

地震波拐角频率对地震序列的依赖性研究*

朱新运, 钟羽云, 张震峰

(浙江省地震局, 浙江 杭州 310013)

摘要 使用皎口、海城、陡和、浑源等地震序列的地震波记录,研究了拐角频率随地震序列进程的变化特征。为了消除地震震级对拐角频率趋势性变化的影响,求得了每个地震的拐角频率与序列中同震级地震拐角频率的比值随地震序列发展而变化的曲线,较好地反映出该比值的发展进程;即在一个前-主-余地震序列中,同震级前震拐角频率高于余震拐角频率,而对震群地震序列则看不出这种变化。利用地震序列外围地区适当范围小震资料的拐角频率作为背景值,其比值曲线同样很好地反映出地震序列发展的规律。本方法可以作为对地震序列发展趋势进行较客观评估的新方法。

关键词: 拐角频率;地震序列;变化规律

中图分类号: P315.3⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2004)02-0131-06

0 前言

一次中强地震发生后,对地震序列的发展趋势进行准确的判断是防震减灾的迫切需要,也是地震学研究的一个重要课题。随着数字地震台网的迅速普及和数字地震仪性能的提高(宽频带、大动态),相关数字地震学理论研究的深入和发展,以及计算机技术的提高和通讯技术的发展,使我们能在较短时间对数据进行传输和分析处理,以确定该地震的序列特征,判断进一步发震的可能性。

地震震源参数包括震源尺度、地震矩、应力降、拐角频率等,考虑到震源尺度、地震矩、应力降等对震源模型的依赖以及由于计算而引入噪音可能淹没我们需要的信息等原因,本文将注意力集中在由波形直接读取的拐角频率、低频极限及衰减率上,通过一些震例对此进行详细分析。

1 拐角频率的测定

1.1 资料来源

本文资料来源于浙江省重点资助课题《震后趋势快速判断》课题组收集的包括(1)浙江皎口地震序列(1997)、(2)浙江文成一泰顺震群序列(2001)、(3)浑源地震序列、(4)浙江省数字化台站建成(1998年7月)以来所发生的 $M_L 1.7$ 以上并有波形清晰记录的绝大部分地震。其中(1)、(3)为模拟记录进行数字化处理的资料,(2)、(4)为速度数字记录。同时本文还采用了郑治真先生等在文献[1],张天中先生等在文献[2]中的数据。各地震序列的主震参数见表1。

1.2 资料处理

因本文使用了部分经过数字化处理的位移模拟记录资料,由于仪器限制,很多地震波形超限。为了统一,我们仅在P波段选择数据,求得P波拐角频率。

计算地震波拐角频率采用熟知的经典方法,即首先作出地震波的位移谱,然后从图中量出其拐角频率。对地震波进行分析过程中充分考虑了仪器响应、场地和路径影响,并进行了必要的扣除和校正。对宽

* 收稿日期 2003-06-24

基金项目 浙江省科学技术委员会重点项目(991103263)资助

作者简介 朱新运(1968-),男(汉族),甘肃文县人,兰州地震研究所硕士毕业,主要从事地球物理研究工作。

表1 各地震序列的主震参数

序列名称	主震		
	发震时间	震中位置	震级 M_s
皎口序列	1994-09-07	29.49°N, 121.15°E	4.72
陡河序列	1995-10-06	39.76°N, 118.46°E	5.03
海城序列	1975-02-04	40.70°N, 122.72°E	7.34
浑源序列	1999-11-01	39.97°N, 113.87°E	5.6

频带数字仪,其响应平坦段频率上限远大于工作频率段上限,对模拟记录进行数字化处理时采样率为50 Hz,由采样步长确定的上限为25 Hz,也能满足工作要求。采样时间窗长取10 s左右,由此确定的波谱频率下限为0.1 Hz。对两类记录分别处理(其中数字化速度记录要积分一次),可以通过相关软件(pitsa、matlab等)完成,本工作中使用了pitsa软件。

2 地震序列拐角频率的变化特征

很多文献对地震拐角频率随地震序列的发展而发生规律性的变化进行过论述,一般认为前震拐角频率高,余震拐角频率低^[1,3],且地震波拐角频率大小与地震震级大小也有关^[4,5]。我们的结果表明,震级越大,拐角频率越小(图1),这一点与其他研究者^[6]采用地震波其它波段研究结论是一致的。通过对本研究所采用的资料进行仔细观察、对比,我们发现在同一个地震序列中,处于前震序列中的地震其位移谱拐角频率高于处于余震序列相同震级地震位移谱拐角频率,有些甚至相差较大,如图1中竖虚线所示。

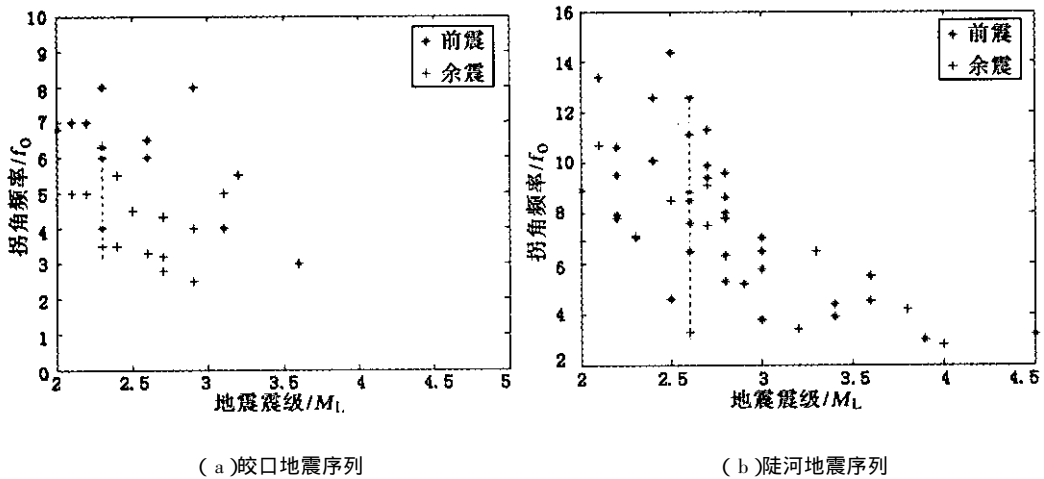


图1 地震序列震级与拐角频率关系

Fig. 1 Relationship between magnitudes and corner frequency.

我们的目的是利用拐角频率的变化尽可能判断地震序列的发展趋势,即找到一种可以和拐角频率相对应的异常量度,并能表现出随时间变化的特征,由此为地震趋势判定提供客观依据。从前述已知,在一个地震序列中,前震拐角频率高,余震拐角频率低,但同时拐角频率随震级发生变化,这两种变化相互叠加干扰,将有用信息淹没。如图2所示具有前震和余震的皎口和陡河地震序列的拐角频率的变化进程,在图中看不到明显规律性的变化。

为了提取有用信息,剥离地震震级对拐角频率规律性变化的影响,在序列中分别挑选同震级地震,求其拐角频率的平均值,再用每个地震实际拐角频率值与平均值相比,作出比值随地震序列的变化图(对不在前震和余震中均出现的同震级地震予以剔除)。并将此方法进一步推广到浑源、海城等地震序列,如图3所示。由图中我们不难看出,对主余震序列,其前震拐角频率的这种比值高于平均水平,而余震拐角频率比值低于平均水平,拐角频率随地震序列的时间进程的变化规律明显地显现出来。

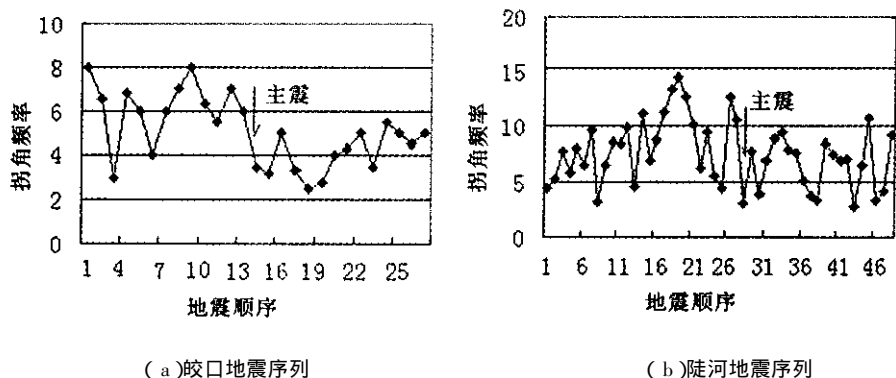


图2 地震序列中地震拐角频率的变化进程

Fig. 2 The variation progress of corner frequencies in an earthquake sequence.

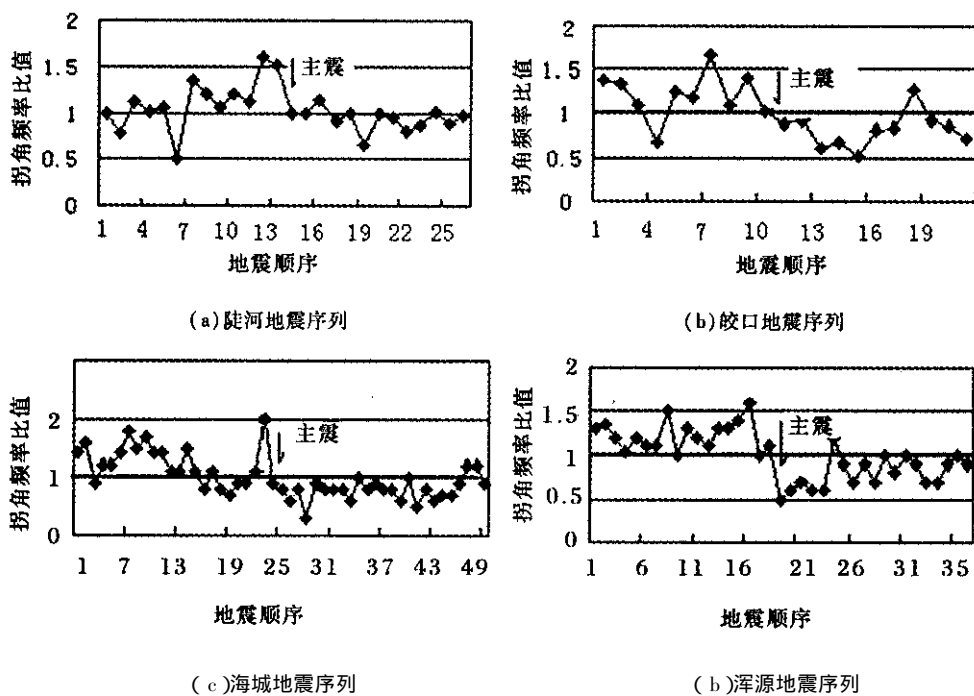


图3 地震序列进程中的拐角频率比变化

Fig. 3 The variations of ratio of corner frequency in an earthquake sequence.

3 拐角频率背景值

前面的结果表明,拐角频率的比值变化对地震趋势发展有明显的指示作用。但我们在获得了地震完整序列的基础之后,求得各级地震拐角频率平均值,进而求得各地震拐角频率与同震级平均值之比的。而在主震发生前的前震活动中无法得到整个地震序列各震级拐角频率的平均值。为此,我们试图在序列震发生区域外围一定范围正常地震活动水平条件下,从这一地区背景地震中寻找拐角频率的背景值,以使上述的方法在判断地震序列的发展趋势中具有可操作性。

我们使用浙江省数字化台站1998年建成以来在正常地震活动水平下所发生的 $M_L 1.7$ 以上并有波形清晰记录的绝大部分小地震,测定其P波拐角频率,测定结果非常离散(图4)。但各震级地震的平均值分布较好,由此,我们使用震级与拐角频率平均值进行了拟和(图5)震级与拐角频率较好地满足关系式:

$$\ln(f_c) = 0.4717(\ln M_L)^2 + 0.3755(\ln M_L) + 1.808$$

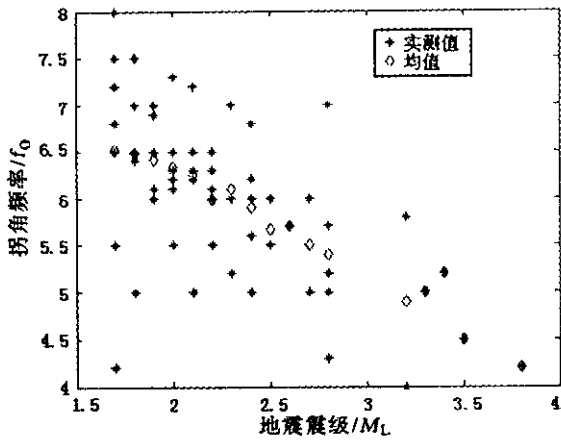


图4 浙江省小震拐角频率与震级

Fig. 4 Corner frequencies versus magnitudes of small events in Zhejiang province.

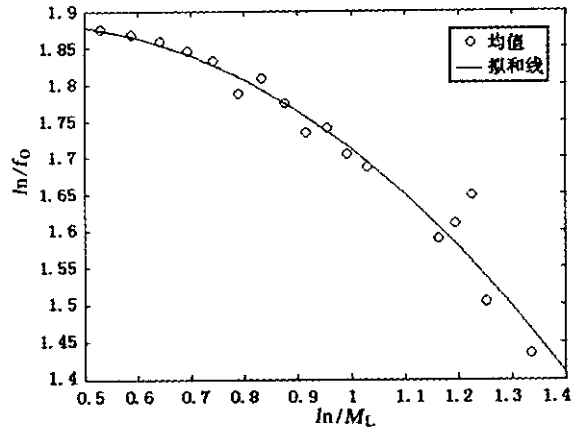
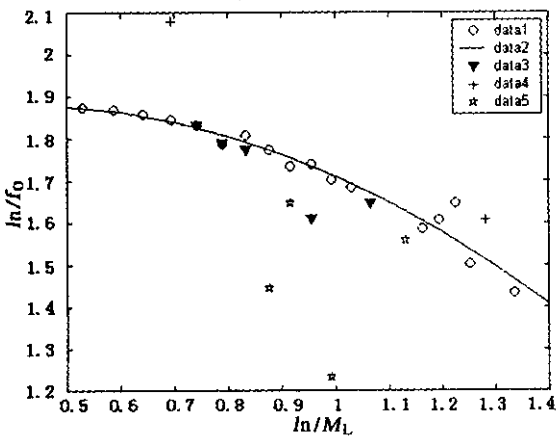


图5 拐角频率均值拟和曲线

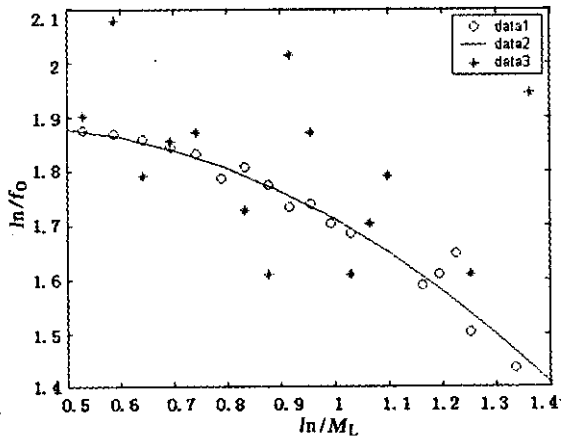
Fig. 5 Polyfit curve of corner frequency mean value in Zhejiang province.

从图5可以看出,小震级地震拐角频率拟和程度较好,较大震级地震拟和程度较差,这可能与使用样本多少有关。拟合残差对数结果在-0.03到0.1之间,即:正向偏离最大处,拐角频率测定均值是拟合值的1.11倍,负向偏离最大处为0.97倍。

完成了对小震拐角频率数据的拟和之后,我们用浙江省近年发生的两次地震序列(蛟口地震序列和文成一泰顺震群型地震序列)的各震级拐角频率均值进行比较(图6)。图中data1和data2分别是浙江省小震位移谱拐角频率均值与拟合值。比较结果是:对蛟口主余震序列,如果在主震前、余震中均有某一震级地震,则该震级地震拐角频率与拟和值很接近(图6(a):data3),某一震级地震仅在主震前出现,则其拐角频率(或拐角频率均值)比拟和值大(图6(a):data4)。反之,某一震级地震仅在余震中出现,则其拐角频率(或拐角频率均值)比拟和值小(图6(a):data5)。对文成一泰顺震群序列,其实测均值与拟和曲线相比非常离散(图6(b):data3)。对比拟和残差与异常量大小之后认为,如果用正常地震活动水平下小震位移谱拐角频率均值代替相对较小范围内的地震序列各震级地震拐角频率均值,并做拐角频率比,同样会较好地反映出序列发展的特征。如果将拐角频率测定时的读数误差看作随机误差,那么在求拐角频率背景值时,使用地震样本越多越好。



(a)蛟口地震序列

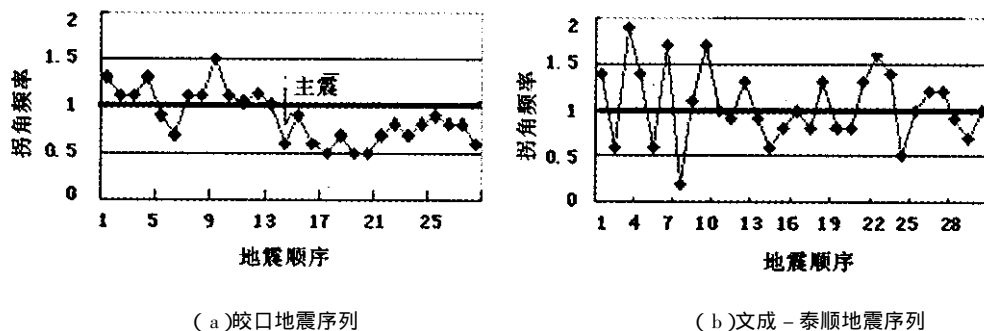


(b)文成泰顺地震序列

图6 浙江省小震拟和值与实际地震序列的均值关系

Fig. 6 Comparison between the background polyval and the mean frequency in real earthquake sequences.

为进一步说明问题,笔者对皎口地震序列和文成—泰顺序列进行了实际分析(图7)。由图7我们看到,对具有前、余震的地震序列(图7(a)),其前震拐角频率明显高于同地区同震级背景地震拐角频率拟和值,而余震拐角频率则低于正常地震活动背景下同地区同震级地震拐角频率拟和值;对于震群型(图7(b)),随着震群的发展,拐角频率比有所降低,但无法分辨出序列中各震级地震相对于正常地震活动背景下同地区、同震级地震拐角频率拟和值的趋势性变化特征。这一点为序列地震震情发展的客观评估提供了一种新的思路和方法。



(a)皎口地震序列

(b)文成—泰顺地震序列

图7 实际地震拐角频率与拟和背景值拐角频率之比

Fig. 7 Ratio of corner frequency in real earthquake sequences to background polyval.

4 结论和讨论

(1) 一个地震序列的地震波拐角频率与该地区背景地震拐角频率的比值随地震序列的发展表现出一定的趋势性变化特征,可用来判断未来地震序列的发展趋势。

(2) 地震波拐角频率随地震序列的这种变化特征可能与区域的应力场(环境应力场)有关。根据陈培善等人的研究^[7],同样大小的地震,如果发生在高背景应力条件下,地震震源脉冲高而窄,相应的高频成分多,拐角频率大;如果发生在低背景应力条件下,地震震源脉冲低而宽,相应的高频成分少,拐角频率小。由此,笔者认为,在一定应力背景下,随着地震序列的发生发展,区域背景应力也有一个同步的释放过程,总体上是递减的。同样大小的地震在地震序列的时间进程中所处位置不同,所对应的背景应力也不同,反映在地震波上则拐角频率不同。

(3) 在一个地震序列中,主震使震源区应力得到很大程度的释放,从而使前、余震地震波表现出明显的差别,其高频成份在前震地震波中远高于余震地震波。在现有的观测及处理条件下,识别出这种差别应该是可能的。

(4) 在本文中,我们使用了拐角频率变化作为基本前兆信息。由于在地震波的处理中涉及到仪器校正、路径扣除等必要步骤,读数时具有主观性,相应地会引入无法避免的误差;且背景值具有区域性特征。因此本文结果有待进一步的震例检验。

[参考文献]

- [1] 郑治真,胡春春,郭亚平,等.海城地震的前、余震波谱变化[J].地球物理学报,1977,20(2):125-130.
- [2] 张天中,马云生,黄蓉良,等.1995年陡河地震前后小震震源参数及其相互关系[J].地震学报,2000,22(3):233-240.
- [3] 刘学军,叶建庆,蔡超平,等.姚安地震序列的震源参数研究[J].地震研究,2001,25(3):240-245.
- [4] 丁温玉,王洪体,田小平.西安及周围地区小震的震源参数[J].西北地震学报,1993,21(2):123-129.
- [5] Savage C J. Relation of corner frequency to fault dimensions[J]. J. Geophys. Res., 1972, 77: 3788-3795.
- [6] T C Shin, R B Herrmann. Lg attenuation and source studies using 1982 Miramichi data[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1982, 177(2):384-397.
- [7] 陈培善, S J Duda. 地震辐射能对环境应力的依赖性[J].地震学报,1993,15(2):146-152.

STUDY ON SEISMIC WAVE CORNER FREQUENCY DEPENDING ON EARTHQUAKE SEQUENCES

ZHU Xin-yun , ZHONG Yu-yun , ZHANG Zhe-feng

(*Seismological Bureau of Zhejiang Province Hangzhou 310013 China*)

Abstract :Using waveform data of Jiaokou , Douhe , Hunyuan and Haicheng earthquake sequences , the characteristics of corner frequency changing with the earthquake process is studied. In order to remove the magnitude affects which imposed on the corner frequency change trend , we obtain the ratio curves of corner frequency values in every event to corner frequency mean values with equal magnitudes in the same earthquake sequence. The curve shows the ratio changing process clearly ;in the foreshock – aftershock pattern sequence , the corner frequency of foreshock is higher than that of aftershock if their magnitudes , are equal , but in swarm sequence this trend is not show. Using the mean value of corner frequency from small events in a larger area as the background value ,we obtain the ratio curve which reflect the changing process of earthquake sequence also clearly. The method which gives the changing trend in a earthquake sequence could be a new way for earthquake prediction.

Key words : Corner frequency ; Earthquake sequence ; Regular pattern of change