

魏贵春, 姚运生, 张丽芬, 申学林. 2017. 方位角对地方震震级测定的影响. 地震学报, 39(6): 880-890. doi:10.11939/jass.2017.06.006.

Wei G C, Yao Y S, Zhang L F, Shen X L. 2017. Influences of azimuth on the local earthquake magnitude measurement. *Acta Seismologica Sinica*, 39(6): 880-890. doi:10.11939/jass.2017.06.006.

方位角对地方震震级测定的影响^{*}

魏贵春^{1,2),*} 姚运生^{1,2)} 张丽芬^{1,2)} 申学林^{1,2)}

1) 中国武汉 430071 中国地震局地震研究所

2) 中国武汉 430071 湖北省地震局

摘要 收集了湖北省数字测震台网2007—2015年记录到的数字地震波形, 利用震相清晰的台站测定了地方震震级, 并计算了其与中国地震台网中心公布震级的偏差。在此基础上, 以每个数字测震台站为中心, 按照每30°为一个区间, 将每个台站记录到的地震事件分为12个区间, 对每个区间的平均震级偏差和标准离差予以统计分析。结果显示, 除去24个无地震事件区间, 300个区间的平均震级偏差中, 81.7%的偏差小于0.3; 再除去14个样本数为1的区间, 其余286个区间的方位标准离差中, 98.3%的离差小于0.5。经校正后各区间的平均震级偏差和方位标准离差均有所下降, 表明地震传播方位对地方震震级测定的影响有所降低。因此, 针对数字测震台站对不同方位地震所测定的震级偏差存在的差异进行相应校正是必要且有意义的。

关键词 震级测定 震级偏差 方位差异性 震级校正值

doi:10.11939/jass.2017.06.006 中图分类号: P315.3 文献标志码: A

Influences of azimuth on the local earthquake magnitude measurement

Wei Guichun^{1,2),*} Yao Yunsheng^{1,2)} Zhang Lifen^{1,2)} Shen Xuelin^{1,2)}

1) Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Wuhan 430071, China

2) Earthquake Administration of Hubei Province, Wuhan 430071, China

Abstract: Azimuth is one of the factors that affect the local earthquake magnitude measurement. In this study, we collected the earthquake events from 2007 to 2015 recorded by the Hubei regional seismograph network. Using the digital seismic waveforms, we measured the magnitudes of the local earthquakes in the Hubei area and calculated the magnitude differences from those published by the China Earthquake Networks Center. To deep understand the influences of azimuth on the local earthquake magnitude measurement, the average magni-

* 基金项目 国家自然科学基金(41572354, 41772384)、中国地震局三结合课题(CEA-JC/3JH-161708)和中国地震局地震研究所所长重点基金(IS201616254)联合资助。

收稿日期 2017-02-08 收到初稿, 2017-06-28 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: 123341720@qq.com



tude deviation and standard deviation in each interval are statistically analyzed. Taking each digital seismic station as the center, the earthquake events recorded by each station are divided into 12 intervals with 30° as an interval. The results show that except the 24 non-earthquake intervals, in the remaining 300 intervals the average magnitude deviation less than 0.3 accounts for 81.7%. Furthermore, deducting the 14 intervals with only one event, in the other 286 intervals, 98.3 percentage of the azimuth standard deviation is less than 0.5. After azimuth corrections, both the average magnitude deviations and the azimuth standard deviations of each interval decrease, indicating the influences of azimuth on the measurement of local earthquake magnitude decreasing. Therefore, it is necessary and meaningful to correct the magnitude deviation caused by different azimuths.

Key words: magnitude measurement; magnitude deviation; azimuth difference; magnitude correction value

引言

地震震级作为地震三要素之一,是地震学的重要研究内容。Richter(1935, 1958)于20世纪30年代用标准仪器提出了地方性震级的概念及计算公式(Stein, Wysession, 2003),但该方法受限于仪器类型和地区,无法直接用于我国地方震震级的测定;20世纪50年代中期,李善邦等(1981)结合地震仪器特性,提出了适合我国的震级测定公式,测定范围可达1000 km,用 M_L 表示(刘瑞丰等, 2015)。震级是衡量地震大小的物理量,无论是从科学的角度,还是从社会需求的角度均需要一个准确而统一的值(陈运泰, 刘瑞丰, 2004)。

陈培善和秦嘉政(1983)的研究显示,由于受震源机制、地震传播路径和地震台站台基的影响,处在不同方位、不同震中距的地震台站测定的震级会有一定的偏差;李军等(2016)分析了福建台网测定的我国台湾地区的地震震级,认为介质传播方向也会影响震级的测定,并提出介质传播方向校正值的计算公式,有效地降低了震级偏差。在利用湖北省数字测震台网测定地方震震级时也常碰到震级出现偏差的现象,但未曾就此展开详细的研究,方位角差异对震级测定的影响研究则更为欠缺。为此,本文将利用湖北省数字测震台网产出的资料,分析单个数字测震台站测定的地方震震级偏差与方位角的关系,探寻导致偏差产生的原因并力求解决该问题,进而为推进更准确的震级测定研究提供参考。

1 资料选取

为确保测定震级的可靠性和有效性,挑选的地震事件原则上需满足震相清晰且至少被4个台站记录到的条件。按照该条件,本文收集并整理了湖北省数字测震台网2007年1月至2015年12月产出的观测报告。最终筛选出1548次 $1.3 \leq M_L \leq 5.5$ 地震事件参与分析,其中 $1.0 \leq M_L \leq 1.9$ 地震662次, $2.0 \leq M_L \leq 2.9$ 地震752次, $3.0 \leq M_L \leq 3.9$ 地震122次, $4.0 \leq M_L \leq 4.9$ 地震10次, $5.0 \leq M_L \leq 5.9$ 地震2次,且97%的地震事件为天然地震。图1为湖北省数字测震台站及所选用地震事件的震中分布图。

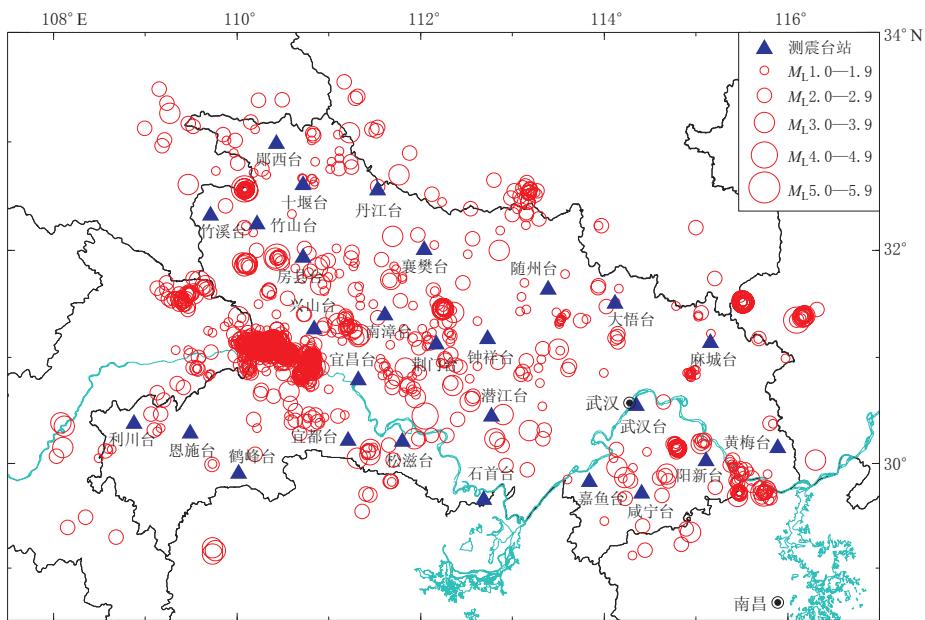


图 1 湖北省数字测震台站及本文所用地震事件的震中分布

Fig. 1 Distribution of Huber digital seismograph stations (triangles) and seismic events (circles) used in this study

2 分析方法

2.1 震级测定

对震相清晰、信噪比高于 1.5 的数字波形进行 Wood-Anderson(W-A) 仿真后进行单台地方震震级的测定。测定地方震震级使用的公式为(李善邦, 1981; 刘瑞丰等, 2007, 2015; 魏贵春等, 2017)

$$M_L = \lg \frac{A_{\mu\text{EW}} + A_{\mu\text{NS}}}{2} + R(\Delta), \quad (1)$$

$$A_\mu = \frac{\text{count 值}}{\text{灵敏度}} \cdot \frac{T}{2\pi}, \quad (2)$$

式中 $A_{\mu\text{EW}}$, $A_{\mu\text{NS}}$ 和 T 分别为 EW 向, NS 向速度型记录波形仿真成 W-A 短周期地震仪位移记录后量取的最大振幅及相应周期, $R(\Delta)$ 为量规函数.

2.2 区间划分

为了分析方位角对于地震震级测定的影响,本文以每个数字测震台站为中心,按照每30°为一个区间,将该台站记录到的地震事件分为12个区间(傅盛国,1991;孟智民等,2005;刘瑞丰等,2015),这样尽可能地细化方位角的影响,同时又能够保证每个区间有一定数量的样本。表1为27个数字测震台站每个区间的样本数统计,其中24个区间无地震事件。

2.3 不同方位角震级偏差分析

利用偏差值公式(李雪英等, 2004; 王鑫等, 2015)

$$\Delta M_{\text{L}i} = M_{\text{L}i} - M_{\text{L}i\text{-CENC}} \quad (3)$$

表 1 参与分析的不同方位地震样本数统计

Table 1 Statistics of seismic events with different azimuths

台站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
丹江台	3	1	4	9	9	32	97	88	22	27	8	6
大悟台	2	1	67	19	35	39	4	18	53	14	26	2
恩施台	46	240	54	19	2	3	—	3	4	6	3	19
房县台	24	4	11	48	73	200	390	85	54	9	35	11
鹤峰台	329	198	21	13	—	—	4	—	3	11	5	50
黄梅台	25	—	—	1	—	—	21	33	33	53	19	70
荆门台	25	13	16	23	17	6	16	26	303	129	26	17
嘉鱼台	4	10	60	29	4	1	—	—	3	28	15	6
利川台	36	185	228	13	4	—	2	4	3	—	—	—
麻城台	4	66	25	1	5	62	52	22	31	33	14	4
南漳台	11	14	36	36	29	25	18	208	452	61	30	16
潜江台	5	10	10	8	1	4	1	3	9	58	37	13
石首台	11	15	25	5	—	—	—	1	3	19	78	21
十堰台	5	11	11	12	36	137	169	45	24	14	5	5
随州台	1	3	6	60	28	15	14	32	116	18	8	29
松滋台	18	11	9	4	2	—	4	2	14	7	147	22
武汉台	1	43	15	5	46	5	3	1	11	18	7	5
襄樊台	2	10	27	22	15	42	27	156	82	12	11	8
咸宁台	16	46	53	9	3	2	1	1	3	19	20	5
兴山台	21	17	48	57	21	29	245	113	390	43	26	31
宜昌台	14	26	21	23	6	13	3	11	13	470	49	32
宜都台	24	46	18	17	8	3	—	4	4	20	340	217
阳新台	56	20	7	29	24	1	3	5	12	57	13	23
郧西台	—	3	11	16	23	81	76	42	7	10	2	—
钟祥台	26	5	24	19	17	8	8	20	166	52	36	7
竹山台	5	32	8	34	66	392	87	44	2	—	14	40
竹溪台	9	44	23	20	116	122	39	5	—	—	7	5

注: “—”表示该区间内无地震事件参与分析; I, II, …, XII 分别指从正北开始, 以 30° 为间隔划分的 12 个区间, 下同.

计算各台站测定的单台地方震震级 M_{Li} 与中国地震台网中心产出的震级 M_{L-CENC} 的偏差 ΔM_{Li} , 并利用

$$\overline{\Delta M}_{Li} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \Delta M_{Li} \quad (4)$$

和

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta M_{Li} - \overline{\Delta M}_{Li})^2}{N-1}} \quad (5)$$

计算各区间的平均偏差 $\overline{\Delta M}_{Li}$ 和标准离差 σ .

图 2 为极坐标系上以各数字测震台站为中心, 相对于台站不同方位角的地震震中分布图, 震级偏差 $\Delta M_L > 0$ (红色圆点), $\Delta M_L = 0$ (黄色方块), $\Delta M_L < 0$ (绿色三角形) 分别代表台站测定的震级相对于中国地震台网中心产出的震级偏大、相等和偏小.

统计分析 27 个数字测震台站各方位角区间内的地方震震级平均偏差值, 结果如图 3 所示. 可以看出: 地方震震级测定的偏差 $\overline{\Delta M}_L$ 值介于 0—0.90 之间, 其中, 南漳、兴山、

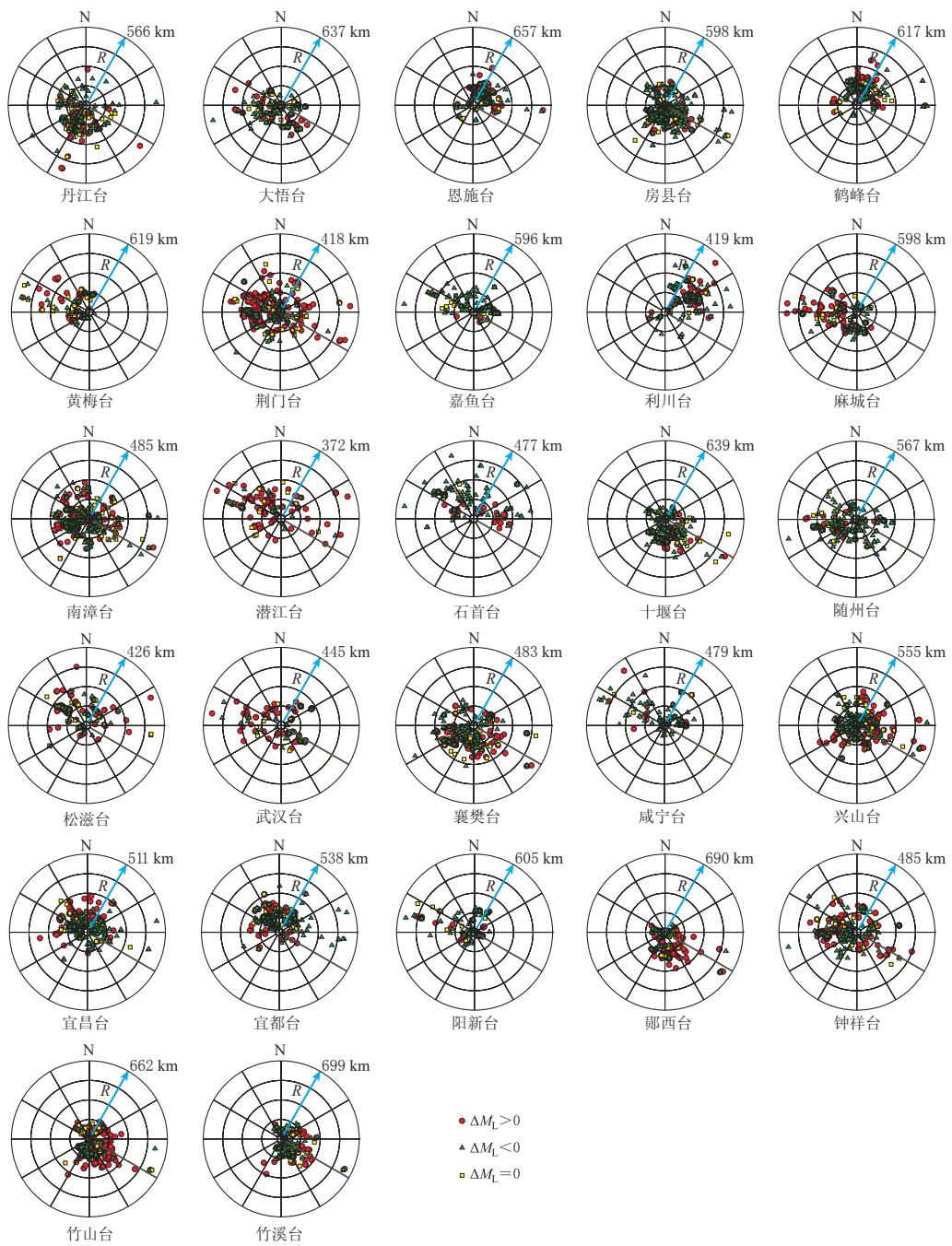
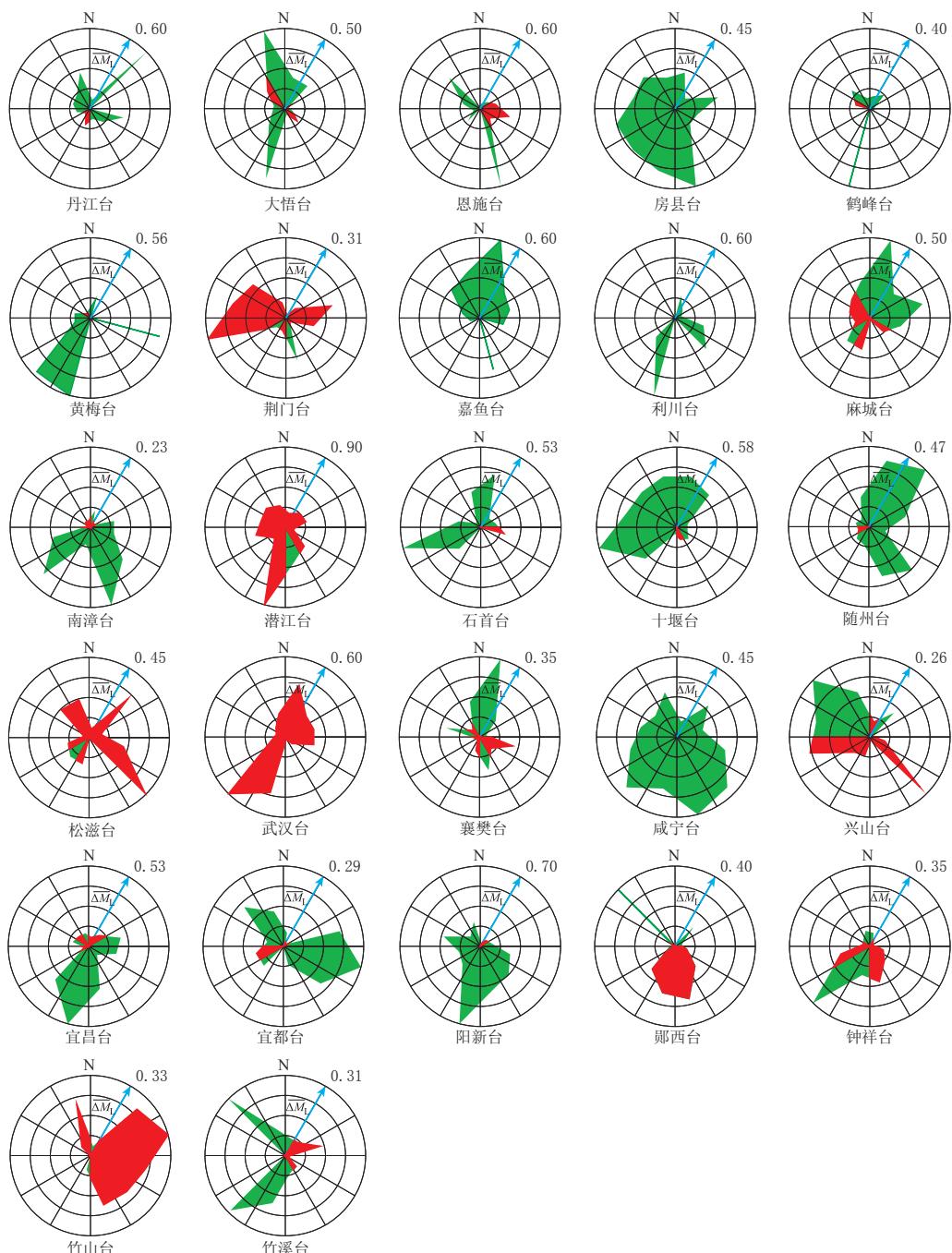


图 2 27 个台站参与计算的各方位角区间地震分布图(R 为震中距)

Fig. 2 Distribution of earthquakes with different azimuthal interval for 27 stations (R is epicentral distance)

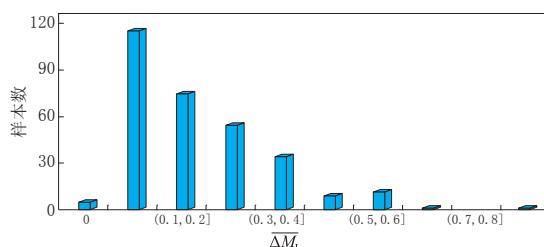
宜都等 3 个台站 12 个方位角区间的 $|\overline{\Delta M_L}| < 0.3$ ，地方震震级测定结果较好，房县、嘉鱼、利川、咸宁等 4 个台站 12 个方位角区间的平均震级偏差始终偏小，其余 23 个台站的平均震级偏差存在偏大或偏小的现象。

图 3 27个台站不同方位平均震级偏差 $\overline{\Delta M_L}$ 分布图

绿色表示该方位震级偏小, 红色表示震级偏大, 每个区域的半径表示偏差量的大小

Fig. 3 Distribution of average magnitude deviation $\overline{\Delta M_L}$ with different azimuths for 27 stations

Green denotes that the local earthquake magnitude is smaller than the final measurement, and red shows a relatively larger value than the final earthquake magnitude. The radius of every region represents the scale of magnitude deviation

图 4 平均震级偏差 ΔM_L 统计图Fig. 4 Statistic chart of average magnitude deviation ΔM_L

个无地震事件区间和 14 个样本数为 1 的区间无法计算标准离差外, 其余 286 个区间的标准离差值介于 0—0.99, 其中 98.3% 小于 0.5, 表明地震事件呈正态分布, 离散度较小.

表 2 不同方位标准离差统计

Table 2 Statistics of standard deviations with different azimuths

台站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
丹江台	0.55	—	0.26	0.31	0.26	0.24	0.17	0.20	0.11	0.23	0.13	0.10
大悟台	0.99	—	0.20	0.19	0.26	0.16	0.33	0.24	0.22	0.30	0.44	0.14
恩施台	0.33	0.36	0.36	0.36	0.14	0.10	—	0.15	0.58	0.26	0.31	0.41
房县台	0.31	0.15	0.28	0.24	0.37	0.23	0.23	0.26	0.24	0.17	0.27	0.25
鹤峰台	0.22	0.18	0.21	0.33	—	—	0.18	—	0.30	0.27	0.13	0.23
黄梅台	0.26	—	—	—	—	—	0.31	0.20	0.29	0.20	0.19	0.22
荆门台	0.16	0.20	0.18	0.28	0.21	0.34	0.24	0.21	0.21	0.23	0.22	0.18
嘉鱼台	0.22	0.13	0.18	0.22	0.29	—	—	—	0.42	0.23	0.17	0.18
利川台	0.23	0.22	0.18	0.25	0.25	—	0.14	0.26	0.26	—	—	—
麻城台	0.22	0.16	0.19	—	0.18	0.32	0.31	0.38	0.30	0.25	0.34	0.15
南漳台	0.25	0.23	0.21	0.26	0.19	0.22	0.29	0.15	0.20	0.25	0.19	0.23
潜江台	0.18	0.31	0.21	0.42	—	0.32	—	0.29	0.24	0.28	0.31	0.34
石首台	0.28	0.33	0.36	0.17	—	—	—	—	0.40	0.34	0.27	0.21
十堰台	0.15	0.36	0.25	0.19	0.25	0.31	0.29	0.21	0.17	0.30	0.30	0.35
随州台	—	0.12	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.27	0.27	0.27	0.26
松滋台	0.28	0.43	0.21	0.34	0.78	—	0.41	0.35	0.28	0.16	0.29	0.29
武汉台	—	0.17	0.33	0.44	0.30	0.18	0.06	—	0.25	0.25	0.25	0.13
襄樊台	0.07	0.22	0.27	0.21	0.19	0.25	0.29	0.21	0.25	0.24	0.32	0.28
咸宁台	0.19	0.15	0.22	0.30	0.10	0.07	—	—	0.45	0.27	0.29	0.22
兴山台	0.32	0.34	0.25	0.27	0.27	0.19	0.22	0.23	0.29	0.22	0.18	0.20
宜昌台	0.33	0.33	0.22	0.16	0.32	0.29	0.15	0.23	0.26	0.21	0.28	0.29
宜都台	0.26	0.18	0.32	0.31	0.29	0.23	—	0.38	0.16	0.35	0.26	0.26
阳新台	0.16	0.22	0.45	0.22	0.18	—	0.17	0.31	0.21	0.28	0.16	0.31
鄖西台	—	0.10	0.30	0.26	0.21	0.26	0.26	0.21	0.21	0.29	0	—
钟祥台	0.29	0.36	0.19	0.25	0.35	0.28	0.41	0.20	0.23	0.30	0.32	0.21
竹山台	0.38	0.21	0.17	0.28	0.21	0.18	0.26	0.25	0.57	—	0.20	0.17
竹溪台	0.19	0.19	0.20	0.23	0.17	0.28	0.23	0.28	—	—	0.26	0.22

2.4 偏差校正

从图 3 可以看到, 300 个有地震记录的区间中, 81.7% 的平均震级偏差小于 0.3, 其余 18.3% 的平均震级偏差超过 0.3, 最大可达 0.90, 因此, 本文取各区间平均偏差的负值作

图 4 给出了 27 个台站中有地震记录的 300 个区间平均震级偏差 $|\Delta M_L|$ 的统计情况, 可见, $0 < |\Delta M_L| \leq 0.1$ 占 38.0%, $0.1 < |\Delta M_L| \leq 0.2$ 占 24.3%, $0.2 < |\Delta M_L| \leq 0.3$ 占 18.0%, $0.3 < |\Delta M_L| \leq 0.4$ 占 11.3%, 表明台网数据质量较好.

表 2 给出了 27 个台站在每个区间的震级标准离差统计, 可以看出, 除 24

为校正值(表3), 对300个区间进行校正. 校正后各区间的震级平均偏差和标准离差均有所下降, 表明校正后的方位角对地方震震级测定的精度有所改善.

表3 数字测震台站部分方位校正值

Table 3 Azimuth correction values of Hubei digital seismography stations

台站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
丹江台	0.07	0.60	0	0.26	0.14	0.08	-0.12	-0.04	0.10	0.13	0.14	0.28
大悟台	0.20	0.20	-0.02	0.05	-0.11	0.04	0.45	0.14	0.08	0.07	-0.15	0.50
恩施台	0.04	0.07	-0.11	-0.22	-0.10	0.60	—	0.13	0.05	0.13	0.33	0.01
房县台	0.21	0.08	0.25	0.13	0.12	0.45	0.36	0.33	0.34	0.24	0.25	0.18
鹤峰台	0.06	0.09	0.02	0.02	—	—	0.40	—	0	-0.07	0.12	0.05
黄梅台	0.13	—	—	0.50	—	—	0.56	0.53	0.11	0.11	-0.04	0.05
荆门台	-0.01	-0.05	-0.18	-0.11	-0.02	0.17	-0.05	0.05	-0.31	-0.21	-0.18	-0.06
嘉鱼台	0.60	0.26	0.23	0.18	0.00	0.40	—	—	0.07	0.13	0.29	0.35
利川台	0.17	0.08	0.05	0.22	0.33	—	0.60	0.20	0	—	—	—
麻城台	0.50	0.21	0.34	0.20	-0.12	0.01	-0.20	0.20	-0.09	-0.12	-0.16	0.23
南漳台	0.05	-0.01	0.07	0.07	0.13	0.23	0.05	0.19	0.11	-0.01	-0.02	-0.02
潜江台	-0.16	-0.22	-0.24	-0.09	-0.30	0.40	-0.90	-0.17	-0.34	-0.28	-0.30	-0.25
石首台	0.36	0.08	0.10	-0.16	—	—	—	0.20	0.53	0.15	0.04	0.24
十堰台	0.38	0.33	0.08	0.08	0.12	-0.09	0.05	0.32	0.58	0.38	0.36	0.38
随州台	0.40	0.47	0.22	0.10	0.36	0.30	0.11	0.10	-0.06	0.08	0.06	0.18
松滋台	-0.05	-0.31	-0.07	-0.20	-0.45	—	-0.15	0.15	-0.12	-0.03	-0.22	-0.22
武汉台	-0.40	-0.22	-0.22	-0.22	-0.07	0.02	-0.43	-0.60	-0.11	-0.07	-0.10	-0.18
襄樊台	0.35	0.10	0.03	-0.15	-0.07	0.15	-0.06	-0.01	-0.02	0.15	-0.04	0.16
咸宁台	0.09	0.25	0.15	0.28	0.40	0.45	0.30	0.40	0.27	0.21	0.18	0.26
兴山台	-0.05	0.11	0.01	-0.05	-0.23	-0.01	-0.06	-0.07	-0.20	0.18	0.26	0.15
宜昌台	-0.06	-0.10	0.22	0.19	0.08	0.29	0.53	0.31	-0.03	0.11	-0.09	0.09
宜都台	0.05	-0.01	0.21	0.29	0.19	0.07	—	0.10	-0.10	0.06	0.20	0.13
阳新台	0.03	-0.07	0.10	0.27	0.35	0.40	0.70	0.22	0.19	0.33	0.12	0.22
鄖西台	—	0.10	-0.03	-0.06	-0.14	-0.27	-0.24	-0.16	0.03	-0.01	0.40	—
钟祥台	0.06	-0.02	0.02	-0.06	-0.09	-0.16	0.13	0.35	-0.13	-0.03	0.04	0.07
竹山台	0.04	-0.27	-0.33	-0.23	-0.21	-0.21	0.06	0	0	—	-0.05	-0.22
竹溪台	0.07	-0.07	-0.14	-0.01	-0.06	0.07	0.19	0.30	—	—	0.31	0.10

2.5 方位角校正后的震级检验

为了检验表3所给出台站不同方位校正值的实用性和有效性, 本文选取2016年湖北巴东 $M_{L3.2}$ 和2017年湖北秭归 $M_{L4.2}$ 地震事件, 对震相清晰的台站进行地方震震级的测定, 并再次论证方位角对于震级测定偏差的影响. 为便于比较, 校正后的地方震震级采取四舍五入的原则, 只保留一位小数(表4), 校正前、后各台站的震级偏差分布如图5所示.

对于巴东 $M_{L3.2}$ 和秭归 $M_{L4.2}$ 这两次地震事件, 共有48台次参与地方震震级计算. 由表4和图5可以看出: 经方位校正后, 共有29台次的地方震震级更接近地震事件的最终定位震级; 部分地方震震级偏差较大的台站, 经方位角校正后, 震级测定的精度有明显提高, 例如房县台, 方位角校正前, 单台测定的巴东 $M_{L3.2}$ 地震的地方震震级为2.6, 震级偏差为0.6, 而经校正后得到的震级为3.0, 震级偏差降至0.2; 此外, 随州、宜都、鄖西、钟祥等台站, 经方位角校正后, 所得到的地方震震级也更趋近于最终定位震级. 这说明为了提高震级测定的精度, 对数字测震台站进行方位角校正的必要性和可行性, 而且本文中

表4 2016年巴东 M_L 3.2和2017年秭归 M_L 4.2地震事件地方震震级校正统计
Table 4 Statistics on local earthquake magnitude corrections for the 2016 Badong M_L 3.2 earthquake and the 2017 Zigui M_L 4.2 earthquake

台站	湖北巴东 M_L 3.2			湖北秭归 M_L 4.2			台站	湖北巴东 M_L 3.2			湖北秭归 M_L 4.2		
	Az/°	M_{Lb}	M_{La}	Az/°	M_{Lb}	M_{La}		Az/°	M_{Lb}	M_{La}	Az/°	M_{Lb}	M_{La}
丹江台	214.75	3.3	3.3	199.48	4.2	4.1	随州台	257.73	3.3	3.2	248.22	4.4	4.3
大悟台	261.97	3.1	3.2	254.79	4.1	4.2	松滋台	305.10	3.4	3.2	302.71	4.3	4.1
恩施台	41.66	3.1	3.2	66.61	4.0	3.9	武汉台	278.18	—	—	273.36	4.6	4.5
房县台	201.63	2.6	3.0	177.40	3.2	3.7	襄樊台	237.83	3.5	3.5	220.78	4.3	4.3
鹤峰台	12.71	3.2	3.3	37.31	3.9	4.0	咸宁台	290.52	—	—	287.75	3.9	4.1
黄梅台	279.92	—	—	276.83	4.0	4.1	兴山台	249.66	3.0	2.8	185.77	4.3	4.2
荆门台	268.80	3.4	3.1	253.22	4.5	4.2	宜昌台	290.43	3.1	3.2	268.50	4.3	4.3
嘉鱼台	292.05	3.1	3.2	288.99	3.9	4.0	宜都台	319.46	2.5	2.7	326.48	3.9	4.1
利川台	60.05	3.2	3.3	76.79	4.2	4.3	阳新台	283.48	3.3	3.6	280.24	4.3	4.6
麻城台	268.34	—	—	263.38	4.5	4.4	鄖西台	182.50	3.9	3.7	172.39	4.4	4.1
南漳台	254.80	2.9	3.0	228.58	4.1	4.3	钟祥台	267.43	3.5	3.4	256.00	4.3	4.2
潜江台	286.86	—	—	280.38	—	—	竹山台	175.25	3.2	3.0	162.10	4.4	4.2
石首台	304.88	3.2	3.2	303.68	4.1	4.1	竹溪台	156.72	3.1	3.2	149.78	3.9	3.8
十堰台	192.29	3.5	3.6	178.37	4.4	4.3							

注: Az为方位角, M_{Lb} 和 M_{La} 分别为校正前、后的震级.

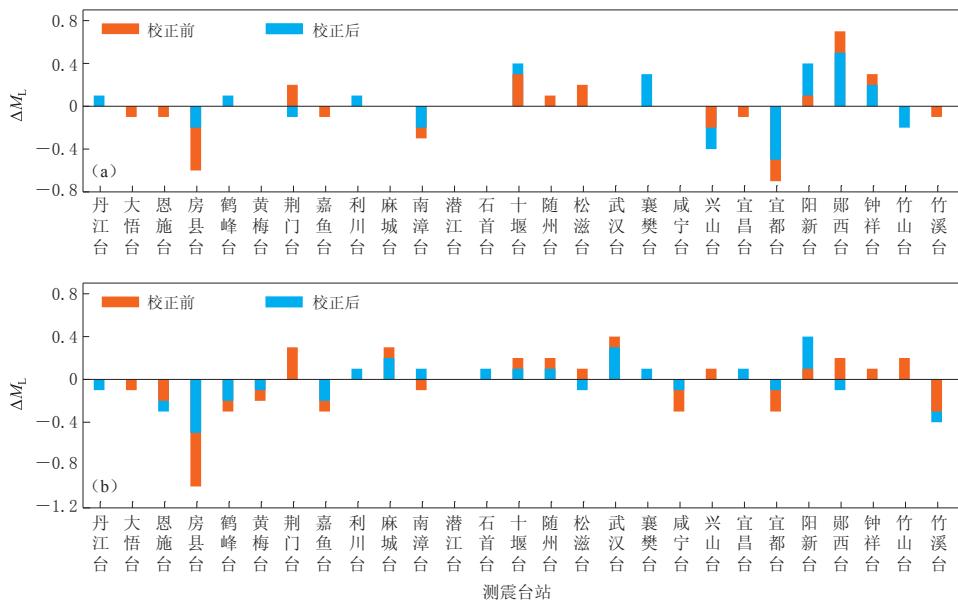


图5 2016年巴东 M_L 3.2(a)和2017年秭归 M_L 4.2(b)震级校正前后台站震级偏差 ΔM_L 分布图
Fig. 5 Magnitude deviation distribution of seismic stations before and after magnitude correction for the 2016 Badong M_L 3.2 earthquake (a) and the 2017 Zigui M_L 4.2 earthquake

给出的方位角校正值对于该地区也是适用的.

3 讨论与结论

从式(1)可以看出, 地方震震级的影响因素包括水平向最大振幅和量规函数, 但在实际分析中发现, 震源辐射花样、传播介质特性、台基响应、接收仪器参数、分析方法等均可

能影响地方震震级的测定。震源辐射花样的差异使得震源辐射的能量和能量谱在各个方向上均有所不同,进而表现为测定震级的方向性效应;传播介质的影响则由于地震波通过的介质有地区性差异或有特殊构造,引起地震波衰减特性的变化,从而使得各个地区的震级量规函数应有所不同。若量规函数不合适,则表现为同一方位不同震中距的台站所测得的 M_L 不同(假设其它条件相同或近似);接收点台站和仪器对于震级测定的影响主要表现为不同台基响应和不同仪器参数会使得测得的 M_L 不同;而利用不同震相和不同方法带来的影响也不容忽视,例如利用 S 波垂直向最大振幅测定震级,以及利用尾波持续时间求 M_L 与使用最大地动速度代替位移求 M_L 等会存在不同(陈培善,秦嘉政,1983)。

通过对湖北省数字测震台网 2007—2015 年的地震事件地方震震级的测定,得到 27 个数字测震台站 324 个方位的震级平均偏差值和标准离差值,结果显示:①由于地震分布不均匀,24 个方位无地震事件记录,得到 300 个区间的平均震级偏差,最大偏差值为 0.90,其中 81.7% 的方位区间平均震级偏差小于 0.3,且从图 3 可以看出同一数字测震台站对不同方位地震测定的震级偏差存在差异;②由于 14 个区间的样本数为 1,无法计算其标准离差,最终得到 286 个区间的方位标准离差值,其值介于 0—0.99,其中 98.3% 的区间标准离差小于 0.5,这表明大部分方位的地震事件呈正态分布,离散度较小;③校正后各区间的震级平均偏差和方位标准离差均有所下降,表明方位角的校正确实可以有效地改善单台地震震级的测定精度。

对于数字测震台站,发生在不同方位的地震事件的传播路径介质可能存在地区性差异或特殊构造,因而导致地震波在介质中的速度呈横向不均匀。这种介质各向异性以及板块边缘的折射均可能引起明显的聚焦和焦散作用(刘瑞丰等,2015),且地震波沿各个方向辐射的能量呈现玫瑰辐射花样,并不均匀(李军等,2016),这些均会造成局部的震级偏差。现有的地方震震级计算公式中,已考虑了量规函数和台基校正值,但对于来自不同方位的地震事件出现的震级偏差如何消除,有待于进一步讨论。

由于本文资料有限,27 个数字测震台站的地震分布不均匀,使得部分台站的部分方位无地震记录或参与分析的样本数偏少,因此分析结论会存在一定的局限性,尚待进一步积累资料再研究。

中国地震局地震研究所李井冈博士、王杰博士、董彦君和刘珠妹为本文处理数据,评审专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 陈培善,秦嘉政. 1983. 量规函数、台站方位、台基及不同测量方法对近震震级 M_L 的影响[J]. 地震学报, 5(1): 87-98.
- Chen P S, Qin J Z. 1983. The effects of the calibration function, azimuths and sites of the stations and different methods of approach on the magnitude determination of near earthquakes, M_L [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 5(1): 87-98 (in Chinese).
- 陈运泰,刘瑞丰. 2004. 地震的震级[J]. 地震地磁观测与研究, 25(6): 1-12.
- Chen Y T, Liu R F. 2004. Earthquake magnitude[J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 25(6): 1-12 (in Chinese).
- 傅盛国. 1991. 大连地震台面波震级偏差及其校正[J]. 东北地震研究, 7(4): 73-79.

- Fu S G. 1991. The deviations value of surface wave magnitude and the correction in seismic station of Dalian[J]. *North-eastern Seismological Research*, **7**(4): 73–79 (in Chinese).
- 李军, 金星, 郭阳. 2016. 福建台网测定台湾地震震级偏差研究[J]. 自然灾害学报, **25**(3): 143–152.
- Li J, Jin X, Guo Y. 2016. Study on the earthquake magnitude deviation in Taiwan region measured by Fujian seismic network[J]. *Journal of Natural Disasters*, **25**(3): 143–152 (in Chinese).
- 李善邦. 1981. 中国地震[M]. 北京: 地震出版社: 135–156.
- Li S B. 1981. *Chinese Earthquakes*[M]. Beijing: Seismological Press: 135–156 (in Chinese).
- 李雪英, 陈立强, 赵英萍, 毛国良. 2004. 首都圈数字遥测地震台网单台震级偏差研究[J]. 华北地震科学, **22**(3): 33–39.
- Li X Y, Chen L Q, Zhao Y P, Mao G L. 2004. Study on the magnitude deviation of single station in the digital telemetered seismic network of capital area[J]. *North China Earthquake Sciences*, **22**(3): 33–39 (in Chinese).
- 刘瑞丰, 陈运泰, 任泉, 徐志国, 孙丽, 杨辉, 梁建宏, 任克新. 2007. 中国地震台网震级的对比[J]. 地震学报, **29**(5): 467–476.
- Liu R F, Chen Y T, Ren X, Xu Z G, Sun L, Yang H, Liang J H, Ren K X. 2007. Comparison between different earthquake magnitudes determined by China Seismograph Network[J]. *Acta Seismologica Sinica*, **29**(5): 467–476 (in Chinese).
- 刘瑞丰, 陈运泰, 任泉, 徐志国, 王晓欣, 邹立晔, 张立文. 2015. 震级的测定[M]. 北京: 地震出版社: 14–40.
- Liu R F, Chen Y T, Ren X, Xu Z G, Wang X X, Zou L Y, Zhang L W. 2015. *Magnitude Measurement*[M]. Beijing: Seismological Press: 14–40 (in Chinese).
- 孟智民, 李少睿, 张春芳, 张宪. 2005. 陕西数字地震台网子台测定震级的研究[J]. 地震研究, **28**(2): 150–156.
- Meng Z M, Li S R, Zhang C F, Zhang X. 2005. Research on the magnitudes determined by the substations of Shaanxi digital seismic network[J]. *Journal of Seismological Research*, **28**(2): 150–156 (in Chinese).
- 王鑫, 张帆, 尹战军, 戴勇, 张晖. 2015. 内蒙古数字测震台网单台近震震级偏差研究[J]. 地震地磁观测与研究, **36**(6): 26–32.
- Wang X, Zhang F, Yin Z J, Dai Y, Zhang H. 2015. Study on the magnitude deviation of single station in Inner Mongolia digital seismic network[J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, **36**(6): 26–32 (in Chinese).
- 魏贵春, 姚运生, 申学林, 赵凌云. 2017. 常用震级在湖北及其周边的适用性分析[J]. 大地测量与地球动力学, **37**(1): 22–25.
- Wei G C, Yao Y S, Shen X L, Zhao L Y. 2017. Applicability analysis on common magnitudes in Hubei Province and its neighboring region[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, **37**(1): 22–25 (in Chinese).
- Richter C F. 1935. An instrumental earthquake magnitude scale[J]. *Bull Seismol Soc Am*, **25**(1): 1–32.
- Richter C F. 1958. *Elementary Seismology*[M]. Sandra Francisco: W H Freeman: 1–768.
- Stein S, Wysession M. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*[M]. Blackwell: Blackwell Publishing: 1–498.