

北半球 500hPa 3—5 年周期的初步研究

林学椿

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文用带通时间滤波器,对北半球 500hPa 高度距平(从 1951 年 1 月—1986 年 12 月共 432 个连续月)的每个格点的时间序列进行滤波计算,初步结果如下:

1. 北半球 500hPa 普遍存在 3—5 年周期,该周期的相对方差都在 30% 以上。35°N 以南相对方差可达 50% 以上,在太平洋、大西洋、欧亚低纬地区最大相对方差高于 70%。

2. 3—5 年周期的水平结构要比 Wallace 的遥相关型更具有波列结构,通过波列的射线路径可以把能量从低纬度频散到高纬度。

3. 从分析 1982/1983 El Nino 年个例可以看到,赤道东太平洋海水异常增暖对大气的影
响,除了一般公认的通过 PNA 型影响北美外,可能还存在另一条路径。

一、前 言

近几年来许多研究工作表明,月平均气象要素有 3—5 年的准周期变化。Troup^[1]研究南方涛动时,对达尔文站的季节平均地面气压作功率谱分析,发现 1882—1926 年和 1926—1962 年这两个时段的主要谱峰虽有差异,但它们都存在着 3—5 年周期。Chen^[2]分析了南方涛动的几个主要代表站的月平均气压的功率谱,也发现它们的主要谱峰都集中在 32—62 个月周期带上。此外,西太平洋副热带高压面积指数,中太平洋赤道云量和 100hPa 的南亚高压都存在着 38—40 个月周期^[3]。作者^[4]在分析低纬度超长波的统计特征时,也指出 20°N 纬圈 500hPa 的超长波(0—3 波)存在着 40 个月左右的振动周期,并用强迫扰动的随机气候模式证明了这个周期和包括海温在内的非绝热随机强迫振动有关。在海洋上,也有不少工作指出东太平洋赤道海温也具有 3.5 年周期^[5]。李麦村等^[6]用二次随机振动的海气相互作用模式,把大气和海洋的随机外力项作为白噪音过程,则海温的响应谱在 40 个月周期附近有一显著的谱峰,从以上列举的例子可以看出在热带副热带地区大气中确实存在 40 个月左右的准周期振荡,这种振荡与南方涛动密切有关,国外^[7]有人把这个周期称为 SO 周期。

本文通过谱分析和带通滤波来讨论北半球 500hPa 高度距平场上的 SO 周期及其某些特征。

二、方法和资料

为了讨论 3—5 年周期的特性,本文采用 Murakami^[8]设计的带通时间滤波器,其递推公式如下:

$$y_k = a(x_k - x_{k-2}) - b_1 y_{k-1} - b_2 y_{k-2}$$

其中 x_k 为气象要素时间序列的第 k 次观测值, y_k 为滤波后的值。常数 a, b_1, b_2 分别为:

$$a = \frac{2\Delta\Omega}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$$

$$b_1 = \frac{2(\Omega_0^2 - 4)}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$$

$$b_2 = \frac{4 - 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$$

其中

$$\Delta\Omega = 2 \left| \frac{\sin\omega_1\Delta T}{1 + \cos\omega_1\Delta T} - \frac{\sin\omega_2\Delta T}{1 + \cos\omega_2\Delta T} \right|$$

$$\Omega_0^2 = \frac{4\sin\omega_1\Delta T \cdot \sin\omega_2\Delta T}{(1 + \cos\omega_1\Delta T) \cdot (1 + \cos\omega_2\Delta T)}$$

ΔT 为时间间隔。频率 ω_1 和 ω_2 ($\omega = 2\pi/T$) 组成了该滤波器的带宽。在这两个频率处响应函数为 0.5, 而中心频率 ω_0 处的响应函数为 1.0。它们之间的关系为:

$$\omega_0^2 = \omega_1\omega_2$$

可见只要确定其中两个频率,第三个频率就可决定,系数 a, b_1, b_2 也就可以决定了。

在这里我们取 $\omega_0 = 2\pi/40$ 个月, $\omega_1 = 2\pi/30$ 个月。则 $\omega_2 = 2\pi/53$ 个月, $\Delta T = 1$ 个月。实际计算分两步进行,第一步由公式算出 y_k , 第二步把 y_k 值从时间上倒过来,再进行一次计算。这样做是为了避免各种频率发生位相移动。

本文把北半球月平均 500hPa (10×10) 高度场 (共 576 格点) 作为研究对象。为了消除季节变化,取它们的距平场。每个格点的时间序列都是由 1951 年 1 月—1986 年 12 月共 432 个连续月组成。按上述滤波公式对每个格点进行计算,得到一套滤波后的只有 3—5 年周期的 500hPa 高度距平场。

三、3—5 年周期的方差分布

上述的带通时间滤波器,可以对任何周期的气象要素时间序列进行滤波,其结果是否有意义,可以用它们的方差和未经滤波的方差来讨论。

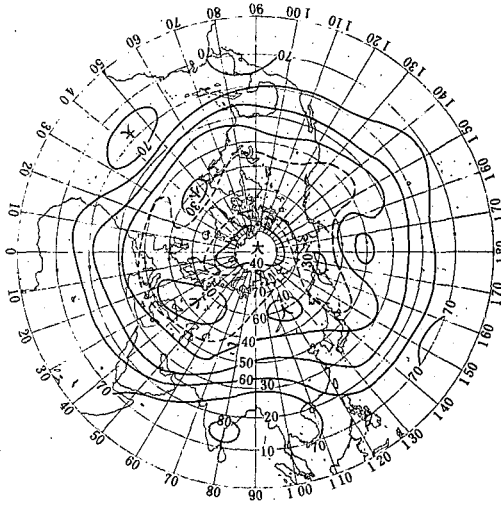


图 1 3—5 年周期的相对方差

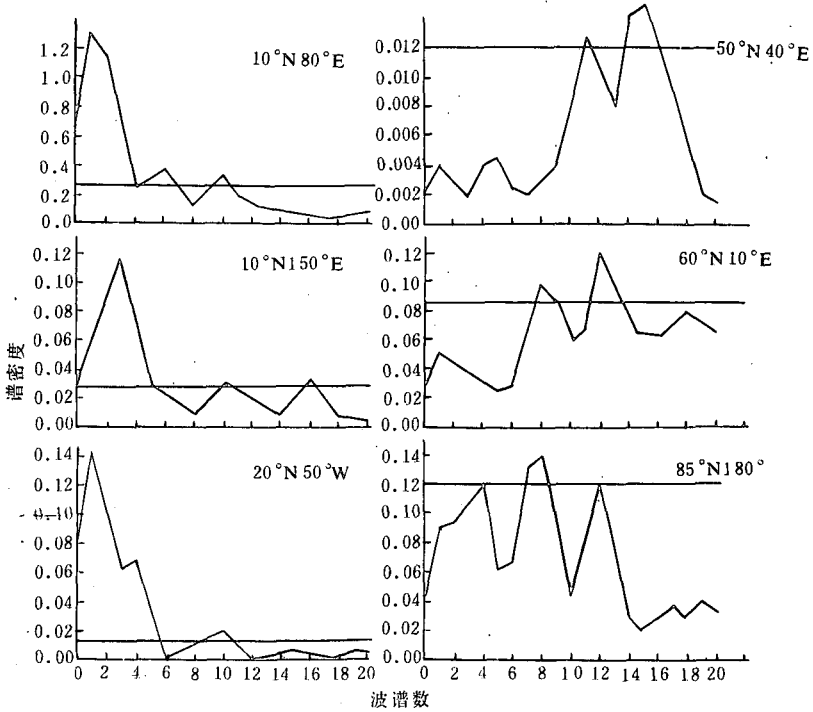


图 2 未滤波的 500hPa 6 个格点的功率谱分析结果
(横实线为 5% 信度线)

图 1 是滤波后的方差与未经滤波的方差之比即 3—5 年周期的相对方差。3—5 年周期的方差(图略)是由低纬度向极地增加,最大方差出现在极地偏大西洋侧。太平洋和大西洋的方差较两大陆大,说明两大洋 3—5 年周期较两大陆活跃。相对方差的分布(图 1)与

此相反,是由低纬度向高纬度减少。3—5年周期的方差与总方差之比约在30—70%之间,35°N以南3—5年周期的相对方差在50%以上,最大的相对方差出现在南亚,达75%以上。大西洋、太平洋和南美低纬度的相对方差也都在60%以上。

图2给出了6个格点未滤波的500hPa功率谱,每个格点的时间序列仍是1951年1月—1986年12月。计算功率谱时最大落后 M 取200个月,周期和波谱数的关系为 $T=2M/n$, n 为波谱数。为节省篇幅,这里只给出前20个波谱数的图形。

由图2可以看出在低纬度(图的左半部)除了波谱数1—3之间有一主要谱峰外,波谱数 $n=10$ 附近有一谱峰,其谱密度超过5%信度线;在高纬度(图的右半部)长周期振动不明显,在波谱数8—12之间存在着明显的谱峰,其谱密度亦超过5%信度线。这说明未滤波的500hPa位势高度距平的功率谱在高低纬度有着明显的差异,低纬度10年以上气候振动要比高纬度明显,但它们的共同特点都存在着33—50个月的周期。

图2中格点10°N80°E、10°N150°E和20°N50°W分别代表了南亚、太平洋和大西洋的相对方差极大区附近的功率谱。可见,尽管在这些地区都存在10年以上长周期的谱峰,但它们的方差主要取决于3—5年周期的方差。50—70°N是相对方差较小带,相对方差在30—40%之间,图2中格点50°N40°W位于相对方差极小区附近,它的功率谱表明:除了3—5年周期外,准两年周期(波谱数14—16)也很活跃。极地和贝加尔湖附近是相对方差的相对较大区。图2中格点85°N180和60°N110°E的功率谱表明3—5年周期在这些地区分裂为二个谱峰,分别出现在波谱数8和12上。总之,在35°N以南500hPa距平的总方差主要是由3—5年周期决定。在50—70°N之间,由于包括准两年周期在内的短周期活动的增加,使3—5年周期的相对方差有所减少,但仍在40—30%之间,说明3—5年周期也是这些地区的主要周期之一。

四、3—5年周期的水平特征

大气低频变化的水平结构一般是用某一格点的位势高度时间序列与北半球所有格点的同期相关的遥相关型来描述的。Wallace^[9]用冬季500hPa位势高度各格点的同期相关场揭露了500hPa存在着五种遥相关型。同样,我们用带通滤波后的资料的同期相关场来讨论3—5年周期的水平结构。

图3是格点55°N20°W与所有格点的同期相关。由图可以看出:相关场的波列结构十分清楚,从东南亚经极区到大西洋热带地区,有5个排列十分整齐的超过信度($R_{0.001}=0.32$)的相关区,称为东亚大西洋(EAA)波列。两个正(负)相关区的距离也就是3—5年周期的水平波长大约在8000—10000km以上,相当于超长波的振动。类似的相关分布可以在其他格点的相关场上观测到,但并非所有格点都能表现出与远距离地区有这么强的相关。它们的波节和波腹都有固定的地理位置。格点55°N20°W是Wallace的大西洋东部(EA)型中的一个代表性格点。Wallace的五种遥相关型一般是用相关区的中心格点来描述,大西洋东部型指数是用25°N20°W、55°N20°W和50°N40°E等3个格点来表示的。从Wallace^[10]给出该点的相关场看,还有第四个相关区,中心在60°N100°E附近即图中粗虚线联结的点。对比粗实线和粗虚线,两者的差异相当大。最大的是第三个相关区的位置,

在 Wallace 的相关场中该区为负相关,中心在 $50^{\circ}\text{N}40^{\circ}\text{E}$;图 3 中对应的负相关中心移到了 $80^{\circ}\text{N}20^{\circ}\text{E}$ 附近,其结果使大西洋东部型不能包括第四个相关区。第五个相关区(中心在 $40^{\circ}\text{N}120^{\circ}\text{E}$)在 Wallace 图上已很不清楚,可见 3—5 年周期的波列结构要比 Wallace 的遥相关型清楚得多。

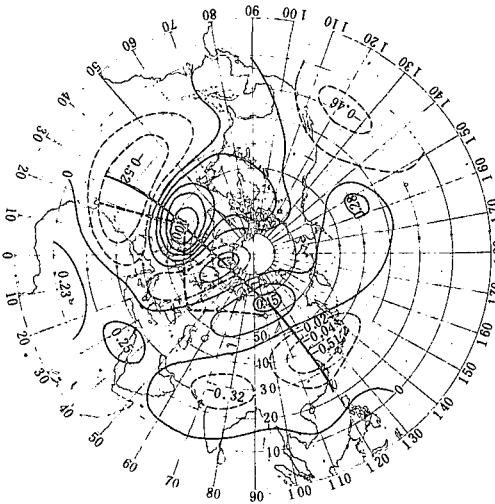


图 3 滤波后 500hPa 格点 $55^{\circ}\text{N}20^{\circ}\text{W}$ 与其它格点的同期相关场(等值线间隔为 0.2)

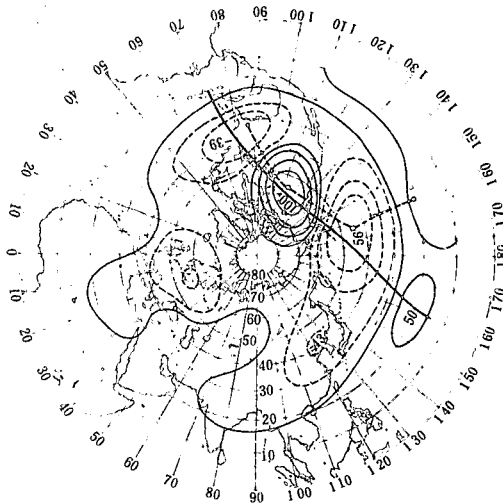


图 4 滤波后 500hPa 格点 $55^{\circ}\text{N}115^{\circ}\text{W}$ 和其它格点的相关场(说明同图 3)

图 4 是格点 $55^{\circ}\text{N}115^{\circ}\text{W}$ 的相关场,该点是太平洋北美(PNA)型的一个相关中心,同样可以看出 PNA 型在 3—5 年周期的图上表现一个波列,其位置稍有不同。

最近关于罗斯贝波在球面上的频散理论的工作^[11],提供了解释这些相关场的基础。这些相关场的结构类似于射线路径沿着某一个大圆走向的波列,它发源于热带地区向东与某一纬圈相切,然后再向右弯曲进入低纬度地区。这些波列是大气对某种持续的局地强迫作用的响应结果。数值模拟指出:为响应局地的定常的强迫作用的初始条件而建立起来的二维罗斯贝波,它的波腹和波节在固定的地理位置上,而波的活动却沿着射线路径频散出去,在远离强迫源的位置上逐次产生一个个新的中心并加强。因此有理由认为这些波列在位势高度场振荡的相关场中起了一定作用。

五、一个实例

以下一个例子说明滤波后的 500hPa 高度距平图上依然存在着气压系统的实体,它们移动路径可以从这些图上进行追踪。

在滤波后的 500hPa 图上可以清楚地看到类似于理论上二维罗斯贝波的传播过程。从 1982 年 8 月(图略)开始,整个北半球滤波后 500hPa 正距平不断增加,负距平加深。至 1982 年 10 月(图略),亚欧大陆 30°N 附近出现带状的负距平区,中心在 $30^{\circ}\text{N}80^{\circ}\text{E}$; 50° — 60°N 为正距平区,中心在贝加尔湖西侧;极地偏大西洋侧为很深的负距平区,中心在 75°N

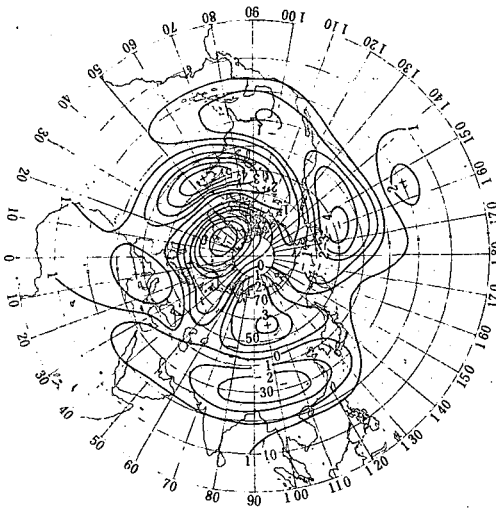


图5 1982年12月滤波后的500hPa位势高度图
(图中按1位势什米画一条等值线,粗线为距平零线)

表1 5个距平中心滤波后的500hPa位势高度值(括号内为未滤波值)

时间	位置				
	30°N110°E	60°N100°E	75°N35°W	50°N50°W	30°N40°W
1982年6月	-11(-10)	14(-16)	-23(-33)	11(4)	-4(-9)
1982.7	-11(-6)	10(5)	-29(3)	16(-63)	-2(11)
1982.8	-12(0)	9(-39)	-34(74)	21(46)	0(21)
1982.9	-14(4)	11(-52)	-40(38)	27(42)	1(-24)
1982.10	-17(-12)	18(10)	-46(-48)	36(35)	3(-3)
1982.11	-19(-33)	26(41)	-53(-73)	49(75)	4(8)
1982.12	-21(-15)	32(65)	-56(-142)	61(69)	5(26)
1983.1	-21(-37)	33(93)	-53(-76)	72(79)	5(-19)
1983.2	-20(-41)	28(78)	-48(-78)	80(87)	3(13)
1983.3	-17(-28)	20(-74)	-42(4)	79(64)	0(-16)
1983.4	-12(6)	17(-32)	-38(14)	71(17)	-2(14)
1983.5	-8(7)	18(38)	-37(-27)	60(16)	-3(-8)
1983.6	-5(9)	20(-36)	-38(-53)	52(14)	-4(-9)
1983.7	-3(3)	24(15)	-36(-86)	47(26)	-3(-8)
1983.8	-2(9)	30(10)	-33(65)	44(26)	-3(11)

30°W;北美东海岸为正距平区,中心在50°N60°W附近。这四个距平区不断加强并相互调整位置,到1982年12月(图5)形成了类似于图3相关场所示的波列结构。1983年3月(图略)发展比较完整。对应于图3,大西洋低纬度的负距平区中心直到1983年5月才形成。同时亚欧大陆的距平区已发生变化,因此这个波列维持了半年以上。表1给出这5个距平中心滤波后的500hPa位势高度距平值。可以看出30°N110°E,60°N100°E和75°N

30°W 这 3 个距平中心从 1982 年 8 月开始加强,在 12 月底和 1 月同时达到最大值。50°N 50°W 的最大值出现在 1982 年 2 月,而大西洋低纬度的负距平出现则更晚,说明能量是沿着这个波列从东南亚向大西洋方向频散的。

由上例可以看到:(1)500hPa 的 3—5 年周期是由一些空间尺度很大的正负距平区组成,这些气压实体一般都在固定的地理位置上摆动或强度的增减,它们的运动轨迹可以从滤波后的 500hPa 图上进行追踪。(2)大气对赤道东太平洋海温异常的响应,在 500hPa 有可能存在两种不同的天气型即太平洋北美波列和东亚大西洋波列,通过这两个波列将热带地区的边界强迫作用的能量频散到中高纬度,造成复杂的天气过程。1982/1983 年 El Nino 事件就是通过东亚大西洋波列影响中高纬度的,结果使得该年我国汛期降水与以往的统计事实不符,造成预报的失败。(3)3—5 年周期的 500hPa 图比未滤波的 500hPa 图更能反映边界的强迫作用。在这个例子中,在 1982 年 12 月的未滤波的 500hPa 图上(图略)勉强能辨认出类似于 PNA 型的气压距平结构。但由于北美加拿大的正距平区(中心在 55°N115°W)东移与北美东海岸附近的正距平区合并而使得 PNA 型不能维持。从东亚到大西洋的波列在未滤波的 500hPa 图上基本上没有得到反映,如表 1 中括号内的数值。说明 3—5 年周期可能是边界强迫作用,特别是赤道东太平洋海温异常强迫作用的结果。

参 考 文 献

- [1] Troup, A. J., The Southern Oscillation, *Quart. J. R. Met. Soc.* **91**, 490—506, 1965.
- [2] Chen, W. Y., Assessment of Southern Oscillation sea-level pressure Indices, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 800—807, 1982.
- [3] 杨义碧等,太平洋地区海气耦合振荡, *大气科学*, **6**, 1, 1982.
- [4] 林学椿,低纬度超长波的统计特性, *热带气象*, **4**, 1, 1988.
- [5] 陈烈庭,北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用, *大气科学*, **6**, 2, 1982.
- [6] 李麦村等,关于海温准三年及半年周期振荡的随机气候模式, *气象学报*, **42**, 1984.
- [7] Rasmusson, E. M. and T. Carpenter, Variations in tropical sea-surface temperatures and surface wind field associated the Southern Oscillation/El Nino, *Mon. Wea. Rev.* **110**, 354—384, 1982.
- [8] Murakami, T. and T. Nahazawa, Tropical 45 day oscillations during the 1979 northern hemisphere summer, *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1107—1122, 1985.
- [9] Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 758—812, 1981.
- [10] Wallace, J. M. and R. Pearce, 大气中大尺度动力过程(第三章),孙照渤等译,气象出版社,1987.
- [11] Hoskins, B. J., A. J. Simmons, and D. G. Andrews, Energy dispersion in a barotropic atmosphere, *Quart. J. R. Met. Soc.* **103**, 553—567, 1977.

A PRELIMINARY STUDY OF 3—5 YEAR CYCLE OVER
500hPa HEIGHT FIELD
IN THE NORTHERN HEMISPHERE

Lin Xuechun

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Abstract

In the paper, the time series of 500 hPa height departure field from January 1951 to December 1986 are calculated by using a band-pass filter at all grid points in the northern Hemisphere. The preliminary results are as follows:

1. There exists a 3—5 year cycle for 500 hPa height field in the northern Hemisphere. The relative variance are over 30% in the northern Hemisphere and 50% to the south of 35°N latitude. The maximum relative variances in the Pacific, Atlantic and Eurasia low latitude areas are more than 70%.

2. The 3—5 year cycle is provided with more obvious construction of wavetrain than Wallace's teleconnection types. The atmospheric energy is transferred by dispersing from low latitude to high latitude along ray path of the wavetrains.

3. From the filtered 500 hPa height departure field during 1982/1983 El Nino event, it is found that in response of atmospheric circulation to the tropical Pacific SST anomaly forcing, there may be another path, in addition to the PNA teleconnection type.