

由数据同化产品导出南海海表面高度的变化

吕 艳¹, 张绪东², 王庆业¹

(1. 广东海洋大学南海海洋环境研究所, 湛江 524088; 2. 海军海洋水文气象中心, 北京 100073)

摘 要: 根据 47 年月平均的海表面高度序列(SODA - Simple Ocean Data Assimilation 数据同化产品), 运用经验正交函数(Empirical Orthogonal Function - EOF)的方法, 分析了南海海面高度的季节与年际变化。在季节变化尺度上, 第一模态体现了对南海上层环流季节变化的传统认识, 占有绝对比重(84%)。第二模态解析了 14% 的方差, 越南中部沿岸约 11° ~ 12°N 向东的急流和上升流出现在该模态中。经 13 个月滑动平均过滤年变化信号后, 南海海面高度变化的前 2 个模态都表明与 ENSO 关系密切。年际变化的第一模态说明, 厄尔尼诺年整个海面高度出现负异常, 特别是南海暖池附近区域。研究结果似乎表明广东沿岸附近海面变化也与 ENSO 有关。

关键词: 南海; 海表面高度; 变化; 经验正交函数

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2008) 4 - 0102 - 06

1 引言

南海地处东亚季风系统控制, 其上层环流表现出明显的季节变化^[1]。冬季, 东北季风盛行期间, 整个南海呈现气旋式环流; 而夏季, 在西南季风驱动下, 整个南海为反气旋式环流。除了明显的季节变化外, 最近很多研究表明南海上层环流还体现出重要的年际变化, 即与 ENSO 相关的年际信号^[2-3]。

过去已有的很多关于南海上层环流变化的研究是通过分析观测航次调查资料^[4]和进行数值模拟^[5]。这些研究方法有其缺陷, 往往观测资料的时间跨度较短, 而模式结果的可信性常常有待进一步验证。随着 20 世纪 90 年代以来卫星观测的快速发展, 很多研究者开始通过分析长时间、分布规则的卫星资料以研究南海的时空变化规律^[6-7], 证实了南海年际变化与 ENSO 关系密切。

本文将利用长达 47 年的 SODA 同化数据中的月平均海表面高度, 采用经验正交函数的方法, 分析南海海面高度的时空分布与变化。

2 数据与方法

本文中的海表面高度来自一个简单海洋模式同化 SODA 数据^[8](版本 1.4.2 和 1.4.3)。除了海表面高度, 它还包括月平均的温度、盐度、流速场等。该资料几乎覆盖了全球,

垂向分 40 层,水平分辨率是 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。版本 1.4.2 是利用欧洲中心的气候数据驱动,时间段为 1958 ~ 2001 年;版本 1.4.3 是用 QuikSCAT 卫星风场驱动,时间段为 2000 ~ 2004 年。将版本 1.4.2 中的 1958 ~ 1999 年和版本 1.4.3 中的 2000 ~ 2004 年之间的数据合并,形成了长度为 564 的时间序列。于是,我们先计算了气候态的月平均海表面高度,运用经验正交函数的方法分析其季节变化,然后经 13 个月的滑动平均,滤去年信号,运用同样方法分析其年际变化。

3 结果与讨论

3.1 季节变化

图 1 显示了海表面高度季节变化的第一模态和时间系数。第一模态解析了全部方差的 84%,其空间结构描述了整个海盆尺度的环流。零等值线清楚的表明,深水区和陆架浅水区变化反相。深水区,在大约 110°E , 10°N 处,和吕宋的西部变化最强;浅水区,泰国湾和海南岛的东海岸变化最强。从第一模态的时间系数看,10 ~ 12 月最大,对应着冬季整个南海海盆最强的气旋式环流;而 5 ~ 7 月为负最大值,对应南海夏季反气旋式环流。

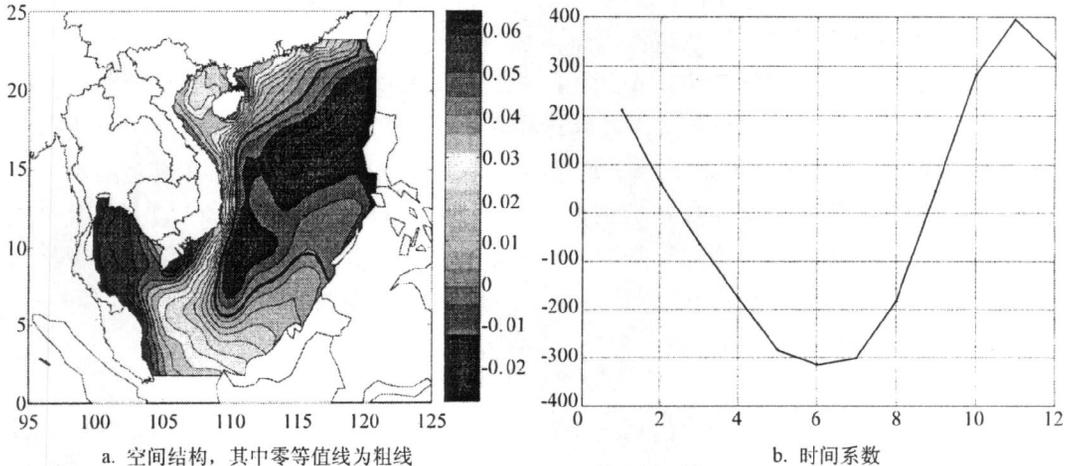


图 1 海表面高度的第一个季节 EOF 模态

图 2 是整个南海海面高度季节变化的第二模态和时间系数,其占了全部方差的 14%。这个模态显示,较大的变化出现在广东沿岸、吕宋西北部(约 117°E , 21°N),越南南部沿岸(110°E , 10°N)和与上述变化反相的泰国湾、越南中部(112°E , 13°N)。结合时间系数可以看到,8 ~ 10 月,在越南中部约沿 $11^{\circ} \sim 12^{\circ}\text{N}$ 存在一个向东的急流;急流北侧是越南冷涡。第三模态(图略),其方差很小,仅占全部方差的 1.5%。该模态显示了南海西北部和东南部的反相变化,从其时间系数看,该模态表明南海存在半年周期的信号。

第一模态的结果跟过去很多研究一致^[6, 9],它描述了冬季海盆尺度气旋式环流和夏季反气旋式大流环基本位于南海的深水区域,约为一个菱形,环流的内部包括小的次级

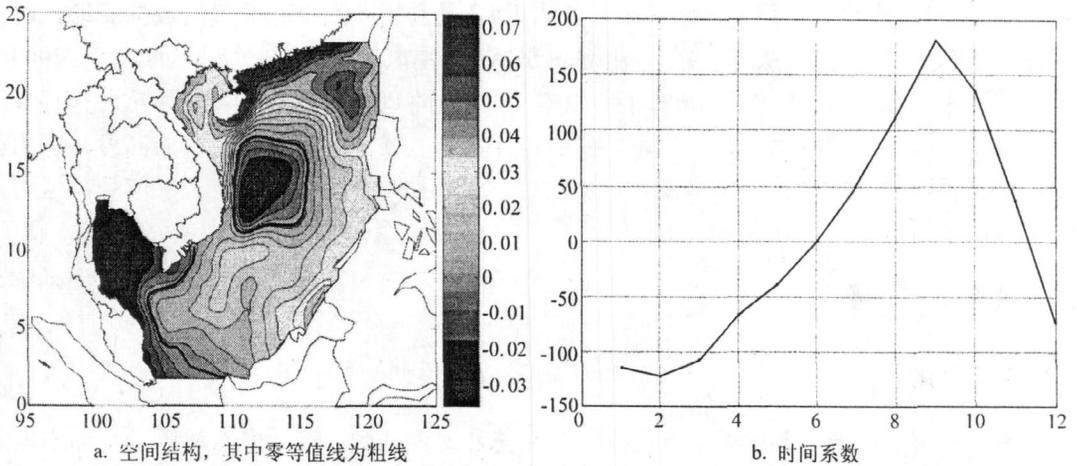


图 2 海表面高度的第二个季节 EOF 模态

流环。以前的许多研究已经表明,南海上层环流的季节变化主要是对上空季风的响应,这一点也可以从这个模态所解释的绝大部分方差(84%)看出。

第二模态展示了在夏秋季期间,越南沿岸中部存在向东的急流。根据高度计数据,很多研究^[10-12]都得出在越南中部存在一个有上升流所致负的海表面高度异常。Xie等^[13]调查结果也表明夏季存在一个从越南沿岸向东的急流。

因此,整个南海海表面高度季节变化的前 2 个 EOF 模态,抓住了南海季节环流的主要特征。值得提及的是,Fang 等^[6]用高度计异常数据研究南海季节变化,其第一模态所占百分比(54%)远小于本文第 1 模态所解析的方差百分比(84%),这主要是由于各自研究的海域范围不同所致。本文研究的整个南海海域,Fang 等^[6]研究区域主要集中在深水区,不包括泰国湾,北部湾等陆架区。因此,从整个南海海域来看,海面高度季节变化主要是由上层季风所致,而由上升流等其他因素所引起的海面高度变化贡献较小(14%)。

3.2 年际变化

图 3 是海表面高度年际变化的第一模态和时间系数,其解释了全部方差的 44%。该模态显示整个海盆变化同步,变化较大的区域在民都洛海峡附近、吕宋岛西部、越南中部以及广东沿岸,尤其以越南中部(约 112°E , 16°N)处变化最甚。对比该模态的时间系数和同期的南方涛动指数,表明第一模态与 ENSO 时间联系密切,二者相关系数为 0.33 (超过 99.9% 置信度)。例如,在厄尔尼诺年(1982 ~ 1983 年,1986 ~ 1987 年),整个海盆的海面高度出现负异常,尤其是上述所列区域。

图 4 是第二模态和时间系数,解析了 17% 的方差。该模态显示,以 113°E , 17°N 为中心约 300 ~ 400km 的区域变化最大,其他区域变化与之反相。相关分析可以发现,第二模态的时间系数与 ENSO 有较大关系,相关系数通过 99% 置信度检验。

第一模态空间分布与 Fang 等^[6]用卫星高度计数据所得的结果比较一致,总的显示了巴拉旺岛和吕宋岛以西变化较大,这也正是南海暖池区。但不同于 Wu 和 Chang^[5]所得

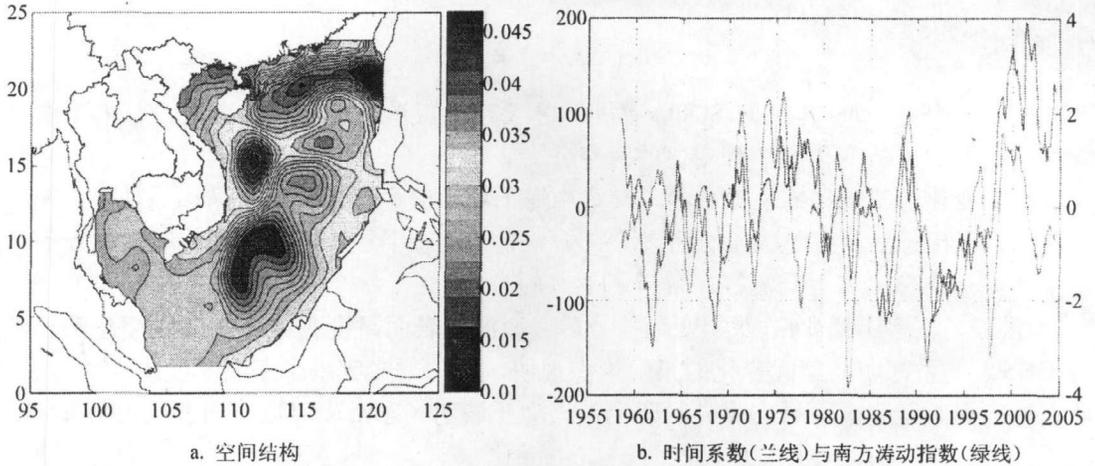


图 3 海表面高度的第一个年际 EOF 模态

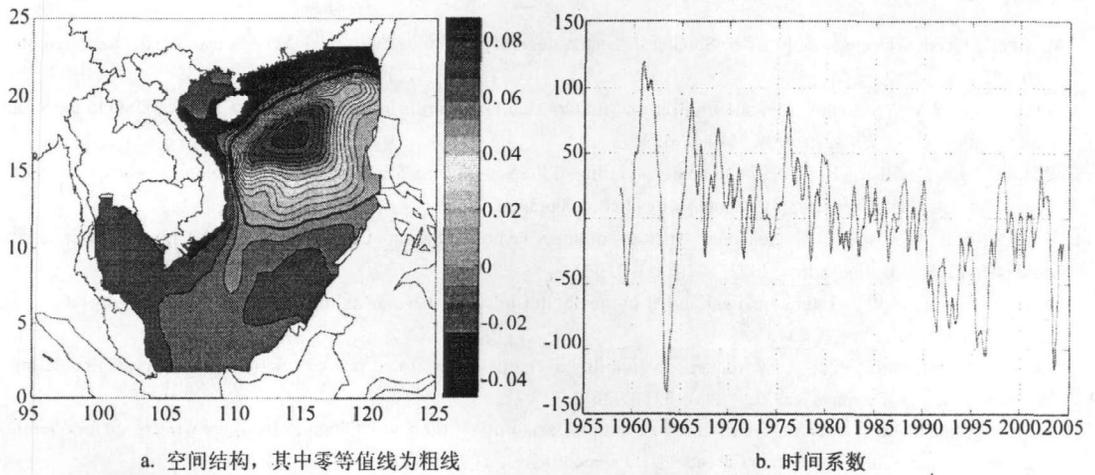


图 4 海表面高度的第二个年际 EOF 模态

到的结果,他们第一模态结果是南海东部与西部变化反相,这可能是由于他们的模式结果所致。这个模态显示了南海海面高度年际变化中存在明显的 ENSO 信号,这与很多研究结果一致^[2~3]。根据海洋动力学,Qu 等^[2]指出了吕宋海峡的输运包括明显的年际信号。Wang 等^[3]利用 SODA 数据结合绕岛理论,证实了南海变化中的年际信号。该模态时间系数与 ENSO 之间很强的相关关系表明,年际变化不是由局地强迫所致,而是与整个太平洋低频变化有关的全球尺度的信号,这其中 Rossby 波起了重要的作用^[14]。

第二模态所描述的主要特征是 115°E, 18°N 附近区域异常变化,这与 Fang 等^[6]由观测数据所得结果有一些差别,他们的结果表明最大变化区域在 111°E, 11°N 附近。这有可能是由数据同化得到的 SODA 资料自身产生的偏差所致。另外,第一模态和第二模态都显示出广东沿岸海域海面高度也显示出很强的年际变化特征,推测这有可能与南海贯穿流^[15]带来的年际信号有关。

4 结论

根据 1958 ~ 2004 年期间 SODA 数据, 本文运用经验正交函数的方法, 分析了南海海面高度的季节变化和年际变化的时空分布。

季节变化的第一模态表明, 冬季整个南海上层环流呈气旋式环流结构, 夏季呈现反气旋式, 该模态解析了绝大部分方差(84%)。第二模态中展示一些重要特征, 如夏季越南中部向东的急流和上升流等, 解析了 14% 的方差。

经 13 个月滑动平均过滤年变化信号后, 南海海面高度变化的前 2 个模态都表明与 ENSO 关系密切。年际变化的第一模态说明, 厄尔尼诺年整个海面高度出现负异常, 特别是南海暖池附近区域。另外, 研究结果似乎表明广东沿岸附近海面变化也与 ENSO 有关。

参考文献:

- [1] Wyrki K. Physical Oceanography of the Southeast Asian waters [M]. La Jolla, California : Scripps Institute of Oceanography, 1961,195.
- [2] Qu T, Kim Y Y, Yaremchuk M, et al. Can Luzon Strait transport play a role in conveying the impact of ENSO to the South China Sea [J] Clim, 2004, 17(18) : 3644 ~ 3657.
- [3] Wang D, Liu Q, Huang R, et al. Interannual variability of the South China Sea throughflow inferred from wind data and an ocean data assimilation product[J]. Geophys Res Lett, 2006,33 : L14605.
- [4] Fang W, Fang G, Shi P, et al. Seasonal structures of upper layer circulation in the southern South China sea from in situ observations[J]. J Geophys Res, 2002, 107(C11) : 3202.
- [5] Wu C-R, Chang C-W J. Interannual variability of the South China Sea in a data assimilation model[J]. Geophys Res Lett, 2005,32 : L17611.
- [6] Fang W, Guo J, Shi P, et al. Low frequency variability of South China Sea surface circulation from 11 years of satellite altimeter data [J]. Geophys Res Lett, 2006,33 : L22612.
- [7] Fang G, Chen H, Wei Z, et al. Trends and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height, and surface temperature in the recent decade [J]. J Geophys Res, 2006,111 : C11S16.
- [8] Carton J A, Giese B S. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation(SODA)[J]. Mon Wea Rev, 2008,136 (8) : 2999 ~ 3017.
- [9] Shaw P, Chao S, Fu L. Sea surface height variations in the South China Sea from satellite altimetry[J]. Oceanol Acta, 1999, 22(1) : 1 ~ 17.
- [10] Li L, Xu J, Jing C, et al. Annual variation of sea surface height, dynamic topography and circulation in the South China Sea - A TOPEX/Poseidon satellite altimetry study[J]. Sci China, Ser D, 2003,46(2) : 127 ~ 138.
- [11] Ho C, Zheng Q, Soong YS, et al. Seasonal variability of sea surface height in the South China Sea observed with TOPEX/Poseidon altimeter data [J]. J Geophys Res, 2000,105(C6):13981 ~ 13990.
- [12] Kuo N-J, Zheng Q, Ho C-R. Response of Vietnam coastal upwelling to the 1997 ~ 1998 ENSO event observed by multisensor data[J]. Remote Sens Environ, 2004,89(1) : 106 ~ 115.
- [13] Xie S-P, Xie Q, Wang D, et al. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations [J]. J Geophys Res, 2003,108 (C8) : 3261.
- [14] Yang H, Liu Q. Forced Rossby wave in the northern South China Sea[J]. Deep Sea Res (Part D), 2003, 50(7): 917 ~ 926.
- [15] Qu T, Du Y, Sasaki H. South China Sea throughflow : A heat and freshwater conveyor[J]. Geophys Res Lett, 2006,33: L23617.

Variation of sea surface height in the South China Sea derived from a data assimilation product

LU Yan¹, ZHANG Xu-dong², WANG Qing-ye¹

(1. South China Sea Environmental Institute, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088 China ; 2. Navy Marine Hydrometeorological Center, Beijing 100073 China)

Abstract : Based on monthly mean field of sea surface height (SODA-Simple Ocean Data Assimilation), the seasonal and interannual variation of sea surface height in the South China Sea (SCS) is studied using Empirical Orthogonal Function (EOF). In seasonal timescale, the first EOF mode demonstrates traditional understanding on the upper circulation and it accounts for 84% of total variances. The second EOF mode explains 14% of total variance, and the eastward jet off Vietnam about along $11^{\circ} \sim 12^{\circ}\text{N}$ and upwelling appears in this mode. After the annual signal is removed by 13 month running mean, the first two EOF modes suggest the interannual variation is closely related to ENSO. The first EOF mode shows negative anomaly happens during El Nino year, especially the SCS warm pool. The result seems to indicate that variation near Guangdong coast is related to ENSO.

Key Words : South China Sea ; sea surface height ; variation ; Empirical Orthogonal Function