

乐清湾潮汐时空分布特征

姚玉娟¹, 张福星¹, 韩小燕¹, 林顺利¹, 周浩²

(1. 国家海洋局温州海洋环境监测中心站, 浙江 温州 325013; 2. 温州市海洋与渔业局, 浙江 温州 325000)

摘 要: 利用乐清湾3个潮位站多年长期观测资料, 分析了乐清湾海域潮汐特征值、平均海平面、高潮位的分布特征。分析结果表明: 乐清湾海域潮汐呈现明显的时空分布特征: 自湾口至湾顶, 浅海效应逐渐增强, 平均海平面先减小后增大, 高潮位值随着深入湾顶依次递增; 平均海平面年内分布表现为驼峰特征, 主峰出现在秋汛9月份邻近时段, 次峰则出现在6月份左右; 3个测站相同月份累年月极值出现分别为同一系统影响所致, 且相关性较好, 这对于在江厦站潮位资料获取受限的情况下, 做好乐清湾顶风暴潮预警报发布工作具有重大意义。

关键词: 乐清湾; 潮汐特征值; 平均海平面; 高潮位; 时空分布特征

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2016)02-0053-07

1 引言

乐清湾为浙江省三大半封闭港湾之一, 位于浙江南部沿海, 瓯江口北侧。地理范围为: 自乐清市岐头山咀(120°57'55"E, 27°59'09"N)起, 经洞头县北小门岛、大乌星, 至玉环县大岩头灯标(121°09'09"E, 28°02'16"N)连线以北的全部海域。该湾原为潮流通畅海湾, 1977年湾底东部漩门港堵口筑坝后, 形成了一面出海的半封闭海湾。乐清湾长约42 km, 宽4.5—21 km, 海湾大陆岸线长约184.7 km, 海域总面积463.6 km², 潮滩面积约220.8 km², 沿岸有大荆溪、白溪、清江等30余条河流注入湾内^[1]。

乐清湾属于强潮区, 潮汐特征较为复杂。陈耕心等^[2]利用1986年10月7日—11月6日实测资料, 统计了乐清湾内海山、江厦两站所在海域的涨潮落历时、平均潮差、最大潮差等特征。陈倩等^[3]同样利用1986年10月7日—11月6日实测资料, 计算得到海山站的调和常数分布特征, 在此基础上对最大可能潮差、潮汐日不等现象进行了分析。姜大荣等^[4]利用乐清湾8个潮位站半个月的观测资料, 采用调和分析方法, 从潮差、涨落潮历时的变化, M_2 、 M_4 、 M_6

沿湾振幅、迟角的变化等方面分析了湾内的潮汐特征。杨成浩等^[5]通过2008年7月和10月、2009年1月和4月的潮位观测, 得出自乐清湾口至湾顶潮汐作用逐渐增大、浅水分潮强度明显增加的结论。由此可见: 由于湾内缺乏正规的潮汐观测站以及长时间序列潮汐观测资料, 对乐清湾潮汐特征的研究大都局限于单点或者短时间序列的分析。

本文通过对湾口大门岛测站、湾中沙港头测站以及湾顶江厦测站多年连续潮位资料的分析, 以求进一步定量探索乐清湾海域潮汐的时空分布特征。

2 资料来源

乐清湾的3个潮位测站分布图见图1, 图1站点标号(▲)所对应的潮位测站名称、具体经纬度分布、资料年限及管理单位见表1。其中, 江厦站①(1971年7月—1994年2月)和江厦站②(2004年1月—2007年10月)资料较早, 现势性较差, 且与其他两个测站资料年限不重叠, 因此本文仅对江厦站③(2011年1月—2013年9月)资料予以分析。本文所用潮位资料均已换算至85基面(下同)。

收稿日期: 2015-07-20

作者简介: 姚玉娟(1986-), 女, 助理工程师, 硕士, 现从事海洋预报工作。E-mail: yaoyj@eastsea.gov.cn

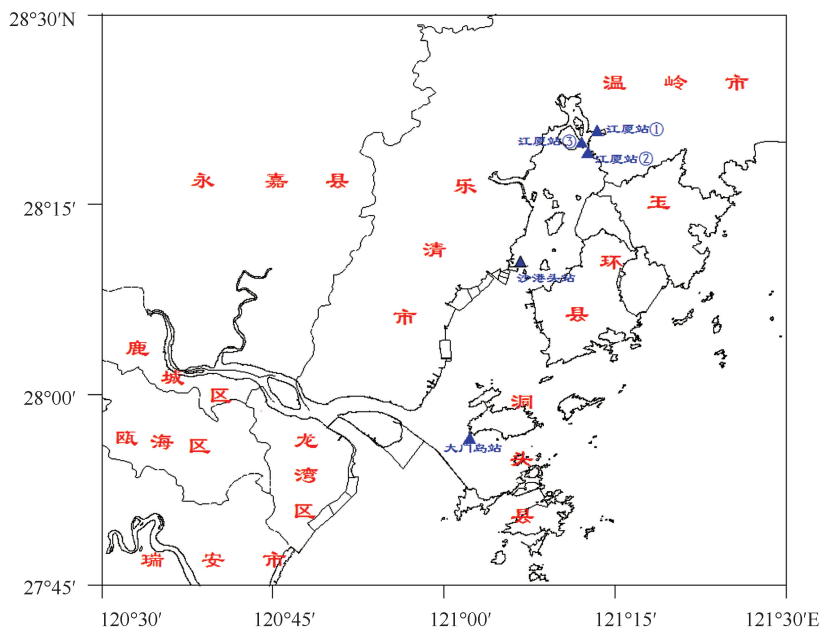


图1 乐清湾潮汐测站分布图

表1 乐清湾潮汐测站概况

测站	经度	纬度	资料年限	管理单位
大门岛站	121°02.3'E	27°57.0'N	2009.6—2013.12	国家海洋局温州海洋环境监测中心站
沙港头站	121°06.2'E	28°10.8'N	2008.2—2013.12	
江厦站	①121°14.2'E	28°20.9'N	1971.7—1994.2	江厦潮汐电站
	②121°12.8'E	28°19.3'N	2004.1—2007.10	
	③121°12.1'E	28°19.7'N	2011.1—2013.9	

3 结果与分析

3.1 潮汐特征值

潮汐是海洋对引潮力的响应,海洋中的潮位是由许多不同周期的分潮振动迭加起来的。经典的潮汐分析方法为:首先把实测潮位记录中的各分潮(如太阴分潮系、太阳分潮系等)分离出来,进行调和与分析,求出每一分潮的振幅和位相角,再经天文因素订正后,即得该分潮的调和常数。调和常数反映的是海洋对这一频率的外力的响应,这种响应决定于海洋本身的动力学性质。由于海洋环境的变化十分缓慢,对一般海区,调和常数具有极大的稳定性,在不特别长的时期内,可充分近似是常数。只有在那些短期内地形有重大变化的地点,调和常数才显示出随时间有明显可感觉到的变化^[6]。根据

太阴太阳合成日振幅 H_{K_1} 与太阴日分潮振幅 H_{O_1} 之和对太阴半日分潮振幅 H_{M_2} 的比值,划分潮汐类型如下^[7]:

$$\text{半日潮: } \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 0.5 \quad (1)$$

$$\text{不规则半日潮: } 0.5 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 2.0 \quad (2)$$

$$\text{不规则全日潮: } 2.0 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 4.0 \quad (3)$$

$$\text{全日潮: } \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} > 4.0 \quad (4)$$

利用乐清湾3站实测潮位资料进行调和与分析,得到主要分潮的振幅和迟角,计算出乐清湾海域主要分潮振幅比 $(H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2}$ 介于 0.24—0.27 之间(见表2),属于半日潮,即在1个太阴日(约24 h 50 min)内,有两次高潮和两次低潮。浅海主要分潮

表2 乐清湾三站潮汐特征值

测站	$\frac{H_{k_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$	$H_{M_2} + H_{M_4} + H_{MS_4}$ (cm)	$2g_{M_2} - g_{M_4}$ (°)	平均涨潮历时	平均落潮历时
大门岛站	0.27	4.21	87.96	6h 10min	6h 15min
沙港头站	0.25	10.34	288.03	6h 19min	6h 5min
江夏站	0.24	11.47	296.05	—	—

注:由于江夏站低潮位时潮滩外露,数据存在误差,无法对涨落潮历时进行统计。

振幅 $H_{M_2} + H_{M_4} + H_{MS_4}$ 从湾口的 4.21 cm 增大到湾顶的 11.47 cm, 浅海效应逐渐增强。历史观测和分析均说明在 M_2 分潮为主的海区, M_4 分潮是造成潮波变形和潮不对称的主要因子。当 $0^\circ < 2g_{M_2} - g_{M_4} < 180^\circ$ 时, 涨潮历时小于落潮历时, $180^\circ < 2g_{M_2} - g_{M_4} < 360^\circ$, 涨潮历时大于落潮历时^[4,8]。乐清湾 3 站 $2g_{M_2} - g_{M_4}$ 值沿着湾口至湾顶依次增大, 湾口大门岛站为 87.96° , 涨潮历时为 6h 10min, 落潮历时为 6h 15min; 湾中沙港头站 $2g_{M_2} - g_{M_4}$ 为 288.03° , 涨潮历时为 6h 19min, 落潮历时为 6h 5min, 与前述研究结果一致。湾顶江夏站 $2g_{M_2} - g_{M_4}$ 为 296.05° , 由此推测该海域涨潮历时也应大于落潮历时。

3.2 平均海平面

利用 3 个测站实测潮位数据, 进行逐年平均海平面的分析。由于 3 个测站个别月份存在缺测现象, 大门岛站、沙港头站、江夏站的分析时段分别为 2010 年 1 月—2013 年 12 月、2008 年 2 月—2013 年 12 月、2011 年 1 月—2013 年 9 月。利用以上时段数据, 计算得到各站逐年平均海平面(见图 2), 分析其时间分布特征可知: 近 6 a 时间内, 平均海平面高值出现于 2012 年, 高于累年平均值 3—5 cm, 与 2012 年

中国海平面公报结果基本一致^[9]。从空间分布特征来看, 位于湾顶的江夏站平均海平面最高, 累年平均值为 35 cm, 大门岛站其次, 为 33 cm, 而湾中的沙港头站最低, 为 28 cm。由此可知: 乐清湾平均海平面分布呈现从湾口至湾顶先减小后增大的趋势。该分布特征可能与径流的影响以及地形的反射作用有关。大门岛站位于大门岛西侧, 瓯江北口下游。而瓯江为浙江省第二大河, 温州第一大河, 干流长 384 km, 流域面积 18 100 km², 年径流量 1.93×10^{10} m³, 其径流作用对大门岛站影响显著^[10]。而乐清湾内以溪流性河流为主, 径流作用相对较弱, 但随着不断深入湾内, 地形的反射作用逐渐变强, 至湾顶的江夏站, 地形反射作用达到最强。值得注意的是, 由于数据缺测对计算结果造成了一定的误差。其中, 沙港头站 2008 年仅缺测 1 月份数据, 对整体计算结果影响不大; 江夏站 2013 年缺测 10—12 月份数据, 10 月份恰为天文高潮期, 1323 强台风“菲特”带来的风暴增水使得潮位值更高, 因此利用 1—9 月份数据计算江夏站 2013 年平均海平面时, 所得结果相比于实际情况略偏小。

计算各站多年平均逐月海平面时, 采用历史资料年限内所有数据。分析结果显示, 各站多年平均逐月海平面(见图 3)表现为驼峰特征, 主峰出现在

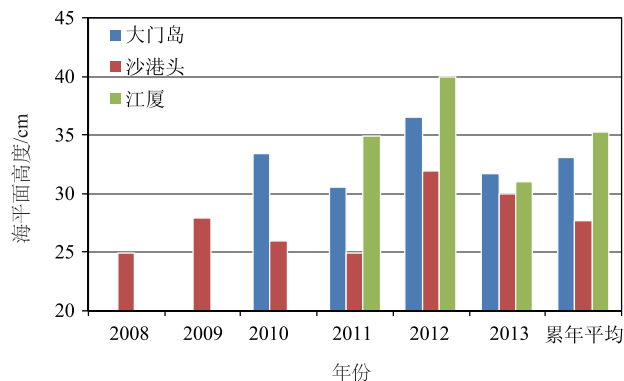


图2 各站逐年平均海平面分布

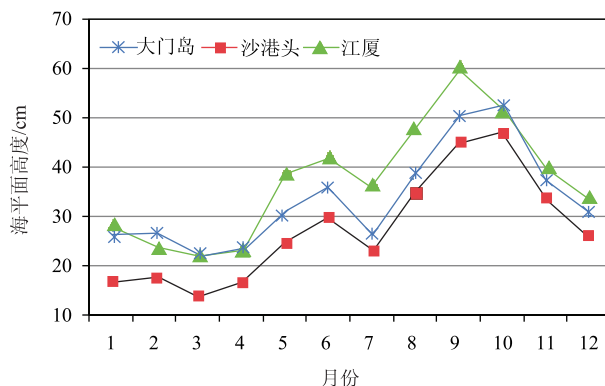


图3 各站多年平均逐月平均海平面分布

秋汛9月份邻近时段,次峰则出现在6月份左右,与乐清湾地区的台风期、梅雨期符合。台风带来的充沛的降水与风暴增水以及梅雨期的连续降水均导致海平面升高。此外,9月份邻近时段为天文大潮期,基础潮位较高。空间分布大致与逐年平均海平面变化特征一致,自湾口至湾顶3个站9—10月份海平面均值分别为51 cm、46 cm和56 cm。

3.3 高潮位

风暴潮是一种海洋灾害,由热带气旋和温带气旋引起。当风暴潮现象发生时,若恰好与天文高潮,特别是天文大潮的高潮相重合,形成的潮位更高,可能对沿海经济发展、人民生命财产安全带来严重损失,同时制约当地海洋经济的发展^[11-12]。研究乐清湾内高潮位的分布特征,对于预报部门做好风暴潮预警工作,为政府开展防灾减灾工作提供科学依据和决策支持,采取一切应急措施,最大限度地减轻这一海洋灾害造成的损失具有重大意义。由于3个站点的数据时间序列各不相同,为了便于对比分析,选取相同时间序列的数据进行统计,即2011年1月1日—2013年9月11日。

分析历史高潮位(见表3)可知,3个站点2011年1月1日—2013年9月11日期间3大高潮位值出现时间相近,分别为同一系统引起,且在同一系统影响下,高潮位值从湾口至湾顶呈现依次递增趋势。3个站点第一高潮位均出现于1312号热带气旋“潭美”影响期间,自湾口至湾顶分别为434 cm、457 cm及503 cm。第二、第三高潮位均为受1216号热带气旋“三巴”影响所致,其中第二高潮位出现

于2012年9月17日早高潮时刻,第三高潮位出现于16日晚高潮时刻。

累年月极值(见表4)空间分布特征与历史高潮位基本一致,3个站点相同月份累年月极值出现分别为同一系统影响所致。同一系统影响期间,沙港头站和大门岛站高潮位值相差19—27 cm,江夏站和沙港头站相差39—53 cm;个别系统除外,同一过程高潮位出现时间随着深入湾顶不断推后。其中,6月份、8—10月份的累年月极值均由热带气旋引起,分别为1203号强台风“玛娃”、1312号台风“潭美”、1216号超强台风“三巴”和1221号强台风“派比安”。

进一步对3个站点累年月极值进行相关分析(见图4),结果显示:三站之间两两拟合程度较好,线性相关系数 $R \geq 0.98$ (高度线性相关),且显著性 $p \leq 0.01$ 。其中,大门岛站和沙港头站之间的相关性最高,沙港头站与江夏站相关性次之。换言之,已知一个站点的高潮位,根据线性关系式可以大致推算出另外两个站点的高潮位值。由于大门岛站和沙港头站由国家海洋局温州海洋环境监测中心站管辖,能实时获取两站数据资料,且数据质量高、时间序列相对较长,在风暴潮来临之际,能够较容易根据台风特征分析,结合历史增水资料以及实测数据预判高潮位增水情况,得到高潮位的预报值。江夏站由潮汐电站管辖,数据获取难度高,风暴潮预报难度大。在浙江省新核定的沿海警戒潮位中,江夏站作为温岭西岸段的代表潮位测站,确定其高潮位预报值直接关系到风暴潮预警报的发布级别。基于以上相关分析结论,可借助大门岛站和沙

表3 各站2011年1月1日—2013年9月11日期间高潮位值及其出现时间

潮位	信息	测站		
		大门岛站	沙港头站	江夏站
第一高潮位	出现时间	2013年8月21日21时19分	2013年8月21日21时44分	2013年8月21日21时51分
	台风编号	1312	1312	1312
	潮位值/cm	434	457	503
第二高潮位	出现时间	2012年9月17日09时20分	2012年9月17日09时34分	2012年9月17日09时33分
	台风编号	1216	1216	1216
	潮位值/cm	407	433	479
第三高潮位	出现时间	2012年9月16日21时24分	2012年9月16日21时21分	2012年9月16日21时33分
	台风编号	1216	1216	1216
	潮位值/cm	404	432	472

注:由于仪器损坏,江夏站数据截止时间为2013年9月11日;出现时间均为北京时,下同

表4 各站2011年1月1日—2013年9月11日期间月极值及其出现时间

月份	大门岛站		沙港口站		江夏站		天气系统
	最高潮位/cm	出现时间	最高潮位/cm	出现时间	最高潮位/cm	出现时间	
1	356	2013年1月14日 10时57分	379	2013年1月14日 11时01分	418	2013年1月14日 11时18分	—
2	344	2011年2月20日 10时28分	371	2011年2月20日 10时43分	424	2011年2月20日 10时57分	—
3	371	2012年3月9日 09时35分	390	2012年3月9日 09时57分	434	2012年3月9日 10时06分	冷空气
4	356	2011年4月18日 21时29分	380	2011年4月18日 21时36分	431	2011年4月18日 21时45分	—
5	356	2013年5月26日 22时17分	378	2013年5月26日 22时19分	426	2013年5月26日 22时36分	—
6	369	2012年6月5日 21时53分	392	2012年6月5日 22时09分	435	2012年6月4日 21时33分、 2012年6月5日 22时18分	1203号热带 气旋
7	351	2013年7月24日 22时33分	376	2013年7月24日 22时46分	423	2013年7月24日 22时57分	—
8	434	2013年8月21日 21时19分	457	2013年8月21日 21时44分	503	2013年8月21日 21时51分	1312号 热带气旋
9	407	2012年9月17日 09时20分	433	2012年9月17日 09时34分	479	2012年9月17日 09时33分	1216号 热带气旋
10	388	2012年10月17日 09时46分	414	2012年10月17日 10时07分	455	2012年10月17日 10时18分、 2012年10月18日 10时54分	1221号 热带气旋
11	368	2012年11月14日 08时56分	394	2012年11月14日 09时08分	435	2012年11月14日 09时24分	—
12	358	2012年12月15日 10时24分	382	2012年12月15日 10时33分	422	2012年12月15日 10时51分	—

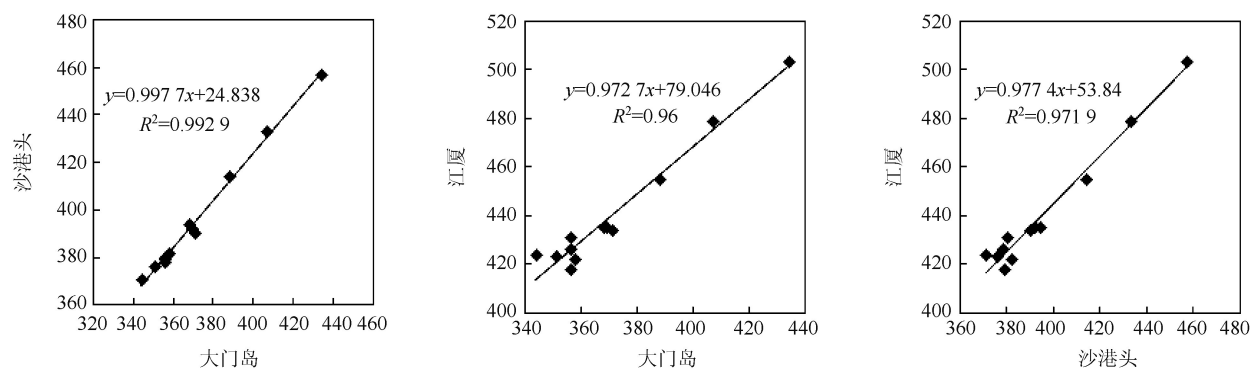


图4 三站累年月极值相关分析曲线(横纵坐标均为高潮位/cm)

港头站推算得到江夏站的高潮位预报值。以历史台风1312号“潭美”台风为例,根据台风的强度和路径,结合历史和实况增水资料,预计8月21日晚高潮期间,沙港头站将出现460 cm左右高潮位。利用江夏站与沙港头站的线性关系式($y = 0.9774x + 53.84$,式中 x 为沙港头高潮位值, y 为江夏站高潮位值),估算得到江夏站8月21日晚高潮预报值为503 cm,同理估算得到大门岛站8月21日晚高潮预报值为436 cm。具体实况为:8月21日21时44分沙港头站出现了457 cm的高潮位,21时51分江夏站出现了503 cm的高潮位,21时19分大门岛站出现了434 cm的高潮位。由此可见,只要能准确预判一个站点的风暴高潮位值,另外两个站点的风暴高潮位也能准确预判。以上分析结果对于在江夏站潮位资料获取受限的情况下,做好乐清湾顶风暴潮预警发布工作具有重大意义。

4 结论

本文利用乐清湾湾口大门岛测站、湾中沙港头测站以及湾顶江夏测站多年连续的潮位观测资料,分析了乐清湾潮汐的时空分布特征,得到的结论如下:

(1)乐清湾海域为半日潮潮汐类型。从湾口到湾顶,浅海效应依次加剧,涨潮历时不断增加;

(2)乐清湾平均海平面分布呈现从湾口至湾顶先减小后增大的趋势。近6 a内平均海平面高值出现于2012年,高于累年平均值3—5 cm。年内分布呈现驼峰特征,主峰出现在秋汛9月份邻近时段,次峰则出现在6月份左右;

(3)乐清湾高潮位值随着深入湾顶逐渐增大,

沙港头站和大门岛站相差19—27 cm,江夏站和沙港头站相差39—53 cm,同时高潮位出现时间逐渐推后。3个站点相同月份累年月极值出现分别为同一系统影响所致,且相关性较好,这对于在江夏站潮位资料获取受限的情况下,做好乐清湾顶风暴潮预警发布工作具有重大意义。

参考文献:

- [1] 黄秀清, 姚炎明, 王金辉, 等. 乐清湾海洋环境容量及污染物总量控制研究[R]. 北京: 海洋出版社, 2011: 17.
- [2] 陈耕心, 李伯根, 许卫忆. 乐清湾潮汐特征及对潮滩沉积作用的影响[J]. 东海海洋, 1992, 10(1): 1-9.
- [3] 陈倩, 黄大吉, 章本照, 等. 浙江近海潮汐的特征[J]. 东海海洋, 2003, 21(2): 1-12.
- [4] 姜大荣. 乐清湾潮波变形特点及其数值模拟分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2007: 6-19.
- [5] 杨成浩, 廖光洪, 罗锋, 等. 乐清湾的潮位、潮流和余流特征[J]. 海洋学研究, 2010, 28(2): 1-13.
- [6] 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 59-60.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 17839-2011 警戒潮位核定规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] Munk W H, Cartwright D E. Tidal Spectroscopy and Predication [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1966, 259 (1105): 533-581.
- [9] 国家海洋局. 2012年中国海平面公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2013.
- [10] 浙江省水利志编纂委员会. 浙江水利志[M]. 北京: 中华书局, 1998: 127.
- [11] 项素清, 曹美兰. 舟山港台风风暴潮的气候特征[J]. 海洋预报, 2003, 20(2): 67-73.
- [12] 朱业, 王晶, 卢美. 鳌江站台风增水特征分析[J]. 海洋预报, 2007, 24(3): 99-104.

Temporal and spatial variations of the tide in the Yueqing Bay

YAO Yu-juan¹, ZHANG Fu-xing¹, HAN Xiao-yan¹, LIN Shun-li¹, ZHOU Hao²

(1. Wenzhou Marine Environmental Monitoring Center Station, Zhejiang 325013 China;

2. Wenzhou Ocean and Fishery Bureau, Wenzhou 325000 China)

Abstract: Variability of the tidal characteristic value, the mean sea level and the high tidal level were studied based on the long-term observed data from the three tidal stations in the Yueqing Bay. The results indicate that the tide in the studied area has significant temporal and spatial variations. From the mouth to the head of the bay, the shallow water effect gradually strengthens, and the mean sea level decreases firstly and then increases, while the high tidal level value increases with closing to the head of bay. The mean sea level has double peaks in one year, with the main peak in September and the second peak in June. The monthly extreme values at the three tidal stations were caused by the same weather systems in different months. Moreover, the monthly extreme values also have high correlations among the three tidal stations, which has important significance in studying the tide storm in the head of the Yueqing Bay, because of the limited observation data at the Jiangxia tidal station.

Key words: Yueqing bay; tidal characteristic value; mean sea level; high tidal level; temporal and spatial variations