

# 岳阳地区震源机制与构造应力场

陈益明

(广东省地震局)

P315.2

P315.33

**提要** 由震源机制反映本区地壳构造应力场具有很好的统一性。主压应力轴优势方向近东西,主张应力轴近南北,并大都以N轴直立,P、T轴水平为特征。容易发生错动的断层系统为NE和NW向,以平推运动为主,前者顺扭,后者反扭。局部地区震源应力场显示不同程度的差异性。

**关键词:** 岳阳地区;震源机制;构造应力场

地震活动性,危险性

## 引言

岳阳市座落于洞庭湖畔,为湖南省重点抗震的新兴工业城市。为应力场研究需要,把岳阳地区研究范围适当延拓,为 $\lambda_E 109-118^\circ$ ,  $\varphi_N 25-33^\circ$ ,跨越湖南、江西、湖北三省和安徽南部、福建西部。

我国东部大陆地区的地震活动很不均匀,华北高,华南沿海次之,其间为一个宽阔的地震活动性很低的地域所隔,即上述范围所要研究的地区。该区自区域台网建立以来,只有5级左右或更小的中小地震记录,没有发生6级以上强震可供震源机制解,以作有效地反映现代构造应力场的资料,实属我国唯一的应力场状态不清楚的空白区域。故只能采用众多的小震初动资料,用多种途径求解,并作综合统计和分析,推断本区现代地壳构造应力场方向特征,为该区的潜源区划分和地震危险性分析提供一个方面的依据。

## 一、资料与方法

(1)以多震多台、省分大区进行统计,资料取自文献〔1〕。从1973—1982年间各省地震台网在不同时间范围内所记录到的 $M_L \geq 1.0$ 地震的清晰P或P<sub>o</sub>波的初动符号,共使用了163次小震,在42个台站上取得429个初动符号。用格点尝试法得所有的P、N、T轴的最后结果,将它们的出地点投影在上半震源球面的鸟尔夫网上,以其轴向分布范围作为各省区地壳构造应力场的方位。

(2)单个地震震源机制解。时间从1971—1989年有台网以来,取得30个单震解(鸟氏网投影),震级 $2.1 < M_s < 5.5$ ,资料来源见表2。

(3)以单台或多台多震的小震迭加综合断层面解。时间从七十至八十年代的不同时段,取得9个解,并列于表2之后。

(4)搜集本区自1556—1981年间30次中强( $I_s \geq v^\circ$ )以上地震极震区等震线长轴方向,以与上述资料相互验证。跨越时间425年。资料取自《中国地震目录》(1983版)和《湖北地震史料汇考》(1985版)。长轴方位数据有的取自原资料给出的,有的由等震线图

“本文系据“岳阳市地震危险性分析及地震小区划综合研究报告”专题之一整理而成。

直接量取 ( 大约有  $\pm 5^\circ$  误差 ) 。

## 二、结 果

综合上述资料的统计分析, 得到本区震源应力场结果, 再现地壳构造力场状态。

### 1. 本区应力场总体特征

由格点尝试法, 得到以省分为 5 个大区的平均应力轴结果<sup>(1)</sup> ( 表 1 )。它们由各大区可能的 P、T 轴方位角和仰角求算术平均而得到。(加括号者可靠性较差)

表 1 各分区平均应力轴结果

Table. 1 The average axis of stress in each division

No.	分 区	地震数	台站数	符号数	P 轴		T 轴		符号矛盾比 (%)	断层类型
					方位	仰角	方位	仰角		
1	湖 南	27	11	60	80°	3°	353°	29°	28	(走滑)
2	江 西	40	10	102	98°	4°	187°	10°	31	走滑
3	湖 北 西	37	7	91	273°	1°	187°	5°	35	(走滑)
4	湖 北 东	17	5	46	77°	66°	159°	0°	22	(倾滑)
5	安 徽 南	42	9	130	69°	7°	339°	2°	23	走滑
合 计		163	42	429						

图 1 给出五个省分区 ( No. 1—5, 与表 1 一致 ) 的 P 或 P<sub>n</sub> 波初动符号在乌氏网上的分布, 其上两组可能断面是由表 1 中 P、T 轴参数在乌氏网上反推而得到。(a)、(b)、

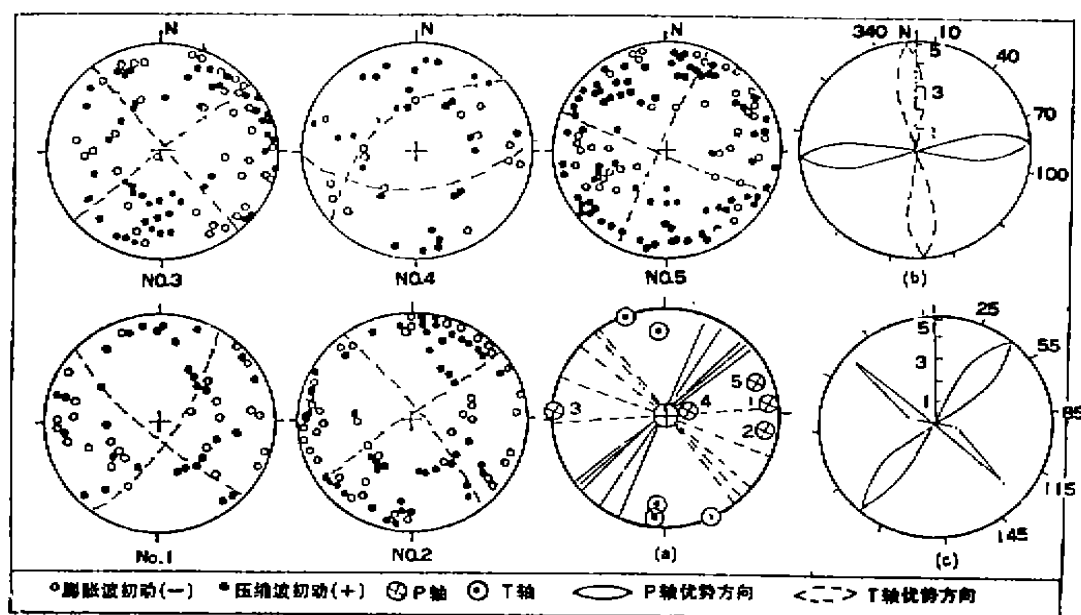


图 1 各分区平均应力场

Fig. 1 Average stress field of each division

NO. 1 湖南省; No. 2 江西省; No. 3 湖北西; No. 4 湖北东; No. 5 安徽南

(a) P、T 轴出地点分布, 两组可能断面走向分布; (b) 主应力轴玫瑰图; (c) 两组可能断面玫瑰图

(C)是上述结果的综合图式。由图可见,除鄂东区(No. 4)的P轴近直立(仰角 $66^{\circ}$ )外,其余各省大区的主应力都以N轴直立,P、T轴水平( $<30^{\circ}$ )为特征(a)。其以 $30^{\circ}$ 为间隔统计的四花瓣玫瑰图(b)分别落在 $70^{\circ}$ — $100^{\circ}$ 和 $160^{\circ}$ — $190^{\circ}$ 的间隔内,若取其花瓣顶点为平均优势方向,则P轴 $85^{\circ}$ ,T轴 $175^{\circ}$ ,互成直角,显示统一的总体特征。

在这种应力场作用下,相应的两组可能断层面优势走向如(C)玫瑰图,分别落在 $25^{\circ}$ — $55^{\circ}$ 和 $115^{\circ}$ — $145^{\circ}$ 两个间隔内,也取其顶点为平均走向,则分别为 $40^{\circ}$ 和 $130^{\circ}$ ,也互成直角。比较(b)与(c)玫瑰图,它们的顶点互成 $45^{\circ}$ 夹角。断层错动(除No. 4外)均以平滑(走滑)为主,北东一组右旋,北西一组左旋。

## 2. 局部地区应力场

本研究区可供作单个震源机制解的地震数量有限,且均为中、小震分布也不均匀,用众多微震迭加综合平均解有效地给予补充,表2给出这些单解和综解的结果。其中序号38汇集了43—37号单台所有微震( $M_L \geq 1.0$ )共133个和8个台记录的221个清晰P波初动符号资料。

图2是这些结果的地理分布(编号与表2一致),可见其分布很不均匀。除岳阳市附近仅有20号和30号两个结果外,全省空白,鄂东和赣中也不例外,这就仅仅反映了局部地区震

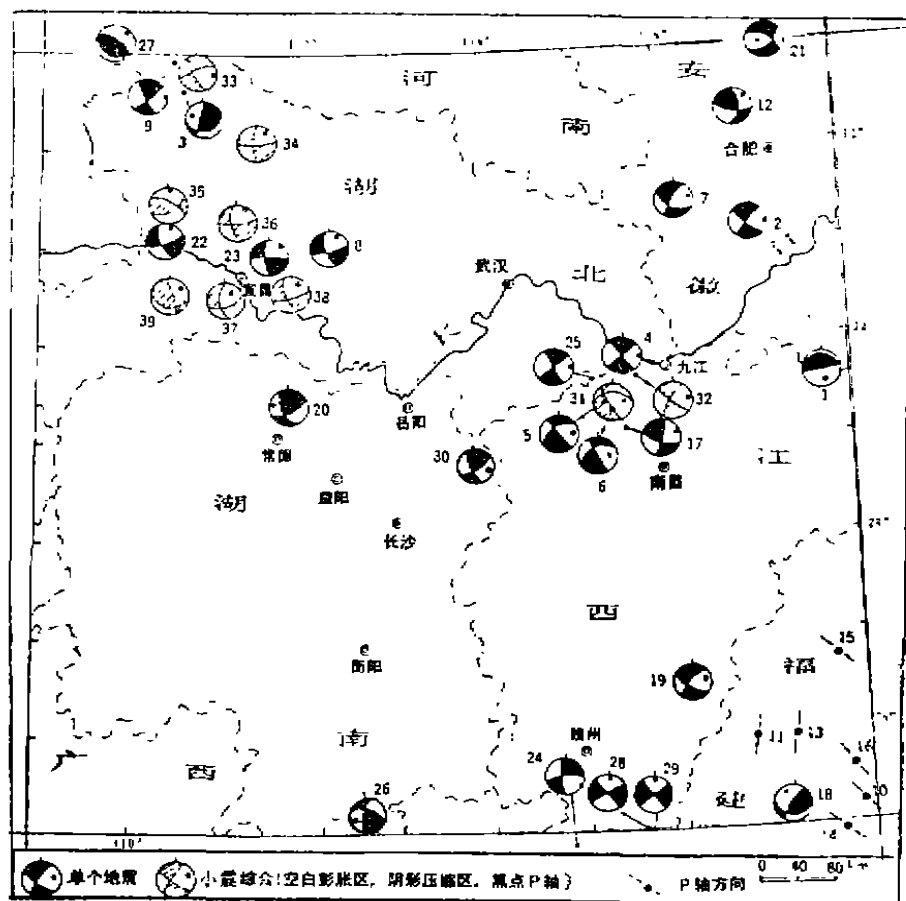


图2 岳阳研究区及邻区震源机制解

Fig. 2 The focal mechanism in Yueyang and its adjacent area

表2 岳阳研究区及邻区震源机制结果

Table. 2 The focal mechanism in Yueyang and its adjacent areas

序 号	日 期	震 中		Ms	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		米 源	
		$\lambda$	$\phi$		地 名	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角			
1	1971. 12. 28	117.6	29.7	赣 婺 源	3.1	74°	NW	80°	74°	SE	10°	164°	35°	344°	55°	74°	0°	(1)
2	1972. 3. 16	117.0	31.2	皖 桐 城	3.5	39	SE	86	126	NE	60	87	23	349	17	225	60	(1)
3	4. 3	111.7	32.6	鄂丹江水库	3.5	7	SEE	75	70	NW	40	300	17	60	50			(2)
4	9. 12	115.5	29.9	赣 瑞 昌	4.2	51	垂直	90	141	垂直	90	96	0	186	0			(9)
5	10. 14	115.4	29.4	赣柘林水库	3.2	52	SE	50	142	"	90	90	27	186	27	323	50	(9)
6	10. 16	115.4	23.3	" "	3.0	53	SE	40	143	"	90	86	32	200	33	323	40	(9)
7	1973. 3. 11	116.2	31.4	皖 霍 山	4.5	35	SE	85	122	NE	54	85	28	343	21			(4)
8	10. 10	112.3	31.0	鄂 荆 门	3.9	71	NW	70	342	NE	74	27	14	295	7	180	74	(2)
9	11. 29	111.5	32.9	鄂丹江水库	4.7	50	NW	70	238	NE	68	99	2	9	30	196	60	(2)
10	1975. 4. 28	117.9	25.2	闽 华 安	2.1	80			14			316		228				(5)
11	1976. 4. 11	116.8	25.7	闽 连 城	2.9	50			320			5		275				(5)
12	8. 30	116.9	32.4	皖 长 丰	3.6	352	SWW	45	103	NE	76	42	15	335	48			(1)
13	11. 16	117.2	25.9	闽 永 安	3.1	73			64			6		96				(5)
14	1977. 1. 9	117.7	24.9	闽 坂 里	3.0	64			3			304		224				(5)
15	9. 20	117.7	26.7	闽 顺 昌	2.1	64			21			130		220				(5)
16	9. 21	117.8	25.6	闽 大 田	2.3	95			5			140		50				(5)
17	1978. 4. 8	115.5	29.1	赣柘林水库	2.8	18	NW	85	110	NE	75	63	5	333	17	179	75	(9)
18	5. 3	117.1	25.2	闽 龙 岩	2.5	26	SE	74	90	N	29	320	22	83	52			(5)
19	6. 27	116.0	26.5	赣 宁 都	3.3	42	SE	70	120	NE	64	80	34	170	3			(6)
20	1979. 2. 18	111.8	29.6	湘 澧 县	3.8	332	NE	77	56	NW	65	280	7	11	27			(7)
21	3. 2	117.3	33.0	皖 固 镇	5.0	41	NW	50	289	SW	65	258	48	349	9	86	39	(7)
22	5. 22	110.5	31.1	鄂 梯 归	5.1	65	NW	80	330	NE	65	12	19	108	16			(2)
23	1981. 7. 5	111.7	30.9	鄂 当 阳	3.8	87	SSE	85	355	NEE	65	41	7	134	29	278	65	(2)
24	1982. 2. 25	114.8	24.3	赣 龙 南	5.0	80	SSE	79	169	NEE	86	124	10	215	6			(8)

续上表

序 号	日 期	震 中		Ms	节 面 I		节 面 II		P 轴		T 轴		N 轴		来 源
		$\lambda_E$	$\phi_N$		走向	倾向	走向	倾向	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
25	1982. 5. 7	115.2	29.7	横 武 宁	54°	垂直	324°	垂直	99°	0°	199°	0°			(9)
26	11. 16	112.7	25.1	湘粤交界	307	SW	27	SE	256	31	166	44	18°	41°	(6)
27	1984. 10. 26	109.9	33.1	鄂 郎 西	130	SW	55	NE	41	10	220	80	130	0	(2)
28	1987. 8. 2	115.6	25.0	赣 寻 鄖	49	垂直	319	垂直	4	0	94	0			(3)
29	8. 3	"	"	"	48	"	318	"	3	0	93	0			(3)
30	1989. 1. 29	113.9	29.0	湘 平 江	63	NW	77	NE	111	7	19	25	216	85	(6)
31	1974—1979			赣 柘林水库区	73	SE	25	NE	78	50	213	31	317	22	(9)
32	1973—1981			" 瑞 昌 区	38	SE	80	NE	83	14	173	1	266	76	(9)
33	1969—1974			鄂 丹库及邻区	60	SE	75	NE	105	17	196	4			(2)
34	1970—1980			" 保 康 台	81	NNW	80	NEE	36	23	130	9	239	61	(2)
35	"			" 兴 山 台	52	NW	60	SW	2	1	272	45	91	44	(2)
36	"			" 下堡坪台	80	NW	85	NE	36	10	128	3	244	73	(2)
37	"			" 宜 昌 台	65	NW	60	NEE	31	46	123	1	212	43	(2)
38	"			" 三峡及邻区	63	NW	70	NE	28	26	294	8	194	64	(2)
39	"			鄂周坪— 鱼坪— 斗坪	84	NNW	35	SW	43	28	281	45			(2)

资料来源: (1) 国家地震局方仲景等; (2) 湖北地震局; (3) 广东地震局谢明富; (4) 六省(市)震源机制小组; (5) 福建地震局;  
(6) 湖南地震办公室; (7) 安徽地震局; (8) 江西地震局王琰璋等; (9) 本文作者。

源地方的应力场。因此,据图 2 分布的实际情况,大体可划分为 4 个小分区。北纬 $30^{\circ}$ 以南:湘东北两个结果归入赣西北称为湘北—赣西北地区,赣南—闽西区。 $30^{\circ}$ 以北:鄂西区(除丹江水库 3 个外);皖南区(数量少)。从总体上看,大多数地震断层错动兼有一定倾滑分量的走滑型和纯走滑型,少数为逆冲型。

图 3 是由表 2 结果统计给出的 4 个局部分区所表示的综合图式,显示出震源应力场方向特征的异同。(图 3 中(a))是 4 个小分区各自的 P、T 轴出地点在乌氏网的投影(略去 N 轴图),除 3 个 P 轴和 6 个 T 轴大于 $30^{\circ}$ 仰角外(虚线所示),其余皆近水平,表明中间应力轴(N)近直立,最大应力轴(P)和最小应力轴(T)近水平的应力状态,这一特点与全区相同。显然其震源错动性质自然以平推(走滑)运动为主。但各局部分区主压应力(P轴)方向却显示一定的异同(图 3 (b)),分别为:

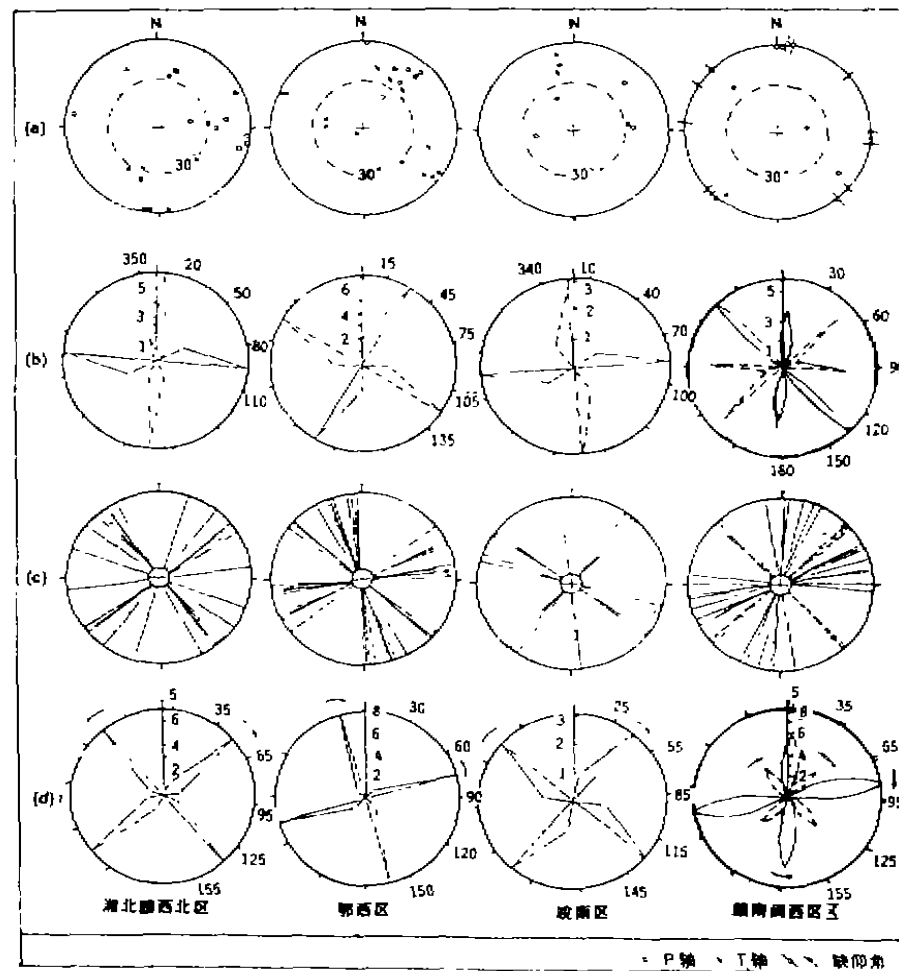


图 3 P、T 轴和节线空间取向

Fig. 3 The orientation of P, T axes and nodal line

(a) P、T 轴出地点分布; (b) 主应力轴玫瑰图: 实线 P 轴, 虚线 T 轴; (c) 两组可能断面走向分布; (d) 两组可能断面玫瑰图, 箭头表示扭动方向(竖向 4 图为各区图式)

——湘北—赣西北和皖南区较接近，P轴优势方向分别为 $95^\circ$ 和 $85^\circ$ ，与全区平均优势方向（ $85^\circ$ ）基本一致；

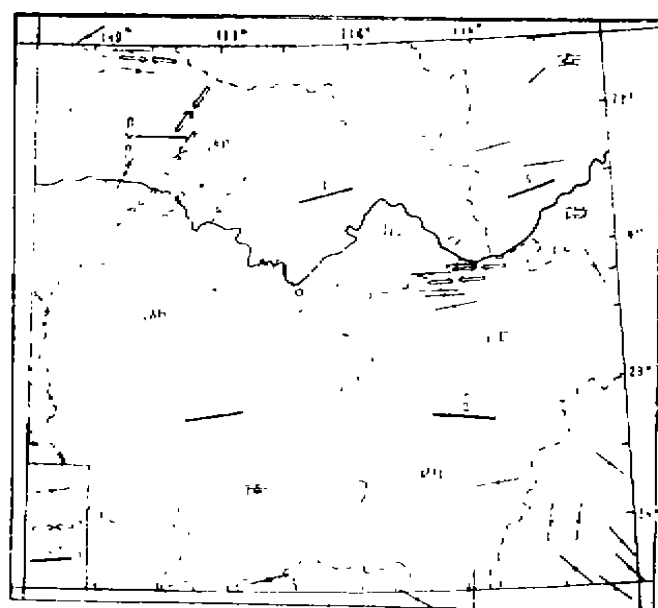


图4 多种方法得到的主压应力方向汇总  
Fig. 4 Collection of the main stress directions got by many methods

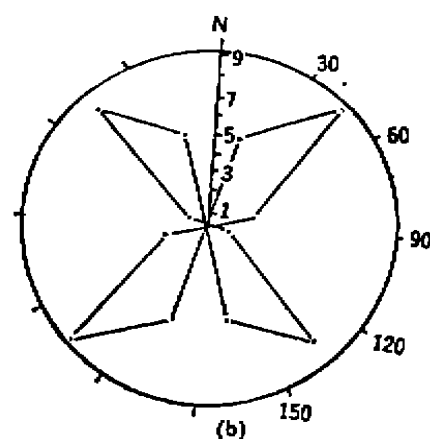
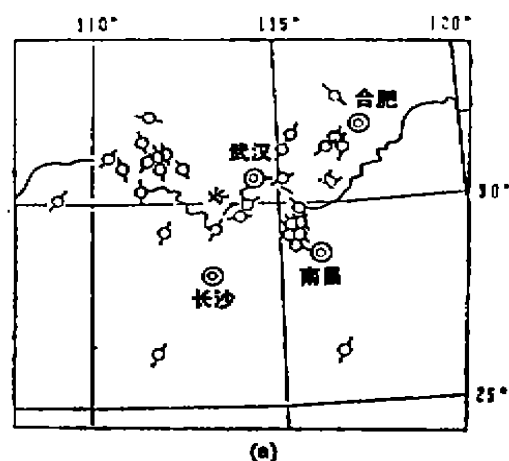
1. 单震解, 2. 小震综合解, 3. 格点尝试法  
了本区地壳构造应力场的取向是可信的。

——鄂西区P轴优势方向 $30^\circ$ ，与全区平均方向不同，差异达 $55^\circ$ ，（何故？下面讨论）；

——赣南—闽西区比较复杂，但仍呈优势方向 $135^\circ$ （ $N45^\circ W$ ），与全区有别。

它们均与各自的T轴方向构成直角。两组可能断层面走向如图3（c, d）所示。各自的玫瑰图花瓣顶点与（b）图顶点则互成 $45^\circ$ 角。

图4是上述方法取得主压应力（P轴）方向的汇总，可见除个别局部地区外，总体优势方向仍是近东西。反映某一次地震错动面走向的等震线长轴方位，如表3及图5所统计显示的结果，表明本区发育的NE和NW向（优势方向分别为 $N45^\circ W$ 和 $N45^\circ E$ ）的两组断裂为发展构造。这也正是震源机制解所取的方向。诸方面结果相吻，验证



5图 极震区等震线长轴方位的统计分布  
Fig. 5 Statistical distribution of the long axis azimuth of isoseismal line in the meizoseismal region of Yueyang  
(a) 震中及长轴方向分布；(b) 长轴方位玫瑰图

表3 岳阳研究区极震区等震线长轴方位

Table. 3 The long axis azimuth of isoseismal line of the meizoseismal region in Yueyang area

No	日期	$\varphi_N^\circ$	$\lambda_E^\circ$	地区	M	I.	h (km)	长轴方位	轴长 (km)	备 注
1	1556. 1.	29.4	113.1	湘岳阳	5 号	VII		25°	63	
2	1631. 8. 14	29.2	111.7	湘常德	6 号	VII <sup>+</sup>		23°	77	
3	1634. 3.	30.7	115.1	鄂黄冈	5 号	VI~VII		65°	70	
4	1651. 2. 16	26.2	116.6	闽宁化	5 号	VI		25°	56	
5	1652. 3. 23	31.5	116.5	皖霍山	6	VII~VIII		30°	130	
6	1782. 4. 30	26.2	111.7	湘零陵	5	VI		38°	22	
7	1831. 9. 28	32.8	116.8	皖凤台	6 号	VII		138°	128	
8	1917. 1. 24	31.3	116.2	皖霍山	6 号	VII		50°	62	
9	1931. 7. 1	30.0	109.0	鄂利川	5	VI	13	35°	23	
10	1932. 4. 6	31.4	115.1	鄂麻城	6	VII	13	33°	15	
11	1954. 2. 8	29.7	113.9	鄂蒲圻	4 号	VI	8	85°	10	
12	1954. 6. 17	31.6	116.6	皖六安	5 号	VI		15°	270	
13	1959. 7. 3	31.8	115.3	豫潢川	5	VI		30°	7	
14	1961. 3. 8	30.3	111.2	鄂宜都	4.9	VII	14	0°	10	
15	1967. 9	29.3	115.4	赣若溪	4	V		130°		有感区方向
16	1969. 1. 2	31.5	111.4	鄂保康	4.8	VI	14	160°	26	呈不规则三角形
17	1971. 6. 17	31.1	111.8	鄂远安	3.2	V	12	150°	16	
18	1971. 7. 14	31.1	111.8	鄂远安	3.1	V	12	168°	19	
19	1971. 10. 20	32.1	116.7	鄂谷城	3.0	V	3	100°	1.2	水库地震
20	1972. 3. 13	30.9	110.8	鄂秭归	3.3	V	8	159°	15	
21	1972. 9. 12	29.9	115.5	鄂赣交界	4.2	V	20	146°	12	
22	1972. 10. 14	29.4	115.4	赣柘林	3.2	V	5	160°	16	水库地震
23	1972. 10. 16	29.3	115.4	赣柘林	3.0	V	5	140°	10	水库地震
24	1973. 10. 10	31.0	112.6	鄂荆门	3.9	V	15	135°	39	
25	1974. 3. 7	30.0	114.1	鄂嘉鱼	3.8	V	12	50°	41	两震相隔2小时 作综合处理
26	1974. 8. 31	31.2	111.6	鄂远安	3.9	V	15	30°	10	
27	1975. 6. 1	29.3	115.3	赣柘林	2.6	IV	5	160°	12	水库地震
28	1978. 4. 8	29.1	115.5	赣柘林	2.8	V	5	120°	28	水库地震
29	1979. 5. 22	31.1	110.5	鄂秭归	5.1	VII	16	39°	15	
30	1981. 7. 5	30.9	111.7	赣当阳	3.8	V	10	160°	10	

### 三、讨 论

#### 1. 区域构造应力场的特点及力源

岳阳研究区现代构造应力场已由上述结果的统计分析得到重演,但存在着局部地区的扰动(图4)。从前述总体上看来具有较好的统一性,P、T轴仰角( $<30^\circ$ )大都显示水平特征,比较稳定,表明本区受水平力作用而使断层错动以平推为主,这与我国学术界流行的“大陆受水平力作用”的共识是一致的,本区东西向压力场的地理位置是处于华南沿海呈



SE~SEE和华北呈NEE~NE压力场方向的中间地域,是“南、北”力场转向的特殊过渡区。造成这一力场方向的力源可能与板块运动有关,这也是我国许多学者对力源偏爱的一种解释,如印度洋板块与欧亚板块的水平碰撞引起青藏高原向东扩张,并对本区向东推挤;而菲律宾海板块向北西西和太平洋板块向西的俯冲运动,从而形成本区近东西挤压的应力场格局,但后者不如前者大,而后者则起阻挡作用<sup>[1]</sup>。

## 2. 局部震源应力场出现多向性的成因解释

鄂西区是一典型例子(图4),由单震解和综合解得到的主压应力方向(平均 $30^\circ$ )与全区总体方向不同,原因何在?是值得讨论的。该区介质的不均匀性和固有的发育着许多老断裂或软弱面(多为NNW向)的存在,许多应力集中点或闭锁点处于极限状态时,在统一的构造外力作用加强下,可以沿着这些裂面重新错动。实际上,地震愈小,破裂面愈小,一个行将破裂的微小受力面,不论其空间产状如何,显然最容易沿自身平面产生错动,从而释放了震源地方造成形变中那部分主应力(即应力集中处)。不同方向的断裂面错动——地震,就可以产生不同的震源机制解而得到不同的应力场。可见,震源机制得到的主应力并不等同于大区域构造应力,但它受控于构造应力。可见局部应力场的扰动,并非区域构造应力造成的,而是受力的破裂面的空间方位的差异使然。

但该区的构造应力场的主压应力近东西向已由前述格点尝试法得到反映。这还可从水压致裂法得到的 $N65^\circ E$ 、浅层应力测量得到的 $N60^\circ E$ 、形变资料和构造形迹分析推得的NEE向,得到鄂西区现今仍有NEE向压应力作用的证据<sup>[2]</sup>,与大区域主压应力场方向近于一致,说明现今构造应力场是第四纪构造应力场的延续,反映在悠久的地质史代上具有时空的稳定性和广泛性,它不仅控制现代地壳活动,而且是形成构造形迹的原动力和讨论地震活动的基础。所以,鄂西地区,现今的构造应力场能使这里最为发育的NNW向断裂系统发生右旋剪切运动,其发展性值得注意,且这种构造往东南可能延伸至洞庭湖西北一带,不容忽视。

另一典型例子是鄂东区(图1, No 4),虽然压力轴(P)NEE( $77^\circ$ )向与全区平均值( $85^\circ$ )接近,但其仰角近直立,达 $66^\circ$ ,在本研究区纯属唯一。表明小震以倾滑型(正断层)错动为主,可能反映了该区与压力轴平行或接近平行的NEE向断裂产生引张性构造运动,湘鄂交界的蒲圻1954年4级地震发震构造就是NEE向的活动断裂。该区呈这一方向的多组断裂延伸至湘东北部,特别是岳阳市附近有这一方向断裂经过,其发震可能性应予以足够重视。

## 3. 本区地震活动性较低的原因

尽管本区地壳应力场具有统一的总体特征,但地震活动性较低,是中国东部较特殊的区域。不过仍有相对地震活动较高的局部地区,如鄂西及其交界的湘北和鄂东及其交界的赣西北<sup>[3]</sup>,历史上的强震均发生在这些地区,数量虽少且不均匀,但都分布在岳阳市周围,其影响不能漠然无睹。考虑到地壳应力场总体上的连续性和广泛性,局部应力场的扰动又不能左右地震活动。这些事实表明,地震活动的地区差异,主要因素可能是构造上的不同使然,而非局部应力场的差异所致。

但本研究区这一宽阔环境为什么地震活动如此之低?上述提到,本区受到西部两大板块(印、欧亚)的碰撞而使青藏高原向东扩张产生的附加应力场,太平洋和菲律宾海板块则采取向西俯冲起阻挡作用,而作用力不大,因此,传递到本区的应力可够自然互相抵消或减弱,

并达均衡、稳定状态，从而出现本区地震活动水平不高的典型区域。这一粗浅看法如果有可信取之处，则对探索本区特别是岳阳地区未来地震危险性无疑是有意义的。

### 参 考 文 献

- 〔1〕汪素云，许忠淮，中国东部大陆的地震构造应力场，地震学报，1985，7（1）。
- 〔2〕李祖武，三峡及邻区构造应力场与震源机制解及其关系的初步讨论，地震研究，1985，8（2）。
- 〔3〕梁芳，岳阳地区地震活动性研究，华南地震，1991，11（1）

## THE FOCAL MECHANISM AND TECTONIC STRESS FIELD IN YUEYANG AREA

Chen Yiming

( Seismological Bureau of Guangdong Province )

〔Abstract〕 From the focal mechanism in Yueyang area, we get the knowledge that there is a good unity in crust tectonic stress field. And some following characters are got. First, the superiority direction of main pressure axis is approximate to east west direction, and that of main expansion axis is in the direction of north south; the second, almost all of the N axes are in vertical direction and the P, T axes in horizontal direction. The faults which are easy to occur dislocations are in the direction of NE and NW, which are mainly in translational motion, the former is in positive twist and the latter in negative twist. The focal stress field also shows some differences in some areas.

〔Key Words〕 Yueyang area; The focal Mechanism; Tectonic stress field.