

太阳黑子、磁暴与地震活动的关系

蒋伯琴

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

本文用格林威治台 1904—1953 年的太阳黑子与磁暴资料及国家地震局编的全球 7 级以上地震的同期资料,对太阳黑子、磁暴与地震的关系作了统计分析。主要有以下几点结果:

1. 太阳黑子、磁暴与地震数的逐年变化之间经 11 年流动平均后具有相当高的相关性,而后者与地震的相关性更显著;
2. 地震频率的季节分布在统计上有类似磁暴的季节分布的倾向;
3. 太阳黑子、磁暴对地震的触发作用有一个滞后效应,前者为 3—4 个月,后者为 1—3 个月;也还出现有同时性效应;
4. 太阳黑子周期内地震最多的年份常发生在太阳黑子下降相位期间。

一、引 言

宇宙因素,诸如天体运行、太阳活动等的作用对地震现象的影响,很早已引起人们的注意^[1]。近些年来,许多作者对这类现象作了一系列探讨,得出了不少有意义的结果^[1-4]。有的作者认为,地震现象是地质构造运动与宇宙因素综合作用的结果^[1]。

太阳活动(太阳黑子数一般能代表其活动程度)对地震过程的作用主要是通过电磁效应来实现的^[1](也有作者认为是通过太阳微粒流促使大气系统定常运动的破坏来实现的^[4])。所以对这一课题的研究常常与地磁活动,特别是与最活跃的地磁活动——磁暴联系起来考察的。

不同作者由于所用资料时期或地区的不同,或处理资料方法的不同,或分析问题观点的不同,得出的结果或结论有时会有大的差异,甚至互相发生矛盾^[2,4]。据已经了解到的主要结果可归纳为这样几方面:(1)经 11 年流动平均后,地磁活动的峰值比地震能量的峰值落后三年,将后者超前三年时,二者的归一交叉相关系数最大值为 0.76^[3];(2)一般地震最频繁地发生在 11 年太阳黑子周期下降时期^[2];(3)基金斯基的文章指出最高地震活动性发生在 11 年周期高值年和低值年附近^[4]。我国所记录到的 $M \geq 7.0$ 级以上地震亦在太阳黑子高值年和低值年附近较多^[4];(4)研究日本大地震频度与太阳黑子的关系,发现黑子最多时内侧地震带地震多,黑子最少时外侧地震带地震多^[1];(5)Simpson 用 1950

本文 1984 年 4 月 20 日收到。

1) 国家海洋局情报所、地质研究所、北京天文台,利用地震资料和天文周期分析的方法开展中期地震预报,地震技术资料汇编。

2) 辛普森,太阳活动与地震的关系,科技参考资料,1970,2: 30—33。

年 1 月 1 日—1963 年 6 月 30 日一个完整太阳周内的太阳黑子数, 2800 MHz 太阳射电和地磁 K_p 指数, 与该时期的 22561 个地震作了精细的相关分析, 指出以上三者与地震有明确的关系, 且它们几乎是同时出现的(或者说滞后时间很短)。如, 其中指出 K_p 超过 7 持续三小时以上倾向于地震频率增高, K_p 值为 8 和 9 时地震频率急速增大(相关系数达 0.8461)^[3]; (6) 有的工作表明太阳活动与地震之间不存在有意义的关系^[4]。为解释宇宙因素对地震可能存在的触发作用, 不少作者在作用机制方面作过一番探讨^[1-2]。由于结果的不一致性, 引起作用机制的复杂性与矛盾性, 使一种机制能解释这类现象, 而不能解释另一类现象。到目前为止这一类问题的研究还是很不系统很不充分的(所积累的资料状况大致也是如此), 所探讨的这类规律性本身也常被更强的、复杂的其它现象所掩盖。因此在当前条件下探讨基本规律性方面多做些工作, 以得到较肯定的结果, 这比在机制方面下功夫更为迫切, 因为前者是后者的前提或根据。

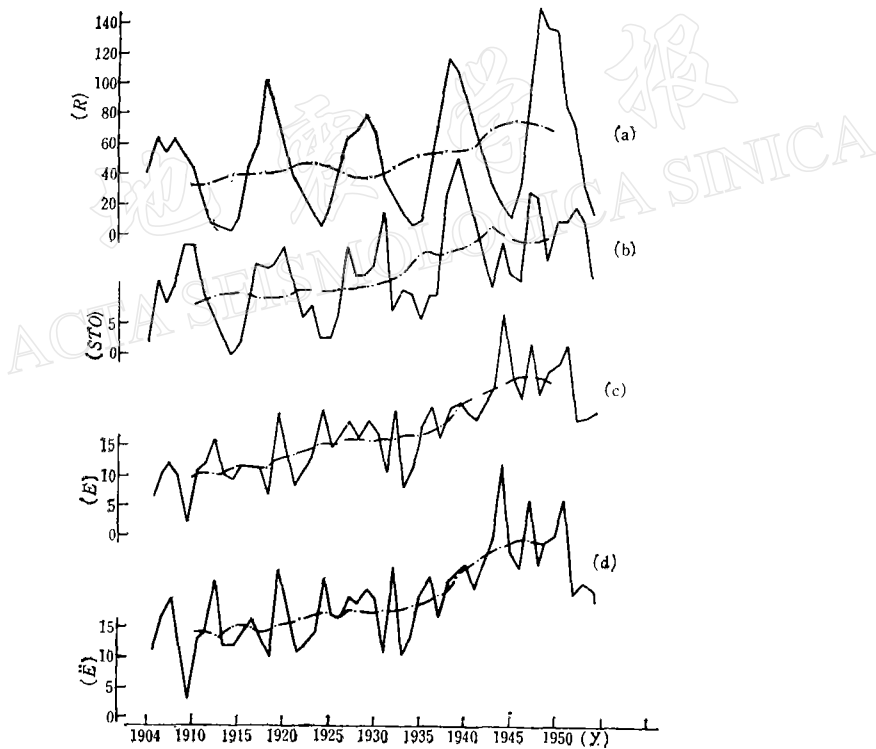


图 1

- (a) 1904—1935 年太阳黑子数 (R) 逐年变化曲线平滑曲线为 11 年流动平均值
- (b) 同时期磁暴数 (STO) (大磁暴 1 个作为 2 个计算) 逐年变化
- (c) 同时期地震数 (E) 逐年变化
- (d) 同时期地震数加权后 (\bar{E}) 的逐年变化

Fig. 1 (a) The curve of yearly change of sunspot number (the smooth curve is the 11-year running average)
 (b) Same for the number of magnetic storms (the number of big storm is multiplied by a factor of two)
 (c) Same for the number of earthquakes
 (d) Same for weighted number of earthquakes

地磁学与地震学的关系问题,或具体地说,通过地磁场的变化来预报地震的问题,迄今是从两方面来考察的。一方面是通常所说的震磁效应问题,即在地震的孕育过程中,随着地球内部应力的积累,地磁场可能产生微小的变化,并以这一微变化作为信息预报地震;另一方面是地球外空变化磁场对地震发生可能的触发作用问题。本文所要探讨的是与后一方面有关的问题。

二、资 料 分 析

本文所使用的资料是格林威治台 1904—1953 年太阳黑子数资料与磁暴资料^[5],以及

表 1 太阳黑子、磁暴与地震的相关系数

Table 1. Normalized correlation coefficient among sunspots, magnetic storms and earthquakes for 1904—1953.

太阳黑子与地震的相关 The relation between sunspots and earthquakes	逐年归一相关系数 The correlation coefficient of yearly number	0.31
	地震加权后逐年归一相关系数 The correlation coefficient of yearly number weighted by magnitude of earthquake	0.30
	十一年流动平均后的归一相关系数 The correlation coefficient of 11-year running average values	0.98
	地震加权后十一年流动平均的归一相关系数 The correlation coefficient of 11-year running average values weighted by the magnitude of earthquake	0.99
	平均太阳黑子周的归一相关系数 The correlation coefficient of average value for each solar cycle	0.91
	地震加权后的平均太阳黑子周的归一相关系数 The correlation coefficient of average value for each solar cycle weighted by magnitude of earthquake	0.92
磁暴与地震的相关 The relation between magnetic storms and earthquakes	逐年归一相关系数 The Correlation coefficient of yearly number	0.43
	地震加权后逐年归一相关系数 The correlation coefficient of yearly number weighted by magnitude of earthquake	0.39
	十一年流动平均后的归一相关系数 The correlation coefficient of 11-year running average values	0.98
	地震加权后的十一年流动平均的归一相关系数 The correlation coefficient of 11-year running average values weighted by the magnitude of earthquake	0.98
	平均太阳黑子周的归一相关系数 The correlation coefficient of average value for each solar cycle	0.96
	地震加权后平均太阳黑子周的归一相关系数 The correlation coefficient of average value for each solar cycle weighted by magnitude of earthquake	0.99

国家地震局汇编的全球 7 级以上地震资料¹⁾。该时期内有大磁暴 73 个, 中、小磁暴 545 个; 7 级以上地震(余震和同地区接续所发生的地震除外) 849 个; 所使用的太阳黑子数资料为该时期的年均值与月均值。使用这些资料在以下几方面作了统计分析:

1. 从逐年变化的趋势考察太阳黑子、磁暴与地震活动的关系。众所周知, 太阳黑子具有平均 11 年的周期性[见图 1(a)], 太阳黑子所表征的太阳活动周期性与磁暴的统计关系已知是比较密切的^[6,8], 因而磁暴也具有类似太阳黑子的 11 年周期分布, 但一般在峰值和位相方面并不总是-一致的[图 1, (b)]。地震活动却看不出这类周期性[图 1, (c), (d); (d) 为按震级加权后的结果, 即一个 a 类地震作二个 b 类地震计算]。而且前二者与地震逐年分布的归一相关系数值也是相当低的, 分别为 0.31 (0.30) 与 0.43 (0.39) (见表 1, 括号内的数字为加权后算得的结果)。但从总的趋势分析, 性质就不相同。三者的逐年变化经过 11 年流动平均后, 趋势相当一致(见图 1), 而且前二者与地震的归一相关系数分别高达 0.98 (0.99) 与 0.98 (0.98) (表 1)。我们还按每个太阳黑子周内的平均值作过分析。该时期内大致可分作五个太阳黑子周期, 并逐一算出每个周期内的黑子数平均数, 磁暴平均数与地震平均数, 以及其在各周期的分布率。可以看到, 不同周期的太阳黑子数与地震数[图 2, (a)] 以及磁暴数与地震数[图 2, (b)] 的变化, 基本上是线性相关的, 且相关系数分别达到 0.91 (0.92) 和 0.96 (0.99)。以上结果表明, 根据总趋势变化的分析, 太阳黑子、磁暴与地震现象之间具有显著的相关关系。应当指出的是, 地震现象是许多复杂因素作用所致, 而地球内部的作用是基本的, 外部的触发只能通过内部的一定条件才起作用。就外部触发因素而言, 又是多种多样的, 太阳黑子或磁暴只是其中可能因素之一。因而其对地震的影响, 常为其它复杂现象所掩盖, 使二者与地震的逐年对应关系显得并不密切; 而经过流动平均处理后, 把许多带偶然性的因素消除了, 相关性就显著增大。

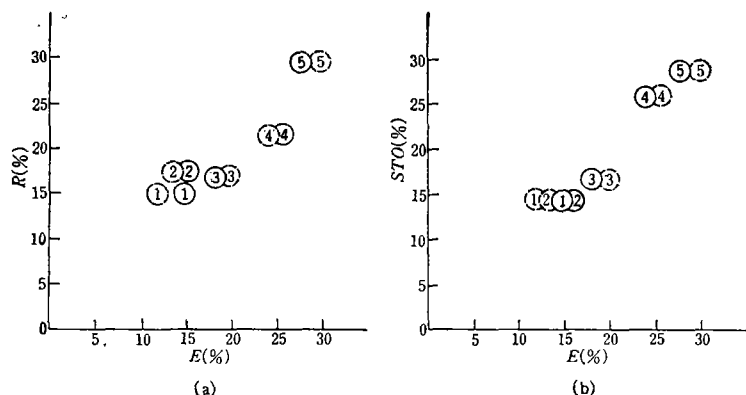


图 2 1904—1953 年期间, 五个太阳黑子周内的平均黑子数、磁暴数与地震数的百分率相关

(a) 黑子与地震的相关 (b) 磁暴与地震的相关

①1904—1912 ②1913—1922 ③1923—1932 ④1933—1943 ⑤1944—1953

Fig. 2 Correlation between the average percentage of sunspots, magnetic storms and earthquakes for the five solar cycles from 1904 through 1953

(a) The reation between sunspots and earthquakes (b) The relation between magnetic storms and earthquakes

1) 全球 7 级以上地震目录, 国家地震局汇编。

2. 从逐月变化的趋势考察太阳黑子, 磁暴与地震活动的关系。我们计算出该时期三种资料每月的总平均值, 求其五十年的平均年变化 (该五十年的平均年变化, 在求相关系数时是作为一闭合周期函数值来使用的, 即十二月以后的延伸, 仍是前面的一, 二……月)。以此求出各月太阳黑子数与地震数对应的和逐一超前的相关系数。($R_i - E_i$)₁ 表示各月对应的相关系数 (式中 R_i 为各月平均黑子数, E_i 为各月平均地震数), ($R_i - E_{i+1}$)₂ 表示黑子超前一个月的相关系数, ($R_i - E_{i+2}$)₃ 表示黑子超前二个月的相关系数, 余类推 [结果见图 3, (a)]。

用同样方法求得了磁暴与地震的交叉相关系数 [见图 3, (b)]。

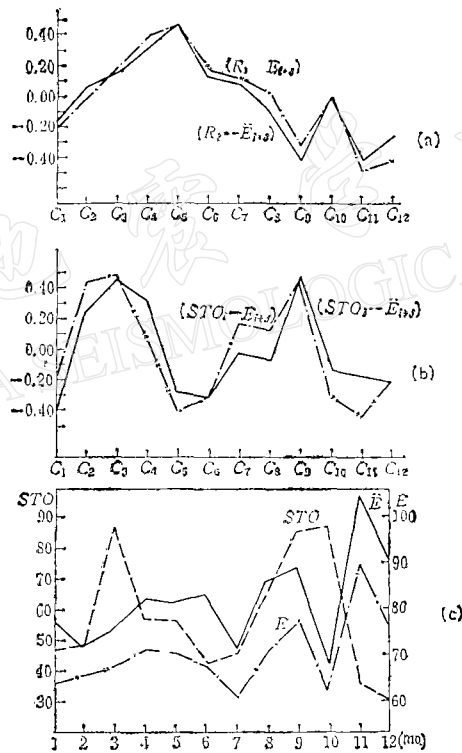


图 3

- (a) 1904—1953 年所得黑子数与地震数的每月平均值所算得的交叉相关系数, C_1 为各月对应的归一相关系数, C_2 为黑子超前一个月的相关系数, 余类推。
 (b) 同时期、同方法所得出的磁暴与地震的相关系数, C_1 表示 $(STO - E)_1$, C_2 表示 $(STO - E)_{i+1}$, 等等。
 (c) 磁暴与地震的季节分布。实线为地震按震级加权后的结果。

Fig. 3 (a) The cross-correlation coefficient between the monthly average number of sunspots and earthquakes during 1904—1953, in which C_1 is that for the same month, C_2 is that for one month lag, and so on.
 (b) A similar curve for magnetic storms and earthquakes
 (c) The seasonal distribution of magnetic storms and earthquakes. (Solid line is result weighted by the magnitude of earthquakes)

从图 3 (a) 看到, 黑子与地震的相关系数, ($R_i - E_{i+4}$)₅ 和 ($R_i - E_{i+3}$)₄ 二项最大, 分

别为 0.47 (0.47) 和 0.41 (0.35), 这表明太阳黑子对地震现象的影响, 如象太阳黑子对地磁活动的影响有数天的滞后现象一样^[7], 也存在一种滞后现象, 只是这种滞后现象却长达数月(三个月左右)之久。

磁暴与地震的相关方面, $(STO_i - E_{i+2})_3$ 和 $(STO_i - E_{i+1})_2$ 这二项的系数最大, 各为 0.50 (0.46) 和 0.45 [加权后的次极大在 $(STO_i - E_{i+3})_4$ 上], 也存在一个与前者稍短一些的滞后现象(滞后 1—3 个月)。值得注意的是, 在该计算中 $(STO_i - E_{i+2})_3$ 与 $(STO_i - E_{i+8})_9$ 二项相关系数各为 0.50 (0.46) 与 0.46 (0.49), 在十二个系数中恰是最显著的二个峰值[图 3, (b)]。如果这不是偶然因素所致, 则这结果是很有意义的。我们知道磁暴有明显的季节分布, 一般在三、九月份出现磁暴最多^[7]。如果磁暴能触发地震, 按此推论, 地震也应该有与此类似的季节分布倾向。而 $(STO_i - E_{i+2})_3$ 和 $(STO_i - E_{i+8})_9$ 这二个显著峰值的出现, 正好表明这种倾向的可能存在, 即地震分布频率也有类似的季节分布, 只是由于滞后效应使峰值不在三、九月, 而应该延迟发生在五月和十一月附近。下一项补充统计表明, 其结果基本上符合这一根据相关系数的推论[见图 3, (c)], 特别在十一月份, 地震分布的峰值是相当显著的。

上述各项按地震震级加权后计算的结果(粗线条或括号内数据)与原计算结果趋势基本一致, 只在图 3 (b) 上三、九月份的二峰值更为显得突出。

3. 从选择实例作迭加统计分析太阳黑子、磁暴与地震的关系。我们选取每年黑子数较大的月份(共选出 204 例。在选择上因每年黑子数差异很大, 故各年选出的月份数目有所增减。若一年中黑子数 R 有大于 100 的月份, 则选出这一年中较大的六个月; $50 \leq R \leq 100$ 时, 选出四个月; $10 \leq R \leq 50$ 时选出两个月; $R < 10$ 时只选一个月)为零月作其前(两个月)后(七个月), 共十个月的地震分布统计。从图 4 (a) 上可见, 在 +6 月上相对平均差值有最显著的峰值出现(+5 月上差值亦较显著), 虽然在负的月份的位置上亦有较显著的差值。

我们又对磁暴发生的月份作了类似的统计。(b) 为有大磁暴或两次以上磁暴的月份(188 例); (c) 为有中等磁暴发生的月份(180 例); (d) 为凡有磁暴发生的月份(368 例, 即 (b), (c) 的合并)。E 为一年中选出三、九月份作为零月所作的统计(因这二个时期一般是一年中磁扰最活跃的时期)。统计结果表明, 在 +6 月位置上, 图 (b) 和图 (d) 都有最显著的峰值出现 [(c) 和 (e) 在该位置上出现的不是主要的, 但仍是明显的峰值]。其次是在 +2—+4 月的位置上, 差值都有显著的增大, 有的出现最大峰值(e), 有的接近最大峰值 [(b), (c), (d)]。再其次在零月位置上, (c) 出现有最大的峰值, (d) 和 (e) 出现有较显著的峰值。这些结果与上述 (a) 有类似的地方。这些结果表明, 磁暴触发地震有滞后的效应, 且这滞后时间的频带是较宽的(据交叉相关系数的计算主要在滞后 1—3 个月的范围内, 据时间迭加的计算为 2—4 个月的范围内, 自然并不排除更长滞后时间存在的可能性); 此外也还有几乎同时的效应存在(即滞后时间很短), 如在零月位置上出现峰值; 这一效应还可参阅文献[3]。我们认为 +6 月位置上的最显著峰值, 主要不是滞后的效应, 而是同时效应在统计上的反映, 因三月至九月或九月至下一年三月都相距六个月。上述 (b)—(e) 曲线的特征的一致性还不是太确切的, 这可能与统计所取实例不够多有关。

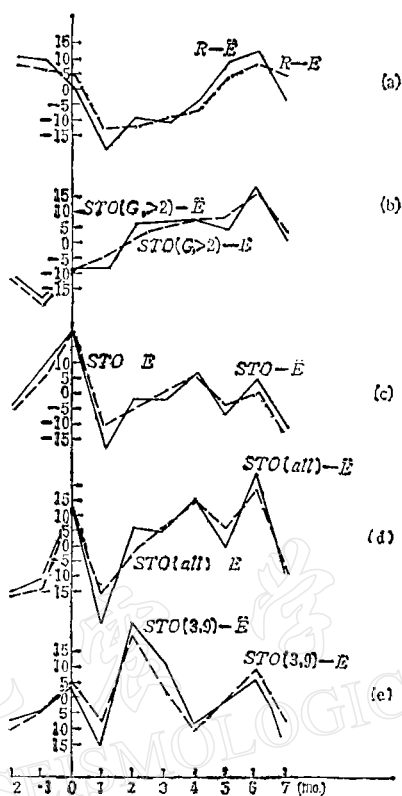


图 4 黑子、磁暴与地震关系的迭加统计

- (a) 每年黑子数大的月份作为零月,其前后共十个月的地震分布(%)
 (b) 有大磁暴或磁暴出现两次以上的月份为零月的前后各月的地震分布
 (c) 有中、小磁暴的月份为零月其前后的地震分布
 (d) 凡有磁暴的全部月份为零月其前后的地震分布
 (e) 一年中三、九月份为零月的前后各月的地震分布(其中实线为地震按震级加权处理后的结果)

Fig. 4 Superposed-epoch results for the distribution of earthquakes covering ten months round the following key months

- (a) Month with large sunspot number
 (b) Month with one large storm or more small
 (c) Month with moderate or small magnetic storms
 (d) All month with any magnetic storm
 (e) March or September. (Solid curves refer to the results weighted by the magnitude of earthquakes)

4. 地震发生多的年份与太阳黑子位相之间的关系,以及与磁暴逐年分布之间的关系。许多作者在探讨太阳黑子与地震的关系时,都注意到地震发生频率与太阳黑子周期位相之间的关系。各作者所用资料的时期与地区的差异,其结果亦不尽相同,但一般认为,在太阳黑子极大、极小及其附近的年份,以及太阳黑子周下降位相时期的年份,地震发生的频率较多^[4]。我们以全球五十年的 7 级以上地震资料,对该问题作了详细的分析。把每一太阳黑子周期中,地震发生频率最高的一年与太阳黑子不同位相(除极大、极小外,把上升相位与下降相位再细分为上、中、下三部分)以及与磁暴逐年分布之间的相关作了分析,

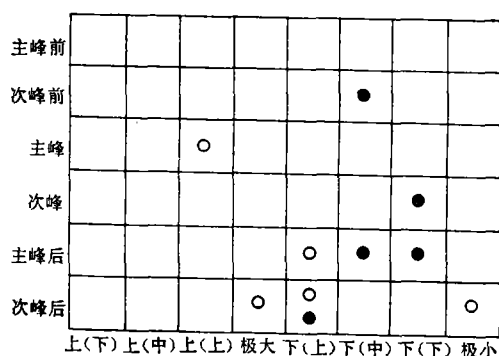


图 5 1904—1953 年期间各太阳黑子周中(共分五个周期),地震最多年与次多年的分布,其与太阳黑子周的位相以及与相应磁暴分布的关系

●——黑子周中地震最多的年份 ○——黑子周中地震次多的年份

Fig. 5 Distribution of the highest (solid circle) and next high (open circle) earthquake peaks in the solar cycles and corresponding cycles of magnetic storms

结果如图 5 所示。图上清楚地表明,各太阳黑子周中,地震发生最多的年份(标以●)全部(100%)发生在下降位相上,次多的年份(标以○)大部分(60%)在下降位相上又集中在下,中部分。这一结果有力地支持了地震最频繁的年份出现在下降位相上的结论。而与磁暴的关系上,这些年份峰值(主峰和次峰)的大部分(70%)不是发生在磁暴最多的年份,而是在磁暴频率分布曲线主、次峰值年之后若干年(图 5, 详见图 1)。如果这也是一种滞后效应的效果,则这种长达数十年之久的“滞后效应”是令人迷惑的,但这样长的滞后效应确有作者议论过^[2]。

三、讨论与结论

磁暴对地震的触发效应是存在的,但交叉相关法与时间迭加法所算得的两种结果不是很一致的,后者不仅有近乎同时的效应,而且在滞后的效应方面的迟后时间亦较前者长一些。一般说,以交叉相关所算得的结果是比较可信的,因时间迭加法的结果常常包含有较多的偶然因素,只有资料充分多时,才能消除这些因素,突出其基本性质来。

综合上述工作可初步得出如下几点结论:

1. 磁暴对地震的触发效应较之太阳黑子的效应更为显著。根据是:(1)太阳黑子、磁暴对地震的相关性,从多方面统计,前者要小于后者(见表 1);(2)太阳黑子周期内地震最多的年份常发生在黑子下降相位期间,即发生在太阳黑子已经衰变而地磁活动最活跃最持久(不是最强烈)的时期^[7];(3)地震频率的季节分布在统计上有类似磁暴季节分布的倾向存在。

2. 太阳活动,磁暴对地震的触发作用存在有一个滞后效应带,前者为 3—4 个月,后者为 1—3 个月。除此之外,还出现有近乎同时性的效应。

以上两点结论对地震预报工作可能有些参考意义。但这些结论是在有限的资料中得出的,不一定已具有较普遍的意义,还须以更多的资料进行检验与补充。

于一条。例如,热导率单位“瓦特每米开尔文”的符号和中文符号分别是“W/(m·K)”和“瓦/(米·开)”,而不是“W/m/K”和“瓦/米/开”。

4) 分子无量纲而分母有量纲时,一般不用分式而用负数幂的形式。例如,波数单位的符号和中文符号用“m⁻¹”和“米⁻¹”,一般不用“1/m”和“1/米”。

(6) 科技书刊使用的单位和词头,一般宜采用符号。如“m”,“kg”,“s”等。科普书刊中使用的单位和词头,大多采用中文符号。如“米”、“千克”、“秒”等。

附表 1 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号	所表示的因数	词头名称	词头符号
10 ¹⁸	艾[可萨]	E	10 ⁻¹	分	d
10 ¹⁵	拍[它]	P	10 ⁻²	厘	c
10 ¹²	太[拉]	T	10 ⁻³	毫	m
10 ⁹	吉[咖]	G	10 ⁻⁶	微	μ
10 ⁶	兆	M	10 ⁻⁹	纳[诺]	n
10 ³	千	k	10 ⁻¹²	皮[可]	p
10 ²	百	h	10 ⁻¹⁵	飞[母托]	f
10 ¹	十	da	10 ⁻¹⁸	阿[托]	a