

北半球夏季遥相关型的年际变化及其数值模拟^{*}

黄荣辉 孙凤英

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

提 要

本文利用美国 NMC 多年北半球夏季 500 hPa 逐日高度场的经纬度网格点资料, 计算了基点位于 20°N, 120°E 的北半球夏季扰动高度场的点相关。计算结果表明, 北半球夏季在东亚、东亚与北美地区存在着一个大气环流的遥相关型。

本文还计算了这个环流异常遥相关型的年际变化, 计算结果表明这个遥相关型有很大的年际变化。1972/73 年 ENSO 事件中, 这个相关型尤其明显, 而其它正常年份则不明显。

本文还利用 IAP-GCM 与 1973 年夏季实际的太平洋 SST 距平分布模拟了由于热带西太平洋海表温度升高而产生的北半球大气环流遥相关, 其模拟结果与观测事实所得的结果相似。

关键词: 遥相关; 年际变化; 数值模拟。

一、引 言

近年来世界许多地方发生了大范围的干旱与洪涝、严寒与酷暑, 给世界人民带来了严重的灾害, 这都是由于大气环流发生了大范围持续性异常造成的。许多观测事实已表明, 全球大气环流的异常有一定相关性, 即存在着遥相关的现象。

关于北半球冬季大气环流遥相关已有不少研究, 如 Wallace 和 Gutzler 利用海平面气压与 500 hPa 高度场资料计算了点相关图^[1], 发现北半球大气环流的变化存在着几种遥相关型, 特别是发现了太平洋与北美地区存在着一种称之为太平洋-北美型遥相关, 即 PNA 型。后来, Shukla 和 Wallace, Tokioka 等通过数值试验说明了热带东太平洋海温异常可以引起北半球 PNA 型环流的异常^[2,3]。黄荣辉不仅从观测事实, 而且从理论及数值试验方面说明了冬季热带上空的准定常行星波可以准水平地通过对流层传播到北半球中高纬度对流层上层^[4], 因此, 热带东太平洋的海温异常将引起中高纬度大气环流的异常。

关于北半球夏季大气环流遥相关型迄今还没有较系统的研究。黄荣辉、Nitta 提出菲律宾周围对流活动增强将会引起我国江淮上空及日本南部上空的西太平洋副热带高压增强, 而且从南亚通过东亚到北美地区形成一个类似 PNA 型的大气环流遥相关型^[5-7], 称之为东亚太平洋型遥相关。黄荣辉和吴仪芳分析了我国夏季旱涝分布与 ENSO 事件

1989 年 4 月 17 日收到, 1990 年 5 月 22 日收到修改稿。

^{*} 国家自然科学基金资助项目, 课题为“长江黄河流域旱涝规律成因与预测研究”。

发展阶段的关系^[6], 发现当 ENSO 事件处于发展阶段, 我国江淮流域的降水偏多, 而黄河流域、华北一带降水偏小; 反之, 当 ENSO 事件处于衰弱阶段, 或称恢复阶段, 由于西太平洋海温高, 菲律宾周围一带的对流加强, 故西太平洋副热带高压偏北, 造成江淮流域高温少雨, 而华北、黄河流域一带降水偏多。

然而, 上面的计算都是从夏季平均情况出发, 没有给出其遥相关型的详细结构与随时间变化的情况。因此, 有必要详细计算夏季大气环流异常遥相关型随时间的变化及其年际变化的情况。并且, 有必要利用实际的海面温度异常来模拟夏季大气环流异常型的分布。

二、原始资料的预处理与相关计算

本文所有计算都是使用点相关方法, 即计算选定基点上的扰动高度距平与北半球范围内所有网格上的扰动高度距平场之间的同时或落后相关系数。基点 x 与北半球某一层扰动高度距平的同时或落后相关系数定义为

$$R(x, y, \eta) = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}} \sqrt{S_{yy}}}, \quad (1)$$

其中

$$\begin{cases} S_{xy} = \frac{1}{N-\eta} \sum_{n=n_1}^{n_2} Z'_a(x, n) Z'_a(y, n+\eta), \\ S_{xx} = \frac{1}{N-\eta} \sum_{n=n_1}^{n_2} [Z'_a(x, n)]^2, \\ S_{yy} = \frac{1}{N-\eta} \sum_{n=n_1}^{n_2} [Z'_a(y, n+\eta)]^2, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} n_1 = \begin{cases} 1, & \eta \geq 0, \\ \eta+1, & \eta < 0, \end{cases} \\ n_2 = \begin{cases} N-\eta, & \eta \geq 0, \\ N, & \eta < 0, \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

x 表示所选定的基点, y 表示北半球范围内的经纬度网格。本文所用资料是 $20^\circ - 85^\circ \text{N}$ 的 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格点, 即有 14×72 网格点。这样每日北半球 500 hPa 网格点上扰动高度距平值就组成一个求相关系数时的样本序列。 η 表示计算相关时的落后或超前的时间, $\eta=0$ 表示基点上扰动高度距平与北半球网格点上扰动高度距平的同时相关; $\eta>0$ 表示基点上扰动高度距平与北半球所有网格点 η 天以后扰动高度场距平的落后相关; $\eta<0$ 表示基点上扰动高度距平与北半球网格点 η 天以前扰动高度场距平的超前相关。 N 表示扰动高度场距平序列样本的总量, 在夏季 500 hPa 扰动高度场遥相关型的年际变化, 因应用该年夏季 500 hPa 逐日扰动高度场距平, 故 $N=92$; 而在求夏季 500 hPa 扰动高度场遥相关型的分布, 因应用 1971—1976 年夏季北半球 500 hPa 逐日扰动高度场距平, 故 $N=6 \times 92$ 。 n 表示在求相关系数时扰动高度场距平序列的序号, 在本文中, 若求同时相关时, $n=1, 2, \dots, 92$, 即从 6 月 1 日开始直到 8 月 31 日总共 92 个样本参加计算相关系数; 若求落后相关时, $n=1, 2, \dots, 92-\eta$, 只有 $92-\eta$ 个样本参加计

算相关系数;若求超前相关时, $n = \eta + 1, \eta + 2, \dots, 92$, 同样也只有 $92 - \eta$ 个样本参加计算相关系数. Z'_a 表示扰动高度场距平, 它为

$$Z'_a = Z_a - \overline{Z'_a}, \quad (4)$$

其中 $Z_a = Z - \overline{Z}$, 表示扰动高度场, $(Z - \overline{Z})'$ 表示扰动高度场的气候平均值.

为了更突出大气低频部分的变化, 在求扰动高度距平之前对高度场进行低通滤波, 滤掉时间尺度小于 10 天的高频扰动.

三、北半球夏季 500 hPa 扰动高度场的遥相关型

由上面经过低通滤波的 1971—1976 年夏季北半球 500 hPa 扰动高度场的距平, 利用 (1) 式计算了以 $20^\circ\text{N}, 120^\circ\text{E}$ 为基点的北半球夏季 500 hPa 扰动高度场异常的点相关系数的分布. 图 1 是以 $20^\circ\text{N}, 120^\circ\text{E}$ 为基点的北半球夏季扰动高度场异常的点相关系数分布图. 由图 1 可见, 在包括我国南方的南亚地区有一个正相关区; 而在我国东北及蒙古一带有一个负相关区; 在北美的西部及北部有一个正相关区; 此外, 北太平洋地区有一个正相关区; 而北美中部与南部有一个负相关区. 虽然相关系数比较小, 但由于所用的样本数很大, 其信度检验均在 $0.01 - 0.005$, 通过了显著性检验. Nitta 从卫星上获得的高云量异常也同样指出在北半球夏季大气环流异常存在着这样一个遥相关型.

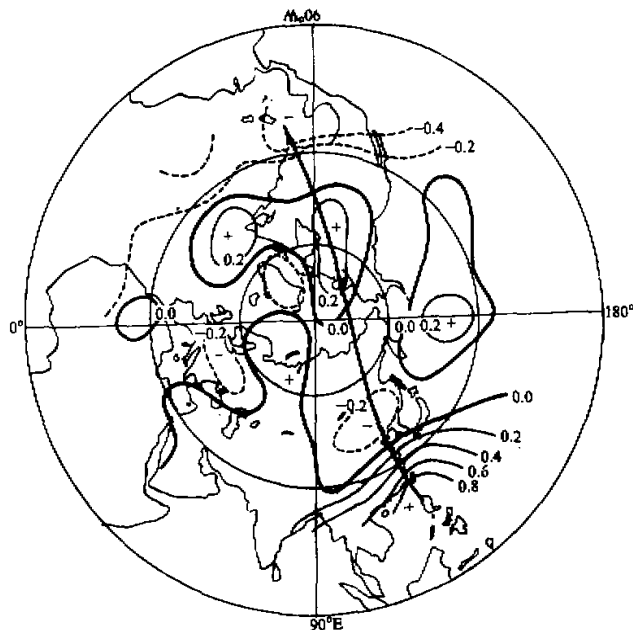


图 1 以 $20^\circ\text{N}, 120^\circ\text{E}$ 为基点的北半球夏季扰动高度场的点相关系数分布图

把我们的计算结果与 Gambo 和 Kudo 所得的结果相比较^[9] 可以看到我们所得到的遥相关型基本上是沿大圆分布的具有多个活动中心的波状结构, 并增加了位于加拿大西部及美国南部的活动中心. 这说明中国南海及菲律宾附近的环流可以影响东亚、北美上

空的环流。

为了研究北半球夏季大气环流异常遥相关型随时间的变化情况, 我们计算了落后时间分别是 3 天、9 天、15 天的遥相关图(图略)。从计算结果可以看到, 随着落后时间的增加, 遥相关型沿着准定常行星波的传播路径其相关系数相继增大。位于菲律宾周围的正相关系数在 15 天向北移动 20 个纬度, 而位于我国北部和蒙古的活动中心向北方移动 10 个纬度。并且还可以看到, 位于加拿大西部和美国东部的活动中心变成相反的位相, 即加拿大西部由正相关区经过 15 天之后变成负相关区, 而美国东部由原来的负相关区经过 15 天之后变成正相关区, 这反映了准定常行星波在球面大气中传播的结果。

四、夏季北半球大气环流遥相关型的年际变化

为了更详细地了解这个遥相关型的时空特征, 我们计算了 1971—1976 年北半球 500hPa 扰动高度场遥相关型的年际变化, 点相关的基点仍选在 20°N , 120°E 。从计算结果看, 这个遥相关型在一般正常年份并不明显, 而在 1972/1973 年 ENSO 循环中, 无论是 1972 年夏季或 1973 年夏季, 从南亚经过东亚到北美的大气环流遥相关型是非常明显的, 因此, 北半球夏季的东亚太平洋型大气环流遥相关有较大的年际变化。下面, 我们主要分析 1972 年夏季、1973 年夏季 500hPa 扰动高度场遥相关型的分布。

1. 1972 年北半球夏季 500 hPa 扰动高度场的遥相关型

1972 年是 ENSO 事件的发生、发展年份, 赤道东太平洋的海温异常升高, 根据黄荣辉与吴仪芳的研究, 热带西太平洋的海温异常与赤道东太平洋的海温异常存在着反相关, 似如一个“跷跷板”的结构。因此, 在 ENSO 发展阶段, 热带西太平洋的海温异常存在着负距平, 根据 Kurihara 和 Kawahara, Nitta 的研究^[10, 11], 热带西太平洋海域上空, 特别是菲律宾海域上空对流要减弱, 因而, 造成在菲律宾周围的热源减弱, 即热源异常是负距平。由于菲律宾周围的热源比常年偏弱, 从而使南亚、东亚及整个北半球大气环流异常。

图 2 是 1972 年夏季以 20°N , 120°E 为基点的 500hPa 扰动高度与北半球网格点的 500 hPa 扰动高度场的同时相关系数分布。从图 2 可以看到, 1972 年夏季 500hPa 扰动高度异常的遥相关型比正常年份要明显得多, 每一个正负相关区最大相关系数均超过 0.4, 其信度检验均在 0.001 左右。从图中明显看到在南亚(包括我国南方)地区出现一片正相关区; 在我国东北, 苏联的西伯利亚上空出现负相关区; 鄂霍茨克海及勘察加半岛上空有正相关区; 阿拉斯加上空有负相关区; 加拿大地区的上空有负相关区; 美国中部与东部也有负相关区。图 2 给出了 1972 年夏季大气环流异常遥相关型的分布。可以看到它们似如一个准定常行星波波列。为了明显起见, 在图 2 中用带箭头的粗实线来表示准定常行星波的传播结果。

除了上面所述的由于准定常行星波波列的传播所形成的大气环流遥相关型以外, 在低纬度地区纬向还存在着东西太平洋扰动高度场的反相关, 即在低纬东西太平洋地区扰动高度场明显存在着“跷跷板”的结构。

为了更清楚表示 1972 年夏季南亚、东亚及北美上空大气环流异常的演变情况, 我们从图 2 中相关系数最大的点选取为特征点, 即图 2 中所表示的 A, B, C, D, E, F 各点。

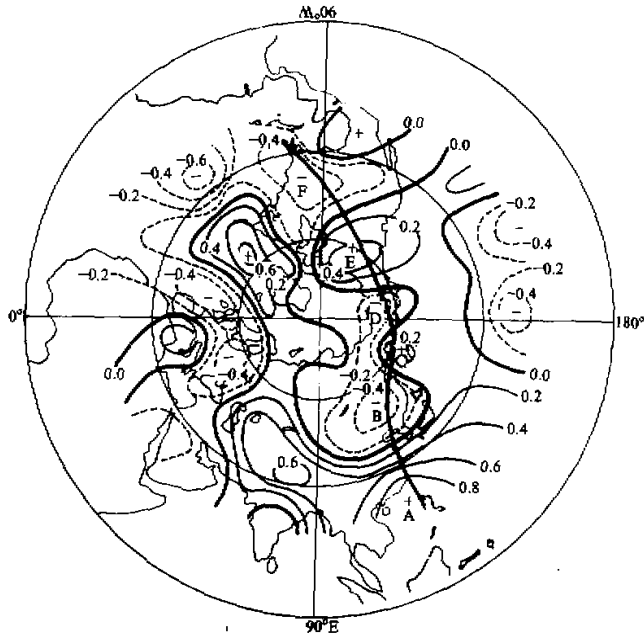


图2 1972年夏季以 20°N , 120°E 为基点的北半球500 hPa扰动高度场同时相关系数分布图

并且把这些点的扰动高度距平作5天滑动平均,从而可以得到这些点5天滑动平均距平随时间变化的剖面图(图3)。从图3可以看到,在ENSO现象的发展阶段,特别是6月中旬到7月中旬,在南亚地区(包括我国南方)上空500 hPa扰动高度场为一正距平区。这说明1972年夏季西太平洋的副热带高压偏南,这一正距平在6月初与7月上旬比较明显,而在阿拉斯加与北美上空在6月下旬出现了较强的正距平,并在7月中、下旬相继在鄂霍茨克海上空与阿拉斯加上空出现正距平,在7月30日左右美国中、东部出现较强的正距平。这说明扰动高度场的异常从菲律宾周围传播到北美大约需30天左右。从7月20日起南亚地区(包括我国南方)上空500 hPa扰动高度场是一片负距平区,之后在鄂霍茨克海上空,阿拉斯加地区相继出现负距平。8月20日左右美国中、东部出现较强的负距平,这说明扰动从A点传播到F点大约需30天左右。

然而,从8月初到8月中旬,鄂霍茨克海上空与我国北方的高度场相继出现正距平,使我国出现干旱少雨天气。

2. 1973年北半球夏季500 hPa扰动高度场的遥相关型

1973年是ENSO事件的恢复年份,赤道东太平洋海温逐渐恢复正常,而热带西太平洋的海温逐渐升高,如图4所示,1973年夏季菲律宾海域的海温出现正距平,这就造成菲律宾周围的对流活动加强,从而使得菲律宾周围的热源加强,使东亚与北美上空的环流产生异常。

图5是由逐日500 hPa扰动高度场的距平所求出的1973年夏季 20°N , 120°E 的500 hPa扰动高度与北半球网格点的500 hPa扰动高度场的同时相关系数分布图。从图

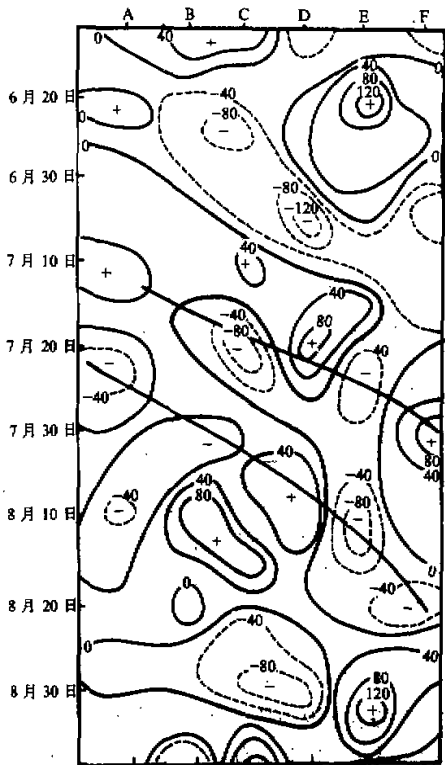


图3 1972年夏季沿图2的特征点 A、B、C、D、E、F 的 500 hPa 5日滑动扰动高度场距平随时间的演变 (单位是位势米)

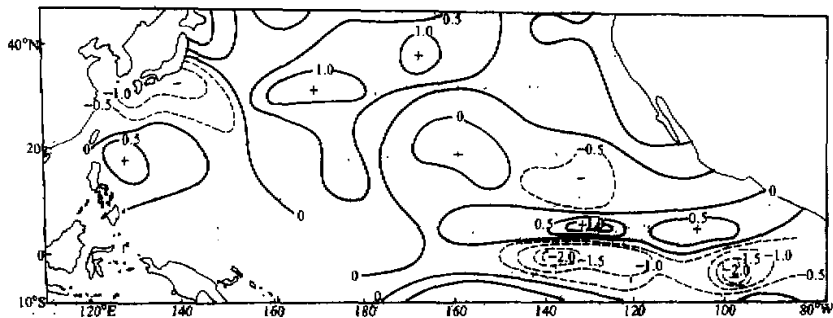


图4 1973年7月太平洋的海温距平(℃)

5 中可以看到相关区的分布,在南亚地区,包括我国南方出现正相关区;而在我国东北、苏联的西伯利亚地区上空出现负相关区;在鄂霍茨克海及勘察加半岛上空有正相关区,在阿拉斯加地区上空有负相关,在美国西部与太平洋东部沿岸地区出现正相关。这个遥相关型与 Nitta (1987) 从高云量资料分析所得到的遥相关型一致。

为了更清楚表示 1973 年夏季南亚、东亚及北美上空大气环流异常的演变情况,我

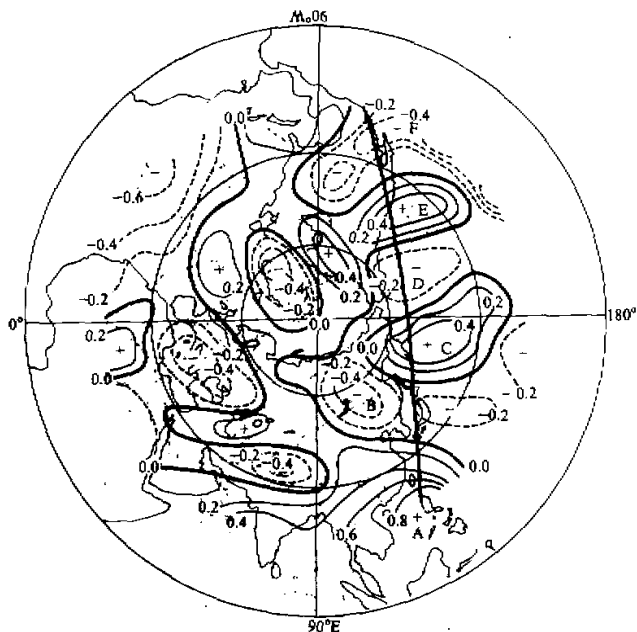


图 5 1973 年夏季以 20°N , 120°E 为基点的北半球 500 hPa 扰动高度场同时相关系数分布图

们从图 5 中把相关系数最大的点选取为特征点, 即图中用 A、B、C、D、E、F 所表示的点, 并且把这些点的扰动高度距平作 5 天滑动平均, 从而可以得到这些特征点的 5 天滑动平均的距平随时间变化的剖面图(图 6)。从图 6 可以看到, 6 月初到 7 月下旬有几次较明显的准定常行星波列的传播。6 月初有一扰动高度正距平从菲律宾周围经东亚传播到北美, 这一正距平于 6 月底传到美国南部; 6 月 20 日有一扰动高度负距平从菲律宾周围经东亚于 7 月中旬传到阿拉斯加地区, 之后分别有两次正距平及一次负距平从菲律宾周围经东亚传播到北美。从这几次扰动高度距平随时间的传播情况中可以看到准定常行星波从 A 点传播到 F 点需要近一个月时间。

把图 3 中实箭头所表示的准定常行星波的传播路径与图 5 中所表示的准定常行星波的传播路径相比较, 可以发现它们之间是有些不同的。1972 年夏季准定常行星波波列传播路径大约为纬向波数 2—4 波列的传播(参见文献 [12]); 而 1973 年夏季准定常行星波波列的传播路径大约为纬向波数 4—6 波列的传播。因此, 1972 年夏季北半球大气环流的遥相关型不同于 1973 年大气环流异常的遥相关型。这种遥相关型的变化不仅是由于热源异常的分布与结构的不同, 而且还可能是由于大气的基本气流不同而产生。

五、1973 年夏季北半球大气环流异常的数值模拟

为了更好地说明 1973 年夏季大气环流异常的形成原因, 我们利用 IAP-GCM 的二层模式与 1973 年 7 月太平洋实际的 SSTA(见图 4)来模拟 1973 年夏季北半球大气环流

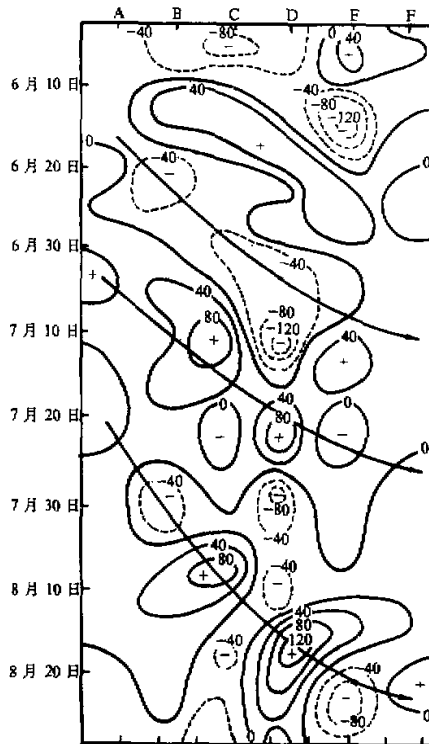


图6 1973年夏季沿图5的特征点A、B、C、D、E、F的500 hPa 5日滑动扰动高度场距平随时间的演变 (单位是位势米)

异常的距平分布。模式的构造与物理过程请见文献[13]。把异常的 SST 场作为模式的下边界条件输入模式, 积分 30 天, 并将模式的积分结果与气候平均的 SST 为下边界条件的模拟结果相减, 这样可得到由于太平洋的海表面温度异常所引起北半球环流的异常。

图7是由 IAP-GCM 所模拟的 1973 年夏季北半球 500 hPa 高度场的距平分布。从图7可以看到由于热带西太平洋的海温升高, 在东亚上空有一片正距平区, 这说明西太平洋副热带高压位置偏北; 而在南亚与中印半岛上空的高度场出现负距平; 在鄂霍茨克海及勘察加半岛的高度场出现负距平; 此外, 在阿拉斯加与加拿大西部上空分别有一片正距平区与负距平区, 而一片正距平区位于美国中部上空, 可见由大气环流模式模拟的 500 hPa 高度场的异常距平与从观测事实所得的结果相似。

从上面的模拟结果可以看到, 当热带西太平洋海温升高, 由于对流活动的增强, 将会引起菲律宾周围热源加强。由于这个热源的加强, 将使得北半球大气环流产生异常, 西太平洋副热带高压偏北, 从而我国江淮流域降水偏少, 而黄河流域和华北地区降水偏多。

六、结论与讨论

本文利用美国 NMC 多年北半球夏季 500 hPa 逐日高度场的经纬度网格点资料,

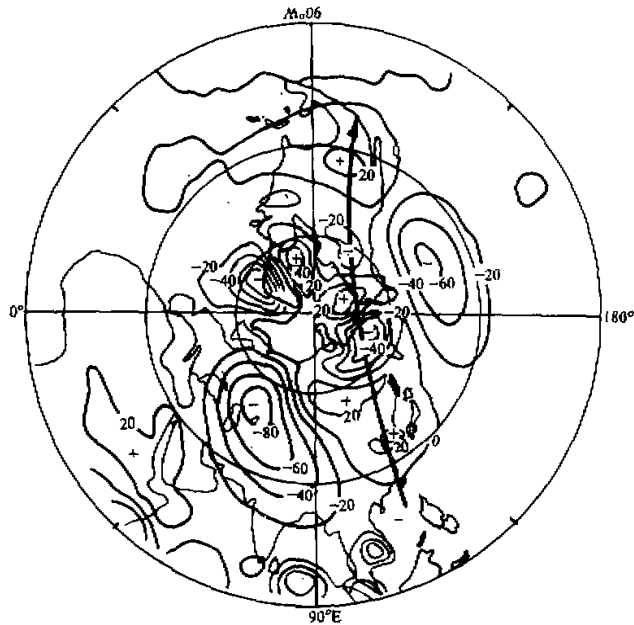


图7 由 IAP-GCM 所模拟的 1973 年夏季北半球环流的异常距平
(单位是位势米)

计算了基点位于 20°N , 120°E 的北半球夏季扰动高度场的点相关。计算结果表明, 北半球夏季在南亚、东亚与北美地区存在着一个大气环流异常的遥相关型, 即我们称之为东亚太平洋型。计算结果还表明这个遥相关型有很大的年际变化, 在 1971—1976 年中 1972 年与 1973 年夏季这个遥相关型很明显。

本文还利用 IAP-GCM 与 1973 年夏季实际的太平洋的 SST 距平分布模拟了由于热带西太平洋 SST 升高对北半球夏季大气环流异常的影响。模拟结果表明了当热带西太平洋海表温度升高时, 北半球将会出现东亚太平洋型的遥相关。

在 1972 年 6、7 月, 热带西太平洋的海面温度比正常偏低, 对流活动较弱, 但是在 7 月底到 8 月底, 菲律宾周围对流活动增强, 因此, 在我国北方上空的高度场出现了正距平。这说明菲律宾周围的对流活动不仅与热带西太平洋的 SST 有关, 而且还与环流条件有关。

参 考 文 献

- [1] Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981, Teleconnection in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784—812.
- [2] Shukla, J. and J. M. Wallace, 1983, Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1613—1630.
- [3] Tokioka, T., K. Yamazaki and M. Chiba, 1985, Atmospheric response to the sea surface temperature anomalies observed in early summer of 1983: a numerical experiment, *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 565—588.
- [4] Huang, R. H. 1986, Physical mechanism of influence of heat source anomaly over low latitudes on general

- circulation over the Northern Hemisphere in winter, *Scientia Sinica* (Series B), 29, 970 — 985.
- [5] Huang, R. H. and Li, W. J. 1987, Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the Subtropical High over East Asia, International conference on the general circulation of East Asia, April 10 — 15, 1987, Chengdu, China.
- [6] Nitta, Ts., 1987, Convective activities in the western tropical Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 165 — 171.
- [7] Huang, R. H. and Lu, L. 1989, Numerical simulation of the relationship between the anomaly of Subtropical High over East Asia and the convective activities in the western tropical Pacific, *Adv. Atmos. Sci.*, 6, No. 2 (to be published)
- [8] Huang, R. H. and Wu, Y. F. 1989, The influence of the ENSO on the summer climate in China and its mechanism, *Adv. Atmos. Sci.*, 6, 21 — 32.
- [9] Gambo, K. and K. Kudo, 1983, Teleconnection in the zonally asymmetric height during the Northern Hemisphere winter, *J. Meteor. Soc. Japan*, 61, 36 — 50.
- [10] Kurihara, K. and T. Tsuyuki, 1987, Development of the barotropic high around Japan and its association with Rossby wave-like propagation over the Northern Pacific, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 237 — 246.
- [11] Nitta, Ts., 1986, Long-term variation of cloud amount in the western Pacific region, *J. Meteor. Soc. Japan*, 64, 373 — 390.
- [12] 黄荣辉, 李维京, 1988, 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制, 大气科学(特刊), 107 — 116.
- [13] Zeng, Q. C. et al., 1986, A global grid point general circulation model, Collection of papers presented at the WMO / LUGG NWP symposium, Tokyo, 4 — 8 August, 1986, 424 — 430.

Interannual Variation of the Summer Teleconnection Pattern over the Northern Hemisphere and Its Numerical Simulation

Huang Ronghui and Sun Fengying

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract

One-point correlation maps between 500 hPa disturbance height at the basic point 20°N , 120°E and 500 hPa disturbance height at every other grid point are computed by using the observations of daily 500 hPa height field at the network points of longitude-latitude from NMC of the U.S.A. The computed results show that there is a teleconnection pattern in the atmospheric circulation anomalies in South Asia, East Asia and North America during the Northern Hemisphere Summer.

Interannual variation of the teleconnection pattern is also computed. The results show that the interannual variation of the pattern is large. This pattern is obvious during the summers of the 1972/1973 ENSO event, and it is not obvious during other summers.

In this paper, the IAP-GCM and the SST anomaly in the western tropical Pacific in the summer of 1973 are used to simulate the teleconnection of the summer circulation over the Northern Hemisphere due to the warming of SST in the western tropical Pacific. The simulated result is similar to the result obtained from the observational facts.

Key words: Teleconnection; Interannual variation; Numerical simulation.