

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.05.008

王煜祺, 陈珺, 吴峥, 等. 甬江及河口附近海域枯季水沙特性分析[J]. 水利水运工程学报, 2017(5): 51-59. (WANG Yuqi, CHEN Jun, WU Zheng, et al. Analysis of water-sediment characteristics of the Yong River mouth and adjacent sea waters during dry season[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(5): 51-59. (in Chinese))

## 甬江及河口附近海域枯季水沙特性分析

王煜祺<sup>1</sup>, 陈 珺<sup>1, 2</sup>, 吴 峥<sup>1</sup>, 李晓坤<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 基于2016年1月甬江及河口附近海域水文、泥沙观测资料, 从水动力条件和泥沙环境两方面分析该水域枯季水沙特性。分析表明:①甬江最高潮位沿程变化不大, 最低潮位沿程下降, 最大潮差沿程增大; 甬江河口附近海域的最高潮位、最大潮差和平均潮位都呈西北高于东南的特点。②甬江流速从上游至下游逐渐增加, 河口附近海域流速总体上呈北强南弱的平面分布特点。③甬江从上游至下游含沙量先增后减, 大潮含沙量大于小潮。河口附近海域西北侧含沙量大于东南侧, 大潮含沙量大于小潮。输沙量和含沙量的规律较为一致。④甬江在同一个涨落潮周期内, 含沙量存在两个峰值, 分别出现在涨急、落急之后1~2 h。河口附近海域与河道内不同, 含沙量存在单峰和双峰两种情况。

**关 键 词:** 甬江; 金塘水道; 枯季; 水沙特性; 输沙

**中图分类号:** TV148<sup>+</sup>.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-640X(2017)05-0051-09

甬江是宁波市的母亲河, 南源奉化江, 北源姚江, 两江汇合于宁波市三江口, 自三江口以下为甬江干流, 于镇海外游山入东海, 全长25.6 km。甬江入海口处正对金塘岛, 中间海域称为金塘水道, 北接灰鳖洋, 东南侧有大榭岛, 这片海域呈半封闭内湾形态, 有较深水道与外部沟通, 外海潮汐由大榭岛东北螺头水道向西北经金塘水道进入杭州湾。针对该区域河道与海域的水沙特性, 国内已经存在一些研究成果: 严文武研究了1959年到2010年各种涉水工程造成的水动力的改变以及河床演变, 发现甬江河道受各涉水工程、水资源开发等影响, 正处于缓慢淤积期<sup>[1]</sup>; 李文杰等利用观测的潮位资料建立了水力学非恒定流计算模型, 研究了甬江的入海径流量<sup>[2]</sup>; 嵇敏等根据2010年洪季和2011年枯季的实测资料, 研究了甬江河道洪枯季的水沙特性, 总结了含沙量的垂线分布规律, 建立了甬江河道水流挟沙能力的计算式<sup>[3]</sup>; 王康培等通过平均流场、真流场、潮流场和余流场几方面研究了金塘水道的流场特性, 发现了强、弱流区的分布, 涨落潮流的不对称性和潮流涡旋<sup>[4]</sup>; 李占海等根据1986和1987年的流速含沙量实测资料, 利用悬沙质量守恒原理, 研究了金塘水道悬沙输运和再悬浮作用机制<sup>[5]</sup>; 冯应俊等通过多次全面的水文泥沙测验, 掌握了北仑港域水下地形、地貌及底质分布环境<sup>[6]</sup>; 蒋文志等根据2010年实测资料分析, 发现甬江口附近海域潮差小、潮流强, 呈往复流, 金塘水道北部含沙量大于南部<sup>[7]</sup>。上述文献均单独分析甬江河道或甬江河口附近海域的潮流泥沙特性, 考虑到甬江和河口附近海域的相互影响, 开展该区域大范围的同步水文测验, 综合分析甬江及河口附近海域的水沙特性具有重要的研究意义。本文采用2016年1月甬江河道及河口附近海域同步水文测验的资料, 综合分析该区域的枯季水沙特性。

收稿日期: 2016-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50909037); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 王煜祺(1993—), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 主要从事水力学及河流动力学方面研究。

E-mail: cn\_wyq@126.com 通信作者: 陈 珺(E-mail: chenjunhhu@hhu.edu.cn)

## 1 水动力环境

### 1.1 潮汐特征

本文采用 2016 年 1 月的实测资料进行分析,其中 2016 年 1 月 3—4 日为小潮,2016 年 1 月 9—10 日为大潮,测点及潮位站布置如图 1 所示。

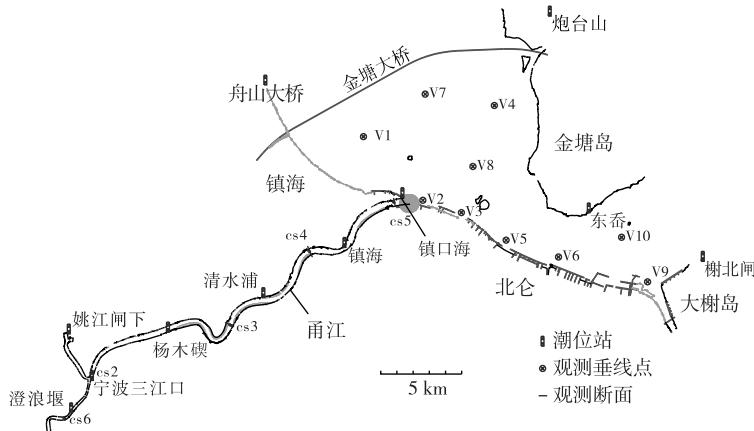


图 1 测点及潮位站布置

Fig. 1 Arrangement of measuring points and tide stations

甬江潮汐属于不正规半日潮,潮位特征值见表 1。大小潮期间,甬江各潮位站的最大潮位差距很小,其中大潮约 2 m,小潮约 1 m,而各潮位站观测到的最低潮位均沿程减小。大小潮期间最大潮差均沿程增大,而其中大潮大于小潮,且沿程增大斜率也大于小潮。

表 1 甬江河道潮位特征值及涨落潮历时统计

Tab. 1 Tidal characteristic values and ebb and flood duration time of the Yong River

站名	最高潮位/m	最低潮位/m	最大潮差/m	平均潮位/m	涨潮历时/h	落潮历时/h
三江口	1.94/1.08	-0.90/-0.46	2.80/1.54	0.48/0.41	5.45/5.95	6.92/6.95
杨木碶	1.81/1.01	-1.02/-0.54	2.83/1.55	0.26/0.29	5.87/6.20	6.50/6.53
清水浦	1.86/1.04	-1.36/-0.62	3.22/1.66	0.30/0.31	6.03/6.53	6.08/6.28
镇海	2.08/1.12	-1.44/-0.59	3.52/1.71	0.27/0.41	6.28/6.62	6.00/5.87
镇海口	1.93/0.96	-1.59/-0.73	3.52/1.69	0.27/0.23	6.37/6.75	6.03/5.95

注:“/”前为大潮对应数值,“/”后为小潮对应数值。

甬江口属缓混合海相河口<sup>[8]</sup>,潮位特征值见表 2。河口附近海域各潮位站中,炮台山站大潮最高潮位最大,为 2.07 m,舟山大桥站小潮最高潮位最大,为 1.15 m,这两个站都位于甬江口北侧。比较最大潮差也能发现以北部的舟山大桥和炮台山两站为大。甬江口西北侧的舟山大桥平均高潮位、平均潮位值均最大,东南侧的榭北闸最小,潮位分布在空间上呈自西北到东南逐渐降低的趋势。

表 2 甬江河口附近海域潮位特征值及涨落潮历时统计

Tab. 2 Tidal characteristic values and ebb and flood duration time of sea area outside the estuary

站名	最高潮位/m	最低潮位/m	最大潮差/m	平均潮位/m	涨潮历时/h	落潮历时/h
舟山大桥	2.05/1.15	-1.66/-0.87	3.71/2.01	0.20/0.25	6.12/6.45	6.20/6.28
炮台山	2.07/1.06	-1.70/-0.84	3.77/1.90	0.14/0.23	6.17/6.42	6.20/6.28
东岙	1.85/1.05	-1.75/-0.78	3.59/1.83	0.09/0.23	6.20/6.53	6.12/6.45
榭北闸	1.82/0.80	-1.49/-0.80	3.29/1.60	0.19/0.11	6.20/6.50	6.12/6.42

注:“/”前为大潮对应数值,“/”后为小潮对应数值。

## 1.2 涨落潮历时

根据2016年1月甬江河道主要潮位站潮流历时统计,枯季大小潮涨潮历时都由三江口站到镇海口站沿程递增,其中大潮为5.45~6.37 h,小潮为5.95~6.75 h。落潮历时规律为三江口到镇海站沿程减小,其中大潮三江口落潮历时6.92 h,镇海站落潮历时6.00 h,小潮三江口落潮历时6.95 h,镇海站落潮历时5.87 h。大小潮河道以清水浦附近为界限,上游落潮历时大于涨潮历时,下游反之。

分析甬江河口附近海域历时成果,小潮潮周期大于大潮,且在大小潮期间,各潮位站的涨落潮的历时相差都在10 min以内,所以甬江河口附近海域各区域涨落潮历时是接近的。

## 1.3 流速规律

甬江河道涨落潮流速统计见表3。由表3可知,甬江CS4断面大小潮涨潮平均流速都最大,分别为0.74和0.43 m/s;大潮落潮平均流速CS4断面最大,为0.83 m/s,小潮落潮CS5断面平均流速最大,为0.50 m/s。河道内平均流速的变化大致呈从上游至下游递增的趋势;河道的各断面最大流速的对比规律与平均流速相似,且除小潮CS5断面特例外,都是落潮最大流速大于涨潮。

表3 甬江河道涨落潮流速统计

Tab. 3 Velocity of ebb and flood tides of the Yong River

断面	平均流速				最大流速			
	涨潮		落潮		涨潮		落潮	
	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/°	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/°	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/°	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/°
CS2	0.57/0.33	197/202	0.53/0.46	11/16	0.79/0.54	195/195	0.83/0.69	13/15
CS3	0.65/0.43	196/196	0.73/0.48	20/28	0.93/0.67	198/199	1.09/0.82	19/18
CS4	0.74/0.43	255/257	0.83/0.49	70/95	1.10/0.68	255/255	1.34/0.79	73/73
CS5	0.70/0.38	256/256	0.72/0.50	70/73	1.09/0.80	259/264	1.27/0.78	73/73

注:“/”前为大潮对应数值,“/”后为小潮对应数值。

海域流速矢量图如图2所示。海域流速在平面上的分布规律从西北到东南呈现为先减小后增大,但仍具有北强南弱的特点。大潮涨落潮平均流速V4点最大,分别为1.14和1.34 m/s;小潮涨潮平均流速V7点最大,为0.71 m/s,落潮平均流速V1点最大,为0.71 m/s。甬江口西北部的灰鳖洋水深较小(7~15 m),而金塘水道的水深为30~100 m,过流面积对于流速产生了一定的影响。海域潮流为往复流,流向呈放射状,涨落潮流路并不完全一致;对比发现,V8点大小潮的流向差异较大,而其余垂线并没有明显的差异。

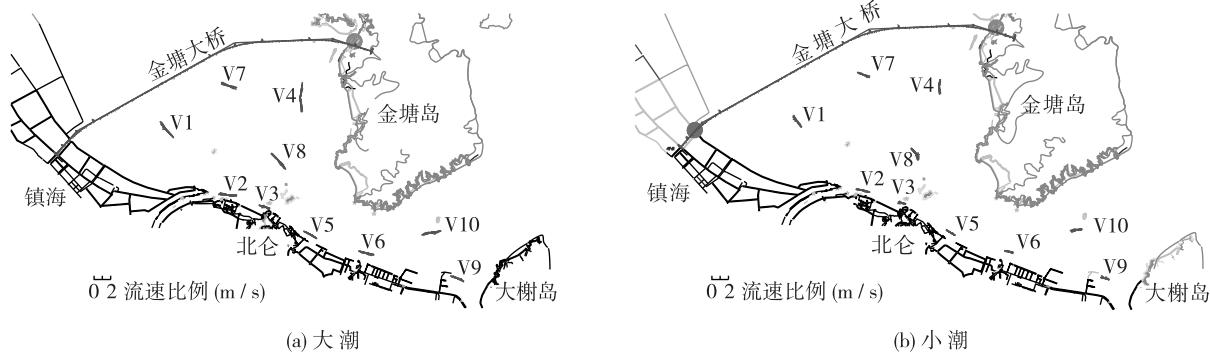


图2 河口附近海域测点流速矢量

Fig. 2 Velocity vector diagram of sea area outside the estuary

## 1.4 潮量特征

表4为枯季大潮甬江各断面全潮涨落潮潮量,可见:甬江河道枯季大潮涨潮潮量为2 241~4 706万m<sup>3</sup>,

落潮潮量为 $2\ 495\sim5\ 084$  万  $m^3$ ; 小潮涨潮潮量为 $1\ 472\sim2\ 583$  万  $m^3$ , 落潮潮量为 $2\ 050\sim3\ 392$  万  $m^3$ 。大小潮涨落潮量都满足由 CS2—CS5 递增,且落潮潮量大于涨潮的规律。

表 4 甬江河道潮量统计

Tab. 4 Tidal volume of the Yong River (万  $m^3$ )

断面	大潮			小潮		
	涨潮	落潮	净泄量	涨潮	落潮	净泄量
CS2	2 241.43	2 494.59	253.16	1 472.47	2 050.92	578.45
CS3	3 254.76	3 505.68	250.92	2 024.38	2 671.16	646.78
CS4	3 918.49	4 172.40	253.91	2 375.14	2 804.40	429.26
CS5	4 706.64	5 084.28	377.64	2 583.43	3 392.64	809.21

表 5 为河口附近海域全潮单宽潮量。河口附近海域的涨落潮量很大程度上受到了地形的限制,如 V1 位于甬江口外西北部的浅滩处,虽然流速较大,潮量却较小,单宽潮量为 $2\sim4$  万  $m^2$ ;而 V10 处水深较大,则潮量最大,单宽潮量为 $19\sim33$  万  $m^2$ 。

表 5 甬江河口附近海域单宽潮量统计

Tab. 5 Unit tidal volume of sea area outside the estuary (万  $m^2$ )

断面	大潮			小潮		
	涨潮	落潮	差值	涨潮	落潮	差值
V1	4.20	3.91	-0.29	2.63	2.93	0.30
V4	18.93	17.50	-1.43	9.13	6.75	-2.38
V7	12.03	10.48	-1.56	9.27	7.75	-1.51
V2	8.76	10.63	1.87	5.97	7.97	2.00
V8	16.58	16.86	0.28	11.00	10.06	-0.94
V3	19.38	10.44	-8.94	14.23	8.97	-5.26
V5	24.37	15.49	-8.88	14.88	11.84	-3.04
V6	25.56	24.36	-1.20	11.68	17.03	5.36
V9	7.20	5.22	-1.98	3.96	4.45	0.49
V10	32.00	33.47	1.47	19.51	20.65	1.13

## 2 泥沙环境

甬江泥沙由陆域来沙和海域来沙两部分组成。据实测资料,上游溪口站多年平均输沙量 4.35 万  $t^{[9]}$ ,而据以往资料,河口附近 CS5 断面大潮一次涨潮的输沙量即能达 5 万  $t^{[3]}$ ,故甬江泥沙以海域来沙为主。

### 2.1 泥沙粒径与泥沙来源

枯季甬江河道悬沙中值粒径 $0.004\sim0.010$  mm,底质中值粒径 $0.008\sim0.028$  mm,悬沙和底沙均以黏土质粉沙为主;甬江河口附近海域悬沙中值粒径 $0.005\sim0.009$  mm,底质中值粒径 $0.008\sim0.188$  mm。

### 2.2 含沙量

甬江河道断面平均含沙量见表 6。由表 6 可知,河道含沙量规律为涨潮大于落潮,大潮大于小潮。大潮期间,甬江各断面平均含沙量自上游至下游(CS2—CS5)有先增大后减小的趋势,且 CS4 断面平均含沙量较高,最大可达 $1.36\ kg/m^3$ 。这一点恰好是流速最大的点,同时也与甬江河道枯季的冲淤规律“河道段淤积口门段冲刷”<sup>[11]</sup>相印证。小潮期间规律有所不同,CS5 断面平均含沙量为 4 个断面中最大,其 2#垂线(深泓位置)平均含沙量为 $0.49\ kg/m^3$ 。小潮期间河道最大含沙量的分布规律与平均含沙量类似,而大潮期间则不同,CS3 断面的 3#垂线(靠近右岸)涨落潮测得的最大含沙量都最大。对每个测验断面,甬江河道涨潮含沙

量大于落潮,但是含沙量最高处不一定在口门附近,这说明甬江河道内底质与悬沙存在一定强度的交换。

表 6 甬江河道断面平均含沙量统计

Tab. 6 Sediment concentration of the Yong River (kg/m<sup>3</sup>)

断面垂线	平均含沙量			最大含沙量		
	涨潮	落潮	差值	涨潮	落潮	差值
CS2	0.37/0.12	0.34/0.12	-0.03/0	0.73/0.20	0.48/0.21	-0.24/0.01
CS3	1.02/0.17	0.87/0.18	-0.15/0.01	1.98/0.31	1.87/0.30	-0.11/0
CS4	1.36/0.10	1.07/0.13	-0.29/0.03	2.39/0.26	1.78/0.31	-0.61/0.04
CS5	1.05/0.34	0.96/0.24	-0.09/-0.10	1.74/0.66	1.46/0.66	-0.29/-0.23

注: “/”前为大潮对应数值,“/”后为小潮对应数值。

甬江河口附近海域含沙量分布见表 7,各点垂线平均含沙量呈现“大潮>小潮”总体规律,甬江口外西北侧海域 V1,V4,V7 的含沙量明显高于东南侧海域 V6,V9,V10 测点的含沙量,且这一空间对比规律大潮比小潮更为明显。大潮涨落潮 V1 点平均含沙量都最大,分别为 1.78 和 1.95 kg/m<sup>3</sup>,小潮涨潮平均含沙量 V3 点最大,为 0.80 kg/m<sup>3</sup>,落潮平均含沙量 V1 点最大,为 0.58 kg/m<sup>3</sup>。最大含沙量的分布规律也与平均含沙量规律类似,大潮和小潮期间分别在 V1 和 V3 垂线测得最大值。

表 7 甬江河口附近海域含沙量统计

Tab. 7 Sediment concentration of sea area outside the estuary (kg/m<sup>3</sup>)

测点	平均含沙量			最大含沙量		
	涨潮	落潮	差值	涨潮	落潮	差值
V1	1.78/0.56	1.95/0.58	0.17/0.58	3.81/1.10	3.81/1.07	0/-0.03
V4	1.00/0.54	0.94/0.51	-0.06/-0.03	2.48/0.86	2.28/0.78	-0.21/-0.08
V7	1.26/0.60	1.28/0.47	0.02/-0.13	2.93/0.78	2.87/0.79	-0.06/0.01
V2	1.03/0.47	1.06/0.44	0.02/-0.03	1.75/0.81	1.79/0.83	0.04/0.02
V8	0.89/0.64	0.84/0.43	-0.05/-0.21	1.69/0.91	2.00/0.62	0.31/-0.29
V3	1.16/0.80	1.23/0.54	0.07/-0.26	1.57/1.18	3.07/0.85	1.51/-0.33
V5	0.70/0.42	0.66/0.38	-0.03/-0.04	0.99/0.65	0.76/0.58	-0.23/-0.07
V6	0.56/0.44	0.57/0.31	0.01/-0.13	0.68/0.60	0.71/0.40	0.03/-0.20
V9	0.52/0.33	0.56/0.31	0.04/-0.02	0.61/0.55	0.68/0.46	0.07/-0.08
V10	0.54/0.38	0.48/0.35	-0.06/-0.03	0.61/0.55	0.64/0.47	0.03/-0.08

注: “/”前为大潮对应数值,“/”后为小潮对应数值。

### 2.3 含沙量垂向分布

河口附近海域大小潮涨、落急时刻含沙量的垂向分布如图 3 所示。

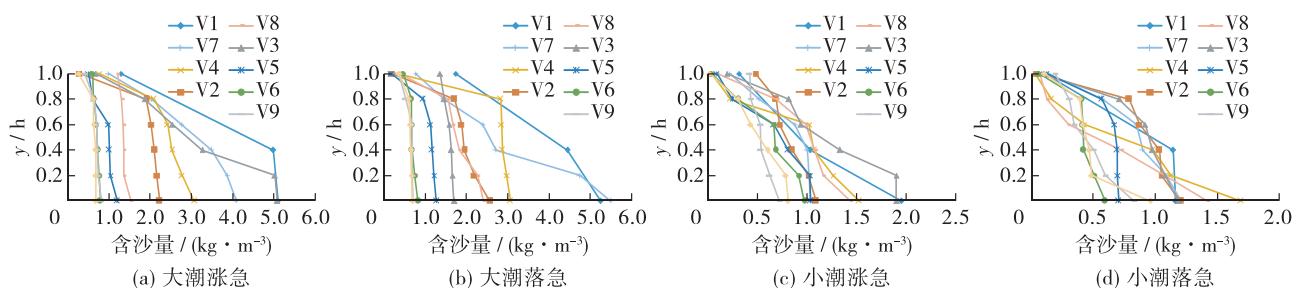


图 3 河口附近海域测点垂向含沙量分布

Fig. 3 Vertical distribution of sediment concentration of sea area outside the estuary

由图 3 可见,该区域水深较大,故垂线方向上存在一定的含沙量变化。在该海域有代表性地选取 V1~V10 垂线,分别研究其涨急和落急时刻含沙量垂向分布。由图 3 可知,大潮时北仑沿岸的 V2,V5,V6,V9 垂线的涨落潮含沙量垂向分布形态都比较接近,在 20%~80% 水深的范围内含沙量差别不大,且大榭岛北侧的 V10 垂线也显示这一规律。而位于西北部镇海沿岸浅滩处的 V1,V7 垂线则明显不同,呈现显著的从海底到水面含沙量减小的趋势。小潮期间则各垂线由海底到水面的含沙量减小的规律比较明显。

## 2.4 流速含沙量关系

在不考虑风浪等作用,且忽略泥沙运动滞后于潮流现象的条件下,潮流作用是影响泥沙输运的主要因素。

图 4 为甬江河道流速含沙量过程图,大潮测量时间为 2016-01-09T16:00/2016-01-10T22:00,小潮测量时间为 2016-01-03T09:00/2016-01-04T15:00。由图 4 可知,在 1 个涨落潮周期内,河道各断面含沙量一般存在两个峰值,分别出现在涨急、落急之后 1~2 h,含沙量最低值也出现在涨、落憩之后的 1~2 h。甬江全段都存在这一规律,但其中 CS4,CS5 断面涨落潮含沙量的两个峰值差异较大,表现为落潮含沙量峰值明显小于涨潮峰值,这一规律小潮比大潮更为明显,几乎表现为单峰值。这一现象的成因,一方面为甬江河道泥沙的主要来源是海域来沙,涨潮流携带的泥沙量较大,而河道中随径流输移的泥沙量较小,另一方面 CS4,CS5 断面离口门较近,径流作用相对于潮流作用较弱,故在涨潮时有较大的峰值。

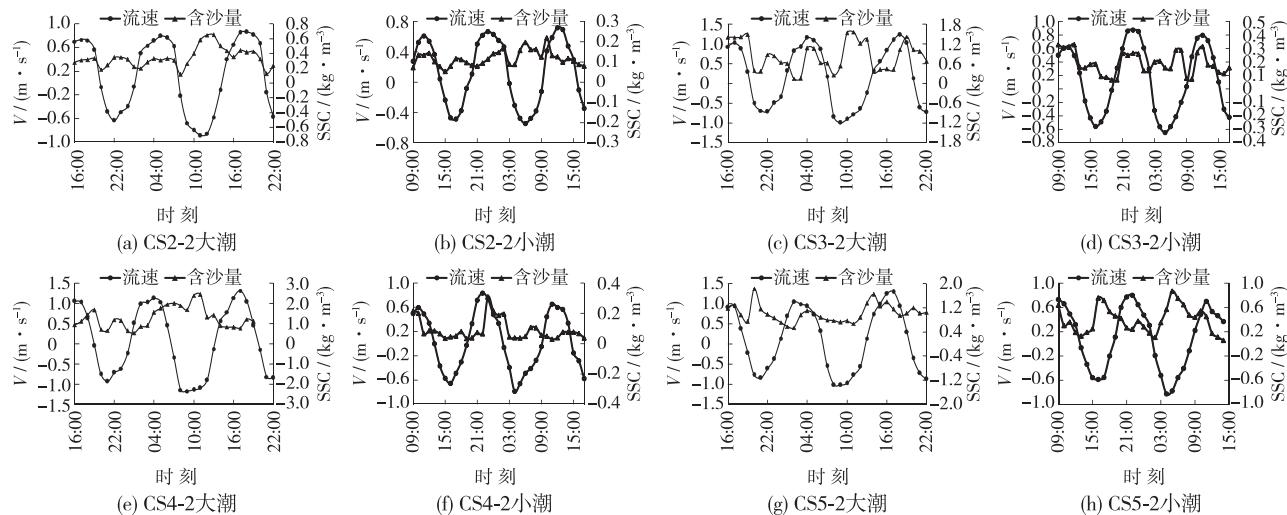


图 4 甬江河道流速及含沙量过程线

Fig. 4 Hydrograph of velocity and sediment concentration of the Yong River

甬江河口附近海域的含沙量随涨落潮变化更复杂。在忽略含沙量滞后于流速变化的条件下,针对 2016 年 1 月甬江口外各垂线的流速含沙量过程线进行对比分析。特选取 V4,V2,V6 这 3 个分别位于西北部、口门处及中部沿岸的垂线的流速含沙量过程线,如图 5。

大潮期间,甬江口及其西北部海域 V1,V4,V7,V8,V2 的 5 个垂线表现为落潮时的单峰值;东北侧海域的 V10 点在涨落潮分别对应 1 个含沙量峰值,但是涨潮时的峰值不明显;北仑沿岸 V5,V6,V9 的 3 个点含沙量随流速变化并不明显,而是一直在 0.3~1.0 kg/m<sup>3</sup> 的范围内波动;V3 点位于 V2,V5 两点之间,含沙量仅存在落潮时的单峰值,在峰值之外含沙量的波动很小。

小潮期间,西北部海域 V1,V4,V7,V8,V2 的 5 个垂线及 V10 垂线涨落潮各有 1 个含沙量峰值;北仑沿岸的 V3,V5,V6,V9 点含沙量则与大潮相似,在 0.3~1.0 kg/m<sup>3</sup> 的范围内波动。

根据以上分析发现,甬江河口附近海域的水沙特性可以依据空间分为西北、中部和东部 3 个特性区。大潮时潮量较大,落潮流携带大量泥沙自北方杭州湾入海扩散的泥沙进入西北测区,同时由于金塘水道内涨潮

流携带的泥沙较少,造成了落潮单峰值现象;而小潮时水量较小,泥沙更多的是随水流在一定区域内摆动,从而产生了涨落双峰值的现象。值得注意的是,小潮的V1,V4,V7点出现了涨潮双峰,即涨潮对应的含沙量的峰有两个峰尖,这一现象可能是由于东海涨潮进入杭州湾时向南进入灰鳖洋的一股北股涨潮流造成的<sup>[10]</sup>。V3,V5,V6,V9一线位于北仑沿岸,是天然的深水港,经过此处的悬沙多是“过路沙”<sup>[11]</sup>,即随水流运动而很少产生冲刷和淤积,这与本次测验此处泥沙在小范围内波动的现象一致。

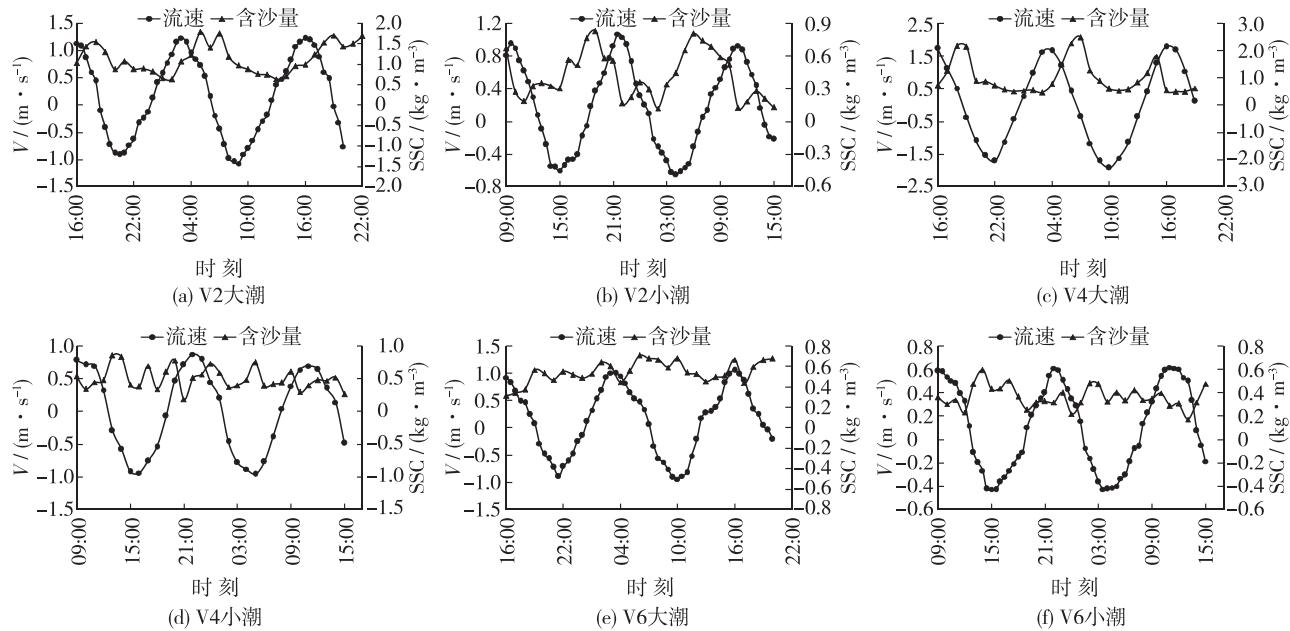


图5 河口附近海域测点流速及含沙量过程线

Fig. 5 Hydrograph of velocity and sediment concentration of sea area outside the estuary

## 2.5 输沙情况

甬江河道全潮输沙量统计见表8,由表可见各断面涨落潮输沙量呈现“大潮>小潮”的总体规律。大潮时涨落潮输沙量沿程增大,小潮时沿河道自上游至下游,断面输沙量有先增大后减小的趋势。枯季甬江河道输沙普遍出现了负净输沙量,其中2016年枯季大潮CS4断面负净输沙量最大,为-15 382 t。河道各段面的净输沙量一定程度上能反映河段的冲淤情况,由表8数据分析可知,大潮期间CS4—CS5发生冲刷,CS2—CS4发生淤积;小潮期间CS3—CS5发生淤积,CS2—CS3发生冲刷。

表8 甬江河道输沙量统计

Tab. 8 Sediment discharge of the Yong River

断面	大潮			小潮			t
	涨潮	落潮	净输沙量	涨潮	落潮	净输沙量	
CS2	100 096	8 747	-1 350	1 919	2 540	620	
CS3	34 811	30 464	-4 347	3 614	5 444	1 829	
CS4	59 067	43 685	-15 382	2 798	2 920	122	
CS5	51 030	49 899	-1 131	11 548	8 243	-3 305	

甬江河口附近全潮平单宽输沙量统计见表9,由表可见所有测点的半潮平均单宽输沙量都呈现“大潮>小潮”的规律。大潮期间,西北侧海域测点都呈现落潮平均单宽输沙量小于涨潮平均单宽输沙量的规律,而东部海域V6,V9,V10测点落潮平均单宽输沙量均大于落潮。小潮期间,北部的V1,V4两点落潮输沙量大于涨潮,而V7,V8反之;中部沿岸的V3到V9点规律与大潮相同;东部的V10点与大潮相反,涨潮单宽输沙

量大于落潮。这里会发现输沙量的变化规律并不能完全遵循 2.3 节中描述的含沙量的峰值关系。事实上,这是由于含沙量变化滞后于流速流向的变化。如大潮 V4 点在 1 月 10 日 06:00 对应了一个含沙量峰值,然而此时已经是落潮时刻,也就是说落潮造成的含沙量增大的现象反映在了涨潮过程的输沙量里面。

### 3 结语

本文通过 2016 年 1 月甬江及河口附近海域的枯季水文泥沙资料的统计分析,得出以下结论:

(1) 甬江河道最高潮位在同一潮周期内沿程变化不大,最低潮位沿程减小,最大潮差沿程增大;河口西北部的海域最高潮位高于东南部海域,最大潮差和平均潮位呈西北大于东南的特点。

(2) 甬江河道流速规律为自上游至下游逐渐增大,然而流速最大的断面往往不是入海口处的 CS5 断面,而多是出现在偏上游的 CS4 断面附近;河口附近海域流速分布从西北到东南先减小后增大,满足“北强南弱”的特点。

(3) 甬江河道的涨潮含沙量大于落潮含沙量,小潮期间 CS5 断面为四个断面中含沙量最大的断面,而大潮期间的含沙量最大断面为 CS4 或 CS3 断面,即口门处不一定含沙量最大。河口附近海域含沙量平面空间上西北大于东南;垂向分布上,由于近岸、浅滩与深槽的地理形态不同,造成了多种垂向分布规律。

(4) 甬江河道断面在同一个涨落潮周期内,含沙量存在两个峰值,分别出现在涨急、落急之后 1~2 h。河口附近海域与河道内不同,含沙量存在单峰和双峰两种情况,且同一区域的峰值情况会根据大小潮而改变,这一方面取决于流速造成泥沙的起动,另一方面取决于泥沙输移的来源。

### 参考文献:

- [1] 严文武. 宁波三江河道水沙特性及冲淤变化规律[J]. 水利水运工程学报, 2011(4): 143-148. (YAN Wenwu. Water and sediment characteristics and their scouring and silting law in the three rivers of Ningbo[J]. Hydro-Science and Engineering, 2011 (4): 143-148. (in Chinese))
- [2] 李文杰, 邵学强. 甬江流域入海径流量研究[J]. 浙江水利科技, 2007(3): 53-55, 59. (LI Wenjie, SHAO Xueqiang. Research of the sea runoff in Yong River [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2007(3): 53-55, 59. (in Chinese))
- [3] 陈珺, 嵇敏, 张洪记, 等. 甬江洪枯季水沙特性分析[J]. 水利水运工程学报, 2012(5): 48-54. (CHEN Jun, JI Min, ZHANG Hongji, et al. Analysis of water and sediment characteristic during flood and low water period of Yong River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2012(5): 48-54. (in Chinese))
- [4] 王康墙, 陈耕心. 金塘水道的流场特征[J]. 海洋通报, 1989, 8(4): 10-19. (WANG Kangshan, CHEN Gengxin. Features of flow field of the Jintang channel[J]. Ocean Bulletin, 1989, 8(4): 10-19. (in Chinese))
- [5] 李占海, 高抒, 沈焕庭. 金塘水道的悬沙输运和再悬浮作用特征[J]. 泥沙研究, 2006(3): 55-62. (LI Zhanhai, GAO Shu, SHEN Huanting. Processes of suspended sediment transport and resuspension in Jintang channel[J]. Journal of Sediment Research, 2006(3): 55-62. (in Chinese))
- [6] 冯应俊, 李炎, 任吉川. 金塘水道地形、底质与沉积环境[J]. 海洋通报, 1989, 8(4): 67-74, 58. (FENG Yingjun, LI Yan, RENG Jichuan. Topography and recent sediment in the Jintang channel[J]. Ocean Bulletin, 1989, 8(4): 67-74, 58. (in Chinese))
- [7] 蒋文志, 马洪亮, 王震. 甬江和口外金塘水道水沙特性及悬沙输移分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(11): 3162-3166, 3177. (JIANG Wenzhi, MA Hongliang, WANG Zhen. Analysis on flow-sediment characteristics and suspended sediment

表 9 甬江河口附近海域单宽输沙量统计

Tab. 9 Unit width sediment discharge of sea area outside the estuary (t/m)

测点	大潮		小潮	
	涨潮	落潮	涨潮	落潮
V1	288.72	282.73	61.32	73.11
V4	714.59	637.76	103.82	128.87
V7	628.62	427.96	232.28	120.01
V2	377.77	468.17	89.00	142.14
V8	650.51	556.02	319.35	186.75
V3	1 005.04	477.06	384.78	220.07
V5	787.55	409.91	394.92	147.73
V6	521.10	664.38	178.27	228.87
V9	132.10	149.87	42.71	62.93
V10	618.41	769.44	230.38	224.26

- transport in Yongjiang river and the Jingtang Channel [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(11): 3162- 3166, 3177. (in Chinese))
- [8] 严恺. 中国海岸工程 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1992. (YAN Kai. Coastal engineering of China [J]. Nanjing: Hohai University Press, 1992. (in Chinese))
- [9] 孔凡生. 宁波市水利志 [M]. 北京: 中华书局, 2006. (KONG Fansheng. Ningbo water conservancy annals [M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2006. (in Chinese))
- [10] 陈耕心, 许卫亿. 北仑港及邻近海区潮汐特性初探 [J]. 东海海洋, 1986, 4(4): 1- 7. (CHEN Gengxin, XU Weiyi. Analysis of the tidal features in the Beilun port and its adjacent sea area [J]. Donghai Marine Science, 1986, 4(4): 1- 7. (in Chinese))
- [11] 喻国华, 陆培东. 宁波港北仑港区深水资源及港口建设 [J]. 海洋地质动态, 2004, 20(7): 15- 19. (YU Guohua, LU Peidong. Deep water resources and harbor construction of Beilun harbor area in Ningbo [J]. Marine Geology Letters, 2004, 20(7): 15- 19. (in Chinese))
- [12] 陈小明, 李文杰. 甬江淤积监测及冲淤变化初探 [J]. 浙江水利科技, 2012(4): 31- 33. (CHEN Xiaoming, LI Wenjie. Study based on monitoring of erosion and deposition of Yong River [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2012(4): 31- 33. (in Chinese))
- [13] 倪云林, 巩明, 杨辉, 等. 甬江口及附近海域冲淤变化研究分析 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2013, 32(6): 537- 542. (NI Yunlin, GONG Ming, YANG Hui, et al. Research and analysis on erosion and sedimentation variation of Yongjiang river mouth and vicinity [J]. Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science), 2013, 32(6): 537- 542. (in Chinese))
- [14] 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. (CHEN Qian, HUANG Daji, ZHANG Benzhaoy, et al. The research of the tidal features in the coastal zone of Zhenjiang province [J]. Donghai Marine Science, 2003, 21(2): 1- 12. (in Chinese))

## Analysis of water-sediment characteristics of the Yong River mouth and adjacent sea waters during dry season

WANG Yuqi<sup>1</sup>, CHEN Jun<sup>1, 2</sup>, WU Zheng<sup>1</sup>, LI Xiaokun<sup>1</sup>

(1. Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the measured data of hydrology and sediment in January 2016, the hydrodynamic environment and sediment environment of the Yong River mouth and its adjacent sea waters are analysed in this paper. Some conclusions are achieved as follows: ① The differences among highest water levels along the river are not significant, while the lowest water level reduces along the river; the tidal power of the sea waters in the northwest of the mouth is stronger than the tidal power of the southeastern sea waters. ② The flow velocities gradually increase from the upper section to the lower along the river, and their distribution around the mouth is characterized by being stronger in the north side and weaker in the south side. Around the estuary, the flow velocities in the river and in the sea waters are similar. ③ The sediment concentration of the Yong River first increases and then decreases along the river. There is a higher sediment concentration in the northwest of the estuary than that in the southeast. ④ In the Yong River there are two peak values of the sediment concentration during the same tidal cycle, which appear respectively 1-2 hours after the maximum flood and the maximum ebb. Different from what it is like in the river, there are two types of sediment concentration in the sea area outside the estuary, namely the single-peak and the double-peak.

**Key words:** Yong River; Jingtang channel; dry season; water-sediment characteristics; sediment transportation