

# 闽东南大陆边缘构造特征及泉州海外大震构造环境分析

吕浩江 雷土成\* 陈辉琼 杨志辉

(泉州基准地震台 福建)

**摘要** 闽东南大陆边缘构造活动,自晚更新世以来,断裂活动以继承性差异升降作为主要特点。本文分析了 1604 年 12 月 29 日泉州海外 8 级大震与该区断裂活动的关系,并对该次大震震源断层面错动方式进行了讨论。

**关键词:** 大陆边缘 断裂构造 震源过程

## 1 引言

闽东南大陆边缘自晚更新世以来,断裂构造以继承性差异性升降活动为主要特点,该区历史上曾发生过多地破坏性地震,其中 1604 年 12 月 29 日在泉州海外发生的 8 级大震,几乎震动了雪峰山以东的华南块体。本文研究了该区断裂构造活动特征,并初步分析了泉州海外大震发生的构造环境。

## 2 闽东南地区构造活动特征

闽东南大陆边缘范围包括德化—南靖断裂以东、福州以南的闽东南沿海及其海域。该区地表断裂构造发育,北东、北北东向长乐—南澳断裂带( $F_1—F_4$ )和北西向断裂( $F_5—F_{11}$ )彼此互相交错,组成了网络状断裂构造格局(图 1)。自晚更新世以来,断裂、断块构造活动以继承性的差异升降活动为主要特点。

### 2.1 东西方向的海陆差异升降活动

大致以  $F_4$  断裂为界,在断裂以西的陆域(包括港湾)总体上呈继续上升趋势。如晚更新统( $Q_3$ )海相黑色泥炭层和晚更新统( $Q_3$ )滨海相棕红色中细砂层较为广泛地分布在高出海面数米到 30 米的各不同高程上<sup>[2]</sup>。在  $F_4$  断裂以东则继续呈现大幅度的下降。如乌丘断陷盆地内海水深 75 m 左右,该盆地发育有数千米中、新生界地层,其沉积表层  $^{14}C$  年代为距今 15—13 ka,属晚更新世残留沉积物<sup>[3]</sup>。

### 2.2 南北方向的断块差异升降活动

虽然陆域总体呈上升趋势,但自南而北却存在明显的差异。文献<sup>[4]</sup>将闽东南大陆边缘划分为南部断块上升区(Ⅰ区),中部间歇性上升区(Ⅱ区),北部间歇性下降区(Ⅲ区),其中Ⅲ区在福州以北,不属于本研究区的范围。本文根据一些新的资料,进一步将中部断块分为块

\* 福建省地震局地震研究所

体Ⅱ<sub>1</sub>、块体Ⅱ<sub>2</sub>两个亚区,以永安—晋江北西向断裂F<sub>8</sub>为界。划分两个亚区的理由是:

(1)近几年来在我国华南地区开展人工地震测深发现,闽东南沿海以泉州为界,在泉州

以南(泉州—汕头)、泉州以北(泉州—长乐)的地壳与上地幔结构存在明显差异<sup>[5]</sup>。

(2)近期流动重力复测结果显示,福建沿海重力年平均等值线在九龙江以南,即Ⅰ区均呈负值;九龙江以北至泉州,即Ⅱ<sub>1</sub>亚区有的年份为负值,有的年份为正值;泉州以北Ⅱ<sub>2</sub>亚区则比较稳定地呈现正值\*。

### 3 泉州大震地震形变带

泉州海外大震的地表变形基本分布在七度区以上的盆地内(图2)。主要形变现象有地震破裂带、地面下沉与塌陷、地裂缝、喷水冒砂等。

#### 3.1 地震破裂带

据海底地貌资料,在大震极震区沿近岸海域断裂存在两条北东—南西方向的长条状海底谷(Ⅰ、Ⅱ),推测可能是在原断裂基础之上发育起来的,在大震之前就存在。值得注意的是在福建近岸海域虽然也存在许多海底谷,但是这些海底谷都比较窄,一般仅为2—3 km宽,而Ⅰ、Ⅱ海底谷,尤其是第Ⅱ海底谷,在靠近乌丘屿处最宽超过10 km,推测这两条海底谷在大震时可以发生剧烈崩塌。

#### 3.2 陆地与港湾内的形变现象

莆田、泉州、漳州盆地、漳浦以及位于长乐—南澳断裂带西侧的安溪及长泰等地出现断裂的地表变形。

##### 3.2.1 地面下沉与塌陷

(1)洛阳桥墩下沉。“桥北石梁塌低于南四尺奇”<sup>\*\*\*</sup> (2)海平面上升。据后渚港东南海滩发掘的宋古船埋深剖面<sup>\*\*\*</sup>,可见在明清沉积淤泥层之下,宋元沉积淤泥层之上,覆盖一层薄

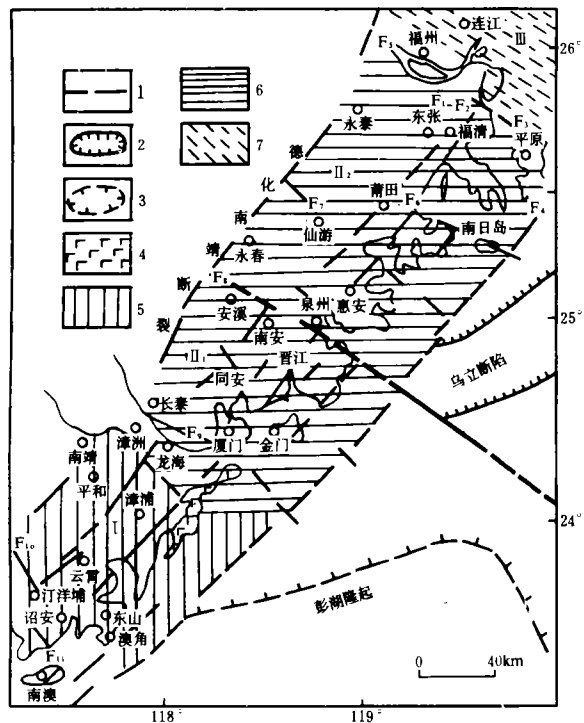


图1 闽东南大陆边缘断裂断块构造(根据文献[1]等)

1. 断裂或推测断裂; 2. 断陷; 3. 隆起; 4. 玄武岩;  
5. 上升区; 6. 间歇性上升区; 7. 间歇性下降区  
F<sub>1</sub> 福清东张—诏安汀洋埔断裂; F<sub>2</sub> 长乐—南澳断裂;  
F<sub>3</sub> 平潭平原—东山澳角断裂; F<sub>4</sub> 近岸海域断裂; F<sub>5</sub> 闽  
江下游断裂; F<sub>6</sub> 沙县—南日岛断裂; F<sub>7</sub> 漳州湾断裂; F<sub>8</sub> 永  
安—晋江断裂; F<sub>9</sub> 九龙江断裂; F<sub>10</sub> 上杭—诏安断裂;  
F<sub>11</sub> 梅县—饶平断裂

Fig. 1 The fault block structures along southeastern continental margin in Fujian Province.

\* 据福建省地震局综合队1988年编制福州至诏安重力变化图。

\*\* 据《重修万安桥记》,福建省地震历史资料汇编,1979。

\*\*\* 据泉州古船陈列馆陈列的“后渚港古船发掘的考古调查资料”。

砂层。一般是砂层反映海平面下降,淤泥层反映海平面上升。推测海面上升是发生在大震之后。(3)泉州南郊场(旧泉州长途汽车站附近)与津头浦两个伊斯兰石墓区,前者石墓多散乱或倾斜倒置,后者在埔尾乡原有三口池塘冬天水干涸时可见到三十多座石墓,横卧在池内及池畔\*。还有在漳浦南门外“大陂田中陷广五丈余,水涌出,中有黑砂泥”\*\*。

### 3.2.2 地裂缝、喷水冒砂

在泉州、南安地裂数处(清源山地裂涌出砂水,气若硫磺),郡城尤甚。在莆田洋尾厝地、下柯地、港利田地皆裂。中出黑砂,作硫磺臭,池水亦因地裂而涸。在同安“地裂开丈许,泥水溢出”,海澄(今属龙海县)“地有裂而泉涌”\*\*。

### 3.2.3 山崩裂、滚石

在安溪山川崩裂,在长泰出现“陨石”\*\*。

上列史料虽仍颇多遗漏,但基本可反映大震形变带的梗概。表明大震形变主要发生在断裂、断块差异升降活动强烈的地区,变形多属拉张类型。推断泉州海外大震震源断层错动以走滑为主,并兼有正倾滑。

## 4 泉州大震的孕育环境

1604年12月29日泉州海外8级大震震中位置为 $\phi N24^{\circ}54'$ ,  $\lambda E119^{\circ}24'$ <sup>[6]</sup>,正位于乌丘断陷盆地南西段内。菲律宾海板块自晚第三纪末开始与欧亚大陆板块东南侧发生碰撞、俯冲,使闽台地区处于NW向主压应力场作用之下,同时自台湾中央山脉向西、乃至闽东南沿海,伴生了一系列与主压应力方向大致相平行的张性构造,使得闽东南大陆边缘断裂、断块构造活动以差异升降活动为主要特点。由于菲律宾海板块的碰撞、俯冲作

用呈现间歇性加强状态,因此闽东南大陆边缘断裂、断块构造活动也相应呈现间歇性的活动状态。

在乌丘断陷盆地南西侧存在近岸海域北东、北北东向断裂 $F_4$ 与沙县—南日岛北西向断裂 $F_5$ 及湄州湾北西向断裂 $F_7$ 、永安—晋江北西向断裂 $F_8$ 相交切,泉州海外大震即发生在此

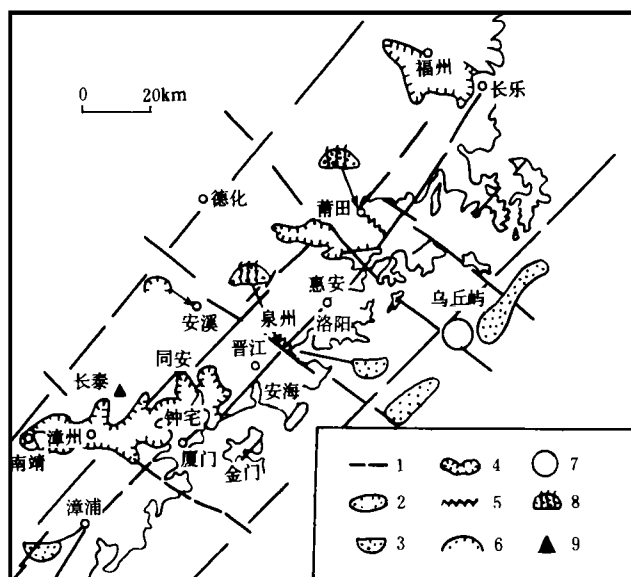


图2 地震形变示意图

1. 断裂; 2. 第四纪盆地; 3. 大震震中; 4. 破裂带; 5. 地裂缝;  
6. 喷水冒砂; 7. 地塌陷; 8. 山崩裂; 9. 滚石

Fig. 2 Deformations due to the earthquake.

\* 据雷土成等“1604年泉州海外大震的烈度分布与地震活动”(未刊稿), 1984.

\*\* 福建省历史地震资料汇编(1979).

部位。在这一区域内,断裂差异升降活动强烈。 $F_4$ 断裂深切地壳,是东南沿海重力梯级带的东界断裂。而 $F_7$ 、 $F_8$ 断裂均切穿莫霍面; $F_7$ 断裂延伸至莫霍面以下3 km, $F_8$ 断裂延伸至莫霍面以下5 km。其中 $F_8$ 断裂是一条颇具规模的下岩石圈断裂,这条断裂继续向台湾海峡延伸,直至台湾嘉义地区,并且是一条划分台湾海峡南北重磁异常的分界线<sup>[7,8]</sup>。笔者根据历史与现今地震活动特点分析,认为该断裂具有蠕滑断层性质。由于这条断裂的活动,使之与其交切的 $F_4$ 断裂发生闭锁,成为应力积累单元。

在上述闭锁区的南北两端分别有漳州、福州两个断陷盆地。两个盆地都是晚更新世形成的断陷盆地,北东与北西向两组断裂,特别是北西向断裂控制着盆地的形成与活动;盆地内地壳的中下部都存在低速层,居里面隆升,在漳州盆地居里面隆升到8—12 km,福州盆地居里面最浅为10 km;盆地内地壳介质较脆弱,漳州盆地介质平均Q值为70—120,福州为120—150;两盆地均为地热异常区,温泉众多,漳州盆地平均热流值为107~115 mW/m<sup>2</sup>,福州盆地为107—123 mW/m<sup>2</sup><sup>[9—11]</sup>。因此,这两个断陷盆地应属调整单元,为积累单元发震提供让位条件。在上述孕育地震构造环境下,该大震的孕育经历了长期的应力积累和调整过程。

早期阶段(1445—1574年),中小地震分布在南调整单元之块体Ⅱ<sub>1</sub>,与南断块Ⅰ之交界处以及块体Ⅱ<sub>2</sub>与北断块Ⅲ交界处。此时在大震闭锁域仅有个别小震发生(图3a)。

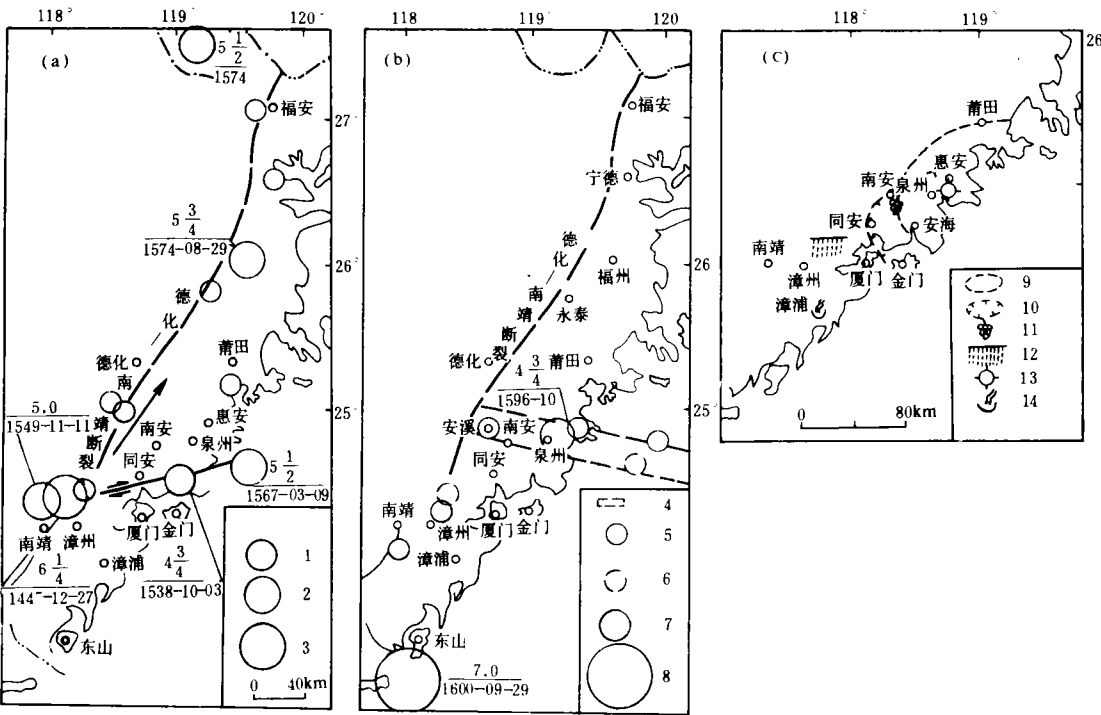


图3 大震前闽东南大陆边缘  $M_L \geq 4.0$  地震震中分布与某些宏观异常现象  
a. 1445—1574年  $M_L \geq 4.0$  震中分布; b. 1575—大震前  $M_L \geq 4.0$  震中分布; c. 大震前某些宏观异常现象  
1  $M=4\frac{3}{4}$  2  $M \geq 5.0$  3  $M \geq 6.0$  4 地震条带 5  $M \geq 4.0$  6 震群 7  $M=4\frac{3}{4}$   
8  $M=7.0$  9 干旱 10 洪涝 11 冬天荔枝重果 12 陨石雨 13 火球 14 地冒气  
Fig. 3 Some macroscopic anomalies and  $M_L \geq 4.0$  earthquakes along the continental margin of southeastern Fujian.

中期阶段(1575—1590 年),整个闽东南沿海大陆边缘未发生中强地震,亦无小震发生。

短期阶段(1591—1604 年),南调整单元小震活动频繁,并在积累单元,即块体Ⅱ<sub>2</sub>的南端有小震活动,还发生了中强地震,形成了安溪—泉州的北西向地震条带(图 3b)。与此同时,还发生了一些宏观异常现象,如图 3c 显示。

图 3c 反映出震前出现的宏观异常大多在南调整单元,或位于大震断层闭锁域的南端,个别位于大震断层闭锁域内。震前出现的宏观异常现象,有的可能与大震临近呈现偶合,如 1601 年 11 月 5 日漳州府“夜戌时地震,子时又震,至五更有星变如雨”,即陨石雨。有的可能与大震即将发生存在某种联系,如旱、涝灾害交替出现,于 1601 与 1602 年先后在安海、莆田发生大旱,莆田在早年还发生“烈风”;1601 与 1603 年先后在泉州、南安、安海、同安发生暴雨,出现洪涝、海溢。这种异常的天气,在早年将会引起地下水下降,地表干裂,地面负荷减轻。早年之后出现暴雨洪涝,地表水又将会沿干裂处渗透,甚至渗透至活动断层面内,导致断层面摩擦力降低。

综上所述,在乌丘断陷盆地南西侧,是断裂、断陷差异升降活动强烈的地区,北东、北北东向近岸海域断裂  $F_4$  在此与 3 条北西向断裂( $F_5$ 、 $F_7$ 、 $F_8$ )交汇,其中  $F_8$  断裂是一条切穿莫霍面的蠕滑断层,这条断裂的活动,促使与其交切的  $F_4$  断裂形成孕育大震的闭锁区,可作为积累单元。在闭锁区的两端又分别存在漳州、福州两个断陷盆地,可作为调整单元,为积累单元发震提供让位条件。经过长期的应力积累与调整过程,最终导致大震的发生。

(本文 1992 年 2 月 11 日收到)

### 参考文献

- 1 王耀东,等. 闽东南大陆边缘活动断裂与地震. 台湾海峡,1988,7(3)
- 2 陈园田. 福建沿海新构造运动及其与地震的关系. 华南地震,1981,1(1)
- 3 骆惠仲,等. 台湾海峡中. 北部地貌特征. 台湾海峡及其两岸地质地震研讨会论文集,北京:海洋出版社,1991: 127—133
- 4 丁祥焕. 福建省新地质构造概述. 福建地理,1990:14—18
- 5 廖其林,等. 我国华南沿海地区地壳与上地幔速度结构特征. 科学通报,1987,12
- 6 雷土成,等. 1604 年泉州海外大震的发震构造. 台湾海峡,1985,4(2)
- 7 廖其林,等. 福州—泉州—汕头地区地壳结构的爆炸地震研究. 地球物理学报,1988,31(3)
- 8 中国科学院南海海洋研究所,福建省海洋研究所台湾海峡课题组. 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
- 9 廖其林,等. 福州盆地及其周围地区地壳深部结构与构造的初步研究. 地球物理学报,1990,33(2)
- 10 柯龙生,等. 福建 5 次小震群的活动特征. 地震,1985,(3)
- 11 孔祥儒,等. 福建东部地区大地电磁测深研究. 地球物理学报,1991,34(6)

## ANALYSIS ABOUT THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS ALONG CONTINENTAL MARGIN OF SOUTHEASTERN FUJIAN AND THE STRUCTURAL SURROUNDINGS OF STRONG QUANZHOU OVERSEA EARTHQUAKE

Lu Haojiang, Lei Tucheng, Chen Huiqiong and Yang Zhihui

(*Seismological Bureau of Fujian Province*)

### Abstract

Since late Pleistocene, the activity of fault blocks along continental margin has been characterized by elevation and subsidence movements. The strong overseas earthquake occurring in Quanzhou on December 29, 1604, related closely to fault block activity in the area. In this paper, we analysed the relation and discussed the dislocating way of hypocentral fault surface of this strong earthquake.

**Subject words:** Continental margin, Fracture structure, Source process

~~~~~  
(上接第75页)

## MATHEMATICAL MODEL CALCULATION OF FAULT SCARP AGE

Hou Kangming, Han Youzhen and Zhang Shoujie

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB*)

### Abstract

On the basis of further deduction of diffusion equation, the profiles of single-shock and multi-shock fault scarps along middle and eastern segments of Changma fault zone are fitted and calculated by using mathematical equation models I, II and III. The disperse fault scarps along the Altun fault zone and Changma fault zone are analyzed by using the maximum slope value-fault throws ( $tg\theta_s - 2a$ ) pattern. The results show that for the fault scarps of Changma fault zone the mass diffusion coefficient  $K = 2.1 - 3.4 \text{ m}^2/10^3 \text{ a}$  and along Altun fault zone there are 4 sets of seismic fault scarps whose ages are 0.6 ka, 2—2.7 ka, 4ka and 6—6.6 ka respectively.

**Subject words:** Fault scarp, Fault chorn, Mathematical modeling, Earthquake fault, Altun fault zone