

# 台湾海峡南部 $M_s 7.3$ 地震震源破裂 特征及东南沿海地震形势分析<sup>\*</sup>

陈祥熊 袁定强 吴长江

(中国福州 350003 福建省地震局)

**摘要** 根据1994年9月16日台湾海峡南部  $M_s 7.3$  地震的震源机制、余震活动时空分布特征, 分析了该次大震的震源破裂特征, 论证了该次地震属大陆架板内地震性质, 并依据该区域地震地质构造背景、历史地震活动性特征, 论述了北西向地震活动带的活动特点, 并对东南沿海地震形势作了初步分析.

主题词 板内地震 震源破裂 台湾海峡

## 引言

1994年9月16日, 台湾海峡南部( $22^{\circ}42'N$ ,  $118^{\circ}45'E$ )发生  $M_s = 7.3$  大震序列, 其主震位于澎湖以南台湾浅滩海域. 这次大震, 由于其发生的位置、震源错动性质, 以及未来对我国大陆地区破坏性地震趋势预测研究具有重要意义等特点, 已经引起地震学家的广泛重视和研究. 本文仅就已掌握的部分资料, 将此地震序列置于较大范围孕震构造环境和较长的时间段中进行某些分析, 以供今后深入研究参考.

## 1 1994年9月16日 $M_s 7.3$ 地震序列简介

1994年9月16日14点20分, 在台湾海峡南部、台湾岛西南侧海域—台湾浅滩位置, 发生了  $M_s 7.3$  主余震型序列. 主震参数见表1.

表1 1994年9月16日 台湾海峡  $M_s 7.3$  主震参数

日期 年-月-日	发震时刻 时:分:秒	震级	震源位置		深度 /km	资料来源
			$\varphi_N/(\circ)$	$\lambda_E/(\circ)$		
1994-09-16	14:20:22.1	$M_D = 6.8$	22.66	118.75		福建台网
1994-09-16	14:20:22.0	$M_b = 6.8$	22.7	118.75		闽粤台网
1994-09-16	14:20	$M_s = 7.3$	23.0	118.5		国家地震局速报
1994-09-16	14:20:22.1	$M_w = 6.7$	22.51	118.53	19.1	WWSSN
1994-09-16		$M_w = 6.6$	22.5	118.2	33.0	东京大学
1994-09-16		$M_b = 6.6$	22.39	119.18	22.0	USGS(USA)

\* 1995-01-10 收到初稿, 1995-07-11 收到修改稿并决定采用.

主震前无明显小震密集现象, 但主震前半年在震区附近海域曾发生过  $M_L \geq 3.0$  地震多次, 见表 2.

表 2 台湾海峡  $M_s 7.3$  主震之前, 震区附近发生的中、小地震

时 间	发震时刻	震 中 位 置		震级 $M_L$	参考地点		
		年-月-日	时:分	北纬	东经		
1994-02-21	03:19			23°12'	119°02'	3.6	澎湖西南
1994-03-16	00:41			23°14'	119°04'	4.0	澎湖西南
1994-04-23	13:34			22°14'	119°04'	2.8	澎湖西南
1994-06-30	14:41			23°13'	119°51'	4.4	澎湖西南
1994-08-29	10:42			22°34'	118°36'	3.1	澎湖西南

台湾海峡  $M_s 7.3$  主震发生后, 截止到 1995 年 5 月 31 日, 福建地震台网共记录 1 113 次余震(其中能定位的 166 次), 见表 3. 目前余震尚在发生中.

表 3 地震序列震级-频度分布

$M_L$	$\leq 2.9$	$3.0 \sim 3.9$	$4.0 \sim 4.9$	$5.0 \sim 5.9$	$6.0 \sim 6.9$	备 注
次数	586	462	55	10	1	5 级以上为 $M_D$

据初步分析, 该地震序列具有如下特征:

(1) 主震震级大( $M_s = 7.3$ ), 释放应变能  $E = 5.62 \times 10^{15}$  J, 主震与最大强余震震级差较大, 强余震多为 5 级左右, 6 级以上仅有 1 次. 由  $b$  值曲线(图 1 b), 在 5 级左右曲线出现一平台, 这可能是由于这次主震具有较高应力降(见后面分析)引起的. 由曲线算得  $b$  值为 0.90. 截至 1995 年 5 月 31 日止, 主震与整个序列释放能量比达 98.4%, 判断该序列属主-余震型.

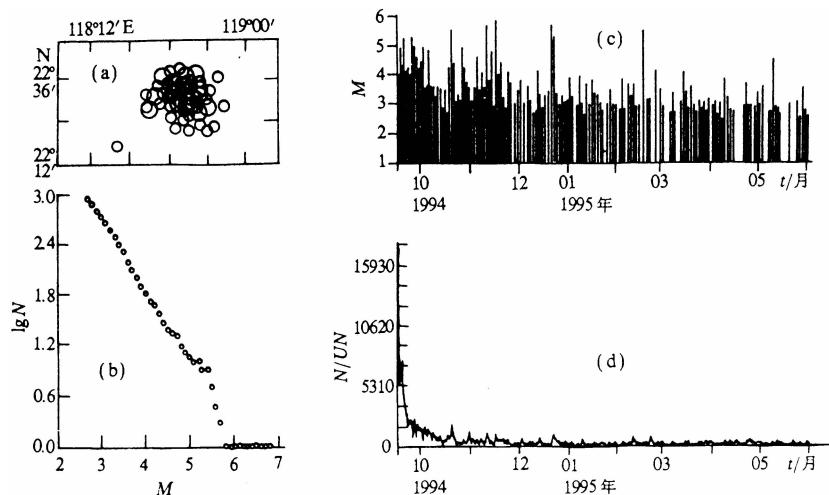


图 1 1994 年 9 月 16 日台湾海峡南部  $M_s 7.3$  地震序列特征(1994-09-16~1995-05-31)

(a) 震中分布( $M_L > 4.0$ ); (b) 序列  $b$  值曲线; (c) 序列  $M-t$  图; (d) 序列  $N-t$

时序曲线( $N/UN$  代表单位时间平均地震个数)

(2) 余震衰减较慢. 图 1c, d 显示该序列  $M-t$ 、 $N-t$  时序曲线. 主震发生后  $N-t$  曲线下降快, 随后转平形成有起伏的缓慢衰减, 其衰减系数  $P=0.50$ ,  $H=0.96$ , 符合东部地区强震衰减特征(马宗晋等, 1982). 这说明主震发生后震区应力重新调整达到新的平衡过程需要较长时间, 仍有可能有中等大小的有感地震发生.

(3) 余震空间分布特征. 这次地震发生于板块内部, 余震空间分布相对集中. 截止到 1995 年 5 月 31 日, 福建地震台网测定共发生 167 次地震(图 1 a). 震中分布优势方向并不明显, 东西、南北方向最大宽度约 40 km; 主震位于余震区北端, 这似与断层倾向有关(见后面分析).

## 2 主震烈度分布及震害简析

此次大震震中位于海域, 距大陆最小距离约 180 km(福建东山). 有感范围极广, 北至上海、南京、合肥、武汉, 西达长沙、南宁, 其中闽南、粤东、台湾岛西南部强烈有感. 有感范围半径达 1 000 km.

据福建、广东两省联合调查, VI 度陆区中心位于闽南东山—诏安一带, VI 度陆区总面积约 1.08 万平方公里. 依烈度等震线分布图形来看, IV 度和 V 度等震线呈北东走向的弧形, 微向北西凸出(图 2). 笔者认为, 该烈度分布等震线长轴方向(即北东向)并不足以确定主震破裂面方向为北东向, 理由如下:

- (1) 震中位于海域, 无震中烈度资料.
- (2) 近海海域地震烈度等震线分布长轴方向常受海岸线走向影响.
- (3) VI 度线曲率较大, 经资料核实, VI 度线北端(厦门、同安附近)再无法向北延伸(见图 2).
- (4) 若加上换算得到的台湾等震线, 北西向特征更为明显.

笔者认为, 并不排除震中等震线有其它走向(如北西向)的可能.

## 3 主震震源机制及某些震源动力学参数的推算

描述地震方式有许多关系, 但对地震预测和地震危险性估计都是不充分的. 欲取得进一步的信息, 除震源的地理坐标、震源深度、发震时刻和震级以外, 还必须寻找另外一些参数来描述单个地震震源的特征. 地震矩、应力降、断层两边的相对位移的平均值、地震能量等这些震源参数都能作为描述单个震源区的震源和地震方式的重要资料基础.

主震发生后, 我们根据福建、广东地震观测台网以及全国部分台站初动符号资料, 求解了主震的震源机制, 并将所得结果与收集到的国际台网资料列于表 4 及图 3.

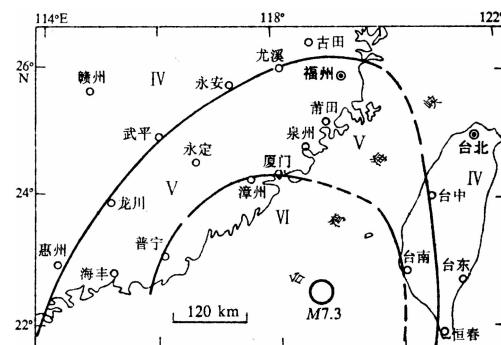


图 2 台湾海峡南部  $M_s 7.3$  地震烈度分布图, 图中虚线代表推测等震线

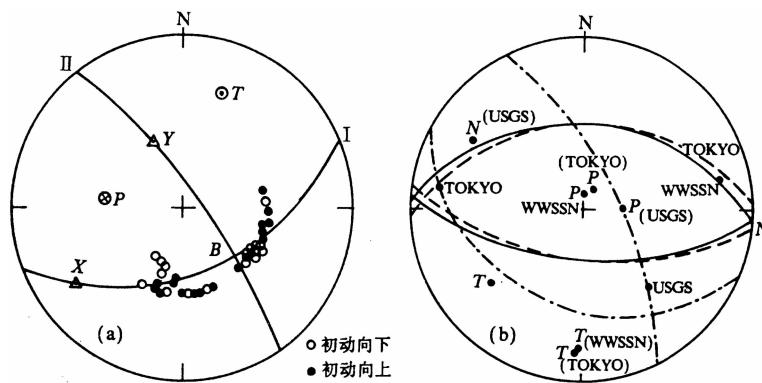


图 3 1994 年 9 月 16 日台湾海峡南部  $M_s 7.3$  主震震源机制  
(a) 大陆台网 P 波初动解; (b) 国际台网波形反演机制解(参数见表 4)

表 4 1994 年 9 月 16 日台湾海峡  $M_s 7.3$  主震震源机制

节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		B 轴		地震矩 $/10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$	断层 性质	资料 来源
走向 $\varphi$ $/(^\circ)$	倾角 $\delta$ $/(^\circ)$	滑动角 $\lambda/(^\circ)$	走向 $\varphi$ $/(^\circ)$	倾角 $\delta$ $/(^\circ)$	滑动角 $\lambda/(^\circ)$	方位 角 $/(^\circ)$	仰角 $/(^\circ)$	方位 角 $/(^\circ)$	仰角 $/(^\circ)$	方位 角 $/(^\circ)$	仰角 $/(^\circ)$			
243	45		137	75		268	40	17	18	126	40		右旋正 断层	震例研究 报告
275	35	-90	95	55	-90	5	80	185	10	0	95	1.2	张性正断层	WWSSN
270	35.5	-96.4	97.9	54.8	-85.4	26.0	79.6	184.6	9.4	275.2	3.7	1.14	张性正断层	Tokyo
296	29	-125	155	67	-73	93	64	232	20	328	16	1.09	张性正断层	USGS

对表中这四组资料进行了比较分析. 笔者认为, 选取第二组资料提供的主震震源参数进行分析比较合理. 理由如下:

对第一组, 虽是利用第一手资料求得, 但不确定性较大, 理由有以下两点:

(1) 单独使用 P 波资料测定震源机制, 如果震源球上理想观测点的分布不均匀(最大张角仅为  $125^\circ$ ), 结果的不确定性较大.

(2) 广东、福建台网(22 个台)初动均为  $Pn$ . 由于某些台站  $Pn$  很弱, 增加了判断初动符号的不确定性. 因此, 在未得到其它补充资料的情况下, 仅可参考使用.

其余三组资料来自国外, 是利用波形合成的地震矩张量反演方法得到的, 目前利用这种方法对远的大震震源参数测定, 精度是比较高的.

其中第二、三组结果比较接近. 第二组是使用 WWSSN 资料得到的. 综上所述, 本文使用第二组资料给出的震源机制解作为后续分析的基础.

### 3.1 主震断层面的判定

依据第二组资料, 节面 I 走向  $275^\circ$ , 倾角  $35^\circ$ , 滑动角  $-90^\circ$ ; 节面 II 走向  $95^\circ$ , 倾角  $55^\circ$ , 滑动角  $-90^\circ$ ; P 轴方位角  $5^\circ$ , 仰角  $80^\circ$ , T 轴方位角  $185^\circ$ , 仰角  $10^\circ$ (见图 3). 根据余震分布特征, 主震位于余震区的北端, 判断节面 I 为主破裂面, 走向北西西  $275^\circ$ , 倾向南西, 性质属张性正断层.

### 3.2 平均错动量、应力降及震源破裂半径的估算

此次大震、余震震中分布比较集中(见图 1 a), 东西、南北宽度约 40 km, 震源深度约

20 km. 考虑到定位精度误差以及主震破裂可能没有达到地表(无海啸记载), 故笔者认为, 取破裂长度  $L=30$  km、宽度  $W=10$  km、破裂面积约  $300 \text{ km}^2$  估算比较合理. 由地震的分形特征, Kanamori 和 Anderson(1975)证明了地震矩和破裂面积有如下关系:

$$M_0 = \alpha A^{3/2} \quad (1)$$

这里, 常数  $\alpha$  根据特科特给出为  $3.27 \times 10^6 \text{ Pa}$ , 当取破裂面积为  $300 \text{ km}^2$  时, 算得相应地震矩为  $1.7 \times 10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$ , 与本文所采用的、由 WWSSN 给出的地震矩  $M_0 = 1.2 \times 10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$  相符. 地球刚性模量取  $3.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ , 依公式

$$M_0 = \mu L W U \quad (2)$$

算得平均位错  $1.33 \text{ m}$ .

考虑到破裂面长、宽比较小, 取圆盘型断层模型, 算得平均应力降为

$$\Delta\sigma = (7/16) M_0 [\pi/(LW)]^{3/2} = 5.6 \times 10^6 \text{ Pa} \quad (3)$$

破裂半径由公式

$$r = \left( \frac{7}{16} \frac{M_0}{\Delta\sigma} \right)^{1/3} \quad (4)$$

推算得  $9.8 \text{ km}$

上述结果列于表 5 中.

表 5 1994 年 9 月 16 日台湾海峡  $M_s 7.3$  主震震源动力学参数估算

发震时间	震中位置		深度	震级	$M_0$ $/10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$	震源半径 $/\text{km}$	$\Delta\sigma$ $/10^5 \text{ Pa}$	平均位错 $/\text{m}$	断层走向
时: 分: 秒	$\varphi_N/(\text{°})$	$\lambda_E/(\text{°})$	km	$M_w$					
14: 20: 22	22.51	118.53	19.1	6.7	1.2	9.8	56	1.3	NWW275°

上述结果说明该主震具有较高应力降和相对小的破裂面积, 与同震级的板缘地震相比具有不同的特征, 见表 6.

表 6 板块中部与板块边缘地震的震源特征<sup>\*</sup>

类型	$M_s$	$M_0/\text{N} \cdot \text{m}$	$D/\text{m}$	$A/\text{km}^2$	$L/\text{km}$	$W/\text{km}$	$\Delta\sigma/10^5 \text{ Pa}$	备注
板	8.7	$4.0 \times 10^{20}$	10	1 200	60	20	230	9 月 16 日地震
	8.5	$2.5 \times 10^{20}$	7	1 100	55	30	170	
块	7.5	$2.5 \times 10^{19}$	2	380	25	15	80	
	7.3	$1.2 \times 10^{19}$	1.3	300	30	10	56	
中	6.5	$2.5 \times 10^{18}$	1	75	15	5	90	
	5.5	$2.5 \times 10^{17}$	0.3	25	8	3	50	
部	4.5	$2.5 \times 10^{16}$	0.1	7.5	5	1.5	30	
	8.2	$4.0 \times 10^{21}$	7	17 000	865	20	43	
(走滑型)	7.5	$1.6 \times 10^{20}$	2	2 400	160	15	33	
板块边缘	8.7	$6.0 \times 10^{23}$	15	120 000	600	200	35	
(沉降型)	8.2	$4.0 \times 10^{21}$	7	17 000	170	100	43	

注: 本表引自郭履灿等(1986).

表中假定破裂面积是已知的, 如果破裂面积取更小一些, 则  $D$  值要更大一些, 应力降就更大一些.

### 3.3 震级与地震矩关系

Nuttli(1983)研究了在板块中部、板块边缘所发生地震的地震矩  $M_0$  分别与体波震级

$M_b$  或面波震级  $M_s$  的相关关系, 说明当地震发生在板块不同部位上时,  $M_0$  与  $M_b$  或  $M_0$  与  $M_s$  的关系是不相同的. 精确测定  $M_0$ ,  $M_b$  与  $M_s$  有助于鉴别地震的不同类型, 这对于判定地震危险性是有益的.

1994年9月16日台湾海峡  $M_s$  7.3 主震不同来源给定的不同震级见表1. 若取地震矩为  $1.2 \times 10^{19}$  N·m, 表中所给出的  $M_0$ - $M_b$ ,  $M_0$ - $M_s$ ,  $M_s$ - $M_b$  的关系均符合板块内部地震的性质, 见图4. 数据点均落在拟合曲线附近.

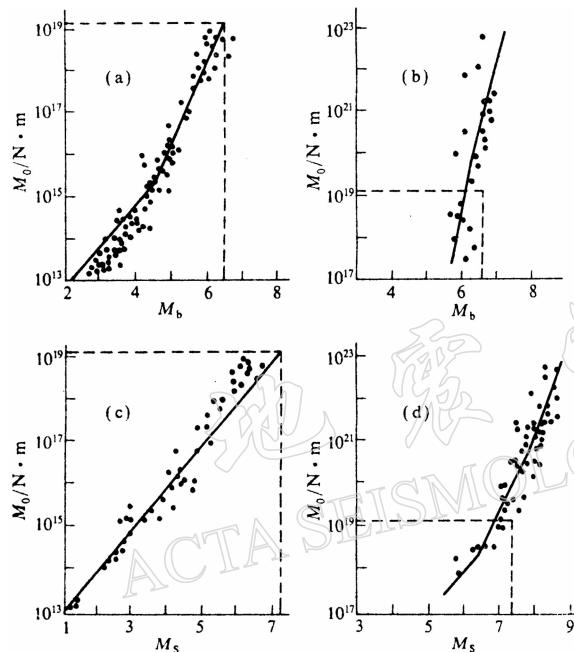


图4 板内、板缘大地震地震矩  $M_0$  与震级 ( $M_s$ ,  $M_b$ ) 关系图, 引自郭履灿等(1986)

(a) 板块中部地震  $M_b$ - $M_0$  关系; (b) 板缘地震  $M_b$ - $M_0$  关系;  
(c) 板块中部地震  $M_s$ - $M_0$  关系; (d) 板缘地震  $M_s$ - $M_0$  关系

方向, 主震位于整个余震区的北端.

## 4 地震地质构造背景

虽然已提出的对震源物理的描述, 其定量的解释尚不完善, 但是它们却较好地说明了我们对地震性质方面的认识. 地震的性质主要取决于破裂方式和应变释放的模式, 而反过来, 地震的性质又反映了周围构造环境和应力条件的特性及介质的破坏行为. 这些条件因地而异, 即使在同一地区不同时间也可能发生不同性质的地震.

### 4.1 台湾及其邻近地区板块运动方式与主要断裂带分布

台湾省在构造上处于两大板块的接触地带. 第三纪和第四纪有一次强烈的造山运动, 致使台湾中部快速隆起, 隆起幅度在2500 m以上. 台湾东海岸地处两大板块的分界, 是地壳能量聚集和释放的有利场所, 强震活动十分频繁.

矩震级  $M_w$ , 采用 Kanamori (1983)给出的公式

$$M_w = (2/3) \cdot (\lg M_0 - 16.1)$$

进行计算, 取  $M_0 = 1.2 \times 10^{19}$  N·m, 则  $M_w = 6.67$ , 与表中所给的矩震级相符.

一般说来, 板块中部地震与板块边缘(走滑型与沉降带)同一震级的地震相比, 板内地震的地震矩相对比较小, 错动小, 破裂面积小, 破裂长度短, 但应力降较高. 1994年9月16日台湾海峡  $M_s$  7.3 主震满足所有这些条件, 应属于板块内部地震类型. 当然, 其地理位置亦不在板块边缘.

综上所述, 可以认为, 这次7.3级地震是属于板块内部地壳内发生的大地震. 其主破裂面方向沿北西西, 倾向南西, 倾角35°, 断层性质系张性正断层,  $P$ 轴有较高的仰角(80°), 具有较高的应力降, 余震比较集中, 无明显的长轴优势方

台湾和澎湖列岛主要是一个新生代的地槽褶皱带。根据火山活动分析, 台湾是太平洋岛弧-火山-地震带的一部分, 又在与菲律宾岛弧的交汇点上, 因此具有二者的特点。台湾岛的自然形状和主要构造线方向都向北西凸出, 与现代大陆边缘岛弧方向相反(丁国瑜, 1991)。

由台湾岛北部, 纵贯全岛直抵岛屿南部的纵谷断裂带, 是亚洲大陆板块和菲律宾海板块的边界, 可能是一条典型的缝合带。John Suppe 认为, 纵谷断裂带不但有碰撞作用, 还有很大的走滑分量。台湾东带的强震活动频繁, 带有典型的板块边缘消减带的特征, 在花莲附近菲律宾板块消减方向由西转向北, 连接向南凸出的东西向琉球海沟。在此拐点附近的花莲海域是强震活动最集中的区域, 其板块驱动力方向为北西向。

台湾岛南部隔着巴士海峡, 濒临马尼拉海沟。马尼拉海沟系亚洲大陆边缘岛弧构造, 南连菲律宾岛弧。南海海盆在此向东扩张、消减。这里的强震活动也相当频繁。纵谷断裂带与马尼拉海沟并不直接相通, 中间隔着巴士海峡过渡地带。

此次主震位于澎湖列岛南部台湾浅滩, 恰好在此过渡地带内。

据丁原章(1992)分析, Bosum(1970)已提出通过巴士海峡有断裂分布, 并命名为巴士断裂。此断裂的走向为北西西方向, 属左旋走滑断层, 并认为巴士断裂为切断主要构造线的横断层。据丁原章分析, 巴士断裂是多条断裂组成的断裂带, 主要分布于南海东北部, 即台湾及台湾海峡南侧。从巴士海峡西侧, 经澎湖列岛、台湾浅滩, 在泉州与汕头之间登陆, 并继续向大陆内部扩展, 直到永安、寻乌一带。

综上所述, 可对  $M_s 7.3$  主震震源破裂方式作如下初步分析:

主震位于台湾浅滩, 主破裂面走向为北西西, 具有别于台湾东部地震带和马尼拉海沟地震带(两者均属于板缘地震类型)的板内地震的性质。笔者认为, 它与巴士断裂带地震活动有较密切的关系。所分析地区板块运动方式及主要断裂带分布见图 5。

#### 4.2 震区附近地质构造背景

此次主震位于台湾海峡南部台湾浅滩。台湾海峡为一巨型断层区, 中生代基底上复上第三系及第四系, 南、北部较厚, 达数千米; 中部澎湖列岛一带新生界仅数百米厚。根据布格重力异常资料得到海峡地壳厚度约 28 km, 属大陆型地壳。

在海峡中自北往南分布着数个隆起和凹陷, 其中台湾浅滩盆地为一断陷区。根据布格重力异常反演得到, 在台湾浅滩南部莫霍面等深度线由 24 km 升至 14 km, 这可能反映了该区上地幔隆起(张文佑等, 1990)。

### 5 东南沿海历史及现今地震活动性背景

地震密集成带状分布是与一定的构造断裂体系互相联系的。台湾海峡位于欧亚板块与菲律宾板块的接合地带, 海峡的长轴方向、地形轮廓、等深线方向、地层展布和主要构造方向呈北东向。这里分布北北东向的东南沿海地震带, 福建沿海的长乐—诏安断裂带、滨海断裂带均为北东向展布, 但为多组北西向构造所切割, 在闽、粤两省形成了某些块体构造。在海峡南部, 巴士断裂斜穿南部的深海盆地和北部的大陆架以及它们之间的北北东向断裂带, 使海底地形被北西向深谷所切割。

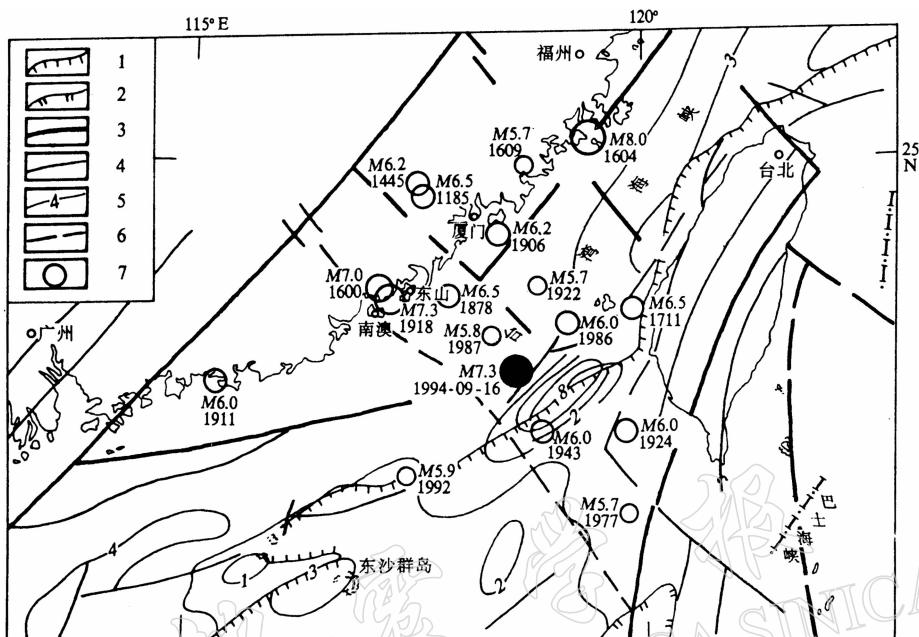


图 5 台湾海峡北西向构造及历史强震分布. 图中虚线代表推测断裂, 也是巴士断裂带南界

1. 大陆地壳区与过渡区洋壳区分界线;
2. 过渡区洋壳区与大洋洋壳区分界线;
3. 岩石圈断裂;
4. 地壳或基底断裂;
5. 中新生代沉积等厚线;
6. 盖层断裂;
7. 地震震中

历史及现今地震活动表明, 东南沿海地震带除显现北东向的条带分布外, 尚有北西向条带分布特征. 总之, 控制震区附近发震构造可见三组主要断裂: 北东向主要构造断裂、北东东向断裂及斜穿巴士海峡的北西向断裂带. 虽然许多作者认为, 东南沿海地震带主要受北东向构造控制, 但是北西向构造断裂带和地震密集带的存在是不容忽视的(陈祥熊等, 1987).

### 5.1 地震活动性空间分布特征

图 5 给出震区附近地震地质背景及历史中强地震分布( $M \geq 5.7$ ). 由图可见, 在所谓“巴士断裂”构造上, 历史上在此次大震震中附近曾发生过 18 次  $M \geq 5.7$  的强震, 强震的发生是十分频繁的. 可以看出有沿北西向展布的趋势.

1600 年、1918 年在南澳附近曾发生过两次 7 级以上强震. 自 1900 年以来, 该区附近已发生 7 级以上强震两次, 6 级以上 8 次. 自 1922 年以来, 在台湾海峡南部北纬  $22.0^{\circ} \sim 23.5^{\circ}$ , 东经  $118.0^{\circ} \sim 119.5^{\circ}$  范围内, 曾发生过 10 次  $M \geq 4.5$  地震, 其中 1986 年 10 月 22 日发生的 6.0 级地震和 1987 年 9 月 6 日发生的 5.8 级地震震中位置与 1994 年 9 月 16 日台湾海峡  $M_s 7.3$  主震位置相近.

从现今地震活动性看, 我们每隔 5 年统计了整个台湾地区 5 级以上震中分布特征(自 1971 年至今约 25 年). 由图 6 可以看出, 1971 年至 1975 年地震多位于台湾东侧偏南, 巴士断裂中强震活动较频繁; 1976 年至 1986 年台湾强震活动相对偏弱, 尤其 1981 年至 1985 年频度低且集中于东侧偏北, 巴士断裂相对平静; 1986 年之后, 台湾海峡南部 6 级以上地

震趋于活跃。

由近年来小震活动也可看出存在明显的北西向地震条带分布。

## 5.2 地震活动性周期分析

### 5.2.1 中国大陆及邻区本世纪以来地震活动幕的划分及其地震预测

地震活动是成丛发生的,普遍存在着强弱交替起伏的活动现象,已被许多地震学家所承认,我国学者曾对中国大陆及邻区地震活动时间与层次结构进行了分期、幕、段的研究。近年来,国内对本世纪以来中国大陆及邻区地震活动的分幕较为一致,时间如表 7 所示。

上表共划分为 5 个活动幕,每个活动幕包括平静幕和活跃幕,活跃幕时段强震相对密集,有多次  $M \geq 7.0$  地震。1988 年后,开始了新一轮地震活跃时段。据统计,至 1993 年上半年,我国大陆及周边国家已发生  $M_s \geq 7.0$  地震 10 次,其中包括我国境内 1988 年澜沧-耿马 7.5 级、7.0 级和 1990 年青海共和 7.0 级地震。自 1991 年后,我国大陆强震

活动出现少有的平静。研究表 7 中各次活跃幕和平静幕的大致时间段,可以推测本次地震活跃幕可延伸至 2000 年以后。此次台湾海峡南部 7.3 级地震打破了以往相对平静局面,我们推测主体活动区可能移至我国西北、华南地区。

表 7 中国大陆及邻区地震活动带划分

序幕	平静幕时段	持续年数	活跃幕时段	持续年数	主体活动区
I			1897~1912	16	帕米尔-天山
II	1913~1919	7	1920~1937	18	南北带
III	1938~1945	8	1946~1957	12	南喜马拉雅带
IV	1958~1964	7	1965~1976	12	大华北、西南
V	1977~1987	11	1988~		

### 5.2.2 东南沿海地震带地震活动幕的划分及其地震预测

以往的研究表明,华南地区的地震活动是参与了本世纪以来我国大陆 4 次地震高潮的。

使用新的烈度区划(CHINA47. SHK, 国家地震局提供)所重新审定的华南地区  $M_s \geq 4\frac{3}{4}$  地震,对 1900 年以来东南沿海地区地震活动幕进行了探讨。在近百年的时间尺度内,地震活动的时间分布呈强弱交替不均现象(彭美凤等, 1995)。大致可分为 5 个活动幕,见表 8。

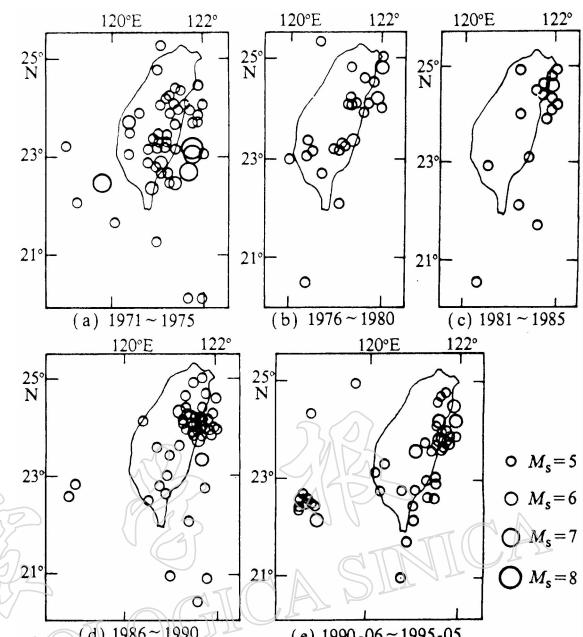


图 6 台湾及邻区(1970~1995 年)中强地震 ( $M_s \geq 5.0$ ) 震中分布示意图

表 8 东南沿海带地震活动幕时段及其主要地震事件

序幕	平静幕时段	持续年数	活跃幕时段	持续年数	主 要 地 震 事 件	
					华 南	福 建
I		1905~1913	9	1906 年厦门海外 6.2, 5.5 和 5.2 级	厦门 6.2, 5.5 和 5.2 级, 泉州海外 5.0 级	
II	1914~1917	4	1918~1926	9	1918 年广东南澳 7.3 和 6.7 级	1922 年漳浦海外 5.7 级
III	1927~1930	4	1931~1943	13	1936 年广西灵山 6.7 级	1934 年安溪 5.4 级, 1937 年兴化湾 5.0 级, 1940 年永定 5.2 级
IV	1944~1957	14	1958~1969	12	1962 年河源 6.2 级, 1969 年阳江 6.4 级	1968 年华安 5.2 级
V	1970~1985	16	1986~		1987 年江西寻乌 5.5 级中强震群	1992 年南日岛 5.2 级, 龙岩 5.0 级 ( $M_S=4.7$ ), 1994 年海峡南部 $M_S 7.3$

本世纪前 4 个地震活跃幕, 时段大致在 9~13 年. 因此, 本活动幕有可能延至 2000 年左右.

目前尚处于第 V 个地震活动幕, 1994 年 9 月 16 日台湾海峡  $M_S 7.3$  地震序列正发生于此幕高潮期.

## 6 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 $M_S 7.3$ 大震序列成因及地震危险性估计

1994 年 9 月 16 日台湾海峡  $M_S 7.3$  主震是发生于板块内部的大地震, 其主破裂面方向沿北西西向, 与巴士断裂带的走向一致. 但其性质是张性正断层, 与以往发生在这一地区的大多数强震机制(左旋走滑断层)不同. 估计其动力来源可能来自地壳下部乃至上地幔及更深部物质运动.

此次主震位于台湾浅滩南部, 莫霍面等深度线由 24 km 抬升至 14 km, 这是否意味着上地幔隆起? 这个问题值得进一步研究.

笔者认为, 这一地区发生强震的动力来源不仅要考虑菲律宾板块向欧亚板块不均匀的推挤作用, 而且应考虑来自地球深部的动力来源.

至于巴士断裂构造的地震危险性, 丁原章等已作过分析. 笔者认为, 在穿过巴士海峡、台湾海峡南部、闽粤交界直至赣南北西向构造带和地震活动条带上, 发生 6 级左右的地震危险性是存在的.

## 7 结论与讨论

通过上述初步分析, 我们认为, 1994 年 9 月 16 日台湾海峡  $M_S 7.3$  地震的发生, 打破了以往对这一地区地震活动性水平的某些估计. 无论是地震的规模、破裂方式、地震机制、动力来源以及地震条带划分, 都有一些新的东西值得研究. 联系到近年来环太平洋地震带大震频繁发生. 自 1992 年以来, 东太平洋美国加州地区已发生 3 次 7 级以上的破坏性地震, 继 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级地震后, 西太平洋地区又发生日本北海道、菲律宾

群岛等数次 7 级以上大震. 环太平洋地区活跃的大震活动对我国大陆, 尤其是华南地区强震的发生将可能产生影响.

## 参 考 文 献

- 陈祥熊, 张弦, 柯龙生等, 1990. 1987 年 8 月 2 日江西寻乌震群的近场强地面运动观测及震源特征分析. 地震学报, **12** (3): 223~234
- 丁国瑜(主编), 1991. 中国岩石圈动力学概论. 北京: 地震出版社. 600pp
- 丁原章, 梁劳, 1992. 巴士系构造的地震危险性. 华南地震, **12**(2): 1~14
- 郭履灿, 赵凤竹(编译), 1986. 震级与震源参数测定. 北京: 中国科学技术出版社. 145~148
- 马宗晋, 傅征祥, 张郢珍, 1982. 中国九大地震. 北京: 地震出版社. 216pp
- 彭美凤, 林颐跃, 1995. 7.3 级地震震例研究报告. 福建地震, **11**(1): 62~80
- 张文佑, 1990. 中国及邻区海陆大地构造. 北京: 科学出版社.
- Bosum W, 1970. Aeromagnetic survey of offshore Taiwan. *Tech Ball CCOP ECCAFE*, 3
- Kanamori H, Anderson D L, 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Seism Soc Amer*, **65**: 1 073~1 096
- Kanamori H, 1983. Magnitude scale and quantification of earthquakes. *Tectonophysics*, **9**: 185~199
- Nuttli O W, 1983. Empirical magnitude and spectral scaling relations for mid-plate and plate-margin earthquake. *Tectonophysics*, **93**: 207~223