

气压场和大气活动中心对地极移动的若干响应

彭公炳 陆 巍

(中国科学院地理研究所) (中国科学院科学出版社)

一、概 论

迄今国内外已有不少工作^[1-4]研究地极移动对天气气候的影响。但天气气候是受气压场和大气活动中心控制的。因此,本文专门揭示极移影响气压的事实,并讨论这种影响的可能物理机制。

我们曾导出地极移动离心力位势及其三分量的表达式^[4]。

$$\left. \begin{aligned} W_P &= \frac{1}{2} m \omega^2 R^2 (y \sin \lambda - x \cos \lambda) \sin 2\varphi \\ F_{EW} &= -m \omega^2 R (y \cos \lambda + x \sin \lambda) \sin \varphi \\ F_{SN} &= m \omega^2 R (x \cos \lambda - y \sin \lambda) \cos 2\varphi \\ F_{\perp} &= -m \omega^2 R (x \cos \lambda - y \sin \lambda) \sin 2\varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

上式中, W_P 、 F_{EW} 、 F_{SN} 和 F_{\perp} 分别表示离心力位势、东西分力、南北分力和垂直分力, m 为地球上某点的质量; ω 为地球自转平均角速度, 它等于 0.729×10^{-4} 秒⁻¹; R 为地球平均半径, 它等于 637,122,800 厘米; x 、 y 为地极坐标, 以弧秒表示; λ 为地理经度, 这里取东经; φ 为地理纬度, 北半球为正, 南半球为负。力的方向是向西、向南、向上为正。

根据 (1) 式, 我们制定了表 1。从该表可以看出, 这些物理量随经纬度变化的规律。

表 1 极移离心力位势及其三分力随经纬度的变化

物理量	名称 经纬度	各经度控制坐标				各纬度绝对值		
		0°	90°	180°	270°	0°	±45°	±90°
W_P		-x	y	x	-y	0	最大	0
F_{EW}		y	x	-y	-x	0	较大	最大
F_{SN}		x	-y	-x	y	最大	0	最大
F_{\perp}		x	-y	-x	y	0	最大	0

表 1 说明, 上述四个物理量的经度分布有共同的特点。即经度相差 180° 的地方量级相等, 符号相反。不过 F_{EW} 与其余三个量不同的是, 在同一经度上, 当 F_{EW} 受 x 值制约时, 而其余三个量受 y 值制约; 反之亦然。

按纬度分布的特点是,就绝对值而言, W_P 和 F_{\perp} 都是在南北纬 45° 处最大,在赤道和两极为零。 F_{EW} 在两极最大,向低纬逐渐减小,在赤道为零。 F_{SN} 在南北纬 45° 处为零,向高低纬增大,在两极与赤道达最大值。

根据(1)式,我们计算了东亚地区近77年以来冬、夏和全年上述四个物理量的时空变化,得到了 W_P 的最大值为2940厘米²/秒²(1952年夏,45°N,110°E地区)。由此算出地表附近单位体积(cm³)的平均极移离心力位势为8232尔格。此外,根据Борисенков^[5]提供的资料,我们算得北半球7月单位体积的空气动能为170尔格。可见,地极移动产生的地表单位质量最大位能大大超过单位质量大气的动能,在一定条件下这种位能转化为动能并提供大气时,大气运动必然产生明显的变化。这说明,从能量级的观点来看,极移的作用是不可低估的。

我们对可能的基本物理机制的理解是,地极移动引起了整个地球上各点离心力位势及其三分力的变化,而该位势和水平分力的变化,又可能促使大气质量输送的变化;于是,气压场和各大气活动中心的强度和位置也产生相应的变化,并最终导致天气气候的变化。掌握了气压场和大气活动中心的变化规律以后,天气气候预报就不难了。

二、地极移动对气压场和大气活动中心的可能影响

(一) 极移离心力位势影响气压和大气活动中心的基本思路

Schweyder^[1]曾导出,极移引起的海平面高度变化 ΔH_P 的表达式如下:

$$\Delta H_P = \frac{W_P}{g}(1+k-h) \quad (2)$$

上式中 W_P 可从(1)式求得。 g 为重力加速度, $(1+k-h)$ 为地壳的弹性形变系数。

将(1)式代入(2)式,则得

$$\Delta H_P = \frac{1}{2} m \omega^2 R^2 (y \sin \lambda - x \cos \lambda) \sin 2\varphi \left(\frac{1+k-h}{g} \right) \quad (3)$$

参照Максимов^[3]的工作,我们根据40°N—70°N,20°E—120°W范围的资料,求得下列经验公式:

$$\Delta P' = -0.343 \Delta H \quad (4)$$

上式中, $\Delta P'$ 为该地区的海面气压距平。从上述关系式可知, W_P 受制于 $(y \sin \lambda - x \cos \lambda)$,而 $\Delta P'$ 又受制于 W_P ;我们据此分析由地极坐标和地点经度所制约的极移离心力位势在气压场中的作用。分以下四种情况。

- 1.当地极向量半径通过 90° E时, $x=0$, y 为负, $\lambda=90^{\circ}$,则 $(y \sin \lambda - x \cos \lambda) = -y$ 。
- 2.当地极向量半径通过 270° E时, $x=0$, y 为正, $\lambda=270^{\circ}$,则 $(y \sin \lambda - x \cos \lambda) = -y$ 。
- 3.当地极向量半径通过 0° 时, x 为正, $y=0$, $\lambda=0^{\circ}$,则 $(y \sin \lambda - x \cos \lambda) = -x$ 。
- 4.当地极向量半径通过 180° 时, x 为负, $y=0$, $\lambda=180^{\circ}$,则 $(y \sin \lambda - x \cos \lambda) = -x$ 。

$-x_0$

从(1)式可知,在上述四种情况下,地极向量半径通过的地方 w_p 均为负,根据(4)式和(5)式,这些地方 ΔP 均应为正值,即气压增加。又因为(4)式中 $(y \sin \lambda - x \cos \lambda)$ 在相差 180° 的地方变号;于是第一种情况对应着西伯利亚高压增强而加拿大高压减弱。第二种情况反之。第三种情况对应着冰岛低压减弱而阿留申低压加深。第四种情况与第三种情况相反。

(二) 北半球主要大气活动中心对离心力位势响应的实例分析

考虑到极移大时,它对大气的影晌可能较大;同时根据 x 、 y 坐标中一个相当大而另一个为0的情况下大气活动中心受其影响最大的特点,我们选取 x 、 y 值中一个很小而另一个超过 $0''.25$ 的标准来分析。其结果是,从1951至1976年期间1月份共有5次合乎标准,而7月份没有合乎标准的情况。合乎标准的5次地极坐标值为:

1951年1月 $x = -0''.25$, $y = 0''.06$;

1956年1月 $x = -0''.01$, $y = 0''.32$;

1962年1月 $x = -0''.01$, $y = 0''.30$;

1968年1月 $x = -0''.06$, $y = 0''.30$;

1975年1月 $x = 0''.02$, $y = 0''.28$ 。

1951年1月,地极向量半径通过西经 160° 左右,所以阿留申低压所在的 $160^\circ W$ 处气压应该上升,即该处低压应该减弱;而与此相隔 180° 的 $20^\circ E$ 处,即冰岛低压的东部应该加深。事实上,该时段冰岛低压东部显著加深(距平值为 -6 毫巴),而阿留申低压的相应部分则不深。

1968年1月,地极向量半径通过西经 108° 左右,这相应于加拿大高压中心位置,则该高压中心应该加强。而与此相隔 180° 的西伯利亚高压西部应该减弱。实际上该时段加拿大高压中心是加强的($+6$ 毫巴),而西伯利亚高压西部是减弱的(-7 毫巴以上)(图1)。

1956年、1962年、1975年的1月地极向量半径均通过西经 90° 左右,与此对应的加拿大高压的相应部分应该加强,而西伯利亚高压的相应部分(东经 90° 左右)应该减弱。事实上,1956年1月加拿大高压 $90^\circ W$ 地区是加强的,西伯利亚高压的东部是减弱的。1962年1月,加拿大高压也是加强的,西伯利亚高压东北部减弱而西南部加强。1975年1月加拿大高压东西两侧偏强、中心偏弱,西伯利亚高压北部相当弱而南部稍强。

从上述分析对比可知,从总体来看,气压场受地极向量半径影响的基本趋势是存在的。上述5例中,没有出现过1次与规律完全相反的情况。但存在规律性的部分破坏的情况。这是容易理解的。因为极移只是影响大气压力场的一个因素,这个因素不可能决定气压场的全貌。只有当这个因素强烈发展期间,它对气压场才产生显著的影响;即使在这种情况下,气压场还要受许多其它因素的影响。

(三) 冰岛低压中心位置与极移离心力位势的进一步讨论

根据文献[6]中的统计,当地极靠近格林威治子午线方向时,冰岛低压中心位置偏西南。反之,当地极移向 180° 子午线方向时,该中心位置偏东北。但该文献中没有揭示这个现象的具体物理原因。在此,我们进一步讨论这个问题。

我们知道,冰岛低压中心的东北部,位于靠近北极的格林威治子午线附近。当地极移

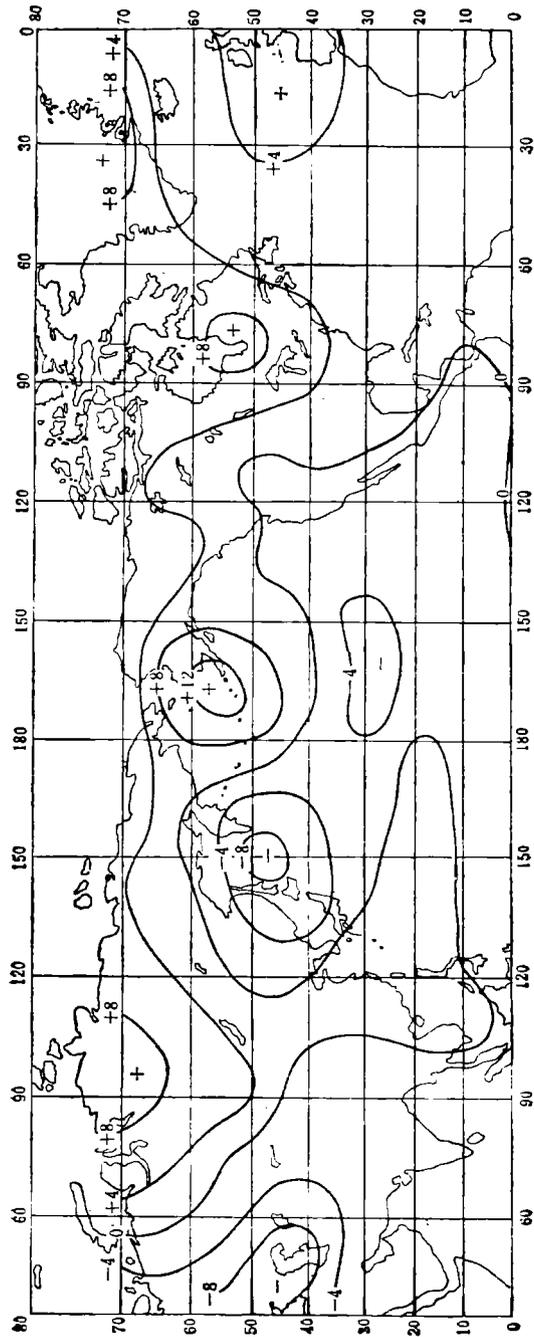


图 1 1968 年 1 月海平面气压距平

向该子午线时,根据(1)式和表1, W_p 主要受 $-x$ 值控制,且为负值。根据(2)、(4)式,该地区 $\Delta P'$ 为正值,因此冰岛低压向西南方向移动。反之,当地极向 180° 子午线方向移动时,该低压的东北部 $\Delta P'$ 为负值,所以低压中心向东北方向移动。

我们可以根据(1)、(2)、(4)式计算出最大极移力位势可能引起的气压变化值。如前所述,1952年夏,我国内蒙地区 $W_p = 2940$ 厘米²/秒²,由(2)式可算出 $\Delta H = 20$ 毫米,由(4)式可算出 $\Delta P' = -7$ 毫巴。这个数值是相当可观的。也就是说,当极移离心力位势强烈发展时,它对气压场的影响可能是很显著的。1942—1955年期间,极移振幅很大,它对气压场的影响就大。而1928—1941年期间,极移振幅较小,其影响也相应缩小。

(四) 南方涛动与极移离心力

我们知道,秘鲁沿岸著名的厄尼诺 (El Niño) 现象,是与南方涛动联系在一起的。出现厄尼诺现象年,即南方涛动弱年。南方涛动的强弱是以南太平洋高压和印度洋低压地区气压差来表征的。南方涛动强弱不仅影响南半球低纬地区的天气气候,而且4月南方涛动强弱变化会对初夏东亚中低纬度环流和我国大范围旱涝分布产生明显影响。然而以往的研究¹⁾ 将厄尼诺现象归结为秘鲁沿岸东南信风剧烈减弱,以致该地区海温剧升的缘故。这仍然没有解决起因问题。问题是东南信风为什么剧烈减弱? 表征南方涛动强弱的伊斯特岛和达尔文气压差为什么变化? 我们试图从极移离心力来加以阐明。为此,我们

表2 南方涛动弱年指标点 W_p 、 F_{SN} 、 F_{EW} 值

内容 年份	x	y	伊斯特岛 W_p 厘米 ² /秒 ²	达尔文 W_p 厘米 ² /秒 ²	伊岛西北 F_{SN} 厘米/秒 ²	伊岛西北 F_{EW} 厘米/秒 ²
1939	-0''10	0''13	739.5	-71.1	163.8	-56.0
1940	-0''10	0''11	649.9	-37.6	138.6	-56.0
1941	0''03	0''07	268.5	-160.9	88.2	16.8
1951	-0''19	0''37	1954.7	-340.7	466.2	-106.4
1952	-0''35	0''20	1441.3	171.4	252.0	-196.0
1953	-0''24	-0''04	193.1	418.0	-50.4	-134.4
1957	-0''06	0''48	2242.0	-714.8	604.8	-33.6
1958	-0''20	0''33	1789.8	-259.2	415.8	-112.0
1963	-0''02	0''38	1733.3	-606.1	478.8	-11.2
1965	-0''19	0''26	1460.1	-156.8	327.6	-106.4
1966	-0''07	0''12	645.3	-98.2	151.2	-39.2
1967	0''01	0''16	701.8	-282.2	201.6	5.6
1972	-0''10	0''14	781.9	-108.7	176.4	-56.0

1) 中国科学院地理研究所气候室,地球自转速度变化和地极移动对天气气候的影响,长江流域水文气象技术交流文集, p. 80—85, 1975。

根据文献 [7, 8] 的资料, 计算了南方涛动弱的年份 4 月伊斯特岛 (29°S , 109°W) 和达尔文 (12.5°S , 131°E) 的 W_P 值, 以及伊斯特岛西北方向地区 (20°S , 90°W) F_{SN} 和 F_{EW} 值, 其结果列于表 2。

从表 2 可以看出, 南方涛动弱年伊斯特岛及其西北方向地区 W_P 、 F_{SN} 均为正, 或几乎均为正; F_{EW} 负值占绝对优势。而绝大多数年份达尔文 W_P 值为负。如前所述, W_P 为正对应着 $\Delta P'$ 为负, 反之亦然。这意味着极移离心力位势 W_P 使伊斯特岛这个高压区减弱, 而达尔文这个低压区加压。于是, 两地气压差减小而促使南方涛动弱, 并出现厄尼诺现象。而且上述年份 F_{SN} 为正意味着离心力方向从北向南。 F_{EW} 为负意味着离心力方向从西向东。即极移引起的水平离心力从西北指向东南, 因而削弱了东南信风的强度, 有利于秘鲁沿海升温。所以说, 离心力方向也是有利于出现厄尼诺现象的。南方涛动强年极移离心力位势和分力则与此不同, 但资料不足, 不能定论, 我们将进一步讨论。

为了进一步说明这个问题, 我们以 1957 年 4 月为例, 计算了极移力位势 W_P 所引起的伊斯特岛-达尔文海平面气压差 ΔP^* 。 其时两站 W_P 相差 $2957 \text{ 厘米}^2/\text{秒}^2$, 与此相应的 ΔH_P 应为 30 毫米。换算成 ΔP^* 应为 10.5 毫巴, 即其时极移离心力位势可使两站气压差

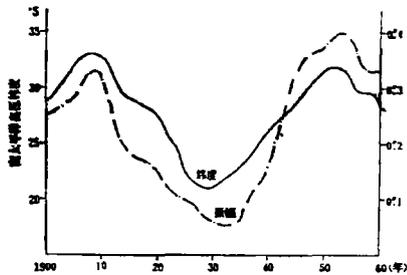


图 2 南太平洋高压纬度与极移振幅 10 年平均值

减小 10 毫巴以上。可见, 其作用可能是很显著的; 该年的厄尼诺现象可能是受到极移很大影响的。

(五) 南、北太平洋高压位置与极移振幅

我们对比了极移年振幅与南太平洋高压中心纬度 10 年平滑值, 发现极移振幅高的年代该高压偏南, 反之则偏北(图 2)。

我们的统计还表明, 极移振幅 6—7 年周期内, 各高值年北太平洋高压南界也偏南, 而振幅周期内各低值年反之, 如表 3 所示。我国东南部地区降水与北太平洋高压位置有密切的关系, 因而这种统计规律是有天气学意义的。

表 3 极移振幅高低年北太平洋高压不同的南界频数

高 振 幅 年 高 压 南 界		低 振 幅 年 高 压 南 界	
25°N	1 年	25°N	5 年
20°N	4 年	20°N	6 年
15°N	7 年	15°N	7 年
10°N	6 年	10°N	0 年

三、各地区气压与气压系统周期同极移周期的对应

我们用滑动平均、方差分析和能谱分析法分别计算了 1900—1977 年地极坐标、极移年振幅、和极移离心力变化的周期, 显示出 12 个月、14 个月、6—7 年和 35 年左右的周期(图 3—5)。图 3 上标明 11.8 对应 14 个月周期, 而标明 10.0 处对应 12 个月周期。

我们用能谱分析法, 对哈尔滨、长春、沈阳、北京、郑州、重庆、昆明、汕头 8 站 10 年内

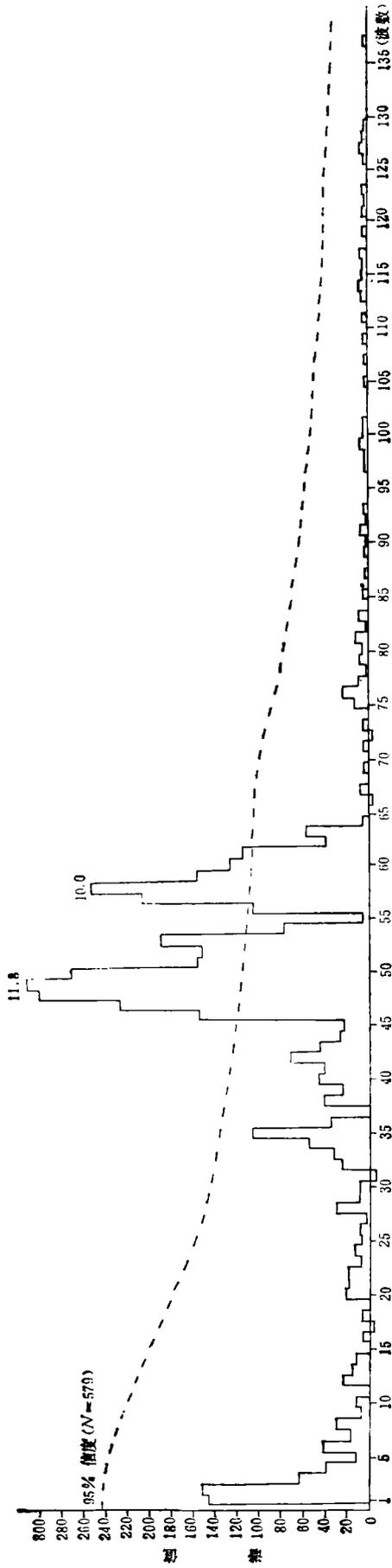


图3 极值坐标历年逐点 γ 值能谱
 [每年10个坐标值, 11.8相当于14个月(纵坐标比例放大10倍)]

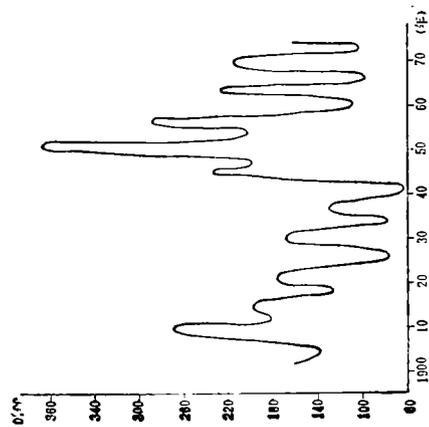


图4 地极移动振幅3年滑动平均

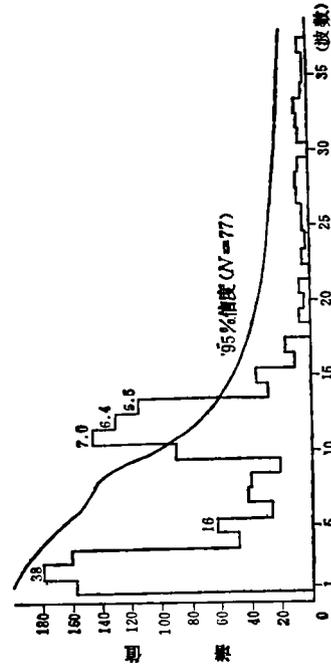


图5 极坐标 \bar{x} 年平均值能谱

逐月平均气压进行了周期分析,其结果是毫无例外地显示出 11.4 和 13.3 个月的周期,即接近 12 个月和 14 个月的周期。这从上述站气压能谱和 14 个月气压分波图上看得很清楚(图 6)。Максимов^[1] 的计算也表明,冰岛低压和亚速尔高压中心的移动都有 14 个月周期。

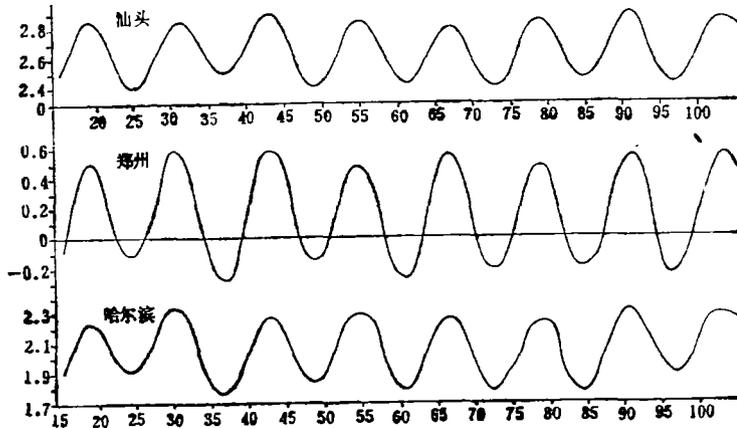


图 6 汕头、郑州、哈尔滨 14 个月气压分波(横坐标为波数)

我们对沈阳、长春、哈尔滨历年 1 月和 7 月平均气压差值进行了分波分析,均发现明显的 6—7 年周期(图 7, 8)。我们还计算得到,7 月北太平洋高压西界和南界有 6 年左右的周期,1 月赤道低压位置有 6 年周期。

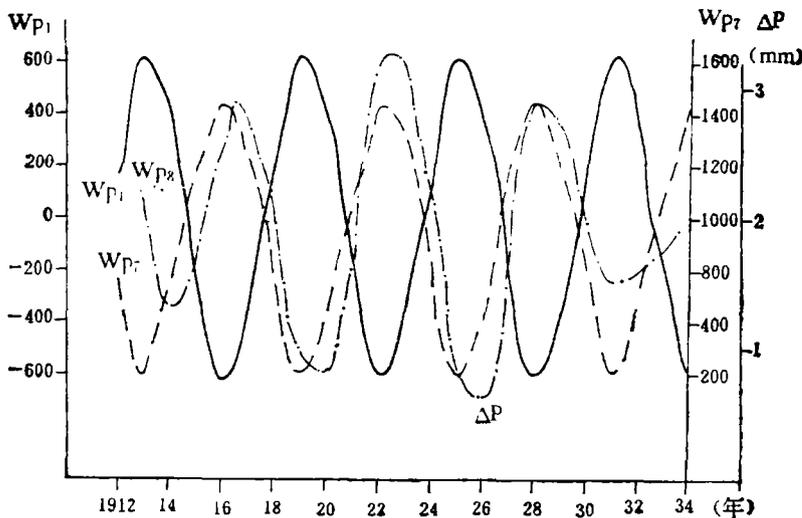


图 7 沈阳 1—7 月气压差(ΔP)与 1 月、7、8 月 W_p 6 年周期分量

值得注意的是,根据图 7、8,沈阳、长春 1—7 月气压差, (ΔP) 与 1 月份的极移位势 W_{P1} 呈反相关,与 7、8 月份的极移位势 W_{P7} 呈正相关。这是合理的。因为 ΔP 高意味着 1 月气压距平较高,7 月气压距平较低。根据 (2)—(4) 式, W_p 的正值大,对应着气压距平的负值大,即它们呈反相关。 W_{P1} 高,则 1 月气压距平低; W_{P7} 低,则 7 月气压距平高。

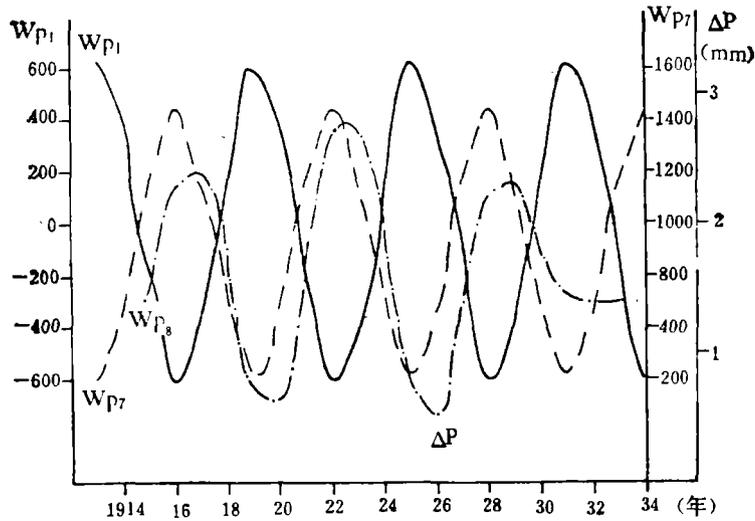


图 8 长春 1—7 月气压差 (ΔP) 与 1 月、7、8 月 W_p 6 年周期分量

1 月气压一般比 7 月高,于是 1—7 月气压差 ΔP 就低,反之亦然。可见,上述相关是有物理根据的。气压与极移之间周期上的联系不是偶然的。

计算还表明,1 月赤道低压东界和西伯利亚高压北界历年位置都有 30 年周期。7 月印度低压东界位置有 36 年周期(图 9)。王绍武^[9]曾对全球大气活动中心位置的长周期变化作过计算,其结果是,24 个周期指标中有 8 个出现 30—35 年周期。

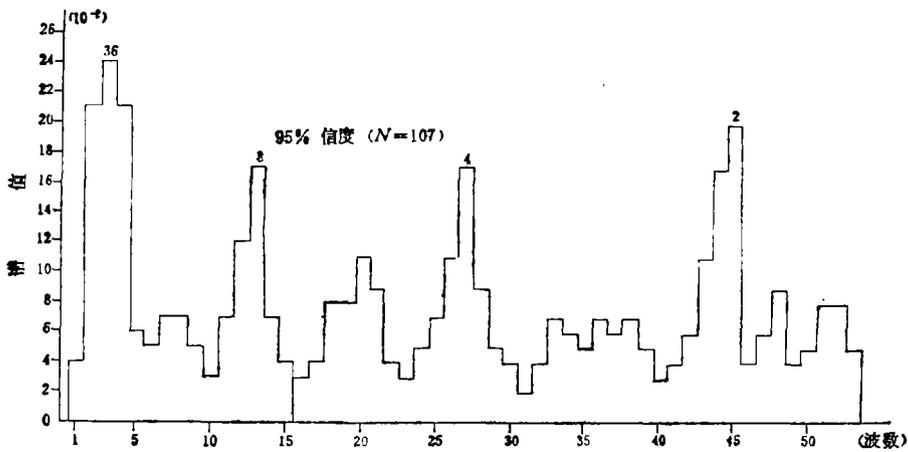


图 9 7 月印度低压东界位置能谱

可见地极移动的几个主要周期在气压和气压系统的位置移动上都有明显的反映。与气压和气压系统相关,上述几个主要周期在气温、降水等气候要素上也有大量的反映,作者对此曾进行详细的讨论^[4]。

四、几点看法

综上所述,可以得出以下几点基本看法。

1. 各地区气压场和南北半球主要大气活动中心强弱、位置变化对地极移动离心力的响应是有许多事实的。某些极移较大年份,著名的厄尼诺现象也可能与地极移动离心力有关。地极移动的几个主要周期在我国许多台站气压变化和世界大气活动中心强弱、位置变化周期上都反映明显。这进一步说明了两者之间的规律性联系。

2. 气压场和大气活动中心同地极移动的联系,可能从物理机制上得到解释。地极不断移动,引起离心力位势及其分力在空间和时间上不断变化。该位势和水平分力的变化又可能引起大气质量输送、气压场和大气活动中心强弱及其位置的变化。而且极移离心力变化以及相应的气压场的变化可以通过数学公式直接计算出来;计算结果表明,极移离心力增强时,它对气压场影响的数量级是相当可观的。因此,可以认为,这种影响是有一定理论根据的。

3. 极移可能引起的气压场和大气活动中心的变化,最终可能导致各地区天气气候的变化。因而有可能根据极移规律进行长期和超长期天气预报。而且极移的规律性是很强的,极移本身的预报比长期天气预报准确得多。这也是利用这一途径作天气预报的优越性。例如,可以根据14个月周期预报极移的向量半径通过的经度,从而预报相应的气压和天气气候效应。此外,对于南方涛动来说,4月南方涛动强弱影响我国初夏大范围旱涝,因而可根据4月极移的实测资料来预报我国初夏天气。

4. 极移离心力时强时弱,因而它对天气气候可能的影响时大时小。当离心力大时,利用它作预报效果就好,反之就差。因此,必须同时考虑各种宇宙-地球物理因素对长期天气气候过程可能的影响¹⁾,才能取得更好的效果。然而,应该指出,极移在所有宇宙-地球物理因素中占有比较重要的地位。

参 考 文 献

- [1] И. В. Максимов, Геофизические силы и воды океана, Гидрометеиздат, 1970.
- [2] Koichiro Takahashi and Masatoshi M. Yoshino, Climatic Change and Food Production, University of Tokyo Press, 1977. p. 257—277.
- [3] 松仓秀夫, 气象研究, 一卜, 12(4), 1962年, p. 418—443.
- [4] 彭公炳、陆巍、殷延珍, 大气科学, 1980年, 第4期, p. 369—378.
- [5] Е. П. Борисенков, Вопросы энергетики атмосферных процессов, стр. 50—55, Гидрометеиздат, 1960.
- [6] И. В. Максимов, ДАН СССР, 177(1), 1967, стр. 98—91.
- [7] William H. Quinn, *J. Appl. Meteor.*, 9(1), 1970, P. 20—23.
- [8] William H. Quinn, *J. Appl. Meteor.*, 11(4), 1972, P. 616—628.
- [9] 王绍武, 气象学报, 31, 1961, p. 304—318.

1) 陆巍, 彭公炳, 北半球大范围地区气压场背景预报, 待发表。

SOME RESPONSES OF THE PRESSURE FIELDS AND ATMOSPHERIC ACTIVE CENTRES TO THE POLE DISPLACEMENT

Peng Gongbing

(*Institute of Geography, Academia Sinica*)

Lu Wei

(*Science Press*)

Abstract

The authors have explained the basic ideas that centrifugal force potential and its horizontal components might influence on the pressure fields and atmospheric active centres, and analysed the rules of the variation in intensity of atmospheric active centres in northern hemisphere as the pole displaced, and corroborated the evidences of their influence by means of the climatic data of pressure distribution.

The authors have also discussed the influence of centrifugal force potential caused by pole displacement upon the distribution of pressure departure in Iceland Areas, and given a further physical explanation of the migration of the centres of Iceland depression. The calculations indicate that in some weak years of Southern Oscillation the values of the centrifugal force potential and its south components or north components of the pole displacement in island and its north-west areas are almost positive, and the values of east components or west components dominantly negative. The values of centrifugal force potential of pole displacement in Darwin are mainly negative.

Again, with respect to 10-year smoothing average values, in the years with large amplitude of the pole displacement the high pressure centres above Southern Pacific Ocean are located somewhat to low latitude; On the contrary, in the years with large amplitude they are located somewhat to high latitude. Corresponding to the periods of 6—7 years of the pole amplitude, the southern boundaries of the North Pacific high-pressure also has a similar variation, i.e. in the years with large amplitudes of the pole displacement, the southern boundaries of the North Pacific high-pressure are located somewhat to low latitude, and vice versa.

Corresponding to the periods of nearly 14 months, 6—7 years and 35 years of the pole displacement, there are similar periodical vibrations of the pressure in certain areas of China as well as the positions of some atmospheric active centres in the world.

Finally, the authors have pointed out the possibility of making long-range forecast by means of the rules of the pole displacement and some problems which should be paid attention to in making weather forecast.