

济州岛西南冷水区海水中的粒状铁*

马锡年 李全生 沈万仁 刁焕祥

(中国科学院海洋研究所)

海水中悬浮物的分布与海流有关^[8,10]。悬浮物所含的铁存在于粘土矿(如伊利石,特别是海绿石,含 Fe_2O_3 17—25%, FeO 2—5%^[3]);存在于河口形成的氢氧化铁,它往往以胶体的形式吸着在悬浮物表面^[6];还有很少一部份存在于生物体内^[9]。

1980年7月,我们参加了济州岛西南部冷水区调查,试图通过粒状铁的分析了解悬浮物在该冷水区的分布。调查站位见图1。

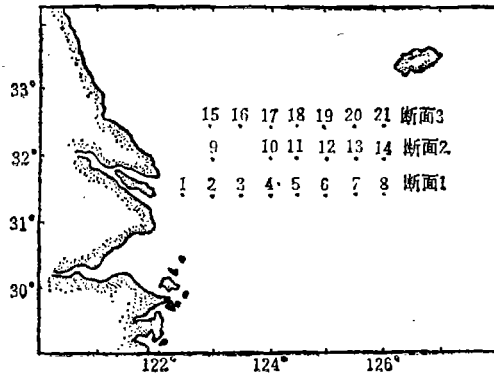


图1 站位图

Fig.1. Sampling stations.

水样用有机玻璃采水器采集。取水样1升后立即过滤,过滤器是用聚四氟乙烯制成的(图2),滤膜是北京化工学校生产的 $0.45\mu m$ 孔径的微孔滤膜。将滤膜连同悬浮物一起用硝酸-盐酸消解后,用邻二氮菲比色法测定粒状铁的含量^[1]。

该冷水区粒状铁分布的主要特征是随着深度的增加,其浓度亦急剧增加。有的站底层粒状铁浓度异常高。以第7站为例,海水中粒状铁的含量随着离海底的距离而变化,其分布如图3所示。

图3的曲线象是双曲线。为搞清楚是不是双曲线,我们将各层次粒状铁浓度与对应层次距海底的距离各取对数,求它们之间的相关关系,发现有4个站的相关系数超过置信水平99%的临界值,5个站的相关系数超过置信水平95%的临界值,即21个站中有9个站有相关关系。另外第3站,其各层粒状铁浓度和距底层的距离呈直线关系,而不是它

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第842号。本文承孙秉一、管秉贤、翁学传、顾宏堪、丁宗信同志提出宝贵意见;孟昭宏同志帮助绘图,谨致谢忱。

本刊编辑部收到稿件日期:1981年12月6日。

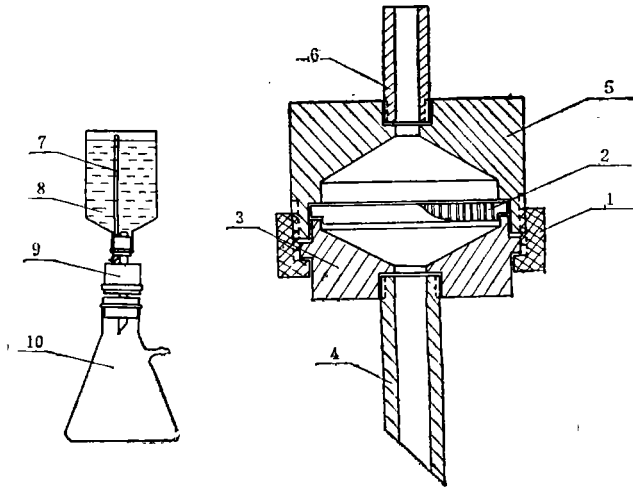


图2 聚四氟乙烯滤器

Fig. 2. Teflon filter.

1. 尼龙螺母; 2. 滤膜支撑板; 3. 下盖; 4. 下接嘴; 5. 上盖; 6. 上接嘴; 7. 聚乙烯管;
8. 样品瓶; 9. 过滤器; 10. 抽滤瓶。

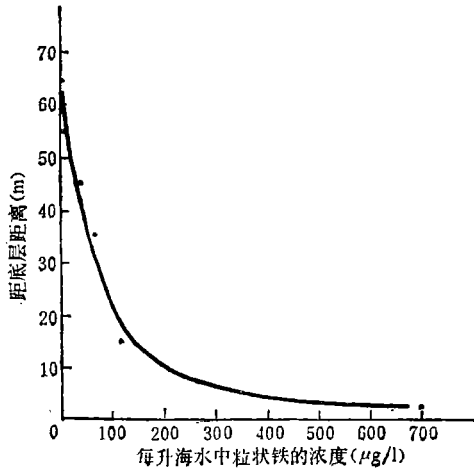


图3 第7站海水中粒状铁浓度与距海底的距离的关系

Fig. 3. The relationship between particulate iron concentrations at st.7 and distances from sea floor.

们的对数呈直线关系。其相关系数为 0.950, 相应置信水平 99% 的临界值是 0.917 (表 1, 站位 3)。

粒状铁的浓度与距底层距离的关系可以下式表示:

$$\log [\text{Fe}] = \log a + b \log D \text{ 或 } [\text{Fe}] = aD^b$$

式中 [Fe] 是距海底 D 米处粒状铁的浓度, 单位是微克 Fe/升。所求得 a 值与 b 值均列于表 1。

表 1 各站粒状铁浓度的对数与距海底距离对数的相关关系

Table 1 The correlativity between the logarithms of particulate iron concentrations and the distances from sea floor.

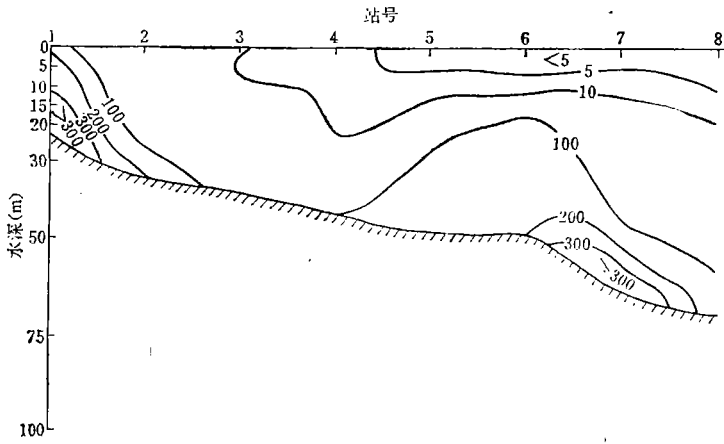
站号	相关系数 r	n	相关系数临界值		log a	b
			信度 99%	信度 95%		
1	—	—	—	—	—	—
2	-0.846	5	0.959	0.878	—	—
3*	-0.950	6	0.917	0.811	a = 73.9	-1.59
4	—	—	—	—	—	—
5	-0.24	6	0.917	0.811	—	—
6	-0.785	6	0.917	0.811	—	—
7	-0.887	7	0.874	0.754	3.86	-1.66
8	-0.761	7	0.874	0.754	2.91	-1.20
9	-0.775	6	0.917	0.811	—	—
10	-0.849	6	0.917	0.811	3.02	-1.08
11	-0.922	6	0.917	0.811	3.55	-1.59
12	-0.783	6	0.917	0.811	—	—
13	-0.748	7	0.874	0.754	—	—
14	-0.40	7	0.874	0.754	—	—
15	-0.861	6	0.917	0.811	3.42	-1.36
16	-0.943	6	0.917	0.811	2.94	-1.10
17	-0.905	6	0.917	0.811	3.60	-1.55
18	-0.848	5	0.959	0.878	—	—
19	-0.840	6	0.917	0.811	4.38	-2.04
20	-0.921	7	0.874	0.754	4.21	-1.83
21	—	—	—	—	—	—

* 是线性关系,不是对数关系。

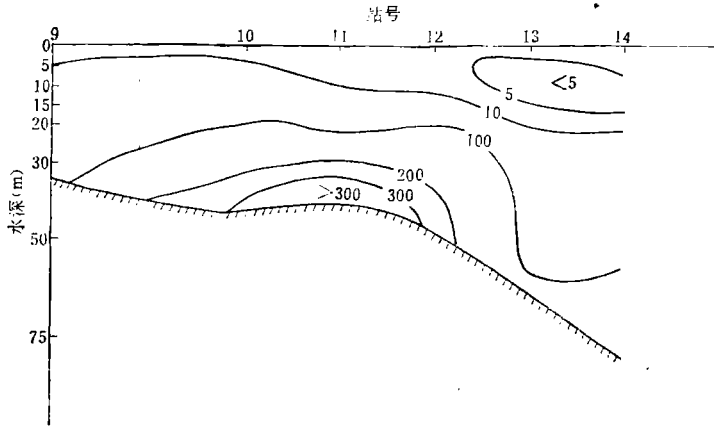
粒状铁的断面分布如图 4-a 至 4-c。从这三条断面的等值线看,等值线都呈向上凸的形状。

其它要素如硅酸盐和溶解氧的分布也有向上凸的情况(图 5)。下层海水中硅酸盐高是因为含硅生物尸体腐败后,一部分硅重新溶解到水中;而下层海水溶解氧较低是由于有机物的氧化消耗的结果。硅酸盐和溶解氧与悬浮物不同,它们是溶解于水的,不受重力作用的影响。以最北面的一条断面为例(15—21 站),其断面分布也是向上凸的。硅酸盐 325 微克/升等值线(图 5)和同一断面上粒状铁 100 微克/升等值线(图 4-c)的形状很相似。一般来说,营养盐类向上凸的分布是由于上升流引起的。

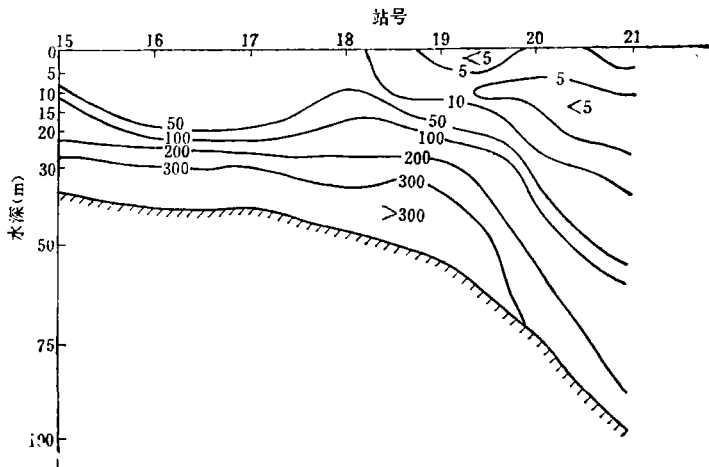
井上尚文指出,该地区的底层,秋冬季存在一个范围相当大的气旋型水平环流^[7]。胡敦欣等进一步指出:“在 31°—32°30'N, 125°30'—126°30'E 范围内,夏季也存在气旋型的涡旋,但它与大洋中的中尺度涡不同,是永久性或半永久性的”。其位置随季节有所不同,逐年也有变化。胡敦欣等认为,因为近底层是辐聚区,悬浮物随海水向中心输送,同时不断沉入海底。他们计算出了各层平均垂直流速^[4](表 2)。从我们所得到的图 6 底层的平面分布可以看出,该区底层粒状铁的分布是一个环的一半。即,粒状铁的分布和海底气旋型涡流一致,只是因为环的北半部没有调查,所以只有半个环。图 6 的上半部是 30 米层的粒状铁的平面分布,它表明在长江口北面沿岸,123°E 有个粒状铁含量相对低的区域,



4-a



4-b



4-c

图 4 粒状铁的断面分布图

Fig. 4. The sectional distributions of particulate iron.

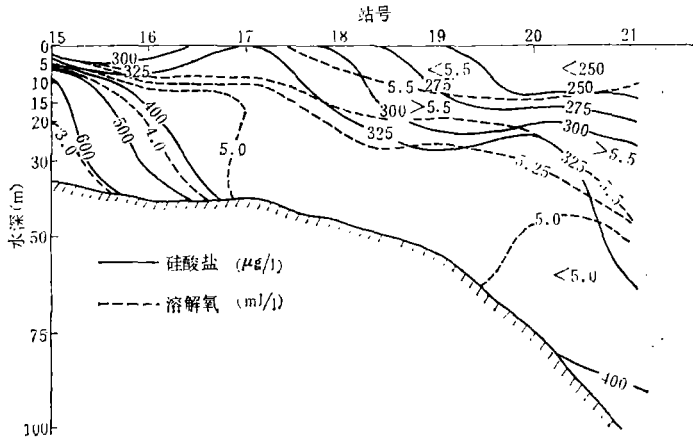


图 5 溶解氧和硅酸盐的断面分布

Fig. 5. The sectional distributions of dissolved oxygen and silicate.

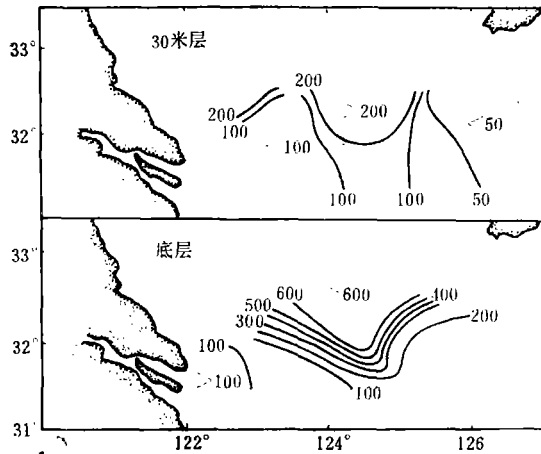


图 6 粒状铁的平面分布

Fig. 6. The horizontal distribution of particulate iron.

表 2 各层次海水上流流的平均值¹⁾(厘米/秒)

Table 2. Each layer average velocity of upwelling current.

5 米	10 米	20 米	30 米	40 米	50 米
4.9×10^{-4}	1.9×10^{-3}	4.6×10^{-3}	6.1×10^{-3}	6.2×10^{-3}	4.6×10^{-3}

这大概是被台湾暖流的延伸部分¹⁾冲稀的结果,其方向是东北偏北。在济州岛南面,也有一块粒状铁含量较低的区域,可能是黄海暖流¹⁾作用的结果(在图 7 的东侧下部,可以看到一高于 13°C 的区域,比它西面的水温要高)。

从图 7 看来,温盐度的断面分布好像是低温高盐水从东侧深水向西面爬坡。但图 4-a 至 4-c 粒状铁的断面分布以及图 5 溶解氧和硅酸盐的断面分布则有两个上凸的分布,说

1) 管秉贤, 1978。东海海流系统概述。东海大陆架论文集, 中国科学院海洋研究所, 第 129 页。

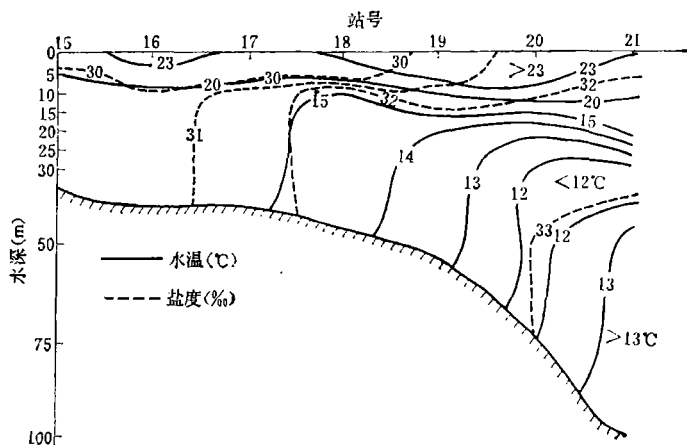


图7 温、盐度的断面分布

Fig. 7. The sectional distributions of temperature and salinity.

明粒状铁的再悬浮并不是低温高盐水爬坡的结果,而是被上升流就地带上去的。

不同形状的颗粒物在海水中有不同的沉降速度^[10], 沉降最快的是椭圆形的圆柱体平行于 α 轴的方向的沉降, 沉降最慢的是圆盘形颗粒横着沉降(图 8)。

上升流速大于某粒径悬浮物的沉降速度时, 该悬浮物就能随着上升流向上运动。根据斯托克公式

$$V = d^2(\rho_s - \rho_f)g/18\eta$$

其中 V 为沉降速度 (cm s^{-1}), d 为颗粒直径 (cm), ρ_s 为颗粒的密度(设为 1.5gcm^{-3}), ρ_f 为流体的密度(设海水密度为 1.03gcm^{-3}), η 是流体的粘度(设 10°C 海水粘度为 0.015 泊) g 为重力加速度 (981 cm s^{-2})。则, 30 米深度以下上升流的流速能带起的最大沉积物颗粒的粒径是 $19\mu\text{m}$, 20 米处是 $16\mu\text{m}$, 10 米处是 $10\mu\text{m}$, 而要能悬浮到 5 米的最大粒径的悬浮物是 $5.4\mu\text{m}$ 。

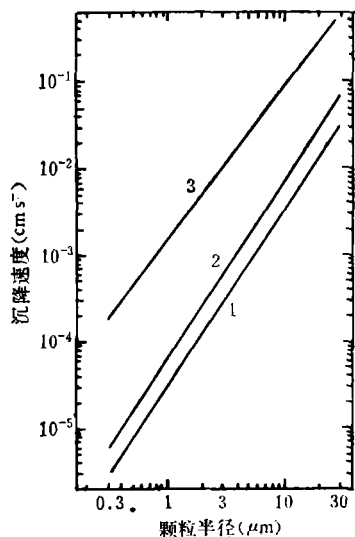


图 8 不同形状颗粒物的斯托克沉降速度^[10]

- 1. 圆盘形(厚度/半径为 0.1) 横着沉降;
- 2. 球形; 3. 椭圆形圆柱体, 平行于 α 轴沉降。

Fig. 8. Stock's settling rate of particulates with various shapes.

从温盐度的断面分布可以看出(图 6), 该冷水区东侧下层为高盐低温水, 而表层为低盐高温水, 说明表层水受长江影响较大。1978 年 2 月气象卫星的照片上可以看到, 长江口附近混浊水边界离济州岛不远^[2], 7 月长江水流量大, 混浊水的范围还能扩大, 因此该冷水区表层水中的粒状铁来自长江, 下层水中的粒状铁则是沉积物再悬浮的结果。图 4-c 中 20 和 21 站的 10 米至 20 米层粒状铁有最小值。同样, 在 10 米至 20 米层, 溶解氧有极大值。溶解氧的极大正好和温跃层相一致。这个现象和黄海冷水团溶解氧极大值的情况很相似。顾宏堪认为这种溶解氧极大值只在黄海冷水团存在, 渤海及东海并无此现象^[5]。因而济州岛西南冷水区的冷水很可能来源于黄海冷水团。顾宏堪还认为这种溶解氧的极大值是从冬季保留

下来的。因此,它本身含粒状物不高。根据表 2, 30 米至 50 米层上升流的流速没有大的变化, 20 米处上升流速比 30 米处减小了 25%, 而 10 米层又比 20 米层的上升流速减小了 41%, 因而在 10 米层和 20 米层间,从海底再悬浮上来的悬浮物就成了强弩之末,在这里出现了粒状铁的极小值。

参 考 文 献

- [1] 马锡年、李全生、华文贞等, 1981。胶州湾海水中的铁。海洋科学集刊 18: 49—71。
 [2] 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。海洋出版社, 第 69 页。
 [3] 张天乐、王宗良, 1980。中国粘土矿物的电子显微镜研究。地质出版社, 第 37 页。
 [4] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成, 1980。东海北部一个气旋型涡旋的初步分析。科学通报 25(1): 29—31。
 [5] 顾宏堪, 1980。黄海溶解氧垂直分布的最大值。海洋学报 2(2): 70—80。
 [6] 顾宏堪、刘明星、张星君等, 1978。关于海水中微量金属离子的浓度。海洋科学集刊 14: 23—27。
 [7] 井上尚文, 1975。東シメ海大陸棚上の海底流動。海洋科学 7(1): 12—18。
 [8] Baker, E.T. and R.A. Feely, 1978, Chemistry of oceanic particulate matter and sediments: implication for bottom sediment resuspension. *Science* 200(5): 533—535。
 [9] Brewer, P. G., 1975. In 'Chemical Oceanography' (J. P. Riley and G. Skirrow eds.), vol. 1, 2nd Ed. Academic Press, London, P. 431。
 [10] Sackett, W.M., 1978. In 'Chemical Oceanography' (J. P. Riley and R. Chester eds.), vol. 7, 2nd Ed. Academic Press, London, pp. 127—169。

PARTICULATE IRON IN THE COLD WATER REGION ON THE SOUTHWEST OF CHEJU-DO*

Ma Xinian Li Quansheng Shen Wanren and Diao Huanxiang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Twenty one stations southwest of Cheju-do were observed for particulate iron in July, 1980. There were nine stations where the curves of vertical distribution of particulate iron concentration exhibit hyperbolas. They can be described as

$$\log [\text{Fe}] = \log a + b \log D \text{ or } [\text{Fe}] = aD^b$$

where $[\text{Fe}]$ is the concentration of particulate iron in $\mu\text{g l}^{-1}$ at the layer D metres from the sea floor, and is a constant denoting the concentration of particulate iron at the layer one metre from the sea floor. The $\log a$ ranges from 2.91 to 4.38, b is a constant too, ranging from -1.08 to 2.04. It is interesting that above relation for station 3 can be shown as the following equation

$$[\text{Fe}] = 73.9 - 1.59D$$

Particulate iron in this region originates from two sources: at the surface, the particulate iron is from the Changjiang (Yangtze) River because the water temperature is higher but the salinity of water is less than that of underlayer, and at the underlayer particulate iron is from sediment resuspended by upwelling. At about 10 m layer at stations 20 and 21 there is minimum value of particulate iron at the same layer of maximum dissolved oxygen.

* Contribution No. 842 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.