

亚洲-太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系

周波涛^{①*}, 崔绚^②, 赵平^③

① 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081;

② 中国气象局国家气象中心, 北京 100081;

③ 中国气象科学研究院, 北京 100081

* E-mail: zhoubt@cma.gov.cn

收稿日期: 2007-09-01; 接受日期: 2007-10-26

国家自然科学基金项目(批准号: 40631005, 40625014, 40620130113)资助

摘要 通过对观测资料的分析, 初步探讨了夏季亚洲-太平洋涛动 (Asian-Pacific Oscillation, APO) 和西北太平洋热带气旋频数的关系, 发现 APO 强弱的年际变化与西北太平洋热带气旋频数多寡之间具有显著的正相关关系, 夏季 APO 偏强(弱)时, 西北太平洋热带气旋偏多(少). 研究进一步揭示, APO 变化可导致西北太平洋区域主要大气环流系统出现异常, 而大气环流的这种异常变化正是 APO 与西北太平洋热带气旋频数相联系的原因. 当 APO 处于正位相时, 西太平洋副热带高压减弱, 位置偏东偏北; 西北太平洋地区高层大气异常辐散, 低层大气异常辐合; 纬向风垂直切变减弱. 这些变化均为西北太平洋热带气旋的形成提供了有利的大气环流条件, 因此, 西北太平洋热带气旋频数偏多. 反之亦然.

关键词

亚洲-太平洋涛动
西北太平洋
热带气旋
大气环流

西北太平洋热带气旋活动, 包括气旋生成的个数, 源地和路径, 存在着明显的年际变化. 这种年际变化主要决定于影响热带气旋生成的海温条件和大气环流条件. 不少研究指出厄尔尼诺-南方涛动 (El Nino-Southern Oscillation, ENSO) 对热带气旋的发生频数、强度、位置以及登陆特征都具有明显的影响^[1~6]. ENSO 影响热带气旋活动主要是通过影响纬向风垂直切变, 区域大气辐合辐散, 海平面气压, Walker 环流以及季风槽活动来实现的^[7,8].

大尺度、行星尺度环流系统的变化是造成西北太平洋热带气旋活动年际变化的另一重要原因, 热带气旋活动的变化与影响热带气旋生成的大尺度大气环流密切相关^[9,10]. Liebmann 等^[11]研究发现大气季节内振荡与西北太平洋热带气旋生成的位置和数量的关系成正相关. Gray^[7]和 Chan^[12]提出平流层准两年振荡对热带气旋活动具有影响. 此外, 由于西北太平洋与东亚相连, 东亚大气环流(季风环流及其成员)会对

热带气旋产生明显的影响^[13,14]. 孙秀荣和端义宏^[15]分析了东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数的关系, 指出强夏季风年西北太平洋热带气旋频数偏多, 而弱夏季风年西北太平洋热带气旋频数偏少. 张庆云等^[16]揭示东亚夏季大气环流形势如南亚高压中心位置、西太平洋副热带高压脊线位置、西太平洋热带地区上空的东风急流强度等均影响着登陆中国台风数的多寡. 大气涛动或遥相关型对热带气旋活动也具有显著的影响. 如王会军等^[17,18]揭示出西北太平洋台风生成频次的年际变化与南极涛动 (Antarctic Oscillation, AAO) 之间存在显著的负相关关系, 而与北太平洋涛动 (North Pacific Oscillation, NPO) 之间存在显著的正相关关系.

由此可见, 热带气旋活动的年际变化是非常复杂的, 它受到诸多因子的影响. 所以, 研究其他因素对热带气旋活动的可能影响对于了解热带气旋的变异和可预测性是非常重要的. 最近, Zhao 等^[19]通过对

观测资料的分析, 发现在热带外亚洲和太平洋两个区域存在显著的遥相关型, 即亚洲-太平洋涛动 (APO), 并指出 APO 的异常变化可以导致大尺度大气环流如副热带高压、南亚高压, 西风急流带等发生异常. 因此, 本文将基于已有的研究工作基础, 重点研究 APO 和西北太平洋热带气旋频次的关系以及它们之间的联系机制.

1 所用资料及 APO 介绍

本文所用的西北太平洋台风资料来自美国联合台风监测中心 (Joint Typhoon Warning Center)^[20], 分析的时间长度为 1949~2005 年. 其他大气资料来自美国国家环境预报中心和大气研究中心 (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)^[21], 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 垂直层共有 17 层.

在分析 APO 与西北太平洋热带气旋频数关系之前, 我们首先对 APO 作一下简要说明. APO 反映的是热带外亚洲和太平洋区域上空大气环流的一种遥相关特征. 图 1 给出了 1949~2005 年平均的夏季 (June-July-August, JJA) 500~200 hPa 垂直积分的瞬变温度 (T') 的气候状态. 由图可见, 欧亚大陆上空为正值 (正值中心为 4°C , 位于青藏高原), 北太平洋上空为负值 (负值中心为 -4°C , 位于北太平洋中东部), 呈现一种跷跷板式的振荡. 如选取 ($60^\circ \sim 120^\circ\text{E}$, $15^\circ \sim 50^\circ\text{N}$) 和 ($180^\circ \sim 120^\circ\text{W}$, $15^\circ \sim 50^\circ\text{N}$) (如图 1 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, 可发现两者呈现明显的反相关变化, 相关系数为 -0.82 . 本文即采用这两个区域平均的瞬变温度差定义 APO 指数 ($\text{APO} = T'_{60^\circ \sim 120^\circ\text{E}, 15^\circ \sim 50^\circ\text{N}} - T'_{180^\circ \sim 120^\circ\text{W}, 15^\circ \sim 50^\circ\text{N}}$), 以此来描绘 APO 强度的变化, 关

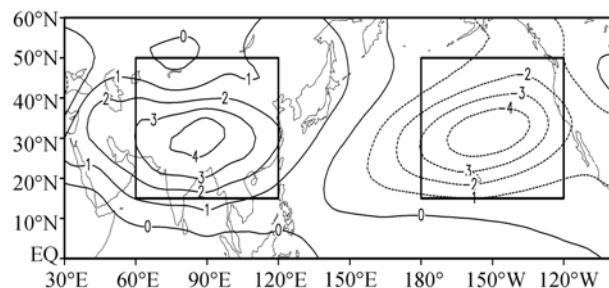


图 1 夏季 (JJA) 对流层上层 500~200 hPa 平均的瞬变温度的气候平均态

于 APO 更详细的论述请参考文献 [19].

2 APO 与西北太平洋热带气旋频次

图 2(a) 为 1949~2005 年夏季 APO 和西北太平洋热带气旋频次 (Western North Pacific Tropical Cyclone Frequency, WNPTCF) 的标准化时间序列. 从图 2 中可以看出, APO 与 WNPTCF 的变化形式较为一致, 具有显著的同向变化对应关系, 两者的相关系数为 0.47 , 通过 99% 的显著性检验. APO 和 WNPTCF 除了具有明显的年际变化外, 还具有显著的年代际变化特征. 大约 1975 年以前, APO 位于正位相阶段, 即对应于暖的亚洲大陆 T' 和冷的北太平洋 T' , APO 相对较强; 1975 年以后, APO 基本上位于负位相阶段, 即对应于冷的亚洲大陆 T 和暖的北太平洋 T' , APO 相对较弱. 对于西北太平洋热带气旋而言, 20 世纪 70 年代中期之前为热带气旋发生频率相对较高时期, 70 年代中期之后为热带气旋发生频率相对较低时期. 因此, APO 与 WNPTCF 的长期变化均表现出明显的下降趋势. 滤去线性趋势项后, 两者的相关系数为 0.33 (通过 95% 的信度), 仍存在很好的同位相对应关系 (图 2(b)). 因此, 无论在年代际时间尺度还是在年际时间尺度上, 夏季 APO 强弱变化与西北太平洋热带气旋多寡之间均存在显著联系. 当夏季 APO 偏强 (弱) 时, 西北太平洋热带气旋偏多 (少). 为探讨两者在年际时间尺度上的联系, 在随后的相关分析中均扣除了线性趋势.

为了进一步印证 APO-WNPTCF 的正相关关系, 我们分析了 APO 和 WNPTCF 分别与 925 hPa 涡度的相关分布 (图 3). APO 与涡度的相关系数在赤道太平洋地区为负值, 而在其以北区域基本上为正值 (图 3(a)). WNPTCF 与涡度场的相关分布特征 (图 3(b)) 在太平洋区域同 APO 与涡度相关场基本类似, 即在赤道太平洋地区为负相关, 在其以北区域为正相关. 因此, 涡度场的相关分析确证了 APO 与 WNPTCF 正相关关系的存在.

图 4 为 APO 和 WNPTCF 分别与 850 hPa 风场的相关分布. 图 4(b) 显示, 与 WNPTCF 变化相联系的低层大气环流异常主要表现为在热带西太平洋区域出现异常的气旋型环流, 说明当西太平洋热带季风低压环流加强 (减弱) 时, 西北太平洋热带气旋往往偏多 (少). 图 4(a) 给出的 APO 与 850 hPa 风场的相关分布

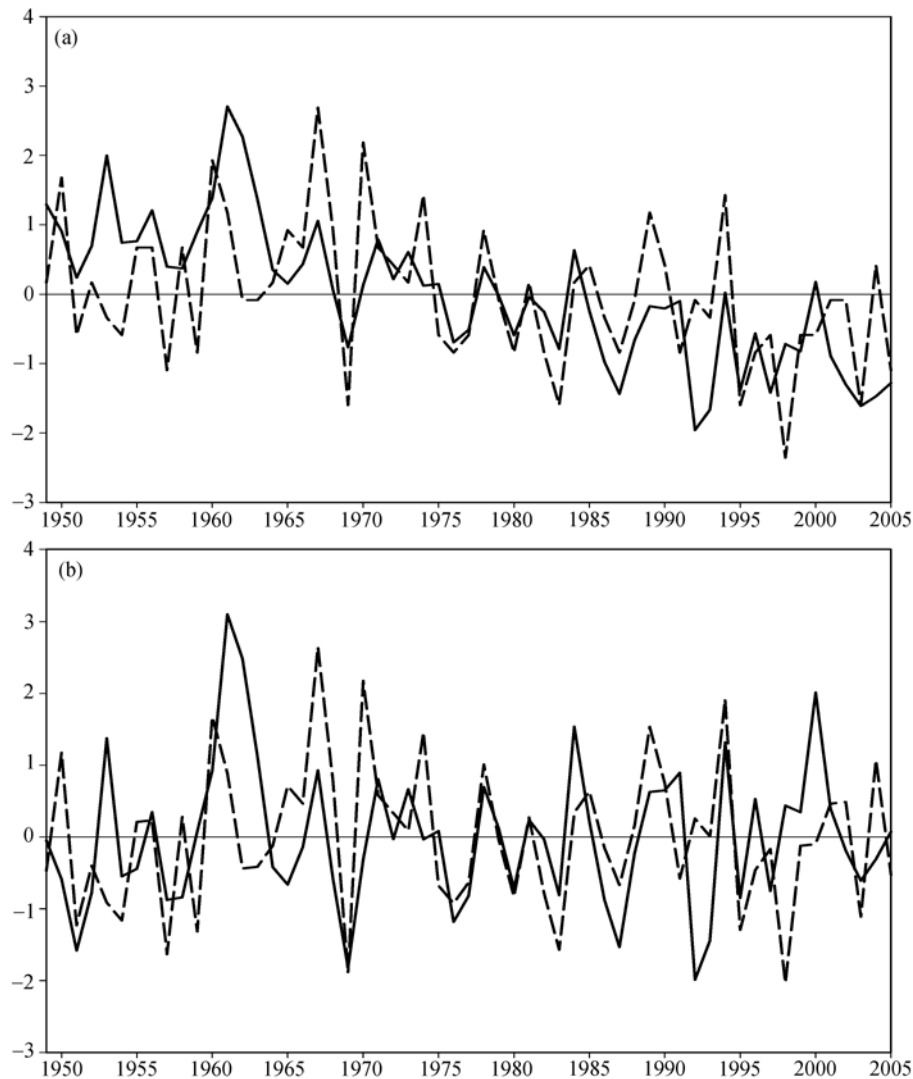


图 2 滤去趋势前(a)和趋势后(b), 夏季 APO(实线)和西北太平洋热带气旋频数(虚线)的标准化时间序列

在热带西太平洋地区与图4(b)相似. 所以, 图4很好的揭示出 APO 偏强时, 热带西太平洋热带季风低压偏强, 有利于西北太平洋热带气旋的发生; 反之亦然.

3 APO 与西北太平洋热带气旋联系的可能机制

上述的相关分析结果表明 APO 与 WNPTCF 具有显著的正相关关系, 接下来讨论一下 APO 和 WNPTCF 相关联的可能机制. 为了进行组合分析, 我们选择扣除线性趋势后的标准化 APO 大于 0.5 的年份作为 APO 正异常组合, 小于-0.5 的年份作为 APO 负异常组合. 同时, 为了尽可能排除 ENSO 的可能影

响, 在进行组合选取前将 El Nino 年(1951, 1953, 1957, 1963, 1965, 1972, 1982, 1987, 1991, 1997, 2002 年)和 La Nina 年(1954, 1955, 1956, 1964, 1970, 1971, 1973, 1975, 1988, 1998, 1999 年)剔除掉. 这样选取的正负 APO 距平组合分别共有 11 和 15 年.

图 5 为强弱 APO 年 500 hPa 位势高度的合成差异分布. 可见, 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, 这也就意味着西太平洋副热带高压位置偏北. 图 5(b)进一步给出了强弱 APO 年各自对应的位势高度分布情况. 对比发现, 弱 APO 对应的 5860 和 5880 m 西界分别位于 113°E 和 135°E

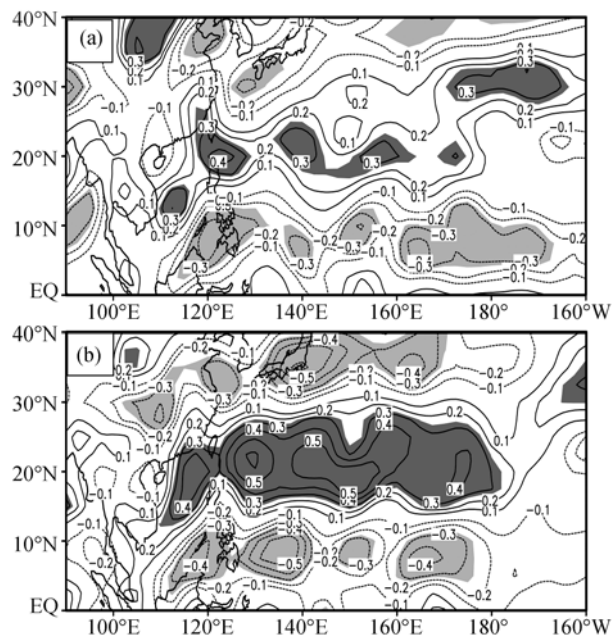


图 3 夏季 APO(a)和 WNPTCF(b)与 925 hPa 涡度的相关系数的空间分布

阴影区表示通过 95%信度检验的区域

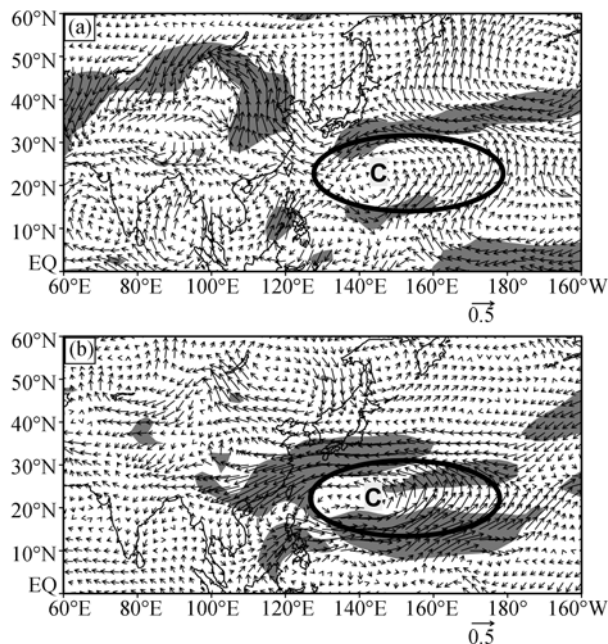


图 4 夏季 APO(a)和 WNPTCF(b)分别与 850 hPa 风场的相关系数空间分布

阴影区表示通过 95%信度检验的区域

附近, 南界分别位于 9°N 和 20°N 附近; 强 APO 对应的 5860 m 西界位于 123°E 附近, 南界位于 11°N, 相比于弱 APO 年东移 10 个经度, 北移 2 个纬度, 而且

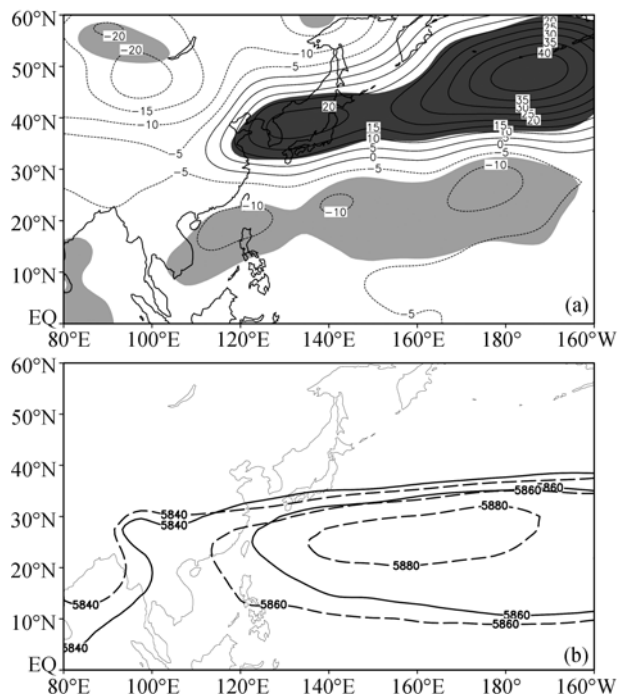


图 5 强弱 APO 年 500 hPa 位势高度合成差值(a)以及各自对应的位势高度(b)

为清晰起见, (b)中只给出了 5840, 5860 和 5880 等值线, 实线对应强 APO 年, 虚线对应弱 APO 年. 阴影区表示通过 95%信度检验的区域. 单位: m

5880 m 等值线消失. 因此, 夏季 APO 偏强(弱)时, 西太平洋副热带高压偏弱(强), 主体位置偏东偏北(偏西偏南), 有(不)利于西北太平洋热带气旋的形成 [10,16]. APO 异常时, 低层和高层大气环流也相应出现异常(图略). 当 APO 处于正位相时, 西北太平洋地区海平面气压为负异常, 有利于该地区低压扰动和对流活动的发生发展. 高层 200 hPa 南亚高压偏强, 位置偏北, 同样有利于西北太平洋热带气旋的发生. 反之亦然.

图 6 给出了强弱 APO 年 850 和 150 hPa 风场合成差值的空间分布. 在 850 hPa, 30°N 附近为东风异常, 在其北侧为异常的反气旋环流, 南侧为异常的气旋型环流, 结果导致西北太平洋地区形成西风异常(见图中标出的椭圆区域). 在 150 hPa, 西北太平洋区域纬向风为东风异常. 因此, 在西北太平洋地区, 低层纬向风出现西风异常, 高层出现东风异常. 由于气候意义下, 该区域低层为东风, 高层为西风, 所以这样的高低层纬向风异常配置会导致纬向风的垂直切变

减小, 而纬向风垂直切变是热带气旋生成和发展的重要条件之一. 弱的纬向风垂直切变有利于热带气旋的生成和发展, 强的纬向风垂直切变则可以阻止热带气旋的产生或者减弱热带气旋的强度甚至使热带气旋消亡 [22]. 因此, 夏季APO偏强时, 纬向风垂直切变减弱, 有利于西北太平洋热带气旋的形成, WNPTCF因而偏多; 反过来, APO偏弱时, 纬向风垂直切变加大, 不利于西北太平洋热带气旋形成, WNPTCF因而偏少.

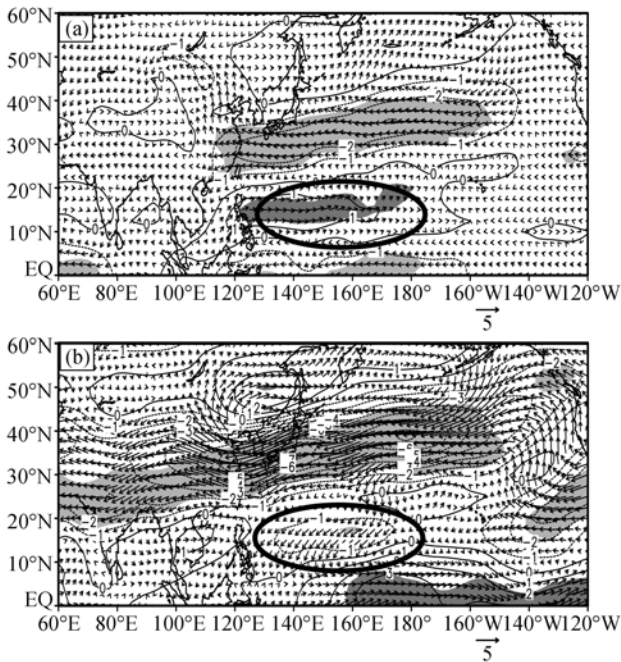


图6 强弱APO年对应的850 hPa(a)和150 hPa(b)风场的合成差值的空间分布

阴影区表示通过95%信度检验的区域. 等值线表示纬向风的差异, 矢量表示水平风场. 单位: m/s

对流层高低层散度场的相互配置也是热带气旋发生发展的重要因素之一. 图7为强弱APO年1000和150 hPa的散度合成差值的空间分布. 结果表明, 低层1000 hPa, 10°~30°N纬度带内为异常辐合, 南侧为异常辐散. 在高层150 hPa, 10°N以北基本上为异常辐散, 以南为异常辐合, 这种上下配置作用将会导致西北太平洋热带气旋主要源地出现强烈的上升运动, 有利于西北太平洋热带气旋的形成. 因此, APO偏强(弱)时, WNPTCF也随之增多(减少).

近期的一些研究工作还揭示南半球高纬大气环

流如AAO可以通过从南半球中高纬到赤道西太平洋区的径向遥相关波列影响西北太平洋热带气旋频次的多寡 [17,23], 北半球NPO以及冬春季北太平洋海冰也可通过大气遥相关引起西北太平洋热带气旋活动异常 [18,24]. 采用这些高纬的预测因子, 范可 [25] 建立了一个西北太平洋台风生成频次的新预测模型, 该模型比较合理的反映出西北太平洋台风频次的年际变化. 这些研究均反映出西北太平洋热带气旋活动除受低纬环流的影响外, 还受到两半球高纬环流的影响. 通过分析发现, APO变化可导致高纬环流发生异常. 从强弱APO年海平面气压合成差异分布(图略)可见, 太平洋地区30°N两侧存在南负北正的异常跷跷板振荡, 亦即NPO型. 根据王会军等 [18] 的研究结果, 对应于该异常NPO情景, WNPTCF往往偏多. 因此, APO变化引起的NPO异常也可能是APO-WNPTCF相联系的一种途径.

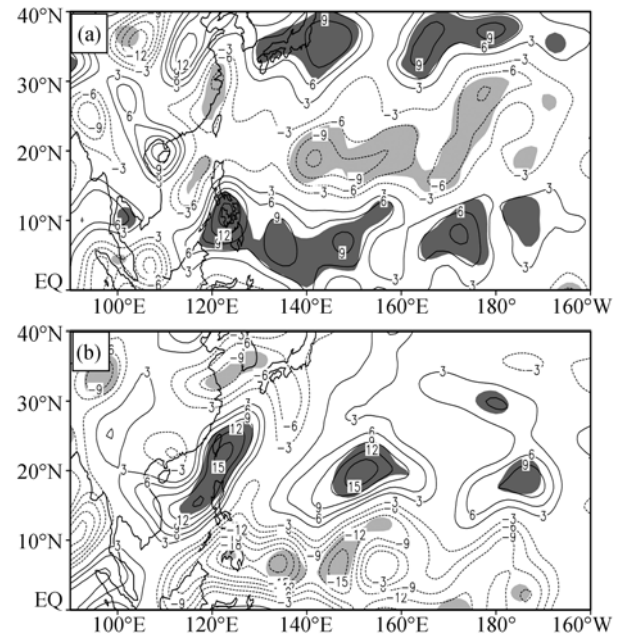


图7 强弱APO年对应的1000 hPa(a)和150 hPa(b)散度场的合成差值空间分布

阴影区表示通过95%信度检验的区域. 单位: 10^{-7} s^{-1}

4 结论

本文研究了夏季APO异常对西北太平洋热带气旋频数多寡的影响. 结果表明, APO与WNPTCF具有明显的年际变化和年代际变化特征, 而且两者的变化形式较为一致, 具有显著的正相关对应关系.

1949~2005 年间, 滤去线性趋势前后, APO 与 WNPTCF 的相关系数分别为 0.47 和 0.33, 都达到 95% 信度水平. 与 APO 变化相联系的低层涡度场和风场均证实 APO-WNPTCF 同位相关系的存在.

文章进一步分析了 APO-WNPTCF 关联的原因. 结果表明: 当 APO 处于正位相时, 西太平洋副热带高压减弱, 位置偏东偏北; 西北太平洋地区低层西风

异常而且大气辐合, 高层东风异常而且大气辐散, 造成区域纬向风垂直切变减小和对流活动旺盛. 这些变化都有利于西北太平洋热带气旋的生成和发展, WNPTCF 因此偏多. 反过来, APO 处于负位相则不利于西北太平洋热带气旋的形成, WNPTCF 因而偏少. 这对于认识和理解西北太平洋热带气旋活动的变动具有重要的理论意义.

参考文献

- 1 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the Northwest Pacific in relation to the El Nino/ Southern Oscillation phenomenon. *Mon Weather Rev*, 1985, 113 (4): 599—606 [\[DOI\]](#)
- 2 Lander M A. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO. *Mon Weather Rev*, 1994, 122 (4): 636—651 [\[DOI\]](#)
- 3 Tsutsui J I, Kasahara A. Simulated tropical cyclones using the national center for atmospheric research community climate model. *J Geophys Res*, 1996, 101(D10): 15013—15032 [\[DOI\]](#)
- 4 Saunders M A, Chandler R E, Merchant C J, et al. Atlantic hurricanes and NW Pacific typhoons: ENSO spatial impacts on occurrence and landfall. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(8): 1147—1150 [\[DOI\]](#)
- 5 Chia H H, Ropelewski C F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the Northwest Pacific. *J Clim*, 2002, 15(20): 2934—2944 [\[DOI\]](#)
- 6 Camargo S J, Sobel A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. *J Clim*, 2005, 18(15): 2996—3006 [\[DOI\]](#)
- 7 Gray W M. Atlantic seasonal hurricane frequency: Part I: El Nino and 30mb quasi-biennial oscillation influences. *Mon Weather Rev*, 1984, 112(9): 1649—1668 [\[DOI\]](#)
- 8 Jones C G, Thorncroft C D. The role of El Nino in Atlantic tropical cyclone activity. *Weather*, 1998, 53: 324—336
- 9 Namias J. Secular fluctuations in vulnerability to tropical cyclones in and off New England. *Mon Weather Rev*, 1995, 83(8): 155—162 [\[DOI\]](#)
- 10 丁一汇, 莱特. 影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件. *海洋学报*, 1983, 5(5): 561—574
- 11 Liebmann B, Hendon H H, Glick J D. The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden-Julian oscillation. *J Meteorol Soc Jpn*, 1994, 72: 401—411
- 12 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Mon Weather Rev*, 1995, 123: 2567—2571 [\[DOI\]](#)
- 13 Ho C H, Baik J J, Kim J H, et al. Interdecadal changes in summertime typhoon tracks. *J Clim*, 2004, 17: 1767—1776 [\[DOI\]](#)
- 14 Lander M A. Special tropical cyclone track types and unusual tropical cyclone motions associated with a reverse oriented monsoon trough in the western North Pacific. *Weather Forecast*, 1996, 11: 170—186 [\[DOI\]](#)
- 15 孙秀荣, 端义宏. 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. *大气科学*, 2003, 27(1): 67—74
- 16 张庆云, 彭京备. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响. *大气科学*, 2003, 27: 97—106
- 17 王会军, 范可. 西北太平洋台风生成频次与南极涛动的关系. *科学通报*, 2006, 51(24): 2910—2914
- 18 王会军, 孙建奇, 范可. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(7): 966—973
- 19 Zhao P, Zhu Y N, Zhang R H. An Asian-Pacific teleconnection in summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability. *Clim Dyn*, 2007, 29: 293—303 [\[DOI\]](#)
- 20 Landsea C W, Anderson C, Charles N, et al. The Atlantic hurricane database re-analysis project: Documentation for the 1851-1910 alterations and additions to the HURDAT database. In: Murname R J, Liu K B, eds. *Hurricanes and Typhoons: Past, Present and Future*. New York: Columbia University Press, 2004. 177—221
- 21 Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc*, 1996, 77: 437—471 [\[DOI\]](#)
- 22 Gray W M. Global guide of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon Weather Rev*, 1968, 96(10): 669—700 [\[DOI\]](#)
- 23 王会军, 范可. 南半球对流层上层纬向风与东亚夏季风环流. *科学通报*, 2006, 51(13): 1595—1600
- 24 范可. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测因子? *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(6): 851—856
- 25 范可. 西北太平洋台风生成频次的新预测因子和新预测模型. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(9): 1260—1266