

黄、东海陆架区悬浮体输运的时空变化规律*

孙效功 方明 黄伟
(青岛海洋大学海洋地球科学学院 青岛 266003)
(香港科技大学 香港九龙)

提要 利用 NOAA 卫星 1995 年 1 月—1997 年 2 月的海洋遥感资料系统地分析和研究了黄、东海陆架区悬浮体向深海输运的时间和空间变化规律,并对其动力机制进行了分析和探讨。研究表明,黄、东海悬浮体在 11—3 月份为向外海输运阶段,5—9 月份则退向近海为内储阶段,4 月份为输变退的月份,10 月份则是退变输的月份,其中 3 月份黄、东海悬浮体向东海深海输运得最远,9 月份则向岸退得最远;黄、东海表面悬浮体向东海的输运范围一般皆位于 100m 等深线以内,并很难越过黑潮水系,而输向深海的悬浮体又大都都在黄海暖流的作用下回输黄海,其大部输向韩国西南海域。

关键词 黄、东海 遥感 悬浮体 输运

学科分类号 P736.2

黄、东海是太平洋西岸最广阔的陆架区,其悬浮体含量高,季节性变化明显,影响范围广,属世界上悬浮体含量最高的海域之一。对于该海域悬浮体的输运、分布规律及沉积过程, Nino 等(1961)、Honjo 等(1974, 1975)、Milliman 等(1985, 1986, 1989)、Qin 等(1983, 1988)、Yang 等(1983)、杨作升等(1991, 1992)中外学者都做过比较深入的研究。然而,以往的研究大都基于实际海洋调查资料,由于受实测资料在时间和空间覆盖范围上的限制,而很难从整体上把握黄、东海陆架区悬浮体输运的时间和空间变化规律。总体上看,黄、东海海域悬浮体的时空分布规律至今尚未得到十分完整而清楚的认识,还有待于进一步分析和探讨。卫星海洋遥感资料具有覆盖范围广、时间连续性强等优点,从而为海洋表层悬浮体输运规律的研究提供了更加便捷和有效的手段。为此,本文将利用卫星海洋遥感资料对黄、东海海域表层悬浮体的时空变化规律及其动力机制做进一步的研究和系统的分析。其目的主要是:1) 确定黄、东海海域表层悬浮体向深海输运的时间变化规律;2) 分析其空间分布变化规律。

1 研究方法

本研究依据的资料为香港科技大学卫星地面站 1995—1997 年初所接收的 NOAA 卫星 AVHRR 的海洋遥感资料。NOAA 卫星的 AVHRR 共有 5 个通道,其中通道 1 为可见光,通道 2 为近红外光,通道 3、4、5 则为红外光。其可见光通道 1 的海洋遥感资料为海面反射率,它可以反映海水表层的浊度,因而据此可研究海洋表层悬浮体的扩散分布规律;

* 内地与香港合作项目,1996—1997。孙效功,男,出生于 1961 年 12 月,博士,教授, E-mail: sunxgn@mail.ouqd.edu.cn

由 3、4、5 三个红外光通道的遥感数据可计算出海水表面的温度, 利用这一海表温度 (SST) 遥感图像资料可研究海洋表层不同水系的分布和变化规律。在此, 首先将所选取



图 1 研究海域及其海底地形

Fig. 1 Study area and bathymetry

的 黄、东海海域的 NOAA 卫星 AVHRR 遥感资料按通道 1 与通道 2 相减而得到消去大部分气溶胶影响的海面反射率遥感图像资料, 然后对这些遥感图像以海面反射率梯度变化最大为原则进一步解译出海水表层高浓度悬浮体的锋面前缘线, 进而据此分析和探讨黄、东海海域海洋表层悬浮体的时空变化规律。另外, 再结合海表温度遥感资料进一步分析和研究黄、东海海域悬浮体的输运与不同水系的对应关系及其动力机制。其研究区域为包括南黄海、东海和冲绳海槽在内的黄、东海陆架区及其临近深海区, 具体如图 1 所示。由于云的遮挡影响, 海洋遥感图像很难做到对研究海域的连续覆盖, 不过这里利用 1995—1996 年的遥感资料所精选出的清晰遥感图片基本上保证了全年 12 月份的覆盖。

2 研究结果

2.1 黄、东海陆架区表层悬浮体的时间变化规律

选取 1995 年 1 月 7 日、1995 年 3 月 19 日、1996 年 4 月 3 日、1996 年 4 月 11 日、1996 年 4 月 22 日、1996 年 5 月 2 日、1995 年 6 月 4 日、1995 年 7 月 13 日、1995 年 8 月 13 日、1996 年 9 月 26 日、1996 年 10 月 4 日、1996 年 10 月 15 日和 1996 年 12 月 24 日几个不同时相的 NOAA 卫星 AVHRR 的海洋表层悬浮体遥感图像资料来研究黄、东海悬浮体向深海输运的时间变化规律。图 2a、b 为以上部分时相的黄、东海表层高浓度悬浮体的锋面前缘线解译图。

由图 2a、b 可见, 在研究时段内, 长江口外来自苏北近岸的黄、东海表层高浓度悬浮体水舌的锋面前缘在 9 月底还位于 20m 等深线以内, 10 月初表层悬浮体则开始向海输运, 10 月 4 日表层高浓度悬浮体舌状锋面前缘已达 40—50m 等深线, 至 10 月 15 日其舌状锋面前缘已达 70m 等深线, 表层高浓度悬浮体向东输至 125° 40' E 经线。以后, 表层高浓度悬浮体继续向东南深海输运, 至 12 月 24 日其前缘顶端达近 80m 等深线; 1 月份表层高浓度悬浮体向海输运略有增移, 达 80m 等深线; 到 3 月份表层悬浮体向外海输运的最远, 研究时段内的 1995 年 3 月 19 日表层高浓度悬浮体前缘达 90m 等深线, 向东达 126° 30' E 经线以远; 进入 4 月份, 高浓度悬浮体锋面向岸退缩, 研究时段内的 4 月 3 日退至 75m 等深

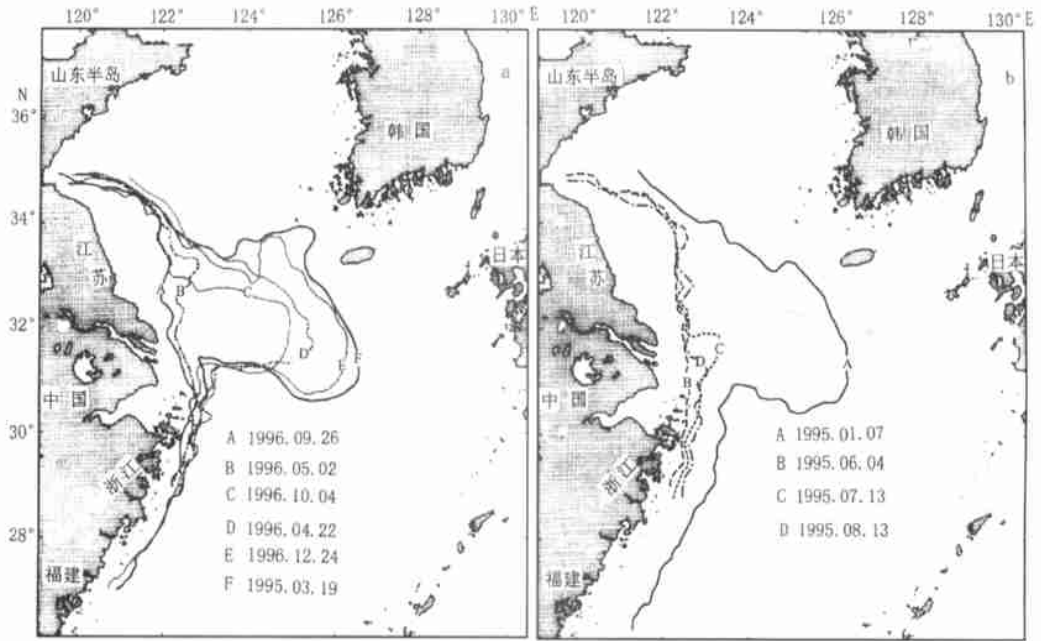


图 2 黄、东海海域表层悬浮体锋面前缘线解译图

Fig. 2 Surface SPM fronts of the Yellow and East China Seas,
on the basis of satellite image interpretation

线,向西退至 126°E 经线,至 4 月 11 日退至 60m 等深线,4 月 22 日退至 50m 等深线左右,亦即向西退至 $125^{\circ}30'\text{E}$ 经线以内;以后继续退缩,到 4 月底已退至近岸。在研究时段内,5 月 2 日的表层高浓度悬浮体锋面前缘已退至 30m 等深线以内的近岸。在以后的 6、7、8、9 月份,表层高浓度悬浮体锋面前缘皆位于 30m 等深线以内的近岸海域。5、6、7、8、9 五个月份的表层高浓度悬浮体的舌状前缘基本上皆位于 123°E 经线以西。

从 1995、1996 年两年的海洋遥感资料来看,黄、东海悬浮体在 11、12、1、2、3 五个月份的冬半年是向外海输运阶段,而在 5、6、7、8、9 月份的夏半年则退向近岸而属于内储阶段。其中 3 月份向深海输运的最远,如研究时段内的 1995 年 3 月 19 日其高浓度锋面前缘达 90m 等深线;9 月份向岸退缩的最远,如 1996 年 9 月 26 日高浓度锋面前缘退至 20m 等深线以内。4 月份是由输变退的月份,10 月份则是由退变输的月份。无论是由输变退还是由退变输,起初的变化都非常之快,尔后逐渐减慢。杨作升等(1992)利用 1987 年 5—6 月的黄、东海海域的实际调查资料并结合已有的多年水文资料推断出了黄、东海悬浮体“夏储冬输”的季节性输运格局,这一观点与以上由遥感资料所得到的研究结果基本上是一致的。

黄、东海海域悬浮体向深海的输运主要受控于季风的作用以及黑潮水的爬升和退缩。在黄、东海海域,夏季盛行西南风,冬季盛行东北风且风力较强,而春季为偏北风转为偏南风,秋季为偏南风转为偏北风的季节(汤毓祥,1996;Fan,1979)。以上得到的黄、东海海域悬浮体“夏储冬输”和 4 月份由输变退、10 月份由退变输的季节性输运格局与季风的变化规律是相当吻合的。至于黑潮水的爬升,其强度和范围随季节变化也很大。黑潮次-

中层混合水在 3 月爬升最弱, 退缩到向海一侧最远处, 爬升线大约在 110—120m 等深线处; 6 月, 黑潮爬升水已经增强, 并向西爬升至 100m 等深线处; 9 月, 黑潮爬升水达到最强盛期, 入侵陆架最远, 爬升线达到 70—90m 等深线处(苏育嵩, 1989)。前面遥感图所反映的黄、东海海域悬浮体 3 月份向东南深海输运最远, 9 月份向岸退得最远的变化规律与黑潮爬升水的变化规律是一致的。这说明黑潮次- 中层混合水的爬升对黄、东海悬浮体的输运也起到了关键的控制作用。

2.2 黄、东海陆架区表层悬浮体的空间变化规律

图 3a、b 为 1996 年 12 月 24 日 13: 50 的黄、东海海域表层悬浮体和海表温度的 NOAA 卫星 AVHRR 海洋遥感图像。图 3a 清楚地反映了起自苏北近岸的高浓度悬浮体

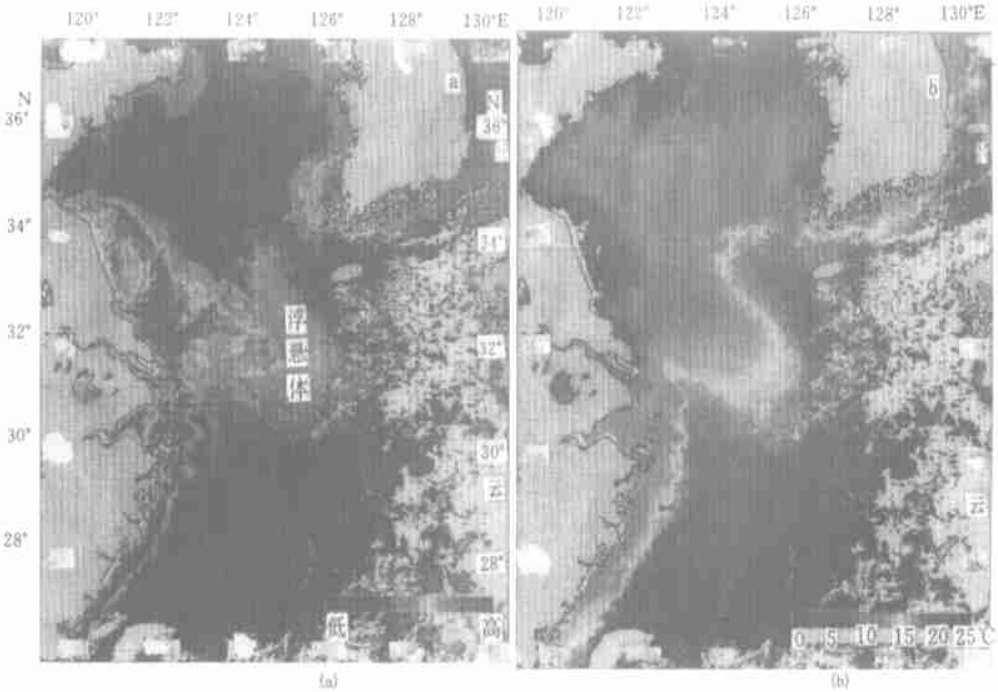


图 3 黄、东海海域表层悬浮体 (a) 和海表温度 (b) AVHRR 海洋遥感图像 (1996 年 12 月 24 日 13: 50)

Fig. 3 Surface SPM (a) and SST (b) AVHRR images of the Yellow and East China Seas (24 Dec. 1996, 13 50)

水舌向东南深海输运的分布特征; 图 3b 的 SST 遥感图像则清楚地反映了冬季黑潮、台湾暖流、黄海暖流、对马暖流、黄海沿岸流、闽浙沿岸流和韩国沿岸流等黄、东海海域不同流系的分布状况。图 3b 中伸向东南深海的低温水舌为沿苏北近岸经长江口以北流向东南的黄海沿岸流, 它对应着图 3a 中的高浓度悬浮体水舌; 其前进方向的右侧指向长江口以北的较高温度水舌为起自台湾东北部海域的台湾暖流, 而其左侧的较高温度水体为流向黄海的黄海暖流; 自台湾东北沿冲绳海槽伸向东北的更高温度水体为黑潮, 它自台湾以东进入东海海域, 沿陆坡向东北方向流动, 后经吐噶喇海峡进入日本以南海域; 长江以南的近岸冷水体为流向南的闽浙沿岸流; 而韩国西侧近岸冷水体则为流向南的韩国沿岸流; 另外, 还有起自九州西部海域而经对马海峡流向日本海的对马暖流。由研究时段的遥感图

像易见, 台湾暖流最远可达长江口以北; 黄海暖流在济州岛以西海域分为两支, 一支进入黄海, 另一支则流向济州海峡(图 3b)。其中, 台湾暖流在向北流动的过程中因受地形和黄海水的阻碍而转向东或东南(郭炳火等, 1987), 后并入黄海暖流。图 4 则为 1997 年 2 月 20 日 13:20 的海洋遥感图像的悬浮体锋面以及不同流系的温锋解译图, 它也清楚地反映了黄、东海悬浮体和不同流系的分布特征。由于受篇幅的限制, 其它月份相应两种锋面的对应分布图这里皆未给出。下面以此为例, 并结合其它月份的分析结果, 对黄、东海表层悬浮体的空间变化规律做一具体的分析。

由图 3a 和图 4 可见, 黄、东海海域表层悬浮体自苏北近岸经长江口以北呈舌状向东南深海输运, 当输至一定距离后又折向北偏西向黄海方向输移。这部分输向黄海的悬浮体在济州岛以西海域又分为两支, 其一部分输向韩国西南近岸, 并与韩国近岸的悬浮体基本上连为一体, 另一部分则进入黄海。从现有遥感图像上看, 自 10 月份悬浮体离岸向东南深海输移至 4 月份退至近岸的这段时间内, 黄、东海表层悬浮体的输运皆呈现上述规律。另外, 黄、东海海域表层悬浮体在冬半年向东南深海的输运最远也基本上未超过 100m 等深线, 作为输运最远的 3 月份其主部前缘基本上位于 90m 等深线以内(图 2)。总体上看, 黄、东海海域表层高浓度悬浮体在向东南深海输运的过程中未能越过冲绳海槽, 其表层高浓度悬浮体皆呈舌状分布于 100m 等深线以内, 其分布范围基本上位于纬度 $29^{\circ}30'N$ — $35^{\circ}00'N$ 、经度 $127^{\circ}30'E$ 以西的黄、东海陆架区。

以上黄、东海海域悬浮体的扩散分布特征是由该海域所存在的各种不同流系的相互作用而决定的。在冬半年, 起自苏北近岸的高浓度悬浮体在黄海沿岸流的作用下, 沿近岸向南输移, 至长江口以北由于台湾暖流的阻碍和顶托作用而随黄海沿岸流转向东南深海输运, 形成了一伸向东南的高浓度悬浮体水舌; 输向东南深海的这些高浓度悬浮体(可能由于黑潮爬升水的阻挡)未能越入冲绳海槽, 从遥感图像上看, 它们皆被阻隔于陆架之上; 然而, 除沿程落淤外, 其输移并未终止, 绝大部分悬浮体又在转向东或东南的台湾暖流和流向西北的黄海暖流的共同作用下转向北偏西, 后在黄海暖流的作用下回输黄海(图 3a, 图 4)。由图 4 可见, 回输黄海的悬浮体水舌正落于黄海暖流的温锋之内, 从而表明这部分回输黄海的悬浮体正是由于黄海暖流的输运作用所致。回输黄海的高浓度悬浮体在济州岛以西海域改向两个不同的方向输移, 其主部在进入济州岛海峡的黄海暖流分支的作



图 4 表层悬浮体锋面、温锋解译图(1997 年 2 月 20 日)

Fig. 4 Surface SPM and temperature fronts (20 Feb. 1997), as shown on satellite images

用下输向韩国西南沿岸,并与韩国沿岸流作用下向南输移的悬浮体近乎连为一体,而另一部分悬浮体则在流入黄海的黄海暖流分支的作用下输往黄海。

3 结论

3.1 从时间上看,黄、东海陆架区悬浮体在 11、12、1、2、3 月份的冬半年属于向外海输运阶段,在 5、6、7、8、9 月份的夏半年则退向近岸属于内储阶段。其中 3 月份向深海输运最远,9 月份向岸退的最远;4 月是由输变退的月份,10 月份则是由退变输的月份,无论是由输变退还是由退变输,其变化速度起初都非常快,尔后逐渐减弱。

3.2 从空间分布上看,输向东南深海的黄、东海高浓度悬浮体,由于黑潮的阻挡作用很难越过冲绳海槽,其表层输运范围基本上未超过 100m 等深线,其主部基本上位于 90m 等深线以内。输向东南深海的高浓度悬浮体在黄海暖流的作用下又回输黄海,其一部分输向韩国西南岸海域,另一部分随黄海暖流进入黄海。

3.3 黄、东海陆架区高浓度悬浮体的输运主要受控于季风的作用和黑潮水的爬升。春、秋两季是黄、东海季风的转向季节,从而导致黄、东海陆架区悬浮体在 4 月份由输变退,而在 10 月份则由退变输。黑潮爬升水 3 月份退出陆架最远,相应的悬浮体向深海输运的最远;在 9 月份入侵陆架最远,从而悬浮体的输运向岸退缩的也就最远。

参 考 文 献

- 汤毓祥, 1996. 东海温锋的分布特征及其季节变异. 海洋与湖沼, 27(4): 436—443
- 杨作升, 郭志刚, 王兆祥等, 1991. 黄、东海毗邻海域悬浮体与水团的对应关系及影响因素. 青岛海洋大学学报, 21(3): 55—69
- 杨作升, 郭志刚, 王兆祥等, 1992. 黄、东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局. 海洋学报, 14(2): 81—90
- 苏育嵩, 李凤岐, 马鹤来等, 1989. 东海北部区域底层冷水团的形成及其季节变化. 青岛海洋大学学报, 19(1(II)): 1—14
- 郭炳火, 林 葵, 左海滨等, 1987. 东海环流的某些特征. 见: 国家海洋局第一海洋研究所、第二海洋研究所编. 黑潮调查研究论文集. 北京: 海洋出版社, 15—32
- FAN Kuang-Lung, 1979. On upwelling off the Peng-Hu islands. ACTA Oceanographica Taiwanica, (9): 50—57
- Honjo S, Emery K O, Yamamoto S, 1974. Noncombustible suspended matter in surface waters off eastern Asia. Sedimentology, 21: 555—575
- Honjo S, Emery K O, 1975. Suspended matter off eastern Asia: Scanning electron microscopy and X-ray probe analysis. Sedimentology, 22: 261—288
- Milliman J D, Beardsley R C, Yang Z-S *et al*, 1985. Modern Huanghe driven on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential trannudms sport mechanisms. Continental Shelf Research, 4: 175—188
- Milliman J D, Li F, Shao Y-Y, Zheng T-M *et al*, 1986. Suspended matter regime in the Yellow Sea. Prog Oceanog, 17: 215—227
- Milliman J D, Qin Y-S, Park Y A, 1989. Sediments and sedimentary processes in the Yellow and East China Seas. In: Taira A, Masuda F ed. Sedimentary Facies in the Active Plate Margin. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 233—249
- Nino H, Emery K O 1961. Sediment of shallow portions of East China Sea and South China Sea. The Geological Society of American Bulletin, 72: 731—762
- Qin Y-S, Li F, 1983. Study of influence of sediment loads discharged from Huanghe River on sedimentation in East China Sea. In: Proceeding of the International Symposium on Sedimentation on Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Beijing: China Ocean Press, 83—92

Qin Y-S, Li F, Xu S-M *et al.*, 1988. Study on suspended matter in seawater in the southern Yellow Sea. *Chin J Oceanol Limnol*, 6(3): 201—215

Yang Z-S, Milliman J D, 1983. Fine-grained sediments from the Changjiang and Huanghe Rivers and sediments sources of the East China Sea. In: *Proceeding of the International Symposium on Eedimentation on Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*. Beijing: China Ocean Press, 436—446

SPATIAL AND TEMPORAL VARIATIONS IN SUSPENDED PARTICULATE MATTER TRANSPORT ON THE YELLOW AND EAST CHINA SEA SHELF

SUN Xiaogong, FANG Ming, HUANG Wei

(*College of Marine Geosciences, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

(*The Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon, Hong Kong*)

Abstract A systematic investigation into the spatial and temporal variations of the movement of the suspended particulate matter (SPM) from coastal water to the open sea in the Yellow and East China Seas was conducted using NOAA-AVHRR images from Jan. 1995 to Feb. 1997. Based on the results of these analyses, the SPM transport mechanism was also studied. It was founded that from November to March, the SPM in the Yellow and East China Seas moved into the open sea areas, while from May to September, the water bodies with large SPM values moved back to the coast. April and October were the transitional periods. The SPM moved furthest into the open sea in March while in September it retreated closest to the shore. The transport of the SPM was within the 100m isobath and could not pass the Kuroshio Current, and most of the transported SPM returned to the Yellow Sea under the influence of the Yellow Sea Warm Current and a large portion was transported toward the southwest coastline of Korea.

Key words The Yellow and East China Seas Remote sensing Suspended particulate matter
Transport

Subject classification number P736.2