

伽师强震群活动期间地震窗异常特征研究

李莹甄, 曲延军

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 分析研究了 1997~1998 年伽师强震群活动期间阿图什余震窗和喀什地震窗月频、旬频、日频的异常特征. 结果表明, 两地震窗的异常形态具有一定的相似性, 起止时间也具有同步性. 月频度异常形态多经过 2~3 个峰值后在高值发震; 旬频度、日频度异常形态则表现为高值—低值—发震; 日频度异常出现在震前 1~3 d. 通过对比分析伽师强震群 1997 年和 1998 年的活动特征发现, 阿图什余震窗和喀什余震窗在 1997 年几组后续 6 级地震前小震日频度均在指数衰减背景上明显升高, 而 1998 年 2 组强震前指数衰减背景不明显.

关键词: 地震窗; 地震频度; 异常特征; 强震序列; 伽师地震

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)04-0368-08

0 引言

自 1996 年 3 月 19 日在阿图什发生 6.7 级地震后, 1997 年 1~4 月又在相距约 50 km 的伽师县境内连续发生了 7 次 6 级以上地震, 1998 年这一地区又继发了 3 次 6 级地震(包括 3 月 19 日阿图什 6.0 级地震). 9 次伽师 6 级地震的震中呈南北向分布, 集中在南北长 59.5 km, 东西宽 32 km 的范围内, 并有向东北方向迁移的趋向. 这 11 次 6.0~6.9 级强震在 2a 多的时间内接连发生在如此小的范围内实属近年来板内地震所罕见^[1]. 因此, 加强这一地区的地震活动性的研究有十分重要的意义.

地震窗作为南天山西段日常地震监测预报的重要手段之一, 曾对伽师孕震区应力场的变化起过积极的监测作用. 本文试图对伽师强震群期间地震窗活动规律作出分析.

地震窗的概念是在 1980 年前后由王泽皋、姜秀娥在研究邢台地震的余震频度衰减时首次提出的^[2,3]. 1990~1993 年敖雪明等又在新疆境内寻找到 15 个地震窗并组成天山地震窗口网. 地震窗是指某些能以微震活动形式灵敏反映区域应力场变化的特殊构造部位^[4]. 它可分为震群窗(或称常时窗)和余震窗. 日常出现的小震活动监视区域应力场和震源应力场变化的地震窗通常被称为震群窗. 本文所提到的地震窗多为此类; 而以余震起伏作为区域应力场和震源应力场变化效应的地震窗称为余震窗^[5], 如阿图什余震窗. 余震窗的设立对于监视震源区应力场的变化有重要意义.

从对历史地震的检验情况看, 阿图什窗和喀什窗对其周围地区发生的中强震有明显异常特征, 异常有较好的对应率. 因此用这两窗对这一地区的中强地震进行监测是完全可行的. 文

献 [1] 曾对 1997 年伽师强震群期间地震窗异常特征作了研究. 本文在此基础上重点研究喀什地震窗和阿图什余震窗在 1997~1998 年伽师强震群期间的月频、旬频、日频的异常特征.

1 伽师强震群活动概况

1996 年阿图什 6.7 级地震之后, 1997 年 1 月 21 日又发生伽师地震, 截止到 1998 年 8 月 27 日这一地区共发生 6 级以上地震 11 次. 根据震群本身在时间上的关联特征把伽师震群和 1998 年阿图什地震分为 5 组, 分析统计见表 1 和图 1.

表 1 1996~1998 年伽师强震群 6.0 级以上地震

震群 分组	发震时间	M_s	震中位置		备注
			φ_N	λ_E	
	1996-03-19 23:00; 25.0	6.7 ¹⁾	40°08'	76°37'	新疆地震目录
第 1 组	1997-01-21 09:47; 13.3	6.2	39°39'	77°01'	中国地震局地球物理研究所临时报告震级
	1997-01-21 09:48; 21.1	6.3	39°35'	77°03'	中国地震局地球物理研究所临时报告震级
第 2 组	1997-03-01 14:04; 13.8	6.0	39°34'	76°57'	全国台网震级
第 3 组	1997-04-06 07:46; 16.3	6.3	39°31'	77°02'	全国台网震级
	1997-04-06 12:36; 32.5	6.4	39°33'	77°02'	全国台网震级
	1997-04-11 13:34; 43.5	6.6	39°36'	76°58'	全国台网震级
	1997-04-16 02:19; 09.4	6.3	39°41'	76°58'	全国台网震级
第 4 组	1998-03-19 21:53; 33.0	6.0 ¹⁾	40°10'	76°47'	全国台网震级
第 5 组	1998-08-02 12:40; 40.0	6.1	39°43'	77°03'	新疆地震目录
	1998-08-27 17:03; 33.0	6.4	39°49'	77°08'	新疆地震目录

1) 阿图什地震

2 资料的选取及异常判定

在进行区域背景异常研究中, 选取天山地震窗口网中的水磨沟窗、石场窗、精河窗、乌苏窗、温泉窗、拜城窗、阿合齐窗、乌什窗、喀什窗、阿图什窗、塔什库尔干窗、和田窗(图 1). 以窗所在的台站为中心, 取 $t_s - t_p \leq 10$ s 范围内 $M_L \geq 1.0$ 地震. 天山地震窗口网选取 1996~1998 年资料. 分析时, 地震窗频度异常作为区域应力场变动的一种表现, 只作背景异常看待而不具体对应某一地震. 因为在伽师地震发生前大区域地震窗口网异常无法准确

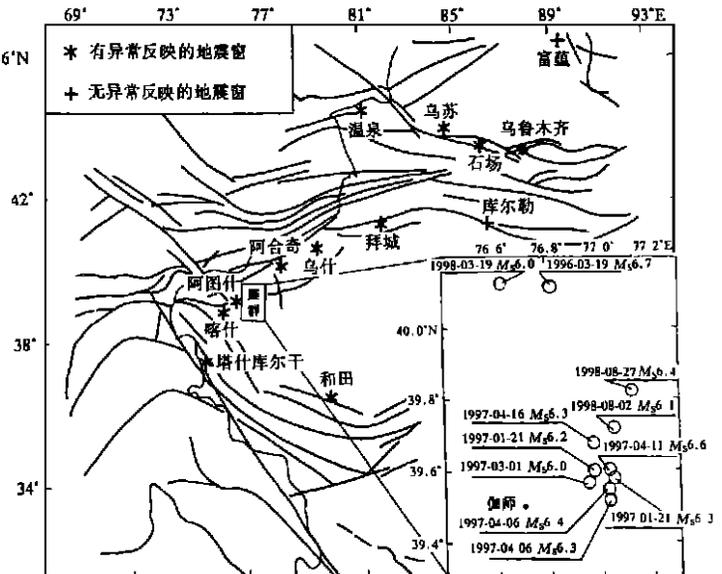


图 1 新疆地震窗口网分布及伽师强震群 ($M_s \geq 6$) 震中分布

Fig. 1 The epicenters of Jiashi strong earthquake swarm ($M \geq 6.0$) and the seismic windows in Xinjiang.

判定发震地点,但它监视到区域应力场的变化,预示着大地震的到来.

为把握伽师震群异常特征的窗口,这里阿图什窗选取 $t_s - t_p \leq 11$ s,这样伽师强震群序列中指定震级下限以上的地震大部分都能落入窗内,以此建立起伽师震群的阿图什余震窗.伽师近源区的喀什窗,阿图什窗资料长度取 1996~1998 年.特别需要指出的是,单窗对应地震的震级下限为 6.0 级,而将对应 5 级或 4 级地震的异常都看作是 6.0 级以上大震发生前区域地震活动增强的一种表现.

对于每个地震窗,以最大限度突出异常为原则选取一条经验性警戒线作为异常判据;余震窗警戒线是以茂木的余震随时间衰减的理论拟合曲线 $N(t) = a - p^t$ 为准的.单窗的异常警戒线并非固定不变,有时须根据大震后地震活动水平的变化来重新确定.

3 趋势异常背景分析

伽师强震群发生前,在区域场上 14 个地震窗中有 10 个出现异常(图 1).根据异常窗口数与震级之间的经验关系计算出的震级为 6.7,只比伽师强震群总能量偏小一点.出现异常的地震窗主要分布在天山地震带内,异常范围较以往单个 6 级地震偏大.

伽师强震群发生前,窗口网最早出现异常是在 1996 年 4 月(图 2),异常主要集中在 1996 年 4~6 月,与 1997 年伽师强震群 1 月 21 日 6.2 级首次地震间隔 6 个多月,这与以往单个强震震例中异常集中分布在震前 1~2 个月相比明显偏长.1998 年 3 次 6 级以上地震发生前,窗口网异常最早出现在 1997 年 8 月,异常集中在 1997 年 11~12 月,与 1998 年 3 月 19 日 6.0 级首次地震时间间隔 3 个多月,这与 1997 年伽师强震群相隔 6 个月相比显然时间较短.表明 1998 年伽师强震群的总规模比 1997 年要小.

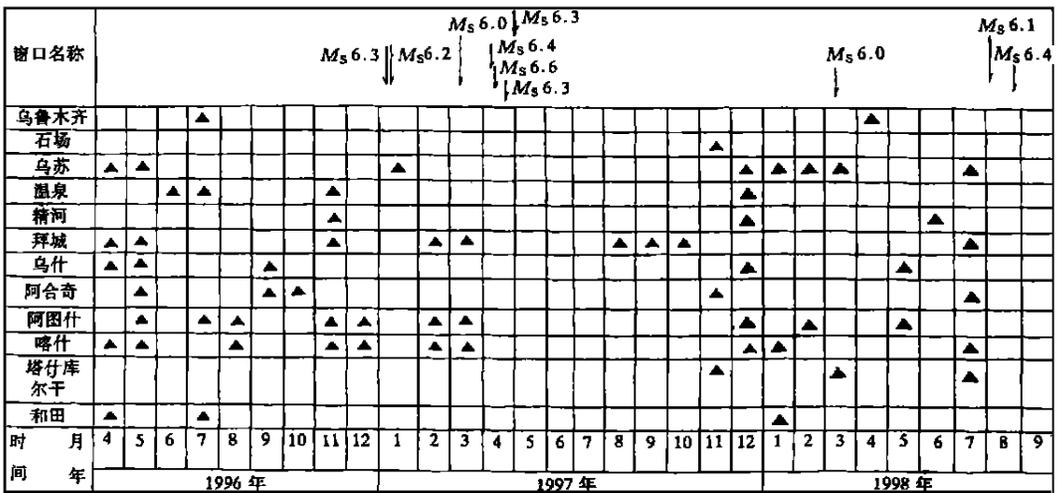


图 2 伽师强震群期间地震窗口网异常的时间分布

Fig. 2 Distribution of anomalies of seismic window networks with time during Jiashi strong earthquake swarm.

从伽师地震的发生过程看,断裂处于失稳的临界状态,而且失稳的过程是一个逐渐展开的过程.所以其影响的区域和时间都比快速失稳的独立地震广而长.从以上对地震窗口网异常的数量、异常集中的时间、异常分布的范围的分析就可以看出,根据喀什窗和阿图什窗对伽师震群的反应情况,先对伽师震群的 5 组地震进行窗的月频度检测,再对由于发震时间靠近而检测不出来的地震进行旬频度和日频度检测,通过这种方式以期寻找到一种最大限度反映伽师

强震群的地震窗异常特征和方法(指标).

4 伽师强震群活动期间喀什和阿图什两窗异常特征分析

4.1 小震月频度异常特征

图3为伽师强震群期间喀什窗和阿图什窗月频度时序图,表2统计归纳了在此期间两窗月频度异常特征.综合分析相应的图表可以得出以下2点认识:

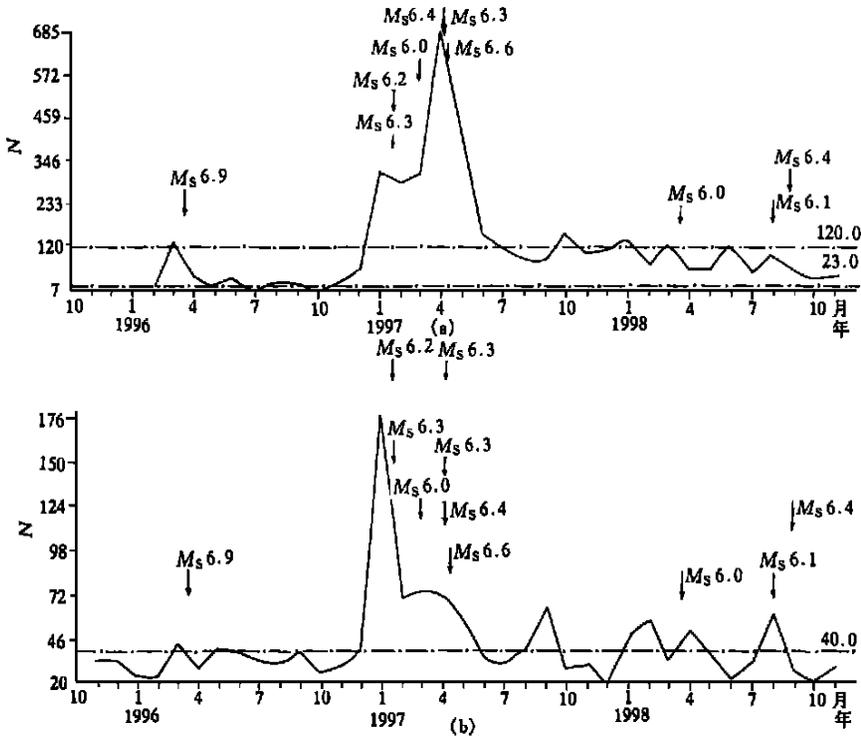


图3 1996~1998年阿图什窗(a)和喀什窗(b)月频度曲线

Fig. 3 The anomalous curves of monthly frequency of Atushi window (a) and Kashi window (b) from 1996 to 1998.

4.1.1 异常形态特征

两窗的异常形态具有一定的相似性.第1组地震前和第4组1998年3月19日阿图什地震前,阿图什地震窗和喀什地震窗异常形态都表现为三峰值,即高值—低值—高值—低值—高值—发震的过程.异常持续时间为3~5个月不等,大多为两两高值连续分布.喀什地震窗对第4组地震的异常形态是两峰值.这2次地震都是在窗异常高值时直接发震的.

第2、第3和第5组中的首发地震则表现为高值—发震的异常形态.这可能是由于地震间隔时间短,异常没有足够时间发展的缘故.

4.1.2 异常的时间进程特征

两窗异常的起止时间具有同步性.第1组首发地震为1997年1月21日6.2级、第2组为3月1日6.0级和第3组为4月6日6.3级地震,两窗异常出现的时间都为1996年5月、1997年2月和1997年3月.1998年发生的第4、第5组地震阿图什窗异常时间稍超前于喀什窗2个月.

表2 1997~1998年伽师震群及阿图什6级地震发生前喀什窗和阿图什窗月频度异常

地震		阿图什地震窗			喀什地震窗		
发生时间	震级 M_S	异常时间	异常形态	异常月数	异常时间	异常形态	异常月数
1997-01-21	6.2	1996-05~12 异常超前时间1个月	高值—低值— 高值—低值— 高值— 发震	5个月 分布1~2、 3~4、5 ¹⁾	1996-04~12 异常超前时间1个月	高值—低值— 高值—低值— 高值— 发震	5个月 分布为1、 2~3~ 4、5 ¹⁾
1997-01-21	6.3						
1997-03-01	6.0	1997-02 异常超前时间1个月	高值—发震	1个月	1997-02 异常超前时间1个月	高值—发震	1个月
1997-04-06	6.3	1997-03 异常超前时间3个月	高值—发震	1个月	1997-03 异常超前时间3个月	高值—发震	1个月
1997-04-06	6.4						
1997-04-11	6.6	漏	漏	漏	漏	漏	漏
1997-04-16	6.3	漏	漏	漏	漏	漏	漏
1998-03-19	6.0	1997-12~ 1998-02 异常超前时间1个月	高值—低值— 高值— 发震	2个月 分布为 1~2 ¹⁾	1997-12~ 1998-01 异常超前时间2个月	高值—低值— 发震	2个月 分布为 1、2 ¹⁾
1998-08-02	6.1	1998-05. 异常超前时间3个月	高值—低值— 发震	1个月	1998-07 异常超前时间1个月	高值—发震	1个月
1998-08-27	6.4	漏	漏	漏	漏	漏	漏

1) 异常月数的分布:“1~5”表示第几个异常;“-”表示异常间隔;“、”表示异常连续。

1997~1998年的第1组和第4组首发地震前,两窗的异常超前时间较长,为3~6个月,而其它地震异常超前时间则为1~2个月.从这里可以看出,伽师强震群型地震与以往单个强震震例中异常集中分布在震前1~2个月相比,显然时间偏长.

由于伽师强震群多个中强以上地震的间隔时间短且发震地点十分接近,导致多次地震之前,阿图什和喀什地震窗的月频度只能判定每组地震中首发的地震.而对尾随其后的地震显得无能为力,造成1997年4月11日、4月16日和1998年8月27日3次地震之前两窗毫无反应.所以需在时间尺度较小的频次变化中寻找异常.

4.2 小震旬频度异常特征

与月频度异常特征相比,旬频度异常特征更加细致,内容也更为丰富,异常特征与月频度有所不同(图4),主要特征为:

4.2.1 异常形态特征

两窗对1997~1998年各组地震的异常形态比较一致,都表现为高值—低值—发震.需要指出的是第2组1997年3月1日6.0级和第3组4月6日6.3级地震之前旬频窗的“低值”发震是超过警戒线相对低值异常的.

4.2.2 异常时间进程特征

1997~1998年伽师震群发生前两窗旬频度异常超前时间相差无几.1997年异常大多在震前10d左右出现.1998年的异常超前时间较1997年长,为30~90d不等.

1998年8月27日6.4级地震前喀什窗曾在震前15d出现异常.但阿图什旬频窗则对此次地震毫无反应.此外,1997年4月11日6.6级、4月16日6.3级地震是在两窗旬频度无异常的情况下发震的.可以看出旬频度虽比月频度的检测能力稍强,但对各组内发震时刻靠近的地震还是无能为力.

4.3 小震日频度异常特征

日频度异常较月频度和旬频度更为复杂,判断的难度较大(图5和图6).

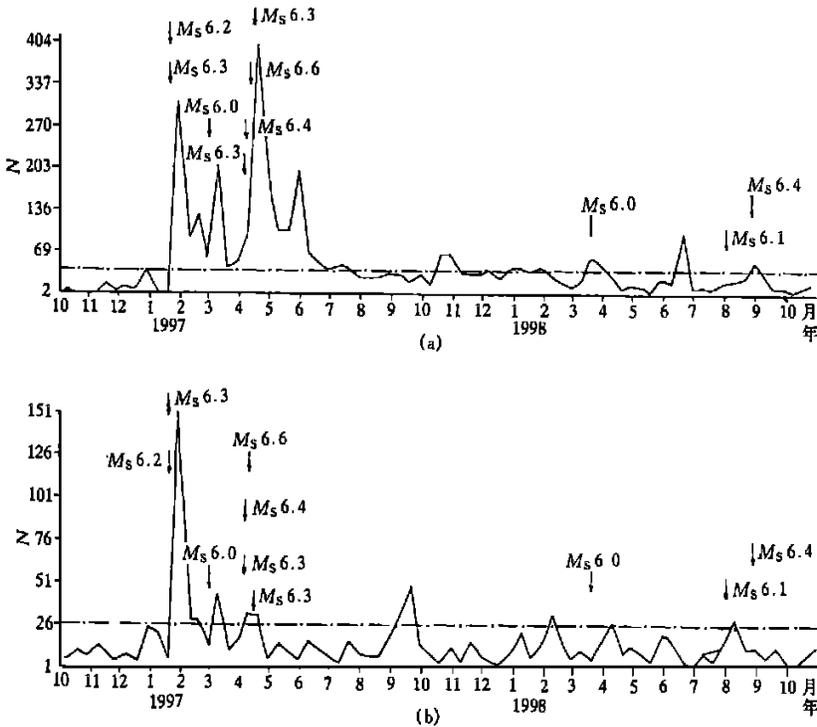


图4 1997~1998年阿图什窗(a)和喀什窗(b)旬频度时序

Fig. 4 The anomalous curves of ten days frequency of Atushi window (a) and Kashi window (b) from 1997 to 1998.

4.3.1 异常形态特征

异常形态大都表现为低值—发震.5组地震中的首次地震为高值—低值—高值—低值—发震的多日异常形态.而每组中的后发地震大多表现为高值—发震.异常天数为1~3d不等.图5和图6分别是伽师强震群活动过程中阿图什和喀什小震日频度的时间进程曲线.通过对比发现,阿图什余震窗1997年后续几组6级地震之前和喀什窗1997年第2组6级地震之前,小震日频度均在其指数衰减背景上明显升高,呈现出高值—发震或高值—低值—发震的异常形态.但1998年的两组地震指数衰减背景不明显.这一特征的产生是由于1998年伽师2次强震的震中向老震区的东北方向迁移,其余震一部分分布在 77.3°E 以东地区;而阿图什(39.8°N , 76.3°E)余震窗最大半径为98 km,致使相当数量的余震未落入阿图什窗.

4.3.2 异常时间进程特征

对5组地震中的首发地震阿图什、喀什日频窗异常出现的时间较组内的其它地震出现的要早.前者异常开始出现的时间大约在震前30~40d.后者异常一般出现在震前10d以内.

通过对比发现,阿图什日频窗比喀什日频窗对1997~1998年伽师强震群及阿图什地震有较高的分辨率.阿图什日频窗能将非同日的地震显现出来.而喀什日频窗却将1997年4月6日6.3级、4月16日6.3级和1998年8月27日6.4级地震遗漏掉.但对于同一天发生的后继地震两窗均表现得无能为力.

5 结论与讨论

通过以上分析可以看出,伽师强震群期间地震窗异常具有以下特征:

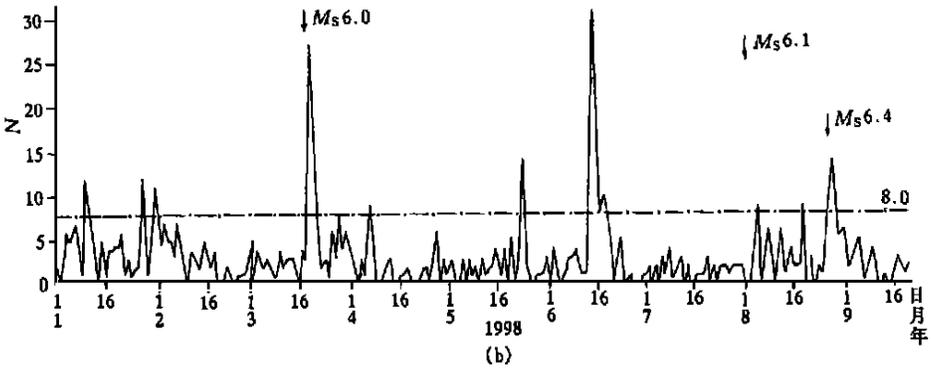
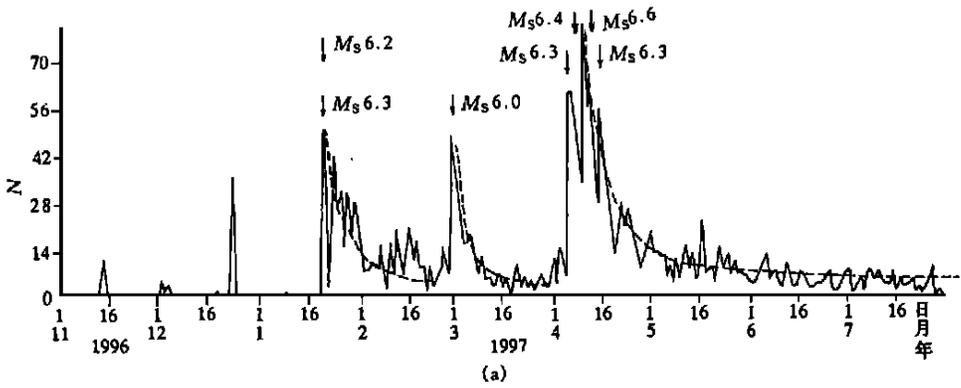


图5 阿图什窗 1996~1997年(a)和1998(b)日频度变化特征对比
 Fig. 5 The characteristics of daily frequency variation of the Atushi aftershock window in 1997(a) and 1998(b).

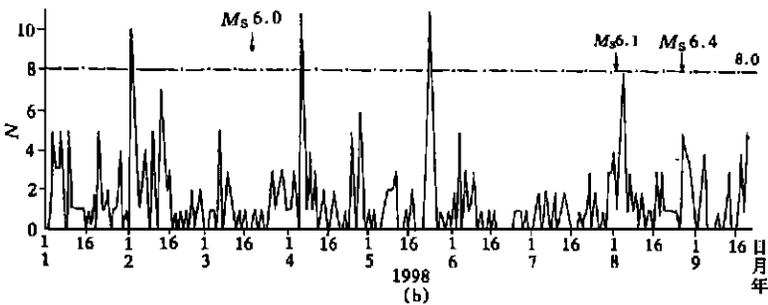
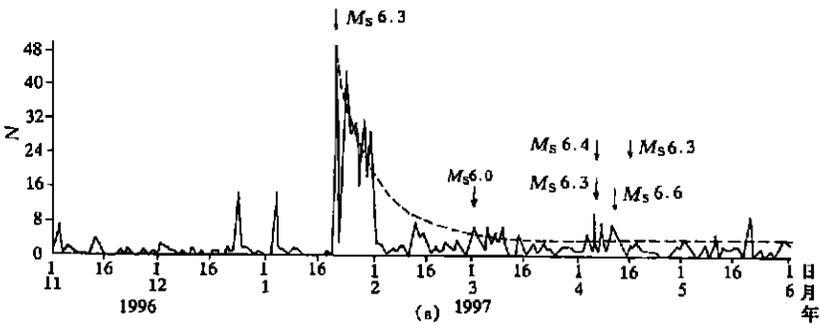


图6 喀什窗 1996~1997年(a)和1998(b)日频度变化特征对比
 Fig. 6 The characteristics of daily frequency variation of the Kashi window in 1997(a) and 1998(b).

(1) 伽师强震群期间在广大的区域特别是天山地震带内的地震窗网都有异常反映。

(2) 伽师强震群期间每组地震中的首发地震均可在月频度和旬频度异常中识别, 而多数的后续地震只在日频度中有反应。

(3) 从异常的形态看, 月频度异常多表现为高值发震; 旬频度异常为低值发震; 日频度则表现为多日异常的低值发震。

(4) 从异常的时间进程看, 伽师强震群前阿图什和喀什地震窗异常持续的时间和异常间隔的时间都较长; 而每组地震中首发地震异常持续时间比后续地震长。

(5) 通过对比分析伽师强震群 1997 和 1998 年的活动特征还发现, 阿图什余震窗在 1997 年几组 6 级地震前和喀什地震窗第 2 组 6 级地震前小震日频度均在其指数衰减背景上明显升高, 但 1998 年的两组地震前指数衰减背景不明显。

喀什窗和阿图什窗距离伽师震群的震中距差别不大, 而两窗的异常特征却同中有异, 阿图什地震窗比喀什地震窗对伽师强震群反映得更好一些. 这可能与以下 2 点有关: ① 伽师强震区大部分地震落在阿图什余震窗内, 这样一来在细微的日频度中, 阿图什窗就能将相距不到一个月的 2 次地震检测出来; ② 由于喀什、阿图什距伽师强震群的距离不同, 1997 年阿图什窗的小震基本上是伽师震群, 所以它较多地反映了伽师震群序列中的强震前兆特征。

本文是在王海涛副研究员、教学明研究员的悉心指导下完成的, 在此谨致谢意。

[参考文献]

- [1] 朱令人, 苏乃秦, 杨马陵. 1997 年新疆伽师强震群及三次成功的临震预报[J]. 中国地震, 1998, 14(2): 101—115.
- [2] 王泽皋. 邢台余震频度增高及以后发生的华北强震[J]. 地震学报, 1979, 1(1): 150—153.
- [3] 姜秀娥, 单锦芬. 华北强地震余震群应力场“窗口”效应[J]. 西北地震学报, 1982, 4(4): 41—45.
- [4] 敖雪明, 王桂岭, 周仕勇, 高国英, 吴小玲. 新疆地震窗口网在强震短临跟踪预报中的应用研究[J]. 地震学报, 1994, 16(增刊): 56—66.
- [5] 姜秀娥, 张国民, 单秀芬, 王惠敏. 地震窗在地震预报中的应用[A]. 见: 地震预报方法实用化研究文集地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 298—311.
- [6] 国家地震局预测防御司. 测震学分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [7] 国家地震局预测防御司. 大陆地震预报的方法和理论——中国“八五”地震预报研究进展[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [8] 扬欣, 高国英. 1997 年伽师强震群序列特征和震源机制的初步研究[J]. 地震学报, 1998, 20(6): 573—579.
- [9] 马宗晋. 华北地壳的多(应力集中)点场与地震[J]. 地震地质, 1980, 2(1): 39—47.
- [10] 王泽皋. 关于“震情窗口”问题的实践和展望[J]. 地震学报, 1986, 8(3): 254—262.
- [11] 敖雪明, 王桂岭. 地震窗方法在新疆伽师强震群短临预报中的应用[J]. 内陆地震, 1998, 12(4): 289—295.
- [12] 李晏平, 王兴辉. 云南地区震情窗口预报方案研究[A]. 见: 地震预报方法实用化研究文集地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 343.
- [13] 王泽皋, 郭妍, 李淑莲, 戴英华, 孙佩卿. 震情窗口、震情地带、震情网络[A]. 见: 地震预报方法实用化研究文集地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 331.
- [14] 王桂岭, 敖雪明, 等. 中国乌恰 6.4 级地震和苏联巴依沙隆 6.7 级地震前地震窗的异常及其预报[J]. 内陆地震, 1991, 5(2): 126—131.
- [15] 陈万正. 前兆地震活动“窗口”或敏感部位的寻觅及有效性估计[J]. 地震研究, 1984, 7(6): 657—665.

(下转 406 页)

- [8] Lippmann R P. An introduction to computing with neural nets[J]. IEEE ASSP Magazine, 1987, 4(2): 4—22.
- [9] 冯德益, 林命周, 顾瑾平, 等. 模糊地震学[M]. 北京: 地震出版社, 1992. 267.
- [10] 邓聚龙. 灰色系统(社会, 经济)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985. 49—52.
- [11] 国家地震局. 中国强震简目[M]. 北京: 地震出版社, 1977. 6—19.
- [12] 宁夏回族自治区地震局. 宁夏地震目录[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1982. 172—274.
- [13] 冯利华, 吴樟华. 地震活动趋势的逐步回归周期分析[J]. 地震学刊, 1997, (1): 42—45.

ON THE SEISMIC ACTIVITY BASED ON THE NEURAL NETWORK

FENG Li-hua

(*Department of Geography, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China*)

Abstract: The artificial neural network can complete the news treatment of the whole network by means of a mutual function between the neural units, and has a lot of merits of self-learning, self-adjusting and suchlike. Therefore it is feasible that the seismic activity is researched by the neural network. The analysis system based on the neural network is initially set up and an applied example is put forward in the light of the problem of seismic activity.

Key words: Seismic activity; Artificial neural network; Back-propagation algorithm

(上接 375 页)

ON CHARACTERISTICS OF SEISMIC WINDOW ANOMALY DURING THE JIASHI EARTHQUAKES SWARM

LI Ying-zhen, QU Yan-jun

(*Xinjiang Seismological Bureau, Urumqi 830011, China*)

Abstract: A large number of seismologic windows in a great area, especially in the Tian shan earthquake belt, showed clear anomaly during the Jiashi strong earthquake swarm from 1997 to 1998. Strong earthquakes of the swarm can be divided into five groups according to the occurrence time. The first strong earthquake of each group can be checked out by the monthly and ten-days microseism frequencies of Kashi and Atushi seismic windows. The succedent strong earthquakes of each group can be checked out by the daily microseism frequency of the Kashi and Atushi seismic windows. It can be found from the anomalous features that strong earthquakes occurred usually after a high value of monthly frequency or after a low value of ten-days frequency and after a low value of daily frequency. It can be also found from the temporal process of the window anomalies that the duration and interval of the anomalies of Kashi and Atushi seismic windows during Jiashi earthquake swarm are longer than those of a single event. The duration of the anomaly during the first strong shock of each group is longer than that of the succedent strong earthquake. The daily frequencies of the two windows notably increased before the succedent strong earthquakes occurred from the exponential attenuating background in 1997, but in 1998 the daily frequencies increased before the strong earthquake occurred in the normal background. The results of the analyses indicate that the earthquake window is a valuable method in earthquake prediction.

Key words: Seismic window; Seismic frequency; Anomalous character; Strong earthquake sequence; Jiashi earthquake