

# 东海三定点周日海流观测的准调和分析

王 凯<sup>1</sup>, 叶 冬<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:**应用短期资料的潮流准调和分析方法,对东海三定点测站获得的表、中、底3层的25 h连续海流资料进行了分析,计算了3测站 $O_1, K_1, M_2, S_2, M_4, MS_4$ 6个主要分潮的北、东分量潮流调和常数,并给出了各测站在各层的潮流椭圆要素。计算结果表明:该海区潮流属于正规半日潮流性质,半日分潮流的北分量大于东分量,呈现旋转流的性质,按顺时针向旋转。分析结果也反映出表层、中层的浅水分潮在观测海流中所占的份额高于底层的浅水分潮。结果有助于了解该海区的潮流性质并为潮流数值模拟提供校验实测数据。通过与同期获得的悬浮物浓度剖面数据的对比,将有助于研究潮流与该地区悬浮泥沙浓度分布之间的关系。

**关键词:**潮流; 准调和; 调和常数; 椭圆要素

中图分类号: P717; P722.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2007)08-0018-08

大面积的混浊水域是中国海洋环境的重要特征,长江口外的混浊水海域就是其中具有典型性的海域。对这一海区及其周边海域的潮流观测和研究工作一直不断。丁文兰<sup>[1]</sup>利用观测资料对东海潮汐和潮流的特征进行了分析。Fang<sup>[2]</sup>根据大量的实测资料,以及他和合作者所做的一系列准确度较高的数值结果,绘制了中国近海较完整的潮汐、潮流图。Choi<sup>[3]</sup>、赵保仁等<sup>[4]</sup>、叶安乐等<sup>[5]</sup>分别采用二维数值模式对东中国海的潮汐进行了模拟。Choi<sup>[6]</sup>曾对东中国海的潮汐作过三维模拟,但未将东海水深变化急剧的大陆坡区考虑在内。万振文等<sup>[7]</sup>利用POM三维数值模式对包含陆坡的东中国海潮波运动进行了模拟。王凯<sup>[8]</sup>等基于一种新的半隐半显三维数值格式,也模拟了整个东中国海的三维潮波。这些研究成果,加深了人们对东海混浊水域潮波的了解和认识。

2006年8月,中国科学院海洋研究所使用“科学三号”科考船,在长江口外东海域进行了为期10 d的海洋综合调查,并在3个站点进行了25 h连续海流观测,其中每站设表、中、底3层,所在位置分别是S1站( $122^{\circ}51.88' E, 32^{\circ}0.18' N$ )位于观测当天长江口外混浊水的锋面处,S2站( $122^{\circ}54.97' E, 31^{\circ}0.09' N$ )是混浊水域外侧(东边)较清水域的代表点,S3站( $122^{\circ}29.93' E, 31^{\circ}15.26' N$ )是长江口外混浊水高浓度区的代表点。每站使用3台ALEC ELECTRONICS公司的COMPACT EM海流计。该仪器具有体积小、价格低、携带方便、可满足海试任务要求的特点。虽然2006年夏季东海台风频发,并出现了有记录以来最大的台风“桑美”(0608号台风),但在

连续站的测流期间,天气以晴好为主,风力较小,多为一二级海况。只是在最后一个站(S2)即将结束观测时,“桑美”台风形成,但尚距观测点1600 km。作者使用单日潮流资料的准调和分析方法,得出该海区潮流的一些特征。

## 1 数据来源与处理方法

S1站分别在5 m(表层),10 m(中层),28 m(底层)进行观测,观测时间从2006年8月4日12:00至8月5日13:00,共计25 h。接着进行了S3站的观测,其表、中、底3层分别设在5,10,18 m处,观测时段从8月5日19:00至6日20:00共计25 h。S2站的水深略深,表、中、底3层分别设在5,15,35 m处,也是本次海试最后一个完成的观测站位,观测时间从8月7日8:00至8月8日9:00。采样方式设定为连续采样1 min,间隔9 min,在每次采样的1 min内采样频率定为1次/s。所获得的原始海流观测记录绘于图1,图3,图5。由于原始记录带有扰动信息,需对原始海流观测资料进行质量控制,滤去不合理的值。具体做法是:分别计算东分量和北分量在1 min观测时段内的均值和标准差,剔除偏离3倍标准差的

收稿日期:2007-04-10; 修回日期:2007-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目(40576017);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-222)

作者简介:王凯(1968),男,广东汕头人,中国科学院海洋研究所研究员,博士,主要从事海洋数值模拟研究,电话:0532-82898507, E-mail: kwang@ms.qdio.ac.cn

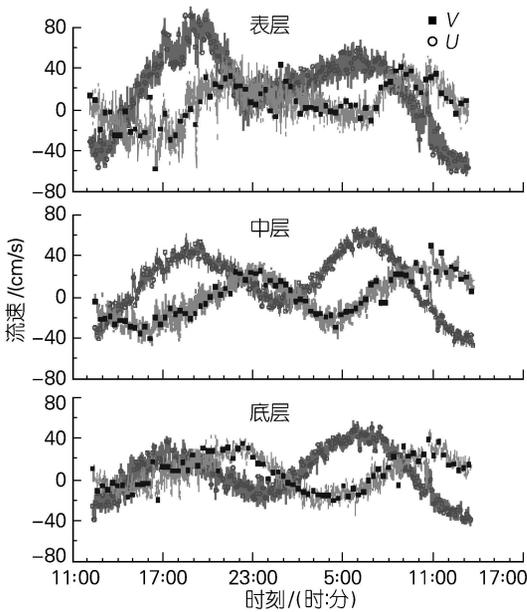


图 1 S1 站观测海流数据

Fig. 1 Raw current data at station S1

U 为流速北分量; V 为流速东分量(下同)

U—north component; V—east component(the same as follow)

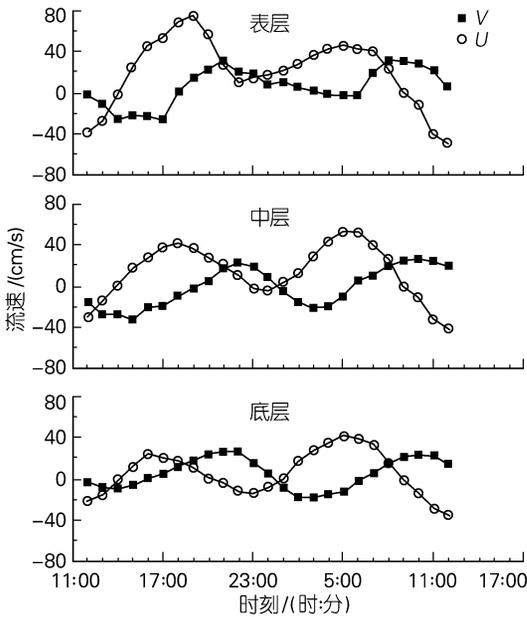


图 2 S1 站每小时平均观测海流数据

Fig. 2 Averaged current per hour at station S1

数据,然后循环这一过程,直到所有剩余数据值在 3 倍的标准差内。再对这些 1 min 内的观测数据进行平均构成常规 1 次/h 的海流观测结果。每个站点在每层进行的 25 h 观测可得 25 个数据。所得 1 次/h 的观测数据可见图 2, 图 4, 图 6。

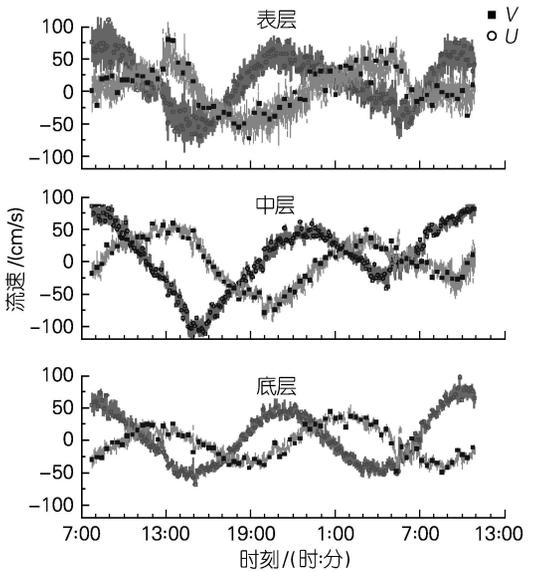


图 3 S2 站观测海流数据

Fig. 3 Raw current data at station S2

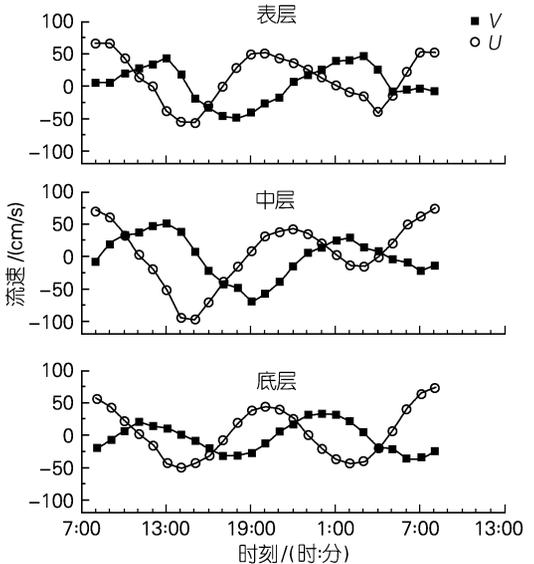


图 4 S2 站每小时平均观测海流数据

Fig. 4 Averaged current per hour at station S2

由于是周日观测,资料时间序列比较短,通过引入差比关系,可对上述海流观测资料进行潮流的准调和分折<sup>[9]</sup>,获得每一测点每层的  $O_1, K_1, M_2, S_2, M_4, M_{S_4}$  等 6 个主要分潮流的调和常数 and 观测期间的余流值。由于观测各点基本上位于舟山海域,在差比系数的选取上,曾对比了两种方案的结果,一种是均采用舟山海域的差比系数;另一种是对 S1 站采用吕四

的差比系数, S2 站采用嵎泗的, S3 站采用余山的差比系数。结果差别不大, 故应用舟山海域的差比系数:  $H_{K_1} / H_{O_1} = 1.59$ ,  $g_{K_1} - g_{O_1} = 45$ ;  $H_{S_2} / H_{M_2} = 0.43$ ,  $g_{S_2} - g_{M_2} = 46$ ;  $H_{M_{S_4}} / H_{M_4} = 0.86$ ,  $g_{M_{S_4}} - g_{M_4} = 46$ 。获得的潮流调和常数列于表 1, 表 3, 表 5 中, 相应的潮流椭圆要素列于表 2, 表 4, 表 6 中。

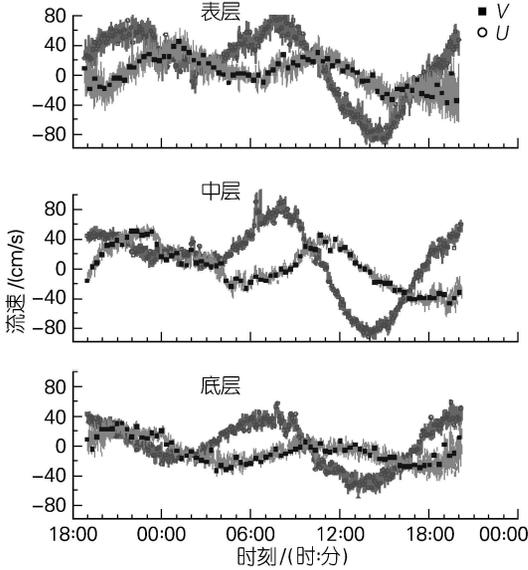


图 5 S3 站观测海流数据

Fig.5 Raw current data at station S3

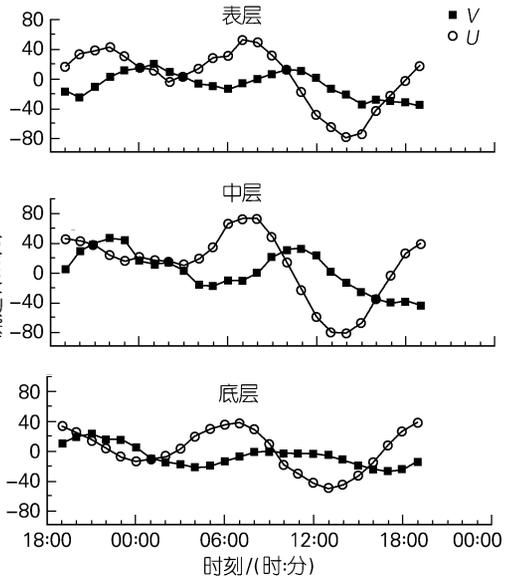


图 6 S3 站每小时平均观测海流数据

Fig.6 Averaged current per hour at station S3

### 2.3 测站的流况特征

由表 1、表 3、表 5 可以看出, 该海域北、东分量的半日潮流振幅均大于全日潮流的北、东分量, 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。对半日分潮流 ( $M_2, S_2$ ) 各测站各层的结果均体现北分量大于东分量。对于全日潮流 ( $K_1, O_1$ ) 除 S2 站表层外, 也都呈现北分量大于东分量的结果。由图 1、图 3、图 5 可以看出, 观测海流的北分量基本上大

表 1 S1 连续站潮流调和常数

Tab.1 Harmonic constants of tidal current at Station S1

| 水层 | 分量 | 潮流调和常数    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |               |               | 余流<br>(cm/s) |
|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|--------------|
|    |    | $H_{O_1}$ | $g_{O_1}$ | $H_{K_1}$ | $g_{K_1}$ | $H_{M_2}$ | $g_{M_2}$ | $H_{S_2}$ | $g_{S_2}$ | $H_{M_4}$ | $g_{M_4}$ | $H_{M_{S_4}}$ | $g_{M_{S_4}}$ |              |
| 表层 | 东  | 5         | 252       | 9         | 298       | 46        | 40        | 20        | 86        | 31        | 11        | 27            | 57            | 5            |
|    | 北  | 14        | 177       | 22        | 223       | 79        | 296       | 34        | 341       | 19        | 325       | 17            | 11            | 20           |
| 中层 | 东  | 4         | 275       | 7         | 321       | 53        | 43        | 23        | 88        | 25        | 182       | 22            | 228           | -1           |
|    | 北  | 8         | 202       | 13        | 247       | 71        | 291       | 31        | 337       | 7         | 99        | 6             | 145           | 14           |
| 底层 | 东  | 2         | 91        | 4         | 136       | 40        | 31        | 17        | 77        | 12        | 138       | 11            | 184           | 6            |
|    | 北  | 6         | 234       | 10        | 279       | 57        | 276       | 24        | 322       | 4         | 75        | 3             | 121           | 6            |

注:  $H$  表示振幅, 单位为  $cm/s$ ;  $g$  表示迟角, 单位为  $^\circ$  (下同)

表 2 S1 连续站潮流椭圆要素

Tab. 2 Tidal current ellipse elements at Station S1

| 水层 | 分潮              | 潮流椭圆要素         |                |       |                |              | 潮流性质<br>$\frac{(W_{K_1} + W_{O_1})}{W_{M_2}}$ |
|----|-----------------|----------------|----------------|-------|----------------|--------------|---|
|    |                 | 最大流速<br>(cm/s) | 最小流速<br>(cm/s) | 椭圆率   | 最大流发生<br>时刻(时) | 最大流方向<br>(°) |   |
| 表层 | O <sub>1</sub>  | 14             | 5              | - 0.4 | 8.5            | 187          | 0.5   |
|    | K <sub>1</sub>  | 22             | 8              | - 0.4 | 11.5           | 187          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 80             | 44             | - 0.5 | 12.3           | 168          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 34             | 19             | - 0.5 | 13.7           | 168          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 34             | 13             | - 0.4 | 8.5            | 62           |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 29             | 11             | - 0.4 | 9.3            | 62           |   |
| 中层 | O <sub>1</sub>  | 8              | 4              | - 0.5 | 10.5           | 192          | 0.3   |
|    | K <sub>1</sub>  | 13             | 7              | - 0.5 | 13.3           | 192          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 75             | 47             | - 0.6 | 11.8           | 155          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 32             | 21             | - 0.6 | 13.2           | 155          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 25             | 7              | - 0.3 | 8.5            | 88           |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 21             | 6              | - 0.3 | 9.3            | 88           |   |
| 底层 | O <sub>1</sub>  | 6              | 1              | 0.2   | 11.3           | 162          | 0.3   |
|    | K <sub>1</sub>  | 11             | 2              | 0.2   | 15.4           | 162          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 61             | 34             | - 0.6 | 11.3           | 155          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 26             | 15             | - 0.6 | 12.7           | 155          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 12             | 3              | - 0.2 | 10.8           | 82           |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 11             | 3              | - 0.2 | 8.5            | 82           |   |

表 3 S2 连续站潮流调和常数

Tab. 3 Harmonic constants of tidal current at Station S2

| 水层 | 分量 | 潮流调和常数                     |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                             | 余流<br>(cm/s) |                             |
|----|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|
|    |    | H <sub>O<sub>1</sub></sub> | g <sub>O<sub>1</sub></sub> | H <sub>K<sub>1</sub></sub> | g <sub>K<sub>1</sub></sub> | H <sub>M<sub>2</sub></sub> | g <sub>M<sub>2</sub></sub> | H <sub>S<sub>2</sub></sub> | g <sub>S<sub>2</sub></sub> | H <sub>M<sub>4</sub></sub> | g <sub>M<sub>4</sub></sub> | H <sub>MS<sub>4</sub></sub> |              | g <sub>MS<sub>4</sub></sub> |
| 表层 | 东  | 7                          | 259                        | 11                         | 304                        | 35                         | 40                         | 15                         | 87                         | 7                          | 164                        | 6                           | 210          | 5                           |
|    | 北  | 4                          | 229                        | 6                          | 274                        | 53                         | 284                        | 23                         | 330                        | 7                          | 91                         | 6                           | 137          | 13                          |
| 中层 | 东  | 8                          | 304                        | 13                         | 349                        | 42                         | 47                         | 18                         | 93                         | 1                          | 335                        | 1                           | 21           | - 1                         |
|    | 北  | 14                         | 235                        | 22                         | 280                        | 58                         | 286                        | 25                         | 332                        | 6                          | 21                         | 5                           | 67           | 4                           |
| 底层 | 东  | 2                          | 164                        | 4                          | 209                        | 33                         | 23                         | 14                         | 69                         | 1                          | 43                         | 0                           | 89           | - 4                         |
|    | 北  | 4                          | 267                        | 7                          | 312                        | 57                         | 265                        | 25                         | 311                        | 3                          | 83                         | 2                           | 129          | 4                           |

表 4 S2 连续站潮流椭圆要素

Tab. 4 Tidal current ellipse elements at Station S2

| 水层 | 分潮              | 潮流椭圆要素         |                |       |           |              | 潮流性质<br>$\frac{(W_{K_1} + W_{O_1})}{W_{M_2}}$ |
|----|-----------------|----------------|----------------|-------|-----------|--------------|---|
|    |                 | 最大流速<br>(cm/s) | 最小流速<br>(cm/s) | 椭圆率   | 最大发生时刻(时) | 最大流方向<br>(°) |   |
| 表层 | O <sub>1</sub>  | 8              | 2              | - 0.2 | 13.8      | 245          | 0.4   |
|    | K <sub>1</sub>  | 12             | 3              | - 0.2 | 16.4      | 245          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 56             | 30             | - 0.5 | 11.6      | 156          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 24             | 13             | - 0.5 | 13.1      | 156          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 8              | 6              | - 0.7 | 10.7      | 44           |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 7              | 5              | - 0.7 | 11.4      | 44           |   |
| 中层 | O <sub>1</sub>  | 14             | 8              | - 0.5 | 13.1      | 197          | 0.6   |
|    | K <sub>1</sub>  | 23             | 12             | - 0.5 | 15.8      | 197          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 64             | 33             | - 0.5 | 11.6      | 151          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 28             | 14             | - 0.5 | 13.0      | 151          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 6              | 1              | 0.1   | 8.8       | 7            |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 5              | 1              | 0.1   | 9.6       | 7            |   |
| 底层 | O <sub>1</sub>  | 4              | 2              | 0.5   | 15.1      | 170          | 0.2   |
|    | K <sub>1</sub>  | 7              | 4              | 0.5   | 17.6      | 170          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 60             | 28             | - 0.5 | 11.1      | 161          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 26             | 12             | - 0.5 | 12.6      | 161          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 3              | 0              | 0.1   | 9.9       | 9            |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 2              | 0              | 0.1   | 10.7      | 9            |   |

表 5 S3 连续站潮流调和常数

Tab. 5 Harmonic constants of tidal current at Station S3

| 水层 | 分量 | 潮流调和常数                     |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                             |                             | 余流<br>(cm/s) |
|----|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
|    |    | H <sub>O<sub>1</sub></sub> | g <sub>O<sub>1</sub></sub> | H <sub>K<sub>1</sub></sub> | g <sub>K<sub>1</sub></sub> | H <sub>M<sub>2</sub></sub> | g <sub>M<sub>2</sub></sub> | H <sub>S<sub>2</sub></sub> | g <sub>S<sub>2</sub></sub> | H <sub>M<sub>4</sub></sub> | g <sub>M<sub>4</sub></sub> | H <sub>MS<sub>4</sub></sub> | g <sub>MS<sub>4</sub></sub> |              |
| 表层 | 东  | 7                          | 251                        | 11                         | 296                        | 28                         | 49                         | 12                         | 95                         | 8                          | 53                         | 7                           | 99                          | 2            |
|    | 北  | 15                         | 216                        | 25                         | 261                        | 72                         | 311                        | 31                         | 357                        | 11                         | 29                         | 9                           | 75                          | 15           |
| 中层 | 东  | 5                          | 214                        | 8                          | 259                        | 57                         | 28                         | 25                         | 74                         | 19                         | 356                        | 16                          | 42                          | 3            |
|    | 北  | 14                         | 218                        | 22                         | 263                        | 82                         | 294                        | 35                         | 340                        | 7                          | 259                        | 6                           | 305                         | 12           |
| 底层 | 东  | 3                          | 159                        | 5                          | 204                        | 31                         | 8                          | 13                         | 54                         | 9                          | 268                        | 7                           | 314                         | - 7          |
|    | 北  | 6                          | 200                        | 10                         | 245                        | 59                         | 273                        | 25                         | 319                        | 4                          | 207                        | 3                           | 253                         | 1            |

表 6 S3 连续站潮流椭圆要素

Tab. 6 Tidal current ellipse elements at Station S3

| 水层 | 分潮              | 潮流椭圆要素         |                |       |                |              | 潮流性质<br>$\frac{(W_{K_1} + W_{O_1})}{W_{M_2}}$ |
|----|-----------------|----------------|----------------|-------|----------------|--------------|---|
|    |                 | 最大流速<br>(cm/s) | 最小流速<br>(cm/s) | 椭圆率   | 最大流发生<br>时刻(时) | 最大流方向<br>(°) |   |
| 表层 | O <sub>1</sub>  | 17             | 4              | - 0.2 | 11.4           | 202          | 0.6   |
|    | K <sub>1</sub>  | 26             | 6              | - 0.2 | 14.2           | 202          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 72             | 28             | - 0.4 | 13.0           | 176          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 31             | 12             | - 0.4 | 14.3           | 176          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 14             | 3              | - 0.2 | 9.2            | 37           |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 12             | 2              | - 0.2 | 10.0           | 37           |   |
| 中层 | O <sub>1</sub>  | 15             | 0              | 0.0   | 11.2           | 200          | 0.5   |
|    | K <sub>1</sub>  | 24             | 1              | 0.0   | 14.0           | 200          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 82             | 57             | - 0.7 | 12.3           | 174          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 35             | 24             | - 0.7 | 13.7           | 174          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 19             | 7              | - 0.4 | 11.5           | 273          |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 16             | 6              | - 0.4 | 9.2            | 273          |   |
| 底层 | O <sub>1</sub>  | 7              | 2              | 0.3   | 9.4            | 204          | 0.3   |
|    | K <sub>1</sub>  | 11             | 3              | 0.3   | 12.3           | 204          |   |
|    | M <sub>2</sub>  | 59             | 31             | - 0.5 | 11.7           | 177          |   |
|    | S <sub>2</sub>  | 25             | 13             | - 0.5 | 13.1           | 177          |   |
|    | M <sub>4</sub>  | 9              | 3              | - 0.4 | 9.9            | 255          |   |
|    | MS <sub>4</sub> | 8              | 3              | - 0.4 | 10.7           | 255          |   |

于东分量。比较 3 测站的潮流调和常数, 总起来说是以半日潮流为主, 对于 O<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> 4 个主要分潮流, 北分量大于东分量, 而浅水分潮 M<sub>4</sub> 和 MS<sub>4</sub> 虽然有些测站的某些层上东分量大于北分量, 但由于 M<sub>4</sub> 和 MS<sub>4</sub> 分潮在总海流中所占份额有限而无法改变北分量海流大于东分量海流的结果。

对比各层余流的结果, 一般表层的余流较大。S1 站的余流是 3 个测站中最大的一个, 其表层余流达 20 cm/s, 中层 14 cm/s, 而底层只有 8 cm/s。表层、中层余流的北分量大于东分量, 而底层的北分量余流与东分量的相当。S2 站表层余流 14 cm/s, 中层、底层分别只有 4, 5 cm/s。表层、中层余流的北分量大于东分量, 而底层余流较弱, 且北分量与东分量大致相等。S3 站表层余流达到 16 cm/s, 中层、底层分别为 13, 7 cm/s。表层和中层的余流北分量大于东分量, 底层余流较弱。余流方向在表层, 3 个测站都表现为北偏东。中层余流也以北向为主, 有的表现

偏东一点或偏西一点。底层余流较弱, 一般北分量与东分量相当。

为进一步分析潮流的一些特征, 分别计算出 3 测站在表、中、底 3 层上 O<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, M<sub>4</sub>, MS<sub>4</sub> 等 6 个主要分潮的潮流椭圆要素, 列于表 2、表 4、表 6 中。下面对计算所得各层的潮流椭圆要素结果进行进一步的比较和分析。

对表层, 计算 3 测站的潮流性质  $F = (W_{K_1} + W_{O_1}) / W_{M_2}^{110}$  可得到: S1, S2 和 S3 站分别为 0.45, 0.35 和 0.59, 说明该海域表层基本属于正规半日潮流区。3 测站均以 M<sub>2</sub> 潮流占优, 尤其是 S1 站表层 M<sub>2</sub> 潮流最大流速可达 80.480 m/s。通过计算最大可能流速  $V_{max} = 1.29W_{M_2} + 1.23W_{S_2} + W_{K_1} + W_{O_1}^{111}$ , 得出该海域表层最大可能流速范围在 120 ~ 185 cm/s 之间, 其中 S1 站为 183 cm/s, S2 站为 123 cm/s, S3 站为 174 cm/s。计算所得表层椭圆率均为负值, 说明潮流旋转方向均为顺时针向。而半日潮流的椭圆

率介于 0.4~0.5 之间,说明该海域表层潮流表现出旋流性质。浅海中一般用  $G = (W_{M_4} + W_{MS_4}) / W_{M_2}^{[1]}$  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 0.79, 0.26 和 0.35, 说明 S1 站浅水分潮的份额比其他两个测站在总海流中占有稍大一些的份额。

对中层分别计算  $F$  值得到 S1 站为 0.29, S2 站为 0.57, S3 站为 0.47, 说明该海域中层基本属于正规半日潮流区。与表层类似, 中层观测也以  $M_2$  分潮流占优势, S3 站的  $M_2$  分潮流是 3 个结果中最大的, 其最大流速可达 82 cm/s。计算出的最大可能流速在 150~190 cm/s 之间, 其中 S1 站为 159 cm/s, S2 站为 154 cm/s, S3 站为 188 cm/s。椭圆率在中层除个别弱分潮流外也以负数为主, 说明中层潮流也是以顺时针向旋转的为主。3 测站的半日潮流的椭圆率数值介于 0.5~0.7 之间, 说明该海域中层潮流表现出较强的旋转性。浅水分潮指标  $G$  在 S1 站为 0.62, S2 站为 0.17, S3 站为 0.43, 仍是 S1 站  $G$  值最大。

对底层计算的  $F$  值在 S1, S2 和 S3 站分别为 0.29, 0.19 和 0.30, 说明该海域底层属于严格的正规半日潮流区。各分潮流中, 仍以  $M_2$  半日潮流占优, 其中 S1 站的  $M_2$  潮流最大流速为 60.657 cm/s, 是 3 个测站中最大的。计算出的底层最大可能流速比表层、中层略低, 但也都大于 120 cm/s, 其中 S1 站为 128 cm/s, S2 站为 121 cm/s, S3 站为 124 cm/s。椭圆率中占优势的半日潮流仍是顺时针旋转。3 测站的半日潮流椭圆要素值均大于 0.25, 说明该海域底层潮流表现出一定的旋转性, 旋转方向为顺时针。 $G$  在 S1, S2 和 S3 站分别为 0.38, 0.08 和 0.28。比在表层、中层计算的浅水分潮指标值减小不少, 说明底层浅水分潮在总海流所占份额要比表、中层相应浅水分潮所占的份额为小, 意味着浅水分潮在底层衰减的要比半日分潮来得大。

通过比较分析各测站各分层的潮流椭圆要素结果, 表明该海域表、中、底层均属于正规半日潮流性质, 最大可能流速介于 120~190 cm/s 之间, 各层潮流均表现出较强的旋转性, 旋转方向为顺时针向。通过计算浅水分潮指标, 反映出浅水分潮在底层衰减的要比半日分潮大, 浅水分潮在表层、中层的总海流中所占份额高于底层的浅水分潮。

### 3 $M_2$ 潮流的垂向结构

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、中层相对较大, 底层流速较小。 $M_2$  分潮流的最大流速均在 50~85 cm/s 之间, 其中在 S1 站表层, S3 站中层, 最大流速要超过 80 cm/s, 分别达到 80 和 82 cm/s。底层  $M_2$  最大流速相对较小, 3 站均只有 60 cm/s 左右。最大流速方向各站各层均以北向偏西 (NNW-SSE) 为主, 图 7 给出了 3 测站表、中、底 3 层的  $M_2$  潮流椭圆示意图。最大流发生时刻从表层到底层逐渐延迟, 一般底层流速达到最大值的时刻要比表层早 0.5 h 以上。

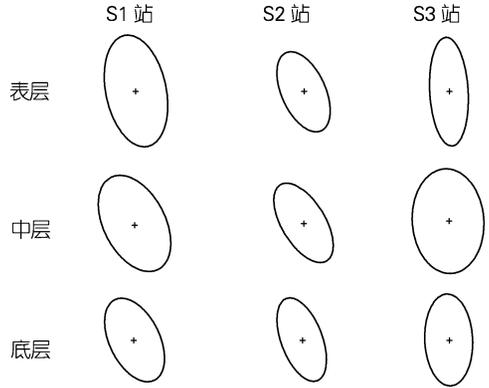


图 7 3 站表、中、底层  $M_2$  潮流椭圆示意图

Fig. 7  $M_2$  tidal current ellipses at surface, middle, and bottom layers of 3 stations

### 4 结语

作者利用便携式的 COMPACT EM 海流计对东海海流的观测实践表明这种仪器可以作为近海常规海流观测的仪器使用。可以在满足海试任务的前提下, 节省购置观测仪器的费用。

对东海 3 测站表、中、底 3 层连续 25 h 海流观测资料进行的短期潮流调和与分析表明, 长江口外东海域属于正规半日潮流性质。最大可能流速介于 120~190 cm/s 之间。各层潮流呈现旋转流性质, 旋转方向为顺时针向。

计算所得各层  $O_1, K_1, M_2, S_2$  4 个主要分潮流的北分量一般大于东分量, 与观测海流中的北分量基本上大于东分量的结果一致。余流一般随深度的增加而呈现减弱的趋势。

半日潮流的椭圆长轴以北偏西方向为主。半日潮流的最大流发生时刻从表层到底层逐渐延迟, 一般底层流速达到最大流的时刻要比表层早 0.5 h 以上。

分析计算的结果还表明在底层浅水分潮衰减要比半日分潮大, 表层、中层的浅水分潮在观测海流中所占的份额高于底层的浅水分潮。

在海试观测时, 海流计是从观测船上吊放到水中的, 船体的摇摆会部分影响观测资料的质量, 这在实

测中是需要引起注意的。由于在本文的海试期间,天气以晴好为主,资料质量还是能得到保障的,开展的海流观测还是成功的。本文所得出的结果有助于加深对该海区的潮流特性的进一步了解,并为潮流数值模拟提供校验的实测数据。更进一步通过与海试期间同步获得的悬浮物浓度垂直剖面数据的比较分析,本文结果也将有助于建立潮流与该海区悬浮泥沙浓度变化的关系研究。

参考文献:

[1] 丁文兰. 东海潮汐和潮流特征的研究[A]. 中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(21)[C]. 北京: 科学出版社, 1983. 135-148.  
 [2] Fang Guohong. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China[J]. *Chinese J Oceanol Limnol*, 1986, 4(1): 1-16.  
 [3] Choi B H. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea[R]. Korea : Korea Ocean Research and Development Institute , 1980.

[4] 赵保仁, 方国洪, 曹德明, 等. 渤、黄、东海潮汐潮流的数值模拟[J]. 海洋学报, 1994, 16(5): 1-10.  
 [5] 叶安乐, 梅丽明. 渤黄东海潮波数值模拟[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(1): 63-69.  
 [6] Choi B H. A three dimensional model of the East China Sea[A]. Ichiye T. Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas[C]. Holland: Elsevier Oceanography Series, 1984. 209-224.  
 [7] 万振文, 乔方利, 袁业立. 渤、黄、东海三维潮波运动的数值模拟[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(6): 611-616.  
 [8] 王凯, 方国洪, 冯士筭. 渤海、黄海、东海 M<sub>2</sub> 潮汐潮流的三维数值模拟[J]. 海洋学报, 1999, 21(4): 1-13.  
 [9] 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[A]. 中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(18)[C]. 北京: 科学出版社, 1981. 19-40.  
 [10] 陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京: 科学出版社, 1980. 301.  
 [11] 中华人民共和国交通部. 港口工程技术规范(上册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987.

## Quasi harmonic analysis on one day series current data at three anchored stations in the East China Sea

WANG Kai<sup>1</sup>, YE Dong<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Apr., 10, 2007

Key words: tidal current; quasi harmonic analysis; harmonic coefficient; elliptic element

**Abstract:** Based on the tidal current quasi harmonic method for short term data, we analyze the tidal current characteristics at three stations anchored in the East China Sea for 25 hours which observed at surface, middle and bottom layers. The harmonic coefficients of O<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, M<sub>4</sub> and MS<sub>4</sub> tidal current constituents are calculated in north and east components. The tidal current elliptic factors are also computed. It is shown that the tidal current in the studied area is classified as regular semidiurnal tidal current. The north component of semidiurnal current is generally stronger than the east one from our results. The semidiurnal current rotates clockwise in our observed area. The ratio of shallow water tidal current constituent to observed current in surface layer and middle layer will be greater than that in the bottom one. This research work will be helpful for further understanding the characters of tidal current in this area, and observed data can be help to calibrate the ocean model on tidal current in the East China Sea. Combined with the synchronous observation of suspended sediment, it will also be useful for illustrating the relation between the tidal current and suspended sediment concentration.

( 本文编辑: 刘珊珊)