

1900—1948年中国 $M \geq 6.5$ 地震的 均一震级目录

程德利

(江苏省地震局)

谢毓寿

(国家地震局地球物理研究所)

丁志峰

(江苏省地震局)

摘 要

由于不同时期各观测系统所用震级标度、仪器性能和测量方法的不同,各种中国地震目录中所列震级值常不一致。本文在收集和整理 1900—1948 年间,中国地震的仪器观测资料的基础上,采用统一的震级标度修定震级,以期给出该时期的均一震级目录。为此,采用古登堡-里克特 1945 年面波震级公式和 1956 年体波震级公式,作为基本震级标度,并将 1962 年的莫斯科-布拉格公式用于较短周期面波的面波震级测定,以作补充。统计表明,在这段时期内,两者之间是比较一致的。

根据这种标度,重新核算了《全球地震活动性及有关现象》一书的手稿资料,并用所有能收集到的台站振幅、周期资料计算了震级;建立了徐家汇台的量规函数和应用观测到 P 波的最大距离估计震级的计算公式;统计出各种震级目录中的震级值对古登堡-里克特震级标度的归算关系。从而得到了 1900—1948 年间中国地震的修订震级。文中列出 6.5 级以上的中国地震目录。

修订后的震级与国内外已有目录的统计对比结果表明,修订后的震级与阿部的全球大震目录中我国地震的震级相近,而与 1983 年编《中国地震目录》(未计入直接引用徐明同震级的部分)所列震级平均偏差虽小,但离散较大。

本文根据修订后的震级目录,探讨了《全球地震活动性及有关现象》一书中震级的含意,结果与盖勒-金森的结论基本一致;讨论了 1900—1948 年间,中国地震的活动性和全球地震台站对中国地震的监测能力;并由统计结果给出了中国地震的面波震级与体波震级的换算关系。

一、引 言

自 1954 年古登堡和里克特^[1]发表了第一部比较完善的全球地震目录后,古登堡^[2]、罗

德^[3]、里克特^[4]、杜达^[5]等曾先后作过补充和修订。由于仪器性能、震级标度和测量方法的不同,各目录中所给震级无统一标准,甚至同一目录中各次地震间亦互有差异。据此进行地震活动性研究、地震预报和地震危险性分析,常遇到很大困难,有时甚至得出错误的结论。例如,古登堡^[2]根据文献[1, 2]的目录,认为在上世纪末至本世纪初期间,全球的地震能量释放出现高潮,年平均值为1907至1955年期间的三倍。经过深入细致的对比研究,金森博雄和阿部胜征^[6]指出,这是由于低估了早期台站使用的米尔恩无阻尼地震仪记录巨大地震时的有效放大倍率引起的。经过校正(最大校正值达0.6级),这一高潮实际上并不存在。

70年代以后,国外学者开始进行震级标度均一性的研究。为了能按古登堡-里克特震级标度(简称G-R标度),建立均一的全球地震目录,盖勒和金森^[7]及阿部和金森^[8]对文献[1]中地震目录的震级标度作了详细研究。在此基础上,阿部和金森^[9]研究了1953—1977年浅源大震的震级。阿部^[10]根据重新计算的结果,给出了具有均一震级标度的1904—1980年间全球7.0级以上的浅源大地震目录。稍后,阿部和野口^[11]根据对米尔恩和大森式无阻尼地震仪放大倍率的校正,修订了1898—1917年间全球大震的震级;从而完成了1898—1980年间,具有均一震级的全球大震目录。

1971年,我国出版了第一部比较完整的《中国地震目录》^[12]。以后,经过修改、补充,陆续刊行了许多版本,其中以1977^[13]、1978^[14]和1983^[15]年等目录应用较广。这些目录原则上都以古登堡著《全球地震活动性及有关现象》^[1]一书中所定的震级或与古登堡震级相当的震级为标准震级,作了一些震级统一工作^[15]。但是,由于资料来源庞杂,各种资料采用的震级标度不一,编辑时未能进行详细研究与逐一认真归算,这些目录中所列震级在均一性方面还不够完善。

在编辑《中国地震历史资料汇编》第四卷^[16]时,我们对1900—1948年间的地震参数作了全面修订,试图给出具有均一震级标度的地震目录。本文叙述了所用的震级标度和处理方法,并对修订结果进行了讨论。

二、震级标度

在编制1900—1948年间中国地震参数表时,采用古登堡-里克特1945年的面波震级标度^[17]和1956年的体波震级标度^[18]。其计算公式分别为:

$$M_S = \log A + 1.656 \log \Delta + 1.818 + S \quad (1)$$

$$m_B = \log(A/T) + Q(\Delta, h) + C \quad (2)$$

式(1)中:振幅 A 取 15° — 130° 震中距范围内, 20 ± 3 秒周期面波的最大水平向振幅的向量和,仅有一个水平振幅值时须乘以 $\sqrt{2}$; Δ 为震中距离,以度计; S 是台站校正,取文献[17]中的结果。古登堡在应用(1)式时还考虑了震源深度、辐射方位和传播途径的影响。他指出:(1)式系对20至30公里深的地震得到的结果;当深度不超过40公里时,校正不超过0.2。考虑到这点,本文中(1)式一般用于深度不超过40公里的浅震;对 $40 < h < 100$ 公里的地震,参照波特^[19]的结果,取下列校正修订 M_S ,列为参考。当采用多台平均值确定震级时,方位和途径的影响一般不予考虑。但应指出,根据古登堡对

h (公里)	40	50	60	70	80	90	100
ΔM_S	+0.15	+0.20	+0.30	+0.35	+0.45	+0.50	+0.55

太平洋盆地内外途径的研究,其影响可达 0.5 级。

(1) 式中 A 值的度量,限于当时观测资料的情况,难以作严格的规定。一般取面波极大的峰—谷值之半,略大于古登堡所取极大值附近相邻三个振幅的加权平均值^[20]。

体波震级公式(2)是 1956 年古登堡提出统一震级时给出的。式中, Q 值图表是在 1945 年提出的浅震与深震体波震级标度^[21,22]基础上,应用更多的观测资料修订的结果。因此,按(2)式求得的 m_B 与文献[1]中的体波震级(本文用 M_B 表示)略有差别。台站校正值 C 仍取 1945 年^[21,22]的数值。(2)式适用于宽频带中长周期地震仪, A 取 P 波列的最大振幅,一般在初动后 10 秒附近^[20]。

根据上述震级标度计算震级时,对深度在 40 公里以内的地震,尽可能同时给出 M_S 和 m_B ; 对 $40 < h < 100$ 公里的地震,一般给出 m_B , 并尽可能给出经深度校正后的 M_S ; 对中深源地震,一律只给出 m_B 。

对周期小于 17 秒的地震面波,采用莫斯科-布拉格公式^[23]计算面波震级(本文用 M_V

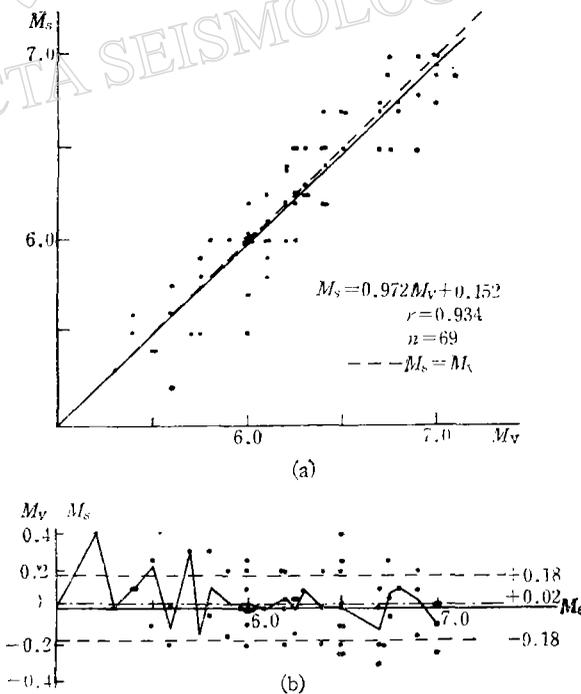


图 1 (a) M_S 与 M_V 的关系曲线

Fig. 1 (a) M_S - M_V (Moscow-Prague) curve

图 1 (b) M_V 相对于 M_S 的偏差曲线

Fig. 1 (b) Deviation of M_V from M_S

表示):

$$M_v = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.66\log\Delta^\circ + 3.3 + S_v \quad (2^\circ \leq \Delta \leq 160^\circ) \quad (3)$$

式中, A 取面波水平分量的合成振幅. 当震中距离 $\Delta < 5^\circ$ 时, 需仔细区分面波和直达横波.

表 1 台站校正值 S_v

Table 1 Station Corrections, S_v

台 站 Station	校正值 S_v Correction	标准偏差 σ Standard deviation	资料数 n Number of observations	使用期限 Period
大 阪 (Osaka)	-0.06	± 0.25	37	1902—1920
	-0.23	± 0.27	21	1921—1930
神 户 (Kobe)	+0.20	± 0.38	14	1914—1927
斯特拉斯堡 (Strasbourg)	+0.00	± 0.15	12	1921—1930
	-0.24	± 0.22	18	1931—1940
	-0.46	± 0.26	10	1941—1948
塔什干 (Tashkent)	-0.12	± 0.24	85	1934—1940
符拉迪沃斯托克 (Vladivostok)	+0.16	± 0.30	69	1934—1940
莫斯科 (Moscow)	+0.00	± 0.17	69	1935.4—1940
普尔科伏 (Pulkovo)	-0.11	± 0.21	75	1934—1940
斯维尔德洛夫斯克 (Sverdlovsk)	+0.13	± 0.20	51	1934—1940
伊尔库茨克 (Irkutsk)	-0.01	± 0.19	28	1934.6—1940
巴 库 (Baku)	-0.06	± 0.17	24	1934—1940
香 港 (Hongkong)	+0.05	± 0.37	35	1937.8—1940.2
螻 峰 (Chiufeng)	-0.03	± 0.28	8	1931—1935
乌普萨拉 (Uppsala)	-0.23	± 0.33	10	1941—1948
布拉格 (Prague)	-0.24	± 0.22	24	1941—1948

由 (1) 和 (3) 式求得的震级虽然是在不同频段上对地震强度的描述, 但统计表明, 就本文涉及的时期的地震而言, 实际上还是比较一致的, 如图 1 所示. 两者平均偏差为 0.02, 标准偏差 ± 0.18 . (3) 式中的 S_v 是台站校正值, 根据同时具有用 (1) 和 (3) 式测得震级的

地震的资料求得,列于表 1. 由于资料较少,偏差较大. 此外,不同时期的校正值也不尽相同,甚至有较大的差别.

三、震级计算与资料处理

1900—1948 年间,地震台站陆续建立,仪器不断更新,地震参数的测定方法随时改进. 因之,各种版本的地震目录,震级标度很不一致. 本文以古登堡-里克特^[17,18]震级标度为准,尽量搜集各台站的振幅和周期资料进行计算,并在分析研究各种目录的基础上,对震级值作了归算,以求得到具有均一震级的地震目录.

1. 对古登堡-里克特《全球地震活动性及有关现象》^[17]一书的手稿^[18]中给出的 82 次我国地震的振幅和周期资料,用 (1) 和 (2) 式分别计算 M_S 和 m_B . 结果表明: 该书上的震级值,对 $h \leq 40$ 公里的浅震,基本上是用 (1) 式计算的 M_S ; 对 $40 < h \leq 100$ 公里的地震,主要是 m_B , 也有极少数的面波资料; 对深度在 100 公里以上的中深源地震,则全部为 m_B , 如图 2 所示. 图中,体波震级的平均偏差值 $\overline{\Delta M} = 0.07$ 可能是由 m_B 与 M_B 的差别引起的. 上述结论与文献 [10] 一致. 书中的 d 类地震没有给出具体震级值,计算结果表明,其平均值为 5.6 ± 0.22 .

2. 除古登堡手稿外,还用了其它台站的振幅和周期资料. 1935 年前的地震,主要有大阪、神户和斯特拉斯堡等台. 由表 1 可见,大阪台在 1920 年前后,斯特拉斯堡台在 1930 年前后,校正值均有较大变化. 大阪台早期使用大森式无阻尼地震仪,根据阿部^[24]的研究,校正值为 -0.1 ,与表中 1902—1920 年所列 -0.06 基本一致. 1934 年以后,主要使

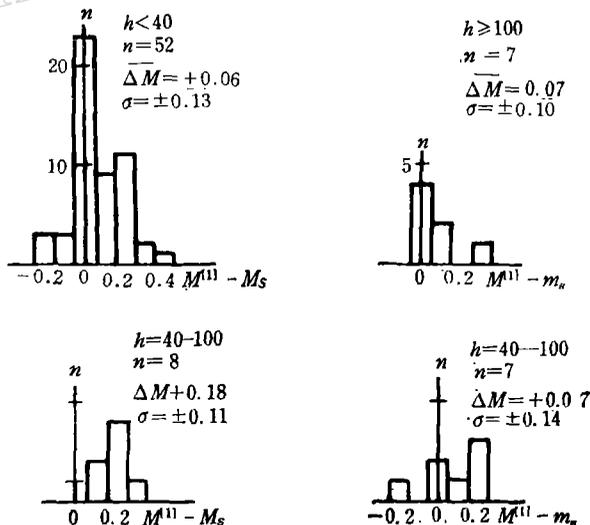


图 2 $M^{(1)}$ 与 M_S 、 m_B 统计比较图

Fig. 2 Statistical comparison of $M^{(1)}$ with M_S and m_B

1) 张相民根据缩微胶片提供.

用苏联的塔什干、符拉迪沃斯托克、莫斯科、普尔科伏、斯维尔德洛夫斯克、伊尔库茨克、巴库等台的数据,其校正值见表 1. 1940 年后,苏联合网报告中只列最大振幅值,且无周期资料. 计算震级时,对 $\Delta \geq 15^\circ$ 的地震振幅乘以 $\sqrt{2}$, 用 (1) 式计算 M_S ; $\Delta < 15^\circ$ 时,按下式^[25]估算震级,作为 (3) 式的补充:

$$M_S = \log A + 1.32 \log \Delta \quad (\Delta \text{ 以公里计}) \quad (4)$$

3. 徐家汇台从 1909 年起正式发表台站观测报告. 孙庆煊于 1979 和 1982 年曾两次核对原图,作了修订. 根据这些资料,我们求得该台的量规函数(参阅图 3). 计算震级的公式为:

$$M_S = \log \frac{A}{T} + 3.83 \log \Delta^\circ + 1.80 \quad (5^\circ \leq \Delta^\circ < 13^\circ) \quad (5)$$

$$M_S = \log \frac{A}{T} + 2.29 \log \Delta^\circ + 2.53 \quad (13^\circ < \Delta^\circ \leq 40^\circ)$$

式中, A 为水平向单分量地面运动最大振幅,以微米计. 量规函数由斜率显然不同的两个分支组成,可能是最大振幅所对应的波型不同所致. 资料点比较分散,回归的均方误差达 ± 0.3 级.

4. 对无振幅和周期资料的地震,引用有关地震目录中的震级值,统一归算到 G-R 震级标度.

1) 对我国西部地区的地震,主要参考苏联的有关目录. 《新编苏联强震目录》^[25]中,对 1962 年以前的地震,采用 (3) 式作了修订. 对其中我国地震的统计表明,所给震级与 G-R 震级标度相近,校正值为 $+0.08$.

2) 里克特目录^[4]主要采用基于面波的统一震级,即修订震级标度. 根据统计结果,震级值偏高 0.22^[7],因此不能直接采用.

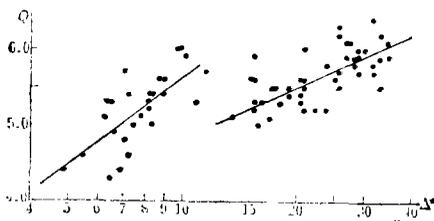


图 3 徐家汇台量规函数

Fig. 3 Calibration curve of Zi-ka-wei (Xujiahui) station

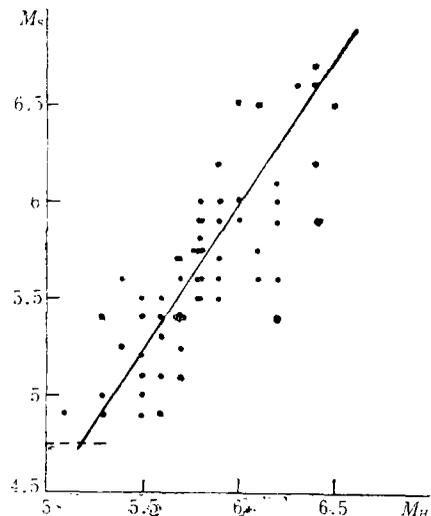


图 4 1936—1948 年台湾地震 M_S 与 M_H 关系曲线

Fig. 4 M_S - M_H (Hsu) curve of Taiwan earthquakes (1936—1948)

3) 杜达目录^[5]中的震级是比较复杂的,资料主要取自文献^[1,2,4]。对其中我国地震(直接引用文献[1]中震级者除外)的统计表明,震级值平均偏高 0.25 ($n = 30, \sigma = \pm 0.25$)。

4) 台湾地区可资参考的主要地震目录有:《台湾地震史》^[26]、《日本附近的大地震目录》^[27]和《台湾的地震活动性及一些有关问题》^[28]等。前者把地震按强弱分为:“显”、“稍”、“小”和“局”四等。经统计研究,分别相当于 G-R 标度的 $7, 6\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}$ 和 $4\frac{3}{4}$ 级。文献[27]中的震级值,1930年前是由河角广震级 M_K 换算求得,与 G-R 标度有相当大的差别,未予采用。1931年后,附加了由 6 个日本台资料平均求得的坪井震级,可引为参考。

徐明同目录^[28]有两部分。附录 2 中 1935 年前的震级值,除部分明显地取自文献[1]和[5]外,大多是河角广震级和作者推得的结果。统计表明:1925年前,与 G-R 标度偏差很大,校正值为 $+0.43$ ($n = 12, \sigma = \pm 0.34$); 1925—1935 年偏差较小,校正值为 $+0.1$ ($n = 9, \sigma = \pm 0.17$)。附录 1 中,1936 年以后的震级 M_H 是作者从观测资料求得

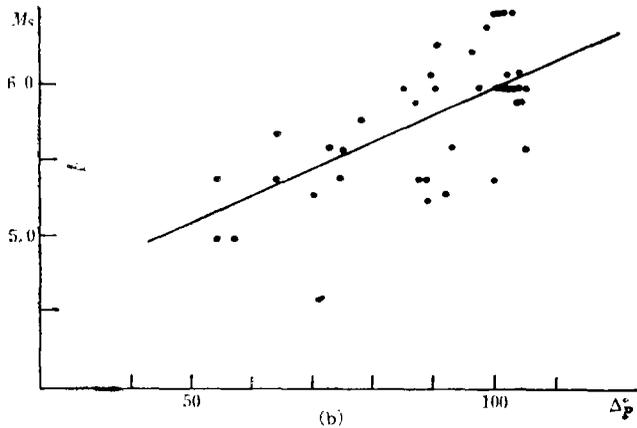
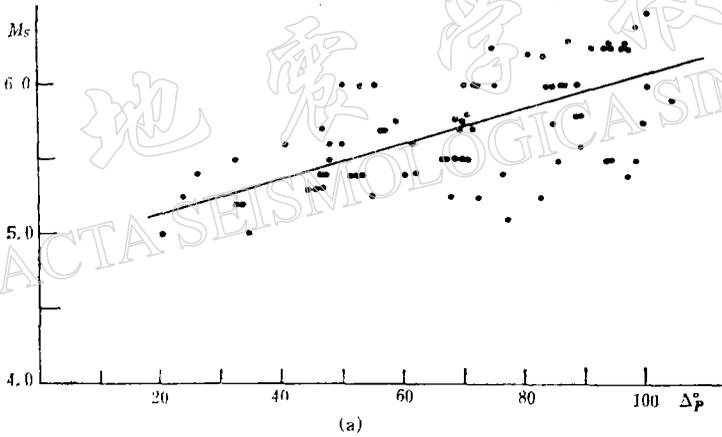


图 5 M_S 与 Δ_P 关系曲线

Fig. 5 $M_S-\Delta_P$ curve

(a) 中国大陆 (China mainland) (b) 台湾及邻近海域 (Taiwan Province and neighbouring sea)

120	1938.12.7	07-00-53	22.8	120.8	7.1	7	7	7	7.0	7.0	7.0	7.0	7.1
121	1940.7.10	13-49-55	44	131	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
122	1941.1.21	20-42-01	27.5	91.9	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
123	1941.1.27	10-30-16	26.5	92.5	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
124	1941.5.16	15-14-32	23.6	99.4	6.3	7	7	7	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
125	1941.12.17	03-19-42	23.7*	99.4*	7.1	7	7	7	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
126	1941.12.18	04-29	23.4	120.4	6.6	6.4	6.4	6.4	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
127	1941.12.26	22-48-09	22.7	99.9	7.0	7	7	7	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
128	1942.9.24	11-38-58	22.2*	100.1*	6.5	6.2	6.2	6.2	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
129	1943.4.5	09-56-01	39.3	73.3	6.5	6.2	6.2	6.2	6.5	6.3	6.3	6.3	6.3
130	1943.11.24	21-17-13	22.5	122.0	6.8	7	7	7	6.8	6.9	6.9	6.9	6.9
131	1943.12.2	13-09	22.5	121.5	6.6	6.2	6.2	6.2	6.6	6.2	6.2	6.2	6.2
132	1944.2.6	01-20	23.8	121.4	6.6	6.2	6.2	6.2	6.6	6.2	6.2	6.2	6.2
133	1944.3.10	06-12-58	44	84	7.1	7.2	7.2	7.2	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2
134	1944.9.28	00-25-07	39.1	75.0	6.8	7	7	7	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7
135	1944.10.18	02-36-56	31.4	83.3	6.7	6.2	6.2	6.2	6.7	6.2	6.2	6.2	6.2
136	1944.10.29	08-11-30	31.3	83.4	6.6	6.2	6.2	6.2	6.6	6.2	6.2	6.2	6.2
137	1944.12.19	22-09-04	39.7	124.3	(6.5)	6.2	6.2	6.2	6.5	6.2	6.2	6.2	6.2
138	1946.1.11	09-33-29	44.0	129.5	6.9	7.2	7.2	7.2	6.9	7.2	7.2	7.2	7.2
139	1946.12.5	06-47	23.1	120.3	6.6	6.2	6.2	6.2	6.6	6.2	6.2	6.2	6.2
140	1946.12.19	10-57-19	24.8	122.5	6.8	6.2	6.2	6.2	6.8	6.2	6.2	6.2	6.2
141	1947.2.10	12-02-02	31.8	85.4	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
142	1947.3.17	16-19-41	33.3	99.5	7.4	7.2	7.2	7.2	7.4	7.2	7.2	7.2	7.2
143	1947.7.29	21-43-33	28.6	93.6	7.5	7.2	7.2	7.2	7.5	7.2	7.2	7.2	7.2
144	1947.9.27	00-01-57	24.8	123.0	7.4	7.2	7.2	7.2	7.4	7.2	7.2	7.2	7.2
145	1948.3.3	17-10-02	18.8	119.0	7.4	7.2	7.2	7.2	7.4	7.2	7.2	7.2	7.2
146	1948.5.23	15-11-21	29.5	100.5	7.4	7.2	7.2	7.2	7.4	7.2	7.2	7.2	7.2
			29.7*	100.3*	7.4	7.2	7.2	7.2	7.4	7.2	7.2	7.2	7.2

注：*据宏观资料。

的,其标度比较复杂. 对 1936—1948 年的地震作最小二乘回归,其结果为:

$$M_S = 1.49M_H - 2.97 \quad (n = 63, r = 0.80, \sigma = \pm 0.29) \quad (6)$$

由图 4 可见: $M_H = 5.2$ 时, $M_S = 4\frac{3}{4}$; $M_H < 6$ 时,校正值为负.

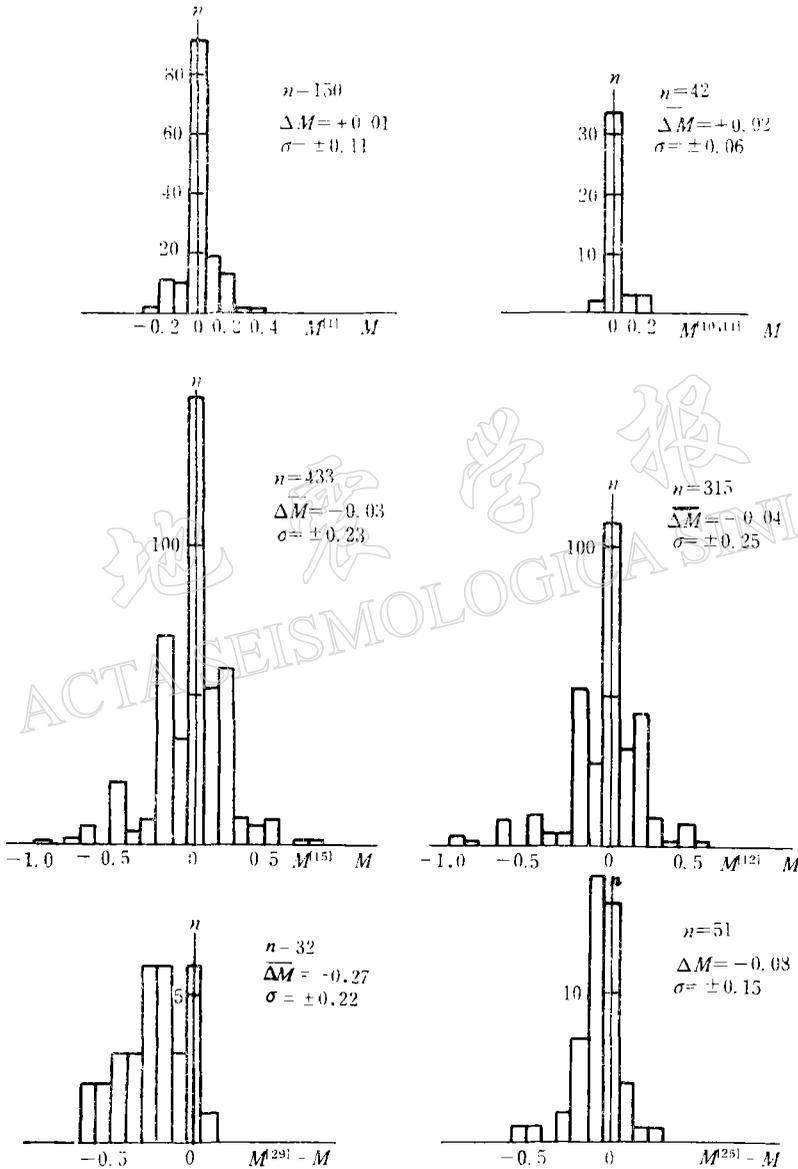


图 6 1900—1948 年均一震级目录与其他目录统计比较图

Fig. 6 Statistical comparison of catalogue (1900—1948) with unified magnitudes with other catalogues

[$M^{[11]}$ ——古登堡 (Gutenberg); $M^{[10,11]}$ ——阿部胜征 (Abe); $M^{[29]}$ ——苏联地震图集 (Atlas of Earthquakes in USSR); $M^{[25]}$ ——苏联新编强震目录 (New Catalogue of Strong Earthquakes in USSR); $M^{[15]}$, $M^{[21]}$ ——1983、1971 年编中国地震目录 (1983 and 1971 editions of Catalogue of Chinese Earthquakes)]

5) ISS 报告中,只给出发震时刻和震源位置,既不列震级,也无振幅和周期资料。对这部分地震,我们从观测到 P 波的最大距离 Δ_P 估算震级。考虑到 P 波通过大陆和海洋时的衰减不同,对我国大陆和台湾及邻近海域的地震分别进行统计,求得在 $\Delta_P < 105^\circ$ 范围内:

$$\begin{aligned} M_S &= 0.0119\Delta_P^\circ + 4.89 \quad (\text{中国大陆}) \\ M_S &= 0.0179\Delta_P^\circ + 4.23 \quad (\text{台湾及邻近海域}) \end{aligned} \quad (7)$$

从图 5 可见,观测点比较分散,因而估算的震级误差较大。

四、震级修订结果和讨论

根据上述统一 G-R 震级标度和资料处理方法,对 1900—1948 年间 1,006 次地震的震级分别进行了计算、校核或归算。修订后的震级目录编入《中国地震历史资料汇编》第四卷。其中 M_S (或 m_B) ≥ 6.5 的地震资料比较完整,如表 2 所列。表中还列出了几种常用目录中的震级值,以资比较。

1. 图 6 绘出本目录与其它几种目录比较的统计图。结果表明,本文与古登堡^[1]表中的震级很接近,平均偏差 $\overline{\Delta M} = +0.01$, $\sigma = \pm 0.11$ 。偏差的产生与本目录增补了新资料,并对近距离台站资料用 (3) 式计算等因素有关。与阿部所定震级^[10,11]相比, $\overline{\Delta M} = +0.02$, $\sigma = \pm 0.06$ 。本目录所定震级略高于《新编苏联强震目录》^[22], $\overline{\Delta M} = -0.08$, $\sigma = \pm 0.15$; 而与震级未均一化的《苏联地震图集》^[29]则差别较大, $\overline{\Delta M} = -0.27$, $\sigma = \pm 0.22$ 。

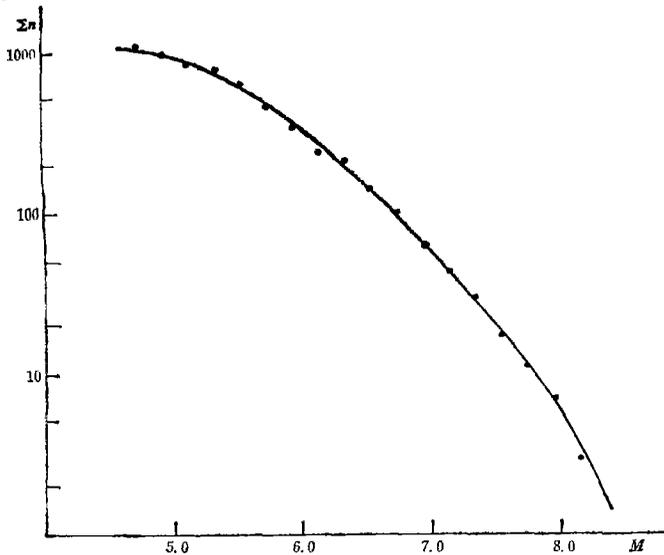


图 7 1900—1948 年中国地震地震频数 ($\geq M$, 步长 0.5)-震级曲线
Fig. 7 Total number ($\geq M$, step 0.5) of shocks-magnitude curve of 1900—1948 Chinese earthquakes

本目录与 1971 和 1983 年两版《中国地震目录》^[12,15] 的震级相比, 偏差分别为 $\overline{\Delta M} = -0.04, \sigma = \pm 0.25$ 和 $\overline{\Delta M} = -0.03, \sigma = \pm 0.23$. 平均偏差虽小, 而 σ 较大, 反映有较大离散. 应该指出, 在统计 1983 年目录时, 未计入其中直接引用徐明同^[28] 目录的震级; 否则偏差将远为增大.

2. 由表 2 可见, 一些较大地震的震级, 经过仔细修订, 与以前采用数值有较大差别. 例如: 对 1902 年 8 月 31 日新疆皮山地震的震中重新作了交待. 根据古登堡手稿, M_s 为 7.4; 但阿部对无阻尼地震仪资料校正后的震级为 7.0, 与苏联修订过的震级^[25] 相近; 本表取 7.0. 1904 年 8 月 30 日四川道孚地震, 原根据宏观资料定为 6 级; 但依古登堡手稿和其它 10 个台的数据计算, $M_s = 7.5$, 与阿部校正一致; 本表取为 7.5; 所定震中与宏观位置差别达 1° . 1913 年 12 月 21 日云南峨山地震, 1971 年和 1983 年两版《中国地震目录》根据宏观资料, 震级分别定为 6 1/2 和 7; 作者计算结果为 7 1/4, 与阿部修订值 7.2 相近. 1917 年 7 月 31 日云南大关(微观震中在四川沐川)地震, 两版《中国地震目录》分

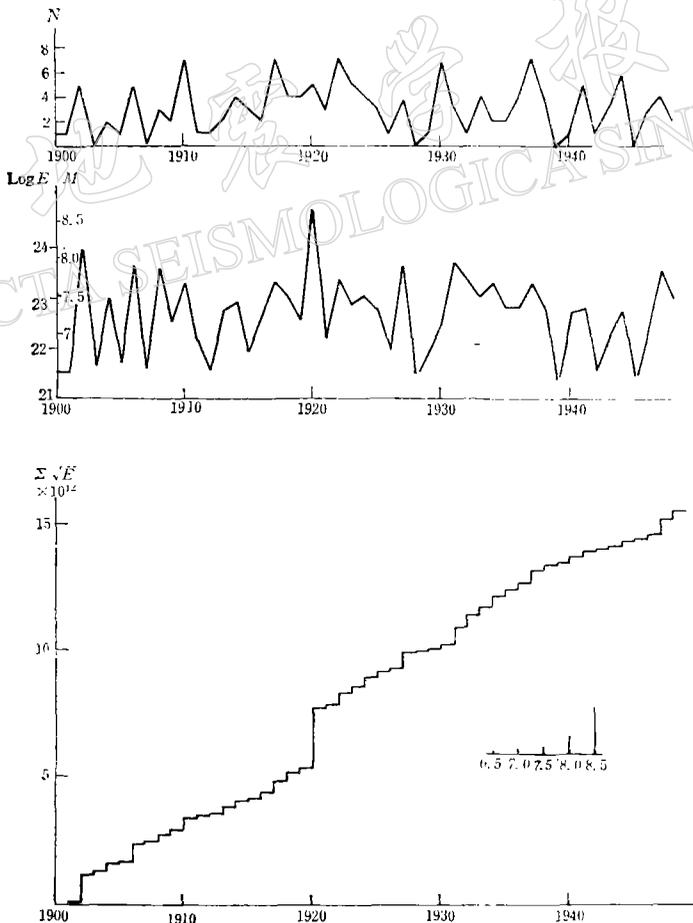
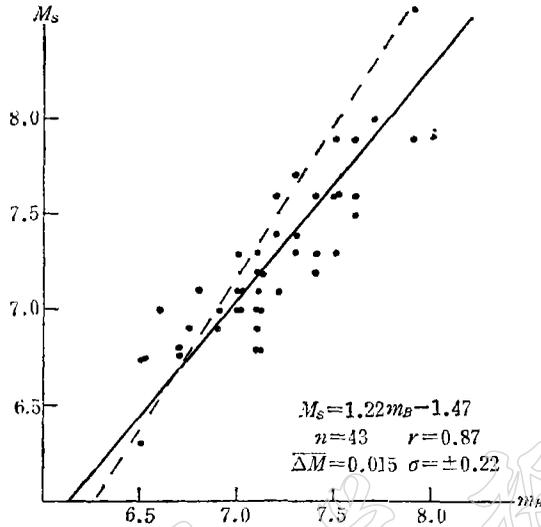


图 8 1900—1948 年中国地震年频度 N , 能量 E , 累积应变释放 $\Sigma\sqrt{E}$ 随时间的变化曲线

Fig. 8 Variation of N, E and $\Sigma\sqrt{E}$ with time for Chinese earthquakes (1900—1948)

图9 M_S 与 m_B 关系曲线Fig. 9 M_S - m_B curve

别定为 $6\frac{1}{2}$ 及 $6\frac{3}{4}$ 级, 阿部校正为 7.5 级, 作者根据几个台的数据求得 $7\frac{1}{4}$. 1918 年以

后, 由于观测资料逐渐增多, 这种大幅度震级变动较少, 但经过认真修订, 精度和可靠性有所提高. 例如: 1927 年 5 月 23 日甘肃古浪地震, 古登堡定为 8.0 级; 据 15 个台的数据, 只有 1 个台为 8.1, 其余均不足 8 级, 平均为 7.8; 阿部定为 7.9; 最后修订为 7.9 级. 1937 年 8 月 1 日山东菏泽的两次地震, 根据 10 个台的数据, 用 (3) 式计算, 分别修订为 6.8 和 6.7 级.

3. 1900—1948 年期间, 台站数量不足, 质量不高, 分布不尽合理, 资料收集也难怪齐全. 地震频数 ($\geq M$, 步长 0.5)-震级关系曲线 (图 7) 在 6.5 级以下明显下弯, 表明遗漏地震较多. 图中直线部分的 b 值为 0.84, 与古登堡^[1]对全球浅震所得的 $b = 0.90 \pm 0.02$ 相近, 而与《中国地震烈度区划报告》^[30]中所列数值有较大差别.

4. 图 8 绘出 $M \geq 6.5$ 地震的频度、能量和累积应变释放随时间的逐年变化曲线. 显然, 1920 年地震活动最强, 发生了海源 8.6 级和台湾 8.0 级地震. 其次为 1902 年, 发生了阿图什 8.2 级地震. 从应变释放曲线可以看出, 1902 年后速率由快变慢, 1920 年后速率有所增加, 1938 年后明显减缓, 1947 年起又有加速趋势, 接着发生了 1950 年的察隅 8.6 级和 1951 年的当雄 8.0 级地震.

5. 利用本目录的 M_S 和 m_B 值, 求得面波震级和体波震级的换算关系:

$$M_S = 1.22m_B - 1.47 \quad (8)$$

如图 9 所示. 这个关系与古登堡的统计结果 (图中虚线) 有一定的偏离.

参 考 文 献

[1] Gutenberg, B. and C. F. Richter, Seismicity of the Earth and associated phenomena, Princeton University Press, New Jersey, 1954.

- [2] Gutenberg, B., Great earthquakes 1896—1903, *Trans. Amer. Geophys. Union*, **37**, 608—614, 1956.
- [3] Rothe, J. P., The Seismicity of the Earth, 1953—1965, UNESCO, Paris, 336pp.
- [4] Richter, C. F., Elementary seismology, Freeman, San Francisco, 1958.
- [5] Duda, S. J., Secular seismic energy release in the Circum-Pacific belt, *Tectonophysics*, **2**, 409—452, 1965.
- [6] Kanamori, H. and K. Abe, Reevaluation of the turn-of-the century seismicity peak, *J. Geophys. Res.*, **84**, 6131—6139, 1979.
- [7] Geller, R. J. and H. Kanamori, Magnitudes of great shallow earthquakes from 1904 to 1952, *Bull. Seism. Soc. Amer.* **67**, 587—598, 1977.
- [8] Abe, K. and H. Kanamori, Temporal variation of the activity of intermediate and deep focus earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **84**, 3589—3595, 1979.
- [9] Abe, K. and H. Kanamori, Magnitudes of great shallow earthquakes from 1953 to 1977, *Tectonophysics*, **62**, 191—203, 1980.
- [10] Abe, K., Magnitude of large shallow earthquakes from 1904—1980, *Phys. Earth Planet. Int.* **27**, 72—92, 1981.
- [11] Abe, K. and S. Noguchi, Determination of magnitude for large shallow earthquakes 1898—1917, *Phys. Earth Planet. Int.* **32**, 45—59, 1983.
- [12] 中央地震工作小组办公室, 中国地震目录, 科学出版社, 1971.
- [13] 国家地震局, 中国地震简目, 地震出版社, 1977.
- [14] Lee, W. H. K., F. T. Wu, and S. C. Wang, A catalog of instrumentally determined earthquakes in China (magnitude ≥ 6) compiled from various sources, *Bull. Seism. Soc. Amer.* **68**, 383—398, 1978.
- [15] 顾功叙, 中国地震目录, 科学出版社, 1983.
- [16] 谢毓寿、蔡美彪, 中国地震历史资料汇编, 第四卷, 科学出版社(印刷中).
- [17] Gutenberg, B. and C. F. Richter, Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.* **35**, 3—12, 1945.
- [18] Gutenberg, B. and C. F. Richter, Magnitude and energy of earthquakes, *Ann. Geofis.*, **9**, 1—15, 1956.
- [19] Båth, M., Teleseismic magnitude relations, *Ann. Geofis.*, **30**, 299—327, 1977.
- [20] Båth, M., Earthquake magnitude-recent research and current trends, *Earth-Science Rev.*, **17**, 315—398, 1981.
- [21] Gutenberg, B., Amplitudes of P, PP and S and magnitude of shallow earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.* **35**, 57—69, 1945.
- [22] Gutenberg, B., Magnitude determination for deep-focus earthquake, *Bull. Seism. Soc. Amer.* **35**, 117—130, 1945.
- [23] Ванек, И., В. Карник, Н. В. Кондорская, и др., Стандартизация шкалы магнитуд, *Изв. АН СССР, Сер. Геоф.*, 153—158, 1962.
- [24] Abe, K., Instrumental magnitudes of Japanese earthquakes 1901—1925, *J. Seism. Soc. Japan, Ser. II*, **32**, 341—353, 1979.
- [25] Кондорская, Н. В. и В. Шебалин, Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР, *Изд-во "Наука"*, Москва, 1977.
- [26] 台北观测所, 昭和10年(1935)4月21日新竹台中烈震报告, 台湾地震史, 东京帝国大学地震研究所汇报别册, 第三号, 147—160, 1936.
- [27] Catalogue of major earthquakes which occurred in the vicinity of Japan (1885—1950), *Suppl. Seism. Bull. for the year 1950, Central Meteor. Obs. Japan, Tokyo*, 1952.
- [28] Hsu Ming-Tung (Xu Mingtong), Seismicity of Taiwan and some related problems, *Bull. Inter. Inst. Seism. Earthq. Eng.*, **8**, 41—160, 1971.
- [29] Атлас землетрясений в СССР, *Изд-во АН СССР. М.*, 1962.
- [30] 国家地震局, 中国地震烈度区划工作报告, 地震出版社, 1981.

A CATALOGUE OF CHINESE EARTHQUAKES ($M \geq 6.5$) FROM 1900 TO 1948 WITH UNIFORM MAGNITUDES

CHENG DELI

(*Jiangsu Provincial Seismological Bureau*)

XIE YÜSHOU

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

DING ZHIFENG

(*Jiangsu Provincial Seismological Bureau*)

Abstract

As the magnitude scale, the characteristics of instruments, and the method of measurement are different for different periods at various seismological organizations, the magnitudes listed in different catalogues of Chinese earthquakes are usually inconsistent. On the basis of collection and collation of instrumental data of Chinese earthquakes for the period 1900—1948, the authors revised the magnitudes in order to give a catalogue with uniform magnitude scale. For surface wave and body wave magnitudes, Gutenberg and Richter formulas of 1945 and 1956 were used respectively. As a supplement, the 1962 Moscow-Prague formula was used in determining magnitudes from surface waves with shorter periods. Statistical result showed that for the period of investigation the difference of surface wave magnitudes obtained by using the two formulas is tolerable.

Amplitude and period data from Gutenberg and Richter's unpublished original worksheets for "Seismicity of the Earth and Associated Phenomena" and all other available sources were used. Calibration curve of Xujiahui (Zi-ka-wei) seismic station was established. An empirical formula for estimating magnitude from maximum distance of registration of P-waves was found. Regression curves of magnitudes listed in various catalogues relative to our revised magnitudes were obtained. On these bases, a new catalogue of Chinese earthquakes from 1900 to 1948 with uniform magnitude scale was compiled. Only earthquakes with magnitudes greater than or equal to 6.5 were listed in this paper.

Statistical comparison showed that our revised magnitudes agree well with that of Abe for major earthquakes. Although the mean deviation of the magnitudes listed in the 1983 edition of "Catalogue of Chinese Earthquakes" [excluding those quoted directly from Hsu Mingtung's (Xu Mingtong) catalogue] from our result is small, the scattering is rather large.

The meaning of the magnitude given in "Seismicity of the Earth and Associated Phenomena" was investigated. Our conclusion is consistent with that of Geller and Kanamori. The seismicity of China and the monitoring capacity of Chinese earthquakes by world wide seismic stations for the period 1900—1948 were discussed, and a conversion formula between surface wave and body wave magnitudes of Chinese earthquakes was given.