

用实测海水透明度数据和 NOAA 卫星数据计算黄海悬浮体含量*

平仲良

(青岛大学环科系, 266071)

提要 用国家海洋局 1975—1982 年间在黄东海调查的海水透明度数据换算为悬浮体含量,用 NOAA 卫星高分辨率辐射计数据计算悬浮体含量,以绘制悬浮体含量分布图。分布图显示,研究区有三个悬浮体含量高值区,位于苏北浅滩、长江口、成山角沿岸水域。研究表明,风浪是影响悬浮体含量的海洋外部的主要因素。层化参量是影响悬浮体含量海洋内部的主要因素。

关键词 海水透明度 水色 悬浮体含量

海洋中悬浮体的时空分布是研究悬浮体运动的动力学机制和各种主控因子的主要依据。获得海洋中悬浮体时空分布最直接的方法是用船舶定时测量各站位悬浮体含量。不过这种方法是很费钱和费事的。为此探讨一种间接的方法,利用国家海洋局 1975—1982 年间在黄东海调查的海水透明度数据换算为悬浮体含量,以提供粗线条的平均状况的描述。另外,还用 NOAA 卫星高分辨率辐射计数据计算悬浮体含量,以提供悬浮体在研究海区分布的精细描述。

1 由海水透明度数据计算悬浮体含量

1.1 透明度和水色的时空分布 海水透明度和水色是描述海水光学性质的基本参数,它们与海水中悬浮体和溶解物质的成分和含量有关,也与气象、海况等因素有关,海洋物理学家用海水透明度与水色分布特征研究水团、流系及海水运动。

很明显,海水悬浮体含量与水色、透明度之间,有密切的内在联系。实际上,只是从不同角度、不同参数描述同一个问题。

本文应用国家海洋局 1975—1982 年间调查的水色、透明度数据¹⁾,按研究区各站位分月份取平均值,以反映研究区水色和透明度的空间分布和随时间变化的状况。

如 1, 5, 7, 11 月份数据绘制的透明度、水色图(图 1)所示,苏北浅滩和长江口透明度最低,水色牌号最高;其次是成山角外,透明度较低,水色牌号较高。海州湾外和黄海中部深海区透明度高,水色牌号低,就时间分布而言,除长江口,透明度数据 1 月份最小,7 月份最大,水色数据正好相反。

从表 1 看出,各个月份透明度与水色之间呈负指数关系。相关系数为 -0.8342 — -0.9099 ,以 5 月份为例,水色与透明度之间的关系为 $WC = e^{3.0096V^{-0.4858}}$,式中 WC 为水

* 国家自然科学基金资助项目,4860273 号。

收稿日期: 1991 年 1 月 29 日;接受日期: 1991 年 11 月 21 日。

1) 国家海洋局情报所编著,1983 年,全国海洋综合调查资料。

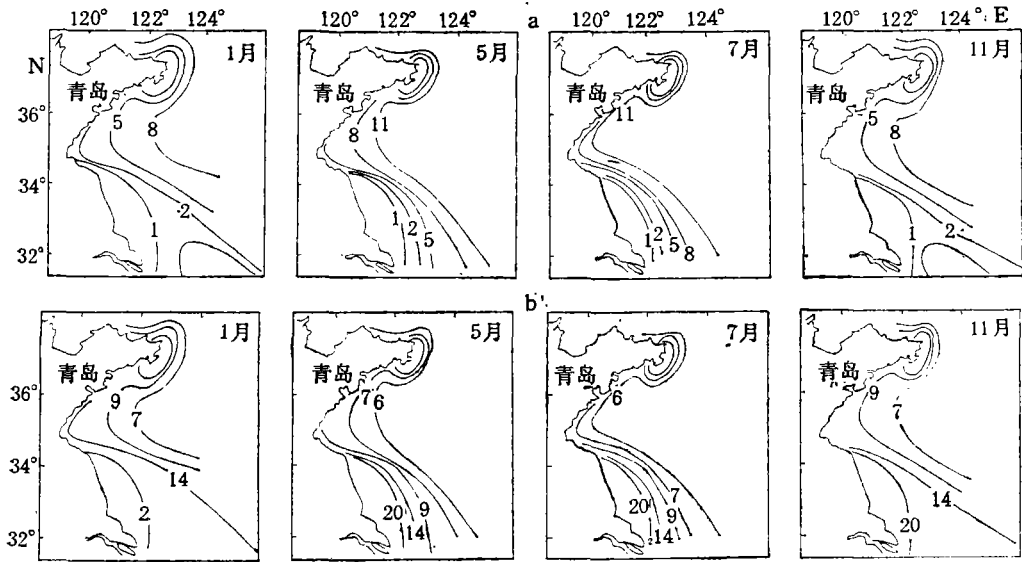


图 1 不同季节南黄海海水透明度 (m)(a) 和水色(牌号) (b) 的空间分布
 Fig. 1 The transparency map (a) and water color map (b) in the South Yellow Sea in the various seasons

色, V 为透明度。

年度内各月份透明度平均值呈正弦曲线变化, 1 月份为最低值, 7 月份为最高值。与此相反, 水色呈余弦变化, 1 月份为最高值, 7 月份为最低值(见图 2)。

表 1 各月份透明度和水色的对数的平均值、方差以及协方差、相关系数

Tab. 1 The logarithmic means and variance of transparency and water color measured monthly, and covariance, correlation

月份	透明度		水色		协方差	相关系数
	平均值	方差	平均值	方差		
1	1.3501	0.7212	2.3297	0.4165	-0.2561	-0.8526
2	1.6477	0.6477	2.3072	0.4058	-0.2183	-0.8306
3	1.5445	0.9210	2.2744	0.4252	-0.3563	-0.9099
4	1.9219	0.9066	2.0547	0.4083	-0.3182	-0.8597
5	2.1921	0.8556	1.9448	0.4595	-0.3556	-0.9045
6	2.3138	0.7353	1.8630	0.4375	-0.2734	-0.8499
7	2.3995	0.5538	1.8527	0.3699	-0.1792	-0.9748
8	2.3773	0.8548	1.8671	0.4726	-0.3554	-0.8798
9	2.2902	0.8222	1.9577	0.4383	-0.3006	-0.8342
10	2.1795	0.8582	2.0306	0.4247	-0.3007	-0.8251
11	1.7317	0.9641	2.2146	0.5168	-0.4397	-0.8825
12	1.7105	1.0405	2.1385	0.4270	-0.3805	-0.8652

1.2 由透明度计算海水悬浮体含量 透明度与衰减系数理应存在一定的数学关系, Duntray (Lindell, 1985) 给出了如下公式: $V = SDD = \frac{4 \sim 5}{\alpha - k \cos \theta}$, 式中 V 为索氏盘

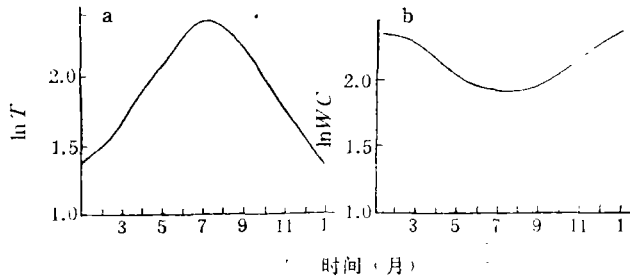


图 2 年度内各站位海水透明度 (a) 和水色 (b) 的对数平均值随时间的变化
 Fig. 2 The logarithmic means of transparency (a) and water color (b) of the sea water measured at the various stations in a year

透明度; θ 为太阳天顶角; α 为衰减系数; k 为漫射衰减系数。在波罗的海, $k = 0.3\alpha - 0.5\alpha$ 。因实际工作中 k, θ 等值没有记录, 因此计算尚有困难。

在推导胶州湾遥感测深的数学模型时得到 $\alpha = \frac{4.6}{2.5V}$ (平仲良, 1984), 计算 α , 再用秦蕴珊等 (1986) 给出的悬浮体含量与透光度的关系式求得悬浮体含量数据, $t = 82.321 \cdot e^{-0.079s}$, 式中 t 为透光度; s 为悬浮体含量, 上式经过变换即可用透明度数据求得:

$$s = \frac{4.4106 - \ln t}{0.079} = \frac{4.4106 - \ln\left(1 - \frac{1.84}{V}\right)}{0.079}$$

上式适合于 $V > 1.84\text{m}$ 的广大海域。但当 $V \leq 1.84\text{m}$ 时, $\alpha \geq 1$, 上式就无法计算, 而 $V \leq 1.84\text{m}$ 的沿海岸域对我们研究悬浮体来源和运动甚为重要, 为此作适当修改。当 $V \leq 1.84\text{m}$ 时, s 按该点切线的斜率随 α 线性增长。

$$s = \frac{40}{3} (\alpha - 0.7) = \frac{240}{V} - 93.33$$

由此可求得各月份各站位悬浮体含量。用 1, 5, 7, 11 四个月份数据绘制的悬浮体平面分布示于图 3。

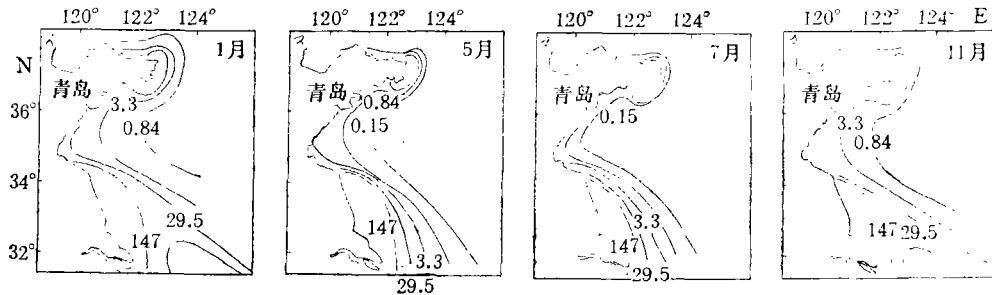


图 3 不同季节南黄海海水悬浮体含量 (mg/L) 的空间分布
 Fig. 3 The suspended matter content map of sea water in the South Yellow Sea in the various seasons (mg/L)

2 由 NOAA 卫星 1 通道数据计算悬浮体含量

一些学者指出,在海洋上空卫星高度测得的辐射,80% 可能来自大气的散射,因此在用卫星数据计算海水悬浮体含量之前,需作卫星数据的大气校正。大气校正按 Sturm (1981) 介绍的方法计算。

由 NOAA 卫星数据计算海水中悬浮体含量: 国内外很多学者已经论证过海水中悬浮体含量与海面辐射呈指数关系。经大气校正后的海面辐射数据,可直接引用这些公式。

据国家海洋局第二海洋研究所韩阿龙等实测资料得到的关系¹⁾: $r_{\lambda} = k_{\lambda} \ln s$, 在海平面海面向上的辐射 $L_{\lambda} = \frac{R_{\text{总}} - R_{\text{气}}}{T_{\lambda}^L} \cdot E_{\lambda}(J)$, 在海平面太阳向下的辐照度为 $E_{\lambda}(J) \cdot T_{\lambda}^L$,

故在海平面海水的反射率为 $r_{\lambda} = \frac{L_{\lambda}}{E_{\lambda}(J)T_{\lambda}^L} = \frac{R_{\text{总}} - R_{\text{气}}}{(T_{\lambda}^L)^2}$, 因此卫星数据与悬浮体含量的

关系为 $s = e^{\frac{(R_{\text{总}} - R_{\text{气}})}{k_{\lambda}(T_{\lambda}^L)^2}}$ 。

据韩阿龙等¹⁾提供 $k_{\lambda} = 0.0625$; $T_{\lambda}^L = 0.7441$ 。图版 I 用不同颜色显示南黄海海面不同反照率。将卫星图象上各象元的反照率数据代入, 可得到图象上各颜色代码悬浮体含量的值。

因此, 5 月 17 日 NOAA 卫星图象, 除显示反照率的空间变化外, 也显示海水中悬浮体含量的定量分布。4 月 16 日卫星图象因当天风浪特大, 经大气校正的反照率除包含海水悬浮体含量信息, 还含有海面波浪的因素, 因此除近海可作悬浮体含量的定性参考外, 外海无定性定量意义。

3 悬浮体的平面分布

观察、比较由透明度数据计算得到的不同季节的悬浮体含量分布图(图 3), 可以得到如下信息。

3.1 苏北浅滩, 悬浮体含量常年是高值区。海水透明度值低, 水色牌号高。不过冬、夏季悬浮体含量、分布范围有较大差别。冬季, 盛行西北风, 风速大, 风浪掀起的悬浮泥沙量大, 浑浊水分布范围大。同时, 风海流方向与台湾暖流向北运动的方向相反, 苏北浅滩再悬浮的泥沙向北扩散受阻, 横向向东扩散范围较大。夏半年, 情况相反。风浪掀起的泥沙量小, 风海流与台湾暖流方向一致, 部分悬浮泥沙北上伸向山东海面, 浑浊水向东扩展范围较小。

由透明度、水色和悬浮体分布图(图 1、图 3)可见, 等值线由江苏海面横卧或倾斜状进入山东海面, 两省海面交界处, 水色、透明度和悬浮体含量变化显著。江苏海面水色黄色浑浊, 山东海面水色清澈碧蓝, 泾渭分明。

3.2 长江口外, 夏季, 水色、透明度等值线离海岸较近, 台湾暖流在水色、透明度图上表现不明显。冬季, 浑浊水向东扩展范围较大, 在透明度图上, 在东经 123—125° 左右、北纬 31—32° 左右的广大浑浊水域中, 出现透明度较高的台湾暖流水舌, 因此在长江口东北方

1) 第二次海洋遥感会议文件, 1980。杭州。

向,出现透明度递升不连续。这种现象在冬季 NOAA 卫星热红外图象上也有反应^{1,2)}。冬季沿岸水温较低,向东到东经 123—125° 左右,南来的台湾暖流水舌影响,温度升高。再往东过东经 126° 左右,南下黄海冷水舌影响,水温降低。因此由岸向外海温度递升也是不连续的。上述海水透明度不连续和温度不连续,从另外二个角度为秦蕴珊等(1986)在长江口东北方向悬浮体含量递减不连续结论提供了佐证。

3.3 在成山角外,有一个耳朵状的透明度低值、水色和悬浮体含量高值区。不同季节比较,冬半年,这只“耳朵”较大,区内透明度较低,水色和悬浮体含量较高。夏半年,这只“耳朵”较小,区内透明度较高,水色和悬浮体含量较低。值得注意的是,区内水色和悬浮体最高等值线(或透明度最低等值线)与岸接合,呈封闭状,水色和悬浮体较低(或透明度较高)的等值线与渤海连接。这里提出一个悬浮体来源问题,封闭的悬浮体最高等值线表示悬浮体主要来源于成山角沿岸或本海区,悬浮体较低的等值线表示悬浮体部分来源于渤海南部输入的泥沙。

用 NOAA 卫星高分辨率辐射计数据绘制的图象提供以下情况。

3.4 对照、比较黄海层化参量 K 分布图(赵保仁, 1987),我们发现透明度图、水色图和 NOAA 卫星 1 通道图象与层化参量分布是一致的,特别是在苏北浅滩、长江口浅滩、成山角外的浅海区非常一致。浅水区,层化参量小,海水浑浊,深水区层化参量大,海水清澈。比较表明,层化参量是决定悬浮体含量大小的主控因子。

3.5 由 NOAA 卫星 1 通道图象所示,苏北浅滩悬浮泥沙流以盐城与如东海岸交界处(古长江口)为辐射中心,大致分三股向北、东东北和东南方向辐射。向北一股最强,向东南一股次之,中间(东东北方向)一股最弱。

东南一股泥沙流一般到达北纬 32° 以南,东经 122° 以东,它与南边的长江冲淡水流相邻,与北上的台湾暖流的前锋交汇,形成交汇区。交汇区盐度、透明度、悬浮体含量、温度变化显著,交汇区暖流一边,盐度、透明度大,温度高。从遥感图象上识别交汇区(又称锋面区,流隔区)具有生产意义,可以为渔业生产提供有用的信息。

3.6 与水色、透明度图揭示的现象相同,在 4 月 16 日和 5 月 17 日卫星图象上,成山角外悬浮体含量较高,最高值未与渤海连接,图象揭示悬浮体主要来自本区。为此提出几种设想,一是悬浮体来源于成山角外的上升流。赵保仁(1987)首次报道成山角外有上升流存在。夏宗万、郭炳火认为,成山角近海存在潮流引起的上升流。仔细研究文献(秦蕴珊等, 1986)中的插图(图 2a),也可以看到悬浮体向上运动的表现,当然上升流不是任何时候都可以发现,只有在它具有足够的强度、足以达到海面时,在遥感图象上才能发现。二是潮汐动能引起泥沙的再悬浮,还有一种可能的来源是沿岸,仔细观察 1981 年 5 月 4 日 NOAA 卫星 1 通道图象,可以发现成山角南部沿岸,确有悬浮体向外扩散的痕迹。

4 结论

4.1 如图 2 所示,研究区各个月份水色和透明度的平均值,冬季透明度值最低,水色值最高,即悬浮体含量最高。夏季透明度值最高,水色值最低,即悬浮体含量最低。冬季风大,

1) 莫秦生,1980,卫星红外云图在海洋渔业中的应用,1984年全国渔业遥感会议论文。

2) 韩士鑫,1980,从 NOAA 卫星红外遥感图象中提取渔业特征信息的初步研究,1984年全国渔业遥感会议论文。

风浪掀起的悬浮泥沙量大,使研究海区悬浮体平均含量增大;而冬季雨量也小,沿海河流带入海洋的泥沙量小,使研究海区悬浮体平均含量减小。夏季的情况正好相反。图 2 表明,风浪对研究海区悬浮体含量的影响大于沿海河流浑浊水的流入,海底沉积的再悬浮是决定研究海区悬浮体含量的海洋外部的主要因素。

另外,从层化参量与悬浮体密切相关的关系来看,说明潮流与海底地形相互作用是影响研究海区悬浮体含量的海洋内部的主要因素。

4.2 将由遥感数据计算得到的悬浮体含量与实测数据进行对比,可以发现无论是相对的分佈模式或绝对数值都比较接近,特别是在沿岸的高含量区和离岸不很远的中含量区,因此可以认为遥感悬浮体的定量模型基本反映悬浮体含量与卫星数据之间的物理关系与数学关系。

参 考 文 献

平仲良,1984,可见光遥感测深的数学模型,海洋与湖沼,13(3): 225—230。

赵保仁,1987,南黄海西部的陆架锋及冷水团锋区环流结构的初步研究,海洋与湖沼,18(3): 217—226。

秦蕴珊、李凡,1986,南黄海冬季海水中悬浮体的研究,海洋科学,10(6): 1—7。

Lindell, L. T., 1985, Mapping of coastal water turbidity using LANDSAT imagery, *Intern. Jour. Remote Sensing*, 6(5): 629—642.

Sturm, B., 1981, *Remote Sensing in Meteorology, Oceanography and Hydrology*, Ellis Horwood Limited Published, pp. 163—197.

CALCULATING THE SUSPENDED MATTER CONTENT IN THE YELLOW SEA WITH THE SEAWATER TRANSPARENCY DATA AND NOAA SATELLITE DATA

Ping Zhongliang

(*Environmental Department, Qingdao University, 266071*)

ABSTRACT

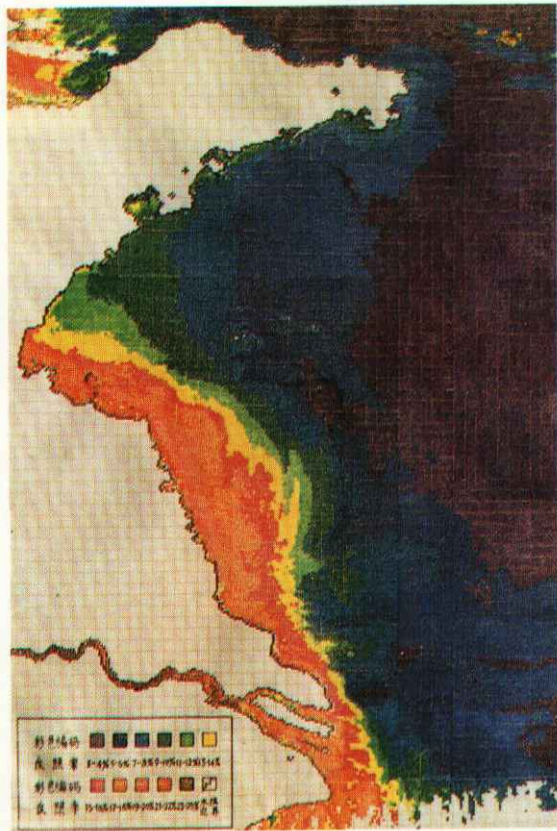
The seawater transparency map and water color map were drawn with the measured data obtained in the Yellow Sea and the East China Sea in 1975—1982. The relationship between the transparency of seawater and the suspended matter content in seawater was reduced. The suspended matter contents were calculated with the transparency of seawater and used to draw the suspended matter content map.

The governing equation for the relation between NOAA satellite data and suspended matter content in seawater was established. The suspended matter contents in the Yellow Sea and the East China Sea were calculated with NOAA satellite data. NOAA satellite image coded with different colors were drawn to show suspended matter contents distributed in the Yellow Sea and the East China Sea.

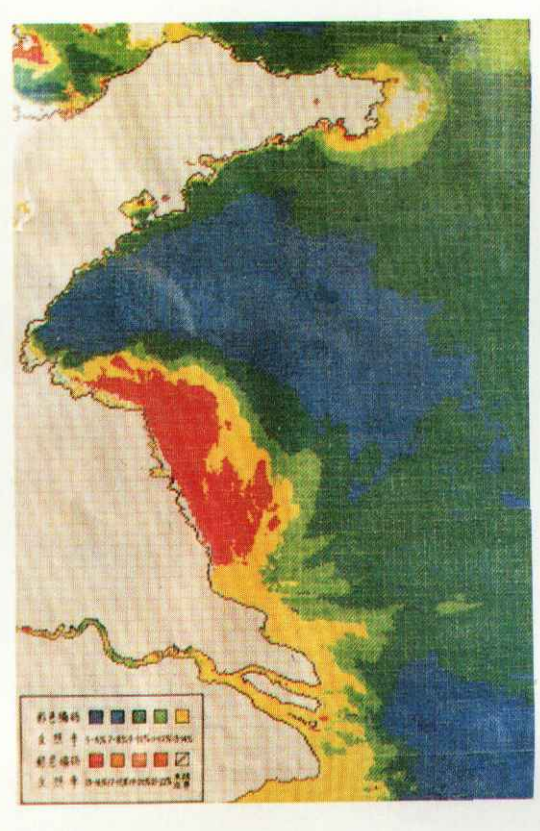
Fig.4,5,6 show there are three high value suspended matter content regions: the shallows of northern Jiangsu Province, the estuary of the Chingjiang River, the coastal water region of Chengshanjian.

In the shallows of northern Jiangsu Province, the suspended matter content is always high in a year. In winter, the turbid water distributes and disperses eastwards to a wide area. In summer, the area of the turbid water is comparatively smaller.

Key words Seawater transparency Water color Suspended matter content



1987年5月17日NOAA卫星1通道图象
NOAA satellite image channel
1 on 5.17, 1987



1987年4月16日NOAA卫星1通道图象
NOAA satellite image channel
1 on 4.16, 1987

彩色编码	紫色	深蓝	浅蓝	深绿	浅绿	黄色	洋红	桔红	土红	棕红	褐色	黑色
反照率	3—4%	5—6%	7—8%	9—10%	11—12%	13—14%	15—16%	17—18%	19—20%	21—22%	23—24%	>24%
S (mg/l)	0—1.5	1.5—2.7	2.8—4.8	4.9—8.5	8.7—15	16—27	28—48	49—86	88—153	157—272	280—648	水陆边界