科学通报 2010 年 第 55 卷 第 29 期：2863 ~ 2868
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

东亚季风演变与对流层准两年振荡

李崇银[①②], 阙志萍[①③], 潘静[①]

① 中国科学院大气物理研究所, 大气数值模拟国家重点实验室, 北京 100029;
② 解放军理工大学气象学院, 南京 211101;
③ 中国科学院研究生院, 北京 100049
E-mail: lcy@lasg.iap.ac.cn

2010-04-16 收稿, 2010-07-13 接受
国家自然科学基金(U0833602)和国家重点基础研究发展计划(2007CB411805)资助项目

摘要 对流层准两年振荡(TBO)是 20 世纪 80 年代后期揭示出的新现象, 其机理尚未完全搞清楚. 用 ECMWF 逐日格点再分析资料(1961~2000 年)以东亚季风为研究对象, 首先选取对东亚冬季风和夏季风都具有一定表征能力的区域, 根据风场(东北-西南向风速)定义了一个冬、夏季统一的通用东亚季风指数(EAMI), 它既可描写东亚冬季风, 也可以描写东亚夏季风, 还能反映东亚冬季风和东亚夏季风之间的转换特征. 进一步分析发现, 东亚冬季风和东亚夏季风的变化之间有很好的联系. 一般, 强东亚冬季风活动有利于其后东亚夏季风偏强; 反之, 弱东亚冬季风活动则有利于其后东亚夏季风偏弱. 但是, 强(弱)东亚夏季风活动却有利于其后东亚冬季风偏弱(强). 因此, 东亚季风异常的这种循环变化特征, 也就是东亚夏季风与东亚冬季风的相互作用可以认为是导致东亚地区出现 TBO 的一个重要机制.

关键词
东亚季风
年际变化
相互作用
对流层准两年振荡(TBO)机制

东亚季风是全球最典型、最活跃、最强大的季风系统. 无论是东亚冬季风还是夏季风, 其活动和异常都会对东亚和东南亚地区, 乃至全球的大气环流和天气气候产生不同程度的影响, 因此对东亚季风的研究一直是大气科学的前沿课题之一[1~3]. 而已有的研究绝大部分是分别对东亚冬季风或东亚夏季风进行研究, 并由于夏季风降水异常对社会的影响比较大, 对其研究就更多一些. 已有一些研究注意到东亚冬季风和夏季风变化存在相互联系和相互影响的关系, 但它们之间的关系究竟如何, 目前还没有达成共识. 孙淑清等人[4,5]通过对典型个例的分析, 研究了东亚冬季风活动与夏季环流异常和气候变化的关系, 指出强(弱)冬季风年对应后期的东亚夏季风弱(强); 并指出对应强夏季风年长江流域降水偏少, 反之降水偏多. 赵振国[6]根据海平面气压差分别定义的冬、夏季风指数, 统计分析了东亚冬季风和夏季风年际变化的关系, 发现冬季风和夏季风之间多数情况存在反向变化关系, 其反位相变化的年份占 60.46%, 同位相的占 39.53%. 考虑到东亚夏季风变化与西太平洋副热带高压有密切联系, Chen 等人[7]利用 10 m 高度的经向风定义东亚冬季风指数, 发现强(弱)冬季风年之后的夏季 850 hPa 异常流场所反映的西太平洋副热带高压有偏北(偏南)特征; 还发现强(弱)东亚冬季风年之后, 中国夏季降水会出现偏多(少). 综合已有研究结果可以看到, 有关东亚冬夏季风活动与中国夏季长江流域降水变化关系的结论是比较一致的; 但关于东亚冬季风和夏季风变化之间的关系研究, 其结论却有很大的差异.

除平流层的准两年振荡(QBO)之外, 人们也发现对流层的环流和降水变化也存在准两年震荡的特征, 尤其是在亚洲季风区. 进而也就提出了对流层准两年震荡的问题, 并将其称之为 TBO[8,9]. Miao 和

英文版见: Li C Y, Pan J, Que Z P. Variation of the East Asian monsoon and the tropospheric biennial oscillation. Chinese Sci Bull, 2010, 55, doi: 10.1007/s11434-010-4200-6

Lau[10]以及殷宝玉等人[11]的研究表明东亚季风区的夏季降水存在明显的准两年振荡现象. 但关于导致TBO 发生的动力学机制尚无一致的意见, Lau 等人[12]和 Rasmussen 等人[13]的研究认为亚洲夏季风降水的准两年振荡与 ENSO 的准两年振荡分量有关; Li 等人[14]的进一步研究表明, 异常东亚冬季风的活动与 ENSO 的相互作用是导致季风区 TBO 的重要机制; 最近黄荣辉等人[15]的研究认为, 中国东部夏季降水的准两年振荡主要受热带西太平洋热力状态的影响, 尤其是水气输送的影响; 而 Chen 等人[16]的研究表明定常行星波的活动可以使平流层的 QBO 影响到对流层, 导致东亚冬季风的变化, 进而也可能对 TBO 的产生起一定作用.

本文将把东亚季风系统视为一个整体, 提出一个统一的季风指数, 再从它的演变特征揭示东亚冬季风和东亚夏季风异常的相互影响(作用)规律, 进而说明东亚冬季风和东亚夏季风的演变特征, 特别是强、弱东亚冬季风和东亚夏季风的演变是东亚季风区 TBO 产生的一种重要原因.

1 资料

本文所用资料包括 1961~2000 年共 40 a 的 ECMWF 逐日格点资料, 分辨率为 2.5°×2.5°, 其中闰年已将 2 月第 29 天剔除, 即 2 月全部为 28 天. 本文所用的梅雨降水资料由国家气候中心提供, 时间长度为 1885~2005 年; 该降水资料由长江中下游 5 个代表站的梅雨期总降水量平均而得, 它们分别是: 上海、南京、芜湖、九江和武汉.

2 东亚季风通用指数

由于过去一般都是分别在研究东亚的冬季风和夏季风, 也就分别定义了各种东亚夏季风和东亚冬季风指数, 各自用来描写东亚夏季风、东亚冬季风的活动及其异常; 也用它们来分析强、弱东亚夏季风, 强、弱东亚冬季风对天气气候的影响, 以及东亚夏季风和东亚冬季风演变之间的关系. 最早郭其蕴[17]用 20°~50°N 范围内 110°和 160°E 的海平面气压差来定义东亚夏季风指数, 因其表现了东亚和西北太平洋地区的气压场特征, 也就能描写夏季风及其变化. 其后的不少研究多用南海夏季风指数来代替东亚季风指数, 而南海夏季风指数出现了各种定义办法, 包括用 850 hPa 风场[18]、射出长波辐射(OLR)场或 TBB 场[19]以及对流层上层和下层散度场[20](可反映风场和对流场)等所定义的各种指数. 还有基于东亚太平洋地区副热带高压南北风场差异[21]或者基于遥相关波列[22]所定义的夏季风指数. 总之, 东亚地区与南亚地区不同, 用风场要比用降水场来定义夏季风指数更为好一些.

关于东亚冬季风最初多用寒潮活动来表示, 1996 年施能等人[23]采用类似郭其蕴的办法, 提出用 20°~50°N 范围内, 110°和 160°E 的标准化海平面气压差来定义东亚冬季风指数. 考虑到东亚冬季风活动与 500 hPa 东亚大槽的密切关系, 有人用东亚冬季风活跃区的 500 hPa 位势高度、东亚大陆温度以及东南沿海 1000 hPa 北风分量的标准化组合来定义东亚冬季风指数[5]; 也有用冬季 110°~130°E, 25°~40°N 区域平均的 500 hPa 高度经标准化处理后定义为东亚冬季风指数[24]. 尽管定义的方法各异, 但所表现的东亚冬季风年际变化的基本特征是大体一致的.

考虑到东亚冬季风和东亚夏季风系统流场的基本特征, 冬季风以东北风为基本特征, 夏季风以西南风为基本特征(图 1); 同时也考虑到与东亚夏季风与冬季风之间要有更好、更合理的可比性, 我们选取(110°~122.5°E, 10°~22.5°N)区域平均的西南-东北向的风速资料, 经标准化后将其定义为通用的东亚季风指数(EAMI), 即

$$\mathrm{EAMI}=V/[\sum(V)^2/n]^{1/2},$$

其中, 区域平均的 $V=(u+v)/\sqrt{2}$, u 和 v 分别是纬向风和经向风; n 是所用资料的数目. 据此, 我们可求得每天的东亚季风指数.

图 2 给出的是多年平均通用东亚季风指数(EAMI)的年变化形势(基于每日资料的结果), 它不仅极其清楚地反映了东亚地区冬季和夏季的基本环流特征, 既适用于冬季风也适用于夏季风; 还能较好反映东亚冬季风和夏季风环流之间的转换特征, 平均而论, 5 月中下旬东亚夏季风将爆发, 而在 10 月中旬东亚冬季风即建立. 换句话说, 从图 2 可以清楚看到东亚季风及其演变的基本特征, 夏季的西南风平均为 4 m/s 左右, 冬季的东北风平均为 5 m/s 左右, 季风活动的特征和强度都十分突出. 同时还可以看到, 从冬季风向夏季风的演变要比从夏季风向冬季风的演变相对缓慢一些(5~6 月夏季风爆发期除外), 表明与冬季风相联系的北方冷空气的活动在东亚地区有

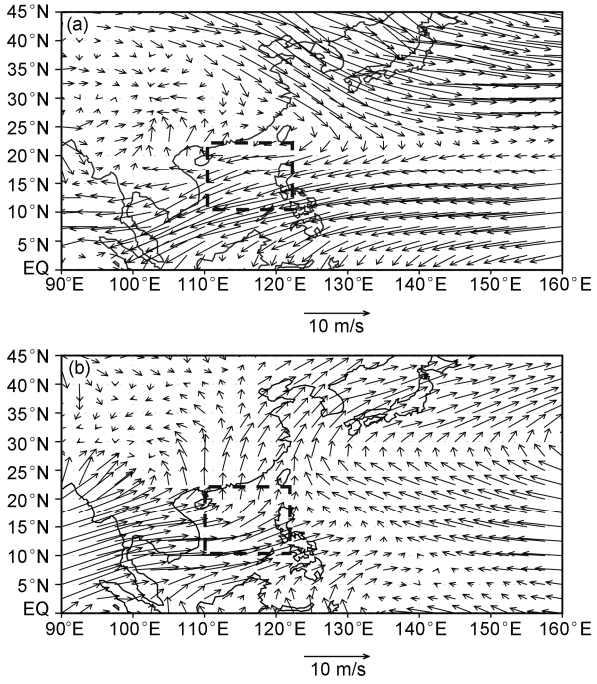


图 1　1961~2000 年平均的 1 月(a)和 7 月(b) 850 hPa 流场形势

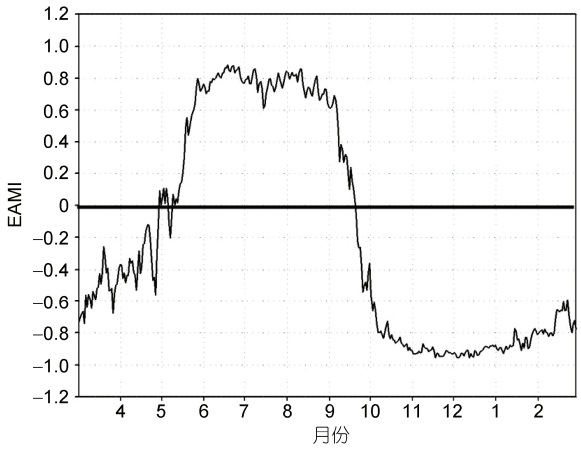


图 2　1961~2000 年平均的通用东亚季风指数(EAMI)的年变化形势(每日资料的结果)

更强劲作用, 这与存在青藏高原和东亚地区东邻太平洋所特有的热力动力条件有关.

曾庆存等人[25,26]基于风场的(标准化)变差度概念, 给出了全球季风区、大气环流季节转换的划分, 以及季节突变的定量描写. 与曾庆存等人的研究相比较, 本文所定义的东亚季风指数的平均年变化特征与他们的结果在东亚地区的演变特征是非常类似的. 说明上面所定义的通用东亚季风指数既可以同时描写东亚夏季风和冬季风, 也能表现东亚季风的转换特征.

3　东亚冬季风与夏季风异常之间的关系

我们将用东亚季风指数, 通过合成分析来揭示东亚冬季风与夏季风异常之间的关系. 为了便于更好揭示东亚冬季风与夏季风异常之间的关系, 分别根据各年冬季(12~次年 2 月平均)和夏季(6~8 月平均)季风指数值的大小, 首先选择平均 EAMI≥0.8 者为强夏季风年. 这样在 1961~2000 的 40 a 间可以有 15 个强夏季风年(1967, 1968, 1972, 1974, 1975, 1981, 1982, 1984, 1985, 1990, 1991, 1993, 1994, 1997 和 1999 年), 用这 15 a 作为分析个例, 即可得到它们合成的季风指数值; 然后将合成的季风指数再与多年平均的季风指数进行比较, 即可得到对应强夏季风情况的东亚季风指数距平, 如图 3 所示. 从图 3 可以清楚看到, 对应强东亚夏季风的情况(指数 EAMI 平均为正异常), 其后的东亚冬季风将是偏弱的, 指数 EAMI 主要为正异常. 换句话说, 这里的分析十分简明地表现出强东亚夏季风活动将会使得其后的东亚冬季风活动变弱.

类似地, 以 EAMI≤0.66 者为弱夏季风年, 在 1961~2000 的 40 a 间也就可以得到 11 个弱夏季风年(1964, 1966, 1969, 1971, 1980, 1983, 1988, 1989, 1995, 1996 和 1998 年), 对这 11 个弱夏季风年进行了合成, 即可得到它们合成的季风指数值; 然后将合成的季风指数再与多年平均的季风指数进行比较, 即可得到对应弱夏季风情况的东亚季风指数距平, 如图 4 所示. 很显然从图 4 中可以看到, 对应弱东亚夏季风情况(指数 EAMI 基本为负异常), 其后的东亚冬季风将是

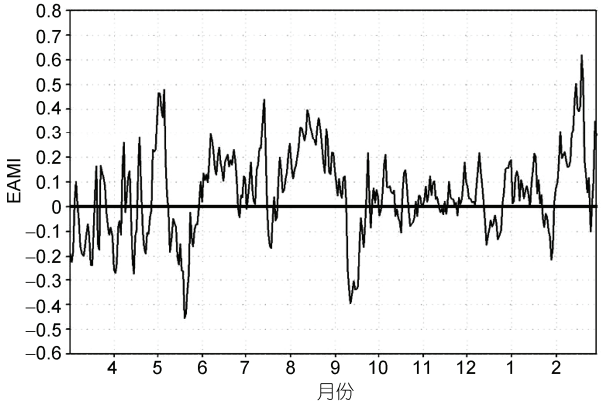


图 3　强东亚夏季风年合成的季风指数距平的演变

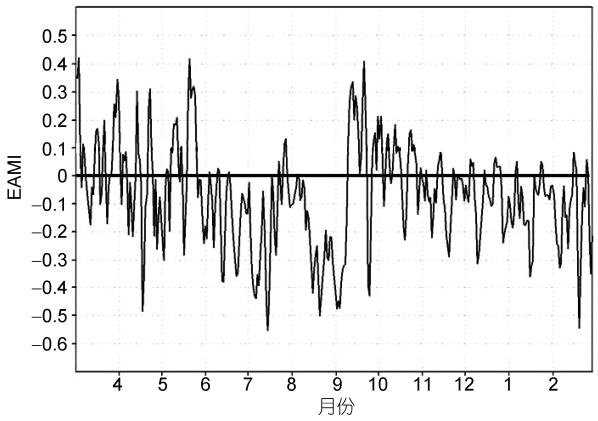


图 4 弱东亚夏季风年合成的季风指数距平的演变

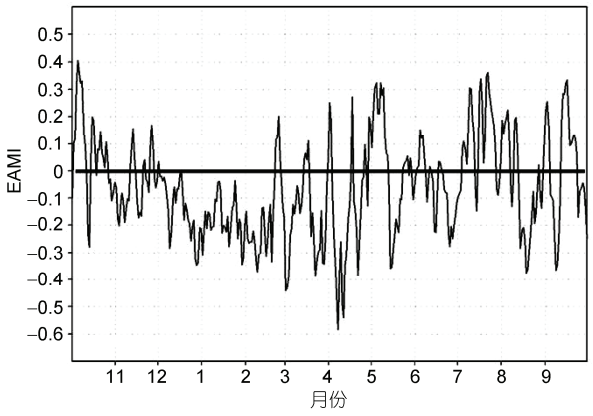


图 5 强冬季风年合成的季风指数距平的演变

偏强的(指数 EAMI 基本为负异常).

4 东亚季风演变与对流层准两年振荡(TBO)

分析表明, 在强东亚夏季风之后的冬季, 东亚季风指数反映为弱冬季风活动的特征; 而在弱东亚夏季风之后的冬季, 东亚季风指数反映为强冬季风活动的特征. 就是说东亚夏季风与之后的东亚冬季风有反向变化的关系, 强、弱东亚夏季风(异常)将分别引起其后弱、强东亚冬季风的异常活动. 在已有的研究中[24], 无论是用经向风还是地面温度所作的分析都表明东亚的冬季风和夏季风具有相同位相的变化特征, 即强(弱)东亚冬季风年之后, 或者说在东亚冬季负(正)地面温度距平之后, 夏季东亚地区有明显的异常南(北)风, 即东亚夏季风会偏强(弱). 下面将用本文定义的东亚通用季风指数, 通过合成分析来进一步揭示东亚冬季风与其后夏季风异常之间的关系. 首先用类似上面的办法选择强冬季风的 13 a (1961, 1966, 1969, 1970, 1971, 1973, 1975, 1981, 1985, 1988, 1995, 1998 和 1999 年)为例, 计算得到它们合成的季风指数值, 再与多年平均的季风指数进行比较, 即可得到对应强冬季风情况的东亚季风指数距平的演变, 如图 5 所示. 从图 5 可以清楚看到, 对应强冬季风异常(EAMI 基本为负距平), 其后的东亚夏季风也是偏强的(EAMI 主要或平均为正距平). 类似地, 取弱冬季风年的个例进行合成分析, 得到的也是相同变化结果, 即对应弱冬季风异常, 其后的东亚夏季风也是偏弱的(图略). 从上面的分析结果我们也就可以认为, 东亚冬季风与其后的东亚夏季风存在同向变化的关系, 强、弱东亚冬季风(异常)将分别引起其后强、弱东亚夏季风的异常活动. 本文的这个结果与过去已有的大部分研究得到的结果是一致的.

前面已经指出, 在东亚和南亚季风区, 对流层大气环流和气候变化都存在一种准两年振荡的特征, 为了与平流层的准两年振荡(QBO)相区别, 将其称之为对流层准两年振荡(TBO). 这里以长江中下游地区的夏季降水(梅雨)为例, 来说明其 TBO 特征. 图 6 给出的是长江中下游地区夏季梅雨量的小波分析结果, 可以清楚地看到夏季梅雨有极其明显的年际变化特征, 除了最为显著和稳定的 11 a 准周期变化外, 也存在有年际变化的 5~8 a 准周期变化; 同时, 准两年振荡特征在图 6 中也是十分明显的. 已有研究表明, 梅雨的准 11 年周期变化主要受北太平洋海温异常(SSTA)的年代际模和太阳黑子[27]准 11 年周期振荡的影响[28]; 而梅雨的 5~8 a 准周期变化, 主要是由于 ENSO 循环所导致的东亚大气环流异常所引起的[29]. 当然, 梅雨的这种准两年(2~3 a)振荡也必然与东亚大气环流的一定异常形势和变化有关, 尤其是与东亚夏季风的活动密切相关, 东亚夏季风的异常自然也就导致梅雨的异常. 一般, 弱东亚夏季风对应为江淮梅雨偏多, 强东亚夏季风对应为江淮梅雨偏少.

上面的分析研究表明, 江淮梅雨存在明显的准两年振荡现象, 而梅雨降水量的偏多(少), 往往与弱(强)东亚夏季风的活动相联系. 或者说, 江淮流域夏季梅雨的准两年振荡与东亚夏季风活动的异常密切相关. 梅雨与东亚夏季风的关系已有不少工作从不同角度进行了研究(例如文献[11,15]等), 其结果是比较明确和基本一致的, 本文也就未再进行资料的统计相关分析. 要强调的是在前一节的分析中, 还表明

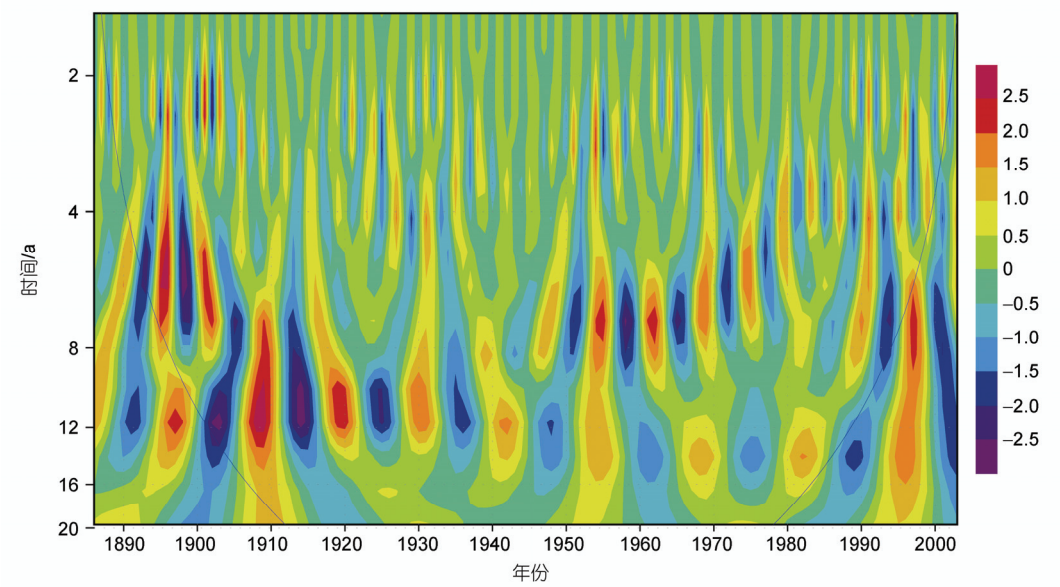


图 6　中国夏季梅雨量的小波分析结果

了东亚夏季风的异常同前一个冬季的东亚冬季风异常有关，强、弱东亚冬季风(异常)将分别引起其后强、弱东亚夏季风的异常活动. 因此，综合上面的一些分析结果，可以将东亚夏季风与东亚冬季风相互作用的基本特征表示成一种大气环流异常的循环，如图 7 所示. 这个循环表现了东亚夏季风与东亚冬季风异常的相互作用特征，即东亚季风变化的准两年振荡(TBO)现象；而且这种大气环流的 TBO 又会导致江淮梅雨的准两年振荡(TBO). 因此可以认为，东亚季风异常的循环变化特征，也就是东亚夏季风与东亚冬季风的相互作用或影响是东亚地区出现 TBO 的一个重要机制.

5　结论与讨论

为了研究和比较东亚冬季风和东亚夏季风的变化特征，以及它们之间的相互关系，本文定义了一个统一的通用东亚季风指数 EAMI. 这个指数既可以描写东亚冬季风也可以描写东亚夏季风，还能反映东亚冬季风和东亚夏季风之间的转换特征；同已有的一些指数所给出的东亚季风的年际变化相比，EAMI 的结果与其有基本一致的趋势.

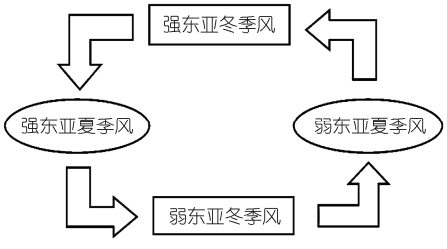


图 7　东亚季风异常的循环相互作用示意图

本文的分析表明东亚冬季风和东亚夏季风的变化或异常之间有很好的联系，一般，强东亚冬季风活动有利于其后东亚夏季风偏强；反之，弱东亚冬季风活动则有利于其后东亚夏季风偏弱. 但是，强东亚夏季风活动却有利于其后东亚冬季风偏弱；反之，弱东亚夏季风活动则有利于其后东亚冬季风偏强.

东亚地区的大气环流和气候存在明显的准两年振荡(TBO)特征，本文的资料诊断分析结果表明：东亚季风变化(异常)的循环特征，也就是东亚夏季风与东亚冬季风的相互作用或影响是东亚地区出现 TBO 的一个重要机制.

本文的研究是针对东亚季风及其变化进行的，也可以说是从大气系统的内部过程或变化来揭示东亚地区 TBO 的可能机制. 其结果与本文引言所提到的考虑外强迫作用的结果(如东亚冬季风与 ENSO 的相互作用、热带西太平洋热力状态等)是不矛盾的，而且是互为补充的，可以让我们更深入认识东亚地区准两年振荡机制. 因为引起大气系统变化的因素既有外源的强迫，也有大气内部动力或热力过程的作用，必须同时研究和认识这两方面的作用.

参考文献

1 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 362
2 中国科学院大气物理研究所. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 50
3 Chang C P. East Asian Monsoon. Singapore: World Scientific Publisher, 2004. 416
4 孙淑清, 孙伯民. 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系. 气象学报, 1995, 57: 513—522
5 陈隽, 孙淑清. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化, I. 强弱冬季风影响的对比研究. 大气科学, 1999, 23: 101—111
6 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 28—37
7 Chen W, Graf H F, Huang R H. Interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. Adv Atmos Sci, 2000, 17: 48—60
8 Meehl G. The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean region. Mon Weather Rev, 1987, 115: 27—50
9 Ropelewski C F, Halpert M S, Wang X. Observed tropospherical biennial variability and its relationship to the Southern Oscillation. J Clim, 1992, 5: 594—614
10 Miao J H, Lau K M. Interannual variatbility of East Asian monsoon rainfall. Quart J Appl Meteor, 1990, 1: 377—382
11 殷宝玉, 王莲英, 黄荣辉. 东亚夏季风降水的准两年振荡及其可能的物理机制. 见: 灾害性气候的过程及诊断论文集. 北京: 气象出版社, 1996. 196—205
12 Lau K M, Shen P J. Annual cycle, quasi-biennial oscillation and Southern Oscillation in global precipitation. J Geophys Res, 1988, 93: 10975—10988
13 Rasmussen E M, Wang X, Ropelewski C F. The biennial component of ENSO variability. J Mar Syst, 1990, 1: 71—90
14 Li C Y, Sun S Q, Mu M Q. Origin of the TBO—Interaction between anomalous East-Asian winter monsoon and ENSO cycle. Adv Atmos Sci, 2001, 18: 554—566
15 黄荣辉, 陈际龙, 黄刚, 等. 中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因. 大气科学, 2006, 30: 545—560
16 Chen W, Li T. Modulation of northern hemisphere wintertime stationary planetary wave activity: East Asian climate relationships by the Quasi-Biennial Oscillation. J Geophys Res, 2007, 112: D20120, doi: 10.1029/2007JD008611
17 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. 地理学报, 1983, 38: 207—217
18 梁建茵, 吴尚森, 游积平. 南海夏季风的建立及强度变化. 热带气象学报, 1999, 15: 97—105
19 何金海, 朱乾根, Murakami M. TBB 资料揭示的亚澳季风区季节转换及亚洲夏季风建立的特征. 热带气象学报, 1996, 12: 34—42
20 李崇银, 张利平. 南海夏季风特征及其指数. 自然科学进展, 1999, 9: 536—541
21 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. 气象学报, 2003, 61: 559—568
22 黄刚. 东亚夏季风环流异常指数与夏季气候变化关系的研究. 应用气象学报, 1999, 10: 61—69
23 施能, 朱乾根, 吴彬贵. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常. 大气科学, 1996, 20: 575—583
24 晏红明, 段玮, 肖子牛. 东亚冬季风与中国夏季气候变化. 热带气象学报, 2003, 19: 367—376
25 曾庆存, 张邦林. 大气环流的季节变化和季风. 大气科学, 1998, 22: 805—813
26 Li J P, Zeng Q C. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons. Adv Atmos Sci, 2003, 20: 299—302
27 潘静, 李崇银, 顾薇. 太阳活动对中国东部夏季降水异常的可能影响. 气象科学, 2010, 30: 6—13
28 Li C Y, Xian P. Atmospheric anomalies related to interdecadal variability of SST in the North Pacific. Adv Atmos Sci, 2003, 20: 859—874
29 宗海锋, 张庆云, 陈烈庭. 梅雨期中国东部降水的时空变化及其与大气环流、海温的关系. 大气科学, 2006, 30: 1189—1197