

蔡玲玲,王亚玲,赵英萍,等,2020. 基于场地响应和量规函数对唐山5.1级地震的震级校正. 中国地震, 36(3):383~393.

基于场地响应和量规函数 对唐山5.1级地震的震级校正

蔡玲玲 王亚玲 赵英萍 李冬圣 王莉婵 李小军

河北省地震局,石家庄 050021

摘要 利用2010年以来河北省测震台网记录到的654个 $M_L \geq 2.5$ 地震波形数据,使用Moya方法联合反演计算震源谱及各台站场地响应。河北省测震台网实时接收168个台站数据,最终反演得到151个测震台站场地响应结果。结果显示,频率1~20Hz内各台站均存在不同程度的场地放大效应,随着频率的变化,各类基岩台的场地响应变化较为复杂。位于第四系沉积类的台站场地响应在低频段1~8Hz内放大效应显著,在高频段8~20Hz内呈现快速衰减趋势。选取2017年以来河北省测震台网记录的 $M_L \geq 2.0$ 地震数据,对各台站单台震级与台网平均震级进行对比统计、分析,最终得出代表河北地区的地方性震级 M_L 新量规函数。针对2020年7月12日河北唐山5.1级地震,利用本文得到的台站场地响应结果对震级偏大且有放大作用的台站进行放大作用消除,再分别用现用地方性震级 M_L 量规函数和河北地区地方性震级 M_L 新量规函数对单台震级进行重新计算,结果显示震级偏差均有所减小。

关键词: 场地响应 量规函数 唐山5.1级地震 震级校正

[文章编号] 1001-4683(2020)03-0383-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震强度是通过震级来衡量的,因此统一、准确的震级测定一直是地震学的重大基础性研究工作,并对地震预测科学和社会应对策略有着重要作用(刘瑞丰等,2015)。影响地震震级的因素诸多,地震波的传播路径、台站场地响应、量规函数等对震级测定均产生一定影响。

台站场地响应能反映近场地介质的属性特征,是影响震级测定的因素之一(张锦玲等,2019)。Moya等(2000)通过多台站多地震联合反演的遗传算法得到了理想的地震震源谱参数和台站场地响应。我国学者利用该方法计算了小规模观测台网台站的场地响应(刘杰等,2003),李祖宁等(2005)以福建数字地震台网2.5级及以上地震数据为基础,重新计算了29个台站的场地响应,结合台站台基的实际情况,得出基岩台站的场地响应相对稳定,基本在1附近变化。为开展我国地震频发区中小地震的震源参数研究,赵翠萍等(2011)采用全

[收稿日期] 2020-08-07; [修定日期] 2020-09-16

[项目类别] 河北省地震局测震专业仪器系统检测评估与观测场地遴选创新团队资助

[作者简介] 蔡玲玲,女,1983年生,高级工程师,主要从事地震监测和数字地震应用研究。E-mail: caill9911@163.com

李小军,通讯作者,男,1981年生,高级工程师,主要从事地震观测技术与观测场地评估研究。

E-mail: lxj@eq-he.ac.cn

国 2.5 级及以上地震数字资料,通过遗传算法反演得到全国 348 个台站场地响应结果,并对覆盖层台站和基岩台站的场地响应与频率的相互关系开展了讨论。近年来,北京、江西、云南等地利用本地区台站的数字地震波形资料计算出场地响应(孙海霞等,2018;肖孟仁等,2020;秦敏等,2018),可为今后测定震级和认识地震震源特征及台站场址选定提供参考。

地震波具有随距离衰减的特性,需要通过量规函数来补偿振幅随不同距离和深度变化的衰减。地壳结构的不均匀性直接影响地震波衰减,不同区域具有不同的地壳结构,导致地震波衰减特性的不同。为弥补地震波衰减的影响,地震学家不断对量规函数进行修正和完善。李善邦(1981)给出我国短周期地震仪器的量规函数 $R_1(\Delta)$ 和中长周期地震仪器的量规函数 $R_2(\Delta)$,并在我国推广使用。为了减小区域构造的影响,2007 年地震行业就全国分区地方性震级量规函数进行了专项研究,利用全国省级地震台网 29 年的地震资料,按华北、东北等 5 个区域分别给出了相应的地方性震级量规函数,大幅度提升了地方性震级的测定精度。2017 年 5 月发布了《地震震级的规定(GB17740—2017)》(刘瑞丰等,2017)这一新的国家标准,对推进中国地震监测预报、震害预防、应急救援和地震科学研究具有重要意义。随着全国数字化台网的建设,江苏、西藏、新疆、河北、内蒙古、宁夏等地均开展了量规函数造成震级偏差的研究(康清清等,2019;周丰森等,2019;张志斌等,2018;贾炯等,2018;李青梅等,2017;刘芳等,2016),有效提高了各省区域台网地方性震级的测定精度。

2020 年 7 月 12 日唐山 5.1 级地震与上一次在河北省境内发生的 5.0 级以上地震(2006 年文安 7 月 4 日 5.1 级地震)间隔 14 年。在参与本次地震定位的台站中,有 50 个台站的单台震级偏差均大于平均震级 0.1,最大的震级偏差达到了 0.6。本文计算了台站场地响应,并在此基础上进行分析,结果表明,在对震级偏差 ≥ 0.1 的台站记录进行台站放大作用消除后,再分别用现用地方性震级 M_L 量规函数和河北地区地方性震级 M_L 新量规函数对单台震级进行重新计算,得到的震级偏差均有所减小。

1 台站场地响应计算与分析

1.1 计算方法

本文采用 Moya 方法(华卫等,2009),联合多台多地震反演计算得到地震的震源谱参数和各个台站的场地响应。首先,采用 Brune 震源破裂模型,得到不同地震的震源谱参数,这些参数用于计算记录台站的场地响应,再利用遗传算法在假设某一台站的场地响应对该台站记录到的不同地震事件均相同的前提下,通过寻找不同的震源谱参数,使由不同地震事件得到的台站场地响应标准偏差最小(刘杰等,2003)。

1.2 观测资料的选取

目前,河北省测震台网实时接收 168 个测震台站波形数据,含省内台站 71 个,周边省市台站 97 个。台站仪器设备有短周期、宽频带或甚宽频带地震计,数据采集器采用 24 位,采样率均为 100sps。反演计算场地响应时应遵循:①地震和台站的空间分布要尽可能均匀;②地震记录的信噪比大于 2 倍脉动噪声;③满足信噪比要求的地震记录的台站数大于 3 个。资料挑选原则依据地震和台站射线分布足够多(金春华等,2012),选取河北省测震台网 2010 年以来记录的本省及周边临近地区 30km 之内 $M_L \geq 2.5$ 地震事件共计 654 条,地震事件和台站的空间分布较均匀,能较好地覆盖研究范围(图 1)。

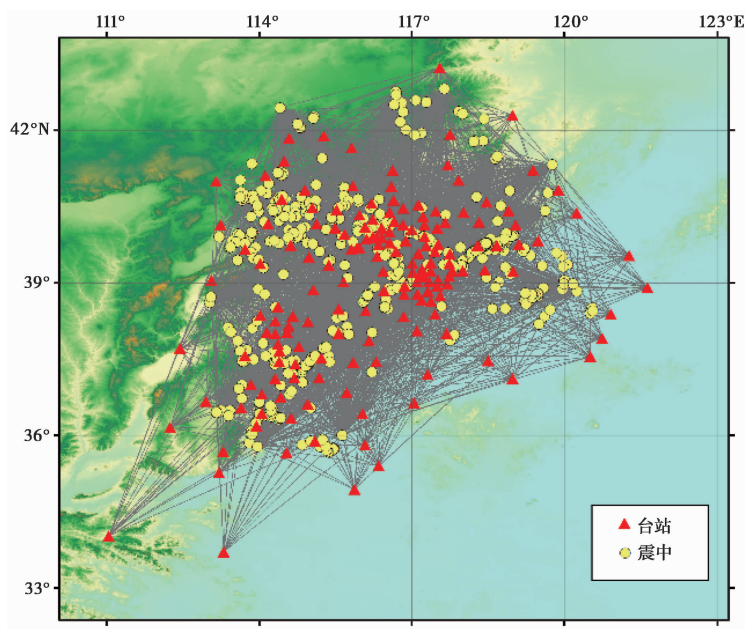


图 1 台站及震中射线路径

1.3 计算结果与讨论

通过上述方法,最终反演计算得出 151 个台站场地响应结果。其中,花岗岩、灰岩等基岩类台站场地响应结果 93 个,覆盖层台站场地响应结果 58 个。结果显示,不同类型的台基场地响应有明显差异,根据各台站在不同频率点的变化形态,将台站大致分为 5 类:

(1) 频率在 1~20Hz 内放大效应不明显台站(图 2)。该类型台站场地响应均在 1 附近,随频率变化而变化,但较为稳定,没有明显放大效应,放大倍数基本在 1~2 倍之间,反映出这些台站有较好的台基条件,昌黎台、赤城台、宽城台、邢台台、沙城台等 33 个台站为此类台站。

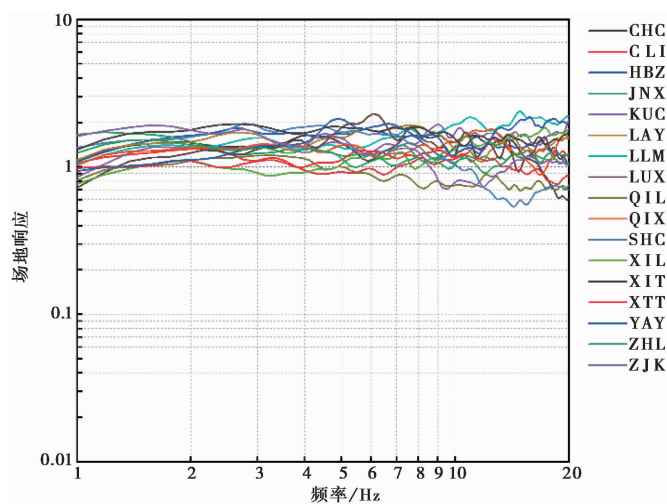


图 2 1~20Hz 频段部分无明显放大的台站场地响应

(2) 频率在 1~20Hz 内有较明显放大作用台站(图 3)。虽然台站场地响应变化幅度比较平稳,但放大倍数达到 2~5 倍左右,对记录地震波信号有较明显的放大效应,沽源台、唐海台、东台台等 7 个台站为此类台站。其中,沽源台台基类型为灰岩,但其在 8~10Hz 频率内放大倍数达到 5 倍以上,这可能与该区域地下结构复杂或岩石破碎程度高以及台站周围环境因素有关。

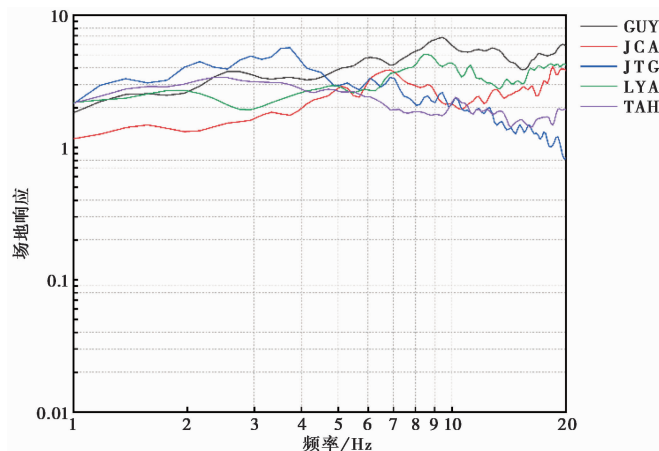


图 3 1~20Hz 频段部分有明显放大的台站场地响应

(3) 频率在 1~10Hz 内有明显放大的台站(图 4)。阜城台、河间台、临漳台、新乐台、文安台、枣强台、任县台等 85 个台站为此类台站,这类台站占台站总数的 56%。台站场地响应在 1~7Hz 频率内均表现出不同程度的放大作用,放大倍数在 1~6 倍之间,在高频 10~20Hz 间随着频率的增加快速衰减,这可能与该类台站台基位于松软的沉积层上有关。

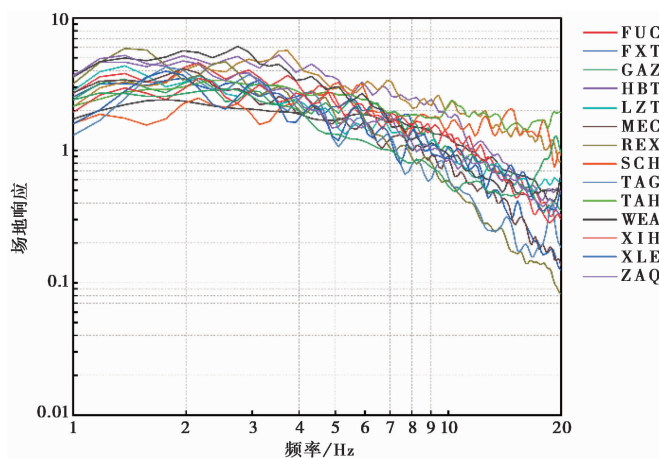


图 4 1~10Hz 频段部分有明显放大的台站

(4) 在频率为 3~7Hz 频段内放大作用明显台站(图 5)。该类台站场地响应在低频段内接近于 1,变化较为平坦,在中频段内幅值升高明显,随频率增加呈下降趋势。蔚县台、大灰厂台等 11 个台站为此类台站。

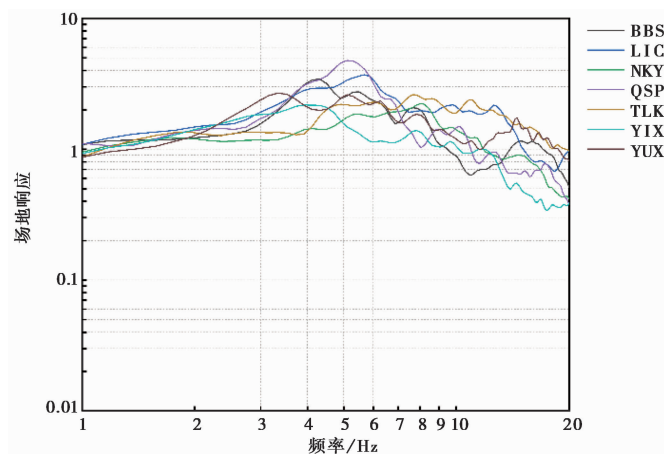


图 5 3~7Hz 频段部分有明显放大的台站

(5) 在高频段 6~20Hz 频率内放大效应明显台站(图 6)。康保台、隆化台、尚义台、围场台等 15 个台站为此类台站。地震波信号在该频段内会有明显放大作用。这可能与此类台站所处地区地质构造复杂等因素有关。

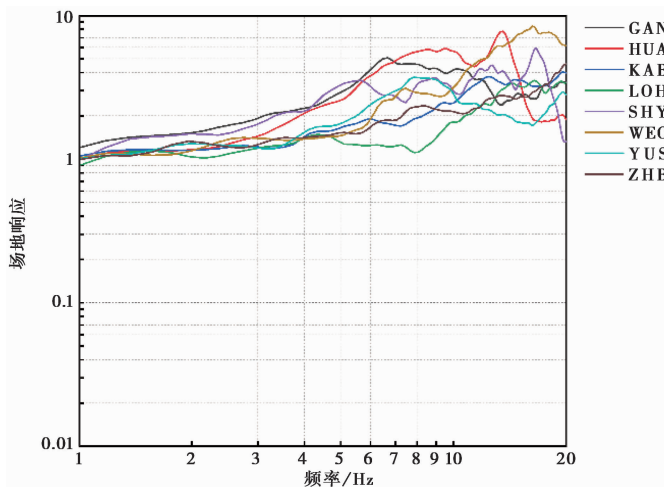


图 6 6~20Hz 频段部分有明显放大的台站

2 量规函数计算

2.1 计算方法

当前,国内测震台网各台站均使用速度平坦型仪器,为了延续地方性震级 M_L 标度的统一性,将各台站记录到的速度振幅值均仿真成 Wood-Anderson 短周期地震仪后,分别量取 NS 向和 EW 向最大振幅的位移值,采用下式计算得到各台站地方性震级,台网震级取多台震级平均值,即

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

其中, A_{μ} 是以 μm 为单位的在地动位移, 为两水平向最大地动位移的算术平均值; Δ 为震中距, $R(\Delta)$ 为我国《地震震级的规定》中的量规函数。

假设地震事件数为 P , 记录到每个地震事件的台站数为 K , 由式(1)得到第 n 个地震事件第 m 个单台震级 M_{Lnm} , 依据每个地震事件的震级由下式得到第 n 个事件的台网平均震级为

$$M_{Ln} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K M_{Lnm} \quad (2)$$

根据下式, 便可得到第 n 个地震事件的第 m 个子台震级偏差值 ΔM_{Lnm}

$$\Delta M_{Lnm} = M_{Lnm} - M_{Ln} \quad (3)$$

最后, 利用下式分别计算第 m 个子台所记录的地震事件的单台震级平均偏差 ΔM_{Lm} 及标准偏差 δ_m

$$\Delta M_{Lm} = \frac{1}{P} \sum_{m=1}^P (M_{Lnm} - M_{Ln}) \quad (4)$$

$$\delta_m = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^P (M_{Lnm} - M_{Ln})^2}{P - 1}} \quad (5)$$

2.2 计算结果

采用上述计算方法, 选取河北省测震台网 2017 年以来记录到的 $M_L \geq 2.0$ 地震事件, 采用 JOPENS 数据处理软件, 利用单纯性定位方法仿真成 W-A(伍德-安德森)量取振幅。振幅量取为 S 波在 NS、EW 向上的最大振幅。依据此方法求得单台震级与平均震级, 对所得数据资料进行统计分析, 计算得出河北地区地方性震级 M_L 新量规函数表(表 1)。

3 唐山 5.1 级地震单台震级偏差统计

测震台网测定地震事件的震级时, 均是将所有记录到的台站的单台震级的算术平均值确定为最终震级。因此, 计算各个台站的单台震级和台网的平均震级的偏差可以较好地评价各个测震台站单台震级的准确性。

设定第 i 个地震第 j 个子台的震级偏差 ΔM_{ij} 为

$$\Delta M_{ij} = M_{ij} - M_i \quad (6)$$

该台的震级偏差均值为

$$\Delta \overline{M}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta M_{ij} \quad (7)$$

记录到河北唐山 5.1 级地震的所有台站共计 152 个(含北京、天津及周边邻省台站), 对其进行单台震级偏差计算。从各个台站震级偏差情况来看, 单台震级小于或等于台网平均震级的台站共有 102 个, 其中赤城台、昌黎台、井陉台等 26 个台站场地响应随频率变化的变化幅度较小, 稳定在 1 左右。唐海台、蔡公庄台、沧州台等 12 个台站, 在 1~20Hz 频率范围内存在不同程度的放大效应, 但在本次地震中单台震级均小于台网平均震级, 这可能与记录台站所在地理位置多靠近沿海、河北平原等低 Q 值地区(赵英萍等, 2016)或地震波衰减较快以及周围场地环境等因素有关。

对场地放大作用明显且单台震级与台网平均震级偏差大于 0.1 的京唐港台、北戴河台、

表 1 河北地区地方性 M_L 新量规函数 $R(\Delta)$

Δ/km	$R(\Delta)$	Δ/km	$R(\Delta)$	Δ/km	$R(\Delta)$
0~5	2.02	106~109	3.41	285	4.19
6~9	2.13	110~120	3.47	286~289	4.20
10	2.12	121~124	3.50	290~300	4.26
11~14	2.37	125	3.53	301~304	4.25
15	2.4	26~129	3.50	305	4.21
16~19	2.48	130~140	3.55	306~309	4.22
20	2.5	141~144	3.60	310~320	4.29
21~24	2.64	145	3.64	321~324	4.29
25	2.68	146~149	3.60	325	4.29
26~29	2.69	150~160	3.69	326~329	4.21
30	2.98	161~164	3.70	330~370	4.40
31~34	2.8	165	3.73	371~374	4.40
35	2.94	166~169	3.75	375	4.40
36~39	2.95	170~180	3.77	376~379	4.41
40	3.04	181~184	3.76	380~390	4.47
41~44	3.07	185	3.80	391~394	4.42
45	3.13	186~189	3.81	395	4.44
46~49	3.1	190~200	3.87	396~399	4.50
50	3.23	201~204	3.86	400~420	4.61
51~54	3.13	205	3.88	421~424	4.64
55	3.19	206~209	3.86	425	4.62
56~59	3.18	210~220	3.92	426~429	4.60
60~70	3.31	221~224	3.94	430~460	4.65
71~74	3.27	225	3.94	461~464	4.72
75	3.33	226~229	3.92	465	4.79
76~69	3.32	230~260	4.02	466~469	4.71
80~85	3.29	261~264	4.03	470~500	4.72
86~89	3.3	265	4.09	501~504	4.79
90~100	3.38	266~269	4.02	505	4.82
101~104	3.34	270~280	4.12	506~509	4.94
105	3.41	281~284	4.13	510~600	5.04

四座楼台等 50 个台站,均采用式(1)对震级进行重新计算。
在重新计算震级前,应获得以上台站去除场地放大作用后的两水平向振幅

$$A = \frac{\frac{A_N}{S_N} + \frac{A_E}{S_E}}{2} \tag{8}$$

式中, A_N 、 A_E 分别为两水平分向 SN 向和 EW 向 S 波的最大位移; S_N 、 S_E 根据 SN 向和 EW 向



实际测量地震波周期所对应频率的场地响应值获取。

根据以上 50 个台站去除场地放大作用后的两水平向地动位移最大振幅的算术平均值, 及现用地方性震级 M_L 量规函数、河北地区地方性震级 M_L 新量规函数分别重新测算。计算结果见表 2。

表 2 50 个台站参数及震级校正结果

台站 代码	台站名称	地震计	台基类型	校正前震级	校正后震级	
					现用量规函数	新量规函数
JTG	京唐港	FSS-3DBH	第四系黄土层	5.4	4.8	4.9
XAZ	襄垣	BBVS-60	石灰岩	5.6	4.9	4.9
HAG	汉沽	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	4.6	4.6
BDH	北戴河	FBS-3B	灰岩	5.4	5.2	5.2
DAG	大沽	FSS-3DBH	第四系沉积	5.9	5.5	5.4
CHT	赤土	FSS-3DBH	第四系沉积	5.6	5.3	5.3
HBT	河北屯	FSS-3DBH	第四系沉积	5.5	4.8	4.8
ZTZ	朱塘庄	FSS-3DBH	第四系沉积	5.6	5.1	5.1
SZL	四座楼	BBVS-60	石英岩	5.4	4.9	4.9
XIZ	辛庄	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	5.0	5.0
DZG	大直沽	FSS-3DBH	第四系沉积	5.6	5.1	5.1
MAF	马坊	FSS-3DBH	奥陶系灰岩	5.6	5.3	5.3
WUQ	武清	FSS-3DBH	第四系沉积	5.9	5.3	5.3
XIJ	西集	BBVS-60DBH	震旦系灰岩	5.6	5.0	4.9
QIG	青光	FSS-3DBH	第四系沉积	5.5	5.0	4.9
NHZ	南河镇	FSS-3DBH	第四系沉积	5.6	5.0	5.0
MIY	密云	BBVS-120	震旦系砂质灰岩	5.4	5.1	5.1
CIQ	次渠	FSS-3DBH	震旦系灰岩	5.4	4.9	4.9
JIZ	金盏	FSS-3DBH	震旦系灰岩	5.4	4.7	4.7
JIH	静海	FSS-3DBH	第四系沉积	5.6	5.0	4.9
TIT	天坛	FSS-3DBH	白垩系灰岩	5.4	5.0	5.0
WEA	文安	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	4.8	4.8
LBP	刘斌堡	BBVS-120	震旦系白云质灰岩	5.7	5.4	5.3
NKY	牛口峪	BBVS-120	震旦系石灰岩	5.5	5.4	5.3
FEN	丰宁	BBVS-60	变质花岗岩	5.4	5.2	5.1
WEC	围场	3ESPC-60	闪长岩	5.5	5.4	5.3
HEJ	河间	FSS-3DBH	第四系黄土层	5.6	5.3	5.3
LIX	蠡县	FSS-3DBH	第四系黄土层	5.4	5.1	5.0
GUY	沽源	BBVS-60	灰岩	5.8	5.3	5.2
SHZ	深州	BBVS-60DBH	第四系沉积	5.4	5.2	5.1
DZH	德州	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	4.8	4.6
ZJK	张家口	BBVS-120	石英粗面岩	5.6	5.4	5.2
YUX	蔚县	BBVS-60	石灰岩	5.4	5.3	5.2
ZAQ	枣强	FSS-3DBH	第四系沉积	5.9	5.3	5.2
BAC	宝昌	CTS-1	花岗岩	5.7	5.6	5.5
XIH	新河	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	5.0	4.9
ZHB	张北	BBVS-60	玄武岩	5.8	5.3	5.2





续表 2

台站 代码	台站名称	地震计	台基类型	校正前震级	校正后震级	
					现用量规函数	新量规函数
ZDN	正定南	FSS-3DBH	第四系黄土层	5.5	5.7	5.5
TAG	谈固	FSS-3DBH	第四系黄土层	5.6	5.0	4.8
JIP	经棚	BBVS-60	花岗岩	5.7	5.6	5.4
KAB	康保	3ESPC-60	花岗岩	5.6	5.5	5.5
HSB	恒山	BBVS-60	麻粒岩	5.8	5.6	5.5
GAN	岗南	BBVS-60	砂砾岩	5.5	5.3	5.2
GAZ	广宗	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	4.9	4.8
LIC	临城	3ESPC-60	片麻岩	5.5	5.3	5.2
REX	任县	FSS-3DBH	第四系沉积	5.4	4.9	4.8
YON	永年	3ESPC-60	正长岩	5.4	5.2	5.1
WAT	武安	3ESPC-60	白云质灰岩	5.4	5.2	5.1
CXT	磁县	3ESPC-60	灰岩	5.4	5.1	5.3
SXT	涉县	3ESPC-60	白云质灰岩	5.4	5.2	5.3

以唐山 5.1 级地震中单台震级偏差大于 0.4 的台站为例,各台站计算的 M_L 分别为:大沽台 5.9、武清台 5.9、刘斌堡台 5.7、沽源台 5.8、枣强台 5.9、宝昌台 5.7、正定南台 5.8、经棚台 5.7、恒山台 5.8。根据实际量取地震波周期所对应频率的场地响应值,对以上台站进行除去场地放大效应后,采用现有地方性震级 M_L 量规函数重新计算后, M_L 分别为:大沽台 5.5、武清台 5.3、刘斌堡台 5.4、沽源台 5.3、枣强台 5.3、宝昌台 5.6、正定南台 5.3、经棚台 5.6、恒山台 5.6。从以上去除场地响应影响后震级的重新计算结果来看,场地响应对震级的测定有一定的影响,其中,武清台和枣强台震级减少 0.6,震级偏差值更加接近。再通过去除场地放大作用后,采用河北地区地方性震级 M_L 新量规函数(表 1)重新计算后, M_L 分别为:大沽台 5.4、武清台 5.3、刘斌堡台 5.3、沽源台 5.2、枣强台 5.2、宝昌台 5.5、正定南台 5.2、经棚台 5.4、恒山台 5.5。经过去除场地放大效应和河北地区地方性震级 M_L 新量规函数的校正后,震级偏差有所减小。

4 结论

本文应用河北省测震台网 2010 年以来记录到的 $M_L \geq 2.5$ 地震数据(包含北京、天津及省界 30km 之内),利用 Moya 等(2000)的方法反演最终获得 151 个台站场地响应结果。通过对河北省测震台网各台站的单台测定震级进行统计分析,得出河北地区地方性震级 M_L 新量规函数。根据得到的场地响应结果和量规函数,针对河北唐山 5.1 级地震单台震级与台网平均震级的偏差情况进行统计,结果如下。

(1)河北省测震台网接收的 168 个台站实际反演得到的 151 个测震台站场地响应结果。结果显示,在频率为 1~20Hz 内,各台站均存在不同程度的场地放大效应,随频率的变化各类基岩台的场地响应变化较为复杂。

(2)昌黎台、赤城台等 33 个台站场地响应变化较平稳,在 1 倍附近,放大倍数基本在 2 倍以内,表明这些台站台基较稳定。沽源台等台站场地响应曲线变化较平缓,放大倍数均达

到 2~5 倍左右,对记录地震波信号有较明显的放大效应。阜城台等台站在低频率内均表现出不同程度的放大作用,随着频率的增加呈现快速衰减趋势,该类型台站地基多为第四系沉积类土层。蔚县台等台站在低频 1~3Hz 频率内变化较平缓,接近于 1,在 4~7Hz 频段内放大作用显著,高频段内呈现下降趋势,整体呈放大效应。

(3)通过统计和对比,得出河北省测震台网各单台测定震级与台网平均震级的平均偏差,依据震中距分段计算震级平均偏差,得到偏差的分布规律及相应校正值,最终得到 600km 以内的河北地区地方性震级 M_L 新量规函数,该量规函数在 0~80km 范围内略大于现用地方性震级 M_L 量规函数,80~600km 范围内略小于现用地方性震级 M_L 量规函数。

(4)河北省测震台网共有 152 个台站记录到唐山 5.1 级地震,从本次地震定位结果看,有 50 个台站单台震级大于台网平均震级,其中,单台震级偏差最大为 0.6,利用本文得到台站的场地响应结果对震级偏大且有放大作用的台站进行放大作用消除,再分别采用现用地方性震级 M_L 量规函数和河北地区地方性震级 M_L 新量规函数对单台震级进行重新计算,结果显示,震级偏差均有所减小。需要说明的是,唐山 5.1 级地震的震级类型为面波震级 M_S ,本文的震级校正依据的是河北省测震台网实际情况对地方性震级 M_L 进行的去除场地放大作用和采用不同量规函数对震级进行的重新计算。

(5)针对本次唐山 5.1 级地震,利用去除台站场地放大作用与量规函数的组合得到单台震级偏差对场地放大效应显著的台站校正结果理想,但对单台震级偏差校正效果还需更多震例来进一步验证。

参考文献

- 华卫,陈章立,郑斯华,2009. 2008 年汶川 8.0 级地震序列震源参数分段特征的研究. 地球物理学报, **52**(2):365~371.
- 贾炯,赵英萍,王宁,等,2018. 分区量规函数在河北地震台网近震震级测定的适用性. 地震地磁观测与研究, **39**(3):10~15.
- 金春华,李鸿庭,盛菊琴,2012. 宁夏及邻区地震衰减和场地响应的分区研究. 地震地磁观测与研究, **33**(5~6):24~29.
- 康清清,顾勤平,于悦颖,等,2019. 江苏及邻区地方性震级量规函数的研究. 中国地震, **35**(3):521~530.
- 李青梅,吕俊强,谢辉,2017. 宁夏地区近震震级短周期量规函数的研究与修正. 地震工程学报, **39**(6):1076~1083.
- 李善邦,1981. 中国地震. 北京:地震出版社,120~156.
- 李祖宁,周峥嵘,林树,2005. 利用数字地震台网资料联合反演福建地区 Q 值、场地响应和震源参数. 地震地质, **27**(3):437~445.
- 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.
- 刘杰,郑斯华,黄玉龙,2003. 利用遗传算法反演非弹性衰减系数、震源参数和场地响应. 地震学报, **25**(2):211~218.
- 刘瑞丰,陈运泰,任泉,等,2015. 震级的测定. 北京:地震出版社.
- 刘瑞丰,陈运泰,许绍燮,等,2017. 地震震级的规定(GB17740—2017),北京:中国标准出版社.
- 秦敏,李丹宁,张会苑,等,2018. 云南盈江地区地震波非弹性衰减 Q 值、场地响应及震源参数研究. 地震研究, **41**(4):583~593.
- 孙海霞,杨选,林向东,等,2018. 北京及邻区 Q 值及台站场地响应分析. 华北地震科学, **36**(3):1~11.
- 肖孟仁,陈浩,罗丽,等,2020. 江西地区地震动非弹性衰减和场地响应特征研究. 大地测量与地球动力学, **40**(3):287~290,298.
- 张锦玲,朱新运,马起杨,2019. 宁夏地区 L_g 波衰减及场地响应特征. 地震学报, **41**(4):425~434.
- 张志斌,朱皓清,李艳永,2018. 新疆数字地震台网地方性震级量规函数的初步研究. 中国地震, **34**(4):667~675.
- 赵翠萍,陈章立,华卫,等,2011. 中国大陆主要地震活动区中小地震震源参数研究. 地球物理学报, **54**(6):1478~1489.

- 赵英萍,杨锐,高景春,等,2016. 河北地区地震动衰减和场地响应的研究. 地震工程学报,38(增刊II):329~338.
- 周丰森,益西拉姆,朱德富,等,2019. 西藏北部地区宽频带面波震级和地方性震级的关系. 华北地震科学,37(1):39~46.
- Moya A, Aguirre J, Irikura K, 2000. Inversion of source parameters and site effects from strong ground motion records using genetic algorithms. Bull Seismol Soc Am, 90(4):977~992.

Magnitude Correction of Tangshan M_s 5.1 Earthquake Based on Site Response and Gauge Function

*Cai Lingling Wang Yaling Zhao Yingping Li Dongsheng Wang Lichan
Li Xiaojun*

Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, China

Abstract The Moya(2000) method was used to jointly invert the source spectrum and the site response of 654 earthquake events with $M_L \geq 2.5$ recorded by Hebei Seismic Network since 2010. These events are from 168 stations with the actual inversion results of 151 seismic stations. The results show that each station has a different degree of site amplification effect within the frequency of 1 ~ 20Hz, The site response of various bedrock platforms varies with frequency is more complicated. Most of the station bases are Quaternary sedimentary stations. The site response shows obvious amplification effects in the low frequency range 1 ~ 8Hz, and fast attenuation trend in the high frequency band 8 ~ 20HZ. Selecting $M_L \geq 2.0$ seismic data recorded by Hebei Seismic Network since 2017, with statistical analysis of the single earthquake magnitude of each station and the average earthquake magnitude of the network, we has obtained a new local M_L gauge function representing Hebei. In response to the Tangshan M_s 5.1 earthquake of July 12, 2020, we use the site response results obtained in this paper to eliminate the amplification effect of the station. Then we use the current gauge function and the newly obtained gauge function to recalculate the magnitude of a single station. The results show that the magnitude deviation has decreased.

Keywords: Site response; Calibration function; Tangshan 5.1 magnitude earthquake; Magnitude correction