

# 新丰江水库地区b值的研究

罗振暖 谢明富

(广东省地震局)

**摘要** 本文利用广东新丰江水库丰富的前震资料、用方向追踪法计算了水库区的b值。从b值的变化,初步定量地圈定了新丰江6.1级地震震源体上下界的大小;讨论了b值与小震震源深度;b值与震源机制、应力的关系,提出统计量b的分布函数应是一个二维函数,它与应力和介质强度有关,同时b值具有方向的变化。

## 一、引言

新丰江水库地震,是世界六大水库地震的典型例子之一。多年的记录资料,揭示了新丰江水库地震具有持续时间长,能量衰减缓慢,小震活动频繁,前震活动活跃的特点。它区别于唐山地震,具有较明显的前、主、余地震序列,为我们研究震前的征兆提供典型的震例。

前人已将水库震区划分为A、B、C、D四个震区(见图1)。本文的目的在于根据新丰江地区的小震活动用多种方法计算和比较,试图寻找大震前大小地震比例关系的变化特征,用以讨论地震前兆的存在,并比较大小地震与地震参数和地震分布区域的关系,提出一些看法。

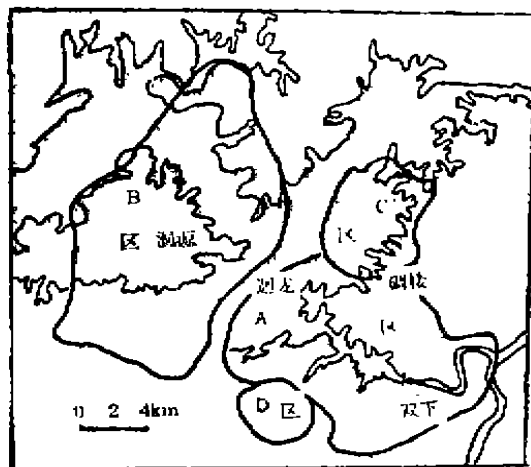


图1 广东新丰江水库地震活动分区  
Fig. 1 The earthquake active region of Xingfeng-Jiang reservoir in Guangdong province

## 二、资料和方法

新丰江地震台网始建于1960年10月,(1960年10月~1971年12月地震大小用能级表示)至1962年2月,共记录地震79117次( $M_s \geq 0.1$ ),其中1961年7月~1962年3月19日,能级 $K \geq 6$ 且震中可定的地震4675次,本文着重计算6.1级地震前的1961年7月~1962年3月的资料,为方便比较,在此

统一使用能级 $K^{[1]}$ 作统计。本文选用起算能级 $K=6$ ,用最小二乘法和最大似然法分别计算6.1级地震前的b值。按能级及震级大小比例关系有:

$$1) K = 4.0 + 1.8M$$

$$N=10^{c-rk}$$

$$\text{或 } \text{Log}(n) = C - rk$$

(1)

其中  $r=b/1.8$ ,  $C=a+2.2b$

## 1. b值计算

根据(1)式,可用两种方法计算,即最小二乘法和最大似然法。

在此只介绍最小二乘法:

$$r = - \{ m \sum K_i \log(n_i) - \sum K_i \log(n_i) \} / \{ m \sum K_i^2 - (\sum K_i)^2 \} \quad (2)$$

$$\text{其误差为: } \varepsilon_1 = 6.35 \sqrt{S / \{ l_{xx} (m - \alpha) \}} \quad (3)$$

此处S为残差平方和,  $l_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$ ,  $K_i$ 为能级,  $n_i$ 为第i档的地震次数,  $m$ 为能级档数。

最后用最小二乘法的结果加以讨论。

## 2. 方向追踪

前人的研究证明在大震前震源区的b值降低,且低值异常与未来大震的震中位置及震级存在密切关系。然而,目前常用的b值计算方法所得的结果只是粗略地给出一个b值异常区范围,是一个统计量。本文试图用方向追踪法对新丰江6.1级主震前震源区b值异常区的范围作了进一步的探讨:

(1) 区域选择。主要是寻找地震可能发生的区域,这个区域选择多大、多厚,这里根据所用的地震数据确定,通过计算进行取舍,目的是缩小范围。在此以1962年3月6.1级地震前的资料进行处理,为减少计算量,仅取包括6.1级震中50×50公里范围,以平行于坐标轴,间距为2公里的纵、横线节点为区域中心进行追踪。

(2) 方向选择。当完成第一步之后,近似地选定区域中心,作为可能发生较大震级(或b值较低)的区域,以此为中心,按带状区域分别计算,带形为  $L \times W \times H$  (即长×宽×厚)的长方体,选取位于长方体内的地震作统计(见图2),图中  $(x_0, y_0, z_0)$  为长方体重心坐标,  $(x, y, z)$  为长方体内任一点的坐标,以主震震源位置  $(x_0=1.4^{\text{km}}, y_0=-0.75^{\text{km}}, z_0=5.5^{\text{km}})$  为中心的长方体,分别在各方向求其相应的b值。本文每  $10^\circ$  作一次旋转计算,共作18次追踪。

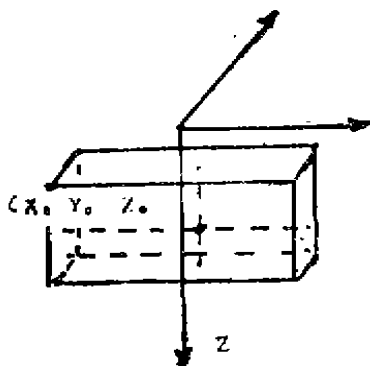


图2 计算块体

Fig. 2 The calculating block body

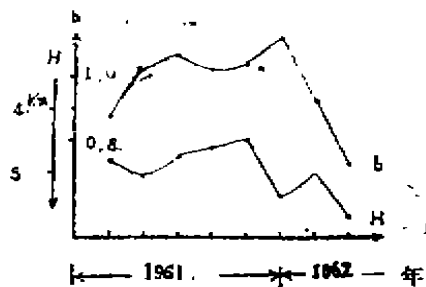


图3 新丰江月b值与深度关系

Fig. 3 The relation of B-value and seismic depth in Xingfeng-Jinag

### 三、b值与介质强度

地震波的传播速度随深度而变化，其纵横波的速度 $V_P$ ， $V_S$ 由下式决定：

$$V_P = \sqrt{\frac{\theta + \mu/3}{\rho}} \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

此处 $\rho$ 为介质密度， $\theta$ 为体积模量， $\mu$ 为切变模量。对于一定的区域，波速的变化为结于介质的性质及其密度变化，其次，切变模量直接与介质的围压、介质的性质有关，而介质的破裂基本上决定于应力大小和介质的切变模量，在此设影响介质切变模量的总体因素为介质强度，那么介质受力破裂由应力大小和介质强度所决定，因此，本文试图通过大小地震的比例与地震深度的关系，来讨论介质与b值的关系。

地震是通过地壳介质及其运动而引起的，它取决于介质的物理性能和应力的大小，归根结底除了与其所在地区的应力大小外，还与介质强度有关。众所周知，介质性质随压力变化而有所变化，这是介质的重要性质之一。在地壳内部，深度不同，介质强度有所区别，反映其破裂过程也有所差异，地震的震级也随之而异。为进一步说明这一问题，本文对1962年3月19日8个月 $M_s \geq 1.0$ 级地震，作两方面的统计：

#### 1. 按月求地震平均深度（即地震优势深度）并计算其b值

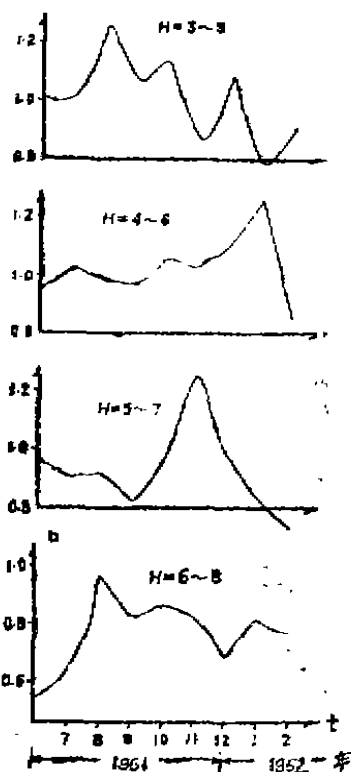


图4 新丰江不同深度的b值

Fig. 4 The B-value of different depth in Xingfeng-Jian

图3是震前8个月b值与小震平均深度的关系，从图可以看出，1962年1月前，b值与震源深度有较明显的负相关，即震前的1961年7月，月平均深度由浅转深，在8月份之后，震源深度变浅，到震前四个月（1961年11月），小震的平均深度又加深，在这段时间，b值的变化与深度变化正相反。而在1962年2月（即震前一个月），其变化关系则不同，即地震深度变深，b值下降，这种同步现象，说明此时震源体附近的应力，已达到相当集中的状态，整个震源体处于一个较强的统一应力场之中，其应力状态一定程度反映了震源的性质，从而给我们提供了前兆信息。

#### 2. 按震源深度划分并计算其b值

在此震源深度每2公里为一区间，以6.1级震中为中心，在 $30 \times 30$ 公里的平面内，深度在3~5、4~6、5~7、6~8公里分别计算其b值（见图4），可以看出有如下几个特点：A）不同深度区间，b值变化不同。B）主震震源（深度为5.5公里）所处的区间（即5~7、4~6公里），b值在震前有下降的反应。C）在深度为3~5公里区间，b值有周期变化，并在震前有趋势下降的变化。D）震前b值随震源深度增加而变小（见图5）。这反映了在震源为中心，其

b值与介质的关系较为密切，同时也反映了在震源体附近应力更为集中。在主震前半年，b值较高，因为开始仅在构造较为脆弱的部位破裂，浅区域的围压作用较小，介质密度和强度相对小些，因而所发生的平均震级也低些，b值较大，这与b值的变化是一致的。

四、应力与b值的关系

1962年3月19日，新丰江水库6.1级地震前，震中集中在大坝附近及其峡谷区，显示该区应力场较为集中，这种应力状态，以一定的形式在地震过程反映出来，如震源位置，震源力学，震源机制等。本文取大震前1961年7月~1962年3月的小震及主震的震源机制与之比较。

1. 主震震源机制解

6.1级主震机制解的压力轴方位长 $287^{\circ}$ ，张力轴方位为 $17^{\circ}$ （表1）。

2. 主震前小震的机制解

用主震前1961年7月至1962年3月的小震，接各地震机制解迭加，取其优势方向，在此主要取大坝附近的峡谷区北岸小震，它们距主震震中较近，小震也较密集，其压力轴优势方向为北 $291^{\circ}$ 。

新丰江水库区小震震源机制解压力轴优势方向和6.1级的机制解的主压力轴方向同为北西向，可以推测震前应力状态与发展的应力状态比较接近，表明震前小震和主震是在统一的应力场作用下产生的，因而在这个力场的作用下，小震分布有较明显的带状分布，具有明显的方向性。

3. b值的方向性

肖尔茨（C.M.Scholz）等人证实了在一定的区域内，大小地震的比例在较大程度上反映了这个区域的应力状态，从理论上b值正比于分布密度函数剩余下来的安全面积，阐述了b值与应力的关系，而应力

有大小和方向，那么b值在震区有没有方向的变化呢？在此用水库震前的资料，实行方向追踪，结果表明，b值较高、变化较大的方向与机制解的张力轴方向一致；b值在机制解压力轴方向较低且比较平稳（图6）。

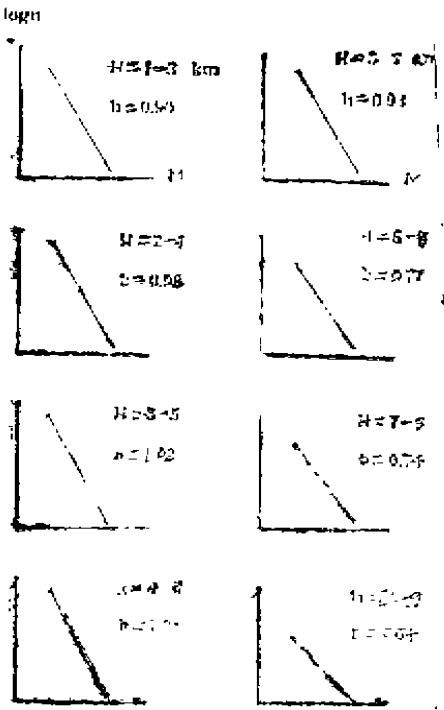


图5 不同深度的b值  
Fig5 The B-value of different depth

表1 Table1

时 间	震 级	位 置		P轴		T轴	
		$\lambda$	$\varphi$	方位	倾角	方位	倾角
1962, 3, 19	6.1	114.7°	23.7°	287°	8°	17°	6°

注：本表是广东省地震局分析室结果

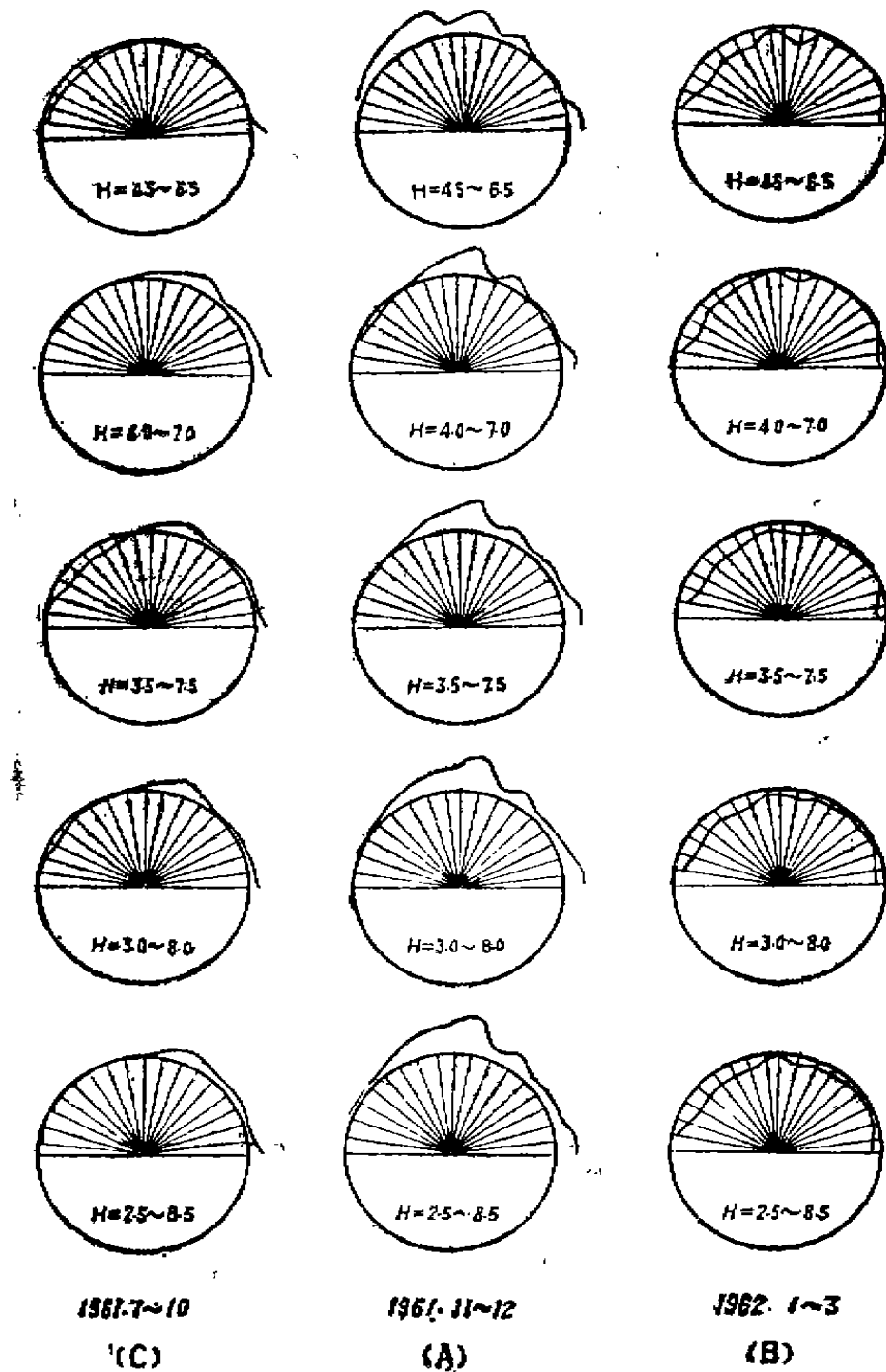


图6 以主震为中心各深度区间不同方向的b值

Fig. 6 The B-Value of differnt direction at various depth intervals, inu which the majior earthquake is taken as center

6.1级地震以水平向挤压性构造运动为主，破裂面近似垂直、各段时间b值高与张力轴方向比较吻合。广东河源地处亚洲板块边沿，无疑受太平洋板块与亚洲板块运动的影响。假设在欧亚板块与太平洋板块边缘，以北西向的压力相互作用，传递至其它地区，那么、北东向河源~邵武断裂则受到南东向力的作用，这个力，方位应不大于 $130^\circ$ ，即不应大于断裂的平均法线方向，形成震区的构造运动为顺时针方向运动为主。事实上从地壳形变测量资料显示，新丰江水库区震前的水平位移以顺时针运动为主，震后为逆时针运动。它证明这一假设是合适的。

## 五、核心扫描

b值能否作为强震前兆的特征标志之一，就是看它与地震预报三要素的关系，以b值的特点能否表征地震区应力集中的空间位置，在时间上表征临震的大概时间或震级的大小。这里用包括6.1级地震震源在内的 $40 \times 40$ 平方公里的范围，每2公里为间隔作纵横向追踪，结果表明，以6.1级震源为中心的长方体内（ $14 \times 14 \times 8$ 公里），b值稳定，尤其是在震前2个月，这种现象较为明显，在 $14 \times 14$ 公里范围之外，b值变化显著，可以认为，在 $14 \times 14 \times 8$ 公里的震源体内，应力较为集中，应力较高且较接近临界应力点，发生较大弱震的频度高、概率也高，b值相对稳定，而在震源体外，则反之，b值波动较大。同时，在计算中发现，新丰江地区震源浅，假设震源体为球体不大合适，因此，在此用短形体来量度震源体，计算b值，确定了主震震源体约是 $14 \times 14 \times 8$ 公里，这与宏观结果接近。

图7是新丰江6.1级地震前后三个月的滑动b值，平均值为 $1.09 \pm 0.141$ ，它反映了震前b值的时间特征。

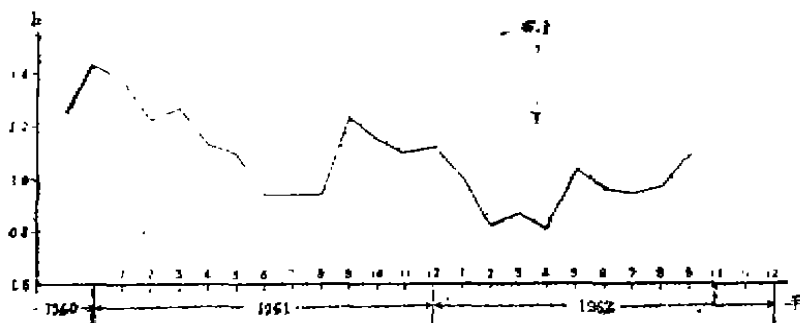


图7 三个月滑动b值

Fig. 7 The Slide B-value for three-months

## 六、b值的意义

60年代茂木和肖尔茨提出用“唯象理论”来解释b值的物理意义，即是：频度与震级关系参数b，正比于分布函数所剩下的“安全面积”。其分布函数为 $f(\sigma, \bar{\sigma})$ 。此处 $\sigma$ 为应力， $\bar{\sigma}$ 为平均应力，即有概率：

$$F = \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma, I) d\sigma \quad \text{及} \quad b = C(1 - F) \quad (5)$$

其中C为近似1的常数。

丁文镜<sup>2</sup>提出, 参数b等于震区断层面积分布特征指数 $\alpha$ ; 即 $b = \alpha$ 。

他们在不同的角度阐述了b值的意义, 本文根据新丰江地震活动的特点, 认为统计量b实际反映了: ①某一地区地震频度与震级存在一定的关系; ②随地区和地震深度不同而异的数字表征; ③随时间而异的统计量; ④与应力和介质强度等因素有关。因此b值的物理意义, 除在该地区的应力有关系外, 还与介质的平均强度有关, 而介质的平均强度与介质弹性模量、地下水影响有关。事实上, 在不同地区, 平均b值有差异就反映了这一点。

就b值来说, 地震危险程度的分布函数f是应力 $\sigma$ 和平均介质强度I的函数。其概率可由二积分表示:

$$F = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma, I) d\sigma dI$$

此处 $\sigma$ , I分别为应力及平均强度。

其次, 地震活动参数b, 是一个区域地震活动特征的统计量, 它反映了本区域地震活动的关系。这种关系, 与大地震有一定的联系, 尤其是在前震多的地区, 在一定程度上反映了大震前的活动指标, 就新丰江水库而言, 主震前4个月, b值有下降趋势, 直至主震前, 其下降幅度达30% (参见图7), 较好地区反映了下降~回升~发震的规律。同时, 在包括震源在内比不包括震源区作b值统计, 所反映大震前地震特征更是敏感, 因此, 开展b值研究, 在地震较是集中的区域, 探讨地震活动性, 研究地震成因和趋势、预报较强地震方面 (时、空、强) 是很有意义的。

### 参 考 资 料

- 〔1〕李全林等, 地震频度—震级关系的时空扫描, 地震出版社, 1979。
- 〔2〕丁文镜, b值预报的物理基础, 地震学报。
- 〔3〕By J. P. Eaton, Aftershocks of the 1968 Paekfield-Cholame, California, Earthquake, A Detailed study, B.S.S.A. No 4, 1970.

## THE STUDY OF B VALUE IN XINGFUNGJIANG RESERVIOR AREA

Luo zhennuan xie mingfu

(Seismoloical Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] In this paper, the B-value of reservoir region is calculated by the use of the fruitful fore-shock data of Xingfungjiang in Guangdong

(下转第89页)

(3) 分别计算预测震级的误差系数在 10% 情况下的成功率分别为 33%、20% 和 43%，在误差系数 < 20% 情况下的成功率为 53%、43% 和 57%，显见，式 (3) 仍比式 (1)、(2) 要好。

当然，根据“文光”，最好的回归式为三项式，其与一致加权最小二乘回归的成功率的趋势也与上述相同。

很明显，决定水库地震最大震级的不只是水库要素这一参数，随着其它合理参数的参与，水库地震最大震级的预测估计会有进一步的改善。

## DISCUSSION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE KEY ELEMENT OF RESERVOIR AND ITS EARTHQUAKE

Chang Baoqi

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

(上接第86页)

province and by the directional method. From the variation of B-value, the critical size of focal body of Xingfeng-Jiang earthquake  $M=6.1$  is originally obtained and the relations of B-value with small seismic depth, focal mechanism, stress are discussed. It is proposed that the distribution function of statistical quantity B is a two-dimensional function which bears relation to stress and median intensity, simultaneously, the B-value is variable in the direction.