

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。

甘肃地区近震震级的量规函数研究

陈继锋 尹欣欣 董宗明 姚海东 蒲举

甘肃省地震局, 兰州市东岗西路 450 号 730000

摘要 采用甘肃测震台网“十五”宽频带数字地震记录资料, 选取自 2009 年 1 月 ~ 2012 年 12 月所记录的 13086 次地震事件, 通过震级残差统计方法计算了各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, 分析了震级偏差频次分布和定量统计, 修正了 M_L 量规函数, 得到了代表甘肃地区的地方性均匀震级量规函数。

关键词: 地震台网 震级 震中距 量规函数 震级偏差

[文章编号] 1001-4683(2013)03-0327-08

[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, 是诸多研究中需要参考的重要参数。提供统一、准确的震级标度, 无论是从地震的预测科学还是社会应对策略的角度等等都是一件意义重大的基础性工作。

里克特原始 M_L 震级标度曾被认定为“如果没有进一步的证据, 不能应用于加利福尼亚以外的地区”(Richter, 1958), 但事实是世界各地区都陆续根据本地区的特征建立了与其等价或类似的近震震级标度(郭履灿等, 1984)。多年来的实际观测和研究表明, 近震量规函数在反映我国地壳的地区性特征方面还存在一些问题, 对同一地震在观测仪器一样、台基条件相似的情况下求出的震级会有差异, 有时差别还较大。围绕着我国近震震级测定中的一些不足之处, 自 1980 年以来, 许多地震工作者开展了大量研究, 取得了不少有益的结果。严尊国(1983、1992、1995)曾利用 1985、1986 年间的 1614 次地震的地动位移资料, 通过震级残差统计分析和近震最大震相平均衰减形态的研究, 确立了我国东部和西部地区的中国近震震级量规函数。由于我国幅原辽阔, 不同地质、地震单元之间存在着不同程度的差异(陈培善等, 1983), 为此, 高国英(1987)在原始震级的基础上利用统计的方法得出了新疆地区的区域量规函数, 此外, 针对河北、山西和江西(赵明淳等, 2005; 孟晓琴等, 2008; 项月文等, 2010)数字地震台网在测定震级和量规函数关系的研究方面也已有了研究文献。

[收稿日期] 2012-07-15

[项目类别] 中国地震局兰州地震研究所科技发展基金面上项目(2011M03)、中国地震局 2012 年度测震台网青年骨干培养专项(20120106)共同资助

[作者简介] 陈继锋, 男, 1979 年生, 甘肃清水人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震台网和地震学的研究工作。

E-mail: chenjf163@163.com

甘肃省测震台网自运行以来已积累了海量的数据资料,在地震定位中我们发现,同一事件不同子台测定的震级存在偏差,少数偏差值甚至达 1.0 级以上。目前区域数字地震台网提供的震级是子台测定的一种平均震级,震级偏差主要来自各台站的台基、仪器、量规函数以及测量方法等的综合影响(薛志照,1992)。本文主要讨论量规函数对甘肃数字地震台网测定震级的影响,在震级确定三原则——“继承性、区域性、实用性”指导下(严尊国等,1992),通过震级残差统计分析方法,对各子台震级偏差进行定量的统计分析,研究其偏差情况,修正并确立了甘肃地区区域量规函数,以期能提高甘肃数字测震台网测定震级的质量。

1 台网概况和资料选取

“十五”期间,甘肃省地震局通过新建、改建和升级等手段,在 19 个数字测震台站的基础上,建成了覆盖全省,拥有 44 个数字测震台站的数字地震观测台网。甘肃“十五”数字地震台网自 2008 年 6 月正式投入运行,44 个台站中,有 5 个国家台和 39 个区域台。

本文采用甘肃数字地震台网数字地震记录资料,选取自 2009 年 1 月~2012 年 12 月所记录的 13086 次地震事件。对上述地震记录,以甘肃省测震台网观测的原始记录资料为依据,增加了四川、陕西、宁夏、内蒙、新疆、青海等相邻台网的 39 个周边台站的原始记录资料,每一条记录都是经过认真、仔细地综合分析、处理、复核后产生的。地震定位中使用广东省地震局开发的 MSDP 交互处理软件,在测定震源参数时通常采用单纯型法定位程序进行定位,并采用甘肃近地震波走时表(甘青区域双层地壳模型)求出发震时刻继而取得多台平均值。测定近震震级时,将速度记录都仿真成伍德-安德森仪记录后量取两水平向最大振幅的位移值,然后根据近震震级计算公式求取各子台震级值,台网震级取多台震级平均值。考虑到观测资料的质量,所有选用的地震皆达到 $M_L \geq 2.0$,且基本保证了有 5 个以上台站的观测资料,最终共计算得到单台震级数据 97817 个,震中距范围 1~970km。甘肃数字地震台网子台和所选地震震中分布如图 1 所示。

2 计算方法

我国 M_L 震级系统建立以来,依据现行量规函数已积累了大量的近震震级资料。一个较合理的量规函数的建立,为保持最佳应用效果应当尽量保持原来的震级标度系统,即利用新确立的量规函数测定的近震震级和原测定值之间不应存在系统偏差,否则将造成新的混乱。因此,本文是在保持现行中国近震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,遵循了近震震级测定的继承性。新得出的甘肃地区近震震级量规函数是对我国近震震级标度的进一步修正和完善,目的是力求震级测定更加合理、准确,而非另立系统。

由于目前全国测震台站皆为数字化速度型记录,考虑到直接在速度记录上测定 M_L 震级容易造成震级的不稳定,为了达到震级标度的“无缝衔接”,根据《测震台网运行管理细则》(中震测函_2011_98 号),所有近震震级 M_L 均仿真成伍德-安德森短周期地震仪记录后,在位移记录上量取两水平向最大位移值,最后采用下述公式来计算近震震级

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

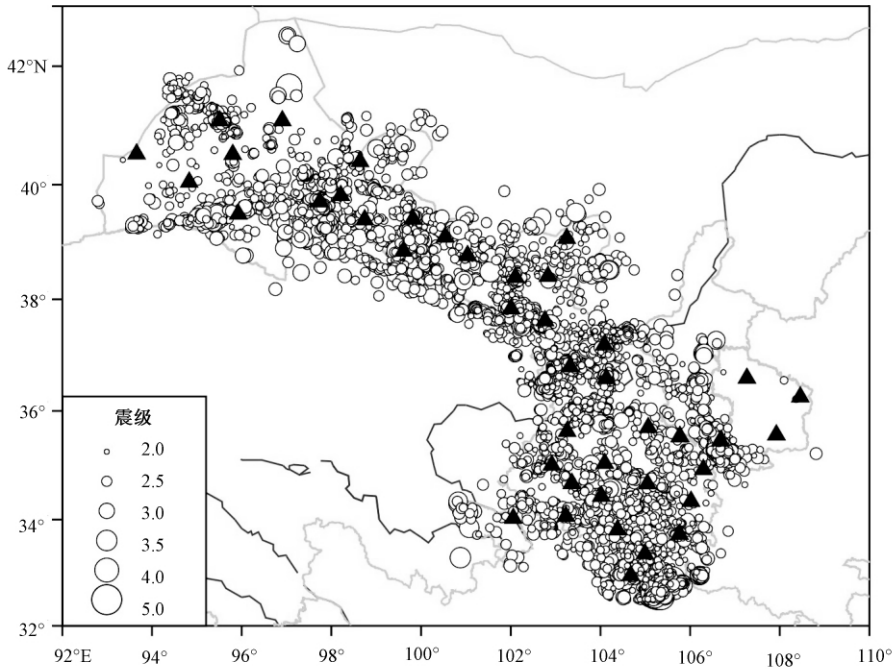


图 1 甘肃省数字地震台网子台(黑三角)及本文所选地震震中分布

式中 A_{μ} 是两水平分向记录的最大地动位移的算术平均值 (μm), $R(\Delta)$ 为我国常用短周期地震仪测定的 M_L 量规函数(见表 1)。

表 1

量规函数 $R(\Delta)$

Δ (km)	$R(\Delta)$	Δ (km)	$R(\Delta)$	Δ (km)	$R(\Delta)$	Δ (km)	$R(\Delta)$
0 ~ 5	1.8	110	3.5	290 ~ 300	4.3	470 ~ 500	4.8
10	1.9	120	3.5	310 ~ 320	4.4	510 ~ 530	4.9
15	2.0	130 ~ 140	3.6	330	4.5	530	4.9
20	2.1	150 ~ 160	3.7	340	4.5	540 ~ 550	4.9
25	2.3	170 ~ 180	3.8	350	4.5	560 ~ 570	4.9
30	2.5	190	3.9	360	4.5	580 ~ 600	4.9
35	2.7	200	3.9	370	4.5	6100 ~ 620	5.0
40	2.8	210	4.0	380	4.6	650	5.1
45	2.9	220	4.0	390	4.6	700	5.2
50	3.0	230 ~ 240	4.1	400 ~ 420	4.7	750	5.2
55	3.1	250	4.1	430	4.75	800	5.2
60 ~ 70	3.2	260	4.1	440	4.75	850	5.2
80 ~ 85	3.3	270	4.2	450	4.75	900	5.2
90 ~ 100	3.4	280	4.2	460	4.75	1000	5.3

台网震级 M_j , 即对第 j 个台站, 按(1)式求得震级 M_{ij} , 然后对第 i 个地震所有记录到的子台求震级平均值和标准偏差(郭履灿等, 1984; 陈运泰等, 2004)。即

$$M_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N M_{ij} \tag{2}$$

$$\delta_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (M_{ij} - M_i)^2}{N - 1}} \quad (3)$$

第 i 个地震, 第 j 子台震级偏差和平均偏差为

$$\Delta M_{ij} = M_{ij} - M_i \quad (4)$$

$$\Delta M_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (M_{ij} - M_i) \quad (5)$$

3 计算结果及分析

对甘肃数字地震台网 44 个子台所记录的 13086 个地震数据进行整理统计, 用上述方法计算, 得到了各子台震级相对于台网震级 M_i 的偏差、平均偏差 ΔM_i 和标准偏差 δ_i 。计算结果见表 2。

表 2 各子台计算得到的平均偏差和标准偏差

台站代码	样本数	平均偏差	标准偏差	台站代码	样本数	平均偏差	标准偏差
AXX(安西)	385	-0.09	0.30	MQT(玛曲)	230	-0.10	0.31
BYT(白银)	1179	0.09	0.33	MXT(岷县)	2364	0.19	0.29
CXT(成县)	4092	-0.07	0.24	NXT(宁县)	289	-0.12	0.41
DBT(迭部)	1935	0.07	0.22	PLT(平凉)	1472	0.11	0.35
DHT(敦煌)	954	-0.39	0.50	QTS(青头山)	1300	0.15	0.30
GTA(高台)	815	-0.20	0.38	SBC(石包城)	1130	0.24	0.37
HCH(华池)	584	0.09	0.27	SDT(山丹)	1003	0.30	0.39
HJT(桦尖)	2521	-0.19	0.35	SGS(四个山)	2196	-0.23	0.34
HNT(会宁)	142	0.23	0.38	SGT(石岗)	2411	0.17	0.32
HXP(河西堡)	1166	0.03	0.29	SNT(肃南)	1063	0.30	0.39
HXT(环县)	177	-0.01	0.29	TSS(天水)	3873	-0.14	0.28
HYS(红崖山)	2729	0.20	0.33	WDT(武都)	5700	-0.01	0.21
HZT(合作)	693	0.06	0.26	WSH(武山)	3807	0.28	0.37
JFS(金佛寺)	1145	0.19	0.31	WXT(文县)	7197	0.07	0.23
JNT(静宁)	681	-0.14	0.32	WYT(渭源)	2195	-0.04	0.26
JTA(景泰)	2045	-0.05	0.26	YDT(永登)	3081	-0.37	0.47
JYG(嘉峪关)	267	0.19	0.32	YJZ(俞井子)	1678	-0.14	0.31
LTT(临潭)	1939	-0.06	0.27	YMG(玉门关)	116	-0.08	0.21
LXA(临夏)	464	-0.28	0.47	YWX(音凹峡)	773	-0.12	0.30
LYT(柳园)	331	0.03	0.37	ZHC(张家川)	2030	-0.17	0.35
LZH(兰州)	592	-0.07	0.31	ZHQ(舟曲)	2294	-0.14	0.27
MIQ(民勤)	1720	0.28	0.38	ZHY(张掖)	1528	-0.03	0.29

3.1 单台震级与台网平均震级的偏差比较

对所有 44 个台的累计样本做了单台震级与平均震级偏差值的统计, 如图 2 所示, 偏差值基本呈正态分布, 分散度较低。在 13086 次地震的 97817 个单台震级中, 偏差值(绝对值)在 0.2 以内的 60599 次, 占 61.9%; 0.3~0.5 级间的 30332 次, 占 31.0%; 0.6~0.8 级间的 5525 次, 占 5.6%; >0.9 的 1361 次, 占 1.5%。

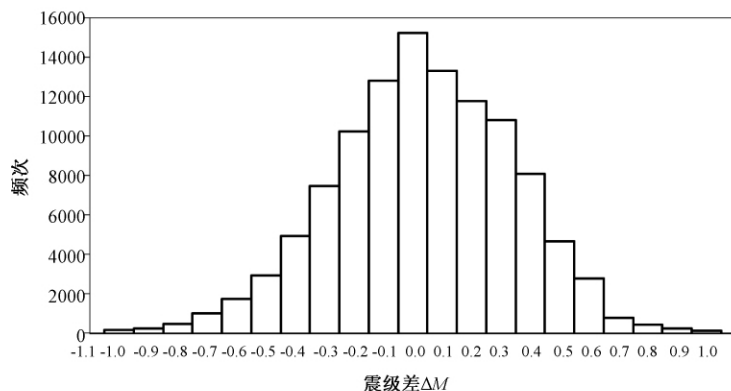


图2 单台震级与平均震级偏差统计

从表2中可以看到,多数台存在震级偏差,偏差范围在 $-0.39 \sim 0.30$ 之间,44个台中有32个台站的震级平均偏差(绝对值)在0.2之内,占72.7%。有DHT、YDT、LXA、NXT、SNT、SDT这6个台的震级偏差较大。标准偏差值除DHT台外总体来说不大,说明震级偏差值的离散程度较小。其中DHT、LXA、NXT这3个台的偏差主要来自于仪器的影响,水平向记录失真造成计算的震级值偏小;SNT和SDT台的台基为砂砾岩,且岩石风化严重,场地响应值也较大,计算出的震级值也普遍偏大(陈继锋,2010);YDT台记录的样本地震绝大多数震中距在40km范围内,很可能是受量规函数的影响,这一现象还有待在使用新的甘肃地区量规函数后做进一步的研究。

3.2 单台震级偏差值随震中距的变化

目前省级测震台网都共享了周边省市台站的实时波形,使得所有测定地震都变成了网内地震,地震定位中使用的台站震中距基本都在400km范围内。为了研究单台震级偏差值随震中距的变化规律,将除前述DHT等6个台外所求38个子台记录的65975次单台震级偏差数据按10km间隔求其平均偏差值 ΔM_k ,在0~400km范围内,分为40个间隔。

$$\overline{\Delta M_k} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Delta M_j \quad (6)$$

式中, k 是间隔序数, N 为间隔范围内震级偏差样本数。计算结果列于表3。

从表3可以看出:当震中距小于50km时,单台与平均震级的平均偏差超出了 -0.18 ,说明此震中距范围内量规函数偏小;当震中距在50~230km时,单台与平均震级的平均偏差值基本在 $-0.07 \sim 0.06$ 范围内,偏差非常小,表明量规函数是适用的;当震中距大于240km时,单台与平均震级的平均偏差逐渐增大,超出了0.15,说明量规函数偏大,如图3所示。

考虑到震级测定时周期对结果的影响,避免在速度记录上测定近震震级容易造成周期值读取的不稳定,为达到震级标度的“无缝衔接”问题,文中对速度记录均仿真成伍德-安德森仪记录后手工量取两水平向最大振幅的位移值,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偏差。

表3 单台震级偏差按震中距分段统计

震中距(km)	样本数	平均偏差	震中距(km)	样本数	平均偏差
0 ~ 10	2065	-0.27	210 ~ 220	1470	0.01
10 ~ 20	4016	-0.28	220 ~ 230	1393	0.05
20 ~ 30	3670	-0.21	230 ~ 240	1598	0.09
30 ~ 40	3944	-0.07	240 ~ 250	2079	0.15
40 ~ 50	6171	-0.06	250 ~ 260	2060	0.13
50 ~ 60	6877	-0.01	260 ~ 270	1584	0.14
60 ~ 70	6499	-0.01	270 ~ 280	654	0.13
70 ~ 80	7171	0.00	280 ~ 290	477	0.10
80 ~ 90	4374	-0.04	290 ~ 300	476	0.06
90 ~ 100	4222	-0.03	300 ~ 310	698	0.08
100 ~ 110	3956	-0.01	310 ~ 320	623	0.13
110 ~ 120	3439	-0.06	320 ~ 330	301	0.17
120 ~ 130	2545	-0.07	330 ~ 340	180	0.13
130 ~ 140	2775	-0.06	340 ~ 350	147	0.14
140 ~ 150	2794	-0.05	350 ~ 360	168	0.13
150 ~ 160	3057	-0.03	360 ~ 370	150	0.21
160 ~ 170	3376	-0.02	370 ~ 380	100	0.21
170 ~ 180	2669	0.01	380 ~ 390	57	0.10
180 ~ 190	1672	0.05	390 ~ 400	54	0.09
200 ~ 210	1592	0.02	400 ~ 410	40	0.15

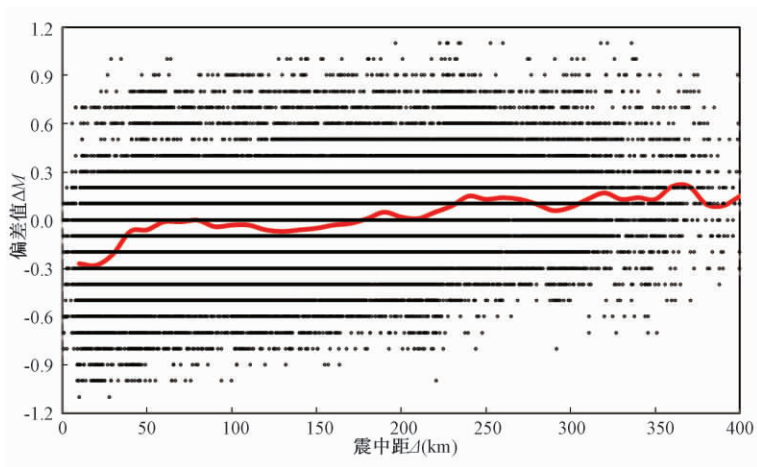


图3 单台震级偏差随震中距的变化图

3.3 量规函数的校正

从图3可以看出,震中距小于50km和大于240km的地震,单台震级的稳定性较弱,表明量规函数不稳定,需要进行校正。取表3中平均偏差量的负值为量规函数的校正值,对这一范围内的数据进行校正,校正后甘肃地区的量规函数见图4。

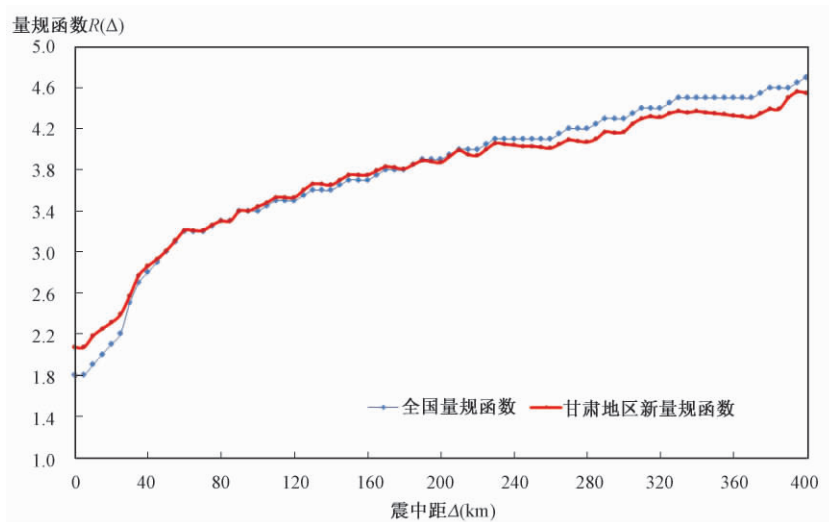


图4 新修正得出的甘肃地区量规函数与全国量规函数曲线对比

4 讨论和结论

4.1 量规函数的校正

甘肃数字地震台网各子台测定的近震震级在震中距小于 50km 和大于 240km 时量规函数变化较大,单台震级的稳定性较弱,表明这一震中距范围内量规函数不稳定,需要进行校正。根据表 3 中平均偏差量的负值为量规函数的校正值,对这一范围内的数据进行校正得出了代表甘肃地区的量规函数。

仔细研究甘肃地区地震记录图可以看到,当震中距 $\Delta < 90\text{km}$ 时最大振幅系 S_g 波; $\Delta = 90 \sim 170\text{km}$ 是 S_mS 波;当 $\Delta = 170 \sim 400\text{km}$ 时记录最大振幅往往在 S_g 波之后数个周期才出现,可以视作 S_mS 波,这都属于体波。对 400km 范围内的地震波仿真成伍德-安德森仪记录后再量取两水平向最大振幅的位移值,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偏差。但是当 $\Delta > 400\text{km}$ 时最大振幅是 Lg_1 或 Lg_2 波,属于短周期面波,周期值 3 ~ 5s,这和原始的 M_L 震级标度的描述存在很大差异,因此,本文中量规函数只限于 400km 以内。对于较远的台站,可仿真成 SK 记录后再量取面波震级,得到的结果会更加稳定、准确。

4.2 量规函数校正中的仪器、方位等其他影响因素

通过选用甘肃测震台网数字地震记录资料,对 44 个台站的数据进行了归类统计分析,得到单台震级与台网平均震级的偏差值,除 DHT、YDT、LXA、SNT、SDT、NXT 这 6 个台的震级偏差较大外,有 32 个台站的震级平均偏差都在 ± 0.2 之内,占 72.7%。其中,DHT、NXT 和 LXA 的偏差主要来自仪器的影响,这 3 台水平向记录失真造成计算的震级值偏小;SNT 和 SDT 台基为砂砾岩,且岩石风化严重,场地响应值也较大,计算出的震级值也普遍偏大;YDT 台记录的样本地震绝大多数震中距在 40km 范围内,很可能是受量规函数的影响,这一现象还有待在使用新的甘肃地区量规函数后做进一步的研究。

甘肃台网拥有 44 个数字测震台站加上共享邻省的 39 个台站数据因而较好地覆盖了全省及周边地区,本文中选用所有 $M_L \geq 2.0$ 地震,基本保证了 5 个以上台站的观测资料对震中的包围,很好地消除了震源辐射方位的影响。

新得出的甘肃地区量规函数是对研究区域地震波最大振幅的区域性平均衰减特性的描述,今后研究中还必须考虑到震源深度的影响,随着台站密度的提高,特别是当震源深度定位更加准确时,可再做进一步的检验和修正。

致谢:感谢高景春研究员和匿名审稿专家对论文修改提出的宝贵建议。

参考文献

- 陈继锋、赵翠萍、杨立明,2010,甘肃地区 S 波非弹性衰减 Q 值研究,地震,30(1),125~130。
- 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。
- 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。
- 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。
- 郭履灿、赵凤竹、赵共玲等,1984,震级与震源参数测定,北京:中国科学技术出版社。
- 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。
- 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。
- 薛志照,1992,近震震级 M_L 量规函数和台站校正,华北地震科学,108(1),60~651。
- 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。
- 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。
- 赵明淳、毛国良、张丛珍等,2005,河北遥测台网速度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。
- Richter C F, 1958, Elementary Seismology, San Francisco: W H Freeman, 1~768.

Study on calibration function of local earthquakes in the Gansu region

Chen Jifeng Yin Xinxin Dong Zongming Yao Haidong Pu Ju

Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China

Abstract To calculate the deviations between single station magnitudes and average ones by the magnitude of residual statistical methods, it selects 13086 seismic events recorded on Gansu broadband digital seismic network from January 2009 to December 2012. The magnitude deviations of earthquake are analyzed on the frequency distribution and quantitative statistics. M_L calibration function was modified in order to obtain the local uniform magnitude system for Gansu region.

Key words: Seismic Network Magnitude Epicenter distance Calibration function Magnitude deviation