

基于 11 年高度计数据的中国海海平面变化初步研究

乔新^{1,2}, 陈戈

(1. 中国海洋大学 海洋遥感研究所, 海洋遥感教育部重点实验室, 山东 青岛 266003; 2. 青岛市勘察测绘研究院, 山东 青岛 266033)

摘要: 利用 1992 年 10 月~2004 年 1 月共 11 a 的 TOPEX/Poseidon (T/P) 和 Jason-1 高度计数据, 对中国海海平面的时空变化做了初步分析, 并且对 11 a 间海平面的上升速率进行了分析。研究发现中国海海平面 11 a 间的一些基本的变化特征: (1) 11 a 间中国海海平面变化被两次厄尔尼诺-拉尼娜现象分成了 5 个阶段; (2) 中国海海平面变化以 1 a 周期为主, 其中黄海和东海变化较为相似, 以 1 a 周期信号为主, 而渤海则还有 2 个月的周期信号, 南海还有 0.5 a 信号; (3) 11 a 间, 渤海海平面变化振幅最大, 黄海和东海次之, 南海变化最小, 南海海平面变化受厄尔尼诺-拉尼娜事件影响程度最大, 黄海和东海次之, 渤海最小; (4) 中国海海平面的上升速率为 0.593 cm/a, 渤海、黄海、东海、南海的上升速率依次为 0.365, 0.517, 0.683, 0.611 cm/a。分析结果为中国海海平面的变化规律、厄尔尼诺现象对中国海海平面变化的影响以及对未来海平面上升趋势的预测提供了有力的依据。

关键词: 海平面变化; 中国海; TOPEX/Poseidon; Jason

中图分类号: P229.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)01-0060-05

随着 1992 年 TOPEX/Poseidon (以下简称 T/P) 卫星的发射升空, 卫星海洋遥感已经逐渐发展成为一种重要的海洋和大气观测手段。T/P 卫星最主要的就是高度计数据, 而海平面变化研究则是高度计在海洋观测研究中的一个典型应用。许多学者利用高度计数据对中国海海平面进行了研究分析^[1-3], 但是他们利用的数据时间序列都较短, 作者利用迄今为止时间最长的 11.3 a 的 T/P 高度计数据对中国海海平面的时空变化进行了分析, 得出了一些较为新颖的结论, 为中国海海平面变化的研究提供了有力的依据, 是高度计数据在海平面变化分析研究中的一个较为成功的应用。

1 数据

作者所用的数据是由美国国家宇航局 (National Aeronautics and Space Administration, 简称为 NASA) 和法国空间局 (Centre National d'Etudes Spatiales, 简称为 CNES) 联合发射的 T/P 以及 Jason-1 所获取的高度计数据。这些数据是迄今为止时间序列最长、数据质量最高的高度计数据, 对于研究海洋学现象有着非常重要的意义。作者使用了 T/P 和 Jason-1 在 1992 年 10 月~2004 年 1 月间共 11.3 a 的网格化海平面距平 (Maps of Sea Level Anomaly: MSLA) 数据, 它们按照莫卡托投影分布在 66°S 和 66°N 之间, 赤道上的空间分辨率为 $1/3^\circ \times 1/3^\circ$, 时间分辨率为 7 d^[4]。作者选用中国海 (105°~135°E, 0°~45°N) 范围内共 13 741 个点的数据, 其中渤海、黄海、东海和南海的范围分别为: 117.5°~122°E,

37°~41°N; 119°~126°E, 33°~37°N; 120°~127°E, 26°~33°N 和 110°~119°E, 14°~23°N^[1]。

2 中国海海平面变化分析

作者对中国海 11 a 的海平面距平 (Sea Level Anomaly: SLA) 经过空间平均, 获得图 1a 所示的时间序列, A_i 为海平面距平值, 图中较平缓的曲线是经过多点平滑后的结果。可以看出中国海海平面的变化有显著的 1 a 周期性, 夏秋季节达到高值, 春冬季节达到低值。从曲线的整体趋势看, 11 a 间中国海的海平面变化可以分为 5 个阶段 (见图 1a 中的 1, 2, 3, 4, 5): (1) 1993 年、1994 年保持水平趋势; (2) 1995 年、1996 年为海平面上升年; (3) 1997~1999 年为厄尔尼诺-拉尼娜年, 1997 年海平面下降, 1998 年开始上升, 1999 年的距平值达到最高, 为 13 cm; (4) 1999 年到 2001 年海平面成水平趋势; (5) 从 2001 年开始呈下降趋势。其中, 厄尔尼诺年 1997 年和 2002 年的海平面距平非常低, 为 -2 cm, 1997 年夏季海平面比 1996 年夏季低 5 cm, 2002 年夏季的海平面比 2001 年夏季低 4 cm; 而拉尼娜年 1999 年夏季的海平面则达到了这 11 a 内的最高值, 比 1998 年

收稿日期: 2004-11-12; 修回日期: 2005-05-08

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目 (40025615)

作者简介: 乔新 (1981-), 男, 山东淄博人, 工程师, 主要从事测绘、GIS 以及海洋遥感研究, 电话: 0532-83773085; 陈戈, 通讯作者, 教授, 电话: 0532-82032424, E-mail: gechen@public.qd.sd.cn

高出近 5 cm。这说明厄尔尼诺事件会降低海平面，

而拉尼娜事件则会抬升海平面。

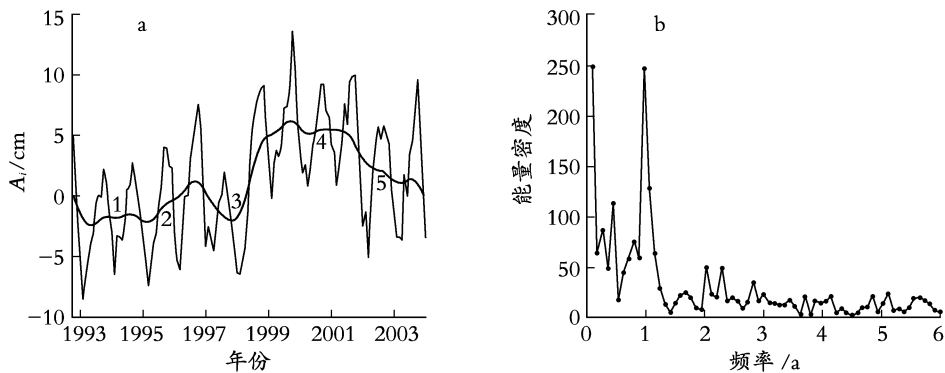


图 1 1992 年 10 月 ~ 2004 年 1 月的中国海海面距平时间序列 (a) 及其谱分析结果 (b)

Fig. 1 Time series (a) and frequency analysis (b) of sea level anomaly in China Sea (Oct. 1992 ~ Jan. 2004)

厄尔尼诺期间,赤道西风增强,热带西太平洋的暖水自西向东运输,东太平洋海平面升高,海水变暖,西太平洋海水变冷,海平面下降。另一方面,在厄尔尼诺事件发生的冬半年里,东亚及西太平洋地区的大气环流有明显的异常发生,环流异常的基本特点是东亚高空槽和地面寒潮活动既强又频繁。冬季频繁和强烈的寒潮活动,必然导致海平面下降,出现明显的负距平值,所以在厄尔尼诺事件形成和发展过程中,东亚及西太平洋海平面明显下降^[5]。所以,热带海洋和大气两方面的变化直接导致了海平面的下降。而且虽然厄尔尼诺主要发生在热带,但是 Yamagata^[6]指出,厄尔尼诺影响的热带区域的海

洋和大气变化,通过西边界流(黑潮)的变化,也可表现在中高纬度。相应的,在拉尼娜年期间,菲律宾周围的热带西太平洋海温升高;在此海区就有大量的对流活动产生,从而造成西太平洋副热带高压偏北,这时西北太平洋水温升高,黑潮流动加强,有利于海平面上升,海平面变化振幅也较大^[7]。

图 1b 是对中国海 11 a 的海平面距平序列做完频谱分析之后得到的结果,可以看出中国海海平面变化的主要周期为 1 a 周期、3 ~ 4 a 周期的 ENSO 信号以及 0.5 a 周期信号。

4 个海域在 11 a 间的海平面变化情况是不一样的(图 2)。A_i 为海平面距平值。渤海海平面变化在

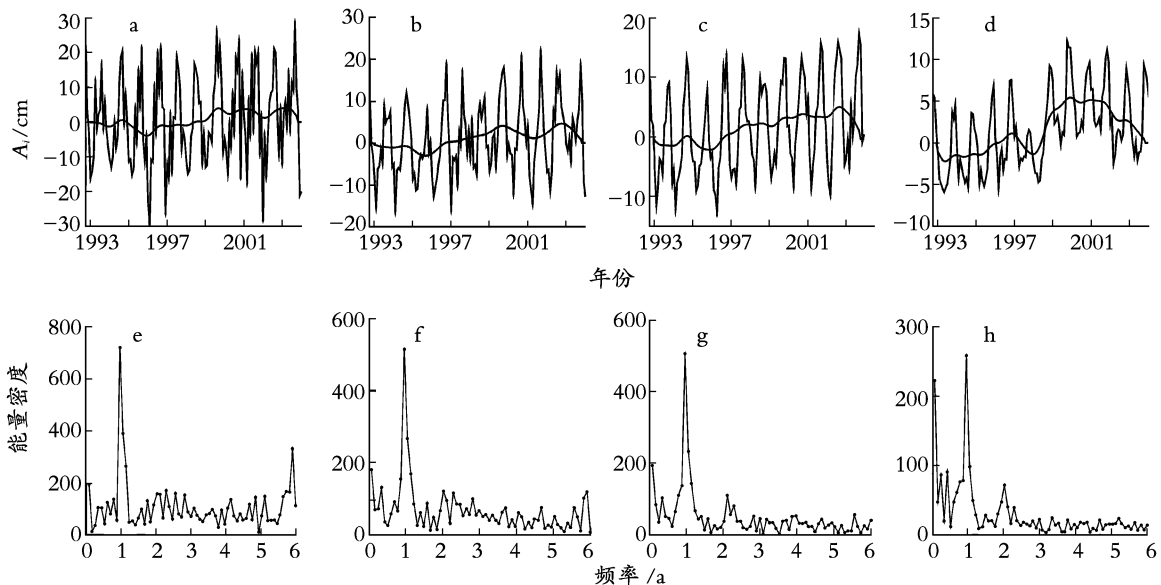


图 2 1992 年 10 月 ~ 2004 年 1 月的海平面距平和谱分析结果

Fig. 2 Sea level anomaly and frequency analysis results from Oct. 1992 to Jan. 2004

a, e. 渤海; b, f. 黄海; c, g. 东海; d, h. 南海

a, e. the Bohai Sea; b, f. the Yellow Sea; c, g. the East China Sea; d, h. the South China Sea

11 a 间较为平稳,基本呈水平趋势,振幅比较大,在 50~60 cm 之间。频谱分析表明渤海的海平面变化除了有明显的 1 a 周期变化之外,还有 2 个月的周期变化。黄海海平面变化的规律性比渤海强,振幅为 40 cm,变化周期主要为 1 a。东海是 4 个海域中变化最为规律的,11 a 间一直呈小幅上升趋势,振幅比黄海小,为 30 cm,其 1 a 周期信号非常明显。南海海平面的振幅是四个海域中最小的,只有 20 cm。南海 11 a 间的海平面变化趋势与中国海较为相似。南海的变化频率较为复杂,除了 1 a 周期信号,还有 0.5 a 期信号。这与王勇^[8]、程芦颖等^[9]、詹金刚^[3]的结果是一致的。

厄尔尼诺和拉尼娜对 4 个海域海平面的变化也有影响,不过程度各不相同。渤海在厄尔尼诺年和拉尼娜年的海平面异常不太明显,1998 年夏季海平面略有下降。黄海在 1998 年和 2002 年夏季都有小幅下降,只有 20 cm。东海海平面在 1998 年夏季略有下降,但是在 2002 年没有异常出现。南海是四个海域中受厄尔尼诺-拉尼娜事件影响最明显的,1997 年海平面最大值比 1996 年的最大值低 6 cm,1999 年冬季的海平面比正常年高 3~4 cm,2002 年春季海平面是 2000 年以来最低的。而且 1997,1998 年的厄尔尼诺在 1997 年就有体现,这比黄海和东海都要早,黄海和东海的海平面在 1998 年才有较为明显的下降。

究其原因,南海靠近热带西太平洋,受西太平洋及黑潮影响比其余 3 个海都大,因而发生在热带海域的厄尔尼诺和拉尼娜事件对其影响程度要比其余 3 个海要强,时间上也要早。另外渤海属于半内陆海,黄海和东海属于大陆架海,而南海则属于盆地海,3 个海域分别有着不同的地质类型、临岸开阔程度以及外海输入,使海平面在时空变化上呈现出不同的特点。

另外,在厄尔尼诺年的海平面变化振幅都要普遍偏小,黄海在 1998 年的振幅只有 20 cm,南海在 1997 年夏季海平面变化振幅只有 5 cm。

3 中国海海平面升降速率分析

于宜法^[10]介绍了计算海平面升降速率的方法: Barnett 方法,从经验出发确定显著周期振动的方法,改进的月平均水位周期信号的谱分析方法,灰色系统分析方法、从长期水位资料调和确定长周期成分的方法,本征分析和随机动态联合模型,经验模态分解方法以及随机动态分析预测模型等。

本研究采取了 6 个周期振动,这样就去掉了它的 1 a 信号、0.5 a 信号、4 个月周期信号、3 个月信号、2.4 个月周期信号和 2 个月周期信号,方程式如下:

$$A_i = at_i + b + \sum_{k=1}^6 [a_k \cos(2k t_i / T) + b_k \sin(2k t_i / T)]$$

式中, A_i 为第 i 个月的海平面距平, t_i 为第 i 个月的序号(也就是 i), k 为谐波数,这里从 1 取到 6, b 为海平面距平的多年平均值, a 是长期变化线性趋势项,就是所要求的上升速率。

图 3 是中国海海平面升降速率图。从图中可以看出,98% 的中国海 11 a 间的海平面是呈上升趋势的,只有江苏沿海地区以及台湾海峡西侧呈现小幅下降趋势。而长江入海口以北的吕四沿海(122.5 °E, 32.5 °N)则达到 1.5 cm/a 的最大上升速率;渤海湾塘沽附近海域(118 °E, 38 °N)、浙江沿海区域(121.5 °E, 22.5 °N)、台湾岛东侧(124 °E, 22 °N)、菲律宾群岛东西两侧(123.5 °E, 17 °N; 117.5 °E, 14.5 °N)都达到了 1.0 cm/a 的较高的上升速率。升降趋势的分布形态与李立的结果^[2]以及郑文振的结果^[11]是一致的,但是幅度较小,李立测得在菲律宾群岛西侧的上升速率达到了 2.7 cm/a,在东侧也达到了 2.2 cm/a 的高速。

整个中国海的平均上升速率为 0.593 cm/a。其中,渤海为 0.365 cm/a,黄海为 0.517 cm/a,东海为 0.683 cm/a,南海为 0.611 cm/a。由此可见,东海的上升速率最大,南海较大,黄海其次,而渤海的上升速率最小。

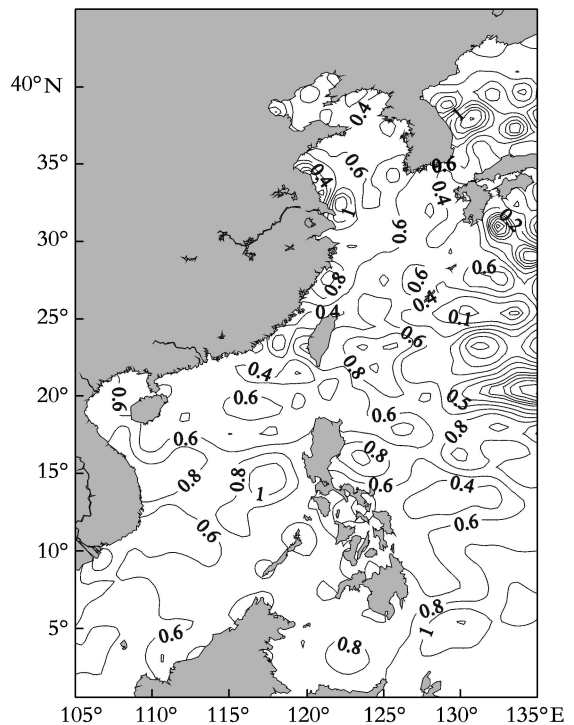


图 3 1992 年 10 月~2004 年 1 月中国海升降速率(cm/a)
Fig. 3 Rise rate of the China Sea level from Oct. 1992 to Jan. 2004 (cm/a)

虽然许多学者计算出的海平面上升速率^[12]没有像本研究中做出的这么高,但是他们用的都是验潮站的资料,数据代表性较差。另一方面,海平面的上升速率是越来越快的,许多国际机构对未来海平面上升情况的预测与本研究结果较为相符:日本政府间气候委员会预测从1990年到2030年全球海平面将上升18 cm,而联合国教科文组织(UNESCO)预测从1990年到2030年海面将上升40 cm。另外,根据中国科学院地学部委员会“关于‘海平面上升对我国沿海地区经济发展的影响与对策’的咨询建议”的综合评估,预期从1990年到2050年海平面的上升幅度,在珠江三角洲为40~60 cm,在上海地区则为50~70 cm^[13]。

4 结论

利用 TOPEX/Poseidon 卫星高度计长达 11 a 的数据,研究发现了中国海海面 11 a 间的一些基本的变化特征:(1) 11 a 间中国海海面变化被两次厄尔尼诺-拉尼娜现象分成了 5 个阶段:a. 1993 年、1994 年保持水平趋势;b. 1995 年、1996 年为海平面上升年;c. 1997 年到 1999 年为厄尔尼诺-拉尼娜年,1997 年海平面下降,1998 年开始上升,1999 年达到 11 a 间的最高值;d. 1999 年到 2001 年海平面成水平趋势;e. 从 2001 年开始呈下降趋势。(2) 中国海海面变化以 1 a 周期为主,其中黄海和东海变化较为相似,以 1 a 周期信号为主,而渤海则还有 2 个月的周期信号,南海还有 0.5 a 信号。(3) 11 a 间,渤海海面变化振幅最大,黄海和东海次之,南海变化最小。南海海面变化受厄尔尼诺-拉尼娜事件影响程度最大,黄海和东海次之,渤海最小。(4) 中国海海平面的上升速率为 0.593 cm/a,渤海、黄海、东海、南海的上升速率分别为 0.365,0.517,0.683,0.611 cm/a,东海的上升速率最大,南海较大,黄海其次,而渤海的上升速率最小。菲律宾群岛东西两侧、台湾岛东南侧、长江入海口以北以及浙江沿海地区都是上升速率比较大的地方。

致谢:感谢张彩云博士研究生、方朝阳博士研究生在本研究中提出的指导性建议和帮助。

参考文献:

- [1] 王海瑛,许厚泽,王广运. 中国近海 1992~1998 海平面变化监测与分析[J]. 测绘学报,2000,29:32-37.
- [2] 李立,许金电,蔡榕硕. 20 世纪 90 年代南海海平面的上升趋势:卫星高度计观测结果[J]. 科学通报,2002,47(1):59-62.
- [3] 詹金刚,王勇,柳林涛. 中国近海海平面季节尺度变化的时频分析[J]. 地球物理学报,2003,46(1):36-41.
- [4] Fu L L, Christensen E J, Charles A, et al. TOPEX/POSEIDON mission overview [J]. *J Geophys Res*, 1994, 99(C12): 24 369-24 381.
- [5] 李崇银. El Nino 事件发生的一个重要原因——东亚寒潮的频繁活动[J]. 大气科学,1988,12(特刊):125-132.
- [6] Yamagata T, Shibao Y, Umatani S. Interannual variability of the Kuroshio Extension and its relation to the Southern Oscillation/ El Niño [J]. *J Oceanogr Soc*, 1985, 41: 274-281.
- [7] 李坤平,房宪英,刘丽惠,等. 海平面变化对厄尔尼诺事件的相应[J]. 黄渤海海洋,1994,12(2):11-17.
- [8] 王勇,许厚泽,詹金刚. 中国近海 TOPEX/Poseidon 卫星测高海平面变化的 CPCA 分析[J]. 测绘学报,2001,30(2):173-178.
- [9] 程芦颖,许厚泽. 用交叉点数据计算中国近海海平面变化[J]. 大地测量与地球动力学,2004,24(2):106-109.
- [10] 于宜法. 中国近海海平面变化研究进展[J]. 中国海洋大学学报,2004,34(5):713-719.
- [11] 郑文振. 全球和我国近海验潮站及任意地点(区)的 21 世纪海平面预测[J]. 海洋通报,1996,15(6):1-7.
- [12] 任美镔. 黄河长江珠江三角洲近 30 年海平面上升趋势及 2030 年上升量预测[J]. 地理学报,1993,48(5):385-393.
- [13] 中国科学院地学部. 海平面上升对中国三角洲地区的影响及对策(中国科学院院士咨询报告总第一号(地 01 号))[M]. 北京:科学出版社,1994.

A preliminary analysis on the China Sea level using 11 years' TOPEX/ Poseidon altimeter data

QIAO Xin^{1,2}, CHEN Ge

(1. Ocean Remote Sensing Institute, Key Laboratory of Ocean Remote Sensing Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Qingdao Geotechnical Investigation and Surveying Research Institute, Qingdao 266033, China)

Received : Nov. , 12, 2004

Key words : sea level variation; China Sea; TOPEX/ Poseidon; Jason

Abstract : Using the 11 years' TOPEX/ Poseidon-Jason altimeter data from Oct. 1992 to Jan. 2004, the authors do a preliminary analysis on the spatial-temporal variations of the China Sea level, and then analyze the rise rate of the sea level during the past 11.3 years. The results show some variation characteristics of the China Sea level in 11.3 a: (1) The sea level variation of the China Sea during 11.3 a is separated into 5 phases by El Nino-La Nina; (2) The major variation period is 1 a, and the variation of the Yellow Sea is similar to that of the East China Sea; (3) The variation amplitude of the Bohai Sea is the biggest, and that of the South China Sea is the smallest, El Nino-La Nina made a most effect on the South China Sea and a least effect on the Bohai Sea; (4) The rise rate of the China Sea level is 0.593 cm/a, and the rise rates of the Bohai Sea, the Yellow Sea, the East China Sea and the South China Sea are 0.365, 0.517, 0.683, and 0.611 cm/a respectively. The results supply an evidence for the research of China Sea level variation characteristics, effects of El Nino-La Nina on China Sea level variation and the predict of sea level rise rate.

(本文编辑:刘珊珊)