

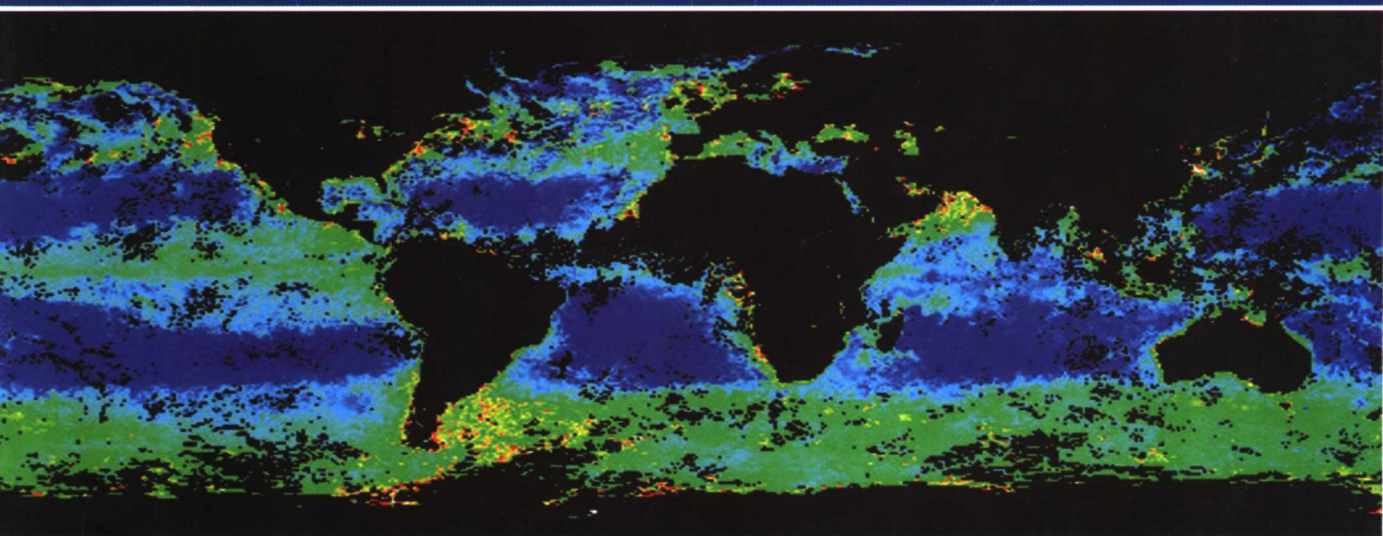
GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校摄影测量与遥感系列教材

# 卫星海洋遥感导论

An Introduction to Satellite  
Oceanic Remote Sensing

刘良明 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

# 卫星海洋遥感导论

主 编:刘良明

副主编:刘 廷 刘建强 张红梅



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

卫星海洋遥感导论/刘良明主编. —武汉:武汉大学出版社,2005.10  
高等学校摄影测量与遥感系列教材  
ISBN 7-307-04784-5

I. 卫… I. 刘… III. 海洋观测卫星—卫星遥感 IV. P715.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 096225 号

责任编辑:任翔 责任校对:黄添生 版式设计:支笛

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌·珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北新华印务有限责任公司

开本:787×1092 1/16 印张:20.125 字数:484千字 插页:7

版次:2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

ISBN 7-307-04784-5/P·104 定价:30.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 序

全球海洋面积约占地球表面面积的 71%，是地球四大圈层的交汇地带。我国是一个海洋大国，大陆海岸线 18 000 多公里，海岛 7 000 多个，管辖海域 300 多万平方公里，并且有大片国际公海可供利用。海洋是人类生存环境的重要组成部分，蕴藏各种丰富的自然资源，无论在地球环境还是人类社会的经济发展方面，海洋都具有十分重要的地位和作用。我们要像重视陆地那样重视我们蓝色的海洋国土。这些富饶的蓝色国土是中华民族生存和发展的新空间。同时，沿海地区是我国经济发展速度较快的地区，为国家的主要经济支撑地区。因此，海洋在我国社会经济建设中的战略地位极为重要。

世界面临人口、资源、环境和灾害四大问题的挑战，要用好、管理好我们的蓝色国土，首先要掌握海洋环境要素分布变化规律，特别是物理海洋要素，例如，海温、海洋盐度、海流、海浪、海潮和海面风场等方面的系统知识。另外，我们也要认识到，广袤的海洋在给我们以交通和能量之时，许多致灾性的海洋现象，如风暴、赤潮等也对我们提出了严峻的挑战。当前，我国海洋资源开发利用中不同程度地存在着破坏环境和浪费资源的隐患，致使海洋环境污染日趋严重。尤其是近海局部海域生态环境恶化，对海洋渔业资源和近海生态系统破坏在不断加剧。海洋开发利用中日益严重的资源与环境问题，不仅影响了海洋经济的可持续发展 and 海洋的可持续利用，而且是直接关系到人类的生存和社会的发展。因而提高全民族的海洋战略意识，重视海洋科学的教育，加强海洋开发与管理和提高海洋科学的研究水平具有十分重要的意义。

人们越来越重视海洋这个具有巨大开发利用潜力而又基本上尚未开发利用的重要领域，并利用各种手段对海洋进行监测、研究。利用遥感技术监测海洋，对于维护海洋权益、保护海洋环境、开发海洋资源、减轻海洋灾害和有效实施海洋管理等方面显得尤为重要和迫切，这是由遥感技术本身的特点所决定的。因为卫星探测器具有观测范围广、重复周期短的特点，特别是微波传感器，它可以全天时、全天候地对海洋进行观测。遥感观测可以解决常规方法不易解决的许多问题，如可以在较短时间内对全球海洋成图；可以观测船舶不易到达的区域；可以观测普通方法不易测量或不可观测的参量等。海洋遥感就是通过星载、机载和舰载遥感传感器探测海面反射、散射或自发辐射的各个波段的电磁波，这些电磁波携带着海面温度、海平面高度、海面粗糙度以及海水所含各种物质浓度等的相关信息，这些信息的获取对于海洋科学乃至整个地球科学系统的研究、生产和应用具有重大价值。世界发展史上的大国都是海上强国，世界上掌握了空间技术的国家相继走上了发展和应用卫星探测海洋的技术道路，海洋卫星已成为发达国家竭力争夺的海洋高科技之一。美国、欧洲、日本等航天大国相继制定了 10~15 年海洋遥感规划，如以美国为主的“地球观测计划”(EOS 计划)、

法国地球观测初始计划(EOPP)、加拿大雷达卫星计划(Radarsat)、日本 ADEOS 卫星计划等,而我国的海洋卫星发展起步较晚,与国际先进水平还有一定的差距,我们必须全方位迎头赶上。

教育是基础,2001年武汉大学遥感信息工程学院率先向中国教育部申请了一个全新的“遥感科学与技术”专业,并于2002年招收了第一批本科学生,令人遗憾的是,在大量调研的基础上,我们发现我国高等教育中至今还没有一部专门的海洋遥感方面的教材。为此,在武汉大学十五规划教材项目的支持下,武汉大学的刘良明同志和张红梅同志,联合国家海洋局卫星海洋应用中心的刘廷同志和刘建强同志,结合他们在遥感教学、研究和应用等方面的研究成果和经验,合作编写了《卫星海洋遥感导论》这本新教材,填补了我国海洋遥感教学上的一项空白。阅后感觉内容丰富、涵盖面广,不惜为解决当前海洋遥感教育瓶颈问题的一部好教材,也是一部既有理论深度又有应用广度的参考书。有幸先睹为快,谨此庆贺!希望通过这部教材的出版和使用,能推动我国海洋遥感的高等教育、科学研究和实际应用向前发展。

李德仁

2005年5月

# 前 言

遥感技术特别是航天遥感技术在短短的半个世纪内,以惊人的速度发展着,并广泛应用到陆地科学、海洋科学和大气科学的众多领域,越来越受到各国政府的高度重视。尤其是在海洋科学领域,遥感技术在维护海洋权益、保护海洋环境、开发海洋资源、减轻海洋灾害和有效实施海洋管理等方面正发挥着巨大的作用。人们在海洋遥感研究和应用领域积累了大量的知识和经验,发表了众多的研究论文,出版了大量的专著。然而,我国尚没有一部合适的海洋遥感教材,海洋遥感教学还只是停留在讲义的基础上,缺乏科学性和系统性,为配合武汉大学遥感信息工程学院“遥感科学与技术”专业的教学需要,在武汉大学十五规划教材计划的支持下,我们出版了《卫星海洋遥感导论》这部教材,旨在填补该领域的空白,推动我国海洋遥感的教学、科研和应用的发展,为我国的海洋事业培养更多的人才。

全书共分为十二章,由四大部分构成,第一部分为“海洋遥感基础”,涉及第一章到第四章;第二部分为“海洋遥感卫星和传感器”,涉及第五章到第六章;第三部分为“海洋参数的遥感反演”,涉及第七章到第十二章;第四部分为“附录”,给出了一些海洋遥感的相关信息资源、缩略语和参考文献。其中,第一章“遥感的基础知识”,主要介绍了电磁波与电磁波谱,一般遥感的基本概念和定律,太阳和地球的电磁辐射及其特性,以及大气传输特性等;第二章“辐射与海洋表面的相互作用”,主要介绍了海面的性质,一些基本的概念,电磁波(可见光、红外和微波)与海面相互作用的机理等;第三章“海洋遥感的光学基础”,主要介绍了大气中影响电磁波辐射传播的一些成分以及它们在光谱带中的吸收特性,并根据应用范围的不同,分别讨论了大气的短波(可见光和近红外)辐射传输和长波(热红外)辐射传输特性,讲解了大气传输方程的推导,并简单介绍了常用的几种辐射传输方程求解的方法;第四章“海洋遥感的微波基础”,主要介绍了海洋微波遥感过程中所涉及的微波基本知识,包括大气对微波遥感的影响、常用的微波天线、雷达方程和合成孔径雷达等;第五章“海洋遥感卫星”,分别介绍了国内外的典型海洋遥感卫星;第六章“海洋遥感传感器”,分别介绍了国内外的典型海洋遥感传感器;第七章“海洋表面温度遥感”,主要介绍了海表温度测量的意义,并讨论了两种遥感测量手段,即热红外测量和微波测量;第八章“海洋水色遥感”,在简单回顾海洋水色测量的历史的基础上,对海洋水色遥感机理、生物—光学算法的物理基础和海洋水色反演进行了介绍;第九章“海洋表面动力地形卫星测量”,主要介绍了卫星高度计的相关内容,包括高度计测高原理、测浪原理,以及测高数据在测量有效波高、海面地形、海面重力异常等方面的原理和方法;第十章“海面风场遥感”,分别介绍了各种传感器测量海面风的机理和方法,包括微波散射计测量海面风场信息的原理及反演方法、卫星高度计测量海面风速的机理和风速反演方法、微波辐射计测量海面风速的机理、合成孔径雷达探测海面风场信息的原理及方法等;第十一章“卫星海洋盐度测量”,主要介绍了海水盐浓度遥感原理以及影响海水盐浓度测量的误差源;第十二章“海洋现象的卫星探测”,海洋遥感另一重要的应用领域是探测物理

海洋现象,本章主要介绍了海冰和冰山、海洋内波、海洋上升流、海洋锋面、海上船舶和海上溢油等的卫星探测机理。

本书的出版是与众多专家学者的大力支持和研究生们的辛勤工作分不开的。这里,我首先要感谢我的导师李德仁院士和林开愚教授多年来对我的指导、关怀和激励,是他们引导我进入遥感教学和科研领域;接下来,我要感谢舒宁教授,他一直鼓励我撰写这本教材,并在教材的撰写过程中持续地给予关注,使得这本教材能及时出版;我还要感谢遥感信息工程学院的全体老师,特别是孙家柄教授、卢健教授、万幼川教授、刘继琳研究员和代江山老师,在与他们共事的过程中,受到许多启发,得到他们直接或间接的指导和支持;当然,我不会忘记感谢我的研究生们,他们有张红梅、胡艳、鄢俊洁、王永韬、马慧云、黄家洁、夏帆、刘江、万紫和李翠琳等,他们在资料的收集、整理、编排、文字和绘图等方面作了大量卓有成效的工作,尤其是张红梅同学,自始至终参与了整个书稿的撰写过程,付出了巨大的心血和劳动。国家海洋局卫星海洋应用中心的刘廷处长和刘建强研究员也为本书的撰写提供了大量的帮助,当我首次提出希望与他们合作时,他们欣然同意,在百忙之中为本书收集了大量资料和图片,并参与本书的编写和校对工作,在此深表感谢!最后我要感谢武汉大学教务部姜昕女士和武汉大学出版社任翔先生、任晓舟先生、陈君良先生和李宁先生的大力支持。

本书可以作为遥感及其相关专业本科教材以及非遥感的地学专业的研究生教材,还可以作为从事遥感教学、科研和生产人员的参考书。在学习本教材之前,学生应该具备一定的教育背景,针对武汉大学遥感科学与技术专业的高年级本科生而言,他们已经学习了《大学物理学》、《遥感原理与应用》和《微波遥感》等课程,这些基础是深入理解本书内容的前提。

由于受编写时间和作者水平限制,全书难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

刘良明

2005年4月

# 目 录

## 第一部分 海洋遥感基础

第一章 遥感的基础知识.....	1
§ 1.1 电磁波及电磁波谱 .....	2
1.1.1 电磁波的波段名称 .....	2
1.1.2 麦克斯韦方程及其解 .....	5
1.1.3 电磁波的基本特性 .....	6
§ 1.2 基本概念和定律 .....	8
1.2.1 基本概念 .....	8
1.2.2 基本定律及公式 .....	12
§ 1.3 太阳和地球的电磁辐射及其特性.....	15
§ 1.4 大气及其传输特性.....	17
1.4.1 地球大气 .....	17
1.4.2 描述大气衰减的基本概念 .....	18
1.4.3 大气吸收 .....	20
1.4.4 电离层的影响 .....	23
1.4.5 大气散射.....	25
第二章 辐射与海洋表面的相互作用 .....	30
§ 2.1 海面的性质及描述.....	30
2.1.1 海表建模 .....	31
2.1.2 海洋波浪谱 .....	32
§ 2.2 几个基本概念.....	33
2.2.1 复折射率 .....	33
2.2.2 菲涅耳公式及菲涅耳反射系数 .....	35
2.2.3 表面介电常数 .....	37
2.2.4 海面粗糙度 .....	39
§ 2.3 电磁波与海面相互作用的机制.....	41
2.3.1 太阳光与海面的相互作用机制 .....	42
2.3.2 海面热辐射的作用机制 .....	48
2.3.3 雷达波与海面的相互作用机制 .....	57



<b>第三章 海洋遥感的的光学基础</b> .....	66
§ 3.1 大气成分及其光谱吸收特性 .....	66
§ 3.2 可见光与近红外遥感大气传输 .....	67
3.2.1 海表反射辐射的大气传输 .....	67
3.2.2 海洋辐照度模型 .....	70
3.2.3 大气透过率 .....	72
3.2.4 大气路径辐射模式与太阳耀光模式 .....	74
3.2.5 大气校正常方程 .....	75
3.2.6 大气短波辐射传输方程的求解 .....	75
§ 3.3 热红外遥感基础 .....	77
3.3.1 热红外辐射的大气传输 .....	77
3.3.2 长波辐射的传输方程 .....	78
3.3.3 遥感传感器宽通道的热红外辐射传输方程 .....	80
3.3.4 大气长波辐射传输方程的求解 .....	83
<b>第四章 海洋遥感的微波基础</b> .....	85
§ 4.1 微波的特性 .....	85
4.1.1 微波的衰减 .....	85
4.1.2 微波的辐射 .....	86
4.1.3 微波的表面散射 .....	87
4.1.4 微波的体散射 .....	88
§ 4.2 大气对微波遥感的影响 .....	89
4.2.1 大气中氧气分子的微波吸收 .....	90
4.2.2 大气中水汽和云中液态水的微波吸收 .....	90
4.2.3 云对微波的衰减 .....	92
4.2.4 大气中微波辐射传输模式 .....	92
§ 4.3 微波遥感的天线 .....	93
4.3.1 微波遥感的天线 .....	93
4.3.2 天线的特性 .....	94
§ 4.4 雷达方程和散射截面 .....	96
§ 4.5 合成孔径雷达的基础 .....	99
4.5.1 基本概念 .....	100
4.5.2 海面合成孔径雷达成像的复杂性 .....	104
4.5.3 海面雷达散射及其成像模型 .....	106

## 第二部分 海洋遥感卫星与传感器

<b>第五章 海洋遥感卫星</b> .....	117
§ 5.1 国外的海洋遥感卫星 .....	120
5.1.1 海洋水色卫星 .....	120

5.1.2	海洋地形卫星 .....	126
5.1.3	海洋动力环境卫星 .....	130
§ 5.2	中国的海洋遥感卫星 .....	138
5.2.1	海洋卫星系列 .....	138
5.2.2	风云卫星系列 .....	139
<b>第六章</b>	<b>海洋遥感传感器</b> .....	<b>143</b>
§ 6.1	光学传感器 .....	144
6.1.1	MODIS 中分辨率成像光谱仪 .....	145
6.1.2	MERIS 中等分辨率成像光谱仪 .....	148
6.1.3	GLI 全球成像仪 .....	149
6.1.4	MISR 多角度成像光谱辐射计 .....	151
6.1.5	SeaWiFS 传感器 .....	152
6.1.6	COCTS 海洋水色扫描仪 .....	153
6.1.7	CCD 成像仪 .....	154
6.1.8	HCMR 热容量成像辐射计 .....	154
6.1.9	ATSR 沿轨迹扫描辐射计 .....	155
§ 6.2	微波传感器 .....	157
6.2.1	微波辐射计 .....	159
6.2.2	微波散射计 .....	163
6.2.3	雷达高度计 .....	168
6.2.4	成像雷达 .....	171
§ 6.3	传感器数据的预处理 .....	175
6.3.1	地理定位方法 .....	175
6.3.2	传感器的辐射定标与验证 .....	182

### 第三部分 海洋参数的遥感反演

<b>第七章</b>	<b>海洋表面温度遥感</b> .....	<b>192</b>
§ 7.1	微波辐射计海表温度测量 .....	193
7.1.1	微波辐射计测量海表温度的原理 .....	193
7.1.2	微波辐射测量的误差分析 .....	197
§ 7.2	热红外辐射计海表温度测量 .....	200
7.2.1	热红外辐射计测量海表温度的原理 .....	200
7.2.2	海面温度反演算法 .....	201
7.2.3	热红外 SST 反演的过程 .....	204
<b>第八章</b>	<b>海洋水色遥感</b> .....	<b>206</b>
§ 8.1	海洋水色遥感的几个基本概念 .....	207

§ 8.2	海洋水色遥感机理 .....	209
§ 8.3	生物-光学算法的物理基础 .....	212
8.3.1	离水辐射度和归一化离水辐射度 .....	212
8.3.2	离水辐射度模式 .....	213
§ 8.4	海洋水色要素浓度反演 .....	215
8.4.1	海洋表层叶绿素浓度反演 .....	216
8.4.2	悬浮泥沙含量反演 .....	220
8.4.3	多因子的水色反演 .....	224
<b>第九章</b>	<b>海洋表面动力地形卫星测量 .....</b>	<b>227</b>
§ 9.1	高度计测高回顾 .....	227
§ 9.2	高度计测高原理 .....	229
9.2.1	高度计测高原理 .....	229
9.2.2	高度计测高误差的原因及消除方法 .....	232
§ 9.3	高度计测波(或浪)原理 .....	234
§ 9.4	高度计的主要观测对象 .....	239
9.4.1	卫星高度计测量有效波高 .....	239
9.4.2	高度计测量海面地形及海洋表面流 .....	239
9.4.3	高度计测量大地水准面 .....	242
9.4.4	利用卫星高度计数据反演海底地形 .....	242
<b>第十章</b>	<b>海面风场遥感 .....</b>	<b>245</b>
§ 10.1	微波散射计测量海面风场 .....	246
10.1.1	散射计测量海面风场的回顾 .....	246
10.1.2	微波散射计的测风原理 .....	247
10.1.3	微波散射计海面风场反演 .....	249
§ 10.2	卫星高度计测量海面风速 .....	255
10.2.1	高度计测量海面风速的原理 .....	255
10.2.2	海面风速模型 .....	256
10.2.3	高度计测量海面风速的经验模型 .....	257
§ 10.3	微波辐射计测量海面风速 .....	261
§ 10.4	合成孔径雷达获取海面风场信息 .....	261
<b>第十一章</b>	<b>卫星海洋盐度测量 .....</b>	<b>265</b>
§ 11.1	海水盐浓度遥感原理 .....	266
11.1.1	海表盐度遥感的物理基础 .....	266
11.1.2	数学模型 .....	270
§ 11.2	影响海表微波辐射的地球物理误差源 .....	272

11.2.1	灵敏度的影响 .....	273
11.2.2	海洋表面温度的影响 .....	273
11.2.3	大气干空气和水蒸气的影响 .....	273
11.2.4	云的影响 .....	273
11.2.5	表面粗糙度的影响 .....	273
11.2.6	电离层的影响 .....	274
11.2.7	太阳系和宇宙辐射的影响 .....	275
11.2.8	卫星探测海面盐浓度的算法研究 .....	276
<b>第十二章</b>	<b>海洋现象的卫星探测</b> .....	<b>279</b>
§ 12.1	海冰和冰山的遥感探测 .....	279
12.1.1	海冰检测回顾 .....	280
12.1.2	海冰的微波检测原理 .....	281
12.1.3	检测海冰的方法 .....	283
§ 12.2	海洋内波的遥感探测 .....	285
12.2.1	内波的物理海洋描述 .....	286
12.2.2	海洋内波的 SAR 探测 .....	287
§ 12.3	海洋上升流的遥感探测 .....	290
12.3.1	遥感检测上升流的原理 .....	291
12.3.2	SAR 图像上的低后向散射 .....	291
§ 12.4	其他海洋现象的卫星探测 .....	293
12.4.1	海洋锋面探测 .....	293
12.4.2	船舶和尾迹探测 .....	293
12.4.3	海洋溢油污染监测 .....	293
<b>附录</b>	.....	<b>297</b>
<b>附录 1</b>	<b>主要的海洋遥感机构</b> .....	<b>297</b>
<b>附录 2</b>	<b>主要的传感器资源</b> .....	<b>301</b>
<b>附录 3</b>	<b>海洋卫星图像与数据资源</b> .....	<b>302</b>
<b>参考文献</b>	.....	<b>304</b>

# 第一部分 海洋遥感基础

## 第一章 遥感的基础知识

遥感,广义地说,是指一种远离目标,通过非直接接触而判定、测量并分析目标性质的技术。狭义地说,是指在高空和外层空间的各种平台上,运用各种传感器获取地表的信息,通过数据的传输和处理,从而实现研究地物形状、大小、位置、性质及其关系的一门现代化应用技术科学。

对目标进行信息采集主要是利用了从目标反射或辐射的电磁波。此外重力和磁也作为信息采集手段而加以利用,这些都包含在广义的遥感之中。接收从目标中反射或辐射的电磁波的装置叫做**遥感器或传感器**(Remote Sensor),照相机及扫描仪等即属于此类。此外,搭载这些遥感器的移动体叫做**遥感平台**,如现在使用的飞机及人造卫星等。“遥感”一词是20世纪60年代在美国创造的技术用语,它是用来综合以前所使用的摄影测量、像片判读、地质摄影而提出的。1972年,随着第一颗地球观测卫星 Landsat 的发射成功而迅速得到普及。

利用遥感技术,通过观测电磁波,从而判读和分析地表的目标及现象,是利用了物体的电磁波特性,即“一切物体,由于其种类及环境条件不同,因而具有反射或辐射不同波长的电磁波的特性”。所以遥感也可以说是一种利用物体反射或辐射电磁波的固有特性,通过观测电磁波达到识别物体及物体存在的环境条件的技术。图 1.0.1 表示遥感数据采集的概念,不同目标所固有的电磁波特性受到太阳及大气等环境条件的影响后,通过遥感器观测并经过计算机数据处理或人工图像判读,最终可应用于各种领域。

遥感的应用领域是非常广泛的,从室内的工业测量到大范围的陆地、海洋信息的采集以至全球范围的环境变化的监测。在城市和区域的尺度内,可应用于土地开发的进展及绿地植被的变化监测等,同时也是掌握沙漠化等全球尺度的自然环境变化的不可缺少的手段。在海洋研究中,可以收集海面水位、浑浊状况、植物性浮游生物的分布状况、海面温度等各种信息,同时从遥感得到的波浪信息中还可以测定海面风的风向和风速。在大气研究中,可应用于调查二氧化碳及臭氧等微量成分的组成以及从云图中分析气象现象等领域。随着地球环境时代的到来,遥感也更加显示出其重要性。

本章主要介绍遥感的一些基础知识。§ 1.1 介绍电磁波及电磁波谱,电磁波是遥感得以实现的载体;§ 1.2 介绍遥感中常用到的基本概念和定律;§ 1.3 介绍太阳的电磁辐射,太阳是光学遥感的最主要能量来源;§ 1.4 介绍了大气及其传输特性,由于遥感用电磁波必然

经过大气,会受到大气的散射、吸收等影响,了解大气及其传输特性是定量遥感的关键。

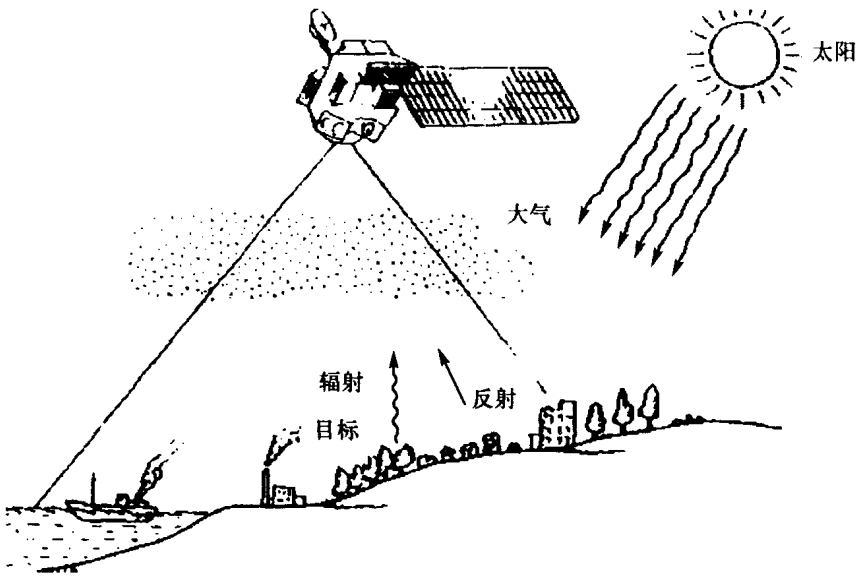


图 1.0.1 遥感数据采集

## § 1.1 电磁波及电磁波谱

### 1.1.1 电磁波的波段名称

电磁波(Electromagnetic Wave)是在真空或物质中通过传播电磁场的振动而传输电磁能量的波。电磁波的传输可以从麦克斯韦(Maxwell)方程式中推导出来。电磁波具有波动性和粒子性两种性质。

电磁波是一种伴随电场和磁场的横波,如图 1.1.1 所示,在平面波内,电场和磁场的振动方向都是在与波的行进方向成直角的平面内,是相互垂直的。电磁波的波长(Wave Length,  $\lambda$ )和频率(Frequency,  $\nu$ )及速度  $v$  之间有关系:  $\lambda = v/\nu$ 。

所有电磁波在真空或空气(近似地)中的传播都遵守公式  $c = \nu \cdot \lambda$ , 这里  $\nu$  代表频率,  $\lambda$  代表波长,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  是电磁波在真空或空气中的传播速度, 根据这个公式, 我们可以从频率计算对应的波长。

电磁波的波段从波长短的一端开始, 依次叫做  $\gamma$  射线、X 射线、紫外光、可见光、红外光、微波和无线电波。  $\gamma$  射线指波长小于  $0.03 \text{ \AA}$  的电磁波谱段; X 射线指波长约为  $0.03 \sim 20 \text{ \AA}$  的电磁波; 紫外光指波长为  $4.00 \sim 380 \text{ nm}$  范围的电磁波; 可见光包括蓝光 ( $0.40 \sim 0.50 \mu\text{m}$ )、绿光 ( $0.50 \sim 0.60 \mu\text{m}$ ) 和红光 ( $0.60 \sim 0.76 \mu\text{m}$ ); 红外光涵盖了近红外、中红外、热红外和远红外波段, 其中, 近红外波段指电磁波波谱中  $0.76 \sim 3.00 \mu\text{m}$  波长范围, 遥感技术中又称该谱段为“反射红外”, 中红外波段指电磁波波谱中  $3.00 \sim 6.00 \mu\text{m}$  波长范围, 远红外指电磁波波谱中  $6.00 \sim 15.00 \mu\text{m}$  波长范围, 而  $8.00 \sim 14.00 \mu\text{m}$  波段是大气窗口之一, 亦是

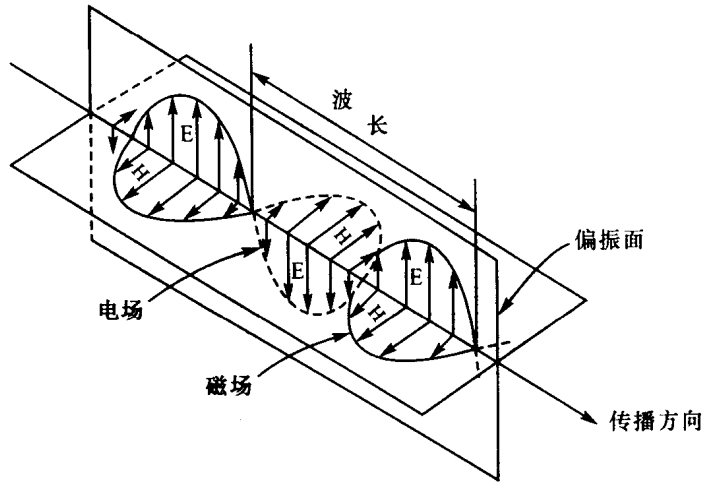


图 1.1.1 电磁波

遥感技术中,用于探测地球表面物质自身辐射的主要谱段,遥感中热红外是指  $3.00 \sim 14.00 \mu\text{m}$  谱段的电磁波,常用于温度调查;微波多用于雷达及微波辐射计,并使用 Ka 波段、K 波段、Ku 波段、X 波段、C 波段、S 波段、L 波段等特殊名称。遥感中常使用的波段如图 1.1.2 所示,图中还给出了电磁波波段的名称以及它们对应的波长和频率范围。

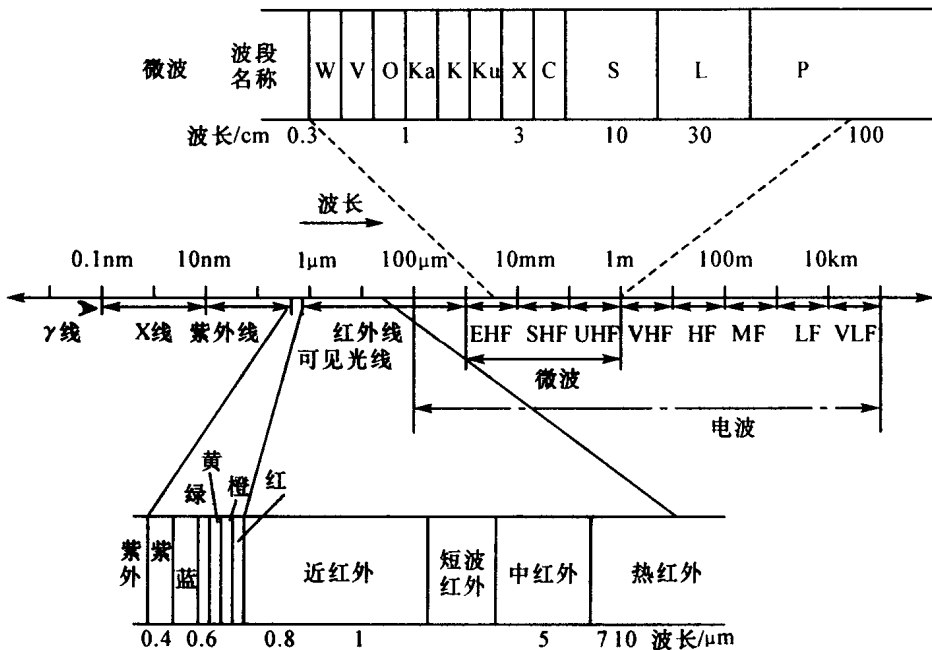


图 1.1.2 遥感中常使用的波段

1  
2  
4  
5  
6  
7  
8  
甲  
乙  
丙  
甲  
乙  
丙  
甲  
乙  
丙

目前,遥感所使用的电磁波的波长是,紫外线的一部分( $0.3\sim 0.4\mu\text{m}$ ),可见光线( $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ ),红外线的一部分( $0.7\sim 14\mu\text{m}$ ),以及微波(约 $1\text{mm}\sim 1\text{m}$ )。所以,根据所利用的电磁波的光谱段,遥感可以分为可见光反射红外遥感、热红外遥感、微波遥感3种类型(见表1.1.1)。

在海洋遥感中,雷达以其本身的优势而越来越受到人们的重视。雷达常用波段及其频率见表1.1.2。

表 1.1.1 按波段划分的三种遥感方法

	可见光·反射红外遥感	热红外遥感	微波遥感
辐射源	太阳	目标物热辐射	目标物 微波辐射 雷达 后向散射系数
目标物	太阳反射率	目标物热辐射 (温度、辐射率)	目标物 微波辐射 雷达 后向散射系数
光谱辐射亮度			
电磁波谱	紫外	可见光	反射红外 热红外
摄影机	0.4 $\mu\text{m}$ 0.7 $\mu\text{m}$		1mm
探测元件	0.3 $\mu\text{m}$ 0.9 $\mu\text{m}$		
微波遥感器	0.3 $\mu\text{m}$ 14 $\mu\text{m}$		1mm 30cm

说明:曲线 a 是把太阳看做绝对温度为 6 000K 的黑体,并假定目标物的光谱反射率不依波长变化,曲线 b 是把目标物看做绝对温度为 300K 的黑体。两曲线都忽略了大气的影响。

表 1.1.2 雷达常用波段及其频率

波段名称	频率范围	根据国际电信联盟的规定 II 区的雷达频段
HF(高频)	3~30 MHz	
VHF(甚高频)	30~300 MHz	138~144 MHz 216~225 MHz
UHF(超高频)	300~1 000 MHz	420~450 MHz 890~942 MHz



续表

波段名称	频率范围	根据国际电信联盟的规定 II区的雷达频段
L波段	1 000~2 000 MHz	1 215~1 400 MHz
S波段	2 000~4 000 MHz	2 300~2 500 MHz 2 700~3 700 MHz
C波段	4 000~8 000 MHz	5 250~5 925 MHz
X波段	8 000~12 000 MHz	8 500~10 680 MHz
Ku波段	12.0~18 GHz	13.4~14.0 GHz, 15.7~17.7GHz
K波段	18~27 GHz	24.05~24.25 GHz
Ka波段	27~40 GHz	33.4~36.0 GHz
V	40~75 GHz	59~64 GHz
W	75~110 GHz	76~81 GHz 92~100 GHz
毫米波	110~300 GHz	126~142 GHz, 144~149 GHz 231~235 GHz, 238~248 GHz

### 1.1.2 麦克斯韦方程及其解

电磁波的行为可由麦克斯韦方程组描述:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1-1-1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (1-1-2)$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} \quad (1-1-3)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} \quad (1-1-4)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (1-1-5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0 \quad (1-1-6)$$

式中,  $\mathbf{E}$  为电场矢量,  $\mathbf{D}$  为电位移矢量,  $\mathbf{H}$  为磁场矢量,  $\mathbf{B}$  为磁感应矢量;  $\mu_0, \epsilon_0$  为真空导磁率和电容率;  $\mu_r, \epsilon_r$  为介质的相对导磁率和电容率。

麦克斯韦关于电磁波的概念为:磁力和电力场中存在着平滑的波动运动。无论何处电场随时间发生了变化,作为共生伙伴的磁场也就自然产生,反之亦然。这就是上述耦合的麦克斯韦方程组所表达的思想。

对均匀的各向同性的非磁性介质,可由麦克斯韦方程组导出波动方程:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu_0 \epsilon_0 \mu_r \epsilon_r \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1-1-7)$$

对正弦交变场则简化为:

$$\nabla^2 \mathbf{E} + \frac{\omega^2}{C_r^2} \mathbf{E} = 0 \quad (1-1-8)$$

其中:

$$C_r = \frac{C}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (1-1-9)$$