

崔绚, 周波涛, 范可. 2010. 卑尔根气候模式中亚洲—太平洋涛动和影响西北太平洋热带气旋频数的环流背景的关系 [J]. 气候与环境研究, 15 (2): 120–128. Cui Xuan, Zhou Botao, Fan Ke. 2010. Linkage between Asian–Pacific oscillation and the large-scale atmospheric circulations related to the tropical cyclone frequency over the western North Pacific in Bergen climate model [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (2): 120–128.

## 卑尔根气候模式中亚洲—太平洋涛动和影响西北太平洋热带气旋频数的环流背景的关系

崔绚<sup>1</sup> 周波涛<sup>2,3</sup> 范可<sup>2</sup>

1 国家气象中心, 北京 100081

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

3 国家气候中心, 北京 100081

**摘要** 利用挪威卑尔根的全球大气—海洋—海冰耦合模式的 300 年气候态数值积分结果, 结合观测资料, 分析了夏季亚洲—太平洋涛动 (APO) 的年际变化对与西北太平洋热带气旋生成频数相关联的大尺度环流背景的影响。模式结果表明, 当夏季 APO 异常偏强 (弱) 时, 西太平洋副热带高压位置偏东 (西) 偏北 (南), 南亚高压位置偏北 (南), 西北太平洋低层大气异常辐合 (辐散), 高层大气异常辐散 (辐合), 对流活动加强 (减弱)。这种环流背景条件有 (不) 利于西北太平洋热带气旋的发生发展, 西北太平洋热带气旋频数因而偏多 (少)。

**关键词** 亚洲—太平洋涛动 西北太平洋 热带气旋 耦合模式

**文章编号** 1006-9585 (2010) 02-0120-09 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

## Linkage between Asian – Pacific Oscillation and the Large-Scale Atmospheric Circulations Related to the Tropical Cyclone Frequency over the Western North Pacific in Bergen Climate Model

CUI Xuan<sup>1</sup>, ZHOU Botao<sup>2,3</sup>, and FAN Ke<sup>2</sup>

1 *National Meteorological Center, Beijing* 100081

2 *Nansen-Zhu International Research Center, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029

3 *National Climate Center, Beijing* 100081

**Abstract** The linkage between Asian – Pacific oscillation (APO) and the large-scale atmospheric circulations related to the tropical cyclone frequency over the western North Pacific is examined using a 300-year integration of an atmosphere – ocean – sea ice coupled model and observational data. The result shows that when the summer APO is stronger (weaker) than normal, the western Pacific subtropical high moves eastward (westward) and northward

**收稿日期** 2009-02-06 收到, 2010-01-24 收到修定稿

**资助项目** 中国科学院知识创新工程领域前沿项目 IAP09302, 国家自然科学基金项目 40805029、40775049, 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421407

**作者简介** 崔绚, 女, 1977 年出生, 硕士, 主要从事台风研究和天气学分析。E-mail: cuixuan@cma.gov.cn

**通讯作者** 周波涛, E-mail: zhoubt@cma.gov.cn

(southward), and the south Asian high shifts northward (southward), concurrent with the anomalous low-level convergence (divergence) and high-level divergence (convergence) as well as the strengthened (weakened) convections over the western North Pacific. These circulation backgrounds favor (disfavor) the genesis of tropical cyclones, and thus more (less) tropical cyclones tend to appear over the western North Pacific.

**Key words** Asian - Pacific oscillation, western North Pacific, tropical cyclone, coupled model

## 1 引言

西北太平洋是全球热带气旋发生频数最高的海域, 并且是全球唯一的一年四季都有热带气旋生成的海域。西北太平洋热带气旋活动对我国影响很大, 尤其是登陆台风, 经常引起严重的灾害。因此, 西北太平洋热带气旋活动的年际变化和预测理论研究是一个具有重要科学意义和巨大实际价值的课题, 也一直是我国气象工作者的研究重点。

大尺度大气环流变化对热带气旋活动具有显著影响。陶诗言等 (1962) 很早就指出夏季西太平洋台风活动次数在东亚低纬经向环流型和纬向环流型期间存在很大差别。许健民和谷美荣 (1978) 的研究表明, 夏季西太平洋的热带地区对流层上层和下层同时由纬向型转变成经向型时, 往往与强台风或多台风有关系。谢义炳等 (1963) 指出, 夏季西太平洋台风发生的时间、地点及次数与低纬基本气流的位置及强度密切相关。Zhou and Cui (2008) 揭示春季热带 Hadley 环流与夏季西北太平洋热带气旋频次之间具有显著的负相关。春季 Hadley 环流偏强 (弱) 时, 夏季西北太平洋热带气旋发生频率偏少 (多)。西北太平洋热带气旋活动不仅受低纬大气环流的影响, 还受中高纬大气环流的影响 (陈联寿, 1965)。近几年来的一些研究工作也详细探讨了中高纬度大气环流主要模态异常与西北太平洋热带气旋活动之间的关系。例如, 王会军和范可 (2006) 和王会军等 (2007) 揭示了西北太平洋台风生成频次与南极涛动为负相关, 与北太平洋涛动 (NPO) 为正相关。范可 (2007) 发现春季北太平洋海冰有可能通过 NPO 及大气遥相关影响到春季热带太平洋环流, 进而导致西北太平洋台风活动异常。

最近, 周波涛等 (2008) 通过对观测资料的分析, 发现亚洲—太平洋涛动 (Asian - Pacific

Oscillation, APO) 和西北太平洋热带气旋频数之间具有显著的正相关, 夏季 APO 偏强 (弱) 时, 西北太平洋热带气旋偏多 (少)。两者联系的物理过程在于 APO 异常可以引起大尺度环流的变化从而影响西北太平洋热带气旋数目的多寡。该成果有助于认识和理解西北太平洋热带气旋活动的年际变化规律。不过, 该研究是基于观测资料分析, 还需要利用数值模式作进一步验证。此外, 该研究所使用的观测资料时间序列不够长, APO 与西北太平洋热带气旋频数的关系在更长的时间尺度上是否仍存在也不清楚。基于上述考虑, 本文尝试利用一个全球大气—海洋—海冰耦合模式的长期积分结果, 探讨耦合模式中 APO 变化对与热带气旋生成相关联的大气环流背景的影响, 进而揭示其与西北太平洋热带气旋频数的关系。

## 2 模式、资料和方法介绍

### 2.1 模式与资料

本文所用耦合模式为挪威的卑尔根气候模式 (Bergen Climate Model, BCM)。BCM 的大气模式是由法国气象局与欧洲中期天气预报中心共同创建的大气环流谱模式 (ARPEGE/IFS) (Déqué et al., 1994), 水平分辨率为 T42, 采用简约高斯网格, 垂直方向分为 31 层 (从表层到 10 hPa); BCM 的海洋模式是美国迈阿密大学的等密度坐标海洋模式 (MICOM) (Bleck et al., 1992), 并耦合了一个动力学海冰模式。海洋模式采用非均匀网格, 并且将模式的北极放在西伯利亚, 这样极大地方便了北冰洋的处理。海洋模式的水平分辨率大致是  $2.4^{\circ} \times 2.4^{\circ}$ , 垂直方向上有 24 层, 相对于表层压力, 等密度层的范围是  $\sigma = 23.54$  到  $\sigma = 28.10$ 。耦合器为海洋—大气—海冰—土壤软件包 OASIS 的 2.2 版本。在耦合积分过程中, 为了克服模式存在的气候漂移问题, 根据模式耦合积分前 “spin-up” 阶段的周平均的热通量和淡水通量,

对表层盐度和表层海温进行了通量调整。模式的具体耦合过程及模拟性能检验可以参看 Furevik et al. (2003) 的文献。本文所使用的模式资料即为 BCM 研制小组完成的 300 年耦合积分结果。文中

还用到了 1949~2005 年的 NCEP/NCAR 再分析资料和美国联合台风监测中心提供的热带气旋资料。为便于和 NCEP/NCAR 再分析资料的比较, 本文将大气模式输出的所有水平空间场都插值到

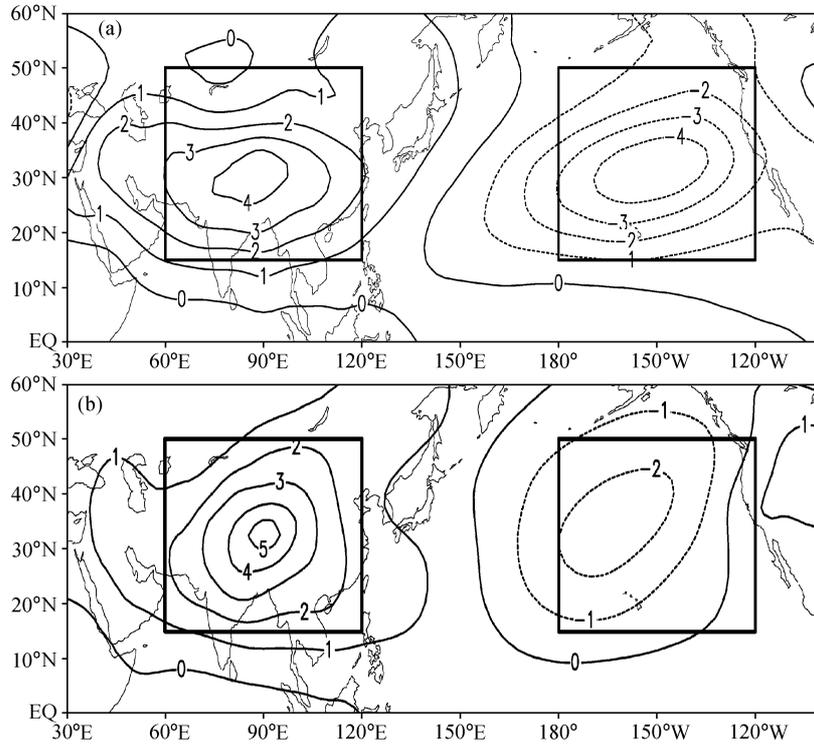


图1 夏季对流层上层 500~200 hPa 平均  $T'$  (单位:  $^{\circ}\text{C}$ ) 的气候平均态: (a) 1949~2005 年平均的 NCEP/NCAR 再分析料; (b) 300 年平均的 BCM 模式资料

Fig. 1 Climatology of the summer mean upper-tropospheric (500 - 200 hPa)  $T'$  ( $^{\circ}\text{C}$ ): (a) The NECP/NCAR reanalysis data averaged over years 1949 - 2005; (b) the BCM model data averaged over 300 years

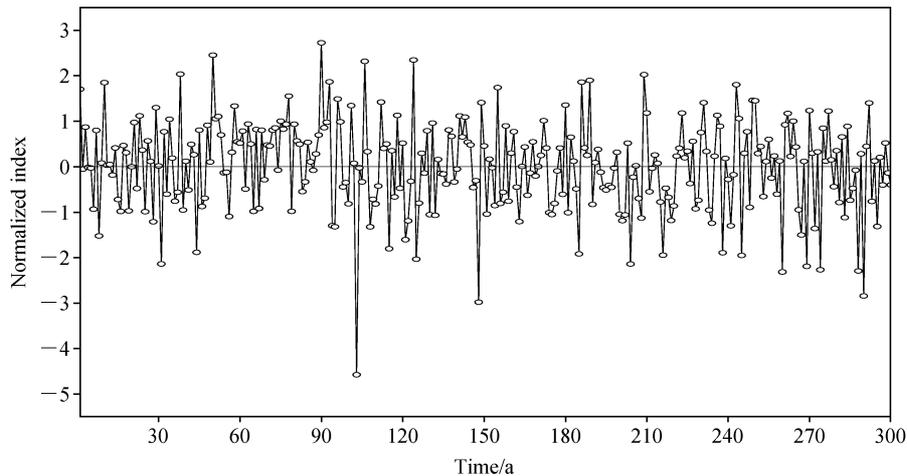


图2 模拟的夏季 APO 强度指数的年际变化时间序列

Fig. 2 Temporal series of the simulated summer APO index

2.5°×2.5°分辨率的均匀网格上。其中，大气模式资料由简约高斯网格向完全高斯网格的插值利用的是线性插值方案、由高斯网格向经纬网格的插值利用的是 NCEP/NCAR 再分析资料的插值方案。

目前，BCM 模式在 IPCC 气候变化评估以及国际和国内的气候模拟研究中得到了很好的应用，如关于年—年代时间尺度上北大西洋经向翻转环流的变化特征 (Bentsen et al., 2004)，北大西洋热盐环流的气候影响 (周天军和 Drange, 2005) 及其对大气和海洋强迫的响应 (周天军, 2003; Zhou et al., 2003; 周天军等, 2006a, 2006b)，东亚夏季风与 ENSO 联系的不稳定性 (姜大膀等, 2004)，华南春季降水及环流特征的年际变化 (韩晋平等, 2006)，NPO 与台风的关系 (王会军等, 2007) 等的研究。

### 2.2 APO 指数定义方法

APO 反映的是夏季热带外亚洲和太平洋区域对流层中上层温度场的遥相关。当亚洲大陆对流层偏暖时，北太平洋对流层偏冷，反之亦然 (Zhao et al., 2007; 赵平等, 2008)。该特征在夏季 (JJA) 500~200 hPa 平均的扰动温度 ( $T'$ ) 场 (图 1a) 上体现的很清楚。这里  $T' = T - [T]$ ， $T$  为空气温度， $[T]$  是  $T$  的纬向平均。由于对流层空气温度总体上呈现从赤道向两极减少的经向差异，所以  $T'$  可以更好的反映温度梯度在东西方向

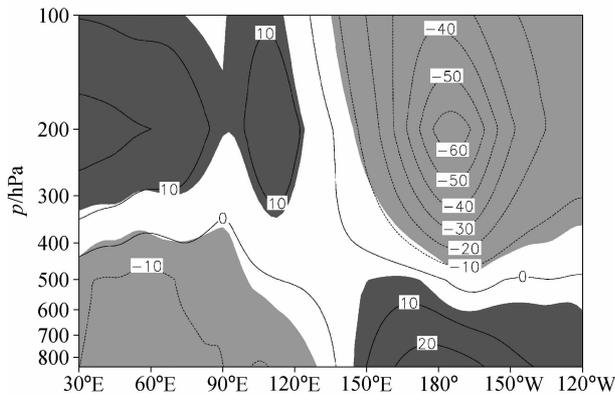


图 3 强、弱 APO 年位势高度合成差值 (单位: m) 沿 30°N 的剖面。阴影区表示通过 95% 信度检验

Fig. 3 Longitude-height cross section of the composite difference of the geopotential height (m) between strong and weak APO years along 30°N. Areas above 5% significance level are shaded

上的变化特征 (Zhao et al., 2007; 赵平等, 2008)。如图 1a 所示，欧亚大陆上空  $T'$  为正值，正值中心为 4 °C，位于青藏高原；北太平洋上空  $T'$  为负值，负值中心为 -4 °C，位于北太平洋中东部。BCM 模拟的  $T'$  空间分布 (图 1b) 与图 1a 所揭示的  $T'$  分布型十分相似，即在欧亚大陆上空为正值 (正值中心为 5 °C，位于青藏高原)，北太平洋上空为负值 (负值中心为 -2 °C，位于北太平洋中东部)。如果选取 (60°E~120°E, 15°N~50°N) 和 (180°W~120°W, 15°N~50°N) (如图

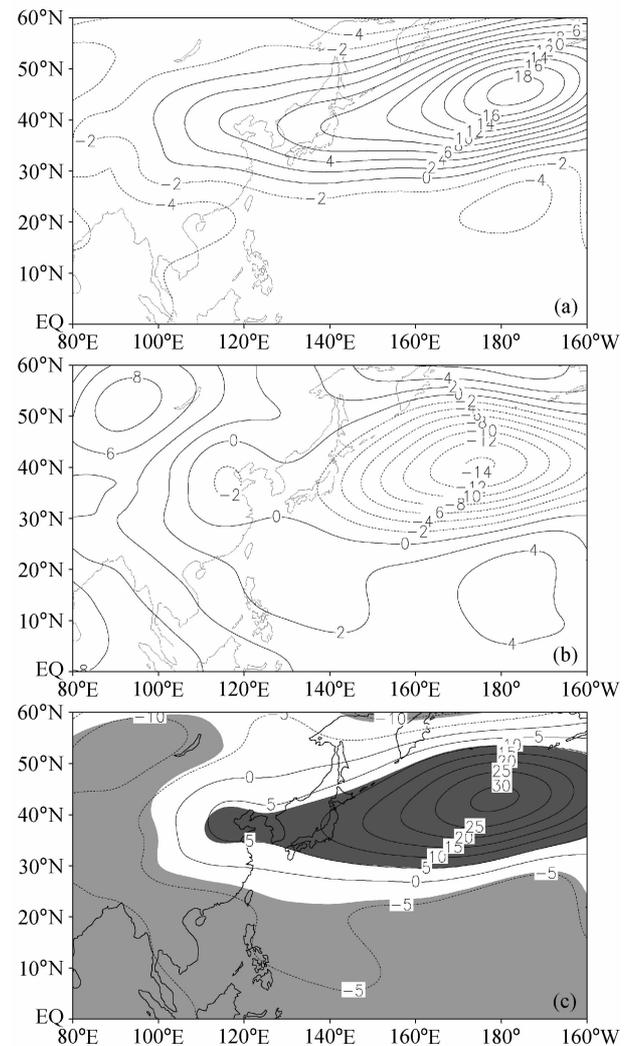


图 4 强、弱 APO 年 500 hPa 位势高度距平合成 (单位: m): (a) 强 APO 年; (b) 弱 APO 年; (c) 强、弱 APO 年差值。阴影区表示通过 95% 信度检验

Fig. 4 Composite of 500 hPa geopotential height anomaly (m): (a) Strong APO years; (b) weak APO years; (c) the difference between strong and weak APO years. Areas above 5% significance level are shaded

1 中矩形框所示) 区域平均的  $T'$  值分别作为亚洲和北太平洋区域的  $T'$  指数, 可发现两者的反位相变化关系十分显著。NCEP/NCAR 再分析资料和 BCM 模式模拟资料中的亚洲  $T'$  指数和北太平洋  $T'$  指数的相关系数分别为  $-0.82$  和  $-0.53$ , 均通过 99.9% 的信度。这些说明 BCM 模式能够模拟出 APO 型。为描述 APO 强度随时间的变化, 本文采用这两个区域平均的  $T'$  差定义 APO 指数 ( $\text{APO index} = T'_{60^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{E}, 15^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{N}} - T'_{180^{\circ}\text{W}-120^{\circ}\text{W}, 15^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{N}}$ ) (Zhao et al., 2007)。

### 3 结果分析

首先, 简要介绍一下观测资料揭示的 APO 对西北太平洋热带气旋活动的影响。观测结果显示, 夏季 APO 与西北太平洋热带气旋频数具有显著的正相关。1949~2005 年, 滤去线性趋势前后两者的相关系数分别为 0.47 和 0.33, 均通过了 95%

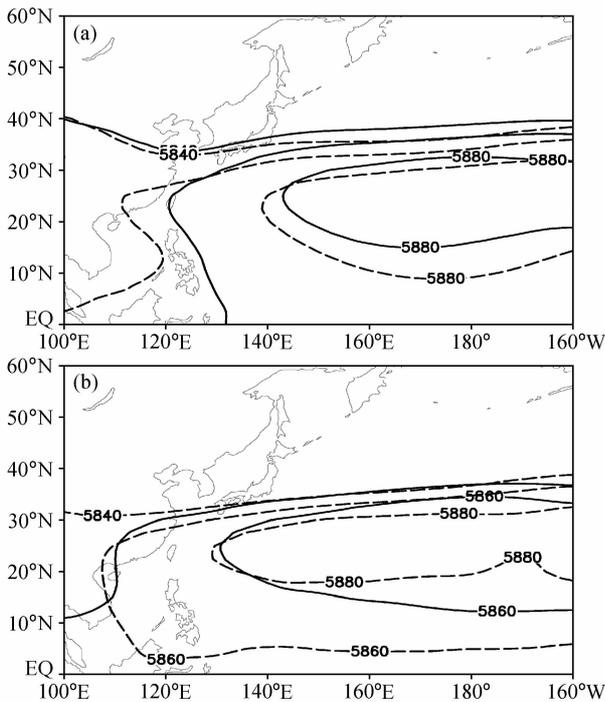


图 5 500 hPa 位势高度 (单位: m): (a) 强 APO 年 (实线) 和弱 APO 年 (虚线); (b) 西北太平洋热带气旋频数偏多年 (实线) 和偏少年 (虚线)

Fig. 5 Composite distribution of the 500 hPa geopotential height; (a) Strong (solid line) and weak (dashed line) APO years; (b) years with high (solid line) and low (dashed line) tropical cyclone frequency over the western North Pacific

的信度。APO 异常可以通过影响大尺度环流 (如西太平洋副热带高压、南亚高压、大气辐合辐散等) 来引起西北太平洋热带气旋频数的变化 (周波涛等, 2008)。接下来我们将利用 BCM 模式对该观测结果揭示的关系和相应的物理过程进行验证。不过, 由于耦合模式没有输出热带气旋数, 所以我们不能直接判断 APO 与西北太平洋热带气旋频数的关系, 而是转为先探讨模式能否再现观测事实中 APO 对大尺度环流的影响, 然后根据 APO 对环流背景的影响来评估西北太平洋热带气旋频数的变化。这是因为大尺度环流系统是热带气旋发生发展的背景条件, 分析与热带气旋生成密切相关的环流背景条件能够判断出热带气旋频数的变化趋势。王会军等 (2007) 利用 BCM 耦合模式印证观测中 NPO 与台风的关系时, 就是借助分析模式结果中 NPO 和相关气候变量的关系来反

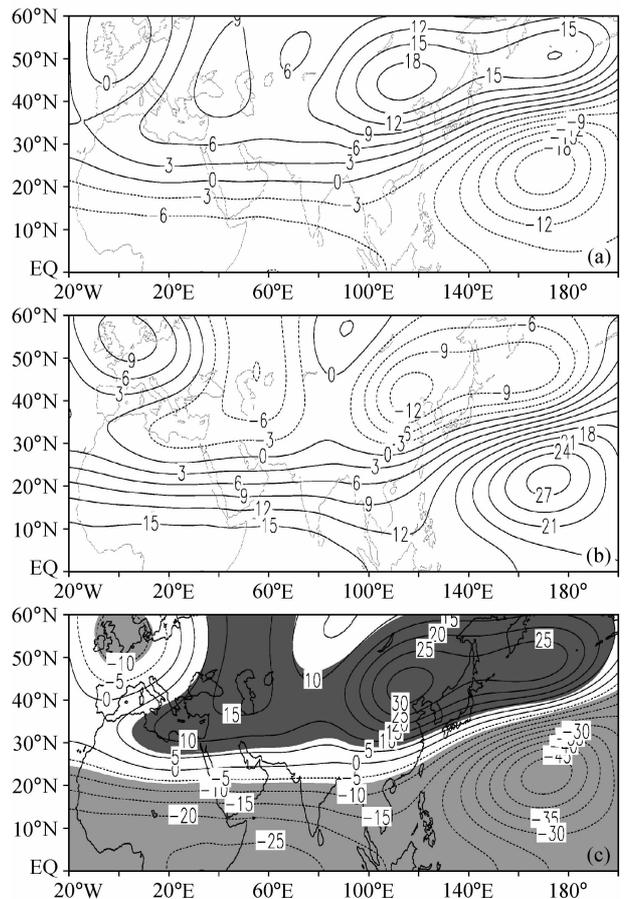


图 6 同图 4, 但为 100 hPa 位势高度距平

Fig. 6 Same as the Fig. 4, but for the 100 hPa geopotential height anomaly

映 NPO 对台风频数的影响。王会军等 (2006) 利用气候数值模式进行台风气候预测试验时,也是通过预测影响台风生成的大气变量来展望台风生成和发展的宏观形势,进而展望台风生成频数的大趋势,并取得成功。因此,本文将依照此思路通过合成分析,从大气环流角度研究耦合模式中夏季 APO 强弱变化对与西北太平洋热带气旋生成相关的环境变量的影响,并在此基础上间接讨论 APO 与西北太平洋热带气旋频数的关系。图 2 给出了 BCM 耦合模式模拟的夏季 APO 指数的年际变化时间序列。根据图 2,将标准化 APO 指数大于 1 的 42 个年份作为强 APO 年组合,将标准化 APO 指数小于 -1 的 42 个年份作为弱 APO 年组合。

APO 反映的亚洲与太平洋之间的对流层温度异常可以引起当地高、低层气压系统的变化。根据静力学方程,当某地气柱温度升高(降低)时,气柱将膨胀(收缩),结果导致低层气压降低(升高)、高层气压升高(降低)。图 3 给出了强弱 APO 年的位势高度合成差值沿 30°N 的剖面。可见,亚洲和太平洋的对流层上层分别出现正和负位势高度异常,而低层分别出现负和正位势高度异常。因此,与温度场上的 APO 现象类似,在亚洲大陆与北太平洋的中纬度气压系统之间也存在

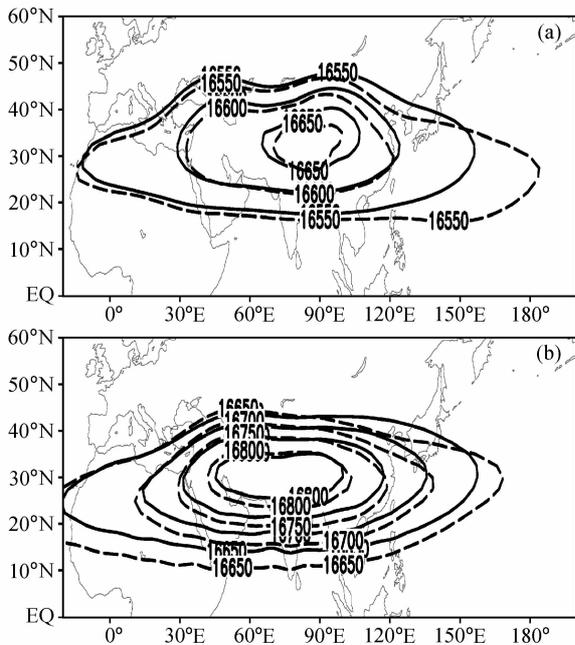


图 7 同图 5, 但为 100 hPa 位势高度  
Fig. 7 Same as Fig. 5, but for the 100 hPa geopotential height

着“跷跷板”振荡。模式结果与观测结果比较吻合 (Zhao et al. 2007; 赵平等, 2008)。关于 APO 物理本质的更多信息可参见赵平等 (2008) 的文献。由于西太平洋副热带高压和南亚高压是影响气候的两个关键系统,所以接下来将具体分析 APO 异常情景下西太平洋副热带高压和南亚高压的响应。

图 4 为夏季强、弱 APO 年对应的 500 hPa 位势高度距平分布。强 APO 年 (图 4a), 约 30°N 以南的太平洋区域为负距平, 位势偏低; 我国江淮、朝鲜半岛、日本以及北太平洋一带为正距平, 位势偏高, 意味着南海和西太平洋上空热带辐合带 (季风槽) 偏强, 西太平洋副热带高压位置偏

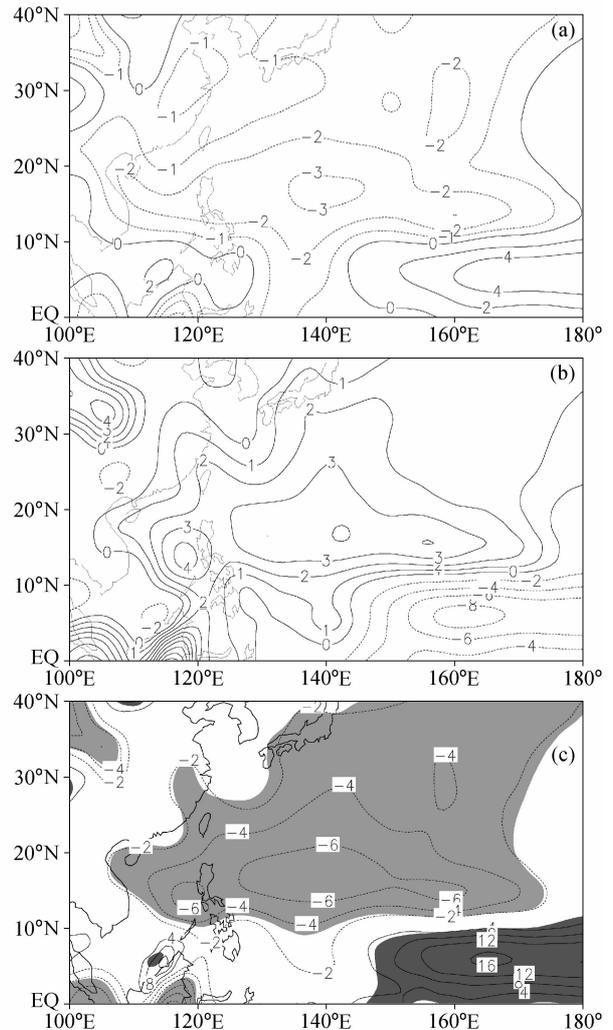


图 8 同图 4, 但为 850 hPa 散度距平 (单位:  $10^{-7} s^{-1}$ )  
Fig. 8 Same as Fig. 4, but for the 850 hPa divergence anomaly ( $10^{-7} s^{-1}$ )

北。弱 APO 年 (图 4b), 约  $30^{\circ}\text{N}$  以南的太平洋区域为正距平, 位势偏高; 我国江淮、朝鲜半岛、日本以及北太平洋一带为负距平, 位势偏低, 意味着南海和西太平洋上空热带辐合带 (季风槽) 偏弱, 西太平洋副热带高压位置偏南。两者的合成差值 (图 4c) 显示,  $30^{\circ}\text{N}$  以南太平洋区域的负距平差异和从我国江淮经由朝鲜半岛和日本到北太平洋一带的正距平差异是显著的 (通过 95% 的信度检验)。图 5a 进一步给出了强、弱 APO 年各自对应的位势高度分布。弱 APO 年对应的 5880 m 特征线的西边界位于  $139^{\circ}\text{E}$ , 南边界位于  $9^{\circ}\text{N}$ ; 强 APO 年对应的 5880 m 特征线的西边界位于  $143^{\circ}\text{E}$ , 南边界位于  $15^{\circ}\text{N}$ , 相比于弱 APO 年东移了 4 个经度, 北移了 6 个纬度。强 APO 年对应的 5860 m 特征线的位置也较弱 APO 年偏东偏北。

图 6 为强、弱 APO 年对应的 100 hPa 位势高度距平合成分布。对比图 6a 和 b 可以发现, 强 APO 年, 约  $25^{\circ}\text{N}$  以南区域为负距平, 位势偏低; 以北区域为正距平, 位势偏高。反过来, 弱 APO 年, 约  $30^{\circ}\text{N}$  以南区域为正距平, 位势偏高; 以北区域为负距平, 位势偏低。信度检验 (图 6c) 表明该区域位势高度异常变化也是显著的。同样, 我们也给出了强弱 APO 年各自对应的位势高度分布 (图 7a)。当夏季 APO 处于正位相时, 代表南亚高压的 16550 m 等值线的南边界位于  $18^{\circ}\text{N}$ ; 当夏季 APO 处于负位相时, 16550 m 等值线的南边界位于  $16^{\circ}\text{N}$  附近。强 APO 年份的南亚高压位置比弱 APO 年份的南亚高压位置要北移 2 个纬度。

因此, 模式结果揭示, 当 APO 偏强 (弱) 时, 西太平洋副热带高压位置偏东 (西) 偏北 (南), 南亚高压位置偏北 (南)。研究表明, 太平洋副热带高压以及南亚高压的位置对热带气旋频数具有显著影响 (丁一汇和莱特, 1983; 孙秀荣和端义宏, 2003; 张庆云和彭京备, 2003; Ho et al., 2004)。从图 5b 和 7b 也可以看到, 对应于西北太平洋热带气旋偏多 (少) 年, 西太平洋副热带高压位置偏东 (西) 偏北 (南), 南亚高压位置偏北 (南)。西北太平洋热带气旋偏多 (少) 年定义为标准化后的西北太平洋热带气旋频数大 (小) 于 1 (-1) 的年份。以此分析, APO 偏强 (弱) 时的大气环流背景有 (不) 利于西北太平洋热带气旋发生发展, 西北太平洋热带气旋偏多 (偏

少)。这些与观测资料揭示的特征相类似 (周波涛等, 2008)。不过, 相比于观测资料, 模拟的南亚高压强度系统性偏弱, 所以, 强弱 APO 合成年份对应的 100 hPa 位势高度值比观测的偏低。

对流层高、低层散度场的相互配置是低层热带气旋发生、发展的一个重要因素。在西北太平洋热带气旋生成源区, 低层大气异常辐合和高层大气异常辐散的配置有利于西北太平洋热带气旋偏多, 反之亦然 (图略)。图 8 和 9 分别为强、弱 APO 年 850 hPa 和 200 hPa 散度距平合成。强 APO 年, 低层  $10^{\circ}\text{N}$  以北的西太平洋地区为负距平, 大气异常辐合 (图 8a); 高层西北太平洋热带气旋的主要源地是正距平 (图 9a), 大气异常辐

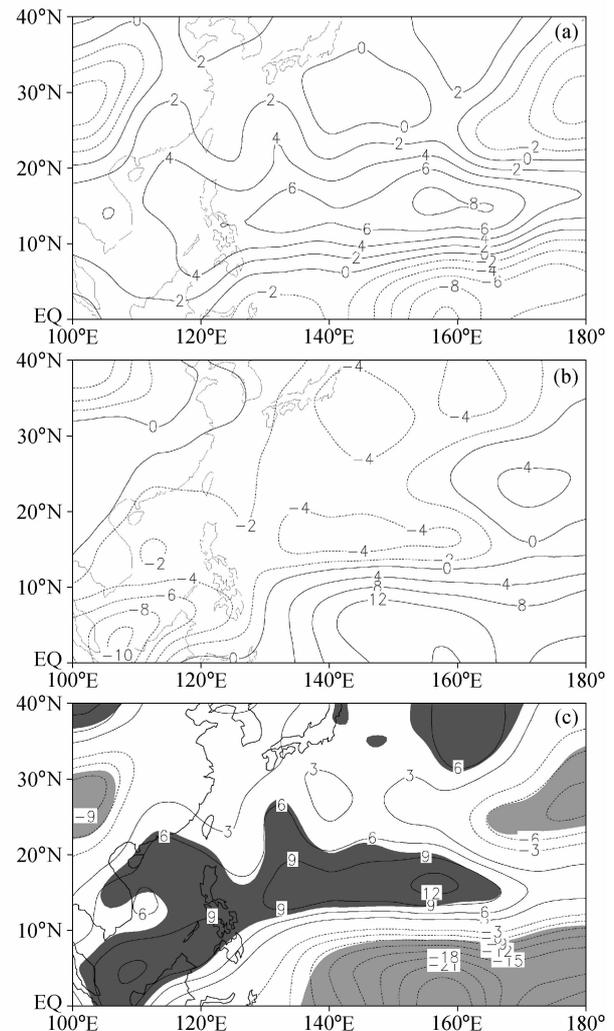


图 9 同图 4, 但为 200 hPa 散度距平 (单位:  $10^{-7}\text{s}^{-1}$ )

Fig. 9 Same as Fig. 4, but for the 200 hPa divergence anomaly ( $10^{-7}\text{s}^{-1}$ )

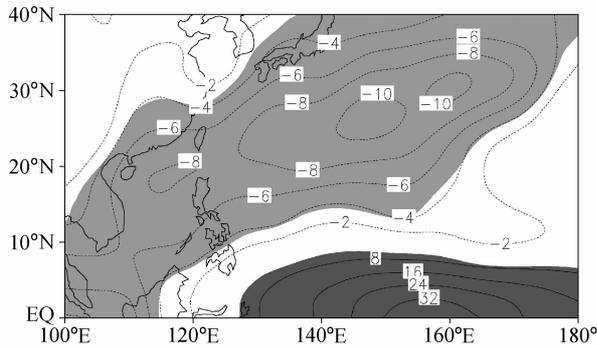


图 10 强、弱 APO 年 OLR 合成差值分布 (单位:  $W \cdot m^{-2}$ )。阴影区表示通过 95% 信度检验  
Fig. 10 Composite difference of OLR ( $W \cdot m^{-2}$ ) between strong and weak APO years. Areas above 5% significance level are shaded

散, 说明强 APO 年西北太平洋热带气旋的主要源地上空低层是强的辐合, 而高层是强的辐散。这也与观测结果相类似 (周波涛等, 2008)。散度场的这种配置关系将导致该区域出现强烈的上升运动, 有利于西北太平洋热带气旋的生成。与此相反, 弱 APO 年, 低层  $10^{\circ}N$  以北的西太平洋地区为正距平 (图 8b); 高层  $10^{\circ}N$  以北的西太平洋地区为负距平 (图 9b), 说明弱 APO 年西北太平洋热带气旋的主要源地上空低层是异常辐散, 而高层是异常辐合, 这种配置将抑制该区域的对流活动, 不利于西北太平洋热带气旋的生成。散度场差值的信度检验 (图 8c 和 9c) 表明这些区域的变化是显著的。西太平洋地区的对流活动异常变化也可从 OLR 合成差值分布 (图 10) 得到证实。由图 10 可见, 西北太平洋热带气旋主要源区的 OLR 差值为负, 表明强 (弱) APO 年里 OLR 为负 (正) 距平, 对流活动加强 (减弱)。

#### 4 结论

利用 BCM 耦合模式的 300 年气候态数值积分结果, 从大气环流角度论证了 APO 年际变化对西北太平洋热带气旋频数的影响。结果表明, 当夏季 APO 异常偏强时, 西太平洋副热带高压位置偏东偏北, 南亚高压位置偏北, 西北太平洋低层大气异常辐合, 高层大气异常辐散, 对流活动旺盛。由于这种环流背景有利于西北太平洋热带气旋发生发展, 因此, 西北太平洋热带气旋频数偏多。

夏季 APO 异常偏弱时的环流形势与上述环流形势刚好相反, 不利于西北太平洋热带气旋的发生发展, 西北太平洋热带气旋频数因而偏少。该模式结果和观测结果基本吻合, 初步印证了由观测资料所得到的结论 (周波涛等, 2008), 表明 APO 确实可以影响到与西北太平洋热带气旋生成相关的大尺度大气环流场, 也表明夏季 APO 与西北太平洋热带气旋频数之间的正相关关系在更长时间尺度上存在。当然, 该研究仅仅是单模式结果, 基于更多的耦合气候系统模式的分析研究还是非常需要的, 今后将会加强这方面的研究工作。

#### 参考文献 (References)

Bentsen M, Drange H, Furevik T, et al. 2004. Simulated variability of the Atlantic meridional overturning circulation [J]. *Climate Dyn.*, 22: 701-720.

Bleck R, Rooth C, Hu D, et al. 1992. Salinity-driven thermocline transients in a wind and thermohaline-forced isopycnic coordinate model of the North Atlantic [J]. *J. Phys. Oceanogr.*, 22: 1486-1505.

陈联寿. 1965. 盛夏亚洲中高纬流型与西太平洋台风路径的关系 [J]. *气象学报*, 35 (4): 476-485. Chen Lianshou. 1965. Flow patterns in westerlies in relation to the East Asia typhoon tracks [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 35 (4): 476-485.

丁一汇, 莱特. 1983. 影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件 [J]. *海洋学报*, 5 (5): 561-574. Ding Yihui, Wright E R. 1983. The large scale circulation condition for the western Pacific typhoon genesis [J]. *Acta Oceanologica Sinica (in Chinese)*, 5 (5): 561-574.

Déqué M, Dreveton C, Braun A, et al. 1994. The ARPEGE/IFS atmosphere model: A contribution to the French community climate modeling [J]. *Climate Dyn.*, 10: 249-266.

范可. 2007. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测因子? [J]. *中国科学 (D 辑)*, 37 (6): 851-856. Fan Ke. 2007. North Pacific sea ice cover, a predictor for the western North Pacific typhoon frequency? [J]. *Science in China (Ser. D)*, 50: 1251-1257.

Furevik T, Bentsen M, Drange H, et al. 2003. Description and evaluation of the Bergen climate model: ARPEGE coupled with MICOM [J]. *Climate Dyn.*, 21: 27-51.

韩晋平, 王会军, 姜大勝. 2006. 耦合模式长期积分资料所揭示的华南春季降水及环流特征的年际变化 [J]. *气候与环境研究*, 11 (2): 194-202. Han Jinping, Wang Huijun, Jiang Dabang. 2006. Interannual variation of spring precipitation and circulation in South China as simulated by a coupled model [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 11 (2): 194-202.

- Ho C H, Baik J J, Kim J H, et al. 2004. Interdecadal changes in summertime typhoon tracks [J]. *J. Climate*, 17: 1767–1776.
- 姜大膀, 王会军, Drange H, 等. 2004. 耦合模式长期积分中东亚夏季风与 ENSO 联系的不稳定性 [J]. *地球物理学报*, 47 (6): 976–981. Jiang Dabang, Wang Huijun, Drange H, et al. 2004. Instability of the East Asian summer monsoon – ENSO relationship in a coupled global atmosphere – ocean GCM [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 47 (6): 976–981.
- 孙秀荣, 端义宏. 2003. 对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数关系的初步分析 [J]. *大气科学*, 27 (1): 67–74. Sun Xiurong, Duan Yihong. 2003. A study of the relationships between the East Asian summer monsoon and the tropical cyclone frequency in the Northwestern Pacific [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 27 (1): 67–74.
- 陶诗言, 徐淑英, 郭其蕴. 1962. 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流型的特征 [J]. *气象学报*, 32 (1): 91–103. Tao Shiyang, Xu Shuying, Guo Qiyun. 1962. The characteristics of the zonal and meridional circulation over tropical and subtropical regions in eastern Asia in summer [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 32 (1): 91–103.
- 王会军, 范可. 2006. 西北太平洋台风生成频次与南极涛动的关系 [J]. *科学通报*, 51 (24): 2910–2914. Wang Huijun, Fan Ke. 2007. Relationship between the Antarctic oscillation in the western North Pacific typhoon frequency [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52: 561–565.
- 王会军, 郎咸梅, 范可, 等. 2006. 关于 2006 年西太平洋台风活动频次的气候预测试验 [J]. *气候与环境研究*, 11 (2): 133–137. Wang Huijun, Lang Xianmei, Fan Ke, et al. 2006. Real-time climate prediction experiment for the typhoon frequency in the western North Pacific for 2006 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 11 (2): 133–137.
- 王会军, 孙建奇, 范可. 2007. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 37 (7): 966–973. Wang Huijun, Sun Jianqi, Fan Ke. 2007. Relationships between the North Pacific oscillation and the typhoon/hurricane frequencies [J]. *Science in China (Ser. D)*, 50 (9): 1409–1416.
- 谢义炳, 陈受钧, 张一良, 等. 1963. 东南亚基本气流与台风发生的一些事实的统计分析 [J]. *气象学报*, 33 (2): 217–229. Xie Yibing, Chen Shoujun, Zhang Yiliang, et al. 1963. A preliminarily statistic and synoptic study about the basic currents over southeaster Asia and the initiation of typhoons [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 33 (2): 217–229.
- 许健民, 谷美荣. 1978. 北半球夏季西太平洋热带地区的环流特征及其与台风发生的关系 [J]. *大气科学*, 2: 174–178. Xu Jianmin, Gu Meirong. 1978. The relationship between the circulation features and the typhoon genesis over the western Pacific in summer [J]. *Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese)*, 2: 174–178.
- 张庆云, 彭京备. 2003. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响 [J]. *大气科学*, 27 (1): 97–106. Zhang Qingyun, Peng Jingbei. 2003. The interannual and interdecadal variations of East Asian summer circulation and its impact on the landing typhoon frequency over China during summer [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 27 (1): 97–106.
- Zhao P, Zhu Y, Zhang R. 2007. An Asian – Pacific teleconnection in summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability [J]. *Climate Dyn.*, 29: 293–303.
- 赵平, 陈军明, 肖栋, 等. 2008. 夏季亚洲 – 太平洋涛动与大气环流和季风降水 [J]. *气象学报*, 66 (5): 716–729. Zhao Ping, Chen Junming, Xiao Dong, et al. 2008. Summer Asian – Pacific oscillation and its relationship with atmospheric circulation and monsoon rainfall [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 66 (5): 716–729.
- 周波涛, 崔绚, 赵平. 2008. 亚洲 – 太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 38 (1): 118–123. Zhou Botao, Cui Xuan, Zhao Ping. 2008. Relationship between the Asian – Pacific oscillation and the tropical cyclone frequency in the western North Pacific [J]. *Science in China (Ser. D)*, 51: 380–385.
- Zhou B, Cui X. 2008. Hadley circulation signal in the tropical cyclone frequency over the western North Pacific [J]. *J. Geophys. Res.*, 113: D16107, doi: 10.1029/2007JD009156.
- 周天军. 2003. 全球海气耦合模式中热盐环流对大气强迫的响应 [J]. *气象学报*, 61 (2): 164–179. Zhou Tianjun. 2003. Adjustment of the North Atlantic thermohaline circulation to the atmospheric forcing in a global air – sea coupled model [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 61 (2): 164–179.
- Zhou Tianjun, Drange H, Furevik T, et al. 2003. Response of the North Atlantic thermohaline circulation to the atmospheric forcing in a global air – sea coupled model [J]. *CLIVAR Exchange*, 28: 1–5.
- 周天军, Drange H. 2005. 卑尔根气候模式中大西洋热盐环流年代际与年际变率的气候影响 [J]. *大气科学*, 29 (2): 167–177. Zhou Tianjun, Drange Helege. 2005. Climate impacts of the decadal and interannual variability of the Atlantic thermohaline circulation in Bergen climate model [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 29 (2): 167–177.
- 周天军, 宇如聪, 郜永祺, 等. 2006a. 北大西洋年际变率的海气耦合模式模拟 I: 局地海气相互作用 [J]. *气象学报*, 64 (1): 1–17. Zhou Tianjun, Yu Rucong, Gao Yongqi, et al. 2006a. Ocean – atmosphere coupled model simulation of north Atlantic interannual variability I: Local air – sea interaction [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 64 (1): 1–17.
- 周天军, 宇如聪, 郜永琪, 等. 2006b. 北大西洋年际变率的海气耦合模式模拟 II: 热带太平洋强迫 [J]. *气象学报*, 64 (1): 18–29. Zhou Tianjun, Yu Rucong, Gao Yongqi, et al. 2006b. Ocean – atmosphere coupled model simulation of North Atlantic interannual variability II: Tropical tele-connection [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 64 (1): 18–29.