

北太平洋海表温度与 500hPa 西太平洋副高和极涡相互作用的统计分析

王柏钧 陈刚毅

(成都气象学院气象研究所, 成都, 610041)

提 要

本文采用斜交 PROMAX 因子分析方法分析了 1954—1986 年北太平洋逐月海表温度与 500hPa 西太平洋副高和极涡环流指数(7 个因子)的相互关系, 指出 (1)500hPa 西太平洋副高和极涡指数与北太平洋海温的相关值存在明显的年变化, 以赤道太平洋区最敏感, (2)赤道东太平洋海表温度的变化与 10 个月前的极涡中心强度、同期和 1—3 个月前西太平洋副高面积、强度、位置变化有联系, (3)500hPa 西太平洋副高面积和强度的变化受到前 3—5 个月赤道东太平洋和 3 个月前赤道中太平洋海表温度的影响, 500hPa 西太平洋副高位置与前 3—5 个月赤道东太平洋海表温度有联系。

关键词: 海气相互作用; 多元统计; 斜交因子分析。

一、引 言

海洋与大气相互作用及其对天气、气候的影响, 是当前地球科学中一个十分活跃的课题, 已进行了许多的研究。近年来的研究表明, 海洋异常的信号, 不仅存在于全球热带海面温度、气压、风和云量以及洋流强度等要素场中^[1,2], 而且还在许多地区的大气环流和气候年际变化中也有较清楚的反映。苏炳凯、符淦斌等^[3]对北半球副高长期变化进行了研究, 认为北半球副高与东太平洋海温之间存在着长期的耦合振荡关系, 是海气相互作用中的一类“遥相关”。一些统计分析发现, 中纬度环流变化可能比赤道海温变化为早。李崇银^[4]从多年地面气压和 500hPa 高度资料的统计分析中发现埃尔尼诺现象发生前 1 年 10—12 月份和当年 1—3 月份东亚和西太平洋地区的大气环流都有明显异常。这些研究反映出海气相互作用不仅存在于热带地区, 而且对全球都有较大影响。

在方法的研究和应用方面, 近年来在经验正交分解基础上进行的正交旋转(EOF)已开始引入气象问题的研究范围, 且已取得较好的效果。但在 EOF 中所得到的正交因子解, 始终保持着彼此互不相关的特点, 实际上这是较为特殊的情况, 因为在自然界中, 决定事物各方面的因素往往是相互联系和相互制约的。更一般的应该是经过斜交旋转的斜交因子解(相关因子)。它有可能更好地分析复杂的气象问题。但斜交因子分析在气象中的应用尚较少, 为此本文试图采用斜交 PROMAX 因子分析和方差极大

1989 年 3 月 23 日收到, 1989 年 10 月 21 日收到修改稿, 1990 年 7 月 23 日收到再改稿。

正交旋转的方法来探讨海温与500hPa副高和极涡指数的相互关系,并着重讨论赤道太平洋海表温度与西太平洋副高和极涡的相互作用及其时间演变.所用资料为1954年1月至1986年12月逐月北太平洋海表温度和北半球500hPa西太平洋副高和极涡等大气环流资料.

二、数据资料阵的建立

利用以上33年北太平洋南起10°S北至50°N,东起120°E西至80°W的5°×5°的网格点海表温度资料,根据北太平洋洋流分布特点和环流特征,我们取出17个区(见图1),通过区域平均建立17个海表温度时间序列,用矩阵表示为:

$$Y_1(t_1) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2N} \\ \vdots & & & & \\ x_{17,1} & x_{17,2} & x_{17,3} & \cdots & x_{17,N} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ \vdots \\ X'_{17} \end{pmatrix},$$

其中 t_1 表示海温时序的起点时间,此处 N 为396.

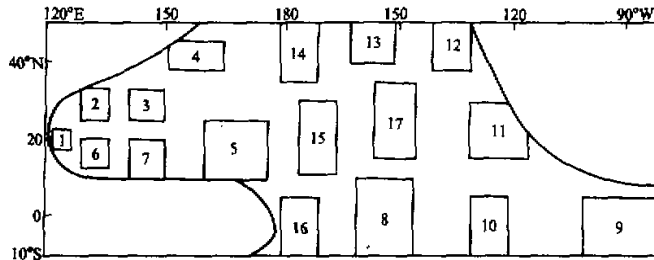


图1 北太平洋17个海区示意图

500hPa西太平洋副热带高压(以下简称西副高)和极涡环流指数,即:(1)西副高面积指数,(2)西副高强度指数,(3)西副高西伸指数,(4)西副高脊线位置指数,(5)西副高北界线位置指数,(6)北半球极涡强度指数,(7)极涡中心纬度位置指数.这些指数资料,从1951年1月—1980年12月取自《地学数据手册》(科学出版社出版),1981年—1986年从《气象》杂志中获得(国家气象局北京气象中心发布的资料).我们建立起7个环流指数逐月时间序列,用矩阵表示为:

$$Y_2(t_2) = \begin{pmatrix} x_{18,1} & x_{18,2} & \cdots & x_{18,N} \\ x_{19,1} & x_{19,2} & \cdots & x_{19,N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{24,1} & x_{24,2} & \cdots & x_{24,N} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_{18} \\ X'_{19} \\ \vdots \\ X'_{24} \end{pmatrix},$$

其中 t_2 表示500hPa西副高和极涡各资料时序的起点时间,考虑到大气与海洋相互作

用和影响的时间滞后(或超前)的情况, 我们建立具有 $X_1, X_2, \dots, X_{24}$ 的矩阵 $X(\tau)$, 即

$$X(\tau) = \begin{pmatrix} Y_1(t_1) \\ Y_2(t_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1,N} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2,N} \\ \vdots & & & & \vdots \\ x_{24,1} & x_{24,2} & x_{24,3} & \cdots & x_{24,N} \end{pmatrix},$$

其中 $N=396-|\tau|$ 为样品数, $\tau=t_2-t_1$ 为滞后时间长度($\tau<0$ 为环流超前月数), $|\tau|$ 为小于或等于 36 的整数.

三、PROMAX 斜交分析原理

为了研究海气相互作用, 我们从相关阵出发, 利用因子分析加以降维, 以便找出对这些因子起支配作用的少数新因子来简化系统的相互关系, 抓住主要问题进行分析.

而我们应用的 PROMAX 方法, 是在经验正交分解的基础上进行的, 并通过方差极大正交旋转以简化模型, 然后再进行一种快速的斜交旋转的 PROMAX 方法. 由于内容和计算都较繁复, 在这里只简介一些较基本的概念和步骤, 详细内容请参看文献 [5,6], 下面我们从 p 维随机向量出发进行讨论.

假定资料阵 $X(\tau)$ 代表一 p 维的随机向量 (此处 $p=24$), 我们可求得一个 p 维的相关方阵 $R(\tau)$, 从相关阵 $R(\tau)$ 出发, 求出其对应的特征值和特征向量, 写为矩阵的形式

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & \\ & \lambda_2 & \\ & & \ddots \\ & & & \lambda_p \end{pmatrix}, \quad U = (u_1, u_2, \dots, u_p),$$

此处设 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$, $u_1, u_2, \dots, u_p$ 为对应的特征向量, 则 p 维随机向量按照主因子分析理论可表为

$$X = U \Lambda^{\frac{1}{2}} F(\tau)$$

$$\text{或 } \Lambda^{-\frac{1}{2}} U' X = F(\tau),$$

此处 F 表示 p 个主因子, 为了简化问题, 我们只取方差贡献超过 85% 或 90% 的累积特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ($m < p$) 作为头 m 个主因子的对应特征值, 则 X 可表为,

$$X = A F(\tau),$$

此处 A 已简化为一 $p \times m$ 矩阵, F 的主因子数也减为 m , 这就是因子分析中的主因子模型, A 称为因子载荷阵.

为了使上面主因子模型便于解释和更符合实际, 我们可以利用正交旋转的方法, 寻找正交矩阵 T , 使

$$X = AF = (AT)(T^{-1}F) = BF^*,$$

此处 T 是在使因子载荷阵的元素方差极大的条件下求得的, 其计算相当繁复, 这里不多赘述, 这样得到的新因子载荷 B , 即为方差极大正交因子解。

我们在方差极大旋转后的基础上, 进行 PROMAX 斜交旋转, 由于斜交因子解是相当于斜交坐标系下的解答, 故应由模型矩阵, 结构矩阵和斜交因子的相关矩阵等构成, 所谓模型矩阵即为如下数学模型的系数构成的矩阵 D 。

$$X_1 = d_{11}T_1 + d_{12}T_2 + \cdots + d_{1m}T_m,$$

$$X_2 = d_{21}T_1 + d_{22}T_2 + \cdots + d_{2m}T_m,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$X_p = d_{p1}T_1 + d_{p2}T_2 + \cdots + d_{pm}T_m,$$

此处 $(d_{ij})_{p \times m} = D$, $T_1, T_2, \dots, T_m$ 为斜交因子, $X_1, X_2, \dots, X_p$ 为所研究的 p 个变量, 由于 T_i 为斜交因子, T_i, T_j 之间不是不相关的, 故应该用斜交坐标轴来表示 (见图 2)。在图中我们表示的是两个斜交因子轴, d_{ki} 是 X_k 的斜交坐标, 从图上可以看出变量的坐标和坐标轴上的投影是不相同的, 我们把变量的投影称之为结构, 它们就构成了结构矩阵 (S_{ki}) 。由于斜交因子之间是相关的, 要表明它们之间的相交情况, 就要求出相关矩阵 L , 而从正交因子变换成斜交因子, 就要找出它们的旋转变换关系, 我们称之为变换矩阵 T 。由斜交因子分析我们知道, 如果我们找出了变换阵 T , 则相关阵 L 为

$$L = T' T$$

有了 L , 则结构阵 S 可以求得为

$$S = DL \quad \text{或} \quad S = BT.$$

再求模型矩阵, 解得为

$$D = B(T')^{-1}.$$

这样我们就得到了一组完全的斜交因子解。下面再叙述一下 PROMAX 的具体作法:

(1) 将 B 按行、列规格化 (长度为 1), 求得矩阵 B^* 。

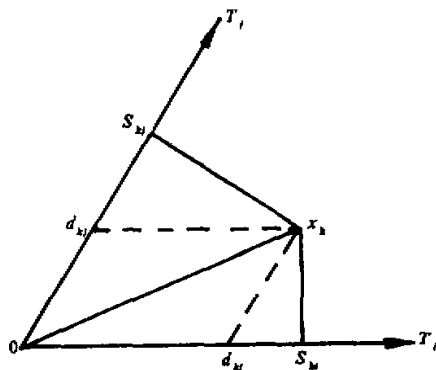


图 2 斜交模型与结构示意图

(2) 将 B^* 的各元素绝对值求 K 次幂 ($2 \leq K \leq 4$), 并保留其原来符号, 得矩阵 H .

(3) 建立 B^* 对 H 的最小二乘拟合, 即令 $B^*C = H$, 其中 $C = (c_{ij})$ 是 $m \times m$ 的方阵, 可以解得

$$C = (B^{*'}B^*)^{-1}B^{*'}H$$

(4) 将 C 按列规格化, 得矩阵 A .

(5) 将 A^{-1} 按行规格化, 即可求得变换阵 T' . 再按上述公式, 即可求出相关、结构和模型等矩阵

四、资料的分析 and 计算

为了减少斜交因子分析的计算量, 我们首先对资料阵 $X(\tau)$ ($\tau=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm 36$) 进行主因子分析, 取贡献较大的海温变量和有关的 τ 值和 500 hPa 西太平洋副高和极涡各指数再进行斜交因子分析, 通过相关矩阵 $R(\tau)$ 和前 3 个主分量累积百分比贡献的演变分析, 我们可以看到:

(1) 500hPa 西太平洋副高面积指数、强度指数、脊线和北界线位置指数及极涡中心强度指数对北太平洋划分的 17 个海区的相关值均存在明显的年变化、最大相关值在赤道太平洋上的 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{16} 4 个区的海域(参见图 1). 并且可从相关动态分析中反映出这种年变化在北太平洋 10°N 以北的海域.

(2) 消去年变化后, 10°N 以北海域 13 个海区与 500hPa 西副高和极涡指数相关性不好, 赤道太平洋 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{16} 各区仍与 500hPa 西副高和极涡密切相关, 并且在 τ 等于 -3 至 $+10$ 这个时段相关最密切, 其次 τ 还有 -20 至 -17 和 -13 至 -9 时段内的相关也通过检验. 并且在这个时段, 赤道东太平洋(X_5 、 X_{10} 区)与西副高面积和强度指数的相关值比赤道中太平洋(X_8 、 X_{16} 区)的相关值大, 开始时间早、终止时间迟、持续时间可达 4 个月左右.

(3) 同样可以看出 τ 取上述值时, 主分量前 3 个主因子累积百分比贡献最大.

为此我们选取 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{16} 4 个区和西副高、极涡指数共 11 个变量在 $\tau = -10, -1, 0, +3, +5, +8$ 时进行 PROMAX 斜旋转. 计算结果见表 1、表 3、表 4, 它们分别是前 3 个斜主因子的结构模型和相关矩阵.

五、结果分析及其物理意义的讨论

1. 斜交主因子及海气相互作用过程分析

表 1 给出了 $\tau = -10, -1, 0, 1, 3, 5$ 和 8 时赤道太平洋 X_8 、 X_9 、 X_{10} 和 X_{16} 4 个海区与 500hPa 西副高和极涡各指数的斜交主因子结构. 从表中可以看到, 当 $\tau = -10$ 时, 即环流指数超前海温 10 个月时, 第一斜交主因子结构在略去小量后, 仅由 X_9 、 X_{10} 、 X_{19} 、 X_{22} 、 X_{23} 5 个变量构成, 它反映了 X_9 、 X_{10} 区的海温与 500hPa 西副高强度、北界位置和极涡强度指数间的相互作用. 同理第二个斜交主因子主要由 X_8 、 X_{10} 和

表 1 斜交因子结构 $S(\tau)$

超前滞后时间 主因子 变量	$\tau = -10$			$\tau = -1$			$\tau = 0$			$\tau = +3$			$\tau = +5$			$\tau = +8$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
X_9	0.95	0.33	-0.05	0.90	0.31	0.36	0.77	0.40	-0.79	0.68	0.70	0.36	0.92	-0.29	-0.41	0.94	0.35	0.15
X_{10}	0.69	0.74	0.28	0.67	0.70	0.56	0.73	0.76	-0.39	0.83	0.27	0.73	0.79	-0.70	-0.63	0.67	0.76	-0.12
X_8	0.19	0.93	0.25	0.17	0.92	0.10	0.29	0.92	0.05	0.53	-0.09	0.92	0.37	-0.93	-0.40	0.19	0.93	-0.20
X_{16}	-0.02	0.87	0.10	-0.02	0.86	-0.08	0.03	0.84	0.15	0.25	-0.15	0.88	0.14	-0.89	-0.17	0.00	0.86	0.00
X_{18}	-0.11	0.07	0.85	-0.74	0.25	-0.10	-0.33	0.32	0.73	0.81	-0.11	0.53	0.84	-0.34	-0.29	0.17	0.03	0.88
X_{19}	-0.52	-0.06	0.66	-0.50	0.08	-0.66	-0.65	0.13	0.52	0.51	-0.52	0.45	0.66	-0.50	-0.64	0.57	0.18	0.69
X_{20}	0.09	-0.07	-0.14	-0.09	0.00	-0.04	0.13	-0.02	-0.09	-0.12	-0.08	-0.15	-0.15	0.16	0.13	-0.12	-0.15	-0.14
X_{21}	0.04	-0.34	-0.84	0.90	0.01	-0.12	0.34	-0.07	-0.90	-0.83	0.11	-0.18	-0.80	0.00	0.28	-0.05	0.40	-0.81
X_{22}	0.77	-0.20	-0.58	0.58	0.21	0.83	0.91	0.15	-0.62	-0.39	0.82	-0.24	-0.59	0.23	0.91	-0.78	0.18	-0.56
X_{23}	0.94	0.01	-0.16	0.13	0.33	1.05	0.88	0.33	-0.20	0.08	0.95	-0.09	-0.20	0.29	0.91	-0.92	-0.03	-0.16
X_{24}	-0.08	0.25	0.28	-0.18	0.03	-0.09	-0.10	0.02	0.32	0.27	-0.12	0.03	0.19	-0.01	-0.13	0.05	-0.21	0.16

表 2 主成份与系统特征

τ	主因子	主成份变量	系 统 特 征
-10	I	$X_9, X_{10}, X_{19}, X_{22}, X_{23}$	赤道东太平洋海温与西副高强度和极涡强度相互影响演变过程。
	II	X_{10}, X_8, X_{16}	赤道海洋内部相互作用演变过程。
	III	$X_{18}, X_{19}, X_{21}, X_{22}$	西副高内部一种相互影响演变过程。
-1	I	$X_9, X_{10}, X_{18}, X_{19}, X_{21}, X_{22}$	赤道东太平洋海温与西副高面积、强度及位移相互作用演变过程。
	II	X_{10}, X_8, X_{16}	赤道海洋内部相互作用演变过程。
	III	$X_{10}, X_{19}, X_{22}, X_{23}$	西副高强度和极涡强度与②区海温相互影响的演变过程。
0	I	$X_9, X_{10}, X_{19}, X_{22}, X_{23}$	赤道东太平洋海温与西副高强度和极涡强度相互作用演变过程。
	II	X_{10}, X_8, X_{16}	赤道海洋内部相互作用演变过程。
	III	$X_9, X_{18}, X_{19}, X_{21}, X_{22}$	南赤道东太平洋与西副高相互作用演变过程。
+3	I	$X_9, X_{10}, X_8, X_{18}, X_{19}, X_{21}$	赤道中、东太平洋海温与西副高相互作用演变过程。
	II	$X_9, X_{19}, X_{22}, X_{23}$	南赤道太平洋与副高强度和极涡强度相互影响演变过程。
	III	$X_{10}, X_8, X_{16}, X_{18}$	赤道中太平洋海温与西副高面积相互影响演变过程。
+5	I	$X_9, X_{10}, X_{18}, X_{19}, X_{21}, X_{22}$	赤道东太平洋海温与西副高面积、强度及位移相互作用的演变过程。
	II	$X_{10}, X_8, X_{16}, X_{19}$	赤道中太平洋海温与西副高强度相互影响的演变过程。
	III	$X_{10}, X_{19}, X_{22}, X_{23}$	西副高强度和极涡强度与②区海温相互影响的演变过程。
+8	I	$X_9, X_{10}, X_{19}, X_{22}, X_{23}$	赤道东太平洋海温与副高强度和极涡强度的相互演变过程。
	II	X_{10}, X_8, X_{16}	赤道海洋内部相互影响演变过程。
	III	$X_{18}, X_{19}, X_{21}, X_{22}$	西副高内部一种相互影响演变过程。

X_{16} 3 个变量构成, 它反映了赤道海洋内部相互作用的某种机制。而第三个斜交主因子则由 X_{18} 、 X_{19} 、 X_{21} 和 X_{22} 4 个西副高指数构成。它说明西副高内部一种相互影响机制。对于 $\tau = -1, 0, 3, 5, 8$ 的类似说明见表 2, 对于它们的构成成份和系统特征就不一一赘述了。从表 2 中可以看出, 在环流超前 10 个月和滞后海温 8 个月时, 海气相互作用较弱, 海洋和大气相对独立性较强。而在 $\tau = -1, 0, 3, 5$ 时的斜交各主因子反映出海洋与大气的相互影响作用较强, 并且从斜交主因子相关阵 L 可以看出, 此时 τ 值的第一、三两个斜交主因子相关值达到 0.5 左右, 这说明它们具有一定的联系。进行分析时, 可以把一、三两个斜交主因子联系起来考虑和研究。而其它因子间的相关值均较小, 各斜交主因子应逐一加以分析。

2. 海气相互作用斜交模型及其物理解释

表 3 给出了不同 τ 的斜交因子模型矩阵, 下面我们分海温斜交模型 ($\tau \leq 0$, 即环流对海温的影响) 和环流斜交模型 ($\tau > 0$, 即环流对海温的响应) 进行讨论。

1) 500hPa 极涡和西副高环流对赤道太平洋海温变化的影响

我们以 X_9 为例, 对斜交因子模型进行详细的说明:

当 $\tau = -10$ 时, 有 $X_9 = 0.95 F_1^* + 0.11 F_2^* + 0.10 F_3^*$,

$\tau = -1$ 时, 有 $X_9 = 0.96 F_1^* + 0.21 F_2^* - 0.14 F_3^*$,

$\tau = 0$ 时, 有 $X_9 = 0.38 F_1^* + 0.26 F_2^* - 0.59 F_3^*$ 。

表 3 斜交因子载荷 $D(\tau)$

超前滞后时间 主因子 变量	$\tau = -10$			$\tau = -1$			$\tau = 0$			$\tau = +3$			$\tau = +5$			$\tau = +8$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
X_9	0.95	0.11	0.10	0.96	0.21	-0.14	0.38	0.26	-0.59	0.63	0.68	0.05	0.96	0.02	0.07	0.92	0.14	-0.05
X_{10}	0.61	0.57	0.23	0.54	0.60	0.16	0.49	0.61	-0.12	0.60	0.26	0.42	0.54	-0.43	-0.18	0.58	0.60	-0.15
X_8	0.01	0.96	-0.01	0.02	0.90	0.10	0.06	0.93	-0.10	0.07	-0.08	0.90	0.01	-0.92	-0.04	-0.02	0.95	-0.04
X_{16}	-0.25	0.99	-0.24	-0.11	0.94	-0.08	-0.26	0.97	0.03	-0.29	-0.13	1.06	-0.16	-1.03	0.16	0.28	0.97	0.22
X_{18}	0.12	-0.19	0.94	-0.69	0.29	-0.10	0.01	0.24	0.71	0.76	-0.11	0.08	0.93	-0.03	0.21	-0.09	0.18	0.96
X_{19}	-0.35	-0.15	0.64	-0.18	0.18	-0.66	-0.59	0.23	0.16	0.42	-0.51	0.16	0.42	-0.15	-0.36	0.37	0.18	0.64
X_{20}	0.01	-0.17	-0.11	-0.05	0.18	-0.04	-0.09	0.25	-0.04	-0.04	0.00	0.15	0.00	-0.04	-0.01	-0.03	0.00	0.00
X_{21}	-0.10	-0.04	-0.84	0.98	-0.10	-0.12	-0.21	-0.03	-1.03	-1.01	0.16	0.33	-0.95	-0.28	-0.08	0.09	0.18	-0.78
X_{22}	0.76	-0.24	-0.36	0.18	-0.06	0.83	0.88	-0.14	-0.15	-0.41	0.83	-0.02	-0.22	-0.18	0.88	-0.77	0.28	-0.31
X_{23}	0.99	-0.21	0.10	-0.40	0.13	1.05	1.11	-0.02	0.40	0.12	0.94	0.13	0.36	-0.01	1.10	-1.00	0.22	0.14
X_{24}	-0.07	0.06	0.11	-0.16	0.18	-0.09	0.09	0.06	0.39	0.31	-0.015	0.05	0.05	-0.12	-0.04	0.04	0.11	-0.05

表 4 斜主因子相关阵 $L(\tau)$

τ 主因子	$\tau = -10$			$\tau = -1$			$\tau = 0$			$\tau = +3$			$\tau = +5$			$\tau = +8$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
I	1	0.19	-0.20	1	0.11	0.49	1	0.30	-0.55	1	0.03	0.52	1	-0.36	-0.50	1	0.23	0.25
II	0.19	1	0.29	0.11	1	0.20	0.30	1	0.00	0.03	1	-0.02	-0.36	1	0.39	0.23	1	-0.17
III	-0.20	0.29	1	0.49	0.20	1	-0.55	0.00	1	0.52	-0.02	1	-0.50	0.39	1	0.25	-0.17	1

说明东赤道太平洋 X_9 区海表温度主要受到超前 10 个月和超前 1 个月的第一斜交主因子的影响, 它反映出该海域海表温度受到超前 10 个月 500hPa 极涡强度、西副高北界位置和副高强度变化的影响, 以及受到超前 1 个月以上的西副高各环流指数变化的影响。到同期时环流对海温的影响有所削弱。

同理可知, 赤道东太平洋 X_{10} 区海温, 除受到与 X_9 相同的 500hPa 西副高和极涡环流的影响外, 同时还受到赤道中太平洋 X_8 海域海表温度变化的影响。而赤道中太平洋 X_8 和 X_{10} 海域的海表温度, 在环流超前和同期时, 主要受到本海域和邻域海温自身变化的影响。这可能是洋流和海表温度内部低频振荡和传播所致。

从上述环流超前的统计分析表明, 极涡强度和位置发生异常, 通过中、高纬环流的相互作用, 使东亚地区环流发生异常, 地面冷空气加强, 气旋发生频率增加, 强度加强。李崇银^[4]对多年地面气压和 500hPa 高度资料的分析, 发现在 ENSO 发生前 1 年的 11、12 月和当年的 1—3 月, 东亚和西太平洋地区的大气环流有明显的异常, 造成西太平洋副热带高压和低纬热带环流发生变化, 从而使得赤道中、西太平洋地区的信风减弱, 通过西太平洋赤道西风加强, 激发开尔文波, 造成赤道太平洋海表温度发生异常。高士英^[7]通过中纬风场变化与 ENSO 关系的分析结果证实了这一结果。陈刚毅、王柏钧^①通过 73 年北半球大型环流资料对 ENSO 发生前 1 年和当年进行的合成分析, 得到了环流超前 ENSO 9 个月左右和 ENSO 发生前 1—4 个月就有东方型和西方型环流异常存在。这与上述分析的结论是一致的。

2) 500 hPa 西副高和极涡对赤道海温的响应

同样的方法我们对环流的斜交模型进行讨论, 可以推得, 500hPa 西副高面积、强度指数的变化, 主要是受到 3—5 个月前赤道东太平洋 X_9 和 X_{10} 海表温度变化的影响, 这个结论与文献[7,8]所得结论相一致, 而且它还要受到超前 3 个月赤道中太平洋 X_8 海温变化的影响。赤道海表温度升高, 西副高面积增大, 强度加强, 反之则减小减弱。对于 500hPa 西副高脊线和北界线, 它们主要受到 3—5 个月前赤道中太平洋和东太平洋海表温度变化的影响。而 500hPa 极涡强度的变化, 则与 8 个月左右前赤道东太平洋海表温度变化的遥相关有关, 上述分析结果表明, 西太平洋副热带高压对赤道太平洋海表温度存在滞后 3—5 个月的响应, 而极涡对赤道太平洋海表温度存在滞后约 8 个月的响应, 这也证实了文献[9]数值模拟副热带高压对海温响应存在 3—6 个月的这一滞后事实。极涡和西太平洋副热带高压存在这种滞后相关响应的物理机制, 可以解释为(参见文献[10])赤道太平洋海温异常(如 ENSO 发生), 主要是通过 Hadley 环流把低纬度的动量、热量和水汽向北输送到副热带区, 并大约在海温升高后 3—5 个月, 西太平洋副热带高压滞后响应程度达到最大。副热带高压边缘准定常的偏南气流和西南气流通过涡旋运动进一步使热带洋面上的热量、水汽向高纬输送, 再滞后约 2—3 个月时, 极涡滞后响应程度达最大, 即极涡滞后海温 8—9 个月时响应最强。值得注意的是在北太平洋海表温度、西太平洋副热带高压和极涡的同期相互作用过程中, 除赤道海表温度与低纬度环流相互作用外, 赤道海温还与极涡存在遥相关作用, 说明赤道海温与西太平洋副热带高压和极涡间存在着密切的内在联系, 在研究海气相互作

① 陈刚毅, 王柏钧, 北半球大型环流与埃尔尼诺相互作用的一个分析研究, 海气相互作用研究论文集(印刷中)。

用过程中,不可忽略中高纬度大气环流的影响.

六、结 论

(1) 考虑海气相互作用的超前滞后作用,把时间引入斜交因子分析中,本文取得了较好的效果.认为斜交因子分析是研究气象各因子间的相互影响,系统与系统间相互作用的较好工具之一.

(2) 500hPa 西副高和极涡指数与西太平洋 17 个海域海温相关值存在着明显的年变化,并且在赤道太平洋上的 X_8 、 X_9 、 X_{10} 和 X_{16} 4 个海域海温与 500hPa 西太平洋副热带高压和极涡指数相关值最大.

(3) 赤道东太平洋海表温度的变化除受到赤道海洋内部影响外,主要还受到前 10 个月左右 500hPa 极涡中心强度、同期和 1—3 个月前西副高面积、强度、脊线位置和北界位置等指数变化的影响,赤道中太平洋受到海洋自身影响最大.

(4) 500hPa 西副高面积和强度主要受到约 3 个月前赤道中太平洋和前 3—5 个月赤道东太平洋海温变化的影响,500hPa 极涡中心强度受到了 8 个月左右前的赤道东太平洋海表温度的遥相关影响.

参 考 文 献

- [1] Bjerknes, J., 1969, Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, 97 (3), 163—172.
- [2] Chester, F. R. et al., 1986, Global and regional scale temperature patterns associated with the El Niño Southern oscillation, *Proceedings of the 11th Annual Climate Diagnostic Workshop*, 67—72.
- [3] 符淙斌, 1978, 热带海洋对副热带高压长期变化的影响, *海洋文选*, 科学出版社, 2, 16—21.
- [4] 李崇银、胡季, 1987, 东亚大气环流与埃尔尼诺相互影响的一个分析研究, *大气科学*, 11, No. 4, 359—364.
- [5] 王柏钧、程积康, 1982, 多元分析, 高等学校试用教材, 地质出版社.
- [6] 王柏钧, 1987, 斜交因子分析中变换因子的一种新方法, *成都气象学院学报*, 第一期, 1—5.
- [7] 高士英、王静曦, 1989, 埃尔尼诺与南方涛动, *海洋学报*, 11, No. 3, 294—303.
- [8] 陈刚毅、王柏钧等, 1989, 西太平洋西北海域与北半球大气环流相互作用的统计分析, *海洋与湖沼学报*, 20, No. 5, 465—470.
- [9] 葛孝贞、余志豪, 1986, 海温变化与副高季节活动的数值模拟, *热带气象*, 第二期, 66—72.
- [10] 于庚康、李俊, 1989, 1980—1983 年厄尔尼诺年夏季大气涡旋活动及其物理量输送特征, *热带气象*, 5, No. 3, 253—261.

A Statistical Analysis of the Interaction among Sea-surface Temperature in the North Pacific, 500hPa Subtropical High in the Western Pacific and Polar Vortex

Wang Baijun Chen Gangyi

(Chengdu Institute of Meteorology, Chengdu, 610041)

Abstract

This paper attempts to apply the method of PROMAX Oblique Factor Analysis to study the interaction among the North Pacific sea-surface temperature and seven variables of 500hPa index of subtropical high pressure and north polar vortex from 1954 to 1986. The principal results are as follows.

(1) There exists an obvious annual variation of the correlation coefficient and a maximum correlative region in the equatorial Pacific.

(2) Except selfinteraction, the chief influence on the variation of east equatorial Pacific sea-surface temperature is polar vortex centre intensity ten months before, the area, intensity and displacement of 500 hPa subtropical high pressure in the western Pacific one to three months before.

(3) The variation of the intensity and the area of the 500 hPa subtropical high pressure are influenced by the sea-surface temperature in the middle Pacific region and in the eastern equatorial Pacific three to five months or so before.

Key words: Ocean-atmosphere interaction; Multivariate statistics; Oblique factor analysis.