

大亚湾的碳循环*

韩舞鹰 林洪瑛 蔡艳雅

(中国科学院南海海洋研究所, 广州)

摘 要

文章根据1985—1986年对大亚湾的综合调查结果, 计算了各碳贮库贮量的季节变化, 建立起碳循环模式, 定量计算了不同季节碳循环各个途径的通量, 给出碳在不同贮库中的停留时间。

关键词: 碳, 循环, 海湾。

碳循环是一个全球性的基础课题。由于大气二氧化碳增加造成的温室效应, 使碳循环研究愈来愈受到关注。全球的大循环是局部循环之和, 局部循环在每个生态系统内独立进行, 而各种横向联系又把这些局部的循环连结在一起。

大亚湾位于珠江口东侧, 在 $114^{\circ}30'$ — $114^{\circ}45'E$ 和 $22^{\circ}34'$ — $22^{\circ}51'N$ 之间, 是广东省的一个大型山地溺谷湾, 面积约 650km^2 , 附近无大河流流入, 是目前受人类影响较小的海湾。随着沿海经济的发展和核电站的建立, 该环境将愈来愈受人类活动的影响。作者选择大亚湾作为典型的海湾生态环境, 研究海湾碳的循环。

一、研究方法

把大亚湾碳以不同存在形态分为各个碳贮库, 分四个季节现场调查各形态碳的含量。无机碳的测定和计算方法见参考文献[1], 溶解有机碳采用过硫酸盐高温氧化法, 不溶性有机碳采用 240C 型元素分析仪测定。大亚湾的无机碳和有机碳的研究结果见参考文献[2,3]。根据调查结果计算得各碳贮库不同季节的贮量, 详细计算见文献[4]。本文根据碳贮库的计算结果, 建立大亚湾碳循环模型。

在1985年10月和1986年1月, 5月和8月分四个季节进行15个测站的碳循环专题调查, 调查站位见图1。

二、结果与分析

1. 大亚湾各碳贮库贮量与季节变化通量

大亚湾大气碳贮库与外界不断进行着快速、随机的交换, 此超出了我们对大亚湾碳循

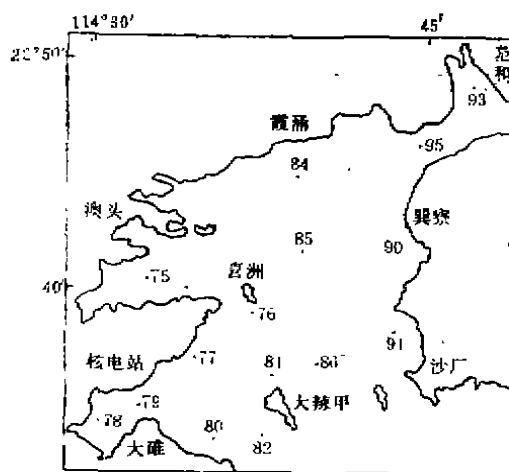


图1 调查站位
Fig.1 Stations of investigations

* 本课题是国家自然科学基金资助课题。
本文于1988年5月21日收到。

环体系的研究范围,故不考虑大气贮库的季节变化。表层沉积物贮库为周年的平均贮量,同样不考虑季节变化的碳通量。各碳贮库的贮量和季节变化通量的计算结果见表 1。

表 1 大亚湾各碳贮库的贮量和季节变化的碳通量 (单位: $\times 10^7 \text{kg}$)

Table 1 Reserve amount and carbon flux of seasonal variation for each reservoir in Daya Bay

贮 库		春	夏	秋	冬
海水贮库	溶解有机碳 C_{DO}	1.58	1.66	1.92	1.43
	ΔC_{DO}	0.08	-0.33	0.10	0.14
	溶解无机碳 C_{DI}	15.89	16.20	14.81	16.97
	ΔC_{DI}	-0.69	-0.39	1.16	-0.08
颗粒碎屑贮库	颗粒有机碳 C_{PO}	0.189	0.267	0.224	0.182
	ΔC_{PO}	0.078	-0.043	-0.032	-0.003
	颗粒无机碳 C_{CI}	0.00743	0.0118	0.00651	0.00839
	ΔC_{CI}	0.00437	-0.00829	0.00088	0.00104
生物贮库	C 浮游植物	0.0413	0.0926	0.0413	0.0602
	C 浮游动物	0.00225	0.00569	0.00343	0.00850
	C 鱼类	0.39	0.89	1.00	0.60
	C 潮间生物	0.00110	0.00110	0.00106	0.00106
	C 底栖生物	0.677	0.328	0.447	0.514
	ΔC 生物总	0.30	0.176	-0.37	-0.068
表层沉积物贮库	沉积有机碳 C_O	1.48			
	沉积无机碳 C_I	2.16			
大气贮库	二氧化碳 C_a	87.94	88.36	86.46	82.56

2. 大亚湾碳循环路线与模式

大亚湾碳循环的模式绘于图 2。由季节 i 到季节 j 碳的循环路线:

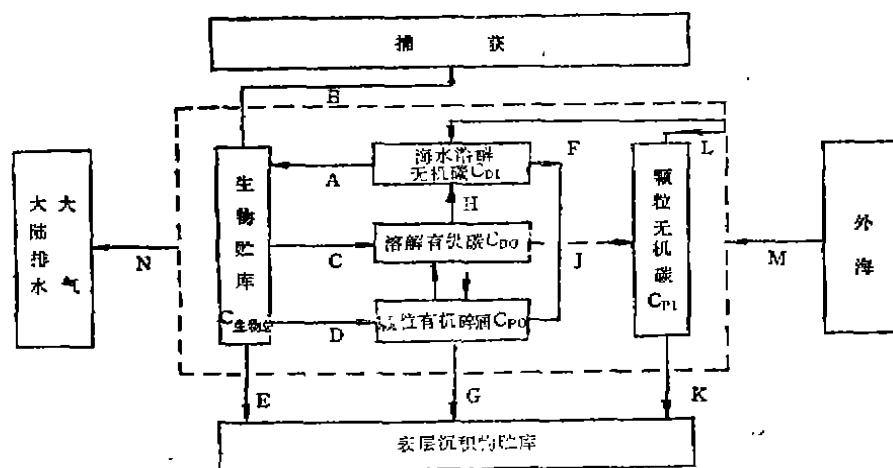


图 2 大亚湾碳循环模式 (季节 $i \rightarrow$ 季节 j)

Fig. 2 Model of the carbon cycle in Daya Bay

路线 A: 生物贮库中的浮游植物通过光合作用把海水中的无机碳转变成有机碳的初级生

产量,为实测值。通量 $\Delta C_A = \frac{C_i + C_{i-1}}{2}$, C_i 为季节 i 的平均初级生产量, C_{i-1} 为季节 $i-1$ 的平均初级生产量。

路线B: 该季节的生物捕获量, ΔC_B 为实测值。

路线C: 浮游植物释放出溶解的有机物质, 按下列关系计算:

$$\begin{cases} \text{浮游植物排泄量/初级生产量} = 10\%^{[5]} \\ \text{来自浮游植物的稳定有机质/初级生产量} = 5\%^{[5]} \\ \text{有机碳} \times 1.8 = \text{有机质}^{[6]} \end{cases}$$

即通量 $\Delta C_C = \Delta C_A \times 15\% / 1.8$

路线D: 来自海洋食物链的碎屑POC, 按下式计算:

$$\begin{cases} \Delta C_D / \text{总POC} = 84\%^{[6]} \\ \text{总POC} = \Delta C_A - \Delta C_B - \Delta C_C - \Delta C_{\text{生物总}} \end{cases}$$

路线E: 生物残骸沉降。

通量 $\Delta C_E = \Delta C_A - \Delta C_B - \Delta C_C - \Delta C_D - \Delta C_{\text{生物总}}$

路线F: 碎屑颗粒有机碳被分解, 重新参加循环。

大亚湾的表层沉积物中无机质占沉积物的 98.82%, 有机质占沉积物的 1.18%。悬浮物中有机质、无机质占悬浮物总量的百分数分别为 C_{POM}/C_i , C_{PIM}/C_i ^[4], 碎屑颗粒有机碳参加循环的有机质的百分数 $x\%$ 为:

$$x\% = \left(\frac{98.82\% \cdot C_{POM}/C_i}{C_{PIM}/C_i} - 1.18\% \right) / \left(\frac{98.82\% \cdot C_{POM}/C_i}{C_{PIM}/C_i} \right)$$

计算结果如表 2。

通量 $\Delta C_F = (\Delta C_D - \Delta C_{FO}) \cdot x\%$

路线G: 有机颗粒沉降。

通量 $\Delta C_G = \Delta C_D - \Delta C_{FO} - \Delta C_F$

路线H: 溶解有机碳分解, 转化为海水的

总无机碳。 $\Delta C_H = \Delta C_C - \Delta C_{DO}$

路线I: 由外界和再循环补充的海水溶解

无机碳。 $\Delta C_I = \Delta C_A - \Delta C_{DI} - \Delta C_H - \Delta C_F$

路线J: 有机碳吸附在颗粒无机物上, 量值不确定, 用虚线表示。

路线K: 无机碳颗粒沉降到表层沉积物。 $\Delta C_K = \frac{C_0 + C_1}{4} - \Delta C_E - \Delta C_G$

路线L: 颗粒无机碳总输入。 $\Delta C_L = \Delta C_K + \Delta C_{PI} - \Delta C_I$

路线M: 外海水中总无机碳和溶解有机碳的净通量。

由海水的替代率公式 $F = \frac{N}{C_0 \cdot V}$ 得, 外海水中总无机碳的净通量为:

$$\Delta C / \Delta t = F \cdot V (C_0 - C_B)$$

其中, N 为任意时间 t 上, 体积为 V 的湾内水中, 新物质的量。

表 2 四季的 C_{POM}/C_i , C_{PIM}/C_i , $x\%$ 值
Table 2 Values of C_{POM}/C_i , C_{PIM}/C_i
and $x\%$ in seasons

季 度	C_{POM}/C_i	C_{PIM}/C_i	$x\%$
春	35.2%	64.8%	97.8%
夏	34.8%	65.2%	97.8%
秋	43.0%	57.0%	98.4%
冬	41.5%	58.5%	98.3%

C_o 为外海水总无机碳的浓度。

C_B 为湾内水中总无机碳的平均浓度。

F 为海水的平均替代率。

V 为湾内水的体积。春、夏、秋季,湾内分成上下层,则 $\Delta C/\Delta t$ 亦分 $\Delta C_{上}/\Delta t_{上}$ 、 $\Delta C_{下}/\Delta t_{下}$ 计算。 $\Delta C/\Delta t = \Delta C_{上}/\Delta t_{上} + \Delta C_{下}/\Delta t_{下}$ 。

外海水中溶解有机碳没有实测值,按 $\Delta C/\Delta t$ 的10% 计算。则 $\Delta C_M = \Delta C/\Delta t + 10\% \Delta C/\Delta t$ 。计算结果如表3。

路线N, 大气和陆地排水对大亚湾碳的净通量 $\Delta C_N = \Delta C_{D1} - \Delta C_M$

$$\begin{aligned} \Delta C_{V1} = & \Delta C_{D0} + \Delta C_{D1} + \Delta C_{F0} + \Delta C_{F1} + \\ & + \Delta C_{生物总} + \frac{1}{4} (C_o + C_I) + \\ & + \Delta C_B \end{aligned}$$

计算结果列入表4。

表3 外海水总无机碳和溶解有机碳的净通量计算^[7]

Table 3 Calculation of net flux for total inorganic carbon and dissolved organic carbon in external Seawater

参 数	春	夏	秋	冬
$V_{上} (\times 10^6 m^3)$	5100	4200	5100	6000
$V_{下} (\times 10^6 m^3)$	3900	1800	3900	
$F_{上}$	0.784	0.999	0.784	0.569
$F_{下}$	0.627	0.685	0.627	
$\Delta C_{上}/\Delta t_{上} (\times 10^7 kg)$	-1.072	0.796	0.816	-0.201
$\Delta C_{下}/\Delta t_{下} (\times 10^7 kg)$	0.0968	0.354	0.602	
$\Delta C/\Delta t (\times 10^7 kg)$	-0.975	1.149	1.417	-0.201
$\Delta C_M (\times 10^7 kg)$	-1.073	1.264	1.559	-0.221

表4 大亚湾四季碳循环的通量计算 ($\times 10^7 kg$)

Table 4 Flux calculation for the carbon cycle of the Daya Bay in four seasons ($\times 10^7 kg$)

季 节	路 线	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
春		1.809	0.117	0.151	1.043	0.199	0.943	0.021	0.061	0.115	0.688	0.692	-1.073	-1.88
夏		1.361	0.267	0.113	0.674	0.128	0.701	0.016	0.443	-0.174	0.763	0.757	1.264	0.740
秋		1.62	0.310	0.135	1.306	0.249	1.317	0.021	0.035	1.428	0.637	0.638	1.559	-0.507
冬		2.068	0.150	0.172	1.523	0.290	1.501	0.028	0.032	0.455	0.591	0.592	-0.221	-1.269

三、问题与讨论

1. 大气及陆地排水等向湾内海水输送碳的年净通量为 $2.916 \times 10^7 kg$; 外海水向湾内输送碳的年净通量为 $1.529 \times 10^7 kg$; 通过捕获生物, 全年从湾内损失的碳总量为 $0.834 \times 10^7 kg$, 从湾内海水中移出沉降到表层沉积物中的碳的年输出量为 $3.630 \times 10^7 kg$ 。大亚湾每年向沉积物输出碳, 即这部分碳由循环库转入到储存库, 要经过相当长的地质时期, 这部分碳才会再转入循环库。因此, 在全球碳循环中, 大亚湾是碳的汇点。

2. 海水溶解的无机碳 C_{DI} , 冬季值最高, 秋季值最低, 年平均值为 $15.47 \times 10^7 kg$, 其中, 初级生产量占11.1%, 碎屑颗粒有机碳分解再循环占7.2%, 溶解有机碳分解占0.9%, 补充的海水溶解无机碳占2.9%。碳在 C_{DI} 中逗留时间约9年。

3. 海水溶解的有机碳 C_{DO} , 夏季值最高, 秋季值最低, 年平均值为 $1.49 \times 10^7 kg$ 。其中, 浮游植物释放的溶解有机碳占9.6%, 溶解有机碳分解占9.6%。停留时间约10年。

4. 颗粒有机碎屑 C_{PO} , 秋季值最高, 春季值最低, 年平均值为 $0.218 \times 10^7 \text{kg}$, 其中, 沉降到表层沉积物中的有机颗粒的年平均值为 $0.021 \times 10^7 \text{kg}$, 占9.6%; 颗粒有机碎屑分解, 有机碳的再循环效率年平均为98.1%。碳在 C_{PO} 的停留时间约69天。

5. 颗粒无机碳 C_{PI} , 秋季值最高, 春季值最低, 年平均值为 $0.0078 \times 10^7 \text{kg}$ 。碳在 C_{PI} 中的停留时间为4天。沉降到表层沉积物的颗粒碳的年平均值为 $0.670 \times 10^7 \text{kg}$, 输入量 C_L 的年平均值为 $0.670 \times 10^7 \text{kg}$ 。生物残骸 C_R 和有机颗粒 C_{PO} 沉降到表层沉积物中的有机碳年总量为 $0.950 \times 10^7 \text{kg}$, 占总碳的26.2%。实测的表层沉积物中有机碳占总碳的40.1%, 即有13.9%的有机碳通过吸附等其它途径被携带到沉积物中。

6. 全年总初级生产量平均值为 $1.715 \times 10^7 \text{kg}$, 其中, 由海洋食物链转为颗粒有机碎屑占分数最高, 为66.3% (用于有机碳再循环分解的量占65.1%, 有机颗粒沉降占1.2%); 生物残骸沉降与生物捕获自湾内体系移出碳分别占12.6%, 12.2%; 浮游植物释放溶解有机碳占8.3%; 溶解有机碳分解占8.3%。

7. 大亚湾总碳量处于平衡状态, 约 $22.35 \times 10^7 \text{kg}$, 每年通过沉积和捕获而损失的碳量约 $4.64 \times 10^7 \text{kg}$, 因此碳在大亚湾的停留时间约5年。由前述可知, 通过各个循环途径的年总碳量为 $4.28 \times 10^7 \text{kg}$, 便求得大亚湾内1年中参加各贮库间循环的碳占总碳的19%。

参 考 文 献

- [1] 韩舞鹰等, 1986, 《海水化学要素调查手册》。海洋出版社。
- [2] 韩舞鹰等, 1988, 大亚湾海水中的二氧化碳体系, 环境化学 7(5):82—88。
- [3] 蔡艳雅等, 1989, 大亚湾的有机碳, 环境化学 8(5):1—6。
- [4] 徐恭昭等, 1989, 《大亚湾环境与资源》。第24—58页, 安徽科学技术出版社。
- [5] J.P.Riley & G.Skirrow, 崔清晨等译, 1982, 《化学海洋学》。第2卷, 第330—402页, 海洋出版社。
- [6] J.P.Riley & R.Chester, 赵其洲等译, 1984, 《化学海洋学》, 第6卷, 第217页, 海洋出版社。
- [7] 韩舞鹰等, 1988, 广东省大亚湾海水交换研究, 海洋通报 7(3):1—6。

THE CYCLE OF CARBON IN DAYA BAY

Han Wuying Lin Hongying Cai Yan a

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica, Guang Zhou)

Based on the data from multi-disciplinary investigations in Daya Bay during the period of 1985—1986, the seasonal variations in quantity of carbon for each carbon sink were calculated and then the model for carbon cycle has been constituted. The model was used to calculate the fluxes of carbon through each cycling way in different seasons so that the retention times of carbon in different sinks were given in this paper.

Key words: carbon, cycle, bay.