

# 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.  $C_h$  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<sup>[1]</sup>. 局部的场地条件将会引起烈度的异常. 葛焕称等<sup>[2]</sup>与 Gupta 和 McLaughlin<sup>[3]</sup>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<sup>[3-6]</sup>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动的影响将是有益的.

笔者的前文<sup>[7]</sup>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 ( $= \sum (X_i - \bar{X})^3 / n\sigma^3$ )<sup>[8]</sup> 和样本标准差  $\sigma$ . 可看出, 同类台比全部台的偏度和  $\sigma$  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<sup>[2]</sup>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  $\pm 0.1$  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 $H$			
		$N^1)$	$\bar{X}$	$\sigma$	偏度	$N^1)$	$\bar{X}$	$\sigma$	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 <sup>2)</sup> (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  $\lg 3$  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  $\lg 3$  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<sup>[3]</sup>

$$A_{ij} = m_i c_j p \quad (1)$$

这里,  $m_i$ 、 $c_j$  和  $p$  分别为震源、台站和传播因子.  $p = \Delta^{-1/3} (\sin \Delta)^{-1/2} e^{-\gamma \Delta}$  ( $\Delta$  为震中距,  $\gamma$  为滞弹性衰减系数).

对(1)式两端取对数后得到

$$\lg A_{ij} = M_i + C_j + P \quad (2)$$

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  $\sum C_i = 0$ . 台站项  $C_i$  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,  $C_i$  等于负的台校值  $D_i$ .

利用葛焕称等<sup>[2]</sup> 的综合回归方法和前文<sup>[7]</sup> 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<sup>[9]</sup>, 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  $\mu$  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, 点子十分离散,  $R$  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.

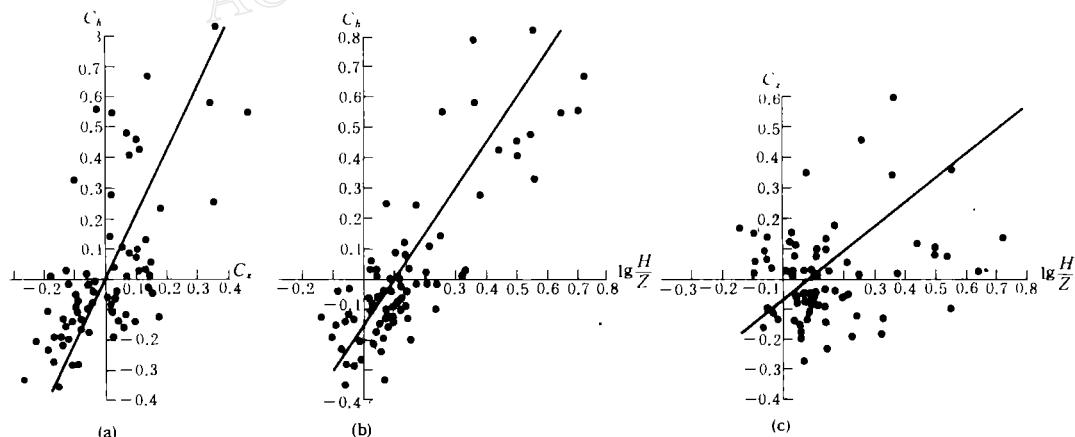


图1 东六省地区 Lg 波的  $C_h$ ,  $C_z$  和  $H/Z$  的相互关系

#### 四、讨 论

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

$Z/H = 0.49 + 1.0 \times 10^{-5}\Delta$ . 忽略  $\Delta$  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<sup>[3]</sup> 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<sup>[6]</sup> 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<sup>[6]</sup> 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, 土层和岩石层上的  $H/Z$  值均会聚于 1.4.

Gupta 和 McLaughlin<sup>[3]</sup> 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)	
	$k$	$R$	$k$	$R$
$C_z - C_h$	$1.299 \pm 0.189$	0.753	1.20	0.701
$C_h - \lg H/Z$	$0.563 \pm 0.064$	0.828	0.61	0.833
$C_z - \lg H/Z$	$0.299 \pm 0.189$	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<sup>[9]</sup>. 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<sup>[5]</sup>.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] 葛煥称, 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] 葛煥称, 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] Amstädter, 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  $M_i$  的影响. *地震学报*, **1**: 6—15.

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

Huancheng Ge, Caizhong Huang, Yuwei 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  $C_h = -0.15 + 1.46 \lg(H/Z)$ .