

葫芦岛天角山海域潮流泥沙特征分析

梁昊^{1*}, 王磊², 彭鑫¹, 王国槐¹, 郭豪坤¹, 张晓阳¹

¹天津市地质研究和海洋地质中心, 天津

²天津大威德宝海洋科技有限公司, 天津

收稿日期: 2023年6月25日; 录用日期: 2023年8月28日; 发布日期: 2023年9月6日

摘要

为了解葫芦岛天角山近岸潮汐潮流泥沙特征, 采用准调和分析方法对2020年11月天角山海域大潮期实测数据资料统计分析, 得出潮汐、潮流和泥沙特征参数。结果表明: 调查海域潮汐性质为正规半日潮, 天角山海域潮流时间和空间上存在一定规律, 流场总体表现为正规半日潮流, 潮流运动方式以NE-SW向往复流为主, 调查海域海洋水文特征发生了较大变化, 与岸线、地形及人类活动影响有关。

关键词

天角山, 海洋水文特征, 准调和分析

Analysis of Tidal and Sediment Characteristics in the Tianjiao Mountain Sea Area of Huludao

Hao Liang^{1*}, Lei Wang², Xin Peng¹, Guohuai Wang¹, Haokun Guo¹, Xiaoyang Zhang¹

¹Tianjin Geological Research and Marine Geology Center, Tianjin

²Tianjin Dawei Debao Marine Technology Co. Ltd., Tianjin

Received: Jun. 25th, 2023; accepted: Aug. 28th, 2023; published: Sep. 6th, 2023

Abstract

In order to understand the tidal, current and sediment characteristics of the nearshore tidal of Tianjiao Mountain in Huludao, a quasi-harmonic analysis method was used to statistically analyze

*第一作者。

the measured data during the spring tide period in November 2020. The results indicate characteristics parameters of the tidal, current, and sediment. The investigation area exhibits regular semidiurnal tides, with two high tides and two low tides occurring each day. The tidal currents in the Tianjiao Mountain area show certain regularity in both time and space. The overall flow pattern is characterized by regular semidiurnal currents, with a predominant NE-SW reciprocating flow. The hydrological characteristics of the investigation area have undergone significant changes, which are influenced by the coastline, topography, and human activities.

Keywords

Tianjiao Mountain, 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

葫芦岛市位于辽东湾西南部沿海地区，北依松岭山脉，东邻锦州，西接山海关，南临渤海辽东湾，近海水域和海岸带空间广阔，海洋资源丰富，海洋经济一直是全市国民经济的重要组成部分。海岸线长度为 303.49 km，包括自然岸线 104.65 km、人工岸线 198.84 km。其中，天角山海岸带是葫芦岛港以东，其东部和西部分别分布有区域稀缺的自然砂质海滩，中部的基岩岸线和砾石滩是区域重要的自然岸线资源；此外，也是区域十分重要的山地 - 基岩岸线 - 海岸湿地 - 滩涂生态系统[1]。该海域为一个半封闭的浅水海湾，湾口朝东，湾口水深达 10 m 以上，平均水深 3.5 m [2]。

近年来，辽宁海岸带围填海工程项目不断开发，受周边开发、人为破坏、海浪侵蚀等因素影响严重，人工痕迹愈加明显，面临外来的威胁压力逐渐加大，沙滩、滨海湿地、基岩岸线、滩涂等生态功能退化明显，并有进一步恶化趋势，亟需保护和修复；在带来经济效益的同时，海湾面积大量减少，1991~2015 年各类围填海面积共增加约 50.67 km²，长期以来且工程区岸线侵蚀情况严重，道路、防浪墙、自然山体等破损明显，防灾能力亟需提高。人工围填海改变了海湾的潮流系统，海底淤积冲刷改变剧烈，生态功能退化，环境恶化、资源衰退，造成海湾资源严重破坏[3]。近年来我国一些地区开展了以恢复滨海湿地为核心目标的海岸带生态修复工程[4]。通过因地制宜开展海岸带保护修复工程，在遵循自然规律和生态系统特征的情况下，宜滩则滩、宜荒则荒，促进海岸带区域生态、减灾协同增效。

因此开展天角山海域的潮汐潮流泥沙特征研究对协调资源的开发利用和环境保护尤为重要。该海区最近的实测资料分析尚为 2010 年前的实测资料[5] [6] [7]，人们缺乏对该海域潮汐潮流动力状况的最新认识。因此，本文拟利用 2020 年冬季的最新观测资料对葫芦岛天角山近海海域的潮汐、潮流及泥沙状况进行数据统计分析，更新人们对葫芦岛天角山近海海域的水文环境状况的认识。这对在该海域开展近海工程、航道利用、海域使用、水产养殖和环境保护等具有重要的科学价值和现实意义。

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 2020 年冬季在葫芦岛天角山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 9 个，观测时间及采用的仪器见表 1，观测位置见图 1。

Table 1. Information of hydrological observation in Tianjiao Mountain sea area
表 1. 天角山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	2020 年 11 月 15 日 18 时~12 月 16 日 15 时	压力式验潮仪 KELLER-DCX-22	5 min
潮流	2020 年 11 月 16 日 11 时~17 日 12 时	ADCPRDI-600K	1 h
泥沙	2020 年 11 月 16 日 11 时~17 日 12 时	不锈钢采水器	1 h

本次海洋水文调查观测内容为潮汐、海流及悬浮泥沙特征。观测指标为水位、26 小时连续同步流速、流向要素，并在整点时刻进行悬沙水样采集。

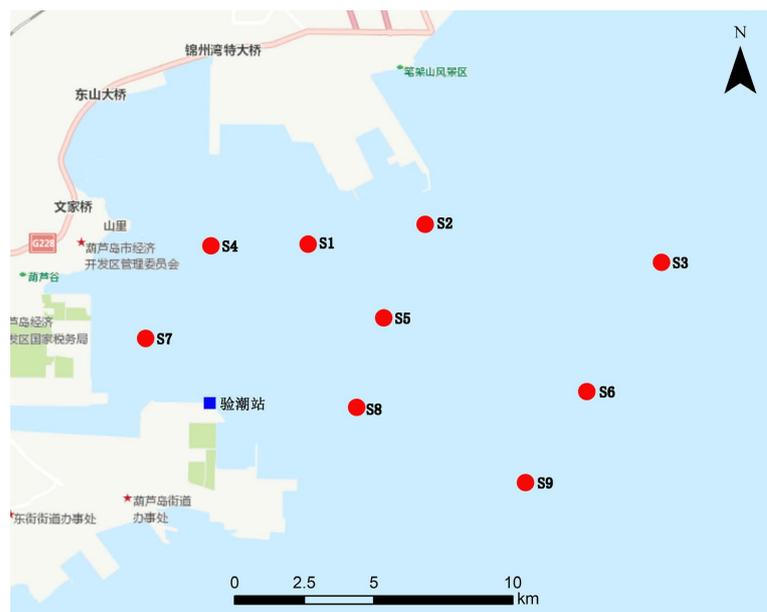


Figure 1. The distribution of hydrological observation station in Tianjiao Mountain sea area
图 1. 天角山海域水文观测站位图

3. 数据处理计算方法

参考文献[8]方法，分别对潮位、各站各层海流资料进行准调和分潮，应用差比关系法计算太阴主要半日分潮 M_2 、太阳主要半日分潮 S_2 、太阴赤纬半日分潮 O_1 、太阳赤纬半日分潮 K_1 、太阴浅水 1/4 分潮 M_4 、太阴 - 太阳 1/4 分潮 MS_4 。6 个分潮的潮位、潮流调和常数、椭圆要素和余流。

式子中式中的 H_{O1} 、 H_{K1} 、 H_{M2} 、 H_{S2} 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。

根据《海港水文规范》(JT145-2-2013) [9]潮汐性质可按式计算标准判别：

$$F = \frac{H_{O1} + H_{K1}}{H_{M2}} \quad (1)$$

式子中式中的 H_{O1} 、 H_{K1} 、 H_{M2} 、 H_{S2} 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($W_{O1} + W_{K1}$)与主太阴半日分潮流振幅(W_{M2})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；

悬浮泥沙采用重量法进行测试分析，计算公式如下所示：

$$SPM = \frac{W_g + W_{空} - \Delta W}{V} \quad (2)$$

式中： SPM 为悬浮体浓度； W_g 为带样品滤膜质量； $W_{空}$ 为水样滤膜质量； ΔW 为空白校正滤膜校正值； V 为过滤样品水的体积。

4. 结果分析

4.1. 潮汐特征

根据实测潮位数据进行统计分析，获得潮位特征值(表 2)，最高潮位为 5.21 m，最低潮位为 0.67 m，平均高潮位为 4.12 m，平均低潮位为 1.92 m，平均海平面为 3.05 m，最大潮差 4.21 m，最小潮差为 1.22 m，平均潮差 2.01 m，平均涨潮历时为 6.04 h，平均落潮历时为 6.18 h。根据依据葫芦岛验潮站 1969~1988 年实测潮位资料，统计出本站潮汐特征值与本次调查结果比较而言，平均潮差有所减小但相差不大，最大潮差相对增大，最小潮差相对减小。涨落潮历时相差不大。随着地形和岸线的变化，天角山近海海域的潮汐特征有所变化。

Table 2. Characteristics value of short-term tide station

表 2. 短期验潮站潮位特征表

验潮站潮位特征值	高程值(验潮站零点基准)
最高潮位	5.21 m
最低潮位	0.67 m
平均高潮位	4.12 m
平均低潮位	1.92 m
平均海平面	3.05 m
最大潮差	4.21 m
最小潮差	1.22 m
平均潮差	2.01 m
平均涨潮历时	6.04 h
平均落潮历时	6.18 h

另外, 采用最小二乘法对调查的潮位数据进行调和计算[10] [11], 计算获得 12 个天文潮分潮的潮汐调和常数振幅和迟角, 结果见表 3。

Table 3. Tide harmonic calculation of short-term tide station
表 3. 短期验潮站潮汐调和计算表

序号	分潮	振幅	迟角
1	Q1	4.43	266.40
2	O1	25.10	309.41
3	MSF	0.02	146.29
4	K1	24.21	322.88
5	N2	17.48	250.56
6	M2	74.31	270.86
7	S2	29.13	315.44
8	2Q1	0.13	144.58
9	NO1	1.44	325.37
10	J1	1.32	268.14
11	OO1	0.35	294.17
12	EAT2	0.62	212.14

采用公式(1)计算 F 值, 潮汐示型系数为 0.66, 潮型系数大于 0.5 且小于 2.0, 因此天角山海域的潮汐类型属于不正规半日混合潮。

4.2. 潮流特征

4.2.1. 潮流特征分析

根据本次调查资料的统计结果, 为直观分析海流特征, 由原始数据提取得到了各站各层(底、中、表)的海流矢量图(图 2)。

通过该海区实测海流矢量图, 可以得到如下特征。由图 2 不难发现该海域外海的 3 个海洋水文站(S3、S6 和 S9)流速明显大于湾内 6 个海洋水文站, 由海到陆流速有逐渐降低的趋势。另外该海区海流具有明显的往复流特征, 流向主要受到岸线、港口和地形等影响。在外海开阔海域, 涨潮流向基本一致, 流向主要呈 N-E 走势; 受岸线及堤坝的阻挡和导流的作用的影响, 落潮时 S3 站位部分落潮流流入湾内, S9 主要落潮流主要来源于湾内。在湾内, 涨潮流整体呈现为 N-W 走势, 落潮流主要呈现为 S-E 走势。受到防波堤挑流影响, S2 涨潮流以 N 向为主, 落潮流以 S 向为主。可见落潮过程中外海潮流部分潮水由湾内北侧海域进入锦州湾口, 锦州湾内水流从南侧湾口流出天角山湾内。

根据天角山验潮站在水文观测期间的水位变化, 为进一步说明本区潮流的时空变化, 绘成潮位 - 潮流关系图(图 3), 从图中可以看出涨潮时刻潮流线均大于水位线, 落潮时刻潮流线均小于水位线。在平潮前后时刻流速接近于零, 随着涨落潮开始(水位线切线为零)流速逐渐增加, 至涨落潮最大(水位线切线最大)潮流也达到最大值, 然后减小, 到潮位线达到最大(小), 涨落潮停止, 潮流也接近于零。

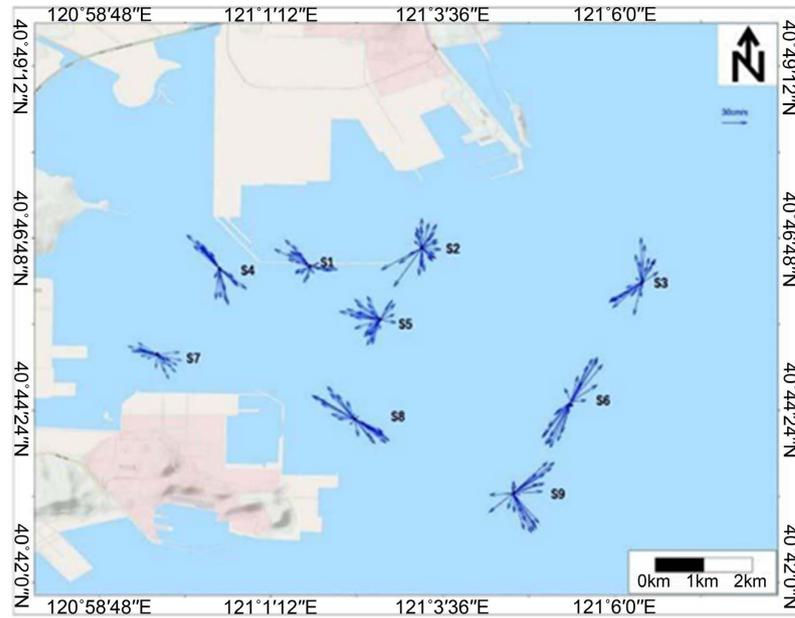


Figure 2. Distribution of average current vertically at observed stations during spring tides
图 2. 大潮期观测站垂线平均海流矢量图

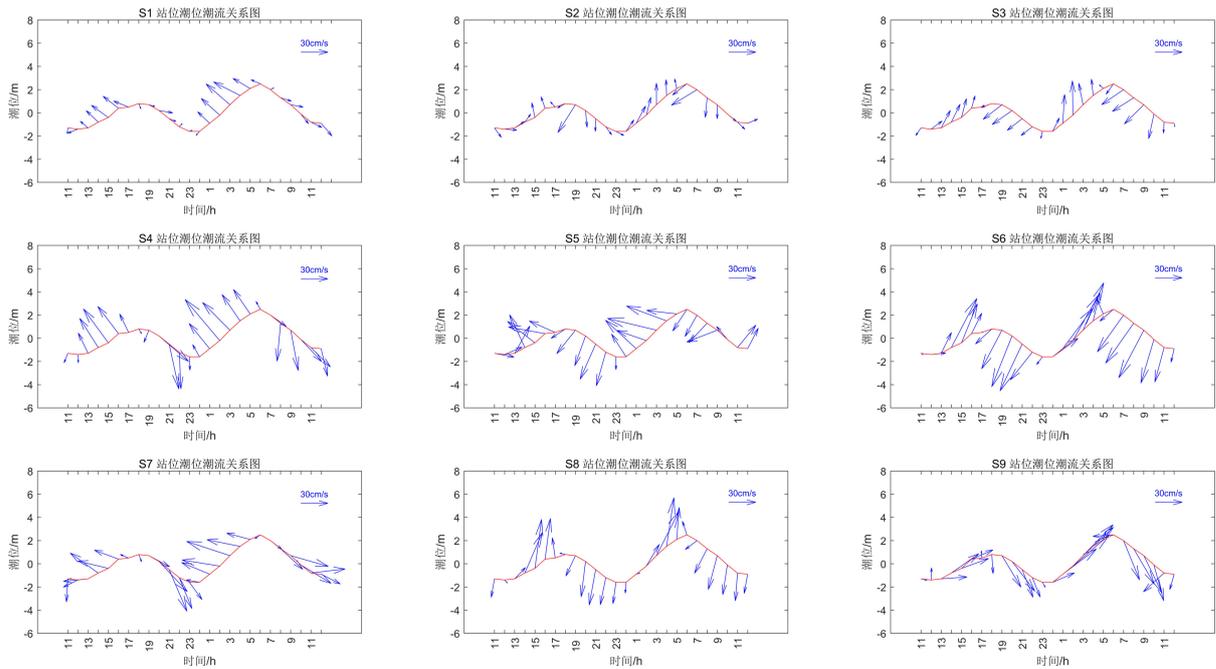


Figure 3. Relationship of average current vertically and tide at observed stations during spring tides
图 3. 大潮期观测站垂线平均潮位 - 潮流关系图

4.2.2. 潮流调和与分析

潮流调和和分析的目的在于推算分潮的调和常数及分潮的椭圆要素，用以分析潮流性质。分析结果表明，主太阴半日分潮流 M_2 是本海区的优势分潮流。因此，各测站 M_2 分潮流的椭圆长轴走向决定了本海区潮流的主流向。根据公式计算得到潮流示型系数，结果见表 4，各站层潮流类型判别系数在均小于 0.5。此该海域总体为正规半日潮流区。

Table 4. The type parameter of tidal current at observed stations**表 4.** 观测站潮流类型系数

站位	表层	0.6 H	底层
S1	0.27	0.34	0.32
S2	0.28	0.35	0.23
S3	0.24	0.23	0.22
S4	0.28	0.28	0.09
S5	0.39	0.39	0.24
S6	0.26	0.15	0.20
S7	0.38	0.36	0.34
S8	0.24	0.31	0.33
S9	0.31	0.30	0.31

潮流的运动形式分旋转流和往复流，通常以椭圆率 K 的绝对值大小来判断，当 $|K|=1$ 时，潮流椭圆成圆形，各方向流速相等，为纯旋转流；当 $|K|=0$ 时，潮流椭圆为一横线，海水在直线上往返流动，为典型往复流。 K 值通常在 0~1 之间， $|K|$ 值越大，旋转流的形式越显著， $|K|$ 值越小，往复流的形式越显著[12]。分析结果表明，主太阴半日分潮流 M_2 是本海区的优势分潮流，各测站 M_2 分潮流的椭圆长轴走向决定了本海区潮流的主流向。以 M_2 分潮流的椭圆率来对潮流运动形式作近似分析，各分潮流椭圆率计算结果见表 5。

Table 5. Statistical table of sub-tide M_2 ellipticity at observed stations**表 5.** 观测站 M_2 分潮流椭圆率统计表

站位	表层	0.6 H	底层
S1	0.17	0.14	0.11
S2	0.64	0.59	0.56
S3	0.08	0.12	0.07
S4	0.16	0.10	0.15
S5	0.47	0.52	0.58
S6	0.07	0.03	0.11
S7	0.16	0.11	0.19
S8	0.09	0.04	0.08
S9	0.14	0.16	0.10

由表 5 可知， M_2 分潮流的 $|K|$ 值在 0.01~0.64 之间，跨度较大，其中 S2、S5 站位 M_2 均在 0.5 左右，表现为一定的旋转流，主要原因为受到湾内地形地貌的影响，其余水文站分潮 K 值较小(0.15 左右)，主要表现为往复流。故因此总体来看该海域为明显的往复流特征。

4.2.3. 余流特征

该海区余流包括冲淡水流及风海流，也包括潮汐引起的长周期或定常的流动。由表 6 可见，大潮期

最大余流流速为 12.1 cm/s，最小余流流速为 1.4 cm/s。余流较大站点是 S3、S6 和 S9 站点，余流最小的站点为 S7，可见外海的余流流速明显高于湾内其他站点。余流流向方向不难发现除 S7 站点外，其他站点流向为偏北方向，主要原因天角山海域冬季盛行北风有关。

Table 6. The residual current at observed stations during the spring tide
表 6. 大潮期各站余流及流向统计表

站位	表层		中层		底层	
	流速(cm/s)	流向(°)	流速(cm/s)	流向(°)	流速(cm/s)	流向(°)
S1	2.4	305.4	2.8	311.7	3.7	332.1
S2	3.5	200.4	4.7	210.7	3.3	222.4
S3	9.1	125.1	8.7	127.3	8.8	119.2
S4	1.5	253.6	2.1	251	1.3	257.2
S5	4.6	217.1	4.7	234.7	3.7	227.4
S6	9.7	323.2	9.2	318.7	9.0	327.4
S7	1.4	70.1	0.5	54.7	1.4	41.7
S8	3.7	150.4	6.7	137.1	4.7	157.4
S9	12.1	323.5	10.7	348.4	10.2	353.8

4.3. 悬沙特征

大潮期剖面平均悬沙含量为 22.9 mg/dm^3 ($14.1\sim 31.2 \text{ mg/dm}^3$)，其中 S2 站和 S3 站点悬沙浓度较高，S1 站和 S7 站浓度较低，悬沙浓度见图 4。

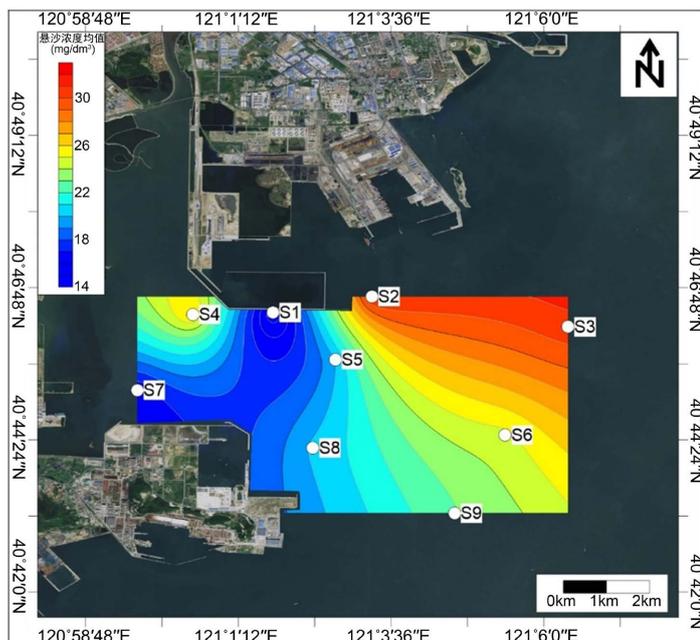


Figure 4. Distribution of the average sediment content vertically at observed stations during the spring tide
图 4. 各站位大潮沙含量垂向平均分布图

空间分布上各水层含沙浓度的分布具有由近岸到离岸逐渐升高的趋势,近岸站位 S4 是潮潮通道,流速较大,携沙量较强;S1、S5、S7 和 S8 站位属于港湾半封闭海区内,水动力较弱,含沙量较低;S3、S6 和 S9 站位属于远海站位,水动力较强,含沙量较大;S2 属于航道区,船只活动活跃区,含沙量高基本属于人类活动影响作用。

5. 结论

通过 2020 年冬季天角山近海海域 1 个站位的潮位资料和 9 个站位的海流泥沙资料进行了统计分析,研究发现因人类活动海洋水文特征发生了一定的改变,具体表现为:

1) 调查海域潮汐性质属于不正规半潮($0.25 < F = 0.48 < 1.5$),近年来围填海工程,由于地形和岸线的变化造成天角山近海海域的潮汐特征有所变化,平均潮差相对减小,最大潮差相对增大,最小潮差相对减小。

2) 大潮期实测最大流速分别为 69 cm/s。垂向上流速从表层到底层流速逐渐减小,空间分布上外海流速明显大于湾内。湾内张潮流为西北向,落潮流为西南流,外海涨潮流为东北向,落潮流为西南向,流速有所增大,主要原因为湾内本身岸线及堤坝的阻挡和导流的作用的影响。

3) 调查海域上为正规半日潮流,潮流运动形式总体表现为往复流;各站、层余流流速皆较小,绝大部分余流均小于 10 cm/s,空间分布上外海余流大于湾内,主要原因为冬季北向季风影响。

4) 大潮期剖面平均含沙量为 22.9 mg/dm^3 ,悬沙浓度空间分布上存在由近岸到离岸逐渐升高的趋势。悬沙浓度和人类活动及潮流大小存在一定相关性。

参考文献

- [1] 武红庆. 锦州湾附近海域围填海演变分析[J]. 国土与自然资源研究, 2019(1): 42-43.
- [2] 陈则实, 夏东兴, 等. 中国海湾志第二分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1997.
- [3] 刘伟, 刘百桥. 我国围填海现状、问题及调控对策[J]. 广州环境科学, 2008, 23(2): 26-30.
- [4] 纪大伟, 田洪军, 王园君, 等. 海域海岸带整治修复进展与管理建议[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(5): 87-90.
- [5] 符文侠, 刘国贤. 锦州湾水文特征与泥沙状况分析[J]. 海洋通报, 1994, 13(3): 42-52.
- [6] 吴冠, 王锡侯, 刘恒魁. 辽东湾顶浅海区海流分布特征[J]. 海洋通报, 1991, 10(5): 8-13.
- [7] 刘恒魁. 辽东湾近岸水域海流特征分析[J]. 海洋科学, 1991(2): 22-27.
- [8] 匡国瑞, 张琦, 戴煜芝. 渤海中部长期流的观测与余流分析[J]. 海洋湖沼通报, 1991(2): 1-11.
- [9] 《海港水文规范》(JTS145-2-2013) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [10] 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.
- [11] 陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [12] 任叙合, 尤启明, 郭静, 等. 海南岛东北海域海流和余流特征分析[J]. 广西科学, 2018, 25(4): 418-422.