

祁连山—六盘山地震带 $M_s \geq 5.1$ 地震时空对称性研究^①

陈爱娟, 殷淑燕, 延军平

(陕西师范大学, 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要:根据 1954 年以来祁连山—六盘山地震带的地震数据,通过三元、四元、五元可公度计算、蝴蝶结构图分析和可公度结构系分析,对该地区地震灾害的时间对称性进行了趋势判断。理论计算结果表明:祁连山—六盘山地震带在 2015 年和 2016 年这两个年份强震信号较强,有可能发生较大震级地震。根据空间对称性和强震震中经、纬向迁移特征分析,判断出下一次地震发生地点大致在 $36^\circ \sim 39^\circ \text{N}$, $95^\circ \sim 101^\circ \text{E}$ 区域。本研究可丰富重大灾害趋势判断研究案例。

关键词:祁连山—六盘山地震带; 地震趋势判断; 可公度计算; 蝴蝶结构图; 可公度结构系; 空间对称性

中图分类号: P315.52

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2014)04-1126-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2014.04.1126

Space-time Symmetry of $M_s \geq 5.1$ Earthquake Disasters in Qilian-Liupan Mountain Seismic Belts

CHEN Ai-juan, YIN Shu-yan, YAN Jun-ping

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

Abstract: Disaster trend evaluation is an important method for improving the accuracy of earthquake forecasting. On the basis of seismic data ($M_s \geq 5.1$ earthquakes) of Qilian and Liupan mountains obtained since 1954, the symmetry and tendency of earthquake disasters are analyzed in this study and are evaluated by using the methods of commensurability information extraction, butterfly structure diagram, and commensurability degree structure. In addition, the space-time symmetry and trends of earthquakes in the Qilian-Liupan mountain seismic belts are analyzed. The results show strong earthquake signals in 2015 and 2016 and the possibility of greater magnitude earthquakes. Spatial symmetry is used to predict that the next earthquake may occur in the region of $36^\circ \sim 39^\circ \text{N}$, $95^\circ \sim 101^\circ \text{E}$. This study can be used to enrich the study of the major disaster tendency evaluation.

Key words: earthquake trend evaluation; commensurable calculation; butterfly structure diagram; commensurable structures; spatial symmetry; Qilian—Liupan Mountains

0 前言

祁连山—六盘山地震带东起陕西宝鸡西北部,西止甘肃昌马,长约 1 200 km,呈 NW 向展开,位于青藏高原的东北边缘,由一系列 NWW、NW 以及

NNW 向第四纪活动十分强烈的断裂构成^[1]。该地震区域有我国著名的河西走廊地震带、兰州天水地震带和六盘山地震带,历史上发生过 10 多次 7 级以上强震。20 世纪以来陆续发生了 1920 年的海原

^① 收稿日期: 2014-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171090)

作者简介: 陈爱娟(1988—),女,甘肃酒泉人,硕士研究生,主要从事环境变化与自然灾害研究。E-mail: 983751679@qq.com

通讯作者: 殷淑燕,女,黑龙江木兰人,教授,博士生导师,主要从事环境变化与自然灾害研究。E-mail: yinshy@snnu.edu.cn

8.5 级、1927 年古浪 8 级和 1932 年昌马 7.6 级 3 次大震,其频度之高,强度之大,在全国范围内是比较少见的。近年来该区域的地震活跃度在不断增加,在 2013 年 7 月 22 日甘肃省定西市(34.5°N , 104.2°E)发生 $M_s 6.6$ 地震,造成重大的经济损失和人员伤亡。因此对这一区域的震灾害进行预测研究是很有必要的。

自然界中的地震灾害现象是地壳内部能量的外在表现形式,而且不是孤立存在的,它在时间上的联系表现为时间对称性,在空间上的联系形式则表现为空间对称性^[2]。马宗晋等、冯培恩等认为,对自然界中对称性的研究是对自然界基本规律探索的重要方面,特别是在对未知规律的探索上^[2]。门可佩等曾在 20 世纪 90 年代用翁文波信息预测理论^[3-4]从新疆及其邻近地区 $M_s \geq 7$ 的地震中提取时间信息,并用熵和经验分布函数讨论了预测年份强震可能发生地点^[8]。本文以祁连山—六盘山地震带近 60 年的 $M_s \geq 5.1$ 地震数据进行分析,基于可公度的基础上,进一步对该区域地震时间对称性及趋势预测进行探讨。

1 资料与方法

1954 年以来,祁连山—六盘山地震带 $M_s \geq 5.1$ 地震目录如表 1 所示,数据来源于中国地震局地震台网资料和文献^[1]。

表 1 1954 年以来祁连山—六盘山地震带 $M_s \geq 5.1$ 地震目录
Table 1 Catalogue of $M_s \geq 5.1$ earthquakes in Qilianshan—Liupanshan seismic belt since 1954

序号	时间	纬度(N)	经度(E)	地点	震级/ M_s
1	1954-02-11	38.79°	101.19°	甘肃山丹	7.25
2	1959-01-31	37.00°	104.00°	甘肃景泰	5.3
3	1970-12-03	35.93°	105.58°	宁夏西吉	5.5
4	1975-01-04	38.80°	97.60°	青海天俊	5.3
5	1980-04-18	37.86°	99.13°	青海天俊	5.2
6	1982-04-14	36.71°	105.63°	宁夏海原	5.5
7	1984-01-06	37.96°	102.17°	甘肃武威	5.3
8	1986-08-26	37.78°	101.63°	青海门源	6.4
9	1991-10-01	37.80°	101.40°	甘肃肃南	5.2
10	1993-10-26	38.60°	98.70°	青海祁连	6.0
11	1995-07-22	36.50°	103.00°	甘肃永登	5.8
12	2000-06-06	37.10°	104.00°	甘肃景泰	5.9
13	2002-12-16	39.80°	97.30°	甘肃玉门	5.9
14	2004-02-25	37.60°	96.70°	青海德令哈	5.9
15	2007-02-03	38.00°	91.80°	青海海西	5.5
16	2009-09-19	32.80°	105.60°	甘肃武都	5.1
17	2013-07-22	34.6°	104.2°	甘肃定西	6.6

在时间对称性方面,本文利用三元、四元、五元可公度计算方法进行计算,得出预测年份;再进一步

利用蝴蝶结构图和可公度结构系对预测年份进行验证,算出预测年份的随机性概率。对于空间对称性及趋势预测,主要根据 17 个历史事件的坐标信息,寻找空间三边形结构变动状况,进而确定空间对称的走向趋势,初步预测下次地震的大致方位。

2 时间对称性及趋势判断

根据表 1,我们采用两种方法进行可公度性分析预测与计算,通过对比验证使预测结果具有一定的实用性和可信度。

2.1 可公度趋势判断

为简便起见,本文将表 1 中 17 个地震样本用其发生的年份来表示,分别采用三元、四元、五元可公度式对未来地震发震时间进行预测计算,即令: $X_1 = 1954; X_2 = 1959; X_3 = 1970; X_4 = 1975; X_5 = 1980; X_6 = 1982; X_7 = 1984; X_8 = 1986; X_9 = 1991; X_{10} = 1993; X_{11} = 1995; X_{12} = 2000; X_{13} = 2002; X_{14} = 2004; X_{15} = 2007; X_{16} = 2009; X_{17} = 2013$ 。求 $X_{18} = ?$

(1) 三元可公度式计算:

$$X_{17} + X_{16} - X_{15} = X_{18} = 2015, X_{17} + X_{14} - X_{13} = X_{18} = 2015,$$

$$X_{17} + X_{13} - X_{12} = X_{18} = 2015, X_{10} + X_{13} - X_5 = X_{18} = 2015,$$

$$X_{10} + X_{14} - X_6 = X_{18} = 2015, X_{10} + X_{17} - X_9 = X_{18} = 2015,$$

.....

(2) 四元可公度式计算:

$$X_2 + X_5 - X_1 - X_6 = X_{18} = 2016, X_2 + X_6 - X_1 - X_7 = X_{18} = 2016,$$

$$X_2 + X_9 - X_1 - X_{10} = X_{18} = 2016, X_2 + X_{10} - X_1 - X_{11} = X_{18} = 2016,$$

$$X_2 + X_{12} - X_1 - X_{13} = X_{18} = 2016, X_2 + X_{13} - X_1 - X_{14} = X_{18} = 2016,$$

.....

(3) 五元可公度式计算

$$X_{17} + X_4 + X_{12} - X_5 - X_{10} = X_{18} = 2015, X_{17} + X_4 + X_{12} - X_6 - X_9 = X_{18} = 2015,$$

$$X_{17} + X_4 + X_{10} - X_5 - X_8 = X_{18} = 2015, X_{17} + X_4 + X_{10} - X_6 - X_7 = X_{18} = 2015,$$

$$X_{17} + X_4 + X_{14} - X_3 - X_{15} = X_{18} = 2015, X_{17} + X_4 + X_{14} - X_6 - X_{11} = X_{18} = 2015,$$

$$X_{17} + X_4 + X_{14} - X_7 - X_{10} = X_{18} = 2015,$$

.....

没有参与结构系的构建。这 16 个地震样本在时间上呈现出良好的可公度性,2015 年和 2016 年均符合可公度结构系。所以由可公度结构系可判断出 2015 和 2016 年该地区均有发生 $M_s \geq 5.1$ 地震的信号。

综上,根据蝴蝶结构图和可公度结构系的双重分析判断,有较强的信号表明:2015 或 2016 年祁连山—六盘山地震带有较大可能发生 $M_s \geq 5.1$ 地震。

3 空间对称性及趋势判断

通过对祁连山—六盘山地震区自 1954 年发生的 $M_s \geq 5.1$ 地震的地点地理坐标分析,我们发现地震震中的迁移有一定的规律性和空间对称性(图 4)。

图 4(a)显示经向震中迁移以 102°E 为对称轴,在左右两侧迁移。我们根据这个规律得出下一次地震震中经向迁移的趋势是向西,大概范围在 $95^\circ \sim$

101°E 区域内,我们用“?”表示出来。图 4(b)显示纬向震中迁移趋势以 36°E 为对称轴,在轴两侧迁移。下次震中纬向迁移趋势是向北,大概范围在 $36^\circ \sim 39^\circ\text{N}$ 之间,也就是图中“?”表示的区域。综合经向和纬向迁移趋势大概可以判断出下一次该震区发震的地点在祁连山—六盘山地震区的西段,也就是甘肃的中西部地区和青海省与之接壤的地方。通过对这一地区 1950 年以来地震活动的空间分布特征分析我们发现存在空间对称性规律。文本研究的区域呈 NW—SE 的狭长走向(包括甘肃河西走廊,宁夏回族自治区南部,和青海省青藏地块北部),我们把它分为东、中、西三段^[1],并用三边形表示每个连续三年的地震震中迁移趋势,这是比较合理的,它能准确形象地呈现出地震的迁移规律。

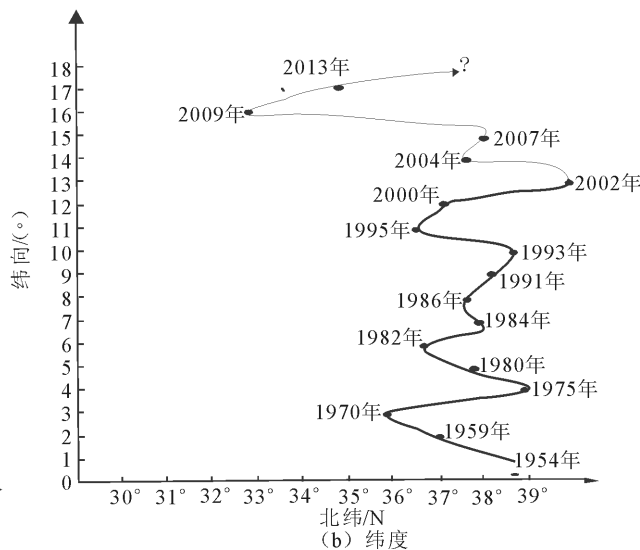
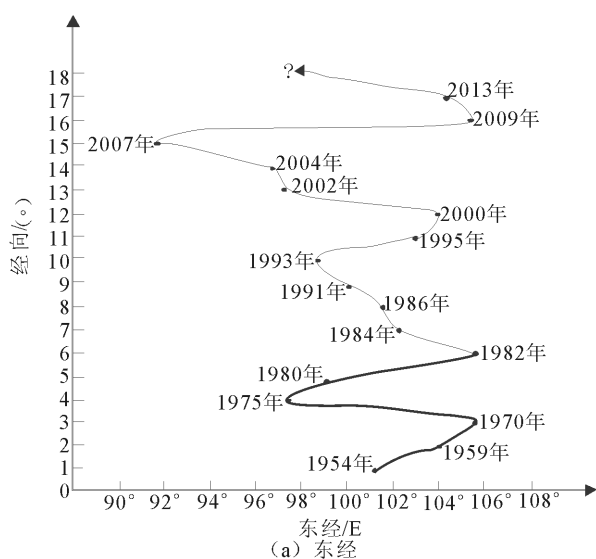


图 4 祁连山—六盘山地震区 $M_s \geq 5.1$ 地震震中迁移图

Fig.4 The migration trend of latitudinal of $M_s \geq 5.1$ earthquakes in Qilian—Liupan Mountain area

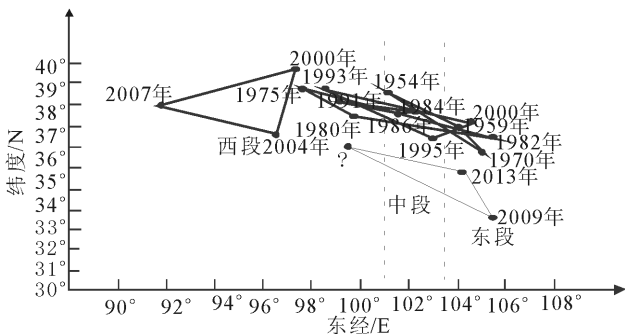


图 5 祁连山—六盘山地震带 $M_s \geq 5.1$ 地震空间三边形分布示意图

Fig.5 The spatial trilateral structure distribution of $M_s \geq 5.1$ earthquakes in Qilian—Liupan Mountain seismic belt

17 个地震样本,加上未来预测地震共 18 个地震事件,可构成 6 个三角形。根据每个三角形的走向即可判定第六个三角形的走向(图 5),三个边的向量是 2009a2013,2009a?,? 2013a。“?”所表示的区域即为所预测的发震区,它与经向纬向迁移的结果是一致的。

4 结论

(1) 可公度性不仅仅是体现在时间上的对称规律,还体现在空间分布上的对称性。它是自然界存在的一种秩序和规律^[4]。全球范围内存在不同层次的空间对称性,我们认为空间一级对称性是南北半球的对称,向下依次是板块之间对称、构造区域对

称、构造块体对称和我们研究的地震活动对称,它属于空间五级对称^[2]。通过可公度方法预测未来灾害事件的发生时间和空间位置,可以在一定程度上增强对灾害事件多发现状的适应能力。

(2) 祁连山—六盘山地震带地震存在时间对称规律,时间间隔以 2 a、5 a、9 a、11 a、13 a、21 a 最为显著,通过可公度计算法、蝴蝶结构法和可公度结构的综合判断,我们得出 2015 年和 2016 年这一区域都有可能发生 $M_s \geq 5.1$ 地震。它们的随机性概率达到了 58.8%, 82.35%, 可置信水平也达到了 55.56% 和 77.78%。

(3) 祁连山—六盘山地震带震中地理坐标的经向纬向迁移也存在空间对称性,即分别以 102°E 和 36°N 为对称轴向两侧迁移。综合二者规律,我们认为下一次发震区域在这一地震带的西段,即: $36^\circ \sim 39^\circ\text{N}$, $95^\circ \sim 101^\circ\text{E}$ 。

(4) 该地震带在二十世纪三四十年代曾发生过多次 7 级以上的大地震;近几十年也陆续有地震发生,但是震级不大;进入 21 世纪以来,特别是 2008 年汶川地震发生后,祁连山—六盘山地震带的地震发生频率有增加的趋势。2013 年定西发生 6.6 级地震,虽然震级不是特别大,但是也造成了不小伤亡和损失^[6]。因此,加强 $M_s \geq 5.1$ 中强地震的预测研究,对当前我国防震减灾事业具有非常重要的理论和现实意义。

参考文献(References)

- [1] 柴炽章,马禾青,金春华.祁连山—六盘山地震带中强地震活动特点及震前异常特征[J].西北地震学报,2013,25(4):355-357.
CHAI Chi-zhang, MA He-qing, JIN Chun-hua. Features of Moderate-strong Earthquake Activity And Anomalous Features Before Earthquakes in Qilian Mountains-Liupan Mountain Seismic Belt [J]. Northwestern Seismological Journal, 2013, 25(4): 355-357. (in Chinese)
- [2] 延军平.重大自然灾害时空对称性研究[M].西安:陕西师范大学出版社有限公司,2013:52-60.
YAN Jun-ping. Study of Space-time Symmetry for Momentous Natural Disaster [M]. Xi'an: Shaanxi Normal University General Publishing House CO, LTD, 2013: 52-60. (in Chinese)
- [3] 翁文波.预测论基础[M].北京:石油工业出版社,1984:123, 131, 137-138.
WENG Wen-bo. Prediction Theory [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984: 123, 131, 137-138. (in Chinese)
- [4] 翁文波.可公度性[J].地球物理学报,1981,24(2):151-154.
WENG Wen-bo. Commensurability [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1981, 24(2): 151-154. (in Chinese)
- [5] 门可佩.新疆及其邻区 $M_s \geq 7$ 强震的预测研究[J].西北地震学报,1994,16(4):29-35.
MEN Ke-pei. Study On Prediction of Strong Earthquakes ($M_s \geq 7$) in Xinjiang and Nearby Area [J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(4): 29-35. (in Chinese)
- [6] 黄旭涛,温瑞智,任叶飞,等.2013年7月22日岷县漳县 6.6 级地震强震记录及特征分析[J].地震工程学报,2013,35(3): 490-496.
HUANG Xu-tao, WEN Rui-zhi, REN Ye-fei, et al. Strong Motion Records and Its Characteristics in Minxian — Zhangxian $M_s 6.6$ Earthquake on July 22, 2013 [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 490-496. (in Chinese)
- [7] 白晶,延军平,苏坤慧.新疆 $M_s \geq 7$ 地震时空对称性及未来趋势判断[J].内陆地震,2010,24(4):324-329.
BAI Jing, YAN Jun-ping, SU Kun-hui. The Time-space Symmetry and the Tendency Judgment of Future ($M_s \geq 7$) Earthquake in Xinjiang [J]. Inland Earthquake, 2010, 24(4): 324-329. (in Chinese)
- [8] 朱令人.强震活动的可公度性研究——以新疆乌恰—帕米尔大震为例[J].西北地震学报,1987,9(3):99-102.
ZHU Ling-ren. Study on Commensurable Characteristics of Strong Earthquakes Activities Regard Strong Earthquakes in Wuqia—Pamier Area in Xinjiang as Sample [J]. Northwestern Seismological Journal, 1987, 9(3): 99-102. (in Chinese)
- [9] 毛可,石特临,杨立明.南北地震带强震迁移特征及其预测意义[J].西北地震学报,1997,19(4):6-11.
MAO Ke, SHI Te-lin, YANG Li-ming. The Migratory Character of Strong Earthquakes in North-South Seismic Belt and Its Significance for Prediction [J]. Northwestern Seismological Journal, 1997, 19(4): 6-11. (in Chinese)
- [10] 张玲玲,董婕,延军平,等.对称性与西藏南部 $M_s \geq 6.6$ 级地震趋势判断[J].高原地震,2012,24(3):2-4.
ZHANG Ling-ling, DONG Jie, YAN Jun-ping, et al. The Symmetry and the Tendency Judgment of ($M_s \geq 6.6$) Earthquakes in Southern Tibet [J]. Plateau Earthquake Research, 2012, 24(3): 2-4. (in Chinese)
- [11] 周民都,王椿镛,曾融生.青藏高原东北缘地壳上地幔速度结构的地震层析成像研究[J].西北地震学报,2012,34(3):225-231.
ZHOU Min-du, WANG Chun-yun, ZENG Rong-sheng. Seismic Tomography of the Velocity Structure of the Crust and Upper Mantle in Northeastern Margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(3): 225-231. (in Chinese)