

北半球大气遥相关型的统计诊断及数值试验*

彭世球

章基嘉

(中国气象科学研究院, 北京 100081) (国家气候中心, 北京 100081)

提 要

此项研究旨在通过对北半球大气遥相关型的统计诊断及数值试验, 探讨旬平均尺度遥相关型的存在和时空规律及其成因, 以及各遥相关型之间的相互关系. 结果表明, 5种遥相关型在旬时间尺度上表现得十分清楚, 且具有冬强夏弱的特点; 各种遥相关型特征指数时间序列具有随时间演变的一般规律; 某些海区的海温异常能激发出一定的遥相关型, 5种遥相关型之间存在非线性相互作用; 各种遥相关型特征指数能反映一定的大气环流和天气异常的特征, 因而可以作为研究长期天气过程和预报方法的依据.

关键词: 遥相关 旬平均尺度 特征指数 敏感性试验

引 言

大气遥相关是 80 年代以来气象学家们普遍关注的热点之一. 在所有对遥相关型的研究中, 值得提出的是 Wallace 和 Gutzler 的研究^[1], 他们所用资料是 1951~1970 年冬季月平均 500 hPa 高度场资料. 而所得结果是特定时段的偶然事件, 还是大气内部所固有的规律(即有无重现性)以及它们的周期性等问题至今没有得到解决. 为了探讨这些问题, 本文利用 1971~1990 年逐旬平均 500 hPa 高度距平场资料, 把 Wallace 等的研究从月尺度缩短到旬尺度, 从冬季延伸到春夏秋冬四季, 并研究了各遥相关型的周期性.

关于低频振荡的产生原因, 综合起来有两种较易被人们接受的观点^[2~4], 即大气对外源强迫的响应和大气运动内部的非线性相互作用. 但在旬尺度上目前还缺乏有力的证据. 为此, 本文探讨了北太平洋海温异常与遥相关的关系, 并用 OSU-AGCM 模式进行了数值试验.

值得注意的是, 各遥相关型之间并不是孤立的, 而是相互联系、相互制约的. 我们从对它们的统计诊断和数值试验发现, 它们之间存在着“共同消长”、“互为锁相”和“下游诱发”的相互联系.

在此需要说明的是, 我们在研究海温异常与遥相关的关系及数值试验中, 采用了月平均资料. 由于月尺度上的遥相关包含有旬尺度上的遥相关的特性, 故这里的月平均资

* “长期天气预报理论和方法的研究”课题资助.
1996-08-26 收到, 1996-11-18 收到修改稿.

料仍具有本文所得到的遥相关型的性质.

1 遥相关型特征指数的计算及功率谱分析

1.1 资料及计算

所用资料为北半球的旬平均 500 hPa 高度场序列, 长度为 1971~1990 年, 网格距为 5×10 经纬度, 利用前先作标准化处理, 以消除正常的年变化.

为了使本研究与 Wallace 等的研究结果有可比性, 这里仍采用 Wallace 等给出的公式计算 5 种遥相关型的特征指数.

1.2 合成平均图和合成差值图

按上述 5 种遥相关型公式计算出它们的特征指数, 得到 5 个样本长度为 720 句的时间序列. 然后, 对每一型按春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)、冬(12~2 月)四季分别选出高指数和低指数各 10 个旬的样本, 绘制 500 hPa 高度场的合成平均图和合成差值图, 以证明这些指数是否表征相应的遥相关型. 因篇幅所限, 这里只给出 EA 型夏季和冬季的旬平均位势高度合成差值图(图 1). 从图中可以看出, 不论春夏秋冬, 当 EA 指数为正时, 大西洋北部位势高度异常地高(冰岛低压异常减弱), 大西洋副热带和东欧地区位势高度异常地低(副热带高压异常弱); 当 EA 指数为负时, 情况正好相反. 不过, 这种异常的强弱程度随季节而变化, 冬季最强(图 1b), 夏季最弱(图 1a), 春秋两季居于冬夏之间(图略), 反映了过渡季节的特征.

由此可见, Wallace 等所定义的遥相关特征指数公式对旬时间尺度也适用, 而且这种特征指数不仅能表征出冬季的遥相关型, 也能表征其它季节的遥相关型, 具有普适性.

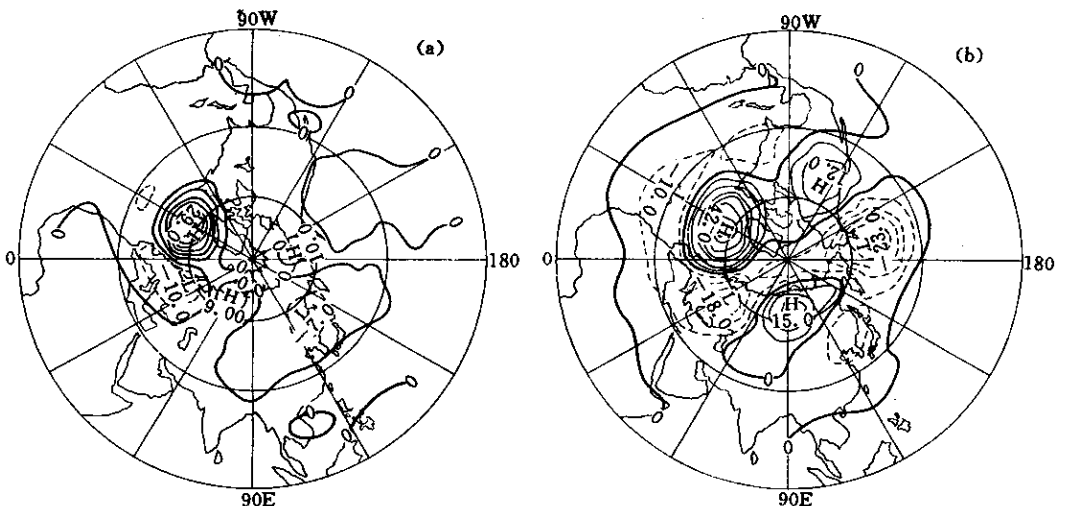


图 1 EA 型旬平均位势高度的合成差值图 (a) 夏季 (b) 冬季

1.3 功率谱分析

为了考察这 5 种遥相关型随时间演变的一般规律, 分别对每种遥相关型特征指数的

时间序列作功率谱分析. 样本长度 $N=720$, 取最大波数 $m=N/4=180$, 并作信度为 0.05 的红谱检验. 结果表明, 除 PNA 型外, 其余各型指数均存在周期为 36 旬的显著峰值, 即存在明显的异常年变化. 此外, WA、WP 和 EU 3 型还存在 18 旬的显著半年变化. 在 PNA 的谱图上, 最为突出的是 120 旬的谱峰, 它的平均周期为 3.3 年, 对应于 ENSO 振荡. PNA 型和 EU 型分别还有 30 旬和 6 旬的次谱峰, 对应于 10 个月和 2 个月的周期变化. 此外 PNA、EA 和 EU 型分别还有 3.3 旬、2.9 旬和 3.8 旬的谱峰, 它们属于 1~2 个月的季节内变化 (ISV) (图略).

1.4 各型冬夏两季的单点相关

为了探讨在旬时间尺度上遥相关型的结构和分布特征, 采取求单点相关的方法, 求出各型冬、夏两个典型季节的单点相关图. 选取的基本格点为 $55^{\circ}\text{N } 20^{\circ}\text{W}$, $45^{\circ}\text{N } 165^{\circ}\text{W}$, $55^{\circ}\text{N } 55^{\circ}\text{W}$, $60^{\circ}\text{N } 155^{\circ}\text{E}$, $55^{\circ}\text{N } 20^{\circ}\text{E}$, 分别与 5 种遥相关型的主活动中心相对应. 结果表明, 以上述 5 个格点为基点的相关图确实是在旬尺度上也反映了 Wallace 等用月平均资料所定义的 5 种遥相关型的结构和分布特征. 与本文绘制的旬平均高度场的合成差值图相似, 这些单点相关图也有冬强夏弱的特点. 因篇幅所限, 这里只给出 EA 型冬、夏两季的单点相关图 (图 2). 由图可见, 当 EA 型发展时, 在太平洋地区可以诱发出 WP 型和 PNA 型.

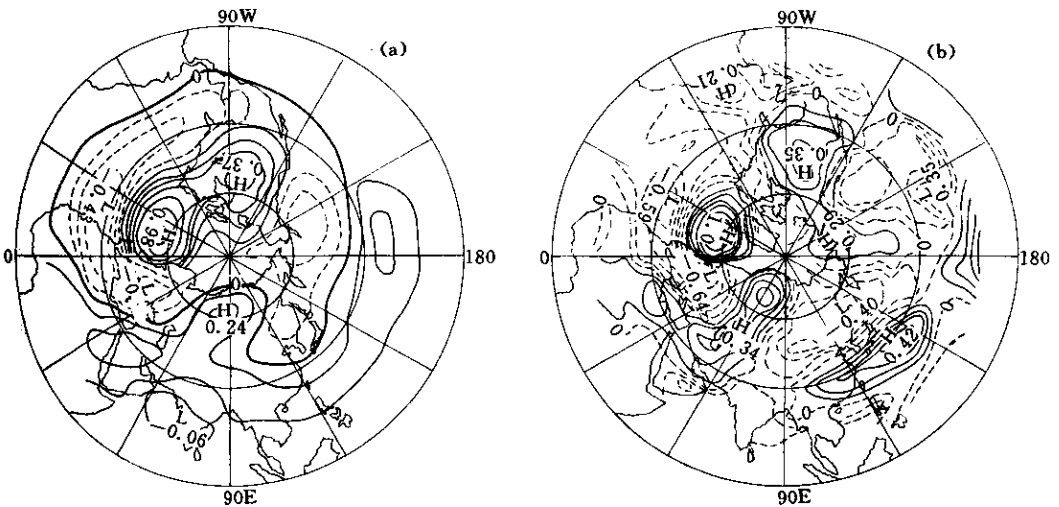


图 2 500 hPa 高度上 EA 型活动中心的基本格点 ($55^{\circ}\text{N } 20^{\circ}\text{W}$) 与北半球其它格点的同期相关系数分布图 (a) 冬季 (b) 夏季

2 太平洋海温与 WP、PNA 型的关系

为了探讨海表温度 (SST) 与遥相关型的关系, 作了太平洋海温 1971~1990 年各月与 WP、PNA 型特征指数同期和海温超前 1~6 个月的相关分析, 其样本长度为 240, 置信度 $\alpha=0.05$ 的临界值 $r_c=0.195$ (图 3).

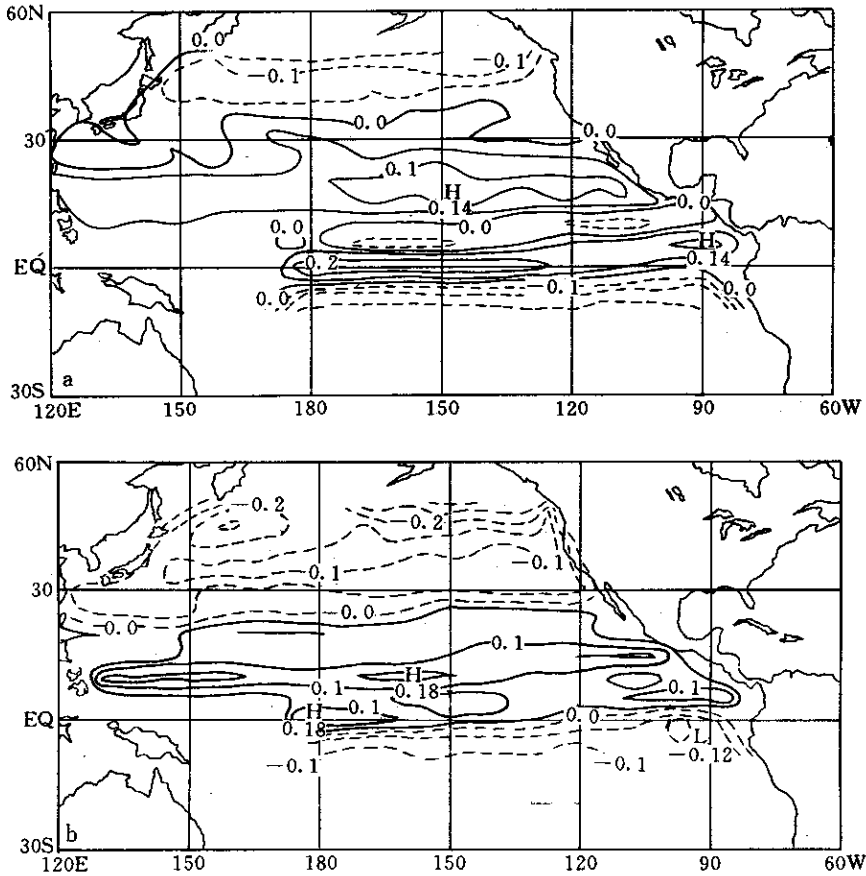


图3 太平洋 SST 与 WP 指数相关系数分布图 (a) 超前 6 个月 (b) 超前 2 个月

从图 3 可以看出, WP 与超前 6 个月的太平洋 SST 有大范围的正相关区, 相关最强处位于赤道中太平洋以东地区, 但随着超前时间的缩短, 这个正相关区逐渐趋向于西太平洋副热带地区. 这说明副热带(特别是西太平洋副热带)SST 异常是 WP 型的直接激发源. PNA 型与太平洋 SST 的相关图(图略)表明, 超前 6 个月的正相关区覆盖了太平洋的大部分地区, 但随着超前时间的缩短, 这一广阔的正相关区逐渐变得狭窄, 集中到东赤道太平洋上, SST 超前 2 个月的相关达到最强. 这说明, PNA 的产生与太平洋大部分海域的海温异常有关, 而东赤道太平洋海温异常则是 PNA 的直接激发源. 众所周知, 东赤道太平洋海温异常又是 ENSO 事件发生的重要标志和条件, 因此这又从另一个侧面反应了 PNA 与 ENSO 事件相关的事实.

夏季 SST 与冬季的 WP、PNA 相关系数分布图很相似(图 4(a)和 4(b)), 即都在副热带西太平洋和热带东太平洋存在正相关区(相似性指数大于 0.5). 正如以上指出的, WP 的激发源主要在副热带西太平洋, 而 PNA 的激发源主要在赤道东太平洋. 因此, 对照图 4(a)和 4(b)可以看出, WP 型与 PNA 型遥相关之间存在某种共同消长的平衡机制, 即当 WP 型发展时, PNA 型也随着发展, 这样, PNA 型在北太平洋中部的强大负距平

中心部分地叠加在 WP 型北面的正距平区上，削弱了 WP 型的异常发展；反过来，当 PNA 型发展时，WP 型也随着发展，而 WP 型北面的强正距平区部分叠加在 PNA 型北太平洋中部的负距平区上，也削弱了 PNA 型的异常发展。这种 WP 与 PNA 型共同消长的平衡机制，可能与大气自身有着克服内部不平衡能力，使其恢复原来的状态，并形成低频振荡有关。需在数值试验中证明。

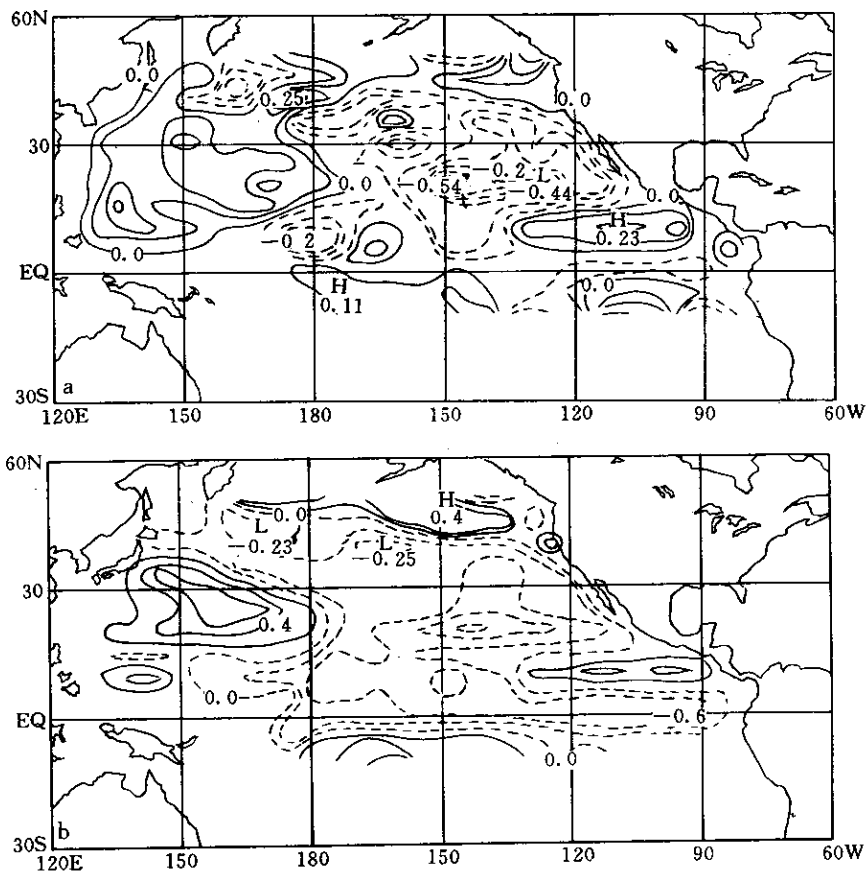


图4 夏季太平洋海温与冬季 (a) WP 型 (b) PNA 型特征指数的相关系数分布图

3 敏感性试验

为了探讨外源强迫对形成遥相关型的作用及过程，我们采用一个简单的大气环流模式(OSU-AGCM)，根据太平洋 SST 与 WP、PNA 型的相关场，在不同海区加进海温距平，进行 WP、PNA 型遥相关对太平洋 SST 异常的敏感性试验。模式从6月初开始积分半年，然后把所得的 500 hPa 高度场相减(敏感试验减去控制试验)得到两者的差值图。发现，当积分 3 个月即到8月底至9月初时，便分别出现类似于 WP 型的偶极子或 PNA 型的波列，无论位置或形状都与前面所定义的 WP 或 PNA 型很相近。这说明，遥相关型对海温异常的响应时间大约为 3 个月左右。

在 WP 型敏感性试验过程中, 8 月 1 日西太平洋中高纬为负距平, 而副热带地区则为弱的正距平, 这可看作是负指数的 WP 型; 到了 8 月 22 日, 中高纬负距平向南伸; 8 月 27 日, 这个负距平区在副热带加强, 同时在高纬出现了正距平区, 以后这个正距平区在加强过程中向中纬度扩展; 到 9 月 1 日, 形成了正指数的 WP 型(图略). 与此同时, 在东太平洋形成 PNA 型, 反映了 WP 与 PNA 的相长现象. 可见, 从 8 月 1 日负指数的 WP 型到 9 月 1 日形成正指数的 WP 型, 历时 1 个月左右. 从 WP 型这一演变过程可以看出, WP 型属于偶极子的振荡型, 振荡周期约 2 个月. 两型相生过程维持到 9 月 5 日, 自 9 月 6 日开始, 由于 PNA 型的负距平区部分地叠加在 WP 型的正距平区上, 两型同时减弱, 进入了相消阶段(图略).

在 PNA 型敏感性试验过程中, PNA 型波列很明显, 它没有象 WP 型那样的振荡特点, 而是沿着大圆路径先向东北后折向东南传播.

由此可见, 太平洋 SST 异常确能激发出类似 PNA 型或 WP 型的遥相关型. 此外, 我们在另一数值试验^[5]中还发现, 大西洋不同海区的 SST 异常可以激发出 EA、WA 和 EU 型, 而且 WA 和 WP 互为锁相; EA 的发展可以引起 EU 等型的发展(即下游诱发作用). 所以, 不同海区的 SST 异常能激发出相应的遥相关型, 并通过 3 种波列型和 2 种偶极子型引起北半球大气环流的低频变化, 而在这种变化过程中由于大气内部的非线性相互作用形成 WP 与 PNA 的共同消长机制、WP 与 WA 的互为锁相和 EA 对下游 EU、WP 和 PNA 的诱发作用.

上述这种相互作用把 PNA、WA 和 EA 分别与 WP 联系起来, 并通过 WP 的异常发展与中国东部的降水异常产生联系, 为我国降水的长期预报提供了一定依据. 本文作者利用这些依据, 建立了用遥相关型特征指数来预报我国夏季降水的预报方程, 并对我国夏季降水进行了历史回报, 经检验, 预报与实况距平符号相关系数平均为 0.34, 最高达 0.75, 取得了较好的效果^[6].

4 结 论

通过对大气遥相关型本身、遥相关型与太平洋海温关系的研究及数值试验, 得出下列结论:

(1) 5 种遥相关型在一年四季的旬时间尺度上表现得十分清楚, 并具有冬季最强、夏季最弱、春秋两季居中的特点, 而遥相关的距平中心的地理位置随季节几乎没有变化.

(2) 各种遥相关型及其特征指数确实反映了一定的大气环流和天气异常的特征, 因而可以作为研究长期天气过程和预报方法的基本参数.

(3) 各种遥相关型特征指数时间序列具有随时间演变的一般规律, 如 ENSO 周期, 异常的年变化周期, 半年周期以及季节内周期.

(4) 海温与遥相关型具有一定的相关性, 某些区域的海温异常能激发出一定的遥相关型. 这说明遥相关型的形成确实是大气响应外源强迫的结果, 而另一方面, 由于大气内部的非线性相互作用形成不同遥相关型之间的相互联系, 构成大气环流复杂的低频振

荡过程.

参 考 文 献

- 1 Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 784~812.
- 2 Wright P B. The Southern Oscillation-patterns and mechanisms of teleconnections and persistence. Hawaii. Inst. Geophys., Rep. HIG-77-13. 1977. 107pp.
- 3 Hoskins B J and Karoly D. Steady, linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. *J. Atmos. Sci.*, 1981, **38**(6): 1179~1196.
- 4 Webster. Mechanisms determining the atmospheric response to sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, 1981, **38**(3): 554~571.
- 5 章基嘉, 叶正青, 彭世球. 北半球位势高度场的遥相关及其数值试验. *应用气象学报*, 1993, **4**(增刊): 10~16.
- 6 彭世球, 章基嘉. 北半球大气遥相关型与中国夏季降水. 《“八五”长期天气预报理论和方法的研究》论文集, 北京: 气象出版社, 1996. 158~162.

THE STATISTICAL DIAGNOSIS AND NUMERICAL EXPERIMENT OF ATMOSPHERIC TELECONNECTION PATTERNS IN NORTHERN HEMISPHERE

Peng Shiqiu

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Zhang Jijia

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The study is aiming at researching the existence, spatial-temporal features and the formation causes of circulation teleconnection patterns on the time scale of dekad in the Northern Hemisphere by using the techniques of diagnostic analysis and numerical modeling. The results show that the five types of teleconnection patterns are very clear on the scale of dekad, being strong in winter and weak in summer; the characteristic index series of each pattern has its inherent periodicity; the anomalous SST in some ocean regions can stimulate some relevant teleconnection patterns and there are no-linear interactions among the five types of teleconnection patterns. The five types of teleconnection patterns have good relationships with the general circulation and weather anomaly, so that they can be the basis of studying long-range weather process and prediction methods.

Key words: Teleconnection Time scale of dekad Characteristic index Sensitive experiment