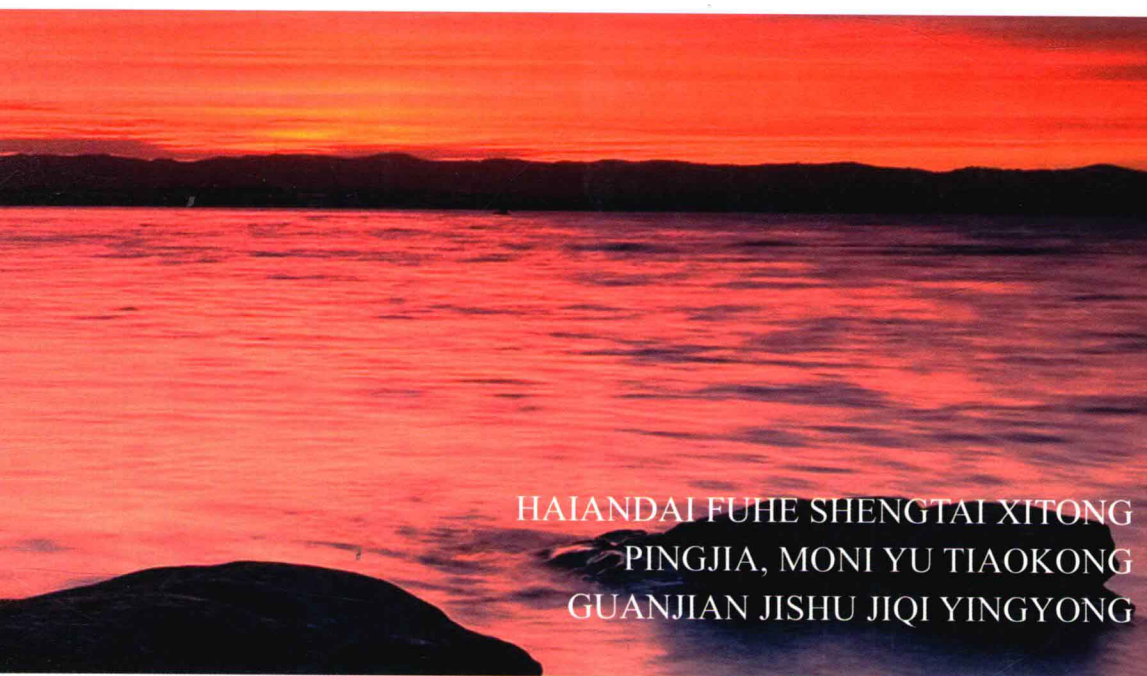


海岸带复合生态系统 评价、模拟与调控关键技术 及其应用

石洪华 丁德文 郑 伟 等 著



HAIANDAI FUHE SHENGTAI XITONG
PINGJIA, MONI YU TIAOKONG
GUANJIAN JISHU JIQI YINGYONG



海洋出版社

海岸带复合生态系统评价、模拟与 调控关键技术及其应用

石洪华 丁德文 郑伟 等著



海洋出版社

2012年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

海岸带复合生态系统评价、模拟与调控关键技术及其应用/石洪华等著.
—北京:海洋出版社,2012.12

ISBN 978-7-5027-8469-0

I. ①海… II. ①石… III. ①海岸带-生态系-研究 IV. ①P748

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 312635 号

责任编辑:钱晓彬

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 新华书店发行所经销

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.25

字数:335 千字 定价:118.00 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

作者简介

石洪华，男，1978年2月生，国家海洋局第一海洋研究所副研究员，中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室客座研究员，中国海洋大学硕士生导师。2008年，在中国海洋大学获博士学位（环境工程专业，海洋生态学方向）。2010年国家海洋局第一海洋研究所博士后工作站、中国科学院海洋研究所博士后流动站博士后出站（海洋科学专业）。主要从事区域海洋生态系统动力学和生态评价研究。自2003年从事科研工作以来，主持的科研项目主要包括国家自然科学基金1项、科技部科技基础性工作专项项目1项、国家海洋局青年基金1项、海洋公益项目子任务3项等，参加了973、863、海洋公益性专项及国家标准制定等近10项省部级以上课题的研究，在国内外学术期刊发表论文30余篇。获山东省优秀学位论文指导教师、国家海洋创新成果二等奖、青岛市科技进步二等奖和青岛市自然科学优秀学术论文二等奖各1项。

丁德文，男，1941年2月生，1965年毕业于大连理工大学（应用物理专业）。国家海洋局第一海洋研究所研究员、博士生导师。1994年当选为中国工程院院士。著名海洋生态与环境学家、寒区环境科学与工程学家。国家海洋环境监测中心名誉主任，国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室、海洋溢油鉴别与损失评估重点实验室学术委员会主任，中国海洋学会海冰专业委员会理事长，国家科学技术奖励评审专家等。主要从事海洋和寒区环境科学与工程研究和开发工作，是我国冻土热力学学科创始人和冻土工程热工科学技术奠基者之一；率先在我国组织海岸带系统科学与人海关系调控领域的研究；开辟了我国工程海冰学的研究方向，构建了我国工程海冰学学科体系和海岸带系统科学与人海关系调控研究基础框架。

郑伟，女，1978年9月生，2008年博士毕业于中国海洋大学（环境科学专业）。国家海洋局第一海洋研究所副研究员。主要从事海洋生态评估与管理的研究工作。主持了国家自然科学基金1项，参加了973、海洋公益性专项、国家标准制定等多项省部级以上课题和国际合作项目的研究。已在国内外发表论文20余篇，出版专著1部（第一作者）。

序 一

海岸带是海洋和陆地相互作用的地带，是相对独立的地球表层系统，具有独特的物理过程、化学过程、生物过程及地质过程。这些过程交织耦合，又与陆海相互作用，形成开放的复杂巨系统，成为陆海相互作用最为活跃、对自然变化和人类活动响应最为敏感的区域。

随着国民经济的快速发展，陆地资源日趋稀缺，向海洋要资源、向海洋要空间的需求与日俱增。进入 21 世纪以来，我国海岸带开发强度不断加大，逐步形成了贯穿所有海岸线的沿海经济开发格局，特别是近年来我国沿海地区一系列国家重大战略的实施，使得我国海洋生态系统可持续发展能力面临严峻的挑战。如何按照落实科学发展观的要求，既要保护和改善海洋环境，又要保持海洋经济快速发展，是我国海洋经济可持续发展面临的新课题。

我国当前面临的海洋生态环境问题严峻，其形成机制复杂。解决此问题，必须打破传统观念，走海陆统筹、河海兼顾的道路；必须系统研究海岸带资源—环境—社会—经济复合生态系统中人与海的关系，研究海岸带地区人类活动及其生态环境效应。

海岸带复合生态系统研究是生态学的一个新兴研究领域。我很高兴地看到，十余年来丁德文院士及其领导的海岸带系统科学与工程科研团队在“海岸带复杂系统与人海关系调控”这一研究领域进行了较为系统的研究。本书以海岸带复合生态系统的结构、功能为研究对象，从系统的演变动力和调控技术出发，以海岸带复合生态系统的结构、功能、演变及调控等基本问题的研究为基础，对海岸带生态系统服务功能、生态健康、环境承载力、脆弱性等评估技术，海岸带主体功能区划等区划规划技术，海湾生态动力学模型、人工神经网络模型和统计动力学反演模型等模拟预测技术进行了系统的总结与阐述，并提出了有关海岸带复合生态系统演变的模拟、预测、评估和管理的若干关键技术。

本书研究思路清晰，内容丰富，资料翔实，观点新颖，方法先进，理论与应用相结合，自然科学与人文社会科学交叉，既在海洋生态系统服务功能、海

洋生态健康、海洋环境承载力、海洋生态系统动力学等新兴研究方向上开展了积极探索,又注重海岸带复合生态系统理念在以上领域研究中的应用。本书所取得的成果拓展了复合生态系统研究的理论、思想和关键技术,系统地构建了海岸带复合生态系统研究的基础理论和技术框架,搭建了复合生态系统研究成果与海岸带管理相结合的桥梁,为海洋—海岸带开发、保护与管理工作提供了重要的科技支撑,是海岸带复杂系统与人海关系调控领域的重要成果,也是复合生态系统研究的新进展,必将对生态学研究的发展起到积极的推动作用。

中国工程院院士

中国科学院地理科学与资源研究所研究员

李华

2011 年 9 月 16 日

序 二

海岸带是地球生态系统一个重要组成部分，对于维系地球生态系统的活力至关重要。从世界范围来看，海岸带地区人口集中，经济发达，人类活动对其生态系统影响剧烈，又因其处于海陆交错地带，陆海水文、气候、人文相互作用密切，生态边缘效应强烈，初级生产力发达，但生态系统脆弱，环境灾害频繁。

近半个世纪以来，海岸带作为我国经济社会建设的前沿阵地有力地拉动了沿海地区快速的经济、人口发展，同时近岸海域的生态环境也承受了巨大压力。我国部分大型河口、港湾、大型城市周边海域的生态环境长期处于亚健康或不健康状态，近岸海域生态环境恶化的趋势尚未得到有效遏制。海岸带地区可持续发展问题已日益突出，其中最为重要的是人海生态关系问题。

面对严峻的生态胁迫，海岸带系统科学与工程科研团队在丁德文院士的引领下，围绕“海岸带复杂系统与人海关系调控”，从海岸带复合生态系统的角度，开展了其生态系统评价、模拟与调控技术及其应用的系统研究。本书就是其研究的部分最新成果。它以海岸带复合生态系统演变及其调控为主线，以海岸带复合生态系统基本理论研究为基础，以海岸带复合生态系统功能评价为重点，以海岸带复合生态系统模拟技术为特色，系统阐述了海岸带复合生态系统管理、评价及其模拟调控的基本思路、基础理论和技术方法，并开展了方法验证和应用。这是我国海洋生态学领域的创新成果，也是我国复合生态系统研究向海洋领域的重要拓展。

海岸带是一类典型的社会—经济—自然复合生态系统。包括水文、土壤、气候、生物、矿物质等海岸带自然生态因子的复合；太阳能和化石能驱动的生产、流通、消费、还原和服务等海岸带经济生态过程的复合以及认知、体制、文化等人文生态动因的复合。海岸带研究涉及复杂的生态因子、生态格局和生态过程，其时间的累积性、空间的边缘性、尺度的多层性、行动主体的能动性以及科学方法的不成熟性决定了海岸带生态系统研究的复杂性。认识、简化和转化复杂性的最终目的是要调控、保育和营建海岸带生态系统的可持续性。

评价、模拟和调控过程是一个变复杂性为可持续性的系统辨识和进化过程,将复杂的生态关系简化和转化为社会-经济-自然协调发展的可持续发展能力。

变复杂性为可持续性，需要认识论领域一场天人关系的观念更新：包括资源代谢的生产方式、消费行为和生态建设模式的转型以及以财富为中心的经济发展观向财富、健康、文明协调发展的生态发展观的更新，推进线性思维、物理思维、还原论向系统思维、生态思维和整体论的跨越。

变复杂性为可持续性，需要生态研究的体制革新：生态就是一座沟通人与自然、科学与社会的桥梁；一条联系生存和发展、穷国和富国、东方与西方以及传统文化和现代科学的纽带；一种融汇生物学、环境科学、工程科学和自然科学各分支学科以及自然科学和社会科学的共同语言。

变复杂性为可持续性，需要生态保育和建设方法的技术创新：需要从测量到测序、寻优到寻适、物态到生态的方法论转型；需要辨识、模拟和调控好时间、空间、数量、结构、序理间复杂的生态动力学机制，运用开拓、适应、反馈、整合的生态控制论方法，处理好个体和整体、眼前和长远、局地和区域间复杂的生态耦合关系。

该书内容丰富,资料翔实,方法新颖,特色鲜明,很多观点极具启发性,一些成果系作者首次发表。我非常高兴将这部有关我国海岸带复合生态系统与人海关系调控领域的先驱著作推荐给各位读者,相信该书的出版一定能推进我国海岸带生态的系统研究、规划、管理以及人口、资源、环境的可持续发展。

中国工程院院士

中国生态学会名誉理事长

中国科学院生态环境研究中心研究员

2018

2012 年 9 月 20 日

前 言

海岸带作为陆海相互作用最为强烈、受人类活动干扰最为剧烈、生态系统服务功能巨大的复合生态系统，是人类生产、生活的重要舞台，也是生态学的重点研究对象。近年来，研究团队围绕“海岸带系统科学与人海关系调控”这一研究领域，开展了不少探索，海岸带复合生态系统研究即为该研究的一部分。

本研究得到科技部科技基础性工作专项（No. 2012FY112500）、海洋公益性行业科研专项经费项目（No. 200805080，No. 201005008，No. 201005009）和国家自然科学基金（No. 41206111，No. 41206112）等项目的支持，属于项目研究成果的一部分，历经5年完成。主要内容分为基础理论、评价与管理技术、模拟与预测技术3篇，共包括10章。第1章介绍了复合生态系统研究的基本问题；第2章从集约用海适应性管理方面探讨了当前海岸带复合生态系统管理的基本理论和方法；第3、4、5、6章分别介绍了海洋生态系统服务及价值、海洋生态系统健康、海洋环境承载力、海洋生态脆弱性等评估技术；第7章介绍了海岸带生态区划规划的关键技术；第8章介绍了海洋生态动力学模型；第9章介绍了海湾浮游植物生物量模拟的人工神经网络模型；第10章介绍了海洋生态动力学的反演建模方法及应用等。

全书的内容框架由丁德文院士设计。第1章由石洪华、丁德文执笔；第2章由刘康、郑伟执笔；第3章第3.1，3.2节和第5、7章由石洪华、郑伟、丁德文、陈小燕执笔；第3章第3.3节由郑伟、沈程程、石洪华执笔；第3章第3.4节由郑伟、石洪华、连展、张凤烨执笔；第4章由陈小燕在其博士学位论文部分内容的基础上修改完善而成；第6、8章由石洪华、沈程程执笔；第9、10章是在石洪华博士后研究报告部分章节的基础上修改完成。全书由石洪华、丁德文、郑伟统稿。

本书是研究团队在海岸带人海关系调控领域取得的系列成果之一，是团队成员共同努力的结果。本书初稿完成后，著名生态学家李文华院士和王如松院士在百忙之中认真审阅了书稿，并分别为本书题序。本书“模拟和预测技术

篇”的部分工作是石洪华在其博士后期间完成的，得到了导师方国洪院士、魏泽勋研究员的支持和帮助。国家海洋局第一海洋研究所朱明远、王宗灵、丰爱平、王保栋、李瑞香和张学雷研究员以及国家海洋局第三海洋研究所陈彬研究员、国家海洋环境监测中心温泉研究员，中国海洋大学李凤岐教授、高会旺教授，厦门海洋职业技术学院杨琳院长，福建省海洋环境与渔业资源监测中心黄东仁高工，中国科学院海洋研究所俞志明、肖天和邹景忠研究员以及宋希坤博士等都对本研究予以了鼓励、支持和帮助。在此一并表示感谢。

当前，海洋生态学的研究方兴未艾，研究成果颇多，令人应接不暇。虽然作者在研究过程中参考了大量文献，但限于作者水平和时间有限，仍难免挂一漏万。本书经多次修改，在即将付梓之际，仍感战战兢兢。对于本书的错误，请专家和读者指正。希望本书的观点能够抛砖引玉，不当之处万望读者谅解。

作 者

2012 年 9 月 23 日

目 次

基础理论篇

第1章 海岸带复合生态系统与人海关系调控研究的若干基本问题	(3)
1.1 复合生态系统研究背景	(3)
1.2 海岸带复合生态系统的结构、功能和特征	(5)
1.2.1 海岸带的基本特征	(5)
1.2.2 海岸带复合生态系统的结构	(6)
1.2.3 海岸带复合生态系统的特征	(7)
1.3 海岸带复合生态系统人海关系调控	(8)
1.3.1 海岸带复合生态系统调控的目标	(8)
1.3.2 海岸带复合生态系统调控技术框架	(9)
1.3.3 海岸带复合生态系统调控的重要手段——空间区划和 规划	(10)
1.3.4 海岸带复合生态系统调控中海陆统筹问题	(12)
第2章 基于生态系统的集约用海适应性管理研究	(15)
2.1 背景分析	(15)
2.1.1 我国海洋经济发展的现状	(15)
2.1.2 我国海洋环境状况	(16)
2.2 海洋环境管理	(18)
2.2.1 管理原则	(19)
2.2.2 海岸带综合管理	(20)
2.2.3 生态系统管理	(24)
2.2.4 适应性管理	(26)
2.3 集约用海与适应性管理	(36)

2.3.1	集约用海内涵及其属性	(36)
2.3.2	集约用海管理现存问题	(38)
2.3.3	适应性管理的应用性分析	(40)
2.4	集约用海适应性管理框架	(43)
2.4.1	管理目标与原则	(43)
2.4.2	管理框架设计	(44)
2.4.3	试验设计	(48)
2.4.4	监测与评估体系建设	(51)
2.5	集约用海适应性管理的对策建议	(56)
2.5.1	管理规制完善与体制调整	(56)
2.5.2	公众参与机制和专项规划编制	(57)
2.5.3	资金筹集与环境监测能力提升	(58)
2.5.4	知识积累与人才队伍建设	(59)
2.5.5	部门协调与区域合作	(60)

评价与管理技术篇

第3章	海洋生态系统服务价值评估及其应用研究	(67)
3.1	海洋生态系统服务及其价值评估研究述评	(67)
3.1.1	海洋生态系统服务及其价值评估研究进展	(68)
3.1.2	海洋生态系统服务及价值的特点	(72)
3.1.3	海洋生态系统服务及价值评估存在的问题	(73)
3.1.4	海洋生态系统服务及价值评估研究展望	(74)
3.2	典型海岛生态系统服务及价值评估——以庙岛群岛南五岛 为例	(76)
3.2.1	研究区概况	(77)
3.2.2	庙岛群岛南五岛生态系统服务及其价值计量	(77)
3.2.3	结果与讨论	(82)
3.3	自然保护区资源环境价值评估——以长岛为例	(85)
3.3.1	研究背景	(85)
3.3.2	研究区域概况	(86)

3.3.3	研究方法	(88)
3.3.4	资料与数据	(92)
3.3.5	基于 CVM 的支付意愿评估	(93)
3.3.6	基于 TCM 的游憩价值评估	(102)
3.4	基于数值模式的海湾溢油损失评估技术研究	(106)
3.4.1	引言	(106)
3.4.2	研究区与数据来源	(106)
3.4.3	胶州湾溢油模型构建	(107)
3.4.4	溢油造成的胶州湾生态损失评估	(111)
第 4 章	海湾生态系统健康评价方法及其应用研究	(120)
4.1	引言	(120)
4.1.1	海湾生态系统健康评价的意义	(120)
4.1.2	国内外研究进展	(121)
4.1.3	研究目标和主要内容	(126)
4.2	海湾生态系统健康评价理论及方法	(127)
4.2.1	海湾生态系统健康定义	(127)
4.2.2	基于生态系统结构-功能的健康评价模型	(128)
4.2.3	生态系统服务功能与生态系统健康评价	(128)
4.2.4	生态系统变化度与生态系统健康评价	(130)
4.2.5	生态系统协调度	(131)
4.2.6	海湾生态系统健康评价方法	(131)
4.3	大亚湾生态系统健康评价	(135)
4.3.1	大亚湾生态系统特征	(135)
4.3.2	大亚湾生态系统健康评价	(138)
4.3.3	小结	(154)
4.4	健康评价在海湾生态系统管理中的应用	(155)
4.4.1	海湾生态系统管理的概念及要素	(155)
4.4.2	健康评价与海湾生态系统管理重点的确定	(156)
4.4.3	大亚湾生态健康状况及保护管理建议	(157)
4.5	主要结论	(158)

第5章 海湾环境承载力评估研究——以广西沿海为例	(166)
5.1 广西近海生态环境现状和经济开发活动分析	(166)
5.1.1 广西沿海经济开发活动	(166)
5.1.2 广西近海生态环境现状	(167)
5.2 研究区概况与数据来源	(169)
5.2.1 研究区概况	(169)
5.2.2 数据来源	(173)
5.3 评估模型和方法	(175)
5.3.1 海湾环境承载力的内涵与分类	(175)
5.3.2 海湾环境承载力评价指标体系	(177)
5.3.3 海湾环境承载力评价方法和模型	(179)
5.4 评估结果	(183)
5.4.1 评估结果	(183)
5.4.2 各海湾环境承载力总服务价值	(185)
5.4.3 各海湾环境承载力评估结果	(186)
5.4.4 结论	(187)
第6章 海域生态脆弱性评价研究——以莱州湾为例	(190)
6.1 生态脆弱性概述	(190)
6.2 研究区概况	(191)
6.3 研究方法	(192)
6.3.1 研究方法简介	(192)
6.3.2 指标评价法	(193)
6.4 结果与分析	(196)
6.5 总结	(200)
第7章 海岸带生态区划规划技术研究	(203)
7.1 海岸带主体功能区划的指标体系与模型研究	(203)
7.1.1 国土主体功能区划指标体系的研究进展	(203)
7.1.2 海岸带主体功能区划的原则与划分程序	(204)
7.1.3 海岸带主体功能区划的指标体系构建	(206)
7.1.4 主体功能区划规划评价中的数据标准化方法	(208)

7.1.5 划分指数综合评价模型	(208)
7.2 海岸带生态敏感区评价及其在生物多样性保护中的作用	(210)
7.2.1 海岸带生态敏感区的内涵与特征	(211)
7.2.2 海岸带生态敏感性的评价指标体系	(213)
7.2.3 生态敏感区划分对于海岸带生态多样性保护的作用	(215)
7.2.4 讨论与展望	(216)

模拟与预测技术篇

第8章 海湾生态系统动力学模型研究	(221)
8.1 概述	(221)
8.1.1 海洋生态系统动力学模型研究进展	(221)
8.1.2 胶州湾自然环境特征	(222)
8.2 胶州湾水动力模型	(224)
8.2.1 模型理论	(224)
8.2.2 模型设置	(225)
8.2.3 模拟结果	(226)
8.2.4 结果验证	(228)
8.3 胶州湾生物-物理耦合模型	(229)
8.3.1 模型理论基础	(229)
8.3.2 模型设置	(233)
8.3.3 模拟结果	(237)
8.4 参数灵敏度分析	(241)
8.4.1 灵敏度分析方法	(241)
8.4.2 灵敏度分析结果	(242)
8.4.3 局部灵敏度的局限性分析	(244)
8.5 总结	(245)
第9章 海湾浮游植物生物量模拟的人工神经网络模型	(249)
9.1 引言	(249)
9.2 BP 人工神经网络模型	(250)

9.2.1	数据标准化方法	(250)
9.2.2	隐层神经元个数的选择	(250)
9.2.3	人工神经网络训练	(251)
9.2.4	BP 人工神经网络检验	(251)
9.2.5	网络输出对输入变化的响应	(251)
9.3	胶州湾浮游植物生物量模拟研究	(252)
9.3.1	调查站位与数据	(252)
9.3.2	胶州湾浮游植物量模拟的 BP 网络与精度检验	(253)
9.3.3	网络输出对输入变化的响应	(256)
9.4	胶州湾初级生产力模拟研究	(256)
9.4.1	胶州湾初级生产力模拟的 BP 网络与精度检验	(257)
9.4.2	网络输出对输入变化的响应	(260)
9.5	泉州湾浮游植物生物量模拟研究	(261)
9.5.1	调查站位与数据	(261)
9.5.2	泉州湾浮游植物量模拟的 BP 网络与精度检验	(261)
9.5.3	泉州湾浮游植物量 BP 网络输出对输入变化的响应	(265)
9.6	广西沿海浮游植物生物量模拟研究	(267)
9.6.1	调查站位与数据	(267)
9.6.2	广西沿海浮游植物量模拟的 BP 网络与精度检验	(267)
9.6.3	灵敏度分析	(268)
9.7	莱州湾浮游植物生物量模拟	(270)
9.7.1	调查站位与数据	(270)
9.7.2	莱州湾浮游植物量模拟的 BP 网络与精度检验	(270)
9.7.3	灵敏度分析	(271)
9.8	结论	(272)
第 10 章	海洋生态动力学的反演建模方法及应用	(275)
10.1	引言	(275)
10.2	反演建模方法	(276)
10.3	胶州湾海洋生态系统演变动力建模案例研究	(278)
10.4	结果	(280)
10.4.1	浮游植物	(280)

10.4.2 浮游动物	(282)
10.4.3 DIN	(283)
10.4.4 磷酸盐和硅酸盐	(285)
10.5 讨论	(287)