

# 断裂稳定度值变化对地震活动性的影响

詹文欢 刘以宣 丘学林

(中国科学院南海海洋研究所)

## 提 要

本文在讨论琼州海峡及邻域断裂对地震活动性的影响时,首次引入稳定度( $\beta$ )的概念。它是指在库伦破裂准则下材料稳定程度的数字表征,其表达式为 $\beta = 1 + \frac{|\tau|}{M\sigma_n - \tau_0}$ 。它对评价材料(或某一区域地质体)有无断裂的稳定程度具有定量研究的意义。本文通过计算海峡及邻域断裂的 $\Delta\beta$ 值后,得出 $\Delta\beta$ 值的增减对地震活动性的影响跟前人所总结的地震活动性规律是相吻合的。

根据前人的研究<sup>(1)</sup>,我国6级以上的地震约48%发生在新生断陷盆地中,琼州海峡及邻域的断陷盆地也是属于这一类型。本文试图用有限元方法计算稳定度值的变化来分析琼州海峡及邻域断裂对地震活动性的影响。在计算中参考了具体地质资料,选择了简化的典型剖面。

## 一、有限元法及稳定度概念

### 1. 有限元法

有限元法是根据研究区的几何外形和作用力方式等条件,经过一定的处理程序,以线性代数方程组形式表达应力—应变—位移之间的内在联系,最后求解方程组及应力分布状态。它适用于任意的结构形式、边界外形和外力作用方式,能把非连续性、非均质性、非线性和非稳定性等特征综合起来,且运算简便,物理概念清楚,对于分析复杂的力学问题特别有用。目前,有限元法已广泛应用于结构力学和工程力学,近来开始应用于构造力学、岩体力学及地震迁移等方面<sup>(2)(3)(4)(5)(6)</sup>。可以说,有限元法是实现构造应力场分析量化的有效工具。

根据问题的具体特点,本文将地质模型简化为弹性体的平面应变问题求解,并采用线性三角形单元计算。

### 2. 稳定度概念

本文在计算中引入了稳定度( $\beta$ )的概念,这是一个无量纲数。它是在库伦破裂准则意

义下材料稳定程度的数字表征，其表达式为：

$$\beta = 1 + \frac{1 \tau_1}{\mu \sigma_0 - \tau_0}$$

对于断裂带， $\sigma_0$ 和 $\tau$ 分别为断层面上的正应力和剪应力， $\mu$ 为断层的摩擦系数，对于弹性材料区， $\mu$ 为内摩擦系数， $\tau_0$ 则为 $\sigma_0 = 0$ 时的抗剪强度（纯抗剪强度），这时在与最大主压应力夹角为 $0.5 \text{Arctg}(1/\mu)$ 的方向上计算 $\beta$ 值。关于应力符号，本文规定张应力取正值，此时即有：

$\beta \leq 0$  材料发生剪破裂

$0 < \beta \leq 1$  此时 $\beta$ 值越大材料越稳定，越小越接近破裂

$\beta > 1$  此时必有 $\sigma_0 > 0$ ，即此面受张应力作用。

本文计算了几种情况下横剖面上的稳定度值，并在相同参数情况下，比较了有无断层时稳定度的变化情况。

## 二、计算模型的选择

根据琼州海峡及邻域的实际资料，选择如下简化的典型横剖面(图1)：取宽为50km，

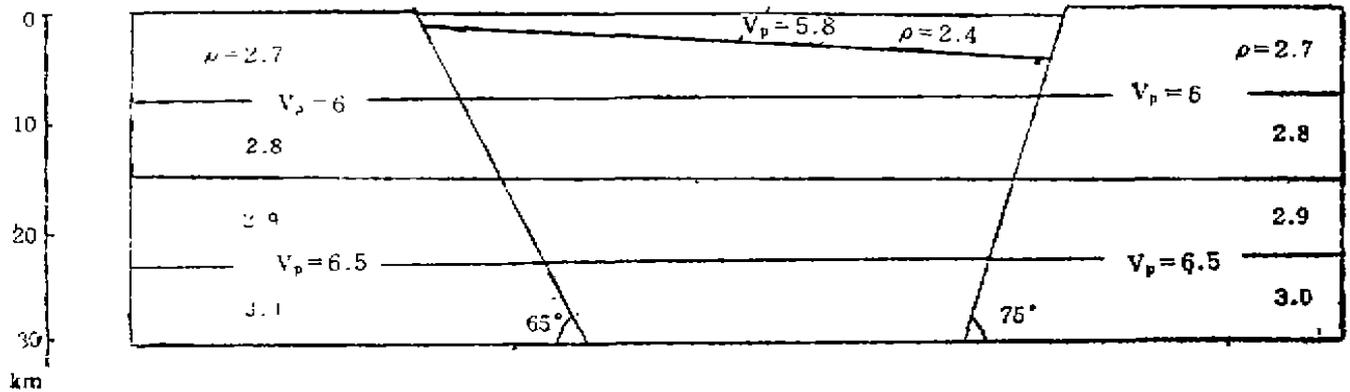


图1 剖面模型及参数

Fig 1, model of profile and parameter

$V_p$ 单位为km/S  $\rho$ 单位为g/cm<sup>3</sup>

深为30km的地块，上层15km为花岗岩层，下层为玄武岩层。裂谷内部及肩部高差为0.5km，裂谷内部沉积层厚度：左侧为1.5km，右侧为4 km，容重自地表到深部分别为2.7~3.0g/cm<sup>3</sup>，裂谷内沉积层为2.4g/cm<sup>3</sup>，材料泊松比 $\nu$ ：断裂带为0.22，弹性体为0.25，杨氏模量E按下列公式计算

$$E = V_p^2 \rho (1 + \nu) (1 - 2\nu) / (1 - \nu)$$

波速 $V_p$ 于花岗岩层中为6 km/s，于玄武岩中为6.5km/s，于沉积层中为5.8km/s。裂谷左侧倾角为65°，右侧断层倾角为75°。

作为对照组，考虑了无断层的完全弹性块体情况，此时只将上述断层单元并入相邻弹性材料区，其余都不变。

关于边界条件，本文考虑了两种情况（图2）。图2a，两侧给定线性分布压力，底边

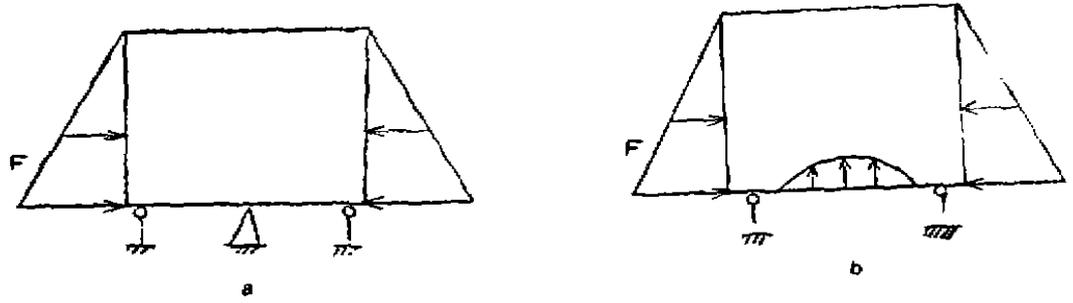


图2 剖面边界条件

Fig 2 boundary condition of the profile

铅直方向位移约束为零；图2b，两侧情况同2a，底部边界地幔上拱，由正弦波状位移约束给定。

### 三、计算结果及讨论

本文的有限元计算程序选择PG101程序包<sup>(3)</sup>并进行了必要的修改，然后在本所构造室IBM机机上完成。现把计算的结果绘成图（图3）。

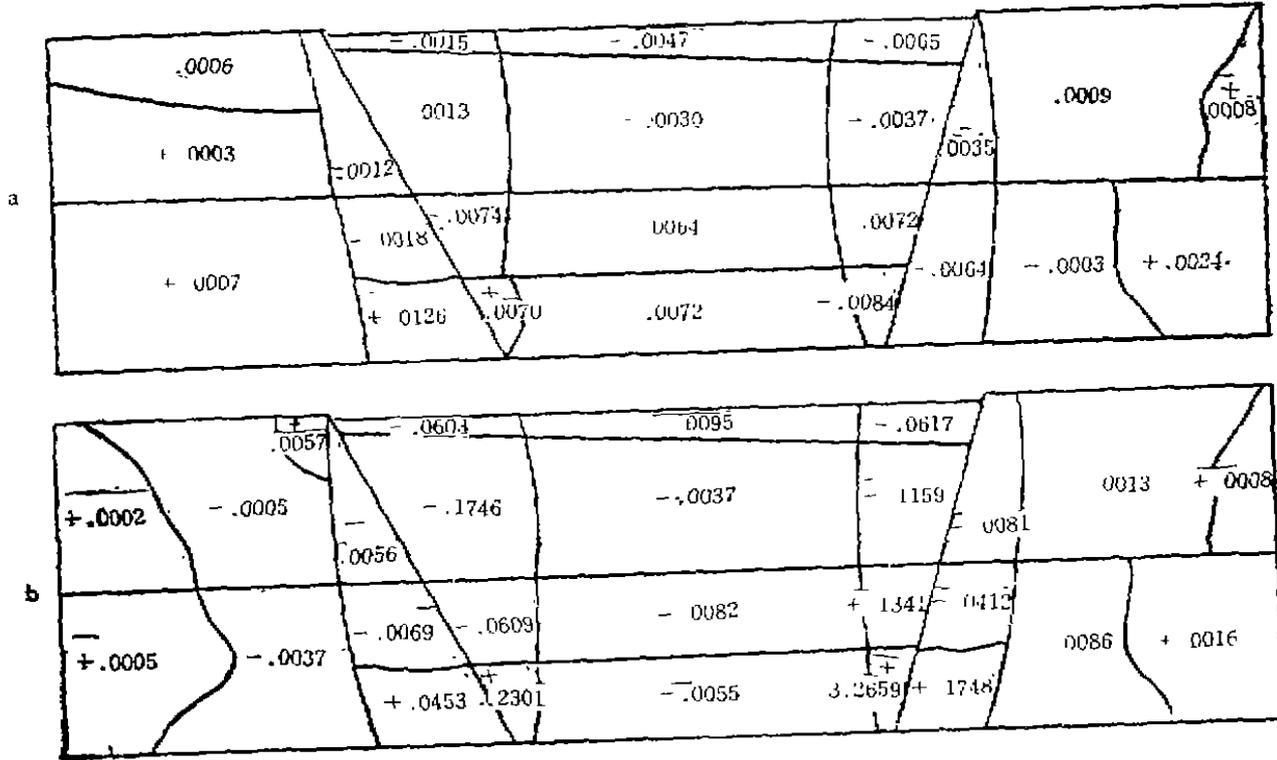


图3 海峡断裂引起的稳定性变化图

Fig 3 stability change caused by strait rift

上图中给出了两种边界条件下由于裂谷断层所引起的稳定度变化图。变化量 ( $\Delta\beta$ ) 为有断层时的稳定度值 ( $\beta_1$ ) 减去完全弹性情况的值 ( $\beta_2$ )。如某区所标数字为-0.0609, 即表示该区有断层时  $\Delta\beta$  值下降 (破裂危险性增加), 下降平均值为 0.0609, 数字为负表示有断层时稳定性下降。

根据上图  $\Delta\beta$  值增减变化的区域形态可以得出如下几方面的特征:

(1) 在计算模型的裂谷内部靠近断层处, 稳定度值普遍下降, 并且浅层部分下降幅度较大。

(2) 在模型的裂谷外部断层附近大部分地区稳定度值也下降, 这些下降区在地表的投影大部分落在裂谷内部。

(3) 裂谷内部的稳定度值变化幅度比外部的变化幅度大。

以上三点变化特征与裂谷内部地震活动强烈, 强震震源一般较浅的特点是相一致的。如琼山 7 $\frac{1}{2}$  级强震的震深为 14~16km<sup>1)</sup>。

(4) 在模型的右侧断层 (75°) 附近的稳定度值变化幅度比左侧断层 (65°) 的变化幅度显著, 说明倾角较陡。盆地内沉积厚度较大一侧断层附近较易发生强震。如 1605 年琼山 7 $\frac{1}{2}$  级强震便发生于此。

琼雷地区是我国一条著名的地震活动带。6 级以上的地震大都发生在裂谷内部, 据统计, 琼雷有史以来发生 4 级以上地震 13 次, 其中有 10 次发生在裂谷内部。在裂谷内强震震源一般较浅, 而小震的震源则没有这么明显的特点。

就本文所述简化情况, 也有一些因素可作细致讨论。如果断裂带的物性常数和相邻弹性区差别加大, 则断裂所引起的应力场扰动也大。因而当改变本文所述计算参数, 加大断裂带与弹性区差异时, 则  $\Delta\beta$  值会有更显著的变化。关于断层深度, 本文都取为贯穿整个剖面, 而实际上可能较浅, 对此已做了不同的计算比较。计算结果表明, 当左侧断层深度为 20km 时, 值  $\Delta\beta$  值与贯穿整个剖面的断层情况相比, 在断层向深处延伸方向上又显著下降了, 而在断层左右两侧邻区却有上升趋势。

## 参 考 文 献

- (1) 邓起东等, 我国地震活动和地震地质的主要特征, 科学通报, 23 卷 4 期, 1978。
- (2) 汪素云, 中国及邻区现代构造应力场的数值模拟, 地球物理学报, 23 卷 1 期, 1980。
- (3) 王仁等, 华北地震迁移规律的数学模拟, 地震学报, 2 卷 1 期, 1980。
- (4) 杨光宇, 中国及邻区现代构造应力场与强震迁移的探讨, 地震研究, 6 卷增刊 1983。
- (5) 许寿椿, 地堑型断裂对地震活动的影响, 中国活动断裂, 1982。
- (6) 郑治真等, 中国台湾省地质构造层理分布和应力集中区的数学模拟, 中国地震, 1 卷 1 期, 1985。
- (7) 郭富印, FORTRAN 算法汇编, 国防工业出版社, 1982。

1) 丁原章 郭钦华, 一六〇五年琼山地震的研究, 1986。

# THE CHANGE OF THE VALUES OF THE DEGREE OF STABILITY TO THE INFLUENCE OF SEISMI ACTIVITY

Zhan Wenhuan Lu yixuan Qiu Xielin

( South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica )

## Abstract

In studying the influence of faulting on earthquake activities, the authors defined the degree of stability  $\beta = 1 + \frac{1\tau_1}{\mu\sigma_n - \tau_c}$  which is the quantitative characterization of the stability of materials under the law of Coulomb crack. It is useful for evaluating the resistance of a geological block against faulting. According to the  $\Delta\beta$  values in the strait, the authors summarized the relationship of  $\Delta\beta$  values with seismic activity. The conclusions are consistent with those of previous workers.

## 更 正

年、期	页	行	错	正
1988年, 4期	80	12, 13, 15	$\Delta$	V
	84	6	$D = \frac{M - M_s}{M} \times 100\%$	$D = \frac{M - M_s}{M_s} \times 100\%$
			$D_0 = \frac{M + 6M - M_s}{M + 6M} \times 100\%$	$D_0 = \frac{M + 6M - M_s}{M_s} \times 100\%$