

新疆天山地震区一些中、强地震发生前的b值特征

杨 章

(新疆维吾尔自治区地震局)

摘 要

本文对新疆天山地震区一些中、强地震发生前的b值特征进行了研究,发现自1971年以来发生的5.5级以上地震震前普遍存在b值的缺震现象,缺震震级和发震的震级对应较好。1972年以来4.8级以上中、强震前普遍存在着b值负异常,异常时间及其与异常幅度之积(β)和震级相关显著。利用它们各自与震级的关系式可以对未来地震的震级作出估计。另外还发现一些中、强地震的余震或全系列、小震群在中、强地震发生前的一段时间内,在未来地震发生的地区呈低b值。

我们利用新疆地震局编的新疆地震目录、强震目录、破坏性地震总结报告及其它有关资料,对我国天山地震区1971年以来发生的中、强地震前的b值异常变化和缺震现象进行了研究。

为了研究方便,根据地质构造和地震活动特征,将天山地震区划分为:天山北缘地震带(简称天山北带),拜城—和静地震带(简称拜城带),柯坪地震带(简称柯坪带)。拜城和柯坪地震带都位于天山南缘,在地质构造和地震活动特点上有许多相似之处,也可以看作是一个地震带的两个亚带。由于乌什地区处于纬向构造与北东向构造的复合部位,地震活动与拜城带、柯坪带均有关系,且与后者关系更密切,故虽将其作为两带的重叠部分,但主要应归属于柯坪带(图1)。

在分带的基础上,根据古登堡—里希特公式用线型最小二乘法对b值进行分带(或分段)估计。同时也用最大似然法进行部分对比。虽然不同方法的计算结果有差异,但总的趋势是一致的。有关b值计算方法及其优缺点在一些文献中已进行过讨论〔1〕〔2〕〔8〕。

一、中、强地震前的b值缺震

在正常情况下,统计区的震级和频度的关系是符合古登堡—里希特关系式,并且b值曲

线的拟合是较好的。如果其中有的点偏离曲线过大则可视作为一种不正常现象。高于b值曲线的称为过震, 低于b值曲线的称为缺震。它们的出现可能标志着平衡的打破, 地应力处于一个相对活跃的阶段。

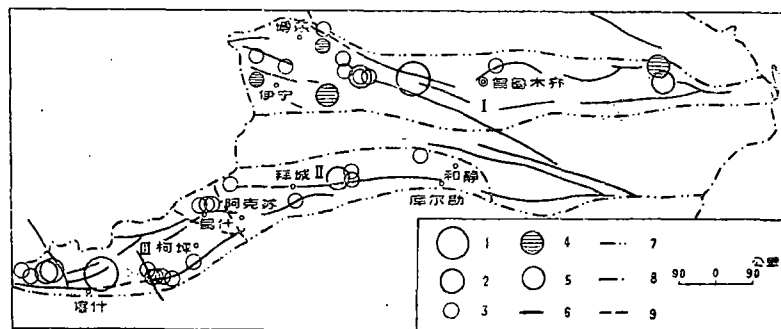


图1 新疆天山地震带分带示意图

1. $M_s \geq 8$ 2. $M_s = 7-7.9$ 3. $M_s = 6-6.9$
 4. 1900年以来发生的地震 5. 1900年以来发生的地震 6. 断裂带
 7. 地震区边界 8. 地震带界线 9. 乌什地区界线
 I 天山北带 II 拜城带 III 柯坪带 IV 乌什地区

我们研究了新疆天山地震区自1971年1月以来所发生的5.5级地震(不包括强余震、天山地震区和其他地震区交界处的地震), 震前均出现b值缺震现象。而且缺震的震级和发震的震级是可以对应的。这种现象在新疆其他地震区(带)也是存在的(表1)。

缺震的点多数位于b值曲线中部, 而其他点与曲线拟合较好, 使缺震的点形成明显的低值区。而当曲线上所有点拟合都较好时, 曲线外推也具有同样的意义。1977年, 12月19日西克尔6.1级地震、1977年11月22日乌苏4.5级地震就是根据b值曲线外推的缺震现象进行了预测*。

实践证明利用b值缺震进行地震趋势分析是行之有效的。但它是在作图法的基础上估计的, 存在人为因素, 而且地点的范围偏大, 对地震时间的估计缺乏指标。此外, 在利用b值缺震进行地震趋势预测时应注意:

1. 最好是在同一构造单元, 具相同地震活动特点的地区(或地段)进行统计, 并按需预测的震级来选择范围的大小。
2. 要注意统计区地震活动的阶段性, 一般在一次强震系列之后开始统计较好。
3. 据已有震例, b值缺震多在曲线中部, 只有在曲线拟合较好的情况下, 外推才有意义。

二、b值随时间变化特征

在各地震带(地区)都有一个相对稳定的b值背景(基值)。据前人^[4]和我们的工作, 天山北带基值为0.60, 柯坪带为0.70, 拜城带为0.70。随着时间的变化b值也有所变化, 它们常在基值上下浮动。

*新疆维吾尔自治区地震办公室, 1978年新疆地震趋势意见。乌苏地震工作队, 1977年乌苏地震监视总结。

表 1

地 震	时 间	震 级	震 中 位 置		统计范围	统计时间	缺震区间	缺震次数	缺震位置	备 注
			北 纬	东 经						
乌 什	1971年8月 23—24日	6.0 6.1	41°27′	76°16′	柯坪带	56.1— 71.2	5.5—5.9 6.0—6.4	8 2	曲线中间	5.5—5.9级 余震 2 次
西 克 尔	1971年7月26日	5.6	39°52′	77°16′	柯坪带	56.1— 76.6	6.0—6.4 5.5—5.9	1 2	同上	
柯 坪	1972年1月16日	6.1	40.2°	78.9°	柯坪带	56.1— 71.12	6.0—6.4	1	同上	
轮 台	1972年4月9日	5.6	42°12′	84°38′	乌什— 轮台东	50.1— 72.3	5.5—5.9	2	同上	
精 河	1973年6月8日	6.0	44°26′	83°32′	天山北带	45.1— 73.5	6.0—6.4	1—2	同上	
库 车	1976年1月10日	5.8	42°09′	83°10′	乌什— 轮台东	50.1— 75.12	5.5—5.9	2	同上	
西 克 尔	1977年12月19日	6.1	39°58′	77°23′	柯坪带	72.7— 77.9	6.0—6.4	1	外推	
库 尔 勒	1978年4月22日	5.8	41°55′	88°54′	拜城带	50.1— 77.12	5.5—5.9	2	中部	
库 车	1979年8月19日	6.0	41°54′	83°15′	拜城带	50.1— 79.2	5.5—5.9 6.0—6.4	1 1	七下新	
乌 苏	1977年11月22日	4.5	44°01′	83°59′	乌苏地区	震前12年	4.5—4.9	1	外推	
和 田	1975年4月 28日、6月4日	6.1 6.1	36.0° 36°13′	79.9° 79°45′	昆仑带	49.1— 75.3	5.5—5.9	8	中部	
阿尔金山	1979年12月2日	5.6	38.5°	90.4°	阿尔金带	20.1— 79.10	5.5—5.9	4	中部	震前计算
阿尔金山	1980年8月7日	5.6	37.1°	92.4°	阿尔金带	20.1— 79.12	5.5—5.9	8	同上	同 上
叶 城 南	1980年2月14日	5.8	36.8°	77.0°	昆仑带	50.1— 79.10	5.5—5.9	8	同上	同 上

我们采取0.5级分档、步长月的6月滑动求出b值，作各地震带（或区段）b值随时间变化曲线。这些曲线表明中、强地震前多存在一个低于基值线的b值负异常（表2）。在这负异常之前仅个别出现峰值，在负异常之后b值回升，常常在回升过程中或回升之后又重新下降时发生地震。因此天山地震区b值的峰值是否出现不能作为预报地震的判据。

统计上述资料，求得天山地震区的b值异常时间和震级的关系式为：

$$\log T = 0.62M - 2.54 \quad (1)$$

相关系数 $r = 0.92$ ($n = 17$)，相关非常显著。

从表2看出，b值负异常回升后持续时间的长短与震级无明显关系。在天山北带，一般在b值回升过程中发震，而天山南缘两带则在b值回升后6个月内发震。

我们把b值异常中最低值与基值的差称为异常幅度（b幅）。并且求出它与震级的关系式：

$$b\text{幅} = 0.23M - 1.0 \quad (2)$$

表 2

地 震	时 间	震 级	异 常 时 间			回 返—发震 时 间	异 常 特 征		归 属
			开始时间	回返时间	异常时间		最低b值	幅 度	
阿 合 奇	74.9	5.5	73.11	74.5	6	4	0.47	0.23	柯 坪 带
阿 合 奇	75.5	5.0	74.8	74.12	4	6	0.54	0.16	
巴 楚	75.9	5.3	74.8	75.3	7	6	0.54	0.16	
巴 楚	75.12	4.9	75.9	75.11	2	1	0.62	0.08	
阿 合 奇	76.3	4.8	75.12	76.3	8	0	0.63	0.07	
西 克 尔	77.12	6.1	76.6	77.7	13	5	0.32	0.38	
乌 什	78.3	5.1	77.12	78.3	8	0	0.52	0.18	天 山 北 带
乌 什	78.6	4.8	78.3	78.6	3	0	0.56	0.14	
精 河	73.6	6.0	72.8	73.6	10	0	0.38	0.22	
乌 苏	76.9	4.8	76.5	76.9	4	0	0.50	0.10	
艾 比 湖	75.4	5.0	75.1	75.5	4	- 1	0.30	0.30	拜 城 带
乌市西南	75.1	4.8	74.11	75.1	2	0	0.35	0.25	
库 车	75.2	4.9	74.8	74.12	4	2	0.60	0.10	
库 车	76.1	5.8	74.8	75.11	15	2	0.46	0.24	
库 车	77.7	5.4	76.10	77.5	7	2	0.59	0.11	
库 尔 勒	78.4	5.8	76.10	78.2	16	2	0.52	0.18	
库 车	79.3	6.0	76.10	78.10	24	5	0.51	0.19	

相关系数 $r = 0.51$, 相关显著。並且发现许多地震前b值负异常时间和异常幅度具互相消长的关系。为此取上述两者之积 β , 求得 β 与震级M的关系式:

$$\beta = 2.925M - 13.928 \quad (3)$$

由于天山地震区自有台网以来缺少6.5级以上地震资料, 我们利用文献[1]关于我国西部1974年5月11日永善7.1级地震、1976年6月16日松潘7.2级地震的b值时间扫描资料, 按其曲线特征假设了基值线, 估计了震前b值异常的时间和幅度, 与天山地震区5.3级以上地震一起求出 $\log T$ 与M、 β 与M的关系式:

$$\log T = 0.38M - 1.146 \quad (4)$$

$$r = 0.87 (n = 10)$$

$$\beta = 6.95M - 37.10 \quad (5)$$

$$r = 0.90 (n = 10)$$

相关都非常显著, 並不比(1)、(3)两式相关性差。因而对于异常时间较长和异常幅度较大者用(4)、(5)式似乎更合适。

三、b值负异常在时间上的叠加现象

由于天山地震区所属各地震带地震活动均比较频繁, 常在一次中、强地震的b值异常尚未结束时就已经开始了另一次中、强地震的b值异常。或者同时孕育了两次以上中、强地震的异常, 这时就出现了b值负异常在时间上的叠加现象。

一般地说, 单个异常形态较为简单(见图2), 而异常的叠加常使异常时间加长, 或异常幅度加大, 异常形态也因之更加复杂, 主要特点是:

(1)、异常呈多次起伏, 形成两个以上的凹谷。同时孕育的大小不同的地震最早出现b值异常的时间可能相近, 产生较完全的叠加(图3)。由于较小地震异常先结束而形成明显的但未达到基值线的回升。而较强地震的异常仍在继续, 就使得b值虽有回升而达不到基值线。对于这类异常, 我们把每一次明显的回升作为前面地震的b值异常的结束。而把异常开始的时间同样看作是后面较强地震的b值异常的开始时间。

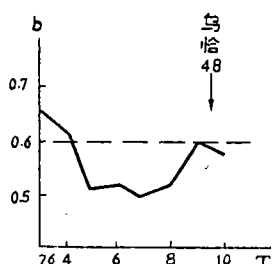


图2 单个b值异常形态

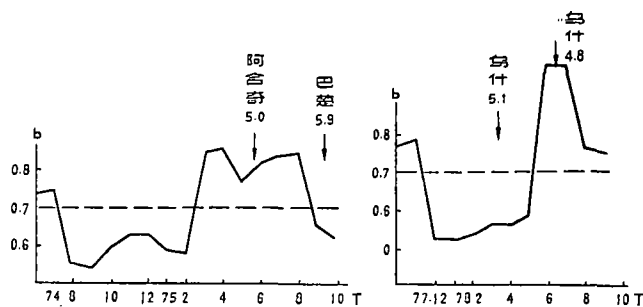


图3 b值异常迭加实例

当前后两次地震震级都不大, 而且震级之差又小于0.3时, 也会出现这种情况。对此, 我们将中间的回升既看作前面地震异常的结束, 又看作后面地震异常的开始。

(2) 异常呈不规则的凹陷, 凹陷中又有一些起伏的峰谷。如1977年12月西克尔6.1级地震, 由于它的异常中又包含3次较小地震的b值异常, 使得异常形态更加复杂。这可以根据

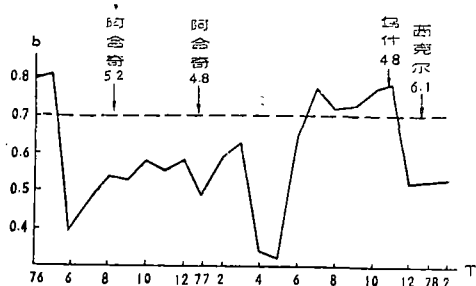


图4 1977年12月19日西克尔6.1级地震前的b值异常

曲线的下降和回升将较小地震的b值异常分割出来(图4)。

(3) 异常底部较平缓, 起伏不显著, 如乌什1978年3月的5.1级地震、1978年6月的4.8级地震。两次地震震级都不大, 可能由于前面地震的b值异常开始回返的同时后面地震b值异常开始, 相互抵消造成了回升不显著。对此我们仍以中间回升点作为前者的结束和后者的开始(图3)。

尽管这种对b值异常叠加的分割考虑的因素还不够全面, 但以此求出的各种参数还具有一定的规律性, 因而作为对异常时间和幅度的概略估计还是可行的。

四、无震异常

在大多数情况下, b值异常是和地震相对应的, 然而也确实存在一些无震的b值异常(表3)。

上述4个无震异常, 其中3个出现在76年元月以后, 是天山地震区(包括国外部分)自1900年以来第三个活动期开始以后出现的〔4〕。而且微量位移测量也发现自1976年以来南北天山均出现形变加速的现象, 说明自1976年以来整个天山正处于应力加强阶段。并且异常(3)

明显地对应了其南部库车1979年3月19日的6.0级地震,且当时位于天山北带的一些前兆手段也有异常。异常(2)虽没有对应本区或邻区的地震,但和苏联乌兹别克1976年4—5月两次

表 3

异常 编号	时 间			幅度	归 属	备 注
	开始	结束	异常时间			
1	73.5	73.11	6(月)	0.19	拜城带	74年8月11日乌恰发生7.3级地震
2	76.1	76.8	7(月)	0.24	拜城带	
8	78.5	79.1	8(月)	0.16	天山北带	79年8月19日库车发生6.0级地震
4	78.10	79.5	7(月)	0.21	柯坪带	

7级地震大体相当,只不过结束时间晚了3个月。但和安集延1976年11月28日的6.0级地震相吻合。异常(4)虽没有对应本区和邻区(带)任何强震,但它和乌什、喀什等地的一些前兆手段的趋势异常相协调。这可能反映了自1976年开始,天山地震区进入最新强震活动期以来,作为整体构造运动的一个侧面。在这个强震活动期中,一些孤立的局部的前兆和b值异常,不管对应地震与否,其总体有可能意味着一系列强震的孕育。在

这个强震系列的孕育中,可能形成大范围的应力集中,除震源区外,还可能存在若干应力集中“区”或“点”。形成“多点”异常的图象。在应力场整体发展过程中,在不同阶段或不同时期,反映统一构造运动的异常图象在某些地区可能加强,某些地区有所起伏。并且在一些特殊的构造部位表现得比较活跃,出现一些反映比较灵敏的地震“窗口”。这就使得一些地区的前兆和b值异常对邻区甚至更远的地区的强震有所反映。而异常(1)是在1974年8月乌恰地震前3个月开始出现,在地震发生后三个月结束,它可能是乌恰大震前的大面积应力集中和地震后的应力调整的反映。

自1900年以来,天山地震区(包括国外部分)已经出现过两次7.0级以上地震活动高潮期(1902—1914, 1944—1955)。在这两次高潮期中整个天山都是处于一个统一的应力场中。在同一地震活动高潮期的整个过程中,在同一应力场的作用下,随着时间的进展,局部地震的发生可能会有所调整,并可能出现多次起伏。在一些强震发生前,一些宏观异常、地球物理、化学场出现过多次起伏变化,这说明地震的孕育、发生过程是复杂的。在这个复杂的过程中,可能会引起某些应力集中部位的改变,从而出现无震b值异常和其它无震前兆异常现象。因而对无震异常的研究不仅是为了区分有震或无震的异常,而且可以作为对区域应力场及其动态变化进行研究的一个方面。

五、其他方面的b值异常特征

1. b值的空间扫描

我们对天山地震区一些中、强地震的前几年取经纬度各半度进行统计,然后按经纬度各1度以滑动的方式覆盖全区,作b值等值线图(图5)。可以看出,自1973年以来几次5.8级以上地震多发生b值负异常区中,并且常在高、低值的梯度带上。仅1977年12月19日西克尔6.1级地震是发生在负异常区的外围。这表明中、强地震发生前,b值不但随时间有所变化,而且在空间上也有自己的特征。震前b值异常区的存在可能表明震前地应力的集中。如果结合地质构造特征、地震活动性进行研究,就有可能对未来地震区进行圈定。

2. 中、强地震的前震与余震的b值特征

我们计算了1971年以来的中、强地震的前、余震系列的b值,对于缺少前震或前、余震

的数量太少不能分开计算的,只计算它的余震或全系列的b值.发现那些余震系列或全系列的b值低于基值数较大者(大于0.10),后面常有较大地震发生(表4)。如库车、轮台、拜

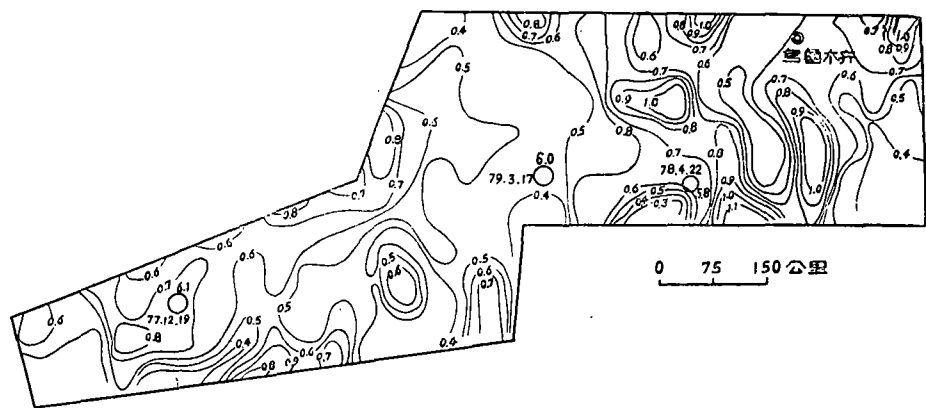


图 5 新疆天山地震区b值扫描图
(1973、7、1、—1977、12、18)

表 4

地 震	震 级	时 间	位 置					误 差 (σ _b)	备 注
			纬 度	经 度	前震	余震	全系列		
乌 什	6.0 6.1	71.3, 23 24	41°27′	79°16′	0.36	0.16		0.19	71.6.16, 5.8级余震前弱震可能有遗漏
乌 什	5.8	71.6.16	41°30′	79°25′		0.56		0.14	同 上
西 克 尔	5.6	71.7.26	39°52′	77°16′		0.76	0.69	0.06	
轮 台	5.6	72.4.9	42°13′	84°38′	0.22	0.34		0.07	
拜 城	4.9	72.6.2	41.7°	81.6°			0.60	0.10	
柯 坪	6.1	72.1.16	40.2°	78.9°		0.61		0.09	
拜 城	5.1	73.5.17	41.5°	80.0°		0.14		0.08	73.6.9拜城发生4.9级地震
精 河	6.0	73.6.8	44°26′	83°32′		0.52		0.07	
阿 合 奇	5.5	74.9.29	40.5°	77.9°	0.28	0.46		0.01	
阿 合 奇	5.0	75.5.27	40.5°	77.8°		0.46		0.06	
三 盆 口	5.3	75.9.10	39.6°	80.4°		0.35		0.03	
库 车	5.8	76.1.10	42°09′	83°10′		0.35		0.08	
库 车	5.4	77.7.23	42°03′	83°39′		0.27		0.14	
乌 什	4.8	77.10.26	41.9°	79.9°		0.25	0.75	0.08	
西 克 尔	6.1	77.12.19	39°58′	77°23′		0.56		0.07	
库 尔 勒	5.8	78.4.22	41°55′	85°54′		0.68		0.01	
库 车	6.0	79.8.29	41°54′	83°15′		1.10	0.80	0.06	

城地区的中、强地震或余震的 b 值自1972年4月9日轮台5.6级地震以来,一直保持在基线以下。1966年元月以后,两次5级多地震余震系列的 b 值低达0.27或0.35。直到1979年3月29日库车6.0级地震的余震和全系列的 b 值才上升到基值(0.70)以上。同样在西克尔地区,自1974年9月29日阿合奇5.5级地震后,中、强地震余震系列的 b 值一直保持在0.46以下,直到1977年12月西克尔6.1级地震的余震系列的 b 值才上升到0.56(仍然偏低)。而乌什1977年3月23日、24日的6.0、6.1级地震发生后到1971年6月16日5.8级强余震发生前 b 值很低,直到5.8级强余震发生后其余震 b 值才明显上升。这种现象在其他地震带也存在。如1975年4月28日和田6.1级地震的余震 b 值为0.32,而到1975年6月4日6.1级地震发生后,余震的 b 值才上升为0.70,这以后和田地区再没有发生6.0级以上地震。上述结果表明,一个地区如果近几年所发生的4.8级以上地震的余震或全系列普遍存在着低 b 值现象,就有可能发生强震。如果仅局限于一次地震后一段时间的余震系列出现低 b 值现象,后面可能发生强余震。

3. 小震群和小震系列的 b 值

在天山地震区的某些地区,小震和小震群活动比较频繁。我们取间隔在三天以内,较集中发生在某一较小地区的小震作为一个震群或小震系列,进行 b 值计算。它们的 b 值误差(σ_b)大多数在0.10以下, σ_b 的大小并不完全取决于地震的个数,更主要的是和不同震级区间地震次数在 b 值曲线上的拟合程度有关。

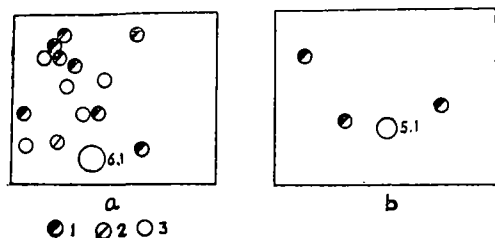


图 6

- a. 1977年12月19日西克尔6.1级地震前低 b 值震群分布
 1. 1973年4月到震前 $b \leq 0.60$ 的震群分布
 2. 1973年8月以前 $b < 0.60$ 的震群分布
 3. 1973年8月以前 $b > 0.70$ 的震群分布
 b. 1973年5月17日拜城5.1级地震前低 b 值震群分布

这些小震群和小震系列,可以看作是地应力活动的“窗口”。在低 b 值的小震群和小震系列的后面常有较大地震发生。甚至有的中、强地震发生的几年前就开始出现低 b 值的小震群或小震系列,并且一直延续到强震发生前。如1977年12月西克尔6.1级地震前,自1973年4月开始在西克尔地区发生了许多低 b 值小震群。自1972年元月开始到1973年5月拜城5.1级地震发生前也出现几次低 b 值小震群(图6)。与此相反在高 b 值小震群或小震系列之后(如75.12—76.4的

沙湾震群)该地区並沒有较强地震发生。因而,低 b 值的小震群同低 b 值的余震系列一样反映该地区处于高应力环境,是可能发生较强地震的危险地段。

朱令人、王六桥、戈树漠、石鉴帮、柏美祥同志,对本文提出了宝贵意见,杨纪林同志清绘了全部图件,一并致谢。

(本文1980年11月10日收到)

参 考 文 献

- [1] 李全林等, b 值的时空扫描, 地球物理学报, Vol.21, No.2, 1978.
 [2] 马鸿庆, 华北地区几次大震前的 b 值变化, 地球物理学报, Vol.21, No.2, 1978.
 [3] 龚镇雄, 两种 b 值的计算方法, 地震战线, No.2, 1978.
 [4] 戈树漠, 新疆地震活动性, 西北地震学报, Vol.1, No.3, 1979.

- [5] K. Mogi, Study of the Elastic Chocks Cooks Caused by the Fracture of Heterogeneous Materials and its Relation to Earthquake Phenomena, Bull Earthquake, Res.Inst, 40, 125—173, 1962.
- [6] C.H.Scholz, The Frequency—magnitude Relation of Microfracturing in Rock and its Relation to Earthquakes, BSSA, 58, 399—415, 1968.

PRE-EARTHQUAKE CHARACTERISTICS OF B VALUES FOR SOME INTERMEDIATE MAGNITUDE EARTHQUAKES IN THE TIANSHAN SEISMIC REGION OF XINJIANG

Yang Zhang

(The Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region)

Abstract

In this paper, the pre-earthquake characteristics of b values for the intermediate magnitude earthquakes in the Tianshan seismic region of Xinjiang are studied. It was found that since 1971, the phenomena of seismic deficiency had occurred very often in the b values of the earthquakes ($M > 5.5$) for some years before earthquakes. The interval of seismic deficiency was in good agreement with the magnitudes of happening earthquakes. In the same way, the abnormal low b values would often exist in the intermediate earthquake ($M > 4.8$), the abnormal time and the proelnet(β) of abnormal amplitude related to magnitude and we can make use of their relationships to assess the magnitude for future earthquakes. It was also found that the b values of the aftershock sequences of intermediate magnitude earthquake and of small earthquake swarms were in a low state before some time of the next one in this region and it was so even before several years of strong earthquakes. From all mentioned above, we came to the conclusion; the b value has a direct sense in physics, and the low b values, which are the reflection of fluctuating stress state, are a signal for possible occurring of strong earthquakes.

[illegible]