

基本气流在 ENSO 对北半球冬季 大气环流影响中的作用^{*}

黄荣辉 严邦良

(中国科学院大气物理研究所)

岸保勘三郎

(日本东京大学地球物理教室)

提 要

本文从观测事实、理论与数值试验来研究基本气流在 ENSO 事件对北半球冬季大气环流影响中的作用。通过观测资料的分析,发现 1972/1973 年冬 ENSO 现象发生时的基本气流与一般 ENSO 现象发生年份的基本气流不同,这使得该年冬季 ENSO 现象所引起的北半球大气环流异常与一般 ENSO 现象所引起的环流异常型不同。一般 ENSO 现象所引起的北半球大气环流异常型是 PNA 型,而 1972/1973 年冬北半球环流异常型是非 PNA 型,我国东北地区出现暖冬,冷空气活动弱。

关键词: 基本气流; ENSO 事件; 准定常行星波。

一、序 言

关于赤道东太平洋海温异常增暖,即所谓 ENSO 现象,对北半球大气环流的影响已有不少研究。Bjerknes (1969)^[1] 提出这种现象的爆发可以引起沃克环流的变化,并且提出这种现象的发生会引起北半球大气环流异常的遥相关假设。Wallace 和 Gutzler (1981)^[2] 从北半球多年观测资料发现,北半球冬季大气环流异常存在着几种遥相关型,其中影响太平洋及北美地区的环流异常是 PNA 型。Horel 和 Wallace (1981)^[3] 提出与此有关的遥相关型具有正压结构。Opsten 和 Van den Dool (1980), Hoskins 和 Karoly (1981), Webster (1981) 也有类似的研究^[4-6]。Rasmusson 和 Carpenter (1982)^[7] 总结了赤道太平洋海温异常的特征,他们的研究表明了在 ENSO 现象爆发时,最大海表温度异常位于 100—160°W,并提出一旦出现异常增温将会引起北半球环流的异常。Shukla 和 Wallace (1983)^[8] 利用数值模式说明了赤道太平洋海温异常会引起北半球 PNA 型大气环流的异常。黄荣辉 (1986)^[9] 从理论及数值模拟上说明了低纬度东太平洋热源异常将会产生 PNA 型环流的异常。

从上面的研究可以看到,一般 ENSO 现象的产生将会引起北半球冬季大气环流

1989年7月6日收到,1990年5月14日收到修改稿。

^{*} 本文为国家自然科学基金委员会重大项目“长江黄河流域旱涝规律成因与预测研究”子课题。

PNA 型的异常。但是，有的 ENSO 现象发生年份并不如此，如 1972 / 1973 年冬季也是 ENSO 现象发展到成熟期，这一年冬季北半球大气环流异常型并不是 PNA 型，我国东北产生暖冬现象，这说明 ENSO 现象的发生并不一定就产生 PNA 型的环流异常。

本文首先从观测资料分析了 1972 / 1973 年冬季大气环流异常与一般 ENSO 发生年份大气环流异常的差别，并且从 1972 / 1973 年冬季基本气流与一般 ENSO 产生年份基本气流的差别在理论上分析 1972 / 1973 年冬季准定常行星波传播与一般 ENSO 产生年份冬季准定常行星波传播的差别。为了更好地说明这种差别的动力成因，本文还用了一个 34 层准地转模式计算了不同基本气流下由于 ENSO 现象所引起的热带东太平洋热源异常所产生的北半球大气环流异常型的差别。

二、1972 / 1973 年冬季北半球大气环流异常的特征

一般在 ENSO 现象产生年份，北半球冬季大气环流异常在太平洋北美地区呈现 PNA 型。在副热带太平洋地区的副热带高压加强；阿留申低压加深；位于加拿大西北部的高压加强；而位于美国中、东部的低槽加深。这就会给北美北部带来暖冬，而

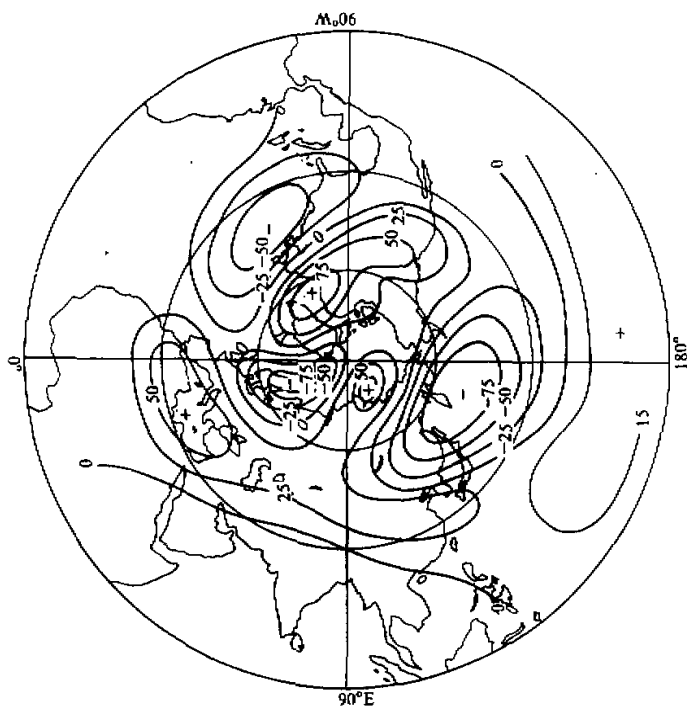


图1 1976 / 1977 年冬季北半球 500hPa 高度场异常的距平分布(单位：位势米)

给美国中部及东部带来寒冬，并且，由于西北太平洋地区的高度场出现负距平，使日本北海道地区及我国东北出现寒冬。

图 1 是 1976 / 1977 年北半球冬季 500 hPa 高度场异常的距平分布，这也是一般 ENSO 现象发生年份北半球冬季大气环流的异常型。从图 1 可以看到在副热带太平洋地区的 500hPa 高度场出现正距平区域，在阿留申地区出现负距平区域，这个负距平从日本北海道延伸至我国东北，在北美北部是正距平区域，美国东部是负距平区

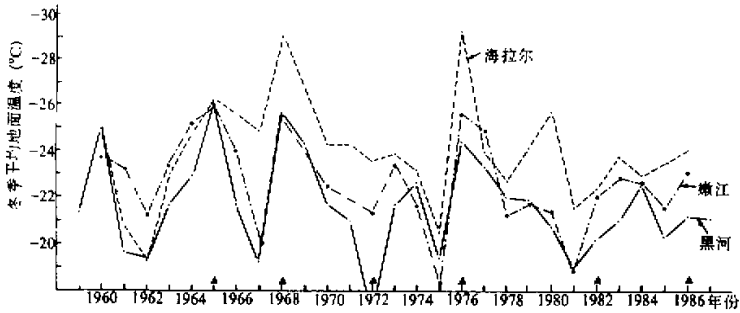


图 2 我国东北嫩江、海拉尔及黑河地区冬季平均地面气温的年际变化曲线(单位:℃)
黑三角为 ENSO 年份

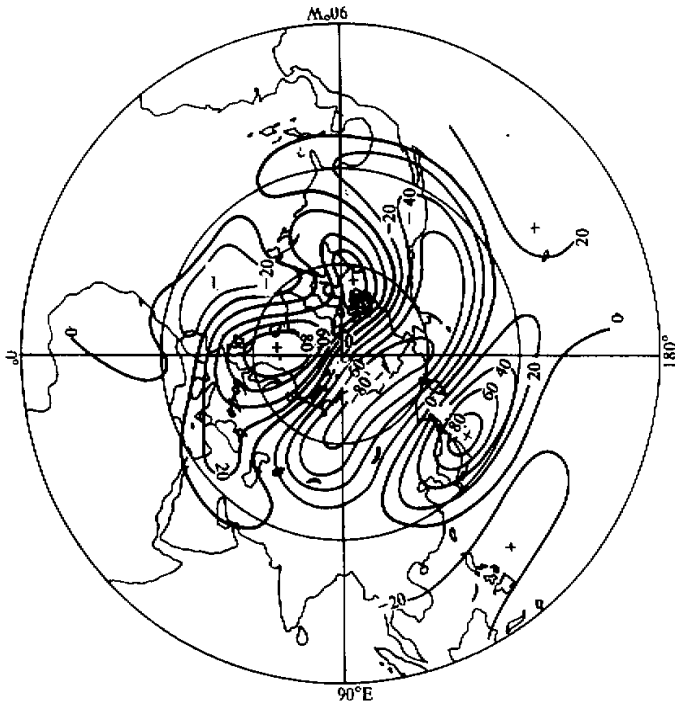


图 3 1972 / 1973 年冬季北半球 500hPa 高度场异常的距平分布(单位:位势米)

域，这正是 PNA 型的大气环流异常，它使得美国中部、东部遭受严重的寒潮与暴风雪的侵袭，气温比常年低 10°C 左右，与此同时，北美北部却出现比常年高 12°C 的高温。此外，日本北海道及以东地区出现比常年低 4°C 左右的低温，同样的现象也在我国东北地区出现。1960、1965、1968、1976、1980、1986 年冬季也出现了与图 1 相似的大气环流异常型。

为了研究 ENSO 年份冬季我国东北地区地面气温变化的特征，我们收集了嫩江、海拉尔及黑河三个测站冬季（该年的 12 月至第二年的 1、2 月）平均地表面附近气温变化的观测资料，图 2 就是这三个测站冬季平均地表面附近气温的年际变化曲线。可以看到这三个测站冬季平均地面气温的变化非常敏感于 ENSO 现象的发生。一般在 ENSO 现象发生年份的冬季，我国东北地区北部的气温异常低，经常发生冷冬；而

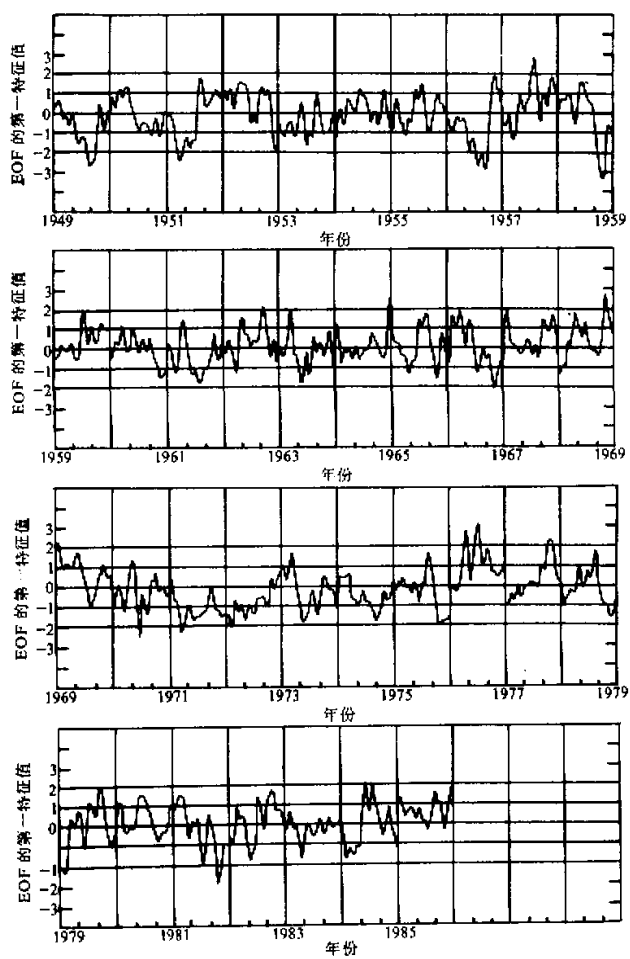


图4 1949—1986 年冬季 500 hPa 高度场异常的 EOF 分析中第一特征向量的时间系数

1972 年冬季东北地区北部的气温却相当高。一般在 ENSO 现象爆发的该年冬季, 东北地区北部的地面平均气温比常年偏低 $2 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 左右; 而 1972 年冬季上述地区地面平均气温却比常年偏高 $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 左右。造成这种暖冬主要是由于 1972 年 12 月以后高压脊长期控制我国东北地区。

下面, 我们将比较 1972/1973 年与一般 ENSO 年份冬季大气环流异常型的差别。图 3 是 1972/1973 年冬季北半球 500 hPa 高度场异常的距平分布。从图 3 可以看到, 1972/1973 年冬季 500hPa 高度场异常的距平分布与一般 ENSO 年份(如 1976 年冬) 500 hPa 高度场异常的距平分布有很大的不同。1972/1973 年冬北半球环流异常在热带西太平洋上空是负距平, 而在我国东北与日本北海道上空及其以东地区是正距平区域, 这就是说, 1972 年冬我国东北地区及日本北海道地区经常处于高压脊控制。从实际的候平均 500 hPa 高度场异常也可以看到这点, 从 1972 年 12 月中旬以后, 特别是 1973 年 1 月份, 东亚大槽偏东, 我国东北地区及日本北海道地区上空的高压脊异常发展。此外, 在阿留申地区以东有一负距平的区域; 在北美北部有一正距平区域; 在美国的西部与中部有一负距平区域。

为了更好地比较 1972/1973 年冬季与一般 ENSO 年份冬季环流异常的差别, 我们对 1949—1986 年冬季 500hPa 高度场异常进行 EOF 分析。图 4 是第一特征向量的时间系数。我们可以看到 1972 年冬 500hPa 高度场异常的 EOF 分析中第一特征向量的时间系数与一般 ENSO 年份的截然相反。1972/1973 年冬 500hPa 高度场距平的 EOF 分析中第一特征向量的时间系数是 -1.0 左右, 而其它 ENSO 年份的冬季, 如 1965 年 12 月, 1969 年 1, 2 月, 1977 年 1, 2 月, 1983 年 2 月, 1986 年 12 月的 500hPa 高度场异常的第一特征向量的时间系数是 $+1.0$ 左右, 1976/1977 年冬季达到 $+1.5$ 左右。这就可以很好说明 1972/1973 年冬季北半球大气环流异常距平与一般 ENSO 年份冬季环流异常是不同的。

三、基本气流在北半球冬季环流异常中的动力作用

1. 基本气流对低纬强迫行星波传播的作用

为了说明 1972/1973 年冬季北半球大气环流与其它年份冬季大气环流异常不同的物理成因。我们首先从理论上分析基本气流对于冬季低纬度强迫准定常行星波传播的作用。虽然 Branstator (1984)^[10] 讨论了平均纬向气流与准定常扰动的关系, 但他认为基本气流的异常是等价于大气中一个强迫源。这种讨论只适合于一般没有 ENSO 年份环流的异常, 对于讨论同是 ENSO 现象爆发年份而产生的不同环流异常就不太合适。因此, 我们从基本气流对准定常行星波传播的作用来讨论基本气流在 ENSO 对北半球冬季环流影响中的作用。

黄荣辉 (1983)^[11] 已从理论上推导了准定常行星波在球面三维大气中的传播必须遵从方程

$$\frac{d_s \hat{\alpha}}{dt} = \frac{1}{2Q_k} \vec{i} \cdot \vec{C}_s' \times \nabla Q_0, \quad (1)$$

其中 $\hat{\alpha}$ 是准定常行星波的传播路径与水平方向之间的夹角, Q_k 是波数为 k 准定常行星

波的折射指数平方, 它是

$$Q_k = Q_0 - \frac{k^2}{\cos^2 \varphi} \quad (2)$$

Q_0 可以认为是波数为零的折射指数平方, 它是

$$Q_0 = \left[2(\Omega_0 + \hat{\Omega}) - \frac{\partial^2 \hat{\Omega}}{\partial \varphi^2} + 3 \operatorname{tg} \varphi \frac{\partial \hat{\Omega}}{\partial \varphi} - l^2 \sin^2 \varphi \left(\frac{\partial^2 \hat{\Omega}}{\partial z^2} - \frac{1}{H_0} \frac{\partial \hat{\Omega}}{\partial z} \right) \right] / \hat{\Omega} - l^2 \sin^2 \varphi \frac{1}{4 H_0^2} \quad (3)$$

Ω_0 是地球旋转角速度, $\hat{\Omega} = \bar{U} / (a \cos \varphi)$ 是基本气流的角速度, H_0 是大气的标高, $l = (2 \Omega_0 a) / N$, N 是 Brunt - Väisälä 频率. 从 (1) 式可以看到波的传播路径取决于 Q_0 的分布, 而 Q_0 的分布取决于大气气流本身与气流的经向及垂直结构. 因此, 不同气流的结构特征就会有不同的准定常行星波的传播特性.

黄荣辉 (1986)^[9] 已从理论上研究了冬季低纬度强迫行星波的传播特性, 说明了冬季低纬度强迫的准定常行星波它不能直接向平流层传播, 波主要在对流层准水平传播到高纬度对流层上层, 并通过另一波导传播到低纬度对流层上层. 黄荣辉用二维涡度方程讨论了基本气流对低纬度强迫行星波在球面上传播的作用. 在 Mercator 投影面上波传播路径的变化是

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{K_s^2 - k^2}}{k} = \sqrt{\left(\frac{K_s}{k} \right)^2 - 1} \quad (4)$$

k 是纬向波数, K_s^2 可以认为是在 Mercator 投影面上波的折射指数平方, 它是

$$K_s^2 = (k^2 + m^2) = \frac{\bar{q}_y}{a \Omega} \quad (5)$$

$$\bar{q}_y = \frac{1}{a} \left[2(\Omega_0 + \hat{\Omega}) - \frac{\partial^2 \hat{\Omega}}{\partial \varphi^2} + 3 \operatorname{tg} \varphi \frac{\partial \hat{\Omega}}{\partial \varphi} \right] \cos^2 \varphi \quad (6)$$

从 (4) 式可以看到, 当 $K_s > k$ 时, 波向极地方向传播; 而当 $K_s = k$ 时, 波的传播路径将转向. 这样 K_s 大的基本气流, 则它更能使纬向波数大的扰动传播到极地附近, 波的转向点的纬度就更高一些; 反之, K_s 小的基本气流, 则它只能使纬向波数小的扰动传播到极地附近, 波的转向点的纬度就较低.

2. 1972 / 1973 年冬季准定常行星波的传播特征

为了更好地讨论准定常行星波在球面大气的传播特征, 把 (4) 式转换成球面的

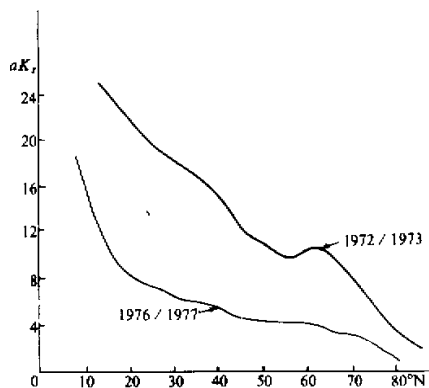


图5 1972 / 1973 年与 1976 / 1977 年冬季 500hPa $a K_s$ 的分布

况, 在球面上波传播路径的变化是

$$\operatorname{tg} \theta = \sqrt{\left(\frac{aK_s}{k}\right)^2 - 1}, \quad (7)$$

其中 $\tilde{k}$ 是球面上纬向波数. 利用 (6), (5) 两式和 1972/1973 年冬季实际的 500hPa 基本气流计算了 aK_s 值, 并且以 1976/1977 年冬季 500hPa 的基本气流为例表示一般年份冬季的基本气流, 利用 (6) (5) 两式相应计算了 aK_s 值. aK_s 是球面上波的折射指数.

图 5 分别是 1972/1973 年冬季与 1976/1977 年冬季 500hPa aK_s 随纬度的分布. 可以看到 1972 年冬季 500hPa 的 aK_s 值大于 1976 年的. 特别在高纬度地区 1972 年冬季 aK_s 值远大于 1976 年冬季的值. 因此, 1972 年冬季的基本气流能使更大波数的行星波传播到高纬度地区, 这就使得 1972 年冬季高纬度地区大气环流异常型的波数比 1976 年冬季的波数大, 造成 1972 年冬季环流异常型与一般 ENSO 年份的不同.

四、基本气流在 ENSO 对北半球冬季大气环流影响中作用的数值模拟

上面, 我们已从动力理论说明了基本气流在 ENSO 事件对北半球冬季大气环流影响中的作用. 为了更好地说明在不同基本气流下 ENSO 事件对北半球冬季大气环流影响的差异, 我们利用类似于 1972 年冬季和 1976 年冬季的基本气流及一个 34 层线性准地转模式来计算在不同基本气流下模式大气对由于 ENSO 事件所产生的异常热源的响应. 关于模式请参见文献 [12].

正如引言中所述, 当赤道东太平洋海温发生异常增温时, 低纬度上空热源将发生异常, 即热源要加强, 因此, 我们假设一个位于 500 hPa 理想的热源异常的距平分布是

$$\Delta \hat{H}_0(\lambda, \varphi) = \begin{cases} \Delta \hat{H}_0 \left(\sin \frac{\pi(\varphi - \varphi_1)}{(\varphi_2 - \varphi_1)} \sin \frac{\pi(\lambda - \lambda_1)}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \right)^2, & \lambda_1 < \lambda < \lambda_2 \\ & \varphi_1 < \varphi < \varphi_2 \\ 0, & \text{其它区域} \end{cases} \quad (8)$$

式中 $\lambda_1 = 90^\circ \text{W}$, $\lambda_2 = 180^\circ \text{W}$; $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 30^\circ \text{N}$. 最大异常加热距平 $\Delta \hat{H}_0 / C_p = 5.0 \text{ K/d}$, 平均加热距平为 2.5 K/d , 这相当于降水距平为 5 mm/d . 当 ENSO 事件发生时, 实际降水距平可以比这个值大.

我们还假设这个热源距平的垂直分布是

$$\Delta H(\lambda, \varphi, P) = \Delta \hat{H}_0(\lambda, \varphi) \exp \left[- \left(\frac{P - \bar{P}}{d} \right)^2 \right], \quad (9)$$

式中 $d = 300 \text{ hPa}$, $\bar{P} = 500 \text{ hPa}$, 这表示这个理想热源的垂直分布在 500hPa 有一个最大值, 这与实际资料所得的结果相近.

把这个热源距平叠加在北半球冬季热源的气候分布上,从而可以得到热带东太平洋上空的异常热源值,这样就可以计算出当热带东太平洋上空热源异常时各等压面上行星尺度扰动的异常分布。

为了比较 1972/1973 年冬季与一般 ENSO 事件发生时北半球大气环流异常的差别,我们分别计算了 1972/1973 年冬季与一般 ENSO 年份的基本气流下热带东太平洋热源异常强迫所产生的北半球大气环流异常距平的分布。图 6,图 7 分别表示在 1972/1973 年冬季与一般 ENSO 年份冬季基本气流下热带东太平洋热源异常所引起的北半球 500 hPa 扰动高度场的距平分布。比较图 6 与图 7,可以看到 1972/1973 年冬季与一般 ENSO 事件爆发年份冬季热带东太平洋热源异常所引起的 500hPa 扰动高度场的距平分布有很大的不同。

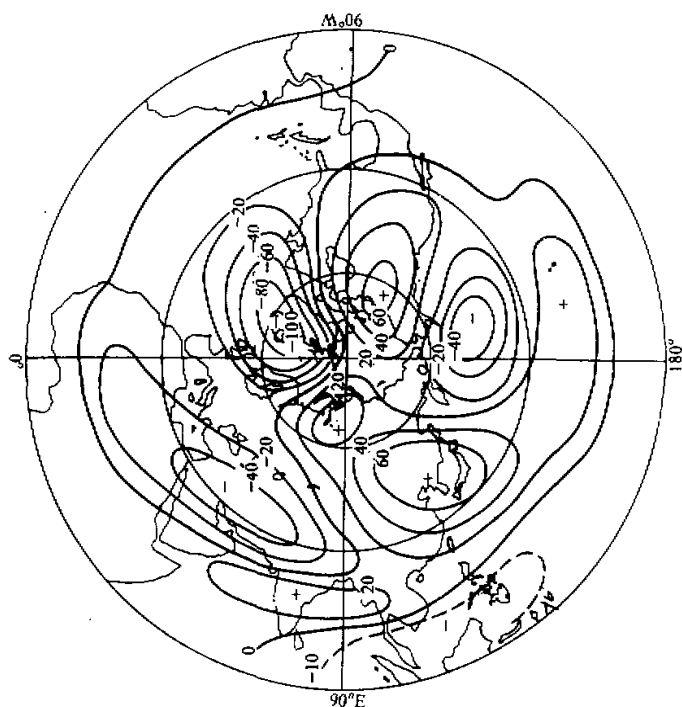


图 6 1972/1973 年冬季基本气流下热带东太平洋热源异常强迫所产生的 500hPa 扰动高度场的距平分布 单位: m

一般 ENSO 事件爆发年份的北半球冬季大气环流异常是副热带太平洋上空出现正距平,即副热带高压加强;而在阿留申地区附近的北太平洋上空出现负距平,即阿留申低压加深,这个负距平区域一直延伸到日本北海道及我国东北;此外,在北美的北部是正距平区域;而美国的中部与东部是负距平区域。这就是一般的 PNA 型异常。我们由模式计算所得到的扰动高度场的距平分布与从观测资料分析所得到的距平分布是很一致的。而由模式计算所得到的 1972/1973 年冬季高度场的异常是副热带太平洋

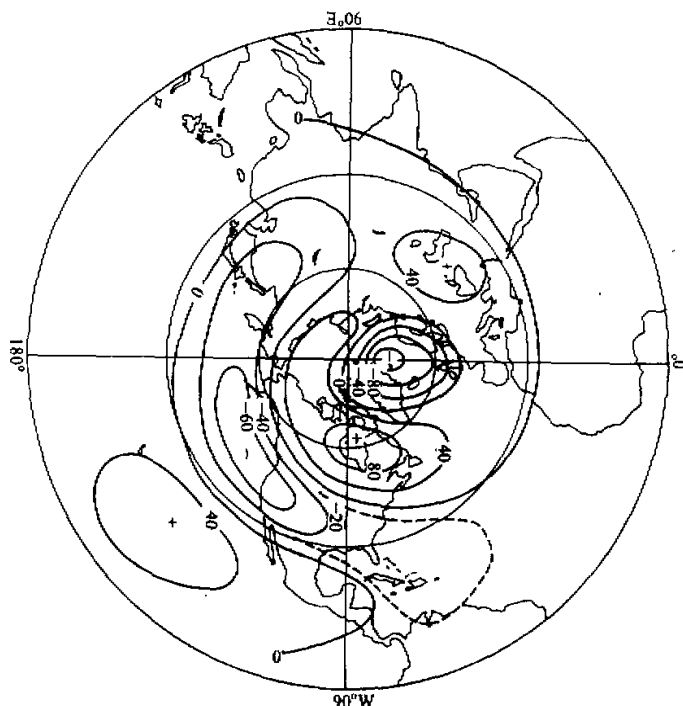


图7 一般ENSO年冬季基本气流下热带东太平洋热源异常强迫所产生的500hPa

扰动高度场的距平分布 单位：m

上空为正距平区域；在阿留申地区上空是负距平区域；在北美上空是正距平区域；此外，在我国东北、日本一带是正距平区域，而菲律宾周围上空是一片负距平区域，即出现了所谓西太平洋型的异常，这就使得我国东北出现暖冬，与一般 ENSO 年份冬季环流异常型不同。

从上面数值模式的计算结果可以看到基本气流对 ENSO 事件所产生的北半球环流异常有很大的影响。同样是热带东太平洋热源异常，但基本气流不同，此异常热源所产生的扰动异常也不同。

五、结 论 与 讨 论

本文首先从观测资料分析了1972/1973年冬季 ENSO 事件爆发时北半球大气环流的异常，指出这年冬季无论是环流的异常型或扰动的 EOF 分析第一主分量的分布均不同于一般的 ENSO 年份。

本文通过基本气流对准定行星波传播的作用讨论了1972/1973年冬季北半球大气环流的异常并不产生 PNA 型的原因。由于1972/1973年冬季北半球基本气流不同于一般 ENSO 年份，这一年冬季高纬度西风比一般 ENSO 年份的基本气流强，使得

准定常行星波的传播特性改变, 从而使得扰动异常型不同于一般 ENSO 年份。

此外, 本文还应用一个线性准地转模式计算了 1972/1973 年冬季与一般 ENSO 年份冬季基本气流下热带东太平洋热源异常强迫所产生的北半球准定常扰动的分布。计算结果与实际观测资料的分析结果很一致。计算结果说明了即使发生 ENSO 事件, 也不一定产生 PNA 型的环流异常; 并且还说明了不仅外源异常可以引起环流的异常, 而基本气流的异常也可以使扰动产生异常。

本文只是以 1972/1973 年冬季北半球环流异常为例说明了基本气流在 ENSO 事件对北半球冬季大气环流影响中的作用, 类似的例子还有, 如 1962/1963 年冬季发生的弱 ENSO 事件, 北半球环流异常也不产生 PNA 型的异常, 东北也发生了暖冬现象。

致谢: 本文部分资料由黑河地区气象台孙淑雯同志与海拉尔市气象台张培忠同志协助统计, 作者由衷地致以谢意。

参 考 文 献

- [1] Bjerknes, J., 1969, Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163—172.
- [2] Wallace, J.M., and D. S. Gutzler, 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784—812.
- [3] Horel, J. D., and J. M. Wallace, 1981, Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813—829.
- [4] Opsteen, J. D., and H. M. Van Den Dool, 1980, Seasonal differences in the stationary response of a linearized Primitive equation model, *J. Atmos. Sci.*, **37**, 2169—2185.
- [5] Hoskins, B. J., and D. J. Karoly, 1981, The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179—1196.
- [6] Webster, P. J., 1981, Mechanisms determining the atmospheric response to sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 554—571.
- [7] Rasmusson, E., and T. Carpenter, 1982, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 364—384.
- [8] 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.
- [9] Huang, R. H. (黄荣辉), 1986, Physical mechanism of influence of heat source anomaly over low latitudes on general circulation over Northern Hemisphere in winter, *Scientia Sinica (Series B)*, **29**, 970—985.
- [10] Branstator, G., 1984, The relationship between zonal mean flow and quasi-stationary waves in the midtroposphere, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 2163—2179.
- [11] 黄荣辉、岸保勘二郎, 1983, 关于冬季北半球准定常行星波传播另一波导的研究, *中国科学, B 辑*, 第 10 期, 940—950.
- [12] Huang, R. H., and K. Gambo, 1982, The response of a hemispheric multi-level model atmosphere to forcing by topography and stationary heat source, *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 78—108.

ROLE OF BASIC FLOW IN INFLUENCE OF ENSO ON WINTER CIRCULATION OVER THE NORTHERN HEMISPHERE

Huang Ronghui and Yan Bangliang

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences*)

K. Gambo

(*Institute of Geophysics, Tokyo University, Japan*)

Abstract

Role of basic flow in the influence of the ENSO event on the winter circulation over the Northern Hemisphere is investigated from the observational facts, the theory and the numerical experiments in this paper. The difference between the basic flow during the onset of the ENSO event in the winter of 1972/1973 and that during the onset of the usual ENSO event is pointed out with analysis of observational data. In the winter of 1972/1973, since the westerly at high latitudes was stronger than the normal, the general circulation anomaly pattern over the Northern Hemisphere caused by the ENSO event was different from that due to the usual ENSO events. The circulation anomaly pattern over the Northern Hemisphere caused by usual ENSO events is of PNA pattern, a cooling winter used to be in the northeast of China and cooling surge frequently intrudes into China. However, in the winter of 1972/1973, the circulation anomaly pattern was not PNA pattern, a warming winter was in the northeast of China, the activities of cooling air were weak.

Key words: Basic flow; ENSO event; Quasi-stationary Planetary wave.

勘 误

由于排校失误,本刊15卷2期需作如下勘误:

页	行	误	正
封二	6	隐诗言	陶诗言
封二	17	SWT 声雪达...	SWT 声雷达