

3—5年周期的波列结构

林学椿 于淑秋

(国家气象局气象科学院天气动力研究所)

提 要

本文用滤波后的 500 hPa 位势高度距平资料(1951.1—1986.12)的每一个格点和所有格点的同期相关场来讨论 3—5 年周期的水平结构。我们发现: 3—5 年周期具有明显的波列结构。在 576 张相关图中主要有三个波列, 即太平洋北美波列、东亚大西洋波列和大西洋西部欧洲波列, 并讨论了这些波列的落后相关及可能源地。

关键词: 大气环流年际变化; 海气相互作用; 长期天气预报。

一、前 言

大气环流年际变化的准 3—5 年周期, 最先是在研究南方涛动、赤道东太平洋海温变化等热带副热带地区的功率谱分析中发现的^[1-5], 称为 SO 周期。我们对北半球 500hPa 位势高度距平场的每个格点的时间序列(从 1951.1—1986.12 月共 432 个连续月)进行 3—5 年周期的带通滤波计算, 得到了一套滤波后只有 3—5 年周期的北半球 500hPa 高度资料。在此基础上, 前文^[6]讨论了 SO 周期的振幅及其地区的变化, 指出北半球 500hPa 普遍存在这个周期, 相对方差(即滤波后的方差和未滤波的方差之比)都在 30% 以上, 40°N 以南相对方差可达 40%, 低纬度可达 60—70%。说明这些地区的月际变化主要取决于该周期的变化, 本文将进一步讨论 SO 周期的水平结构。

波列概念是在研究 Rossby 波在球面上传播的理论工作中提出的, 它发源于热带地区, 向东北与某一纬圈相切, 然后再向南进入低纬度地区。这些波列是大气对某种持续的局地强迫作用的响应结果。数值模拟结果指出, 为响应局地的定常强迫作用的初始条件而建立起来的二维 Rossby 波, 它的波腹和波节保持在固定的地理位置上, 而波的活动却沿着射线路径, 在远离强迫源的位置上逐次产生一个个新的气压中心, 并不断加强^[7]。理论上的波列概念除了 Wallace^[8]的太平洋北美(PNA)遥相关型在其结构上有些类似外, 在实际的气压场中至今还没有发现它的存在。

大气环流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来揭露。我们计算了滤波后的 500hPa 位势高度距平的每个格点和所有格点的同期相关, 如图 1、图 3、图 4 所示。我们发现 3—5 年周期的水平结构具有明显的波列特性。在这里, 所谓波列是指相关系数超过 5% 信度(即大于 $r_{0.05} = 0.19$, 样本 $n = 432$)的一串正负相间的相关区。它们由低纬出发, 向北到高纬度与某一纬圈线相

1988 年 10 月 20 日收到, 1989 年 6 月 3 日收到修改稿。

切, 然后向南进入热带地区, 这个定义十分符合于二维Rossby波传播理论中的波列概念. 由图 1、图 3、图 4 可见, 两个正(负)相关区之间的距离即 3—5 年周期的水平波长人约在 10000hm 以上, 相当于超长波的振荡. 类似的相关分布可以在其它格点的相关场上观测到, 但并非所有的格点都能表现出与远离地区有这么强的相关. 在 576 张相关图上发现三个波列系统, 即太平洋北美(PNA)波列, 东亚大西洋(EAA)波列和大西洋西部欧洲(WAE)波列. 这些波列都与某种局地的强迫作用有关.

二、太平洋北美波列(PNA)

在 Wallace^[8] 用冬季 500hPa 位势高度各格点的同期相关场所揭露的五种遥相关型中, 近来研究较多的具有实际意义的是太平洋北美型. 它被认为是赤道东太平洋海温异常加热对大气影响的一个重要通道^[9], 但迄今我们还没有看到有关夏季的类似研究报告. 我们用 432 个连续月滤波后的 500hPa 位势高度资料, 得到的相关场类似于 PNA 型. 说明 PNA 型是 SO 周期的水平结构在未滤波的 500hPa 图上的一种反映.

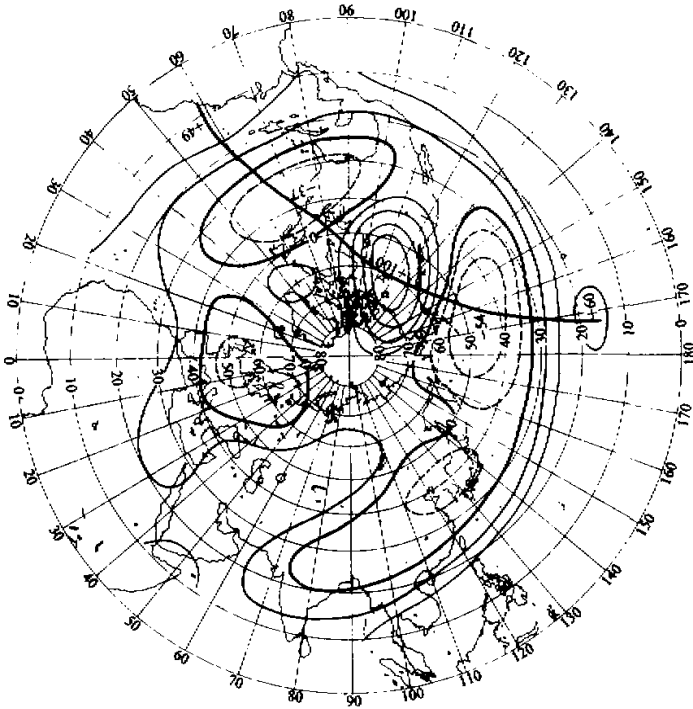


图 1 格点 60°N、120°W 与所有格点的同期相关场

图中相关系数每隔 0.2 分析一条线, 粗实线为相关零线, 实线为正相关, 虚线为负相关.

图 1 为滤波后 500hPa 上的格点 60°N、120°W 与所有格点的同期相关场. 由图可知, 从热带太平洋向东北偏北方向, 经加拿大西部与 60°N 纬圈线相切, 然后向东南,

到达加勒比海的一线上(图中实线称为射线路径,下同)整齐地排列着四个正负相间的相关区,其中心数值均超过 0.1% 信度($r_{0.01}=0.32$),中心位置为 20°N , 170°E ; 50°N , 170°W ; 60°N , 120°W ; 35°N , 85°W . 此外在北美低纬度,中心在 10°N , 60°W 附近,还有一个超过 0.1% 信度的相关区,两个正(负)相关区的距离也就是 SO 周期的水平波长,大约 1 万 km 以上,相当于超长波的振动. 这条波列包含了两个 SO 周期的水平振动. Wallace 的 PNA 遥相关型中的四个相关中心分别为 20°N , 160°W ; 45°N , 165°W ; 55°N , 115°W ; 30°N , 85°W . 与图 1 的四个相关中心位置相比,虽有不同,但差别不大. 实际上它是一个空间范围相当宽广的波列系统. 图 2 中的虚线部分给出了这个波列系统的射线路径. 它是由 60°N , $60^{\circ}\text{—}140^{\circ}\text{W}$ 范围内九个格点射线路径组成,这九条射线路径的正负相关区位置相对比较集中(图中黑点)但有一定宽度,约有 30—40 个经度的变化,特别是太平洋低纬度其变化范围更大,可达 60—70 个经度.

大气环流的年际变化一般认为是海洋和冰雪的缓慢变化的热力强迫作用的结果, Horel^[9] 等人对北半球冬季大气环流对 ElNino 的响应作了详细的观测研究. 他们给出的一系列由赤道东太平洋热源出发的二维 Rossby 波的综合模型,其模型非常类似于图 1 的波列结构.

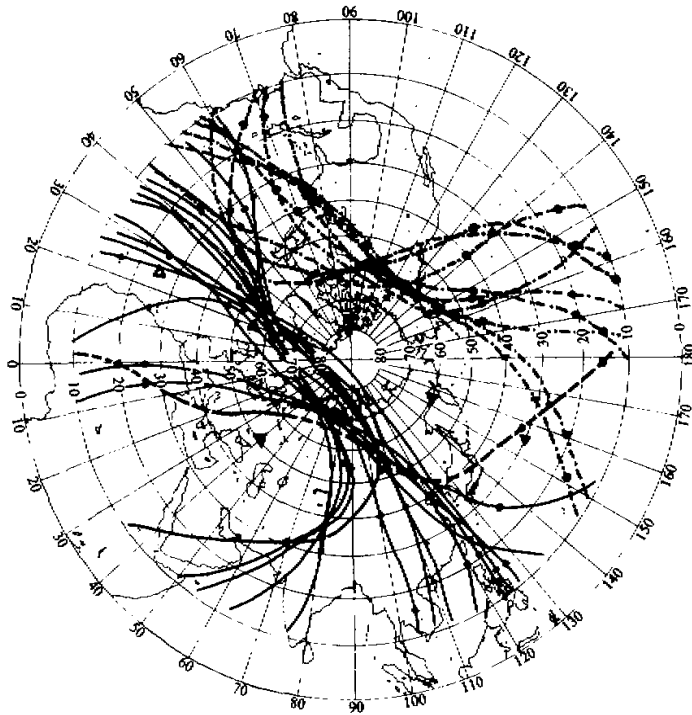


图 2 为 PNA 和 EAA 波列系统的射线路径
分别用虚、实线表示, 图中黑点表示正负相关区的中心位置.

近几年许多人已经做了一些大气环流模拟数值试验,以确定大气对热带海洋温度变化的响应特性.Hoskins和Karaly^[10]用五层斜压模式做的数值试验,表明在热带副热带西风区中的海水温度异常将激起向外传播的Rossby波.一旦这种波动被激发,其活动与熟知的相当正压Rossby波相同.他们根据射线追踪法,其传播路径也十分接近于图1的波列,说明太平洋北美波列有可能是由赤道东太平洋海水温度的非绝热加热的强迫作用的结果,也就是说它是大气环流对El Nino和反El Nino的准周期振荡响应的结果.图2虚线部分的射线路径变化,可能与热带太平洋海温异常增暖的强度和地点有关^[11].这给用赤道东太平洋海温制作长期天气预报带来了复杂性,并也说明为什么El Nino年会有不同的异常天气.

表1给出了用滤波后500hPa高度计算的波列的一个中心和其它中心的落后相关系数.由表可见:PNA波列的一个中心格点 20°N 、 170°E 和其它四个中心的最大落后相关(表中用“*”表示)系数出现在第2—3个月,说明从格点 20°N 、 170°E 将能量频散到这个波列的其它各点大约要2—3个月时间,而其它各点能量的频散时间则不到1个月.

由太平洋海温的水平结构可知:赤道东太平洋区与西北太平洋区的海温呈明显的反相关.选择 5°N — 5°S 、 160° — 85°W 之间的平均海温距平来表示赤道东太平洋区的海温变化(表中SSTE),用 40°N 、 170°E — 180° 、 35°N 、 170°E — 160°W 之间的8个格点平均海温距平来表示西风漂流区(表中SSTW).二者之间的相关系数达 -0.35 ^[12].它们分别与 20°N 、 170°E 格点滤波后的500hPa求落后相关.可见最大相关系数分别出现在-1月和-3月,说明当赤道东太平洋海水异常增(降)温时,先影响西北太平洋,使西风漂流区海温下降(上升)形成一个径向的异常海温梯度,然后影响热带地区的大气环流,再后沿着这个波列,2—3个月后影响中高纬度环流,这个过程大约需半年.

三、东亚大西洋(EAA)波列

图3给出了滤波后500hPa格点 70°N 、 100°E 和所有格点的同期相关场.在起始于东亚低纬度,向西北偏北,经极地于 70°N 纬圈线相切,然后转向西南进入大西洋东部低纬度的这条射线路径上,有规则地排列着6个正负相间的超过0.1%信度的相关区.在 40°N 附近,我国的东北和华北,蒙古、朝鲜、日本地区与 10° — 20°N 之间的印度、东南亚等成反相关,在高纬度苏联北部和格陵兰与冰岛成反相关,在大西洋东部中低纬度区成反相关.这6个相关区中心分别为 15°N 、 105°E 、 40°N 、 110°E 、 70°N 、 100°E 、 70°N 、 10°W 、 50°N 、 20°W 和 20°N 、 30°W .

类似的相关分布可以在其它格点上观测到,但并非所有格点都能表现出与远距离地区有那么强的相关.它们的波节和波腹都有固定的地理位置,图2实线给出了EAA波列的射线路径.相关区的中心位置(图中黑点),有固定的地理分布,同时也可看到波列的射线路径有一定的变化宽度.

EAA波列与Wallace^[8]遥相关型中的大西洋东部(EA)型和太平洋西部(WP)型有关.Wallace的遥相关型一般是用相关区的中心格点来描述,EA型是用 25°N 、 25°W 、 55°N 、 20°W 和 50°N 、 40°E 三个格点来表示.WP型用 60°N 、 155°E .

表1 用滤波后500 hPa 计算的波列的一个中心和其它中心的落后相关系数

落后月数	20 °N, 170 °E										40 °N, 110E										60 °N, 10 °E									
	SST _E		SST _W		20 °N 170 °E	50 °N 170 °W	60 °N 120 °W	35 °N 85 °W	10 °N 60 °W	15 °N 105 °E	40 °N 110 °E	70 °N 100 °E	70 °N 10 °W	50 °N 20 °W	20 °N 30 °W	30 °N 60 °W	50 °N 50 °W	60 °N 10 °E	50 °N 50 °E	30 °N 70 °E										
-10	37	-25	38	4	-4	-10	11	-32*	75	-36	20	-20	32	21	8	30	-14	44												
-9	42	-30	43	0	-13	15	-31	76	-38	20	-20	33	23	5	35	-18	46													
-8	47	-34	49	-3	4	-17	19	-30	78	-41	20	-20	34	26	2	41	-21	47												
-7	51	-38	55	-8	10	-21	23	-29	80	-44	21	-20	35	29	0	48	-25	48												
-6	54	-42	62	-14	16	-25	27	-28	83	-46	21	-21	36	33	-4	55	-29	48												
-5	57	-46	70	-20	22	-30	31	-28	85	-49	21	-22	37	37	-8	63	-32	49												
-4	58	-48	77	-27	29	-34	36	-27	88	-52	21	-22	37	41	-12	72	-36	51												
-3	59*	-49	85	-34	36	-37	40	-26	91	-54	21	-23	38	45	-17	81	-39	52												
-2	57	-50	92	-41	42	-40	43	-25	95	-57	22	-23	38	48	-20	90	-42	53												
-1	54	-52*	97	-48	49	-41	46	-24	98	-59	23	-23	38	49*	-23	97	-43*	54*												
0	47	-51	100*	-52*	53	-41	48	-22	100*	-60*	23	-24	38	49*	-25*	100*	-42	53												
1	39	-49	97	-52*	55*	-42*	50*	-22	98	-59	24	-24	38	48	-25*	97	-40	52												
2	31	-44	92	-49	55*	-40	50*	-21	95	-57	25	-25	38	46	-24	90	-36	51												
3	22	-38	85	-45	53	-38	49	-21	91	-55	27	-26	38	44	-22	81	-32	49												
4	13	-31	77	-40	49	-35	48	-20	88	-54	28	-27	38	41	-20	72	-28	47												
5	5	-25	70	-35	45	-32	47	-20	85	-52	30	-29	38	39	-18	63	-24	46												
6	-2	-19	62	-30	41	-28	46	-20	83	-51	31	-30	38	38	-16	55	-20	45												
7	-8	-13	55	-25	37	-25	44	-20	80	-50	32	-32	38	36	-15	48	-17	44												
8	-14	-8	49	-21	33	-23	43	-21	78	-49	34	-34	38	34	14	41	-14	43												
9	-18	-5	43	-17	30	-20	41	-21	76	-48	35	-35	39	32	13	35	11	42												
10	-21	-3	38	-14	27	-18	40	-22	75	-47	36*	-36*	40*	30	-13	30	-9	41												

30°N 、 155°E 二点来描述(如图 2 中 $\triangle$ 点), 可见 WP 型要比 EAA 波列偏东约 20—30 个经度, EA 型除了 50°N 、 40°E 格点外, 其它两点与 EAA 波列一致. 事实上, 从 Wallace^[8] 给出的 25°N 、 25°W , 55°N 、 20°W , 50°N 、 40°E 分别与所有格点的同期的相关图中可看到, 共有五个相关中心, 除了上述三个外, 还有二个相关中心分别在 60°N 、 100°E 和 15°N 、 100°E . 这五个相关中心除了 50°N 、 40°E 外, 其它各点都在 EAA 射线路径的变化范围内.

我们知道未滤波的 500hPa 位势高度时间序列是由各种尺度的周期组成的, 每个格点和所有格点的相关场只能是各种周期的综合结果, 不能完全揭露某一特定周期的水平结构, 但反过来, 也可以看出 Wallace 的五种遥相关型主要是反映了 SO 周期的水平结构.

由表 1 可见 EAA 波列的一个中心格点 40°N 、 110°E 和其它五个中心的落后相关. 格点 40°N 、 110°E 的变化落后于格点 15°N 、 105°E 的变化 10 个月以上, 而先于格点 70°N 、 10°W , 50°N 、 20°W , 20°N 、 30°W 的变化 10 个月以上, 但与格点 70°N 、 100°E 的变化几乎同步, 说明这个波列起源于东亚低纬度, 传播到北美纬度约需 1—2 个 SO 周期.

由图 2 实线可见, 在东亚低纬度地区, 相关中心主要集中在二个地区, 一是南海, 菲

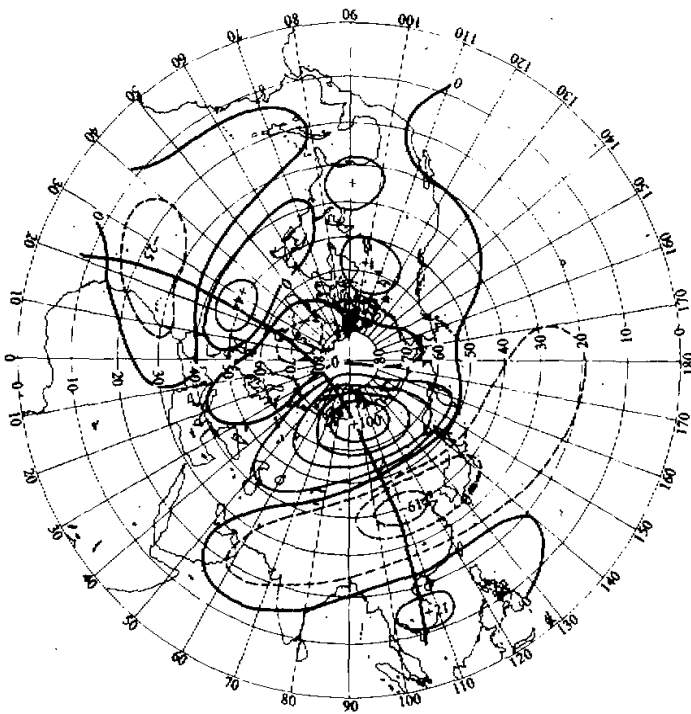


图 3 为格点 70°N 、 100°E 与所有格点的相关场
(说明同图 1)

四、大西洋西部欧洲波列(WAE)

大西洋西部欧洲波列不同于上述二个波列, PNA 和 EAA 波列都起始热带地区, 先向北, 与某一纬度圈相切, 再向南, 进入低纬度. WAE 波列的起始点比较复杂, 可以起始于欧洲低纬度, 也可以起始于北美热带地区, 或同时起于这二个地区. 该波列有五个相关区, 其主要部分即三个相关区沿着 50°N 纬度圈分布, 以此来连接大西洋西部和欧洲低纬度的相关区. 图 4 给出格点 $50^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\text{W}$ 和所有格点的同期相关图. 该波列的射线路径(图略), 近似于直线分布, 明显不同于上述两个波列; 射线路径上有五个主要相关区, 中心位置为 $30^{\circ}\text{N}, 60^{\circ}\text{W}$, $50^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\text{W}$, $60^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{E}$, $50^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\text{N}, 70^{\circ}\text{E}$. 该波列与 Wallace 遥相关型中的大西洋西部(WA)型和亚欧(UV)型有关. 这二个遥相关型的相关中心分别为 $30^{\circ}\text{N}, 55^{\circ}\text{W}$, $55^{\circ}\text{N}, 55^{\circ}\text{W}$ 和 $55^{\circ}\text{N}, 20^{\circ}\text{E}$, $55^{\circ}\text{N}, 75^{\circ}\text{E}$, $40^{\circ}\text{N}, 145^{\circ}\text{E}$. 其中前三个点和 WAE 波列的前三个中心位置很接近.

由表 1 中的 WAE 波列中格点 $60^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{E}$ 和其它格点的落后相关可见, 格点 $60^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{E}$ 的变化要落后于格点 $30^{\circ}\text{N}, 60^{\circ}\text{W}$, $50^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\text{E}$ 和 $30^{\circ}\text{N}, 70^{\circ}\text{E}$ 的变化 1—2 个月, 而格点 $30^{\circ}\text{N}, 60^{\circ}\text{W}$, $50^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\text{N}, 70^{\circ}\text{E}$ 的变化几乎是同时的. 说明这个波列的起始点是十分复杂的, 这是和 PNA, EAA 波列的最大差别.

在早期的长期天气预报中广泛地强调“指数循环”概念. 这是指大气环流的“高指数”状态和“低指数”状态之间的准周期振荡. 有足够证据表明^[14]冬半球环流的确存在着纬向动能和扰动动能以及纬向有效位能和扰动有效位能之间的大尺度振荡, 这种振荡的重要部分(也许是主要部分)是气候平均定常波和低频瞬变波之间交替进行的相长干涉和相消干涉. Wallace 和 Hsu^[14] 用一个涡动指数 E 去比较高低指数时段的环流特征. E 被定义为 500hPa 位势高度的涡动方差 Z'^2 的半球积分. 根据 30 年冬季的 5 天平均 500hPa 位势高度图, 就可以得到 E 的一个时间序列. 选出 E 值最高的 46 个候所对应高度场, 得到综合距平图. 其绝对值大于 40.0 位势米正负距平区的中心位置 and 这个波列的中心位置接近. 我们知道高、低纬度西风指数经常呈反相关, 而在同一纬度带其变化经常是同步的, 联系表 1 的落后相关, 有理由推论这个波列可能和能量参数的指数循环有关.

五、讨 论

我们用滤波后的 500hPa 位势高度距平资料(1951.1—1986.12)的每个格点和所有格点的同期相关场来讨论 SO 周期的水平结构. 指出 SO 周期具有明显的波列结构, 每一条波列都有 5—6 个排列整齐的正负相间的相关区. 这些相关中心与 Wallace 的遥相关型虽有关系, 但也有相当大的差异, 说明 Wallace 的遥相关型部分地反映了 SO 周期的水平结构. 进而还讨论了每条波列的滞后相关和可能的源地.

(1) 太平洋北美波列(PNA), 这个波列有五个主要相关区, 它起始于日期变更线以东的热带太平洋地区, 先向东北偏北, 经加拿大西部与 60°N 纬度圈相切, 然后转向东南, 进入北美低纬度地区. 它可能与赤道东太平洋海水温度变化的强迫作用有关(待

专题讨论这个问题)。

(2) 东亚大西洋波列(EAA), 这个波列有 6 个主要相关区, 它起始于东亚低纬度地区先向北, 经苏联, 在北冰洋与 70°N 纬度圈相切, 再转向南, 进入大西洋东部热带地区。这个波列可能与印度尼西亚附近赤道对流区和青藏高原地形的强迫作用有关。

(3) 大西洋西部欧洲波列(WAE), 这个波列有五个主要相关区, 它的主要部分即三个相关区沿 50°N 纬圈分布, 以此连接大西洋西部和欧洲低纬度地区的相关区。这个波列的起始地点比较复杂, 它可能与大尺度能量参数的指数循环有关。

SO 周期的水平结构非常适合于二维 Rossby 波的传播理论。这个理论的波列和射线路径概念在解释 SO 周期的遥相关结构等方面是非常有用的。但是应该强调指出, 从本质上说, 二维 Rossby 波的传播理论不是大气低频变化的根本原因。近几年来许多研究工作指出^[14]引起大气低频变化的原因有 1) 外部强迫作用, 2) 振荡现象, 3) 不同气候流型之间的过渡, 4) 波动的相互作用, 5) 高频瞬变波的强迫作用。因此要理解 SO 周期的性质和原因, 还应进一步研究其机制。

参 考 文 献

- [1] A. Troup, 1965, The Southern Oscillation, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **91**, 490—506.
- [2] W. Y. Chen, 1982, Assessment of Southern Oscillation sea-level pressure indices, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 800—807.
- [3] 李麦村等, 1984, 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**, 168—176.
- [4] 林学椿, 1988, 低纬度超长波的统计特性, *热带气象*, **4**, 第 1 期, 27—35.
- [5] 陈烈庭, 1982, 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**, 第 2 期, 148—156.
- [6] 林学椿, 北半球 500hPa 3—5 年周期的初步研究(即将发表).
- [7] Hoskins, B. J., Simmons, A. J. and Andrews, D. G., 1977, Energy dispersion in a barotropic atmosphere, *Q. J. R. Met. Soc.*, **103**, 367—553.
- [8] Wallace, J. M. and Gutzler, D. S., 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. wea. Rev.*, **109**, 785—812.
- [9] Horel, J. D. and Wallace, J. M., 1981, Planetary scale atmospheric phenomena associated with the southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813—829.
- [10] Hoskins, B. J. and Karoly, D. 1981, The steady Linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179—1196.
- [11] 林学椿, 北太平洋海温和 PNA 波列(将发表在“海洋学报”).
- [12] 林学椿, 从太平洋赤道区和西北区海水温度提取 El Nino 信息, (即将在“热带海洋”上发表).
- [13] Grose, W. L. and Hoskins, B. J., 1979, On the influence of orography on large-scale atmospheric flow, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 223—234.
- [14] Hoskins, B. J. and R. Peace 等编著, 孙照渤等译, 1987, 大气中大尺度动力过程(第三章), 气象出版社.

WAVETRAIN CONSTRUCTION OF 3-5 YEAR CYCLE

Lin Xuechun and Yu Shuqiu

(*Institute of Synoptic Dynamic Meteorology, SMA*)

Abstract

Time series of all gridpoints are calculated by a band-pass filter of 3-5 year cycle on the Northern Hemisphere 500 hPa height departure from Jan. 1951 to Dec. 1986. Level construction of the 3-5 year cycle is discussed by simultaneous temporal correlation between filtered 500 hPa height departure of each gridpoint and of at the Northern Hemisphere locations. We find that the 3-5 year cycle is provided with wavetrain construction. There are main three wavetrains on the 576 correlation figures. The source and propagation direction of these wavetrains are also discussed.

Key words: Interannual change of atmospheric circulation; Ocean-atmosphere interaction; Long-range weather forecasting.

《大气科学进展》

征订启事

大气科学进展(Advances in Atmospheric Sciences)是由中科院大气物理研究所编辑,海洋出版社出版的英文本高级学术期刊,季刊,每期约128页,每逢2,5,8,11月出版。创刊8年来得到国内外气象界的一致好评,本刊在国际上已有一定影响,英、美、日、印度、巴基斯坦、苏联、保加利亚、西班牙等国的科学家为本刊撰文投稿,AAS已逐渐成为一本国际性的学术刊物,为沟通国内外的学术交流起了积极作用。AAS的国内发行,海洋出版社委托本刊编辑部代为办理,凡要订阅1991年AAS的个人或单位,请把汇款80元寄往北京市(100029)德外大气物理所刘凯辉收,并写明地址、邮编、联系人。我们收到汇款后即把正式发票寄给订户供报销。如欲补订1986—1990年的AAS,编辑部尚有存书,每年订价为56元。