

刘川琴, 李 发, 刘东旺, 等. 金寨地震序列震源参数研究[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 69-73. [LIU Chuanqin, LI Fa, LIU Dongwang, et al. Study On Seismic Source Parameters of Jinzhai Earthquake Sequence[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(3): 69-73.]

金寨地震序列震源参数研究

刘川琴¹, 李 发², 刘东旺², 祝怡红³, 谢 庆²

(1. 安徽省地震局合肥地震台, 合肥 230031; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031;
3. 安徽省地震局安庆地震台, 安徽 安庆 246000)

摘要: 利用安徽台网记录的波形资料, 进行地震重新定位, 扣除场地响应、非弹性衰减等。反演计算 2014 金寨地震序列震源参数值, 分析研究其特征变化及参数之间的关系。结果表明: ①视应力、地震矩等震源参数随时间变化均呈现震前增强震后明显减弱的趋势, 主震时达最大, 震后降低到相对较低水平; ②视应力与地震矩、震级呈明显的正相关, 应力降随地震矩增加而增加的趋势不明显, 拐角频率与地震矩呈明显的负相关, 地震矩的对数与震级呈线性相关, 此对深入了解震源参数的物理意义有着重要作用。这些研究结果为大别山及周边地区的震情判定和趋势预测提供一定的科学依据。

关键词: 视应力; 应力降; 拐角频率; 地震矩

中图分类号: P315.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2017) 03-0069-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.03.010

Study On Seismic Source Parameters of Jinzhai Earthquake Sequence

LIU Chuanqin¹, LI Fa², LIU Dongwang², XIE Qing²

(1. Hefei Earthquake Station, Hefei 230031, China; 2. Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China;
3. Anqing Earthquake Station, Anqing 246000, China)

Abstract: With the waveform data recorded by Anhui network, the paper does the seismic repositioning, further baseline correction, site response deduction, inelastic attenuation and so on. Based on above, the paper inverse and calculates source parameters of Jinzhai earthquake sequence in 2014, analyzes the changes feature and the relationship between the source parameters. The results show that: apparent stress, seismic moment and other source parameters changing over time showed enhanced front shock significantly weakening trend after the main shock, main shock reaches the maximum, while each parameter value reduced to a relatively low level, and stabilized after earthquake; apparent stress was significantly positively correlated with seismic moment and magnitude, while the increasing trend of stress drop is not obvious, corner frequency and seismic moment was a significant negative correlation, logarithm of seismic moment and magnitude linearly related, which has an

收稿日期: 2016-06-05

基金项目: 安徽省地震局科研基金 (20150413) 资助

作者简介: 刘川琴(1981-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地形变观测与研究工作。

E-mail: liuchuanqin1026@sina.com.

通讯作者: 李 发(1982-), 硕士, 高级工程师, 主要从事地震前兆观测工作。E-mail: uuuJerry@sina.cn.

important role in understanding the physical meaning of the source parameters. These results provide a scientific basis for earthquake determination and forecasting of Dabie Mountain and the surrounding area

Keywords: Visual stress; Stress drop; Corner frequency; Seismic moment

0 引言

2014 至 2015 年, 安徽台网共记录到六安市金寨县地震 583 次, 其中 M_L 1.0~1.9 级地震 101 次, M_L 2.0~2.9 级地震 45 次, M_L 3.0 级以上地震 15 次。 M_L 1.0 级以上地震均有震感, 同时伴有震声, 给当地群众造成严重影响, 特别是该震区位于大别山地震监测预报试验场内, 研究震区的地震活动性、震源参数时空特征等, 对研究大别山及周边地区的震情有一定的指示意义, 也为该区的震情判定和趋势预测提供一定的科学依据。

1 资料选取和处理

1.1 资料选取

选取安徽金寨地区 2014 年 8 月至 2015 年 2 月 $M_L \geq 2.3$ 地震 37 个, 其中 2.3~2.9 级地震 31 次, 3.0~3.9 级地震 15 次。选用安徽地区测震台网共 5 个台站的波形数据, 每个地震均满足有 3 台以上记录, 并取震中距在 100 km 范围内的全部台站波形数据求取震源参数参与平均值, 所选地震震中分布如图 1(a)。

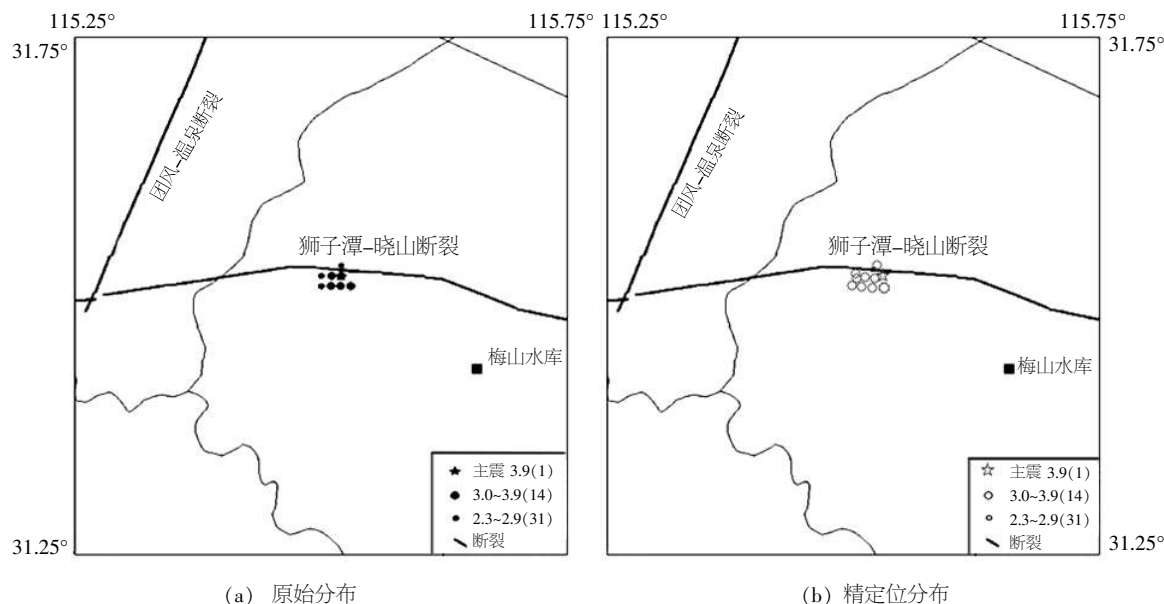


图 1 金寨地震序列震中分布图

Fig.1 Epicenter distribution of Jinzhai earthquake sequence

1.2 资料预处理

首先采用双差定位法对地震进行重新定位, 定位精度达 I 类(0~3 km), 定位后震中分布如图 1(b), 双差定位(hypoDD)可简化为下式^[1]:

$$\frac{\partial t_k^{i=1}}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^{j=1, \text{ nref}}}{\partial m} \Delta m^j = dr_k^{ij} \quad (1)$$

然后进行基线校正、扣除仪器响应、台站场地响应及该区域的几何衰减、非弹性衰减等。

对记录波形进行巴特沃斯 5 阶 0.5~20 Hz 带通滤波处理, 以去除噪声, 并按照式(2)进行场地响应扣除、几何衰减校正和非弹性衰减校正等处理, 以提取震源谱。即

$$A_{ij}(f) = A_{i0}(f) \cdot G(R_{ij}) \cdot S_j(f) \cdot e^{-\frac{\pi f R_{ij}}{Q(f)\beta}} \quad (2)$$

几何衰减本文采用了三段几何衰减模型^[2-3]。即

$$G(R) = \begin{cases} R^{-b_1} & R \geq R_{01}, \\ R_{01}^{-b_1} \cdot R_{01}^{-b_2} \cdot R^{-b_2} & R_{01} < R \leq R_{02} \\ R_{01}^{-b_1} \cdot R_{01}^{-b_2} \cdot R_{02}^{-b_2} \cdot R_{02}^{b_3} \cdot R^{-b_3} & R > R_{02} \end{cases} \quad (3)$$

场地响应、非弹性衰减等根据沈小七等^[4-6]的研究结果进行扣除; 同时根据其研究结果, 本文取定参数 $R_{01}=51$ km, $R_{02}=85$ km, $b_1=1.0$, $b_2=0.0$, $b_3=0.5$, 安徽区域尾波 Q 值与频率的平均拟合关系式为 $Q=105 f^{0.85}$ 。

2 计算方法

基于 Brune^[7] 的近震圆盘模型理论，计算震源参数的经验公式为：

$$D(f)=\frac{\Omega_0}{1+(\frac{f}{f_c})^2};V(f)=D(f)2\pi f;\sigma_{app}=\eta\bar{\sigma}=\mu\frac{E_s}{M_0}$$

以上三式中， $f_c=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{S_v}{S_d}}$; $\Omega_0^2=4S_d\sqrt{\frac{S_d}{S_v}}$; $E_s=4\pi\rho\beta S_v$;
 $M_0=4\sqrt{\frac{5}{2}}\pi\rho\beta^3\Omega_0$; $\mu=3.0\times10^4\text{ MPa}$; $\rho=2.71\text{ g/cm}^3$;
速度谱 $V(f)$ 由对 S 波段数据进行快速傅立叶变换获得，对震源谱数据按照上式求得视应力、拐角频率等震源参数值(表 1)。

表 1 2014 年金寨地震序列 $M_L\geq 2.3$ 地震震源参数值
Table 1 The source parameter value of earthquakes with $M_L\geq 2.3$ of Jinzhai earthquake sequence in 2014

序号	发震时间	$\varphi_N/(^\circ)$	$\lambda_E/(^\circ)$	震级/ M_L	视应力/MPa	应力降/MPa	拐角频率/Hz	地震矩/N.m	震能量/ E_s
1	2014-08-23 02:54	31.51	115.51	2.6	0.085 3	5.434	5.58	4.61E+12	1.31E+07
2	2014-08-24 01:40	31.52	115.52	2.4	0.066 5	4.008	6.38	2.73E+12	6.05E+06
3	2014-08-26 23:29	31.51	115.51	2.4	0.066 5	4.008	6.38	2.73E+12	6.05E+06
4	2014-08-27 05:44	31.52	115.51	2.3	0.058 8	3.442	6.83	2.10E+12	4.11E+06
5	2014-09-26 08:49	31.52	115.51	2.3	0.058 8	3.442	6.83	2.10E+12	4.11E+06
6	2014-10-22 04:15	31.51	115.52	2.9	0.123 9	1.762	4.55	1.01E+13	4.19E+07
7	2014-10-22 04:29	31.50	115.52	3.0	0.140 3	2.351	4.25	1.32E+13	6.17E+07
8	2014-10-22 13:34	31.52	115.52	3.7	0.354 6	5.635	4.21	1.79E+09	9.25E+08
9	2014-10-22 16:24	31.52	115.52	2.7	0.096 6	1.505	5.21	6.00E+12	1.93E+07
10	2014-10-23 00:38	31.51	115.51	2.7	0.096 6	1.421	5.21	6.00E+12	1.93E+07
11	2014-10-26 01:25	31.52	115.52	3.9	0.429 7	7.398	2.31	1.40E+14	2.00E+09
12	2014-10-26 01:28	31.51	115.52	2.9	0.123 9	3.507	4.55	1.01E+13	4.19E+07
13	2014-10-26 02:16	31.52	115.52	3.7	0.335 1	2.285	2.65	8.28E+13	9.25E+08
14	2014-10-26 07:18	31.51	115.52	2.5	0.075 4	2.525	5.97	3.55E+12	8.91E+06
15	2014-10-26 23:05	31.52	115.51	3.4	0.230 7	4.254	3.25	3.77E+13	2.90E+08
16	2014-10-28 19:33	31.52	115.52	3.6	0.295 9	4.934	2.84	6.37E+13	6.28E+08
17	2014-10-28 21:55	31.52	115.51	2.7	0.096 6	0.472	5.21	6.00E+12	1.93E+07
18	2014-10-29 09:38	31.51	115.51	3.1	0.158 9	4.660	3.98	1.71E+13	9.08E+07
19	2014-10-29 11:45	31.51	115.51	3.0	0.140 3	1.274	4.25	1.32E+13	6.17E+07
20	2014-10-29 15:58	31.51	115.51	2.5	0.075 4	1.274	5.97	3.55E+12	8.91E+06
21	2014-10-29 18:16	31.52	115.51	2.9	0.123 9	2.150	4.55	1.01E+13	4.19E+07
22	2014-10-29 18:20	31.51	115.51	2.9	0.123 9	5.281	4.55	1.01E+13	4.19E+07
23	2014-10-30 03:16	31.51	115.51	2.5	0.075 4	0.942	5.97	3.55E+12	8.91E+06
24	2014-11-06 06:22	31.51	115.53	3.4	0.230 7	2.425	3.25	3.77E+13	2.90E+08
25	2014-11-06 06:31	31.52	115.52	3.3	0.203 8	3.687	3.47	2.90E+13	1.97E+08
26	2014-11-11 03:01	31.51	115.52	3.6	0.295 9	3.741	2.84	6.37E+13	6.28E+08
27	2014-11-11 07:08	31.51	115.51	3.5	0.261 3	2.060	3.03	4.90E+13	4.27E+08
28	2014-11-11 07:17	31.52	115.51	3.1	0.158 9	3.506	3.98	1.71E+13	9.08E+07
29	2014-11-11 23:56	31.52	115.51	2.8	0.109 4	1.360	4.87	7.80E+12	2.84E+07
30	2014-11-20 03:28	31.51	115.51	2.5	0.075 4	1.182	5.97	3.55E+12	8.91E+06
31	2014-12-05 09:30	31.51	115.51	3.3	0.203 8	1.983	3.47	2.90E+13	1.97E+08
32	2014-12-05 10:15	31.52	115.51	2.5	0.075 4	1.913	5.97	3.55E+12	8.91E+06
33	2014-12-08 20:32	31.51	115.52	3.3	0.203 8	4.131	3.47	2.90E+13	1.97E+08
34	2014-12-20 08:27	31.51	115.51	2.7	0.096 6	3.211	5.21	6.00E+12	1.93E+07
35	2014-12-23 17:56	31.52	115.51	2.5	0.075 4	1.669	5.97	3.55E+12	8.91E+06
36	2015-01-15 00:58	31.53	115.52	2.7	0.096 6	3.253	5.21	6.00E+12	1.93E+07
37	2015-01-24 16:08	31.51	115.52	2.5	0.0754	2.267	5.97	3.55E+12	8.91E+06

3 震源参数时空特征

该文选取了金寨地震序列的 37 次地震事件。通过反演分析得出了视应力、拐角频率、地震矩等震源参数值,时间变化曲线如图 2~3。

从时间变化显示,视应力、应力降、地震能量、地震矩随时间变化均呈现主震前增强震后明显减弱的趋势,主震时达到最大,震后各参数值降低到相对较低的水平,并趋于平稳。

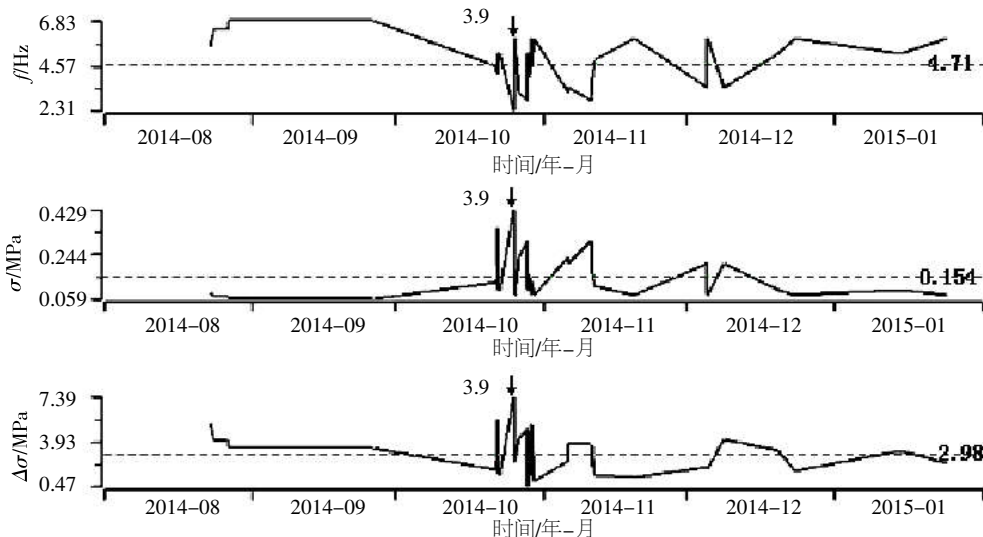


图 2 拐角频率、视应力及应力降时间变化曲线

Fig.2 Curves of corner frequency, apparent stress and stress drop time

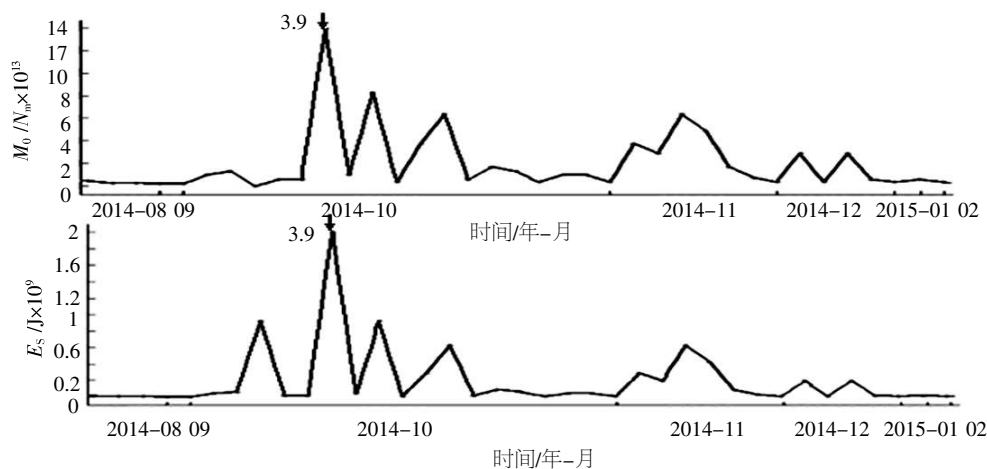


图 3 地震矩、地震能量时间变化曲线

Fig.3 Seismic moment and seismic energy time variation curve

4 震源参数之间的关系

上述计算结果得到了视应力、拐角频率、地震矩等震源参数,它们之间的相关性是一个值得讨论的问题,对分析震源参数的物理意义有着重要的作用。

从图 4~6 看出,视应力与地震矩、震级呈明显的正相关,应力降随着地震矩增加而增加的趋势不明显;拐角频率与地震矩呈明显的负相关;地震矩的对数与震级呈线性相关,拟合直线如下,相关系数为 0.863。

$$\log M_0 = 1.49 M_L + 25.37 \quad (4)$$

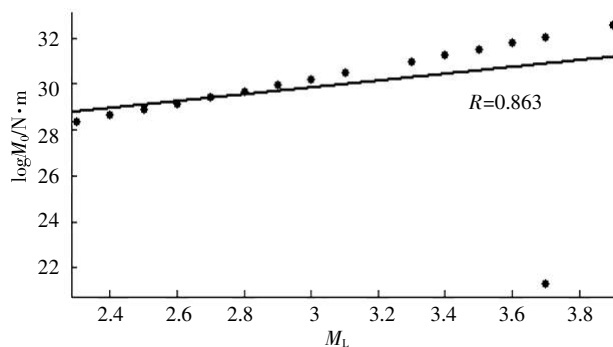


图 4 地震矩对数与震级的关系

Fig.4 Relationship between earthquake moment and magnitude

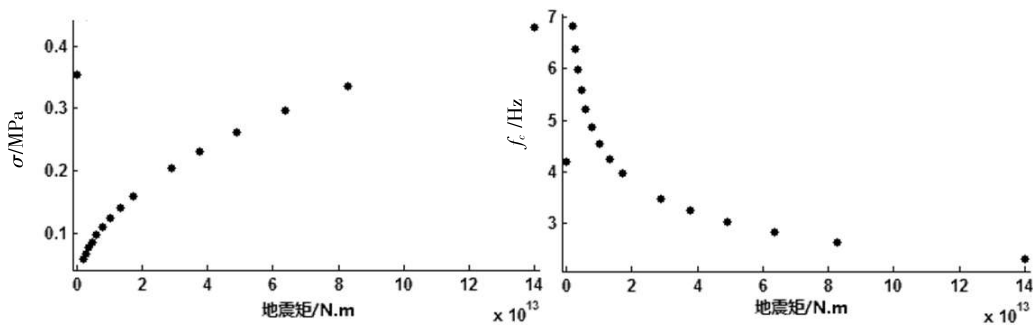


图5 视应力、拐角频率与地震矩的关系
Fig.5 Relationship between apparent stress, corner frequency and seismic moment

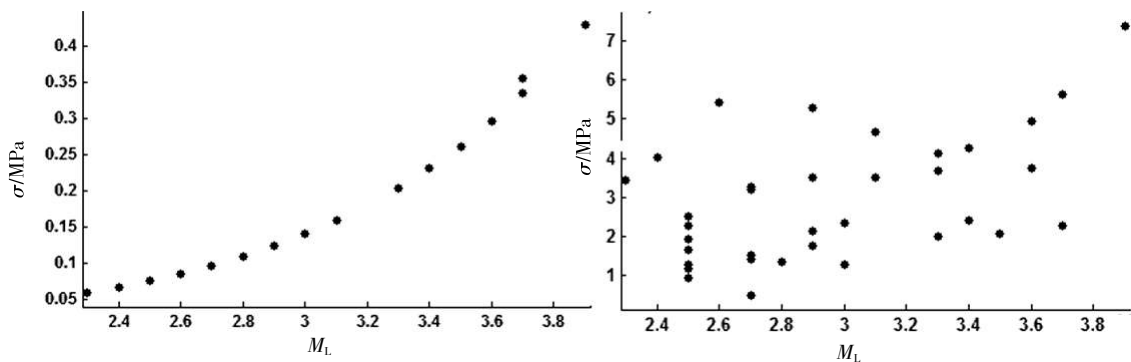


图6 视应力、应力降与震级的关系
Fig.6 Relationship between apparent stress, stress drop and magnitude

5 结语

(1) 利用波形分析反演方法得到了视应力、应力降、地震能量等震源参数值，绘制时间变化曲线，得出各震源参数随时间变化均呈现主震前增强震后明显减弱的趋势，主震时达到最大，震后各参数值降低到相对较低的水平，并趋于平稳。

(2) 通过分析震源参数之间的关系得知，视应力与地震矩、震级呈明显的正相关，应力降随着地震矩增加而增加的趋势不明显；拐角频率与地震矩呈明显的负相关；地震矩的对数与震级呈线性相关，该研究结果对深入了解震源参数的物理意义有着重要的作用。

参考文献:

[1] 王 俊, 吴 晶, 孙业君, 等. 江苏及周缘地区地震精
定位与构造意义分析[J]. 地震地磁观测与研究,
2011, 27(2): 26-32.

[2] Atkinson G M, Mereu R F.The shape of ground motion
attenuation curves in southeastern Canada [J]. BSSA,
1992, 82: 2 014-2 031.

[3] 黄玉龙, 郑斯华, 刘 杰. 广东地区地震动衰减和场地
响应的研究[J]. 地球物理学报, 2003, 46(1): 54-61.

[4] 沈小七, 刘 杰, 陈宇卫, 等. 安徽地区地震波衰减、
场地响应及震源新参数的测定[J]. 地震地磁观测与研
究, 2005, 26(3): 1-10.

[5] 宫会玲. 越西盆地晚第四纪构造活动的初步认识[J]. 华
南地震, 2016, 36 (01): 49-58.

[6] 宫会玲, 冉勇康. 基于 SPOT 影像的安宁河阶地数字地
形分析[J]. 华北地震科学, 2015, 33 (03): 31-36.

[7] Andrews D J.Objective determination of source parameters
and similarity of earthquakes of diferent size [C] \\\n:
Das S, Boatwright J, Scholz C H.Earthquake Source
Mechanics.Washington DC: AGU, 1986, 259-267.