

# 热带印度洋和太平洋海气相互作用事件间的联系\*

巢纪平

袁绍宇

国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266071 中国海洋大学, 青岛 266003

**摘要** 在次表层海温距平极值面上海温距平的分布和变化表明, 热带西、东印度洋的海温距平呈偶极子模态, 即当西印度洋海温距平为正(负)时, 东印度洋海温距平为负(正), 偶极子模态的海温距平分布在热带太平洋同样存在, 两大洋海温距平的偶极子模态间有密切的联系, 在分析它们和 850 hPa 纬向风距平后指出, 不仅这种海温距平偶极子模态的形成、发展是和这两大洋热带上空 Walker 环流相互作用的结果, 同时正是 Walker 环流异常把两大洋的海温距平变化联系起来。

**关键词** 印度洋、太平洋海温距平偶极子模态 Walker 环流 海气相互作用 次表层海温距平极值曲面

在热带太平洋, 自从 Bjerknes<sup>[1]</sup>提出以赤道东太平洋海表温度距平的正、负为表征的年际变化即 El Niño/La Niña 现象, 和以海平面气压场在东、西方向以‘跷跷板’形式呈年际变化的南方涛动现象, 或纬圈环流即 Walker 环流的年际变化现象, 是一类大尺度海气相互作用现象并称为 ENSO 事件以来, 对 ENSO 的研究, 在观测资料的分析、理论研究和数值模拟等方面均有较大的进展(参见文献[2, 3]). 近年来, 巢清尘、巢纪平<sup>[4]</sup>和巢纪平等<sup>[5, 6]</sup>对 20 世纪 60 年代以来所有的 El Niño 和 La Niña 事件的分析表明, 若在次表层构造一个最大温度距平极值曲面(这个曲面接近气候的温跃层面), 并在这个面上来分析海温距平的动态行为, 则可以对 El Niño 和 La Niña 事件的形成、发展过程看得更清楚, 特别是热带西太平洋暖池次表层的温度距平往往是以赤道东太平洋海表温度距平为表征的 El Niño 和 La Niña 事件的源地. 李崇银等<sup>[7]</sup>对 1997~1998 年那次强 El Niño 事件的分析也指出这一点.

过去对热带印度洋海气相互作用事件的研究很少. 1997~1998 年在热带太平洋出现了历史上最强的一次 El Niño 事件, 而在赤道印度洋则出现西高东低的海面温度分布形势. Webster 等<sup>[8]</sup>首先报道了印度洋这一异常事件, Saji 等<sup>[9]</sup>指出, 热带印度洋西部的海表温度距平和东部的海表温度距平呈偶极子模态的分布, 并定义了一个偶极子模指数 DMI

(西部赤道附近的海表温度距平减去东部赤道附近的海表温度距平), 40 年海表温度的时间序列表明, DMI 有正、负相间的年际变化. 他们分析了大气资料后又指出, 热带印度洋海表温度的偶极子模态是海气相互作用的结果, 并是与热带太平洋的 ENSO 并无关系的独立过程. 李崇银等<sup>[10]</sup>也给出了 100 年来 DMI 的年际变化, 但认为它们与 ENSO 有关. 最近, 巢纪平等<sup>[11]</sup>分析了 1961~2001 年印度洋海表温度距平后指出, Saji 等给出的 DMI 正、负相间的年际变化, 实际上在大多数年份是在热带印度洋西部和东部海表温度距平符号相同的情况下由强度不同而造成, 像 1997~1998 年那次强事件热带印度洋西、东部海表温度距平符号也是相反的真正偶极子模态是不多的.

另一方面, 1987 年季振刚等<sup>[12]</sup>注意到, 印度洋赤道两侧的海表温度的年际变化与赤道东太平洋 130°E 的海表温度的年际变化有着很好的时滞相关关系, 吴国雄等<sup>[13]</sup>和孟文等<sup>[14]</sup>指出, 沿赤道印度洋的季风环流和太平洋上空 Walker 环流间存在‘齿轮’式的耦合并致使海洋产生相应的响应使两大洋海表温度变化产生有机的联系. 王东晓等<sup>[15]</sup>最近分析了 1997~1998 年 El Niño 期间热带东印度洋和西太平洋海洋上层热含量之间的联系后, 认为印度尼西亚贯穿流在连接这两大洋海温变化中起着作用.

由此可见, 在已有的论文中, 对印度洋海气相互

2003-04-10 收稿, 2003-06-19 收修稿

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40126002, 40231012)

E-mail: jipingchao@yahoo.com

作用以及和 ENSO 间的关系的认识不尽相同, 为此本文将热带印度洋和太平洋用统一的物理指标, 首先来分析发生在这两大洋中的海温距平的年际变化的相关性, 进而从海气相互作用的观测探索这两大洋中海气相互作用事件的联系的可能的物理过程.

分析所用资料是 1960~2000 年 Scripps 海洋研究所  $0\sim400\text{ m } 5^\circ\times 2^\circ$  (纬度 $\times$ 经度)海温再分析资料, 及同期 NCEP/NCAR 17 层  $2.5^\circ\times 2.5^\circ$  (纬度 $\times$ 经度)网格点大气资料.

### 1 热带印度洋的海气相互作用

对于分析热带印度洋的海气相互作用, 海表温度距平并不是一个很好的物理量, 因为 Saji 等提出

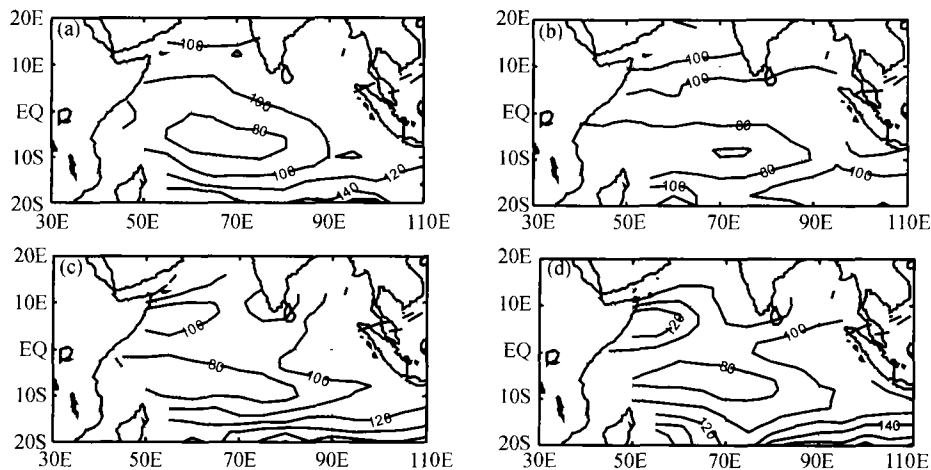


图1 热带印度洋海温距平极值曲面的深度分布  
(a) 1月; (b) 4月; (c) 7月; (d) 10月

在图 2(a)中给出西、东印度洋海表温度距平的年际变化, 它们基本上呈同向的变化趋势, 相关系数为 0.24, 可见 Saji 等的资料分析并没有给出真正物理意义下的偶极子模态. 但如在极值面上取赤道附近西、东印度洋海温距平的年际变化(图 2(b)), 它们的变化趋势总体上是反向的, 相关系数为  $-0.46$ , 由此可见, 赤道附近西、东印度洋的海温距平在统计上呈偶极子模态的年际变化. 应用极值曲面上东、西印度洋在上述指标区的温度差, 也构造一条的年际变化曲线, 这是真正物理含义下的偶极子模态指数, 称 IDMI(图 2(c)).

图 2(d)是赤道西印度洋海温距平的年际变化和赤道印度洋中部上空 850 hPa 纬向风距平的年际变化, 这两条曲线的变化趋势是反向的, 最大相关系

数为  $-0.66$ , 即当赤道西印度洋为正(负)的海温距平时, 赤道印度洋上空 850 hPa 为距平东(西)风. 图 2(e)是和 200 hPa 纬向风距平年际变化间的相关性, 它们的变化趋势呈正相关, 最大相关系数为 0.44. 可见印度洋海温距平的年际变化与其上空环流的年际变化有着有机的联系, 这时气候的 Walker 环流减弱(加强), 这表明印度洋也存在大尺度海气相互作用现象. 为了进一步说明这是一类海气相互作用现象, 在图 2(f)中给出西印度洋海温距平年际变化和 850 及 200 hPa 纬向风距平年际变化的时滞相关, 可见温度场和风场的最大相关均发生在风场超前温度场 3 个月, 而且两者的时滞相关曲线也是反位相的, 进一步说明与海温距平模态相对应的的确是距平意义下的 Walker 环流.

的 用 *DMI* 表示的偶极子模态, 在多数年份是在西、东印度洋的海表温度距平符号相同下振幅的差异. 但如果在次表层海温距平极值曲面来分析海温距平(本文称海温距平极值面上的海温距平为 SM-TA)的分布和演变, 结果会有大的改变. 现构造一个海温距平极值曲面, 它是这样构造的, 取每一点次表层最大的温度距平(绝对值)所对应的深度, 由这些深度的多年平均值就构成一个深度曲面, 此即海温距平极值曲面. 图 1 是热带印度洋 4 个季节的海温距平极值深度的分布. 若和热带太平洋的温度距平极值曲面相比(参见文献[5, 6]), 印度洋温度距平极值所在的深度分布形势恰好和热带太平洋反过来, 浅的海域是在热带西印度洋.

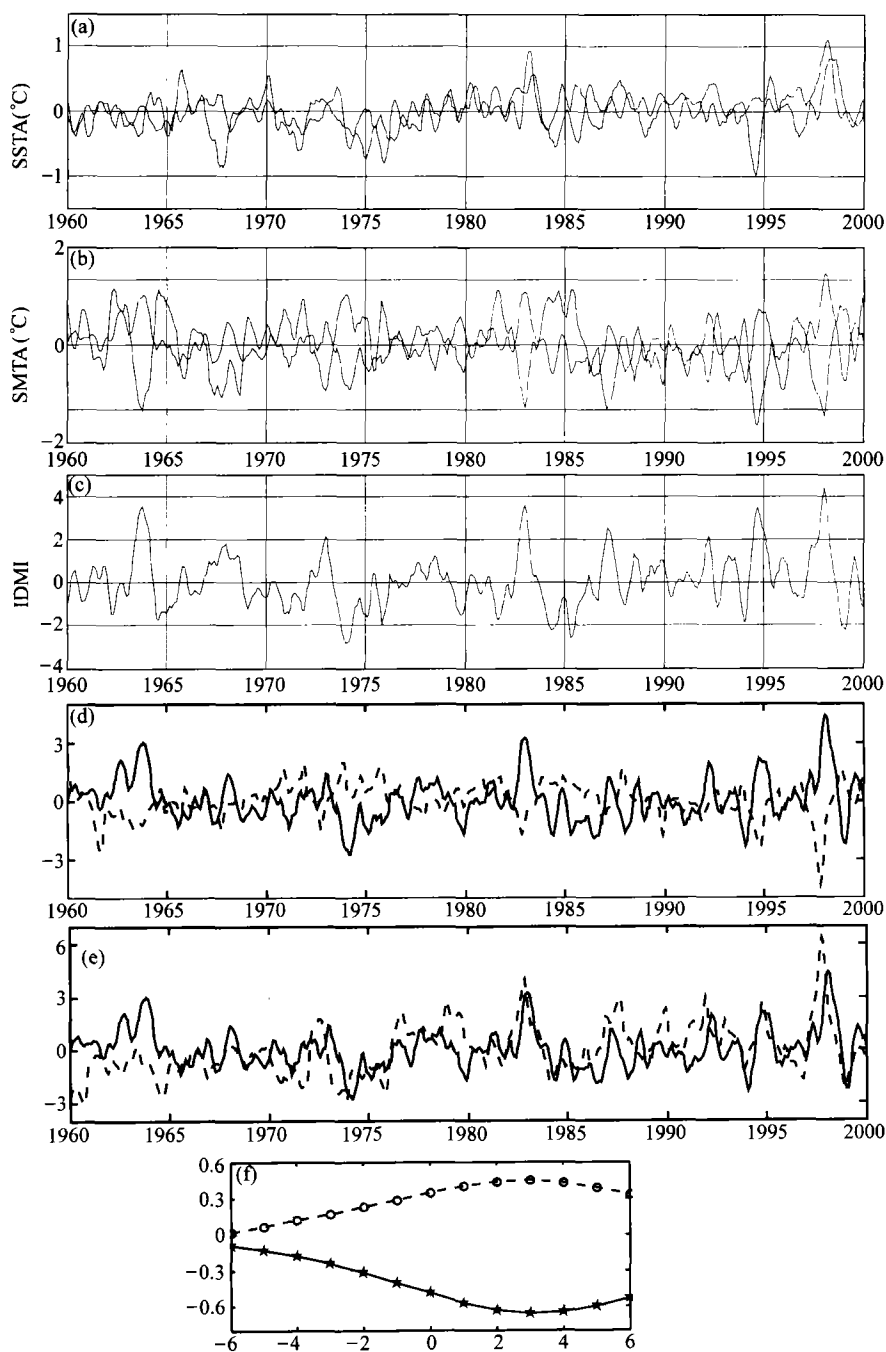


图2 赤道西、东印度洋海温距平变化

(a) 赤道西、东印度洋次表层海温距平年际变化; (b) 赤道西、东印度洋海表温度距平的年际变化; (c) IDMI( $^{\circ}\text{C}$ )的时间变化曲线; (d) 赤道西印度洋海温距平及850 hPa纬向风距平的年际变化; (e) 赤道西印度洋海温距平及200 hPa纬向风距平的年际变化; (f) 西印度洋海温距平年际变化和850及200 hPa纬向风距平年际变化的时滞相关

## 2 热带太平洋的海气相互作用

在众多的研究中,一般都用 Niño 3 区的海表温度距平来表示 El Niño 现象, Niño 3 区海表温度距平和该区极值面上的海温距平的年际变化,有明显

相同变化趋势,它们的最大相关系数达0.83,因此对于赤道东太平洋用海表温度距平或用次表层海温距平来分析 El Niño 现象不会有大的区别.

图3(a)是赤道东太平洋极值面上的海温距平的年际变化和西太平洋暖池次表层极值面上的海温距

平的年际变化, 可见这两条曲线的变化趋势是反向的, 相关系数为  $-0.77$ . 这自然也是海温距平的偶极子模态的表现, 把赤道东太平洋极值面上的海温距平减去西太平洋极值面上的海温距平, 也构造一个偶极子模态指数, 称 PDMI(图 3(b)), 强的正指数是 El Niño 事件, 大的负指数是 La Niña 事件.

如果以温度距平超过  $4^{\circ}\text{C}$  作为指标, 则 1973, 1983, 1987, 1992, 1994, 1997 均为强的暖事件, 另外 1964, 1966, 1969, 1977, 1993 也为比较强的暖事件, 其发生的时间与印度洋的暖事件具有很强的相关性.

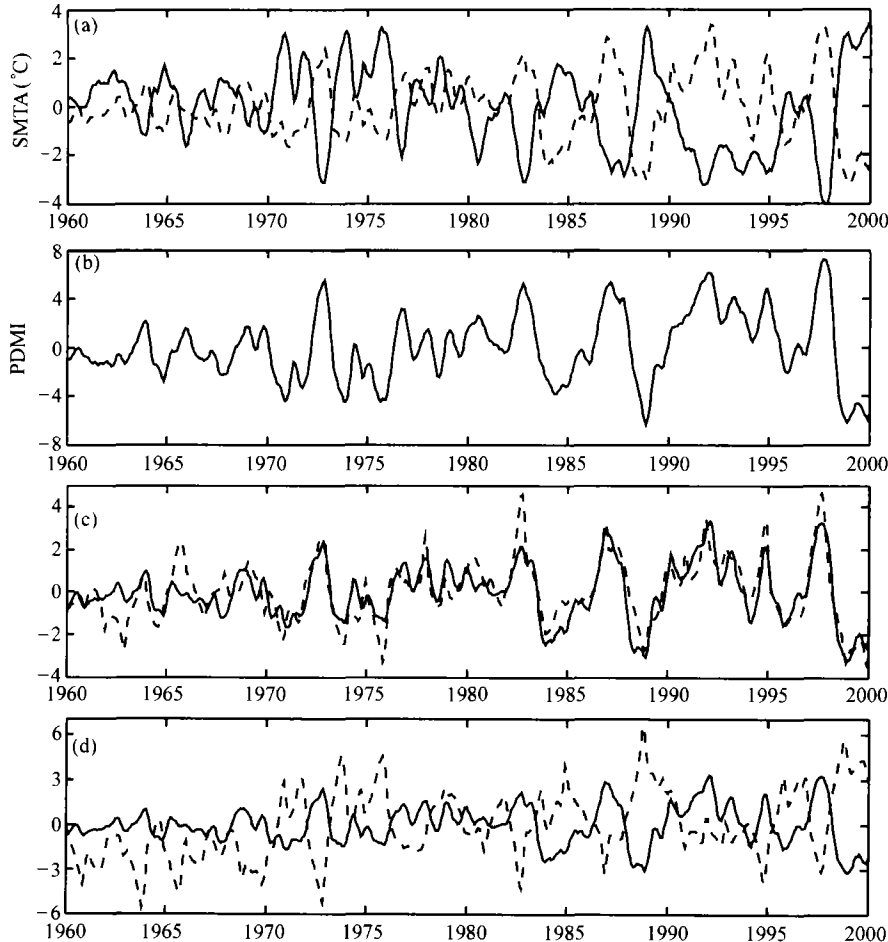


图 3 赤道东太平洋海温距平和纬向风距平的年际变化

(a) 赤道东太平洋和西太平洋暖池海温距平的年际变化; (b) PDMI( $^{\circ}\text{C}$ )的时间变化曲线; (c) 赤道东太平洋海温距平和 850 hPa 纬向风距平的年际变化; (d) 赤道东太平洋海温距平和 200 hPa 纬向风距平的年际变化

图 3(c), (d) 是赤道东太平洋海温距平和 850, 200 hPa 纬向风距平的年际变化, 它们之间分别呈正相关和负相关的变化趋势, 相关系数为  $0.83$  及  $-0.55$ . 这表明, 当赤道东太平洋为海温正距平时, 低空距平西风发展, 高空距平东风发展也即气候的 Walker 环流减弱.

### 3 热带印度洋和太平洋海气相互作用事件间的联系

现分析热带印度洋和太平洋海温距平间的联

系. 对印度洋和太平洋各取两个指标区, 西印度洋为 ( $50^{\circ}\text{E} \sim 70^{\circ}\text{E}$ ,  $10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ ), 东印度洋为 ( $90^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ ,  $10^{\circ}\text{S} \sim \text{EQ}$ ), 与 Saji 所取的位置相同, 西太平洋为 ( $130^{\circ}\text{E} \sim 155^{\circ}\text{E}$ ,  $4^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}\text{N}$ ), 东太平洋为 ( $90^{\circ}\text{W} \sim 150^{\circ}\text{W}$ ,  $4^{\circ}\text{S} \sim 4^{\circ}\text{N}$ ), 对应于 Niño 3 区.

图 4(a) 是西印度洋和东太平洋温度距平的时间变化, 它们的变化趋势基本同相, 相关系数当东太平洋超前西印度洋 2~3 个月时为最大, 为  $0.37$ . 这似乎表明, 有一种过程把它们的变化联系起来, 由于这两个区相隔甚远, 没有一种海洋过程可以把

它们联系起来, 因此最可能的是它们对大气环流异常变化的响应, 而这种大气环流异常变化, 在热带太平洋和印度洋有着内在的联系. 图 4(b) 是西印度洋和西太平洋温度距平的时间变化, 它们呈反相的变化趋势, 当西太平洋超前 2~3 个月时为 -0.33.

图 4(c) 是东印度洋和东太平洋海温距平的时间变化, 它们基本上呈反向的变化趋势, 同期的相关系数为 -0.45. 图 4(d) 是东印度洋和西太平洋温度距平的时间变化, 它们的变化趋势是同相的, 同期相关系数为 0.53.

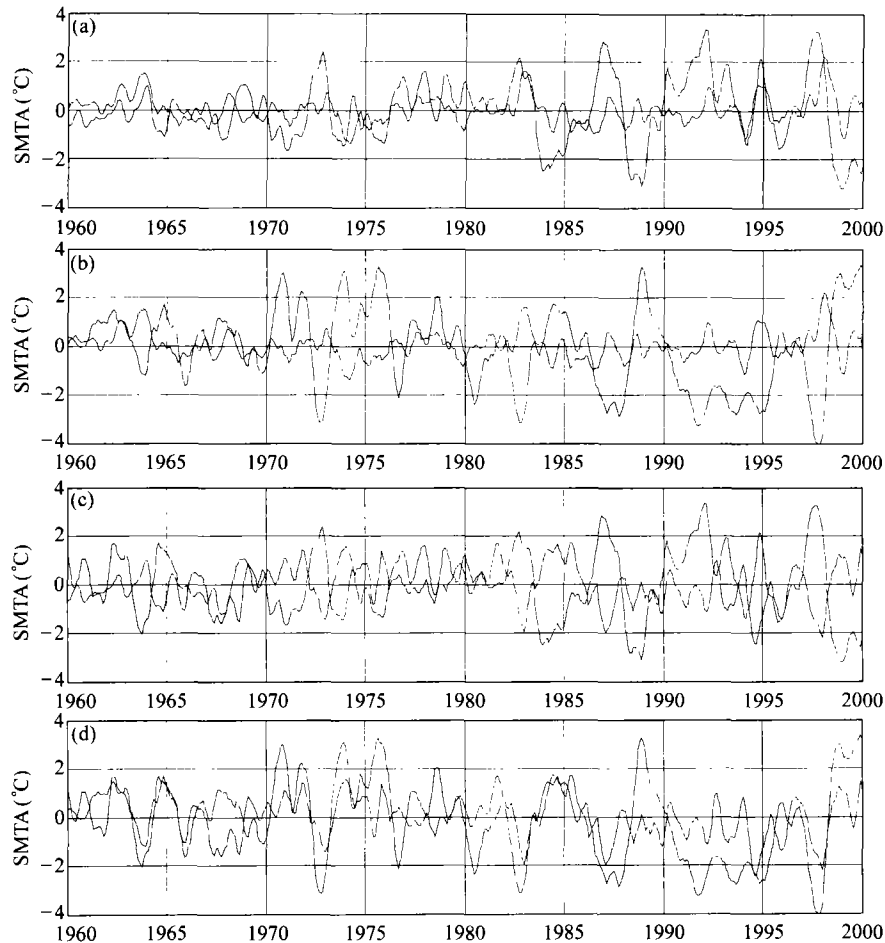


图 4 印度洋和太平洋温度距平的年际变化

(a) 西印度洋和东太平洋温度距平的年际变化; (b) 西印度洋和西太平洋温度距平的年际变化;  
(c) 东印度洋和东太平洋温度距平的年际变化; (d) 东印度洋和西太平洋温度距平的年际变化

这些相关系数表明, 热带西、东印度洋海温距平的偶极子模态和西、东太平洋海温距平的偶极子模态间有着密切的联系, 而联系它们的可能是两大洋热带上空 Walker 环流的异常变化. 由于这 4 个区中海温距平变化相互的统计规律已经清楚, 因此只要分析其中一个海域的海温距平变化和大气环流的变化间的关系就可以了.

图 5 是赤道东太平洋的海温距平变化和 850 hPa 纬向风距平变化之间同期的相关系数分布. 以赤道东太平洋海温距平为正值时讨论, 可以看到, 在热带太平洋很大范围内是距平西风, 这正是维持 El

Niño 所需要的大气风场条件. 而在热带印度洋是距平东风, 这也正是维持西印度洋为正值海温距平所需的大气风场条件. 由纬向风距平在两大洋上空的分布可以看到, 这时在太平洋和印度洋都是与气候 Walker 环流反向的距平 Walker 环流. 这表明, 赤道东太平洋和西印度洋都处在正的海温距平状态, 是借减弱气候的 Walker 环流来实现的. 因此必然有从副热带纬度来的气流, 在赤道附近流向太平洋加强那里的距平西风, 同时也有气流流向印度洋加强那里的距平东风.

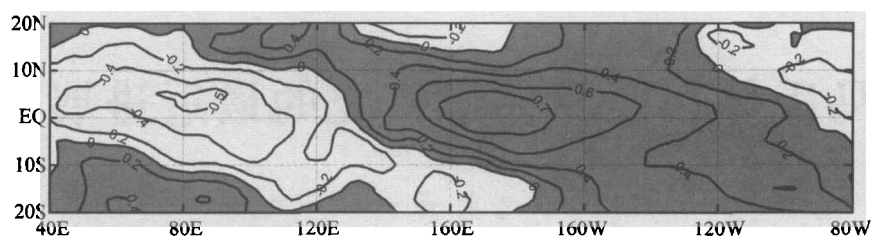


图5 赤道东太平洋的海温距平变化和850 hPa 纬向风距平变化之间同期的相关系数分布

图6是1997年7月850 hPa的距平风场, 可以看到, 在西、中太平洋赤道两侧的南、北半球各有一个气旋性环流, 它们的气流在西太平洋向赤道辐合, 并共同流向中太平洋, 使那里的距平西风大大加强. 类似的, 在东、中印度洋赤道两侧分别有一个反气旋环流, 它们的气流在东印度洋向赤道辐合后流向中印度洋, 使那里的距平东风加强. 这两大洋的环流, 太平洋强于印度洋, 南半球强于北半球. 这样的低空环流形势是对上面相关场的一个很好的注释. 这种低空异常环流形势在赤道东太平洋和西印度洋都处在暖态时是带有共性的.

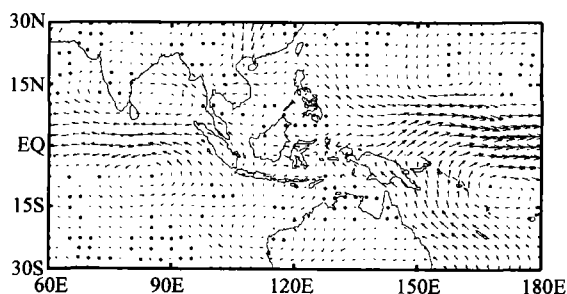


图6 1997年7月太平洋, 印度洋850 hpa的距平风场

#### 4 结论

应用次表层海温极值面上海温距平的分布和变化, 指出, 热带西、东印度洋和热带东、西太平洋都存在偶极子模态的海温距平分布, 它们和上空Walker环流的异常变化有着密切的联系, 也正是通过减弱热带太平洋和印度洋气候的Walker环流, 使两大洋偶极子模态的海温距平联系起来的.

需要指出, 在文中制作相关场时, 是固定某一海域的海温距平后对风场作出不同时间的相关场的(时滞相关), 但这并不意味着在海温和风场之间海温

的变化总是主导的, 而相隔距离这么远的两大洋海温距平会有密切联系的变化, 说明在相当程度上海温变化和大气环流变化间存在大尺度相互响应的过程.

#### 参 考 文 献

- 1 Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon Wea Rev*, 1969, 97: 163
- 2 Neelin J D. et al. ENSO theory. *J Geophys Res*, 1998, 103: 14261
- 3 巢纪平. 厄尔尼诺和南方涛动动力学. 北京. 气象出版社, 1993. 309
- 4 巢清尘, 等. 热带西太平洋和东印度洋对 ENSO 发展的影响. *自然科学进展*, 2001, 11(12): 1293
- 5 巢纪平, 等. 热带西太平洋暖池次表层暖水的起源——对 1997/1998 年 ENSO 事件的分析. *大气科学*, 2003, 27(2): 145
- 6 Chao Jiping, et al. A data analysis study on the evolution of the El Niño/ La Niña cycle. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19(5): 837
- 7 李崇银, 等. 赤道印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响. *大气科学*, 2001, 25(4): 433
- 8 Webster P T, et al. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian ocean during 1997~1998. *Nature*, 1999, 401: 337
- 9 Saji N H, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 1999, 401: 360
- 10 李崇银, 等. 印度洋海温偶极子和太平洋海温异常. *科学通报*, 2001, 46(20): 1747
- 11 巢纪平, 等. 热带印度洋的大尺度海气相互作用事件. *气象学报*, 2003, 61(2): 251
- 12 Ji Zhengang, et al. Teleconnections of sea surface temperature in the Indian ocean with Pacific, and with the 500hPa geopotential height field in the northern hemisphere. *Adv Atmos Sci*, 1987, 4: 343
- 13 吴国雄, 等. 赤道印度洋-太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件. I 资料分析. *大气科学*, 1998, 22(4): 470
- 14 孟文, 等. 赤道印度洋-太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件. II 数值模拟. *大气科学*, 2000, 24(1): 15
- 15 王东晓, 等. 1997~1998 厄尔尼诺期间印度洋和西太平洋上层海洋的联系. *自然科学进展*, 2003, 13(9): 957