

1914—1965年发生在我国境内 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震参数的修定

林邦惠 姚虹 谭伯良

(国家地震局地球物理所)

(中国科学院地球物理所)

(中国科学院计算所)

提 要

本文对1914—1965年发生在我国境内 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 的地震,用电子计算机进行了参数的修定,并简要介绍了修定的方法及修定的结果。结果表明,经过重新计算后,各参数(O, λ , ϕ , h)的精确度均有明显的提高。

引 言

随着电子计算机在各个领域中的广泛应用,六十年代初期,国际上几种地震报告—ISS, BCIS, USCGS, JMA, CCCP年报等均先后采用电子计算机修定震中,从而使地震参数的确定在精度和速度上提到一个新的水平。

我国是一个多震的国家,研究我国的地震活动性,探索地震的孕育与发生的规律是十分重要的课题,而地震参数又是最基础的资料。

1960年出版的《中国大地震目录》,充分利用当时的条件及时地为社会主义建设及地震的研究提供了重要的参考资料,起到它的积极作用,但是随着确定地震参数方法的发展及电子计算机技术的应用,在微观参数方面有进一步完善的可能。中国大地震目录中的微观参数(自开始有仪器资料的1914—1955年)多选取ISS报告给出的参数,而在这段时期他们用了三种走时表,1914—1918年用伽里金走时表;1918—1929年用Turner走时表;1930年以来用J—B走时表。在确定参数方法上,ISS早期用的交切法,随着确定地震参数方法的发展,对一些较大地震用最小二乘方法进行修定,1954年开始用电子计算机修订参数。1956年后,由于我国铺设一些基式地震仪台站,自此我国的地震报告开始完善、地震参数的精度也较前有所提高,但确定参数的方法多用交切法,虽修订少数大地震的参数,但由于当时没有电子计算机技术,在资料选取上受到很大的限制。为了提高微观参数的精确度,1965年我们对自有仪器记录1914—1965年发生在我国境内 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 的地震,统一采用J—B1940年走时表,

充分利用我国和国外各种地震报告提供的P波到时资料,用电子计算机修订震中,为我国地震研究提供了更为可靠的地震资料。

修订的方法

1964年,我们在广泛了解各种地震报告修定地震参数方法的基础上确定计算方案^[1-4]。

假定地震参数初始值为: $\phi_0, \lambda_0, O_0, I_0$, 真实震源S为 ϕ, λ, O, Z 位于初始震源E以北为 y^0 , 以东为 x^0 , 比初始震源深Z公里, 比初始发震时刻晚 τ 秒, 则

$$\begin{cases} \phi = \phi_0 + y \\ \lambda = \lambda_0 + \frac{x}{\cos \phi} \\ O = O_0 + \tau \\ Z = z_0 + z \end{cases} \quad (1)$$

对于初定震中距为 Δ_i , 方位为 α_i 的第i个台站, 震源第一校正 τ, x, y, z 的条件方程为(见图一)

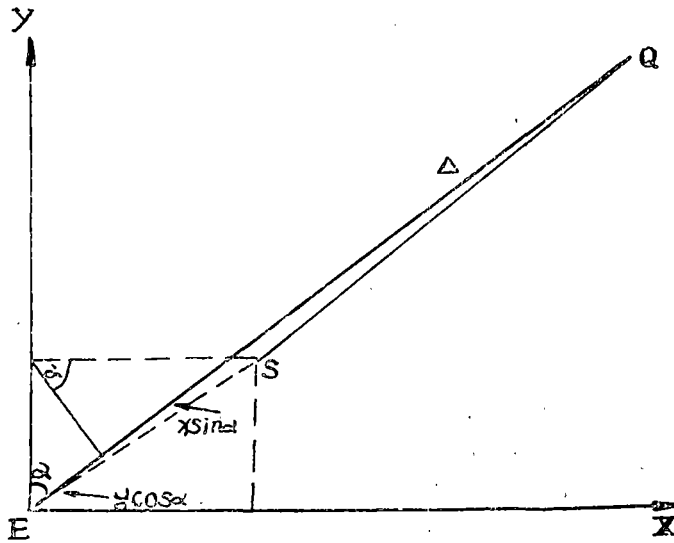


图1 坐标系

Fig. 1 Coordinate system.

$$\tau - (X \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i) \frac{\alpha t_i(\Delta) z}{\alpha \Delta} + z \frac{\alpha t_i(z) \Delta}{\alpha z} = \xi_i \quad (2)$$

其中 ξ_i 为第i台的p波残差, t_i 为在 Δ_i 距离上理论P波走时。

为方便起见, 设

$$C_{11}' = 1$$

$$C_{21}' = -\sin\alpha_1 \frac{\alpha t_1}{\alpha \Delta}$$

$$C_{31}' = -\cos\alpha_1 \frac{\alpha t_1}{\alpha \Delta}$$

$$C_{41}' = \frac{\alpha t_1}{\alpha z}$$

则条件方程变为

$$\xi_1 = C_{11}'\tau + C_{21}'X + C_{31}'y + C_{41}'z \quad (3)$$

若用几个观测台的P波到时资料，则可得到几个类似于(3)式的线性条件方程，

$$\xi = C' \begin{pmatrix} \tau \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (4)$$

在用最小二乘法解 τ, x, y, z 之前，为了提高修订精确度，我们采用对观测资料加权的办法〔5〕。

假定P波走时残差频度分布 $y(\xi)$ 为：

$$y(\xi) = as + \frac{(1-s)}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{(\xi-m)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (5)$$

(5)式中右端第一项代表其它干扰因素震相对P波走时残差频度的影响，S表示影响的概率，是个很小的量。a(ξ)在n倍1/n范围内随 ξ 变化很慢。第二项代表真正P波残差频度分布，其概率为1-S。m为期望值， σ 为方差。

如果有n个p波到时的资料，则总频度L的对数为：

$$\log L = \log(y_1 * y_2 * \dots * y_n) = \sum \log\left[\frac{(1-S)}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{(\xi-m)^2}{2\sigma^2}\right\} + as\right] \quad (6)$$

$$\text{设 } h^2 = (2\sigma^2)^{-1}$$

实际分布的参数m，h应满足概率最大的条件，即：

$$\alpha \log L / \alpha m = 0 \quad (7)$$

$$\alpha \log L / \alpha h = 0 \quad (8)$$

$$\text{令 } W(\xi) = \frac{1}{1 + \mu \exp\{h^2(\xi-m)\}} \quad (9)$$

$$\text{其中 } \mu = \frac{S}{1-S} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{h} a(\xi-\beta)$$

把(9)式代入(7)与(8)式，可简化为：

$$\frac{1}{L} \frac{\alpha L}{\alpha m} = \sum 2h^2 w(\xi-m) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{h}{L} \frac{\alpha L}{\alpha h} = \sum w \{ 1 - 2h^2 (\xi - m)^2 \} = 0 \quad (11)$$

由(10), (11)式可得

$$m = \sum w_i \xi_i / \sum w_i \quad (12)$$

$$\sigma^2 = \sum w_i (\xi_i - m)^2 / \sum w_i \quad (13)$$

因此(9)式中 $w_i(\xi_i)$ 称为观测值 ξ_i 的权函数。用 $\sqrt{w_i}$ 乘以相应的条件方程(3)。为了方便, 设:

$$\begin{cases} C_{1i} = \sqrt{w_i} \\ C_{2i} = -\sqrt{w_i} \sin \alpha_i^{a+i} / \alpha \Delta \\ C_{3i} = -\sqrt{w_i} \cos \alpha_i^{a+i} / \alpha \Delta \\ C_{4i} = \sqrt{w_i}^{a+i} / \alpha z \\ \xi'_i = \sqrt{w_i} \xi_i \end{cases}$$

则条件方程变为:

$$\xi'_i = C_{1i} \tau + C_{2i} x + C_{3i} y + C_{4i} z \quad (14)$$

用n个观测台的P波到时资料, 可得n个类似于(14)式的线性条件方程:

$$\xi'_i = C \begin{pmatrix} \tau \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (15)$$

用最小二乘法得到下列正规方程:

$$\Delta y = A \begin{pmatrix} \tau \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (16)$$

单位权观测的均方误差

$$M^{(k)} = \sqrt{\frac{\sum w^{(k+1)} (\xi_i) \xi_i^2}{\sum w^{(k+1)} (\xi_i) - 4}} \quad (17)$$

各地震参数的均方误差为:

$$m_j = M^{(k)} [A_{jj}^{-1}]^{1/2} \quad (18)$$

$$j = \tau \cdot x \cdot y \cdot z$$

其中 A_{jj}^{-1} 为(16)式中系数矩阵的逆矩阵的第j个对角元素。

我们在电子计算机上对方程组(16)用主元素消去法求第一校正 τ, x, y, z , 再代入(1)式中求得地震参数的第一近似值, 然后重复上面的过程直到满足收敛条件为止。

应该指出, 对正规方程(即法方程)(16)求解的前提是要求四个参数 τ, x, y, z 相互独立, 而实际上震源深度与发震时刻之间并不是完全独立的, 因此这两个参数修订结果的误差可能较大, 其中震源深度更为明显, 这是世界各国修订四个地震参数时共同存在的问题, 为了解决此问题, 我们对下列情况的地震:

1. 有pP, sP, sS等深度震相的资料能确定震源深度的地震。
2. 有ScS等核震相资料能确定震源深度的地震。
3. 有其它震源深度参考资料, 如近震震相, 宏观深度等的地震。

可固定震源深度, 修订其它三个参数。对没有任何震源深度参考资料的地震, 则修定四个参数。

获得可靠的地震参数, 确定方法固然是重要的因素, 观测资料的可靠程度及观测资料的选取也是相当重要的。一般来讲要求选取的资料数目足够多; 选取台站的方位分布要均匀; 在每个方位上台站的震中距离分布也要均匀。台站方位分布是否均匀影响震中位置确定的精确度, 后者影响震源深度确定的精确度。在我们的修定结果中, 对于早期的地震, 资料较少, 选取的资料不能很好的满足以上条件, 结果精确度要差些。对于近期的地震, 有足够多的资料可供选取, 结果精度就高些。本文目录中精确度给定的原则:

1. 震中位置精确度分为五类
 - 1类 ≤ 10 公里;
 - 2类 ≤ 25 公里;
 - 3类 ≤ 50 公里;
 - 4类 ≤ 100 公里;
 - 5类 > 100 公里;
2. 对于修订的震中, 以计算的最大误差(即三倍于均方误差)为根据定类别。
3. 对有详细宏观资料的地震, 主要按修定震中与宏观极震区中心之偏差定类。
4. 一类震中经纬度写至分, 其它类别写至点一度。

结果对比

为了考查修订震中的效果, 我们对既有修订结果, 又有宏观等震线资料的地震进行对比。为统一起见, 以极震区的几何中心作为标准与修定震中进行比较, 结果见下表:

极震区中心与微观震中是两个不同的概念。微观震中是地震初始破裂点在地面上的投影位置。而极震区中心是地面上造成破坏最强烈区域的几何中心, 在一定程度上极震区中心是微观震中可靠程度的标准, 由上面的统计数字看来, 极震区中心和修定震中之差除个别地震外, 一般最大偏差为 0.2° , 小于 0.1° 的也占很大的比例。这反映了修定结果的可靠程度是比较好的。显然, 由于它们是两个不同的概念, 二者存在一定差异是可以理解的。

从统计结果也可以看到, 1956年后的地震的统计结果比全部资料的统计结果好, 这是因为1956年以后, 我国基式台纲正式工作, 近距离的P波资料比较可靠。

百分比 偏差值 经度与纬度	全部资料进行统计		65年后的资料进行统计	
	<0.1°	<0.2°	<0.1°	<0.2°
$\Delta\phi$	84.7%	92.5%	100%	100%
$\Delta\lambda$	61.7%	84.7%	78.0%	89.0%

对于少量发生在我国境内震级大于等于4 $\frac{3}{4}$ 而P波到时资料极少的地震,考虑到修订的意义不大,一般根据不同情况选用ISS, CCCP或我国地震报告的地震参数。

本工作还有十多位同志参加,不一一署名,表示感谢。

参 考 文 献

1. Bolt, B. A. The Revision of earthquake focal depths and origin-time using a high-speed computer. *Geophys. J.* 3: 434—440 1960
2. Bolt, B. A. Machine processing of seismic travel-time data. *B.S.S.A.* 51: 259—267 1961
3. Flim, E. A. Local earthquake location with an electronic computer. *B.S.S.A.* 50: 467—470 1961
4. Nordquist, T. A. Special-Purpose Program for earthquake location with an electronic computer. *B.S.S.A.* 52: 431—438 1962
5. Jeffreys, H.
1936 "on Travel-Time in Seismology Bur Centr. Seism. Interat. (A) Fasc 14: 1—86
1954 "The Time P in Japanese and European earthquakes" *M.NRAS Geophys. suppl.* 6: 557—565
6. Jeffreys, H.
Theory of probability

THE REVISION OF EARTHQUAKE PARAMETERS OF 1914—1965

$M \geq 4 \frac{3}{4}$ IN CHINA

Lin Banghui Yao Hong Tan Beliang

Abstract

In this paper the earthquake parameters of $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ during 1914 to 1965 in China have been revised using electronic computer. The applied method and results have been introduced simply. The results show that the accuracy of revised parameters (ϕ, λ, ϕ, h) are all improved obviously.