

全球性地震活动与太阳活动的关系*

张桂清

(中国北京 100101 中国科学院北京天文台)

摘要 分析研究了太阳活动, 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: ① 在太阳活动的极小年附近, 地震活动频繁; 而多数在太阳黑子极大的后一年, 也就是说在太阳极区磁极性反转时期, 地震活动相对少些; ② 在太阳活动极小年, 地震发生频数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有非常好的正相关关系, 与太阳质子事件的关系尤为密切; ③ 按上述相关性, 曾预测 1995~1997 年是地震活动非常频繁的时段. 文中还对上述几点作了简要的物理探讨.

关键词 地震活动 太阳活动 太阳黑子数 太阳射电流量 太阳质子事件

引言

就地球本身而言, 绝大多数地震是由地壳板块之间的互相挤压、碰撞而导致. 然而, 地球物理界人士几乎都不否认, 地球上的任何灾变都不能完全归结为地球本身的运动. 太阳作为地球能量的源泉, 它的变化直接间接地影响和调制着地球各部分和整体的运动和变化. 因此, 相继出现了不少关于太阳活动与地震关系的研究. 总起来讲, 大多是研究太阳黑子相对数的周期变化与地震的关系, 得出地震活动有类似太阳黑子相对数的 11 年和 22 年的活动周期(罗葆荣, 李维宝, 1978; 蒋窈窕, 1991; 吴洪敦, 1991; 沈宗丕, 1991). 偶有人提及太阳粒子事件与地震的关系, 指出非常强的太阳质子事件(地面事件)发生一年后会发生大地震(虞震东, 1991). 由于太阳粒子事件的观测历史短, 从第 19 太阳活动周才开始有可靠的观测资料, 所以, 过去一些对太阳粒子事件与地震的研究主要是个别事件之间关系的统计研究.

太阳活动对地球的影响应该是全球性的, 对地震的触诱发效应也应是全球性的. 所以, 分析全球的地震与太阳活动的关系, 比就某一地区的地震与太阳活动的关系更合理更科学. 为此, 本文将就 1900~1986 年 $M \geq 6$ 的全球地震与太阳活动的关系进行分析研究.

1 资料情况

本文所用地震资料取自《世界地震目录》(1900~1980年)(时振梁等, 1986); 1985~

* 中国科学院重点基金项目资助课题.

1997-07-04 收到初稿, 1997-11-25 收到修改稿并决定采用.

1987 年的全球地震资料由国家地震局地球物理研究所高玉芬教授提供. 我们选择 $M \geq 6$ 的全球地震作为研究对象. 1978 年以前的太阳黑子相对数取自《磁暴目录及日地物理基本资料》^①; 1979 年以后的资料取自 NOAA(1993). 取其年均值作为分析对象. 太阳 10.7 cm 射电流量取自 NOAA(1994), 也取其年均值作为分析对象, 单位为 $10^{-22} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$. 太阳质子事件资料取自 NOAA(1996). 质子事件的选取方法: 能量 $E \geq 10 \text{ MeV}$, 峰值流量 $\geq 10 \text{ pfu}$ ($10 \text{ particles}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{s}$), 事件的持续时间 $\geq 10 \text{ min}$. 资料历时: 从 1955~1995 年, 以每个太阳周的累积事件数作为分析对象.

2 太阳黑子相对数与地震频数

2.1 地震的宏观周期和峰期

前面已提到, 曾有些研究者已发现地震存在 11 和 22 年的活动周期. 在此, 我们给出 1900~1980 年全球 $M \geq 6$ 的地震频数-时间分布图(图 1). 不用作谱分析, 直接从图 1 也可粗略看出地震的 22 年周期. 从图 1 还可以看出, 地震频数的峰值分别发生在 1913、1934、1957 和 1965 年. 除 1957 年为太阳活动峰年(这是有史以来太阳黑子活动最强的一周)外, 其它 3 个年份刚好与 14~15 太阳周、16~17 太阳周和 19~20 太阳周之间的极小期吻合, 多数稍后一年. 也就是说, 在太阳活动的谷年, 地震活动相对频繁. 这可能不是一种巧合, 而有其内在联系. 结合图 1 和表 1 给出的太阳黑子极大年, 我们可以发现, 在太阳黑子数的峰年或稍后一年, 地震活动频数相对少些.

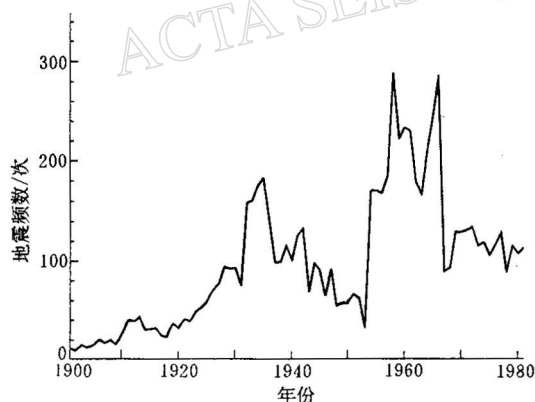


图 1 地震频数随时间的变化

2.2 太阳黑子数极大年均值与下个相邻极小期的地震频数

我们首先给出 1894 年(第 13 太阳活动周的极大年)到 1987 年各太阳黑子周的极大时间、极大太阳黑子数年均值和相邻极小期以及太阳黑子极小年正负一年内(即 3 年)的地震频数(表 1). 结合图 1, 似乎可以发现, 当极大年太阳黑子数年均值大时, 相邻极小年地震频数也大. 图 2 展示了太阳黑子数极大年均值和下一个极小期正负一年内发生的地震频数的关系.

除了第 16 周外, 在其它几个太阳周中, 太阳黑子极小年的地震活动频数明显与极大年的太阳黑子相对数年均值相关. 包括第 16 太阳周在内, 两者的相关系数为 0.755. 它们在 95% 的置信水平上线性相关(当 $n=9$, 临界相关系数 $R_{0.05}=0.602$). 我们很容易求得它们的函数关系. 设极大年的太阳黑子相对数年均值为 X , 相邻极小年正负一年内发生的地震数为 Y , 算得

$$Y = -138 + 4.16X \quad (1)$$

① 朱岗昆, 1982. 磁暴目录及日地物理基本资料. 中国科学院地球物理研究所. 69~78.

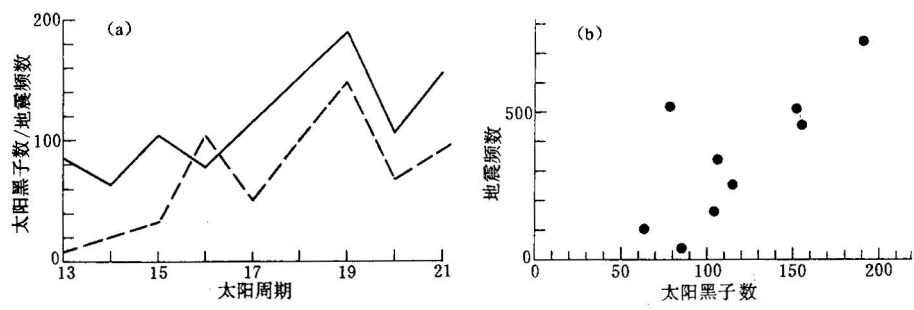


图 2 太阳黑子相对数极大年均值与下一个极小期正负一年内发生的地震频数。(a) 纵坐标代表黑子数和地震频数, 横坐标代表黑子周期. 实线代表各周的太阳黑子数极大年均值, 虚线代表极小期地震频数(被 5 除); (b) 纵坐标代表地震数, 横坐标代表太阳黑子数

表 1 太阳活动指数与地震

黑子周期	黑子极大年	黑子极大值	射电极大值	质子事件数	黑子极小年	极小年地震数
13	1894	85.1			1901	37
14	1906	63.1			1913	105
15	1917	103.9			1923	163
16	1928	77.8			1933	518
17	1937	114.9			1944	253
18	1947	151.6			1954	507
19	1957	190.2	232.7	65	1964	737
20	1968	105.9	156.2	53	1976	338
21	1979	155.4	202.6	58	1986	456
22	1989	157.6	213.7	73		

3 地震与太阳 10.7 cm 射电流量和太阳质子事件

从 1947 和 1955 年开始才分别有正式可靠的太阳 10.7 cm 射电流量和太阳质子事件的观测. 由于资料的观测历史短, 分析它们与地震的关系有一定的偶然性, 但是, 也完全有可能反映其真实性. 特别是 10.7 cm 射电流量和太阳质子事件是物理意义明确的太阳活动指数和爆发事件. 它们更能反映太阳活动的强弱, 有统计分析的必要.

表 1 还给出了第 19 到 21 太阳周的 10.7 cm 太阳射电流量的极大年均值(表 1 中, 射电极大值)和每周的太阳质子事件总数. 我们把它和这三周的太阳黑子数极大年均值与极小年的地震数的关系一并展示于图 3. 很明显, 太阳质子事件与地震关系的 3 个点几乎在一条直线上, 说明它们之间相关非常好. 而太阳黑子与地震和射电流量与地震的相关性则要差些. 它们之间的关系列于表 2.

表 2 各种太阳活动指数与地震的关系

样本数	相关系数	太阳活动指数	线性关系
3	0.991	太阳质子事件	$Y = -1466 + 33.69X(2)$
3	0.945	黑子数极大年均值	$Y = -178 + 4.57X(3)$
3	0.938	10.7 cm 流量年均值	$Y = -473 + 4.99X(4)$

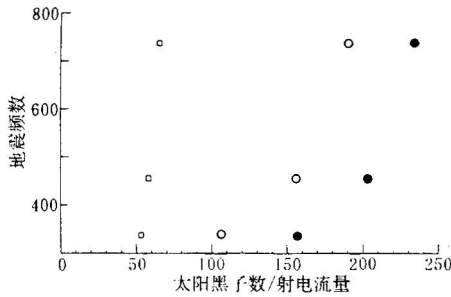


图 3 太阳质子事件, 极大年黑子数和 10.7 cm 射电流量与极小年地震的关系.

图中“□”代表太阳质子事件与地震的关系; “○”代表太阳黑子与地震的关系; “●”代表射电流量与地震的关系

$M \geq 6$ 的地震作预测, 结果列于表 3. 从表 3 可以看出, 不论用哪个关系式作预测, 都表明 1995~1997 年地震活动频繁. 这与高庆华(1991)用经验方法所作的预测是一致的. 这个结果虽然不能对某一地区发生的个别地震作预测, 但它可使人们知道某一时期地震活动的频繁程度.

(2) 上两节讨论的地震与太阳活动滞后相关的结果可能表明, 太阳的辐射能量影响地球表面及其以下部分, 可能需要长时间的能量耦合过程, 并且在地球表面下可能会有长时间的能量积累效应. 这种能量积累对地震能量的孕育过程可能有重要影响.

我们知道, 太阳活动对地球的影响实际上是太阳的电磁辐射能量以及粒子辐射能量和物质向地球传递和转化的问题. 日地空间界的人士一般认为, 太阳活动的扰动是通过电过程传输到地球的: 一是太阳风携带的高能带电粒子到达近地空间时, 产生磁层电场的扰动, 并通过磁力线传到极区附近, 进而渗透和影响中低纬地区和地表; 二是通过对地球大气电离的调制, 直接影响大气的电导率. 地学界的人士指出, 地下电张力的变化是引起地震的原因之一(杜品仁, 徐道一, 1989). 庄洪春和罗福山(1996)从理论上讨论了太阳活动造成的近地扰动能透入地下, 造成地下电张力的扰动或地下电流异常. 上面的结果间接地支持了他们的理论探讨.

(3) 从图 2 可以看到一个异常的点, 就是第 16 周峰年的太阳黑子数极大年均值不超过 80, 但是在尾随其后的极小年地震活动非常频繁. 第 3 节的结果和表 1 可能为我们解释这种现象提供了依据. 我们知道, 从总体上讲, 太阳黑子相对数能反应出一个太阳周的活动强度, 而且, 一般来讲, 它与太阳耀斑活动和高能粒子辐射的强度是一致的. 但是, 有时它们的强度相差悬殊. 比较 19~22 太阳周的黑子相对数和太阳质子事件, 可以看出, 就太阳黑子数而言, 第 19 周是最强的活动周. 然而, 就太阳质子事件而言, 第 22 太阳周是最强的活动周. 第 21 和 22 太阳周的极大太阳黑子相对数年均值相差无几, 而第 22 周发生的太阳

表中, X 代表太阳质子事件、太阳黑子数和射电流量, Y 代表地震数. 对于 $n=3$, $R_{0.01}=0.959$, $R_{0.05}=0.878$. 所以, 太阳活动极小期发生的地震频数在 99% 的置信水平上与太阳质子事件正相关, 与其它两个太阳活动指数在 95% 的置信水平上正相关.

4 预测与讨论

(1) 现在还不能得到本周极小期(1995~1997 年)的全球地震数. 表 1 中给出了 22 周峰年的太阳黑子数极大年均值和 10.7 cm 射电流量极大年均值以及第 22 周发生的太阳质子事件数. 用前面 4 个关系式对 1995~1997 年全球发生的

表 3 用不同太阳指数对 1995~1997 年的地震频数预测

太阳活动指数	样本数	太阳黑子周期	地震频数预测
太阳质子事件	3	19~21	993
10.7 cm 射电流量	3	19~21	596
太阳黑子数	3	19~21	542
太阳黑子数	9	13~21	517

质子事件数却比第 21 周多近三分之一. 第 21 太阳周的极大太阳黑子相对数年均值比第 20 周多近 50%, 而发生的太阳质子事件只相差 9%. 观测和研究结果都证明, 太阳是通过其发射的太阳高能粒子和电磁辐射影响地球的, 所以, 我们可以推测, 第 16 太阳活动周的太阳质子事件和耀斑活动可能是比较强的.

(4) 我们知道, 无论是缓变型太阳活动还是爆发型太阳活动都有 11 年的活动周期变化, 而且它们的起始年份是一致的. 但是, 它们的极大年份却不尽相同, 多数爆发型太阳活动的极大时间晚于太阳黑子数极大年约 1~2 年. 例如, 第 20 太阳周的太阳黑子极大发生在 1968 年, 而强太阳 X 射线耀斑的极大发生在 1970 年, 太阳质子事件的极大发生在 1969 年; 第 21 太阳周的太阳黑子极大发生在 1979 年, 而强太阳 X 射线耀斑的极大发生在 1982 年, 太阳质子事件的极大发生在 1982 年. 前面已提到, 强度不小于 6 级的地震频数的峰值多数发生在太阳活动的极小期附近, 而多数是在太阳黑子峰年过后的一年; 或者说, 在爆发型太阳活动的峰年, 地震活动相对少些. 这刚好与太阳极区磁场极性反转的时间相吻合 (Simon, 1969). 这究竟是一种巧合, 还是太阳极区磁极性反转有抑制地震的作用, 是一个值得进一步研究的问题.

5 结论

以上各节的分析讨论表明: ① 太阳活动影响着地震活动的频数. 一般情况下, 在太阳活动的低年附近, 地震活动频繁; 而在太阳活动极大年稍后, 或者说在爆发型太阳活动的峰年, 或在太阳极区磁极性反转时期, 一般地震活动相对稀少. ② 在太阳活动极小年, 地震发生频数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有非常好的滞后正相关关系, 与太阳质子事件的关系尤为密切. ③ 根据前面的 4 个关系式, 曾预测 1995~1997 年是地震活动非常频繁的时段. 事实表明, 这个时段的地震活动确有增强, 如 1995 年 1 月 17 日的日本阪神 7.2 级地震等. 这些结果在某种程度上间接地支持了一些学者的理论探讨.

感谢韩延本、田静和高玉芬教授提供的地震资料.

参 考 文 献

- 杜品仁, 徐道一, 1989. 天文地震学引论. 北京: 地震出版社. 67~90
- 高庆华, 1991. 太阳活动、地球运动的研究在自然灾害综合预报中的作用. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社. 52~57
- 蒋窈窕, 1991. 全国历史地震与太阳黑子活动的相关性. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社. 67~73
- 罗葆荣, 李维宝, 1978. 从我国古代极光、地震记录的周期性分析看太阳黑子周期的稳定性. 科学通报, 23(1): 8~13
- 沈宗丕, 1991. 太阳 22 年极性周期与我国南北地震带强震活动的周期分析. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社. 76~79
- 时振梁, 赵荣国, 王淑贞, 等, 1986. 世界地震目录. 北京: 地震出版社. 12~22
- 吴洪敏, 1991. 太阳活动与地震. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社. 73~76
- 虞震东, 1991. 宇宙线环境和自然灾害. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社. 156~159
- 庄洪春, 罗福山, 1996. 大气电场的透地效应日震关系的电机制. 福建天文, 2(3-4): 84~91
- NOAA, 1993. *Solar-Geophysical Data, Part I*, (583): 26
- NOAA, 1994. *Solar-Geophysical Data, Part I*, (602): 25
- NOAA, 1996. *Preliminary Report and Forecast of SGD*, (1092): 10
- Simon P A, 1969. Polar coronal holes and solar cycles. *Solar Phys*, 63(2): 399~410