

江苏近岸海域水位变化特征分析

何佩东, 邬惠明, 曹兵, 高清清, 徐常三

(国家海洋局南通海洋环境监测中心站, 江苏 南通 226000)

摘要: 基于江苏沿海连云港、吕四两个测点的验潮站多年的观测资料以及 AVISO 卫星高度计资料, 利用统计分析和潮汐调和分析方法研究江苏沿海地区的海洋水位变化特征。结果表明: 江苏沿海海平面和潮差均呈上升趋势, 海平面上升速度达 3.35 mm/a, 高于全球和区域海平面的上升速度; 对采样间隔为 1 h 的潮位连续观测数据作调和与分析, 各验潮站主要半日分潮的振幅呈上升趋势, 全日分潮的振幅呈下降趋势, S_a 分潮的周期性变化与 El Nino 现象有关。

关键词: 海平面; 潮差变化; 调和与分析

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2020)02-0054-06

1 引言

随着全球气候变暖、极地冰盖和陆源冰川融化, 海平面不断上升, 据政府间气候变化专门委员会第四次报告估计, 到2100年全球海洋水位将上升60~100 cm, 沿海国家和地区的经济社会发展和人民生活受到严重威胁^[1]。

海平面变化、潮差变化和潮汐调和常数的变化是海洋水位变化的主要特征, 研究数据主要依赖于沿海验潮站的长期水位观测资料和卫星高度计资料^[2]。验潮站资料完整连续、精度高, 被广泛用于区域海洋水位变化的研究中。左军成等^[3]利用沿海各测站的资料对中国沿岸的海平面变化原因进行了探讨。林选跃等^[4]利用福建沿海4个验潮站多年潮位资料分析指出福建沿海海平面的年平均上升速率为0.5~2 mm/a并对未来50 a福建沿海海平面上升进行了预测, 上升速度为1.7 mm/a。姚玉娟等^[5]利用乐清湾潮位站多年观测资料, 分析该海域的潮汐的时空分布特征。国家海洋信息中心根据验潮站资料定期发布《中国海平面公报》, 2015年报告指出中国沿海海平面在不断上升, 1980—2014年平均上升速率为3.0 mm/a^[6]。验潮站由于其分布的局限

性对大区域的海洋水位变化刻画不足, 近年来随着遥感技术的发展, 卫星高度计资料得到了广泛的应用。Nicholls等^[7]利用1993—2009年的卫星高度计资料分析指出全球平均海平面上升的速率达到了 3.3 ± 0.4 mm/a。

江苏近岸海域位于黄海中南部, 全省海岸线954 km, 沿海地区人口密集、经济发达, 但沿海海域水深相对较浅, 有利于风暴潮能量的聚集和成长。特别是极端天气下引发的增减水, 往往引发严重的海洋灾害, 对江苏沿海地区产生深远的社会经济影响。虽然海平面上升是一个缓慢的过程, 但长年累月的结果足以对沿海经济发展和人民的生命安全带来多方面的不利影响^[4]。因此, 研究分析江苏海域的水位变化特征, 对江苏沿海的经济发展和防灾减灾具有非常重要的意义。本文利用江苏沿海连云港和吕四的长期验潮站资料以及卫星高度计资料, 研究江苏近岸海域的水位变化特征。

2 数据选择和研究方法

2.1 数据组成

本文使用江苏沿海连云港、吕四两个验潮站近

收稿日期: 2019-01-15; 修回日期: 2019-09-02。

基金项目: 国家海洋局东海分局青年科技基金(201626)。

作者简介: 何佩东(1989-), 男, 助理工程师, 硕士, 主要从事海洋环境动力学研究。E-mail: hpdriyue@163.com

20 a的水位连续观测资料,连云港测站的数据时间为1996—2015年,吕四测站的数据时间为1999—2015年,采样间隔为1 h。两个测站的数据是江苏沿海时间最长的台站数据,两个台站的数据均经过了订正和质控处理。卫星高度计资料采用的是AVISO提供的月均海面异常数据(Maps of Sea Level Anomalies, MSLA),空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间跨度为1999—2015年。在海平面变化计算过程中,采用了两个测站的气压数据和欧洲中期天气预报中心的再分析气压资料进行逆气压改正。

2.2 研究方法

本文主要采用线性回归分析的方法计算海平面变化趋势,并利用Mann-Kendall方法对趋势进行显著性检验。在海平面变化计算过程中,对原始资料进行了逆气压改正:

$$\delta = -9.948 \times (P - \bar{P}) \quad (1)$$

式中: P 为观测站点的气压值, \bar{P} 为全球平均气压,从理论上讲,经过逆气压改正后的海平面变化更合理,考虑逆气压改正后方差,相对不作逆气压改正时能提高20%^[8]。利用调和分析方法计算分析两个测站的观测资料,获取各个主要分潮的调和常数,分析其变化趋势。潮汐调和原理在诸多文献中有详细的说明,本文不再重新赘述。

3 研究结果

3.1 江苏沿岸海平面长期变化分析

海平面变化是海洋水位变化的主要特征,基于连云港和吕四的实测水位资料和卫星高度计资料,利用线性回归计算连云港、吕四以及整个江苏沿海的平均海平面变化趋势,所有趋势均通过了90%的显著性检验,分析结果见表1和图1。

整个江苏近岸海域海平面的变化具有明显的趋势性和波动性特征,总体而言呈上升趋势,1999—

2015年的平均上升速度为3.35 mm/a,其中北部沿海的上升趋势略高于南部沿海,北部近岸地区(连云港测站)上升速度为3.57 mm/a,南部近岸地区(吕四测站)的上升趋势为3.08 mm/a。对比2015年《中国海平面公报》公布的1980—2014年中国沿海海平面平均上升速度为3.0 mm/a,发现江苏近岸海域的水位上升速率略高于中国沿海平均上升速率,也就是说江苏近海是海平面上升较为剧烈的海域。

江苏近岸海域的海平面具有明显的季节变化特征,海平面较高的一般发生夏季,低海平面一般发生在冬季,海平面的年变化幅度在23~44 cm(见图2)。同时利用线性回归分析方法对江苏近岸海域海平面变化趋势的季节变化特征进行了分析,由表1可见,整个江苏近岸海域海平面上升速率在夏季达到最大为3.45 mm/a,冬季最小为3.11 mm/a。海平面的季节变化特征可能与江苏海域温度的季节变化有关。此外,冬季强大的季风引起该海域海平面下降、冬季冷性高压系统共同作用下导致冬季海平面上升趋势最小。

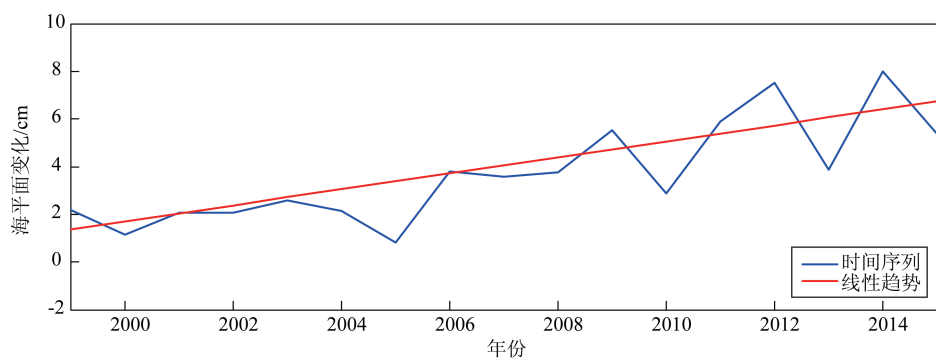
3.2 主要分潮调和常数分析

利用T_TIDE潮汐处理软件包对观测数据逐年进行调和,获取江苏沿岸连云港和吕四两个长期验潮站各个主要分潮的调和常数时间序列,并利用线性回归方法对各个分潮调和常数的变化趋势进行分析,结果如表2和图3所示。

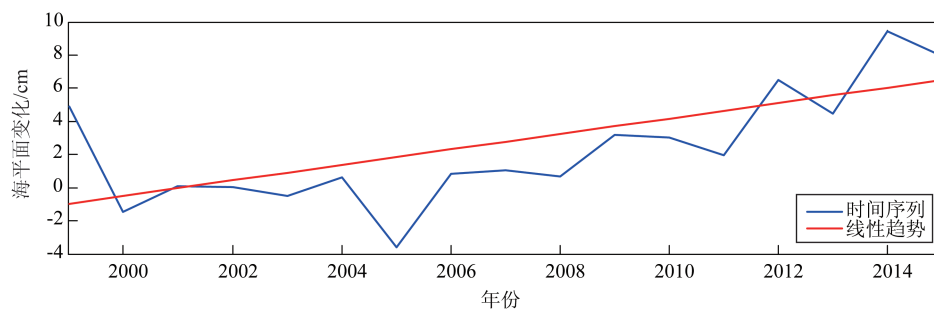
从分析结果来看(见表2、图3),江苏沿海两个验潮站各个分潮中,半日分潮占主要优势,10个主要分潮中 M_2 和 S_2 两个半日分潮最大。其中 M_2 分潮占绝对地位,其振幅时 S_2 分潮2—3倍。各个天文分潮的振幅和迟角都有一定的长期性变化趋势。主要半日分潮振幅呈上升趋势, M_2 分潮的上升速度在2.00 mm/a以上;主要全日分潮呈下降趋势, K_1 和 O_1 分潮的下降速度超过-0.20 mm/a;气象分潮 S_a 的振幅在沿海北部呈减小趋势,减小速度为0.37 mm/a,在沿海南部则呈上升趋势,上升速度为0.47 mm/a。

表1 江苏近岸海域平均海平面和季节变化趋势(单位:mm/a)

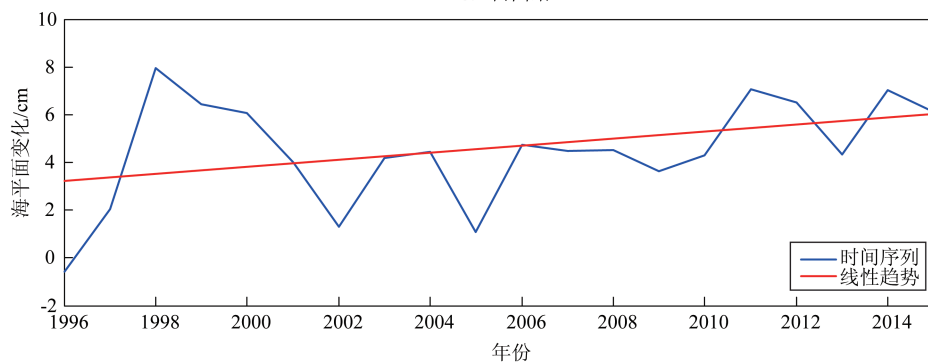
海域	观测时间	春季	夏季	秋季	冬季	年均值
连云港	1996—2015年	3.53	3.69	3.67	3.49	3.57
吕四	1999—2015年	2.84	3.17	3.12	2.52	3.08
江苏	1999—2015年	3.25	3.45	3.38	3.11	3.35



a. 江苏近岸海域



b. 吕四站



c. 连云港站

图1 不同海域海平面变化趋势

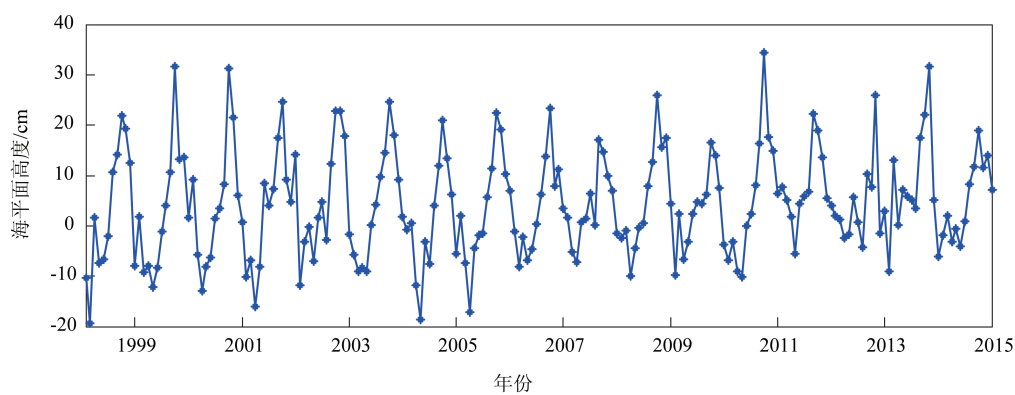
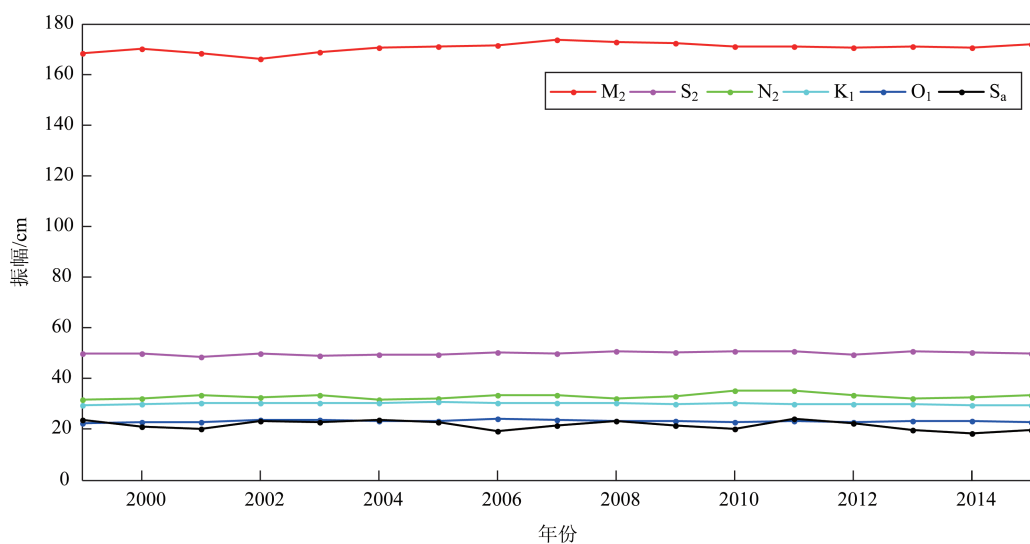


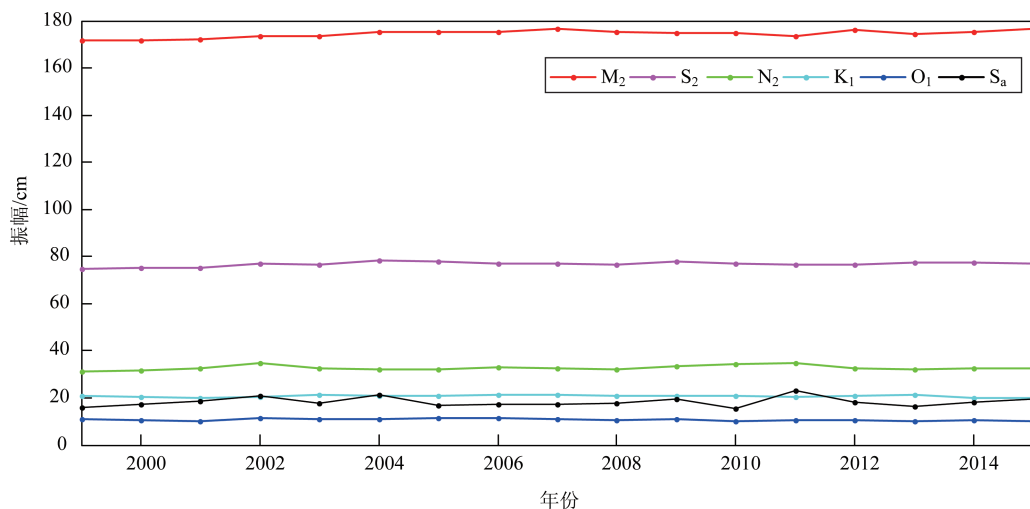
图2 江苏近岸海域月均海平面高度

表2 连云港、吕四测站各主要分潮调和常数长期性变化趋势

站名	调和参数	分潮									
		M_2	S_2	N_2	K_2	K_1	O_1	P_1	Q_1	S_a	S_{sa}
连云港	振幅	2.05	0.59	0.69	-0.16	-0.27	-0.25	-0.07	-0.18	-0.37	-0.07
	迟角	-0.08	0.07	0.01	-0.21	-0.12	0.02	-0.24	-0.40	-0.57	0.51
吕四	振幅	2.27	0.93	0.45	0.23	-0.20	-0.43	-0.08	-0.29	0.47	0.12
	迟角	-0.06	-0.05	-0.07	-0.01	-0.04	0.25	-0.61	-0.85	-0.59	0.46



a. 连云港站



b. 吕四站

图3 两个验潮站主要分潮振幅年变化

由图3可知,各个天文分潮振幅的变化幅度较小,而年周期为1a的气象分潮 S_a 振幅的变化相对于天文分潮明显呈现较大波动。可以看出,整个江苏

沿海的 S_a 分潮的变化基本相同,而且其变化与厄尔尼诺密切相关^[9]。自1996年以来出现的厄尔尼诺事件(1997/1998年、2002/2003年、2006/2007年、2009/

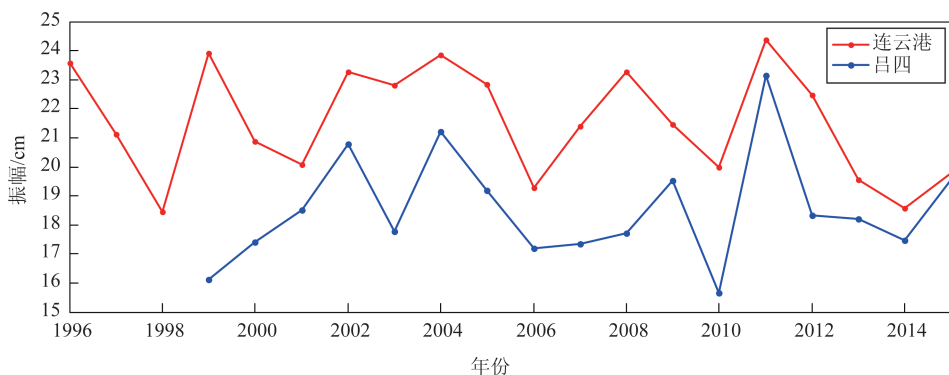
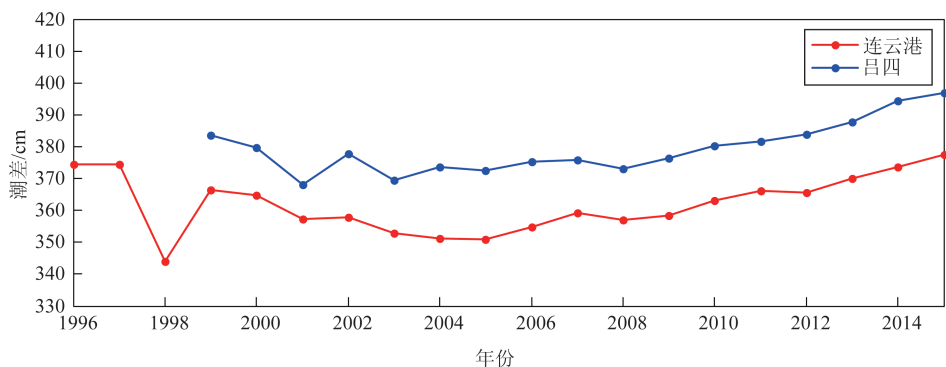
图4 江苏沿海 S_a 分潮振幅年变化

图5 江苏沿海潮差年变化

2010年、2014/2015年),江苏沿海的 S_a 气象分潮振幅在1997年、2003年、2006年、2010年和2014年较相邻年份比均偏低。说明厄尔尼诺现象会导致 S_a 振幅下降,个别事件会出现振幅提前偏低的现象^[10]。

3.3 江苏沿海潮差分析

在近岸海域,由于潮波在传播过程中除了受引潮力的作用外,还与海底地形、海陆分布、地转偏向力以及气候等因素相关。近岸海域潮汐特征和性质与外海相比会有很大变化。潮差是反映潮汐强弱程度的一个重要指标,也是海岸带水域的一种主要的动力资源,潮差的分布、变化规律对航运交通、潮汐能源等有重要的参考价值^[6]。

本文基于统计方法计算出江苏沿海两个验潮站的年平均高潮位(Mean High Water, MHW)、年平均低潮位(Mean Low Water, MLW)和年平均潮差(Mean Tidal Range, MTR)的时间序列。结果表明,连云港站的MHW、MLW和MTR分别为184.97 cm、

-177.00 cm和362.00 cm;吕四站的MHW、MLW和MTR分别为188.43 cm、-190.96 cm和379.41 cm,其表现为南部沿海的潮差较北部沿海潮差大,但其变化规律基本相同,呈逐年增加的趋势,连云港站的上升速度为3.93 mm/a,吕四站的上升速度为4.76 mm/a(见图5)。

从分析结果可知,江苏沿海的潮差明显增大,上升趋势高于全球和区域海平面上升趋势,上升速率是区域海平面上升速率的1.1~1.5倍,这说明江苏近岸海域的潮汐环境处于明显的变化过程中。

4 结语

本文基于江苏沿岸连云港和吕四两个验潮站长期潮位观测资料以及AVSIO卫星高度计资料,研究分析了江苏沿海海域水位的变化特征,得到以下结论:

(1)江苏近岸海域的海平面呈上升趋势,平均

速度为 3.35 mm/a, 且具有明显的季节变化特征, 夏季最大, 冬季最小;

(2) 江苏沿海两个验潮站的主要半日分潮的调和常数呈上升趋势, 全日分潮呈下降趋势, 气象分潮 S_a 的变化与厄尔尼诺现象密切相关;

(3) 江苏近岸海域的平均高潮位、平均低潮位和潮差呈上升趋势, 潮差明显增大, 上升速率为区域海平面上升率的 1.1~1.5 倍。说明江苏沿海的潮汐环境处于明显的变化过程中。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 团文征, 李建成, 裴氏坚贞. 越南海防市近岸海洋水位变化特征分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(4): 552-557.
- [3] 左军成, 于宜法, 陈宗镛. 中国沿海海平面变化原因的探讨[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 48-53.
- [4] 林选跃, 张世民, 陈德文, 等. 福建沿海年平均海平面年际、年代际变化特征及预测[J]. 海洋预报, 2014, 31(5): 63-68.
- [5] 姚玉娟, 张福星, 韩小燕, 等. 乐清湾潮汐时空分布特征[J]. 海洋预报, 2016, 33(2): 53-59.
- [6] 盛芳, 智海, 刘海龙, 等. 中国近海海平面变化趋势的对比分析[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(3): 346-356.
- [7] Nicholls R J, Cazenave A. Sea-level rise and its impact on coastal zones[J]. Science, 2010, 328(5985): 1517-1520.
- [8] 金涛勇, 李建成, 王正涛, 等. 卫星测高逆气压改正及其对海平面变化的影响[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(9): 1017-1020.
- [9] 杨锋, 谭亚, 蒋体孝, 等. 长江口 S_a 分潮调和常数变化趋势研究[J]. 人民长江, 2014, 45(11): 44-47, 67.
- [10] 王慧, 刘克修, 张琪, 等. 中国近海海平面变化与 ENSO 的关系[J]. 海洋学报, 2014, 36(9): 65-74.

Analysis on sea level variability along the coast of Jiangsu Province

HE Pei-dong, WU Hui-ming, CAO Bing, GAO Qing-qing, XU Chang-san

(Nantong Marine Environmental Monitoring Center, Nantong 226000 China)

Abstract: The sea level variability along the coast of Jiangsu province were studied based on the long-term observed data from Lianyungang and Lvsi tidal stations. The results indicate that the long-term trends of the relative mean sea level change and the mean tidal range change are 3.35 mm/a and 4.01 mm/a, respectively. That are greater than the speed of global and area sea level rise. The harmonic tidal constants of principle semidiurnal constituent show rising trends and the diurnal tides are decreasing. The periodical change of S_a constituent has large correlation with the events of El Nino.

Key words: mean sea level; tide range ; harmonic analysis