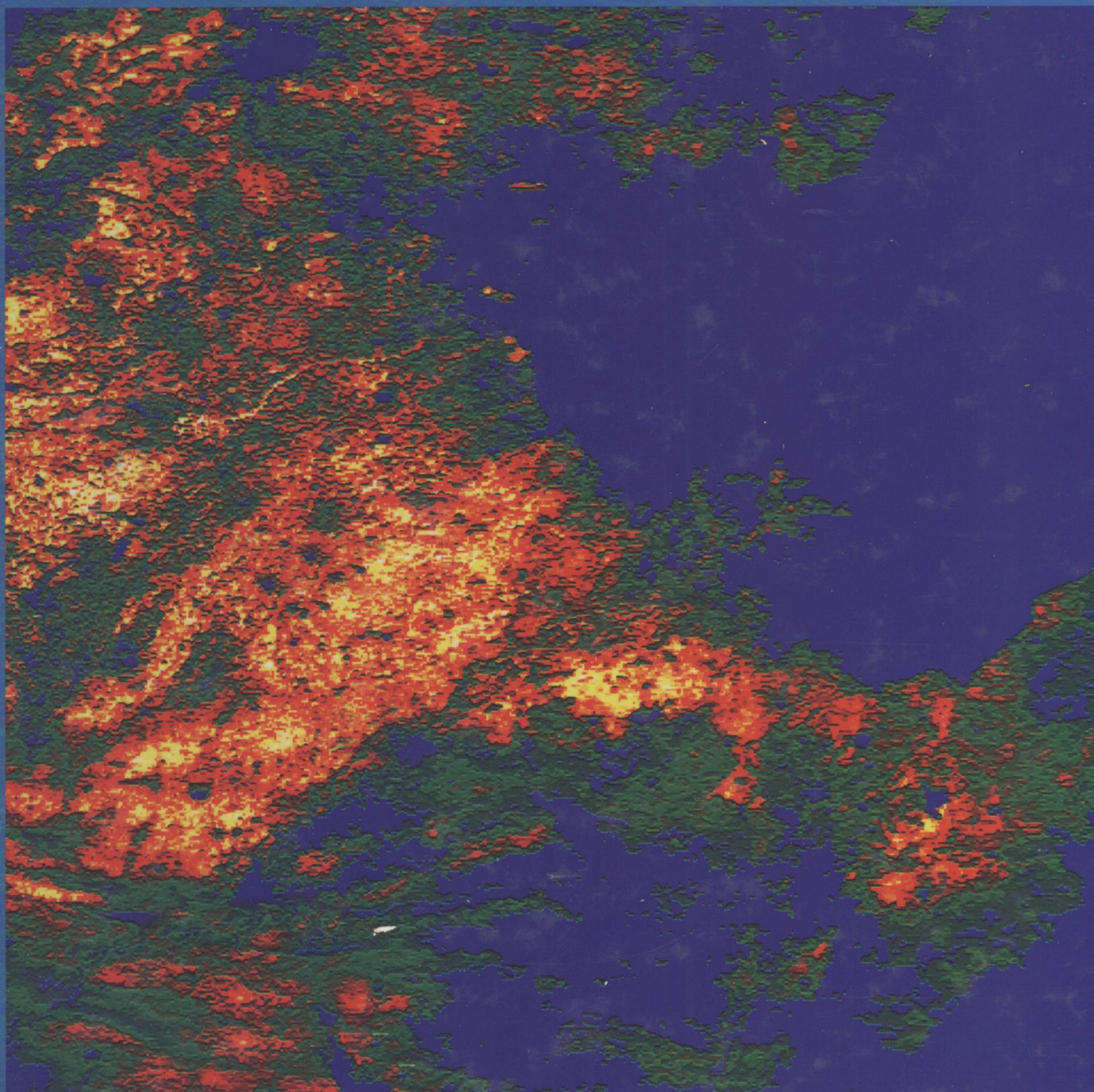


定量热红外遥感模型 及地面实验基础

张仁华 / 著



科学出版社
www.sciencep.com

定量热红外遥感模型 及地面实验基础

张仁华 著

- 《国家重点基础研究发展规划》资助项目
- 国家自然科学基金委员会资助项目
- 中国科学院地理科学与资源研究所创新工程资助项目
- 中国科学院禹城遥感综合试验站资助项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以地表热量平衡、辐射、热量、物质传输等物理过程为基点,定量分析太阳辐射与地表的相互作用,剖析地表界面所产生的信息流及其随波长、时间、空间的变化规律,揭示能量流与物质流的内在联系和提取信息的机理,论述在长期实践基础上构建的全球、区域地表水、热、碳平衡与循环的定量遥感模型,其中主要有反演土壤水分含量的热惯量和微分热惯量遥感模型、反演土壤蒸发和植被蒸腾的可操作二层遥感模型、反演植被二氧化碳同化通量和作物估产的遥感模型等。

本书内容丰富,结构严谨,理论与实践相结合,基础与应用相结合,科学与技术相结合。本书突出遥感试验及其对创新思维的启迪作用;突出定量热红外遥感模型的创新成果及野外、实验室的创新测定技术;突出定量遥感产品的尺度转换和真实性检验方法学。可供从事遥感、农业、生态、气象、水文等专业的科研人员 and 高等院校师生阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

定量热红外遥感模型及地面实验基础 / 张仁华著. - 北京: 科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-025438-2

I. 定… II. 张… III. ①红外遥感-模型②红外遥感-地面-实验 IV. TP722.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 153860 号

责任编辑:彭胜湖 关 焱 / 责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:黄华斌

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月 第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2009 年 8 月 第一次印刷 印张: 34 3/4 插页: 2

印数: 1—2 000 字数: 800 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

扩展版前言

原版《实验遥感模型与地面基础》记录了作者从1980年到1994年的主要研究成果。本书是在上述基础上的扩展,增加了1995年到2008年作者的主要研究成果。扩展内容的重点是更深入地论述了定量热红外遥感理论与实践,以及作者有新意的成果;同时也阐述了作者提出的一些与定量热红外遥感密切相关的可见光近红外遥感模型。扩展版的内涵主要涉及两方面:一方面是定量热红外遥感的实验基础,其中以如何更准确获取地物比辐射率的原理和方法为核心;另一方面是定量热红外遥感的应用基础,其中以反演土壤水分含量的热惯量和微分热惯量模型,和以反演地表蒸散、植被二氧化碳同化通量的二层模型为核心。它们是全球变化、区域水循环、区域碳循环等研究领域中的关键科学问题。定量反演区域地表通量(地表蒸散、植被二氧化碳同化通量等)所需要的参数几乎囊括目前定量遥感领域中全部时空多变要素。

从章节安排方面,扩展的内容有机融合到原版中。特别是增加了针对区域尺度地学参数真实性检验、尺度转换等世界性难题所提出的新思路和新方法。本书力求理论与实践相结合、基础与应用相结合、技术与科学相结合。在科学共性的基础上,所论述的研究成果和观测技术均具有自主创新并结合中国具体情况的鲜明特点。

在原版的基础上,扩展内容的学术意义主要体现在提出的定量热红外遥感实验方法学和一系列模型构建、反演和验证。

在实验方法学方面主要有:

- 提出的漫射式方向比辐射率测定原理和研制的测定装置,为研究野外或田间地物的双向发射和发射函数,为进一步提高地表温度反演精度和开展真实性检验提供了手段。
- 提出的准直二氧化碳激光式方向比辐射率测定原理和研制的测定装置,为研究实验室测定地物双向发射和发射函数,为在航空和航天平台直接测定地物比辐射率的可行性提供有效的模拟手段。与此同时,也提出了运用二氧化碳激光直接测定地物比辐射率的方法和设计方案,供后继者参考。
- 提出的便携式比辐射率测定原理和研制的测定装置,为在野外或田间方便地测定地物比辐射率提供了手段,受许多遥感工作者的欢迎。
- 提出的热红外多次反射辐射测定原理和研制的装置,为解决土壤植被系统热红外辐射多次反射模型的建立和验证提供了有效手段。
- 提出的空气动力学阻力的直接测定原理和研制的测定装置,为提高定量遥感地表通量中地表阻抗的精度提供了有用的手段。
- 研制的全自动野外双向反射和发射辐射测定装置,在国内外现有产品中独具特色,测定精度高,分块拼装式结构大大方便于野外运输和移动测定。该装置已经输出到法国、荷兰、西班牙等国家,受到国外同行的欢迎。

(以上研制的测定装置均由中国专利局授权发明专利。)

• 提出的以大孔径闪烁显热通量测定仪(LAS)和涡度相关测定仪相结合的非均匀下垫面地表通量像元尺度定标和验证方法,为地表通量尺度转换、高难度的水平平流研究和提高遥感地表通量精度起了重要作用。

在定量热红外遥感模型构建、反演和验证方面:

• 提出的植被二氧化碳同化通量遥感模型,为在区域甚至全球范围内,利用遥感信息定量确认植被“碳汇”提供了一种新的途径。

• 提出的利用地物阴阳面温差信息反演土壤湿度的思路,走出了区别于定量热红外遥感中现有的两类遥感土壤水分含量原理(热惯量和植物缺水指数)的第三条道路。

• 提出的利用微分热惯量信息提取波文比进而获取地表蒸散的区域分布新思路,为应用全遥感信息反演地表通量走出新路。

• 提出的定量遥感地表通量的模型和方法,提高了遥感地表通量的精度,有助于区域水循环、碳循环等研究领域的发展。具体说,在地表通量二层模型中提出的两种全新的混合像元分解算法——以热惯量为基本信息的混合象温度分解方法和像元排序对比算法(PCACA),以及理论定位算法,完全独立于目前采用的多角度分解法,为克服目前多角度分解法中不确定性作出了贡献,开创了运用单幅影像图(例如,仅一个角度的TM和MODIS等热红外影像图)分解地表温度的先例。

• 提出的二层分层能量切割算法,克服了传统以Beer定律分解净辐射通量的不确定性。

在定量遥感产品真实性检验方面:

• 在现实条件下提出了“特征精度”定义,阐明了非均匀地表地学属性(或参数)的“均匀性”的相对性及“特征均匀度”概念。在引入海岸线长度的度量和复杂地形表面积的度量中无标度现象的基础上,论述定量遥感产品的无标度现象,并指出了三者的类似之处和不同的概念。

• 提出了定量遥感产品的信息分维的建模思路及其算法。以叶面积指数为例,指出信息分维数在不同像元尺度产品尺度转换中的作用与规律。

• 在上述一系列概念和定义的基础上,提出一种可操作性的真实性检验方法。特别在地毯式观测有困难的情况下,提出了在特征均匀度条件下的多点观测方法。

应读者特别是青年遥感工作者的要求再版《实验遥感模型与地面基础》,并建议把近15年的成果融合进去。在即将完成本书时,正值我国遥感试验30周年,在此回忆本书的渊源和思考自己的遥感研究过程。

遥感试验贯串了作者30年研究工作。1978年作者参加了在我国云南开展的腾冲遥感试验,2008年参加由李小文院士主持的“定量遥感黑河试验”,相隔整整30年。这段时间也是我国改革开放的30年。1978年,“科学的春天”来到不久,全国数十个单位、数以百计的科研工作者踊跃而至云南腾冲,充分体现了他们的热情和期待。作者带了自己与上海技术物理研究所同行一起研制的数台红外测温仪,第一次与机载热红外扫描仪进行了同步观测,取得了地面实况与机载热像图的同步数据,建立了以表面辐射温度反演土壤水分含量的模型。1980年作者以此结果撰写的论文“遥感土壤水分研究”参加了在中美洲哥斯达黎加召开的第14届国际遥感学术讨论会。

然而,一些部门和人员由于对遥感信息的局限性认识不足,以及对遥感的作用期望

过高,在 20 世纪 70 年代末掀起的遥感热很快降温,从“遥感万能”跳到“遥感无能”。而作者相信遥感是实验科学,应该加强实验观测,加强应用基础研究,有效克服遥感信息的局限性。应该在试验中探索创新思路。相信定量遥感将在由“点”信息扩展到“面”信息,由田间尺度规律扩展到区域尺度规律中发挥不可替代的作用。

1982 年作者参加了由中国科学院空间中心主持的宁芜遥感试验后,中国科学院地理研究所陈述彭院士和左大康先生大力主张开展遥感应用基础研究,支持作者在中国科学院禹城综合试验站进行野外实验和理论相结合的定量热红外遥感基础性研究。当时经费支持力度有限,因而因地制宜建立起高塔遥感试验场,开展资源节约型的遥感试验。在 1985 年我国以支持基础研究为宗旨的国家自然科学基金委员会成立,作者获得了第一个面上基金项目。而后又连续获得了面上基金项目,大大推动了我们的试验和研究。本书中前 15 年的研究成果均在中国科学院禹城综合试验站的多时相高塔遥感试验中凝练的。

在 1996 年我国对遥感应用基础研究支持力度得到提高。定量遥感研究团队得到较快发展。在此期间,作者加入了以海外归国学者李小文教授为领军人物的定量遥感研究队伍,得到国家支持的范围从国家自然科学基金扩大到国家攀登项目和 973 项目。

1998 年我们在中国科学院禹城综合试验站及其周围地区(包括山东东平湖),开展了攀登项目需要的建模试验和星机地同步观测。

2001 年 4 月我们在北京顺义开展了与 TM、MODIS 卫星遥感和 OMIS 和 AMTIS 航空遥感的同步观测。以遥感试验场为基地,定标遥感输入信息;检验大气辐射传输、建立信息转换模型、研究定量反演算法和尺度转换方法等。成为实现把传统的“点”测量方法获取的有限代表性的信息扩展为更加符合客观实际的“面”信息。

在 2002 春季,在北京小汤山定量遥感试验场,首次运用 1000m 像元尺度的大孔径闪烁显热通量仪系统(LAS)、空间代表性为 200m 的波文比系统测定;和适合于非均匀下垫面通量测定的涡度相关测定系统;开展了三种不同尺度的地表通量尺度转换试验,及其定量遥感反演产品的验证试验。2004 年、2005 年在北京小汤山定量遥感试验场继续开展了试验。2008 年在黑河开展了规模更大的遥感试验。

与上述同时,我们在室内实验室积极开展定量热红外遥感的基础试验,发明和制作了在国内市场上买不到的定量热红外遥感基本参数测定仪器,有效地促进了野外试验的进展。

本书扩展的内容,是在上述诸试验基础上的研究成果。与 30 年前的腾冲试验及 26 年前的宁芜遥感试验相比,定量遥感地表时空多变要素的广度和深度均迈进了一大步,遥感精度上了一个新台阶。我们深深体会到遥感试验的重要性,在遥感试验中会遇到许多挑战和困难,正是在迎接挑战和克服困难过程中获得创新和取得进展。

这本书扩展的内容也是我们在 1995 年到 2008 年完成的面上基金项目、重大基金项目、攀登项目、973 项目和中国科学院地理资源研究所创新工程前沿项目的研究成果。然而,本书区区见识,仅仅抛砖引玉。离开定量热红外遥感的最终科学目标还相距甚远。特别是遥感信息的开拓、病态方程的反演、尺度转换和真实性检验等,有待年轻的一代甚至几代定量遥感工作者的不懈努力。

在此,我对所有支持和关心我的先生、朋友以及对我的研究团队全体成员表示衷心

的感谢!

特别感谢已故的两位学术先辈陈述彭院士和左大康先生对我研究工作的开拓性指导和支持; 特别感谢国家基金委地理处郭廷彬研究员、赵楚年研究员、宋长青研究员、冷疏影研究员的支持; 特别感谢李小文院士、朱启疆教授的支持; 特别感谢中国科学院地理科学与资源所所长和禹城综合试验站历届站长刘纪远研究员、唐登银研究员、陈发祖研究员、胡朝炳研究员、欧阳竹研究员的支持; 特别感谢我们研究团队孙晓敏研究员近 20 年的紧密合作, 本书的研究成果与他的贡献完全分不开。

由于本人水平有限, 敬请读者对本书中的问题和错误指正和赐教。

作 者

2009 年 3 月

原 版 序

遥感作为新兴的科学技术,标志人类开始进入空间时代和信息时代。遥感是现代知识的综合与结晶。简单地说,它是物理手段、数学方法与地学规律的集成产品。遥感研究,其所以还要进行实验,可以从理论和实践两方面来说明:在理论方面,它的意义是十分深远的;在实践方面,它是科学技术转换为生产力不可缺少的环节。

遥感的主要对象是地球表层。地球系统的物质流、能量流和信息流是很复杂的,时间与空间的变异又很大。虽然我们的研究方法已经从涉及简单的数理统计进步到采用模糊数学、灰色系统、耗散理论与非线性方程,但归根结底,并不是所有的数学模型都具有物理学的涵义,也不是所有的物理模型都能“放之四海而皆准”。遥感分析模型需要足够的区域参数,才能逼近于地球表层客观存在。我们需要在地面布置许多观测台站,形成网络,取得观测数据,来完善我们评估的理论和预报的方法。通过地物波谱特征、大气传输规律以及地球表层的信息机理等实验研究工作,来弥补遥感瞬时观测在时间序列中的间隙,或地球物理场的深部信息,生物地球化学的客观分异特征,作为遥感自动分类、机助制图与动态监测的科学依据,也是改进遥感传感仪器必不可少的程序。日本发射地球资源卫星1号(JERS-1)之后,已经与印度尼西亚和俄罗斯签订6年的研究合作计划,要求分别提供低纬、高纬的太阳辐射能量地面观测数据,作为改进型对地观测卫星(ADEOS)的科学依据,即其一例。

其次,遥感的应用领域日益广泛,它不是万能的,必须因地制宜、因时制宜、扬长避短,才能以较小的投入获得较大的社会经济效益与生态效益,提高遥感应用于资源勘探、环境监测、灾害预报与灾情评估的水平。以作物估产为例。田块有大小,需要有订正播种面积的田埂指数;品种有优劣,需要观测不同生长季节的叶面积指数与波谱特征;耕作制度有差异,需要掌握不同土壤的水分墒情;雨量有多寡,需要长期预报季风南北的推移。总之,不能一刀切,不能生搬硬套外国的模型和公式,需要联系中国地理环境,建立体现地域差异和特色的遥感模型。我国引进和消化遥感技术,已经具备发射卫星、研制遥感仪器的能力,但其中一些技术指标,还是亦步亦趋,“等距离”地赶超。需要通过实验,走向独立自主,自力更生,有所创造,有所前进。

中国科学院和农林、水利、气象、地震等部门都建立了许多地面观测台站。他们的大量地面实况观测数据对于遥感应用很有帮助。但其中兼备遥感波谱数据观测能力的不多,除长春净月潭等少数几个台站外,能够用来强化对遥感数据的理解和分析的,就屈指可数了。中国科学院禹城遥感综合试验站从事水热平衡与农业土壤改良试验历时十余年,在张仁华教授的主持下,设计和安装了一组遥感高塔和田间对比的半自动立体观测技术系统,建立了能与遥感卫星进行同步观测的遥感实验场,获取了许多(1981年至今)不间断的记录,并建立了一系列行之有效的遥感模型。这些模型对于华北平原的环境监测起了直接作用,对于改进小麦估产和进行全球变化研究也是十分难能可贵的。这些研

究成果得到了国际知名专家阿萨尔逊 (Axelson) 和里根纳图 (Regenato) 等同行的高度赞赏,认为在作物估产模型和遥感土壤水分模型方面取得了重大进展。美国长期生态代表团认为,禹城遥感综合试验站是世界生态网络中少数几个能直接进行遥感动态观测的试验场之一,应该推广到整个生态网络中去。

张仁华教授的这部专著,观测数据翔实,分析深入,模型多有创新,是值得称道的。他和实验站的同志们一起,数十年如一日,持之以恒、坚持不懈的毅力和精神,更是值得学习的。有幸奉读原稿,谨此为序,以志庆贺。希望遥感界同仁对于这类基础性的工作能够坚持下去,并加以推广,并呼吁社会对于艰苦的野外台站给予更多的支持。

陳述彭
一九九四年春

原版前言

遥感最早开始于人类眼睛,视网膜作为传感器非接触地感知外界事物。照相技术的发明,使得人类能够记录图像,由黑白发展到彩色,由可见光发展到紫外辐射信息也可以用非接触测量方法方式记录下来。微波技术不仅是非接触的,而且具有某种穿透性能,可穿过云层和一定厚度的土壤层,实现全天候测量。……由此可见,遥感与技术确实紧密联系在一起,技术的发展源源不断地给遥感输入新的内涵,技术的进步推动了遥感的发展。

然而,通过实践使人们认识到,技术不是遥感唯一的内容。遥感的另一重要部分就是信息转换。也就是说,遥感技术所获得的信息,除极少数表现形态的描述,可以直接应用外,绝大多数需要经过某种模型完成信息转换后才能被应用。

由于遥感应用模型的研究工作大多在技术开发后才开始,而且这种研究需要一定的持续时间;也由于人力、物力投入不协调,使得遥感模型的发展跟不上实际需求。再加上计算机图像处理、地理信息系统也没有相应配套的发展,造成遥感信息源——主要是卫星影像图“过剩”。根据美国宇航局报道,有95%的卫星遥感资料没有得到充分利用。

20世纪70年代末,正当我国许多遥感工作者忙于遥感技术跟踪发展的时候,学部委员、我国遥感事业的创始人之一陈述彭先生和我国辐射气候的倡导者左大康先生就已高瞻远瞩,洞察到了上述形势,积极提倡与支持我们开展遥感地学模型的研究工作。

陈述彭先生早在1978年就精辟地指出:“不同的物质,它们的波谱特性是不同的,即它们的辐射和反射的特性是各不相同的。要进行遥感,必须对每一种地面物体辐射和反射的波谱特性有比较清楚的了解。否则,即使传感器获得大量的图像或其他信息,也无法进行对比、判读和识别。”

与此同时,陈述彭先生又指出,进行遥感应用研究应该“通过航空遥感实验和地面实况勘测,详细研究一些典型地区的环境背景条件;利用航空光谱辐射计与地球资源卫星进行大面积的同步观测实验,为遥感图像的纠正与数据处理提供几何校准与辐射校准的依据。”

这些论点成为我们的主要研究方向。我们在黄淮海平原的中心——山东禹城建立了遥感试验场,开展适合我国国情的遥感模拟试验,开展与陆地卫星、NOAA卫星的同步观测,进行深入细致的地物光谱测试,开展以水、作物为中心的遥感应用模型研究。

在国家自然科学基金委员会、中国科学院地理研究所、中国科学院禹城遥感综合试验站的支持下,经过十多年的努力已获得了一系列的成果。这仅仅是遥感科学的“沧海中的一粟”,微不足道。但我愿以此奉献给国内外同行,进行一次学术交流,旨在抛砖引玉,求得遥感的发展。

若把遥感比喻成汪洋大海,则遥感模型已成为源源江河,而我们提出的一些模型仅

是一支涓涓小溪。正如下表所列,众多遥感模型涉及面非常广,如何分门别类的确也是一件困难之事。遥感模型的分类本身没有意义,但通过分类的思索,倒可以理顺各种遥感模型的实质性内涵。事实上,从不同角度分类,同一模型可列为不同的类别。换言之,各类模型是纵横交叉的,真是“你中有我,我中有你”。

遥感模型的类别及其简单内涵表

分类方法	模型类别	次级模型	模型内涵
遥感信息流 过程分类	大气模型		研究大气对遥感信息的影响及纠正方法
	景观模型		表征地表能量流、物质流的行为、规律
	传感器模型		测量地表能量流、物质流的行为,研究遥感信息在测量过程中的传递函数
空间分辨率 分类结构	连续模型		地物性质随时间与空间的变化是连续的
	离散模型		地物性质随时间与空间的变化不连续
		高分辨	地物单元(景观单元)大于空间分辨率
		低分辨	地物单元(景观单元)小于空间分辨率
研究方法 分类	物理模型		基于物理定律,定量表达物体性质和能量物质变化的实时过程
	经验模型		以统计为主要手段得出地物变化的统计规律
	统计物理模型		介于物理与经验模型之间的半经验模型
输出方式 分类	图像模型	监督分类	有人工监督、训练分类器识别样本
		非监督分类	无需人工监督,利用集群方法等
	非图像模型		以非图像输出结果
应用目的 分类	作物冠层模型	产量模型	研究遥感信息与作物产量的定量关系,又可分光谱、热红外及复合模型等
		作物结构模型	研究作物冠层结构与光谱之间的定量关系。又称双向反射模型,共分五个学派。也包括植被指数模型与绿度模型
	水热模型	热惯量模型	以多时相遥感信息向地物纵深方向延拓及挖掘信息的一种方法
		土壤水分模型	从遥感及辅助信息中提取土壤水分含量信息
		蒸发模型	以热量平衡为基础的定量解析模型

为了确切表达我们开展的遥感模型研究工作实质,似应恰如其分地赋予名称。现在首先从大家熟悉的研究方法分类出发,阐述物理模型、经验模型及统计模型在遥感应用中的价值和实际状况。

物理模型是以事物发展的机理为根基,研究遥感信息源同传输介质、目标相互作用的定量过程和结果。它是基于物理定律的确定性模式。典型的例子是地物的比辐射率,它导自于普朗克定律,是严格的确定模型。然而对于复杂自然表面的野外作业,导致即使物理模型也有一定误差,也必须以实验(或说试验)验证其模型的灵敏度和精度。因此遥感试验不可缺少。

经验模型是根据大量重复的遥感信息和其相应的地面实况统计结果所得的模型。这类模型受到一定的时间和空间的限制,没有上升到以事物的机理为基础的高度。但它

具有较强的应用适应性,在缺乏物理模型或物理模型的参数要求过于复杂而难以获得的情况下,经验模型是唯一可用的模型。这类模型的素材当然主要来自遥感试验,如遥感作物面积统计模型等。

统计物理模型是介于物理模型和经验模型之间的一种类型。它的根基还是来自于物理机制,但由于自然界有些事物影响因素太多,从一定时空尺度衡量,变化是随机的。因此必须走物理机制与随机统计有机结合的道路。这种方法是解决有些问题的有效措施。例如,作物冠层的双向反射模型,其叶子的反射、透射和投影基于严格的物理学、光学、几何学,但叶子的分布、植株的空间分布只能借助于随机统计方法。

上述三种模型各有其发展背景和应用范围。目前在遥感领域中是并行发展的。检验它们的正确性和应用适应性的途径是实践。

实践的途径有两条:一是实际应用;另一是模拟试验。后者可在特定的环境下,控制有关参数,方便于反馈修正,更容易获得预期目的;而且运转周期短,节约人力、物力。模拟试验是发展遥感模型、检验遥感模型的最有效的途径。

本书中所提出的模型大多是在遥感试验场通过遥感模拟试验而获得的及受到实践检验的,因此我们称其为实验遥感模型,是上述三类模型的综合。

本书第1章重点介绍了建立遥感试验场的意义、目的及其方法,强调地面基础的重要性,突出了在目前条件下开展定量遥感研究所必须同步观测。

第2章阐明了可见光、近红外波段的遥感基础,也就是太阳反射光谱的一些基本问题。辐射源和地物反射光谱是遥感的信源。对自然表面反射模型的剖析,将有助于对地物波谱的更深入理解。

第3章论述了热红外辐射的基本问题。热红外遥感更为复杂,因为热红外遥感传感器的空间分辨率低,目标信号淹没在地表热量平衡各分量值里面,比辐射率的测定难度大等。然而热红外遥感的应用范围非常广泛。较透彻地论述热红外遥感的干扰、比辐射率的测量及真实表面温度的获取等问题,将对后面许多应用模型的实践大有裨益。

第4章讨论了植被遥感的应用模型。它包括植被种类或作物种类的识别模型以及生物量估算模型。利用多时相光谱识别作物获得了成功。我们提出的黄淮海平原主要农作物的穗帽图是具有我国作物特点的。覆盖率的模型非常有价值,它将在蒸发模型、作物估产模型中起到帮助准确分解作物与土壤的作用。植被指数模型经过各种应用领域的广泛使用,已逐渐趋向精确,克服土壤背景、大气的影响,成为最新的攻克目标。书中所提出的新思路颇有前景。

双向反射模型在近些年来发展非常迅速,学派林立,有相当深度,不可能在第5章的一章中全部详细论述。第5章仅阐明我们的实验工作以及反演均匀作物最主要结构参数的逆转模型。目前,国外各学派的研究精力尚未用于航天、航空遥感资料的应用上。绝大多数的模型要求多方位、多角度的观测光谱数据,而现有遥感平台上的传感器尚不能达到这种要求。然而,高塔平台的多光谱摄像-图像处理系统,基本可以满足多方位、多角度的要求,并且下垫面的作物可以人工控制。因此这是理想的模拟试验,是地面双向反射光谱过渡到卫星、空间站多角度影像图的中间试验。

第6章、第7章论述了遥感土壤水分含量模型。第6章是以热惯量模型为主体,对象

是裸地、稀疏植被。热惯量模型可把表面电磁波信息向地物纵深方向开拓及挖掘信息,是一种应用价值很高的模型。20世纪70年代中期,热惯量模型主要应用于地质岩性的定量判别。我们开始研究热惯量模型,旨在提取土壤水分含量信息。从1980年笔者提出相对热惯量模型到1992年承担广义热惯量遥感模型研究的国家基金项目,模型与方法在不断发展。热惯量模型的难点不在于土壤热传导方程的数值解法,而在于排除潜热、显热通量对热惯量信息的干扰。笔者的克服潜热、显热影响的方法的特点是充分利用热红外辐射的二维分布信息和干、湿两点的地面定标,使得土壤水分含量的推算精度至少提高8%。

在植被或作物覆盖下,遥感土壤水分含量的思路与上述不同。第7章讨论了冠层表面温度与环境气温的差值为主导信息的土壤水分遥感模型,改进了国外学者通用的作物缺水指数,从而使得物理意义更明确、计算方法更简便、推算结果更精确。阐明了作物缺水状况估算的最佳遥感条件及不同地理带的精度,使得在黄淮海平原建立的模型能扩展到全国和更大的地域。

第8章、第9章讨论了地表热量平衡方程中两个重要的分量:净辐射通量和蒸散通量(即潜热通量)。在第8章中,我们以遥感试验场观测到的翔实数据,找到了遥感传感器的窄波段、窄视场角数据与净辐射表的全波段、宽视场角数据之间的差异规律。在目前,以陆地卫星和气象卫星的多光谱资料推算地表净辐射通量的方法还有争论。这种差异规律无疑给这种推算方法增加了有力证据。众所周知,净辐射通量在许多应用领域中十分有用。陆地卫星空间分辨率高,气象卫星多时相资料丰富,以这两种卫星的影像资料推算净辐射通量,对发展地学定量遥感意义重大。

地表蒸散对环境 and 气候的影响举足轻重。作物蒸散是产量形成中的核心要素。中国科学院禹城综合试验站以农田蒸散研究作为开放课题的重心。笔者在第9章中以较多的篇幅论述了一层大叶模型、光谱阻抗模型及二层模型。二层模型发展了大叶模型,以遥感方法分解了土壤蒸发和作物蒸腾,从而遥感区域蒸腾值就可以实现,就可以从产量形成机理进行估产。对于遥感而言,空气动力学阻抗的测定十分棘手,其中关键参数是作物高度和风速。在遥感试验场的实验研究使我们找到了遥感作物高度的途径,初步解决了这个难题。利用散射原理来遥感风速,目前还不能实现,利用气象台站的风速外延仍是主要方法。光谱模型与大叶模型的互相补偿,可以扬长避短,提高推算精度。

最后一章是作物估产。这一课题是遥感科学与技术转换成生产力的典型实例。快速及时地进行大面积作物估产,可带来巨大的经济效益。从美国到我国,这种科学实践已经持续了20年之久。但遥感作物估产并没有达到顶峰,仍有许多工作方法和途径有待改进。特别是以全遥感信息估产更可发展。在绿峰前植被指数或绿度的累积值是作物潜在产量的理想指标。但当考虑跨不同土壤背景地区、跨年度的情况下,土壤的影响必须排除。当模型从地面运用到高空,也就是利用卫星资料计算模型的时候,大气影响必须纠正。巧妙地运用“劈窗技术”,可使棘手的难题得到改善。遥感传感器的扫描角度所造成的差异也应得到修正。

根据上述分析,在地面估产模型基础上,笔者提出了以卫星遥感影像为信息源,并考

虑土壤、大气、扫描角影响的综合小麦估产模型,在小麦估产实践中获得了很好效果。

本书以遥感试验场为基地,以实验和定量分析贯穿所有章节,强调了地面基础在遥感中的作用,突出了以水、作物为中心的遥感信息转换模型。

最后,借此机会,向国家自然科学基金委员会、中国科学院地理研究所、中国科学院禹城遥感综合试验站的所有帮助、支持、关心我的先生、朋友致以真切的感谢,特别向指导我研究工作的陈述彭先生表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中错误和问题在所难免,敬祈读者多予赐教。

作者

1995年于北京

目 录

扩展版前言

原版序

原版前言

第 1 章 遥感试验场和遥感模拟试验	(1)
1.1 科学实验与普朗克定律的诞生	(1)
1.2 遥感试验场的意义及工作内容	(5)
1.3 遥感试验场设置原则	(6)
1.4 遥感试验场实例——禹城高塔遥感试验场	(7)
1.4.1 自然条件概况	(7)
1.4.2 高塔实验遥感的意义、特点及适用范围	(8)
1.4.3 高塔遥感平台和试验场结构	(10)
1.5 试验场的地面遥感仪器及其测量方法	(12)
1.5.1 多光谱相机	(12)
1.5.2 CCD 光谱仪	(12)
1.5.3 红外测温仪	(15)
1.5.4 非制冷焦平面式的热像仪	(20)
1.5.5 地面五波段 CCD 成像光谱测量系统	(20)
1.6 试验场的非遥感地面辅助仪器	(23)
1.7 地表通量测定仪器	(28)
1.7.1 波文比测量系统	(28)
1.7.2 涡度相关测量系统	(30)
1.7.3 大孔径闪烁仪像元尺度地表通量测定	(33)
1.8 多遥感平台的同步观测及地面定标	(35)
1.8.1 同步观测及地面定标的意义和途径	(35)
1.8.2 地表反射率的定标——卫星、地面同步观测实例	(37)
1.8.3 地表温度的定标——飞机、地面同步观测实例	(40)
1.9 星地同步观测及地表通量验证场实例——北京小汤山定量遥感地表通 量产品验证试验场	(44)
1.9.1 定量遥感地表通量产品验证场目的和意义	(44)
1.9.2 试验场自然条件	(45)
1.9.3 开展非均匀下垫面像元尺度地表通量验证的思路和步骤	(45)
1.9.4 以 LAS、涡度相关和波文比系统开展的地表通量对比试验	(48)
参考文献	(51)
第 2 章 地物对太阳的反射光谱及遥感模型	(53)
2.1 辐射源	(53)

2.1.1	大气顶的太阳辐射	(53)
2.1.2	大气对太阳辐射的影响	(54)
2.1.3	太阳辐射和天空辐射的光谱结构	(56)
2.1.4	天空辐射率分布及大气向下反射比	(58)
2.1.5	大气下行热红外辐射	(60)
2.2	自然表面的反射理论	(62)
2.2.1	粗粒反射模型	(63)
2.2.2	细粒反射模型	(65)
2.2.3	反射光谱的可预报性及其存在问题	(66)
2.3	自然表面的光谱特征	(67)
2.3.1	植物(含农作物)反射光谱特征	(67)
2.3.2	土壤光谱特性	(71)
2.3.3	水的光谱特性	(74)
	参考文献	(76)
第3章	定量热红外遥感基础	(77)
3.1	热红外遥感的基本问题	(77)
3.1.1	定量热红外遥感的一些基本概念	(77)
3.1.2	热红外信息及其干扰	(82)
3.1.3	热红外遥感的复杂性	(85)
3.2	假黑体现象及比辐射率封闭测定方法	(88)
3.2.1	比辐射率的概念	(88)
3.2.2	比辐射率的黑体筒测定法	(90)
3.2.3	腔体等效比辐射率的计算方法	(93)
3.2.4	一种便携式比辐射率测定仪及其测定方法	(97)
3.2.5	漫射式方向比辐射率测定装置及其应用	(100)
3.3	比辐射率的非封闭测定原理及其方法	(104)
3.3.1	以碳化硅为红外辐射源的非封闭测定原理和方法	(105)
3.3.2	利用 CO ₂ 激光远距离测定比辐射率的原理和方法	(108)
3.3.3	利用新型 CO ₂ 激光仪测定地物的方向比辐射率	(113)
3.3.4	机载和星载 CO ₂ 激光地物方向比辐射率测定思路	(116)
3.4	非同温系统中热辐射传输与比辐射率测量的补偿	(119)
3.4.1	非同温系统中热辐射传输	(119)
3.4.2	基尔霍夫定律的适用性分析	(123)
3.4.3	非同温系统中比辐射率测定方法	(125)
3.4.4	比辐射率测量中的外延法补偿试验	(129)
3.5	真实地表温度的遥感原理	(134)
3.5.1	环境辐射照度的测量及天空温度	(134)
3.5.2	对非均匀地面的考虑	(136)
3.5.3	地表温度反演中的简单大气纠正算法	(139)

3.5.4	在地表温度反演中大气纠正的劈窗技术	(141)
3.5.5	常规温度表所测的地表温度与真实地表温度	(143)
3.6	以卫星数据反演陆面温度的方法	(146)
3.6.1	查表法	(147)
3.6.2	光谱信息法	(148)
3.6.3	其他温度与比辐射率分解方法	(152)
	参考文献	(155)
第4章	植被遥感应用模型	(158)
4.1	作物遥感识别的特殊性	(158)
4.1.1	作物光谱结构	(158)
4.1.2	光谱时相分析方法	(160)
4.2	作物光谱数据压缩的可能性	(163)
4.3	植被覆盖率信息的提取	(166)
4.3.1	基于遥感信息的植被覆盖率算法	(166)
4.3.2	影响植被覆盖率的因素	(169)
4.4	归一化(NDVI)及简单比(SRVI)植被指数的应用及其局限性	(170)
4.5	土壤背景对植被指数的影响及调整	(176)
4.5.1	垂直植被指数	(177)
4.5.2	土壤调整植被指数	(179)
4.5.3	转换土壤调整植被指数	(181)
4.6	大气状态对植被指数的影响	(182)
4.7	抗大气影响的植被指数	(184)
4.8	植被指数的灵敏度分析	(189)
4.8.1	植被指数表达叶面积的灵敏度分析	(189)
4.8.2	植被指数表达吸收有效光合辐射的灵敏度	(190)
	参考文献	(190)
第5章	双向反射模型的应用探索	(192)
5.1	双向反射模型研究动态与思路	(192)
5.2	实验在双向反射模型研究中的意义	(195)
5.3	一种冠层双向反射模型的近似解析方法	(197)
5.4	模型计算方法及其验证	(212)
5.5	逆转模型及参数反演	(205)
5.6	双向反射模型区域应用的过渡性试验	(207)
5.7	自行研制的全方位多角度测定装置及其应用	(209)
5.7.1	热辐射的方向性及其测量中的瓶颈问题	(209)
5.7.2	多角度热辐射测定中空间非均匀“噪声”的消除途径	(210)
5.7.3	多角度热辐射测定中时间差“噪声”的消除途径	(211)
5.7.4	装置的测定方法及其试验效果检验	(212)