

48-54

p345.5

中强地震密集区与未来强震三要素关系的研究

白超英

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 系统研究了新疆南北天山地震带内中强地震活动密集区与未来强震三要素之间的关系, 试图寻找出适合年度危险区判定的地震活动性背景依据. 结果表明: 大多数强震均发生在中强地震活动相对密集区内及其边缘, 且发生在边缘的概率较大; 强震震级的大小与中强地震密集区的尺度有关. 中强地震密集区的判别标准为: 密集区尺度大于 150 km, 且其中地震密度(每平方度内地震个数)大于或等于 4. 最后, 就密集区尺度、孕震区尺度、异常区尺度及震源区尺度间的关系进行了讨论. 基本结论为: 密集区的下限尺度即为孕震区尺度, 而其上限尺度则为异常区尺度.

关键词: 新疆; 地震活动性; 地震密集区; 天山地震带

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)01-0048-07

中强震

0 引言

基于地震活动性的预报方法都是根据地震活动在时间上的平静-密集现象和在空间分布上的集中-空段现象演变而来的. 为了解释这 2 种基本现象并将其用于实际的地震预报中, 人们提出了地震活动度和缺震的概念, 前者反映了地震活动在时间上的密集(增强)活动现象, 后者则反映了地震活动在时间上的平静现象. 另外还就地震活动的空间分布提出了空区和条带(集中度)的概念, 前者反映了地震活动在空间分布上出现的空段(平静)现象, 后者则反映了地震活动在空间分布上的集中(密集)活动现象. 近些年来人们力图以新的方法来重新解释这 2 种基本现象, 如以有序性来解释地震活动在时空分布方面出现的平静-密集-平静的相似行为, 以熵的原理来解释地震活动在时空分布方面所表现出的偏离均匀程度的行为. 然而迄今为止, 人们对地震活动的这 2 种基本现象的认识还有待深化. 只有加深了对这 2 种基本现象的理解, 才有可能更进一步提高对地震孕育过程的认识.

本文以地震活动在空间分布中所表现出的基本特征为依据, 系统研究总结了新疆南北天山地震带自 30 年代以来的 36 次强震前中强地震活动密集区与强震三要素之间的关系, 重点讨论了中强地震密集区与强震发生地点和震级的关系, 同时给出了判别中强地震密集区的定量指标.

收稿日期: 1996-07-22

作者简介: 白超英, 男, 1958 年 10 月生, 副研究员, 主要从事地震大形势分析、地震活动性分析和综合预报等工作.

1 中强地震密集区与强震发生地点的关系

以新疆2个主要地震活动带为研究对象,具体分区情况如下:① 乌恰-喀什区,即北纬 38° ~ 41° ,东经 73° ~ 77° ;② 柯坪区,即北纬 39° ~ 42° ,东经 76° ~ 80° ;③ 北天山西段及南天山东段,即北纬 40° ~ 46° ,东经 80° ~ 88° .对1970年以前的中强地震,其下限震级取为 $M_S \geq 4.7$,1970年以后的中强地震的下限震级取为 $M_S \geq 4.0$.笔者力求在每一研究区内对每一次强震前中强地震的活动情况都加以分析讨论,同时将那些在较短时间(3年)内发生在同一地区的强震视作一次强震事件来处理,不考虑主震后的强余震.图1~图4给出了具体的研究结果.从图1中可看出,1932~1962年北天山西段和南天山东段发生的2次7级地震前存在明显的中强地震密集区,并且主震发生在中强地震密集区的中部.实际上这2次地震前存在明显的围空现象^[1].在该地区发生的强震大多位于中强地震密集区的边缘(图2、图3).研究发现,该区在发生较大地震($M_S \geq 6.5$)前,一般只形成一个中强地震密集区;在发生6级左右地震前,形成2个中强地震密集区;而在发生5级地震前,可形成2个以上的中强地震密集区.也就是说该区在较短时间内可相继发生2次以上5~6级地震(图3).

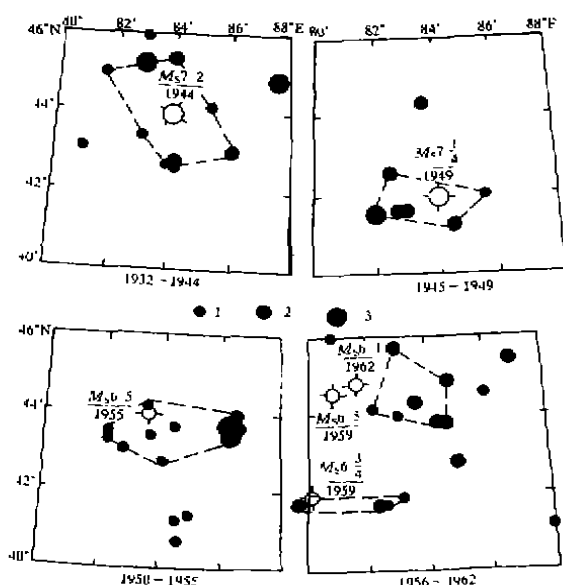


图1 1932~1962年北天山西段及南天山东段中强地震密集区与未来强震的关系

Fig. 1 The relationship between moderate earthquake concentrating regions and future strong quakes along western segment of the north Mt. Tianshan and eastern segment of the south Mt. Tianshan from 1932~1962.

1 $4.7 \leq M_S \leq 4.9$; 2 $5.0 \leq M_S \leq 5.9$

3 $6.0 \leq M_S \leq 6.9$

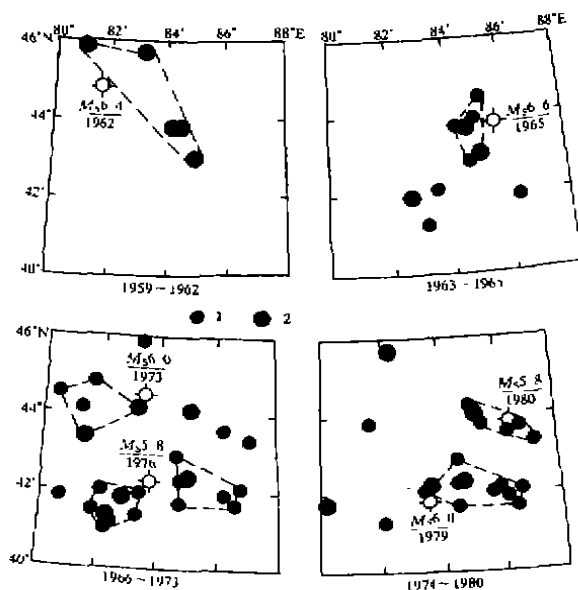


图2 1959~1980年北天山西段及南天山东段中强地震密集区与未来强震的关系

Fig. 2 The relationship between moderate earthquake concentrating regions and future strong quakes along western segment of the north Mt. Tianshan and eastern segment of the south Mt. Tianshan from 1959~1980.

1 $4.7 \leq M_S \leq 4.9$; 2 $5.0 \leq M_S \leq 5.9$

图4给出了柯坪区强震前中强地震的空间分布情况.除了1991年柯坪 $M_S 6.5$ 地震外,该区6级以上地震前一般不出现中强地震空区,它们大都是以中强地震密集区作为异常背景的,

而且大都发生在中强地震活动密集区的边缘(1961年伽师 $M_S 6.8$ 地震除外). 另一方面, 该研究区有这样一个特点, 当同时出现2个中强地震密集区时, 密集区的边缘都有强震发生. 如1969年和1971年在乌什先后发生3次6级以上地震, 形成了中强震密集区, 1972年在巴楚发生了 $M_S 6.2$ 地震; 再如1987年乌什发生6.4级地震后, 1991年在柯坪发生了6.5级地震. 目前的情况是自1991年柯坪地震后该区又形成了2个中强地震密集区, 西南端的密集区对应了1996年阿图什 $M_S 6.9$ 地震, 因此应警惕未来3年内阿合奇与乌什间再次发生较强地震的可能.

喀什-乌恰区属于强震频发区, 因此笔者重点研究了该区 $M_S \geq 7.0$ 地震的情况(该区6级地震发生前仍然存在中强地震密集区, 因篇幅所限, 这里就不再讨论). 研究发现该区7.0级地震前存在明显的中强地震围空现象^[1], 主震多发生在围空区的边缘. 实际上这种围空现象是在空区内部表现为平静, 而空区边缘地震密集, 因而也可以认为是一种地震密集活动现象(围空地地震频度、能量增大).

上述中强地震密集区都是在前一次强震发生后较短时间内形成的, 它预示着密集区地壳处于高应力的调整过程中. 根据“组合模式”的观点^[2], 积累单元(震源闭锁段)一般是无中强地震活动的, 而与之连接的调整单元因处于高应力调整过程中, 因此中强地震的密集、频发反映了这种调整过程. 另一方面, 中强地震在调整单元中的频发将有利于闭锁段(积累单元)内应力水平的提高, 或者有可能减少闭锁段断面上的正应力^[3], 从而将导致闭锁段的最终破裂发震.

2 中强地震密集区尺度与主震震级的关系

根据组合模式的观点, 积累单元的端部应为调整单元, 这种调整单元可能有一个(实际情况往往如此), 也可能有多个. 发生在中强地震密集区端部的强震震源体至少具有一个调整单元, 而发生在中强地震密集区中部的强震至少具有2个调整单元. 如果仅考虑中强地震密集区的最大尺度, 则以上问题就变成是具有1个还是2个调整单元的问题了. 在理想情况下(具有对称调整单元), 调整单元之间的距离即为该震源体的孕震区最大尺度. 由以上的讨论可知, 对于7级地震存在明显的围空现象, 主震多发生在围空区的中部边缘, 也就是说对于7级地震它具有对称或非对称的双侧调整单元; 6级地震多发生在中强地震密集区的端部边缘, 因此它可能仅有单侧调整单元. 由于6级地震的震源体在数十公里的范围内, 则作为一种近似用2倍单侧调整单元的尺度作为6级地震的孕震体范围(尺度)是合理的. 这样就可以建立起密集区尺

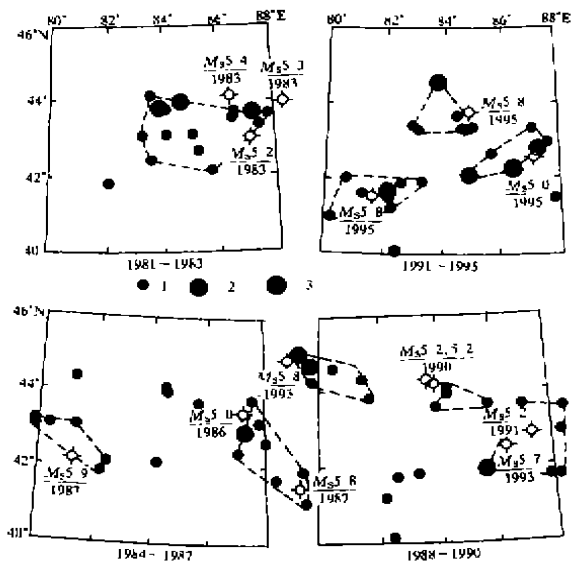


图3 1981~1995年北天山西段及南天山东段中强地震密集区与未来强震的关系

Fig. 2 The relationship between moderate earthquake concentrating regions and future strong quakes along western segment of the north Mt. Tianshan and eastern segment of the south Mt. Tianshan from 1981~1995.

1 $4.0 \leq M_S \leq 4.4$; 2 $4.5 \leq M_S \leq 4.9$

3 $5.0 \leq M_S \leq 5.9$

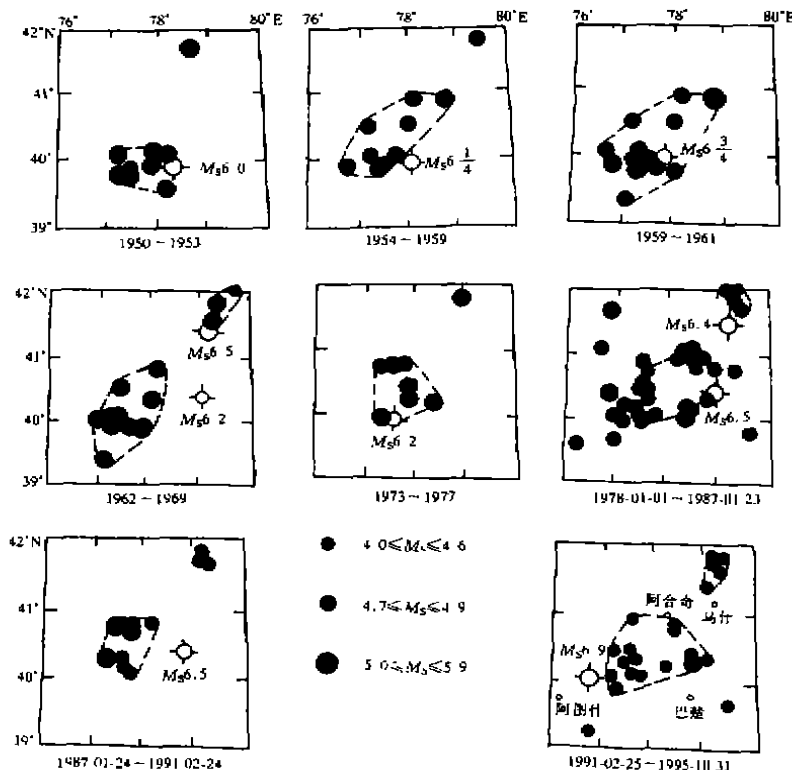


图4 柯坪区中强地震密集区与未来强震的关系

Fig. 4 The relationship between moderate earthquake concentrating areas and future strong quakes in Keping region

(3) 南天山西段地震密集区尺度一般小于南天山东段及北天山西段的密集区尺度(对相同震级而言)。

(4) 南天山西段6级以上强震的孕震区尺度应至少在250 km以上,且最大密度(每平方度内最多地震个数)应至少大于8;北天山西段及南天山东段6级以上强震的孕震区尺度应至少在350 km以上,且最大密度应至少大于4。

3 结果分析及讨论

综上所述,大多数强震都发生在中强地震密集区内及其边缘,同时中强地震密集区的尺度与主震震级有一定的关系。

小地震的发生带有很大的随机性,但中强地震的发生则是确定性的,特别是中强地震的密集活动,预示着该密集区内处于高应力的调整过程之中,这种调整的最终结果将导致与之邻近的高

度和孕震区尺度(折合尺度)与主震震级之间的统计关系,见表1。对于那些若干个5级地震共在同一密集区的情况,可以将相应的尺度平均分配给这些地震。表1共统计了36次 $M_s \geq 5.0$ 地震,其中 $M_s \geq 7.0$ 的6次, $6.0 \leq M_s \leq 6.9$ 的15次, $5.0 \leq M_s \leq 5.9$ 的15次。图5给出了密集区折合尺度与主震震级的关系。分析图5可得出以下几点结论:

(1) 南天山西段密集区折合尺度 L 与主震震级 M_s 有较好的关系: $M_s = 7.14 \log L - 11 (L/100 \text{ km})$ 。

(2) 北天山及南天山东段地震的这种线性关系不明显,但存在2个优势区域:5~6级地震的密集区折合尺度为200~300 km,而6级以上地震的密集区折合尺度为350~500 km。

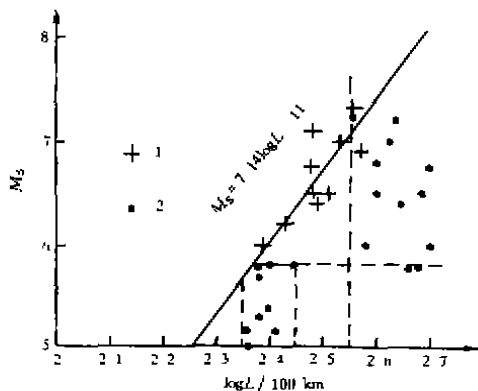


图5 中强地震密集区折合尺度与主震震级的关系

Fig. 5 The relation of moderate earthquake concentrating region size to magnitude of the main earthquake

1 南天山西段; 2 北天山西段和南天山东段

表 1 地震密集区尺度和折合尺度与主震震级的关系

时间	地震		密集区			折合	备注
	地点	震级	最大尺度/km	每平方度内地震数	调整单元类型	尺度/km	
1944	乌苏-精河	7.2	425	4	双侧	425	
1949	轮台	7.25	360	4	双侧	360	
1944	乌恰	7.0	420	10	双侧	420	
1955	尼勒克	6.5	400	5	双侧	400	
1953	巴楚	6.0	125	9	单侧	250	单侧折合尺度乘 2
1955	乌恰	7.0	340	9	双侧	340	
1959	温宿	6.75	250	4	单侧	500	同上
1959	博乐	6.5	240	5	单侧	480	同上
1961	伽师	6.75	300	9	双侧	300	
1962	博乐	6.4	440	3	双侧	440	
1965	乌鲁木齐	6.6	190	6	单侧	380	同上
1969	乌什	6.5	330	8	双侧	330	
1972	巴楚	6.2	270	8	双侧	270	
1973	精河	6.0	190	4	单侧	380	同上
1974	阿克陶	7.3	360	13	双侧	360	
1976	库车	5.8	240	6	单侧	480	同上
1977	伽师	6.2	135	8	单侧	270	同上
1979	库车	6.0	250	6	单侧	500	同上
1980	玛纳斯	5.8	240	6	双侧	240	
1983	呼图壁	5.4	360	6	单侧	250	$360 \times (2/3)$
	阜康	5.3	360	6	单侧	240	3 次 5 级地震共在
	阿拉沟	5.2	360	6	单侧	230	一个密集区内
1985	乌恰	7.4	300	9	双侧	300	
1986	乌鲁木齐	5.0	270	4	单侧	240	2 次 5 级地震同在一个
1987	鄯善	5.8	270	4	单侧	300	密集区内
1987	拜城	5.9	250	4	双侧	250	
1987	乌什	6.4	310	14	双侧	310	
1990	乌苏	5.2	230	4	单侧	230	2 次 5 级地震
1991	柯坪	6.5	125	8	单侧	300	震前围空区尺度
1991	阿拉沟	5.2	280	3	单侧	260	2 次 5 级地震同在一个
1993	和静	5.7	280	3	单侧	300	密集区内
1993	温泉西(境外)	5.8	240	5	单侧	480	
1995	和硕	5.0	230	5	双侧	230	
	乌苏	5.8	230	6	单侧	460	
	拜城	5.8	280	6	双侧	280	
1996	阿图什	6.9	200	9	单侧	400	

应力闭锁段的破裂发震. 从理论上讲异常区尺度应大于孕震区尺度, 而孕震区尺度又大于震源尺度, 这完全符合“红肿理论”的观点. 如果就组合模式所定义的孕震区尺度来说, 孕震区尺度应为震源尺度的 4~5 倍, 也就是说, 积累单元(震源)尺度为 1, 而两边的调整单元各为 2(理想对称情况), 此时孕震区尺度为震源尺度的 5 倍. 对于 6 级地震, 由于震源尺度为数十公里, 那么作为一种近似, 其孕震区尺度就等于其两侧调整单元尺度之和, 即为震源尺度的 4 倍. 所谓异常区尺度是指前兆手段的映震范围. 根据李海华等人^[4]的研究, 异常区的尺度应为震源尺度的 10 倍左右, 即异常区尺度为孕震区尺度的 2 倍. 表 2 给出了将中强地震密集区尺度作为孕震区尺度和将中强地震密集区折合尺度作为异常区尺度所估算的主震震级. 从表 2 中可看出, 对于 7 级地震, 将密集区尺度视作孕震区尺度是较合理的, 而对于 6 级地震, 将密集区尺度视作异常区尺度是合理的, 也就是说密集区尺度的下限为孕震区尺度, 而上限则可能是异常区尺度, 据此可以给出预测的地震危险区内可能发生的地震震级的上、下限值.

表 2 用折合孕震区尺度和折合异常区尺度算出的震级与实际震级的对比

地震			密集区 最大尺 度/km	折合孕震区	折合异常区	备注
时间	地点	震级		所得震级 (震源尺度 = 最大尺度/5)	所得震级 (震源尺度 = 折合尺度/10)	
1944	乌苏	7.2	425	7.3	6.7	双侧调整
1944	乌恰	7.0	420	7.3	6.7	双侧调整
1949	轮台	7.25	360	7.2	6.6	双侧调整
1955	乌恰	7.0	340	7.1	6.5	双侧调整
1974	阿克陶	7.3	360	7.2	6.6	双侧调整
1985	乌恰	7.1	300	7.0	6.4	双侧调整
1953	巴楚	6.0	125	6.2	6.2	单侧调整
1955	尼勒克	6.5	400	7.3	6.7	双侧调整
1959	温宿	6.75	250	6.8	6.8	单侧调整
1959	博乐	6.5	240	6.8	6.8	单侧调整
1961	伽师	6.8	300	7.0	6.4	双侧调整
1962	博乐	6.4	440	7.4	6.8	双侧调整
1965	乌鲁木齐	6.6	190	6.6	6.6	单侧调整
1969	乌什	6.5	330	7.1	6.5	双侧调整
1972	巴楚	6.2	270	6.9	6.3	双侧调整
1973	精河	6.0	190	6.6	6.6	单侧调整
1977	伽师	6.2	135	6.3	6.3	单侧调整
1979	库车	6.0	250	6.8	6.8	单侧调整
1987	乌什	6.4	310	7.0	6.4	双侧调整
1991	柯坪	6.5	150	6.4	6.4	单侧调整
1996	阿图什	6.9	200	6.7	6.7	单侧调整

注: 计算所用公式为 $M_s = 2.1 \lg L + 3.3$ (其中 L 为震源尺度)

由于构造属性和介质环境的差异而引起震源尺度及孕震区尺度的变化是不大的, 但由此引起的前兆异常区尺度的变化则是不容忽略的, 例如走向近东西的北天山及南天山东段构造带强震前中强地震密集区最大尺度大于走向北东的南天山西段密集区的最大尺度, 也就是说前者异常区的范围比后者大(就相同震级地震而言).

从图 5 中可以看出, 北天山及南天山东段地区 5 级地震异常区的范围为 200~300 km, 6 级以上地震异常区的范围为 350~500 km. 南天山西段地区 5 级地震异常区的范围为 120~250 km, 6 级地震异常区的范围为 250~375 km, 而 7 级地震异常区的范围为 375~500 km. 也就是说, 根据相同尺度的异常区预测震级时, 南天山西段的相应震级应比北天山及南天山东段

高1级.

通过对中强地震密集区与主震三要素之间关系的研究可以得到以下基本结论:

(1) 强震多发生在中强地震密集区及其边缘.

(2) 若每平方度内中强地震个数大于4或8,且中强地震集中活动区尺度大于150 km,则这样的地区就属于中强地震密集危险区.

(3) 对南天山西段而言,密集区尺度 L 与主震震级 M_S 符合下列关系:

$$M_S = 7.14 \log L - 11 (L/100 \text{ km}).$$

(4) 密集区尺度下限为孕震区尺度,上限为异常区尺度.

(5) 北天山及南天山东段密集区尺度大于南天山西段(对相同震级地震而言).

(6) 6级地震密集区时间尺度一般为3~6年,而7级地震一般为5~10年.

综上所述,判定中强地震密集区的原则是:地震活动区应有一定的尺度;活动区内中强地震活动应有一定的密度;中强地震活动区的时间尺度与震级相关.当然本文只是总结归纳了新疆地震活动的情况,这种现象是否具有普适性还需进一步深入研究.

参考文献

- [1] 白超英,曲延军,李茂玮,等.新疆7级强震前的围空特征[J].内陆地震,1992,6(1):12~18.
- [2] 郭增建,秦保燕.震源组合模式与地震预报[J].地震科学研究,1979,1(1):49~51.
- [3] 白超英,秦保燕.深部剪切形变带对浅源地震的控制[J].西北地震学报,1990,12(1):1~11.
- [4] 李海华,张勇利,张文孝,等.地震自相似现象初探[J].内陆地震,1990,4(4):292~300.

STUDY ON THE RELATION BETWEEN THE MODERATE EARTHQUAKE CONCENTRATING REGIONS AND THE THREE PARAMETERS OF FUTURE STRONG EARTHQUAKES

BAI Chao-ying

(Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang 830011)

Abstract

In order to locate the dangerous region for annual determination of seismic background, the relationship between the three parameters of future strong earthquakes and the moderate earthquake concentrating regions in the Tianshan seismic zone is analyzed. The results show that most strong quakes occur in the concentrating regions and their borders, especially the borders, and magnitude of strong earthquakes is related to the concentrating region size. The principle of determining the concentrating region is that length of the concentrating region is larger than 150 km and the number of earthquakes in the region is equal to or larger than 4. Further more, the relation among the source size, seismogenic zone size, concentrating region size and anomaly area size is discussed. It is considered that upper and lower limits of the concentrating region size are the anomaly area size and seismogenic zone size respectively.

Key words: Xinjiang; Seismic activity; Seismic concentrating region; Tianshan seismic zone