

康清清、缪发军、张金川等,2016,江苏及邻区地震波非弹性衰减  $Q$  值、场地响应和震源参数研究,中国地震,32(1),72~82。

# 江苏及邻区地震波非弹性衰减 $Q$ 值、 场地响应和震源参数研究

康清清 缪发军 张金川 霍祝青 杨驰 李正楷

江苏省地震局,南京市玄武区卫岗 3 号 210014

**摘要** 根据江苏数字地震台网(包含邻区共享台站)73 个数字地震台记录的 49 次地震事件的波形资料,用 Atkinson 方法对江苏地区的非弹性衰减  $Q$  值进行了计算,得到研究区介质非弹性衰减平均  $Q$  值随频率  $f$  的关系式为  $Q(f) = 272.1 \cdot f^{0.5575}$ ,并用 Moya 方法计算并得到了研究区内 63 个台站的场地响应。结果表明,江苏境内 25 个地面基岩台的场地响应为 1~20Hz,放大倍数基本在 1 附近波动,符合基岩台基的特征。14 个井下台站场地响应形态相同,表现为低频放大,高频部分迅速衰减。根据 Brune 模型计算并获得了江苏及邻区 2010 年 10 月至 2015 年 3 月 58 个  $M_L 2.5$  以上地震的震源参数,结果表明,近震震级与地震矩、震源尺度和拐角频率的相关性较好,而与应力降的关系不明显,且应力降与震源尺度的关系也不明显。

**关键词:** 江苏及邻区  $Q$  值 场地响应 震源参数

[文章编号] 1001-4683(2016)01-0072-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

随着宽频带数字地震台网的广泛建立,从波形中提取中小地震的震源参数(如地震矩、应力降、震源破裂半径等)逐渐成为测震台网产出的基本内容,其对地震预测和地震危险性研究都具有重要意义。若要准确计算地震的震源参数则要扣除传播路径和观测场地对信号的影响,以往的研究中人们发现选取参考台站时,某些基岩台也不能完全避免地表的放大作用,引起一定的偏差。因此求取研究区域的非弹性衰减系数和每个台站的场地响应,可以准确扣除传播路径和观测场地对信号的影响,得到相对准确的震源参数。

“十五”项目完成后,江苏台网共有数字地震台站 41 个(包括 27 个地面台和 14 个井下台),苏南、苏北地区台站稍密,苏中及沿海地区因松散沉积覆盖层较厚,以井下台站为主,台站也相对稀疏。此外,为了提高对网缘地震的监控能力,还通过 SDH 行业网从中国地震台网中心回传了河南、山东、安徽、浙江、上海 5 个省(市)32 个台站的实时波形数据。目前,江

[收稿日期] 2015-10-09; [修定日期] 2016-01-28

[项目类别] 中国地震局三结合项目(151006)和江苏省地震局青年基金项目(201405)联合资助

[作者简介] 康清清,女,1983 年生,工程师,硕士,主要从事数字地震资料处理和震源机制研究。E-mail:kqq8310@126.com

通讯作者:缪发军,男,1977 年生,高级工程师,主要从事地震监测和数字地震资料处理。

E-mail:miaofajun@163.com

江苏省测震台网中心接收实时波形数据的台站总数达到 73 个。

本文利用江苏及邻区 73 个数字地震台站记录到的 49 次地震的 S 波资料, 采用 Atkinson 等的多台联合反演方法得到了研究区域 ( $115^{\circ} \sim 123^{\circ} \text{E}, 29^{\circ} \sim 37^{\circ} \text{N}$ ) 内的地壳平均非弹性衰减系数和几何扩散系数, 在此基础上利用 Moya 法计算得到了 63 个台站的场地响应。并根据 Brune 模型测定了 2010~2015 年江苏台网记录到的  $M_L 2.5$  以上地震的震源参数, 并进行了讨论。

## 1 资料选取

为满足地震和台站的均匀分布、地震波形信噪比大于 2 倍、1 次地震必须有 3 个以上台站记录、每个台站至少有 3 次以上地震记录及震级上限为  $M_S 5.0$  的条件, 经过筛选最终挑出 2001 年 1 月至 2015 年 4 月江苏台网记录到的江苏及邻区 49 次  $M_L 2.7$  以上的地震, 63 个台站参与反演计算地震非弹性衰减和场地响应(图 1)。从图 1 可以看出, 被选中的地震基本覆盖了江苏及邻区及其边缘海域, 所得  $Q$  值更能代表全省及邻近地区的平均非弹性衰减系数。

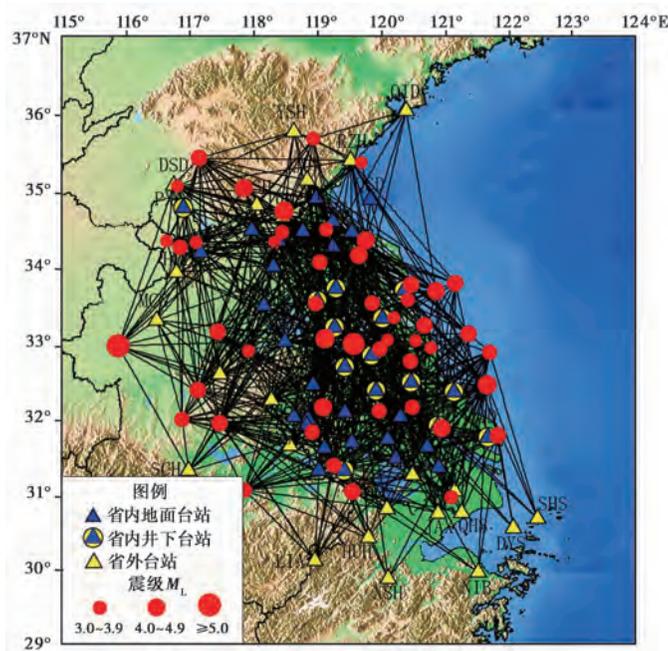


图 1 江苏数字地震台网接收的 63 个台站和本研究使用的 49 次地震的分布及 721 条地震记录的传播路径

## 2 研究方法和结果

### 2.1 品质因子 $Q$ 值

从观测位移谱中扣除仪器响应、噪声和自由表面效应后, 任一地震在某一台站观测到的地面运动的剪切波傅里叶谱 SH 分量可以表示为 (Hartzell, 1992)

$$A_{ij}(f) = A_{i0}(f) \cdot G(R_{ij}) \cdot e^{-\frac{\pi/R_{ij}}{Q(f)r_s} \cdot S_j(f)} \quad (1)$$

式中,  $A_{ij}(f)$  为第  $i$  个地震第  $j$  个台站观测到的 S 波傅里叶谱振幅;  $A_{i0}(f)$  为第  $i$  个地震的震

源谱振幅;  $G(R_{ij})$  为几何扩散函数;  $Q(f)$  为 S 波的品质因子;  $R_{ij}$  为震源距;  $v_s$  为 S 波速度;  $S_j(f)$  为第  $j$  个台站的场地响应。非弹性系数  $c(f)$  与介质品质因子  $Q$  的关系为

$$Q(f) = \frac{\log(e) \pi f}{c(f) v_s} \quad (2)$$

将式(2)代入(1),两边取对数得到

$$\log A_{i0}(f) = \log A_{ij}(f) - \log G(R_{ij}) + c(f) R_{ij} - \log S_j(f) \quad (3)$$

其中,  $G(R_{ij})$  采用 3 段几何衰减模型

$$G_{ij} = \begin{cases} R_{ij}^{-b_1} & R_{ij} \leq R_1 \\ R_1^{-b_1} R_1^{b_2} R_{ij}^{-b_2} & R_1 \leq R_{ij} \leq R_2 \\ R_1^{-b_1} R_1^{b_2} R_2^{-b_2} R_2^{b_3} R_{ij}^{-b_3} & R_{ij} \geq R_2 \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $R$  为震源距;  $R_1$  和  $R_2$  分别为 3 段几何扩散中第 1 段和第 2 段转折点到震源的距离,我们取  $R_1 = 1.5D$ ;  $R_2 = 2.5D$ ;  $D$  为研究区的地壳厚度,江苏及邻区地壳平均厚度为 33km。式中幂指数  $b_1$ 、 $b_2$  和  $b_3$  的值分别为 1, 0, 1/2。

采用 Atkinson 等(1992)提出的方法计算非弹性衰减系数  $c(f)$  值,即假定不同台站记录的同一地震的震源谱相同,通过调整  $c(f)$  值,使得据同一地震得到的震源谱振幅的残差最小。其残差定义为

$$\delta_{ij} = [A_{i0}(f)]_j - \overline{\lg A_{i0}(f)} \quad (5)$$

式(5)中,  $\overline{\lg A_{i0}(f)}$  为第  $i$  次地震所有台站记录震源谱振幅对数的平均值,因此对于  $i$  次地震、 $j$  个台站的总残差为

$$\delta = \sum_i \sum_j \delta_{ij} \quad (6)$$

利用遗传算法,通过求解总残差极小的方式得到非弹性衰减系数和几何扩散函数中的各系数。详细的计算步骤参见相关文献(刘杰等,2003;黄玉龙等,2003)。

用上述方法得到江苏及邻区的非弹性衰减系数  $Q$  值。由图 2 可见,在 1~20Hz,  $Q$  和  $f$  有很好的线性关系,于是采用该频段的结果,拟合得到  $Q(f)$  与频率的关系式为

$$Q(f) = 272.1 \cdot f^{0.5575}$$

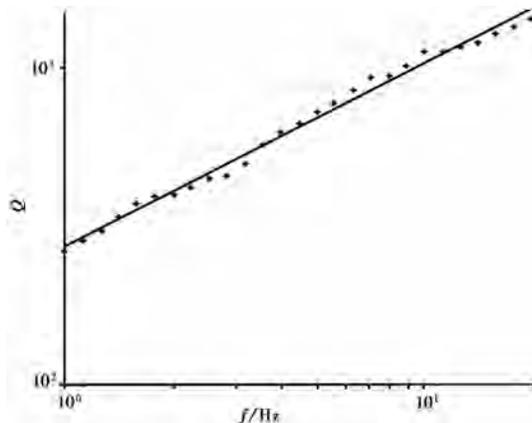


图 2 江苏及邻区  $Q$  值与频率的关系

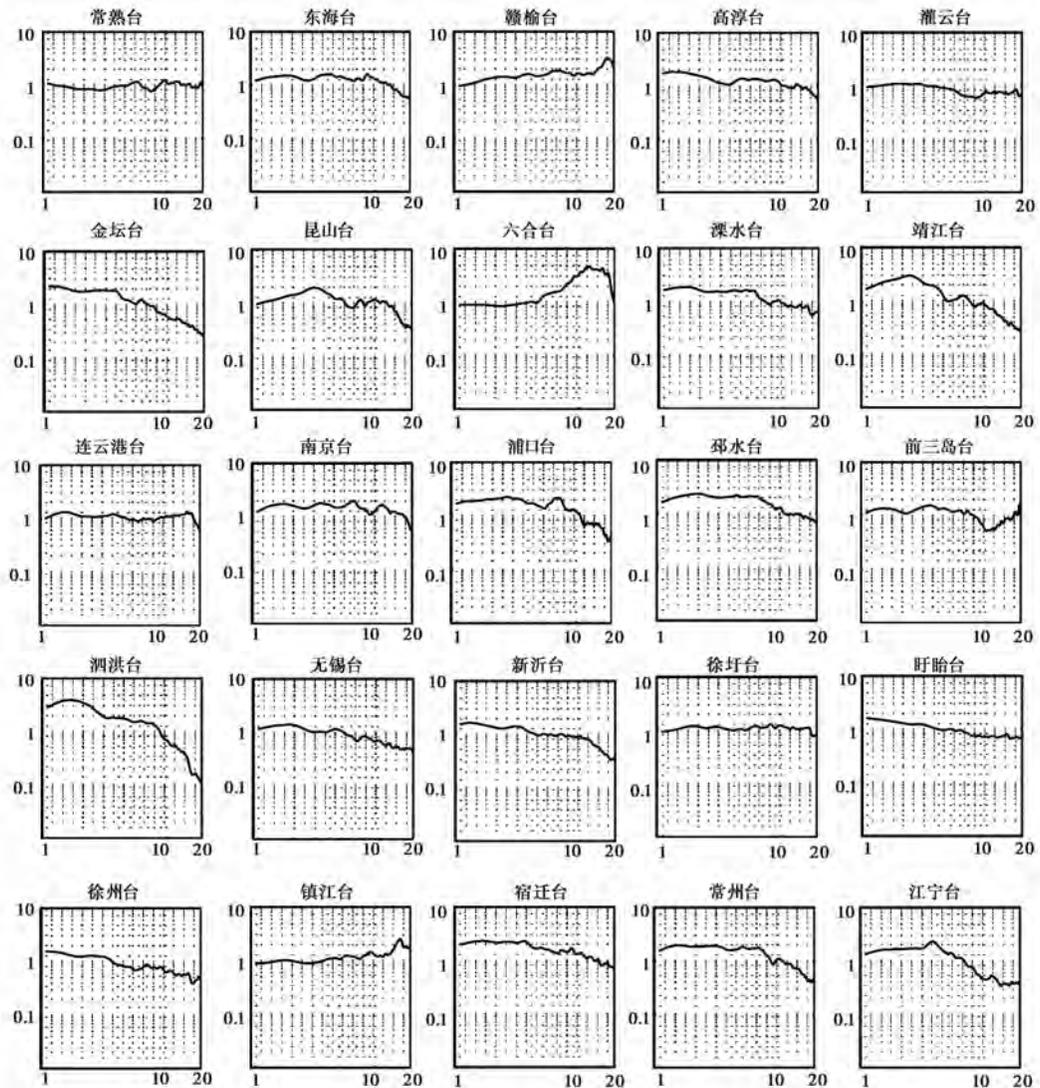


图 3(a) 反演得到的江苏省内 25 个地面基岩类型台站的场地响应

图中纵轴表示放大系数,横轴表示频率

## 2.2 震源谱参数和场地响应

本文采用 Moya 等(2000)的方法反演场地响应,该方法假定台站的场地响应与地震无关,首先对每次地震选择震源谱参数(Brune, 1970, 1971),每个震源谱参数用于计算已记录地震的台站的场地响应,利用遗传算法通过寻找不同的震源谱参数,使不同时间得到的台站场地响应的标准偏差最小,最终求得场地响应。具体实现步骤为:首先对第  $i$  次地震在第  $j$  台站观测到的  $S$  波傅里叶振幅谱进行几何扩散和非弹性衰减的校正,几何扩散部分仍然采用 3 段线性回归;然后对每次地震选择震源谱参数(零频幅值  $\Omega_0$  和拐角频率  $f_c$ ),即可得到每次地震的理论震源谱

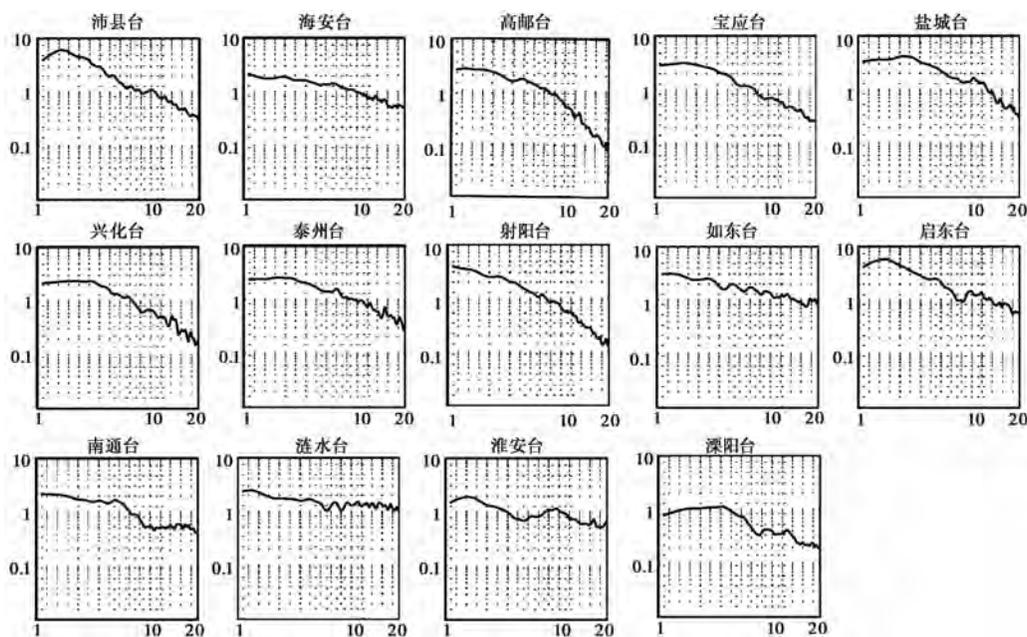


图 3(b) 反演得到的江苏省内 14 个井下地震计的场地响应  
图中纵轴表示放大系数,横轴表示频率

$$S_i(f) = \frac{\Omega_{0i}}{1 + (f/f_{ci})^2} \quad (7)$$

这样在第  $k$  个频率上,第  $i$  次地震对第  $j$  个台站的场地响应为

$$G_{ij}(f_k) = \frac{O_{ij}^{\text{corr}}(f_k)}{S_i(f_k)} \quad (8)$$

在第  $k$  个频率上,第  $j$  个台站由不同地震得到场地响应的标准偏差和平均值,其残差定义为

$$\delta_{jk} = \frac{[G_{ij}(f_k)]_{\text{std}}}{[G_{ij}(f_k)]_{\text{mean}}} \quad (9)$$

利用遗传算法,调整所有地震的震源谱参数,使下式极小,得到震源谱参数和各台站的场地响应

$$\delta = \sum_j \sum_k \delta_{jk} \quad (10)$$

利用上述计算方法共得到江苏及邻区 63 个台站的场地响应,如图 3 所示,其中图 3(a) 展示了 25 个地面基岩类型台站的场地响应,图 3(b) 展示了 14 个井下地震计的场地响应,图 3(c) 展示了 24 个共享外省台站的场地响应。结果显示:江苏境内多数基岩台基类型的地面台的场地响应放大倍数都在 1 附近,即无明显放大效应;例外的是苏北泗洪地面台,台基为安山岩,低频部分放大 3~4 倍,高频部分衰减至 0.1 倍。苏中地区由于覆盖层较厚,布设均为井下地震计,其场地响应曲线形态基本一致:多数台站低频部分放大 2~5 倍,高频部分衰减至 0.1~0.8 倍,这可能是由于松散沉积的台基场地的影响造成的。其中苏中地区涟水井下地震计台基类型为石英岩,场地响应曲线平坦,高频部分衰减不明显;图 3(c) 结果显

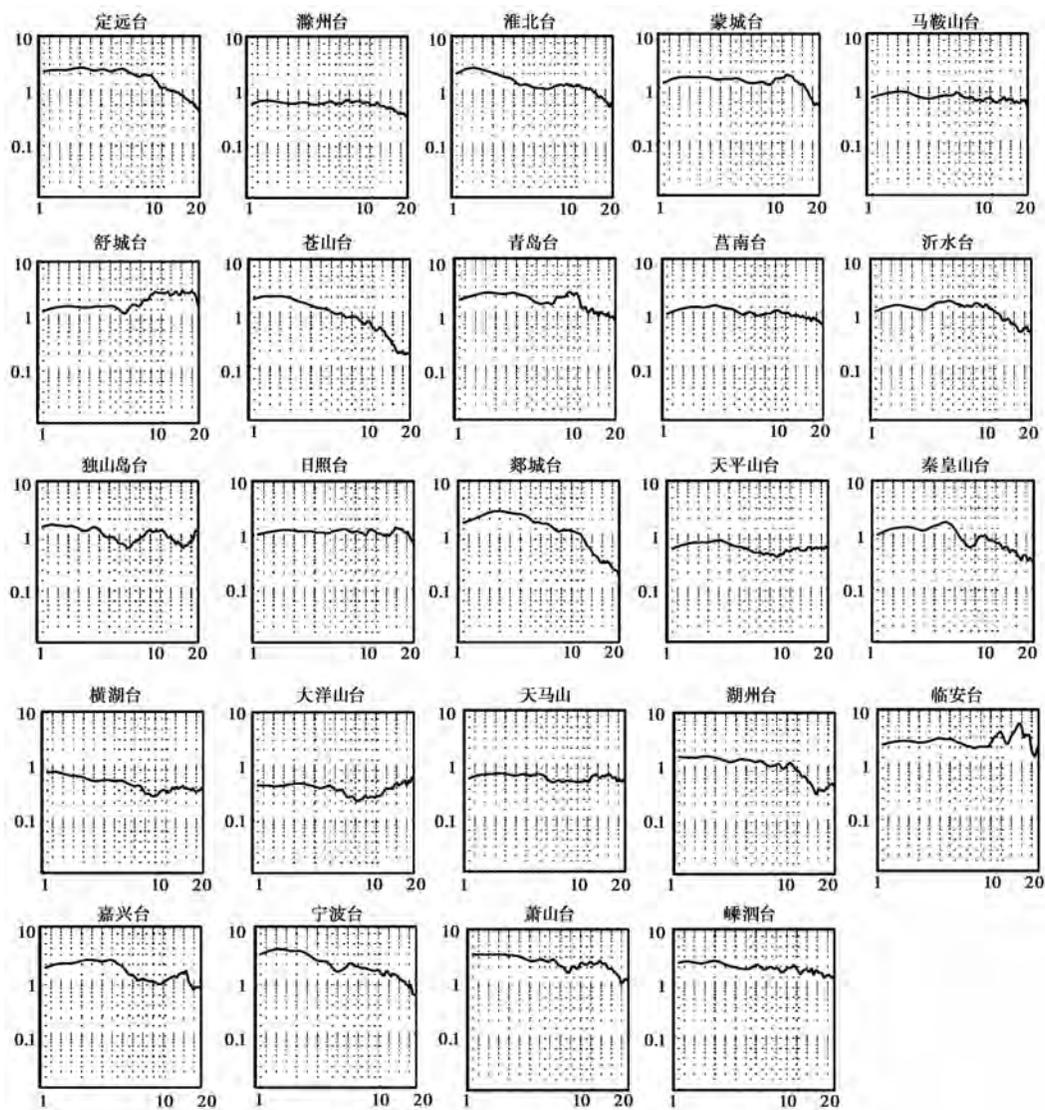


图 3(c) 反演得到的江苏台网 24 个共享外省台站的场地响应

图中纵轴表示放大系数,横轴表示频率

示,各台站场地响应曲线均较为平坦,但场地响应值并不集中在 1 附近,而分布在 0.3~4.0 范围内。

### 2.3 震源参数

根据 Brune(1970)的结果,地震矩  $M_0$ 、应力降  $\Delta\sigma$  和震源半径  $r$  的关系为

$$M_0 = \frac{4\pi r v_s^3 \Omega_0}{2R_{\theta\varphi}} \quad (11)$$

$$\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3} \quad (12)$$

$$r = \frac{2.34v_s}{2\pi f_c} \quad (13)$$

其中,  $\rho$  为介质密度;  $v_s$  为 S 波速度;  $R_{\theta\varphi}$  为辐射花样系数;  $\Omega_0$  为零频幅值;  $f_c$  为拐角频率。通过 11~13(式) 计算了 2010 年 10 月至 2015 年 5 月  $M_L \geq 2.5$  的 149 次地震, 共得到 58 次地震的震源谱参数和震源参数(表 1)。

对地震矩、震源尺度、拐角频率、应力降与近震震级  $M_L$  的关系依次进行分析, 结果如图 4(a)、(b)、(c)、(d) 所示。图中  $r^2$  越接近 1 说明其与近震震级的关系越密切, 从图中可以看出, 地震矩与近震震级  $M_L$  的拟合关系最为理想,  $r^2$  达到 0.9254; 震源尺度随着震级的增大有一定的增大趋势, 相关性为 0.5623; 拐角频率随震级增大有减小的趋势, 相关性为 0.5623; 应力降与震级之间的相关性较差, 相关性仅为 0.247。

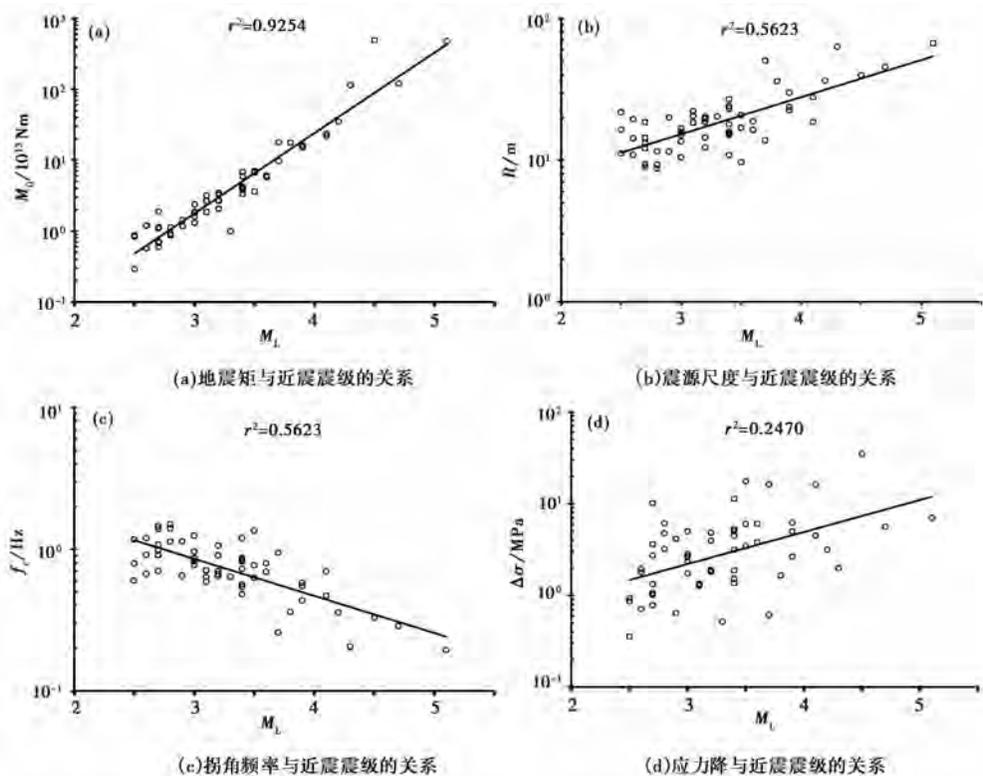


图 4 震源参数与近震震级的关系

### 3 结论

本文  $Q$  值结果与刘红桂等(2004)研究苏南地区  $Q(f) \approx 441.0 \cdot f^{0.37}$  结果相比较低。一般认为在构造活动相对稳定地区  $Q$  值高, 构造活动强烈地区  $Q$  值低(Singh et al, 1983; 李白基等, 2004)。本文研究区域包含整个江苏地区, 苏北及沿海地区发育有大型裂陷盆地——苏北-南黄海盆地及多条断裂, 苏皖交界地区包含了郟庐断裂带南段。郟庐断裂带南段是中国大陆东部的一条深大断裂带, 现代地震活动虽并不十分激烈, 但该区地质构造情况非常复杂

表 1 地震的震源谱和震源参数反演结果

序号	年-月-日 时:分:秒	北纬 /(°)	东经 /(°)	震级 / $M_L$	深度 /km	$\Omega_0$ / $\mu\text{m}\cdot\text{s}$	$f_c$ /Hz	地震矩 / $10^{13}\text{Nm}$	$M_w$	应力降 /MPa	震源尺度 /m
1	2010-11-16 08:22:34.2	33.84	121.16	3.7	14.5	50.347	2.591	17.86	3.4	0.614	503.076
2	2010-11-20 14:08:56.3	32.66	121.55	3.0	7.8	6.688	8.266	2.37	2.8	2.647	157.691
3	2010-11-26 15:45:37.4	32.97	119.98	3.4	19.2	19.233	4.841	6.82	3.2	1.530	269.237
4	2010-12-31 00:45:15.0	31.18	120.45	2.8	10.3	2.590	15.000	0.92	2.6	6.126	86.899
5	2011-01-01 10:57:43.8	33.57	119.85	3.2	5.0	7.628	9.036	2.71	2.9	3.945	144.253
6	2011-01-01 17:07:41.0	33.57	119.86	3.4	5.0	11.611	8.665	4.12	3.0	5.295	150.424
7	2011-01-01 21:33:47.4	33.56	119.83	3.0	5.0	5.103	8.664	1.81	2.8	2.326	150.440
8	2011-01-01 21:39:17.8	33.56	119.84	3.0	6.0	5.258	7.779	1.87	2.8	1.735	167.570
9	2011-01-02 01:11:25.1	33.56	119.83	3.1	5.0	7.385	6.367	2.62	2.9	1.336	204.719
10	2011-01-03 19:00:19.0	33.58	119.88	2.5	11.0	2.450	7.954	0.87	2.6	0.864	163.880
11	2011-01-12 09:19:54.9	33.21	123.71	4.5	25.0	1389.749	3.285	493.09	4.4	34.528	396.806
12	2011-01-21 23:54:25.3	32.81	120.44	2.6	15.8	3.357	9.137	1.19	2.6	1.795	142.659
13	2011-01-21 23:56:10.0	32.81	120.46	3.5	20.2	19.854	6.280	7.04	3.2	3.446	207.565
14	2011-02-25 22:21:42.2	33.81	121.13	3.1	15.6	8.941	5.880	3.17	2.9	1.274	221.671
15	2011-05-04 07:42:33.1	33.48	120.45	2.8	23.0	3.153	11.335	1.12	2.6	3.218	115.001
16	2011-06-24 11:07:57.4	32.45	121.66	3.2	13.1	9.138	6.681	3.24	2.9	1.910	195.090
17	2011-07-08 20:57:44.2	32.93	121.70	3.4	21.1	16.711	5.432	5.93	3.1	1.877	239.958
18	2011-07-30 21:39:04.5	33.48	119.57	2.6	15.7	3.355	6.713	1.19	2.6	0.711	194.180
19	2011-10-08 19:25:15.1	32.2	120.49	3.5	19.0	18.817	7.704	6.68	3.1	6.030	169.200
20	2011-12-01 19:02:51.5	32.97	117.93	2.9	25.7	3.294	6.528	1.17	2.6	0.642	199.663
21	2012-04-08 17:44:20.6	33.10	119.12	4.1	10.0	61.857	4.701	21.95	3.5	4.504	277.274
22	2012-04-30 21:46:42.0	32.55	119.59	2.5	8.6	2.354	6.003	0.84	2.5	0.357	217.137
23	2012-05-22 14:04:59.1	31.43	119.26	3.4	12.2	9.356	12.000	3.32	2.9	11.331	108.627
24	2012-07-09 11:59:12.9	32.34	121.79	3.4	10.0	11.620	8.218	4.12	3.0	4.520	158.614

续表 1

序号	年-月-日 时:分:秒	北纬 /(°)	东经 /(°)	震级 / $M_L$	深度 /km	$\Omega_0$ / $\mu\text{m}\cdot\text{s}$	$f_c$ /Hz	地震矩 / $10^{13}\text{Nm}$	$M_w$	应力降 /MPa	震源尺度 /m
25	2012-07-11 23:10:50.4	33.04	119.56	3.0	12.0	4.496	9.637	1.60	2.7	2.820	135.261
26	2012-07-20 20:11:51.4	33.04	119.57	5.1	15.0	1351.778	1.949	479.62	4.4	7.014	668.819
27	2012-07-20 20:24:42.2	33.05	119.56	4.2	16.5	98.697	3.576	35.02	3.6	3.164	364.498
28	2012-07-20 20:31:38.1	33.06	119.57	3.8	11.4	49.883	3.615	17.70	3.4	1.651	360.616
29	2012-07-20 20:38:05.0	33.04	119.57	3.9	14.5	42.973	5.497	15.25	3.4	5.002	237.147
30	2012-07-20 23:52:06.3	33.04	119.54	2.7	12.9	3.088	10.801	1.10	2.6	2.727	120.683
31	2012-08-25 18:57:45.0	33.84	122.05	4.7	10.0	340.012	2.870	120.64	4.0	5.634	454.168
32	2012-10-02 13:26:21.4	33.73	120.86	3.9	23.6	45.782	4.352	16.24	3.4	2.646	299.482
33	2013-01-08 10:53:14.1	33.79	120.70	3.4	23.3	10.805	5.641	3.83	3.0	1.36	231.067
34	2013-01-19 22:56:53.2	34.39	119.76	3.9	14.9	45.676	5.790	16.21	3.4	6.214	225.126
35	2013-02-03 15:18:35.0	34.38	119.75	3.4	13.8	11.506	7.303	4.08	3.0	3.141	178.496
36	2013-03-03 11:32:30.3	34.38	119.74	2.6	14.8	1.602	11.995	0.57	2.4	1.938	108.670
37	2013-03-03 11:51:04.1	34.39	119.76	3.1	13.8	5.233	7.094	1.86	2.8	1.310	183.746
38	2013-05-25 10:56:31.6	34.09	120.22	3.2	25.6	5.792	10.604	2.05	2.8	4.840	122.921
39	2013-10-18 20:47:59.4	32.28	119.13	2.8	14.0	2.455	14.036	0.87	2.6	4.758	92.867
40	2013-11-14 00:57:27.8	33.18	121.37	3.6	20.0	16.993	7.975	6.03	3.1	6.042	163.441
41	2013-11-15 18:08:05.5	34.54	117.12	2.7	11.5	1.676	14.569	0.59	2.4	3.632	89.469
42	2013-11-19 05:52:56.5	33.62	120.40	3.2	27.1	7.483	7.011	2.66	2.9	1.808	185.911
43	2013-12-30 03:53:16.7	32.98	120.26	2.9	25.0	4.007	11.385	1.42	2.7	4.145	114.493
44	2014-01-15 06:40:50.7	34.37	117.10	2.7	9.8	1.936	9.085	0.69	2.5	1.017	143.478
45	2014-01-18 23:53:29.2	32.50	121.66	4.1	15.1	66.409	7.026	23.56	3.5	16.143	185.526
46	2014-07-10 01:44:57.3	30.90	121.84	3.2	9.4	9.708	6.457	3.44	3.0	1.832	201.868
47	2014-07-25 00:48:54.3	31.97	117.51	3.7	9.0	27.569	9.442	9.78	3.3	16.265	138.053
48	2014-08-06 10:58:41.2	31.83	121.83	3.6	7.7	16.226	6.941	5.76	3.1	3.803	187.794

续表 1

序号	年-月-日 时:分:秒	北纬 /(°)	东经 /(°)	震级 / $M_L$	深度 /km	$\Omega_0$ / $\mu\text{m}\cdot\text{s}$	$f_c$ /Hz	地震矩 / $10^{13}\text{Nm}$	$M_w$	应力降 /MPa	震源尺度 /m
49	2014-12-06 10:25:30.2	34.86	118.55	2.7	12.4	1.949	9.922	0.69	2.5	1.335	131.368
50	2015-01-04 00:02:13.0	33.21	118.99	3.4	15.0	11.915	8.464	4.23	3.0	5.064	153.999
51	2015-02-16 23:13:33.1	34.47	120.71	2.7	11.3	3.205	7.035	1.14	2.6	0.782	185.273
52	2015-02-21 23:04:58.5	34.50	118.46	3.0	13.7	3.679	12.472	1.31	2.7	5.003	104.509
53	2015-02-26 23:43:34.4	34.37	117.10	3.3	7.2	2.807	6.409	1.00	2.6	0.518	203.390
54	2015-02-28 13:44:35.7	34.49	118.45	2.7	14.3	2.007	9.108	0.71	2.5	1.063	143.108
55	2015-03-07 17:35:12.0	34.72	120.16	2.5	6.2	0.822	11.734	0.29	2.2	0.931	111.083
56	2015-03-14 14:13:34.8	33.09	115.82	4.3	13.3	320.855	2.065	113.84	4.0	1.979	631.367
57	2015-03-15 09:19:40.8	35.68	118.96	2.7	11.4	5.326	13.965	1.89	2.8	10.166	93.341
58	2015-05-17 10:1118.4	32.50	119.09	3.5	5.0	10.183	13.493	3.61	3.0	17.535	96.601

(顾勤平等, 2016), 中国东部最大的地震即 1668 年 7 月 25 日山东郯城 8 级地震, 就发生在这一断裂带上。故与前人研究结果相比, 本文研究区域构造活动比苏南地区强烈, 因此  $Q$  值偏低。计算得到江苏地区介质的品质因子为与沈小七等(2005)研究安徽地区  $Q(f) = 235.3 \cdot f^{0.616}$  结果相当, 说明江苏及邻区的平均  $Q$  值与安徽地区相一致。

从反演得到的江苏及邻区 63 个数字地震台站的场地响应结果看, 苏中及沿海地区松散沉积层除了 LAS 台场地响应稳定且接近 1 外, 其余 11 个井下地震计的场地响应具有低频放大, 高频迅速衰减的特征; 江苏境内多数地面地震计的场地响应放大倍数都接近于 1; 将邻省台站场地响应与安徽、山东台网测算的地震台站的场地响应进行对比发现, 场地响应曲线形态基本一致, 但个别台站放大因子有所差别, 推测与参考场地的不同有关。

从计算  $M_L 2.5$  以上的 58 个地震震源参数结果来看, 地震矩与近震震级的拟合关系最好; 震源尺度随震级的增大有一定的增大趋势, 拐角频率随震级的增大有减小趋势; 应力降与震级的关系不明显。

**致谢:** 研究中使用的软件来自中国地震局地震预测研究所, 文中图件利用 GMT 和 Matlab 生成。赵翠萍、刘杰、华卫、王勤彩等诸位研究员给予了悉心的指导和帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

## 参考文献

- 顾勤平、丁志峰、康清清等, 2016, 郯庐断裂带中南段及邻区 Pn 波速度结构与各向异性, 地球物理学报, **59**(2), 504~515。  
 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。  
 李白基、秦嘉政、钱晓东等, 2004, 云南姚安地区的尾波衰减, 地震学报, **26**(1), 47~52。

- 刘红桂、缪发军、吴晶,2004,场地响应、震源参数与介质衰减的同时反演,地震,24(4),27~36。
- 刘杰、郑斯华、黄玉龙等,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。
- 沈小七、刘杰、陈宇卫等,2005,安徽地区地震波衰减、场地响应及震源新参数的测定,地震地磁观测与研究,26(3),1~10。
- Atkinson G M, Mereu R F, 1992, The shape of ground motion attenuation curves in southeastern Canada, Bull Seism Soc Amer, 82, 2014~2031.
- Brune J N, 1970, Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake, J Geophys Res, 75(26), 4997~5009.
- Brune J N, 1971, Correction to "Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes", J Geophys Res, 76(20), 5002.
- Hartzell S H, 1992, Site response estimation from earthquake data, Bull Seism Soc Amer, 82, 2308~2327.
- Moya C A, Aguirre J, Irikura K, 2000, Inversion of source parameters and site effects from strong ground motion records using genetic algorithms, Bull Seism Soc Amer, 90(4), 977~992.
- Singh S, Herrmann R B, 1983, Regionalization of crustal coda  $Q$  in the continental United States, J Geophys Res, 88(B1), 527~538.

## Research on the $Q$ -value, site response and seismic source parameters in Jiangsu and its adjacent areas

*Kang Qingqing Miao Fajun Zhang Jinchuan Huo Zhuqing Yang Chi Li Zhengkai*  
Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China

**Abstract** Based on 49 digital seismograms recorded on 73 seismic stations of Jiangsu Digital Seismic Network, the paper uses Atkinson's method to calculate the inelastic attenuation coefficient of the Jiangsu area. We find that the frequency-dependent  $Q$  in the Jiangsu region is. We also use Moya's method to invert the 63 stations' site responses. The results show that the site responses of the 25 stations in Jiangsu are approximately 1 at a range between 1Hz and 20Hz, which is consistent with their basements on rocks. The response curves of the site response of the 14 underground stations are similar to each other. Their site responses show an amplification at low frequencies and minification at high frequencies. The calculation of the Brune model on the waveform data of  $M_L \geq 2.5$  earthquakes from Jiangsu Digital Seismic Network between October 2010 and May 2015 in terms of seismic source parameters of 58 seismic waves shows that there is good correlations between seismic magnitude and other source parameters such as seismic moment, source radius and corner frequency, while the correlations between seismic magnitude and stress drop, the stress drop and source radius are not so good.

**Key words:** Jiangsu and its adjacent areas  $Q$  value Site response Source parameters