

# 微波遥感

第一卷

微波遥感基础和辐射测量学

[美] F. T. 乌拉比 R. K. 穆尔 冯健超 著

科学出版社

微波遥感

第一卷

微波遥感基础和辐射测量学

科

46311

34

I

7-26311  
634  
V.1

# 微波遥感

第一卷

微波遥感基础和辐射测量学

[美] F. T. 乌拉比 R. K. 穆尔 冯健超 著

侯世昌 马锡冠 等 译

陆大绶 校

科学出版社

1988

8810447

## 内 容 简 介

2014/20

微波遥感丛书共三卷，本书是第一卷。书中介绍了微波遥感的应用及其历史，重点讨论了平面波基本概念、微波遥感中的天线系统、辐射测量学、微波与大气相互作用以及辐射计系统等。作者在内容的广度和理论的深度上都有精心的安排。

本卷共六章。第一章绪论介绍主动式和被动式微波遥感的历史和应用。第二章电磁波的传播，第三章天线，第五章微波与大气状态的相互作用，该三章构成微波遥感学基础。第四、六章和第五章后一部分论述本卷主题——微波辐射学。每一章后均有习题，书后附有参考文献、名词对照索引等。

本书可供从事微波遥感工程和应用的管理干部、科研工程技术人员作专业参考书，也可供高等院校有关专业的高年级学生、研究生和教师作教材或参考书。

F. T. Ulaby R. K. Moore A. K. Fung  
MICROWAVE REMOTE SENSING  
Volume I  
Microwave Remote Sensing  
Fundamentals and Radiometry  
Addison-Wesley Publishing Company, 1981

## 微 波 遥 感

### 第 一 卷

### 微波遥感基础和辐射测量学

【美】F. T. 乌拉比 R. K. 穆尔 冯健超 著

侯世昌 马锡冠 等译

陆大经 校

责任编辑 樊友民 李立

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1988年4月第一版 开本：787×1092 1/16

1988年4月第一次印刷 印张：21

印数：0001—4,900 字数：477,000

ISBN 7-03-000171-0/TN·8

定价：7.40元

## 中 译 本 序

美国堪萨斯大学三位教授合著的《微波遥感》一书(三卷集)是这一领域迄今最权威的一部学术专著。它是二十年来堪萨斯大学微波遥感实验室工作成果的反映和总结;也是三位教授多年教学和科研工作的结晶。

过去二十年是微波遥感取得重大突破,开始引起遥感领域广大科技工作者兴趣并取得加速发展的年代。最先引人注意的是高分辨率合成孔径雷达(SAR)于60年代初开始在军事高空侦察领域发挥作用并于60年代中期逐步扩展到民用遥感领域。大量机载SAR的高质量图象改变了人们对微波雷达空间分辨率不高的旧概念,而雷达的全天候运用特点更使人们刮目相看。与此同时,微波辐射计的灵敏度(温度分辨率)也不断提高。1962年美国发射“水手2号”卫星,首次用微波辐射计探测金星。1968年苏联发射“宇宙243号”卫星,用4频道微波辐射计研究大气和海冰。进入70年代,SAR由机载向星载过渡。1972年“阿波罗-17”登月宇宙飞船上的SAR系统是这种过渡的首次成功的尝试。1978年发射的“海洋卫星1号”是从航天高度向地球环境进行微波遥感的第一次试验。为期98天的飞行结果取得了大批雷达图象,证明了SAR从航天高度提取地面高分辨率图象的能力。它的25米空间分辨率的图象已经超过了陆地卫星上MSS图象的分辨率(80米),也超过了专题扫描仪TM图象的分辨率(30米),而它的全天候工作能力使成像过程不会留下无效的空白,这更是MSS、TM及SPOT卫星上CCD推帚式扫描仪等无法做到的。“海洋卫星1号”上还装载着其它三种微波遥感器:无源的五通道扫描微波辐射计,有源的微波散射计和微波高度计。它们分别取得了一批全球大气和海洋参数的微波辐射图象和散射数据。此外,在基础理论研究、地物微波辐射和散射测量研究方面70年代也得到了相应的加强。在成像技术领域,SAR数据的计算机成像也在70年代后期取得了突破。

就在这二十年中的最初日子里,本书作者之一的R. K. 穆尔教授于60年代初以高度的科学预见在堪萨斯大学筹建起“微波遥感实验室”。以后,F. T. 乌拉比教授和冯健超教授也先后成为这个实验室的主要成员。从60年代中期开始,这个实验室以每年几十篇论文的成果推动着微波遥感向前发展,成为微波遥感基础研究和应用研究的一个重要国际中心。访问过这个实验室的国际学者以及由它培养出来的取得博士学位的研究生遍布世界各地。这三位教授对中国都怀着友好的感情并于80年代初期分别访问过北京、上海、青岛等地,本书的许多读者一定都听过他们生动的富有内容的学术报告。这套三卷本专著的第一册和第二册也是在80年代初陆续问世的。

为了进一步看出这套专著的重要性,我们再简单考察一下进入80年代后微波遥感的动向。1981年11月哥伦比亚号航天飞机装上成像雷达SIR-A,这是80年代的第一次重要试验。它所获得的图象可以识别出埃及西北部沙漠地区的地下古河道,又一次引起国际科技界的震动。1984年10月挑战者号航天飞机装上SIR-B,它是双波段(L和C波段)成像雷达。试验目的是要测量地形、探测淹没的古城和冰山、寻找地下水、观测海

上油溢,研究海洋波谱、考察美国、中国和澳大利亚的沙漠。美国还打算在1988年发射的航天飞机上试验第III型成象雷达SIR-C,它是三波段(L,C和X波段)成象雷达,并有雷达数据实时成象系统。如果试验成功,将是星载SAR技术的又一重大突破,使雷达数据的计算机成象时间(一幅100公里×100公里的图象)可望从8—12小时缩短到几秒钟。1988年以后美国拟在航天飞机上分别装上四种SAR,还打算发射在轨道上长期运行的SAR。NASA曾宣布要在1991年3月发射极地轨道历时三年的雷达卫星和历时五年的成象雷达空间站。美国计划到本世纪末使微波遥感器的能力达到现在的10倍,获得的信息量增加1000倍。此外,欧洲空间局(ESA),以及加拿大、日本等都有相应的航天微波遥感计划。

国际上的这种热闹景象决不是偶然的。它一方面说明微波遥感的巨大潜力正在逐步被发掘出来,同时也说明微波遥感目前正处在试用阶段,需要做更多的严格考验使它尽快地从试用阶段过渡到实用阶段。可以看出,目前正在从以下三方面进行努力:一、继续进行大规模微波遥感试验,包括从航天高度对地面的观察和在地面(或用机载设备)对各类地物微波辐射和散射特性的测量,系统地积累数据,形成各类数据库。二、提高微波遥感器的研制水平,特别要求遥感器的标定精度和测得的数据精度有数量级(10倍)的提高。三、开发新的图象处理和信息提取技术。把人工智能技术应用到“图象理解”。一般估计在今后十年内能使微波遥感技术在许多领域达到比较全面的实用阶段。

本书是在上述时代背景下产生的。从它内容安排的全面性和逻辑性可以看出作者是完全理解时代要求的。第一卷是全书的基础。它扼要而精辟地阐述了微波遥感的原理。着重叙述了目前正在广泛试用的微波辐射计的理论 and 系统设计中的一些主要问题。作者在基本概念的阐述和数学推导方面既是严谨的也是深入浅出引人入胜的。在微波辐射计的系统设计介绍中,作者从经典的狄克型辐射计出发一直叙述到最新的扫描成象辐射计,使读者既看到这一技术领域的历史发展过程也看到当前最新的前沿方向。此外,作者还详细分析了设计中的许多工程实际问题,如狄克型输入开关,接收机输入端的一些技术细节,参量放大器、场效应晶体管(FET)放大器和混频前置放大器的比较。特别值得一提的是,第一卷中详细讨论了辐射计中接收机和天线的标定问题;第二卷中讨论了SAR的标定问题。这是提高遥感器测量精度的关键。每一章之后都有习题和详尽的参考文献,这当然是读者所欢迎的。

我深深感到三位教授多年教学和科研工作的丰富经验和严谨的治学作风在这部专著中是反映出来了。我们是可以从中得到许多有益启示的。

陈宗鹭

于中国科学院电子学研究所

一九八七年三月

## 译 者 的 话

微波遥感丛书共三卷,为美国堪萨斯大学遥感实验室的 F. T. 乌拉比、R. K. 穆尔、冯健超三位教授合著。这三位教授都是我国遥感科技工作者所熟知的。他们曾先后应邀来我国讲学,介绍了他们在遥感事业上的成就和遥感技术未来发展的动向,也为我国遥感事业的发展提出了许多宝贵意见。尤其冯健超教授 1984 年在清华大学与我们友好相处的日子里给我们留下了深刻的美好的回忆。

遥感是一门用无接触方式探测遥远目标有关信息的技术。实际上,这是一门综合性、理论性和实用性都很强的技术科学。现在,人们越来越意识到人类赖以生存的三大科学支柱,即能源科学、材料科学和信息科学的发展,都和遥感技术的发展密切相关。因此,遥感技术几乎得到了世界上各国政府和科学家的广泛重视。

微波遥感在遥感的整个技术领域中有特殊重要的地位。一方面这是由于四十多年来,尤其是近十几年来,电磁理论、电子技术和雷达技术的成就为微波遥感的迅猛发展奠定了坚实的技术基础;另一方面也是由于微波遥感有着可见光和红外遥感不可代替的优越性:这主要是微波对云盖、雨区、植被和地面浅层有着良好的透射性;微波遥感不受昼夜和时间的限制以及可以提供其它遥感手段不能提供的有用信息等等。当前,遥感技术发展趋向之一是采用多重成象概念,这样,我们能获得更多更完整的信息,实现更好更完善的遥感效果。显然,微波遥感的运用以及与其它遥感手段的结合,将成为实现多重成象概念的重要途径。正因为如此,自 1981 年微波遥感丛书出版以来,不仅遥感用航测飞机和航天飞机都载有各种微波遥感器,而且许多卫星,包括陆地卫星、海洋卫星、气象卫星和测绘卫星等,也根据情况载有数量不等、种类不同的微波遥感器。

诚然,目前的微波遥感技术还有某些缺点,如设备较大较重、空间分辨率较低等,因而,作为星载遥感器还不理想。但是,这些问题随着新的设计手段、新的电子器件和新的信号处理方法的出现将会逐步得到解决。

我国从事微波遥感的历史虽然不长,但在微波遥感系统的研制和应用方面已取得了许多可喜的成果。毫无疑问,微波遥感在我国会有更大的发展。因此,我们希望微波遥感丛书的翻译出版,能为我国遥感事业的发展做出一定贡献。

微波遥感丛书是一套理论与实践高度结合的不可多得的作品。它围绕着微波遥感中几种主要的遥感器,如辐射计、真实孔径侧视雷达、合成孔径侧视雷达、散射计和高度计等,分别论述了有关的理论、技术、模型、设备和应用等。这些内容分三卷来叙述。本书是第一卷,主要内容包括三个相互独立的部分:微波遥感的历史和主要应用领域;微波遥感的基本理论以及被动式微波遥感的两个主要问题——辐射测量学和辐射计系统。

在翻译过程中,我们遇到的主要课题是中文名词的定义、确定、确认和统一的问题。这是我国科技界迫切需要解决的问题。翻译中,我们尽可能选择自认为定义准确,词义确切的中文名词。例如,我们对准确度 (accuracy) 和精密度 (precision) 加以区分,因为它们分别体现了概率统计中均值和方差两个不同的概念。此外,同一英文名词在不同学科领域

中已有各自习惯用法的，我们均采取尊重现实的态度，不求归一。例如，“aperture”一词，在天线理论中已习惯叫“口面”，在雷达技术中已习惯叫“孔径”。又例如“coherence”一词，在波科学领域中通常叫“相干”，而在雷达技术中通常叫“相参”等，我们都尊重各学科的习惯用法来选词。至于新近出现的一些名词，我们在查阅有关文献的基础上杜撰一个中文名词，并用译者注加以说明，以供读者研究和评论。例如，“plant stress”，它是用以说明植物活力（plant vigor）的一个词，我们采用生物学中的说法，暂定为“植物压迫”。

参加本书翻译的有侯世昌（第一、六章等）、马锡冠（第二、五章）、李宗谦（第四章）、马丽庄和王蔷（第三章），译稿完成后，曾相互校阅和修改。最后，由陆大铨教授对全部书稿进行校订。

本书的翻译自始至终得到清华大学研究生院院长吴佑寿教授的关心和指导，同时还得到中国科学院电子学研究所陈宗鸢研究员的鼓励和支持并为本丛中译本作了序，我们在此向他们致以衷心的感谢。我们还感谢对本书的翻译给予了帮助的于世泽、曾兰和霍燕燕等同志。

微波遥感是一门发展迅猛的多学科、综合性的技术科学，涉及的知识范围十分广泛，加上译者水平有限，因此译文中的错误在所难免，诚挚地欢迎读者批评指正。

## 原 序

在过去的二十年间,微波遥感已发展成为一种用以监测行星物体的表面和大气,特别着重于用以观察地球的重要手段。“微波遥感”这一术语强调了无线电波在媒质材料中传播以及与媒质材料相互作用的物理性。其中包括表面的和体内的散射和发射;设计微波传感器和处理其所取得的数据的技术;把所测得的数据转换成关于大气或表面的以及媒质参数或特性在时间或空间上变化的信息等。通常按照工作模式而把传感器分为两类:主动式传感器,这类传感器自己提供照射源,因而它有一部发射机和一部接收机。被动式传感器,它仅仅是一部接收机,它可以测量被观察场景所发出的辐射。属于主动式微波传感器的有雷达成象器、散射计和高度计;而被动式微波传感器经常被称为微波辐射计。

雷达除了传统的气象和军事应用外,已被广泛地用来测绘地质构造和地形,特别是地球上那些对于光学传感器来说云盖会引起严重遮蔽的地方。其它应用领域包括植被的测绘,海冰类型的鉴别,海洋风速和风向的测定,土壤水分含量和雪的含水量的测绘,土地利用的评价等,这些应用领域有的已被证实,有的仍处于研究阶段。微波辐射计已被用于从卫星的平台上恢复大气的温度和海洋上空水蒸汽的密度,估计云中液态水含量以及鉴别出海冰的不同类型等领域,已成为北冰洋水域导航的手段。仍处于研究阶段的其它潜在的应用包括土壤水分含量和雪的含水量空间分布的监测,这些对于农业、水文和气象都是重要的因素。

微波遥感的三个组成部分是:传感器与场景的相互作用,传感器的设计与测试技术,微波遥感在地球科学方面的应用。它们是本书的主题。然而,应该强调的是,本书是从工作在微波遥感领域中的科学家和工程师的观点出发,而不是从最终用户,如地质学家和水文工作者的观点出发来写的。我们试图以现有的知识为基础,在微波传感器响应与场景参数,比如土壤的水分含量之间,通过如场景的物理温度和介电特性等中间参数而建立起联系。下一步通常涉及到把遥感的数据归入适当的模型,或者与其它信息源一起利用这些数据,但这超出了本书论及的范围。例如,我们将讨论如何利用雷达来测绘线性地质特性图的问题,但是涉及到地质学家利用这一信息作为几个输入量之一来描述矿物和石油勘探位置的方法,本书将不论及。

本书所涉及的内容分成三卷。第一卷,微波遥感基础和辐射测量学。该卷开头的一章是绪论,介绍主动式和被动式微波遥感的历史和应用。接着介绍性地论述了电磁波的传播(第二章),天线(第三章)以及微波与大气状态的相互作用(第五章)。这三章试图提供一个遥感基础的综述,它普遍地适用于所有类型的微波传感器。第一卷的主要论题——微波辐射测量学是在第四章、第六章和第五章的后一部分论述的。第四章先引出了辐射测量的概念和感兴趣的量,然后着手讨论大气和大地的自然辐射源的辐射测量问题。在第五章中运用第四章已推导出的辐射传递公式论述了大气层中气体、云和雨的发射问题。第六章讨论了辐射计接收机的运用和性能的特点,特别着重讨论了测量的精密度、标定技术和成象的考虑。



第二卷,雷达遥感和面目标的散射、辐射理论。该卷包括由第七到第十二各章。第七章叙述了雷达后向散射测量的基本原理,包括测量统计法、角度、多普勒和脉冲分辨技术以及与此相联系的雷达模糊函数等内容。第八章和第九章分别叙述了真实孔径和合成孔径侧视机载雷达系统的工作。第十章则集中在用于散射测量的内部和外部的标定技术。

在第十一章到第十三章的三章中论述了建立微波与材料媒质相互作用的模型的方法。第十一章的主要目的是要帮助读者形成一种“感觉”,以便理解造成均匀和非均匀媒质的散射和发射性能的物理机理。这是通过对影响散射和发射的具体因素(如表面粗糙度、介电特性、穿透深度和介电不均匀性)的讨论,以及通过对简单的半经验模型描述而实现的。在第十二章和第十三章中,推演了数学上高度完善化的理论模型,第十二章限于开阔表面(如海洋和裸露土壤)的讨论,而第十三章(第三卷)则考虑了粗糙表面上具有体散射层(如植物冠层中)的更普遍的情况下的散射和发射模型。

第三卷,体目标的散射和辐射理论,先进遥感系统和应用。正如该卷的题目所指明的,第三卷有一章(第十三章)专门用以研究体散射和发射,有两章分别是关于散射计(第十四章)和高度计(第十五章)系统的配置和应用的,有一章是关于合成孔径雷达处理技术的(第十六章),有五章是关于主动式和被动式微波遥感的应用的。此外,第三卷还有一专题性附录,其内容是几种典型媒质材料,其中有淡水、咸水、纯冰、海冰、雪、土壤和植物的概要的介电特性。

这三卷合起来可设想作为微波遥感方向的研究生连续三学期的教材。尽管书的结构如此,但也可根据不同要求对相关章节作适当的选择。该书也可在内容上压缩成一学期的专题性的教程。比如,可以这样来选择专题:主动式微波系统;微波辐射测量学;散射和发射理论或者微波遥感的应用等。此外,该书还可以提供给遥感工程师和科学家作为一套电磁谱微波波段的遥感过程的参考指南。

作者要感谢许多人的帮助和支持,他们对本书的出版作出了贡献。感谢是因为一些机构,特别是国家航空与航天局、国家科学基金会和国防部支持了我们的研究活动。我们要对我们的学生致以特别的谢意,他们在几个学期中把本书初稿作教材使用后提出了许多建议,使内容表述得更清楚,从而提高了本书质量。我们还要向 Vera Schon 以及她在堪萨斯大学研究中心绘图美术服务公司的同事们致以谢意,他们承担了与本书有关的绘图工作和摄影处理等工作。我们还要特别表彰 Ricky Nigus,他是本书的主要绘图师。

我们尤其要感谢我们的秘书, Lee Blackledge、Julie Banhart 和 Dabra Shoger,对她们为本书打印原稿、对文字和措辞进行推敲等耐心的工作致以谢意。

F. T. 乌拉比 R. K. 穆尔 冯健超

# 目 录

中译本序	i
译者的话	iii
原序	v
<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1-1 遥感为什么需要用微波?	1
1-2 微波遥感的历史	4
1-3 电磁谱	12
1-4 雷达的应用	17
1-5 微波辐射测量学的应用	21
1-6 雷达的基本工作原理	23
1-7 辐射计的工作原理	37
<b>第二章 平面波</b>	<b>40</b>
2-1 引言	40
2-2 均匀无界媒质中的波动方程和平面波	40
2-3 有损均匀媒质中的平面波	42
2-4 平面波的极化和相干	44
2-5 平面波的坡印亭矢量	46
2-6 分界平面上的反射和透射	47
2-7 全反射和布儒斯特角	49
2-8 导电媒质中的折射	50
2-9 分层媒质	51
2-10 从具有已知电容率剖面分布层的反射	54
习题	57
<b>第三章 微波遥感的天线系统</b>	<b>60</b>
3-1 引言	60
3-2 基本天线参量	61
3-3 辐射源	69
3-4 短偶极子	69
3-5 长线天线	72
3-6 半波振子	74
3-7 标量公式表示法	74
3-8 傅里叶变换关系式	79
3-9 极化	80
3-10 均匀照射的矩形口面	81

3-11	均匀照射的圆形口面	84
3-12	有效面积的定义	86
3-13	非均匀照射——一般的考虑	87
3-14	非均匀相位照射	88
3-15	非均匀幅度照射	92
3-16	矢量公式表示法	94
3-17	天线阵列	95
3-18	两单元阵列	97
3-19	具有均匀相位分布的N单元阵列	100
3-20	阵列的相位扫描	106
3-21	天线类型	110
3-22	喇叭天线	110
3-23	缝隙天线	116
	习题	120
<b>第四章</b>	<b>辐射测量学</b>	123
4-1	引言	123
4-2	辐射测量物理量	123
4-3	热辐射	126
4-4	功率-温度对应	132
4-5	非黑体辐射	133
4-6	天线效率的考虑	137
4-7	辐射传递理论	140
4-8	吸收和散射媒质的视在温度	143
4-9	大气和地物的视在温度	145
4-10	坐标变换	148
4-11	地物的发射和散射	150
4-12	均匀温度剖面分布的均匀地物媒质	153
4-13	非均匀温度剖面分布的均匀地物媒质	155
4-14	非均匀介质剖面分布的地物媒质	155
4-15	介质板的发射率	164
4-16	粗糙表面的发射率	166
	习题	168
<b>第五章</b>	<b>微波与大气成分的相互作用</b>	171
5-1	引言	171
5-2	大气的物理性质	171
5-3	气体的吸收和发射	178
5-4	水蒸汽的吸收	181
5-5	氧气的吸收	185
5-6	全部大气气体的吸收和发射	189

5-7	云和降水的消光和发射 .....	194
5-8	电磁与单独球形微粒的相互作用 .....	194
5-9	空中水分凝结物的散射和吸收 .....	200
5-10	体散射和体吸收系数 .....	206
5-11	云、雾、霾的消光和后向散射 .....	206
5-12	雨的消光和后向散射 .....	213
5-13	雪的消光和后向散射 .....	220
5-14	用于气象学的雷达方程 .....	223
5-15	云和雨的发射 .....	224
	习题 .....	228
<b>第六章</b>	<b>辐射计系统</b> .....	<b>229</b>
6-1	等效噪声温度 .....	229
6-2	噪声的表征 .....	231
6-3	级联系统的噪声 .....	233
6-4	衰减器的噪声表征 .....	235
6-5	超外差接收机的等效噪声温度 .....	237
6-6	天线端等效系统噪声功率 .....	238
6-7	辐射计的工作 .....	239
6-8	接收机增益变化的影响 .....	244
6-9	狄克 (DICKE) 辐射计 .....	246
6-10	平衡技术 .....	249
6-11	自动增益控制 (AGC) 技术 .....	255
6-12	附加噪声辐射计 .....	260
6-13	其它类型的辐射计 .....	261
6-14	辐射计性能一览表 .....	261
6-15	一些实际的考虑 .....	263
6-16	辐射计的标定方法 .....	267
6-17	成象的考虑 .....	278
	习题 .....	284
	<b>参考文献</b> .....	<b>286</b>
	<b>附录 A 常数表</b> .....	<b>296</b>
	<b>附录 B 常用函数和变换</b> .....	<b>297</b>
	<b>附录 C 符号表</b> .....	<b>299</b>
	<b>附录 D 略语、缩写以及系统和卫星的名称</b> .....	<b>308</b>
	<b>索引</b> .....	<b>310</b>

# 第一章 绪 论

## 1-1 遥感为什么需要用微波?

把微波用于遥感是一个十分新的课题。它仅仅在六十年代初才开始付诸应用。然而,空中摄影已应用了一百多年,彩色摄影也已应用了四十多年,而且,空中摄影的成就以及陆地卫星从空间获取光学图象的更新的成就,都是举世共知的。那么,为什么还要用微波呢?

这个问题有几个答案。应用微波的最重要的理由可能是它们穿透云层和在某种程度上穿透雨区的能力以及它们不依赖于太阳作为照射源的特点。图 1.1 说明了云对空间和

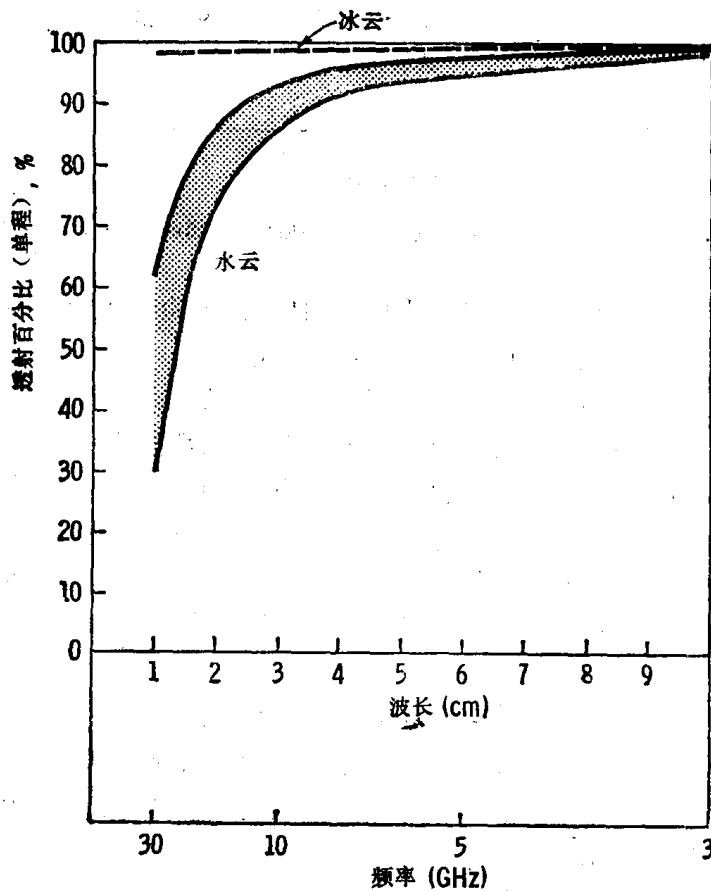


图 1.1 云对由空间到地面的无线电传播的影响

地面间无线电传播的影响。足够密集的冰云可完全遮蔽地面,这样就不可能进行空中摄影,但是在任何微波波长上,冰云对微波的传播几乎没有影响。水云仅仅在波长短于 2cm 时,才有明显的影响,只有当波长短于 1cm 时,影响才非常严重。雨比云有更大的影响,但是正如图 1.2 所示,当波长约长于 4cm 时,这种影响是可以忽略的;只有当波长为 2cm

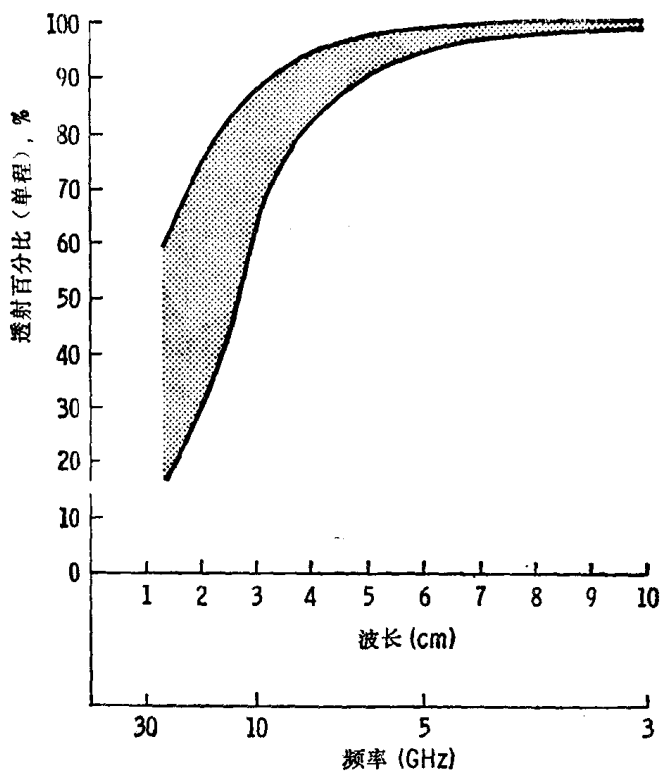


图 1.2 雨对由空间到地面的无线电传播的影响

左右的量级而雨极大时，这种影响才变得严重。即使在波长为 1cm 时，雨大到足以使雷达性能严重恶化的情况，其所占地面的百分比也是很小的。

对于微波辐射计的情况，这种影响更为重要。人们必须考虑图 1.1 和图 1.2 上透射百分比约低于 80% 的那些波段，对微波辐射测量的应用而言，那些波段实际上是被阻塞的。然而，波长为 3cm 或 4cm 的辐射计在时间上被阻塞的比率是较小的。事实上，安装在雨云 (Nimbus) 5 号和 6 号上的电扫描微波辐射计 (ESMR) 所用的波长甚至更短，分别是 1.55 和 0.81cm，这时，云的影响竟这样小，以至在拍摄象格陵兰和南极洲等地区的地图时，几乎看不出云的影响 (Gloersen 等, 1974)；反之，用可见光来测绘这样的地区则要困难得多。

应用微波的另一理由是它们比光波能更深地穿入植被。图 1.3 用示意图说明了穿透深度与波长之间的关系。穿透植被的程度取决于植被的含水量、密度和运用的微波波长。较长波长比较短波长的穿透性更好。因此，较短波长可给出关于植被的上层的信息，而较长波长则可给出下层的和植被下地面的信息。而且，微波本身可以相当程度地穿透地层。图 1.4 说明了在三种不同频率和三种不同土壤情况下，微波信号减少了 63% 时的深度。很明显，较低微波频率对干燥土壤的穿透深度是相当大的，而较高的微波频率对潮湿的土壤只能穿透 1cm 左右。尽管如此，这样的穿透深度仍大于用可见光和红外辐射所能得到的穿透深度。

应用微波的第三个理由只是由于用微波可得到的信息与用可见光、红外波段可得到的信息是不同的，因此当条件能满足所有三种波段时，工作在这些波段的传感器可以彼

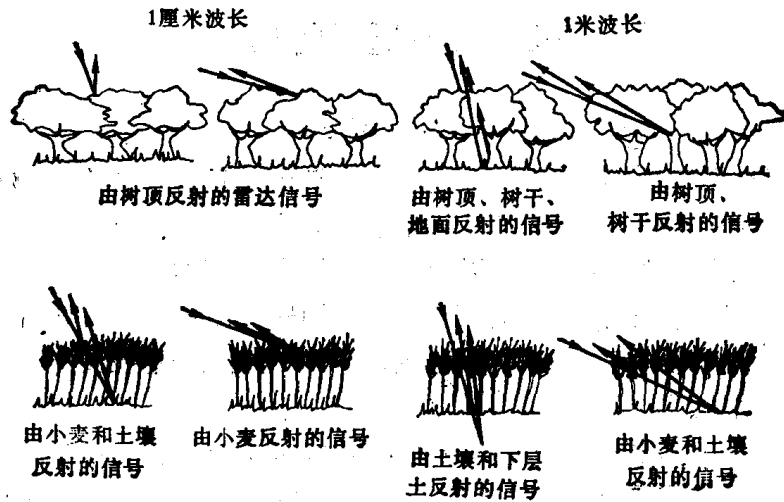


图 1.3 雷达信号通过植被的穿透性

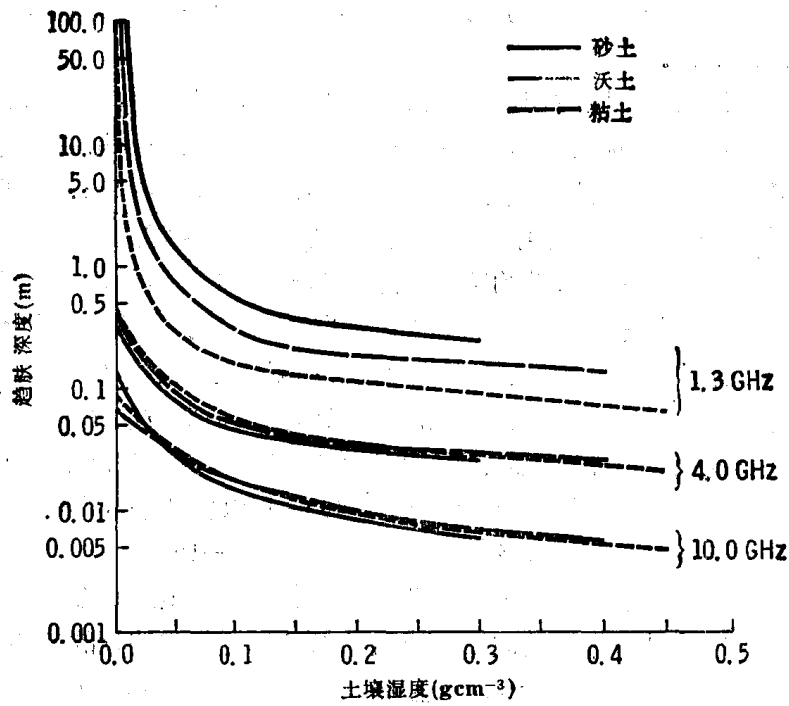


图 1.4 趋肤深度与土壤的体积含水量、频率和土壤类型之间的函数关系(引自 Ciblar 和 Ulaby 的文章, 1974)

此补充。例如，在可见光和近红外波段所观察到的颜色基本上取决于植被和土壤表层分子的谐振特性，然而，在微波波段所观察到的“颜色”则取决于研究对象面或体的几何特性和体介电特性。这样，将微波、可见光和红外辐射配合运用，就能够研究表面上几何的和体介电的特性以及分子谐振的特性。因此，当人们希望利用遥感手段描述全部特性时，单独使用任何一种波段其效果一定低于兼用两个波段的情况。

## 1-2 微波遥感的历史

### 1-2.1 雷达

最早的无线电实验是在接近于微波波段的频率上进行的。赫兹在 1886 年用频率约为 200MHz 的谐振器通过实验验证了麦克斯韦的电磁理论,这个频率接近于微波谱。在赫兹的早期的试验中,他还证实了可以接收来自各种各样的金属的和非金属的物体的反射。Hülsmeier 第一个证实了雷达可当作船舰检测器,他的思想在 1904 年获得了专利 (Hülsmeier, 1904)。马可尼在 1922 年也预示了利用无线电进行检测的可能性,但是他未曾就此进行发展研究。

A. H. Taylor 和美国海军研究实验室的其他人员是研制雷达使之成为舰艇和飞机检测工具的先驱者;其最早的实验是在 1922 年用连续波系统进行的 (Skolnik, 1980)。但是,把最早的脉冲雷达用于一系列有意义的实验是由 Taylor、Breit 和 Tuve 为了测量电离层的高度在 1925 年进行的 (Breit 和 Tuve, 1926)。他们从无线电台发射脉冲(不是微波),而从相距几英里远的地方观察自电离层反射的脉冲。这种技术在二十年代末得到进一步发展。然而,直到三十年代初才开始 (Taylor 等, 1934)进行为了检测靠近大地的目标的脉冲雷达的研制。

虽然在三十年代初的不同时期曾试验过连续波雷达,但是美国海军研究实验室在 1934 年春季的试验可能是利用专门设计的脉冲雷达来检测目标的第一次尝试 (Guerlac, 无日期)。海军研究实验室的第一部脉冲雷达的工作频率为 60MHz,虽然这不在微波波段内,但却非常接近于大约二十年后研制的第一部合成孔径雷达的频率。

海军研究实验室的第一部成功的脉冲雷达在 1936 年正式运行,这与英国在 R. Watson-Watt 爵士 (1957) 的领导下研究脉冲雷达属于同一时期。到第二次世界大战时,所有主要参战国已有了脉冲雷达系统,其目的是对飞机和舰艇定位,虽然,与微波遥感雷达相比较今天所用的一切当时均未采用。这些雷达的工作波长是米波或分米波而不是厘米波,大多数设备用来监视飞机或搜寻舰艇。虽然,早在第二次世界大战就部署了机载雷达,但最初的机载雷达仍工作在长的波长上 (Rowe, 1948),用以探测别的飞机和海面舰艇。由于美国麻省理工学院辐射实验室 (MIT Rad. Lab., 1948—1952) 和其它国家与之相当的实验室的巨大努力,终于诞生了工作在微波频率的能够产生地面图象的机载雷达。这些微波系统发展的基础是用作微波波段高功率发射机的磁控管的完善和用作接收机本振低功率源的速调管。到 1946 年,产生地面图象的雷达广泛运用在 3、10 和 24GHz 的频段上,虽然后者由于在该频率上水蒸汽的不利影响而没有普遍应用。图 1.5 所示为第二次世界大战时的机载微波系统所产生的雷达图象。

在讨论作为遥感的心脏的成象雷达之前必须先研究一下雷达高度计。第二次世界大战之前不久,大规模应用的首批机载雷达是调频高度计,这是为飞机而大量研制的商品 (Matsuo, 1938),它们工作在 400MHz 附近,迄今某些雷达高度计仍与此类似,只是采用的频率高得更多而已。

第二次世界大战期间研制的第一批成象雷达采用 B 型显示器,其图象呈矩形,其坐标之一是目标相对飞机的距离(作用距离),另一坐标是目标的方向相对飞机取向的角度。这





图 1.5 纽约市 PPI 图象实例(引自 Hall 的文章, 1947)

种显示方式有很大的畸变,因为靠近飞机的这一侧角度与距离之间呈现出非线性的关系。平面位置显示器 (PPI) 的研制修正了这种畸变,这时天线波束围绕着飞机作  $360^\circ$  的旋转,这样,便产生了地面的图象。尽管平面位置显示器仍残留了某些畸变,但它的图象与精确的地图是十分相似的。关于这些系统的畸变问题留待后几章讨论。平面位置显示器今天仍然在使用,不过采用这种显示器的典型系统不再使天线作  $360^\circ$  的扫描,而是在航线附近提供一幅约  $120^\circ$  的扇形图象。

早期的成象雷达都是把图象显示在具有长余辉荧光体的阴极射线管上。在与天线瞬时位置相对应的方向上使图象发亮,当天线转到其它方向时就逐渐变暗。阴极射线管上的荧光体,除亮度变弱外其特性几乎是非亮即暗的两种状态。因此,图象基本上是显示出大地范围和目标的地图,而目标——例如是从水和阴影中辨认出来的船只。图象只有不大的灰度差别。今天利用扫描变换器已使平面位置显示器具有灰度显示的可能。

在五十年代研制了一种新型雷达——侧视机载雷达 (SLAR)。这种雷达由于天线可以相当长,而能够实现良好的分辨,这是因为天线固定在与机身平行的方向上。对于 B 型和 PPI 型显示方式,扫描是借助于天线的旋转而实现的,这就必然限制了天线的尺寸。对于侧视机载雷达,扫描是借助于固定的侧视波束而实现的,利用飞机的运动使波束掠过大地就形成了扫描。由于这种扫描是连续的,同时由于侧视机载雷达的运用基本上是靠地面的判读员,而不靠机上的领航员或轰炸员,因而在胶片上记录就成为必需。起初把胶片做成一条长带。因为把胶片记录当作主要的显示手段,不再需要长余辉荧光体,因此采用了具有短余辉荧光体的阴极射线管。这样,长余辉荧光体所固有的模糊问题也不复存在。于是,可以在胶片上记录许多个灰度级。