

# 关于地震趋势快速判断的初步研究

毕秋菊 刘维贺 范世宏 齐玉芳 郑田新

(国家地震局兰州地震研究所,兰州 730000)

**摘要** 从讨论地震序列的空间分布特征出发,结合地震学中的常规手段,研究了  
对地震趋势进行快速判断的方法。对于如何利用单台地震资料进行地震趋势的快速  
判断做了初步尝试,取得一些有益的结果。

**关键词:** 趋势预报 地震序列 空间分布特征

## 1 前言

一次中强地震发生后,人们最为关心的问题就是今后还会不会发生更大的地震?特别是短期内,震情趋势会如何发展?这就需要对震情趋势作出快速判断。目前判断震情趋势的方法主要是地震活动性方法,如地震频度衰减法(h值法)、地震信息熵K值等等,这些方法在地震趋势判断中有比较显著的效果,但对地震资料的要求比较严格,要取得符合要求的地震序列的资料往往需要比较长的时间,有时需要几天的时间,有时甚至需要十几天的时间,这就延误了对震情趋势的判断。能否利用地震序列本身的资料缩短判定地震趋势的时间呢?这对于地震现场的工作是十分重要的。本文从三个方面做了讨论:首先从地震序列的空间变化特征来研究地震空间演变特征与未来地震趋势发展的关系;其次根据单台地震资料,从点震源地震活动的特点出发,充分利用地震序列信息快速判断地震趋势;最后利用常规预报方法研究地震序列不同时间内各项指标变化的特征以达到快速判定地震趋势的目的。

## 2 地震序列空间变化特征

从已有的研究结果看,大多注重于研究地震时间序列的特征,而对地震序列的空间变化特征研究较少。从震源物理看,地震序列的空间演变与地震类型、介质条件、地质构造背景等都应该有比较密切的关系。把地震分为主余震型、震群型和孤立型,这是大多数地震学家能够接受的。那么,不同的地震类型相应地震序列空间演变有什么特征呢?或者说,能否从地震序列空间演变特征来判断地震类型呢?这个问题对于快速判断地震趋势是十分有意义的。

当某一活动构造带应力集中,形成地震扭结点,且介质达到破裂的临界强度时,将发生地震,我们可以按以下三种情况考虑。第一,如果某一条活动构造,尤其是比较大的构造与多条构造交汇时,可能形成多个地震扭结点。在这种情况下,发生震群型地震的可能性比较大,地震序列空间活动反映出的特点为不易收缩,地震空间活动有可能在某一区域相对集中,当然,从时间序列来看,衰减较慢。第二,若发震断层只与一条构造交汇,只形成一个地震扭结点,且断层两盘错动过头或错动不到位时,必然要产生一种使断层回复或继续错动的动力,这个错动力比原来的错动力要差几个数量级,这就有可能在主震发生以后,再发生次级余震,即属主震余震型地震。主余震型地震序列的空间变化反应出的特点是,地震发生后短时间内发散,但很快向

原震中收缩,且余震基本上在原震中周围活动。第三,如果一个断层形成一个地震扭结点且一次错动恰好到位,那么余震少且小,不向外围扩散,仅在震中周围活动。从已有的震例看,震群型地震多数不在原地重复,共轭断层容易发生双震,而主余震型地震中比较大的余震均在主震周围活动等特点均符合上述分析结果。

研究了邢台等6次地震序列(表1)的空间演变情况,其中邢台、银川地震为震群型,景泰、共和、九条岭、门源地震为主余震型。为叙述简便。我们称开始发生的较强地震为显著地震,对于主余震型地震来说,显著地震即是主震。图1—图6给出了地震空间发散特征,图中纵坐标S代表与显著地震的距离。从图中可以看出以下特点:

(1)震群型地震相对主余震型地震,发散范围较小,如邢台地震发散范围大约为60 km,震级近乎相当的共和地震,余震发散范围达70 km以上。对于相对较小的地震,亦是如此。九条岭地震震级为5.3级,但余震扩散到了70 km,而银川地震震级为5.4级,余震却只在10 km左右的范围内活动。

表1 震例目录

序号	发震时间	纬度( $\varphi^{\circ}\text{N}$ )	经度( $\lambda^{\circ}\text{E}$ )	$M_s$	地点	类型
1	1966-03-22	37°32'	115°03'	7.2	邢台	震群
2	1984-01-06	37°59'	102°10'	5.3	九条岭	主余
3	1988-01-04	38°04'	106°14'	5.4	银川	震群
4	1986-08-26	37°42'	101°34'	6.4	门源	主余
5	1990-04-26	36°07'	100°18'	7.0	共和	主余
6	1990-10-20	37°07'	100°36'	6.2	景泰	主余

(2)有两个震群型地震在显著地震发生后,地震并不活跃。而是平静了几天后,地震序列才开始活动。这表明在地震活动的过程中,其应力集中区域内的闭锁区并没有完全解锁,某些局部区域仍处于闭锁状态,这就有可能再次发生强度较大的地震。

(3)从收缩过程来看,震群型地震随地震序列的发展,并非很快地收缩,而是需要一个比较长的时间过程。而主余震型地震则不然,虽然发散范围较大,但主震发生后,立即向震中区收缩,如九条岭、景泰等地震。对于共和地震来说,虽然收缩过程较慢,但与震群型地震还是有显著差别的。这可能与共和地震序列本身的特征有关。共和地震虽然是主余震型地震,但它的衰减过程很慢,直到1994年,还发生了一次6.0级强余震和多次5级地震。

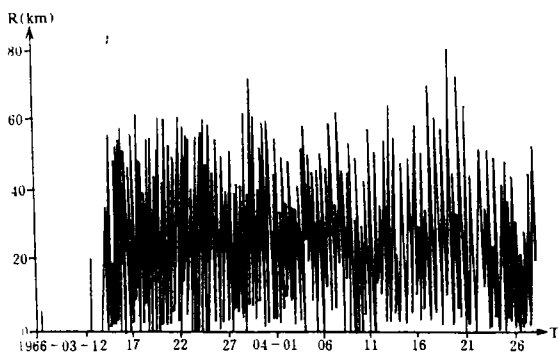


图1 邢台地震序列发散曲线

Fig.1 Diffuse curve of the Xingtai earthquake sequence.

除了研究余震的发散范围外,还研究了地震序列余震的发散速率和余震与主震相对角度

的变化,即是否有定向迁移的特征等因素,但其结果并不理想。对于余震发散范围的研究仅是初步的,只得到一些定性的结果。但这种方法有可能在快速判断震情趋势中起一定的作用。

### 3 用常规监测台网地震资料对地震趋势快速判定

目前,用地震时间序列判断未来地震趋势的方法很多,但对地震序列的资料要求较为严格。一般来说,较强地震发生后,要花费几天以上的时间才能得到较为完整的地震序列资料。另外,众所周知,地震发生后,余震序列的重记现象十分严重。由于上述种种原因,要想使地震序列达到比较严格的标准,无疑是很困难的。这样,问题转化到如何在尽可能短的时间内,利用地震序列本身的资料,对未来地震趋势作出判断。

假设某一较强地震发生后,存在着一个常规地震台,它对震中区的监测能力是一定的。利用这个单台的资料便可对地震序列作出分析,当然,这样考虑问题有个前提,即地震发生后,余震仅限于较小范围内活动。

G-R 公式要描述地下介质的应力状态,反映在地震活动水平上则是大小地震的比例关系。可以想象,在较大地震发生后的短暂时间内,地震活动的实际情况是很难符合 G-R 公式的。基于上述考虑,我们就有可能利用单台地震资料,忽略资料检验,在短时间内对未来的地震趋势作出判断。

以 1990 年 4 月 26 日共和地震为例。甘肃省地震传输台网的湟源台距震中 110 km,截止到 27 日 15 时,共发生余震 66 次,其中最小震级为 Ms2.5。Ms2.5 地震即是我们计算 h 值所需要的最小震级  $M_0$ 。显然,地震刚刚发生,余震是在一定的相对比较小的范围内活动,一般来说,湟源台对 2.5 级地震漏记的可能性不大,即使

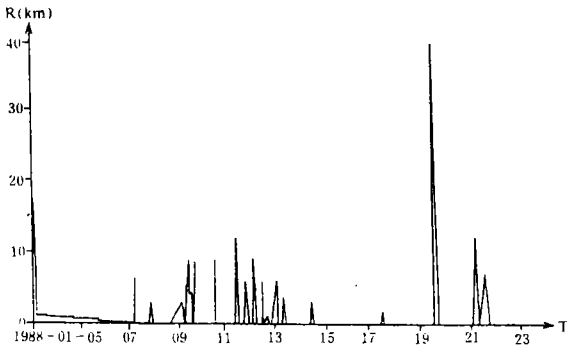


图 2 银川地震序列发散曲线

Fig. 2 Diffuse curve of the Yinchuan earthquake sequence.

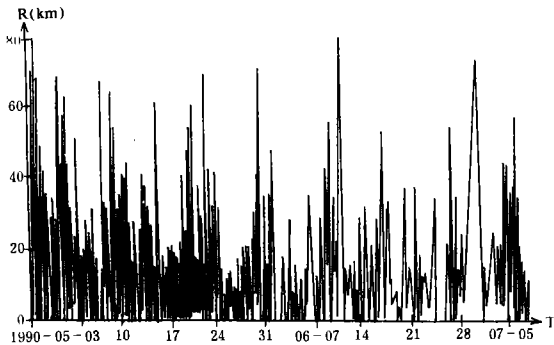


图 3 共和地震序列发散曲线

Fig. 3 Diffuse curve of the Gonghe earthquake sequence.

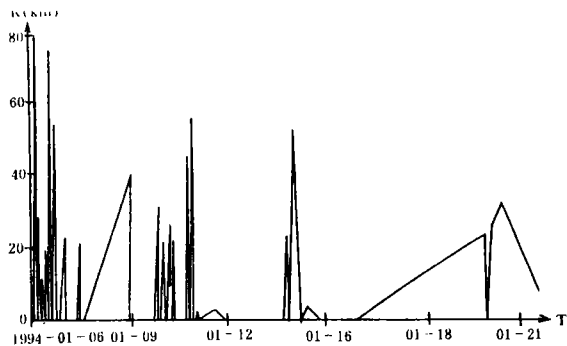


图 4 九条岭地震序列发散曲线

Fig. 4 Diffuse curve of the Jiutiaoling earthquake sequence.

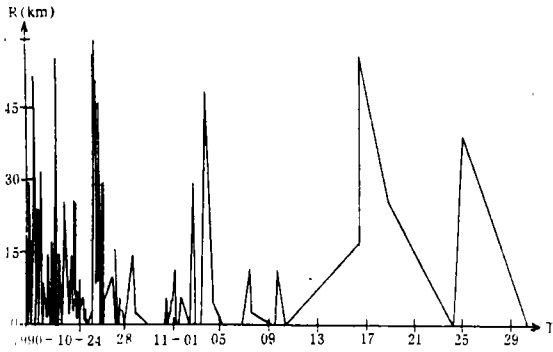


图5 景泰地震序列发散曲线

Fig. 5 Diffuse curve of the Jingtai earthquake sequence.

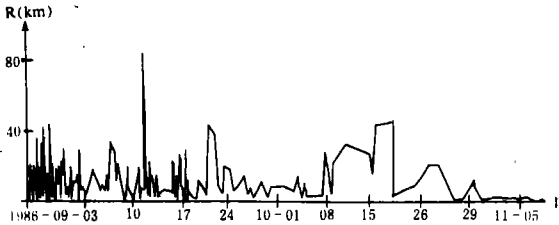


图6 门源地震序列发散曲线

Fig. 6 Diffuse curve of the Menyuan earthquake sequence.

有个别地震漏记,对整个计算结果也不会产生本质的影响。

由于资料只记录到27日15时,所以不可能直接以天为单位计算 $h$ 值,在这里以2小时和4小时为单位分别计算了 $h$ 值,然后再转变成以天为单位的 $h$ 值,计算结果见表2。从表2看出,计算的 $h$ 值都超过了1,据此可以判定共和地震为主余震型。这一结果与现场计算结果十分接近,现场计算结果为1.9,但使用的地震个数达2000多。这说明,利用单台地震资料,在短时间内,是可以对未来地震趋势做出判断的。

表2 共和地震 $h$ 值计算结果

单位(小时)	$h$ (小时)	$h$ (天)
2	1.0	1.9
4	0.9	1.7

#### 4 利用常规方法对未来地震趋势的快速判定

分析地震序列所使用的比较普通的方法是 $b$ 值横截距法和 $h$ 值法。这两种方法主要是利用主震后短时间内发生的地震序列来推测该地区的近期强余震震级并判断地震类型。研究了1980年以来甘肃及邻区的几次余震较多的地震序列,并与外省的大同、邢台、炉霍地震序列作了比较。分别用主震后3天、4天、5天和10天的地震序列计算出未来强余震的震级并进行了回顾性检验。选择了不同的起始震级以使所研究的地震个数保持在100~200的范围内从而接近甘肃地区的情况。

表3给出了甘肃及邻区5个地震序列以及外省3个地震序列的包含主震和不包含主震的 $b$ 值斜线横截距以及由 $h$ 值法计算出的最大后续地震的震级。根据吴开统、刘正荣等人研究的结果,不包含主震的 $b$ 值横截距对应主震后的近期强余震,而包含主震的 $b$ 值横截距对应晚期强余震(本文不讨论晚期强余震)。最大后续地震的震级也反映了主震后的地震活动水平。分析表3不包含主震的 $b$ 值横截距和最大后续震级以及实际发生的强震,我们总结出如下几个特点:

(1)与我国东部地区的地震活动相比较,甘肃及邻区大震发生后,小震活动的水平低,数目少,大震后的小震频度超过300次者甚少。一般是10~20次,或稍多一些,几乎没有小震的孤立型地震(例如1993年10月26日托来6.0级地震)也占有相当的数量。因此,当大震后的小震数太少(远少于50次)以致无法计算 $b$ 值横截距或 $h$ 值等参数时,这样的地震很可能属孤立型或者衰减较快的主余震型序列。

(2)除1990年4月26日共和7.0级地震外,其它几次中强地震序列衰减都很快。大震后的小震绝大多数都是在主震后1~2天内发生的,到第3天,地震序列已趋于平稳。从表2可以看出,不论是b值横截距还是最大后续震级,用主震后3天、4天、5天、10天的地震序列计算的结果已十分接近。由此看来,震后3天之内的地震序列已基本反映了全序列的变化情况,掌握了这一特点,就会使我们及时抓住机会,对地震趋势作出快速判断。

表3 b值横截距最大后续震级及强余震统计表

地震 序列	主震参数		自主震算 起的时间 (天)	不包含主 震的b值横 截距(M <sub>L</sub> )	包含主震 的b值横 截距(M <sub>L</sub> )	h值 (天)	最大 后续 震级	实际发生的强余震
	时间	震级(M <sub>L</sub> )						
木 里	1980-02-02	5.8	3	4.2	5.3	2.4	4.2	1980年2月10日发生4.0级 地震1次
			4	4.1	5.2	2.5	4.1	
			5	4.3	5.3	2.2	4.2	
			10	4.3	5.2	1.9	4.3	
九 条 岭	1984-01-06	5.3	3	4.0	4.8	1.3	4.2	1984年1月6日发生4.1级 地震1次
			4	4.0	4.8	1.5	4.1	
			5	4.1	4.7	1.3	4.2	
			10	4.2	4.8	1.4	4.1	
门 源	1986-08-26	6.4	3	5.4	5.8	3.2	5.0	1986年8月26日发生5.4级 和5.0级地震各1次 9月17日发生5.2级地震1 次
			4	5.4	5.8	3.4	4.9	
			5	5.4	5.8	3.0	4.9	
			10	5.4	5.8	2.9	4.9	
共 和	1990-04-26	7.0	3	5.2	6.0	2.0	5.5	1990年4月30日发生5.1级 5月7日发生5.9级、5月13 日发生5.0级、5月16日发生 5.8级地震各1次
			4	5.2	6.0	2.0	5.4	
			5	5.5	6.1	1.8	5.6	
			10	5.5	6.0	1.6	5.7	
景 泰	1990-10-20	6.2	3	5.1	5.5	2.1	5.6	1990年10月20日发生4.7 级地震1次,4.1级地震2次, 11月26日发生4.0级地震1 次
			4	5.1	5.5	2.3	5.5	
			5	5.0	5.5	2.3	5.4	
			10	5.0	5.5	2.6	5.4	
邢 台	1966-03-08	7.2	3	7.0	7.1	2.7	7.5	1966年3月22日发生7.3级 地震1次,截止到3月31日 发生6.9、6.2、6.1、6.0级地 震各1次,5.0~5.9级地震 42次
			4	7.0	7.1	2.7	7.4	
			5	7.0	7.1	2.2	7.3	
			10	7.0	7.1	1.9	7.4	
炉 霍	1973-02-06	7.6	3	6.6	7.0	0.97	5.0	1973年2月8日发生6.6级 和3月24日发生6.0级地震 各1次,到3月24日为止,发 生5.0~5.9级地震5次
			4	6.6	7.0	1.1	5.7	
			5	6.6	6.9	1.2	5.4	
			10	6.5	6.9	1.3	5.2	
大 同	1989-10-18	5.7	3	6.46	6.51	1.7	5.7	1989年10月19日发生6.5 和5.9级地震各1次,5.5级 地震2次,10月23日发生5. 2级地震1次
			4	6.56	6.56	2.1	5.5	
			5	6.56	6.56	2.1	5.5	
			10	6.47	6.50	1.7	5.5	

(3)  $b$  值横截距和最大后续震级在某些地震序列中是有差异的。从表 3 可以看出,除木里、九条岭地震序列外,其它 6 次地震用同一个序列算出的两个震级的差别是比较大的,但与实际发生的地震作对比,我们发现与这些震级接近的地震在主震后的近期(一个月左右)都发生过。这说明这种差别并不是由某种误差引起的,而是地震序列本身具有的特征,是内在因素的一种表现形式。这对于我们正确预报地震有一定的指导意义。

(4) 主震的大小对后续地震也有影响。在甘肃及其邻近地区,当主震的震级  $M_s \leq 6.0$  (即  $M_L < 6.3$ ) (如木里、九条岭地震序列)时,与  $b$  值横截距或最大后续震级相应的地震全序列只有一次;而主震震级  $M_s > 6.0$  (如门源、共和地震序列)时,与  $b$  值横截距或最大后续震级相应的地震全序列都不止一次:门源地震序列  $b$  值横截距为 5.4,最大后续震级为 5.0,实际发生 5.4、5.2 和 5.0 级地震各一次;共和地震序列  $b$  值横截距和最大后续震级相互之间差别较大,大的达 5.7,小的为 5.2,实际发生 5.0、5.1、5.8 和 5.9 级地震各一次。因此,以后如果出现主震震级  $M_s > 6.0$  的序列,可考虑预报与  $b$  值横截距或最大后续震级相当的强余震。当主震震级  $M_s \leq 6.0$  时,如果已发生的序列中有与  $b$  值横截距或最大后续震级相当的地震,就不再进行预报了。

(5) 观察我们所研究的地震序列,发现在  $b$  值横截距或最大后续震级附近发生的余震有时还受到地区活动水平差异的影响。例如 1986 年 8 月 26 日门源 6.4 级地震和 1990 年 10 月 20 日景泰 6.2 级地震,尽管主震大小相当,但门源序列主震后的余震活动远比景泰序列活跃,不仅频度高,而且震级大。门源序列的强余震大小与  $b$  值横截距或最大后续震级基本吻合,而景泰序列的强余震震级要低于  $b$  值横截距,更低于最大后续震级。实际上,研究了这两个地区平时的小地震活动后我们发现,门源地区要比景泰地区频繁得多。因此,可以认为地震序列的活动水平与区域地震活动水平有一定的关系。

(6) 包含主震和不包含主震的  $b$  值横截距之间是有差别的,但也有少数序列差别是不明显的。大的横截距之差达 1.0,如木里序列。一般情况下,小的也可达 0.4 左右,如门源序列和景泰序列等。而邢台、大同序列的差值小到 0.1 左右,甚至不到 0.1。这说明一次主震的震级对  $b$  值斜线的倾斜产生的影响是很小的,可能相对较小的地震对于  $b$  值的大小起的作用更大一些。这也与不同的地震序列有关,对于主余震型地震,大地震的作用相对较小,对于震群型地震和孤立型地震,大地震的作用相对较大。

前面讨论的只是对部分震例的总结,由于大震发生后的发展过程是十分复杂的,情况是千变万化的,而目前我们对地震的认识还相当肤浅,因此,我们总结的这些特点具有很大的片面性和局限性。我们希望这些研究结果能在今后的地震预报实践中,起到抛砖引玉的作用。

## 5 小结

(1) 利用地震序列的空间发散特征有可能对地震趋势作出快速判断。对于震群型地震,开始发散的范围较小,且收缩较为缓慢;对于主余震型地震,开始发散的范围较大,但收缩比较快。

(2) 显著地震发生后,可以利用常规台网的单台地震资料对未来地震趋势作出判断,这样,可以缩短判断未来地震趋势的时间。

(3) 利用常规方法,对 8 个震例作了研究,分别采用了 4 个时间段,计算了地震序列的  $b$  值和  $h$  值,结果比较稳定。这样可以认为,地震序列在其发展的 3~10 天内,其性质基本就确定了。当然,这项工作还需进一步研究。

一个较强地震的孕育过程和发震过程都是极其复杂的,对于其类型的判断也是相当困难的。这不仅与地质条件有关,而且与介质环境、地球动力学过程都有极其密切的关系。以上的研究结果是初步的,仅供在今后判断地震趋势的工作中作为参考。

(本文 1994 年 9 月 21 日收到)

## PRIMARY STUDY ON THE RAPID JUDGMENT OF EARTHQUAKE TENDENCY

Bi Qiuju Liu Weihe Fan Shihong Qi Yufang Zheng Tianxin

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

### Abstract

In this paper, the method of rapidly distinguishing the seismic trend is studied based on the spatial distribution characteristics of seismic sequence and by using the common ways in seismology. The preliminary test was made to rapidly judge the trend using the data from a single station and some useful results were obtained.

**Key words:** Trend prediction, Seismic sequence, Spatial distribution characteristic