

南海海面高度异常与厄尔尼诺和大气环流的关系

沈春^{1, 2}, 杜凌³, 左军成², 李磊³, 李培良³

(1. 解放军理工大学气象海洋学院, 南京, 211101; 2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 南京, 210098;
3. 中国海洋大学, 海洋环境学院, 青岛, 266003)

摘 要:利用经验正交函数分解和相关分析等方法分析研究了南海和赤道太平洋的海面高度异常、海面温度异常和风异常之间的相关关系。得出南海海面高度异常 EOF 第一模态为 ENSO 模态, 方差贡献达到 44.7%。在厄尔尼诺(El Niño)期间, 整个南海海面下降, SSHa 呈现不同的分布状态, 本文讨论了爆发与下半年的 El Niño 期间南海 SSHa 呈现的典型分布状态。El Niño 的先兆阶段南海中部为 SSHa 低值区, 鼎盛阶段南部 SSHa 增大形成南高北低的分布状态, 恢复阶段 SSHa 分布与 El Niño 过后是否发生 La Niña 密切相关。南海海面高度异常与大气环流存在明显的相关关系。El Niño 期间, Hadley 环流的加强使得南海东部和赤道西太平洋水交换加强, 水温的降低和海水的流失使南海海面下降, Walker 环流结构和强度的变化则进一步促进了南海 SSH 的下降。El Niño 期间, 南海海面高度会较常年偏低。

关键词:南海; 海面高度异常; El Niño; Hadley 环流; Walker 环流

中图分类号:P732 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-0239(2013)02-0014-08

1 引言

ENSO(El Niño /Southern Oscillation)已被认为是海洋和大气年际变化的最强信号, 它的发生发展会带来全球性的海洋、气候异常并造成严重灾害^[1]。太平洋海温场 EOF 的第一模态为 ENSO 模态, 第二模态具有年代际时间尺度特征^[2-3]。

关于南海海面高度的季节变化研究, 刘克修等^[4]指出:南海冬、夏季季风强盛期海面高度距平位相相反, 南海中部夏季为正距平, 有两个正距平中心, 冬季为负距平, 有两个负距平中心; 春、秋季是季风过渡期, 距平中心的数目减少为一个且位置发生偏移。刘秦玉等^[5]对南海海面高度的变化原因进行了初步分析后认为, 南海北部海面高度(SSH)的变化应归因于南海局部的动力、热力强迫和黑潮的影

响, 黑潮对南海北部 SSH 平均态的影响要大于对 SSH 异常场的影响; 冬季南海北部深水区局地风应力与浮力通量对 SSH 的作用相反且量级相同。Liu 等^[6]指出风的季节变化是南海 SSH 季节变化的主要原因。

目前关于中国近海海面高度与 El Niño 关系的研究较少。王正涛等^[7]研究 1987—1997 年的 4 次 El Niño 期间月均赤道太平洋海面高度的变化特征, 得出异常年份(发生 El Niño 的年份)春季较之正常年份为负值, 秋冬季节则为正值。李坤平等^[8]研究得出 El Niño 形成和发展期间温度距平强度指数上升, 东中国海海面下降, 出现负距平; 黑潮变异和 El Niño 先后发生且同时存在时, 我国渤海东海海面变化较为复杂。李立^[9]根据我国东南沿岸 9 个验潮站的水位资料研究得出: El Niño 年份我国东南沿岸月均水位的年变化幅度减小, El Niño 造成的水位

收稿日期: 2012-04-16

基金项目: 国家自然科学基金(41275113), 国家自然科学基金(41276018), 海洋公益性行业科研专项(201005019-3)

作者简介: 沈春(1981—), 男, 讲师, 主要从事海洋水文保障研究工作。E-mail: jimmysenchun@163.com

降低以台湾海峡沿岸最强,向北减弱。于克俊^[10]利用渤黄东海 22 个验潮站的水位资料分析得到 El Niño 期间月均海面的较前后两年要低。以上都是对于东中国海海面高度与 El Niño 之间的关系,而南海的海面高度与 El Niño 之间的关系很少,本文主要研究南海的海面高度异常与 El Niño 期间 Niño3 区海温以及南海海面风场间的关系。

2 资料与方法

用于分析的数据是 1993—2003 年的海水温度、海面高度和风场数据;用于验证的验潮站数据包括两个时段:1993—1997 年和 1993—2003 年。本文中的海表温度 (SST) 数据取自 NCEP 提供的 OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) 的周平均资料。OISST 资料综合考虑了站点观测数据、卫星数据和冰盖模型结果,其空间分辨率是 $1^\circ \times 1^\circ$ 。1500 m 深度内的海水温度数据取自 Levitus 多年月均资料 WOA01 (World Ocean Atlas 2001) 的 4—24 层资料,空间分辨率是 $1^\circ \times 1^\circ$ 。海面高度 (SSH) 数据取自美国 Texas 大学的空间研究中心 (CSR) 提供的网格化海面高度的月均资料,该资料包括 TOPEX 卫星海面高度资料 (来自 MGDR—B) 和 Jason-1 卫星的海面高度资料 (来自 IGDRs),并做了介质订正、仪器订正和地球物理订正,空间分辨率是 $1^\circ \times 1^\circ$ 。风场数据是 NCEP/NCAR 提供的由每

日 0 时、6 时、12 时和 18 时的瞬时风场数据平均得到月均值,空间分辨率是 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

本文研究的南海区域是 $1.5^\circ - 23.5^\circ \text{N}$, $105.5^\circ - 122.5^\circ \text{E}$,南海海面高度资料的格点位置和验潮站位置见图 1 (标注●的站点资料的时段是 1993—2003 年,标注■的站点资料时段是 1993—1997 年)。

本文用经验正交函数 (EOF) 分解法^[11]分析了 SST、SSH 和风场资料,并对主要特征向量的时间系数和 Niño3 指数 (Niño3 区 ($5^\circ \text{S} - 5^\circ \text{N}$, $210^\circ - 270^\circ \text{E}$) 的海温异常的平均值) 做相关分析。

受太阳辐射引起的海水密度的季节变化和东亚季风的影响,南海海面高度有很强的季节波动,掩盖了年际变化。为此本文使用了“海面高度异常 (SSHA)”这一概念,即某月平均海面高度与当月多年平均海面高度之差,来描述海面高度的非季节性变化^[9]。文中的温度异常 (SSTA) 以及风异常 (SSUA 和 SSVA) 也是参照此方法计算的相应值。

3 结果与分析

3.1 南海 SSHA 的 EOF 分析

El Niño 发生时,赤道太平洋温度变化和传播有两种情况:第一种是 3 月前南美沿岸海水开始增温,然后自东向西传播;第二种是 8—9 月份开始大幅度增温,而且增温首先出现在赤道中太平洋,然后向东传播^[12]。在本文研究的时间内共发生了 4 次 El Niño (1993、1994—1995、1997—1998 和 2002—2003 年)^[12],其中 1993 年的 El Niño 属于第一种,仅维持了半年。其他三次属第二种情况,持续时间在一年左右,其中 1997—1998 年的 El Niño 是近 50 年来最强的一次。

南海 SSHA 的 EOF 分析的第一模态基本呈现 ENSO 模态,主要反映为年际变化。南海 SSHA 本征分函数的前 5 个模态的方差贡献分别为 44.7%、16.6%、7.6%、5.2% 和 4.2%,累计方差贡献达 78.3%。SSHA 的空间本征函数的第一模态 (EOF1) (见图 2a) 的主要特征为:整个南海 SSHA 的位相变化是一致的,南海海面高度异常由西南部向东部倾斜。这种分布与 El Niño 鼎盛阶段的南海 SSHA 分布 (见图 3) 较为相似,且时间本征函数的第一模态 EOF1 与 Niño3 指数 (见图 2b) 的相关系数达到 0.53

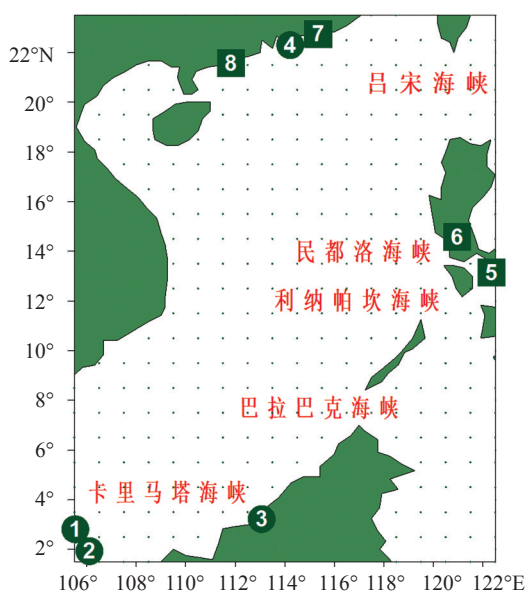


图 1 南海海面高度的数据格点和验潮站位置

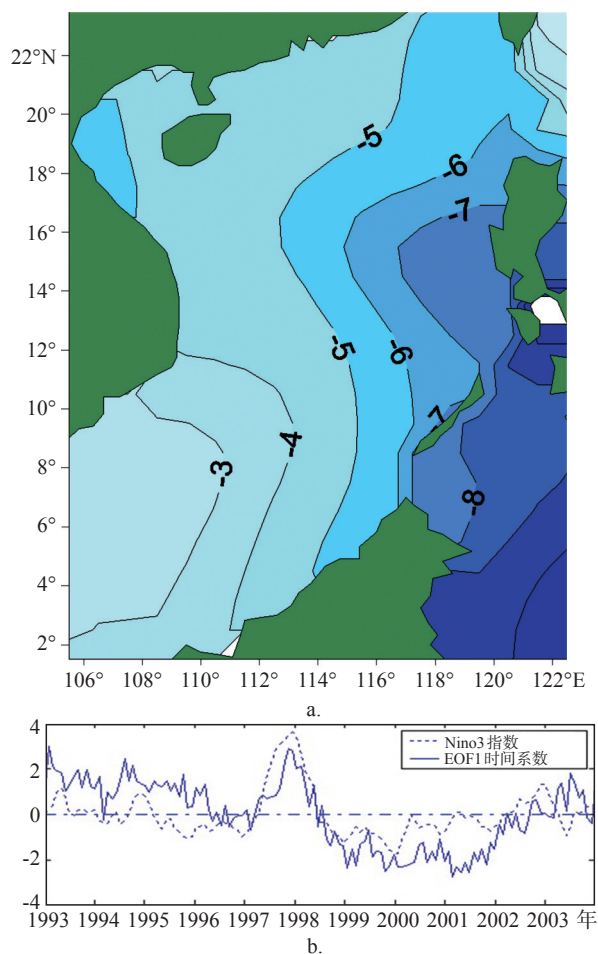


图2 a.南海SSHA的EOF1的空间分布,b.南海SSHA的EOF1的时间系数和Niño3指数

(置信度95%)。对第一模态时间本征函数EOF1进行功率谱分析表明,南海SSHA存在5.5年的显著周期,这正是El Niño典型的2—7年的准周期。

3.2 El Niño期间南海SSHA的分布和变化

1993—2003年间共发生了4次El Niño。厄尔尼诺的严格定义要求Niño3区的海温连续5个月超过 0.5° ,发生于1993年的El Niño的Niño3指数不满足要求此要求,所以本文只对1994—1995年、1997—1998年和2002—2003年发生的3次El Niño进行研究。在讨论El Niño期间南海SSHA的分布特征之前,参照Philander^[13]对El Niño划分为不同阶段的方法,本文将Niño3指数大于0.5的第一个月 and 最后一个月分别作为当次El Niño的先兆阶段和恢复阶段,先兆阶段和恢复阶段之间的月份作为El Niño鼎盛阶段,有些El Niño期间阶段的过渡并不明显,本文将着重讨论El Niño期间以上3个阶段的南海SSHA分布特征和变化规律(见图3)。图中的El Niño月份是指Niño3指数大于0.5的月份。3次El Niño期间,南海SSHA几乎呈现一致的分布特征和变化规律。

3.2.1 先兆阶段

先兆阶段(见图3(9410)(9705)(0206)),南海西南部为SSHA的高值区,不同El Niño期间高值区的强度不等,高值中心SSHA在1—5 cm不等,该正距平范围可以延展到南海中央海盆南侧 12°N ;南海

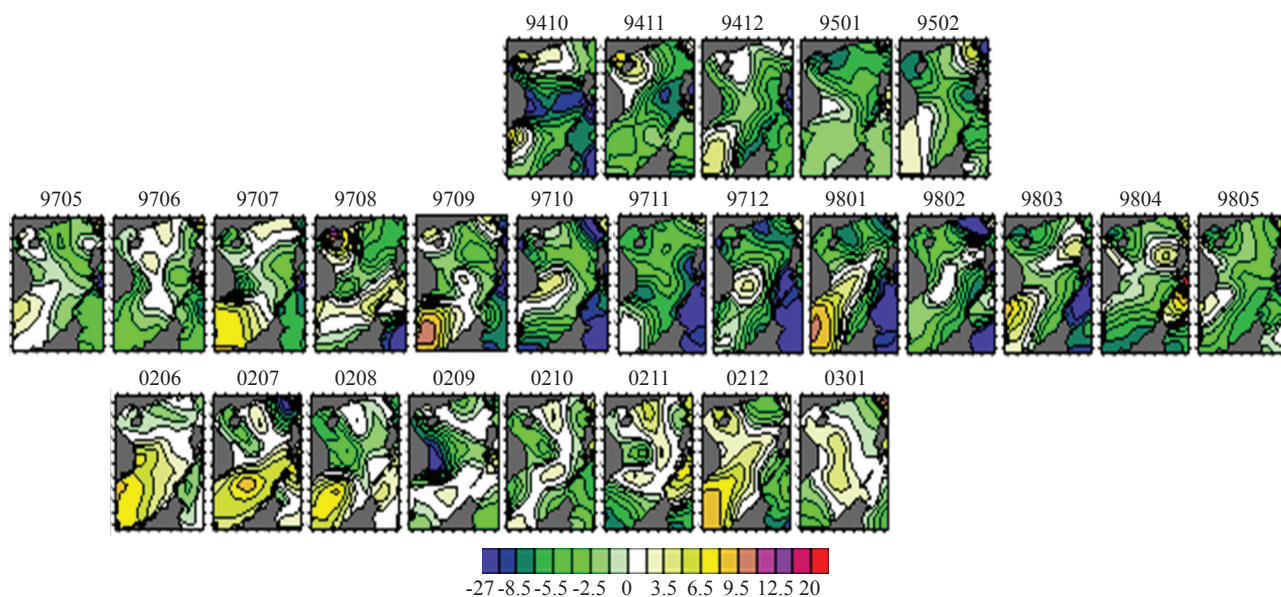


图3 El Niño月份南海SSHA的空间分布(小图标代表年、月,如9410为1994年10月)

北部的东沙群岛附近也为正距平;而3次El Niño的最大值区均位于南海西南部的正距平区。中央海盆及其附近的中沙群岛、西沙群岛,几乎均为负距平。1994—1995年的El Niño先兆阶段整个南海的SSHA较1997年和2002年的两次El Niño期间要低,这是因为在1996—1997年和2001—2002年发生了La Niña。La Niña期间南海SSHA为正距平,1997年和2002年El Niño的先兆阶段正处于SSHA由正异常向负异常转变的阶段,而1994—1995年的El Niño则是直接由常年过渡到先兆阶段。

3.2.2 鼎盛阶段

鼎盛阶段经历的时间长度和El Niño的强弱有关。依照本文的El Niño不同阶段的划分方法,1994—1995年El Niño鼎盛阶段经历了3个月;1997—1998年El Niño鼎盛阶段经历了11个月;2002—2003是一次双峰结构的事件^[13],有两个月Niño3指数小于0.5(见图3(0207)(0208)),它的鼎盛阶段经历了5个月。南海中部海区SSHA是先降低后升高并恢复到常年状态,北部和南部的变化则更为复杂。整个鼎盛阶段南海SSHA的分布状态的变化如下:

鼎盛阶段初期。北部湾SSHA呈正值(见图3(9411)(9708)(0209)),吕宋岛以西的南海中部海区SSHA是负值,西南海区部分海域SSHA比中部海区要大。南海海水主要是通过南海东部的民都洛海峡、利纳帕坎海峡和巴拉巴克海峡与赤道西太平洋的海水相互交换的,El Niño期间,表层暖水的流失以及水温变低引起的比容海面(由海水比容变化引起的海平面变化)的下降使得南海中部区域的海面较往年大幅下降,这是该时期南海中部的SSHA呈现低值区的主要原因。

鼎盛阶段中期。在初期南海中部表层暖水的流失使得中部和北部以及中部和南部都形成负的海面梯度,这利于形成梯度流使北部和南部的海水向中部输送使南海中部的SSHA增大,北部的SSHA减小(见图3(9412)(9711)(0210));而南海南部通过卡里马塔海峡和印度洋相连,因此该海区SSHA的变化还跟卡里马塔海峡口海水交换有关,南海南部海区的SSHA没有减小是因为有印度洋的海水补充进来。虽然该时期南海中部SSHA增大,但中东部海域仍然为明显的负SSHA,苏禄海的SSHA比南海

东部更小。南海和苏禄海之间形成正的SSHA的梯度,对于强度较大的1997—1998年和2002—2003年El Niño这一梯度维持了数月,这有利于南海东部海水通过民都洛海峡、利纳帕坎海峡和巴拉巴克海峡向苏禄海输送进而流向赤道西太平洋,从而形成了SSHA南高北低的分布状态(见图3(9801)(0212)),南部高值中心SSHA可达到8.5cm以上,中北部则为负值。这和李立^[9]得出的中国东南沿岸El Niño期间台湾海峡负的水位异常最强是一致的,并且和本文得出的南海EOF第一模态的分布也是一致的。

鼎盛阶段末期(见图3(9501)(9804))。南海SSHA中部为正值,南部和北部为负值,并且南海东部负的SSHA也逐渐消失。在鼎盛阶段南海中部海区SSHA是先降低然后升高恢复到常年状态,而南海南部SSHA变化则要复杂和剧烈一些。

3.2.3 恢复阶段

该阶段SSHA恢复的快慢以及SSHA分布与El Niño过后是否发生La Niña有很大关系。1994—1995年和1997—1998年El Niño后均发生了La Niña。1994—1995年El Niño后Niño3系数从1995年2月的0.48降到1996年3月的-0.15。1997—1998年El Niño后Niño3系数从1998年5月的1.14降到1998年6月的-0.37。这两次都是直接从El Niño进入La Niña,在El Niño恢复阶段整个南海SSHA到0cm左右(见图3(9502)(9805)),中部偏低,南部和北部偏高。2002—2003年El Niño后没有发生La Niña,恢复阶段的SSHA分布(见图3(0301))与1994—1995年和1997—1998年El Niño鼎盛阶段末期的分布相似,但该年份的SSHA过渡比较缓慢。

3.3 南海及赤道太平洋SSHA与海温以及大气环流的关系

3.3.1 南海与赤道太平洋SSHA的EOF分析

赤道太平洋SSTA的第一模态为ENSO模态^[2]。我们对南海和赤道太平洋区域(20°S—20°N, 105°E—275°E)的SSHA做EOF分析,前5个模态的方差贡献分别为51.1%、15.0%、6.9%、4.0%和2.5%,累计方差贡献为79.5%。SSHA做EOF分解出的第一模态空间分布(见图4a)和SSTA做EOF分解出的第一模态空间分布(文中未给出该图)几乎一样,即赤道太平洋东部和西部SSHA是相反变化的,

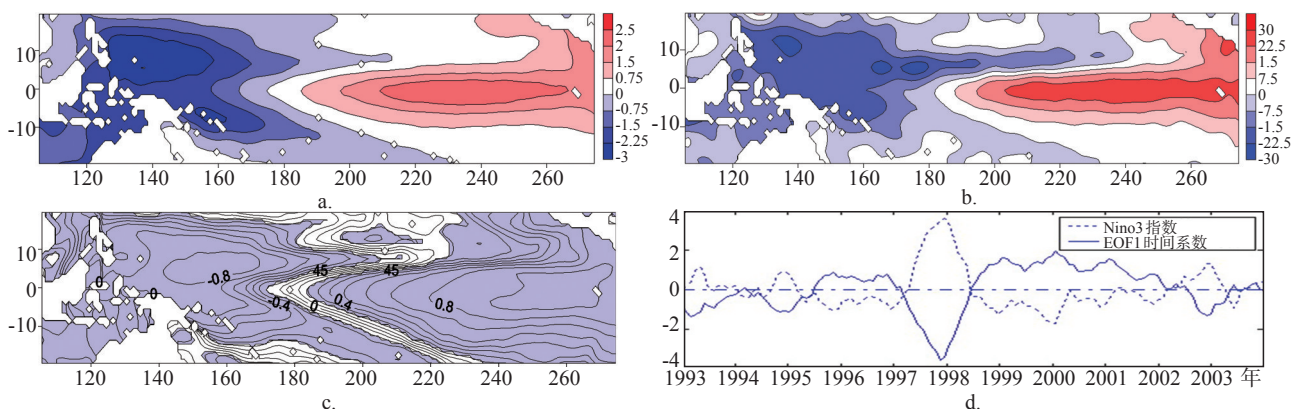


图4 a.南海和赤道太平洋SSHA的EOF1的空间分布,b.南海和赤道太平洋El Niño最鼎盛阶段SSHA分布,c.南海和赤道太平洋SSHA和Niño3指数的相关系数分布,d.南海和赤道太平洋SSHA的EOF1时间系数和Niño3指数

与El Niño最鼎盛阶段SSHA分布(见图4b)相似(该图选取1997—1998年El Niño中Niño3指数最大的月份代表鼎盛阶段SSHA分布)。南海和赤道太平洋SSHA和Niño3指数的相关系数分布图(见图4c),其中阴影部分通过了置信度为95%的T-检验。从图4c中可以看出南海区域SSHA和Niño3指数主要是负相关。南海和赤道太平洋海域EOF1的时间系数与Niño3指数(见图4d)的相关系数达到-0.92。南海和赤道太平洋整体做EOF分解EOF1在南海区域的分布和单独在南海做EOF分解得出的EOF1的空间分布是一致的,这充分体现了赤道西太平洋和南海SSHA变化的一致性,并进一步支持了南海EOF1表现的是ENSO模态。

3.3.2 南海SSHA与海温的关系

在赤道太平洋海域由海温变化引起的比容海面变化是该区域海平面变化的重要因素^[14]。本文采用的三维温度场,在25 m以上是OISST资料,25 m到1500 m来源于WOA01资料。依据热膨胀系数(Knauss, 1978)^[15]计算由海温变化引起的比容海面变化^[14]:

$$\Delta H(\alpha, \lambda, t) = \sum_{i=1}^{22} C(T_i, p_i) T(\alpha, \lambda, i, t) H_i$$

在南海,比容变化引起的海平面变化达7.7 cm,占总海平面变化的39.3%。在季节变化明显的南海北部(10.0°N以北)比容海面变化对海平面变化的贡献更为显著:南海10.0°—23.5°N海区为66.3%,1.5°—10.0°N海区为29.9%。所以整个

南海海域SSHA的EOF1呈现这种模态的主要原因之一是海温变化。

3.3.3 南海SSHA与大气环流的关系

大气强迫也是南海SSHA变化的重要原因,El Niño的鼎盛阶段赤道太平洋的信风会减弱^[13],强El Niño发生时赤道北太平洋甚至会发展成偏西风,这种西风异常可以激发出向东传的海洋暖Kelvin波^[16],有利于西太平洋及南海表层的暖水向东输送,使得东太平洋温跃层厚度和海面高度增大。

如上所述,东、西太平洋的海面高度成相反变化(见图4a),而南海和西太平洋的海面变化几乎一致。为进一步研究El Niño期间南海SSHA的变化与赤道西太平洋(10°S—10°N、120°—160°E)SSHA的详细变化以及与大气Hadley环流和Walker环流的对应关系,给出南海SSHA与赤道西太平洋SSHA、赤道西太平洋海面纬向风异常(SSUA)和南海海面经向风异常(SSVA)在的变化(见图5)(为了便于观察南海和西太平洋SSHA变化,西太平洋的SSHA缩小为原始值的1/4)。本文的经向风资料取北风为正,纬向风取西风为正向。

El Niño先兆阶段,南海海面高度最初开始下降不是赤道西太平洋海面高度下降引起的。El Niño发生时,南海和赤道西太平洋的海平面呈明显的同步下降趋势(见图5),并且赤道西太平洋到达SSHA极低值的时间和南海到达SSHA极低值的时间也几乎在同一个月,El Niño时期他们的同步相关系数是0.80,南海SSHA滞后赤道西太平洋SSHA一个月的相关系数是0.81,南海SSHA超前赤道西太平洋

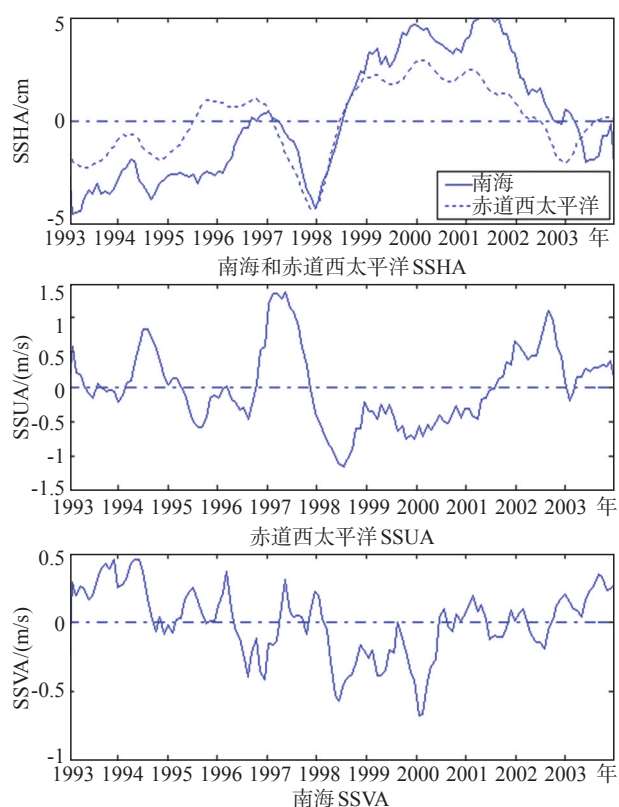


图5 南海SSHA、赤道西太平洋SSHA、赤道西太平洋SSUA、南海SSVA的时间序列

SSHA一个月的相关系数是0.78。南海SSHA滞后赤道西太平洋SSHA一个月的相关系数最大说明赤道西太平洋海面高度的下降比南海海面高度下降的时间有所提前,因此El Niño先兆阶段南海海面高度最初开始下降与赤道西太平洋海面高度的下降有联系。且赤道西太平洋海面高度的下降会促进南海海面高度在El Niño鼎盛阶段下降。

南海海域大气底层的偏北风加强是El Niño发生初期南海海面下降的原因之一。南海位于Hadley环流区内(Hadley环流的上升支在 5°S 附近,下沉支在 30°N 附近)。Hadley环流的加强是El Niño先兆阶段的重要特征^[17]。El Niño先兆阶段经向风异常为正(见图5),表明此时偏北风比常年要大,会产生比常年更强的向南流动的风生流,使南海水体向南输送,并导致南海海面整体下降。

赤道西太平洋的海温降低和大气底层偏西风的加强是促进南海海面下降的又一原因。赤道太平洋上空是强烈的Walker环流,非El Niño期间赤道西太平洋上空是Walker环流的上升支,为东、西风的辐聚区;而El Niño期间这个辐聚区东移,赤道西太平洋上空主要是偏西风^[13]。赤道西太平洋上空常年吹

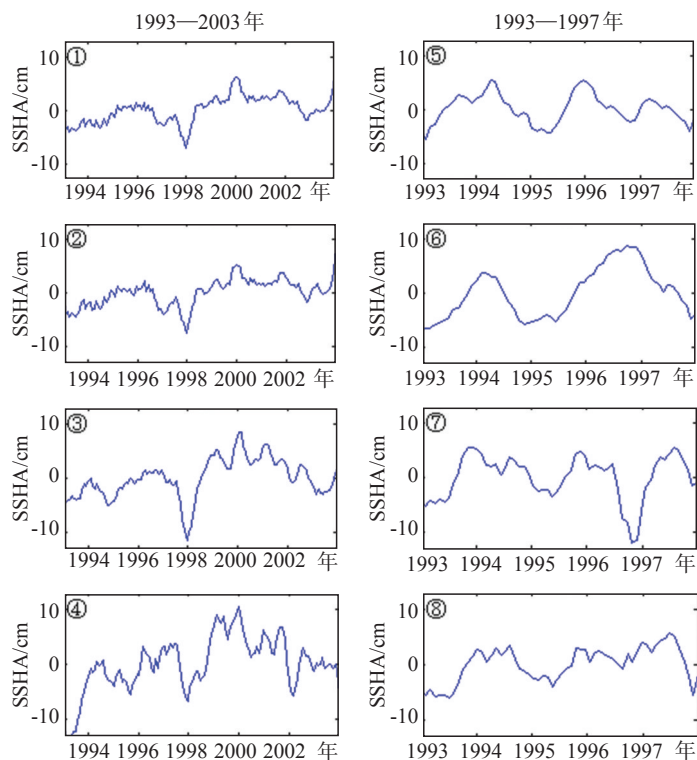


图6 南海周边8个验潮站观测到的海表面高度距平值的时间序列

偏东风, El Niño 期间偏西风异常为正(见图 5), 即该海域上空偏东风减弱, 纬向西风异常会使得向西的风生流比常年减弱, 东太平洋表层的暖水向西的输送要大大减少, 西太平洋暖水区的表层海温降低, 表层海水温度降低和海水的流失使西太平洋的海面高度大幅降低。此时南海和西太平洋之间形成了正的海面高度梯度, 进而使南海表层暖水向西太平洋输送, 南海海面高度降低, 直到 El Niño 的鼎盛时期南海和赤道西太平洋海面高度都到达了极低值。在 El Niño 鼎盛期过后的恢复阶段, Walker 环流逐渐趋于非 El Niño 期间的状态, 由西风由正异常转变成负异常, 西风减弱, 东、西赤道太平洋间的海面梯度使得海水由东太平洋流向西太平洋输送, 此时大气 Hadley 环流低空的偏北风减弱, 西太平洋有部分海水流向南海, 南海的海面高度也逐渐恢复到常年状态。

3.4 El Niño 南海海面高度变化的特征

为研究 El Niño 期间南海沿岸验潮站月均海面高度的变化特征。图 6 给出了南海沿岸 8 个验潮站(站点位置见图 1)的月均海面高度异常(SSHA)时间序列。可以看出 El Niño 期间各验潮站海面高度变化较为显著。

处于南海南部的验潮站①、②、③在 1997 年底至 1998 年初的强 El Niño 期间的 SSHA 达到了 11 年观测值的最小, 处于南海北部区域的验潮站④的这个低值则表现的没有南海南部验潮站明显。因为南海南部更接近于 El Niño 影响的中心区域, 所以受 El Niño 影响比南海北部明显。⑤、⑥、⑦、⑧ 4 个验潮站因为观测时间原因没有捕捉到 1997—1998 期间 El Niño 水位变化的全过程, 但从图中可以看到 1997 年底 SSHA 也都处于相对低点, 且从这 4 个验潮站资料可以看出 1994—1995 年 El Niño 期间 SSHA 处于相对低点。站点资料观测值说明了 El Niño 期间, 南海区域内海面高度会出现该月份多年一遇的低值。

4 结论

本文使用 EOF 分解、相关分析等统计方法对南海 SSHA 进行了研究, 证实了南海 SSHA 的 EOF 第一模态为 ENSO 模态, 方差贡献达到 44.7%。该模

态的特征是 SSHA 由南海西南部向东部倾斜变化。

El Niño 期间南海 SSHA 的分布与 El Niño 的特征有关。先兆阶段南海西南部至南海中央海盆南侧为 SSHA 正值区, 中沙、西沙群岛附近为负值区。鼎盛阶段初期南海表层海水主要是通过南海东部海峡与赤道西太平洋的海水相互交换使得吕宋岛以西的南海中部海区 SSHA 是负值区, 进而有南部和北部的海水向南海中部补充; 印度洋向南海水体的补充使得南海形成 SSHA 南高北低的分布状态, 与 EOF 第一模态的分布是一致的。恢复阶段 SSHA 分布总体是南海中部偏低, 南部和北部相对偏高, 恢复阶段 SSHA 恢复的快慢以及 SSHA 分布与 El Niño 过后是否发生 La Niña 有很大关系。

将南海和赤道太平洋作为一个整体进行研究, 做 EOF 分解南海呈现的模式和单独对南海进行 EOF 分解的分布相同。El Niño 期间, 南海的 SSHA 和赤道西太平洋的 SSHA 分布位相变化较为一致; 且南海 SSHA 开始降低的月份和赤道西太平洋同步, 因此 El Niño 先兆阶段, 南海海面高度开始下降不是赤道西太平洋海面高度下降引起的。对 SSHA 与南海区域 SSVA 进行分析发现, 导致 El Niño 期间南海海面下降的直接原因是南海区域 SSVA 偏北风加强, 即 Hadley 环流的加强。

赤道西太平洋海面高度的降使南海和赤道西太平洋间形成一个正的海面梯度从而促进南海海面高度进一步降低, 直到 El Niño 鼎盛时期以后温度场、风场都趋于正常时, 南海 SSHA 也逐渐恢复。整个 El Niño 阶段南海海面变化与南海海温的变化、Hadley 环流的变化以及赤道上空 Walker 环流的变化紧密联系在一起。

南海海面高度变化季节性较明显, 爆发于下半年的 El Niño 期间, 正值南海区域海面高度一年中的高水位, 会使一年中的高水位较常年偏低。

参考文献:

- [1] Rasmusson E M, Wallace J M, Meteorological aspects of El Niño / Southern Oscillation[J]. Science, 1983, 222: 1195-1202.
- [2] Latif M, Barnett T P. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America[J]. Science, 1994, 266: 634-637.
- [3] 吕俊梅, 琚建华, 张庆云, 等. 太平洋海温场两种不同时间尺度气候模态的分析[J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 30-37.
- [4] 刘克修, 马继瑞, 许建平, 等. 用 TOPEX/Poseidon 资料研究南海潮汐和海面高度季节变化[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(3): 55-63.

- [5] 刘秦玉,贾英来,杨海军,等.南海北部海面高度季节变化的机制[J].海洋学报,2002,24(S1):134-141.
- [6] Liu Q Y, Jia Y L, Wang X H, et al. On the annual cycle characteristics of the sea surface height in South China Sea[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(4): 613-622.
- [7] 王正涛,李建成,晁定波,等.利用卫星测高数据研究海面高月异常变化与厄尔尼诺现象的相关性[J].武汉大学学报(信息科学版),2004,29(8):699-703.
- [8] 李坤平,房宪英,刘丽慧,等.海平面变化对厄尔尼诺事件的响应[J].黄渤海海洋,1994,12(2):10-17.
- [9] 李立.中国东南沿岸海面相对厄尔尼诺的响应[J].台湾海峡,1987,6(2):132-138.
- [10] 于克俊.中国东部近海沿岸平均海面变化的分析[J].海洋与湖沼,1985,16(2):127-137.
- [11] 胡基福.气象统计原理与方法[M].青岛:青岛海洋大学出版社,1996,314.
- [12] 潘华盛,董淑华.两种类型的厄尔尼诺事件对大气环流及黑龙江省低温洪涝的影响[J].自然灾害学报,1998,7(2):61-66.
- [13] Philander S G H. El Niño Southern Oscillation phenomena[J]. *Nature*, 1983, 302: 295-301.
- [14] Chen J L, Shum C K, Wilson C R, et al. Seasonal sea level change from TOPEX/Poseidon observation and thermal contribution[J]. *J Geodesy*, 2000, 73: 638-647.
- [15] Knauss J A. Introduction to physical oceanography[M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1978, 319-321.
- [16] Huang R H, Zang X Y, Zhang R H, et al. The westerly anomalies over the Tropical Pacific and their dynamical effect on the ENSO cycles during 1980-1994[J]. *Advance in Atmospheric Sciences*, 1998, 15: 135-151.
- [17] 吴国雄, Cubasch U. El Niño 海温异常对纬向平均经圈环流及大气输送特征的影响[J]. *中国科学(B辑)*, 1986, 10: 1109-1120.

Correlation between the sea surface height anomaly and ENSO in the South China Sea

SHEN Chun^{1,2}, DU Ling³, ZUO Jun-cheng², LI Lei³, LI Pei-Liang³

(1. Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing, 211101 China; 2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing, 210098 China; 3. Department of Marine Meteorology, Ocean University of China, Qingdao 266003 China)

Abstract: Using Empirical Orthogonal Function method, the SSHA, SSTA, SSUA and SSVA data in the South China Sea (SCS) and the tropical Pacific Ocean are studied. The SSHA during ENSO event can well explain that of the spatial patterns of the first EOF mode which accounts for 44.7 % of the model variance. During El Niño period, the SSH in the whole basin of the SCS decreases and the spatial distributions of SSHA can be quite different from one to another. The SSHA minimum still occurs in the middle of the basin during the precursors phase. But during the peak phase, as the anomaly in the south increases, a tilt with larger SSHA in the south and smaller SSHA in the north is built up in the basin. While during the returning phase, the distribution of SSHA can be different depending on whether there will be a La Niña event after the El Niño. The SSHA in the SCS relates well with the atmosphere circulation. During El Niño period, the strengthen of Hadley cell makes the water exchange increase between the east of the SCS and the west tropical Pacific Ocean. The decrease of the sea-surface temperature and the loss of the sea water make the SSH fall down. The changes of the structure and intensity of the Walker cell can also count on the falling SSH. During the El Niño, the sea surface height is lower than other years.

Key words: the South China Sea; sea surface height anomaly; El Niño, Hadley cell; Walker cell