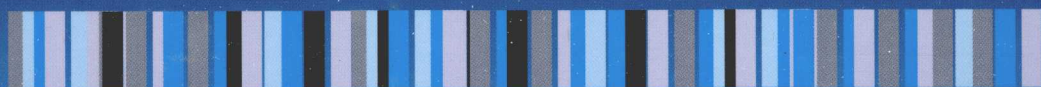
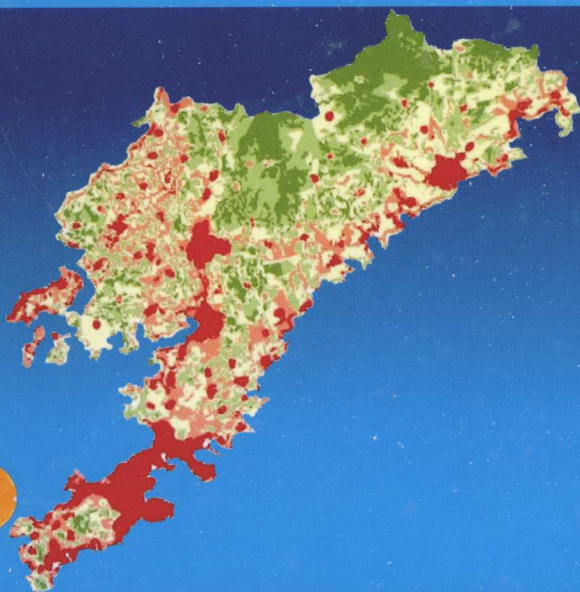


Introduction to Microwave Remote Sensing



微波遥感导论



[英] Iain H. Woodhouse 著
董晓龙 徐星欧 徐曦煜 译



科学出版社

014034542

TP722.6
08

微波遥感导论

[英] Iain H. Woodhouse 著

董晓龙 徐星欧 徐曦煜 译



科学出版社

北京

TP722.6
08



北航

C1715003

图字: 01-2012-6878

内 容 简 介

本书系统地介绍了微波遥感技术的原理及应用。全书共 11 章, 主要内容包括: 深入浅出地介绍了微波遥感技术的发展历程; 讨论了微波的特性和微波遥感的特点; 阐述了微波与物质的相互作用和大气与地球表面的被动微波辐射测量、雷达高度计及微波散射计的探测原理; 介绍了高分辨率成像雷达的原理, 以及干涉测量技术在主动、被动微波遥感中的应用。在附录中还给出了本书中所使用的数学公式及其详细推导过程。

本书可以作为电子技术、大气遥感、海洋遥感及地球科学与全球变化等专业方向的研究生和高年级本科生教材, 也可作为从事电子系统技术、特别是微波遥感技术与应用研究的科研人员提供参考。

Introduction to Microwave Remote Sensing by Iain H. Woodhouse.

© 2006 by Iain H. Woodhouse

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All Rights Reserved.

本书中文简体翻译版权由科学出版社独家出版并限在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

微波遥感导论/(英)伍德豪斯(Woodhouse, I.)著; 董晓龙, 徐星欧, 徐曦焯译.
—北京: 科学出版社, 2014.3

书名原文: Introduction to microwave remote sensing

ISBN 978-7-03-039895-6

I. ①微… II. ①伍… ②董… ③徐… ④徐… III. ①微波遥感—理论
IV. ①TP722.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014) 第 037317 号

责任编辑: 钱 俊 周 涵/责任校对: 张怡君
责任印制: 钱玉芬/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 3 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2014 年 3 月第一次印刷 印张: 22 3/4

字数: 331 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

献给我的父亲，Hector Woodhouse，
感谢他引领我进入科学的趣味殿堂。

作者简介

Iain H. Woodhouse(伊恩·伍德豪斯)于1989年在苏格兰爱丁堡大学(the University of Edinburgh)获得物理和自然哲学的理学学士学位,并于1990年在邓迪大学(the University of Dundee)获得遥感的理学硕士学位。此后在马可尼研究中心(the Marconi Research Centre)从事雷达系统设计的工作,并在爱丁堡取得了赫瑞-瓦特大学(Heriot-Watt University)的大气遥感哲学博士学位。1995年至1998年期间,在荷兰瓦赫宁根农业大学(Wageningen Agricultural University)从事教育和科研工作。

从1999年起,伊恩·伍德豪斯作为讲师执教于爱丁堡大学地球科学学院,并于2013年起担任应用地球观测专业(Applied Earth Observation)教授(Professor),主要研究领域为植被的主动微波遥感,特别是森林遥感。

中文版序

我是将本书作为给初学者的引导性文字而写作的。为那些知道一些遥感知识，但觉得通常的导论性质的教科书在介绍微波遥感，特别是雷达时，内容过于短小的读者所写。我想将本书写为由一些“基本原理”所组成的书，想去掉所有的繁文缛节，也想避免在介绍特别的卫星或传感器时耗费过多时间——因为它们终将过时。基于这些理由，我希望你能发现，虽然这本书成书至今，已快超过十年，但是它经受住了时间的考验；而且我相信你也将发现本书的内容极具实用性。

如果喜欢具有动感而非静止的演示图，你现在也能在网站 www.intro2radar.com 上找到本书的一些演示动画。该网站致力于解释成像雷达的一些相关概念。

最后，我想要感谢本书的译者们。董晓龙研究员和徐曦煜博士使得本书中文版的出版成为可能；特别地，我要感谢徐星欧博士，她在爱丁堡的访问学习成为了本书中文版出版的契机。

Iain H. Woodhouse

2014年2月

译者序

遥感是一门用非接触手段获取被观测目标信息的技术。微波遥感由于其所具有的全天时、全天候探测能力,且在对目标宏观结构和组份物性的散射与辐射特性上,不同于其他电磁波段,它在地球观测、空间探测及军事等领域发挥着重要的作用。

现代微波遥感技术,自 20 世纪五六十年代从对空雷达和射电天文发展而来,迄今已经从理论研究和突破走向全面的应用,并成为气象、海洋、环境等业务应用和地球与空间科学研究的重要数据和信息获取手段。我国微波遥感从 20 世纪 70 年代开始起步,经过近 40 年的发展,已经先后作为气象卫星、绕月卫星、海洋卫星和环境卫星的主要探测手段获得应用,在国民经济、社会发展、国防建设和科学研究中发挥重要作用。

微波遥感是一门涉及电磁辐射与散射理论、微波与电子技术、信息技术及航空、航天技术的跨学科、跨领域的综合性的技术科学。学习和掌握微波遥感理论与技术,需要具备多方面的专业知识,而纵观目前国内已出版的微波遥感教材,在对基本原理及概念阐述的深入和生动性、素材组织的逻辑性和对前沿技术的把握等方面,或多或少存在着不足。因此,一本浅显易懂又不失全面的教材就显得尤为重要。

《微波遥感导论》一书把复杂的理论用通俗易懂的文字表达出来,从宏观的视角介绍了微波遥感的概念和发展过程,全面地向读者展示了微波遥感及其在对地观测中的应用。尤其难能可贵的是作者的前瞻性:虽然该书英文版出版于 2005 年,但涵盖了目前微波遥感中几乎所有的新概念、新体制和新的发展方向,如综合孔径辐射计、临边探测微波辐射计、合成孔径雷达高度计、全极化微波散射计、极化干涉合成孔径高度计等。在对微波遥感概念进行生动形象描述的同时,作者也不失严谨地使用数学和物理推导,精确地描述了微波遥感技术所涉及的各种理论和方法。无论是从事地球科学、气象、海洋或其他相关领域研究的科学工作者考察观测数据获取及应用的方法,还是对以雷达、电子、通信为背景的工程师了解更宽泛的技术问题,亦或对正在学习研究微波遥感的科研人员深入

浅出地理解相关理论,以及对本身已在微波遥感领域从事多年研究的专业科研人员总览和把握整个领域而言,这本作者伊恩·伍德豪斯(Iain H. Woodhouse)教授倾注了大量心血、十年磨一剑的书都能提供很大的帮助。伊恩·伍德豪斯教授还积极研究微波遥感教学方法,本书也糅合了他多年的教学经验。他还是一位热衷且擅长于向感兴趣或者需要的人展示微波遥感殿堂恢弘气势和精妙细节的学者,这也是他希望通过译者们将该书呈现给广大中文读者们,并为本书翻译和出版提供了很大帮助的原因。

关于本的具体内容和使用方法,除了作者在自序中指出的部分,还需要对索引进行一些说明。原书索引中包括的不仅有专有名词,还有具有提示性的词组和短语。这些词组和短语中的少数部分虽然在原文中没有完全相同地使用,但也能找到它们简要概括了的内容。译文中的索引也是如此。

最后,本译著的出版除了译者们付出的辛苦努力外,要特别感谢中国科学院国家空间中心微波遥感技术重点实验室提供的极大支持,该实验室为我国微波遥感事业的发展和微波遥感领域人才培养做出了巨大贡献。感谢本书出版和翻译过程中提供了帮助的老师、同事和朋友们,尤其是李涤徽博士、朱迪博士,还有本书的责任编辑钱俊。此外,本书的出版得到了国家自然科学基金(41006109和41206167)和中国科学院国家空间中心重点培育课题(Y32114FB9S)的支持。

译者

2014年1月

序 言

“自我感应，弥漫空气
无处不在，无处不有
穿过这里，朝向那里
这里走走，那里溜溜
如果你能，将其阻止
你这个英国工程师啊！”

“麦克斯韦只是半个麦克斯韦主义者”。

—— 奥利弗·赫维赛德^①(Oliver Heaviside), 1895

新的观点总是需要时间来被接受。只有经过几代科学家和工程师多次审视其基本假设、实验其理论并且探讨技术上的局限性之后，这种观点才会变得清晰和成熟起来。本书的主题——微波遥感 (microwave remote sensing, MRS)，就是在这种争辩的过程中发展起来的。伊恩·伍德豪斯 (Iain H. Woodhouse) 以时间为序，用易于理解的方式表达了这个主题。

微波遥感理论的发端可以追溯到 19 世纪晚期关于电磁波存在性的激烈争论。随着时间的推移，在这个领域里，人们逐渐认识到电磁波谱是一种宽泛而神奇的自然资源；但由于人类自身感官的局限性，之前对它的认识仅局限于很窄的可见光频段。无论是以定性还是定量的方式，我们对周围世界观察和理解的结果，都依赖身体上的“被动传感器”，而这个“传感器”只接受很窄范围的日光，以颜色和纹理的形式观察世界。但是科技改变了这一切。现在，我们可以设计非常巧妙的辐射源，来观察周围的环境，还可以根据我们的应用需求，选取最适合的电磁波波频段。这样，我们可以通过“微波眼”看世界，或者如伊恩·伍德豪斯在这本书里所说的，“通过微波的耳来聆听世界”。

微波遥感对我们的世界来说，变得越来越重要。一些对未来有

^① 译者注：奥利弗·赫维赛德 (Oliver Heaviside)，英国数学家、物理学家，三维分析创始人之一。在 1884 年，他和约西亚·吉布斯 (Josiah Gibbs) 使用矢量微积分重新将麦克斯韦方程表示成现在通用的形式。

巨大影响的问题,例如气候变化、臭氧层衰减以及海水盐度的变化,都需要全球合作,在人类前所未经的全球尺度上制定和执行政策来解决。微波遥感为窥探这些问题提供了重要的视窗,同时通过进一步探索微波的性质和新型传感器以及科技的发展,我们所能获得的科学数据,正是未来世代要对那些重大问题,在适当的时候做出正确决定,所需要的。

但是存在着一个关键的问题,人类看不见那些难以琢磨的微波,而要使用科技实现“将它们停住并收集”既复杂又昂贵。雪上加霜的是,正如伊恩·伍德豪斯指出的,“微波影像”的解译,需要与我们熟知的可见光谱段所不同的新方法。所有这些问题使得微波遥感成为了一门晦涩难懂的学科,需要多年的深入研习。也因此微波遥感的研究者通常局限于专业工程师、物理学家和近代出现的雷达应用科学家。这些在将来都会改变,而这本书就是做了这么一个大胆的尝试,提供大多数人能读懂的微波遥感的全面概念。全书虽然以严谨的微波与物体之间相互作用的物理背景为根基,但是以简单易懂的方式表述出来,同时还独具特色地提供了历史背景,阐述了基本的物理原理和科学应用。整本书中还提供了微波遥感的全面详尽的应用介绍,并给出了实例。这些实例涵盖了从最早期对微波辐射计应用的尝试到新近的全球尺度高分辨率的微波雷达影像的分析和使用。更重要的是,这本书是同类书籍中最先明晰地展示了雷达极化测量和干涉测量的发展,而这两者的结合在将来的应用前景是极其可观的。正如前面提到的,虽然对科技发展的预测是极具风险的,但是此书却能及时、客观地对“遥感工具箱”中的一件重要工具的理论基础和应用进行综述。通过这本书,读者不仅能够洞悉微波传感器背后的原理,还可以更深刻地理解和感悟这项重要技术。

Shane R Cloude

University of Adelaide, Australia

作者自序

有好消息，也有坏消息。

坏消息是微波遥感是一门极难的学科，它需要学习的人具有相对较强的数学和物理基础来理解其中涉及的问题，而且很多比较新的概念，乍一看很难掌握，例如“相干性”“极化”和“干涉”。如果这些定义对你来说完全陌生，也不要紧张，它们本来就是很难的概念，需要一段时间才能领悟。不过一定要记住“精诚所至，金石为开”。

而我在写作这本书的时候所做的努力，很大部分是为了实现在确保连贯完整性的基础上，尽量地省略较难的内容。同时，整本书的原理叙述部分多于公式推导部分。这样安排的原因是为了从微波遥感的物理背景中强调突出其方法和概念。但如果你之后还想更好的驾驭微波遥感，就必须掌握一些数学和基础物理。

但也有好消息……

微波遥感同时也是一门令人沉醉的技艺，而且令人兴奋的是，当我们进入了 21 世纪的时候，这门技艺在地球观测的应用中脱胎换骨，成长为对我们认识和管理地球资源具有重大影响的科技。这个影响可能比其他的遥感技术更大（我是带着明显的偏见说的）。不过，微波遥感在其视界和应用范围确实具有独到之处，其方式也纷繁多样，有惊人的定量测量能力：从 800km 的高空，微波测量仪器可以得到地球表面高度厘米级的量测数据，还能将大气浓度测定到 ppb^① 级别。

遥感专家不需要理解微波科技基础的时代已经过去。但是其复杂的概念和所涉及的艰深数学、物理理论背景，使得微波遥感仍给人“高不可攀”的印象。我写这本书的目的，就是为了提供一个透过重重的阻碍、在一定程度上总览微波遥感领域的窗口，或者说，至少使读者得到足够的知识来徜徉于微波遥感的海洋，并对其理论进行进一步的思考。

在自序的末尾，我来说明一下如何更加高效地使用这本书。空

^① 译者注：ppb(parts per billion)，十亿分之一，是表示比例的无量纲量，可以表示质量、体积等比值。表示大气浓度时，常常用以等效微克/升 ($\mu\text{g}/\text{L}$)。

白处的注释,既能帮助索引,又不会打断文字的连贯性。我也进行过一些数学推导步骤的说明,在附录可以找到一些有用的数学理论总结,其中包含了对数运算、三角函数、矩阵和复数的运算法则。等式通常都在旁边的方括号中配有必要的单位说明。对于具有可见光遥感知识背景的读者,我还强调了一些微波遥感在一些相似概念上的转换。特别地,在第1章给出了微波遥感的简要总结之后,第2章以此学科的历史总结恰当地开始了本书的主题。这并不是仅仅为了提供一个背景知识,也是为了纠正可能存在的把微波遥感发展史联系于可见光遥感历史的错误想法。当追溯这两者的源头时,它们甚至算不上是远房堂兄弟。给出这样一个历史的背景,对于理解微波遥感的特殊性以及了解其研究方式,是极其重要的第一步。

这之后的第3章和第4章,介绍了相关的物理基础知识(第3章主要介绍微波的物理性质,第4章则着重于电磁波的极化特性)。这两章的前面部分涵盖了关于干涉和相干性的极其重要的基础原理。

第5章探讨了微波与物质作用的原理。任何遥感技术的原理根基都是地球表面或者大气的有用物理性质的可测量性。本章总结了生物和地球物理变量对微波辐射和散射回波的影响。

这本书另一个与众不同的特点是,通过对微波系统和听觉感知器的对比来帮助读者掌握这个学科的概念。这在第6章表现得最为显著。其中,作为微波传感器的类比,对耳,而不是眼的作用方式进行了解释。

接下来的两章主要是关于大气和地表的被动测量的内容。其余的章节都是对微波雷达特定理论和应用的阐述。在这我先就对这些应用中微波传感器的偏向性致歉——毕竟这是我的研究领域,所以就能找到更多的关于这个方面的内容。第9章对雷达的普遍原理进行了探讨,并解释了高度计和散射计的工作方式。之后,第10章对这些理论进行了扩展,分析了雷达是怎样获取高分辨率影像的。最后,在第11章中阐述了主动和被动传感器的干涉测量方式。

愿开卷有益!

这本书的前部分内容有部分来自我的博士论文,论文的完成迄今已经十年了。这是一个长到足以从很多人那里得到关于其反馈和评价的时间段。我要特别地感谢 Chris Varekamp——那时我还在瓦赫宁根(Wageningen)大学,正是在Chris的鼓励下,我决定把那还只是我给学生们讲课的时候做的一系列的课程笔记整理

成书出版。之后，在瓦赫宁根大学我完成了这本书的大部分。这个过程中，Dirk Hoekman 对我进行了重要的指导，把我对这本书很多部分论题的理解引向正轨。基于同样的理由，也感谢 Peter van Oevelen 和 Joost van der Sanden。要列举所有人很困难，我就此感谢所有在成书不同时期，给这本书提出宝贵意见和阅读论证了本书章节内容的朋友、同事和学生：Dean Turner, Ed Wallington, Fran Taylor, Laura Stewart, Karin Viergever, Iain Cameron 以及 Avril Behan。当然还有其他给我各种意见的人，由于篇幅有限，这里不能一一列举了，我表示深深的歉意。

我要致予 Shane Cloude 特别的感谢：感谢为此书作序。同时也感谢他在 1990 年我还在念硕士时，把我领进了合成孔径雷达这个学科的殿堂。天知道如果不是早期的时候引入散射矩阵，我的研究将以什么样的形式结束。

最后，我非常地感谢我的妻子 Karen 以及孩子 Sandy 和 Jamie。在过去五年里，Karen 一直鼓励我说：“快要完成了！”在我刚开始写这本书的时候，还没有 Sandy 和 Jamie，而且如果没有他们的话我可能会提前很久就完成这本书了。但是，即使他们不曾知道，我也因那些我决定写书稿到很晚而不是花更多时间陪伴他们的日子而感谢他们。

Iain H. Woodhouse
于苏格兰，爱丁堡大学

目 录

中文版序

译者序

序言

作者自序

第 1 章 为什么使用微波	1
1.1 微波传感器系统概述	1
1.1.1 被动微波成像仪所获信息	2
1.1.2 被动微波探测仪所获信息	3
1.1.3 主动微波传感器所获信息	3
1.1.4 怎样使用这些信息	5
第 2 章 微波简明史	6
2.1 起源	6
2.2 走出黑暗: 麦克斯韦和赫兹	7
2.3 无线电、死亡射线和雷达	13
2.4 “金星统治者”和“小绿人”	18
2.5 成像雷达	20
2.6 航天微波遥感	21
2.7 补充阅读	22
第 3 章 物理基础	23
3.1 电磁波的物理特性	23
3.1.1 “波”形式的电磁辐射	24
3.1.2 波的复数表示	28
3.2 波的能量和功率	29
3.2.1 极化	31
3.3 波的叠加	33
3.3.1 相干性	35
3.4 本书最重要的章节	37
3.4.1 相位作为(相对)距离的度量	38
3.4.2 二维波的叠加	39
3.4.3 干涉图的定量描述	42

3.4.4	被动遥感的情况	45
3.4.5	多源干涉图	47
3.4.6	波束宽度和角分辨率	48
3.4.7	惠更斯子波	50
3.4.8	相干性的补充说明	51
3.5	微波的传播	52
3.5.1	有耗媒质中的传播	55
3.5.2	移动波源的情况	56
3.6	微波来自何处	57
3.6.1	自然界中微波是如何产生的	57
3.6.2	辐射定律	60
3.6.3	如何人工产生微波	62
3.7	补充阅读	64
第 4 章	极化测量	65
4.1	极化波的描述	66
4.1.1	线极化基综述	67
4.2	极化波的叠加	68
4.3	极化的表示方法	72
4.3.1	庞加莱球	72
4.3.2	数学描述	73
4.3.3	斯托克斯矢量	74
4.3.4	亮度斯托克斯矢量	76
4.3.5	部分极化波	76
4.3.6	斯托克斯散射矩阵	78
4.3.7	散射矩阵	79
4.3.8	目标矢量	80
4.3.9	协方差矩阵	81
4.4	被动极化测量	82
4.5	雷达极化测量	82
4.5.1	雷达极化测量仪	82
4.5.2	极化合成和响应曲线	83
4.6	重要的极化特性	86
4.6.1	非极化功率	86
4.6.2	极化度和变化系数	87
4.6.3	极化比	87

4.6.4	相干性的表示参数	88
4.6.5	极化分解	90
4.7	补充阅读	90
第 5 章	真实世界中的微波	92
5.1	连续媒质和大气	92
5.1.1	辐射传输理论	92
5.1.2	微波亮度温度	94
5.1.3	谱线	96
5.1.4	谱线展宽	98
5.1.5	法拉第旋转	98
5.2	微波与离散目标的相互作用	99
5.2.1	衍射	100
5.2.2	衍射的重要性	101
5.2.3	散射	102
5.2.4	雷达截面	103
5.2.5	散射理论的重要性	105
5.3	体散射和发射	108
5.3.1	透过体散射体的传输	109
5.3.2	发射	110
5.3.3	散射	112
5.4	光滑表面的反射和发射	114
5.4.1	光滑界面的散射	115
5.4.2	光滑边界的发射	118
5.4.3	小结	118
5.5	粗糙表面的散射和发射	119
5.5.1	“粗糙”的定义	119
5.5.2	粗糙度的影响	120
5.5.3	小结	121
5.6	非随机(周期)表面	121
5.7	自然表面的散射和发射	122
5.7.1	海洋和湖泊	123
5.7.2	水汽凝结物	125
5.7.3	冰和雪	126
5.7.4	淡水冰	127
5.7.5	冰川冰	128

5.7.6	海冰	128
5.7.7	裸露的岩石和沙漠	131
5.7.8	土壤	131
5.7.9	植被	134
5.8	特殊散射体	136
5.8.1	角反射器	136
5.8.2	运动目标	137
5.8.3	混合目标	138
5.9	补充阅读	140
第 6 章	微波的检测	141
6.1	方法概述	141
6.2	微波传感器系统的概念	142
6.2.1	特别提醒	144
6.3	基本微波辐射计系统	144
6.4	天线系统	144
6.4.1	抛物面天线	146
6.4.2	偶极子天线	147
6.4.3	阵列天线	148
6.4.4	天线的性质	149
6.5	接收机	153
6.5.1	检波器	154
6.6	相干系统	154
6.7	主动传感器系统	155
6.8	系统性能	156
6.8.1	噪声和灵敏度	156
6.8.2	决定接收机灵敏度的因素	157
6.8.3	产生不确定性的其他原因	158
6.9	定标	158
6.9.1	天线定标	161
6.9.2	验证与真实性检验	162
6.9.3	定标的种类	162
6.9.4	接收机的定标方法	163
6.10	定标的其他注意事项	165
6.11	补充阅读	165