

当代科学前沿论丛

NEW FRONTIERS OF SCIENCES

高光谱遥感及其应用

浦瑞良 宫 鹏 PU RUILIANG GONG PENG

HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING
AND ITS APPLICATIONS



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书结合作者多年从事高光谱遥感科研的实际经验,系统地介绍了高光谱遥感概念、相关仪器、成像原理、数据获取和信息提取技术以及在地质、植被和其它方面应用研究概况。信息提取技术包括光谱微分、光谱匹配、混合光谱分解、光谱分类、光谱维特征提取及模型等。最后以较大的篇幅详细介绍了从高光谱数据中提取生物物理、生物化学参数的具体方法。

本书内容新颖、叙述深入浅出,可供从事遥感、地理、地质、植物、生态、农业、林业、大气、水文、冰雪、海洋、自然资源、环境等学科领域的科研人员、大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

高光谱遥感及其应用/浦瑞良, 宫鹏. —北京: 高等教育出版社, 2000.8

ISBN 7-04-0008981-5

I. 高… II. ①浦…②宫… III. 高分辨率-光学遥感 IV. TP72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 66052 号

JS427/10

高光谱遥感及其应用

浦瑞良 宫 鹏

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

电 话 010-64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16

印 张 17.25

字 数 230 000

版 次 2000 年 8 月第 1 版

印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷

定 价 36.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



浦瑞良

1956年出生。南京林业大学硕士(1985), 美国伯克利加州大学和中国科学院联合培养博士(1999)。现任美国伯克利加州大学环境科学、政策与管理系研究

员。主要研究领域为森林遥感图像分析、生态系统模拟和森林立地生产力评价与预测。1984年以来, 发表学术论文30余篇, 合著《对地观测技术与地球系统科学》一书。三次获国内科技进步奖, 并获江苏省遥感协会优秀论文奖。



宫鹏

1965年出生。南京大学硕士(1984), 加拿大滑铁卢大学博士(1990)。现任教于美国伯克利加州大学环境科学、政策与管理系和

地理系, 并任该校森林与环境资源监测与评价中心主任, 还任《国际遥感杂志》等数份国际杂志的编辑、主编。在遥感生态测量学、全球变化探测、GIS数据模型建立与应用方面发表论文140余篇, 出版论著《对地观测技术与地球系统科学》、《实用地理信息系统》等5本。三次获美国摄影测量工程与遥感学会最佳杂志论文奖。1998年获中国国家自然科学基金委杰出青年科学基金B类奖, 1999年被聘为中国科学院海外评审专家。

出版者的话

人类创造了科学技术，科学技术推动了人类的文明进程。两者的互动影响，今天已达到了前所未有的程度：人类的经济发展和社会进步的需要，为科学技术迅猛的创新，提供了强大的动力；科学技术的发展，在急剧地改变着人类的思维方式、学习方式、工作方式、生活方式、娱乐方式。科学技术已成为强大的社会生产力和巨大的社会资本。现在，每个国家，每个地区，甚至每个单位，都把科学技术创新、科学技术转化为生产力，作为头等大事，抢占科学技术至高点，以此来提高自己的综合实力。

新中国成立 50 多年特别是改革开放 20 多年来，随着经济的蓬勃发展，科学技术得到了长足的进步，两弹一星、载人飞船、生物工程、信息技术等正在大步追赶国际先进水平。科学技术转化成的强大生产力，对国民经济发展和社会进步、对增强综合国力产生了重大的影响。

改革开放以来，在中国共产党的“科教兴国”方针的鼓舞下，举国上下，尊重科技，学习科技，普及科技，创新科技，应用科技，发展科技，已蔚然成风。科技结硕果、神州尽彩虹的绚丽画面，正在展示于世人面前。自 16 世纪中叶中国科学技术失去世界领先地位后，所形成的中西科学技术的差距现在正在缩小。重振中华科学技术雄风的序幕已经拉开。

为了能使我国的科学技术水平在不久的将来赶上并达到世界先进水平，我们不仅要自己进行科学技术创新，也要学习世界上一切国家的先进科学技术；不仅要靠国内的科技工作者发展我国的科学技术，还要借助海外学者特别是华人学者的力量。在这种思想的指导下，我们萌生了组织海外学者编写科技前沿丛书的想法。这一想法在海内外学者中引起了强烈的反响：在他们中，有的出谋献策，有的出资开会，有的撰稿，有的审稿，有的愿把稿酬作为基金，……海内外学者的诚言乐行，极大地感染着我们，鼓舞着我们；这一想法得到了教育部陈至立部长和分管我社的周远清副部长的肯定和支持，这增加了我们开展此项工作的决心和信心。根据各方面意见，经过反复研究，最后将丛书定名为《当代科学前沿论丛》。《论丛》是我们献给祖国母亲的 21 世纪的圣礼，企盼我国能在 21 世纪夺回三四百年前失去的科学技术领先的地位。《论丛》如能在推

动我国科学技术进步和“科教兴国”中有所作用，将是我们的最大欣慰。我们向一切关心和支持《论丛》出版工作的人士，表示衷心的感谢。由于缺乏经验，《论丛》出版后，编辑出版方面的不足，在所难免，诚望各方指正。

高等教育出版社

2000年6月

序

遥感技术经过 20 世纪后半叶的发展,无论在理论上、技术上和应用上都发生了重大的变化。高光谱遥感的出现和发展无疑是这种变化中十分突出的一个部分。与此同时,随着人类社会面临越来越大的人口、资源和环境的压力,寻求可能的解决途径已成为人们不懈努力的方向。高光谱遥感就是解决人类实际问题的一个有效手段。

高光谱遥感的发展,从研制第一代航空成像光谱仪算起已有 20 多年的历史,并受到了世界各国遥感科学家的普遍关注。其中一个重要的原因就是,这一技术将确定物质或地物性质的光谱与把握其空间和几何关系的图像革命性地结合在一起,也就是说将人们习惯的逻辑思维和形象思维方式统一在一起。这对人们认识自然是大有裨益的。

实际上人们早就认识到光谱和图像结合的重要性,从日常生活中的彩色摄影到在飞机和卫星上工作的多光谱传感器,就是在一定程度上将物质的光谱和图像结合起来。随着光谱段的不断增加,人们对遥感对象的认识能力也随之不断深化。终于认识到,许多物质的特征所在往往表现在一些狭窄的光谱范围内。如何捕获物体的这种特征而又不失其整体形态及与周围地物的关系,这就是成像光谱或称高光谱遥感产生和发展的基础和要回答的问题。

长期以来,高光谱遥感一直处在以航空为基础的研究发展阶段,且主要集中在一些技术发达国家,对其数据的研究和应用还十分有限。近年来情况出现了转机,如果不是卫星技术的故障,今天人们应该能够广泛使用 1997 年发射而具有 384 个波段的 LEWIS 高光谱遥感卫星的数据了。1999 年末第一台中分辨率成像光谱仪(MODIS)随美国 EOS AM-1 平台进入轨道,所谓“新千年计划”第一星 EO-1 将携带两种高光谱仪进入太空。此外欧空局的中分辨率成像光谱仪 MERIS,日本 ADEOS-2 卫星上具有高光谱特点的全球成像仪 GLI 以及轨道图像公司(ORBIMAGE)的轨道观察者 4 号(Orbview-4)都将相继升空。一个高光谱群星灿烂的局面将展现在我们面前。高光谱遥感的深入应用正处在突破的前夕。

然而高光谱遥感应用的突破除了要有足够数据的保障而外,人才的准备将是一个更为重要的因素。因此,培养青年高光谱遥感人才就成为十分紧迫的任务。我们不无遗憾地看到,在世界范围,迄今为止可作为高光谱遥感培训教材

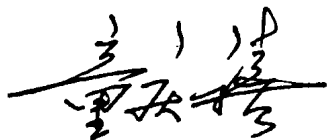
的还仅是凤毛麟角，我国就更为缺乏。因此，培养青年科技人才，扩大高光谱遥感的应用，提高研究和应用水平就更是迫在眉睫。十分值得欣慰的是，浦瑞良、宫鹏所著的《高光谱遥感及其应用》一书即将以教学参考书的形式问世，这是很有意义又十分难得的。它不仅填补了我国在高光谱遥感教材方面的空白，就是在世界范围内也鲜见先例。

宫鹏博士和浦瑞良先生是我国在海外的学者，目前从研于著名的美国伯克利加州大学。在繁忙的科研和教学工作中，他们情系祖国，经常奔波于中美之间，开展合作研究，举办高级研讨班和学术讲座以促进祖国的遥感、地理信息系统和资源环境科学技术研究水平的提高。他们在百忙之中抽空隙、挤时间，通过总结、归纳、升华，特别是融入他们的最新研究成果，撰写了这本十分有价值的书。这也是宫鹏博士计划组织的南京大学国际地球系统科学实验室讲座教授系统丛书的第一本。这对于沟通国内教学、科研和国外的最新科技发展是十分有意义的。此举充分反映了他们报效祖国、致力于促进国内人才培养的拳拳爱国之心。

宫鹏博士从90年代初在美、加等国进行遥感和地理信息系统研究期间就将高光谱遥感作为重要手段应用于森林和植被研究中，并使其成为他们从信息科学与地学相结合的角度所提出的生物测量学的重要支柱。正因为如此，在本书中高光谱遥感在生物物理和生物化学特性及参量提取的研究成为最精华和核心的部分就是顺理成章的了。它较系统地反映了国际上这一领域的最新研究状况和作者的系统研究成果。

这本书的出版是及时的，它将为我国高校和科研单位相关学科的教学和研究提供重要的参考，对促进高光谱遥感在我国的发展，特别是在森林、农业、植被和环境中的应用将起到很大作用。

在此我们要感谢浦瑞良和宫鹏先生，感谢他们的这份海外学子的真诚奉献。



中国科学院遥感应用研究所研究员
中国科学院院士
国际欧亚科学院院士

2000年3月

前 言

《南京大学国际地球系统科学研究所讲座教授丛书》的由来

1999年4月，在华盛顿中国大使馆教育处举办的一次旅美华人教授聚会上，大家谈论起国内高等教育存在的问题。从事信息技术和生物技术的几位教授一致认为国内教材需要更新。由于对最新科技信息了解较多，海外学者可以在这方面起重要作用。然而，要使大学生和研究生教材上一个台阶不是靠从海外找少数几个人就能解决的，而是需要广大华人学者一起努力，开班研讨，出版教材，方可达到目的。可是，海外的学者大都很忙，又对是否有相关机制和渠道有效利用短期回国工作的机会，根据国内需求，开展教材编写尚缺少了解。我很高兴地告诉在座的学者们，在地理信息系统和遥感新技术领域，中国海外地理信息系统协会(CPGIS)以及活跃于国际遥感界的不少华人学者，从1995年已开始利用各种机会，逐步开展这项工作。我们利用国家科技部863计划、教育部春晖计划、国家自然科学基金委的海外学者回国短期工作计划等资助，每年回国举办研讨班、学术讲座和开展科研活动。当时我们从事地学研究的一些同行正通过电脑网络商讨如何使这项工作持续开展下去。

1999年6月，我们在南京大学举办了为期9天的“遥感科学进展及其在地球科学中的应用”高级研讨班。共有14位专程从美、加、法三国回国的海外学人主讲。讲课之余，话题又回到如何持续开展这类短期回国的工作上。大家认为有必要成立一个国际性的研究中心，挂靠在国内适当的单位。中心由海内外学者组成，共同研究中国的环境、资源以及相关的地学问题，其中，全球变化被列为优先发展的研究领域。要开展全球变化研究必须建立一支强有力的以地球科学为主，以数理、生化、信息技术和社会经济科学为辅的多学科研究队伍。研究中心的目标是推动我国资源环境和地学的研究水平，为国家培养一流科研人才。另一具体目标是挑选海外优秀学者回国应聘为中心“讲座教授”，以便于更系统、深化地开班授课。讲座教授的第二项任务是就讲授内容编写教材。这些想法得到了南京大学蒋树声校长、陈骏副校长以及科研处、大气科学系、城市与资源学系、地球科学系、环境科学系、生命科学院有关老师的支持。趁

办班之际,我们走访了教育部、科技部、中国科学院和国家自然科学基金委,得到了有关领导的重视。南京大学对我们成立研究中心之事也非常重视,决定利用教育部和江苏省为建设 21 世纪有国际影响的大学的投资,支持我们与校内地学及其它学科的有关教师联合建立对海内外开放的“国际地球系统科学研究所”。《高光谱遥感及其应用》便成了南京大学国际地球系统科学研究所讲座教授丛书的第一本。正当我们为丛书寻找出版途径之际,高等教育出版社的张小萍副总编辑,邀请我们为该社筹划的,主要由海外学者撰写的《当代科学前沿论丛》撰稿。几经商榷,高教社决定为我们组稿活动提供支持。可谓南京大学国际地球系统科学研究所讲座教授丛书的出版占尽天时、地利、人和之先机。

我们的困惑及面临的挑战

纵观著名大学的教师,其职责有三。一是从事科研,成为某一学科的权威(科学家的身份),能对学科发展做出较准确的预测并对新方法和科学发现做出合理评价(评审家的身份)。二是传授学生本门学科的基本概念和原理,乃至对最新的理论和方法作出评述,使本门学科得以生生不息,繁衍发展(教师的身份)。三是投身社会,为科学应用、服务人类作出贡献(社会活动家)。遗憾的是,越来越多的大学教师连做到前两点都越来越难。原因何在呢?

20 世纪最后 20 年,信息技术的爆炸性发展给几乎所有人的生活带来了不同程度的便利。有人断言这次信息技术革命给人类社会带来的影响将超过工业革命。它在给不少信息业者和股民带来财富的同时,也使许多人不知所措。许多人因技术落后而被淘汰,学校的实验室因电脑的更新换代,不断弃置旧机器而犯愁,大学教师对追踪变化多端的新软件感到力不从心。我仍然记得在卡尔加里大学教工程制图课时,因不熟悉电脑图形设计软件而带来的窘境。人类对金钱和物质财富无休止的追逐,使得对决定生产力发展水平的科学技术的竞争空前激烈。要想在激烈的现代社会竞争中,夺得先机,就不能仅望着知识的海洋兴叹,而必须不断地学习。

然而,科学技术这把双刃剑在给人类征服自然带来无穷力量的同时,又会由于运用不当而给人们带来灾难。古老的巴比伦文化和玛雅文化的消失或许只可部分地归咎于人类对局部自然环境的过度利用。但是现代文明已经影响到整个人类的全部家园。环境污染、水土流失、气候变化乃至全球变化,无一不是滥用技术、片面追求经济发展所致。在许多人眼里,发展科学就是为了发展经济,以便于更多更快地赚取金钱。对这些建立在环境恶化的基础上的行为,我们不禁要问,难道这就是人类的追求,历史的必然?我们不断地反思,除了感

到身不由己而随波逐流的无奈之外，还应做些什么？在没有得到这些问题的答案之前，我们是否应去做洪水到来之前修整河堤的人？只有深挖沟，才不致于洪水泛滥。如果洪水太多，我们能够决定何处可淹。在这金钱驱动、商品横行的经济时代，我们是否只有走在经济洪流之前才可争取主动？

本书的出版动机及主要内容

出版本书就是想为我国在高光谱遥感领域争先做点贡献。希望本书的内容有助于环境的监测和治理，减轻经济开发给人类生活带来的负面影响。高光谱遥感技术是指利用几十甚至数百个较窄的连续的光谱波段，对目标物体获取遥感数据的技术及相关的数据处理方法。尽管高光谱遥感技术在国外已发展近20年，我国科学院也开展这方面的工作10余年了，但是以教材或教学参考书的形式系统介绍这种技术的书籍国内外还未出现。

我们从事高光谱遥感工作始于1990年，当时我们在加拿大约克大学做研究。我们实验室主任 John Miller 教授是加拿大从事高光谱遥感研究最早的学者之一。10年来，我们从约克大学到卡尔加里大学，又从卡尔加里到伯克利加州大学，始终将高光谱遥感在森林领域中的应用作为我们研究的重点之一。随着学科的发展，我们感到有必要对这一学科近年来取得的成果加以整理、总结，通过遥感教育界的同行们将这一新兴技术传播给有志于从事高光谱遥感的年轻人。

本书内容大致如下：

第一章简述遥感发展史和高光谱遥感的起源、基本概念、发展现状及趋势。第二章介绍用于高光谱遥感系统的非成像光谱仪、航空成像光谱仪及可用于高光谱遥感分析的一些生物学测量仪器的工作原理、技术参数和应用。第三章和第四章分别介绍高光谱遥感在地质调查和植被研究中的应用，归纳高光谱遥感的主要分析方法。第五章综述了高光谱遥感在大气、水文、冰雪、灾害、土壤调查及城市环境遥感中的应用。最后两章(第六、七章)以具体实例介绍从高光谱遥感数据中提取生物物理参数(如叶面积指数、树种、郁闭度)、生物化学参数(叶绿素、氮、磷、钾、木质素、纤维素和水分含量等)的技术方法及过程。

本书的写作大部分是利用业余时间完成的。第一作者曾就部分内容在南京大学讲授30学时。刘国棣女士打印初稿，中国科学院遥感应用研究所童庆禧院士百忙中为本书作序，南京大学和高等教育出版社提供赞助。在此深表谢意。

由于成书仓促，错误和缺陷难免，敬请读者不吝指正。本书作为《南京大

学国际地球系统科学研究所讲座教授丛书》的第一本，只是投石问路，希望通过更多学者们共同努力使该系列丛书越写越好。

南京大学国际地球科学研究所所长

宫 鹏

1999年12月29日于

美国伯克利加州大学

目 录

第 1 章 导 言	(1)
1.1 常规遥感的发展简史	(2)
1.2 高光谱分辨率遥感	(3)
1.2.1 基本概念	(3)
1.2.2 发展阶段	(5)
1.3 高光谱遥感的发展前景	(8)
第 2 章 成像光谱仪及其相关的地面光学仪器简介	(11)
2.1 地面非成像光谱仪	(12)
2.1.1 概述	(12)
2.1.2 野外光谱仪	(13)
2.2 成像光谱仪	(22)
2.2.1 概述	(22)
2.2.2 成像光谱仪的工作原理	(22)
2.2.3 航空成像光谱仪	(32)
2.3 可用于高光谱遥感的生物学测量仪器	(36)
2.3.1 叶面积指数测量仪	(36)
2.3.2 光合作用效率测量仪	(41)
2.3.3 叶绿素含量(浓度)测量仪	(43)
本章小结	(45)
第 3 章 高光谱遥感在地质调查中的应用	(47)
3.1 概述	(48)
3.2 岩石矿物光谱特性	(50)
3.2.1 光谱特性及其机理	(50)
3.2.2 光谱吸收特征参数	(51)
3.3 主要分析技术	(52)
3.3.1 光谱微分技术	(53)

3.3.2 光谱匹配技术	(53)
3.3.3 混合光谱分解技术	(58)
3.3.4 光谱分类技术	(62)
3.3.5 光谱维特征提取方法	(69)
3.3.6 模型方法	(72)
本章小结	(78)
第4章 高光谱遥感在植被研究中的应用	(81)
4.1 概述	(82)
4.2 主要研究内容	(85)
4.3 主要分析技术	(86)
4.3.1 多元统计分析技术	(87)
4.3.2 基于光谱位置(波长)变量的分析技术	(89)
4.3.3 光学模型方法	(93)
4.3.4 参数成图技术	(94)
本章小结	(97)
第5章 高光谱遥感数据在其它方面的应用研究	(99)
5.1 大气遥感	(100)
5.1.1 水蒸汽	(100)
5.1.2 云	(103)
5.1.3 气溶胶	(105)
5.2 水文与冰雪	(107)
5.2.1 沿海及内陆水域环境	(107)
5.2.2 冰雪	(110)
5.3 灾害环境遥感	(113)
5.4 土壤调查	(115)
5.5 城市环境遥感	(121)
本章小结	(122)
第6章 从高光谱数据中提取生物物理参数	(123)
6.1 概述	(124)
6.2 叶面积指数信息的提取	(127)

6.2.1	引言	(127)
6.2.2	研究立地	(128)
6.2.3	数据收集及预处理	(128)
6.2.4	模型的建立	(129)
6.2.5	结果与分析	(131)
6.2.6	结论	(142)
6.3	针叶树种高光谱分析	(144)
6.3.1	动机及意义	(144)
6.3.2	光谱数据	(145)
6.3.3	分析方法	(147)
6.3.4	结果与分析	(156)
6.3.5	结论与讨论	(173)
6.4	森林郁闭度信息的提取	(175)
6.4.1	引言	(175)
6.4.2	研究区概况	(176)
6.4.3	数据获取	(176)
6.4.4	分析方法	(177)
6.4.5	结果与分析	(179)
6.4.6	小结	(183)
	本章小结	(183)
第7章	从高光谱遥感数据中提取生物化学参数	(185)
7.1	概述	(186)
7.2	从 AVIRIS 图像数据中提取簇叶生物化学信息	(193)
7.2.1	引言	(193)
7.2.2	研究立地	(193)
7.2.3	成像光谱仪数据	(193)
7.2.4	簇叶化学成分数据	(194)
7.2.5	成像光谱仪数据与生物化学数据的相关分析	(196)
7.2.6	讨论与结论	(200)
7.3	用实地测量的高光谱数据估计美国巨杉叶营养状况	(202)
7.3.1	动机及意义	(202)
7.3.2	数据	(203)

7.3.3 方法	(204)
7.3.4 结果与分析	(208)
7.3.5 讨论与结论	(227)
本章小结	(228)
参考文献	(229)
英文缩写名、全称及中文译名	(246)
名词索引	(252)

Table of Contents

Chapter 1 Introduction	(1)
1.1 A brief history of conventional remote sensing	(2)
1.2 Hyperspectral remote sensing	(3)
1.2.1 Basic concepts of hyperspectral remote sensing	(3)
1.2.2 Development stages	(5)
1.3 Perspective of hyperspectral remote sensing	(8)
Chapter 2 Imaging spectrometers and related optical instruments	(11)
2.1 Non-imaging field spectrometers	(12)
2.1.1 An overview of various types	(12)
2.1.2 An introduction to several popular brands	(13)
2.2 Imaging spectrometers	(22)
2.2.1 An overview of various types	(22)
2.2.2 Working principles	(22)
2.2.3 Airborne imaging spectrometers	(32)
2.3 Biological instruments for hyperspectral remote sensing applications	(36)
2.3.1 LAI instruments	(36)
2.3.2 APAR instruments	(41)
2.3.3 Chlorophyll instruments	(43)
Summary	(45)
Chapter 3 Hyperspectral remote sensing in geological studies	(47)
3.1 Introduction	(48)
3.2 Spectral characteristics of minerals	(50)
3.2.1 Spectral properties and its mechanism	(50)
3.2.2 Spectral absorption features and associated parameters	(51)
3.3 Primary analysis techniques	(52)
3.3.1 Spectral derivative analysis	(53)

3.3.2	Spectral matching techniques	(53)
3.3.3	Linear spectral unmixing	(58)
3.3.4	Spectral classification	(62)
3.3.5	Spectral feature extraction	(69)
3.3.6	Spectral modeling methods	(72)
Summary		(78)
Chapter 4	Hyperspectral remote sensing in plant studies	(81)
4.1	Introduction	(82)
4.2	Primary research contents	(85)
4.3	Major analysis techniques	(86)
4.3.1	Multivariate analysis techniques	(87)
4.3.2	Analysis methods based on spectral position	(89)
4.3.3	Optical models	(93)
4.3.4	Parametric mapping	(94)
Summary		(97)
Chapter 5	Hyperspectral applications in other fields	(99)
5.1	Atmospheric remote sensing	(100)
5.1.1	Water vapor	(100)
5.1.2	Cloud	(103)
5.1.3	Aerosols	(105)
5.2	Hydrological and ice and snow	(107)
5.2.1	Coastal and interior water environment monitoring	(107)
5.2.2	Snow and ice	(110)
5.3	Disaster environment monitoring	(113)
5.4	Soil survey	(115)
5.5	Urban environmental remote sensing	(121)
Summary		(122)
Chapter 6	Biophysical parameter extraction from hyperspectral data	(123)
6.1	Introduction	(124)