

南海夏季风槽的年际变化和影响研究

李崇银^{1, 2} 潘静¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学国家重点实验室, 北京 100029

2 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

摘 要 南海夏季风槽是南海夏季风的重要组成部分, 它的活动不仅对大气环流和气候有明显影响, 其本身也具有明显的年际变化特征。首先定义了一个描写南海夏季风槽强度的指数, 然后分别对强、弱南海夏季风槽年的例子进行了合成分析。分析结果表明, 对应强、弱不同的南海夏季风槽年份, 在大气环流背景、对流活动以及海温背景场方面都有很明显的区别, 说明南海夏季风槽的异常不是偶然的, 有其十分明显的大背景。合成分析的结果还表明, 南海夏季风槽的强弱异常不仅对中国夏季降水有重要影响, 还会通过遥相关过程影响北半球的其他区域。

关键词 南海夏季风槽 年际变化 影响 夏季降水 波列

文章编号 1006-9895 (2007) 06-1049-10

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Interannual Variation of the South China Sea Summer Monsoon Trough and Its Impact

LI Chong-Yin^{1,2} and PAN Jing¹

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

Abstract The South China Sea summer monsoon trough (SCSSMT) is an important part of the South China Sea summer monsoon system. It has distinct characteristics of interannual variation, which has important impacts on the summer circulation of China. In this paper, an intensity index of SCSSMT is brought forward first. Then strong and weak monsoon trough years are classified according to the index, and different variables of the background circulations associated with strong/weak monsoon trough years are synthesized. The synthesized results show that there exist quite different background fields, such as general atmospheric circulation, convective actions and SST in different monsoon trough years. It can be conferred that the monsoon trough anomaly, that is, anomalous strong/weak monsoon trough, is connected to the background fields. The impact of the monsoon trough anomaly on the precipitation of China is also discussed, which shows that anomalous South China Sea summer monsoon trough not only influences the precipitation in China, but also makes a remote impact on the circulation of the other areas in the Northern Hemisphere through teleconnection process.

Key words the South China Sea summer monsoon trough, interannual variation, summer rainfall, wave train

1 引言

亚洲地区是世界上主要的季风区之一, 季风活

动与人民的生产和生活有密切的关系。因为干旱、洪涝、冷害、酷暑等各种灾害性的天气气候现象都与夏季风活动有着紧密的联系。对亚洲夏季风的研究

究一直是国内外气象学界关注的重点。我国学者^[1~3]很早就开始了对夏季风的研究,并在国际上首先指出了亚洲夏季风可以分为印度夏季风和东亚夏季风两个季风子系统,亚洲夏季风率先于南海爆发,之后迅速北上影响中国大陆地区。国内外也有很多研究^[4~9]指出南海地区作为一个水汽源地和热源中心,对中国大陆的天气气候具有重大影响。

亚洲地区盛夏最主要的季风环流系统就是低空的西南季风和季风槽,以及高空强大的反气旋环流。就南海地区而言,夏季西南季风和西太平洋副高西南侧的偏东风都相当活跃,在这里这两支气流汇合构成的季风辐合带,也就是南海夏季风槽,在夏季的活动相当频繁。南海夏季风槽是南海夏季风的重要组成部分,它的强弱或者位置发生变化,可以影响整个南海夏季风环流系统的变化,从而影响夏季风的强弱和进退,进而影响到整个东亚地区的旱涝。因此对南海夏季风槽的活动进行研究是十分有必要的。南海夏季风槽是南海夏季风系统中引起降水的重要系统,它具有热带辐合带的鲜明特点,即强辐合、强对流。南海夏季风槽的异常必然会引起季风系统的异常,也势必对中国降水环流形势产生影响,已有相关研究^[10, 11]表明,南海夏季风的异常也会通过遥相关等过程影响到北半球的环流和天气。在研究了南海夏季风槽的基本特征及其与印度夏季风槽的气候特征对比的基础上^[12],本文以南海夏季风槽的年际变化作为研究对象,讨论它产生的背景以及异常所造成的影响。

本文第一部分是引言,第二部分是所用资料说明,第三部分是根据南海夏季风槽的强度指数得出的南海夏季风槽年际变化情况,并从中选取南海夏

季风槽的异常年。第三部分是对南海夏季风槽的强、弱异常年份进行合成,比较强、弱南海夏季风槽年的区别。第四部分是讨论强、弱南海夏季风槽对中国降水和北半球天气气候的不同影响。最后是讨论和结论。

2 资料说明

本文所用环流资料是 NCEP/NCAR 1960~1998 年逐日的再分析资料,分辨率是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。本文用于表征对流强弱的 OLR 资料源于 NDC/NOAA 的逐日 OLR 资料(1980~1998 年),分辨率是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。海温资料是 Hadley 月平均海温资料(1960~1998 年),分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$;降水资料采用中国大陆 160 个站点的月平均降水资料(1960~1998 年)。

3 南海夏季风槽的年际变化及强弱南海夏季风槽特征之对比

3.1 强、弱南海夏季风槽年的确定

关于南海夏季风槽的研究始于 20 世纪 70 年代,研究涉及季风槽的结构和活动。但由于资料的短缺,对季风槽的强、弱变化,影响等方面的研究在国内外都较少涉及到。在对南海夏季风槽的结构特征有较全面认识的基础上,根据南海夏季风槽低层结构呈准正压的特征,以夏季(6~8 月)南海区域($10^{\circ}\text{N} \sim 20^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$)对流层低层(1000 hPa、850 hPa、700 hPa)平均的相对涡度作为衡量该年南海夏季风槽强、弱的指数。季风槽指数大,表示该年南海夏季风槽比较强,反之亦然。1960~1998 年逐年南海夏季风槽的强度指数标准化结果如图 1 所示。可以看出,南海夏季风槽的强

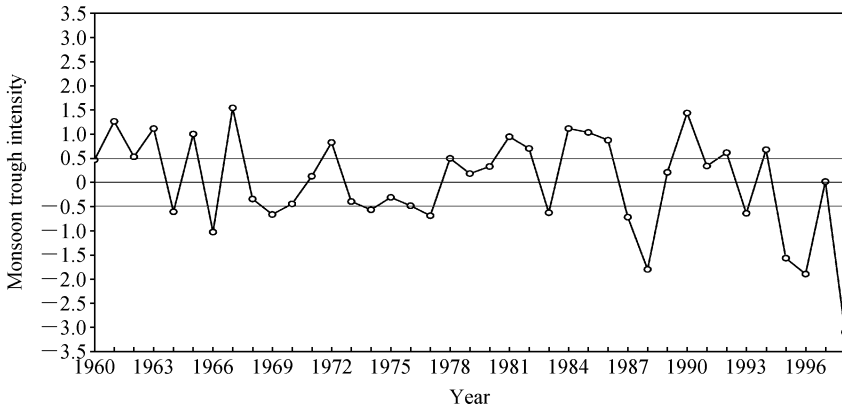


图 1 南海夏季风槽强度(标准化)的年际变化

Fig. 1 Interannual variation of normalized summer monsoon trough intensity in the South China Sea

弱程度逐年不同，有很明显的年际变化。以正负 0.5 为临界值，确定的夏季风槽强、弱年分别如下：在 1961、1963、1967、1972、1978、1981、1984、1985、1990、1992、1994 这 11 年，呈现出强南海夏季风槽特征；而弱南海夏季风槽也有 11 年，即 1964、1966、1969、1974、1977、1983、1988、1993、1995、1996、1998 年。这里所给出的强、弱南海夏季风槽的年份与已有研究得出的强弱南海夏季风的年份相比较，特别是 1980 年以后的结果十分一致^[13, 14]。这也从另一个方面说明了当南海夏季风强（弱）的时候，南海夏季风槽也是偏强（偏弱）的。

3.2 强、弱南海夏季风槽的背景特征对比

南海夏季风槽有明显的年际变化，南海夏季风槽的强度不同必然在各个要素场上有明显的不同表现。我们主要通过合成分析来揭示强、弱南海夏季风槽年的差异。本文将从大气环流场、对流场、海温背景场三个方面进行分析研究，其结果既是强、弱南海夏季风槽的特征，也是强、弱南海夏季风槽的形成背景，乃至原因。

3.2.1 大气环流背景场

首先，关注强、弱南海夏季风槽所对应的大气

环流形势场，尤其是它们的差异。图 2 是低层（850 hPa）流场的距平合成图，从图中可以发现强弱不同的南海夏季风槽对应的是截然不同的大气环流背景。在南海夏季风槽比较活跃的年份，在低层流场有气旋型环流异常出现在南海-西太平洋地区。由此，我们可以认为在南海夏季风槽强的年份，南海-西太平洋地区的低层辐合也较一般年份偏强；与气候平均的季风槽位置相比，强年夏季风槽位置略为偏北。我国长江流域和北部地区则出现异常东风和反气旋环流。这种分布也说明在南海夏季风槽偏强的年份，我国的长江流域地区的环流背景不利于对流的产生和发展，势必会影响该年该地区的降水情况。同时也可以看出，在印度季风槽所在位置有明显的气旋性环流异常出现，表明印度季风槽在南海夏季风槽偏强的年份也是偏强的，这也说明了整个亚洲夏季风槽都是偏强的。亚洲夏季风的主要活动系统可以表现为从印度地区穿越中南半岛直至南海-西太平洋的强大的 ITCZ 环流。而弱年情况却很不同，在南海-西太平洋地区没有出现气旋性环流异常，而是有弱的异常反气旋辐散区的出现，这也说明了南海夏季风槽在不活跃的情况下仍在热带地区存在，不过强度有所减弱。从图 2b 还可以

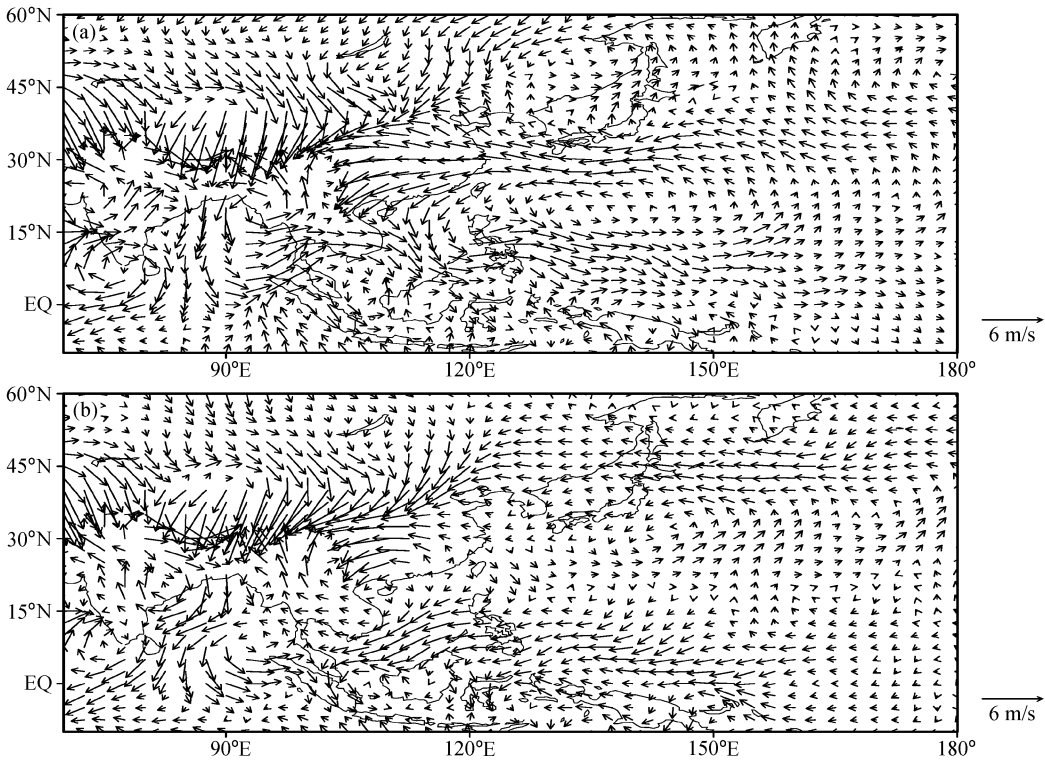


图 2 850 hPa 距平流场的合成形势：(a) 强季风槽；(b) 弱季风槽
Fig. 2 Composite anomalous wind at 850 hPa for strong (a) and weak (b) summer monsoon trough cases

看到,印度季风槽也出现了反气旋性环流异常。在弱南海夏季风槽年,整个亚洲的 ITCZ 都是偏弱。这也说明印度夏季风和南海夏季风强度变化有相当的一致性。这与已有研究得到的结论是一致的^[15]。

从夏季高空流场的气候平均图(图略)可以看到,高层的夏季环流系统是比较单一的,最为明显的特征是南亚高压控制着亚洲季风区的上空,南亚高压的南侧和北侧分别为东风急流和西风急流,南亚高压的东南侧是偏东北风形成的越赤道气流。在强、弱不同季风槽年高空流场的区别可以通过图 3 来表示,从图上可以发现对应强季风槽情况(图 3a),南海地区的高层环流有十分明显的偏东风辐散气流,尤其是在南部上空。即在强南海夏季风槽的年份,所对应的高低空环流配置是低层辐合强,高层辐散强的情况,这种配置很有利于低层季风槽的维持和发展。反观弱南海夏季风槽年的情况(图 3b),最明显的差异也是出现在南海-西太平洋地区。两图相比较的另一显著差异是,在弱年的高层我国长江流域北部有明显的气旋型环流异常,低层对应的是辐散型流场异常。在这种高低空环流配置下,必然会使得该地区的对流系统不易发展,降水

自然会减少。在青藏高原上空对应弱季风槽的情况,30°N~35°N 地区表现为明显的气旋性环流,南亚高压偏弱;而对应强季风槽情况,有两个反气旋环流,表明南亚高压偏强,且可能出现两个高压中心。

类似的,垂直环流在季风槽强度不同的年份也有不一样的分布(图 4)。以 500 hPa 的垂直上升速度场来表示垂直环流场,对应强、弱不同的季风槽情况,上升、下沉运动也是截然不同的。在强年,在南海及其以东的西太平洋地区,很明显是负的垂直速度(ω)异常,表示这里的上升运动十分强烈。在这个异常带的南部也就是赤道地区,以及这个异常带的北部也就是我国长江流域地区都是明显的正的垂直速度(ω)异常,表示那里有强的下沉运动。这种垂直速度场的异常分布不利于长江流域对流活动的发展和维持。联系南海地区夏季风垂直环流情况,很明显地可以看到南海夏季风槽区上升、赤道地区下沉的季风垂直经圈环流在强南海夏季风槽年有明显增强。而在南海夏季风槽偏弱的年份,其垂直速度异常的分布与强南海夏季风槽年有显著不同,它所对应的季风经圈环流是明显偏弱的;但

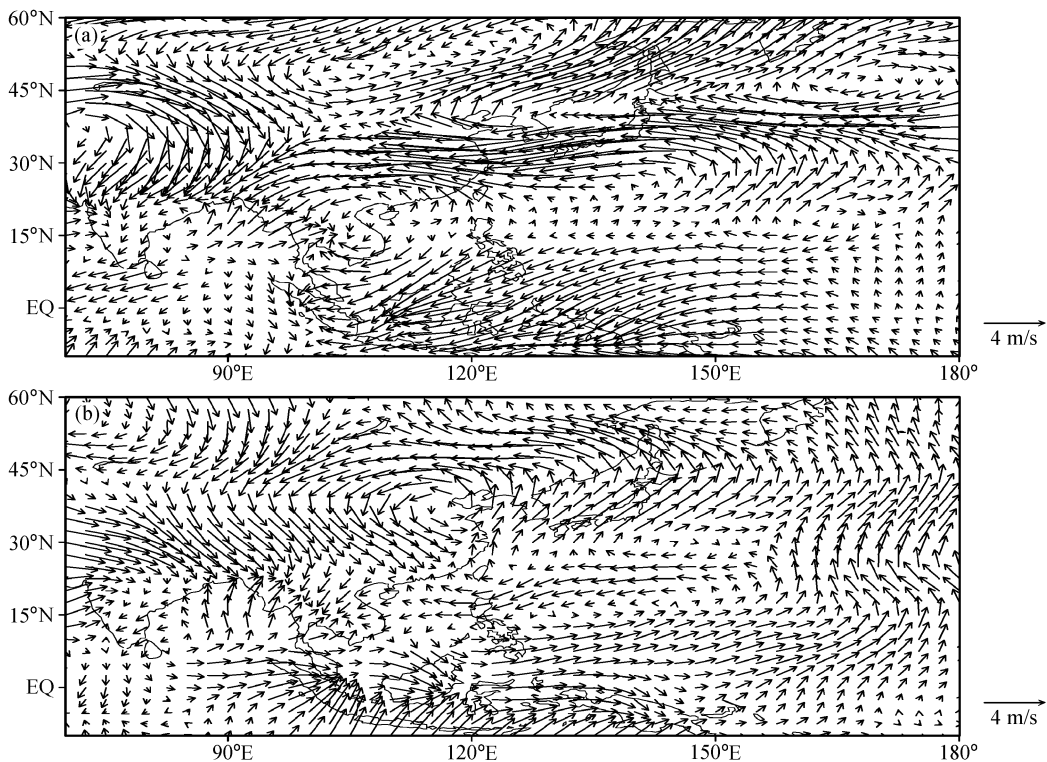


图 3 同图 2, 但为 200 hPa

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for 200 hPa

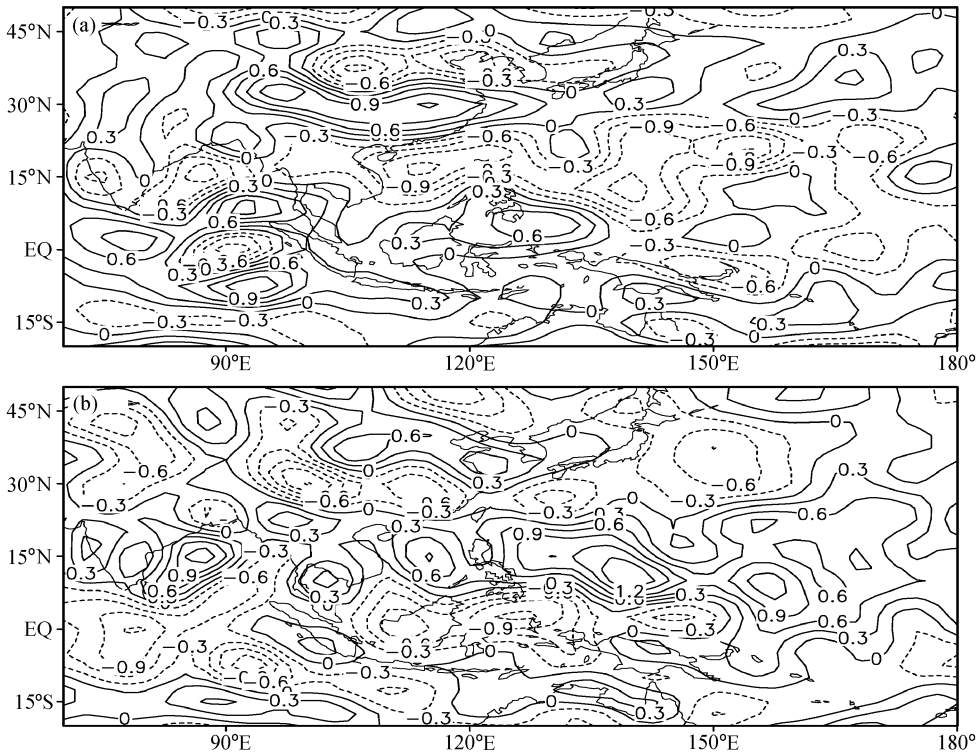


图 4 500 hPa 垂直速度 (ω) 距平合成图 (单位: hPa/s): (a) 强季风槽; (b) 弱季风槽
Fig. 4 Composite anomalous vertical velocity (ω , units: hPa/s) at 500 hPa for strong (a) and weak (b) summer monsoon trough cases

是, 这时在我国长江流域却会出现有利于对流活动产生和发展的垂直速度异常场。

3.2.2 对流场

流场的合成结果反映出强、弱南海夏季风槽在大气环流背景上的明显差异, 这种差异也同样体现在对流场上。图 5 就说明了这一点。图 5 是夏季 OLR 距平合成图 (由于 OLR 资料的长度限制, 我们相应地只用了 1979 年后的强、弱年分别进行合成), 可以反映出强、弱南海夏季风槽情况下, 对流活动的异常及其分布特征。

在南海夏季风槽偏强时, 南海和西太平洋地区有异常的 OLR 低值区, 中心位于西太平洋地区, 这与强南海夏季风槽年流场异常的气旋型辐合中心有很好的对应关系; 在我国江淮流域则是弱的 OLR 正距平区, 表明南海夏季风槽活跃时, 江淮流域的对流减弱, 这与大气环流形势场分析出的结果相一致, 也与过去已有的研究得到的两地区对流有相反变化特征的结果相一致^[16]。弱南海夏季风槽年的情况基本与强年相反, 在南海特别是西太平洋地区有明显的 OLR 正距平分布, 距平中心位于菲律宾群岛以东的西太平洋地区。从图 5 还可以看

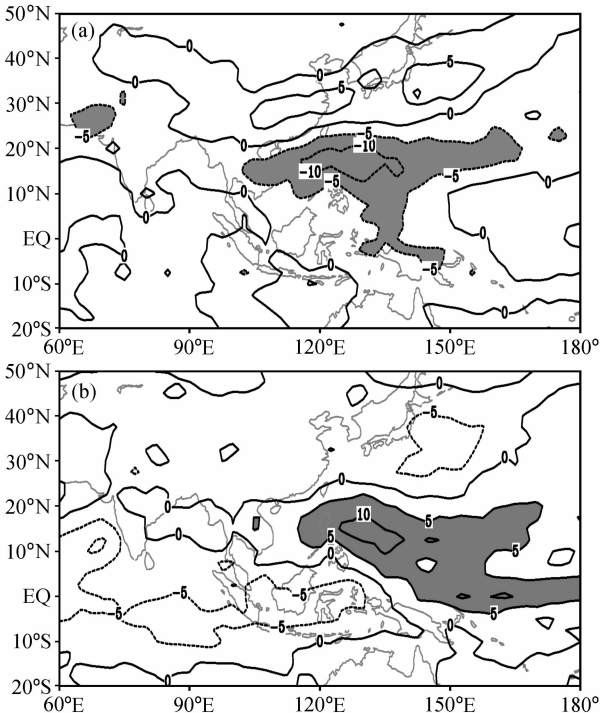


图 5 射出长波辐射 (OLR) 距平合成图 (单位: W/m^2): (a) 强季风槽; (b) 弱季风槽
Fig. 5 Composite anomalous outgoing long wave radiation (OLR, units: W/m^2) for strong (a) and weak (b) summer monsoon trough cases

出,这两个正负距平中心都分别向东和西方向延伸;负距平的位置要比正距平偏北偏西,表示南海夏季风槽在活跃的年份,异常对流的位置应该是比正常年要偏北偏西;反之,在其强度比较弱的时期,异常对流的位置是偏南、偏东的。

3.2.3 海温背景场

海洋状况与季风环流的关系是十分密切的,季风强弱不同所对应的海温分布也有差异。考虑到海温的“记忆”能力,也就是海温慢变过程和影响的持续性,我们分析强、弱南海夏季风槽年前冬的情况,看其对应强、弱年的差异。对于冬季海表温度对南海夏季风的影响已有一些研究^[17, 18]涉及到,表明赤道太平洋冬季的海温异常对南海夏季风活动有明显的影 响。从异常南海夏季风槽年前冬海温异常的合成情况(图 6)可以看出,强、弱南海夏季风槽年前冬所对应的海温异常分布是截然不同的。在强南海夏季风槽年前冬,异常海温分布呈现的是类似 La Niña 事件的海温分布,在赤道东太平洋地区有冷舌状的负异常从南美洲的西海岸向西延伸展至赤道中太平洋;在东南亚邻近海域同样也出现了海温负距平,而该地区以东的暖池区域则处于偏暖的状态。在弱南海夏季风槽年,赤道中东太平洋有明显的海温正距平的存在,有类似于 El Niño 事件的海温分布;在我国东南沿海也有正海温距平的出现,在

菲律宾以东的赤道西太平洋海区有负距平的存在。

南海夏季风槽的强度与前冬海温分布的具体关系还可以通过相关关系来说明。我们计算了南海夏季风槽强度指数与上年冬季海温距平的相关系数,其相关关系可以通过图 7 来表现。由图 7 可以看到,从赤道东太平洋南美洲西岸一直延伸到赤道中太平洋,有很明显的负相关区的存在,并且通过了信度检验;暖池区的海温距平与南海夏季风槽强度有显著的正相关。上述这种相关关系的分布意味着 Walker 环流是处于偏强(或偏弱)的状态,而异常的 Walker 环流会通过海气相互作用影响到其后的南海夏季风槽的强弱。也就是说,前冬赤道中东太平洋出现异常增温(降温)时,暖池区出现海温的负(正)异常,这种海温异常及其影响会持续到夏季,并造成南海夏季风槽的减弱(增强)。

赤道中东太平洋在冬春季增温正是 El Niño 事件出现的重要标志,当某年冬天存在 El Niño 事件时,第二年的夏季往往在南海地区会出现夏季风槽较弱,也就是南海夏季风偏弱的情况。已有工作^[19]通过资料分析和模式结果研究了季风环流和 ENSO 发展位相的关系,结果表明在季风爆发偏晚、季风偏弱的年份,往往在该年春天赤道中东太平洋有 SST 的正异常(也就是海温异常分布呈 El Niño 型)。本文得到的结果与其基本一致。我们还

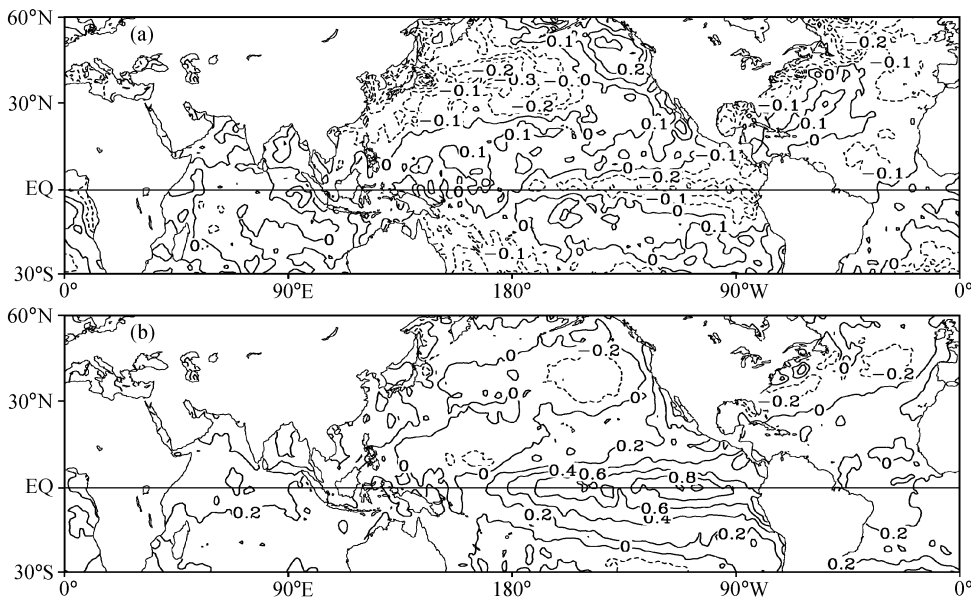


图 6 前冬的海表温度距平 (SSTA) 合成场 (单位: K): (a) 强季风槽; (b) 弱季风槽

Fig. 6 Composite sea surface temperature anomalies (SSTA, units: K) in the preceding winter for strong (a) and weak (b) summer monsoon trough cases

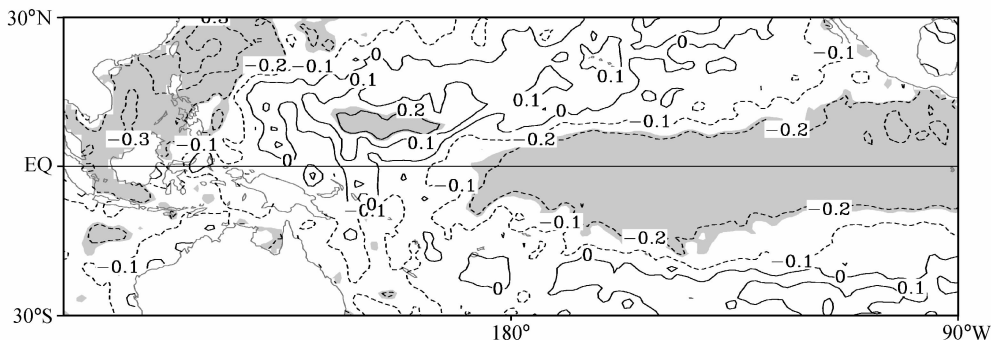


图 7 夏季风槽指数与前冬海温距平的相关系数分布
Fig. 7 Distribution of correlation coefficient between the summer monsoon trough index and the SSTA in the preceding winter

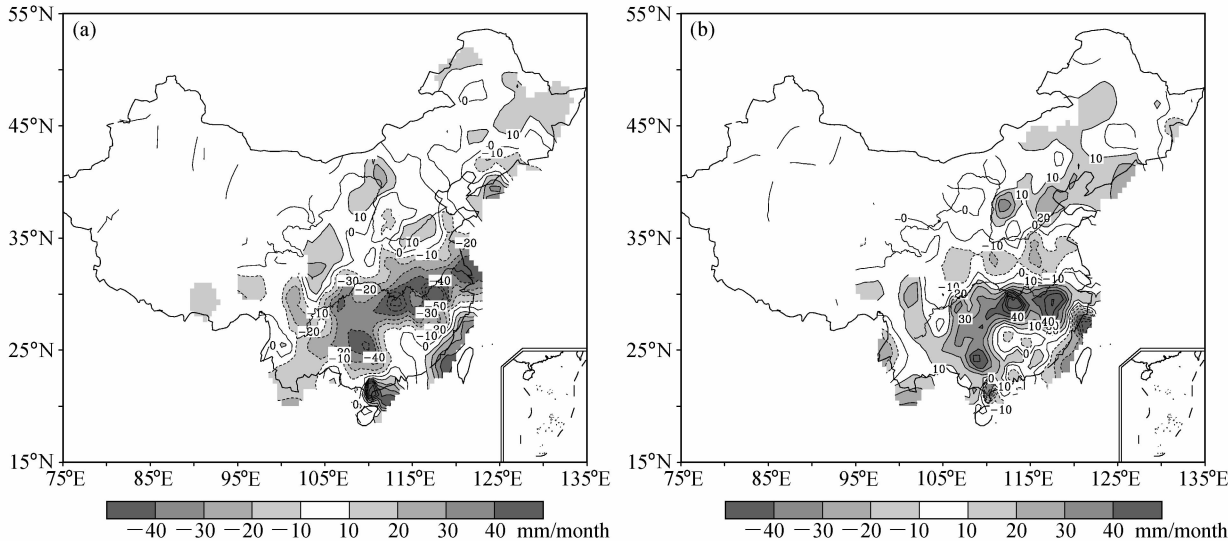


图 8 对应南海夏季风槽的强 (a)、弱 (b) 年中国降水量异常场的合成图
Fig. 8 Composite summer precipitation anomalies in China for strong (a) and weak (b) summer monsoon trough cases

考察了 1884~2000 年的所有 El Niño 事件，其中有些 El Niño 事件持续了两年，第一年是爆发年，第二年持续年。将其与南海夏季风槽的强、弱相对比发现，南海夏季风槽出现弱年的时间与 El Niño 事件发生的持续年也有很好的一致性。这进一步说明了 ENSO 与南海夏季风的密切关系。

综上所述，对应南海夏季风槽的强、弱不同情况，在大气环流形势、对流活动、海温分布等方面都有明显的差异。这样的差异说明南海夏季风槽的异常不是偶然产生的，有其显著的背景特征和原因。也可以认为，南海夏季风槽的异常只是异常气候大背景在有限区域（南海及其附近地区）的表现。

4 异常南海夏季风槽的影响

亚洲夏季风活动对中国夏季雨带的发展及分布有着非常重要的作用。南海夏季风爆发后，它的演

变和推进对中国降水和旱涝将产生深刻影响^[20~22]。南海夏季风的异常往往与我国的严重旱涝有密切的联系，比如，1998 年夏季长江流域的特大洪涝，当年的南海夏季风就偏弱；1994 年华南夏季出现的特大暴雨也是与南海夏季风异常有关。作为夏季风系统中辐合上升的强对流带和主要降水系统的南海夏季风槽，它的异常与中国东部降水关系的重要性也就不言而喻了。

对应南海夏季风槽的强、弱年份，用中国 160 个站点的月平均资料，我们对南海夏季风槽强、弱年中国地区降水的情况进行了合成分析。图 8 是南海夏季风槽强、弱年中国降水异常场的合成图，强年和弱年最大的差异出现在长江中下游地区。在强年，很明显的降水负异常出现在长江中下游流域，距平中心超过了一 40 mm/月。也就是说在南海夏季风槽活跃时期，南海夏季风偏强，而长江中下游

地区的降水是减少的。这其实与异常南海夏季风槽时期在长江中下游地区出现异常的大气环流形势是相对应的。南海夏季风槽偏弱的年份,我国长江流域中下游地区一般会出现降水增多的情况,正异常的中心也超过了 40 mm/月;而在其北部的黄淮流域降水偏少,我国东北地区降水偏多,距平中心超过了 30 mm/月。也就是说,往往在南海夏季风槽偏弱的年份,我国长江流域和东北地区有可能出现降水偏多,乃至出现洪涝现象。

已有研究对 4 种南海夏季风指数进行了对比,并对南海夏季风强度和我国汛期降水的关系进行了统计分析,发现南海夏季风强度与夏季长江中下游地区的降水有显著反相关,与江南降水和华南后汛期降水有显著的正相关^[22]。南海夏季风槽强度与中国 160 个站降水量序列的相关关系如图 9 所示。可以发现,南海夏季风槽强度与中国东部降水的相关关系比较明显的区域也出现在长江中下游地区。南海夏季风槽强弱指数与长江中下游地区降水主要呈反相关的形势,相关系数均通过了 95% 的信度检验。这种南海夏季风槽和中国东部降水的相关关系反映了清晰的物理本质和过程,可以为中国夏季降水的分析和预报提供一定的信息。

夏季,亚洲季风区产生大量的对流潜热,对热带地区大气热力结构的改变产生重要影响。而这种大气加热状态的改变,必将引起其他地区大气环流系统的响应^[23~25]。南海夏季风槽的强、弱异常在

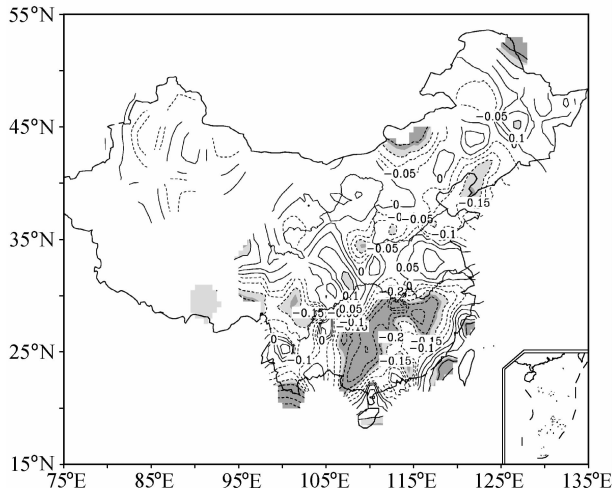


图 9 夏季风槽指数与中国 160 个测站降水量距平的相关系数分布

Fig. 9 Distribution of correlation coefficient between the summer monsoon trough index and the precipitation anomalies at 160 stations in China

大气环流方面就有比较明显的差别,这些异常对北半球大气环流必然也会产生影响。下面,我们将以分析 500 hPa 高度场来揭示南海夏季风槽与中高纬地区,或北半球其他地区的遥相关关系。

图 10 是强、弱异常南海夏季风槽年 500 hPa 位势高度距平场的合成图,可以看出强、弱不同的南海夏季槽年所对应的 500 hPa 高度异常有明显的不同。强南海夏季风槽背景下,东亚地区从低纬到高纬,500 hPa 位势高度异常场呈“一十一”的经向波列距平型。这与过去已有研究^[11]所得到的一个由南海经东亚、北太平洋到北美的 EAP 波列的特征十分类似。这种异常的高度场分布使得在强南海夏季风槽的年份,鄂霍次克海高压减弱,也就减弱了中高纬的经向型环流,有利于副热带高压偏北,以至西风带偏北和夏季风的推进偏北,偏北推进的夏季风与冷空气配合造成长江流域以北地区辐合和对流的加强。在弱南海夏季风槽背景下,同样有 EAP 波列的存在,但是位相却相反,东亚地区出现“十一十”型波列。南海地区为高度正距平,副热带高压偏南、偏西。在弱南海夏季风槽情况下的这种分布与强季风槽背景下的 500 hPa 高度异常分布截然相反,鄂霍次克海高压加强,相应的中高纬度的经向型环流增强,副热带高压偏南,中纬度的西

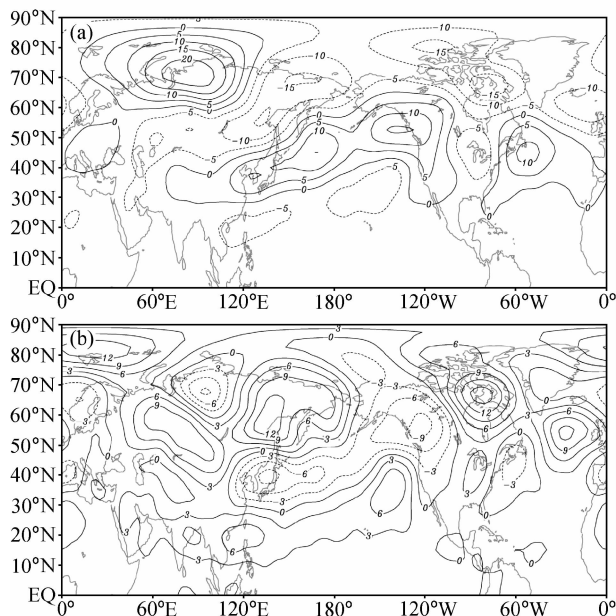


图 10 500 hPa 高度距平场合成图 (单位: gpm): (a) 强季风槽; (b) 弱季风槽

Fig. 10 Composite geopotential height anomalies (gpm) at 500 hPa for strong (a) and weak (b) summer monsoon trough cases

风扰动偏南。这种形势有利于北方冷空气南下与夏季风交汇于江淮流域, 使江淮流域降水偏多。以南海地区为基点的 500 hPa 高度场的点对点的相关图(图略), 也同样说明了从南海到北美有遥相关 EAP 波列形势的存在。

5 结论和讨论

南海夏季风槽是南海夏季风系统的重要成员, 它的活动和影响在很大程度上反映南海夏季风本身的情况, 尤其是南海夏季风槽具有强辐合、强对流的特征。而南海夏季风槽的活动又有很明显的年际变化特征, 并对应不同的影响。在本文中, 我们提出了一个衡量南海夏季风槽强度的指数, 进而对强、弱南海夏季风槽的例子分别进行了合成分析, 合成分析的结果说明: 南海夏季风槽确实存在着明显的年际变异; 并且强、弱南海夏季风槽所对应的大气环流形势、对流场、海温场都有着极其明显的差别, 说明强、弱南海夏季风槽的出现有着极其显著的气候背景和特征。

南海夏季风槽的异常必然引起南海夏季风活动的异常, 这种异常对中国夏季降水将产生明显影响, 当南海夏季风槽偏强时我国长江中下游地区降水偏少; 当南海夏季风槽持续偏弱时, 我国长江中下游的夏季降水却偏多。南海夏季风槽的异常不仅仅影响南海及中国大陆地区, 还通过遥相关过程影响到北半球其他地区, 其影响路径与已有研究得出的 EAP 波列相类似。

强、弱南海夏季风槽的发生, 以及这种异常所产生的影响, 可以通过数值模拟得到进一步的验证。有关这方就面的结果将在另文中讨论。

参考文献 (References)

[1] 金祖辉, 陈隆勋. 夏季东亚季风环流系统的中期变化及印度季风系统的相互关系. 全国热带夏季风学术会议论文集. 昆明: 云南人民出版社, 1982. 204~215

Jin Zuhui, Chen Longxun. On the medium-range oscillation of the East Asian monsoon circulation system and its relation with the Indian monsoon system. *The National Symposium Collections on the Tropical Summer Monsoon* (in Chinese). Kunming: People's Press of Yunnan Province, 1982. 204~215

[2] 陈隆勋, 金祖辉. 夏季东亚季风环流系统内中起变化的南北半球相互作用. 全国热带夏季风学术会议论文集. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 218~231

Chen Longxun, Jin Zuhui. On the interaction of circulations between the two Hemispheres in the east Asian monsoon circulation system during summer. *The National Symposium Collections on the Tropical Summer Monsoon* (in Chinese). Kunming: People's Press of Yunnan Province, 1983. 218~231

[3] Tao Shiyan, Chen Longxun. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*. Chang C P, Krishnamurti T N, Eds. Oxford University Press, 1988. 60~92

[4] 何金海, 罗京佳. 南海季风爆发和亚洲夏季风推进特征及其形成机制的探讨. 亚洲季风研究的新进展. 北京: 气象出版社, 1996. 74~81

He Jinhai, Luo Jingjia. Features of South China Sea summer monsoon onset and Asian summer monsoon establishment sequence along with its individual mechanism. *The Recent Advances in Asian Monsoon Research* (in Chinese), He Jinhai Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 74~81

[5] 谢安, 刘霞, 叶谦. 南海夏季风爆发特征及其指数. 亚洲季风研究的新进展. 北京: 气象出版社, 1996. 132~142

Xie An, Liu Xia, Ye Qian. The climatic characteristics of summer monsoon onset over South China Sea. *The Recent Advances in Asian Monsoon Research* (in Chinese), He Jinhai Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 132~142

[6] 阎俊岳. 南海西南季风爆发的气候特征. 气象学报, 1997, **55**: 174~186

Yan Junyue. Climatological characteristics on the onset of the South China Sea southwest monsoon. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55**: 174~186

[7] 罗会邦. 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 25~29

Luo Huihang. SCSM rainfall outbreak and the evolution of associated rain-bands. *Onset and Evolution of the South China Sea Monsoon and Its Interaction with the Ocean*, Ding Yihui and Li Chongyin Eds. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 25~29

[8] Li Chongyin, Wu Jingbo. On the onset of the South China Sea summer monsoon in 1998. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**: 193~204

[9] 李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变. 大气科学, 2000, **24**: 1~14

Li Chongyin, Qu Xin. Large scale atmospheric circulation evolutions associated with summer monsoon onset in the South China Sea. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24**: 1~14

[10] 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** (5): 575~583

Shi Neng, Zhu Qian'gen, Wu Bingui. The East Asian summer monsoon in relation to summer large scale weather-cl-

- mate anomaly in China for last 40 years. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1996, **20** (5): 575~583
- [11] 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响. 大气科学, 1999, **23**: 257~266
Li Chongyin, Zhang Liping. Summer monsoon activities in South China Sea and its impacts. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23**: 257~266
- [12] 潘静, 李崇银. 夏季南海夏季风槽与印度季风槽的气候特征之比较. 大气科学, 2006, **30**: 377~390
Pan Jing, Li Chongyin. Comparison of climate characteristics between two summer monsoon troughs over the South China Sea and India. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30**: 377~390
- [13] 戴念军, 谢安, 张勇. 南海夏季风活动的年际和年代际特征. 气候与环境研究, 2000, **5**: 363~374
Dai Nianjun, Xie An, Zhang Yong. Interannual and interdecadal variations of summer monsoon activities over South China Sea. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5**: 363~374
- [14] 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
Zhang Qingyun, Tao Shiyang, Chen Lieting. The inter-annual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61**: 559~568
- [15] 张庆云. 夏季东亚季风与印度季风的关系. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 266~273
Zhang Qingyun. Relationship between East Asia monsoon and Indian monsoon during summer. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 266~273
- [16] 李崇银. 江淮流域汛期降水与热带大气季节内振荡的活动. 灾害性气候的过程与诊断. 北京: 气象出版社, 1996. 72~76
Li Chongyin. The rainfall of Yangtze-Huai River valleys and the tropical atmospheric intra-seasonal oscillation activities. *The Prediction of Disastrous Climate and Its Impact on Agriculture and Management of Water Resources* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1996. 72~76
- [17] 彭楚明, 何有海, 关翠华, 等. 南海夏季风爆发与海温和大气对流的低频变化. 高原气象, 1999, **18**: 603~612
Peng Chuming, He Youhai, Guan Cuihua, et al. The onset of the South China Sea summer monsoon and low-frequency change of sea surface temperature and convective activities in the atmosphere. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 603~612
- [18] 彭加毅, 孙照渤. 春季赤道东太平洋海温异常对东亚大气环流春夏季节演变的影响. 热带气象学报, 2001, **17**: 400~404
Peng Jiayi, Sun Zhaobo. Influence of spring equatorial eastern Pacific SSTA on the seasonal change from spring to summer of eastern Asian circulation. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2001, **17**: 400~404
- [19] Ju J, Slingo J M. The Asian summer monsoon and ENSO. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1995, **121**: 1133~1168
- [20] Lau K M. Seasonal and intraseasonal climatology of summer monsoon rainfall over East Asia. *Mon. Wea. Rev.*, 1998, **120**: 1924~1938
- [21] 丁一汇, 薛纪善, 王守荣, 等. 1998 年亚洲季风活动和中国暴雨/洪涝. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 1~4
Ding Yihui, Xue Jishan, Wang Shourong, et al. The onset and activities of Asian monsoon and heavy flooding in China in 1998. *Onset and Evolution of the South China Sea Monsoon and Its Interaction with the Ocean*, Ding Yihui and Li Chongyin Eds. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 1~4
- [22] 吴尚森, 梁建茵, 李春晖. 南海夏季风强度与我国汛期降水的关系. 热带气象学报, 2003, **19**: 25~36
Wu Shangsen, Liang Jianyin, Li Chunhui. Relationship between the intensity of South China Sea summer monsoon and the precipitation in raining seasons in China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2003, **19**: 25~36
- [23] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impacts on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **65**: 373~390
- [24] 黄荣辉. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究. 大气科学, 1990, **14**: 108~117
Huang Ronghui. Study on the anomalous East Asia atmospheric circulation teleconnection associated with summer drought and flooding in China and its physical mechanisms. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1990, **14**: 108~117
- [25] Long Zhenxia, Pan Jing, Li Chongyin. Influences of anomalous summer monsoon over the South China Sea on climate variation. *Acta Meteor. Sinica*, 2003, **17**: 118~129