

中国大陆区域 Lg 震级标度 *

葛焕称 倪岳伟 李敬华 黄才中
李永勤 鹿芬霞 许福喜 蒋耀明

(中国南京 210014 江苏省地震局)

摘要

本文广泛搜集了中国大陆(除新疆、西藏外)地区的短周期地震记录资料, 分五个区测定有关 Lg 波的各物理量。Lg 波初至和最大振幅的群速度分别为 $3.54 \pm 0.02 \text{ km/s}$ 和 $3.30 \pm 0.05 \text{ km/s}$ 。Lg 波的周期在 $0.2 - 1.2 \text{ s}$ 之间, 平均 0.7 s 。Lg 波衰减系数 γ 值各区分别为: 东部 $0.0034 \pm 0.0001 \text{ km}^{-1}$, 西南 $0.0031 \pm 0.0004 \text{ km}^{-1}$, 东北 $0.0027 \pm 0.0004 \text{ km}^{-1}$, 华南 $0.0022 \pm 0.0001 \text{ km}^{-1}$ 和西北 $0.0021 \pm 0.0002 \text{ km}^{-1}$ 。全部平均 $\gamma = 0.0027 \pm 0.0006 \text{ km}^{-1}$ 。并讨论了振幅比 H/Z 、振幅台基校正值 D_z 和 D_b 相互之间, 以及它们与台基性质相互之间的关系。

根据各分区 γ 值分别建立了各分区的 m_{Lg} 震级校准函数, 在此基础上建立了中国大陆(除新疆、西藏外)地区统一的 m_{Lg} (m_{ZH}) 震级校准函数

$$q(\Delta) = \begin{cases} (5/6) \log \Delta + 0.0012\Delta + 1.82 & 100 \text{ km} \leq \Delta < 1100 \text{ km} \\ \log r + 0.0012r + 1.49 & \text{当 } \Delta < 100 \text{ km} \end{cases}$$

$q(\Delta)$ 可推广至新疆地区。

观测结果表明: 使用各 Lg 振幅 (lgz , lgh , m_{xz} 和 m_{zh}) 计算 m_{Lg} 值间的偏差; 统一和分区 m_{Lg} 的台网震级差; 各区内分省测定 m_{Lg} 值之差均小于 0.1 级。在 2—6 级范围内, 中国 m_{Lg} 基本维持了原 M_L (CHN) 的震级水平。

关键词 衰减; 群速度; 振幅比; 场地效应; Lg 震级标度; 中国大陆

一、引言

1973 年 Nuttli 指出在近震距离内, 短周期地震记录上的最大振幅总是 Lg 波。Lg 波被认为是高阶型面波。他将面波振幅随距离的理论衰减模式引入确定 Lg 波的滞弹性衰减系数 γ 值, 并在美国东部建立了具有明确物理意义的近震震级标度 m_{bLg} 。许多作者均遵循 Nuttli 采用了如下波的传播模式

$$A = A_0 \Delta^{\frac{s}{6}} \exp(-\gamma\Delta) \quad (1)$$

* 本研究系地震科学联合基金会资助的课题。

1989 年 2 月 18 日收到本文初稿, 1989 年 12 月 1 日决定采用。

这里 A_0 为源振幅, Δ 为震中距.

使用合理的理论模式的结果, 大大改善了震级校准函数的精度, 并赋予了它明确的物理意义.

(1)式中, 当 Δ 较小时, $\Delta^{-\frac{5}{6}}$ 项起主要作用; 当 Δ 较大时, $\exp(-\gamma\Delta)$ 项起主要作用. 当 γ 很小, 在不大的距离范围内可近似认为 $\log A \propto \log \Delta$. 但 ¹⁴ 尊国等 (1987) 采用 $b\sqrt{\Delta} + C$ 的校准函数形式, 显然偏离理论模式太远了.

葛焕称等(1983)使用综合回归法, 几乎同时 Dwyer *et al.* (1983) 使用类似原理的最小二乘解法, 利用多震 - 多台的振幅数据, 一次解得 γ 值. 葛焕称等(1986)加进台基修正, 进行综合回归的多次迭代, 测定了中国东部六省的 Lg 波 γ 值. 葛焕称等(1987a, 1987b)根据 Herrmann 和 Nuttli(1982) 的 m_{blg} 震级基准点, 提出了中国东部 m_{lg} 标度(分别 Z 和 H 向有 m_{lgz} 和 m_{lgh}); 并根据我国现行使用的 $R_1(\Delta)$ 或 $R_2(\Delta)$ 在 100km 等于 3.4 作为基点, 提出了 m_{max} 标度(分别 Z 和 H 向有 m_{mxz} 和 m_{mxb}). 结果 m_{mxb} 较 m_{lgz} 偏低了 0.36 震级单位, m_{mxb} 比中国东部的原 $M_L(CHN)$ 在 2.5—3.5 级之间平均偏高 0.1—0.2 级, 在约 3.5—5 级之间平均偏高 0.3 级(葛焕称等, 1987b). 结果显示 m_{mxb} 标度与 m_{blg} 和中国原 $M_L(CHN)$ 均不能一致. 此外, 葛焕称等(1986, 1987a)测定 Lg 振幅的方法与 Nuttli 提出的 Lg 波最大持续振幅的测定方法存在着差异. 据此, 葛焕称等(1991a)重新测定了中国东部 19 个地震的全部持续振幅 lg , 修订了东部地区的 γ 值和 m_{lg} 标度. 新的 m_{lg} 标度放弃了中国原 $M_L(CHN)$ 在 100km 处的基点, 而完全采用 Herrmann 和 Kijko(1983)提出的标准 m_{lg} 公式. 由此发现, 修订的东部 m_{lg} 标度在很重要的震级区段内(2.5—5.5 级)与原 $M_L(CHN)$ 基本一致. 即, 修订的中国东部 m_{lg} 标度不仅与美国东部的 m_{lg} (或 m_{blg})一致, 同时又维持了中国原 $M_L(CHN)$ 的历史震级水平.

近年来, 我们对中国大陆(除新疆、西藏外)地区的 Lg 波衰减和 m_{lg} 进行了广泛的研究, 建立了统一的中国大陆(除新疆、西藏外)地区的 m_{lg} 标度¹⁾. 并延伸到近距离(葛焕称 1991). 本文将综述这些成果, 并进一步表明中国 m_{lg} 标度可推广至我国新疆地区.

二、资 料

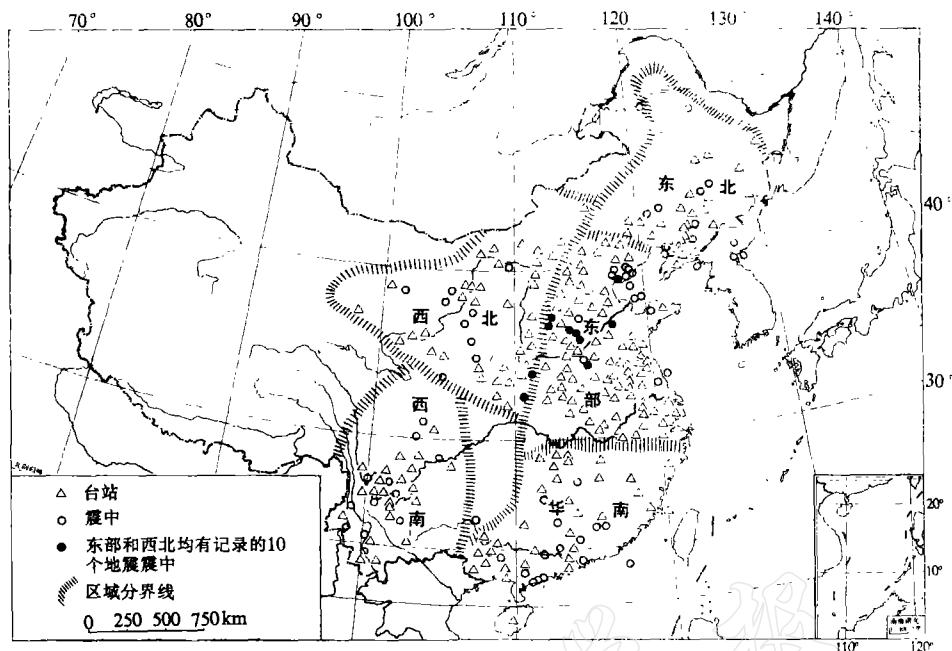
我们共搜集到 97°E 以东的中国大陆地区内 250 个区域台站, 约三百个地震的数千张记录. 根据区域构造特征, 分五个区(东部、华南、西南、西北和东北, 见图 1)进行研究.

记录仪器主要有 DD-1 型短周期笔绘地震仪. 云南和四川省主要是(计算 γ 值时全部用) VGK 光记录短周期地震仪. 其它还有少量的 65 型和 64 型短周期薰烟记录仪器.

计算 γ 值的地震和台站经过严格的挑选. 共选取了 211 个台, 75 个地震. 若重复计东部和西北 10 个、东部和东北 2 个共同的地震, 则共有 87 个地震. 图 1 示出这些地震和台站的位置. 每个地震的平均记录台数 N_e , 东部最多为 31 个, 东北最少为 7 个, 五区平均为 16 个台(见表 3).

在震中距 0.5° 至 10° 范围内, 同时测量了 Z 和 H 向振幅(东北仅有 mxh 振幅资料). H 向振幅一律取 NS 和 EW 向的算术平均值. Z 和 H 向两套完全独立的地震记录, 各自计算出 Lg 波 γ 值, 这有利于相互印证.

1) 葛焕称等, 中国大陆(除新疆、西藏)区域震级标度— m_{lg} , 地震科学联合基金最终成果报告, 1988.

图1 中国大陆的分区.计算 γ 值的 75 个地震震中和 211 个台站位置分布图

三、Lg 波的群速度和周期

我们分别测定了 Lg 波初至和 Lg 波群的最大振幅 max 的群速度 V , 以及 Lg 波最大持续振幅 lg [Nuttli 定义为在群速度 3.55 至 3.30km/s 之间的第三大振幅(葛煥称等, 1991a)] 和振幅 max 的周期 T . 各区的测定结果列于表 1. 由表看出, 各区的 Lg 波初至群速度在 3.52–3.56 km/s 之间, 平均为 3.54 ± 0.02 km/s. 五区平均单台 Lg 走时观测值标准差 S , 为 2.4s. max 的群速度四区(缺东北)平均为 3.30 ± 0.05 km/s, 单台速度观测值标准差 S , 为 0.21km/s. 表 1 中振幅 lg 和 max 的平均周期约为 0.7s 左右, 周期范围在 0.2–1.2s 之间.

表1 中国各区的Lg 波群速度和周期

区 域	Lg			lg			max						N
	V		S	T		S	V		S	T		S	
	V (km/s)	S (s)	n	T (s)	S (s)	n	V (km/s)	S (km/s)	n	T (s)	S (s)	n	
东部	3.54	2.0	555	0.64	0.19	1677	3.27	0.20	1634	0.71	0.18	1677	19
西北	3.56	2.9	302	0.71	0.19	982	3.34	0.19	895	0.74	0.20	983	19
华南	3.54	2.0	264	0.72	0.16	614	3.33	0.15	747	0.76	0.18	614	16
西南	3.52	2.6	323	0.66	0.26	1036	3.24	0.30	969	0.69	0.27	1036	20
东北	3.52	2.3	203							0.64	0.29	469	27
五区	3.54 ± 0.02	2.4	1647	0.68 ± 0.04	0.20	4309	3.30 ± 0.05	0.21	4245	0.71 ± 0.05	0.22	4779	101

注: S_v , S_v , S 分别为走时、速度、周期的标准差, n 为数据组数, N 为地震数.

四、Lg 波的振幅比、台基校正值和场地效应

关于 Lg 波振幅的各种测量方法, 葛焕称等 (1991a) 已作过详述。这里仅讨论 Lg 波的最大持续振幅 $\lg (A_{lg})$ 和 Lg 波群的最大振幅 $\max (A_{max})$ 。

我们计算了五区 207 个台的水平向与竖直向振幅比 $\log (H/Z)$ 值以及 \max 与 \lg 振幅比 $\log (A_{max}/A_{lg})$ 值。表 2 列出了中国各区的数值, 最后一栏为五区的平均结果。表中 $\log (A_{max}/A_{lg})$ 值为 Z 向和 H 向的平均结果, 四区(缺东北) 平均值为 0.16, $\log (H/Z)$ 为 \lg 和 \max 振幅的平均结果, 五区平均为 0.12。

因为 H/Z 值与台基性质有很密切的关系, 故分别花岗岩(包括片麻岩)类台基, 松散沉积台基和其它(主要是沉积岩)岩类台基进行了统计, 结果亦列于表 2。这三类台基的五区平均 $\log (H/Z)$ 值分别为: 花岗岩 0.05、沉积岩 0.11、松散沉积 0.50。结果说明, 愈软的台基, H/Z 值愈大。

表 2 中国各区的 Lg 波振幅比

$\log (A_{max}/A_{lg})$	东部				西北				华南				西南				东北				五区							
	\bar{X}	S	N_s	n	\bar{X}	S	N_s	n	\bar{X}	S	N_s	n	\bar{X}	S	N_s	n	\bar{X}	S	N_s	n	\bar{X}	S	N_s	n				
	0.15	0.13	80	1075	0.12	0.10	51	550	0.15	0.08	31	409	0.24	0.18	59	654							0.16	0.13	221	2688		
$\log (H/Z)$	全部台	0.13	0.21	80	1659	0.10	0.18	47	488	0.07	0.15	31	408	0.13	0.18	59	648	0.09	0.19	27	147	0.12	0.19	244	3350			
	花岗片麻岩	0.04	0.13	12	290	0.05	0.18	20	194	0.04	0.11	10	86	0.06	0.19	7	86	0.07	0.16	18	86	0.05	0.15	67	742			
	松散沉积岩	0.55	0.19	10	147	0.23	0.17	4	30												0.61		1	1	0.50	0.19	15	178
	其它(沉积岩)	0.10	0.18	58	1222	0.12	0.17	21	260	0.07	0.17	21	322	0.14	0.18	52	562	0.11	0.22	8	60	0.11	0.18	160	2426			

注: \bar{X} 为平均值, S 为观测值标准差, N_s 为台站数, n 为振幅组数, H 为 NS 和 EW 向振幅的算术平均值。

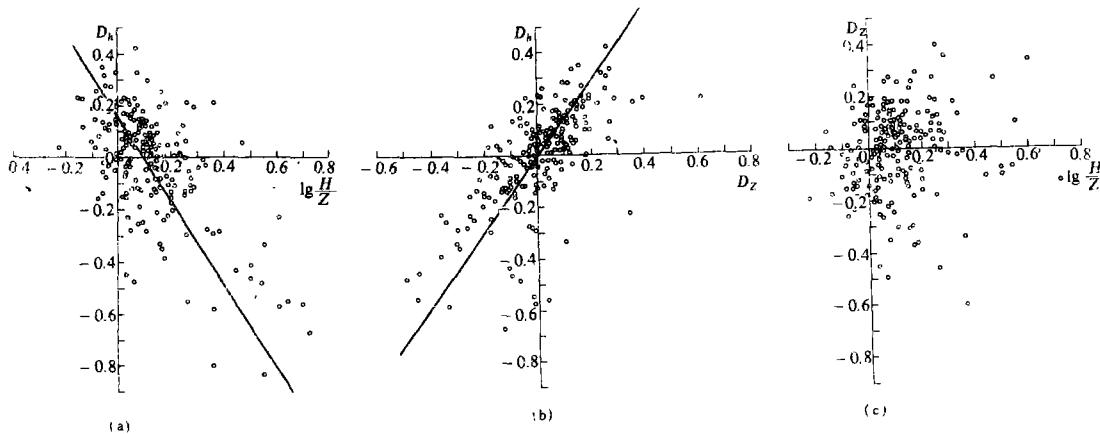


图 2 (a) $\log (H/Z)$ - D_h 图; (b) D_z - D_h 图; (c) $\log (H/Z)$ - $\lg H/Z$ 图

通过多次综合回归迭代方法得到 211 个台 $\log A$ 值的台基校正值, 分别 Z 和 H 向记为 D_z 和 D_h . 对 207 个台作出 $\log (H/Z) - D_h$, $D_z - D_h$ 和 $\log (H/Z) - D_z$ 图(图 2). 由图 2 看到, 前两个图呈明显的线性关系, 而 $\log (H/Z) - D_z$ 的点子分布十分离散, 相关系数仅为 0.08.

对 $D_z - D_h$ 和 $\log (H/Z) - D_h$ 作正交回归计算, 得到关系式:

$$D_h = -0.01 + 1.43D_z \quad s=0.10 \quad R=0.70 \quad (2)$$

$$D_h = 0.15 - 1.59 \log (H/Z) \quad s=0.11 \quad R=0.62 \quad (3)$$

这里 s 为正交标准差, R 为相关系数. 上述的结果与东部六省的结果(葛焕称等, 1991b)是相近的.

利用表 2 中五区平均的 $\log (H/Z)$ 值, 通过(2)和(3)式, 分别得到松散沉积、花岗岩和沉积岩台基的 $D_h = -0.65, 0.07$ 和 -0.02 , $D_z = -0.45, 0.04$ 和 -0.01 . 该结果反映了台基校正值和台基性质的一般关系, 与东部六省的结果(葛焕称等, 1987a; 1991b)是一致的.

五、Lg 波的 γ 值

利用多震多台的综合回归方法, 分别测定了中国五个区的 Lg 波 γ 值. 表 3 总结了中国各区平均 $0.7s$ lgz, lgh, mxz, mxh 振幅的 γ 值测定结果. 在一个分区内, 四种 Lg 振幅的 γ 值接近相等, 因此取它们的算术平均值作为 Lg 波 γ 值. 由关系: 介质品质因子 $Q = \pi / VT\gamma$, 可得 lg 和 max 的 Q 值, 两者很接近. 取其平均作为 Lg 波 Q 值. 各区 Q 值的计算结果亦列于表 3. 由表 3 看到: 东部和西南, 西北和华南的 γ (或 Q) 值均很接近相等, 其差在误差范围内. 前两区为高 γ (或低 Q) 值区, 后两区为低 γ (或高 Q) 值区. 东北区居中. 五区平均 $\gamma = 0.0027 \pm 0.0006 \text{ km}^{-1}$, $Q = 500 \pm 110$.

表 3 中国各区的 Lg 波 γ 和 Q 值

区 域	lgz		lgh		mxz		mxh		平均		Q	N	N_s	N_e
	$\gamma (\times 10^{-3} \text{ km}^{-1})$	n	$\gamma (\times 10^{-3} \text{ km}^{-1})$	Σn										
东部	3.31 ± 0.11	546	3.42 ± 0.11	561	3.41 ± 0.10	568	3.29 ± 0.10	587	3.4 ± 0.1	2262	403 ± 12	19	80	31
西北	2.18 ± 0.16	269	2.06 ± 0.13	332	2.15 ± 0.15	269	1.84 ± 0.13	332	2.1 ± 0.2	1202	599 ± 56	19	51	17
华南	2.16 ± 0.16	204	2.07 ± 0.14	205	2.25 ± 0.16	204	2.21 ± 0.14	205	2.2 ± 0.1	818	562 ± 26	16	31	13
西南	3.26 ± 0.35	116	2.83 ± 0.29	116	3.72 ± 0.39	116	2.63 ± 0.34	116	3.1 ± 0.4	464	445 ± 57	12	22	16
东北					3.02 ± 0.32	146	2.42 ± 0.26	157	2.7 ± 0.4	303	550 ± 81	21	27	7
五区									2.7 ± 0.6	5049	500 ± 110	87	211	16

注: n 为观测振幅数, N 为地震数, N_s 为台站数, N_e 为每个地震的平均记录台数.

六、中国大陆 m_{Lg} 震级标度

1. 震级校准函数

Herrmann 和 Kijko(1983)推荐的 Lg 震级标准化公式可写成如下形式:

$$m_{Lg}(f) = \log A_{Lg} + (5/6) \log \Delta + 0.4343 \gamma \Delta + 2.10 \quad (4)$$

这里, A_{Lg} 为 Z 向 Lg 波最大持续振幅, 以 μm 为单位; Δ 为震中距, 以 km 为单位; f 为波的频率. 从上式, 并利用中国各区 γ 值、振幅比 $\log (A_{max}/A_{Lg})$ 和 $\log (H/Z)$ 值(表 3, 表 2),

得到各区分别利用振幅 lgz , lgh , mxz , mxh 的分区 m_{lg} 公式. 其震级校准函数可统一写成如下形式:

$$q_{region}(\Delta) = (5/6)\log\Delta + K\Delta + C \quad 50\text{km} < \Delta < 1100\text{km} \quad (5)$$

这里常数 K ($= 0.4343\gamma$) 和 C 值, 见表 4.

取各区 K 和 C 的平均值作为全国统一的 K 和 C , 列于表 4 的最后一行.

从远距离到近距离, Lg 波列将从典型的面波转变为典型的体波(直达 S 波). 这种波型转变的临界距离约为 100km. 在约 100km 以内, 体波的几何扩散系数为 1, 据此得到在约 100km 内利用直达体波 S 估测 m_{lg} 的公式(葛焕称, 1991).

鉴于中国各地震机构均常规测定水平向最大振幅 A_{max} , 故我们规定利用 A_{max} 作为测定 m_{lg} 的常规方法. 最后取得 Δ 分别大于和小于 100km 时的中国统一 $m_{lg}(mxh)$ 震级校准函数:

$$q(\Delta) = \begin{cases} (5/6)\log\Delta + 0.0012\Delta + 1.82 & 100\text{km} \leq \Delta < 1100\text{km} \\ \log r + 0.0012r + 1.49 & \text{当 } \Delta < 100\text{km} \end{cases} \quad (6)$$

这里 Δ 为震中距, r 为震源距, 单位均为 km.

表 4 $q_{region}(\Delta) = (5/6)\log\Delta + K\Delta + C$, $50\text{km} < \Delta < 1100\text{km}$

区域	校准函数	K	C			
			lgz	lgh	mxz	mxh
东部	q_e	0.00147	2.10	1.97	1.94	1.81
西北	q_{nw}	0.00091	2.10	2.00	1.98	1.88
华南	q_s	0.00096	2.10	2.03	1.95	1.88
西南	q_{sw}	0.00135	2.10	1.97	1.86	1.73
东北	q_{ne}	0.0012			1.90	1.81
统一	q	0.0012	2.10	1.99	1.93	1.82

震级公式为

$$m_{Lg}(mxh) = \log A_{max} + q(\Delta) + D_h \quad (7)$$

这里 A_{max} 以 μm 为单位, 当 Δ 约大于 100km 时, A_{max} 指 Lg 波最大振幅; 当 Δ 约小于 100km 时, A_{max} 则指直达 S 波最大振幅. 但当 M 面强反射波 S_{II} 尖脉冲出现时, 为了排除它的影响, 必须测量 S 波群第三大振幅, 即最大持续振幅作为 A_{max} (葛焕称, 1991).

当 $\Delta=r=100\text{km}$ 时, (6-1) 式等于 (6-2) 式. 在 $\Delta=r=45-200\text{km}$ 之间, 由 (6-1) 式和 (6-2) 式计算的 $q(\Delta)$ 值之差恒小于 0.05.

从 (7) 式可见 $\log A_{max}$ 的台基校正值 D_h , 即为 $m_{Lg}(mxh)$ 的震级台基校正值. 当利用振幅 A_{lg} , A_{lh} 或 A_{mz} 时, 则需将 $q(\Delta)$ 式中的常数项分别加上 0.28, 0.17 或 0.11, 并对于 Z 向振幅, 需将 (7) 式中的 D_h 改成 D_z . 不同 A 测定的各 m_{Lg} 值之差一般均小于 0.1 级.

利用统一 $q(\Delta)$ 计算的 m_{Lg} , 我们称为统一 m_{Lg} ; 利用分区 $q_{region}(\Delta)$ 计算的 m_{Lg} , 我们称为分区 m_{Lg} . 使用统一 m_{Lg} 代替各分区 m_{Lg} , 有利于全国统一测定. 由此引起的台网震级差, 以及约在 500km 以内的单台震级差, 一般均小于 0.1 级.

$q(\Delta)$ 及各区 $q_{region}(\Delta)$ 曲线见图 3, 图中 $q_e(\Delta)$, $q_{nw}(\Delta)$, $q_s(\Delta)$, $q_{sw}(\Delta)$ 和 $q_{ne}(\Delta)$ 分别表示东部、西北、华南、西南和东北的 $q_{region}(\Delta)$. 图 3 中同时绘出中国现行使用的校准函数 $R_1(\Delta)$ 和 $R_2(\Delta)$ 的点子¹⁾. 由图看出, $q(\Delta)$ 位于 $R_1(\Delta)$ 和 $R_2(\Delta)$ 之间, 并且 $q(\Delta)$ 与

1) $R_1(\Delta)$ 原规定适用于短周期记录, $R_2(\Delta)$ 适用于中长周期记录. 但有少部份省地震局将 $R_1(\Delta)$ 用于短周期记录.

$R_1(\Delta)$ 约相交于 250 km 附近。这种情况将大大有利于新的 m_{Lg} 标度基本保持了原 M_L (CHN) 的震级水平。当 $\Delta < 100$ km 时, 震源深度 h 分别为 0, 10, 20 km 的 $q(\Delta)$, 以及 $R_1(\Delta)$ 和 $R_2(\Delta)$ [在 120 km 以内 $R_1(\Delta)$ 等于 $R_2(\Delta)$] 表示在图 3 的插图中。

(5), (6) 和 (7) 式适用于 0.5° 至 10° 范围内的中国各种短周期笔绘地震仪记录, 但是对于光记录短周期 VGK 仪器则需作 -0.21 级的仪器校正。

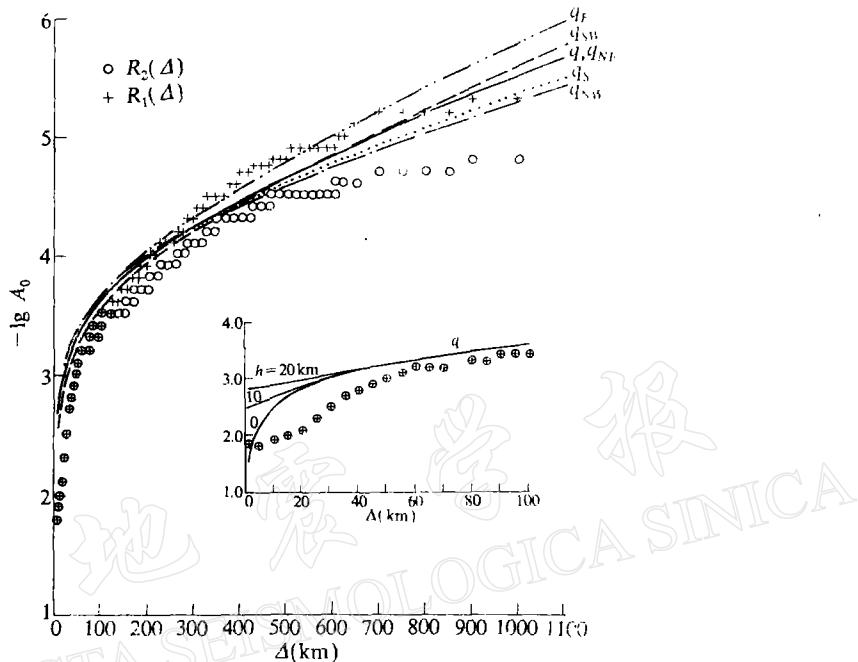


图 3 中国 m_{Lg} 震级校准函数曲线

2. 在 2–6 级范围 m_{Lg} 基本维持了原 M_L (CHN) 的震级水平

原中国 M_L (CHN) 震级标度较为混乱, 大部份地区使用 $R_1(\Delta)$, 少部份地区使用 $R_2(\Delta)$, 仅云南地区使用 $R(\Delta)$ 。 $R_1(\Delta)$, $R_2(\Delta)$ 和 $R(\Delta)$ 与 $q(\Delta)$ 或 $q_{region}(\Delta)$ 的偏离决定了单台观测的 M_L (CHN) 与 m_{Lg} 之间的偏差。最大偏离在 1000 km 处, $R_2(\Delta)$ 较 $q_L(\Delta)$ 约低 1 级。

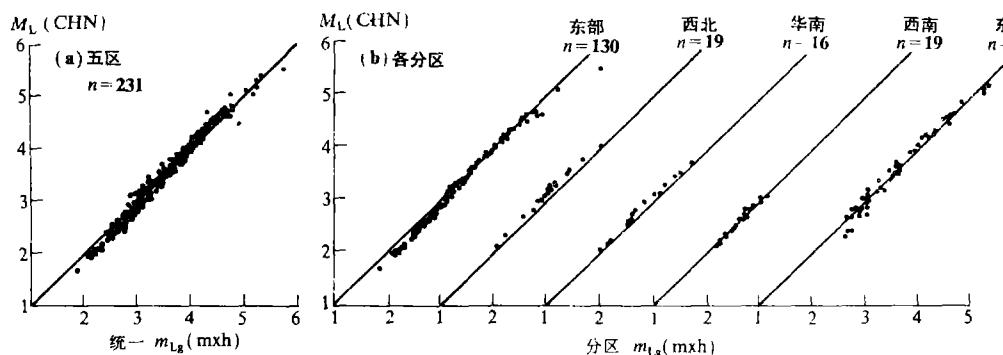


图 4 m_{Lg} (mxh)- M_L (CHN) 关系图

但所幸的是, 许多不同距离台站观测值的平均——台网震级将可能大大减小上述的

单台偏差。为了证明这个估计,我们计算了231(包括东部130,西北19,华南16,西南19和东北47)个地震的 $M_L(\text{CHN})$ 值¹⁾。

图4a表示五个区的“统一 $m_{Lg}(mxh)$ - $M_L(\text{CHN})$ ”关系,图4b表示各个区的“分区 $m_{Lg}(mxh)$ - $M_L(\text{CHN})$ ”关系。由图看到,在约2-6级范围内的全部点子均基本上分布于 $m_{Lg}(mxh)=M_L(\text{CHN})$ 直线附近,其偏离一般在±0.1级以内。因此,统一 m_{Lg} 标度以一种最佳的方式巧妙地维持了原 $M_L(\text{CHN})$ 的震级水平。

3. 误差分析

(1) $\log A$ 的标准差 μ 根据五个区综合回归结果,Z向振幅(lgz 和 mxz)的 μ 值为0.22,作台基校正后减为0.17;H向振幅(lgh 和 mxh)的 μ 值为0.25,作台基校正后减为0.16。各分区的 μ 值略有上下,其大小反映了该区台站观测和振幅测量的平均质量,该值愈小愈好。结果表明,华南和东部的记录质量最好,东北最差。

仍以 $m_{Lg}(mxh)$ 为例。图5表示从全国75个地震的1397组 mxh 数据得出的震级残差 Dm_{ij} 随震中距 Δ 的分布。由图看到,当不作台基校正时, Dm_{ij} 的点子很离散,最大可达1级左右(图5a)。当作台基校正后, Dm_{ij} 分布向零线明显集中(图5b), μ 值从0.25减小到0.16震级单位,并看到, Dm_{ij} 随 Δ 呈均匀分布关系。

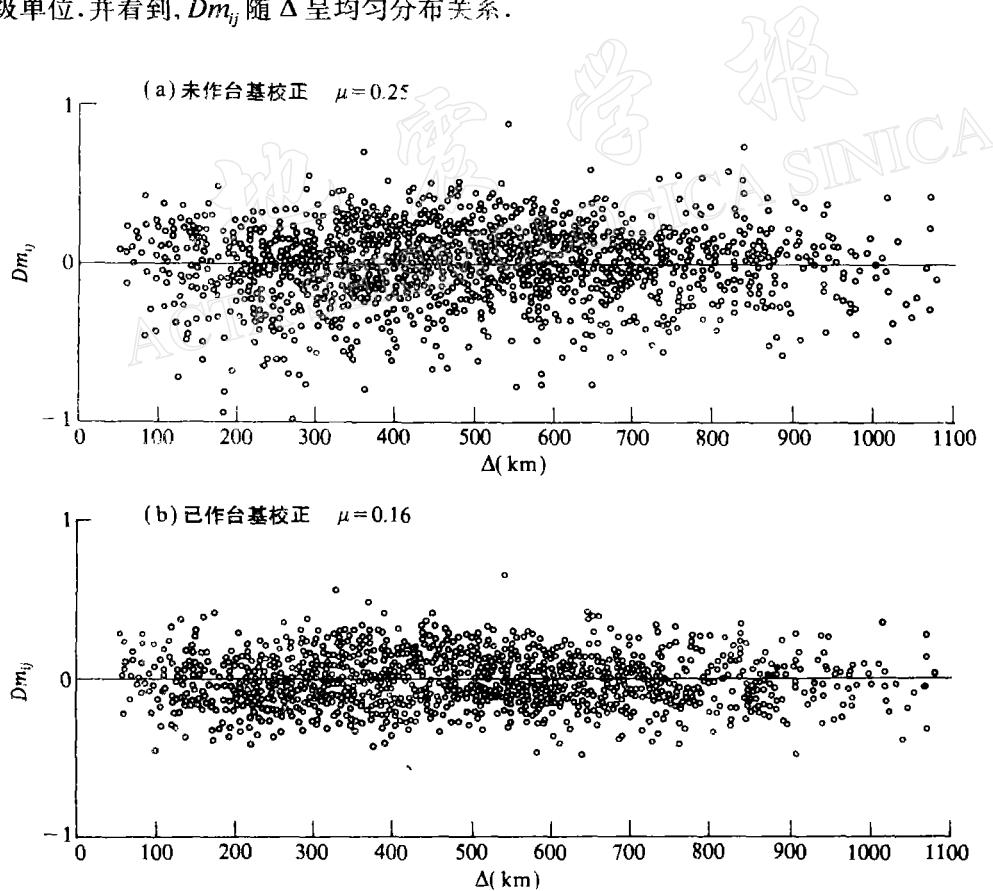


图5 $m_{Lg}(mxh)$ 震级残差随震中距分布

1)除云南省的地震使用 $R(\Delta) = 0.43 + 1.49 \log \Delta$ 外,其它地区均统一使用 $R_i(\Delta)$ 计算 $M_L(\text{CHN})$,振幅一律用 A_{mxh} 。

(2) 震级标准差 从(4)式, 单台 m_{Lg} 值标准差为

$$\sigma = \sqrt{\mu^2 + (0.4343\Delta\sigma_\gamma)^2} \quad (8)$$

这里 σ_γ 是 γ 值的标准差.

当满足条件: $(0.4343\Delta\sigma_\gamma)^2 \ll \mu^2$ 时, 有 $\sigma \approx \mu$. 对于分区 m_{Lg} , 东部、西北和华南的 $\sigma_\gamma = 0.0001 - 0.0002$, 在约 1000km 范围内均能满足这个条件. 因此, 最小 σ 值为 0.13(华南区). 西南和东北的 $\sigma_\gamma (= 0.0004)$ 较大, 在 1000km 处, σ 值可达 0.24 震级单位.

对于统一 m_{Lg} , 取五区平均 $\gamma (= 0.0027 \text{ km}^{-1})$ 与某区 γ 值之差, 加区域的 σ_γ 值, 作为 σ_γ 的最大估计值, 这样算得的东北区 σ 值最小, 为 0.17, 西南区 σ 值最大, 在 1000km 处达 0.39 震级单位.

对于 n 个台观测的台网(平均) m_{Lg} 震级标准差为

$$\sigma_n = \sqrt{(\mu/\sqrt{n})^2 + (0.4343\bar{\Delta}\sigma_\gamma)^2} \quad (9)$$

这里, $\bar{\Delta}$ 为 n 个台的平均震中距. 由上式看出, σ_n 与 μ, σ_γ, n 和 $\bar{\Delta}$ 均有关.(9)式与葛焕称等(1987a)文中的(12)式是一致的.

对 87 个地震的计算结果表示, 分区 m_{Lg} 的 σ_n 自 0.03 到 0.18, 一般在 0.1 级以下; 统一 m_{Lg} 的 σ_n 自 0.08 至 0.32, 一般在 0.1—0.2 级之间.

(3) 各 m_{Lg} 测定值偏差估计 根据 5 个区内 87 个地震的测定结果显示: 对于统一 m_{Lg} , 由四种 Lg 振幅计算的台网 m_{Lg} 值之间的差; 各区内 m_{Lg} 分省测定值之差; 以及统一与分区 m_{Lg} 的台网震级差, 一般均小于 0.1 级. 对于分区 m_{Lg} , 前两项差值还要小些.

七、讨 论

1. $q(\Delta)$ 可推广至新疆地区

蒋耀明和葛焕称(1989)将 Jin 和 Aki (1988)得出的中国地区 1Hz 尾波 Q_c 等值线图与中国大陆 Lg 波 Q 值分布图相比较, 发现两者大体是吻合的. 新疆地区主要分布 $Q_c = 400 - 600$ 的等值线, 其平均 Q_c 值显然与全国平均 Lg 波 $Q = 500$ 的数值相近. 西藏地区的 Q_c 仅约为 100 左右. 故可推断, 本文得到的 $q(\Delta)$ 可推广至新疆地区, 但不适用于西藏地区, 即 $q(\Delta)$ 可适用于除西藏的整个中国大陆地区.

2. 地区平均台基性质对震级水平的影响

第四节曾指出台基性质与台基校正值的关系. 但是必须注意到, 某台的台基校正值是相对于该地区的平均台基性质而言的. 从表 2 看到, 在中国东部和西南区, 沉积岩台基占绝大多数; 华南区的沉积岩约是花岗岩类台基的一倍; 西北区两者约相等; 东北区的花岗岩类为沉积岩类台基的 2.3 倍. 全国的松散沉积台基很少, 仅东部 10 个, 西北 4 个和东北 1 个. 因此, 所谓台基校正, 对于东部、西南及华南就是将各类台基的地动振幅校正到沉积岩的平均振幅水平上, 东北区基本上是校正到花岗岩类的平均振幅水平上, 而西北区却是以花岗岩和沉积岩类的平均振幅水平作为基准. 我们以上作 $\log(H/Z)$ - D 关系统计时, 实际上是忽略了这种区域振幅水准的变化. 我们的统计结果表明: 花岗岩类台基比沉积岩类台基的振幅水平低, 对 H 向要小 0.09 震级单位, 对 Z 向小 0.05 震级单位. 这就使得我们以上建立的 m_{Lg} 标度, 东北相对东部、西南和华南区 H 向和 Z 向的 m_{Lg} 水平要分别约低 0.09 和 0.05 级. 西北区居中.

3. 东部和西北的地区震级差

在东部和西北地区的边界附近有 10 个地震(图 1 中黑点所示)同时被两个地区的台站观测到。它们提供了研究两大区 m_{Lg} 标度关系的极好基础资料, 使用分区 m_{Lg} 标度是能较合理地反映两个区的区域差别的。

我们用分区 $m_{Lg}(mxh)$, 得到东部和西北台网的 m_{Lg} 之差, 列于表 5 第 2 列, 清楚地看到, 东部区 m_{Lg} 全部高于西北区 m_{Lg} , 其差值在 0.3—0.6 级之间, 平均为 0.39 级。如果我们使用统一 m_{Lg} , 那么东部和西北的 m_{Lg} 之差, 其平均差下降至 0.18 级, 仍然全部为正值。东部相对西北由于地区平均台基性质引起的 $m_{Lg}(mxh)$ 震级差估计为 0.05 级, 那么对于分区 m_{Lg} 仍有 0.34 级, 对于统一 m_{Lg} 仍有 0.13 级的地区震级差。

表 5 东部和西北共同 10 个地震的地区震级差

地 震 号	震级差(东部 - 西北)	
	分区 $m_{Lg}(mxh)$	统一 $m_{Lg}(mxh)$
1	0.47	0.32
2	0.41	0.15
4	0.62	0.37
6	0.31	0.02
8	0.48	0.26
10	0.34	0.17
12	0.25	0.04
13	0.42	0.31
14	0.27	0.05
17	0.32	0.12
平均差	0.39	0.18
S. D.	0.11	0.13

这个地区震级差似乎不大可能是由计算 γ 值的偏低引起的。另外, 从这些地震得出的震源机制上半球投影图(略)看出, 东部和西北两区的台站相对于两个节面的方位没有确定的关系。这又排除了可能由地震波辐射的方向性引起的原因。那么, 剩下的两种可能原因: 一是东部和西北区的区域构造差异, 蒋耀明等 1989 年已作了详细的分析; 二是两区标定仪器放大倍率的系统差, 此点尚缺乏资料, 这里不能作明确的说明。

八、结语

鉴于中国地区辽阔, 存在区域 γ 值差异, 故建立了 5 个区的分区 m_{Lg} 标度。为了便于 m_{Lg} 的统一测定, 又建立了全国统一 m_{Lg} 标度。由此引起的震级差一般约不超过 0.1 级。据此得出结论: 在中国大陆(除西藏)地区, 使用统一 m_{Lg} 是可行的。

基于标准 m_{Lg} 公式建立的中国统一 m_{Lg} 标度, 自然与美国的 m_{bLg} 标度基本一致。而 m_{bLg} 约等同于里氏的原始 M_L 标度(Herrmann and Nuttli, 1982), 故中国统一 m_{Lg} 亦应基本上等同于原始 M_L 标度。此外, 本研究表明: 在 2—6 级范围内, 中国统一 m_{Lg} 基本保持了正在使用的中国 $M_L(CHN)$ 的历史震级水平。并且, 中国统一 m_{Lg} 在 10° 范围内的震级测定值是较为均匀的 [$M_L(CHN)$ 是不均匀的]。所以, 中国统一 m_{Lg} 是一种较为理想的震级标度。

美国采用 Z 向 Lg 波最大持续振幅 A_{lgz} 测定 m_{blg} , 该振幅的测量方法较麻烦. 我国传统使用水平向记录的最大振幅测定 M_L (CHN). 综合这两种方法, 采用了 Lg 波群最大水平向振幅 A_{max} 来计算 m_{Lg} . A_{max} 既与我国传统的最大振幅基本一致, 且 A_{max} 与 A_{lgz} 的衰减系数相同, 因此使用 A_{max} 便于调和 m_{blg} 与 M_L (CHN) 两种标度.

徐元耀、鲁宗良、拾礼勤、高则明、姚宏、方家福、王铮铮和张锁喜参加了部分工作. 冀、鲁、豫、皖、苏、浙、沪、晋、蒙、陕、甘、宁、青、湘、粤、桂、赣、闽、云、贵、川、辽、吉、黑等, 24 个省市地震局资料室提供了大量珍贵的地震资料, 一并谨此致谢.

参 考 文 献

- 葛焕称、黄才中、叶培元、陈静巧, 1983. 江苏及其邻近地区 Lg 波的衰减和 m_{blg} 的初步测定. 地震地磁观测与研究, 4, 11—14.
- 葛焕称、黄才中、叶培元、陆振飞, 1986. 综合回归分析与中国东部六省地区 Lg 波衰减的测定. 地震学报, 8, 367—381.
- 葛焕称、黄才中、叶培元、陆振飞, 1987a. 中国东部六省的 Lg 震级(上)—测定方法和结果. 地震学报, 9, 37—51.
- 葛焕称、陆振飞、黄才中、叶培元, 1987b. 中国东部六省的 Lg 震级(下)—震级关系. 地震学报, 9, 376—383.
- 葛焕称, 1991. 近距离 m_{Lg} 的测定. 漯阳地震工作文集, 地震出版社, 北京.
- 葛焕称、倪岳伟、黄才中、李永勤, 1991a. 中国东部六省的修订 m_L 标度. 地震学报, 13, 171—178.
- 葛焕称、黄才中、倪岳伟、李永勤, 1991b. 中国东部六省 Lg 波振幅比和台站项. 地震学报, 13, 281—286.
- 蒋耀明、葛焕称, 1989. Lg 波衰减与中国大地构造特征关系分析. 八十年代中国地球物理学进展——纪念傅承义教授八十寿辰, 307—317. 学术书刊出版社, 北京.
- 严尊国、薛军蓉, 1987. 中国近震震级综述. 中国地震, 3, 4, 44—51.
- Dwyer, J. J., Herrmann R. B., and Nuttli O. W., 1983. Spatial attenuation of the Lg wave in the central United States. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 73, 781—796.
- Herrmann, R. B. and Nuttli O. W., 1982. Magnitude: the relation of M_L to m_{blg} . *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 72, 389—397.
- Herrmann, R. B. and Kijko A., 1983. Short-period Lg magnitudes: instrument, attenuation, and source effects. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 73, 1835—1850.
- Jin, A. and Aki, K., 1988. Spatial and temporal correlation between coda Q and seismicity in China. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 78, 741—789.
- Nuttli, O. W., 1973. Seismic wave attenuation and magnitude relations of eastern North America. *J. Geophys. Res.*, 78, 876—885.