

# 灵山地区地震活动性及构造应力场

蒋维强 任镇寰

(广东省地震局)

**摘要** 本文以广西及其邻近地区较为丰富的历史及现今的地震资料为基础,用地震能流密度的方法对灵山地区的地震活动水平作了定量的研究,对该区地震的震源深度作了估计,并用多种方法对灵山地区的构造应力场作了较详细的研究。

广西自1970年首次有仪器地震记录以来,迄今已积累了十多年的地震观测资料。从七十年代后期起,随着历史地震调查工作的开展,亦已掌握了相当丰富的历史地震资料,为研究该地区的地震活动规律打下了良好的基础。桂东南地区是广西地区地震频度最高,强度最大的地区,桂东南地区的地震活动受灵山地震带的控制。广西有史以来最大一次地震——1939年4月1日6级地震发生在灵山县。因此,对灵山地区进行地震活动性和构造应力场的研究是有意义的。

## 一、地震活动概况

广西地震活动周期与东南沿海地震亚区的周期基本同步,每个活动期大约为400年,其中平静期约占160—200年,活跃期约200年。大约1300—1695年为第一活动期,1695至今为第二活动期。广西目前的地震活动处于第二活动期的活跃期后期,即剩余应变释放阶段,估计这一阶段还将延续50年左右<sup>[1]</sup>。

广西地震活动在空间上大致分为东北、西部和东南三大区域。桂东北的地震主要发生在第一活动期内,进入第二活动期以来,未见有任何大的地震活动,现今小震活动水平也较低;桂西的地震主要发生在第二活动期内,已发生4次 $M_s \geq 5$ 、1次 $M_s > 6$ 的地震,现今小震活动较为频繁。

桂东南的地震活动受灵山地震带的控制。灵山地震带在大地构造上属于钦州褶皱带和云开隆起带;在新构造上分区上,属东南沿海断块隆起区的云雾隆起的西半部,构造以北东向为主。防城——灵山断裂带和合浦——北流断裂带是主要的活动断裂带,它们在第四纪以来有明显的活动。从第一活动期以来,在灵山地震带已发生12次 $M_s \geq 5$ 、2次 $M_s \geq 6$ 的地震,是历史上地震活动最强的区域,灵山县还曾二次发生 $M_s \geq 5$ 级的大地震,该带上现今小震活动的水平较高。

## 二、地震能流密度

为了定量地表示地震活动性水平的差异和趋势,我们用地震能流密度的大小来表示<sup>(2)</sup>,如果在研究区里共有N次地震,某点的地震能流密度为

$$S(\lambda, \varphi, T) = \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{T 4 \pi h_i^2} \exp\left(-\frac{\Delta_i}{zh_i}\right) \quad (1)$$

式(1)中的 $\lambda$ 、 $\varphi$ 为经纬度,  $T$ 为发生N个地震的时间间隔,  $E_i$ 表示单个地震的能量,  $h_i$ 为震源深度。能量与震级的关系由下式确定

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (E \text{ 以尔格为单位}) \quad (2)$$

我们取公元1300—1986年发生广西及邻域 ( $20 \leq \varphi \leq 27$ ,  $106 \leq \lambda \leq 116$ )  $M_s \geq 4$  的地震,按(1)式求得灵山地区及邻域各点的地震能流密,绘成图1所示的历史地震能流密度

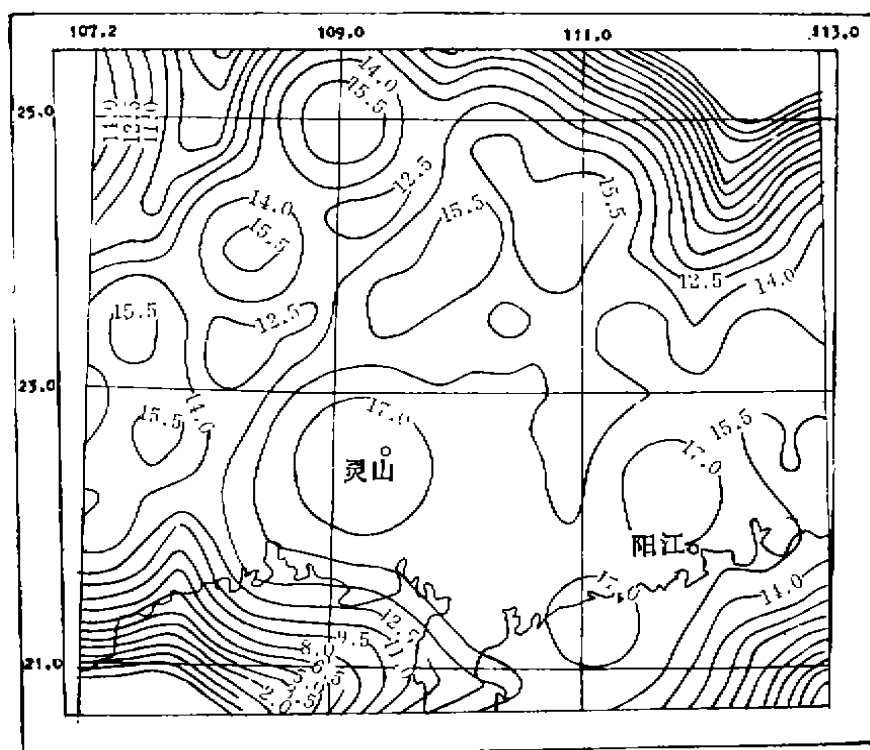


图1 历史地震能流密度图

Fig. 1 The energy flux density of historical earthquakes

图。我们再用公元1970—1986年发生在广西及邻域  $M_s \geq 2.0$  的地震,按(1)式得到图2所示的灵山地区及邻域的现今地震能流密度图。

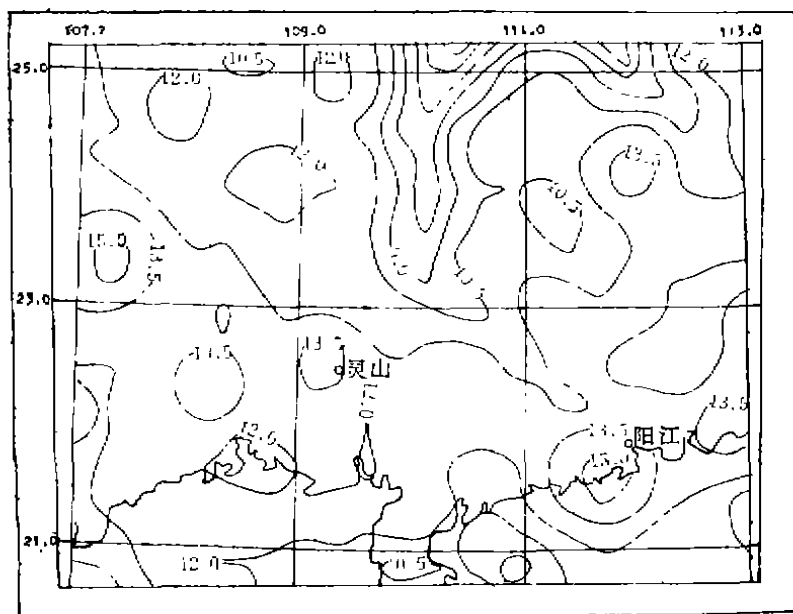


图2 现今地震能流密度图

Fig. 2 The density of seismic energy flux in recent years

对于大多数地震公式(1)所需的震源深度 $h$ 是未知的,在这种情况下,我们取 $h=10$ 公里。在上述两张图中,等值线表示单位时间、单位面积的地震能流。为了得到用每平方公里、每年的尔格数表示地震能流密度,其数值等于10的等值线的数值次方,也就是说图中的数值由 $LgS(\lambda, \varphi, T)$ 给出。

从图1可以看到,灵山地区地震能流密度的数值比桂东北、桂西高出两个量级,即灵山地区的地震活动水平远比其他地区高;由于桂东北的地震活

动主要在第一活动期,而桂西的地震活动主要在第二活动期,因此,从图1可以看到在第一活动期桂东北的地震活动水平与第二活动期桂西的地震活动水平相当。

从图2可以看到,从1970年以来,灵山地区的地震活动水平已明显降低,比桂西平果地区的地震活动弱得多,但仍然比桂东北的地震活动强烈。

### 三、震源深度的估计

准确测定震源深度是相当困难的。历史强震只能从等震线来推算,误差较大;现今小震的深度只能在台网密、布局合理时,才能得到较精确的结果。但是,合理地采集资料,运用多种方法作综合分析,可以得出灵山地区比较可靠的震源深度区间。

灵山地区所有 $M_s \geq 2.0$ 地震都能在适当的震中距上记录到 $P_{11}$ 和 $P$ 波,说明地震都发生在地壳内部,即震源深度小于30公里。用等震线的方法求得1936年6级灵山地震的震源深度为5公里。灵山地震台记录到灵山附近的地震的 $S-P$ 一般都小于2.5秒,许多地震的 $S-P$ 小于2.0秒,所以,这些地震的震源深度必定小于20公里或小于15公里。

我们从1970至1989年的广西地震目录选出197个灵山及灵山地区(防城——灵山和合浦——北流断裂两侧)的一类精度地震的震源深度,进行震源深度分布统计,灵山及灵山地区的震源深度分布如表1所示。从表1可以看到,深度主要分布在5—14公里,密集在5—10公里之间,震源深度大于20公里的地震极少。

所选出的197个地震的记录台站分布较为合理,但测出深度的精度还与震中距的大小有很大的关系。所选用的23个灵山地震,距灵山台很近,其最小震中距较小,算出的深度结果

表 1

灵山及灵山地区震源深分布

Table 1 Focal depth in and near Lingshan

| 深度 (Km) | <5 | 5—7.9 | 8—9.9 | 10—11.9 | 12—13.9 | 14—15.9 | 16—17.9 | 18—19.9 | ≥20 |
|---------|----|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 灵 山     | 0  | 8     | 6     | 2       | 5       | 1       | 1       | 0       | 0   |
| 灵山地区    | 1  | 104   | 50    | 10      | 11      | 9       | 7       | 3       | 2   |

较为可靠。有不少其他地震的最小震中距较大,一般都在40公里左右,因此所得出的震源深度必定存在较大的误差。以石川法为例,如果震源深度为20公里,最小震中距为40公里,测定结果的误差小于3.5公里<sup>(3)</sup>,即测出的结果为16.5—23.5公里之间,而表1所示的震源深度测量结果的94%都小于16公里,也就是说,既使考虑测量震源深度存在的误差,所选用的197个地震最少有94%的地震的震源深度小于20公里。

文献〔4〕用多种方法得到琼北及邻域的平均震源深度为14.7公里。1977年发生在灵山西面的5.0级平果地震的震源深度为10公里。

综上所述,灵山地区地震都是发生于地壳中的浅地震,震源深度一般都小于20公里,主要分布在5至16公里,密集在5至10公里之间。

#### 四、构造应力场

由于广西地区的台网较疏,可用的资料不够充分,所以我们采用下面三种方法对灵山地区进行震源机制和应力场反演,尽可能多地利用现有的地震记录图上的各种信息和资料,以期更加可靠地了解该地区的构造应力场状态。

##### 1. S、P最大振幅比法

该方法是利用各台站理论地震图的S、P最大振幅比与相应观测到的S、P最大振幅比拟合的方式求解震源参数<sup>(6)</sup>。该方法具有用资料少、计算速度快、适应性强、计算结果的精度高等优点,同时它以S、P最大振幅比为观测资料,进一步开发和利用了地震图记录到的信息。

我们采用灵山地区及邻域的21个地震,利用文献〔5〕的方法计算了这些地震<sup>1)</sup>,把每一个地震至少一个初动符号点在相应的断层面解面上,则可定出P、T轴,表2是本区21个地震的震源机制解。为了直观地显示该区21个地震的主压应力轴的分布情况,把这些地震的主压应力轴绘在图三上。

由图3和表2可以看到,主压应力轴主要分布310°至350°之间。我们进行应力轴方向统计时,取90°张角的范围内,尽可能多的地震进行统计计算,舍弃该范围以外的少数地震。

这里我们取294至384度之间的16个地震进行统计计算。P轴的平均方位角为332°,仰角为11°,T轴的平均方位角为245°,仰角为15°。

1) 林纪曾,琼北及其影响区地震活动性的研究,1986。

表2 灵山地区21个地震的震源机制解

Table 2 Focal mechanism solution of 21 earthquakes in Lingshan area

| 编<br>号 | 发震时刻       |          | 震中位置   |         | 震级  |    | 节面 I |    | 节面 II |     | P 轴 |     | T 轴 |  |
|--------|------------|----------|--------|---------|-----|----|------|----|-------|-----|-----|-----|-----|--|
|        | 年 月 日      | 时 分 秒    | 北纬     | 东经      | 级   | 倾角 | 方位角  | 倾角 | 方位角   | 方位  | 仰角  | 方位  | 仰角  |  |
| 1      | 1973.8.8   | 18—13—57 | 21°34′ | 109°38′ | 3.2 | 28 | 114  | 67 | 329   | 227 | 20  | 86  | 65  |  |
| 2      | 1974.7.27  | 11—36—30 | 22°02′ | 107°48′ | 3.2 | 20 | 146  | 84 | 254   | 180 | 36  | 324 | 48  |  |
| 3      | 1974.11.24 | 10—18—15 | 22°36′ | 109°27′ | 4.5 | 87 | 24   | 87 | 293   | 330 | 0   | 69  | 4   |  |
| 4      | 1975.6.11  | 13—50—37 | 21°43′ | 108°30′ | 3.5 | 78 | 282  | 58 | 19    | 154 | 14  | 55  | 31  |  |
| 5      | 1977.4.13  | 08—08—36 | 23°05′ | 108°39′ | 4.2 | 88 | 175  | 85 | 85    | 130 | 2   | 220 | 5   |  |
| 6      | 1977.11.6  | 05—21—34 | 21°57′ | 109°41′ | 2.9 | 77 | 347  | 85 | 78    | 123 | 12  | 32  | 8   |  |
| 7      | 1978.2.2   | 19—08—10 | 22°13′ | 110°15′ | 3.9 | 88 | 79   | 83 | 349   | 124 | 6   | 34  | 4   |  |
| 8      | 1978.2.22  | 04—36—52 | 22°13′ | 110°16′ | 3.2 | 78 | 293  | 70 | 198   | 337 | 23  | 245 | 5   |  |
| 9      | 1978.3.1   | 02—33—15 | 22°11′ | 110°15′ | 3.8 | 79 | 221  | 81 | 129   | 355 | 2   | 265 | 14  |  |
| 10     | 1979.8.27  | 03—37—41 | 21°36′ | 111°24′ | 3.4 | 89 | 356  | 87 | 266   | 41  | 3   | 311 | 2   |  |
| 11     | 1979.11.13 | 07—43—33 | 21°56′ | 109°27′ | 3.4 | 71 | 350  | 84 | 258   | 33  | 18  | 125 | 9   |  |
| 12     | 1980.2.1   | 04—26—01 | 22°10′ | 109°19′ | 3.6 | 85 | 202  | 88 | 293   | 338 | 5   | 247 | 2   |  |
| 13     | 1980.6.17  | 15—25—59 | 23°54′ | 109°04′ | 3.1 | 79 | 120  | 84 | 211   | 256 | 13  | 165 | 4   |  |
| 14     | 1980.9.28  | 18—15—28 | 21°28′ | 109°34′ | 3.1 | 82 | 69   | 83 | 160   | 204 | 11  | 114 | 1   |  |
| 15     | 1980.12.24 | 21—09—09 | 23°05′ | 108°04′ | 3.1 | 88 | 91   | 87 | 180   | 225 | 4   | 315 | 1   |  |
| 16     | 1981.6.22  | 03—58—31 | 21°46′ | 107°48′ | 3.3 | 76 | 334  | 89 | 244   | 18  | 10  | 110 | 9   |  |
| 17     | 1981.10.22 | 07—00—51 | 23°12′ | 107°53′ | 3.1 | 18 | 61   | 78 | 192   | 114 | 32  | 265 | 56  |  |
| 18     | 1983.4.12  | 04—34—27 | 22°12′ | 109°42′ | 2.7 | 84 | 89   | 76 | 181   | 316 | 6   | 224 | 16  |  |
| 19     | 1983.6.16  | 16—29—25 | 22°06′ | 111°00′ | 3.6 | 89 | 7    | 89 | 97    | 142 | 2   | 52  | 0   |  |
| 20     | 1983.6.24  | 07—22—29 | 24°52′ | 109°24′ | 3.4 | 82 | 56   | 89 | 146   | 101 | 5   | 191 | 6   |  |
| 21     | 1983.7.11  | 17—37—31 | 22°34′ | 110°17′ | 2.7 | 85 | 86   | 90 | 356   | 131 | 3   | 221 | 3   |  |

## 2. P波初动法

利用灵山地区及邻域的19地震的初动符号,求得表3所示的震源机制解<sup>1)</sup>,把这些地震的主压应力轴绘在图4上。由表3和图4可见,主压应力轴主要分布310至350度之间,按上述的统计方法,取279至369度之间的14个地震进行计算,得到P轴的平均方位角为320°,仰角为20°,T轴的平均方位角为229°,仰角为22°。

## 3. 格点尝试法

格点尝试法是利用研究区内大批小地震的P波初动符号,以初动符号的矛盾比最小为判据,推断出研究区的平均震源应力场。我们利用1975年5至8月发生在灵山附近的小震,求得该区间的主压应力轴的方向为341°,仰角为15°。主张应力轴的方位角为243°,仰角为36°。

从上述三种方法的分析和研究可以看到,尽管三种方法的数据采集和资料处理的方式不同,但得到的结果是一致的,因此,我们可以认为,所得到的应力场结果是可信的。把上述三种结果的平均值视为灵山地区的震源应力场的优势方向,也就是该区的构造应力场的方向。主压应力轴的方位角为331°,仰角为15°;主张应力轴的方位角为239°,仰角为24°。在这样的力场作用下,容易发生错动的断层系统为NNE至NE和NWW至NW走向,这正是该地区发生过的一系列中强地震断层面走向所取的方向。

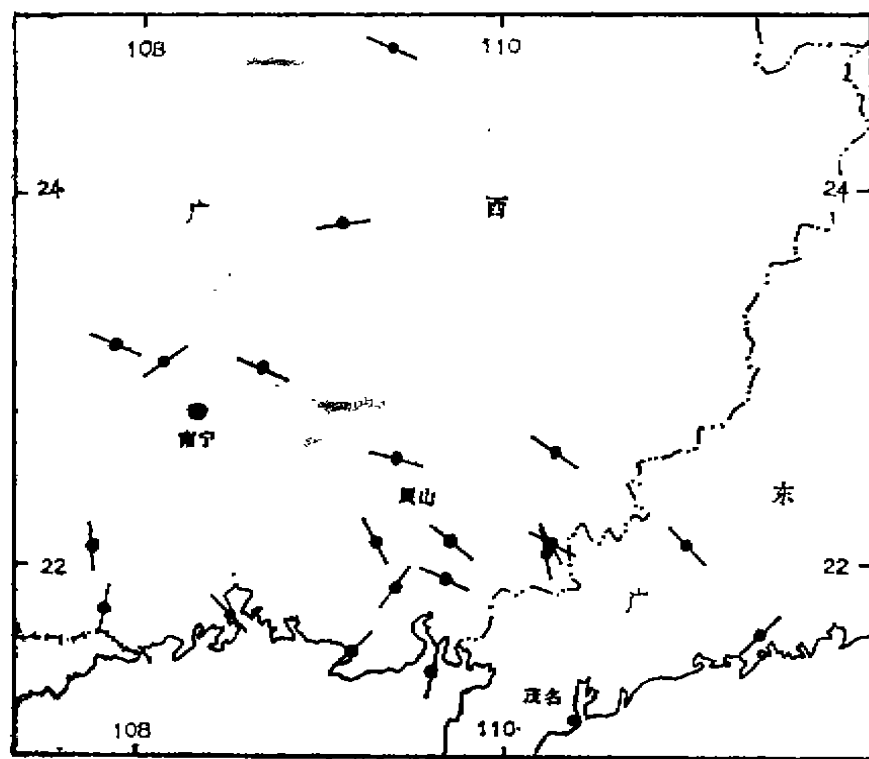


图3 灵山地区21个地震的主压应力轴分布  
Fig. 3 Distribution of axis of major compression about 21 earthquakes in Lingshan area

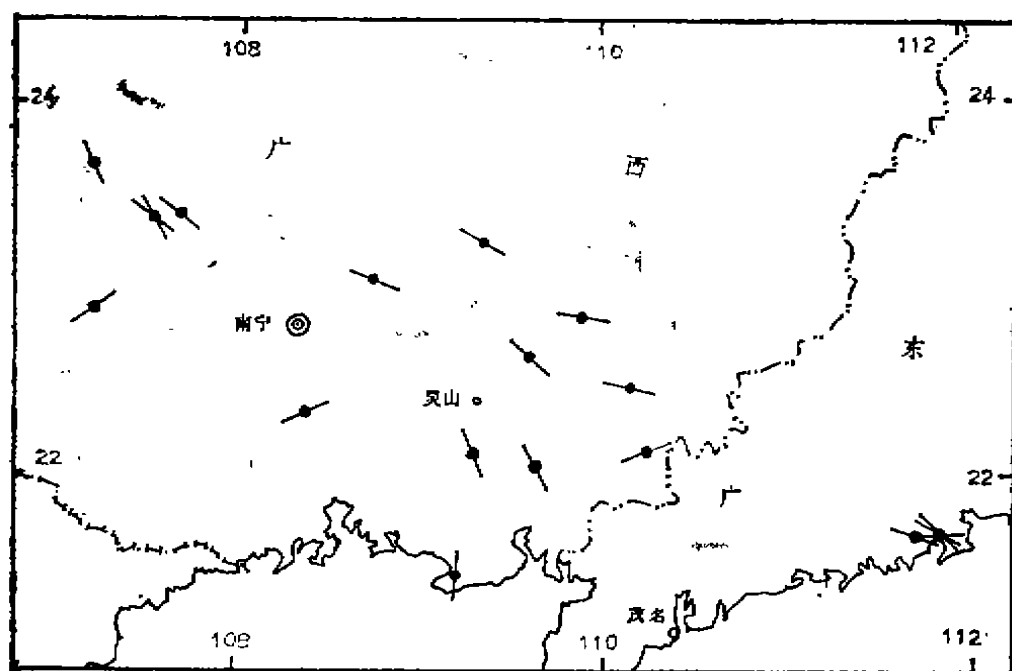


图4 19个地震的主压应力轴分布  
Fig. 4 Distribution of axis of major compression about 19 earthquakes in Lingshan area

表3

灵山地区的19个地震震源机制解

Tabl 3 Focal mechanism solution of 19 earthquakes in Lingshan area

| 编<br>号 | 发 震 时 刻    |          | 震 中 位 置 |         | 震<br>级 | 节 面 I |     | 节 面 II |     | P 轴 |    | T 轴 |    |
|--------|------------|----------|---------|---------|--------|-------|-----|--------|-----|-----|----|-----|----|
|        | 年 月 日      | 时 分 秒    | 北纬      | 东 经     |        | 倾角    | 方位角 | 倾角     | 方位角 | 方位  | 仰角 | 方位  | 仰角 |
| 1      | 1969.7.26  | 06—49    | 21°42'  | 111°42' | 6.4    | 75    | 74  | 66     | 157 | 297 | 28 | 204 | 6  |
| 2      | 1972.5.7   | 10—12—39 | 22°24'  | 108°24' | 4.5    | 70    | 109 | 65     | 10  | 59  | 4  | 150 | 32 |
| 3      | 1974.11.24 | 10—18—15 | 22°36'  | 108°36' | 4.1    | 56    | 14  | 82     | 278 | 151 | 18 | 51  | 30 |
| 4      | 1975.2.10  | 22—21—31 | 21°42'  | 111°48' | 3.3    | 90    | 40  | 1      | 131 | 315 | 45 | 128 | 46 |
| 5      | 1975.2.11  | 20—43—41 | 21°42'  | 111°48' | 3.4    | 65    | 21  | 40     | 145 | 88  | 15 | 335 | 58 |
| 6      | 1976.5.27  | 07—37—35 | 21°42'  | 111°48' | 4.3    | 75    | 279 | 70     | 15  | 328 | 4  | 236 | 25 |
| 7      | 1977.4.9   | 22—02—38 | 22°54'  | 107°12' | 3.6    | 55    | 351 | 70     | 275 | 40  | 10 | 138 | 41 |
| 8      | 1977.4.13  | 08—08—36 | 23°06'  | 118°42' | 3.7    | 90    | 338 | 85     | 68  | 113 | 4  | 203 | 4  |
| 9      | 1977.5.2   | 05—48—15 | 23°18'  | 109°24' | 3.0    | 45    | 94  | 80     | 174 | 122 | 39 | 231 | 22 |
| 10     | 1977.6.3   | 18—23—42 | 22°42'  | 109°36' | 2.2    | 70    | 92  | 80     | 5   | 137 | 7  | 230 | 21 |
| 11     | 1977.7.21  | 18—33—09 | 22°54'  | 109°54' | 1.9    | 85    | 51  | 65     | 139 | 98  | 21 | 2   | 19 |
| 12     | 1977.7.31  | 02—10—45 | 22°30'  | 110°12' | 1.5    | 45    | 55  | 79     | 156 | 99  | 22 | 207 | 45 |
| 13     | 1977.8.15  | 00—50—19 | 21°30'  | 109°12' | 1.5    | 68    | 50  | 55     | 156 | 9   | 42 | 106 | 9  |
| 14     | 1977.10.19 | 10—44—48 | 23°24'  | 107°30' | 5.0    | 76    | 2   | 90     | 272 | 317 | 6  | 227 | 6  |
| 15     | 1977.10.25 | 11—53—12 | 23°24'  | 107°36' | 2.2    | 85    | 8   | 50     | 94  | 314 | 23 | 59  | 30 |
| 16     | 1977.11.6  | 08—20—41 | 23°24'  | 107°30' | 2.1    | 85    | 11  | 85     | 101 | 326 | 1  | 56  | 7  |
| 17     | 1978.2.2   | 19—08—19 | 22°12'  | 113°18' | 3.9    | 80    | 22  | 55     | 285 | 248 | 32 | 148 | 17 |
| 18     | 1980.2.1   | 04—26—01 | 22°12'  | 109°18' | 3.6    | 90    | 33  | 50     | 303 | 160 | 27 | 265 | 27 |
| 19     | 1983.7.14  | 14—02—15 | 23°42'  | 107°12' | 3.6    | 45    | 31  | 75     | 286 | 346 | 18 | 238 | 43 |

## 参 考 文 献

- (1) 吴时平等, 广西地震活动性研究, 华南地震, Vol. 7, No. 1, 1987.  
 (2) R. Maaz等, 地震能流图, 国外地震, 1977年.  
 (3) 国家地震局地球物理研究所, 近震分析, 地震出版社, 1978.  
 (4) 胡瑞贺等, 海南岛及其邻区地震活动特征的研究, 海南岛北部地震研究文集, 地震出版社, 1986.  
 (5) 梁尚鸿等, 利用区域地震台网P. S振幅比资料测定小震震源参数, 地球物理学报, Vol. 17, No. 3, 1984.

## A STUDY ON THE SEISMIC ACTIVITY AND TECTONIC STRESS FIELD IN LINGSHAN AREA

Jiang Weiqiang Ren Zhenhuan

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] On the basis of the data about historical earthquakes and earthquakes observed from 1970 to 1986 in Guangxi and its neighbouring area, the seismic activity in Lingshan area is discussed in quantitative analysis with the method of seismic energy flux. The depths of seismic focuses in the area are estimated and the tectonic stress field in Lingshan area is also studied thoroughly with several methods.