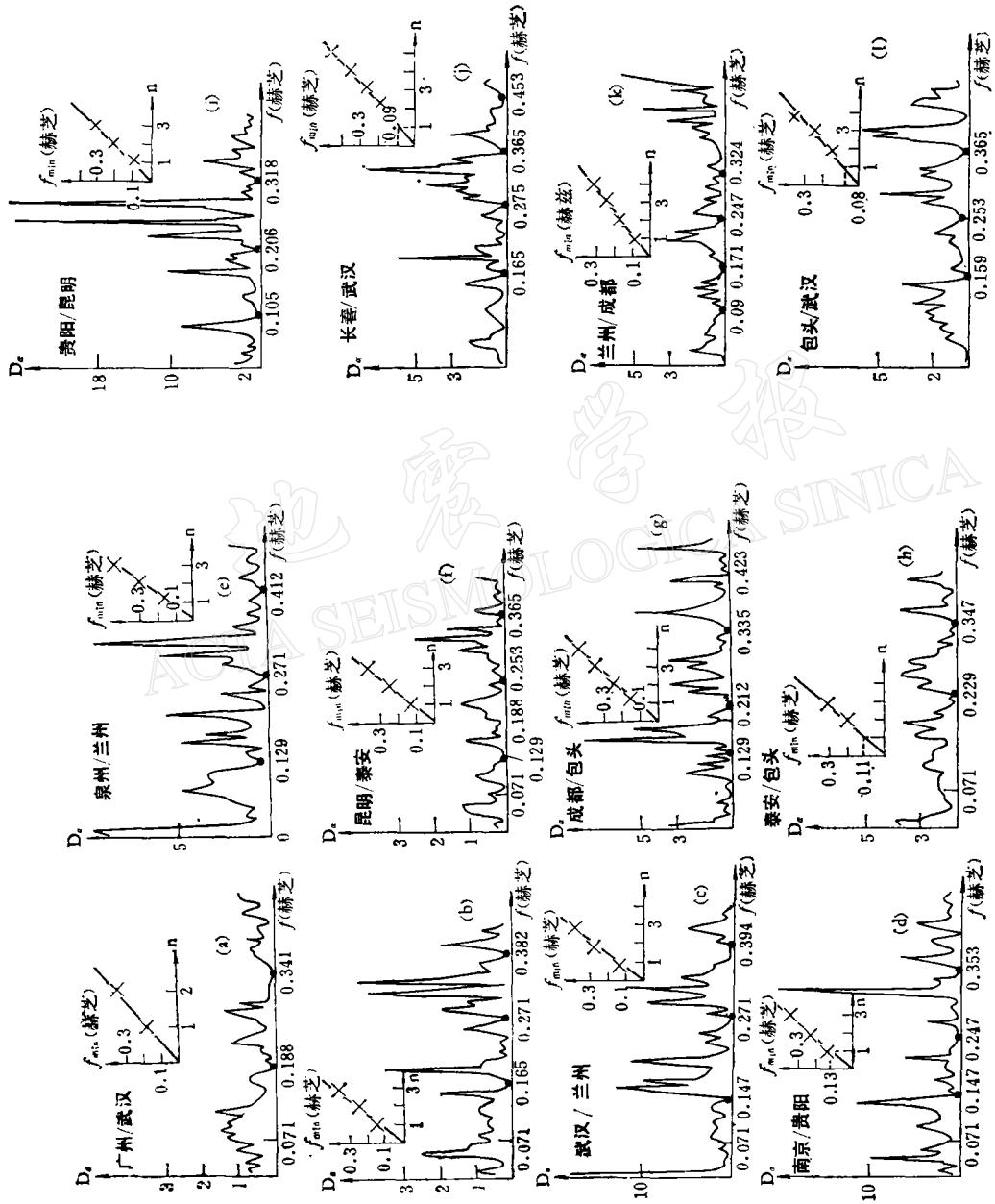


图 3 由观测得到的介休地震的瑞雷波^{“”}义方向性函数及相应的极小值频率——顺序图
(图中黑点是作者辨认的极小值, 更正: 小坐标中带×的斜线应该是一条实直线)

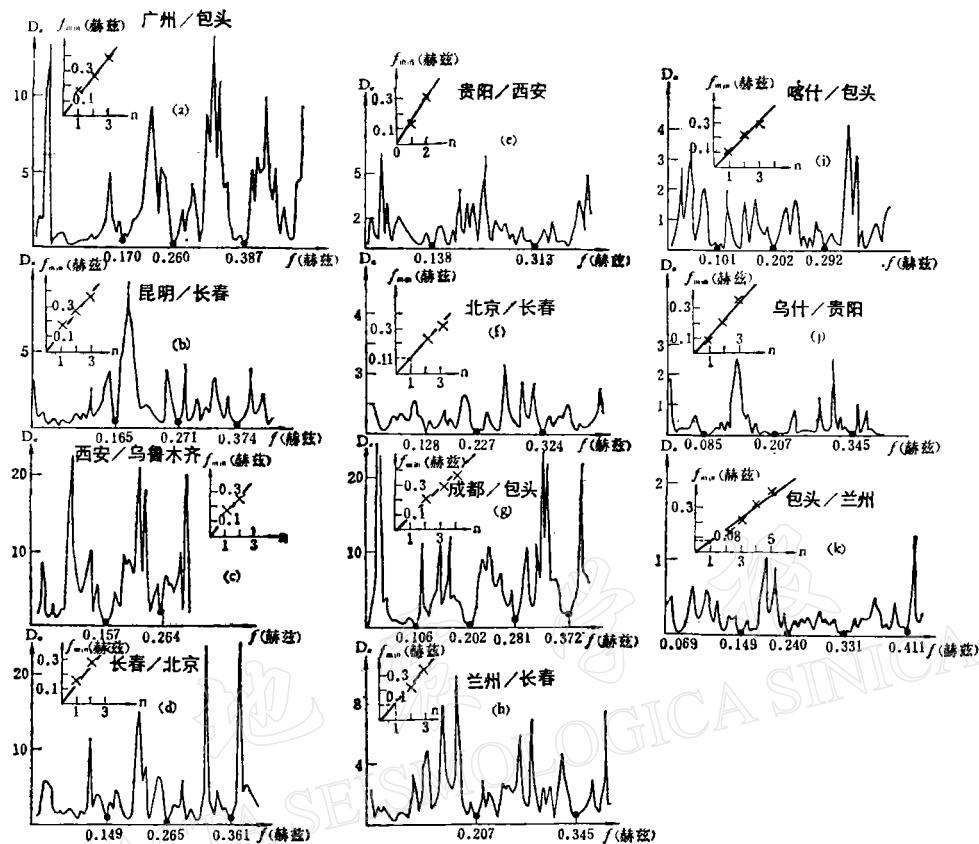


图 4 由观测得到的溧阳地震的瑞雷波广义方向性函数及相应的极小值频率——顺序图
(图中黑点是作者辨认的极小值)

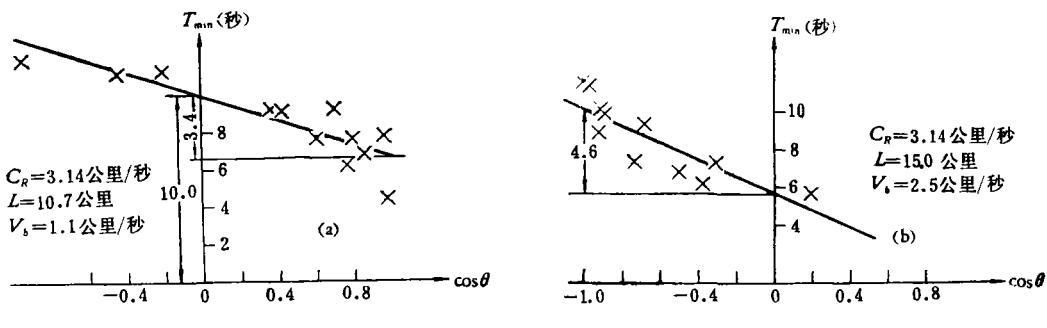


图 5 T_{\min} — $\cos \theta$ 关系图
(介休地震断层面走向方位角 165° ; 溧阳地震断层面走向方位角 140°)

地震破裂方向的方位角, 由此得出溧阳地震的断层面为北西, 破裂方向南东, 当 $C_R = 3.14$ 公里/秒时, 破裂长度 15 公里, 破裂速度 2.5 公里/秒.

由于不能准确地知道各条路线的相速度, 计算破裂长度时, 是会带来误差的, 但是影响不大, 例如当 $C_R = 3.14$ 公里/秒, 介休地震的破裂长度为 10.7 公里, 若 $C_R = 3.6$ 公里/秒

秒,破裂长度 12 公里。

为清楚起见,现将这两个地震对应各台的方位角,第一极小值的周期及最后结果列表如下:

表 1 确定介休地震破裂方向的台站名称、方位角 θ 及第一极小值周期

台名	余山	广州	成都	昆明	武汉	南京	泉州	包头	兰州	长春	贵阳	泰安
θ (度)	41.5	351.0	295.6	308.6	30.0	37.2	13.0	187.0	259.2	115.0	318.0	68.0
T_{\min} (秒)	6.05	5.3	9.1	7.7	6.8	7.7	7.7	12.0	11.4	11.1	9.5	9.1

表 2 确定溧阳地震破裂方向的台站名称、方位角及第一极小值周期

台名	喀什	贵阳	北京	兰州	昆明	乌鲁木齐	长春	成都	包头	广州	西安
θ (度)	204.0	251.0	156.0	205.2	248.2	193.5	120.0	229.0	176.0	282.0	221.0
T_{\min} (秒)	10.0	7.24	8.77	9.71	6.06	11.7	6.71	9.43	11.8	5.71	7.0

表 3 本文得到的介休、溧阳地震震源参数

地 震	断 层 面	破裂方向的方位角	破裂长度(公里)	破裂速度(公里/秒)
介 休	北 北 西	165.0°	11.0	1.1
溧 阳	北 西	140.0°	15.0	2.5

三、讨 论

从上面观测到的瑞雷波广义方向性函数看到,这两次地震都是以走向滑动为主,因为倾向滑动的瑞雷波广义方向性函数,要比我们观测到的复杂得多。

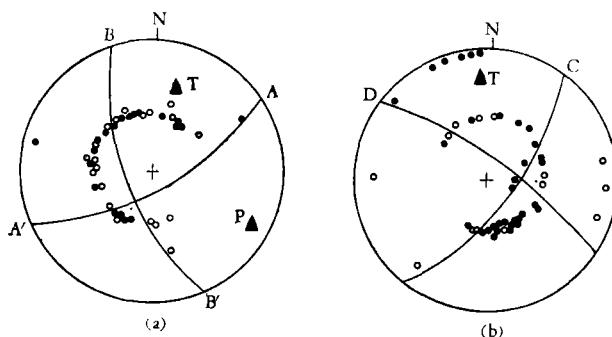


图 6

(a)——介休地震的断层面解 (b)——溧阳地震的断层面解
(注: 震源球上半球投影在乌尔夫网上。黑圈表示初动符号是压缩,
白圈表示初动符号是膨胀)

用这种方法估计破裂方向,关键是确定极小值频率。为了尽量避免振幅谱相除时引起的计算误差及其它局部因素的干扰,我们利用了极小值频率只与各台站对中作分子的台站的方位有关、与作分母的台站方位无关这一特点^[3],采取一个台分别与各台组合,比如有七个台的记录,就可以组合六次,利用六条广义方向性函数的曲线确定一个台的极小值。台站越多给出的极小值频率越可靠。从下面事实说明,我们确定的极小值频率基本上是可靠的。

林邦慧^[4]用全国台网基式记录及山西省、江苏省台网记录的 P 波初动符号,得到了这两个地震的断层面解(图 6),断层面解的结果列于表 4。

表 4 介休、溧阳地震断层面解结果

地 震	节面 A			节面 B			P 轴		T 轴	
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位角	仰角	方位角	仰角
介 休	60°	SE	70°	160°	SW	65°	132°	85°	19°	56°
溧 阳	30°	SE	60°	119°	NE	83°	238°	65°	351°	74°

我们的结果与介休地震的节面 B 及溧阳地震节面 B 较为接近。

参 考 文 献

- [1] A. Udias, source parameters of earthquake from spectra of Rayleigh wave, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **20**, 4, 353—375, 1971.
- [2] E. Tryggvason, Dissipation of rayleigh wave energy, *J. Geophys. Res.*, **70**, 6, 1449—1456, 1965.
- [3] 刘万琴、陈运泰, 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, 地震学报, **1**, 1, 25, 1979.
- [4] 林邦慧等, 溧阳—介休—五原北西条带强震的破裂特征, 地震学报(待发表).

A STUDY OF FRACTURE PROCESS OF EARTHQUAKES WITH MAGNITUDES, M_s = 5—6 BY THE GENERALIZED DIRECTIVITY FUNCTION OF RAYLEIGH WAVES

LIU WANQIN

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

HUANG JIAZHENG

(Wuhan Geological Institute)

Abstract

In this paper, the directions and the total length of the earthquake rupture as well as the velocity of rupture have been determined for the Jiexiu earthquake ($M_s = 5.1$), Shansi Province of June 19, 1979 and the Li Yian earthquake ($M_s = 6.0$) Jiangsu Province of July 9, 1979 by using directly the relation between the station azimuth relative to the rupture direction and the minimum period of the generalized directivity function of Rayleigh waves.

The results show that both earthquakes are mainly strike-slip in character. The direction of rupture of the Jie Xiu earthquake is south-southeast at a velocity of 1.1 km/sec. and total length, 11 km, while the direction of rupture of the Liyian earthquake is southeast at a velocity of 2.5 km/sec., and total length, 15 km. This result agrees rather well with that of fault-plane solutions.