

文章编号: 1004-4965 (2005) 01-0079-08

对流层准两年周期振荡的研究进展

郑 彬, 梁建茵

(中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘 要: 对流层大气环流和气象气候要素具有明显的准两年周期振荡, 被称为 Tropospheric (Quasi-) Biennial Oscillation (TBO)。综述了各种 TBO 现象及其机理研究。目前发现对流层中温度、气压、风场、降水以及季风、副高等系统都存在 TBO 变化; 其机理研究表明, 热带海洋 (主要是印度洋和太平洋) 和平流层 QBO 在 TBO 的形成中起着重要的作用。此外, 欧亚雪盖和太阳活动的 11 年周期可能也会影响 TBO。

关 键 词: 对流层准两年周期振荡 (TBO); 热带海洋; 平流层准两年周期振荡 (QBO)

中图分类号: P434

文献标识码: A

1 引 言

大气活动千变万化, 从中提取有用的信息一直是大气科学家致力的工作。而大气中准周期信号的发现是大气象工作者值得骄傲的一件事, 认清这种现象的本质, 将对我们研究天气过程、改进预报方法等等有极大的帮助。在大气中最稳定的年际尺度准周期振荡现象是发生在热带平流层纬向风的准两年变化 (ENSO 循环准周期信号虽强, 但是其周期谱带较宽), 至于它的发现可以追溯到 1960 年代初。当时 Reed 等^[1] 分析了热带低平流层纬向风的时间序列, 发现纬向风每年都有不同的符号, 当然那时还没有准两年周期振荡 (或 QBO) 这个名词。事实上直到 Reed 等发现这一现象后的第 7 年, Belmont 和 Dartt^[2] 才在他们的研究中正式用 Quasi-Biennial Oscillation (QBO) 表征这种准周期变化。关于热带低平流层纬向风准两年周期振荡的机制, 科学家们提出许多看法, 而最后为人们所接受的是 Lindzen 和 Holton^[3,4] 的行星波垂直传播理论, 即热带对流层大气中的 Kelvin 波和 Rossby-重力混合波的垂直上传并与基本流的相互作用。这个理论的建立还有一个大功臣, 他就是 Matsuno, 因为平流层存在 Kelvin 波和 Rossby-重力混合波是他首先发现的^[5]。在研究纬向风 QBO 的机制的同时, 人们还在讨论另一个问题, 那就是大气的其它参数是否也有准两年的周期变化。而答案则是肯定的。就在 Reed 等发现平流层纬向风的准两年变化不久, Angell 和 Korshover^[6,7] 也揭示了这一现象, 而且另外还发现了平流层温度、对流层顶高度和臭氧总量也存在着准两年的周期振荡。之后大量的研究都表明^[8-12], 平流层中的臭氧 (O₃)、一氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO₂) 和氯化氢 (HCl) 等微量气体也都存在着准两年的周期变化。在揭示了如此之多的平流层大气参量和微量气体的准两年周期变化之后, 人们不禁将久视的目光从平流层转向对流层。其实早在 1960 年代末和 1970 年代, 就有过与对流层参量准两年变化相关的研究^[16,17],

收稿日期: 2003-12-26; 修订日期: 2004-02-18

基金项目: 中国气象局广州热带海洋气象研究所开放实验室基金子课题“TBO 年代际特征的初步研究”资助

作者简介: 郑 彬 (1974-), 男, 福建省人, 博士, 主要从事海气相互作用研究。

但是 Tropospheric (Quasi -) Biennial Oscillation (TBO) 研究的真正兴起却是在 1980 年代。随着亚洲季风研究的深入, 与亚洲季风有关的大气参量和天气过程的准周期振荡也得到了大量的研究, 其中准两年的周期振荡的研究占有很大的比重。

2 对流层准两年周期变化的研究进展

对流层由于有各种的天气过程以及与其它圈层的明显相互作用, 使得对流层准两年周期变化的研究比平流层复杂得多。其中最明显的区别就是对流层中不仅有大气环流的准两年变化, 许多气候要素, 甚至天气过程都有准两年周期振荡的现象。

2.1 关于季风强度的准两年周期变化

由于季风活动与人民生活密切相关, 因此从古到今一直是人们关心的话题, 当然今天对季风的理解与古代自是不可同日而语。虽然我们对季风已有更多的了解, 但是仍有许多问题有待我们深入研究, 其中关于季风强度的年际变化就是非常值得我们研究的课题。1997 年, Meehl^[18] 曾经给出一个关于季风强度 TBO 的定义: 一年相对强的季风, 紧接着一年相对弱的季风, 反之亦然, 这种变化即是 TBO。他还指出, 与其说这是一种振荡, 倒不如说是一种变化趋势。Yasunari 则认为亚洲季风与 ENSO 海气系统之间的关系密切, 应该将它们统一起来作为一个系统^[19], 即季风 - 大气 - 海洋系统 (MAOS), 他还进一步指出 MAOS 具有明显的准两年周期振荡的特性^[20]。邹力等^[21]的研究也表明, 东亚季风存在明显的准两年振荡, 并通过激发热带太平洋上空的强对流对 ENSO 循环产生影响。

关于 TBO 型季风的强弱转换机制, 目前的观点比较一致, 那就是海 - 陆 - 气相互作用的结果, 而 Meehl 和 Arblaster 等^[22, 23]通过观测资料的分析及敏感性试验指出: 海 - 气相互作用 (主要指印度 - 太平洋地区) 对 TBO 的贡献要大于陆 - 气相互作用 (主要指南亚地区)。Yasunari^[24]认为夏季风是热带季风海气耦合系统中的活跃成员, 弱 (强) 的夏季风会有利于从夏到冬的热带太平洋 El Niño (La Niña) 的发展, 随后通过波的传播导致东半球中纬度高 (低) 指数的发展, 与其相应的是弱 (强) 冬季风和冬春亚欧大陆雪盖面积的减小 (增加), 进而导致强 (弱) 夏季风的发生, 从而形成季风强度的 TBO 型转换。Chang 和 Li^[25]也指出 TBO 是北半球夏季风和冬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, 但又不同于 El Niño - Southern Oscillation (ENSO) 海气系统。最近, Yu 等^[26]利用一个耦合海气的大气环流模式 (GCM) 进行模拟试验, 结果表明, 当模式中耦合了太平洋的相互作用后, 印度 - 澳大利亚夏季风系统是同位相的 TBO 转换, 即强 (弱) 的印度夏季风对应的是强 (弱) 的澳大利亚夏季风; 当模式中考虑印度洋的相互作用后, 印度 - 澳大利亚夏季风系统则是反位相的 TBO 转换。Loschnigg 等^[27]则利用了 NCAR 的气候系统模式 (CSM), 模拟结果指出, 耦合的海 - 气动力作用和越赤道热量的输送通过影响印度洋的热容量并导致多个季节的海温异常, 从而影响 ENSO - 季风系统的年际变率和两年周期, 而这正是 TBO 形成的关键因素。上述结论都是针对印度季风而言的, 对东亚季风来说, Li 等^[28]认为异常东亚冬季风与 ENSO 循环的相互作用是 TBO 的基本原因 (图 1)。持续的强 (弱) 东亚冬季风通过海 - 气相互作用可以激发 El Niño (La Niña), 而 El Niño (La Niña) 又通过遥相关或遥响应导致东亚冬季风偏弱 (强)。

2.2 降水的准两年周期振荡

早期研究降水年际变化主要是局限在印度夏季风降雨上, 如 1983 年, Mooley 和 Parthasarathy 在研究印度夏季降水时发现其旱涝指数的功率谱具有明显的准两年周期振荡现象^[29]。之后不久, Mukherjee 等^[30]的研究也发现印度季风降雨有准两年振荡现象, 而且同平流层的 QBO 有很好的关系, 当 QBO 为东风位相时, 印度季风雨偏少。随着东亚季风研究的深入, 与之密切相关的东亚地区, 特别是中国大陆地区降水的年际变化也得到了大量的研究^[31~34]。一些特定区域的降水, 如长江中上游、中下游汛期降水和浙江省四季的降水量也都发现了准两年的周期振荡^[35~37]。与印度季风降雨不同的是, 中国季风

降雨的年际变化很大程度上还表现在雨带的移动上。廖荃荪和王永光^[38]的研究表明, 在平流层西风位相条件下, 中国 7 月主要的雨带位置偏北, 而在其东风位相时则偏南。

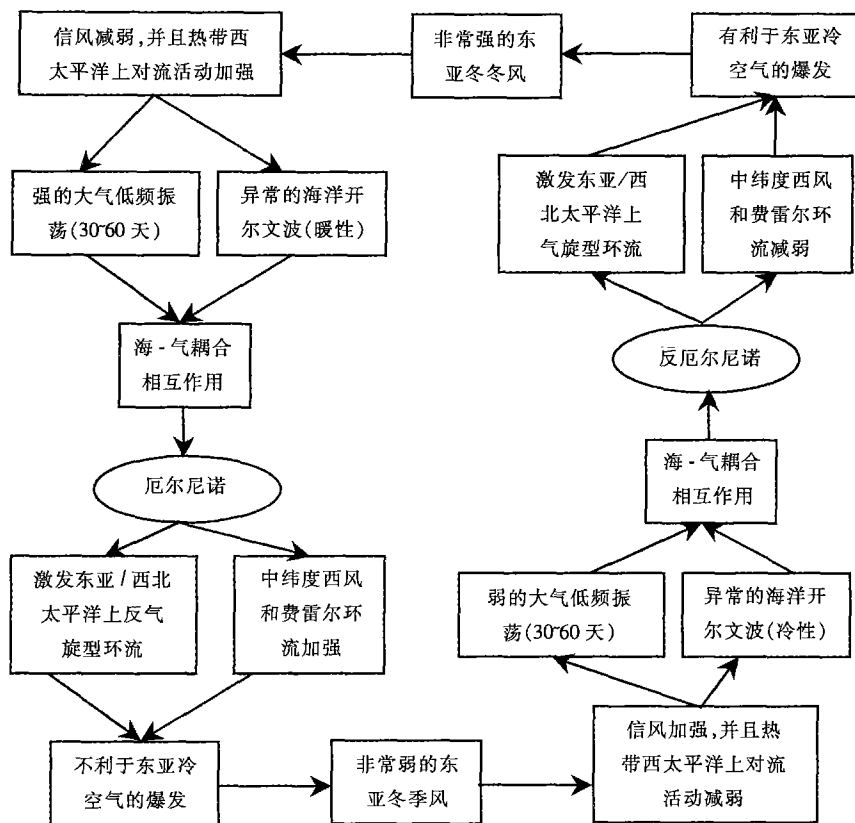


图 1 异常东亚冬季风与 ENSO 循环的相互作用 (文献 [28])

关于降水准两年周期变化的机制也有几种不同的看法。最早的研究是将其与平流层的 QBO 联系在一起^[30, 38, 39]。事实上, Angell 和 Korshover^[7]很早就发现热带对流层顶高度有准两年的周期振荡, 之后得到 Reid 和 Gage^[40]的证实, 而平流层 QBO 影响对流层顶乃至对流层则是通过纬向风的垂直切变完成的。图 2 是平流层位相风垂直切变影响热带大气在对流层顶附近等压面及空气温度的示意图^[41, 42]。图中显示, 对于平流层低层为东风切变的情况, 赤道地区的对流层上层有异常上升运动, 从而导致 Hadley 环流加强; 相反, 对于平流层低层为西风切变的情况, 赤道地区的对流层上层有异常下沉运动, Hadley 环流将受到削弱。也就是说平流层 QBO 通过改变对流层的环流形势从而影响对流层中的降水过程。另一种解释是将降水与季风活动的年际变化联系起来^[43, 44]。这是容易理解的, 因为受季风影响的国家和地区, 其降雨也主要受季风控制。对降水的准两年变化还有一种解释就是关于欧亚雪盖的影响。杨秋明^[45]的研究表明, 欧亚雪盖年际变化中存在极显著的准两年周期振荡, 并会造成下垫面冷源异常, 直接激发大气低频流型或影响欧亚大陆地区能量收支和水分循环, 从而改变大气内部加热源 (汇) 的强度; 另外他还指出中国降水对欧亚雪盖准两年周期变化会产生显著的低频响应。

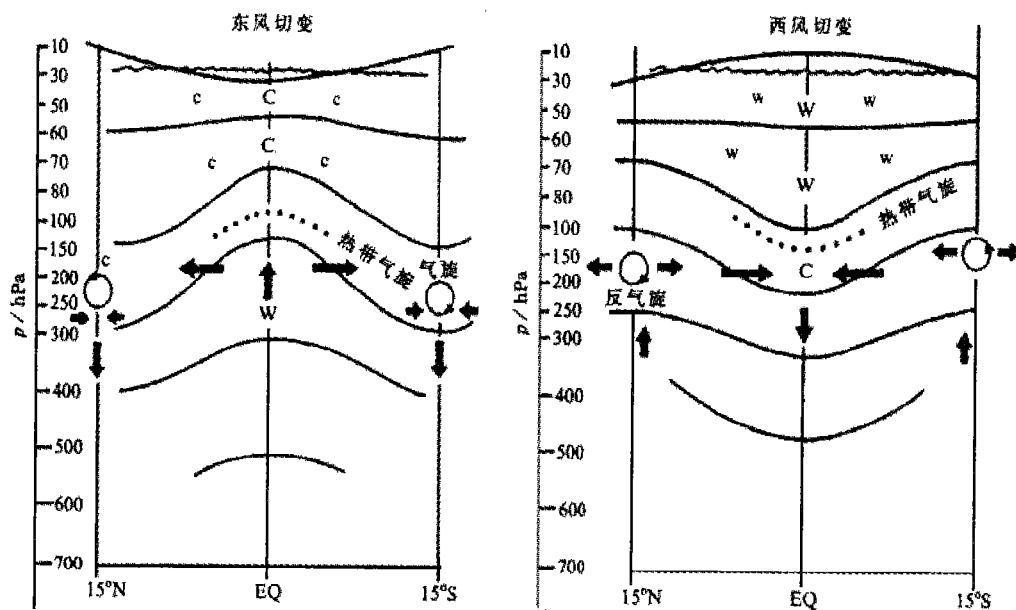


图2 平流层低层纬向风垂直切变及其影响的示意图 (文献 [42])

2.3 其它一些气象气候要素和天气系统的 TBO

除了降水和季风强度的 TBO, 人们还发现了其它一些气候要素和天气系统的 TBO。1971 年, James^[46] 在北半球海平面季节气压的功率谱中发现明显的准两年周期。之后, Walsh 和 Mosterk^[47] 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有准两年的周期振荡。其后, 许多要素的准两年周期变化被陆续揭示出来, 如北半球地面气压^[48]、全球及南北半球平均气温^[49, 50]、热带纬向风和海面温度^[51] 等等。此外, 李崇银和龙振夏^[42] 还发现西太平洋副高活动, 包括副高脊线纬度位置和副高强度, 都有准两年振荡的特征。而李永平等^[52] 分析了 500 hPa 位势高度异常场, 发现了准两年的分量, 并且呈现出由副热带向中高纬度传播的行进波特征。不仅如此, Gray^[53]、李崇银和龙振夏^[54] 还分别发现大西洋风暴和西太平洋台风的发生次数也有准两年的周期变化, 通常在 QBO 的西风位相时, 大西洋风暴次数相对较多, 而西太平洋台风偏少。

对热带要素 TBO 的机理研究, 近几年也有一些工作。Sathiyamoorthy 和 Mohanakumar^[55] 分析了印度近赤道站点 Thumba (8°23'N, 76°52'E) 上空的气温资料, 发现了 20~32 个月 (即准两年) 的周期振荡, 并且其位相从地面到对流层顶不随高度改变, 他们还指出这种振荡同印度季风降水的强度以及平流层纬向风准两年周期振荡有关。Li 等^[56] 利用耦合的海-气模式进行西太平洋海温异常和纬向风异常 TBO 的模拟试验, 结果表明, TBO 对内部的海-气耦合系数以及外部的的基本状态参量都十分敏感, 当这些参数有一些很小的变化, 模式运行结果就会从 TBO 状态变成无序或一般的年变化。Kwan 和 Samah^[57] 通过分析平流层 QBO 和对流层顶高度、500 hPa 气压和海面温度的准两年变化, 得到了 TBO 与 QBO 在热力学上是相关的结论。还有一种观点^[58] 是认为气候系统的准两年周期性源于该系统对太阳活动 11 年周期调制的季节强迫的非线性响应。

3 TBO 研究存在的一些问题

综上所述可以看出, 对流层准两年周期振荡的研究开展得非常热烈, 从各种观测资料的分析到不

同模式的数值模拟,从现象的揭示到机理的解释,凡此种种,难于枚举。这许多的观测事实和研究成果为我们了解 TBO 提供了重要的依据。虽然如此,但目前关于 TBO 仍存在问题有待研究。

3.1 TBO 的实体到底是什么?

从以上的综述可以看出,对流层中有许多要素甚至包括海面温度都具有准两年周期变化的特征,但是到底哪一种要素或哪几种要素的 TBO 变化是主要的和根本的却不清楚。在平流层 QBO 研究的过程中,虽然也发现了多种要素的 QBO 现象,但是提到平流层的 QBO,人们首先想到的则是热带纬向风的 QBO,这不仅仅是因为纬向风 QBO 最早被发现,而且还在于它是其它要素(如温度,微量气体含量等)QBO 产生的主要动力原因^[14, 59-61]。如果当初最先发现的不是纬向风的 QBO,而是其它要素的准两年振荡,那么对平流层 QBO 机理的研究也许不会那么快得到满意的结果。如此说来,Lindzen 和 Holton 不可谓不幸运。如今 TBO 的研究正面临着这么一个问题,什么才是 TBO 的实体呢?这个问题如果不解决,在研究 TBO 机理中就可能走弯路,就像目前一样,对 TBO 机理的研究多是停留在描述性的理论。

3.2 TBO 与各圈层的相互作用

在 1974 年国际气象组织(WMO)和国际科学联盟(ICSU)联合召开的国际讨论会上,提出了气候系统(由大气、水、冰雪、岩石和生物 5 个圈层组成)的概念,随着大气科学研究的深入,日益重视大气圈与其它圈层的相互作用。就目前来说,季风(特别是亚澳季风系统)强度的 TBO 转换与其它圈层的作用是最迫切需要知道的,正如 CLIVAR 计划亚澳季风工作小组^[62]在其研究计划书上提到的,季风气候影响着地球上超过 60% 的人口,而亚澳季风又是地球气候系统的一个完整组成部分,并且包含了大气圈、水圈和生物圈的复杂的相互作用。因此他们将预报亚澳季风变率及其与地球其它气候系统在从天到年代际的时间尺度上的相互作用作为亚澳季风工作的研究目的。在前面已提到,亚澳季风系统或其成员的 TBO 与热带印度洋和太平洋有很明显的相互作用,但是相对来说,它与冰雪圈、生物圈和岩石圈的相互作用则研究的较少。另外,除了要考虑各圈层间的相互作用,大气圈自身各层之间的相互作用也很重要。平流层是紧邻对流层的大气层,它们之间有很强的相互作用。因此 1992 年 WCRP 建立 SPARC (Stratospheric Processes And their Role in Climate) 计划来研究平流层过程对自然气候变率和气候改变的影响,SPARC 在其技术报告中指出,观测资料和模式试验都表明研究对流层状态的变化和长期改变时不能忽略平流层^[63]。然而目前 TBO 和 QBO 的研究^[37, 38]指出,TBO 与 QBO 的相关性虽然很好,但是在 El Niño 事件发生时,它们之间的关系会受到影响。因此在研究 TBO 与海洋以及平流层关系及相互作用时,还要进一步研究这两种相互作用的相对大小。

3.3 TBO 对全球气候变化及其预报的贡献有多大

1995 年开始的气候变率及其可预报性(CLIVAR)计划,目的是研究全球气候在各种时间尺度上的变化及其可预报性问题。而 TBO 是对流层大气中很强的准周期信号,对 TBO 的理解将有助于对全球气候变化及其可预报性的研究。但是目前对 TBO 的研究还在发展,仍需要一段时间的探索,特别是在前面的两个问题上,期望能得到很好的理解和解决。

4 小 结

从 1961 年发现 QBO 到现在近半个世纪,其间不仅对平流层 QBO 现象的研究有突破性的进展,还揭示了对流层大气环流和气象气候要素的准两年周期振荡,并称之为 TBO。对 TBO 的机理研究发现,热带海洋(主要是印度洋和太平洋)和平流层 QBO 在 TBO 的形成中起着重要的作用。此外,欧亚雪盖和太阳活动的 11 年周期可能也会影响 TBO。

目前对 TBO 的研究取得了许多重要成果,但是仍然有一些问题有待进一步研究。首先就是搞清 TBO 的实体,找出研究的主要对象;第二个问题是 TBO 与气候系统相互作用;在前两个问题得到较好

解决之后,将有助于下一个问题的研究,即 TBO 对全球气候变化及其预报的贡献有多大。这些问题的解决将有赖于大气及相关工作者的不懈努力。

参 考 文 献:

- [1] REED R G, CAMPBELL W J, RASMUSSEN L A, et al. Evidence of the downward - propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere[J]. J Geophys Res, 1961, **66**(6): 813 - 818.
- [2] BELMONT A D, DARTT D G. Variation with longitude of the quasi - biennial oscillation[J]. Mon Wea Rev, 1968, **96**(5): 767 - 777.
- [3] LINDZEN R S, HOLTON J R. A theory of the quasi - biennial oscillation[J]. J Atmos Sci, 1968, **25**(9): 1095 - 1107.
- [4] HOLTON J R, LINDZEN R S. An updated theory for the quasi - biennial cycle of the tropical stratosphere[J]. J Atmos Sci, 1972, **29**(8): 1076 - 1080.
- [5] MATSUNO T. Quasi - geostrophic motions in the equatorial area[J]. J Meteor Soc Japan, 1966, **44**(1): 25 - 43.
- [6] ANGELL J K, KORSHOVER J. The biennial wind and temperature oscillation of the equatorial stratosphere and their possible extension to higher latitudes[J]. Mon Wea Rev, 1962, **90**(1): 127 - 132.
- [7] ANGELL J K, KORSHOVER J. Quasi - biennial variations in temperature, total ozone and tropopause height[J]. J Atmos Sci, 1964, **21**(3): 479 - 492.
- [8] FUNK J P, GARNHAM G L. Australian ozone observations and a suggested 24 month cycle[J]. Tellus, 1962, **14**(3): 378 - 382.
- [9] RAMANATHAN K R. Bi - annual variation of atmospheric ozone over the tropics[J]. Q J R Meteorol Soc, 1963, **89**(4): 540 - 542.
- [10] HASEBE F. Interannual variations of global ozone revealed from Nimbus 4 BUUV and ground - based observations[J]. J Geophys Res, 1983, **88**(D8): 6819 - 6834.
- [11] HASEBE F. Quasi - biennial oscillation of ozone and diabatic circulation in the equatorial stratosphere[J]. J Atmos Sci, 1994, **51**(6): 729 - 745.
- [12] YANG H, TUNG K K. On the phase propagation of extratropical ozone quasi - biennial oscillation in observational data [J]. J Geophys Res, 1995, **100**(D5): 9091 - 9100.
- [13] LUO M, RUSSELL III J M, HUANG T Y W. Halogen Occultation Experiment observations of the quasi - biennial oscillation and the effects of Pinatubo aerosols in the tropical stratosphere[J]. J Geophys Res, 1997, **102**(D15): 19, 187 - 19, 198.
- [14] CHEN Y - J, ZHENG B H, ZHANG J JIAN. A study on the features and dynamic cause of ozone quasi - biennial oscillation in Stratosphere[J]. Adv Atmos Sci, 2002, **19**(6): 777 - 793.
- [15] 郑 彬,陈月娟,简 俊. NO_x 的准两年周期变化及其与臭氧准两年周期振荡的关系 I: 资料分析[J]. 大气科学, 2003, **27**(5): 821 - 833.
- [16] ANGELL J K, KORSHOVER J. Additional evidence for quasi - biennial variations in tropospheric parameters[J]. Mon Wea Rev, 1968, **96**(6): 778 - 784.
- [17] TRENBERTH K E. A quasi - biennial standing wave in the Southern Hemisphere and interrelations with sea surface temperature[J]. Q J R Meteorol Soc, 1975, **101**(1): 55 - 74.
- [18] MEEHL G A. Coupled land - ocean - atmosphere processes and south Asian monsoon variability[J]. Science, 1994, **266**(2): 263 - 267.
- [19] 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.
- [20] YASUNARI T. The monsoon year—A new concept of the climate year in the tropics[J]. Bull Ame Meteor Soc, 1991, **72**(9): 1331 - 1338.
- [21] 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.

- [22] MEEHL G A, ARBLASTER J M. Indian monsoon GCM sensitivity experiments testing tropospheric biennial oscillation transition conditions[J]. *J Climate*, 2002, **15**(9): 923–944.
- [23] MEEHL GA, ARBLASTER J M, LOSCHNIGG J. Coupled ocean – atmosphere dynamical processes in the tropical Indian and pacific oceans and the TBO[J]. *J Climate*, 2003, **16**(13): 2138–2158.
- [24] YASUNARI T. Global teleconnections associated with Indian monsoon and ENSO[J]. *Meteor Res Report*, University of Tokyo, 1988, **1**(1): 30–38.
- [25] CHANG C – P, LI T. A theory for the tropical tropospheric biennial oscillation[J]. *J Atmos Sci*, 2000, **57**(14): 2209–2224.
- [26] YU J – Y, WENG S – P, FARRARA J D. Ocean roles in the TBO transitions of the Indian – Australian monsoon system [J]. *J Climate*, 2003, **16**(18): 3072–3080.
- [27] LOSCHNIGG J, MEEHL G A, WEBSTER P J, et al. The Asian Monsoon, the tropospheric biennial oscillation, and the Indian ocean zonal mode in the NCAR CSM[J]. *J Climate*, 2003, **16**(11): 1617–1642.
- [28] 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.
- [29] MOOLEY D A, PARTHASARATHY B. Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation features[J]. *Mon Wea Rev*, 1983, **111**(7): 967–978.
- [30] MUKHERJEE B K, INDIRA K, REDDY R S, et al. Ramana Murty, Quasi – biennial oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon[J]. *Mon Wea Rev*, 1985, **113**(9): 1421–1424.
- [31] 赵汉光. 我国降水振荡周期特征的初步分析[J]. *大气科学*, 1986, **10**(4): 426–430.
- [32] 朱乾根, 智协飞. 中国降水准两年周期变化[J]. *南京气象学院学报*, 1991, **14**(3): 261–267.
- [33] 况雪源, 丁裕国, 施能. 中国降水场 QBO 分布型态及其长期变率特征[J]. *热带气象学报*, 2002, **18**(4): 359–367.
- [34] 陈兴芳, 宋文玲. 近 10 年我国降水的 QBO 分析[J]. *应用气象学报*, 1997, **8**(4): 469–476.
- [35] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在我国降水中的表现[J]. *大气科学*, 1988, **12**(3): 267–273.
- [36] 王建新, 吕君宁, 石永贵. 长江中上游地区汛期降水的准两年振荡[J]. *南京气象学院学报*, 1995, **18**(2): 229–233.
- [37] 顾骏强, 施能, 王永波. 近 50 年浙江省旱、涝气候变化及特征[J]. *热带气象学报*, 2001, **17**(4): 429–435.
- [38] 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.
- [39] 梁平德. 平流层风准两年振荡与华北夏季降水[A]. 长期天气预报论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 1992. 151–155.
- [40] REID G C, GAGE K S. Interannual variations in the height of tropical tropopause[J]. *J Geophys Res*, 1985, **90**(D6): 5629–5635.
- [41] GRAY W M, SHEAFER J D, KNAFF J A. Influence of the stratospheric QBO on ENSO variability[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1992, **70**(5): 975–994.
- [42] 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.
- [43] MEEHL G A, ARBLASTER J M. The tropospheric biennial oscillation and Asian – Australian monsoon rainfall[J]. *J Climate*, 2002, **15**(7): 722–744.
- [44] SHEN S, LAU K M. Biennial oscillation associated with the East Asian summer monsoon and tropical sea surface temperatures [J]. *J Meteor Soc Japan*, 1995, **73**(1): 105–124.
- [45] 杨秋明. 欧亚雪盖准 2 年振荡对中国降水的影响[J]. *气候与环境研究*, 1997, **2**(1): 83–91.
- [46] JAMES W A. Long – period variations in seasonal sea – level pressure over the Northern Hemisphere[J]. *Mon Wea Rev*, 1971, **99**(1): 49–66.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] RASMUSSEN E M, WANG X, ROPELEWSKI C F, The biennial component of ENSO variability[J]. *J Mar Sys*, 1990, **1**: 71–96.
- [52] 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.

- [53] GRAY W M. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30mb quasi - biennial oscillation influences[J]. Mon Wea Rev, 1984, **112**(9): 1649 - 1668.
- [54] 李崇银, 龙振夏. 准两年振荡及其对东亚大气环流和气候的影响[J]. 大气科学, 1992, **16**(2): 167 - 176.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] KWAN K F, SAMAH A A. Short communication a conceptual model relating the quasi - biennial oscillation and the tropospheric biennial oscillation[J]. International Journal of Climatology, 2003, **23**(3): 347 - 362.
- [58] WENG Hengyi. Impact of the 11 - yr solar activity on the QBO in the climate system[J]. Adv Atmos Sci, 2003, **20**(2): 303 - 309.
- [59] 彭永清, 王盘兴, 吴洪宝. 大气低频变化的分析与应用[M]. 北京: 气象出版社, 1997.
- [60] JONES D B, SCHNEIDER H R, MCELROY M B. Effects of the quasi - Biennial oscillation on the zonally averaged transport of tracers[J]. J Geophys Res, 1998, **103**(D10): 11235 - 11249.
- [61] 张 弘, 陈月娟, 吴北婴. 准两年振荡对大气中微量气体分布的影响[J]. 大气科学, 2000, **24**(1): 103 - 110.
- [62] The US CLIVAR Asian - Australian monsoon working group, An Asian - Australian monsoon research prospectus[R]. 2001.
- [63] SPARC, Stratospheric processes and their role in climate[R]. Implementation plan Tech Rep, 1998, WMO/TD, 914.

ADVANCE IN STUDIES OF TROPOSPHERIC BIENNIAL OSCILLATION

ZHENG Bin, LIANG Jian - yin

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology of CMA, Guangdong 510080, China)

Abstract: There are obvious biennial phenomena of circulation, meteorological and climatic elements in the troposphere, named as Tropospheric(Quasi -) Biennial Oscillation(TBO). Many phenomena of TBO are discovered, such as variations of TBO in tropospheric temperature, pressure, winds field, monsoon and subtropical high etc. The mechanism of TBO is explored and the results demonstrate that tropical ocean(the Indian Ocean and the Pacific Ocean, mainly) and Stratospheric QBO play important roles in the TBO. In addition, Eurasian snow cover and solar activity of 11yr period can affect TBO very possibly.

Key words: tropospheric biennial oscillation (TBO); tropical ocean;
quasi - biennial oscillation(QBO)