



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

深远海创新理论及技术应用丛书

Application of Satellite Remote
Sensing Technology in Ocean

卫星遥感技术 在海洋中的应用

韩 震 周玮辰 张雪薇 著

 海洋出版社



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

深远海创新理论及技术应用丛书

卫星遥感技术 在海洋中的应用

韩 震 周玮辰 张雪薇 著

海洋出版社

2018年·北京

内 容 简 介

海洋遥感可实现大面积、实时、同步、连续而密集的海洋多种特征要素的观测, 卫星遥感技术已成为调查与获取海洋基本数据, 评估海洋社会经济和生态环境可持续发展能力的有力工具。本书作为海洋遥感领域学术著作, 系统介绍了卫星遥感技术在海洋领域的多方面应用, 是作者多年来的研究成果结晶。

全书共分 5 章, 主要内容包括卫星遥感技术在海岸带、近海、大洋和极地等领域的应用。海岸带部分主要介绍潮沟信息提取及研究、潮沟系统生态景观格局变化特征遥感研究和潮滩土壤湿度遥感研究; 近海部分主要介绍大型浮游藻类生消过程中海表面温度的变化研究、浒苔与马尾藻的遥感探测和绿潮灾害海洋初级生产力的反演; 大洋部分主要介绍海水温度遥感研究和海表面盐度遥感反演研究; 极地部分主要介绍海冰卫星遥感系统的设计与实现。

本书主要面向卫星遥感、海洋遥感等领域, 可供从事海洋遥感研究的相关工作人员选作参考书, 同时也可供海洋遥感相关专业的学生选作参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

卫星遥感技术在海洋中的应用 / 韩震, 周玮辰, 张雪薇著. — 北京: 海洋出版社, 2018. 10
(深远海创新理论及技术应用丛书)

ISBN 978-7-5210-0193-8

I. ①卫… II. ①韩… ②周… ③张… III. ①卫星遥感—应用—海洋学 IV. ①P7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 211280 号

责任编辑: 郑跟娣

责任印制: 赵麟苏

出版发行: 海洋出版社

网 址: www.oceanpress.com.cn

地 址: 北京市海淀区大慧寺路 8 号

邮 编: 100081

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

字 数: 211 千字

发 行 部: 010-62132549

总 编 室: 010-62114335

编 辑 室: 010-62100961

承 印: 北京朝阳印刷厂有限责任公司

版 次: 2018 年 10 月第 1 版

印 次: 2018 年 10 月第 1 次印刷

印 张: 12

定 价: 72.00 元

本书如有印、装质量问题可与本社发行部联系调换

序 言

地球表面积约 71% 是海洋，中国拥有约 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的主管辖海域，18 000 km 的海岸线。空间对地观测与星载遥感的一个重要领域是海洋遥感，多源多模式的星载海洋遥感可实现大面积、实时、同步、连续而密集的海洋多种特征要素的观测。

本书作者多年来持续开展了海岸带、近海、大洋和极地的海洋遥感应用技术研究，取得了大量有意义的研究成果。例如，结合长江口深水航道建设工程，分析了长江口九段沙潮沟的遥感信息，进一步分析了九段沙潮沟系统生态景观格局的变化特征；用遥感数据分析了长江口南汇潮滩土壤湿度，并开展了大型浮游藻类生消过程中海表面温度变化研究以及海洋初级生产力的反演方法。作者还研究了印度洋北部海水温度场遥感反演，提出用分层模型和神经网络模型对西北太平洋海水温度、海表面盐度进行研究，建立了海冰卫星遥感信息系统。

这些科学研究成果是十分有意义的，对我国进一步开展海洋遥感应用技术研究与实践有重要的促进作用。我热情地向大家推荐这本书。

中国科学院院士



2017 年 11 月 20 日

前言

近年来,国家对海洋资源与环境问题日益重视。卫星遥感具有大尺度、快速、同步、高频度动态观测和经济效益高等优势。海洋遥感的发展涵盖了不同种类的科学信息与科学知识,与光电子技术、计算机技术、通信技术和空间技术等密切相关。我国已经成功发射了气象卫星、资源卫星和海洋卫星,为海洋资源环境监测提供了大量数据。在国家层面上,遥感技术已成为调查与获取海洋基本数据、评估海洋社会经济和生态环境可持续发展能力的有力工具。海洋遥感技术及其应用水平标志着一个国家的硬实力与软实力。

《卫星遥感技术在海洋中的应用》全书共分5章,研究区域包括海岸带、近海、大洋和极地。海岸带的研究内容主要有潮沟信息提取及研究、潮沟系统生态景观格局变化特征遥感研究和潮滩土壤湿度遥感研究;近海的研究内容主要有大型浮游藻类生消过程中海表面温度的变化研究、浒苔与马尾藻的遥感探测和绿潮灾害海洋初级生产力的反演;大洋的研究内容主要有海水温度遥感研究和海表面盐度遥感反演研究;极地的研究内容主要是海冰卫星遥感系统的设计与实现。

本书得到了国家和省部委多项课题研究资金的资助,是作者及其指导的研究生多年共同研究成果的结晶,多数成果已在国内、外刊物上发表。参与研究工作的研究生有陈翔、彭飞、霍文娟、赵宁、王嵩、陈琳、张启明、金松、李化良、李雪娜、朱言江、张宜振、周玮辰和张雪薇等。在此,作者对上述同学致以诚挚的谢意。我们相信随着卫星对地观测产业和卫星技术的持续发展,卫星遥感将在维护我国海洋权益、保护海洋环境、开发海洋资源、减轻海洋灾害和实施海域使用管理等方面发挥更大的作用。

由于作者才疏学浅,书中难免存在不足和错误,敬请同行专家和广大读者给予批评指正。

韩震

2017年10月于上海临港新城

目 录

第1章 绪 论

1.1 卫星遥感概述	1
1.2 卫星遥感在海洋中的应用	1
1.2.1 海岸带	2
1.2.2 近海	4
1.2.3 大洋	5
1.2.4 极地	7
参考文献	8

第2章 海岸带遥感信息探测与应用

2.1 长江口九段沙潮沟信息提取及研究	11
2.1.1 图像分割技术和数学形态学在遥感影像信息提取中的应用	12
2.1.2 Pauli 全极化目标分解技术在潮沟信息提取中的应用	23
2.2 长江口九段沙潮沟系统生态景观格局变化特征遥感研究	29
2.2.1 深水航道工程建设期间九段沙潮沟生态景观的变化	30
2.2.2 九段沙潮沟系统分维研究	38
2.3 长江口南汇潮滩土壤湿度遥感研究	46
2.3.1 微波地表散射模型	46
2.3.2 遥感数据处理与分析	49
参考文献	54

第3章 近海遥感信息探测与应用

3.1 大型浮游藻类生消过程中海表面温度的变化研究	56
3.1.1 研究区域	57
3.1.2 大型藻类的遥感探测机理	58
3.1.3 大型藻类生消过程中海表面温度的变化研究	63

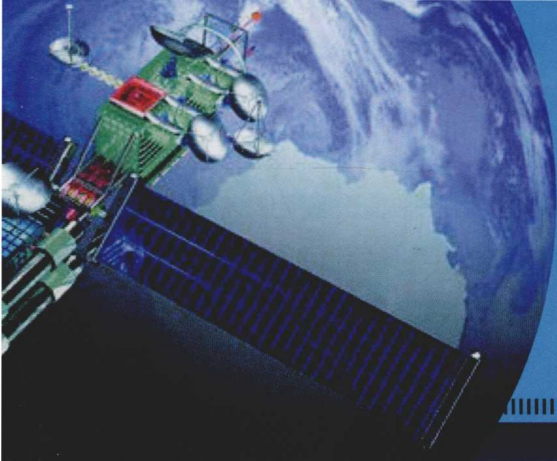
3.2 浒苔与马尾藻的遥感探测·····	75
3.2.1 数据处理流程·····	76
3.2.2 漂浮藻类和海水的区分·····	77
3.2.3 浒苔和马尾藻的区分·····	78
3.3 绿潮灾害海洋初级生产力的反演·····	80
3.3.1 海洋初级生产力模型·····	80
3.3.2 绿潮发生过程中海洋初级生产力的估算·····	81
参考文献·····	87

第4章 大洋遥感信息探测与应用

4.1 印度洋北部海域海水温度遥感研究·····	89
4.1.1 研究区域概况和技术路线·····	90
4.1.2 海水表面温度遥感反演研究·····	91
4.1.3 海水三维温度场遥感反演研究·····	104
4.2 西北太平洋海水温度遥感研究·····	112
4.2.1 基于分层模型的海水温度模拟·····	112
4.2.2 基于神经网络模型的海水温度模拟·····	120
4.3 西北太平洋海表面盐度遥感反演研究·····	133
4.3.1 海表面盐度遥感反演机理·····	134
4.3.2 研究区域和数据源·····	135
4.3.3 海表面亮温参数·····	140
4.3.4 神经网络模型反演海表面盐度·····	146
参考文献·····	155

第5章 极地遥感信息探测与应用

5.1 海冰卫星遥感数据与相关开发技术·····	159
5.1.1 海冰卫星遥感数据集·····	160
5.1.2 RIA 技术·····	164
5.1.3 ArcGIS Server·····	164
5.2 北冰洋海冰卫星遥感系统的设计与实现·····	167
5.2.1 系统设计·····	167
5.2.2 系统开发·····	169
5.2.3 基于系统的海冰时空分布特征研究·····	174
参考文献·····	183



第1章 绪 论

1.1 卫星遥感概述

卫星遥感是利用卫星对地球和底层大气进行光学和电子观测，不接触地物目标，用遥感器获取地物目标的电磁波信息，经处理和分析后，揭示地物目标属性及其变化规律的科学技术。卫星遥感按传感器的探测波段可分为紫外遥感、可见光遥感、红外遥感、微波遥感和多波段遥感。

卫星遥感从卫星上获取的卫星数据，比地面上观测视域范围大得多，为人们研究地面各种自然现象提供了有利的条件；卫星遥感可根据不同的任务，选用不同波段和传感器来获取目标物信息，其获得的信息量远远超过了用常规传统的方法所获得的信息量，扩大了人们的观测范围和感知领域，加深了对事物和现象的认识；遥感可以对目标物进行实时、全方位和立体监测，长期获得稳定可靠的多种观测资料，为资源环境监测以及研究分析目标物时空变化规律提供了科学数据；遥感还具有用途广、经济效益高的特点，卫星遥感调查已广泛应用于海洋、测绘、气象、林业、农业、地质和军事等领域。

随着科技的发展，各国竞相发射自己的遥感卫星。随着“星源”不断地增多，遥感技术的发展带来了巨大的经济效益和社会效益，产品与服务类型不断扩展，推动了卫星遥感应用产业的发展。

1.2 卫星遥感在海洋中的应用

海洋观测资料是人类开发、利用和保护海洋的重要信息保障。卫星遥感作为获取海洋观测资料的重要手段，已经得到广泛应用。就海洋观测而言，运用卫星遥感技术手段，人们实现了对海表面温度、海表面盐度、海平面异常、海流、海表面风、海浪、海洋内波、悬浮物浓度和叶绿素浓度等多种海洋要素的监测以及大气垂直水汽含量、



可降水量和气溶胶光学厚度等许多大气要素的监测。由于卫星遥感能够进行长时间、大范围、近实时和近同步观测，它为海洋环境监测、海洋环境预报和海洋科学研究的开展提供了丰富的资料。特别是在长时间序列的全球海洋数据采集方面，具有常规调查方法所不能替代的优势。

本书研究区域包括海岸带、近海、大洋和极地。海岸带研究主要包括潮沟信息提取及研究、潮沟系统生态景观格局变化特征遥感研究和潮滩土壤湿度遥感研究；近海研究主要包括大型浮游藻类生消过程中海表面温度的变化研究、海洋藻类灾害遥感探测及海洋初级生产力反演；大洋研究主要包括海水温度遥感研究和海表面盐度遥感反演研究；极地研究主要包括海冰卫星遥感系统的设计与实现。

1.2.1 海岸带

海岸带是陆地与海洋的过渡地带，是研究水、岩石、大气、生物圈层交互作用的最佳切入点。海岸带处在这一区域的前锋地带，受全球气候变化、海平面上升以及人类活动影响，具有复杂性、敏感性和多变性，是资源环境监测重点关注的区域之一。

由于气候变暖、海平面上升等自然条件的变化及人类围垦、填海造地、海洋工程等人类活动的影响，导致海岸带正在发生变化。遥感相比传统的实地调查，其获取数据的能力强大，在海岸带资源调查中具有巨大的优势。卫星观测的大面积、同步、高精度特点可准确地记录海岸带发育、演化的状况及其相关的地面信息，数据的综合性和可比性让人们可以从中有选择地提取所需信息。开展海岸带遥感研究，了解海岸带发育状况，不仅可以为海岸带研究提供背景资料，而且可以指导海岸带保护和开发、海岸工程建设等，具有重要的实际意义。

1.2.1.1 潮沟

潮沟是海岸带潮滩主要地貌类型之一。潮沟区位于海陆交汇的活跃地带，潮沟是潮滩与外海进行物质和能量交换的主要通道。潮沟也经常被用来作为船只进出航道和渔船的避风以及停泊场所，是潮滩的重要组成部分，通过对潮沟的遥感研究，可以为潮滩资源的合理开发利用提供科学依据。

近几十年来，国内外学者在潮滩、潮沟的地貌形态演变和发育方面做了许多积极且富有成效的工作。例如，Postma (1961) 对荷兰西北部瓦登 (Wadden) 海岸潮滩进行了大量的沉积地貌研究，建立了最早的沉积 - 冲刷滞后效应模型，迄今在潮滩形成与演化研究中都具有重要的意义。Guillermo 等 (2004) 根据 TM 影像提取了阿根廷布兰卡港 (Bahia Blanca) 河口的潮沟信息，并用网格法和量规法进行了分形维数的计算。



Daphne (2005) 等利用 ERS SAR 影像对荷兰西南部潮滩表面粗糙度和沉积物纹理特征进行了研究, 研究表明, 后向散射主要取决于潮滩表面粗糙度, 而表面粗糙度主要由水底的波纹结构决定, 沉积物纹理又与沉积物含水量的体积有关。Mason 等 (2010) 以英国莫克姆 (Morecambe) 湾为例, 利用遥感手段进行了潮沟研究, 研究结果认为不对称潮汐是海湾变化的主导因素, 流速较快的潮流伴随着涨潮成为了塑造潮沟系统的主要因素。Vandenbruwaene 等 (2012) 利用高分辨率的测量工具, 从潮汐通道宽度、深度、侵蚀量、截面积等几个方面对比比利时斯凯尔特 (Scheldt) 河口的潮沟网络的形成和演化进行了研究。Hood (2014) 在美国皮吉特湾, 结合潮沟的动力沉积地貌和生态特点, 从潮沟系统的空间几何形态入手, 分析了丁坝对潮沟系统的影响。Belliard 等 (2015) 研究了潮沟网络在不同环境条件下的生长和发育, 提出了侵蚀和沉积两种机制在潮沟发育过程中并存, 同时分析了不同地形结构对初始潮沟发育的影响。海岸带潮沟遥感研究大多是结合潮滩的沉积或冲刷效应研究潮沟的发育演化与潮滩的关系以及潮沟生长发育的影响因素等。

1.2.1.2 湿地生态景观

生态景观系统是一种多维的生态网络, 在一段或是更长的时间内它将地表各自然要素之间以及与人类之间逐渐演变成为了一个有序的统一整体, 在这个整体中的各要素是相互影响的, 更是相互制约的。

湿地作为景观生态学中的研究对象, 研究重点主要是辨别湿地类别的格局特征及其在功能上的改变以及湿地各景观类别之间是如何动态变化的。Munyati (2000) 以赞比亚卡富埃 (Kafue) 沼泽作为研究区域, 利用 4 幅 LandSat 遥感影像数据, 运用地物分类中的最大似然分类法对所提取的湿地地物信息做出了分类, 经过分析得到了能够表征湿地景观动态变化的数据。Maingi 等 (2001) 利用 LandSat 和 SPOT 遥感数据分析了肯尼亚塔纳 (Tana) 河下游两岸湿地 1985—1996 年的变化, 研究表明, 沿河湿地景观格局的改变主要取决于上游所修建的大坝。在对美国草原沼泽地区的湿地环境进行空间建模研究中, Royle 等 (2002) 同样利用了遥感和地理信息系统技术, 将获取的湿地景观信息采用马尔科夫随机模型做出了相应的动态变化趋势的预测。Bao 等 (2007) 结合遥感和地理信息系统技术对西班牙特拉瓦 (Traba) 滨海湿地进化过程中的主要驱动力进行分析, 发现不同时期湿地进化有着不同的驱动因素。Kelly 等 (2011) 在研究美国旧金山河口地区植被景观格局的异质性对湿地功能的影响时, 采用高分辨率的彩红外遥感数据进行了植被格局变化的多尺度分析。依靠遥感和地理信息系统等技术的有效结合, 对湿地生态景观格局变化特征进行深入研究, 可以大范



围、实时和有效地监测研究区域的生态自然环境变化,为海岸带的开发、利用、维护和整治提供技术支撑。

1.2.1.3 土壤湿度

海岸带土壤含水量的大小直接或间接地影响着海岸带生态环境,微波遥感是监测土壤湿度的有效手段之一。土壤中含水量的多少将直接影响土壤复介电常数,进而对雷达后向散射系数造成影响。

利用合成孔径雷达来监测土壤湿度,一般是建立土壤湿度与后向散射系数之间的关系。对于经验和半经验模型,主动微波遥感反演裸露地表土壤湿度目前主要有 Dubois 模型 (Dubois et al., 1995)、Shi 模型 (Shi et al., 1997) 和 Oh 模型 (Oh et al., 2002), 经验和半经验模型相对形式简洁,意义直观,计算量较小。理论物理模型通常是基于电磁场理论中的麦克斯韦方程经过严格的数学物理推导得出的,主要有基尔霍夫模型,它包括物理光学模型 (Physical Optics Model, POM) 和几何光学模型 (Geometrical Optics Model, GOM)、小扰动模型 (Small Perturbation Model, SPM)、积分方程模型 (Integrated Equation Model, IEM) 和改进积分模型 (Advanced IEM, AIEM) (Fung et al., 1992; Chen et al., 2003)。Zribi 等 (2002) 基于 IEM 模型,利用不同入射角、HH 极化 ASAR 影像,结合田间试验获得半经验算法,反演了法国巴黎东部农业区裸露地表土壤粗糙度和土壤湿度。Rahman 等 (2008) 根据不同含水量的土壤在 ASAR 后向散射系数上的差异,利用 IEM 模型研究了美国沃纳峡谷 (Walnut Gulch) 湿地土壤粗糙度对回波信号的影响,从而求得土壤粗糙度信息,最后剔除粗糙度的影响而获得土壤湿度。Imen 等 (2011) 使用 Radarsat-2 数据,结合地面调查参数,利用改进的 Oh 模型反演了加拿大萨斯卡通 (Saskatoon) 农业区土壤湿度。在微波土壤湿度遥感反演模型中, IEM 模型能在较大的地表粗糙度范围内反映真实地表后向散射情况,不需要地表相关参数;而 Oh 模型需要地表相关参数; AIEM 模型需要地表及大气相关参数,在 AIEM 模型中, Dobson 混合介电模型常用来计算土壤介电常数。

1.2.2 近海

随着经济的快速发展,城市工业废水和生活污水大量排入海中,使营养物质在水体中富集,造成近海海域富营养化。海水中浓度持续上升的氮、磷微量元素和有机营养物质是海洋藻类灾害事件频繁发生的主要原因。大面积的藻类聚集在海面上遮蔽阳光,影响水下浮游生物的生长,破坏了海洋生态系统结构,从而造成水体缺氧,威胁海洋动物的生存。



1.2.2.1 绿潮

绿潮是海水中某些大型绿藻(如浒苔)爆发性增殖或高度聚集引起水体变色的一种有害生态现象。Hu等(2008)使用MODIS数据研究了黄海海域暴发的绿潮,利用RGB影像和NDVI影像对该区域的浒苔分布、面积以及漂移路径进行了相关分析。顾行发等(2011)针对2008年黄海浒苔灾害,利用卫星和航空等不同平台的遥感方式对浒苔进行了实时和连续的立体监测。Son等(2012)提出了漂浮绿潮植被指数算法(IGAG),并且验证了该算法在静止轨道海洋水色卫星(GOCI)数据中提取的绿潮信息的有效性。在绿潮灾害监测中,多时相、多分辨率及多光谱的遥感技术发挥了重要的作用。

1.2.2.2 初级生产力

海洋初级生产力反映的是海洋中浮游植物光合作用制造有机物的能力,对于研究海洋生态系统及特征环境具有重要意义。藻类灾害发生最直观的表现是浮游藻类大规模暴发,海水叶绿素浓度和海表面温度发生显著变化,海洋初级生产力显著增加。Li等(2004)利用VGPM模型估算了中国东海海域月平均海洋初级生产力,并通过叶绿素a浓度、海表面温度和长江口泥沙量分布等因素分析了海洋初级生产力的时空分布特征。Kyewalyanga等(2007)利用遥感反演的叶绿素数据通过五阶非线性方程来计算莫桑比克德拉瓜湾(Delagoa Bight)的海洋初级生产力,结果与实际值具有很好的吻合性。Tripathy等(2012)利用日本西南部有明海(Ariake Bay)的实测数据对VGPM模型进行修正,提高了VGPM模型在浑浊二类水体中反演海洋初级生产力的精度。Tin等(2015)根据2004—2009年BATS站点数据及卫星叶绿素、海表面温度等数据计算了马尾藻冬季和春季藻类暴发时海洋初级生产力的情况。通过对藻类灾害海洋初级生产力的遥感定量分析有助于正确认识藻类灾害的暴发机理,为藻类灾害的评价提供客观的依据。

1.2.3 大洋

海水温度和海水盐度是海洋环境的基本参数。拉尼娜现象、厄尔尼诺现象、热带气旋和海-气交换等与海水温度密切相关,生物种群分布、洄游和繁殖等生命过程也受水温的制约和影响。影响海水盐度的要素较多,降水量和蒸发量是直接影响盐度的因素,大洋环流也是一个重要因素。准确获取大范围的海水温度和海水盐度信息对于海洋动力学研究及全球气候变化研究有着重要意义。卫星遥感技术的发展为海水温度和海水盐度测量提供了有效途径。



1.2.3.1 海水温度

目前应用卫星遥感技术测得的海水表面温度 (Sea Surface Temperature, SST), 在严格意义上, 是指海洋的皮层温度 (the skin SST), 即位于海-气交界面下以热传导为主的薄层水体的温度, 皮层的实际厚度随着辐射波长而变化 (Donlon et al., 2002)。在海水表面温度遥感反演方面, 目前均是采用热红外遥感或被动微波遥感来获取海水表面温度信息。热红外遥感反演 SST 开展较早, McMillin(1975)提出了“分裂窗”(Split Windows)法, 利用大气在 AVHRR 4 波段、5 波段两个相邻波谱窗口的不同吸收特性反演 SST。Kohtaro 等 (2011) 利用 MODIS 的全球海洋数据, 对比分析了目前常用的 MCSST、WVSST、QDSST 和 NLSST 4 种 SST 反演算法, 结果表明 WVSST 模型的反演精度最高, 但其需要获得同步的水汽参数。对于微波遥感反演 SST, Kohtaro 等 (2006) 比较了从 ADEOS-II 卫星上的红外辐射计和微波辐射计获得的 SST 数据, 发现两者的差异不仅随着地理位置变化, 同时还受到水蒸气、卫星天顶角及海洋表面风的影响。Futoki 等 (2009) 将红外遥感与微波遥感海水表面温度产品进行融合, 得到新一代的近实时全天候高分辨率 SST 产品, 其反演精度约为 0.9°C 。Qiu 等 (2009) 利用浮标实测 SST 数据对南海北部的 AVHRR SST 和 TMI SST 进行了验证与比较, 研究结果表明 TMI SST 的反演效果相对较好, 云量的季节性变化引起 AVHRR SST 反演精度的变化。目前利用遥感技术反演海水表面温度无论是在光学遥感还是在微波遥感, 均已相对成熟, 但是这两种遥感手段在获取 SST 方面均各自存在缺陷。为了将两者的优势进行结合, 国内外很多学者都进行了数据产品的后期融合研究, 但二次处理将影响 SST 产品的反演精度。如何在保留光学遥感和微波遥感中各通道原始辐射信息的基础上, 综合利用两种遥感数据获得高精度的海水表面温度产品, 仍是目前亟待解决的问题之一。

1.2.3.2 海表面盐度

传统的观测方法已经满足不了人们对盐度的认识, 国内外众多学者开始将研究的眼光投向卫星遥感。Klein 等 (1977) 建立了海表面亮温和海表面盐度以及海水温度之间的关系式, 并应用此关系式从海表面亮温数据成功地获取了海表面盐度数据, 为后来建立的卫星微波遥感算法提供了理论依据。Kudryavtsev 等 (1999) 基于小扰动近似理论和物理光学理论提出了海表面发射率模型, 根据小扰动近似和小斜率近似的等价性将小扰动得出的海表发射率推广为平滑的大尺度长波, 从而保证海浪波谱的连续性, 得到全极化方式下海表面亮温的斯托克斯矢量。Vine 等 (2002) 通过多人射角修正垂直方向上电离层的电子含量, 并在此基础上对亮温的斯托克斯矩阵第二和第三参



数进行修正,从而剔除了法拉第旋转对卫星实测亮温的影响。殷晓斌等(2006)基于小斜率近似模型算法,修正了海表面风速和风向对海表面盐度反演精度的影响,并提出海面风附加效应关系式,通过该关系式证明由风速和风向所引起的附加亮温与海表面盐度有着较好的线性关系。Bulusu 等(2012)利用 SMOS 卫星的亮温数据及盐度产品,利用 3 种不同的正演模型分析了北印度洋海表面盐度的时空分布。从前人的研究成果来看,海表面亮温是反演海表面盐度的关键,也就是说海表面亮温反演精度的高低直接决定了海表面盐度数据的精度,因此开展卫星海表面亮温数据与海表面盐度数据的相关性研究对于海表面盐度反演具有重要的意义。

1.2.4 极地

在现代人类社会进程中,地球气候正在发生变化,全球温度以一种前所未有的速度升高。这些气候变化在北冰洋表现尤为明显,北冰洋海冰是气候系统中的重要组成部分,根据 40 多年来的卫星遥感数据可以发现,北冰洋海冰正在经历着非常剧烈的变化。卫星遥感技术在北冰洋海冰监测中起到非常重要的作用,40 多年来人们利用卫星遥感获取了大量的海冰数据,因此,建立集数据共享、数据可视化以及查询、分析功能于一体的海冰卫星遥感信息系统对充分挖掘这些数据的重要性具有重要的现实意义。

为了更好地利用这些数据产品,各国的官方机构或者海冰研究机构通过建立信息系统进行网络共享、发布数据产品或者相关服务。国际上目前针对海冰的专门化信息系统比较多,一些区域组织或者国家设立有专门的机构进行海冰研究,并开发有一些在线系统实现数据的查询、可视化、数据共享等,根据海冰卫星遥感数据的不同级别,提供不同的网络服务方便用户。根据这些海冰信息系统所提供数据与地图服务的类型,大概可以分为以下 4 大类:①仅提供常规的已经经过处理的海冰信息数据的下载,无法供用户更深层次的研究之用;②系统在访问页面使用了经纬度选择功能或者数据预览功能,用户可以根据自己的需求,选定数据时间并圈定数据的空间范围,系统可以给用户提供更具有针对性的数据服务,此外,这些数据不但包括了预览图,还有原始数据供用户进一步的深入研究;③系统多运用了 WebGIS 技术,在数据查询页面引入可选择区域的地图,实现基于地图的查询功能;④系统主要是采用了 HTML (Hyper Text Markup Language, 超文本标记语言) 共享或者是 FTP 共享数据的站点。



参考文献

- 顾行发, 陈兴峰, 尹球, 等. 2011. 黄海浒苔灾害遥感立体监测 [J]. 光谱学与光谱分析, 31(6): 1627-1632.
- 殷晓斌, 刘玉光, 张汉德. 2006. 海面风向不确定性对海表面盐度反演影响的剔除 [J]. 科学通报, 51(3):349-354.
- Bao R, Alonso A, Delgado C, et al. 2007. Identification of the main driving mechanisms in the evolution of a small coastal wetland (Traba, Galicia, NW Spain) since its origin 5700 cal yr BP[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247(3): 296-312.
- Belliard J P, Toffolon M, Carniello L, et al. 2015. An ecogeomorphic model of tidal channel initiation and elaboration in progressive marsh accretional contexts[J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 120(6):1040-1064.
- Bulusu Subrahmanyam, Grunseich G, Nyadjro. 2012. Preliminary SMOS salinity measurements and validation in the Indian Ocean[J]. *IEEE Trans Geoscience Remote Sensing*, 51(1):19-27.
- Chen K S, Wu Tzong-Dar, Tsang Leung, et al. 2003. Emission of rough surfaces calculated by the integral equation method with comparison to three-dimensional moment method simulation[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(1): 90-101.
- Daphne van der Wal, Peter M.J. Herman, Annette Wielemakervan den Dool. 2005. Characterisation of surface roughness and sediment texture of intertidal flats using ERS SAR imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 98(1):96-109.
- Donlon C J, Minnett P J. 2002. Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research[J]. *Journal of Climate*, 15(4): 353-369.
- Dubois P C, Van J Zyl, Engman E T. 1995. Corrections to measuring soil moisture with imaging radars[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(6):1340.
- Fung A K, Li Z, Chen K S. 1992. Backscattering from a randomly rough dielectric surface[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2):356-369.
- Futoki Sakaida, Hiroshi Kawamura. 2009. Research and development of the New Generation Sea Surface Temperature for Open Ocean (NGSST-O) product and its demonstration operation[J]. *Journal of Oceanography*, 65(6): 859-870.
- Guillermo R. Angeles, Gerardo M.E. Perillo, M Cintia Piccolo, et al. 2004. Fractal analysis of tidal channels in the Bahía Blanca Estuary (Argentina) [J]. *Geomorphology*, 57(3-4):263-274.
- Hood W G. 2014. Differences in tidal channel network geometry between reference marshes and marshes restored by historical dike breaching [J]. *Ecological Engineering*(71):563-573.
- Hu C, He M. 2008. Origin and offshore extent of floating algae in olympic sailing area[J]. *Eos, American Geophysical Union Transactions*, 89(33): 302-303.
- Imen G, Ramata M, Aaron A B, et al. 2011. Soil moisture retrieval over agricultural fields from multi-polarized and multi-angular Radarsat-2 SAR data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 115(1): 33-43.
- Kelly M, Tuxen K A, Stralberg D. 2011. Mapping changes to vegetation pattern in a restoring wetland: Finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time[J]. *Ecological Indicators*, 11(2):263 - 273.



- Klein L A, Swift C T. 1977. An improved model for the dielectric constant of sea water at microwave frequencies [J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2(1):104–111.
- Kohtaro Hosoda, Hiroshi Murakami. 2006. Difference characteristics of sea surface temperature observed by GLI and AMSR aboard ADEOS-II[J]. *Journal of Oceanography*, 62(3):339–350.
- Kohtaro Hosoda, Qin Huiling. 2011. Algorithm for estimating sea surface temperatures based on Aqua/Modis global ocean data.1.Development and validation of the algorithm [J]. *Journal of Oceanography*, 67(1):135–145.
- Kudryavtsev V N, Makin V K, Chapron B. 1999. Coupled sea surface–atmosphere model: 2. Spectrum of short wind waves[J]. *Journal of Geophysical Research*, 104 (C4): 7625–7639.
- Kywalyanga M S, Naik R, Hegde S, et al. 2007. Phytoplankton biomass and primary production in Delagoa Bight Mozambique: application of remote sensing[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74(3): 429–436.
- Li G S, Gao P, Wang F, Liang Q. 2004. Estimation of ocean primary productivity and its spatio-temporal variation mechanism for East China Sea based on VGPM model[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 14(1):32–40.
- Maini J K, Marsh S E. 2001. Assessment of environmental impacts of river basin development on the riverine forests of eastern Kenya using multi-temporal satellite data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 22(14):2701–2729.
- Mason D C, Scott T R, Dance S L. 2010. Remote sensing of intertidal morphological change in Morecambe Bay, U.K., between 1991 and 2007 [J].*Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87(3):487–496.
- McMillin L. 1975. Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption[J]. *Journal of Geophysical Research*, 80(36):5113– 5117.
- Munyati C. 2000. Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 21(9):1787–1806.
- Oh Y, Sarabandi K, Ulaby F T. 2002. Semi-empirical model of the ensemble-averaged differential Mueller matrix for microwave backscattering from bare soil surfaces[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(6):1348–1355.
- Postma H. 1961. Transport and accumulation of suspended matter in Dutch Wadden Sea[J].*Neth. J. of Sea Research*, 1(1):148–190.
- Qiu Chunhua, Dongxiao Wang. 2009. Validation of AVHRR and TMI-derived sea surface temperature in the northern South China Sea[J].*Continental Shelf Research*, 29(20):2358–2366.
- Rahman M M, Moran M S, Thoma D P, et al. 2008. Mapping surface roughness and soil moisture using multi-angle radar imagery without ancillary data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 112(2):391–402.
- Royle J A, Koneff M D, Reynolds R E. 2002. Spatial modeling of wetland condition in the US Prairie Pothole region[J]. *Biometrics*, 58(2):270–279.
- Shi J C, Wang J. 1997. Estimation of bare surface soil moisture and surface roughness parameter using L-band SAR image data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(5):1254–1266.
- Son Y, Min J, et al. 2012. Detecting massive green algae blooms in the Yellow Sea and East China Sea



- using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) data[J]. *Ocean Science Journal*, 47(3):359–375.
- Tin H C, Lomas M W, Ishizaka J. 2015. Satellite-derived estimates of primary production during the Sargasso Sea winter/spring bloom: Integration of in-situ time-series data and ocean color remote sensing observations[J]. *Regional Studies in Marine Science*(3):131–143.
- Tripathy S C, Ishizaka J, Siswanto E, et al. 2012. Modification of the vertically generalized production model for the turbid waters of Ariake Bay, southwestern Japan[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 97(97):66–77.
- Vandenbruwaene W, Meirel P, Temmerman S. 2012. Formation and evolution of a tidal channel network within a constructed tidal marsh [J]. *Geomorphology*, 151–152(1):114–125.
- Vine D M L, Abraham S. 2002. The effect of the ionosphere on remote sensing of sea surface salinity from space: absorption and emission at L band[J]. *IEEE Trans Geoscience Remote Sensing*, 40(4):771–782.
- Zribi M, Dechambre M. 2002. A new empirical model to retrieve soil moisture and roughness from C-band radar data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 84(1):42–52.