

doi:10.3799/dqkx.2014.169

# 太阳活动周与全球大震

林云芳<sup>1,2</sup>, 林泊宁<sup>2</sup>, 陈维升<sup>3\*</sup>, 白志强<sup>3</sup>, 郑吉盎<sup>2,4</sup>, 曾小苹<sup>1,2</sup>

1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2. 益正科技震磁关系研究课题组, 北京 102218

3. 北京工业大学地震研究所, 北京 100124

4. 益正科技公司, 洛杉矶 CA91731

**摘要:** 为研究太阳活动与全球大震的关系, 引入一个无量纲的“地震能量函数 $\sqrt{G}$ ”, 并分析研究了 1681—2011 年期间全球  $M \geq 7.0$  大震的能量释放的时间序列。由此发现全球大震在太阳活动周 4 个阶段的分布和活动度, 随震级的强度而异。提出地壳对太阳风暴加卸载响应模式, 用于解释此现象。通过考察最近 331 a, 得出全球共发生了 10 个  $M \geq 9.0$  超级巨震的时空分布特征, 特别是太阳活动峰年期间没有发生过超级巨震。该研究结果可为判断全球大震提供参考。

**关键词:** 太阳活动周; 太阳黑子数; 地震能量函数; 超级巨震; 加卸载响应; 天然地震。

中图分类号: P315.7

文章编号: 1000-2383(2014)12-1857-07

收稿日期: 2014-09-01

## Solar Cycle and Large Earthquake in the World

Lin Yunfang<sup>1,2</sup>, Lin Boning<sup>2</sup>, Chen Weisheng<sup>3\*</sup>, Bai Zhiqiang<sup>3</sup>, Zheng Ji'ang<sup>2,4</sup>, Zeng Xiaoping<sup>1,2</sup>

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

2. E-Right Seismo-magnetic Study Group, Beijing 102218, China

3. Institute of Earthquake Prediction, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

4. E-Right Research Company, Los Angeles CA91731, USA

**Abstract:** The relationship between solar activity and earthquake in the world was studied by applying a dimensionless function of seismic energy  $\sqrt{G}$  to investigate the energy release time series of global large earthquakes ( $M \geq 7.0$ ) occurred during the year of 1681—2011. From the study, we find that the distribution and activity of global large earthquake in 4 phases of solar cycle varied with magnitude. We suggest that it can be explained by a model of load-unload response of the earth crustal movement to solar storm. The findings of spatial and temporal distribution characteristics of 10  $M \geq 9.0$  super earthquakes in past years of 331 in the world and absence of super earthquake in solar maximum. The results are helpful to predict occurrence of future global large earthquake as reference.

**Key words:** solar cycle; sunspot number; function of seismic energy; super earthquake; load-unload response; earthquake.

## 0 引言

多数学者认为无论太阳活动还是地震活动, 均存在 11 a 的准周期 (<http://bbs.sciencenet.cn/blog-2277-615279.html>)。前苏联学者 СЫТИНСКИЙ (1991) 分析认为: 全球地震活动性在太阳活动 11 a 周期的黑子极大值和极小值附近和下降段都会加

强; 张桂清 (1997) 介绍了几个比较典型的研究结果。方炜等 (2003) 认为自然灾害 (包括地震) 的活跃期与太阳 22 a 磁周期有关, 即强震易在太阳活动双周的峰值期和单周的谷值期出现, 还预测 2003—2007 年全球将发生 6 次  $M8$  以上的地震, 而实际上发生了 10 次。

近年来, 对太阳活动与地震关系的研究中, 多数

基金项目: 北京市教委项目 (Nos. 001000543214550, 302300514313001)。

作者简介: 林云芳 (1940—), 研究员, 主要从事地震及巨灾灾害链预测研究。E-mail: zengxp@vip.163.com

\* 通讯作者: 陈维升, E-mail: wschen2012@126.com

学者认为二者有明显的相关关系.Gousheva *et al.* (2003)及张桂清(1998)研究了太阳活动,包括太阳黑子相对数、太阳 10.7 cm 射电流量、以及太阳质子事件与  $M \geq 6$  的地震之间的关系,发现在太阳活动极小年,地震发生频次与上个太阳黑子相对数极大年均值、10.7 cm 射电流量极大年均值和整个活动周的太阳质子事件数均有非常好的正相关关系,并与太阳质子事件的关系尤为密切.林云芳和曾小苹(2008)发现太阳活动峰年和谷年期间,全球强震的发生个数相差不大.

2013 年新浪科技转载了美国地质调查局(USGS)杰弗里·勒夫(Jeffrey Love)和美国西北研究联盟杰里米·托马斯(Jeremy Thomas)的一项成果,否定了太阳活动与地球地震现象之间的关联性,并且重申了一项科学界的共识,那就是在目前或者可预见的将来,地震都是无法进行预测的(<http://tech.sina.com.cn/d/2013-04-23/08588269219.shtm>).

综观许多学者的工作成果,大多数认为太阳活动程度与地震活动成正比,也有学者认为是成反比的,还有人认为太阳活动程度与地震活动的关系与地区有关.为考察地震与太阳活动的关系,笔者首先将地球作为一个行星,考察太阳活动对全球大震能量释放的影响,并通过研究地球上特大地震对太阳活动的响应,考察二者是否相关,再考虑二者是如何相关的.为此,本文从 2 个指标,即太阳活动周的 4 个阶段和黑子数年均值,表征太阳活动程度.地球大震则取  $M \geq 7.0$  为考察对象.

## 1 资料和方法

### 1.1 地震和太阳黑子数资料

地震目录源自美国地质调查局(USGS)公布的 1600—1972 年  $M_s \geq 7.0$  地震目录、1972—2011 年  $M_w \geq 7.0$  地震目录,和 856—2011 年按时间、国家(或地区)和震级公布的世界“有意义的(interest)”历史地震目录(<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>).经过对这 3 种地震目录进行比对分析后,笔者整理出了 1681—2011 年  $M \geq 7.0$  大震目录.考虑了地震震级  $M_s$ 、 $M_w$  的定义和误差,最后以  $M$  代表震级.太阳黑子数  $N_{ss}$  的年均值取自美国国家海洋和大气局(NOAA)公布的数据(<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/ssndata.html>),同样经过了多方资料的对比和整理.

### 1.2 地震能量函数 $\sqrt{G}$

震级  $M_s$  与能量  $E$  的关系为:

$$\text{Log}E = 1.5M_s + 11.8, \quad (1)$$

式中: $E$  的单位为 erg(尔格,  $1 \text{ erg} = 10^7 \text{ J}$ ).笔者定义一个与地震能量有关的无量纲函数:

$$\sqrt{G} = \sqrt{E/E_0}, \quad (2)$$

其中: $E_0 = 10^{22} \text{ erg}$ .

## 2 太阳活动与全球地震能量释放

### 2.1 震级与能量

由公式(1)式可算出  $M_s$  分别为 5、6、7、8 的地震能量及其与其他震级能量的倍数.

例如:1 个  $M_s 7$  地震的能量相当于约 32 个  $M_s 6$ 、1 000 个  $M_s 5$  地震的能量;1 个  $M_s 8$  地震的能量相当于近 32 个  $M_s 7$ 、1 000 个  $M_s 7$  和 31 623 个  $M_s 5$  地震的能量.因此,本文仅考察  $M_s 7$  以上强震与太阳活动的关系(表 1).

### 2.2 太阳活动周的 4 个阶段

太阳活动周一般由谷年  $m$ 、峰年  $M$  及二者之间的上升和下降阶段共 4 个阶段组成.多数学者将谷年和峰年分别定义为  $(m, m \pm 1)$  和  $(M, M \pm 1)$ ; 一个太阳活动周平均 11.3 a.经过针对太阳活动周的仔细分析,可以发现周期长度、谷年和峰年持续时间、上升和下降速度和持续时间以及活动程度(黑子极小和极大年均值)等差别(图 1, <http://www.weather.com.cn/news/1268790.shtml>).本文特别选取研究时段 1681—2011 年,其中 1681—1715 年间的 34 a,发现 1645—1715 年共 70 a 的蒙德极小期.另有第 5、6 周的小峰值周( $N_{ss} \text{ max} < 50$ )以及特大活动强度的第 19 周( $N_{ss} \text{ max} \sim 200$ ).因此,造成了太阳活动周的谷年、上升、峰年和下降 4 个阶段持续时间和活动强度非均匀分布.

在参考了 NOAA 公布的谷年( $m$ )和峰年( $M$ )

表 1 地震震级能量及倍数

Table 1 The energy of seismic magnitude and its multiplier

震级 $M_s$	地震能量 $E$ (erg)	$M_s 5$ 倍数	$M_s 6$ 倍数	$M_s 7$ 倍数	$M_s 8$ 倍数
5	1.995E+19	1			
6	6.310E+20	31.6	1		
7	1.995E+22	1 000	31.6	1	
8	6.310E+23	31 623	1 000 31.6	1	
9	1.995E+25	1 000 000	31 623	1 000	31.6
10	6.310E+26	31 622 777	1 000 000	31 623	1 000

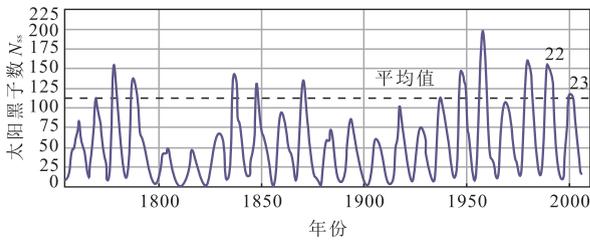


图 1 第 1~23 太阳活动周黑子数变化

Fig.1 The change of sunspot in 1-23 solar cycles

的前提下,参考太阳黑子年均值  $N_{ss}$  及其逐年变化情况,笔者选定了每个太阳活动周中的 4 个阶段时间进行研究,并将活动周延伸至 1681 年.

### 2.3 全球地震能量释放的时间序列

在日地关系的研究中,笔者经常将地球作为一个行星来处理.在考察太阳活动对地震的影响时,笔者考察了最近 331 a,即 1681—2011 年全球地震能量  $\sqrt{G}$  的释放与太阳黑子数 ( $N_{ss}$ ) 的逐年变化情况.图 2 为二者的时间序列曲线.

(1)特大地震能量释放的逐年变化特征.从图 2 中可以粗略地看到:①近 331 a 间地壳有 4 次特大地震能量释放 ( $\sqrt{G} > 100$ ),其中 2 次发生在太阳活

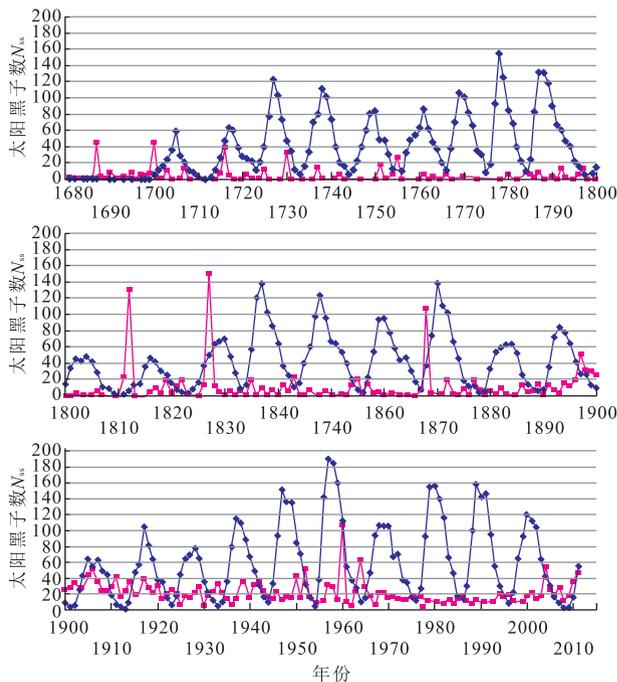


图 2 1681—2011 年太阳黑子数  $N_{ss}$  (深蓝色)与地震能量函数  $\sqrt{G}$  (粉色)的逐年变化

Fig.2 The change year by year for sunspots  $N_{ss}$  (dark-blue) and function of seismic energy  $\sqrt{G}$  (pink) during the year of 1681—2011

动周的上升年段,在谷年和下降年段各一次(表 2);  
 ②1894—1970 年间全球地震能量释放处于  $\sqrt{G} > 20$  的高水平.1970 年后  $\sqrt{G}$  下降并趋平缓至 1994 年为止.之后,2004 年  $\sqrt{G}$  又开始增高.在此期间,全球共发生 48 个  $M \geq 8.6$  特大地震,其有关参数如表 2;  
 ③10 个  $M \geq 9.0$  巨震中,除 1960 年智利地震为黑子数高值外 ( $N_{ss} = 112.3$ ,但处于下降段),其余 9 个巨震均在太阳活动低水平 ( $N_{ss} < 56$ ) 时发生.因此,在上升和下降年段,如果正值太阳活动低水平 ( $N_{ss} < 56$ ) 年份,发生  $M \geq 9.0$  超级大地震的可能性较大;  
 ④38 个  $M 8.6 \sim M 8.8$  特大地震中,有 15 个处于峰年段,而其中仅有 5 个发生在  $N_{ss} > 100$  的高活动水平(表 2 中标记为 ●),还有 7 个为  $N_{ss} = 62 \sim 89$  的中等活动水平(标记为 ★),特别有 26 个为低活动水平 ( $N_{ss} < 56$ , 标记为 ▲);  
 ⑤  $M 8.6 \sim M 9.7$  的特大地震和巨震中,有 9 个巨震和 26 个特大地震发生在黑子数  $N_{ss} < 56$  的低水平年份(占总数的  $35/48 = 72.9\%$ ).

(2)大地震在太阳活动周 4 个阶段的分布.据上述对太阳活动周 4 个阶段的定义,在 331 a 内每个阶段在总时间长度中的比率表现为自然概率(表 3).由 331 a 的统计结果看,明显超过自然概率的是:①  $M \geq 9.0$  巨震在黑子数  $N_{ss} < 56$ 、谷年的下降年段和上升年段,其发生比率分别为 90%、50%和 50%;  
 ②  $M 8.6 \sim M 8.9$  特大地震在峰年和低活动水平年超过自然概率的发生比率分别为 36.8%和 68.4%;  
 ③与特大震稍有差别,  $M 8.0 \sim M 8.5$  的大震则在谷年(36.5%)和低活动水平年(67.7%)发生的可能性较大,在峰年发生的可能性次之(26.6%);  
 ④峰年段和高活动水平年份,  $M 7.0 \sim M 7.9$  大震的发生概率较大,其发生比率均为 28.7%.

(3)关于  $M \geq 9.0$  超级地震.笔者发现自 1681 年以来,从 1755 年开始的 24 个太阳活动周,以及之前的 7 个太阳活动周里,有 10 个太阳周发生过  $M \geq 9.0$  级的超级巨震,其中每一个太阳活动周期间内只发生 1 个超级巨震.其具体参数及在构造图上的分布如表 4 和图 3(引自世界构造体系略图,国家地震局地质大队应力分析预报研究室,1980)所示.

总结 10 个  $M \geq 9.0$  超级大震的特点:①它们发生在环太平洋与大陆交界处,震中都处于断层的交汇点或断层的转折点(图 3).  $M 9.5 \sim M 9.7$  的 4 个超级大震均发生在拉丁美洲.其中最大巨震  $M 9.7$  发生在 1827 年哥伦比亚的 5 条断层端点处;而第二大巨震  $M 9.6$  于 1812 年发生在委内瑞拉,该处是加勒

表 2 1681—2011 年太阳活动与大震释放能量关系

Table 2 The relation of solar activity and energy release of large earthquakes in the world during the year of 1681—2011

编号	年份	太阳黑子数 $N_{ss}$	太阳周	震级 $M$	能量 $\sqrt{G}$	地点	备注
1	1687	0.1	谷年	9.0	44.7	秘鲁:利马	▲
2	1700	5.0	谷年	9.0	44.7	美:卡斯卡迪亚	▲
3	1812	5.0	谷年	9.6	129.5	委内瑞拉	▲
4	1827	49.6	上升	9.7	149.6	哥伦比亚	▲
5	1868	37.6	上升	9.5	106.1	智利—秘鲁	▲
6	1952	31.5	谷年	9.0	50.9	俄:堪察加	▲
7	1960	112.3	下降	9.5	106.2	智利	●
8	1964	10.2	谷年	9.2	63.6	美:阿拉斯加	▲
9	2004	40.4	下降	9.1	54.5	印尼:苏门答腊	▲
10	2011	55.6	上升	9.0	46.2	日:东北海中	▲
11	1716	47.0	峰年	8.8	31.6	秘鲁	▲
12	1716	47.0	峰年	8.6	22.4	秘鲁	▲
13	1730	47.0	下降	8.7	26.6	智利	▲
14	1755	9.6	谷年	8.7	26.6	葡:里斯本	▲
15	1811	1.4	谷年	8.6	22.4	美:密苏里	▲
16	1812	5.0	谷年	8.7	26.6	美:密苏里	▲
17	1897	26.2	下降	8.7	26.6	印度:阿萨姆	▲
18	1897	26.2	下降	8.7	26.6	日:东北海中	▲
19	1897	26.2	下降	8.7	26.6	菲:棉兰老	▲
20	1898	26.7	下降	8.7	26.6	日:东北海中	▲
21	1899	12.1	谷年	8.6	22.4	美:阿拉斯加	▲
22	1902	5.0	谷年	8.6	22.4	中:新疆阿图什北	▲
23	1905	63.5	峰年	8.6	22.4	印度—阿富汗	★
24	1905	63.5	峰年	8.7	26.6	蒙古	★
25	1906	53.8	峰年	8.8	31.6	厄瓜多尔	▲
26	1906	53.8	峰年	8.6	22.4	秘鲁	▲
27	1907	62.0	峰年	8.7	26.6	秘鲁	★
28	1910	18.6	下降	8.6	22.4	瓦鲁阿图	▲
29	1911	5.7	谷年	8.7	26.6	吉尔吉斯斯坦	▲
30	1911	5.7	谷年	8.7	26.6	琉球群岛	▲
31	1914	9.6	谷年	8.7	26.6	日:火山列岛	▲
32	1917	103.9	峰年	8.6	22.4	克马德克群岛	●
33	1917	103.9	峰年	8.7	26.6	汤加群岛	●
34	1920	37.6	下降	8.6	22.4	中:宁夏海原	▲
35	1929	64.9	峰年	8.6	22.4	阿留申群岛	★
36	1933	5.7	谷年	8.8	31.6	日:三陆	▲
37	1938	109.6	峰年	8.7	26.6	美:阿拉斯加	●
38	1939	88.8	峰年	8.6	22.4	印尼	★
39	1941	47.5	峰年	8.7	26.6	印:安达曼群岛	▲
40	1942	30.6	谷年	8.6	22.4	秘鲁	▲
41	1950	83.9	下降	8.6	22.4	巴西	★
42	1950	83.9	下降	8.7	26.6	中:西藏察隅	★
43	1952	31.5	谷年	8.6	22.4	日:北海道	▲
44	1957	190.2	峰年	8.6	22.4	美:阿拉斯加	●
45	1958	184.8	峰年	8.7	26.6	千岛群岛	●
46	1965	15.1	谷年	8.7	26.6	美:阿拉斯加	▲
47	2005	29.8	下降	8.6	22.4	印尼:苏门答腊	▲
48	2010	15.1	上升	8.8	31.6	智利	▲

比海、波多黎各海沟与南美洲大陆北部共 5 个断层的交汇处,另外 2 个  $M9.5$  巨震则发生在南北走向的安第斯断裂带、秘鲁—智利海沟的拐弯处和费尔南

德斯断裂带、查林杰断裂带的交汇处(图 3);②1960 年智利  $M9.5$  巨震发生在太阳黑子年均值  $N_{ss} = 112.3$  时,但 1960 年处于太阳活动第 19 周的下降

表 3 全球大地震在太阳活动周 4 个阶段和太阳黑子数的分布

Table 3 The distribution of global large earthquakes in 4 phases of solar cycle and sunspot number

大震		太阳活动周				太阳黑子数 $N_{ss}$		
震级 $M$	个数	谷年	上升	峰年	下降	0~55	56~90	>90
9.0~9.7	10	5	2	0	3	9	0	1
比率(%)		50.0	20.0	0.0	30.0	90.0	0.0	10.0
8.6~8.9	38	12	1	14	11	26	7	5
比率(%)		31.6	2.6	36.8	28.9	68.4	18.4	13.2
8.0~8.5	192	70	30	51	41	130	37	25
比率(%)		36.5	15.6	26.6	21.4	67.7	19.3	13.0
7.0~7.9	1 127	314	189	323	301	625	179	323
比率(%)		27.9	16.8	28.7	26.7	55.5	15.9	28.7
时间(年)	331	107	55	82	87	216	62	53
比率(%)		32.3	16.6	24.8	26.3	65.3	18.7	16.0

表 4 全球  $M \geq 9.0$  超级地震一览Table 4 A general view of super earthquakes of  $M \geq 9.0$  in the world

编号	太阳周	日期	纬度	经度	震级 $M$	地点	能量(erg)
01	-07	1687-10-20	-13.2°	-76.5°	9.0	秘鲁:利马	1.995E+25
02	-05	1700-01-26	卡斯卡迪地区		9.0	美:西雅图外海	1.995E+25
03	06	1812-03-26	10.0°	-67.0°	9.6	委内瑞拉	1.585E+26
04	07	1827-11-16	1.9°	-75.6°	9.7	哥伦比亚	2.239E+26
05	11	1868-08-13	-18.3°	-70.6°	9.5	智利-秘鲁	1.122E+26
06	18	1952-11-04	52.3°	161.0°	9.0	俄:堪察加	1.995E+25
07	19	1960-05-22	-39.5°	-74.5°	9.5	智利	1.122E+26
08	20	1964-03-28	61.1°	-147.6°	9.2	美:阿拉斯加	3.981E+25
09	23	2004-12-26	3.3°	96.0°	9.1	印尼:苏门答腊	2.818E+25
10	24	2011-03-11	38.3°	142.4°	9.0	日:东北海中	1.995E+25

段,并非峰年;其余 9 个巨震均在  $N_{ss} < 56$  的低太阳活动水平年份发生(表 2);③值得注意的是:每个超级巨震只发生在一个太阳活动周内.特别是 331 a 间,超级巨震没有一个发生在太阳活动峰年,谷年发生 5 个(50%),下降年发生 3 个(30%),2 个(20%)发生在上升年(表 2,表 3).

由此推测:由于在第 24 周的 2011 年已经发生了“311”东日本  $M9.0$  巨震,所以在 24 周期间全球发生  $M \geq 9.0$  超级大震的可能性不大.

### 3 太阳风暴对地球加载和卸载的响应——特大地震

剧烈的太阳活动在日面主要以黑子和耀斑形式出现.它们的主要特征是突然产生电磁辐射(射电爆发),同时向行星际空间释放出高速高能等离子体粒子流(日冕物质抛射).地球对其响应的顺序是:8 min 后发生地磁扰动、约 20 h 后发生磁暴、极光,随即发生电离层暴和宇宙射线暴、7~9 d 后发生大

气振荡……、1~3 a 内在个别构造地带发生强震.其中地磁扰动是太阳光辐射效应;磁暴、极光、电离层暴和宇宙射线暴属粒子流辐射效应,这些现象是地球磁场对太阳风暴的加卸载响应;大气振荡主要是太阳光(热)辐射和粒子流辐射对中性大气层的加卸载响应.而地震则是太阳风暴对地壳频繁加卸载的一种力学响应.

由表 3 可知,331 a 间发生了 48 个  $M \geq 8.6$  地球特大强震,由它们发生在太阳活动谷年、峰年、上升年和下降年的比率数据,笔者推测:太阳活动峰年期间,太阳风暴频繁地向行星际空间抛射高速高能粒子流,其中一部分必然频繁地冲击和压缩地球(加载),反复触发地壳,此时地壳首先响应的是发生  $M7.0$  的大震.当高峰年过去,下降年段到来时,太阳风对地壳的冲击减少和削弱(卸载中),“紧绷”的地壳内部积蓄的能量,可能导致在地壳脆弱地带部分  $M8.0 \sim M8.5$  大震在峰年和低活动水平时发生,并以  $M8.6 \sim M8.9$  的特大地震形式释放(峰年和下降年占特大地震总数的  $25/38 = 65.8\%$ ).接着太阳活动进入谷年阶段,“紧绷”的地壳“弹回”原状(卸载结

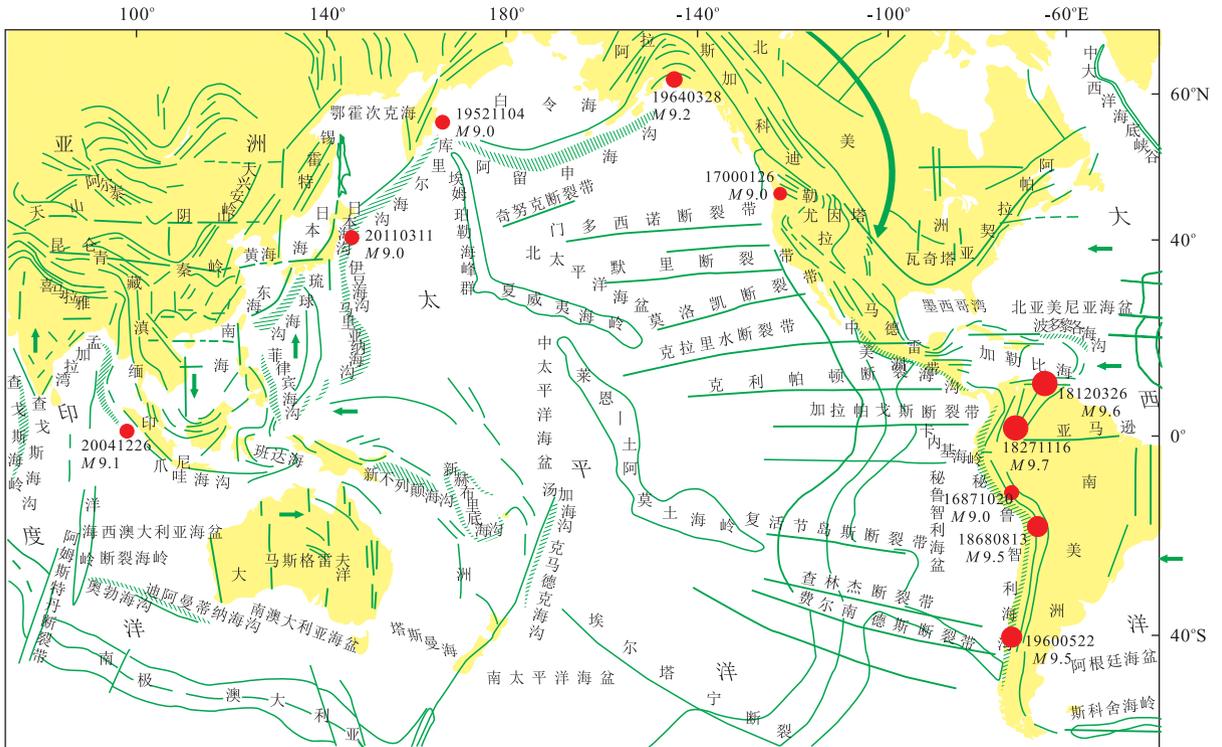


图 3 环太平洋构造和 10 个超级大地震的分布

Fig.3 The circum-pacific tectonic region and the epicenter of 10 super earthquakes

东), 36.5% (70/192) 的  $M8.0 \sim M8.5$  大震在谷年释放能量; 当高速高能的太阳风暴减弱到特小, “紧绷”的地球尽量“弹回”原状时 (331 a 间仅有 9 次), 地壳内积蓄能量最大的  $M \geq 9.0$  巨震最终释放。继之, 太阳活动进入上升阶段 (加载中), 太阳风的频度和强度 (能量) 开始增加, 地壳逐渐处于加载状态, 在地壳特别脆弱的断裂交汇处发生  $M7.0$  大地震的概率逐渐增大。

## 4 结论和讨论

(1) 为研究太阳活动与大震的关系, 本文引入一个无量纲的大震能量函数  $\sqrt{G}$ 。1681—2011 年地震能量函数  $\sqrt{G}$  和太阳黑子数  $N_{ss}$  的时间序列显示, 1894—1970 年期间, 全球地震处于高能量释放状态。1970—1993 年维持在较前稍低的能量释放水平, 1994 年以后又有增高。2004 年印尼  $M9.1$  巨震后出现能量释放高峰, 第 24 周的 2010 年智利  $M8.8$  大震和 2011 年东日本  $M9.0$  巨震, 使得 2008 年以来, 能量释放的趋势在逐年增大。如无空前的特殊情况, 估计第 24 周期间发生  $M9.0$  以上巨震的可能性不大, 不会再出现能量释放的特大峰值。

(2) 分析研究最近 331 a 间发生的 48 个  $M \geq 8.6$  的特大地震能量函数  $\sqrt{G}$  与太阳黑子数  $N_{ss}$  的关系, 发现全球大震多发生在太阳黑子数年均值  $N_{ss} < 56$  的低活动水平年份。

(3)  $M7.0 \sim M7.9$  大震在太阳活动峰年发生的可能性较大;  $M8.0 \sim M8.5$  大震在谷年段和低太阳活动水平时的发生比率稍大于自然发生概率;  $M8.6 \sim M8.9$  的特大地震多发生在峰年段和下降年段的低活动水平年;  $M \geq 9.0$  的超级巨震多生在在谷年段, 其次是下降年段和上升年段, 峰年段未见巨震发生。

(4) 近 331 年间, 全球共发生 10 个  $M \geq 9.0$  超级巨震, 其特点是: 1 个超级巨震只发生在其所处的太阳活动周内, 即一个太阳活动周里只发生 1 个超级巨震; 太阳活动峰年没有发生过超级巨震; 除 1960 年智利  $M9.5$  巨震发生在太阳黑子年均值为 112.3 的高活动水平年外, 其余 9 个均在  $N_{ss} < 56$  的低太阳活动水平年发生; 超级巨震多发生在环太平洋与大陆交界的边缘处, 震中都是多个断层的交汇点或断层的转折点。

(5) 本文的研究结果显示, 地球上发生的大震强度 (震级) 与太阳活动的不同阶段和太阳活动的程度有关。为此, 笔者提出一种解释: 太阳风高速高能粒

子流(太阳风暴)对地球上某些处于临近破裂地区频繁加载和卸载,有可能触发地球上的大震。

(6)迄今为止,在有记录的地震中,地球上最大的地震是 1827 年 11 月 16 日发生在南美洲哥伦比亚的 M9.7 巨震,并非 1960 年 5 月 22 日的智利 M9.5 巨震。

(7)本文通过统计,太阳活动与地球上发生的大地震、特大地震和超级巨震的样本数为 10~1 127,满足统计学的要求。因此,大震与太阳活动在某些条件下(表 3)有一定的相关关系。

另:本文笔者仅采用 1681—2011 年最近 331 a 的资料。这些资料在时间域上显得很短暂,由于人类活动的局限性,导致这些资料在空间域上也具有不完整性,因而,此工作需要进一步的完善。

致谢:在本文的投稿排版过程中,武汉地质大学曾佐勋教授和他的研究生贺赤诚做了反复的修改完善工作,在此深表感谢。

## References

- Fang, W., Liu, C., Zhang, C. S., 2003. Relationship between the Sunspots and Strong Earthquakes in the World. *Earthquake Research in Plateau*, 15(4): 14—31(in Chinese with English abstract).
- Gousheva, M. N., Georgiva, K. Y., Kirov, B. B., et al., 2003. On the Relation between Solar Activity and Seismicity. In:

Gousheva, M. N., ed., *Recent Advances in Space Technologies*. IEEE Press, New York, 236—240.

Lin, Y. F., Zeng, X. P., 2008. Sunspot Maximum and Minimum and Great Earthquake in the World. *Proceedings of the Chinese Geophysical Society Committee of Natural Disasters Prediction*, Beijing, 153—159(in Chinese).

Сытинский, А. Д., 1991. Relationship between the Global Seismicity and the Sun's Activity and Atmospheric Procedure. Translated by Zhao, H. S., *Seismological Press*, Beijing, 101(in Chinese).

Zhang, G. Q., 1997. The Sun's Activity and Disasters. *Disaster Reduction in China*, 7(2): 62—65(in Chinese with English abstract).

Zhang, G. Q., 1998. Relationship between Global Seismicity and Solar Activity. *Acta Seismologica Sinica*, 20(4): 427—431(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 方炜,刘春,张春生,2003.太阳黑子与全球强震活动.高原地震,15(4):14—31.
- 林云芳,曾小苹,2008.太阳黑子极年和大震.天灾预测总结学术会议文集,北京,2008:153—159.
- Сытинский, А. Д., 1991.全球地震活动性与太阳活动及大气过程的关系.赵洪声译,北京:地震出版社,101.
- 张桂清,1997.太阳活动与灾害.中国减灾,7(2):62—65.
- 张桂清,1998.全球性地震活动与太阳活动的关系.地震学报,20(4):427—431.