

西北地区中强震前b值与小震调制比的相关变化

刘江峰

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文选取了西北地区1972年以来发生的10次中强震,对这些地震前震中区b值和小震调制比的变化进行了系统的对比研究。发现有7次地震,从震前两年左右开始,震中区b值变化与小震调制比变化出现显著相关现象,而且震级大的地震,其相关时段也较长。

另外,选择了甘肃和青海交界地区的两个地震活动水平相对较高,且地震台网监测能力较强的地区,对1972年以来b值和小震调制比的变化进行了对比检验,两个地区各有两个时段的b值和小震调制比值显著相关,这些时段都对应了本地区或邻区发生的中强震。

本文的研究表明,在某些较大地震发生前的一段时间内,在震中区有些地震活动性参数可能会出现相关变化。这种现象有可能成为地震预报的依据之一。

一、前 言

许多地震活动性参数往往都与同一种因素如地壳应力等有关。那么,在某些地区或某段时间内,它们之间是否会出现一些相关现象?我们能否通过对某些参数的对比研究提取一些对地震预报有益的信息?以往人们注意到的“相关”,大多是不同地区地震的呼应或者某些地震前兆在大时间尺度上的某些同步现象。而对于同一地区不同地震参数连续变化的对比研究不多。笔者试图在这方面进行一些探索。为此,首先选择了b值和小震调制比进行了研究。

将b值的变化应用于地震预报的研究已见诸于国内外许多文献。其出发点是认为b值大小取决于介质中应力水平的高低^[1]。当某一地区出现低b值时,则认为地壳中应力水平较高,从而可帮助判别地震危险区。

秦保燕等人在1981年提出了用小震调制比预报地震的方法,并进行了一系列研究^[2、3、4]。该方法基于这样一种观点,即认为较大地震发生前,随着震源区介质中应力水平的提高,外因对小震的调制触发作用会不断增强,受固体潮调制影响发生的小地震数目

所占比例也会增高。因而可取每月在引潮力较大的某一时段（朔、望日前后某一时段）发生的小震数目与该月小震总数之比（称之为小震调制比），作为监视危险区应力水平变化的一个标志。根据小震调制比的变化预报地震发生的时间和地点。

依据上述观点，b值和小震调制比都与地壳介质中的应力水平有关。那么，这两种地震活动性参数在较大地震前是否会出现某些相关变化？如果这种现象存在，对于地震预报无疑具有重要意义。

本文对陕甘宁青四省（区）中强震前b值和小震调制比的变化进行了系统的对比研究，得到了一些有意义的结果。由于该地区七十年代以来未发生过7级以上强震，所以，本文研究的震例均为中强震。

二、中强震前b值与小震调制比变化

本文采用了兰州地震研究所编辑的陕甘宁青四省（区）地震目录。该地区地震监测台网是在1971年以后逐步完善的，所以文中选用了1971年以后的资料，资料截止于1987年2月。

以往在用某些地震活动性参数预报地震的研究中，资料的取舍、区域范围的确定等等常常因人而异。因而对同一次大地震不同的研究者所得结果有时相差甚大。为了避免人为因素的影响，在本项研究中从资料的选取到计算、绘图都采用计算机处理。为此，首先在微机上建立了含有夏历日期项的陕甘宁青四省（区）地震数据库。其次，对四省（区）1972年—1987年2月发生的所有5.0级(M_s)以上地震进行了逐个筛选。

由于地震数目较少时，计算b值误差较大，所以只能对那些小地震较多且地震台网控制能力较强的地区进行研究。为了保证在置信度为95%时，所计算的b值标准差不大于25%，只选取那些震前以震中经纬度为中心， $4^\circ \times 4^\circ$ 范围内， $M_s \geq 1.0$ 级小震月平均数在10次以上的中强震进行研究。共选出了10次地震，它们的震级、发震时间、地点、震中位置可参看表1。

对b值的计算采用最大似然法，以半年为区间逐月滑移，震级下限取 $M_s = 1.0$ 。在个别地区，由于地震台网较少会造成一些小震漏记，从而会使b值计算结果系统偏低，但本文主要研究的是b值的相对变化，可不考虑这种影响。

小震调制比的计算方法如下：选取每月朔、望日及其前后各一天，即夏历每月三十（该月无三十，则取二十九）、初一、初二、及十四、十五、十六为固体潮调制时段，计算每月发生在这六天中的地震数目与该月地震总数之比，即小震调制比。也采取以半年为时段计算逐月滑移。小震调制比的自然概率约为0.20。

对于所选出的10次地震，以每次地震的震中经纬度为中心，取 $4^\circ \times 4^\circ$ 区域计算了震前六年半时间内b值和小震调制比的连续变化。因为调制比是反映受固体潮调制影响的地震数目与地震总数之比例的一个量，一次主震后余震的发生，主要是主震后震源区的应力调整等因素所致，另外，余震序列的b值与正常地震活动时期的b值也有所不同，所以，在计算调制比和b值时，在主震发生当月只选取主震发生之前的小震资料。

对比同一地震前b值滑移曲线与调制比滑移曲线发现，有7次地震在震前一段时间内两条曲线出现同步反相变化。即当调制比增高时，b值降低；调制比降低时，b值增高。值得

指出的是，两种曲线不仅变化幅度，而且高低值持续时间都非常同步。为了对比，取同一时间轴作横轴，将两条曲线画在同一张图上，并将b值曲线的纵轴颠倒。这10次地震前震中区b值和小震调制比曲线见图1。

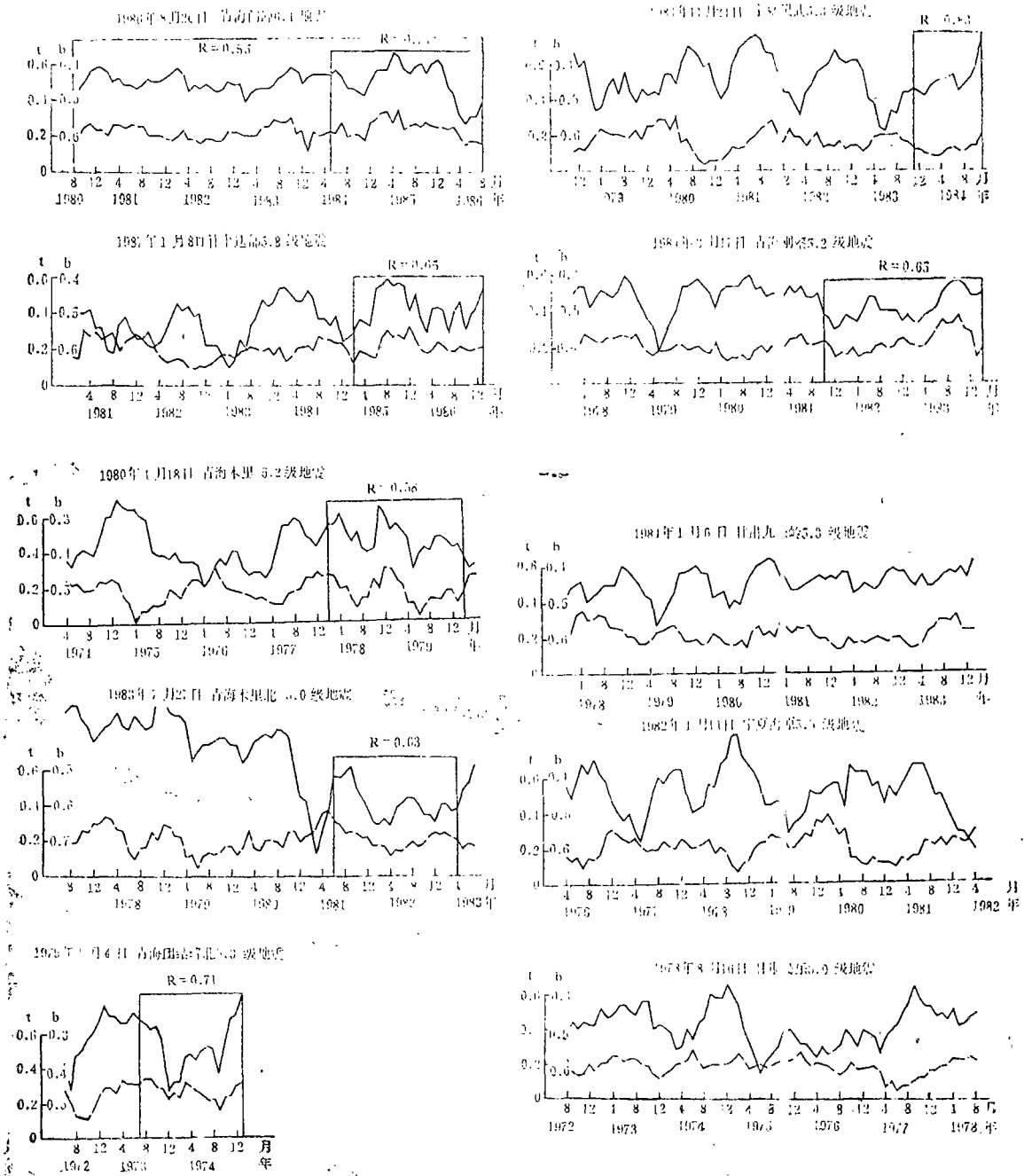


图1 10次中强震前b值、小震调制比变化曲线

实线为b值曲线，虚线为调制比曲线，R为相关系数

Fig. 1 The correlatogram of b value with the modulation shock ratio before ten moderate earthquakes

为了检验两条曲线的相关程度，根据图1分别计算了各次地震前调制比曲线与b值曲线

在明显相关时段的相关系数。并同置信度为99%时与计算数据个数相应的相关显著性检验值（即两曲线相关的最小相关系数）进行了对比。由于大多数地震前b值与调制比呈负相关变化，计算相关系数时b值用 $(1-b)$ 代替。这样，并不影响相关系数的大小。进行相关显著性检验时，置信度取99%是为了尽量排除统计涨落等因素引起的误差造成的影响。

各地地震前两曲线的相关时段、相关系数以及置信度为99%时相关显著性检验值等一并列于表1中。

表1 10次中强震前b值、小震调制比相关检验

发震时间	震级 (Ms)	发震地点	震中位置		显著相关时段 (月)	相关系数	相关显著性 检验值
			纬度	经度			
1986. 8. 26	6.4	青海门源	37°42'	101°34'	30	0.74	0.463
1987. 1. 8	5.8	甘肃迭部	34°18'	103°42'	24	0.65	0.515
1984.11.23	5.3	宁夏灵武	38°02'	106°18'	13	0.83	0.708
1984. 2. 17	5.2	青海刚察	37°38'	100°40'	29	0.65	0.470
1983. 7. 27	5.0	青海木里北	38°32'	99°02'	23	0.63	0.526
1980. 4. 18	5.2	青海木里	38°00'	98°51'	25	0.58	0.505
1975. 1. 4	5.3	青海团结峰北	38°36'	97°36'	18	0.71	0.575
1984. 1. 6	5.3	甘肃九条岭	37°55'	102°11'	不 相 关		
1982. 4. 14	5.5	宁夏海原	36°40'	105°30'			
1978. 8. 16	5.0	甘肃民乐	38°17'	101°00'			

分析图1和表1，可以看到，有7次地震在震前大约一至二年半时间内b值与调制比两曲线相关系数大大超过了相关显著性检验值。而且震级越高，震前两曲线相关时间越长。例如1986年8月26日青海门源6.4级地震前，从1980年8月至1986年8月的6年多时间内，两曲线的相关系数为0.55，远远高于相关显著性检验值0.23。从1984年3月到1986年8月的两年半时间内，相关系数高达0.74。1987年1月8日甘肃迭部5.8级地震之前，两曲线相关时段约有两年多时间。震前两曲线相关时间较长的另一次地震是1984年2月17日青海刚察5.2级地震。大约从1981年10月开始两曲线出现明显相关，相关时段约两年半。这期间，1983年7月在距震中约200—300公里之外的青海木里曾发生过一次5.0级地震。

10次地震中有7次在震前震中区b值与调制比变化出现显著相关，这个比例是比较高的。

三、地区性检验

在以上总结的震例中，多数地震之前b值与小震调制比出现相关变化。在一个地区，当这两种地震活动性参数出现相关时，是否都对地震？对应情况如何？这是地震预报研究中我们感兴趣的另一个问题。为了进行地区性的长时期检验，根据小地震分布情况，选择了两个地震活动水平相对较高、且地震台网监测能力较强的地区进行了研究。

1. 古浪—门源地区

本区范围取北纬 37° — $38^{\circ}20'$ ，东经 100° — 103° 。该地区1927年曾发生过8级大震。也是陕甘宁青四省（区）中小地震活动最频繁、地震分布最密集的地区之一。

仍按照以半年为区间逐月滑移的办法计算，并绘出了1972年至1986年8月门源6.4级地震之前约15年内b值与调制比的变化曲线（图2）。并分别取不同时间窗，滑移计算了b值与调制比的相关系数。

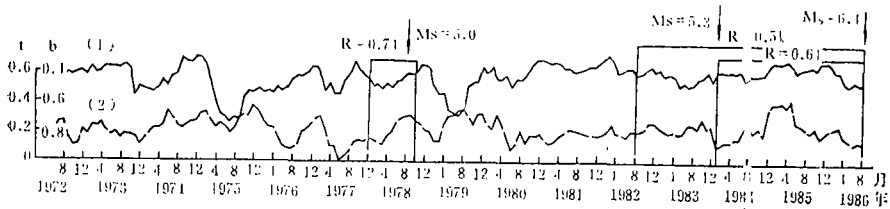


图2 古浪—门源地区b值、调制比变化曲线

(1) b值曲线；(2) 调制比曲线；R为相关系数

Fig. 2 the change curves of b value and the modulation shock ratio of Gulang—Menyan region

在15年中只有两个时段两曲线的相关系数大于相应的置信度为99%的相关显著性检验值。一个时段是1977年12月至1978年10月，相关系数为0.74。在该时段1978年8月16日恰好在这一区域边缘发生了民乐东南5.0级地震。另一个时段是在门源6.4级地震之前，1982年8月至1986年8月，两曲线相关系数为0.51，远远大于相应的相关显著性检验值0.37。在该时段内，1984年1月6日区域内发生了九条岭5.3级地震。在这次地震之后至1986年8月门源地震之前，两曲线的相关程度更高，相关系数达0.64。

15年中该地区调制比与b值出现显著相关的两个时段正好对应了该地区发生的三次 $M_s \geq 5.0$ 级地震。

2. 河西地区

这一地区与古浪—门源地区相邻，其范围取北纬 $38^{\circ}20'$ — $39^{\circ}30'$ ，东经 99° — $103^{\circ}30'$ 。由于其小地震密集度比古浪—门源地区低一些，为了保证计算精度所要求的足够多的地震数目，范围选取较大一些。

同样计算并画出了1972年—1987年2月约16年内b值与调制比变化曲线（图3）。并计算检验了各时段两曲线相关程度，结果发现，有两个时段相关系数超过置信度为99%的相关显著性检验值。这两个时段与第一个地区大致相同。第一个时段是1977年9月至1979年5月，相关系数为0.63；第二个时段是1985年8月至1986年9月，相关系数为0.83。第一个时段与1978年8月16日发生在与第一个区域交界处的民乐5.0级地震相对应。第二个时段对应于1986年8月门源6.4级地震。门源地震虽发生在第一个区域，但根据地质构造可知，两个区域有深大断裂相连通。另外，门源地震震级较高，影响的范围也可能要大一些。对于本区域边缘发生的另一次地震，即1983年7月27日木里5.0级地震，由图3可看到，在震前两曲线曾出现过短暂的同步变化，但相关系数值并不高。这可能与区域范围选取有关。在前面单个地震的检验中，这次地震之前两年多时间里，震中区两曲线曾出现过显著相关。

根据以上两个地区长时段的连续检验，区域b值与调制比出现显著相关变化的时段与该区域内及邻区发生的地震对应情况很好。

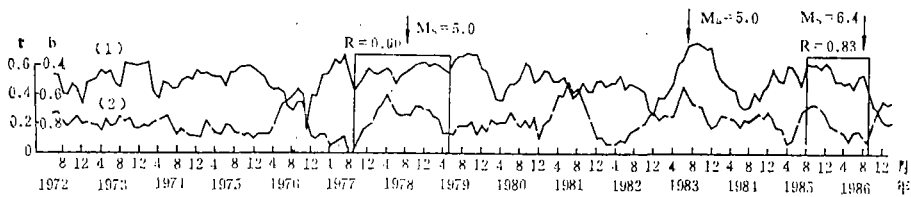


图3 河西地区b值、调制比变化曲线

(1) b值曲线, (2) 调制比曲线 R为相关系数

Fig. 3 The change curves of b value and the modulation shock ratio of Hexi region

四、讨 论

b值和小震调制比是物理意义不同,计算方法完全迥异的两种地震活动性参数。但是,在较大地震前,在震中区这两个值的变化却出现显著相关,这一点是非常有趣的。对出现这种现象的原因试作如下初步探讨。

肖尔茨根据岩石实验结果,认为b值大小代表着介质中应力水平的高低^[1]。茂木清夫则认为b值主要取决于介质的均匀程度^[5]。以后,又有许多学者提出,影响b值大小的因素很多。根据用b值预报地震的震例总结,可以发现,大震前区域b值的变化是比较复杂的^[6、7、8]。以往人们用b值预报地震的出发点是基于肖尔茨的观点。实际上影响b值的因素可能很多。只有当地壳中应力水平较高时,应力变化对b值的影响才会起主导作用。困难在于从一个地区长期的b值变化曲线上很难区别出那一段变化主要是由应力变化引起的,因而难于判断出该时期地壳中应力水平是否较高。

同样,只有当地壳中应力水平较高时,固体潮等外因对小震的调制触发作用才会显著。这时,调制比的大小才与应力水平的变化有某些对应关系。而在低应力水平时,调制比的变化更多地可能是由于统计涨落或其它因素造成。

因此,当地壳中应力水平较低时,其它许多原因的影响造成b值和调制比变化不同步。而在较强地震发生前一段时间,震源区介质中应力水平较高。这时,应力变化对这两种参数的影响起了主要作用。应力水平提高,会引起b值降低,调制比增大;反之,应力水平降低,b值增大,调制比减小。即b值和调制比的变化有可能会出现负相关现象。

在上述研究中,尽管得到了一些有趣的结果,但由于近几十年西北地区相对西南、华北地区地震活动水平偏低,加之许多地区地震台网监测能力差,因而总结的震例还不够多。且只研究了两种参数的变化。对比研究较大地震前震中区及一些地震多发区多种地震活动性参数的变化,提取它们所共同携带的地下的某些信息,有可能为地震预报提供新的依据。本文只是在这一方面作了一点尝试。

(本文1988年12月3日收到)

参 考 文 献

- [1] C.H. Scholz, The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, B.S.S.A., Vol. 58, 399-415, 1968.
- [2] 秦保燕等, 西海固地区小震调制特征, 西北地震学报, 增刊, 1983.

- [3] 秦保燕等, 松潘大震震源过程研究, 西北地震学报, Vol. 8, No. 1, 1986.
[4] 秦保燕等, 由调制小震法初探中强地震时空强预报, 地壳形变与地震, Vol. 6, No. 4, 1986.
[5] Mogi.K., Study of the elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and the relation to earthquake phenomena, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 40, 125—173, 1963.
[6] 马鸿庆, 华北地区几次大震前的b值异常变化, 地球物理学报, Vol. 21, No. 2, 1978.
[7] 黄德瑜、冯浩, 强震前大范围地震活动性参数的时空扫描, 地震学报, Vol. 3, No. 3, 1981.
[8] 马鸿庆, 大中地震前b值的区域分布, 地球物理学报, Vol. 25, No. 2, 1982.

THE CORRELATIVE CHANGE OF b VALUE WITH THE MODULATION SHOCK RATIO BEFORE MODERATE EARTHQUAKES IN THE NORTHWEST OF CHINA

Liu Jiangfeng

(The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSI¹)

Abstract

Ten moderate earthquakes occurred in the Northwest of China after 1972 are selected, and the change of b value and the modulation shock ratio (the proportion of number of the shocks affected by earth tide to amount of all shocks) in their epicentral area is analysed in this paper. It is shown that before seven of the ten earthquakes occurred the b value of the epicentral region had obviously been correlative with the modulation shock ratio for years, and the correlation coefficients are much larger than corresponding correlativity examination value for the confidence of 99 percent. The greater the earthquake is, the longer the correlation time is.

The correlation analysis of b value with the modulation shock ratio has been made in two regions, where seismic activity is more strong than other regions and seismic monitoring system is relatively perfect. After 1972 there were two periods when the correlation coefficient is larger than the correlativity examination value in above-mentioned regions, respectively. The periods correspond with the moderate earthquakes of the locality or near region.

In the light of research result of this paper, there may be the correlative change of some seismicity parameter with other ones before large earthquake occurs. It might be made use of for earthquake prediction.