用 TOPEX/ POSEIDON 高度计数据分析热带大西洋海面高度 距平的低频变化

邱云1,胡建宇1,2

(1. 厦门大学 海洋系, 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验 室, 福建 厦门 361005)

> 摘要:利用 1992 年 10 月~2002 年 7 月的 TOPEX/POSEIDON(T/P)卫星高度计月平均格 点数据分析了热带大西洋(15 S~25 N, 5~50 W)海面高度距平的低频变化。由热带大西 洋大约 10 a海面高度距平变化的标准差分析得到:在赤道附近海区(2~5 N, 25~45 W)、 非洲沿岸海区(1f~16 N, 16~18 W)海面高度波动剧烈。对海面高度距平进行经验正交 函数(EOF)分析,得到 EOF 的 3 个模态分别占有方差比例为 51.5%, 13.2% 和 7.9%。第一 模态揭示的是热带辐合带(IT CZ)的季节性迁移导致海面高度距平沿着 IT CZ 平均位置经向 倾斜的 1 a 周期变化,第一模态还显示了太阳辐射的季节差异引起南北两个海盆海面高度的 整体升降。第二模态描述了中心分别位于(3°N, 40°W)和(7°N, 45°W)附近两个涡漩的变化。 第三模态表征的是几内亚海湾上升流和赤道北部下降流在 6~7月强度达到最大。对EOF 时间系数曲线的经验模态分解(EM D),结果表明热带大西洋低频变化包含的成分主要有: 0.5,1,2,4和6a。其中 1 a 周期是热带大西洋海面高度变化最主要的周期成分,0.5 a 周期 和 2 a 周期也是热带大西洋海面高度变化的重要形式;而 4 a 和 6 a 周期所占的比例较小。另 外 EMD 方法还分解出 1997~1998 年太平洋 El Nino 事件对热带大西洋海面高度的影响。

> 关键词:热带大西洋;TOPEX/POSEIDON;标准差分析;经验正交函数(EOF);经验模态分解 (EMD)

中图分类号: P731.21 文献标识码: A 文章编号: 1000 3096(2006) 06 00 59 07

热带大西洋位于非洲和南美洲大陆之间(图 1), 热带辐合带(IT CZ)从中部横穿大西洋, IT CZ 随季节 南北移动导致热带大西洋海面高度在赤道附近季节 性波动明显^[1]。热带大西洋还受到北大西洋涛动 (NAO)和太平洋厄尔尼诺~南方涛动(ENSO)事件 的影响^[2]。

关于热带大西洋的海面高度与环流特征早期的 研究大多集中于实测资料分析和数值模拟。Richr ardson等^[3,4]利用美国海军海洋办公室100 a(1875~ 1976年)船测数据研究了热带大西洋表面流的季节 变化特征以及赤道附近流场的月变化特征,但是其 结果受到资料时空分布不均匀的限制。Merle等^[1] 利用 MBT,XBT 和 Nansen 观测数据分析热带大西 洋海面动力地形的季节性变化。Richardson等^{5]}用 1983~1985年的漂流浮标数据研究北赤道逆流的季 节性变化。近年来,随着高度计遥感技术的进一步成 熟,为观测全球大洋环流状况提供新的有效手段。 Arnault 等利用 1985~ 1989 年 GEOSAT 卫星资料提 取了热带大西洋海面高度的季节变化和年变化特 征^[6],还利用 1986~ 1988 年的 GEOSAT 卫星高度计 资料研究热带大西洋海面的变化并与实测资料以及 模型结果作比较^{7]}。这些研究受资料时间序列长度 以及卫星测量精度的限制,无法揭示热带大西洋更低 频的变化。由此有必要应用更长时间序列的资料研 究热带大西洋海面高度更低频的变化。

本研究主要是利用 10 a(1992年10月~2002年7月)的 TOPEX/POSEIDON 卫星高度计月平均格 点数据分析热带大西洋海面高度的低频变化,研究海 区为 15°S~25°N, 5°~50°W。

收稿日期: 2004 1 F 24; 修回日期: 2005 06 02 基金项目: 国家 863 计划资助项目(2001 A A630701) 作者简介: 邱云(1979), 男, 福建平潭人, 博士研究生, 主要 从事物理海洋学和卫星遥感应用研究, E-mail: qy@xmu. edu. cn

研究论文・儿前和 ▲ ARTICLE



图 1 热带大西洋海底地形图 Fig. 1 Bottom topography of the tropical Atlantic Ocean

1 数据来源及方法介绍

1.1 数据来源

本文用 到的 海面 高 度距 平(SLA)数据 是从 NASA 网站下载的,为 l°× f 的月平均 SLA 格点数 据,时间从 1992年 10 月到 2002年 7月,这样就可以 得到取样长度为 118 个月的格点数据集。由于本文 研究的是热带大西洋海面高度低频变化,所以在进 行 EOF 分解之前先对数据进行五点三次平滑,滤除 小于 5 个月的波动。海表温度(SST)数据是从 NO-AA 网站下载的,网格分辨率、时间分辨率及时间跨 度与 SLA 的一致。

1.2 经验正交函数分析与经验模态分解

经验正交函数(EOF)分析,是时间序列统计分析 中的重要方法。它是根据大量实测数据在分析众多 测站要素场的基础上,把要素场分解为只依赖时间 的函数和只依赖于空间的函数的乘积之和,能较客 观定量反映要素场的变化及各要素之间的统计协调 关系。然而,EOF分析的结果也有不完善之处,EOF 的时间过程曲线仍然有许多需要进一步分解的成 分,传统的EOF分解方法还不能提取这些深层次信 息,但经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EM D)能够很有效地提取这些信息^[&9]。一般的 EM D 方法,由于边界效应会形成频率混叠,即一个本 征模态函数(IMF)成分中可能含有不止一种时间尺 度的振动,而且在相邻的 IM F 中可能含有相同时间 尺度的振动,本文采用的是改进的 EM D 方法^[10],能 够有效消除频率混叠现象。

2 SLA 的标准差分析

利用标准差计算公式,可以计算热带大西洋 SLA 的标准差分布(图 2)。标准差的高值主要出现 在赤道附近、非洲西岸达喀尔附近以及 20°N 以北的 广大海区,这些高值区应是海面高度波动最为激烈的 海区。第一高值出现在南美洲亚马逊河东北部海区, 呈扁椭圆状,中心值高于 8.5 cm,位于(4° N, 4° W)附 近。第二高值出现在非洲西岸,中心值高于 6 cm,位 于(14° N, 17° W)附近。在 20°N 以北的广大海区以及 赤道以南几内亚海湾(3° S~ 0° N, 5° ~ 18° W),标准差 值都大于 4 cm,表明海面高度波动较明显。在赤道 以南以及 10°~18°N 之间的大部分海区,标准差值较 小,说明海面高度波动较弱。



图 2 1992~ 2002 年热带大西洋 SLA 的标准差(cm)分 布

Fig.2 Root mean square (RMS) (cm) distribution of sea surface anomaly (SLA) in the tropical At lantic Ocean (1992~ 2002)

3 SLA 的 EOF 及 EMD 分析

为了进一步研究热带大西洋海面高度的空间和 时间变化特点,作者对 SLA 进行 EOF 分析,时间跨 度为 1992 年 10 月~2002 年 7 月。表 1 给出热带大 西洋 SLA 展开后各主成分占总方差的百分比。由此 可知,前 5 个主成分所占有的方差比例为 81.8%,它 基本上能反映热带大西洋 SLA 场的变化情况。现在 分析前 3 个主成分的特征,并且利用 EMD 方法对其 时间系数进一步分解。

60



表 1 热带大西洋 SLA 各主成分占总方差的百分比

Tab. 1 Variances of the five leading EOFs for SLA in the tropical Atlantic Ocean

···· F ································		
主成分	方差	累积方差
E OF 1	51.5	51.5
EOF2	13.2	64.7
EOF3	7.9	72.6
EOF4	5.6	78.2
EOF5	3.6	81.8

3.1 EOF1及EMD分析

EOF的第一模态(EOF1)占有的方差比例为 51.5%(表1),表明第一模态是决定性的。

除了 ?~ 13 N, 25 W 以西的海区外, 总体说来, 热带大西洋的 SLA 空间结构分布呈北高南低的趋势。结合空间分布图和时间系数曲线(图 3), 可以看出, 大致沿着巴西纳塔耳东北角到几内亚海湾的西端, 南北两个海盆海面高度波动呈反相关系:在北半球夏、秋季(7~12 月)北部海盆海面整体升高, 在 10 月海面高度达到最大值, 南部海盆海面高度在北半球冬、春季(1~6 月)整体升高, 在 3~4 月海面高度 达到最大值。



图 3 SLA 的EOF1 的结果



a. 空间分布; b. 时间系数

a. spatial structures; b. amplitudes

由于热带大西洋冬、夏季风场变化不大^[11,12],所 以 SLA 年周期特征可能是由于该海域太阳辐射的季 节差异所致。对同时期 SST 格点数据进行 EOF 分 析,得到 SST 的 EOF1 所占的方差为 81.8%(图4)。 总体说来,SST 的 EOF1 空间结构分布趋势与 SLA 的相似,都呈北高南低的趋势,结合时间系数可知,赤 道以北海区在 9 月左右 SST 达到最大值,赤道以南 海区 SST 则在 3 月左右达到最大值,结合 SLA 的 EOF1 和 SST 的 EOF1,作者认为该海域太阳辐射的 冬、夏季差异引起海面冷却和热膨胀,从而进一步引 起海面高度的季节变化。周琴^[3] 在南极绕极流流域 也发现类似的现象,而这种海面高度极大值出现的时 间滞后于 SST 峰值出现的时间 1 个月左右(1996~ 2002年特别明显)说明了太阳辐射对海洋上层加热 从而引起海面升高需要一个过程。



图 4 SST 的 EOF1 的结果



- a. 空间分布; b. 时间系数
- a. spatial structures; b. amplitudes

EOF1 的空间结构分布最显著的特征是在 $2 \sim 4^{\circ}$ N 和 $10^{\circ} \sim 13^{\circ}$ N 之间的海区分别出现一个极值区, 这两个极值区海面高度呈现反相位变化:当时间系数 在 10 月达到正最大值时,在 $2 \sim 4^{\circ}$ N, SLA 达到正最 大值,而在 $10^{\circ} \sim 13^{\circ}$ SLA 变成负最大值;当时间系数 在 $3 \sim 4$ 月之间达到负最大值时, SLA 在这两个海区



的分布方式刚好与 10 月的相反。热带大西洋海面高 度沿着 ITCZ 平均位置的这种经向倾斜 1 a 周期变 化,反映了北赤道逆流的季节变化^[5]。利用 World Ocean Atlas 2001 提供的 f × 1°的月平均温盐格点数 据通过 P 矢量法^[14]反演出表层绝对地转流场(图 5),在 25 W 以西海域(图 5 方框内的海区),北赤道 逆流3 月纬向流速不大,9 月纬向流速明显增强。北 赤道逆流纬向流速变化可能是受海面高度经向倾斜 的年周期变化影响。Arnault 等^[6]利用 1985~1989 年 Geosat 卫星高度计数据也有类似的现象,作者认 为海面高度距平的经向倾斜的年周期性变化与 ITCZ 的季节性迁移有关。Merle 等^[1]利用实测数据也得 出相同的结果,他们认为 ITCZ 的季节性迁移引起温 跃层的季节性升降和风应力旋度的变化,从而导致 海面动力地形经向倾斜的年周期变化。



图 5 用 P 矢量法反演的热带大西洋 8 a 月平均表层地 转流场

Fig. 5 The monthly mean surface geostrophic current by using P-vector in the tropical Atlantic Ocean

对 EOF1 的时间系数进行 EMD 分解, 分解后的 各本征模态如图 6。很明显看出 IMF1 表征的是 1 a 周期变化, 在每年的 3~4月, 时间系数达到负极大 值, 在每年的 10月时间系数达到正极大值, 值得指出 的是 IMF1 在 1997~1998年出现异常, 与其他本征 模态相比, IMF1 是最主要的成分。IMF2 在 1997~ 1998年期间振幅显著增加, 表征了太平洋 El Nino 事 件对热带大西洋海面高度距平的影响^[6], Xie 和 Carton^[2]也指出同时期太平洋 El Nino 事件对该海区 SST 的影响。IMF3 和 IM F4 分别表征的是 2 a 左右 和 4 a 左右的振荡, 所占的比例较小。



图 6 SLA 的 EOF1 的时间系数的 EMD 分析结果 Fig. 6 EMD result of the EOF1 amplitude of SLA

3.2 EOF2 及 EMD 分析

EOF 的第二模态(EOF2) 占有的方差比例为 13.2% (表 1),空间分布和时间系数 曲线如图 7,最显著的特征是在赤道附近出现一个反气涡旋式和气涡旋式涡旋。反气旋式涡旋中心位于3N,40°W 附近,气旋式涡漩中心位于7N,45°W 附近。结合时间系数曲线可以看出,每年的 1~2月(5~6月),这两个涡旋海面高度分别达到最大值(最小值)和最小值(最大值)。

由于 EOF2 的时间系数曲线比较复杂,作者对时 间系数进行 EMD 分解,分解结果见图 8。EOF2 的 时间系数主要包含有 0.5 a 周期(IMF1),1 a 周期 (IMF2),2 a 周期(IMF3),6 a 周期(IMF4),其中 IMF4 所占的成分较小。具体说来,1998 年以前, EOF2 时间系数主要是以 0.5 a 周期、1 a 周期、2 a 周 期为主;1998~2002 年,0.5 a 周期、2 a 周期的振幅 减小,时间系数主要是以 1 a 周期为主。从振幅来 看,1 a 周期所占的成分最大,0.5 a 周期次之,2 a 周 期也占相当比例。由此可知,EOF2 主要揭示赤道附 近两个涡旋年周期性的波动。另外 IMF3 和 IMF4



可能是对应着大气强迫准两年或更低频振荡的响应。





3.3 EOF3 及EMD 分析

EOF的第三模态(EOF3)占有的方差比例为 7.9%(表 1),空间结构分布和时间系数曲线如图 9 所示,空间分布所反映的变化主要是热带大西洋海 区出现的海面高度正负相间的变化。变化剧烈的海 区主要沿着非洲阿比让附近的海区至南美洲大陆的 东北部海区分布, SLA 在 1993 年 7 月达到最大值 4.2 cm(0.06 cm×70), 中心位于 3 N, 30 W 附近, 另 外一个与此反相位振荡的 海域主要沿着几内亚海湾 分布. SLA 在同时期达到最小值 $7 \text{ cm}(0.1 \text{ cm} \times 70)$. 中心位于 $0^{\circ}S, 8^{\circ}W$ 附近。结合空间结构分布图和时 间系数分布曲线,可以看出,6~7月在几内亚海湾和 赤道北部($\mathcal{O} \sim \mathcal{S}$ N) 分别出现强烈的 SLA 的低值和 高值信号,其中低值信号的幅度更大。这可能与6~ 7月份几内亚海湾的上升流和赤道北部的下降流有 关^[2]。利用美国 NASA 的 JPL 实验室提供的 NO-AA 气象卫星高分辨率红外辐射计(AVHRR) 的逐日 海表温度数据生成的热带大西洋 7 月份海表温度分 布图(℃)(图10),可以很明显看到在几内亚海湾出 现低温区,进一步证实了卫星高度计的结果。



图 9 SLA的 EOF3 的结果

- Fig. 9 The third empirical orthogonal function (EOF3) of SLA
- a. 空间分布; b. 时间系数
- a. spatial structures; b. amplitudes

为了进一步研究 EOF3 的振荡方式,作者对时间 系数进行 EMD 分解,结果如图 11 所示。从图中可 以看出,EOF3 时间系数包括 0.5 a 周期,1 a 周期,2 a





图 10 热带大西洋多年平均海表温度 Fig. 10 The mean SST in the tropical Atlantic

Ocean

左右周期,4 a 周期,其中 2 a 左右周期和 4 a 周期所 占的比例 较小,1 a 周期 所占 的比例 最大。结合 IMF1 和 EOF3 的空间结构,可以认为 EOF3 所揭示 的是热带大西洋海面高度 0.5 a 周期波动。IMF2 在 每年 6~7 月达到极大值,与 EOF3 的空间结构结合, 可看出,在几内亚海湾 SLA 呈年周期性波动,每年 6 ~7月份 SLA 出现极小值,所以作者认为 EOF3 还 反映几内亚海湾上升流年周期性的波动,这个结果 进一步证实了 A mault¹ 的结论。





4 小结

本研究主要利用 1992 年 10 月~2002 年 7 月的 T/P 卫星高度计月平均格点数据分析了热带大西洋 海面高度的低频变化。先用标准差方法分析热带大 西洋大约 10 a 的 SLA 变化情况,分析结果表明热带 大西洋海域出现两个变化剧烈的区域: 2~ 5 N, 25 ~ 45 W 之间的海域变化强度最大,这主要是归因于 北赤道逆流的季节性反向,在北半球夏、秋季,东向的 北赤道逆流流速达到最大,而到了冬、春季,在 25 W 以西海区流速减小,甚至出现西向流^[3-5],所以在该 海区出现了较剧烈的海面高度变化^[1];在非洲西岸 1f~16 N,16~18 W 之间的海区,海面高度变化也 较剧烈,这主要是受到非洲沿岸流季节变化的影 响^[15]。

采用 EOF 和 EMD 方法对 SLA 进行分解,得到 EOF 的 3 个模态分别占有方差比例为51.5%,13.2% 和7.9%。其中第一模态揭示的是 ITCZ 季节性迁移 导致 SLA 沿 ITCZ 平均位置经向倾斜的年周期变 化, Merle 等^[1]利用实测数据也发现类似的现象,另 外,第一模态还显示太阳辐射的季节差异引起南北两 个海盆海面高度的整体升降,海面高度极大值出现的 时间滞后于 SST 峰值出现的时间一个月左右,说明 了太阳辐射对海面上层水体的加热引起海面高度的 变化需要一个过程。第二模态描述了中心分别位于 3° N,40°W 和 7° N,45°W 附近两个涡漩的年周期性变 化。第三模态表征的是几内亚海湾上升流和赤道北 部下降流在 6~7月强度最大,同时还显示了热带大 西洋海面高度 0.5 a 周期波动。

利用 EMD 方法进一步分解 EOF 的时间系数曲 线,结果表明热带大西洋的低频变化包含的频率成分 主要有: 0.5 a 周期、1 a 周期、2 a 周期、4 a 周期和 6 a 周期。其中1a周期是热带大西洋海面高度变化最 主要的成分.0.5 a 周期和 2 a 周期也是热带大西洋 海面高度变化的重要形式。热带大西洋海面高度低 频波动(2a周期、4a周期、6a周期或更长周期波动) 可能与 NAO, ENSO 等的影响有关^[2]。另外 EMD 方法还分解出 1997~ 1998 年太平洋 El Nino 事件对 热带大西洋海面高度的影响。Arnault 等[6]利用 1985~ 1989年的 Geosat 数据分析了热带大西洋海 面高度变化,提取出热带大西洋 1a 周期信号和 0.5a 周期信号,同时也指出了 1986~ 1987 年太平洋 ElNino 事件对热带大西洋的影响,本研究的结果进一步证实 此结论,而本研究所用的卫星高度计时间序列更长, 资料精确度更高,更揭示出热带大西洋2a,4a和6 a 周期的变化。

由于本研究时间跨度只有 10 a, 为了研究这些低 频信号, 特别是年代际变化, 期待更长的时间序列。 值得指出的是由于热带大西洋本身的复杂性, 本研究 对一些物理现象的解释只是探索性的, 有些物理机制 需要在以后的工作中进行更深入的分析。

研究论文・礼im ARTICLE

致谢:本研究所采用的 T/P 卫星 SLA 数据是来 自于 NASA Ocean Altimeter Pathfinder Colinear Dar ta Sets,海表温度由 NOAA 提供,下载地址为:ht tp://WWW.cdc.noaa.gov/data.noaa.oisst.v2. html, EOF 分析软件来自 http://meteora.ucsd. edu/pierce/eofs.html。谨此表示感谢!

参考文献:

- M erle J, Arnault S. Seasonal variability of the surface dynamic topography in the tropical Atlantic Ocean[J]. Journal of Marine Research, 1985, 43: 267-288.
- Xie S P, Carton J A. Tropical Atlantic variability: patterns, mechanisms, and impacts [A]. Wang C, Xie S P, Carton J A. Earth Climate: The Ocearr Atmosphere Interaction, Geophysical Monograph (147)
 [C]. Washington D C: AGU, 2004. 121 142.
- [3] Richardson P L, Walsh D. Mapping climatological seasonal variations of surface currents in the tropical Atlantic using ship drifts[J]. Journal of Geophysical Research, 1986, 91(C9): 10 537-10 550.
- [4] Richardson P L, Mckee T K. Average seasonal variation of the Atlantic equatorial currents from historical ship drifts [J]. Journal of Physical Oceanography, 1984, 14: 1 226 1 238.
- [5] Richardson P L, Reverdin G. Seasonal cycle of velocity in the Atlantic north equatorial countercurrent as measured by surface drifters, current meters, and ship drifts[J]. Journal of Geophysical Research, 1987, 92 (C4): 3 691 3 708.
- [6] Arnault S, Cheney R E. Tropical Atlantic sea level variability from geosat (1985~1989) [J]. Journal of

Geophysical Research, 1994, 99(C9): 18 207 18 223.
[7] Arnault S, Morlière A, Merle J Y, et al. Low-frequency variability of the tropical Atlantic surface topography: altimetry and model comparison[J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97(C9): 14 259 14 288.

- [8] Huang N E. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non stationary time series analysis[J]. Proc R Soc Lond, 1998, 454: 903-995.
- [9] 王卫强,陈宗镛,左军成. 经验模态法在中国沿岸海平 面变化中的应用研究[J]. 海洋学报, 1999, 21(6): 101-109.
- [10] Zhao J P. Improvement of the mirror extending in empirical mode decomposition method and the technology for eliminating frequency mixing [J]. High Technology Letters, 2002, 8(3): 40-47.
- [11] 刘金芳,黄海仁,张晓蕙,等.南大西洋风场和海浪场 时空特征分析[J].海洋湖沼通报,2002,3:1-8.
- [12] 刘金芳,梁玉清,江伟,等.北大西洋风场和海浪场特 点分析[J].海洋通报,2002,5:12-20.
- [13] 周琴,赵进平,何宜军.用TOPEX/POSEIDON高度 计数据研究南极绕极流流域海面高度的低频变化
 [J].海洋与湖沼,2003,34(3):256266.
- [14] Chu P C. P vector method for determining absolute velocity from hydrographic data[J]. Marine Technology Society Journal, 1995, 29(3): 3 14.
- [15] Stramma L, Schott F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean [J]. Deep Sea Research II, 1999, 46: 279-303.

(下转第76页)

(上接第65页)

Low frequency variability of sea surface level in the tropical Atlantic Ocean derived from TOPEX/POSEIDON altimeter data

QIU Yun¹, HU Jian yu^{1,2}

Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen, 361005, China;
 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

Received: Nov. , 24, 2004

Key words: the tropical Atlantic; Topex/Poseidon; root mear square (RMS); empirical orthogonal function (EOF); empirical mode decomposition(EMD)

Abstract: The sea surface variability of the tropical Atlantic (TA, 15°S~ 25°N, 5°~ 50°W) is studied by using TOPEX/POSEIDON (T/P) altimeter data from October 1992 to July 2002. Patterns of variance of the sea surface anomaly (SLA) deviations from the terr year (1992~2002) mean show that there are two highr variation areas: the first is at the basin near the equator $(2 \sim 5^{\circ} N, 25^{\circ} \sim 45^{\circ} W)$, the second is along the coast of Africa (11° ~ 16° N, 16° ~ 18° W). Empirical orthogonal function (EOF) analysis is used to study the spatial and temporal variabilities of sea level. The first three EOFs account for 51.5%, 13.2%, 7.9% of the total var riance, respectively. The first one not only describes the meridional tilting of the TA along the mean location of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) with an annual period due to the location of the ITCZ moving seasonally, but also presents variability over the annual time scale of sea level due to the variability of solar ra diation. The second EOF describes two gyres centered at 3 N, 40° W and 7 N, 45° W, respectively with an annur al time scale. The third EOF shows Guinea Gulf upwelling and north equatorial downwelling peak in June Jur ly. Using empirical mode decomposition (EMD) method is to decompose time coefficients of the first three EOFs. The result shows that the annual cycle is the dominant component of the sea level variabilities in the TA, while half year cycle and two year cycle are also important components. The EMD analysis also reveals that the variation of sea surface height (SSH) in the TA has a response to the El Nino events occurred in the Pacific in 1997~ 1998.

(本文编辑:刘珊珊)