

# 周年纬度变化与有关影响

施广成 李正兴

(中国科学院紫金山天文台,南京)

## 摘 要

本文利用 ILS 的资料,分析了每个站的纬度变化的周年成分.证实了纬度变化的极性周年项振幅存在多年的波动变化.并发现周年极移的椭圆轨迹中心与历元平极存在一定偏离.偏离的主要原因是:在周年纬度变化中存在着半年章动常数改正项的影响;大气质量的季节性迁移会引起地心位置微小周年位移,从而会使纬度发生微小的周年变化;周日潮汐的影响也会在观测纬度中产生周年项;另外,海潮吸引力的作用对离海域不同距离的纬度站会引起不同程度的地方性影响,它也会引起周年纬度变化.

国际纬度服务 (ILS) 采用了新的天文常数系统(1976)和统一的赤纬与自行改正,重新处理了全部纬度观测资料,得到了一个均匀系统<sup>[1]</sup>.这对改进地极坐标和非极纬度变化的研究都是十分有益的.在这里,我们将对周年纬度变化作比较详细的分析.

## 一、分析方法

分离纬度变化中的周年极移和非极周年成分是一件十分困难的事.用观测纬度值减去计算纬度值求残差的方法来分离非极纬度变化,各个观测站的地方性影响通过极坐标必定彼此相互影响.这既不利于探讨极移规律,也妨碍了从纬度变化中提取某些地球物理的信息.但至今没有什么更有效的方法.我们考虑用简单的方法,直接从 ILS 资料中分别求出各站的周年纬度变化,然后对引起周年纬度变化的各种因素进行分析.首先采用最小二乘法分离观测纬度的各个成分,公式可表示成

$$\dot{\phi}_i(t) = \phi_i(t_0) + \Delta\phi_i(A) + \Delta\phi_i(C) + \varepsilon_i, \quad (1)$$

其中  $i$  表示观测站 M, K, C, G 和 U.  $\phi_i(t_0)$  是  $i$  站历元  $t_0$  的平纬;  $\Delta\phi_i(A)$  是纬度变化的周年成分,用(2)式表示;  $\Delta\phi_i(C)$  是纬度变化的 Chandler 成分,用(2)式表示;  $\varepsilon_i$  是观测纬度的偶然误差.

除了上述各种成分外,其它形式的各种变化不十分明显,它们都归于偶然误差.在分析中采用了观测纬度的月平均值,因此周期小于一个月的各种因素都被平滑掉了.这样,从(1)式解出的周年纬度变化包含了周年极移部分和非极的周年变化部分.

## 二、周年纬度变化的主要结果

从 ILS 的 80 年纬度资料中得到了周年纬度变化的两个主要结果。

### 1. 周年成分的多年变化

ILS 各站周年纬度变化振幅值  $A_i$  表示在图 1。各站的  $A_i$  不相等,而且随时间变化,变化的波动趋势基本一致。我们也分析了 ILS Z 项的周年成分,它不存在类似  $A_i$  波动变化的形式,这就是说,图 1 中表示的那种波动变化是极移引起的;因为无论是共同性的,或是地方性的非极纬度变化必将影响 Z 项。我们把  $A_i$  的波动变化与文献[2]中图 1 表示的周年极移的多年变化规律进行了比较,彼此基本一致。应当指出,文献[2]的多年变化规律是用 Федоров 极移资料得出的,这批资料是采用了各个时期全部纬度观测结果,其中也包含了 ILS 各站的结果。这样,ILS 各站  $A_i$  多年变化进一步证明了周年极移存在着多年变化的规律。同样由图 1 可见,某些站的  $A_i$  随时间变化与其它站相比偏离较大,这显然是非极因素引起的。

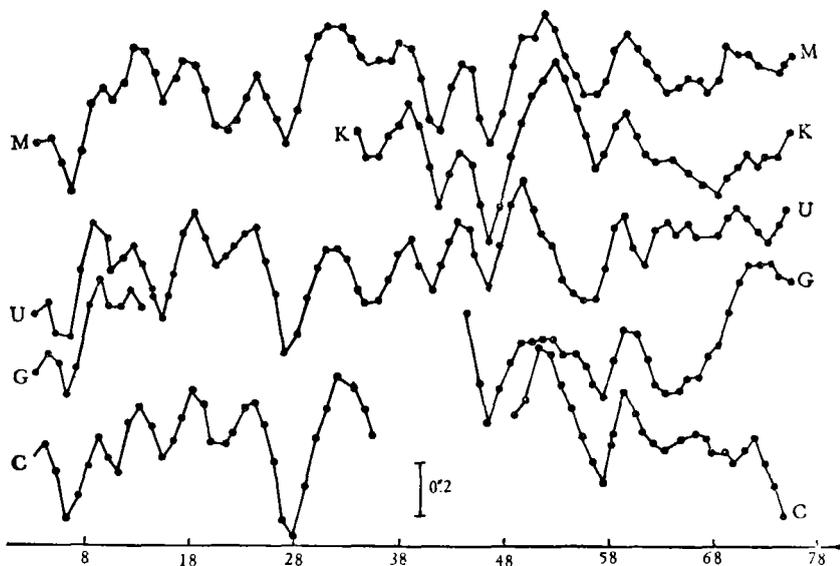


图 1 ILS 五个站每年的周年纬度变化振幅  $A_i$

### 2. 周年变化振幅 $A_i$ 的不对称性——椭圆中心相对于历元平极的偏离

如果周期性纬度变化是极移产生的,那么观测站的垂线应该相对于历元平极在子午面内周期摆动,摆动量就是极移在子午面内的分量,或者说极性纬度变化。用  $P_i(C)$  和  $P_i(A)$  分别表示极性纬度变化的 Chandler 成分和周年成分,它们可表示为:

$$\begin{aligned} [(90^\circ - \phi_i(t_0)) - \Delta\phi_i(C)] - [90^\circ - \phi_i(t_0)] &= P_i(C), \\ [(90^\circ - \phi_i(t_0)) - \Delta\phi_i(A)] - [90^\circ - \phi_i(t_0)] &= P_i(A), \end{aligned} \quad (2)$$

其中

$$\Delta\phi_i(A) = A_i \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \alpha_0 - \lambda_i\right),$$

$$\Delta\phi_i(C) = C_i \cos\left(\frac{2\pi}{\tau}t + C_0 - \lambda_i\right).$$

它们由(1)式给出。这里  $A_i, C_i$  分别为振幅,  $\alpha_0, C_0$  为它们的初位相,  $\lambda_i$  为观测站的经度, 仍采用老的定义(西经为正)。这样, 将各站垂线方向转移到了历元平极, 垂线的摆动就变成相对于历元平极的摆动。用振幅值  $C_i$  和  $A_i$  代替(2)式的  $\Delta\phi_i(C)$  和  $\Delta\phi_i(A)$ , 则  $P_i(C)$  和  $P_i(A)$  便是该周期内极移的两个周期成分在观测站子午面上的极大值, 它们分别描绘了极移的 Chandler 成分和周年成分轨迹的几何特性, 前者应当是圆分布, 后者应该是椭圆分布, 它们的中心应在历元平极。

用(1)式解出  $C_i$  和  $A_i$ , 对 1950—1974 年全部五个站的  $C_i$  和  $A_i$  分别取平均值(其它年份有些站没有观测), 表示在图 2。很清楚,  $\bar{C}_i$  是圆分布, 圆心在历元平极, 这表明 Chandler 成分是圆运动, 或接近圆运动, 非极纬度变化影响不明显; 五个站的  $\bar{A}_i$  可以近似地拟合成一个椭圆, 但椭圆中心  $o'$  不在历元平极  $o$  点。拟合的椭圆中心  $o'(\xi, \eta)$  相对于历元平极  $o$  的位置是

$$\xi' = -0''.025, \eta' = -0''.020.$$

椭圆中心  $o'$  偏离历元平极  $o$ , 是  $\bar{A}_i$  的不对称性引起的; 因为  $\bar{A}_i$  除了极移成分外, 还包含着非极性纬度变化。

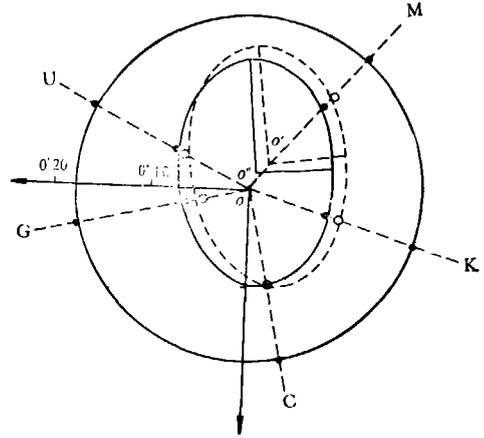


图 2 从 ILS 五站的纬度变化中得到的周年极移和 Chandler 极移的轨迹

- (1. 外圆为 Chandler 极移轨迹,  $o$  为历元平极,
2. 虚线椭圆为未加任何改正的周年极移轨迹,  $o'$  为该椭圆中心,
3. 实线椭圆为加了章动改正项修正的周年极移轨迹,  $o''$  为该椭圆中心)

### 三、半年章动项影响

图 2 表示的椭圆中心偏移指出了—个重要的现象, 位于美洲两个站周年振幅  $\bar{A}_i$  偏小, 欧亚三个站的  $\bar{A}_i$  偏大, 这是非极性纬度变化造成的。非极性周年纬度变化就其性质来说, 可分为两类: 一类是各站共同的, 另一类是地方性的。前者充分反映在周年  $z$  项中; 后者在周年  $z$  项中不能全部反映出, 并在一定程度上影响地极坐标  $(x, y)$ 。

现在我们首先来讨论共同的影响。Yokoyama<sup>[4]</sup> 指出, 半年章动系数改正值恰好解释了 ILS 纬度观测系列的周年  $z$  项,  $z$  由下式解出,

$$\Delta\varphi_i = x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i + z. \tag{3}$$

(3) 式解:  $x = \Sigma M_i \Delta\varphi_i, y = \Sigma N_i \Delta\varphi_i, z = \Sigma K_i \Delta\varphi_i$ , 并有  $\Sigma M_i = \Sigma N_i = 0, \Sigma K_i = 1$  的条件。  $M_i, N_i, K_i$  都是与观测站经度  $\lambda_i$  有关的系数。如果这个结论是正确的, 那么半年章动影响必然包含在周年纬度变化中, 它的影响可表示成

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{2\odot} = \Delta\delta_{2\odot} &= \frac{\delta\psi \sin \varepsilon - \delta\varepsilon}{2} \sin(2\odot - \alpha) \\ &+ \frac{\delta\psi \sin \varepsilon + \delta\varepsilon}{2} \sin(2\odot + \alpha), \end{aligned} \tag{4}$$

但是它们不影响地极坐标. ILS 纬度观测系列中采用了 Woolard 刚体地球章动模型. 最近, Wahr 建立了一个比较接近真实地球的非刚体地球章动模型. 两个模型的半年章动  $2\odot$  项系数见表 1.

表 1

模 型	$2\odot$ 项系数	
	$\delta\phi$	$\delta\varepsilon$
Woolard	-1"2729	0"5522
Wahr	-1"3187	0"5736
$W_a - W_0$	-0"0458	0"0214

(4)式的第二项影响不到第一项的10%, 可以略去. ILS 纬度观测是对称子夜的,  $\odot - \alpha = -12^h$ , 并且可以近似地取  $\odot = \frac{2\pi}{T}t + 280^\circ$ . (4)式可简化成

$$\Delta\varphi_{2\odot} = -0"0198 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + 100^\circ\right). \quad (5)$$

$\Delta\varphi_{2\odot}$  与周年极移两者合并起来, 可使经度相差  $180^\circ$  的两个站的这两个周年纬度变化分量相互叠加和相互抵消, 使得不同观测站的  $A_i$  不对称. 1950—1974 年五个站的  $\Delta\phi_i^*(A)$  与  $\Delta\phi_i(A)$  列于表 2,

表 2

$\lambda$	$\Delta\phi_i^*(A)$			$\Delta\phi_i(A)$		
	$\bar{A}^*$	$\alpha_0^* - \lambda$	$\alpha_0^*$	$\bar{A}$	$\alpha - \lambda$	$\alpha_0$
M	0"116	332°	113°	0"132	337°	118°
K	0"083	36°	102°	0"102	31°	97°
C	0"102	88°	96°	0"108	77°	85°
G	0"066	173°	96°	0"047	166°	89°
U	0"085	253°	130°	0"078	266°	143°

$\Delta\phi_i^*(A)$  是用(5)式化为 Wahr 章动模型的周年纬度变化. 修正了半年章动改正项后, 各站周年纬度变化振幅和初位相比较一致, 图 2 的椭圆中心偏离也明显缩小. 这也表明 Wahr 章动模型更符合真实地球.

#### 四、大气质量季节迁移的影响

日本天文学家木村发现  $\approx$  项之后, 人们曾推测是地球质心移动产生了  $\approx$  项. 文献[3]曾指出, 物质季节性流过赤道导致地球质心变化, 因而产生非极性纬度变化. 其实, 大气质量季节迁移无需流过赤道也会引起地球质心周年运动, 因而直接导致地心纬度变化, 同样也会改变地方垂线方向. 在讨论大气质量季节迁移问题时, 大体上可分成两部分来考虑: 一部分是全球性的大气南北迁移; 另一部分是海洋和大陆上空大气季节交换 (不限于同一纬带上). 在这两种形式的大气质量迁移中, 有一部分是由海洋静力平衡所补偿 (主要是海洋上空大气质量迁移部分); 还有一部分未能补偿; 并由于海陆分布不对称而产生了惯量积 (惯性矩也有微小变化)

和影响地心位置。观测到的地球惯性极季节运动是最好的证明。现在对此我们作粗略的估计。

气象学家舒列金曾作过估算<sup>[4]</sup>；由夏到冬空气从海洋上空向欧亚大陆输送  $\Delta M = 3 \times 10^{14} t$  ( $3 \times 10^{20} \text{ g}$ ) 质量；反之，由冬到夏，有同样的空气质量由大陆扩散到海洋上空。海洋对这种低频的气压变化反应类似“反变气压计”。海洋又可被考虑为静力学平衡的，局部多余的质量流向广阔的海洋重新分布。南北两半球大陆面积是不对称的，相比之下，陆海之间大气质量迁移南半球要比北半球小。在北半球，欧亚大陆面积几乎是北美大陆的两倍，两大陆中央部分恰好位于东西经  $90^\circ$  子午线，在直角坐标系的  $y$  轴向上；零子午线穿过大西洋， $180^\circ$  子午线穿过太平洋中部。这样的地理条件可使问题大为简化。在这里，我们的目的主要估计这种效应的极值。根据舒列金估算的海陆之间的大气交换量，我们可以近似地认为；这个变量对于海洋来讲是由海洋的静力平衡趋于全球分布的；而对大陆来讲它是一个净增减量。并且这种大气迁移主要在纬度  $20^\circ - 90^\circ$  之间（低于  $20^\circ$  处的年温差不大）发生。根据以上分析我们可以假设：大气季节迁移在  $yz$  平面内，大气迁移的质量中心在纬度  $55^\circ$  处。欧亚大陆的大气迁移质量为  $\Delta M$ ，北美为  $1/2\Delta M$ ，地球质心位移近似为：

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{\sum \Delta m_i y_i}{\sum m_i} \cong \frac{1}{2} \frac{\Delta M}{M} y_\varphi = \frac{1}{2} \frac{\Delta M}{M} R \cos \varphi, \\ z_c &= \frac{\sum \Delta m_i z_i}{\sum m_i} \cong \frac{3}{2} \frac{\Delta M}{M} z_\varphi = \frac{3}{2} \frac{\Delta M}{M} R \sin \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

用地球质量和半径，以及上述条件代入(6)式，可得

$$y_c = 9\text{cm}, \quad z_c = 39\text{cm}.$$

它们可使 ILS 站的地心纬度和垂线方向产生  $0.''013$  的周年变化。考虑了这项改正，恰好能使图 2 椭圆中心  $o''$  移到历元平极  $o$ 。

现在，我们从天文观测和气象资料得到的惯性极周年运动来推求海陆大气季节迁移量。大气质量季节迁移产生惯量积  $E$  和  $D$ ，它们激发了惯性极周年运动。天文资料和气象资料给出的惯性极周年运动基本一致<sup>[2]</sup>，

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{-D}{C-A} = -0.''003 \cos \left( \frac{2\pi}{T} t + 112^\circ \right), \\ \eta &= \frac{-E}{C-A} = -0.''031 \sin \left( \frac{2\pi}{T} t + 112^\circ \right). \end{aligned} \quad (7)$$

惯性极运动几乎发生在  $yz$  平面内，摆动振幅  $0.''03$ 。这里，考虑的大气季节迁移与上面讨论的一样，发生在  $yz$  平面内，在纬度  $55^\circ$  带上，以及欧亚和北美两大陆的作用，惯量积是

$$E = \sum \Delta m_i y_i z_i = \frac{1}{2} \Delta m R^2 \sin 2\varphi. \quad (8)$$

由(7)和(8)式得到  $\Delta m = 2 \times 10^{18} \text{ g}$ ，比舒列金估计的量小了二个数量级。这里我们只是从不同的两个方面，对大气质量迁移作了粗略的估算。特别要指出的是，这种估算是非常粗略的，如果用更合理的方法进行计算，这两个结果之差可能会缩小。有关大气质量季节性迁移的情况是有待进一步研究的问题。

## 五、周日潮汐的孪生效应

周年的太阳潮汐对纬度变化的影响很小,可不必考虑。月亮潮汐的短周期成分在观测纬度月平均值中自行消除。但是由于太阳引起的近周日的  $P_1$  潮和  $K_1$  潮在一年的观测纬度中产生周年周期的影响。 $P_1$  潮周期是  $24^h 07$ ,  $K_1$  潮周期是  $23^h 93$ 。ILS 的纬度观测时刻相对于子夜有前有后,但月平均值是对称子夜的。因此,  $P_1$  潮与  $K_1$  潮的潮峰相对纬度观测时刻每日分别差  $\pm 0^h 07$ ; 大约 180 天后, 纬度观测正好分别与低潮相遇, 时隔一年再次分别与高潮重合。这样,  $P_1$  和  $K_1$  潮对纬度变化的影响好象周年潮一样, 称它们为“孪生”现象<sup>[3]</sup>。另外,  $K_1$  潮的圆频率是  $(q + \odot)$ ,  $P_1$  潮的圆频率是  $(q - \odot)$ , 因此它们的潮峰分别以同样的速度相背地离开纬度观测时刻, 约 180 天后它们两者相遇, 对观测纬度造成叠加低潮影响, 一年后又再次相遇, 造成叠加高潮影响。这样, 在纬度变化中形成了周年的会合潮影响。

地球固体潮  $K_1$  和  $P_1$  波的南北水平分量引起了周日纬度变化, 垂线向起潮体相反方向偏移, 在 ILS 的  $39^\circ.08'$  纬线上, 使观测纬度增大, 增大量是<sup>[4,5]</sup>

$$\begin{aligned} K_1, \quad \Delta\varphi &= 0''00187 \cos(qt + \odot + 10^\circ 2 + \lambda), \\ P_1, \quad \Delta\varphi &= 0''00062 \cos(qt - \odot - 10^\circ 2 + \lambda). \end{aligned} \quad (9)$$

$K_1$  和  $P_1$  的会合潮对月平均纬度值的影响是

$$\Delta\varphi_{K_1} + \Delta\varphi_{P_1} = 0''002 \cos(\odot + \lambda + 343^\circ 5). \quad (10)$$

事实上, 纬度观测每晚要持续 4—6 个小时, 每天和每月的观测纬度平均值就大大缩小了  $K_1$  和  $P_1$  波的影响, 所以周日波的孪生效应小于  $0''002$ 。但这种影响的初位相与观测站经度  $\lambda$  有关, 可影响周年极移, 然而不会使图 2 的椭圆中心偏离。

位于海洋附近的纬度观测站, 需要考虑海潮吸引力的作用。这种影响原则上决定于台站离海岸线的距离。对于广阔的海域, 海水密度  $\rho$ , 潮高  $h$ , 引力常数  $G$ , 观测站到海岸的距离为  $a$ , 海域延伸到距离  $b$ , 海潮吸引力产生的垂线变化是<sup>[3]</sup>:

$$\frac{2\rho Gh}{g} \ln \left[ \frac{a+b}{a} \right]. \quad (11)$$

现在我们来讨论日本水泽站的影响, 设它的  $a$  为 50km,  $b$  为 900km,  $K_1$  波潮高  $h = 100\text{cm}$ , 垂线向海潮吸引力相反方向偏移, 使观测纬度减小了

$$\begin{aligned} K_1, \quad \Delta\varphi &= 0''008 \cos(qt + \odot + 10^\circ 2 + \lambda), \\ P_1, \quad \Delta\varphi &= 0''003 \cos(qt - \odot - 10^\circ 2 + \lambda). \end{aligned} \quad (12)$$

同样, 月平均的纬度值中也大大缩小了它们的影响。两个成分合在一起, 可使水泽站垂线向赤道偏移约  $0''005$ 。这一影响也部分地解释了图 2 中  $M$  站偏离椭圆轨迹的现象。这些现象数量的估计与采用的公式有关, 用芒克的公式估计的量可能偏大了一些。

以上我们对引起周年纬度变化的各种因素进行了分析。结果表明, 各站周年纬度变化振幅长期波动是极移引起的, 进一步证实了周年极移存在多年变化。另外, 图 2 的椭圆中心对历元平极的偏离, 主要是半年章动常数改正值引起的; 同时也包含了一些地球物理现象, 其中某些我们只作了粗略的估计, 对于这些问题值得深入研究。我们的工作还表明, 在今后的测时、测纬结果中 (尤其是用新技术手段进行的测时、测纬), 应该考虑上面所述的各种地球物

理现象；反之，用新技术得到的测时、测纬结果，将会更有效地分析研究有关的地球物理现象。

### 参 考 文 献

- [1] Yumi, S., Yokoyama, K., *Results of the ILS in a Homogeneous system*, 1980.
- [2] 杨本有、施广成, 科学通报, 24(1979), 14: 646—649.
- [3] Munk, W. H., et al., 地球自转, 科学出版社, 1976, 68—74.
- [4] Гирс, А. А., 大气环流的多年振动及长期水文气象预报, 科学出版社, 1976, 210.
- [5] MeAdior, P., *The Tide of the Planet Earth*, New York, 1978, 14, 17, 51.