强 La Niña 背景下的东亚夏季风异常与 1989 年和 1999 年中国夏季降水的对比分析

薛峰

中国科学院大气物理研究所，北京 100029

摘 要 选取两个强 La Niña 年（1989 年和 1999 年），对比分析了强 La Niña 背景下的东亚夏季风异常和中国夏季降水分布。结果表明，受南极海冰分布异常的影响，这两年 6～7 月间南极涛动呈现不同的位相，进而改变了南方涛动的位相。1989 年，南极涛动为正时，南方涛动为正，马斯克林高压（简称马高）偏强，澳大利亚高压（简称澳高）偏弱。与 1989 年相反，1999 年南极涛动和南方涛动均为负位相，马高偏弱，澳高偏强，这与一般 La Niña 年的情况正好相反。与马高和澳高强度变化相对应，西太平洋副热带高压在 1989 年偏西、1999 年偏东，并影响到 6～7 月间中国降水的分布。8 月副高北抬后，南半球环流变化的影响减弱，东亚夏季风环流主要受热带环流和中高纬度环流的影响。1989 年 8 月，受中高纬度冷平流的影响，副高偏弱，长江流域降水偏多。1999 年 8 月，由于热带西风异常偏强，副高偏强，长江以南降水偏多。本文的研究结果表明，即使在两个相似的强 La Niña 事件影响下，由于其他因子对 La Niña 信号的调制作用，中国夏季降水仍呈现不同的分布，1989 年为中间型，而 1999 年为南方型，这与一般 La Niña 年雨带偏北正好相反。最后，对中国夏季降水的季度预测提出了一些建议。

关键词 La Niña 南极涛动 中高纬度环流 东亚夏季风 中国夏季降水

文章编号 1006－9895（2008）03－0423－09 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

East Asian Summer Monsoon Anomalies in Strong La Niña Years and Comparison of Summer Precipitation in China between 1989 and 1999

XUE Feng

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract Two strong La Niña years, i. e. 1989 and 1999, are selected to compare the East Asian summer monsoon (EASM) anomalies and summer precipitation distribution in China. It is shown that, during June through July, the Antarctic oscillation (AAO) exhibits different phases due to the anomalous Antarctic sea ice distribution. Accordingly, the phase of the southern oscillation (SO) is also changed. In 1989, the positive phase of the SO corresponds to that of the AAO, the Mascarene high (MH) tends to be intensified while the Australian high (AH) tends to be weakened. In 1999, by contrast, both the AAO and SO exhibit a negative phase, and the MH becomes weaker whereas the AH becomes stronger, this distribution is opposite to that in the usual La Niña years. Corresponding to the anomalies of MH and AH, the western Pacific subtropical high (WPSH) tends to extend westward in 1989 and retreat eastward in 1999, as a result, precipitation in China during June－July exhibits a different distribution. In August when the WPSH extends northward, the influence from the southern circulation on EASM becomes weaker. On the other hand, the tropical circulation and the circulation from mid-high latitudes exert a major impact on the EASM circulation. In August 1989, the WPSH tends to be weaker because of the cold advection from high lati-

收稿日期 2006－12－07，2007－03－21 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40475036、40221503

作者简介 薛峰，男，1962 年出生，研究员，博士生导师，主要从事季风和短期气候预测研究。E-mail：fxue@lasg.iap.ac.cn

tudes, resulting in more rainfall along the Yangtze River valley. By comparison, in August 1999, the WPSH tends to be intensified due to a stronger tropical westerly anomaly, and more rainfall is found in the region to the south of the Yangtze River. The result in this study shows that, due to the modulation of some other factors on La Niña signals, summer precipitation in China may exhibit a different pattern even in the background of two similar La Niña events. The rainfall distribution corresponds to the intermediate pattern in 1989 while it corresponds to the southern pattern in 1999, which is opposite to the northern pattern in the usual La Niña years. Finally, some suggestions about the seasonal forecast of summer precipitation in China are proposed.

Key words La Niña, Antarctic oscillation, mid-high latitude circulation, East Asian summer monsoon, summer precipitation in China

1 引言

早在 20 世纪 30 年代，我国现代气象科学的奠基人之一涂长望先生利用当时有限的观测资料，研究了南方涛动与中国气候异常的关系及预测夏季旱涝的可能性[1]。其研究结果指出，“秋季南方浪动(现称南方涛动)，对于 3 个月后之中国冬温及降水量颇有相当控制。秋季南方浪动之加强，每继以酷寒、干燥之冬季；弱减时，则继以温和、潮湿之冬季”。但对夏季而言，情况则完全不同，“至冬季之南方浪动对于中国之夏季雨量则几无控制可言”，“春季之南方浪动与中国夏季雨量之关系殊微，颇令人失望”。涂长望的研究结果表明，利用前期南方涛动预测中国冬季气候是可行的，但预测夏季气候的可靠性较差。时至今日，我们知道，南方涛动及相关的 El Niño 和 La Niña 现象（ENSO）存在显著的季节循环，从冬至夏，ENSO 的信号是加强的，而从夏至冬，ENSO 的信号是趋弱的。在春季，热带太平洋海气耦合系统处于高度不稳定状态，存在所谓的春季预报障碍[2]，这是利用 ENSO 信号预测中国夏季气候不准确的主要原因之一。

自涂长望的开创研究以来，ENSO 对中国气候的影响一直是气象学界的重要研究课题。作为海气耦合系统中最强的年际变化信号，ENSO 对东亚夏季风的强弱变化和中国夏季降水的分布有重要影响。已有研究表明，ENSO 循环的不同阶段对东亚夏季风的影响有所不同，但若考虑到大气对海洋变化的滞后响应，ENSO 应主要影响其冬季盛期之后的夏季气候异常。在 El Niño 爆发后的翌年夏季，东亚夏季风一般偏弱，西太平洋副高偏南，江淮降水偏多，华北和华南降水偏少[3~7]。La Niña 对东亚夏季风的影响与 El Niño 大致相反，但不如前者显著。这种相关关系也是预测中国夏季降水的主要依据，现有的动力预测系统在很大程度上依赖于模式中 ENSO 信号的预测[8]。另一方面，若将中国夏季雨型与 ENSO 进行逐年对比，就会发现有些年份的降水异常分布并不符合上述统计关系，甚至雨型完全相反（例如本文分析的 1999 年）[9]。故后续的研究又根据 ENSO 的发生时间及强弱变化等指标将其进一步分类，并统计其与中国夏季降水的关系[9, 10]。这对提高预测水平无疑是有益的，但由于未考虑其他因子的影响，仍然难以从机理上诠释中国夏季降水的年际变化。

实际上，除 ENSO 之外，东亚夏季风还受到其他因子的影响，其中最为重要的是西太平洋副高北侧的中高纬度环流和其南侧的南半球环流。陶诗言等的早期研究发现江淮流域的旱涝与欧亚大陆中高纬度环流变化有关[11]，其后的研究进一步证实了中高纬度环流对中国夏季降水的影响[12]。此外，近年来的研究揭示了以南极涛动为主要模态的南半球环流对东亚夏季风及中国夏季降水的重要影响[13~17]。当南极涛动偏强时，南半球副热带的马斯克林高压（简称马高）和澳大利亚高压（简称澳高）及相关的越赤道气流亦趋于偏强，导致热带西太平洋暖池对流减弱，西太平洋副高偏西偏南，并在东亚地区激发出类似于 ENSO 型的降水异常。同时，南半球环流变化对中国夏季降水有重要的预测意义，从春至夏，马高偏强时，长江流域降水偏多，澳高偏强时，华南降水偏多。

因此，尽管 ENSO 是年际变化的最强信号，但由于其从冬至夏是趋弱的，其他影响因子完全可能后来居上，并在一定程度上调制东亚夏季风环流对 ENSO 信号的响应，进而产生不同的降水分布。这种调制作用在 La Niña 年可能更为重要，因为东亚夏季风环流对 La Niña 信号的响应一般弱于 El Niño。为此，本文选取 1979 年以来两次最强的 La

Niña 事件，对比分析在强 La Niña 背景下南半球环流和中高纬度环流的调制作用及其对中国夏季降水异常的影响，在更深层次上揭示东亚夏季风的年际变化机理，为中国夏季降水的预测提供更为坚实的物理基础。

2　资料简介与 1989 年和 1999 年的强 La Niña 事件

本文所使用的资料为 NCEP/NCAR 1979～2004 年再分析资料集中的海平面气压场、水平风场和位势高度场，水平分辨率为 2.5°×2.5°[18]。降水资料为地面观测、卫星观测和模式输出的合成结果[19]，该资料包括海洋部分，有利于考察中国东部雨带的全貌。对比分析表明，该资料与中国气象局提供的台站观测降水在大尺度分布上是一致的。海表温度和海冰资料的水平分辨率分别为 2°×2°和 1°×1°[20, 21]。本文用 Niño 3.4 区（5°N～5°S，120°W～170°W）月平均海表温度异常来表示 La Niña 事件的强度。文中异常值是该年与 1979～2004 年气候平均的差值。

1988～1989 年和 1998～1999 年间分别发生了两次强 La Niña 事件（图 1），二者均在前一年春季爆发，但由于受 1997～1998 年强 El Niño 事件的影响，后者爆发时间迟 1 个月。其后的演变过程非常相似，都在年底达到最大异常，然后在翌年春、夏季持续衰减。前者的 Niño 3.4 区月平均海表温度异常最小值低于－2℃，而后者亦接近－2℃，属于强 La Niña 事件。在前一年夏季至翌年夏季期间，二者差异不大。

在强 La Niña 事件的影响下，1989 和 1999 年中国东部夏季降水（6～8 月平均）出现了显著的异常分布。如图 2 所示，1989 年夏季，江淮地区降水偏多，华南偏少，华北在 7～8 月间出现较为严重的干旱，雨型为中间型[9]；在 1999 年夏季，长江以南降水明显偏多，江南东部发生了严重的洪涝，同时淮河以北地区降水明显偏少，华北地区出现罕见的持续高温，雨型为南方型[10]。一般情况下，在强 La Niña 年，西太平洋暖池地区海温偏高，对流增强，副高偏北，雨带趋于偏北[3～7]。但是，这两年的雨型不符合上述经典的统计关系，尤其是 1999 年几乎完全相反。这显示其他影响因子对 La Niña 信号的调制作用，以下将对此做具体分析。

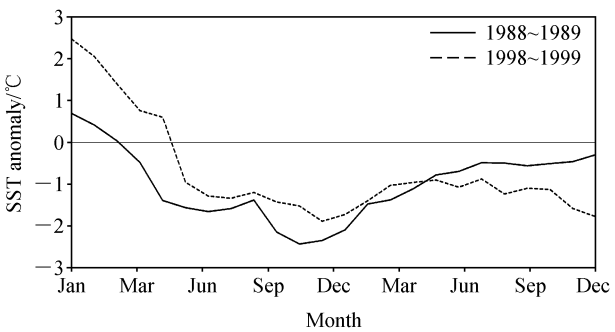

图 1　1988～1989 年和 1998～1999 年 Niño 3.4 区月平均海表温度异常

Fig. 1　The mean monthly sea surface temperature anomaly in the Niño 3.4 region during 1988－1989 and 1998－1999

3　南极涛动对 La Niña 信号的调制作用：6～7 月的环流和降水异常

图 3 为 6 月海平面气压异常分布。对比发现，这两年南半球环流有很大差异。在 1989 年，南半球高纬度为负异常，绕极低压带偏深，而中纬度和副热带大部分地区为正异常，马高和东南太平洋副高偏强，南极涛动处于明显的正位相。同时，由于受强 La Niña 的影响，南方涛动为正位相，澳高偏弱。但 1999 年的情况与 1989 年几乎完全相反，南

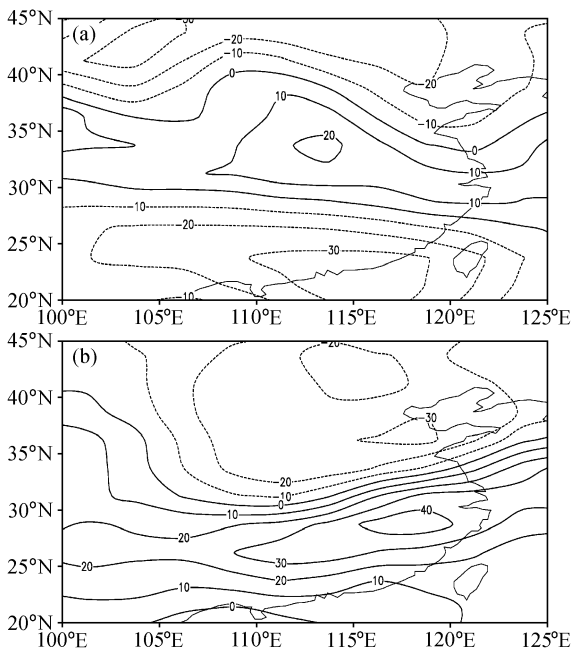

图 2　中国东部夏季降水距平百分率（%）：(a) 1989 年；(b) 1999 年

Fig. 2　Summer precipitation anomaly percentage (%) in eastern China: (a) 1989; (b) 1999

极涛动处于明显的负位相。特别值得注意的是，东南太平洋副高偏弱，澳高偏强，南方涛动处于负位相，这与通常 La Niña 事件中南方涛动为正位相的统计关系正好相反（例如 1989 年）。由此可见，南极涛动位相的变化可以掩盖大气环流对 La Niña 信号的响应，从而改变南方涛动的位相，这是以前研究中尚未发现的现象。此外，根据我们以前的研究，马高偏强时，其南侧的西风带 Rossby 波频散使澳高亦趋于偏强，马高和澳高为正相关[14, 15]。但在强 La Niña 事件的影响下，这两年马高和澳高的异常与上述统计关系完全相反。

南极涛动本质上是大气环流固有的现象，主要

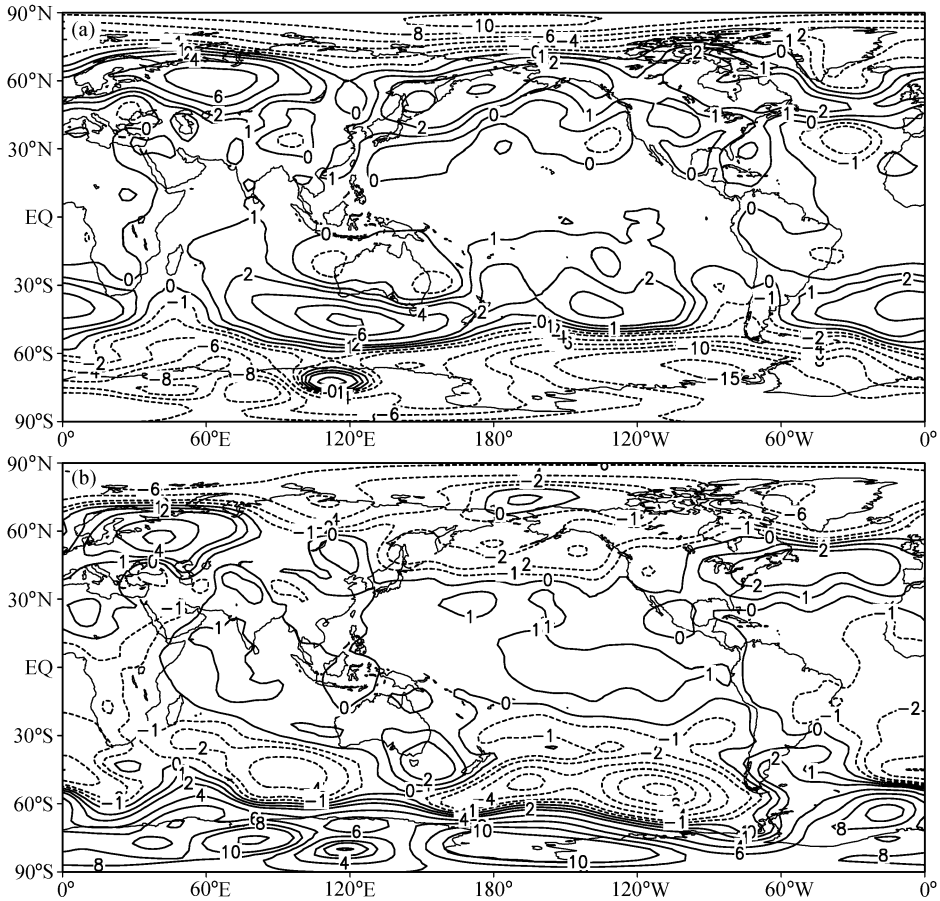

图 3 6 月海平面气压场异常（单位：hPa）：(a) 1989 年；(b) 1999 年

Fig. 3 Sea level pressure anomaly (hPa) in Jun: (a) 1989; (b) 1999

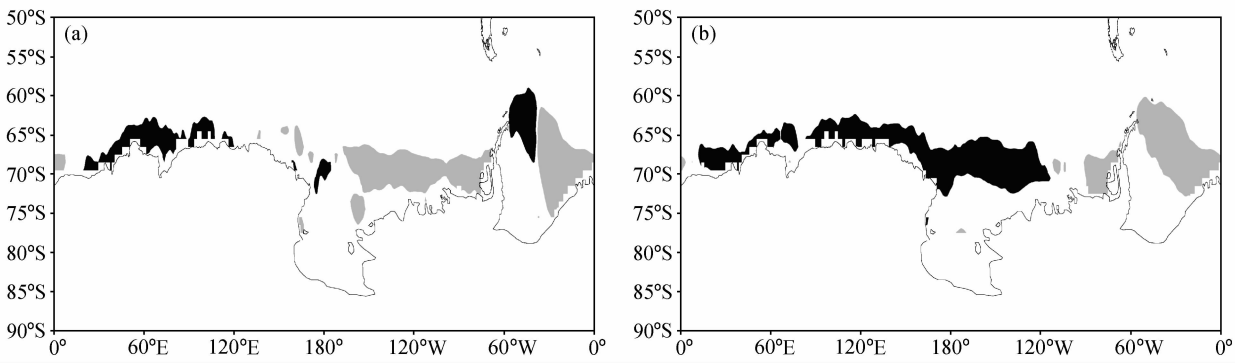

图 4 1 月南极海冰分布异常（%）：(a) 1989 年；(b) 1999 年。深、浅色阴影表示海冰异常大于 10%、小于－10%的区域

Fig. 4 The Antarctic sea ice anomaly (%) in Jan: (a) 1989; (b) 1999. Regions with the anomaly larger than 10% or less than －10% are heavily or lightly shaded, respectively

表现为天气尺度的振荡信号[22]，但由于受南极海冰等外强迫的影响，南极涛动可在月到季的时间尺度上有一定的持续性。高辉等的研究发现，南极涛动与南极海冰变化有滞后 6 个月的负相关[13]。我们逐月对比这两年的南极海冰分布，发现在上一年底海冰即表现明显的异常分布，随着南半球从夏到冬的季节变化，海冰异常分布逐渐北移。以 1 月为

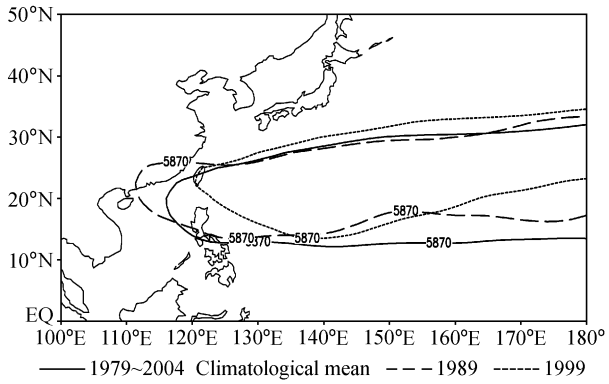

图 5　6 月 500 hPa 西太平洋副热带高压（为清晰起见仅给出 5870 gpm 等值线）。实线：1979～2004 气候平均；长虚线：1989 年；短虚线：1999 年

Fig. 5　500-hPa western Pacific subtropical high in Jun (For the sake of clarity, only 5870 gpm contour is shown)

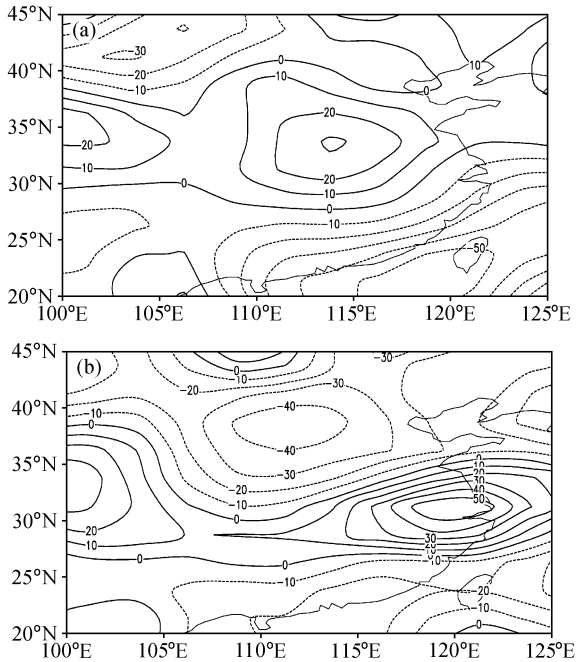

图 6　中国东部 6 月降水距平百分率（%）：(a) 1989 年；(b) 1999 年

Fig. 6 Summer precipitation anomaly percentage (%) in Jun in eastern China: (a) 1989; (b) 1999

例（图 4），除南极半岛以东的威德尔海等部分地区外，这两年的海冰分布差异很大，尤其是在南大洋的 120°E～120°W 区域，1989 年海冰偏少，而 1999 年则明显偏多。海冰偏多时，该地区气压增加，绕极低压带变浅，随着 La Niña 信号从冬到夏的逐渐减弱，海冰偏多使南极涛动呈现出负位相（图 3b）。

根据我们以前的研究[14, 15]，当南极涛动偏强时，马高及其相关的索马里急流亦偏强，致使副高偏西偏南。在上述两年中，由于南极涛动对 La Niña 信号的调制作用，对中国夏季降水影响很大的西太平洋副高位置也有明显差异（图 5）。1989 年由于南极涛动偏强，马高偏强，副高偏西，而 1999 年由于澳高偏强，副高偏东，这与我们以前的研究结果相符[15]。对应于副高的不同位置，这两年 6 月的主要降雨区也有所不同，1989 年主要在淮河上游，而 1999 年主要在长江下游（图 6）。

与 6 月相比，7 月东亚地区环流变化不大，但 1999 年 7 月的副高更为偏东，主要降水区略有南移（图略）。但需注意的是，随着季节进程的变化，特别是 7 月下旬副高北抬之后，来自南半球的信号逐渐减弱，而欧亚中高纬度环流的影响渐趋增强[15]。

4　热带环流和中高纬度环流的共同影响：8 月的环流和降水异常

与 6～7 月相比，8 月副高北抬后，其形态发生了很大变化。如图 7 所示，除华南残存的小范围高压单体外，1989 年副高明显东退，强度减弱，而 1999 年副高的主体范围增大，强度偏强，这与 6～7 月大致相反。对比 8 月各候的副高变化，发现这种变化主要发生在 8 月中旬（图 8）。在 1989 年 8

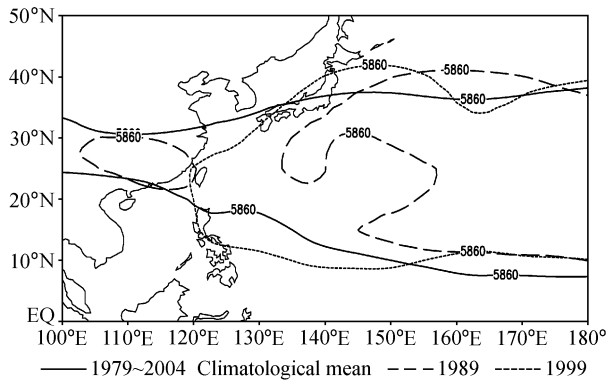

图 7　同图 5，但为 8 月（为清晰起见，仅给出 5860 gpm 等值线）

Fig. 7　Same as Fig. 5, except for Aug (For the sake of clarity, only 5860 gpm contour is shown)

月 10～14 日期间，副高主体尚占据中国东部，仅 1 候之后（15～19 日），副高即大幅度东撤至中太平洋。与 1989 年的情况相反，在 1999 年同期，副高从台湾以东洋面快速西伸至中国东部，强度明显增强。上述的东退和西伸过程使 1989 年 8 月副高偏弱，1999 年 8 月副高偏强（图 7）。

8 月中旬副高的东退和西伸过程与 8 月上旬热带环流和欧亚大陆中高纬度环流的共同作用有关。如图 9 所示，这两年从孟加拉湾到菲律宾东部的热带西风均偏强，这是热带大气环流对 La Niña 信号的响应。同时，由于 1999 年夏季的 La Niña 信号强于1989年（图 1），前者的西风异常远较后者显

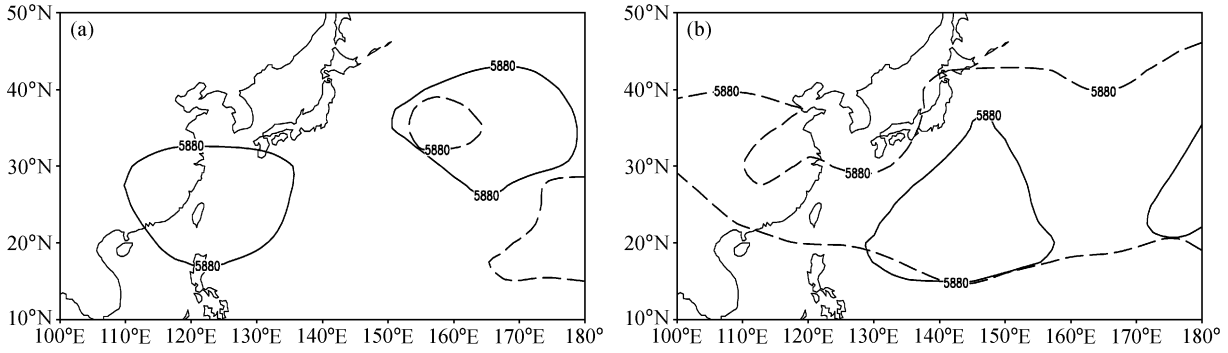

图 8 8 月 10～14 日（实线）和 15～19 日（虚线）候平均 500 hPa 西太平洋副热带高压（为清晰起见仅给出 5880 gpm 等值线）：(a) 1989 年；(b) 1999 年

Fig. 8 Pentad mean 500-hPa western Pacific subtropical high during 10－14 Aug (solid line) and 15－19 Aug (dashed line): (a) 1989; (b) 1999. For the sake of clarity, only 5880 gpm contour is shown

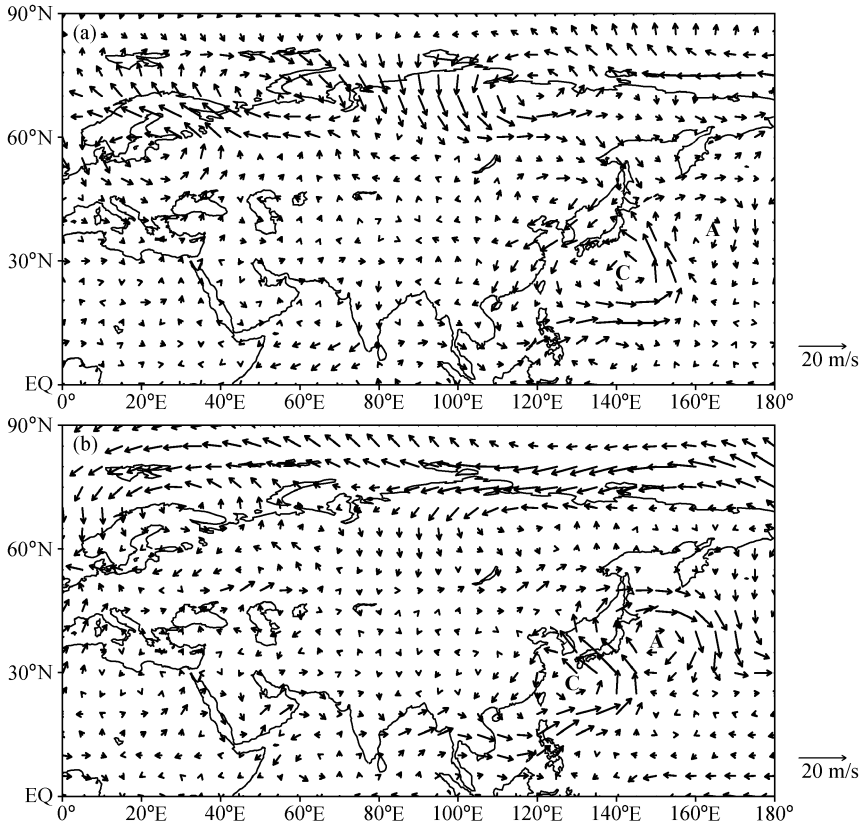

图 9 8 月 1～10 日平均 850 hPa 风场异常：(a) 1989 年；(b) 1999 年。C、A 表示气旋、反气旋异常中心

Fig. 9 850-hPa wind anomaly during 1－10Aug: (a) 1989; (b) 1999. The cyclonic and anticyclonic anomaly centers are marked with C and A, respectively

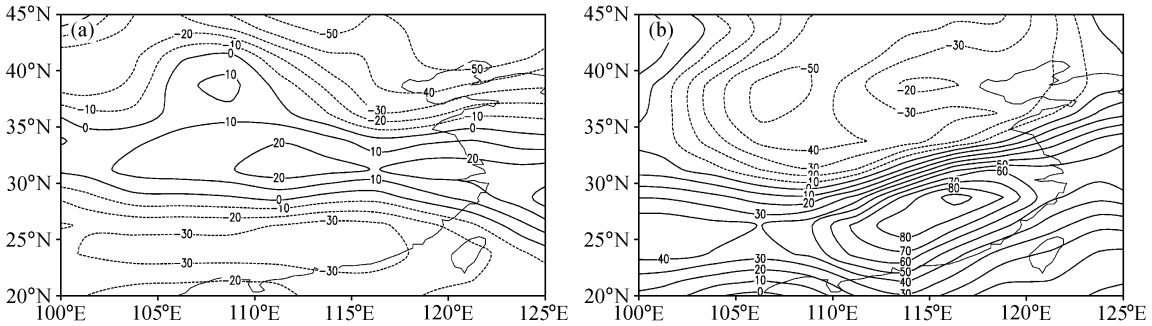

图 10　中国东部 8 月降水距平百分率（%）：(a) 1989 年；(b) 1999 年

Fig. 10　Summer precipitation anomaly percentage (%) in Aug in eastern China: (a) 1989; (b) 1999

著，1999 年 8 月中旬副高的西伸与西风异常所引起的暖平流异常有关，同时 1989 年 8 月华南地区较弱的副高单体也与较弱的西风异常相对应。与热带环流有所不同的是，这两年高纬度环流有很大差异。1989 年，贝加尔湖以东以及东亚沿海地区为显著的偏北风异常，8 月中旬副高的东退主要是源于高纬度的冷平流异常所造成。与 1989 年相反，1999 年同期，贝加尔湖以东为偏南风异常，从菲律宾到日本北部的西太平洋地区盛行偏南风异常，高纬度环流异常对副高影响不大。因此，这两年 8 月副高变化与热带环流和中高纬度环流的共同作用有关，其中 1989 年副高的东退主要受高纬度环流影响，而 1999 年副高的西伸主要受热带环流影响。

8 月降水的异常分布与该月副高的形态变化有关（图 10）。1989 年 8 月，华南仍维持较弱的副高单体（图 7），冷暖空气主要交汇于长江流域，使该地区降水偏多，其两侧降水偏少。1999 年 8 月的副高强度偏强，但主体范围偏东，不利于北方降水，主雨区在长江以南。由于 8 月降水异常幅度大，1999 年夏季平均的降水呈现南多北少的分布。

5　小结和讨论

本文选取 1989 年和 1999 年两个强 La Niña 年份，对比分析了强 La Niña 背景下的东亚夏季风异常和中国夏季降水的分布。结果表明，即使在两个相似 La Niña 的强迫下，由于其他影响因子对 La Niña 信号的调制作用，中国夏季降水仍可能出现完全不同的分布。

在 6～7 月的主汛期，南半球环流变化对东亚夏季风有显著影响。在南半球从夏到冬（北半球从冬到夏）的季节变化过程中，南极海冰的异常可引起南极涛动位相的变化，并进而改变南方涛动的位相，这是以前研究中尚未注意到的问题，值得进一步研究。1989 年 6 月，南极涛动为正位相，加强了南方涛动，澳高偏弱。与此相反，1999 年 6 月，南极涛动的负位相改变了 La Niña 背景下南方涛动为正的状态，使南方涛动的位相变负，澳高偏强。换言之，南极涛动的位相变化可掩盖 La Niña 造成的环流异常，并进而改变南方涛动的位相。此外，澳高在影响东亚夏季风中起到重要作用，澳高偏强时，西太平洋副高偏东，澳高偏弱时，副高偏西，这与我们以前的研究结果一致[15]。

与 6～7 月不同的是，8 月副高北抬后，南半球环流的影响减弱，而中高纬度环流的影响增大。1989 年和 1999 年的对比分析表明，8 月副高形态与 6～7 月有很大差异。1989 年，中高纬为经向环流型，受高纬度冷平流异常的影响，副高东退，强度减弱。而在 1999 年，副高主要受 La Niña 引起的热带西风异常环流影响，强度偏强。因此，在 8 月份，东亚夏季风环流主要受控于热带环流和中高纬度环流。在以前有关中国夏季降水的研究中，通常将 6～8 月作为季度平均一起考虑，但从本文的分析结果看，东亚夏季风环流在 8 月与 6～7 月有很大差异，其影响因子也有所不同，因此，宜将中国夏季降水分为主汛期（6～7 月）和后汛期（8 月）。

前述的统计分析表明，La Niña 年中国雨带趋于偏北，但这两年的降水分布与统计结果并不一致，尤其是 1999 年更是完全相反。一方面这可能与 20 世纪 70 年代末期东亚夏季风环流减弱的年代际变化有关，但更为重要的是，La Niña 信号从冬到夏是衰减的，同时因大气对 La Niña 信号的响应

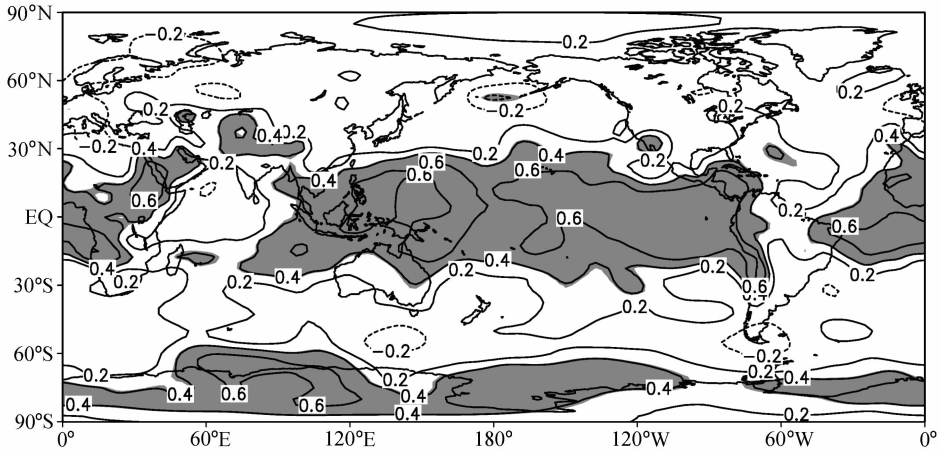

图 11 1979～2004 年 4～5 月和 6～7 月海平面气压的相关系数。阴影区为超过 95%置信水平的区域

Fig. 11 Correlation coefficient between sea level pressure fields during Apr－May and Jun－Jul of 1979－2004. Regions over the 95% significance level are shaded

较 El Niño 弱，东亚夏季风环流更易于受到其他因子的调制。从本文的结果看，6～7 月主要受南半球环流变化的影响，而 8 月中高纬度环流也很重要。

以 4～5 月平均和 6～7 月平均代表北半球春季和夏季，图 11 给出春、夏季间海平面气压场的相关系数，代表低层局地环流从春到夏的持续性。如图 11 所示，持续性最好的在热带海洋，这主要是 ENSO 影响所致。受南极海冰的影响，南极地区环流的持续性也较好。青藏高原附近有一范围较小的区域，这可能与积雪的影响有关。需强调指出的是，由于中高纬度环流的混沌特性，加上北半球中高纬度主要为陆地，该地区环流的持续性较差。因此，虽然中高纬度环流变化对中国夏季降水有重要影响，但难以用于季度预测。从本文的分析结果看，中高纬度环流变化影响副高的时间尺度为 10 天左右，可用于中期天气预报，但并非季度预测。

陈兴芳等[23]总结了影响中国夏季降水的重要因子，并归纳为东（ENSO）、西（青藏高原积雪异常）、南（南半球和热带环流）和北（北半球中高纬度环流）。如上所述，为提高中国夏季降水的季度预测水平，应重点研究前三个因子之间的相互作用及其对东亚夏季风的影响，其中 ENSO 是年际变化的最强信号，也是预测中国夏季降水的主要指标。此外，以南极涛动为主要模态的南半球环流变化对中国夏季降水的预测也有重要的应用价值。但与 ENSO 不同的是，在北半球从冬到夏的季节变化过程中，南半球经历相反的季节变化，南北向温差逐渐增大，南极涛动的信号逐渐增强。这样，在 ENSO 信号逐渐减弱时，南极涛动的信号有可能后来居上，并影响中国夏季降水的分布。因此，利用南极涛动的信号可在一定程度上弥补由于春季预报障碍给中国夏季降水预测带来的困难，特别是当 ENSO 信号不太强的情况下。本文的结果表明，南极涛动是影响东亚夏季风年际变化的强信号，其影响程度足以完全掩盖强 La Niña 信号。近年来，我们已将南半球环流应用于中国夏季降水的季度预测，并取得一定的预测效果。因此，若能将南极海冰变化的信号引进现有的数值预测系统中，将会在一定程度上改进中国夏季降水的预测水平。

参考文献（References）

[1] 涂长望. 中国天气与世界大气的浪动及其长期预告中国夏季旱涝的应用. 气象杂志，1937，**13**（11）：647～697
Tu Changwang. Linkages between weather in China and the global atmospheric oscillations and applications in long-range forecast of summer drought and flood in China. *J. Meteorology* (in Chinese)，1937，**13** (11)：647～697

[2] Webster P J，Yang S. Monsoon and ENSO：Selectively interactive systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*，1992，**118**：877～926

[3] 符淙斌，滕星林. 我国夏季的气候异常与埃尔尼诺/南方涛动现象的关系. 大气科学，1988，(特刊)：133～141
Fu Congbin，Teng Xinglin. Relationship between summer climate in China and El Niño/southern oscillation phenomenon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*)(in Chinese)，1988，(Special Issue)：133～141

[4] 李崇银. 华北地区降水的一个分析研究. 气象学报，1992，

50 (1)：41～49
Li Chongyin. An analytical study on the precipitation in the flood period over Huabei area. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese)，1992，**50** (1)：41～49

[5] 黄荣辉，孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学，1994，**18** (2)：141～151
Huang Ronghui，Sun Fengying. Impacts of the thermal state and convective activities in the tropical western warm pool on the summer climate anomalies in East Asia. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*)(in Chinese)，**18** (2)：141～151

[6] 陈文. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. 大气科学，2002，**26** (5)：595～610
Chen Wen. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese)，2002，**26** (5)：595～610

[7] 陆日宇. 华北汛期降水量年际变化与赤道东太平洋海温. 科学通报，2005，**50** (11)：1131～1135
Lu Riyu. Interannual variation of North China rainfall in rainy season and SSTs in the equatorial eastern Pacific. *Chinese Science Bulletin*，2005，**50** (18)：2069～2073

[8] 曾庆存，林朝晖，周广庆. 跨季度动力气候预测系统 IAP DCP-II. 大气科学，2003，**27**：289～303
Zeng Qingcun，Lin Zhaohui，Zhou Guangqing. Dynamical extraseasoanl climate prediction system IAP DCP-II. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese)，2003，**27**：289～303

[9] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京：气象出版社，1999. 297pp
Zhao Zhenguo. *Summer Drought and Flood in China and Environmental Background* (in Chinese). Beijing：China Meteorological Press，1999. 297pp

[10] 陈桂英，张培群，许力. 1999 年夏季中国降水南多北少成因初探. 气候与环境研究，2001，**6** (3)：312～320
Chen Guiying，Zhang Peiqun，Xu Li. Preliminary studies on the cause of southern flood and northern drought during the summer of 1999 in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese)，2001，**6** (3)：312～320

[11] 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
Tao Shiyan，Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in the Yangtze-Huaihe valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese)，1962，**32** (1)：1～10

[12] 张庆云，陶诗言. 亚洲中高纬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* (in Chinese)，1998，**56** (2)：199～211

[13] 高辉，薛峰，王会军. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预测意义. 科学通报，2003，**48** (增刊 2)：87～92
Gao Hui，Xue Feng，Wang Huijun. Influence of interannual variability of Antarctic oscillation on Mei-yu along the Yangtze and Huaihe River valley and its importance to prediction. *Chinese Science Bulletin*，2003，**48** (Supp. II)：61～67

[14] Xue F，Wang H J，He J H. Interannual variability of Mascarene high and Australian high and their influences on East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*，2004，**82** (4)：1173～1186

[15] 薛峰，何卷雄. 南半球环流变化对西太平洋副高东西振荡的影响. 科学通报，2005，**50** (15)：1660～1662
Xue Feng，He Juanxiong. Influence of the Southern Hemispheric circulation on east-west oscillation of the western Pacific subtropical high. *Chinese Science Bulletin*，2005，**50** (14)：1532～1536

[16] Wang H J，Fan K. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty：Signal of the Antarctic atmospheric oscillation. *Geophys. Res. Lett.*，2005，**32**：L24750，doi：10.1029/2005GL024562

[17] 范可. 南半球环流异常与长江中下游旱涝的关系. 地球物理学报，2006，**49** (3)：672～679
Fan Ke. Atmospheric circulation in the Southern Hemisphere and summer rainfall over Yangtze River valley. *Chinese J. Geophysics*，2006，**49** (3)：599～606

[18] Kalnay E，Kanamitsu M，Kistler R，et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*，1996，**77** (3)：437～471

[19] Xie P，Arkin P A. A 17-year monthly analysis based on gauge observations，satellite estimates，and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*，1997，**78** (11)：2539～2588

[20] Rayner N A，Paker D E，Horton E B，et al. Global analyses of sea surface temperature，sea ice，and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*，2003，**108** (D14)：4407，doi：10.1029/2002JD002670

[21] Smith T M，Reynolds R W. Improved extended reconstruction of SST (1854－1997). *J. Climate*，2004，**17** (12)：2466～2477

[22] Carvalho L M V，Jones C，Ambrizzi T. Opposite phases of Antarctic oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. *J. Climate*，2005，**18** (5)：702～718

[23] 陈兴芳，赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京：气象出版社，2000. 241pp
Chen Xingfang，Zhao Zhenguo. *Study on Precipitation Forecast in China during Flood Period and Its Applications* (in Chinese). Beijing：China Meteorological Press，2000. 241pp