

The Relationship between the Index of Tongxin Seismic Window Opening and Medium-Strong Earthquakes in Ningxia

Xiaochuan Bai, Guofu Luo*, Hengzhi Luo

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia
Email: luoguofu_05@163.com

Received: Jul. 22nd, 2019; accepted: Aug. 1st, 2019; published: Aug. 9th, 2019

Abstract

In this paper, two methods are used to study the opening index of Tongxin seismic window in Ningxia, and the relationship between Tongxin seismic window anomaly and the above medium-strong earthquakes in Ningxia and adjacent areas. Firstly, the seismic energy index of Tongxin window is obtained by using molchan test method. Then, the window opening indexes of Tongxin window time, space and intensity are given by the traditional seismic image method. These two methods can pass the test of prediction performance, showing that Tongxin seismic window is a better prediction index in Ningxia seismography anomaly. Finally, the author suggests that the second method should be generally adopted in daily consultation to track the anomaly, because it is simple, effective and more intuitive.

Keywords

Tongxin Seismic Window, Open the Window Index, Medium-Strong Earthquakes

宁夏同心地震窗开窗指标与中强地震关系

白晓川, 罗国富*, 罗恒之

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川
Email: luoguofu_05@163.com

收稿日期: 2019年7月22日; 录用日期: 2019年8月1日; 发布日期: 2019年8月9日

*通讯作者。

摘要

本文应用两种方法系统地研究了宁夏同心地震窗的开窗指标, 以及地震窗异常与宁夏及邻区的中强以上地震关系。首先应用molchan检验方法得出同心窗的地震能量开窗指标; 接着应用传统地震学图像方法给出同心窗时空强开窗指标。两种方法都能通过预报效能检验, 表明同心地震窗是宁夏测震学异常中较好的预测指标之一。最后, 作者建议日常会商跟踪该异常一般采用第二种方法, 因为该方法比较简便、有效和更加直观。

关键词

同心地震窗, 开窗指标, 中强地震

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

国外最早提出地震窗涵义是 Kanamori [1]对日本海域周围 8 级以上地震前特定区域内中小地震频次明显增强, 反应出区域构造应力升高, 并用一定的物理模型来解释地震窗口应力增强与周边 8 级地震对应关系。中国对地震窗的定义首次由王泽皋等提出[2], 在研究邢台地震的余震频度衰减, 指出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, 可分为震群窗和余震窗。后来慢慢把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称为震群窗; 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, 震群窗和余震窗统称为地震窗。此后, 许多学者围绕地震窗开展研究, 啜永清[3]研究山西大同阳高地震的余震窗口特征及机理, 给出余震窗的设立对于监视震源区应力场的变化有重要意义。李莹甄[4]研究新疆伽师强震群活动期间地震窗异常特征; 薛丁[5]对海城地震窗口的地震活动异常提取预报效能指标, 给出邢台地震窗与华北 6 级以上地震的关系。洪德全[6]利用数字地震学方法研究霍山地震窗口内小震的震源机制解和区域构造应力关系。陈万正[7]和易桂喜[8]分别研究长宁地震窗与四川及邻区 5.5 级以上地震的对应关系。本文主要应用近期比较新颖的 molchan 检验方法, 研究宁夏映震效果最好同心地震窗, 并与传统地震学图像方法对比, 给出同心地震窗的开窗指标, 以及与对中强以上地震的对应关系, 为后人地震预测积累宝贵的资料。

2. 同心窗区域构造背景

宁夏同心窗(图 1 黑色框)位于青藏块体、阿拉善块体、鄂尔多斯块体和大华北块体的交汇部位, 同心窗与南北地震带北段以及龙门山地震带和河套地震带在构造上有着较好的关联性(图 1)。该窗口主要受青藏块体 NE 向推挤作用, 块体东北向前缘主要发育有 4 条近似相对平行的 NW 断裂带, 西边有海原活动断裂带、东边有牛首山 - 罗山东麓断裂, 中间有香山 - 天景山活动断裂和烟筒山隐伏断裂。同时, 在断裂带内形成了一系列拉分盆地及断陷盆地, 如中宁 - 中卫断陷盆地、海原拉分盆地、清水河断陷盆地、红寺堡断陷盆地。盆地深部的断裂相互交汇形成特殊的构造区域, 反应区域构造应力的集中, 表现出同心窗中等地震活跃增强宁夏周边发生中强以上地震的关系特征。

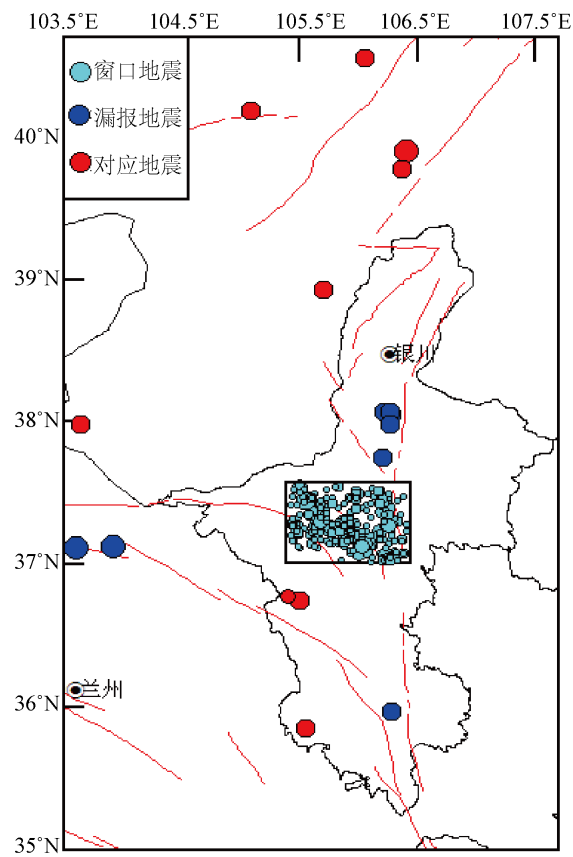


Figure 1. Tongxin window seismic window tectonic background and corresponding to Ningxia and adjacent areas above the medium-strong earthquakes

图 1. 同心窗地震窗构造背景以及对应宁夏及邻区中强以上地震

3. 开窗指标与中强地震关系

3.1. Molchan 检验方法开窗指标

近年来在全国推进会商机制制度改革下，首次明确提出，要对地震窗异常梳理出具有物理意义的时间、地点和强震的量化指标。不同学者应用地震频次、应变能、地震能量和最大震级等参数，采用不同窗长和步长下对各参数梳理开窗指标，应用王博[9]提出的符合地震预报的统计学 molchan 检验方法梳理出地震窗量化指标，对窗口研究区域的地震资料划分成等间隔，给出能通过 molchan 检验的物理机制开窗指标。

经过多次对窗口内的小震频次、能量和最大震级三种参数组合的尝试，应用 molchan 统计方法检验分析宁夏同心窗开窗指标。结果表明，地震频次和最大震级参数对宁夏同心窗开窗指标通不过 molchan 检验，而地震能量参数在同心窗可以通 molchan 检验，最终把地震能量参数作为同心窗开窗指标。因此选取 1970 年以来宁夏同心窗口内 $M_L 2.0$ 以上地震，时间窗长 1 年，步长 2 月的地震能量参数为具有短临预报效能的开窗指标(图 2)。

图 2(a)宁夏同心窗内地震能量参数开窗指标的阈值为 1.1×10^4 J，大于该阈值就预示着同心窗开窗，对宁夏及邻区 5 级以上地震有很好指示意义。该指标具有物理涵义并且通过统计学 molchan 检验的宁夏同心窗开窗指标图 2(b)。

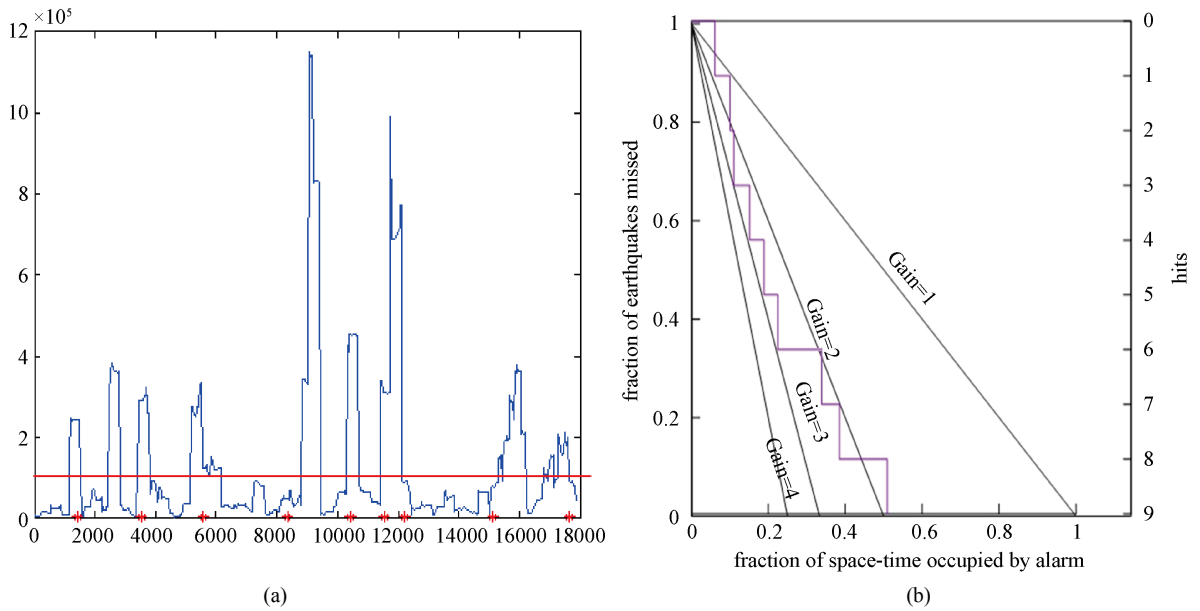


Figure 2. Seismic energy index of Tongxin seismic window (a) and statistics molchan test (b)
图 2. 同心窗地震能量开窗指标(a)与统计学 molchan 检验(b)

以地震能量参数作为宁夏同心窗开窗指标, 1970 年以来宁夏同心窗开窗共 10 次(表 1)。这 10 次开窗地震中有 7 次对应了宁夏及邻区(35.5°E~40.5°N, 103.5°E~107.7°E) 4.9 级以上地震(图 3 和表 1), 有 3 次开窗为虚报。10 次开窗中, 只有 3 次是震群事件, 但这 3 次震群开窗都是虚报。具体原因为 1995 年 2 月至 1996 年 6 月地震能量参数开窗主要原因是 1995 年 5 月同心窗周围发生牛首山震群; 2009 年 10 月至 2010 年 9 月地震能量参数开窗, 主要原因是汶川 8.0 级地震后, 鄂尔多斯西缘发现一系列中等地震, 2010 年 5 月在同心窗内发生震群事件; 1973 年 8 月至 1974 年 7 月地震能量参数开窗主要原因是 1973 年 9 月同心窗内发生震群事件。因此, 宁夏同心窗内发生震群事件表明区域应力增强, 地震能量释放加剧, 是不能作为开窗指标。

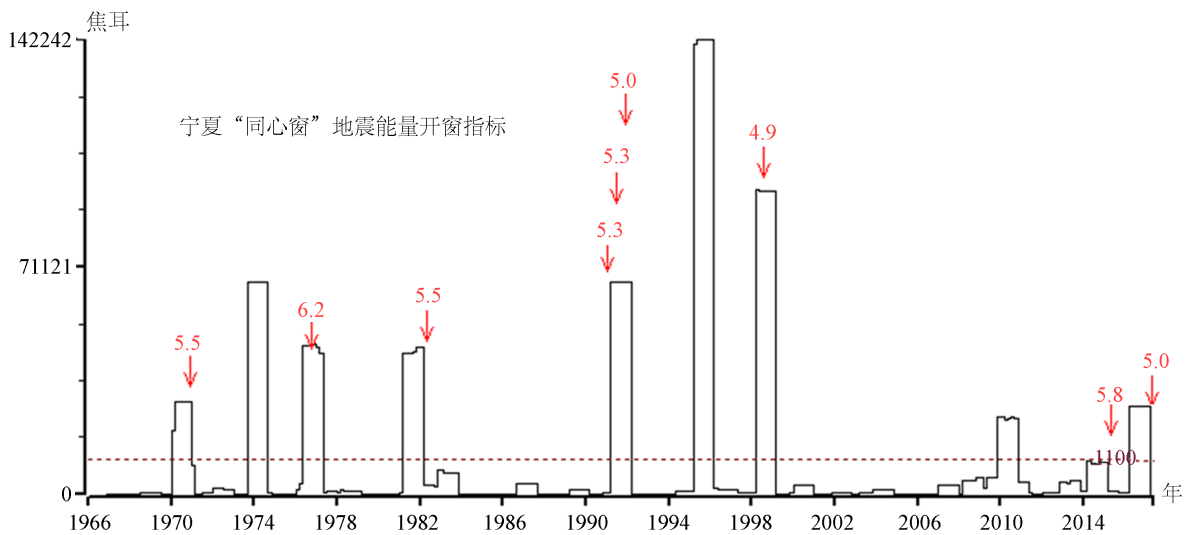


Figure 3. Tongxin seismic window energy index in 1970
图 3. 1970 年以来宁夏同心窗地震能量开窗指标

Table 1. The index of Tongxin window seismic energy opening corresponds to medium-strong earthquakes, since 1970
表 1. 1970 年以来同心窗地震能量开窗指标对应地震

序数	开窗地震能量值(焦耳)	开窗映震时间(年~月)	对应中强地震	时间间隔
1	2.9×10^4	1970.1~1970.12	1970.12.3 宁夏西吉 5.5	开窗时间内
2	6.6×10^4	1973.8~1974.7	无	
3	4.6×10^4	1976.4~1977.3	1976.9.23 内蒙古巴音木仁 6.2	开窗时间内
4	4.4×10^4	1981.2~1982.1	1982.4.14 宁夏海原 5.5	开窗时间内
5	6.6×10^4	1991.1~1991.12	1991 内蒙古阿拉善左旗 5.3、5.3、5.0	开窗时间内
6	1.4×10^5	1995.2~1996.1	无	
7	9.5×10^4	1998.2~1999.1	1998.7.29 宁夏海原 4.9	开窗时间内
8	2.4×10^4	2009.10~2010.9	无	
9	1.1×10^4	2014.5~2015.4	2015.4.15 内蒙古阿拉善左旗 5.8	开窗时间内
10	2.9×10^4	2016.4~2017.4	2017.6.3 内蒙古阿拉善左旗 5.0	开窗将结束

3.2. 传统地震学图像开窗指标

根据以往传统地震学方法研究宁夏同心窗(37.00°N~37.51°N, 105.74°E~106.42°E)的结果, 可知该地震窗口内发生显著的 M_L 3.4~4.6 地震(不包括震群、余震)为开窗指标, 一般映震时间为 1.5 年内, 对应宁夏及邻区中强以上地震范围(35.5°N~40.5°N, 103.5°E~107.7°E)。自 1970 年以来宁夏同心窗内共发生 10 组 M_L 3.4~4.6 地震, 其中 4 组地震后 1 年内在宁夏南部发生了中强地震, 另有 4 组地震后 1 年左右在宁夏区外发生中强以上地震乃至大震, 这 8 组地震被称为同心窗“信号震”, 还有 2 组没有对应地震(表 2)。

Table 2. Tongxin window seismic from M_L 3.4 to 4.6 and corresponding medium-strong earthquakes statistics
表 2. 同心窗 M_L 3.4~4.6 级地震与对应中强以上地震统计表

分组	同心窗 M_L 3.4~4.6 级地震	对应中强地震	时间间隔
1	1970.2.23, M_L 4.2, 新庄集	1970.12.3 西吉 5.5 级	276 天
	1970.4.16, M_L 4.0, 丁家二沟		231 天
2	1976.2.2, M_L 3.5, 下周家河	1976.9.23 巴音木仁 6.2 级	234 天
	1976.4.23, M_L 3.6, 线驮石		153 天
3	1981.3.31, M_L 4.4, 十二道沟	1982.4.14 海原 5.5 级	379 天
	1981.11.13, M_L 3.5, 鸣沙		152 天
	1982.3.30, M_L 3.4, 马家二沟		15 天
4	1989.4.27, M_L 3.5, 线驮石	1989.11.2 固原 5.0 级	189 天
5	1996.6.23, M_L 3.4, 马家二沟	无	无
6	1998.4.11, M_L 4.6, 新庄集	1998.7.29 海原 4.9 级	109 天
7	2003.12.22, M_L 3.5, 线驮石	无	无
8	2007.2.11, M_L 3.7, 谭庄	2008.5.12 汶川 8.0 级	455 天
	2008.3.12, M_L 3.8, 丁家二沟		61 天
9	2012.12.3, M_L 3.7, 同心红寺堡	2015.4.15 阿拉善左旗 5.8 级	353 天
	2014.4.27, M_L 4.0, 丁家二沟		
10	2016.04.11, M_L 4.4, 中宁	2017.6.3 阿左旗左旗 5.0 级	418

图 4 和图 5 显示,1976 年 9 月 23 日内蒙古巴音木仁 6.2 前 5 个月,在宁夏同心窗发生显著的 M_L 3.5、3.6 级地震;2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震前 2 月,在宁夏同心窗发生显著的 M_L 3.8 级地震;2015 年 4 月 15 日内蒙古阿拉善左旗 5.8 级地震前近 1 年时间,在宁夏同心窗发生了 2014 年 4 月 27 日同心 M_L 4.0 级地震。另外,同心窗内显著地震与宁夏南部的 5 级以上地震对应关系较好。如 1970 年 12 月 3 日宁夏西吉 5.5 级地震前 8 月,在同心窗发生显著的 M_L 4.0 级地震;1982 年 4 月 14 日宁夏海原 5.5 级地震前 15 天,在同心窗发生显著的 M_L 3.4 级地震;1989 年 4 月 27 日宁夏固原 5.0 级地震前 6 个月,在同心窗发生显著的 M_L 3.5 级地震;1998 年 4 月 11 日宁夏海原 4.9 级地震前 3 个月,在同心窗发生显著的 M_L 4.6 级地震。通过统计同心窗开窗与对应的中强以上地震(表 2),可知同心窗口内发生 M_L 3.4~4.6 地震为开窗地震,开窗后,窗口内还可能陆续发生开窗地震,表明同心窗异常可信度越可靠,宁夏及邻区发生中强以上地震的危险性加剧,时间越逼近中强以上地震。但一般首个开窗地震后短时间内(3 月)无对应中强以上地震的震例,信度 100%,也有超过 1 年震例,如 2016 年 4 月 11 日同心窗内发生显著的 M_L 4.4 级开窗地震,开窗 418 天后(约 1 年 2 个月),对应了 2017 年 6 月 3 日内蒙古阿拉善左旗 5.0 级地震。因此开窗后,优势时间 3 个月至 1 年。

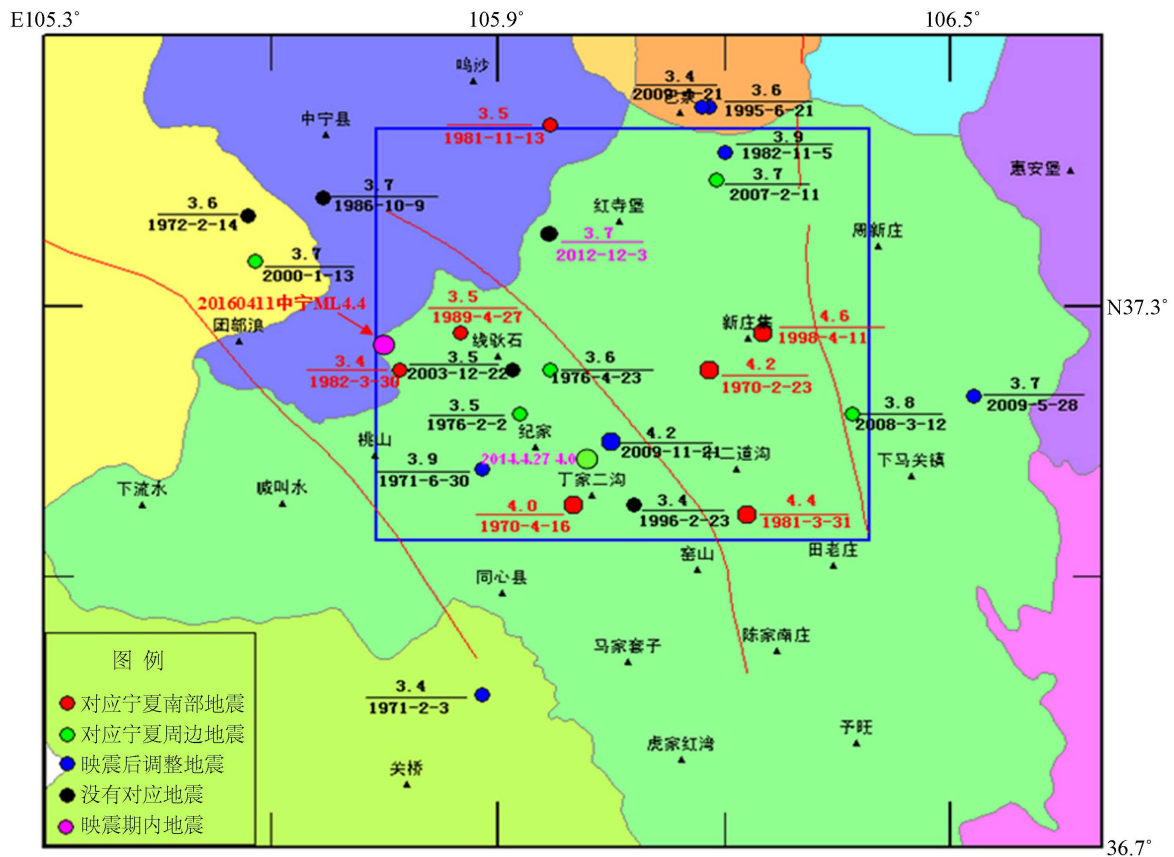


Figure 4. Tongxin seismic window M_L 3.4 earthquake distribution since 1970

图 4. 1970 年同心地震窗 M_L 3.4 级以上地震分布图

4. 预报效能检验

方法一是在统计学 molchan 检验下,提出具有物理含义的预报指标,即宁夏同心窗内地震能量开窗指标,该指标本身就是满足预报效能下统计出来的开窗指标,因此必然具有预测意义。

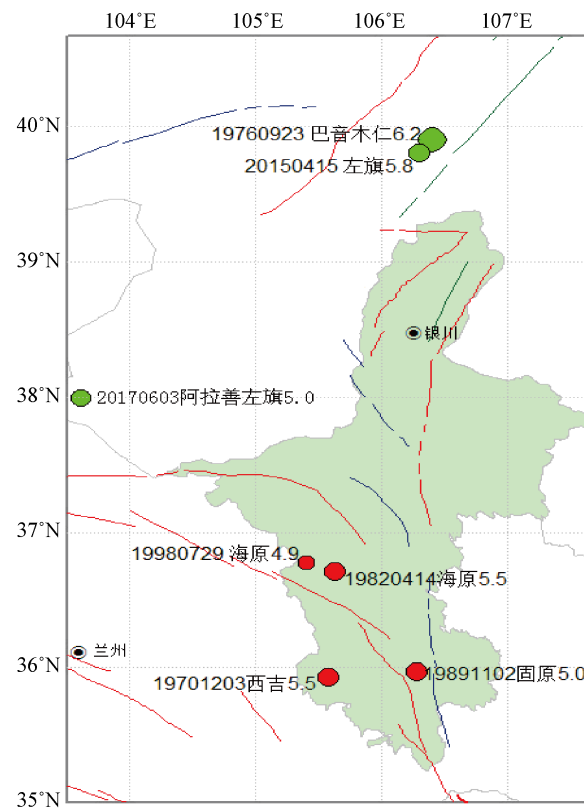


Figure 5. Tongxin window seismic opening corresponds to medium-strong earthquakes

图 5. 同心地震窗开窗对应中强以上地震分布

方法二是用传统地震学图像总结出来的预报指标，需要计算该指标的预报效能，才能有效地用来作为开窗指标，预测宁夏及邻区(35.5°N~40.5°N, 103.5°E~107.7°E)的中强以上地震(本文指 4.9 级以上地震)，预测时间为 1.5 年。一般使用地震预报效能 R 值评分方法检验一个参数有无预报意义，本文也使用该方法来检验同心窗传统开窗指标。

地震预报效能 R 值： $R = c - b$

其中 c 为有震报准率，即 $c = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}}$ ；b 为空报率，推广定义为预报占时率，即

$b = \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}}$ 。

1970 年以来，同心窗符合条件的地震共有 10 次，其中在异常及预报有效期内发震的有 8 次，因此有震报准率 $c = n/N = 8/10 = 80\%$ 。

经统计 10 次开窗，预报占用时间(异常持续时间与预报有效期时间之和)为 $547 \times 10 = 5470$ 天，预报研究的总时间(1970~2018 年) $365 \times 48 = 17520$ 天，因此 $b = 0.31$ 。

因此，地震预报效能： $R = c - b = 0.8 - 0.31 = 0.49$ ，通过查表可知，97.5%置信水平的 $R_0 = 0.356$ ， $R > R_0$ 。因此宁夏同心窗传统地震学开窗指标对宁夏南部和及其周边的中强以上地震有一定的预测意义。

5. 结论

本文应用两种方法研究宁夏同心窗的开窗指标，及其与周边中强以上地震的关系，得出如下结论：

1) 宁夏同心窗是宁夏境内具有一定预报效能, 且通过预测效能检验的测震学异常指标之一。该窗口地处青藏块体、阿拉善块体、鄂尔多斯块体和大华北块体在内的多条断裂带交汇部位, 窗口内中等地震活动增强与南北地震带北段祁连山地震带东段和河套地震带西北段的中强以上地震在构造上有着较好的呼应关系。

2) 从 molchan 检验方法得出宁夏同心窗开窗指标为, 窗口内 $M_L 2.0$ 以上地震在时间窗长 1 年步长 2 月的地震能量参数大于 1.1×10^4 J, 大于该阈值就预示着同心窗开窗, 开窗 1 年内对宁夏及邻区 5 级以上地震有很好指示意义。

3) 从传统地震学图像方法上研究同心窗开窗指标, 自 1970 年以来宁夏同心窗范围为 ($37.00^\circ\text{N} \sim 37.51^\circ\text{N}$, $105.74^\circ\text{E} \sim 106.42^\circ\text{E}$), 开窗标志为该地震窗口内发生显著的 $M_L 3.4 \sim 4.6$ 地震(不包括震群、余震), 对应中强以上地震的优势映震时间为 3 个月至 1 年。对宁夏南部和内蒙古阿拉善左旗的中强以上地震有较好的指示意义, 该指标能通过预报效能检验, 具有一定的预测意义。

致 谢

感谢审稿专家和编辑部对本文提出宝贵的修改意见和建议。

基金项目

宁夏回族自治区科技厅自然科学基金项目(NZ17222)。

参考文献

- [1] Kanamori, H. (1972) Global Seismicity. In: Kanamori, H. and Boschi, E., Eds., *Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation*, Elsevier North-Holland Inc., New York, 596-608.
- [2] 王泽皋. 关于“震情窗口”问题的实践和展望[J]. 地震学报, 1986(3): 254-262.
- [3] 啜永清. 大同一阳高地震的余震窗口特征及机理分析[J]. 山西地震, 1999(3): 25-29.
- [4] 李莹甄, 曲延. 伽师强震群活动期间地震窗异常特征研究[J]. 西北地震学报, 2000, 22(4): 368-406.
- [5] 薛丁, 张建业, 赵爱萍. 海城地震窗地震活动异常提取及其预报效能[J]. 地震学报, 2012, 34(4): 487-493.
- [6] 洪德全, 王行舟, 程鑫, 等. 徽霍山窗重复地震尾波 QC 值变化研究[J]. 地球物理学报, 2013, 56(10): 3416-3424.
- [7] 程万正. 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): 657-666.
- [8] 易桂喜, 龙峰, 张致伟, 等. 长宁窗地震与四川及邻区 $M 5.5$ 以上地震的对应关系[J]. 地震研究, 2013, 36(4): 427-432.
- [9] 王博, 钟骏, 王熠熙, 等. 南北地震带北段流体资料地震预测效能检[J]. 地震, 2018, 38(1): 147-156.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org