

于俊谊, 吕奥博. 2014年文泰地震序列震源参数研究 [J]. 华南地震, 2017, 37 (1): 62-67. [Yu Junyi, LYU Aobo. Source Parameters Research of 2014 Wentai Earthquake Sequence in Zhejiang[J]. South china journal of seismology, 2017, 37(1): 62-67.]

2014年文泰地震序列震源参数研究

于俊谊, 吕奥博

(浙江省地震局, 杭州 310013)

摘要: 以浙江省数字地震台网记录的文成-泰顺地震序列资料为基础, 使用 brune 模型, 以遗传算法计算了零频极限、拐角频率、震源半径、地震矩等震源参数, 并对各种参数之间的关系进行了分析。研究中使用的文成泰顺地区地震发生于 2014 年 9 月~2014 年 11 月间, 震级范围为 M_L 2.0~4.4 级, 地震数量 165 个。研究表明: 2014 年文泰地震序列的地震矩范围为 $10^{12} \sim 10^{15} \text{ N} \cdot \text{m}$, 震源破裂半径范围为 72~594 m, 应力降范围为 0.06~3.12 MPa, 应力降与震源半径之间未表现出相关关系, 地震矩、拐角频率及体波震级之间表现出对数或半对数线性关系。

关键词: 水库地震; 地震序列; 震源参数

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2017) 01-0062-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.01.010

Source Parameters Research of 2014 Wentai Earthquake Sequence in Zhejiang

Yu Junyi, LYU Aobo

(Earthquake Administration of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China)

Abstract: Based on the Brune model (1970) and the seismic data of Wencheng-Taishun earthquake sequence recorded by the regional digital seismic network of Zhejiang, the paper calculated the corner frequency, zero frequency, source radius and seismic moment with genetic algorithm, and systematically analyzed the relationships between them. The paper studied 165 earthquakes with M_L 2.0~4.4 from September to November in 2017. The result shows that the seismic moments are $10^1 \sim 10^{15} \text{ N} \cdot \text{m}$; rupture radius are 72~594 m; seismic stress drops range from 0.06 MPa to 3.12 MPa. No correlation was found between stress drop and hypocenter radius. log-linear and semi-log-linear relationships were found between seismic moment, corner frequency and body-wave magnitude.

Keywords: Reservoir earthquake; Seismic sequence; Source parameters

收稿日期: 2016-02-02

基金项目: 浙江省地震局科技计划项目“珊溪水库地区地震震源深度研究”(编号: 2017ZJJ03)

作者简介: 于俊谊(1982-), 男, 工程师, 主要从事地震监测方面的工作。

E-mail: yqlyjy@163.com.

0 前言

针对震源参数的研究是地震预测预报工作的基本内容之一。通过震源参数的变化可以探索地震孕育、发生过程中的应力背景变化。震源参数计算的理论较成熟,震源参数研究的成果也比较丰富。

2014年文成-泰顺地震序列发生于珊溪水库附近。珊溪水库位于浙江省温州市境内的飞云江干流中游河段,由珊溪水库工程和赵山渡引水工程组成,具有供水、发电、灌溉、防洪等综合效益。总库容18.04亿立方米。大坝为混凝土面板堆石坝,坝顶高程156.8 m,坝顶长度448 m,最大坝高130.8 m。

文成泰顺地区于2002年7月开始出现小震活动,2002年7~10月该地区发生了最大震级为 M_L 3.9的小震群,2006年2~5月间该地区发生最大震级为 M_L 4.6的小震群活动,2014年9月~12月间该地区再次发生密集小震群,最大震级为 M_L 4.4。于俊谊等对该地区2006年的地震序列进行了震源

参数方面的研究,2014年小震群发生时,文成泰顺地区台站密度较2002年及2006年有所增大,且部分台站由短周期地震计更换为宽带地震计,地震记录质量有所提高。因此本研究以同样的方法使用2014年的地震序列资料再次对该地区的震源参数进行计算,并与该地区2006年地震序列及其它地区地震序列的计算结果进行对比,以期获得该地区的地震构造、震源特征等方面的规律性认识。

1 资料选取

地震资料取自浙江省数字地震台网记录的2014年文成-泰顺地震序列波形事件。浙江台网共有52个子台,其中12个台站安装了短周期地震仪,40个台站安装了宽带地震仪。在文泰地震序列震中30公里内的范围内,共有8个测震台站。我们选取了文成-泰顺地震序列中 M_L 2.0以上且地震记录信噪比高的地震,并从中剔除了双震、三震等波形重叠的地震,最终获得参与计算的地震共165个。地震及台站分布图见图1。

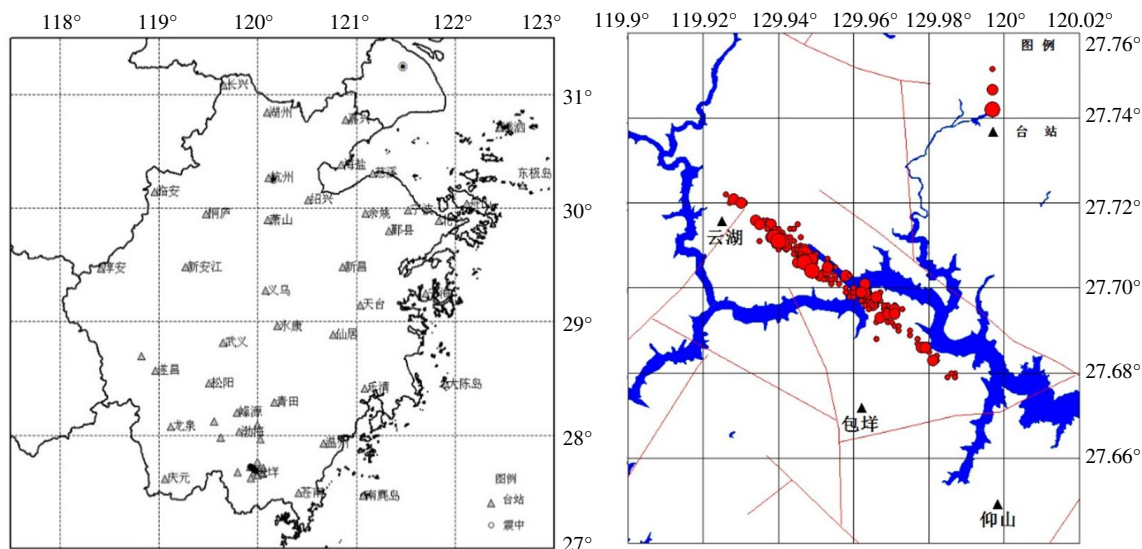


图1 地震及台站分布图

Fig.1 Distribution of seismic stations and earthquakes

2 资料处理

2.1 振幅谱计算

在对资料进行处理时,我们选取两个水平向记录的S波部分计算傅里叶谱。选取的S波部分需包含90%以上的S波能量^[2-3]。为了保证获得稳定可靠的计算结果,在计算傅里叶谱时我们采用

了延时窗算法^[4]。得到水平向的傅里叶谱:

$$O(f) = \frac{1}{2\pi f} \left\{ \left(\sum_{i=1}^n d_j^2(f) \right) \cdot T/nt \right\}^{1/2} \quad (1)$$

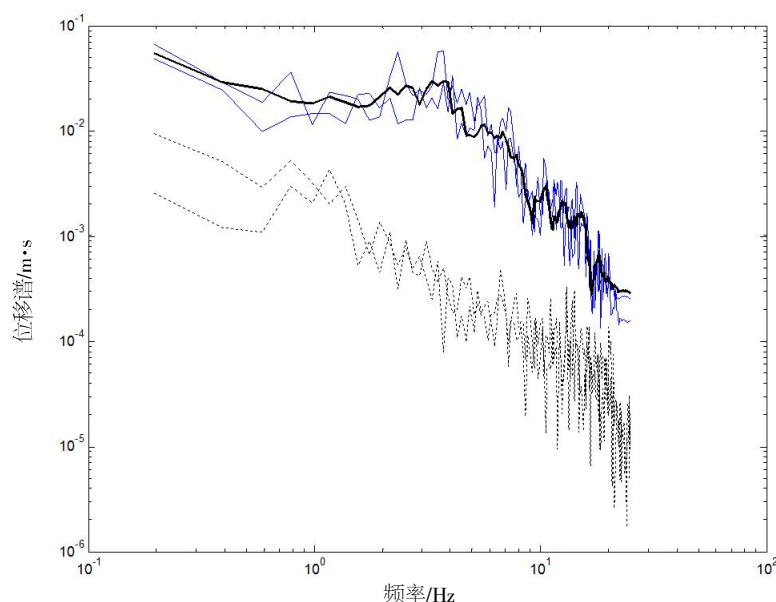
式(1)中, $O(f)$ 为水平向的傅里叶位移谱, n 为数据段总数, T 为整段S波窗长, $1/2\pi f$ 为数据分段窗长, f 为频率。系数 $1/$ 用于将速度谱转换为位移谱。由下式将东西向、南北向的傅里叶谱合成水平向傅里叶谱:

$$O_{ob}(f)=[(O_{EW}(f))^2+(O_{NS}(f))^2]^{1/2} \quad (2)$$

式(2)中 $O_{EW}(f)$ 、 $O_{NS}(f)$ 表示东西向、南北向的傅里叶谱。 $O_{ob}(f)$ 为水平向傅里叶谱。在计算过程中若发现某台站的噪声谱(图 2)过大,则弃用该台站的数据。最后取各有效记录台站的傅里叶谱均值作为该地震的有效振幅谱(图 3)。本研究使用 γ^{-1} 进行几何衰减校正,使用于俊谊等利用联合反演获得的结果进行场地响应校正^[9]。秦嘉政等^[10]研究表明,S 波的非弹性、非均匀性衰减与其本身的尾波衰减一致,因此本研究采用朱新运等通过尾波衰减获得的结果^[6]进行校正。

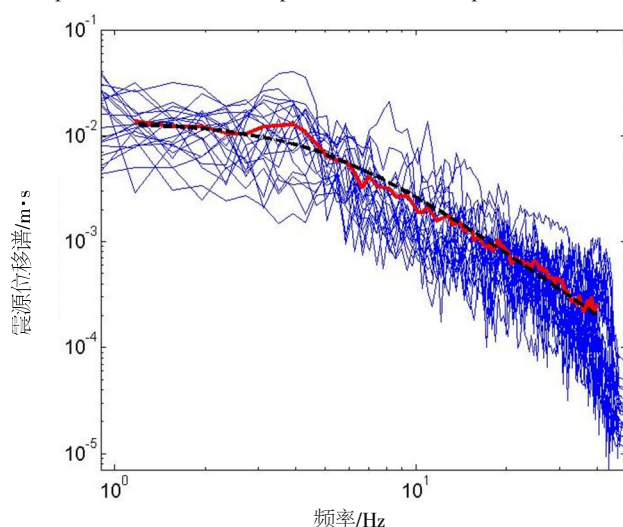
2.2 独立参量计算

由地震位移谱可以得到零频极限和拐角频率两个独立参数。本研究使用遗传算法,以 $\varepsilon = \sum_{k=1}^n \frac{(O_{ob}(f_k) - O_{th}(f_k))^2}{\sqrt{O_{ob}(f_k) \cdot O_{th}(f_k)}}$ 为目标函数^[7]。在 1~18 Hz 之间搜索使目标函数最小的频率值,从而得到零频极限和拐角频率。目标函数中, O_{ob} 为频率点数, O_{th} 为水平向傅里叶谱, k 为根据 ω 平方模型计算的震源谱,为频率点序号。



(细实线表示东西、南北向谱结果,粗实线为两水平向平均结果;虚线为噪声谱。记录台站的震中距为 75 km)

图 2 2014 年 9 月 23 日 $M_L 4.2$ 级地震 WEZ(温州)台记录经场地响应、路径衰减、仪器响应及自由表面校正后的观测谱与噪声谱比较
Fig.2 Site responses, instrument responses and path attenuation recorded by WEZ station in the $M_L 4.2$ earthquake on 23 September 23rd, 2014, and comparison of observation spectrum and noise spectrum after free surface correction



(细实线为各台观测谱数据结果,粗实线为多台平均结果,粗虚线为使用 ω^2 模型数据拟合结果)

图 3 2014 年 11 月 4 日 $M_L 3.0$ 级地震谱数据拟合图

Fig.3 The fitting chart of Fourier spectra data of the $M_L 3.0$ earthquake on November 4th, 2014

3 数据结果

研究使用发生于 2014 年 9 月~12 月间 M_L 2.0~4.4 的文成泰顺地区地震 165 次, 计算结果为地震矩范围为 $1.012 \sim 1.015 \text{ N} \cdot \text{m}$, 震源破裂半径为 72~594 m, 地震应力降范围为 0.06~3.12 MPa。

3.1 近震震级与地震矩及与矩震级的定标关系

使用最小二乘法拟合得到地震矩 M_0 与近震震级 M_L 之间的关系(图 4)为

$$\lg M_0 = 1.11 M_L + 10.06 \quad (3)$$

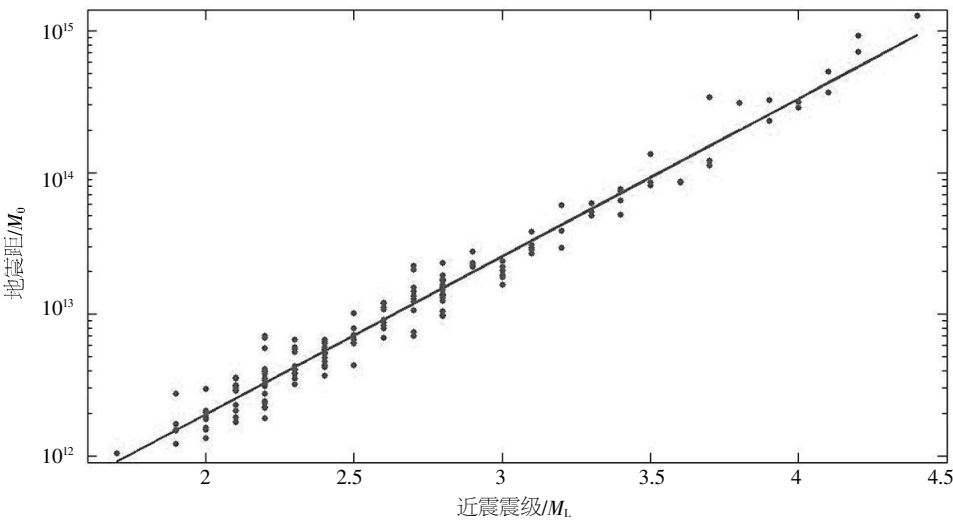


图 4 地震矩与近震震级的关系

Fig.4 Relationship between seismic moment and body-magnitude

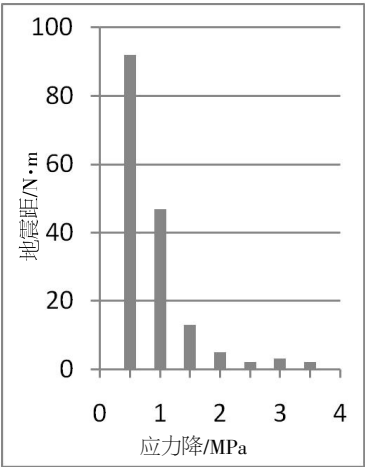


图 5 应力降分布图

Fig.5 Distribution of stress drops

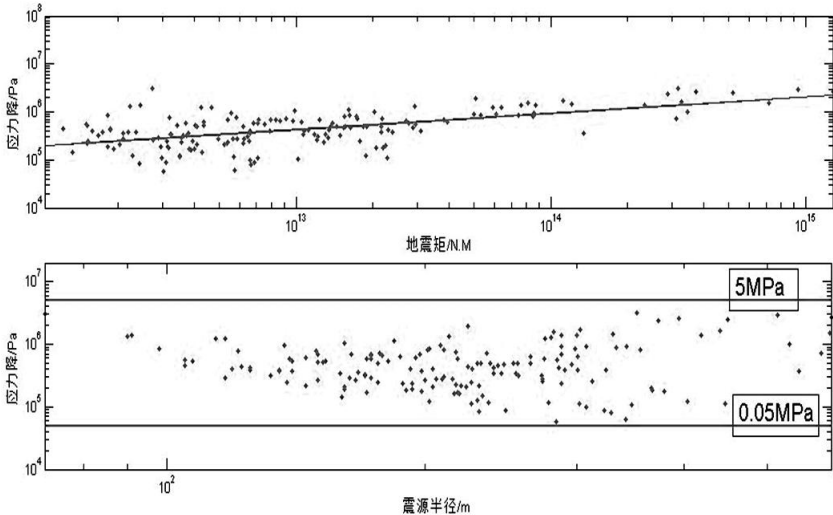


图 6 应力降与地震矩、震源半径间的关系

Fig.6 Relationships between stress drops, seismic moments and rupture radius

3.3 地震矩与震源半径及拐角频率间的关系地震矩

震源半径之间使用半对数关系以最小二乘法拟合进行拟合(图 7), 其结果为:

$$\lg M_0 = 0.0055 R + 11.73 \quad (5)$$

拐角频率与地震矩之间呈现出一定的依赖关系, 拐角频率随地震矩的增大而减小(图 8)。由

3.2 地震应力降 Δ

地震时岩石产生破裂, 岩石间的应力由较高的水平降到较低的水平, 用来表征这一应力变化过程的参数为应力降。本研究得到的地震应力降范围为 0.06~3.12 MPa, 平均值为 0.62 MPa, 应力降的区间分布如(图 5)。应力降与地震矩之间则表现为应力降随地震矩的增大而增大(图 6)。进行数据拟合得到关系式为:

$$\lg \Delta \sigma = 0.34 \lg M_0 + 1.23 \quad (4)$$

应力降没与震源半径之间未表现出明显的关系。

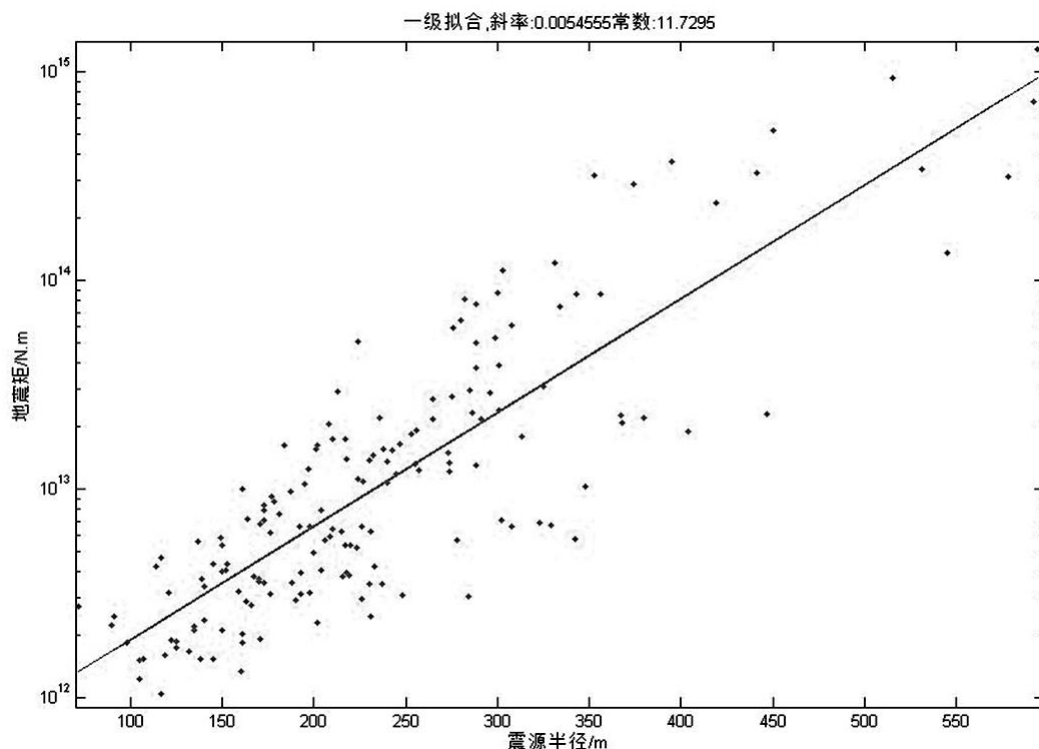
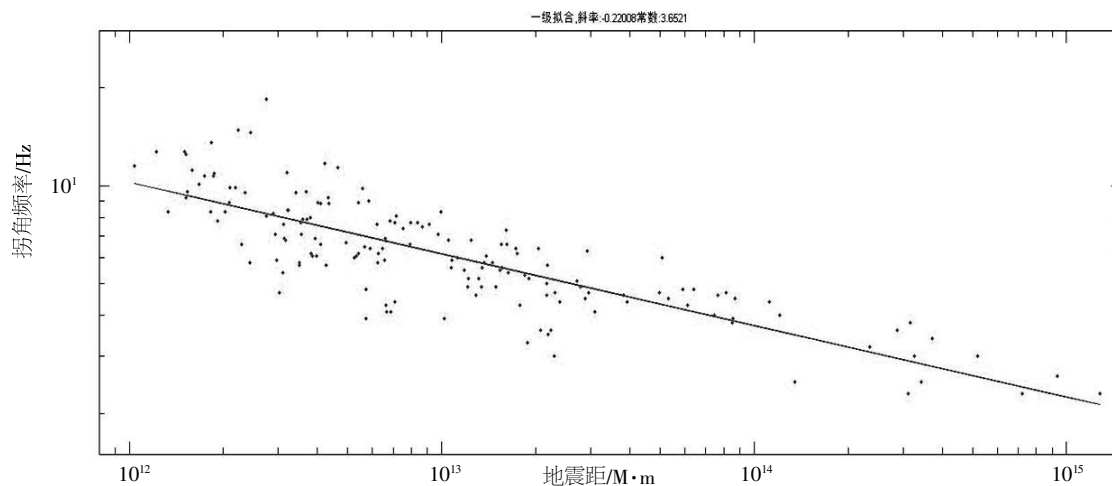


图7 地震矩与震源半径之间的关系

Fig.7 Relationship between seismic moments and rupture radius

图8 拐角频率 f_c 与地震矩 M_0 之间的关系Fig.8 Relationship between corner frequency f_c and seismic moments M_0

Brune 模型可推导出拐角频率与地震矩之间的关系式为:

$$\lg f_c = -\frac{1}{3} \lg M_0 + \frac{1}{3} \lg (\Delta \sigma) + C \quad (6)$$

以该双对数坐标的形式对拐角频率与地震矩之间的关系进行拟合,拟合结果为:

$$\lg f_c = -0.22 \lg M_0 + 3.65 \quad (7)$$

4 结语

作者使用 2014 年文成-泰顺地震序列的地震

波记录, 计算了该序列中 165 个 M_L 2.0~4.4 地震的震源参数, 并对各参数间的关系进行了拟合。地震矩、近震震级、破裂半径、拐角频率等参数之间可以拟合为对数或半对数线性关系。对比拟合系数结果(表 1)发现本研究数据结果与同类研究结果数据基本一致, 地震矩、震源破裂半径和地震应力降与其他地区获得的结果相近。地震应力降与地震矩表现出正相关关系, 而与震源半径间没有表现出明显的依赖关系。

地震矩 M_0 与近震震级 M_L 之间的关系与作者

表 1 相关参数拟合数据结果比较
Table 1 Comparison of the fitted relevant parameters

关系式	系数		关系式来源	地区及区域
	K_1	K_2		
$\lg M_0=K_1M_1+K_2$	1.11	10.11	于俊谊等(2008) ^[9]	浙江珊溪水库地区 2002–2006
	1.14	8.93	李金龙等(2008) ^[10]	浙江珊溪水库地区 2002–2007
	1.01	10.5	于俊谊(2011) ^[11]	浙江皎口水库地区
	1.11	10.06	本研究	浙江珊溪水库地区 2014
$\lg M_0=K_1R+K_2$	0.006 1	11.71	于俊谊等(2008) ^[9]	浙江珊溪水库地区 2002–2006
	0.004 5	11.52	李金龙等(2008) ^[10]	浙江珊溪水库地区 2002–2007
	0.011	10	于俊谊(2011) ^[11]	浙江皎口水库地区
	0.005 5	11.73	本研究	浙江珊溪水库地区 2014
$\lg f_c=K_1\lg M_0+K_2$	−0.26	3.97	于俊谊等 (2008) ^[9]	浙江珊溪水库地区 2002–2006
	−0.26	4.14	蓄水前潘颖等 ^[8]	云南糯扎渡水库地区
	−0.20	3.25	蓄水后库区潘颖等 ^[8]	
	−0.29	3.76	蓄水后库区外潘颖等 ^[8]	
	−0.28	4.30	李金龙等(2008) ^[10]	浙江珊溪水库地区 2002–2007
	−0.13	2.37	陆丽娟等(2015) ^[11]	广西龙滩水库地区
	−0.22	3.65	本研究	浙江珊溪水库地区 2014

使用同一地区 2002 至 2006 年地震序列计算的结果^[9]高度一致,这也说明了本计算结果的稳定可靠性;与李金龙等^[10]使用同一地区 2002 至 2007 年地震序列计算的结果及作者使用浙江皎口水库地震序列计算的结果^[11]大致相同,这几个计算结果之间的差别可能是由于计算方法不同及发震地理位置不同所造成的。

地震矩与震源半径之间的关系与于俊谊等^[9]、李金龙等^[10]使用该地区 2002 至 2007 年地震序列计算的结果大致相同;而与浙江皎口水库地震序列的计算结果略有差异。

拐角频率与地震矩之间的关系与于俊谊等^[9]、李金龙等^[10]使用该地区 2002 至 2007 年地震序列计算的结果、潘颖等^[8]使用云南糯扎渡水库地区地震序列的计算结果大致相同;与陆丽娟等^[11]使用广西龙滩水库地区地震序列计算的结果存在差异。从以上研究人员使用不同地区水库地震资料计算得到的拐角频率与地震矩间的关系可以发现:水库蓄水后使用水库地区地震计算得到的拐角频率与地震矩之间关系中 $\lg M_0$ 的系数均大于使用 Brune 模型计算得到的理论系数 $-1/3$,且同一地区在水库蓄水后 $\lg M_0$ 的系数会较蓄水前增大。这种现象是否是由水库蓄水所引起的,是个别现象还是普遍现象,需要在后续工作中继续研究。

参考文献:

[1] Brune, J. N, (1970) Tectonic stress and the spectra of seismic shear wavesfrom earthquakes, JGR.1970, 75, 4 997–5 009.

[2] 兰从欣,刘 杰,郑斯华,等. 北京地区中小地震震源参数反演[J]. 地震学报, 2005, 27 (5): 498–507.

[3] 秦嘉政,叶建庆,钱晓东,等. 2000 年姚安地震的震源参数[J]. 地球物理学报, 2003, 46 (5): 633–641.

[4] Chael E, Spectral scaling of earthquakes in the Miramichi region of New Brunswick .BSSA,1987.77: 347–365.

[5] 于俊谊,朱新运. 浙江地区 L_g 波路径衰减关系及台站场地响应参数[J]. 地震学报, 2016, 38 (1): 103–11.

[6] 朱新运. 浙江省及邻区尾波 Q 值[J]. 西北地震学报, 2006, 28 (2): 108–113.

[7] 朱新运,于俊谊. 基于 MATLAB 的小震震源参数计算软件研制[J]. 地震工程学报, 2008, 30 (4): 380–384.

[8] 潘 颖, 张晓东,付 虹. 糯扎渡水库地区地震活动和震源参数研究[J]. 地震, 2015, 35 (3): 31–43.

[9] 于俊谊,朱新运. 浙江珊溪水库地震震源参数研究[J]. 中国地震, 2008, 24 (4): 379–387.

[10] 李金龙,邹振轩. 浙江珊溪水库地震: 震源参数测定及断层结构和应力状态描述[J]. 地震地磁观测与研究, 2008, 29 (1): 27–35.

[11] 于俊谊. 浙江皎口水库地震震源参数研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2011, 32 (2): 19–24.