

渤海的平均余环流

徐如彦¹, 赵保仁¹, 黄景洲¹, 杨玉玲¹, 雷方辉²

(1.中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2.中海石油(中国)有限公司研究中心, 北京 100027)

摘要: 利用 72 个渤海石油平台、站点测流资料, 阐明了渤海的平均余环流特征, 并用已有的数值计算结果阐明了其形成机制。观测表明在黄河三角洲近海存在一支北-东北向的流动, 可抵达秦皇岛附近水域, 数值计算表明该支流动主要是潮生的; 在辽东湾北部存在一顺时针向的涡旋运动, 在冬半年该涡旋是风生的; 在渤海湾北部存在潮生的逆时针向的余环流。

关键词: 平均余流; 大面分布; 石油平台观测; 渤海

中图分类号: P731.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096 (2006) 11-0047-06

渤海是中国的一个半封闭的内海,在其东南部,仅通过渤海海峡与黄海相连。渤海的水深较浅,平均水深只有 18 m。渤海的潮流较大,余流较小,绝大部分海区的 M_2 分潮流的振幅均在 40 cm/s 以上^[1],而余流一般只有几个厘米每秒,两者相差 1 个量级。渤海环流的基本概念还是管秉贤等在全国海洋综合调查中确定的。近 40a 来,通过海洋现场调查,对渤海环流提出了一些修正意见,其中最主要是由赵保仁等^[1]通过对 14 个石油平台测流资料和海岸带调查资料统计分析指出在黄海三角洲外海存在着一支北-东北向的海水流动,与辽东湾西岸向北流动的黄海暖流余脉相连接。而在渤海湾则可能在其北部为反时针向流动,南部为顺时针向的双环结构。然而最近江文胜等^[3]通过投放人工水母的回收研究表明,在辽东湾北部存在着一个逆时针的环流运动,而在渤海湾可能存在着的南岸流向湾内,而北部流出渤海湾的海水流动,亦即渤海湾的环流与传统的逆时针的观点正好相反,可能存在着顺时针的海水流动。但是,使人难以理解的是:江文胜等同时又指出,“底层人工水母的运移,并不能完全反映环流的运动方向”,这又否定了他们得出的观测结果。

进入 20 世纪 80 年代以来,因渤海石油开发工作的需求,中国科学院海洋研究所应邀在 70 余个渤海石油平台、站点开展了长期测流工作。图 1 为作者收集到的测流站位分布图,其中在 BZ28-1, SZ36-1 和 QK18-1 三个平台上进行了长达近 1 a 的测流工作。这样连同中国海洋大学完成的 8 号平台的年周期测

流工作^[4],在渤海已经积累了 4 个长达 1 a 左右的长期测流站。在图 1 中只有辽东湾西部的一个近岸边测流站,当时是为铺设输油管线用小船去观测的,只进行了连续两天的海流观测工作。

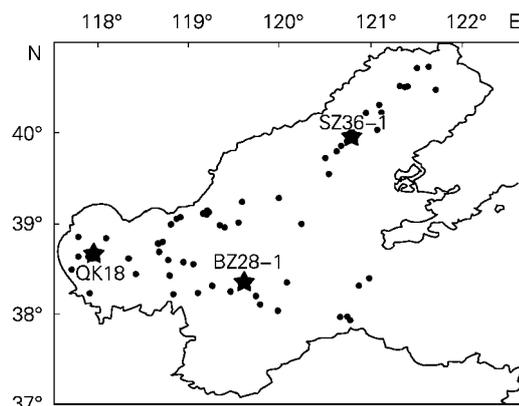


图 1 渤海平台测流站位分布

Fig.1 Distribution of the current stations measured at the oil platforms

QK18, BZ28-1 和 SZ36-1 为年周期测流站

QK18, BZ28-1, Sz36-1 are the stations measured current a round year

平台测流工作,在水深较深处,一般分表、中、

收稿日期: 2004-06-11;修回日期: 2005-07-08

作者简介: 徐如彦 (1956-), 男, 山东临沂人, 高级工程师, 主要从事海洋环境观测与研究, 电话: 0532-82898848, E-mail: xuruyan@ms.qdio.ac.cn

底3层进行,而在水深较浅处,仅测表、底2层。表层海流计一般放置于4~5 m处,底层海流计放置于离底1~5处。测流所用的仪器为安德拉(Annderra)(挪威进口)RCM4型或RCM9海流计和S4ADW方向浪潮仪(美国产品)。

作者利用中国科学院海洋研究所取得的石油平台观测资料来分析渤海平均余环流。为简便起见,作者直接利用当时由王骥和方国洪^[5]提出的潮流调和和分析方法,分析计算各测流时段得的潮流调和常数时,所取得的平均余流值。

1 长期测流站余流变化特征

图2分别为BZ28-1, SZ36-1和QK18-1三个长期测流站所求得各测流时段的平均余流和月平均风速的变化过程图。为便于同流速相比较,图中的月平均风速矢量均已绘成去向,并以风速随高度的对数分布率化为海面10 m处的风速值。

1.1 BZ28-1 站

该站位于渤海中南部的开阔海区,在黄河三角洲的东北方向,离岸约35 n mile处,这里的水深约为25 m,测流工作只在表层和底层(20 m层)进行,使用安德拉海流计RCM4,海流观测工作在1995年12月16日至1996年12月14日之间进行。经低通滤波后共取得8099 h(约337.5 d)的观测资料记录,测流资料共分12段,但在底层使用了11段观测记录的平均余流矢量。本站测风用的风速传感器被安装距海平面25.5 m处,测风高度略偏低。

从图2可以看到,BZ28-1站平均余流流速较小,分析所得5 m层各时段最大的平均余流速值仅为5.8 cm/s,方向为SE向(124°)出现在7月份。观测所得各余流以偏东南向为主,各流速模的平均值为2.7 cm/s。3月至9月份,5 m层流速相对较大,流速模的平均值达4.3 cm/s,1~2月及10~11月流速较小,其流速模的平均值仅达1.3 cm/s。与该站10 m处的月平均风矢量相比较,5 m层的各平均余流矢量与风的关系不大,特别值得注意的问题是:在12月及1月,当出现较大的西北风时,此时,出现偏南向的流速却很小,而在6,7月份,当出现较大的东南风时,此时反而出现了较大的东南及东南东向的流动。应当指出,产生上述现象的原因可能与下列因素有关:(1)由即将给出的图4a可知,该站正好处在偏北向的潮

余流之中,其方向正好同冬季的风生流动相反,理应对冬季的风生流动起到一定的减弱作用。(2)在夏季该站又正好处在黄河三角洲外的潮汐锋附近^[6]。从而夏季将出现较大的偏南向的锋面强流^[7]。

底层的平均余流则较小,分析所得各时段的最大平均流速仅为2.8 cm/s,发生在5月份,流向为WNW向(287°E)。该站底层流以W-WNW向为主,各时段平均流速模的总平均值仅为1.9 cm/s。由图2可知底层各时段平均流速矢量几乎与5 m层流矢方向相反。

1.2 SZ36-1 站

该站位于辽东湾中部,水深为31 m,测流工作于1997年6月6日至1998年6月12日期间完成,在表、中、底3层进行观测。表层(5 m)用S4ADW仪器观测,中层(15 m)和底层用RCM4型安德拉海流计观测。该站风速传感器安装高度为43.6 m,所测风速不受任何物件的影响。

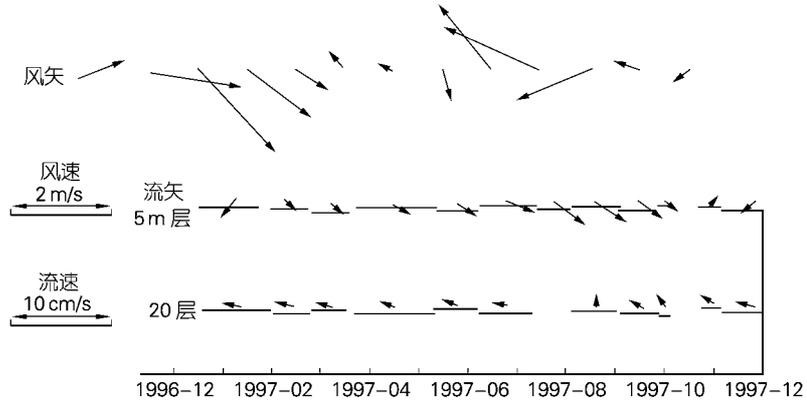
表层测流记录一共有28段,滤波后得7980 h的海流观测记录,约合332 d,但作者只用到其中的18次,约有5724 h的观测记录。中、底层测流记录共分13段,经滤波处理后观测长度分别达7561 h和7681 h测流记录,分别约合315 d及320 d,其中1998年1~2月份的3次记录,当时是合在一起作调和分析的。因此图2只绘出11次的平均余流矢量。

从图2可以看到,该站余流矢量比较稳定,表层(5 m)的流速模在1.8~7.1 cm/s之间变化。流向基本为SE向,与该站10 m层处的月平均风矢量相比较,除12月及1月的余流矢量,因海面出现较强的西北风,使得SE向的平均余流略有加强之外,其它各月,几乎看不出5 m层的各平均余流有随月平均风矢量的变化而变化的特征。

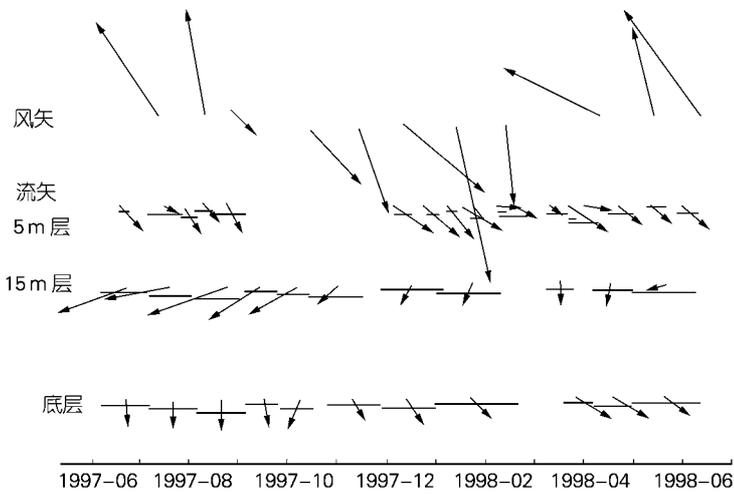
15 m层各平均余流变化于1.6~12.2 cm/s之间。其中,前期(10月中旬以前)流速较大,甚至明显大于5 m层的余流速,后期余流较小,已明显小于5 m层。15 m层的余流流向均偏在5 m层的右侧,显示其具有以上厄克曼层的流速偏转特征。

底层流速普遍较小,其流速的模变化于1.6~5.1 cm/s之间,流向为S-SE向,底层余流矢量全部都偏在15 m层流向的左侧,显示出该站中、下层的余流偏转具有底厄克曼层的流速偏转特征。

BZ28-1 站



SZ36-1 站



QK18-1 站

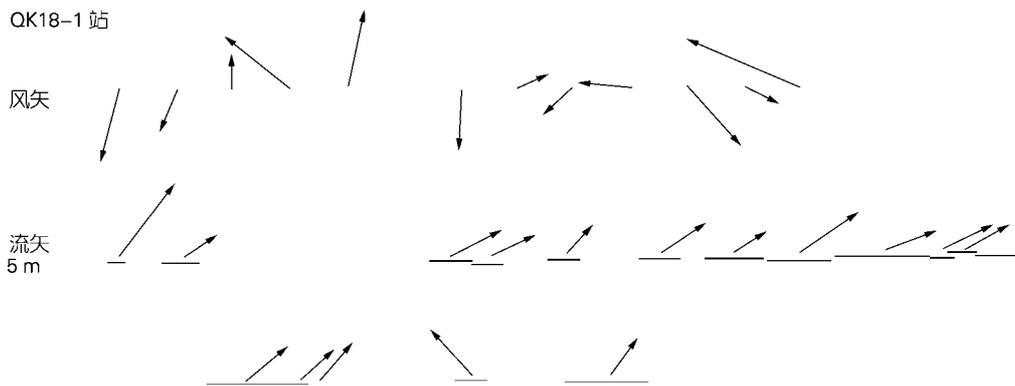


图2 BZ28-1,SZ36-1,QK18-1 站的各平台余流矢量和月平均风矢量变化过程

Fig.2 Processes of vector changes of wind and the mean residual currents at the surface and the bottom layers

1.3 QK18-1 站

该站位于距渤海湾顶较近的中部水域(图 1)。测流工作于 1998 年 1 月至 1999 年 7 月期间进行,中间有所间断。这里的水深只有 12 m,海流计放置于表层(5 m)和离底 1 m 层处,分别用 S4ADW 型方向浪潮仪和 RCM9 型安德拉海流计观测。5 m 层测流资料共分 12 段,经低通滤波处理后有 7 952 h(约合 331 d)的观测记录。底层海流观测资料共分 5 段,滤波后 3 174 h(约合 132 d)的海记录。该站风速传感器安装在距海平面 32.7 m 处。

由图 2 可见,这里各测流时段的平均余流方向比较稳定,5 m 层流速变化于 4.8~11.3 cm/s 之间,流向为 NE-ENE 向,5 m 层全部余流的矢量平均值为 6.9 cm/s,方向为 62°,而底层各观测流时段的平均余流矢量变化于 5.5~8.4 cm/s 之间,方向为偏北向,从不多的同期流矢量来看,底层流矢量偏在 5 m 层流矢量的左侧。全体底层流矢的矢量平均值为 5.1 cm/s,流向为 24°。因此,从总体上看,底层流也偏在 5 m 层

流矢量的左侧,从而具有底厄克曼层的流速偏转特征。

与海面 10 m 处的风矢量相比较,该站各测流时段的各平均余流的变化,似与月平均风矢量的变化关系不大。例如,1998 年 1~2 月及 1998 年 9 月及 1999 年 1~2 月,期间当出现较大的偏北风时,其 5 m 层流速矢量均还保持稳定的东北向流动。

2 平均流速的大面分布特征

从上述 3 个长期测流站所得的平均余流过程图可以得知,各站余流的季节变化特征不甚明显。这一特征同匡国瑞等人^[4]给出的 8 号平台整整一年的测流结果是一样的。当时所得表、中、底 3 层的月平均余流均为一致的北-东北向,流向并未随季风方向的改变而改变。由于渤海的平均余流比较稳定,因此完全有理由将 70 余个平台上不同时间测得的平均余流矢量绘制在同一张图上(图 3),来考查渤海的平均环流特征。

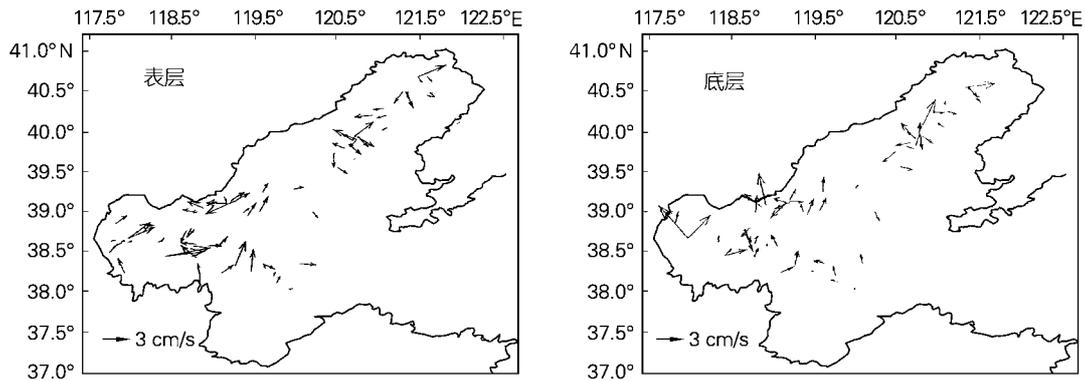


图 3 渤海表、底层的平均余流分布

Fig.3 Distributions of measured residual currents at the surface and the bottom

由图 3 可知,从总体上看渤海表、底层的海水流动,有如下特征:(1)在黄河三角洲近海,存在一支北-东北向的海水运动,在达辽东湾口的西部近海(39°20'N 一线以北)后,并有向东转向的趋势。为叙述方便,我们称该支流动为黄河三角洲外的北上流。可以看出这一实测结果同赵保仁等^[2]与早期 14 个平台的测流结果是一致的。在黄河三角洲外海,也同叶和松等人^[8]在春、夏、秋 3 季用多条船的短期同步测量结果所示的流趋势完全一致。(2)在 40°N 线以北的辽东湾北部水域,海水运动显示出具有顺时针

向的涡旋运动特征。(3)在渤海湾口的北部水域,可以看到有一支海流流入渤海湾的运动特征。但该支流动深入渤海湾不远就向左转成东南向,流出了渤海湾。如再考虑到天津海岸带调查所取得短期资料和山东近海水文图集中在渤海湾南部水域给出的余流矢量,则可以看出在渤海湾南部还存在一个顺时针的环流^[2]。

3 关于渤海环流形成机制的讨论

迄今为止,已有许多作者对渤海环流作过各种数

值模拟,从这些数模的条件和结果中,我们不难分析得出图3所示的渤海环流的形成机制。

首先,根据赵保仁等^[2]及其他许多作者,如:Fang and Yang^[1],于克俊等^[10],黄大吉等人^[9]对渤海的潮汐潮流数值结果得到的欧拉潮余流图可知,黄河三角洲外的北上流,主要是由潮余流引起的(图4a)。

图3中显示的辽东湾北部的顺时针向的涡旋运

动,根据方越等人^[11]及赵保仁和曹德明^[12]和黄大吉等人^[9]做出的渤海冬季环流数值模拟结果可知,该环流至少在冬季是风生的。

关于渤海北部的逆时针向的环流,根据赵保仁等人所作的数值模拟(图4a)可知,该逆时针的环流主要是潮生的。

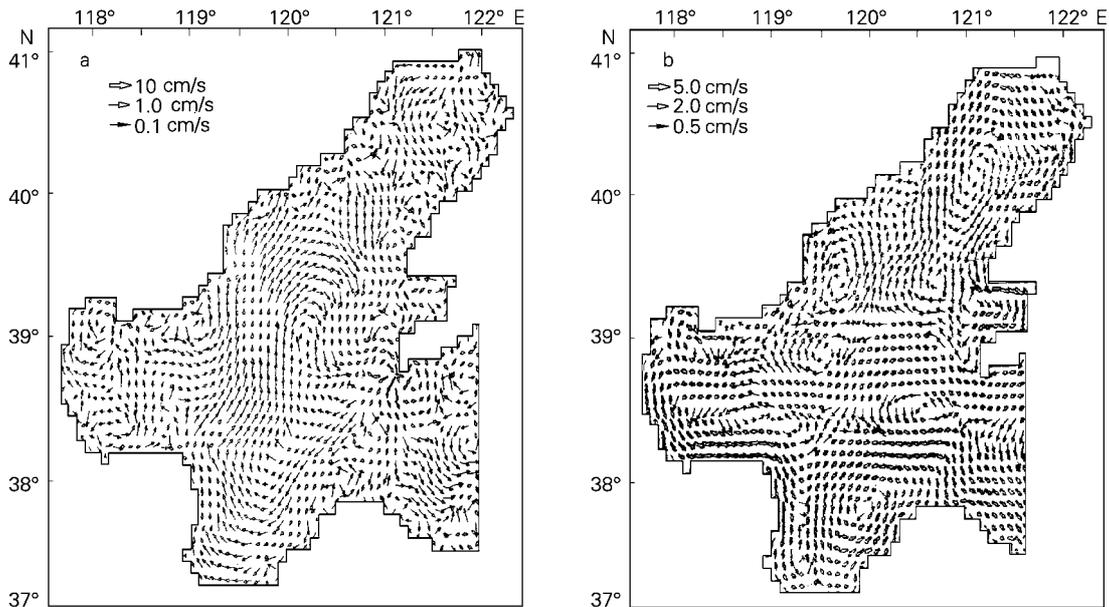


图4 渤海环流数值模拟结果

Fig.4 Current velocity distributions obtained by numerical models

a. 由纯潮余流引起(引自赵保仁等^[2]); b.由纯风生流(冬季)引起^[12]

a. pure tidal residual currents^[2]; b. pure wind currents in the winter^[12]

迄今没有人能成功地模拟出渤海湾南部的顺时针环流,因此,还很难阐明其形成机制。

参考文献:

[1] Fang Gouhong, Yang Jingfei. A two-dimensional numerical model of the tidal motions in the Bohai Sea [J]. *Chin J Oceanol Limnol* 1985, 3(2):135-152.
 [2] 赵保仁,庄国文,曹德明,等.渤海的环流,潮余流及其对沉积物分布的影响 [J].*海洋与湖沼*,1995,26 (5): 466-473.
 [3] 江文胜,吴德星,高会旺.渤海夏季底层环流的观测与模拟 [J].*青岛海洋大学学报*,2002, 32 (4): 511-226.

[4] 匡国瑞,张琦,戴煜芝.渤海中部长期流观测与余流分析 [J].*海洋与湖沼通报*,1991,2: 1-11.
 [5] 王骥,方国洪.不整逐时潮汐观测记录的分析 [J].*海洋学报*,1981,3 (2):193-210.
 [6] 赵保仁,曹德明,李微翡,等.渤海的潮混合特征及潮汐锋现象 [J].*海洋学报*,2001,23 (4): 113-118.
 [7] 赵保仁.南黄海西部的陆架锋及冷水团锋面环流结构的初步研究 [J].*海洋与湖沼*,1987,18 (3) 217-226.
 [8] 叶和松,房宪英,黄易畅.黄河海港海域潮流、余流分析 [J].*黄渤海海洋*,1989,7 (2): 31-36.
 [9] 黄大吉,陈宗镛,苏纪兰.三维陆架海模式在渤海中的应

- 用 I. 潮流、风生环流及其相互作用 [J] .海洋学报,1996, 18 (5): 1-13.
- [10] 于克俊,张法高.渤海潮运动的三维数值模拟 [J] .海洋与湖沼, 1987, 18 (3): 227-236.
- [11] Fang Yue, Fang Guo-hong, Zhang Qing-hua. Numerical simulation and dynamic study of the wintertime circulation of the Bohai Sea [J] . *Chin J Oceanol Limnol*, 2000, 18(1):1-9.
- [12] 赵保仁,曹德明.渤海冬季环流形成机制的动力学分析及数值研究 [J] .海洋与湖沼, 29(1):86-95.

The mean residual circulations in the Bohai Sea

XU Ru-yan , ZHAO Bao-ren , HUANG Jing-zhou, YANG Yu-ling , LEI Fang-hui

(1.Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2.China National Offshore Oil Corporation,Beijing 100027,China)

Received:Jun.,11,2004

Key words: mean residual current;distributions of revel layer; oil platform measurement;the Bohai Sea

Abstract: With the current data measured from 72 oil platforms, the mean residual circulations are explained in the Bohai Sea. It was shown that in the offshore area of the Yellow River delta there is a north-northeastward current, which reaches the offshore area off Qinhuangdao. This current is in fact a tidal residual current. In the northern part of Liaodongwan Bay a clockwise eddy exists, which may be induced by wind in wintertime. In the northern part of Bohai Bay an anticlockwise circulation exists, which is also a tidal residual current.

(本文编辑:刘珊珊)