

华南地区震源机制与应力场特征

陈 益 明

(广东省地震局, 广州)

提 要 本文以159个震源机制解为主, 并结合其他途径所得结果, 对华南地区震源应力场作进一步综合分析, 推断本区现代地壳构造应力场方向特征, 并对分区差异、震源破裂机制和力源等作了较全面的探讨。

关键词: 华南地区 震源机制 主应力方向 震源破裂类型

一、引 言

前人以70个震源机制解结果对东南沿海地区构造应力场作了分析研究^[1], 注意到其

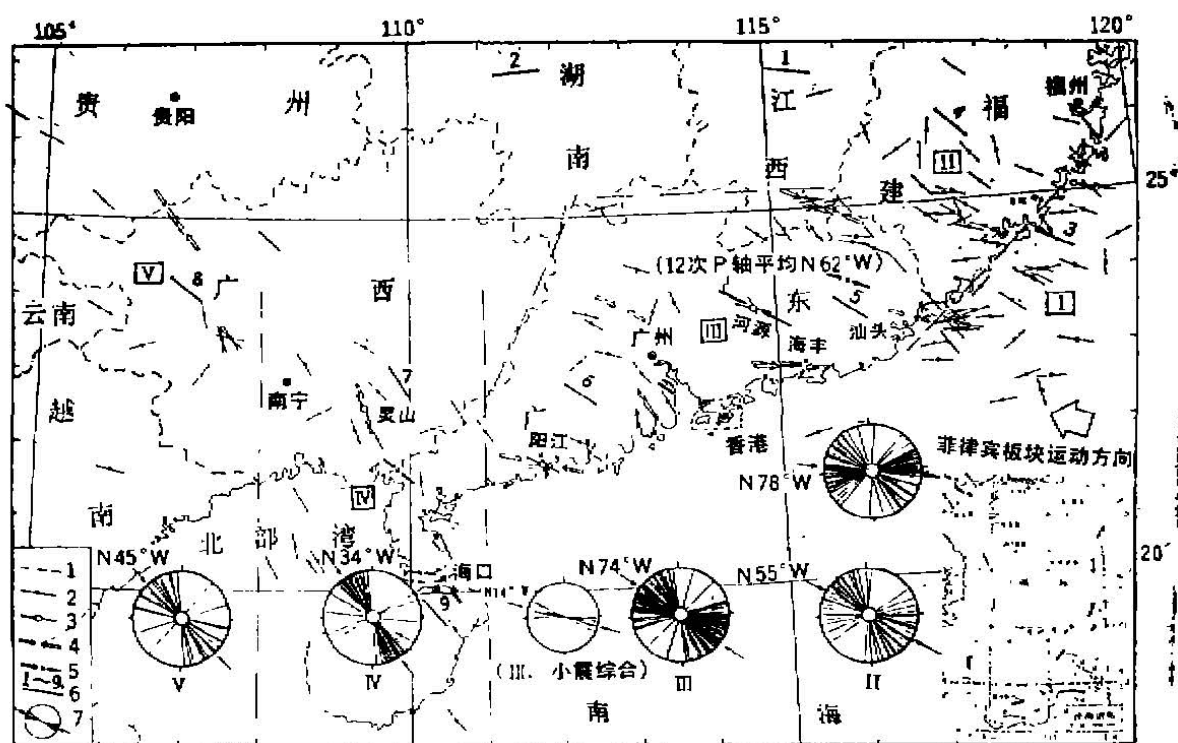


图1 多种方法得到的华南部份地区主压应力方向

Fig. 1 Collection of the main stress direction which got by many methods in some areas of South China

1. 分区线 2. 单个震源机制解 3. 大于6级震源机制解 4. 小震综合震源机制解
5. 水系法结果 6. 格点尝试法结果 7. P轴全方位分布, 箭头为平均方向

本文1992年1月27日收到

“扇形分布”及其“中轴”的特征。随着时间的推移、资料的积累和震源信息的增多,我们广泛搜集到区域台网建立以来的150个单震解和9个小震综合解,并结合其他途径得到的结果^[2,3],对华南地区震源应力场作进一步的综合统计和分析,推断本区现代地壳构造应力场方向特征,并对地区性的差异、震源破裂机制和力源等作较全面的探讨,祈望得到较客观和合理的解释。

考虑到本区应力场与更大范围内背景性应力场之间的联系,特向东西两个方向适当延拓,为 $\lambda_E 105^\circ \sim 120^\circ$, $\varphi_N 18^\circ \sim 27^\circ$ 、作为华南地区研究范围,跨越闽、粤、琼、桂及其周边沿海地区(详见图1)

二、资料来源与处理方法

料资占有的多寡,对提取震源信息量和提高置信度无疑是重要的。本文收集、采用了多种手段所得的资料,分述如下:

(1) 单个地震震源机制解。在广泛搜集前人资料的基础上,增补了近几年来可供作机制解的资料,在上半震源球乌尔夫网上投影求解。资料多属于1970~1991年的结果,其处理原则:①对2级以下地震一律不选用,因其可靠性差;②对已求得的机制解参数进行检核,约5%数据有误,予以修正;③参数不完全者,在原数据基础上重新处理,补充完整。对1605年琼山7 $\frac{1}{2}$ 级地震,考虑了历史宏观资料的不完全和可能有失实,本文暂未采用。这样,全区共取得150次单震的P波初动解资料。震级 ≥ 2.0 ,来源见表1。

(2) 小震震源迭加综合机制解。从七十年代至八十年代的不同时段,共取得9个解,并列于表1中。

(3) 格点尝试法^[2]。资料从1973~1982年间各省地震台网在不同时间段范围内所记录到的 $M_L \geq 1.0$ 地震的清晰P或 P_n 波初动符号,共利用了516次地震,在62个台站上取得1144个初动符号。

(4) 水系分析法。水系统计分析应用于再现区域新构造应力场的方法近年来已为学术界所重视,并取得了有意义的结果^[3,4]。其原理在于水系的展布格局形成于第四纪,受内外地质营力制约。可将水系的优势方向视作一对共轭剪切面,其所成的夹角中,一组锐角对着主压应力,一组钝角对着主张应力。我们引用属于本区的二个主压应力方向结果^[3]。

(5) 极震区等震线长轴方向。可认为其代表某一次地震错动面走向。我们从许多文献包括地震目录中(因分散未一一列出出处)搜集到本区自1067~1987年间5级以上地震31个,跨越时间920年。这些地震都是华南大陆中强震和大震,其发震构造较确切,具有代表性,以此来证实所取得的应力场方向的置信度。

三、结果与特征

以震源机制为主结合其他途径所取得的结果,推断华南地区现代构造应力场方向特征。

1. 震源机制结果

(1) 震源应力场的分区

本研究区汇集了大量的单解和综解以及近期笔者所做的结果,列于表1。图1是这些结

• 限于篇幅,表1编辑从略。同行学者需参阅的,请与作者联系。

果的地理分布。从中看出所得结果，比较均匀完整地覆盖了华南大陆。P轴方位显示地区性的相对统一。据此，将研究区分为5个分区。各分区P轴全方位分布在图1下方给出。分述如下。

I区：福州—汕头沿海海域。西缘基本以长乐—诏安断裂带为界。该区总共36个P轴解，其中有泉州海域8.0级和南澳（或南澎）7.3级两次大震结果。区内P轴方向较紊乱，在三个方位以上均有表现，其中近东西向占优势。平均为 $N78^{\circ}W$ （舍去个别偏离大的，下同）。

II区：福建南部。约占福建省面积2/3。其西南面基本以省界为分界线（南澳—寻乌），区内取得27个结果，P轴也较分散，平均 $N55^{\circ}W$ 。

III区：广东地域。该区除了 $\lambda_E 111^{\circ}$ 以西外，几乎覆盖了整个广东地区。与其接壤的江西龙南至寻乌一带的P轴与广东较一致，故归入该分区。分区内P轴量最多共57个，占全区1/3，其中包括河源6.1级和阳江6.4级两次强震结果，均为现代台网记录，资料可信，具有代表性。单解P轴相对I、II分区稍为集中。平均 $N63^{\circ}W$ ；综解较一致，平均 $N74^{\circ}W$ 。需指出，本区新丰江水库地震取得大量结果（包括单解和综解）^[5]，以 $NWW \sim NW$ 向为主，因数量特多，未予一一列出。

IV区：雷—琼—北部湾—桂东南。取得22个P轴结果，区内有1936年灵山6.3级地震结果，P轴方向除个别偏离大外，是全区P轴相对较一致的地区，平均 $N34^{\circ}W$ 。

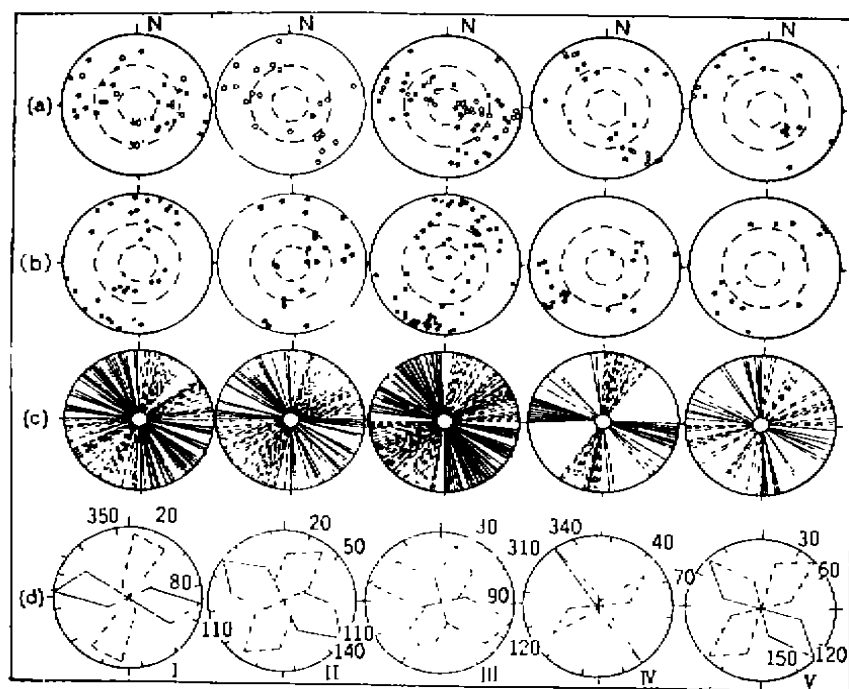


图2 P、T轴和节线空间取向

Fig. 2 The orientation of P, T axes and the nodal line

竖向：I 福州—汕头沿海海域；II，福建南区；III，广东区；IV，雷—琼—北部湾—桂东南区；V，广西西区。

横向：(a) P轴出地点；(b) T轴出地点；(c) 两组可能断层面走向；(d) 主应力轴玫瑰图（实线P轴，虚线T轴）

V区：广西西区。包括桂西部整个地区及其与越南、云南、贵州交界外侧部分地区，取得17个P轴结果，数量虽少，但方向较集中，平均 $N45^{\circ}W$ 。

(2) 震源应力场特征

图2是由表1结果统计给出的5个分区所表示的综合图式，显示出它的空间方位的差异，但具有共同的特征，见表2。

表2 各分区P、T轴仰角、节面倾角值

Tab. 2 values of elevation angles of P, T axes and value of node surface of dip angle in each division

数 量 类 别		Ⅰ 区	Ⅱ 区	Ⅲ 区	Ⅳ 区	Ⅴ 区
P轴仰角	平 均	26.9°	25.0°	27.0°	18.0°	19.0°
	$\leq 30^{\circ}$	55%	67%	62%	15%	75%
T轴仰角	平 均	18.9°	25.4°	21.0°	20.8°	17.8°
	$\leq 30^{\circ}$	70%	57%	73%	85%	88%
节面倾角	平 均	62.7°	59.0°	65.7°	71.0°	71.0°
	$\geq 60^{\circ}$	76%	71%	69%	83%	78%

表中明显表现出5个分区的P、T轴的平均仰角均小于 30° ，其比率都超过50%；节面（指地震错动面）的倾角平均很大，除Ⅱ区稍逊外均大于 60° ，其比率都超过70%。这一具体统计结果表明，华南大陆及其沿海地区现代构造应力场的主压轴和主张轴接近水平状态。显然，沿地震错动面的错动力自然也是近水平为特征，地震错动面是相当陡立的。这些高角度的断层错动均兼有轻微的程度不同的倾滑分量，分别组成走滑型或纯走滑型，少数为倾滑型和逆冲型错动，这是本研究区的三种最基本的力学机制，后两种类型在第Ⅲ分区表现较突出（见P、T轴出地点分布），但数量并不多。

图2(C)是两组节线的平面全方位取向，可看到除了第Ⅳ分区较集中外其余均十分分散，如果简单地取其平均结果或作出其他图式表示，显然不切合实际。这一情况表明，小震破裂面具有随机性的特点。

图2(d)是各分区主应力轴的玫瑰图，以其绝对多数并以 30° 为间隔统计出四花瓣图形，若取其花瓣顶点为P轴优势方向，则各区分别为：Ⅰ区： $N85^{\circ}W$ ，Ⅱ区： $N55^{\circ}W$ ，Ⅲ区： $N75^{\circ}W$ ，Ⅳ区： $N35^{\circ}W$ ，Ⅴ区： $N45^{\circ}W$ ，均与T轴互成直角。

(3) 震源破裂类型与断层活动

按照震源破裂与主应力轴的相对位置，岩体破裂时在水平面的应变效应，震源破裂可分成6种类型，具体划分见表3^[6]。

第4种类型可视为1与3类的过渡型；第5种可视为2与3类的过渡类型；第6种P、T轴均为中度倾斜，N轴轻度倾斜，是另一过渡形式。依据表3的划分法，地震破裂从属何种类型都在表1中给出，具体统计于表4。

从表4看出，各分区的共同特点是：比率最高的都是第3种—扭转型。从全区总计上仍

表3 各震源破裂类型状况
Tab. 3 The fracture types of each sources

震源破裂类型	主应力轴仰角(度)			两组节面滑动角(度)	
	P	T	N	X	Y
1 引 张	45—90	0—30	0—45	35—90	17—90
2 压 缩	0—30	45—90	0—45	35—90	17—90
3 扭 转	0—30	0—30	45—90	0—45	0—22.5
4 张 扭	30—45	0—30	30—60	0—35	22.5—60
5 压 扭	0—30	30—45	30—60	0—35	22.5—60
6 其 他	30—60	30—60	0—45	35—90	0—90

表4 各分区震源破裂类型统计表
Tab. 4 Statistics of fracture types in each source region

破 裂 类 型	I 区		II 区		III 区		IV 区		V 区		全区总计	
	次数	%	次数	%	次数	%	次数	%	次数	%	次数	%
1 引 张	7	21.2	2	9.5	14	24.6	1	4.5	1	5.9	25	16.7
2 压 缩	5	15.2	4	19.0	6	10.5	2	9.1			17	11.3
3 扭 转	8	24.2	5	23.8	23	40.4	11	50.0	10	58.8	57	38.0
4 张 扭	8	24.2	5	23.8	8	14.0	5	22.7	4	23.5	30	20.0
5 压 扭	4	12.1	5	23.8	3	5.3	3	13.6	2	11.8	17	11.3
6 其 他	1	3.0			3	5.9					4	2.7

显示第3种类型比率居高。这种类型只有在最大和最小主应力轴都近水平的应力状态下才可能产生,与表2统计结果大多数为走滑机制相一致。

由于本区主应力方向存在着地区性差异,地震断层运动方式又取决于主应力方向,故而粤及其以东地区,NE~NEE向断层呈右旋,NW向呈左旋。桂地区主压应力方向与粤有一定程度上的差异,但地震断层运动既有相反的,也有相同者,这要看断层处于主应力的何种方位,例如NEE和NNW向断层仍与粤及其以东地区相同。如果地震破裂沿某一先成的断裂走向错动,其本身又决定了主应力方向。所以震源破裂机制与主应力方向两者是互为生成联系的。

2. 格点尝试法结果与上述结果一致

由格点尝试法得到9个省分区的平均主应力轴结果^[2],其P轴方位在图1中相应位置上标出,分别与震源机制解的P轴方向接近。图3是各分区平均应力场的综合图式,表明主应力轴接近水平,且集中和稳定,这一特征与上述一致。玫瑰图优势方向为P轴N50°W,

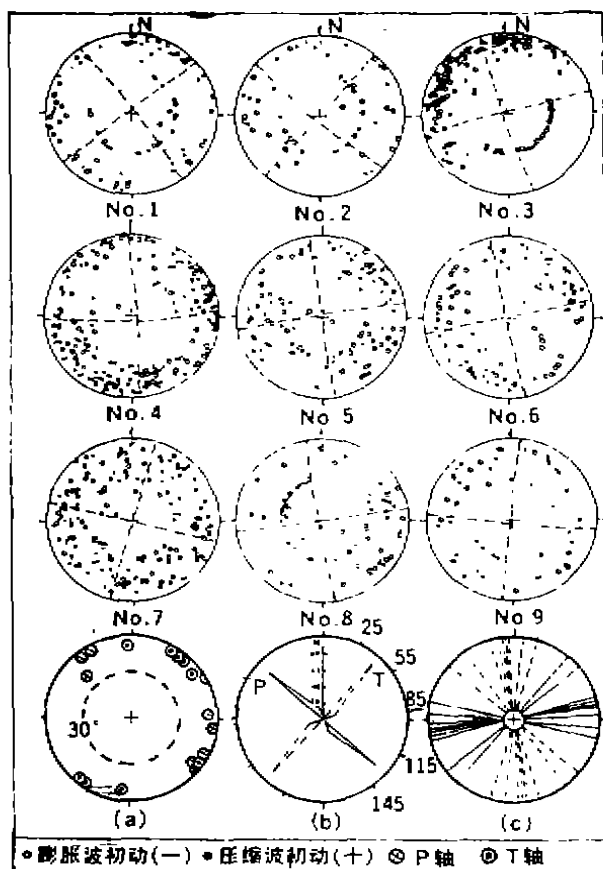


图3 各分区平均应力场

Fig. 3 Average stress field of each division

No.1江西; No.2湖南; No.3福建东; No.4福建西;
No.5广东东; No.6广东西; No.7广西东; No.8广西
西; No.9海南; (a)P、T轴出地点分布; (b)P、T轴
玫瑰图; (c)两组可能断层面走向分布

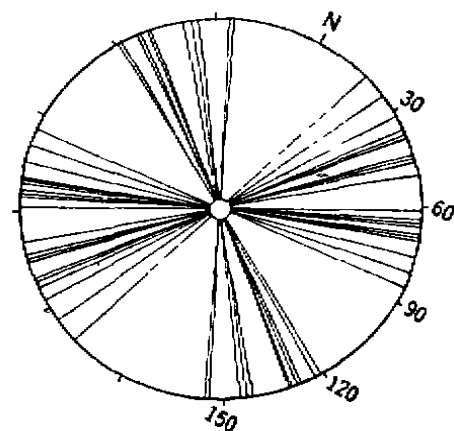


图4 极震区等震线长轴方位的统计分布

Fig. 4 Statistical distribution of the long axis azimuth of isoseismal line in the meizoseismal region of Yueyang

T轴 $N40^{\circ}E$, 互成直角, 反映华南大陆应力场的总体背景。

3. 水系分析法结果与上吻合

由水系统计分析得到属本区的二个结果⁽³⁾, 一在广东东部地区, 一在粤桂交界处, 其主压应力方向分别为 $N70^{\circ}W$ 和 $N49^{\circ}W$, 也在图1中相应位置上示出, 支持上述结果。

4. 等震线长轴取向验证应力场的可信性

极震区等震线长轴方向可视为某一次地震错动面走向, 所能收集到的本区31个结果(表5)·图4的分布表明, 华南大陆地区孕育着NW和NE~NEE向的两组断裂系统, 前者占35%, 后者占65%。这也正是震源机制解所取的主要断裂方向, 证实上述应力场结果是可信的。

由于粤及以东地区主压应力偏于 NWW 向, 故该区NEE向断裂呈右旋, 具扭性或张扭

• 限于篇幅, 编辑从略。

性,NW向断裂呈左旋,具扭性或压扭性。这两组断裂接近最大剪破裂面而最易使破裂发展。因所取的都是 $M \geq 5$ 级强震,故这两组断裂成为最主要的发震构造。而NE—NNE向断裂与主压应力近于直交,与主张应力近于平行,不易错动。

5. 各种方法结果比较

为便于比较,将各种方法得到的5个分区主压应力方向统列于表6

表6 主压应力方向一览表
Tab. 6 Direction of the major pressure stress

方 向 方 法		I	II	III	IV	V
单个地震 机制解	平 均 值	N78°W	N55°W	N63°W	N34°W	N45°W
	玫瑰图优势	N85°W	N55°W	N75°W	N35°W	N45°W
	代表性两震 河源6.1级 阳江6.4级			N73°W N61°W		
小震综合机制解				N74°W	N26°W	N36°W
格点尝试法		N63°W	N46°W	N55°W N54°W	N30°W N40°W	N51°W
水系法				N70°W	N49°W	
平 均		N75°W	N52°W	N67°W	N36°W	N44°W

表6表明,由I~V区也即由东向西主压应力方向由NWW向NW演变,比较完整地反映华南地区地壳构造应力场的总体背景。

四、分析与讨论

综合上述,发现本文结果与前人所得结果存在着某些差异。这里我们作一些分析讨论,以期得到共识。

(1) 几个典型强震的异同

在NWW—近EW向的主压应力作用下,1604年泉州海域8.0级和1918年南澳7.4级地震的极震区长轴方向分别显示70°和50°(陈恩民为70°),与震源机制解的一组节面为NE向较为接近,与长乐—诏安构造断裂带走向基本一致,显示这两次地震的发震构造皆为NE—NEE向。震源机制解结果表明,两强震均居高角度断层并兼有逆冲型的右旋水平错动性质,在水平面上表现为扭转型破裂特征。两震发生相隔300余年,受同一力场作用没有改变。必须指出,1918年南澳地震,有些学者(杨义全、贾素娟、徐起浩等(1986))近年来已提出震中应在南澎列岛附近,若然,等震线长轴方向可能要改为NW向,发震构造,运动性质也得改变。这有待进一步探讨。

近期的1962年河源6.1级和1964年阳江6.4级地震的一组节面与各自的等震线长轴方向和断裂走向基本一致。前者发震构造NNW向(有人认为NEE),后者NEE向,运动性质和破裂类型与上两震相同,但兼有一定倾滑分量的水平错动却与上有别。若河源地震取NNW向发震构造则呈左旋。这只有在主压应力为NWW向作用时才产生这种结果。

另一典型震例是1936年广西灵山6级地震,其机制解的一组节面NNE向与等震线长轴方向 $N39^{\circ}E$ 接近,与该区主要构造如钦州—灵山断裂带基本一致,错动性质和破裂类型也与上四次强震相同,但左旋运动和主压应力方向却有所差别。

可见,上述几次强震最主要的共同点都是受水平力作用和产生扭转型破裂。由于一次6~8级地震的发生,其震源体积相当于一次4级地震的一千倍~一百万倍。换言之,强烈地震必然要受到强大的区域构造应力的驱动才能产生错动。因此由分析强震所得到的震源应力信息具有代表地壳构造应力场的意义。毋庸置疑,较强震的频繁发生,便是区域应力场加强的反映。而小震的发生在很大程度上具随机性。

(2) 震源应力场特征和力源

总体上看,华南地区震源应力场显示N轴近直立和P、T轴水平的应力状态(见表2)。这一特征表明,本区地壳受水平力作用而使高角度断层错动以平推为主十分明显,这与文献〔1〕结果一致,也与我国学术界流行的“大陆受水平力作用”得到共识。但本区主压应力方向与前人认识有所差异,本区自东至西主压应力方向明显呈 $NWW-NW$ 的有规则变化,尚无资料显示南北主压应力轴即“中轴”这一方向的存在。

本区应力场力源可能与诸板块运动方向有关。但是,它们之间的运作,是有主次之分、有先后强弱之分的我们认为华南大陆地区主要受菲律宾海板块向 $NWW-NW$ 运动的推挤,其次才受到太平洋板块向西俯冲的影响,西面还有印度洋与欧亚板块的水平碰撞,但由于云贵高原的阻隔和引起青藏高原向东的扩张,其影响至本区特别是东部地区能量已大为减弱。诸因素的综合效应,形成了本区应力场的基本格局。

(3) 震源应力场地区差异原因

华南地区应力场存在着地区性的差异,可能与以下因素有关。

①先成主要断裂起着对应力场的分区作用。表现在震源应力场被主干断裂走向所隔开,其两侧地区主应力方向不尽相同。如福建—汕头沿海分区界线所在就是长乐—诏安主干断裂带,该带主要由4条近于平行的 $NE-NNE$ 向断裂组成^{〔8〕},其两侧地区(I和II区)主压应力方向差别就颇大。又如南澳—寻乌分区界线即是丁原章研究员所指的“巴士系”北西向构造断裂带向 NW 的延伸,与该带近年来形成的地震活动带呈 NW 向明显吻合,其两侧地区(III和IV区)主压应力方向也显示一定差别。

为什么主要断裂带能起这种分隔作用,目前尚未有适当理由给予合理的解释,我们只把这一现象提出来。类似的现象还有云南地区^{〔7〕}。

②断裂及裂隙走向多变是造成应力场的地区差别和多向性的重要因素。如前述长乐—诏安断裂带受到 NW 向多组断裂横切,该带 $\varphi_{N24.5^{\circ}}$ 以南还有断续 $E-W$ 向断裂交汇^{〔8〕},使I、II分区P轴出现差异并呈多向性,成为复杂的局部应力场。又如III分区主要断裂走向呈 $NE-NNE$,次为 NW ,还有 $E-W$ 向深断裂存在。再如广西地区东西两部断裂走向各异,IV分区以 NE 为主,还有 NNE 和近 SN 向;V区以 NW 为主,次为 NNW —近 SN 向。东西两部总体上形成“X”字形构造并在桂南相交,同时,岩溶、小断裂、节理和裂隙均十分发育。以上这些事实是形成不同应力区和P轴多向性的主要因素。地区性的应力场虽受控于区域构造应力,但并非与作用到该区的构造应力方向完全一致,而是受到多方面因素的制约,其中最主要的是受力的破裂而空间方位的不同,从而出现P轴的多向性和地区差别。

承蒙丁原章研究员对本文提出了宝贵意见,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 〔1〕林纪曾、梁国昭、赵毅、谢明富, 1980, 东南沿海地区的震源机制与构造应力场, 地震学报, 2, (3)
- 〔2〕汪素云、许忠淮, 1985, 中国东部大陆的地震构造应力场, 地震学报, 7, (1)
- 〔3〕艾南山等, 1982东南沿海水系及新构造应力场, 地理学报, 32, (2)
- 〔4〕邹和平, 1989, 根据水系格局探讨海南岛第四纪构造应力场, 华南地震, 9, (1)
- 〔5〕丁原章、曾宪泽、陈益明, 1982, 新丰江水库区诱地震的余震活动, 地震地质, 4, (1)
- 〔6〕陈益明, 1981, 岳阳地区震源机制与构造应力场, 华南地震, 11, (3)
- 〔7〕阙荣举、张四昌、晏凤桐、俞林胜, 1977, 我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨, 地球物理学报, 20, (2)
- 〔8〕谢毓寿, 1991, 闽粤海外的历史地震活动, 地震学报, 13, (4)

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF FOCAL MECHANISM AND STRESS FIELD IN SOUTH CHINA AREA

Chen Yiming

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] By means of the 159 focal mechanism solution mainly and with other results obtained by other means, the stress field of modern crustal construction in South china area is comprehensively analyzed. It is indicated that the direction of the main compressional stress in this area is in NWW-NW from east to west, but there are the regional difference, of which the force sources chiefly come from the action of the philippine Sea plate. The axis of P and T are proximately horizontal, of which the feature that the elevation angles less than 30° have got 55% to 88%. And the seismic dislocational planes are proximately vertical, of which the angles larger than 60° have got over 70%. It is points out that the crust in this area is acted by horizontal forces so that the dislocations of the strike slip faults with high angle are the more important. The fault systems which would be effected easily to dislocate are in the direction of NEE and NW. The characters of dislocation from each side of east and west are in difference. Among the seismic focal fracture types, the ratio of twist type is in dominant and the tension-twist type is in subsequence.

[Key Words] South China Area, Focus mechanism, Main stress direction, seismic fracture type.