



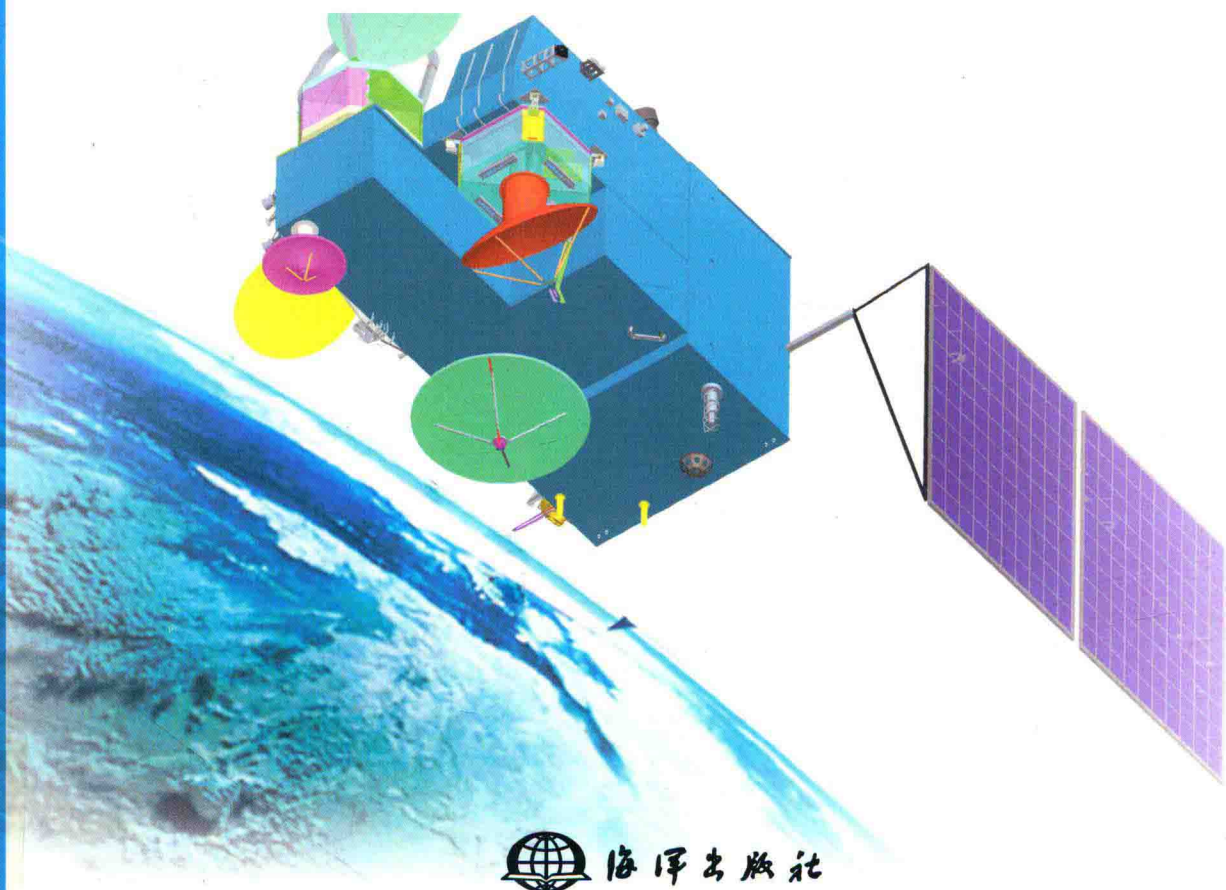
高等院校海洋专业规划教材

海洋遥感基础及应用

Fundamentals and Applications of
Ocean Remote Sensing

潘德炉 | 主编

林明森 毛志华 陈 戈 | 副主编



海军出版社



高等院校海洋专业

海洋遥感基础及应用

Fundamentals and Applications of
Ocean Remote Sensing

潘德炉 | 主编

林明森 毛志华 陈 戈 | 副主编

海洋出版社

2017年·北京

内容简介

海洋遥感技术作为探测海洋的一种有效手段,能远距离、非接触观测海洋。本书详细介绍海洋遥感基础理论及应用技术,内容丰富、语言流畅、结构体系完整。

主要内容:本书主要介绍海洋遥感基础和应用领域的成效与前景,分六章内容详细叙述海洋遥感基础理论、海洋遥感平台和遥感器、海洋遥感资料处理和卫星遥感产品、海洋遥感定标与真实性检验等,并就海洋遥感在海洋生态环境监测、海洋动力环境预报、全球气候变化、海洋渔业资源开发与保护、海岸带环境保护和资源开发、海洋防灾与减灾等涉海领域的应用展开讲解。

本书特色:①本书结构安排合理,内容叙述详略得当,语言通俗易懂;②编写团队权威,由中国工程院院士、我国海洋遥感领域专家潘德炉领衔,集合高校和研究院所海洋遥感领域老中青三代专家共同编写;③创新编写体例,每章都设有教学目标、本章导读、本章小结、思考题、阅读推荐书目等版块,指导学生有针对性的使用。

适用范围:本书作为海洋遥感基础教学教材,主要面向本科教学,兼顾职业教育,也可供非遥感专业的研究生和工作人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

海洋遥感基础及应用/潘德炉主编. —北京:海洋出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-5027-9727-0

I. ①海… II. ①潘… III. ①海洋遥感-高等学校-教材 IV. ①P715.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 028183 号

责任编辑:郑跟娣

发行部:010-62132549 010-68038093

责任印制:赵麟苏

总编室:010-62114335

出版发行:海洋出版社

编辑室:010-62100961

网 址:www.oceanpress.com.cn

承 印:北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷

地 址:北京市海淀区大慧寺路8号

版 次:2017年3月第1版

邮 编:100081

印 次:2017年3月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:24

字 数:460千字

定 价:69.00元

本书如有印、装质量问题可与本社发行部联系调换

本社教材出版中心诚征教材选题及优秀作者,邮件发至 hyjccb@sina.com

高等院校海洋专业规划教材

指导委员会

主任：潘德炉

副主任：于志刚（中国海洋大学校长）

杨绥华（海洋出版社社长）

委员（按姓氏笔画排序）：

王果胜【中国地质大学（北京）副校长】

邬大光（厦门大学副校长）

吴建农（上海海洋大学副校长）

吴常文（浙江海洋大学校长）

张国琛（大连海洋大学副校长）

邵千钧（宁波大学副校长）

周伟灿（南京信息工程大学副校长）

单红军（大连海事大学副校长）

高秀梅（广东海洋大学副校长）

鞠平（河海大学副校长）

高等院校海洋专业规划教材

审定委员会

主任：潘德炉

副主任：吴立新 焦念志

委员（按姓氏笔画排序）：

司玉琢 严小军 苏新连 琰 何宜军

张日向 陈鹰 赵美训 贾宇 高抒

黄硕琳 常亚青 简纪常 翦知湑

《海洋遥感基础及应用》

编 委 会

主 编：潘德炉

副 主 编：林明森 毛志华 陈 戈

参加编写者：张红梅 王运华 赵朝方 王迪峰 官文江

何贤强 丘仲锋 李 颖 韩 震 陈建裕

王胜强 白 雁 贾永君 崔利民 刘丙新

郝增周 叶小敏



序 言

从太空俯瞰地球，蔚蓝色的海洋装扮着我们这个美丽的星球。海洋作为地球生命的重要支撑系统，孕育了生命，成就了人类。海洋之于我们人类，是潜力巨大的资源宝库，是生存和发展的战略空间，也是竞争与合作的重要舞台。党的十八大报告提出，提高海洋资源开发能力，发展海洋经济，保护海洋生态环境，坚决维护国家海洋权益，建设海洋强国。习近平总书记在主持中共中央政治局第八次集体学习时强调指出，海洋在国家经济发展格局和对外开放中的作用更加重要，在维护国家主权、安全、发展利益中的地位更加突出，在国家生态文明建设中的角色更加显著，在国际政治、经济、军事、科技竞争中的战略地位也明显上升。要进一步关心海洋、认识海洋、经略海洋，推动我国海洋强国建设不断取得新成就。

建设海洋强国和实施“一带一路”战略，需要规模宏大、素质优良的海洋人才队伍，这是发展海洋事业的基础，也是建设海洋强国和实施“一带一路”的根本保证。高等院校是我国高层次海洋人才培养的摇篮，在海洋人才队伍建设中的作用至关重要。为组织汇聚海洋教育力量，提升海洋教育水平，促进海洋学科建设，国家海洋局自2010年开始，先后与教育部、地方政府共建了北京大学、清华大学等31所重点涉海院校，支持涉海高校及其涉海院系的建设和发展，充分发挥涉海高校在海洋人才培养方面的基础性作用。共建工作得到了中央领导同志专门批示，对推动我国海洋教育发展，促进海洋人才培养，加快海洋人才队伍建设，深化海洋领域产学研合作，发挥了重要作用。

发展海洋高等教育，教材编制是基础工作。高等学校教材既是体现教学内容和教学方法的知识载体，也是深化教学改革，提高教学质量的重要

保证。同时，又是学校教学、科研水平及其成果的重要反映，是国家科学、文化和技术发展水平的标志之一。编制出版优质的海洋教材，对发展我国海洋高等教育事业及促进海洋人才培养有着重要的作用和意义。为此，我们专门组织共建高校和专家学者召开了高校海洋教材建设座谈会，并根据专家学者的建议，确定了组织、优选有关高校发挥各自所长，由院士、著名教授领衔，老中青相结合编制教材和引进、翻译出版国外经典教材的高校海洋教材建设体系。

本套高等院校海洋专业规划教材是深入贯彻落实高校共建协议，充分发挥海洋行业部门指导涉海高校发展海洋教育、加快海洋人才培养，而推动开展的一项重要海洋教育任务。

编制教材工作自2014年10月启动以来，国家海洋局、教育部、中国科学院等系统的海洋科学领域的一大批院士、知名学者，历时3年之久编写了这套高水平海洋教材。为使本套教材更好地为海洋人才战略需求和海洋教育服务，更符合海洋教育课程标准和教学体系，更贴近本科教学实际，更适合本科学生使用，我们在编写队伍组建、大纲编写、书稿撰写等阶段提出具体要求，指导教材编写工作顺利实施。每本教材都由海洋领域的院士、知名专家牵头，成员包含研究院所、高校一线教师等，使得每本教材的编写水平起点高，既能反映用人单位的人才知识需求导向，又能紧密契合学校课堂教学实际需求。在书稿编写工作实施前，由各主编首先编制编写大纲，我们组织专家对大纲评审。大纲评审通过后，主编严格依照评审大纲组织团队编写。书稿编写完成后，又邀请该领域的专家、一线授课教师、部分学生代表对书稿进行试读，将试读建议及时反馈给各位主编，供各位主编修改完善书稿。在严格、规范的要求下，这套教材终于顺利出版、服务海洋教育了。

引进出版国外经典海洋教材的工作也在有条不紊地开展。我们相信，在社会各界的大力支持下，这套高等院校海洋专业规划教材将发挥越来越重要的作用。

高等院校海洋专业规划教材

指导委员会

2017.03.06



前言

众所周知，海洋是生命的摇篮、资源的宝库、风雨的温床、贸易的通道和国防的屏障。然而在信息学家脑海中，海洋是五花八门、瞬息万变、铺天盖地的大数据，特别是随着卫星传感和网络等高新技术的日益发展，天-空-海和水面-水中-海底立体观测所获取的数据将逐年翻倍增长，可以预期海洋大数据在 21 世纪将掀起一场惊涛骇浪的海洋信息革命。在这场信息革命袭来之际，海洋遥感从几百米、几百千米、几万千米的天空乃至月球观测海洋，将担当“庞大信息机器”的作用。

随着海洋强国战略的实施，海洋人才需求增加，涉海专业招生规模扩大，涉海高校快速增加，为了培养更多人才认知、使用和发展海洋遥感这台“庞大信息机器”，在国家海洋局人事司的支持下，海洋出版社邀请了教育部、中国科学院和国家海洋局等多个部门从事卫星海洋遥感教学与科研的资深学者和年轻海洋遥感后起之秀编写了《海洋遥感基础及应用》一书，以缓解目前海洋遥感专业规范性学习教材欠缺的局面。

本书共 6 章，各章内容提示如下。

第 1 章 绪论。该章供读者了解遥感到底是怎么回事，掌握海洋遥感的轮廓和概况，包括海洋遥感体系、分类、发展历史等知识。通过学习该内容，为本科生学习其他章节抛砖引玉，为职业教育拓展海洋遥感应用的思路，为非海洋遥感专业研究生应用海洋遥感大数据源指出一条新路。本章为读者认知海洋遥感开启一扇“大门”。

第 2 章 海洋遥感基础。该章供读者理解海洋遥感的机理，包括电磁辐射基础、大气辐射传输机理、电磁辐射与海洋表面特性及海洋水体特征的关系等，掌握海洋信息通过大气传输被传感器接收的过程。该章是读者

学习海洋遥感的“基石”。

第3章 海洋遥感平台和遥感器。该章供读者了解海洋遥感信息获取的手段，主要介绍不同类型遥感平台和典型遥感器的工作原理以及信息获取能力。该章介绍海洋遥感的“眼睛”，值得各类读者通读。

第4章 海洋遥感资料处理和卫星遥感产品。该章与第2章相呼应，供读者厘清由原始资料生成不同卫星海洋遥感产品的过程，了解典型遥感资料处理流程、算法和软件等。该章为读者学会处理海洋遥感资料“铺路”。

第5章 海洋遥感的定标与真实性检验。该章与第4章相呼应，让读者了解如何评价海洋遥感产品，包括不同类型遥感器的辐射定标、海洋遥感产品的精度验证等。该章为读者开展海洋遥感应用，注意到不同遥感产品的精度，脑中“留根弦”，同时为涉海遥感本科生动手验证遥感产品打下基础。

第6章 海洋遥感的应用。该章供读者了解海洋遥感产品在不同涉海领域的应用，为读者打开遥感应用的大门，开启遥感深入应用之路，展示海洋遥感“庞大信息机器”的应用前景。

本书主要介绍海洋遥感基础和应用领域的成效与前景，力求通俗易懂，以激发读者学习兴趣。本书可作为基础教学教材，主要面向本科教学，兼顾职业教育，也可供非遥感专业的研究生参考学习。针对不同读者，使用建议如下：海洋遥感相关专业本科生，建议通学第1章至第6章，重点掌握第2章、第4章和第6章；非海洋遥感相关专业的本科生和研究生，建议通学第1章至第6章，重点掌握第1章、第3章和第6章；职业教育学员，建议学习掌握第1章和第6章。

本书集海洋遥感领域众贤之能，承实践之上，总结经验，挥笔成书。言理论，话技术，摆范例，展前景，集系统性与实用性于一体。希望本书在惊涛骇浪的海洋大数据下，为培养我国海洋遥感人才扬帆助航，通过逐步修订再版，成为海洋遥感教学的精品教材。

本书在国家海洋局人事司支持下，受到教育部、中国科学院及国家海洋局相关涉海遥感的老师鼎力相助，在此一并感谢！

潘德明

2016年5月



目 录

第1章 绪 论



1.1 海洋遥感的定义	2
1.1.1 人眼的感知	2
1.1.2 仪器的感知	3
1.1.3 海洋遥感	3
1.2 海洋遥感体系	4
1.2.1 卫星海洋遥感的六大系统	4
1.2.2 卫星海洋遥感地面系统构成	5
1.2.3 卫星海洋遥感流程	7
1.3 海洋遥感分类	8
1.3.1 按遥感谱段分类	8
1.3.2 按遥感平台分类	9
1.3.3 按遥感应用分类	10
1.4 海洋遥感的发展	11
1.4.1 遥感的发展史	11
1.4.2 国外海洋遥感	16
1.4.3 国内海洋遥感	26

第2章 海洋遥感基础

2.1 遥感的电磁辐射基础	32
2.1.1 电磁波辐射基础	32

2.1.2	电磁辐射的基本定律	41
2.1.3	地球的大气	46
2.2	可见光遥感基础	49
2.2.1	太阳辐射	50
2.2.2	可见光在大气中的传输	51
2.2.3	可见光与海面的相互作用	56
2.2.4	可见光在水体中的传输	61
2.3	海洋红外遥感基础	63
2.3.1	海洋的红外辐射特性	64
2.3.2	红外辐射与海表的相互作用	67
2.3.3	红外辐射与大气的相互作用	69
2.4	海洋微波遥感基础	71
2.4.1	海洋微波遥感基本参数	72
2.4.2	微波与海面的相互作用	87
2.4.3	微波在大气中的传输	96

第3章 海洋遥感平台和遥感器

3.1	海洋遥感平台	106
3.1.1	卫星海洋遥感平台	106
3.1.2	航空遥感平台	111
3.1.3	其他遥感平台	113
3.2	典型海洋遥感器	114
3.2.1	可见光遥感器	114
3.2.2	红外遥感器	131
3.2.3	微波遥感器	135
3.2.4	激光遥感器	141
3.2.5	其他	146

第4章 海洋遥感资料处理和卫星遥感产品

4.1	海洋遥感资料预处理	156
4.1.1	数据解包	156
4.1.2	几何定位	160





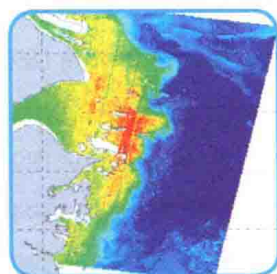
4.1.3	辐射定标	162
4.2	可见光遥感资料处理	166
4.2.1	大气校正	166
4.2.2	海洋水色参数的反演	179
4.2.3	海洋遥感产品级别和类型	182
4.3	红外遥感资料处理	184
4.3.1	红外遥感海面温度的基本方法	184
4.3.2	海温反演数据处理流程	187
4.4	微波遥感资料处理	188
4.4.1	高度计资料的处理与产品	189
4.4.2	散射计资料的处理与产品	194
4.4.3	辐射计资料的处理与产品	198
4.4.4	合成孔径雷达资料的处理与产品	199

第 5 章 海洋遥感的定标与真实性检验

5.1	海洋遥感的辐射定标	206
5.1.1	辐射定标的基本概念	206
5.1.2	海洋可见光和红外遥感定标	207
5.1.3	海洋微波遥感定标	211
5.2	海洋遥感产品的真实性验证	216
5.2.1	海洋遥感产品的真实性检验	216
5.2.2	海洋可见光和红外产品的验证	220
5.2.3	海洋微波遥感产品的验证	229
5.3	海洋遥感定标与检验的现场测量	235
5.3.1	现场测量的平台	235
5.3.2	光学与红外遥感的现场测量技术	239
5.3.3	微波遥感的现场测量技术	247

第 6 章 海洋遥感的应用

6.1	海洋遥感资料应用共性技术	254
6.1.1	海洋遥感资料的融合技术	254



6.1.2	海洋遥感资料的同化技术	255
6.1.3	海洋遥感产品的发布技术	257
6.2	在海洋生态环境监测中的应用	266
6.2.1	海洋水质监测中的应用	266
6.2.2	海洋缺氧区调查中的应用	270
6.2.3	海洋生态环境评价中的应用	275
6.3	在海洋动力环境预报中的应用	278
6.3.1	海面风、浪、流预报中的应用	278
6.3.2	航行保障中的应用	281
6.3.3	气候预测中的应用	283
6.4	在全球气候变化海洋观测中的应用	286
6.4.1	海—气二氧化碳通量监测	286
6.4.2	海平面高度变化监测	293
6.4.3	极地海冰融化监测	300
6.4.4	全球盐度、风场、降雨的监测	308
6.5	在海洋渔业资源开发与保护中的应用	313
6.5.1	渔业资源调查与评估	314
6.5.2	海洋渔场的渔情速报	318
6.5.3	海洋渔业资源的保护	325
6.6	在海岸带环境保护和资源开发中的应用	328
6.6.1	滨海湿地的遥感调查	329
6.6.2	海域使用的动态监测	333
6.6.3	海岸线的变迁	336
6.7	在海洋防灾与减灾中的应用	340
6.7.1	风暴潮灾害监测	340
6.7.2	赤潮、绿潮的卫星遥感监测机制	341
6.7.3	溢油污染监测	350
6.8	在中尺度、锋面、内波等动力现象监测中的应用	357
6.8.1	在中尺度涡监测中的应用	357
6.8.2	在锋面监测中的应用	359
6.8.3	在内波监测中的应用	360

第1章

绪论

教学目标

1. 掌握海洋遥感的定义和框架体系。
2. 理解什么叫遥感和怎样遥感。
3. 了解海洋遥感的发展史。

环境变化、气候变化和自然灾害频发等全球性问题都与海洋息息相关，需要我们深入了解和认知海洋，其前提条件就是获取海洋物理要素信息。海洋遥感具有长时间、大范围、不间断地观测海洋的优势，已经成为获取海洋信息的重要手段。遥感是在不与探测目标物接触的情况下，记录目标物电磁波的辐射、反射、散射等信息，揭示目标物的特征、性质及其变化的综合探测技术。海洋遥感是利用传感器探测海面反射、散射或辐射的各个波段电磁波信号，反演海表面温度、海平面高度、海面粗糙度以及海水所含各种物质浓度等信息，这对于研究自然变化规律，预测未来气候变化趋势，推动海洋科学发展等方面具有重大价值。

本章主要介绍海洋遥感概念，包括海洋遥感的定义、体系、分类和发展史等。遥感即从人眼的感知到仪器的感知，最后仪器扩展和延伸了生物的器官感知；从卫星系统、火箭系统、发射场系统、测控系统、地面系统和遥感应用系统等方面对遥感体系进行综合介绍；从遥感的谱段、遥感平台和应用领域对遥感分类进行介绍；最后介绍海洋遥感的发展史：从定性到定量、从国际到国内，对海洋遥感的发展过程进行回顾。通过本章节内容的学习，使读者对海洋遥感的概况有一个初步的了解。

1.1 海洋遥感的定义

神话中的“千里眼”是古代人们希望识别远方物体的梦想，随着现代科学技术的发展，这一梦想逐步得到实现。今天，人类已经能够从不同高度的空间，通过飞机或人造卫星对地球表面进行观察和研究，并发展了一门专门的技术，可定义为从远处感知（探测和认知）地球表面目标的技术——“遥感”（郑履基等，1987）。

“遥感”一词来源于英文 remote sensing，原意为“遥远的感知”。人眼在可见光范围内可以发现和识别远处的物体，蛇借助红外信息可以发现洞穴中的青蛙和田鼠，蝙蝠借助声波可以在漆黑的环境中自由快速地飞翔和捕获食物等，这些都是生物机体本能的遥感。而遥感技术指的是利用传感器为工具，以电磁波为传递信息的媒介，对远距离目标进行大范围、同步观测和研究，实际上是生物感觉器官的扩展和延伸。

1.1.1 人眼的感知

自然界中的各种物体，都是由不同的物质组成的。任何一种物质虽然都不依赖人的感觉而存在，但是，只有人感觉到了，才能知道它的有无。人是凭借各种感觉器官的感知功能，才知道不同物质的存在及其性质的。人的眼睛就是能够感知物体的器官之一，之所以能够看见和识别各种物体，是因为物体发射（或反射）可见光，经过人眼的光学系统（晶状体）成像于视网膜的感光细胞，并经光化学反应刺激视神经，进而传到大脑，最后通过大脑的分析、对比、推理、判断，来感知和记忆各种物体，人眼的感知过程实质上就是可见光遥感（图 1-1）。

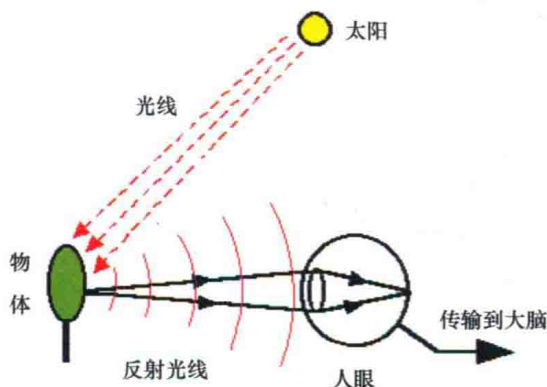


图 1-1 人眼感知物体的示意图

1.1.2 仪器的感知

仪器的感知是通过模拟人眼某些功能实现的，仪器收集来自目标物发射或反射的电磁波，其感知范围比人眼要宽很多，可以从紫外线到微波。利用地面、飞机、卫星等平台获得地球表面发射或反射的电磁信息，获取大气、陆地、海洋各个层面的不同信息，通常由收集系统、探测系统、信号转换系统、记录系统四部分组成（图 1-2）（张安定等，2014）。

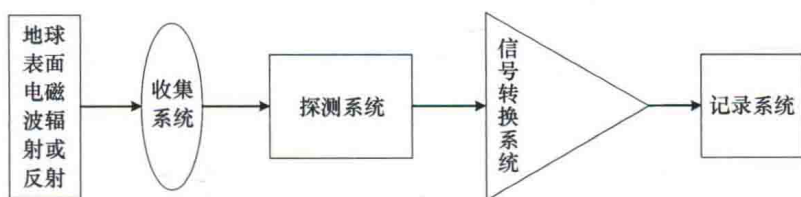


图 1-2 仪器感知目标示意图

1) 收集系统

收集系统具有收集地面目标或海洋发射或反射的电磁波的能力，对它们进行聚焦，并送往探测系统。传感器的类型不同，收集器的元件也不同，但最基本的元件有透镜组、反射镜组、天线等。

2) 探测系统

探测系统是将收集到的电磁波辐射能转换成化学能或电能。具体的元件有感光胶片、光电管、光敏和热敏探测元件、共振腔谐振器等。

3) 信号转换系统

信号转换系统是将探测器的化学能或电能转换为数字信号。

4) 记录系统

记录系统是将数字信号保存在存储的介质中，形成遥感的原始数据。

1.1.3 海洋遥感

海洋本身能辐射电磁波能量，还会反射或散射太阳和人造辐射源（如雷达）的电

磁波能量。设计一些专门的传感器,把它装载在人造卫星、宇宙飞船、飞机、火箭和气球等携带的工作平台上,接收并记录这些电磁能量,用于反演某些海洋物理量。目前用于海洋研究的传感器主要有以下几种。

(1) 水色传感器:主要用于探测海洋表层叶绿素浓度、悬浮物浓度、黄色物质、漫射衰减系数以及其他海洋参数。

(2) 红外传感器:主要用于反演海表面温度。

(3) 微波高度计:主要用于反演平均海面高度、大地水准面、有效波高、海面风速、表层流、重力异常、降雨指数等。

(4) 微波散射计:主要用于反演海面上方 10 m 处风场。

(5) 合成孔径雷达:主要用于反演波浪方向谱、中尺度涡旋、海洋内波、浅海地形、海洋锋面、海洋污染、海上目标以及海表特征信息等。

(6) 微波辐射计:主要用于反演海表面温度、海面风速以及海冰、水汽含量、降雨、 CO_2 海-气交换等。

1.2 海洋遥感体系

海洋遥感借助测量海面发射或反射电磁波的技术,通过科学算法反演出能够准确反映大气和海洋状态的各种参量。经过短短几十年的发展,海洋遥感从应用于军事的初衷扩展到全球变化研究、海洋环境动态监测等广阔领域,显示出其无可替代的作用和旺盛的生命力,形成了卫星海洋遥感体系。本节主要介绍卫星海洋遥感的六大系统和遥感处理流程,简要介绍卫星海洋遥感地面系统构成和卫星海洋遥感业务流程。

1.2.1 卫星海洋遥感的六大系统

卫星海洋遥感的六大系统是卫星系统、运载火箭系统、发射场系统、测控系统、地面系统 and 应用系统(蒋兴伟等,2014)。

1) 卫星系统

卫星系统由有效载荷和工作平台组成。

有效载荷是指卫星上直接完成特定任务的仪器、设备或系统,又称专用系统。不同用途的卫星主要区别在于装有不同的有效载荷,例如散射计、高度计、合成孔径雷达、辐射计等。