

刘芳、张帆、张晖等,2016,内蒙古地区地方性震级的量规函数研究,中国地震,32(3),485~493。

# 内蒙古地区地方性震级的量规函数研究

刘芳 张帆 张晖 赵铁锁 娜热 魏建民

内蒙古自治区地震局,呼和浩特市哲里木路 80 号 010051

**摘要** 选取 2008 年 1 月~2015 年 11 月内蒙古测震台网 81 个台站所记录的 6342 次地震事件,基于震级残差统计方法,计算了 81 个台站单台震级与台网平均震级的偏差、平均偏差和标准偏差。分析认为,BHS 等 6 个台站震级偏差较大的原因可能是台站场地响应放大、台基风化等。台基校正前、后单台震级平均偏差值  $\overline{\Delta M_{Li}}$  随震中距的变化曲线显示,曲线形态基本未有大的改变,台基校正后较之前震级平均偏差绝对值降低 0.01,表明台基对地方性震级偏差的影响不大。同时,进行了 81 个台站的台基校正获得了内蒙古新量规函数,结果表明,全国量规函数除了震中距为 0~120km 时适合于内蒙古地区以外,其余情况下均偏高,不符合内蒙古地区的特征。因此,本文修定了全国量规函数,得到了校正后的内蒙古地区量规函数。

**关键词:** 地震台网 震级 量规函数 震级偏差

[文章编号] 1001-4683(2016)03-0485-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

震级是表征地震强弱的量度,是地震学研究中重要的参数之一。影响地方性震级  $M_L$  的因素有震源、地震波通过的介质的地区性差异、接收台站和仪器、使用不同震相和不同方法进行测定等 4 个方面(陈运泰等,2004)。量规函数是在不同震中距观测点上,用质点运动位移最大的振幅及相应周期或质点运动速度最大幅值测定震级时,因地震波随震中距的衰减所需要的校正值,以其来补偿振幅随距离、深度变化的衰减。因此,量规函数是影响震级测定精度的重要参数之一。而目前使用的近震量规函数不能充分反映我国地壳的地区性差异,对同一地震在观测仪器相同、台基条件相似的情况下求出的震级相差较大,这使得各地区测定的震级相同的地震不能等价比较。1980 年以来,众多地震工作者对此开展了大量研究。陈培善等(1983)研究认为我国不同地质、地震单元之间存在着不同程度的差异;严尊国(1986a、1986b)、严尊国等(1983、1992、1995)开展了震级残差统计分析和近震最大震相平均衰减形态等方面的研究,确立了中国东、西部地区的中国地方性震级量规函数;秦嘉政等(1986)研究了不同仪器以及地震波的区域性衰减特征对测定  $M_L$  的影响;彭美凤(1982)、张诚(1981)对闽台地区和西北地区量规函数进行了分析;黄玮琼(1982)对近震衰减特征的地

[收稿日期] 2015-12-29; [修定日期] 2016-02-15

[项目类别] 中国地震局地震科技星火项目(XH15008)、内蒙古自治区科技重大专项课题“重点地区地震预测预警技术研究开发与推广示范”联合资助

[作者简介] 刘芳,女,1963 年生,高级工程师,主要从事地震监测、地震预报和地震学的研究工作。

E-mail: chenjf163@163.com

区差异及地方性震级进行了估算;薛志照(1992)研究了地方性震级  $M_L$  量规函数和台站校正正值;高国英等(1987)、赵明淳等(2005)、孟晓琴等(2008)、项月文等(2010)对内蒙古、新疆、河北、山西和江西等地区震级与量规函数的关系进行了研究。

内蒙古自治区地形狭长,地震构造复杂(曹刚,2001),区域特征差异十分明显。内蒙古测震台网由 81 个数字台站组成。其中,地面超宽带地震计 2 个、地面甚宽带地震计 14 台、井下甚宽带地震计 1 台、地面宽带地震计 22 台。超宽带地震计地动速度响应频带范围为 360s/50Hz,甚宽带为 120s/50Hz,宽带为 60s/50Hz。地震计有效动态范围优于 130dB,数据采集器动态范围优于 130dB,数据采集器字长 24 位,每秒采样 100 点。我们在多年的地震定位实测中发现,同一事件、不同子台测定的震级存在偏差,故应当采用反映本地区特征的地区性量规函数。本文将遵循“继承性、区域性、实用性”的震级确定 3 原则(严尊国等,1992),侧重研究量规函数对内蒙古数字地震台网震级测定的影响。研究中基于震级残差统计分析方法,采用 2008 年以来内蒙古及邻省地震台网震相数据,对 81 个子台震级偏差进行定量的统计分析,研究其产生偏差的原因,修正并确立内蒙古地区区域量规函数,以提高内蒙古测震台网震级测定的精度。

## 1 资料选取

本文选取内蒙古测震台网记录到的 2008 年 1 月~2015 年 11 月内蒙古及边境线 30km 以内的 6342 次地震事件(图 1),并对每一次地震记录进行了分析处理(表 1)。测定地方性震级时,采用 JOPENS 系统中 MSDP 定位软件,选用参与定位的 4 个以上台的资料,为了避免在速度记录上测定地方性震级容易出现周期值读取不稳定的问题,进行 WA 仿真,量取两水平向最大位移值,使得周期值得到了很好的约束,基本消除了周期测定对震级计算造成的

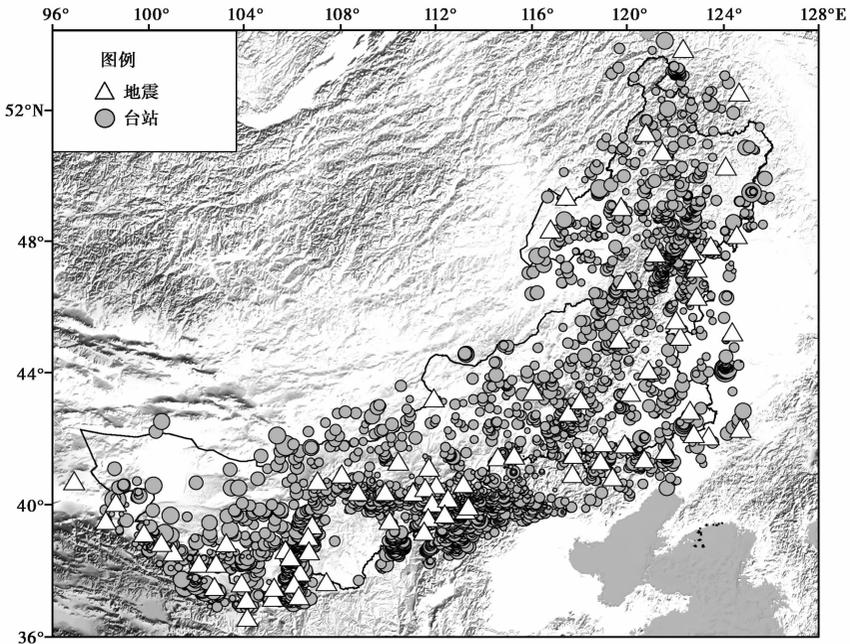


图 1 2008 年 1 月~2015 年 11 月 6342 次地震和 81 子台分布

表 1 2008 年 1 月~2015 年 11 月 6342 次地震数据统计

时段(年-月)	地震次数	单台震级个数	震中距范围/km
2008-01~2015-11	6342	140480	1~1000

偏差。再根据地方性震级计算公式求取各子台震级,由多台震级平均值得到台网震级。最后,基于震级残差统计方法,得到台网多台震级平均值,重新修定震级的量规函数。

## 2 量规函数计算方法

本文是在保持现行中国地方性震级标度系统自身稳定的前提下进行的,实质上是采用了均匀震级系统的思想,遵循了地方性震级测定的继承性(陈继锋等,2013),建立了符合内蒙古地区特征的量规函数。根据《测震台网运行管理细则》(2015)中震测函[2015]115号,所有的数字记录均仿真成短周期地震仪 WA 后,在位移记录上量取两水平向最大位移值,然后采用下式计算地方性震级

$$M_L = \lg A_{\mu} + R(\Delta) \quad (1)$$

式中,  $A_{\mu}$  为水平分向记录的最大地动位移的算术平均值( $\mu\text{m}$ );  $R(\Delta)$  为短周期地震仪测定的  $M_L$  的量规函数。

对第  $i$  个地震,求出所有台站的震级平均值

$$M_{Li} = \frac{1}{N_s} \sum_{j=1}^{N_s} M_{Lij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_e \quad (2)$$

式中,  $N_e$  为台站个数,  $N_s$  为地震总个数。

将单个台站对应的单个地震的震级减去单个地震的震级平均值,可得到单台震级的残差值。第  $j$  个台站对其所记录的所有地震的标准偏差  $\delta_j$  和平均偏差为

$$\delta_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N M_{Lij} - M_{Li}}{N - 1}} \quad (3)$$

$$\Delta M_{Lj} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_{Lij} - M_{Lj} \quad (4)$$

单台震级偏差值随震中距的变化为

$$\overline{\Delta M_{Lk}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Delta M_{Lj} \quad (5)$$

式中,  $k$  是震中距间隔序数;  $N$  为间隔范围内震级偏差样本数。

## 3 计算结果及分析

基于内蒙古测震台网 81 个子台所记录的 6342 次地震的数据,使用上述震级残差统计方法,计算得到了各子台震级相对于台网震级  $M_{Li}$  的偏差、平均偏差  $\Delta M_{Li}$  和标准偏差  $\delta_i$ , 并对结果进行了分析。本文针对台站震级偏差进行了台基校正,同时对比了台基校正前、后单台震级偏差随震中距的变化、震级与台网平均震级偏差的分布情况,并依据所得结果对内蒙古地区量规函数进行修定。

### 3.1 台基的影响

表 2 给出了 81 个子台震级相对于台网震级  $M_{Li}$  的偏差、平均偏差  $\Delta M_{Li}$  和标准偏差  $\delta_i$ 。

表2 各子台计算得到的平均偏差  $\overline{\Delta M_{Li}}$  和标准偏差  $\delta_i$ 

序号	台站代码	样本数	平均偏差	标准偏差	序号	台站代码	样本数	平均偏差	标准偏差
1	AGL	329	-0.05	0.44	42	SZS	1020	0.00	0.40
2	ARS	578	0.03	0.27	43	BYT	1420	-0.01	0.34
3	BAC	665	0.01	0.23	44	GTA	239	-0.20	0.32
4	BHS	711	0.29	0.30	45	HXP	411	0.08	0.29
5	BLM	622	0.08	0.27	46	HYS	843	0.21	0.29
6	BTO	240	-0.28	0.41	47	JTA	848	0.20	0.32
7	BYT	1420	-0.01	0.34	48	JYG	25	0.25	0.37
8	CHF	347	-0.13	0.29	49	MIQ	1040	0.42	0.31
9	CHR	749	-0.05	0.22	50	SDT	310	0.41	0.30
10	CSQ	394	-0.15	0.37	51	SGS	734	-0.12	0.29
11	DSH	48	-0.15	0.31	52	SGT	848	0.22	0.3
12	DSM	363	-0.12	0.36	53	YJZ	188	0.00	0.33
13	GNH	429	-0.04	0.24	54	YWX	40	0.11	0.29
14	HHC	360	0.09	0.34	55	ZHY	995	-0.04	0.35
15	HLG	1309	-0.04	0.29	56	KAB	1019	-0.02	0.27
16	HLH	138	0.34	0.32	57	LOH	689	-0.05	0.25
17	HLR	256	-0.31	0.28	58	WEC	684	0.05	0.27
18	IDR	520	-0.15	0.24	59	JGD	372	0.06	0.19
19	JIN	675	0.15	0.29	60	MOH	96	-0.24	0.27
20	JIP	517	0.00	0.28	61	NEH	327	0.00	0.27
21	LCH	1112	0.09	0.00	62	NZN	684	0.09	0.23
22	LIX	512	0.03	0.33	63	TAH	296	-0.09	0.4
23	LUB	312	-0.03	0.25	64	ZHY	995	-0.04	0.35
24	MDG	366	0.17	0.19	65	BCT	333	0.12	0.25
25	MZL	199	-0.07	0.26	66	BEP	607	0.05	0.33
26	NIC	480	-0.03	0.24	67	FKU	368	0.30	0.26
27	NJT	695	0.21	0.24	68	FXI	488	0.04	0.35
28	QSH	994	0.19	0.35	69	HXQ	415	0.16	0.24
29	TIS	351	-0.14	0.25	70	LYA	510	0.30	0.29
30	WJH	388	-0.28	0.36	71	XFN	312	0.05	0.27
31	WLH	615	0.00	0.25	72	LOH	689	-0.05	0.25
32	WLT	364	-0.05	0.29	73	WEC	684	0.05	0.27
33	WUH	821	-0.11	0.48	74	JGD	372	0.06	0.19
34	XIH	609	0.00	0.33	75	MOH	96	-0.24	0.27
35	XIQ	228	0.12	0.22	76	NEH	327	0.00	0.27
36	XLT	293	0.04	0.26	77	NZN	684	0.09	0.23
37	XSZ	791	-0.11	0.30	78	TAH	296	-0.09	0.40
38	ZLT	763	0.02	0.21	79	ZHY	995	-0.04	0.35
39	RLT	184	-0.09	0.23	80	BCT	333	0.12	0.25
40	LWU	218	-0.23	0.42	81	BEP	607	0.05	0.33
41	NSS	966	-0.24	0.29					

由表 2 可见,只有 6 个台站(JIP、WLH、XIH、YJZ、NEH、SZS)不存在震级偏差,其他台站均存在震级偏差,偏差为 $-0.33\sim 0.42$ 。81 个台站中有 42 个台站的震级平均偏差(绝对值)在 0.2 之内,占台站总数的 51.9%。有 6 个台站(内蒙古 BHS、HLH、HLR;甘肃 SDT;辽宁 FKU、LYA)的震级偏差较大,偏差为 $-0.34\sim 0.42$ ,占 8.6%。可见,台基是引起震级偏差的因素之一。因此,本文在修定内蒙古测震台网量规函数之前进行了台基校正。

### 3.2 单台震级平均偏差 $\overline{\Delta M_i}$ 随震中距的变化

为了考察台基校正前、后单台震级平均偏差  $\overline{\Delta M_i}$  随震中距的变化规律,以获得内蒙古测震台网新的量规函数。依据式(6),将所求 81 个子台的震中距在 0~500km 范围内,取步长 5km,得到台基校正前、后单台震级平均偏差  $\overline{\Delta M_i}$  随震中距  $\Delta$  的变化曲线(图 2)。

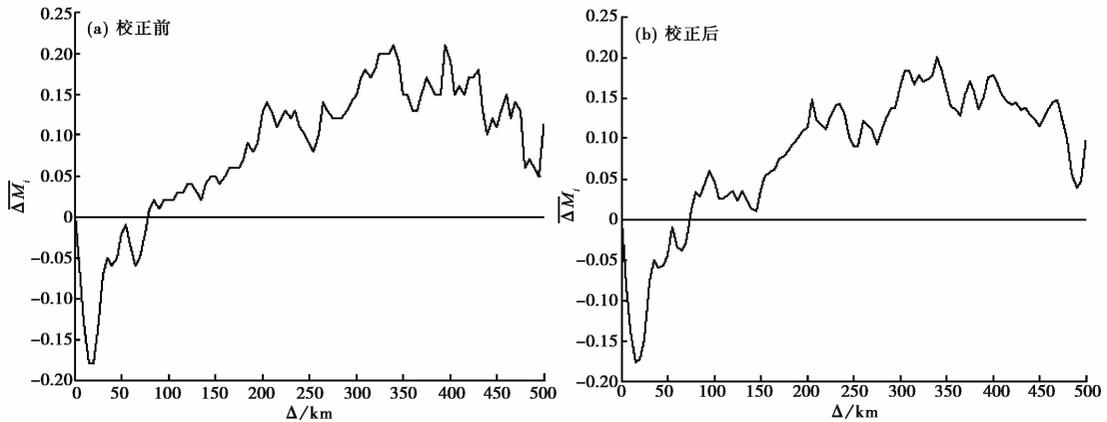


图 2 单台震级平均偏差随震中距的变化

由图 2(a)、2(b)可见,台基校正前、后,曲线形态基本未有大的改变;校正前,  $\overline{\Delta M_{Li}}$  的变化范围为 $-0.18\sim 0.21$ ,相对应的震中距变化范围为 0~350km,;校正后,  $\overline{\Delta M_{Li}}$  的变化范围为 $-0.17\sim 0.20$ ,相对应的震中距变化范围为 0~320km,台基校正后较之前  $|\overline{\Delta M_i}|$  降低 0.01。

研究表明,经过台基校正后,震级偏差有所下降,但  $|\overline{\Delta M_{Li}}|$  仅下降 0.01,可见,台基对地方性震级偏差影响不大,仍存在影响震级偏差的其他因素。

### 3.3 单台震级与台网平均震级偏差分布

为了考察台基校正前、后单台震级与平均震级偏差(简称偏差  $\sigma$ )的分布情况,本文对  $\sigma$  的分布形态、震级偏差的标准差以及偏差的绝对值  $|\sigma|$  的分布范围等进行统计分析。图 3(a)为台基校正前,偏差值呈正态分布,但离散度较大,  $\sigma$  值分布范围 $-1.4\sim 1.4$ ;图 3(b)为台基校正后,偏差值基本呈正态分布,离散度较小,  $\sigma$  值分布范围 $-1.2\sim 1.2$ ,较前更为集中。台基校正前震级偏差标准差为 0.356,校正后为 0.307。由表 3 可见,台基校正后,单台震级与平均震级偏差在  $0\leq |\sigma| < 0.3$  范围的地震数量占总数的比例明显增大,  $|\sigma| > 0.5$  的地震数量明显减小。

### 3.4 量规函数的校正

依据本文得到的 81 个子台的平均偏差(表 2),扣除台基影响,并对全国量规函数在震中距为 0~500km 范围内进行校正,得到校正后的内蒙古地区量规函数(图 4),由图 4 可见,

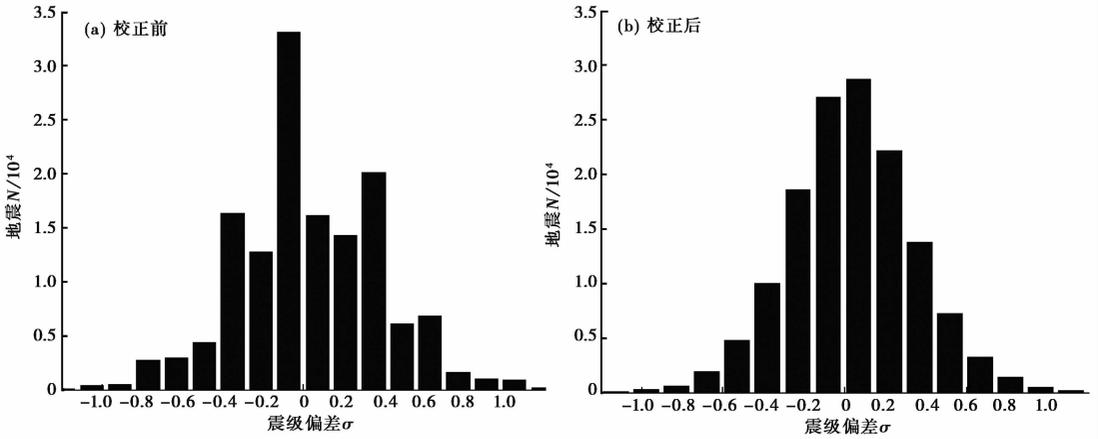


图3 台基校正前、后单台震级与平均震级偏差标准差统计

表3 台基校正前、后单台震级与平均震级偏差  $|\sigma|$  分档统计

$ \sigma $ 范围	地震次数	占地震总数的比例/%	
		校正前	校正后
$0 \leq  \sigma  < 0.3$	77098	54.9	69.2
$0.3 \leq  \sigma  < 0.5$	36723	26.1	18.4
$0.5 \leq  \sigma  < 1.0$	26090	18.6	11.7
$\sigma \geq 1.0$	1044	0.7	0.7

全国量规函数在  $0 \leq \Delta \leq 120\text{km}$  时基本适合于内蒙古地区;当  $\Delta > 120\text{km}$  时,全国量规函数均偏高。

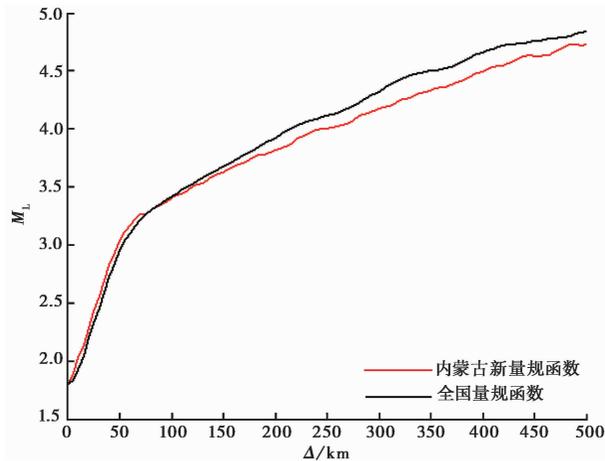


图4 内蒙古地区新量规函数曲线

## 4 新量规函数检验

为了检验内蒙古新量规函数是否适用于内蒙古测震台网, 本文选取 140480 次地震的单台震级数据, 以单台震级和台网平均震级偏差的标准差 (简称标准差) 和震级偏差分布集中度作为检验指标, 对使用新量规函数的情况进行分析 (图 5), 并与图 3 的结果进行对比, 由图 5 可见, 使用新量规函数测定的标准差为 0.271, 而由前述可知, 台基校正前标准差为 0.356, 台基校正后为 0.307, 故使用新量规函数测定的震级标准差有了一定程度的降低。虽然在台基校正前、后以及使用新量规函数等 3 种情况下, 震级偏差均呈正态分布, 但是, 台基校正后以及使用新量规函数这 2 种情况下测定的震级偏差分布较台基校正前的集中度明显提高, 且使用新量规函数的更佳。

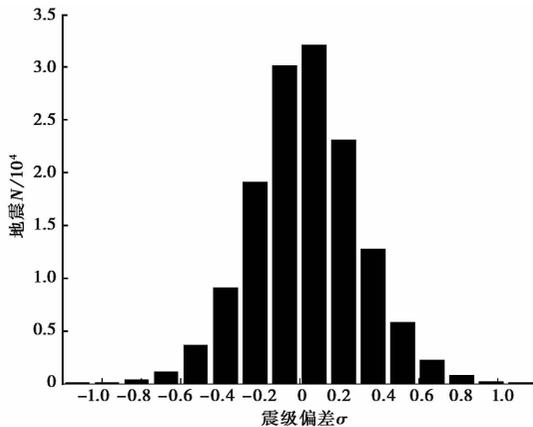


图 5 使用新量规函数的单台震级与平均震级偏差标准差统计

## 5 讨论和结论

本文选用内蒙古及边境 30km 范围内 2008~2015 年 11 月的 6342 次地震的资料, 基于震级残差统计分析方法, 对 81 个子台震级偏差进行了定量的统计分析, 获得如下认识:

(1) 分析 81 个台站震级偏差后认为, 只有 6 个台站 (JIP、WLH、XIH、YJZ、NEH、SZS) 不存在震级偏差, 其他台站均存在震级偏差, 偏差为  $-0.33 \sim 0.42$ 。42 个台站的震级平均偏差 (绝对值) 在 0.2 之内, 占 51.9%。有 6 个台 (BHS、HLH、HLR、SDT、FKU、LYA) 震级偏差较大, 偏差为  $-0.34 \sim 0.42$ 。分析认为, BHS 台站场地响应呈现出明显的放大效应, 这可能是受场地周围介质的影响, 即与台站周围覆盖层较厚有关; HLH 台站的场地响应放大, 可能是台基位于软的沉积层或周围场地的影响, 台基风化较为严重; HLR 台站震级偏差较大, 可能与它处于连续的山体构造有关 (王鑫等, 2015)。位于甘肃境内的 SDT 台站的台基为砂砾岩, 且岩石风化严重, 场地响应值也较大 (陈继锋等, 2013)。位于辽宁境内的 FKU、LYA 台站场地响应也显示出放大效应。故本文在修定内蒙古测震台网量规函数之前扣除了 81 个台站的台基影响。

(2) 对比台基校正前、后单台震级平均偏差  $\overline{\Delta M_i}$  随震中距的变化可知, 曲线形态基本未

有大的改变。台基校正后较之前  $|\overline{\Delta M_i}|$  降低 0.01, 对地方性震级偏差影响不大。

(3) 考察台基校正前、后单台震级与平均震级偏差(简称偏差  $\sigma$ ) 的分布情况后认为, 从  $\sigma$  的分布形态来看, 台基校正后, 震级偏差的离散度明显降低, 分布更为集中。震级偏差的标准差由台基校正前的 0.356 降至校正后的 0.307。台基校正后, 单台震级与平均震级偏差在  $0 \leq |\sigma| < 0.3$  范围的地震数量占总数的比例明显增大,  $|\sigma| > 0.5$  的地震数量明显减小。

(4) 通过对内蒙古地区量规函数的修定认为, 全国量规函数只有  $0 \leq \Delta \leq 120\text{km}$  基本适合于内蒙古地区, 其余情况下, 全国量规函数均偏高, 不符合内蒙古地区特征。因此, 本文重新修定了全国量规函数, 得到了内蒙古新量规函数。

(5) 本文对新量规函数的检验结果显示, 使用新量规函数测定的震级标准差有了一定程度的降低, 由原来的 0.356 降至 0.271, 降低了 0.085。使用新量规函数后震级偏差分布集中度较台基校正前、台基校正后有了明显提高。

(6) 由于内蒙古地区地形狭长, 地质构造复杂、多样, 2008 年以来发生的较大地震数量有限, 且地震分布、台站布局不太均匀, 因此, 新修定的内蒙古地区量规函数还有待在今后的使用中检验、完善。

**致谢:** 感谢中国地震局地球物理研究所刘瑞丰研究员及匿名审稿人对本文撰写给予的支持和帮助!

## 参考文献

- 陈运泰、刘瑞丰, 2004, 地震的震级, 地震地磁观测与研究, **25**(6), 1~12。
- 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, 地震学报, **5**(1), 87~98。
- 曹刚, 2001, 内蒙古地震研究, 北京: 地震出版社。
- 秦嘉政、阚荣举、刘祖荫, 1986, 不同仪器以及地震波的区域性衰减特征对测定  $M_L$  的影响, 地震研究, **9**(1), 13~25。
- 陈继锋、尹欣欣、董宗明等, 2013, 甘肃地区近震震级的量规函数研究, 中国地震, **29**(3), 327~334。
- 高国英、艾尼瓦尔, 1987, 新疆地区量规函数、台站校正值的分析计算, 西北地震学报, **9**(1), 103~107。
- 黄玮琼, 1982, 近震衰减特征的地区差异及近震震级的估算, 地震学报, **4**(4), 337~349。
- 孟晓琴、梁向军、张玲等, 2008, 山西地震台网速报震级与量规函数的研究, 山西地震, (2), 19~23。
- 彭美凤, 1982, 闽台地区量规函数  $R(\Delta)$  的探讨, 地震地磁观测与研究, **3**(3), 71~75。
- 王鑫、尹战军、郝美仙等, 2015, 内蒙古地区场地响应区域特征分析, 震害防御技术, **10**(1), 163~172。
- 薛志照, 1992, 近震震级  $M_L$  量规函数和台站校正值, 华北地震科学, **108**(1), 60~651。
- 项月文、曾文敬、罗丽等, 2010, 江西数字地震台网近震震级偏差与量规函数关系的研究, 华南地震, **30**(3), 95~104。
- 严尊国, 1986a, 湖北区域台网测定  $M_L$  震级中量规函数的修正, 地震学刊, 第 2 期, 9~17。
- 严尊国, 1986b, 建立华北南部地方性均匀震级系统的尝试, 中国地震, **2**(2), 57~63。
- 严尊国、李普丽、薛军蓉, 1992, 中国近震震级量规函数研究, 中国地震, **8**(4), 76~91。
- 严尊国、李普丽、薛军蓉, 1995, 中国近震震级量规函数检验研究, 华南地震, **15**(1), 1~11。
- 严尊国、师蓉梅, 1983, 地方性均匀震级系统量规函数的区域特征, 地震地磁观测与研究, **4**(4), 4~10。
- 张诚, 1981, 西北地区测定震级  $M_L$  中的某些问题, 地震地磁观测与研究, **3**(2), 28~31。
- 赵明淳、毛国良、张丛珍等, 2005, 河北遥测台网速报震级偏差与量规函数关系的研究, 地震地磁观测与研究, **26**(5), 87~94。

## Study on calibration function of near earthquakes in the Inner Mongolia Region

*Liu Fang Zhang Fan Zhang Hui Zhao Tiesuo Na Re Wei Jianmin*

Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous, Hohhot 050051, China

**Abstract** To calculate the deviations between single station magnitudes and average ones by the magnitude of residual statistical methods, the paper selected 13086 seismic events recorded on Inner Mongolia Broadband Digital Seismic Network from January 2008 to November 2015. 6 stations have no deviations and 6 stations have bigger magnitudes caused by site response, weathering and other factors. The station magnitude derivation curve does not change obviously before and after site correction. The average magnitude deviation between these events shows a normal distribution. The magnitude deviation curve along with the epicentral distance is deviating from the zero line. The magnitude deviations of the earthquakes are analyzed on the frequency distribution and quantitative statistics. The China calibration function is suitable for the Inner Mongolia region when the epicentral distance is equal or less than 120km, and the magnitude is higher in other conditions. After site correction of 81 stations,  $M_L$  calibration function is modified and the new Inner Mongolia region calibration function is obtained.

**Key words:** Seismic Network; Magnitude; Calibration function; Magnitude derivation