

大亚湾

和珠江口的碳循环

韩舞鹰等著

科学出版社



大亚湾和珠江口的碳循环

韩舞鹰等著

科学出版社

1991

内 容 简 介

本书是海湾和河口生态系碳的生物地球化学循环研究专著,是作者多年的调查和研究成果。书中详尽地介绍了大亚湾和珠江口无机碳和有机碳各种形态的分布及变化规律;计算了各类型碳贮库的贮量,海湾和河口的水交换、替代率和更新时间等,最后建立大亚湾碳循环的定量模型和珠江口碳通量参数的计算模型。

本书可供海洋化学、海洋生物、海洋环境保护等有关部门的科技人员和大专院校有关专业师生参考。

大亚湾和珠江口的碳循环

韩舞鹰 等 著

责任编辑 赵徐懿 李 濒

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1991年6月第一次印刷 印张:5 3/4

印数:001—450 字数:122 000

ISBN 7-03-002132-0/P·416

定价: 6.90 元

序

碳循环成为全球物质循环和通量研究的重大课题,不仅是因为碳是生命的主要元素之一而在生态循环中占有特殊地位,而且是由于一些重大全球环境问题都与碳循环有关。例如,地球增温,被认为是人类燃烧煤与石油等矿物燃料产生的二氧化碳,破坏了臭氧层,产生的温室效应造成的(至少是有影响的)。El-Niño 现象,即海流倒流与气候反常,旱涝冷热失调,也被认为与二氧化碳有关。地球增温可引起南北两极冰层融化,海平面上升,淹没陆地。而 El-Niño 则已经严重地破坏了渔业和农业。

我国进行过不少碳化物的研究,但未能真正“循环”过来,即使是海水中二氧化碳系统的研究也是如此,定量循环更为困难。

韩舞鹰等著《大亚湾和珠江口的碳循环》,是我国碳循环研究水平的飞跃。该书从自然概况、调查概况、水化学状况、水交换、无机碳和有机碳、碳贮库进行系统研究,深入论述大亚湾和珠江口的碳循环,合理地列出了定量的碳循环模型。

数学模式建立在化学模型的基础上,化学模型则立足在观测数据上,而著者实验室的现代化与测试技术的可靠性早已著称。

著者的碳循环研究,正在向着海水与大气、生物体、沉积物等界面发展,联系全球环境问题,宏观循环与微观过程齐头并进。他们选取南海的一个大海湾和一个大江口,采取不同的研究方法与技术路线,进行碳循环研究的探索,富有想象力和特色。无疑本书的出版将会推进我国在南海海洋化学领域的研究工作及国际合作。

顾宏堪

1989年11月于青岛

前 言

各种生命必需的元素均按特定的路线循环运动,这些生命元素从周围环境到生命体内,再由生物体内到周围环境,这些程度不同的循环称为生物地球化学循环。生命和环境是密切相关的,一个或若干群落与其环境组成一个具有一定功能的系统,称为生态系统。通过生物地球化学循环的研究,才能对生态系统有进一步了解。生物地球化学循环在Hutchinson (1944, 1950) 的著名论文中得到了详细阐述。在自然界已知的90多种元素中,有30—40种是为生物所需的,其中一些如:碳、氢、氧、氮是大量需要的,其它一些是少量的或是微量的。不管是大量的或是微量的元素,它们都表现出一定的生物地球化学循环。

主要的生物地球化学循环是碳(C)、水(H_2O)、氮(N)、磷(P)、硫(S)的循环,以及一些生命必需的阳离子(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等)的循环。对这些循环的详细情况,人类的认识还不深。生物圈的生物地球化学大循环是局部的循环之和,这些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。生态系统自然平衡的重要标志是良好的物质循环,人类活动往往改变循环,使循环不完全甚至“无循环”,从而出现一些物质这里太多而那里又太少的状况,破坏了自然生态平衡,其结果使人类深受其害。因此,保持良好的生物地球化学循环状况是人类努力的目标。

植物光合作用把无机的二氧化碳转变为有机碳,这一过程是包括人类在内的许多生物赖以生存的基础。能够提供形成生物机体所需的有机碳,只有以气体形态存在于大气中的二氧化碳和以溶解态存在于水中的二氧化碳。大气中二氧化碳的含量约为 660×10^{11} kg, 海洋表层水中约为 750×10^{12} kg, 深层水中约为 37300×10^{12} kg, 陆地总生产量约 142×10^{11} kg/a, 海洋总生产量约为 37×10^{11} kg/a。各种动物尸体和植物残体的分解,使有机碳转化为无机碳,重新参加循环。而部分化石有机物存在于地下,随着工业化,人类又将这些有机化合物以化石燃料形式取出利用。化石燃料的使用,将改变大气这个碳贮库的贮量。大气贮库具有小而活跃的特征,极易受到人为的扰动,这种扰动本身又会改变天气和气候。由于碳循环与人类密切相关,碳循环研究得到愈来愈多的科学家的关注(Möller, 1963; Revelle, 1965; Broecker, 1974; Kitano, 1987; Рябченко, 1984; Новичихин, 1986; Bolin, 1981)。

此外,物质从一个地点到另一个地点或从一种状态到另一种状态的交换率或转化率,在决定生态系统的结构和机能方面比任一时间任一地点所出现的数量更为重要。为了了解并更好地掌握人类在物质的循环、循环率以及贮存状态方面的作用,都必需从定量方面进行研究。

大亚湾是我国广东省最大的海湾之一,它是一个受人类影响较少的海湾。随着沿海经济的发展和核电站的建立,大亚湾将愈来愈受人类影响,选择这个目前还基本处于自然生态条件下的海湾研究其碳循环是很有意义的,同时为今后研究人类对海湾生态系统的影响打下基础。河口湾是一个独特的、极其复杂的生态系统,河口湾与人类息息相

关。珠江流量居全国第二,珠江对南海的物质通量影响很大,珠江三角洲是我国经济最发达地区之一,研究珠江口碳循环,在科学上和应用上都有很大意义。因此,作者选择大亚湾和珠江口作为碳循环研究的典型生态环境。

大亚湾与珠江口河口湾地理位置相距不远,但由于后者受到珠江径流的影响,这两个水域的碳循环状况相差甚远,因此,采用不同的研究方法。

大亚湾是一个基本上无径流流入的海湾,海水的交换主要是通过湾口与外海水进行的,湾内海水在湾内的停留时间大于3个月的季节变换时间。因此,研究大亚湾碳循环从各碳贮库的季节变化着手,定量计算各条碳循环的路线,建立大亚湾碳循环的模型。

珠江口河口湾受径流影响显著,湾内海水的停留时间短,研究在这短时间内的碳循环是困难的,意义也不大。因此,主要研究河口湾中碳的迁移速率、河水和海水在河口湾中碳的转移系数、碳在河口湾的通量系数、河口湾中碳在贮库的停留时间和河口湾中碳贮库的变动系数。通过这些特征值,定量描述河口湾在控制陆海边界碳通量中的作用。

河口和海湾的碳循环是非常复杂的,其中的每一个过程都有许多是我们几乎茫然未知的。尽毕生之努力,可能也未能弄清楚。因此,本书对河口、海湾碳循环模型的描述,乃是事实和推论的混合物,这是本书的遗憾之处,但也是任何一门多学科边缘研究领域的客观情况。如果此后的研究证实书中某些结论是错误的,我将会感到由衷的高兴。

本书得以完成是我和我的同事们长期而艰苦工作的结果。在本书完稿之日,我深深怀念我们一起共事的日子。本书第一章由韩舞鹰、林洪瑛、蔡艳雅、吴林兴、黄西能、王汉奎完成。第二章由韩舞鹰、蔡艳雅、林洪瑛、容荣贵、马克美完成。全书最后由韩舞鹰负责统稿审定。

本课题研究得到国家自然科学基金的资助。全书得到中国科学院海洋研究所顾宏堪研究员和青岛海洋大学孙秉一教授的审阅,特此致谢!

韩舞鹰

1989年7月

目 录

序

前言

第一章 大亚湾碳循环	1
1.1 大亚湾的自然概况	1
1.1.1 地理位置与地质概况	1
1.1.2 水文概况	1
1.1.3 气候概况	1
1.1.4 生物概况	2
1.2 大亚湾调查概况	3
1.3 大亚湾水化学状况	3
1.3.1 水化学要素的时间变化	5
1.3.2 水化学要素的空间变化	5
1.3.3 水化学要素统计	5
1.4 大亚湾海水分层现象	8
1.4.1 海水垂直混合特征	8
1.4.2 海水的分层	11
1.4.3 海水分层的动力机制	11
1.5 大亚湾的水交换	12
1.5.1 调查结果	13
1.5.2 海水交换率的计算	14
1.5.3 整个湾海水的平均更新时间	16
1.5.4 湾内外物质净通量	17
1.5.5 海水的替代率 F	18
1.6 大亚湾的无机碳	18
1.6.1 溶解态无机碳	18
1.6.2 悬浮态无机碳	24
1.6.3 沉积物中的无机碳	25
1.7 大亚湾的有机碳	25
1.7.1 海水中的溶解有机碳	25
1.7.2 海水中的碎屑有机碳	28
1.7.3 表层沉积物的有机碳	29
1.7.4 有机碳的迁移变化	29
1.8 大亚湾的碳贮库	31
1.8.1 碳贮库的计算	31
1.8.2 碳贮库贮量的变化和分配	34
1.9 大亚湾的碳循环	35

1.9.1 各碳贮库的贮量	36
1.9.2 各碳贮库季节变化的通量	36
1.9.3 碳循环定量模型	36
1.10 大亚湾碳循环的变动性	41
1.10.1 大亚湾底层季节性贫氧与碳循环的关系	41
1.10.2 核电站热排水对大亚湾碳循环的影响	42
第二章 珠江口碳循环	45
2.1 珠江口的自然概况	45
2.1.1 地理位置与地质概况	45
2.1.2 水文概况	46
2.1.3 气候概况	46
2.1.4 生物概况	46
2.2 珠江口调查概况	48
2.3 珠江口水化学状况	48
2.3.1 不同水深区域化学状况	48
2.3.2 珠江口各河口湾水化学要素统计	50
2.4 珠江口的水交换	51
2.4.1 河口湾海水交换率	51
2.4.2 河口湾水的统计更新时间	54
2.4.3 河口湾水的替代率	55
2.5 珠江口的无机碳	57
2.5.1 溶解态无机碳	57
2.5.2 悬浮态无机碳	61
2.5.3 沉积物中的无机碳	63
2.5.4 大气中的无机碳	64
2.6 珠江口的有机碳	64
2.6.1 海水中的溶解有机碳	65
2.6.2 海水中的悬浮颗粒有机碳	67
2.6.3 沉积物中的有机碳	69
2.7 珠江口的碳贮库	70
2.7.1 碳贮库的计算	70
2.7.2 各类碳在河口湾各贮库中的分配状况	73
2.7.3 河口湾碳在贮库中的分配规律	75
2.8 珠江口的碳循环	75
2.8.1 河口湾海水中碳的转移	75
2.8.2 径流的碳通量	77
2.8.3 外海水的碳通量	77
2.8.4 河口湾向外海碳的净通量	78
2.8.5 碳在河口湾贮库的停留时间、变动系数	79
参考文献	81

第一章 大亚湾碳循环

1.1 大亚湾的自然概况

1.1.1 地理位置与地质概况

大亚湾位于广东省东岸段,约在 $114^{\circ}30' - 114^{\circ}45'E$ 和 $22^{\circ}34' - 22^{\circ}51'N$ 之间,是一个大型的山地溺谷海湾,水域总面积约 650km^2 。湾内形成众多的小湾,较大的内湾有西北方向的哑铃湾和澳头港,东北方向的范和港,西南方向的深水港大鹏澳(水深 10 余米)。大亚湾岛屿众多,大小 50 多个,湾口西侧有沱泞列岛。在湾中部有港口列岛,中央列岛和大小辣甲岛等把整个湾分成东西两部,东侧湾口较宽,约 9.6km ,水深可达 20m ;西侧湾口较窄,约 5.4km ,水深可达 19m 。

大亚湾岸线曲折,岸线长约 92km ,东西两岸主要是基岩海岸,北部有沙堤潟湖堆积海岸,还有部分生物海岸。红树林海岸主要分布在范和港,在湾口岛屿岩上有珊瑚生物群。

大亚湾水深一般 $6 - 16\text{m}$,西边比东边水深些。由于无大河流流入湾内,大亚湾淤积速度不明显,其中范和港部分岸段浅滩、大辣甲岛西南至西侧湾口、湾顶鹤嘴至湾口东侧淤积较快。近几十年内,全海湾平均淤积为 0.9cm/a 。

1.1.2 水文概况

大亚湾沿岸只有淡澳河、金竹江、岩前河等十多条季节性短小的溪河流入湾内。由于沿岸多为低山丘陵,植被茂盛,泥沙冲刷入海量较少,入海河流含沙量在洪季最大也不超过 0.1kg/m^3 。

大亚湾极大部分水域是不正规半日潮,只有在西岸大坑附近存在一片不正规日潮,在其底层一小部分水域具有正规日潮。大亚湾年平均潮差 1m 左右。

春、夏(底层)和秋季大亚湾海流均构成一个顺时针方向的低速环流系统(平均 0.1m/s),其中秋季流速最大。夏季表层流在湾的南部呈逆时针方向,在北部则为顺时针方向。

1.1.3 气候概况

大亚湾位于北回归线稍南处,属亚热带气候,高温多雨,夏秋季偶有台风影响。

大亚湾年平均气温为 21.8°C 。全年最低气温在 1—2 月,平均为 14.5°C ;最高气温在 7—8 月,平均为 27.9°C 。累年极端最低气温为 2.1°C ,极端最高气温为 38.3°C 。大亚湾全年太阳总辐射 5124MJ/m 。全年日照时数 2078 小时。

大亚湾全年平均雨量 1327mm ,干湿季明显,6 月份降雨量最大,约 370mm ,12 月份

大亚湾受季风影响,6—8月盛行偏南风 and 偏东风 SW-SSE 风向频率占40%,其它月份吹东风和偏北风,其中 NE-E 风向频率占46%。月平均风速3—5m/s。大亚湾台风中心过境平均4.5年一遇,最大风速达40m/s以上。

1.1.4 生物概况

大亚湾潮间带平均生物量 $540\text{g}/\text{m}^2$, 栖息密度 270 个/ m^2 。各类生物组成以软体动物占首位, 藻类占第二位, 其它依次为甲壳动物、棘皮动物、多毛类动物。浮游植物平均数量为 $6\,300 \times 10^4$ 个/ m^3 , 以春季为高峰期, 可高达 $10\,302 \times 10^4$ 个/ m^3 ; 秋季最低, 优势种为硅藻类。浮游动物平均数量为 $185\text{mg}/\text{m}^3$, 冬季和夏季生物量最高, 春季最低。浮游动物以桡足类最多, 占 32% ; 其次是枝角类, 占 26% ; 浮游幼体类占 19% 。底栖生物平均数量为 $72\text{g}/\text{m}^2$, 其中春季最高, 达 $90\text{g}/\text{m}^2$, 最低是夏季, 约为 $51\text{g}/\text{m}^2$ 。主要种类是螯虫类, 占 51% ; 其次是软体动物, 占 29% 。

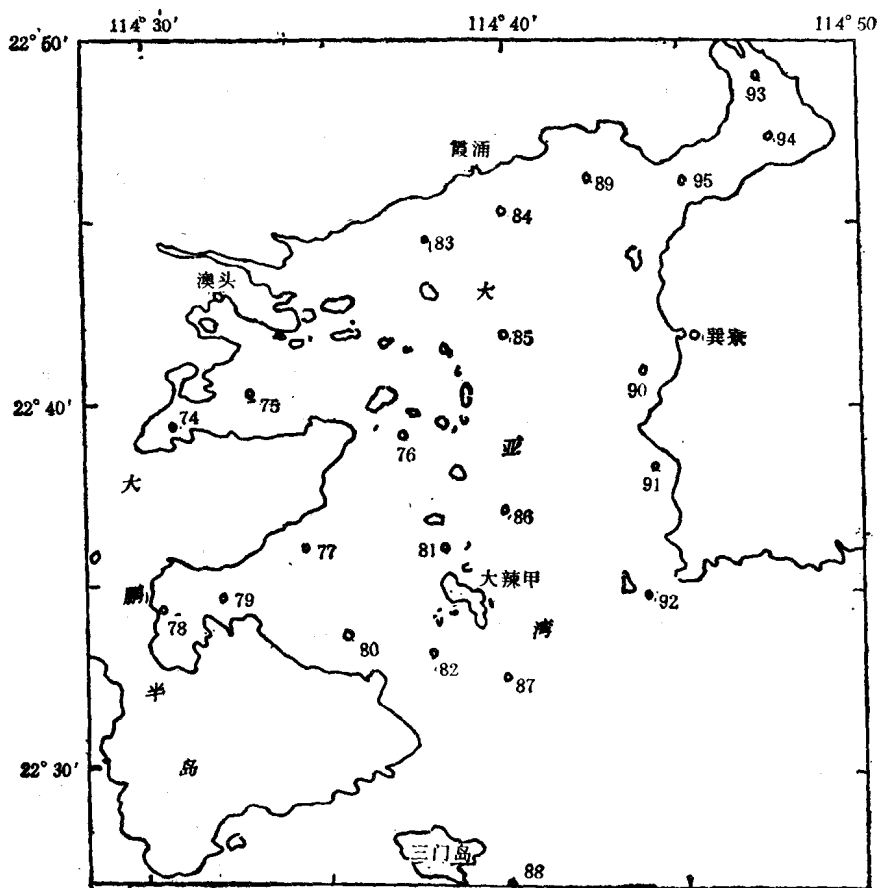


图 1.1 大亚湾调查站位图

1.2 大亚湾调查概况

从 1982 年至 1986 年对大亚湾进行比较系统的综合调查,各航次的时间为 1982 年 8 月、1983 年 1 月、1984 年 10 月、1985 年 1, 3, 7, 10 月和 1986 年 1, 5, 8 月。其中 1985 年 10 月及 1986 年 1, 5, 8 月进行碳循环的专门调查,调查方式为大面观测,其中冬季和夏季增加两个连续观测站。调查站位见图 1.1。

1.3 大亚湾水化学状况

大亚湾碳循环与大亚湾水化学状况息息相关。溶解无机碳各形态的相互转化,取决于海水的温度、盐度和 pH 值等,适宜的温度、盐度和丰富的营养盐,会大大促进无机碳向有机碳的转化,而海水中的溶解氧 (DO) 含量的变化是无机碳和有机碳相互转化的很好指示,因此,了解大亚湾的水化学状况,有助于掌握碳循环的规律。

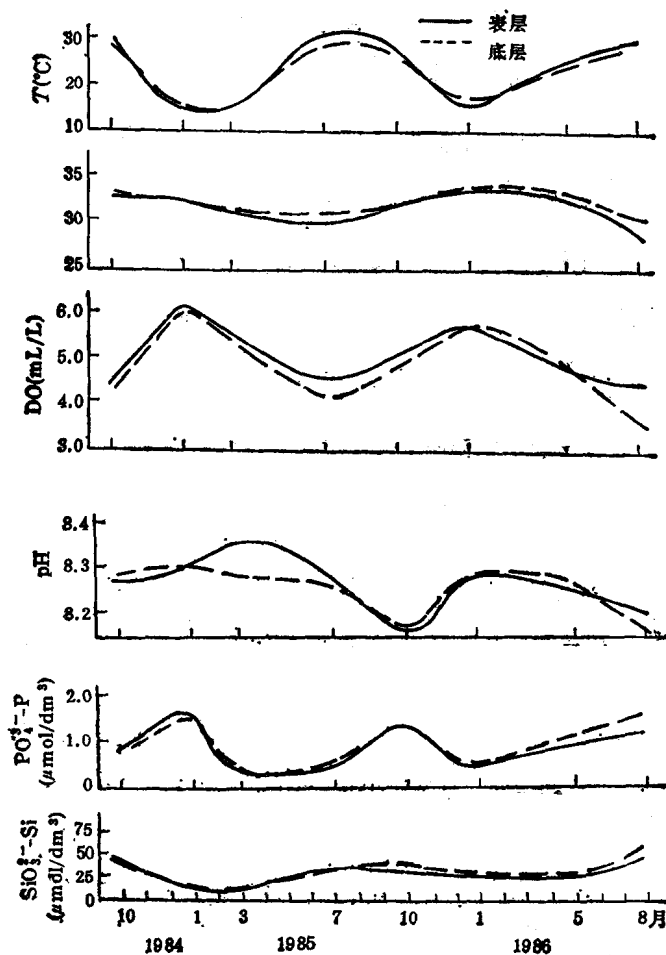


图 1.2 大亚湾各要素(平均值)季节变化

表 1.1 大亚湾一些站水化学要素的年较差

站 号	层 次	T(°C)	S	DO(mL/L)	pH
75	表 层	14.51	6.25	1.27	0.18
	底 层	14.99	4.40	2.05	0.14
78	表 层	14.95	5.88	1.32	0.12
	底 层	14.74	3.33	1.57	0.08
93	表 层	16.29	6.19	1.41	0.18
	底 层	16.77	4.99	1.77	0.15
86	表 层	14.57	4.15	1.35	0.18
	底 层	12.85	2.05	1.84	0.18
四 站 平 均	表 层	14.86	4.86	1.32	0.14
	底 层	14.10	2.75	2.11	0.13

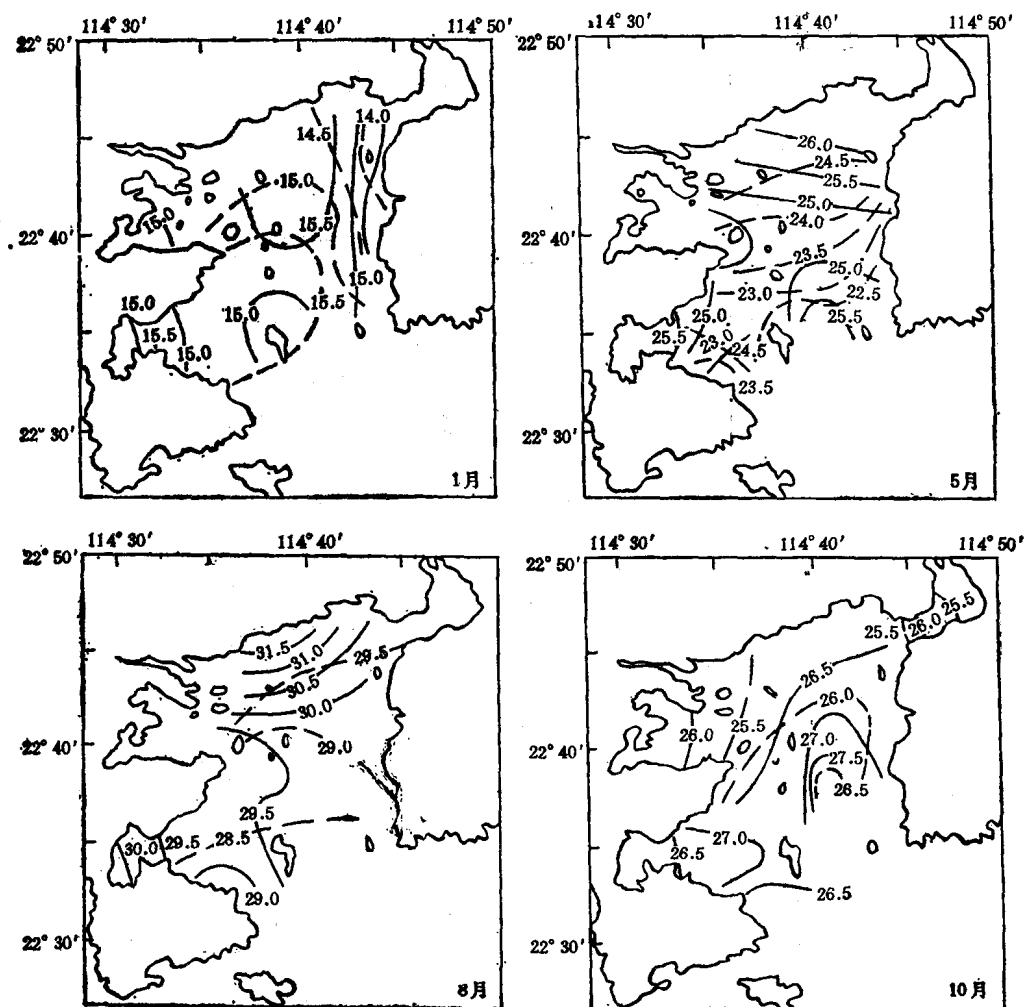


图 1.3 大亚湾海水温度平面分布图
(单位: °C; ——表层, ----底层)

1.3.1 水化学要素的时间变化

图 1.2 是大亚湾温度、盐度、溶解氧、pH 值、磷酸盐和硅酸盐的季节变化图,从图中看出水化学要素呈年周期变化。表、底层的时间变化趋势是一致的,极值出现的时间为冬、夏季,夏季表、底层的差别较大,年较差值见表 1.1。

1.3.2 水化学要素的空间变化

1. 平面分布

图 1.3—1.6 是大亚湾海水温度、盐度、溶解氧、pH 值各个季节表、底层的平面分布

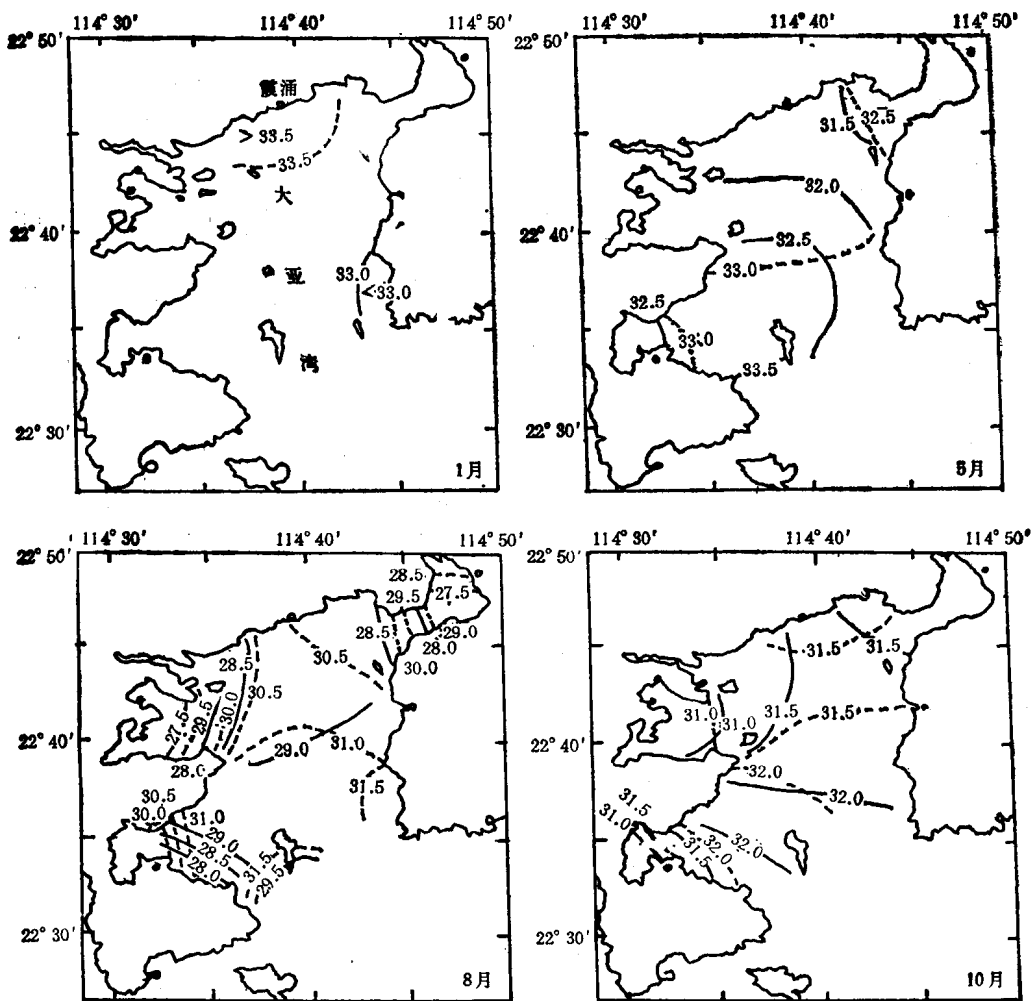


图 1.4 大亚湾海水盐度平面分布图
(——表层, ----底层)

图。

2. 垂直分布

水化学要素冬季垂直分布均匀,夏季由于海水层化,水化学要素含量出现较大的垂直梯度。

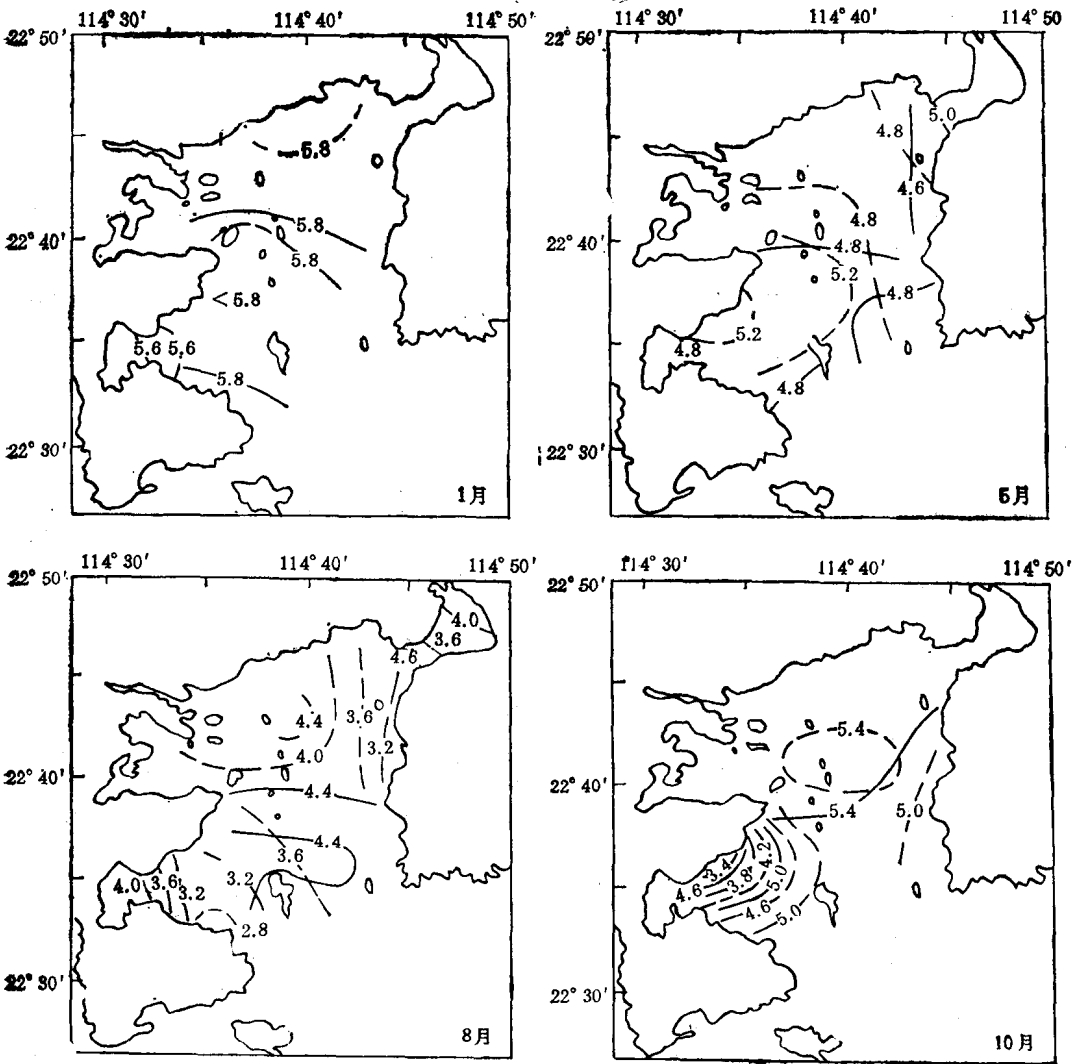


图 1.5 大亚湾海水溶解氧平面分布图
(单位: mL/L; ——表层,---底层)

1.3.3 水化学要素统计

表 1.2—1.4 是水化学要素表层、底层和全部层次的统计值表。水化学要素变化的特点是: 季节变化明显,极值多出现在冬季或夏季。垂直分布冬季比较均匀,而夏季相差较大。

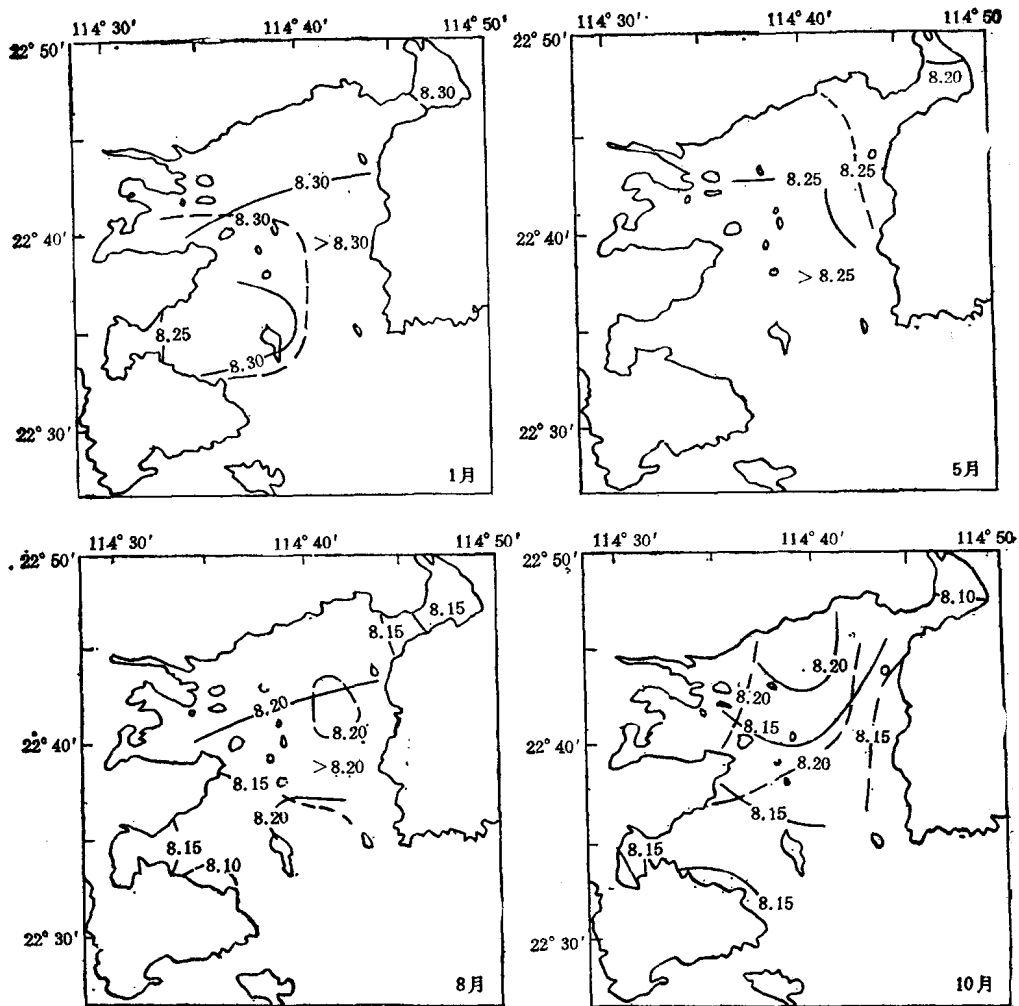


图 1.6 大亚湾海水 pH 平面分布图
(——表层, ---底层)

表 1.2 大亚湾表层水化学要素统计表

季节	T (°C)	S	DO (mL/L)	pH	Alk (mmol/L)	P	Si	NO ₃ ⁻ (μmol/L)	NO ₂	NH ₃	PON* (mg/L)
春	25.22	32.24	4.74	8.25	2.39	1.03	31.94	0.11	0.12	0.37	33.97
夏	29.84	28.37	4.47	8.20	2.19	1.29	50.87	0.97	0.24	1.47	53.08
秋	26.67	31.63	5.12	8.15	2.15	1.39	37.30	0.31	0.12	0.39	45.10
冬	14.98	33.23	5.79	8.29	2.36	0.50	31.47	0.53	0.20	0.26	40.31

* PON 为颗粒有机氮。

表 1.3 大亚湾底层水化学要素统计表

季节	T (°C)	S	DO (mL/L)	pH	Alk (mmol/L)	P	Si	NO ₃ ⁻ (μmol/L)	NO ₂	NH ₃	PON (mg/L)
春	23.41	33.00	4.93	8.27	2.42	1.10	33.96	0.42	0.15	0.87	44.61
夏	29.18	30.57	3.68	8.16	2.30	1.72	58.20	1.44	0.69	1.35	83.85
秋	26.01	31.67	4.89	8.17	2.23	1.36	41.18	0.74	0.13	0.48	45.74
冬	15.08	33.32	5.79	8.29	2.38	0.54	31.33	0.31	0.19	0.32	42.88

表 1.4 大亚湾水化学要素统计表

季节	T (°C)	S	DO (mL/L)	pH	Alk (mmol/L)	P	Si	NO ₃ ⁻ (μmol/L)	NO ₂	NH ₃	PON (mg/L)
春	24.38	32.59	4.83	8.26	2.41	1.07	32.88	0.25	0.13	0.60	38.91
夏	29.51	29.47	4.08	8.18	2.25	1.51	54.54	1.20	0.46	1.41	68.46
秋	26.34	31.65	5.01	8.16	2.19	1.38	39.24	0.53	0.12	0.44	45.42
冬	15.03	33.27	5.79	8.29	2.37	0.52	31.40	0.42	0.19	0.29	41.60

1.4 大亚湾海水分层现象

海洋中光合作用只限于海洋上部透光层,称为光合层,海洋中无机碳转化为有机碳的过程就集中在这一层。伴随着这过程的是海水中营养盐的消耗。海洋生物排泄物和死亡残骸的沉降是海洋中一个重要的垂直向下的物质通量。为补充这部分的物质损失,需要依靠海水的垂直混合,如果海水出现分层,限制了垂直混合,便改变了原有的物质循环状况。海水是否分层,分层持续时间等对研究整个海湾的碳循环有着重要作用。

1.4.1 海水垂直混合特征

调查结果表明(林洪瑛、韩舞鹰, 1989), 大亚湾冬季上下层海水混合均匀, 密度的垂直梯度很小。春季表层水温升高, 海水温度垂直梯度不断增大, 直至夏季形成较强的温跃层及密度跃层。秋季表层海水降温, 海水重新开始垂直对流。夏、冬季温度、盐度、溶解氧、pH 值和活性磷酸盐的断面分布和 87 站四季温度、盐度、溶解氧的垂直分布, 见图 1.7 和图 1.8。

垂直稳定度 E 的简化式(小于 100m 水层)为:

$$10^3 E = 10^3 \sigma_t / dz \quad (1.1)$$

其中, σ_t ——条件密度, z ——深度 (m)。

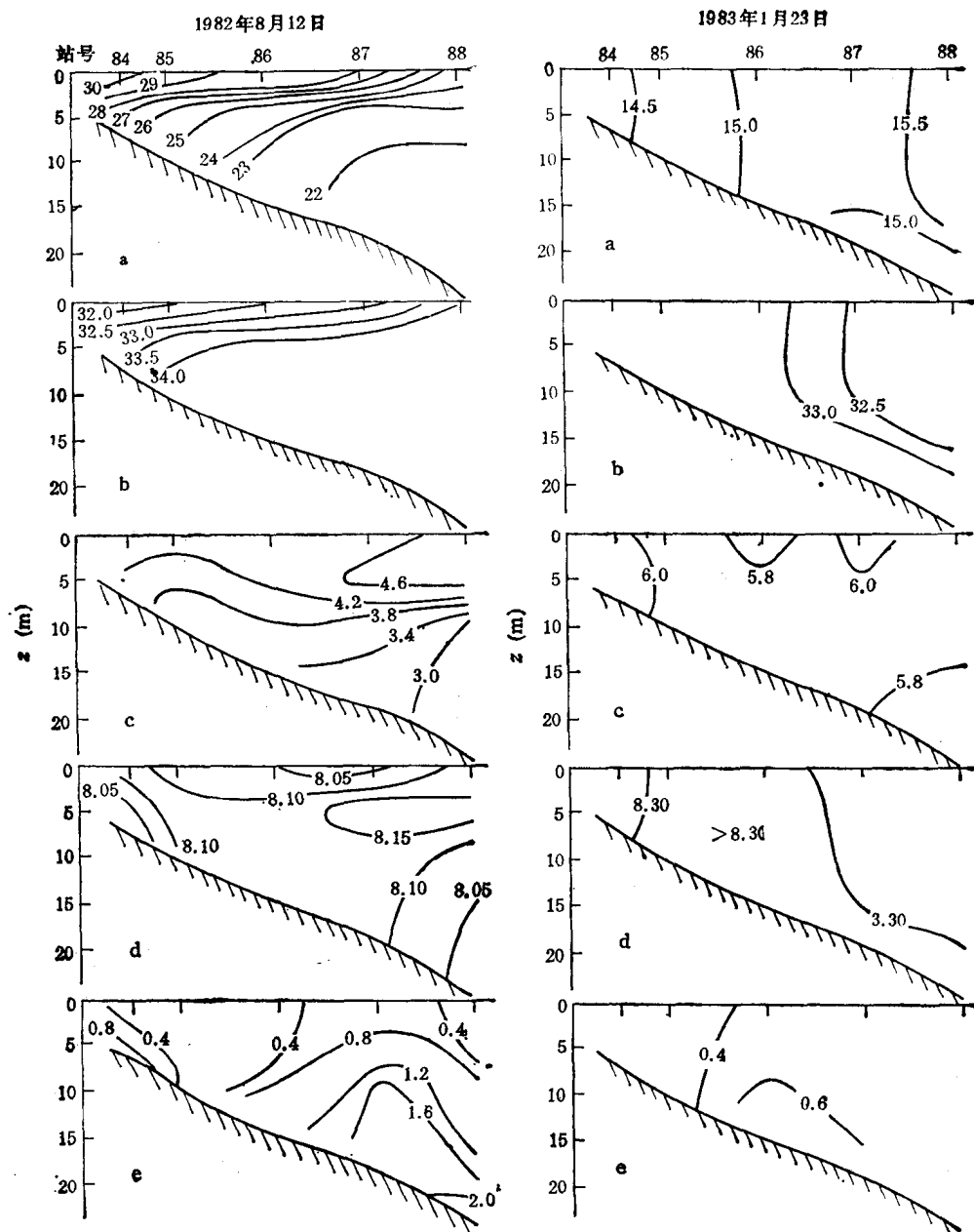


图 1.7 水化学要素断面分布图

a. 温度 (°C) b. 盐度, c. 溶解氧 (mL/L), d. pH, e. 活性磷酸盐 (μmol/L)

由 (1.1) 式求得大亚湾 87 站春、夏、秋、冬各水层的垂直稳定度如表 1.5。

表 1.5 87 站各季节海水垂直稳定度 $E (\times 10^{-3} / \text{m})$

深度 (m)	春	夏	秋	冬
0	4.38	64.6	1.02	-0.088
5	4.46	6.58	7.64	0.438
10	13.6	0	5.94	11.5
15				