

全球强震与地球自转角加速度变化 过程关系统计研究*

田 韬,冯志生,祝 涛,李鸿宇,王 维,叶碧文

(江苏省地震局,江苏 南京 210014)

摘要:统计分析了 1962—2017 年全球强震活动与地球自转角加速度变化过程的关系,结果显示,全球 8 级以上地震发生在地球自转角加速度下降期的概率相对自然概率高出 12%,达到 64%,统计结果具有显著性,但 7.5 级和 7.8 级以上地震的统计结果没有显著性。分区统计结果表明,全球强震活动具有明显的区域性特征:在地球自转角加速度上升期,高于自然概率的强震主要分布在阿尔卑斯带中西段、环太平洋地震带的琉球—菲律宾地区以及中国东部;在地球自转角加速度下降期,高于自然概率的强震主要分布在环太平洋地震带、阿尔卑斯带中段(喜马拉雅弧)、阿尔卑斯带东段(印尼岛弧海沟)以及中亚大陆地区。分析认为地球自转角加速度变化过程与全球区域地震活动之间存在较强的相关性,可能与地球自转角加速度变化引起板块间相互作用的强弱有关。

关键词:全球强震;地球自转角加速度;统计;地震带

中图分类号:P315.7 文献标识码:A 文章编号:1000-3274(2018)02-0137-08

引言

地球自转运动及其变化所提供的应变能可能是地壳构造运动的一个重要来源。中国地质学家李四光在其创建的“地质力学”中提出,地球自转速度的变化引起地壳发生经向运动和纬向运动的附加力^[1]。马宗晋等^[2]在研究内陆地震的动力问题时,认为应将地球自转速率变化作为全球地震活动的一种主要动力源来考虑。自从 20 世纪 30 年代发现地球自转运动的不均匀性后,国内外很多地震学者从地球自转速率变化的角度研究地球自转变化与全球或区域地震活动的关系^[3~15]。按地球自转速率变化划分主要有两种方式:峰值或者峰谷;上升或者下降阶段。按对研究区域地震活动的统计方法分别有:从全球角度统计地震强度和频次;将全球地震活动划分若干个地区统计地震活动;沿径向划分若干区域进行统计分析;沿纬向划分若干区域进行地震活动统计。研究结果显示,全球的地震活动与地球

* 收稿日期:2018-01-10;修改回日期:2018-01-31

基金项目:江苏省地震局青年科学基金(201601);江苏省地震局局长基金(17410)

作者简介:田韬(1978-),男,安徽利辛人,工程师,主要从事固体潮与地壳形变观测研究。

通讯作者:冯志生,研究员。E-mail: fengzs2001@sohu.com

自转速率变化在时间尺度上存在一定的全局性联系、在空间尺度上存在区域性差异。

以往工作都是研究的地球自转速度变化与地震的关系,但是,按照牛顿第二定律 $F=ma$, 加速度 a 的变化过程直接反映了质量为 m 的物体所在 a 方向受到的力 F 的变化过程,通过研究加速度的变化过程可以判断力的变化过程;因此,研究加速度的变化过程与地震活动的关系更具有动力学意义。对于随地球自转的板块,地球自转角加速度的上升和下降变化反映了地球自转对板块产生的切向力变化过程,冯志生等^[16]首先研究了地球自转角加速度的上升与下降变化过程与华北、江苏及邻区中强地震的关系,发现其地震主要发生在地球自转角加速度的上升时期。田韬等^[17]研究了地球自转角加速度变化过程与菲律宾板块西边缘强地震的关系,发现其强地震也主要发生在地球自转角加速度的上升期。本文进一步统计分析全球强震活动与地球自转角加速度上升与下降变化的关系,发现全球一些构造区域强震活动与地球自转角加速度的上升与下降过程存在明显相关性。

1 研究资料及数学处理

地震目录源自中国地震信息网(<http://www.csi.ac.cn>),为了研究全球强震活动与地球自转角加速度变化过程之间的关系,我们参照傅征祥等^[18]按照全球地震带走向的转向,依据不同构造背景将全球地震活动划分为 15 个分区:A、阿尔卑斯带中西段;B、阿尔卑斯带中段(喜马拉雅弧);C、阿尔卑斯带东段(印尼岛弧海沟);D、中亚大陆区;E、中国东部区;F、环太平洋带的新几内亚—斐济段;G、环太平洋带的汤加—新西兰段;H、环太平洋带的琉球—菲律宾段;I、环太平洋带的小笠原—马里亚纳段;J、环太平洋的勘察加—日本岛弧海沟段;K、环太平洋的阿留申岛弧海沟段;L、环太平洋带的北美大陆西海岸段;M、环太平洋带的中美洲段;N、环太平洋带的南美洲段;O、大西洋洋脊和恩角—南桑德维奇群岛段。图 1 中给出了全球 15 个地震活动分区 7.5 级以上地震的分布,其中图 1(a)为上升期发生的地震,图 1(b)为下降期发生的地震。

本文地球自转角速度数据源自国际地球自转服务网站(<https://www.iers.org>),起止时间为 1962 年 1 月 1 日至 2017 年 8 月 31 日(图 2)。地球自转角加速度为地球自转角速度一阶差分,由于数据长度为 55 年,考虑到地球自转有 10 年左右尺度波动^[19],为分析地球自转加速度 11 年及更长周期变化与地震的关系,采用 6 阶富氏拟合滤除 11 年以下周期。设定 x_i 为地球自转角加速度的时间序列,取 $i=1, 2, 3, \dots, N$,则 n 阶富氏级数公式^[20]为

$$x_i = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^m \left(a_n \cos \frac{n\pi i}{N} + b_n \sin \frac{n\pi i}{N} \right) \quad (1)$$

式中,

$$a_0 = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x_i, a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x_i \cos \frac{n\pi i}{N}, b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x_i \sin \frac{n\pi i}{N}, n = 1, 2, \dots, m$$

若共有 N 个观测数据,上述方程可以列出 N 个方程,取 m 最大数为 $N/2$,正好满足 N 个方程确定 N 个未知数的唯一解的条件。

图 2(a)为地球自转角速度随时间变化的日均值观测曲线,图 2(b)给出了地球自转角加速度的 27 阶富氏拟合结果,该变化曲线消除了 2 年及以下短周期影响,图 2(c)地球自转角加速度 6 阶拟合结果,该变化曲线反映了地震自转加速度 11 年及更长周期变化。对比图 2(b)和图 2(c),可以发现地球自转加速度的 6 阶拟合结果基本反映了 27 阶富氏拟合结

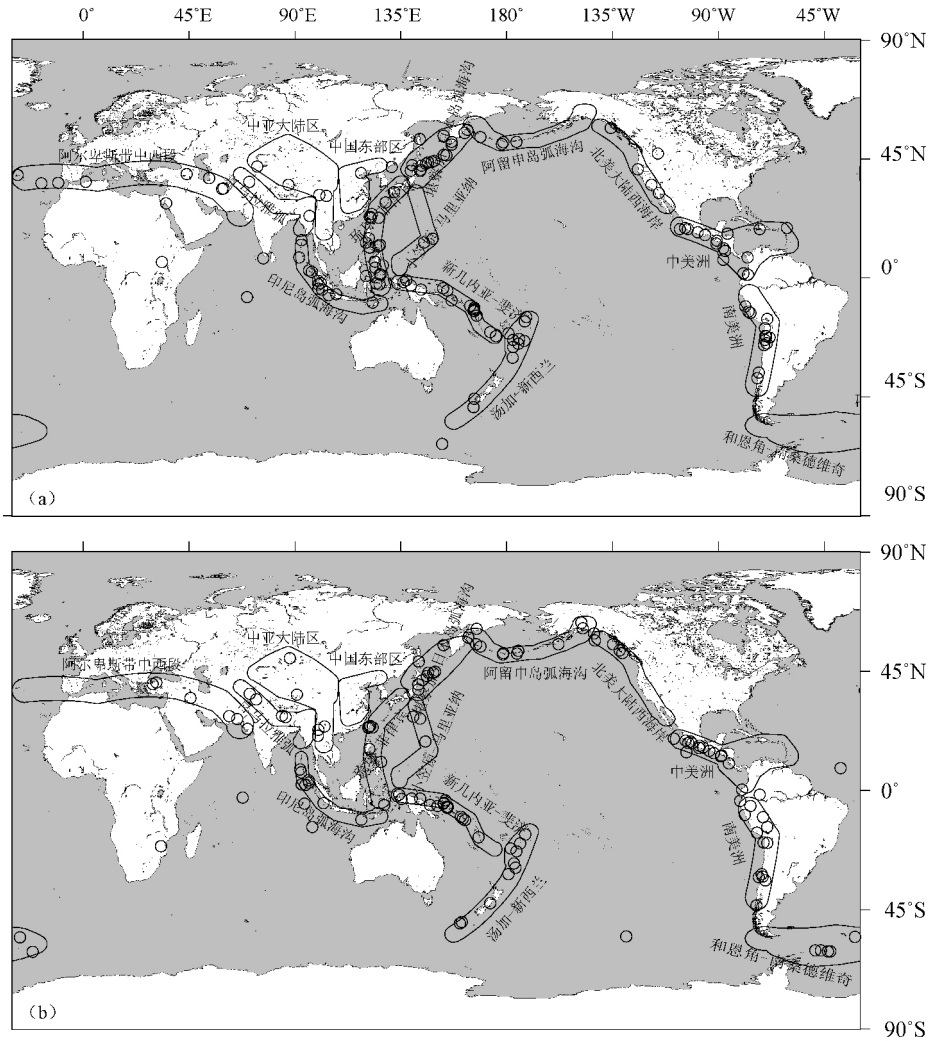


图 1 全球构造分区及 7.5 级以上地震分布(1962—2017 年)
 (a) 上升期分区地震活动；(b) 下降期分区地震活动

果的长趋势变化。

根据 6 阶拟合结果，1962 年以来地球自转角加速度上升期分别为 1965 年 1 月至 1969 年 8 月、1971 年 11 月至 1976 年 11 月、1979 年 6 月至 1983 年 12 月、1990 年 2 月至 1998 年 9 月和 2006 年 6 月至 2010 年 10 月。地球自转加速度上升阶段和下降阶段的持续时间分别占总时间的 48% 和 52%。

为了判断地震在地球自转角加速度上升或下降变化过程中发生的显著性，将以上比值视为地球自转角加速度上升期和下降期地震发生的自然概率，并利用地震时空综合概率增益模型判定是否具有显著性^[21]。

假设在某一时空域内，地震发生的中长期平稳概率为 $P(M)$ ，地球自转加速度异常变化的时间占有率为 $P(T_i)$ ，当 $i=1$ 时为地球自转加速度上升期时间，当 $i=2$ 时为地球自转加速度下降期时间， $P(M|T_i)$ 为某空域内地球自转加速度上升期或下降期地震发生的概

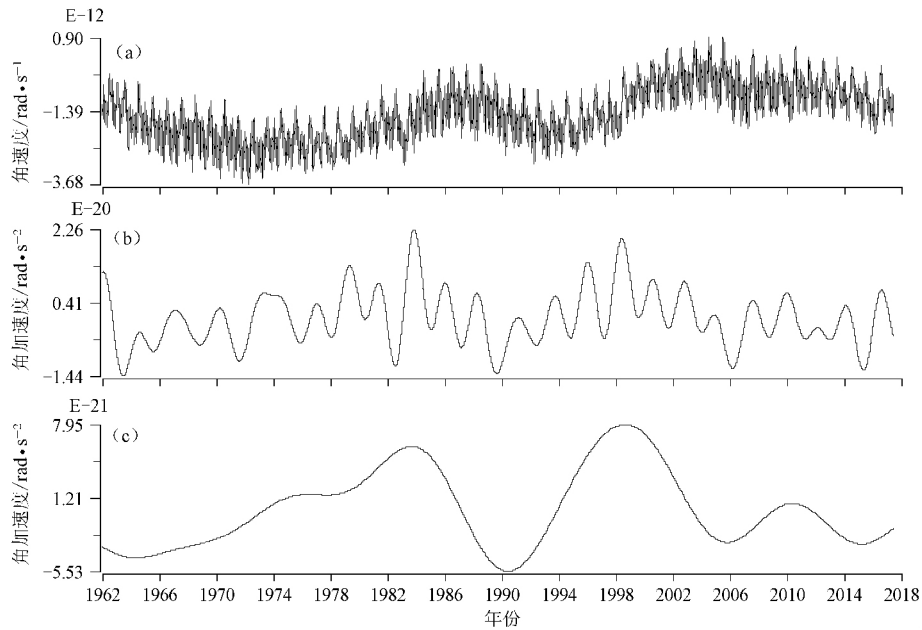


图 2 地球自转角加速度随时间的变化(1962—2017 年)

(a) 地球自转角速度; (b) 地球自转角加速度(27 阶富氏拟合); (c) 地球自转角加速度(6 阶富氏拟合)

率。当异常 T_i 出现时, 地震 M 发生的条件概率与无条件概率之比称为异常发生时, 发生地震 M 的概率增益, 概率增益公式为

$$K(M | T_i) = \frac{P(M | T_i)}{P(M)} \quad (2)$$

有震报准率 c 为

$$c = P(T_i | M) = \frac{P(M | T_i)P(T_i)}{P(M)} \quad (3)$$

时间占有率 b 为

$$b = P(T_i) \quad (4)$$

预测效能值 R 的公式为

$$R = c - b = \left[\frac{P(M | T_i)}{P(M)} - 1 \right] P(T_i) \quad (5)$$

效能 R 值为正对应较高的概率增益值 K , 将预测效能 R 值大于 0.10 作为统计具有显著性的指标。选取单个区域发生 2 次以上地震事件, 以消除单个偶然性地震事件对分析结果的影响。

2 统计结果及分析

表 1 中分别给出了 1962—2017 年期间, 地球自转角加速度上升其与下降期各分区地震事件的统计结果, 在进行预测效能评测时, 选取单个区域发生 2 次以上地震事件, 以消除单个偶然性地震事件对分析结果的影响。图 3 中分别给出了全球 7.5 级、7.8 级和 8 级以上地震随地球自转角加速度变化过程中, 预测效能 R 高于 0.10 的显著性地区。从表 1 中可以看出:

表 1 全球强震事件与地球自转加速度变化的统计结果(1962—2017 年)

区 块	地震次数 n (增益 K , 预测效能 R)						地震带名称
	$M \geq 8$		$M \geq 7.8$		$M \geq 7.5$		
	上升	下降	上升	下降	上升	下降	
A	2 (2.08, 0.52)	/	3 (0.89, -0.05)	4 (1.10, 0.05)	9 (1.25, 0.12)	6 (0.77, -0.12)	阿尔卑斯带中西段
B	/	1 (1.92, 0.48)	/	3 (1.92, 0.48)	2 (0.69, -0.15)	4 (1.28, 0.15)	阿尔卑斯带中段 (喜马拉雅弧)
C	1 (0.52, -0.23)	3 (1.44, 0.23)	3 (0.57, -0.21)	8 (1.40, 0.21)	12 (1.14, 0.07)	10 (0.87, -0.07)	阿尔卑斯带东段 (印尼岛弧海沟)
D	1 (1.04, 0.02)	1 (0.96, -0.02)	1 (0.52, -0.23)	3 (1.44, 0.23)	4 (0.93, -0.04)	5 (1.07, 0.04)	中亚大陆区
E	/	/	1 (2.08, 0.52)	/	2 (2.08, 0.52)	/	中国东部区
F	/	2 (1.92, 0.48)	6 (0.96, -0.02)	7 (1.04, 0.02)	15 (1.01, 0.00)	16 (0.99, 0.00)	环太平洋带的新几内 亚—斐济段
G	1 (0.52, -0.23)	3 (1.44, 0.23)	2 (0.52, -0.23)	6 (1.44, 0.23)	11 (1.09, 0.04)	10 (0.92, -0.04)	环太平洋带的汤加— 新西兰段
H	4 (2.08, 0.52)	/	6 (2.08, 0.52)	/	19 (1.58, 0.28)	6 (0.46, -0.28)	环太平洋带的琉球— 菲律宾段
I	/	1 (1.92, 0.48)	/	2 (1.92, 0.48)	2 (0.83, -0.08)	3 (1.15, 0.08)	环太平洋带的小笠原— 马里亚纳段
J	1 (0.30, -0.34)	6 (1.65, 0.34)	9 (1.17, 0.08)	7 (0.84, -0.08)	16 (1.19, 0.09)	12 (0.82, -0.09)	环太平洋带的勘察加— 日本岛弧海沟段
K	/	2 (1.92, 0.48)	1 (0.35, -0.31)	5 (1.60, 0.31)	4 (0.64, -0.17)	9 (1.33, 0.17)	环太平洋带的阿留申 岛弧海沟段
L	1 (1.04, 0.02)	1 (0.96, -0.02)	2 (0.69, -0.15)	4 (1.28, 0.15)	5 (1.04, 0.02)	5 (0.96, -0.02)	环太平洋带的北美大陆 西海岸段
M	2 (0.69, -0.15)	4 (1.28, 0.15)	6 (0.89, -0.05)	8 (1.10, 0.05)	16 (1.08, 0.04)	15 (0.93, -0.04)	环太平洋带的中美洲段
N	2 (0.83, -0.08)	3 (1.15, 0.08)	7 (1.21, 0.10)	5 (0.80, -0.10)	13 (1.13, 0.06)	11 (0.88, -0.06)	环太平洋带的南美洲段
O	/	/	/	1 (1.92, 0.48)	/	7 (1.92, 0.48)	大西洋洋脊和恩角— 南桑德维奇群岛段
合计	15 (0.74, -0.12)	27 (1.24, 0.12)	47 (0.89, -0.05)	63 (1.10, 0.05)	130 (1.09, 0.04)	119 (0.92, -0.04)	

(1) 全球发生在角加速度上升期和下降期的 8 级以上地震分别为 15 次和 27 次, 其中下降期地震占总地震次数的 64%, 比自然概率(52%)高 12%, 对应的概率增益 K 值和预测效能 R 值分别为 1.24 和 0.12, 统计具有显著性; 全球发生在角加速度上升期和下降期的 7.8 级以上地震分别为 47 次和 63 次, 其中下降期地震占总次数 57%, 比自然概率(52%)仅高 5%, 对应的概率增益 K 值和预测效能 R 值分别为 1.10 和 0.05, 统计没有显著性; 全球发生在角加速度上升期和下降期的 7.5 级以上地震分别为 130 次和 119 次, 其中上升期地震占总次数的 52%, 比自然概率(48%)仅高 4%, 对应的概率增益 K 值和预测效能 R 值分别为 1.09 和 0.04, 统计没有显著性; 总体上, 全球 8 级以上地震发生在地球

自转角加速度下降期的概率相对自然概率高出 12%，达到 64%，对应的概率增益 K 值和预测效能 R 值分别为 1.24 和 0.12，统计具有显著性，但 7.5 和 7.8 级以上地震的统计结果没有显著性。

(2) 按构造分区统计，在地球自转角加速度上升期，预测效能 $R > 0.10$ ，具有统计上的显著性区域共有 3 个(图 3a)。当 $M \geq 8.0$ 时，在全球 15 个分区中有 2 个分区具有统计上的显著性，分别为阿尔卑斯中西段地区(2/2)和环太平洋带的琉球—菲律宾段地区(4/4)；当 $M \geq 7.8$ 时，在全球 15 个分区中有 1 个分区具有统计上的显著性，为环太平洋带的琉球—菲律宾段(6/6)；当 $M \geq 7.5$ 时，在全球 15 个分区中有 3 个分区具有统计上的显著性，分别为阿尔卑斯中西段地区(9/15)、中国东部地区(2/2)、环太平洋带的琉球—菲律宾段地区(19/25)。

(3) 按构造分区统计，在地球自转角加速度下降期，预测效能 $R > 0.10$ ，具有统计上的显著性区域共有 11 个(图 3b)。当 $M \geq 8.0$ 时，在全球 15 个分区中有 6 个分区具有统计上的

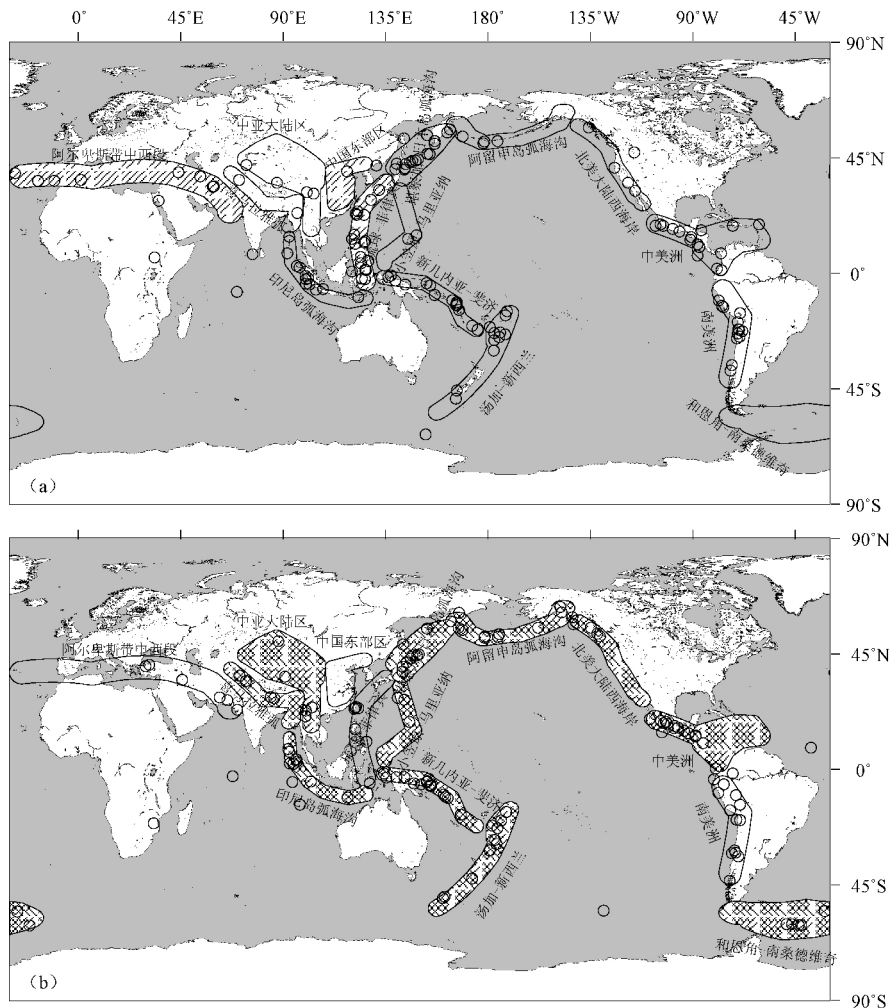


图 3 全球强震分布与地球自转角角速度关系(1962—2017 年)

(a) 上升期分区地震活动显著区域(图中斜线阴影区)；(b) 下降期分区地震活动显著区域(图中网格阴影区)

显著性, 分别为阿尔卑斯带东段(印尼岛弧海沟)(3/4)、环太平洋带的新几内亚—斐济段(2/2)、环太平洋带的汤加—新西兰段(3/4)、环太平洋的勘察加—日本岛弧海沟段(6/7)、环太平洋的阿留申岛弧海沟段(2/2)、环太平洋带的中美洲段(4/6); 当 $M \geq 7.8$ 时, 在全球 15 个分区中有 7 个分区具有统计上的显著性, 分别为阿尔卑斯中段(喜马拉雅弧)(3/3)、阿尔卑斯带东段(印尼岛弧海沟)(8/11)、中亚大陆区(3/4)、环太平洋带的汤加—新西兰段(6/8)、环太平洋带的小笠原—马里亚纳段(2/2)、环太平洋的阿留申岛弧海沟段(5/6)、环太平洋带的北美大陆西海岸段(4/6); 当 $M \geq 7.5$ 时, 在全球 15 个分区中有 3 个分区具有统计上的显著性, 分别为阿尔卑斯中段(喜马拉雅弧)(4/6)、环太平洋的阿留申岛弧海沟段(9/13)、大西洋洋脊和恩角—南桑德维奇群岛段(7/7)。

3 结果与讨论

总体上, 全球 8 级以上地震发生在地球自转角加速度下降期的概率相对自然概率高出 12%, 达到 64%, 对应的概率增益 K 值和预测效能 R 值分别为 1.24 和 0.12, 其统计具有显著性, 但 7.5 和 7.8 级以上地震的统计结果没有显著性。

按构造分区统计结果显示, 地球自转角加速度上升期的显著性地区共有 3 个, 其中阿尔卑斯带中西段主要位于非洲、阿拉伯等大陆板块由南北向与欧亚大陆板块相互碰撞边界上, 琉球—菲律宾地区位于菲律宾海板块由近东西向与欧亚大陆的相互碰撞边界上; 在地球自转角加速度下降期的显著性地区有 11 个, 地震活动主要集中区位于太平洋板块与周围板块汇聚边界上以及澳大利亚—印度洋板块与欧亚板块汇聚边界上。

地球自转角加速度变化产生的附加力虽然不足以推动板块的运动, 但有可能对板块间地震的发生起到一定的触发作用, 地球自转角加速度变化过程与全球区域地震活动之间这种较强的相关性, 可能与地球自转角加速度变化引起板块间相互作用的强弱有关。

参考文献:

- [1] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1974.
- [2] 马宗晋, 傅征祥, 薛峰. 北纬 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 的大陆地震构造系[J]. 地质学报, 1984, (2): 114-124.
- [3] 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.
- [4] 安欧. 全球大震活动与地球自转速率的关系[J]. 华北地震科学, 1985, 3(1): 56-67.
- [5] 傅征祥. 全球强震活动性的某些统计特征[J]. 地震学报, 1986, 8(2): 137-145.
- [6] 傅征祥. 岛弧—海沟地区浅源强震分布和地球自转[J]. 地球物理学报, 1984, 27(1): 53-63.
- [7] 傅征祥, 邵辉成, 丁香. 中国大陆浅源强震分布与地球自转速率变化的关系[J]. 地震, 2004, 24(3): 15-20.
- [8] 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.
- [9] 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, (1): 18-24.
- [10] 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, (12): 34-40.
- [11] 陈学忠, 李艳娥, 王恒信, 等. 2004 年印尼苏门答腊 $M_{9.0}$ 地震前地震活动增强现象及其与地球自转的关系[J]. 地球物理学报, 2013, 56(1): 79-90.
- [12] 李启斌, 肖兴华, 李致森. 中国大陆强地震与地球自转角速度长期变化关系的初步分析[J]. 地球

- 物理学报, 1973, 16(2): 71-80.
- [13] 陈翠仙. 20 世纪中国 8 级大地震与日长关系的初析[J]. 云南天文台台刊, 1992, (4): 51-53.
- [14] 郭恒祖. 二十世纪以来中国西部和邻区的大地震活动与地球自转的关系[J]. 内陆地震, 1991, 5(3): 15-20.
- [15] 王恒信, 赵晓燕, 李艳娥, 等. 几次强震及震前震中附近地区中小地震与地球自转的关系[J]. 地震, 2011, 31(2): 33-41.
- [16] 冯志生, 王俊菲, 田韬, 等. 华北、江苏及邻区中强地震与地球自转加速度变化的统计关系初步研究[J]. 中国地震, 2013, 29(3): 393-398.
- [17] 田韬, 冯志生, 祝涛, 等. 菲律宾海板块西缘强震活动与地球自转加速度变化关系研究[J]. 中国地震, 2018, 34(2): 待刊.
- [18] 傅征祥, 刘桂萍, 邵志刚, 等. 板块构造和地震活动性[M]. 北京: 地震出版社, 2009, 190-192.
- [19] 傅容珊, 李力刚, 郑大伟, 等. 核幔边界动力学——地球自转十年尺度波动[J]. 地球科学进展, 1999, 14(6): 541-549.
- [20] 万永革. 数学信号处理的 MATLAB 实现[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [21] 王晓晴, 傅征祥, 张立人, 等. 中长期时空增益综合预测模型及其初步应用[J]. 地震学报, 2000, 22(1): 45-53.

A Statistical Study of the Relationship between Global Strong Earthquakes and the Earth's Rotation Angular Acceleration Variation

TIAN Tao, FENG Zhi-sheng, ZHU Tao, LI Hong-yu, WANG Wei, YE Bi-wen
(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014 China)

Abstract: In this paper, the statistical relationship between the global strong earthquakes and the Earth's rotation acceleration variation processes from 1962 to 2017 has been investigated. The results show that the probability of global earthquakes over magnitude 8 occurring during the decline of the Earth rotation acceleration is 12% higher than the natural probability to 64%, statistically significant, but the statistics of $M7.5$ and $M7.8$ earthquakes are not significant. The statistical results of partitioning show that the global strong earthquakes have obvious regional characteristics: in the rising period of the Earth's rotation acceleration, earthquakes, whose probability are higher than the natural probability, are mainly distributed in west of Alpine zone, Ryukyu Philippines region and the eastern region of China along The Pacific seismic belt, while occurred in the middle section of the circum-Pacific seismic belt (Himalaya arc), Alpine zone (Indonesia island arc trench) and East Asia mainland during the decline period. The analysis proves that there was a strong correlation between the Earth's rotation acceleration variation processes and the global regional seismicity, which may be related to the interaction between the plates caused by the Earth's rotation acceleration variation.

Key words: Global strong earthquakes; Earth's rotation angular acceleration; Seismic belt