

地球自转速度变化在地震预报中的地位初探

高建国 吕大炯

(中国科学院物理研究所)

摘 要

本文计算了地球自转速度季节性变化与全球强震季节性频度曲线的相关性, 相关系数与震级有关, 并发现强震频度的纬度分布与离心力大小有关, 从而可能找到地球自转触发地震的某些依据。并用地下水异常、激光锁相应变仪测到的地震前兆, 分析了地球自转短周期与地震的关系。

一、触发模式的统计特征

1. 地震目录的演变和资料选取 古登堡和里克特在1954年首次整理出版了1904年—1952年全球地震目录^[2], 但目录中1904年—1917年的起始震级为7 $\frac{3}{4}$ 级, 不能满足地震研究的需要。虽然1918年以后某些起始震级降到5 $\frac{1}{4}$ 级, 但是地震次数仍不能提高很多。因此, 我们认为古一里6级地震目录是不完备的。但7级以上地震年频度是可取的。古登堡于1956年又发表了1896年—1963年地震目录^[4], 1917年以前起始震级仍为7 $\frac{3}{4}$ 级。1965年杜达发表的目录是将1897年—1964年各种目录连贯起来, 但早期的起始震级未有改进^[5]。1978年金森博雄提出测定震级时的震级饱和现象, 用地震矩 M_0 重新探讨了1897年—1903年期间的巨大地震震级问题。

日本东京天文台编纂的《理科年表》(1978)将1900年—1917年的起始震级定到7.0级^[6], 但是同一地震采用了各种目录中最大的那个震级, 并且对日本附近的地震一律用两个相差0.5级的震级表示, 看来是它的不足之处。若采纳大的那个震级, 日本附近的与全球的七级以上地震频度比以后的大得多, 而且与古登堡关系式 $\log N = a - bM$ 也不符合。将日本附近地震震级取大小震级的平均值, 这种情况就得到改善。本文在该段时间内采用的目录正是经过这样改动的。1897年—1899年的7.0—7.7级地震取自《关于1800年—1899年世界 $M \geq 6.5$ 级历史地震目录的编制》一文。1918年以后的目录取自天津市地震局预报室编《世界大地震简目(1904年—1977年6月)》, 以及地球物理所编《中国地震仪器记录资料汇编》、《地震速报目录》等资料。

2.地震月频度与地球自转速率月变化的关系 笔者统计了1920年—1978年地震月频度与地球自转速率月变化的关系^[7],发现当震级小时,两者的相关系数R大,随着震级增大,R变小。所建立的M—R关系式经过趋势检验是显著的。以下用1897年—1980年资料作类似的计算。

将地震按震级和发生月份统计,並顺同月份按最小平方曲线拟合平滑法

$$x_{i,j}^{*} = \frac{-3}{35} x_{i,j-0.2} + \frac{12}{35} x_{i,j-0.1} + \frac{17}{35} x_{i,j} + \frac{12}{35} x_{i,j+0.1} + \frac{-3}{35} x_{i,j+0.2} \quad (1)$$

和顺同震级按三点简单平滑法

$$x_{i,j}^{**} = \frac{1}{3} (x_{i-1,j}^{*} + x_{i,j}^{*} + x_{i+1,j}^{*}) \quad (2)$$

平滑后,与地球自转月变化值作相关计算,得到一组相关系数值,见表1。

表1 地震震级和自转速率相关系数 $R_i \times 10^{-4}$

M	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1
R_i	4709	5693	4413	5598	4493	0484	0905	2667	3418	1768	-3525	-6016

经过趋势检验,趋势值 $t = -2.312$,显然其绝对值大于由查表得到的理论值 $t_{0.05} = 2.145$ ^[8]。所以在显著性水平0.05时,地震频度和地球自转的相关系数随地震震级变化的趋势是显著的。

需要说明的是,第一,震级在8.2级或8.2级以上者,由于次数很少,序列中不少元素出现“0”值,故不参加统计。若作为一种综合效果处理,将震级8.1—8.7合并成一类参加统计,结果也是类似的。第二,由于目前震级系统的不完备,震级可能出现0.2—0.3甚至0.3—0.4级误差,这已在最小平方曲线拟合平滑公式(1)中予以考虑,导致最后得到的地震序列每个元素都经过步长为0.5级的滑动,所以表1结果是一种滑动震级效应。再则若只作震级尾数为0、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、0的统计,结果也是类似的。

虽然本文用的资料年数为84年,比参考文献^[7]用的59年长了42%,但也得到比较一致的结果,说明了两者的关系的稳定性。这个结果有利于地球自转触发地震的模式。

3. 离心力与地震频度的关系

地震在地球纬度上的分布 根据地球自转离心力变化量随地球纬度减小而增大,从而可能触发地震的原理,参考文献^[7]统计了1920年—1978年地震在地球纬度上的分布,发现地震频度随着纬度的减小而增加,反之亦然。现在将统计时区加长(1897年—1980年),为克服按纬度划分的误差,作三点简单平滑,所得结果见图1,地震频度和地球纬度之间的相关系数 $R = -0.8361$ 是较高的。

当将起始震级取为6.0级,将日本东京天文台《理科年表》中1970年—1976年6级以上的858次地震作随地球纬度分析,得到与图1类似结果。顺便指出,地球上的火山分布及新星在银河系中的分布,笔者都曾分析得到与地震类似的结果。

纬度分析的改进 我们注意到各纬度相差 1° 所包含的地表面积 $A(\phi)$ 是不相同的,可

用梯形面积公式表示

$$A(\phi) = 360 \cdot 111 \cdot \frac{1}{2} [\text{经度}(\phi) + \text{经度}(\phi + 1)] \text{公里}^2 \quad (3)$$

其中经度 $(\phi) = 111.4133 \cos \phi - 0.0935 \cos 3\phi + 0.0001 \cos 5\phi$ 公里为 1° 经度之长度。而式中111表示 1° 纬度的平均长度。

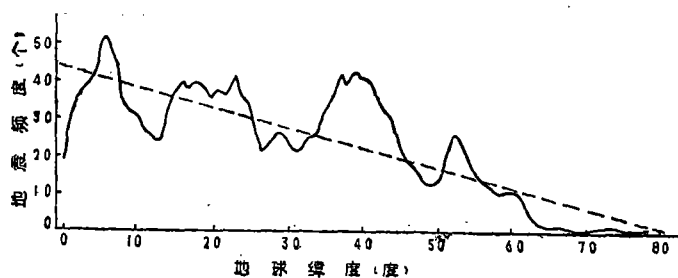


图1 全球七级以上地震频度随地球纬度的分布图
(1897—1980) ----趋势线

随着纬度的增高, $A(\phi)$ 逐渐减小, 纬度在 0° — 1° 间的面积约是 89° — 90° 间的面积的113倍。所以在统计地震频度随纬度分布时, 应当考虑 $A(\phi)$ 这一“面积因子”。经过“面积因子”修正后的地震频度随纬度分布残差值 $N^*(\phi)$ 为:

$$N^*(\phi) = N(\phi) - 2\lambda A(\phi) \quad (4)$$

其中 $N(\phi)$ 是地震频度纬度分布原始值, λ 为面积因子系数, $\lambda = \text{地震总频度} / \text{全球总面积}$ 。对 $N^*(\phi)$ 作趋势检验, 得到 $t = -5.098$, 绝对值大于 $t_{0.05} = 1.991$ 。这里统计了1918年—1978年全球七级以上地震频度的纬度分布, 也是显著的。

按不同震级统计地震频度的纬度分布 这里运用第2小节里统计月令分布的不同震级的方法, 分别估计它们的纬度分布。由于高于纬度 60° 时, 各个震级序列中的元素大多为“0”, 故只统计 60° 以内的纬度区域。将各个震级序列分别与纬度作相关计算, 得到表2结果。

各种震级分布和地球纬度相关系数 $R_i \times 10^{-4}$

表2

M	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1—8.5
R_i	-4441	-3030	-3417	-3780	-2039	-4707	-1951	-2758	-0822	-3629	-0583	0169

对 $M-R_i$ 作趋势检验, 得到趋势值 $t = 4.80$, 大于理论值 $t_{0.05} = 2.145$, 说明趋势显著。(这里的统计时区是1918年—1979年)。

4. 地球自转总趋势和八级地震的关系 文献[9]认为1920年海原8.5级地震和1897年印度阿萨姆8.5级地震是在地球自转速率变化较大, 即日长曲线的“腰部”发震的, 从而启发我们探索地球自转总趋势和八级地震的关系。当把十九世纪全球八级以上地震的震级与时间关系图和地球自转日长曲线及太阳黑子作一对照时, 发现在地球自转极小值(即加速度为零和太阳黑子高峰年附近)的多数情况下, 八级以上地震明显缺少。二十世纪前八十年的情况也相类似。这意味着当地球自转加速度不为零的情况下, 地球上各大板块的巨大应力相应地增

强,促使巨大地震接二连三成群发生。加速度为零时,这种应力大为减小,不利于巨大地震的成群发生。

5. Chandler 周期 Chandler 发现,地球自转轴除了周年变化外,还有一个14个月左右的周期。这个周期被称为“Chandler 周期”。笔者运用最大熵谱技术,通过对1928年7月—1978年6月间四段时间的全球七级以上强震累积能量距平值的计算,证实了地震周期中也存在周年项和Chandler项(图2)。

取样间隔为一个月。阶数 $P = 75$, 为资料长度的50%。

这一结果虽然无助于大地震激励极移,还是极移触发大地震的识别,但是从地震能量序列分离出周年项和Chandler项,进一步证实了地球自转和地震的密切关系。

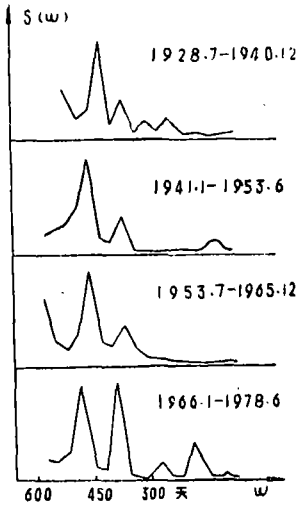


图2 地震累积能量最大熵谱

二、触发模式的某些应用

1. 地球自转速率中的短周期项 郑大伟^[10]用最大熵谱方法分析了安置在南京、北京、武昌、上海的我国测时系统中六架仪器所观测的三年资料,从谱密度中分辨出有111、98、61、48、38、33和30天的短周期。其中48天的幅度最大,111天次之。这个结果与 Guinot 采用国际时间局BIH安置在全世界各地的五十多架仪器的七年资料,用自相关功率谱方法分辨出的世界时短周期相近,他找到122、107、96、79、63和30天的周期^[11]。在五年多的地

震预测预报和地震研究的实践中,使我们逐渐认识到上述某些短周期与地震前兆出现到地震发震间隔非常接近,并可引出某些有意义的结果。

2. 地震和地球自转在短周期方面的三个证据

地震对地球自转的滞后时间 运用1970年1月—1979年9月世界时 UT_1 和 UT_2 , 取样间隔1个月,以及同期全球地震能量的距平值,采用互相关计算公式

$$\rho(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} \overline{x_i} \overline{y_{i+\tau}}$$

$$\rho(-\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} \overline{x_{i+\tau}} \overline{y_i} \quad (5)$$

$$\overline{x_i} = \frac{x_i - \overline{x}}{S_x}, \quad \overline{y_i} = \frac{y_i - \overline{y}}{S_y}$$

其中 $\tau = 0, 1, \dots, m$, m 是最大滞后数, $\overline{x}$, $\overline{y}$ 是均值,引入方差 S_x 、 S_y 为使函数归一化。

计算 $UT_2 - \Sigma E$, $UT_1 - \Sigma E$ 结果见图3。 $\tau = 3$ 是两个 $\rho(\tau)$ 的极大值,说明地震滞后于

UT₂、UT₁三个月。在UT₂-ΣE图上,
τ=1、2、3、4个月时ρ(τ)大于所有值。两曲线在τ=30个月时ρ(τ)均出现负极值。其机制还不清楚。

地震和地球自转的滑动相关 图4
(a)是UT₂和ΣE序列图,除头尾两段外UT₂与三个月后的ΣE对应较好。两者相关系数R=0.2315,大于理论值(R_{0.05}=0.19)。按峰谷、升降的对应,可找到70对,占总数的63%。若考虑τ=1、2、4月,能进一步改进。

运用滑动相关公式

$$R_j = \frac{\sum_{i=j}^{m+j} x_i y_i - \frac{1}{m} \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(\sum x_i^2 - \frac{1}{m} (\sum x_i)^2) [\sum y_i^2 - \frac{1}{m} (\sum y_i)^2]}} \quad (6)$$

$j = 1, 2, \dots, n - m$

提供地震和地球自转的某些细节,取m=36、48、60,当资料长度m为60个月时,所有滑动相关系数全大于0.10(图4)。

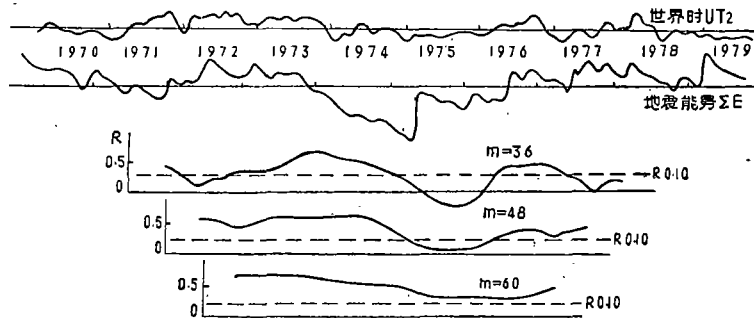


图4 世界时UT₂和三个月后的全球地震能量距平值ΣE的滑动相关图

相应地作日长和地震应变距平值以及滑动相关曲线,时间取1897年—1978年,当时间长度m=65年时全段相关系数绝对值大于0.10。由于日长和世界时符号相反,故两者相关系数符号也相反。

八级地震的不等间距时间分析 运用不等间距时间分析,对1897年—1978年八级地震发生时间作时差间距的累积计算,并扣除其背景值,得到20天、28天、45天、71天、100天、112天、282天、398天、16.5月、1.9年、2.7年、3.4年、4.3年、8.7年和77.2年等15个明显优势周期,其中12个可以与天文动力学周期对应*。在短周期方面,28天、45天、100天和112

*高建国、郭履灿,地球自转速率不均匀性对于触发地震的两个可能证据,1981,

天,尤其是后三者与天文动力学周期对应较好。

3. 地球自转短周期应用

地下水异常与地震的时间间隔 由于地下水的难压缩性,在震前岩石压力发生变化时,就会引起这些充满于裂隙、孔隙而又具有一定封闭条件的水位变化。唐山大震前,震中及周围地区的深井水位都发生了异常变化。尤其在1976年4月变化最大,离发震大约三个半月。唐山震中地区的水位在1976年4月份是上升的,其余所有井水位是下降的。唐山地区水位的相对上升并不能用开采和降水等干扰因素来解释*,因为当时唐山地区的开采量是增加的,而降雨量又低于正常年份约100毫米左右,所以只能从地壳应力变化来考虑。是否由于地球自转速率短周期111天所触发,是值得探讨的。

井孔是含水层的测压管,水位反应了含水层内压力大小,而且由于含水层截面比井孔截面大得多,致使水位具有放大作用。自然,这些现象都需考虑噪声背景的影响。秦保燕等(1979)用层间解缚模式解释孕震区临震时水位上升现象,认为临震前孕震层在重力作用下的小幅度向下挠曲将使震中地势变低,同时该处地层上部会受到挤压。因此震中区和其附近一定范围内地下水位多为上升,外围地区地下水将下降^[12]。朱令人也认为临震前由于蠕滑加速,微裂隙闭合,产生较高的孔隙压力,逐使(震中)水位急速上升^[13]。我们认为这些解释也适用于短期异常。在震前三个多月,究竟有一股什么样的力量,致使这些纵横相距数百公里,而在地质构造、岩性、水文地质、地球物理、地球化学等情况存在很大差异的地下水位异常,在时间上同步、形态上又一致的呢?笔者认为这股力量来自地球自转速率变化。将北京塔院井、天津白塘口井水位扣除干扰后的残差与同期50公里内大于3.5级地震的震中距序列作相关计算,得到后者对前者的时间延迟分别为 112 ± 3.5 天、 98 ± 3.5 天和 110 ± 5 天、 100 ± 5 天(图5)。这与郑大伟得到的世界时短周期111天、98天,Guinot的107天、96天基本上是一致的。

地应变预位移和地震的时间间隔 1926年,苏联维尔霍夫斯基和英国郎克发现二块耦合

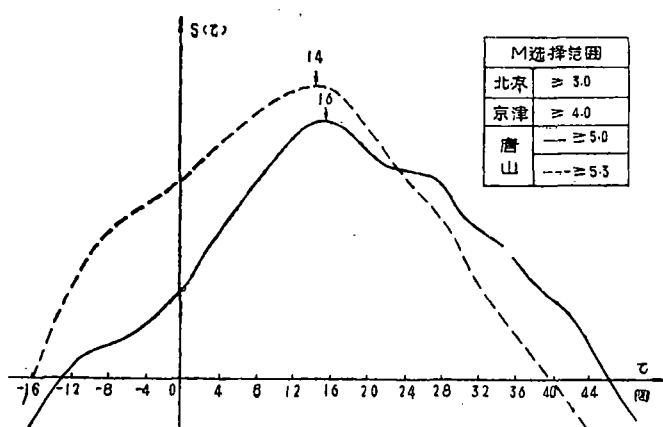


图5(a) 北京塔院井水位与震中距互相关曲线

• 河北省地质局水文地质大队唐山观测站,唐山大震及强余震前水位变化,1979。

着的物体在相对突然滑动前, 有缓慢的位移发生, 故称预位移。1971年郭增建等首先将它用于地震前兆的解释上^[14]。但在野外应变仪上至今还没有系统地观测到。

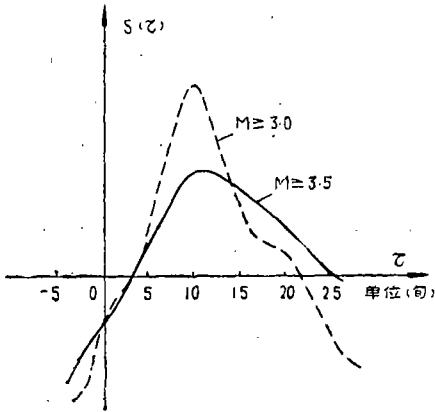


图5(b) 天津白塘口井水位与震中距互相关曲线

常作了震前预报。异常间隔在十个小时以内的预位移, 方向向上, 往往对应近震、中强震和小震。

这一波形用震源时间函数中的斜坡函数是比较合适的^[16]。对斜坡函数的描述与预位移的情况相似, 哈斯克尔(1964)从斜坡函数推出地震波能量公式^[17]:

$$E_s = \frac{3.014\rho\beta W^2 D^2}{4\pi T} \quad (7)$$

其中 T 是斜坡函数中的上升时间, 用来讨论预位移即断层面上某点完成预位移的时间。 ρ 为岩石介质密度, W 为断层面密度, D 为断层面平均错动幅度, β 为横波速度, 用 $\beta \approx 4$ 公里/秒代入得到:

$$E_s \approx \frac{\rho W^2 D^2}{T} \quad (8)$$

当 T 很大时, 发射长周期波的成份增多, 但发射弹性波的能量变小。不过, 地壳和上地幔介质的松弛时间一般不是太小, 所以对于预位移引起的长周期波来说, 吸收不大, 它可以传播很远。况且震级大时预位移也大。这就解释了象离测

在唐山大震后我们分别在北京郊区密云和阳坊的山洞里, 安置了高精度激光锁相应变仪, 除了应用突变前兆进行临震预报^[15]外, 还记录到慢变波形。图6是其中一部分扣除气压扰动后的波形。

这些异常的一个共同特点是, 异常完成后的 $46\text{天} \pm 2$ 天内, 往往会发生地震。一般500公里以外的远震震级在6级以上, 200公里范围内震级在5级以上, 地方震3到4级, 更近为2级。异常方向向下, 间隔时间长的(一天以上到3、4天)往往对应远震, 近处大震也符合此条件, 但幅度超过远震预位移的十数倍。如已记录到唐山两个六级余震的预位移, 我们曾据此并参考其他异

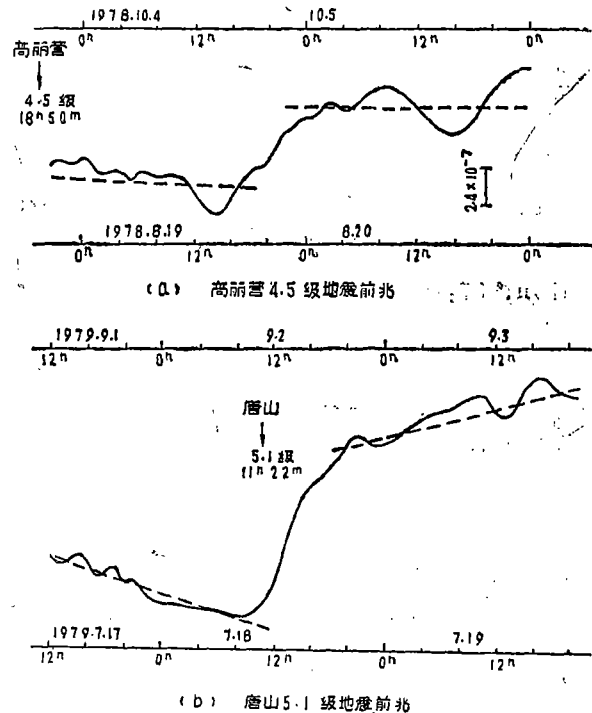


图6 一些地震前的预位移现象

(下轴为曲线记录时间, 上轴为地震预报时间, 虚线为正常趋势线)

点数万公里远的哥伦比亚大地震所产生的预位移也能记录到的现象。

从产生预位移时间到发震时间为 46 ± 2 天,与郑大伟分析地球自转短周期中的48天接近,它在谱图中是幅度最大的一个周期。Guinot 运用全球台站资料分析所得的谱图上,只有一个刚刚能够分辨的44天周期与48天相接近。据了解这个周期至今尚未找到天文学上的解释,但它却是客观存在的。基于Guinot计算时并未利用我国的测时资料,而测时系统有可能受到仪器所在地区振动频率的调制,再则笔者所分析的全球八级地震不等间距时间序列中45天优势周期的幅度也不大,因此我们猜测,这个48天的周期有可能是中国大陆板块的一个本征频率或者与中国板块有关联的一个频率。

地球的岩石圈被中洋脊、转换断层和俯冲带或地缝合线割裂,形成六大板块及一些小板块。板块是在变化着运动着的,其速度也各不相同。例如控制我国大陆板块的北冰洋、印度洋和太平洋中的三个洋脊旋转系统,各自角速度分别为 6.0×10^{-7} 、 4.0×10^{-7} 和 2.8×10^{-7} 度/年。欧亚板块与美洲、非洲、澳大利亚板块之间的相对运动分别达1.5、2.1和5.1厘米/年(X·勒比雄,1968)〔18〕。板块的相互作用也是地震的基本成因之一,世界上绝大部分地震能量释放在板块的边界。无疑,地震的发生依赖于板块运动的速度和应力积累的速度〔19〕,因此两者是相互影响的。又由于板块边界的多样性——海岭、岛弧和转换大断层决定了板块之间相互作用的形式也是多样性的——张力、压力和切向力,故各板块运动的加速度也不相同。当然,中国大陆板块运动应当与其他板块运动一样,有着自身的本征频率,是否存在48天左右这样一个短周期,还需进一步研究证实。

(本文1980年6月9日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕张之孟,我国及邻区板内地震与板缘地震的关系,地震地质, Vol. 1, №. 3, 1979.
- 〔2〕Gutenberg, et al., Seismicity of the Earth, Princeton Univ. Press, 1954.
- 〔3〕Ba' th, M. & Duda, J., Some Aspects of Global Seismicity, 1979.
- 〔4〕Gutenberg, B., Great Earthquakes 1896—1903, Trans. Am. Geophys. Union, 37: 608—614, 1956.
- 〔5〕Duda, J., Secular Seismic Energy Release in the Circum-Pacific Belt, Tectonophysics, 2 (5), 409—452, 1965.
- 〔6〕日本东京天文台,理科年表,51册,地181—212, 1978.
- 〔7〕高建国,地球自转角速度变化触发地震的初步讨论,科学通报, Vol. 26, №. 5, 1981.
- 〔8〕中国科学院数学研究所概率统计室,常用数理统计表,科学出版社, 124, 1974.
- 〔9〕国家地震局兰州地震大队、宁夏回族自治区地震队, 1920年12月16日的海原大地震,地球物理学报, Vol. 19, №. 1, 1976.
- 〔10〕郑大伟,世界时中短周期项的分析,天文学报, Vol. 19, №. 1, 1978.
- 〔11〕Guinot, B., Astron. & Astrophys, 36, 1, 1974.
- 〔12〕秦保燕、郭增建,由地震时震中区的显著下沉讨论震源的底部条件,西北地震学报, Vol. 1, , №. 1, 1979.
- 〔13〕朱令人,震源模式、断层蠕滑和形变波的传播——源和场的初步探讨,西北地震学报,

Vol. 1, №. 1, 1979.

[14]兰州地震大队, 某些震源物理问题的讨论, 地震战线, №. 8, 1971.

[15]吕大炯、高建国, 突变前兆与临震预报, 地震研究, Vol. 2, №. 3, 1979.

[16]郭增建、秦保燕, 震源物理, 地震出版社, 1979.

[17]H. A. Haskell, Total Energy and Energy Spectral Density of Elastic Wave Radiation From Propagating Faults, B.S.S.A., Vol. 54, №. 6, 1811—1841, 1964.

[18]M. 巴特, 地震学引论, 地震出版社, 148—150, 1978.

[19]傅承义, 地球十讲, 科学出版社, 1976.

PRELIMINARY EXPLORATION ON POSITIONS OF VELOCITY VARIATION OF EARTH ROTATION IN EARTHQUAKE PREDICTION

Gao Jian-guo Lu Da-jiong

(*Institute of Physics, Academia Sinica*)

Abstract

In this paper, we have computed the correlation between the seasonal velocity variations of earth rotation and the seasonal frequent curves of strong earthquakes. The correlative coefficient is related to the earthquake magnitude. And we find that the latitude distribution of strong earthquakes relates to centrifugal force, hence we have found some evidence about earth rotation inducing earthquakes. We have also analysed the relation between short cycle of earth rotation and earthquakes, according to the anomaly of underground water and the forerunner of earthquakes measured by laser lock—paper strain instruments.