

文章编号: 1000-2022(2002) 03-0314-07

## 热带太平洋海气系统内部联系的年代际变化

李春晖<sup>1</sup>, 管兆勇<sup>2</sup>, 何金海<sup>1</sup>

(南京气象学院 1. 大气科学系; 2. 气象灾害和环境变化开放研究实验室, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和全球海温海冰 GISST 2.3b 资料以及英国 CRU 提供的南方涛动指数, 分析了热带太平洋区域海气系统内部联系的年代际变化特征。结果表明: 热带太平洋地区海气年际变化间的相关关系具有显著的年代际变迁; 最近 50 a 中, 西太平洋地区海温变化与南方涛动的联系存在更为明显的年代际变化, 且在  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  相关关系微弱时, 在西太平洋赤道北侧的对流层低层, 西太平洋海温较暖(冷)时存在反气旋(气旋)环流。这样的高海温—反气旋系统与 ENSO 时期典型的低海温—反气旋的系统相反, 其动力学作用将不利于维持 ENSO 与西太平洋海温变化间的密切联系。

**关键词:** 年代际变化; 热带太平洋; 滑动相关

**中图分类号:** P732.6      **文献标识码:** A

厄尔尼诺/拉尼娜现象(El Nino/La Nina)和南方涛动(SO)是发生在热带太平洋地区海气系统中的低频强信号, 其对热带区域和全球气候异常产生着非常重要的影响。在年际时间尺度上, ENSO 现象的形成和维持被多种理论所解释, 如海气耦合波动的不稳定发展<sup>[1]</sup>、时滞振子理论<sup>[2]</sup>等。随着研究的不断深入, ENSO 现象的年代际变化<sup>[3]</sup>问题越来越受到重视。这包括三个方面: 一是海温距平时间序列中存在明显的 10 a 或更长时间尺度上的变化。例如最近几十年, 赤道中东太平洋海温存在增暖的长期趋势, 并被认为与全球增暖现象有关<sup>[4]</sup>, 而大气环流系统的长期变化如 PDO(Pacific (inter) Decadal Oscillation)现象<sup>[5]</sup>等与之也存在密切联系; 另一方面由于年代际时间尺度变化背景的存在, 使得年际振荡频率发生改变<sup>[6]</sup>。第三方面是不同现象间年际变率的联系发生显著改变而存在年代际变迁。例如, 印度季风降水与 Nino3(150°~90°W, 5°S~5°N)海温的负相关关系在 1986 年后出现显著的减弱<sup>[7]</sup>。造成这种变化的原因是复杂的, 探讨这种不同信号年际变化间联系的年代际变率也是十分重要的。

就总体特征而言, ENSO 循环过程中赤道太平洋海温在太平洋西部和中/东部具有相反的位相, 同时南方涛动及与之相联系的异常 Walker 环流与 El Nino/La Nina 间存在紧密联系, 但由于在热带太平洋区域内因海洋东、西部边界的存在和海洋动力学性质上的差异(体现在斜温层深度、波动反射特征、海气相互作用的热力/动力学性质等诸方面), 海洋和大气变化信号

收稿日期: 2001-10-15; 改回日期: 2002-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 49975025; 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900, part

第一作者简介: 李春晖(1976-), 女, 广东湛江人, 硕士生。

在东、西太平洋地区存在显著不同。为此, 探讨西太平洋暖池区域海温、Nino3 海温和南方涛动三者年际变率间联系的年代际特征将是本文的目的。

## 1 资料和方法

资料: 1) 1871—1998 年共 1 536 个月  $1^\circ \times 1^\circ$  全球海温海冰变化资料集 GISST2.3b; 2) 英国 CRU (Climate Research Unit) 整理释放的南方涛动指数  $I_{SO}$ , 取 1871—1997 年时段; 3) NCEP/NCAR 的 1948—1997 年逐月再分析资料。

主要统计分析手段: 滑动相关分析并进行 Monte-Carlo 检验<sup>[8]</sup>。

指数的选取: 取三个指数( $I_{SO}$ 、 $I_{Nino3}$ 、和西太平洋海温变化指数  $I_{WP}$ ) 来研究热带太平洋区域海气系统内部联系的年代际特征。其中,  $I_{Nino3}$  由 Nino3 区(150~90 W, 5 S~5 N) 对海温进行面积平均得到;  $I_{WP}$  由西太平洋区域(125~155 E, 10 S~10 N) 对海温进行面积平均得到。

## 2 Nino3 指数、西太平洋海温变化指数、南方涛动指数

这里计算了三个指数的滑动相关。考虑到 ENSO 循环的周期为 3~7 a 和本文研究的目的, 取滑动窗口为 121 个月。

热带太平洋地区海气系统年际变化间的相关关系具有显著的年代际变迁(图 1)。首先南方涛动与 Nino3 海温之间在 20 世纪 30 年代之前具有显著的负相关, 但在 30 年代曾低于 95% 的置信水平, 此时, 两者间能够相互解释的方差不足 10% (线性回归理论)。30 年代之后, 南方涛动与 El Nino/La Nina 之间的相关程度越来越高, 1970 年之后基本稳定在 -0.5 ~ -0.7。这些表明海气之间耦合程度在统计学上显示出年代际变化。

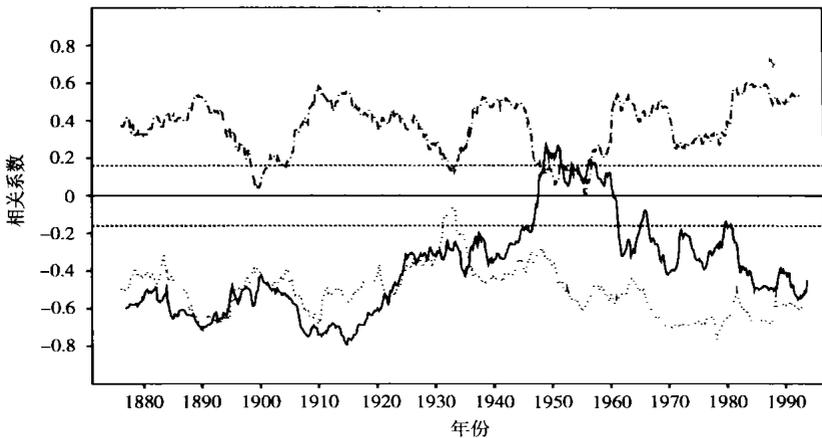


图 1  $I_{WP}$  与  $I_{Nino3}$ (实线)、 $I_{Nino3}$  与  $I_{SO}$ (点线) 以及  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$ (点虚线) 间 121 个月的滑动相关系数 (横虚线为 1 000 次 Monte-Carlo 模拟得到的 95% 置信水平线, 数值为 0.16)

Fig. 1 Coefficients of 121 months' running correlations between  $I_{WP}$  and  $I_{Nino3}$  (the ENSO index in 150~90 W, 5 S~5 N; solid line),  $I_{Nino3}$  and  $I_{SO}$ (dotted line), and  $I_{SO}$  and  $I_{WP}$ (dot-dashed line) (Horizontal dash lines denote the 0.05 significance level verified by 1 000 randomized time series, using the Monte-Carlo simulations)

在整个热带太平洋, 西太平洋海温与 Nino3 区海温变化之间的相关变动更大。两指数间的相关在 1871 年至 1920 年总是维持在 -0.4 以上, 表现出很好的负相关。20 年代后, 相关系

数迅速减小,至 40—50 年代,两者间相关系数失去显著性甚至由负相关转变成微弱的正相关,说明海气系统的内在联系尤其是在西太平洋地区经历了显著的改变。在最近的 40 a 中,西太平洋与中、东太平洋海温变化在统计学上的联系变得又紧密起来,相关系数由 0.2 左右变化到 -0.5 左右。注意到太平洋海温变化在最近几十年中存在的长期趋势对相关系数的贡献非常小以致可以忽略不计(计算略),因而,近 30 a 尤其是最近 10 a,中、东太平洋海温变化与西太平洋海温变化间相关系数的增大基本反映了年际变化在这两个海域间出现了比 40—60 年代更为密切的联系和一致性。

图中另一个明显特征是西太平洋海温与南方涛动之间的相关关系存在显著的年代际起伏。在整个 127 a 中,存在 5 个关系密切的年代,3 个相关不显著的年代。尤其是近 50 a 中,西太平洋海温变化与南方涛动的关系在 0.15、0.50、0.30 和 0.60 这样的数值上跳动,能够相互解释的方差为 4%、25%、9% 和 36%。由于滑动相关序列的这种跳跃变化无法从滑动相关自身获得解释,本文将进一步分析  $I_{SO}$ 、 $I_{Nino3}$  和  $I_{WP}$  时间序列,并利用 NCEP/NCAR 再分析资料着重分析气压场的变化。

另外,以上由滑动相关得到的  $I_{SO}$ 、 $I_{Nino3}$  和  $I_{WP}$  两两间的年代际变动反映出不同时间序列具有不同的局部频率特征,小波分析进一步说明了这一点(图略),指出当两者间同时具有显著周期时,两者间的相关系数就较大,反之则较小。

### 3 环流特征分析

由于缺 1948 年以前的大气资料,所以利用 1948 年以后 NCEP/NCAR 再分析资料分析  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  相关关系的年代际变化。由图 2 看出,与图 1 中  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  相关曲线对应的高相关年代相对比(图 2b、d),在相关系数较小的年代(图 2a、c),在西太平洋的热带地区,存在着一个正的大于 0.2 的相关中心(通过 95% 的置信水平)。虽然相关系数的数值不是很大,但其反映出西太平洋地区海气相互作用中的某种联系。海平面气压场与  $I_{Nino3}$  的典型相关特征为日期变更线以东地区为负相关而以西地区为正相关(图略),也就是与图 2b、d 中相关系数在太平洋赤道区域的分布一致。而  $I_{WP}$  与  $p_{SL}$  相关系数分布在 1948—1957 年间没有表现出这样的典型特征,在整个赤道地区为负相关。或者说,赤道西太平洋地区在这 10 a 与 ENSO 的联系不够密切。与 1948—1957 年间略有差别,1969—1980 年,在赤道中、东太平洋地区,  $I_{WP}$  与  $p_{SL}$  正相关,体现出部分与图 2b、d 中类似的特征。但是在日期变更线以西至热带印度洋,除了澳大利亚和印度洋上空,则全部为正相关,不存在 ENSO 的典型特征。因此,在这 12 a 中,  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  的相关(约 0.3)虽超过 95% 的置信水平,但在图 1 中依然处于低谷。

与气压变化对应,在  $I_{WP}$  为正时,这个正相关中心对应反气旋异常环流;在  $I_{WP}$  为负时,这个相关中心对应气旋式环流。如果将地表风场投影到  $I_{WP}$  上得到回归系数(图 3),可以看到,在西太平洋地区存在着一个反气旋环流,这正对应着图 2a、c 中的正相关中心。这里,回归系数的求取依据下列公式:

$$V = V + V_{I_{S,WP}}$$

式中  $I_{S,WP}$  为图 2a、b、c、d 对应时段的经过标准化的  $I_{WP}$  时间序列。当达到 90% 置信水平时,就用粗箭头表示。

在  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  高相关时期,西太平洋赤道两侧相关系数具有相同的符号(图 2b、d),出现关于赤道的对称结构(图 2b)。这个结构可以被看成赤道 Rossby 波动(“经向波数”  $n=1$ ),这与已

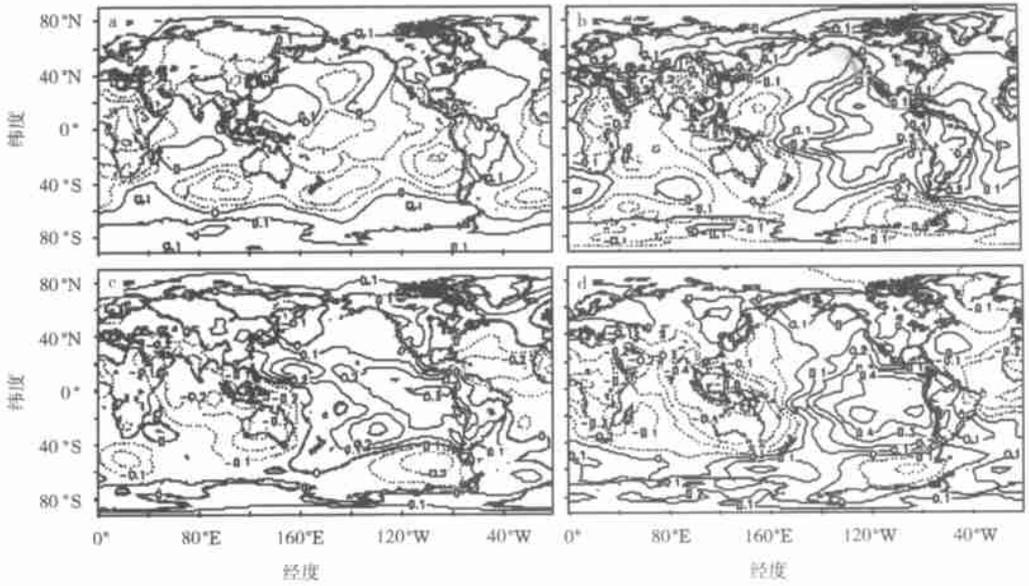


图 2 西太平洋海温  $I_{WP}$  与海平面气压场间在四个不同年代的相关  
 a. 1948—1957 年; b. 1959—1968 年; c. 1969—1980 年; d. 1982—1997 年

Fig. 2 Correlations between  $I_{WP}$  and global SLP

a. 1948 to 1957; b. 1959 to 1968; c. 1969 to 1980; d. 1982 to 1997

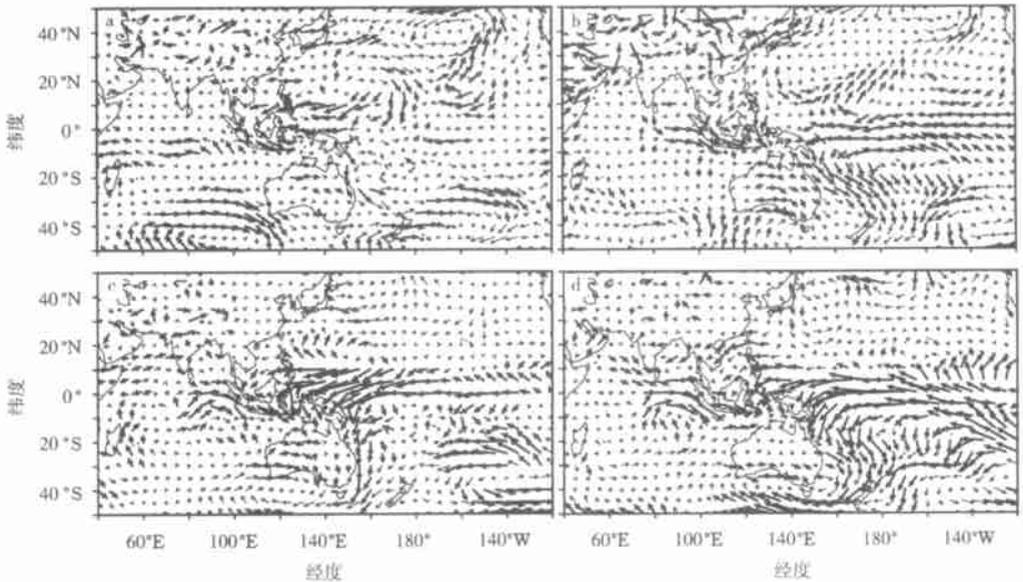


图 3 地表面风场投影到西太平洋海温  $I_{WP}$  时间序列 (4 个时段) 上得到的回归系数 (单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

a. 1948—1957 年; b. 1959—1968 年; c. 1969—1980 年; d. 1982—1997 年

Fig. 3 Regression coefficients of the wind field projected onto  $I_{WP}$  time series (units:  $m \cdot s^{-1}$ )

a. 1948 to 1957; b. 1959 to 1968; c. 1969 to 1980; d. 1982 to 1997

知研究成果一致<sup>[9]</sup>。当 ENSO 暖(冷)位相时,冷性(暖性)的 Rossby 波在太平洋海盆西边界反射后将形成冷性(暖性)东传的 Kelvin 波,最终导致 ENSO 暖位相(冷位相)向冷位相(暖位相)

转换。

在  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  低相关时期,  $I_{WP}$  与  $p_{SL}$  在西太平洋为正相关。也就是说, 在这些时段内, 西太平洋地区偏暖而不是偏冷时, 在菲律宾以东的洋面上空存在反气旋, 这与文献[10]的结果相反, 说明  $I_{WP}$  在 1948—1957 年、1969—1980 年这两个时段与 ENSO 的关系不很密切, 西太平洋的海温变化有其相对独立的信号。

当西太平洋异常海温  $I_{WP}$  为正时, 反气旋南侧的异常东风作用在海洋表面, 由于 Ekman 抽吸作用, 在赤道易于产生海水涌升, 不利于海温暖异常的维持; 反之, 在西太平洋海温负异常时, 相应的低压系统在赤道地区对海洋施加西风风应力异常强迫, 指向赤道的柯氏力使得西太平洋海水在赤道地区堆积下沉, 不利于冷海温异常的维持。这看起来是一个负反馈过程, 与 ENSO 循环过程中那种东、西太平洋海温反相, 西太平洋负(正)海温异常时其上反气旋(气旋)的海气相互作用机制完全不同。因  $I_{SO}$  与  $I_{Nino3}$  的相关非常强(图 1),  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  关系在 1948—1957 年、1969—1980 年这两个时段相关的减弱可归因于大气环流系统在西太平洋地区的异常对海洋的作用所致。

以上从序列中周期的局部性和大气影响海洋( $I_{WP}$ 与  $p_{SL}$ )的角度说明了西太平洋海温与  $I_{SO}$  之间相关系数的年代际变化原因。为了更好地说明  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  的相关具有年代际变迁, 需要做  $I_{SO}$  与整个海洋变量之间的相关分析。但由于缺乏足够长度的海表高度时间序列以及海流资料, 本文只能对海温变化做一些分析。图 4 为图 2 对应时段  $I_{SO}$  与 SSTA 的相关分布。由图看出, 虽然各个时段 El Nino 和 La Nina 发生的次数不尽相同, 但  $I_{SO}$  与 SSTA 的相关确实反映

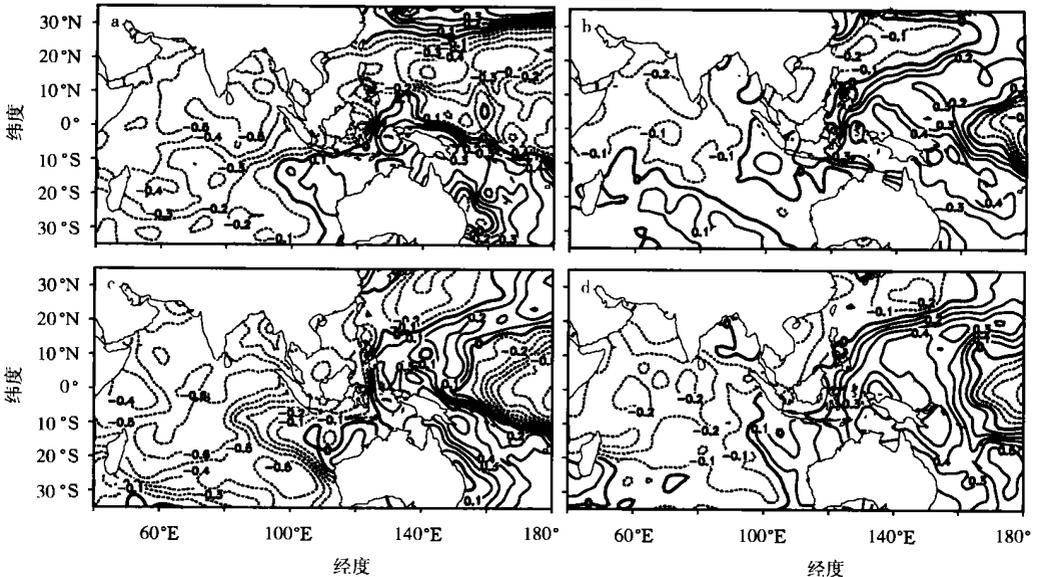


图 4 南方涛动指数与异常海温在不同年代的相关

a. 1948—1957 年; b. 1959—1968 年; c. 1969—1980 年; d. 1982—1997 年

Fig. 4 Correlations between  $I_{SO}$  and SSTA

a. 1948 to 1957; b. 1959 to 1968; c. 1969 to 1980; d. 1982 to 1997

了 ENSO 信号, 只是在不同时段相关场分布有所不同。在 1948—1957 年时段, 整个太平洋赤道地区均为负相关(为清楚起见, 图 4 中西半球分布略), 这与 ENSO 时期典型的海温分布不完全吻合, 说明此时段 ENSO 信号微弱或 ENSO 在海温场上的表现特殊。而相关系数零线正

好穿越计算  $I_{WP}$  的区域且在计算  $I_{WP}$  区域内较小, 所以这段时期  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  相关不显著。在 1969—1980 年,  $I_{SO}$  与 SSTA 的相关与 ENSO 事件发生时期典型的海温分布类型具有某种程度的相似, 但此时  $I_{WP}$  的区域 SSTA 与  $I_{SO}$  的相关系数较小, 故图 1 中  $I_{WP}$  与  $I_{SO}$  相关在这段时间较弱。

因此,  $I_{SO}$  与海温的相关型基本反映了 El Niño 和 La Niña 事件的海温分布特征。赤道西太平洋海温的变化在某些时段主要表示了 ENSO 信号(1959—1968 年, 1982—1997 年), 而某些时段因大气环流异常使得赤道西太平洋地区 ENSO 信号减弱并失去与 ENSO 的紧密联系。

## 4 结论与讨论

(1) 热带太平洋地区海气年际变化间的相关关系具有显著的年代际变迁。在 127 a 中, 南方涛动与 Niño3 海温之间的相关程度自 20 世纪 30 年代之后越来越高, 1970 年后基本稳定在  $-0.5 \sim -0.7$ ; 在西太平洋地区, 这种年代际起伏更为显著, 特别是 20 世纪 40 年代后, 相关关系的低、高、低、高的变化尤为明显; 而在整个热带太平洋, 近 30 a 尤其最近 10 a, 年际变化在中/东太平洋与西太平洋两个海域间出现了比 20 世纪 40—60 年代更为密切的联系和一致性。

(2) 在西太平洋海温与南方涛动高相关时期, 西太平洋赤道两侧出现一个对称结构, 主要表现为 ENSO 信号; 在低相关时期, 西太平洋地区偏暖而不是偏冷时, 在菲律宾以东的洋面上存在反气旋, 意味着西太平洋异常海温  $I_{WP}$  为正时, 反气旋南侧的异常东风作用在海洋表面, 由于 Ekman 抽吸作用, 在赤道易于产生海水涌升, 不利于海温暖异常的维持, 与 ENSO 循环过程中那种东、西太平洋海温反相, 西太平洋负(正)海温异常时其上反气旋(气旋)的海气相互作用机制完全不同。这种现象可归因于大气环流系统在西太平洋地区的异常对海洋的作用所致。

以上主要分析了热带太平洋地区海气系统年际变率间联系的年代际特征, 由于东、西太平洋地区在热力、动力方面存在不同, 它们与南方涛动年际变率间的联系也就存在差异, 这种差异在季节变化上如何体现? 西太平洋与 ENSO 关系不密切时, 菲律宾东侧洋面上的反气旋或气旋与东亚大陆和沿海地区气候异常联系如何? 这些问题还需进一步研究。

致谢: 感谢 NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center 和地球科学部南京大气资料服务中心的资料服务(南京气象学院)! 再分析资料提供者: NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, from their Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>!

## 参考文献:

- [1] Philander S G H, Yamagata T, Pacanowski R C. Unstable air-sea interactions in the tropics[J]. *J Atmos Sci*, 1984, 41(4): 604-613.
- [2] Suarez M J, Schopf P S. A delayed action oscillator for ENSO[J]. *J Atmos Sci*, 1988, 45(21): 3 283-3 287.
- [3] Wang B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades[J]. *J Climate*, 1995, 8(2): 267-285.
- [4] Liu Z Y, Bo Y H. Cause of tropical Pacific warming trend[J]. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(13): 1 935-1 938.
- [5] Fedorov A V, Philander S G. Is El Niño Changing[J]? *Science*, 2000, 288(5473): 1 997-2 002.
- [6] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1997, 78(6): 1 069-1 079.
- [7] Kumar K K, Rajagopalan B, Cane M A. On the weakening relationship between the Indian Monsoon and ENSO[J]. *Science*, 1999, 284(5423): 2 156-2 159.

- [ 8 ] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques[J]. Mon Wea Rev, 1983, 111(1): 46-59.
- [ 9 ] Matsuno T. Quasi-geostrophic motion in the equatorial area[J]. J Meteor Soc Japan, 1966, 44(1): 25-43.
- [ 10 ] Wang B, Ren G W, Fu X H, et al. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate[J]? J Climate, 2000, 13(9): 1 517-1 536.

## Interdecadal Variation of the Ocean-Atmosphere Interconnection in the Tropical Pacific

LI Chun-hui<sup>1</sup>, GUAN Zhao-yong<sup>2</sup>, HE Jin-hai<sup>1</sup>

(1. Department of Atmospheric Sciences; 2. Key Laboratory for Meteorological  
Disaster and Environmental Variation Studies, NIM, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Inter-decadal variability characters of ocean-atmosphere interconnection in the tropical areas are investigated by the use of the NCEP/NCAR reanalysis data, the SST data set of GISST2.3b and the south oscillation index ( $I_{SO}$ ) of CRU (Climate Research Unit). Results indicate that there exist remarkable inter-decadal variances of the ocean-atmosphere system in the tropical Pacific areas. In recent fifty years, the relationship between  $I_{WP}$  (the west Pacific seasurface temperature index in 125 ~ 155 °E, 10 °S ~ 10 °N) and  $I_{SO}$  shows more obvious inter-decadal changes. The analysis of the atmospheric general circulation shows that when the correlation between  $I_{WP}$  and  $I_{SO}$  is weak and the West Pacific SST warmer (colder), there exists an anticyclonic (cyclonic) circulation in the lower troposphere over the northern equatorial western Pacific. In contrast to the typical low SST-anticyclone pattern in the ENSO phase, the dynamical effect of such a system is not in favor of maintaining a close correlation between  $I_{WP}$  and  $I_{SO}$ .

**Key words:** inter-decade variation; the tropical Pacific; running correlation