

文章编号: 1004-4965(2010)04-0504-05

对流层准两年振荡最新研究进展

郑彬, 林爱兰, 谷德军, 李春晖

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘 要: 为了更好地了解对流层准两年振荡(Tropospheric Biennial Oscillation, TBO)的最新研究概况及目前存在的问题, 基于国家自然科学基金项目关于 TBO 的专门研究和近年来国内外的 TBO 研究工作, 对 TBO 研究的最新进展作了综述。最新研究指出, 热带暖海区的海-气耦合过程可以维持 TBO 循环而无需热带东太平洋的参与, 表明了 TBO 确实是独立于 ENSO 而存在的海-气耦合系统, 但是对于 TBO 的本质问题还需要多方面的深入研究。

关键词: 气候学; 对流层准两年振荡; 综述; 海-气相互作用; 年际变率

中图分类号: P461.2

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.04.017

1 引言

对流层准两年振荡(Tropospheric Biennial Oscillation, TBO)是大气环流和气候年际尺度变化的一种非常显著而重要的信号, 是国际季风研究关注的主题之一。TBO 的研究从 1980 年代兴起^[1], 初期研究侧重于揭示对流层各种气候变量的准两年周期。如 Walsh 等^[2]在分析美国气候异常的过程中, 不仅发现降水的准两年周期变化, 还发现了美国地面气压和气温也都存在准两年的周期振荡。其他的气候变量, 如北半球地面气压^[3]、热带纬向风和海面温度^[4]、副高脊线纬度位置和副高强度^[5]、500 hPa 位势高度异常场^[6]、近赤道上空的气温^[7]、全球及南北半球平均气温^[8-9]的准两年变化特征也被陆续揭示出来。随着亚洲季风研究的不断深入, 与亚洲季风有关的准两年周期振荡也有不少的研究^[10-13]。同时, 科学家们还发现季风是 TBO 形成的重要因子^[14-15]。在发现 TBO 后不久, 人们就尝试解释这种现象, 提出了各种理论。我们可以将 TBO 机制大致分为三类: (1) 平流层准两年振荡(QBO)的强迫^[16-18]; (2) 热带和中纬度的相互作用^[15, 19]; (3) 海-陆-气相互作用^[20-21]。其中第三类中多数研究者更强调海-气耦合过程, 特别是将 TBO 与 El Niño—Southern Oscillation(ENSO)联系在一起^[22-23]。虽然之前对 TBO 已有一定的认识, 但并不是系统性的研究。本文

基于国家自然科学基金(“亚太季风准两年模态的特征、影响及其模拟研究(40505019)”)关于 TBO 的专门研究和近年国内外的 TBO 工作, 阐述最新的研究进展。主要从 TBO 的本质、影响 TBO 的气候系统和 TBO 的年代际变化三个方面介绍了近期的工作进展, 并对存在的问题和今后可能的研究方向进行了小结。

2 TBO 的本质

2000 年, Chang 等^[24]通过观测资料的分析建立了 5 箱模式(5 箱分别代表南亚季风区、澳大利亚季风区、赤道印度洋、赤道西太平洋、赤道东太平洋)。该模式计算了各区域的海气相互作用及之间的相互作用, 最终模拟出了海表温度(SST)和降水的两年周期变化。Chang 等^[24]研究指出, TBO 是季风与热带印度洋和太平洋相互作用的结果, 是热带海-气相互作用系统的重要组成部分。5 箱模式虽然模拟出海-气耦合过程的 TBO 循环, 但是模式对北半球冬、春和秋季的 SST 扰动振幅及北半球夏季西太平洋 SST 扰动的符号变化及延迟非常敏感^[25], 若参数设计不合适, 将模拟不出两年周期变化。此外, 文献^[24-25]中都没有考虑南海/西北太平洋季风的作用, 为此, Zheng 等^[26]在 5 箱模式的基础上加入了南海/西北太平洋季风模块, 设计了 6 箱模式。6 箱模式同样也能模拟出 TBO 循环, 可见南海/西北太平洋季风是 TBO 海-气系统的重要组成部分,

收稿日期: 2009-02-25; 修订日期: 2009-08-28

资助项目: 国家自然科学基金(40505019)资助

通讯作者: 郑彬, 男, 福建省人, 副研究员, 博士, 主要从事季风和海气相互作用、中层大气研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

不应该将其忽略。以上研究都表明了 TBO 很可能是一种 度洋和太平洋 SST。海-气耦合系统，关键因子是亚洲-澳大利亚季风、赤道印

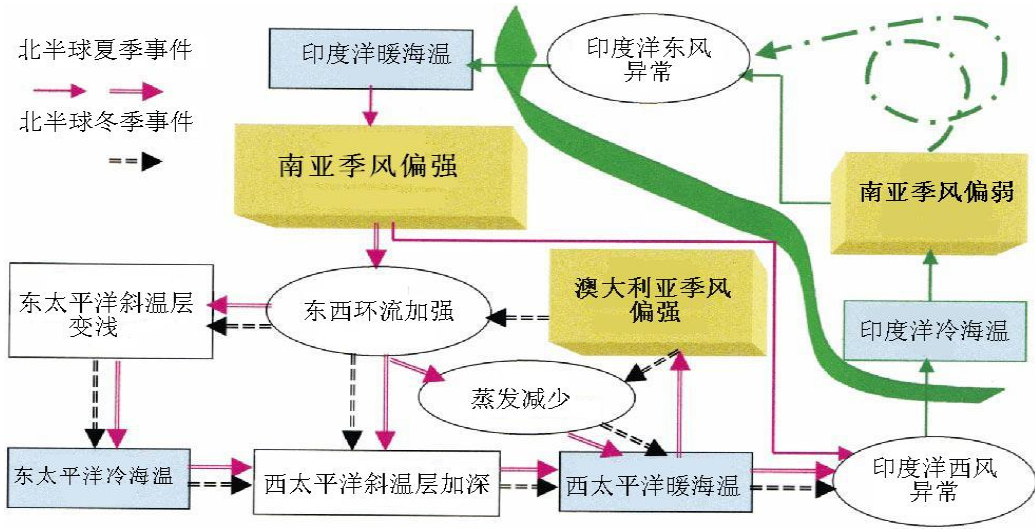


图1 亚澳季风与热带印度洋/太平洋相互作用的 TBO 循环图像^[24]

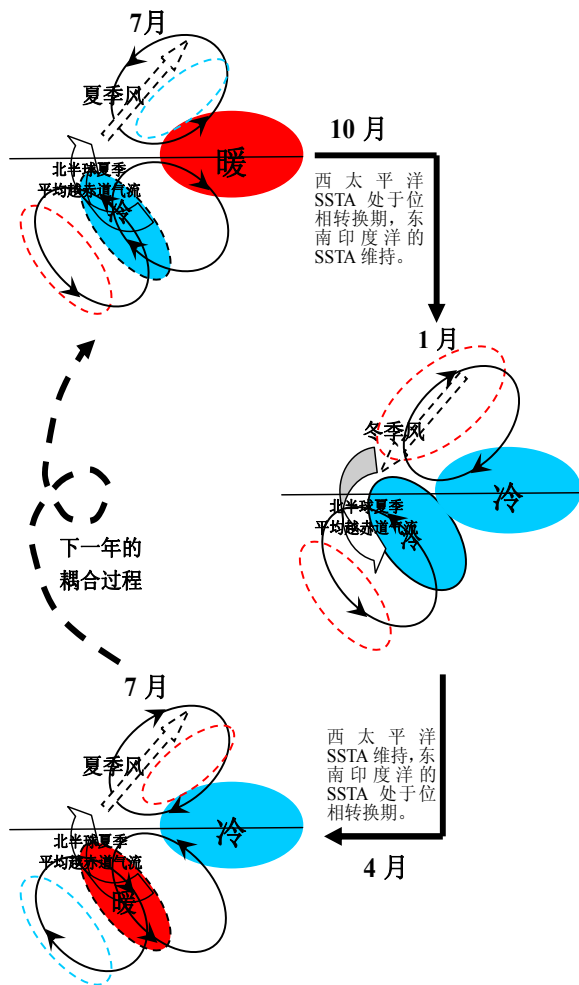


图2 热带印度洋-太平洋 TBO 的暖海区海-气耦合过程示意图^[28]

虽然 Chang 等^[24]提到 TBO 是区别于 El Niño/Southern Oscillation(ENSO)的，但是不论是 5 箱模式^[24-25]还是后来的 6 箱模式^[26]都涉及到赤道东太平洋的海-气耦合过程。因此，前面提到的 TBO 海-气耦合过程难以与 ENSO 区分开来。2006 年，Li 等^[27]利用季节关联经验正交函数(seasonal-sequence Empirical Orthogonal Function, SSEOF)对观测资料进行印度洋-太平洋暖海区的 TBO 循环分析。结果表明，与 TBO 相关的对流活动中心位于东南印度洋和西北太平洋，伴随第一斜压模结构的反气旋/气旋异常。同时，Li 等还利用一个耦合环流模式探讨了暖海区 TBO 的形成机理。数值模式结果显示，在排除了中东太平洋海-气耦合之后，热带暖海区的海-气相互作用可以独立支持 TBO 循环，而且与观测结果接近。暖海区 TBO 循环的关键过程包括与越赤道气流相关的西北太平洋季风变率、东南亚/海洋大陆的对流活动及相关的异常 Walker 环流、西太平洋异常风应力涡度的海洋动力响应。与 Li 等^[27]不同，Zheng 等^[28]在 2008 年提出的 TBO 暖海区海-气耦合过程中，对流并不是关键因子而是耦合过程的产物。根据前面的一些研究结果，我们认为 TBO 很可能是一种区别于 ENSO 的海-气耦合系统，印度洋-太平洋暖海区的海-气相互作用过程可以独立支持 TBO 的循环。

3 影响 TBO 的气候系统

影响 TBO 最显著的气候系统是 ENSO。郑彬等^[29]分析了亚洲季风各子系统的周期变化特征，结果表明各子系统都具有 ENSO 的准 4 年周期与 TBO 的准两年周期。对南亚季风和东亚季风而言，准两年周期比 ENSO 周期更显著，而南海/西太平洋季风则是 ENSO 周期更突出。Chou

等^[30]的研究表明,在 El Niño(La Niña)的发展年通常是强(弱)西北太平洋夏季风,主要影响因子是东太平洋的海温异常,而对应 El Niño(La Niña)的衰减年则通常是弱(强)西北太平洋夏季风,主要强迫是 ENSO 成熟位相时的西太平洋海温异常。2006 年,刘秦玉等^[31]建立了一个 ENSO 和热带西太平洋准两年振荡(QBOWP)相互作用的概念模式,模式中 ENSO 对 QBOWP 的影响是通过 Walker 环流来实现。数值试验结果表明,ENSO 对西太平洋作用加强时,可以改变远西太平洋-大气的周期,2 年周期受到抑制,使其成为受迫的 3~5 年周期的变化。当然,准两年振荡也会影响 ENSO,它主要是通过 Kelvin 波和 Walker 环流来实现的。当 QBOWP 和 ENSO 相互作用加强时,有利于改变东太平洋气候变动从自由 ENSO 振荡到受迫两年振荡,3~5 年的周期变化被抑制,两年周期变化加强。

对 TBO 有影响的另一个气候系统是平流层准两年振荡(QBO)。郑彬等^[32]利用美国大气研究中心(NCAR)的 SOCRATES(Simulation of Chemistry, Radiation, and Transport of Environmentally important Species)中层大气模式模拟了 QBO 对对流层顶和平流层上层的影响,并结

合美国环境预报中心(NCEP)和欧洲中心再分析资料和观测的探空资料,探讨了平流层 QBO 对南海夏季风强度的作用。研究表明:平流层 QBO 会在平流层中引起异常的环流(余差环流),而且余差环流会向下传播。影响对流层顶和对流层的热带垂直气流主要在平流层 QBO 位相的中后期和位相转换期。西风位相中后期及向东风位相的转换期,影响对流层顶和上层的是异常下沉气流;而东风位相中后期及向西风位相的转换期,影响对流层顶和上层的是异常上升气流;QBO 位相的前期是异常垂直气流转换的过渡期,平流层 QBO 对对流层的影响不大。在南海夏季风期间,平流层 QBO 西风位相,在对流层热带激发出异常环流,与南海夏季风环流相反,在南海地区有显著的异常下沉气流,对南海夏季风有削弱作用,即当年有相对弱的南海夏季风。而东风位相时,在对流层热带激发出反 Hadley 型异常环流,在南海地区有明显的异常上升气流,对南海夏季风环流有加强作用,即当年的南海夏季风偏强(图 3)。

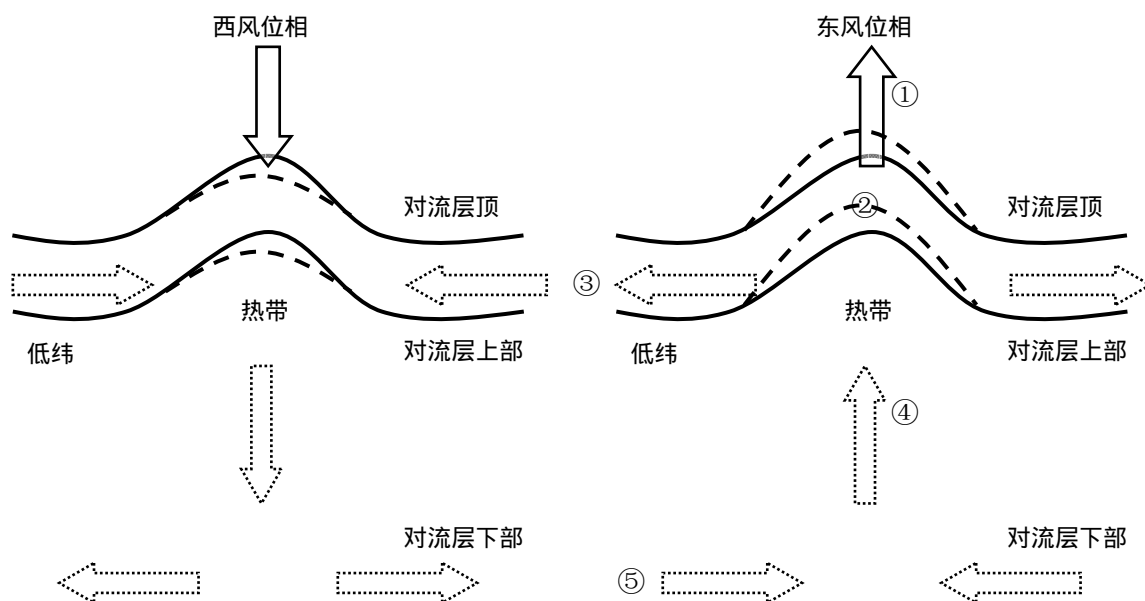


图 3 平流层 QBO 影响对流层的示意图^[32] ① QBO 引起的平流层低层异常垂直运动;② 对流层上部的高度或气压异常;③ 异常辐合辐散;④ 对流层的异常垂直运动;⑤ 对流层下部的辐散辐合。

4 TBO 的年代际变化

郑彬等^[29]研究发现,即使对亚太季风区的各季风指数进行准两年的滤波,得到的结果依然存在年代际变化。2008 年,Zheng 等^[33]建立了一个简单的分析模式。模式主要包含了暖海区的海-气耦合过程。模式结果不仅表现

出一般的准两年周期,而且模拟出的准两年变率的振幅具有明显的年代际周期。这表明了年代际变化是 TBO 的内在属性。Zheng 等^[33]也给出了 TBO 年代际变化的可能成因。由于 TBO 具有准周期性,周期一般为 20~30 个月,所以当 TBO 峰值位相出现在某年的夏季时,下一个峰值位相可能就出现在 10 年或几十年后的夏季,从而形成了 TBO 的年代际变化。但是应该说对于 TBO 年代际变化的

研究还并没有实质性地开展,机制方面更没有定论,还有待进一步深入探讨。年代际变化既然是 TBO 的内在属性,这就意味着 TBO 对季风区的影响也存在年代际变化,当 TBO 的年代际正位相时,亚太季风准两年振荡对季风区的影响显著,而负位相时则明显减弱。从文献[29]图 4b 可以看到,1970 年代—2000 年,南海季风准两年振荡的平均振幅较大,而之前则较小。因此,南海季风准两年振

荡对华南降水的影响也必然会存在年代际变化,这点在郑彬等^[34]的研究中已得到证实。南海夏季风与华南降水的准两年振荡之间的关系存在明显的年代际变化:在 1950 年代—1970 年代初,它们之间存在很弱的负相关(-0.2);而在 1970 年代中后期—2000 年,它们的正相关性则非常高(0.7 以上)。

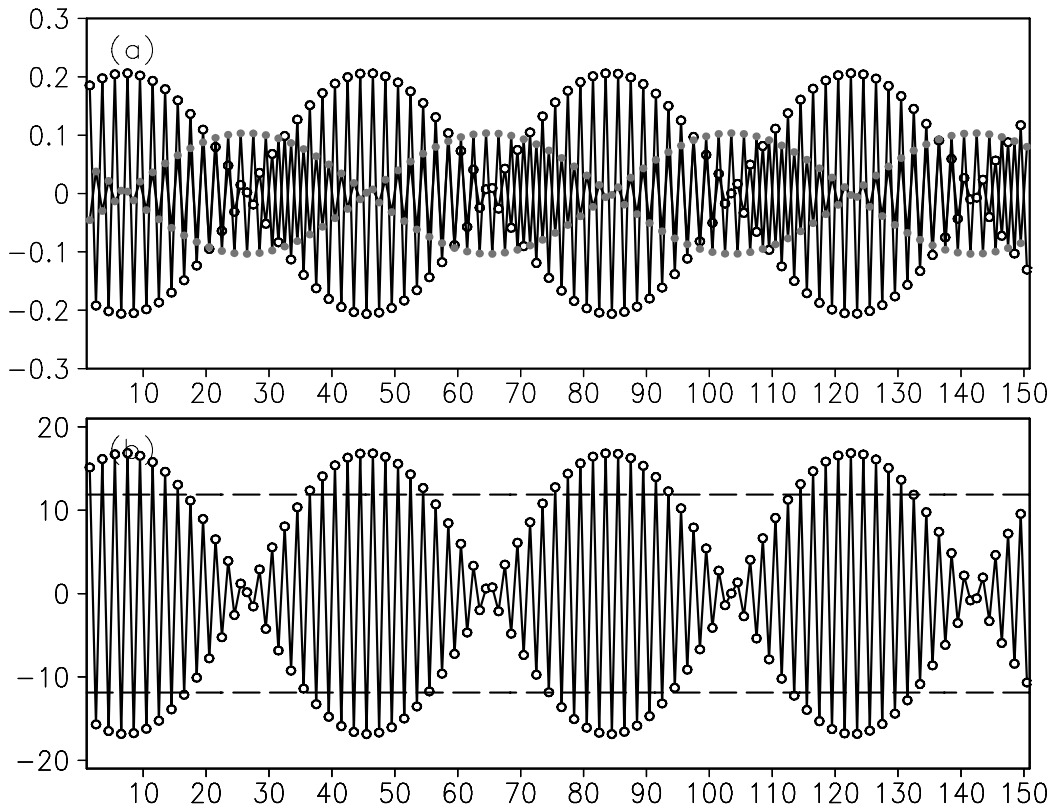


图 4 6—8 月平均的模式西北太平洋(空心圆)和海洋大陆(实心圆)SSTA(a)、西北太平洋季风区模式降水率(b)^[33]

5 小 结

近年来关于 TBO 的研究越来越深入,对 TBO 的理解也越来越清晰。首先, TBO 是一个区别于 ENSO 的海-气耦合系统;其次, TBO 与其他气候系统(如 ENSO、平流层 QBO)存在相互作用;最后,年代际变化是 TBO 的内在属性。

参 考 文 献:

- [1] 郑彬, 梁建茵. 对流层准两年周期振荡的研究进展[J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 79-86
- [2] WALSH J E, MOSTERK A. A quantitative analysis of meteorological anomaly patterns over the United States[J]. Mon Wea Rev, 1980, 108(5): 615-630.
- [3] TRENBERTH K E, SHIN W T K. Quasi-Biennial fluctuations in sea level pressure over the Northern Hemisphere[J]. Mon Wea Rev, 1984, 112(4): 761-777.
- [4] RASMUSSEN E M, WANG X, ROPELEWSKI C F. The Biennial component of ENSO variability[J]. J Mar Sys, 1990, 1: 71-96.
- [5] 李崇银, 龙振夏. 西太平洋副高活动与平流层 QBO 关系的研究[J]. 大气科学, 1997, 21(6): 670-678.

但是我们依然还有很多问题没有解决。(1) TBO 的海-气耦合模态很可能并不是唯一的,目前得到的可能只是其中的一种;(2) TBO 与其他系统的相互作用还没有统一的认识,特别是 TBO 对其他系统的影响更是研究极少;(3) 关于 TBO 年代际变化还没有得到普遍认识,需要进一步的研究。

- [6] 李永平, 端义宏, 刘秦玉, 等. 热带海洋 SST 与北半球大气环流的低频振荡特征[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(1): 97-103.
- [7] SATHIYAMOORTHY V, MOHANAKUMAR K. Characteristics of tropospheric Biennial Oscillation and its possible association with the stratospheric QBO[J]. Geophys Res Lett, 2000, 27(5): 669-672.
- [8] 丁裕国, 余锦华, 施能. 近百年全球平均气温年际变率中的 QBO 长期变化特征[J]. 大气科学, 2001, 25(1): 89-102.
- [9] 丁裕国, 刘晶森, 余锦华. 近百年全球平均气温年际变化型态的低频变率特征[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 193-203.
- [10] MOOLEY D A, PARTHASARATHY B. Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation features[J]. Mon Wea Rev, 1983, 111(7): 967-978.
- [11] MUKHERJEE B K, INDIRA K, REDDY R S, et al. Quasi-biennial oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon[J]. Mon Wea Rev, 1985, 113(9): 1 421-1 424.
- [12] TIAN S F, YASUNARI T. Time and space structure of interannual variations in summer rainfall over China[J]. J Meteor Soc Japan, 1992, 70: 585-596.
- [13] SHEN S, LAU K. M. Biennial oscillation associated with the east Asian monsoon and tropical sea surface temperatures[J]. J Meteor Soc Japan, 1995, 73(1): 105-124.
- [14] YASUNARI T. Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere/ocean system in the tropical Pacific[J]. Meteor Atmos Phys, 1990, 44(1): 29-41.
- [15] LI Chongyin, SUN Shuqing, MU Mingquan. Origin of the TBO—Interaction between Anomalous East-Asian Winter Monsoon and ENSO Cycle[J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18(4): 554-566.
- [16] MUKHERJEE B K, INDIRA K, REDDY R S, et al. Quasi-biennial Oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon[J]. Mon Wea Rev, 1985, 113(9): 1421-1424.
- [17] 梁平德. 平流层风准两年振荡与华北夏季降水, 长期天气预报论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 1992: 151-155.
- [18] 廖荃荪, 王永光. 赤道平流层 QBO 与我国 7 月雨型的关联[J]. 应用气象学报, 1998, 9(1): 104-108.
- [19] MEEHL G A. The South Asian Monsoon and the Tropospheric Biennial Oscillation[J]. J Climate, 1997, 10(8): 1 921-1 943.
- [20] YASUNARI T. The monsoon year—A new concept of the climate year in the tropics[J]. Bull Ame Meteor Soc, 1991, 72(9): 1 331-1 338.
- [21] MEEHL G A. Coupled land-ocean-atmosphere processes and south Asian monsoon variability[J]. Science, 1994, 266(5183): 263-267.
- [22] 邹力, 吴爱明, 倪允琪. 在准两年尺度上 ENSO 与亚洲季风相互作用的研究[J]. 热带气象学报, 2002, 18(1): 19-28.
- [23] FASULLO, J. Biennial Characteristics of Indian Monsoon Rainfall[J]. J Climate, 2004, 17(15): 2 972-2 982.
- [24] CHANG C P, LI T. A Theory for the Tropical Tropospheric Biennial Oscillation[J]. J Atmos Sci, 2000, 57(14): 2 209-2 224.
- [25] LI T, THAM C W, CHANG C P. A Coupled Air-Sea-Monsoon Oscillator for the Tropospheric Biennial Oscillation[J]. J climate, 2001, 14(5): 752-764.
- [26] ZHENG Bin, GU Dejun, LIN Ailan, et al. Effects of South China Sea/western North Pacific summer monsoon on tropospheric biennial oscillation (TBO)[J]. Chinese Physics, 2007, 16(5): 1 472-1 476.
- [27] LI T, LIU P, FU X, et al. Spatiotemporal Structures and Mechanisms of the Tropospheric Biennial Oscillation in the Indo-Pacific Warm Ocean Regions[J]. J Climate, 2006, 19(13): 3 070-3 087.
- [28] ZHENG Bin, GU Dejun, LIN Ailan, et al. Spatial Patterns of Tropospheric Biennial Oscillation and Its Numerical Simulation[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2008, 25(5): 815-823.
- [29] 郑彬, 李春晖, 林爱兰, 等. 亚太季风各子系统的准两年变化特征及其比较[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1): 13-21.
- [30] CHOU C, YU J-Y, YU J-Y. Interannual Variability of the Western North Pacific Summer Monsoon: Differences between ENSO and Non-ENSO Years[J]. J Climate, 2003, 16(13): 2 275-2 287.
- [31] 刘秦玉, LIU Zhengy, 潘爱军. 厄尔尼诺/南方涛动与赤道远西太平洋准两年周期振荡之间相互作用的概念模式[J]. 中国科学 D 辑, 2006, 36(1): 90-97.
- [32] ZHENG Bin, GU Dejun, LIN Ailan, et al. Dynamical mechanism of the stratospheric quasi-biennial oscillation impact on the South China Sea summer monsoon[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(9): 1424-1432.
- [33] ZHENG Bin, LIN Ailan, GU Dejun, et al. Interdecadal variability of the tropospheric biennial oscillation in the western North Pacific[J]. Chinese Physics B, 2008, 17(5): 1 935-1 938.
- [34] 郑彬, 施能. 南海夏季风对华南夏季降水年代际变化的影响[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(4): 477-483.

THE LATEST RESEARCH PROGRESS ON THE TROPOSPHERIC BIENNIAL OSCILLATION

ZHENG Bin, LIN Ai-lan, GU De-jun, LI Chun-hui

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology/Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract: In order to have better understanding of the latest developments and existing unsolved problems on the Tropospheric Biennial Oscillation (TBO), the latest developments on the TBO are reviewed based on special researches supported by the National Natural Science Foundation of China and other related studies around the world in recent years. It is indicated that air-sea interactions in the warm ocean alone can support TBO cycle without the forcing of the tropical eastern Pacific, which suggests that the TBO is an air-sea coupling system that is independent from ENSO. Nevertheless, extensive studies are still needed from multiple aspects to understand the essence of TBO.

Key words: climatology; Tropospheric Biennial Oscillation (TBO); review; air-sea interaction; interannual variability