## 1983年12月

# 多台求波速比方法的再探讨

### 顾瑾平 **盛**国英 (兰州地震研究所)

近年来,多台求波速比广泛采用最小二乘法。这种方法物理基础较好,数学思路比较严谨,在预报实践中取得了一些可喜的苗头。但它要求小地震必须发生在孕震区内,并且要五个以上的台站能记到,才会有较好的和达曲线,为弥补这种局限性。我们提出了多台求波速比的又一新方法。其特点是:一、在正常情况下波速比为常数,有助于突出异常以得到明显的信息,二、尽量增加作资料用的小地震,包括孕震区外的一些邻近地震,以便及时提供震源信息。经过对甘肃礼县及甘宁交界地区的波速比的实际计算,得出了较好的结果。

#### 1. 方法

由和达法的公式可知:

$$\frac{V_{\bar{p}}^{-}}{V_{\bar{r}}^{-}} = \frac{T_{\bar{r}}^{-} - T_{\bar{p}}^{-}}{T_{\bar{p}}^{-} - T_{\bullet}} + 1 \tag{1}$$

对于一个单台而言,当发震时刻T。已知时,可以求得从震源到该台的射线途径上的波速比。发震时刻T。一般是从走时表或用平均发震刻得到,这些都不反映射线实际途径中的具体情况,即使用和达法多台计算,得到的T。也不反映这种情况。我们改用以下公式:

$$T_{\bullet} = \frac{\frac{\Delta t_{2}}{\Delta t_{1}} T_{p_{1}} - T_{p_{3}}}{\frac{\Delta t_{2}}{\Delta t_{1}} - 1}$$
 (2)

其中 $\Delta t_1$ 、 $\Delta t_2$ 分别为 1 台、 2 台 的直 达波走时差,  $T_{p_1}$ 、  $T_{p_2}$  为该两台的P 波到时。当第 1 台到时差很小时,到 2 台的射线对T。的影响就比 1 台的大,当到 2 台的射线途 径 中有异常区存在时,就可能影响发震时刻T。,使其变化。

图 1 是T。的变化情况,其中a表示在和达图上到达 1、 2 台的射线 1、 2 均不经过异常区, 1、 2 台都是在正常和达直线 A上; b 表示发震时刻不变,当射线 1 正常 2 异常时,则 1 台在 A上, 2 台在异常和达曲线 B上,由它们的连线 B'得到的发震时刻 T。'小于由 A 得到发发震时刻 T。,C表示当射线 1 异常 2 正常时,则 1 台在 B上 2 台在 A上,其连线 A'得到的发 震时刻 T。"大于 T。。由( 2 )式求得的发震时刻可以判断,大于 T。的射线 1 异常,小于 T。的射线 2 异常。

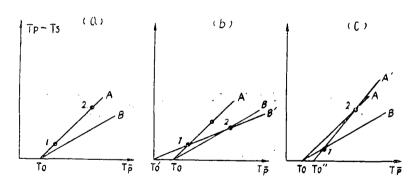


图 1 T。变化情况

Fig. 1 The Variations of To

由图 1 b可知,

$$\Delta T_{o} = \left| \frac{\Delta t_{2}}{t g \alpha} - \frac{\Delta t_{2}'}{t g \alpha'} - \right|$$
 (3)

设 $tg\alpha = 0.73$ ,  $tg\alpha' = 0.65$ ,  $T_{p2} - T_{p1} = 10$ 秒, 由(3)式可求得 $\Delta T$ 。大约为1.5秒。

比较(1)式,当射线途径上有异常区,作为该式的分子  $T_p - T_s$ 都在 增 加,这 两个增加量的差就很小。当射线 2 异常时,其分母项的  $T_s$ 下降,必然推迟射 线 2 的到 时,使其数值增大。对(1)式而言,分母变大,波速比降低。有鉴于比,我们为使波速比的计算过程有助于突出异常,通过取参考台 1,使求得的发震时刻变小。只要射线一半以上通过孕震区,即使小震不发生在孕震区内,也可以观测到异常。孕震区由  $T_s < T_s$ 的异常射线交点与  $T_s < T_s$ 的正常射线交点分界线来定。在实际计算中取  $R/R' < T_s$  为条件,(其中 R 为 射线在孕震区外总途径,R' 为射线在区内的途径),计算得出满足该条件台站的 平 均波 速比。其平均波速比随时间的变化,必然反应孕震区的前兆异常,并且不会出现掩盖或虚现异常的情况。

#### 2.误差

上述求得的发震时刻的最大误差可按(4)式求,

$$\delta T_{omax} = \frac{\Delta t_{2} (T_{p_{1}} - T_{p_{2}})}{(\Delta t_{2} - \Delta t_{1})^{2}} \delta (\Delta t_{1}) + \frac{\Delta t_{1} (T_{p_{3}} - T_{p_{1}})}{(\Delta t_{2} - \Delta t_{1})^{2}} \delta (t_{2})$$

$$+ \frac{\Delta t_{2}}{(\Delta t_{2} - \Delta t_{1})} \delta (T_{p_{1}}) + \frac{\Delta t_{1}}{\Delta t_{2} - \Delta t_{1}} \delta (T_{p_{2}})$$

取一个实例 $\Delta t_1 = 4.7$ 秒, $T_{P1} = 21.2$ 秒, $\Delta t_2 = 11$ 秒, $T_{P2} = 30.9$ 秒代入计算后求得  $\delta T_{only}$ 为0.5秒。在计算过程中,只考虑量图误差,不考虑震相不清或误认震相造成 的 错误。已知在前面求得由地震异常引起的发震时刻变化大约在 1 秒的数量级,因此0.5秒的误差 还 不能把它掩盖。

求得的波速比的误差,可用下式求:

$$\delta \gamma_{\bullet} = \frac{1}{T_{\overline{p}} - T_{\bullet}} \delta \left( \Delta t \right) + \frac{\Delta t}{\left( T_{\overline{p}} - T_{\bullet} \right)^{2}} \delta \left( T_{\overline{p}} \right) + \frac{\Delta t}{\left( T_{\overline{p}} - T_{\bullet} \right)^{2}} \delta \left( \gamma_{\bullet} \right)$$

用上面 2 台的数据来估算,得到波速比的最大误差约为0.03。设波速比的平均 异常幅度为0.08,则信杂比大约是3:1。可见异常应该不致被淹没。误差在允许的范围内。

最小二乘法求多台平均波速比的方法是以和达直线为准,删去一些偶然误差造成的偏差很大的台。这里是在平均的台中删去超过均方根误差二倍的点,因为这些点是由偶然误差造成的。

#### 3 实例

西海固地区位于甘宁交界,历史上发生过1920年8级大震,1970年又有过5.7级中强促。按上述方法求出1979年以来西海固及临近地区每个小震到各台的单台波速比,以大于1.68的比值为正常,小于1.68的为异常,以正常射线和异常射线各自交点分界线划出一个大致为椭园范围的孕震区(见图2)。然后,对所计算的那些地震逐个按满足R/R′≤1的条件求多台平均波速比,对不经过孕震区的地震,由于不反映异常的台站射线,予以删掉,其异常自然突出。依此可清晰地绘出平均波速比随时间变化曲线。

我们把求得的结果与以前用和达曲线最小二乘法求的波速比曲线比较(见图 3),可以看出二者趋势大致相似,但是资料点充实很多。尤其是1980年上半年,原来无资料,现在得到了弥补。



- 异常射线的交奏正常射线的交点
- 图 2 西海固异常孕震区 Fig The earthquake proparatory

region in Xi-Hai-Gu

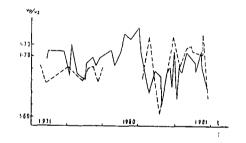


图 3 西海固地区的波速比变化
……A 原先的曲线 The prior curve
——B 现在的曲线 The present curve
Fig. 3 The variations of seismic
velocity ratio anomalies
with time in Xi-Hai-Gu

我们还用上述方法对甘肃礼县地区1978年至1981年的资料进行剖析,得到了同西海固地区同样的结论。证明上述方法可以在不同地区应用。

本方法的关键是选取相对台时,否则异常不易突出。

(本文1982年3月30日收到)

#### 参考文献

- [1] 冯德益等,我国四部地区一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(一),地球物理学报,19卷,3期,1976年。
- 〔2〕冯德益等,同上(二),地球物理学报,20卷,2期,1977年。

# A METHOD FOR FURTHER STUDYING THE SEISMIC VELOCITY RATIO ANOMALIES

Gu Jinping Sheng Guoying (Lanzhou Seismological Institute)

#### Abstract

A new method for studying the seismic velocity ratio anomalies was proposed. Its characteristics are: 1), in the no rmal case the velocity ratio is a constant; 2), the anomalies are more obvious; 3), the data are added as many as possible, including those of earthquakes occurred in the boundary of the anomalous velocity ratio region, so that the information of the earthquake preparatory region can be provided in time. When the method is adopted to check the earthquake preparatory region in Gansu Province, better results have been obtained.