

张琳琳、敖雪明、聂晓红,2017,2017年精河6.6级、库车5.7级地震前“库米什地震窗”异常特征分析,中国地震,33(4),721~727。

## 2017年精河6.6级、库车5.7级 地震前“库米什地震窗”异常特征分析

张琳琳 敖雪明 聂晓红

新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐市新市区科学二街338号 830011

**摘要** 2017年8月9日新疆精河6.6级、9月16日库车5.7级地震前“库米什地震窗”均出现异常。为了对该异常指标作出评价,对新疆库米什地震台2008年1月~2017年9月微震观测记录进行普查,分析在 $\bar{S}-\bar{P} \leq 10s$ 范围内 $M_L \geq 1.0$ 小震的月频次,定义小震月频次 $\geq 54$ 次为“库米什地震窗”的异常标准,统计“库米什地震窗”异常与附近中强地震间的对应关系,并对其进行预测效能评价。结果显示:①“库米什地震窗”分别在精河6.6级、库车5.7级地震前3.3个月、0.5个月出现异常;②“库米什地震窗”2008年以来出现7组异常,分别对应了天山中部地区6次5.5级以上地震,优势发震时间为6个月;③“库米什地震窗”的异常形态表现为高值—低值—一发震或高值—一发震,异常的对应率为6/7, $R$ 值评分为0.45,预测效能评价较好。

**关键词:** 库米什地震窗 异常标准 效能评价 中强地震

[文章编号] 1001-4683(2017)04-0721-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

### 0 引言

2017年8月9日精河发生6.6级地震后,9月16日相距240km的库车县又发生了5.7级地震,这2次中强地震均发生在天山中部地区,该区域2011年11月1日尼勒克、巩留和2012年6月30日新源、和静相继发生了6.0级、6.6级地震,但是,近年来在此范围内5.5级以上中强地震(震群型地震除外)在1.5个月的时间内接连发生的情况实属罕见。因此,加强对该区域地震活动性的研究有着重要的意义。

“地震窗”的地震活动可用来表征区域构造应力场,即主要通过弱震活动形式来反映区域应力场变化的特殊构造部位。“地震窗”为新疆日常地震监测预测的重要手段之一,20世纪80年代“七五”科技攻关前后,新疆地震局开展了“地震窗”预测方法研究与应用,并取得了不同程度的效果。利用“地震窗”预测地震主要基于“地震窗”内周、月频次变化及其与中强地震间的对应关系来进行分析研究的(敖雪明等,1998;郑兆苾等,1999;陈运平等,2001;刘小凤等,2003;王培玲等,2004;姜秀娥等,1989;薛丁等,2012)。李莹甄等(2000)对伽师强

[收稿日期] 2017-10-22; [修定日期] 2017-12-12

[项目类别] 中国地震局震情跟踪定向工作任务(2017010127)、中国地震局地震预测研究所新疆精河6.6级地震深入科学研究项目(1747074512)共同资助

[作者简介] 张琳琳,女,1986年生,工程师,主要从事地震预测、地震活动性研究。E-mail: zly606@126.com

震群活动期间“喀什地震窗”和“阿图什余震窗”异常特征进行研究发现,1997年几组后续6级地震前小震频次明显增加。王桂岭等(1991)对1990年新疆乌恰6.4级地震前“地震窗”的异常特征进行分析,并讨论了所得结果可能的物理机制。但是,随着新疆区域地震台的地震数据由模拟式记录转换为数字化记录,导致了原有“地震窗”资料的中断。因此,为满足短期地震预测的需要,以便于更加深入和系统地研究新疆各地震台数字记录数据,有必要重新普查并构建新的“地震窗”。“库米什地震窗”就是在这项研究中筛选出来的预测效能相对较高的窗口。

以库米什台为中心,选取2008年以来 $\bar{S}-\bar{P} \leq 10s$ 范围内 $M_L \geq 1.0$ 地震的月频次进行分析,开窗指标主要以频次异常为主,2017年8月以来,天山中部地区相继发生了精河6.6级、库车5.7级地震,2次中强地震前“库米什地震窗”均表现出不同程度的异常,通过对“库米什地震窗”异常与北天山中强地震之间的关系进行分析,获取“库米什地震窗”的异常指标,同时对其预测效能进行评价,以期对北天山中强地震活动趋势研判提供参考依据。

## 1 “库米什地震窗”概况

“库米什地震窗”位于北天山地震带,历史地震活动水平较高,1600年以来,史料记载该区曾经发生过32次6级以上地震,其中,6级地震25次;7级地震6次;8级地震1次,即1812年3月8日尼勒克8级地震。2008年以来,发现该区域微震、小震活动频繁,并且这些小震活动与北天山地区中强地震间具有一定相关性。

北天山地震带的强震活动以近EW向逆断裂为主,与逆冲-褶皱活动构造带关系密切。“库米什地震窗”构造区主要位于博罗科努-阿克库都克断裂、伊犁盆地北缘、包尔图断裂和焉耆断裂等交汇区,这些断层性质主要以右旋走滑和逆冲为主(图1),周围地下构造背景复杂。

该窗口的选取是以库米什地震台为中心,以该台记录的 $\bar{S}-\bar{P} \leq 10s$ 范围内小地震为资料作为常震的“库米什地震窗”。库米什台自2008年以来使用数字化地震仪记录数据,能记录到100km范围内 $M_L \geq 1.0$ 地震,该台地理坐标为 $42^{\circ}18'N$ 、 $88^{\circ}12'E$ 。

## 2 资料和分析方法

### 2.1 研究数据

本文所采用的数据均取自新疆库米什地震台数字地震仪观测记录的微震及小震资料。研究时段为2008年1月~2017年9月,新疆天山中部地区为选取的研究区,“库米什地震窗”所对应中强地震的震源参数来自中国地震台网统一地震目录。

对于“库米什地震窗”所对应中强地震的统计方法作如下规定:若是主-余型地震,则仅取主震;若是震群型、双震型地震,则取其最大地震或是第1个地震作为1次大震事件。

### 2.2 研究方法

Molchan图表法是20世纪80~90年代开始研究者对已开展的经验性地震预测进行科学总结以解决固定研究区强震时间预测问题,并试图给出概率解释而逐渐发展起来的统计检验方法(孙丽娜等,2012;蒋长胜等,2011;Jackson,2004)。该方法涉及的主要变量为:

$v$ (漏报率)——预测“无震”而实际发震的地震数/空间网格数与总的实发地震数/所占

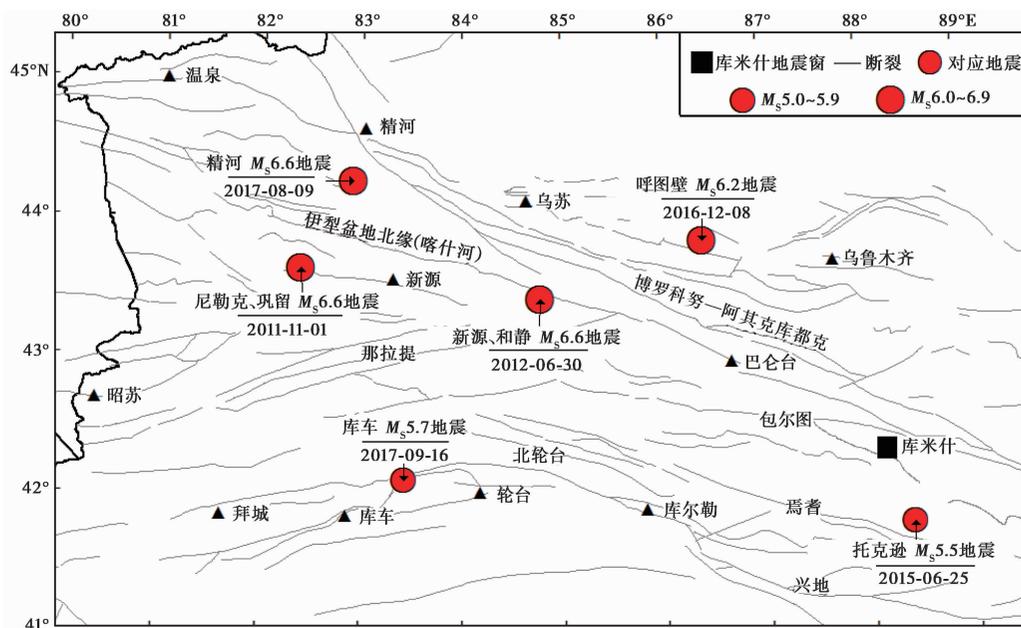


图 1 北天山地震带及震情窗口位置分布

空间网格数之比；

$\tau$  (异常的时空占有率)——发出预测“警报”的时空范围与总的时空范围之比；

$h$  (击中数)——预测“有震”而实际发震的地震数/空间网格数；

$H$  (击中率)——预测“有震”而实际发震的地震数/空间网格数与总的实发地震数/所占空间网格数之比。

Molchan 图表法主要使用  $\tau$  和  $v$  来进行统计评分,最佳预测效能对应应在最大预测成功 ( $v \rightarrow 0$ ) 下付出最小的代价 ( $\tau \rightarrow 0$ )。  $\tau$  在计算中常根据预测检验策略或要求的不同进行加权处理。

Molchan 图表法的概率增益定义为

$$\text{Gain} = \frac{H}{\tau} = \frac{1 - v}{v} \quad (1)$$

概率增益 Gain 在图表中即为  $(\tau, v)$  至  $(0, 1)$  连线的斜率,而当连线为  $(0, 1)$  至  $(1, 0)$  的直线时,  $\text{Gain} = 1$ ,则表示预测方法无统计显著性。在 Molchan 图表中绘制  $\tau \sim v$  曲线,其中,  $\tau \in [0, 1], v \in [0, 1]$ 。地震预测效果的评估主要是在直观上比较  $(\tau, v)$  曲线与 Molchan 图表的边界线  $\tau = 0, v = 0$  所包围的面积,面积越小,则预测效果越好。同时,还需考虑击中数  $h$  所对应的显著性水平。

### 3 “库米什地震窗”的映震分析

#### 3.1 “库米什地震窗”预测指标的确定

以库米什地震台为中心,分析  $\bar{S} - \bar{P} \leq 10\text{s}$  范围内  $M_L \geq 1.0$  地震数据资料,研究该地区的小震活动,即为“库米什地震窗”(或“库米什窗”)的小震活动。根据历史震例和异常的最佳对

应原则的分析,定义“库米什地震窗”小震月频次 $\geq 54$ (即 54 次/月)为“库米什地震窗”的异常标准。

图 2 为“库米什地震窗”2008 年 1 月~2017 年 9 月小震月频次的变化及其与附近中强地震间的关系。由图 2 可见,小震月频次在小于 54 次的范围内随机波动,但是,其中有 7 个点呈现出大于 54 次/月的异常高值,而其后 6 个月内有 6 次  $M_s \geq 5.5$  中强地震与之对应。这 6 次地震震中均位于北天山,其中,4 次对应的中强地震震中位于北天山西段。小震月频次异常特征量以及所对应的中强地震参数见表 1。

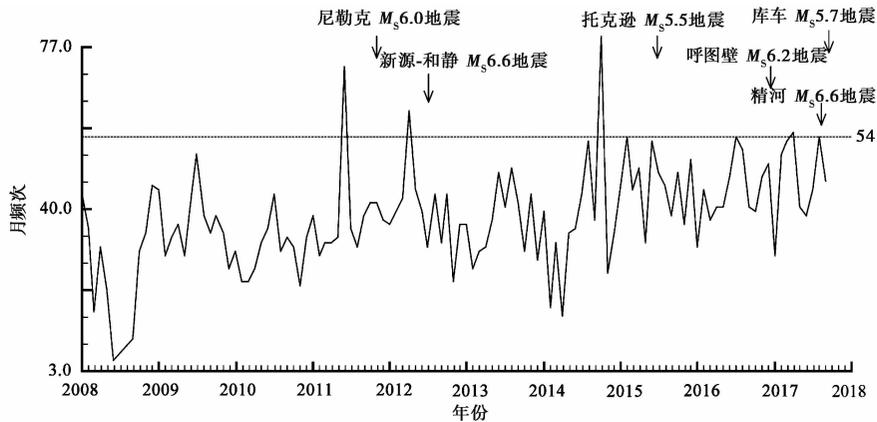


图 2 “库米什地震窗”小震月频次与中强地震( $M_s \geq 5.5$ )间的对应关系

表 1 “库米什地震窗”小震月频次异常与地震间的对应关系

异常月份 $T_1$ (年-月)	对应地震					$(T_2 - T_1)$ /月	震中距 /km
	发震月份 $T_2$ (年-月)	地点	北纬	东经	震级 $M_s$		
2011-06	2011-11-01	尼勒克	43°39'	82°23'	6.0	4.0	489
2012-04	2012-06-30	新源-和静	43°26'	84°46'	6.6	2.0	306
2015-02	2015-06-25	托克逊	41°45'	88°23'	5.5	4.0	60
2016-07	2016-12-08	呼图壁	43°48'	86°24'	6.2	4.3	227
2017-04	2017-08-09	精河	44°18'	82°45'	6.6	3.3	490
2017-08	2017-09-16	库车	42°06'	83°24'	5.7	0.5	390

“库米什地震窗”所对应的 6 次中强地震震中距为 60~490km,其中,小于 400km 的有 4 次。分析“库米什地震窗”的实际资料异常与地震对应情况发现,7 组异常对应了 6 次中强地震。依据许绍燮(1989)的地震预报能力评分方法,对“库米什地震窗”窗口异常进行  $R$  值评分检验,所得  $R$  值评分为 0.45,高于具有 97.5%置信度水平的  $R$  值(0.356),表明该方法的短期预测效能较高。

2017 年以来,天山中部地区 5 级以上中强地震活动水平较高,尤其自 8 月以来,8 月 9 日精河、9 月 16 日库车相继发生了  $M_s 6.6$ 、 $M_s 5.7$  地震,2 次中强地震前“库米什地震窗”均出现了异常,其中,精河 6.6 级地震前 3.3 个月“库米什地震窗”出现异常,震情窗小震月频次 4 月份出现 55 次/月的异常,“库米什地震窗”8 月份出现月频次 54 次的异常,异常结束后 15

天库车发生了 5.7 级地震。由表 1 可见,“库米什地震窗”对应中强地震的震中距有 4 次为 300~490km,而且这 4 次中强地震均位于天山中部地区。距离最近的仅为 60km,即在“库米什地震窗”附近区域发震。

### 3.2 基于 Molchan 模型的“库米什地震窗”预测效能评价

首先,将 2008 年以来“库米什地震窗”的小震月频次数据以及所对应的中强地震进行整理;然后,基于 Matlab 程序对小震月频次数据和所对应地震之间的关系进行分析;再后,在统计检验时,可以根据映震时间的长短进行不同开窗指标的验证;最后,获取用于绘制 Molchan 检验图的数据,同时,依据地震漏报率与预测地震时空占有率间的比率进行效能评价。

当  $Gain=1$  时,则表示预测方法无统计显著性。预测效果以  $(\tau, \nu)$  曲线与 Molchan 图表的边界线  $\tau=0, \nu=0$  所包围的面积来表示,面积越小,则预测效果越好(图 3)。由图 3 可见,  $(\tau, \nu)$  曲线与 Molchan 图表的边界线  $\tau=0, \nu=0$  所包围的面积多数位于  $Gain=1$  以左的范围内,预测效果相对较好。同时,结合上述  $R$  值评分检验结果分析认为,“库米什地震窗”预测效能较好,可将其作为中短期异常指标进行日常跟踪。

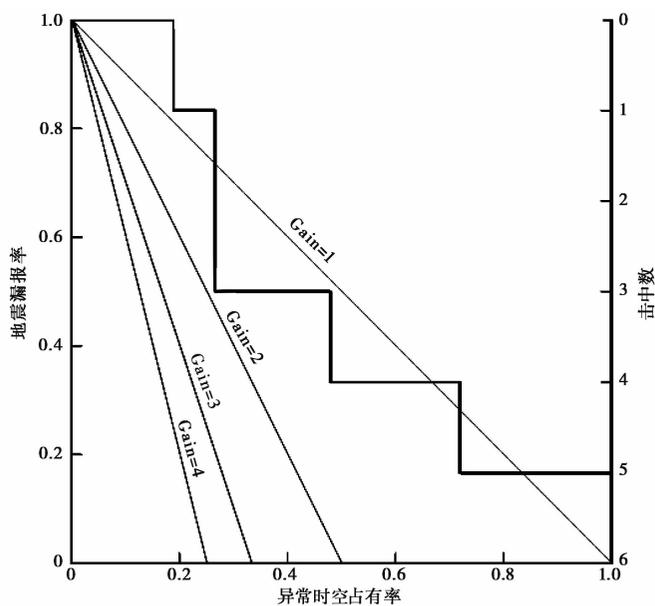


图 3 “库米什地震窗”Molchan 检验效果

## 4 结论与讨论

(1)以库米什地震台为中心,选取  $\bar{S}_p \leq 10s$  范围内  $M_L \geq 1.0$  小地震的月频次,当小震月频次  $\geq 54$  次时即为异常。2008 年以来共出现异常 7 次,6 次异常结束后均有 5.5 级以上地震发生,异常结束后中强地震发震的优势时段为 6 个月,优势发震区域为天山中部地区。2017 年 8 月份以来,精河 6.6 级、库车 5.7 级 2 次地震前“库米什地震窗”均出现异常。

(2)当区域应力场增强时,潜在地震区均为应力集中点,而“库米什地震窗”介质的抗剪强度因降低而出现小震频次增高异常,且可能反复出现,即多点的月频次异常对应地震孕

育过程。通过“库米什地震窗”的异常特征可以判断北天山地震发震时间,但对具体发震地点难以判定。引起区域应力场增强的因素较多,如大震应力触发、地震构造活动等(张彬等,2008)。

(3)基于 Molchan 模型的“库米什地震窗”预测效能评价结果表明,“库米什地震窗”预测效能相对较好,可将其作为中短期异常指标进行日常跟踪。基于 Molchan 模型对“库米什地震窗”的检验属于初步尝试,一些参数的设置需要经过不断的调试进行完善,如开窗指标的条件和时间,都需要经过对不同“地震窗”预测效能的检验评价进行总结。

### 参考文献

- 敖雪明、王桂岭,1998,地震窗方法在新疆伽师强震群短、临预报中的应用,内陆地震,12(4),289~295。
- 陈运平、沈繁鑫,2001,阳江 6.4 级地震晚发余震的窗口效应,华南地震,21(3),15~19。
- 姜秀娥、张国民、单锦芬等,1989,“地震窗”在地震预报中的应用,见:国家地震局科技监测司,地震预报方法实用化研究文集(地震学专辑),296~311,北京:学术书刊出版社。
- 蒋长胜、张浪平、韩立波等,2011,中长期地震危险性概率预测中的统计检验方法 I: Molchan 图表法,地震,31(2),106~113。
- 李莹甄、曲延军,2000,伽师强震群活动期间地震窗异常特征研究,西北地震学报,22(4),368~375。
- 刘小凤、梅秀萍、张小美,2003,青藏高原北部地区地震窗口特征及其预报意义,西北地震学报,25(4),359~364。
- 孙丽娜、齐玉妍、温超等,2012,中长期地震预测中的 PI 算法改进研究及应用,地震,32(4),44~52。
- 王桂岭、敖雪明、奥 A B 等,1991,中国新疆乌恰 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,内陆地震,5(2),126~131。
- 王培玲、胡玉,2004,湟源地震窗预报方法及效能的研究,高原地震,16(4),22~25。
- 许绍燮,1989,地震预报能力评分,见:国家地震局科技监测司,地震预报方法实用化研究文集(地震学专辑),586~589,北京:学术书刊出版社。
- 薛丁、张建业、赵爱萍,2012,海城地震窗地震活动异常提取及其预报效能,地震学报,4(4),487~493。
- 张彬、杨选辉、陆远忠,2008,地震动态应力触发研究进展,西北地震学报,30(3),298~303。
- 郑兆蕊、庆梅、李敏莉,1999,霍山窗与华东中强地震关系研究,地震学刊,(2),1~9。
- Jackson D D,2004,Earthquake prediction and forecasting, In: IUGG, State of the planet: frontiers and challenges, Washington D C: AGU, 225~348。

## Analysis on abnormal-characteristics of the Kümüx seismic window before the Jinghe $M_s6.6$ earthquake and the Kuche $M_s5.7$ earthquake in 2017

Zhang Linlin Ao Xueming Nie Xiaohong

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

**Abstract** The  $M_s6.6$  earthquake in Jinghe on August 9, 2017 and the  $M_s5.7$  earthquake in Kuche on September 16, 2017 occurred successively since August and there were anomalies in the Kümüx seismic window before the two earthquakes. To evaluate the abnormal indicator of the Kümüx seismic window, we investigated the digit seismograph records of the Kümüx seismic station from January 2008 to September 2017, and the monthly frequency change of small earthquakes with  $M_L \geq 1.0$  and the  $\bar{S}-\bar{P}$  value of 10s, and defined the monthly frequency of small earthquakes  $\geq 54$  times (i.e. 54 times/month) as the abnormal index of the Kümüx seismic window, as well as their relationship with nearby strong earthquakes. We made an evaluation on its prediction effectiveness by analyzing the abnormal characteristics of the seismic window and the corresponding relation of the moderate strong earthquakes. The main results showed that: (1) The anomaly of the Kümüx seismic window appeared 3.3 and 0.5 months respectively before the  $M_s6.6$  Jinghe earthquake on August 9, 2017 and the  $M_s5.7$  Kuche earthquake on September 16, 2017. (2) There have been 7 groups of anomalies for the Kümüx seismic window since 2008, which were followed by 6 earthquakes of  $M_s \geq 5.5$  in the central Tianshan area. The advantage time for strong earthquake was within 6 months. (3) The anomaly patterns of monthly frequency for small earthquakes were characterized by high value-low-earthquake or high value-earthquake. The corresponding rate of abnormality was 6/7 and the score of  $R$  value was 0.45. The evaluation result of the prediction efficiency for the Kümüx seismic window is better.

**Key words:** Kümüx seismic window; Abnormal characteristics; Effectiveness evaluation; Medium-strong earthquakes