

从 ERTS 图象¹⁾上观测渤海湾表层流*

平 仲 良

(中国科学院海洋研究所)

渤海湾的海流状况对研究黄河及其他沿海河流入海后的泥沙运动和塘沽新港淤积以及渤海水产业都甚为重要。七十年代以来,由于研究海河、蓟运河排出污染物的扩散规律和环境容量的计算,这一问题就显得更加重要了。

五十年代以来,我国科学技术工作者在渤海湾就不同课题进行过多次调查,都曾涉及过海流问题。特别是全国海洋综合调查及我所进行的渤海湾调查,也对渤海湾海流进行过相当细致和全面的研究。调查报告中阐述的很多现象和观点,在 ERTS 图象上得到证实,甚至某些细节在图象上也有反映,但常规的调查方法难以做到大面积的同步观测,所以对渤海湾海流及有关的一些问题,难以作出正确的回答。本文根据地球资源卫星(1—3号)不同年份、不同季节得到的图象,以泥沙为天然的示踪物,观测渤海湾的表层流^[1]。以海洋实况调查资料加以佐证,并解释渤海湾某些污染物的扩散运动。

一、渤海湾的表层流

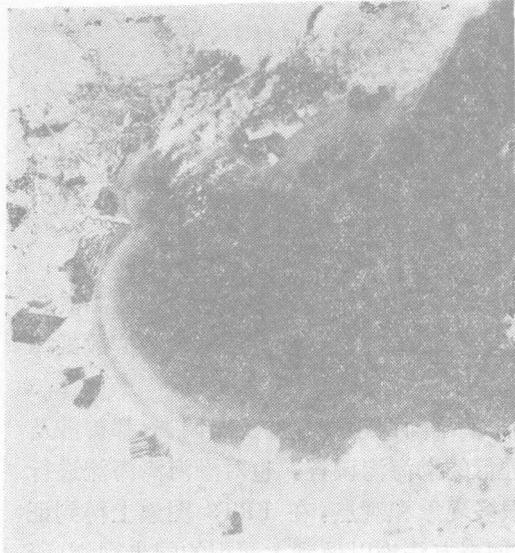
清澈的海水(或淡水),在可见光区反射率比较低,在黑白图象上呈深灰色或黑色。沿海江河中泥沙等悬浮物质的含量较高,在可见光区有较高的反射率,在图象上呈浅灰色。悬浮物质的含量愈高,颜色愈浅。浑浊的河水由河口排入海洋,逐渐与海水混合,并随海水运动,在海水流动的方向伸展、拉长,呈羽毛状,称为“悬浮泥沙羽”或“浑浊水羽”^[4]。在绿波段(MSS-4, 0.5—0.6 微米)和红波段(MSS-5, 0.6—0.7 微米)图象上,都可以观察到。绿波段显示更多的细节,但影象比较模糊。红波段影象比较清晰,判读比较方便。红外波段(MSS-6, 0.7—0.8 微米; MSS-7, 0.8—1.1 微米)用以判别浑浊水或陆地。几个波段联合使用,能更正确地提供更多、更复杂的细节。

图1显示的是1978年6月20日陆地卫星3号的图象,可以代表黄河和沿海其他河流枯水期的情况。在渤海湾南部,黄河水出老黄河口(地图上称老黄河口)入莱州湾,绕过山东北部的钓口折向西方。入海的黄河水水量较少,且速度缓慢。浑浊水羽沿渤海湾南部10米等深线徐徐西行,并逐渐加宽,到达渤海湾西部的马家堡、歧口、塘沽沿海一带(见图1)。山东北部沿海其他几条河流处于半干枯状态,无水排入渤海,因此沿岸海水较清晰。1976年9月19日的图象,则反映黄河汛期情况。黄河及山东其他沿海河流带着大量泥沙冲入渤海。其浑浊水羽,西部达赵家堡一带,北部越过渤海湾中部海面(见图2)。

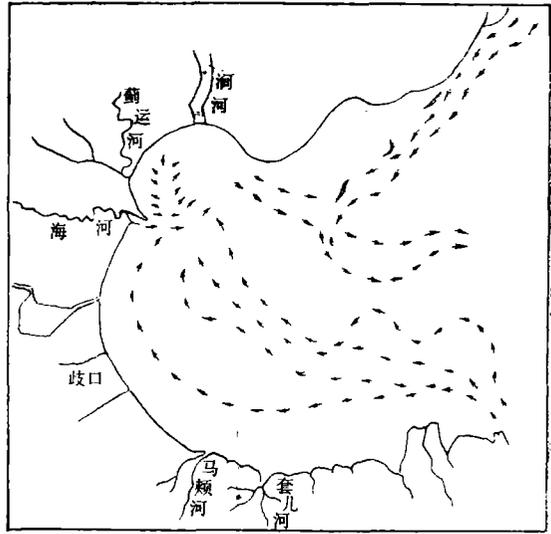
* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第816号。本文承曾呈奎教授多方指导,尤芳湖、管秉贤副教授提供宝贵意见,特此致谢。

本刊编辑部收到稿件日期:1981年6月11日。

1) ERTS 图象——地球资源技术卫星图象。



a. 图象



b. 解译图

图1 黄河的浑浊水羽和流向的解译图

1978, 6.20, N38-45/E118-15M5 黄河的浑浊水羽绕过山东钓口, 西行到达马家堡、歧口、塘沽沿海一带, 北上。海河水入海后随海流北上, 沿湾顶拐弯, 从西北方向下, 在南堡、曹妃甸南面海域, 与东北方向下来的滦河水汇合, 流入渤海中部。

有时, 它的前锋竟能达到对岸大清河口 (见图3)。在莱州湾, 入海的水受海流低压的吸引, 即使朝南扩散的河水, 也一一吸引到西行的海流中来 (见图4)。

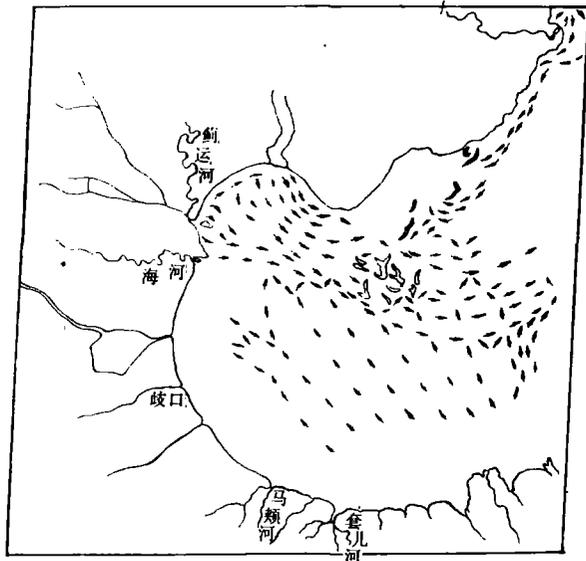
在渤海湾西部, 枯水期浑浊水羽沿 10 米等深线左右北上, 过塘沽新港航道后, 沿 5—8 米等深线继续北上, 绕过湾顶, 而后从西北方向下。海河和蓟运河排出的城市污水“力弱勢寡”, 入海后, 便加入了北上的海流。汛期, 海河排出的河水动量较大, 朝东能一直冲到南堡和曹妃甸南面的海域。蓟运河水被河口沙岛分成二股, 一股朝南与海河水汇合, 朝北一股部分绕过沙岛也与海河水汇合, 部分沿湾顶与涧河水汇合后, 也冲到南堡和曹妃甸南面的海域 (见图2)。

在渤海湾北部, 枯水期海流沿湾顶拐一个“簸箕弯”, 而后从西北方向下, 如有北风或西北风, 则流速增大并掀起泥沙, 在湾顶卷起一个大的旋涡 (见图5)。从湾顶冲到南堡和曹妃甸南面海域的水流与东北方向下来的辽河、滦河水水羽汇合, 又折向东北方向, 在渤海中部, 又与西南方向上来的一小部分黄河水汇聚, 后经渤海海峡流入黄海。汛期, 在渤海湾北部南堡与曹妃甸南面海域, 各路水流汇聚, 除从海河直冲而来和蓟运河、涧河汇合而来的两路外, 还有两路: 一路从滦河等东北方向下来的水流, 一路是北上的部分黄河水, 在这里交锋、混合。交锋的结果, 只有从西面和西北方面冲下来的海河、蓟运河和涧河水, 与海流方向一致, 合并后向东流入渤海中部。其余被撞得七零八落, 形成许多旋涡和碎段, 散落在邻近海域 (见图2)。

另外, 从一些莱州湾的 ERTS 图象, 如 1976, 8.31, N37-30/E119-05; 1976, 12.17, N37-30/E119-05; 1978, 5.14, N37-20/E119-12 等, 都可以看到海流从渤海湾南部进入, 向西流动。1978 年 3 月 25 日的 NOAA-5 气象卫星的可见光照片, 也显示“黄河口附近



a. 图象



b. 解译图

图 2 黄河的浑浊水羽和流向的解译图

1976, 9.19, N38-51/E118-06MSS-5, 黄河及山东其他沿海河流河水冲入渤海。其浑浊水羽西部达赵家堡一带, 北部越过渤海湾中部海面。在南堡、曹妃甸南面的海域, 海河、蓟运河、涧河、滦河和北上的黄河水汇合, 流入渤海中部。

的浑浊水羽”, “羽尾指向西和西北”, “黄河口附近的表层流指向渤海湾”^[3], 与前面叙述的渤海湾南部海流流向颇为一致。



图3 黄河的浑浊水羽

1978, 7.7, N38-45/118-41M-5, 雨季, 黄河水冲入渤海, 其前锋竟到达对岸的大清河口。



图4 1978, 5.14, N37-20/E119-12M-5, 在莱州湾

入海的黄河水, 受海流低压吸引, 即使朝南扩散的河水, 也一一吸引到海流中来。

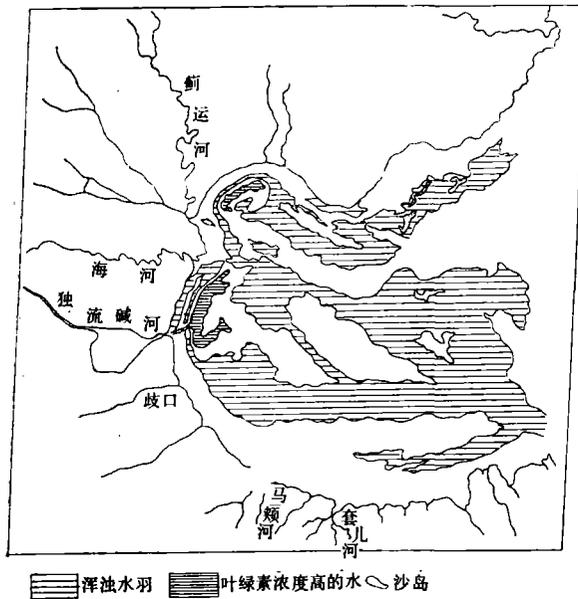


图5 1974, 6.5, N39-03/E118-02MSS-5, 密度分割图

黄河的浑浊水羽, 伸向湾顶。沿湾顶拐弯, 在北风或西北风推动下, 加大流速, 并卷起旋涡。稠密线条区显示营养丰富, 藻类生长茂盛。

1980年5月、9月, 在渤海湾西部的海河和蓟运河河口区, 中国科学院组织过两次航空遥观测, 摄取的彩色红外照片和同步海洋实况测量数据表明, 该海区海流是向北移动的¹⁾, 与前面叙述的渤海湾西部海流状况也是一致的。

1) 平仲良, 1981. 渤海湾航空遥感的图象分析——渤海湾近海叶绿素 a 分布图。海洋科学集刊, 待刊稿。

调查得到的风况资料¹⁾和潮汐资料²⁾如表 1 所示。

表 1 图象摄取时的风况和潮汐资料

时 间	风 向	风 速	潮汐情况
1974.6.5	西北风		落潮到底
1976.9.19	西北风	2 米/秒	涨 潮
1978.3.25	西南风	4 米/秒	落潮到底
1978.6.20	东北风	2 米/秒	刚涨潮不久

风况资料表明,在不同风向和风速情况下,浑浊水羽的指向基本相同。风向与海流之间不存在紧密的相关关系。潮汐资料表明,在不同潮汐情况下,浑浊水羽的指向基本相同。

综上所述,渤海湾浑浊水羽的指向基本上不受风向、潮汐和季节的影响。在渤海湾南部,黄河的浑浊水羽在海流带动下进入海湾,朝西和西北向湾顶移动。在湾顶顺时针方向拐弯,而后从西北方向下,在渤海湾北部南堡和曹妃甸南面的海域,各路水流汇聚后向东流入渤海中部。沿海河流的迳流量对渤海湾的表层流有重要影响,它能左右浑浊水羽的指向和形状。偏北风在湾顶有加大流速、卷起旋涡的作用,但表层流总的流向不变。

二、海洋实况

1. 海洋地质、地貌

遥感图象是泥沙运动的形象记录,而海洋沉积物和海底堆积地貌是泥沙运动的历史积累。因此,遥感图象可以当作海洋沉积过程的实况记录,而海洋沉积物可以作为遥感图象的“海洋实况”的历史累积来检验图象的解译。

海洋地质、地貌学者根据渤海湾沉积物的粒度和矿物成分分析得出结论:“黄河挟带大量泥沙入海后,有一部分泥沙从河口开始,大致在水深 10 米以外,并逐渐靠岸向西北移动,直达徐家堡、赵家堡一带”。可以作为黄河泥沙运移的指示矿物——绿帘石,分布在“从黄河口到赵家堡一带”^[1]。“从该海域的海底沉积类型图及对沉积物重矿物成份的分析结果,进一步证实黄河泥沙在海洋动力要素挟带下”、“由东向西、向西北搬运”。“从河口海区,呈舌状伸向大口河北达赵家堡一带”^[2]。尤芳湖等调查报告³⁾认为:“以现代黄河物质为主的渤海湾南岸泥沙流是相当强大的,它可以越过新港直达渤海湾北部”。这和我们在 ERTS 图象上看到的黄河泥沙运动的规律是一致的。

在北部,“滦河携带的泥沙入海之后,沿水深 16 米左右平行海岸向西南移动,可影响到石臼坨以南海域”^[1]。这与我们在 ERTS 图象上看到从滦河等东北方向下来的浑浊水羽指向,也颇为一致。

另外,反映渤海湾海底地貌的等深线的形状,与黄河汛期的浑浊水羽的轮廓线很相似(见图 2),等深线的走向,与浑浊水羽很一致,20 米等深线与浑浊水羽轮廓线大致重合。因此可以设想,渤海湾南部海底地貌是黄河悬浮泥沙羽长期沉积的结果。北部河流的泥

1) 青岛气象局,1974、1976、1978 年东亚地区地面天气图。

2) 国家海洋局情报研究所,1974、1976、1978 年潮汐表。

3) 尤芳湖等,1959。渤海湾调查报告,论渤海湾的泥沙动态及天津新港附近淤泥的主要来源(内部资料)。

沙含量较少,因此是渤海湾海底地貌呈南高北低的重要原因。

2. 污染物扩散规律的观测

ERTS 图象也是监视城市污水扩散运动的有效工具,一些用遥感方法无法直接检测的污染物质,也可以通过污水的扩散来了解其扩散规律。

(1) 浮游植物和营养盐的扩散:

海河在流经大城市入海的过程中,加入了大量的工业、城市居民和农业污水,其中含有大量的有机物质和营养盐。随夏初水温上升,河中浮游植物得以大量繁殖,水中叶绿素浓度很高,水面呈黄绿色。

浮游植物中的叶绿素与陆生植物具有同样的光谱特性。即在可见光绿区(MSS-4)有较高的反射率,在红区(MSS-5)反射率很低。因此我们可以根据海河水富有叶绿素,在红波段反射率低,呈黑色影象,在假彩色合成图上呈深蓝色影象的这些特点,来识别并观察海河水入海后的扩散运动。

如图 1 所示,富有叶绿素的海河水由渔船闸排出,入海后其浑浊水羽呈弯曲的麦穗状,顺时针沿湾顶移动。

图 5 密度分割图(1974, 6.5 MSS-5)清楚地表明,在湾顶、独流碱河与海河河口之间有两条深色条带(见稠密线条区),除显示那两个区域较高的叶绿素浓度和富营养状态外,还显示海河、蓟运河城市污水、独流碱河农业污水朝北流动的动向。

1978 年 6 月和 9 月,天津环境监测站在 $118^{\circ}20'$ 以西海域,进行有机污染调查表明,底质中的氮、磷含量,在海河口(9 号、10 号站)及北部沿岸各站位(1—3, 5, 6 号站)比较丰富,有的是一项指标超过国家规定的水质标准,有的是两项指标超过(见图 6)。这些数据,正好说明了海河水随海流运动,营养盐不断扩散的过程¹⁾。而“近岸水域,特别是新港以北的北塘口以外的海域,个体较小的软体动物颇占优势。并显示出这一区域较北纬 38° 以南海域生产率高”²⁾。

(2) 汞的扩散:

如图 2 所示,丰水期,蓟运河水入海时被河口沙岛分成两股:一股朝南与海河水汇合,一股朝北,部分绕过沙岛与海河水汇合,部分沿湾顶与涧河水汇合。

汞在海水和底质中的浓度数据^{3,4)},与蓟运河入海后的扩散情况一致。在蓟运河与永定新河汇合处,汞含量最高。海水为 0.148ppb,底质为 0.45ppm。河水被河口沙岛分成二股,南下一股水流大,故 6 号站汞含量较高,海水为 0.014ppb,底质为 0.112ppm。北上一股水流小,故汞含量较低。1 号站底质为 0.033ppm,2 号站底质为 0.021ppm(1 号、2 号站海水中汞含量未测)。河口方向的 3 号站含量较高,海水为 0.36ppb,底质为 0.108ppm。离河口较远的 7 号、8 号站含量迅速下降,7 号站海水为 0.006ppb,底质为 0.061ppm。8 号站海水为 0.006ppb,底质为 0.026ppm(站位位置同图 6),与图象所示的扩散形式一致。

1) 中国科学院海洋研究所二室环境地球化学组,1980。渤海湾有机污染的初步评价。(见中国科学院海洋研究所,渤海湾污染状况的初步评价,未刊稿)。

2) 崔玉珩等,1980。渤海湾平底动物初步研究。(同上)。

3) 郑舜琴、张淑美,1980。渤海湾海水中的汞含量(未刊稿)。

4) 廖先贵等,1980。渤海湾底质环境质量评价(未刊稿)。

(3) 砷的扩散：

图 1 所示的反映套尔河、马颊河泥沙扩散方向的河口沉积，其位置、形状、扩散方向与砷的分布图¹⁾非常吻合(见图 7)。砷分布图等值线最大突出的方向即其主要扩散方向指向北方和西方，表现了河流入海时河水运动的方向向北，而在海流作用下向西运移的过程，与 ERTS 图象所示的情况吻合。图象显示的河口沉积物最大突出方向向北，且沉积物在河口偏西方向。因此有理由认为，砷污染来源于套尔河和马颊河。

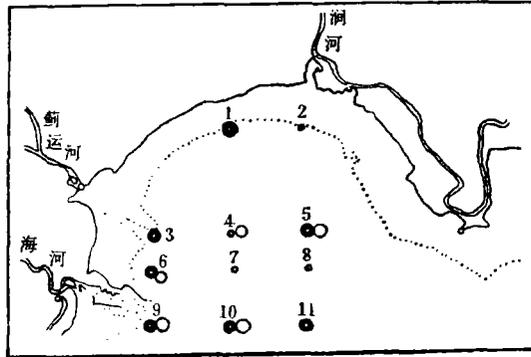


图 6 海河、蓟运河口底质中氮、磷的含量分布

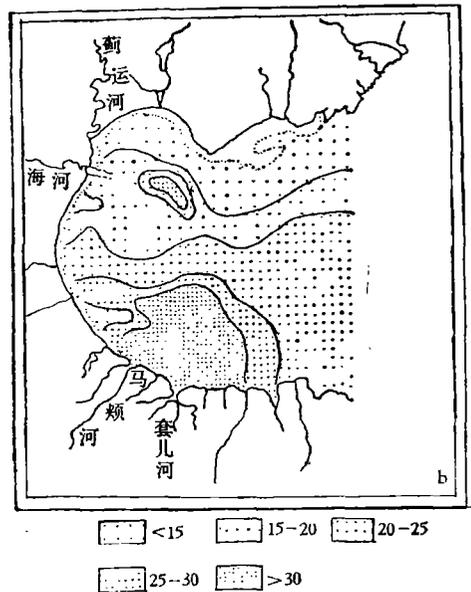
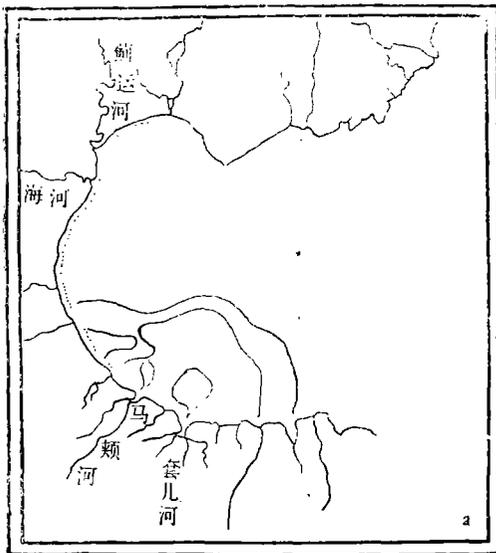


图 7 套尔河、马颊河口沉积物与渤海湾沉积物中砷的分布图的比较

a. 河口沉积物； b. 砷的分布。

三、结 语

1. 研究表明，使用 ERTS 图象不仅是观测近岸表层流的好方法，也是监视城市污水及

1) 廖先贵等，1980。渤海湾底质环境质量评价。未刊稿。

其中污染物扩散运动的好方法。来自现场的资料数据与图象信息吻合。

2. 遥感图象和海上实测资料反复证明,在渤海湾西部,海流向湾顶运动,不利于城市污水向外海扩散,作者郑重地提请有关部门注意。

3. 反映海洋实况的底质资料与反映海水运动情况的图象信息吻合,且具有长期稳定性、多次重复性,因此底质资料是检验图象解译的很好依据。

参 考 文 献

- [1] 高明德等, 1980. 塘沽新港泥沙来源的研究。海洋科学集刊 16: 33—56。
- [2] 庞家珍、司书亨, 1980. 黄河河口演变。海洋与湖沼 11(4): 295—305。
- [3] 郑全安, 1980. 气象卫星照片在海洋研究中的初步应用。海洋遥感文集, 65—66 页。
- [4] Carlson, P. R., 1974. Surface Currents along the California Coast Observed on ERTS Imagery. *Proceeding of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment* 2: 1279—1288.
- [5] Herbert, E. S., 1976. Remote Sensing of Water Resources. *In: Remote Sensing of Environment*, edited by Lintz, J. Jr. and D. S. Simonett. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp. 572—592.
- [6] Walsh, D., 1976. Remote Sensing in Oceanography, *In: Remote Sensing of Environment*, edited by Lintz, J. Jr. and D. S. Simonett. pp. 593—626.

SURFACE CURRENT IN BOHAI BAY OBSERVED ON ERTS IMAGERY*

Ping Zhongliang

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

ERTS imagery is an effective means of monitoring coast current.

Turbid water visible on the satellite imagery makes splendid tracers of the near surface current.

During most of the year, turbid water from the Huanghe River (Yellow River) flows north-westwards along the south coast of the Bohai Bay. In the Bohai Bay apex, the current reversed to the south eastern direction along the coast, and then flows through the north part of the Bohai Bay into the central part of Bohai Sea.

Discharge from the Huanghe River and other rivers has great influence on the configuration of the current but general pattern of the Bohai Bay current has not changed.

Oceanic geological data have been used to verify the interpretation of the surface current direction as deduced from ERTS imagery. Comparison of transportation vector of indicative minerals of the Huanghe River and the Luanhe River with the current directions deduced from ERTS imagery shows similar patterns.

*Contribution No. 818 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.