

湖北国家测震台站面波震级偏差分析

章婷^{1,2}, 赵瑞^{1,2}

¹中国地震局地震研究所地震大地测量重点实验室, 湖北 武汉

²湖北省地震局, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年11月26日; 录用日期: 2025年1月15日; 发布日期: 2025年1月23日

摘要

通过对恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台的面波震级与中国地震台网的发布震级进行震级偏差分析, 结果表明, 恩施地震台的面波震级与中国地震台网的发布震级一致性更好; 作为优先发布震级时, 钟祥地震台优选 M_s 震级, 麻城地震台优选 M_{s7} 震级, 恩施地震台 M_s 震级和 M_{s7} 震级都可以。恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台的 M_s 震级和 M_{s7} 震级偏差受震级大小、震中距的影响不大, 麻城地震台 M_s 震级对于WWS向($225^\circ \leq \alpha < 270^\circ$)的地震事件映震能力较差, 恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台的 M_s 、 M_{s7} 震级对深源地震的映震能力均较差。

关键词

面波震级, 震级偏差, 震级一致性

Deviation Analysis of Surface Wave Magnitude of Hubei National Seismometer Station

Ting Zhang^{1,2}, Rui Zhao^{1,2}

¹Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan Hubei

²Hubei Earthquake Agency, Wuhan Hubei

Received: Nov. 26th, 2024; accepted: Jan. 15th, 2025; published: Jan. 23rd, 2025

Abstract

The difference between the surface wave magnitude of Enshi Seismic station, Zhongxiang seismic station and Macheng seismic station and the published magnitude of China seismic network is analyzed. The results show that the surface wave magnitude of Enshi seismic station is in better

文章引用: 章婷, 赵瑞. 湖北国家测震台站面波震级偏差分析[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(1): 85-93.

DOI: 10.12677/ag.2025.151010

agreement with the published magnitude of China seismic network; As the priority to release the earthquake magnitude, the Zhongxiang seismic station preferably M_s magnitude, Macheng seismic station preferably M_{S7} magnitude, Enshi seismic station M_s magnitude and M_{S7} magnitude can be. The difference between M_s magnitude and M_{S7} magnitude of Enshi Seismic Station, Zhongxiang Seismic Station and Macheng Seismic Station is not affected by magnitude and epicentre distance. The M_s magnitude of Macheng seismic Station has poor seismic mapping ability for seismic events in the WWS direction ($225^\circ \leq \alpha < 270^\circ$). The M_s and M_{S7} magnitudes of the Enshi, Zhongxiang and Macheng seismic Station have poor mapping ability to deep source earthquakes.

Keywords

Surface Wave Magnitude, Magnitude Deviation, Magnitude Consistency

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

震级的准确测定关系到地震应急、信息发布、科学普及、新闻报道等相关工作[1], 同时有利于地震观测资料交换和科技交流。地震仪器型号、台基响应、地震波传播路径、地震面波辐射方向等因素都会影响台站震级的测定, 震级偏差太大不利于开展防震减灾相关工作和资料交换。恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台分别位于湖北省的西部、中部、东部, 三个台站的地震计型号均为 CTS-1, 恩施地震台台基岩性为灰岩, 钟祥地震台台基岩性为砾岩, 麻城地震台台基岩性为花岗岩。同样作为国家测震台, 三个台站测量的面波震级偏差较大。本文选取 3 个台站 2017 年~2021 年期间震级测量完整的 76 个地震事件, 将台站测定的面波震级与中国地震台网中心(CENC)发布的震级进行对比分析[2], 从测定震级中“优选”最能反映地震实际情况的结果[3] [4]。

2. 资料选取

Table 1. The distribution statistics of seismic events based on magnitude, epicentre distance, azimuth Angle and focal depth
表 1. 基于震级、震中距、方位角和震源深度的地震事件分布统计

M	地震数	震中距/(°)	地震数	方位角 α /(°)	地震数	深度 h/km	地震数
5.0~5.9	35	[9, 30)	110	[0, 45)	77	<30	297
6.0~6.9	339	[30, 60)	130	[45, 90)	37	[30, 60)	79
≥ 7.0	46	[60, 105)	114	[90, 135)	124	[60, 300)	41
		[105, 180)	66	[135, 180)	66	≥ 300	3
				[180, 235)	35		
				[235, 270)	14		
				[270, 315)	61		
				[315, 360)	6		

根据中国地震台网中心(CENC)地震目录, 选取 2017~2021 年恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台

面波记录完整且波形清晰的 420 个远震事件(中国内陆 5 级以上、全球 6 级以上), 计算各地震的面波震级 M_s 和 M_{s7} 。按照中国地震台网中心发布震级 M 、震中距、方位角、震源深度进行地震分布统计, 结果见表 1。

3. 面波震级测定及偏差计算

3.1. 面波震级测定

地震的震级是通过测量地震波中的某个震相的振幅来衡量地震相对大小的一个量[5]。面波震级自 1945 年古登堡提出标度以来, 已普遍应用在世界各国。地震波在传播过程中, 由于受地壳和上地幔构造的不均匀性、地震面波辐射的方向性以及地震台站的台基响应等因素的影响, 使得不同地震台站实际接收的地震波形有差异, 这样每个地震台站测定的震级会有一些的偏差[6] [7]。1966 年 1 月以后, 中国地震台网采用了郭履灿等(1981) [8]提出的以北京白家疃地震台为基准的面波震级公式:

1) 使用基式(SK)中长周期地震仪记录面波质点运动最大速度, 计算公式为

$$M_s = \lg \left[\frac{A}{T} \right]_{\max} + 1.661 \lg \Delta + 3.5 \left(1^\circ < \Delta < 130^\circ \right) \quad (1)$$

2) 使用 763 型长周期地震仪记录, 以垂向瑞利波质点运动最大速度测定震级, 计算公式为

$$M_{s7} = \lg \left[\frac{A}{T} \right]_{\max} + 1.661 \lg \Delta + 3.3 \left(3^\circ < \Delta < 177^\circ \right) \quad (2)$$

式中, A 是两水平分向面波地动位移的矢量和, $A = (A_E^2 + A_N^2)^{1/2}$, 以 μm 为单位; T 是相应的周期, 以 s 为单位, 震中距在 $1^\circ < \Delta < 130^\circ$ 内, 使用地震面波周期值在 $3 \text{ s} \leq T \leq 25 \text{ s}$ 内; Δ 是震中距, 以度为单位。

恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台均为在 DK1 和 763 仿真后, 量取南北向和东西向最大振幅及对应周期, 得到面波震级。

3.2. 震级偏差计算

对选取的 420 个地震事件进行处理, 分别计算台站测定的面波震级与中国地震台网中心发布的面波震级偏差, 再取其平均偏差。

M_{si} 为台站测定的第 i 个地震 M_s 震级, M_{s7i} 为台站测定的第 i 个地震 M_{s7} 震级, M_i 为相应的中国地震台网中心(CENC)正式目录的震级, E_i 为震级偏差, 则

$$E_i = M_{si} - M_i \quad (3)$$

$$\text{或 } E_i = M_{s7i} - M_i \quad (4)$$

则平均震级偏差为

$$\Delta E_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{si} - M_i) \quad (5)$$

$$\text{或 } \Delta E_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{s7i} - M_i) \quad (6)$$

标准差为

$$\delta i = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (M_{si} - M_i)^2}{N - 1} \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\text{或 } \delta i = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (M_{S7i} - Mi)^2}{N - 1} \right]^{1/2} \quad (8)$$

根据式(5)~(8), 计算得到恩施地震台面波 M_S 震级、 M_{S7} 震级与中国地震台网中心面波震级 M 的平均偏差分别为-0.0505、-0.052, 标准差为 0.2249、0.228。钟祥地震台面波 M_S 震级、 M_{S7} 震级与中国地震台网中心面波震级 M 的平均偏差分别为-0.0943、-0.1095, 标准差为 0.3074、0.331。麻城地震台面波 M_S 震级、 M_{S7} 震级与中国地震台网中心面波震级 M 的平均偏差分别为 0.0343、-0.067, 标准差为 0.1854、0.259。

4. 数据分析

4.1. 震级大小与震级偏差之间的关系

将 M 震级按大小分为 3 个不同区间, 计算每个震级区间内恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台 M_S 震级、 M_{S7} 震级与中国地震台网 M 震级的平均偏差, 计算结果见表 2。由表 2 可以看到, 三个地震台的 M_S 震级、 M_{S7} 震级偏差值都在±0.3 以内, 映震能力较好。

Table 2. Relation between magnitude deviation and magnitude

表 2. 震级偏差与震级关系

恩施地震台			钟祥地震台			麻城地震台		
震级	震级偏差		震级	震级偏差		震级	震级偏差	
	M_S-M	$M_{S7}-M$		M_S-M	$M_{S7}-M$		M_S-M	$M_{S7}-M$
$5.0 \leq M \leq 5.9$	-0.0457	-0.057	$5.0 \leq M \leq 5.9$	0.0286	-0.14	$5.0 \leq M \leq 5.9$	0.1171	-0.163
$6.0 \leq M \leq 6.9$	-0.0498	-0.05	$6.0 \leq M \leq 6.9$	-0.116	-0.1201	$6.0 \leq M \leq 6.9$	0.01416	-0.074
$7.0 \leq M$	-0.059	-0.059	$7.0 \leq M$	-0.024	-0.0087	$7.0 \leq M$	0.1195	0.0609

4.2. 震中距与震级偏差之间的关系

将震中距分为 4 个不同区间, 分析恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台 M_S 震级、 M_{S7} 震级与中国地震台网 M 震级的平均偏差, 计算结果见表 3。从表 3 可以发现, 三个地震台的 M_S 震级、 M_{S7} 震级偏差值都在±0.3 以内, 映震能力较好。

Table 3. Relation between magnitude deviation and epicentral distance

表 3. 震级偏差与震中距关系

恩施地震台			钟祥地震台			麻城地震台		
震中距/(°)	震级偏差		震中距/(°)	震级偏差		震中距/(°)	震级偏差	
	M_S-M	$M_{S7}-M$		M_S-M	$M_{S7}-M$		M_S-M	$M_{S7}-M$
$9 \leq \Delta < 30$	-0.0191	-0.025	$9 \leq \Delta < 30$	0.0327	-0.0982	$9 \leq \Delta < 30$	0.1536	-0.07
$30 \leq \Delta < 60$	-0.0423	-0.043	$30 \leq \Delta < 60$	-0.1015	-0.1131	$30 \leq \Delta < 60$	-0.0061	-0.078
$60 \leq \Delta < 105$	-0.0956	-0.096	$60 \leq \Delta < 105$	-0.2079	-0.1807	$60 \leq \Delta < 105$	-0.0798	-0.161
$105 \leq \Delta$	-0.0409	-0.038	$105 \leq \Delta$	-0.0954	-0.0015	$105 \leq \Delta$	0.1121	0.1212

4.3. 方位角与震级偏差之间的关系

分别以恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台位置为坐标原点[9], 将地震事件按 8 个方位进行划分, 分别计算 M_s 震级、 M_{s7} 震级与中国地震台网 M 震级的平均偏差值, 计算结果见表 4。由表 4 可知, 除麻城地震台 WWS 向($225^\circ \leq \alpha < 270^\circ$)的 M_s 震级偏差值超过了 ± 0.3 , 其余的 M_s 、 M_{s7} 震级偏差值均小于 ± 0.3 。麻城地震台记录的 WWS 向地震主要在云南、西藏、缅甸一带, 说明麻城地震台 M_s 震级对于 WWS 向的地震事件映震能力较差。

Table 4. Relation between magnitude deviation and azimuth Angle

表 4. 震级偏差与方位角关系

恩施地震台			钟祥地震台			麻城地震台		
方位角/(°)	震级偏差		方位角/(°)	震级偏差		方位角/(°)	震级偏差	
	M_s-M	$M_{s7}-M$		M_s-M	$M_{s7}-M$		M_s-M	$M_{s7}-M$
$0 \leq \alpha < 45$	0.0195	0.0104	$0 \leq \alpha < 45$	0.0636	0.048	$0 \leq \alpha < 45$	0.1312	0.0597
$45 \leq \alpha < 90$	-0.0432	-0.041	$45 \leq \alpha < 90$	-0.0513	-0.0757	$45 \leq \alpha < 90$	0.1108	-0.024
$90 \leq \alpha < 135$	-0.0976	-0.095	$90 \leq \alpha < 135$	-0.2379	-0.1855	$90 \leq \alpha < 135$	-0.0935	-0.14
$135 \leq \alpha < 180$	-0.0667	-0.065	$135 \leq \alpha < 180$	-0.2363	-0.253	$135 \leq \alpha < 180$	-0.1182	-0.182
$180 \leq \alpha < 225$	-0.0806	-0.077	$180 \leq \alpha < 215$	-0.0193	-0.0161	$180 \leq \alpha < 215$	0.2032	0.1226
$225 \leq \alpha < 270$	0	0	$225 \leq \alpha < 270$	0.1111	-0.0722	$225 \leq \alpha < 270$	0.4	-0.022
$270 \leq \alpha < 315$	-0.0311	-0.038	$270 \leq \alpha < 315$	0.0164	-0.0902	$270 \leq \alpha < 315$	0.0869	-0.105
$315 \leq \alpha < 360$	-0.0333	-0.033	$315 \leq \alpha < 360$	0.0167	0.0167	$315 \leq \alpha < 360$	0.1333	0.1

4.4. 震源深度与震级偏差之间的关系

根据震级新国标[10]中对于浅源、中源及深源地震的定义, 以及湖北地区地壳厚度约 31~43km, 把恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台 M_s 震级、 M_{s7} 震级与 M 震级平均偏差按震源深度小于 30 km、30~60 km、60~300 km 及大于 300 km 进行统计, 结果见表 5。由表 5 可见: 除麻城地震台震源深度小于 30 km 的 M_s 震级偏大, 其余的 M_s 、 M_{s7} 震级均偏小; 钟祥地震台和麻城地震台中源地震的 M_s 、 M_{s7} 震级偏差值超过了 ± 0.3 , 映震能力较差, 三个台站深源地震的 M_s 、 M_{s7} 震级偏差值都超过了 ± 0.3 , 三个台站深源地震的映震能力均较差。

Table 5. Relation between magnitude deviation and focal depth

表 5. 震级偏差与震源深度关系

恩施地震台			钟祥地震台			麻城地震台		
震源深度/km	震级偏差		震源深度/km	震级偏差		震源深度/km	震级偏差	
	M_s-M	$M_{s7}-M$		M_s-M	$M_{s7}-M$		M_s-M	$M_{s7}-M$
$h < 30$	-0.0367	-0.039	$h < 30$	-0.0121	-0.0404	$h < 30$	0.1195	-0.002
$30 \leq h < 60$	-0.0709	-0.07	$30 \leq h < 60$	-0.1835	-0.1519	$30 \leq h < 60$	-0.024	-0.072
$60 \leq h < 300$	-0.0854	-0.08	$60 \leq h < 300$	-0.478	-0.4829	$60 \leq h < 300$	-0.4219	-0.468
$300 \leq h$	-0.4	-0.4	$300 \leq h$	-0.633	-0.73	$300 \leq h$	-0.633	-0.83

4.5. 不同面波震级偏差对比

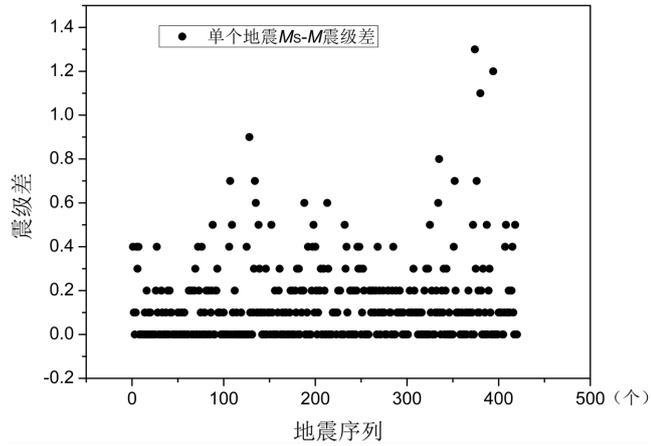


Figure 1. Distribution of M_s-M magnitude deviation values at Enshi Seismic Station
图 1. 恩施地震台 M_s-M 震级偏差值分布

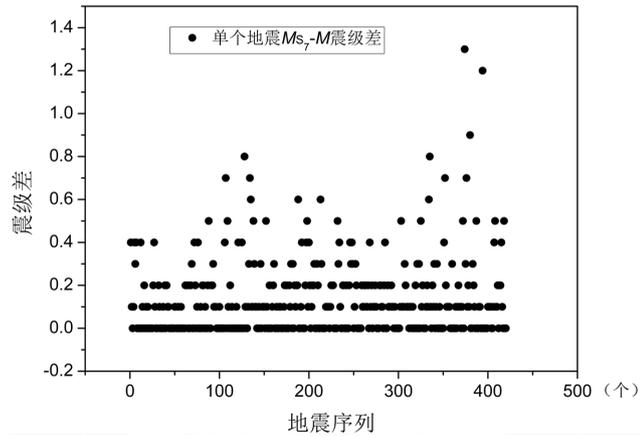


Figure 2. Distribution of $M_{s7}-M$ magnitude deviation values at Enshi Seismic Station
图 2. 恩施地震台 $M_{s7}-M$ 震级偏差值分布

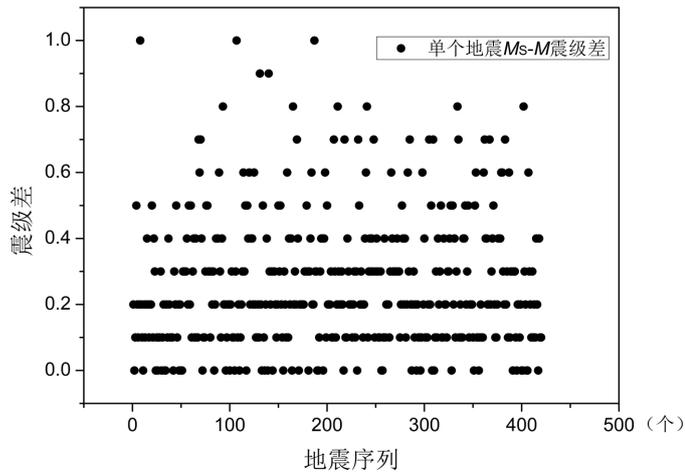


Figure 3. Distribution of M_s-M magnitude deviation at Zhongxiang Seismic Station
图 3. 钟祥地震台 M_s-M 震级偏差值分布

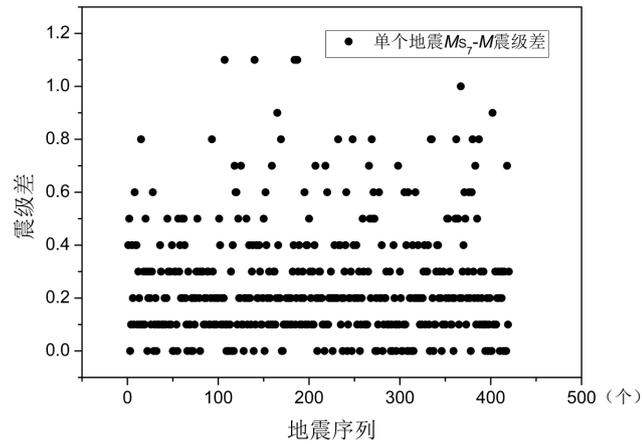


Figure 4. Distribution of $M_{S7}-M$ magnitude deviation at Zhongxiang Seismic Station
图 4. 钟祥地震台 $M_{S7}-M$ 震级偏差值分布

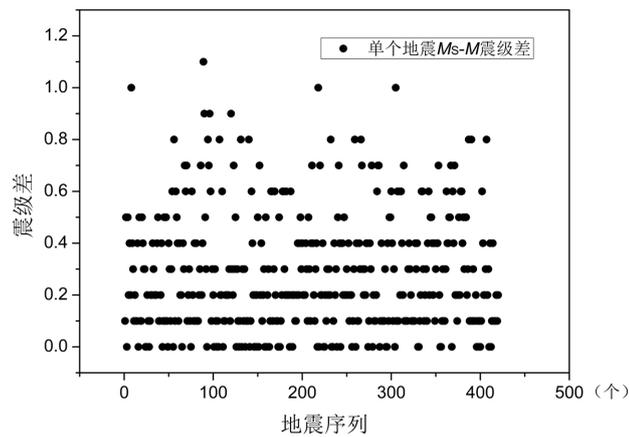


Figure 5. Distribution of M_S-M magnitude deviation at Macheng Seismic Station
图 5. 麻城地震台 M_S-M 震级偏差值分布

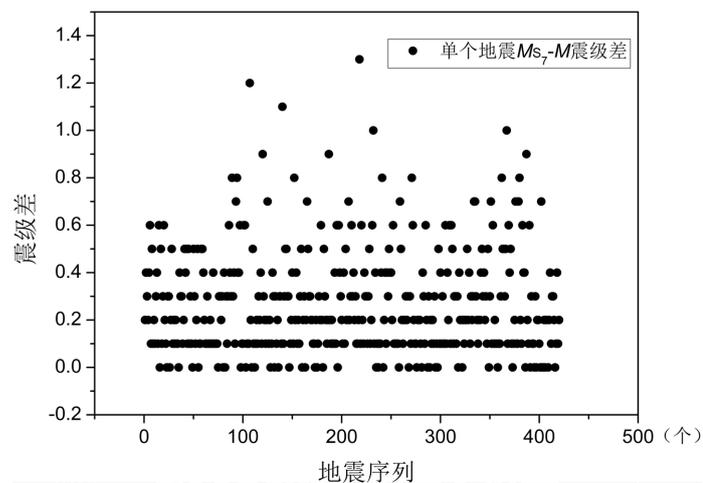


Figure 6. Distribution of $M_{S7}-M$ magnitude deviation of Macheng seismic Station
图 6. 麻城地震台 $M_{S7}-M$ 震级偏差值分布

由恩施地震台测量的 420 个地震事件的 M_S 震级与 M 震级偏差值分布(图 1), 可以看到, 10% 的地震

震级偏差值在 0.3 以上, 90% 的地震震级偏差值在 0.3 以下(含 0.3)。图 2 为恩施地震台测量的 420 个地震事件 M_{S_7} 震级与 M 震级偏差值分布, 由图 2 可以看到, 10% 的地震震级偏差值在 0.3 以上, 90% 的地震震级偏差值在 0.3 以下(含 0.3)。图 3 和图 4 分别为钟祥地震台测量的 420 个地震事件的 M_S 震级与 M 震级偏差值分布、 M_{S_7} 震级与 M 震级偏差值分布, 可以发现, 钟祥地震台的 M_S 震级与 M 震级偏差值、 M_{S_7} 震级与 M 震级偏差值在 0.3 以上的事件分别为 27%、24%, 偏差值 ≤ 0.3 的事件分别为 73%、76%。图 5 为麻城地震台测量的 420 个地震事件的 M_S 震级与 M 震级偏差值分布, 可以发现震级偏差值大于 0.3 的事件占 34%, 偏差值 ≤ 0.3 的事件占 66% [11]。图 6 为麻城台测量的 420 个地震事件 M_{S_7} 震级与 M 震级的偏差值分布, 可以发现震级偏差值在 0.3 以上的事件占 28%, 偏差值 ≤ 0.3 的事件占 72%。图 1~图 6 统计的震级偏差值为实际震级偏差值的绝对值。

由此可见, 恩施地震台测量的面波震级(M_S 、 M_{S_7})较钟祥地震台和麻城地震台测量的面波震级偏差小。就单台来看, 恩施地震台测量的 M_S 震级和 M_{S_7} 震级一致性好, 和中国地震台网中心的面波震级 M 一致性好; 钟祥地震台测量的 M_S 震级和 M_{S_7} 震级基本一致, 和中国地震台网中心的面波震级 M 基本一致; 麻城地震台的 M_{S_7} 震级偏差比 M_S 震级偏差小, 和中国地震台网中心的面波震级 M 有较少偏差。结合平均偏差和标准偏差结果, 以单台震级计算结果来看, 当需要以面波震级作为发布震级时, 恩施地震台的 M_S 震级和 M_{S_7} 震级都可以作为发布震级, 钟祥地震台优选 M_S 震级作为发布震级, 麻城地震台优选 M_{S_7} 震级作为发布震级。

从以上分析可以看到, 恩施地震台的面波震级较钟祥地震台和麻城地震台映震能力强, 可能和恩施地震台台基深度有关, 恩施地震台台基深度为 470 m, 钟祥地震台台基深度为 84 m, 麻城地震台台基深度为 97 m。三个台站对深源地震的映震能力较差是由于深源地震波传播过程中能量衰减更为显著。麻城地震台在 WWS 向($225^\circ \leq \alpha < 270^\circ$)的地震事件映震能力较差的原因还需进一步研究。

5. 结论

通过对恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台 2017~2021 年 420 个远震事件 M_S 震级、 M_{S_7} 震级与中国地震台网 M 震级进行震级偏差分析, 可以得出以下结论。

1) 恩施地震台 M_S 震级、 M_{S_7} 震级平均偏差分别为 -0.0505、-0.052, 钟祥地震台 M_S 震级、 M_{S_7} 震级平均偏差分别为 -0.0943、-0.1095, 麻城地震台面波 M_S 震级、 M_{S_7} 震级平均偏差分别为 0.0343、-0.067。

2) 与钟祥地震台和麻城地震台比较, 恩施地震台的 M_S 震级、 M_{S_7} 震级与中国地震台网中心的震级 M 一致性更好。

3) 恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台的 M_S 震级和 M_{S_7} 震级一致性均较好, 但作为优先发布震级时, 钟祥地震台优选 M_S 震级, 麻城地震台优选 M_{S_7} 震级, 恩施地震台 M_S 震级和 M_{S_7} 震级都可以。

4) 恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台的 M_S 震级和 M_{S_7} 震级偏差受震级大小、震中距的影响不大, 麻城地震台 M_S 震级对于 WWS 向($225^\circ \leq \alpha < 270^\circ$)的地震事件映震能力较差, 钟祥地震台和麻城地震台 M_S 、 M_{S_7} 震级对中源地震映震能力较差, 恩施地震台、钟祥地震台、麻城地震台的 M_S 、 M_{S_7} 震级对深源地震的映震能力均较差。

本次研究震例样本偏少, 不同震级区间、震中距区间、方位角区间、震源深度区间的地震事件个数不同, 可能影响计算结果的精度。本文缺少多方面影响因素来综合分析震级偏差原因和结果, 今后将积累更多震例数据, 并探究震级偏差的深层次原因作进一步研究。

致 谢

感谢湖北省地震局提供的数据和项目支持, 感谢审稿人和编辑提出的宝贵意见。

基金项目

湖北省地震局基础科研基金(项目编号: 2022HBJJ013)。

参考文献

- [1] 郭延杰, 包莹, 齐彬彬, 等. 赤峰地震监测中心站与阿古拉地震监测站面波震级偏差及相关性分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2022, 43(1): 37-41.
- [2] 吴桐, 叶青, 堵伟鹏, 等. 根河地震台、海拉尔地震台面波震级偏差分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2024, 45(1): 23-26.
- [3] 刘瑞丰, 陈运泰, 薛峰. 测定的震级之间不应相互换算[J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(3): 1-9.
- [4] 彭籽壹, 胡洪, 梁子晗, 等. 麻城地震台远震体波震级偏差分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2024, 45(2): 29-33.
- [5] 陈运泰, 刘瑞丰. 地震的震级[J]. 地震地磁观测与研究, 2004, 25(6): 1-12.
- [6] 陈培善, 秦嘉政. 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]. 防灾减灾工程学报, 1982(1): 8-17.
- [7] 陈培善, 成瑾. 中国地震基本台网测定面波震级的偏差[J]. 国际地震动态, 1998(7): 6-9.
- [8] 郭履灿, 庞明虎. 面波震级和它的台基校正值[J]. 地震学报, 1981(3): 98-106.
- [9] 吴桐, 王西, 堵伟鹏, 等. 海拉尔地震台面波震级偏差分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2023, 44(4): 27-33.
- [10] 刘瑞丰, 陈运泰, 许绍燮, 等. GB17740-2017 地震震级的规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [11] 尹站军, 王石磊, 王树波. M_s (BB)、 M 、 M_{s7} 震级对比[J]. 地震地磁观测与研究, 2017, 38(6): 17-20.