

# 汕头地区地壳平均波速比的联合测定

刘 特 培

(汕头地震台, 广东)

**提 要** 本文根据汕头传输台网测定的96次地震走时数据, 用联合测定法计算了该区地壳波速比, 得到地壳平均波速比为 $1.707 \pm 0.005$ 。此值较华南区域平均波速比1.692略高。因研究时段区内无 $M \geq 5$ 级地震, 故 $1.707 \pm 0.005$ 应视为该区地壳波速比正常背景值。

**关键词** 地震研究 地壳波速比测定 汕头地区

## 一、前 言

很早以前人们就注意到了大地震前区域地震纵横波速度比( $V_P/V_S$ )有异常变化, 目前国内外不少人正在开展这方面的研究, 并取得了一批成果, 成了某种前兆理论的重要依据之一。

测定波速比的常用方法, 是和达法。即对同一地震, 采用一组合站记录的P波到时 $t_{Pi}$ 与P、S波的到时差 $t(s-p)_i$ 在直角坐标上作图, 用最小二乘法求得最佳拟合直线的斜率为 $(V_P/V_S) - 1$ , 于是波速比 $V_P/V_S$ 即可求得。

但是, 用和达法存在着一些困难, 就是需要有较多的台站记录同一地震事件, 通常这是不易做到的。另外拟合直线的斜率有可能较严重地受所取不同台站组合的影响而有较大变化, 也就是说波速比值与提供资料的台站组合方式关系较大。

为解决上述问题, E·G·C·Smith (1983)<sup>[1]</sup>发展了一种称为“联合测定波速比”的方法, 该方法用同一地区大量的地震事件(可不同时)得到的走时资料求波速比, 因而避免了上述困难。根据P、S波到时读数误差情况, 联合测定法具体分为二种计算方法: (1) 若S波到时的读数误差 $e_{ts}$ 比P波的大许多( $e_{ts} \gg e_{tp}$ ), 适用“S与P的回归法”; (2) 若 $e_{ts} \cong e_{tp}$ , 将采用“对称回归法”。

傅征祥等(1988)<sup>[2]</sup>同意Smith的方法, 并用该方法处理了北京传输台网的资料, 求得了北京—张家口两地区的平均波速比值。北京台网其时间服务系统采用高精度的数字钟站, 因此记录图上钟差可以为“零”, 同时选用较清晰的P、S波初动到时资料, 故 $e_{tp} \cong e_{ts}$ , 傅征祥选用“对称回归法”求 $V_P/V_S$ 。汕头传输台网各方面的情况与北京台网基本相同, 因此用该方法来处理汕头台网资料是适宜的。本文的目的就是采用文献〔2〕给出的“对称回归法”计算公式去测量汕头地区的地壳平均波速比。

## 二、对称回归法公式

### 1. 基本计算公式表达式

本文1991年12月20日收到。

$$V'_p = \frac{\sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) (S_{ij} - \sum_k^n S_{ik}/n)}{\sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) \left[ (S_{ij} - P_{ij}) - \sum_k^n (S_{ik} - P_{ik})/n \right]} \quad (1)$$

$$V'_s = \frac{\sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) (P_{ij} - \sum_k^n P_{ik}/n)}{\sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) \left[ (S_{ij} - P_{ij}) - \sum_k^n (S_{ik} - P_{ik})/n \right]} \quad (2)$$

$$\frac{V'_p}{V'_s} = \frac{\sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) (S_{ij} - \sum_k^n S_{ik}/n)}{\sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) (P_{ij} - \sum_k^n P_{ik}/n)} \quad (3)$$

其中m表示处理的地震总数，n表示记录某一地震的台站数， $P_{ij}$ 、 $S_{ij}$ 分别表示第i个地震第j台的P、S波到时，而  $V'_p = \frac{V_p}{V_p - V_s}$ ， $V'_s = \frac{V_p}{V_p - V_s}$ ，故  $\frac{V'_p}{V'_s} = \frac{V_p}{V_s}$ ，所以(3)式可求得区域地壳平均波速比。

## 2. 观测误差公式表达式

由于存在P、S波的读数误差，其对  $V'_p$ 、 $V'_s$ ， $\frac{V'_p}{V'_s}$  结果的可能影响为：

$$dV'_p = \pm \frac{\left| \left\{ \sum_i^m \sum_j^n \left( S_{ij} - \frac{\sum_k^n S_{ik}}{n} \right) + V'_p \cdot \sum_i^m \sum_j^n \left[ S_{ij} - P_{ij} - \frac{\sum_k^n (S_{ik} - P_{ik})}{n} \right] \right\} \right|}{\left| \sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) \cdot \left[ (S_{ij} - P_{ij}) - \frac{\sum_k^n (S_{ik} - P_{ik})}{n} \right] \right|} \cdot (|e_{ij}^{ts}| + |e_{ij}^{tp}|) \quad (4)$$

$$dV'_s = \pm \frac{\left| \left\{ \sum_i^m \sum_j^n \left( P_{ij} - \frac{\sum_k^n P_{ik}}{n} \right) + V'_s \cdot \sum_i^m \sum_j^n \left[ S_{ij} - P_{ij} - \frac{\sum_k^n (S_{ik} - P_{ik})}{n} \right] \right\} \right|}{\left| \sum_i^m \sum_j^n (S_{ij} - P_{ij}) \cdot \left[ (S_{ij} - P_{ij}) - \frac{\sum_k^n (S_{ik} - P_{ik})}{n} \right] \right|} \cdot (|e_{ij}^{ts}| + |e_{ij}^{tp}|) \quad (5)$$

$$d\left(\frac{V_p'}{V_s'}\right) = \pm \frac{\left| \left\{ \sum_i \sum_j \left( S_{ij} - \frac{\sum_k S_{ik}}{n} \right) + \left( \frac{V_p'}{V_s'} \right) \cdot \sum_i \sum_j \left[ P_{ij} - \frac{\sum_k P_{ik}}{n} \right] \right\} \right|}{\left| \sum_i \sum_j (S_{ij} - P_{ij}) \cdot \left( P_{ij} - \frac{\sum_k P_{ik}}{n} \right) \right|} \cdot (|e_{ij}^{ts}| + |e_{ij}^{tp}|) \quad (6)$$

其中  $e_{ij}^{ts}$ 、 $e_{ij}^{tp}$  分别表示第  $i$  个地震第  $j$  台的  $S$ 、 $P$  波读数误差 (上述公式的详细推导参见文献〔2〕)。

### 三、研究地区和资料处理

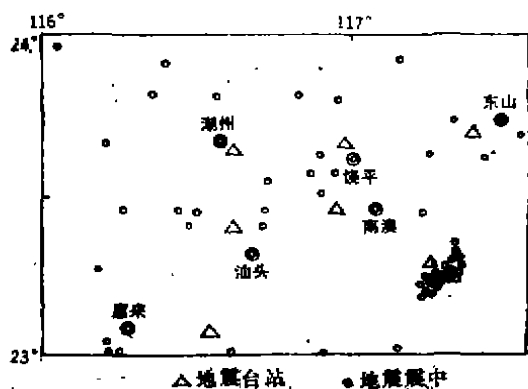


图1 研究地区区域、台站及震中分布图  
Fig. 1. Research orrea, seismological Statond epicentve distribution

本文研究的区域范围为  $116^{\circ}-117.6^{\circ}\text{E}$  和  $23^{\circ}-24^{\circ}\text{N}$ , 见下图1所示, 该区莫霍面平均埋深约为21km, 汕头地区的绝大部分地震深度均小于20km。

本文选取汕头台网1986—1990五年记录的共96个地震事件的初动资料 ( $1.0 \geq M_L \leq 3.5$ , 震源深度  $\leq 20\text{km}$ )。在这五年中, 汕头地区未发生  $M_L \geq 5.0$  的地震, 因此可以认为该区的岩石介质特性处于非异常状态。上图1绘出了台站和震中分布, 所有地震均满足“对称回归法”要求的三个基本条件: (1)  $S-P < 15\text{s}$ ; (2) 同时被三个或三个以上台站记录到; (3)  $P$ 、 $S$ 波初动清晰。将每年的资料分别处理求出各年的  $\frac{V_p}{V_s}$ 。

### 四、计算结果及讨论

上述公式中, 涉及到  $P$ 、 $S$  波的读数误差取值问题, 实践表明, 大部分分析人员的  $e_{ij}^{tp}$  最大可达  $\pm 0.4\text{s}$ ,  $e_{ij}^{ts}$  最大可达  $\pm 0.7\text{s}$ 。

为了计算方便, 笔者用BASIC语言编制了上述公式的计算程序, 在IBM—PC机上运算, 所得结果列表如下。

由表1可见, 各年的波速比值是比较稳定的, 若将五年的算术平均值  $1.707 \pm 0.005$  作为本区的正常值应该还是比较可信的。值得注意的是, 该值与整个华南地区的平均值1.692 (据华南地区近震走时表) 略有差异, 这正好说明了波速比的区域变化, 因而该值的求得, 对于更好地鉴别本区大地震前是否观测到前兆异常可能是有帮助的。

那么用联合测定法求波速比与提供资料的台站变动关系是否不大呢? 文献〔2〕的计算表明结论是正确的, 笔者在本文中也获得相同结论。

表1 汕头地区地壳平均波速比的联合测定

Tab. 1 Joint determination of mean wave velocity ratio in the crust of Shantou region

时间(年)	N(使用地震数)	$V'_P$	$V'_S$	$\frac{V'_P}{V'_S} (= \frac{V_P}{V_S})$
1986	12	$2.398 \pm 0.002$	$1.398 \pm 0.005$	$1.715 \pm 0.003$
1987	24	$2.395 \pm 0.002$	$1.395 \pm 0.007$	$1.717 \pm 0.006$
1988	27	$2.430 \pm 0.003$	$1.429 \pm 0.002$	$1.701 \pm 0.003$
1989	18	$2.420 \pm 0.002$	$1.419 \pm 0.008$	$1.705 \pm 0.008$
1990	15	$2.440 \pm 0.005$	$1.435 \pm 0.003$	$1.700 \pm 0.004$
1986~1990 (5年平均)		$\bar{V}'_P = 2.416 \pm 0.030$	$\bar{V}'_S = 1.415 \pm 0.005$	$\frac{\bar{V}'_P}{\bar{V}'_S} = 1.708 \pm 0.005$

本文应用文献〔2〕给出的地震平均波速比联合测定法的计算公式,求出了汕头地区的波速比值,该值与华南地区的平均波速比值略有差异。

精确地测定某一监测区的波速比值,对于正确地识别该地区的震前波速比异常变化应该是有意义的,因此应给予一定的重视。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕 Smith, E. G. C., Joint determination of Seismic velocity ratios Theory and application to an aftershock sequence, Bull. seis. soc. Am., 73, 2, 1980.
- 〔2〕 傅征祥等, 1988, 北京和张家口地区地壳平均波速比的联合测定, 地震学报, 8, (4).
- 〔3〕 周明德, 微型计算机IBM—PC系统原理及应用, 清华大学出版社。

## JOINT DETERMINATION OF MEAN WAVE VELOCITY RATIO IN THE CRUST OF SHANTOU REGION

Liu Tepei

(Seismological Station of Shanto, Guangdong)

[Abstract] Based on the data of 96 seismic travel times which determined by the transmission network in Shantou region, the crustal VP/VS in this region are calculated by joint determination method, therefore, the mean wave velocity ratio ( $1.707 \pm 0.005$ ) is got, which is slightly higher than that (1.692) in south China area. As there isn't any earthquakes of  $M \geq 5$  in the studying area, so the VP/VS ratio ( $1.707 \pm 0.005$ ) could be regarded as normal background value in this area.

[Key words] Earthquake research, Determination of the crustal wave velocity ratio; Shanto region