

# 黄河口的变迁 对滨海大陆架区流场变化的影响<sup>\*</sup>

乐 肯 堂

(中国科学院海洋研究所)

周 参 武

(国家海洋局北海监测监视中心)

黄河口附近滨海大陆架区流场的分布特征与黄河口的变迁有十分密切的关系。近百年来,黄河尾闾大的改道有 10 次。50 年代以来,黄河口的流路又经过了三次大的改道,即 1954 年 1 月—1963 年的神仙沟流路,1964 年 1 月—1975 年的钓口河流路和 1976 年以来的清水沟流路。每次黄河口的大改道,都对其周围滨海大陆架区的流场(包括潮流和余流)的分布和性质带来巨大的影响。对于黄河口滨海大陆架区流场的分布变化,尽管以往已有了不少研究<sup>1),2)</sup>,但迄今尚未有人把黄河口附近流场分布变化特征与黄河口的变迁联系起来进行研究。

为了研究黄河口的变迁对其滨海大陆架区流场变化的影响,作者以 1976 年黄河最近一次大改道为例,把现有的 50 年代末以来本研究区各个时期的实测资料分为两个历史阶段,即改道前的黄河口区阶段和改道后的黄河口区阶段。本文将分别分析这两个阶段的潮流和余流分布变化等基本特征,以及探讨黄河口的变迁对于其周围流场影响的基本特征。

## 一、黄河口改道前周围海区流场的基本特征

为了研究 1976 年黄河口改道前其周围海区流场的基本特征,作者以 50 年代末到 70 年代初的实测海流资料为基础进行分析讨论。虽然从 1953 年开始的神仙沟流路到 1976 年改道清水沟流路前黄河口还经历了两次改道(1960—1963 年黄河口在四号桩附近从神仙沟右侧的汉河入海,1964—1976 年改道清水沟前的钓口河流路)(庞家珍等,1979),但由于钓口河流路和神仙沟流路的位置及其入海方向比较接近,且行水时间较长(前者 7 年,后者 12 年 5 个月),故把它作为同一种情况来考虑。至于行水时间较短(3 年 5 个月)且入海方向不一致的汉河流路,因资料少不在此讨论。

<sup>\*</sup> 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2320 号。于康玲打中文稿,杜眉山绘图,在此一并致谢。  
收稿日期: 1993 年 11 月 12 日。

1) 尤芳湖等,1959,渤海湾调查报告(内部资料)。

2) 侍茂崇等,1989,黄河口附近海域余流场特征分析,黄河口水文动力学论文集(内部资料)。

## (一) 潮流场

### 1. 潮流性质

由于海区的潮流性质是由潮型系数

$$S = \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$$

确定的,因此有必要考察不同时期黄河口邻近海域 $S$ 值的分布。从1958—1959年间全国海洋普查资料给出的 $S$ 分布图(图略)可以看出,在黄河口的邻近海域,当黄河循着神仙沟流路入海时,河口左侧的渤海湾以正规半日潮流为主( $S < 0.5$ ),其右侧的莱州湾则以不正规半日潮为主( $0.5 < S < 1.0$ ),而黄河口的位置则恰在此两湾的交界处,其邻近区域则为正规半日潮流。图1给出了在钓口河流路期间黄河口附近的 $S$ 分布,由于钓口河流路(即

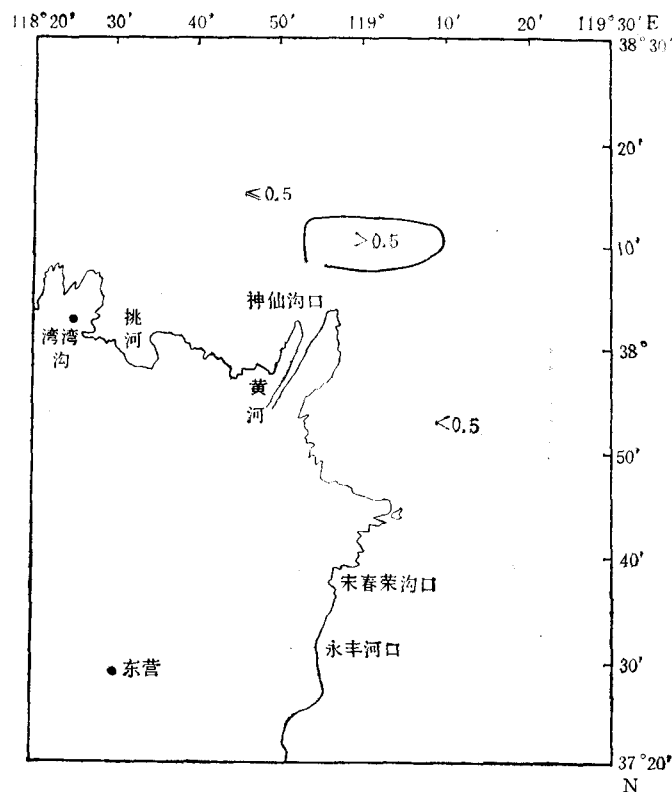


图1 钓口河流路时期表层 $S$ 值分布

图中黄河故道的位置)口门比神仙沟流路的口门不仅向西移动了11km,而且还向北推进了约8km,因而使 $S$ 值的分布受到影响。图1表明,在神仙沟口门与钓口河口门之间的滨海区存在着一个 $S > 0.5$ 的不正规半日潮流区,而以表层尤为显著( $S$ 最大值达1.08)。1958—1959年(属神仙沟流路期间),这一小块区属于正规半日潮流区( $S < 0.5$ ),而在

1965 年(属钓口河流路期间)则成为不正规半日潮区。这就表明了黄河口口门位置的变化和海岸线已向海推进,以上变化对其滨海大陆架区的潮流性质也会产生局部的影响。

## 2. $M_2$ 分潮流分布特征

由于在神仙沟流路和钓口河流路时期黄河口外滨海区的潮流以正规半日潮流为主,因此可以用  $M_2$  分潮流的长短轴分布和椭圆率来研究潮流的分布特征。

从全国海洋普查报告给出的渤海  $M_2$  分潮流椭圆长短轴分布和  $M_2$  分潮流椭圆率( $k$ )的分布(图略)可以看出, $M_2$  分潮流长轴方向的分布明显地受到岸形的影响。在黄河口邻近海域, $M_2$  分潮流分布的主要特征可以归纳为:(1)  $M_2$  分潮流椭圆长轴之走向与海岸线大致平行;(2)潮流椭圆非常扁平( $k$  值很小),这表明本区的潮流基本上属于往复流性质;(3)在黄河口两侧沿岸区, $M_2$  分潮流椭圆率  $k$  的量值很小,且为负值,这表明  $M_2$  分潮还具有弱顺时针方向旋转的性质。

为了进一步分析由于黄河口口门位置的改变和海岸线的变迁对  $M_2$  分潮流分布特征的影响,在图 2 中给出了 60 年代钓口河流路时期  $M_2$  分潮的分布。从图 2 可见,这一时期

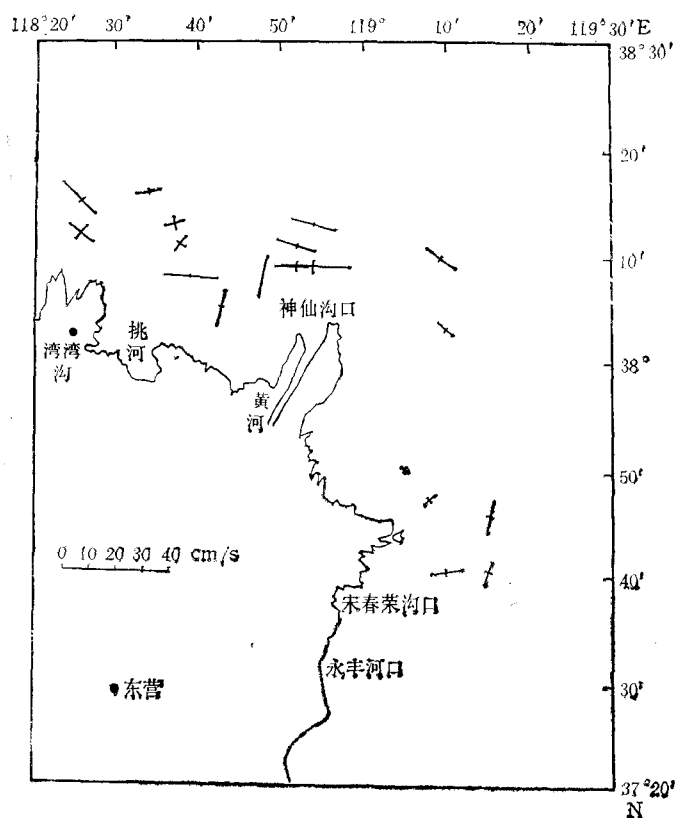


图 2 钓口河流路时期  $M_2$  分潮椭圆长短轴分布(表层) (cm/s)

整个海区(近岸部分)的  $M_2$  分潮椭圆长轴之走向基本上仍然与海岸平行,且潮流椭圆非常扁平;但在河口附近,却显示了若干特征:(1)在钓口河流路口门外的 4—131 站

( $38^{\circ}05'N, 118^{\circ}43'E$ ), 潮流椭圆之长轴已明显地与海岸线走向不一致, 且表、底层的椭圆率已分别达到 0.465 和 0.6。由于资料的观测日期是 1964 年 8 月 24 日, 故这一潮流特征对应于钓口流路的漫流游荡阶段。显然, 由于处于漫流游荡阶段的流路入海口门摆动甚频, 岸形和干出线变动迅速, 使得潮流场出现逆时针方向的旋转流。(2) 在神仙沟口门外的 5—173 站 ( $38^{\circ}09'N, 118^{\circ}54'E$ ), 1965 年 10 月 23 日测得的潮流椭圆之长轴方向与其周围测站的长轴方向几乎成  $90^{\circ}$ , 也就是说, 它不是大体平行于岸线(或干出线)的走向, 而是大体上平行于停水以后的 1959 年神仙沟流路。这一特征表明, 由于神仙沟流路的沙嘴凸出于海中, 使其口门附近潮流流向改变了约  $90^{\circ}$ , 这是局地地形使潮流流向改变的一个明显例证。(3) 在神仙沟口门附近有 3 个测站(即 4—191, 4—203, 5—173 站)的底层潮流的流向都呈现出上述特征, 这表明水深的变化对底层潮流的影响比表层更显著。(4) 由图 3 可见, 在钓口河流路的行水期, 其口门外的  $k$  值分布显示出如下特征: 近岸区  $k$

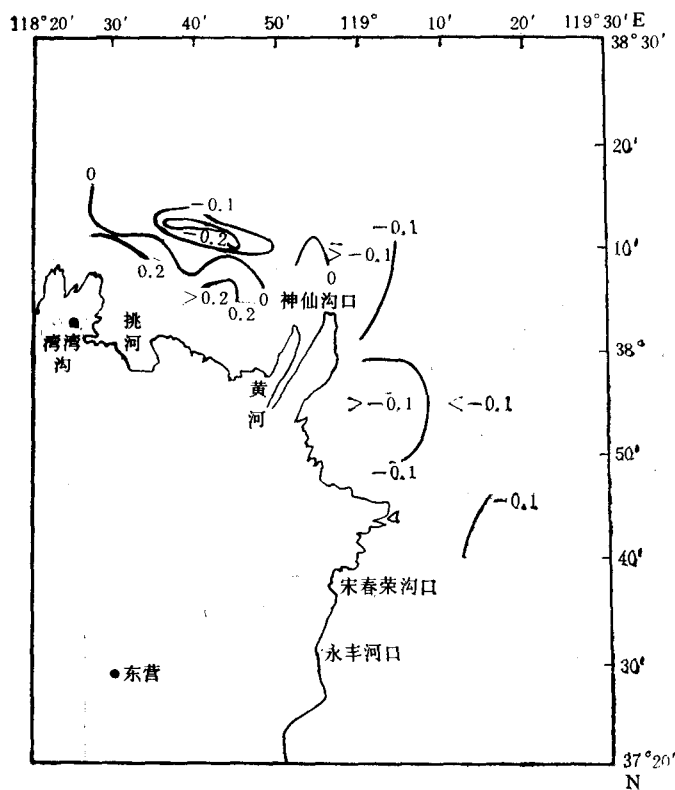


图 3 钓口河流路时期  $M_2$  分潮  $k$  值分布

值大于零(极值为 0.465), 表明该区的潮流是逆时针旋转的; 而在底层, 上述区域的  $k$  值也均大于零, 亦即在钓口河, 不论是近岸区还是远岸区, 潮流的旋转方向均为逆时针的。不难看出潮流旋转的这种特征是钓口河流路口门外特定岸形和底形的产物, 因而它将随着口门和海岸等的变迁而发生变化。

### 3. 最大可能流速分布

图4为表层最大可能潮流之流速分布。图4表明,从钓口河流路到神仙沟流路之间的海域为高速流动区,神仙沟口外的最大可能流速可达 $206.7\text{cm/s}$ 。从湾湾沟到神仙沟沿岸区,最大可能流速的分布出现了高低相间的流速带,这一黄河口外特有的特征明显地反

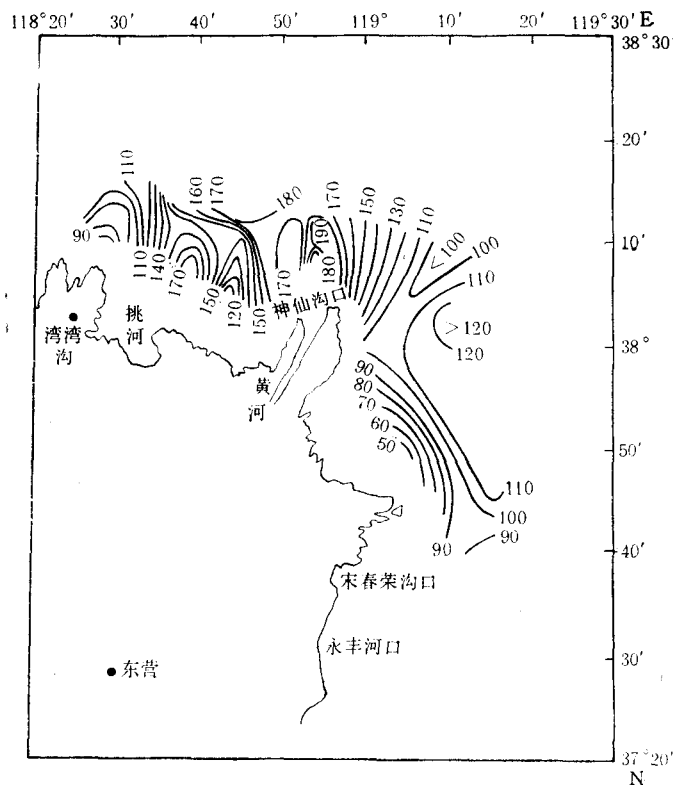


图4 钓口河流路时期表层最大可能流速 ( $\text{cm/s}$ )

映了地形对黄河口滨海区潮流场分布的影响。相对而言,近岸区的潮流小于远岸区,这可能是由于近岸区水深浅,底摩擦力大,从而消耗了潮流的动能所致,底层的最大可能流速也具有上述特征(图略)。

#### 4. $K_1$ 分潮的分布特征

图5为钓口河流路时期  $K_1$  分潮流椭圆长短轴的分布。从图5可见,黄河口海区  $K_1$  分潮流的潮流椭圆分布具有下列特征:(1)在远岸区,椭圆的长轴大致与海岸线的走向一致,即在渤海湾大致为东西向,而在莱州湾则大致为南北向;(2)在钓口河口外的近岸区,椭圆的长轴大致为南北向,且椭圆非常扁平(4—131站,  $k = 0.102$ ; 4—203站,  $k = 0.021$ ),这表明该区的  $K_1$  分潮流以往复流为主;(3)值得注意的是,在神仙沟流路口外的5—173站,  $M_2$  分潮的表、底层椭圆长轴方向基本一致,但  $K_1$  分潮表、底层椭圆长轴的方向却相差约  $70^\circ$ 。由于  $K_1$  分潮很小,这种位相差的出现是否确实,目前还尚难断定,如果上述确是如此,就表明不同的分潮具有不同的频率,故地形对其影响也不同。

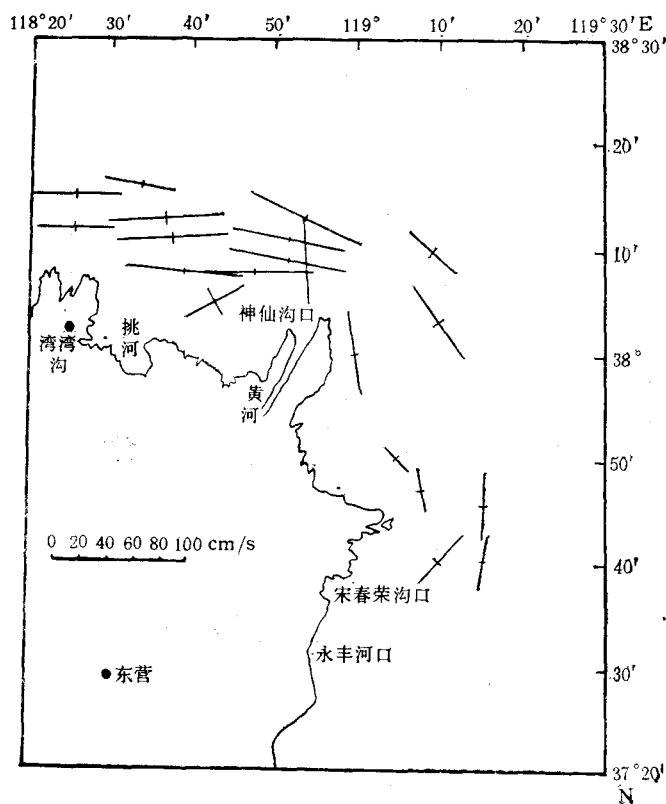


图5 钓口河流路时期  $K_1$  分潮流椭圆长短轴的分布(表层) (cm/s)

## (二) 余流场

### 1. 夏季

从图6可以看出,黄河三角洲外海区余流的分布可分为近岸滨海区与远岸大陆架区两种情况,现分别加以讨论。

(1) 近岸滨海区 近岸滨海区的情况较为复杂。乐肯堂(1995)的分析表明,黄河径流从钓口河流路的口门入海后,其冲淡水的总体运行方向是向北的,但图6表明,在口门附近的近岸滨海区余流矢量却是表层南向而底层北向,这种情况表明,在钓口河流路的口门外,流场相当复杂。在这里黄河冲淡水的流动被分成了两部分,大部分水流是大体向北运动的,而小部分流动是先随着主流向北运动,尔后又脱离主流而形成了一个逆时针的涡旋。图6还表明,除了口门附近海区外,在近岸滨海的其他区域,还存在着尺度和旋转性质不同的若干涡旋,如在神仙沟口门外,存在着顺时针涡旋,在清水沟口门外存在着逆时针的小涡旋等。上述这些涡旋的存在,主要是由于特定的岸形和复杂多变的地形所致。尽管在黄河三角洲外的近岸滨海区水深已相当浅,然而在若干测站上仍然出现了表、底层余流不一致(甚至完全相反)的情况,说明在近岸滨海区实测余流的成分相当复杂。在这里余流的成分除了风生流动外,潮余流是不可忽视的成分,还有在钓口流路的口门外,黄

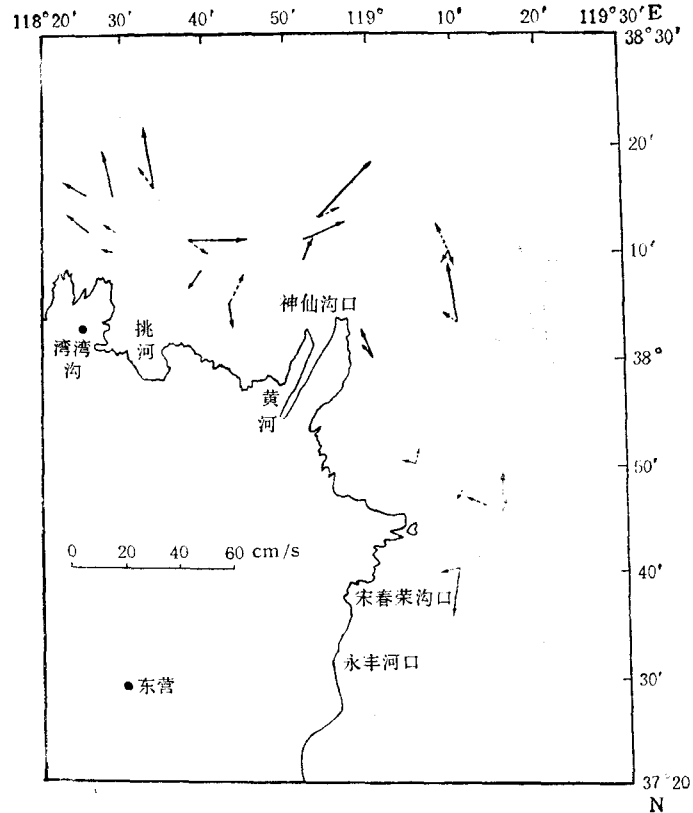


图6 钓口河流路时期夏季余流分布(表、底层)

——表层;----底层

河径流的注入也是不可忽视的。另外滨海大陆架区随着各种中、小尺度涡旋的出现,会产生小范围的升降流,尤其在口门附近。

(2) 远岸大陆架区 远岸大陆架区的余流分布比较清晰。从图6可以看出,不管渤海湾还是莱州湾,远岸大陆架区中的余流基本方向都是偏北向的。在渤海湾的陆架区,这一点是不难理解的,因为在夏季冲淡水的扩展方向也是偏北向的,表明冲淡水的扩展方向与余流方向是基本一致的。莱州湾的情况较为复杂,在清水沟流路时期,夏季冲淡水扩展方向虽然基本上是东北向的,但有较为显著的月际和年际变化。另一方面,由于夏季本海区盛行偏南风,毫无疑问,在这种小尺度海区中风生流场应当大致与风场方向一致,因此,渤海湾和莱州湾的远岸大陆架区的余流场均是偏北向的。由此表明,在远岸大陆架区,实测余流的主要分量是风生流。

## 2. 秋季

图7与图6相比,在钓口河口门外的海区中,表、底层余流分布的规律性似乎不明显。这主要表现为流向较为混乱,且表、底层流向多不一致。这种现象的出现除了前述的几种原因(即余流成分复杂和岸形与底形不规则)外,风生流动的不稳定性也是一个重要原因,因为秋季是从夏季盛行偏南风向冬季盛行偏北风转变的过渡季节。统计资料表

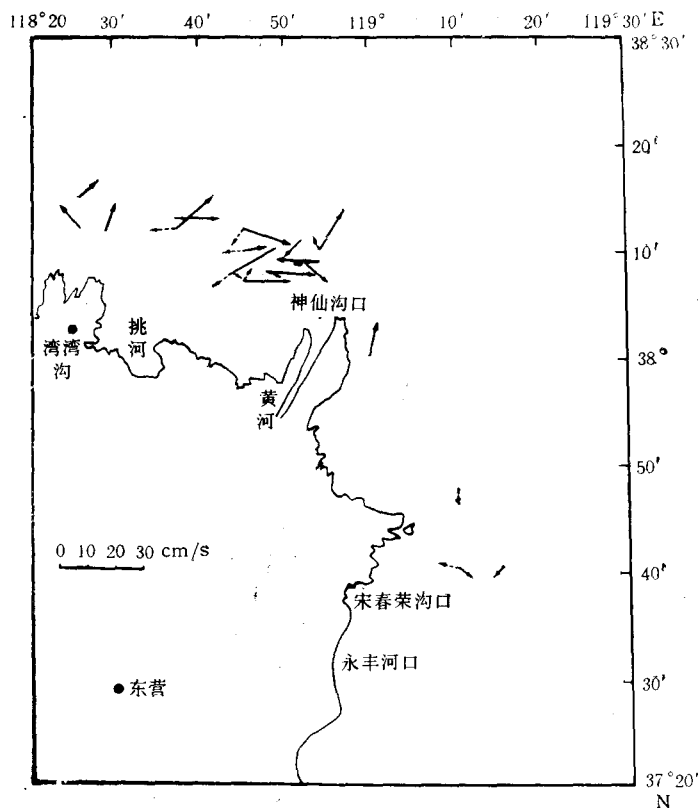


图7 钓口河流路时期秋季余流分布(表、底层)

明<sup>1),2)</sup>,渤海湾秋季的风向多变,无明显的盛行风,因此,风生余流是不稳定的。风生余流的不稳定性使滨海区的余流复杂多变,从而形成诸多小尺度涡旋。

## 二、黄河口改道后周围流场的基本特征

自1976年5月黄河尾闾改道清水沟流路流入莱州湾已有19年,19年中,清水沟流路经历了漫流游荡阶段(1976—1979年)和单一顺直阶段(1980—1986年),并进入了出汉摆动阶段。80年代以来,关于清水沟流路时期黄河口外流场的性质和特征,已有了较多的调查研究(刘风岳,1985)。本节以山东省海岸带调查资料(1984—1985年)为基础,在归纳已有成果的基础上,探讨清水沟流路对其口外流场的影响。

### (一) 潮流场

#### 1. 潮流性质

根据1983—1984年黄河口区海岸带调查资料,可以得到在清水沟流路期间黄河口外

1) 乐肯堂,1990,渤海湾 CFD23 区块海洋水文气象调查报告(内部资料)。

2) 乐肯堂,1992,渤海湾 QK18 区块海洋水文气象调查报告(内部资料)。

近岸区各测点的潮型系数  $S$  值。结果表明, 此期间黄河三角洲莱州湾沿岸区的  $S$  值均小于 0.5, 即这一区域属于正规半日潮流区。由于在神仙沟流路期间和钓口河流路期间, 莱州湾沿岸区的潮流也属于正规半日潮流, 因此近 40 年来黄河尾闾流路的变化对于莱州湾黄河三角洲近岸区的潮流性质没有明显的影响。

在黄河三角洲沿岸, 潮汐的潮型系数可以从 0.62 变化到 5.50, 即潮汐从正规半日潮变化到正规日潮<sup>1)</sup>。这就是说, 在莱州湾黄河三角洲的近岸带, 即使在正规日潮和不正规日潮区中, 潮流类型仍为正规半日潮流, 这是黄河口潮流分布的一个重要特征。

## 2. $M_2$ 分潮流分布特征

从图 8 可见, 在这一时期,  $M_2$  分潮流的分布有如下特征: (1) 渤海湾  $M_2$  分潮流椭

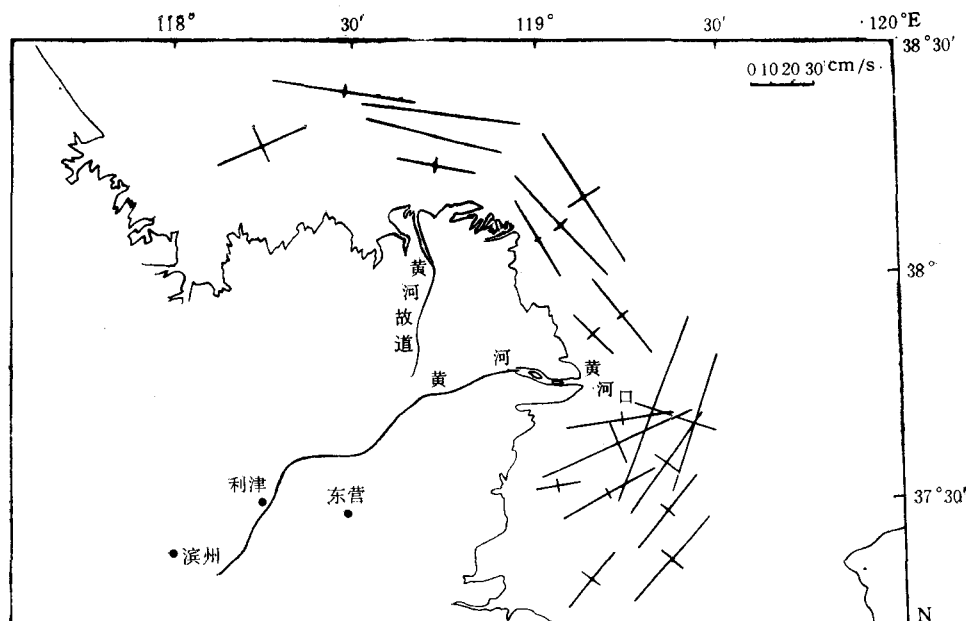


图 8 清水沟流路时期  $M_2$  分潮流椭圆长短轴分布(表层) (cm/s)

圆的长轴方向大致与海岸平行, 且潮流椭圆十分扁平, 表明涨落潮流方向大致为呈东西向的往复流; (2) 在莱州湾, 黄河口以北,  $M_2$  分潮流的椭圆之长轴基本上仍与海岸相平行, 但在黄河口以南, 其椭圆的长轴方向却大致与海岸垂直, 尤其在底层; (3) 正如图 9 所显示的, 在表层,  $M_2$  的  $k$  值从黄河故道河口, 即钓口河流路河口以东沿岸至莱州湾顶均为负值, 这表明在上述区域中潮流均作顺时针方向旋转, 这种情况与神仙沟流路时期和钓口河流路时期基本相同。而在上述黄河故道河口以西海区,  $k$  值分布较为复杂, 尤其在滨海区, 但多数测点的  $k$  值大于零, 表明在该海区潮流以逆时针方向旋转为主。在黄河口以北的近岸区, 底层  $k$  值为正, 即潮流作逆时针方向旋转; 在黄河口以南的局部区域  $k$  值为负, 在莱州湾湾顶附近  $k$  值为正。在莱州湾黄河口附近海域, 表层和底层的潮流旋转方向却不完全一致, 这是黄河口近岸区潮流场性质的又一个重要特征, 这主要是由于黄河口滨海

1) 王志豪, 1986, 黄河三角洲潮汐特征(内部出版)。

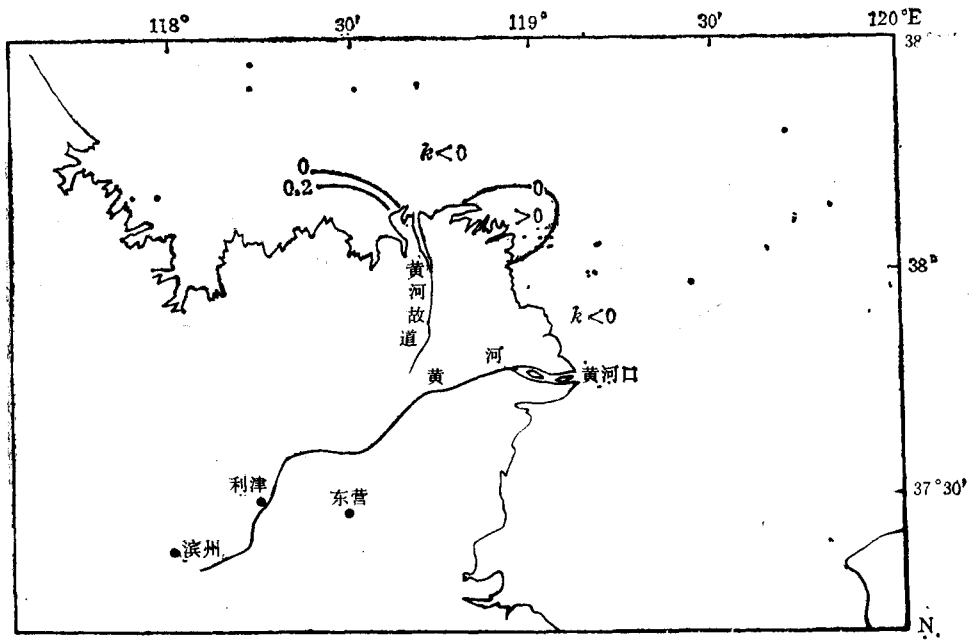


图9 清水沟流路时期  $M_2$  分潮流  $K$  值分布(表层)

区岸形与底形的复杂性所致。由于黄河携带大量泥沙入海使黄河口两侧地形不断向莱州湾方向突出,而且在底层处尤为显著,这对于进入莱州湾的潮波而言,使在其下层形成了一个局地的障碍物,从而造成了上、下两层以及黄河口南北两侧潮流旋转方向不同。

### 3. $K_1$ 分潮的分布特征

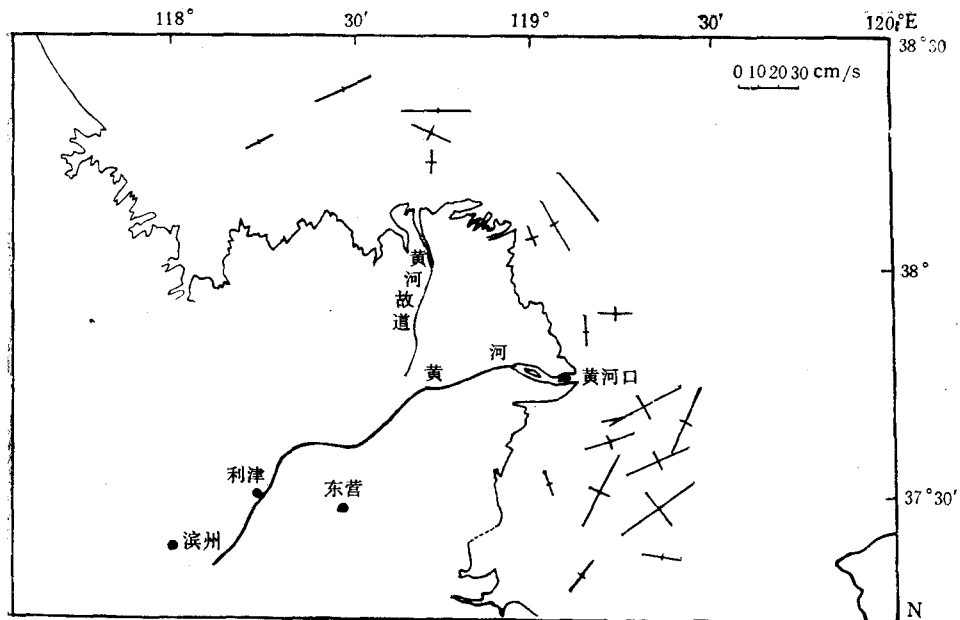


图10 清水沟流路时期  $K_1$  分潮流椭圆长短轴分布(表层) (cm/s)

图 10 给出了清水沟流路期间  $K_1$  分潮流椭圆长短轴的分布, 图 10 与图 5 相比较可以看出, 清水沟流路和钓口河流路在黄河口以北的远岸区的  $K_1$  分潮流的椭圆所具有的特征(即潮流椭圆非常扁平, 且其长轴大致与海岸平行)是相同的, 但在近岸海滨区, 两者就有明显的差异, 尤其在底层。这是因为黄河三角洲始终处于变动和发展之中, 因而三角洲区的岸形总是处于动态平衡之中。图 10 显示, 黄河口以南海区,  $K_1$  分潮流椭圆的长轴逐渐与等深线垂直, 且有些测站的椭圆短轴与长轴之比也明显增大, 这种情况与  $M_2$  分潮流椭圆的分布相似。由此可见, 在近岸区, 地形的变化及测点在莱州湾中的位置对潮流椭圆的分布和性质均有明显的影响。

#### 4. 最大可能流速和实测最大流速的分布

从图 11 可以看出, 在黄河三角洲外存在着两个高速流动区, 分别称为神仙沟口外高速流动区和黄河口外高速流动区。

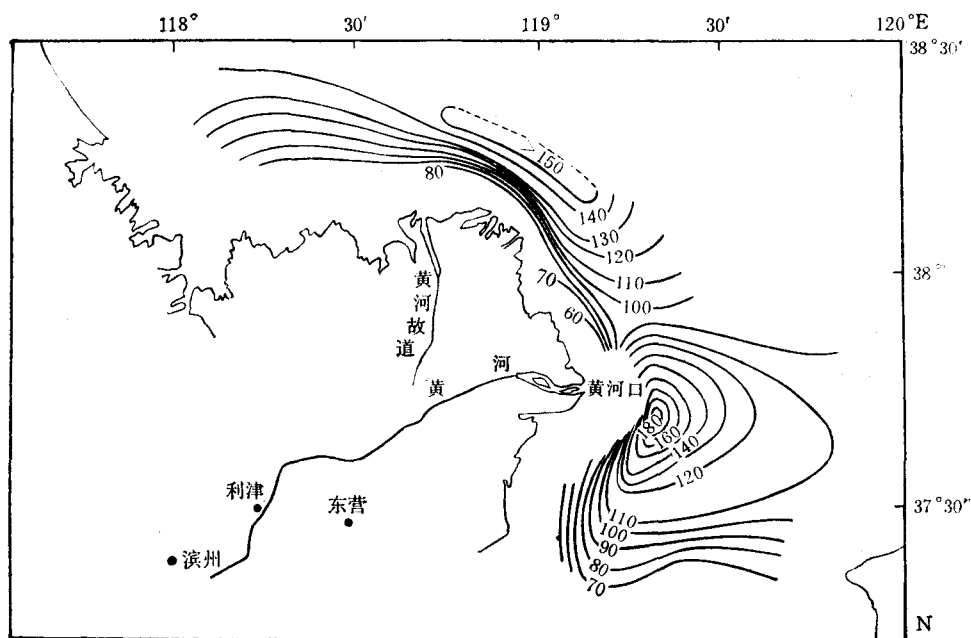


图 11 合成最大可能潮流流速分布 (cm/s)

神仙沟口外高速流动区是神仙沟口外 10—15m 等深线之间的一个带状区, 最大可能潮流流速超过 150cm/s。这一带状区正好位于  $M_2$  分潮的无潮点附近。与图 4 的神仙沟口外高速流动区相比, 可以看出处在清水沟流路期间和钓口河流路时期同一高速流动区的分布特征的变化情况。(1) 在钓口河流路期间, 这一区的最大可能流速的极值超过 200cm/s, 比清水沟流路期间高约 50cm/s; (2) 两者最大可能流速极值区出现的位置也不相同(在钓口河流路期间, 它较靠近海岸, 且表层的流速等值线的分布大致与等深线垂直; 而在清水沟流路期间, 它却大致与等深线相平行, 且位于 10—15m 等深线之间); (3) 从总体看来, 这一高速流动区的存在与神仙沟口外  $M_2$  分潮的无潮点是紧密关联的, 因为这里正是东西向的渤海湾与南北向的莱州湾的过渡区, 亦即是地形的拐角处, 这种地形特征

决定了这里必然会产生  $M_2$  分潮的无潮点(区),由此也决定了这一带必然会出现潮流的高速流动区。但是从局部地形来看,由于这里是黄河三角洲的一部分,而三角洲的地形又始终处于动态平衡中,因此, $M_2$  分潮流的无潮点位置和高速流动区的位置,在不同的时期就会有局部的变化。

黄河口外的高速流动区的存在,是黄河口外海区潮流分布的又一个重要特征。图 4 显示,在钓口河流路期间,其口外存在着若干高速流动区(它们的表层最大可能流速的极值均大于  $170\text{cm/s}$ ),而此时在清水沟外,却并不存在潮流的高速流动区。另一方面,图 11 显示,在清水沟流路期间,其口外存在着一个强烈的高速流动区(极值流速大于  $180\text{cm/s}$ ),而此时在钓口河口外,原来存在的若干高速流动区则荡然无存。显然这一特征的出现与黄河口向海中突出的地形有密切的联系。鉴于黄河携带大量泥沙入海,黄河尾间无论通过那一条流路入海,在该流路进入单一顺直阶段后,黄河口两侧的河岸就发育成明显向海中突出的地形,而这种形状的地形一旦形成后,黄河口外就会形成潮流的高速流动区。当黄河改道之后,原河口的突出地形将会逐渐被冲刷,而形成基本平直的岸形,这样,原河口外的高速流动区便不复存在。

由于实测最大流速含有潮流和余流两个分量,而余流又具有明显的季节变化,因此实测的最大流速分布也具有明显的季节变化。通过春、夏、秋三季实测的最大流速分布图(图略)的比较,可以发现其中最重要的相同之点是都存在两个高速流动区,尽管这些高速流动区的范围和中心流速的量值并不相同。值得注意的是,在图 11 的高速流动区中,实测最大流速的最大值均小于最大可能流速的最大值,这是在清水沟流路的单一顺直阶段,黄河三角洲外实测最大流速分布的显著特征。就实测最大流速分布的季节变化而言,从实测最大流速分布图上,可以发现如下几个特征:(1)在黄河口外的高速流动区中,就其极值流速而言,夏季最大( $>180\text{cm/s}$ ),春季次之,秋季最小;(2)如把  $110\text{cm/s}$  的流速等值线作为高速流动区的界限,那么在黄河口外的高速流动区的区域以秋季最小,而春季与夏季区域的形状则大相径庭。这似乎表明,实测流动中的余流部分受季风的影响较为显著;(3)神仙沟口外的高速流动区的位置及大小也显示了季节特征,即秋季的最大流速值明显减小。

## (二) 余 流 场

### 1. 春季

图 12 为春季(5月)余流分布图。从图 12 可以看出,这一季节的余流分布有如下特征:

(1)莱州湾西侧的表层余流分布大致以黄河口为界,黄河口以北的余流以偏北向为主,黄河口以南的余流则以偏南向为主;(2)在黄河口以北,偏北向的余流出现在  $10\text{m}$  等深线以外,而在滨海区,余流流向呈现出偏南转向偏东,由此可见,这里构成了一个逆时针的涡旋,尽管这一涡旋尺度不大,其直径约  $10\text{km}$ ,最大流速  $20\text{cm/s}$ ,但这里有可能形成上升流;(3)黄河口以北  $10\text{m}$  等深线以外的余流以东北向为主这一事实表明,即使在 5 月份,部分黄河冲淡水也有可能向东北扩展;(4)在黄河口以南,表层余流的基本方向为东南

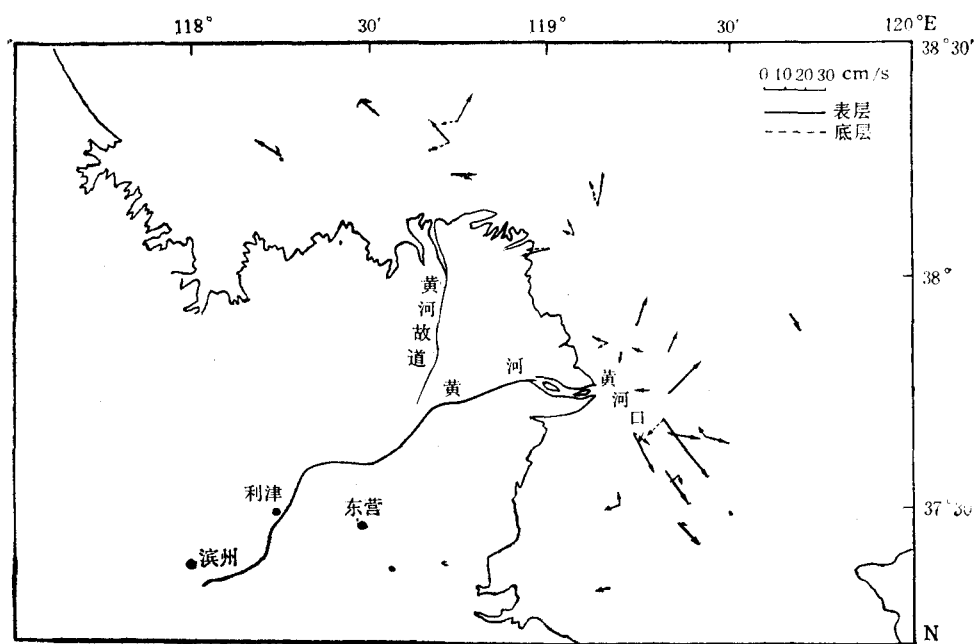
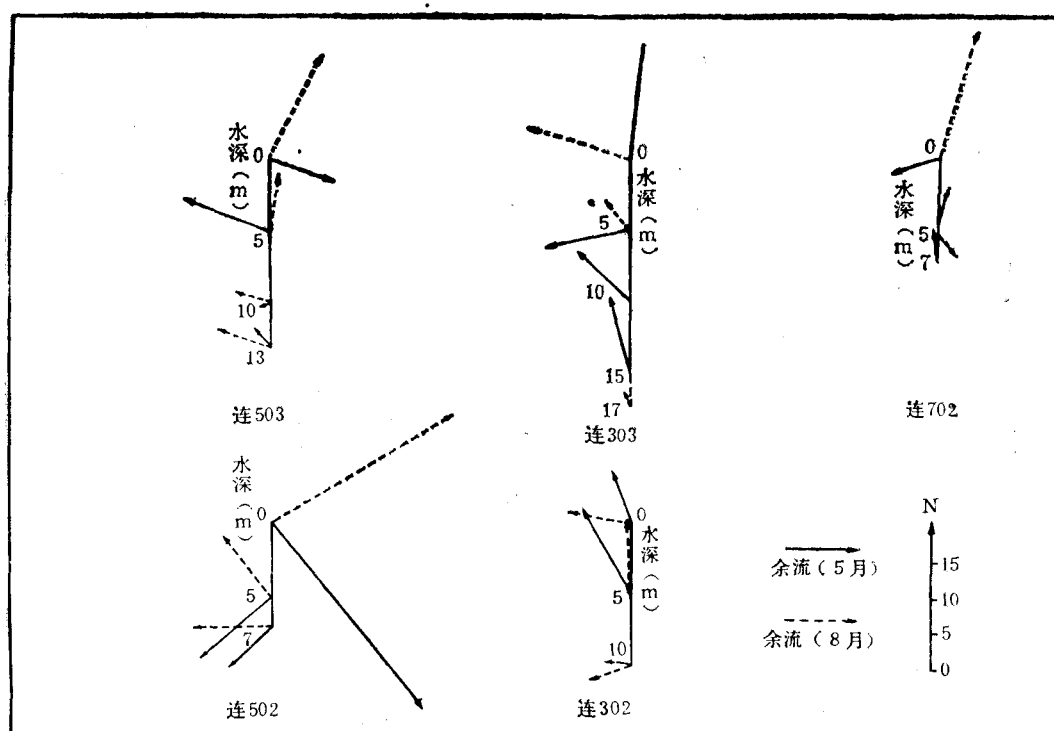


图 12 清水沟流路时期春季(5月)的余流分布 (cm/s)


 图 13 主要测站余流的垂直分布 (cm/s)  
 (连 503, 连 303, 连 702, 连 502, 连 303 均为站号)

向,这表明在5月份有相当一部分的黄河冲淡水向东南扩展,可以达到 $37^{\circ}30'N$ 以南;(5)黄河口以南10m等深线以浅存在着较弱的北向流动,表明在黄河口以南存在着顺时针的环流,有人认为<sup>1)</sup>这是一个顺时针的涡旋,其东西尺度约 $20'$ ,南北尺度约 $21'$ ,一般说来,对于这种中尺度的涡旋,在温盐大面分布图上应该出现相应的封闭等值线,然而迄今为止,尚未发现这种例证;(6)上述黄河口两侧近岸区环流所显示的明显不同的特征,不仅表明了黄河口的凸出的地形和口门汉道的存在对黄河口外余流分布有重要影响,而且表明在5月份风生流动在余流中所占的比重很小;(7)从神仙沟口到渤海湾沿岸的滨海大陆架区,余流的方向虽然仍以偏北向为主,但其流速的量级仅为 $10\text{cm/s}$ ,且其方向不甚一致,由此表明,特殊的地理位置和复杂的地形导致这里的流系较为复杂,且很可能存在若干小涡,图12表明,传统认为的渤南沿岸流在春季已不显著;(8)至于余流的垂直结构,尽管黄河口外海区的水深较浅,从图12和图15可看出,在相当一部分测站上都出现表、底层流向不一致的情况,表明在这些站的附近有可能出现小尺度的涡旋,这主要是由复杂的地形造成的,图13还表明,余流的垂直分布有明显的季节变化,说明这种类型的小尺度涡旋是不稳定的。

## 2. 夏季

从图14可以看出,夏季余流分布不同于春季,其特征如下:

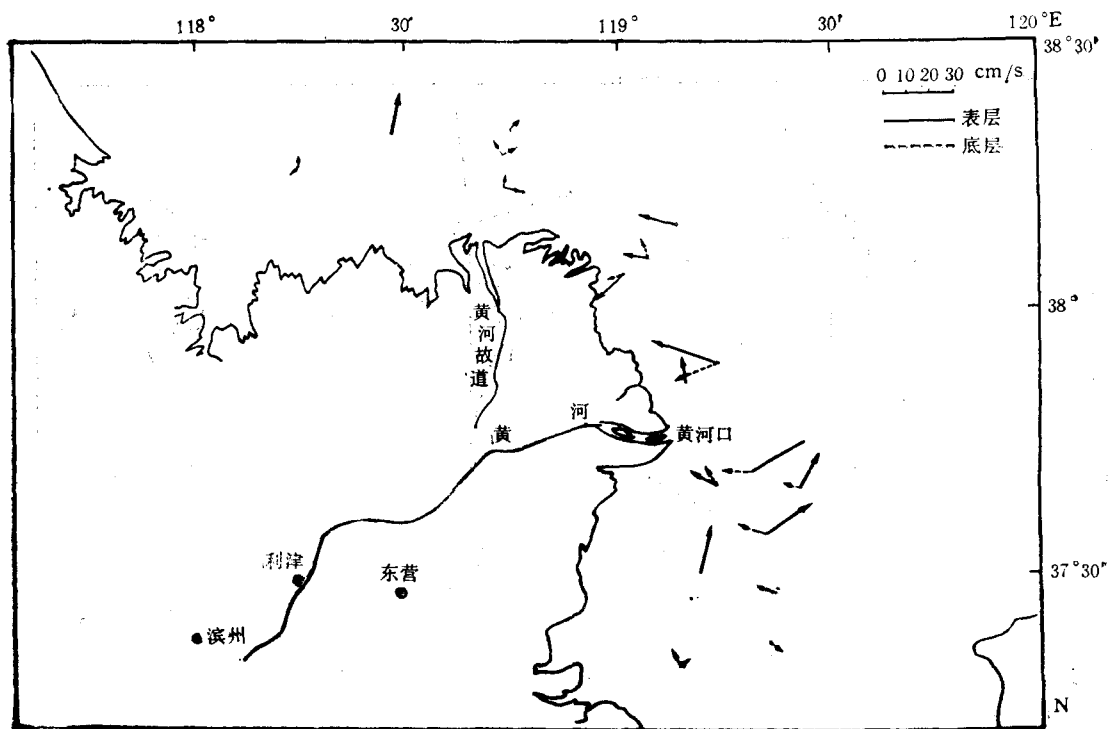


图14 清水沟流路时期夏季(8月)的余流分布( $\text{cm/s}$ )

1) 侍茂崇,赵松鹤,1989,黄河口附近海域潮流场特征以及与泥沙输送的关系,黄河口水文动力学论文集(内部资料)。

(1)在黄河口以南,表层流的流向是向着东北的,这与夏季黄河冲淡水盐舌的舌轴方向(乐肯堂,1995)相一致,这不仅表明表层冲淡水盐舌的舌轴方向标志着冲淡水扩展的方向及其范围,而且这一时期表层黄河冲淡水向东北转向可能具有类似于夏季长江冲淡水向东北转向的机制(乐肯堂,1984)。(2)黄河口以南底层流的流向基本上是向着黄河口的,它与表层流向大相径庭,这表明黄河口是一个部分混合型河口。在黄河口以南的近岸区,向东北转向的冲淡水位于上层,其厚度约 5m,而向河口运动的莱州湾海水则位于下层。由于黄河口门外的水深仅约 1m,故来自莱州湾的海水基本上只能在河口区上升而形成垂直环流,这也是部分混合河口常见的现象。

(3)在黄河口以北的海区,尤其在 10m 等深线以深的海区,表、底层的余流流向基本上是向西北的,这一流向与通常认为的沿岸流的方向相反,但与东南风的方向基本一致,说明这里余流的主要成分可能是风生的。但在近岸区,由于特定的地形作用,在某些地段,潮余流的作用也不能忽视。

### 3. 秋季

从图 15 可以看出,清水沟流路时期的秋季余流分布与钓口河流路时期一样,似缺乏明显的规律性。其基本特征是流速较小,且流向多变。显然,这不仅与过渡季节风向多变且风速不强有关,而且也与此时黄河径流量明显减少有关。

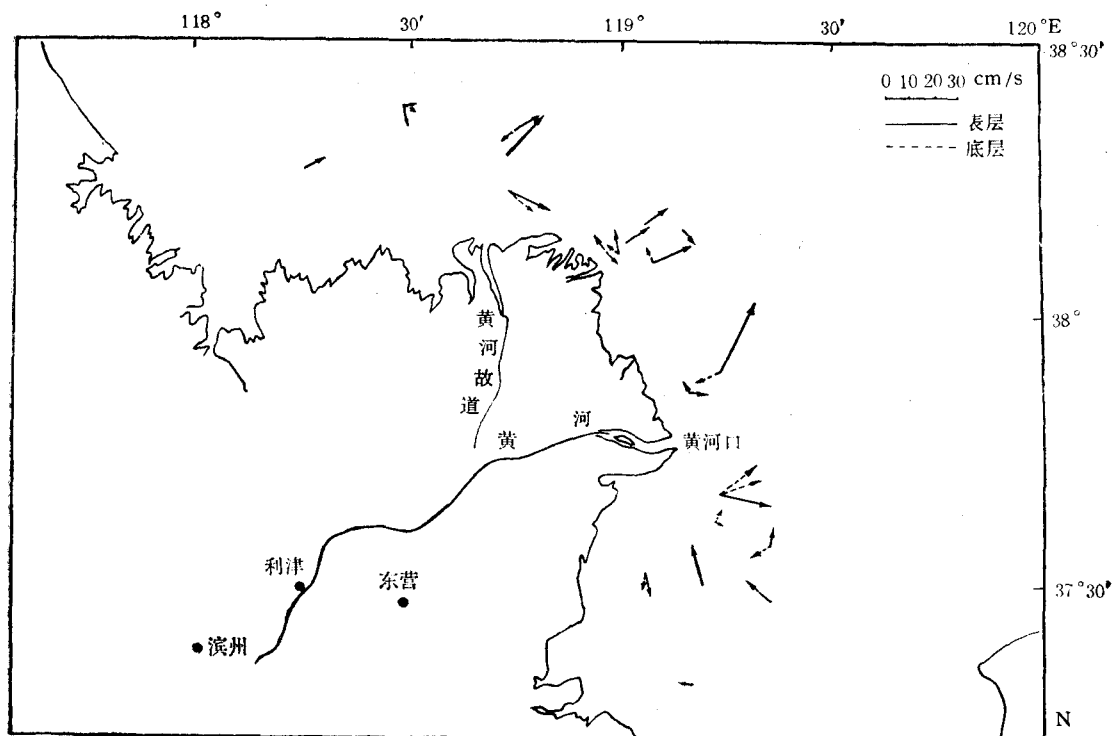


图 15 清水沟流路时期秋季(10—11月)的余流分布(cm/s)

### 三、结 论

通过上述分析研究,我们可以得到如下几点结论:

1. 近 40 多年来黄河尾间流路的频繁改道,不仅使黄河三角洲岸形和地形发生了明显的变化,而且使三角洲附近部分近岸区的潮流性质发生变化,例如,在神仙沟口门和钓口河口门之间的滨海区,在神仙沟流路期间(1958—1959 年)属于正规半日潮流区,而在钓口河流路期间则属于不正规半日潮流区。

2. 在黄河三角洲的大部分近岸区中,尽管  $M_2$  分潮潮流椭圆长轴之走向与海岸大致平行,潮流基本上属于往复流性质,但在黄河的行水河口两侧,  $M_2$  分潮流表现为旋转特性,且随黄河尾间的改道和摆动而改变,这是黄河口外潮流场的又一重要特征。

3. 黄河三角洲外潮流场的另一个重要特征是存在着两个高速流动区:一个是神仙沟口外高速流动区,另一个是行水期的黄河口外的高速流动区。第一个位于东西向的渤海湾与南北向的莱州湾之间的过渡带,它与  $M_2$  分潮的无潮点相联系;第二个区则是与行水河口所造成的突出地形有密切关系,值得指出的是,后一高速流动区随着黄河尾间的改道而移动。在钓口河流路期间,钓口河口外的高速流动区与神仙沟口外的高速流动区连在一起;而在清水沟流路期间,钓口河口外的高速流动区消失,而在清水沟口外则出现了高速流动区。

4. 黄河口外余流场以风生海流为主要成分。因此,黄河口外余流场的基本特征是其显著的季节变化。

5. 黄河尾间的改道和流路的频繁摆动是黄河口滨海区余流场复杂多变的主要原因,其直接后果之一是在行水期黄河口门外形成许多中小尺度的不稳定的涡旋。此外,由于涡旋的存在,在河口外还出现了不稳定的局地上升流区。

### 参 考 文 献

乐肯堂,1984,长江冲淡水路径的初步研究 I. 模式,海洋与湖沼,15(2): 157—166。

乐肯堂,1995,黄河口的变迁与黄河冲淡水的分布变化,本集。

刘风岳,1985,黄河入海干流随潮流变化的特征及泥沙运动方向,海洋湖沼通报,2: 20—23。

庞家珍,司书亨,1979,黄河河口演变 I. 近代历史变迁,海洋与湖沼,10(2): 136—141。

## INFLUENCE OF CHANGES OF THE HUANGHE RIVER ESTUARY ON THE CURRENT FIELD IN ITS ADJACENT SHELF AREA\*

Le Kentang

*(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)*

Zhou Canwu

*(North Sea Survey & Surveillance Center, SOA)*

### ABSTRACT

Historical data show that each of the 10 great changes of the Huanghe River Estuary (HRE) that occurred since 1855 influenced greatly the current field in its adjacent shelf area. Taking the latest change as an example, this paper analyzes the basic behaviours of tidal and residual currents before and after the change. The main conclusions from this study are as follows. (1) The frequent changes of the HRE have changed the properties of tidal currents in some nearshore area off the Huanghe River Delta (HRD). For example, tidal currents in the offshore area between the Shenxiangou Stream Outlet (SSO) and the Diaokouhe Stream Outlet (DSO), used to be regularly semi-diurnal in 1958—1959 when the HRE was located around the SSO, became irregularly semi-diurnal in 1965 when the HRE was located around the DSO. (2) Although tidal currents in the most nearshore section off the HRD are approximately rectilinear, with the major axis of the current ellipse roughly parallel to the coast, the  $M_2$  constituent of tidal current on both sides of the water-running HRE is of rotary characteristic and varies with the change of the HRE. (3) There exist two characteristically high current speed regions off the HRD. One is associated with the amphidromic point of the  $M_2$  constituent off the SSO, the other with the water-running HRE, and varies with the change of the HRE. (4) The residual currents off the HRD are mainly wind-driven currents with significant seasonal variation. (5) There are many unstable meso-scale eddies off the water-running HRE, which cause local upwelling.

---

\* Contribution No. 2320 from Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.