

# 海洋微波 遥感与应用

*HAIYANG WEIBO YAOGAN  
YU YINGYONG*

潘德炉 林明森 毛志华 主编



海洋出版社

# 海洋微波遥感与应用

潘德炉 林明森 毛志华 主编

海洋出版社

2013年·北京

图书在版编目(CIP)数据

海洋微波遥感与应用/潘德炉,林明森,毛志华主编.  
—北京:海洋出版社,2013.9  
ISBN 978-7-5027-8647-2

I. ①海… II. ①潘… ②林… ③毛… III. ①海洋遥  
感-微波遥感-文集 IV. ①P715.7-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第205552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

2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:25.25

字数:630千字 定价:96.00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

## Foreword

卫星海洋遥感按探测波段分,主要有可见光、红外和微波遥感三大类,它们的波长范围分别为  $0.38 \sim 0.47 \mu\text{m}$ ,  $0.74 \sim 15 \mu\text{m}$  和  $1 \text{ mm} \sim 1 \text{ m}$ 。可见光遥感主要用于探测海洋水色环境,红外遥感主要用于探测海面水温环境,微波遥感主要用于探测海洋动力环境。由于它们的探测波段和探测的对象有所不同,反演的机理和模式以及应用技术大不相同,可谓八仙过海各显神通。

本书汇编了3篇有关卫星海洋微波遥感及应用的博士论文和1篇优秀的硕士论文,内容涉及了高度计、散射计、辐射计和合成孔径雷达四大微波遥感器。我团队培养的海洋微波遥感的研究生们克服了重重困难,不畏寒窗苦,挖掘微波遥感信息源,在四大微波遥感器的反演机理和模型以及应用技术上都取得了创新成果,用他们辛勤劳动的汗水,以深奥的科技音符丰富了我国海洋微波遥感曲的鲜艳频谱。现将它们汇集成《海洋微波遥感与应用》一书,希望为我国海洋微波遥感科学技术的发展添上一片砖瓦。

杨乐博士论文《卫星雷达高度计在中国近海及高海况下遥感反演算法研究》(2009年)围绕高度计目前仍存在的两方面问题展开研究:由于陆地回波的影响,高度计在近海区域测量数据大面积不可用;高度计在热带气旋、台风和飓风等恶劣的海况条件下测量数据受降雨等多种因素的影响。她采用目前两颗卫星 JASON-1 和 ENVISAT 携带的高度计测量数据,首次对中国近海的测高数据及回波波形进行了全面的分析。针对近海测高波形受陆地影响的问题,研究和比较了目前已有的多种波形重构算法,提出基于子波形的波形重构方案。解决了高度计在近海测量的回波波形反演的问题,提高了高度计在近岸海洋测量数据的数量和质量;对于不能得到有效波高的波形重构算法,可把该算法得到的上升半功率点的位置作为已知量代入海洋算法进行拟合,通过联合两种波形重构算法,得到不同算法的有效波高值;基于一个大气-白沫-海水的三层模型和电磁波散射理论,分析了海面白沫对双频高度计及大气校正辐射计测量的影响,在已有的只考虑降雨校正算法的基础上,提出了辅助大气校正辐射计的测量数据可同时校正降雨和白沫的算法,为白沫的研

究提供了一种新的途径。

任林博士论文《星载雷达微波遥感海浪方向谱仿真与反演研究》(2011年)提出了分布参数方法实现 SAR 图像的海浪谱反演。将 SAR 图像的海浪谱反演分为两个阶段,第一反演阶段,不加初猜谱,反演出 SAR 图像本身包含的信息,即方位向截断波数内的海浪信息。第二反演阶段,首先通过 CMOD-IFR2 风场反演算法和 SAR 数据反演出的同步风速信息,判断出海面的主要海浪成分,如以涌浪为主,则反演结束,如以风浪为主,则利用第一反演阶段的反演结果,以主波波长、主波波向、成长状态和风速等匹配风浪初猜谱,然后代入迭代过程反演出最终的海浪谱;针对机载波谱仪 STORM 的自身特点提出了机载波谱仪反演过程中均方波陡和噪声谱估计的新方法,成功估计出功率谱中的噪声谱;结合 SAR 和波谱仪各自反演特点,探讨了联合反演的海浪谱的模型,为新型的海洋波谱仪资料处理提供技术储备。

邹巨洪博士论文《卫星微波遥感海面风场反演技术研究》(2009年)针对业务化运行地球物理模型 QSCAT-1 在大风条件下对后向散射系数估值偏高的问题,在 QSCAT-1 的基础上对模型的高风速部分进行改进,得到了大风地球物理模型 NN-T-GMF。在模型中高风速部分,利用散射计在大风条件下测量获得的后向散射系数,反演获得的风向,用散射计 SSM/I F13 同步测量获得的风速数据集,采用神经网络方法训练获得高风速下地球物理模型。对模型中的低风速部分则采用 QuiK-SCAT-1 模型,采用分段函数的形式将两者统一,使得最终得到的地球物理模型函数预测的后向散射系数保持连续、平滑。将大风地球物理模型 NN-T-GMF 应用到台风 IOKE 风矢量反演当中,精度优于 QSCAT-1 模型。同时,为校正由于降雨带来的风向反演误差,在风向多解去除算法中引入 Holland 模型。其反演结果经过校正后的风向呈明显的螺旋状特征,经验证表明更加接近实测值,对散射计资料反演高风速很有实用价值。

雷林硕士论文《基于微波辐射计的海面风速和海表温度反演算法研究》(2009年)研发了 SSM/I 微波辐射计及七个通道的亮温作为训练的神经网络反演风场的模型,应用于全球海面风场反演,和 NOAA 产品风场月平均产品比较,结果十分吻合;同时分别用 SSM/I 和 AMSR-E 微波辐射计资料反演海面温度,结果表明 AMSR-E 较好,反演结果与浮标实测海表温度相比较,均方根误差为  $0.92^{\circ}\text{C}$ 。对微波辐射计反演风场和海面水温有重要意义。

本书是一本反映海洋微波遥感技术科学与应用的论文集,在导师们

的悉心指导下，各论文作者将点滴辛勤汗水洒在海洋微波遥感研究中，孕育出一朵朵奇葩。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

2013年3月

## CONTENTS

海洋微波遥感与应用

## 论文一: 卫星雷达高度计在中国近海及高海况下遥感反演算法研究

1 绪论	(4)
1.1 研究目的和意义	(4)
1.1.1 近海区域高度计波形重构的研究意义	(5)
1.1.2 高海况下高度计海面信息反演的研究意义	(6)
1.2 国内外研究现状	(6)
1.2.1 近海区域高度计的波形重构算法研究	(8)
1.2.2 高海况下高度计的反演算法研究	(9)
1.3 研究内容	(10)
1.3.1 拟解决的关键科学问题	(10)
1.3.2 各个章节的内容介绍	(11)
1.4 研究区域和数据	(12)
1.4.1 研究区域及特征	(12)
1.4.2 数据来源	(13)
2 雷达高度计测量海面参数的原理及反演算法	(15)
2.1 介绍	(15)
2.2 波形跟踪技术	(17)
2.3 回波模型及拟合方法	(18)
2.4 测高校正量	(23)
2.5 小结	(25)
3 雷达高度计在近海测量数据的评估	(27)
3.1 介绍	(27)
3.2 近海回波波形分析	(28)

- 3.2.1 从海洋到陆地 ..... (28)
- 3.2.2 从陆地到海洋 ..... (33)
- 3.3 评估的指标 ..... (34)
- 3.4 评估的结果 ..... (35)
- 3.5 小结 ..... (36)
- 4 雷达高度计近海波形重构算法 ..... (38)**
  - 4.1 介绍 ..... (38)
  - 4.2 波形重构算法 ..... (38)
    - 4.2.1 远海的波形重构算法 ..... (38)
    - 4.2.2 其他波形重构算法 ..... (39)
  - 4.3 算法的比较和验证 ..... (43)
    - 4.3.1 交叉点海面高度异常 SLA 的比较和验证 ..... (43)
    - 4.3.2 海面高度 SSH 与验潮站水位的比较和验证 ..... (46)
    - 4.3.3 有效波高 SWH 的比较和验证 ..... (50)
  - 4.4 近海的波形重构算法 ..... (52)
  - 4.5 小结 ..... (56)
- 5 雷达高度计在高海况下的研究 ..... (58)**
  - 5.1 介绍 ..... (58)
  - 5.2 影响因素分析 ..... (59)
    - 5.2.1 降雨的影响 ..... (59)
    - 5.2.2 白沫的影响 ..... (61)
    - 5.2.3 降雨和白沫的影响 ..... (64)
  - 5.3 校正方法 ..... (66)
    - 5.3.1 有效波高的校正 ..... (66)
    - 5.3.2 风速的校正 ..... (67)
  - 5.4 结果及验证 ..... (69)
  - 5.5 小结 ..... (73)
- 6 海浪波谱仪测浪机理探讨 ..... (75)**
  - 6.1 介绍 ..... (75)
  - 6.2 波谱仪的海浪谱测量原理 ..... (76)
  - 6.3 波谱仪与其他星载测浪传感器的比较 ..... (79)
  - 6.4 波谱仪的波浪谱仿真和反演 ..... (83)
  - 6.5 小结 ..... (85)
- 7 总结及展望 ..... (87)**
  - 7.1 论文工作总结 ..... (87)



7.2 创新点分析 .....	(88)
7.3 展望 .....	(89)
致谢 .....	(90)
参考文献 .....	(91)

## 论文二：星载雷达微波遥感海浪方向谱仿真与反演研究

1 绪论 .....	(102)
1.1 研究目的和意义 .....	(102)
1.1.1 SAR 图像反演海浪方向谱的研究意义 .....	(103)
1.1.2 波谱仪反演海浪方向谱的研究意义 .....	(104)
1.2 国内外研究现状 .....	(104)
1.2.1 SAR 图像反演海浪谱的研究现状 .....	(104)
1.2.2 波谱仪反演海浪谱的研究现状 .....	(108)
1.3 研究内容 .....	(109)
1.3.1 拟解决的关键科学问题 .....	(109)
1.3.2 论文主要内容及章节安排 .....	(109)
2 SAR 成像机理与图像谱仿真 .....	(111)
2.1 SAR 成像几何结构与分辨率 .....	(111)
2.1.1 SAR 成像几何结构 .....	(111)
2.1.2 SAR 分辨率 .....	(111)
2.2 SAR 成像机理 .....	(113)
2.2.1 雷达后向散射系数 .....	(113)
2.2.2 SAR 海面微波散射模型 .....	(114)
2.2.3 调制传递函数 .....	(115)
2.2.4 SAR 线性成像机理 .....	(117)
2.2.5 SAR 非线性成像机理 .....	(119)
2.2.6 SAR 图像交叉谱 .....	(121)
2.3 SAR 图像谱仿真 .....	(122)
2.3.1 仿真输入海浪谱模型 .....	(122)
2.3.2 仿真参数与流程 .....	(123)
2.3.3 SAR 图像谱仿真结果与分析 .....	(123)
2.3.4 SAR 图像交叉谱仿真结果与分析 .....	(126)
2.4 小结 .....	(128)
3 SAR 海浪方向谱反演 .....	(130)
3.1 典型 SAR 海浪谱反演算法 .....	(130)

- 3.1.1 SAR 海浪谱反演算法的主要特点 ..... (130)
- 3.1.2 典型 SAR 海浪谱反演算法介绍 ..... (130)
- 3.2 分步参数化海浪谱反演算法 ..... (133)
  - 3.2.1 分步参数化算法 ..... (133)
  - 3.2.2 反演过程其他关键处理方法 ..... (138)
- 3.3 SAR 分步参数化海浪谱反演算法仿真与实例研究 ..... (140)
  - 3.3.1 SAR 海浪谱反演算法仿真 ..... (141)
  - 3.3.2 SAR 实图像海浪谱反演 ..... (142)
  - 3.3.3 SAR 复图像海浪谱反演 ..... (147)
- 3.4 小结 ..... (151)
- 4 波谱仪测量原理与信号谱仿真 ..... (152)
  - 4.1 波谱仪探测几何结构与分辨率 ..... (152)
    - 4.1.1 波谱仪探测几何结构 ..... (152)
    - 4.1.2 波谱仪分辨率 ..... (153)
  - 4.2 波谱仪海浪方向谱测量原理 ..... (154)
    - 4.2.1 波谱仪海面微波散射模型 ..... (154)
    - 4.2.2 波谱仪的测量原理 ..... (155)
  - 4.3 波谱仪信号谱仿真 ..... (158)
  - 4.4 小结 ..... (159)
- 5 波谱仪海浪方向谱反演 ..... (160)
  - 5.1 波谱仪海浪方向谱反演算法 ..... (160)
    - 5.1.1 反演算法 ..... (160)
    - 5.1.2 比例系数估计方法 ..... (163)
  - 5.2 波谱仪仿真技术研究 ..... (166)
    - 5.2.1 仿真流程和参数设置 ..... (166)
    - 5.2.2 仿真方法 ..... (167)
    - 5.2.3 仿真结果 ..... (170)
  - 5.3 小结 ..... (181)
- 6 机载波谱仪 STORM 海浪方向谱反演 ..... (182)
  - 6.1 STORM 数据介绍 ..... (182)
  - 6.2 STORM 信号谱提取 ..... (183)
  - 6.3 反演方法 ..... (186)
  - 6.4 反演结果 ..... (187)
    - 6.4.1 反演实例一 (2002 年 11 月 4 日) ..... (187)
    - 6.4.2 反演实例二 (2002 年 10 月 20 日) ..... (189)

6.5 小结 .....	(193)
<b>7 SAR 与波谱仪联合反演海浪方向谱</b> .....	(194)
7.1 波谱仪在 SAR 海浪谱反演中的应用 .....	(194)
7.2 SAR 在波谱仪海浪谱反演中的应用 .....	(197)
7.3 小结 .....	(201)
<b>8 总结与展望</b> .....	(202)
8.1 论文工作总结 .....	(202)
8.2 创新点分析 .....	(203)
8.3 展望 .....	(203)
致谢 .....	(205)
参考文献 .....	(206)

### 论文三：卫星微波遥感海面风场反演技术研究

<b>1 前言</b> .....	(216)
1.1 研究意义 .....	(216)
1.2 目前主要测风传感器 .....	(217)
1.3 散射计风矢量反演算法研究 .....	(220)
1.4 大风区域散射计测风及降雨对测风影响的研究 .....	(222)
1.5 论文的主要内容与章节安排 .....	(225)
<b>2 微波散射计工作原理</b> .....	(226)
2.1 雷达对地观测原理 .....	(226)
2.1.1 雷达散射截面 .....	(226)
2.1.2 雷达方程 .....	(226)
2.1.3 凋落波 .....	(227)
2.1.4 分辨率 .....	(227)
2.1.5 距离测量和速度测量中的模糊 .....	(228)
2.2 固定天线扇形波束体制微波散射计工作原理 .....	(228)
2.2.1 ERS 散射计观测几何 .....	(229)
2.2.2 ERS 散射计面元配准 .....	(231)
2.3 笔型波束圆锥扫描型微波散射计工作原理 .....	(232)
2.3.1 SeaWinds 天线系统 .....	(233)
2.3.2 SeaWinds 后向散射系数分辨率 .....	(235)
2.3.3 $\sigma^0$ 的估算 .....	(237)
<b>3 从后向散射系数到海面风矢量——风矢量反演</b> .....	(240)
3.1 散射计海面风矢量反演流程 .....	(240)

- 3.1.1 地球物理模型 ..... (240)
- 3.1.2 风矢量反演算法——最大似然法 ..... (243)
- 3.1.3 风向多解除算法 ..... (244)
- 3.1.4 风矢量验证 ..... (248)
- 3.2 人工神经网络建模实验 ..... (251)
  - 3.2.1 人工神经网络模型 ..... (252)
  - 3.2.2 训练样本集 ..... (253)
  - 3.2.3 结果和比较 ..... (253)
- 3.3 QuikSCAT 风矢量快速反演算法 ..... (256)
  - 3.3.1 QuikSCAT 面元配准 ..... (257)
  - 3.3.2 快速算法 ..... (257)
  - 3.3.3 快速算法应用结果与验证 ..... (259)
- 4 大风条件下的风矢量反演及应用 ..... (262)**
  - 4.1 大风条件下风矢量反演的特点 ..... (262)
  - 4.2 大风地球物理模型 ..... (263)
    - 4.2.1 散射计风速和辐射计风速在大风条件下的精度对比 ..... (263)
    - 4.2.2 大风地球物理模型的建立 ..... (267)
    - 4.2.3 反演结果及对比 ..... (270)
  - 4.3 对降雨影响的校正 ..... (271)
    - 4.3.1 Holland 的台风模型 ..... (271)
    - 4.3.2 降雨对风矢量反演的影响 ..... (272)
    - 4.3.3 降雨对风向反演带来的误差的校正 ..... (275)
    - 4.3.4 降雨对风速反演带来的误差的校正 ..... (276)
  - 4.4 QuikSCAT 在台风强度和路径监测中的应用 ..... (280)
    - 4.4.1 台风强度的确定和台风中心的定位 ..... (281)
    - 4.4.2 台风强度发展和路径检测 ..... (282)
    - 4.4.3 台风强度反演结果的校正 ..... (283)
- 5 近岸风矢量反演——散射计与 SAR 联合风矢量反演算法 ..... (286)**
  - 5.1 从 SAR 图像提取风矢量 ..... (286)
    - 5.1.1 噪声去除 ..... (287)
    - 5.1.2 风向确定 ..... (288)
    - 5.1.3 RADARSAT 辐射定标 ..... (291)
    - 5.1.4 极化转换 ..... (291)
    - 5.1.5 风速求解及验证 ..... (292)

5.2 从 QuikSCAT 与 SAR 同步观测结果提取高空间分辨率风矢量	(293)
5.3 从 QuikSCAT 与 SAR 同步观测结果提取近岸风矢量	(294)
<b>6 波谱仪小入射角测风机制探讨</b>	(296)
6.1 海浪波谱仪的工作参数和工作原理	(296)
6.2 海浪谱测量原理及小入射角雷达测风机理探讨	(297)
6.3 波谱仪仿真	(300)
6.4 波谱仪海面风速反演	(305)
<b>7 总结与展望</b>	(308)
7.1 总结	(308)
7.2 本文主要创新点	(309)
7.3 展望	(310)
参考文献	(311)

#### 论文四：基于微波辐射计的海面风速和海表温度反演算法研究

<b>1 绪论</b>	(322)
1.1 研究背景和意义	(322)
1.2 国内外研究现状	(323)
1.2.1 海面风速反演	(324)
1.2.2 海表温度反演	(327)
1.3 微波辐射计测量的有关概念	(329)
1.3.1 亮度温度	(329)
1.3.2 极化方式	(330)
1.4 本文的主要研究内容	(330)
<b>2 数据资料处理和方法</b>	(332)
2.1 SSM/I 辐射计简介	(332)
2.2 SSM/I 辐射计亮温资料处理	(335)
2.2.1 SSM/I 数据定标	(335)
2.2.2 SSM/I 亮温数据的天气分类	(336)
2.3 浮标实测数据处理	(336)
2.4 SSM/I 亮温数据与浮标数据匹配	(337)
2.5 小结	(340)
<b>3 海面风速反演</b>	(341)
3.1 引言	(341)
3.2 双极化通道亮温海面风速反演算法	(341)

- 3.2.1 反演算法 ..... (341)
- 3.2.2 反演流程 ..... (344)
- 3.2.3 反演结果 ..... (345)
- 3.3 基于神经网络的海面风速反演算法 ..... (348)
  - 3.3.1 人工神经网络简介 ..... (348)
  - 3.3.2 人工神经网络反演海面风速模型的建立 ..... (350)
  - 3.3.3 反演结果分析 ..... (352)
  - 3.3.4 神经网络算法在台风风速反演中的应用 ..... (361)
  - 3.3.5 神经网络算法在全球海面风速反演中的应用 ..... (363)
- 3.4 小结 ..... (367)
- 4 海表温度反演 ..... (369)**
  - 4.1 引言 ..... (369)
  - 4.2 线性回归算法反演海表温度 ..... (370)
    - 4.2.1 反演算法 ..... (370)
    - 4.2.2 结果及验证 ..... (370)
  - 4.3 基于神经网络的海表温度反演算法 ..... (373)
    - 4.3.1 神经网络反演海表温度模型的建立 ..... (373)
    - 4.3.2 神经网络模型反演海表温度的结果和验证 ..... (373)
    - 4.3.3 神经网络模型反演全球海表温度与 AVHRR 产品比较  
..... (374)
  - 4.4 AMSR - E 反演海表温度 ..... (377)
  - 4.5 海表温度与渔场分布关系探讨 ..... (380)
  - 4.6 小结 ..... (381)
- 5 总结与展望 ..... (384)**
  - 5.1 总结 ..... (384)
  - 5.2 展望 ..... (385)
- 参考文献 ..... (386)

# 论文一：卫星雷达高度计在中国近海及高海况下遥感反演算法研究

作者：杨 乐

指导教师：潘德炉 林明森 李振华

---

**作者简介：**杨乐，女，1981年10月出生，四川成都人，博士，助理研究员，2004年毕业于南京理工大学应用物理系，获学士学位；2005—2009年毕业于南京理工大学和国家海洋局第二海洋研究所联合培养博士，研究方向为雷达高度计近海参数反演及高海况校正方法；2009年至今工作于中国科学院遥感与数值地球研究所，从事微波植被辐射传输模型及测高卫星参数反演方面的工作。

**摘要:** 雷达高度计作为一种主动式星下点测量微波遥感器,可以测量卫星到海面距离、海面有效波高和后向散射系数,由这些数据可进一步分析或反演瞬时海面高度、海面风浪场、平均海平面、海洋重力场和潮波系统等。本文围绕高度计目前仍存在的两方面问题展开研究:由于陆地回波的影响,高度计在近海区域测量数据大面积不可用;高度计在热带气旋(台风和飓风等)恶劣的海况条件下测量数据受降雨等多种因素的影响而精度下降。论文的主要工作包括:

(1) 分析了 JASON-1 和 ENVISAT 两颗高度计的大量回波波形,给出了这些波形数据在中国海及毗邻海区受影响的范围及原因,以及近海测高数据存在的问题。

(2) 利用 JASON-1 高度计在远海的测量波形,通过已业务化使用的海洋拟合算法反演了高度计测量的海面基本参数:海面高度、有效波高。在近海,研究和实现了目前已有的多种波形重构算法:Beta5/9 算法、OCOG 算法、Ice-2 算法和阈值算法,并采用三种方法对这些算法在近海使用的优劣进行了分析:高度计升降轨交叉点的海面高度异常值(SLA)比较、高度计反演海面高度(SSH)与验潮站实测水位的比较以及高度计反演有效波高(SWH)与验潮站和浮标的实测有效波高比较。在此基础上,提出了适用于我国近海的基于波形分类和子波形的波形重构算法,并进行了相关的验证。在一定程度上解决了高度计在近海测量的回波波形反演的问题,提高了高度计在近海海洋测量数据的数量和质量。

(3) 在台风等高海况发生时,基于一个大气-白沫-海水的三层模型和电磁波散射理论,分析了降雨和海面白沫对双频高度计及大气校正辐射计测量的影响,发现在高海况下,不能忽略海面白沫的影响。由此,在已有的只考虑降雨校正算法的基础上,提出了辅助大气校正辐射计的测量数据,同时校正降雨和白沫的算法。利用 JASON-1 高度计对台风“珊珊”的双频测量数据,反演得到台风可靠的风速、有效波高、风圈大小以及降雨量和海面白沫覆盖率等信息。

综上所述,本论文对中国近海及其邻近海域的高度计海洋遥感信息反演和应用的关键技术进行了深入研究,包括高度计遥感信息的反演,特别是在近海的波形重构技术以及高海况下遥感反演技术,拓展了高度计数据的应用范围。

作为对高度计研究的扩展,本文还对一种新的传感器——海浪波谱仪进行了研究。波谱仪是在高度计的基础上,增加 5 条非星下点的波束,通过 360°扫描实现海面波浪谱的测量。本文对波谱仪的测量原理进行了分析,并与雷达高度计、真实孔径雷达和合成孔径雷达进行了比较,在此基础上,实现了波谱仪测量波浪谱的仿真和反演。

**关键词:** 雷达高度计; 波形重构; 中国近海; 高海况; 海浪波谱仪



**Abstract:** Radar altimeter is an active microwave sensor, which measures the instantaneous range between the satellite and sea surface, SWH (Significant Wave Height) and radar cross section of the ocean surface at the nadir point of satellite. The instantaneous SSH (Sea Surface Height), ocean surface wind and wave field, mean sea level, ocean gravitational field, tidal system, etc. can be derived, which are widely used by oceanography community. There are two limiting factors of altimetry, one is that most coastal altimetry datum are flagged as useless; the other is that altimetry datum under extreme weather events such as tropical cyclones (including typhoons and hurricanes) are affected by various factors associated with high sea states, such as atmospheric rains and ocean surface foams. The object of this thesis is to solve those two problems. Main achievements are as following:

(1) Based on evaluation of large amount of coastal return waveform of JASON - 1 and ENVISAT altimeter, the problems and affected distances of altimetry waveform at China and adjacent coastal areas are presented.

(2) The raw SSH and SWH are derived from JASON - 1 waveform measurements by using the standard ocean retracking algorithm at open ocean, which are consist with JASON - 1 GDR products. Four specialized retrackers: Beta5/9, OCOG (Offset Centre of Gravity), Ice - 2, and Threshold retracking algorithms are employed at coastal sea. In order to quantitative compare retracker, the bias, root mean square and standard deviation of the SLA (Sea Level Anomaly) difference between the ascending and descending passes at the crossovers are calculated; the SSH derived from five retracking algorithms are compared with in - situ gauge station measurements; the SWH derived from five retracking algorithms are compared with in - situ gauge station and buoy measurements. Based on those studies, we proposes the retracking strategy based on waveform classification and sub - waveform extraction for coastal altimetry. The corresponding validations are given.

(3) Using a simplified stratified foam model and scattering theory of electromagnetic wave, the attenuation effect of foam is investigated, which should not be neglected under high sea state. We proposes an iterative method to correct both rain and sea foam effects aided by the liquid water content measurements from Jason Microwave Radiometer. Therefore, the accurate wave height, wind speed, rain rate, and the additional foam coverage from dual frequency altimeter measurement in typhoon Shanshan can be obtained considering both effects of rain and sea foam.

In summary, the waveform retracking algorithm and correction method proposed in this thesis are helpful to solve the problems of coastal altimeter waveform processing and altimeter data under high sea state, respectively. The quantity and quality of satellite altimetry data are improved.

The wave spectrometer is a new sensor, which employs five non - nadir beams with beam scanning in azimuth ( $0^{\circ} - 360^{\circ}$ ) in addition to nadir beam of altimeter. The principle of wave spectrometer to measure wave spectrum at small incidence is analyzed and compared with the real aperture radar and synthetic aperture radar. The simulation and retrieval of wave spectrometer are performed based on the non - linearity of the relation between image spectrum and wave spectrum.

**Key words:** Rader Altimeter; Waveform Retracking; China Coastal Zone; Typhoon; Rain; Foam and Whitecap; Wave Spectrometer