

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.01.21

近百年来阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震对称性规律及趋势分析

张平, 延军平, 唐宝琪, 王文静

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 运用对称性方法对1900~2016年以来阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震进行分析, 结果发现: (1) 近117年来阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震具有很好的可公度性。应用对称性及三元、四元、五元可公度方法分析, 发现2018年、2021年、2022年, 发生 $M_s \geq 7.0$ 地震信号较强。(2) 通过蝴蝶结构图研究发现, 2018年、2021年、2022年阿富汗都可能发生 $M_s \geq 7.0$ 地震, 并且2018年发生的概率大于2021年和2022年。(3) 除个别年份外, 震中经向与纬向迁移具有一定的同步性即震中纬度向南迁移时, 震中经度向西迁移。预计下次地震震中很有可能向西南方向迁移。

关键词: 时空对称性; 可公度; 地震; 阿富汗

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)01-0135-06

Symmetry reduction and the tendency judgment $M_s \geq 7.0$ earthquake in Afghanistan

ZHANG Ping, YAN Junping, TANG Baoqi, WANG Wenjing

(College of Tourism and Environmental, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Using the method of symmetry to analyse earthquake in Afghanistan and the result showed that: (1) In recent 117 years, using the commensurability method of ternary found that $M_s \geq 7.0$ earthquake in Afghanistan has the very good commensurability. The earthquake ($M_s \geq 7.0$) will possible occur in 2018, 2021 and 2022 by adopting the commensurability method including ternary, quaternary and quintuple. (2) Through the map of butterfly structure found that the earthquake will possibly occur in 2018, 2021, 2022. In 2018 is most probability. (3) Except for some specific years, a strong symmetry and synchronization of the earthquake can be found easily. When the epicentre of latitude move to south, the epicentre of longitude move to west. Expecting the next earthquake possible happen in southwest direction.

Keywords: space-time symmetry; commensurability; earthquake; Afghanistan

0 引言

全球每年发生500多万次地震, 每天发生上万次地震, 而强震、大地震、巨大地震也时有发生。20世纪80年代后期以来, 地球内部能量不稳定, 全世界进入一个新的地震活跃期, 地震爆发尤为频繁^[1]。“地震能否被预测”早已不是地震界争论的新问题。以东京

大学教授盖勒为代表的一些著名地震专家认为^[2], 地壳介质处到自组织临界状态, 因此对给出准确的地震三要素(时间、地点、震级)的确定性的预报是难以实现的。与此同时, 中国、美国、俄罗斯等国的大部分学者认为地震的预报是困难的, 但并不是不可能的^[3]。然而, 地震尤其是强震的发生并不是随机的, 毫无规律可寻的, 它在时间和空间上存在一定的规律性。国内

收稿日期: 2016-07-02; 修订日期: 2016-07-30

基金项目: 国家社会科学基金项目(14AZD094); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(15JD790022)

第一作者: 张平(1991-), 女, 河南濮阳人, 硕士研究生, 主要从事区域开发与城乡发展等方面的研究。E-mail: zhangping3336671@163.com

通讯作者: 延军平(1956-), 男, 陕西绥德人, 教授, 主要从事全球变化与灾害学研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn

许多学者都在研究地震预测方面的内容^[4-18]。阿富汗地区位于阿尔卑斯地震带,地震灾害频发,其中强震、大震时有发生。地震不仅会造成经济损失,人员伤亡,还会引发一系列的次生灾害,例如地震会引发滑坡、泥石流,造成水源污染,传染病滋生等,这更加剧了阿富汗的动荡不安和贫困。因此,对阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 级地震等自然灾害对称性规律及未来趋势研究变得尤为重要。

1 研究区概况

阿富汗地处南北陆上交通要道,位于西亚、南亚、中亚交汇处,气候干旱,以大陆性气候为主,是一个落后的农牧业国家。阿富汗拥有着丰富的矿产资源,但其科学技术落后,资源未得到充分开发和利用,天然气、煤、盐、铬、铁、铜、云母及绿宝石等储量丰富。阿富汗可能拥有世界上蕴藏量最丰富的铜矿、全球第五大铁矿脉。此外,天然气储藏量约为 $1.852 \times 10^8 \text{ m}^3$,石油储量约为 9 500 万桶。该地地质构造活动强烈,地处欧亚地震带上,地震及其引发的其他灾害是该地区最为常见的自然灾害,给该国带来巨大的经济损失和人员伤亡,加剧该地区的贫困。近 117 年来,该地区发生 7.0 级及以上地震多达 27 次,因此研究地震发生规律,预测下一次 $M_s \geq 7.0$ 级及以上地震发生年份,对挽救该地区经济损失,减少人员伤亡具有重要意义。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

阿富汗位于阿尔卑斯地震带上,地震灾害频繁发生。本文 1900—2011 年阿富汗地震发生数据资料来自《全球地震目录》^[19],2012—2016 年地震发生数据资料来源于中国地震信息网 (<http://www.csi.ac.cn/>)。

2.2 研究方法

对称性方法广泛运用于自然研究中,是推动自然科学发展的重要工具^[20]。对称性意味着规律性,简单性和必然性。探索对称性,实际就是在随意性中寻找规律性,在复杂性中寻找简单性,在偶然性中找必然性。灾害的空间对称性是指一个时间序列的地理现象或者事件在空间上存在某种对称性^[21]。它是研究对象相对于某一事物经过位移后和变化前在空间上的联系。可公度方法^[22]作为对称性规律的一种体现,在研究地震的时空分布上具有重要意义,本

文主要运用对称性和可公度方法对阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震进行研究。

3 结果分析

自 1900 年至今阿富汗共发生 $M_s \geq 7.0$ 地震 27 次(表 1),同一年份发生多次地震,以震级最高者作为该年地震发生等级。其中最高震级为 7.7 级,共发生 3 次,分别是 1902 年的巴达赫尚,1940 年的法扎巴德,2015 年的兴都库什地区。由表 1 可知,阿富汗地震发生集中,主要集中在巴达赫尚、塔卢坎、法扎巴德等地,其中 65% 以上位于巴达赫尚,15% 位于法扎巴德。从经纬度上来看,地震震中参考地点纬度位于 $36^\circ\text{N} \sim 37^\circ\text{N}$,经度位于 $66^\circ\text{E} \sim 71^\circ\text{E}$ 之间。

对近 117 年来,阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震进行三元可公度验证,结果发现除 2015 年,2016 年以外,其他 25 次地震具有很好的可公度性。验证结果最高值为 1943 年的 59 组,最低值为 2002 年的 12 组(图 1)。这说明阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震具有很好的可公度性。

表 1 1900~2016 年阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 强震信息统计表

Table 1 The parameters of earthquake with $M_s \geq 7.0$ in Afghanistan

序列号	日期	经度/ $^\circ\text{E}$	纬度/ $^\circ\text{N}$	震级 M_s	参考地点
1	1902-08-30	71	37	7.7	巴达赫尚
2	1908-03-12	70	37	7.0	塔卢坎
3	1909-07-07	70.5	36.5	7.6	巴达赫尚
4	1911-07-04	70.5	36	7.4	巴达赫尚
5	1916-04-21	70.5	36.5	7.1	巴达赫尚
6	1921-11-15	70.5	36.5	7.6	巴达赫尚
7	1922-12-6	70.5	36.5	7.3	巴达赫尚
8	1924-10-13	70.831	36.522	7.2	巴达赫尚
9	1929-02-01	70.931	36.459	7.0	巴达赫尚
10	1933-01-09	69.6	36.4	7.1	塔卢坎
11	1937-10-31	70.5	36.5	7.1	法扎巴德
12	1940-03-04	70.6	36.6	7.7	法扎巴德
13	1943-02-28	70.5	36.5	7.1	巴达赫尚
14	1949-03-04	70.5	36.0	7.4	法扎巴德
15	1950-07-09	70.5	36.7	7.5	法扎巴德
16	1951-06-12	71	36.3	7.5	巴达赫尚
17	1954-06-10	66	36.0	7.0	萨尔普勒
18	1956-11-14	70.8	36.7	7.0	巴达赫尚
19	1960-02-19	71	36.8	7.1	巴达赫尚
20	1965-03-14	70.716	36.4	7.5	巴达赫尚
21	1974-07-30	70.732	36.368	7.1	巴达赫尚
22	1983-12-30	70.713	36.401	7.4	巴达赫尚
23	1985-07-29	70.864	36.164	7.4	巴达赫尚
24	1993-08-09	70.884	36.329	7.0	巴达赫尚
25	2002-03-03	70.458	36.465	7.4	喀布尔
26	2015-10-26	70.8	36.5	7.7	兴都库什地区
27	2016-04-10	71.31	36.56	7.1	兴都库什地区

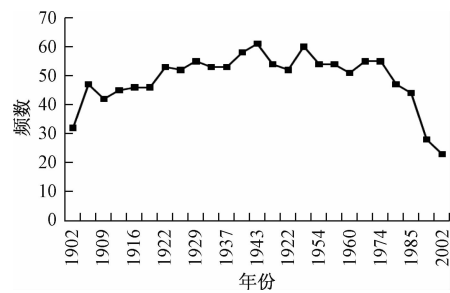


图 1 三元可公度验证

Fig. 1 The validation of ternary commensurability

3.1 三元可公度预测

本文选取 1900—2016 年, 27 次 ≥ 7.0 级地震作为计算参数, 将 27 次地震看做数据集 $\{X_i\}$, 设: $X_1 = 1902; X_2 = 1908; X_3 = 1909; X_4 = 1911; X_5 = 1916; X_6 = 1921; X_7 = 1922; X_8 = 1924; X_9 = 1929; X_{10} = 1933; X_{11} = 1937; X_{12} = 1940; X_{13} = 1943; X_{14} = 1949; X_{15} = 1950; X_{16} = 1951; X_{17} = 1954; X_{18} = 1956; X_{19} = 1960; X_{20} = 1965; X_{21} = 1974; X_{22} = 1983; X_{23} = 1985; X_{24} = 1993; X_{25} = 2002; X_{26} = 2015; X_{27} = 2016$, 根据前 27 次地震发生年份, 运用三元可公度计算方法: $X_a = X_b + X_c - X_d$, 其中 $b + c - d = a$, 预测下一次地震发生年份。

三元可公度的计算结果为: 2017 年 6 组, 2018 年 7 组, 2019 年 4 组, 2020 年 6 组, 2021 年 10 组, 2022 年 8 组, 2025 年 6 组。其中 2021 年信号最强, 其次为 2022 年、2018 年、2017 年以及 2020 年(表 2)。

3.2 四元可公度预测

运用四元可公度进行计算, 四元可公度计算方法为 $X_m = X_n + \Delta X$, 其中 $\Delta X = X_p + X_q - X_r - X_s$, 其中 $p + q = r + s$, X_n 为地震最后一次发生年份, X_m 为下一次地震预测年份。

四元可公度的计算结果为: 2017 年 165 组, 2018 年 141 组, 2019 年 144 组, 2020 年 130 组, 2021 年 81 组, 2022 年 61 组, 2023 年 73 组, 2024 年 62 组, 其中 2017 年信号最强, 其次为 2019 年(表 2)。

3.3 五元可公度预测

同样运用五元可公度进行计算, 五元可公度计算方法为 $X_u = X_p + X_q + X_r - X_s - X_t$, 其中 $u = p + q + r - s - t$, X_u 为下一次地震预测年份。

五元可公度的计算结果为: 2017 年 376 组, 2018 年 367 组, 2019 年 330 组, 2020 年 295 组, 2021 年 267 组, 2022 年, 239 组, 2023 年 200 组, 2024 年 182 组, 2025 年 144 组, 其中 2017 年信号最强, 其次为 2018 年(表 2)。

运用可公度方法进行预测, 主要以三元可公度预

测结果为主, 四元可公度、五元可公度是对三元可公度的补充。综合来看, 阿富汗地区在 2021 年、2022 年、2018 年发生 $M_s \geq 7.0$ 地震的信号最强。

表 2 阿富汗地区 $M_s \geq 7.0$ 地震可公度计算频数

Table 2 The commensurability frequency of earthquake with $M_s \geq 7.0$ in Afghanistan

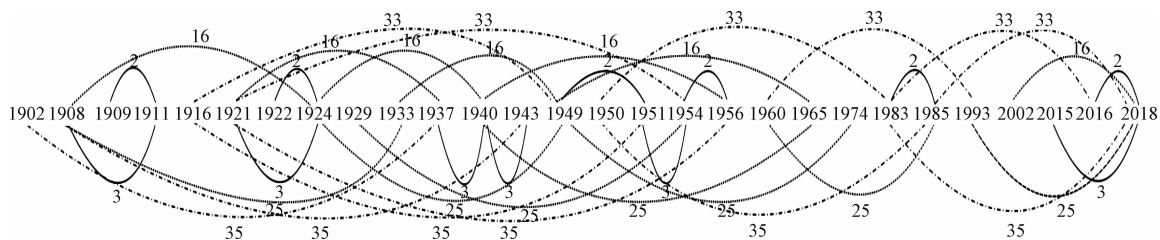
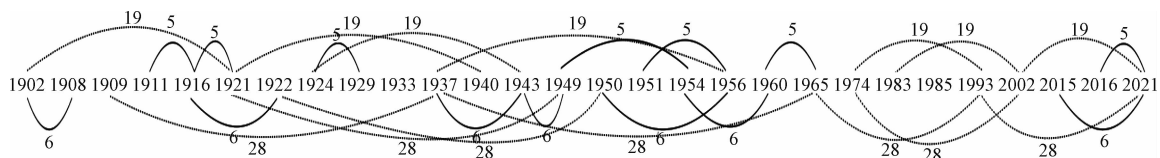
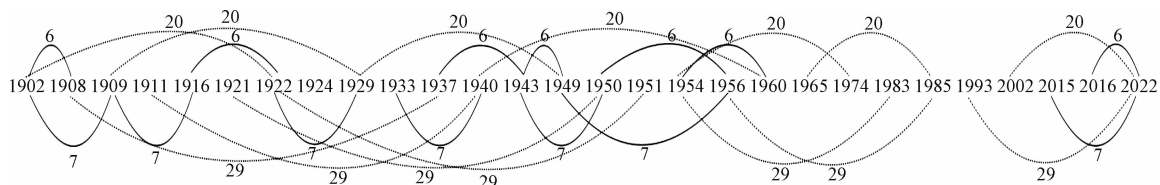
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2025
三元可公度	6	7	4	6	10	8	6
四元可公度	165	141	144	130	81	61	39
五元可公度	376	367	330	295	267	239	144

3.4 蝴蝶结构图趋势判断

蝴蝶结构图是建立在等时间间隔基础之上的, 是分析时间对称性的一种方法。通过构建蝴蝶结构图, 可以发现自然灾害在时间对称性结构方面的特点, 即时间序列中存在等时间间隔上的特点。通过构建和分析 20 世纪以来阿富汗发生 $M_s \geq 7.0$ 地震的蝴蝶结构图来进一步预测阿富汗地区下一次发生 $M_s \geq 7.0$ 地震的年份。

灾害趋势判断, 尤其是对地震灾害这种突发性灾害进行趋势判断很难。因此, 为了使灾害趋势判断更加准确, 我们一般根据研究重大灾害年份数据的多少, 确定蝴蝶结构数量的下限组数^[10]。由于 1900—2016 年以来阿富汗共发生 $M_s \geq 7.0$ 地震 27 次, 所以蝴蝶结构图的相同间隔组 ≥ 6 , 即有相同时间间隔的组数要达到 6 组及 6 组以上(图 2、图 3、图 4)。构建 20 世纪以来阿富汗 $M_s \geq 7.0$, 共 27 次地震的蝴蝶结构图, 可以发现这组数据存在明显的时间对称性。从构建的蝴蝶结构图中可以看出, 与 2018 年相关的时间周期有 6 组, 分别为: 2a、3a、16a、25a、33a、35a; 与 2021 年相关的时间周期有 4 组, 分别为: 5a、6a、19a、28a; 与 2022 年相关的时间周期有 4 组, 分别为 6a、7a、20a、29a。

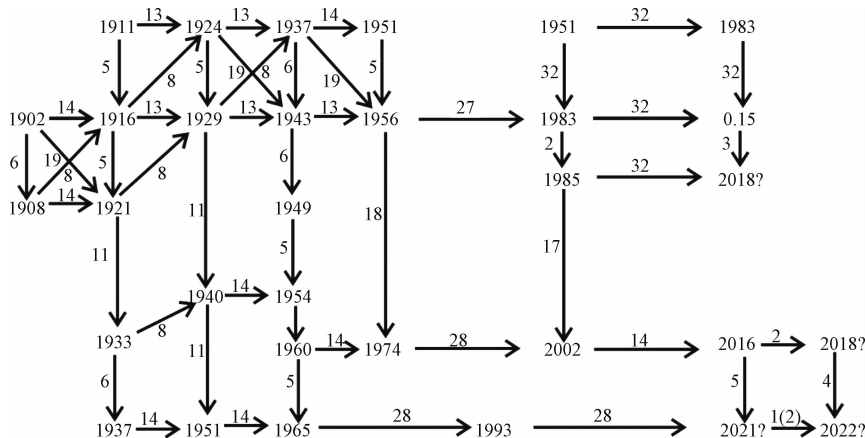
蝴蝶结构随机性概率计算公式为: $T = M/N$; 不漏报置信水平计算公式为: $(1 - \alpha) = M/(N + 1)$, 其中 T 为灾害时间序列中预测年份可能发生地震的概率, N 为灾害事件总次数, M 为参与实际预测的灾害次数, 即与主周期关联的年份统计。阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震在计算公式中, $N = 27$, $M_{2018} = 22$, $M_{2021} = 21$, $M_{2022} = 20$, 所以该地区 2018 年 $M_s \geq 7.0$ 地震的随机概率为 81.48%, 2021 年为 77.78%, 2022 年为 74.75%; 2018 年不漏报置信水平为 84.62%, 2021 年为 80.77%, 2022 年为 76.92%。从蝴蝶结构图可以看出, 2018 年、2021 年、2022 年阿富汗都可能发生 $M_s \geq 7.0$ 地震, 并且 2018 年发生的概率大于 2021 年和 2022 年。

图 2 阿富汗地区 $M_s \geq 7.0$ 强震的 2018 年时间序列预测蝴蝶结构图Fig. 2 The butterfly structure diagram of $M_s \geq 7.0$ earthquakes time series in Afghanistan图 3 阿富汗地区 $M_s \geq 7.0$ 强震的 2021 年时间序列预测蝴蝶结构图Fig. 3 The butterfly structure diagram of $M_s \geq 7.0$ earthquakes time series in Afghanistan图 4 阿富汗地区 $M_s \geq 7.0$ 强震的 2022 年时间序列预测蝴蝶结构图Fig. 4 The butterfly structure diagram of $M_s \geq 7.0$ earthquakes time series in Afghanistan

3.5 可公度结构系趋势判断

可公度结构系是由相等时间间隔数据,以一种或几种相等时间间隔作为主周期,排列组合所构建出来的时间网络结构图,它进一步说明了自然灾害时间对称性结构,对预测自然灾害发生时间具有重要意义。

通过阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震可公度结构系,发现结构图横向呈 13a、14a 的主周期和 32a、28a 的小周期,纵向呈现 5a、6a 的主周期以及 2a、3a、4a、11a、18a、32a 的小周期(图 5)。该图清晰地反映出阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震灾害发生时间具有明显的对称性。

图 5 阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震可公度结构系Fig. 5 Commensurable structure of earthquake ($M_s \geq 7.0$) in Afghanistan

3.6 地震震中纬度迁移

图 6 为阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震震中纬度迁移图,从图中可以看出震中纬度集中分布在 36.5°N 及其周围

地区,即震中纬度在 36.5°N 南北迁移。震中经度集中分布在 70.5°E 及其周围地区,即震中经度在 70.5°E 东西迁移。综合来看,除个别年份外震中经向与纬

向迁移具有一定的同步性:即震中纬度向南迁移时,震中经度向西迁移。假设阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震分布具有良好的空间对称性,那么预计下次地震震中很有可能向西南方向迁移。

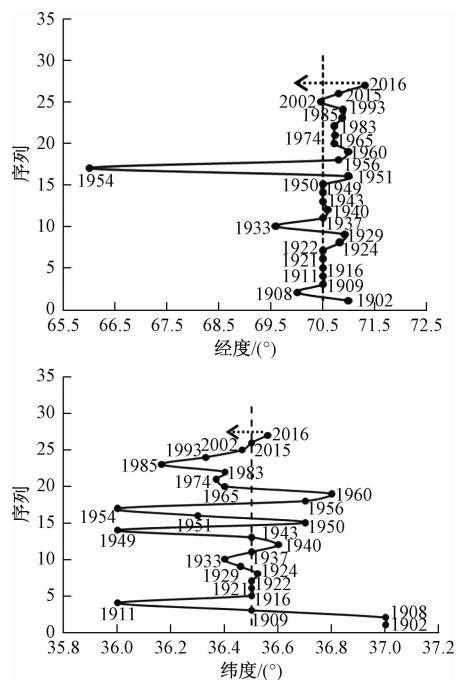


图6 阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震经、纬向迁移

Fig. 6 The $M_s \geq 7.0$ earthquake for latitudinal and longitudinal migration in Afghanistan

4 结果与讨论

本文运用对称性方法,对1900—2016年阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震对称性规律及未来趋势进行分析,得到以下结论:

(1)应用对称性及可三元、四元、五元可公度方法分析,发现2018年,2021年,2022年发生 $M_s \geq 7.0$ 地震信号较强;近117年阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震三元可公度验证具有较好的可公度性。

(2)通过蝴蝶结构图分析得出2018年、2021年、2022年阿富汗都可能发生 $M_s \geq 7.0$ 地震,并且,2018年发生的概率大于2021年和2022年。

(3)自20世纪以来,阿富汗 $M_s \geq 7.0$ 地震震中纬度集中分布在 36.5°N 及其周围地区,震中经度集中分布在 70.5°E 及其周围地区;预计下次地震震中很有可能向西南方向迁移。

参考文献:

[1] 延军平,郑宇. 秦岭南北地区环境变化响应比较研

究[J]. 地理研究,2001(5):576-582.

YAN Junping, ZHENG Yu. A comparative study on environmental change response over the northern and the southern regions of the Qinling Mountains [J]. Geographical Research, 2001(5):576-582.

[2] 彭美凤,鲍挺. 地震预报现状及未来展望[J]. 福建地震,2000,Z2:32-39+42.

PENG Meifeng, BAO Ting. The present situation and prospect of earthquake prediction [J]. Fujian Seismology, 2000,Z2:32-39+42.

[3] 邢权兴,延军平. 美国阿拉斯加州 $M_s \geq 7$ 地震的时空对称性与趋势判断[J]. 内陆地震,2014(4):327-334.

XING Quanxing, YAN Junping. Spatiotemporal symmetry and tendency judgment of $M_s \geq 7$ strong earthquakes in Alaska, America [J]. Inland Earthquake, 2014(4):327-334.

[4] 翁文波. 预测论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1984:136-138.

WENG Wenbo. The basic of forecasting theory [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1984:136-138.

[5] 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(4):1375-1379.

XU Daoyi, WANG Mingtai, GENG Qingguo, et al. The creativity of informative forecasting theory and its significance [J]. Progress in Geophysics, 2007(4):1375-1379.

[6] 延军平,李双双,刘新颜,等. 基于对称性的中国台湾地震趋势判断及物理基础[J]. 灾害学,2013(1):11-14+27.

YAN Junping, LI Shuangshuang, LIU Xinyan, et al. The trend judgment of earthquake in Taiwan based on symmetry theory and its physical basis [J]. Journal of Catastrophology, 2013(1):11-14+27.

[7] 龙小霞,延军平,孙虎,等. 基于可公度方法的川滇地区地震趋势研究[J]. 灾害学,2006(3):81-84.

LONG Xiaoxia, YAN Junping, SUN Hu, et al. Study on earthquake tendency in Sichuan-Yunnan region based on vommensurability [J]. Journal of Catastrophology, 2006(3):81-84.

[8] 延军平,闫娜. 关于地震预测体系构建的可能性及验证[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2008(5):19-23.

YAN Junping, YAN Na. Probability and verification of constructing an earthquake predicting system [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and

- Sociences Edition), 2008(5):19-23.
- [9] 延军平,闫军辉,白晶,等. 基于可公度方法的陕西及邻近地区重大自然灾害发生趋势探讨[J]. 灾害学,2010(2):18-20.
- YAN Junping, YAN Junhui, BAI Jing, et al. Discussion on trends of major natural disasters in Shaanxi province and its vicinities based on commensurable method [J]. Journal of Catastrophology, 2010(2):18-20.
- [10] 王腾,延军平. 中国大陆强震活动对称性研究[J]. 内陆地震,2012(3):226-232.
- WANG Teng, YAN Junping. Symmetry study on strong earthquake activity in mainland [J]. Inland Earthquake, 2012(3):226-232.
- [11] 李双双,延军平,刘栎杉,等. 印度尼西亚 $M_s \geq 7.8$ 强震时空对称特征及其趋势判断[J]. 自然灾害学报,2013(1):190-197.
- LI Shuangshuang, YAN Junping, LIU Lishan, et al. Space-time symmetry of $M_s \geq 7.8$ strong earthquake in Indonesia[J]. Journal of Natural Disaster, 2013(1):190-197.
- [12] 张莉华,延军平,宋保平. 川滇地区地震活动趋势再判断[J]. 防灾科技学院学报,2013(2):16-20.
- ZHANG Lihua, YAN Junping, SONG Baoping. Rejudgment of earthquake activity trend in Sichuan-Yunnan region [J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2013(2):16-20.
- [13] 刘栎杉,延军平. 阿勒泰地区冬季降水变化特征及雪灾趋势判断[J]. 干旱区资源与环境,2013(9):72-78.
- LIU Lishan, YAN Junping. The winter precipitation characteristics and snowstorm trend in Altay region [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013(9):72-78.
- [14] 郭增建,秦保燕. 地震迁移问题(综述)[J]. 国际地震动态,1983(1):8-10.
- GUO Zengjian, QIN Baoyan. Problems of earthquake migration (An Overview) [J]. Recent Developments in World Seismology, 1983(1):8-10.
- [15] 赵能浩,易庆林. 三峡库区某滑坡地震动力响应机理分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2015(2):10-17.
- ZHAO Nenghao, YI Qinglin. Mechanism of seismic dynamic responses of a landslide in The Three Gorges Reservoir area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015(2):10-17.
- [16] 黄曼娜,邹宝裕,白雷超,等. 历史时期泾洛河流域地震时空格局分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2016,27(2):86-90+114.
- HUANG Manna, ZOU Baoyu, BAI Leichao, et al. Analysis of seismic spatiotemporal pattern of Jing-Luo river basins in historical period [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016,27(2):86-90+114.
- [17] 曹水合,王运生,贺建先. 四川康定 $M_s 6.3$ 级地震次生地质灾害特征及成灾模式[J]. 中国地质灾害与防治学报,2015,26(4):87-93.
- CAO Shuihe, WANG Yunsheng, HE Jianxian. Characteristics and disaster model of co-seismic landslides triggered by the Kangding $M_s 6.3$ earthquake on the 22th of Nov, Sichuan province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015,26(4):87-93.
- [18] 董丞妍,罗明良,张斌. 四川芦山余震序列空间格局分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2014,25(4):45-50.
- DONG Chengyan, LUO Mingliang, ZHANG Bin. Analysis of spatial pattern of Lushan aftershocks sequence [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014,25(4):45-50.
- [19] 宋志平,张国民,刘杰,等. 全球地震目录[M]. 北京:地震出版社,2011.
- SONG Zhiping, ZHANG Guomin, LIU Jie, et al. Global Earthquake Catalog(in Chinese)[M]. Beijing: Seismological Press,2011.
- [20] 方兴义. 菲律宾 $M_s \geq 7.0$ 地震时空对称性及趋势判断[J]. 西北师范大学学报,2014,50(1):110-112.
- FANG Xingyi. The time-space symmetry and the tendency judgment $M_s \geq 7.0$ earthquake in Philipines [J]. Journal of Northwest Normal University, 2014,50(1):110-112.
- [21] 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(7):1159-1168.
- YAN Junping, BAI Jing, SU Kunhui, et al. Research on symmetry and tendency of several major natural disasters[J]. Geographical Research, 2011,30(7):1159-1168.
- [22] 翁文波. 可公度性[J]. 地球物理学报,1981,24(2):151-154.
- WENG Wenbo. Commensurability [J]. Acta Geophysica Sinica, 1981,24(2):151-154.