

中国东部六省 Lg 波振幅比 H/Z 和台站项

葛焕称 黄才中 倪岳伟 李永勤

(中国南京 210014 江苏省地震局)

摘要

根据中国东部六省 80 个台的约 1Hz Lg 波振幅资料得出, Lg 波水平与竖直分量之比 $\lg H/Z$ 值平均为 0.13. 对于松散沉积、花岗岩和沉积岩类台基, $\lg H/Z$ 值分别平均为 0.55, 0.04 和 0.10. 对此三类台基, 水平向振幅台站项 C_h , 分别平均为 0.65, -0.09 和 0.00; 竖直向振幅台站项 C_z 分别为 0.32, -0.04 和 0.00. C_h , C_z 和 $\lg H/Z$ 间存在关系 $C_h = 0.01 + 2.10 C_z$ 和 $C_h = -0.15 + 1.46 \lg H/Z$.

关键词 Lg 波; 振幅比 H/Z ; 台站项; 中国

一、引言

在近震距离内, 地震烈度分布系由 Lg 波振动对地面的影响形成的^[1]. 局部的场地条件将会引起烈度的异常. 葛焕称等^[2]与 Gupta 和 McLaughlin^[3]的研究指出: Lg 振幅与地震台台基的软或硬的程度存在着联系. 近十年来, Street, Gupta 和 Toro 等^[3-6]对 Lg 波水平与竖直分量振幅比 H/Z 进行了一系列的研究, 并发现 H/Z 值与台基性质有关. 因之, H/Z 与 Lg 振幅的台站项(或台校值)亦相关. 上述研究对于估计各种场地条件对地震的影响将是有益的.

笔者的前文^[7]中, 测定了中国东部六省地区 80 个台三分向 DD-1 短周期仪器记录 19 个地震约 1 秒 Lg 波的四种振幅. 本文将根据这些资料测定 80 个台的 H/Z 值, 台站项 C_h 和 C_z , 并分析它们相互之间及其与台基的关系.

二、东六省的 H/Z 值

对于每一张 DD-1 仪三分向记录分别计算 H/Z 值. 水平向振幅 H 分别按 NS 和 EW 分量的矢量合成和算术平均两种方法取值. 上述四种 Lg 振幅的 H/Z 值很相近, 取它们的对数平均作为 Lg 振幅的 H/Z 值. 一个台所有地震记录的 $\lg H/Z$ 平均作为该台的 $\lg H/Z$ 值. 80 个台的全部 2224 组 $\lg H/Z$ 的平均结果列于表 1 第 1 行. 对于矢量和 H ,

1988 年 11 月 12 日收到本文初稿, 1990 年 2 月 17 日决定采用.

有 $\lg H/Z=0.29$ (相应 $H/Z=1.95$) ; 对于算术平均 H , 有 $\lg H/Z=0.13$ (相应 $H/Z=1.35$) . 结果表明, 矢量和 H 约为算术平均 H 的 1.4 倍.

为了考察 H/Z 值与台基性质的关系, 将 80 个台按台基性质分为三类, 分别计算各类台基的 H/Z 值, 结果亦列于表 1. 由表中数据看出: 松散沉积的 H/Z 值是花岗、片麻岩类的 3.2 倍, 是沉积岩类的 2.8 倍. 因此可以推论: H/Z 值随台基性质而变化, 即台基愈软, H/Z 值愈大.

表 1 中还列出了各 $\lg H/Z$ 频度分布的偏度 ($=\sum (X_i-\bar{X})^3/n\sigma^3$)^[8] 和样本标准差 σ . 可看出, 同类台比全部台的偏度和 σ 值均明显减小. 这些结果进一步说明了台基分类统计的合理性.

葛焕称等^[2] 指出: “震级台站校正值 D 的绝对值, 一般 H 向较 Z 向的大. 比较不同台基的 D 值, 发现松散沉积台基具有负的 D 值, 一般约 -0.3 至 -0.8 之间; 而较坚硬岩石台基, 具有正的 D 值, 如花岗岩类约 $+0.1$ 左右, 石灰岩约在 0 至 ± 0.1 之间”. 显然, D 值与台基性质的关系同 H/Z 值与台基性质的关系之间存在着联系. 这种联系是通过 D 与 H/Z 的相关实现的.

表1 中国东部六省DD-1仪器记录的 Lg 波水平向与竖直向振幅比 H/Z

台 基	台 数	$\lg H/Z$							
		矢量合成 H				算术平均 H			
		$N^{(1)}$	\bar{X}	σ	偏度	$N^{(1)}$	\bar{X}	σ	偏度
全 部 台	80	2224	0.29	0.22	0.87	1659	0.13	0.21	0.84
松 散 沉 积	10	196	0.71	0.19	-0.03	147	0.55	0.19	0.04
花岗片麻岩	12	389	0.20	0.14	-0.12	290	0.04	0.13	-0.25
其它岩类 ²⁾ (主要沉积岩)	58	1639	0.26	0.19	0.34	1222	0.10	0.18	0.24

1) N 为 H/Z 观测数据总组数. 对算术平均 H 的情况, N 包括 max , lg 和 mlg 三者的 H/Z 观测数据之总和; 对矢量合成 H 的情况, N 还包括 $lg3$ 在内的四种振幅的 H/Z 观测数据之总和.

2) 该类中除了 3 个玄武岩, 1 个蚀变辉绿岩, 1 个安山岩台基外, 其它全部为沉积岩台基.

三、 C_h , C_z 和 H/Z 的关系

第 i 个地震第 j 个台的 Lg 振幅可表示为^[3]

$$A_{ij}=m_i c_j p \tag{1}$$

这里, m_i , c_j 和 p 分别为震源、台站和传播因子. $p=\Delta^{-1.3}(\sin\Delta)^{-1/2}e^{-\gamma\Delta}$ (Δ 为震中距, γ 为滞弹性衰减系数).

对 (1) 式两端取对数后得到

$$\lg A_{ij}=M_i+C_j+P \tag{2}$$

这里, M_i , C_j 和 P 分别称为震源项、台站项和传播项. 震源项 M_i 相当于震级. 全部 C_j 满足

关系 $\sum C_j = 0$. 台站项 C_j 意指:该地点 Lg 观测振幅值与 横向均匀地壳的理论振幅值之差(对数单位). 可见, C_j 等于负的台校值 D_j .

利用葛焕称等^[2]的综合回归方法和前文^[7]的振幅数据,可以测得东六省 80 个台的台站项. 结果表示四种振幅的台站项均很接近,取它们的平均值作为各台的台站项, H 和 Z 分向分别记为 C_h 和 C_z . 80 个台中有三个台(No. 17, 18, 19)仅有 1 至 2 个地震记录,故它们的 C 值误差较大. 去掉这三个台,利用 77 个台的数据,分别作出 $C_z - C_h$, $\lg H/Z - C_h$ 和 $\lg H/Z - C_z$ 图(见图 1 a, b, c 这里 H 一律为算术平均值). 并对它们分别作正交回归计算^[9],得到

$$C_h = 0.01 + 2.10 C_z \quad \mu = 0.10 \quad R = 0.70 \quad (3)$$

$$C_h = -0.15 + 1.46 \lg H/Z \quad \mu = 0.09 \quad R = 0.83 \quad (4)$$

这里 μ 为正交标准差, R 为相关系数.

但是,对于 $\lg H/Z - C_z$ 关系,由图 1c 看到,点子上分离散, R 值仅为 0.20. 故直接作回归得不到正确的回归关系. 于是改由(3)和(4)式导出

$$C_z = -0.07 + 0.70 \lg H/Z \quad (5)$$

(3), (4)和(5)式表示的直线亦示于图 1a, b 和 c. 由图 1c 看到, (3)式基本可以满足 $\lg H/Z - C_z$ 点子的分布关系. 由此可见, C_z 与 C_h , $\lg H/Z$ 与 C_h 和 C_z 均成正比关系.

利用表 1 中各类台基的 H/Z 值,通过(4)和(5)式分别算得松散沉积、花岗片麻岩和沉积岩台基的估计平均台站项, $C_h = 0.65, -0.09$ 和 0.00 ; $C_z = 0.32, -0.04$ 和 0.00 . 该结果与实测值基本吻合. 因此, (3), (4)和(5)式可以代表东六省地区 Lg 波的 C_h , C_z 和 H/Z 之间的相互关系.

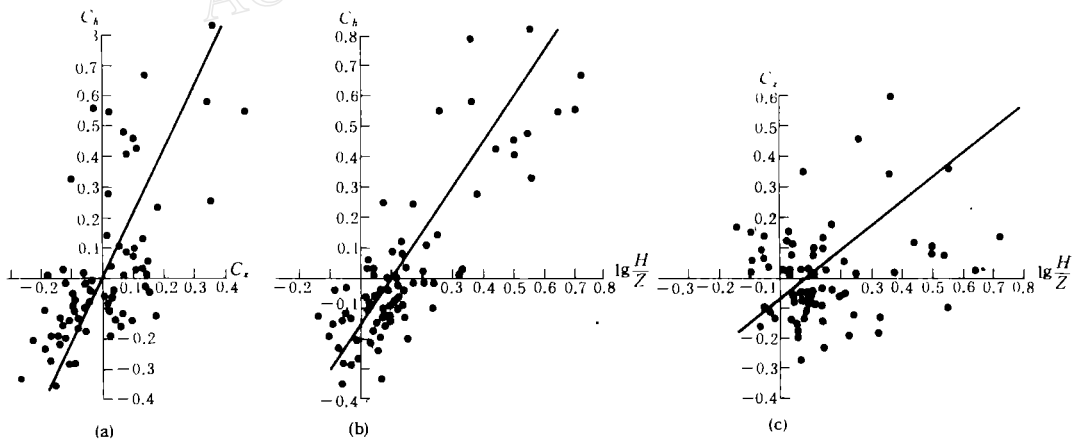


图1 东六省地区Lg波的 C_h , C_z 和 H/Z 的相互关系

四、讨 论

Street^[4]对美国东部的观测结果为 $\lg H/Z = 0.31$, $\sigma = 0.18$. Gupta等^[5]对美国东部 $\lg H/Z$ 的观测结果与 Street^[4] 的值相同, $\sigma = 0.19$. 在中国云南, 陈培善等^[10]得出:

$Z/H = 0.49 + 1.0 \times 10^{-5} \Delta$. 忽略 Δ 项, 该式相当于 $\lg H/Z = 0.31$. 这些结果与本文全部台的统计结果 $\lg H/Z = 0.29$, $\sigma = 0.21$ 很接近(注意: 上面均为矢量和 H). 自然, 这样不分台基性质的全部台的统计值, 与各类台基的百分比有关, 但平均而言, 上述的比较仍然很好地说明了在美国东部、中国东部和西南地区, Lg 波的 H/Z 值均有几乎相同的数值.

Gupta 等^[5] 讨论了美国东部 H/Z 值的区域变化, 发现坚硬岩石地点的 H/Z 值小于 2. 但在美国东海岸平原和中部地台区的 H/Z 值比 2 大很多. Toro 和 McGuire^[6] 指出: 对于 1Hz Lg 波, 随机选择任一水平分量作为 H , 岩石地基的 H/Z 为 1.2, 深 ($>15m$) 的土层 H/Z 为 2.6. 以上结果均与本文对分类台基的 H/Z 值结果是一致的. Toro 和 McGuire^[6] 还指出: 随着频率增加, 土层的作用减小, 而岩石地基上的 H/Z 略有增加. 至 5Hz 以上, 上层和岩石层上的 H/Z 值均会聚于 1.4.

Gupta 和 Mclaughlin^[5] 通过对美国东部 Lg 振幅的研究指出: 在坚硬岩石地点的台站项在 -0.15 附近, 而“软岩石”地点显示了一个正的台站项分布. 台站项与频率有关, 随频率增加而略有增大. 他们利用 1Hz Lg 波的 C_h , C_z 和 H/Z 的观测值, 对 $C_z - C_h$, $C_h - \lg H/Z$ 和 $C_z - \lg H/Z$ 作一般的一元回归计算, 分别得到各关系的斜率 k 和相关系数 R 值(见表 2).

本文的(3),(4),(5)式是通过正交回归而不是通常的一元回归导出的, 因此不能直接与 Gupta 和 Mclaughlin 的结果比较. 为此, 我们再对这三个关系作一元回归, 得出各回归直线的 k 和 R 值亦列于表 2.

表 2 中国东六省与美国东部一元回归关系 ($C_z - C_h$, $C_h - \lg H/Z$, $C_z - \lg H/Z$) 的比较

$x - y$ 关系	美国东部 (Gupta 和 Mclaughlin, 1987)		中国东六省 (本文)	
	k	R	k	R
$C_z - C_h$	1.299 ± 0.189	0.753	1.20	0.701
$C_h - \lg H/Z$	0.563 ± 0.064	0.828	0.61	0.833
$C_z - \lg H/Z$	0.299 ± 0.189	0.255	0.25	0.198

比较中国东六省与美国东部三个回归关系的 k 和 R 值看出: 对于同一个关系, 两地区的 k 值之差均在误差范围以内, R 值亦很相近, 最大差仅 0.05. 对于离散性都很大的这三个关系来说, 中国东部与美国东部两地区的回归关系如此相似, 决不是偶然的. 似乎可以推测, C_h , C_z 和 H/Z 之间的关系与地区无关.

但是, 我们应该指出, C_h , C_z 和 $\lg H/Z$ 三者均是具有较大误差的量, 从图 1a, b 和 c 可以看出点子的分布都十分离散. 在这种情况下, 使用一元回归是不恰当的, 而应当采用正交回归方法^[9]. 因为 $x - y$ 一元回归方法的前提是假定 x 没有误差, 仅 y 有误差. 这不适合于这里的情形. 因此, 表 2 所列结果仅作为比较, 我们仍然以关系式(3),(4),(5)作为东六省的正确关系式. 通过这些关系式, 我们就可由 H/Z 测定值去估计 C_h 或 C_z , 或由 C_z 估计 C_h . 这是很有价值的因为台站项 C 的测定是较困难的, 而 H/Z 值的测定却比较简单; 另外, 常仅有 Z

向资料, 而缺 H 向资料, 这时就可通过 C_z 估计 C_h .

观测表明: 在美国, 低烈度区同 H/Z 的低值相联系, 而烈度与美国的 Q 值分布却没有什么联系^[9]. 这说明了地震波对建筑物的破坏主要是由水平向振动引起的. 因此, H/Z 或 C_h 值对于烈度区划和工程地震是至关重要的.

此外, 台校值对震级测定的重要性是明显的. 本文结果指出, 台站项引起的最大震级差可达 1 级左右.

五、结 论

根据中国东六省 77 个台 DD-1 记录的统计结果, Lg 波台站项 C_h, C_z 和振幅比 H/Z 之间存在正比关系[(3), (4), (5)式]. 这三个量之间的关系与美国东部的相应关系十分相近.

台基性质与 C_h, C_z 和 H/Z 值明显相关(见表 1). 台基愈软, C_h, C_z 和 H/Z 均愈大; 台基愈硬, 它们就愈小. 对于 C_h, C_z 和 H/Z 值, 平均而言, 松散沉积是花岗片麻岩台基的 6.25 和 3.2 倍, 是沉积岩台基的 5.2 和 2.8 倍.

本工作系地震科学联合基金会资助的课题.

参考文献

- [1] Chen, P. S. and Nuttli, O. W., 1984. Estimates of magnitudes and short-period wave attenuation of Chinese earthquakes from modified Mercalli intensity data. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **74**, 957—968.
- [2] 葛焕称、黄才中、叶培元、陆振飞, 1987. 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.
- [3] Gupta, I. N. and McLaughlin, K. L., 1987. Attenuation of ground motion in the eastern United States. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **77**, 366—383.
- [4] Street, R. L., 1978. A note on the horizontal to vertical Lg wave amplitude ratio in eastern United States. *Earthquake Notes*, **49**, 15—20.
- [5] Gupta, I. N., von Seggern, D. H. and Wagner, R. A., 1982. A study of variations in the horizontal to vertical Lg amplitude ratio in the eastern United States. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **72**, 2081—2088.
- [6] Toro, G. R. and McGuire, R. K., 1987. An investigation into earthquake ground motion characteristics in eastern North America. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **77**, 468—489.
- [7] 葛焕称、倪岳伟、黄才中、李永勤, 1991. 中国东部六省的修订 m_{lg} 标度. *地震学报*, **13**, 171—178.
- [8] Amstadter, B. L., 1978. 可靠性数学(彭兴文译), 28. 科学出版社, 北京.
- [9] Bath, M., 1979. Teleseismic magnitude relations. *Seismol. Inst. Uppsala Report*, No. 2—79, 37.
- [10] 陈培善、秦嘉政, 1982. 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. *地震学刊*, **1**: 6—15.

Lg AMPLITUDE RATIOS H/Z AND STATION TERMS IN THE SIX EASTERN PROVINCES OF CHINA

Huancheng Ge, Caizhong Huang, Yuewei Ni and Yongqin Li

(*Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

Abstract

Using the data set of about 1 Hz Lg amplitudes from 80 stations in the six eastern provinces of China, the ratios of horizontal to vertical amplitude of Lg waves, H/Z are determined. The mean $\lg(H/Z)$ value is equal to 0.13. For the station bases of soft deposits, granite and sedimentary rock, $\lg(H/Z)$ values average 0.55, 0.04 and 0.10, respectively. For these three kinds of station bases, the station terms of horizontal amplitude, C_h average 0.65, -0.09 and 0.00; that of vertical amplitude, C_z average 0.32, -0.04 and 0.00, respectively. And the relations between C_h , C_z and $\lg(H/Z)$ are: $C_h = 0.01 + 2.10 C_z$ and $C_h = -0.15 + 1.46 \lg(H/Z)$.