

南黄海冬季海水中悬浮体的研究*

秦蕴珊 李 凡 郑铁民 徐善民

(中国科学院海洋研究所)

海水中的悬浮体是海底沉积物的前身,也是形成海底沉积物的过渡形态。对于海水中悬浮体的研究,是深入了解海洋沉积过程的重要环节。1983—1985年间,中国科学院海洋研究所和美国伍兹霍尔海洋研究所合作,进行了南黄海沉积动力学的调查研究,海水中的悬浮体即是其中的主要内容之一。本文主要讨论1983年11月(冬季)悬浮体研究的部分成果。

一、悬浮体含量与海水透光度之间的关系

在调查中,与测量海水中悬浮体含量的同时,用自动记录的浊度仪,对于海水垂直剖面中的透光度进行了同步观测。

光束在海水中的传播,因受海水的影响而衰减。对于同一仪器来说,海水中悬浮体的含

量乃是影响光束衰减的主要因素,即海水的透光度值随着悬浮体含量的增加而减小。取同步观测的悬浮体含量和透光度资料进行回归分析,令 y 为海水透光度, x 为悬浮体含量,则有:

$$y = 82.321e^{-0.079x}$$

相关系数 $r = 0.9126$ 。相对于1%的检验值为0.372。因此,相关良好。两者之间呈现出负指数相关。

显而易见,如果对透光度取对数值,则两者呈线性关系。

由此,就可以根据上述回归式,利用海水中透光度的连续测量资料,计算出任一测站水体中悬浮体含量的连续分布值。

二、悬浮体的平面分布

图2给出了悬浮体的平面分布。

从图中可以看出,在表层海水中(图2a),悬浮体最高含量分布在苏北浅滩处的浅水海域。这里,近岸海域悬浮体含量大于200mg/L。并由陆向海方向迅速减少。在水深30—40m以东的深水区,含量减至5mg/L以下。在长江口外,悬浮体含量大于10mg/L。在长江口向东北方向,含量逐渐减少。在长江口外的第6—4测站之间,发现有一股悬浮体含量小于10mg/L的水舌由南向北伸展。其盐度大于32,即海水的盐度略高于长江口外的冲淡水,它们可能是台湾暖流的一部分;从悬浮体含量推

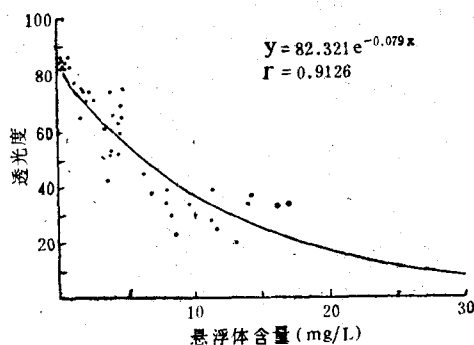


图1 海水透光度与悬浮体含量关系曲线

Fig. 1 Relation of transmission to concentration of suspended matter

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1299号。李本兆、徐志明同志参加部分工作,致谢。

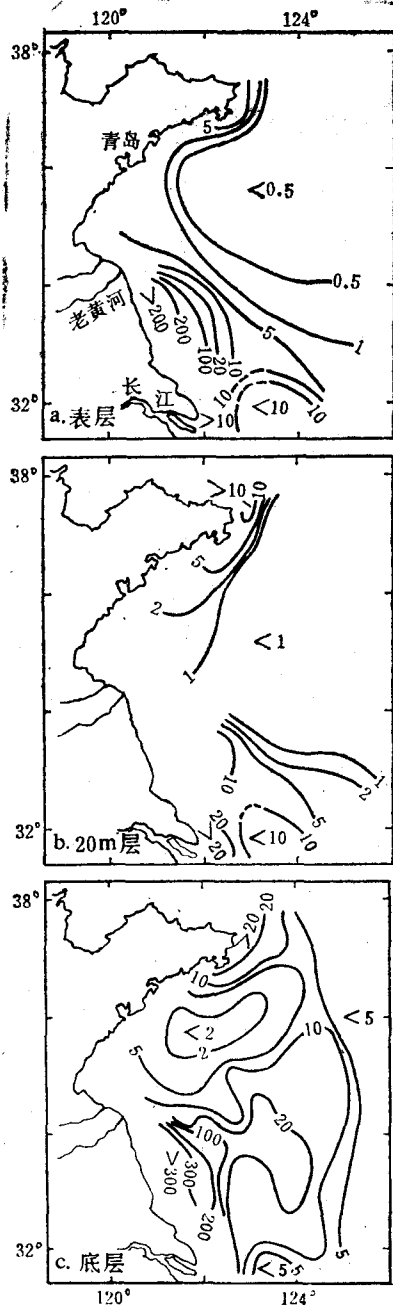


图2 悬浮体含量的平面分布(mg/L)
a. 表层; b. 20米层; c. 距海底5米层

Fig.2 Horizontal distributions of concentration of total suspended matter (mg/L)
a. surface, b. 20m, c. 5m above bottom

测, 其影响范围向北可能不超过 33°N 。由于台湾暖流的影响, 使长江口外悬浮体含量向东北方向的递减不连续。但是, 总的减少趋势清晰可见。

在调查区的北部发现, 含量 5mg/L 的等值线沿成山头近海区向南伸展, 并且绕过成山头折而向西。这表明, 有一股悬浮体含量稍高的水流, 沿成山头近岸海域从北黄海流入南黄海, 然后折而向西, 沿山东半岛南岸西流。这股水流的盐度小于 31.5 , 即低于东部深水区的海水。这里是北黄海沿岸流¹⁾。它们携带着从渤海海峡南部输入的泥沙, 绕过成山头向西扩散。

除了上述海区以外, 中部广大深水区内, 悬浮体的含量一般都小于 1mg/L 。

在水深 20m 的水层中 (图2b), 悬浮体含量的分布趋势和表层水基本一致。只是含量比表层水有所增加。

在底层海水中 (距底 5m , 图2c), 上述之悬浮体含量分布趋势更为明显, 即表现为苏北浅滩、长江口外以及成山头外两个南北高值区。在北部, 5mg/L 等值线的西界, 位于青岛以东的五垒岛湾附近。说明, 自北而来的黄河物质的影响范围, 一般限于崂山湾以东。

此外, 在苏北浅滩与山东半岛南岸之间, 海州湾以东的水域, 悬浮体含量小于 2mg/L , 形成了南北两个高值区之间的鞍部。

综上所述, 可将调查区悬浮体的含量分布划分为5个区: 苏北浅滩高值区、长江口外次高值区、成山头外次高值区、海州湾外低值区和中部深水低值区。

三、悬浮体的垂直分布

水体中悬浮体含量的垂直分布, 是用海水透光度的回归值求出的。结果绘于图3。

图3中取了长江口向东北方向 (图3a)、

1) 管秉贤, 1984。中国海流系统及其结构概述。渤海黄海东海调查研究报告。中国科学院海洋研究所, 116—141页。

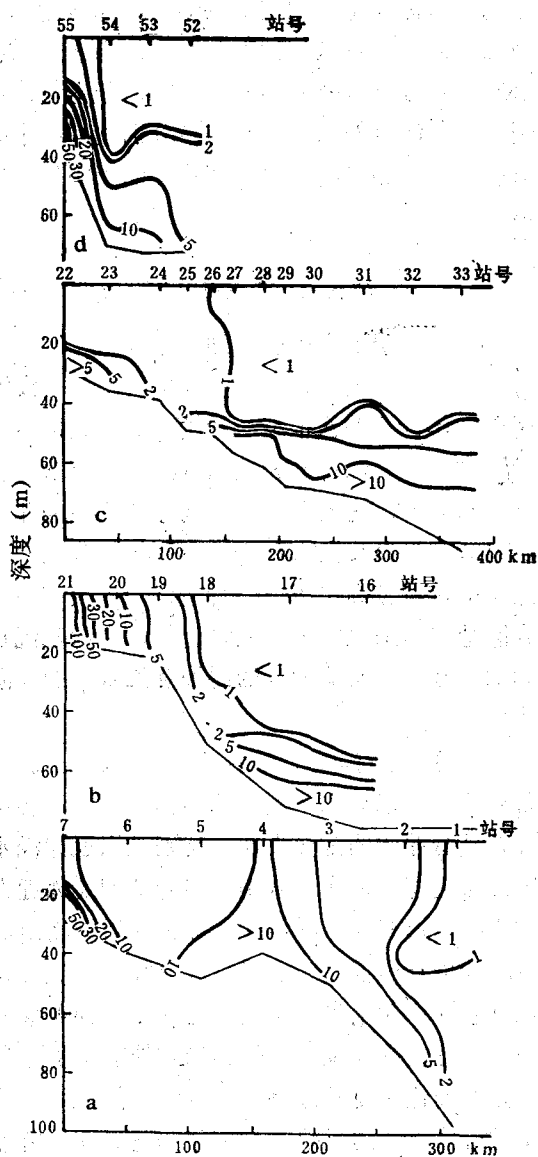


图3 悬浮体含量分布垂直剖面(剖面位置见图4)

Fig.3 Vertical section of concentration of total suspended matter (see fig.4 for sectional location)

苏北浅滩向东(图3b)、苏北浅滩北缘向东(图3c)和成山头向东(图3d)等4条剖面。

从图3a中可以看出,在长江口外有一个悬浮体高含量舌向东北延伸,但其前缘一般不超过测站6。即 123°E 以西的河口外近海区。再

向东则影响较弱。这一结论与前人测得的结果是一致的^[2]。

在苏北浅滩上(图3b),含量 $>10\text{mg/L}$ 的等值线,基本上垂直于海底,上下层悬浮体含量分布较为均匀。这显然是由于测量期间受大风浪的影响。由测站18,大约水深40m以东,上层海水中悬浮体含量急剧减少至 1mg/L 以下。然而,底层悬浮体含量仍然较高。特别值得注意的是,在水深50—60m左右的水层中,悬浮体含量向上迅速减少,含量梯度明显增加。这一特征与海水的温度或盐度跃层类似,因此,暂称为悬浮体跃层。跃层以下,含量梯度减小,悬浮体含量相对均匀。

图3c中,悬浮体含量的分布趋势和图3b类似。同样,在水深40—60m左右的水层中,也出现悬浮体跃层。

图3d中,悬浮体含量大于 20mg/L 的等值线,在测站55的外缘,几乎上下垂直延伸,坡度较大。说明,自北部南下的黄河水主要集中在近岸水域。由此向东,含量锐减。

关于悬浮体跃层的有关问题,目前尚不太清楚。从其分布范围来看,主要在水深大于40m的中部深水区,其南、北界线可能在 33° — 37°N 之间。由此看来,其分布范围大致与南黄海中冷水团的分布相当。从垂向分布来看,它的位置大致相当于南黄海密度跃层之下部均匀层的上缘,基本上和温、盐跃层的出现位置一致。从其出现时间来看,1983年11月,即冬季较为明显。此外,1984年7月下旬的调查中也有发现^[2],但是悬浮体含量较少,跃层不如冬季明显。因而推测,其成因除了与海水的温、盐跃层,冷水团的形成等有关以外,与大风浪及潮流的影响有较为明显的关系。

四、悬浮体中非可燃组分的含量分布

总体上看,悬浮体是由可燃组分及非可燃

2) 秦蕴珊等,南黄海海水中悬浮体的研究。待刊。

组分两部分组成的。将悬浮体样品置于 500℃ 的茂福炉中燃烧一小时后,失去的重量为有机物为主的可燃组分,残渣的重量即为非可燃组分的重量。悬浮体中的非可燃组分主要是陆源的碎屑矿物、粘土矿物及一部分硅质生物的骨骼,其中,主要是圆筛藻、硅鞭藻等各种硅藻的遗骨。

图 4 中绘出了悬浮体中非可燃组分的含量分布。

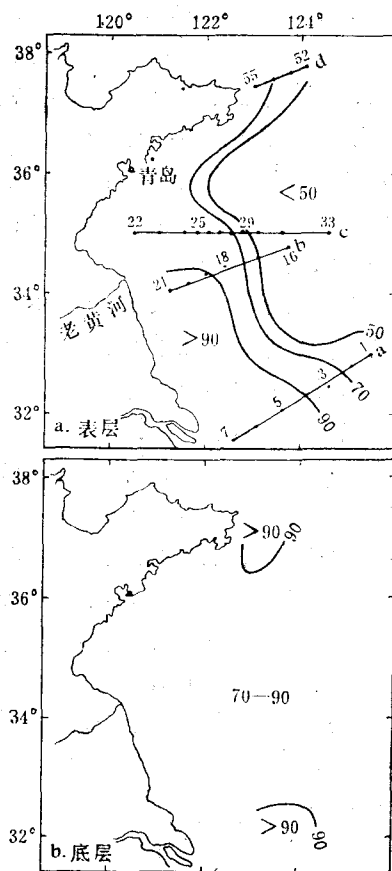


图4 悬浮体中非可燃组分的重量(%)分布

Fig.4 Weight percentage of non-combustible Component in total suspended matter
a. Surface b. bottom

从图4a中可以看出,在表层海水中,从苏北到长江口近岸浅水区中,非可燃组分的含量大于90%;成山头外近海及苏北浅滩外浅海,含量为70—90%,南黄海中部深水区,其含量则

减至50%以下。由此可见,悬浮体中非可燃组分的含量分布呈现出明显的规律,即从近岸向中部深水区含量从高到低。在底层海水中(图4b),非可燃组分的含量一般都高于上层,特别是在长江口外和成山头外,分别出现两个高值区,表明那里受陆源碎屑物质的影响较为明显。

五、几个问题的讨论

1. 关于海水中悬浮体的来源

从上述调查资料中可以看出:①苏北浅滩区悬浮体含量普遍很高,特别是大风浪以后含量剧增。②长江口外和成山头外,均有含量相对较高的浑水流入调查区。③悬浮体中的非可燃组分在河口及浅水区高,而可燃组分在中部深水区含量较高。以上三种情况分别表明了调查区悬浮体来源的三个主要途径,即海底沉积物的再悬浮、河流输入的泥沙及海水中的浮游生物。

从悬浮体中的可燃组分及非可燃组分的含量对比中可以看出,陆源物质为主的非可燃组分乃是悬浮体的主要来源,特别是在近岸浅水区及接近海底的底层水中。与外陆架及邻近大洋比较,调查区悬浮体中的非可燃组分高出前者2—8倍^[3],但较之黄河口近海区及渤海为低,悬浮体含量也介于两者之间。这种现象说明了调查区受陆源物质的影响较外陆架及近海区强,而低于受陆源物质影响强烈的渤海,处于过渡状态。这反映了黄海作为陆间海的特点之一。

由于黄河尾闾北徙流入渤海,加上近20多年来的河道整治,苏北沿岸的河流输入海中的泥沙量极少。长江年平均输沙量约4.8亿吨,但是绝大部分向东南和南南东方向扩散。虽然长江输入的泥沙由于淡水的向北偏转影响调查区的南部,但与前者比较,其量甚少。目前,由毗连陆地向黄海的输沙量约为1500万吨^[1],加上从渤海海峡南部向黄海输入的泥沙,其总量估计约为2000—2500万吨。黄海水体体积约为17000km³,假定这些泥沙全部悬浮于海水之

中, 则其所能形成的悬浮体最大含量平均约为 1.2—1.5mg/l。实际上由于不断的沉积及向外海的搬运, 不可能达到这个数值。若依上述数据为准, 与调查的实测数值也偏小很多。由此可见, 调查区悬浮体主要不是来自陆地河流输沙, 而是海底沉积物的再悬浮。

2. 悬浮体含量和海水盐度

和盐度资料对比发现, 在海水盐度较高的海区, 悬浮体含量一般较低, 反之, 则较高, 两者间呈现出较为明显的负相关关系。取长江口外同步观测的资料进行回归分析 (图5), 这种关系就非常明显了。这是由于长江口外受台

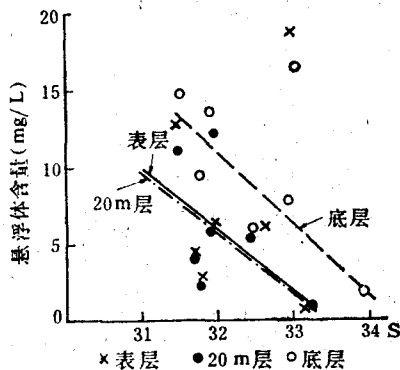


图5 悬浮体含量和盐度的关系曲线

Fig.5 Correlation between concentration of total suspended matter and salinity

湾暖流等复杂因素的影响, 图上的测点较为分散。此外, 在成山头外等其他海域都有不同的反映。这种负相关关系与 Matuiké 和 Saburo Aoki 等人的调查结果趋势是一致的。他们指出, 海水中的光衰减系数随海水盐度的增加而减小⁽⁴⁾。

悬浮体含量与海水盐度的负相关, 再次说明了陆源物质对于调查区的影响。

3. 与海底沉积物之间的关系

海底沉积物与海水中的悬浮体之间有着密切的关系。它不仅影响悬浮体的成分, 而且, 对其含量也有一定影响。但是, 悬浮体是悬浮于海水中的物质, 随波逐流, 沉浮不定。因此, 在同一站位上, 悬浮体和沉积物间并不一定完全相同 (见沉积物和悬浮体粒级含量对比表)。

可见, 大于 0.063mm 的砂粒级含量, 较之沉积物中显著为少, 而细粒物质却明显增多, 特别是粒径小于 0.032mm 的粉砂颗粒。这说明, 悬浮体主要和来自表层沉积物中的细颗粒的再悬浮有关。此外, 粒径小于 0.004mm 的粘土粒级的含量, 悬浮体中一般都低于沉积物。这种情况可能是悬浮体中的粘土颗粒, 多半因絮凝作用而形成颗粒较大的聚合体。而沉积物中粘土粒级含量的相对增高, 是由于在粒度分析过程中用分散剂处理的结果。

沉积物和底层水中悬浮体粒级含量对比表³⁾

Tab. The comparison between sediment and suspended matter of bottom on the grain size concentration

站号 项目 粒度 (mm)	11		13		21		28		55	
	沉积物	悬浮体	沉积物	悬浮体	沉积物	悬浮体	沉积物	悬浮体	沉积物	悬浮体
>0.063	17.2	3.6	15.7	0.4	18.4	0.8	1.2	0.5	1.5	0.5
0.032	6.7	4.5	6.1	0.8	16.0	5.1	10.8	4.5	31.0	6.5
0.016	13.3	30.9	7.8	6.2	13.5	11.1	11.5	16.5	20.0	25.8
0.008	13.3	32.7	4.4	30.1	11.5	19.4	10.4	37.2	11.0	29.6
0.004	7.8	18.9	11.0	38.2	7.8	31.6	9.7	27.1	4.6	22.2
<0.004	37.0	9.4	55.0	24.3	32.8	25.0	56.2	14.2	31.9	15.4

3) 钱正绪、陈开耀、李岩等同志提供悬浮体粒度分析资料。

此外,从沉积物与悬浮体中有机物含量的对比中可以看出,沉积物中的有机质含量一般为0.5—2%^[4],中部深水区最高可达2.5%。然而,悬浮体中除了近岸浅水区以外,可燃的有机组分的含量都大于10%,在中部深水区达50%以上。这种情况说明,悬浮体中的有机组成,由于生物作用和化学作用的影响,95%以上已经在水体沉降过程中损耗掉^[3]。

通过以上简单对比可以看出,海水中的悬浮体在某种程度上可以说是来自沉积物而区别于沉积物。即由于悬浮体的易动性和易损性,不一定与当地的沉积物之间有直接的联系或保持一致性。

4. 影响调查区海水中悬浮体分布的因素

从悬浮体含量分布规律中可以看出,悬浮体分布受海浪、海流和潮流、水深、陆源物质的供给以及沉积物的性质、浮游生物的繁殖等多种因素的综合影响,然而,其中最主要的当推海浪、海流等水动力因素。

当由海浪引起的水分子轨道速度大于沉积物的起动流速时,沉积物即发生运动,继而随水流搬运。随着海水垂直涡动尺度的增加,沉积物垂直向上扩散的强度相对增大,从而提高了海水中的悬浮体含量。例如,苏北浅滩上风暴潮后同一测点的观测值增加了3—7倍即是证明。据海浪引起的水分子轨道速度、沉积物不同粒径的起动流速值不难推算出一定尺度的海浪作用的临界水深。

调查区主要的海流系统,是由南黄海中部北上的黄海暖流及由西岸南下的北黄海沿岸流及苏北沿岸流,在中部深水区则常年为南黄海

冷水团所盘据。北黄海沿岸流携带着一部分黄河输入的泥沙,绕过成山头向西部山东半岛的南岸扩散。苏北沿岸流携带着从苏北浅滩由海浪和潮流搅动起来的悬浮泥沙向东南扩散,并汇同长江冲淡水携带的泥沙,向济州岛方向扩散。在浅滩及沿岸流、冲淡水主要流经的地带,形成了悬浮体含量的高含量或次高含量区。黄海中部深水区,一则水深大,大部分时间海浪不能起动那里的泥沙。二则受冷水团影响,流速小,因此形成了悬浮体低含量区,陆源物质影响微弱。此外,在海州湾外面的悬浮体低含量区,可能也是受那里流速小、附近又无大河输入泥沙影响的结果。

六、结 论

1. 调查区海水中悬浮体的主要来源是海底沉积物的再悬浮,其次是河流输沙。浮游生物主要影响中部深水区的上层海水。

2. 影响悬浮体分布的主要因素是海水动力要素,河流输沙占次要地位。巨大的海浪能够明显地提高悬浮体的含量,海底地形限制了海浪的作用水深,海流将悬浮的泥沙搬运而去,冷水团则限制了悬浮体的水平扩散。

3. 调查区悬浮体的成分和含量,就总体而言,介于半封闭型的渤海和开阔的外陆架及近洋区,具有陆间海的过渡性质。

4. 就悬浮体的成分而言,调查区受陆源物质影响较强,就其数量而言则影响较弱,因此,其沉积作用速率相对来说较为缓慢,特别是中部深水区,这一结论已有资料证明。

参 考 文 献

- [1] 程天文, 1984. 我国主要河流入海径流量、输沙量对沿海的影响. 海洋学报 7 (4): 460—471.
- [2] Shen Huanting et. al., 1983. Transport of the suspended sediments in the Changjiang Estuary. Proceedings of SSCS. pp.359—369.
- [3] Honjo, S. et. al., 1974. Non-combustible Suspended matter in surface water off Eastern Asia. Sedimentology 21: 555—575.
- [4] Kanan Matuike et. al., 1983. Turbidity distributions near oceanic front in the coastal region of the East China Sea. La mer 21: 133—144.

A STUDY ON TOTAL SUSPENDED MATTER IN WINTER IN THE SOUTH YELLOW SEA

Qin Yunshan Li Fan Zheng Tiemin

Xu Shanmin

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

Abstract

During 1983—1984 a joint investigation of marine geology in the South Yellow Sea was conducted between the Institute of Oceanology, Academia Sinica, China and the Woods Hole Oceanographic Institute, USA. This paper is a preliminary result of the work of Chinese scientists on the suspended matter in winter.

Concentration distribution of total suspended matter can be grouped into five areas. The first area is nearby the northern coast of Jiangsu province with the highest concentration of more than 200mg/L in the surface water; the second and the third areas located outside the mouth of Changjiang River and the east of Shandong Peninsula with a concentration of 10mg/L and 5mg/L; the central part of the sea and the area between Qingdao city and Haizhou Bay are the fourth and the fifth areas with lowest concentration of less than 2mg/L.

Concentration of suspended matter (x) versus transmission of sea water (y) confirms the formula $y = 82.321e^{-0.079x}$ and the coefficient of correlation (k) is -0.89. So it's easy to obtain the concentration of suspended matter if there is no data of concentration in some points.

Microscope datum indicated that the major component of suspended matter consist of terrigenous detrital with finer grain size and coarser biogenetic materials.

In the high concentration area the noncombustible portion accounts for about 70—90% or more in total weight and in the low concentration area it is less than 50%.

The source of suspended matter is mainly the resuspended matter of sediments, discharges of rivers is next, the biogenetic material is the least. As far as our information goes, after 2—3 days of wind with 8—9 force the concentration of suspended matter increased 3—7 times in same places.