

# 海洋遥感 资料处理技术

---

*HAIYANG YAOGAN  
ZILIAO CHULI JISHU*

潘德炉 毛志华 主编

# 海洋遥感资料处理技术

潘德炉 毛志华 主编

海洋出版社

2016年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋遥感资料处理技术/潘德炉,毛志华主编. —北京:海洋出版社,2016.12

ISBN 978-7-5027-9349-4

I. ①海… II. ①潘… ②毛… III. ①海洋遥感-资料处理 IV. ①P715.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 275122 号

责任编辑:杨传霞 任玲

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

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:30

字数:750千字 定价:186.00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

## 前 言

20多年前，我们出海做试验，吃住在位于浙江嵊泗岛的渔民家，淳朴的渔民总是把各种海鲜让我们品尝和享用。用餐间，出于好奇和对知识的追求，我们向船老大请教了一个问题：“你们怎么知道在茫茫大海哪里有鱼，何时撒网？”他不假思索地告诉我们“听其音，观其色”。中国传统渔民就是靠他们敏锐的耳朵听潮流声、明亮的眼睛看海面水色，在海上捕鱼，养育了一代又一代的渔家子孙。随着科技的发展，当今，人们已用声呐“测其音”，用遥感卫星“观其色”。利用人造卫星“观其色”捕鱼，仅仅是海洋遥感应用的冰山一角。其实，水色可以帮助研究和认知许许多多变化无穷的海洋现象和奥秘。

人眼所看到的海洋水色主要由海水的光学特性所决定，卫星水色遥感是通过卫星遥感器测量来自水体的光谱信号来反演海洋水色因子，如叶绿素、悬浮泥沙和其他带色物质，所以海洋水色遥感也称为海洋可见光遥感。但卫星遥感器接收到的总能量不仅仅来自水体，更多的来自大气，其中来自水体的辐射量仅占5%~15%。因此，海洋水色遥感的首要任务是去掉大气辐射的干扰，即大气校正；其二，从去掉大气辐射后微小的海洋辐射量中反演海洋水体的固有光学量和海洋水色因子；其三，将反演得到的水色因子产品，应用到海洋环境监测、海洋资源的利用与保护、海洋灾害监测和海洋权益维护中。于是，大气校正、水色因子反演和遥感产品应用成为了卫星海洋水色遥感科学技术的三部曲。茫茫大海水色变化与风浪流密切相关，要想认知一望无际的海面水色多彩变化的过程和成因，就要结合探测海洋风、浪和流等动力特征的微波遥感技术；水色与微波遥感的互融应用，构成了观察海洋的“千里眼”。近10年来，我团队培养的水色和微波遥感博士研究生们克服晕船等重重困难，活跃在我国近海，开展星地同步的遥感实验，不畏艰苦挖掘遥感信息之源，同时又敢想敢做，打开了遥感产品服务之门。他们通过辛勤的劳动，以深奥的科技音符谱写了优美动听的水色遥感三部曲和微波遥感曲——博士论文。现将它们连同少数几篇优秀硕士论文汇集成书，希望为我国海洋水色和微波遥感科学的发展推波助澜。

《海洋遥感资料处理技术》一书包括4篇博士论文和1篇硕士论文，反映了卫星遥感千里眼探测到的海洋复杂水体信息（资料）的神妙处理技术。

丁又专博士论文《卫星遥感海表温度与悬浮泥沙浓度的资料重构及数据同化试验》(2009年) 瞄准由于云覆盖水色水温遥感卫星资料缺损难题, 基于 EMD - EOF 方法对叶绿素浓度和透明度等卫星遥感产品进行资料重构, 并实现了叶绿素与颗粒有机碳遥感资料同化, 该技术对以上要素的短期预测预报, 提高海洋生态模拟精度很有应用价值。

李宁博士论文《近岸水质的遥感监测和数值模拟研究》(2009年) 利用数值模拟结果, 对叶绿素与温度的遥感资料进行补缺, 并把遥感与数值模拟密切结合技术认知近岸水体水质变化过程, 为突发性的海洋富营养化藻体、赤潮、浒苔等发生过程研究提供重要手段。

周狄波博士论文《便携式高性能海洋遥感计算环境实现方法研究》(2010年) 把新兴的 CUDA 高性能计算和内存技术引入海洋遥感图像处理, 并将其与便携式计算环境结合, 基于 LINUX 操作系统底层开发, 实现了包含操作系统、CUDA 的运行环境, 使海洋遥感软件能在 USB 闪存盘上承载和运行, 为海洋遥感软件的即插即用提供了非常简便实用的技术。

康燕博士论文《基于 Web 的海洋卫星数据服务研究》(2012年) 针对海洋卫星多源、海量、高动态特点, 建立了海洋卫星数据空间数据模型, 设计了统一的数据访问接口, 开发了海洋卫星数据管理与服务系统原型以及实现了基于 Google Earth API 和 KML 技术的网络三维可视化及在线分析服务功能, 对多源、海量和高动态的海洋卫星资料分析处理很有实用价值。

官文江硕士论文《利用海洋水色水温遥感数据反演海洋初级生产力的研究》(2003年), 论文以光合作用为楔子, 在研究了海洋初级生产力形成的生化过程基础上, 尝试了利用可见光和热红外卫星遥感资料定量反演我国海区初级生产力的遥感模型, 并运用与区域性初级生产力时空估算与分析, 为海洋遥感应用于海洋碳循环和生态评价等方面尝试了新方法新技术, 为量化的新遥感领域做出了贡献。

本书是一本海洋遥感资料处理技术的选编论文集。在导师们的苦心指导下, 各论文作者将点滴辛勤汗水洒在海洋遥感资料处理技术的研究中, 结出了累累硕果。我们欣喜地看到他们正在茁壮成长, 青出于蓝而胜于蓝。同时也要指出, 他们的成长过程难免有不足, 也自然反映在论文中, 敬请读者指正。

编者

2016年10月

# 目次

海洋遥感数据处理技术

## 论文一：卫星遥感海表温度与悬浮泥沙 浓度的资料重构及数据同化试验

<b>1 绪论</b> .....	(5)
1.1 研究背景和意义 .....	(5)
1.1.1 遥感资料重构的研究意义 .....	(6)
1.1.2 海洋数据同化的研究意义 .....	(7)
1.2 国内外研究现状 .....	(7)
1.2.1 资料重构 .....	(8)
1.2.2 数据同化 .....	(9)
1.3 研究内容 .....	(13)
1.3.1 拟解决的关键科学问题 .....	(13)
1.3.2 技术路线及章节安排 .....	(13)
1.4 研究区域和数据 .....	(14)
1.4.1 研究区域及特征 .....	(14)
1.4.2 遥感数据来源 .....	(16)
<b>2 基于遥感数据的资料重构</b> .....	(19)
2.1 引言 .....	(19)
2.2 DINEOF 重构方法 .....	(19)
2.3 EMD-EOF 方法 .....	(21)
2.4 资料重构 .....	(23)
2.4.1 SST 资料重构 .....	(23)
2.4.2 SSC 资料重构 .....	(37)
2.5 小结 .....	(41)

- 3 数值模型 ..... (42)
  - 3.1 数值模型简介 ..... (42)
  - 3.2 主要控制方程 ..... (44)
    - 3.2.1  $\sigma$  坐标系下水动力模型的主控方程 ..... (44)
    - 3.2.2 湍流黏性系数的参数化 ..... (46)
    - 3.2.3  $\sigma$  坐标系下泥沙模型的控制方程 ..... (47)
  - 3.3 边界条件 ..... (47)
    - 3.3.1 自由表面边界条件 ..... (47)
    - 3.3.2 底部边界条件 ..... (47)
    - 3.3.3 固边界条件 ..... (48)
    - 3.3.4 开边界条件 ..... (48)
- 4 序列数据同化理论 ..... (50)
  - 4.1 引言 ..... (50)
  - 4.2 基本概念 ..... (52)
  - 4.3 序列数据同化方法 ..... (53)
    - 4.3.1 最优插值 ..... (53)
    - 4.3.2 卡尔曼滤波 ..... (54)
    - 4.3.3 扩展卡尔曼滤波 ..... (56)
    - 4.3.4 集合卡尔曼滤波 ..... (57)
    - 4.3.5 减秩卡尔曼滤波 ..... (58)
  - 4.4 小结 ..... (59)
- 5 杭州湾水温与悬浮泥沙数据同化系统 ..... (60)
  - 5.1 引言 ..... (60)
  - 5.2 同化系统 ..... (60)
    - 5.2.1 模型设置 ..... (60)
    - 5.2.2 观测数据 ..... (61)
    - 5.2.3 数据同化方法 ..... (62)
    - 5.2.4 集合分析 ..... (64)
    - 5.2.5 数据同化系统 ..... (64)
  - 5.3 模型验证 ..... (66)
  - 5.4 数据分析 ..... (67)
    - 5.4.1 表层数据分析 ..... (67)
    - 5.4.2 垂向断面分析 ..... (72)
    - 5.4.3 预报、观测与分析数据的差异分析 ..... (72)
  - 5.5 小结 ..... (75)





2.3.1	自由表面边界条件 .....	(108)
2.3.2	底部边界条件 .....	(109)
2.3.3	固边界条件 .....	(109)
2.3.4	开边界条件 .....	(110)
2.4	本章小结 .....	(111)
<b>3</b>	<b>遥感数据介绍 .....</b>	<b>(112)</b>
3.1	千米级海洋卫星数据 .....	(112)
3.1.1	QSCAT/NCEP 风场数据 .....	(112)
3.1.2	SeaWiFS 5 天合成叶绿素数据和 SeaWiFS 月平均 悬浮泥沙数据 .....	(112)
3.1.3	MODIS 叶绿素和温度数据 .....	(112)
3.1.4	MODIS 月平均溶解无机氮、活性磷酸盐数据 .....	(113)
3.2	本章小结 .....	(114)
<b>4</b>	<b>杭州湾面源污染的物理自净能力评估 .....</b>	<b>(115)</b>
4.1	杭州湾简介 .....	(115)
4.2	杭州湾溶解无机氮、活性磷酸盐和悬浮泥沙浓度的遥感监测 .....	(116)
4.3	杭州湾面源污染物物理自净能力的数值模拟 .....	(120)
4.3.1	模型设置及验证 .....	(120)
4.3.2	洪水期、枯水期不同区域面源污染物扩散路径的数值模拟 .....	(123)
4.3.3	不同区域面源污染物的富集情况 .....	(128)
4.3.4	动力因素对面源污染物扩散的影响 .....	(130)
4.3.5	水质更新时间的模拟 .....	(133)
4.4	杭州湾面源污染遥感监测结果与数值模拟结果对比 .....	(135)
4.5	杭州湾面源污染对水质的影响 .....	(136)
4.6	本章小结 .....	(136)
<b>5</b>	<b>杭州湾点源热污染研究 .....</b>	<b>(137)</b>
5.1	秦山核电站简介 .....	(137)
5.2	秦山核电站附近水域温度实测结果 .....	(138)
5.2.1	秦山核电站附近水域温度平面分布情况 .....	(138)
5.2.2	秦山核电站附近水域温度连续观测结果 .....	(138)
5.3	秦山核电站附近水域温度遥感监测结果 .....	(141)
5.3.1	机载 MAMS 传感器的水温监测结果 .....	(141)
5.3.2	Landsat 卫星的水温监测结果 .....	(141)

5.4	秦山核电站温排水数值模拟结果 .....	(143)
5.4.1	模型设置 .....	(143)
5.4.2	秦山核电站Ⅱ、Ⅲ期作用下温升分布情况 .....	(144)
5.4.3	秦山核电站Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期作用下温升分布情况 .....	(147)
5.5	秦山核电站热排污遥感监测结果与数值模拟结果对比 .....	(151)
5.6	秦山核电站热排污对杭州湾水质的影响 .....	(153)
5.7	本章小结 .....	(154)
<b>6</b>	<b>杭州湾水质因子的遥感监测及数值模拟 .....</b>	<b>(155)</b>
6.1	杭州湾水质因子的遥感监测 .....	(155)
6.1.1	杭州湾叶绿素的遥感监测结果 .....	(155)
6.1.2	杭州湾海表温度的遥感监测结果 .....	(155)
6.2	杭州湾水质因子的数值模拟 .....	(157)
6.2.1	模型设置 .....	(157)
6.2.2	模拟结果验证 .....	(161)
6.3	杭州湾水质因子的分布特征 .....	(165)
6.4	水质因子的数值模拟结果在遥感数据补缺中的应用 .....	(166)
6.4.1	水温遥感数据的补缺试验 .....	(167)
6.4.2	叶绿素遥感数据的补缺试验 .....	(169)
6.5	本章小结 .....	(170)
<b>7</b>	<b>遥感和数值模拟方法在突发性海洋灾害研究中的应用探索 .....</b>	<b>(172)</b>
7.1	引言 .....	(172)
7.1.1	研究背景 .....	(172)
7.1.2	浒苔简介 .....	(173)
7.2	藻华发展过程的遥感监测 .....	(173)
7.3	黄海春季浮游植物生长情况的数值模拟 .....	(177)
7.3.1	模型设置和验证 .....	(177)
7.3.2	叶绿素和营养盐浓度变化过程的模拟结果 .....	(178)
7.4	黄海中部浮游植物传输路径的数值模拟 .....	(183)
7.5	青岛当地天气条件对浮游植物生长的影响 .....	(185)
7.6	浒苔藻华突发现象的分析 .....	(186)
7.7	本章小结 .....	(187)
<b>8</b>	<b>总结与展望 .....</b>	<b>(188)</b>
8.1	全文总结 .....	(188)
8.2	全文展望 .....	(189)
	参考文献 .....	(191)

附录 ..... (201)  
 致谢 ..... (202)

**论文三：便携式高性能海洋遥感计算环境实现方法研究**

**1 绪论** ..... (206)

1.1 引言 ..... (206)

1.2 海洋遥感及其发展 ..... (206)

1.3 遥感数据处理挑战 ..... (207)

1.4 遥感高性能计算 ..... (209)

1.4.1 国外研究情况 ..... (209)

1.4.2 国内研究情况 ..... (210)

1.4.3 相关技术分析 ..... (212)

1.4.4 海洋遥感 GPU 高性能计算的提出 ..... (213)

1.5 海洋遥感便携式计算需求 ..... (213)

1.6 本文研究内容 ..... (214)

1.7 论文组织结构 ..... (214)

**2 GPU 通用计算与 CUDA 技术** ..... (216)

2.1 GPU 的起源与发展 ..... (216)

2.2 GPU 通用计算 ..... (217)

2.3 CUDA 简介 ..... (218)

2.4 CUDA 软件架构 ..... (220)

2.4.1 编程模型 ..... (220)

2.4.2 CUDA 软件体系 ..... (224)

2.4.3 CUDA C 语言 ..... (225)

2.5 CUDA 硬件实现 ..... (227)

2.6 CUDA 数据并行机制 ..... (229)

**3 遥感图像 CUDA 高性能处理研究** ..... (231)

3.1 遥感图像 CUDA 并行计算 ..... (231)

3.1.1 遥感图像处理 ..... (231)

3.1.2 遥感图像处理的并行性 ..... (231)

3.1.3 CUDA 对遥感图像并行计算的支持 ..... (233)

3.2 遥感图像 CUDA 计算的改进空间 ..... (233)

3.3 遥感图像处理存取改进分析 ..... (234)

3.3.1 遥感图像 CUDA 处理的数据流向 ..... (234)

3.3.2	PCI Express 总线瓶颈 .....	(234)
3.4	主机端存取性能改进研究 .....	(235)
3.4.1	计算机存储器系统 .....	(235)
3.4.2	内存存储的提出 .....	(237)
3.4.3	现有内存存储技术分析 .....	(237)
3.4.4	内存存储技术选型 .....	(240)
3.5	遥感图像 CUDA 高性能处理技术路线 .....	(241)
<b>4</b>	<b>基于高性能处理的便携性实现方法研究 .....</b>	<b>(242)</b>
4.1	便携式存储设备 .....	(242)
4.2	U3 便携式计算环境实现技术 .....	(243)
4.2.1	U3 移动计算平台 .....	(243)
4.2.2	U3 技术及其构成 .....	(243)
4.2.3	U3 应用程序 .....	(244)
4.2.4	U3 技术的不足 .....	(245)
4.3	便携式高性能海洋遥感计算环境设计 .....	(246)
4.3.1	设计思想 .....	(246)
4.3.2	操作系统选型 .....	(246)
4.3.3	技术难点 .....	(248)
4.3.4	解决思路 .....	(250)
4.3.5	可行性研究 .....	(251)
4.3.6	技术实现方案 .....	(255)
4.4	CGMFL 方法的提出 .....	(258)
<b>5</b>	<b>基于 CGMFL 方法的海洋遥感计算环境原型实现与验证 .....</b>	<b>(259)</b>
5.1	USB 闪存盘选型 .....	(259)
5.2	支撑软件选型 .....	(259)
5.2.1	Linux 操作系统环境 .....	(259)
5.2.2	CUDA 环境 .....	(260)
5.2.3	海洋遥感图像读写环境 .....	(261)
5.3	BEAM 软件 .....	(262)
5.4	海洋遥感图像高斯卷积 CUDA 处理程序开发 .....	(263)
5.4.1	开发工具 .....	(263)
5.4.2	算法描述 .....	(263)
5.4.3	程序开发 .....	(264)
5.5	USB 闪存盘源系统构建 .....	(266)
5.6	专用 initrd 开发 .....	(269)

- 5.7 系统引导功能实现 ..... (270)
- 5.8 原型验证 ..... (270)
  - 5.8.1 验证方法 ..... (270)
  - 5.8.2 便携性验证 ..... (271)
  - 5.8.3 性能验证 ..... (272)
  - 5.8.4 验证结论 ..... (275)
- 6 结论和展望 ..... (277)
  - 6.1 结论 ..... (277)
  - 6.2 主要创新点 ..... (278)
  - 6.3 展望 ..... (278)
- 参考文献 ..... (280)
- 致谢 ..... (285)

## 论文四：基于 Web 的海洋卫星数据服务研究

- 1 绪论 ..... (292)
  - 1.1 研究背景 ..... (292)
    - 1.1.1 海洋卫星数据 ..... (292)
    - 1.1.2 Web Service 与 SOA ..... (294)
    - 1.1.3 GIS 系统到 GIS 服务 ..... (296)
    - 1.1.4 研究背景小结 ..... (298)
  - 1.2 研究现状 ..... (298)
    - 1.2.1 国外海洋卫星数据服务的现状 ..... (298)
    - 1.2.2 中国海洋卫星数据服务现状 ..... (302)
    - 1.2.3 研究现状小结 ..... (304)
  - 1.3 本文的研究内容及关键问题 ..... (304)
    - 1.3.1 本文的研究内容 ..... (304)
    - 1.3.2 关键问题 ..... (305)
  - 1.4 本文结构 ..... (305)
- 2 数据服务与海洋卫星数据服务 ..... (306)
  - 2.1 数据服务 ..... (306)
    - 2.1.1 数据服务的概念 ..... (306)
    - 2.1.2 数据服务的内容 ..... (308)
    - 2.1.3 数据服务的关键技术 ..... (308)
    - 2.1.4 数据服务的实现 ..... (309)

2.2	空间数据服务 .....	(311)
2.2.1	ISO 空间数据服务 .....	(311)
2.2.2	OGC 地理空间数据信息服务 .....	(312)
2.2.3	ESRI 的空间数据服务 .....	(313)
2.3	海洋卫星数据服务 .....	(316)
2.3.1	海洋卫星数据服务系统架构 .....	(316)
2.3.2	海洋卫星数据服务系统技术路线 .....	(317)
2.4	本章小结 .....	(319)
<b>3</b>	<b>海洋卫星数据模型及数据库 .....</b>	<b>(320)</b>
3.1	海洋卫星数据的时空特性 .....	(320)
3.2	海洋数据模型研究现状 .....	(322)
3.3	海洋卫星数据服务系统 OSDSS 的数据模型 .....	(324)
3.4	海洋卫星数据库设计与开发 .....	(327)
3.5	海洋卫星数据库子服务系统 .....	(331)
3.6	本章小结 .....	(332)
<b>4</b>	<b>海洋卫星数据服务系统 (OSDSS) 的服务 .....</b>	<b>(334)</b>
4.1	数据的基本服务 .....	(335)
4.2	元数据服务 .....	(336)
4.2.1	元数据的概念 .....	(336)
4.2.2	元数据的标准 .....	(337)
4.2.3	海洋卫星元数据内容及框架 .....	(338)
4.3	数据的可视化服务 .....	(341)
4.3.1	海洋水色水温数据可视化 .....	(342)
4.3.2	海洋风场数据可视化 .....	(344)
4.3.3	其他数据可视化 .....	(345)
4.4	多源数据综合可视化 .....	(346)
4.5	数据统计及分析服务 .....	(348)
4.6	本章小结 .....	(348)
<b>5</b>	<b>应用实例 .....</b>	<b>(349)</b>
5.1	数据服务系统在台风研究中的应用 .....	(349)
5.1.1	台风对海洋环境的影响 .....	(350)
5.1.2	GIS 技术在台风案例中的应用 .....	(351)
5.1.3	研究区域 .....	(352)
5.1.4	台风数据 .....	(353)
5.1.5	海洋卫星数据 .....	(353)

5.1.6 台风期间海洋卫星参数的时空变化 ..... (361)

5.2 全球大河冲淡水面积的提取及其在碳通量计算中的应用  
..... (366)

5.2.1 河流冲淡水 ..... (366)

5.2.2 河流冲淡水区域提取方法的研究进展 ..... (366)

5.2.3 数据和方法 ..... (368)

5.2.4 结果与讨论 ..... (374)

5.2.5 河流冲淡水的面积在海气 CO<sub>2</sub> 通量估算中的应用 ..... (376)

5.3 本章小结 ..... (377)

6 总结和展望 ..... (378)

6.1 主要研究内容总结 ..... (378)

6.2 研究的创新点 ..... (379)

6.3 存在的不足与研究展望 ..... (379)

参考文献 ..... (380)

**论文五：利用海洋水色水温遥感数据反演  
海洋初级生产力的研究**

1 绪论 ..... (392)

1.1 海洋初级生产力的概念 ..... (392)

1.2 对海洋初级生产力研究的意义 ..... (392)

1.3 遥感方法对估算海洋初级生产力的必要性及历史和发展  
..... (393)

2 初级生产力形成的生化过程 ..... (396)

2.1 光合作用中的太阳能吸收 ..... (396)

2.2 光合作用过程中的电子传递 ..... (397)

2.2.1 非循环光合电子传递链 ..... (397)

2.2.2 循环光合电子传递链 ..... (397)

2.2.3 假循环光合电子传递 (Mehler 反应) ..... (397)

2.3 光合碳循环 (卡尔文循环) ..... (398)

2.3.1 光合碳循环的四个明显阶段 ..... (398)

2.3.2 相关概念 ..... (399)

2.4 光反应与暗反应 ..... (400)

2.5 光合作用的影响因素 ..... (401)

2.5.1 光照 ..... (402)

2.5.2 叶绿素 ..... (403)

2.5.3	温度 .....	(403)
2.5.4	矿质营养 (氮、磷、铁、钙、锰等) .....	(404)
2.5.5	水体的环流运动 .....	(405)
2.5.6	水体的光学属性 .....	(405)
2.5.7	CO <sub>2</sub> 和 O <sub>2</sub> 浓度的影响 .....	(405)
2.5.8	动物的摄食压力 .....	(405)
2.5.9	浮游植物的适应性 (包括物种变化的适应) .....	(406)
2.5.10	浮游植物的种类与光合作用效率的关系 .....	(406)
<b>3</b>	<b>影响遥感初级生产力反演的因子分析 .....</b>	<b>(407)</b>
3.1	海水的温度、盐度及海流 .....	(407)
3.1.1	水温 .....	(407)
3.1.2	盐度 .....	(408)
3.1.3	水团 .....	(408)
3.1.4	海流 .....	(409)
3.2	光在水中的传播 .....	(409)
3.2.1	海水的组成 .....	(409)
3.2.2	光的吸收: 吸收系数 $a(\lambda)$ .....	(410)
3.2.3	光的散射: 散射系数 $b(\lambda)$ .....	(412)
3.2.4	赛克盘深度 .....	(414)
3.2.5	垂直漫衰减系数 ( $K_d$ )、光深 ( $\xi$ )、衰减长度 ( $\tau$ ) .....	(414)
3.2.6	描述光场分布的几个简单的参量 ( $\bar{u}_d, \bar{u}_u, \bar{u}, R, Rrs$ ) .....	(415)
3.3	水下光场和叶绿素剖面对初级产量估算的影响 .....	(416)
3.3.1	所选择的模式 .....	(416)
3.3.2	辐照度的计算 .....	(417)
3.3.3	光场的角度分布对估算初级生产力的影响 .....	(419)
3.4	生物量剖面分布对初级生产力估算的影响 .....	(423)
3.5	光谱分布对初级生产力估算的影响 .....	(426)
3.5.1	对真光层深度估算的影响 .....	(427)
3.5.2	对光能吸收的影响 .....	(428)
3.5.3	对初级生产力估算的影响 .....	(428)
<b>4</b>	<b>遥感初级生产力的模型及应用 .....</b>	<b>(431)</b>
4.1	有关参量的遥感计算方法 .....	(431)
4.1.1	参量的定义 .....	(431)



4.1.2	有关参量的遥感反演计算方法 .....	(431)
4.1.3	海面悬浮泥沙反演 .....	(436)
4.1.4	黄色物质浓度反演 .....	(436)
4.1.5	温度的遥感反演 .....	(437)
4.1.6	PAR 的遥感获取模型 .....	(437)
4.1.7	计算吸收和后向散射系数 .....	(437)
4.1.8	计算漫衰减系数 .....	(438)
4.2	对国内外现有模型分析 .....	(438)
4.2.1	经验算法 .....	(439)
4.2.2	分析算法或半分析算法 .....	(439)
4.3	我国海区初级生产力的计算模型 .....	(444)
4.3.1	数据与方法 .....	(445)
4.3.2	模型获取 .....	(445)
4.3.3	结果分析及讨论 .....	(446)
4.3.4	和其他模型比较 .....	(448)
4.4	模型的应用 .....	(449)
4.5	结语 .....	(452)
<b>5</b>	<b>展望</b> .....	(454)
5.1	遥感估算海洋初级生产力模型的区域化 .....	(454)
5.2	构建遥感反演海洋初级生产力的 GIS 平台 .....	(455)
	<b>参考文献</b> .....	(458)