

宋绍鹏, 延军平, 董治宝, 等. 哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震活动规律及趋势判断[J]. 华南地震, 2016, 36(3): 1-8. [SONG Shaopeng, YAN Junping, DONG Zhibao, et al. Regularity and Tendency Judgment of the $M_s \geq 6.8$ Seismic Activity in Colombia [J]. South china journal of seismology, 2016, 36(3): 1-8.]

哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震活动规律及趋势判断

宋绍鹏¹, 延军平¹, 董治宝^{1, 2}, 崔徐甲¹, 李 超¹, 李晓岚¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 通过可公度方法、震中时空迁移特征、太阳活动与地震之间的关系三方面来分析哥伦比亚 1952 年以来的 $M_s \geq 6.8$ 强震数据, 并对哥伦比亚强震活动规律及趋势进行判断。结果表明: 2015、2016 年 $M_s \geq 6.8$ 强震的信号强, 2016 年信号更强; 太阳活动周期的极大年附近和下降段, $M_s \geq 6.8$ 地震活动频繁, 2016 年位于太阳活动第 24 周期下降段, 地震信号强, 与可公度结果一致; 未来 $M_s \geq 6.8$ 强震震中可能向西南方向迁移, 很可能发生在 4°N 以南, 76°W 以西地区, 即哥伦比亚的西南地区。

关键词: 强震; 哥伦比亚; 时空对称; 可公度

中图分类号: P315.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2016) 03-0001-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.03.001

Regularity and Tendency Judgment of the $M_s \geq 6.8$ Seismic Activity in Colombia

SONG Shaopeng¹, YAN Junping¹, DONG Zhibao^{1,2},

CUI Xujia¹, LI Chao¹, LI Xiaolan¹

(1. College of Tourism and Environment Science, Xi'an 710062, China; 2. Key Laboratory Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: This paper analyzes the strong seismic data ($M_s \geq 6.8$) in the Colombia since 1952 by using the method of commensurability, space-time migration of epicenter, the relationship between solar activity and earthquake in Colombia, and estimates the regularity and tendency of earthquakes in Colombia. The results show that: there is a strong signal that earthquakes with $M_s \geq 6.8$ will occur in 2015 and 2016, but the signal in 2016 is stronger than that in 2015; the earthquake activities with $M_s \geq 6.8$ are frequent in near great years and decline

收稿日期: 2015-10-06

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

作者简介: 宋绍鹏(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事自然灾害研究

E-mail: laicunzhan@163.com.

period of solar cycle, and 2016 lies in decline period of the twenty-fourth solar cycle so that the earthquake signal is strong, which is in accordance with commensurability; the further earthquake epicenter may move and occur to the southwest area in Colombia which lies in the south of 4°N and the west of 76°W .

Keywords: Strong earthquake; Colombia; Space-time symmetry; Commensurability

0 引言

二十一世纪以来,全球进入新的灾害频发期,重特大自然灾害接连发生,给人们带来巨大灾难,防灾减灾工作也面临严峻态势^[1],因此,对自然灾害活动规律及趋势判断的研究显得尤为重要。对称性是指组成某一事物或者对象的两个部分的对等性,对称性广泛地存在于自然界中,存在于万物之中^[2,3]。部分自然灾害具有对称性特征,其在时间上表现为时间对称性,在空间上表现为空间对称性。研究部分自然灾害的对称性结构,分析其时空对称性规律,对于积极应对重大自然灾害及减少经济损失意义重大。

1991年,冯德益等通过建立地震预测的灰色模糊模型对我国众多地区大地震时间序列进行预测检验,取得了丰硕成果^[4]。翁文波先生把可公度方法运用到信息预测科学中,对地震、干旱灾害的时间对称性进行深入研究,诸多案例得到验证。近年来,延军平等人也运用可公度方法对重大自然灾害的时空对称性进行深入研究^[5-10],做出了大量的灾害趋势判断,也有不少的案例得到了验证。关于哥伦比亚地震活动的研究成果颇丰,比如发现哥伦比亚东部俯冲带的地壳变形与地震周期有关系^[11],1989—1995年的地震序列与可能发生的火山地震之间存在交互作用^[12]等,但目前尚缺关于哥伦比亚地震活动规律及其趋势判断方面的研究。哥伦比亚位于环太平洋地震带上,研究哥伦比亚地区的地震活动对防灾减灾具有重要的意义。本文以哥伦比亚1952年以来 $M_s \geq 6.8$ 级地震为例,研究了该区地震活动的时空对称性特征、未来趋势及其与太阳活动的关系,旨在丰富可公度方法在地震活动趋势判断方面的研究内容,并为相关研究提供一定的理论指导与科学参考。

1 研究区概况

哥伦比亚共和国位于南美洲西北部,国土面积 $114.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,气候以热带雨林气候为主,自然资源丰富,煤炭、石油、绿宝石为主要矿藏。境

内多平原,东部由亚马孙河与奥里诺科河上游支流冲积而成的平原,约占全国总面积的 $2/3$,西北部为马格达莱纳河下游冲积平原(图1)。中西部除沿海平原外,为西、中、东3条平行的科迪勒拉山脉构成的高原。境内南部有一系列火山锥;地处环太平洋地震带,地质构造复杂^[13],多火山、地震。加之哥伦比亚地处加勒比板块、科科斯板块、科纳斯板块和南美板块4个板块交汇地带,受太平洋板块和加勒比板块俯冲的双重影响,具有独特的构造演化特征,其全境的地理、构造和盆地类型均受板块碰撞的影响。

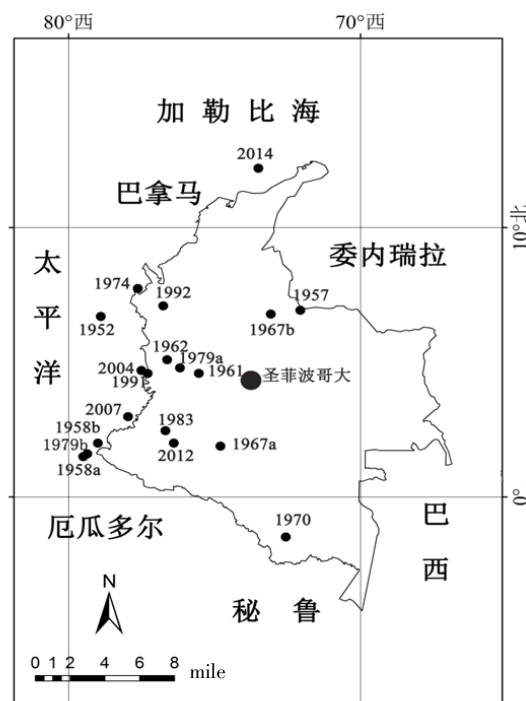


图1 哥伦比亚地区地震研究区域示意图

Fig.1 The map of seismic study area in Colombia

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文选取了1952年以来哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震数据(见表1),进行地震趋势判断。其数据来源于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)和中

表 1 哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 强震参数

Table 1 The parameters of strong earthquakes with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

序列	时间	纬度	经度	深度/km	震级/ M
1	1952-05-16	6.700°N	78.900°W	—	6.9
2	1957-04-21	6.933°N	72.066°W	16.3	7.1
3	1958-01-19	1.500°N	79.500°W	60.0	7.8
4	1958-02-01	2.000°N	79.000°W	—	7.0
5	1961-12-20	4.587°N	75.542°W	162.9	6.9
6	1962-07-30	5.096°N	76.626°W	150.0	6.9
7	1967-07-09	1.889°N	74.799°W	40.4	7.2
8	1967-07-29	6.788°N	73.073°W	160.9	6.8
9	1970-07-31	1.486°S	72.563°W	644.6	8.0
10	1974-07-13	7.737°N	77.631°W	5.5	7.7
11	1979-11-23	4.793°N	76.190°W	108.5	7.2
12	1979-12-12	1.603°N	79.362°W	24.4	8.1
13	1983-03-31	2.461°N	76.686°W	22.0	7.0
14	1991-11-19	4.585°N	77.295°W	21.0	7.2
15	1992-10-18	7.094°N	76.763°W	2.9	7.4
16	2004-11-15	4.695°N	77.508°W	15.0	7.2
17	2007-09-10	2.982°N	77.967°W	31.0	6.8
18	2012-10-01	2.000°N	76.400°W	6.5	7.0
19	2014-02-28	12.200°N	73.500°W	1.0	7.4

国地震信息网,同时参考了《全球地震信息目录》^[14]。通过对不同途径获得的数据进行比较分析,保证文中地震数据的完整性和准确性,从而确保了哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震活动规律及趋势判断的准确性。文中年平均太阳黑字相对数和年平均耀斑数均来源于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)。

2.2 研究方法

本文采用可公度方法、震中时空迁移特征和太阳活动与地震之间的关系三方面分析了 1952 年以来哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 级地震活动规律及趋势判断。可公度方法是一种自然界的秩序和规律,也是周期性的扩张。可公度性是一种信息系,可公度是由翁文波先生从天文学中引入信息预测学中,是时空对称性的一种体现^[15-16],其对称性表现在时间和空间分布两个方面上,具有时空统一性。蝴蝶结构图法是可公度的延伸,是剖析时间对称性的一种方法。体现出了多变量间的周期变化。在此基础上构建的可公度结构图能够深层次的验证地震可能发生的年份。

3 数据分析

3.1 可公度方法

设 $X_1=1952$, $X_2=1957$, $X_3=1958$, $X_4=1961$,

$X_5=1962$, $X_6=1967$, $X_7=1970$, $X_8=1974$, $X_9=1979$, $X_{10}=1983$, $X_{11}=1991$, $X_{12}=1992$, $X_{13}=2004$, $X_{14}=2007$, $X_{15}=2012$, $X_{16}=2014$, $X_{17}=?$ 。

通过三元、四元以及五元可公度法的计算,结果如下(表 2):三元可公度法为 2015 年 3 组,2016 年 6 组;四元可公度法为 2015 年 41 组,2016 年 36 组;五元可公度法为 2015 年 79 组,2016 年 72 组。在可公度的计算结果中,三元可公度是核心,四元、五元可公度为三元可公度提供验证^[15-16]。从结果可知,2015 年和 2016 年发生地震的信号都很强。

3.2 蝴蝶结构图趋势判断

自然灾害的时间对称性构造出的蝴蝶结构是一种周期共振的表现,通过构建各年份的结构关系,绘制出具有鲜明的时间对称性特点的蝴蝶结构图。它是自然灾害时间对称性结构的体现,是

表 2 可公度趋势判断的频数统计

Table 2 The frequency statistics of tendency judgment of commensurability

年份	2015	2016
三元	3	6
四元	41	36
五元	79	72

可公度方法用来表达时间对称结构的方式,其主要解决可公度计算中两年份信号都较强,如何抉择的问题^[7]。

分析哥伦比亚地区 1952 年以来 $M_s \geq 6.8$ 地震数据,绘制出蝴蝶结构图(图 2)。从图 2 可以看出,该地区强震发生的时间间隔具有一定的规律性,时间间隔以 4a、5a、9a、12a、21a、22a、25a、33a 最为显著,其中与 2016 年可套合的主周期为 4a、9a、12a、25a、33a。通过对时间对称性规律的分析,发现该地区的地震发生年份具有明显的平静期与活跃期,主要周期为 5a、12a,比

如:1957—1962 年(包括 1957 年和 1962 年在内)5 年时间内发生了 4 次,为明显的活跃期;而 1992—2004 年(包括 1992 年和 2004 年在内)12 年时间内才发生 2 次,为明显的平静期。

蝴蝶结构的随机性概率计算公式,即 $T=m/n$,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 为用于预测的总灾害事件次数; m 为参与实际预测的灾害次数。经计算,2015 年、2016 年哥伦比亚地区发生 6.8 级地震及以上的随机性概率为 56.25%、62.50%。综合上述研究结果,2016 年发生地震的信号强于 2015 年。

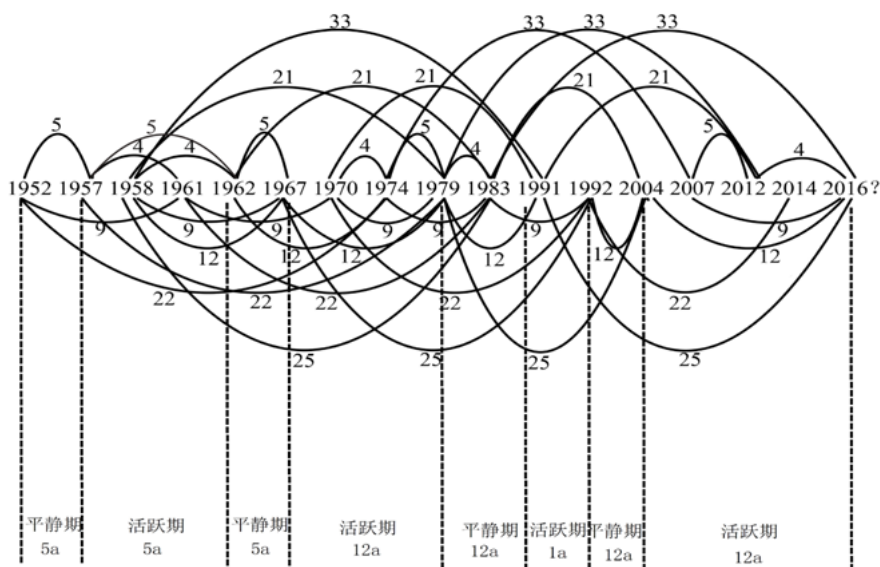


图 2 哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震时间序列蝴蝶结构图

Fig.2 The butterfly structure diagram of time series of earthquakes with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

3.3 可公度结构系图

通过哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震进行分析。得出了该区具有时间对称性的特点,依据此特点绘制出 1952 年以来 $M_s \geq 6.8$ 地震的可公度结构系图,横向主周期为 12a,纵向主周期为 4a、5a 和 25a,具有极其规范的网络特征,直观的描述了该地区地震发生的秩序和规律性。依据此可公度结构系图,可以进一步推测出哥伦比亚地区 6.8 级及以上地震发生的年份信号 2016 年比 2015 年更强。

3.4 强震震中迁移特征

3.4.1 地震震中迁移特征

地震迁移是指地震带内地震的发生顺序在空间上呈现定向迁移的现象,国外很早就被人研究并用于地震预报^[8],国内关于地震迁移的研究起步

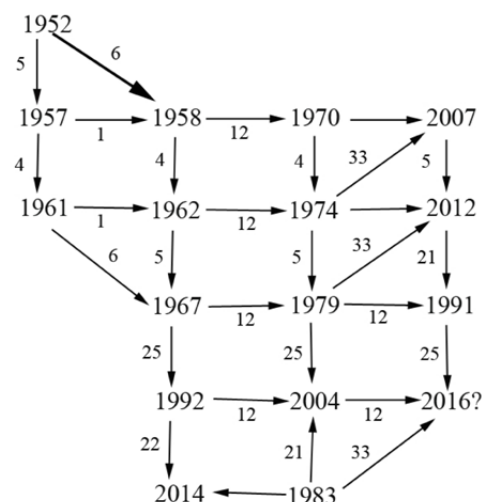


图 3 哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震可公度结构系图

Fig.3 Commensurable structure of earthquakes with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

较晚^[17]。马宗晋等人较全面地对我国大陆四条地震带的地震迁移做了研究,证明了迁移的定向性,提出了迁移的基础是边界动力源脉动式推压引起的动力波的传播^[17]。美国学者金继宇等人对美国加州地震迁移做了定向性研究,取得了丰硕成果^[18]。

图4表明哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震震中出现较明显的迁移,呈现出南北对称回旋迁移。分析震中的时空三角形迁移,将相邻年份的三次地震用直线连接起来,组成一个三角形,可以得出哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震震中三角向迁移规律性很强。我们发现 MN 线以南为三角形的顶点, MN 线以北为三角形的底线(2004、2007 以及 2012 年三次地震组成的三角形例外), MN 线以南每发生一个地震,与 MN 线以北两个地震相对应。因为 2014 年地震在北边,所以笔者预测下一次地震的震中向西南方向的可能性较大。

3.4.2 地震震中纬向、经向迁移特征

图5为哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震纬向、经向迁移图,可以得出:当纬向向北迁移时,经向迁移呈现出向东迁移的主规律(1961—1962 年、1970—1974 年、1983—1991 年三次向西迁移);而当纬向向南迁移时,经向迁移就没有明显的主规律了(向西、向东迁移各有 4 次)。

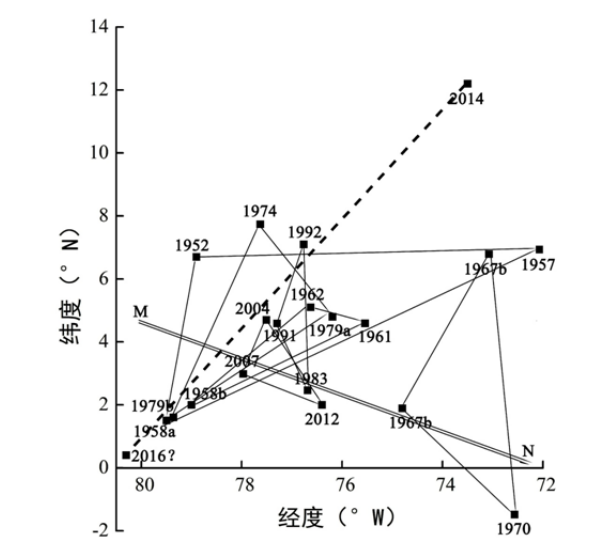


图4 哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震震中三角形迁移
Fig.4 Triangle migration of earthquake epicenters of with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

根据哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震震中纬向迁移规律得到,其纬向对称轴在 4°N 左右;经向迁移规律得到,其经向对称轴在 76°W 左右。假设哥伦比亚地区强震空间分布具有较好的对称性,那么未来强震震中区域可能向西南方向迁移,在 4°N 以南, 76°W 以西地区,即哥伦比亚的西南地区。

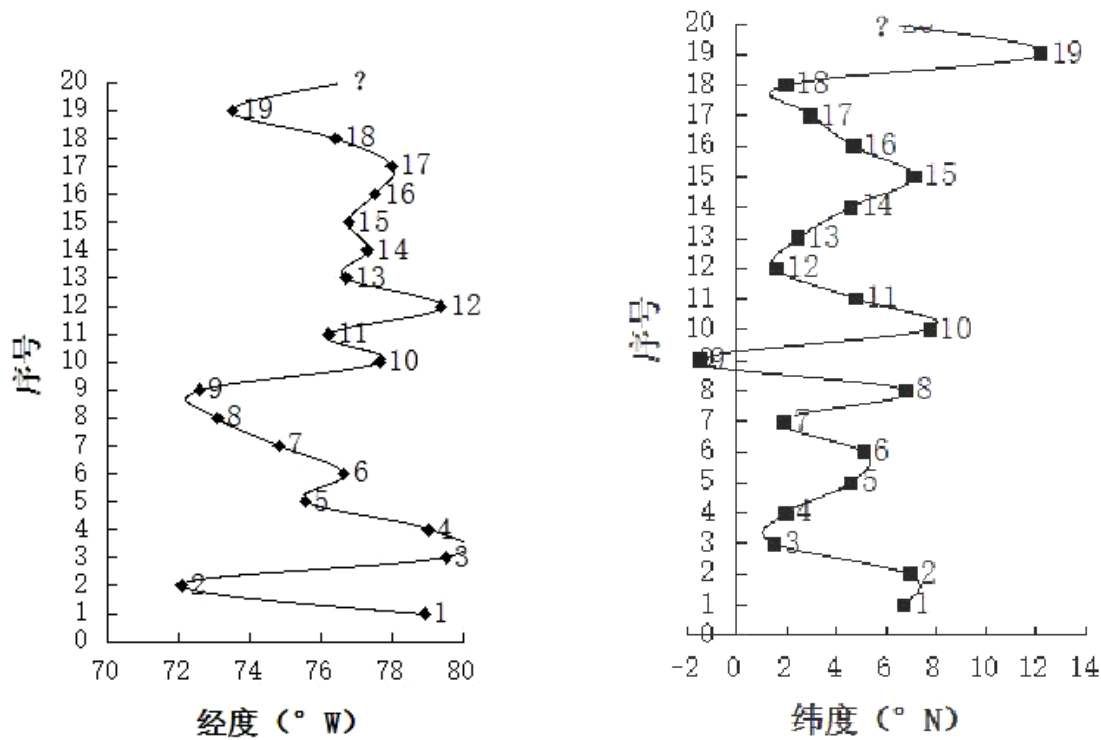


图5 哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震纬向、经向迁移
Fig.5 The longitudinal and latitudinal migration of earthquakes with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

4 太阳活动与哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震的关系

4.1 太阳黑子活动与哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震关系分析

太阳是地球上所有能量的源泉,它的变化影响着地球各部分和整体的运动和变化,太阳活动对地球环境、气候及某些自然灾害有重要影响。太阳黑子是太阳表面活动的主体,太阳黑子数是表示太阳活动强弱的重要指标。国内外很多学者对太阳黑子活动与地震的关系进行深入研究,M. A.M.Shaltout 等人研究发现北非地震周期与太阳黑子 11 年周期吻合,在太阳黑子活动峰值后 1~5 年地震活动频繁^[19-20];张桂清研究全球性地震活动与太阳活动的关系发现,在太阳活动极小年附近,地震活动频繁^[21]。

经研究,太阳活动分为上升段和下降段,上升段一般为 3~6 年,平均约为 4 年;下降段一般为 5~8 年,平均约为 7 年^[22],得出太阳黑子活动的平均周期为 11 年,得知目前处以第 24 周期。分析哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震与太阳黑子活动的关系得知:①太阳黑子活动的下降段,地震活动频繁。1950 年以来,哥伦比亚共发生 $M_s \geq 6.8$ 地震 19 次(包括同一年份发生的多次地震),由图 6 可以看出只有两次在上升段,其中有三处在太阳黑子相对数极大年,其他的都发生在下降段,占到近 60 多年地震总数的 73.7%。②太阳黑子活动周期极大年附近,地震活动频繁。1956—1958 年及 1967—1970 年都发生 3 次,1978—1980 年及 2012—2015 年都发生 2 次,占到近 60 多年地震总数的 57.9%。③太阳黑子活动周期峰年后 1~4 年内,发生 $M_s \geq 6.8$ 地震可能性较大。峰年后 1~4 年共发生 8 次,占地震总数的 42.1%;如果再算上峰年的话,就有

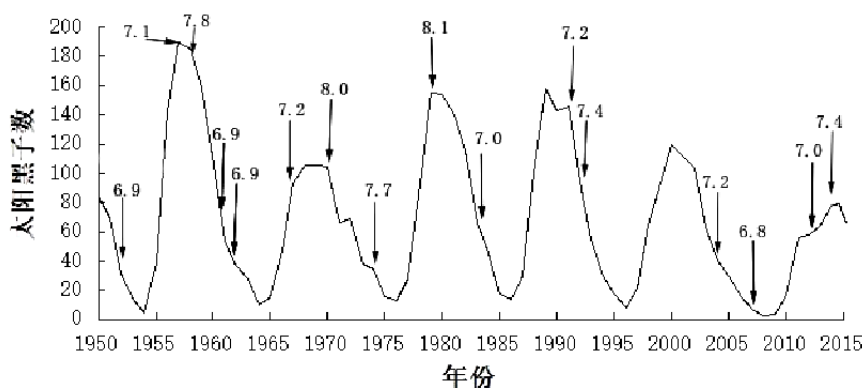


图 6 太阳黑子活动与哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震关系

Fig.6 Relationship between sunspot activity and the earthquakes with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

11 次,占地震总数的 57.9%。④图 6 可以看出自 2009—2014 年太阳黑子活动处于上升段,2014 年太阳黑子数大于 2015 年,因此 2014 年是第 24 周期的峰年。2016 年在下降段,又是峰年后第 2 年,所以发生 $M_s \geq 6.8$ 地震可能性较高。以上四点都进一步验证了 2016 年哥伦比亚发生 $M_s \geq 6.8$ 地震的可能性。

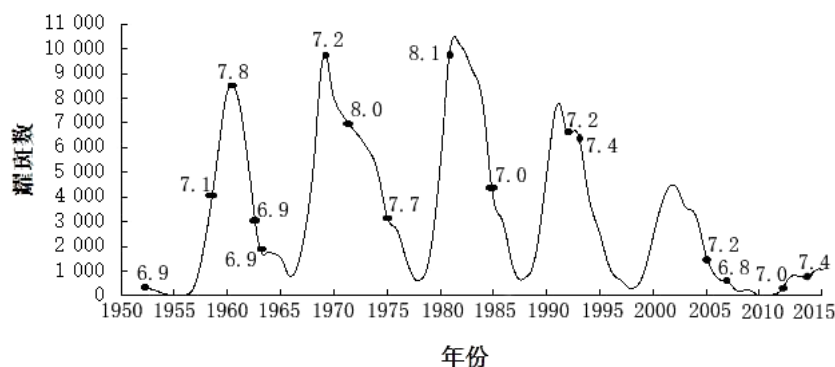
4.2 太阳耀斑活动与哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震关系分析

耀斑是常见的剧烈太阳活动现象,是太阳表面局部区域大规模的能量释放过程,耀斑过程是磁流体动力学过程。太阳耀斑活动也具有 11 年的平均周期的特点,赵明宇等研究发现耀斑爆发与黑子群活动具有良好的相关性^[23-25];石连纪等发现

大耀斑与地震有密切的关系,表现为在活动峰年期地震活动增强^[26]。分析哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震与太阳耀斑活动的关系得知:①太阳耀斑活动峰年附近,地震震级较强。1958、1967、1970、1979 年都在峰年附近(包括峰年),震级分别为 7.8、7.2、8.0、8.1。②太阳耀斑活动的下降段,地震活动频繁。由图 7 可知,只有 1957、1979、2012、2014 年四次地震在上升段,其余的都在下降段,占到近 60 多年地震总数的 78.9%。

5 结语

本文选取了哥伦比亚作为研究区域,通过可公度法、蝴蝶图结构法、可公度结构系法、震中经纬向迁移及太阳黑子活动、太阳耀斑活动与地

图7 太阳耀斑活动与哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震关系Fig7 Relationship between solar flare activity and the earthquakes with $M_s \geq 6.8$ in Colombia

震的相互关系,对1952年以来哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震趋势进行判断,得出以下结论

(1) 1952年以来哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震具有良好的时间对称性,呈现较强的可公度特征。根据可公度方法计算得出,2015年和2016年的信号较强,有发生较大震级的地震可能性,再通过蝴蝶图结构法和可公度结构系图法进一步分析得出,2016年发生强震的信号大于2015年。

(2) 通过绘制哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震蝴蝶图,可以清晰地在地震活动周期划分为平静期和活跃期,前三次为5a交替进行,后四次为12a交替进行,而哥伦比亚新的地震周期即平静期是2016年。

(3) 1952年以来哥伦比亚地区 $M_s \geq 6.8$ 地震空间对称规律明显,当纬向向北迁移时,经向迁移呈现出向东迁移的主规律(1961—1962年、1970—1974年、1983—1991年三次向西迁移);而当纬向向南迁移时,经向迁移就没有明显的主规律了(向西、向东迁移各有4次);未来地震震中向西南方向迁移,即发生在哥伦比亚的西南地区。

(4) 通过太阳活动(黑子、耀斑)与哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震关系分析得出,太阳活动周期的峰年附近和太阳活动周期的下降段都为地震频发期,并且2014年为第24周期的峰年。2016年在太阳活动峰年附近,并且处于太阳活动周期的下降段,故2016年发生强震的信号强,进一步对可公度方法的结果进行验证。

本文通过可公度方法与太阳活动(黑子、耀斑)规律结合起来研究哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震,尝试着对地震的未来趋势判断进行探讨,旨在增加可公度方法的验证案例,丰富验证机会,探索时空对称性的规律。关于哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震活动

趋势及趋势判断,比如第24周期的峰年是哪年,哥伦比亚 $M_s \geq 6.8$ 地震活跃期和平静期的划分等,还需要大量的数据来进一步研究和探讨。

参考文献:

- [1] Mohamed Aroui, Cuong Nguyen, Adel Ben Youssef. Natural disasters, household welfare, and resilience: evidence from rural vietna [J]. World Development, 2015 (70): 59-77.
- [2] 冯培恩,马志勇,邱清盈,等.从自然科学到工程科学的对称性本体论研究[J].自然科学进展,2008,18 (12): 1441-1450.
- [3] 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.
- [4] 冯德益,林命周,何建树,等.地震预测的灰色模糊模型[J].内陆地震,1991,5 (2): 97-105.
- [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.
- [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.
- [7] 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,2013,28 (1): 11-14.
- [8] 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.
- [9] 丁彩霞,军平,李敏敏,等.意大利 $M_s \geq 6$ 地震时空对称性趋势判断[J].干旱区资源与环境,2014,28 (8): 50-54.
- [10] 刘铮瑶,延军平,董治宝.基于可公度方法的伊朗地区地震活动趋势判断[J].地球物理学进展,2014,29 (2): 523-528.

- [11] Scott M. White, Robert Trenkamp, James N. Kellogg. Recent crustal deformation and the earthquake cycle along the Ecuador-Colombia subduction zone [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006 (216): 231-242.
- [12] M.J. Jiménez, M. García-Fernández a, J. Romero. 1989 -1995 earthquake sequences in the Galeras volcano region, SW Colombia, and possible volcano-earthquake interactions[J]. *Tectonophysics*, 2009 (463): 47-59.
- [13] 刘亚明, 张春雷. 哥伦比亚油气地质与勘探[J]. *石油实验地质*, 2011, 33 (3): 226-232.
- [14] 宋治平, 张国民, 刘杰, 等. 全球地震灾害信息目录 [M]. 北京: 地震出版社, 2011.
- [15] 翁文波. 预测论基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [16] 翁文波. 可公度性[J]. *地球物理学报*, 1981, 24 (2): 151-154.
- [17] 马宗晋, 李献智, 金继宇. 地震迁移的规律、解释和预报——中国大陆四条地震带的地震迁移[J]. *地震地质*, 1992, 14 (2): 129-139.
- [18] Chi yu King, Ma Zongjin. Migration of historical earthquakes in California [J]. *PACEOPH*, 1988, 127 (4): 627-639.
- [19] M.A.M.Shaltout, M.T.Y.Tadros, S.L.Mesiha. Power spectra analysis for world-wide and North Africa historical earthquakes data in relation to sunspots periodicities [J]. *Renewable Energy*, 1999 (7): 499-507.
- [20] Sytinskiy AD. The influence of solar activity on earth seismicity [J]. *Akad Nauk SSSR, Dokl*, 1973, 208 (5): 78-81.
- [21] 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): 92-96.
- [22] 林 美, 魏柏林. 东南沿海地震带地震与太阳活动的关系[J]. *华南地震*, 1994, 14 (3): 8-15.
- [23] 赵明宇, 陈军权, 刘煜, 等. 太阳活动峰年和谷年期间黑子群与耀斑的统计分析[J]. *中国科学:物理学 力学 天文学*, 2014, 44 (1): 109-120.
- [24] 闫晓理. 引发耀斑的太阳黑子快速旋转与黑子演化中磁场的旋转运动[D]. 中国科学院研究生院(云南天文台), 2007.
- [25] 吴琴娣, 周树荣, 宋 谊. 太阳耀斑与黑子群面积的关系[J]. *紫金山天文台台刊*, 2000, 19 (1): 10-13.
- [26] 石连记, 张元东. 太阳活动第 22 周峰年期耀斑活动规律及其与大地震的关系[J]. *中央民族大学学报(自然科学版)*, 1998, 7 (2): 11-16.