

张玉凤, 延军平, 李双双, 等. 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震时空对称特征及趋势判断[J]. 华南地震, 2020, 40(1): 11–20. [ZHANG Yufeng, YAN Junping, LI Shuangshuang, et al. Space-time Symmetry Characteristics and Tendency Judgement of Earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan–Yunnan Rhombic Block[J]. South China journal of seismology, 2020, 40(1): 11–20]

川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震时空对称特征及趋势判断

张玉凤, 延军平, 李双双, 万 佳, 武亚群

(陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 西安 710119)

摘要: 川滇菱块是中国西南地震频发区, 分析区域地震时空对称结构, 进而对未来地震趋势进行判断具有重要的现实意义。选取 1950 年以来菱形块体 $M_s \geq 6.0$ 地震数据, 运用重大自然灾害时空对称方法, 对区域地震时间周期性和空间对称性进行研究, 并从太阳黑子、地球自转等发震物理基础精细探讨。结果表明: ① 在地震趋势判断上, 2020 年川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震可公度信号最强, 随机性概率为 66.7%, 有可能发生较大震级地震; ② 在时空对称性规律上, 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震具有时间周期性和空间对称性, 按震中两两分布的对称性和震中三角形旋转规律, 未来一次发生在金沙江断裂带或丽江—小金河断裂带可能性较大; ③ 在相关物理基础上, 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震多发生在太阳黑子峰值或谷值期, 上升或下降段发生频率相对较少; 同时, 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震多发生在地球自转加速期。可以判断未来 3–5 年, 太阳活动仍处于活跃期, 地球自转也处于加速期, 两者与川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震发生的对应关系, 可在一定程度佐证重大自然灾害时空对称方法判断 2020 年、2019 年地震发生的可靠性。

关键词: 川滇菱块; 可公度法; 三性法; 时空对称; 趋势判断

中图分类号: P315.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2020)01-0011-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.01.002

Space-time Symmetry Characteristics and Tendency Judgement of Earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan–Yunnan Rhombic Block

ZHANG Yufeng, YAN Junping, LI Shuangshuang, WAN Jia, WU Yaqun

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: The Sichuan–Yunnan rhombic block, located in the southwestern of China, is not only a tectonic unit with the strong earthquake activity, but also shows obvious spatial structure of seismic migration. Meanwhile, the symmetry and tendency methods are proposed to identify the spatial-temporal symmetry characteristics of natural disasters and analyze the rationality and physical basis of the seismic symmetrical structure. Thus, based on the seismic data ($M_s \geq 6.0$) of Sichuan–Yunnan rhombic block since 1950, the spatiotemporal symmetry and

收稿日期: 2019-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目: 中国西部地震灾害时空对称结构精细化对接研究(41877519)

作者简介: 张玉凤(1996–), 女, 硕士研究生, 主要从事自然灾害与区域发展研究。E-mail: 1462778910@qq.com.

通信作者: 延军平(1956–), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事全球变化与灾害研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn.

tendency of the earthquake are analyzed by the theories and methods of spatiotemporal symmetry in nature disaster (i.e. commensurability information extraction, map of butterfly structure and seismic migration). More specially, the possibility of earthquake occurrence are discussed from both sunspot and earth rotation to reveal its occurrence regularity at some certain extent. The results show that: the earthquake ($M_s \geq 6.0$) in the Sichuan-Yunnan rhombic block would possible occur in 2020, and the probability of randomness is 66.7%; as for the spatial symmetry information, the earthquakes ($M_s \geq 6.0$) in the Sichuan-Yunnan rhombic block show temporal periodicity and spatial symmetry, according to the symmetry of epicentral distribution and regularity of epicentral triangular rotation, the next earthquake region could be likely in Jinshajiang fault zone or Lijiang-Xiaojinhe fault zone; as for the physical basis of symmetrical structure, the paper finds that when the conversion stage between peak and valley of sunspots, as well as the acceleration of earth rotation, the earthquake frequency with $M_s \geq 6.0$ increases in the Sichuan-Yunnan rhombic block, which would provide some supplementary proofs to explain the possibility of earthquakes in 2020 and 2019.

Keywords: Sichuan-Yunnan rhombic block; Commensurable method; Triplet method; Space-time symmetry; Tendency judgement

0 前言

地震是一种具有突发性、瞬时性的灾害现象,在短时间内释放出大量能量并具有极大的破坏性^[1],给人类社会带来巨大的损失。因此,地震预测逐渐进入专家学者的研究视线^[2]。地震预测是指同时给出地点、时间、大小和概率四个参数,并且每种参数的误差小于或等于一定的标准^[3]。地震预测研究可以在灾害发生前采取防范措施,对国家地震灾害的防灾减灾工程具有重要意义。

国外在地震预测方面有不同的研究方法^[4-5],但较为典型的是英国 Crampin 小组提出的 S 波分裂研究方法和俄罗斯 Keilis-Borok 小组提出的 M8 算法^[6-8];国内较为普遍的是信息预测方法,信息预测先师翁文波院士将天文学引入信息预测学,为地震预测开拓出新的研究道路^[9],并运用可公度方法对中国地震、洪水等灾害进行一系列预测,成功预测占 83.7%^[10]。在此基础上,延军平等沿用可公度方法继续研究取得了大量的进展^[11-13]。

地壳释放大量能量产生振动形成地震^[14],中国大陆面积辽阔多形成板内地震,由于印度洋板块和欧亚板块碰撞,应力聚集导致川滇地区板内地震活动剧烈^[15],形成多条地震断裂带,自 1900 年来 7 级及以上地震共发生 26 次,其中川滇菱形块区是地震发生的最高频区,该区人口和经济活动密集,且地形起伏大,历史地震损失惨重。对该区的地震预测不仅能减少危险区人员伤亡,若能预先采取防范措施,还能够尽可能的减少经济损失,因此具有重要的研究意义。

本文选取 1950 年以来川滇菱形块地区 $M_s \geq 6.0$

地震事件,借助可公度方法、蝴蝶结构图、可公度结构系等方法研究川滇菱形块体地震发生的时间周期性并对地震趋势进行判断,分析地震序列纬度、经度的对称规律和空间迁移特征,结合郭增建的三性法^[16]对地震序列和预测结果进行验证,在可公度基础上进一步完善地震预测研究。

1 研究区与数据方法

1.1 研究区概况

川滇菱形块位于我国西南地区,阚荣举等人依据川滇地区的构造应力场和活动断裂带空间位置提出“川滇菱形块”概念并界定范围,主要包括鲜水河断裂带以南、安宁河断裂带、则木河断裂带、小江断裂带以西、金沙江断裂带、红河断裂带以东区域^[17],其边界断裂为先存活动断裂,均属于全新世断层。其中,鲜水河断裂带和安宁河断裂带为左旋走滑型,则木河—小江断裂带和红河断裂带为正走滑型,金沙江断裂带为典型的逆倾滑型,其内部受次级北东向断裂的切割又以丽江—小金河断裂为界分为川西北(甘孜—盐源断块)和滇中(冕宁—楚雄断块)2 个次级块体^[18](图 1),川西次级块体 6 级以上地震集中分布在鲜水河断裂带,而滇中块体地震多集中于块体内部。该块体是我国川滇地区地震频发区,仅 1950 年以来就发生 26 起 6 级以上地震,造成了巨大的经济物力损失,成为地震学者最关注的研究区域之一。

1.2 资料来源

本文选取的 1950—2010 年地震数据来源于

《全球地震灾害信息目录》^[19], 2010 年以后的数据来源于中国地震局 (<http://www.cea.gov.cn>), 在地震数据的选择上参考阚荣举关于川滇菱块应力区研究未选择大凉山断裂带相关数据^[20]。地震序列数据主要包括地震发生时间、地点、震级三要素; 太阳黑子数来自美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space administration); 地球自转日长变化数据来自国际地球自转服务组织 IERS (International Earth Rotation Service)。

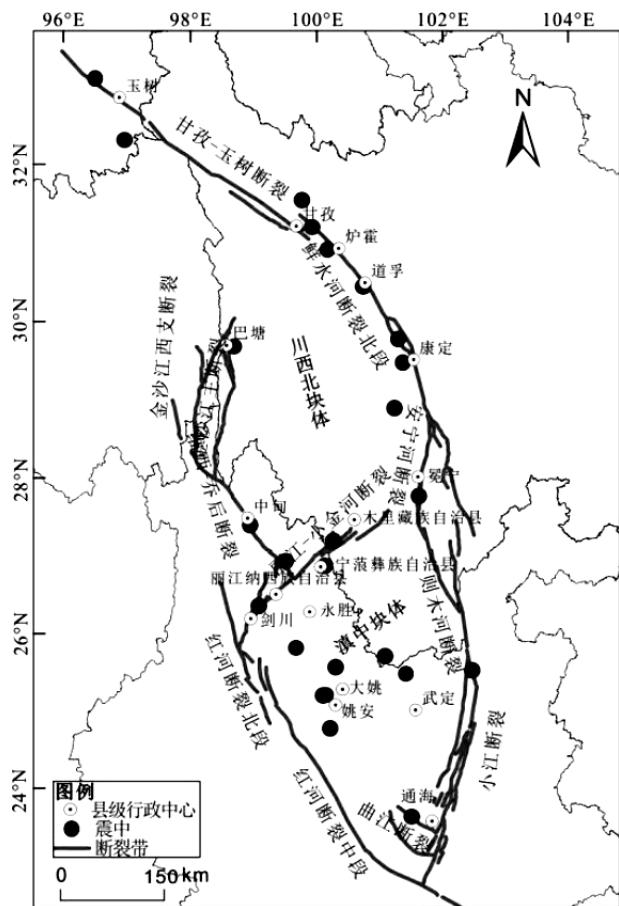


图 1 川滇菱块地质构造图

Fig.1 Geological structure map of Sichuan-Yunnan Rhombic Block

1.3 研究方法

1.3.1 可公度方法

可公度方法是一种自然界的秩序, 由翁文波院士从天文学引入信息预测学, 其理论基础是自然界中许多现象都呈现出明显的周期性, 如四季变换、地震灾害等, 对自然现象的周期性分析主要引用天文学中太阳系“扩张波”的特点信号^[21], 概括为三元、四元和五元可公度性, 不同可公度性对周期性趋势分析的计算公式不同, 均用于信息预测, 是对预测信号的多次验证^[1], 各可公度计

算公式如下:

$$\text{三元: } X_d = X_a + X_b + X_c$$

$$\text{四元: } \Delta X = X_a + X_b - X_c - X_d$$

$$\text{五元: } X_f = X_a + X_b + X_c - X_d - X_e$$

其中, 三元可公度公式中 $d=a+b+c$; 四元可公度公式中 $a+b=c+d$, $X_j = X_{j-1} + \Delta X$; 五元可公度公式中 $f=a+b+c-d-e$ 。

1.3.2 蝴蝶结构图

“蝴蝶结构”是包括 4 个时间年份、2 个套合周期的时间序列组合, 是建立在地震序列等周期间隔的基础上, 分析所预测年份地震发生趋势与已发生年份的时间周期性, 最终得到预测年份随机性概率和不漏报置信水平^[1], 具体计算公式如下:

$$\text{随机性概率: } T = M/N$$

$$\text{不漏报置信水平: } (1-a) = M/(N+1)$$

其中, M 为参与实际预测的地震次数; N 为总地震事件次数。

1.3.3 可公度结构系

可公度结构系是一种时间周期性的空间表达方式, 它仍以历史地震年份之间、历史年份与地震预测年份之间的等间隔时间周期为基础, 以时间周期为边构建反映周期规律强弱的空间结构图, 构建的可公度结构系越工整, 表明地震序列的周期规律性越强烈, 对未来地震的时间趋势判断效果也越好^[15]。

1.3.4 三性法

三性法是郭增建等于 1999 年提出的天灾预测方法, 即周期性、倍周期性和周期的黄金分割性^[22], 其物理基础是以 T_1 、 T_2 、 T 为周期的三个波的特定叠加。

$$T = aT_1 = bT_2$$

其中, a 、 b 为正整数, $a:b=2:3$ 或 $a:b=3:5$ 时, 以 T_1 、 T_2 为周期的两个波进行叠加形成 T 周期波, 这是振幅最大的波, 其内部存在着两个次级振幅的波周期 T_1 、 T_2 , 他们以 T 的黄金分割点为节点, 分别对应于 $0.382 T$ 和 $0.618 T$ ^[16]。

三性法成功对新疆巴楚伽师、四川九寨沟等地震事件进行预测验证^[23-24]。在此基础上, 借助于三性法预测并验证川滇菱块体的地震可能性。

2 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震时间对称性及趋势判断

提取川滇菱块 1950 年以来 $M_s \geq 6$ 的地震灾害事件时间序列 (表 1) 进行可公度计算, 同一年份多次地震灾害在可公度计算中只计入一次。

表 1 川滇菱块 1950 年以来 $M_s \geq 6.0$ 地震事件序列Table 1 The earthquakes sequence with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block since 1950

序列	时间/年-月-日	东经/(°E)	北纬/(°N)	震级/ M_s	地点
1	1951-12-21	100.00	26.70	6.25	云南剑川
2	1952-09-30	102.20	28.30	6.75	四川冕宁
3	1955-04-14	101.80	30.00	7.5	四川康定
4	1961-06-27	99.75	27.73	6.0	云南迪庆
5	1962-06-24	101.20	25.20	6.2	云南南华
6	1966-02-05	103.17	26.10	6.5	云南东川
7	1967-08-30	100.23	31.63	7.0	四川炉霍
8	1970-01-04	102.46	24.14	7.8	云南通海
9	1973-02-06	100.50	31.36	7.6	四川炉霍
10	1975-01-15	101.74	29.41	6.2	四川甘孜
11	1976-11-06	101.00	27.63	6.7	四川木里
12	1979-03-29	97.18	32.47	6.2	青海玉树
13	1981-01-23	101.10	30.93	6.9	四川道孚
14	1982-06-15	100.03	31.96	6.0	四川甘孜
15	1989-04-15	99.23	30.00	6.6	四川巴塘
16	1995-10-23	102.22	25.99	6.5	云南武定
17	1996-02-03	100.33	27.31	7.0	云南丽江
18	1998-11-19	100.90	27.30	6.2	云南宁蒗
19	2000-01-14	101.05	25.62	6.5	云南姚安
20	2001-10-27	100.60	26.20	6.0	云南永胜
21	2003-07-21	101.20	26.00	6.2	云南大姚
22	2003-10-16	101.30	26.00	6.1	云南大姚
23	2008-08-30	101.90	26.20	6.1	四川攀枝花
24	2009-07-09	101.09	25.63	6.0	云南姚安
25	2010-04-14	96.60	33.20	7.1	青海玉树
26	2014-11-22	101.70	30.30	6.3	四川甘孜

2.1 可公度计算结果分析

设 $X_1=1951$; $X_2=1952$; $X_3=1955$; $X_4=1961$; $X_5=1962$; $X_6=1966$; $X_7=1967$; $X_8=1970$; $X_9=1973$; $X_{10}=1975$; $X_{11}=1976$; $X_{12}=1979$; $X_{13}=1981$; $X_{14}=1982$; $X_{15}=1989$; $X_{16}=1995$; $X_{17}=1996$; $X_{18}=1998$; $X_{19}=2000$; $X_{20}=2001$; $X_{21}=2003$; $X_{22}=2008$; $X_{23}=2009$; $X_{24}=2010$; $X_{25}=2014$; $X_{26}=?$

据表 1, 川滇菱块 1950 年以来共发生 26 次 $M_s \geq 6.0$ 地震事件, 实际参与可公度计算的地震序列共 25 个。利用三元、四元和五元可公度公式进行趋势判断, 部分计算过程如表 2。

三元可公度公式: $X_{26}=X_a+X_b-X_c$, 其中 $a+b-c=26$; 计算结果显示 2020 年预测信号最强; 共有 16 组, 其次是 2019 年共 14 组。

四元可公度公式: $\Delta X=X_a+X_b-X_c-X_d$, 其中 $a+b=c+d$, $X_{26}=X_{25}+\Delta X$; 计算结果显示 2019 年信号最强共有 105 组, 其次是 2020 年共有 70 组。

五元可公度公式: $X_{26}=X_a+X_b+X_c-X_d-X_e$, 其中

$a+b+c-d-e=26$; 计算结果表明 2019 年信号最强烈共有 311 组, 其次是 2020 年共有 231 组。

由于在可公度计算中, 优先以三元可公度为主, 四元和五元可公度是对三元可公度计算结果的进一步印证^[25]。根据三元、四元、五元可公度计算频数(表 3), 川滇菱形块体未来信号最强的年份为 2020 年, 其次为 2019 年。

2.2 蝴蝶结构图趋势分析

蝴蝶结构图能够直观反映研究区域地震发生的时间周期性, 并有助于计算相关预测年份地震事件发生的随机概率和不漏报置信水平^[25]。绘制川滇菱块地震蝴蝶结构图(图 2), 与预测年份 2019 年相关的周期有 3 组, 分别是 11a、19a、38a; 与预测年份 2020 年相关的周期有 6 组, 分别为 6a、11a、19a、25a、31a、38a。其中, 2019 年的随机性概率为 44.4%, 不漏报置信水平为 42%; 2020 年的随机性概率为 66.7%, 不漏报置信水平为 63.2%。

表 2 川滇菱块 $M_s\geq 6.0$ 地震部分可公度计算过程

Table 2 The partial commensurability calculation process of earthquakes with $M_s\geq 6.0$ in the Sichuan–Yunnan Rhombic Block

可公度性	$M_s\geq 6.0$ 地震部分可公度计算过程	
三元	$X_{26}=X_4+X_{24}-X_2=2019$	$X_{26}=X_4+X_{25}-X_3=2020$
	$X_{26}=X_{15}+X_{17}-X_6=2019$	$X_{26}=X_6+X_{23}-X_3=2020$
	$X_{26}=X_{22}+X_{25}-X_{21}=2019$	$X_{26}=X_{10}+X_{19}-X_3=2020$
	$X_{26}=X_8+X_{20}-X_2=2019$	$X_{26}=X_7+X_{22}-X_3=2020$
	$X_{26}=X_{15}+X_{23}-X_{12}=2019$	$X_{26}=X_9+X_{18}-X_1=2020$
四元	$X_{26}=X_{10}+X_{16}-X_{11}-X_{15}=2019$	$X_{26}=X_{10}+X_{15}-X_{11}-X_{14}=2020$
	$X_{26}=X_{12}+X_{15}-X_{13}-X_{14}=2019$	$X_{26}=X_{15}+X_{16}-X_{14}-X_{17}=2020$
	$X_{26}=X_{13}+X_{16}-X_{14}-X_{15}=2019$	$X_{26}=X_4+X_9-X_2-X_{11}=2020$
	$X_{26}=X_4+X_6-X_2-X_8=2019$	$X_{26}=X_{11}+X_{16}-X_3-X_{24}=2020$
	$X_{26}=X_{17}+X_{20}-X_{13}-X_{24}=2020$	$X_{26}=X_{16}+X_{18}-X_9-X_{25}=2020$
五元	$X_{26}=X_4+X_4+X_{25}-X_1-X_6=2019$	$X_{26}=X_4+X_8+X_{25}-X_2-X_9=2020$
	$X_{26}=X_4+X_5+X_{25}-X_2-X_6=2019$	$X_{26}=X_4+X_9+X_{25}-X_2-X_{11}=2020$
	$X_{26}=X_{25}+X_{23}+X_{23}-X_{21}-X_{24}=2019$	$X_{26}=X_{25}+X_{18}+X_{18}-X_{13}-X_{23}=2020$
	$X_{26}=X_{25}+X_{19}+X_{23}-X_{20}-X_{21}=2019$	$X_{26}=X_1+X_{16}+X_{25}-X_8-X_8=2020$
	$X_{26}=X_4+X_6+X_{25}-X_1-X_8=2020$	$X_{26}=X_3+X_{22}+X_{25}-X_{10}-X_{14}=2020$

表 3 川滇菱块 $M_s\geq 6.0$ 地震可公度计算频数

Table 3 The commensurability calculation frequency of earthquakes with $M_s\geq 6.0$ in the Sichuan–Yunnan Rhombic Block

可公度性	频数			
	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
三元	14	16	12	7
四元	105	70	50	28
五元	311	231	166	129

2.3 可公度结构系趋势分析

为了更好地反映川滇菱块地震序列的时间周期规律,构建二维可公度结构系(图 3),横向主周期为 5a、次周期为 3a、7a;纵向主周期为 6a、次周期为 19a、16a,图中 2019 年和 2020 年的地震信号较强,进一步反映了川滇菱块的地震事件的时间周期规律。

2.4 三性分布趋势

川滇菱形块体的地震序列同样也符合郭增建提出的三性法分布规律,如 1970 年云南通海地震与 1982 年四川甘孜地震发生的时间间隔为 12 年,这与 31 年大周期的黄金分割短段的 11.8 年(T_2)基本吻合,而 1982 年到 2001 年的云南永胜地震的时间间隔为 19 年(T_1),正好是长段黄金分割,构成了一个大的整周期 T ;同样地,以 T 为整周期,1989 年四川巴塘地震与 2001 年的地震时间间隔 12 年。以此规律外推,2020 年正好处在整周期 T 的长段黄金分割点。

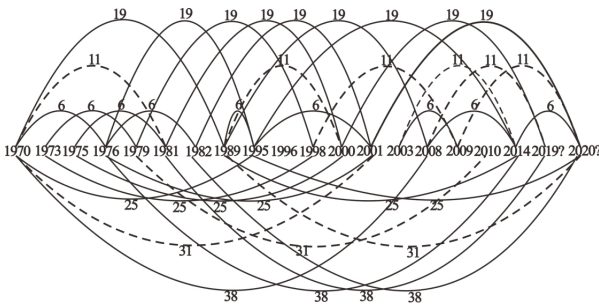


图 2 川滇菱块 $M_s\geq 6.0$ 地震蝴蝶结构图

Fig.2 The butterfly structure map of earthquakes with $M_s\geq 6.0$ in the Sichuan–Yunnan Rhombic Block

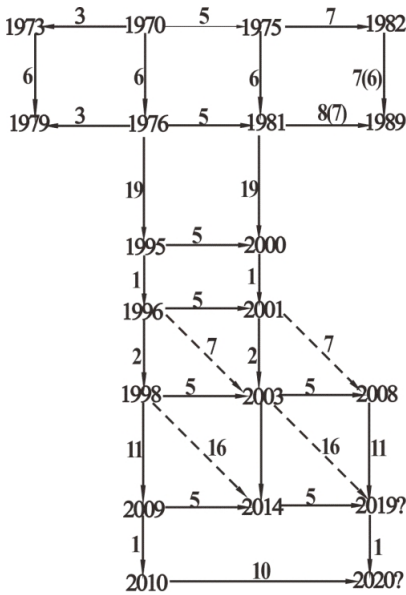


图 3 川滇菱块 $M_s\geq 6.0$ 地震序列可公度结构系

Fig.3 The commensurability structure system of earthquakes with $M_s\geq 6.0$ in the Sichuan–Yunnan Rhombic Block

3 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震空间对称性及趋势判断

3.1 震中经向、纬向迁移特征

川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震震中位置经度、纬度的迁移图(图 4) 表明, 该地区 $M_s \geq 6.0$ 地震震中大致呈现出纬向上以 29°N 为对称轴南北对称分布, 经向上以 101°E 为对称轴东西对称分布, 由于川滇菱形块体位置范围确定, 按此规律推测下一次震中可能位于 $26^\circ\text{N} \sim 29^\circ\text{N}$ 、 $99^\circ\text{E} \sim 101^\circ\text{E}$ 范围附近。

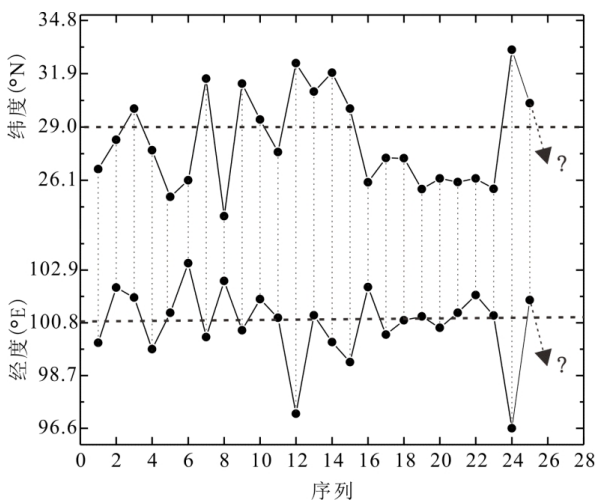


图 4 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震震中经向、纬向迁移趋势

Fig.4 The latitudinal and longitudinal migration tendency of earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block

3.2 震中空间对称性

根据已有研究, 川滇菱块内部包括全新世断层、晚更新世断层和早中更新世断层^[20], 地震震中主要分布在全新世断层上, 包括鲜水河断裂带、甘孜—玉树断裂带、红河断裂带和丽江—小金河断裂, 少数分布在块体内部。对 25 次历史地震震中空间位置进行两两连线观察分析其空间迁移特征, 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震震中空间上呈现对称规律, 存在两条对称轴 I、II 和一个主对称中心 B, 其主对称轴 I 位置大致为川西北次级块体的西北—东南向和滇中次级块体的东南偏南向相连, 与川西北和滇中块体的压应力场的优势方向大体一致^[27]; 次对称轴 II 大致为金沙江断裂中点和鲜水河断裂中点相连接; 主对称中心 B 大致在丽江—小金河断裂附近, 为了更加清晰的反映川滇菱块震中位置的分布及其空间对称趋势, 绘制了川滇菱块震中位置对称结构图(图 5), 川滇菱块震中位置的空间对称性较为明显。

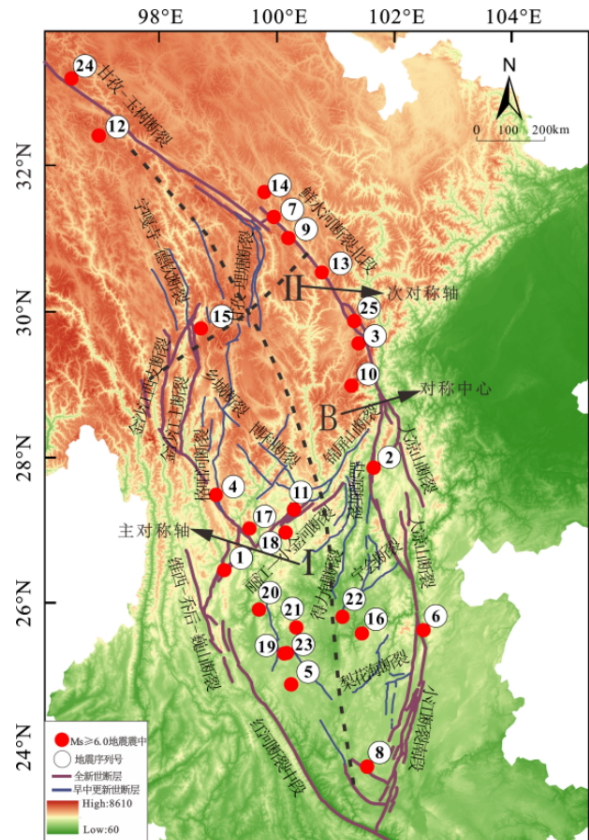


图 5 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震震中空间对称结构

Fig.5 The spatial symmetry structure of earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block

按其空间对称性进行推断, 若下一次预测地震沿主对称轴 I 对称则为金沙江断裂; 若沿主对称中心 B 对称则可能为丽江—小金河断裂(图 6)。

3.3 震中空间旋转规律

将 25 个地震序列 3 个为一组构成空间三角形, 共 8 组完整的三角形结构, 观察各组三角形空间旋转及迁移特征(表 4)。在空间迁移趋势上大体呈现逆—顺时针交替变化趋势, 依此交替规律, 下一次地震应进行逆时针旋转; 在第 1 次迁移中, 东西方向上每三组为一序列呈现相同迁移方向, 在南北方向上, 也以三组为一序列呈现南北对称变化; 按此迁移趋势下一次的地震迁移为东—西、北—南的迁移特征。

将两次迁移中方向上发生变化赋值为 1, 未发生变化赋值为 0, 图中大致为(1,1)-(0,1) 的对称交替变化规律, 据此推断下两次的迁移变化为(0,1), 即东西方向上迁移方向一致、南北方向上发生变化。按照此空间旋转规律, 下一次地震的大致位置在 $26^\circ\text{N} \sim 29^\circ\text{N}$ 、 $99^\circ\text{E} \sim 101^\circ\text{E}$ 附近, 与震中空间对称迁移趋势的空间范围相一致。

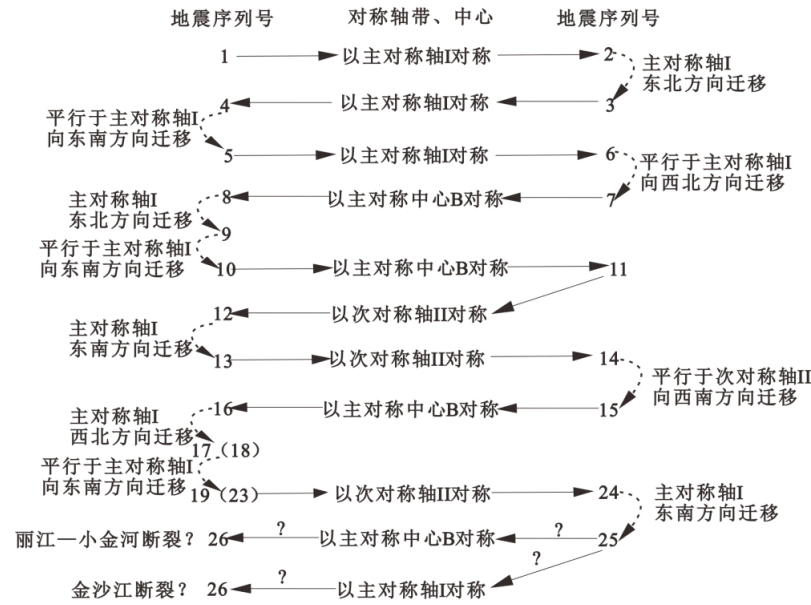


图 6 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震震中空间对称迁移趋势

Fig.6 The spatial symmetry migration tendency of earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block

表 4 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震震中三角形空间旋转规律

Table 4 The triangular spatial rotation regular of earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block					
序列	走向	空间迁移趋势	第 1 次迁移	第 2 次迁移	第 1、2 次迁移是否一致
1		逆时针	西-东 南-北	东-西 南-北	(1, 0)
2		逆时针	西-东 北-南	西-东 南-北	(0, 1)
3		逆时针	西-东 北-南	东-西 南-北	(1, 1)
4		顺时针	东-西 北-南	东-西 南-北	(0, 1)
5		逆时针	东-西 南-北	东-西 北-南	(0, 1)
6		顺时针	东-西 南-北	西-东 北-南	(1, 1)
7		逆时针	东-西 南-北	西-东 北-南	(1, 1)
8		顺时针	东-西 北-南	东-西 南-北	(0, 1)
9		逆时针?	东-西? 北-南?	东-西? 南-北?	(0, 1)?

4 相关机理分析

根据已有研究,川滇菱块地震震源破裂走向与边界断裂带的空间分布、活动性质具有高度一致性^[28],如 1973 年炉霍 7.6 级地震的震源机制表明为左旋平推,这与鲜水河断裂的左旋错动相一致^[20]。在现代应力场作用下,小江断裂和安宁河断裂发生左旋错动,东侧相对向北,西侧相对向南;

鲜水河断裂带也以左旋错动为主,北东侧相对向北西,南西侧相对向南东;红河断裂的错动性质以右旋为主,北东侧向南东,南西侧向北西;川滇菱块总体上向南南东方向相对运动^[20],川滇菱块未来地震的发生受其运动方向影响。

由于在长时期稳定的构造条件下,受到相同力源的作用,形成相对稳定的能量积累释放条件,因此地震活动具有一定的周期性^[29],研究表明地震

活动除内因外还受到太阳黑子、地球自转周期活动的外因诱发^[30-31]。

4.1 太阳黑子与川滇地震相关分析

现有研究表明太阳活动强度加强或减弱时都有可能诱发地震发生, 针对我国不同区域地震发生与太阳活动关系有大量的研究, 虽然研究结论并不统一, 但是都基于太阳活动极值年与地震发生的相关性进行研究^[32]。

1951年以来川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震发生与太阳活动存在一定的相关性(图 7), 具体表现为: ① 从极值年看, 太阳黑子极值年及其前后一年易发生地震, 共计发生次数 13 次, 占地震事件的 52%; ② 从太阳黑子活动周期上看, 单双周期交汇处地震事件占 48%。其中双周向单周的地震次数为 7 次, 占比 28%; 单周向双周的地震次数占比 20%。2020 年正处在太阳黑子极小值附近及双周期向单周期转变的交汇期, 地震发生的信号较强。

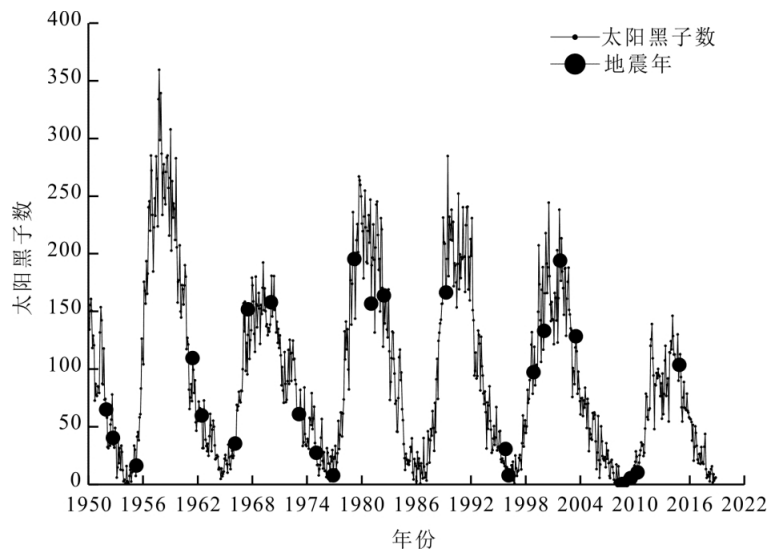


图 7 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震与太阳黑子数的关系

Fig.7 The relationship between earthquakes with $M_s \geq 6.0$ and sunspot number in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block

4.2 地球自转与川滇地震相关分析

陈学忠等人研究表明地球自转速率变化与地震具有显著的相关性, 只是不同研究区域地球自转速率变化对触发地震的可能性存在差异^[33-34]。从图 8 中可以看出, 1951 年以来川滇菱块 $M_s \geq 6.0$

地震分别发生在地球自转加速期和减速期的比例为 16:9, 加速期地震次数占 64%。地球自转速度加速期地震发生的可能性较大。按此趋势分析, 2020 年地球自转速度仍处于加速期, 地震趋势判断的信号较强。

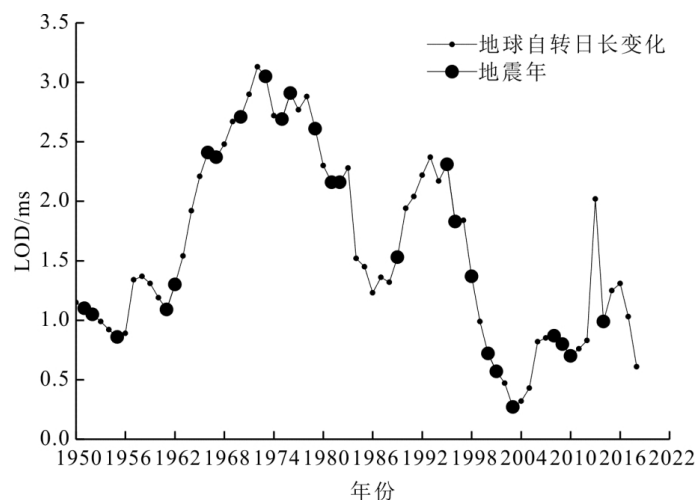


图 8 川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震与地球自转日长的关系

Fig.8 The relationship between earthquakes with $M_s \geq 6.0$ and the earth rotation in the Sichuan-Yunnan Rhombic Block

5 结语

运用可公度理论对川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震进行时间趋势判断,并结合三性法验证,在此基础上,通过蝴蝶图、可公度结构系等分析地震发生的时间周期性;在川滇菱块构造断裂带的基础上分析6级以上地震震中迁移的空间对称规律并做出趋势判断;最后结合太阳黑子数、地球自转速度对其相关机理进行探讨。主要结论如下:

(1) 通过三元、四元、五元可公度计算,下一次川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震2020年信号最强,随机性概率为66.7%;其次为2019年,概率为44.4%。

(2) 在时间周期上,川滇菱块地区 $M_s \geq 6.0$ 地震序列存在较好的周期性,周期有31a、25a、19a、11a、6a。该地区地震发生规律和预测年份同样符合三性法分布特征。

(3) 在空间对称上,川滇菱块震中分布具有对称性,震中存在沿对称轴I、II和主对称中心B对称分布,据此推断下一次该地区 $M_s \geq 6.0$ 地震可能发生在金沙江断裂带和丽江—小金河断裂带上。

(4) 从机理上分析,川滇菱块地震与太阳黑子、地球自转速度具有相关性,地震主要发生在太阳黑子极值年附近、地球自转的加速期。

本文对川滇菱块 $M_s \geq 6.0$ 地震借助可公度法、蝴蝶图、三性法等进行时间预测和趋势判断,但未从其震源发震机制上进行详细分析,震源发震机制对地震的预测和研究也存在较大的价值;虽对川滇菱块地震发生的三要素进行预测,但预测精度还不能达到准确的地震预报程度,这在以后的研究中亟待发展。

参考文献:

- [1] 延军平,白晶,苏坤慧,等.对称性与部分重大自然灾害趋势研究[J].地理研究,2011,30(07):1159-1168.
- [2] 陈运泰.地震预测:回顾与展望[J].中国科学(D辑:地球科学),2009,39(12):1633-1658.
- [3] Wyss M. evaluation of proposed earthquake precursors[M]. Washington,D.C:American Geophysical. Union,1991.
- [4] Dobrovolsky I P.Prediction of a tectonic earthquake: Determination of the earthquake place and energy from vertical displacements of the earth's surface [J].Physics of the Solid Earth,2006,42 (5):429-433.
- [5] Marchuk A N,Marchuk N A.Two approaches to short-term earthquake prediction from hydrogeodynamics precursors[J]. Power Technology and Engineering,2017,51(1):46-51.
- [6] 蒋长胜,吴忠良.国外地震预测预报研究的一些震例[J].国际地震动态,2005(04):156-162.
- [7] Kossobokov V G,Romashkova L L,Keilis-Borok V I,et al. Testing earthquake prediction algorithms:statistically significant advance prediction of the largest earthquakes in the Circum-Pacific,1992-1997 [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors,1999,111 (3):187-196.
- [8] Stuart Crampin.Developing stress-monitoring sites using cross-hole seismology to stress-forecast the times and magnitudes of future earthquakes [J]. Tectonophysics, 2001,338 (3):233-245.
- [9] 翁文波.预测论基础[M].北京:石油工业出版社,1984.
- [10] 徐道一,王明太,耿庆国,等.翁文波院士的信息预测理论体系的创新性及其意义[J].地球物理学进展,2007,22 (4):1375-1379.
- [11] 高新甜,延军平,董婕.厄瓜多尔 $M_s \geq 6.8$ 级地震时空对称性及趋势判断[J].华南地震,2016,36 (2):41-49.
- [12] 崔徐甲,延军平,董治宝,等.菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震活动规律及未来趋势[J].华南地震,2013,33 (2):47-54.
- [13] 李双双,延军平.西太平洋俯冲带北部地区 $M_s \geq 8.0$ 强震时空对称特征[J].地球物理学进展,2012,27(3):960-966.
- [14] 高晓清,杨丽薇,郭安宁,等.地震成因的外核对流顶托说[J].地震工程学报,2016,38 (S1):1-7.
- [15] 李向农,延军平.川滇地区 $M_s \geq 7.0$ 地震时空对称特征及趋势判断[J].地球物理学进展,2017,32(04):1447-1453.
- [15] 郭增建,吴瑾冰.三性法的物理基础[C]//北京:中国地球物理学会年刊.2000.
- [17] 李其林,王云,周艺颖,等.剑川—德钦一带的地热异常:对川滇菱块西北边界和地震活动性的意义[J].矿物岩石地球化学通报,2019,38 (1):90-102.
- [18] 徐锡伟,闻学泽,郑荣章,等.川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J].中国科学(D辑),2003,33 (B04):151-162.
- [19] 宋治平,张国民,刘杰,等.全球地震灾害信息目录(9999B-2010A.D)[M].北京:地震出版社,2011.
- [20] 阚荣举,张四昌,晏凤桐,等.我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨[J].地球物理学报,1977,20 (2):96-109.
- [21] 翁文波.可公度性[J].地球物理学报,1981,24 (2):151-154.
- [22] 郭增建,胡辉,吴瑾冰.1999年9月21日台湾7.6级大地震预报讨论[J].自然灾害学报,2000,9 (4):29-34.
- [23] 郭增建,韩延本,吴瑾冰.用三性法对巴楚伽师6.8级地震的跨越式预测[J].自然灾害学报,2003,12(4):16-19.
- [24] 郭增建,郭安宁.由三性法讨论2017年8月8日四川九寨沟7级地震的中期预测[J].地震工程学报,2017,39 (04):797-798.

- [25] 孟庆彬, 延军平, 芦佳玉. 基于对称性的委内瑞拉及周边地区 $M_w \geq 6.0$ 地震趋势判断及与地球自转关系分析[J]. 地震工程学报, 2018, 40 (5): 1061-1067.
- [26] 徐锡伟. 活动断层、地震灾害与减灾对策问题[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(1): 7-14.
- [27] 程万正, 刁桂苓, 吕弋培, 等. 川滇地块的震源力学机制、运动速率和活动方式[J]. 地震地质, 2003, 25 (1): 71-87.
- [28] 苏有锦, 秦嘉政. 川滇地区强地震活动与区域新构造运动的关系[J]. 中国地震, 2001, 17 (1): 24-34.
- [29] 阚荣举. 西南地区现代构造应力场与板内强震活动[J]. 地震研究, 1980, 3 (3): 45-59.
- [30] 蒋伯琴. 太阳黑子、磁暴与地震活动的关系[J]. 地震学报, 1985, 7 (4): 452-460.
- [31] 陈学忠, 李艳娥. 川滇地区地震活动与地球自转速率变化之间的关系[J]. 地震, 2019, 39(01): 126-135.
- [32] 张桂清. 全球性地震活动与太阳活动的关系[J]. 地震学报, 1998, 20 (4): 427-431.
- [33] 陈学忠, 王恒信, 王生文, 等. 地球自转减速对 2008 年汶川 M_s 8.0 地震的作用[J]. 地震, 2018, 38 (02): 127-136.
- [34] 魏二虎, 李智强, 殷志祥. 地球自转速率变化对地震诱发作用研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34 (1): 1-3.