科学通报 2010 年 第 55 卷 第 31 期：3053 ~ 3059
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

澳大利亚东侧海温：西北太平洋热带气旋生成频数的预测信号?

周波涛[①②], 崔绚[③]

① 国家气候中心, 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 国家气象中心, 北京 100081
E-mail: zhoubt@cma.gov.cn

2010-07-05 收稿, 2010-08-16 接受
国家自然科学基金(40805029)、国家重点基础研究发展计划(2009CB421407)和中国科学院知识创新工程领域前沿项目(IAP09302)资助

摘要 通过观测资料分析, 研究了澳大利亚东侧海表温度(SST)与西北太平洋热带气旋频数的关系, 发现春季澳大利亚东侧 SST 与 6~10 月西北太平洋热带气旋频数之间具有显著的反位相变化关系. 研究进一步揭示, 当澳大利亚东侧春季 SST 异常偏高时, 6~10 月西北太平洋高层为气旋型环流异常, 低层为反气旋型环流异常; 大气异常下沉从而抑制对流活动; 纬向风垂直切变加大. 这种环流背景不利于西北太平洋热带气旋的生成和发展, 西北太平洋热带气旋因而偏少, 反之亦然. 春季澳大利亚东侧 SST 可能通过南北半球大气遥相关引起同期热带环流异常, 进而影响随后西北太平洋区域大气环流的变化.

关键词
西北太平洋
热带气旋频数
海温
大气环流
遥相关

热带气旋是产生于热带海洋上的强烈天气系统. 它的发生往往会带来狂风暴雨以及风暴潮等严重灾害, 给很多国家造成巨大的经济损失和人员伤亡. 西北太平洋是全球范围内热带气旋活动最频繁, 生成数目最多的区域, 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用价值的课题. 开展这方面的研究可以深入了解西北太平洋热带气旋的变化机理, 并为短期气候预测提供科学依据, 从而提高对这种严重灾害性天气的防御能力进而减少损失.

关于西北太平洋热带气旋活动的发生、发展规律以及相关的气候特征, 国内外学者已经开展了不少研究工作[1~5]. 热带气旋活动的变化主要取决于影响热带气旋生成的大尺度环流系统和海温条件. 已有的研究结果揭示, 季风槽、平流层准两年振荡、大气季节内震荡、罗斯贝-重力波等对西北太平洋热带气旋活动具有显著影响[2,6~10], 这些系统主要通过改变西北太平洋上空的环流来影响热带气旋活动. 近几年来的一些研究还探讨了大气环流主要模态的变化对西北太平洋热带气旋频数的影响. 王会军等人[11,12]指出 6~9 月西北太平洋台风生成频次同南极涛动呈反位相变化关系, 而与北太平洋涛动为同位相变化关系. 周波涛等人[13]和崔绚等人[14]的研究表明, 夏季亚洲-太平洋涛动偏强(弱)有(不)利热带气旋的生成和发展, 西北太平洋热带气旋因而偏多(少).

在海温方面, 不少研究指出 ENSO 对西北太平洋热带气旋活动具有显著影响. ENSO 主要通过影响纬向风垂直切变幅度、Walker 环流、季风槽以及 SST 等进而影响热带气旋的频次、强度和位置[15~21]. 此外, 西太平洋暖池的热状态也影响着西北太平洋热带气旋活动. 当暖池次表层偏暖时, 台风偏少, 生成热带风暴的位置偏向于靠近大陆的西北侧, 且以西行路径为主. 反之, 则台风多生成于西北太平洋东南侧[22,23].

由于西北太平洋热带气旋活动对我国影响巨大,

英文版见: Zhou B T, Cui X. Sea surface temperature east of Australia: A predictor of tropical cyclone frequency over the western North Pacific? Chinese Sci Bull, 2010, 55, doi: 10.1007/s11434-010-4157-5

所以, 开展西北太平洋热带气旋的气候预测十分必要. 为了预测西北太平洋热带气旋活动, 气象工作者对其前期影响信号进行了研究. 如周波涛等人[24,25]探讨了春季 Hadley 环流与夏季西北太平洋热带气旋频数的关系, 发现两者之间呈显著的负相关. 春季 Hadley 环流偏强(弱)时, 夏季西北太平洋热带气旋偏少(多). Chan 等人[26,27]分析了 El Niño 及 La Niña 发生前一年、当年及之后对西北太平洋热带气旋频次的不同影响, 并将 ENSO 作为重要因子应用于西北太平洋热带气旋活动的季节预测. 范可[28]发现冬、春季北太平洋海冰面积对西北太平洋台风生成频次的影响十分显著(冬、春季北太平洋海冰面积增大, 西北太平洋台风减少, 反之亦然), 并将此因子作为一个新的预测信号建立了预测模型[29,30].

不过, 西北太平洋热带气旋活动的年际变化非常复杂, 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热带气旋的可预测性是非常重要的. 我国的学者提出南半球大气环流同西太平洋台风活动联系紧密[31~33], 而海温的变化又会对大气环流产生直接影响. 那么, 南半球海温与西北太平洋热带气旋活动是否存在联系? 如存在, 可否作为西北太平洋热带气旋的预测信号? 由于以往的研究大多关注北半球海温的影响, 而对南半球海温的影响关注相对较少. 基于此, 本文重点探讨南半球 SST 与西北太平洋热带气旋频数的关系.

1 资料

本文所用资料包括: (1) 美国国家环境预报中心/大气研究中心(NCEP/NCAR)的再分析资料[34], 水平分辨率为 2.5°×2.5°; (2) 美国国家海洋和大气局(NOAA)提供的 SST 资料[35], 水平分辨率为 2°×2°; (3) 美国联合台风监测中心(JTWC)的西北太平洋热带气旋资料[36]. 热带气旋按照最大风速标准一般可分为热带低压、热带风暴和台风. 本研究所讨论的热带气旋只包括热带风暴和台风. 研究所用的时间长度为 1971~2005 年.

2 结果分析

图 1 为 6~10 月(JJASO)西北太平洋热带气旋频数(WNPTCF)分别与春季(3~5 月, MAM)和同期 SST 的相关分布. 由图 1(a)可见, 澳大利亚东侧海区为显著负相关, 最大相关系数超过–0.5. 澳大利亚东侧 SST 与 WNPTCF 的这种负相关关系在 6~10 月同样存在(图 1(b)). 不过, 相比于春季 SST 而言, 6~10 月 SST 与 WNPTCF 的显著负相关范围明显缩小, 说明澳大利亚东侧春季 SST 对 6~10 月 WNPTCF 的影响要比同期 SST 的影响大. 考虑到线性趋势的可能影响, 我们还计算了扣除线性趋势后 6~10 月 WNPTCF 与春季和同期 SST 的相关分布, 所得的相关分布图像(图略)与图 1 相一致. 此外, 不少研究[15~21]指出, ENSO 与西北太平洋热带气旋活动联系紧密. 因此, 为明晰 ENSO 对所得结论的影响, 我们也计算了滤去 ENSO 信号后的 SST 与 WNPTCF 的相关, 发现滤去 ENSO 信号后的相关分布型(图略)与未滤去 ENSO 信号时的相关分布十分类似.

选取图 1(a)中显著相关区域平均的 SST 作为海温指数(EASST), 以此衡量澳大利亚东侧海区 SST 的变化. 图 2(a)给出了春季 EASST 与 6~10 月 WNPTCF 的时间演变. 如图所示, 两者的反位相变化特征十分明显. 扣除线性趋势前后, 两者的相关系数分别为–0.57 和–0.55, 超过 99.9%的显著性水平. 值得注意的是, 20 世纪 80 年代中后期两者的负相关尤为显著, 而在之前却并不是非常明显, 反映出一种年代际变化特征, 这可能与 20 世纪 80 年代末出现的气候年代

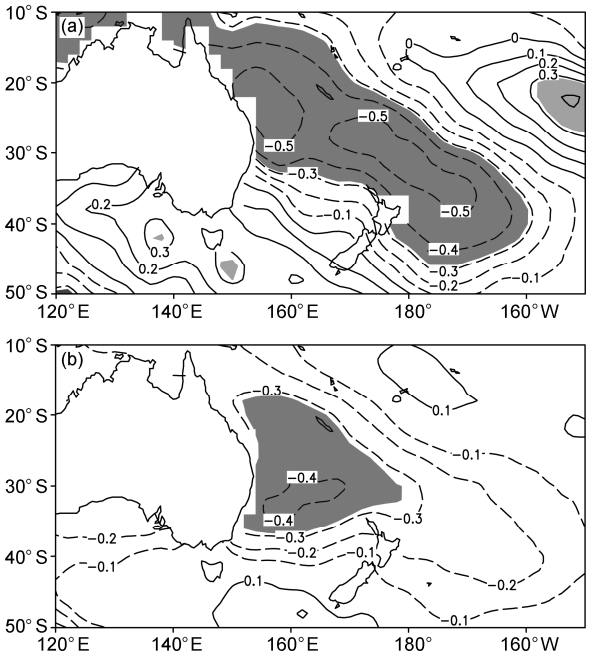

图 1 6~10 月 WNPTCF 与春季(a)和同期(b)SST 的相关
阴影区表示通过 95%信度

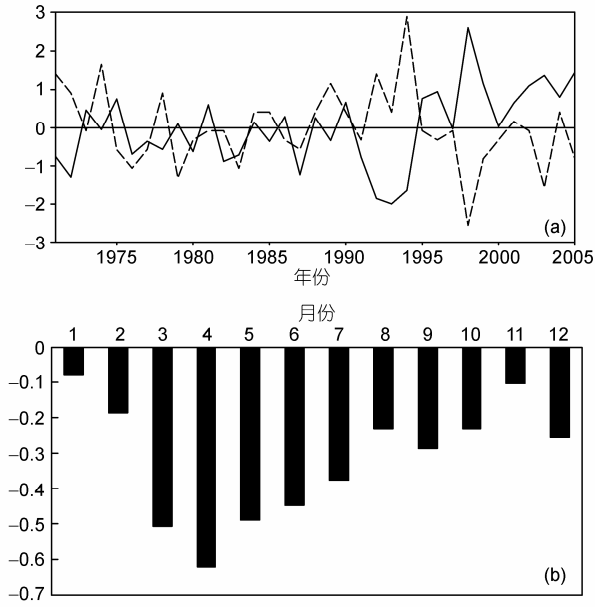

图 2 (a) MAM EASST(实线)和 JJASO WNPTCF(虚线)的标准化时间序列; (b) JJASO WNPTCF 与各月 EASST 的相关

际转型[37~39]有关. ENSO 事件在 20 世纪也具有明显的年代际变化[40]. 不过, 具体原因还有待进一步深入分析. 此外, 我们计算了 6~10 月 WNPTCF 与逐月 EASST 的相关, 结果如图 2(b)所示. 6~10 月 WNPTCF 与前期和同期 EASST 都维持着负位相变化关系. 不过, 其与 3~5 月 EASST 的负相关值最大, 与 1~2 月 EASST 的负相关不显著(没有通过 95%的信度).

上述这些结果表明, 春季澳大利亚东侧 SST 的冷暖变化对后期西北太平洋热带气旋的多寡具有显著影响. 当澳大利亚东侧春季 SST 异常偏高(低)时, 6~10 月西北太平洋热带气旋偏少(多). 为进一步揭示春季澳大利亚东侧 SST 对后期 WNPTCF 影响的物理机理, 随后我们利用线性回归方法分析了与澳大利亚东侧春季 SST 变化相关联的大气环流场的变化. 回归系数的计算依据方程 $y(t)= ax(t) + b$, 并通过最小二乘法求得. 式中, $y(t)$为物理变量, t 为时间, $x(t)$为标准化后的指数时间序列(如 EASST 与 WNPTCF), a 为回归系数, b 为常数. 回归系数 a 的形势场表示与 x 变化一个标准方差相对应的变量 y(如水平风场, 垂直速度等)的变化值分布型. 回归系数的显著性检验采用 t 分布检验方法[41].

图 3(a)和(b)分别为 6~10 月 850 和 200 hPa 水平风场与春季 EASST 的回归分布. 可见, 当澳大利亚东侧春季 SST 异常偏高时, 6~10 月对流层低层热带西太平洋出现东风异常, 季风槽减弱. 在其两侧分布着一对异常反气旋型环流(图 3(a)). 对流层高层, 热带西太平洋为西风异常, 其两侧则为两个异常的气旋型环流(图 3(b)). 这种分布型态与西北太平洋热带气旋偏少的环流背景相对应, 这可从 6~10 月 850 和 200 hPa 水平风场与同期 WNPTCF 的回归分布图上得到证实. 图 3(c)和(d)显示, 与 WNPTCF 偏多(少)相联系的低层大气环流异常主要表现为西北太平洋地区为异常的气旋(反气旋)型环流, 热带太平洋盛行西风(东风)异常; 高层大气环流则表现为西北太平洋地区为异常的反气旋(气旋)型环流控制, 热带太平洋盛行东风(西风)异常.

高低层水平风场的变化可以引起大气垂直运动异常. 从图 4(a)可以看到, 在 140°E 以东区域为大片的正值, 意味着相应于图 3(a)和(b)中的低层异常反气旋型环流和高层异常气旋型环流的配置, 6~10 月西北太平洋上空的大气往往会异常下沉, 从而抑制该区域对流的发生发展. 图 4(b)给出的 6~10 月 0°~30°N 平均的垂直速度与同期 WNPTCF 的回归分布特征与图 4(a)基本相反, 即在 140°E 以东区域为大范围的负异常, 说明西北太平洋上空出现异常上升(下沉)运动时有(不)利于 WNPTCF 偏多(少). 因此, 图 4 很好地揭示出澳大利亚东侧春季 SST 异常偏暖(冷)时, 后期西北太平洋上空一般出现异常下沉(上升)运动, 不(有)利于西北太平洋热带气旋的发生发展, 进一步印证了春季 EASST 和 6~10 月 WNPTCF 的反相关关系.

高低层水平风场的变化还可造成纬向风垂直切变幅度的变化, 而纬向风垂直切变幅度是影响西北太平洋热带气旋发生发展的重要环境条件. 不少研究工作[1,11,12,24,42,43]揭示出热带气旋生成频数和纬向风垂直切变幅度之间具有显著的反相关关系. 即, 弱的纬向风垂直切变有利于热带气旋的生成和发展, 而强的纬向风垂直切变则不利于热带气旋的生成和发展. 这点在 WNPTCF 同纬向风垂直切变强度的回归分布图(图 5(b))上体现得非常清楚. 该图显示, 在西北太平洋热带气旋的初始生成区域, 两者的回归系数为负值, 证实该区域内纬向风垂直切变较常年偏大(小)时不(有)利于热带气旋的发生. 图 5(a)为春季 EASST 和 6~10 月纬向风垂直切变强度的回归分布. 其揭示的分布型同图 5(b)恰好相反, 在西北太平洋热

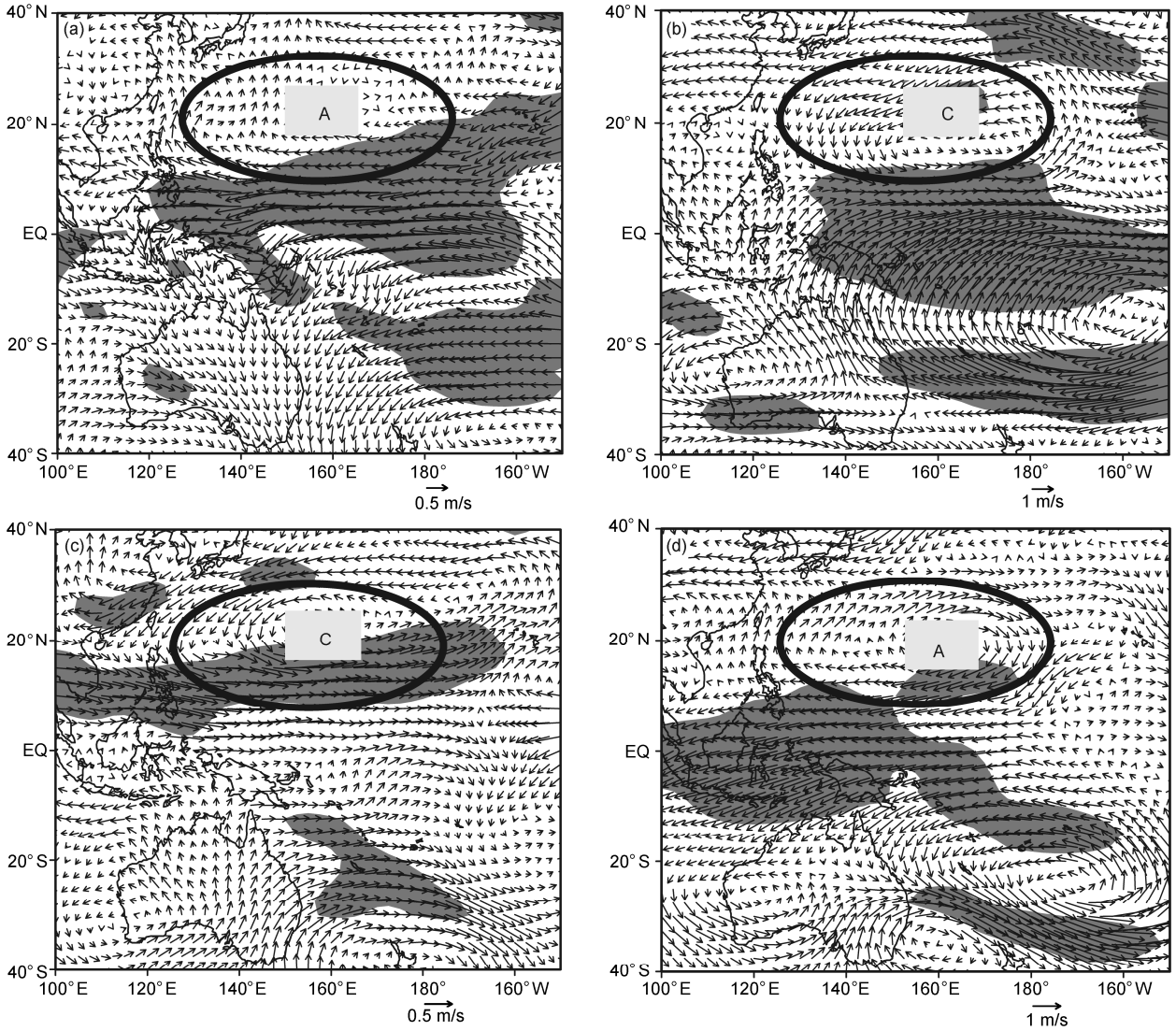

图 3 6~10 月 850 hPa 水平风场(UV_{850})和 200 hPa 水平风场(UV_{200})分别与 MAM EASST 和 JJASO WNPTCF 的回归分布

(a) UV_{850}-EASST; (b) UV_{200}-EASST; (c) UV_{850}-WNPTCF; (d) UV_{200}-WNPTCF. 阴影区表示通过 95%信度, A 和 C 分别代表反气旋和气旋环流系统

带气旋主要生成区纬向风垂直切变的回归系数为正值, 表明澳大利亚东侧春季 SST 位于正位相时, 后期纬向风垂直切变加大, 这样不利于西北太平洋热带气旋的形成, 反之亦然.

因此, 在澳大利亚东侧春季 SST 异常偏暖(冷)背景下, 6~10 月西北太平洋对流层低层出现异常反气旋型(气旋型)环流, 对流层高层出现异常气旋型(反气旋型)环流, 大气异常下沉(上升). 同时, 纬向风垂直切变增强(减弱). 这些条件不(有)利于热带气旋的发生和发展, 西北太平洋热带气旋生成频数因而减少(增多).

那么, 澳大利亚东侧春季 SST 如何影响后期西北太平洋上空的大气环流? 一些研究表明, 热带太平洋大气环流具有很好的季节持续性[28,44]. 这种季节持续性可能在两者的联系过程中起着重要作用. 为此, 我们给出了春季 200 hPa 水平风场与 EASST 的回归分布(图 6). 可见, 对应澳大利亚东侧 SST 偏暖, 澳大利亚以东海区的南北两侧分别出现异常反气旋型环流和气旋型环流, 在西北太平洋区域则为异常的气旋型环流, 热带太平洋盛行西风异常. 因此, 澳大利亚东侧春季 SST 可以通过经向大气遥相关影响到同期热带大气环流异常. 由于热带大气环流的

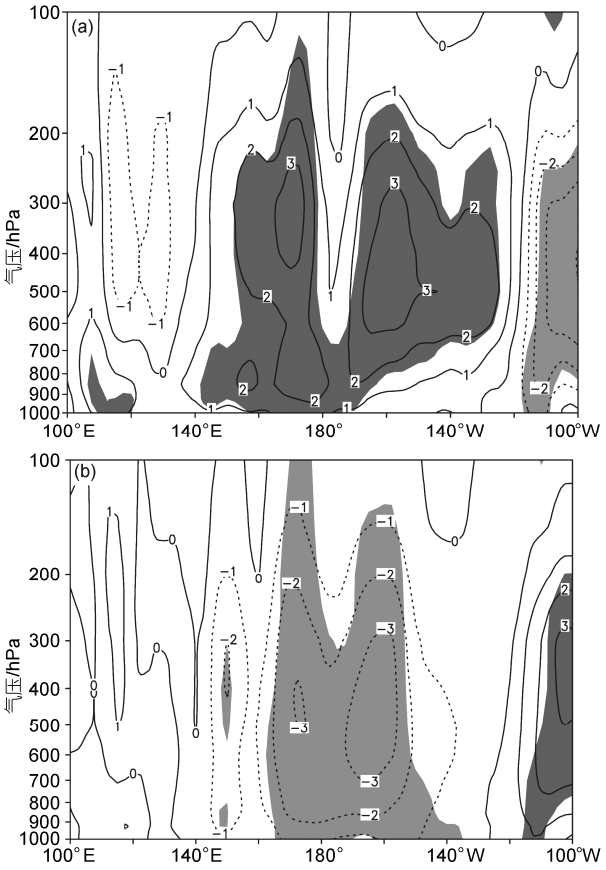

图 4　6~10 月 0°~30°N 平均的垂直速度(10^{-3} Pa/s)同 MAM EASST (a)和 JJASO WNPTCF (b)的回归分布

阴影区表示通过 95%信度

季节持续性, 这种异常特征可以一直持续到 6~10 月, 进而影响西北太平洋热带气旋活动. 从图 7 确实也可看到, 由澳大利亚东侧春季 SST 变化造成的热带太平洋高层纬向风异常可以从春季一直维持到 10 月.

3　结论

本文研究了澳大利亚东侧春季 SST 对 6~10 月西北太平洋热带气旋多寡的影响. 结果表明, 6~10 月西北太平洋热带气旋生成频数与前期春季澳大利亚东侧 SST 具有显著的负相关关系. 1971~2005 年间, 滤去线性趋势前后, EASST-WNPTCF 的相关系数为 –0.57 和–0.55, 均超过 99.9%的显著性水平. 因此, 澳大利亚东侧春季 SST 可能是影响 WNPTCF 年际变化的一个因子. 当澳大利亚东侧春季 SST 位于正(负)位相时, 6~10 月西北太平洋热带气旋偏少(多).

进一步分析了澳大利亚东侧春季 SST 影响后期

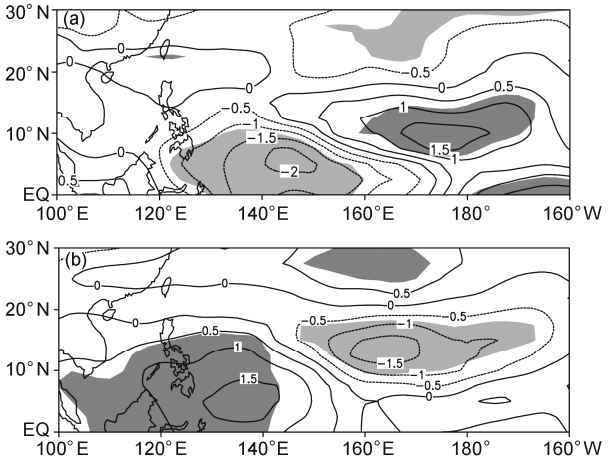

图 5　6~10 月纬向风垂直切变强度(m/s)同 MAM EASST (a)和 JJASO WNPTCF (b)的回归分布

阴影区表示通过 95%信度

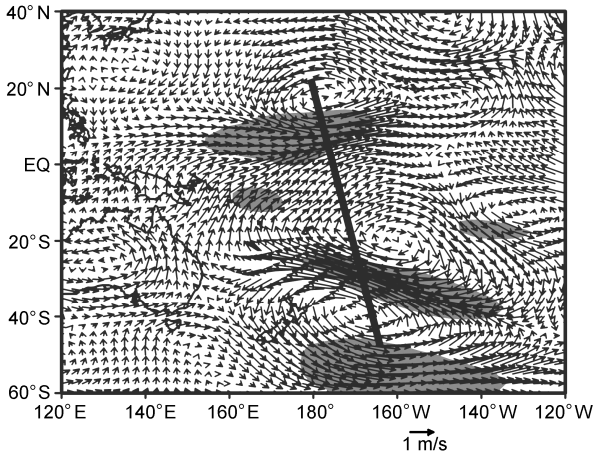

图 6　春季 200 hPa 水平风场(m/s)与同期 EASST 的回归分布

阴影区表示通过 95%信度

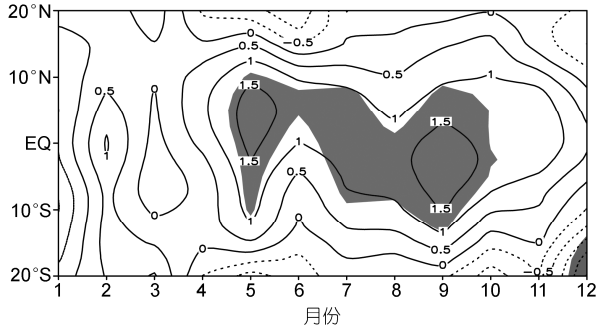

图 7　逐月 200 hPa 纬向风(m/s)与 MAM EASST 的回归分布

阴影区表示通过 95%信度

WNPTCF 的可能物理机制. 结果表明: 当澳大利亚东侧春季 SST 正异常时, 西北太平洋对流层高层为异常气旋型环流, 低层为异常反气旋环流, 大气异常下沉从而抑制该区域的对流活动. 此外, 西北太平洋热带气旋主要生成区的纬向风垂直切变加大. 这些变化均不利于热带气旋的生成和发展, 西北太平洋热带气旋因此偏少. 反过来, 澳大利亚东侧春季 SST 负异常则有利于西北太平洋热带气旋的形成. 研究还揭示, 澳大利亚东侧春季 SST 可能通过经向大气遥相关影响到同期热带太平洋大气环流异常. 由于热带环流具有很好的季节持续性, 这种异常特征可以从春季一直维持到 6~10 月, 结果造成 6~10 月西北太平洋大气环流的异常变化进而影响热带气旋活动.

当然, 以上只是一个初步解释, 澳大利亚东侧春季 SST 还可能通过其它途径影响后期的热带气旋活动. 由于海气相互作用是一个比较复杂的问题, 因此, 要弄清楚澳大利亚东侧 SST 影响西北太平洋热带气旋生成频次变化的具体物理过程和动力机制, 还需要今后作更深入的分析. 而且, 本文所得的研究结论是基于对观测事实的相关分析和回归分析, 也需要今后利用数值模式进行验证. 春季澳大利亚东侧 SST 与西北太平洋热带气旋频数的关系能否在气候模式中得到体现? 其中的物理过程是否如此? 这些问题都有待于利用先进的气候模式, 通过设计合理的敏感性试验来作进一步探讨和研究. 这也正是我们下一步的工作重点和努力方向.

参考文献

1 Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. Mon Weather Rev, 1968, 96: 669—700
2 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: 561—574
3 Chia H H, Ropelewski C F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the Northwest Pacific. J Clim, 2002, 15: 2934—2944
4 Yuan J N, Wang D X, Liu C X, et al. The characteristic differences of tropical cyclones forming over the western North Pacific and the South China Sea. Acta Oceanol Sin, 2007, 26: 29—43
5 Yuan J N, Wang D X, Wang Q L, et al. A 28-year climatological analysis of size parameters for northwestern Pacific tropical cyclones. Adv Atmos Sci, 2007, 24: 24—34
6 Chen T C, Weng S P. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific. Mon Weather Rev, 1998, 126: 1080—1090
7 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
8 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
9 祝从文, Nakazawa T, 李建平. 大气季节内震荡对印度洋-西太平洋地区热带低压/气旋生成的影响. 气象学报, 2004, 62: 42—51
10 Dickinson M, Molinari J. Mixed Rossby-gravity waves and western Pacific tropical cyclogenesis. Part I: Synoptic evolution. J Atmos Sci, 2002, 59: 2183—2196
11 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: 2910—2914
12 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: 966—973
13 周波涛, 崔绚, 赵平. 亚洲-太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38: 118—123
14 崔绚, 周波涛, 范可. 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. 气候与环境研究, 2010, 15: 120—128
15 李崇银. 厄尔尼诺与西太平洋台风活动. 科学通报, 1985, 14: 1087—1089
16 何敏, 宋文玲, 陈兴芳. 厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件与西北太平洋台风活动. 热带气象学报, 1999, 15: 17—25
17 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the Northwest Pacific in relation to the El Niño/ Southern Oscillation phenomenon. Mon Weather Rev, 1985, 113: 599—606
18 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: 636—651
19 Chan J C L. Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Niña events. J Clim, 2000, 13: 2960—2972
20 Wang B, Chan J C L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific. J Clim, 2002, 15: 1643—1658

21 Camargo S J, Sobel A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. J Clim, 2005, 18: 2996—3006
22 陈光华, 黄荣辉. 西北太平洋暖池热状态对热带气旋活动的影响. 热带气象学报, 2006, 22: 527—532
23 Chen G H, Huang R H. Influence of monsoon over the warm pool on interannual variation on tropical cyclone activity over the western North Pacific. Adv Atmos Sci, 2008, 25: 319—328
24 Zhou B T, Cui X. Hadley circulation signal in the tropical cyclone frequency over the western North Pacific. J Geophys Res, 2008, 113: D16107, doi:10.1029/2007JD009156
25 周波涛, 崔绚. Hadley 环流异常对西北太平洋热带气旋频数影响的数值模拟试验. 地球物理学报, 2009, 52: 2958—2963
26 Chan J C L, Shi J E, Lam C M. Seasonal forecasting of tropical cyclone activity over the western North Pacific and the South China Sea. Weather Forecast, 1998, 13: 997—1004
27 Chan J C L, Shi J E, Liu K S. Improvements in the seasonal forecasting of tropical cyclone activity over the western North Pacific. Weather Forecast, 2001, 16: 491—498
28 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: 851—856
29 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: 1260—1266
30 Fan K, Wang H J. A new approach to forecasting typhoon frequency over the western North Pacific. Weather Forcast, 2009, 24: 974—986
31 何诗秀, 张宝严, 傅秀琴. 西北太平洋盛夏台风频数与大尺度环流条件的关系. 热带气象, 1986 , 2: 251—256
32 李曾中. 越赤道气流与中国天气关系的初步统计分析. 气象, 1986, 4: 11—14
33 孙淑清, 刘舸, 张庆云. 南半球环流异常对夏季西太平洋热带气旋生成的影响及其机理. 大气科学, 2007, 31: 1189—1200
34 Kalnay E, Kanamistu M, Kistler R, et al. NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Am Meteorol Soc, 1996, 77: 437—471
35 Smith T M, Reynolds R W. Improved extended reconstruction of SST (1854—1997). J Clim, 2004, 17: 2466—2477
36 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
37 施晓晖, 徐祥德. 中国大陆冬夏季气候型年代际转折的区域结构特征. 科学通报, 2006, 51: 2075—2084
38 武炳义, 张人禾. 20 世纪 80 年代后期西北太平洋夏季海表温度异常的年代际变化. 科学通报, 2007, 52: 1190—1194
39 张人禾, 武炳义, 赵平, 等. 中国东部夏季气候 20 世纪 80 年代后期的年代际转型及其可能成因. 气象学报, 2008, 66: 697—706
40 Wang X, Wang D X, Zhou W. Decadal variability of twentieth-century El Niño and La Niña occurrence from observations and IPCC AR4 coupled models. Geophys Res Lett, 2009, 36: L11701, doi: 10.1029/2009GL037929
41 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 2000. 29—38
42 郎咸梅, 王会军. 利用气候模式能够预测西北太平洋台风活动的气候背景吗? 科学通报, 2008, 53: 1702—1708
43 Elsberry R L, Jeffries R A. Vertical wind shear influences on tropical cyclone formation and intensification during TCM-92 and TCM-93. Mon Weather Rev, 1996, 124: 1374—1387
44 王会军. 来自大气内部的季节气候可预测性初探. 大气科学, 2005, 29: 64—70