

1994 年 9 月 16 日台湾海峡南部 7.3 级地震的构造环境和震前地震活动图象

雷土成 欧秉松 黄莉菁

(福建地震地质工程勘察院,福州 350003)

摘要 从构造单元、活动断裂、地球物理场、海底地形等方面分析了 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级地震发生的构造环境。研究认为,地震发生在陆壳向过渡壳变化的位置上。历史上地震活动沿深部构造变异带分布,该区地质构造、震源深度、地震类型、地震波特性等都有别于海峡中、北部,具有南海系的特征。震前地震活动空间图象揭示了地震是南海系北缘断裂活动的结果。

主题词: 台湾海峡 地球物理场 地震构造 构造分析 地震活动图象

1 引言

1994 年 9 月 16 日 14 时 20 分,在台湾海峡南部,澎湖列岛西南方,即北纬 $22^{\circ}6'$,东经 $118^{\circ}6'$ 发生一次 7.3 级地震,据台湾报导,震源深度为 45 km。本文研究了这次地震的构造环境、震前地震活动空间图象,并探讨了其成因。

2 震中区附近区域地质构造特征

2.1 区域地质构造背景

1994 年 9 月 16 日 7.3 级地震位于台湾海峡裂谷的次一级构造单元——台西南盆地的西侧边缘。台湾海峡裂谷分为南北两个盆地,即台西盆地和台西南盆地,它们之间,即裂谷的中部是澎湖—北港隆起^[1](图 1)。台西南盆地形成较晚,是海峡第二期裂谷作用的产物。渐新世晚期,南海海盆发生南北向扩张,使海峡裂谷又遭受强烈拉张,形成了台西南盆地^[1],成为一个沉降中心,接受沉积,其厚度在 3 km 以上。可以认为,此次地震发生于晚近时期活动的断陷盆地,即沉降中心的边缘。

在此次地震震中区附近断裂构造发育,主要有 NE-NW 和 NS 向 3 组,共 6 条,见图 1。

陆坡北缘断裂走向 NE,可能与台湾的义竹断裂相接,倾向 SE,呈右旋倾滑活动。它控制台西南盆地的西北边界,为陆壳与过渡壳的界线,属南海断裂系。沿断裂海底地形反差剧烈,其北侧的台湾浅滩,水深在 30 m 以内,而南侧地形陡降至南海深海盆。地震测深剖面显示,断裂切割 N_2-Q 地层。历史上沿断裂发生过多次 6 级以上地震。

本文 1995 年 4 月 25 日收到

第一作者简介:雷土成,男,58 岁,高级工程师,现主要从事工程地震研究工作。

1)雷土成,等.台湾海峡裂谷及其地震活动.1993.

东沙断裂大致沿 200 m 等深线展布,走向 NEE,倾向 SE,属张性正断层,地震测深剖面显示,它切割了第四纪地层

漳州—高雄断裂走向 NW,其西北段倾向 NE,构成台西盆地的西南边界;中段倾向 NE,横切澎湖—北港隆起,把它分为澎湖隆起与台湾浅滩隆起两个三级构造单元;东南段倾向

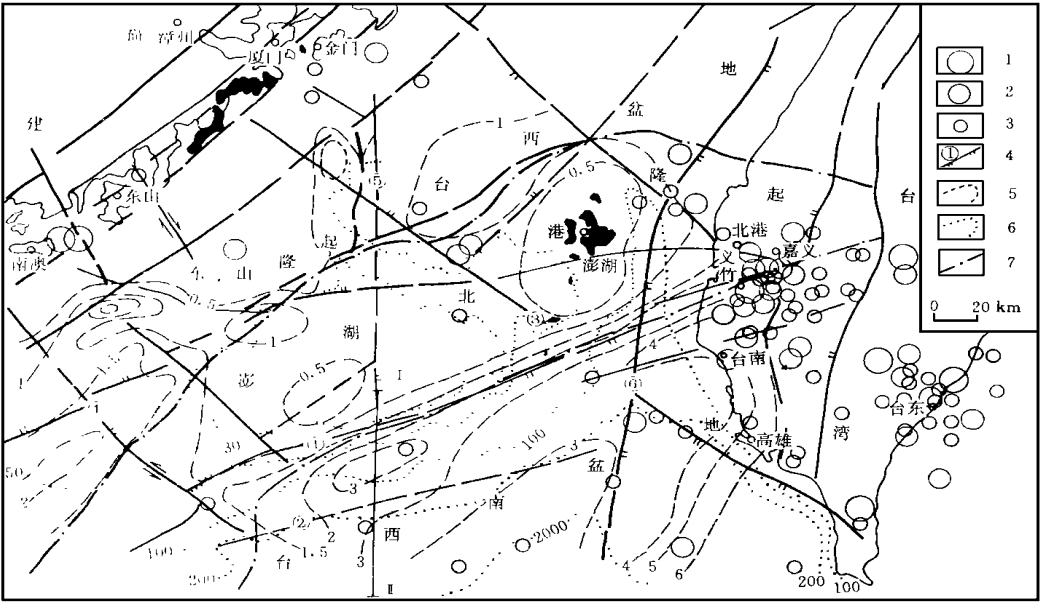


图 1 震区附近地质构造与震中分布图

Fig. 1 The geological structure and epicentral distribution near the epicentral region

1 $M_S=7.0-7.9$; 2 $M_S=6.0-6.9$; 3 $M_S=5.0-5.9$;

4 断裂及编号; 5 E_3-Q 等厚度线 (km); 6 等深线 (m); 7 构造单元界线

① 陆坡北缘断裂; ② 东沙断裂; ③ 漳州—高雄断裂;

④ 汕头海外断裂; ⑤ 东山隆起东缘断裂; ⑥ 澎湖断裂

SW,在高雄西南侧,形成台西南盆地的沉积中心

汕头海外断裂展布于此次地震震中区西南侧,走向 NW,倾向 NE 在布格重力异常图上,沿断裂异常等值线走向不同,东侧走向 NE,西侧走向 NW。沿该断裂历史上曾发生过强震

东山隆起东缘断裂走向 NS,倾向 E,为一条正断层 它从金门东南起延伸,直至震中区,其北段是台西盆地西界的组成部分。断层西盘抬升形成东山隆起,东盘下降形成拗陷, T_g 断距在 0.1 km 左右。

澎东断裂位于此次地震震中区的东侧,走向 NS,倾向东,属正断层性质

由以上分析可见,上述断层都属于张性正断层。海峡内部 NNE 向断裂系在震中区附近走向都发生变化,呈 NE 至 NEE 向,说明它们兼具南海断层系特点。晚第三纪以来,断层都具有不同程度的活动性。

2.2 历史地震活动特征

根据历史地震记录^{[2],2)}(图 1),此次地震震中区及附近 $M_S \geq 6$ 地震活动具有显著特征:

2)福建省地震局.福建地震台网观测报告(1971—1994年)。

(1)在规模较大的活动断裂交汇处、端点等特殊构造部位,地震活动性强,丛集性明显,如嘉南地区。

(2)地震活动性与 NE向活动断裂的关系更为密切,尤其是它的东段。这一现象与地震主要分布于台西南断陷盆地西北边缘的现象相一致。

(3)沿着南海断层系北缘方向,向东延伸至台东一带地震丛集,并发生过两次 $M_s \geq 7$ 地震。9月 16日 7.3级地震震中也位于这一带上。

(4)沿 NEE向断裂分布的地震,凡已测出震源深度的,其深度多在 40–50 km左右, $4.7 \leq M_s < 6$ 地震的震源也分布在此深度附近。这与台湾海峡中、北部的地震截然不同。从这一地区莫霍面埋深情况考虑,地震震源都位于地壳的下部。

(5)沿 NEE方向分布的地震,常呈震群型活动,或在同一地区地震连续发生,或余震相当丰富。9月 16日 7.3级地震发生后,截止到 10月 31日,共发生 3.0级以上余震 389次。

2.3 深部构造特征

在台湾海峡内部布格重力异常等值线的总体走向大致为 NE–NNE,但在 7.3级地震震中区附近的南部,重力异常梯级带却呈弧形向北凸出。异常值从 $50 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2}$ 向南增至 $210 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2}$ 。弧形梯级带东陡西缓,西翼走向 NEE。

在福建的漳平、大田一带地壳厚度为 34 km,台湾岛地壳最厚,达 35 km,而台湾海峡轴部地壳厚度减薄,为 28 km。至 7.3级地震震中区的南部,地壳厚度由 28 km 急剧减至 20 km^[3],地壳厚度变化的这一特征与重力异常弧形梯级带相一致。在地壳结构上显示了由陆壳向过渡壳过渡的特征。

在台湾海峡东岸,居里面深度的变化范围为 12–15 km,在震中区东南部居里面最浅,埋深为 12 km^[4]。居里面隆起形态与布格异常弧形梯级带相似。居里面埋深都远小于地壳厚度。此次地震就发生在居里面隆起的边缘。

过此次地震震中,沿 NS方向作一地球物理场综合剖面,见图 2。由图 2 可见,布格异常和莫霍面起伏的变化有较好的一致性,二者与居里面埋深也有较好的对应关系,即布格重力异常高对应着莫霍面抬升,地壳减薄,居里面上隆。这三者与海底地形呈镜像关系,它们与地形关系密切,向水深方向异常加大,而且与地形坡度呈正相关,反映出该区地壳具有过渡型地壳的特征。

3 震前地震活动图象

研究地震前震中区周围地震活动的空间图象,不仅有助于分析地震发生的前兆信息,而且有助于分析它与地震构造之间的联系。

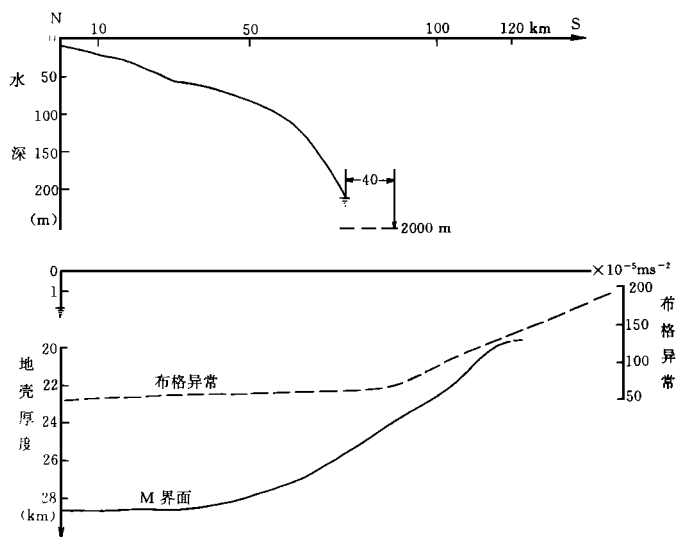


图 2 地球物理场剖面图(剖面位置见图 1 中 I–II)

Fig. 2 The profile of geophysical field

分析此次地震震中区附近地震活动分布的时空状态(图 3),可以发现它具有以下特点:

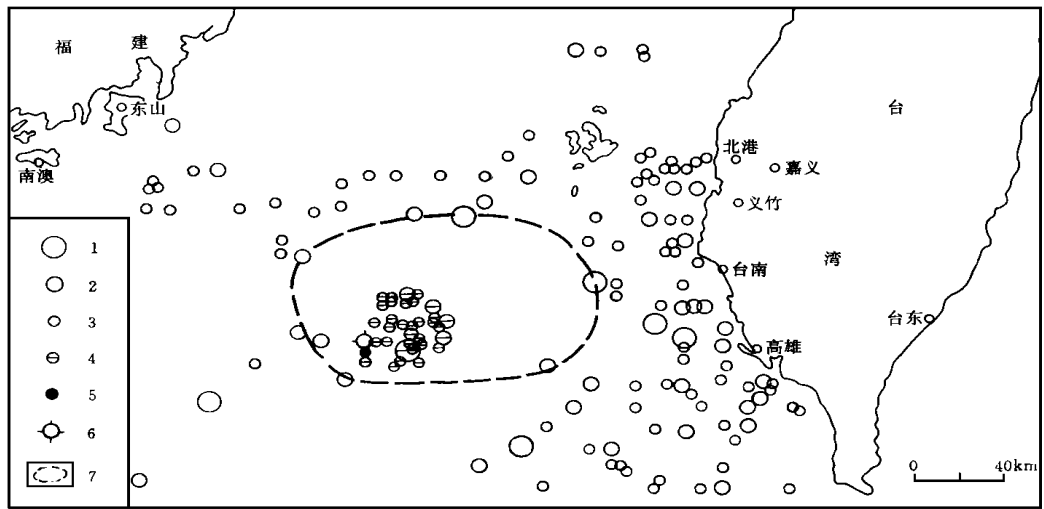


图 3 1994 年 9 月 7.3 级地震前地震活动空间图象

Fig. 3 The spatial pattern of seismicity before the M 7.3 earthquake in Sept. , 1994.

- 1 $M_L=6.0-6.9$; 2 $M_L=5.0-5.9$; 3 $M_L=4.0-4.9$;
4 早期前震; 5 直接前震; 6 7.3 级地震震中; 7 围空区

(1)此次地震前,出现 $M \geq 4.0$ 地震的围空现象。地震围空开始于 1955 年,结束于 1986 年 11 月 6 日,历时 30 年。在这一期间,空区内部未发生 $M \geq 4.0$ 地震。之后又经历 9 年才发生此次地震。按公式^[5]

$$M = 1.55 \log t + 4.6$$

求得震级为 6.9

(2)围空区大致呈椭圆形分布,长轴呈东西向,长 140 km。震中位于空区的东南侧。按空区长轴 L 估算震级的结果见表 1,平均震级为 6.8。按空区时间求得的震级与实际震级比较接近。

表 1 用空区长轴估算震级的结果

公 式	震 级	公 式 出 处
$M_S = 3.69 \log L - 1.71 (\pm 0.47)$	6.2 ± 0.47	陆远忠, 1983
$M_S = 3.0 \log L - 0.07 (\pm 0.33)$	6.4 ± 0.33	吴开统, 1976
$M_S = 3.16 \log L - 0.31$	6.5	邓起东, 1980
$\log L = 0.394M - 0.932$	7.8	本藏义守, 1988

(3)地震围空结束后,在空区内部从 1986 年 10 月 22 日开始,在此次地震震中的东北侧发生了一次震群活动,其地震强度及频次详见表 2。这次震群活动应为早期前震。

(4)1994 年 8 月 29 日,在此次地震震中南面 6 km 处,发生了一次 $M_L = 3.1$ 地震。它可能就是通常所称的前震,或称“直接前震”。它的发生可能标志着大震发生前应力积累阶段的结束。

表 2 震群活动中震级及地震频次

震 级 (M_L)	1986-10-22- 1986-12	1986-10-22- 1987-07
2. 0- 2. 9	9次	23次
3. 0- 3. 9	20	25
4. 0以上	4($M_{\max}= 4. 4$)	6($M_{\max}= 5. 6$)
合计	33	54

根据“早期前震”和“直接前震”的含义^[6],此次地震的破裂可能是从 SW 向 NE方向扩展

(5)空区的型式显示为由一系列中强地震围绕未来大震的极震区分布,属Ⅱ类空区。这一空区的形态 在实质上揭示了断层闭锁段的大致位置。空区长轴的方向与陆坡北缘断裂走向大致相近,而且,主震震中、早期前震和直接前震也都分布在该断裂附近,据此,可以推断,该断裂可能就是此次地震的主破裂面。

4 讨论

(1)1994年 9月 16日 7. 3级地震发生在台西南盆地的边缘。台西南盆地虽位于台湾海峡南部,但它的形成发展与南海海盆的演化以及相邻板块的活动密切相关,它是南海海盆发生南北向扩张时形成的,因而,和南海海盆的演化更具有成生联系。表现在地壳结构上,它位于从陆壳向过渡壳变化的位置;地质构造、地球物理场、海底地形等的走向,也多偏离海峡裂谷纵轴的总体方向,走向偏东。因此,它在地质构造单元的发育、海洋地质、深部构造等方面都具有南海系的特征。

(2)地震前地震活动空间图象揭示,此次地震的孕育是南海系的陆坡北缘断裂活动的结果。历史上,沿南海北部断裂系曾发生过多次大震,震中沿 NEE断裂系呈带状分布,它们在地震类型、震源分布等方面有相似的特征。

(3)在深部构造上,此次地震区毗邻南海东北部布格异常高、地壳减薄、由陆壳向过渡壳变化的位置上。地球物理场这一特点,可能是由于上地幔上拱、软流圈进入地壳,或地幔扩张引起地壳厚度减薄双重作用的结果。从居里面深度大大小于地壳厚度的现象分析,该区是一个高热流区,这一高温软流层抬升所形成的热介质环境,可能是造成这一带地震的特点的内在因素。

从厦门地震台($\Delta= 210\text{ km}$)关于此次地震的记录分析,P波周期为 1- 1. 2 s, S波的周期 0. 9- 1. 1s,显然周期偏大,低频成分发育。林建生(1988)在分析澎湖以南地震的震相时也发现,该区地震波形态具有强震幅、长周期的特点,其形态与台湾琉台带基隆以东海域的 i震相具有一定的相似性,该震相周期一般为 0. 8- 1. 5s。郭增建等研究认为^[5],当震源区介质温度高而强度不高时,则发射的地震波的低频较发育。据此分析,上述震源区的热介质环境,可能是造成该区地震的低频成分发育,周期长,以及地震呈震群型活动的重要原因。

参考文献

- 1 中国科学院南海海洋研究所,等.台湾海峡西部石油地质地球物理调查研究.北京:海洋出版社,1989.
- 2 谢毓寿,等.1900-1980年中国 $M \geq 4.7$ 地震的震级目录.北京:地震出版社,1989.
- 3 地质矿产部广州海洋地质调查局,等.台湾海峡中、新生代地质构造及石油地质.福州:福建省科学技术出版社,1993.
- 4 余兆康,等.台湾周围海域地区的居里等温面及其与地震关系的初步探讨.中国地震,1989,5(3): 70-72.
- 5 郭增建,等.震源物理.北京:地震出版社,1979.
- 6 刘正荣,等.早期前震与终止破裂点.地震战线,1977,(6): 22-25.

THE STRUCTURAL ENVIRONMENT AND THE SEISMICITY PATTERN OF SOUTH
TAIWAN STRAIT $M 7.3$ EARTHQUAKE ON SEPT. 16, 1994

Lei Tucheng Ou Bingsong Huang Lijiang

(The Exploring Institute of Seismogeology-Engineering, Seismological
Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350003)

Abstract

A strong earthquake ($M 7.3$) occurred in south Taiwan Strait on Sept. 16, 1994. In this paper, the its structure environment is analysed based on the tectonic unit, active fault, geophysical field, submarine morphology etc. The studies considered that the macroseism is situated at change location from continental crust to transitional crust. The seismicity in history is distributed along modification belt of deep-seated structure. The geological structure, hypocentral depth, type of earthquake, the characters of seismic wave in this region are different from middle and northern Taiwan strait. It has characteristics of the South China Sea system. The spatial pattern of seismicity before the earthquake revealed that the macroseism was result of fault activity along the north margin of the South China Sea system.

Key words Taiwan strait, Geophysical field, Earthquake structure, Structural analysis, Seismicity pattern