

# 热带印度洋的大尺度海气相互作用事件\*

巢纪平

(国家海洋环境预报研究中心, 北京, 100081)

袁绍宇

(中国海洋大学, 青岛, 266003)

蔡 怡

(国家海洋环境预报研究中心, 北京, 100081)

## 摘 要

分析了热带温跃层上海温距平资料后指出, 在印度洋东西方向的海温距平分布呈现出距平符号相反的偶极子现象, 在大气中的纬圈环流即 Walker 环流上也呈现出与海温距平相协调的或匹配的上升和下沉分支(距平意义下)分布。这一分析表明, 印度洋也存在和太平洋类似 ENSO 的大尺度海气相互作用事件。

关键词: 印度洋, 偶极子, 海气相互作用。

## 1 引 言

Webster 等<sup>[1]</sup>报告在 1997~1998 年热带印度洋发生了 40 a 纪录中未发生的特殊事件, 西部赤道附近的海表温度是正距平, 而东南部的海表温度是负距平, 认为这一海洋事件是与上空大气中环流相互作用的结果。Saji 等<sup>[2]</sup>把海洋的这一现象定名为偶极子(dipole), 进而将印度洋西部赤道附近的海表温度距平减去印度洋东部赤道附近的海表温度距平的值称为偶极子模态指数(DMI), DMI 可呈有正、负值的年际时间变化形式, 通过对大气中风和降水等资料分析后指出, 这是热带印度洋的海气相互作用现象。李崇银等<sup>[3]</sup>也给出了 100 a 以来 DMI 的时间序列。但需要指出, DMI 的正、负值在大多数年份表现为西、东印度洋赤道附近的海表温度在相同符号下强度的差异, 很少出现像 1997~1998 年的海温分布, 海表温度距平在符号上也是反的。

我们认为, 严格物理意义下的偶极子, 在海洋上应表现为像 1997~1998 年那样的海表温度距平在赤道印度洋东、西两个部位呈符号相反的分布, 而不只是海温距平符号相同下强度上的差异; 表现在海

温距平分布上的偶极子现象, 是一种海气相互作用现象, 尚需进一步用长时间序列资料来分析和印证。

文中将用海温距平、高、低空纬向风来分析从 20 世纪 60 年代以来在印度洋赤道海域所发生的与海洋中偶极子现象相关联的大气中的现象。

文中所用的海洋资料为美国 Scripps 海洋研究所的海温再分析资料, 时间为 1961 年 1 月至 2001 年 12 月, 深度为 0~400 m; 大气资料为 NCEP 的全球 17 层格点资料, 时间同海温。

## 2 热带印度洋海温特征分析

### 2.1 海表温度距平的特征

由热带印度洋 40 a 的海表温度距平的绝对值(即强度或振幅值)的平均值分布, 可以看到在印度洋西部(10°S~10°N, 50~70°E)和东部(10°S~EQ, 90~110°E)各有一个强度达到 0.5 °C 和 0.4 °C 的区域, 从这两个区域中的海表温度距平逐年变化(图 1)可以看到, 除 1997~1998 年明显地符号相反外, 多数年份温度距平的符号是相同的, 这两条曲线的相关系数为 0.23, 计算了两者之间的时滞相关系数, 在前后 6 个月的时滞内, 均未发现负相关。由此

\* 初稿时间: 2003 年 3 月 12 日; 修改稿时间: 2003 年 3 月 18 日。  
资助课题: 国家自然科学基金项目(40126002, 40231012)。

而构造的 DMI, 主要反映的是赤道附近西、东印度洋海表温度距平在强度上的差异。

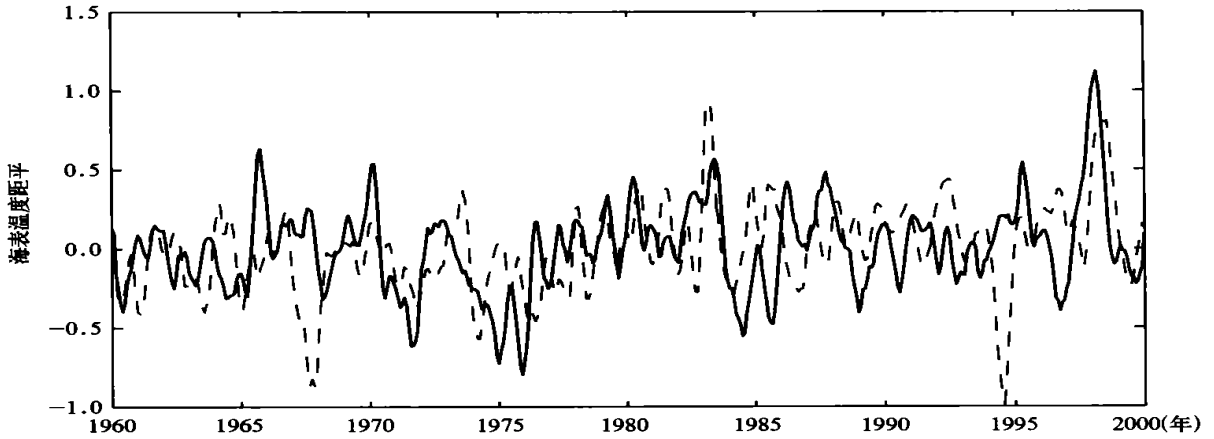


图1 印度洋海表温度距平的时间变化

(实线: 印度洋西部; 虚线: 印度洋东部)

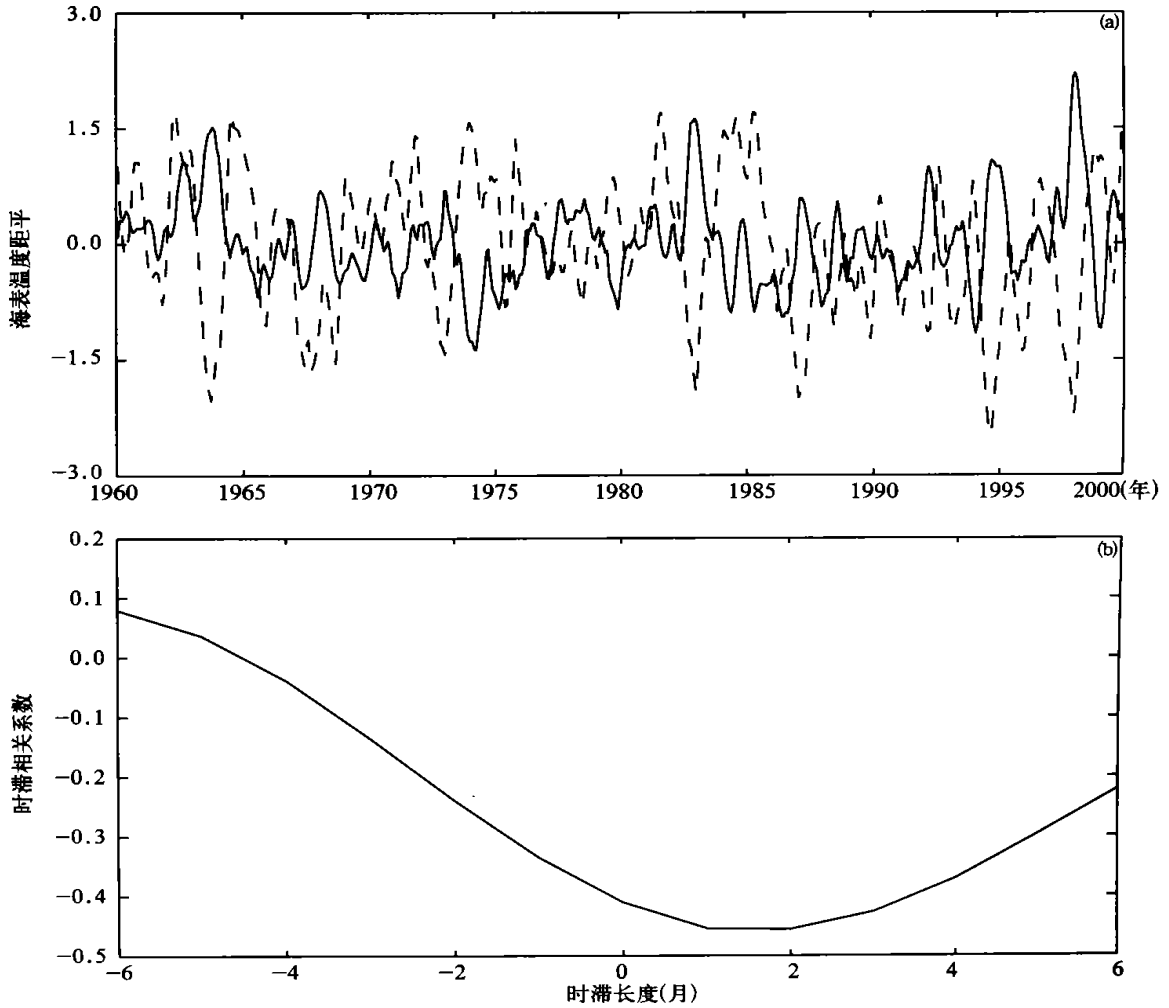


图2 印度洋次表层海温距平的时间变化

(a. 实线: 西部(10°S~ 10° N, 50~ 70°E), 虚线: 东部(10°S~ EQ, 90~ 110° E)

b. 西部与东部两区海表温度时滞相关)

### 2.2 次表层海温距平的特征

考虑到海表温度信号弱, 噪音也大, 影响海表温度变化的因子和物理过程也比较复杂, 因此巢清尘和巢纪平<sup>[4]</sup>及 Cha Jiping 等<sup>[5]</sup>指出, 改用垂直方向海温变化的极值面(接近温跃层曲面)上的温度距平来分析海洋中温度的变化能更好地反映海气相互作用。极值曲面是这样构造的, 在每一个网格点上取次表层中的最大海温距平值(绝对值), 由此得到极值深度分布的气候曲面, 在热带太平洋这个曲面与 20℃ 为标准的温跃层曲面基本符合。

图 2 a 是极值面上赤道印度洋西部(10°S~10°N, 50~70°E)和东部(10°S~EQ, 90~110°E)海温距平的时间变化曲线(取 5 个月的滑动平均, 两条曲线的起始月份不同, 差了 4 个月, 东部在前)。可以看到这两条曲线的变化趋势基本上是反向的, 其同期的相关系数为负的(超过信度 99.9%), 最大的时滞相关系数为 -0.46, 出现在东部早于西部 2 个月上(图 2b)。

如果将西部指标区值减去东部指标区值, 也可以构成一条 DMI 曲线, 但这时 DMI 的正值主要反映西部为海温正距平, 东部为海温负距平, DMI 的负值, 正、负海温距平的分布形势反过来, 所以这是海温距平偶极子模态的更好的表示方法。

### 3 与海温偶极子模态相耦合的热带印度洋 WALKER 环流

在气候图上与热带太平洋的 Walker 环流相邻的是, 在印度洋上空是一个反方向转动的垂直环流, 或可称这是印度洋的 Walker 环流。对于印度洋的 Walker 环流可以用 850 hPa 和 200 hPa 的纬向风来表示。为探索到与海温偶极子模态相耦合的 Walker 环流, 分别作西部指标区的海温距平与 850 和 200 hPa 纬向风距平的相关图(图 3a, b)。可见, 与 850 hPa 纬向风距平的主要分布负相关区在(5°S~2.5°N, 70~90°E), 相关系数超过 -0.50, 与 200 hPa 纬向风距平的正相关区主要在(12.5°S~EQ, 70~90°E), 相关系数也超过 0.4。

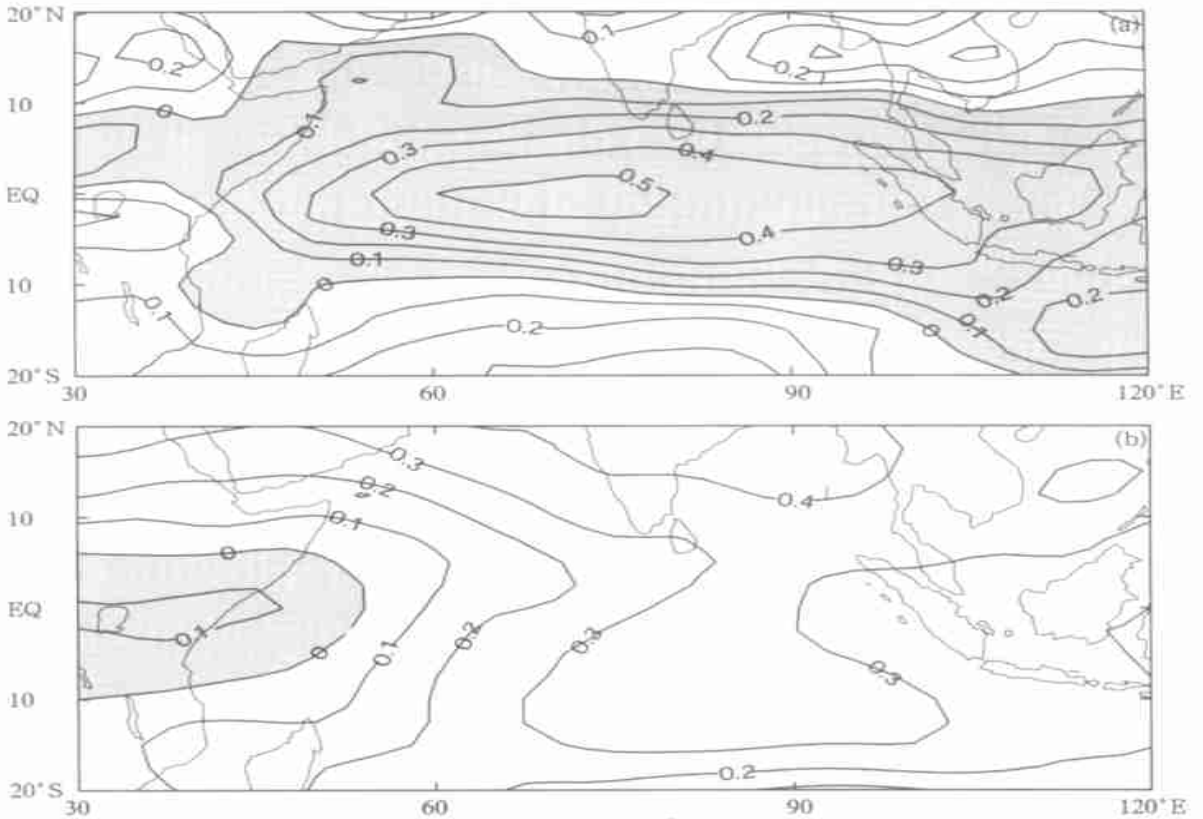


图 3 西部海温距平与印度洋 850 和 200 hPa 距平纬向风的相关分布 (a. 850 hPa, b. 200 hPa; 阴影区表示负相关)

为了更确切地说明上面高、低空反向的纬向风距平是 Walker 环流的组成部分,可以从图 3 看到,在西部海温距平区的两侧,相关系数的符号相反,这表明当指标区的海温距平为正(负)时,低空纬向距平风是辐合(辐散),而高空是辐散(辐合),也即是说在指标区附近,当海温距平为正(负)时是上升(下沉)运动,与海温距平模态相对应,的确是距平意义下的Walker环流。

#### 4 热带印度洋海气相互作用事件

偶极子模态是海洋事件, Walker 环流是大气事

件,要构成一个海气相互作用事件,两者之间要有协调的耦合。在图 4a 中给出西部指标区中温度距平的年际变化(温度距平值增大 2 倍)和 850 hPa 的纬向风距平的年际变化。对于一个相互协调的海气耦合事件,当西部为温度正距平时,相应的低空纬向风应是距平东风,即它们之间应是负相关,而图中两条曲线的相关系数为 - 0.65,这个负相关系数是相当高的。图 4b 是西部指标区中温度距平的年际变化和 200 hPa 纬向风距平的年际变化,对一个协调的海气耦合事件,温度正距平应对应为西风距平,这两个曲线的相关系数为 0.44。

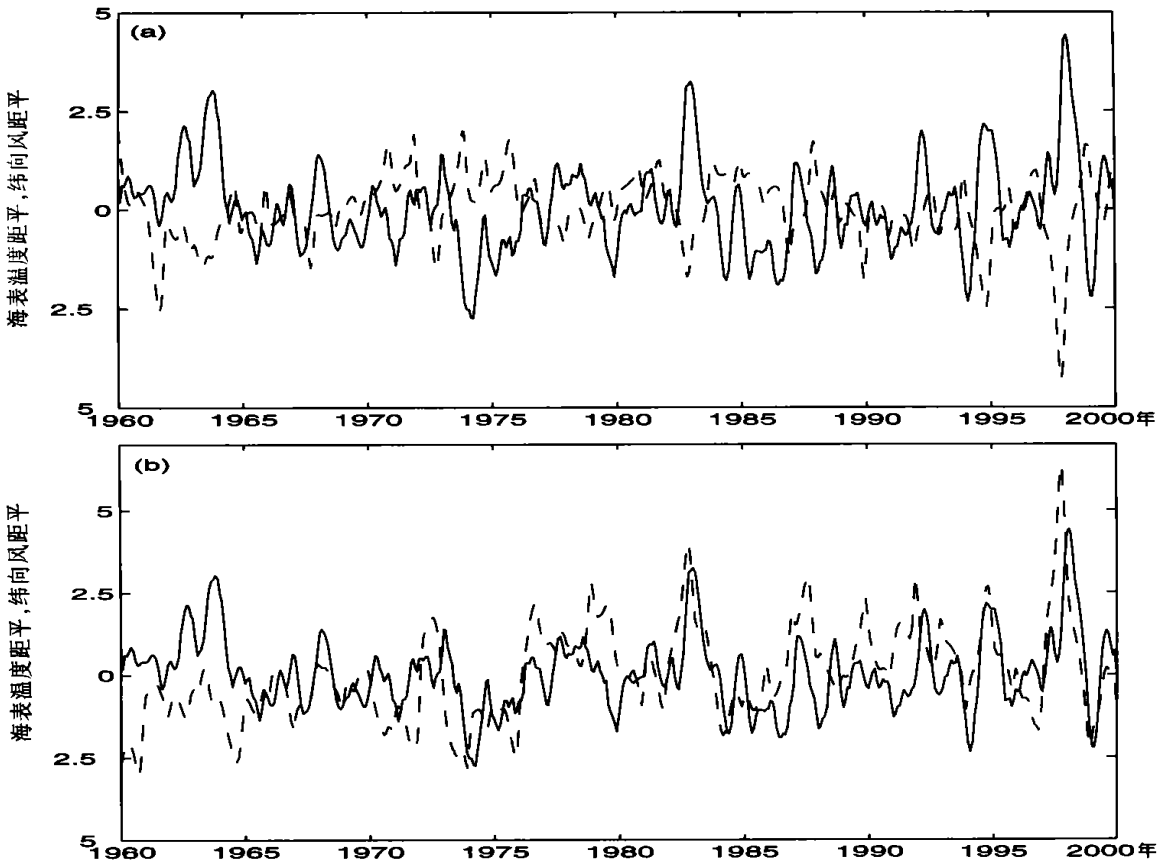


图 4 西部温度距平(增大 2 倍,单位 $^{\circ}\text{C}$ )和纬向风距平的年际变化

(a. 850 hPa; b. 200 hPa; 实线: 温度线, 虚线: 纬向风距平)

由此可见,在热带印度洋也存在类似热带太平洋的 ENSO 事件,为简便称为 D- W 事件。当西部的温度距平为正(负)时,称正(负) D- W 事件。对照图 4a, b, 可以看到,除 1997~ 1998 是次强的正 D- W 事件外,1962, 1967~ 1968, 1972~ 1973, 1982~ 1983, 1987, 1994 年,都出现正 D- W 事件。出

现负的(或反的) D- W 事件的年份为 1971, 1973~ 1975, 1984~ 1985, 1988, 1999 年。当然究竟那些年份是 D- W 事件,像定义 ENSO 事件那样,需在强度上,持续时间给出一定的要求,在这里只初步地说,海气相互作用事件在热带印度洋也是存在的。

## 5 结束语

文中分析表明, 在热带印度洋若不用传统的分析海表温度距平的分布和变化, 而改用次表层海温资料, 在海温距平的极值面上来分析海温距平的分布和变化, 则可以清楚地看到, 赤道印度洋西部和东部的海温距平分布, 在很多年份它们的距平符号是相反的, 即在海温距平的西、东方向分布上存在物理

意义下的偶极子模态, 而海洋中的这种偶极子模态, 与上空大气中的距平纬圈环流或距平 Walker 环流, 有着很好的耦合关系, 亦即这是一类大尺度海气相互作用事件, 本质上与热带太平洋的 ENSO 事件是一致的。热带印度洋的海气相互作用事件与热带太平洋的 ENSO 事件也会有一定的联系<sup>[6]</sup>, 这将在另文讨论。

## 参考文献

- 1 Wedster P. T, Moore A M, Loschnig J P, et al. Coupled ocean- atmosphere dynamics in the Indian ocean during 1997~ 98. *Nature*, 1999, 401: 337~ 339
- 2 Saji N H, Goswami B N, Viayachandrom P N, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 1999, 401: 360~ 363
- 3 李崇银, 穆明权. 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~ 443
- 4 巢清尘, 巢纪平. 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: 1293~ 1300
- 5 Chao Jiping, Yuan Shaoyu, Chao Qingchen, et al. A data analysis study on the evolution of the El Niño/ La Nina cycle. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19: 837~ 844
- 6 Ji Zhengang, Chao Jiping. 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~ 348

## LARGE-SCALE AIR-SEA INTERACTION IN THE TROPICAL INDIAN OCEAN

Chao Jiping

*(National Center for Marine Environmental Forecasts, Beijing 100081)*

Yuan Shaoyu

*(Ocean University of China, Qingdao 266003)*

Cai Yi

*(National Center for Marine Environmental Forecasts, Beijing 100081)*

### Abstract

Analyses on tropical subsurface temperature anomaly data show that there exists Dipole Mode on the thermocline in the Indian Ocean, with opposite sign in the eastern and western parts. At the same time, there is consistent condition in the atmosphere, which is 'Walker circulation', which proves that there also exists large-scale interaction in the Indian Ocean, as ENSO in the Pacific Ocean.

**Key words:** Indian Ocean, Dipole, Air-sea interaction.