



星载合成孔径雷达 海洋遥感与图像解译

XINGZAI HECHENG KONGJING LEIDA HAIYANG YAOGAN YU TUXIANG JIEYI

范开国 陈鹏 顾艳镇 李晓明 孟雷 周维华 ◎ 编著



海洋出版社

星载合成孔径雷达海洋 遥感与图像解译

范开国 陈鹏 顾艳镇 编著
李晓明 孟雷 周维华

海洋出版社

2017年·北京

图书在版编目(CIP)数据

星载合成孔径雷达海洋遥感与图像解译 / 范开国等编著. —北京:
海洋出版社, 2017. 9

ISBN 978 - 7 - 5027 - 9919 - 9

I. ①星… II. ①范… III. ①卫星载雷达 - 合成孔径雷达 -
应用 - 海洋遥感 - 图象处理 IV. ①TN958 ②P715. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 212676 号

责任编辑: 赵 娟

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

2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 12.5 彩页: 5

字数: 230 千字 定价: 88.00 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

序

人们经常把卫星遥感比喻成观测地表的“千里眼”，那么合成孔径雷达（SAR）就是一双不分昼夜、穿云破雾的不眠千里眼，它具有全天时、全天候、高分辨率、宽刈幅成像的优势，可以探测到有时可见光探测不到的丰富的海洋和大气信息，用于发现海洋和大气的种种现象以及变化过程，从而进一步加深对海洋学和海洋气象学的认知，SAR 海洋和大气遥感研究越来越受到广泛的关注。

《星载合成孔径雷达海洋遥感与图像解译》和《星载合成孔径雷达大气遥感与图像解译》这两部姊妹篇专著，基于 SAR 浅海地形、海洋内波、海洋锋面、中尺度涡旋、海浪、上升流、海洋尾迹、海冰、大气内波、边界层对流、低压气旋、大气锋面和雨团等典型海洋和大气现象的遥感成像解译机理和遥感图像特征判读方法，生动地展示了 SAR 海洋和大气遥感图像的解译结果。

在 SAR 相关前沿学科的发展下，这两部专著承实践之上、理论联系实际、挥笔习书，图文并茂、有血有肉，很有实用性，有助于科研工作者能更好地理解 SAR 海洋和大气遥感成像解译机理和遥感图像特征判读。随着我国越来越多星载 SAR 卫星的上天，对深入开展星载 SAR 海洋和大气遥感研究，挖掘星载 SAR 对海洋和大气信息的遥感探测潜力，具有重要的参考和实用价值。它是 SAR 海洋遥感在海洋强国建设应用中的又一对鲜艳的姐妹花，可喜可贺。

这两部专著的年轻作者们，长期辛勤耕耘在海洋遥感第一线，“宝剑锋从磨砺出，梅花香自苦寒来”，我为他们感到骄傲，希望他们再接再厉，取得更大的业绩。

中国工程院院士：

潘德炉

2017 年 6 月 1 日

前 言

星载合成孔径雷达 (SAR) 遥感图像中包含着十分丰富的海洋信息, 任何改变海面粗糙程度的中尺度、甚至小尺度海洋现象都可以成像于 SAR。利用 SAR 遥感图像, 或结合其他遥感、现场观测和数值模拟数据, 可以对海洋现象及其之间的相互作用进行定性、定量分析, 从而进一步加强我们对海洋学的深入研究。

本书作为《星载合成孔径雷达大气遥感与图像解译》的姊妹篇, 以作者近年来在卫星海洋遥感领域的研究为基础, 参考了国内外科研工作者最新研究成果, 针对全球海上重要战略通道、军事热点和利益攸关等海域所探测到的浅海地形、海洋内波、海洋锋面、中尺度涡旋、海浪、上升流、海洋尾迹和海冰等海洋现象的 SAR 遥感图像进行解译, 在某些情况下还增加了其他遥感图像等辅助信息。

本书有助于科研工作者能更好地理解 SAR 海洋遥感成像机理与遥感图像特征, 并且随着越来越多 SAR 卫星的发展, 对深入开展星载 SAR 海洋遥感研究, 挖掘星载 SAR 对海洋信息的遥感探测潜力, 具有极大的参考和实用价值。此外, 本书还可为海上重要战略通道和远海作战的军事航行保障提供海洋信息支持, 更好地实现卫星海战场环境信息的全方位保障, 对实施“一带一路”战略和进一步“关心海洋、认识海洋、经略海洋, 推动海洋强国建设不断取得新成就”具有重要的军事价值和战略意义。

本书由范开国执笔完成初稿的撰写, 付春龙、万净、艾未华、邵浩、周维华、邹永刚、孟雷、逢廷飏、侯海平和施英妮等 (以姓氏笔画为序) 参加了本书的修改, 陈鹏、顾艳镇和李晓明完成了本书的修订和定稿。在撰写过程中, 中国人民解放军 91039 部队、中国人民解放军 61741 部队、中国人民解放军海洋环境专项办公室、中国人民解放军国防科技大学、国家海洋局第二海洋研究所、中国海洋大学、中国科学院遥感与数字地球研究所、卫星海洋环境动力学国家重点实验室、海南省地球观测重点实验室和山东省第四地质矿产勘查院等单位的领导和同事给予了支持和鼓励; 国家自然科学基金 (No. 41476088、41106155、41576168、41606107、41471309)、海南省重大科技计划 (No. ZDKJ2016015)、山东省自然科学基金 (No. ZR2014DQ013) 和卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放课题 (No. QNHX1721) 等给予了资助; 书中的 SAR 遥感

图像主要通过中国科学院遥感与数字地球研究所、香港中文大学、国立中央大学和美国 Alaska 大学等单位的卫星遥感地面接收站，及其 ESA、CSA、GSA、NASA、NOAA、JAXA 和国内外相关遥感网站等途径收集；谨此向相关单位及书中未能详尽列出参考文献的作者们一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中 SAR 海洋遥感与图像解译仅是作者的看法，难免出现不当或错误之处，欢迎读者指正。

作者

2017 年 2 月 10 日

目 录

图 1.1	星载 SAR 遥感成像示意图	1
图 1.2	合成孔径示意图	3
图 1.3	SAR 系统成像机理与本地入射角示意图	5
图 2.1	SAR 浅海地形遥感成像机理的物理模型	8
图 2.2	1994 年 6 月 27 日与 5 月 19 日台湾浅滩 ERS SAR 遥感图像	9
图 2.3	2007 年 3 月 23 日台湾海峡 ENVISAT ASAR 遥感图像和海底地形图	10
图 2.4	1994 年 1 月 31 日台中港外海 ERS-1 SAR 遥感图像	11
图 2.5	1997 年 3 月 27 日曾文溪三角洲 ERS-1 SAR 遥感图像和解译结果图	12
图 2.6	基隆岛海域涨潮、退潮时 SAR 遥感图像和水深分布图	13
图 2.7	1995 年 7 月 8 日苏北浅滩 ERS-1 SAR 遥感图像	14
图 2.8	2007 年 1 月 3 日辽东浅滩 ENVISAT ASAR 遥感图像和渤海东部水深图 ...	15
图 2.9	2004 年 6 月 22 日南海海域 ENVISAT ASAR 遥感图像和等深线图	16
图 2.10	安达曼海 SAR 遥感图像	17
图 2.11	1993 年 8 月 31 日南海海域 ERS-1 SAR 遥感图像	17
图 2.12	1993 年 11 月 19 日与 2004 年 9 月 6 日南海海域 ERS SAR 遥感图像	18
图 2.13	1996 年 5 月 10 日马六甲海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	19
图 2.14	1999 年 7 月 1 日马六甲海峡 ERS-2 SAR 遥感图像	19
图 2.15	1978 年 8 月 19 日英吉利海峡 SEASAT SAR 遥感图像	20
图 2.16	2010 年 10 月 25 日珠江口海域 TerraSAR-X SAR 遥感图像	21
图 2.17	1997 年 5 月 26 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	22
图 2.18	1997 年 1 月 25 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	23
图 2.19	1997 年 1 月 12 日与 1996 年 5 月 12 日恒河入海口 ERS SAR 遥感图像	23
图 2.20	1997 年 1 月 9 日恒河入海口 ERS SAR 遥感图像	24

图 3.1	SAR 海洋内波遥感成像机理的物理模型	26
图 3.2	1995 年 7 月 27 日南海北部海域 SAR 遥感图像	28
图 3.3	1995 年 6 月 16 日吕宋海峡 SAR 遥感图像	29
图 3.4	1995 年 6 月 6 日东沙岛附近海域 SAR 遥感图像	30
图 3.5	1995 年 6 月 6 日东沙岛附近海域 SAR 遥感图像	31
图 3.6	1998 年 5 月 27 日东沙岛附近海域 SAR 遥感图像	32
图 3.7	1998 年 6 月 23 日东沙岛附近海域 SAR 遥感图像	33
图 3.8	1998 年 4 月 8 日东沙岛附近海域 SPOT-1 遥感图像	34
图 3.9	1998 年 6 月 1 日东沙岛附近海域 SAR 遥感图像	35
图 3.10	1999 年 8 月 19 日东沙岛附近海域 SPOT-2 遥感图像	36
图 3.11	1995 年 6 月 30 日东沙岛西北海域 ERS-1 SAR 遥感图像	37
图 3.12	1996 年 6 月 24 日东沙岛西北海域 SPOT-3 遥感图像	38
图 3.13	1998 年 6 月 15 日东沙岛西部海域 ERS-2 SAR 遥感图像	39
图 3.14	1995 年 6 月 14 日东沙岛西南海域 ERS-1 SAR 遥感图像	40
图 3.15	1999 年 4 月 26 日南海海域 Radarsat SAR 遥感图像	41
图 3.16	2001 年 4 月 24 日南海海域 Radarsat SAR 遥感图像	42
图 3.17	2008 年 6 月 9 日海南岛附近海域 ERS SAR 遥感图像	43
图 3.18	1994 年 6 月 9 日台湾岛北部海域 ERS-1 SAR 遥感图像	43
图 3.19	1997 年 7 月 23 日黄海海域 ERS-2 SAR 遥感图像	44
图 3.20	1997 年 7 月 23 日韩国西南向黄海海域 ERS-2 SAR 遥感图像	45
图 3.21	苏禄海 ERS-2 SAR 遥感图像	46
图 3.22	1996 年 7 月 3 日苏禄海 ERS-2 SAR 遥感图像	47
图 3.23	1996 年 4 月 7 日苏禄海 ERS-1 SAR 遥感图像	48
图 3.24	1999 年 12 月 15 日苏禄海 ERS SAR 遥感图像	49
图 3.25	2003 年菲律宾南部苏禄海 MODIS 遥感图像	50
图 3.26	安德曼海 ERS-1 SAR 遥感图像	51
图 3.27	1997 年 2 月 11 日安德曼海 ERS-2 SAR 遥感图像	52
图 3.28	1993 年 12 月 22 日安德曼海 ERS-1 SAR 遥感图像	52
图 3.29	1996 年 4 月 23 日龙目海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	53
图 3.30	1996 年 4 月 22 日龙目海峡 ERS-2 SAR 遥感图像	54

图 3.31	1999 年 9 月 30 日龙目海峡南部海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	55
图 3.32	1997 年 10 月 1 日龙目海峡 ERS - 2 SAR 遥感图像	56
图 3.33	1997 年 11 月 5 日龙目海峡 ERS - 2 SAR 遥感图像	57
图 3.34	1992 年 11 月 18 日加拉帕戈斯群岛附近海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	58
图 3.35	1992 年 10 月 17 日加拉帕戈斯群岛附近海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	59
图 3.36	1992 年 11 月 15 日圣克里斯托瓦尔岛东部海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	59
图 3.37	1997 年 11 月 21 日望加锡海峡 ERS - 2 SAR 遥感图像	60
图 3.38	1999 年 12 月 15 日望加锡海峡 ERS - 2 SAR 遥感图像	61
图 3.39	1996 年 4 月 12 日孟加拉湾海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	62
图 3.40	1997 年 11 月 1 日孟加拉湾海域 ERS - 2 SAR 遥感图像	62
图 3.41	1996 年 12 月 28 日尼科巴群岛南部海域 ERS - 2 SAR 遥感图像	63
图 3.42	1992 年 9 月 25 日摩洛哥附近海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	64
图 3.43	1994 年 7 月 11 日摩洛哥附近海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	65
图 3.44	1994 年 9 月 15 日墨西拿海峡 ERS - 1 SAR 遥感图像	65
图 3.45	1995 年 10 月 26 日墨西拿海峡 ERS - 1 SAR 遥感图像	66
图 3.46	1993 年 7 月 11 日墨西拿海峡 ERS - 1 SAR 遥感图像	67
图 3.47	2008 年 6 月 23 日与 2008 年 7 月 4 日科德角湾相同海域 TerraSAR - X SAR 遥感图像	67
图 3.48	1994 年 1 月 20 日直布罗陀海峡 ERS - 1 SAR 遥感图像	68
图 4.1	1995 年 4 月 23 日与 5 月 28 日台湾岛东部海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	70
图 4.2	1994 年 5 月 10 日台湾岛东北部海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	71
图 4.3	台湾岛东北部海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	72
图 4.4	1993 年 1 月 26 日澳大利亚东海岸 ERS - 1 SAR 遥感图像	73
图 4.5	1991 年 9 月 16 日北卡罗琳娜哈特勒斯角附近海域机载 SAR 遥感图像和 解译图	75
图 5.1	1995 年 12 月 27 日台湾海峡 ERS - 1 SAR 遥感图像	77
图 5.2	1993 年 8 月 16 日拉丁美洲近海海域 ERS SAR 遥感图像	78
图 5.3	1993 年 11 月 14 日哥伦比亚近海海域 ERS SAR 遥感图像	78
图 5.4	1996 年 4 月 3 日墨西哥近海海域 ERS - 2 SAR 遥感图像	79
图 6.1	1995 年 9 月 22 日日本北海道岛海域 ERS - 1 SAR 遥感图像	83

图 6.2	1994 年 12 月 23 日日本北海道岛海域 ERS-1 SAR 遥感图像	84
图 6.3	1996 年 3 月 14 日特万特佩克湾海域 ERS-2 SAR 遥感图像	85
图 6.4	1993 年 10 月 12 日伏尔加河河口南部海域 ERS-1 SAR 遥感图像	86
图 6.5	1994 年 6 月 3 日地中海海域 ERS-1 SAR 遥感图像	87
图 6.6	1995 年 10 月 17 日西西里岛近海 ERS-1 SAR 遥感图像	88
图 6.7	1993 年 9 月 19 日西西里岛近海 ERS-1 SAR 遥感图像	89
图 6.8	1993 年 3 月 21 日西西里岛近海 ERS-1 SAR 遥感图像	90
图 6.9	1994 年 10 月 6 日塞普勒斯西南近海 ERS-1 SAR 遥感图像	90
图 6.10	挪威沿岸海域 ERS-1 SAR 遥感子图像和海面流场数值模拟结果	91
图 6.11	挪威沿岸海域 SAR 遥感图像	92
图 6.12	1991 年 10 月 28 日阿拉斯加舍利科夫海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	92
图 6.13	1991 年 10 月 23 日阿拉斯加舍利科夫海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	93
图 6.14	1998 年 5 月 10 日波罗的海 ERS-2 SAR 遥感图像	94
图 6.15	2005 年 4 月 27 日吕宋海峡 ERS-2 SAR 遥感图像	95
图 7.1	1993 年 11 月 29 日小琉球附近海域 ERS-1 SAR 遥感图像	97
图 7.2	1995 年 11 月 29 日小琉球附近海域 ERS-1 SAR 遥感图像	97
图 7.3	1998 年 10 月 5 日台湾岛东海岸海域 ERS-2 SAR 遥感图像	98
图 7.4	1999 年 3 月 29 日台湾岛东海岸海域 ERS-2 SAR 遥感图像	99
图 7.5	1995 年 7 月 2 日台湾岛东海岸海域 ERS-1 SAR 遥感图像	100
图 7.6	2006 年 11 月 19 日巴士海峡 ENVISAT ASAR 遥感图像和涡度空间分布 数值模拟结果图	101
图 7.7	1993 年 10 月 25 日台湾岛西海岸外伞顶洲海域 ERS-1 SAR 遥感图像 ...	102
图 8.1	1998 年 5 月 3 日美国西海岸 Radarsat SAR 遥感图像	105
图 8.2	1998 年 6 月 2 日北卡罗来纳近海 Radarsat-1 SAR 遥感图像	106
图 8.3	1995 年 12 月 16 日纳米比亚近海 ERS-2 SAR 遥感图像	107
图 8.4	1996 年 1 月 12 日安哥拉近海 ERS-1 SAR 遥感图像	108
图 9.1	2004 年 8 月 30 日葡萄牙西海岸 ENVISAT ASAR 遥感图像	110
图 10.1	高潮条件和低潮条件下巴生港口以北海域 ERS SAR 遥感图像	112
图 10.2	1996 年与 2005 年台湾岛西海岸海域 ERS-2 SAR 遥感图像	113
图 10.3	外伞顶沙洲海域 ERS-2 SAR 遥感图像	114

图 11.1	Radarsat SAR 海浪遥感图像	117
图 11.2	2002 年 10 月 1 日福建省霞浦县近海 ERS-2 SAR 遥感图像	118
图 11.3	1994 年 7 月 23 日台湾岛东北部海域 ERS-1 SAR 遥感图像	119
图 11.4	1999 年 2 月 11 日新西兰东部海域 ERS SAR 放大遥感图像	119
图 11.5	美国华盛顿州威拉帕湾 Radarsat SAR 遥感图像	120
图 11.6	具有典型波浪破碎特征 SAR 遥感图像	120
图 11.7	2001 年 11 月 22 日雷耶斯海滩附近海域 Radarsat SAR 遥感图像	121
图 12.1	1992 年 5 月 9 日切萨皮克湾海域 ERS-1 SAR 遥感图像	124
图 12.2	1994 年 7 月 31 日马尔马拉海 ERS-1 SAR 遥感图像	125
图 12.3	1995 年 7 月 3 日马尔马拉海 ERS-1 SAR 遥感图像	126
图 12.4	1999 年 12 月 12 日库泰河河口 ERS-2 SAR 遥感图像	127
图 12.5	宜兰河口 ERS SAR 遥感图像	128
图 12.6	1993 年 8 月 16 日圣胡安河河口 ERS SAR 遥感图像	129
图 12.7	1994 年 8 月 25 日圣胡安河河口 ERS SAR 遥感图像	129
图 12.8	1996 年 9 月 3 日湄公河河口 ERS SAR 遥感图像	130
图 12.9	1992 年 11 月 26 日多瑙河河口 ERS SAR 遥感图像	131
图 12.10	1992 年 10 月 31 日多瑙河河口 ERS SAR 遥感图像	132
图 12.11	1992 年 11 月 14 日哥伦比亚近海 ERS SAR 遥感图像	132
图 12.12	1993 年 11 月 14 日哥伦比亚近海 ERS SAR 遥感图像	133
图 12.13	1992 年 6 月 10 日马罗尼河河口 ERS SAR 遥感图像	134
图 12.14	1994 年 1 月 27 日马罗尼河河口 ERS SAR 遥感图像	134
图 12.15	1992 年 11 月 13 日瓜亚斯河河口 ERS SAR 遥感图像	135
图 12.16	1996 年 5 月 12 日恒河入海口 ERS SAR 遥感图像	136
图 12.17	1996 年 5 月 28 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	136
图 12.18	1997 年 1 月 9 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	137
图 12.19	1997 年 1 月 25 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	138
图 12.20	1998 年 8 月 8 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	139
图 12.21	1997 年 5 月 26 日恒河入海口 ERS-2 SAR 遥感图像	140
图 12.22	1998 年 8 月 8 日孟加拉湾海域 ERS-2 SAR 遥感图像	141
图 13.1	SAR 船尾迹遥感成像机理示意图	144

图 13.2	青岛近海海域 4 类典型船尾迹 SAR 遥感图像	144
图 13.3	1996 年 4 月 13 日南海海域 ERS-2 SAR 遥感图像	145
图 13.4	1996 年 5 月 4 日马六甲海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	146
图 13.5	1996 年 5 月 4 日台湾北部东海海域 ERS-1 SAR 遥感图像	147
图 13.6	1996 年 4 月 9 日 ERS-1 SAR 遥感图像	148
图 13.7	1996 年 4 月 15 日马六甲海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	149
图 13.8	1995 年 5 月 31 日东海海域 ERS-1 SAR 遥感图像	149
图 13.9	1995 年 8 月 9 日东海海域 ERS-1 SAR 遥感图像	150
图 13.10	1994 年 11 月 11 日 ERS-1 SAR 遥感图像	150
图 13.11	1989 年 8 月 13 日林妮湖 SAR 遥感图像	151
图 13.12	2006 年 4 月 28 日青岛近海海域 ENVISAT SAR 遥感图像与 CTD 温盐密 剖面图	152
图 13.13	1997 年 3 月 27 日长江口外海 ERS-1 SAR 遥感图像和放大图像	152
图 13.14	1992 年 8 月 9 日黄海海域 ERS-1 SAR 遥感图像	153
图 13.15	1983 年 7 月 28 日达波湾机载 SAR 遥感图像	153
图 13.16	1996 年 2 月 6 日渤海海峡 ERS-1 SAR 遥感图像	154
图 13.17	2001 年 9 月 6 日科西嘉岛附近海域 ERS-2 SAR 遥感图像	155
图 13.18	2001 年 9 月 6 日科西嘉岛附近海域 ERS-2 SAR 遥感图像	155
图 13.19	1997 年 10 月 21 日新加坡南部海域 ERS-2 SAR 遥感图像	156
图 13.20	1996 年 4 月 9 日南海海域和马六甲海峡 ERS-2 SAR 遥感图像	156
图 14.1	1997 年 7 月 26 日东海海域 ERS-2 SAR 遥感图像	158
图 14.2	里海海域 ERS SAR 遥感图像	159
图 14.3	南海海域 ERS SAR 遥感图像	160
图 14.4	1997 年 4 月 4 日马来西亚近海海域 ERS-2 SAR 遥感图像	161
图 14.5	1994 年 5 月 20 日台湾岛东海岸海域 ERS SAR 遥感图像	161
图 14.6	台湾海峡 SAR 遥感图像	162
图 14.7	台湾岛东部花莲外海海域 SAR 遥感图像	162
图 14.8	1997 年 4 月 12 日台湾岛南坎溪流河口 ERS-2 SAR 遥感图像	163
图 14.9	1999 年 4 月 6 日印度洋海域 ERS-2 SAR 遥感图像	164
图 14.10	1994 年 5 月 26 日地中海 ERS-1 SAR 遥感图像	164

图 14.11	洛杉矶雷东多海滩附近海域 SAR 遥感图像	165
图 15.1	2006 年与 2007 年阿拉斯加巴罗海域 SAR 遥感图像	168
图 15.2	2001 年 8 月与 2007 年 8 月阿拉斯加波弗特海 SAR 遥感图像	169
图 15.3	1996 年与 2005 年阿拉斯加白令冰川 SAR 遥感图像	169
图 15.4	1996 年 3 月 6 日圣劳伦斯河 Radarsat SAR 遥感图像	170
图 15.5	2006 年 2 月 23 日渤海 ENVISAT ASAR 遥感图像和子图像	171
图 15.6	2000 年 2 月 29 日白令海 Radarsat SAR 遥感图像	172
彩图 1	2002 年 8 月 11 日台湾浅滩 ERS SAR 遥感图像与 2006 年 8 月下旬实测 水深对应关系图	179
彩图 2	2003 年 4 月 16 日东沙岛附近海域遥感图像	180
彩图 3	1996 年 10 月 10 日美国东海岸 NOAA AVHRR 热红外和 Radarsat SAR 遥感图像	181
彩图 4	1996 年 10 月 16 日北卡罗琳娜哈特勒斯角附近海域 NOAA AVHRR 热红外和 Radarsat SAR 遥感图像	182
彩图 5	1997 年 2 月 13 日北卡罗琳娜哈特勒斯角附近海域 NOAA AVHRR 热红外和 Radarsat SAR 遥感图像	182
彩图 6	1992 年 10 月 3 日挪威西海岸 NOAA AVHRR 热红外遥感图像和 ERS SAR 遥感图像	183
彩图 7	1998 年 12 月 26 日卡特琳娜海峡 Radarsat - 1 SAR 和 12 月 25 日 NOAA AVHRR SST 遥感图像	184
彩图 8	1999 年 8 月 23 日西班牙加那利群岛 NOAA AVHRR SST 遥感图像	185
彩图 9	1994 年 7 月 23 日台湾岛北部海域 ERS SAR 遥感图像和 7 月 22 日的 NOAA AVHRR SST 遥感图像	185
彩图 10	1994 年 8 月 26 日俄勒冈布兰科角近海 ERS - 1 SAR 遥感图像和 NOAA AVHRR 遥感图像	186
彩图 11	离岸流航空遥感图像	187
彩图 12	2010 年 6 月 29 日珠江口附近海域 ENVISAT SAR 遥感图像和 2012 年 6 月 5 日该海域现场实测数据	188

目 录

第1章 合成孔径雷达简介	1
1.1 SAR 成像几何关系	1
1.2 SAR 工作原理	1
1.2.1 脉冲压缩	1
1.2.2 合成孔径	3
1.3 SAR 系统参数	4
1.3.1 波长、频率、波数	4
1.3.2 极化	4
1.3.3 入射角	4
1.3.4 方位角	5
1.4 主要星载 SAR	5
第2章 SAR 浅海地形遥感与图像解译	7
2.1 SAR 浅海地形遥感成像机理	7
2.2 SAR 浅海地形遥感图像解译	8
2.2.1 台湾海峡	8
2.2.2 苏北浅滩	13
2.2.3 辽东浅滩	14
2.2.4 南海海底山	14
2.2.5 南海珊瑚礁	17
2.2.6 马六甲海峡	18
2.2.7 英吉利海峡	20
2.2.8 珠江口	20
2.2.9 恒河口	21

第3章 SAR 海洋内波遥感与图像解译	25
3.1 SAR 海洋内波遥感成像机理	25
3.2 SAR 海洋内波遥感图像解译	27
3.2.1 南海	27
3.2.2 海南岛南部	42
3.2.3 台湾岛北部	42
3.2.4 黄海	44
3.2.5 苏禄海	45
3.2.6 安达曼海	50
3.2.7 龙目海峡	53
3.2.8 加拉帕戈斯群岛	58
3.2.9 望加锡海峡	60
3.2.10 孟加拉湾	61
3.2.11 印度洋	61
3.2.12 摩洛哥西海岸	64
3.2.13 墨西哥海峡	64
3.2.14 科德角湾	66
3.2.15 直布罗陀海峡	68
第4章 SAR 流场锋面遥感与图像解译	69
4.1 SAR 流场锋面遥感成像机理	69
4.2 SAR 流场锋面遥感图像解译	69
4.2.1 台湾岛东海岸	69
4.2.2 澳大利亚东海岸	72
4.2.3 美国东海岸	74
第5章 SAR 近海锋面遥感与图像解译	76
5.1 SAR 近海锋面遥感成像机理	76
5.2 SAR 近海锋面遥感图像解译	76
5.2.1 台湾海峡	76
5.2.2 拉丁美洲太平洋沿岸	76
5.2.3 挪威西海岸	80

第 6 章 SAR 海洋涡旋遥感与图像解译	81
6.1 SAR 海洋涡旋遥感成像机理	81
6.2 SAR 海洋涡旋遥感图像解译	82
6.2.1 日本东部	82
6.2.2 墨西哥西南部	82
6.2.3 里海	86
6.2.4 地中海	86
6.2.5 挪威沿岸	91
6.2.6 舍利科夫海峡	91
6.2.7 卡特琳娜海峡	93
6.2.8 波罗的海	93
6.2.9 巴士海峡	94
第 7 章 SAR 海洋尾迹遥感与图像解译	96
7.1 SAR 海洋尾迹遥感成像机理	96
7.2 SAR 海洋尾迹遥感图像解译	96
7.2.1 加那利群岛	96
7.2.2 小琉球	96
7.2.3 台湾岛东海岸	98
7.2.4 巴士海峡	100
7.2.5 外伞顶洲	102
第 8 章 SAR 上升流遥感与图像解译	103
8.1 SAR 上升流遥感成像机理	103
8.2 SAR 上升流遥感图像解译	104
8.2.1 台湾岛北部	104
8.2.2 美国西海岸	104
8.2.3 美国东海岸	104
8.2.4 纳米比亚	106
8.2.5 安哥拉	106
第 9 章 SAR 离岸流遥感与图像解译	109
9.1 SAR 离岸流遥感成像机理	109

9.2 SAR 离岸流遥感图像解译	109
第 10 章 SAR 海岸带遥感图像解译	111
10.1 马来西亚海岸	111
10.2 台湾岛西海岸	111
10.3 外伞顶沙洲	113
第 11 章 SAR 海浪遥感与图像解译	115
11.1 SAR 海浪遥感成像机理	115
11.2 SAR 海浪遥感图像解译	116
11.2.1 圣巴巴拉、声克利门蒂岛和旧金山湾	116
11.2.2 福建省霞浦县近海	116
11.2.3 台湾岛东北部	118
11.2.4 新西兰以东	118
11.2.5 威拉帕湾	119
11.2.6 雷耶斯海滩	121
第 12 章 SAR 沿海河流遥感与图像解译	122
12.1 SAR 沿海河流遥感成像机理	122
12.2 SAR 沿海河流遥感图像解译	123
12.2.1 珠江口	123
12.2.2 切萨皮克湾	123
12.2.3 马尔马拉海	125
12.2.4 库泰河	126
12.2.5 台湾宜兰河口	126
12.2.6 圣胡安河	127
12.2.7 湄公河	130
12.2.8 多瑙河	131
12.2.9 哥伦比亚	131
12.2.10 马罗尼河	133
12.2.11 瓜亚斯河	135
12.2.12 恒河	135