

北太平洋热带的低频振荡——北方涛动

陈烈庭

(中国科学院大气物理研究所, 北京)

摘 要

北方涛动是近几年在北太平洋热带地区发现的一种东西向的大气涛动。本文试图对北方涛动的空间结构和时间变化(包括季节变化和年际变化)的基本特征及其与热带太平洋海温、降水、信风和沃克环流等的联系作进一步的分析研究。

经验正交函数(EOF)分析的结果, 不仅进一步证实了北方涛动存在的真实性, 而且还揭示了它的大尺度特征及其在北太平洋大气环流年际变化中占有头等重要的地位。

据延伸的1921—1946年资料的分析表明, 北方涛动仍然非常明显。说明它不是某一时期特有的现象, 而是北太平洋热带地区大气环流固有的一种低频振荡。

北方涛动3—4年的年际振荡与热带太平洋海温、降水、信风和沃克环流关系密切。并且它在这一频带与南方涛动发生强烈的耦合。我们认为, 东赤道太平洋之所以是全球热带海洋中海温年际变化最大的地区, 以及该区的海气相互作用之所以能够产生世界性年际气候变化最强的信号, 可能与它们之间强烈的耦合作用不会没有关系。

低频大气的研究对长期天气预报和气候预测具有非常重要的理论意义和应用价值。近10多年来, 国内外关于它的基本结构、演变规律和物理机制等问题做了许多工作, 是大气科学研究中一个十分活跃的课题。研究表明, 大气中存在各种不同时空尺度的低频振荡。长期天气预报方面, 目前研究得比较多的有三种低频振荡现象^[1-3], 一种是30—50天的季内振荡, 第二种是准两年振荡, 第三种是3—4年的年际振荡。季内振荡的水平结构一般表现为Rossby波列的特征, 而年际振荡的结构则表现为一些在地理位置上准稳定的大气活动中心组成的特殊模型。它们提供了不同地区大气环流低频变化相互联系的证据。

Walker^[4]早年确定的南方涛动是年际振荡模型中一个最典型的例子。其基本特征为澳大利亚和印尼低压带的气压距平同南太平洋反气旋的气压距平反相的变化。南方涛动与赤道太平洋埃尔尼诺事件的关系非常密切。近年来, 人们把这两种现象统称为埃尔尼诺-南方涛动(ENSO)事件^[5]。它是大尺度海气相互作用最突出的表现。ENSO不仅具有明显的局地效应, 直接影响当地的云量和降水, 而且还同世界其他许多地区的天气气候异常有关^[6-10]。从1950年到现在的38年中共出现了10次不同强度的ENSO事件, 平均每3—4年发生一次。几乎每次都造成了世界范围气候的异常。目前, ENSO被认为是发生世界

性年际天气气候异常的最强的信号，引起了越来越多的气象学家、海洋学家的关注，并正在致力于其可预报性的研究。

在文献[11]中，我们发现热带太平洋除位于赤道以南的南方涛动外，在赤道北边还存在另一个与南方涛动南北对称的东西向的涛动，提出了所谓北方涛动的新概念。后来符淙斌等[12]进一步证实了其存在的真实性。我们的研究还表明[13]北方涛动与赤道太平洋海温、降水和沃克环流等也有非常密切的关系。本文拟在这些工作的基础上，对北方涛动作进一步的探讨。

二、北方涛动的基本特征

(一) 水平结构

我们^[11]曾根据 1957—1976 年北太平洋逐月的海平面气压格点资料，依次取各网格点为相关基本点 (base grid point)，计算了大量的单点相关图 (one-point correlation map)。通过分析发现，北太平洋东部副热带反气旋中心附近气压距平的变化与西部菲律宾群岛低压带气压距平的变化具有很高的负相关。它反映了北太平洋这两个大气活动中心存在此起彼伏的内在联系，我们称之为北方涛动。其强度以两个高相关区的代表站，船舶 N 站 (31°N , 140°W) 和马尼拉站 ($14^{\circ}31'\text{N}$, 121°E) 的月平均气压距平差来表示，并称之为北方涛动指数 (NOI)。图 1 是北方涛动指数与北太平洋气压距平场的同时相关图。可以看出，大致以国际日期变更线为界，东部为大范围的正相关区，西部是负相关区。它清楚地展示了北方涛动的空间模型。

然而，北方涛动在北太平洋大气环流年际变化中的地位如何？另外，船舶 N 和马尼拉两站的气压资料在空间和时间上是否有足够的代表性？无疑，这些问题的解决，增进对北方涛动基本特征及其存在的真实性的进一步了解有重要意义。为此，我们改变原来以单站要素为基础的研究方法，对北太平洋气压距平场作自然正交函数 (EOF) 展开，以表征大范围空间分布和时间变化的参数为依据，对北方涛动进行再讨论。

图 2 是北太平洋气压距平第一和第二特征向量的空间分布。可以看出，第一特征向量

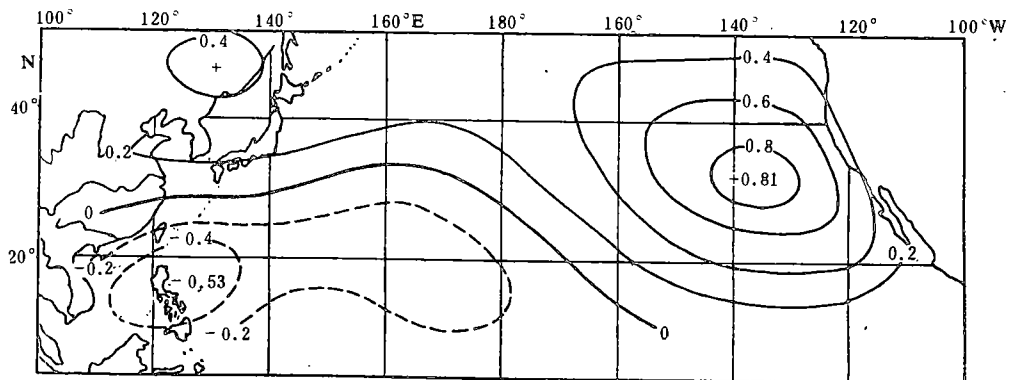


图 1 北方涛动指数与北太平洋气压距平场的同时相关

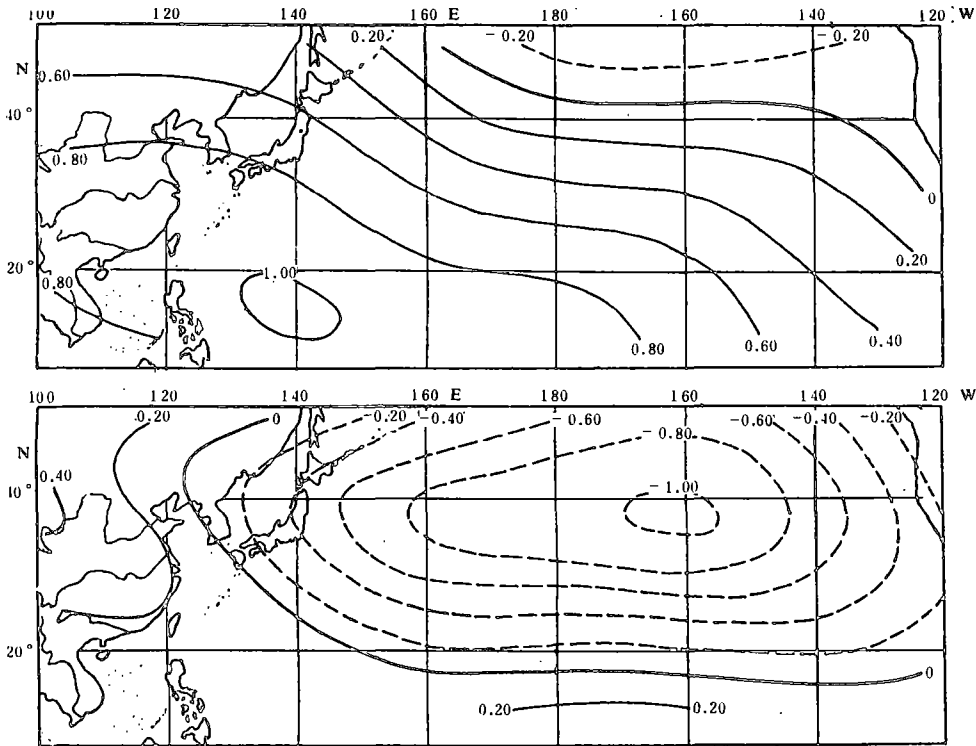


图 2 北太平洋气压距平第一特征向量(上)和第二特征向量(下)的空间模型

在北太平洋西南部振幅最大,说明这里气压距平有最大的年际变率。北太平洋东北部为另一个年际变化极大区,且同西南部极大区反号。第二特征向量在北太平洋副热带为大范围负值区,外形与北太平洋副热带反气旋相当,最大振幅中心出现在东部,这里气压距平年际变率最大。而西太平洋低纬地区为正值区。因此,第一和第二特征向量的空间分布突出地反映了北方涛动的两个活动中心年际变化的大尺度特征。另外,这两个特征向量分别解释了北太平洋非季节变化总方差的16.47%和14.01%,是该区气压距平场两个最重要的分布型式。它说明北方涛动在北太平洋大气环流年际变化中占有头等重要的地位。

图3是第一和第二特征向量的时间序列及其对应的马尼拉站、船舶N站气压距平的多年变化曲线。这些曲线都经历了二次5个月滑动平均处理。可以看出,第一特征向量的时间序列与马尼拉站气压距平的多年变化,第二特征向量的时间序列与船舶N站气压距平的多年变化都很相似。另外,由第一和第二特征向量的时间系数定义的北方涛动指数同由船舶N和马尼拉两个单站的气压距平定义的北方涛动指数变化也非常一致。其相关系数达到0.47,远远超过了0.001信度水平($N=352$)。这些都清楚地显示了第一和第二特征向量是北方涛动的两个活动中心大尺度特征的代表。同时也说明了船舶N和马尼拉两个单站的气压距平在空间和时间上有很好的代表性,可以用来表示北方涛动的大尺度特征。

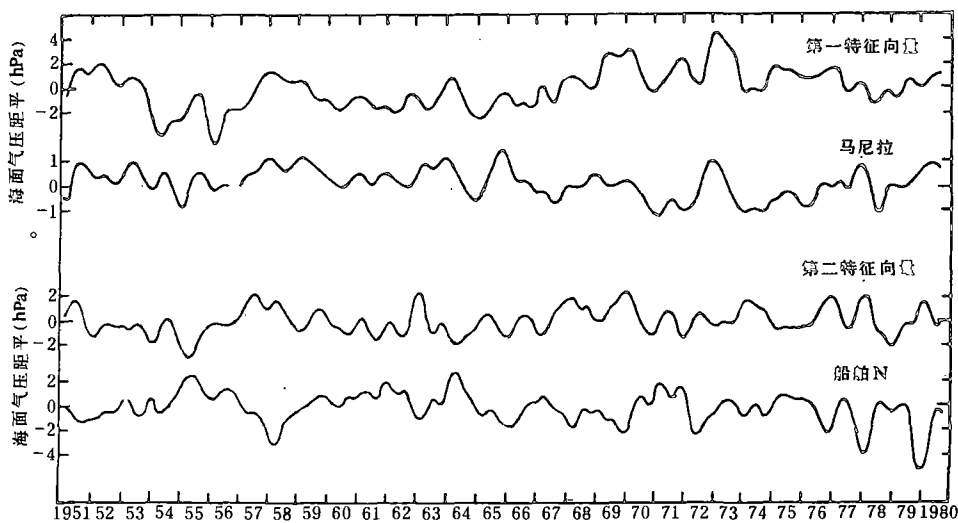


图 3 北太平洋气压距平第一和第二特征向量的时间系数
及马尼拉站和船舶N站气压距平的多年变化曲线

(二) 季节变化

北方涛动具有很强的季节变化。图 4 是 1946—1980 年各月北方涛动指数绝对值的多年平均。为了比较，图中还给出了南方涛动指数绝对值的季节变化曲线。可以看出，无论是北方涛动还是南方涛动，季节变化都是很清楚的，但是，北方涛动的季节变化比南方涛动的季节变化大，且两者存在相反变化的趋势。北方涛动的强度在北半球的冬半年大、夏半年小，其中以 2 月最大，7 月最小。而南方涛动的强度相反，在北半球的冬半年较弱，最低值出现在 4 月，夏半年较强，最高值出现在 9 月。由于北半球的夏半年正是南半球的冬半

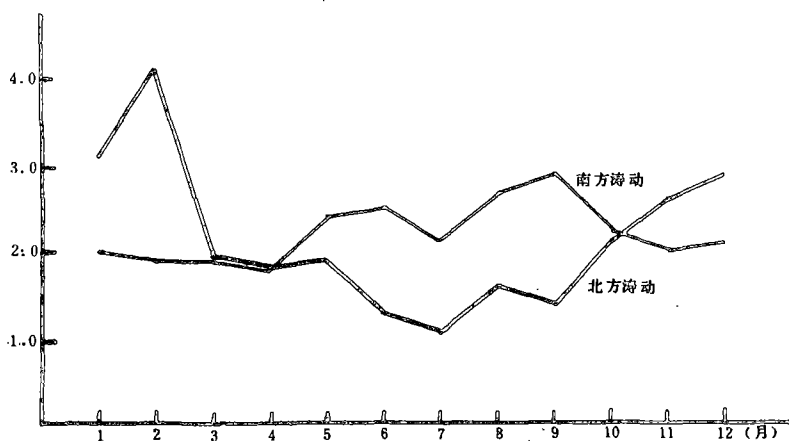


图 4 北方涛动指数和南方涛动指数的季节变化 (1946—1980)

年, 所以北方涛动和南方涛动都是在当地为冷季时强, 暖季时弱。其最强和最弱出现的时间约落后最冷和最暖月 1—2 个月。

(三) 年际变化

为了揭示北方涛动年际变化的特征及其长期变化的规律, 较长时期的气压资料序列是必不可少的。在文献〔11〕中, 我们曾给出了 1947—1980 年船舶 N 和马尼拉两个代表站气压距平的时间序列。最近我们又将资料从 1947 年延伸到 1921 年。1947 年以前的资料, 马尼拉站气压取自《World Weather Records》, 其中 1941—1945 年资料缺。船舶 N 气压用该站周围 $12^{\circ} \times 12^{\circ}$ 区域的平均代替。资料取自美国 COADS。

图 5 表示 1921—1980 年船舶 N 和马尼拉两站标准化的月平均气压距平的多年变化。两

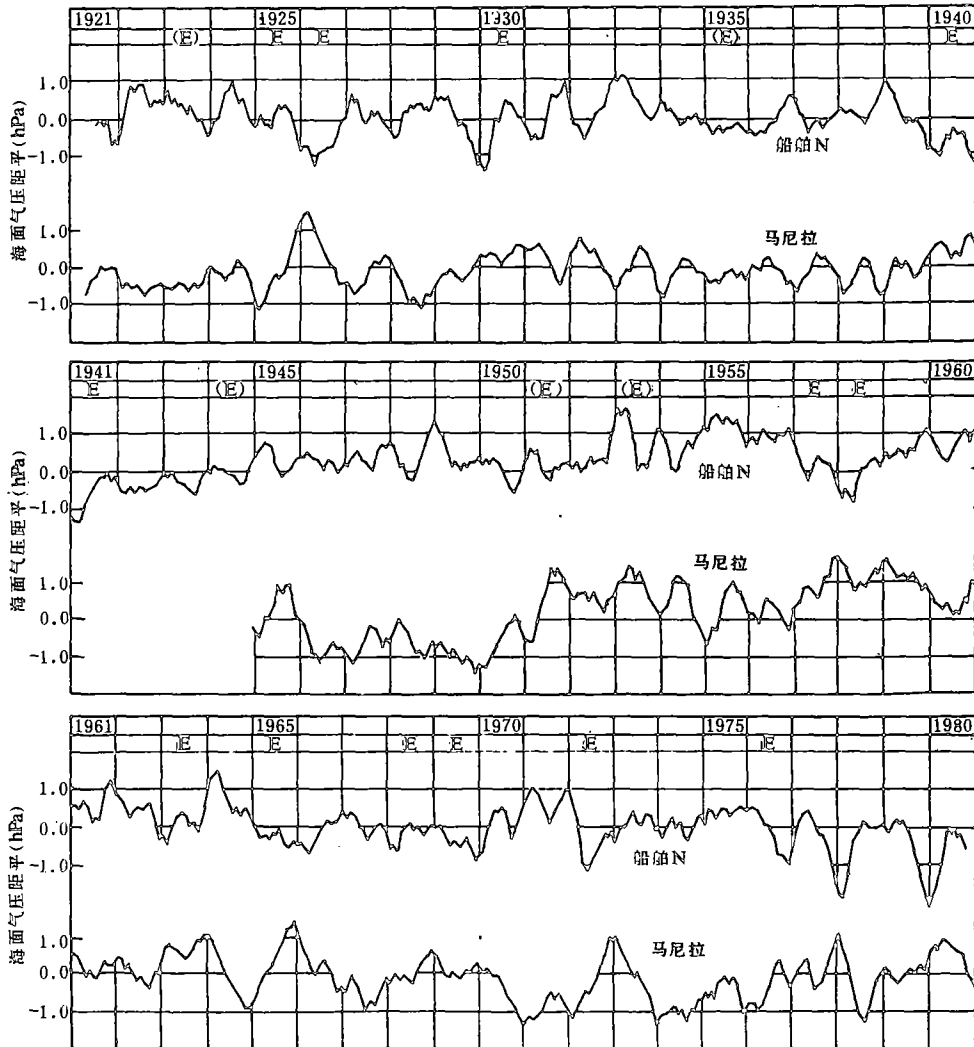


图 5 北太平洋船舶 N 站和马尼拉站标准化的月平均气压距平的多年变化曲线

时间序列均作了 5 个月滑动平均处理。可以看出, 1947 年以前, 两条曲线反相变化的趋势同样是非常清楚的。这不仅进一步证实了北太平洋东西部气压距平年际变化相反关系的存在, 而且还表明这种关系具有相当的持续性和稳定性。也就是说, 北方涛动与南方涛动一样, 不是某一时期特有的现象, 而是北太平洋热带地区大气运动固有的一种低频振荡。

北方涛动指数的谱分析表明, 北方涛动具有明显的 3—4 年的低频振荡。此外, 还存在 2 年、5—6 年和 9 年的优势周期振荡。因此, 北方涛动不但具有强烈的季节变化, 而且还存在明显的年际变化。其中 3—4 年的年际振荡也是南方涛动的主要振荡周期。特别值得指出的是, 两种涛动的这一振荡的位相十分一致。两者或同时增强或同时减弱。所以, 在这个频带, 两个涛动发生强烈的耦合。热带大西洋到目前为止还没有发现类似的现象。我们认为, 东赤道太平洋之所以是全球热带海洋中海温年际变化最大的地区, 以及该区的海气相互作用之所以能够产生世界性年际天气气候异常最强的信号, 可能与南、北方涛动在这一频带强烈的耦合不会没有关系。

三、北方涛动与赤道太平洋埃尔尼诺、降水、

信风和沃克环流的关系

(一) 同埃尔尼诺的关系

我们曾经指出^[13], 北方涛动与赤道太平洋海温具有非常密切的关系, 特别是 3—4 年的年际振荡。它们呈明显的负相关。即当北方涛动强度增强时, 东赤道太平洋海温降低。反之, 当北方涛动强度减弱时, 东赤道太平洋海温升高。这种相反关系在埃尔尼诺年及其前后时期表现尤为明显。

图 6a 是第二次世界大战以来的 8 个埃尔尼诺事件 (1951, 1953, 1957—1958, 1963, 1965, 1968—1969, 1972 和 1976 年), 北方涛动指数和东赤道太平洋 ($5^{\circ}\text{N}—5^{\circ}\text{S}, 180^{\circ}—80^{\circ}\text{W}$) 海温距平从埃尔尼诺发生前一年到后一年的平均变化。可以看出, 在埃尔尼诺发生的前一年, 北方涛动指数全年都处于正位相, 但其变化仍保持着原来季节变化的特征, 即强度 2 月最大、7 月最小 (见图 4)。然而, 12 月以后, 季节变化明显破坏。北方涛动指数不再继续上升, 而是转向持续显著下降。在埃尔尼诺年 3 月由正指数转为负指数, 秋季达到它的最低值。以后强度加强, 约在埃尔尼诺后一年的春季返回到正位相。东赤道太平洋海温距平的变化则相反。从埃尔尼诺发生的前一年开始, 海温一直下降。12 月起海温转为明显上升。在埃尔尼诺年的 3 月左右, 负距平转为正距平, 最高值出现在 11 月, 比北方涛动指数最低值落后 2 个月左右。11 月后, 海温很快下降, 在埃尔尼诺后一年的春季返回到负距平。因此, 整个埃尔尼诺生命期间 (从埃尔尼诺前一年的秋季到后一年的春季), 北方涛动和赤道太平洋海温都经历了一次强烈的异常变化。说明北方涛动与埃尔尼诺之间有其内在的联系。

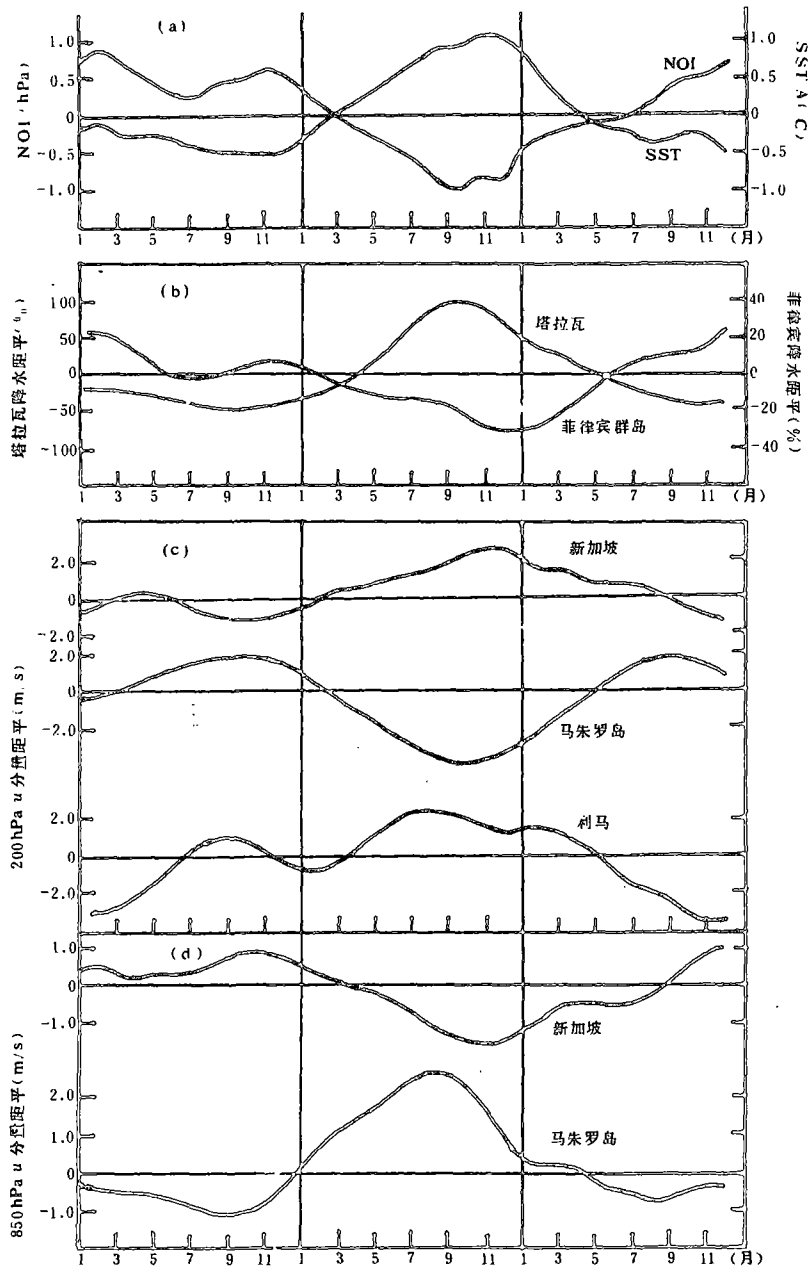


图 6

(a) 厄尔尼诺时期北方涛动指数和东赤道太平洋海温的平均变化 (b) 北方涛动低值期塔拉瓦和菲律宾群岛降水距平的平均变化 (c) 北方涛动低值期新加坡, 马朱罗岛和利马高低空纬向风距平的平均变化

(二) 同赤道太平洋降水的关系

为了探讨北方涛动与赤道太平洋降水的关系, 我们根据北方涛动指数的时间序列, 取北方涛动异常偏弱的年份作为分析的个例, 并作出北方涛动指数极低年、其前一年和后一年共三年赤道太平洋一些测站的降水距平变化的合成图。

图 6b 是 7 个北方涛动低指数年例子 (1957—1958, 1963, 1965, 1968—1969, 1972, 1976 和 1982—1983 年) 赤道太平洋中部的塔拉瓦站 ($1^{\circ}21'N$, $172^{\circ}55'E$) 和西部的菲律宾群岛 [以宿务 ($10^{\circ}20'N$, $123^{\circ}54'E$)、苏里高 ($9^{\circ}48'N$, $125^{\circ}30'E$) 和三宝颜 ($6^{\circ}54'N$, $122^{\circ}04'E$) 三站的平均为代表] 的降水距平百分率从低值年前一年到后一年的平均变化。可以看出, 塔拉瓦站与菲律宾群岛降水量的变化存在非常明显的反相关系, 表明当赤道太平洋中部降水增加时, 西部降水减少, 反之相反。另外, 与图 6a 比较还可发现, 赤道太平洋降水同样与北方涛动指数有密切联系。在正指数时期, 塔拉瓦的雨量偏少, 菲律宾群岛的雨量偏多。在负指数时期, 塔拉瓦的降水异常增多, 特别是在北方涛动指数极低年的秋季, 而菲律宾群岛的雨水反常地减少, 特别是在北方涛动指数极低年后一年的冬季。因此, 可以认为北方涛动对赤道太平洋降水也是有重要影响的。

(三) 同沃克环流的关系

我们过去的研究曾指出^[14], 在不同的异常海温型下, 热带太平洋流场的特征有很大的差异。东赤道太平洋暖水时期, 该区所有高低空的环流系统都向东、向北移动。沿赤道高空 (200hPa) 吹强的东风, 低空 (850hPa) $140^{\circ}E$ 以西吹西风, 以东吹弱的东风。在冷水时期, 所有高低空的环流系统向西、向南移动, 沿赤道高空吹西风, 低空吹东风。另外, 我们还分析了赤道太平洋中部马朱罗岛的纬向风与北方涛动的关系。指出马朱罗岛 200hPa 的纬向风与北方涛动为正相关, 850hPa 的纬向风与北方涛动为负相关。即北方涛动强时, 马朱罗岛高空吹西风、低空吹东风。反之, 北方涛动弱时, 马朱罗岛高空吹东风, 低空吹西风。

为了探讨赤道太平洋沃克环流与北方涛动的关系, 沿赤道取新加坡 ($1^{\circ}22'N$, $103^{\circ}55'E$)、马朱罗岛 ($7^{\circ}05'N$, $171^{\circ}23'E$) 和利马 ($12^{\circ}S$, $77^{\circ}07'W$) 分别作为赤道太平洋西部、中部和东部的代表站, 并求出各站 1960—1980 年 200hPa 和 850hPa 逐月的纬向风距平 (其中利马站因资料不全, 只计算 1964—1979 年 200hPa 的纬向风距平)。然后同上面降水的作法一样, 作出 1960 年以来各个北方涛动低指数年例子各站的纬向风距平的合成图。结果如图 6c 所示。把图 6c 同图 6a 进行比较可以看出, 赤道太平洋信风的变化与北方涛动有很好的关系。在北方涛动正指数时期, 高空 (200hPa) 马朱罗岛吹相对西风 (正距平风), 新加坡、利马吹相对东风 (负距平风); 低空 (850hPa) 马朱罗岛吹相对东风, 新加坡吹相对西风。而在北方涛动负指数时期, 正好相反, 高空马朱罗岛吹相对东风, 新加坡和利马吹相对西风。低空马朱罗岛吹相对西风, 新加坡吹相对东风。

以上高低空纬向风距平的分布, 用一示意图图 7 来表示。上图是北方涛动正指数期的情况, 下图是负指数期的情况。它清楚地表明, 正指数时期赤道太平洋西部有信风的辐合,

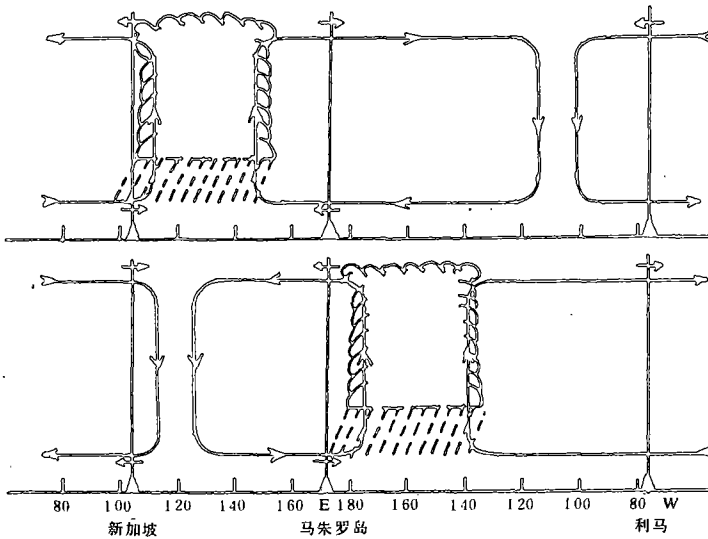


图 7 北方涛动正、负指数时期赤道太平洋纬向环流的示意图

东部有信风的辐散。负指数时期情况相反，赤道太平洋西部有信风的辐散，东部有信风的辐合。

赤道太平洋信风辐合辐散的这种分布与上述菲律宾群岛和塔拉瓦降水^[1]的变化是一致的。因此，可以得出结论，在北方涛动正指数时期，赤道太平洋沃克环流偏强，而在负指数时期，沃克环流减弱并东移，赤道太平洋盛行中部空气上升，西部空气下沉，高层吹东风，低层吹西风的反沃克环流。

四、结 论

本研究的主要结果可概括如下。

1. 北方涛动不是某一时期特有的现象，而是北太平洋热带地区大气运动固有的一种低频振荡。自然正交函数分析表明，它在该区大气环流年际变化中占有头等重要的地位。

2. 北方涛动的强度存在明显的季节变化。其中以北半球的冬季最强，夏季最弱。南方涛动的季节变化也很大，但不如北方涛动明显，且以北半球的夏季最强，冬季最弱。

3. 北方涛动的年际变化最主要的振荡周期为 3—4 年。其次还存在 2 年、5—6 年和 9 年左右的振荡周期。在 3—4 年频带，它与南方涛动发生强烈偶合。此偶合现象，可能是造成东赤道太平洋海温年际变化在全球热带中为最大的重要原因。

4. 北方涛动指数低值期的出现，从开始到结束平均经历一年半左右时间，而且其发展的各个相位多发生在某些固定的季节^[1]。平均而言，北方涛动指数从初冬开始反常地明显下降，在 3 月份左右由正指数转为负指数，秋季达其最低值，而后约在翌年春季返回到正指数。

5. 赤道太平洋海温、降水和信风的变化与北方涛动有密切联系。在北方涛动出现低指数时期，东北信风减弱；东赤道太平洋冷水平流和上翻也减弱，海温上升；赤道太平洋中部降水增加，西部减少。这些海温、信风和降水异常发展的各个位相与上述北方涛动指数发展的各个位相有很好的对应性。基本上也是从冬季开始，秋季达极值，翌年春季回到正常状态。

6. 赤道太平洋沃克环流的变化也与北方涛动有密切联系。在正指数时期，整个赤道太平洋沃克环流盛行。而在负指数时期，随着东赤道太平洋海温的异常增暖，沃克环流的上升支从赤道太平洋西部移到日界线附近，其西部盛行反沃克环流。

参 考 文 献

- [1] Blackmon, M.L. *et al.* Horizontal structure of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales, *J. Atmos. Sci.*, 41 (1983a), 961—979.
- [2] Blackmon, M.L. *et al.* Time evolution of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time-scales as deduced from lag correlation statistics, *J. Atmos. Sci.*, 41 (1983b), 981—991.
- [3] Wallace, J.M. and D.S. Gutzler, Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 109 (1981), 784—812.
- [4] Walker, G.T. and E.W. Bliss, World weather V, *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4 (1932), 53—84.
- [5] Philander, S.G.H., El Niño Southern Oscillation Phenomena, *Proceedings of the WMOCAS/JDC Expert Study Meeting on Long-Range Forecasting, Princeton, 1—4 December 1982, 1983*, 72—83.
- [6] Rasmusson, E.M. and T.H. Carpenter, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110 (1982), 354—384.
- [7] Quinn, W.H. *et al.*, Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño and Indonesian droughts, *Fish. Bull.*, 76 (1978), 663—678.
- [8] Wang Shao-wu, El Niño and summer temperatures in northeast China, 1860—1980, *TONA*, 1984, NO. 25.
- [9] Zhang, M.-L. and Z.-M. Zeng, Teleconnection between sea surface temperature in the tropical eastern Pacific and air temperature in northeast China, *TONA*, 1984, NO. 23.
- [10] Horel, J.D. and J.M. Wallace, Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 109 (1981), 813—829.
- [11] 陈烈庭、詹志强，北太平洋东西部气压距平的遥相关，*科学通报*，29 (1984)，8：481—483。
- [12] Fu, C.B. and Ye, D.Z., Low Latitude Oscillation—a very low frequency seesaw in global tropics, Presented at the *IAMAP/IAPSO Symposium in Honolulu*, 1985.
- [13] 陈烈庭，北方涛动与赤道太平洋海温和降水，*科学通报*，29 (1984)，19：1190—1192。
- [14] 陈烈庭，东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响，*大气科学*，1 (1977)，1：1—12。