

# 极移和激发的研究

高布锡 雷小平

(中国科学院测量与地球物理所 武汉 430077)

## 摘 要

极移可分为长期极移、钱德勒摆动 (CW)、周年极移 (AN)、不规则极移和短周期极移。由于极移运动对不同频率的激发响应是不同的, 采用反卷积方法将极移序列进行了分离, 对各类极移运动与激发的关系作了对比研究。认为周年极移与激发是逐年不同的, 若能将它们逐年进行比较, 将会对气象模型提供更好的约束条件。不规则极移可能反映了地球上较大规模的异常气象现象。

关键词 激发 — 周年极移 — 不规则极移

分类号 P127

## 1 序 言

对极移运动的研究已经有 100 多年了, 至今仍有许多细节未能了解得很清楚, 其遇到的主要困难是: (1) 由于钱德勒摆动 (CW) 和周年极移 (AN) 的振幅及位相是不断变化的, 它们的频率十分接近, 采用谱分析方法很难将它们分离, 若采用较长时间资料, 所得谱分析结果将是所取资料时间的平均值, 因而很难对 CW 和 AN 的变化过程进行细致的研究。(2) 至今还不能详细和全面地了解全球大气, 海洋, 地下水和地壳运动的变化过程及其对地球角动量的贡献。(3) 极移对于不同频率激发的响应是不相同的, 由极移反演激发函数较为困难, 难以进行对比研究。

## 2 研究方法

空间大地测量技术的发展, 使地球自转参数 ( $LOD$  和  $X, Y$ ) 的测定精度已经分别好于  $0.1\text{ms}$  和  $1\text{mas}$ , 数据密度可以小于  $6\text{h}$ 。通过对全球环境变化的研究, 提出了许多很好的大气, 海洋和水分布变化等模型, 为研究极移运动与全球变化的关系提供了条件。

国家自然科学基金项目 (49904022) 资助项目 中国科学院重点资助项目

2001-02-27 收到

受迫极移对于不同频率激发的响应是不同的,对于长周期的激发作用,正向激发响应系数  $R^+$ 、 $R^-$  的绝对值都趋向于 1,说明极移能够很好地反映激发的长期作用。极移对短周期的激发作用很不敏感,周期为 1d 时,激发响应系数的值小于 0.0023,因此很难观测到周期短于 1d 的极移。对于周年激发,正向激发响应系数的值分别等于 5.355 和 0.4574。对于正向周年激发,极移振幅将增大 5 倍多,对于逆向的将减小到一半以下,因而 AN 是一个不固定的椭圆运动。根据极移对不同周期激发的不同响应,可以将极移分作五种分量,将瞬时极位置  $x(t)$ 、 $y(t)$  写为以下形式;

$$\begin{aligned} x(t) &= X_a + X_{cc} \cos \omega_c t + X_{cs} \sin \omega_c t + X_{ac} \cos \omega_a t + X_{as} \sin \omega_a t + X_{ir} + X_s \\ y(t) &= Y_a + Y_{cc} \cos \omega_c t + Y_{cs} \sin \omega_c t + Y_{ac} \cos \omega_a t + Y_{as} \sin \omega_a t + Y_{ir} + Y_s \end{aligned} \quad (1)$$

上式中,  $X_a$ ,  $Y_a$  为平均极移项,  $X_{ir}$ ,  $Y_{ir}$  为不规则极移,  $X_s$ ,  $Y_s$  为短周期极移,  $\omega_c$ ,  $\omega_a$  分别为 CW 和 AN 的圆频率。由于极移在 CW 和 AN 处有最大的谱能量分布,其它谱分量都很小,而且 CW 和 AN 的频率十分稳定。因此可以采用傅里叶分析反卷积方法<sup>[1]</sup>,将极移运动的 5 种不同分量很好地分开。对 IERS76-99 极移序列采用每 4yr 长度每 73d 滑动的方法,从 1976.0 到 2000.0,共得到了 100 组极移数据。先对每组数据消除均值项,再用反卷积方法求出 4 个分量的真实傅里叶谱。由于在某个频谱谱峰下的面积等于这个频谱的总谱能量,因此从真实傅里叶谱可求出 CW 和 AN 实部和虚部谱分量值。从而求得了对应于不同历元的极移参数(包含  $X_a$ ,  $Y_a$ ,  $X_{cc}$ ,  $X_{cs}$ ,  $X_{ac}$ ,  $X_{as}$ ,  $Y_{cc}$ ,  $Y_{cs}$ ,  $Y_{ac}$  和  $Y_{as}$ )。平均极位置是指每 4yr 计算 1461 个  $(X, Y)$  资料的平均值,经消除周期项后可求得长期极移。我们用极移参数计算了极移运动轨迹,并逐个与原始极移数据作了比较,可知当只考虑 CW 和 AN 平均极移时,极移计算位置  $(x, y)$  与观测位置  $(X, Y)$  之差可以小于 10mas。 $(X, Y) - (x, y)$  是只包含了不规则极移和短周期极移的极移序列。利用极移参数可以求得从 1978.0 直到 1998.0 的计算极移序列,从而可以求得只包含不规则极移和短周期极移的极移序列。以下分别讨论极移的 5 种不同分量与激发的关系。

### 3 对比研究

#### 3.1 长期极移

新老资料都证明了长期极移的存在,许多专家认为长期极移是由于冰后期回弹所引起的。质量分布的长期变化也可能引起长期极移,由于环境变迁引起的陆地水分布变化,可能比大气的长期变化有更大的贡献。

#### 3.2 周年极移

根据  $X$  和  $Y$  的 AN 谱分量振幅和位相随时间的变化,可以算出对所有地球物理效应(GEF)正向激发的两个分量  $F_1, F_2$ 。AN 是受迫极移,由于受到谱分析方法的限制,大多数学者一般是就多年的平均结果将 AN 和激发进行对比研究。大气压分布变化(NIB 或 IB)是最主要的激发因素,其它影响较大的因素是风(W)及水分布变化和运动(WAT)。大多数学者认为对于周期大于两个月的变化,反变气压计原理是适用的。全球水的影响

可以分成两部分, 其一是动力学的, 即海流及河流的影响。根据一般海流模型 (OGCM) 计算结果,  $F_1, F_2$  变化的数值分别为  $-2.29$  和  $0.42$  (单位是  $E-8$ )<sup>[2]</sup>。河流的激发是很小的。其二是海洋及陆地水的分布变化, 对此的计算结果存在较大分歧。由于反变气压计原理, 海面高度与大气压应该保持平衡, 若忽略风压对海面高度变化的影响, 则一般只须考虑陆地水的影响。采用 NMC 1958~1999 激发函数资料进行分析, 只考虑 W 和 IB 2 个序列, 仍取每 4 yr 长度每 73d 滑动, 从傅里叶频谱可知, 虽然只有一个周年周期主峰, 但主峰的位置并不固定, 其频谱分布也很复杂。为此采用傅里叶分析和回归方法以求得周年激发各分量。计算表明, 两种办法求得的结果十分接近。根据周年激发值, 可以得到对应于不同历元的正向激发参数的  $F_1$ 、 $F_2$  值, 逆向激发函数影响很小, 不作考虑。现在对 W 和 IB 激发函数的计算十分准确, 将根据极移数据求得的总激发 (GEF) 减去 IB 和 W 所引起的激发, 可求得剩余激发。剩余激发中最主要的是水分布变化, Kuehne 和 Wilson(1991) 给出海底压力和陆地水的共同正向激发  $F_1$ 、 $F_2$  值分别为 4.5、2.4<sup>[3]</sup>, 雷小平等人 (1992) 给出水分布激发分别相应为 2.3、2.5<sup>[4]</sup>, 但 Chao 等人 (1987) 认为雪分布的激发可能抵消了水分布的影响。实际上全球大气和水变化引起的激发是逐年变化的, AN 也是逐年变化的, 最好能作逐年的比较。

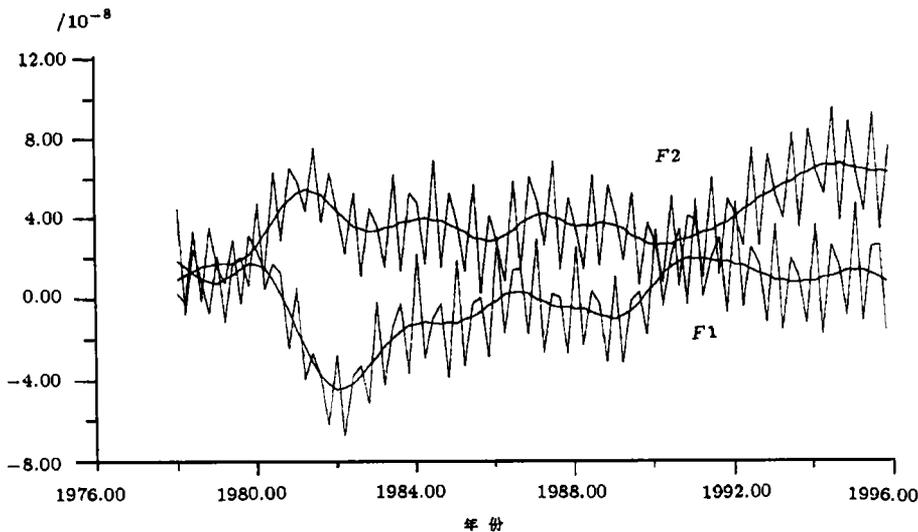


图 1 剩余激发 ( $L=GEF-IB-W$ ) 参数  $F_1$ 、 $F_2$  随时间的变化

### 3.3 短周期极移

这里所说的短周期极移是指周期为半年到几天的极移运动, 或称为亚季节极移 (Sub-seasonal PM)。Eubanks 等人 (1989) 的研究表明<sup>[5]</sup>, NMC  $X_p$  与 GEF 在亚季节周期以下的相关性只有 50%, 这说明水分布变化可能有较大的贡献;  $X_2$  分量比  $X_1$  分量要大一倍且相关性好得多, 因此可知大陆上的气象变化比海洋上的有更大的贡献。钟敏等人利用小波分析方法研究了极移运动的亚季节振荡, 发现近 120d 准周期振荡可有 1.1~1.7mas 振幅。Chao(1999) 探讨了南方涛动指数 (SOI) 及北大西洋涛动 (NAO) 与极移的关系。阎

昊明 (2001) 等通过时域、频域的相关分析, 表明极移  $X_2$  半年分量的年际变化与 NAO 明显相关。对短周期极移的研究可以揭示全球气象变化与极移的关系。

### 3.4 不规则极移

不规则极移是由不规则激发所引起的, 在极移振幅比较小的年代, 由于极位置离激发极较近, 不规则极移更为明显。图 2 中绘出了 1986~1989 年的极移运动图, 这几年极移振幅较小。图中光滑曲线是只考虑了长期极移、CW 和 AN 的结果。不规则极移的变幅有时可达 20mas 以上, 它使得由极移反演激发变得困难, 较大的不规则极移反映了较大的不规则激发, 即此时可能存在某种较大规模的气象现象。

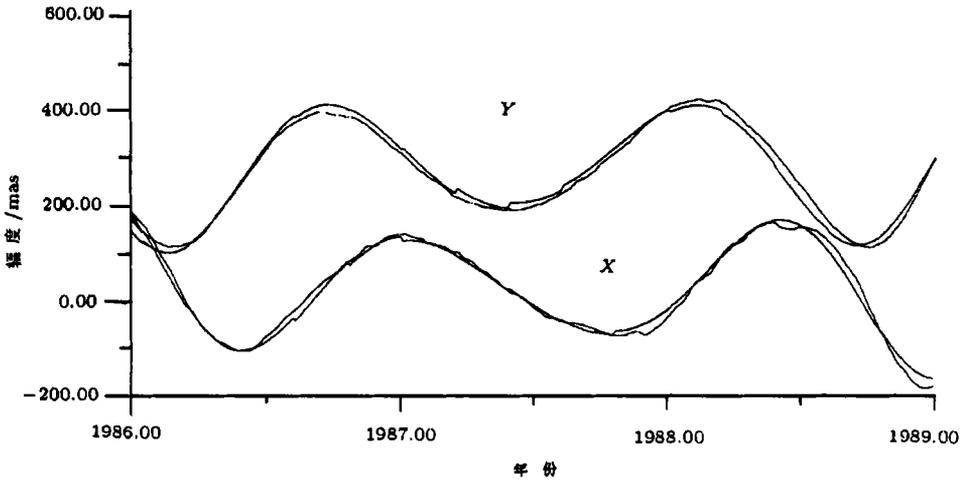


图 2 1986~1989 年的不规则极移

### 3.5 钱德勒摆动

图 3 绘出了 CW 的振幅和位相随时间的变化, 位相的变化表明 CW 周期存在一些小

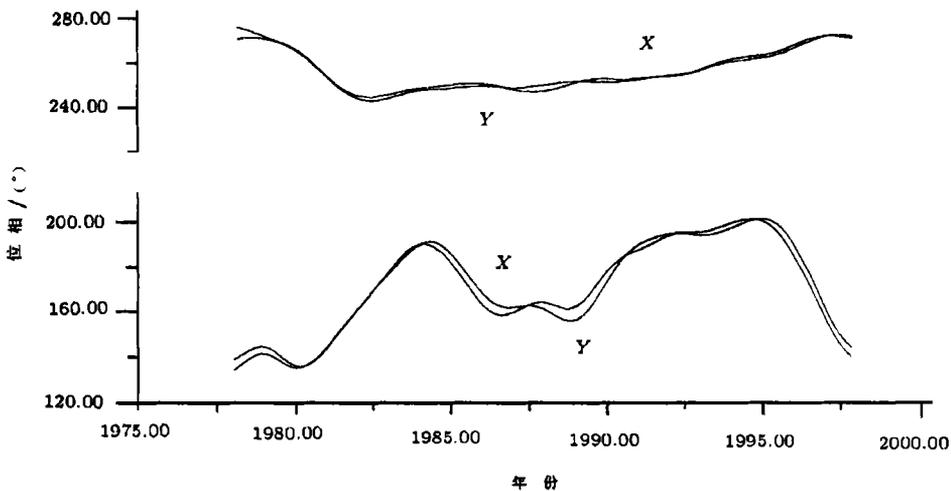


图 3 钱德勒摆动的 X 和 Y 分量振幅和位相随时间的变化

的变化。振幅的变化表明一定存在某种经常性的激发机制, 使 CW 的振幅得以增大或减小。采用谱分析方法并未发现大气或水分布激发函数在 CW 频率附近存在稳定的谱峰, 因此有些学者认为尚难以解释 CW 的激发问题, 某些学者认为或然激发可能是维持 CW 的原因, 对此问题尚需进一步研究。

### 参 考 文 献

- 1 高布锡. 中国科学 (B 辑), 1993, 23(5): 553
- 2 Celaya M A, Whar J M, Bryan F O. J. Geophys. Res., 1999, 104(B6): 12 813
- 3 Kuehne J, Wilson C R, J. Geophys. Res., 1991, 96(B3): 4334
- 4 雷小平, 高布锡. 天文学报, 1992, 33(1): 61
- 5 Eubanks T M. In: Smith D E et al. eds. Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Earth Dynamics, Geodyn. Ser., vol. 24, Washington. D. C: AGU, 1993: 1

## Polar Motions and Their Excitation

Gao Buxi Lei Xiaoping

(*Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077*)

### Abstract

Polar Motion is generally considered to include five main periodic or non-periodic wobbles, which are secular wobble, Chandler wobble, annual wobble, sub-seasonal wobble and irregular wobble, respectively. As the geophysical fluid excitations within different frequency scale can lead to the different responses of Polar Motion, here a Fourier de-convolution transform method is used to extract, in frequency domain, the five main wobbles from Polar Motion. Then these specific wobbles are compared with their corresponding geophysical fluid excitations one by one. Our results show that annual wobble and its excitation have time variable amplitudes and phases, so their year to year comparison would be a good constrain in angular momentum domain by testing the simulated atmospheric, oceanic and hydrological angular momentum functions deduced from general circulation models. In addition, irregular wobble may detect the abnormal signals forced by global unusual meteorological events.

**Key words** Geophysical fluid excitations—Annual wobble—Irregular wobble