

## 渤海中部一个月实测潮流资料分析\*

娄安刚<sup>1</sup> 王学昌<sup>1</sup> 吴德星<sup>1</sup> 李海平<sup>2</sup> 常 炜<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 青岛海洋大学环境科学与工程学院 266003)

(<sup>2</sup> 中海石油研究中心 北京 100027)

**提要** 利用 1996 年 6 月 28 日至 7 月 29 日在位于渤海中部一点 (38°19′39.426″N, 119°37′01.546″E) 获得的潮流调查资料, 进行了一个月的实测潮流资料调和分析, 计算了该站北、东分量各 74 个分潮的调和常数, 进而计算各分量的潮流椭圆要素, 给出了 10 个主要分潮的潮流调和常数及其椭圆要素。对实测潮流资料进行了频率统计, 给出了流速、流向的频率分布。有助于进一步了解该海区的潮流性质并为数值模拟者研究渤海的潮流提供了验证数据。

**关键词** 渤海中部, 调和分析, 实测潮流, 椭圆要素, 频率分布

渤海的实测潮流资料较多, 但主要位于渤海湾、辽东湾和莱州湾及其近岸海域, 渤海中部较长期的实测流资料难以获得, 数值模型研究者<sup>[1, 2]</sup>也往往只是模拟渤海 O<sub>1</sub>、K<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和 S<sub>2</sub> 的一些潮流性质, 对其它分潮的数值模拟较少, 因而对渤海中部潮流性质的了解不够全面。本文对位于 38°19′39.426″N, 119°37′01.546″E 点, 1996 年 6 月 28 日至 7 月 29 日的 5 m 层, 观测间隔为 20 min 的潮流资料进行了 1 个月的潮流调和分析和频率统计, 给出了 10 个主要分潮的潮流调和常数及其椭圆要素。这有利于研究渤海中部的潮流性质及对数值模拟结果的验证。

## 1 潮流调和分析及椭圆要素的计算

## 1.1 分析及计算方法

一个月潮流调和分析及椭圆要素的计算方法具体见参考文献 [3, 4], 这里以北分量为例给出计算潮流调和常数的公式:

$$\sum_{j=0}^{46} A_j F_{ij} = \frac{2}{2N+1} \sum_{t=-N}^N u(t) \cos \sigma_i t$$

$$i, j = 0, 1, 2, \dots, 46$$

$$\sum_{j=0}^{46} B_j G_{ij} = \frac{2}{2N+1} \sum_{t=-N}^N u(t) \sin \sigma_i t$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, 46$$

式中:

$$F_{ij} = \frac{\sin(\sigma_i - \sigma_j) + (N+1/2)}{(2N+1)\sin \frac{1}{2}(\sigma_i - \sigma_j)} + \frac{\sin(\sigma_i + \sigma_j) + (N+1/2)}{(2N+1)\sin \frac{1}{2}(\sigma_i + \sigma_j)}$$

$$G_{ij} = \frac{\sin(\sigma_i - \sigma_j) + (N+1/2)}{(2N+1)\sin \frac{1}{2}(\sigma_i - \sigma_j)} + \frac{\sin(\sigma_i + \sigma_j) + (N+1/2)}{(2N+1)\sin \frac{1}{2}(\sigma_i + \sigma_j)}$$

46 个主要分潮北分量的调和常数为:

$$H_u = \frac{(A^2 + B^2)^{1/2}}{f(1 + \omega)}$$

$$g_u = (V_0 + u) + \theta + \omega$$

28 个次要分潮的调和常数依近似公式<sup>[4]</sup>计算。上式中  $t = [-N, N]$ ,  $N = 1\ 080$

## 1.2 计算结果

通过 1 个月潮流调和和分析得到北、东分量各 74 个分潮的调和常数, 并进而计算各分量的潮流椭圆

\* 国家 973 项目 (G1 999043804) 和山东省重点基金项目 (Z99E01) 资助

第一作者: 娄安刚, 出生于 1963 年, 副教授, 研究方向: 环境海洋学。E-mail: aglou@ouqd.edu.cn

收稿日期: 2002-03-18; 修回日期: 2002-05-28

表 1 潮流调和常数及椭圆要素

Tab.1 Harmonic constant and elliptic factors of current

分潮	$H_u(\text{cm/s})$	$G_u(^{\circ})$	$H_v(\text{cm/s})$	$G_v(^{\circ})$	$K$	$Q(^{\circ})$	$W_L(\text{cm/s})$	$W_S(\text{cm/s})$	$T(\text{h})$
$Q_1$	0.36	323.58	2.71	174.43	0.068	96.61	2.73	0.19	12.98
$O_1$	7.70	17.52	7.99	180.42	-0.150	313.89	10.98	1.65	0.62
$K_1$	9.00	54.94	11.80	219.40	-0.131	307.05	14.71	1.93	3.00
$P_1$	2.98	52.14	3.91	216.84	-0.132	307.05	4.87	0.65	2.82
$N_2$	2.37	1.82	4.69	139.42	-0.259	112.48	5.04	1.49	5.15
$M_2$	18.81	48.26	28.55	178.34	-0.411	298.15	31.63	12.99	0.37
$S_2$	6.72	106.71	11.20	226.60	-0.465	291.54	11.84	5.51	1.90
$K_2$	1.83	101.99	3.04	222.69	-0.459	291.89	3.22	1.48	1.77
$M_4$	3.98	161.64	1.67	321.68	-0.124	338.11	4.29	0.53	2.74
$MS_4$	3.06	214.71	0.80	40.89	0.026	165.40	3.17	0.08	0.60

要素。表 1 给出了 10 个主要分潮的潮流椭圆要素。图 1 给出了 8 个主要分潮的潮流椭圆图。

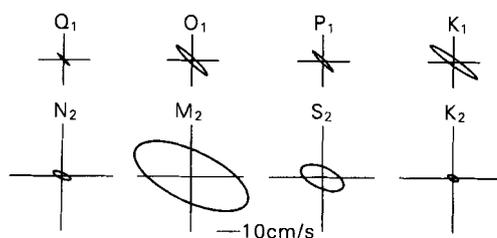


图 1 一个月实测资料潮流分析椭圆图

Fig.1 Current ellipse of one month observed data analysis

从图 1 和表 1 可以看出：

(1)  $(W_{K1} + W_{O1}) / W_{M2} = 0.81$ , 为不正规半日潮流性质；(2) 除  $Q_1$  和  $MS_4$  分潮外, 其它各分潮的  $K$  普遍为负值, 表明除  $Q_1$  和  $MS_4$  外, 各分潮的潮流为顺时

针方向旋转；(3)  $M_2$  分潮的流速最大, 平均最大流速为  $31.63 \text{ cm/s}$ , 其方向为  $298.15^{\circ}$  和  $118.15^{\circ}$ ,  $K_1$ 、 $S_2$ 、 $O_1$  次之, 其它较小。

## 2 一月之中潮流变化规律

图 2 绘出了 1996 年 6 月 29 日至 7 月 28 日潮流北、东分量的变化图。从中可以看出：(1) 在一个太阴日 (24.8412 h) 内有潮流变化二个周期, 有二次涨落潮流。(2) 潮流具有明显的半月周期变化规律, 它和潮汐的变化规律相应。7 月 2 日 (农历五月十七日) 及 7 月 17 日 (农历六月二日) 的潮流最大。依据实测资料, 7 月 2 日 14 时 20 分的潮流流速为  $72 \text{ cm/s}$ , 其流向为  $302^{\circ}$ 。7 月 17 日 15 时 40 分, 所测流速为  $81 \text{ cm/s}$  其流向为  $321^{\circ}$ , 为该月的最大流速。(3) 一日之中的二次涨、落潮流具有明显的差异, 说明该站具有明显的潮流日不等现象。

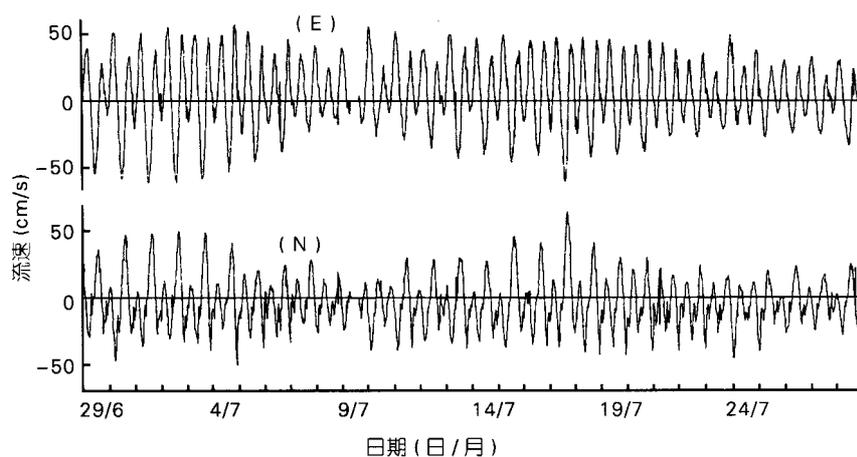


图 2 北、东分量 1 个月内潮流变化曲线

Fig.2 Current variation of north and east components in one month

表 2 流速流向频率分布表(1996-06-29~07-28, 点(38°19'39.426", 119°37'01.546"E), D = 5 m)

Tab.2 Frequency distribution of current and current direction

流向	流速 (cm/s)										Total
	0~9	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	90~99	
N	10	29	17	12	2	2	0	0	0	0	72
	0.46	1.34	0.79	0.56	0.09	0.09	0	0	0	0	3.33
NNE	9	28	12	6	3	1	0	0	0	0	59
	0.42	1.30	0.56	0.28	0.14	0.05	0	0	0	0	2.73
NE	11	34	18	3	0	0	0	0	0	0	66
	0.51	1.57	0.83	0.14	0.00	0.00	0	0	0	0	3.05
ENE	8	39	32	12	1	0	0	0	0	0	92
	0.37	1.80	1.84	0.56	0.05	0.00	0	0	0	0	4.26
E	7	30	52	47	15	1	0	0	0	0	152
	0.32	1.39	2.41	2.17	0.69	0.05	0	0	0	0	7.03
ESE	8	17	42	62	85	62	16	0	0	0	292
	0.37	0.79	1.94	2.87	3.93	2.87	0.74	0	0	0	13.51
SE	23	49	69	72	70	67	22	3	0	0	375
	1.06	2.27	3.19	3.33	3.24	3.10	1.02	0.14	0	0	17.35
SSE	29	52	11	12	3	0	0	0	0	0	107
	1.34	2.41	0.51	0.56	0.14	0	0	0	0	0	4.95
S	28	40	11	0	1	0	0	0	0	0	80
	1.30	1.85	0.51	0.0	0.05	0	0	0	0	0	3.70
SSW	12	54	7	0	0	0	0	0	0	0	73
	0.56	2.50	0.32	0	0	0	0	0	0	0	3.38
SW	16	56	23	2	0	0	0	0	0	0	97
	0.74	2.59	1.06	0.09	0	0	0	0	0	0	4.49
WSW	6	56	33	6	0	0	0	0	0	0	101
	0.28	2.59	1.53	0.28	0	0	0	0	0	0	4.67
W	13	36	50	28	15	7	0	0	0	0	149
	0.60	1.67	2.31	1.30	0.69	0.32	0	0	0	0	6.89
WNW	12	39	24	17	35	14	22	2	0	0	165
	0.56	1.80	1.11	0.79	1.62	0.65	1.02	0.09	0	0	7.64
NW	10	41	23	35	21	21	17	4	4	0	176
	0.46	1.90	1.06	1.62	0.97	0.97	0.79	0.19	0.19	0	8.14
NNW	12	35	21	14	11	8	3	1	0	0	105
	0.56	1.62	0.97	0.65	0.51	0.37	0.14	0.05	0	0	4.86
总计	214	635	445	328	262	183	80	10	4	0	2 161
	9.90	29.38	20.59	15.18	12.12	8.47	3.70	0.46	0.19	0	100.00

### 3 潮流频率统计

对所测 1999 年 6 月 28 日至 7 月 28 日共 2 161 组流向、流速进行 16 个方位的频率统计。表 2 给出了统计结果，表中第一行的数值表示流速值范围，如 0~9 表示 0~9 cm/s 的范围。图 3 和图 4 给出了流向、流速频率分布图。从表 2 和图 2 看出落潮期间，潮流流向在 SE 及 ESE 两个方位的次数最多为 375 次

及 292 次，分别占总次数的 17.35% 和 13.51%，涨潮流向较分散，NW 和 WNW 两个方位的次数较多，分别占总数的 8.14% 和 7.64%。

依据表 2 进一步计算得到表 3，并以此绘制图 3。表 3 第一行的代表意义同表 2。从表 2 知，NW 方位上，虽然流向的次数少，但出现的流速最大，流速 > 80 cm/s 的次数为 4 次，占总数的 0.19%，它在表 3 中也能体现出来。

表 3 实测流速频率统计表

Tab.3 Frequency statistic of observed current data

流向	流速(cm/s)				
	0~19	0~39	0~59	0~79	0~99
N	1.80	3.15	3.33	3.33	3.33
NNE	1.72	2.56	2.75	2.75	2.75
NE	2.08	3.05	3.05	3.05	3.05
ENE	2.17	4.21	4.26	4.26	4.26
E	1.71	6.29	7.03	7.03	7.03
ESE	1.16	5.97	12.77	13.51	13.51
SE	3.33	9.85	16.19	17.35	17.35
SSE	3.75	4.82	4.96	4.96	4.96
S	3.15	3.66	3.71	3.71	3.71
SSW	3.06	3.38	3.38	3.38	3.38
SW	3.33	4.48	4.48	4.48	4.48
WSW	2.87	4.68	4.68	4.68	4.68
W	2.27	5.88	6.89	6.89	6.89
WNW	2.36	4.26	6.53	7.64	7.64
NW	2.36	5.04	6.98	7.96	8.15
NNW	2.18	3.80	4.68	4.87	4.87

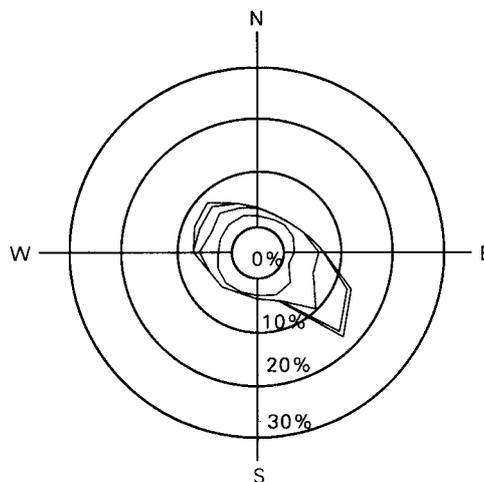


图 4 流速频率分布

Fig.4 Frequency distribution of current

#### 4 结论

通过对实测站位 1 个月的潮流资料进行分析,得如下结论:

- (1) 渤海中部为不正规半日潮流性质;
- (2) 大多数分潮的表层潮流为顺时针方向旋转;
- (3)  $M_2$  分潮的流速最大,平均最大流速为  $31.63 \text{ cm/s}$ ,其方向为  $298.15^\circ$  和  $118.15^\circ$ ,  $K_1$ 、 $S_2$ 、 $O_1$  次之,再其次为  $N_2$ 、 $P_1$ 、 $M_4$  和  $MS_4$ ,其它分潮较小;
- (4) 落潮流流向在 SE 及 ESE 两个方位的频率最大,涨潮流流向较分散, NW 和 WNW 两个方位的频率较大。

#### 参考文献

- 1 孙文心,潘文波.分潮波模型多资料数值计算方法研究(混合边值方法),青岛海洋大学学报,1996,26(2):157~163
- 2 潘文波,孙文心.分潮波模型多资料数值计算方法研究(有限差分最小二乘法),青岛海洋大学学报,1996,26(2):147~156
- 3 黄祖珂.渤海的潮波系统及其变迁,青岛海洋大学学报,1991,21(2):1~12
- 4 方国洪等著.潮汐和潮流的分析与预报.北京:海洋出版社,1986.12

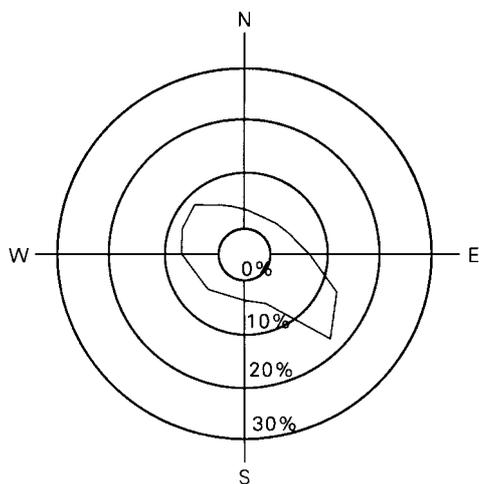


图 3 流向频率分布

Fig.3 Frequency distribution of current direction

研究报告 *REPORTS*

# ANALYSIS OF ONE MONTH'S CURRENT DATA OBSERVED IN MIDDLE OF BOHAI SEA

LOU An-gang<sup>1</sup>    WANG Xue-chang<sup>1</sup>    WU De-xing<sup>1</sup>    LI Hai-ping<sup>2</sup>    CHANG Wei<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of Qingdao, 266003)

(<sup>2</sup> China Ocean Offshore Cooperation Research Center Beijing, 100027)

Received: Mar., 18, 2002

**Key Words:** Middle of Bohai Sea, Harmonic analysis, Observed current data, Elliptic factors, Frequency distribution

## Abstract

Using one month's (1996.6.28 ~ 7.29) current data observed in middle of Bohai Sea ( $38^{\circ}19'39.426''$  N,  $119^{\circ}37'01.546''$  E), this paper carried out the harmonic analysis. The harmonic constants in North and East of 74 tidal components are calculated. Tidal current elliptic factors are then computed too. The harmonic constants and elliptic factors of 10 main tidal components of current are given in this paper. Based on frequency statistic, the frequency distribution of observed current data are given. These results must be helpful to further understanding tidal current characters in the sea area. Also validation data are provided for modeller study on tidal current in Bohai Sea.

(本文编辑:张培新)