

夏季中高纬500 hPa 高度和海表温度 异常特征及其相关分析*

吴国雄 王敬方

(大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验
室(LASG), 中国科学院大气物理所, 北京, 100080)

摘 要

用旋转主分量(RPC)方法,对1949~1988年40个夏季的中高纬500 hPa 高度场以及北太平洋和北大西洋海表温度异常(SSTA)的主要时空分布特征作分析,然后通过交叉相关讨论夏季海气相互作用的特征。

结果表明,夏季中高纬500 hPa 高度场最明显的异常型为副热带型(ST),极地北美型(PA),4波型(FW),以及3波型(TW)。夏季北太平洋 SST 的主要异常型为赤道东太平洋型(EEP),阿拉斯加湾型(BAL),热带中太平洋(CTP),以及北部北太平洋型(NNP)。而夏季北大西洋 SST 的主要异常型为赤道大西洋型(EAL),加勒比海型(CAR),东部北大西洋型(ENA)和中部北大西洋型(CNA)。

夏季中高纬海气之间的最强相关出现在海气异常对应的空间位置上。这种区域性或邻域性的海气相关呈正相关的特征。但海气之间的相关耦合不及冬季紧密,赤道 SSTA 与中高纬500 hPa 高度异常的相关不显著。太平洋 SSTA 所对应的500 hPa 高度场的相关中心多为局地性,而大西洋 SSTA 所对应的500 hPa 高度场的相关中心呈现更有组织性的,甚至是波状的形态。

关键词: 旋转主分量, 500 hPa 高度异常型, 北太平洋 SST 异常型, 北大西洋 SST 异常型, 交叉相关。

1 引 言

在关于冬季中高纬500 hPa 高度和海表温度异常特征及其相关分析(吴国雄,王敬方^[1];下简称 WW)一文中,作者用旋转主分量(RPC)的方法再现了冬季北半球500 hPa 高度场和北半球 SST 场年际变化的特征,并揭示了两者的相关关系。其结果表明 RPC 分量具有物理意义明确,不随统计区域而改变的优点。本文是 WW 工作的继续,它使用相同的资料及相同的方法去揭示夏季(6~8月平均)类似的物理过程。亦就是说,使用 Horel^[2]的 RPC 方法对1949年至1988年40a 的资料进行分析。500 hPa 高度场为美国国家大气研究中心(NCAR)20~80 N 的半球5°×5° 网格点资料。SST 则采用英国气象局(UK-

* 初稿时间: 1996年11月26日; 修改稿时间: 1997年2月12日。

资助课题: 国家自然科学基金项目49575265及重点项目49635170。

MO) 提供的 $22^{\circ}\text{S} \sim 77.5^{\circ}\text{N}$ $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格点上的资料, 且经质量检验, 并分别对北太平洋和北大西洋进行 RPC 分析。文中第2节首先分析夏季500 hPa 高度场的主要空间型。北太平洋和北大西洋夏季 SST 的年际变化特征则分别在第3、第4节讨论。第5节集中研究夏季500 hPa 高度和 SST 异常的相关特征。若干结论和讨论在第5节给出。

2 500 hPa 高度场的 RPC 空间型

夏季500 hPa 高度场的前4个 RPC 空间型各由图1a– d 表示。它们分别为副热带(ST)型, 极地北美(PA)型, 4波(FW)型和3波(TW)型。各型对总方差的贡献的百分数分别为15.0, 9.4, 8.1和6.2, 其总和只有38.7%。注意到在冬季500 hPa 高度场的类似分析(见 WW)中, 直至第4个 RPC 分量, 其方差贡献仍达10%。由此可见, 夏季500 hPa 高度场的 RPC 空间型的一个重要特征是各型分布非常分散。换言之, 很难用少数几个 RPC 向量

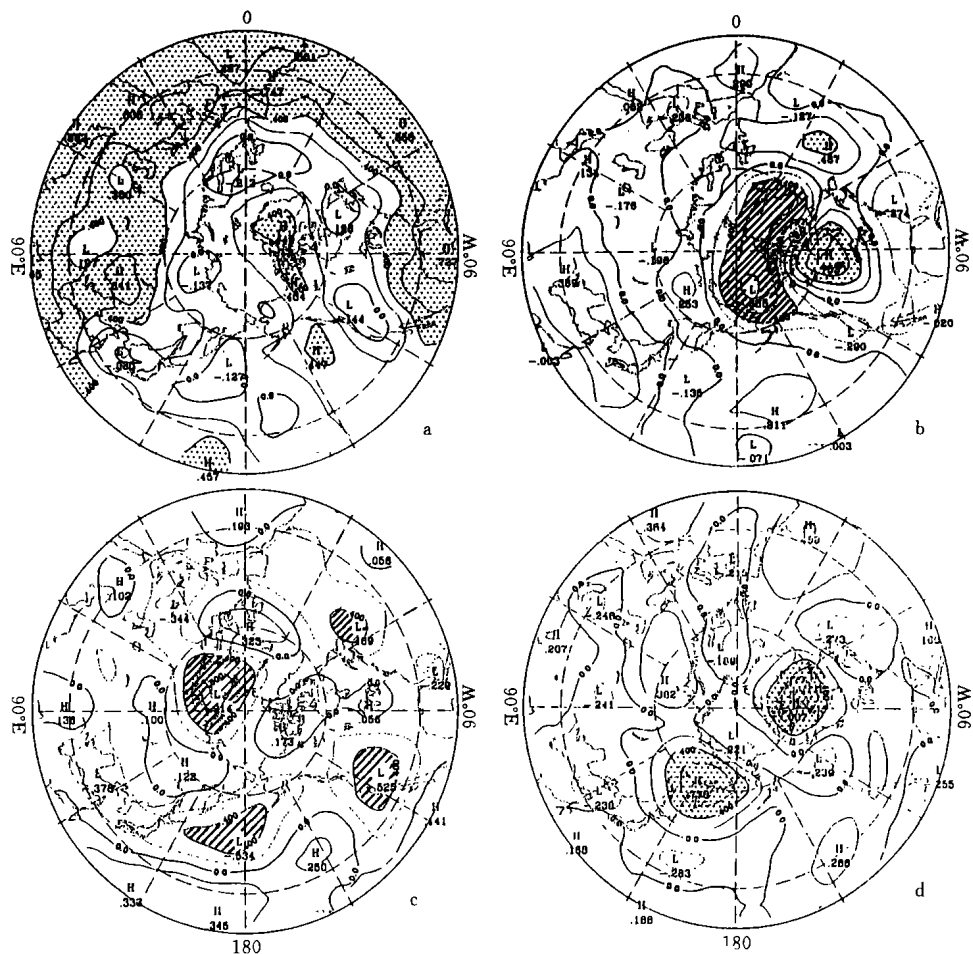


图1 夏季中高纬500 hPa 高度场的前4个旋转主分量(RPC)的空间分布

(斜线区和点区分别表示负、正相关系数超过99% 置信水平的区域)

a. 副热带(ST)型; b. 极地北美(PA)型; c. 4波(FW)型; d. 3波(TW)型

去表征夏季500 hPa 高度场年际变化的特点。因此,图1给出的只不过是几种夏季主要RPC 空间型分布。

副热带(ST)型(图1a)的显著特征是除了太平洋地区外,环绕北半球副热带地区为一连续的正相关带。该带在大陆地区向北伸展,在大西洋地区向南退缩。位于阿拉伯半岛及副热带大西洋中部(23 N, 40 W)的最强相关中心之相关系数均大于0.8。用与该型对应的时间特征向量与同期全球SST 求相关,如果称相关系数在0.4以上,置信度达99%的区域为统计显著区域,则显著的大范围相关区只出现在北大西洋副热带中部(图略,参见王敬方^[3],图8.2.1)。由此推论,该型似乎与北半球夏季副热带地区的陆面物理过程以及北大西洋的海气相互作用有关。此外在格棱兰至阿拉斯加湾还有显著水平为99%的正相关区。在该区与副热带的广大正相关区之间则为大范围的但统计上不显著的负相关区。整个空间型从而呈“三明治”状。

极地北美(PA)型在北极呈非对称2波状的负相关区(图1b),强度为-0.835的相关中心位于白令海峡北端。其下游在北美哈德孙湾(60 N, 90 W)附近有相关系数为0.753的正相关中心。另外一个弱的正相关中心位于北大西洋上,强度为0.487。4波(FW)型(图1c)以加拿大维多利亚岛(70 N, 120 W)为中心,统计显著的负相关区在北半球呈偏极4波分布。最强的负相关中心位于新地岛(75 N, 60 E),强度达-0.914。其余3个负中心分别位于北太平洋北部,加利福利亚,以及纽芬兰岛东南。强度分别为-0.534, -0.525及-0.489。4波分布反映了夏季中高纬环流的主要特征。3波(TW)型(图1d)在极地对称的3波分布:3个正相关中心分别位于鄂霍茨克海(60 N, 150 E),加拿大北部(70 N, 90 W)和乌拉尔地区(60 N, 60 E)。其相关系数分别为+0.779, +0.807和+0.382。其中第3个中心只达到95%信度水平,反映着夏季3波减弱的特征。上述3型的时间特征向量与同期全球海表温度均不存在大范围的统计显著的相关。在分析中,还取了第5至10个RPC分量,使方差总贡献达65.3%。并计算各分量与同期SST的相关(图略,参见[3]图8.2.5—8.2.10),结论与上述一致。

综上所述,500 hPa 高度场夏季RPC空间型与冬季RPC空间型的另一个显著不同是:冬季的500 hPa RPC空间型与SST存在十分显著的相关,而夏季这种相关并不显著。

3 北太平洋海表温度的RPC空间型和时间特征向量

图2所示为北太平洋夏季SST的RPC展开中的前4个空间型,它们分别为赤道东太平洋(EEP)型,阿拉斯加湾(BAL)型,热带中太平洋(CTP)型和北部北太平洋(NNP)型,其对总方差的百分比贡献各为14.8, 8.2, 7.3和6.8。夏季赤道东太平洋(EEP)型(图2a)与冬季的EEP型(见WW图2a)十分相似,在日期变更线以东的赤道及热带太平洋地区SST具有显著性的同号异常,呈现着El Nino的形态。事实上,其时间特征向量(图略)上的每一谷点均对应着历史上的暖ENSO事件。阿拉斯加湾(BAL)型(图2b)中,沿着35~50 N的纬度带,以阿拉斯加湾地区为中心,存在一显著的异常区,其中心的相关系数高达-0.825。其对应的时间特征向量在过去40a中持续上升,从1949年的(-2.1)上升至1988年的(+2.1)(图略)。这表明,在该40a中,沿35~50 N的中纬度北太平洋海表温度一致变冷,其中尤以阿拉斯加湾地区为甚。热带中太平洋(CTP)型(图2c)中显著的SST异常

区出现在赤道180~150°W处,即El Niño4区,并以准对称形式向东北和东南方向的热带东太平洋地区伸展。其对应的时间特征曲线上(图略),1958年和1966年的两谷点与1957年和1965年发生在赤道东太平洋的El Niño事件向西传播有关(Rasmusson^[4])。1982年和1986年的两谷点则与1982~1983年及1986~1987年两次El Niño事件首先发生在赤道中太平洋,然后向东传播有关。因此,CTP型所反映的是一种与ENSO事件演变有关的SST异常分布型。尽管夏季CTP和夏季EEP型在同期意义上是正交无关的,但比较发现,在1980年以前,CTP型的极值点一般落后于EEP型的同号极值点。在1980年以后,则CTP型的极值点早于EEP的同号极值点。这种特征反映了该两时期El Niño事件演变的不同:1980年以前的暖ENSO事件首先出现在赤道东太平洋地区,然后西传;而1980年代的两次暖事件则首先出现在赤道中太平洋,然后东传(余志豪等^[5])。太平洋北部(NNP)型(图2d)中,在45°N以北的北太平洋地区SST为一致的统计显著相关区。相应的时间特征向量(图略)表明,过去40a中该海区的海温在1970年代的初期和中期达到最低值,以后又开始回升。

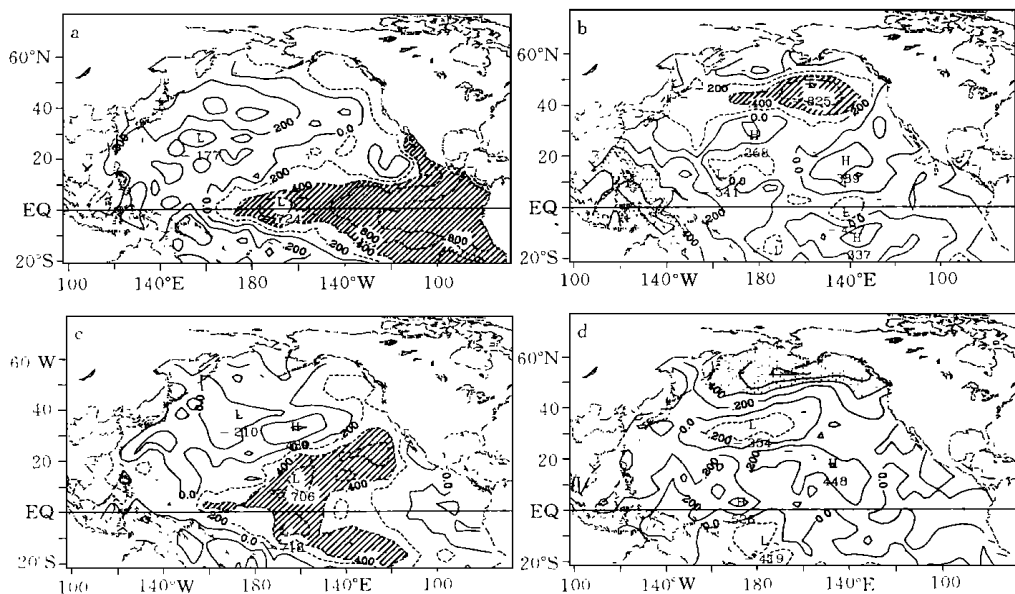


图2 夏季北太平洋海表温度异常(SSTA)的前4个旋转主分量(RPC)的空间分布

(斜线区和点区分别表示负、正相关系数超过99%置信水平的区域)

- a. 赤道东太平洋(EEP)型; b. 阿拉斯加湾(BAL)型;
c. 热带中太平洋(CTP)型; d. 北部北太平洋(NNP)型

4 北大西洋海表温度的RPC空间型

图3展示了北大西洋海表温度的几个主要的RPC空间型,它们分别为赤道大西洋型(EAL),加勒比海型(CAR),东部北大西洋型(ENA)和中部北大西洋型(CNA)。其对总方差的百分比贡献各为11.8, 11.7, 9.8和6.5。赤道大西洋型(EAL)的主要海表温度异常

集中在赤道附近及以南的大西洋地区(图3a)。加勒比海型(CAR)的统计显著的海温异常区以加勒比海区为中心,相关系数高达0.8以上,然后向东伸展至30°W附近(图3b)。此外在戴维斯海峡出口处(50°N, 45°W)还有一个范围较小的强度达0.50的相关中心。东部北大西洋型(ENA)的显著 SST 异常区集中在北大西洋东部,从非洲西岸向北伸展至冰岛附近(图3c)。中部北大西洋型(CNA)的海温异常区集中在30~50°N 的中部北大西洋,其中心的相关系数高达-0.930(图3d)。上述4型的总方差贡献约为40%。

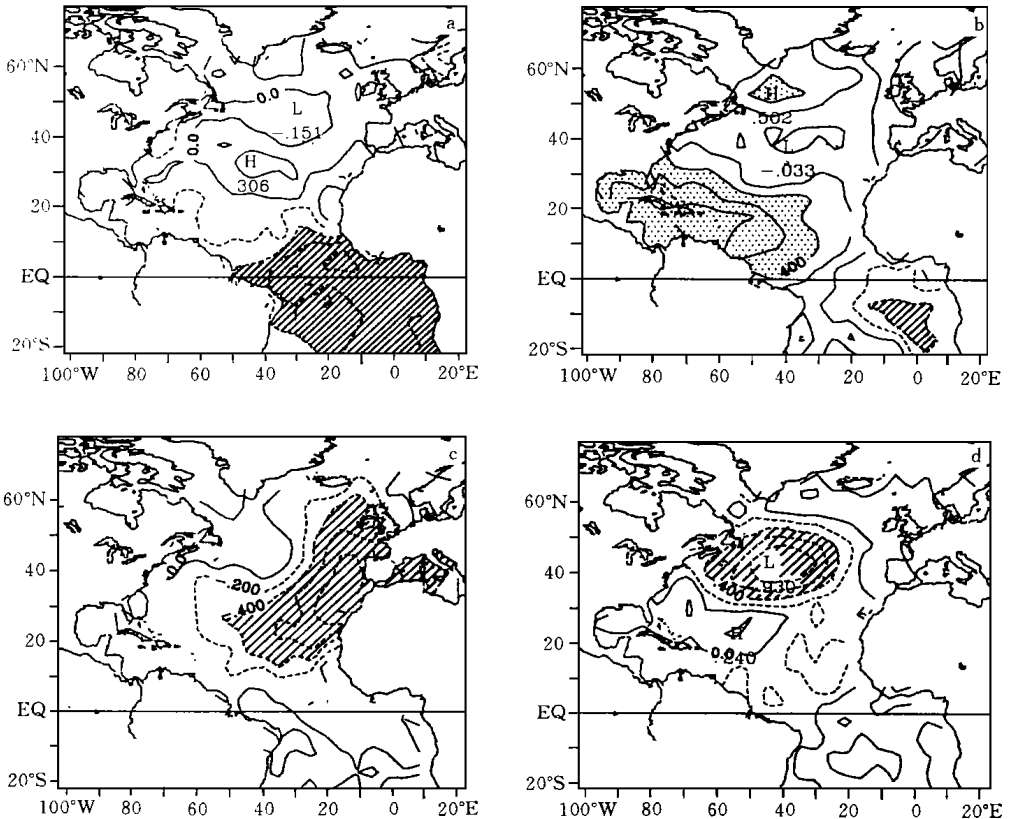


图3 夏季北大西洋海表温度异常(SSTA)的前4个旋转主分量(RPC)的空间分布

(斜线区和点区分别表示负、正相关系数超过99%置信水平的区域)

- a. 赤道大西洋(EAL)型; b. 加勒比海(CAR)型;
c. 东部北大西洋(ENA)型; d. 中部北大西洋(CNA)型)

5 夏季海温异常型和500 hPa 高度场的相关特征

为了解夏季高度的异常分布与 SST 的联系,首先用夏季500 hPa 高度的前10个 RPC 空间型所对应的时间特征向量与同期全球 SST 求相关。结果表明,除了副热带型(ST)与北大西洋热带地区的 SST 存在显著性相关外,夏季500 hPa 高度场各空间型与 SST 不存在大范围的有规则的显著相关(图略,参见[3]图8.2.1—8.2.10)。这似乎表明,夏季500

hPa 高度的异常分布不能简单地或直接地用 SST 异常加以解释。下面检验与一定的 SST 异常型相关联的500 hPa 高度异常分布。

用图2所对应的各时间特征向量与北半球500 hPa 高度场每一格点的同期演变求相关, 得到夏季与北太平洋 SST 各异常型相关的500 hPa 高度异常分布, 结果如图4所示。与图2a 中赤道东太平洋型 (EEP) 对应的500 hPa 高度异常较之冬季 (见 WW) 要弱得多。唯一的显著相关区只出现在中国东北至日本的中纬度地区 (图4a), 其物理原因尚不清楚。与阿拉斯加湾型 (BAL, 图2b) 相对应的是在该型 SSTA 中心上空。出现一同号的显著相关中心 (图4b)。与热带中太平洋型 (CTP, 图2c) 相对应的500 hPa 高度场在加利福利亚和哈德湾存在一对反号的显著相关中心 (图4c)。而在北部北太平洋型 (NNP, 图2d) 中, 在白令海峡南面正 SSTA 中心的上空, 500 hPa 高度场也有一显著的正相关中心相对应 (图4d)。

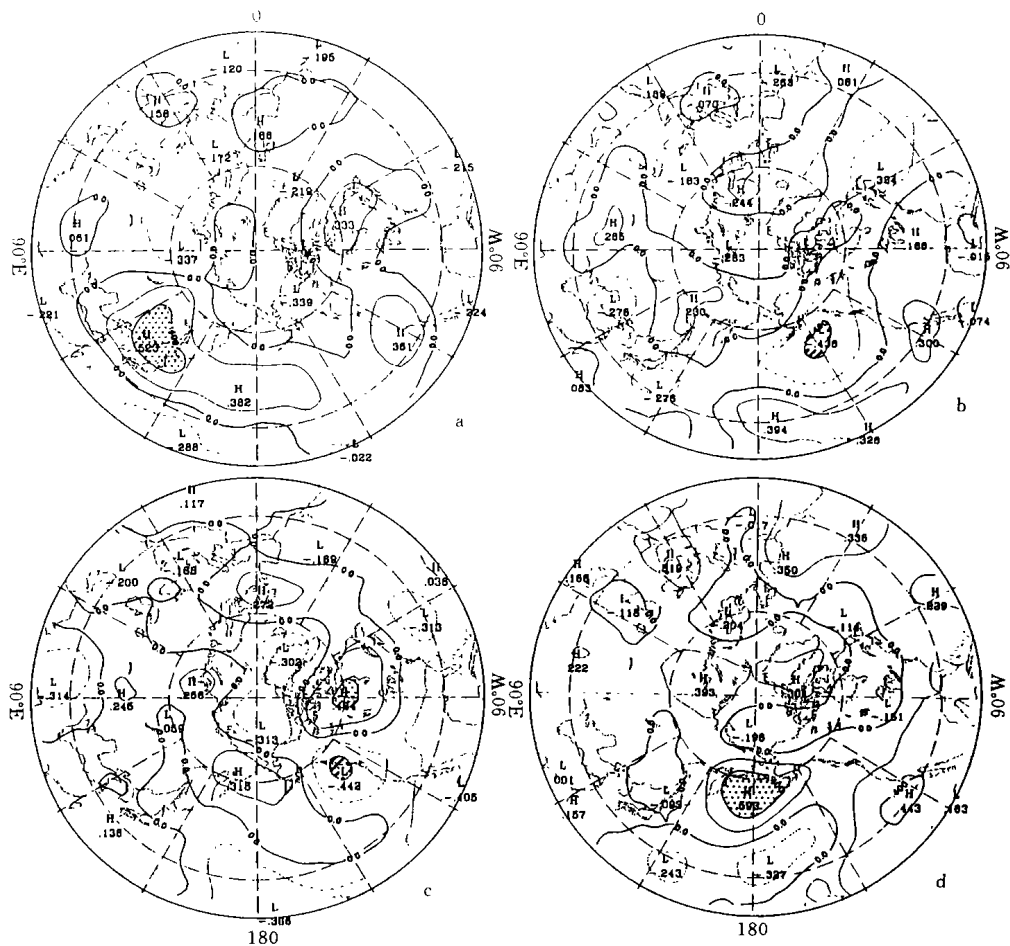


图4 夏季北太平洋 SSTA 各型的时间特征向量和500 hPa 高度场的同期相关分布
(斜线区和点区分别表示负、正相关系数超过99% 置信水平的区域)

- a. 赤道东太平洋 (EEP) 型; b. 阿拉斯加湾 (BAL) 型;
c. 热带中太平洋 (CTP) 型; d. 北部北太平洋 (NNP) 型

用相同的方法可以分析夏季北大西洋海温异常型与500 hPa 高度的相关, 其结果如图5所示。与赤道大西洋型(EAL, 图3a)对应的500 hPa 高度异常很不明显(图5a)。加勒比海型(CAR, 图3b)所对应的500 hPa 高度场以热带地区的正距平为主要特征。另一正相关中心位于北极巴芬湾(图5b)。比较图1a和图5b发现, 两者在西半球的空间分布非常相似, 均呈现“三明治”结构。注意到上文提到的与图1a对应的同期全球 SST 相关场只在北大西洋热带地区存在显著相关, 上述分析表明, 夏季500 hPa 的副热带型在西半球的“三明治”结构是与同期加勒比海区的 SST 异常紧密相关的。与东部大西洋型(ENA, 图3c)相对应的500 hPa 高度场在英吉利海峡上空为同号的显著距平中心(图5c)。而与中部大西洋型(CNA, 图3d)相对应的500 hPa 高度场除了在 SSTA 中心上方出现同号的强度达(-0.743)的相关中心外, 在新地岛南部, 中纬日期变更线西侧, 以及北美大陆等上空还分别

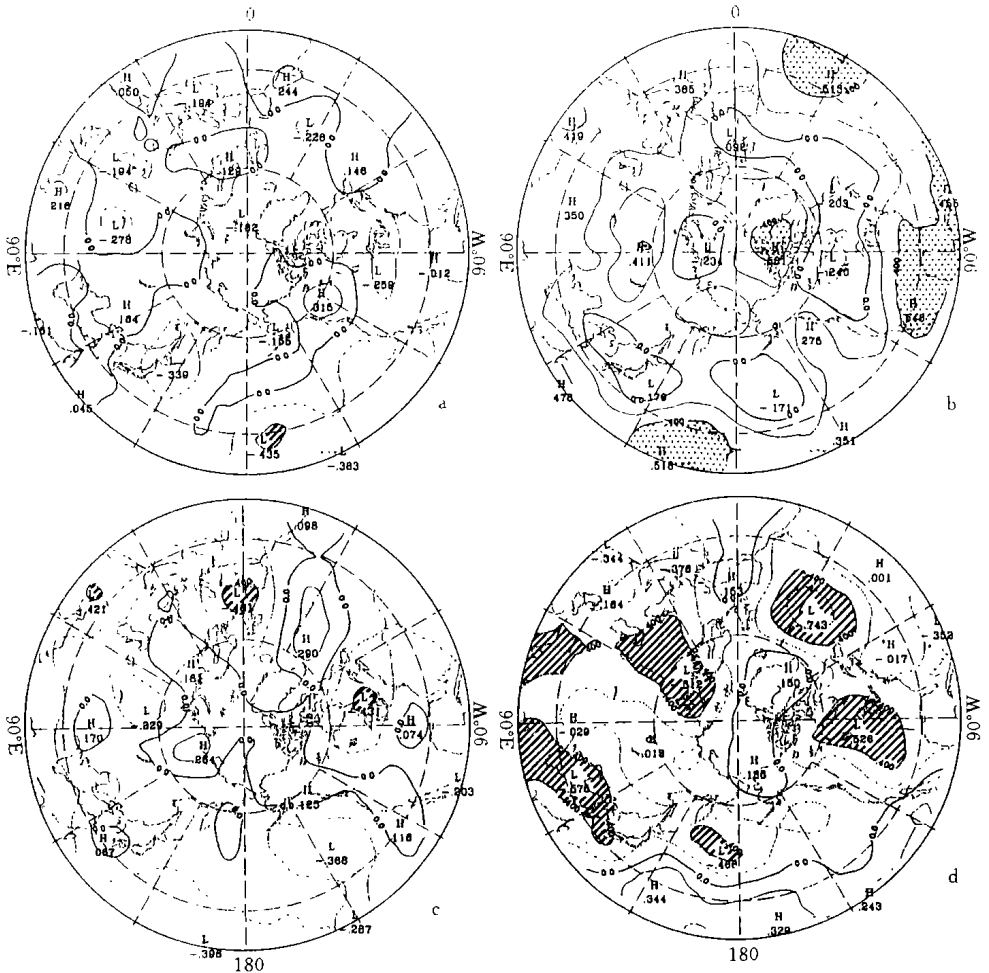


图5 夏季北大西洋 SSTA 各型的时间特征向量和500 hPa 高度场的同期相关分布

(斜线区和点区分别表示负、正相关系数超过99% 置信水平的区域。

- a. 赤道大西洋(EAL)型; b. 加勒比海(CAR)型;
c. 东部北大西洋(ENA)型; d. 中部北大西洋(CNA)型

出现 -0.512 , -0.466 , 及 -0.526 的相关中心(图5d), 其4波的形态和位相与图1c 所示的夏季500 hPa 高度场的4波型相似。揭示了中部大西洋型(CNA)对夏季500 hPa 高度场4波型(FW)的可能影响。

比较上述两大洋 SST 与500 hPa 高度的相关发现, 夏季北大西洋 SST 与500 hPa 高度空间型的相关比北太平洋的 SST 显著得多。后者的相关场(图4)呈孤立的或邻域的相关分布。而前者常伴有大范围的相关链(图5)。分析夏季北太平洋 SST 和北大西洋 SST 其余各6个空间型与500 hPa 高度场的相关, 其基本特征与上述结果相同。表明与大西洋 SST 空间型对应的500 hPa 高度异常也呈现着很有组织的相关链结构。

6 小结和讨论

与冬季相比夏季500 hPa 高度场的 RPC 空间型较为分散。前4个 RPC 型为副热带型(ST), 极地北美型(PA), 4波型(FW)和3波型(TW)。夏季北太平洋 SST 的前4个 RPC 空间型为赤道东太平洋型(EEP), 阿拉斯加湾型(BAL), 热带中太平洋型(CTP)和北部北太平洋型(NNP)。EEP 型与冬季 EEP 型相似, 反映着 ENSO 事件的主要特征。CTP 型则与 ENSO 的演变有关联。分析表明在1949年至1988年的40a 中, 中高纬阿拉斯加湾地区的夏季 SST 呈下降趋势。夏季北大西洋 SST 的前4个空间型为赤道大西洋型(EAL), 加勒比海型(CAR), 东部北大西洋型(ENA), 和中部北大西洋型(CNA)。

夏季500 hPa 高度场和 SST 的相关存在下述特征:

(1) 无论是赤道东太平洋型(EEP)还是赤道大西洋型(EAL), 都与中高纬度500 hPa 高度场不存在大范围的显著性的相关。

(2) 中高纬度显著的 SST 异常中心的上空对应着同号的500 hPa 高度异常。

(3) 与太平洋 SST 异常显著相关的500 hPa 高度场多呈局地性, 而与大西洋 SST 异常显著相关的500 hPa 高度场多呈有组织的相关链结构。

相关分析的结果表明, 夏季500 hPa 高度场的副热带型(ST)与大西洋 SST 的加勒比海型(CAR)有一定关联, 而与中部北大西洋型(CNA)的 SST 相关的500 hPa 高度异常分布则与该高度场的4波型(FW)十分相似。这些对比分析表明, 夏季大西洋 SST 异常对500 hPa 高度异常型的产生十分重要, 其原因有待进一步研究。鉴于夏季500 hPa 高度场各空间型一般不存在与 SST 有规则的显著相关, 可以推断, 夏季陆面的热力过程是500 hPa 的空间型形成的一个不可忽视的重要因子。

参考文献

- 1 吴国雄, 王敬方. 冬季中高纬500 hPa 高度和海表温度异常特征及其相关分析. 气象学报, 1996, 55(1): 11~21
- 2 Horel J D. A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 2080~2092
- 3 王敬方. 全球海表温度异常的时空分布及海气相关: 学位论文]. 北京: 中科院大气所, 1994
- 4 Rasmusson E M and Carpenter T H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the southern oscillation/El Nino. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 354~384
- 5 余志豪, 蒋全荣, 厄尔尼诺、反厄尔尼诺和南方涛动. 南京: 南京大学出版社, 1994. 427pp

SUMMER TIME CHARACTERISTICS AND CORRELATION OF THE EXTRATROPICAL 500 HPA GEOPOTENTIAL HEIGHT FIELD AND SEA SURFACE TEMPERATURE

Wu Guoxiong Wang Jingfang

*(State Key Lab of Numerical Modelling for Atmospheric Sciences and
Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric
Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)*

Abstract

The Rotated Principle Component (RPC) technic was employed to analyze the spatial and temporal characteristics of the summer time geopotential height field at 500 hPa and the sea surface temperature anomaly (SSTA) in the Northern Hemisphere by using the 40 a observation data ranging from 1949 to 1988. Their correlation was also studied by using cross correlation technic.

Results from these study show that, the major anomaly patterns of the summer time 500 hPa geopotential height are the subtropical (ST) pattern, the polar and American (PA) pattern, the four wave (FW) pattern, and the three wave (TW) pattern. The major spatial patterns of the summer time SSTA over the North Pacific are the eastern equatorial Pacific (EEP), the Bay of Alaska (BAL), the central tropical Pacific (CTP), and the northern North Pacific (NNP) patterns. Whereas those over the North Atlantic are the equatorial Atlantic (EAL), the Caribbean Sea (CAR), the eastern North Atlantic (ENA), and the central North Atlantic (CNA) patterns.

The most strong correlation signals in the air-sea interaction appear at the locations of the corresponding anomalies either in the atmosphere or at the sea surface. Such local or neighborhood correlation between atmosphere and ocean usually presents as positive correlation. However the correlation or coupling is not as close as that in the winter season. Particularly, the correlation between the equatorial SSTA and the 500 hPa height in middle latitudes is not significant. The spatial patterns of correlation of the 500 hPa height with the patterns of SSTA over North Pacific are more or less localized; whereas those with the patterns of SSTA over North Atlantic show more organized, even wave-chain patterns.

Key words: Rotated principal component (RPC), Anomaly patterns of the 500 hPa height, SSTA anomaly patterns in North Pacific, SSTA anomaly patterns in the North Atlantic, Cross correlation.