

论1976年7月28日唐山大地震震级的测定

阎志德 郭履灿 赵荣国

(国家地震局地球物理研究所,北京)

一、引言

地震震级是描述一个地震重要的参数之一,其精度的优劣直接影响到对于本次地震及其有关方面的研究,尤其对于一次巨大地震来说,震级的精确测定,更为重要.

1976年7月28日发生在我国唐山的7.8级巨大地震,是本世纪以来世界著名地震之一,为各国所瞩目,对于这次地震的震级,至今一直被人们所谈及.本文从中国地震台网记录的动力学读数对7.8级主震和7.1级最大余震的震级测定给予论述.

二、面波震级的测定

1945年 Gutenberg 提出采用记录周期为20秒的面波,测定远地震的震级 M_s . 公式为

$$M_s = \log A_{20} - \log A_{20}^* + C + D, \quad (1)$$

式中 A_{20} 是两水平分向面波的周期为20秒(± 2 秒)地动位移振幅的矢量和,以微米计; C 为台基校正; D 为震源校正; 无校正时,一般取其 $C = 0$, $D = 0$. $-\log A_{20}^*$ 是起算函数

$$-\log A_{20}^* = 1.818 + 1.656 \log \Delta^\circ, \quad (\Delta < 130^\circ), \quad (2)$$

$$-\log A_{20}^* = 5.04 + \frac{1}{2} \left[48.25K(\Delta^\circ - 90^\circ) + \log \sin \Delta^\circ + \frac{1}{3}(\log \Delta^\circ - 1.954) \right],$$

$$(\Delta > 130^\circ). \quad (3)$$

1949—1959年,各国许多作者对不同台站计算出众多类似的震级经验公式. 1962年 Karnik 和 Vanek 等提出对于震中距 $2^\circ > \Delta > 160^\circ$ 时,面波水平分量标准化的起算函数,写成公式

$$M_s = \log \left(\frac{A}{T} \right)_{\max} + \sigma(\Delta), \quad (4)$$

式中 A 是面波水平分向最大振幅地动位移的矢量和, T 为相应的周期; $\sigma(\Delta)$ 是起算函数

$$\sigma(\Delta) = 1.66 \log \Delta^\circ + 3.3. \quad (5)$$

1967年苏黎世举行的“国际大地测量与地球物理协会(IUGG)”推荐,后来“国际地震中心(ISC)”用该式测定震级,但没有考虑各台的台基校正,该公式也没有相应的台基,作为震级水平的衡量标准.

1965年郭履灿等结合中国地震观测的实际情况,利用1956—1962年北京台基式仪记录的143个地震,计算了面波的起算函数,给出公式^[1]

本文1981年10月30日收到.

$$M_s = \log \left(\frac{A}{T} \right)_{\max} + \sigma(\Delta),$$

$$\sigma(\Delta) = (1.66 \pm 0.09) \log \Delta^\circ + (3.50 \pm 0.14), \quad (\Delta = 8^\circ - 130^\circ), \quad (6)$$

$$\sigma(\Delta) = 6.775 + \frac{1}{2} \left[(2.147 e^{-0.04465 \Delta^\circ} + 1.325)(\Delta^\circ - 90^\circ) \right. \\ \left. \times 10^{-2} + \log \sin \Delta^\circ + \frac{1}{3}(\log \Delta^\circ - 1.954) \right], \quad (\Delta = 130^\circ - 180^\circ). \quad (7)$$

从1966年起,中国地震台网一直使用这个公式测定远地震的面波震级,多数情况下是取几个基式仪地震台面波震级的算术平均值。

三、唐山地震记录的动力学读数及其震级的测定结果

中国地震台网基式仪(千倍级)记录的唐山地震主震和最大余震的面波全部出格,无法测量其振幅和周期,不能提供基式仪记录测定的面波震级;对于体波多数台站记录清晰,振幅和周期可以测量,但是中国地震台网用体波测定震级,在震中距小于2500公里以内,尚没有合适的标准。因此,唐山地震主震和最大余震的动力学读数,主要取自观测台网中513型强震仪记录。其动力学最大振幅 A 与相应周期 T 的读数及其震级测定结果见表1。

表 1

唐山地震	地震时间 (北京时间)	台 名	仪 器	震中距 (Δ°)	周 期 (T , 秒)	水平向合成位移 (A_H , μ)	按(6)式计算 M_s	取其平均 $\bar{M}_s$
主 震	1976.7.28 03—42—54.2	西 安	513	9.1	15	8700	7.8	7.8
		兰 州		11.7	4.5	1304	7.7	
		成 都		14.4	6.8	2355	7.9	
		涉 口		19.0	4.0	407	7.6	
最 大 余 震	1976.7.28 18—45—34.3	泰 安	513	3.5	4.0	1300	6.9	7.1
		余 山		8.9	9.0	1060	7.1	
		西 安		9.5	4.8	454	7.1	
		兰 州		12.1	7.0	765	7.3	
		西 宁		13.5	4.0	330	7.2	
		成 都		14.9	6.6	518	7.3	

主震的平均震级的标准误差为

$$\sigma_{\bar{M}_{7.8}} = \sqrt{\sum (\bar{M}_s - M_{si})^2 / n(n-1)} = 0.07. \quad (8)$$

最大余震的平均震级的标准误差为

$$\sigma_{\bar{M}_{7.1}} = \sqrt{\sum (\bar{M}_s - M_{si})^2 / n(n-1)} = 0.07. \quad (9)$$

利用微观资料根据仪器记录的动力学参数测定的震级,与宏观资料和震级建立的经验统计关系式确定的震级,不尽相同,但是根据许多作者对中国地区的地震统计表明,微观资料测定的震级与宏观资料确定的震级,基本一致。我们同样利用唐山地震的宏观资料对震级予以确定,以期对微观资料测定的震级加以佐证。

唐山地震的有关宏观资料^[2]是：主震震中烈度为 10.5 度至 11 度，余震分布的长轴长度是 140 公里宽度是 50 公里，极震区的分布面积 A_0 是 47 平方公里，余震分布面积估计的震源体积 V 是 1.08×10^5 立方公里；最大余震的震中烈度为九度，余震分布的长、短轴分别为 65 公里和 40 公里。主震和最大余震的余震优势深度是 10—12 公里。

(1) 利用李善邦^[3]给出震级与震中烈度的关系式

$$M = 0.58I_0 + 1.5, \quad (10)$$

取震中烈度 10.5 度与 11 度，其震级是 $M = 7.6 - 7.88 \approx 7.7$ 。

(2) 利用 1960 年傅承义和刘正荣^[4]给出震级和烈度的关系式

$$M = (0.68 \pm 0.03)I_0 + (1.39 \pm 0.17)\log h - (1.40 \pm 0.29), \quad (11)$$

取震中烈度 11 度，根据余震的优势深度 12 公里和微观资料所给主震的深度 22 公里，其震级是

$$M = 7.6 - 7.9 \approx 7.8.$$

(3) 利用陈培善等^[5]用我国 61 个浅源地震资料，取逐步回归方法得震级与震中烈度、极震区面积的关系式

$$M = 3.53 + 0.039I_0^2 + 0.0178(\log A_0)^3, \quad (12)$$

取震中烈度 10.5 度和极震区面积 A_0 为 47 平方公里，其震级是 $M = 7.88$ 。

(4) 由余震分布面积估计震源体积与震级的关系式

$$\log V = 0.9M - 2.0, \quad (13)$$

以 $V = 1.08 \times 10^5$ 立方公里，其震级是 $M = 7.88$ 。

(5) 利用震级与震源断裂长度的关系式^[6]，以余震分布的长度代替断裂长度^[7]

$$M = 2.1\lg L + 3.3. \quad (14)$$

余震分布长度 140 公里情况下的震级是： $M = 7.8$ 。

(6) 国际地震机构所报唐山地震的震级，以资对比（表 2）。

表 2

唐山地震	美国 NEIS	美国 Pasadena	瑞典 Uppsala	日本	莫斯科	平均
主震 (M_s)	7.9	7.6	8.1	8.0	7.7	7.8
最大余震 (M_s)	7.4	7.1	7.6	7.1	7.5	7.3

表中列出国际上几个有影响的地震机构和台站所报唐山地震的震级；国际地震中心 (ISC) 以体波震级报出，主震和最大余震均为 $m_b = 6.1$ 级。除国际地震中心给出体波震级外，其它国际地震机构所报面波震级和中国测定的震级系统一致。

近年来，国际上提出以地震矩来表示和测定巨大地震的震级，我们也列出中外一些作者对唐山地震主震测定的地震矩和矩震级（表 3）^[8-10]，以供参考。

综合上述，对于唐山地震主震来说，利用宏观资料 (10) — (14) 式确定的震级与微观资料 (6) 式测定的震级，基本上是一致的；对比国际地震机构报出的震级，由于他们各自报出的震级相互偏离较大，但取其各机构震级的平均与中国台网测定的结果，亦是一致的。对于最大余震的震级，利用该次地震的宏观资料，根据 (10) — (14) 式确定的震级在 6.2—7.1 级范围内，可能是该次地震的宏观影响受到主震宏观效应的淹没，震中烈度确定的偏低；对比国际地震机构所

表 3

作 者	M_s	M_0 (达因-厘米)	M_w
金森博雄 (1977)	8.0	2×10^{27}	7.5
普尔卡鲁和贝克默然 (1978)	7.7	1.8×10^{27}	7.4
张之立 (1980)	7.8	1.24×10^{27}	7.3*

* 根据 $\log M_0 = 1.5M_w + 16.1$ 关系式,由本文作者换算的。

报的震级,由于他们相互之间偏离更大,其平均震级略高于中国台网测定的结果。因此,以中国地震台网记录的动力学读数测定的唐山地震主震震级 7.8 级和最大余震的震级 7.1 级,是合适的。

参 考 文 献

- [1] 郭履灿、庞明虎,地震学报, 3(1981), 3: 312—319.
- [2] 吴开统等,地震地质, 3(1981), 1: 1—9.
- [3] 李善邦,地球物理学报, 7(1958), 2: 98—102.
- [4] C. Y. Fu (傅承义)、C. J. Liu (刘正荣), *Science Record*, 4 (1960), 5: 349—354.
- [5] 陈培善等,地球物理学报, 18(1975), 3: 138—195.
- [6] 郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社, 1979, 103.
- [7] 刘庆民,西北地震学报, 1(1979), 1: 60—65.
- [8] Hiroo Kanamori, *Journal of Geophysical Research*, 82(1977), 20: 2981—2987.
- [9] George Purcaru & Hans Berckhemer, *Tectonophysics*, 49 (1978), 189—198.
- [10] 张之立等,地震学报, 2(1980), 2: 111—129.