

徐清华, 杨林根. 全球大于或等于 8.5 级特大巨震的周期性分析[J]. 华南地震, 2017, 37(4): 26–31. [XU Qinghua, YANG Lingen. The Periodicity Analysis of the Great Earthquakes with  $M_s \geq 8.5$  [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(4): 26–31.]

# 全球大于或等于 8.5 级特大巨震的周期性分析

徐清华<sup>1</sup>, 杨林根<sup>2</sup>

(1. 淮北市人民防空和防震办公室, 安徽 淮北 235000; 2. 巢湖市地震办, 安徽 巢湖 238000)

**摘要:** 采用方差分析叠加周期外推法对公元 1897 年以来全球  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震的周期性进行外推预测, 通过严格理论计算, 试图提出下一个  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震地震可能发生的时间段。分析了统计分析中可能存在的误差与其根源, 但方法的意义在于应用统计理论分析把时间预测的定量化, 对确定重点监视时段, 从某种意义上有着一定的积极意义。另外通过分析提出的 8 个准周期值, 这为研究地震机理, 探索导致特大巨震发生的外部环境和演变规律的研究方向提供了参考。

**关键词:** 8.5 级; 特大巨震; 方差分析; 外推法; 地震预测

**中图分类号:** P315.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2017) 04-0026-06

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.04.005

## The Periodicity Analysis of the Great Earthquakes with $M_s \geq 8.5$

XU Qinghua<sup>1</sup>, YANG Lingen<sup>2</sup>

(1. Air defense and earthquake prevention office of Huaibei City, Huaibei 235000, China;

2. Seismological Office of Chaohu City, Chaohu 238000, China)

**Abstract:** In this paper, variance analysis superimposed by periodic extrapolation method are used to predict the periodicity of the world great earthquakes with  $M_s \geq 8.5$  since 1897. And through theoretical calculation, the paper tries to put forward the time period that next  $M_s \geq 8.5$  great earthquake may occur. The article also analyzes the possible errors and their roots in the statistical analysis, but the significance of this method is to apply the statistical theory analysis to the quantification of time prediction, which has a positive significance to determine the key monitoring period in a certain sense. In addition, 8 quasi periodic values are put forward through the analysis, which provide the reference for the research of seismogenic mechanism, the external environment and evolvement rule of huge earthquakes occurrence.

**Keywords:** The great earthquakes with  $M_s \geq 8.5$ ; Variance analysis; Extrapolation method; Earthquake prediction.

收稿日期: 2016-07-13

作者简介: 徐清华(1969-), 女, 工程师, 主要从事地震监测预报工作。

E-mail: xu.qinghua666@163.com.

## 0 前言

某一时间序列的历史数据,包括基本模式和随机起伏,预测就是力图将基本模式从随机性变化中分解出来,用基本模式来推测未来<sup>[1]</sup>。方差分析叠加周期外推法作为统计预报实践中的一类时序周期外推法,在气象、水文、农业、地质等各方面已得到大量的应用,但在地震预测预报方面的应用尚不多见。

方差分析叠加周期外推法是一种统计分析方法。它可以分析与地震活动有关因子的变化是否异常,也可以用它摸索地震本身的活动规律进行外推预报。不过,这两者都必须依附在这些因子变化的过程中确实存在有周期性变化的客观事实上。

地震是一种自然现象,一般是不可能有严格的周期,因此,本文所讨论的周期都是指具有某种概率的周期性。当然,如果有一些因子能够呈现周期,只是在某一时段受到其他因子的影响,

其运行规律受到破坏,那么我们可以应用这种方法找出这一异常的起点,进行试验和探索。

## 1 方差分析叠加周期外推法简介

### 1.1 基本原理

方差分析叠加周期外推法就是把某一要素序列按不同的间隔进行分组,并分别计算出不同组别下的组间方差与组内方差的比值  $F$ ,通过  $F$  大小的比较,选取出最大的  $F$  进行某信度下的周期是否显著的检验,通过检验的可以确定在该信度下可能存在相应的周期,然后从原序列中剔除该周期的影响,在残差序列中再找下一个周期,依次类推,直至残差序列稳定(即  $F$  检验不显著)为止,最后再将找出的几个相应的周期特征值分别相加,通过时间外延来预报某些要素的未来变化。具体方法流程见图 1。

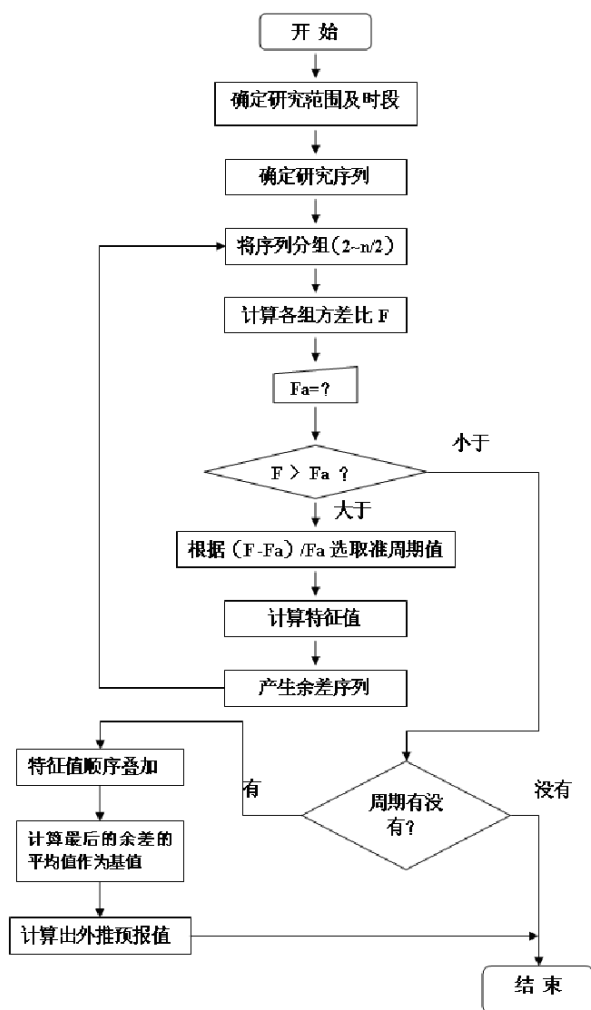


图 1 方差分析叠加周期外推法的具体步骤

Fig.1 Concrete steps of variance analysis superimposed by periodic extrapolation

## 1.2 计算方法

### 1.2.1 组间离差平方和与组内离差平方和的计算

把  $n$  年观测数据  $X_1, X_2, \dots, X_n$  排列成表 1 的形式, 其中:  $j$  表示组别,  $j=1, 2, \dots, b$ ;  $i$  为每组的项数,  $i=1, 2, \dots, a$ 。  $T = \sum_{j=1}^b T_j$ , 其中,  $T$  为总数;  $T_j$  为每组的合计数;  $\bar{X}_j$  为每组的组平均值。

表 1 试验周期分组表

Table 1 Grouped table of periodic test

$i$	试验周期分组 $j$				
	1	2	.....	b	
每 组 项 数	1	$X_{11}$	$X_{12}$	.....	$X_{1b}$
	2	$X_{21}$	$X_{22}$	.....	$X_{2b}$
	...	...	...	.....	...
	...	...	...	.....	...
组合计 $T_j$		$T_1$	$T_2$	.....	$T_b$
均值 $\bar{X}_j$		$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	.....	$\bar{X}_b$
$T_j^2$		$T_1^2$	$T_2^2$	.....	$T_b^2$
$T_j^2/a_j$		$T_1^2/a_1$	$T_2^2/a_2$	.....	$T_b^2/a_b$

组间离差平方和与组内离差平方和的计算公式为: 组间离差平方和  $S_1 = a \sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$ ; 组内离差平方和  $S_2 = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$ ;  $\sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$  表示各组平均值  $\bar{X}_j$  对总平均值  $\bar{X}$  的离差平方和, 在  $\sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$  前面再乘以  $a$ , 这是因为考虑到每组内又有  $a$  项的关系, 它表达了组与组之间数据的差异情况。组内离差平方和是指同组之内各个数据  $X_{ij}$  对组内平均值  $\bar{X}_j$  的离差平方和, 即  $\sum_{i=1}^a (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$ , 它代表了每组内部数据的差异情况, 由于共有  $b$  组, 还要把各组的  $\sum_{i=1}^a (\bar{X}_j - \bar{X})^2$  相加, 所以  $S_2 = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$ 。

### 1.2.2 方差比 $F$ 的确定与 $F$ 检验

由于做周期分析时, 事先并不知道周期数目, 因些需要从可能存在的周期中反复排列各种数值根据方差比:

$$F = \frac{\text{组间方差}}{\text{组内方差}} = \frac{S_1/f_1}{S_2/f_2} \quad (1)$$

式(1)中,  $S_1, S_2$  分别为组间离差平方和与组

内离差平方和;  $f_1, f_2$  分别为组间离差平方和与组内离差平方和的自由度。  $f_1 = b-1$ ,  $f_2 = n-b$ 。

方差比  $F$  在一定的条件下可以证明是一个随机变量, 而且是服从  $F$  分布的。  $F$  分布可以计算, 也可用  $F$  分布表查询, 因此可以用  $F$  检查的方法来检验该组周期特征是否具有显著性。具体计算步骤见图 1

## 2 实例分析

### 2.1 资料与资料时段的选定

(1) 公元 1900 年后的地震事件参数主要是由地震台网测定的, 其参数相对完整和准确, 1900 年之前的地震事件, 通常是历史记载的地震信息资料确定的, 由于历史资料的局限性, 故地震事件的缺失(不完整性)和地震参数的误差都很大<sup>[2]</sup>, 所以地震目录从 1900 年开始。但又考虑到 1897、1898、1899 连续三年都有  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震记录, 这三年的资料不仅具有统计意义, 而且也有一定的可信度, 因此统计时段选定从 1897 年开始。

(2) 2011 年之前的地震统计使用宋治平等编著的《全球地震目录》<sup>[3]</sup>, 2011 年后资料来源于“地震科学数据共享网”的中国地震台网(CSN)地震目录。具体编目见表 2。

### 2.2 地震震级的选定与资料的处理方法

刘瑞丰、陈运泰等将中国地震台网与美国地震台网测定震级进行对比后, 认为: 由于使用的震级计算公式与仪器记录分向的不同, 我国测定的  $M_s$  值总体上要比 NEIC 测定的值平均偏高 0.2 级。如果以 NEIC 测定的震级为基准, 对于 3.5~4.5 级的地震, IGCEA 测定的震级比 NEIC 测定的震级偏高 0.3 级; 对于 5.0~6.5 级的地震, IGCEA 偏高 0.2 级; 对于 7.0 级以上的地震, IGCEA 偏小于 0.1 级<sup>[4]</sup>。由些可见, 震级越小, 差别越大; 震级越大, 差别越小。

另外, 由于  $M_s$  面波震级存在大震震级饱和现象, 当  $M_s$  超过 8.6 级后, 测定的  $M_s$  值却很难再增上去。而 NEIC 震级仍按地震破裂大小计算震级。同一地震,  $M_s$  震级却低于 NEIC 震级。为了保证统计样本的准确性, 提高统计资料的可信度, 本文选择  $M_s \geq 8.5$  级作为起始震级。

具体方法: 文中不考虑震级大小在时间上的关系, 仅将该年是否发生 “ $M_s \geq 8.5$  级特大巨震作

为研究对象”。将发生过  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震的年份记作“1”，没有发生过  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震的年份记作“0”，一年中如果发生多次  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震只记一次。这样就产生了以“0”和“1”以时间为序的“脉冲序列”，时间单位为年。具体记录见表 3。

表 2 1897—2015 年全球大于等于 8.5 级以上地震目录  
Table 2 Catalog of global earthquakes with  $M_s \geq 8.5$  from 1897 to 2015

序号	发震时间	北纬 $/(^{\circ})$	东经 $/(^{\circ})$	震级	地点
1	1897-06-12	26	91	8.7	印度阿萨姆邦
2	1897-09-20	6	122	8.6	菲律宾棉兰老岛
3	1897-09-21	6	122	8.7	菲律宾棉兰老岛
4	1898-06-05	38	143	8.7	日本海沟
5	1899-09-10	60	-140	8.6	阿拉斯加湾
6	1906-01-31	1	-81.5	8.8	厄瓜多尔
7	1907-11-18	8	-76.8	8.7	秘鲁乌奇萨
8	1917-06-26	-15.5	-173	8.5	萨摩亚群岛
9	1920-12-16	36.7	104.9	8.5	中国宁夏海原
10	1922-11-11	-28.553	-70.755	8.7	智利
11	1923-02-03	53.853	160.761	8.5	俄罗斯堪察加半岛
12	1939-10-11	-15.3	-72.2	8.6	秘鲁奥尔科潘帕
13	1950-03-07	-8	-71	8.6	巴西亚马逊西州
14	1950-08-15	28.5	96.5	8.6	中国西藏察隅
15	1952-11-04	52.755	160.057	9	俄罗斯堪察加东部近海
16	1957-03-09	51.556	-175.392	9.1	阿留申群岛
17	1960-05-22	-38.235	-73.047	9.5	智利
18	1963-10-13	44.77	149.798	8.6	千岛群岛
19	1964-03-28	61.017	-147.648	9.2	阿拉斯加湾
20	2004-12-26	3.295	95.982	9.1	印度尼西亚
21	2005-03-28	2.085	97.108	8.7	印度尼西亚
22	2007-07-12	-4.438	101.367	8.5	印尼苏门答腊
23	2010-02-27	-35.846	-72.719	8.8	智利
24	2011-03-11	38.322	142.369	9.1	日本东部海域
25	2012-04-11	2.31	93.08	8.6	印尼苏门答腊岛

注：表 1 资料来源：2011 年 6 月以前资料来源于宋汉平编著的 2011 年 9 月地震出版社出版《全球地震目录》；2011 年 6 月以后资料来源于“地震科学数据共享网”的中国地震台网(CSN)地震目录。

表 3 1897—2015 年全球是否发生大于等于 8.5 级以上地震统计表  
Table 3 Statistics of whether global earthquakes with  $M_s \geq 8.5$  occurred from 1897 to 2015

年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值	年份	原始值
1897	1	1909	0	1921	0	1933	0	1945	0	1957	1	1969	0	1981	0	1993	0	2005	1
1898	1	1910	0	1922	1	1934	0	1946	0	1958	0	1970	0	1982	0	1994	0	2006	0
1899	1	1911	0	1923	1	1935	0	1947	0	1959	0	1971	0	1983	0	1995	0	2007	1
1900	0	1912	0	1924	0	1936	0	1948	0	1960	1	1972	0	1984	0	1996	0	2008	0
1901	0	1913	0	1925	0	1937	0	1949	0	1961	0	1973	0	1985	0	1997	0	2009	0
1902	0	1914	0	1926	0	1938	0	1950	1	1962	0	1974	0	1986	0	1998	0	2010	1
1903	0	1915	0	1927	0	1939	1	1951	0	1963	1	1975	0	1987	0	1999	0	2011	1
1904	0	1916	0	1928	0	1940	0	1952	1	1964	1	1976	0	1988	0	2000	0	2012	1
1905	0	1917	1	1929	0	1941	0	1953	0	1965	0	1977	0	1989	0	2001	0	2013	0
1906	1	1918	0	1930	0	1942	0	1954	0	1966	0	1978	0	1990	0	2002	0	2014	0
1907	1	1919	0	1931	0	1943	0	1955	0	1967	0	1979	0	1991	0	2003	0	2015	
1908	0	1920	1	1932	0	1944	0	1956	0	1968	0	1980	0	1992	0	2004	1		

## 2.3 统计过程

采用方差分析周期外推法,按 2 至 59 年分别为 1 组逐一排列,分别求出其  $F$  值,并找出能通过  $\alpha=0.10$   $F$  分布表检验的组数为选出周期,再将找出的周期特征值从原序列中相应扣除,得到新

序列再进行下一轮周期的筛选。

## 2.4 分析结果与结论

经过方差分析周期外推法分析计算获取按组数为 41、5、53、29、33、23、21、4 组计算统计的结果于表 4。

表 4 通过  $\alpha=0.10$   $F$  分布表检验的记录表

Table 4 Record form tested by  $\alpha=0.10$   $F$  distribution table

组数	行数	置信度	临界值	$F$ 检验值	第几层周期
41	3	0.10	1.405 397	1.546 891	1
5	24	0.05	2.451 273	3.178 056	2
53	3	0.05	1.534 838	1.734 793	3
29	5	0.01	1.941 514	2.203 925	4
33	4	0.01	1.902 834	2.040 850	5
23	6	0.05	1.654 228	1.788 766	6
21	6	0.05	1.678 612	1.895 265	7
4	30	0.10	2.132 027	2.426 624	8

表 4 中的“组数”即为发生大于等于 8.5 级地震的准周期(年),“行数”是相应准周期(年)下的周期数。

8 个准周期的特征值分别是:

(1) 准周期 41 年为: 0.33、0.67、0.33、0.00、0.00、0.00、0.00、0.00、0.00、0.33、0.33、0.00、0.33、0.00、0.33、0.00、0.00、0.00、0.00、0.33、0.33、0.00、0.33、0.33、0.00、1.00、1.00、0.00、0.33、0.00、0.00、0.33、0.33、0.33、0.00、0.00、0.00、0.00、0.00、0.00。

(2) 准周期 5 年为: 0.25、0.00、0.03、0.11、0.03。

(3) 准周期 53 年为: 0.84、0.61、0.83、0.47、0.64、0.39、0.50、0.83、0.58、0.86、0.84、0.39、0.27、0.46、0.32、0.33、0.33、0.38、0.46、0.15、0.50、0.33、0.21、0.79、0.49、0.33、0.50、0.38、0.29、0.32、0.00、0.17、0.21、0.29、0.49、0.33、0.50、0.38、0.29、0.32、0.33、0.17、0.54、0.13、0.49、0.33、0.50、0.38、0.29、0.32、0.17、0.17、0.21。

(4) 准周期 29 年为: 0.20、0.35、0.32、0.06、0.00、0.20、0.16、0.12、0.14、0.37、0.29、0.20、0.15、0.25、0.13、0.05、0.25、0.25、0.09、0.16、0.35、0.09、0.18、0.48、0.26、0.10、0.30、0.41、0.19。

(5) 准周期 33 年为: 0.28、0.21、0.25、0.22、0.31、0.16、0.23、0.00、0.08、0.23、0.20、

0.31、0.17、0.23、0.27、0.36、0.22、0.09、0.21、0.20、0.45、0.31、0.19、0.12、0.17、0.27、0.09、0.22、0.09、0.15、0.30、0.09、0.30。

(6) 准周期 23 年为: 0.08、0.10、0.16、0.11、0.02、0.06、0.15、0.05、0.04、0.11、0.08、0.08、0.03、0.00、0.06、0.01、0.02、0.20、0.10、0.16、0.13、0.18、0.12。

(7) 准周期 21 年为: 0.10、0.05、0.05、0.00、0.01、0.05、0.03、0.04、0.12、0.17、0.11、0.00、0.00、0.07、0.02、0.09、0.13、0.07、0.08、0.06、0.11。

(8) 准周期 4 年为: 0.00、0.01、0.02、0.05 将相应的准周期特征值叠加值与原始数据得拟合数据曲线见图 2。

## 3 分析

(1) 经过严格的理论计算,且通过  $\alpha=0.10$   $F$  检验,获取了 8 个准周期值,8 个准周期值分别为 41、5、53、29、33、23、21、4 年,其中 4、5 这两个准周期值是地震活跃期间的特征值,在地震活跃期中有一定的预测意义。

(2) 该方法从 2013 年底试用 2 次,分别预测下一年没有大于等于 8.5 级地震的发生,均已成功。

(3) 将相应的准周期特征值叠加值与原始数据得拟合方法,预测 2016 年发生特大巨震的概率几乎为 0,即发生  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震的可能性不大。

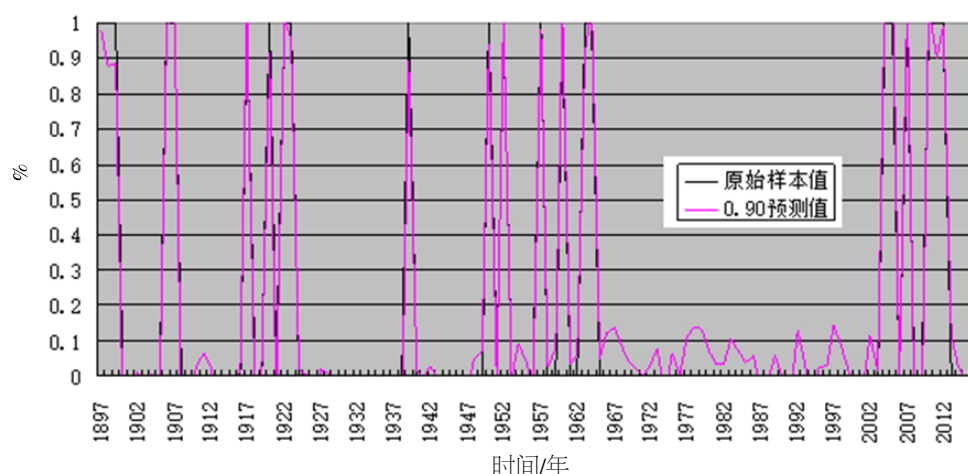


图2 全球大于等于 8.5 级以上地震方差分析周期外推拟合曲线图

Fig.2 Fitting curve of global earthquakes with  $M_s \geq 8.5$  through variance analysis superimposed by periodic extrapolation

(4) 将相应的准周期特征值叠加值与原始数据得拟合方法, 预测下一次发生大于等于 8.5 级地震可能在 2029 年前后。

通过分析出的准周期值, 这为研究地震机理, 探索导致特大巨震发生的外部环境和演变规律提供研究方向上的参考。

## 4 结语

(1) 方差分析叠加周期外推法是数理统计上常用的方法, 用于地震预测预报只是一种尝试。它可以用来研究地震震中在空间上的迁移特性, 也可分析在时间序列、震级强度变化上是否具有周期性。

(2) 由于历史地震目录来源不同, 定级标准不同, 准确性也有所不同。本文采用特大巨震作为研究对象, 但仅考虑将某年有没有发生过  $M_s \geq 8.5$  级特大巨震作样本, 并采用了  $\alpha=0.10$   $F$  分布表检验, 也就是说置信度达 90%, 但仍然肯定还有因资料准确性而带来的问题。例如如果采用美国国家地理信息中心关于特大巨震的目录<sup>[9]</sup>, 仅至 2005 年和我们现用的目录就有三个地震记录的误差。美国国家地理信息中心的目录少记录了 1917 年 6 月 26 日萨摩亚群岛 8.5 级、1939 年 10 月 11 日秘鲁奥尔科潘帕 8.6 级地震, 多记录了和 1965 年 2 月 4 日阿留申群岛 8.7 级地震, 显然对本文的统计结果影响不大, 但在置信度上和准周期的个数上还是有点误差, 因此, 统计分析的结果只能作为参考。

(3) 预测值与实测显然存在一定的误差, 但方法的意义在于应用统计理论上有了一个时间预测, 这对缩小了监视时间段, 对确定重点监视时段, 从某种意义上有着其一定的积极意义。另外

## 参考文献:

- [1] 邢兰辉, 吕惠萍, 张锦辉. 周期叠加方差分析法预报河川径流量[J]. 水文, 2007, 27(4): 41-44.
- [2] 宋治平. 全球及各地震区带强震活动周期特征 [J]. 地球物理学报, 2013, 56(6): 1 868-1 876.
- [3] 宋治平, 张国民, 刘杰, 等. 全球地震目录[M]. 北京: 地震出版社, 2011.
- [4] 刘瑞丰, 陈运泰, Peter, 等. 中国地震台网与美国地震台网测定震级的对比 (II) -- 面波震级[J]. 地震学报, 2006, 28(1): 1-7.
- [5] 胡辉, 韩延本. 全球巨震的天文背景[J]. 天文研究与技术, 2006, 3(1): 77-83.