

近震震级测定方法研究

傅瑀 张宏志 颌俊英 胡珍

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

本文根据北京电信传输地震台网在1978—1984年期间的395次地震 [$1.0 \leq M_L \leq 6.2$; $10 \leq \Delta \leq 600\text{km}$] 资料,讨论了近震震级 M_L 的量规函数、台基校正、仪器分量校正和震源区校正等,并着重研究了信号持续时间震级 M_D 的不同测定方法和误差。结果表明,如果采用本文中所述的方法,不需添加任何校正,只用少数几个台甚至仅用一个台的数据就可逼近无偏震级。必须指出,持续时间震级 M_D 在震级大于4.8时可产生震级饱和现象,对此,用另一条具有较大斜率的方程拟合便可得到满意的结果。

一、引 言

一个区域台网由于介质性质、台基条件和仪器装备的不同,特别是受震源辐射的影响,因而对同一个地震、不同的台站所测定的震级值会有所不同,有时这种差别可高达一级。对于近震来说,在相近的频带范围内产生如此大的差别是不允许的。为了提高测定近震震级的可信度,对震级公式中的诸因素作适当的校正是必要的,但校正后的震级值并不能消除震源辐射和路径的影响,对此一般采用不同方位的多台震级值平均的方法来解决。然而,信号持续时间的对数与震级大小呈现出较理想的线性关系,许多地震学家利用这一关系,将仪器灵敏度归一化后作出了不同地区的震级测定方程^[1-3]。北京台网最近利用这一方法得到的拟合方程为:

$$M_D = -0.88 + 2.06 \lg \tau (V_0 = 2 \times 10^5) \quad (1-1)$$

式中 τ 为信号持续时间,以秒为单位; V_0 为仪器静态放大倍数。

观测数据表明,某一给定的地震,在仪器放大率相同的两个台站上所记录到的持续时间具有系统偏差。这就告诉我们,尽管仪器放大率相同,并不能使得通频带一致,加之震中距不同,尤其是各台台基对地震波的响应程度各异,以及不同地区的介质散射特征不同等原因,故仅用仪器灵敏度归一化建立一个平均化的方程是不够完善的,而应根据各台地震波衰减特征和震中距变化情况建立各台自身的震级方程,方可体现出上述因素在震级关系式中所起的作用大小。由此得到的结果为:各台震级偏差的标准误差约为0.1,这比 M_L 的标准误差约为0.2有显著的提高,它的数学期望均小于0.01,即与震级标准值间的系统误差很小(详见表4)。这充分表明了 M_D 与震源幅射和路径基本无关,并且 M_D 的

震级标度值与 M_L 是一致的,所以说 M_D 是一种简便、可靠的测定近震震级的方法,值得推广. 必要时二者可相互补充,相互检验,对提高震级可信度大有裨益.

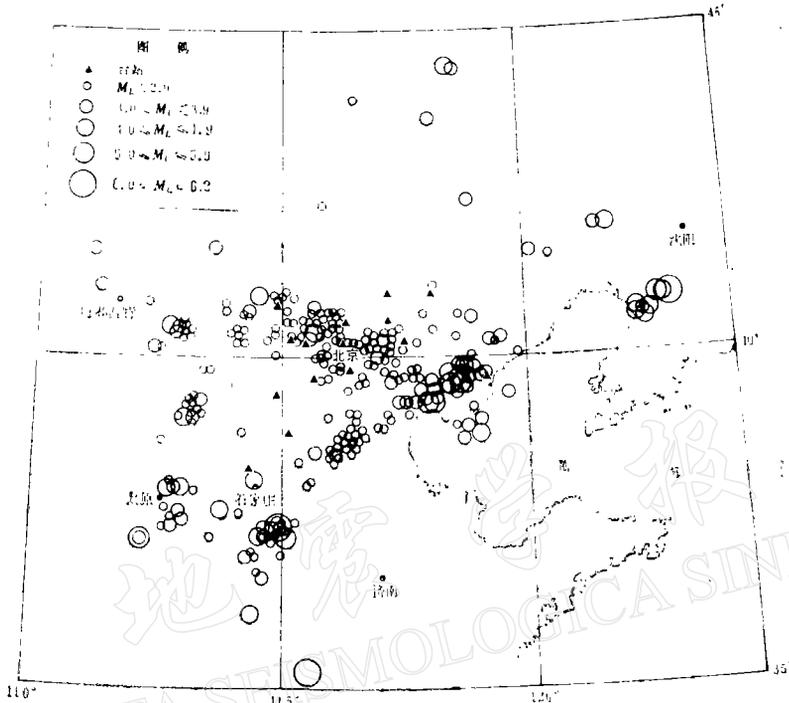


图 1 使用台站和震中分布图

Fig. 1 Distribution of seismic stations and earthquakes used in this paper

二、近震震级 M_L 及其校正

北京台网基本上是以高灵敏度短周期垂直向仪器装备的微震台网. 此外,在三里河记录中心有一套 DK-1 型中长周期仪;在南山村、沙城和上房山三个台安装了短周期三分量仪. 台网近震震级按公式

$$M_L = \lg A\mu + R(D) \tag{2-1}$$

进行测定. 台网地震目录中的震级值是对第 i 个地震第 j 个台按公式 (2-1) 求得震级 $M_{L_{ij}}$, 然后对第 i 个地震求出平均值给出

$$M_{L_i} = \sum_{j=1}^m M_{L_{ij}} / m \quad i = 1, 2, 3 \dots, n, \quad j = 1, 2, 3 \dots, m \tag{2-2}$$

当震级 $M_L > 3.0$ 时,在高灵敏度短周期记录仪上产生限幅,于是在唯一的中长周期仪上按公式 (2-1) 测其 M_L 值. 根据震级-频度关系

$$\lg N = a - bM \tag{2-3}$$

其中 a, b 均为常数,通过对北京台网 1979 年地震资料进行统计发现: 观测曲线(图 2 中

虚线)未遵从公式(2-3)的线性规则,在 $3.0 \leq M_L \leq 3.5$ 时曲线出现凹陷,其原因可归结为如下二点:

其一,当 $M_L \leq 3.0$ 时,用高灵敏度短周期垂直向仪所测的震级 M_{Lij} ,由于S波在垂直记录图上不发育,其值系统偏小,使应为3.0—3.2级的地震被定为2.8—3.0级,即减少了一部份3级左右的地震频次。

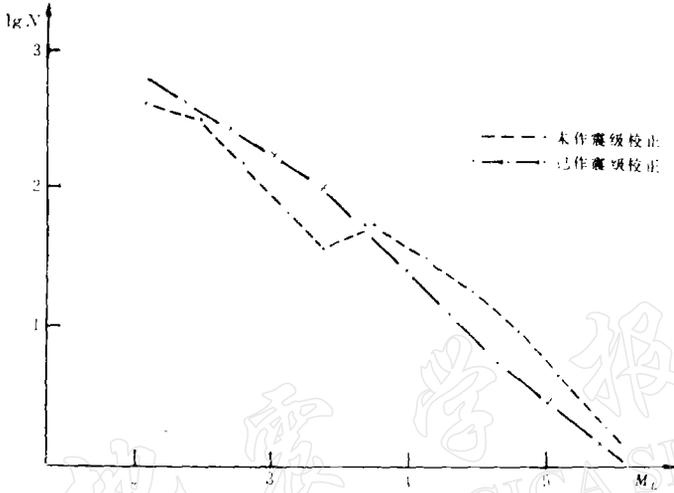


图2 震级-频度关系图

Fig. 2 Relation between magnitude and frequency

其二,当 $M_L > 3.0$ 时,高灵敏度仪($V_0 = 2 \times 10^5$)记录限幅,使用DK-1($V_0 = 1000$)仪测定,由于DK-1仪是单台,它不仅受震源和路径影响,更主要的是受台基条件的影响,使所测 M_L 系统偏大¹⁾,将 M_L 应为3.0—3.5的地震定为3.5—4.0以上,这又缺少了3.0—3.5级地震频次而增加了3.5级以上地震的频次,导致震级-频度曲线产生畸变。为此,对测定 M_L 的各种因素有必要作深入分析,并给出合理的校正值。

1. 量规函数的影响 1935年里克特定义近震震级 M_L 时,为了补偿S波最大振幅随距离增加而衰减的损失,确定了距离校正项即量规函数 $R(\Delta)$ 。目前,北京台网使用的 $R(\Delta)$ 是我国台站观测规范中提供的,由于不同地区的介质衰减特性不同,使量规函数有所差异,为此,在研究震级问题时,必须考察 $R(\Delta)$ 的合理性。

由(2-2)式所得的平均震级 M_L ,对各台震级值 M_{Lij} 求残差 ΔM_{Lij} 即

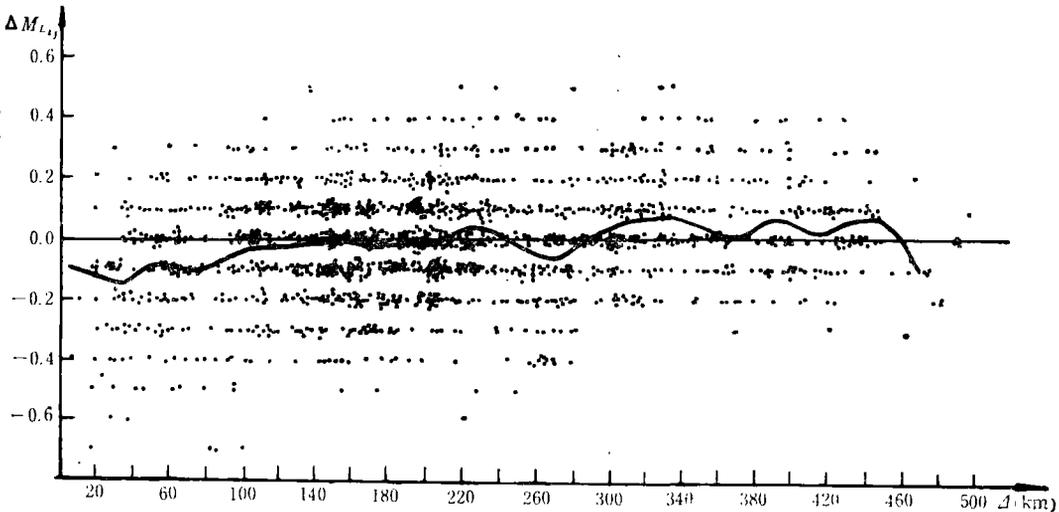
$$\Delta M_{Lij} = M_{Lij} - M_L \quad (2-4)$$

依次点出第*i*个地震第*j*个台的 ΔM_{Lij} 随震中距 Δ 的变化图,然后每20 km间距作平滑曲线(图3),各区间的均值

$$\Delta M_L = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta M_{Lij} \quad (2-5)$$

其值变化范围: $-0.14 \leq \Delta M_L \leq 0.05$

1) 傅琦,张宏志,周来顺,颜俊英,张赞田,辛书义,北京台网震级标度,1982。

图 3 ΔM_{Lij} 随 Δ 变化曲线Fig. 3 Change of residual ΔM_{Lij} with epicentral distance Δ

各区间标准误差

$$S(M_L) = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (M_{Lij} - M_{L_i})^2 / (n \cdot m) \right)^{1/2} \quad (2-6)$$

其值变化范围:

$$0.12 \leq S_{(M_L)} \leq 0.23$$

均值可反映统计样本是否存在系统误差,而标准误差可反映数据离散程度。从图 3 平滑曲线的总趋势来看是围绕 0 轴以 ± 0.1 级的幅度摆动,系统偏离虽不严重,但具有某些倾向性,当 $100\text{km} < \Delta \leq 300\text{km}$ 时,其系统误差为 -0.020 ,当 $300\text{km} < \Delta \leq 480\text{km}$ 时,其系统误差为 0.047 ,由于震级的最小取值单位是 0.1 ,故以上系统误差可以忽略,当 $\Delta \leq 100\text{km}$ 时,其系统误差为 -0.085 ,因此,本文认为,全国台站观测规范所提供的近震量规函数 $R_1(\Delta)$ 在 $\Delta < 100\text{km}$ 时,对京、津、唐、张地区需作 0.1 级的校正,即该地区的 $R_1(\Delta)$ 值应为:

$\Delta(\text{km})$:	0—5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60—70	80—85	90—100
R_1 :	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5

以上统计量的标准误差与一般公认的震级标准误差基本相符,当 $\Delta > 140\text{km}$ 时约为 0.17 左右,属正常分布,当 $100\text{km} \leq \Delta \leq 130\text{km}$ 时约为 0.21 ,可能是受反射波的影响使震级值离散,当 $\Delta < 40\text{km}$ 时约为 0.23 ,即愈靠近震中区震级值愈离散,可能是近源场区震源辐射或介质散射具有更显著的不均匀性所造成的。

2. 台基影响 一个基准台不论它的装备如何精良,地质条件如何均匀,但它在测定震级时避不开震源和路径的影响。因此,将观测数据归一到某一基准台的作法是有疑义的。严格地说,在台站合理分布的条件下,多台平均震级应是无偏的,是更有代表性的基准,可作为研究台基影响的基础。

与前述方法类似,对第 i 个地震,第 j 个台 ($j \geq 4$) 求得单台震级 M_{Lij} 和平均震级 M_{L_i} ,按 (2-4) 式分别作各台残差 ΔM_{Lij} 与 Δ 的滑动平均曲线,如图 4 所示,其中有些台

的曲线绕 0 轴,上下摆动,表明无系统偏差[如图 4 (c)],而有些台的曲线系统偏离 0 轴围绕某一均值摆动[如图 4 (a),(b),(d)],若曲线在 0 轴以下摆动,表明该台所定的震级系统偏小,则校正值 C 应为正值,反之亦然即:

$$C = -\left(\sum_{i=1}^n (M_{L_{ij}} - M_{L_i})/n\right) \quad (2-7)$$

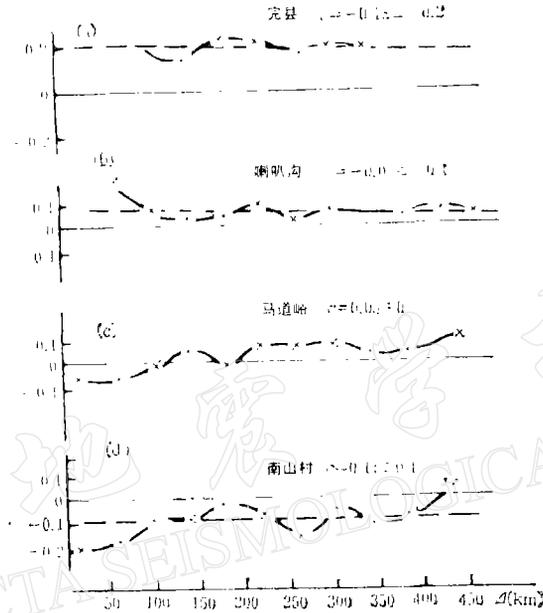


图 4 台基校正曲线

Fig. 4 Curve of corrections for station sites

表 1 各台台基校正值

Table 1 Correction for site condition of stations

台名	喇叭沟	太师屯	沙城	马道峪	龙泉寺	完县	涿鹿	南山村	上房山	黄壁庄	涞源	张家口	承德	昌黎
C	-0.1	0	0.1	0	0	-0.2	0	0.1	0	0	-0.1	-0.1	0.1	0.1

3. 仪器分量影响 如前所述,北京台网基本上是以短周期垂直向仪器装备的微震台网,震级 M_L 是量取垂直向记录的 \bar{S} 波最大振幅测定的. 由于 S 波质点振动的方向性,其振幅在垂直分量上不甚发育,致使所测震级比水平分量系统偏小. 根据该台网正常工作的二套三分量记录资料对 250 个地震作统计,其系统偏差为

$$\Delta M_L = \sum_{i=1}^n (M_{H_i} - M_{V_i})/n = 0.16 \pm 0.2 \quad (2-8)$$

M_{H_i} 和 M_{V_i} 分别为水平和垂直向振幅测得的震级值. 为此,可将垂直向仪器测定的震级 M_L 加 0.2 的校正值,即为震级定义所规定的震级值.

4. 震源区影响 震源区影响一般指单台而言,发生在不同地区的地震,由于受震源、

路径影响,使观测数据产生系统偏差。北京台网在测定较大地震震级时,使用唯一一套 DK-1 仪,因此,除台基影响外,是否还存在震源区影响,有必要进行探讨。依据全国台网平均震级 M_S , 用郭履灿等的拟合公式

$$M_S = 1.13M_L - 1.08 \quad (2-9)$$

求得 M_L 为基准,对台网控制范围内的较大地震,按不同地区分别统计比较。为了使用方便,本文将该台的震源区影响和台基影响综合讨论,作该台与全国台网平均震级残差分布图(图 5)可见,不同地区的地震在三里河台 DK-1 仪上测得的震级有明显的系统偏差,其值列入表 2, 本文将震源区影响(包括台基影响)大体上归为两类,以北纬 40° 线分界,北侧校正值为 0.3, 南侧校正值为 0.6。

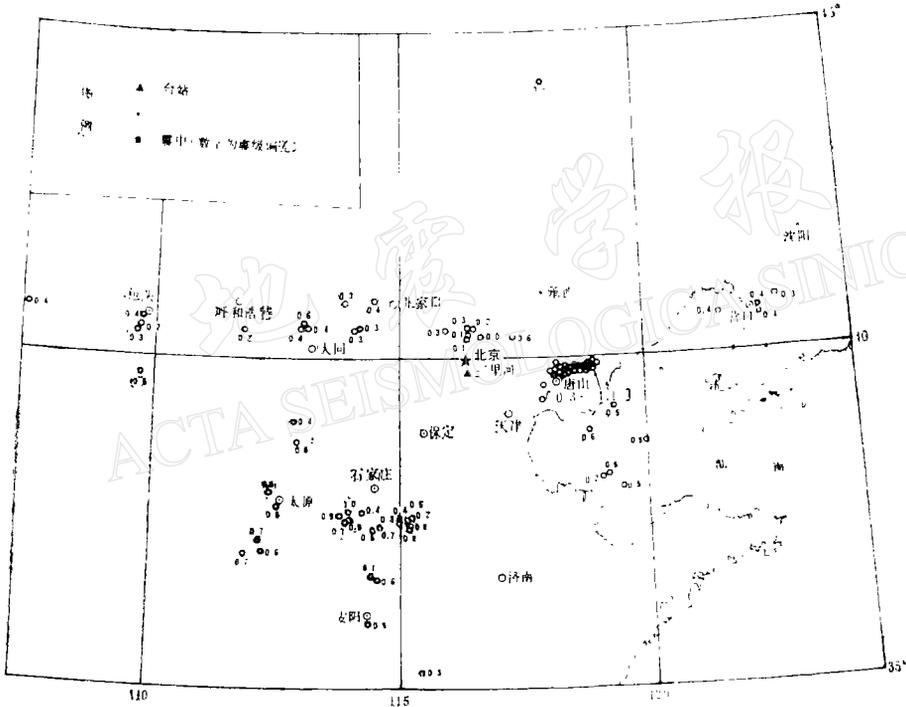


图 5 三里河台测定震级残差分布图

Fig. 5 Distribution of residual error of M_L for Sanlihe station

表 2 三里河台测定震级系统偏差统计表

Table 2 The systematic residuals of M_L for Sanlihe station

发震地区	40°N 南侧地区				40°N 北侧地区			
	唐山	渤海	邢台	山西	海城	怀柔	张家口	内蒙古
系统偏差	0.62	0.47	0.45	0.67	0.38	0.14	0.33	0.37
	平均 0.6				平均 0.3			

进一步分析表明,上述校正值中台基影响为 0.5,实际上震源区的影响约为 -0.2 — $+0.2$ 之间。

对 1979 年地震资料进行以上各种校正后重作的震级-频度图如图 2 实线所示, 显然这一观测曲线遵循线性规则, 其回归方程为

$$\lg N = 4.86 - 0.87M_L \quad (2-10)$$

三、信号持续时间震级 M_D

近年来用信号持续时间测定近震震级(下称 M_D) 得到地震学界的重视, 这是由于它具有二个显著的优点: 其一, 信号持续时间的长短与震级大小直接相关, 并反映台站附近的介质性质, 而与震源区、路径基本无关; 其二, 不受记录限幅影响, 因此, 使微震仪测定震级的量程扩大, 计算简单, 并可提高震级测定精度。

1. 信号持续时间 τ 的选择 实验证明, 当记录图上的正常地脉动振幅的峰峰值为 1mm 时, 从 P 波初动开始量读到尾波双振幅衰减为 2 mm (包括 2 mm), 即为正常地脉动振幅的 2 倍, 并连续 5 秒钟内不再出现 2 mm 或 2 mm 以上的振幅较为适宜。更大的截止振幅会使大量的小震震级不能测量, 导致 M_D 震级量程缩小; 更小的截止振幅受地脉动或仪器等方面的干扰, 使测量精度变低。

2. 公式选择 由于 $\lg \tau$ 正比于 M 。考虑到其他因素, 一般形式为

$$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau + a_2 \Delta + a_3 h \quad (3-1)$$

式中 a_0, a_1, a_2, a_3 是与尾波衰减、台基和仪器等有关的待定系数。近震范围内 h 的变化量远小于 Δ 的变化量, 在不影响精度的前提下可将 (3-1) 式简化为如下形式

$$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau + a_2 \Delta \quad (3-2)$$

3. 方法 用最小二乘法作两次拟合。第一次用平均震级 M_{L_i} (已作校正) 为初值, 求得各台系数 a_{0i}, a_{1i}, a_{2i} , 然后利用该系数分别计算各地震震级 $M_{D_{ij}}$, 对第 i 个地震第 j 个台求其平均震级 M_{D_i} , 作为无偏震级置换初值 M_{L_i} , 进行第二次最小二乘运算。得到各台的最终拟合系数 a_{0i}, a_{1i}, a_{2i} 。

从资料分析可知, 信号持续时间的长短除与地震大小直接相关外, 并受仪器灵敏度, 台基和区域介质散射特征的影响。如果仅考虑仪器灵敏度而不考虑其他影响, 用一条平均化的拟合方程描述大型台网震级与信号持续时间关系, 则震级精度比 M_i 提高不了多少, 这可能是有些地震学家认为 M_D 不能提高震级精度^[1]的原因所在。

根据北京台网对 395 次地震 ($1.0 \leq M_L \leq 6.2$; $10\text{km} \leq \Delta \leq 600\text{km}$) 利用 14 个稳定工作的地面台站, 计一万多条数据在 $M_x 3541$ 微机上计算结果表明, 用本文所述的方法算得的震级 $M_{D_{ij}}$ 与平均震级 M_{D_i} 的残差小、精度高、使用简便, 勿需作任何校正, 只用少数几个台甚至仅用一个台的数据就可逼近无偏震级, 现将结果列入表 3。

4. 各系数含义 由表 3 可见, a_0 是仪器灵敏度和台基响应的函数(图 6 所示), 灵敏度愈高, a_0 值愈小。同时, 受台基的制约, 即台基校正值 C 为负时, a_0 比正常值偏小(图 6 中符号“○”所示)若台基校正值 C 为正时, a_0 比正常值偏大(符号“×”所示)。

a_1 是一个比较稳定的值(详见表 3), 与仪器灵敏度, 台基和震级大小均无关, 可能是台站附近介质衰减特征的反映。如果这个推断是正确的, 本文认为北京地区介质衰减特征与云南地区有明显差异, 据文献 [5] 的结果

表 3 各台震级方程总表
Table 3 Magnitude equations for different stations

台名	V_0	$\tau < 450s$		$\tau \geq 450s$	
		$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau + a_2 \Delta$	$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau$	$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau + a_2 \Delta$	$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau$
涿 源	3×10^5	$-1.21 + 2.05 \lg \tau + 0.00044 \Delta$	$-1.26 + 2.13 \lg \tau$	$-5.23 + 3.61 \lg \tau + 0.00013 \Delta$	$-5.41 + 3.69 \lg \tau$
南山村	2.5×10^5	$-0.75 + 1.93 \lg \tau + 0.00047 \Delta$	$-0.80 + 2.01 \lg \tau$	$-4.18 + 3.23 \lg \tau + 0.00075 \Delta$	$-4.38 + 3.38 \lg \tau$
上房山	2.5×10^5	$-0.94 + 2.03 \lg \tau + 0.00045 \Delta$	$-0.99 + 2.11 \lg \tau$	$-5.03 + 3.52 \lg \tau + 0.00093 \Delta$	$-5.02 + 3.64 \lg \tau$
承 德	2.5×10^5	$-0.87 + 2.03 \lg \tau + 0.00014 \Delta$	$-0.87 + 2.05 \lg \tau$	$-5.97 + 3.93 \lg \tau + 0.00017 \Delta$	$-6.28 + 4.06 \lg \tau$
喇叭沟	2×10^5	$-0.93 + 2.04 \lg \tau + 0.00037 \Delta$	$-0.95 + 2.10 \lg \tau$	$-3.42 + 3.05 \lg \tau + 0.00014 \Delta$	$-3.55 + 3.12 \lg \tau$
太师屯	2×10^5	$-0.66 + 1.94 \lg \tau + 0.00023 \Delta$	$-0.68 + 1.98 \lg \tau$	$-3.98 + 3.24 \lg \tau + 0.00043 \Delta$	$-4.31 + 3.41 \lg \tau$
马道峪	2×10^5	$-0.71 + 1.94 \lg \tau + 0.00027 \Delta$	$-0.74 + 1.99 \lg \tau$	$-4.59 + 3.39 \lg \tau + 0.00056 \Delta$	$-4.71 + 3.51 \lg \tau$
龙泉寺	2×10^5	$-0.69 + 1.93 \lg \tau + 0.00039 \Delta$	$-0.73 + 2.01 \lg \tau$	$-3.92 + 3.31 \lg \tau + 0.00018 \Delta$	$-3.79 + 3.23 \lg \tau$
涿 鹿	2×10^5	$-0.70 + 1.94 \lg \tau + 0.00035 \Delta$	$-0.75 + 2.02 \lg \tau$	$-3.60 + 3.01 \lg \tau + 0.00078 \Delta$	$-3.40 + 3.01 \lg \tau$
完 县	1×10^5	$-0.93 + 2.16 \lg \tau + 0.00035 \Delta$	$-0.97 + 2.23 \lg \tau$	$-3.24 + 3.03 \lg \tau + 0.00055 \Delta$	$-3.02 + 3.03 \lg \tau$
黄壁庄	1×10^5	$-0.59 + 2.01 \lg \tau + 0.00028 \Delta$	$-0.64 + 2.06 \lg \tau$	$-4.14 + 3.41 \lg \tau + 0.00069 \Delta$	$-4.03 + 3.47 \lg \tau$
张家口	1×10^5	$-0.48 + 1.88 \lg \tau + 0.00046 \Delta$	$-0.58 + 2.01 \lg \tau$	$-2.07 + 2.57 \lg \tau + 0.00076 \Delta$	$-2.33 + 2.79 \lg \tau$
沙 城	1×10^5	$-0.28 + 1.86 \lg \tau + 0.0003 \Delta$	$-0.31 + 1.92 \lg \tau$	$-4.05 + 3.33 \lg \tau + 0.00032 \Delta$	$-4.08 + 3.39 \lg \tau$
昌 黎	5×10^4	$+0.24 + 1.69 \lg \tau + 0.00056 \Delta$	$+0.18 + 1.76 \lg \tau$	$-3.93 + 3.48 \lg \tau + 0.00017 \Delta$	$-3.96 + 3.49 \lg \tau$

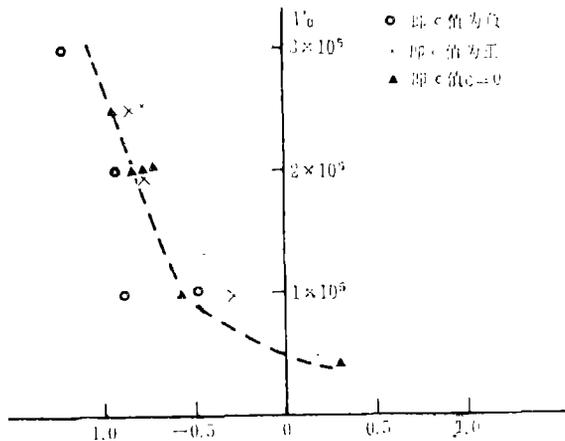


图 6 a_0 与仪器灵敏度和台基响应关系图

Fig. 6 Relation between magnification of seismographs, corrections for station sites and a_0

$$M_D = 0.78 + 1.60 \lg \tau + 0.0011 \Delta \tag{3-3}$$

而与美国中加州地区相似,据文献[2]的结果

$$M_D = -0.87 + 2.00 \lg \tau + 0.0035 \Delta \tag{3-4}$$

北京台网各台震中距的系数 a_2 约在 0.00014—0.00056 之间,表明 Δ 对 M_D 的影响是

微弱的,因此可将公式(3-2)化简为

$$M'_D = a_0 + a_1 \lg \tau \quad (3-5)$$

用上述类似的方法重新求解 a_0 , a_1 值,所求得各台 M'_D 的拟合方程见表 3. 由(3-5)式测得的震级值与(3-2)式的结果相当吻合. 进一步作 M_D 与 Δ 的误差分布, 即对第 i 个地震第 j 个台的震级值 M_{Dij} (含 Δ) 和 M'_{Dij} (忽略 Δ) 对应地求其残差

$$\delta M_{Dij} = M'_{Dij} - M_{Dij} \quad (3-6)$$

并以 δM_{Dij} 对 Δ 作图(图 7) 易见:

- 1) 残差点分布比较集中即离散性甚小;

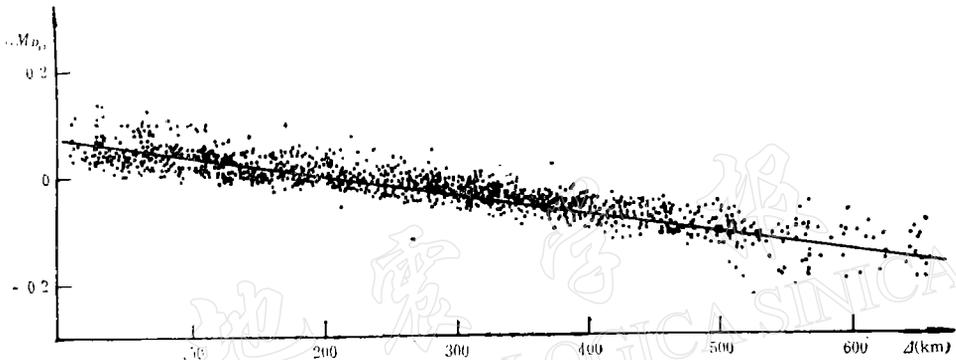


图 7 δM_{Dij} 随 Δ 的变化

Fig. 7 Distribution of residuals δM_{Dij} with epicentral distance Δ

- 2) 误差分布有明显的规律性: 当 $\Delta < 100$ km 时, 简化公式(3-5)比原公式(3-2)所算震级系统偏大约 0.05; 当 $100\text{km} \leq \Delta \leq 300\text{km}$ 时, 二者基本一致; 当 $300\text{km} \leq \Delta \leq 400\text{km}$ 时, M'_{Dij} 偏小 0.05; 当 $\Delta > 400$ km 时, M'_{Dij} 随 Δ 增加而愈来愈小, δM_{Dij} 达到不可忽略的程度. 分析二方程可知, 这是将平面方程(3-2)用直线方程(3-5)逼近时所引起的截断误差或称方法误差. 因此, 方程(3-5)的使用条件是震中距 Δ 需小于 400km, 这一点与有些文章的结论 ($\Delta \leq 500$ km) 并不一致. 本文认为, 为了保证 M_D 的精度, 采用方程(3-2)较宜.

四、误差分析

震级值属随机变量的范畴, 震级残差的标准误差 S 用来评价测量精度的高低, 它的数学期望值 μ 可反映系统偏离程度.

1. M_L 和 M_D 的误差比较 为了便于鉴别, 将二者置于同等条件下, 即对第 i 个地震第 j 个台分别求得相应的振幅震级 M_{Lij} (已作校正) 和持续时间震级 M_{Dij} , 并按公式(2-2) 求出第 i 个地震的平均震级 M_{Li} 和 M_{Di} , 于是各台震级残差的标准误差为:

$$S_j(M_L) = \left(\sum_{i=1}^n (M_{Lij} - M_{Li})^2 / n \right)^{1/2} \quad (4-1)$$

$$S_j(M_D) = \left(\sum_{i=1}^n (M_{D_{ij}} - M_{D_i})^2 / n \right)^{1/2} \quad (4-2)$$

它们的数学期望值为:

$$\mu_j(M_L) = \sum_{i=1}^n (M_{L_{ij}} - M_{L_i}) / n \quad (4-3)$$

$$\mu_j(M_D) = \sum_{i=1}^n (M_{D_{ij}} - M_{D_i}) / n \quad (4-4)$$

计算结果列于表 4。由表 4 可见,在同等条件下, M_D 的测定精度比 M_L 有明显提高,并且系统误差是非常小的。

表 4 不同方法误差对照表

Table 4 Systematic residuals and standard deviations of various methods

台名	公式		M_D			
	M_L (已校正)		$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau + a_2 \Delta$		$M_D = a_0 + a_1 \lg \tau$	
	μ	S	μ	S	μ	S
涿源	-0.033	0.19	0.0098	0.099	0.0125	0.095
南山村	-0.014	0.18	0.0012	0.091	0	0.094
上房山	-0.048	0.18	0.00041	0.090	0.0037	0.089
承德	0.004	0.23	-0.0086	0.13	-0.0093	0.13
喇叭沟	-0.026	0.17	-0.001	0.11	-0.0028	0.11
太师屯	-0.032	0.19	0.0076	0.11	0.0065	0.11
马道峪	0.0037	0.17	-0.0043	0.099	0	0.098
龙泉寺	-0.031	0.18	-0.0049	0.097	-0.0076	0.096
涿鹿	0.033	0.22	0.0043	0.102	0.0065	0.107
沙城	0.028	0.2	0.0037	0.094	0.0043	0.1
完县	-0.019	0.23	0.006	0.12	0.01	0.13
黄壁庄	0.036	0.23	0.0094	0.11	0.015	0.12
张家口	-0.034	0.25	0.0079	0.12	0.0057	0.13
昌黎	-0.03	0.27	0.0023	0.11	0.0031	0.12

图 8 显示了南山村台测定 M_L 和 M_D 的误差分布概况。

2. 抽样检验 表 4 给出了各台 μ 和 S 的点估计值,通常还希望给出误差范围,或称置信区间,即在此区间里包含参数真值的可靠程度。一般采用多次抽样来检验。今随机地选取不同大小,不同地区并未参加上述运算的 23 个地震,以南山村台的数据为例,讨论 M_D 的总体标准误差的置信区间。

当正态总体的标准误差 σ 未知时,根据样本数字特征 S 的概率分布

$$P \left\{ \chi_{1-\alpha/2}^2 (n-1) < \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} < \chi_{\alpha/2}^2 (n-1) \right\} = 1 - \alpha \quad (4-5)$$

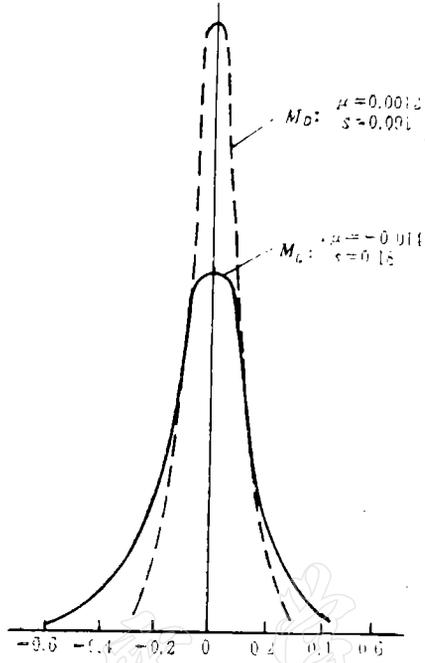


图 8 M_L, M_D 高斯分布图

Fig. 8 Gauss distribution of M_D and M_L .

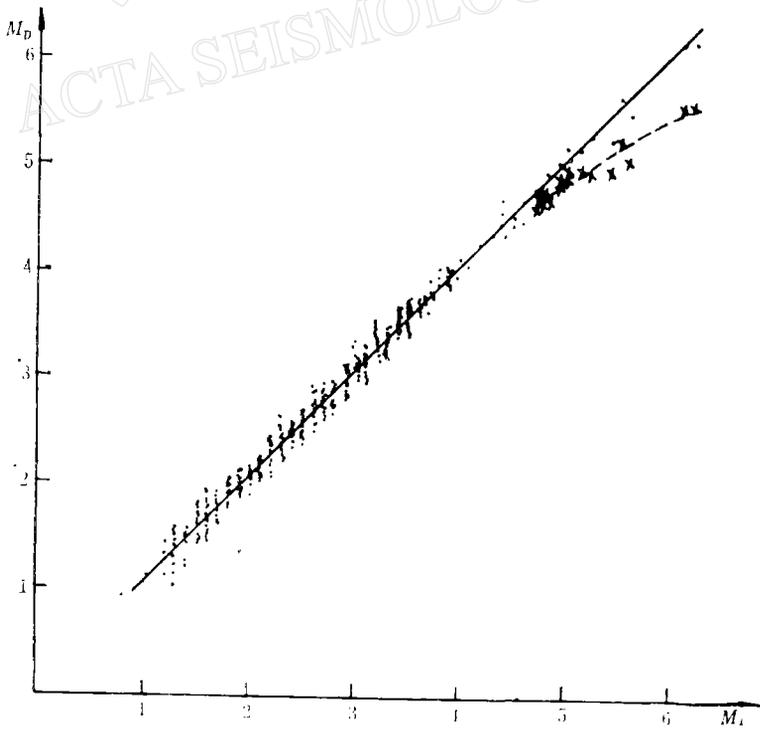


图 9 M_L-M_D 关系图

Fig. 9 Relation between M_L and M_D

经整理后得 σ 的 $100(1 - \alpha)\%$ 置信区间

$$\left(\frac{\sqrt{n-1} S}{\sqrt{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}}, \frac{\sqrt{n-1} S}{\sqrt{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}} \right) \quad (4-6)$$

令 $\alpha = 0.05$ 则 $\alpha/2 = 0.025$, $1 - \alpha/2 = 0.975$, n 为样本个数, $n - 1 = 22$, 查表得 $\chi_{\alpha/2}^2(n-1) = 36.781$, $\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1) = 10.982$, 抽样样本的标准误差 $S = 0.0674$, 代入 (4-6) 式便得到 M_D 的总体标准误差 σ 95% 的置信区间为 (0.053, 0.098), 即估计 M_D 的标准误差在 0.053 与 0.098 之间, 这个估计的可靠程度是 95%。其他台的置信区间也与此相近, 不一一列举。

五、结论和问题

1. 由于测定 M_L 受震源幅射、路径和台基等影响, 其值离散度较大, 并存在系统偏差, 因此, 不同地区、不同台站的量规函数和台基校正值是不同的。若用垂直向仪测定震级的台站, 作仪器分量校正是十分必要的。

2. 采用信号持续时间测定近震震级是一种即简单又稳定的方法, 同时可大大扩展微震仪测定震级的量程, 便于计算机自动测定震级。只要选取合理的震级标准, 根据各台的基本特点(台基、仪器灵敏度等)分别求解各台的震级方程, 可使测量精度和系统偏差有显著改进。

3. 当 $M_L < 4.8$ 时, 信号持续时间的对数 $\lg \tau$ 与 M_D 遵从线性关系; 当 $M_L = 4.8$ 时, 曲线产生拐点(如图 9 中“×”所示)。随着 M_L 的逐渐增大, M_L 与 M_D 之差愈来愈大, 当 $M_L = 6.1$ 时, 各台测得的 M_D 均偏小半级左右, 产生这种饱和现象的原因需作进一步研究。如果将 $M_L \geq 4.8$ 的地震用另一条方程拟合(详见表 3), 可得到令人满意的结果。

本项工作得到秦馨菱和赵仲和的关心和支持, 并仔细地审阅了稿件, 特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Båth, M., Earthquake magnitude-recent research and current trends, *Earth-Science Reviews*, **17**, 315—398, 1981.
- [2] Lee, W. H. K., R. E. Bennett, and K. L. Meagher, A method of estimating magnitude of local earthquakes from Signal duration, *Geol. Surv. Open-File Rep. (U. S.)* 28.
- [3] 中国科学院地球物理研究所, 近震分析, 246—248, 地震出版社, 1977.
- [4] 陈培善、秦嘉政, 量规函数、台站方位、台基及不同测量方法对近震震级 M_L 的影响, *地震学报*, **5**, 87—98, 1983.
- [5] 秦嘉政、陈培善, 用地震波的持续时间测定川滇地区的近震震级, *地震学报*, **6**, 58—64, 1984.
- [6] 高龙生, 尾波研究现状述评, *国际地震动态*, 1985, 1: 9—12.
- [7] 李庆杨、王能超、易大义, 数值分析, 96—102, 华中工学院出版社, 1982.
- [8] 浙江大学数学系高等数学教研组, 概率论与数理统计, 38—126, 228—253, 人民教育出版社, 1979.

A STUDY ON THE METHODS FOR DETERMINING LOCAL MAGNITUDES OF EARTHQUAKES

FU YU, ZHANG HONGZHI, XIE JUNYING and HU ZHEN

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

Abstract

This paper discusses the calibration function used in the formula for determining local magnitude, M_L , of earthquakes and the corrections for station site, instrument component, and the azimuth of the station with respect to the epicenter, on the basis of the data from 395 earthquakes ($1.0 \leq M_L \leq 6.2$; $10 \text{ km} \leq \Delta \leq 600 \text{ km}$) recorded by the Beijing Telemetered Seismic Network during the period of 1978 to 1984. The research also stresses the different methods for the determination of magnitude M_D by signal duration and the associated errors. The results indicate that the magnitude estimation can have a higher precision by using the method proposed in this paper. With signal duration data from only a few stations or even a single station, an unbiased estimate of magnitude can be obtained without any additional correction. It must be pointed out that the signal duration magnitude, M_D , shows a tendency of saturation when the magnitude is greater than 4.8. In that case satisfactory results may be obtained by using another fitting equation with a greater slope.