

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.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1061

MENG Qingbin, YAN Junping, LU Jiayu. Forecasts of $M_w \geq 6.0$ Earthquake Tendency in Venezuela and Surrounding Areas Based on the Symmetry Principle and its Relationship with the Earth Rotation[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5):1061-1067.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1061

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

孟庆彬, 延军平, 芦佳玉

(陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119)

摘要: 在全球化的大背景下,重大自然灾害发生的频率不断加快,其危害对人们的生产生活造成了严重的威胁。地震灾害是重大自然灾害之一,发生的频率虽然不高,但造成的人员伤亡和经济损失十分巨大。对地震进行趋势判断,其理论和现实意义重大。文章运用三元、四元、五元可公度计算来预测委内瑞拉及周边地区近30多年 $M_w \geq 6.0$ 地震信号的强弱,利用蝴蝶结构图和可公度结构系加强对时间对称性的分析,再通过震源的经纬度迁移和空间迁移规律,本文创造性地分析了该地震与地球自转加速度的关系。结果得出:(1)委内瑞拉及周边地区发生 $M_w \geq 6.0$ 地震的时间上在2018年信号最强,2017和2019年较强。(2)空间上在 10°N — 11°N , 63°W — 65°W 之间地震可能性最强。(3)委内瑞拉及其周边地区 $M_w \geq 6.0$ 地震与地球自转速度的转折变化有密切关系,未来可通过其变化规律帮助分析地震发生趋势。本文可为地震灾害的趋势判断研究提供一定的参考,为后续研究工作带来一些启示。

关键词: 可公度;时空对称性;蝴蝶结构图;地球自转

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-1061-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1061

Forecasts of $M_w \geq 6.0$ Earthquake Tendency in Venezuela and Surrounding Areas Based on the Symmetry Principle and its Relationship with the Earth Rotation

MENG Qingbin, YAN Junping, LU Jiayu

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

Abstract: In this era of globalization, the continuous increase in the frequency of major natural disasters seriously threatens production and lives. Although the frequency of earthquakes, which are major natural disasters, is relatively low, earthquakes result in great economic losses and casualties; hence, it is very important to practically and theoretically forecast earthquake tendencies.

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 国家自然科学基金(41171090);国家社会科学基金重点项目(14AZD094)

第一作者简介: 孟庆彬(1993—),男,黑龙江鸡西人,硕士研究生,主要从事区域开发与城乡发展等方面的研究工作。E-mail: 892632499@qq.com。

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

In this paper, ternary, quaternary, and pentanary commensurability calculations are used to predict the intensity of seismic signals of $M_w \geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and surrounding areas for approximately 30 years, and then the butterfly structure diagram and commensurability structure are used to strengthen the time symmetry analysis. Based on the laws of longitudinal and latitudinal migration and space migration of seismic sources, the relationship between the earthquake and the acceleration of the earth rotation is creatively analyzed. It is concluded that (1) in the study area, the strongest signal of $M_w \geq 6.0$ earthquakes is in 2018, and relatively strong signals are in 2017 and 2019; (2) $M_w \geq 6.0$ earthquakes are likely to occur in $10^\circ\text{--}11^\circ\text{N}$ and $63^\circ\text{--}65^\circ\text{W}$; (3) the $M_w \geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas have a close relationship with changes in the earth rotation speed. This research can serve as a reference for analyses of earthquakes tendency forecast and provide some insights for future research.

Keywords: commensurability; space-time symmetry; butterfly structure diagram; the earth rotation

0 引言

在很多学者看来,地震预测是很难做到的^[1]。因为现有的研究水平无法清楚地解释地震的地球物理机理^[2]。也有一些学者正在尝试从其他方向探索地震的预测方法。正如中西医对疾病的治疗机理不同^[3],西医讲究先了解疾病发生的位置,器官组织发生何种病变,分析病变原因,然后治疗。中医则认为人体是一个整体,同时与外界环境统一,可以通过“望闻问切”等方法,间接诊疗。这可以给我们地震预测一些启发,地球是一个整体,并且与外界环境相互联系,在现在科学水平有限的前提下,我们也可以通过地球的整体性以及地震的统一性规律对地震进行预测。预测宗师翁文波院士在中国地球物理学会第四届学术年会上发表《可公度性》学术论文,首次将天文学引入信息预测学,并对国内外多个地震做了成功预测,开辟了地震数学统计预测的新途径。延军平等人运用对称性方法较好地预测了很多地震^[4-8](2008 年汶川地震和 2012 年玉树地震)。胡辉等人将日月的天文影响和地震趋势结合进行研究。

本文研究区域是 $7^\circ\text{--}14^\circ\text{N}$, $57^\circ\text{--}72^\circ\text{W}$, 包括委内瑞拉、巴巴多斯、格林纳达、特立尼达和多巴哥等国家和地区,如图 1 所示。这一区域位于开曼群岛—委内瑞拉地震带上,是地震多发地区。区内各国都是美洲重要的石油输出国,尤其以委内瑞拉最著名。同时也是热带旅游胜地,近些年中国对该地区的投资日益增加,若发生地震灾害,将给此地区及投资者带来较大影响。本文运用可公度系、蝴蝶结构图等方法对委内瑞拉及其周边地区 1980 年以来 $M_w \geq 6.0$ 进行趋势判断。可为该地区的公共安全、灾害预防、风险投资等方面给出一定的建议。

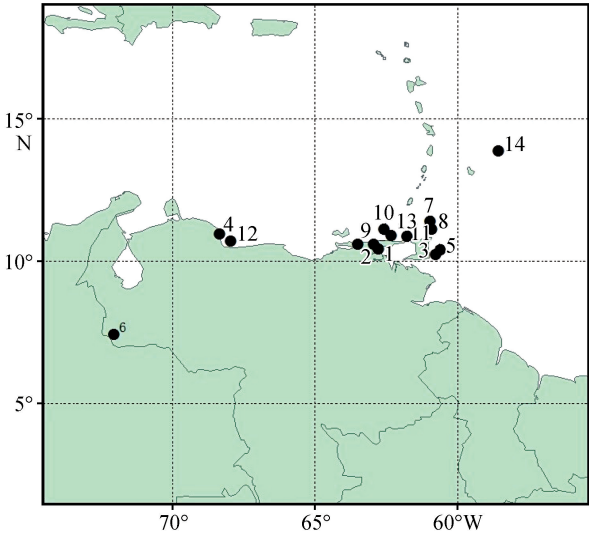


图 1 研究区示意图
Fig.1 Schematic of study area

1 材料与研究方法

1.1 研究数据来源

本文中所用数据来源有两部分,一部分数据来自 1980—2010 年《全球地震目录》(宋志平等, 2011),另一部分是 2011—2016 年源于中国地震信息网(<http://www.csi.ac.cn>)的数据。为确保可公度性预测的准确性,本文采用依据强震群以其主震为代表的原则,同一年份数次强震以最大一次为代表的原则,委内瑞拉及周边地区 1980—2015 年所有 $M_w \geq 6.0$ 的地震见表 1 所列。

1.2 研究方法

文中应用可公度^[9]和对称性^[10-11]方法对委内瑞拉及其周边地区进行趋势判断。可公度方法是预测宗师翁文波院士最早提出的,是从天文学中引用到灾害学预测的。世界是一个整体,其运行遵循着一定的规律。

自然界中许多现象具有对称性规律和周期变化性规律。无论是宇宙的宏观世界还是微观的粒子范围,都存在着相似的规律性,这些都体现着世界的统一性。

可公度理论认为与人类的距离越远,人类的干扰越小,自然属性就越强。而就目前而言,人类活动对地震的影响非常微小,故自然属性较强,规律性较强^[12]。

表 1 委内瑞拉及其周边地区 1980 年以来 $M_w \geq 6.0$ 地震信息统计表

Table 1 Statistics of $M_w \geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas

序号	日期(年-月-日)	纬度/(°N)	经度/(°W)	深度/km	震级/ M_w	参考位置
1	1983-04-11	10.419	62.764	40	6.1	帕里亚湾
2	1986-06-11	10.597	62.928	18.8	6.3	苏克雷
3	1988-03-10	10.402	60.587	56.2	6.7	特立尼达
4	1989-04-30	10.96	68.325	20.3	6	法尔顿
5	1994-05-03	10.241	60.758	36	6.2	特立尼达
6	1994-05-31	7.414	72.033	11.6	6	塔奇拉
7	1997-04-02	11.412	60.942	45	6.1	多巴哥
8	1997-04-22	11.112	60.892	5	6.7	多巴哥
9	1997-07-09	10.598	63.486	19.9	7	苏克雷
10	2000-10-04	11.124	62.559	110.3	6.2	苏克雷
11	2006-09-29	10.876	61.756	53	6.1	特立尼达
12	2009-09-12	10.709	67.927	14	6.4	卡拉沃沃
13	2013-10-12	10.904 8	62.315	63	6	古埃及
14	2015-07-16	13.867 2	58.547 9	20	6.5	巴斯沙巴

三元可公度计算方法为:设一个数集 $\{X_i\}$,令发生灾害的年份为其中的元素。若共有 a 个灾害年份,则有 a 个元素,假设下一次发生灾害的年份为 $a+1$,有 $X_{a+1}=X_m+X_n-X_p$ 。其中 $m+n-p=a+1$ 。

四元可公度计算公式: $\Delta X=X_m+X_n-X_p-X_q$,其中 $m+n=p+q,X_{a+1}=X_a+\Delta X$ 。

五元可公度计算公式: $X_{a+1}=X_m+X_n+X_o-X_p-X_q$,其中 $a+1=m+n+o-p-q$ 。

本文中还运用了蝴蝶结构图法、可公度结构系法等方法帮助显示地震发生的时间对称性规律。蝴蝶结构的随机性概率为 $T=M/N$;不漏报置信水平为 $(1-\alpha)=M/(N+1)$ 。其中 T 为灾害事件时间序列中预测年份发生的可能概率, N 为总灾害事件次数, M 为参与实际预测的灾害次数,即和主周期关联的年份统计。

2 结果分析

2.1 三元可公度趋势判断

把 1980 年以来委内瑞拉及其周边地区发生的地震年份作为数集(见图 2 所示) $\{X_i\}$ 设 $X_1=1983,X_2=1986,X_3=1988,X_4=1989,X_5=1994,X_6=1997,X_7=2000,X_8=2006,X_9=2009,X_{10}=2013,X_{11}=2015,X_{12}=?$ 为下次该地区发生地震的预测年份。根据已知年份推算第 12 次发生地震的可能年份,根据三元可公度计算公式: $X_{12}=X_m+X_n-X_p$ 。其中 $m+n-p=12$ 。计算结果为

2018 年信号最强,有 7 组 $X_2+X_{11}-X_1=X_{12}=2018,X_3+X_{10}-X_1=X_{12}=2018,X_6+X_9-X_3=X_{12}=2018,X_6+X_{11}-X_5=X_{12}=2018,X_7+X_8-X_3=X_{12}=2018,X_7+X_{11}-X_6=X_{12}=2018,X_{9+X_{11}}-X_8=X_{12}=2018$ 。所得的组数比其他年份明显较多,可公度判断结果比较清晰,据此判断 2018 年发生地震的趋势明显。

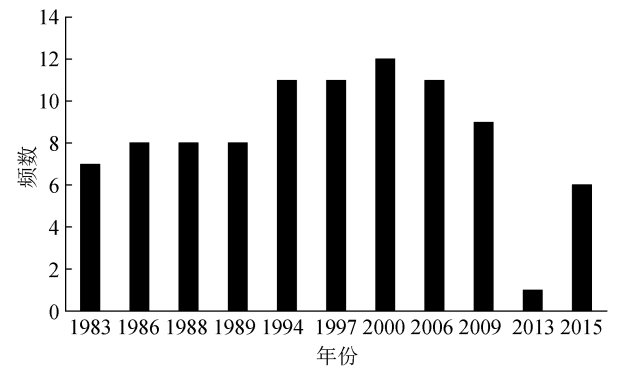


图 2 三元可公度验证

Fig.2 The verification of ternary commensurability

对历史地震发生年份进行三元可公度验证,除 2013 年外每年都有 6 个以上的可公度式子,验证结果良好,可知委内瑞拉及其周边地区历史地震有较好的可公度性。

2.2 四元和五元可公度趋势判断

采用四元可公度计算首先计算公差 $\Delta X=X_m+X_n-X_p-X_q$,其中 $m+n=p+q,X_{12}=X_{11}+\Delta X$,统计 ΔX 出现的频数。四元可公度计算结果

为 2017 年 16 组,2018 年 19 组,2019 年 13 组。同样采用五元可公度计算可得到 2017 年 34 组,2018 年 37 组,2019 年 30 组。通过四元和五元可公度方法验证,2018 年信号最强。

在可公度计算时,以三元可公度为主要参考,而四元可公度和五元可公度计算都是作为验证。表 2 为委内瑞拉及其周边地区未来几年可公度计算结果。综上所述,该地区地震发生最可能年份就是 2018 年,但 2017 年和 2019 年也是可能性较大的。

表 2 $M_w\geq 6.0$ 地震可公度计算频数

Table 2	Number of $M_w\geq 6.0$ earthquakes calculated by the commensurability method			
	2017	2018	2019	2020
三元可公度	5	7	3	3
四元可公度	16	19	13	6
五元可公度	34	37	30	18

2.3 蝴蝶结构图趋势判断

蝴蝶结构图是展示地震灾害发生时间周期对称性的一个重要方法。并且可以帮助计算预测发生灾害年份的概率及不漏报置信水平。由蝴蝶结构图我们可以清晰地看出某地灾害发生时间的周期。由图 3 可知,委内瑞拉及其周边地区地震发生年份具有很好的 3 年、9 年、12 年的周期性。根据可公度概率计算公式, $N=11$, $M_{2018}=7$, 2018 年委内瑞拉及其周边地区发生 $M_w\geq 6.0$ 地震的随机性概率为 63.6%,不漏报置信水平为 58.3%。因此,依据蝴蝶结构图判断 2018 年委内瑞拉及其周边地区最可能发生 $M_w\geq 6.0$ 地震。

2.4 可公度结构系趋势判断

可公度结构系是研究地震趋势判断时间对称性的又一重要方法。通过分析委内瑞拉及其周边地区

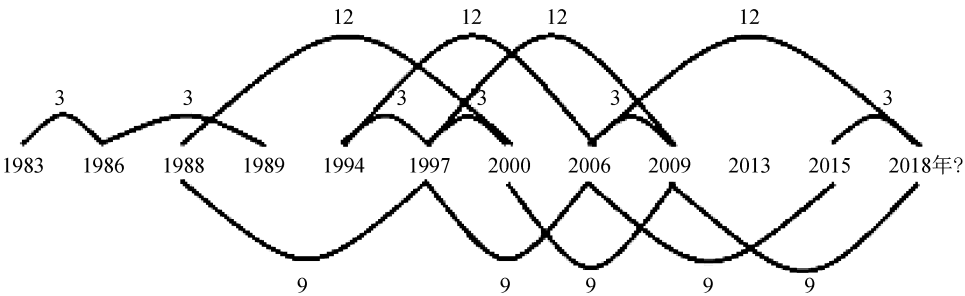


图 3 委内瑞拉及其周边地区 $M_w\geq 6.0$ 地震蝴蝶结构图

Fig.3 The butterfly structure diagram of $M_w\geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas

$M_w\geq 6.0$ 地震的蝴蝶结构图,可以清晰地看出该地区的时间对称性周期特点,依据此时间对称性周期特点绘制出委内瑞拉及其周边地区 1980 年以来 $M_w\geq 6.0$ 地震的可公度结构系图(图 4),具有较工整规范的韵律与网络特征,直观地体现了委内瑞拉及其周边地区地震发生的规律性,更清晰的反映委

内瑞拉及其周边地区地震灾害显著的时间对称性。依据此图,同样得出委内瑞拉及其周边地区发生 $M_w\geq 6.0$ 地震灾害的可能年份是 2018 年。

从可公度结构系中可以看出,横向出现 12 年的主周期,纵向呈现 3 年的主周期,以及 9 年斜向周期,时间周期对称性极为明显。虽然其中也有一些相差一年的周期,但是大多近似吻合于主周期。根据对称性特点显示出 2018 年的信号最强,与蝴蝶结构图一致。

3 空间对称及趋势判断

3.1 震中经向趋势判断

对委内瑞拉及其周边地区 10 次 $M_w\geq 6.0$ 地震活动的空间分布特征进行分析^[13-14],对强震发生的震中经度按时间顺序做出迁移方向轨迹(图 5)。地震的震中经度沿着对称轴交替出现,体现了很好的对称性。其中经向震中迁移对称轴在 63°W 附近,据图推测委内瑞拉及其周边地区下次发生地震的位置可能会在 $63^\circ\sim 65^\circ\text{W}$ 附近。

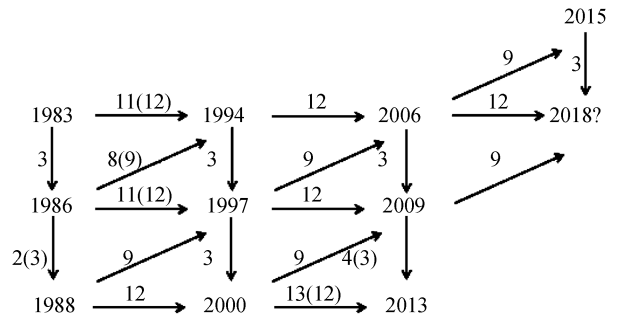


图 4 委内瑞拉及其周边地区 $M_w\geq 6.0$ 地震可公度结构系

Fig.4 Commensurable structure system of $M_w\geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas

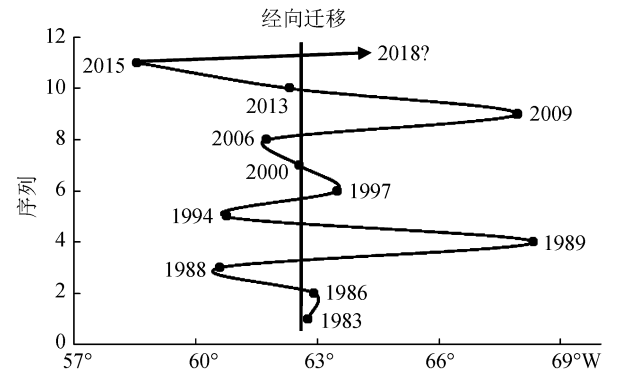


图 5 委内瑞拉及其周地区 $M_w\geq 6.0$ 地震经向迁移

Fig.5 Longitudinal migration of $M_w\geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas

3.2 震中纬向趋势判断

委内瑞拉及其周边地区 $M_w\geq 6.0$ 地震事件不仅有经向迁移规律,在纬向上也展示了较强的规律性。如图 6 所示,大部分地震发生年份都在对称轴两侧按发生次序交替出现,体现了良好的空间对称性。图中可以看出对称轴大致在 10.8°N 附近。而最近一次 $M_w\geq 6.0$ 地震事件发生地远离对称轴,所以下次发生地点在对称轴附近,大致在 $10^{\circ}\sim 11^{\circ}\text{N}$ 。

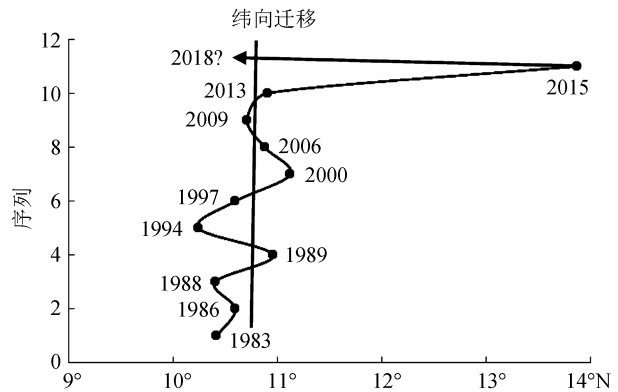


图 6 委内瑞拉及其周地区 $M_w\geq 6.0$ 地震纬向迁移

Fig.6 Latitudinal migration of $M_w\geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas

4 地球自转速度变化与地震相关性分析

前人已有将地震与地球自转速度相关进行分析^[15-19]。本文探索性的将委内瑞拉及其周边地区 $M_w\geq 6.0$ 地震的发生趋势与地球自转速度变化情况进行分析。进一步探寻委内瑞拉及其周边地区诱发地震的可能因素。引用了地球自转速度变化时间的统计数据,对比了委内瑞拉及其周边地区 $M_w\geq 6.0$ 地震的发生时间,见表 3 所列。可以发

现自从 1980 年以来,委内瑞拉及其周边地区的地震多发生在地球自转速度发生转折的时间,即加速度为零的时候。而产生这种规律的可能原因与地球自转速度发生变化所产生的惯性有关。地球自转速度很快,如果速度有微小的变化都可能会引起地壳板块的运动。而本文研究地区正好在板块交界处,故地球自转速度变化可能会对该地区的地震发生产生影响。

表 3 地球自转速度变化与委内瑞拉及其周边地区 $M_w\geq 6.0$ 地震时间对应关系

Table 3 The correspondence between the earth rotation and $M_w\geq 6.0$ earthquakes in Venezuela and its surrounding areas		
地球自转速度转折年份	转折情况	发震情况
1983	由减速变加速	1983-04-11
1986	由加速变减速	1986-06-11
1988	由加速变减速	1988-03-10
1994	由加速变减速	1994-05-03
1997	由减速变加速	1997-07-09
2013	由减速变加速	2013-10-12
2015	由减速变加速	2015-07-16

委内瑞拉及其周边地区自 1980 年以来共有 11 个发震年份,其中有 7 个发生在地球自转速度发生转折的年份,占到总发生年份的 63.6%。其中有 4 次发生在地球自转速度由减速变加速的转折年,有 3 次发生在地球自转速度由加速变减速的转折年。图 7 为近 30 年来地球自转速度变化情况,图中标记点为该地区 1980 年以来的发震年份,其中着重标记的为发生在地球自转加速度为零,即由加速变化为减速或减速变为加速的转折点。1980 年以来地球自转加速度转折点共有 15 个,其中有 7 次发生了 $M_w\geq 6.0$ 地震,概率为 46.7% 接近 50%,故未来可通过地球自转速度的变化趋势来帮助判断该地区的地震发生趋势^[20]。

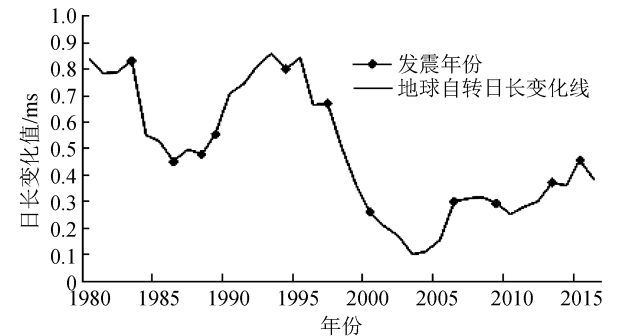


图 7 地球自转速度变化与地震关系图

Fig.7 Relationship between the speed change of the Earth rotation and earthquake

5 结论与讨论

(1) 委内瑞拉及其周边地区地震存在良好的时间和空间对称性。运用对称性及三元、四元、五元可公度计算分析得出,未来委内瑞拉及其周边地区发生 $M_w \geq 6.0$ 地震的最近可能年份为 2018 年左右。

(2) 结合蝴蝶结构图分析得出,自 1980 年以来,委内瑞拉及其周边地区 $M_w \geq 6.0$ 地震灾害具有显著的时间对称性,其可公度信息系的基本周期由 3 年、6 年、9 年、12 年的准时间周期组成,此组合周期中 3 年、9 年、12 年都表现出突出的预测作用。所以未来委内瑞拉及其周边地区 $M_w \geq 6.0$ 地震可能发生在 2018 年左右。蝴蝶结构图法与可公度法分析得出的结论具有高度的一致性。

(3) 委内瑞拉及其周边地区 $M_w \geq 6.0$ 地震震中空间迁移经、纬向具有明显的同步性与对称性。其中经向震中迁移对称轴在 63°W 附近,纬向迁移对称轴在 10.8°N 附近。委内瑞拉及其周边地区 $M_w \geq 6.0$ 未来地震震中可能向东南方向迁移,在 $10^\circ \sim 11^\circ\text{N}$, $63^\circ \sim 65^\circ\text{W}$ 附近,即委内瑞拉东部沿海或特立尼达和多巴哥地区。

(4) 1980 年以来委内瑞拉及其周边地区 $M_w \geq 6.0$ 地震的发生时间与地球自转速度发生改变的时间较吻合,今后可以根据地球自转的变化情况帮助推测该地区地震发生趋势。

地震灾害给人们的生命财产带来了巨大的损失,也给生产生活带来巨大的不便。委内瑞拉及其周边地区是南美洲重要的石油生产地、旅游胜地,一旦发生大地震,后果将不堪设想。本文运用可公度方法对该地区地震进行了趋势判断,但可公度是基于灾害事件年份提取的信号,是事物自然性的体现,目前还无法排除其他因素对自然性的干扰,故存在着一定的局限性,还需要进一步的完善。

参考文献(References)

- [1] 徐道一.世纪之交看地震预测的争论[N].科技日报,2000-06-22.
XU Daoyi. The Debate about Earthquake Prediction at the Turn of the Century[N]. Science and Technology Daily, 2000-06-22.
- [2] 门可佩.新疆及其临区 $M_s \geq 7$ 强震的预测研究[J].西北地震学报,1994,16(4):29-35.
MEN Kepei. Prediction of Strong Earthquakes with $M_s \geq 7$ in

- Xinjiang and Its Adjacent Areas[J]. China Earthquake Engineering Journal, 1994, 16(4): 29-35.
- [3] 黄顺基.中医学是否是科学-诘难何祚庥院士“中医不科学”之说[J].辽东学院学报(社会科学版),2008,10(2):1-13.
HUANG Shunji. Is TCM Scientific or Unscientific: Some Comments on Academician He Zuoxiu's Statement of "TCM is Unscientific"[J]. Journal of Eastern Liaoning University (Social Sciences), 2008, 10(2): 1-13.
- [4] 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,2006,21(3):81-84.
LONG Xiaoxia, YAN Junping, SUN Hu, et al. Study on Seismic Trend in Sichuan and Yunnan Region Based on the Method of Axiomaticity[J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(3): 81-84.
- [5] 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,2010,25(2):18-20.
YAN Junping, YAN Junhui, BAI Jing, et al. Based on Commensurability Method Trend of Nature Disasters in Shaanxi Province and Adjacent Areas[J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(2): 18-20.
- [6] 闫军辉,延军平.新疆喀什地区地震活动趋势——基于可公度方法的研究[J].自然灾害学报,2011,20(6):177-180.
YAN Junhui, YAN Junping. Trend of Seismicity in Kashi Area of Xinjiang: A Commensurability-based Research[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(6): 177-180.
- [7] 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),2008,37(5):19-23.
YAN Junping, YAN Na. Probability and Verification of Constructing an Earthquake Predicting System [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2008, 37(5): 19-23.
- [8] 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,2013,27(9):72-78.
LIU Yueshan, YAN Junping. The Winter Precipitation Characteristics and Snowstorm Trend in Altay Region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(9): 72-78.
- [9] 翁文波.预测论基础[M].北京:石油工业出版社,1984:123-131,137-138.
WENG Wenbo. Basis of Prediction Theory[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984: 123-131, 137-138.
- [10] 孙宗扬.物理学中的对称性[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2009:33.
SUN Zongyang. Symmetry in Physics[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2009: 33.
- [11] 徐一鸿.可畏的对称[M].北京:清华大学出版社,2005:15,68-69.
XU Yihong. Awesome Symmetry[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 15, 68-69.
- [12] 王文静,延军平,刘永林,等.墨西哥 $M_w \geq 7.2$ 地震的时空对称性特征[J].地球物理学进展,2016,31(3):982-987.

- WANG Wenjing, YAN Junping, LIU Yonglin, et al. Space-time Symmetry of $M_w \geq 7.2$ Earthquake in Mexico[J]. Progress in Geophysics, 2016, 31(3): 982-987.
- [13] 王鹏涛, 延军平, 蒋冲, 等. 所罗门群岛及周边海域 $M \geq 7.4$ 级地震时空对称性分析[J]. 高原地震, 2014, 26(3): 1-8.
- WANG Pengtao, YAN Junping, JIANG Chong, et al. Spatial and Temporal Symmetry Analysis of Magnitude 7.4 Earthquakes in and Around the Solomon Islands[J]. Plateau Earthquake Research, 2014, 26(3): 1-8.
- [14] 郭增建, 秦保燕. 地震迁移问题综述[J]. 国际地震动态, 1983, 4(1): 8-10.
- GUO Zengjian, QIN Baoyan. Overview of Seismic Migration Issues[J]. Recent Developments in World Seismology, 1983, 4(1): 8-10.
- [15] 陈学忠, 陆小华. 全球不同地区强震与地球自转之间的关系分析[J]. 国际地震动态, 2011, 32(12): 34-40.
- CHEN Xuezhong, LU Xiaohua. Analysis of the Relationship Between Earth Rotation and Strong Earthquakes in Different Regions of the World[J]. Recent Developments in World Seismology, 2011, 32(12): 34-40.
- [16] 马利华, 韩延本, 尹志强. 全球强震的分布及其与地球自转速率变化的关系[J]. 天文研究与技术, 2007, 4(4): 406-411.
- MA Lihua, HAN Yanben, YIN Zhiqiang. Distribution Characteristics of Global Significant Earthquakes and Possible Connection Between Earthquakes and Earth's Variable Rotation Rate[J]. Astronomical Research & Technology, 2007, 4(4): 406-411.
- [17] 郑大伟, 周永宏. 地球自转变化与全球地震活动关系的研究[J]. 地震学报, 1995, 17(1): 25-30.
- ZHENG Dawei, ZHOU Yonghong. Study on the Relationship Between Earth Rotation Change and Global Seismic Activity[J]. Acta Seismologica Sinica, 1995, 17(1): 25-30.
- [18] 韩延本, 郭增建, 赵娟, 等. 地球自转速率变化与中国西部的大地震[J]. 国际地震动态, 2003, 24(6): 1-5.
- HAN Yanben, GUO Zengjian, ZHAO Juan, et al. Variation of the Earth's Rotation and Large Earthquakes in the West of China[J]. Recent Developments in World Seismology, 2003, 24(6): 1-5.
- [19] 张国民, 傅征祥, 桂燮泰, 等. 地震预报引论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- ZHANG Guomin, FU Zhengxiang, GUI Xietai, et al. Introduction to Earthquake Prediction[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [20] 陈学忠, 李艳娥, 赵晓燕. 地球自转、地震成因与地震预报[J]. 国际地震动态, 2010, 31(1): 18-24.
- CHEN Xuezhong, LI Yan'e, ZHAO Xiaoyan. The Earth Rotation, the Cause of Earthquakes and Earthquake Prediction[J]. Recent Developments in World Seismology, 2010, 31(1): 18-24.