

海洋水色水温 遥感应用科学与技术

*HAIYANG SHUISE SHUIWEN
YAOGAN YINGYONG KEXUE YU JISHU*

潘德炉 何贤强 主编



海洋出版社

海洋水色水温遥感应用 科学与技术

潘德炉 何贤强 主编

海洋出版社

2014年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋水色水温遥感应用科学与技术/潘德炉, 何贤强主编.
—北京: 海洋出版社, 2014. 9
ISBN 978-7-5027-8925-1

I. ①海… II. ①潘… ②何… III. ①水色-卫星遥感
②海水温度-卫星遥感 IV. ①P731.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 151192 号

责任编辑: 杨传霞

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

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 36

字数: 900 千字 定价: 198.00 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。

《海洋水色水温遥感应用科学与技术》一书包括 6 篇博士论文，阅完该书，读者一定会为卫星遥感这双千里眼在探测海洋复杂水体生态环境中的作用而感

叹,更会体会到卫星海洋遥感应用技术之奥秘。

张霄宇博士论文《基于海洋水色遥感产品的沿海水质评价研究》(2006年)吸收了美国 NEEA 和欧洲富营养化概念模型,从营养盐的输入、富营养化初级表征和次级表征三个层次提出了适用于我国沿海水质遥感评价指标,建立了沿海区域性营养盐反演模型,同时以悬浮物和溶解有机物(黄色物质)吸收系数作为区域性水质遥感评价参数的分类标准,经验证,效果良好,为沿海的水质遥感跨出了第一步。

雷惠博士论文《基于固有光学量的东海赤潮遥感提取算法研究》(2011年)从水体固有光学特性入手,通过将卫星遥感获得的水面反射率与水体固有光学量相结合,以东海为研究区,基于实测和卫星探测到的赤潮水体与非赤潮水体的光学特性比较分析为基础,分别从色素吸收比重、叶绿素比吸收系数、散射-吸收比和后向散射比4种吸收和散射特性,建立了分步识别法的赤潮卫星遥感反演模型。对近年来发生在东海的16次大型硅藻和甲藻赤潮事件进行了卫星遥感提取,实现了对赤潮水体的中心位置和范围的较正确提取。更值得一提的是,该文对赤潮的不同藻种的判别进行了探讨,取得了很好的效果,迈开了赤潮遥感的新一步。

郝增周博士论文《黄渤海海雾遥感辐射特性及卫星监测研究》(2007年)利用 NOAA 卫星 AVHRR 资料及黄渤海海雾的先验数据和辐射传输模拟数据,对海雾及其他目标(水体,中、高云系等)的遥感辐射特性进行分析,发现了海雾的主要辐射特性;在此基础上,提出了一个富有物理意义的海雾监测算法,普适性好,经长时间序列遥感资料应用验证,结果表明算法实用性强,并应用到我国自主气象卫星 FY-1D 海雾产品提取;同时探索了5个海雾微物理辐射特性的遥感反演技术。

邓学良博士论文《卫星遥感中国海域气溶胶光学特性及其辐射强迫研究》(2008年)充分利用多颗卫星传感器的遥感资料(MODIS 气溶胶产品与 CERES 辐射通量数据)系统地分析了中国海域气溶胶的光学特性和辐射强迫。论文进行了 MODIS 气溶胶产品的验证;结合气象场和化学成分数据,分别从气象因素和化学组成两个方面分析了我国海域气溶胶的形成原因。发现我国海域气溶胶主要来源于我国沿海的陆地源,受到风场和降雨的共同作用,形成了明显的时空分布特征;利用 MODIS 气溶胶产品中的 AOT 和 FMF 关系,得到了沙尘气溶胶和人为气溶胶的计算公式,可从卫星数据中区分出沙尘气溶胶和人为气溶胶成分;结合多颗传感器的卫星数据,直接获得气溶胶瞬时直接辐射强迫,并利用辐射传输模式,将瞬时直接辐射强迫转化为日平均直接辐射强迫,同时证实了中国海域气溶

胶的间接效应的存在。

付东洋博士论文《基于卫星遥感研究台风对西北太平洋海域水色水温环境的影响》(2009年)利用叶绿素a浓度及海表温度等卫星遥感产品基于滑动窗口均值融合算法,建立了台风后叶绿素a浓度、海表温度与台风参量之间的统计模型,从而定量地回答了西北太平洋海域叶绿素a浓度及海表温度对台风的响应程度。同时,将遥感资料、CTD及船只实测数据及数值模拟手段相结合,分析了台风对西北太平洋海域叶绿素a浓度及海表温度影响的物理与生化机制,发现台风期间强大的上升流和海水强烈的垂直混合是叶绿素浓度增长的根本动力。

陈正华博士论文《基于遥感资料的浙江省海岸带生态系统健康研究》(2009年)采用遥感动态监测数据和地理信息系统技术手段,考虑人类在海岸带生态系统中的作用,以压力—状态—响应模型框架,选择切实能够表征海岸带生态系统健康的指标,建立了基于遥感资料的浙江省海岸带生态系统健康评价体系;将具有表征海岸带生态系统健康能力的岸线变化和水体环境等遥感参数输入到评价体系,得到了海岸带生态系统健康状况空间的变化,为遥感在海洋生态系统健康评价中的应用迈开了新的一步。

本书是一本反映海洋水色水温遥感在海洋环境监测与评价应用中的科学与技术的选编论文集。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水色水温遥感研究中,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,他们的成长过程中难免有不足,也自然反映在论文中,敬请读者指正。

编者

2014年5月



目次

论文一：基于海洋水色遥感产品的沿海水质评价研究

- 1 引言 (3)
 - 1.1 开展沿海水质遥感监测评价的紧迫性 (3)
 - 1.1.1 高频度、大范围卫星遥感监测是沿海水质监测的必然发展趋势 (3)
 - 1.1.2 为政府管理决策提供准确的水质信息 (4)
 - 1.1.3 对推动浙江省水质遥感监测系统业务化运行的重要意义 (5)
 - 1.2 卫星遥感技术在河口海岸带水环境监测中的应用动态分析 (6)
 - 1.2.1 在海洋生物资源的可持续利用和保护中的应用 (6)
 - 1.2.2 海洋突发事件监测中的遥感实时监控 (7)
 - 1.2.3 在海岸带资源的综合管理和可持续发展中的应用 (7)
 - 1.3 水环境质量监测中的遥感技术应用 (8)
 - 1.3.1 国外研究前沿 (8)
 - 1.3.2 国内研究前沿 (10)
 - 1.4 近岸海洋监测发展趋势 (Coastal GOOS) (11)
 - 1.5 本项研究工作前提和任务 (11)
 - 1.6 研究区域 (11)
 - 1.7 预期结果 (12)
 - 1.8 已有的基础上所解决的问题 (12)
 - 1.9 研究内容和研究目标 (12)
 - 1.10 研究技术路线 (13)

2 数据和方法	(14)
2.1 EOS/MODIS 简介	(14)
2.1.1 地球观测系统 EOS (Earth Observation System)	(14)
2.1.2 MODIS 技术参数	(14)
2.1.3 MODIS 数据特点	(16)
2.1.4 MODIS 与 SeaWiFS、AVHRR 比较	(17)
2.2 海洋遥感水色产品的获取	(18)
2.2.1 国家海洋局第二海洋研究所卫星接收处理系统	(18)
2.2.2 国家海洋局第二海洋研究所海洋水色遥感产品	(20)
2.3 研究海域参数获取	(21)
2.3.1 站位分布	(21)
2.3.2 参数获取	(21)
3 富营养化水体水质遥感评价体系	(23)
3.1 水质遥感监测的空间取样密度	(23)
3.2 水质遥感监测频率的设计	(25)
3.3 水质遥感评价参数的选择	(26)
3.4 水质遥感评价方法和标准	(30)
4 营养盐的遥感反演机理研究	(33)
4.1 磷酸盐在研究海域的地球化学特性	(33)
4.1.1 磷酸盐在研究海域的分布特征	(33)
4.1.2 磷酸盐在河口的缓冲机制	(33)
4.1.3 磷酸盐在低浑浊区的理想行为	(34)
4.2 颗粒态磷酸盐遥感试反演	(35)
4.2.1 采样与方法	(36)
4.2.2 区域内水质参数特征分析	(37)
4.2.3 实测光谱和悬浮物相关性分析	(38)
4.2.4 悬浮物含量遥感信息提取	(38)
4.2.5 颗粒态总磷含量遥感信息提取	(39)
4.3 水体中总磷的遥感反演	(41)
4.3.1 试验区内特征分析	(41)
4.3.2 水团运动轨迹的卫星遥感观测	(43)
4.3.3 总磷和悬浮物的相关性分析	(44)
4.3.4 研究海域内 TP 的遥感反演和悬浮物评价标准的确定	(46)
4.4 溶解无机氮在研究海域的地球化学特性	(46)

4.4.1	溶解无机氮在研究海域的分布特征	(46)
4.4.2	研究海域内溶解无机氮的保守性	(47)
4.4.3	研究海域内 DIN 的遥感反演及 ACD 间接评价 标准的确定	(50)
5	遥感水质评价精度校验	(51)
5.1	水环境质量现状评价	(51)
5.1.1	评价范围	(51)
5.1.2	评价水质参数	(51)
5.1.3	评价方法及标准	(51)
5.1.4	评价结果	(52)
5.2	卫星遥感水质评价及精度校验	(55)
5.2.1	卫星遥感数据	(55)
5.2.2	卫星遥感水质方法及标准	(55)
5.2.3	卫星遥感水质评价结果分析	(56)
6	研究海域水质遥感评价	(57)
6.1	浙江省海域水质遥感评价	(57)
6.1.1	评价范围	(57)
6.1.2	环境质量状况	(57)
6.1.3	环境质量状况月度变化	(57)
6.2	上海市海域水质遥感评价	(59)
6.2.1	评价范围	(59)
6.2.2	上海海域环境质量状况	(59)
6.2.3	上海海域环境质量状况月度变化	(60)
7	HAB 的遥感反演模式	(63)
7.1	赤潮概述	(63)
7.1.1	赤潮现象及分类	(63)
7.1.2	赤潮分布判别模型	(63)
7.1.3	试验区内赤潮发生基本情况	(64)
7.1.4	研究区域内环境特征	(64)
7.2	赤潮反演算法	(65)
7.2.1	研究区域内赤潮光谱特征	(65)
7.2.2	赤潮反演的方法	(66)
7.3	试验区内赤潮事件遥感反演研究	(68)
8	结论和展望	(73)
8.1	本文完成的主要研究工作	(73)

8.2 创新点	(74)
8.3 几点结论	(74)
8.4 进一步的研究工作	(74)
参考文献	(76)

论文二：基于固有光学量的东海赤潮遥感提取算法研究

1 绪论	(85)
1.1 研究背景和意义	(85)
1.2 国内外研究现状	(86)
1.2.1 赤潮遥感提取算法	(86)
1.2.2 赤潮藻种识别与固有光学量研究发展现状	(89)
1.3 主要研究内容和技术路线	(92)
2 东海赤潮特征分析	(94)
2.1 研究区域和数据	(94)
2.1.1 研究区域概况	(94)
2.1.2 数据和方法	(96)
2.2 东海赤潮发生发展特征分析	(101)
2.2.1 东海赤潮时空分布及发展趋势	(101)
2.2.2 东海赤潮主要藻种特征	(103)
2.2.3 东海赤潮发生发展的生化物理机制分析	(106)
2.3 小结	(107)
3 东海环境水体与赤潮水体的固有光学性质分析	(108)
3.1 东海环境水体固有光学性质	(108)
3.1.1 东海环境水体吸收性质	(108)
3.1.2 东海环境水体散射性质	(122)
3.2 东海赤潮水体固有光学性质	(126)
3.2.1 赤潮水体吸收性质	(126)
3.2.2 赤潮水体散射性质	(128)
3.3 小结	(132)
4 基于固有光学量的赤潮识别算法研究	(134)
4.1 基于水体吸收系数的赤潮识别算法	(134)
4.1.1 色素吸收比重法	(135)
4.1.2 叶绿素比吸收系数法	(136)
4.2 基于水体后向散射系数的赤潮识别算法	(138)

4.2.1 散射—吸收比值法	(138)
4.2.2 后向散射比率法	(139)
4.3 基于光谱高度法的赤潮卫星遥感识别算法	(141)
4.4 综合赤潮卫星遥感识别算法	(145)
4.5 小结	(148)
5 东海特征赤潮卫星遥感提取结果分析	(150)
5.1 东海赤潮卫星遥感提取结果	(150)
5.2 遥感提取效果评价	(164)
5.3 赤潮误判分析	(166)
5.4 小结	(167)
6 总结与展望	(168)
6.1 论文工作总结	(168)
6.2 论文创新点	(168)
6.3 展望	(169)
参考文献	(170)

论文三：黄渤海海雾遥感辐射特性及卫星监测研究

1 绪论	(181)
1.1 研究的目的和意义	(181)
1.2 国内外研究现状	(182)
1.3 研究内容和技术路线	(185)
1.3.1 拟解决的关键科学问题	(185)
1.3.2 研究内容、章节安排和主要结论	(185)
2 基本知识和研究数据	(187)
2.1 雾的定义	(187)
2.2 雾的生成过程和分类	(187)
2.3 黄渤海海雾的分布特点	(189)
2.4 研究数据和辐射传输模式	(190)
2.4.1 NOAA17 - AVHRR3 (先进的甚高分辨率辐射计) ...	(190)
2.4.2 研究、验证和应用数据	(191)
2.4.3 Streamer 辐射传输模式	(193)
2.5 本章小结	(194)
3 海雾的卫星遥感和辐射模拟波谱特征	(195)
3.1 卫星观测地球大气辐射原理	(195)

3.1.1	卫星高度处的可见光、近红外遥感信息	(196)
3.1.2	卫星高度处的红外遥感信息	(196)
3.2	卫星遥感观测信息分析	(197)
3.2.1	剖面分析	(197)
3.2.2	频谱分析	(200)
3.3	辐射传输模拟云雾辐射特性	(204)
3.4	本章小结	(209)
4	卫星遥感监测海雾算法设计	(210)
4.1	概述	(210)
4.2	海雾监测算法设计	(210)
4.2.1	云地分离	(211)
4.2.2	相态判别	(213)
4.2.3	粒径判断	(219)
4.2.4	图像特征分析	(221)
4.2.5	高度分析	(223)
4.2.6	修补漏点	(223)
4.3	实例监测结果	(226)
4.4	本章小结	(227)
5	海雾微物理性质反演	(229)
5.1	海雾的微物理性质	(229)
5.2	查询表的建立	(231)
5.3	雾层光学厚度和雾滴有效半径	(231)
5.4	雾水含量和雾中能见度	(232)
5.5	雾滴谱分布	(237)
5.5.1	均匀分布情况	(238)
5.5.2	γ 雾滴尺度分布模型	(238)
5.6	本章小结	(241)
6	监测算法的验证和应用	(242)
6.1	监测算法的先验实例验证	(242)
6.2	监测算法的应用验证	(246)
6.3	推广应用试验—FY-1D	(255)
6.4	本章小结	(256)
7	总结与展望	(257)
7.1	论文工作总结	(257)
7.2	创新点分析	(258)

7.3 研究展望	(258)
附录：符号和公式	(260)
参考文献	(261)

论文四：卫星遥感中国海域气溶胶光学特性及其 辐射强迫研究

1 绪论	(269)
1.1 研究目的和意义	(269)
1.2 国内外研究现状	(271)
1.2.1 地面观测	(271)
1.2.2 模式分析	(273)
1.2.3 卫星遥感	(275)
1.3 研究内容和技术路线	(277)
1.3.1 拟解决的关键科学问题	(277)
1.3.2 研究内容、章节安排和主要结论	(278)
2 中国海域 MODIS 气溶胶数据验证	(279)
2.1 介绍	(279)
2.2 船测数据验证	(280)
2.2.1 试验介绍	(280)
2.2.2 测量和数据处理方法	(281)
2.2.3 数据验证结果	(283)
2.3 AERONET 数据验证	(284)
2.3.1 数据介绍	(284)
2.3.2 数据验证方法	(285)
2.3.3 数据验证结果	(287)
2.4 本章小结	(290)
3 中国海域气溶胶特性分析	(291)
3.1 介绍	(291)
3.2 数据介绍	(291)
3.3 气溶胶光学厚度和小颗粒比例的时间变化	(292)
3.3.1 季节变化	(292)
3.3.2 时间序列	(293)
3.4 气溶胶光学厚度和小颗粒比例的空间分布	(294)
3.5 原因分析	(296)
3.5.1 气象场分析	(296)

3.5.2 实测数据分析	(298)
3.6 本章小结	(302)
4 中国海域沙尘和人为气溶胶特性分析	(303)
4.1 介绍	(303)
4.2 数据介绍	(303)
4.3 研究方法	(304)
4.4 人为气溶胶和沙尘气溶胶的时间变化	(305)
4.4.1 季节变化	(305)
4.4.2 时间序列	(306)
4.5 人为气溶胶和沙尘气溶胶的空间分布	(308)
4.6 本章小结	(310)
5 卫星遥感中国海域气溶胶直接辐射强迫	(311)
5.1 介绍	(311)
5.2 研究区域与数据	(312)
5.3 算法设计	(313)
5.4 气溶胶瞬时直接辐射强迫	(315)
5.4.1 确定晴空区, 剔除云区	(315)
5.4.2 Fclr 查找表的建立	(316)
5.4.3 有气溶胶晴空条件下大气顶的辐射通量 (Faero) 和 AOT550	(320)
5.4.4 气溶胶瞬时直接辐射强迫的时空分布	(323)
5.5 日平均气溶胶直接辐射强迫 (SWARF _{diurnal})	(325)
5.5.1 修正因子	(326)
5.5.2 日平均气溶胶直接辐射强迫时空分布	(328)
5.6 误差分析	(331)
5.7 本章小结	(332)
6 中国海域气溶胶间接效应	(334)
6.1 介绍	(334)
6.2 数据和方法介绍	(335)
6.3 结果分析	(335)
6.3.1 全年	(335)
6.3.2 夏季	(337)
6.3.3 春季	(338)
6.4 本章小结	(339)

7 中国海域气溶胶直接辐射强迫数值模拟	(341)
7.1 介绍	(341)
7.2 模式介绍	(341)
7.3 模拟方案和资料	(342)
7.4 结果分析	(342)
7.5 本章小结	(345)
8 总结与展望	(346)
8.1 论文工作总结	(346)
8.2 创新点分析	(347)
8.3 研究展望	(348)
参考文献	(349)

论文五：基于卫星遥感研究台风对西北太平洋 海域水色水温环境的影响

引言	(361)
1 概述	(363)
1.1 前言	(363)
1.2 台风概述	(363)
1.2.1 台风等级分类	(363)
1.2.2 台风利弊	(363)
1.2.3 西北太平洋台风概述	(364)
1.3 海洋水色遥感概述	(365)
1.4 台风对海洋环境影响的研究现状	(365)
1.5 研究背景与意义	(367)
2 典型台风对西北太平洋海域环境影响的遥感研究	(370)
2.1 研究对象	(370)
2.2 资料来源和处理方法	(371)
2.2.1 卫星遥感数据	(371)
2.2.2 滑动窗口均值融合算法流程	(371)
2.3 200116 号台风“百合”对东海海域的影响	(372)
2.3.1 台风“百合”对东海海域叶绿素浓度的贡献	(372)
2.3.2 台风“百合”对东海海域海表温度的影响	(378)
2.3.3 台风“百合”对东海海域海水透明度的影响	(380)
2.3.4 台风“百合”前后叶绿素 a 浓度、海表温度、 海水透明度变化关系分析	(381)

2.4	200601 号台风“珍珠”对南海海域的影响	(382)
2.4.1	台风“珍珠”对南海海域叶绿素 a 浓度的影响	(382)
2.4.2	台风“珍珠”对海表温度的影响	(387)
2.4.3	海面风场及埃克曼抽吸速度	(391)
2.5	两次典型台风对东南海域影响的比较分析	(392)
2.5.1	两次典型台风的相同点	(392)
2.5.2	两次典型台风的的不同点	(393)
2.6	结论	(393)
3	海表温度受台风影响的关键要素研究	(395)
3.1	前言	(395)
3.2	研究区域、数据和方法	(396)
3.2.1	研究区域	(396)
3.2.2	数据及处理方法	(396)
3.3	结果与分析	(398)
3.3.1	近 10 年西北太平洋海域所选研究台风统计	(398)
3.3.2	大尺度下台风对 SST 影响的关键要素分析	(399)
3.3.3	小尺度台风中心区域 SST 变化与分析	(404)
3.4	讨论	(407)
3.5	小结	(408)
4	叶绿素 a 浓度受台风影响的关键要素研究	(409)
4.1	引言	(409)
4.2	研究区域、数据和方法	(409)
4.3	结果与分析	(411)
4.3.1	大尺度下台风对叶绿素 a 浓度影响的关键要素	(411)
4.3.2	影响小尺度台风中心区域叶绿素 a 浓度的关键要素	(420)
4.3.3	一类、二类水体叶绿素 a 浓度对台风响应差异性	(423)
4.3.4	台风对叶绿素 a 浓度影响的延迟效应	(424)
4.4	叶绿素 a 浓度响应的统合综效	(425)
4.5	讨论	(427)
4.5.1	延迟效应的生化及物理机理探讨	(427)
4.5.2	叶绿素 a 浓度与海表温度对台风响应的比较	(428)
4.6	结论	(428)
5	水色水温受台风影响的机制探讨	(430)
5.1	引言	(430)

5.2	研究区域及数据来源	(430)
5.3	数学模型简介	(430)
5.4	结果与分析	(431)
5.4.1	200712 号台风“百合”对 SST 的影响	(431)
5.4.2	200712 号台风“百合”对叶绿素 a 浓度的影响	(433)
5.4.3	200712 号台风“百合”期间 CTD 实测数据分析	(434)
5.4.4	台风所致上升流的数值计算	(436)
5.4.5	2007 年春季出海实测资料分析	(437)
5.5	讨论	(440)
5.5.1	遥感与数值模拟的比较分析	(440)
5.5.2	出海船测资料的讨论	(441)
5.6	小结	(441)
6	结论与展望	(443)
6.1	结论	(443)
6.2	本论文研究的创新点	(445)
6.3	本论文研究的不足	(445)
6.4	建议与展望	(446)
	参考文献	(447)

论文六：基于遥感资料的浙江省海岸带生态系统健康研究

1	绪论	(455)
1.1	研究背景	(455)
1.2	研究意义	(456)
1.3	国内外研究现状	(457)
1.3.1	海岸带生态系统健康概念	(457)
1.3.2	海岸带生态系统健康评价方法	(459)
1.4	论文逻辑结构	(461)
2	浙江省海岸带生态系统健康研究	(463)
2.1	论文研究内容	(463)
2.2	研究区概况与数据来源	(463)
2.2.1	研究区概况	(463)
2.2.2	数据来源	(464)
2.3	研究方法与技术路线	(465)
2.3.1	影响海岸带生态系统健康状况的因素	(465)