

曹妃甸近岸海域潮汐潮流特征分析

梁昊

天津市地质研究和海洋地质中心, 天津

收稿日期: 2023年10月16日; 录用日期: 2023年11月28日; 发布日期: 2023年12月6日

摘要

为了解唐山曹妃甸近岸潮汐潮流泥沙特征, 采用准调和分析方法对2023年5月曹妃甸海域大小潮期实测数据资料统计分析, 得出潮汐和潮流特征参数。结果表明: 调查海域潮汐性质为不正规半日潮, 潮流时间和空间上存在一定规律, 流场总体表现为半日潮流特征, 北侧潮流运动具备显著的旋转流特征, 南侧表现为正规的往复流特征的半日潮, 调查海域余流表现为表层最大、底层最小的特征。

关键词

曹妃甸, 海洋水文特征, 准调和分析

Analysis of Tidal and Current Characteristics in the Coastal Waters of Caofeidian

Hao Liang

Tianjin Geological Research and Marine Geology Center, Tianjin

Received: Oct. 16th, 2023; accepted: Nov. 28th, 2023; published: Dec. 6th, 2023

Abstract

In order to understand the characteristics of tidal currents and sediment in the nearshore area of Caofeidian, Tangshan, a statistical analysis of the measured data from the spring and neap tides in May 2023 was conducted using the quasi-harmonic analysis method. The analysis yielded parameters describing the tidal and current characteristics. The results indicate that the tidal nature in the surveyed area is irregular semidiurnal tide, with certain regularities in both time and space for the tidal currents. The overall flow pattern exhibits characteristics of semidiurnal tidal currents, with significant rotational flow on the northern side and regular oscillatory flow on the

southern side. Additionally, the residual currents in the surveyed area show a maximum at the surface and a minimum at the bottom.

Keywords

Caofeidian, Marine Hydrological Characteristics, Quasi Harmonic Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

曹妃甸地区的地势低洼，地面标高较低，这使得该地区容易受到海洋的影响。在晚更新世晚期，滦河的冲洪积扇逐渐形成了一个三角洲，河流和海洋的共同作用导致了大量的沉积物在这一区域堆积。这个地区是由河流和海洋共同作用形成的冲海积低平原区。曹妃甸填海造陆区位于渤海湾西北部，是我国规模最大的填海造陆工程[1] [2] [3]。曹妃甸岛所处的区域属于暖温带半湿润滨海大陆性季风气候区，四季分明。该地区的河流主要有纳潮河、电力郎道河、电厂排水渠、石化河和通岛河等。曹妃甸海城潮汐属于不规则的半日潮，潮流速度较小，属于弱流区[4] [5]。褚宏宪等通过海洋地球物理方法发现曹妃甸沙岛建成后海底地形地貌发生了较大改变，进而影响该海域海洋水动力变化[6]。总体上该海区海洋水文实测资料较少，人们缺乏对该海域潮汐潮流动力状况的最新认识，因此开展该海域的现状水动力调查，对潮汐、潮流进行统计分析具有重要意义，为曹妃甸港的规划、运营维护和未来发展提供科学依据。

2. 资料来源

数据主要来源于天津市地质研究和海洋地质中心于 2023 年春季在唐山市曹妃甸近海海域的水文调查项目。项目共布设了潮位观测站 1 个和海流观测站 3 个，观测时间及采用的仪器见表 1，观测位置见图 1。

本次海洋水文调查观测内容为潮汐和海流特征。观测指标为水位、大小潮 26 小时连续同步流速、流向要素。

3. 数据处理计算方法

参考文献[7] [8] [9] [10]方法，分别对潮位、各站各层海流资料进行准调和和分析，应用差比关系法计算太阴主要半日分潮 M2、太阳主要半日分潮 S2、太阴赤纬半日分潮 O1、太阳赤纬半日分潮 K1、太阴浅水 1/4 分潮 M4、太阴-太阳 1/4 分潮 MS4。根据《海港水文规范》(JTS145-2-2013) [11]潮汐性质可按下式计算标准判别：

Table 1. Information table of hydrological observation in Caofeidian sea area

表 1. 曹妃甸海域水文观测信息表

观测要素	观测起止时间	观测仪器	采样间隔
潮汐	2023 年 5 月 20 日 9 时~5 月 27 日 12 时	压力式验潮仪 KELLER-DCX-22	5 min
潮流	大潮期：2023 年 5 月 20 日~5 月 21 日 小潮期：2023 年 5 月 26 日~5 月 27 日	ADCP RDI-600K	1 h

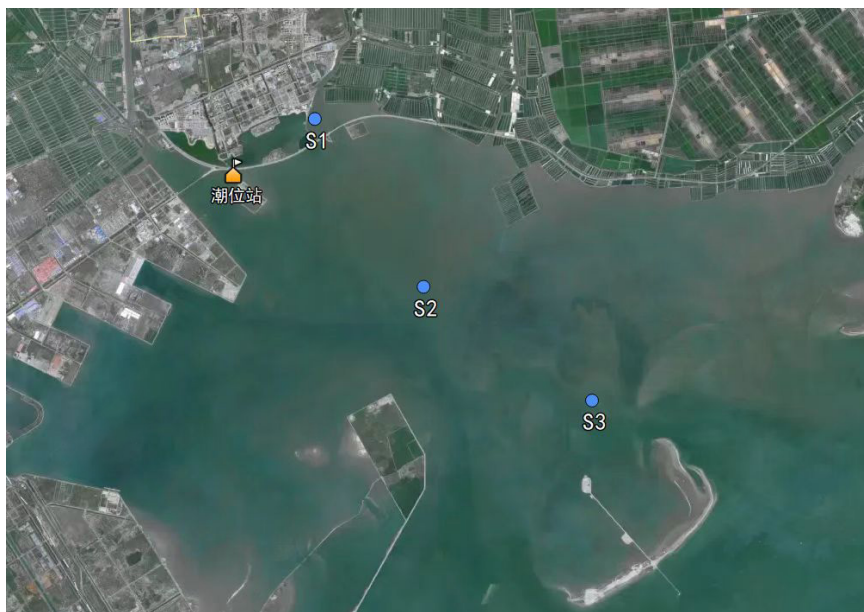


Figure 1. The distribution of hydrological observation station in Caofeidian sea area
图 1. 曹妃甸海域水文观测站位图

$$F = \frac{HO1 + HK1}{HM2}$$

式子中式中的 HO1、HK1、HM2、HS2 分别为主太阴日分潮、太阴太阳赤纬日分潮、主太阴半日分潮和主太阳半日分潮的平均振幅。

当 $F \leq 0.5$ 时为正规半日潮；

当 $0.5 < F \leq 2.0$ 时为不正规半日潮；

当 $2.0 < F \leq 4.0$ 时为不正规全日潮；

当 $4.0 < F$ 时为正规全日潮；

潮流按其性质可分为正规的、非正规的半日潮流或全日潮流。

判别标准为全日潮流振幅之和($WO1 + Wk1$)与主太阴半日分潮流振幅($WM2$)之比 K 值：

$K \leq 0.5$ 为正规半日潮流；

$0.5 < K \leq 2.0$ 为非正规半日潮流；

$2.0 < K \leq 4.0$ 为非正规全日潮流；

$4.0 < K$ 正规全日潮流。

4. 结果分析

4.1. 潮汐特征

根据实测潮位数据(图 2)进行统计分析, 获得潮位特征值(表 2), 实测期间潮汐示性系数 0.62, 属不正规半日潮, 最高潮位为 0.98 m, 最低潮位为 -1.52 m, 平均高潮位及平均低潮位分别为 0.78 m 和 -0.68 m, 一周平均潮位为 0.07 m, 实测期间最大潮差达到 2.30 m, 最小潮差为 0.53 m, 平均潮差为 1.80 m, 涨落潮历时验潮站表现为落潮历时略大于涨潮历时的特征, 平均落潮历时长于平均涨潮历时, 差值为 1 小时 6 分钟。

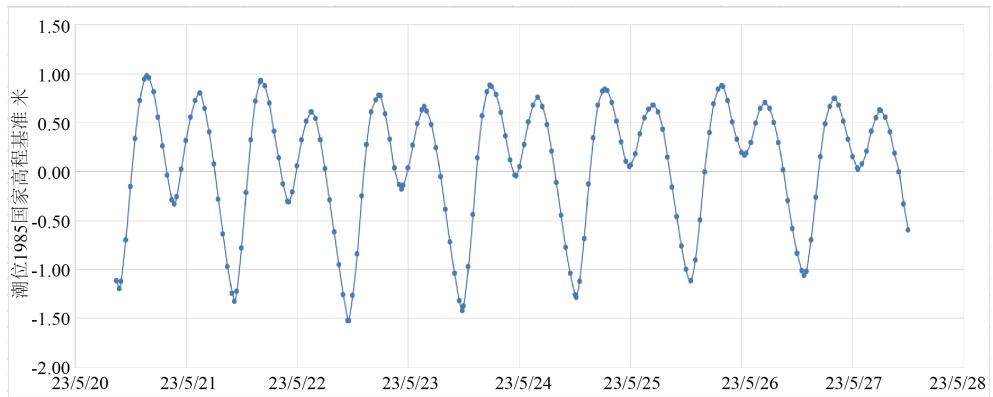


Figure 2. Tidal course diagram of tidal station in half a month
图 2. 半个月潮位站潮位过程线图

Table 2. Table of tidal level characteristics of short-term tidal stations
表 2. 短期验潮站潮位特征表

潮位			潮差					涨落潮历时		
最高潮位(m)	最低潮位(m)	平均高潮位(m)	平均低潮位(m)	平均潮位(m)	最大潮差(m)	最小潮差(m)	平均潮差(m)	平均涨潮历时(h:min)	平均落潮历时(h:min)	历时差涨-落(h:min)
0.98	-1.52	0.78	-0.68	0.07	2.30	0.53	1.80	5:33	6:39	-1:06

4.2. 潮流特征

4.2.1. 实测潮流分析

为分析测区实测流况的基本特征，根据测验成果中的《潮流观测记录报表》，进行了各测站分层最大涨、落流速(流向)、垂线平均最大流速(流向)以及垂线平均流速出现频率和涨、落潮流历时等各项统计。大小潮汛期各测站垂线平均潮流见图 3 和图 4，潮流与潮位关系见图 5。

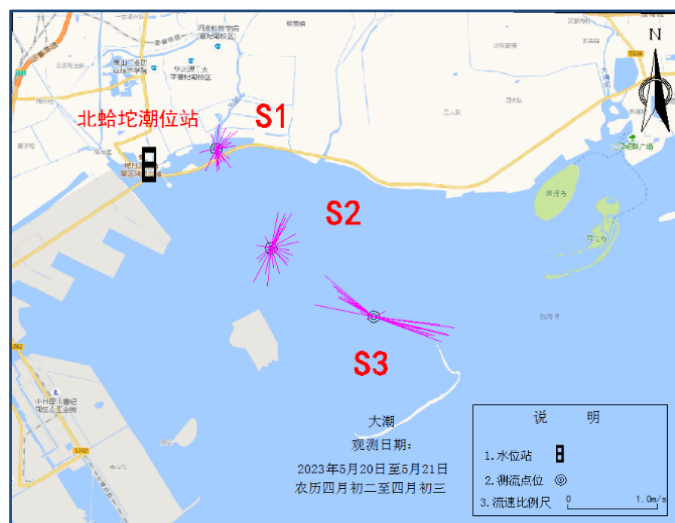


Figure 3. Distribution of average current vertically at observed stations during springtides
图 3. 大潮垂线平均流矢图



Figure 4. Distribution of average current vertically at observed stations during neap tide

图 4. 小潮垂线平均流矢图

流速上分析：大潮汛，测区海域各测站垂线平均最大落潮流均大于涨潮流，落、涨潮差值在 0.03~0.19 m/s 之间。小潮汛与大潮汛有所不同，S1、S3 测站表现为最大涨潮流大于落潮流，涨、落潮差值在 0.05~0.14 m/s 之间；S2 测站则表现为最大落潮流大于涨潮流，落、涨潮差值为 0.04 m/s。测区流速平面分布有以下规律，涨、落潮最大流速均出现在 S3 测站，其次为 S2 测站，相对较小的流速则出现在 S1 测站。各测站垂线平均流速仅 S3 测站出现 1.0 节流速以上的测次，频率达 44.23%，各测站垂线平均流速出现 0.5 节流速以上的测次，出现频率最大的也为 S3 测站，达 76.92%，其次为 S2 测站为 38.46%，出现频率最小为 S1 测站，仅为 11.54%。

流向上分析：S1 测站，流向频次出现在 16 方位上的频率较为分散，在各方位上的频率为 1.92%~17.31%。S2 测站，出现频率较高的为 NNE 向，频率为 23.08%，其余方位上频率都较小，说明 S2 测站流向也较为分散。相较 S1 和 S2 测站，S3 测站流向较为集中，涨潮方向大多集中在 WNW~NW 向，频率为 37.80%；落潮方向大多集中在 ESE 方向，频率为 36.54%。垂线平均流速对应的流向分布上，总体上看，测区各测站潮流运动方式基本都呈往复流的特征。

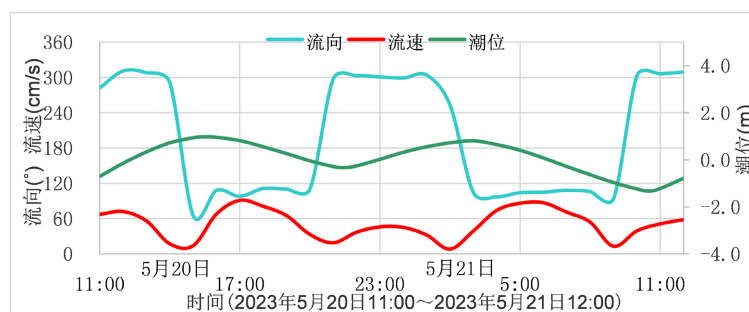


Figure 5. Relationship of average current vertically and tide at observed stations during spring tides

图 5. 测站大潮垂线平均潮流与潮位关系图

潮位与潮流之间的运动关系，是海洋中潮汐升降与潮流涨落之间的相位关系。这一关系，通常用来

判别潮波的属性，亦可用来掌握潮流的特征时刻(涨急、涨憩、落急、落憩)与潮位的特征时刻(低潮、高潮、半潮面(低潮至高潮、或高潮至低潮))之间的相位匹配情况。若转流时间(垂线平均流速接近或为零)发生在高潮与低潮的中间时刻，则潮流运动具有前进波性质，若转流时间发生在高潮和低潮时，则潮流运动具有驻波性质。以垂线 S3 站大潮为例，通过潮位、垂线平均流速。由此可以看出：潮流的“转流”时刻与潮位过程的高、低潮时刻相差 1~2 小时；潮流的涨急、落急时刻也与潮位过程的半潮面时刻有时间差；这两项基本特征说明测区海域的潮位、潮流运动关系呈现一定的前进波特征。

4.2.2. 潮流调和分析

1) 潮流类型

潮流类型由主太阴日分潮流(O_1)与太阴太阳赤纬日分潮流(K_1)的椭圆长半轴之和与主太阴半日分潮流(M_2)的椭圆长半轴之比，即 $(W_{K_1} + W_{O_1})/W_{M_2}$ 来确定。同时，为了考察测区浅海分流的大小与作用，往往又将四分之一日主要浅海分潮流 M_4 与主要半日分潮流 M_2 的椭圆长半轴之比作为判据，进行分析。各测站垂线平均海流类型判据 $(W_{K_1} + W_{O_1})/W_{M_2}$ 和 W_{M_4}/W_{M_2} 的计算结果如表 3 中所列。

Table 3. Statistical table of tidal current type criterion for the average vertical line of each station

表 3. 各测站垂线平均的潮流类型判据统计表

测站	$(W_{K_1} + W_{O_1})/W_{M_2}$	W_{M_4}/W_{M_2}
S1	0.38	0.08
S2	0.24	0.08
S3	0.15	0.02

由表可知：各测站垂线平均潮流类型判据 $(W_{K_1} + W_{O_1})/W_{M_2}$ 之比，在 0.15~0.38 之间，小于 0.50，故半日潮流的特征明显；其中 S1、S2 测站 W_{M_4}/W_{M_2} 之比大于 0.04，为 0.08，因此，严格地说 S1 和 S2 测站潮流性质为非正规半日潮海流的类型，浅水效应较为显著；S3 测站 W_{M_4}/W_{M_2} 之比为 0.02，小于 0.04，因此 S3 测站属正规半日潮海流类型。

2) 潮流类型

潮流运动形式一般可分为旋转流和往复流两种。在半日潮流占主导地位的测区，潮流运动可用 M_2 分潮流的椭圆率 K 值来表述，一般认为当 K 值大于 0.25 时，潮流表现出较强的旋转性，潮流运动可定义为旋转流，当 K 值小于 0.25 时，潮流方向主要集中在涨、落潮流的两个方向上，潮流运动可定义为往复流。其中，潮流的旋转方向则以 K 值的正负来表征，正值为逆时针的左旋，负值为顺时针的右旋。

Table 4. Statistical table of the average M_2 subcurrent K value of the vertical lines of each measuring station

表 4. 各测站垂线平均的 M_2 分潮流 K 值的统计表

测站	K 值
S1	0.31
S2	-0.47
S3	0.00

由上表 4 可知：S1 和 S2 测站垂线平均的 M_2 分潮流椭圆率(K 值)均大于 0.25，表明测区海域潮流运动形式具有显著的旋转流特征；S3 测站垂线平均的 M_2 分潮流椭圆率(K 值)为 0.00，S3 测站潮流运动形

式具有显著的往复流特征。

3) 天文潮可能最大流速

在潮流椭圆要素计算的基础上按《海港水文规范》[11]中的有关公式,对水文测验资料各测站的表层、0.6H、底层及垂线平均可能最大流速进行计算;现将天文潮可能最大流速计算结果,统一列于表 5 中以供比较。

Table 5. Statistical table of the calculation results of the possible maximum velocity of astronomical tide at each station
表 5. 各测站天文潮可能最大流速计算结果的统计表

测站		表	中	底	垂线平均
S1	流速(m/s)	0.40	0.44	0.31	0.37
	流向(°)	221	203	7	197
S2	流速(m/s)	1.06	1.07	0.71	0.94
	流向(°)	200	197	21	198
S3	流速(m/s)	2.41	2.33	1.82	2.18
	流向(°)	110	119	119	116

由表可知:各测站主要层及垂线平均的可能最大流速均表现为涨潮流的方向,从而印证了整个测区涨潮流速大于落潮流速的特征;其次,在计算的天文潮可能最大流速均大于实测最大流速,在流向上与实测最大流速的方向较为一致,在分布上亦与实测流况相似,从而表明了计算结果的合理性。

4) 余流特征

余流乃指消除周期性潮流后的一种相对稳定的流动。然而由于受分析方法和计算资料序列的限制,表 6 列出的余流值可能包含了部分未被分离的潮流成份,但仍可由此获取某些统计性的认识,余流的大小及方向对物质输送的研究具有重要意义。大、小潮余流矢量见图 6。

Table 6. The residual current at observed stations
表 6. 各站余流及流向统计表

层次		表		0.6H		底		垂线平均		全潮垂线平均	
测站	潮型	流速(m/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)
S1	大潮	0.08	127	0.08	125	0.07	135	0.08	129	0.07	130
	小潮	0.06	135	0.05	132	0.06	130	0.06	132		
S2	大潮	0.10	90	0.07	94	0.08	93	0.08	92	0.03	77
	小潮	0.03	334	0.02	303	0.02	326	0.02	324		
S3	大潮	0.20	83	0.14	84	0.12	88	0.16	85	0.10	80
	小潮	0.06	58	0.04	63	0.03	86	0.04	65		

水文测验期间,各测站主要层次最大余流为 0.13 m/s,发生在小潮汛的 D2 测垂线平均最大余流为 0.10 m/s,发生在大潮汛 D3 测站。各测站余流的量值在垂向分布上基本与实测流一致,表现为表层较大,0.6H 层次之,底层较小的特征。

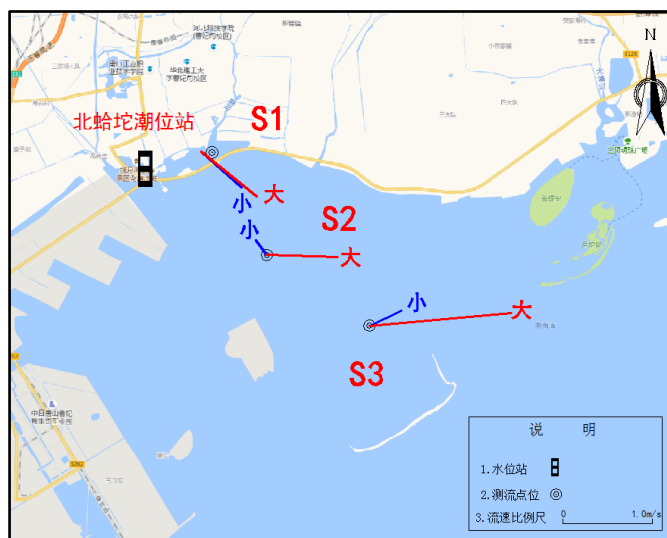


Figure 6. Residual vector diagram of large and small tides
图 6. 大、小潮余流矢量图

5. 结论

通过对 2023 年春季曹妃甸近海海域 1 个站位的潮位资料和 3 个站位的海流资料进行了统计分析, 研究发现该海域海洋水文的一些特征, 具体表现为:

1) 调查海域潮位实测期间潮汐示性系数 0.62, 属不正规半日潮, 最高潮位为 0.98 m, 最低潮位为 -1.52 m, 平均高潮位及平均低潮位分别为 0.78 m 和 -0.68 m, 一周平均潮位为 0.07 m, 实测期间最大潮差达到 2.30 m, 最小潮差为 0.53 m, 平均潮差为 1.80 m, 涨落潮历时表现为落潮历时略大于涨潮历时的特征, 平均落潮历时长于平均涨潮历时, 差值为 1 小时 6 分钟。

2) 最大涨潮流速极值为 0.89 m/s, 出现在 S3 测站大潮汛; 最大落潮流速极值为 1.12 m/s, 亦出现在 S3 测站大潮汛。各测站的最大涨落潮流速, 随着潮汛的演变, 总体上具有良好的变化规律, 即大潮汛较大, 小潮汛较小。

3) 各测站垂线平均潮流类型在 0.15~0.38 之间, 半日潮流的特征明显。其中 S1、S2 测站潮流性质为非正规半日潮海流的类型, 浅水效应较为显著, 测区海域潮流运动形式具有显著的旋转流特征; S3 测站属正规半日潮海流类型, 具有显著的往复流特征。

水文测验期间, 天文潮可能最大流速均大于实测最大流速, 在流向上与实测最大流速的方向较为一致, 在分布上亦与实测流况相似。各测站余流的量值在垂向分布上基本与实测流一致, 表现为表层较大, 中层次之, 底层较小的特征。

参考文献

- [1] 尹延鸿. 对河北唐山曹妃甸浅滩大面积填海的思考[J]. 海洋地质动态, 2007(3): 1-10.
- [2] 张夏滔, 胡云壮, 王栋. 曹妃甸吹填粉细砂液化特性研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(12): 75-80.
- [3] 吴越, 杨文波, 王琳, 等. 曹妃甸填海造地时空分布遥感监测及其影响初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2013(1): 153-158.
- [4] 王颖, 刘敏, 李红超. 曹妃甸填海造陆区浅层地下水环境特征与污染物运移的数值模拟研究[J]. 广东水利水电, 2023(5): 97-103.
- [5] 郭玉彬, 李虹. 曹妃甸吹填砂土地基强夯施工工艺试验研究[J]. 中国港湾建设, 2014(1): 57-60.

-
- [6] 褚宏宪, 史慧杰, 宗欣, 等. 渤海湾曹妃甸深槽海区地形地貌特征及控制因素[J]. 海洋科学, 2016, 40(3): 128-137.
- [7] 徐珊珊, 杨锦坤, 武双全, 等. 渤海中部海域表层潮流和余流特征分析[J]. 海洋通报, 2017, 36(2): 128-134.
- [8] 吴德安. 江苏辐射沙洲水道潮流及悬沙动力研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2004.
- [9] 陈倩, 黄大吉, 章本照, 等. 浙江近海潮流和余流的特征[J]. 东海海洋, 2003(4): 1-14.
- [10] 丁文兰. 南海潮汐和潮流的分布特征[J]. 海洋与湖沼, 1986(6): 468-480.
- [11] 谢世楞, 章始红, 刘桂海, 等. 《海港水文规范》(JTS145-2-2013) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.