

胶州湾海域潮流动力特征及其与含沙量的关系*

陈斌^{1,2,3}, 张勇^{1,3}, 刘健^{1,3}, 孔祥淮^{1,3}

(1. 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:根据 2009 年胶州湾海域的悬沙、流速、流向的实测资料,应用短期资料的潮流准调和分析方法,对连续海流资料进行了分析,并结合悬沙资料,对含沙量与潮流之间动力关系进行了探讨。研究表明:该海域潮流属于正规半日潮流性质,半日分潮流的东分量大于北分量,潮流以带有旋转性质的往复流为主,涨潮流流向偏西,落潮流流向偏东。胶州湾内含沙量分布特征与海底沉积物粒径特征基本一致。含沙量在涨落潮的交替和流速的更迭作用下出现明显的周期性变化,含沙量的峰值基本与海域半日潮流特点相对应,几乎每 1 个流速峰值对应 1 个含沙量的峰值,含沙量的峰值一般出现在流速峰值之后。胶州湾口处流速和单宽输沙量都为最大,涨潮单宽输沙量大于落潮单宽输沙量,输沙方向为偏西向。

关键词:胶州湾;潮流;含沙量;单宽输沙量

中图分类号:P731.2

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2012)01-0024-12

胶州湾是黄海伸入山东半岛南部的一个半封闭海湾,拥有丰富的海洋生物和旅游资源,对青岛的经济发展有举足轻重的作用。作为海湾重要陆源物质的泥沙深受流域自然环境变化和人为活动影响,加之潮汐、风浪等作用而呈现出高动态变化,这对河口海岸的水质、地貌、生态环境的研究以及海岸工程、港口建设、河口海岸带资源可持续利用等都具有重要影响。历史上对胶州湾的调查和研究较多,内容涉及气象、水文、地质地貌和沉积研究等诸多方面,如孙英兰等^[1]、闫菊等^[2]、张越美等^[3]、鲍献文等^[4]利用数值模式对胶州湾海域的潮流、潮致余流以及污染物的扩散等进行了较为详细的研究;高抒等^[5]、郑全安等^[6]、汪亚平等^[7]、边淑华等^[8]对胶州湾的海域面积、泥沙来源、沉积速率及沉积动力特征等方面进行了探讨。但随着近年来海港、跨海大桥及海底隧道的规划与建设,围海造田工程的实施以及海洋旅游业的开发,海域的动力环境发生了部分改变,需要对该海域的动力条件及泥沙运移规律作进一步的了解。本研究根据 2009 年实测海流和悬沙资料,分析研究该海域的潮流动力特征,并结合悬沙资料分析含沙量与潮流之间的动力关系,对含沙量分布形态作初步探讨,该研究可为众多的海岸工程开展建设提供科学依据。

1 研究区域概况

胶州湾位于黄海之滨,山东半岛南岸,是以团岛头与薛家岛脚子石连线为界、与黄海相通的半封闭式海湾。根据 1985 年海图,胶州湾面积为 397 km²,其中 0 m 等深线以下面积 256 km²,平均水深约为 7 m^[2]。胶州湾沿团岛和黄岛的黄山咀连线分为内湾和外湾,湾内有沧口湾、阴岛湾,湾外有黄岛前湾、海西湾等小湾。输入胶州湾的河流主要有大沽河、洋河、白沙河、李村河、海泊河和南胶莱河等。胶州湾全年频率最多的

* 收稿日期:2011-11-19

资助项目:海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室开放基金项目——苏北近岸海域悬沙的分布特征及其向海输沙的路径和范围(MASEG200809);国家青年科学基金项目——苏北一长江口海域悬沙运输格局及其动力控制因素(41006033);国土资源部地质大调查项目(GZH200900501);国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室基金项目——苏北近岸海域悬沙分布格局及控制因素(MRE200915)

作者简介:陈斌(1979-),男,山东潍坊人,助理研究员,博士,主要从事中国近海沉积动力的数值研究。E-mail:chenbin1007@hotmail.com

(杜素兰 编辑)

风向是 SE、N 和 NNW 向,并且有明显的季节变化。海域的常浪向是 SE 向,强浪向为 E 向和 NNE 向,最大波高 3.1 m。胶州湾海域属于正规半日潮性质,最大潮差与平均潮差分别为 4.75 m 和 2.80 m^[9]。湾内及邻近海区没有大的河流入海,沿岸以基岩海岸为主,沉积物来源有限^[10],这是胶州湾成为优良天然港湾的重要条件之一。

2 资料获取与处理

2009-06,在胶州湾海域进行了 3 个测站 25 h 连续观测及悬浮体水样采集(图 1),其中 S1 站的观测时间为 06-17T14:00—06-18T14:00;S2 站的观测时间为 06-24T9:00—06-25T9:00;S3 站的观测时间为 06-25T11:00—06-26T11:00,观测前后期间无明显风浪,海况良好。采用真空负压法进行悬浮体抽滤,滤膜直径 47 mm,孔径 0.45 μm ;采用 1/(10 万)的 Sartorius 电子天平进行悬浮体称重,质量 0.01 mg,过滤后的样品恒温烘干(40 $^{\circ}\text{C}$)、称重,计算出各站含沙量,悬浮体浓度数据皆经过双重滤膜进行了校正^[11]。每个站点选取表层、中层、底层 3 个分层的 25 h 的流速流向数据,对获取的实测资料分析计算,并对潮流特性进行了调和分析计算。

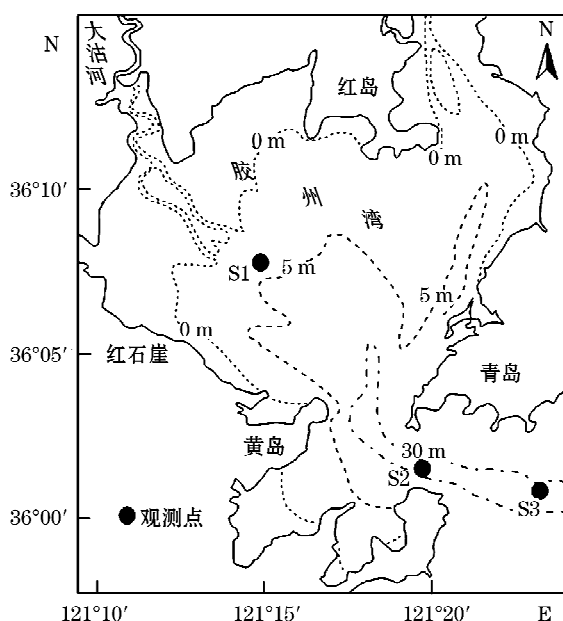


图 1 观测站点位置

Fig. 1 The locations of observation station

3 结果与讨论

3.1 潮汐潮流动力特征

将实测海流资料进行滤波修正后,绘制了表、中、底 3 层每小时平均的流速(u)、流向(θ)过程曲线图,以及垂线平均流速玫瑰图(图 2)。胶州湾内不同站点流速差别较大,湾口(S2 站)处由于地形束窄流速较大,最大可达 150 cm/s;由湾口向湾外(S3 站)水流发散,流速逐渐减小,最大值不超过 80 cm/s;湾内中部水域(S1 站)流速一般不超过 50 cm/s。3 个测站的流速在单周内基本都出现 4 次峰值。从各站表、中、底层的流速图可看出,流速的垂线分布规律明显,表层流速最大,随深度增加流速不断减小,底层流速最小。

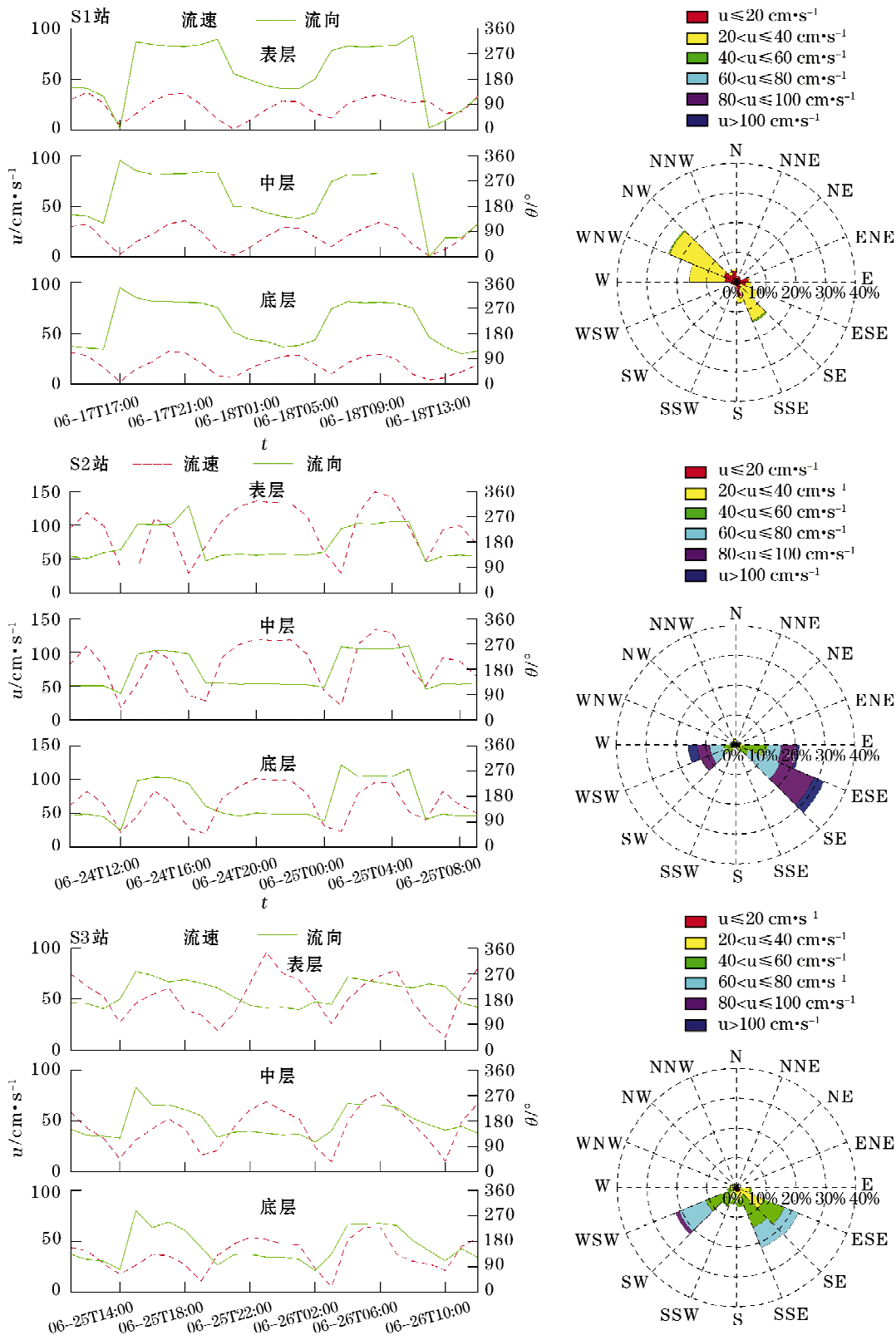


图 2 2009-06-17—26 S1、S2、S3 站位流速、流向及垂线平均流速玫瑰图

Fig. 2 The velocity direction and rose of vertical average current at Station S1, S2, and S3, 2009-06-17—26

应用短期资料的潮流准调和分析方法^[12],并引入测站海区的差比关系,对获得的 25 h 连续海流资料进行了分析,计算了 3 个测站 6 个主要分潮 $O_1, K_1, M_2, S_2, M_4, MS_4$ 的潮流调和常数,由表 1 可以看出,胶州湾海域东、北分量的半日潮流振幅均大于全日潮流的东、北分量,说明这一海域半日潮流占据主要地位,呈现半日潮流的性质。对于半日分潮流(M_2, S_2),其均体现出东分量大于北分量的特征。综合比较 3 个测站的潮流调和常数,发现其以半日潮流为主。对于 O_1, K_1, M_2, S_2 4 个主要分潮流,除 S1 站全日分潮流(O_1, K_1)北分量略大于东分量外,其余各站各调和常数均为东分量大于北分量,虽然有些测站的浅水分潮 M_4 和 MS_4 的北分量大于东分量,但由于浅水分潮在总海流中所占份额有限,所以无法改变海流的东分量大于北分量的结果。对比各站余流的结果,一般表层的余流较大。湾内(S1 站)的余流是 3 个测站中最大的一个,其表层余流达到 5.8 cm/s,中层 5.2 cm/s,而底层也有 4.3 cm/s。表、中、底 3 层余流的东分量均大于北分量。湾口的 S2 站余流略小于 S1 站,表层可达 5.3 cm/s,中层和底层分别为 4.1 cm/s 和 2.7 cm/s,该站的各层余流为北分量大于东分量。湾外(S3 站)的余流最小,其表层余流为 3.6 cm/s,中层为 2.8 cm/s,底层较弱,仅有 1.9 cm/s,各层余流为北分量大于东分量,与 S2 站一致。S1 站各层余流方向以偏西向为主,而 S2 和 S3 站则以偏东向为主。

表 1 S1, S2 和 S3 站潮流调和常数

Table 1 Harmonic constants of tidal current at Station S1

站 位	水 层	分 量	潮流调和常数											余流 /cm·s ⁻¹	
			H_{O_1}	g_{O_1}	H_{K_1}	g_{K_1}	H_{M_2}	g_{M_2}	H_{S_2}	g_{S_2}	H_{M_4}	g_{M_4}	H_{MS_4}		g_{MS_4}
S1	表 层	东	5	21	6	67	34	208	12	257	8	185	5	234	-5.6
		北	6	3	8	49	28	49	9	98	15	270	9	319	1.4
	中 层	东	3	1	4	47	33	210	11	259	7	187	5	236	-5.0
		北	4	44	5	90	23	39	8	88	8	293	5	342	-1.4
	底 层	东	2	346	3	32	33	209	11	258	6	160	4	209	-4.1
		北	4	52	5	98	20	25	7	74	5	305	3	354	-3.2
S2	表 层	东	8	19	11	65	69	213	23	262	19	244	12	293	1.3
		北	3	281	5	327	18	44	6	93	4	224	2	273	-5.2
	中 层	东	6	25	8	71	68	214	23	263	17	244	11	293	1.3
		北	2	245	3	291	12	23	4	72	5	244	3	293	-3.9
	底 层	东	4	33	6	79	55	212	19	262	13	242	8	292	1.5
		北	2	236	3	282	6	15	2	64	5	256	3	305	-2.3
S3	表 层	东	3	70	4	116	32	244	11	293	4	210	3	259	1.1
		北	2	327	3	13	14	56	5	105	8	326	5	15	-3.5
	中 层	东	4	39	5	85	32	235	11	284	6	249	4	298	0.4
		北	2	358	3	44	7	356	3	45	7	301	4	350	-2.8
	底 层	东	4	57	6	103	29	261	10	310	8	311	5	0	0.6
		北	2	20	2	66	7	14	2	63	5	334	3	23	-1.9

注: H 表示振幅,单位为 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$; g 表示迟角,单位为 $^\circ$

为进一步分析潮流的一些特征,分别计算出3测站6个主要分潮 $O_1, K_1, M_2, S_2, M_4, MS_4$ 的潮流椭圆要素,见表2~4。下面对各站潮流椭圆要素的计算结果进行比较和分析。计算3测站的潮流性质 $F=(W_{K_1}+W_{O_1})/W_{M_2}$ [18] 可得到: S1、S2和S3站分别为0.30, 0.23和0.23,说明该海域属于正规半日潮流区。3测站均以 M_2 潮流占优,尤其是S2站 M_2 潮流最大流速可达68.77 cm/s。通过计算最大可能流速 $u_{max}=1.29W_{M_2}+1.23W_{S_2}+W_{K_1}+W_{O_1}$ [14], 得出该海域表层最大可能流速范围在70~170 cm/s之间,其中S1站为102 cm/s, S2站为171 cm/s, S3站为74 cm/s。3测站半日潮流椭圆率计算结果均接近于0,说明其具有往复流的潮流性质,但各站又有所不同,湾内(S1站)表层椭圆率为-0.2(负值),说明该站为带有顺时针旋转性质的往复流;湾口(S2站)椭圆率为0,基本为往复流性质;湾外(S3站)椭圆率为0.1(正值),说明该站为具有逆时针旋转性质的往复流。所以,胶州湾海域基本是以往复流为主,湾内略带顺时针性质,而湾外为略带逆时针性质,湾口处为往复流,这与以往研究相吻合[4]。浅海中一般用 $G=(W_{M_4}+W_{MS_4})/W_{M_2}$ [14] 的大小作为衡量浅水分潮流在总海流中影响的指标,计算可得表层的 G 值在S1、S2和S3站分别为0.56, 0.45和0.37,说明S1站浅水分潮的份额比其他两个测站占总海流的份额稍大,这是由于S1站水深较浅的原因所致。

表2 S1站潮流椭圆要素

Table 2 Tidal current ellipse elements at Station S1

水层	分潮	潮流椭圆要素					潮流性质
		最大流速 /cm·s ⁻¹	最小流速 /cm·s ⁻¹	椭圆率	最大流发生时刻 /h	最大方向 /°	
表层	O_1	7.5	1.2	-0.2	8.7	37.8	0.4
	K_1	10.4	1.6	-0.2	11.3	37.8	
	M_2	43.5	7.8	-0.2	9.3	308.8	
	S_2	14.8	2.6	-0.2	10.8	308.8	
	M_4	14.8	7.8	0.5	9.5	183.7	
	MS_4	9.5	5.0	0.5	10.3	183.7	
中层	O_1	4.5	1.6	0.4	10.3	29.9	0.3
	K_1	6.2	2.2	0.4	13.2	29.9	
	M_2	40.3	2.9	-0.1	9.1	305.2	
	S_2	13.7	1.0	-0.1	10.7	305.2	
	M_4	8.4	6.3	0.7	10.4	144.5	
	MS_4	5.4	4.0	0.7	8.2	324.5	
底层	O_1	4.1	1.9	0.5	11.1	15.8	0.2
	K_1	5.7	2.7	0.5	14.0	15.8	
	M_2	39.1	1.3	0.0	9.0	301.1	
	S_2	13.3	0.4	0.0	10.6	301.1	
	M_4	7.8	2.5	0.3	10.5	129.9	
	MS_4	5.1	1.6	0.3	8.2	309.9	

表 3 S2 站潮流椭圆要素

Table 3 Tidal current ellipse elements at Station S2

水层	分潮	潮流椭圆要素					潮流性质
		最大流速 /cm · s ⁻¹	最小流速 /cm · s ⁻¹	椭圆率	最大流发生时刻 /h	最大方向 /°	
表层	O ₁	7.9	3.3	-0.4	9.5	94.1	0.3
	K ₁	11.0	4.6	-0.4	12.5	94.1	
	M ₂	71.2	3.2	0.0	11.0	284.2	
	S ₂	24.2	1.1	0.0	10.7	284.2	
	M ₄	19.5	1.2	-0.1	9.1	260.3	
	MS ₄	12.5	0.8	-0.1	9.9	260.3	
中层	O ₁	6.3	1.4	-0.2	10.0	106.4	0.2
	K ₁	8.8	1.9	-0.2	12.9	106.4	
	M ₂	69.2	2.3	0.0	9.2	280.0	
	S ₂	23.5	0.8	0.0	10.8	280.0	
	M ₄	18.3	0.0	0.0	9.1	253.5	
	MS ₄	11.7	0.0	0.0	9.9	253.5	
底层	O ₁	4.7	0.8	-0.2	10.7	116.5	0.2
	K ₁	6.5	1.1	-0.2	13.6	116.5	
	M ₂	55.6	1.9	0.0	9.1	276.1	
	S ₂	18.9	0.6	0.0	10.7	276.1	
	M ₄	14.3	1.1	0.1	9.1	249.5	
	MS ₄	9.1	0.7	0.1	9.9	249.5	

表 4 S3 站潮流椭圆要素

Table 4 Tidal current ellipse elements at Station S3

水层	分潮	潮流椭圆要素					潮流性质
		最大流速 /cm · s ⁻¹	最小流速 /cm · s ⁻¹	椭圆率	最大流发生时刻 /h	最大方向 /°	
表层	O ₁	3.1	2.2	-0.7	14.2	112.2	0.2
	K ₁	4.2	3.1	-0.7	16.8	112.2	
	M ₂	35.1	1.8	0.1	10.7	293.8	
	S ₂	11.9	0.6	0.1	11.7	293.8	
	M ₄	8.0	3.5	0.4	10.6	164.1	
	MS ₄	5.1	2.2	0.4	8.4	344.1	
中层	O ₁	4.3	1.3	-0.3	10.2	65.1	0.2
	K ₁	6.0	1.8	-0.3	13.1	65.1	
	M ₂	32.3	6.3	0.2	9.9	277.0	
	S ₂	11.0	2.1	0.2	11.4	277.0	
	M ₄	8.5	4.1	0.5	9.7	222.2	
	MS ₄	5.4	2.6	0.5	10.5	222.2	
底层	O ₁	4.4	0.9	-0.2	11.8	71.9	0.3
	K ₁	6.0	1.3	-0.2	14.6	71.9	
	M ₂	29.4	6.1	0.2	10.7	275.3	
	S ₂	10.0	2.1	0.2	12.3	275.3	
	M ₄	9.5	1.7	0.2	10.4	239.2	
	MS ₄	6.1	1.1	0.2	8.1	59.2	

根据各站潮流分析发现,海水由外海东侧向湾口聚敛,而后由湾口向湾内发散,形成双向射流体系。胶州湾在涨潮期间,海水由外海沿偏西向进入外湾口后开始分向,一股由偏 SW 向进入黄岛前湾和海西湾;另一股为支流,绕过团岛嘴,以偏 NW 向进入内湾湾口后发散分成几股向湾顶深入。落潮期间,海水的流动方向与涨潮期间相反,湾内的几股水流汇合到内湾口,绕过团岛嘴向东南与由黄岛前湾和海西湾而来的北偏东流汇合,一同从外湾口流出胶州湾。

因为该海域的半日潮流占优,下面将着重通过分析 M_2 潮流来体现该海域海流的垂向结构特点。 M_2 潮流在 3 个测站的表层相对较大,底层流速较小。 M_2 分潮流的最大流速均在 35~70 cm/s 之间,其中在 S2 站表层最大流速要超过 70 cm/s,底层 M_2 最大流速相对较小。各站各层最大流速方向均以西向偏北为主,图 3 给出了 3 测站表、中、底 3 层的 M_2 潮流椭圆示意图。各站的潮流椭圆长轴随深度的增加而变小,越靠近海底,变化速率越大,这是由于海底摩擦作用对潮流的影响所致^[15]。胶州湾内潮流椭圆随着深度的增加变扁,说明水深越深潮流的往复流性质越强;而胶州湾外潮流椭圆随深度增加而变圆,与湾内恰恰相反,水深越浅往复流性质越强;湾口处潮流椭圆随深度变化不大,基本都为往复流性质。

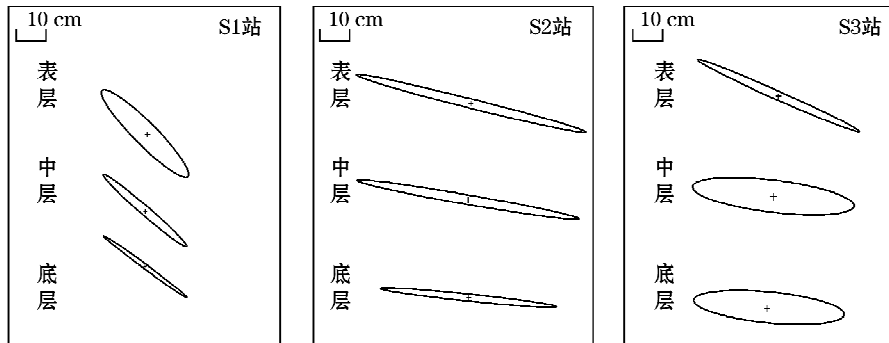


图 3 3 个站表、中、底层 M_2 潮流椭圆示意图

Fig. 3 M_2 tidal current ellipses at surface, middle, bottom layers of 3 stations

3.2 潮流与含沙量的动力关系

研究海域内的泥沙在一天内(约为 2 个半日潮周期)可能会有 3~4 次再悬浮,即含沙量有 3~4 次峰值。本研究利用胶州湾内、湾口、湾外的 S1、S2 和 S3 站的含沙量及流速分析研究潮周期内悬沙的时空变化规律及与流速的关系。

将 3 个站位的含沙量按采样的时间序列在水深方向做剖面图,可以得到以下含沙量的时间序列剖面图(图 4)。总体来说,胶州湾海水较清,水体含沙量较小,最大不超过 60 mg/L,湾内中部(S1 站)位于大沽河附近,在淡水海水混合作用及径流的作用下,泥沙的再悬浮现象比较显著,悬沙在水体中的混合较好,加上该站海底表层沉积物粘土质粉砂,颗粒较小易起动,导致悬沙垂向含量变化较小,而此处平均含沙量较高,因为河流所带泥沙大部分很快沉积在河口附近,而涨潮流的推进对高含沙量的河水的流动起了顶托作用,此外上溯的盐水楔也会使底部的泥沙发生絮凝作用,因此使此处的泥沙浓度增大;湾口处(S2 站)为平均流速最大的往复流,反而含沙量最低,原因是由于该站位于湾口主要的潮汐通道,在湾口狭管效应的作用下,水流速度较大,水体掀沙和挟沙能力都较强,但是在较强水流长期对底部的冲刷作用下,湾口被强烈侵蚀成沟槽,而海底沉积物中细颗粒组分早已被搬运到他处,因此,通过再悬浮作用进入水体的泥沙较少,湾口处水体中的悬沙主要是湾内湾外的悬沙随着涨落潮挟带至此;湾外(S3 站)在较强的海洋动力作用下含沙量变化最为复杂。这种湾内、湾外的含沙量较高,湾口较低分布特征与该海域的沉积物从湾口向湾外、湾内均匀变细的分布形态一致^[16],这也说明胶州湾内悬沙的动力条件主要是潮流。各站含沙量在 25 h 内均出现 2~4 个峰值,由于涨落潮的交替和流速的更迭使得含沙量出现明显的周期性变化^[17],含沙量的峰值基本与海域半日潮流特点相对应。该海域的含沙量的垂直变化,一般来说,从表层到底层含沙量由小到大。

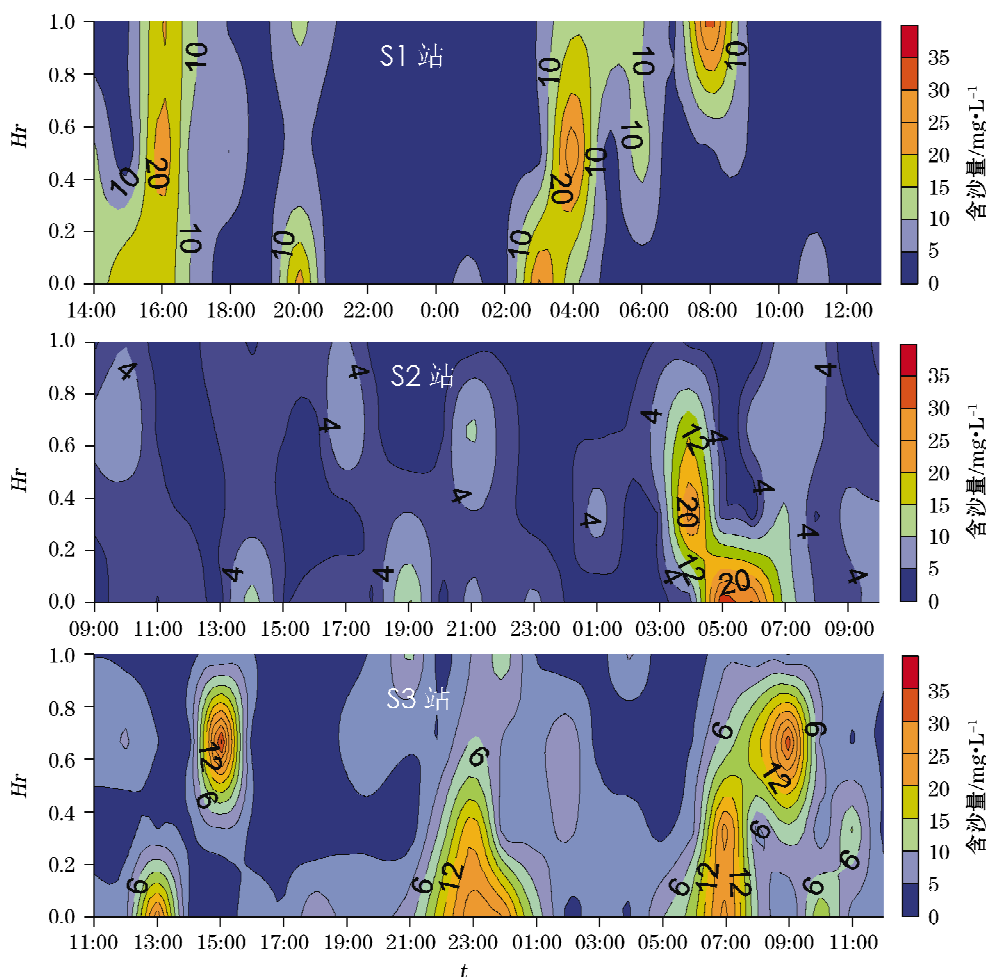


图 4 各站含沙量时间序列等值线

Fig. 4 Isograms of suspended sediment concentration at individual stations

含沙量的变化与沉积物的再悬浮有关,这一现象也可以从图 5 明显看到,底床泥沙在底层流速达到临界起动速度后,由于剪切力易使沉积物发生再悬浮,在底层形成较大的含沙量水体,而在流速低于临界流速时,底层水体中的泥沙将慢慢落淤,从而使底层含沙量出现较为明显的周期性变化。各站流速与含沙量关系对应良好,几乎每一个流速峰值对应一个含沙量的峰值,含沙量的峰值一般出现在流速峰值之后,即在流速达到最大值后含沙量才达到最大值,这是因为泥沙运动总是要落后水流运动,泥沙的起动和再悬浮扩散都需要一个时间过程,滞后的时间由于海域和季节的不同而存在一定的差别^[18]。湾内(S1 站)落潮含沙量要高于涨潮含沙量;湾口的涨潮流速明显大于落潮流速,但含沙量的峰值在涨落潮期基本一致,只有在第二个涨潮的涨憩时段达到一个极大值;湾外(S2 站)在流速的峰值后马上出现含沙量的峰值,两个含沙量的极大值分别出现在落急和涨憩时段。

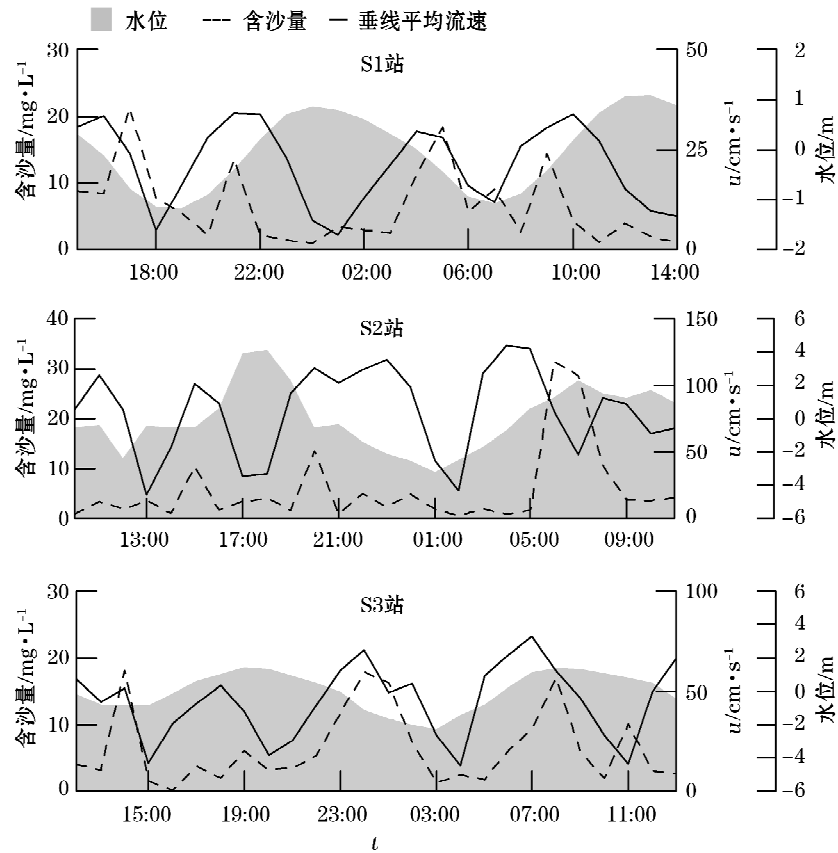


图5 各站平均含沙量与垂线平均流速、水位变化关系

Fig. 5 Vertical average suspended sediment concentration in relation to average velocity and water depth at individual stations

3.3 单宽输沙量

根据同期实测含沙量和单宽输沙量统计(表5)发现,湾内水体中的悬沙以粘土质粉砂为主,涨潮三角洲海域(S1站)落潮单宽输沙量大于涨潮,输沙方向东偏南,该站距离大沽河口较近,水体中的悬沙粒径与河口处及海底表层沉积物的粒径基本一致,这说明该海域水体中的悬沙主要来源于大沽河物源及海底沉积物泥沙再悬浮的贡献;内湾口处水体中的悬沙略粗,以砂质粉砂和粘土质粉砂为主,涨潮单宽输沙量较大,同时大于落潮单宽输沙量,输沙方向北偏西。总体来说,湾内海域由于涨潮流速大导致细颗粒沉积物在涨潮过程中向湾顶输送,并在转流期沉积在潮坪和潮间带内;落潮流速小,对浅水区沉积物的保存有利,而不利于胶州湾西北部入海泥沙的扩散。而外湾口(S2站)水体较清,涨潮单宽输沙量为各站中的最大值,同时大于落潮单宽输沙量,输沙方向为偏西向;湾外海域水体中(S3站)悬沙以粘土质粉砂和粉砂为主,也有部分砂质粉砂,落潮单宽输沙量要大于涨潮单宽输沙量。落潮输沙方向为东北向。胶州湾内其他水域水流流速低,海底沉积物中细颗粒组分较高,表现了海底沉积物与水流流速长期的平衡过程。沧口水道海域的悬沙粒径较细,且涨潮含沙量远大于落潮含沙量,应是细颗粒的悬沙由水流挟由湾外经湾口向湾内输送的动力条件所致。

表 5 实测含沙量和单宽输沙量统计表

Table 5 Statistics of the suspended sediment concentration and sediment discharge

站名	平均水深 /m	涨 潮				落 潮			
		垂线平均含沙	最大含沙量	单宽输沙量	输沙方向	垂线平均含沙	最大含沙量	单宽输沙量	输沙方向
		量/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/kg · m ⁻¹	/°	量/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/kg · m ⁻¹	/°
S1	4.6	4.3	12.1	109.9	153.0	6.8	30.3	150.7	300.5
S2	28.5	5.3	31.5	240.0	202.2	2.9	13.5	208.0	323.7
S3	33.3	4.2	17.1	151.9	221.2	4.5	17.8	229.6	309.7

4 结 论

胶州湾海域东、北分量的半日潮流振幅均大于全日潮流的东、北分量,说明该海域半日潮流占据主要地位,呈现半日潮流的性质,涨潮流流向偏西,落潮流流向偏东。大部分海区为略带旋转流形式的往复流,湾内为略带顺时针性质的往复流,湾外为略带逆时针性质的往复流,湾口为往复流。海水由外海东侧向湾口聚敛,后由湾口向湾内发散,形成双向射流体系。其椭圆长轴方向基本为东西向。

胶州湾海域含沙量与流速密切相关,胶州湾水体含沙量较小,最大不超过 60 mg/L,湾内和湾外含沙量相对较高,湾口潮汐通道处含沙量最低,这与海底沉积物粒径湾口粗,湾内和湾外细的分布形态基本一致。由于涨落潮的交替和流速的更迭使含沙量出现明显的周期性变化,含沙量的峰值基本与海域半日潮流特点相对应。流速与悬沙关系对应良好,几乎每一个流速峰值对应一个含沙量的峰值,含沙量的峰值一般出现在流速峰值之后,这是因为泥沙运动总是要落后水流运动,而泥沙的起动,再悬浮扩散都需要一个时间过程,滞后的时间由于海域和季节的不同而存在一定的差别。

胶州湾内,由于涨潮流速大,在涨潮过程中细颗粒沉积物向湾顶输送,并在转流期沉积在潮坪和潮间带内;落潮流速小,对浅水区沉积物的保存有利,而不利于胶州湾西北部入海泥沙的扩散。湾口水体较清,涨潮单宽输沙量为各站中的最大值,同时大于落潮单宽输沙量,输沙方向为偏西向;胶州湾内其他水域水流流速低,海底沉积物中细颗粒组分较高,表现了海底沉积物与水流流速长期的平衡过程。

参考文献 (References):

- [1] SUN Y L, ZHANG Y M. A three-dimensional numerical simulation of tidal current with variable boundary in the Jiaozhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(4): 8-15. 孙英兰,张越美. 胶州湾三维变动边界的潮流数值模拟[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(4): 8-15.
- [2] YAN J, WANG H, BAO X W. Numerical simulation of 3D tidal current and tidal-induced residual circulation in the Jiaozhou Bay[J]. *Advances in Earth Sciences*, 2001, 16(2): 29-34. 闫菊,王海,鲍献文. 胶州湾三维潮流及潮致余环流的数值模拟[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 29-34.
- [3] ZHANG Y M, SUN Y L. Application of the estuary, shelf and ocean model to the Jiaozhou Bay[J]. *Marine Environmental Science*, 2000, 19(4): 13-17. 张越美,孙英兰. 河口、陆架和海洋模式在胶州湾的应用[J]. *海洋环境科学*, 2000, 19(4): 13-17.
- [4] BAO X W, YAN J, ZHAO L, et al. Application of ECOM model to tidal current computation in the Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 1999, (5): 57-60. 鲍献文,闫菊,赵亮,等. ECOM 模式在胶州湾潮流计算中的应用[J]. *海洋科学*, 1999, (5): 57-60.
- [5] GAO S, WANG Y P. Characteristic of sedimentary environment and tidal inlet evolution of Jiaozhou Bay[J]. *Advances in Marine Science*, 2002, 20(3): 52-59. 高抒,汪亚平. 胶州湾沉积环境与潮汐水道演化特征[J]. *海洋科学进展*, 2002, 20(3): 52-59.
- [6] ZHANG Q A, WU L Y, ZHANG X M, et al. A remote sensing study of Jiaozhou Bay: I. Measurement of total area and coast of line [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1991, 22(3): 193-199. 郑全安,吴隆业,张欣梅,等. 胶州湾遥感研究: 总水域面积和总岸线长度量算[J]. *海洋与湖沼*, 1991, 3(22): 193-199.
- [7] WANG Y P, GAO S. Studies on sediment dynamics and related research fields of Jiaozhou Bay: A review [J]. *Marine Sciences*, 2001, 25

- (2):26-28. 汪亚平,高抒. 胶州湾沉积动力学及相关领域研究进展[J]. 海洋科学,2001,25(2):26-28.
- [8] BIAN S H, XIA D X, LV J F. Tidal geomorphology patterns and their dynamic sedimentary characteristics in the bedrock bays of China [J]. *Advances in Marine Science*,2003,21(3):298-307. 边淑华,夏东兴,吕京福. 中国基岩海湾潮流地貌模式及其沉积动力特征[J]. 海洋科学进展,2003,21(3):298-307.
- [9] Editorial Committee for Chinese Harbours and Embayments. *Chinese Harbours and Embayments(Part IV)- Southern Shangdong Peninsula and Jiangsu Province*[M]. Beijing:China Ocean Press,1993:176-190. 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第四分册,山东半岛南部及江苏省海湾)[M]. 北京:海洋出版社,1993:176-190.
- [10] DONG H P, LI S Q, LI G X, et al. On the off shore tidal depositional system in Qingdao[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2006,36(1),31-36. 董贺平,李绍全,李广雪,等. 青岛近海潮流沉积体系[J]. 中国海洋大学学报,2006,36(1):31-36.
- [11] CHEN B, HUANG H J, MEI B. Transportation characteristic of sediment near Xiaoqing Estuary[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(5):35-41. 陈斌,黄海军,梅冰. 小清河口海域泥沙运动特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2009,29(5):35-41.
- [12] FANG G H, ZHENG W Z, CHEN Z Y, et al. Analysis and prediction of tides and tidal currents [M]. Beijing: China Ocean Press, 1986. 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.
- [13] CHEN Z Y. *Tideology*[M]. Beijing: China Science Press, 1980. 陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [14] JTJ 237-94 Technical code for port engineering [S]. Beijing: China Communications Press,1987. JTJ 237-94 港口工程技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,1987.
- [15] YE A L. The characteristic varies tidal current elision and direction with depth [J]. *Marine Science Bulletin*,1984,3(2): 1-8. 叶安乐. 潮流椭圆长轴方向随深度变化的特征[J]. 海洋通报,1984,3(2): 1-8.
- [16] WANG Y P, GAO S, JIA J J. Sediment distribution and transport patterns in Jiaozhou Bay and adjoining areas[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000,55(4):449-458. 汪亚平,高抒,贾建军. 胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移趋势[J]. 地理学报,2000,55(4): 449-458.
- [17] CHEN B, HUANG H J, YAN L W, et al. Sediment movement and the effect of wind on sediment transport near Xiaoqing Estuary in Shandong Province, China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(2):104-112. 陈斌,黄海军,严立文,等. 小清河口附近海域泥沙运动特征及风场对泥沙输运的影响[J]. 海洋学报,2009,31(2):104-112.
- [18] CHEN B, WANG K. Numerical study of suspended sediment transport in the offshore near Yangtze Estuary[J]. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 2008,20(3):373-381.

Tidal Current Dynamic Characteristic and Its Relation With Suspended Sediment Concentration in Jiaozhou Bay

CHEN Bin^{1,2,3}, ZHANG Yong^{1,3}, LIU Jian^{1,3}, KONG Xiang-huai^{1,3}

(1. *Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China*; 2. *Key Laboratory of Marine Sedimentology & Environmental Geology, SOA, Qingdao 266061, China*; 3. *Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China*)

Abstract: Based on the observation data of suspended sediment concentration (SSC), current velocity and direction in Jiaozhou Bay, the tidal current characteristics were analyzed by applying the tidal current quasi-harmonic method for short-term data. Combining SSC data, the dynamics relation between SSC and the tidal current was also discussed. The results show that the tidal current in the studied area is classified as regular semidiurnal tidal current. The east component of semidiurnal current is generally stronger than the north one. The tidal current is mainly the rectilinear with slight rotation of flow. At flood tide, the tidal current is in the direction of west, and at ebb tide, the current is in the direction of east. As the alternation of the flood and ebb tide and the change of velocity, the SSC shows obvious cyclical changes. The peak of SSC corresponds with the characteristics of regular semidiurnal tidal current, and almost every peak of flow corresponds to a peak of SSC. The SSC is related to the tidal current during a tide, and the maximum concentration appears when the current maximum velocity has reached. The velocity and sediment discharge at the entrance of Jiaozhou Bay is largest, and the sediment discharge of the flood tide is larger than that of the ebb tide. The direction of sediment transport is west.

Key words: Jiaozhou Bay; tidal current; suspended sediment concentration; sediment discharge

Received: November 19, 2010