



我国近海海洋综合调查与评价专项成果
“十二五”国家重点图书出版规划项目

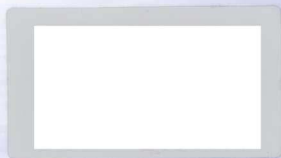
REGIONAL OCEANOGRAPHY OF CHINA SEAS
—CHEMICAL OCEANOGRAPHY

中国区域海洋学

——化学海洋学

K Bf Cl F N B
Mg Ca Sr

洪华生 主编



 海洋出版社



我国近海海洋综合调查与评价专项成果
“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国区域海洋学

——化学海洋学

洪华生 主编

海洋出版社

2012年·北京

内 容 简 介

《中国区域海洋学》是一套全面、系统反映我国海洋综合调查与评价成果，并以海洋自然环境基本要素描述为主的系列专著。按专业分为海洋地貌学、海洋地质学、物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学、渔业海洋学、海洋环境生态学和海洋经济学八个分册。本书为“化学海洋学”分册，全书共分4篇24章，系统描述了中国海基本化学要素、主要生源要素和污染物的基本特征、分布变化规律及其生物地球化学循环等。

本书可供从事海洋科学以及相关学科的科技人员参考，也可供海洋管理、海洋开发、海洋交通运输和海洋环境保护等部门的工作人员及大专院校师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国区域海洋学. 化学海洋学/洪华生主编.

—北京: 海洋出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-5027-8257-3

I. ①中… II. ①洪… III. ①区域地理学—海洋学—中国②海洋化学—中国 IV. ①P72②P734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 084514 号

责任编辑: 王 溪

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 24.75

字数: 615 千字 定价: 100.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《中国区域海洋学》编写委员会

主任 苏纪兰

副主任 乔方利

编委 (以姓氏笔画为序)

王东晓 王荣 王保栋 王颖 甘子钧 宁修仁 刘保华
刘容子 许建平 孙吉亭 孙松 李永祺 李家彪 邹景忠
郑彦鹏 洪华生 贾晓平 唐启升 谢钦春

《中国区域海洋学——化学海洋学》

编写人员名单

主编 洪华生

副主编 王保栋

撰稿人 (以姓氏笔画为序)

于培松 王江涛 王保栋 厉丞烜 石晓勇 龙爱民 邝伟明
刘志媛 孙维萍 孙霞 李宁 李国强 李学刚 宋国栋
宋金明 张元标 张云 张龙军 张英 洪华生 袁华茂
徐亚岩 程远月 谢琳萍 谭丽菊 暨卫东 翟惟东 潘建明
薛亮

统稿人 王江涛 王保栋 张龙军 洪华生

序

我国近海海洋综合调查与评价专项（简称“908专项”）是新中国成立以来国家投入最大、参与人数最多、调查范围最大、调查研究学科最广、采用技术手段最先进的一项重大海洋基础性工程，在我国海洋调查和研究史上具有里程碑的意义。《中国区域海洋学》的编撰是“908专项”的一项重要工作内容，它首次系统总结我国区域海洋学研究成果和最新进展，全面阐述了中国各海区的区域海洋学特征，充分体现了区域特色和学科完整性，是“908专项”的重大成果之一。

本书是全国各系统涉海科研院所和高等院校历时4年共同合作完成的成果，是我国海洋工作者集体智慧的结晶。为完成本书的编写，专门成立了以苏纪兰院士为主任委员的编写委员会，并按专业分工开展编写工作，先后有200余名专家学者参与了本书的编写，对中国各海区区域海洋学进行了多学科的综合研究和科学总结。

本书的特色之一是资料的翔实性和系统性，充分反映了中国区域海洋学的最新调查和研究成果。书中除尽可能反映“908专项”的调查和研究成果外，还总结了近40~50年来国内外学者在我国海区研究的成就，尤其是近10~20年来的最新成果，而且还应用了由最新海洋技术获得的资料所取得的研究成果，是迄今为止数据资料最为系统、翔实的一部有关中国区域海洋学研究的著作。

本书的另一个特色是学科内容齐全、区域覆盖面广，充分反映中国区域海洋学的特色和学科完整性。本书论述的内容不仅涉及传统专业，如海洋地貌学、海洋地质学、物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学和渔业海洋学等专业，而且还涉及与国民经济息息相关的海洋环境生态学和海洋经济学等。研究的区域则包括了我国近海的各个海区，包括渤海、黄海、东海、南海及台湾以东海域。因此，本书也是反映我国目前各海区、各专业学科研究成果和学术水平的系统集成之作。

本书除研究中国各海区的区域海洋学特征和相关科学问题外，还结合各海区的区位、气候、资源、环境以及沿海地区经济、社会发展情况等，重点关注其海洋经济和社会可持续发展可能引发的资源和环境等问题，突出区域特色，可更好地发挥科技的支撑作用，服务于区域海洋经济和社会的发展，并为海洋资源的可持续利用和海洋环境保护、治理提供科学依据。因此，本书不仅在学术研究方面有一定的参

考价值，在我国海洋经济发展、海洋管理和海洋权益维护等方面也具有重要应用价值。

作为一名海洋工作者，我愿意向大家推荐本书，同时也对负责本书编委会的主任苏纪兰院士、副主任乔方利、各位编委以及参与本项工作的全体科研工作者表示衷心的感谢。

国家海洋局局长



2012年1月9日于北京

编者的话

“我国近海海洋综合调查与评价专项”（简称“908专项”）于2003年9月获国务院批准立项，由国家海洋局组织实施。《中国区域海洋学》专著是2007年8月由“908专项”办公室下达的研究任务，属专项中近海环境与资源综合评价内容。目的是在以往调查和研究工作基础上，结合“908专项”获取的最新资料和研究成果，较为系统地总结中国海海洋地貌学、海洋地质学、物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学、渔业海洋学、海洋环境生态学及海洋经济学的基本特征和变化规律，逐步提升对中国海区域海洋特征的科学认识。

《中国区域海洋学》专著编写工作由国家海洋局第二海洋研究所苏纪兰院士和国家海洋局第一海洋研究所乔方利研究员负责组织实施，并成立了以苏纪兰院士为主任委员的编写委员会对学术进行把关。《中国区域海洋学》包含八个分册，各分册任务分工如下：《海洋地貌学》分册由南京大学王颖院士和国家海洋局第二海洋研究所谢钦春研究员负责；《海洋地质学》分册由国家海洋局第二海洋研究所李家彪研究员和国家海洋局第一海洋研究所刘保华研究员（后调入国家深海保障基地）、郑彦鹏研究员负责；《物理海洋学》分册由国家海洋局第一海洋研究所乔方利研究员和中国科学院南海海洋研究所甘子钧研究员、王东晓研究员负责；《化学海洋学》分册由厦门大学洪华生教授和国家海洋局第一海洋研究所王保栋研究员负责；《生物海洋学》分册由中国科学院海洋研究所孙松研究员和国家海洋局第二海洋研究所宁修仁研究员负责；《渔业海洋学》分册由中国水产科学研究院黄海水产研究所唐启升院士和中国水产科学研究院南海水产研究所贾晓平研究员负责；《海洋环境生态学》分册由中国海洋大学李永祺教授和中国科学院海洋研究所邹景忠研究员负责；《海洋经济学》分册由国家海洋局海洋发展战略研究所刘容子研究员和山东海洋经济研究所孙吉亭研究员负责。本专著在编写过程中，组织了全国200余位活跃在海洋科研领域的专家学者集体编写。

八个分册核心内容包括：海洋地貌学主要介绍中国四海一洋海疆与毗邻区的海岸、岛屿与海底地貌特征、沉积结构以及发育演变趋势；海洋地质学主要介绍泥沙输运、表层沉积、浅层结构、沉积盆地、地质构造、地壳结构、地球动力过程以及海底矿产资源的分布特征和演化规

律；物理海洋学主要介绍海区气候和天气、水团、海洋环流、潮汐以及海浪要素的分布特征及变化规律；化学海洋学主要介绍基本化学要素、主要生源要素和污染物的基本特征、分布变化规律及其生物地球化学循环；生物海洋学主要介绍微生物、浮游植物、浮游动物、底栖生物的种类组成、丰度与生物量分布特征，能流和物质循环、初级和次级生产力；渔业海洋学主要介绍渔业资源分布特征、季节变化与移动规律、栖息环境及其变化、渔场分布及其形成规律、种群数量变动、大海洋生态系与资源管理；海洋环境生态学主要介绍人类活动和海洋环境污染对海洋生物及生态系统的影响、海洋生物多样性及其保护、海洋生态监测及生态修复；海洋经济学主要介绍产业经济、区域经济、专属经济区与大陆资源开发、海洋生态经济以及海洋发展规划和战略。

本专著在编写过程中，力图吸纳近 50 年来国内外学者在本海区研究的成果，尤其是近 20 年来的最新进展。所应用的主要资料和研究成果包括公开出版或发行的论文、专著和图集等；一些重大勘测研究专项（含国际合作项目）成果；国家、地方政府和主管行政机构发布的统计公报、年鉴等；特别是结合了“908 专项”的最新调查资料和研究成果。在编写过程中，强调以实际调查资料为主，采用资料分析方法，给出区域海洋学现象的客观描述，同时结合数值模式和理论模型，尽可能地给出机制分析；另外，本专著尽可能客观描述不同的学术观点，指出其异同；作为区域海洋学内容，尽量避免高深的数学推导，侧重阐明数学表达的物理本质和在海洋学上的应用及其意义。

本专著在编写过程中尽量结合最新调查资料和研究成果，但由于本专著与“908 专项”其他项目几乎同步进行，专项的研究成果还未能充分地吸纳进来。同时，这是我国区域海洋学的第一套系列专著，编写过程又涉及到众多海洋专家，分属不同专业，前后可能出现不尽一致的表述，甚至谬误在所难免，恳请读者批评指正。

《中国区域海洋学》编委会

2011 年 10 月 25 日

前言

《中国区域海洋学——化学海洋学》是国家“908 专项”成果之一，旨在总结近 40~50 年来国内外学者在中国海化学海洋学研究的成就，尤其是近 10~20 年来中国近海区域的最新成果。从海水溶解氧、pH、海水中的营养盐（不同形态）、CO₂ 与无机碳化学、有机物、微量金属元素、沉积化学等的基本化学特征、分布变化规律及其生物地球化学循环来阐述中国海各个海区的区域化学海洋学的特色。值得一提的是，关于中国海的海洋化学专著已出版数部之多，但迄今尚无一部中国海的区域化学海洋学专著出版。我们谨以此书作为了解中国海化学海洋学的重要参考，也为今后深入研究奠定基础。

参加本书的编写人员涉及国家海洋局第一海洋研究所、第二海洋研究所、第三海洋研究所、厦门大学、中国海洋大学、中国科学院海洋研究所和南海海洋研究所 7 个单位的 20 多名专家学者。书中各章节的作者将在每章首页页下注刊出，此处不再重复。本书由洪华生教授、王保栋研究员、王江涛教授和张龙军教授统稿，并请中国海洋大学李静教授、石晓勇教授和中国科学院海洋研究所沈志良研究员审稿指导。在此，衷心感谢大家的真诚合作。

当今有关碳、营养盐的生物地球化学循环研究是全球变化研究的热点，污染物来源和输运过程及效应更是海洋环境关注的重点。化学海洋学还与海洋学其他相关学科如物理、生物、地质交叉渗透，其内容浩繁。作为一部抛砖之作，本书无意、也不可能涵盖中国海化学海洋学研究的所有内容。另外，由于受自然和人为活动干扰，中国海的化学海洋学现象复杂多变，许多问题尚不十分清楚，有待于进一步深入调查研究；加之编写人员的水平有限，收集的资料、文献也不够全面，书中存在错漏在所难免，敬请有关专家和读者惠予指正！

洪华生 王保栋

2011 年 3 月 29 日

CONTENTS 目次

0 绪 论	(1)
-------------	-----

第1篇 渤海

第1章 渤海溶解氧和 pH 值	(7)
1.1 溶解氧	(7)
1.1.1 平面分布	(7)
1.1.2 断面/垂直分布	(10)
1.1.3 季节变化	(12)
1.1.4 长期变化	(13)
1.2 pH 值	(14)
1.2.1 平面分布	(14)
1.2.2 断面分布	(16)
1.2.3 季节变化	(17)
1.2.4 长期变化	(17)
第2章 渤海海水中的营养盐	(18)
2.1 营养盐的来源和通量	(18)
2.1.1 陆源(径流)	(18)
2.1.2 大气沉降	(19)
2.1.3 海水-沉积物界面交换	(20)
2.1.4 与黄海的交换	(21)
2.2 营养盐水平分布特征	(21)
2.2.1 无机氮(DIN)	(22)
2.2.2 无机磷(DIP)	(23)
2.2.3 活性硅酸盐($\text{SiO}_3 - \text{Si}$)	(25)
2.3 营养盐的断面分布	(26)
2.3.1 无机氮(DIN)	(26)

2.3.2	无机磷 (DIP)	(27)
2.3.3	活性硅酸盐	(27)
2.4	营养盐的季节变化和长期变化	(29)
2.4.1	营养盐的季节变化	(29)
2.4.2	营养盐的长期变化	(29)
2.5	营养盐结构特征	(32)
2.5.1	N/P 比值	(33)
2.5.2	Si/N 比值	(33)
第3章	渤海 CO₂ 与碳化学	(35)
3.1	海区无机碳 (DIC) 及二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 分布特征	(35)
3.1.1	海区 DIC 的分布特征	(35)
3.1.2	海区 $p\text{CO}_2$ 的分布	(37)
3.2	海区 $p\text{CO}_2$ 分布控制因素分析	(38)
3.2.1	$p\text{CO}_2$ 分布与水团	(38)
3.2.2	$p\text{CO}_2$ 分布与叶绿素	(40)
3.3	黄河口淡咸水混合过程无机碳的行为	(41)
3.3.1	河口过程 $p\text{CO}_2$ 的变化	(41)
3.3.2	河口过程中 DIC 的亏损	(42)
3.4	渤海海-气 CO ₂ 交换通量	(45)
第4章	渤海海水中的有机物	(46)
4.1	总有机碳 (TOC)	(46)
4.1.1	渤海总有机碳含量概况	(46)
4.1.2	平面分布变化特征	(47)
4.1.3	渤海断面分布特征	(51)
4.1.4	季节变化及变化趋势分析	(53)
4.2	渤海石油类	(54)
4.2.1	渤海石油类含量概况	(54)
4.2.2	平面分布特征	(54)
4.2.3	季节变化	(55)
4.2.4	渤海的石油类来源	(56)
第5章	渤海海水中的主要重金属元素	(57)
5.1	渤海海水主要重金属元素的分布特征	(57)
5.1.1	铜 (Cu)	(58)
5.1.2	铅 (Pb)	(59)
5.1.3	锌 (Zn)	(60)
5.1.4	镉 (Cd)	(60)
5.1.5	总铬 (Cr)	(61)

5.1.6	汞 (Hg)	(61)
5.1.7	砷 (As)	(63)
5.2	渤海湾主要重金属元素分布变化及生态效应分析	(63)
5.2.1	重金属分布及变化趋势分析	(63)
5.2.2	重金属污染来源和迁移转化分析	(65)
5.2.3	重金属的生态风险评价	(66)
第6章 渤海沉积物化学		(67)
6.1	渤海沉积环境与沉积特征	(67)
6.2	生源要素	(68)
6.2.1	渤海沉积物中的碳	(68)
6.2.2	渤海沉积物中的氮	(70)
6.2.3	渤海沉积物中的磷和硅	(72)
6.3	持久性有机污染物	(74)
6.3.1	渤海表层沉积物中的持久性有机污染物	(74)
6.3.2	渤海沉积物中持久性有机污染物的垂直分布与演化	(78)
6.4	重金属与放射性元素	(79)
6.4.1	渤海沉积物中重金属的背景值	(79)
6.4.2	渤海表层沉积物中重金属的分布特征	(81)
6.4.3	渤海重金属的演化	(83)
6.4.4	渤海放射性元素	(83)

第2篇 黄 海

第7章 黄海溶解氧与 pH 值		(87)
7.1	溶解氧	(87)
7.1.1	溶解氧的平面分布特征	(87)
7.1.2	溶解氧的断面分布特征	(88)
7.1.3	溶解氧的季节变化和长期变化	(90)
7.1.4	黄海溶解氧垂直分布最大值现象	(91)
7.2	海水 pH 值	(94)
7.2.1	pH 值平面分布特征	(94)
7.2.2	pH 值断面分布特征	(95)
7.2.3	pH 值的季节变化和长期变化	(96)
第8章 黄海海水中的营养盐		(99)
8.1	黄海营养盐的来源和通量	(99)
8.1.1	陆源营养盐入海通量	(99)
8.1.2	大气沉降通量	(100)
8.1.3	海水—海底界面扩散通量	(100)

8.2 黄海营养盐分布特征	(101)
8.2.1 平面分布	(101)
8.2.2 断面分布	(104)
8.3 黄海营养盐的输运规律	(105)
8.4 黄海营养盐结构特征	(106)
8.5 黄海营养盐的季节变化和长期变化	(107)
8.5.1 季节变化	(107)
8.5.2 长期变化	(108)
8.6 黄海冷水团的营养盐储库作用	(109)
8.7 黄海营养盐收支	(113)
第9章 黄海 CO₂ 与碳化学	(118)
9.1 海区无机碳 (DIC) 及二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 分布特征 ..	(118)
9.1.1 溶解无机碳 (DIC) 的分布特征	(118)
9.1.2 春、夏、冬季 $p\text{CO}_2$ 的分布	(118)
9.1.3 秋季 $p\text{CO}_2$ 的估算	(119)
9.2 海区 $p\text{CO}_2$ 控制因素分析	(121)
9.2.1 温度对 $p\text{CO}_2$ 分布的影响	(121)
9.2.2 垂直混合对 $p\text{CO}_2$ 分布的影响	(121)
9.2.3 浮游植物水华对 $p\text{CO}_2$ 分布的影响	(122)
9.2.4 长江冲淡水对 $p\text{CO}_2$ 分布的影响	(123)
9.3 海区的海-气 CO ₂ 通量	(124)
第10章 黄海海水中的有机物	(127)
10.1 总有机碳	(127)
10.1.1 平面分布特征	(128)
10.1.2 断面分布特征	(132)
10.1.3 季节变化	(134)
10.1.4 变化趋势分析	(134)
10.2 石油类	(135)
10.2.1 概况	(135)
10.2.2 平面分布特征	(136)
10.2.3 季节变化	(137)
10.2.4 变化趋势分析	(138)
第11章 黄海海水中的主要重金属元素	(140)
11.1 主要重金属元素的分布特征	(140)
11.1.1 铜 (Cu)	(140)
11.1.2 铅 (Pb)	(141)
11.1.3 锌 (Zn)	(141)

11.1.4	镉 (Cd)	(143)
11.1.5	总铬 (Cr)	(143)
11.1.6	汞 (Hg)	(144)
11.1.7	砷 (As)	(144)
11.2	胶州湾主要重金属元素分布变化及生态效应分析	(146)
11.2.1	重金属分布及变化趋势分析	(146)
11.2.2	重金属污染来源和迁移转化分析	(148)
11.2.3	重金属污染综合评价及生态效应分析	(149)
第12章	黄海沉积物化学	(151)
12.1	黄海的沉积特征	(151)
12.2	黄海沉积物中的生源要素	(152)
12.2.1	黄海沉积物中碳	(152)
12.2.2	黄海沉积物中的氮	(155)
12.2.3	黄海沉积物中的磷	(157)
12.2.4	黄海沉积物中的硅	(159)
12.3	黄海沉积物中的硫化物	(161)
12.4	黄海沉积物中的有机污染物	(162)
12.5	黄海沉积物中的重金属及放射性物质	(165)
12.5.1	黄海沉积物中的重金属	(165)
12.5.2	黄海沉积物中放射性核素	(169)

第3篇 东 海

第13章	东海溶解氧与 pH 值	(173)
13.1	溶解氧	(173)
13.1.1	溶解氧平面分布特征	(174)
13.1.2	溶解氧的季节变化和长期变化	(176)
13.1.3	长江口外海域的低氧现象	(179)
13.2	pH 值	(183)
13.2.1	pH 值平面分布特征	(183)
13.2.2	pH 值断面分布特征	(185)
13.2.3	pH 值的季节变化和长期变化	(186)
第14章	东海海水中的营养盐	(189)
14.1	东海营养盐的来源和通量	(190)
14.1.1	长江营养盐入海通量	(190)
14.1.2	大气沉降通量	(190)
14.2	营养盐分布特征	(191)
14.2.1	平面分布	(191)

14.2.2	断面分布	(195)
14.2.3	长江口营养盐的混合行为	(196)
14.3	营养盐结构特征	(201)
14.3.1	Si/N 比值及 Si 限制	(202)
14.3.2	N/P 比值及 P 限制状况	(202)
14.4	营养盐的季节变化和长期变化	(203)
14.4.1	季节变化	(203)
14.4.2	长期变化	(205)
14.5	长江冲淡水中营养盐的运输	(205)
14.6	上升流对东海陆架区营养盐的贡献	(208)
14.6.1	东海沿岸上升流的季节变化	(208)
14.6.2	上升流对东海近岸真光层营养盐的贡献	(215)
14.7	营养盐收支	(216)
第 15 章	东海 CO₂ 与碳化学	(218)
15.1	海区的无机碳分布特征	(218)
15.2	海区的无机碳行为	(219)
15.2.1	长江径流的无机碳——低盐端	(219)
15.2.2	东海黑潮区的无机碳——高盐端	(220)
15.2.3	邻近长江口海域的无机碳混合行为	(222)
15.3	海区的海-气 CO ₂ 通量	(222)
第 16 章	东海海水中的有机物	(225)
16.1	总有机碳	(225)
16.1.1	平面分布特征	(225)
16.1.2	断面分布特征	(230)
16.1.3	季节变化	(232)
16.1.4	变化趋势分析及统计特征比较	(233)
16.2	东海石油类	(233)
16.2.1	概况	(233)
16.2.2	平面分布特征	(234)
16.2.3	季节变化	(235)
16.2.4	变化趋势分析	(235)
第 17 章	东海海水中的主要重金属元素	(237)
17.1	主要重金属元素的分布特征	(237)
17.1.1	铜 (Cu)	(237)
17.1.2	铅 (Pb)	(238)
17.1.3	锌 (Zn)	(239)
17.1.4	镉 (Cd)	(239)

17.1.5	总铬 (Cr)	(240)
17.1.6	汞 (Hg)	(242)
17.1.7	砷 (As)	(242)
17.2	长江口主要重金属元素分布变化及污染评价分析	(243)
17.2.1	重金属分布及变化趋势分析	(243)
17.2.2	重金属来源和迁移转化分析	(246)
17.2.3	主要重金属元素的污染评价	(247)
第18章	东海沉积物化学	(251)
18.1	沉积物中的有机碳与碳酸盐	(251)
18.1.1	东海沉积物中的有机碳	(252)
18.1.2	东海沉积物中的碳酸盐	(253)
18.1.3	长江口及其邻近海域沉积物中碳酸盐形态及其 对海洋碳循环的贡献	(253)
18.2	东海沉积物中的氮、磷及其来源	(255)
18.2.1	沉积物中氮、磷的分布特征	(255)
18.2.2	沉积物中氮、磷的来源	(257)
18.2.3	沉积物-海水界面间营养盐交换通量	(258)
18.3	沉积物中重金属的分布与迁移	(259)
18.3.1	东海沉积物中重金属的分布	(259)
18.3.2	沉积物中重金属的来源	(261)
18.3.3	重金属的迁移转化	(262)
18.4	沉积物中的持久性有机污染物	(262)
18.4.1	多环芳烃的分布特征	(262)
18.4.2	有机氯农药分布特征	(265)
18.4.3	持久性有机污染物的来源	(268)
18.4.4	沉积物持久性有机污染物的演变趋势	(270)
18.4.5	底质放射性元素	(271)

第4篇 南海

第19章	南海溶解氧与pH值	(277)
19.1	溶解氧	(277)
19.1.1	溶解氧平面分布	(277)
19.1.2	溶解氧垂直/断面分布	(278)
19.1.3	溶解氧的季节变化	(278)
19.1.4	溶解氧垂直分布最大值现象	(280)
19.1.5	溶解氧垂直分布最小值现象	(282)
19.1.6	珠江口低氧区	(283)

19.2	pH 值	(284)
19.2.1	pH 值分布特征	(285)
19.2.2	季节变化	(286)
第 20 章	南海海水中的营养盐	(288)
20.1	南海营养盐的来源和通量	(288)
20.1.1	陆源 (径流)	(288)
20.1.2	大气沉降	(288)
20.1.3	海水 - 沉积物界面交换	(289)
20.1.4	与外海的交换	(289)
20.2	营养盐的分布特征	(290)
20.2.1	无机氮 (DIN)	(290)
20.2.2	无机磷 (DIP)	(294)
20.2.3	活性硅酸盐 ($\text{SiO}_3 - \text{Si}$)	(297)
20.3	营养盐结构特征	(299)
20.4	上升流区营养盐的分布与结构	(300)
20.5	台风对营养盐分布的影响	(300)
20.6	营养盐收支	(302)
第 21 章	南海 CO_2 与碳化学	(306)
21.1	海区的无机碳分布特征	(306)
21.2	海区的无机碳行为	(308)
21.2.1	珠江口、湄公河口的无机碳——低盐端	(308)
21.2.2	南海水柱无机碳的混合行为	(308)
21.2.3	南海上层的无机碳混合行为	(310)
21.3	海区的海 - 气 CO_2 通量和人为 CO_2 积累	(310)
第 22 章	南海海水中的有机物	(312)
22.1	总有机碳	(312)
22.1.1	平面分布特征	(312)
22.1.2	断面分布特征	(316)
22.1.3	季节变化	(317)
22.1.4	变化趋势分析	(317)
22.2	南海石油类	(318)
22.2.1	概况	(318)
22.2.2	平面分布特征	(319)
22.2.3	季节变化	(320)
22.2.4	变化趋势分析	(320)
第 23 章	南海北部海水中的主要重金属元素	(322)
23.1	主要重金属元素的分布特征	(322)