

# 长江入河口区生源要素的浓度变化 及通量估算\*

刘新成 沈焕庭 黄清辉

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

**提要** 利用近几十年长江大通断面的实测流量和生源要素(C、N、P、Si)资料,讨论了C、N、P、Si较长时间序列浓度的变化特征和长江入河口区的通量。结果表明, $\text{HCO}_3^-$ 浓度比较稳定,波动较小; $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 主要呈上升趋势;游离 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{SiO}_3^{2-}$ 浓度表现出一定下降趋势;估算并研究了长江C、N、P、Si入河口区内各月的平均通量、年际间各年的通量和多年平均的年均通量和主要变化特征;利用月通量序列以及相应的流量序列,拟合出可以利用已知的月均流量预测进入河口区的月通量的关系函数。这些研究是进行河口区生源要素收支平衡计算的重要基础。

**关键词** 长江,河口,生源要素,浓度,通量估算

**中图分类号** P736

从流域角度提出关于海岸带变化的科学问题,重视流域与海岸海域的相互作用已逐渐成为“海岸带陆海相互作用(LOICZ)”所关注和研究的热点之一(LOICZ, 1999)。因此对类似于长江流域这样有代表性的流域进行研究就显得非常重要。国内外学者对长江干流及河口区域的水、悬沙以及营养元素的分布及通量研究已进行了不少研究(王正方等, 1983; Edmond *et al.*, 1985; 沈志良, 1991、1997; 段水旺等, 2000; 沈焕庭等, 2000)。但为了反映长江流域水体进入河口区的物质通量,将其与河口区入海洋的物质通量区别开来,沈焕庭等(2000)选取长江河口区枯季潮区界的大通作为长江入河口区的控制断面,对长江入河口区的水、沙通量变化规律作了研究。本文将在此基础上利用大通断面连续22或37年的每月实测资料,进一步研究长江入河口区的生源要素浓度的变化规律,估算长江入河口区的生源要素通量。此文指的生源要素主要包括C、N、P、Si四种元素,其中C为溶解态无机碳DIC(游离 $\text{CO}_2$ -C、 $\text{HCO}_3^-$ -C)、N为溶解态无机氮DIN( $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{NH}_2^-$ -N、 $\text{NH}_3$ -N)、P为磷酸盐态磷( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)、Si为硅酸盐态硅( $\text{SiO}_3^{2-}$ -Si)。

## 1 资料

本文所用资料取自安徽省水利厅编辑的《长江流域水文资料》(长江下游干流区)和长江下游大通水文站。其中流量、重碳酸盐( $\text{HCO}_3^-$ )、游离二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ )的

\* 国家自然科学基金重点资助项目“长江河口通量研究”,49736220号。刘新成,男,出生于1973年10月,博士生,

E-mail: xchliu@sina.com

收稿日期:2001-02-30,收修改稿日期:2001-10-16

浓度资料序列从 1963 年 1 月至 1999 年 12 月, 铵盐( $\text{NH}_4^+$ )、亚硝酸盐( $\text{NO}_2^-$ )、五氧化二磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、二氧化硅( $\text{SiO}_2$ ) 浓度资料序列从 1963 年 1 月至 1984 年 12 月。原记录中 P 和 Si 分别以  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2$  的浓度表示, 本文将它们转换成磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}$ )、硅酸盐( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) 的浓度。其中部分元素在某些月份的资料空缺, 在资料预处理过程中利用插值方法将所缺资料补全, 分别得到上述有关项目连续 37 年和 22 年的月序列值。

## 2 流量及浓度的变化

### 2.1 季节变化

根据大通断面连续 22 年或 37 年的资料统计汇总成表 1。1 月至 12 月流量的多年平均值变化范围为  $11\ 008\text{--}52\ 183\text{m}^3/\text{s}$ ; 各元素浓度的多年平均值变化范围为: 游离  $\text{CO}_2$  为  $2.2\text{--}3.0\text{mg/L}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  为  $95.0\text{--}127.1\text{mg/L}$ ,  $\text{NH}_4^+$  为  $0.11\text{--}0.15\text{mg/L}$ ,  $\text{NO}_3^-$  为  $2.1\text{--}3.3\text{mg/L}$ ,  $\text{NO}_2^-$  为  $0.008\text{--}0.035\text{mg/L}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  为  $0.013\text{--}0.033\text{mg/L}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$  为  $7.5\text{--}9.9\text{mg/L}$ 。

表 1 多年平均的各月流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )及元素浓度( $\text{mg/L}$ )

Tab. 1 Monthly mean discharge( $\text{m}^3/\text{s}$ ) and concentrations( $\text{mg/L}$ )

月份	流量	游离 $\text{CO}_2$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SiO}_3^{2-}$
1	11008	3.0	127.1	0.11	0.029	2.2	0.020	7.6
2	11903	2.6	122.0	0.13	0.031	2.4	0.016	8.1
3	16825	2.8	110.7	0.14	0.032	2.8	0.017	9.0
4	25254	2.4	95.0	0.14	0.021	2.7	0.013	8.7
5	33345	2.6	95.0	0.13	0.018	3.2	0.016	9.0
6	40342	2.6	100.2	0.13	0.016	3.3	0.019	9.4
7	52183	2.7	106.3	0.14	0.013	2.7	0.014	9.2
8	44065	2.4	110.1	0.13	0.014	2.5	0.016	9.9
9	39315	2.2	113.1	0.12	0.008	2.4	0.016	9.8
10	32952	2.2	116.4	0.12	0.008	2.1	0.025	9.1
11	21817	2.6	118.6	0.12	0.013	2.3	0.031	8.3
12	13413	2.9	125.5	0.15	0.035	2.6	0.033	7.5

注: 表中流量、游离  $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  为 37 年的平均值, 其余为 22 年的平均值

受季节性降水的影响, 流量在洪季(5—10月)、枯季(11—4月)之间的差别很大, 在洪季的流量占全年的 70.7%, 而枯季的流量仅占全年的 29.3%。与流量的年内分配特点不同的是, 生源要素浓度在洪、枯季之间的差别不如流量那样明显, 并且不同元素在年内分配特性也不一样。游离  $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  在枯季占全年的比例略大于洪季, 枯季占全年的比例分别为 52.7%、52.2%、67.6% 和 54.7%;  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SiO}_3^{2-}$  在洪季占全年的比例略大于枯季, 洪季占全年的比例分别为 52.5% 和 53.4%; 而  $\text{NH}_4^+$  在洪季、枯季各占的比例大致相等。

不同生源要素的浓度变化特性主要与其参与的相关化学反应过程有关。由于在洪季光合作用增强, 浮游植物将会消耗更多的游离  $\text{CO}_2$ , 使得在洪季的浓度略低。在河水中, 游离  $\text{CO}_2$  与  $\text{HCO}_3^-$  保持一定的平衡关系, 使得  $\text{HCO}_3^-$  的变化特征与游离  $\text{CO}_2$  比较相似。

此外,在温度较高的洪季浮游植物为了满足生长的需要,也要消耗较多的N、P,使得洪季的N、P浓度比枯季要低。本文中的 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 统计结果也都遵循这一规律,而 $\text{NO}_3^-$ 在洪季的比例略高于枯季,可能与含氮有机物在微生物的作用下发生铵化、硝化反应生成 $\text{NO}_3^-$ 有关。 $\text{SiO}_3^{2-}$ 在洪季占全年的比例略大于枯季,可能是因为洪季的输沙率较大,由悬沙中移出一定的 $\text{SiO}_3^{2-}$ 。

### 2.2 年际变化

图1为近几十年间流量及浓度的各年均值。从图中可知:各年的平均流量在21 318

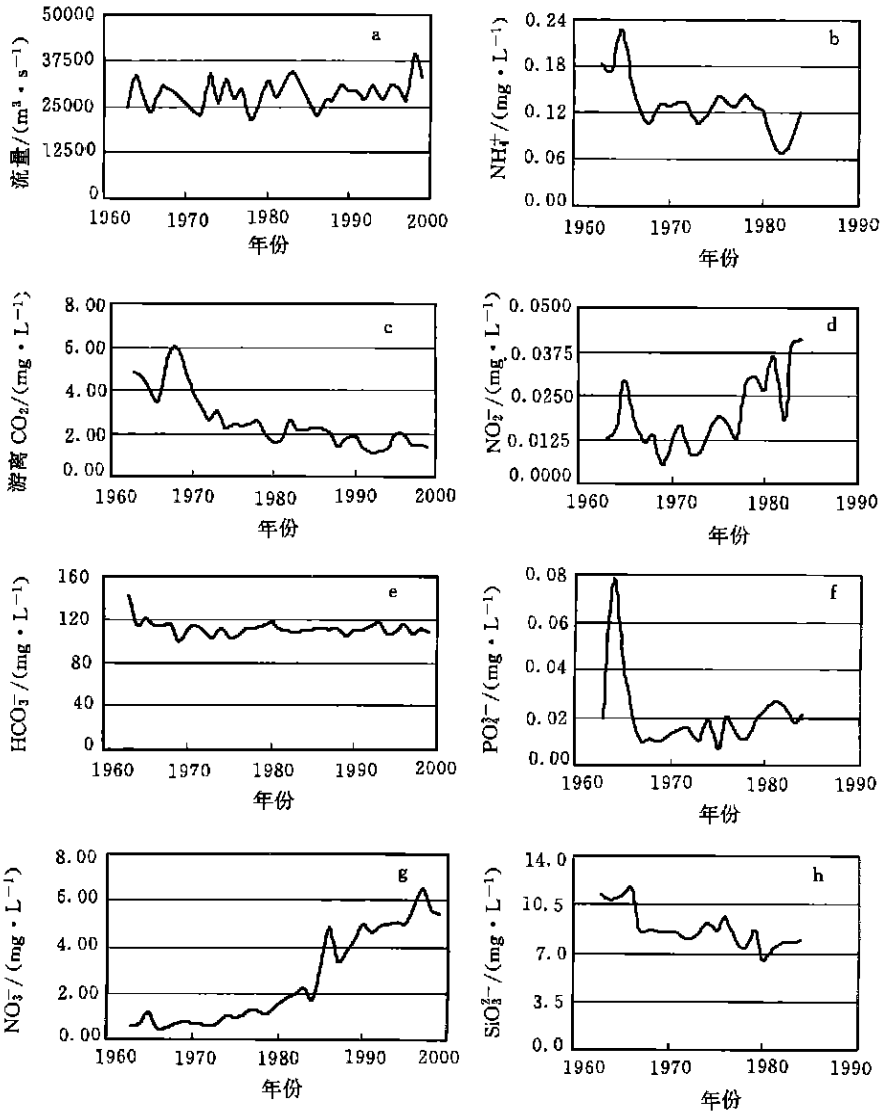


图1 各年的流量及浓度  
Fig 1. Annually mean discharge and concentrations

—39 317m<sup>3</sup>/s 范围内变动; 各年的平均浓度变化范围分别为: 游离 CO<sub>2</sub> 为 1.1—6.1mg/L, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 为 98.6—140.9mg/L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为 0.07—0.23mg/L, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 为 0.5—6.5mg/L, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 为 0.005—0.041mg/L, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 为 0.004—0.078mg/L, SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 为 6.5—11.6mg/L。在 1964 年 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 的平均浓度出现一异常的峰值, 这是由于在原始记录中, 1964 年 10 月至 12 月的 11 次实测浓度都比其他月份浓度高 3—5 倍, 使得这一年的浓度出现了一极值。

元素浓度的年际变化特征大体可分为三类: 一类是元素浓度没有增加或减小的趋势, 波动较小, 主要是 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 其多年平均浓度为 111.7mg/L, 相对标准偏差 (RSD) 仅为 5.94%。第二类是浓度主要呈上升趋势, 主要有 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, 其中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度的增加趋势最为明显, 90 年代的平均浓度比 60 年代的平均浓度增加了 5—6 倍; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 浓度从 70 年代初期起就呈阶梯上升, 虽然时有起伏, 但总体呈上升的趋势; 从 70 年代中期起 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 的浓度也有一增加的趋势。第三类是元素浓度表现出一定下降趋势, 主要是游离 CO<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>。

逐年的氮(主要是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)、磷浓度呈增加的趋势, 硅的浓度呈一定的减小趋势, 这与在全球范围内的氮、磷、硅变化趋势相似。在全球范围内氮、磷向海岸带的输送量分别增加 2.5 倍和 2 倍(Meybeck, 1998), 观测到的溶解态硅的输送量呈降低趋势(Humborg *et al.*, 1997; Conley *et al.*, 1993)。Humborg 等(2000)认为, 向黑海和波罗的海输送的溶解态硅的降低主要是由于河流大坝的拦截和河流盆地的富营养化。对长江流域已有的研究(王明远等, 1989; Zhang *et al.*, 1995; 陈静生等, 1998)表明: 长江流域农业施肥量及生活污水排放量的逐年增加是长江水中 N、P 浓度增加的主要原因。长江水中溶解态硅的降低是否与河流的拦截存在确定的关系需作进一步的研究。

各元素浓度及流量的多年平均值列于表 2。由表 2 可以看出, 游离 CO<sub>2</sub> 的浓度远小于 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 的浓度也分别比 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度低 1 个和 2 个数量级, 即 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 分别是河水中 C、N 的主要无机形态。

表 2 流量(m<sup>3</sup>/s)及各元素浓度(mg/L)的多年平均值  
Tab. 2 Inter-annually averaged discharge(m<sup>3</sup>/s) and concentrations(mg/L)

项目	流量	游离 CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
年均值	28535	2.6	111.7	0.13	0.02	2.6	0.021	8.8

注: 表中流量、游离 CO<sub>2</sub>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 为 37 年的平均值, 其余为 22 年的平均值

### 3 元素通量估算

#### 3.1 估算方法

在进行计算前先将元素的离子浓度转化成以元素的单原子表示的浓度, 以便直接估算出元素的总通量, 即 DIC 为 CO<sub>2</sub>-C + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-C, DIN 为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, P 为 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, Si 为 SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Si。

由于在大通控制断面的河水是向长江下游流动的单向流, 因此在此断面的瞬时通量即为此断面的净通量。根据断面各月的平均流量  $Q_{ij}$  和平均浓度  $C_{ij}$ , 以下式计算某种元素第  $i$  年、第  $j$  月输入河口的通量  $F_{ij}$ :

$$F_{ij} = C_{ij} \cdot Q_{ij} \quad (1)$$

式中:  $i$  为年份数(1, ..., 22 或 37);  $j$  为月份数(1, ..., 12)。利用上式再分别计算某种元素第  $j$  个月份多年平均的月输入通量、第  $i$  年的年输入通量以及多年平均的年输入通量。

### 3.2 各月通量及季节变化

从表 3 可以看出, DIC、DIN 和  $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$  多年平均的月通量都是在 7 月份最大, 分别为  $2.91 \times 10^6 \text{t}$ 、 $4.46 \times 10^4 \text{t}$  和  $4.80 \times 10^5 \text{t}$ ; 1 月份月通量最小, 分别为  $0.73 \times 10^6 \text{t}$ 、 $0.74 \times 10^4 \text{t}$  和  $0.79 \times 10^5 \text{t}$ 。  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  多年平均的月通量在 10 月份最大, 为 804t, 这主要如前所述在 1964 年的 10 月有异常峰值出现所导致的; 12 月份的月通量最小, 仅为 84t。

DIC、DIN、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  和  $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$  在洪季 5 月份到 10 月份的月通量之和占年总通量的百分比分别为 70%、72.4%、66.3% 和 74.2%。

表 3 四种元素各月平均通量(t)

Tab 3 Monthly mean fluxes for 4 elements(t)

月份	DIC( $\times 10^6$ )	DIN( $\times 10^4$ )	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}(\times 10^2)$	$\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}(\times 10^6)$
1	0.73	0.74	1.84	0.79
2	0.75	0.92	1.44	0.92
3	0.97	1.52	2.35	1.39
4	1.25	2.42	3.00	2.24
5	1.67	3.77	4.42	3.28
6	2.12	4.15	6.58	3.97
7	2.91	4.46	6.06	4.80
8	2.55	4.10	6.38	4.27
9	2.33	3.50	6.27	3.84
10	2.01	2.78	8.04	3.28
11	1.35	1.88	6.78	1.93
12	0.86	1.26	0.84	0.99

注: 表中 DIC 为 37 年的平均值, 其余为 22 年的平均值

由上述 4 种元素各月通量在年内的分布特点可知: 洪季(5—10 月)的月通量明显高于枯季(11—4 月)的月通量, 在 7 月除磷元素外, 其他三种元素都具有一峰值; 几种元素洪季的通量占各自年总通量的 65%—75%, 洪季的通量是年总通量的主要贡献者, 生源要素的月通量表现出了明显的洪季高、枯季低的季节性变化的特征。这主要是由于在计算断面固定的条件下, 通量的大小主要受流量和浓度的影响, 但由前述分析可知生源要素浓度在洪、枯季间分配的差别远没有流量那样明显, 因此, 导致月输入通量有明显的季节性变化的主要原因是流量的季节性变化, 生源要素通量的这种季节变化与流量的季节性变化有良好的相关性。

### 3.3 年通量及年际变化

从图 2 所示 1963—1999 年这 37 年间各元素的年通量来看, 除了 1998 年由于年平均流量高达  $39.317 \text{m}^3/\text{s}$ , 使得这一年的 DIC 通量明显比其他年份要高外, 其他大部分年份的

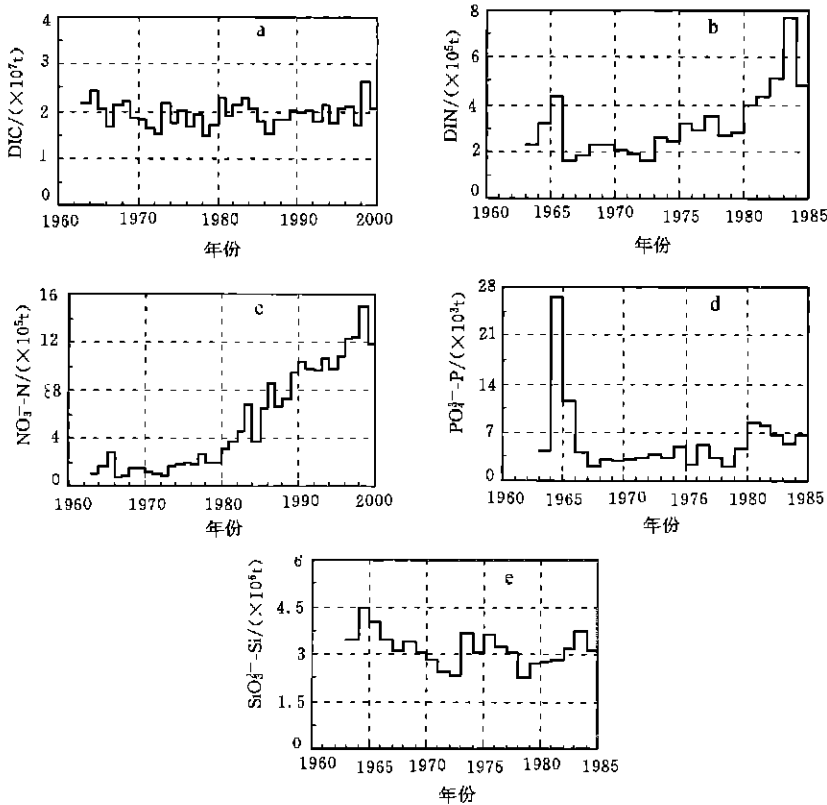


图2 各年通量序列

Fig. 2 Yearly mean flux time-series

DIC 通量基本都保持在  $2.0 \times 10^7 \text{t}$  左右, 没有明显的增加或减小的趋势。这主要是因为多年来 DIC 的年均浓度比较稳定(主要为  $\text{HCO}_3^-$ ), 浓度波动较小, 以及年均流量变化不大, 故各年的碳通量也比较稳定。

DIN 的年通量从 1972 年的  $1.61 \times 10^5 \text{t}$  逐渐增加, 至 1983 年达到  $7.70 \times 10^5 \text{t}$ , 增加了近 4 倍。而从 1963 年至 1999 年  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  的年通量图中还可看出, 80 年代中后期至 90 年代末仍保持着这种增加的趋势, 如 1972 年为  $0.95 \times 10^5 \text{t}$ , 1982 年为  $4.57 \times 10^5 \text{t}$ , 1992 年为  $9.70 \times 10^5 \text{t}$ , 1998 年为  $14.99 \times 10^5 \text{t}$ 。这种通量逐渐增加的趋势与浓度的逐渐变大趋势一致, 说明氮的年通量逐渐增加正是由于浓度的增加所引起的。

$\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$  除了 1964、1965 年的年通量超过  $10.0 \times 10^3 \text{t}$ , 其他年份的年通量都在  $9.0 \times 10^3 \text{t}$  以内, 但 1968 年年通量为  $2.97 \times 10^3 \text{t}$  至 1980 年已增至  $8.43 \times 10^3 \text{t}$ , 也呈现出逐渐增加的趋势。

$\text{SiO}_3^{2-} \text{-Si}$  在大部分年份中的年通量约在  $3.2 \times 10^6 \text{t}$  左右波动, 与其浓度变化特征类似的是, 70 年代以前的硅通量多年平均为  $3.57 \times 10^6 \text{t}$ , 要比 70 年代以后的多年平均  $2.98 \times 10^6 \text{t}$  要略大, 即硅通量有一定的降低趋势。

从上述各年的通量结果可以看出,与生源要素通量年内的变化规律主要受流量控制和影响所不同的是,年际通量变化规律与其年际间的浓度变化规律更为相似,各年的通量与各年的浓度更具有较好的相关性。这主要是因为虽然这 37 年间的平均流量变化范围为  $21\ 318\text{--}39\ 317\text{m}^3/\text{s}$ ,但多年的年平均流量为  $28\ 535\text{m}^3/\text{s}$ ,相对标准偏差(RSD)为 13.35%,除非是遇到特大洪水年(如 1998 年),年际之间的流量波动较小,因此浓度年际间的变化规律就成为生源要素年际间通量变化规律的主要控制因素。

### 3.4 多年平均的年均通量

在掌握长江入河口区生源要素通量在年内、年际间的大小和变化规律后,更需要知道长江入河口区多年平均的年均通量,因为这是对河口区生源要素进行收支平衡计算的基础。37 年平均的 DIC 年均通量、22 年平均的  $\text{DIN}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  以及  $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$  年均通量的计算结果列于表 4。从表 4 中可以看出在 4 种生源要素的溶解态物质中,进入河口区的年均通量 DIC 最多为  $1.95 \times 10^7\text{t}$ ;  $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$  居次,均为  $3.17 \times 10^6\text{t}$ ; 第三是  $\text{DIN}$ , 均为  $3.15 \times 10^5\text{t}$ ;  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  的年均通量最少为  $5.69 \times 10^3\text{t}$ 。大量的营养物质经过河流的输运至长江河口及临近海域,必将对河口的生态环境和物质循环产生重要影响。碳和氮元素中几种形态的离子分别占 DIC 和  $\text{DIN}$  各自年均通量的比例又各不相同,其中  $\text{HCO}_3^-$  占碳元素年均通量的 97%,是碳通量主要贡献因子,游离  $\text{CO}_2$  仅占 3%;  $\text{NO}_3^-$  占氮元素年均通量的 89%,是氮通量的主要贡献因子,  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_2^-$  分别占 10% 和 1%。由于  $\text{NO}_3^-$  浓度的逐年升高,37 年平均的  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  的年均通量达到  $5.40 \times 10^5\text{t}$ 。表 4 还列出了沈志良(1991)所估算的长江输出通量,比较其与本文所估算的长江入河口区的通量可知,河流入河口区与河口输出通量两者还存在一定的差别,但对不同的营养元素而言,长江河口是起“源”还是“汇”的作用,由于取样时间、计算方法的不同,还较难做出准确的结论,有待做进一步的研究。

表 4 生源要素年均通量(t/a)

Tab 4 Long-term mean fluxes of nutrients(t/a)

项目	DIC( $\times 10^7$ )	DIN( $\times 10^5$ )	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ ( $\times 10^5$ )	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ( $\times 10^3$ )	$\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ ( $\times 10^6$ )
本研究	1.95	3.15	5.40	5.69	3.17
文献(沈志良,1991)	—	7.84	6.91	15.1	2.22

注:表中 DIC、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  为 37 年的平均值,其余为 22 年的平均值;文献(沈志良,1991)中的计算流量为 1922—1985 年大通站平均流量,浓度为长江口盐度接近于 0 时诸要素浓度的平均值

### 3.5 月通量的预测

据上所述,生源要素的月通量与相应的月流量的相关性较好,现利用已计算出的月通量序列  $F$  以及相应的月流量序列  $Q$ ,拟合出这两者之间的关系函数,可以利用已知的月均流量  $Q$  预测进入河口区的月通量  $F$ ,结果如下:

$$F_{\text{DIC}} = 53.16Q + 109353 \quad n = 444 \quad R^2 = 0.9354$$

$$F_{\text{DIN}} = 0.4232Q^{1.084} \quad n = 264 \quad R^2 = 0.6432$$

$$F_{\text{SiO}_3^{2-}} = 10.005Q - 17681 \quad n = 264 \quad R^2 = 0.8177$$

其中,  $n$  为样本数;  $R$  为相关系数;  $F$  为月均通量( $\text{t}/\text{mon}$ );  $Q$  为月均流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

DIC 和  $\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$  的拟合函数为线形函数, 相关系数的平方分别为 0.935 4 和 0.817 7; DIN 拟合函数为幂函数, 相关系数的平方分别为 0.643 2。  $\text{PO}_4^{3-}$  的月均输入通量与相应的流量拟合函数的相关系数较小, 所以这里未列出它们的函数关系式。

## 4 结语

4.1 生源要素的浓度在洪枯季之间的差别不如流量那样大, 并且不同元素之间的变化特性也不一样。游离  $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  枯季占全年的比例略大于洪季;  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SiO}_3^{2-}$  洪季占全年的比例略大于枯季; 而  $\text{NH}_4^+$  在洪季、枯季各占的比例大致相等。

4.2 元素浓度多年间的变化特征可大体分为三类: 一类是元素浓度比较稳定, 波动较小, 主要是  $\text{HCO}_3^-$ ; 第二类是浓度主要呈上升趋势, 主要有  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ ; 第三类是元素浓度表现出一定下降趋势, 主要是游离  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_4^+$  和  $\text{SiO}_3^{2-}$ 。

4.3 生源要素通量的年内分配洪季(5—10月)明显高于枯季(11—4月), 4种元素洪季的通量占各自年总通量的 65%—75%, 洪季的通量是年总通量的主要贡献者。流量的季节性变化是影响通量在年内分配特征的主要因素。

4.4 生源要素年际间的通量变化规律与其年际间的浓度变化规律更为相似, 各年的通量与各年的浓度更具有较好的相关性。浓度年际间的变化规律成为生源要素年际间通量变化规律的主要控制因素。

4.5 长江入河口区 C、N、P、Si 多年平均的年通量分别为:  $1.95 \times 10^7 \text{ t/a}$ ,  $3.15 \times 10^5 \text{ t/a}$ ,  $5.69 \times 10^3 \text{ t/a}$ ,  $3.17 \times 10^6 \text{ t/a}$ , 与其他的初步比较表明, 河流入河口区与河口输出通量两者存在一定的差别, 因此有必要将这两者区别开来研究, 对不同的营养元素而言, 长江河口是起“源”还是“汇”的作用, 有待做进一步的研究。

4.6 DIC、DIN 和  $\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$  的月通量序列  $F$  与相应的流量序列  $Q$  相关性良好, 拟合出月通量与月流量的关系函数, 可以利用已知的月均流量  $Q$  预测进入河口区的月通量  $F$ 。

## 参 考 文 献

- 王明远, 赵桂久, 章申, 1989 长江碳、氮、磷、硫输送量的研究. 见: 化学元素水环境背景值研究. 北京: 测绘出版社, 121—131
- 王正方, 姚龙奎, 阮小正, 1983 长江口营养盐分布与变化特征. 海洋与湖沼, 14(4): 324—332
- 沈焕庭, 张超, 茅志昌, 2000 长江入河口区水沙通量变化规律. 海洋与湖沼, 31(3): 288—294
- 沈志良, 1991. 三峡工程对长江口海区营养盐分布变化影响的研究. 海洋与湖沼, 22(6): 540—546
- 沈志良, 1997. 长江干流营养盐通量的初步研究. 海洋与湖沼, 28(5): 522—527
- 沈志良, 古堂秀, 谢肖勃, 1991. 长江生源要素的输出通量. 海洋科学, 11(6): 67—69
- 陈静生, 关文荣, 夏星辉等, 1998 长江干流近三十年来水质变化探析. 环境化学, 17(1): 8—13
- 段水旺, 章申, 陈喜保等, 2000 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计. 环境科学, 21(1): 53—56
- Conley D J, Schelske C L, Stoermer E F, 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. Mar Ecol Prog Ser, 101: 179—197
- Edmond J M, Spivack A, Grant B C *et al*, 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. Continental Shelf Research, 4: 17—36
- Humborg C, Ittekkot V, Cociasu A *et al*, 1997. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. Nature, 386: 385—388
- Humborg C, Conley D J, Rahm L *et al*, 2000. Silicon retention in river basins: far-reaching effects on biogeochemistry and aquatic food webs in coastal marine environments. AMBIO, 29: 45—50



- LOICZ, 1999. Report of LOICZ Open Science Meeting 1999: Regimes of Coastal Change. LOICZ International Project office, NIOZ, The Netherlands, 147
- Meybeck M., 1998. The IGBP water group: a response to a growing global concern. Global Change Newsletters, 36: 8—12
- Zhang J, Yan J, Zhang Z F, 1995. Chemical trend of national rivers in China: Huanghe and Changjiang. AMBIO, 24: 274—278

## CONCENTRATION VARIATION AND FLUX ESTIMATION OF DISSOLVED INORGANIC NUTRIENT FROM THE CHANGJIANG RIVER INTO ITS ESTUARY

LIU Xin-Cheng, SHEN Huan-Ting, HUANG Qing-Hui

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062)

**Abstract** Based upon the monthly dissolved nutrient (C, N, P, Si) concentrations and runoff discharge during the past several years at the Datong control section, which divides the Changjiang River main stream and the Changjiang River estuary, concentration variations are discussed and nutrient fluxes are estimated. The concentrations of different elements showed different variation characteristics. The concentration of  $\text{HCO}_3^-$  changes little while that of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  have an increasing trend and that of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{SiO}_3^{2-}$  have a declining trend. The monthly mean flux and annual mean fluxes C, N, P, Si are estimated. Further, fitting functions between the discharge and the fluxes are obtained to predict the monthly flux with the monthly discharge.

**Key words** Dissolved nutrient, Concentration, Flux estimation, Changjiang River estuary