



# 连云港近岸海域潮流动力特征

张存勇

(淮海工学院 测绘工程学院, 江苏 连云港 222005)

**摘要:** 根据连云港近岸海域夏冬季多站同步连续实测潮流资料, 分析了不同季节、不同潮周期潮流变化特征, 并对实测潮流进行了准调和分析, 进一步计算潮流椭圆要素, 据此分析了潮流性质、潮流运动形式、最大流速和流向。结果表明: 该海区涨落潮流速、历时具有一定的差异, 潮流性质属于规则半日浅海潮流, 近岸表现为往复流运动, 随水深增加, 旋转流明显, 以逆时针方向为主, 最大流速流向随季节不同差异明显。

**关键词:** 连云港; 近岸海域; 潮流; 准调和分析

中图分类号: TV 139.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0030-05

## Characteristics of tidal current dynamic in Lianyungang nearshore area

ZHANG Cun-yong

(School of Geodesy & Geomatics Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

**Abstract:** Based on the observation of the current at several stations conducted synchronically in winter and summer respectively in Lianyungang nearshore area, we analyze the variation characteristics of tidal current, and the type, motion form, maximum velocity and direction of tidal current with the tidal current elliptic factors calculated by the quasi-harmonic method. The results show that the velocity and duration of flood current and ebb current are different. The tidal current is classified as regular semidiurnal tidal current in shallow water. The tidal current is rectilinear current in the nearshore area. With increasing depth, the rotating flow is apparent, and most directions are counter-clockwise. The variation of the maximum velocity and direction are obvious in different seasons.

**Key words:** Lianyungang; nearshore; current; quasi-harmonic analysis

潮流是近岸海域最为重要的动力现象之一, 对海上航行、近岸工程建设、航道利用、潮汐能利用、水产养殖、泥沙运移、污染物扩散等均有重要的影响。因此, 对近岸海域潮流特征的研究具有重要的意义。连云港近岸海域位于黄海的中部, 是一个北起岚山头, 南至燕尾港的开敞性内湾, 受南黄海逆时针旋转潮波、地形和岸线的影响, 潮流动力特征明显, 潮差大, 潮流变化复杂。从已发表的文献来看, 前人多采用数值模拟方法对连云港近岸海域潮流进行研究<sup>[1-8]</sup>, 尚缺少对整个海域不同季节大面积潮流同步实测研究, 对潮流要素的计算也涉及不多。本文根据2005年

夏季和2006年冬季连云港近岸海域多站同步连续实测潮流资料, 利用准调和分析方法研究了该海域潮流各要素的变化和分布规律, 以期深入了解该海域潮流的特征, 为江苏沿海开发国家战略的实施、海洋环境保护以及高精度数值模型建立提供科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 观测资料

对连云港近岸海域夏季潮流的分析采用2005年9月大中潮期间多站同步实测的13个和15个定点连续分层观测资料, 站位分布如图1a)所示。冬

收稿日期: 2012-03-21

作者简介: 张存勇(1971—), 男, 博士, 副教授, 从事海洋技术专业的教研工作。

季潮流的分析采用2006年1月大中潮期间多站同步实测的19个定点连续分层观测资料, 站位分布如图1b)所示。测点站位从北到南垂直岸线由近岸至远岸布设, 根据岸线、水文等自然特征, 尽量均匀分布使站位具有代表性, 除增设站位外, 不同季节和潮周期的测点位置基本相同, 以便观测结果对比。观测使用仪器为SLC9-2直读式海流计, 每1 h观测1次, 观测层位采用6点法, 分别为表层、 $0.2H$ ,  $0.4H$ ,  $0.6H$ ,  $0.8H$ , 底层,  $H$ 为当时实测水深, 水深小于5 m时采用3点法。根据地形水流特征, 把该海区分为海州湾海域和港口南部海域。

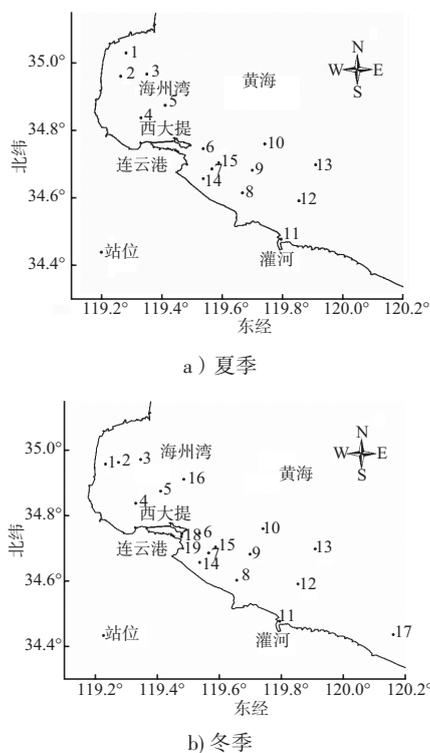


图1 连云港近岸海域测流站

## 1.2 潮流准调和分潮

根据潮流准调和分潮原理<sup>[9-10]</sup>, 采用引入差比数的方法, 对实测海流资料进行了准调和分潮, 计算各站每个分层的 $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_4$ ,  $MS_4$  6个主要分潮的调和常数及其潮流椭圆要素, 具体方法参见文献[11]。

## 2 结果与分析

### 2.1 潮汐特征

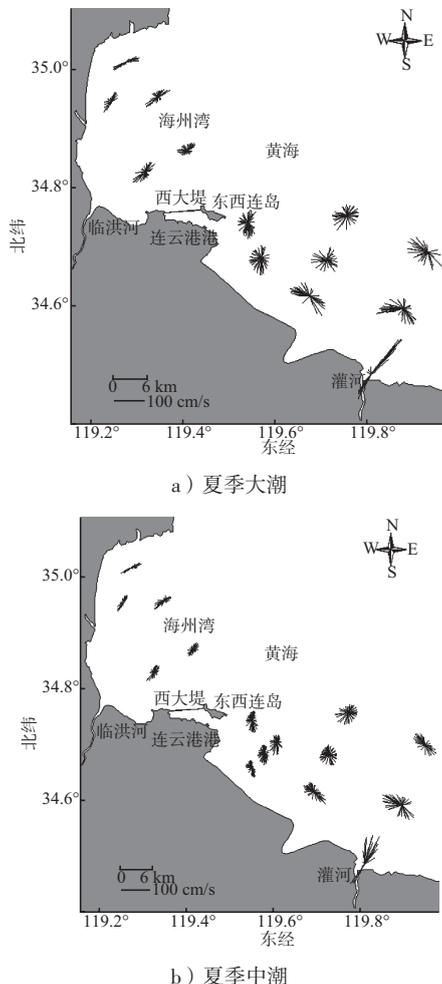
2005年9月3—9日和2006年1月1—9日大、中潮

期间对连云港近岸海域进行了连续的潮位观测。从实测潮水位过程来看, 在1个太阴日内潮位有两高两低, 且高潮位大致相等, 潮汐类型属于正规半日潮。观测期间海州湾海域的最大潮差为5.05 m, 最小潮差为2.78 m, 港口南部海域的最大潮差为4.54 m, 最小潮差为2.69 m。

### 2.2 潮流特征

受地形影响, 连云港近岸潮流基本为往复式的半日潮流。图2为夏冬季大中潮期间各站垂线平均流矢图, 在海州湾海域, 涨潮流向西南, 落潮流向东北。在港口南部海域, 近岸多为往复流, 涨潮流向东南, 落潮流向西北, 随离岸增加, 潮流逐渐变为旋转流。

潮流实测结果表明, 垂向上, 通常表层潮流最强, 底层潮流较弱, 从表层至底层潮流由大变小(表1)。平面上, 港口南部海域的潮流大于海州湾海域的潮流, 垂线平均流矢图(图2)也表明平均流速总体上由北向南逐渐增大。从



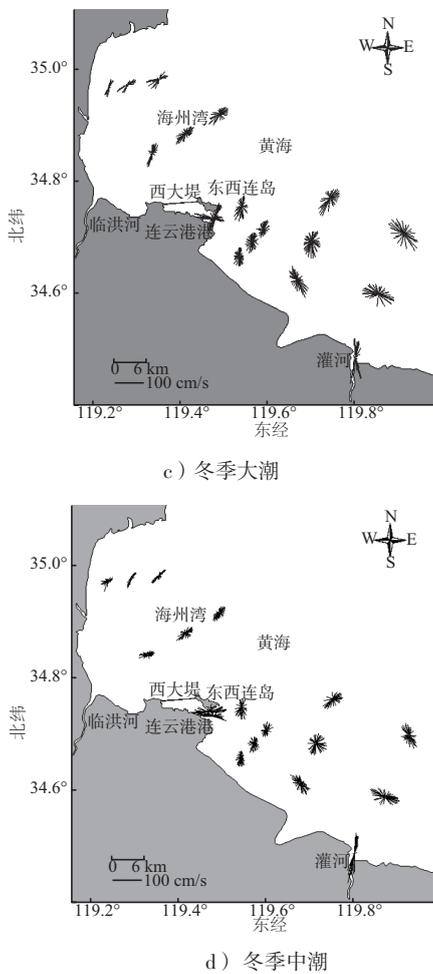


图2 实测大中潮垂线平均流矢图

涨潮流速和落潮流速大小来看(表2), 涨潮流速大于落潮流速。季节上, 夏季潮流普遍大于冬季潮流。冬季大潮流速变化范围大于中潮流速变化范围, 夏季大潮流速变化范围出现小于中潮流速变化范围。实测最大流速在海州湾海域为0.49~0.83 m/s, 在港口南部海域为0.87~1.28 m/s, 4次观测期间平均最大流速结果如表2。最大流速方向在海州湾海域为西南向, 在港口南部海域多为西北向。位于灌河口的11#站受径流影响, 实测最大流速为1.64~2.06 m/s。从各观测期间潮差来看, 海州湾海域的流速大小与平均潮差基本成正比, 港口南部海域流速大小与潮差关系不如海州湾海域明显。根据质量守恒原理, 涨、落潮流速不等, 必然导致涨、落潮流历时不等。一般来说, 由于受地形等因素的影响, 即使是正规半日潮流, 涨、落潮流历时也会不同, 有时甚至差异很大。表2显示无论夏季还是冬季落潮流历时普遍大于涨潮流历时, 表层和底层都呈现这种规律。

### 2.3 潮流性质

潮流性质主要是根据全日、半日分潮流的相对比率来划分的, 通常用 $F=(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}$ 来判别: $F \leq 0.5$ 为规则半日潮流;  $0.5 < F \leq 2.0$ 为不规则半

表1 连云港近岸海域实测流速流向

海区	季节	潮时	表层		中层		底层	
			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/(°)
海州湾海域	夏季	大潮	0.02~0.66	0~359	0.01~0.59	0~359	0.04~0.48	0~359
		中潮	0.06~0.83	2~356	0.01~0.67	0~358	0.02~0.48	0~358
	冬季	大潮	0.02~0.72	0~355	0.01~0.68	0~359	0.04~0.62	0~359
		中潮	0.04~0.49	2~353	0.02~0.54	0~350	0.04~0.48	0~359
港口南部海域	夏季	大潮	0.11~1.28	0~355	0.11~0.94	0~359	0.06~0.70	0~358
		中潮	0.11~1.26	0~359	0.02~0.94	0~359	0.01~0.66	0~358
	冬季	大潮	0.08~0.99	0~355	0.04~0.87	0~359	0.02~0.78	0~359
		中潮	0.02~0.87	0~359	0.06~0.69	0~357	0.04~0.56	0~358

表2 连云港近岸海域潮流特征值

海区	季节	潮时	涨潮平均流速/(m·s <sup>-1</sup> )	落潮平均流速/(m·s <sup>-1</sup> )	最大流速/(m·s <sup>-1</sup> )	最大流向/(°)	涨潮历时/(h:min)	落潮历时/(h:min)	平均潮差/m	最大潮差/m
海州湾海域	夏季	大潮	0.30~0.55	0.31~0.45	0.55	239	5:06~5:48	6:18~7:00	3.73	4.19
		中潮	0.28~0.60	0.32~0.43	0.60	243	5:12~5:36	6:48~7:06	3.74	3.94
	冬季	大潮	0.38~0.64	0.30~0.44	0.64	256	5:06~5:51	6:30~7:18	4.25	5.05
		中潮	0.27~0.50	0.22~0.36	0.50	240	5:27~5:57	6:33~6:54	3.39	3.93
港口南部海域	夏季	大潮	0.49~0.87	0.37~0.73	0.87	299	4:54~5:00	6:42~7:36	3.47	3.93
		中潮	0.42~0.97	0.35~0.73	0.97	293	4:54~5:54	6:24~7:36	3.58	3.73
	冬季	大潮	0.36~0.87	0.31~0.45	0.87	223	4:00~4:45	7:05~8:50	4.00	4.54
		中潮	0.30~0.74	0.31~0.69	0.74	297	4:50~5:10	7:20~8:15	3.23	3.59

日潮流； $2.0 < F \leq 4.0$  为不规则全日潮流； $F > 4.0$  为规则全日潮<sup>[12]</sup>。由于近岸海域潮流性质受浅水分潮流的影响，因此，在判别潮流性质时，通常还要考虑浅水分潮流，其衡量公式为  $G = W_{M4} / W_{M2}$ 。图 3 为连云港近岸海域  $F-G$  的散点分布图。由图 3 可见，该海域夏季绝大部分  $F$  值小于 0.5，冬季  $F$  值小于 0.4，夏季  $F$  值略大于冬季  $F$  值，表明该海域的潮

流性质属于规则半日潮流，夏、冬观测期间  $G$  值均大于 0.04，表明该海域浅海分潮显著。

### 2.4 潮流运动形式

由于该海区的潮流性质为正规半日浅海潮流， $M_2$  为主要分潮，所以潮流的运动形式可用  $M_2$  分潮的旋转率  $K$  来表示。 $K$  值为潮流椭圆的短轴与长轴之比，通常  $K$  值在 0 ~ 1，当  $K=0$  时，为严格的往复流；当  $K=1$  时为理想的旋转流；当  $K > 0.25$  时，潮流表现出较强的旋转性；而当  $K < 0.25$  时，潮流主要集中在涨、落 2 个方向上，表现为往复流。 $K$  值前面的正、负号表示潮流的旋转方向，正号表示潮流为左旋，负号表示潮流为右旋<sup>[12]</sup>。

表 3 为连云港近岸海域夏冬季潮流准调和分析计算的各层椭圆率变化。从潮流的旋转方向来看，在海州湾海域，夏季观测期间各站潮流运动为逆时针方向旋转；冬季观测期间，除 2# 站表层、0.2 层为顺时针外，其余均为逆时针方向。在港口南部海域，夏季观测期间，11# 站为顺时针方向旋转，其余测站为逆时针旋转；冬季观测期间，19# 站为顺时针方向，其余站为逆时针方向旋转。值得注意的是，靠近河口的 11# 站夏季和冬季潮流旋转方向相反，夏季表现为顺时针方向旋转，冬季表现为逆时针方向旋转。

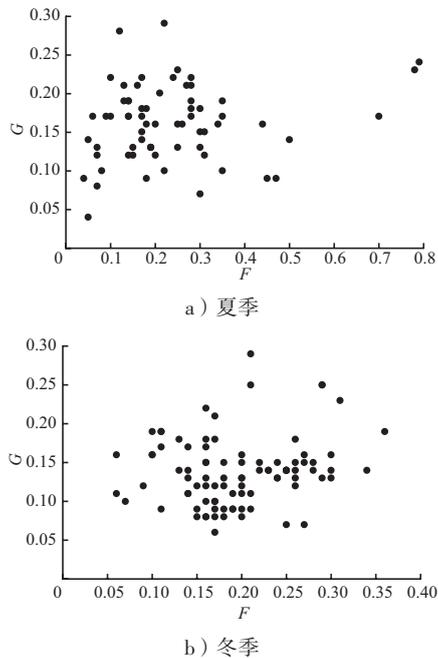


图 3 连云港近岸海域各分层  $F-G$  散点图

表 3 连云港近岸海域夏冬季观测站位各层  $M_2$  分潮椭圆率

站位	夏季层位						冬季层位					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1#	0.15	0.15	0.02	0.03	0.03	0.15		0.07		0.04	0.04	
2#		0.16		0.25	0.28		-0.05	-0.05	0.02	0.08	0.10	0.11
3#	0.31	0.28	0.26	0.25	0.38	0.50	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.02
4#		0.07		0.33	0.49			0.20		0.27	0.28	
5#	0.35	0.39	0.42	0.51	0.6	0.64	0.29	0.34	0.37	0.39	0.41	0.39
6#	0.62	0.77	0.60	0.49	0.45	0.48	0.37	0.41	0.45	0.43	0.41	0.40
7#		0.65		0.62	0.64			0.55		0.55	0.51	
8#		0.30		0.43	0.42			0.42		0.42	0.40	
9#	0.43	0.64	0.93	0.78	0.73	0.72	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71	0.71
10#	0.66	0.69	0.69	0.72	0.69	0.66	0.47	0.50	0.51	0.53	0.53	0.54
11#	-0.01	-0.04	-0.09	-0.08	-0.04	-0.05		0.07		0.01	0.01	
12#	0.40	0.40	0.35	0.39	0.47	0.48	0.43	0.46	0.44	0.45	0.46	0.52
13#	0.40	0.36	0.40	0.44	0.39	0.41	0.46	0.48	0.50	0.57	0.55	0.54
14#		0.49		0.47	0.55			0.46		0.52	0.50	
15#	0.86	0.89	0.75	0.83	0.75	0.75	0.56	0.55	0.56	0.62	0.62	0.65
16#							0.35	0.41	0.42	0.44	0.50	0.41
17#								0.18		0.22	0.21	
18#							0.13	0.07	0.08	0.14	0.12	0.11
19#								-0.21		-0.15	-0.06	

从椭圆率的大小来看，在海州湾海域，夏季观测期间椭圆率  $K$  平均值为 0.29；冬季观测期间椭圆率  $K$  平均值为 0.22，表明该海域往复流性质明

显。在港口南部海域，夏季观测期间椭圆率  $K$  平均值为 0.55；冬季观测期间椭圆率  $K$  平均值为 0.43，表现出旋转流特性。从椭圆率的大小还可以看到，

海州湾海域的往复流性质较港口南部海域明显, 冬季的往复流又较夏季明显。11#站因受河流影响, 无论夏季还是冬季从表层至底层椭圆率始终很小, 接近于0, 表现为明显的往复流运动形式。

### 2.5 最大流速和流向

潮流椭圆长半轴和倾角代表了分潮流的最大流速和方向, 由于该海区的潮流性质为正规半日浅海潮流,  $M_2$ 是优势分潮流, 故用 $M_2$ 分潮流的椭圆长短轴和倾角变化来说明潮流最大流速和方向。

在海州湾海域, 夏季各站 $M_2$ 分潮流的长轴平均值为28.53 cm/s, 短轴平均值为7.41 cm/s, 倾角变化范围为 $213^\circ \sim 270^\circ$ 。冬季, 除5#站表层外, 各站 $M_2$ 分潮流椭圆长轴平均值为30.85 cm/s, 短轴平均值为6.95 cm/s, 倾角变化范围为 $202^\circ \sim 244^\circ$ 。在港口南部海域, 夏季各站 $M_2$ 分潮流的长轴平均值为41.86 cm/s, 短轴平均值为21.75 cm/s, 倾角变化范围为 $2^\circ \sim 359^\circ$ 。冬季各站 $M_2$ 分潮流的长轴平均值为43.11 cm/s, 短轴平均值为18.72 cm/s, 倾角变化范围为 $179^\circ \sim 325^\circ$ 。港口南部海域的潮流长短轴比海州湾海域的大, 椭圆倾角的变化范围也较大。

各站 $M_2$ 分潮的椭圆长轴和倾角具有一定的季节性差异, 最明显的是潮流椭圆倾角随季节不同而变化。在海州湾海域, 夏季 $M_2$ 分潮流椭圆长轴倾角平均值为 $234^\circ$ , 而冬季 $M_2$ 分潮流椭圆长轴倾角平均值为 $228^\circ$ , 由夏季至冬季, 潮流椭圆逆时针方向旋转了大约 $6^\circ$ 。在港口南部海域, 夏季 $M_2$ 分潮流椭圆长轴倾角平均值为 $258^\circ$ , 而冬季 $M_2$ 分潮流椭圆长轴倾角平均值为 $240^\circ$ , 由夏季至冬季, 潮流椭圆逆时针方向旋转了大约 $18^\circ$ 。

此外, 靠近河口的11#站, 由于受河流影响, 椭圆长轴和倾角变化都较大, 夏季 $M_2$ 分潮流的长轴平均值为97.23 cm/s, 倾角平均值为 $38^\circ$ 。冬季 $M_2$ 分潮流的长轴平均值为82.25 cm/s, 倾角平均值为 $5^\circ$ , 椭圆长轴倾角变化明显。

### 3 结论

1) 连云港近岸海域潮流特征变化显著, 在海州湾海域, 涨潮流向西南, 落潮流向东北; 在港口南部海域, 涨潮流向为东南, 落潮流向为西北。垂向上, 通常表层潮流最强, 底层潮流较

弱; 平面上, 流速由北向南逐渐增大。涨、落潮流速不等, 涨潮流速大于落潮流速, 落潮流历时大于涨潮流历时。夏季潮流普遍大于冬季潮流。冬季大潮流速变化范围大于中潮流速变化范围, 夏季大潮流速变化范围出现小于中潮流速变化范围。

2) 准调和和分析结果表明该海域潮流性质属于规则半日浅海潮流。潮流运动形式具有一定的差异, 在海州湾海域, 夏冬季各测站潮流为往复流; 在港口南部海域, 近岸潮流为往复流, 随离岸较远, 潮流逐渐变为旋转流, 以逆时针方向旋转为主。海州湾海域的往复流性质较港口南部海域明显, 冬季的往复流又较夏季显著。港口南部海域的潮流椭圆长轴比海州湾海域的大, 椭圆倾角的变化范围也较大。不同季节椭圆长短轴和倾角具有一定的差异。

### 参考文献:

- [1] 谢飞, 逢勇, 宋志尧. 海州湾海域三维潮流数值模拟[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 718-721.
- [2] 孙长青, 郭耀同, 赵可胜, 等. 海州湾及邻近海域潮流数值计算[J]. 海洋科学, 2003, 27(10): 54-58.
- [3] 吕海滨, 周立, 汤均博, 等. 海州湾西部水动力数值模拟[J]. 淮海工学院学报: 自然科学版, 2008, 17(1): 72-75.
- [4] 华祖林, 卞华. 开敞性水域水流三维数值模拟[J]. 河海大学学报, 1997, 25(6): 86-91.
- [5] 赵士清, 张镜潮. 连云港潮流的数值模拟[J]. 海洋学报, 1981, 3(3): 500-515.
- [6] 张镜潮, 李家星. 连云港港区二维潮流计算[J]. 海洋工程, 1991, 10(1): 49-57.
- [7] 赵洪波, 王广聚. 田湾核电站海域潮流场数值模拟[J]. 水道港口, 2007, 28(1): 5-9.
- [8] 李孟国, 李文丹, 时钟, 等. 田湾核电站海域潮流泥沙数值模拟研究[J]. 泥沙研究, 2008(2): 16-23.
- [9] GB/T 12763.7—2007 海洋调查资料交换[S].
- [10] 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等. 潮汐和潮流的分析与预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986.
- [11] 方国洪. 潮汐分析和预报的准调和分潮方法—Ⅲ潮流和潮汐分析的一个实际计算过程[J]. 海洋科学集刊, 1981, 18: 19-40.
- [12] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)