

PNA 流型的年际变化及温、热带太平洋海温的作用

吴仁广 陈烈庭

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

提 要

本文分析了 PNA 型环流的年际变化和影响因子, 发现它存在两种优势周期振荡: 一种是 3—5 年的振荡, 另一种是 10 年左右的振荡. 研究表明, 前者与赤道太平洋海温的主要振荡周期相对应 (同相关系), 后者与北太平洋海温的主要振荡周期一致 (反相关系). 揭示了 PNA 型环流的变化与北太平洋海温比与赤道太平洋海温具有更密切的联系. 并且由于北太平洋海温影响的频带与赤道太平洋海温的不同, 它的作用有时与赤道太平洋海温的同相, 有时则反相, 使得 ENSO 与太平洋—北美地区大气环流和气候异常的关系变得复杂化. 指出当考虑北太平洋海温的共同作用后, 一些观测事实得到了较好的解释. 最后, 讨论了 PNA 型环流 10 年左右振荡可能的变化过程.

关键词: PNA 流型; 赤道太平洋; 北太平洋; 海温; 年际振荡.

一、引 言

自从 Bjerknes^[1]发现赤道东太平洋海温异常可以通过 Hadley 环流对北半球中高纬度地区的大气环流产生影响以来, 他的观点不断被许多观测研究、理论分析和数值试验结果所证实. Horel 和 Wallace^[2]的研究表明, 太平洋—北美地区的 PNA 型大气环流异常与源自赤道东太平洋的遥相关型一致. 1976—1977 的 El Niño 年冬季, 太平洋—北美地区的 PNA 型环流就是一个明显例子, 它造成了该年冬季北美东部的严冬天气^[3]. 但是, 有些 El Niño 年并非如此, 如 1972—1973 的强 El Niño 事件, 该年冬季却没有产生 PNA 型环流异常; 而 1980—1981 年没有出现 El Niño 事件, 该年冬季 PNA 流型却非常明显. 因此, 现在需要进一步研究的问题是, PNA 流型到底在多大程度上同 El Niño 有联系, 为什么在不同的 El Niño 年份, 中纬度的大气环流和气候异常表现出如此不同的类型, 是否除赤道太平洋海温外, 还有其它因素对太平洋—北美地区的 PNA 型大气环流异常起着重要作用. 目前, 国际上已开始进行这方面的研究^[4]. 它的解决对长期天气预报和气候预测有着实用意义. 本文目的是想就这一问题进行探讨.

Namias^[5]的研究表明, 北太平洋地区的海温异常也能引起北美地区的环流异常. 当冬季北太平洋中部的海水温度升高时, 海洋向大气输送的感热和潜热量增多, 大气中

的斜压性加强,使太平洋地区的气旋活动发生异常,并通过 Rossby 波的频散影响位于其下游的北美地区的大气环流,使其发生异常。Pitcher 等^[6]的数值试验结果也表明,北太平洋地区的海温异常也能使 PNA 型大气环流异常。当同时考虑北太平洋地区和赤道太平洋地区的海温异常时,模拟得到的 PNA 型环流异常强度更接近于观测。这些都说明,对太平洋—北美地区的大气环流异常,赤道太平洋地区和北太平洋地区的海温异常可能均起作用。我们最近的研究^[7]表明,对于 PNA 型环流异常,北方涛动和与其相联系的北太平洋海温实际上比南方涛动和赤道太平洋海温具有更密切的关系。

因此,本文试图从北太平洋海温和赤道太平洋海温的分析入手,对上述问题进行初步讨论。所用资料,500 hPa 高度资料取自美国国家气象中心(NMC),时间为 1946—1982 年;海温资料取自国家气象局提供的综合海温资料,时间为 1951—1983 年。

二、PNA 型指数和温、热带太平洋海温年际变化的基本特征

我们先分析 PNA 型指数、北太平洋海温和赤道太平洋海温的变化特征。北太平洋海温的选取与文献[7]相同,即以北太平洋纳米尼亚斯(Namias)区和加利福尼亚海流区的平均海温距平差来表示,它与北方涛动关系密切且能较好地反映北太平洋地区的海温异常。赤道太平洋海温以 180—80°W, 5°N—5°S 范围内 5°×5°的所有网格点的平均海温距平来表示。PNA 型指数的定义如下:

$$\text{PNA 型指数} = Z^*(2,21) - Z^*(10,21) + Z^*(20,34) - Z^*(24,10)$$

其中, Z^* 表示标准化后月平均 500 hPa 高度距平值,括号中数字表示在 NMC 八边形上的位置,它们是根据文献[7]中北太平洋海温与 500 hPa 高度相关的 PNA 型相关中心(基本上也是赤道太平洋海温与 500 hPa 高度相关的 PNA 型相关中心)来定的,由此得到一个 PNA 型指数的时间序列。此 PNA 型指数的时间序列与 1951/1952—1981/1982 年 31 个冬季的 500 hPa 高度距平场的对比表明,它能较好地反映 500 hPa 上太平洋—北美地区的 PNA 型异常分布。

图 1 是经 13 个月滑动平均后的 PNA 型指数、北太平洋海温和赤道太平洋海温的时间演变曲线,可以看到, PNA 型指数每隔 3—5 年有一个较明显的峰(谷)出现,即它有 3—5 年的优势变化周期。但值得注意的现象是,除了 3—5 年周期外, PNA 型

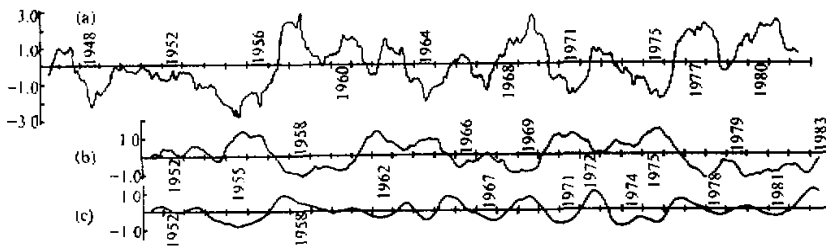


图 1 经 13 个月滑动平均的 (a) PNA 型指数、(b) 北太平洋海温和 (c) 赤道太平洋海温的时间序列

指数似乎还存在另一种更大尺度的变化周期。从 50 年代初到 80 年代初的大约 30 年间, PNA 型指数分别有三个较明显的低值和高值时期: 50 年代初、中期, 60 年代中、后期和 70 年代初、中期为低指数时期; 而 50 年代后期—60 年代初期, 60 年代后期—70 年代初期和 70 年代中期—80 年代初期为高指数时期。尽管有 3—5 年尺度周期变化叠加于其上, 上述变化仍然很明显。这一更长尺度的振荡周期平均为 10 年左右, 即 PNA 流型还存在 10 年左右周期的年际振荡。与赤道太平洋海温和北太平洋海温的时间演变曲线相比较, 可以明显看出, PNA 型指数 3—5 年周期变化的峰(谷)与赤道太平洋海温的峰(谷)有明显的对应关系, 而北太平洋海温也有明显的 10 年左右变化周期, 且与 PNA 型指数的变化有很好的反相关系。

为了进一步证实上述周期的存在, 我们计算了 PNA 型指数、北太平洋海温和赤道太平洋海温的功率谱及它们之间的交叉谱(见图 2 和图 3)。在谱分析前均已消去了季节

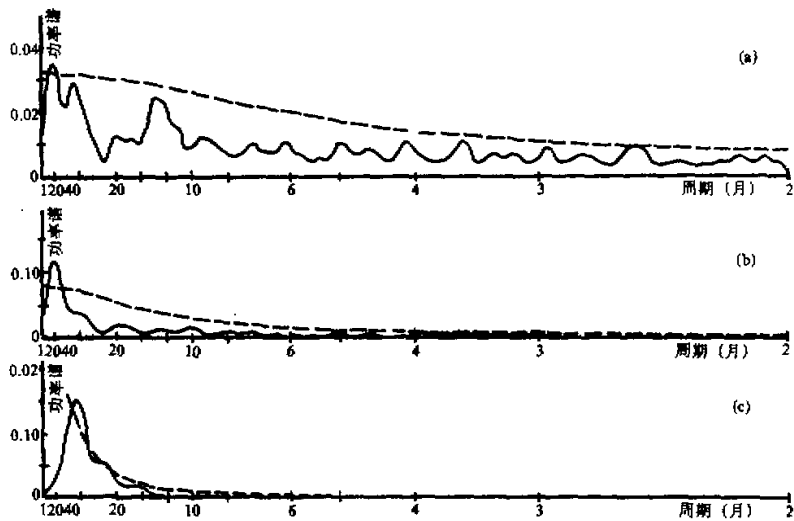


图 2 (a) PNA 型指数、(b) 北太平洋海温和 (c) 赤道太平洋海温的功率谱

变化。图 2 中 PNA 型指数的功率谱清楚地表明, 在 3—5 年和 10 年左右分别有一个明显的峰存在(另外还有一个峰在 13 个月左右), 并且 10 年左右的峰超过了 0.05 信度水平。赤道太平洋海温功率谱的峰位于 3—5 年, 北太平洋海温功率谱的峰位于 10 年左右, 两者均超过了 0.05 信度水平。前者恰好与 PNA 型指数 3—5 年的振荡周期相对应, 而后者刚好同 PNA 型指数 10 年左右的振荡周期一致。赤道太平洋海温与 PNA 型指数协谱的主峰出现在 4 年左右(见图 3a), 即赤道太平洋海温和 PNA 型具有共同的 4 年左右周期振荡, 且两者表现出显著的同相变化, 赤道太平洋海温的变化超前 PNA 型 4 个月左右。凝聚谱(略)的显著性检验表明, 该尺度振荡超过了 0.05 信度水平。北太平洋海温与 PNA 型指数协谱在 10 年左右有一个突出的峰(负)(见图 3b), 这说明它们都具有 10 年左右周期振荡, 并且两者的变化呈非常明显的滞后反相关系, 时滞时间

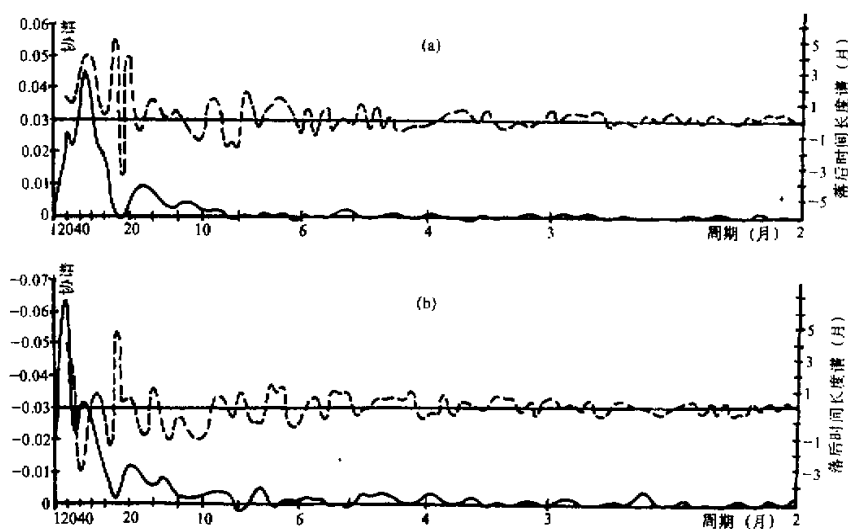


图3 (a) 赤道太平洋海温、(b) 北太平洋海温和 PNA 型指数的协谱(实线)
与落后时间长度谱(虚线)

为北太平洋海温超前 PNA 型 3—4 个月左右。此外,值得注意的是,在 4 年左右还有一个峰(负),该时间尺度的变化 PNA 型要比北太平洋海温超前大约 1 个月,也为反位相关系(北太平洋海温的功率谱反映不出其 4 年左右周期可能是由于 10 年左右谱峰突出,掩盖了 4 年左右谱,在消除 10 年左右尺度变化后,北太平洋海温的功率谱在 3—4 年有峰出现),这两个峰均超过了 0.05 信度水平。经带通滤波后的 PNA 型指数与北太平洋海温的时滞相关分析(略),也得到类似的位相关系。

综上所述,可以认为,太平洋—北美地区的 PNA 流型具有两种明显不同尺度的年际变化,一种是 3—5 年尺度的振荡,另一种是 10 年左右尺度的振荡。前者与赤道太平洋海温的主要振荡呈显著的滞后同相关系,而后者与北太平洋海温的主要振荡呈明显的滞后反相关系,并且滞后时间均为 4 个月左右,这说明 PNA 流型 3—5 年频带的异常变化与 El Niño 现象有密切的联系。在 El Niño (反 El Niño) 发生年,赤道太平洋海温出现极值后约 4 个月, PNA 型(反 PNA 型)环流异常明显,但它只是影响 PNA 流型的一个因素。除此之外, PNA 流型还与北太平洋海温之间存在着周期为 10 年左右的耦合振荡。当 Namias 区的海温偏低(高)、加利福尼亚海流区的海温偏高(低)时, PNA 型(反 PNA 型)环流异常发展。

这里需要指出的是,以前的一些研究认为北太平洋海温异常可能是通过 PNA 型环流异常由赤道太平洋海温引起, PNA 型的变化超前北太平洋海温^[8]。从我们的分析来看,这仅对 3—5 年尺度振荡来说正确,在 10 年左右的尺度,则是北太平洋海温影响 PNA 流型。

三、PNA 型的年际变化同温、热带太平洋海温的关系

先看赤道太平洋各次 El Niño 和反 El Niño 事件所对应的 PNA 型指数的情况。从 1951 到 1981 年共发生了 8 次 El Niño 事件, 即 1951、1953、1957—1958、1963、1965—1966、1968—1969、1972—1973 和 1976—1977 年。比较图 1 的 PNA 型指数和北太平洋海温的演变可以看到, 1957—1958、1968—1969 和 1976—1977 的 El Niño 事件均对应着 PNA 型指数明显的峰, 这些 El Niño 年的冬季 PNA 流型都非常明显。1965—1966 和 1972—1973 的 El Niño 事件 PNA 型指数也处于峰上, 但 PNA 型指数值很小, 冬季 PNA 流型并不明显。而 1951、1953 和 1963 这三次 El Niño 事件对应的 PNA 型指数甚至为负值。另外, 这一时期的反 El Niño 事件共有 6 次: 即 1954—1956、1964、1967、1970—1971、1973—1974 和 1975 年。其中, 1954—1956、1964、1970—1971 和 1975 的反 El Niño 年均对应着 PNA 型指数明显的谷, 冬季反 PNA 流型明显。1967 年夏季也有明显的 PNA 型指数的谷与反 El Niño 对应, 但 1967 年冬—1968 年春, 尽管赤道太平洋海温负异常较大, 但 PNA 型指数已转为正值, 反 PNA 型流型已不明显。1973—1974 年的反 El Niño 很强, 但 1973 年秋—1974 年春, PNA 型指数的负值并不大, 即反 PNA 型不明显, 一直到 1974 年秋, 反 PNA 流型才开始明显。因此, 赤道太平洋海温虽然与 PNA 型存在一定联系, 但是并非所有的 El Niño (反 El Niño) 年冬季都伴随有 PNA (反 PNA) 型环流异常。另一方面, 也有一些 PNA 型环流异常 (如 1960—1961、1977—1978 和 1980—1981 年) 的发生可能同 El Niño 事件没有关系。

北太平洋海温与 PNA 型的关系如何呢? 从图 1 可见, 1957—1960、1968—1969、1977—1978 和 1979—1981 年, 北太平洋海温均为明显的负异常, 即北太平洋 Namias 区海温偏低, 加利福尼亚海流区海温偏高。这四个时期正好对应着四次最强的 PNA 型指数时期, 尤其是 1960、1977—1978 和 1979—1981 年, 虽然赤道太平洋海温并不利于形成 PNA 流型 (赤道太平洋海温异常或较小或为负值), 但 PNA 流型仍然很明显。类似地, 1955—1956、1961—1962、1964—1965、1970—1971 和 1974—1976 年, 北太平洋海温为较大的正异常, Namias 区海温偏高, 加利福尼亚海流区海温偏低。除 1961—1962 年外, 其它四个时期都对应着最强的反 PNA 型指数时期。由此看来, 北太平洋海温与 PNA 型的这种 10 年左右尺度的反相对应关系似乎比赤道太平洋海温与 PNA 型 3—5 年尺度的关系要好。

以上是赤道太平洋海温和北太平洋海温各自同 PNA 流型联系的情况, 由于它们影响的频带不同, 两者的作用有时同相, 有时反相。现在来具体考察它们对 PNA 流型的共同影响。从图 1 可见, 1957—1958、1968—1969 和 1976—1977 年不仅是赤道太平洋海温 3—5 年周期变化的峰 (El Niño 年), 而且也恰好是北太平洋海温 10 年左右周期变化的极端低值期, 即两种尺度年际振荡恰好反位相。此时, 赤道中东太平洋地区海温为正异常, 而北太平洋中纬度 Namias 区和加利福尼亚海流区分别为负、正海温异常。赤道中东太平洋地区的正海温异常使得海洋向大气输送的能量增多, 它加强了 Hadley 环流, 造成了向极地角动量输送增大, 使得中纬度地区西风环流加速, 北太平洋

气旋活动增强,通过 Rossby 波的频散作用利于北美西岸脊和东部槽加强,与此同时,北太平洋中纬度东正西负的海温异常分布,也有利于北太平洋形成低槽,并把大量的热量输向北美西岸,导致在那里产生暖脊,并进而使北美东部槽发展,因而,赤道太平洋海温和北太平洋海温的作用都是使 PNA 流型增强,从而造成了 30 年中几次最强的 PNA 型环流异常. 1979—1981 年也是一次最强的 PNA 流型,该时期北太平洋海温也是处于极端低值期,但赤道太平洋 1979—1980 年增温不甚明显. 1960—1961 年的情况类似. 相反地, 1954—1956、1964、1970—1971 和 1975 年,赤道太平洋海温 3—5 年周期变化的谷(反 El Niño 年)与北太平洋海温 10 年左右周期变化的极端高值期恰好一致,与前相反,它们的作用都是使反 PNA 流型增强,因而出现了 30 年中几次最明显的反 PNA 型环流异常. 其它年份,不是北太平洋海温与赤道太平洋海温作用的方向相反,就是它们的强度较弱, PNA 型和反 PNA 型环流异常都不明显,这里不再一一列举.

以上结果说明,虽然赤道太平洋地区的海温异常与太平洋—北美地区的 PNA 型大气环流异常存在一定程度的联系,但由于北太平洋海温比赤道太平洋海温与 PNA 流型的关系更密切,且两者作用的频带不同,因此并非所有 El Niño 年均对应明显的 PNA 型,也并非强 El Niño 年 PNA 型就强. 相反,在某些非 El Niño 年,反而能出现明显的 PNA 型. 当考虑北太平洋海温的共同作用后,一些观测事实可以得到比较好的解释. 并且根据北太平洋海温 10 年左右周期的变化可以定性地估计 El Niño 年(反 El Niño 年)PNA 型(反 PNA)环流异常的程度.

四、北太平洋海温同 PNA 流型联系的过程

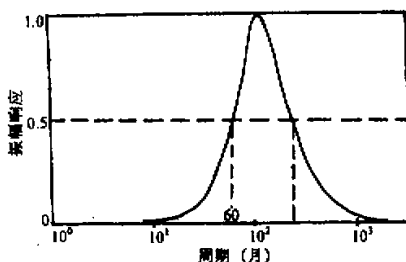


图 4 带通滤波的振幅响应函数

为了进一步揭示北太平洋海温(Namias 区和加利福尼亚海流区海温距平差)和太平洋—北美地区 PNA 流型大气环流 10 年左右尺度变化之间联系的演变过程,将 1951—1982 年带通滤波(带通滤波的振幅响应函数见图 4)后北太平洋海温距平的每一周期分成八个位相,其中,第 III(VII)位相对应于北太平洋海温距平的峰(谷),第 I(V)位相对应于北太平洋海温从负(正)距平向正(负)距平的转变阶段. 然后按划分的位相分别对带通滤波的北半球 500hPa 高度距平进行合成(共三个周期,每一位相取 4 或 5 个月). 图 5 为由得到的 500 hPa 高度距平的演变. 图中只给出从第 III 位相到第 VII 位相的合成高度场.

在北太平洋海温距平处于峰值阶段(第 III 位相,图 5a),北太平洋副热带和中高纬度地区分别为明显的负高度距平和正高度距平,在阿拉斯加地区为明显的负高度距平,在北美东部地区则是一个正高度距平区,即太平洋—北美地区的高度距平分布呈典型的反 PNA 型,且与太平洋—北美地区中高纬度的平均槽脊正好反相,这使得东亚—太平洋的槽、北美西岸的脊和北美东部的槽均偏弱. 因此,上述地区经向型环流明显

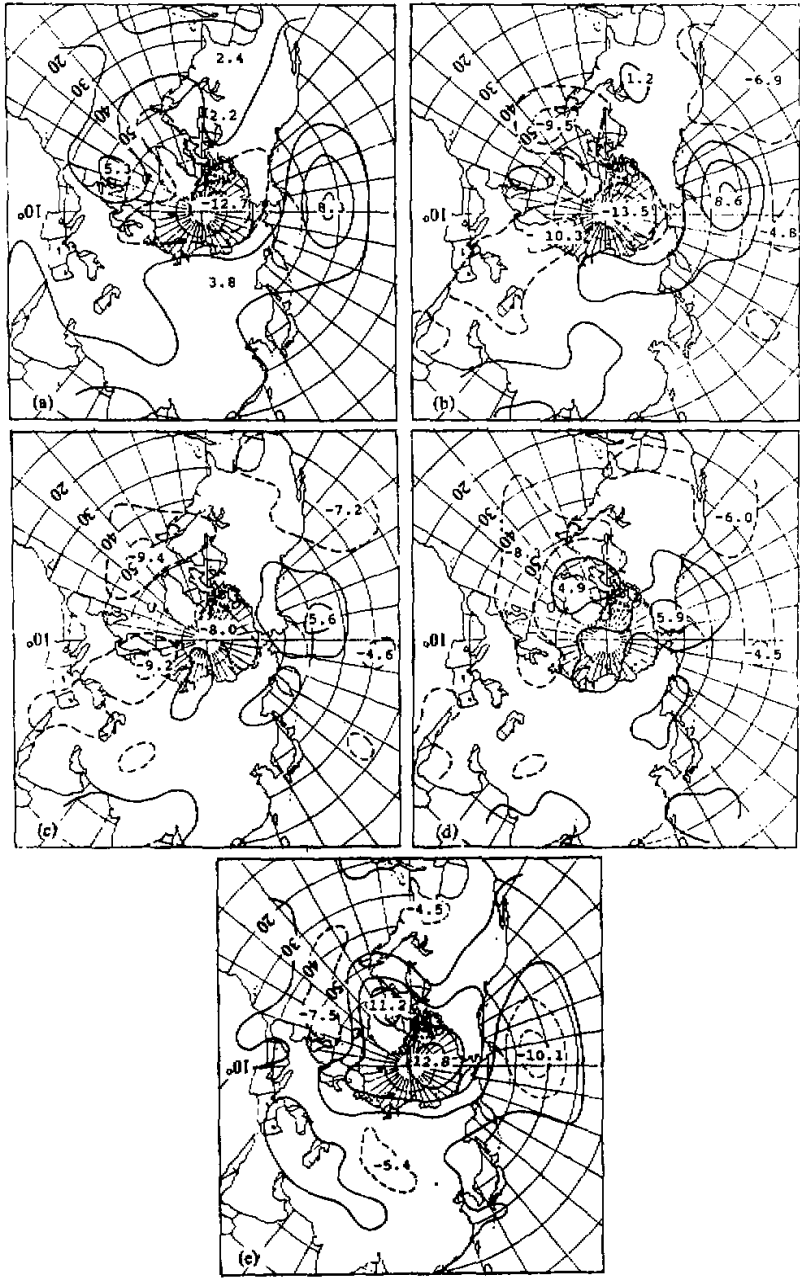


图 5 带通滤波后 500 hPa 高度距平的合成场
等值线间隔为 4.0 位势什米

偏弱而纬向型环流发展。在第 IV 位相(图 5b), 北太平洋海温距平正处于减弱阶段。相应地, 随着北太平洋中高纬度地区正高度距平的减弱, 位于其下游的北美地区的高度距平也发生变化, 北美东部的正高度距平基本上减弱消失, 而北美东岸的负高度距平发展。这说明, 随着北美太平洋海温正距平的减弱, 太平洋—北美地区的纬向型环流减弱。当北太平洋海温由正距平向负高度距平转变时(第 V 位相), 太平洋—北美地区的环流发生显著调整。比较图 5c 和 5b 可见, 随着北太平洋中纬度负高度距平的出现, 位于其下游的北美西岸向正高度距平转变, 而北美东部负高度距平发展。随北太平洋海温负距平的增大(第 VI 位相, 图 5d), 上述型式的高度距平继续增大。此时, 太平洋—北美地区的高度距平分布恰好与平均槽脊同相, 这使得太平洋中部的槽、北美西岸的脊和北美东部的槽均发展, 因此太平洋—北美地区经向型环流发展, 且形成典型的 PNA 流型。在北太平洋海温处于低谷阶段(第 VII 位相, 图 5e), PNA 流型更为明显, 而其北侧为强大的正高度距平, 即具有阻塞形势的特点。

因此, 随着北太平洋海温距平由峰值开始减弱, 转为负值, 一直到低谷, 太平洋—北美地区的高度距平分布从纬向型环流发展的反 PNA 型转变为经向型环流发展的 PNA 型, 并发展成阻塞形势。

北太平洋海温距平由低谷向峰值转变过程中, 太平洋—北美地区高度距平的变化趋势与前述相反, 不再赘述。

五、小结和讨论

本文分析了 PNA 流型的年际变化基本特征及其与温、热带太平洋海温的关系。主要结果如下:

(1) 时间演变曲线、功率谱和交叉谱分析表明, PNA 流型具有 3—5 年和 10 年左右两种周期振荡。3—5 年周期的振荡与赤道太平洋海温的主要振荡周期同相, 而 10 年左右周期的振荡与北太平洋海温的主要振荡周期反相。

(2) PNA 流型的年际变化不仅受赤道太平洋海温的影响, 还受到北太平洋海温的制约, 并且它与北太平洋海温的联系更为密切。由于赤道太平洋海温和北太平洋海温对 PNA 流型影响的频带不同, 实际 PNA 流型的强弱取决于它们之间的位相关系。因此, 虽然赤道太平洋海温与 PNA 流型具有一定联系, 但是并非所有 El Niño 年都对应着明显的 PNA 型, 也并非强 El Niño 年 PNA 型就强; 相反, 在某些非 El Niño 年, 反而能出现明显的 PNA 型。当考虑北太平洋海温的作用时, 能较好地解释一些赤道太平洋海温不能解释的观测事实。

(3) 10 年左右尺度的 500hPa 高度演变过程表明, 北太平洋海温对 PNA 流型 10 年左右周期的年际振荡具有重要作用。随着北太平洋海温由峰值向低谷的转变, 太平洋—北美地区从纬向型环流发展的反 PNA 型向经向型环流发展的 PNA 型调整。北太平洋海温的相反转变则导致太平洋—北美地区环流的反向调整。

本文通过分析揭示出 PNA 流型的 10 年左右尺度周期振荡, 并分析了北太平洋海温对 PNA 流型的该种尺度振荡的作用。分析所用资料为 32 年, 这对 10 年左右尺度振荡来说, 稍感不足。因此, 本文结果有待于用更长时间资料进一步证实。此外, 北太平

洋海温 10 年左右尺度振荡的原因是什么, 值得探讨。

参 考 文 献

- [1] Bjerknes, J., 1969, Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163 — 172.
- [2] Horel, J.D., and J.M. Wallace, 1981, Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813 — 829.
- [3] Namias, J., 1978, Multiple causes of the North American abnormal winter 1976 — 77, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 279 — 295.
- [4] Hamilton, K., 1988, A detailed examination of the extratropical response to tropical El Niño/Southern Oscillation events, *J. Climatol.*, **8**, 67 — 86.
- [5] Namias, J., 1969, Seasonal interactions between the north Pacific ocean and the atmosphere during the 1960's, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 173 — 192.
- [6] Pitcher, E.J., M.L. Blackmon, G.T. Bates and S. Munoz, 1988, The effects of the north Pacific sea surface temperature anomalies on the January climate of a general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 173 — 188.
- [7] 陈烈庭, 吴仁广, 1991, 北方涛动同北半球温带大气环流的遥相关(一) —— 基本结构, 大气科学, 第 15 卷, 第 4 期, 26 — 34.
- [8] Iwasaka, N., K. Hanawa and Y. Toba, 1987, Analysis of SST anomalies in the North Pacific and their relation to 500mb height anomalies over the Northern Hemisphere during 1969 — 1979, *J. Met. Soc. Jap.*, **65**, 103 — 113.

Interannual Variation of the PNA Flow Pattern and Impacts of Extratropical and Tropical SSTs

Wu Renguang Chen Lieting

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

Abstract

In the present article, the interannual variation and the influential factors on the PNA pattern are analyzed. It is found that the PNA pattern has two predominant oscillations, one is the 3 — 5 year oscillation, the other is the ten-year oscillation. It is shown that the former corresponds to the main oscillation of the equatorial Pacific SST (EPSST) (in phase), the latter is consistent with the main oscillation of the North Pacific SST (NPSST) (out of phase). It is uncovered that the PNA pattern has a much closer association with the NPSST than with the EPSST. The frequency at which the NPSST affects the PNA pattern is different from that of the EPSST. Hence, the impact of the NPSST on the PNA pattern is sometimes in phase with, sometimes out of phase with that of the EPSST, which complicates the relationship between the ENSO and the atmospheric circulation and climate anomaly over the North Pacific through the North America. When the impact of the NPSST is involved, some observational facts can be better explained. At last, the possible evolution process of about ten year scale oscillation of the PNA pattern circulation is discussed.

Key words: PNA pattern; Equatorial Pacific; North Pacific; SST; Interannual oscillation.