

# 冬季中高纬 500hPa 高度和海表温度 异常特征及其相关分析\*

吴国雄 王敬方

(中国科学院大气物理研究所 LASG, 北京, 100080)

## 摘 要

用旋转主分量(RPC)方法,分析 1948 年到 1988 年 40 个冬季的中高纬 500hPa 高度场以及全球海表温度异常(SSTA)场的最主要的时空分布特征。然后通过交叉相关来讨论海气的同期相关特征。

结果显示,冬季中高纬 500hPa 高度场最明显的异常型分别是太平洋北美型(PNA),西太平洋型(WP),西大西洋型(WA)以及东大西洋欧亚型(EAEU)。冬季 SSTA 最明显的区域是赤道东太平洋(EEP)和赤道大西洋(EAL)。其次是中纬度东北太平洋(NEP)及两大洋西部(NWP 和 NWA)。

中高纬度海气之间有很好的相关。与中高纬度 500hPa 高度场 PNA 型明显相关的是中高纬度东北太平洋(NEP)和赤道东太平洋(EEP)的 SSTA。前者的强相关中心在中高纬;后者的强相关中心在中低纬。而与 WA 型明显相关的是中高纬度北大西洋的 SSTA。

中高纬度海气之间最强的相关在海气异常对应的空间位置上。而且这种区域性或邻域性的海气相关呈正相关,暖 SSTA 对应于正高度异常,冷 SSTA 对应于负高度异常。

关键词: 旋转主分量,交叉相关, PNA 遥相关型。

## 1 引 言

自从 Walker 和 Bliss(1932)<sup>[1]</sup>提出了南方涛动之后,越来越多的观测事实表明,月季时间尺度的大气环流异常具有遥相关的特征。Wallace 和 Gutzler(1981,以下简称 WG)<sup>[2]</sup>用单点相关的方法归纳了冬季北半球 500hPa 位势高度场的几种遥相关型:太平洋北美型(PNA),西太平洋型(WP),西大西洋型(WA),东大西洋型(EA),欧亚型(EU)。Horel(1981)<sup>[3]</sup>用旋转主分量(RPC)的方法同样得出了上述遥相关型,并与 WG(1981)的工作进行比较。RPC 是基于经验正交函数 EOF 分解和方差极大原则上,故有很合理的数学内涵<sup>①</sup>。

热带的 SSTA 不仅强烈影响热带的大气环流,还与中高纬大气环流变化紧密联系(例如见 Bjerknes(1969)<sup>[4]</sup>; Horel 和 Wallace(1981)<sup>[5]</sup>),。中高纬的海温异常也很重要。它

\* 初稿时间: 1995 年 10 月 17 日; 修改稿时间: 1996 年 7 月 30 日。

资助课题: 本研究得到中国科学院“灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响”(KY85-10)项目及国家重点攻关项目“气候动力学及气候预测理论研究”的支持,以及国家自然科学基金项目 49575265 的支持。

①王敬方。全球海表温度异常的时空分布及海气相关。硕士论文,中国科学院大气物理研究所,1994。

一方面影响海洋环流, 另一方面影响中高纬海气相互作用。

人们很早就发现北大西洋、北太平洋副热带 SST 的变率是北美和欧洲月和季节时间尺度气候变化的一个很重要的预报因子(见 Namias et al. (1988)<sup>[6]</sup>; Ratcliffe 和 Murray (1970)<sup>[7]</sup>)。Wallace 和 Jiang(1987)<sup>[8]</sup>系统地分析了副热带海气相互作用的观测事实。他们重点分析大气的信号和中纬度两个海区(一个在北大西洋, 一个在北太平洋)SST 变化之间的相关。其中北大西洋海区选在纽芬兰海, 发现这个海区与百慕大海区的 SST 有很强的南北向跷跷板型的振荡, 这种 SST 南北向的振荡与 500hPa 大气环流异常的西大西洋型(WA)遥相关有很密切的关系。另一个北太平洋海区选在夏威夷, 发现这个海区与北美西海岸的 SST 有很强的东西向跷跷板型振荡, 而这种 SST 东西向的振荡与 500hPa 大气环流异常的太平洋北美型(PNA)遥相关有密切的关系。Wallace 和 Jiang 进一步指出这种遥相关型与副热带 SST 变率之间的联系比与热带 SST 变率之间的联系要强。这些经验的结果表明, 在研究海气系统的变化时, 不能忽略副热带海洋 SST 变率的作用。Wallace et al. (1990)<sup>[9]</sup>又对 SST 和大气观测资料作了更多的分析。表明大气遥相关型和副热带 SST 的最强特征向量之间有很好的相关, 并且指出大气遥相关型在副热带西太平洋和西大西洋的特征与 SST 异常的最大特征向量倾向关系密切。后者可能说明了海洋对大气的局地强迫作用。Lau (1990)对模式结果的分析证实了 Wallace 等<sup>[10]</sup>的观测结果。

中国是最早对中高纬海气相关进行系统研究的国家之一。早在 70 年代, 归佩兰 (1978)<sup>[11]</sup>用归类的方法将北太平洋海表温度异常进行了分类。发现北太平洋海表温度异常存在很明显的中北太平洋南北振荡型和东北太平洋东西振荡型; 并且归纳了对应的大气环流异常型。林学椿 (1978)<sup>[12]</sup>也进行了类似的研究。他们的结果都表明, 中高纬的海气局地相关很重要, 与中高纬北太平洋区域 SST 正异常对应的是 500hPa 正高度距平; 相反负 SSTA 对应的是负高度距平。

本文用 Horel (1981)的 RPC 方法对 40a 冬季(12 月, 1 月, 2 月三月平均)从 1948 年到 1988 年的 500hPa 高度场位势异常和北太平洋、北大西洋以及全球的 SSTA 作统计分析, 以得出这些场的区域异常特征。并用这些 RPC 分别作交叉相关, 以得出海气异常之间的相互关系。第 2 节中将详细介绍资料和方法。RPC 的主要结果将在第 3 节中列出。交叉相关的结果在第 4 节中讨论。结论和讨论在第 5 节中给出。

## 2 资料和分析方法

观测分析所用的月平均 500hPa 高度位势场资料来自 NMC, 分布在 20°N 到 80°N 的 5×5 网格点上。海表温度(SST)采用 UKMO 的资料, 从 77.5°N 到 77.5°S 分布在 5×5 网格点上, 且经质量检验。两组资料在时间上都取用从 1948 年到 1988 年的共 40 个冬季, 冬季定义为当年 12 月到次年 2 月。因而两组资料都滤掉了时间尺度小于一个季的波动。

把 SSTA 分成 3 个不同的空间范围进行分析。其一是 22.5°S 以北的北太平洋海域; 第二为 22.5°S 以北的北大西洋海域; 第三是 42.5°S 以北的全球海域。

对 500hPa 高度场以及 3 个不同范围的 SSTA 资料作时间方向上的标准化, 然后作 RPC 展开, 初始旋转的主分量取 EOF 的前 15 个主分量。旋转按极大方差的正交旋转。RPC 展开后, 对应每个旋转主分量(RPC): 有一个时间序列, 不同的 RPC 时间序列正交;

有一个空间型, 它实际上就是 RPC 的时间序列与原时空场的相关系数的空间分布; 还有一个方差贡献, 反映了 RPC 的时间序列在整个时空场中所占的方差比例。

RPC 的空间型有以下一些特征, 比如空间型在一些区域上相关系数特别显著; RPC 的方差贡献集中在这些区域上; 反映在这些区域上的实际距平异常的空间分布特征与这一空间型非常相似; 而且这些空间型在这些明显区域上的分布特征不依赖于 RPC 分析所取的空间范围等等<sup>[3, ①]</sup>。

RPC 得出的时间序列很大程度地反映了 RPC 空间型异常的时间演变特征。由于上述特点, 用反映 SSTA 特征演变的时间序列与 500hPa 高度场的时空场作交叉相关或反过来用反映 500hPa 高度场异常特征演变的时间序列与 SSTA 的时空场作交叉相关应是最直接地考察海气相关的统计方法。

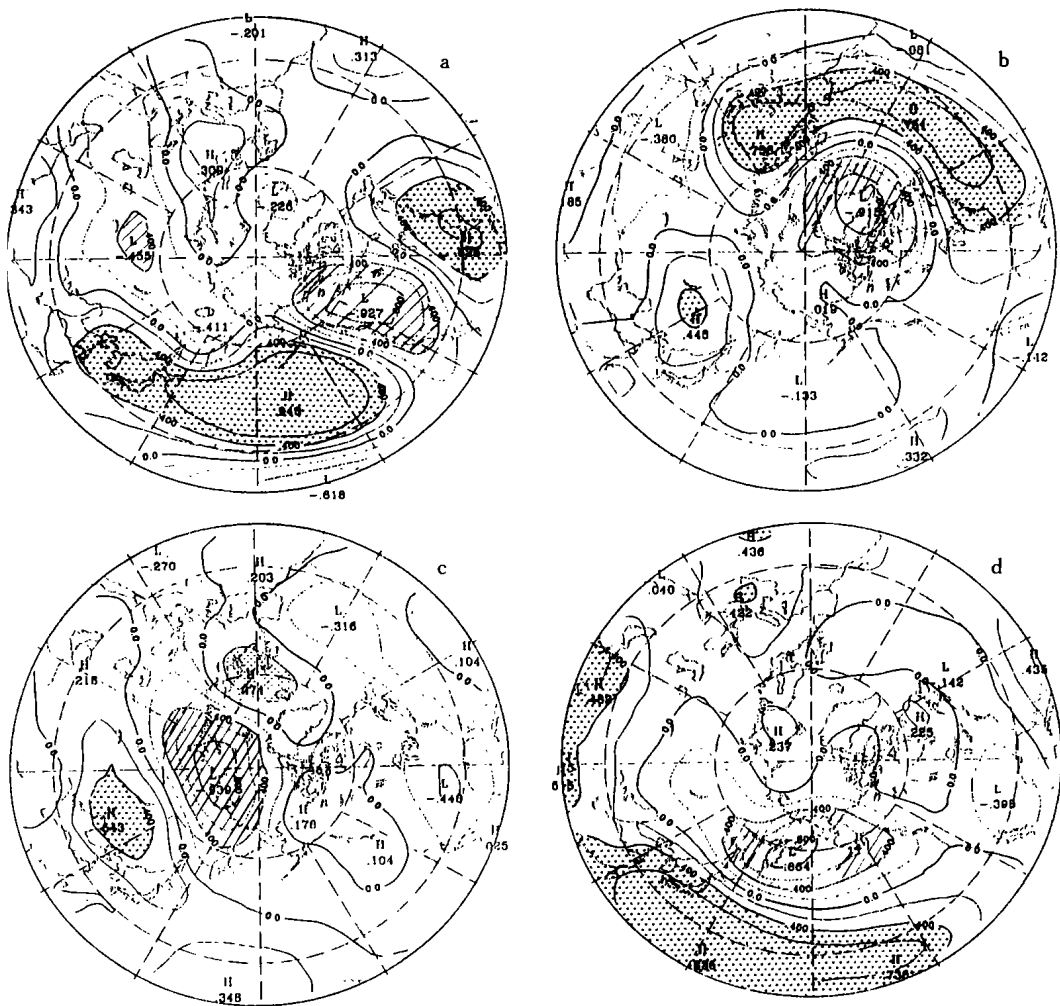


图 1 冬季北半球中高纬 500hPa 高度场的前 4 个旋转主分量(RPC)的空间分布

(a. 太平洋和北美(PNA)型; b. 西大西洋(WA)型;

c. 东大西洋欧亚(EAEU)型; d. 西太平洋(WP)型)

### 3 RPC 分析结果

冬季中高纬 500hPa 高度场的前 4 个 RPC 空间型列在图 1 上。其中第 1, 2, 4 个空间型分别呈明显的 PNA 型, WA 型和 WP 型。第 3 个空间分布为东大西洋欧亚型(EAEU)的球面大圆波列, 它与 WG(1981)<sup>[2]</sup>提到的 EA 型和 EU 型之和很相似。上述 4 个 RPC 空间型与 Horel(1981)<sup>[3]</sup>用不同资料计得的前 4 个 RPC 空间型是一致的。

太平洋海域 SSTA 的前 4 个 RPC 空间型列在图 2 上。冬季太平洋最强的 SSTA 信号是赤道东太平洋的 SSTA(见图 2a), 占 20.8% 的方差贡献。从其时间序列特征和 SSTA 的空间分布特征上看, 它反映了 El Niño 时冬季太平洋的 SSTA。第 2 个 RPC 空间型是西北太平洋鄂库茨克海和堪察加半岛海域的 SSTA(见图 2b)。第 3 个 RPC 空间型反映了东北太平洋的 SSTA 东西向跷跷板振荡(见图 2c), 一个中心在夏威夷附近(20°N, 145°W), 另一个中心在夏威夷北面(35°N, 160°W)。第 4 个 RPC 空间型是西北太平洋冬季黑潮区域上的 SSTA(见图 2d)。

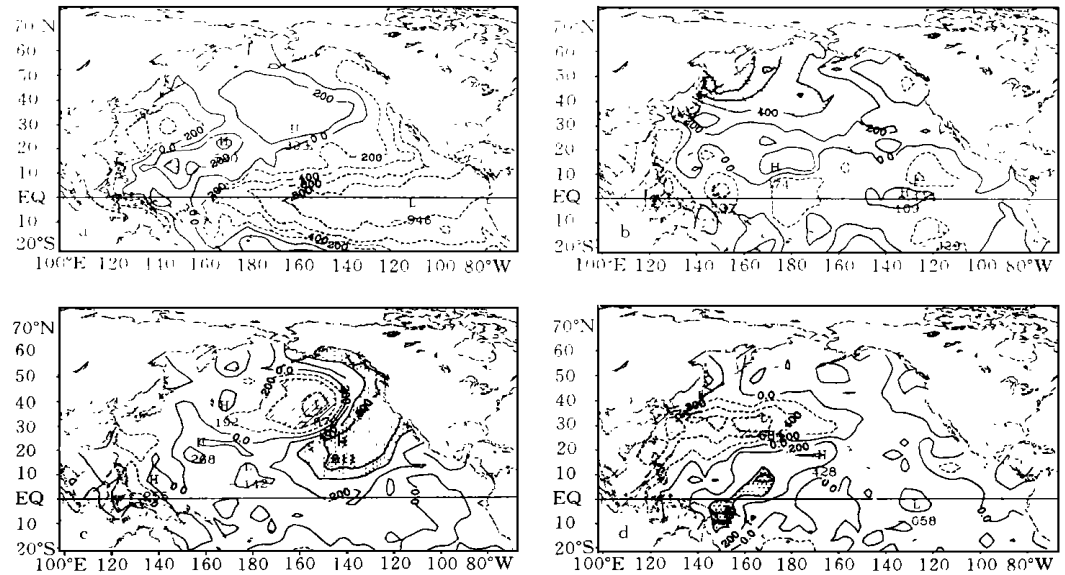


图 2 冬季北太平洋海表温度异常(SSTA)的前 4 个旋转主分量(RPC)的空间分布

- (a. 赤道东太平洋(EEP)型; b. 西北太平洋(NWP)型;  
c. 东北太平洋(NEP)型; d. 副热带西太平洋(STWP)型)

大西洋海域的 SSTA 的前 4 个 RPC 空间型列在图 3 上。第 1 个空间型是沿赤道及热带南大西洋的 SSTA(见图 3a)。第 2 个空间型有两个 SSTA 中心, 一个在西北大西洋从佛罗里达半岛到百慕大的区域上, 另一个在斯堪地那维亚附近(见图 3b)。第 3 个空间型是东北大西洋加那利洋流区域的 SSTA(见图 3c)。第 4 个空间型反映了北大西洋西部热带, 副热带和高纬的 SSTA 经向上的振荡(见图 3d)。

### 4 海气相关分析

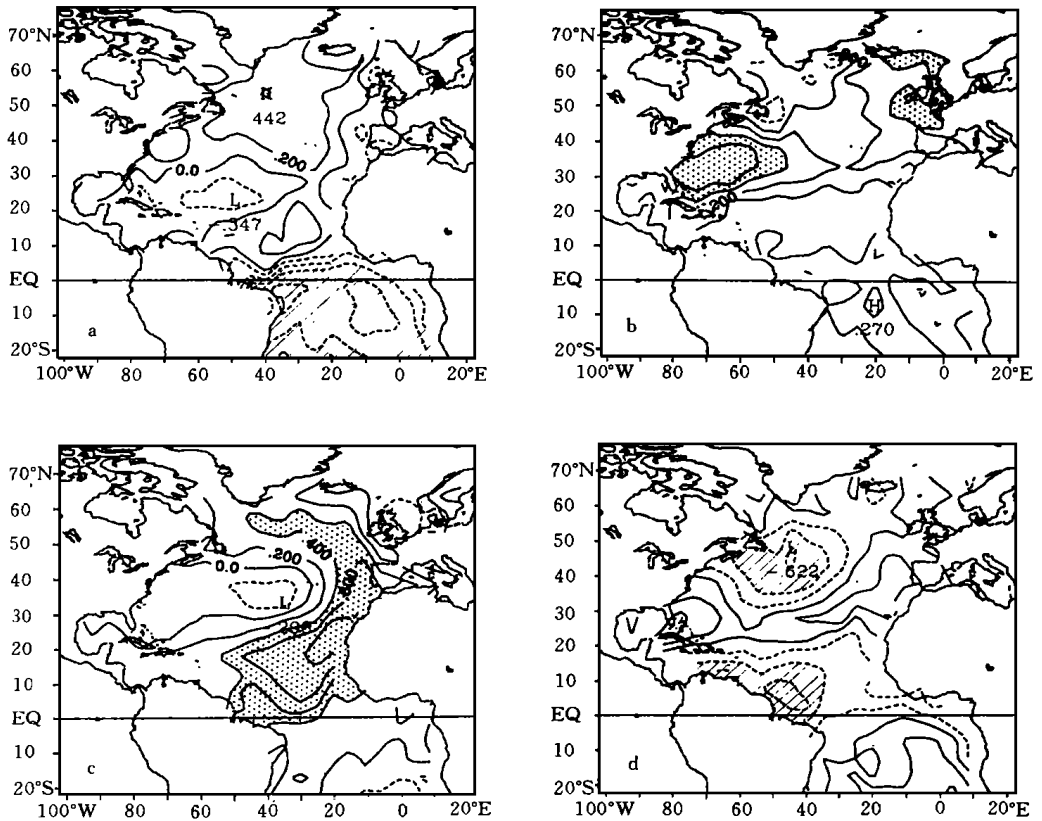


图 3 冬季北大西洋海表温度异常 (SSTA) 的前 4 个旋转主分量 (RPC) 的空间分布

(a. 赤道大西洋 (EAL) 型; b. 中部北大西洋 (MNA) 型;  
c. 东部北大西洋 (NEA) 型; d. 西部北大西洋 (NWA) 型)

用反映 PNA 异常的 500hPa 第 1 个 RPC 时间序列与 SSTA 场作相关 (见图 4a)。相关系数在 +0.4 以上, 置信度达到 99% 的区域为明显区域。图 4a 显示明显的 SSTA 主要在中高纬北太平洋和北印度洋上, 其次在热带东太平洋上。把图 4a 的 SSTA 空间分布与图 1a 的 500hPa 的 PNA 异常的空间分布相比较发现, SSTA 与 500hPa 高度异常在空间位置上有很好的对应。在北太平洋上, PNA 的正波节对应着 SST 的正异常; 北美西北部的 PNA 的负波节刚好对应着北美西海岸的 SST 负异常。更进一步发现, 图 4a 中与 PNA 相关的 SSTA 的空间分布与全球 SSTA 的第 6 个 RPC 空间型 (见图 4b) 非常一致。只是图 4b 中 SSTA 的信号在低纬地区特别是印度洋上显得弱一点, 而在北太平洋高纬地区显得强一些, 不过 SSTA 的主要空间位相完全一致。

把这—个全球 SSTA 的第 6 个 RPC 空间型对应的时间序列与 500hPa 高度场作交叉相关, 结果如图 4c 所示。从图上看到 500hPa 高度场呈明显的 PNA 遥相关型, 信号最强在北美。把上述 500hPa 高度场的第 1 个 RPC 和 SSTA 场第 6 个 RPC 相应的两个时间序列作—相关, 相关系数为 +0.547, 远高于 99% 的置信水平。这两个 RPC 时间序列之间相互的方差贡献为 30% 左右。

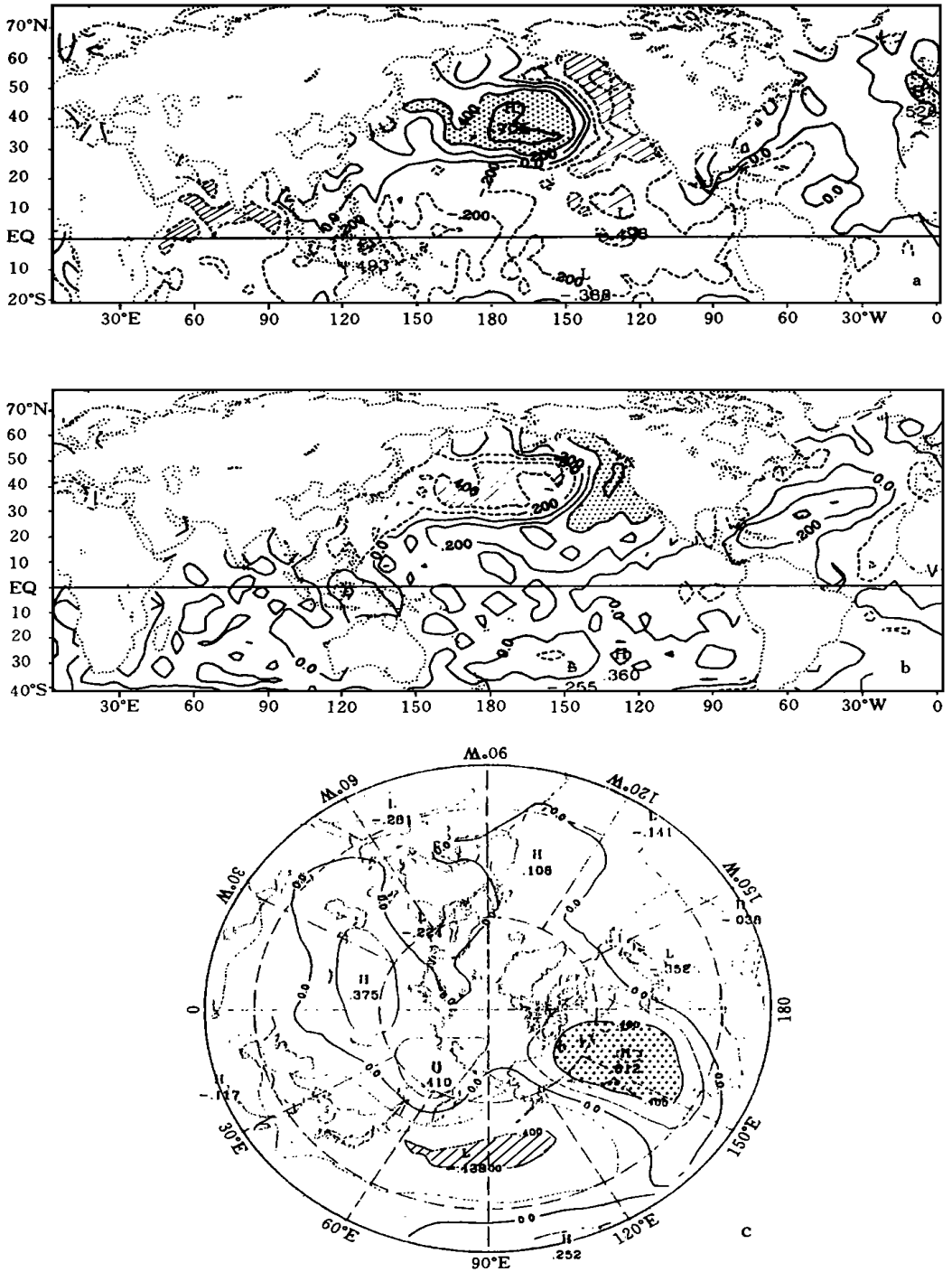


图 4 冬季 500hPa 高度场 PNA 型和海表温度场的交叉相关

(a. 500hPa 高度场第 1 个空间型(PNA)的时间序列和 SSTA 场的相关分布; b. 全球 SSTA 第 6 个旋转主分量的空间分布; c. 全球 SSTA 第 6 个旋转主分量的时间序列和 500hPa 高度场的相关分布)

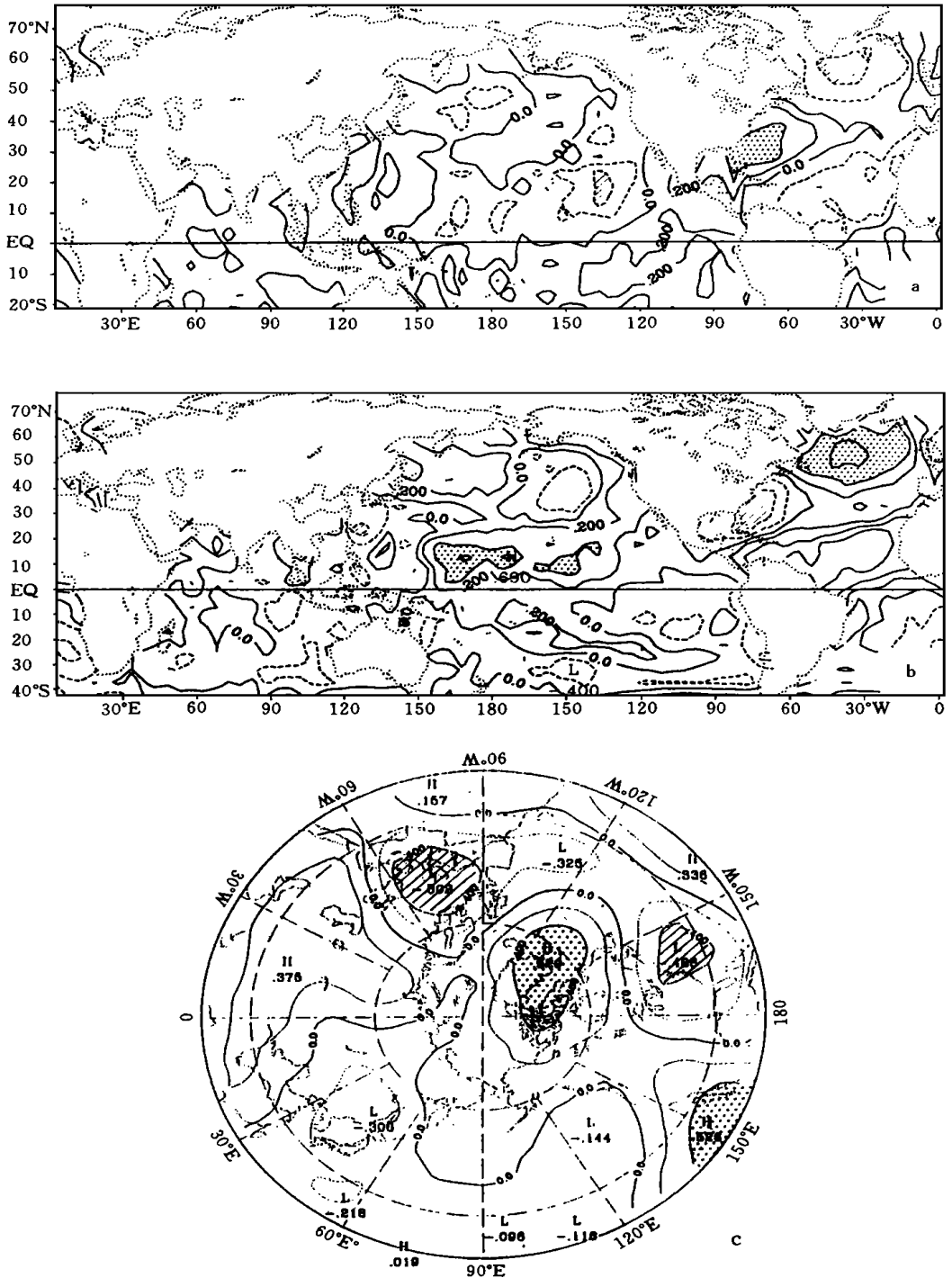


图5 冬季500hPa高度场WA型和海表温度场的交叉相关

(a. 500hPa高度场第2个空间型(WA)的时间序列和SSTA的相关分布; b. 全球SSTA第3个旋转主分量的空间分布; c. 全球SSTA第3个旋转主分量的时间序列和500hPa高度场的相关分布)

用反映 WA 遥相关的 500hPa 高度场的第 2 个 RPC 时间序列与 SSTA 场作交叉相关(见图 5a)。图上强信号的 SSTA 主要是在中高纬北大西洋上。与图 1b 中 500hPa 高度场的 WA 型相比较发现, SSTA 与 500hPa 高度场异常在空间位置上也有很好的对应: 南格陵兰上的 WA 负波节对应着 SST 的负异常, 百慕大附近和北欧的 WA 正波节对应着 SST 的正异常。进一步发现, 这种 SSTA 的空间分布与全球 SSTA 的第 3 个 RPC 空间型(见图 5b)非常一致。在图 5a 中北大西洋特别是热带的 SSTA 信号要弱一些, 不过 SSTA 的空间分布完全一致。

把这个全球 SSTA 的第 3 个 RPC 空间型对应的时间序列与 500hPa 高度场作交叉相关, 结果列在图 5c 上。从图上看到 500hPa 高度场呈明显的 WA 遥相关型。上述 500hPa 高度场第 2 空间模和 SSTA 场第 3 个空间模的 RPC 时间序列的相关系数为 -0.505, 也远高于 99% 的置信水平。彼此的方差贡献为 25% 左右。

把反映 El Niño 的全球 SSTA 的第 1 个 RPC(图略, 请参见图 2a) 时间序列与 500hPa 高度场作交叉相关, 结果如图 6 所示。图中 500hPa 高度场的明显异常主要在北太平洋, 呈现 PNA 流型。但强的异常中心在中低纬的波节上。比较 SSTA(参见图 2a) 与 500hPa 高度场异常(见图 6)的空间分布发现, 在 30°N 以北的中高纬, 北太平洋上正的 SSTA 与 500hPa 高度场正位势异常相对应, 阿拉斯加湾的负 SSTA 与阿拉斯加的 500hPa 高度场负位势异常相对应。图 6 的交叉相关还显示, 在 El Niño 时赤道东太平洋 SSTA 为正, 北太平洋中低纬(30°N 以南) 500hPa 高度场有明显的正位势异常, 有利于中纬西风加强, 与 Bjerknes(1969)<sup>[4]</sup> 的讨论是一致的。关于 PNA 型的形成原因, 曾有不同的假说, Wallace 等<sup>[2]</sup> 认为可能与 El Niño 期间赤道东太平洋海温异常所激发的定常行星波有关。Simmons<sup>[13]</sup> 则认为中高纬东北太平洋地区正压不稳定的激发是重要的。比较图 6 与图 4c 发现, 赤道东太平洋及东北太平洋的 SSTA 均与 PNA 的形成有关。所不同的是, 赤道东太

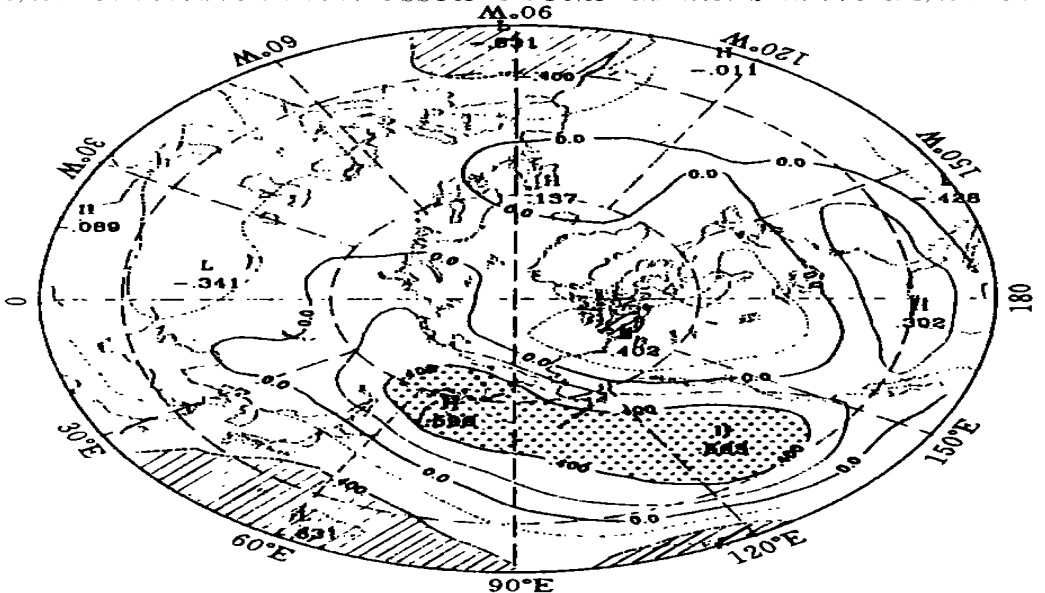


图 6 冬季全球海表温度异常(SSTA)的 El Niño 型和 500hPa 高度的交叉相关分布



平洋所激发的 500hPaPNA 型其强的相关中心在热带和阿拉斯加湾上空(图 6); 而东北太平洋所激发的 PNA 型其强的相关中心则位于中纬度的阿拉斯加湾和北美上空(图 4c)。

## 5 结论和讨论

冬季北半球中高纬 500hPa 高度场最强的 4 个异常型分别是类似 WG 的 PNA, WA, WP 遥相关型和一个东大西洋欧亚(EA EU)型, 共占 41% 的方差贡献。这 4 个异常型再现了 Horel(1981)<sup>[13]</sup>用不同时间资料计得的冬季 500hPa 高度场的 RPC 空间型。

冬季中高纬 500hPa 高度场与 SSTA 场有很密切的联系, 中高纬 500hPa 高度场最强的 PNA 异常型和 WA 异常型分别与全球 SSTA 的第 3 个 RPC(东北太平洋东西向跷跷板型)和第 6 个 RPC(西北大西洋南北向跷跷板型)有很一致的对应。与 PNA 和 WA 相关最显著的 SSTA 区域则分别位于中高纬度北太平洋和西北大西洋。其中与 PNA 相关的 SSTA 空间分布主要是中高纬北太平洋中部和东北太平洋阿拉斯加湾的 SSTA 东西向跷跷板型分布, 其次也与赤道东太平洋的 SSTA 有关。

El Niño 时, 北太平洋中部 SSTA 与赤道东太平洋以及阿拉斯加湾的 SSTA 有明显的反相。与 El Niño 相关的 500hPa 高度场呈现 PNA 流型, 主要相关中心在热带及阿拉斯加上空两波节上。在中高纬北太平洋上是很明显的负位势异常, 而阿拉斯加上是正位势异常。与东北太平洋的 SSTA 相关的 500hPa 高度场也呈现 PNA 型, 但主要相关中心在中纬度的东北太平洋及北美上空两波节上。

两种交叉相关都显示, 中高纬度冬季 SSTA 与 500hPa 高度场最强的相关在 SSTA 与 500hPa 高度场异常对应的空间位置上, 说明中高纬度 SSTA 与 500hPa 高度场有很明显的区域性或邻域相关。而且这种相关是正相关。许多海气相关的工作都发现有这一现象, 比如归佩兰(1978)<sup>[11]</sup>, 林学椿(1978)<sup>[12]</sup>, Wallace 和 Jiang(1987)<sup>[8]</sup>, Wallace et al.(1990)<sup>[9]</sup>等。初期的解释(比如, Namias(1969), 归佩兰(1978)<sup>[11]</sup>)认为, 暖海温的地区位于高度场正偏距的地区。高度场的正偏距造成异常的地转风分量, 如果这种异常的风在低层维持, 它将在水面上造成一异常的曳力, 而在海洋中产生一异常的埃克曼偏流。由于海流偏于风向之右, 于是在高度场正偏距的地区, 那里海流将发生强的水平辐合, 从而有强的下翻运动, 而使表层以上一层内的海水变暖。另一方面的可能原因是高度场正偏距的地区, 如果也是高压脊的地区, 那么这个地区风比较小, 大气比较稳定, 日射比正常情况大, 失出的感热与潜热比正常情况下小, 也利于海水变暖。最近, 吴国雄等<sup>[14]</sup>的研究则表明, 由于中高纬地转性和斜压性较强, 那里正的 SSTA 也可导致其上空出现暖性正高度异常。这种中高纬度 SSTA 与 500hPa 高度场很强的区域性或邻域相关显得十分重要, 它是研究中高纬度海气相互作用的重要内容<sup>[14]</sup>。有待于进一步的深入研究。

## 参考文献

- [1] Walker G T and E W Bliss. World Weather V. Mem Roy Meteor Soc. 1932, 4: 53- 84.
- [2] Wallace J M and Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Mon Wea Rev, 1981, 109: 784- 812.

- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon Wea Rev*, 1969, 97: 163– 172.
- [ 5 ] Horel J D and Wallace J M. Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 813– 829.
- [ 6 ] Namias J, Yuan X and Cayan D R. Persistence of North Pacific sea surface temperature and atmospheric flow patterns. *J Climate*, 1988, 1: 682– 703.
- [ 7 ] Ratcliffe R A S and Murray R. New lag associations between North Atlantic sea temperatures and European pressure applied to long-range weather forecasting. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1970, 96: 226– 246.
- [ 8 ] Wallace J M and Jiang Q – R. On the observed structure of the interannual variability of the atmosphere/ ocean climate system. *Atmospheric and oceanic variability*. Roy Meteor Soc, H Cattle Ed, 1987, 17– 43.
- [ 9 ] Wallace J M, Smith C and Jiang Q – R. Spatial patterns of atmosphere/ ocean interaction in the northern winter. *J Climate*, 1990, 3: 990– 998.
- [ 10 ] Lau N – C. A general circulation model study of atmospheric response to extratropical SST anomalies observed in 1950– 1979. *J Climate*, 1990, 3: 965– 989.
- [ 11 ] 归佩兰. 北太平洋海水表面温度特征及相应的大气环流型, 海气相互作用与旱涝长期预报. 中国科学院大气物理研究所集刊, 1978, 6: 13–26
- [ 12 ] 林学椿. 北太平洋海水表面温度异常及其对东亚大气环流的影响, 海气相互作用与旱涝长期预报. 中国科学院大气物理研究所集刊, 1978, 6: 40—70.
- [ 13 ] Simmons A J, Wallace J M and Branstator G W. Barotropic wave propagation and instability and atmospheric teleconnection patterns. *J Atmos Sci*, 1983, 40: 1363– 1392.
- [ 14 ] 吴国雄, 王敬方. 热带和热带外海表温度异常与低空环流相关比较. *气象学报*, 1996, 54(4): 385– 387.

## CORRELATION IN MIDDLE AND HIGH LATITUDES BETWEEN WINTER SEA SURFACE TEMPERATURE AND 500 HPA GEOPOTENTIAL HEIGHT

Wu Guoxiong    Wang Jingfang

*(State Key Lab of Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG),  
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 10080)*

### Abstract

The method of rotational principle component (RPC) was used to diagnose the temporal and spatial distributions in winter of the geopotential height at 500 hPa and the sea surface temperature anomaly (SSTA) in the period from 1948 to 1988. Crossed-correlation was then used to study their correlation feature. Results not only confirmed the existence of the teleconnection patterns of the Pacific and North America (PNA) pattern, the western Pacific (WP) pattern, and the west Atlantic (WA) pattern in the geopoten-

tial height field as identified by Wallace and Gutzler in 1981 by using a different technique, but also found a new pattern (EAEU) which starts from the eastern Atlantic and crosses the Eurasian Continent. The most significant SSTA pattern in winter is associated with the SSTA in the eastern equatorial Pacific and equatorial Atlantic. This is followed by the mid-latitude SSTAs on the northeast Pacific, western Pacific and western Atlantic.

It was found that there exists good correlation between the atmosphere and the SSTA in the middle and high latitudes. The PNA pattern is most significantly correlated with the SSTA in the middle and high latitudes of the northeastern Pacific Ocean, as well as in the eastern Equatorial Pacific Ocean; whereas the WA pattern is most significantly correlated with the SSTA in the middle and high latitudes of the northern Atlantic Ocean. The strongest correlation between the atmosphere and the SSTA in the middle and high latitudes is found over the SSTA region; and the correlation is positive. Above normal geopotential height is over warmer SSTA region; whereas below normal geopotential height is over colder SSTA region.

**Key words:** Rotational principle component, Crossed correlation, Teleconnection.