

## 河西堡台64型地震仪测定P波震级起算函数的初步研究

### 1. 引言

在我国,对于远震的研究,多数采用基式(SK)仪的面波震级,並有一套比较完善的震级起算函数。但是,对于64型仪器却没有相应的震级起算函数,而借用古登堡—里克特的体波震级的起算函数,因此有必要对该仪器的震级起算函数进行研究。

河西堡台采用的仪器为64型地震仪。此仪器比较稳定,以1982—1983年为例,其N—S分向相对变化率为1.0%, E—W分向相对变化率为2.2%, V—D相对变化率为1.1%。

为了制定切合实际的震级起算函数,本文采用中国地区P波走时表及GLC地壳模型<sup>[1]</sup>以北京台的体波震级 $M_b$ 为标准,进行比较。

北京台所用仪器为中长周期基式(SK)型地震仪。在比较过程中,两者都用垂直分量的P波震级 $M_p$ 。结果表明:两台的震级标准偏差为0.43;震级相关直线斜率为1.164,  $A = 0.435$ ,  $B = 3.645$ 。

### 2. 河西堡台P波震级起算函数

#### (1) 震级起算函数 $\sigma_{(\Delta)}$ 的理论计算

利用观测值 $\frac{A}{T} \max$  和标准震级即中国均匀系统<sup>1)</sup>的面波震级可求得 $\sigma_{(\Delta)}$ 的观测值。

为补充观测值之不足就必须计算 $\sigma_{(\Delta)}$ 的理论值。

采用Zoeppritz远震体波能量公式来计算理论振幅<sup>[2]</sup>:

$$E = 8\pi^3 R^2 \rho_0 V_0 \frac{\sin \Delta \sin e_0}{\cos e_h \left| \frac{de_h}{d\Delta} \right|} e^{KL} \sum_{i=1}^n \left( \frac{u^2}{T} \right)_i \quad (1)$$

式中R为地球半径,  $\rho_0$ 为地面附近介质密度,  $v_0$ 为地面附近纵波速度, K为地震波吸收系数,  $e_0$ 为地震射线在地面的出射角,  $e_h$ 为离源出射角, L为射线长度, u为地面附近入射波的全位移。

P波的几何扩散函数 $\psi$ 的计算:

$$\psi = \frac{\sin \Delta \sin e_0}{\cos e_h \left| \frac{de_h}{d\Delta} \right|}$$

利用中国地区表面震源和16公里深度的P波走时表,按公式:

$$\cos e_0 = \frac{v_0}{111.1} \cdot \frac{dT}{d\Delta} \quad (2)$$

1) 郭履灿、徐平, 论面波均匀震级系统的建立, 1984。

求得 $e_0$ 和 $\frac{de_0}{d\Delta}$ 。

式中 $v_0 = 5.71$ 公里/秒,  $\Delta$ 的单位为度, 走时微商的距离区间 $d\Delta = 4.0^\circ$ ,  $e_0 = \cos^{-1}(0.0514 \times \frac{dT}{d\Delta})$ 。由于是面源地震, 射线地面出射角 $e_0$ 就第于离源出射角 $e_h$ 。对于有一定深度的离源出射角 $e_h$ 的求法则应根据射线方程:

$$\frac{R_h \cos e_h}{V_h} = \frac{R \cos e_0}{v_0} \quad (3)$$

求得震源处的 $\cos e_h$ 和 $\left|\frac{de_h}{d\Delta}\right|$ 。由(3)式移项得 $\cos e_h = \frac{v_h R}{v_0 R_h} \cos e_0$

当深度为16公里时:  $\cos e_h = 0.05893 \frac{dT}{d\Delta}$

式中 $\Delta$ 单位为度,  $e_h$ 的微商距离区间 $d\Delta$ 为 $4^\circ$ ,  $v_h = 6.53$ 公里/秒,  $R_h = 6355$ 公里。

关于微商距离 $d\Delta$ 的取用, 可参照文献〔3〕。

射线长度 $L$ 的取值:

在(1)式中,  $L$ 是射线长度, 一般用震中距离 $\Delta$ 代替, 并将单位“度”换算成“公里”。

入射波全位移与观测震图的 $\left(\frac{A}{T}\right)_{\max}$ 的关系及P波最大振幅的平均持续时间 $\bar{\tau}$ 值的计算:

在远震体波能量公式(1)中涉及到入射波的全位移 $u$ , 它与地面垂直向地动位移 $A$ 的比值 $K_{PZ}$ 是 $e_0$ 与震中距离的函数,  $K_{PZ}$ 值采用刘新平的计算结果<sup>8)</sup>。 $u$ 与 $A$ 的关系为,

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{u^2}{T}\right)_i = \frac{1}{K_{PZ}^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A^2}{T}\right)_i \quad (4)$$

在积分地震波能量时, 逐一测量一系列波中每一个振动的 $A$ 和 $T$ , 再求和。但在测定震级时, 只用一个 $\left(\frac{A}{T}\right)_{\max}$ 。

$$\text{令 } \sum_{i=1}^n \left(\frac{A^2}{T}\right)_i = \left(\frac{A}{T}\right)_{\max}^2 \tau \quad (5)$$

从地震图上测量出 $\sum_{i=1}^n \left(\frac{A^2}{T}\right)_i$ 和 $\left(\frac{A}{T}\right)_{\max}$ , 即可求得 $\tau$ 的观测值。根据河西堡台的38个地震记录图求得的 $\bar{\tau} = 3.66 \pm 0.87$ 秒。

H·K·古卜塔(1970)从震级 $M_b$ 与 $M_s$ 的关系出发讨论了震源的多重性问题, 并认为, 地

2) 许忠淮, 远震体波能量的测定, 1963。

8) 刘新平, 中国及邻近地区中长周期P波振幅衰减的研究, 1984。

震有简单地震和复杂多重性地震之分。在复杂多重性地震中有很多非标准震相出现。地震的多重性是震源机制的复杂性的反映，对于求持续时间 $\tau$ 有一定的影响。由于P波的波列有限，一般分两段，取其与正常 $\tau$ 值接近的值参加平均值 $\bar{\tau}$ 的计算。

根据文献〔4〕，远震体波能量与震级的关系式是：

$$\log E = 9.5 + 1.6M_b \quad (6)$$

由于所讨论的地震震级为6级。通过(6)式算得的体波能量为 $10^{19.1}$ 〔尔格〕。一般纵波所携带的能量为体波总能量的三分之一，因此理论公式的右端要乘上3倍。

由于 $8\pi^3 R^2 \rho_0 u_0$ 是个常数C， $\left(\frac{A}{T}\right)_{\max} = M - \sigma_{(\Delta)}$ ，所以(1)式取常用对数得：

$$\log E_0 = 1.91 = \log 3 + \log C + \log \psi + KL \log e + \log \frac{3.66}{K^2 P_s} + 2 [6 - \sigma_{(\Delta)} - 4] \quad (7)$$

式中能量以尔格为单位，起算函数 $\sigma_{(\Delta)}$ 所对应的位移A以微米为单位，应当引入 $10^4$ 因子以化为厘米的单位。取 $R = 6.371 \times 10^8$ 厘米， $\rho = 2.7$ 克/厘米<sup>3</sup>， $v_0 = 5.71 \times 10^5$ 厘米/秒， $K = 0.00012$ 公里<sup>-1</sup>，L的单位为公里。将上述值代入(7)式即得到6级地震的理论起算函数公式。将常数项C与几何扩散合并用 $\phi$ 表示，即 $\phi = C\psi$ ，起算函数全式如下：

$$\sigma_{(\Delta)} 6 = -7.030 + \frac{1}{2} \log \phi + 0.00002606L - \log K P_s \quad (8)$$

将不同深度的几何扩散函数代入(8)式可计算出不同深度震中距上的 $\sigma_{(\Delta)}$ 的理论值。

(2)河西堡台P波震级的起算函数 $\sigma_{(\Delta)}$ 的观测值

由体波震级公式可得以下公式：

$$m = \log \left( \frac{A}{T} \right)_{\max} + \sigma_{(\Delta)} \quad (9)$$

式中A的单位为微米，T的单位为秒， $\Delta$ 的单位为度，m为统一震级。

由于采用的标准震级是均匀系统的均匀震级 $M_S^H$ ，必须换算为体波震级 $M_b$ 。

$$M_S^H = 1.59m - 3.97 \quad (10)$$

$$m = (M_S^H + 3.97) / 1.59 \quad (11)$$

$$\sigma_{(\Delta)} \text{河} = m - \log \left( \frac{A}{T} \right)_{\max} \quad (12)$$

根据(12)式，利用河西堡台的近40个地震求得相应的起算函数 $\sigma_{(\Delta)} \text{河}$ ，然后将观测值与理论值比较，拟合出河西堡台的半经验起算函数。

根据杜达和古登堡—里克特对于P波震级的传统定义以及体波震级公式

$$M_b(\Delta \cdot h) = \log \left[ \frac{A_s(\Delta \cdot h)}{T} \right] + \bar{Q}(\Delta \cdot h) \quad (13)$$

则有：

$\overline{Q}_{PZ}(90^\circ, S) = 7.0$ 。因此,对零级地震

$$\overline{Q}_{PZ}(\Delta \cdot S) = 7.0 - \log \overline{A}_{PZ}(\Delta \cdot S) \quad (14)$$

式中归一化振幅  $\overline{A}_{PZ}(\Delta \cdot S) = (A_{PZ}(\Delta \cdot S)/T) / (A_{PZ}(90^\circ \cdot S)/T)$ 。有一定深度也可用  $A_{PZ}(90^\circ \cdot S)/T$  进行归一化。

鉴于以上的情况,对于河西堡台的起算函数也进行了归一,将16公里深度的  $\sigma_{(\Delta)}$  理论值曲线沿着纵座标轴向上移动,使其  $90^\circ$  震中距上的  $\sigma_{(\Delta)}$  值达到7.0,并视观测值的符合情况,最后确定为河西堡台的起算函数  $\sigma_{(\Delta)}$  河(见表1、图1)。

在拟合起算函数时要考虑吸收系数(K),将不同K值的起算函数与实际观测值进行比较,结果表明,当  $K = 0.00012$  时,其均方偏差最小(0.299)。从而确定河西堡台的起算函数K值为0.00012。

河西堡台起算函数 ( $\sigma_{\Delta}$ )

表1

$\Delta^0$	$\sigma_{\Delta}$	$\Delta^0$	$\sigma_{\Delta}$	$\Delta^0$	$\sigma_{\Delta}$	$\Delta^0$	$\sigma_{\Delta}$	$\Delta^0$	$\sigma_{\Delta}$
10	6.26	28	6.40	46	6.66	64	6.80	82	6.91
11	6.23	29	6.44	47	6.66	65	6.70	83	6.93
12	6.17	30	6.46	48	6.66	66	6.81	84	6.94
13	6.10	31	6.48	49	6.66	67	6.82	85	6.95
14	6.02	32	6.51	50	6.66	68	6.86	86	6.96
15	5.96	33	6.53	51	6.66	69	6.82	78	6.97
16	5.92	34	6.55	52	6.66	70	6.83	88	6.97
17	5.89	35	6.58	53	6.67	71	6.81	89	6.98
18	5.88	36	6.60	54	6.68	72	6.77	90	7.00
19	5.88	37	6.62	55	6.69	73	6.83	91	7.02
20	5.90	38	6.65	56	6.70	74	6.83	92	7.06
21	5.94	39	6.66	57	6.72	75	6.84	93	7.11
22	5.99	40	6.67	58	6.73	76	6.87	94	7.18
23	6.06	41	6.70	59	6.74	77	6.85	95	7.26
24	6.13	42	6.67	60	6.75	78	6.85	96	7.33
25	6.21	43	6.67	61	6.76	79	6.86	97	7.37
26	6.29	44	6.66	62	6.77	80	6.88	98	7.39
27	6.35	45	6.65	63	6.79	81	6.89	99	7.42

利用新的起算函数计算的21个地震的震级与北京台比较结果是:标准偏差为0.38(图2),相关直线斜率为1.10(图3),系数  $A = 0.644$ ,  $B = 2.277$ 。由此可见,新的起算函数对河西堡台的震级测定是有一定意义的。

### 3. 结语

以上介绍的方法单台就可以使用,但是其结果需要验证,並要不断地丰富该台的  $\sigma_{(\Delta)}$  的

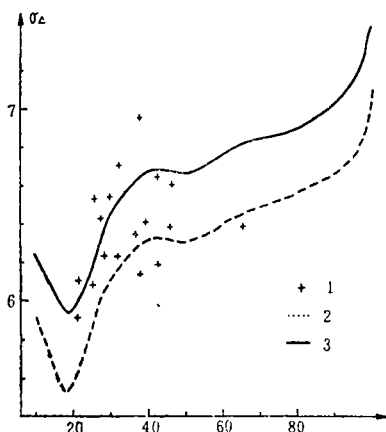


图1 河西堡台起算函数曲线  
1. 观测值 2. 理论值 3. 实用值

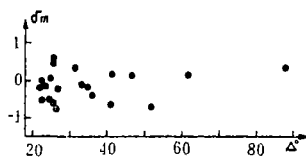


图2 震级偏差 sigma\_m 随震中距离的分布

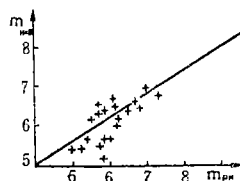


图3 m<sub>PK</sub>与m<sub>HXB</sub>震级相关图

观测值。我们将用河西堡台的起算函数测定的70个地震的体波震级与全国地震报告给出的体波震级进行比较，结果还是比较好的，其表达式如下：

$$M_b = \log\left(\frac{A}{T}\right)_{\max} + \sigma_{(\Delta)\text{河}} \pm 0.38 \quad (15)$$

本项工作得到赵卫明、刘启宗、刘新平、陈秀兰等同志的热情帮助和支持，在此表示感谢。

(国家地震局兰州地震研究所 孟繁琦  
国家地震局地球物理研究所 郭履灿)  
(本文1984年12月3日收到)

参 考 文 献

- [1] 郭履灿等，中国地区P波和S波走时表，地震学报，Vol. 8, No. 2, 1981.
- [2] 郭履灿等，论用PKP波测定极远震的震级，地球物理学报，Vol. 14, No. 8, 1956.
- [3] 左兆荣、郭履灿、许忠淮，地震波的几何扩散效应，地震地磁观测与研究，1983.
- [4] 中国科学院地球物理研究所、北京大学地球物理系，地震能量和震级关系的初步研究，科学记录，Vol. 3, No. 6 1959.

PRELIMINARY STUDY ON THE INITIAL FUNCTION OF P WAVE  
MEASURED BY MODEL 64 SEISMOMETER IN HEXIBAO STATION

Meng Fanqi

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

Guo Lucan

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)