

浙南地区潮汐特性长期变化趋势研究

陈才明, 厉海斌, 李玲

(温州市水文站, 浙江 温州 325000)

摘要: 近几年监测数据显示, 浙南地区潮汐规律正发生改变, 为研究其变化趋势, 本文利用 Mann-Kendall 和 B-G 分割算法等方法, 对温州、瑞安、鳌江 3 个站点近 60 年潮位资料进行分析。结果表明: 浙南沿海地区潮汐特性发生很大变化, 平均高潮、平均潮差有增高、增大趋势, 平均低潮正逐渐降低, 涨潮时间变长, 落潮时间缩短, 且各站点潮汐特征变幅不同, 其中温州站平均高潮变幅最小, 平均低潮、平均潮差变幅最大, 鳌江站涨落潮历时变幅最大。研究发现潮汐特性发生突变的时间与河道挖沙、滩涂围垦等人类活动加剧的时间段相吻合, 这表明河道挖沙、滩涂围垦是引起潮汐特性变化的主要因素。

关键词: 潮汐特性; 趋势检验; 突变; 挖沙; 围垦

中图分类号: TV731

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)06-0108-05

Study on the long term trends of tidal change characteristics in south Zhejiang Province

CHEN Caiming, LI Haibin, LI Ling

(Wenzhou Hydrographic Station, Wenzhou 325000, China)

Abstract: The observed data in recent years indicated that, some changes of tidal characteristics have taken place in south Zhejiang province. In order to study its variation trends, the tidal features were analyzed based on the data observed in Wenzhou, Ruian and Aojiang stations in recent 60 years by the Mann-Kendall test and the Bernaola-Galvan (B-G) segmentation algorithm. The results showed that a great change has taken place to the tidal characteristics in south Zhejiang province. Both the average high tidal level and tidal range increased, while the average low tidal level decreased gradually, meanwhile the flood-tide duration increased and the ebb-tide duration shortened. The change amplitudes of the tidal characteristics at the three stations were different. The smallest variation of the average high tidal level was at Wenzhou station, and the biggest variations of the average low tidal level and tidal range were at Wenzhou station. But the biggest variation of the flood-tide duration was at Aojiang station. This analysis showed that the time of mutation of the tidal characteristics agreed with the period of increasing human activities such as sand excavation and tideland reclamation. This meant that human activities are the main factor which caused the tidal characteristics change.

Key words: tidal characteristics; trend test; mutation; sand excavation; reclamation

潮汐是沿海地区的一种自然现象。它与沿海人类的关系非常密切。近几年, 随着人类活动干预增多和全球气候变暖, 浙南沿海地区潮汐特性发生很大变化。分析这种变化趋势对浙南沿海水利开发、工程建设、海塘防汛防台等具有重要意义。

目前统计方法主要应用于分析区域气候变化的时

空分布特征、变化规律和气候异常, 如水文要素降雨、径流、洪水和沙量变化趋势等, 并取得很好的研究成果^[1-7]。本文以潮汐特性这一水文变量为分析点, 研究浙南沿海地区平均高潮位、平均低潮位、平均潮差及平均涨落历时等水文特性近期变化趋势, 并分析可能引起变化的主要原因, 为河口治理、防灾减灾及工程设计等提供

收稿日期: 2016-06-05; 修回日期: 2016-07-20

基金项目: 浙江省水利科技计划项目(RB1213); 2014年温州市科协软科学研究课题(KX2014A-07); 浙江省水利科技计划项目(RB1503)

作者简介: 陈才明(1974-), 男, 江西南丰人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事水文水资源分析、规划、评价及水环境工作。

参考。

1 理论研究

1.1 Mann – Kendall 趋势检验

Mann – Kendall^[8] 检验是一种非参数的检验方法,由 Mann 在 1954 年提出,Kendall 于 1975 年加以改进,其优点在于检验不需要样本遵循一定的分布,也不受少数异常值的干扰,适用于水文、气象等非正态分布的数据,计算方便。

在 Mann – Kendall 检验中,原假设 H_0 为时间序列数据 $(X_1, \dots, X_n)$ 是 n 个独立的、随机变量同分布的样本;备择假设 H_1 是双边检验,对于所有的 $k, j \leq n$,且 $k \neq j, X_k$ 和 X_j 的分布是不相同的,检验的统计量 S 计算如下式:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \tag{1}$$

$$\text{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1 & (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \tag{2}$$

S 为正态分布,其均值为 0,方差 $Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$ 。当 $n > 10$ 时,标准的正态系统变量通过下式计算:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \tag{3}$$

在给定的 α 置信水平上,如果 $|Z| \geq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$,则原假设是不可接受的,即在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。对于统计量 Z ,大于 0 时是上升趋势;小于 0 时是下降趋势。 Z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64 和 2.32 时,分别表示通过了信度 90%、95%、99% 的显著性检验。

1.2 B – G 分割算法突变点检验

Bernaola Galvan(简称 B – G)^[9] 分割法是将时间序列的突变点检测问题看成一个分割问题,即将序列看作由多个具有不同平均值的子序列构成,找出各子序列之间最大差值的平均值的位置。

(1) 对于序列从左至右以滑动的方式,分别计算每一个点的位置的左、右两边的平均值, μ_{left} 和 μ_{right} 。

(2) 检验 μ_{left} 和 μ_{right} 之间的差异,计算统计量

$$T = \left| \frac{\mu_{left} - \mu_{right}}{S_d} \right| \tag{4}$$

$$S_d = \left(\frac{S_{left}^2 + S_{right}^2}{N_{left} + N_{right} - 2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{N_{left}} + \frac{1}{N_{right}} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

式中: S_d 为联合方差; S_{left} 和 S_{right} 以及 N_{left} 和 N_{right} 分别为分割点左右两段的标准差和样本数。

(3) 确定 T 中的最大值 T_{max} 的位置,计算 T_{max} 的统计显著性。具有, $T_{max} \approx \tau$ 的可能截取点的显著性水平 $p(\tau)$ 可以定义为 τ 的概率。

$$p(\tau) \approx \text{prob}\{T_{max} \leq \tau\} \tag{6}$$

$p(\tau)$ 可以近似由下式求得:

$$p(\tau) \approx \text{prob}\{1 - I_{(\frac{v}{v+2})} \cdot (\delta_v, \delta)\}^\gamma \tag{7}$$

式中: $\gamma = 4.19 \ln N - 11.54$, $\delta = 0.40$, N 为时间序列 $x(t)$ 的长度, $v = n - 2$, $I_x(a, b)$ 为不完全 β 函数,显著性水平一般取 0.95。

(4) 如果步骤(3) T_{max} 通过显著性检验,对新分割的两个子序列,重复步骤(1) ~ (3)。如子序列左、右的子序列间的均值差异又满足上述条件,则再分割,直到不再分隔为止。

2 研究实例

温州浙南沿海有瓯江、飞云江、鳌江 3 条水系直接入东海^[10],河口为中国强感潮地区。瓯江全长 388 km,流域面积 17 859 km²,上游至青田温溪属山溪性河流,温溪以下至河口属感潮河段,温州站位于瓯江河口上游 35.0 km 处,平均潮差 3.70 ~ 4.70 m。飞云江主流河长 198 km,流域面积 3 712 km²,上游至瑞安滩脚属山区性河流,瑞安滩脚以下至河口属感潮河段,瑞安站位于飞云江河口上游 12.0 km 处,平均潮差 4.00 ~ 4.70 m。鳌江主流发源于南雁荡山脉的吴地山麓,河长 82.5 km,流域面积 1 521.5 km²,鳌江站位于鳌江河口上游 5.50 km 处,平均潮差 4.00 ~ 4.60 m。本文利用 Mann – Kendall 趋势检验和 B – G 分割算法突变点检验原理,对 3 个站点长系列资料(1958 – 2013 年),分析其历年平均高潮、平均低潮、平均潮差以及平均涨落潮历时等,研究其变化规律。上述 3 站均为国家基本水文站点,资料经过严格审查,数据来源可靠,各站点位置见图 1。

3 潮位趋势分析

按照 Mann – Kendall 和 B – G 分割算法检验理论,对温州、瑞安、鳌江 3 站点序列资料进行检验分析。检验结果表明: Mann – Kendall 计算统计量 Z 值均大于 $\alpha/2$ 显著性水平的临界值范围(- 1.69, 1.69),趋势明显; B – G 分割算法检验表明,3 站点

各要素均出现突变,具体结果见表 1。

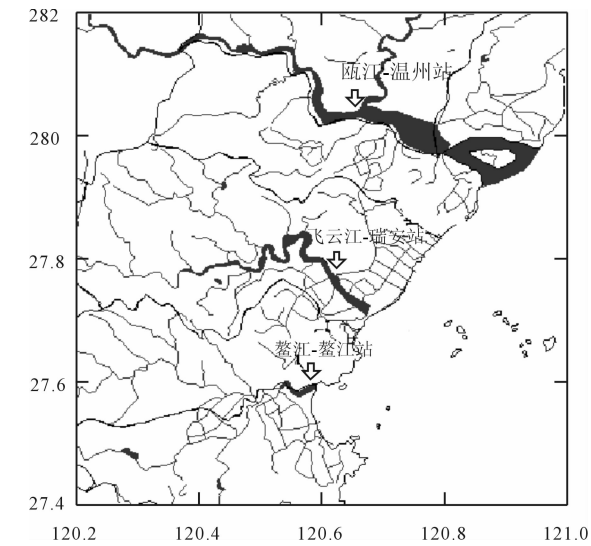


图 1 水文测站位置图

3.1 平均高潮

温州、瑞安、鳌江等站点平均高潮存在突变,突变后增高趋势明显。温州站平均高潮 1997 年发生

突变,突变后平均高潮均值增高 0.12 m(过程线见图 2)。瑞安站平均高潮 1988 年发生突变,突变前后平均高潮均值增高 0.15m。鳌江站平均高潮 1978 年发生突变,突变前后平均高潮均值增高 0.18 m。由以上分析可以看出,3 个站点平均高潮增高值幅度不同,突变年份也不一样,其中鳌江站(离河口最近)平均高潮变幅最大,温州站(离河口最远)平均高潮变幅最小。

3.2 平均低潮

检验表明,温州、瑞安、鳌江 3 站点平均低潮有逐年降低趋势,Mann - Kendall 计算统计量 Z 变量分别为 -5.50, -6.46, -1.75,其中温州站、瑞安站趋势显著,鳌江站趋势稍弱。温州站平均低潮 1996 年发生突变,突变前后均值减小 0.29 m(过程线见图 3)。瑞安站平均低潮 1976 年发生突变,突变前后均值减小 0.13m。鳌江站平均低潮 1991 年发生突变,突变前后均值减小 0.12 m。3 个站点低潮位降低值幅度也不同,其中温州站低潮位影响越大。

表 1 浙南地区潮汐特性 Mann - Kendall 和 B - G 分割算法检验计算结果

站点	项目名称	序列年限	Mann - Kendall		B - G 分割算法				均值	
			Z	趋势	突变年份	T_m	$P(T_m)$	是否通过检验	突变前	突变后
温州	平均高潮/m	59	5.63	增加	1997	26.7	0.995	是	4.44	4.56
	平均低潮/m	59	-5.50	减少	1996	33.0	0.998	是	0.50	0.21
	潮差/m	59	6.39	增加	1996	41.7	0.999	是	3.93	4.34
	涨潮历时/h	59	8.57	增加	1996	41.9	0.999	是	4.80	5.13
	落潮历时/h	59	-8.54	减少	1996	41.8	0.999	是	7.62	7.27
瑞安	平均高潮/m	59	7.39	增加	1988	39.4	0.999	是	4.35	4.50
	平均低潮/m	59	-6.46	减少	1976	31.9	0.997	是	0.09	-0.04
	潮差/m	59	7.92	增加	1976	40.6	0.999	是	4.22	4.51
	涨潮历时/h	59	3.95	增加	1997	49.6	1.000	是	4.90	5.07
	落潮历时/h	59	-4.05	减少	1997	49.8	1.000	是	7.52	7.35
鳌江	平均高潮/m	58	5.43	增加	1978	32.2	0.998	是	4.32	4.50
	平均低潮/m	58	-1.75	减少	1991	20.4	0.985	是	0.19	0.07
	潮差/m	58	6.66	增加	1991	40.4	0.999	是	4.18	4.39
	涨潮历时/h	58	4.71	增加	1996	37.6	0.999	是	4.20	4.58
	落潮历时/h	58	-4.69	减少	1996	37.3	0.999	是	8.20	7.83

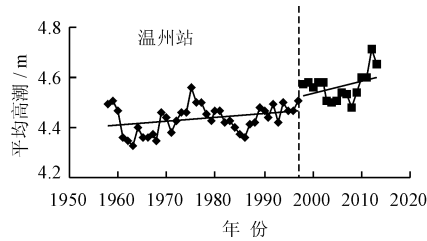


图 2 代表站平均高潮过程线

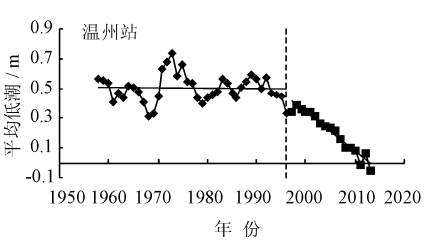


图 3 代表站平均低潮过程线

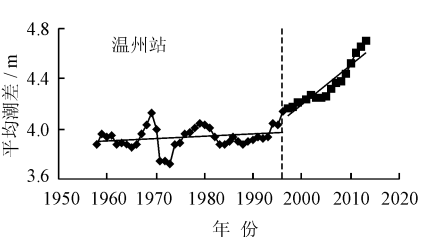


图 4 代表站平均潮差过程线

3.3 平均潮差

表1结果表明,温州、瑞安和鳌江3站点潮差逐年增大趋势较为明显,统计量 Z 分别达到6.39、7.92和6.66,均远大于 $\alpha/2$ 显著性水平的临界值范围。温州站平均潮差1996年发生突变,突变前后潮差均值增大0.41 m(过程线见图4)。瑞安站平均潮差1976年发生突变,突变前后均值增大0.29 m。鳌江站平均潮差1991年发生突变,突变前后均值增加0.21 m。潮差的突变与该站点平均高潮或平均低潮突变时间一致,这符合潮汐特性。潮差变幅大小与至河口距离远近不同,温州站潮差变幅最大,瑞安站次之,鳌江站潮差变幅最小。

3.4 涨落潮历时

温州、瑞安、鳌江三站点平均涨落潮历时均发生趋势变化。温州站涨落潮历时1996年发生突变,突变后平均涨潮历时增加20 min(过程线见图5),平均落潮历时减少21 min。瑞安站涨落潮历时1997年发生突变,突变后平均涨潮历时增加10 min,平均落潮历时减少10 min。鳌江站涨落潮历时1996年发生突变,突变后平均涨潮历时增加23 min,平均落潮历时减少22 min。由上可知,温州、瑞安、鳌江3站点涨潮正变慢,落潮加快,尤其是温州、鳌江两站,变化趋势十分明显。

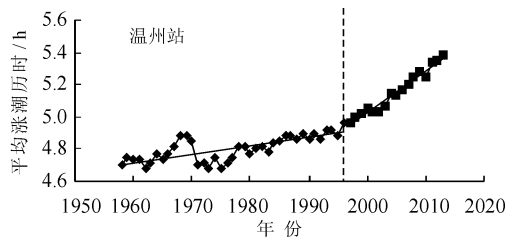


图5 代表站平均涨潮历时过程线

4 成因分析

潮水涨落与太阳、地球、月亮的运动有关,主要是海水受到月亮的引力形成的,引力使海面突起^[11],并随月球的公转轨道而变化,一般情况下潮汐规律是不变的。

潮差主要由海洋动力^[12]和河口形状及地貌所控制,海洋动力一般变化不大,虽然近年来海平面抬升会对潮差变化产生影响,但海平面抬升的幅度有限。据国家海洋局温州海洋环境监测中心站分析,1971年至2015年温州沿海主要测站的海平面呈现波动上升趋势,其中温州站平均上升速率为1.6 mm/a,瑞安站平均上升速率为2.0 mm/a,鳌江站平

均上升速率为2.1 mm/a。但海平面抬升使高潮将会增大,同时也抬高了低潮。从图2、图3、图4可以看出,温州站平均高潮有上升趋势,平均低潮有降低趋势,平均潮差增大趋势非常明显。因此海平面抬升不是引起潮差增大的主要原因。

潮汐涨落时间主要遵循月球的运动规律,随着地球的自转,地面上看到的月球运动的日周期是24.8 h,这也正是潮汐运动的日周期。从图5可以看到温州站涨潮时间在1996年后有逐年变长趋势,突变前后平均涨潮历时由4.80 h变长为5.13 h,趋势明显。

潮汐规律受地理环境、海岸位置、洋流运动等因素影响,一般情况下潮水涨落规律是不变的。而浙南地区潮汐特性呈单边变化趋势显著,水利工程建设、海涂围垦、河道采沙等人类活动可能对沿海地理环境、海岸位置、洋流运动产生影响,这对浙南地区沿海潮汐涨落规律变化起到一定的主导作用。

4.1 挖沙的影响

20世纪80年代城市建设脚步加快,社会需求泥沙量偏大,河道挖沙现象严重^[13]。分析表明,几乎所有潮汐规律发生突变的站点,突变年份大约都在20世纪80年代-90年代左右。近35年来,由于经济发展的需要,大规模的建设,瓯江、飞云江、鳌江河道无序采沙等,这些人类活动都对河道水文特征变化产生了影响。1980年以来瓯江温州段开始采用链斗式水下采沙,1984年出现吊斗式,1990年已投入高产量的吸泵式采沙方式,2010年又出现了链斗吸泵兼容式和带碎石装置无弃碴的链斗作业方式,目前,经登记取得采沙许可合法证件的有5家公司共92只采沙船,按年工作200 d计算,年采沙 $480 \times 10^4 \text{ m}^3$,而流域多年平均输沙量为 $350 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。飞云江流域内采沙也有十多年历史,目前共有机机械采沙船19只,岸沙采挖点3处,年采挖量约为 $150 \times 10^4 \text{ m}^3$,流域多年平均输沙量 $66.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。据统计鳌江中游2000-2005年河道采沙 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均开采量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,多年平均输沙量 $4.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。从输沙平衡来看,人为河床采沙的量值和速率都远远超过了流域来沙的总量和速率。显然这是人类活动引起的突变,自然恢复需要经历很长时间。无规划河道采沙,直接导致了河道河床深泓高程降低、平均水深增大、宽深比下挫、河槽容积增大、河槽窄深,使得潮汐通道更加畅通,有利于潮流上溯及在河网内传播,变相地增强了潮流动力。由此可见,河床挖沙引起河道地形剧烈改变是潮汐属

性变化的主要原因。

4.2 围垦的影响

温州位于浙江省东南沿海,山多地少,素有“七山一水两分田”之称,但海岸线绵长,有瓯江、飞云江和鳌江三条主要入海河口,海岛港湾众多,滩涂浅滩资源丰富,具有拓展国土资源得天独厚的优良条件。建国后至 2015 年底,温州共完成围垦面积 253.5 km^2 。规划中瓯飞围垦工程:位于瓯江至飞云江之间的浅海及滩涂区域,于 -8.0 m 黄海高程基线建设东围堤,围涂面积约 326.9 km^2 (含龙湾二期和丁山三期约 46.7 km^2)。一期工程围涂面积约 168.8 km^2 (含龙湾二期和丁山三期),二期工程围涂面积约 158.1 km^2 。大面积河口围垦的状况必然引发潮流速度减慢、潮流动力快速向海推移^[14],这可能是引起浙南地区涨潮历时逐渐变大,落潮历时逐渐变小的原因。

5 结 论

在人类活动的干预下,浙南沿海河口地区近 35 年来地理环境、水文地质、地形地貌条件发生了很大的改变,导致沿海潮汐特性发生了显著变化。本文以浙南地区 3 个潮位站的平均高潮、平均低潮、平均潮差以及平均涨落潮历时等水文要素为研究点,利用其长系列数据,探讨浙南地区潮汐特性长期变化趋势,同时分析引起潮汐规律变化的原因与滩涂围垦、河道挖沙等人类活动有关联。

(1) 浙南地区潮汐特性正逐渐改变。温州、瑞安、鳌江 3 站点平均高潮、平均潮差有增高、增大趋势,平均低潮有逐年降低趋势,涨潮历时逐渐变长,落潮历时逐渐缩短,且趋势显著。

(2) 3 个站点的潮汐特性变化幅度不同:平均高潮变化幅度,鳌江站最大,瑞安站次之,温州站变化最小;平均低潮、平均潮差变化幅度,温州站最大,瑞安站次之,鳌江站变化最小;涨落潮历时变化幅度,温州、鳌江两站变幅较大,瑞安站相对较小。

(3) 浙南地区潮汐特性发生突变时间与人类活动加剧时间段吻合,可以得出人类活动如河道采沙、

滩涂围垦是引起潮汐规律变化的主要因素。在 20 世纪 80 年代前后,河道无序过度挖沙以及河口大面积围垦,造成河口地形地貌、水文特性发生很大变化,引起潮流动力改变,这是浙南地区潮汐特性发生突变的主要原因。

参考文献:

- [1] 黄燕平,罗蔚. 赣江径流特征及其变化趋势分析[J]. 人民长江,2012,43(15):27-31.
- [2] 徐长江,范可旭,肖天国,等. 金沙江流域径流特征及变化趋势分析[J]. 人民长江,2010,41(7):10-14+51.
- [3] 丁晶,刘权授. 随机水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [4] 张建云,王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [5] Bernaola-Galvan P, Ivanov P C, Nunes Amaral L A, et al. Scale invariance in the nonstationarity of human heart rate[J]. Physical Review Letters,2001,87(16):1-4.
- [6] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社,1990.
- [7] 李海彬,张小峰,胡春宏,等. 基于 B-G 分割算法的河川年输沙量突变分析[J]. 水利学报,2010,41(12):1387-1392.
- [8] 常肖杰,沈冰,黄领梅,等. 1976-2010 年榆林市降水时空变化趋势分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(2):30-35.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [10] 李谊纯,徐群. 瓯江口内外潮汐不对称研究[J]. 水利水电工程学报,2013(5):61-65.
- [11] 伍远康,汪邦道. 浙江省沿海海平面上升及预测[J]. 浙江水利科技,2003(2):1-4.
- [12] 沈林杰,陈道信,黄惠明,等. 温州围垦工程对河口水交换能力的影响[J]. 海洋学研究,2009,27(4):72-76.
- [13] 王林素,方子杰,黄慧明,等. 围垦工程对温州近海及河口悬沙场的影响[J]. 水道港口,2008,29(6):386-393.
- [14] 张蔚,严以新,郑金海,等. 珠江三角洲年际超差长期变化趋势[J]. 水科学进展,2010,21(1):77-83.