

微波技术应用丛书

微波遥感技术与应用

微波遥感技术与应用

谢寿生 徐永进

7P7

电子工业出版社

电子工业出版社

微波遥感技术与应用

谢寿生 徐永进

电子工业出版社



内 容 提 要

本书是介绍遥感技术的一个重要领域——微波遥感技术及其应用的一本导论性书。书中对微波遥感的物理基础、技术原理、遥感器设备等作了较系统的阐述；书中专辟篇章着重介绍微波技术在地质研究、地形测绘、矿藏勘测、农业、林业测量，海洋研究、海面油污监测和大气测量等方面的应用；同时，对国外的发展现状和技术水平和发展动向也作了介绍。本书科学性、系统性、适用性强，为读者提供了较全面微波遥感知识。

本书可供从事微波遥感技术研究、设备制造和应用的科技人员、管理干部及有关大专院校师生参考。

微波遥感技术与应用

谢寿生 徐永进

责任编辑 袁兰方

*

电子工业出版社出版（北京万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

重庆印制一厂印刷

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：14.875 字数：400千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷

印数：1—4,000册 定价：3.70元

统一书号：15290·466

ISBN 7-5053-0051-2/TN31

序

作者给予我最大的优惠和荣幸，让我作为本书的读者代表，通读了他的原稿，并且以朋友的身份，要我给本书写序。

1977年，科学的春天来到了，方毅同志任中国科学院院长，我们受命组成一个遥感技术考察团访问欧洲。谢寿生同志就是负责微波遥感专业的团员，这是我们初次在一块儿工作和生活。当时的情景是很值得我们回忆的。中国科学家在十年浩劫之后，第一次走出封闭的祖国的大门，欧洲遥感界的同行，以非常微妙而惊奇的目光注视着我们。他们询问：中国是卫星上天的少数几个国家之一，卫星除了唱歌还有哪些遥感仪器？在哪些领域用上了卫星遥感资料？报纸发布了消息，学会和科学院盛情地接待，细致地安排了访问计划，让我们对当时欧洲的遥感进展有了多方面的了解。谢寿生同志事先对微波遥感方面，特别是对合成孔径雷达技术方面，是作了比较充分的业务准备的，但遗憾的是，当时欧洲的同行人却对此守口如瓶。甚至向我们表示歉意，他们是“受命”保守技术秘密的。

1981年，也就是五年后的冬天，中国作为东道国举办了第二届亚洲遥感学术会议。中国科学院电子学研究所陈宗陟、张志诚和谢寿生同志发表了“X波段机载合成孔径雷达系统及其飞行试验”的论文，在会上引起了很强烈的反响。代表们欢呼祝贺中国在微波遥感技术方面的出色成就。不久，我访问美洲，把这些论文分送给同行们，他们就向我们介绍了 Convair 580 上的合成孔径侧视雷达系统，毫不吝啬。后来当我国需要引进航空侧视雷达的时候，也就顺利地通过了。

从上述二次与谢寿生同志合作的学术活动中，我们有了共同的感触和体会，也看到了彼此共同的拳拳之心。我们深刻地认识到科学技术上的自强不息，自力更生，是祖国富强和荣誉的最可靠的保证。闭关自守，夜郎自大不行；仰人鼻息，依赖引进也有限。只有奋斗拼搏，团结协作，才能自立于世界民族之林。

微波遥感技术的发展十分迅速：星载微波仪器在海洋卫星和未来的资源卫星、侦察卫星上，都将占举足轻重的地位；侧视雷达正向多频段，多极化，多种工作体制继续开发。与可见光、红外的信息复合也具有广阔的前景。从最近已经获得的航天飞机SIR图象和Seasate雷达图象的应用效果，有力地说明了这一事实。它愈来愈接近可见光的分辨率水平。而微波遥感的特有的全天候、穿透性的特长，正在日新异地显示出来。例如对土壤水分的测定与岩石圈深部的探测，某些特定的波段或者较低频段可能大有希望。这是很有必要提醒遥感同行们密切注意的事。与此同时，我们也清醒地看到：我国在这方面仍然存在很大的差距。雷达分辨率大约相差一个数量级；声纳，激光雷达的成像都还要急起直追。我们决不能满足于引进一些微波遥感仪器所取得的效益。除了地形测绘、监测海洋油污染和海冰所取得的巨大经济效益，还必须看远一些，搞深一些，用广一些。这可能是谢寿生同志编写这本著作，用来全面地、系统地介绍微波遥感的原理、技术和应用的初衷；也是他长期从事微波遥感技术工作的奉献。

我认为科学工作者不仅要自己刻苦钻研，拼搏攻关，提出论文和报告；同时也要深入浅出，写些雅俗共赏的文章。它不仅是献给年轻一代的财富，也是促进横向联系学科交叉的媒介。对科学技术的促进作用，决不可以低估。通过本书，我想对于了解微波遥感的最新进展很有收获，谨此向读者推荐。

中国科学院学部委员、教授 陈述彭

一九八六年六月二十日

前 言

微波遥感是遥感技术中最为复杂、有很大发展前途的领域。它不受天气和时间限制，能全天候、全天时应用，波长较长的微波具有穿透植被和地表层的能力，是其他遥感手段（可见光和红外）所无法媲美的。特别是合成孔径成象雷达的研制成功，能迅速地获取远距离观测区的高分辨率二维图象，美国海洋卫星和航天飞机的试验，证明了从空间对全球进行微波成象探测的能力。

微波遥感技术不仅适合军事应用，在国民经济建设和科学研究中也有着广泛的应用，例如，地质研究，矿藏勘探，地形测绘，农业、林业测量，海洋研究，海冰测绘，海面油污监测和大气测量等，社会、经济效益显著，受到各国军事部门和经济部门极大重视，不惜耗费巨资，从事研究。我国从七十年代中开始，进行微波遥感技术研究工作，现已研制成功多种有源和无源微波遥感器，利用这些遥感器开展了一系列的应用研究，为发展我国的微波遥感技术奠定了一定基础。但与国际先进水平比，差距还不小，需要经过很大努力，以期逐步缩小这个差距，促进四化建设。

本书由四部分组成。第一部分介绍微波遥感的发展现状，技术水平和未来动向。重点叙述了微波遥感技术的特点，遥感器及数据处理技术现状，对由一些微波遥感设备所表现出来的技术发展趋势和可能达到的水平作了探讨。

第二部分介绍微波遥感的物理基础。电磁波是遥感信息的一种重要载体，载有目标物体特征信息电磁的传播是实现信息遥感的前提，研究了光、微波的特性、传播规律和它们的成象原理。

这部分着重讨论了陆地、海洋、大气的微波热辐射特性和对雷达波的反射、散射特性，对影响微波辐射、散射特性的一些因素和它们间的关系作了阐述。

第三部分重点在于微波遥感技术的理论、原理和遥感器设备。系统介绍了无源和有源微波遥感器，特别是合成孔径侧视雷达的基本原理，技术要求和信号（成象）处理方法。

第四部分介绍了微波遥感在资源调查、地形测绘，地质、水文、农林、海洋和大气等方面的一些重要应用，显示出广阔的前景。微波遥感发展迅速，但限于作者水平、只能宝山初探，错误难免，渴望各方面的专家、读者多多指正。

在本书编写过程中，得到电子所领导和许多同志的热情支持和帮助，须纯芳、华平东同志帮助审阅了第二、三、四篇部分书稿，全书由陈述彭教授百忙中进行审阅，提出很多宝贵意见，使本书增色不少，在此一并表示深切谢意。

编 者

目 录

第一篇 微波遥感技术的历史、现状和未来

第一章 引论	1
§ 1.1 遥感的一般定义	1
§ 1.2 遥感技术系统	5
1.2.1 运载工具	6
1.2.2 传感器	8
1.2.3 图象数据的处理、判读和识别	11
1.2.4 目标、背景波谱特性的测量和研究	13
§ 1.3 微波遥感	15
1.3.1 什么是微波遥感	15
1.3.2 为什么要发展微波遥感	17
1.3.3 微波遥感的主要应用领域	20
第二章 微波遥感的历史和技术发展水平	24
§ 2.1 微波遥感的发展历史	24
2.1.1 有源微波遥感—雷达	24
2.1.2 微波辐射计	29
§ 2.2 微波遥感的技术发展水平	30
2.2.1 无源微波遥感技术	31
2.2.2 有源微波遥感技术	34
§ 2.3 微波遥感的未来	52
2.3.1 频繁的微波遥感应用试验	53
2.3.2 发展新一代的微波传感器	57
2.3.3 解决数据处理的及时性问题	62
2.3.4 微波遥感应用研究	64

第二篇 微波遥感的物理基础

第三章 光、微波与电磁波	67
§ 3.1 波运动的一般概念	68

§ 3.2 电磁波的传播	72
§ 3.3 可见光成象与微波成象	75
3.3.1 在光学波长上的成象	75
3.3.2 微波成象	77
第四章 地物目标的微波热辐射特性	80
§ 4.1 综述	80
§ 4.2 无源微波辐射测量的几个概念	82
4.2.1 微波频谱特性	82
4.2.2 黑体的微波辐射	83
4.2.3 灰体的微波辐射	89
4.2.4 天线温度和亮度温度	92
4.2.5 能量的吸收和反射	94
§ 4.3 地表物体的发射率及其特征	96
4.3.1 影响物体发射率的参数	96
4.3.2 菲涅尔 (Fresnel) 反射系数	96
4.3.3 表面粗糙度影响	102
4.3.4 辐射 (穿透) 深度	104
4.3.5 典型物体的微波辐射	106
§ 4.4 微波辐射的大气传输	117
4.4.1 概述	117
4.4.2 大气的传输和发射	119
4.4.3 晴空大气的微波吸收和发射	126
4.4.4 液水的衰减和发射	128
4.4.5 宇宙辐射	130
5.4.6 人为噪声	131
第五章 地物目标微波散射特性	133
§ 5.1 引言	133
§ 5.2 地物目标表面粗糙度	138
5.2.1 平滑面上的目标回波	139
5.2.2 粗糙面上的目标回波	141
§ 5.3 复介电常数	146
§ 5.4 雷达工作频率	148
§ 5.5 入射角	149
§ 5.6 极化方式	151

§ 5.7 雷达的穿透性	153
5.7.1 对大气的穿透性	153
5.7.2 对植被和地表面的穿透性	154
第三篇 微波遥感技术	
第六章 微波辐射计技术	158
§ 6.1 概述	158
§ 6.2 天线和天线参数	159
§ 6.3 接收机和接收机参数	166
6.3.1 接收机的组成	166
6.3.2 温度分辨率	167
6.3.3 接收机类型	171
§ 6.4 辐射计系统参数与用户要求	171
6.4.1 系统主要参数	171
6.4.2 用户要求	181
§ 6.5 辐射计图象数据处理(分析)和判读方式	185
6.5.1 概述	185
6.5.2 辐射计数据采集系统	187
6.5.3 数字辐射计系统	192
6.5.4 记录数据的显示	197
6.5.5 辐射计数据的处理	199
6.5.6 辐射计图象(数据)的判读方法	202
第七章 雷达系统基础	206
§ 7.1 脉冲雷达的基本结构	206
§ 7.2 雷达的分辨率	210
§ 7.3 雷达的方位分辨率	213
7.3.1 线性阵列天线方向图	214
7.3.2 阵列天线的接收方向性	224
7.3.3 连续辐射元天线	226
7.3.4 旁瓣控制	226
7.3.5 阵列天线的分辨率	228
7.3.6 传递函数	230
7.3.7 非聚焦天线阵	233
7.3.8 聚焦天线阵	235
§ 7.4 距离分辨率	237

7.4.1	脉冲测距	237
7.4.2	距离分辨率	241
7.4.3	脉冲压缩	245
§ 7.5	雷达方程	250
7.5.1	雷达探测距离	253
7.5.2	接收机噪声系数	254
7.5.3	雷达后向散射系数 σ^0	256
7.5.4	雷达平均功率	259
7.5.5	余割平方型方向图	260
第八章	真实孔径侧视雷达	264
§ 8.1	引言	264
§ 8.2	侧视雷达工作方式	265
§ 8.3	真实孔径侧视雷达分辨率	266
§ 8.4	真实孔径雷达的工作过程	268
§ 8.5	侧视雷达图象特性	271
§ 8.6	真实孔径雷达图象的特点和判读	284
§ 8.7	真实孔径雷达设备	288
第九章	合成孔径雷达	294
§ 9.1	引言	294
§ 9.2	合成孔径定义和原理	296
9.2.1	真实孔径和合成孔径	296
9.2.2	合成孔径的三种分析方法	296
§ 9.3	合成孔径雷达的分辨率	311
9.3.1	交叉模糊度函数	311
9.3.2	模糊函数的方位和距离分辨率	313
9.3.3	合成孔径雷达的方位分辨率	314
9.3.4	合成孔径雷达的距离分辨率	318
§ 9.4	距离和方位模糊度限制	319
9.4.1	距离模糊度限制	323
9.4.2	方位模糊度限制	321
9.4.3	距离-方位综合模糊度限制	327
9.4.4	雷达的最小天线面积	327
9.4.5	雷达的最大数据率限制	328
§ 9.5	回波相位信息的检测和存贮	329

9.5.1 相位测量	329
9.5.2 频谱折叠	331
9.5.3 距离门与数据存贮	335
§ 9.6 合成孔径雷达方程	336
9.6.1 合成孔径雷达平均功率要求	336
9.6.2 合成孔径雷达信噪比要求	338
§ 9.7 相位稳定性	341
9.7.1 雷达设备	342
9.7.2 飞机航迹	343
9.7.3 距离弯曲	353
9.7.4 地球旋转	354
9.7.5 目标运动	355
9.7.6 信号通过非均匀大气传播	357
§ 9.8 雷达的应用要求	359
9.8.1 雷达测绘速率	359
9.8.2 雷达频率依赖性	362
§ 9.9 雷达设备和系统框图	363
9.9.1 系统硬件设计要求	363
9.9.2 系统框图	367
第十章 合成孔径雷达数据处理	368
§ 10.1 引言	368
§ 10.2 相干光学处理	369
10.2.1 目标相位历史	369
10.2.2 光学脉冲压缩	375
10.2.3 变换平面	380
10.2.4 光学相关器	383
10.2.5 纵横比	387
10.2.6 光学相关器的结构	389
§ 10.3 数字机处理	391
10.3.1 回波信号的多卜勒特性	393
10.3.2 数字成像处理原理	393
10.3.3 数字成像处理器	403
10.3.4 数字成像处理算法	411
第十一章 微波散射计	414

§ 11.1	散射测量原理	415
§ 11.2	基本的散射计类型	416
11.2.1	概述	416
11.2.2	几个基本系统	418
11.2.3	散射计-辐射计组合系统	422
§ 11.3	散射计定标	425
11.3.1	定标方法	425
11.3.2	标准散射体的选择	428

第四篇 微波遥感应用

第十二章	微波散射计应用	429
§ 12.1	大气科学应用	429
§ 12.2	海洋学应用	431
12.2.1	海洋温度测量	431
12.2.2	海面风测量	432
12.2.3	海水盐度测量	432
12.2.4	监测油污	433
12.2.5	海冰监测	434
§ 12.3	农业测量	434
§ 12.4	测定动物、植物区、类	435
§ 12.5	地质测量	436
第十三章	成象雷达的地球科学应用	437
§ 13.1	引言	437
§ 13.2	雷达图象的判读标志	439
§ 13.3	雷达用于地形测绘	442
13.3.1	引言	442
13.3.2	雷达测绘成果	443
§ 13.4	雷达在水文学和地貌学中的应用	445
13.4.1	在水文学中的应用	445
13.4.2	在地貌学中的应用	447
§ 13.5	雷达在植被分析中的应用	449
§ 13.6	雷达的地质应用	450
13.6.1	一般的地质判读	452
13.6.2	矿物勘探	452
13.6.3	石油探测	453

13.6.4 寻找地下水	454
13.6.5 地质测绘	455
§ 13.7 雷达在研究海洋中的应用	457
参考文献	459

第一篇 微波遥感技术的 历史、现状和未来

第一章 引 论

§ 1.1 遥感的一般定义

“遥感”(Remote Sensing), 作为一种环境监测和信息侦察手段, 是六十年代迅速发展起来的一门新兴综合性科学技术, 用来提高人们观察周围世界的能力。遥感集中了近代物理学、光学、电子学、计算机科学、空间科学和地球科学的最新成就, 是现代信息科学的重要组成部分。“遥”是空间的概念, “感”是信息系统, 所以, 遥感是属于空间信息收集、记录、传递、处理和分析应用的科学, 广泛地应用于天文学、大气物理学(气象学和气候学)、海洋学、极冰物理学、地球物理学和导航等许多重要的学科领域。

“遥感技术”原来是指一种非接触的测量和识别技术。从这个意义上讲, 遥感并不是新的东西, 人们利用感觉器官在地面上发现远处物体或目标, 也可理解为原始的遥感。我国古代的烽火台, 伽利略用自制的望远镜观测星空, 十九世纪出现的航空摄影等都属于遥感范畴。观测研究的对象包括地球、月球、火星、金星、日地空间, 以至太阳系以外的整个宇宙。但从1962年密执安(Michigan)大学讨论会以后, “遥感”这个名词主要是指利用航空、航天技术宏观地研究地球, 综合评价地球环境, 进行自然资源调查、开发及管理的一种特定技术。所以, 以地球为对象的遥感,

或者说，以遥感技术为手段，达到研究自然环境和社会生产的目的，是当代环境遥感研究的主要特点。对本书而言，我们只考虑在地球上空使用现代化的各类电子、光学仪器（统称为遥感器），对地球资源和环境特征所进行的感知和测量。即通过架设在火箭、气球、飞机或卫星（称为遥感平台）上的各种遥感器，如照相机、光学扫描仪、微波辐射计和微波成象雷达等，收集和记录地球表面各种目标物体辐射、反射和散射的电磁波信息（称为遥感信息或遥感数据）。根据遥感器获得的这种信息，按已经建立和掌握的目标物体波谱特性，进行整理、分类、比较和处理，从中提取所需要的信息和数据，达到大面积迅速地感测远距离目标物体的位置、状态和性质。由此可见，所谓遥感，就是掌握和运用目标物体电磁波辐射、反射和散射能量的科学规律，来反映物质（体）的存在、状态和变化。

遥感的性质总是与生命有关，例如，通过眼睛和皮肤感知可见光或物体的电磁热辐射，通过皮肤和耳朵感知介质里的压力场，以及通过嗅觉器官感知分子发射等。在这里没有规定被测对象必须自己发射辐射，大部分遥感依赖于太阳光，或人为的（声音、微波）照射。被测对象和遥感器之间的距离也没有严格限制，可从毫米、厘米量级的超短距离（如进行皮肤热扫描、或深部肿瘤研究）到数千公里、数万公里的超远距离（如天文微波辐射计）。

我们的眼睛之所以能够看到千变万化的客观世界，就是因为我们的眼睛能接收周围物体反射、辐射的电磁波信息。但是，肉眼所能感觉的电磁波只是可见光波段，在整个电磁频谱中只占很小一部分（见图1-1）。电磁波波长从0.3微米的近紫外起，包括0.4~0.7微米的可见光区，透过大气窗口，到15微米为止的红外光波段，一直到微波。在比4微米短的波长范围内，主要是地面的反射光，比其长的波长范围内，主要是辐射光。卤化银感光材料只能对1.3微米以下的波长起作用，可直接成象，比其长的波长不能直接成象，必须使用特殊的扫描方法和检测器来成象。对绝

大多数电磁波，如紫外线、x射线、红外线和微波等都不能直接造成视觉，这是人眼的缺陷。科学技术的发展，遥感从地面发展到天空，从人的感觉器官到应用某些仪器设备（遥感器）。十八世纪末出现气球遥感，二十世纪初出现的飞机遥感，五十年代末又出现了卫星遥感（航天遥感）。现代遥感技术，从以飞机为运载工具的航空遥感发展到以卫星为运载工具的航天遥感，使人们能从宇宙空间观测地球及其周围发生的各种现象和变化。同时把人们的视觉范围从可见光波段扩展到紫外，红外和微波波段。

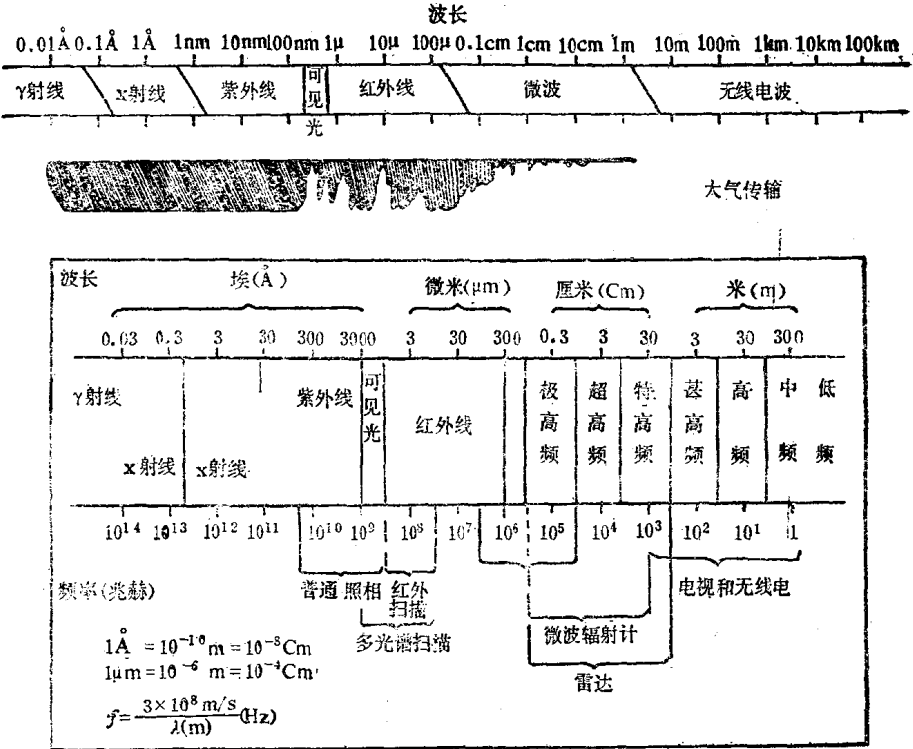


图1-1 电磁频谱和遥感所用频段

现代遥感有多种分类方法，从大的方面根据典型的场遥感分类，有电磁场遥感和位势场遥感；按电磁场遥感器工作波段划分，有γ射线、紫外、可见光、红外和微波遥感；按运载工具划