

近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震时空结构 及未来趋势再判断

李 瑛, 延军平*

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要:整理了近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震公开的灾害数据,采用可公度计算、蝴蝶结构图、可公度结构系等方法分析判断未来地震的时间;利用相邻地震震源经、纬度差变化分析震中的空间迁移;并利用震中经向、纬向迁移进行佐证,实现对其时空结构的未来趋势判断。通过判断发现菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震在 2014 年、2015 年发生的信号较强;未来地震震中可能会在 2013 年 10 月 15 日菲律宾地震震中的东北方向,空间位置大致在 9.8°N 以北, 126.704°E 以东。菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震与地球自转速度变化有一定的关系,减速期发生地震的可能性更大,且速率转换的时间越长越易发生地震;同时发现太阳活动处于活跃强烈期内时,太阳黑子峰值、次峰值前后发生地震的概率很大。目前地球自转正处于减速期、太阳活动处于太阳黑子第 24 周期极大年附近,所以 2014—2015 年菲律宾发生 $M_s \geq 7$ 级地震的可能性很大。

关键词:地震;菲律宾;可公度;时空对称;地球自转速度变化;太阳黑子

中图分类号:P315.75 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-1375(2014)02-0014-06

0 引言

由于复杂的地质构造,位于地震活动性集中的环太平洋火山带的菲律宾被认为是东南亚地震活动性较高的地区之一。菲律宾平均每天发生 5 次有感、无感地震,其中棉兰老东部、莱特和萨马有感地震年平均就有 16 次,占世界地震总量的 3.2%^[1]。重大自然灾害一经发生,极易借助地球各圈层之间的相互依存、制约的关系,产生连锁效应,由一种灾害引发出一系列灾害^[2]。菲律宾地震与中国华南、中国台湾地区地震关系密切,菲律宾地震时空结构的研究不仅有利于菲律宾未来地震趋势的判断,也为华南地区应对重大地震灾害,尽可能的减少经济、社会等诸多方面的损失,提供进一步的参考依据^[3]。崔徐甲关于 2013—2014 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震的判断得到了验证,本文在其基础上进一步研究,对菲律宾下次地震的时空位置再做判断,为中国华南地

区防御地震灾害提供进一步的参考依据。

1 研究思路及数据来源

本研究通过整理公开的灾害数据,运用可公度方法,先确定灾害的时空突变点,再判断灾害的趋势。可公度及对称性研究重大自然灾害未来发生趋势,在实际工作中,一个完整的研究过程主要包括 6 个环节:①以可公度理论确定未来灾害可能发生的目标年份;②构建蝴蝶结构图,进一步判断可能年份及发生概率;③构建可公度结构系;④构建空间对称性结构图,判断可能发生区域;⑤划分时空结构图,确定可供参考的未来空间趋势;⑥对称性相关机理分析^[4]。

近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震资料主要来源为国际地震中心和中国地震台网中心,同时参考已有研究^[3]对获得数据的准确性和完整性做出进一步验证,确保可公度趋势判断的准确性。

收稿日期:2014-03-02

基金项目:国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性:结构、机理与适应对策”(项目编号:41171090)

作者简介:李瑛(1980—),女,陕西渭南市人,在读硕士研究生,主要从事学科教学工作及地方性自然灾害研究。

E-mail: 659239106@qq.com

* 通讯作者:延军平(1956—),男,教授,博士生导师,主要从事区域发展与自然灾害研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn

表 1 近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级中、浅源地震参数

发震时间	震源深度/km	震级/ M_s	$\varphi N /(^{\circ})$	$\lambda E /(^{\circ})$	参考位置
1972-04-25	50	7.2	13.40	120.30	菲律宾民都洛岛
1972-12-02	73	7.4	6.50	126.60	菲律宾棉兰老岛
1973-03-17	33	7.5	13.40	122.80	菲律宾吕宋岛
1975-10-31	50	7.6	12.54	125.99	
1976-08-16	33	7.9	6.26	124.02	
1977-03-18	37	7.0	16.77	122.33	菲律宾吕宋岛
1982-01-11	46	7.1	13.75	124.36	菲律宾吕宋岛
1989-12-15	24	7.3	8.34	126.73	菲律宾棉兰老岛
1990-06-14	18	7.1	11.76	121.90	菲律宾班乃岛
1990-07-16	25	7.8	15.68	121.17	菲律宾吕宋岛
1992-05-17	33	7.5	7.19	126.76	菲律宾棉兰老岛
1994-11-14	32	7.1	13.53	121.07	
1995-04-21	21	7.3	12.06	125.58	
1999-12-11	33	7.1	15.77	119.74	菲律宾吕宋岛
2001-01-01	33	7.2	6.90	126.58	菲律宾群岛地区
2002-03-05	31	7.2	6.03	124.25	菲律宾棉兰老岛
2012-08-31	35	7.6	10.84	126.70	菲律宾群岛附近海域
2013-10-15	33	7.2	9.80	124.20	菲律宾中部

2 时间对称性及趋势判断

时间对称性是指某些地理现象的产生和变化存在一定的时间周期或多重时间周期叠加组合,在周期的任意对应时刻都存在相同或相似的性状或状态^[4]。

2.1 可公度计算

设 $X_1 = 1972, X_2 = 1973, X_3 = 1975, X_4 = 1976, X_5 = 1977, X_6 = 1982, X_7 = 1989, X_8 = 1990, X_9 = 1992, X_{10} = 1994, X_{11} = 1995, X_{12} = 1999, X_{13} = 2001, X_{14} = 2002, X_{15} = 2012, X_{16} = 2013, X_{17} = ?$

表 2 为可公度计算的结果,三元可公度结果是 2015 年地震信号更强;四元、五元可公度结果是 2014 年地震信号强。为了保证结果更加准确,采用蝴蝶对称结构图进行进一步的判断。

表 2 可公度计算结果

X_{17}	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
三元可公度(组)	8	15	3	2
四元可公度(组)	43	28	39	10
五元可公度(组)	107	84	71	82

2.2 蝴蝶结构图趋势判断

蝴蝶对称结构图是自然灾害时间对称性结构的体现,是可公度方法关于时间结构认识的进一步表达,主要用于解决可公度计算中 2 个年份信号都较强时,如何抉择的问题^[2]。从图 1 可以看出,该组数据具有明显的时间对称性。在 16 次事件中(年份相同时只留一个),绘制时要求保留有 5 个及其以上的成组。分析可知:

(1)与 2014 年相关的周期有 5 组,分别是 19 a、13 a、12 a、2 a、1 a;与 2015 年相关的周期有 4 组,分别是 13 a、3 a、2 a、1 a。2014 年、2015 年菲律宾发生 $M_s \geq 7$ 级地震的随机概率分别为 81.25%、81.25%,2 个年份发震概率都很大。

(2)1972—1992 年及 1992—2012 年是 2 个主周期,主周期内年份具有明显的对称性特点,都具有一个 3 a 的小周期和一个 17 a 的大周期(包括一个 7 a、10 a 的周期)。

(3)1972—1975 年、1992—1995 年为活跃期,1975—1992 年、1995—2012 年为平静期;平静期内又有一个 7 a 的活跃期和 10 a 的平静期。

(4)从 2012 年开始应该是地震的活跃期,根据对称性关系,正好进入下一个 3 a 的小周期,判断

2015 年发震几率更大些。

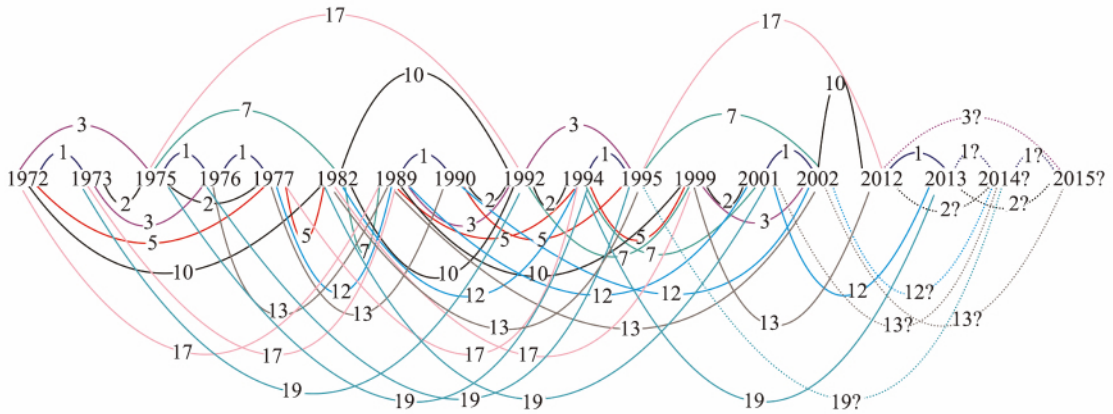


图 1 近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级中、浅源地震时间序列蝴蝶结构图

2.3 可公度结构系趋势判断

为了便于直观描述研究区域特征,基于时间对称性的周期特点,绘制出近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震的可公度结构系(图 2)。其中:周期 1 a 出现 7 次(6 次不参与预测),周期 13 a 出现 4 次,周期 2 a、周期 7 a、周期 10 a 各出现 3 次,周期 3 a、周期 12 a、周期 23 a、周期 4 a 各出现 2 次,周期 20 a 出现 1 次。此 18 次事件(2 次发生年份相同)发生的时间年份表现出良好的可公度性。可公度结构系判断该地区在 2014 年和 2015 年有发生 $M_s \geq 7$ 级地震的信号。图中横向以 1 a、7 a、13 a、20 a 为主周期,纵向以 2 a、3 a、10 a、12 a 为主周期,横向周期与纵向周期相互嵌套,与预测年份形成完整的网络结构。

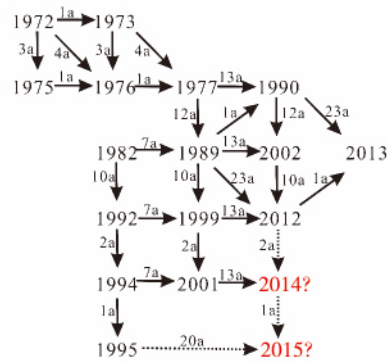
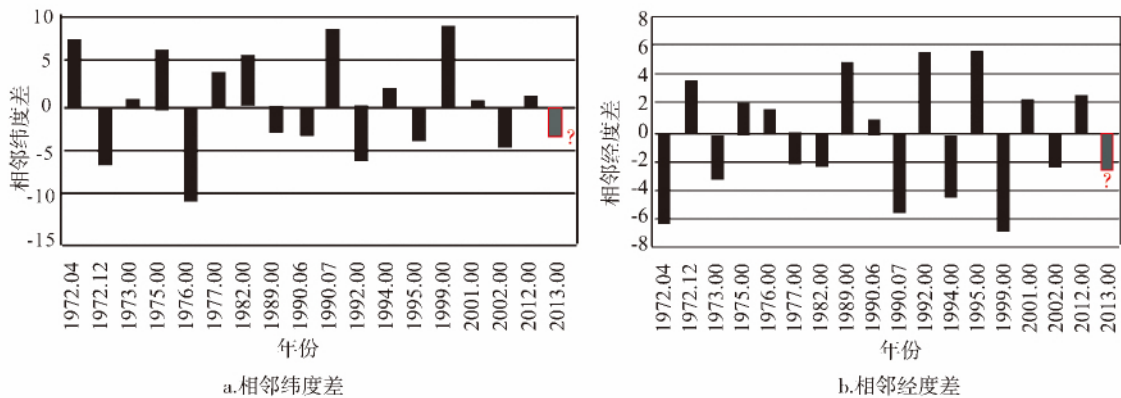


图 2 近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震的可公度结构系

3 空间对称性及趋势判断



注:正值表示向西、南迁移,负值表示向东、北迁移

图 3 相邻地震震源经、纬度差变化趋势

3.1 震中时空迁移特征

从图 3a 可以看出,震中纬向整体迁移趋势表现为向南、北交替跳跃发展。每 4 年为 1 个地震周期,共有 4 个完整的周期。完整的周期中前 2 个年份迁移方向总是相反的。根据规律判断下次地震应向北迁移,大致位于 9.8°N 以北。图 3b 中,震中经向整体迁移趋势表现为向西、东交替跳跃发展。每 4 年为 1 个地震周期,共有 4 个完整的周期。完整的周

期中前 2 个年份迁移方向总是相反的。根据规律,判断下次地震位于 124.2°E 东侧。完整的周期中前 2 个年份向北迁移的距离大于向南迁移的距离,2012 年与 2013 年相邻的经度差为 2.504° ,则 2013 年与下次地震震中经度差应大于此值,从而进一步判断下次地震震中位于 126.704°E 以东。综上判断,下次地震的空间位置可能位于 9.8°N 以北, 126.704°E 以东。

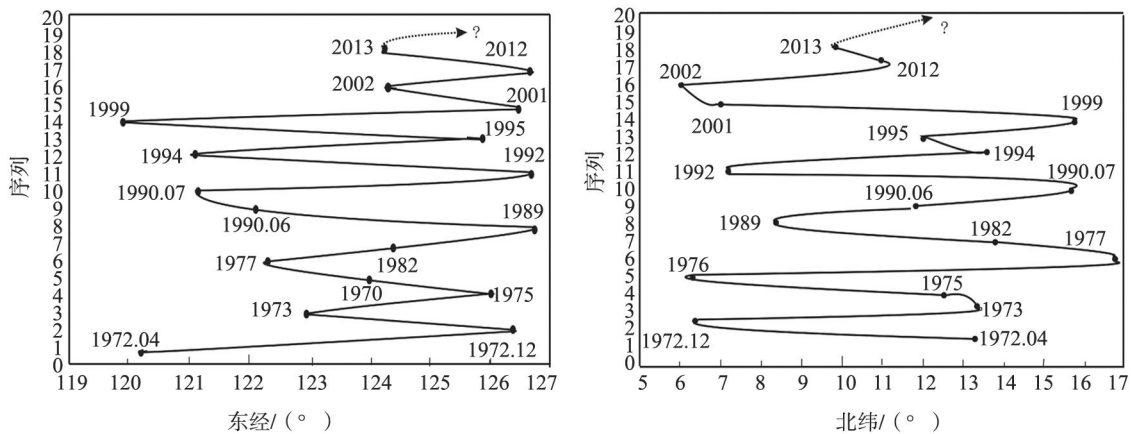


图 4 近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震震中经向、纬向迁移趋势

3.2 空间迁移的佐证

从图 4 中可以看出,震中经向迁移与纬向迁移呈现出螺旋式旋转对称结构。整体上震中向东迁移时,纬向震中向南迁移;震中向西迁移时,纬向震中向北迁移。但在 1975—1976 年、2001—2002 年、2002—2013 年间,震中向西迁移时,纬向震中向南迁移;震中向东迁移时,纬向震中向北迁移。据此判断下次震中向东、向北迁移的可能性较大。

4 对称性相关机理分析

4.1 菲律宾地震与地球自转速度变化的关系

一般而言,地球自转速率的变化将导致地球内部圈层力学耦合状态的改变,必然将引起地壳,特别是地震带上应力的重新分布^[5]。从表 3 中可以看出减速期发生地震 11 次,加速期发生地震 7 次;减速期地震概率 61.11%,加速期地震概率 38%。可知,减速期发生地震的可能性更大。俄罗斯科学家发现,地球自转速度的减慢,会使地表以下深处的岩石

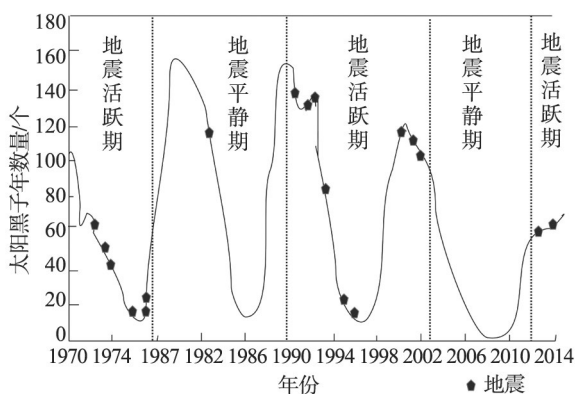
承受的压力加大,从而有可能触发地震^[6]。这与陈学忠研究的全球强震与地球自转速度的变化关系相类似。2011 年后地球进入减速期,发生地震的可能性会大大增强。且减速(加速)转换为加速(减速)的时间越长,发震的几率就越大。

4.2 太阳黑子活动与 $M_s \geq 7$ 地震的关系

经研究发现,地球上许多物理和地理现象的发生与太阳活动有着直接或间接的关系^[7-8]。从图 5 中可以看出:(1)大致以 10 a 为界划分成活跃期和平静期,从 2012 年开始进入地震活跃期,发生地震的可能性非常大。(2)太阳黑子数较多或较少的极大年、极小年附近地震较多。太阳活动处于活跃强烈期内,太阳黑子峰值、次峰值前后发生地震的概率为 72.22%。(3)10 a 的划分界线与蝴蝶图确定的地震主周期、可公度结构系主周期均保持一致。目前正处在太阳黑子第 24 周期极大年时期或者过渡时期,2014—2015 年菲律宾发生 $M_s \geq 7$ 级地震的可能性很大。

表 3 地球自转加速和减速期地震发生率统计

时间	自转减速变化	持续时间/a	日长年变化率/(ms/a)	发震年份
1968—1972	减速	5	0.152	1972.04,1972.12
1973—1975	加速	3	-0.147	1973,1975
1976	减速	1	0.210	1976
1977	加速	1	-0.120	1977
1978	减速	1	0.100	
1979—1981	加速	3	-0.243	
1982—1983	减速	2	0.065	1982
1984—1986	加速	3	-0.347	
1987	减速	1	0.100	
1988	加速	1	-0.050	
1989—1993	减速	5	0.210	1989,1990.06,1990.07,1992
1994	加速	1	-0.170	1994
1995	减速	1	0.120	1995
1996—2003	加速	8	-0.255	1999,2001,2002
2004—2008	减速	5	0.120	
2009—2010	加速	2	-0.085	
2011—2015 ?	减速	5	?	2012,2013,2014 ?,2015 ?

图 5 太阳黑子活动与近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震的相互关系

5 结论

通过近 40 年菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震时空结构及未来趋势的再判断,得出以下结论:

(1) 菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震具有良好的时间对称特征。经过三元、四元和五元可公度法进行计算可知,2014 年和 2015 年地震信号较强。蝴蝶结构图的周期对称性较好,2014 年、2015 年菲律宾发生 $M_s \geq 7$ 级地震的随机概率都很大。有明显的对称性特点,都具有一个 3 a 的小周期和一个 17 a 的大周期,大

周期中又包括一个 7 a、10 a 的周期。根据对称性关系,判断 2015 年发震几率更大些。可公度结构系进一步佐证了 2014—2015 年发震几率很大的观点。

(2) 菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震具有良好的空间对称特征。震中空间迁移经纬度存在明显的对称性,震中经向迁移与纬向迁移呈现出螺旋式旋转对称结构。震中纬向整体迁移趋势表现为向南、北交替跳跃发展,经向表现为向西、东交替跳跃发展。下次地震的空间位置可能位于 9.8°N 以北, 126.704°E 以东。

(3) 菲律宾 $M_s \geq 7$ 级地震与天文因素存在显著相关性,与地球自转速度变化也有一定的对应关系。在减速期比加速期地震次数多;且减速(加速)转换为加速(减速)的时间越长,发震的几率就越大。地震多发生在极大年、极小年附近,尤其是太阳黑子峰值、次峰值前后发生地震的几率很大。

本文采用可公度结构系图,克服依据一种可公度关系进行趋势判断可靠性不足的缺陷,通过构造其地震年份的关系结构图进一步分析,并利用震中经向、纬向迁移进行佐证,发现地震发生的机理与太阳黑子活动、地球自转速度存在一定的联系,但其物理机理仍需要进一步探究。

参考文献:

- [1] 班加南. 菲律宾的地震观测[J]. 国际地震动态,1999,(08): 24-27.
- [2] 李双双,延军平. 西太平洋俯冲带北部地区 $M_s \geq 8$ 强震时空对称特征[J]. 地球物理学进展,2012,55(3):150-156.
- [3] 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,2013,33:47-53.

- [4] 延军平. 重大自然灾害时空对称性研究[M]. 陕西: 陕西师范大学出版总社, 2013: 6-68.
- [5] 王连捷, 张利容. 地球自转速率变化引起的全球应力场[J]. 地质力学学报, 1997, 3(3): 12-20.
- [6] 延军平. 时间地理学[M]. 陕西: 陕西师范大学出版总社, 1994: 75-105.
- [7] 岳庆祥. 太阳黑子活动、磁暴与地震的关系[J]. 地震地磁观测与研究, 1992, (4): 53-60.
- [8] 刘双庆, 曹井泉, 张磊, 等. 太阳黑子活动对地球地震活动的影响浅析[J]. 华北地震科学, 2013, 31(1): 1-7.
- [9] 黄江, 林果果, 邓柏昌, 等. 电离层测高数据对太阳耀斑响应的研究[J]. 华北地震科学, 2013, 31(4): 22-26, 59.

Space-time Structure of $M_s \geq 7$ Earthquake in Recent 40 years in the Philippines and Its Future Trend

LI Ying, YAN Jun-ping*

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

Abstract: Based on $M_s \geq 7$ earthquakes data of Philippines in recent 40 years, using methods like commensurable calculation, map of butterfly structure and commensurable structure, this paper analyses $M_s \geq 7$ earthquakes activity in the Philippines and its future trends. The result shows that Philippines $M_s \geq 7$ earthquakes in 2014, 2015 send stronger signals, the future epicenters may be in the northeast of the epicenter of the October 15, 2013 Philippines earthquake, about in the north of 9.8°N , in the east of 126.704°E . Philippines $M_s \geq 7$ earthquake has a certain relationship with the earth's change of the rotation speed, and the possibility is higher in the deceleration phase, and the longer conversion, the more possible earthquakes happen. It is also found that when solar activity is in the strong active period, sunspots before and after the peak, the probability of an earthquake is very big. Now, Earth rotation is in the deceleration stage, solar activity is in the 24 sunspot cycle which is near the Great Years, so in 2014—2015, the possibility of $M_s \geq 7$ earthquakes in Philippines is very big.

Key words: earthquake; Philippines; commensurability; space-time symmetry; the change of earth's rotation speed; sunspots

欢迎订阅《华北地震科学》

《华北地震科学》是由河北省地震局主办的地震科学综合性学术刊物,国内公开发行人。主要刊登地震学方面具有创新性的研究成果,也登载地球物理、地震地质、地震工程等方面的学术论文及国内外地震科学研究的最新进展和成果。

《华北地震科学》均为季刊,每季末出版,每年 4 期,每期定价 15 元,全年定价为 60 元(含邮寄费)。2014 年继续由编辑部直接发行。凡欲订本刊的读者可通过全国非邮发报刊联合发行部或与本刊编辑部联系均可。

(1) 全国非邮发报刊联合征订服务部

邮 编: 300381

地 址: 天津市卫津南路李七庄邮局 9801 信箱全国非邮发报刊联合征订服务部

电 话: 022-23973378, 23962479

电子邮件: LHZD@public.tpt.tj.cn

(2) 本刊编辑部

邮 编: 050022

地 址: 石家庄市槐中路 262 号《华北地震科学》编辑部

电 话: 0311-85814313

电子邮件: he3g@eq-he.ac.cn