

黄河口及其近岸海域的溶解硅研究*

李全生 马锡年 沈万仁

(中国科学院海洋研究所)

硅是硅藻生长的要素之一,与海洋初级生产力有密切关系。在河口区营养盐研究中,硅的研究,一直受到海洋学工作者的重视。黄河是我国第二大河,其河口区硅的研究,在该区资源综合调查中,具有重要意义。作为“黄河口区及海岸带资源综合调查研究”的一个组成部分,作者于1984年对黄河口区及其邻近海岸带水中溶解硅进行了测定。本文拟就黄河水溶解硅往河口的输入情况,黄河口区溶解硅含量、分布及其季节变化,潮汐影响等问题进行讨论,并就溶解硅的行为问题作一探讨。

一、调查区域及方法

1. 调查区域: 调查范围及采样站位如图

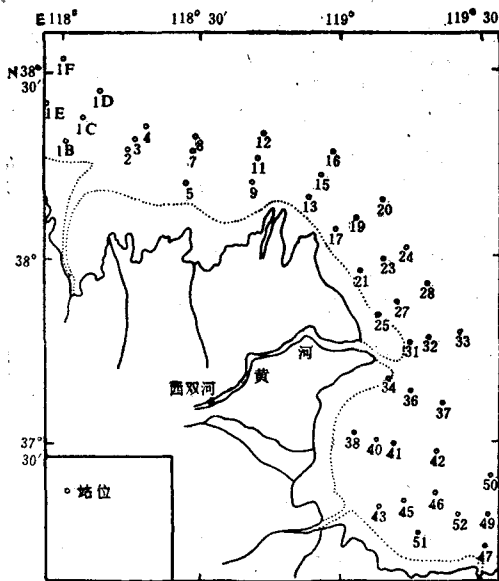


图1 调查区域及采样站位
Fig. 1 Map of study area and sampling locations

1所示。共设44个站,其中包括3号、31号和52号连续观测站。此外,在无双河设一定期观测站,每个月采集一次流经此处的黄河水水样,进行溶解硅测定。

2. 采样及分析方法: 调查共进行三个航次。1984年5月航次由本所科学二号调查船进行,8月和11月两个航次由金星二号轮进行。用聚乙烯桶采集全部表层水样;除图1中最靠近海岸的各站(水深小于10m)外,其余测站均用尼斯金采水器(聚氯乙烯制)采集底层水样,各断面最靠海的一个站,加采中间层次的水样。

采样后,立即通过孔径为 $0.4\mu\text{m}$ 的聚碳酸酯滤膜抽滤。在现场取一定体积水样,在带盖的聚乙烯瓶(容量60ml)内显色,按硅钼兰比色法,用721型分光光度计测定其中的硅浓度。

另备一套水样,带回实验室,用DW-1型盐度计(山东海洋学院、新安江电子管厂出品)测定盐度。

二、结果与讨论

1. 黄河水输入河口的溶解硅流量: 1984年5月—1985年3月,根据无双河水样溶解硅浓度和利津水文站的有关流量资料计算所得的结果,见表1。

1984年4月—1985年3月,这一年黄河的平均流量为 $1505\text{m}^3/\text{s}$,而根据10个月份溶解硅

* 本项研究承蒙胜利油田指挥部卫生部卫生处及该处卫生防疫站的支持与帮助,谨致谢忱。

表1 黄河输往河口的溶解硅流量

Tab.1 The flow of dissolved silicon from the Huanghe River to the Estuary

时 间 (年.月)	1984	5	6	7*	8	9	10	11	12	1985	1	2	3
流量 ($\times 10^5 \text{mg-atSi/s}$)	0.59	0.93	5.09	5.37	2.06	3.48	0.96	1.35	—	0.41	0.83		

* 7月份数据引自文献[1]。

的浓度计算,其平均浓度为 $115.8 \mu\text{g-atSi/L}$ 。依此粗略估计,这一年,黄河输往河口的溶解硅总量为15万5千吨左右。

由表1可以看出,黄河输往河口的溶解硅流量有显著的季节变化,夏季最大,秋季次之,冬、春两季较小。引起溶解硅流量变动的因素,主要是河水流量和溶解硅浓度。一年中,黄河水流量变动幅度很大,流量最大的8月份 ($3810 \text{m}^3/\text{s}$) 就比流量最小的4月份 ($368 \text{m}^3/\text{s}$) 大10倍以上。溶解硅浓度变动范围亦较大,浓度最大的7月份 ($177.8 \mu\text{g-atSi/L}$) 相当于浓度最小的2月份 ($51.9 \mu\text{g-atSi/L}$) 的3倍以上。但与世界河水平均浓度 ($6.1 \times 10^3 \mu\text{g/L} = 217 \mu\text{g-atSi/L}$) 相比,黄河水溶解硅浓度显得低些。

黄河水输往河口的溶解硅流量大小及其变动,无疑将对河口乃至河口附近海域溶解硅含量及分布状态产生直接的影响。

2. 调查区域内溶解硅含量的季节变化:
为了便于比较,说明黄河溶解硅流量对河口附

近海域的影响,权将调查区域分为两个区:一是图1中站21—24断面及其以南诸断面所含测站,简称之“河口区”;另一区则包括其余各站,暂称为“渤海湾南区”。现将三个航次溶解硅的测定结果归纳于表2。

由表2可以看出以下几个特点:其一,“河口区”与“渤海湾南区”比较,在三个航次中,前者表层水中溶解硅浓度均显著地大于后者,说明溶解硅浓度高的黄河淡水舌对河口区表层水的直接影响,而这种影响对“渤海湾南区”则显得很微弱。前者变动范围远远大于后者,这反映了黄河淡水舌在河口区造成显著的溶解硅浓度平面分布梯度。而两区的底层相比,溶解硅平均浓度和变动范围都相差不多。其二,同一区不同航次(不同季节)比较,在“河口区”,不论表层,还是底层,溶解硅平均浓度均以8月份为最大,11月份次之,5月份最小。这种情况,一方面与黄河溶解硅的流量变动有直接关系(见表1);另一方面,与硅藻的吸收季节变化也有关系。但“渤海湾南

表2 溶解硅测定结果

Tab.2 A summary of the results of dissolved silicon determination

航 次		1 (5月)		2 (8月)		3 (11月)	
层 次		表 层	底 层	表 层	底 层	表 层	底 层
“河口区”	测 站 数 目	25	12	23	16	24	16
	平均浓度 ($\mu\text{g-at Si/L}$)	15.4	3.00	49.8	27.4	19.8	14.8
	变动范围 ($\mu\text{g-at Si/L}$)	0.80—1.20	1.1—4.23	18.6—15.6	14.7—47.8	6.60—59.9	6.83—25.3
“渤海湾 南区”	测 站 数 目	15	10	20	13	20	16
	平均浓度 ($\mu\text{g-at Si/L}$)	2.76	3.06	6.70	5.78	13.5	13.2
	变动范围 ($\mu\text{g-at Si/L}$)	0.43—5.25	0.89—4.91	3.42—13.2	3.62—10.0	8.31—16.6	7.36—16.6

区”情况则不同，表层和底层溶解硅平均浓度均以11月为大，8月次之，5月最小。说明黄河溶解硅输入量最大的8月份，对该区溶解硅浓度并没有多大影响。其三，表层与底层平均浓度比较，在三个航次中，“渤海湾南区”溶解硅表底分布比较均匀，而“河口区”则不然，表层水溶解硅浓度均显著高于底层。

此外，观测结果表明，在黄河水溶解硅输入量较小、而硅藻大量繁殖的5月份，在“河口区”的局部区域内（盐度为29.3—30.3），出现溶解硅的明显低值（ $<1\mu\text{g-atSi/L}$ ），反映了硅藻吸收对溶解硅的分布有一定影响。

3. 表层水中溶解硅的平面分布：图2a, 2b和2c, 分别表示1984年5月、8月和11月调查区域内表层水中溶解硅的大面分布状况。比较这三个图，可以看出，它们既有相似之点，又有不同之处。共同之点是：高浓等值线密集在黄河口附近，由河口附近的高值起，往东、南、北三个方向递降。这反映了黄河水的影响（尽管影响程度不同）。另一共同点是，等浓线均有向南弯曲的趋势。这与该区海况的某些因素有关。据有关资料^[2]得知，调查区域南部的莱州湾，落潮时间长于涨潮时间（有涨5落7之说），莱州湾低潮平潮时间长于渤海湾，因而平均海平面略低，故黄河淡水舌出河口后有往南伸的趋向。三个图的不同之点是：等浓线往南突的程度不同，11月最大，8月次之，5月最小。这与流况有关。有关资料报道^[2]，该区表层黄河余流具有风海流性质，夏季受东南季风影响，合成余流指向东北，故南倾趋势减弱。而11月调查期间多北风，故黄河余流南侵趋势加强。5月份调查期间，风平浪静，黄河溶解硅往“河口区”的输入量也较小（见表1）故形成与8月、11月不同的平面分布特征。

4. 潮汐作用对溶解硅含量的影响：在所设置的三个连续观测站中，受潮汐作用影响最显著的是31号站。该站位于黄河河口以东大约10海里处，三个航次观测期间，其水深变动范围为9—10m。图3a和图3b, 分别表示1984年

8月19日和11月28—29日在31号站进行的溶解硅和盐度变化的观测结果。前者观测时间为12小时，两次观测的时间间隔是2小时，后者为

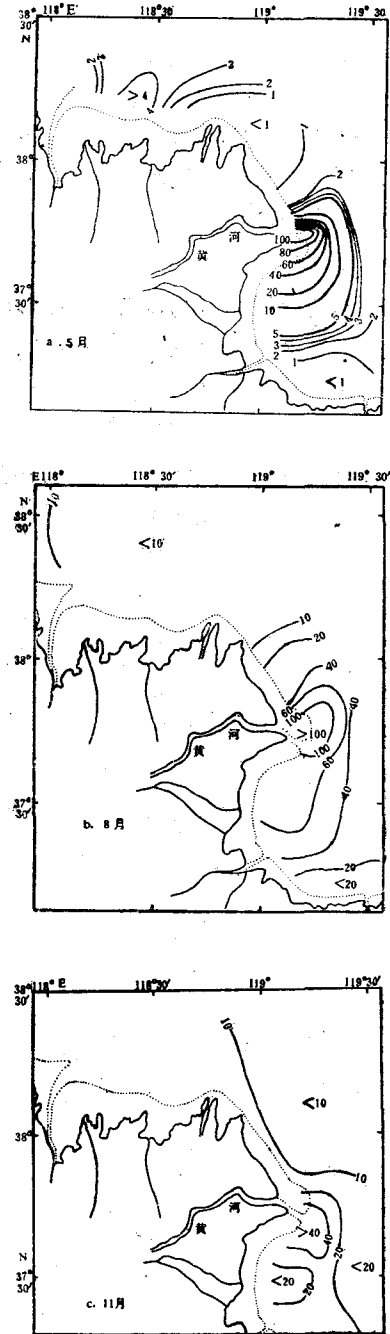


图2 表层水中溶解硅的平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of dissolved silicon in surface water
a. In May 1984; b. In August 1984;
c. In November 1984.

24小时, 间隔为1小时, 3a和3b两个图的共同点是: 溶解硅浓度-时间变化曲线与盐度-时间变化曲线都有良好的对应关系, 低潮时溶解硅浓度最大, 盐度最小, 高潮时则反之。不同的是: 前者溶解硅浓度和盐度随时间的变化幅度远远大于后者, 前者溶解硅浓度从低潮时的156 $\mu\text{g-atSi/L}$ 到高潮时的44.2 $\mu\text{g-atSi/L}$, 与此相应, 盐度从2.553变到24.962; 后者溶解硅浓度变动范围则为13.4—26.6 $\mu\text{g-atSi/L}$, 相应的盐度变动范围为25.609—22.400。由此可知, 前者潮汐作用影响显著, 后者影响较小。

5. 黄河水与海水混合过程中溶解硅的行为: 关于溶解硅的河口行为问题, 最近二十几年来, 国内外海洋化学工作者已进行了大量工作, 不同研究者对不同河口, 得出的结论是不一致的; 甚至同一研究者对同一区域而季节不

同, 得出的结论亦有差别。从现有资料看, 结论不外乎以下几种: 其一, 溶解硅行为保守; 其二, 在河水与海水混合过程中, 发生溶解硅迁移; 迁移机理又有二说, 一说悬浮物吸附, 另说为硅藻吸收造成的生物迁移过程; 其三, 在溶解硅浓度低的情况下, 悬浮体释放二氧化硅。

下面我们根据“黄河口区”溶解硅与盐度观测结果及上述连续观测结果, 着重讨论黄河水与海水混合过程中溶解硅的行为问题。图4表示的是8月份溶解硅浓度与盐度之间的关系曲线。对于11月份, 得到的关系曲线, 与8月份大致相仿。对8月份和11月份溶解硅浓度与盐度作相关分析, 得到如下结果。

8月份: $C_{\text{SiO}_4-\text{Si}} = 168.1 - 5.06 S$ ($n = 71, r = -0.963$, 盐度S的范围为0—31.4),

11月份: $C_{\text{SiO}_4-\text{Si}} = 99.6 - 3.35 S$ ($n = 67, r = -0.983$, S范围为0—28.6)。

31号站连续观测得到的溶解硅浓度 $C_{\text{SiO}_4-\text{Si}}$ 与盐度之间的关系如下。

8月份: $C_{\text{SiO}_4-\text{Si}} = 171.4 - 4.97 S$ ($n = 7, r = -0.998$, S范围为2.5—25.0),

11月份: $C_{\text{SiO}_4-\text{Si}} = 118.6 - 4.10 S$ ($n = 25, r = -0.997$, S范围为22.0—26.0)。

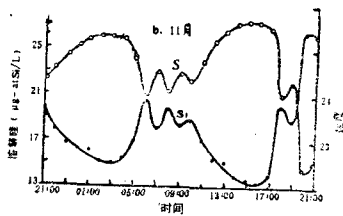
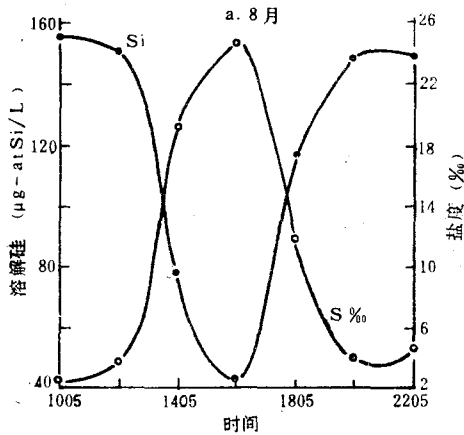


图3 31号站表层水溶解硅和盐度的连续测定结果

Fig.3 Dissolved silicon and salinity in surface waters in continuous survey at station 31
a. In August 1984; b. In November 1984.

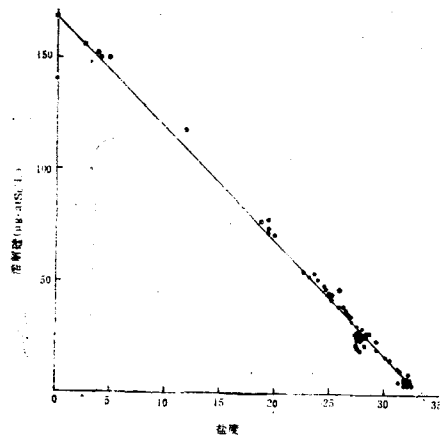


图4 溶解硅与盐度之间的关系 (8月份)

Fig.4 Relationship between dissolved silicon and salinity (In August 1984)

以上结果表明, 在1984年8月份和11月份, 黄河口“河口区”溶解硅浓度与盐度之间有良好的负相关性, 控制溶解硅分布的主要过程是黄河水与海水之间的物理混合过程, 溶解硅的行为基本上是保守的。

对5月份“河口区”的溶解硅浓度与相应的盐度, 作相关分析, 同样可以得到一元线性回归方程:

$$C_{SiO_4-si} = 131.3 - 4.52 S \quad (n=37, r = -0.983, S \text{ 范围为 } 4.204-30.5)$$

单纯考虑相关系数 r , 溶解硅浓度与盐度之间的相关性是很好的。但当上述回归方程中的 S 用29.05以上的值代入时, 就会发现, 在这种情况下, 溶解硅浓度将出现负值, 这显然是不合理的。实际上, 代表溶解硅浓度(纵座标)和盐度(横座标)的数据点, 绝大多数落在“理论稀释线”之下方, 并具往下弯曲之趋势, 这说明, 在1984年5月份, 在“河口区”溶解硅有某种程度的迁移。迁移的原因, 看来不可能出自于悬浮物吸附(因为如果是如此, 8月和11月亦不能例外), 很可能与大量繁殖

的硅藻对硅的吸收有关, 而5月份黄河水溶解硅对“河口区”的补给又相对地显少。因此硅藻吸收对“河口区”硅的分布显示出较明显的控制作用。

三、结 论

1. 黄河水溶解硅的年平均浓度约为 $115.8 \mu\text{g-atSi/L}$, 低于世界河水平均值。

2. 黄河水溶解硅入海的输送量季节变化颇大, 是该河口附近海域表层溶解硅分布季节变化的重要原因之一。

3. 在黄河水与海水混合过程中, 溶解硅的行为有季节性的变化, 夏、秋两季, 基本上是保守的, 而春季则有某种程度的生物迁移。

主要参考文献

- [1] 吕小乔、祝陈坚、张爱斌、史致丽, 1985。夏季渤海西南部及黄河口海域营养盐分布特征。山东海洋学院学报 15(1): 146—158。
- [2] 刘凤岳, 1985。黄河入海干流随潮流变化的特征及泥沙运动方向。海洋湖沼通报 2: 20—24。

A STUDY ON DISSOLVED SILICON IN THE OFFSHORE AREA OF THE HUANGHE RIVER ESTUARY

Li Quansheng Ma Xinian Shen Wanren
(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Dissolved silicon was studied in the offshore area of the Huanghe River Estuary and adjacent coastal region during three surveys in 1984. The results showed that the concentrations and distribution of dissolved silicon in the offshore area of the Estuary exhibited a considerable seasonal variation dependent on the seasonal change of input of dissolved silicon from the Huanghe River. The behaviour of dissolved silicon was conservative during the mixing of the Huanghe River water with sea water in summer and fall. Some removal of dissolved silicon from solution occurred in spring.