

闽台震源机制和区域应力场

卓秀榕 陈光桐

(福建省地震局)

摘 要

本文系统地汇集、修订了1933年至1969年台湾及其东部海域6级以上强震的震源机制资料,并重新测定了1970年至1978年台湾6级以上地震,福建省和台湾海峡部份地震以及1604年泉州海外8级强震的震源机制,分析了闽、台两省震源机制特征,指出:(1)由震源机制求出的断层面解与源深处的现代构造运动紧密相关;(2)大部份主压应力轴方向与主要断裂带垂直;(3)在台湾东部海中,中强地震组成三个互相平行的椭圆形空区,空区周围83%的6.0—6.9级地震的主P轴方向近似与空区边线垂直,7级以上强震都发生在空区边缘;(4)以巴士海峡为中心,面向福建大陆,应力场呈现向西北展开的扇形分布。

一、前 言

福建、台湾两省地处中国东南,是环太平洋地震带中重要的一环,特别是台湾岛弧夹在琉球与吕宋两个消减带之间,成为非常显目的转换地带,地震活动十分强烈,引起国内外许多学者的注意。但分析对比了文献[1]至[5]和地震局资料¹⁾后,发现相互之间差异悬殊,研究其原因,可能是使用资料的来源多寡不同,模型和处理方法不一致,对断层面参数的定义不统一。这里有真差异,也有假差异。为了对多地震的台湾岛弧的应力场状态有个基本的客观的了解,我们对1969年以前52个地震的震源机制资料进行整理,考证和修改,并补充了1970年至1978年台湾6级以上强震的震源机制,对台湾海峡和福建省3级以上地震也尽可能给予测定。最后对北纬21度到26度,东经117度到123度范围内的应力场分布提出一些看法。

二、资料处理及结果

1. 处理方法

1604年地震根据文献[11]的记载,规定昌水喷砂、地下水上升的区域内,震源将辐射负号纵波;地陷无水,井水下降或池水干涸的区域内,震源将辐射正号纵波;若在同一地点同时出现上述两种现象,则认为有一条节面通过该地,故出现混乱的纵波初动符号;然后参考等烈度线的长轴方向和宏观现象确定其断层面参数。

1) 震源机制资料。

1933 年至 1969 年的地震, 主要依据地震局资料和文献 [2] 的成果进行汇编, 缺少的几个地震用文献 [1]、[3] 等补充, 对个别地震, 不同作者所作的结果差异悬殊者, 参考文献 [13] 至 [16] 的宏观调查报告和数据的来源、精度等确定之。

1970 年至 1978 年地震的初动符号选自文献 [9]、[12]。震中距和台站相对于震中的方位角取自 $I \cdot S \cdot C$ 报告, 若该报告上没有就用地震局资料的方法进行计算。 \bar{P} 波离源角用公式直接计算, P_n 波离源角一律取 53° , P 和 PKP 波的离源角查自地震局资料中的附表 2。

综合微震的震源机制采用文献 [6] 的方法。

2. 结果

本文一共整理汇集、测定了 87 个地震的震源机制和 6 个综合微震的震源机制, 如图 1 所示。其中 1970 年至 1978 年台湾 20 次强震的震源机制另绘于图 2 内。为了绘图清晰, 我们略去了一部份重迭的正常符号点, 具体的断层面参数见表 1、2。

表中的发震时刻、震中经纬度、震源深度基本上取自所选取的资料本身的数据。震级统一引用文献 [10]。节面的走向、倾向、力轴方位均由北开始, 顺时针计量。倾角指节面与水平面之间的夹角。仰角指力轴出地点方向与水平面之间的夹角。文献 [2]、[3] 中的倾角指节面的极与水平方向间的夹角。本文均取其角作为倾角, 走向是由倾向推算的, 凡文献中图与表发生矛盾的数据, 均按表格中二个节面的数据在吴尔夫网上进行还原验证, 然后予以订正。文献 [1] 中的方位角, 是由北按逆时针方向计量, 本文均按上述标准更换之, 其他数据由于文献中图与表格所列的数据差异悬殊, 难以进行还原验证, 今暂不修订, 仍用原文中数据供参考, 在图 1 中用空心圈表示, 若有宏观调查报告, 则补上相应的平

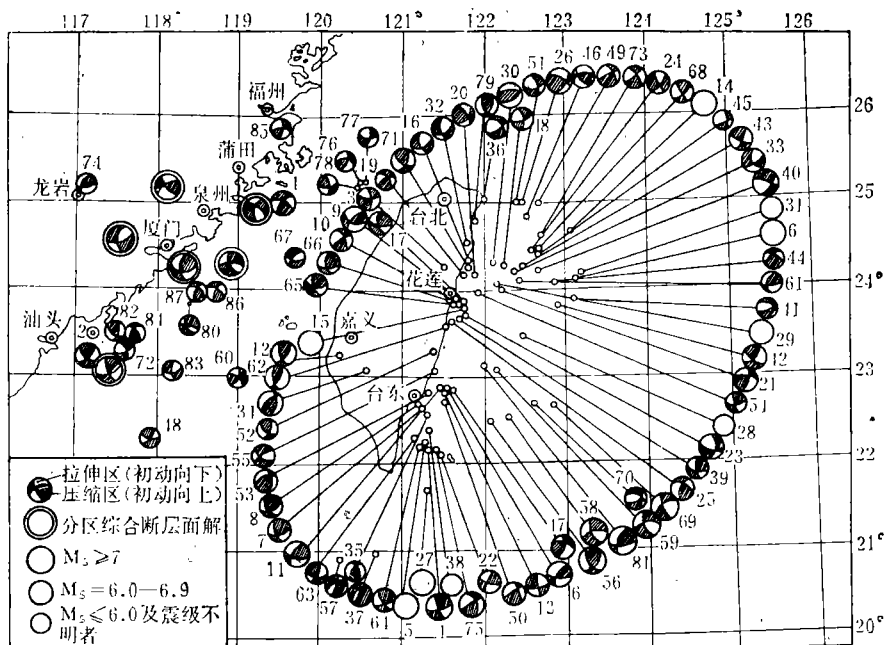


图 1 闽台震源机制示意图

表 1 P 波初动解

编号	地震时间	震 中		震级	震源深度 (公里)	节 面 A			节 面 B			P 轴		T 轴		资料来源
		φ_N	λ_E			走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
1	1604.12.29	25.0	119.5	8.0	25	32	122	60	308	218	80	77	14	174	28	F
2	1918.2.13	23.5	117.2	7 $\frac{1}{4}$	壳内	37	NW	80	310	NE	70	83	2	352	18	G
3	1933.4.19	24.3	121.5	6 $\frac{3}{4}$	壳内	84	直立	90	176	W	81	309	6	218	7	A
4	1935.9.4	22.2	121.3	7 $\frac{1}{4}$	壳内	59	NW	55	168	NE	65	292	7	29	45	A
5	1936.8.22	22.3	121.3	7 $\frac{1}{4}$	30	292		79	32		49	78	71	333	53	C
6	1937.12.8	22.9	121.5	7	壳内	18	SE	75	95	NE	50	322	15	65	40	A
7	1937.12.14	22.7	121.2	6 $\frac{3}{4}$	壳内	68	NW	75	171	NE	50	124	16	40	40	A
8	1937.12.17	22.7	121.2	6 $\frac{3}{4}$	壳内	61	NW	72	163	NE	56	116	11	17	38	A
9	1938.9.7	23.9	121.7	7	壳内	38	SE	80	116	NE	40	337	25	91	42	A
10	1938.10.13	23.9	121.7	6 $\frac{3}{4}$	壳内	47	SE	60	174	W	44	292	12	186	50	A
11	1938.12.7	22.9	121.5	7	壳内	27	SE	70	109	NE	69	336	1	67	31	A
12	1941.12.17	23.3	120.3	7	壳内	44	NW	72	156	NE	41	107	18	355	48	A
13	1943.12.2	22.9	121.5	6 $\frac{1}{2}$	壳内	80	N	76	173	E	79	36	18	305	2	A
14	1947.9.27	24.7	123.1	7.5	63	300		60	30		90	251	69	349	69	C
15	1951.10.22	23.8	121.7	7 $\frac{1}{4}$	10	289		39	64		60	263	79	18	25	C*
16	1951.10.22	24.3	121.8	6 $\frac{3}{4}$	壳内	79	NW	80	171	NE	79	35	15	125	1	A
17	1951.10.23	23.9	121.7	6 $\frac{3}{4}$	壳内	89	N	80	1	E	79	315	1	45	14	A
18	1952.6.23	24.3	122.3	6	幔内	152	SW	80	66	NW	67	287	24	21	9	A
19	1954.9.17	24.2	121.8	5 $\frac{1}{2}$	幔内	224	SE	80	135	直立	90	90	7	180	7	A
20	1955.6.5	24.2	121.9	6	壳内	123	SW	80	38	NW	60	355	13	257	28	A
21	1955.9.22	24.0	122.3	6 $\frac{3}{4}$	幔内	59	NW	70	77	NE	21	154	25	319	75	A
22	1955.9.24	22.1	121.5	6 $\frac{1}{4}$	壳内	20	SE	73	102	NE	67	331	5	62	29	A
23	1957.2.24	23.8	121.8	7.2	70	90	N	73	353	W	68	313	28	222	4	A
24	1957.7.19	24.5	122.6	6.1	100	122	NE	75	29	NW	80	345	18	76	3	A
25	1957.10.20	23.7	121.6	6.8	40	20	SE	60	140	SW	49	262	6	164	55	A

续表 1

编号	地震时间	震 中		震级	震源深度 (公里)	节 面 A			节 面 B			P 轴		T 轴		资料来源
		φ_N	λ_E			走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
26	1959.4.27	25.0	122.5	7 $\frac{1}{2}$	150	70	NW	17	293	SW	77	13	31	218	57	A
27	1959.8.15	21.7	121.3	7	0	264		39	84		51	264	84	84	6	C*
28	1961.4.9	23.5	122.5	6.0	40	298		10	118		80	298	25	118	35	C*
29	1962.6.25	24.1	122.2	6.5	81	9		24	189		66	9	69	189	21	C*
30	1963.2.13	24.33	121.14	7	67	79	349	61	79	169	29	169	16	349	74	E
31	1963.2.25	24.2	123.2	6.0	84	29		70	272		39	233	72	348	38	C
32	1963.3.4	24.6	121.8	6.0	15	80	350	65	353	83	82	219	24	124	12	A
33	1963.4.21	24.2	122.4	6.0	40	42	NW	67	352	E	33	346	61	113	19	A
34	1964.1.18	23.09	120.58	7	18	15	105	42	2	272	48	99	5	190	82*	E
35	1964.8.3	22.6	121.3	5.9	34	22	SE	64	6	NW	27	286	19	128	70	A
36	1964.11.26	25.0	122.0	6.3	20	307	SW	34	60	NW	76	295	50	174	24	A
37	1965.4.27	21.0	120.68	6.0	29	8	98	14	8	278	76	278	59	98	31	E
38	1965.5.18	22.41	121.26	6.6	80	16	106	58	104	14	86	155	20	55	26	E
39	1965.6.27	23.7	121.7	6.0	30	10	SE	78	80	NW	32	303	27	68	49	A
40	1966.3.13	24.24	122.67	7.8	42	24	294	53	114	24	90	242	25*	346	25	E
41	1966.3.16	23.9	123.1	5.3	20	233	NW	62	318	SW	81	272	26	8	13	A
42	1966.3.23	23.86	122.97	6.2	40	20	290	80	112	22	78	70	1	336	16	E
43	1966.5.5	24.33	122.50	6.3	53	28	298	82	118	28	83	72	1	343	11	E
44	1966.6.7	24.1	122.9	5.2	60	8	E	26	135	SW	74	60	26	199	56	A
45	1966.6.30	24.4	122.7	5.3	40	326	SW	85	238	NW	70	280	18	13	10	A
46	1966.7.1	24.86	122.56	6.1	102	70	160	42	122	32	60	189	10	86	59	E
47	1966.9.16	22.9	121.6	6.0	10	10	SE	83	101	SW	81	146	11	235	2	A
48	1966.9.26	22.3	117.9	5.3	51	31	NW	65	306	NE	80	256	10	351	25	A
49	1967.10.25	25.0	122.7	6 $\frac{1}{2}$	20	234	SE	60	161	SW	63	108	2	199	42	A
50	1968.2.26	22.76	121.47	6 $\frac{1}{2}$	8	20	290	40	40	130	50	302	6	185	69	E

51	1968.10.20	25.0	122.5	6.1	16	151	SW	83	65	NW	62	285	24	21	14	A
52	1968.12.31	23.3	121.4	5.5	13	22	NW	63	298	NE	78	248	10	348	28	A
53	1970.11.14	22.82	121.36	6.5	26	43	133	45	177	267	55	103	5	210	65	F
54	1971.8.19	23.99	121.95	5.9	22	9	82	40	160	250	50	75	5	203*	83	E
55	1971.10.31	23.01	121.39	6.0	47	43	99	58	82	352	65	137	4	41	42	F
56	1972.1.4	22.50	122.07	7.2	6	31	133	80	308	38	63	88	26	352	11	F
57	1972.1.8	20.95	120.26	6.7	36	20	301	68	146	56	45	94	14	346	50	F
58	1972.1.25	22.56	122.37	8	29	70	290	60	143	53	48	85	5	346	57	E
59	1972.1.25	23.06	122.14	7.6	34	71	160	50	25	295	56	249	76	136	10	E
60	1972.4.6	23.0	119.0	5.5	33	70	160	80	160	70	87	115	9	205	6	F
61	1972.4.17	24.10	122.44	6.1	48	20	161	90	161	71	90	116	0	26	0	E
62	1972.4.24	23.60	121.55	7.3	29	26	160	69	158	68	85	111	19	205	11	F
63	1972.9.23	22.37	121.16	6.6	8	196	304	45	79	169	55	328	6	227	65	F
64	1972.9.23	22.28	121.28	6.4	26	34	110	40	81	351	68	147	16	34	54	F
65	1972.11.10	23.87	121.61	6.3	22	29	140	10	50	320	80	140	35	320	55	E
66	1972.11.21	23.87	121.66	6.2	27	50	296	40	0	90	53	282	7	39	75	F
67	1974.5.17	24.4	119.7	4.0	62	28	71	71	108	18	85	240	10	333	17	E
68	1974.8.9	24.50	122.69	6.4	2	55	286	40	96	6	85	203	40	355	45	E
							265	20	329	59	77	278	9	13	29	F
							322	63	256	346	56	145	7	42	64	F
							119	45	288	18	40	175	10	87	68*	E
							160	46	241	331	55	122	1	31	55	F
							91	54	112	22	70	70	25	339	4	F
							118	75	329	59	80	281	6	13	21	F
							325	71								

续表 1

编号	地震时间	震 中		震级	震源深度 (公里)	节 面 A			节 面 B			P 轴		T 轴		资料来源
		φ_N	λ_E			走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
69	1975.3.23	22.68	122.84	7.0	29	60	150	80	149	59	83	104	12	195	2	F
70	1975.5.24	22.70	122.61	6.4	1	58	148	83	147	237	87	103	5	193	5	E
						57	327	85	147	237	86	282	7	12	1	F
71	1976.3.20	24.32	121.81	6.0	50	50	140	90	140	230	85	95	4	185	4	E
						3	273	64	313	43	38	74	15	316	61	F
72	1978.1.24	23.3	117.6	3.1	12	71	341	55	320	230	63	279	45	203	4	F
73	1978.4.30	24.64	122.73	6.0	38	46	316	75	312	222	75	269	22	359	0	F
74	1978.5.3	25.2	117.1	2.5	16	26	116	74	90	0	29	120	6	83	52	F
75	1978.7.23	22.19	121.42	7.6	34	51	141	57	9	279	41	303	8	193	67	F
76	1978.8.9	25.25	120.55	3.2	20	25	295	60	99	189	65	333	4	240	41	F
77	1978.8.10	25.25	120.55	5.3	18	0	270	55	93	3	85	323	27	221	21	F
78	1978.8.10	25.25	120.55	3.6	20	343	253	80	83	353	45	41	23	291	39	F
79	1978.9.2	24.81	121.87	6.5	115	28	298	35	354	84	60	277	13	44	11	F
80	1978.11.23	23.9	118.4	3.7	12	332	62	50	271	181	60	127	54	29	6	F
81	1978.12.23	23.17	122.00	7.2	47	22	112	44	51	321	50	127	3	27	75	F
82	1980.5.8	23.5	117.5	3.8	18	26	296	45	143	53	65	260	11	6	53	F
83	1980.7.9	23.05	118.20	3.7	20	5	95	75	82	352	50	51	39	308	16	F
84	1981.1.25	23.5	117.7	3.7	18	33	123	45	318	228	75	74	19	187	43	F
85	1981.3.10	25.8	119.5	2.1	10	37	307	60	84	174	40	147	11	260	63	F
86	1981.7.31	24.0	118.7	3.0	15	15	105	65	297	207	30	261	31	135	45	F
87	1981.8.27	24.0	118.5	3.8	26	20	110	60	313	223	35	266	24	147	50	F

注: *: 文献[13]中P轴方位为北西-南东, T轴方位为北东-南西. *: 据文献[14]修订. 原文T轴方位84, 仰角6, 与P轴平行, 不合理. *: 原文8, 系余角. *: 原文50, 疑误. *: 原文165, 误. *: 原文22, 误. A: 地震局资料, C: 文献[1], E: 文献[2], [3], F: 本文作者, G: 林纪曾等, 东南沿海地区的震源机制与构造应力场, 地震学报, 第2卷, 第3期.

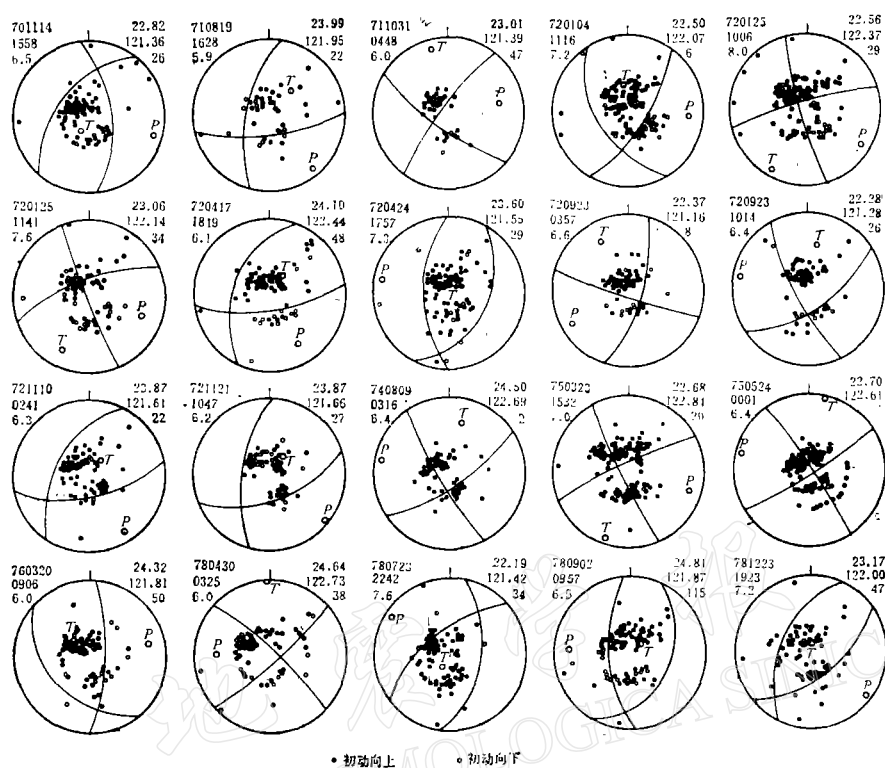


图 2 台湾强震震源机制图

表 2 福建沿海小地震综合断层面解

地震活动分区	资料时间	节 面 A			节 面 B			P 轴		T 轴	
		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角
1 区	1978.1—1981.5	356	86	50	73	343	76	129	16	26	40
2 区		351	81	70	90	180	65	129	33	221	3
3 区		23	113	40	94	4	75	156	20	44	47
4 区		6	96	50	305	215	60	161	54	64	6
7 区		341	71	70	84	174	60	215	7	120	37
8 区		5	95	38	75	345	75	22	48	139	22

表 3

空 区	长 轴		短 轴	
	方 向	长度(公里)	方 向	长度(公里)
I	N53°E	142	N37°E	77
II	N64°E	153	N26°E	73
III	N62°E	165	N28°W	73

面图。

三、震源机制解和地震断层

地震波是传递震源运动过程的可靠而有力的工具,利用纵波初动方向的分布反演震源运动过程的参数,就是所谓的“震源机制解”。

图 3 绘出了台湾及其周围地区的海沟、海岭、火山和大断层。琉球弧、台湾岛和菲律宾主弧构成了一个凹向太平洋的双套弧。在台湾的东北部、即与琉球的接合部,海底地貌弯曲,变化激烈,种种迹象表明该区断层众多,地质构造非常复杂。在台湾南端的海上,巴士断层横贯巴士海峡。东南部的兰屿、火烧岛附近还有两条左旋平移-逆断层通过。因此在台湾及其周围的海域中不可能出现单一的震源机制,有时震中相差几公里,震源深度会相差近百公里,如 24 号地震源深为 100 公里,而紧邻的 68 号地震源深仅有 2 公里,两者震源机制不同。又如 81 号地震是典型的冲断层,而邻近的 59 号地震却以平移为主要特征。虽然有这些复杂性,但从总体上仍可看出台湾强震的震源机制与现代构造运动有着十分密切的关系,显示出台湾这个转换断层的独特作用。

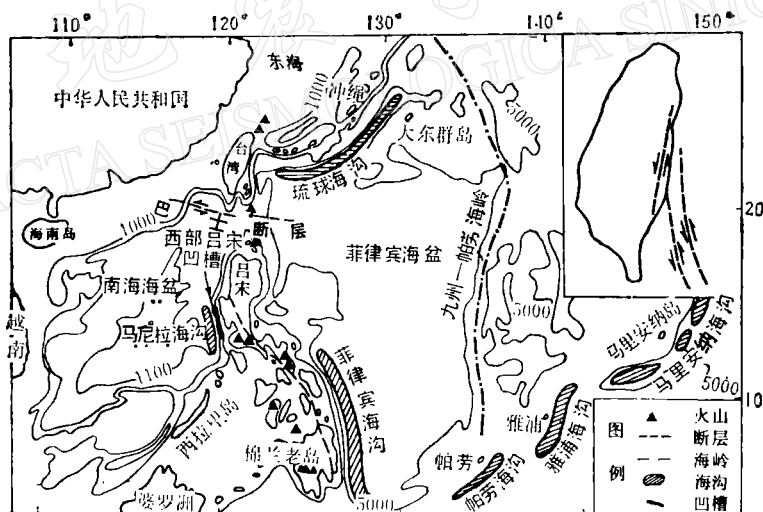


图 3 台湾吕宋岛弧及邻近地区的构造特点

18、73、68、45、43、33、40、51、49 号地震是琉球岛弧和台湾岛弧接合部上的一组地震,震源都较浅,震源机制显示的北东向地震断层是右旋走滑的,与海洋测深技术推测的结果一致。文献[2]研究了该区的 G 波辐射图象,发现辐射的优势方向是 $N20^{\circ}E$,其它三瓣较小,故认为北东向节面可能是断层面。在该区依据 R/V 巡航探测搜索 (Wageman 等, 1970)^[2] 也发现了浅部沉积层中的右旋位移。所以源深 2 公里的 68 号地震的北东向节面是右旋平移的,而在同一地点源深 100 公里的 24 号地震是左旋平移的。源深 20 公里的 49 号地震是右旋平移的,而邻近的 26、46 号地震(源深超过 100 公里)是左旋倾滑的。这些震例都表明浅源地震与北东向右旋断层有关,震源越深,震源机制受台湾地区主

要断裂——左旋平移的北北东向逆断层的影响越明显, 而且同一地点地震的震源机制可以不同, 它取决于通过震源处的断层面产状。

以逆冲为主的地震密布于花莲附近的海面上, 其次在台东附近。前者如 62、15、25、39、65、66、10、9、71、79、30、54、21、61 号等, 后者如 53、8、35、4、75、50 号等, 但在台东纵谷两侧及花莲—苏沃之间则出现为数较多的左旋平移的北北东向断层, 如 20、16、19、3、17、52、55、7、11、63、13、6、47、23 号等。这种空间上的分布规律依赖于台湾岛上构造断裂带的布格和现今活动特点。众所周知, 在花莲—台东之间纵贯着长 150 公里宽 5—10 公里的台东纵谷, 它位于中央山脉和沿海山脉之间, 是一条挤压性裂谷, 具有明显的左旋逆冲-平移特征。通过纵谷北部的三角测量资料 (Chen, 1974)^[4], 表明左旋位移超过 6 厘米/年, 接近菲律宾海板块在该区向北运动的速度。在纵谷两端紧连着延伸入洋的沿海悬崖, 特别在花莲附近悬崖密布, 激流如矢, 这是菲律宾海板块对欧亚板块挤压碰撞的结果, 台湾岛正处在这两大板块的交界上, 同时承受着来自东西两个方向的挤压作用, 形成台湾岛上正在发生的强烈造山运动和陡峭的东海岸以及左旋平移的挤压性裂谷。因此在纵谷两端集中出现典型的倾滑断层, 而在纵谷两侧出现为数较多的以平移为主的左旋断层是合理的。例如 15 号地震位于花莲附近, 十几公里外的太平洋下陷为 2000 米的深海, 该区除狭小的海岸平原外都是险峻的山区, 有不少断层造成深达数千英尺的大悬崖, 河流坡度极大, 震源机制如图 4^[13], CD 断层线平行于北北东向的台东山脉, 也与等震线的长轴方向一致, 倾向东东南。据震后的宏观调查, 新城乡境界附近的道路裂开 0.3 米, 高低差达 0.2 米, 七星山隆起 1.2 米, 花莲港七星潭民房内隆起 0.4 米, 即此次地震的断层具有明显的逆冲-左旋平移迹象。又如 1951 年 11 月 25 日发生在台东的 $7\frac{1}{4}$ 强震, 震后

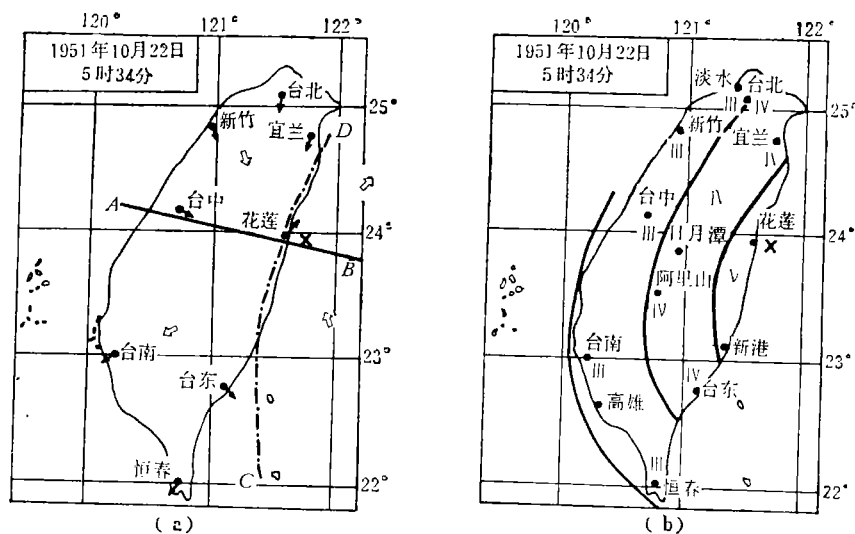


图 4 1951 年 10 月 22 日 5 时 34 分地震

(a)——初动分布图 (b)——烈度分布图

调查发现花莲玉里学校北移 0.4 米^[13],断层通过校内。花莲富具村隆起 1.5 米,石头北移 2 米。东部地层隆起 2.1 米,表现出北北东向地震断层的左旋逆冲-平移特征。

台南—嘉义地区地震断层较多,其中以 $N70^{\circ}E$ 走向的新化断层最显著,该断层西北侧上升而向东北推移,东南侧下降而向西南推移,断层两侧的块体同时具有水平和垂直位移,并与嘉义附近的梅子坑断层、台湾中部屯子脚断层的走向和活动特征相似^[15],故该区内 12、34 号地震的震源机制主要表现出倾滑性质的,北北东节面右旋平移,与沿海 36、32 号地震的左旋平移不同。

在台湾东南海面上出露的兰屿和火烧岛是位在同一海岭上的两个火山岛屿,有一条左旋平移-逆断层通过,南段走向北东,北段转成北北东。在兰屿和火烧岛的东侧也有一条左旋平移-逆断层,从南往北,走向由北逐渐转成北北西和北西。因此位于火烧岛东侧的 81、59 号与 56、58、69、70 号地震的北北西节面都是左旋的,除 81、56 号是倾滑外,其它均是平移的。位于兰屿附近的 22、75、4、64 号地震的北北东或北北西节面也是左旋的,除 75 号是倾滑型外,其它均为平移。北北东节面表现出右旋的 63 号地震是一个例外。

总之,在台湾岛及其周围海域中发生的所有地震,从震源机制推出的地震断层走向和活动特点均与当地构造断裂带的走向、活动特点极相似,表明两者之间有着十分密切的内在联系。

从震源机制推出的断层面解也与该区的板块活动特征、震源分布状况十分一致。今按图 6 中各剖面分别进行讨论。

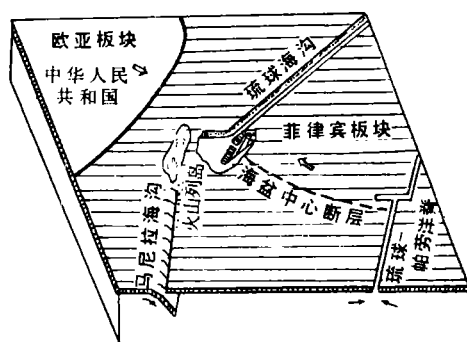


图 5 台湾及周围的板块示意图

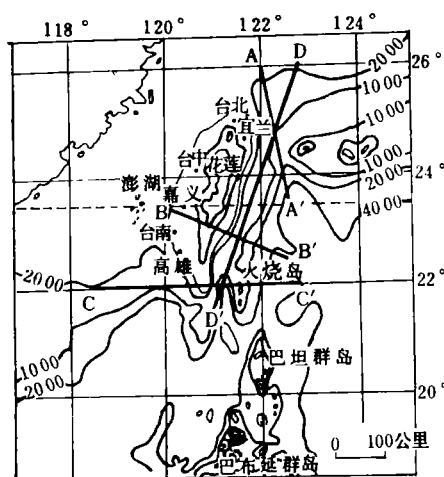


图 6 各垂直剖面的割线

沿垂直于琉台地震带的 AA' 线作剖面,位于该剖面上的 21、40、33、43、68、24、73、18、30、36、79、20、32、16、71、51 号等地震的震源机制都有一条倾向大陆的断层面,倾角小于 70° 的占三分之二。在该区菲律宾海板块向琉球岛弧下面俯冲(图 5),震源纵深分布也向大陆倾斜,倾角约 43° (图 7_(a))。 CC' 线是沿 22° 纬线并垂直于东部地震带的垂直剖面,位于该剖面上的地震都有一条倾向菲律宾海的节面,倾角 $50-70$ 度左右,与菲律宾海板块在该区明显上冲吻合,而且震源纵深分布也向菲律宾海板块倾斜,向东达到南屿

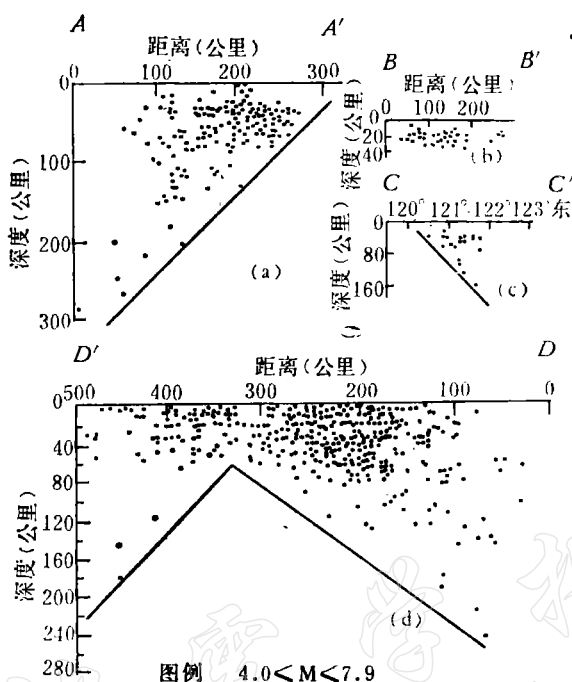


图 7 各垂直剖面的震源分布

附近,倾角约 40° (图 7(c)). BB' 是垂直于东部和西部地震带的垂直剖面,在剖面的北边,北东或北北东断层面绝大多数倾向大陆,而在剖面的南边则恰好相反,表明该剖面可能是菲律宾海板块向欧亚板块由俯冲到仰冲的转折部位,因而震源的纵深分布也未出现一个清楚的倾斜带(图 7(c)). DD' 线是平行于东部地震带的垂直剖面,震源机制解结果表明该剖面上地震断层的倾向有南北相反的情况,并基本上以通过新港海面的 BB' 剖面为界,震源最浅处(约 50 公里)也在新港东海面,并往两边加深,往北较快(图 7(d)),由此推测菲律宾海板块对欧亚板块由俯冲变成仰冲的过程是缓慢变化的扭曲过程,台湾岛正处于这个扭曲变换的部位上,新港东海面是倾向变换的转折点,形成地震巢的火烧岛和花莲是它两端扭曲最厉害的地段,这些都与板块运动特征相吻合。

综合微震的震源机制虽不如单个强震的震源机制精确,但在反推区域平均应力场时仍具有一定的代表意义。由于福建省及台湾海峡的地震活动水平不高,因而除少数几个记录较好的地震外,均按不同的地震活动区分别求出综合微震的震源机制解,显然其结果也与断裂带的分布及现代构造活动有密切关系。例如发生在海中地震的北东向节面都是左旋的,福建内陆地震均右旋。据人卫照片解译,福建近海区域有一条北东向断裂带,由板块运动推知该断裂应具有左旋剪切的特征,而福建内陆地震的右旋可能是对左旋剪切的调整。外海地震的节面 A 走向近南北,左旋走滑,倾向北东东,是台湾中央山脉的向西延伸。沿海与内陆地震的节面 A 走向近北东,倾向南东,与长乐—诏安主干断裂带的左旋平移性质一致。所有倾角都在 40° — 70° 之间。南段地震节面 B 走向近东-西、北段地震节面 B 走向是北西,这可能与海峡中的北西向断裂带有关。按北东方向排列的 1、3 区中地震倾向北北东或北北西,按北西方向排列的 2、7 区中地震倾向南或南南东。倾角都较

大,在 60° — 80° 之间。

四、区域应力场与地震活动

福建省和台湾海峡一部份 2.5 级以上地震,台湾省及其东部海域 6 级以上地震的最大主压应力轴方向(以下简称主 P 轴方向)在空间分布上有明显的规律性(图 8),现按东西两区分别进行讨论。

东区 包括台湾省及其东部海域。自 1933 年至 1978 年发生的全部 6 级以上地震的主 P 轴方向绝大多数与主要断裂带的走向垂直。如台湾中段沿海地震的主 P 轴方向垂直于南北走向的台湾纵谷,往北延伸,台湾岛弧与琉球弧相接,主 P 轴方向也由中段的近东西向转成北西向,又转成近南北向。在台湾东南部,随着环太平洋岛弧的弧型拐弯,主 P

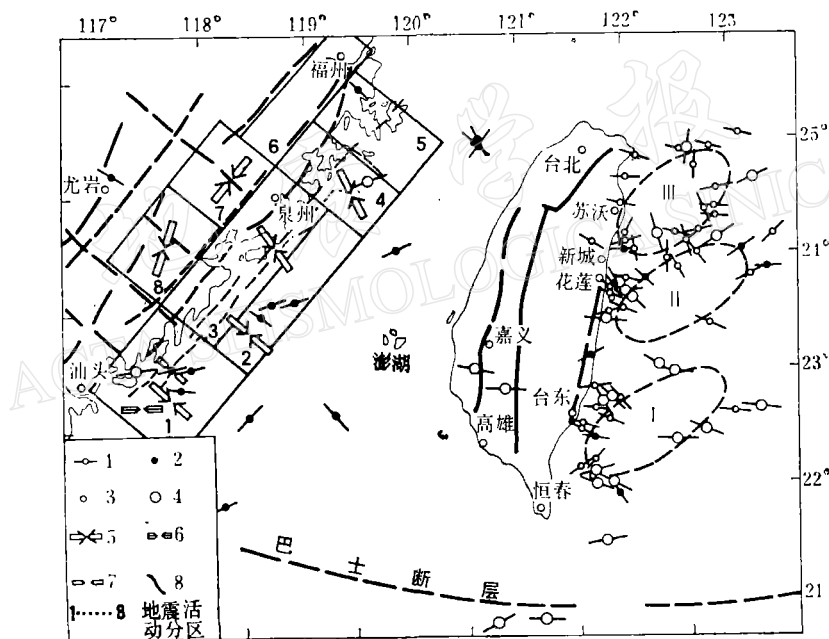


图 8 闽台地区最大主压力的分布

(图例中: 1— P 轴方向; 2— $M_s < 6$; 3— $M_s = 6.0-6.9$; 4— $M_s \geq 7$; 5—分区平均主压应力方向; 6—1981 年平均主压应力方向; 7—小震群平均主压应力方向; 8—断裂; 9—地震活动分区)

轴方向也跟着改变。在台湾岛上和台湾海峡东部地震的主 P 轴方向垂直于中央山脉的走向,与文献[1]的结论一致。我们的工作结果还表明距离海岸较远的地震主 P 轴方向并不一定垂直于主要构造带,而是有自己的独特排列。如果把文献[1]的附录(1)中的 7 级以下地震绘成震中分布图,则可看到在台湾东部海域存在三个近似平行的椭圆形空区,如图 8 中的虚线所示,只有极个别地震出现在 III 号空区的较中央部位。空区参数见表 3。在空区边线附近共有 43 个 7 级以下地震(不包括来源于文献[1]的 4 个地震),其中主 P 轴方向近似与空区边线垂直的有 37 个,占总数的 86%。在空区边线附近 6.0—6.9 级地震

共 36 个(不包括来源于文献 [1] 的 3 个地震), 其中主 P 轴方向近似与空区边线垂直的有 30 个, 占总数的 83.3%。而且 7 级以上地震都没有发生在空区中央部位, 除 30 号外都发生在空区边线附近, 而且几乎都在空区的外边缘。III 号空区内部出现极少数的 6.0—6.9 级地震的原因可能是琉球与台湾的接合部还存在一个椭圆形空区, 该空区西南方向的边线通过 III 号空区内部, 形成重迭, 使得位于该空区西南边线附近的地震落入 III 号空区的内部。图 9 表明三个椭圆形空区基本上是构造交汇少, 海底深度变化较平缓的区域, 可能岩体相应较完整, 因此在空区内不利于应力集中, 不易发生 7 级以上强震, 6.0—6.9 级地震也较少发生在空区较中央部位。但在空区边缘, 由于多条断裂带同时贯通, 交汇点多, 海底深度变化剧烈, 必然成为应力容易高度集中的部位, 6.0—6.9 级地震产生的断层错动和介质破裂也到此被挡住了, 无法向空区内部继续扩展, 只能在空区边缘进一步集中应力, 从而导致 7 级以上强震在空区边缘发生。在台湾岛上, 6.0—6.9 级地震的密度不

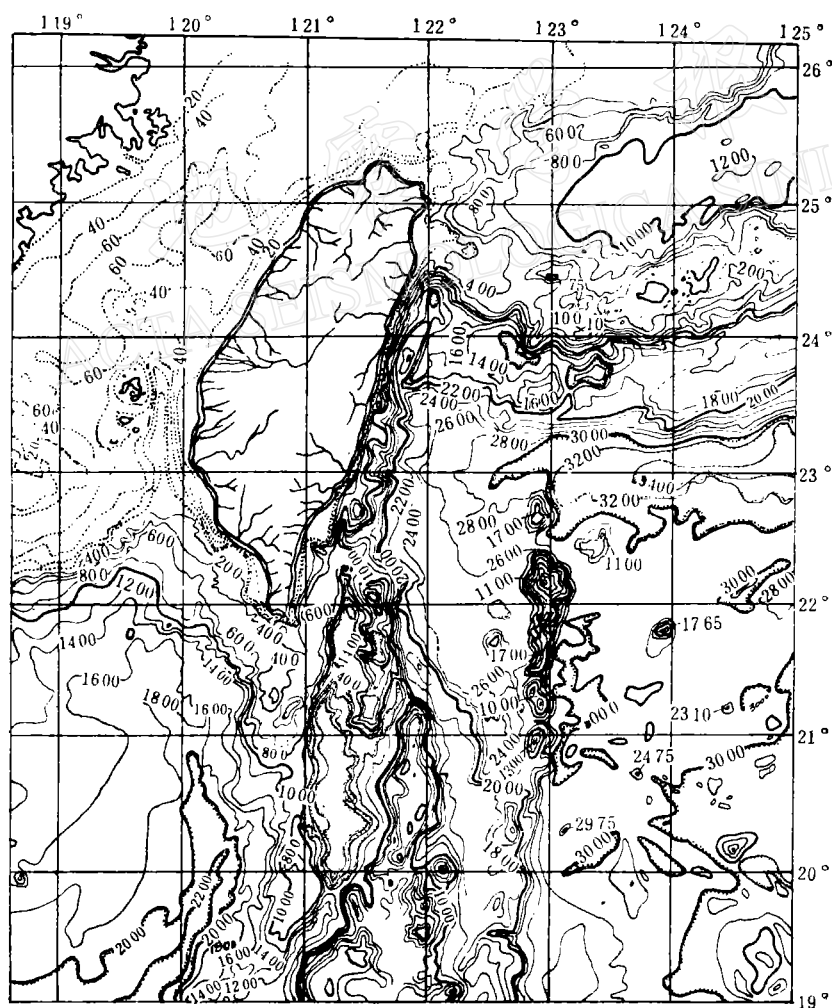


图 9 台湾地区等深线图
(引自文献 [2])

大,没有条件描述空区情况。

西区 包括福建省和台湾海峡。本区的地震少而小,但主 P 轴方向仍与主要断裂带垂直,综合微震的主 P 轴方向也有类似特点。另外,发生在海中的地震主 P 轴方向均是东南,内陆地震的主 P 轴方向均为西南,表明在长乐—诏安断裂带的东侧受到从东南来的挤压力,与菲律宾海板块对欧亚板块的挤压方向一致,而在该断裂带的西侧似乎受到从西南方向来的挤压力,减低了北东向断裂带的左旋剪切力量。更有兴趣的是沿海 4 个地震活动区的综合微震主 P 轴方向大致都指向巴士海峡附近,而该区恰巧有一条东西向的巴士(Bashi)断层通过^[6],似乎该断层是福建沿海发生地震的力源所在。琉球、台湾、菲律宾、吕宋原来可能是互相衔接的环太平洋岛弧,由于受到菲律宾海板块的挤压,使得介质相对较脆弱的台湾岛南北两端断裂而与琉球弧、菲律宾弧分离,并在台湾海峡形成数条近似平行的引张性的北西向断裂,因此台湾岛弧一方面受到巨大挤压偏向大陆,使环形的西太平洋岛弧在此变形,另一方面又成为福建大陆的天然屏障,菲律宾海板块只能从台湾岛弧和菲律宾岛弧的断开部位——巴士海峡或巴林塘海峡这一“窗口”通过巴士断层对福建大陆产生作用,形成以该“窗口”为中心面向福建的主 P 轴扇形分布图案,而且地震活动也有空间上的呼应关系。从记录到的震相来看,发生在巴士海峡附近的地震只要大于 2.5 级,福建省地震台网就能记录到清晰的震相,震中交汇的精度也较高,表明在地震波传播的方向上介质较单一,震中距差不多的恒春、高雄、台东地震和震中距缩短 1/3 的澎湖地震的震相却复杂得多,震中交汇点也分散在一个面上,表明在地震波传播的途径上断面众多,构造复杂(见书末图版)。

另外,主 P 轴的仰角小于 30° 的地震在闽、台区域中占 75.7%,说明本区域的现代构造应力场也是水平挤压力占据主导地位。

五、两点认识

1. 闽台地震的震源机制与通过源深处的构造断裂活动紧密相关。震源机制解结果表明本区的主干断裂带是北北东向或北东向的左旋逆冲-平移断层,这是菲律宾海板块对欧亚大陆的挤压所引起的,这种空间上的活动图象可以从该区的板块活动特征和震源深度分布得到较满意的佐证。

2. 最大主压应力轴的方向与主干断裂带垂直,并以水平力为主。在台湾东部海中存在三个相互平行的椭圆形震中空区,83% 的 6.0—6.9 级地震的主 P 轴方向垂直于椭圆的圆周,7 级以上强震都发生在空区边缘附近。福建省和台湾海峡的地震主 P 轴方向也与主干断裂带垂直,并交汇于横贯巴士海峡的巴士断层上,似乎在台湾岛弧和菲律宾岛弧之间存在板块的间断点,从而形成一个“窗口”,使福建大陆通过这个“窗口”承受来自菲律宾海板块的挤压,而不像台湾岛弧那样直接承受挤压,形成以这个“窗口”为中心面向福建大陆的向西北展开的主 P 轴扇形分布图案。

参 考 文 献

- [1] 徐明同, 台湾的地震活动性及一些有关问题, 中国科学技术情报研究所, 1972.
- [2] Francis T. Wu, Recent tectonic of Taiwan, *J Phys. Earth.*, 26. Suppl. S265~S299.
- [3] Mamoru Katsumata and Lynn R. Sykes, Seismicity and tectonics of the Western Pacific: Izu-Mariana-Caroline and Ryukyu-Taiwan region, *Journal of Geophysical Research*. **74**, 25, 1969.
- [4] 张裕明, 我国台湾岛的地震构造特征, 地震地质, **1**, 4, 1979.
- [5] T. Wu, Francis, Focal mechanisms and tectonic in the vicinity of Taiwan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **60**, 6, 2045—2056. 1970.
- [6] Keiiti Aki, 25 Earthquake generating stress in Japan for the years 1961 to 1963, obtained by smoothing the first motion radiation patterns, *Bulletin of the Earthquake research institute* **44**, 447—471, 1966.
- [7] 邓起东等, 中国构造应力场特征及其与板块运动的关系, 地震地质, **1**, 1, 1979.
- [8] V. C. Juan, Tectonic evolution of Taiwan, *Tectonophysics*, 26, 197—212, 1975.
- [9] 国际地震资料中心汇编(即 I. S. C).
- [10] 中国科学院地球物理研究所, 中国强地震简目, 地图出版社, 1976.
- [11] 中国科学院地震工作委员会历史组, 中国地震资料年表, 科学出版社, 1956.
- [12] 福建省地震目录.
- [13] 《地震报告》, 台湾省气象所, 1951.
- [14] 吕新民, 恒春地方烈震调查报告, 台湾省气象所, 1959.
- [15] 张丽旭等, 1946 年 12 月 5 日台南地震, 台湾地质调查所汇刊第 1 号.
- [16] 徐明同等, 台南嘉义地方烈震调查报告, 台湾省气象所, 1969.


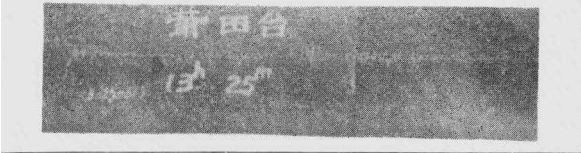
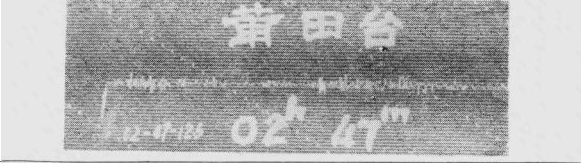



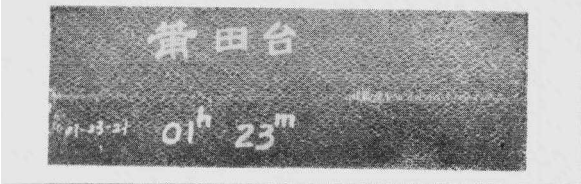

ON THE FOCAL MECHANISMS OF EARTHQUAKES AND REGIONAL STRESS FIELD OF THE FUJIAN-TAIWAN REGION

ZHUO XIURONG CHEN GUANGTONG

(Fujian Seismological Bureau)

ABSTRACT

In this paper, the focal mechanisms of the earthquakes of $M \geq 6$, occurred in Taiwan Province and on the sea east of it, from 1933 to 1969 have been critically collected and compiled. In addition, the focal mechanisms of the earthquakes $M \geq 6$ occurred in Taiwan and Fujian provinces, and in the Strait of Taiwan from 1970 to 1978 and of the earthquake of Magnitude 8 of 1604 are reexamined. After analyzing all these focal mechanism data of the two provinces, it is pointed out that: (1) the focal plane solutions obtained are closely related to the recent crustal movement at depth; (2) most of the directions of principal axis of compressive stress are perpendicular to the major fault zone; (3) on the sea east of Taiwan province, earthquakes moderate in size form three parallel seismic gaps elliptical in shape. Around the gaps, about 83% of the earthquakes of magnitude 6.0—6.9 have their major P axis nearly at right angles to the periphery of the gaps on which most earthquakes of magnitudes equal or greater than 7 occurred; (4) taking the Bashi strait as the center, facing Fujian province, the stress field consists of fan-like pattern toward NW.

	<p>照片 1 1981 年 3 月 5 日 13^h24^m 恒春地震 ($M_s = 3.1$, $\Delta = 417\text{km}$ (莆田))</p>
	
	<p>照片 2 1981 年 3 月 18 日 02^h46^m 澎湖东南地震 ($M_s = 2.5$, $\Delta = 250\text{km}$ (莆田))</p>
	
	<p>照片 3 1981 年 4 月 14 日 00^h45^m 巴士海峡地震 ($M_s = 3.5$, $\Delta = 564\text{km}$ (莆田))</p>
	
	<p>照片 4 1981 年 10 月 23 日 01^h21^m 巴士海峡地震 ($M_s = 2.7$, $\Delta = 505\text{km}$ (莆田))</p>
	<p>照片 5 1981 年 11 月 7 日 08^h15^m 高雄以南地震 ($M_s = 3.2$, $\Delta = 371\text{km}$ (莆田))</p>
