

震级转换关系及其对地震活动性参数的影响研究¹

汪素云 俞言祥

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要 本文根据 1990—2007 年《中国地震年报》中同时给出 M_S 和 M_L 、且震源深度 $<70\text{km}$ 的 6577 个浅源地震资料, 经统计回归得到了全国和各地震区 M_S 与 M_L 之间的经验关系。新的震级转换关系接近于 $M_S=M_L$, 本文建议在需要进行震级标度转换时, 对于没有测定 M_S 的低震级地震可直接使用 $M_S=M_L$ 进行转换。与目前广泛使用的震级转换关系相比, 采用本文建议的震级转换方法后, 全国各地震区 5 级以上地震的数量基本没有变化, 但 5 级以下地震的数量有明显增加, 导致由此统计得到的各地震区震级-频度关系中的 b 值有不同程度的增大。此外, 用地震数量直接得到的 4 级以上地震的年平均发生率 ν_4 有明显增高, 且部分地震区甚至增加了 50% 以上。在高震级地震发生率不变的情况下, 地震活动性参数的上述变化反映了对地震区地震活动水平的估计有提高, 可能导致概率地震危险性分析结果的提高, 对地震区划和工程场地地震安全性评价有重要意义。

关键词: 震级 转换关系 地震活动性参数 b 值

引言

确定地震区带(或地震统计区)的地震活动性参数是地震区划和地震安全性评价工作的重要环节。对地震危险性分析结果起主要作用的地震活动性参数主要包括 b 值和 ν_4 , 其中, b 值反映了地震统计区内大小地震的比例关系; 而 ν_4 则表示地震统计区内 4 级以上地震的年平均发生率。地震活动性参数通常根据统计区内资料较为完整时段的地震目录统计得到, 因此, 在进行地震区划或工程场地地震安全性评价工作时, 建立一个统一震级标度的可靠地震目录是非常重要的。

在地震震级的国家标准《地震震级的规定(GB 17740-1999)》(许绍燮等, 1999)中, 地震震级 M 用地震面波测定(即 M_S)。常用的震级标度有 4 种: M_S (面波震级); M_L (近震震

¹ 基金项目 国家科技支撑计划项目(2006BAC13B01)、地震行业科研专项(200708003、200808008)资助

[收稿日期] 2009-03-05

[作者简介] 汪素云, 女, 生于 1941 年。研究员。主要研究领域: 地震活动性、地震动特性。E-mail: wsy@cea-igp.ac.cn

级); m_B 与 m_b (分别为用长、短周期地震仪记录测定的体波震级)。由于我国大陆地震多数为浅源地震(震源深度小于 70km), 因此, 在工程地震中常使用以下 2 种震级标度的目录:

①以 M_L 标度的地震详目 ($M_L \geq 1.0$): 《中国东部地震目录(1970—1979 年)》、《中国西部地震目录(1970—1979 年)》以及此后每年一册的《中国地震详目》;

②以 M_S 标度的强震目录, 如《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)》(国家地震局震害防御司, 1995) 和《中国近代地震目录(公元 1912—1990 年, $M_S \geq 4.7$)》(国家地震局震害防御司, 1999)。

面波震级 M_S 通过地震面波振幅测定, 而近震震级 M_L 通过体波振幅测定。由于面波多由浅源强震激发, 因此强震一般可测定面波震级 M_S , 而近震震级 M_L 多用于小地震。

在我国的地震区划和地震安全性评价工作中, 通常使用面波震级 M_S 。对于只有近震震级 M_L 的地震, 统一使用经验公式:

$$M_S = 1.13M_L - 1.08 \quad (1)$$

进行震级标度的转换。式(1)是郭履灿等于 1971 根据邢台地震余震资料得出的经验关系, 用于中国华北地区震中距 $\Delta \leq 1000\text{km}$ 的地震, 但在其它地区兼用(国家地震局震害防御司, 1990)。1970 年以后, 随着我国地震监测台网的逐步完善, 特别是经过“九五”和“十五”期间的建设, 地震监测能力有了极大的增强。20 世纪 90 年代后又积累了大量的地震资料, 其中有相当比例的地震资料是由数字化台网所测定的地震。目前使用的震级转换式(1)能否反映实际情况, 需要用新的资料进行检验。本文试图利用 1990 年至今测定的既有面波震级 M_S , 又有近震震级 M_L 的地震, 建立两种震级之间的转换关系, 从而检验式(1)的适用性, 并研究采用新、旧两种震级转换关系对不同地震区地震活动性参数的影响。

1 M_S 与 M_L 的转换关系

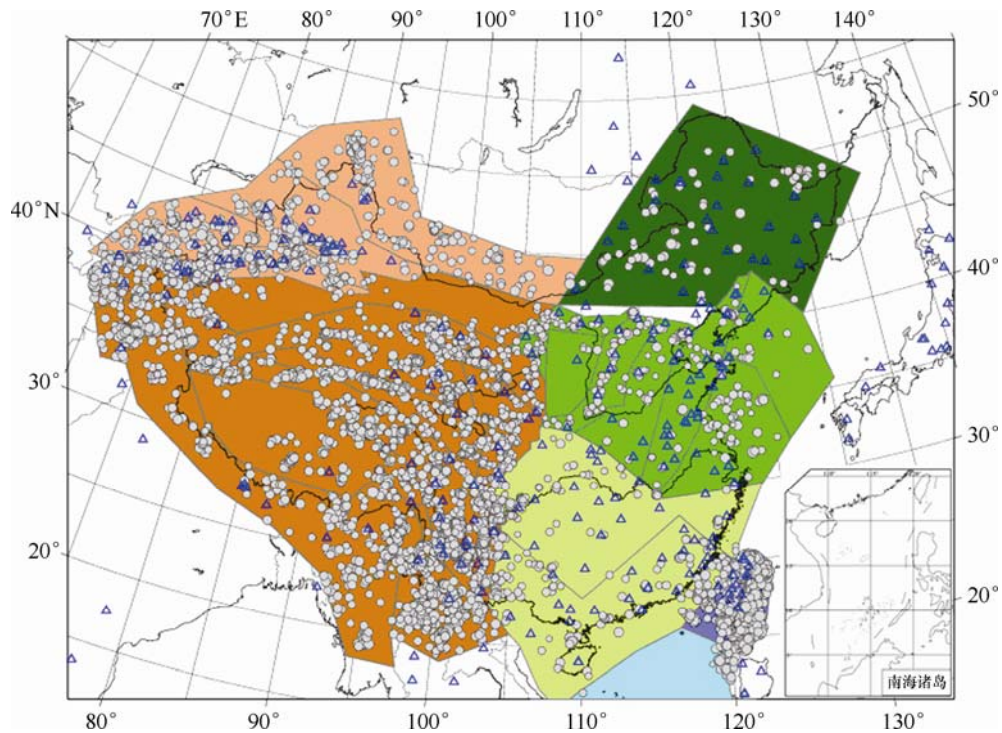
在中国地震局地球物理所自 1979 年编制的《中国地震年报》以及现在的中国地震台网中心自 2001 年始编制的《中国数字地震台网观测报告》中, 同时给出了多种震级标度, 其中 4 种常用的震级分别是: M_S 、 M_L 、 m_B 和 m_b 。另外, 地震报告中同时给出 M_S 和 M_L 的地震震级介于 3.0—7.0 之间, 并集中在 3.5—5.0 这一震级范围内。由于数字化地震台站的建立, 高增益、大动态、宽频带的记录特点以及仿真技术的应用, 使得在 1990—2007 年的 18 年间, 《中国地震年报》(中国地震台网中心, 1990—2007) 中能够同时给出 M_S 和 M_L 的地震条目达数千条之多, 为研究二者间的关系提供了大量的数据, 这也使本文能够充分利用这些地震资料进行研究。

在 1990—2007 年的《中国地震年报》中, 同时给出了 M_S 和 M_L , 且震源深度 $< 70\text{km}$ 的地震共有 6577 个。图 1 给出了这些地震的震中分布、《中国地震年报》测定这些地震所用地震台站的位置以及《中国地震动参数区划图》划分的地震区(①台湾地震区; ②华南地震区; ③华北地震区; ④东北地震区; ⑤青藏川滇地震区; ⑥天山新疆地震区; ⑦南海地震区)。

从图 1 可以看出, 同时具有 M_S 和 M_L 且震源深度 $< 70\text{km}$ 的地震广泛分布在除南海以外的各地震区, 其中, 青藏高原东部、天山及台湾东部尤为密集。图 2 为对应于 M_L 的各震级段地震个数的统计图, 这些地震较集中于 4 级左右。

以 M_L 作为自变量, 拟合上述数据组的结果为:

$$M_S = 0.932M_L + 0.295 \quad (2)$$



图中圆点为地震震中；三角代表台站；以不同颜色表示分区；数字为分区号

图 1 地震震中、台站及分区图

Fig.1 Distribution of epicenters, stations and seismic regions

图 3 给出了数据点及新的拟合直线（蓝线）。从图 3 可见，新的关系（式（2））对数据的拟合较好。同时，还绘出了用式（1）计算的拟合直线（黑线）。从图 3 可以看到，式（1）偏于数据组的下侧，显然与数据的拟合非常不好，说明公式（1）已不适用。

在图 3 中还给出了以下公式的拟合直线（红线）：

$$M_S = M_L \tag{3}$$

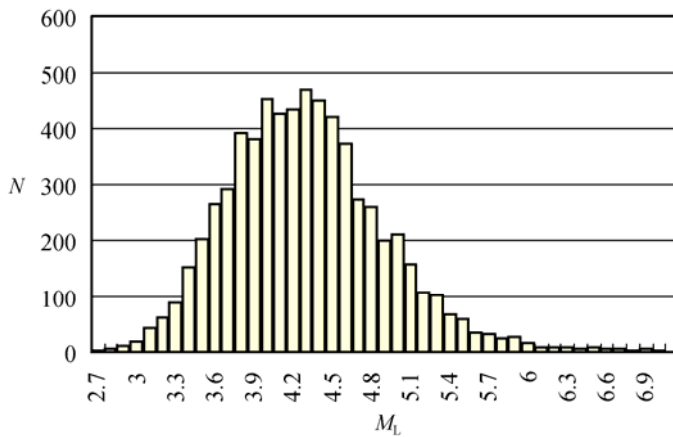


图 2 对应于 M_L 的地震个数统计

Fig.2 Plot of earthquake number vs. magnitude

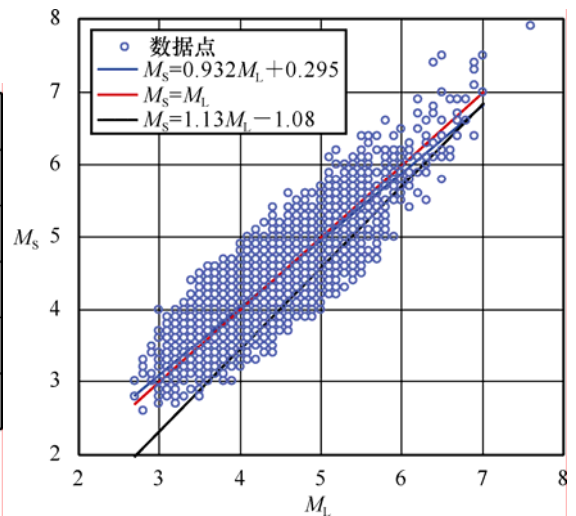


图 3 数据及拟合直线

Fig.3 Plot of M_S and vs. M_L and the fitting lines

从图 3 中可以直观地看到, 式 (3) 与式 (2) 的直线相对较为接近, 即新转换公式表明了我国台网测定的 M_S 与 M_L 在数值上相差不大。

由于地震受到传播路径结构以及介质不均匀性的影响, 使得地震波的衰减不一样, 因而, 测定的地震震级会随方位及距离而变。为了消除这种影响, 在测定震级时, 往往不用单台测定的震级, 而是采用多台的平均。于是在台站覆盖均匀的地区, 通常用于测定的台站数较多, 因此各台站震级的平均值比较可靠; 而在台站数较少的地区测定的地震, 其震级测定的可靠性就相对差些。按照图 1 中的地震分区 (除东北 (④区) 及南海 (⑦区) 地震区因地震太少无法做到外), 求得了各区的 M_S 与 M_L 的经验关系: $M_S=A+BM_L$, 其拟合系数如表 1 所示。在表 1 中, GM 为相关系数; S 为标准差; SA 和 AB 分别为系数 A 和 B 的标准差。同时, 表 1 还列出了统计时 M_L 的震级范围及数据点的数目 N 。

表 1 各区的 M_S 与 M_L 的经验关系 ($M_S=A+BM_L$)

Table 1 Empirical relations between M_S and M_L in seismic regions ($M_S=A+BM_L$)

地震区	A	B	GM	S	SA	SB	震级范围	N
台湾	0.3561	0.9468	0.9769	0.2279	0.1770	0.0355	3.1—6.9	1861
青藏川滇	0.3520	0.9281	0.9952	0.0998	0.0725	0.0159	2.7—6.7	1562
华北	0.2247	0.8972	0.9807	0.1319	0.1647	0.0382	3.1—5.5	301
天山新疆	0.6759	0.8058	0.9584	0.2235	0.2198	0.0453	3.2—6.5	936
华南	1.0190	0.7447	0.9711	0.1589	0.1669	0.0374	3.1—6.6	314
全区	0.2945	0.9316	0.9899	0.1730	0.1030	0.0205	2.7—7.0	6577
旧公式 (式 (1))	-1.08	1.13						

从表 1 可见, 台湾、青藏川滇回归直线的斜率 B 值相近, 并且与全区的相近; 天山新疆与华南相近; 华北的居中。为了直观起见, 将各地震区的数据绘于图 4 中, 将回归直线绘于图 5 中, 图中直线的长度与所用数据的震级范围相一致。

图 5 还给出了用旧转换公式计算的直线, 从中可以看到, 旧转换公式在低震级时用 M_L 计算的 M_S 与用新公式计算的 M_S 相差较大, 当 $M_L=4$ 时, 用旧公式转换得到的 M_S 比用新公式得到的 M_S 低 0.6。但随着 M_L 的增大, 这种差距随之减小。同时, 从图 5 还可看到, 各地震区拟合直线之间的差异在 $M_L \geq 5.0$ 以后变大。

2 推荐的转换关系

上述结果与张宏志等 (2007) 得到的结果相似。张宏志等利用 2000—2003 年的《中国数字地震台网观测报告》, 从中选出能同时测定 M_L 和 M_S 的 484 个地震。又从 1995—1999 年的《中国地震台网目录》中, 取同时有前述 2 种震级的数据共计 940 组, 拟合结果表明数字记录和模拟记录之间不存在显著差别。张宏志等的结果也表明, 式 (1) 偏于数据组的下方, 显然与数据的拟合非常不好, 而 $M_S=M_L$ 更接近于他们的拟合结果。张宏志等考虑到 M_S 和 M_L 的测定都存在误差, 认为 M_S 和 M_L 震级之间不换算也许更符合我国地震数据的真实情况。

图 6 给出了根据 M_S 与 M_L 数据计算的差值 ($dM=M_S-M_L$) 与 M_L 的数据关系, 图中纵轴

坐标为 (M_S-M_L) ，横轴坐标为 M_L 。从图 6 可以看到，数据点分布在 $dM=0$ 的两侧，当 $dM>0$ 时，表示 $M_S>M_L$ ；当 $dM<0$ 时，表示 $M_S<M_L$ ；当 $dM=0$ 时，表示 $M_S=M_L$ 。同时，图 6 还给出了用式 (1) (旧公式)、式 (2) (新公式)、式 (3) ($M_S=M_L$) 计算的 M_S 与 M_L 的差值 dM 与 M_L 的关系。

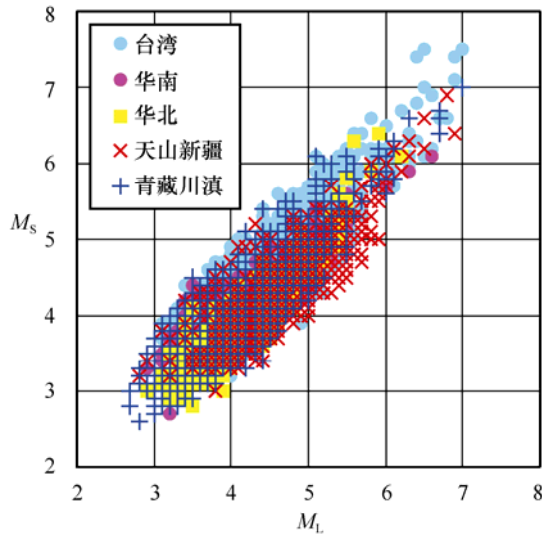


图 4 各地震区原始数据点

Fig.4 Raw data in different seismic regions

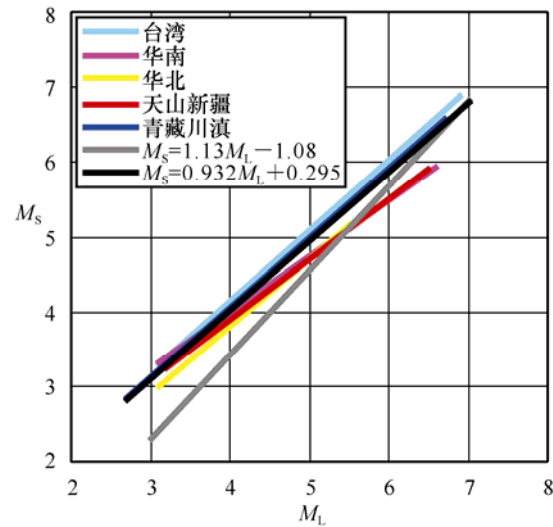
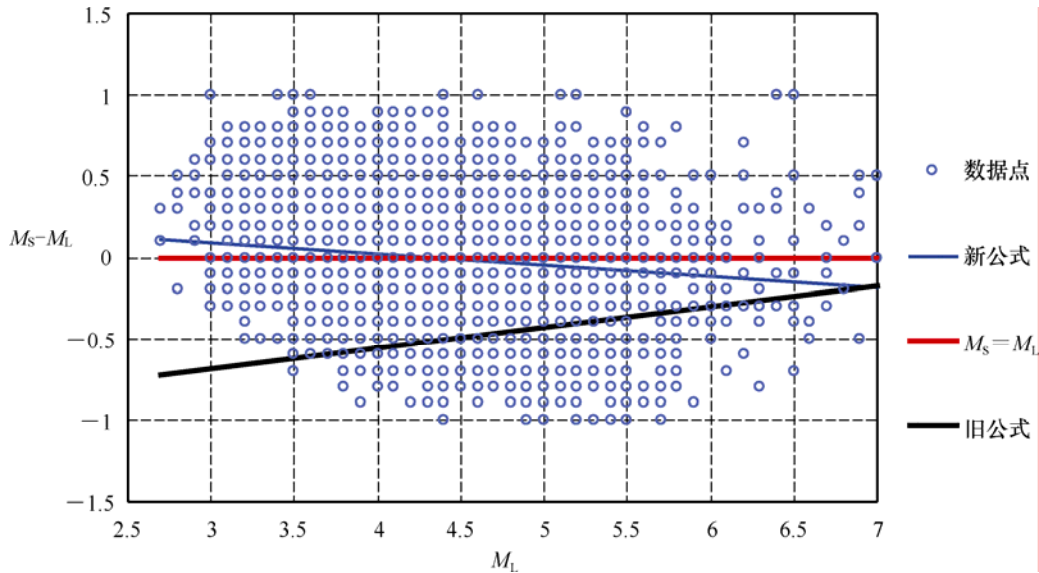


图 5 各地震区拟合直线

Fig.5 Fitting lines of different seismic regions

图 6 震级差值 dM 与 M_L 的数据关系Fig.6 Plot of M_S-M_L vs. M_L

从图 6 中可见，旧公式给出的 $dM<0$ ，表明用旧公式 (1) 将 M_L 转换成的 M_S 系统偏低，特别是在小震级时，低震级段远离了实际的数据值。而新公式 (2) 与公式 (3) ($M_S=M_L$) 二者相近，最大差值 ≤ 0.2 。当震级小于 4 级左右时， $M_L<M_S$ ；而当震级大于 4 级左右时， $M_L>M_S$ 。为了使用方便，本文建议用新的震级转换式 (3)，即 $M_S=M_L$ ，来替换使用了 30 多年的转换式 (1)，这样可能更为合理。

3 转换公式的变化对地震活动性参数的影响

由于新、旧震级转换公式相差较多, 在应用新的转换公式将 M_L 转换为 M_S 时, 将导致较小 M_S 震级的地震数目大大增多。

为了研究采用新的震级转换公式后对地震活动性参数统计结果的影响, 本文利用 1990—2007 年 18 年的《中国地震年报》资料, 统计了全区及各地震区的累积震级频度 N , 如表 2 所示。在进行统计时, 震级统一采用 M_S 标度, 对于没有给出 M_S 、只给出 M_L 的地震, 文中采用了以下 2 种处理方法: ①利用旧公式 (1) 将 M_L 转化成 M_S , 即在表 2 中表示为“旧公式”栏; ②按本文建议的方法, 利用新公式 (3) 进行转化, 即在表 2 中表示为“新公式”栏。从表 2 中可见, 在 $M_S \geq 5.0$ 时, 二者的数据基本一致, 这说明这一震级段的地震几乎均测定了面波震级; 而在 $M_S < 5.0$ 的震级段, 二者的数据不一致, 其差值说明由于震级用旧公式转换, 从而引起了 N 值的变化, 并且, 由于在低震级时用旧公式转换得到的 M_S 严重偏低 (如在 $M_L=4.0$ 时, 转换成 $M_S=3.4$; 在 $M_L=3.0$ 时, 转换成 $M_S=2.3$), 因此, 表中低震级地震用“旧公式”表示的数目比用“新公式”表示的数目 N 要少。相应地, 在计算频度曲线时, 震级下限就会提高 (如表 2 中的斜体数字明显偏低, 未参与回归计算)。同时, 在表 2 中还给出了全区及各地震区地震累积频度 $N(M)$ 的统计表。

表 2 地震累积频度 $N(M)$ 的统计表

Table 2 Statistics of earthquake cumulative frequency $N(M)$

地区	台湾		华南		华北		青藏川滇		天山新疆		全区	
	旧公式	新公式	旧公式	新公式	旧公式	新公式	旧公式	新公式	旧公式	新公式	旧公式	新公式
3.0	2596	3156	505	1224	565	1904	2166	4609	2265	4569	11863	20739
3.5	2069	2872	342	641	293	738	1607	2464	1436	2892	8591	13802
4.0	1526	1775	177	239	127	199	967	1111	867	1390	5607	7246
4.5	694	723	44	46	48	48	378	400	316	411	2268	2508
5.0	291	296	13	13	14	14	159	160	112	116	851	868
5.5	126	126	5	5	7	7	55	56	46	46	346	347
6.0	58	58	2	2	3	3	24	24	25	25	155	155
6.5	25	25					8	8	10	10	60	60
7.0	10	10					4	4	3	3	22	22
7.5	2	2					2	2	1	1	6	6
8.0							1	1			1	1

表 3 是根据表 2 数据拟合的累积频度曲线的系数 a 及 a 的偏差 da 、 b 及 b 的偏差 db 、相关系数 R 和标准差 S 。另外, 表 3 中的 v_4 是直接利用表 2 中 4 级以上地震的累积频度, 除以 18 年而得到的 4 级以上地震的年平均发生率。

从表 3 可以看出, 与用旧公式 (1) 进行震级转换相比, 用新的震级转换公式 (即不进行

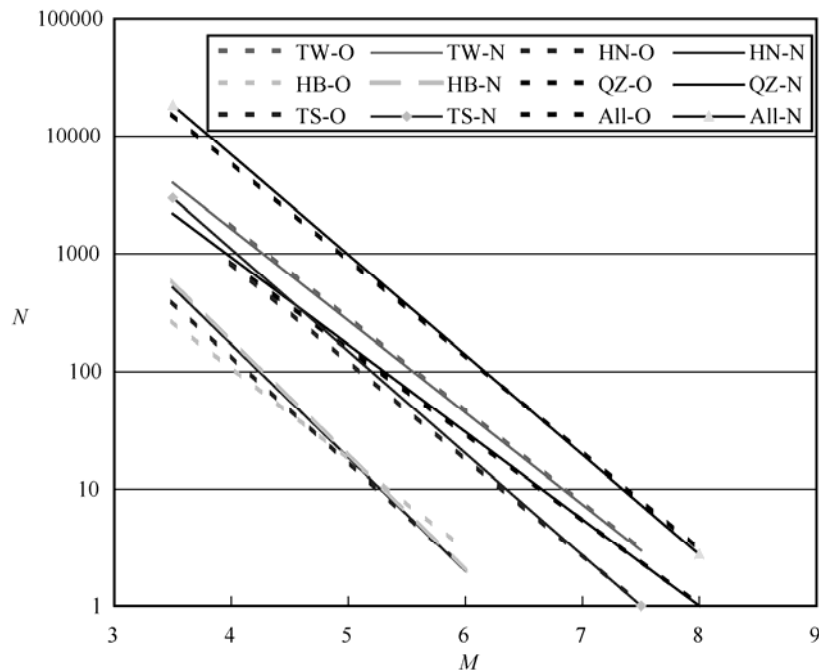
震级转换)后,各地震区的 b 值都有了不同程度的增大,特别是华北地震区 b 值增大较为明显。在高震级地震数不变的情况下, b 值的增大意味着低震级地震数的增多。同时,由于利用新转换公式导致的 4 级以上地震数目的增加,造成直接用 4 级以上地震数目求得的各地震区年平均发生率 ν_4 也有明显增高,特别是华北地震区和天山新疆地震区其 ν_4 有超过 50% 的增加。

表 3 地震累积频度曲线系数

Table 3 Coefficients of magnitude-frequency relations

地 区		a	b	R	S	da	db	ν_4
台湾	旧公式	6.0900	0.7241	-0.9998	0.0160	0.0338	0.0060	84.7778
	新公式	6.1972	0.7413	-0.9998	0.0185	0.0391	0.0070	98.6111
华南	旧公式	5.8588	0.9338	-0.9965	0.0824	0.1902	0.0394	9.8333
	新公式	6.1701	0.9886	-0.9949	0.1189	0.2072	0.045	13.2778
华北	旧公式	5.1830	0.7876	-0.9973	0.0684	0.1191	0.0258	7.0556
	新公式	6.1729	0.9719	-0.9947	0.1189	0.2072	0.0449	11.0556
青藏川滇	旧公式	5.9715	0.7602	-0.9977	0.0752	0.1192	0.0194	53.7222
	新公式	6.0271	0.7679	-0.9983	0.0781	0.0853	0.0149	61.7222
天山新疆	旧公式	6.1704	0.8117	-0.9976	0.0753	0.1362	0.0232	48.1667
	新公式	6.4762	0.8579	-0.9977	0.0849	0.1238	0.0219	77.2222
全区	旧公式	7.0785	0.8253	-0.9984	0.0626	0.1132	0.0193	311.5000
	新公式	7.2394	0.8497	-0.9986	0.0588	0.1063	0.0181	402.5556

$$\text{Lg}(N) = (a \pm da) - (b \pm db) M$$



图中 TW 表示台湾; HN 表示华南; HB 表示华北; QZ 表示青藏川滇;
TS 表示天山新疆; All 表示全区. O 表示转换; N 表示不转换

图 7 各地震区地震累积频度曲线

Fig.7 Magnitude-frequency lines of different seismic regions

图7给出了根据表3中各区的系数计算的相应震级-累积频度曲线,其中,图7中曲线的长短与表2中的震级范围相适应。从图7可见,1990—2007年期间台湾地区地震活动水平最高,其次是青藏川滇地区和天山地区,华北及华南的地震活动水平最低。表3中的系数 b 值代表曲线的负斜率,它反映了大小地震的比例关系。从表3及图7可见,台湾、青藏川滇的 b 值相近(0.76—0.78);天山与全区的 b 值相近(0.81—0.85);华北与华南相近, b 值较高。另外,震级的“转换”与“不转换”对华北地震区的影响较大,这可能由于华北区台站密集,低震级地震的记录比较完整,而且震级范围比较小(3.0—6.0)所致。

4 结论

本文根据1990—2007年《中国地震年报》中同时给出了 M_S 和 M_L 、且震源深度 $<70\text{km}$ 的地震,经回归分析得到了全国和各地震区 M_S 与 M_L 之间的转换关系。新的震级转换关系接近于 $M_S=M_L$,为了使用方便建议在需要进行震级标度转换时,对于没有测定 M_S 的低震级地震可直接使用 $M_S=M_L$ 。与目前广泛使用的震级转换关系相比,采用本文建议的震级转换方法后,全国各地震区5级以上地震的数量基本没有变化,但5级以下地震的数量有明显增加,导致由此统计得到的各地震区震级-频度关系中的 b 值有不同程度的增大。此外,用4级以上地震的数量直接得到的4级以上地震的年平均发生率 v_4 有明显增高,且部分地震区甚至增加了50%以上。在高震级地震年平均发生率不变的情况下,地震区地震活动性参数的上述变化,反映了对地震区地震活动水平估计的提高,可能导致概率地震危险性分析结果的提高。

要确定一个地震的震级,应取多方位、多台站测定震级的平均,从而消除传播路径介质不均匀性的影响。但由于实际地震台站布局的限制,许多地震震级的测定使用的台站数量过少,导致测定的震级不确定性增大,从而使得震级 M_S 与 M_L 间的关系很离散,文中推荐的转换关系 $M_S=M_L$ 是与现有资料相适应的一种选择。如果需要建立更合适的公式,则需要对每一次地震震级确定的可靠性进行鉴别,选择由多方位、多台站测定的震级均值,然后再进行统计回归计算,但由于这样做的工作量很大,本文目前还难以完成,这有待于今后进一步完善。

参考文献

- 国家地震局震害防御司, 1995. 中国历史强震目录(公元前23世纪—公元1911年). 北京: 地震出版社.
- 国家地震局震害防御司, 1999. 中国近代地震目录(公元1912—1990年, $\geq M_S 4.7$). 北京: 中国科学技术出版社.
- 国家地震局震害防御司, 1990. 地震工作手册. 北京: 地震出版社, 129.
- 许绍燮等, 1999. 地震震级的规定(GB 17740-1999). 北京: 中国标准出版社.
- 中国地震台网中心编, 1990—2007. 中国地震年报(1990—2007年). 北京: 地震出版社.
- 张宏志, 刁桂苓, 赵明淳, 王勤彩, 张骁, 黄媛, 2007. 不同标度震级关系和台基影响问题探讨. 中国地震, 23(2): 141—146.

Research on Empirical Relationship of Earthquake Magnitude Scales and Its Influence on Seismicity Parameters

Wang Suyun and Yu Yanxiang

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

Abstract The nation-wide and regional relationships between M_S and M_L are empirically derived by 6577 shallow earthquake magnitude data from the “Annual Bulletin of Chinese Earthquakes” for 1990—2007. The data selection criteria are that the earthquake must have M_S and M_L simultaneously and independently determined. The new relationship between M_S and M_L is close to $M_S=M_L$. It is suggested by this paper that, when the M_L magnitude is need to convert to M_S for earthquakes which only have M_L determined, the conversion equation be $M_S=M_L$. When the new conversion relation is applied the amount of $M>5$ earthquakes is not affected while the $M<5$ earthquakes increase significantly. Because of the application of new relationship the b value in every seismic region increases to some extent. The annual mean occurrence rate of $M\geq 4$ earthquakes ν_4 increases remarkably and in some seismic regions even increase over 50%. The variations of seismicity parameters due to the change of earthquake magnitude conversion relation may cause increase of probabilistic seismic hazard assessment result.

Key words: Earthquake magnitude; Conversion relation; Seismicity parameter; b value