

申学林、魏贵春、丁文秀等,2018,湖北地区地震震源参数研究,中国地震,34(4),781~787.

湖北地区地震震源参数研究

申学林^{1,2)} 魏贵春^{1,2)} 丁文秀^{1,2)} 戴苗^{1,2)}

1) 中国地震局地震研究所中国地震局地震大地测量重点实验室,
武汉市武昌区洪山侧路 40 号 430071

2) 湖北省地震局,武汉市武昌区洪山侧路 40 号 430071

摘要 为了研究湖北地区地震震源参数特征,本文基于湖北数字地震台网记录到的 S 波观测振幅谱,通过遗传算法获得湖北地区的介质品质因子和台站场地响应,并在此基础上计算了湖北地区地震震源参数。结果显示,湖北地区介质品质因子 Q 值随频率 f 变化的关系式为 $Q(f) = 501.8 \cdot f^{0.309}$;对于大部分台站获得了与其岩石基底相符的场地响应,没有出现明显放大效应;地震震级与地震矩对数间呈线性关系,即 $\lg M_0 = 10.06 + 1.093 M_L$;震源半径与应力降间呈双对数线性关系,即 $\lg \Delta \sigma = 10.52 - 2.01 \lg r$;地震矩与拐角频率间整体上呈反相关;地震矩与应力降间关系不显著。

关键词: 场地响应 品质因子 遗传算法 震源参数 湖北地区

[文章编号] 1001-4683(2018)04-0781-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

20 世纪 80 年代以来,我国建成了一批高精度、宽频带的数字地震台网,陈运泰等(1999)认为,通过“现代地震参数”的测定可以发挥数字地震台网在防震减灾方面的效益。新地震参数目录相比传统地震目录(含地震发震时刻、震级、震中位置和震源深度等信息)主要增加了中小地震的震源矩、应力降、震源特征尺度等参数。震源参数的测定与应用对于认识地震孕震过程、促进地震预测研究的深入、提高预测水平均有一定的作用。

具有频带宽、动态范围大、分辨率高以及便于使用计算机处理等优点的数字地震记录为计算中小地震的震源参数提供了有利条件。地震波主要包含来自震源、传播路径介质、台站场地以及记录仪器的信息。为获得来自震源的信息,须去除地震记录中除震源外的其他效应。通过仪器的传递函数可扣除地震波形中记录仪器的效应;通过地震波随距离增加的几何衰减和以介质品质因子 Q 值来度量的介质非弹性衰减(Atkinson et al, 1992)可扣除传播路径效应;通过台站场地响应(Moya, 2000)可扣除台站场地效应,从而获得震源参数(刘杰等, 2003; 华卫等, 2010; 赵翠萍等, 2011; 高景春, 2011)。

湖北数字地震台网经过国家“九五”“十五”重大项目——中国数字地震观测网络项目、

[收稿日期] 2018-03-01; [修定日期] 2018-04-23

[项目类别] 中国地震局地震研究所所长基金(15201526232)、测震台网青年骨干培养专项(20150418)共同资助

[作者简介] 申学林,男,1982年生,工程师,主要从事数字地震学研究。E-mail: lieying171@163.com

中国地震背景场探测项目改造完成后, 台站基本均匀分布于湖北全境, 至今已积累大量的数字化资料。本文选取湖北地震台网 2009~2015 年记录的高质量数字资料, 研究湖北地区的介质品质因子和场地响应, 并计算地震的震源参数。

1 地震数据

表 1 为湖北数字测震台网 29 个台站的信息。通过地震目录初步选出该地区 90 个 $M_L \geq 2.5$ 地震, 再通过波形信噪比分析, 选取其中 61 个地震的 703 条记录用于计算。这些地震的震级为 $M_L 2.5 \sim 5.4$, 震中距为 16 ~ 498km (图 1)。

2 震源参数计算

2.1 品质因子 Q 值

本文采用多台多震源联合反演方法 (Atkinson et al, 1992) 计算 S 波 Q 值, 所截取的 S 波窗长定义为从 S 波开始到包含 90% 的 S 波总能量的时间段。高景春等 (2011) 测定河北省测震台网中小地震矩震级时认为, S 波窗长和 S_g - P_g 到时差之间具有线性关系。本文采用湖北数字地震台网 320 个地震的震相到时拟合出湖北地区 S 波窗长与 S_g - P_g 到时差之间的线性关系为 (图 2)

$$T_{sw} = 0.74(T_{Sg} - T_{Pg}) + 8.3 \quad (1)$$

式中, T_{sw} 为 S 波窗长; T_{Sg} 为 S_g 到时; T_{Pg} 为 P_g 到时。

该方法通过迭代反演获得结果, 其本质是使同一地震震源谱振幅的标准残差最小。本文获得的湖北地区 Q 值与频率 f 的关系为 $Q(f) = 501.8f^{0.309}$ (图 3)。由图 3 可见, 湖北地区具有较大的

Q_0 值和较小的 η 值, 表明该地区整体介质的均匀程度较高。与国内其他区域相比, 湖北地区的 Q 值与频率间的关系同广东 (黄玉龙等, 2003)、山西 (梁向军等, 2012)、甘肃 (郭晓等, 2008) 等地区的结果相近。但湖北局部地区有较小的 Q_0 值和较大的 η 值, 如三峡水库地区 (华卫等, 2010) 及丹江口水库地区 (魏贵春等, 2017) Q 值与频率 f 间的关系分别为 $Q(f) = 112f^{0.918}$ 、 $Q(f) = 146f^{0.77}$ 。

表 1 本文研究所使用台站的仪器型号和台基岩性

序号	台站名称	台站代码	地震计型号	台基岩性
1	丹江台	DJI	BBVS-60	辉绿岩
2	大悟台	DWU	BBVS-60	板岩
3	恩施台	ENS	CTS-1	灰岩
4	房县台	FXI	BBVS-60	灰岩
5	鹤峰台	HFE	BBVS-60	灰岩
6	黄梅台	HME	BBVS-60	花岗岩
7	九宫山台	JGS	BBVS-60	花岗岩
8	荆门台	JME	BBVS-60	石英砂岩
9	嘉鱼台	JYU	BBVS-60	灰岩
10	利川台	LCH	BBVS-60	灰岩
11	麻城台	MCH	CTS-1	片麻岩
12	南漳台	NZH	BBVS-120	灰岩
13	潜江台	QJI	FSS-3DBH	黄土
14	石首台	SSH	BBVS-60	花岗岩
15	十堰台	SYA	BBVS-120	辉绿岩
16	随州台	SZH	BBVS-60	辉绿岩
17	松滋台	SZI	FSS-3DBH	黄土
18	九峰台	WHA	JCZ-1	砾岩
19	武汉台	WHN	JCZ-1	石灰岩
20	襄阳台	XFA	BBVS-60	石灰岩
21	咸宁台	XNI	BBVS-60	花岗岩
22	兴山台	XSH	BBVS-60	石灰岩
23	宜昌台	YCH	BBVS-60	砾岩
24	宜都台	YDU	BBVS-60	石灰岩
25	阳新台	YNX	BBVS-60	石灰岩
26	郧西台	YXI	BBVS-120	石英岩
27	钟祥台	ZHX	CTS-1	砾岩
28	竹山台	ZSH	BBVS-60	石英岩
29	竹溪台	ZUX	BBVS-60	片麻岩

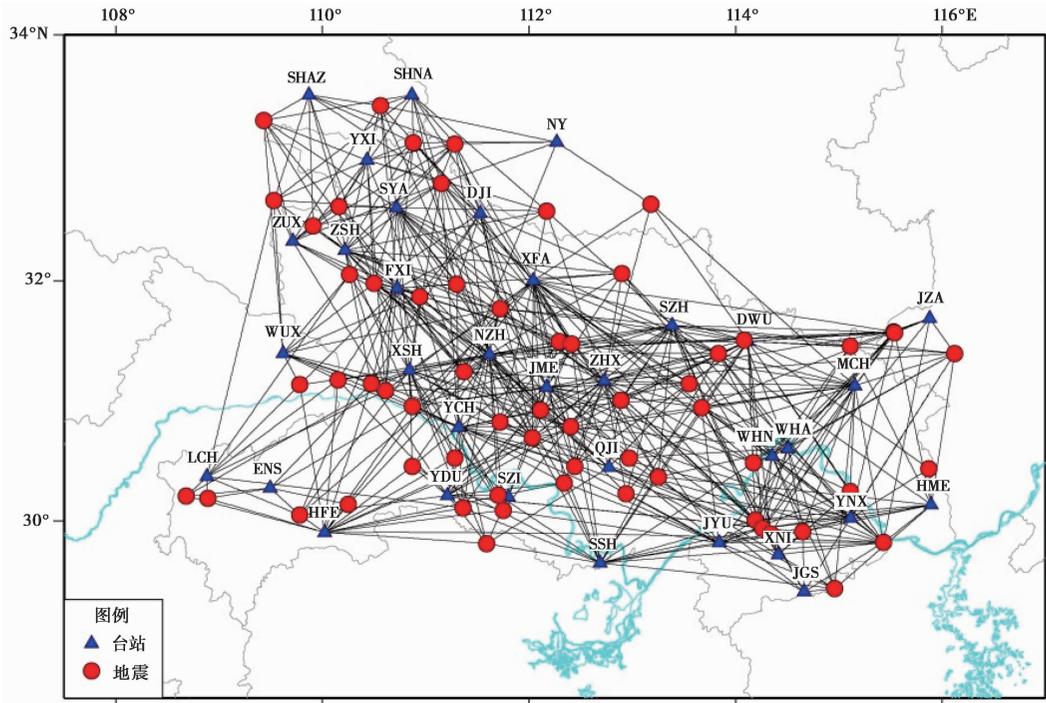


图 1 计算 Q 值和场地响应所选用地震的震中和射线分布

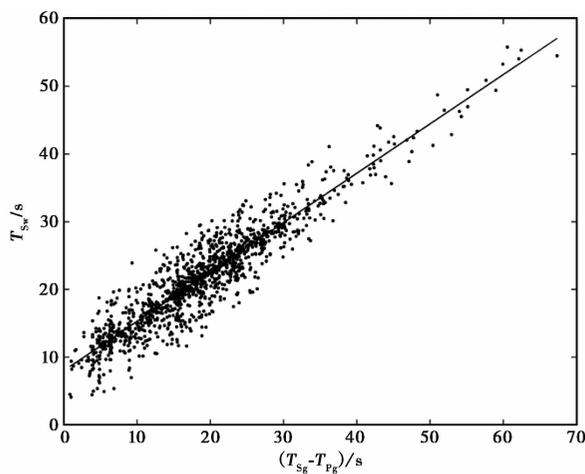


图 2 S 波窗长与 Sg-Pg 到时差之间的关系

2.2 台站场地响应

Moya(2000)方法的实质是使不同地震获得最小的台站场地响应标准残差。本文在计算获得湖北地区 Q 值的基础上,得到 29 个台站的场地响应(图 4)。由图 4 可见,场地响应在 1~20Hz 频率段变化范围为 0.2~10.0,大部分台站场地响应在 1 附近波动,这与其基岩岩性相符。此外,恩施台、利川台、竹山台场地响应在频率为 5Hz 后随地震波频率的增加而减小;

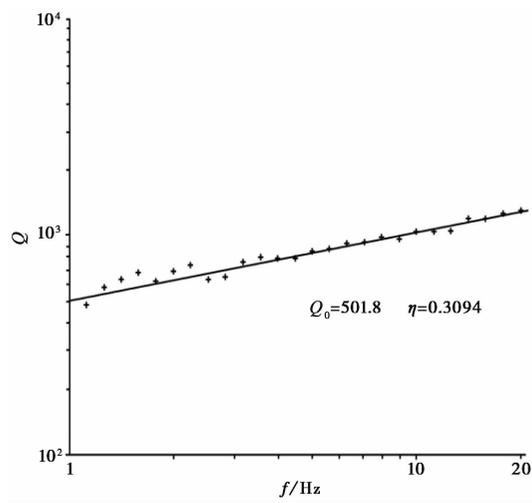


图 3 湖北地区 Q 值与频率间的关系

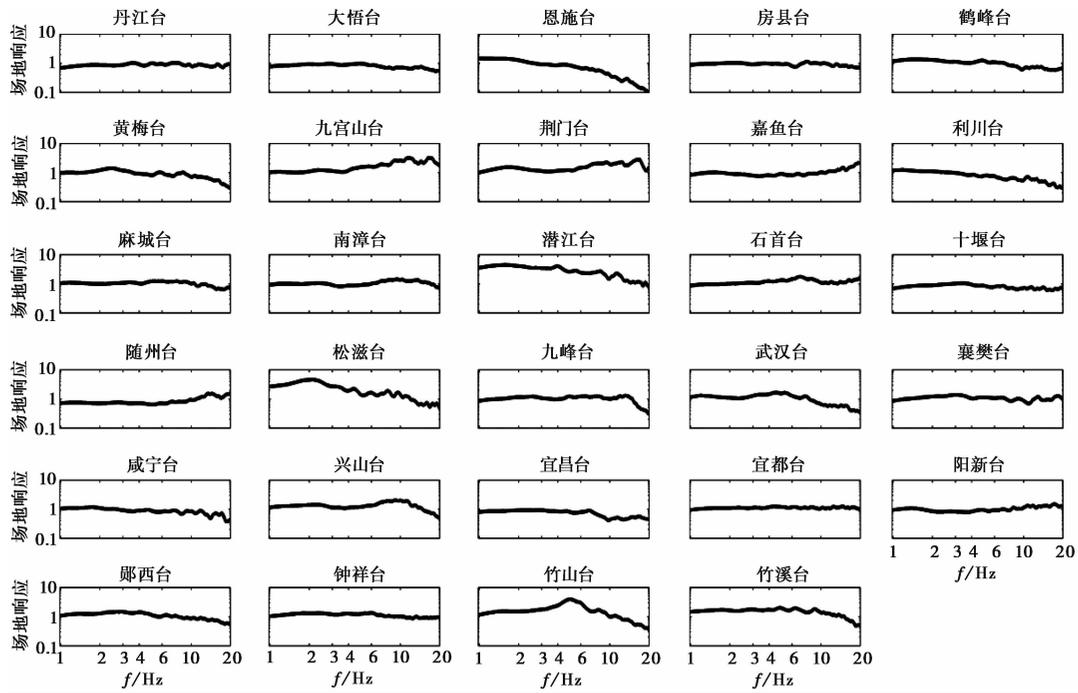


图 4 湖北数字地震台网台站场地响应

潜江台、松滋台的场地响应放大因子在 4 附近,这 2 个台站均为井下摆。由于台站场地响应随频率而变化,因此我们在计算地震震源谱时不得不考虑台站场地对地震波的影响。

2.3 震源参数

在扣除仪器响应、介质品质因子、场地响应后,计算时拟合理论震源谱计算震源参数为

地震矩
$$M_0 = \frac{4\pi\rho v_s^3 \Omega_0}{R_{\theta\varphi}} \quad (2)$$

式中, ρ 为密度; $R_{\theta\varphi}$ 为 S 波的辐射花样系数, 其值为 $\sqrt{2/5}$; v_s 为 S 波速度; Ω_0 为震源位移谱的低频水平。

地震应力降
$$\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3} \quad (3)$$

震源尺度
$$r = \frac{2.34v_s}{2\pi f_c} \quad (4)$$

矩震级
$$M_w = \frac{2}{3}\lg M_0 - 6.07 \quad (5)$$

式中, f_c 为拐角频率。由式 (2) ~ (5) 计算 2009 ~ 2015 年 $M_L \geq 2.5$ 的 162 次地震震源参数, 结果如图 5 所示。由图 5 (a) 可见, 地震矩与拐角频率间呈反相关, 这与震源标定律是一致的 (Aki et al, 1980); 由图 5 (b) 可见, 湖北地区的地震近震震级与地震矩间的关系为 $\lg M_0 = 10.06 + 1.093M_L$; 由图 5 (c) 可见, 地震的应力降范围为 0.01 ~ 15.00MPa, 其与地震矩之间没有显著的线性关系; 由图 5 (d) 可见, 地震震源半径为 100 ~ 500m, 震源半径与应力降间存在显著的双对数关系, 即

$$\lg \Delta\sigma = 10.52 - 2.01 \lg r \quad (6)$$

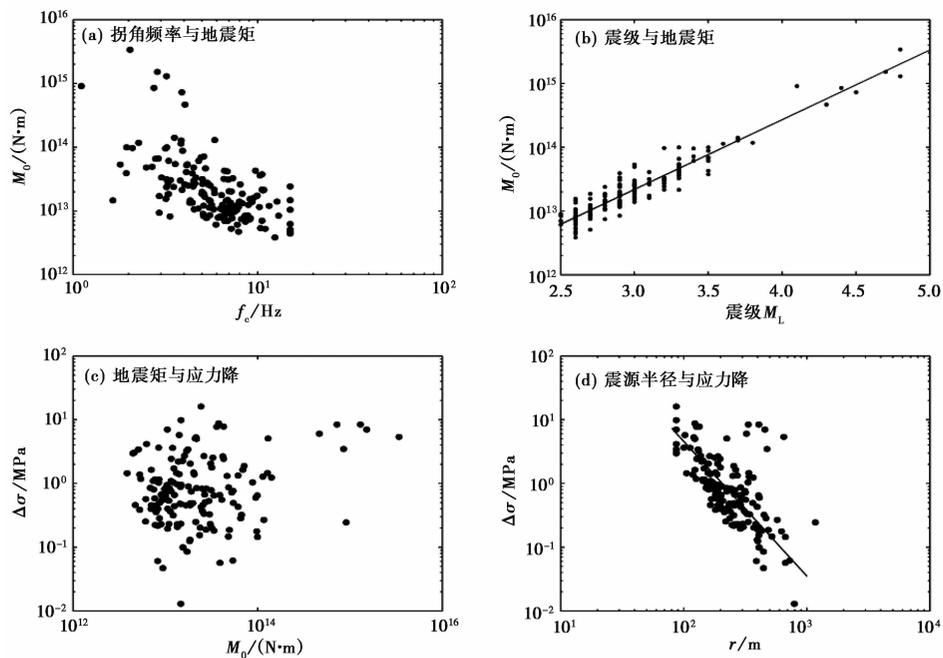


图 5 地震矩、拐角频率、应力降、震源半径、震级之间的关系

3 结论与讨论

本文采用湖北数字地震台网资料获得了湖北地区介质品质因子和台站场地响应。在此

基础上,选用 Brune(1970)的 ω^2 震源模型,计算了 2009~2015 年湖北地区 162 个 $M_L \geq 2.5$ 地震的震源半径、应力降及地震矩,得到以下初步结论:

(1)湖北地区品质因子 Q 与频率 f 间的关系为: $Q = 501.8f^{0.309}$, 具有较大的 Q_0 值和较小的 η 值。

(2)湖北数字地震台网大部分台站获得了与其基岩岩性相符的场地响应,即在 1 附近波动。各台站场地响应随频率而变化,因此计算地震震源谱时应考虑台站场地对地震波的影响。获得的台站场地响应对于分析湖北地区台站资料及今后台站建设具有一定的实际意义。

(3)湖北地区地震震级与地震矩对数间呈线性关系,即 $\lg M_0 = 10.06 + 1.093 M_L$;震源半径与应力降间呈双对数线性关系,即 $\lg \Delta \sigma = 10.52 - 2.01 \lg r$ 。地震矩与拐角频率间整体上呈反相关。地震矩与应力降间关系不显著,其主要原因为应力降与拐角频率的立方成正比而且具有较大的误差;其次,水库诱发地震与构造地震的应力降存在差异,经统计,本文构造地震的平均应力降为水库诱发地震平均应力降的 2 倍。

致谢: 本文计算程序由河北省地震局高景春研究员,中国地震局地震预测研究所赵翠萍研究员、华卫研究员等提供,并得到他们诸多指导和帮助,在此深表谢意。

参考文献

- 陈运泰、吴忠良,1999,中国数字地震学的发展战略问题,国际地震动态,(5),1~5.
- 高景春、赵英萍、徐志国等,2011,河北省测震台网中小地震矩震级的测定,华北地震科学,29(2),1~5.
- 郭晓、张元生、莘海亮等,2008,青藏高原东北缘地区非弹性衰减 Q 值和场地响应的研究,地震研究,31(2),114~118.
- 华卫、陈章立、郑斯华等,2010,三峡水库地区震源参数特征研究,地震地质,32(4),533~542.
- 黄玉龙、郑斯华、刘杰等,2003,广东地区地震动衰减和场地响应的研究,地球物理学报,46(1),54~61.
- 梁向军、刘林飞、张玲等,2012,利用遗传算法反演山西地区非弹性衰减系数、场地响应和震源参数,大地测量与地球动力学,32(增刊 I),18~21,27.
- 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.
- 魏贵春、姚运生、廖武林等,2017,南水北调中线工程核心水源区地震波 Q 值分析,大地测量与地球动力学,37(2),142~145.
- 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.
- Aki K, Richards P G, 1980, Quantitative Seismology: Theory and Methods Volume II, 825, San Francisco: W H Freeman.
- Atkinson G M, Mereu R F, 1992, The shape of ground motion attenuation curves in southeastern Canada, Bull Seismol Soc Am, 82(5), 2014~2031.
- Brune J N, 1970, Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J Geophys Res, 75(26), 4997~5009.
- Moya A, 2000, Inversion of source parameters and site effects from strong ground motion records using genetic algorithms, Bull Seismol Soc Am, 90(4), 977~992.

Study on the Source Parameters of the Hubei Region

Shen Xuelin^{1,2)} *Wei Guichun*^{1,2)} *Ding Wenxiu*^{1,2)} *Dai Miao*^{1,2)}

1) Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China

2) Hubei Earthquake Agency, Wuhan 430071, China

Abstract Based on the amplitude of S-wave spectrum recorded at the Hubei Telemetered Network, the paper studies the source parameter of the Hubei area. We use the genetic algorithm inversion to obtain the non-elastic damping coefficient and site response of each station, and calculate the source parameter of the Hubei area on this basis. The results show that the frequency dependent non-elasticity coefficient Q in the Hubei area is estimated as $Q(f) = 501.8 \cdot f^{0.309}$ and most of the stations have no obvious amplification effect, which is consistent with the rock foundation. The earthquake magnitude is linear with the logarithm of the seismic moment: $\lg M_0 = 10.06 + 1.093 M_L$; focal radius and stress drop in double logarithmic linear relationship: $\lg \Delta \sigma = 10.52 - 2.01 \lg r$, the relationship of seismic moment and corner frequency is negatively related to the whole; the relationship of seismic moment the earthquake stress drop is not significant.

Key words: Site response; Quality factor; Genetic algorithm; Source parameter; Hubei area