

月亮朔望月周期在气候变化中的响应⁽²⁰⁾

——一些动力学探讨及统计研究

黎伟标 薛凡炳

(中山大学大气科学系, 广州 510275)

摘 要 从非线性理论的观点出发,对月亮运动能否产生气候响应这一问题进行了初步的探讨.发现在一个振幅与月亮运动所能引起的量级相当的半月周期外强迫作用下,会使非线性准静止超长波系统产生锁频行为,锁频的条件与地形参数等因子有关.这一结果表明,月亮运动对大气系统的周期强迫,其量级虽然较小,但在地球上适当地区也可能产生重要的气候响应.另外,分析了华南地区若干测站的温度序列,发现它们的变化与月亮朔望周期系有显著的相关.因此,对某些地区的气候变化而言,月亮运动可能是一个非常重要的外部因子.

关键词 月亮朔望,周期,外强迫,锁频,气温序列,相关

分类号 P 458

月亮运动对气候的影响是一个仍在争议的问题.月亮的引力变化对地球系统中水圈和固体岩石圈的影响早已被众多的研究所证实^[1].某些研究还表明,月亮还对地磁活动产生影响.总之从整体到局部,从深部到浅部乃至表面,地球本体的各个部分均受到月亮引力变化的作用.本来,大气中的月—地关系问题甚至在潮汐理论建立之前就有人提出,但后来的研究基本上得出否定的结果^[2].近年来,不少学者对月—地关系进行了探讨^[3-5],发现大气中的降水、位势高度场变化乃至大气超长波的调整都与月亮轨道周期显著相关.而关于月—地关系物理机制的研究很少,且多偏重于月亮潮汐提供能量这个角度考虑.本文从非线性角度对月—地关系进行探讨.

1 弱半月周期外强迫作用下准静止超长波系统的锁频行为

短期气候变化或长期天气过程均主要由准静止超长波演变来决定.作者曾对一个包含地形作用以及热力、耗散效应的准静止超长波系统的非线性行为进行了初步的探讨^[6],发现在不同的参数条件下系统会表现出平衡态、周期吸引子及混沌行为.下面在该模式中加入一个周期为 15 d 的外源强迫,以探讨当外强迫的量级与月亮变化所引起的强迫量级相当时能否对超长波系统的行为产生影响.系统的基本方程如下^[6]:

$$\frac{d\tilde{x}}{dt} = a + a_2\tilde{y} + a_3\tilde{y}, \quad \frac{d\tilde{y}}{dt} = b\tilde{x}, \quad \frac{d\tilde{h}}{dt} = q + \frac{\partial q}{\partial x}\tilde{q} + \left(\frac{\partial q}{\partial y}\right)\tilde{y} - \tilde{h} \quad (1)$$

对 (1) 中的热源项附加一个周期外强迫,变成

$$\frac{dx}{dt} = a_1 + a_2 \tilde{y} + a_3 \tilde{y}, \quad \frac{dy}{dt} = b \tilde{x} \quad (2)$$

$$\frac{dh}{dt} = (q + Q_A \sin \frac{2ct}{15}) + (\frac{\partial q}{\partial x} + Q_A \sin \frac{2ct}{15}) \tilde{q} + (\frac{\partial q}{\partial y} + Q_A \sin \frac{2ct}{15}) \tilde{y} - \tilde{h}$$

$$(1) \text{和} (2) \text{中} \quad \tilde{h} = h'_{250} - h'_{750} + R\bar{T} \quad b = \frac{0.18}{fP_o} \ln \frac{P_o}{P_H} \frac{\partial P_H}{\partial x^2}$$

$$a_1 = - \left[\frac{0.91}{P_o f_o} \ln \frac{P_{H_0}}{P_o} P_{H_1} + \frac{U}{2f_o^2} + \frac{\sec^2 b}{2f_o a} \cdot \frac{1}{2} \sin(2b) \right] \cdot U_1 / \left[\frac{\sec^2 b}{2f_o a} \left(\frac{1}{a} - \frac{U}{2f_o} \sin(2b) \right) \right]$$

$$a_2 = - T \frac{\sec^2 b}{2f_o a} \left(\frac{1}{a} - \frac{U}{2f_o} \sin(2b) \right) \quad a_3 = \frac{\partial}{\partial y} (U_{500} - U_{250} + U_{750})$$

在文 [6] 的研究中, 给出了 (1) 出现混沌的判据. 为了对比 (1) 和 (2) 的行为, 选取一种 (1) 出现混沌的情况, 取

$$\frac{\partial P_H}{\partial x} = 10^{-6} \text{ hPa/m}, \quad \frac{\partial P_H}{\partial y} = -10^{-5} \text{ hPa/m};$$

$$q = 10^{-6} \text{ J/(g}^\circ \text{ s)}, \quad \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial q}{\partial y} = 10^{-9} \text{ J/(g}^\circ \text{ s}^\circ \text{ km)}$$

这些取值与实测资料的量级相当, 且 $\frac{\partial P_H}{\partial x} > 0$ 和 $\frac{\partial P_H}{\partial y} < 0$ 分别相当于高原东侧和南侧的情形.

在上述取值的情况下, 系统 (1) 表现为一怪吸引子 (图 1), 由图 1 可以看到, 相轨线投影在吸引域内作无规则运动, 混沌轨道把整个吸引域逐步填满. 在功率谱图上混沌运动则表现为许多尖峰及尖峰周围的噪声背景. 这种情况一旦出现, 超长波的行为将是无法预测的.

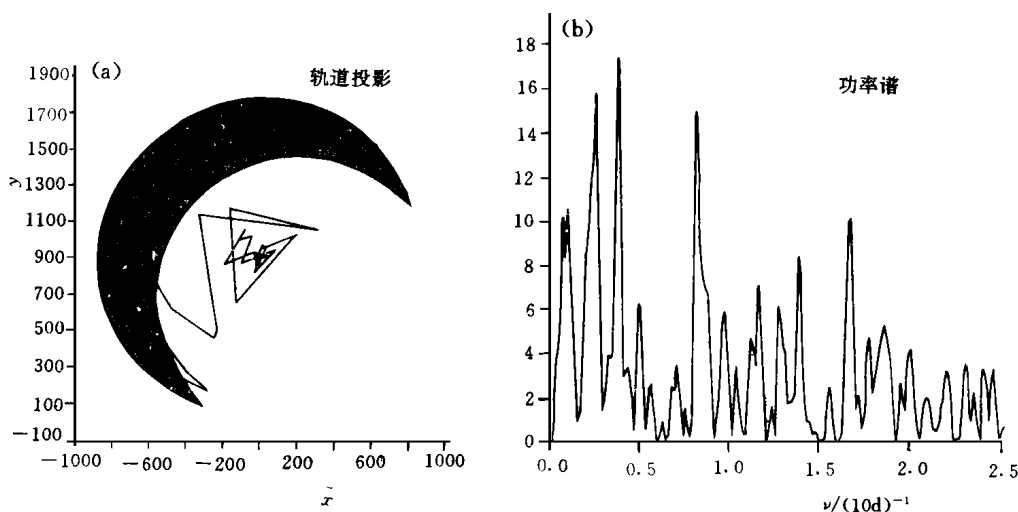


图 1 超长波系统的混沌行为

Fig. 1 Chaotic behavior of the ultra-long wave system

在其它参数取值与图 1 相同的情况下, 分别取外强迫的振幅 $Q_A = 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8} \text{ J/(g}^\circ \text{ s)}$, 这时系统 (2) 均表现出与混沌运动截然不同的锁频行为 (图 2). 当锁频现象发生时, 超长波的行为是可以预测的周期运动. 从图 2(a) 中的轨线投影在两点之间来回振动, 图 2(b) 的功率谱图上出现一个尖峰, 尖峰所对应的周期正好与外强迫周期相当. 因此, 在一定振幅范围的周期外强迫作用下, 超长波系统会由不可预测的混沌运动锁频到可预测的周期运动. 根据文献 [7] 的结果, 月亮潮汐所引起热力强迫的振幅量级约为 $(0.1 \sim 1.0) \times 10^{-6}$

$J/(\text{g}^\circ\text{s})$, 相当于大气非绝热加热率的 $1/10$, 正处在能引起锁频的外强迫振幅的范畴. 由此看来, 月亮运动引起的周期外强迫, 其量级虽小, 但仍然能引起超长波系统行为的根本性改变.

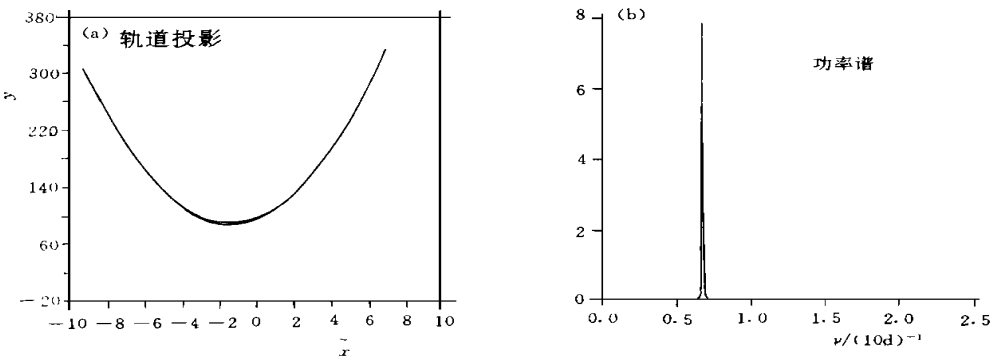


图 2 周期外强迫作用下超长波系统的锁频现象

Fig. 2 Frequency locking of the ultra-long wave system under the external periodic forcing

当 Q_A 大于 $10^{-5} J/(\text{g}^\circ\text{s})$ 或小于 $10^{-8} J/(\text{g}^\circ\text{s})$ 时, 系统 (2) 的锁频行为消失. 另外, 为了探讨锁频现象的发生是否具有一定的地域性, 我们在变换地形参数进行计算时发现, 如果 $\partial P_H / \partial x < 0$, 亦即位于高原西侧, 无论外强迫的振幅 Q_A 如何变化, 系统 (2) 均不出现上述的锁频现象. 由此可见, 月亮所产生的半月周期外强迫可能在高原东侧或南侧比较容易引起大气强烈的响应.

通过上述的探讨可知, 对于非线性系统, 即使一个很小的外部强迫, 在一定条件下经过非线性过程的放大, 也足以改变该系统的行为. 因此, 只有把大气作为一个复杂的非线性系统来考虑, 才能理解月亮引潮力这么弱小的信号会在地球大气中产生有天气意义的响应.

2 气温序列与月亮朔望周期系的相关

分析表明月亮的轨道周期运动会对地球的天气、气候产生影响, 而且它的影响有一定的地域性, 可能在高原东侧或南侧较为强烈. 根据广州、南宁、香港、澳门测站的月平均气温的演变, 分析它与月亮朔望周期系的相关. 资料的长度分别为: 南宁, 1901~ 1986 年; 广州, 1884~ 1986 年; 香港, 1884~ 1986 年; 澳门, 1901~ 1986 年. 南宁站为 12 月以及 1~ 4 月的气温, 其余 3 站均为 12 月份的平均气温.

如果半朔望周期确实存在于气候变化之中, 则必然受气候周年变化的影响. 因此要考虑半朔望周期的公倍数, 组成朔望周期系. 在 200 a 内误差小于 1 d (接近 1 d 者也略去) 的数字是: 19 (38, 57, 76), 72, 53, 34, 42, 23, 61, 49, 15, 80 a.

计算相关的方法和步骤 ① 计算逐年距平预测值 $d_z(t)$. 将 19, 38, 76, 72 a 前, …… 等朔望周期系中所有历史距平值加起来则为距平预测值 ② 计算 $d_z(t)$ 和逐年实际距平 $d(t)$ 的

相关系数:
$$R_i = \frac{\sum_{t=1}^n d_z(t) d(t)}{\left[\sum_{t=1}^n [d_z(t)]^2 \sum_{t=1}^n [d(t)]^2 \right]^{1/2}}$$

③ 按照 n 值即外推年数和相关系数 R_i , 即可求出相应的显著度.

计算结果见表 1.表中所计算的 8个序列中,有 5个序列与月亮朔望周期相关的置信度大于 95%,且所有 8个序列的相关系数均大于 0. 5,可以认为华南地区的气温与月亮朔望周期系的相关是显著的.

表 1 月平均气温与朔望周期系的相关

Tab. 1 Relationship between observed and estimated values of the mean monthly temperature of South China

地点	月份	序列长度	预测年数	相关状况	置信度	地点	月份	序列长度	预测年数	相关状况	置信度
广州	12	103	23	0. 59	99	南宁	1	86	6	0. 82	95
香港	12	103	23	0. 53	99	南宁	2	86	6	0. 78	95
澳门	12	86	6	0. 52	80	南宁	3	86	6	0. 91	99
南宁	12	86	6	0. 73	90	南宁	4	86	6	0. 52	< 80

文献 [4]中曾提及位于大西洋东岸的英格兰地区 1月和 7月平均气温序列与月亮周期没有明显的相关,而对位于太平洋西岸,青藏高原东南侧的华南地区的计算却有不同的结果,这确实表明,月亮对地球大气的影响存在很强的区域性.

3 结 论

- (1)一个弱的周期外强迫(量级与月亮引潮力作用相当)在一定条件下会使准静止超长波系统出现锁频行为,表明月亮因子可能通过复杂的非线性机制对地球大气产生深刻的影响.
- (2)月亮引潮力作为一个周期性外强迫因子对大气产生影响是有一定区域性和一定条件的,本文的初步结果表明,在高原东侧或南侧比较容易发生锁频行为.
- (3)温度序列的分析结果表明,华南地区的气温变化与月亮半朔望周期存在显著的相关.月亮因子对该地区气候变化的影响是不可忽略的.

参 考 文 献

1 芒克 W. H.地球自转.李启斌,李致森,张焕志,等译.北京: 科学出版社, 1976

2 Chapmanl S, Lindzen R S. Atmospheric Tides. New York Reides Dordrecht, Gordon and Breech, 1976

3 薛凡炳.一种可能的月地、日地关系机制和天文周期系.见: 天文气象学术讨论会文集.北京: 气象出版社, 1986

4 薛凡炳.月亮周期轨道与世界大河洪水.中山大学学报(自然科学版), 1988, 27(1): 21~ 27

5 任振球,张素琴.天体引潮力与大气超长波的调整.见: 天文气象学术讨论会文集.北京: 气象出版社, 1986

6 黎伟标,薛凡炳.非线性准静止 超长波的低频振荡及混沌特性.中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(5): 108~ 111

7 Susumu Kato. Dynamics of the upper atmosphere. Center for Academic Publications Japan /Tokyo-o. D Reidel Publishing Company, 1980

Climatic Responses to Syzygial Variability of the Moon
—— A Dynamical and Statistical Study

Li Weibiao^{} Xue Fanbing*

Abstract Untill today, it's still a debatable problem whether the motion of the moon can affect the climate on the earth. In this paper, nonlinear theories are used to study the mechanisms of the moon-earth relation. It is found that under an external forcing with a 15-day period frequency locking takes place in a nonlinear quasi-stationary ultra-long wave system. Conditions leading to the frequency locking are related to the topographic factor. Because the external forcing is equivalent to the tide-generating force of the moon, a conclusion can be drawn that the periodic forcing resulting from the motion of the moon can lead to remarkable climatic responses in certain regions on the earth. Moreover, results of correlation analysis between the serieses of the temperature and syzygial period show that the climatic variability over the south China is highly related to the moon.

Keywords syzygial period, external forcing, frequency locking, temperature series, relate

^{*} Department of Atomospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275