

东亚-太平洋遥相关型形成过程与 ENSO 盛期 海温关系的研究

宗海锋^{1, 2} 张庆云¹ 陈烈庭¹

1 中国科学院大气物理研究所和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 利用 1961~2000 年 NCEP/NCAR 再分析资料、扩展重建的海表温度资料 (ERSST) 和中国 730 个站旬降水资料, 采用 SVD 和扩展 SVD (ESVD) 分析、合成分析、相关分析等方法, 在分析中国梅雨期降水与同期大气环流和前期冬季海温之间关系的基础上, 研究了 ENSO 盛期海温异常导致与长江流域梅雨期降水密切相关的东亚/太平洋 (EAP) 遥相关型形成的过程, 及与 ENSO 相关的海温和大气环流异常的持续性问题。结果表明, 梅雨期 EAP 遥相关型的出现与 ENSO 遥强迫作用有密切关系。联系冬季 ENSO 和梅雨期 EAP 遥相关型的关键过程主要有三个: (1) 西北太平洋低纬地区异常反气旋环流的形成和维持, 它在冬季形成后一直可维持到夏季, 使得夏季西北太平洋副热带高压偏南偏强; (2) 东亚大槽持续偏弱, 冷空气活动路径偏北偏东, 使西北太平洋海温呈亲潮区偏冷、黑潮区偏暖的海温分布; (3) PNA 遥相关型的持续发展, 使北冰洋地区高度增高。后二者通过局地海气相互作用和大气内部调整过程对初夏鄂霍次克海阻塞形势的形成起重要作用。另外, 持续性分析表明, ENSO 年大气环流和海温距平型的持续性要比非 ENSO 年大得多。在 ENSO 年大气环流和海温之间存在很强的相互作用耦合关系, ENSO 引起的大气环流异常可导致太平洋海温异常, 而海温异常一旦形成反过来又可导致大气环流异常的稳定和维持, 对后期初夏东亚季风和我国天气气候产生明显滞后效应。

关键词 ENSO 梅雨期降水 东亚-太平洋 (EAP) 遥相关型 影响过程

文章编号 1006-9895 (2008) 02-0220-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

A Study of the Processes of East Asia - Pacific Teleconnection Pattern Formation and the Relationship to ENSO

ZONG Hai-Feng^{1, 2}, ZHANG Qing-Yun¹, and CHEN Lie-Ting¹

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 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract By using NCEP/NCAR reanalysis datasets, extended reconstructed sea surface temperature (ERSST) data and Chinese 730-station ten days mean rainfall for the period of 1961 - 2000, the relationship between the rainfall of China and circulation during the Meiyu period and pre-winter sea surface temperature (SST) is studied through singular value decomposition (SVD), extended singular value decomposition (ESVD), composition and correlation methods. On this basis, the evolution of ENSO-related SST and circulation anomalies over East Asia and the Pacific and their persistence, particular attention being paid to the formation of the East Asia-Pacific (EAP) teleconnection

收稿日期 2006-08-09, 2006-12-22 收修定稿

资助项目 国家重点基础发展研究规划项目 2004CB418303, 国家自然科学基金资助项目 40523001, 中国科学院知识创新重要方向性项目 KZCX3-SW-226

作者简介 宗海锋, 男, 1975 年出生, 博士生, 主要从事异常长期天气过程与气候诊断的研究。E-mail: zhf@mail.iap.ac.cn

pattern related to the Meiyu rainfall in the Yangtze River valley, is investigated. The results show that the appearance of EAP teleconnection pattern in the Meiyu period is closely linked to the remote ENSO forcing. The formation of the EAP teleconnection pattern linked to ENSO in the mature Phase consists of three key processes: (1) The formation and persistence of anomalous anticyclone in the western North Pacific; The anticyclone persists from the mature El Niño winter to the ensuing summer, leading to the western North Pacific subtropical high strengthening and southward shifting; (2) the decay of the East Asia trough; The weak East Asia trough causes the path of cold air activity more northward and eastward and the SST cooling in Oyashio and warming in Kuroshio; (3) the continuous development of the PNA (Pacific - North American) teleconnection pattern; The blocking high over the region of Alaska extends westward, making the geopotential height increase over the Arctic Ocean. The above processes of the East Asia trough and PNA teleconnection pattern will play important roles in the establishment of the blocking high over the Sea of Okhotsk in early summer through local air - sea interaction and adjustment of atmosphere circulation.

Furthermore, the analysis shows that the persistence of the anomalous circulation and SST patterns is much longer in ENSO years after the mature phase than non-ENSO years. There is strong coupled relation between the circulation and SST in ENSO years. The ENSO-related circulation anomaly could lead to the Pacific SST anomaly which in turn could result in a bigger stability of anomalous circulation pattern. So it has obvious delayed effect on East Asia monsoon and China's weather and climate process in early summer after El Niño mature phase.

Key words ENSO, the rainfall during the Meiyu period, East Asia-Pacific teleconnection pattern, influence process

1 引言

近十年来,国际上 ENSO 事件仍然倍受关注,一直是海气相互作用和对气候影响研究的一个中心课题。由于 ENSO 对我国天气气候影响的重要性,我国气象和海洋学者在这方面也做了许多工作,发现不少新的观测事实: ENSO 影响我国降水并不限于夏季,对其它季节也有重要作用^[1, 2]; ENSO 不仅与我国降水的年际变化,而且与我国降水的年代际变化存在密切关系^[3];在 ENSO 影响途径和机理方面,越来越清楚地认识到亚洲季风与 ENSO 是互为因果的耦合气候系统^[4]。在文献^[5]中,我们曾分析了长江流域梅雨期降水的多尺度特征及其与全球海温的关系,指出与前期秋、冬、春季海温的关系以 ENSO 盛期冬季的相关最好,且对不同时间尺度的降水,海温关键区不尽相同。其中年际变化以与赤道中、东太平洋的海温关系最密切。本文想进一步探讨 ENSO 盛期冬季的海温异常对亚太地区大气环流和我国梅雨期降水影响的过程。

关于 ENSO 影响我国夏季降水的途径和过程,陈烈庭^[6]指出,赤道太平洋上空的 Walker 环流和 Hadley 环流是联系赤道东太平洋海温和西太平洋副高及我国汛期降水的重要环节。Nitta^[7]和黄荣辉等^[8]指出夏季热带西太平洋海温和对流活动异常

会激发出东亚/太平洋 (EAP) 型异常,对中国东部夏季降水产生影响。张人禾等^[9]指出,El Niño 在其盛期时通过热带西北太平洋异常反气旋环流可以对东亚上空的环流产生显著影响。王斌等^[10]也指出这一异常反气旋是联系东太平洋暖事件和东亚弱冬季风的桥梁。也有研究指出 ENSO 通过季风影响中国夏季降水^[11]。这些研究增进了人们对 ENSO 影响我国夏季降水长期天气过程的物理本质的了解。但是 ENSO 盛期的冬季与我国夏季降水的联系,不仅在空间上相距遥远,而且在时间上隔了一个季节,它们之间在时空上是如何联系的? 目前在这方面的研究不多,还缺乏具体的认识。另外,过去研究 ENSO 与亚洲季风和大气环流的联系,大多数是针对各降水影响系统单独进行讨论的。陶诗言等^[12]指出夏季江淮流域持久性旱涝时期高空环流表现为一定型式的稳定流型,即后来人们所谓的 EAP 遥相关型。那么,这个 EAP 遥相关型的形成和维持是否与 ENSO 有关系? 如果有,其从冬到夏具体演变过程又是如何? 这是本文要探讨的主要内容。

夏季包括华南前汛期、江淮流域梅雨期和华北雨季,在不同阶段不仅雨带分布不同而且大气环流的气候特征也有明显差异。过去,大多数研究是以整个夏季总降水量作为研究对象,这虽然对汛期降

水预报非常方便,却模糊了不同阶段雨带和环流特征的差异,不利于对其成因的分析研究。因此,本研究选取梅雨期作为我国研究的对象。

2 资料与方法

本文所用资料为中国科学院大气物理研究所信息中心提供的中国 730 站旬降水资料,由于长江中下游地区平均梅雨期在 6 月中旬开始到 7 月中旬初结束,因此,我们取 6 月中旬到 7 月上旬的总雨量作为梅雨期降水。美国国家海洋大气局提供的 NCEP/NCAR 再分析资料(包括 500 hPa 位势高度场、850 hPa 风场)和扩展重建海表温度(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature)资料。资料年代为 1961~2000 年,共 40 年。

分析方法主要是奇异值分解(SVD)、相关分析、线性回归、合成分析^[13, 14]以及扩展 SVD(ESVD)^[15, 16]等方法。扩展的 SVD 分析不仅可以有效地揭示两个要素场之间的关系,还可以有效地揭示一个要素场出现某种异常型时,另一个要素场在该

型的影响下随时间演变过程的特征。

3 中国梅雨期降水与前冬海温及同期大气环流的关系

海-气相互作用对降水的影响是通过大气环流起作用,降水异常的直接原因是大气环流的异常,因此本节重点探讨造成梅雨期降水异常的主要环流系统。为了研究中国梅雨期降水的主要环流系统对前冬太平洋海温的响应过程及机理,我们首先探讨梅雨期降水与前冬太平洋海温及关键海区的关系。

图 1 是中国梅雨期降水与前期冬季太平洋海温的 SVD 第一模态异质相关分布图及对应的时间系数。其解释协方差平方分数(文献[14]中的方差贡献)为 33%。两个场的时间系数的相关系数为 0.79,超过 0.1%的信度水平。两个场之间不仅年际变化关系密切而且在 1970 年代末都存在一个年代际“突变”现象。可以看到海温的异质相关型(图 1a)与 El Niño 盛期的海温距平分布非常相似:赤道中东太平洋为很强的正相关,印度洋、黑潮区

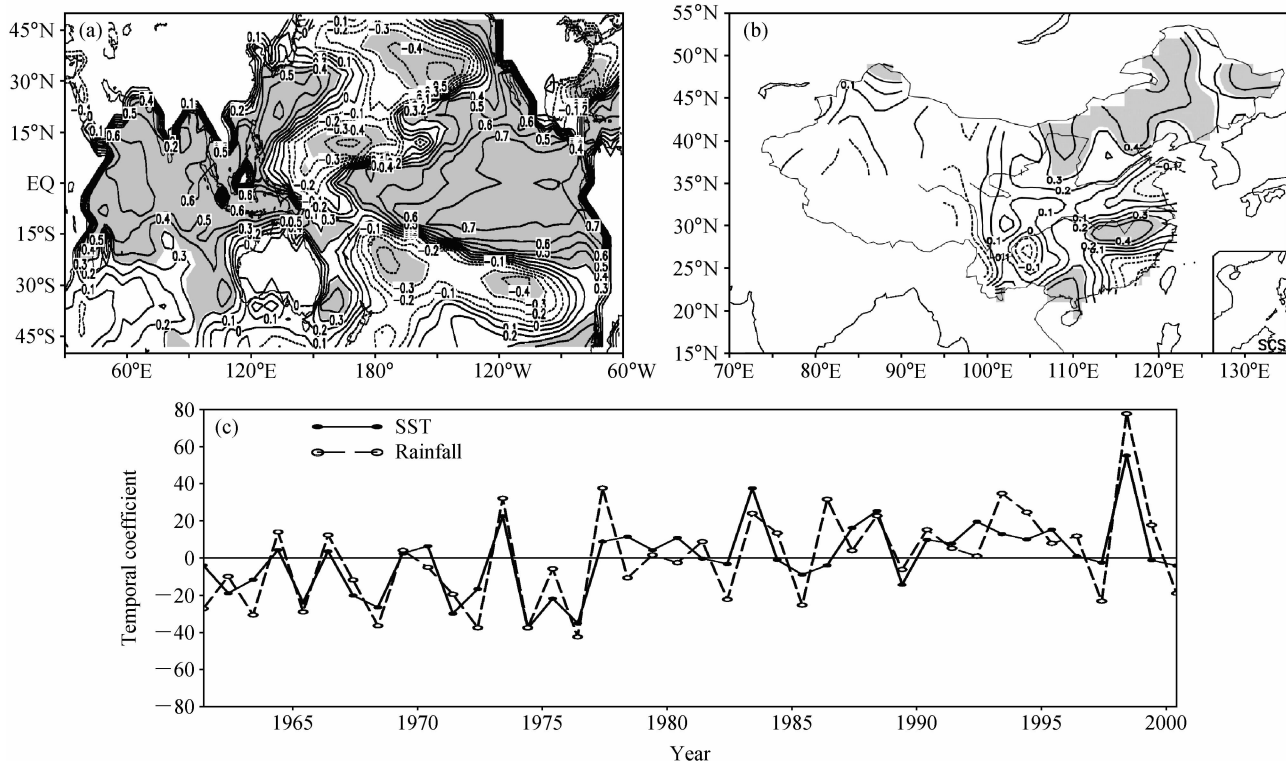


图 1 冬季太平洋海温 (a) 与中国梅雨期降水 (b) 的 SVD 第一模态异质相关分布图及对应的时间系数 (c)。实线: 正相关; 虚线: 负相关; 阴影: 信度达到 95%

Fig. 1 Heterogeneous correlation coefficients for the first SVD (singular value decomposition) mode of (a) winter SST over the Pacific and (b) rainfall during the Meiyu period in China and (c) the corresponding temporal coefficients. The solid and dashed lines indicate positive and negative correlations respectively, and shaded areas indicate correlation coefficients over 0.05 significance level

为相对较弱的正相关区；热带西太平洋暖池区为负相关，并分别向东南、东北方向伸展到南、北太平洋中部。另外，从海温的时间系数（图 1c）来看，El Niño 年和 La Niña 年的变幅都较大，这也说明图 1a 反映的是 ENSO 盛期的海温距平分布。梅雨期降水的异质相关图（图 1b），强正相关区位于长江及其以南地区，黄河河套、华北北部和内蒙古东北部一线以及新疆北部为相对弱的正相关区。负相关主要出现在黄淮、东南沿海和西南地区。由于它与海温的时间序列是正相关关系，所以这一模态的分布特征表明前期冬季出现 El Niño 盛期的海温距平分布型时，次年的梅雨期在长江及其以南地区、内蒙古中、东部和新疆北部降水可能偏多，而黄淮、东南沿海以及西南地区降水可能偏少。La Niña 盛期之后情况相反。这与黄荣辉等^[17]的夏季降水相关的研究结果比较，其差异主要表现在整个夏季降水的合成图上陕南到河南多了一多雨区。而该区正是 ENSO 造成我国后汛期多雨的地区（图略）。

图 2 为中国梅雨期降水与同期 500 hPa 位势高度场的 SVD 第一模态异质相关分布图及对应的时

间系数。其解释协方差平方分数为 38%。两个场的时间序列的相关系数为 0.78，也超过了 0.1% 的信度。1970 年代末存在年代际突变。500 hPa 位势高度异质相关型（图 2a）一个显著的特点是，东亚地区从低纬到中高纬呈正、负、正的东亚-太平洋（EAP）遥相关型分布。低纬的正相关区对应西太平洋副热带高压，中部的负相关区对应着梅雨槽，而高纬的正相关区则反映鄂霍次克海阻高。张庆云等^[18]以鄂霍次克海为基准点与 7 月的 500 hPa 位势高度场求相关也得到了同样的相关分布形式。结合梅雨期降水的异质相关型（图 2b）和两个时间系数序列（图 2c）的相关系数，可见在梅雨期，当大气环流出现稳定的 EAP 流型时即东北亚鄂霍次克海阻高稳定，梅雨槽和西太平洋副热带高压强度偏强且位置偏南时，有利于北方冷空气和南方暖湿空气在长江中下游交绥，造成该区降水偏多。此外，在内蒙古东部和东北、西北部地区由于经常有低槽东移加强，有一条次雨带，而我国东南及西南地区降水偏少（图 2b）。有些年份（如 1998 年），北边这条雨带也很强，导致洪涝灾害。

然而，以上 SVD 分析的第一模态都只是解释

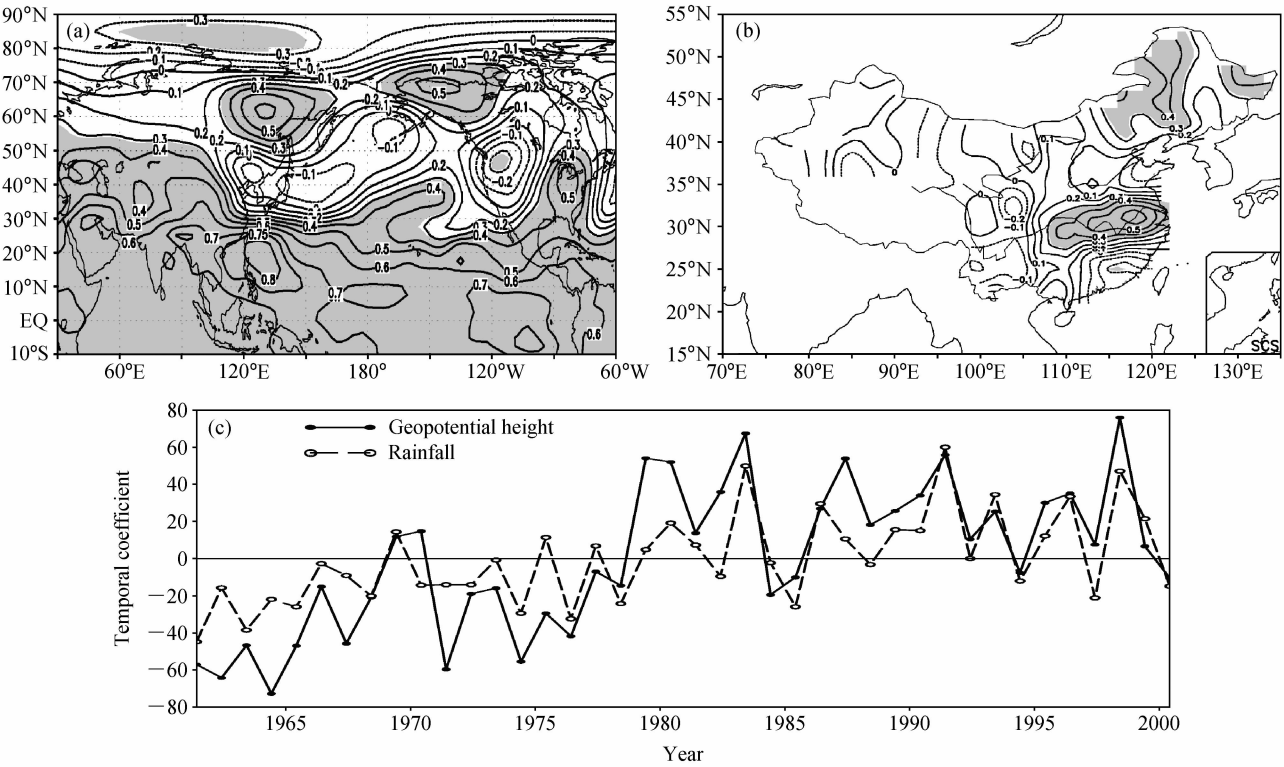


图 2 500 hPa 位势高度场 (a) 与中国梅雨期降水 (b) 的 SVD 第一模态异质相关分布图及对应的时间系数 (c)。其余同图 1
Fig. 2 Same as Fig. 1, but for (a) 500-hPa geopotential height and (b) rainfall during the Mei-yu period in China

了总体协方差的一部分,为了验证它们的代表性,我们还利用梅雨期降水资料,取长江中下游附近 20 个站平均的降水距平逐年变化作为长江中下游降水的时间序列,对前期冬季海温距平和同期 500 hPa 高度距平作线性回归和多雨年与少雨年合成差值分布图(图略)。结果证实它们的分布与图 1a 和图 2a 的分布非常相似。这说明上述 SVD 分析所得到的关系是有普遍意义的。

因此,由上面的分析我们可以认为,梅雨期长江流域旱涝不仅受赤道东太平洋海温异常的影响,而且还与暖池区、黑潮区以及亲潮区和西风漂流区的海温有关,是它们共同影响的结果。也就是说它不是对某一海温关键区,而是对 ENSO 盛期整个太平洋海温距平分布型的响应。而 EAP 遥相关型的 3 个成员——鄂霍次克海阻高、梅雨槽和副热带高压是直接决定我国梅雨期降水分布最主要的环流系统。

4 东亚-太平洋 (EAP) 遥相关型形成的过程

上节分析表明,梅雨期同期 500 hPa 位势高度场的特征是:东亚地区从低纬到中高纬呈正、负、正的东亚-太平洋 (EAP) 遥相关型(图 2a),EAP 遥相关型中的 3 个成员是决定我国梅雨期降水分布的最直接的环流系统;梅雨期降水与前冬太平洋海温 SVD 第一模态异质相关分布型(图 1a)与 El Niño 盛期的海温距平分布非常相似,这说明冬季 El Niño 盛期海温场可能会激发出夏季东亚-太平洋 (EAP) 型。然而,长江流域中下游在空间上与赤道中东太平洋相距遥远,在时间上又隔了一个季节,它们之间在时空上是如何联系的?也就是说,ENSO 盛期冬季海温在时空上是如何一步一步导致 EAP 遥相关型形成?过去有关的研究仅指出 ENSO 事件影响我国夏季降水的可能途径,对其影响过程缺乏具体认识,本节将探讨与 ENSO 有关的北半球大气环流逐月演变特征。

图 3 是 12 月~6 月 500 hPa 位势高度场(a~g)与前期冬季海温场(h)的 ESVD 第一模态异质相关分布及对应的时间序列(i)。其解释协方差平方分数为 0.82。它们的时间系数的年际变化和年代际突变趋势非常一致,相关系数高达 0.94,超过了 0.1% 的信度水平。这都说明两个场有很高的耦

合度。可以看到图 3h 海温场的分布与图 1a 结果一样,为典型的 El Niño 盛期的分布型式。因此,图 3a~g 表明的是与 ENSO 盛期的海温型相关的 12 月~6 月 500 hPa 位势高度场演变的特征。我们可以清楚地看到,从 12 月到次年 6 月 500 hPa 位势高度场在热带地区整个印度洋-太平洋范围始终偏高,西太平洋副热带高压一直偏强。而中高纬度地区的环流也表现有很强的持续性和一定的变化规律。12 月~1 月,亚洲西太平洋地区,东亚大槽和贝加尔湖西侧的小脊偏弱,盛行纬向环流,冷空气活动路径偏北偏东,东亚冬季风偏弱。而东太平洋-北美地区,随着阿留申低压加深太平洋中纬中、东部西风带增强并向南移,PNA 遥相关型异常发展。这与过去的研究结果^[19]一致。2~3 月,随着中亚中部出现弱脊,东亚大槽有所加深,但位置较常年偏东。这表明虽环流经向度有所加强,但东亚冷空气活动偏东,冬季风仍偏弱。而东太平洋的 PNA 遥相关型此时达最强,北美西岸高压脊向极地伸展,使极涡减弱。4~5 月,阿拉斯加阻塞形势随着北太平洋一个个长波槽的切断过程而有向西伸展的趋势,导致在东北亚以北的北冰洋地区高度明显增加,使东亚-西太平洋地区从低纬到极地形成正、负、正的相关分布。6 月,极地高压脊向西伸展与东北亚正在发展的高压脊叠加,形成鄂霍次克海阻高,EAP 遥相关型的分布形势于是形成。同样,为了验证上述 ESVD 分析结果的代表性,我们用冬季 Niño3 区的 SST 指数作了 12 月到次年 6 月 850 hPa 风场和 500 hPa 位势高度场的合成和回归分析,所得结果也清楚地表现了上述的事实(图略),而且在 850 hPa 上西太平洋低纬的反气旋异常环流特别明显。

从上述的事实我们可以得到这样的结论:梅雨期东亚/太平洋 (EAP) 遥相关型的出现与 ENSO 遥强迫作用有密切的关系,可以说这是亚太地区大气环流对 El Niño 盛期海温异常响应的结果。联系冬季 ENSO 和梅雨期 EAP 遥相关型的关键过程主要有 3 个:(1) 西北太平洋低纬地区反气旋异常环流的形成和维持,使初夏副热带高压偏南偏强。这个反气旋是联系 ENSO 事件和东亚冬季风及我国汛期降水的重要环节^[9~11]。下一节我们将谈到它就是北方涛动的两大活动中心之一^[20]。(2) 东亚大槽持续偏弱,冷空气活动路径偏北偏东,使西北太

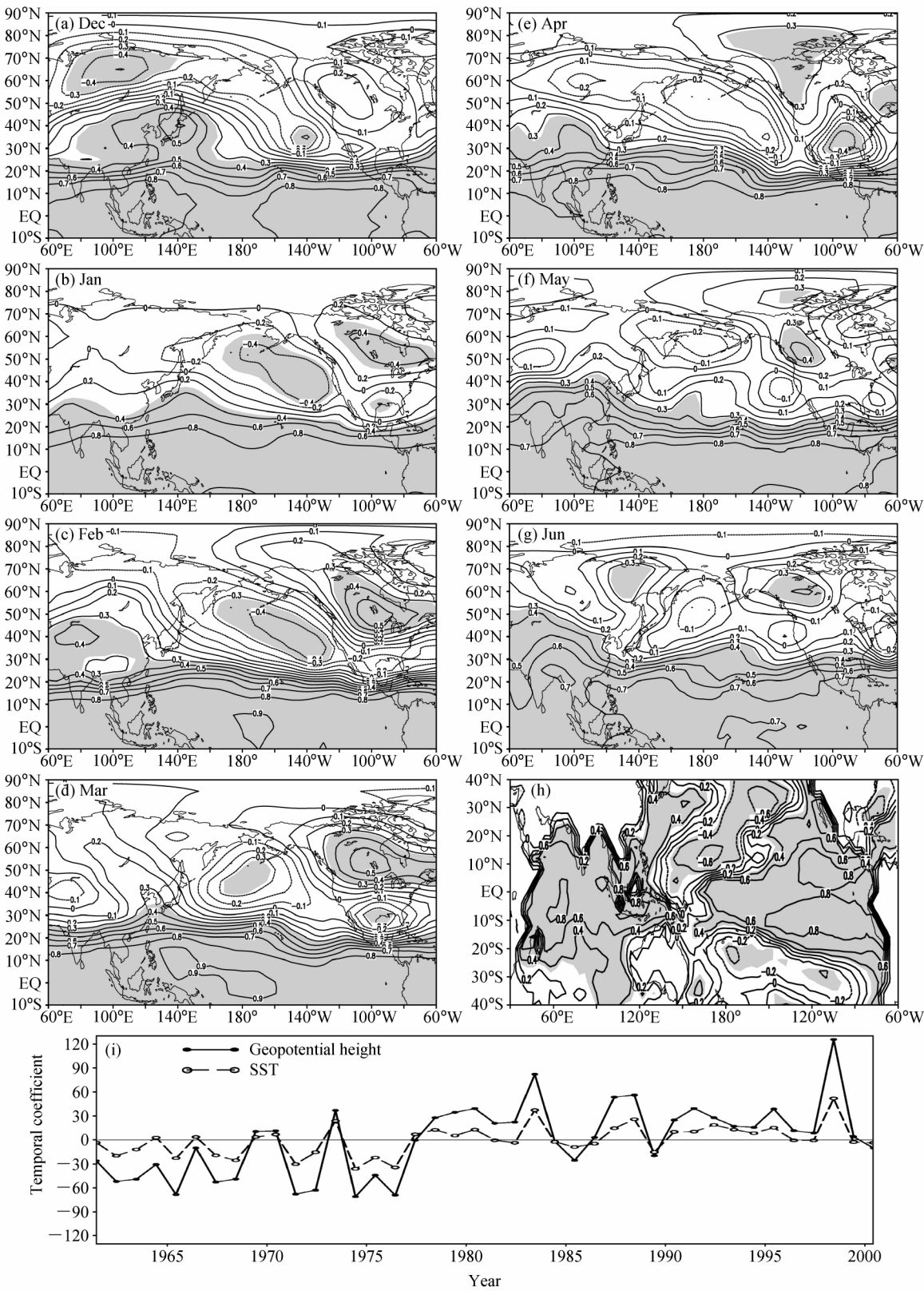


图 3 12~6 月 500 hPa 位势高度场 (a~g) 与冬季海温场 (h) 扩展 SVD 第一模态异质相关系数分布图及对应的时间系数 (i)。其余同图 1
Fig. 3 Heterogeneous correlation coefficients for the first ESVD (Extended SVD) mode of (a - g) 500-hPa geopotential height from Dec to Jun and (h) winter SST and (i) the corresponding temporal coefficients. The others are the same as Fig. 1

平洋海温呈亲潮海区冷、黑潮海区暖的海温分布。吕炯^[21]指出,西北太平洋这种北凉南温海温分布型的年份鄂霍次克海由于受强盛的严寒气候的影响,积冰特多,自4月份起就有一高压在这里盘踞着,以后逐月范围扩大,向西南扩张,至7月达全盛时期。(3) PNA 遥相关型的持续发展,使极区高度明显增加,也为 EAP 遥相关型的生成提供了有利的背景条件。杨义文等^[22]指出,春季4~5月份极区 500 hPa 高度强大正距平是预测夏季长江流域主雨带的判据之一。当然,影响中国梅雨期降水和环流的因素很多,我们这里只是探讨 ENSO 可能的作用。

5 ENSO 衰减期大气环流和海温异常的持续性及其相互作用

长期天气过程的可预报性与外源强迫作用的持续性有密切关系。那么与 ENSO 相关的环流型和海温异常到底有多大的持续性? 它与非 ENSO 年的持续性有什么不同? 为了讨论这一问题,我们将 1961~2000 年共 40 年资料分成 El Niño 年(10 年)、La Niña 年(6 年)及非 ENSO(正常)年(24 年)三组,分别计算各组对应 ENSO 高峰期亚太地区(10°S~90°N, 60°E~60°W) 500 hPa 位势高度与衰减期各月亚太地区 500 hPa 位势高度场之间的时滞自相似系数,该相似系数的特点是可以反映两个场之间整体上相似程度^[23]。图 4 是计算的结果,实线为 El Niño 年,虚线为 La Niña 年,点线为正常年。可以看到,500 hPa 环流的持续性(图 4a), El Niño 年落后到 4 个月的相似系数仍高达 0.70 以

上(超过 0.1% 的信度), La Niña 年在 0.60 以上。以后两者开始有所减小,但到 6 月还都在 0.5 左右。而正常年份落后 2 个月的自相似系数在 0.5 左右,以后则很快减少,落后 4 个月已不到 0.20,落后 6 个月只有 0.10。ENSO 年的持续性远比正常年要大得多。海温的持续性(图 4b), La Niña 年一直到 6 月相似系数都在 0.70 以上(超过 0.1% 的信度)。El Niño 年相对小些,但到 6 月也比正常年要大得多,只是其差异没有 500 hPa 环流的那么大。这进一步证实了 ENSO 衰减期大气环流和海温距平分布的型式表现都很稳定。

现在的问题是什么原因使它们有如此大的持续性? 这个问题和区域性海气相互作用有密切的关系。上一节讨论了与 ENSO 相关的大气环流逐月演变的过程,这里我们来看看与 ENSO 相关的海温场逐月演变的特征,并与环流的过程作比较分析。图 5a~f 是 1~6 月海温场与前期 11、12 月海温场 ESVD 第一模态异质相关分布,解释协方差平方分数为 0.71。1 月,太平洋海温距平的分布除在赤道中、东太平洋有一高正距平区外,在北太平洋东北部有一对西南为负、东北为正的距平中心,而在北太平洋西南部另有一对东南为负、西北为正的距平中心。这 3 个区的海温距平从 1 月到 6 月的持续性各有不同。赤道中、东太平洋正距平范围 2 月就开始缩小,4 月强度明显减弱,6 月赤道中、东太平洋部分地区转为负距平区。这说明 El Niño 衰减的速度是比较快的。北太平洋东北部的一对正、负距平中心,2 月的强度比 1 月强,并一直维持到 6 月。北太平洋西南部的一对正、负距平中心演变的过程基

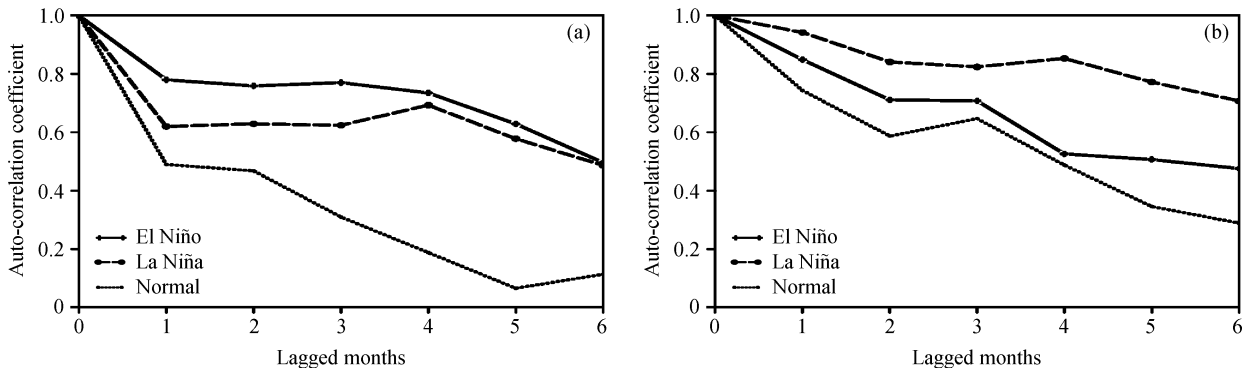


图 4 亚太地区(10°S~90°N, 60°E~60°W) 500 hPa 位势高度场(a)和印度洋-太平洋(30°S~60°N, 60°E~60°W)海温场(b)的时滞自相似系数

Fig. 4 Time-lag auto-correlation coefficients for (a) 500-hPa geopotential height over Asia-the Pacific (10°S~90°N, 60°E~60°W) and (b) SST over the Indian Ocean-the Pacific (30°S~60°N, 60°E~60°W)

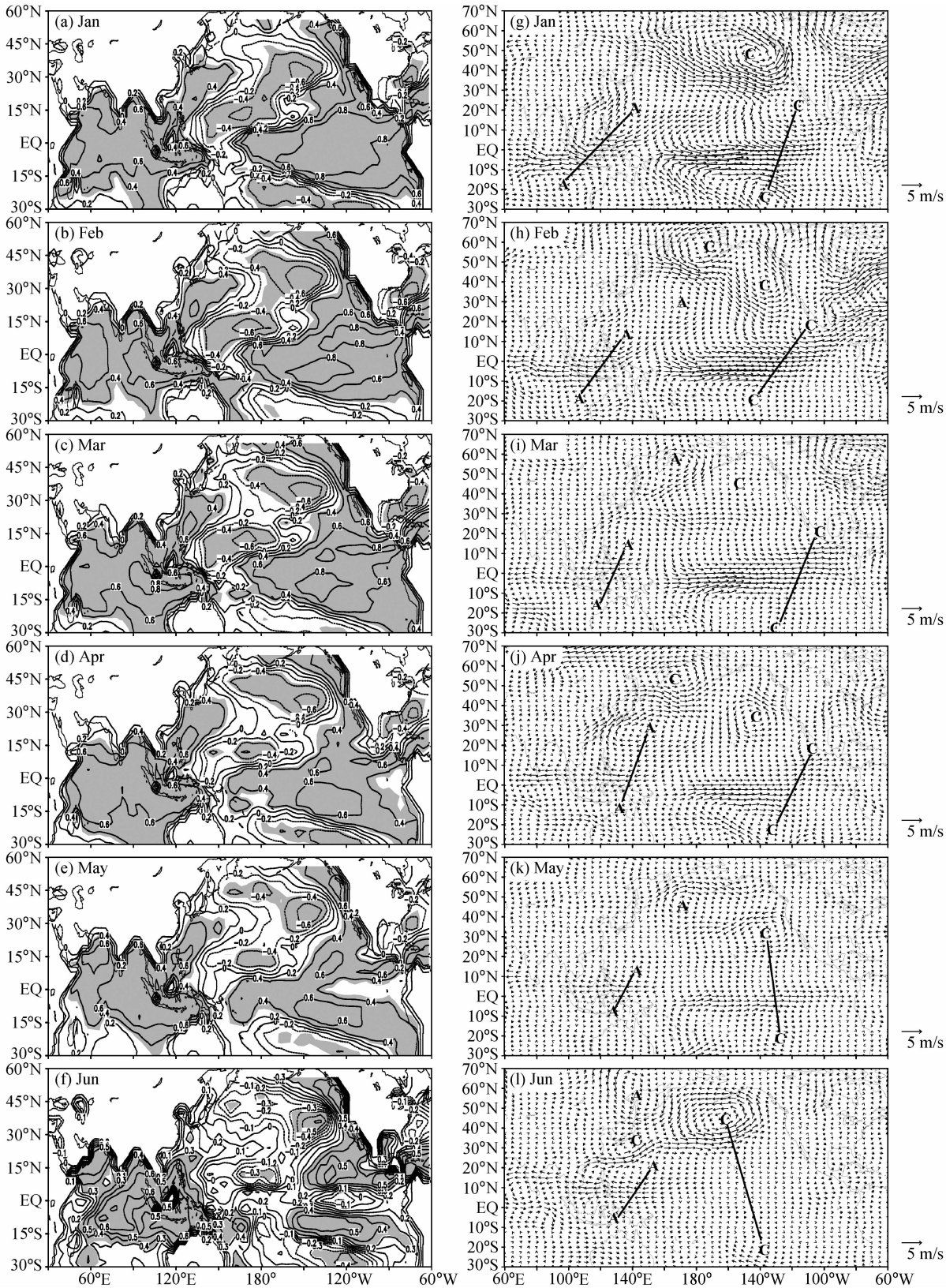


图 5 1~6 月海温 (a~f) 与前期 11、12 月海温 ESVD 第一模态异质相关分布和 850 hPa 风场 (g~l) 距平合成图。C：气旋，A：反气旋。其余同图 1

Fig. 5 Heterogeneous correlation coefficients for the first ESVD mode of (a~f) SST from Jan to Jun with SST in Nov and Dec and (g~l) 850-hPa abnormal wind from Jan to Jun in the decaying El Niño year. C: cyclone, A: anticyclone. The others are the same as Fig. 1

本上与东北的一致,一直可维持到初夏。因此,北太平洋两个区地海温距平虽然同是 El Niño 海温型的组成部分,但是其季节演变的过程却与赤道中、东太平洋海温的变化明显不同步。北太平洋海温距平可一直维持到初夏。这与 El Niño 次年 1~6 月海温距平合成分析结果(图略)也是一致的。

图 5g~l 是 El Niño 衰减年 1~6 月 850 hPa 风场距平合成图,与图 3a~g 一样是对 El Niño 同期海温异常响应的结果。可以看到,El Niño 衰减期热带西太平洋地区赤道南北两侧始终为异常反气旋环流所控制,这就是所谓的跨赤道反气旋对,其间盛行异常东风。而热带东太平洋地区一直维持一个跨赤道气旋对,其间盛行异常西风。在北太平洋的一对活动中心是北方涛动的组成部分,在南太平洋的一对活动中心是南方涛动的组成部分。陈烈庭等^[24, 25]指出,南、北方涛动的驻波特征只是一种表面现象,实际上它们的正、负高度距平中心存在沿副热带交替自西向东移动的过程,到东太平洋后减弱向高纬移动。此外,在北太平洋阿拉斯加湾海区还一直维持一异常气旋环流。如果把图 5b 与图 5a 比较则可发现,赤道东太平洋海温的演变与跨赤道气旋对与其间的异常西风有密切关系,随着它们强度的减弱和向高纬移动 El Niño 迅速衰减。而东北太平洋的海温距平与阿拉斯加湾的强异常气旋环流的维持有关,其西北侧盛行来自北太平洋的异常强的西北气流,使亲潮和西风漂流区的海温变冷,其东北侧盛行异常强的东南气流,使北美西海岸海温增暖。由于后期有来自原在东太平洋的气旋对减弱向高纬移动气旋环流的并入,这里的海温距平分布一直比较稳定。西北太平洋低纬始终为稳定的异常反气旋环流控制,其东侧东北风加强,使暖池区海水变冷,西侧盛行异常西南风,使黑潮区海温变暖,导致西北太平洋自南向北呈负、正、负的海温距平分布。同时,异常西南风也把暖湿空气输送到东亚大槽区,使这里的高度增加,不利于东亚大槽加深南伸。

从以上分析可以看出,ENSO 年亚太地区大气环流和北太平洋海温异常之所以有较大的持续性,与它们之间存在较强的相互作用耦合关系有关。ENSO 盛期海温异常可影响后期大气环流变化,反过来前期和同期的环流型一旦稳定又可引起长期的海洋特性的变化。如此相互影响相互调整导致大气

环流和海温异常的稳定和维持,对后期初夏东亚季风和我国天气气候产生明显的滞后效应。

6 总结

本文通过 SVD、ESVD、回归以及合成等分析方法,研究了梅雨期长江流域旱涝与梅雨期大气环流以及前期冬季海温的关系,并在此基础上,进一步分析了影响梅雨期长江流域旱涝的 EAP 流型形成的过程,并探讨了与 ENSO 有关的大气、海洋异常的持续性问题。主要结论如下:

(1) 梅雨期长江流域旱涝是对 ENSO 盛期整个太平洋海温距平分布型的响应,或者说是赤道东太平洋、暖池区、亲潮区以及西风漂流区海温共同影响的结果。

(2) EAP 环流型是直接决定梅雨期长江流域旱涝大气环流形势,它的 3 个成员鄂霍次克海阻高、梅雨槽和副热带高压是决定我国梅雨期降水分布的主要环流系统。

(3) EAP 遥相关型的出现是大气环流对 ENSO 遥强迫响应的结果,是大气环流和海温相互作用的表现。联系冬季 ENSO 和梅雨期 EAP 遥相关型的关键过程主要有三个:(a) 西北太平洋低纬地区反气旋异常环流的形成和维持,使副热带高压偏南偏强。(b) 东亚大槽持续偏弱,冷空气活动路径偏北偏东,使西北太平洋海温呈亲潮海区冷、黑潮海区暖的海温分布,有利于鄂霍次克海阻高形势的建立。(c) PNA 遥相关型的持续发展,使极区高度明显增加,也为 EAP 遥相关型的生成提供了有利的背景条件。

(4) ENSO 年亚太地区大气环流和北太平洋海温异常有很强的持续性是由于它们之间存在较强的相互作用耦合关系。ENSO 盛期海温异常对后期大气环流产生影响,而反过来前期和同期大气环流异常分布形势一旦稳定又可引起较长时期的海洋特性的变化。大气环流和海洋之间的这种相互影响、相互调整导致大气环流和海温异常的稳定和维持,对后期初夏东亚季风和我国天气气候产生明显的滞后效应。

参考文献 (References)

- [1] 金祖辉,陶诗言. ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究. 大气科学, 1999, 23 (6): 663~672

- Jin Zuhui, Tao Shiyan. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in Eastern China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (6): 663~672
- [2] Wu Renguang, Hu Zengzhen, Kirtman B P. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia. *J. Climate*, 2003, **16**: 3742~3758
- [3] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18** (4): 465~476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variations of summer precipitations in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 465~476
- [4] 李跃清, 李崇银, 黄荣辉. SVD 相空间分析方法及其在海气耦合关系中的初步应用. 高原气象, 2003, **22** (增刊): 17~23
Li Yueqing, Li Chongyin, Huang Ronghui. SVD phase space analysis and its preliminary application to sea-air coupling relationship. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2003, **22** (Supplement): 17~23
- [5] 宗海锋, 张庆云, 彭京备. 长江流域梅雨的多尺度特征及其与全球海温的关系. 气候与环境研究, 2005, **10** (1): 101~114
Zong Haifeng, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. Multiple scale characteristics for precipitation over the Yangtze River valley during the Meiyu period and their relationships with the global sea surface temperature. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 101~114
- [6] 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. 大气科学, 1977, **1**: 1~12
Chen Liehting. The effects of the anomalous sea-surface temperature of the equatorial Eastern Pacific Ocean on the tropical circulation and rainfall during the rainy period in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1977, **1**: 1~12
- [7] 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
- [8] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制. 大气科学, 1988, **12** (特刊): 107~116
Huang Ronghui, Li Weijing. Influence of heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia and its physical mechanism. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1988, **12** (Special Issue): 107~116
- [9] Zhang Renhe, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1996, **74**: 49~62
- [10] Wang Bin, Wu Renguang, Fu Xiuhua. Pacific - East Asia teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, 2000, **13**: 1517~1536
- [11] Lau K-M, Wu H T. Principal models of rainfall - SST variability of the Asian summer monsoon: A reassessment of the monsoon - ENSO relationship. *J. Climate*, 2001, **14**: 2880~2895
- [12] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1962, **32** (1): 1~10
Dao Shihyen, Hsu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yangtze and Hwai-Ho valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1962, **32** (1): 1~10
- [13] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 1995
Shi Neng. *Multiplex Analysis Method in Meteorological Research and Prediction* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1995
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术. 北京: 气象出版社, 1999
Wei Fengying. *Statistical Diagnosis and Prediction Technique Applied in Modern Climatology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999
- [15] Zhang Chidong. Intraseasonal perturbations in sea surface temperatures of the equatorial eastern Pacific and their association with the Madden-Julian oscillation. *J. Climate*, 2001, **14**: 1309~1322
- [16] Wang Bin, Wu Renguang, Li Tim. Atmosphere - warm ocean interaction and its impacts on Asian - Australian monsoon variation. *J. Climate*, 2003, **16**: 1195~1211
- [17] 黄荣辉, 严邦良, 陈际龙, 等. ENSO 循环对东亚夏季风的影响及热带西太平洋纬向风异常对 ENSO 循环的动力作用. 见: 巢纪平, 李崇银, 陈英仪等编. ENSO 循环机理和预测研究. 北京: 气象出版社, 2003. 3~15
Huang Ronghui, Yan Bangliang, Chen Jilong, et al. Influence of ENSO cycle on East Asia summer monsoon and the dynamical effects of the westerly anomalies over the west tropical Pacific on ENSO cycle. *Study of ENSO Cycle Mechanism and Forecasting* (in Chinese), Chao Jiping, Li Chongyin, Chen Yingyi, Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 3~15
- [18] 张庆云, 陶诗言. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报, 1998, **56** (2): 199~211
Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, **56** (2): 199~211
- [19] Horel J D, Wallace J M. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the southern oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 813~829
- [20] 陈烈庭, 詹志强. 北太平洋东西部气压距平的遥相关. 科学通报, 1984, **29**: 481~483
Chen Lieting, Zhan Zhiqiang. Teleconnection of pressure a-

- nomaly over the eastern and western Pacific. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1984, **8**: 481~483
- [21] 吕炯. 海水温度与水旱问题. 气象学报, 1950, **21**: 1~16
Lü Jiong. Sea temperature and flood/drought. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1950, **21**: 1~16
- [22] 杨义文, 吴晓曦, 艾婉季. El Niño 次年盛夏副高北进过程及中国雨型预测. 应用气象学报, 1998, **9** (增刊): 90~99
Yang Yiwen, Wu Xiaoxi, Ai Wanji. Seasonal movement process of west Pacific subtropical high and prediction of summer precipitation pattern in China in next year of El Niño events. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1998, **9** (Supplement): 90~99
- [23] 吴仁广, 陈烈庭. 中国东部夏季雨带分布类型及其与大气环流异常的关系. 见: 黄荣辉编. 灾害性气候的过程及诊断. 北京: 气象出版社, 1996. 14~22
- Wu Renguang, Chen Lieting. Summer rainbelt patterns in eastern China and their relations with circulation anomalies. *Study on the Formation Processes of Disastrous Climate and Its Diagnostics* (in Chinese), Huang Ronghui, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 14~22
- [24] Chen Lieting, Fan Zhen. The Southern Oscillation/Northern Oscillation cycle associated with sea surface temperature in the equatorial Pacific. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1993, **10** (3): 353~364
- [25] 陈烈庭, 吴仁广. ENSO 循环与亚、澳季风和南、北方涛动的关系. 气象学报, 2000, **58** (2): 168~178
Chen Lieting, Wu Renguang. ENSO cycle associated with Asian/Australian monsoon and Southern/Northern Oscillation. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (2): 168~178