

唐山与通海两大地震的强余震的差别 及其原因探讨

李保昆^{1,3}, 刁桂苓², Avi Shapira³, 冯向东²

(1. 中国地震台网中心, 北京 100045; 2. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021;

3. International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, RG19 4NS, UK)

摘要:1970年通海地震序列与1976年唐山地震序列的对比表明,两次地震的余震衰减,余震强度和频度,余震分布区的形状等有区别。对此提出了一种解释:若余震分布区域的长轴长度 a 与短轴长度 b 之比 a/b 越大,则震源体越接近于一个面,在一个面上进行的调整过程应当比较简单,余震的衰减比较快,强余震比较少而小;反之则震源体越表现出一个体的形态,在一个体内进行的调整过程应当比较复杂,余震衰减比较慢,强余震比较多而大。对于那些在主震后能够很快进行定位并勾画出余震区域轮廓的情况,可以尝试利用 a/b 快速判断后面强余震的多少以及余震衰减的快慢。

关键词:唐山地震;通海地震;地震序列;余震震中区形状;震后趋势判断

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)02-0161-06

Differences between the Strong aftershock of Tonghai and Tangshan earthquakes and Discussion on Its Mechanism

LI Bao-kun^{1,3}, DIAO Gui-ling², Avi SHAPIRA³, FENG Xiao-dong²

(1. China Earthquake Network Center, Beijing 100045, China;

2. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;

3. International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, RG19 4NS, United Kingdom)

Abstract: Comparison of the seismic sequences between Tonghai earthquake in 1970 and the Tangshan earthquake in 1976 indicates that the attenuation, number, intensity of aftershocks and shape of epicenter areas were different. In this paper, an interpretation is proposed that aftershocks reflect the adjustment process of the medium in seismic source after severe fracture. If the ratio(a/b) from major axis length a and minor axis length b of the aftershock epicenter area is large, it implies the source volume being near to a plane and the adjustment process at the plane should be simple, so the aftershock attenuation is faster and strong aftershocks are less. In opposite case, with small a/b , the source volume is near to a cubic and the adjustment process is more complicated, so the aftershock attenuation is slower and strong aftershocks are more and stronger. It can be attempted to use the parameter a/b to estimate quickly that it the stronger aftershocks will be more or not, and the aftershock attenuation will be slow or not for the case that the aftershocks can be located immediately after the mainshock.

Key words: Tangshan earthquake; Tonghai earthquake; Seismic sequence; Geometry of epicenter area of aftershocks; Estimation of aftershock tendency

0 引言

震后趋势判断是地震预测的一项重要内容。大地震之后人们最关心的是后面还有没有强余震？强余震多还是少？余震活动的时间长还是短？对此已经开展大量研究：陈立德^[1]震后趋势早期判定方法；刁桂苓^[2]了邢台地震群中的子序列；谷继成等^[3]总结了强余震的时空分布规律并作出理论解释；韩渭宾等^[4]研究震后趋势早期综合判定方法；刘文兵^[5]给出台湾集集地震和河北大同地震序列的定量模型；刘正荣^[6]则根据地震频度衰减提出地震预报的准则；平建军等^[7]探讨了强余震灰色预测的方法；王碧泉等^[8]提出强余震的准周期性问题的；赵志新等^[9]分析了中国大陆性地震的余震活动 p 值；庄建仓^[10]针对主震和余震提出从大森公式到 ETAS 模型。莘海亮等^[11]对甘肃临泽震群、冯建刚^[12]对民乐—山丹地震序列，进行了地震精确定位探索。

1970 年 1 月 5 日云南通海 $M_s 7.7$ 地震与 1976 年 7 月 28 日河北唐山 $M_s 7.8$ 地震都没有前震，两次地震的主震震级几乎一样大，但是它们的余震活动时间和强余震的数量却差别很大。本文拟通过对比，分析它们在时间、空间、强度三方面的差别及其可能原因，并据此探寻快速判断强余震的方法。

1 唐山和通海地震的余震对比

1.1 余震衰减

唐山和通海地震主震的基本参数和震源机制解参数^[13-15]列于表 1 中。可见，唐山主震的震源机制节面 I (NP1) 走向 30° ，倾角 90° ，通海主震的震源机制节面 I 走向 126° ，倾角 87° ，均为右旋走滑断层。它们分别与唐山地震地面破裂走向^[13]和通海地震地面破裂走向^[14]一致，说明上述节面分别是唐山主震和通海主震的破裂面。

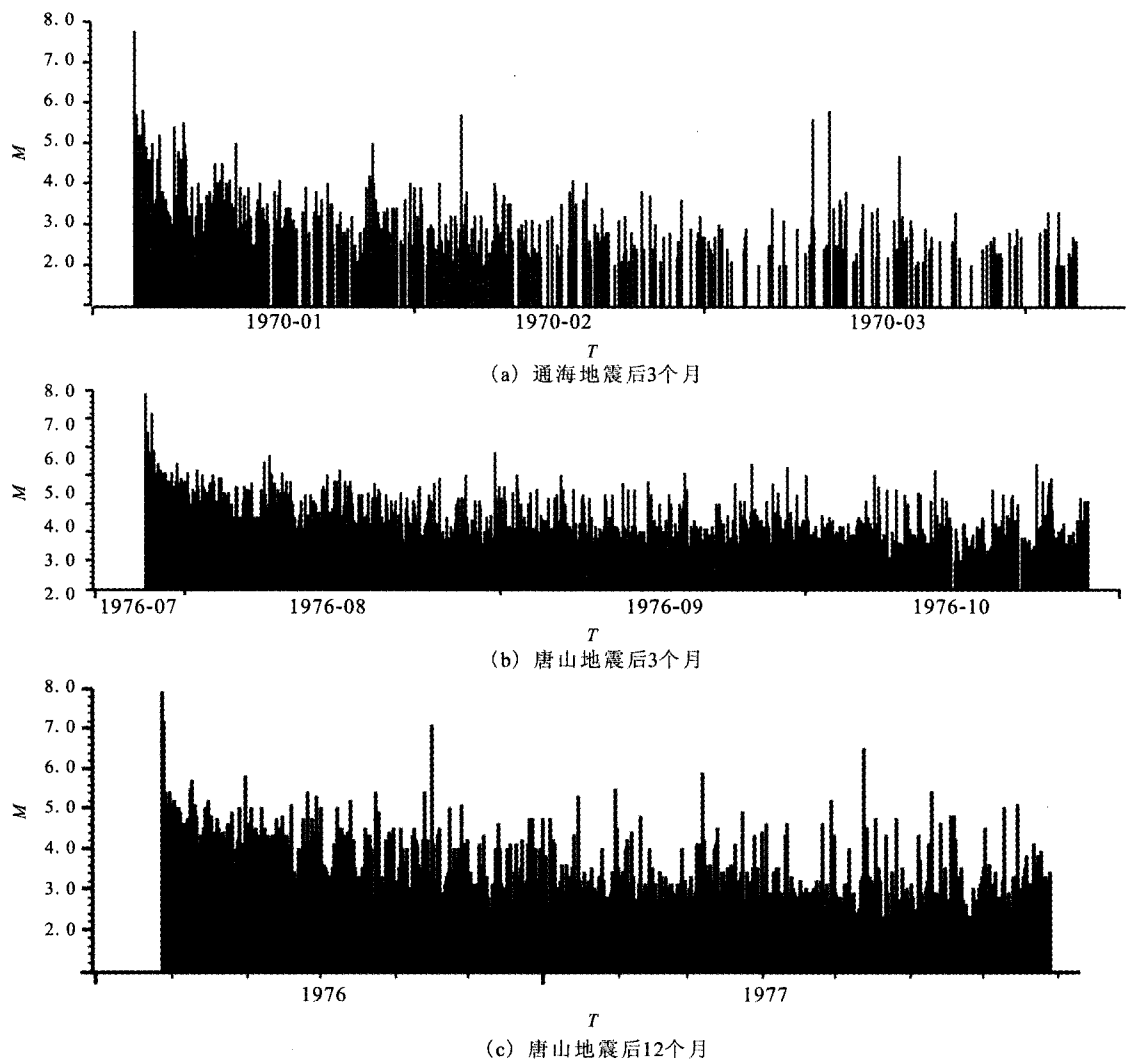


图 1 通海和唐山地震的余震 $M-T$ 图

Fig. 1 The aftershock $M-T$ diagrams of Tonghai and Tangshan earthquakes.

表 1 唐山和通海主震的基本参数和震源机制解参数

	发震时间	纬度 N/°	经度 E/°	深度 /km	震级 /M _s	NP1		NP2		P 轴		T 轴	
						走向/°	倾角/°	走向/°	倾角/°	方位角/°	倾角/°	方位角/°	倾角/°
唐山地震	1976-07-28 03:42:56	39.6	118.2	11	7.8	30	90	120	90	75	0	345	0
通海地震	1970-01-05 01:00:34.0	24.1	102.6	13	7.7	126	87	217	83	171	3	81	7

图 1(a)是通海主震后 3 个月 M_L2 以上余震的序列图,图 1(b)是唐山主震后 3 个月 M_L2 以上余震的序列图。由它们的对比清楚地看到,在主震后 3 个月通海余震的衰减很明显,而唐山余震的衰减不明显。事实上,在通海主震后第 3 个月的 3 月 13 日发生了 $M_s5.5$ 地震之后,连续 3 个月没有发生 $M_L5.0$ 或更大地震。在唐山主震后第 4 个月的 1976 年 11 月 15 日发生了 $M_s6.9$ 地震,在主震后第 10 个月的 1977 年 5 月 12 日发生了 $M_s6.2$ 地震;而从主震后满一年开始,连续 3 个月没有发生 $M_L5.0$ 或更大的地震。因此,在下面的分析中,我们取通海地震序列的时间长度为主震后 3 个月;取唐山地震序列的时间长度为主震后 12 个月(图 1(c))。在地

震序列的分析中,我们把 M_s 统一换算成 M_L 。统一使用 M_L 。

1.2 余震强度与频度

通海地震没有 M_s6 以上余震,最大 1 次余震为 2 月 5 日 $M_s5.7$ 。唐山地震的 M_s6 以上余震有 4 次,最大 1 次为 7 月 28 日 $M_s7.1$,其次是 11 月 15 日 $M_s6.9$ 。在历次版本的《中国地震目录》^[15-16] 中,都把 $M_s4.7$ 及以上的地震称做强地震,因它们有各种不同程度的破坏。根据换算公式 $M_s=1.13M_L-1.08$ ^[17], $M_s4.7$ 相当于 $M_L5.1$ 。我们取整数,把 $M_L5.0$ 及以上的余震称做强余震。通海和唐山地震的强余震序列见图 2。

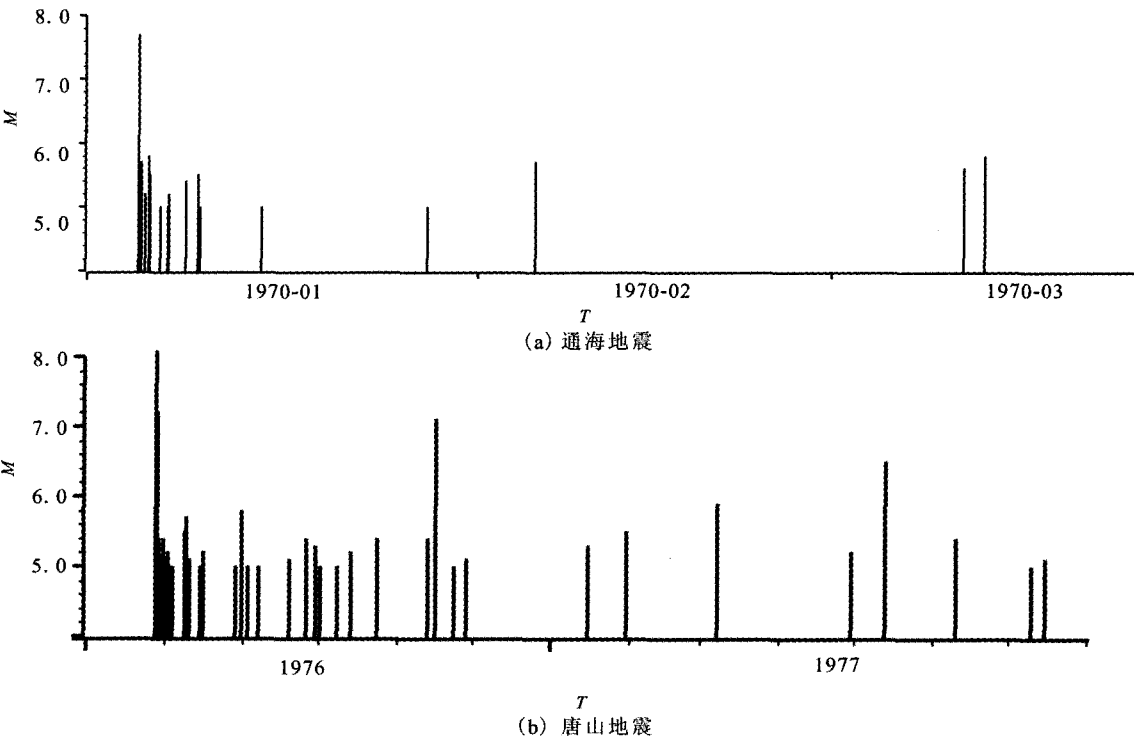


图 2 通海和唐山 $M_L\geq5.0$ 强余震序列

Fig. 2 The $M_L\geq5.0$ strong aftershock sequences of Tonghai and Tangshan earthquakes.

比较一下这两个图可以看到,唐山地震的强余震比通海地震的强余震震级大,数量多。通海地震的强余震只有 16 次;唐山地震的强余震在 1 年内有 78 次,在前 3 个月内有 65 次。

1.3 余震的震中分布区域宽度

通海地震序列的主震后 3 个月的震中分布如图 3(a)所示。在震中密集区的北东方的华宁与澄江之间,1 月 27 日发生了 1 次 $M_L5.0$ 地震,并在它附近

也引发了一些更小的地震。刘赛君^[18]认为它们与通海震中分布区之间有五、六十公里的间隔,不属于通海地震序列。我们同意刘赛君的意见。这样测出通海余震震中分布区的长轴长度 $a=110\text{ km}$ 、短轴长度 $b=50\text{ km}$,长轴长度与短轴长度之比 $a/b=$

2.2。唐山地震序列的主震后 12 个月震中分布如图 3(b)所示。由图测出唐山余震震中分布区域的长轴长度 $a=160\text{ km}$ 、短轴长度 $b=120\text{ km}$,长轴长度与短轴长度之比 $a/b=1.3$ 。

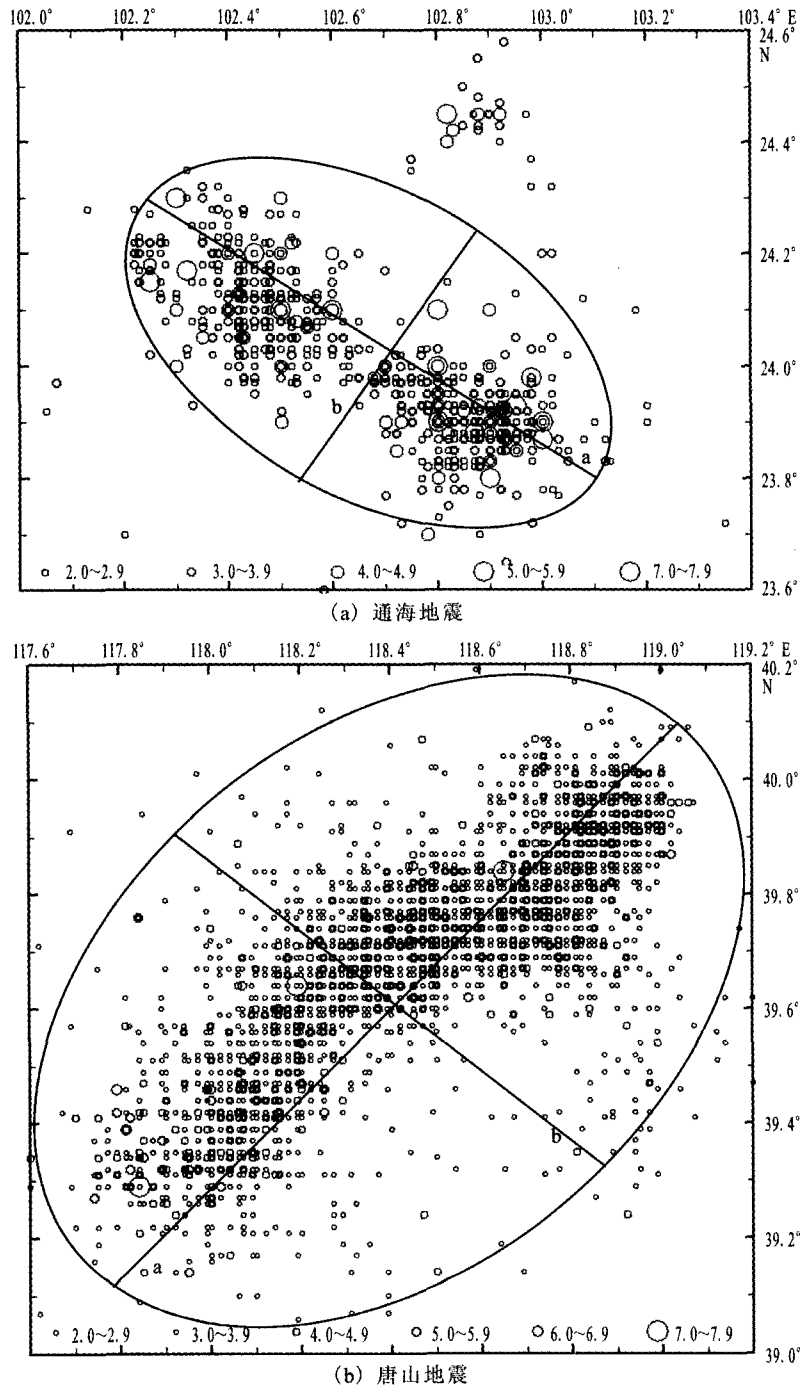


图 3 通海和唐山地震序列 $M_L \geq 2$ 地震震中分布

Fig. 3 Epicenters of $M_L \geq 2$ aftershocks in Tonghai and Tangshan earthquake sequences.

2 余震差别的成因探讨

一次大地震发生后,震源区的介质遭受了严重

破坏,需要经过一个调整过程才能逐步恢复到平稳状态,余震就是这个调整过程的表现。余震震中分

布区域就是进行这个调整过程的震源体在地面的投影。如果余震区的长、短轴长度之比 a/b 比较大,余震区的形状比较狭长,则震源体比较扁。在 a/b 非常大的极端情况下,震源体趋近于一个面,符合破裂面震源模型。如果余震区的长、短轴长度之比 a/b 比较小,余震区的形状比较阔宽,则震源体不象一个面而呈现出一个体的形态。在 a/b 趋近于1的极端情况下,震源体趋近于一个球体或方体。如果调整过程是在一个面上进行的,则这个调整过程应当简单些,余震应当比较小并且少,余震的衰减也应当快些;如果调整过程是在一个球体或方体内进行的,则这个调整过程应当复杂些,余震应当比较大而且多,余震的衰减也应当慢些。属于两种极端情况是很少出现的,实际出现的情况大都界于这两种极端情况之间,也就是根据不同的 a/b 处于偏向某一种震源体模型的状态。通海地震序列的 a/b 比唐山地震序列的 a/b 大,表明通海地震的震源体比唐山地震的震源体更接近于破裂面震源模型,或者说唐山地震的震源体比通海地震的震源体更偏离于破裂面震源模型。因此唐山主震后的调整过程比通海主震后的调整过程要复杂些,唐山地震的余震比通海地震的余震大而且多,衰减也慢些。

3 余震分布区域的长、短轴长度之比用于快速判断强余震

按照上面的解释,一次大地震之后,余震区域长、短轴长度之比 a/b 可以作为判断强余震多少、余震衰减快慢的参数。但是,如果这个参数测出得太晚,它就失掉了预报意义。能不能在主震后尽快测出呢?通海主震后1月5日、6日两天的余震震中分布基本表现出了后来震中分布区域的轮廓,如图4(a)所示。由图测出,通海主震后两天余震震中分布区的长轴长度 $a=90$ km,短轴长度 $b=43$ km,长、短轴长度之比 $a/b=2.1$ 。时间再缩短这个参数就难以测出了。唐山的情况要好得多。唐山主震后12小时(截止于7月28日15点59分,即当日18点45分 $M_s 7.1$ 地震发生之前将近3个小时)的震中分布就表现出了后来震中分布区域的轮廓,如图4(b)所示,余震震中分布区域的长轴长度 $a=120$ km,短轴长度 $b=110$ km, $a/b=1.1$ 。而7月28日、29日两天的余震震中分布把该轮廓就表现得更加充分了,如图4(c)所示, $a=135$ km, $b=110$ km, $a/b=1.2$ 。由此看来在大震后短时间内画出余震震中分布区域并测出长、短轴 a, b 是可能的,就可以尝试用

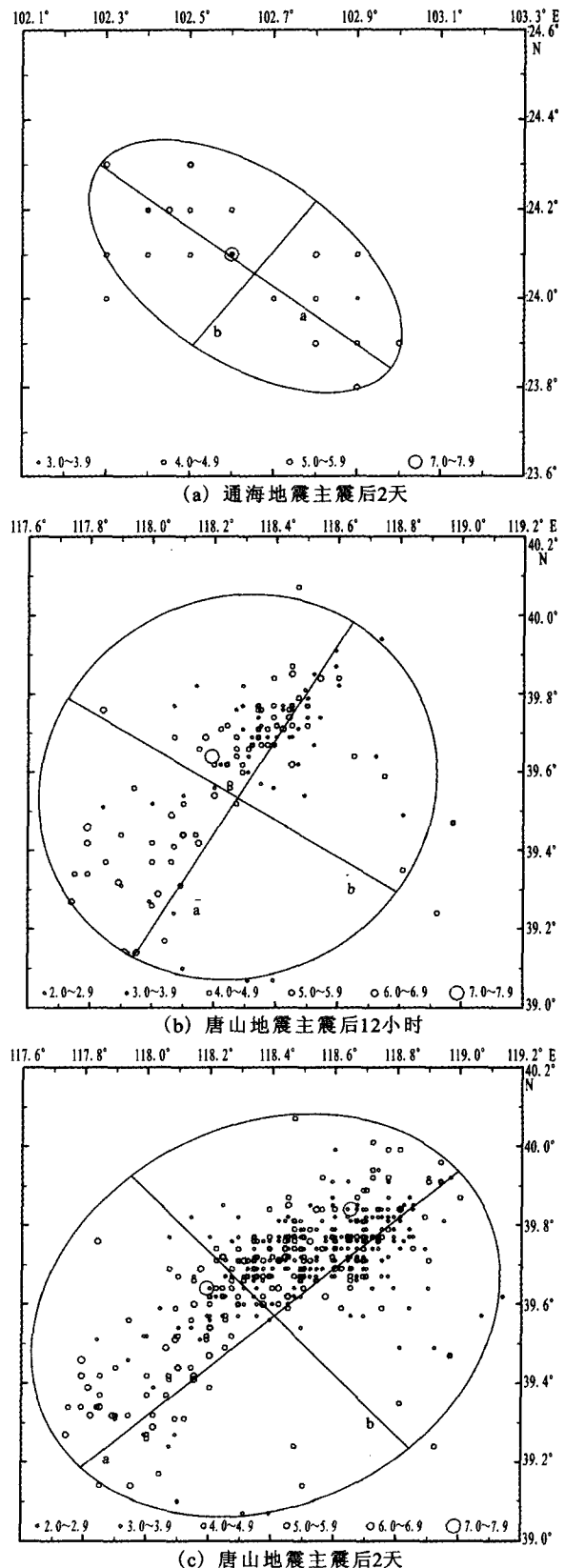


图4 通海和唐山主震后短期内余震震中分布
Fig. 4 Epicenters of aftershocks in short time after the mainshock of Tonghai and Tangshan earthquakes.

a/b 来判断后面强余震的多少以及余震衰减的快慢。

在对整个地震序列测量震中分布区长、短轴时,是手绘震中密集区的外包线,将周边一些零散的震中画在线外,以减小这些零散震中的影响。但在主震后短时间内勾画余震分布区域轮廓线时,则须珍视每一个震中,尽量把它们都画在线内。这是因为在余震震中分布尚未充分显示时,每个已有震中都自然具有较大权重。

4 结论

通过对比看出,唐山地震序列与通海地震序列在时间、空间、强度三方面均存在明显差异:唐山地震的余震比通海地震的余震衰减得慢,强余震比较多而且大,震中分布区域的长、短轴长度之比 a/b 小。我们认为 a/b 反映了震源体的形态: a/b 越大,震源体就越接近于破裂面震源模型,调整过程就应当越简单,余震的衰减就应当越快,余震就应当越少而小; a/b 越小,震源体就越偏离于破裂面震源模型,这个调整过程就应当越复杂,余震的衰减就应当越慢,余震就应当越多而大。这个解释能否成立需要更多地震序列的检验。不过我们相信,自然界的任何一种现象,如果是发生在二维的面上一般要比它发生在三维的体内简单些。如果上述解释成立,则余震分布区域的长、短轴长度之比 a/b 是一个很重要的参数,它反映着实际震源体与震源的破裂面模型之间的符合程度或偏离程度;在实用意义上,对于那些在主震后能很快通过定位勾画出余震震中分布区域轮廓的地震序列,可以用它快速判断余震衰减的快慢和强余震的多少,从而有希望成为一种预报手段。

[参考文献]

- [1] 陈立德,蔡静观,孙志昆,等.震后趋势早期判断的初步研究[J].地震研究,1992,15(4):355-365.
- [2] 刁桂苓,王泽皋.邢台地震群中的子序列[J].地震学报,1988,10(2):138-145.
- [3] 谷继成,谢小碧,赵莉.强余震的时空分布规律及其理论解释[J].地球物理学报,1979,22(1):32-46.
- [4] 韩渭宾,王虹,曾健,等.中强以上地震的震后趋势早期综合判定方法研究[J].地震学报,1993,15(1):15-21.
- [5] 刘文兵,马丽.台湾集集地震和华北大同地震序列的定量模型分析[J].地震,2004,24(1):155-162.
- [6] 刘正荣,孔昭麟.地震频度衰减与地震预报[J].地震研究,1986,9(1):1-12.
- [7] 平建军,李永庆,张清荣.地震序列较强余震快速响应灰色预测的方法探讨[J].地震学报,1999,21(1):70-74.
- [8] 王碧泉,杨锦英,王春珍.强余震的准周期性[J].地震学报,1979,1(2):154-165.
- [9] 赵志新,尾池和夫,松村一男,等.中国大陆性地震的余震活动 p 值[J].地震学报,1992,14(1):9-16.
- [10] 庄建仓,马丽.主震和余震——从大森公式到 ETAS 模型[J].国际地震动态,2000,(5):12-17.
- [11] 莘海亮,张元生,郭晓,等.2004年6月甘肃临泽震群地震精确定位[J].西北地震学报,2008,30(1):71-74.
- [12] 冯建刚.利用双差地震定位法对民乐—山丹地震序列重新定位[J].西北地震学报,2008,30(1):62-65.
- [13] 梅世蓉主编.一九七六年唐山地震[M].北京:地震出版社,1982.
- [14] 刘祖荫主编.一九七零年通海地震[M].北京:地震出版社,1999.
- [15] 顾功叙主编.中国地震目录[M].北京:科学出版社,1983.
- [16] 李善邦主编.中国地震目录[M].北京:科学出版社,1960.
- [17] 国家地震局震害防御司.地震工作手册[M].北京:地震出版社,1990.
- [18] 刘赛君.通海地震余震活动与发震机理——利用余震序列的一种尝试[J].地震研究,1983,6(2):141-150.