

热带太平洋和热带印度洋次表层海温异常信号的传播与联系

钱维宏 胡豪然

北京大学物理学院/暴雨与旱涝灾害教育部重点实验室, 北京 100871

摘要 利用太平洋和印度洋表层与次表层月海温距平信号沿不同纬向-时间剖面的传播分析, 发现赤道东太平洋海温异常的 El Niño 事件和赤道印度洋海温异常的 Dipole 事件分别与沿赤道太平洋东传的次表层海温异常信号和沿赤道外印度洋西传的次表层海温异常信号同期到达东太平洋和西印度洋有着内在的联系. 在赤道和赤道外 16°N 之间的热带北太平洋, 次表层海洋中存在着海温异常信号传播的一条回路, El Niño 事件就发生在暖信号到达赤道东太平洋的时候. 次表层海温异常沿赤道太平洋的东传和沿赤道外印度洋的西传分别是 El Niño 事件和 Dipole 事件发生的海洋学早期信号.

关键词 El Niño 事件 Dipole 事件 次表层海温 早期信号

El Niño 和 Dipole 事件是分别发生在赤道太平洋和印度洋上的海面温度异常 (SSTA) 突发性强信号. El Niño 事件发生的非规则性导致了气候异常的非规律性^[1]. 上世纪末, 印度洋表层海温异常的 Dipole 事件被认为是印度洋地区海气相互作用的结果^[2,3]. 近年来随着对次表层海温异常的分析, 一些研究^[4,5]揭示出, 暖水信号首先出现在赤道西太平洋次表层, 然后沿赤道向东传播到赤道东太平洋时形成 El Niño 海温异常事件. 次表层海温异常变化信号增强的地方在温跃层. 如何刻画温跃层的变化是一个非常重要而且需待解决的问题^[6]. 对温跃层变化 (thermocline variation) 的定义不同, 最强信号所在的深度、地理位置和传播速度都会不一样 (将另文分析). 最近, Qian 等^[7,8] 利用美国 Scripps 海洋研究所的上层 400 m 海洋 11 层 5×2 经纬度 1955—2000 年的资料^[9] 定义用一个最大次表层海温异常 (MSTA) 来表征温跃层变化的强度.

对热带印度洋的 MSTA 分析^[7] 得到, 在赤道外印度洋有向西传播的信号, 而沿赤道印度洋 MSTA 和 SSTA 传播的信号并不明显, 并认为赤道西印度洋的表层增温是赤道外暖 MSTA 信号传播到赤道西印度洋时的发射现象. 对赤道太平洋的 MSTA 分析^[8] 得到, MSTA 与 SSTA 在赤道西太平洋和赤道东太平洋具有显著的局地正相关, 赤道外西北太平洋的一个正 MSTA 信号首先传播到赤道西太平洋, 然后这个暖信号传播到赤道东太平洋的时候 El Niño 事件发生.

对印度洋赤道 Dipole 的研究者认为, 印度洋上的海温异常是独立于赤道太平洋 El Niño 事件的海气相互作用现象. 但也有不同观念认为这两个洋盆中的海温异常存在内在的联系. 本文把赤道印度洋和赤道太平洋上的 SSTA 和 MSTA 放在一起分析, 结果将清楚地看到, 这两个海洋表层和次表层海温异常存在着内在的联系.

2004-08-03 收稿, 2004-11-11 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 (批准号: 40345026, 40475032)

** E-mail: qianwh@pku.edu.cn (www.phy.pku.edu.cn/merg)

1 赤道太平洋和印度洋表层与次表层的海温异常信号

利用沿赤道的 SSTA 和 MSTA, 我们可以分析它们之间的关系. 图 1 是沿赤道纬向太平洋 1980—2000 年间逐月的 SSTA 和 MSTA 变化过程. 从赤道 SSTA 看出, 赤道中东太平洋的 SSTA 表现为冷暖距平较大振幅的交替变化, 而在赤道西太平洋海温距平变化的振幅相对较弱. MSTA 表现出的海温

异常沿赤道有传播的过程, 振幅不因地理位置而有很大的不同. 每次 El Niño 事件发生时, 正 MSTA 的信号首先从赤道西太平洋开始, 而这时在赤道西太平洋并没有很强的 SSTA 信号. 一个正(或负)的次表层海温异常信号从赤道西太平洋传播到赤道东太平洋的时间大约需要 1a, 也即只是在 MSTA 信号传播到赤道中东太平洋时 El Niño 事件才发生. 跟踪赤道太平洋的 MSTA 信号可以提前做出 El Niño 事件发生的预报.

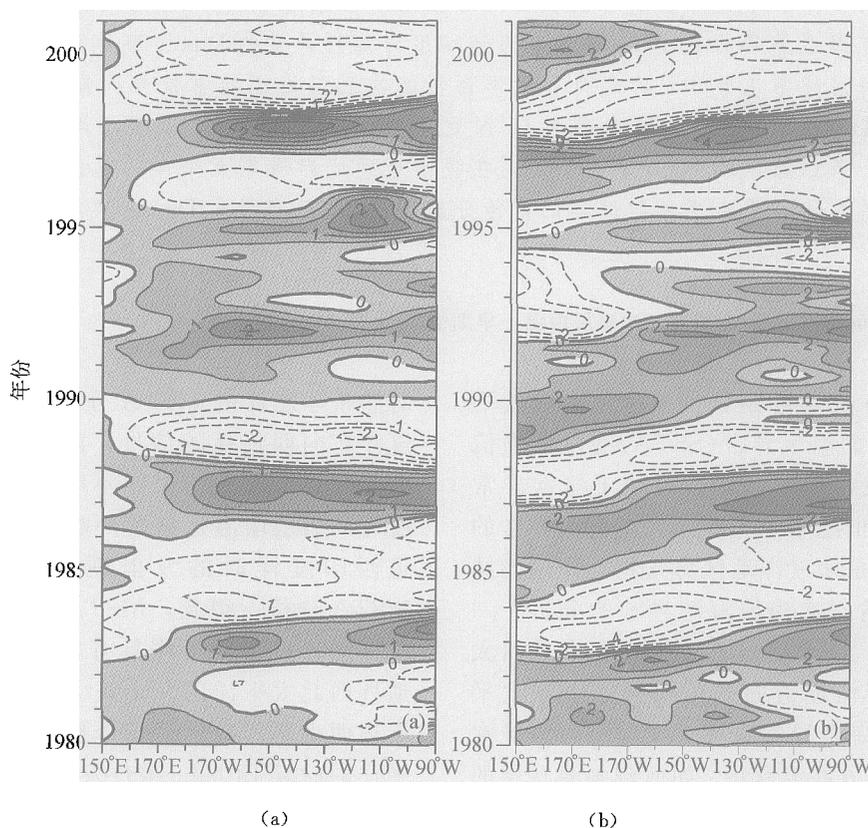


图 1 1980—2000 年间 SSTA 和 MSTA 沿赤道的逐月变化过程

(a) SSTA (等值线间隔 0.5°C) 和 (b) MSTA (等值线间隔 1°C) 沿太平洋赤道(EQ)纬向(150°E — 90°W)—时间(1980—2000 年)的月距平变化, 图中阴影区为正海温异常, 纵坐标为时间从下 1980 年 1 月到上 2000 年 12 月(合计 252 个月), 横坐标从西太平洋(150°E)到东太平洋(90°W), 下同

与赤道太平洋的信号进行比较, 图 2 是沿赤道纬向印度洋 SSTA 和 MSTA 在 1980—2000 年间的逐月距平变化. 从 SSTA 看出, 赤道西印度洋的 SSTA 信号要比赤道东印度洋的强, 但不存在信号传播的现象. 1994—1995 年和 1997—1998 年的所谓 Dipole 事件^[2]实际上反映的还是西部的增温幅度比东部的大^[10]. 从次表层的 MSTA 也看不出明显

的传播特征, 但东西部存在相反的信号. 这种相反的信号认为是次表层海洋中存在着温跃层强度变化的 Dipole 结构^[7].

比较赤道太平洋和赤道印度洋的 MSTA 看出, 它们都在洋盆东西部存在温跃层强度变化的相反信号, 但沿赤道太平洋的 MSTA 是传播的, 而沿赤道印度洋的 MSTA 并不传播.

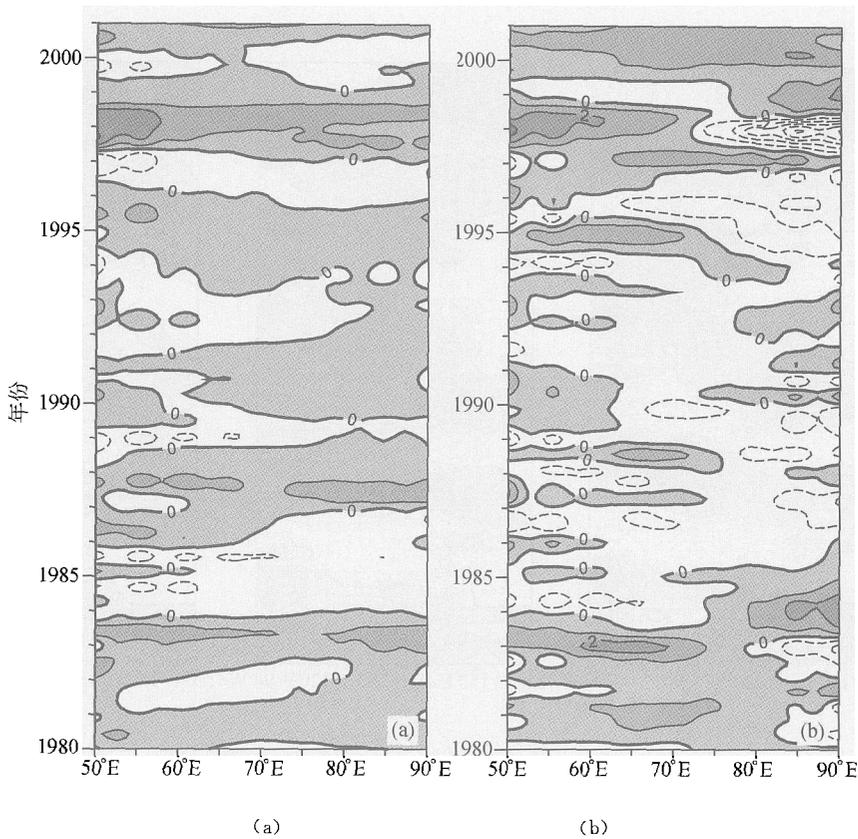


图2 1980—2000年间SSTA和MSA的逐月距平变化

(a) SSTA (等值线间隔0.5°C) 和(b)MSA (等值线间隔1°C) 沿印度洋赤道(EQ)纬向(50°E-90°E)—时间(1980—2000年)的月距平变化

2 赤道外次表层海温异常信号的传播

为了刻画MSTA信号在赤道外太平洋的传播,图3分别给出了沿4°S, 8°S和12°S的传播过程. 在沿4°S(图3(a))和8°S(图3(b))的纬向方向上, MSTA信号是向东传播的, 与沿赤道MSTA信号(图1(b))的传播方向相同. 在12°S(图3(c))的纬向上, MSTA信号的传播方向就没有上述清楚了, 说明MSTA向东传播的强信号集中在赤道附近. 图4分别是沿各个纬向4°N, 8°N, 12°N, 16°N, 20°N和24°N的MSTA信号传播. 向东的传播特征能够从沿4°N和8°N的纬向MSTA中看出, 但沿12°N信号就是向西传播的了. 沿16°N, 20°N和24°N纬向, MSTA的信号都向西传播, 但沿16°N向西传播的信号要比其他纬向更清楚. 这一现象说明在赤道及其以北的太平洋中, 次表层海温异常的信号传播存在一条回路, 即沿赤道的东传和沿赤道外16°N

的西传. MSTA暖(或冷)信号沿这条回路传播的周期与El Niño事件重复发生的年际时间尺度一致.

赤道外印度洋的MSTA传播情况可以从图5中看出. 印度洋上沿10°S向西传播的信号比沿10°N向西传播的信号清楚. 无论1994—1995年和1997—1998年的赤道西印度洋的增温事件, 还是其他的西部增温事件都是在MSTA信号传播到西印度洋时发生的. 赤道外南印度洋MSTA信号传播比赤道外北印度洋MSTA信号清楚的原因在于赤道以南为海洋, 而赤道以北有岛屿地形的影响. MSTA暖信号从东印度洋传播到西印度洋的时间也需要0.5—1a. 在印度洋, 沿赤道外西传的次表层海温异常信号会在印度洋的赤道西边界附近反射并很快沿赤道表层向东扩展, 所以表层海温表现为西部增温比东部大^[7]. 赤道外印度洋次表层海温异常信号的西传是印度洋西部表层增暖的一个早期信号.

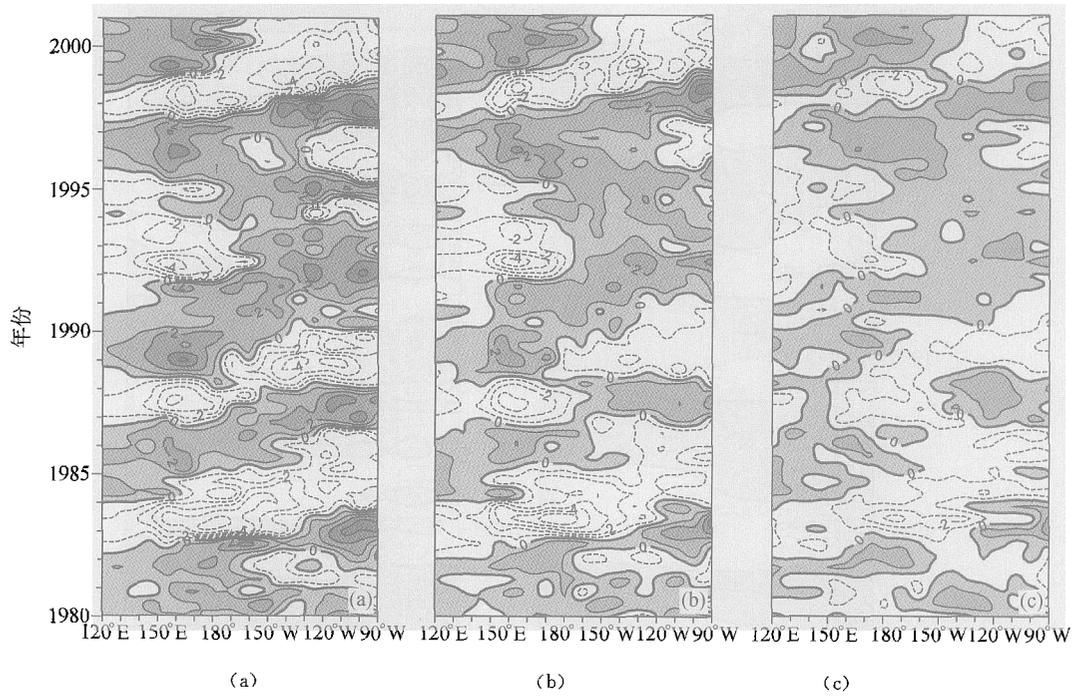
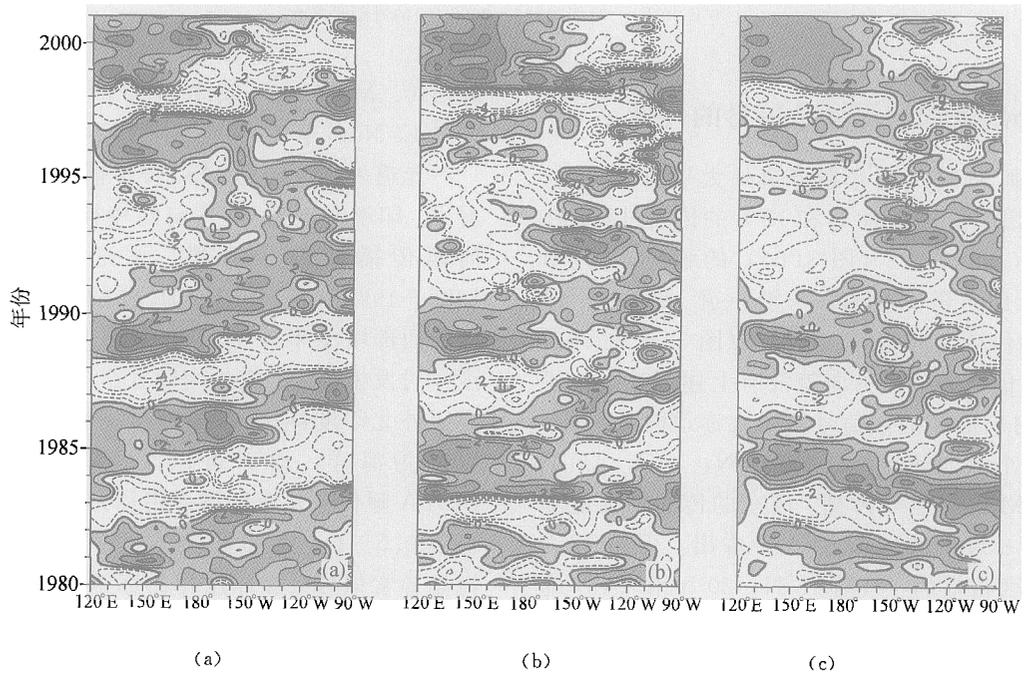


图3 MSTa (等值线间隔 1°C) 沿南太平洋
3个纬向(150°E-90°W)一时间(1980—2000年)的月距平变化
(a) 4°S; (b) 8°S; (c) 12°S;



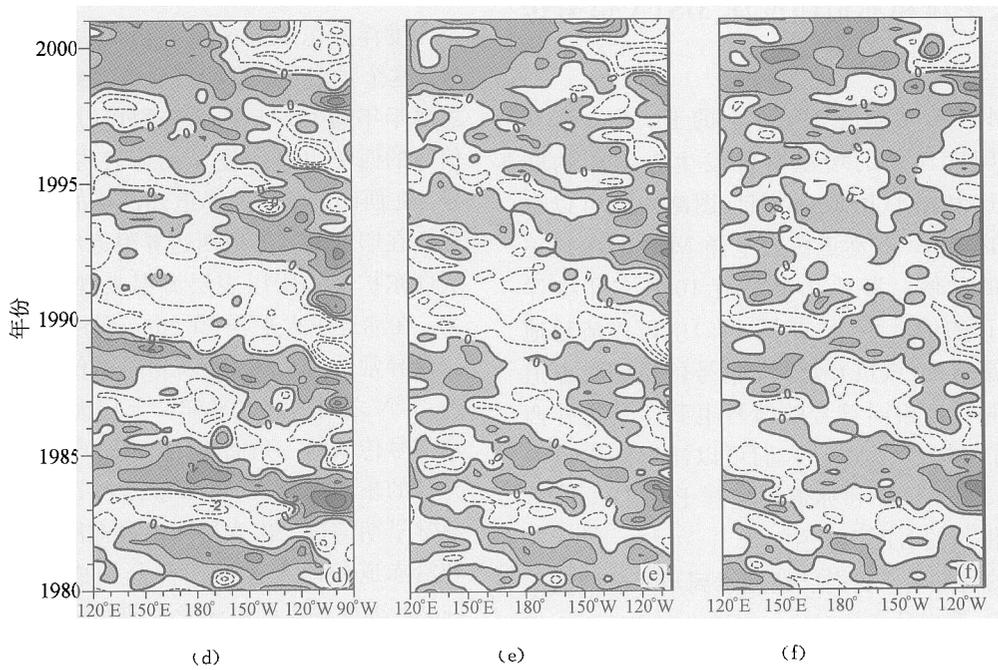


图4 MSTA (等值线间隔 1°C) 沿北太平洋
6个纬向(150°E-90°W)—时间(1980—2000年)的月距平变化
(a)4°N; (b)8°N; (c)12°N; (d)16°N; (e)20°N; (f)24°N

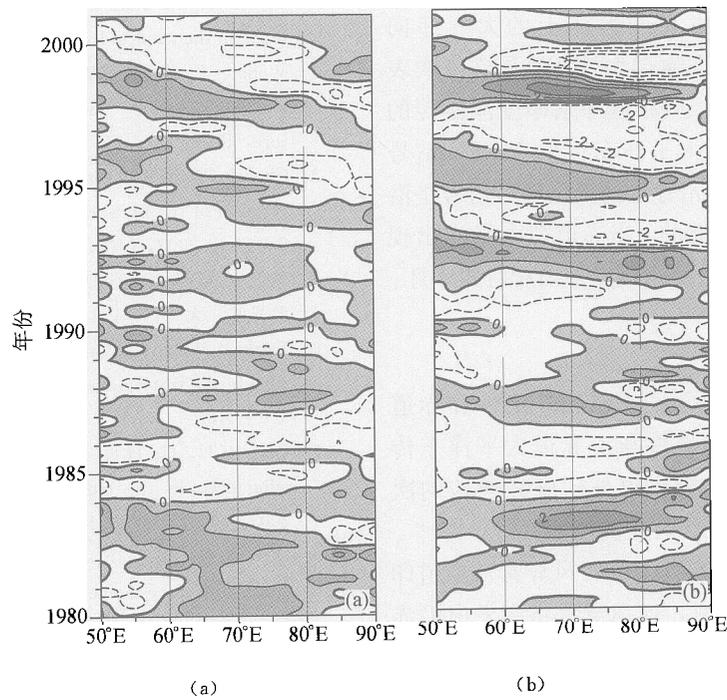


图5 MSTA (等值线间隔 1°C) 沿印度洋
两个纬向(50°E-90°E)—时间(1980—2000年)的月距平变化
(a)10°N; (b)10°S

3 赤道太平洋和赤道印度洋 MSTA 信号传播的联系

由于 MSTA 与赤道太平洋上的 El Niño 事件发生和赤道印度洋上的增温事件发生有密切的联系,把图 5(b)和图 1(b)放在一起(图略)就可以看到它们之间的联系.在赤道西太平洋 MSTA 出现正的信号东传的时候,滞后几个月沿 10°S 东印度洋 MSTA 也有正的信号西传.从图 1(a)中可以清楚地看出,当主要的正(或负)MSTA 信号传播到达赤道东太平洋的时候,相同符号的信号也到达赤道外西部印度洋(图 5(b)).所以,人们可以注意到赤道太平洋上的 El Niño 事件和赤道印度洋上的 Dipole 事件会在几乎相同的时间内发生.

在以前的研究中^[7]我们已经注意到当赤道西太平洋出现 850 hPa 西风异常的时候,赤道中印度洋上出现东风异常.赤道西太平洋上的西风异常可以在赤道西太平洋激发出海洋中东传的 Kelvin 波,而赤道印度洋上东风异常可以在赤道外激发出海洋中西传的 Rossby 波.可见,次表层海温异常信号在赤道太平洋和赤道印度洋附近的传播与发生在两大洋上的大气纬向 Walker 环流异常有联系,即通过大气环流异常把次表层的波动传播联系在一起.从赤道外东印度洋西传的 MSTA 信号都比从赤道西太平洋东传的 MSTA 信号晚,原因就在于 850 hPa 上沿赤道的西风异常信号是沿赤道从印度洋向太平洋传播的.当赤道西太平洋出现西风异常时赤道中印度洋上的东风异常要滞后几个月.

4 结果与讨论

赤道东太平洋海温异常的 El Niño 事件和赤道印度洋海温异常的 Dipole 事件与沿赤道太平洋东传的次表层海温异常信号和沿赤道外印度洋西传的次表层海温异常信号之间有着内在的联系.

在年际时间尺度上,当有低层西风异常从赤道印度洋东传到赤道西太平洋时,西风异常将激发出沿赤道东传的次表层海温异常波动,在滞后几个月赤道中印度洋出现东风异常并激发出印度洋赤道外向西传的次表层海温异常波动.一个正(或负)的次表层海温异常信号从赤道西太平洋传播到赤道东太平洋的时间大约需要 1 年,即在赤道西太平洋正的 MSTA 信号出

现大约 1a 后赤道东太平洋 El Niño 事件才发生.赤道中印度洋的东风异常激发出次表层海温异常的暖信号.这个暖信号从东印度洋传播到西印度洋的时间也需要半年到 1a.于是,赤道外印度洋次表层海温异常信号的西传也是印度洋西部表层增暖的一个早期信号.在西印度洋,沿赤道外西传的次表层海温异常信号会在印度洋的赤道西边界附近反射并很快沿赤道表层向东扩展,所以表层海温表现为西部增温比东部大.在赤道东太平洋 El Niño 事件发生后,次表层的海温异常信号沿 10°N 以北向西传播.在赤道和赤道外 16°N 之间的北太平洋,上层海洋中存在着海温异常信号传播的一条回路.沿赤道印度洋和太平洋西风异常的东传成为 El Niño 事件和 Dipole 事件发生的气象学早期信号,次表层海温异常沿赤道太平洋的东传和沿赤道外印度洋的西传分别成为 El Niño 事件和 Dipole 事件发生的海洋学早期信号.

参 考 文 献

- 1 Graham N E, White B. The El Niño cycle: A natural oscillator of the Pacific Ocean-atmosphere system. *Science*, 1988, 240, 1293—1301
- 2 Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 1999, 401, 360—363
- 3 Webster P, Moore A M, Loschnigg J P, et al. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997—98. *Nature*, 1999, 401: 356—360
- 4 Chao J, Yuan S, Chao Q, et al. A data analysis study on the evolution of the El Niño/La Niña cycle. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2002, 19(5): 837—843
- 5 李崇银,穆明权.厄尔尼诺的发生和赤道西太平洋暖池次表层海温异常. *大气科学*, 1999, 23(5): 513—521
- 6 Wang B, Wu R G, Lukas R. Annual adjustment of the thermocline in the tropical Pacific Ocean. *Journal of Climate*, 2000, 13: 596—616
- 7 Qian W H, Hu H R, Zhu Y F. Thermocline oscillation and warming even in the tropical Indian Ocean. *Atmosphere-Ocean*, 2003, 40(3): 293—311
- 8 Qian W H, Zhu Y F, Liang J Y. Potential contribution of maximum subsurface temperature anomalies to the climate variability. *International Journal of Climatology*, 2004, 24: 193—212
- 9 White W B. Design of a global observing system for gyre-scale upper ocean temperature variability. *Progress in Oceanography*, 1995, 36: 169—217
- 10 Qian W H, Hu H R, Deng Y, et al. Signals of interannual and interdecadal variability of air-sea interaction in the Basin-Wide Indian Ocean. *Atmosphere-Ocean*, 2002, 40(3): 293—311