

环境遥感

——地球资源视角

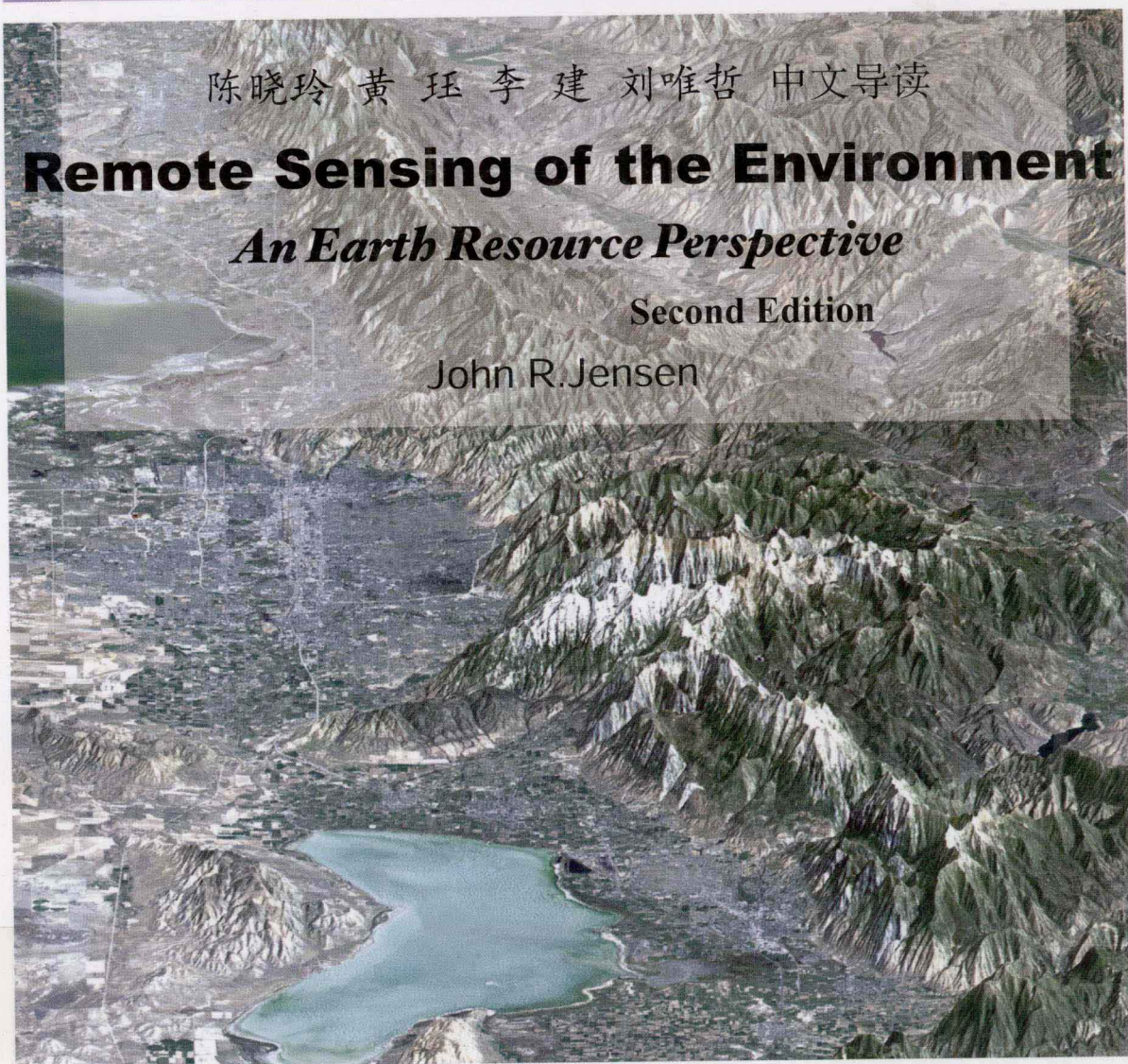
(原著第二版)

陈晓玲 黄珏 李建 刘唯哲 中文导读

Remote Sensing of the Environment
An Earth Resource Perspective

Second Edition

John R. Jensen



科学出版社

Remote Sensing of the Environment:
An Earth Resource Perspective
Second Edition

环境遥感

——地球资源视角

(原著第二版)

John R. Jensen

陈晓玲 黄 珏 中文导读
李 建 刘唯哲

科学出版社

北 京

图字：01-2011-2175 号

内 容 简 介

作者在明确定义数据及数据处理基础上,介绍了电磁辐射原理,并重点介绍减少大气散射干扰获取遥感辐射信号的方法。针对航空摄影测量基本特征及其发展历史,总结概括了影像目视解译方法。然后,从摄影测量定量方法、多光谱遥感、热红外遥感、主被动微波遥感、激光雷达遥感等几个方面,全面介绍了遥感原理及其应用。并从植被、水体、城市景观、地表物质及地貌等多个遥感应用角度,总结了多种常用的最新传感器系统的应用及其潜力。最后,针对遥感同步地面观测中的关键环节——现场反射率测量,介绍了现场测量的基本原理和方法。

这是一本实用性很强的著作,适合于遥感或摄影测量专业学生作为双语教材或从事遥感应用研究乃至相关工程应用的科学工作者参考。

Authorized adaptation from the English language edition, entitled REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT: AN EARTH RESOURCE PERSPECTIVE, 2E, 9780131889507 by JENSEN, JOHN R, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright©2011 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

China edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and SCIENCE PRESS Copyright©2011.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong, Macau and Taiwan Province)

仅限于中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾省)销售发行。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

环境遥感:地球资源视角:第二版=Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, Second Edition: 英文/(美)詹森(Jensen, J. R.)编著;陈晓玲等导读. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-032187-9

I. ①环… II. ①詹…②陈… III. ①环境遥感 IV. ①X87

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第174480号

责任编辑:韩 鹏 朱海燕/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年9月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2011年9月第一次印刷 印张:41 3/4 插页:24

印数:1—4 000 字数:1 177 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



双语版序言

本书是由美国南卡罗莱纳大学地理系 John R. Jensen 教授撰写，由美国 Pearson 教育出版公司出版的 *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Second Edition (《环境遥感：地球资源视角》第二版) 的双语版 (英文原版、中文导读)。这是我们于 2007 年翻译的该作者另外一部著作《遥感数字影像处理导论》(中文导读版由科学出版社出版) 的姊妹篇。John R. Jensen 教授多年来一直从事遥感教学与科学研究工作，以其在该领域积累的丰富经验，出版了这部具有很高实用性的遥感教材。他的著作具有内容丰富、通俗易懂的特点，而且及时跟踪遥感技术最新进展。

该著作从环境遥感的基本原理出发，针对资源环境遥感观测中具有代表性意义的问题，介绍遥感获取科学信息的方法及其实际应用，并在最后附上了遥感常用词汇索引，是高等学校遥感及相关应用专业本科生和研究生的首选教材。对于利用遥感数据分析方法解决资源环境问题的科研管理人员，该著作是一部很有价值的参考资料。

翻译工作除封面作者外，还包括武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室的硕士研究生刘子潇、邱凤、田汶灵、王飞、於少平 (按姓氏拼音排序)，感谢他们无私的奉献！

由于时间仓促，加之译者水平有限，书中难免出现不当之处，敬请赐教。

陈晓玲

2011 年 7 月 29 日

前言

遥感作为一种无接触远距离目标探测技术，是艺术与科学的结合。遥感可用于探测地球重要的生物物理特征和人类活动。《环境遥感：地球资源视角》第二版旨在介绍：

- (1) 电磁辐射的特征及其与地物（如植被、土壤、岩石、水和城市基础设施等）的相互作用；
- (2) 如何用多种不同的传感器（例如照相机、多光谱扫描仪、超光谱传感器、雷达、激光雷达）记录地物反射或发射的电磁辐射能；
- (3) 如何从遥感数据中获取生物物理和土地利用/土地覆被信息，并应用于实践。

本书介绍了影像目视解译和分析的原理。这是 Pearson 教育出版公司出版的《遥感数字影像处理导论》一书的姊妹篇，那本书着重介绍数字影像分析基础。

本书目标读者是致力于运用环境遥感技术解决现实问题的物理学家、自然科学和社会科学家。读者需具备相关应用领域（自然地理、生物地理、地质学、水文学、城市规划、农业、林业、海洋科学等）的系统化知识或实践经验，并且具有大学数学基础。本书可用于摄影测量或遥感专业大学或研究生第一或第二学期的教学。

从事地球自然资源管理和发展规划的工作者已经认识到了地理信息系统中准确的空间信息的重要价值。地理信息系统数据库中许多重要的生物物理信息、土地利用/土地覆被信息、社会经济信息都来自于对遥感数据的分析，所以，对遥感数据的需求量越来越大。现在，全球有数以百计的公共或商业卫星传感器系统在采集遥感数据，其中有的遥感数据价格合理并且在因特网上即可获得，而有的则非常昂贵。

为了充分利用遥感数据，首先需要正确解译遥感影像。这要求我们了解电磁波能量及其与大气和地表的相互作用、传感器工作原理以及如何从遥感数据中获取有用信息。

以下特点使本书易于理解和应用：

- (1) 每章的插图，使复杂理论易于理解；
- (2) 每章有大量的参考文献；
- (3) 8.5 英寸×11 英寸的影像具有很好的可读性和视觉效果；
- (4) 第二版用 48 页彩图用于展示彩色影像和从遥感影像中提取的生物物理信息；
- (5) 附录中包含重要遥感信息资源和公共或私人遥感数据资源的网址。

下面是各章的摘要和第二版的改进之处：

第 1 章 环境遥感

本章首先明确定义了现场数据和遥感数据。遥感处理步骤包括陈述问题、遥感数据获取、数据分析（视觉的和数字的）以及信息表达方式的选择。除了空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率和辐射分辨率的定义，还新增了地球观测经济学。本章回顾了遥感技术在多个国家及全球地球资源监测项目中的应用。

第 2 章 电磁辐射原理

本章首先介绍电磁辐射机理包括传导、对流和辐射以及重要的电磁辐射概念，并用波粒模型解释电磁辐射

在空间的产生和传播过程。同时,介绍电磁波能量是如何与大气和地表相互作用以及传感器系统是如何记录反射和发射能量的。介绍了特定物质的光谱反射曲线。本章的重点是尽可能减少大气散射的干扰从而最大限度地获得地面的遥感辐射信号。

第3章 航空摄影测量和航空平台的发展历史

本章简要介绍摄影测量的发展历史,包括感光乳剂和定色剂的发明过程,不同平台上(气球、风筝、火箭、鸽子、滑翔机、飞机和航天飞机)航空摄影测量发展历程以及美国内战、“一战”、“二战”、古巴导弹危机、冷战和中东战争期间摄影测量的发展。也介绍了包括无人机和隐形技术在内的遥感平台的最新发展。

第4章 航空摄影测量——拍摄点、相机、滤光器和胶片

本章以 Katrina 飓风为例,介绍了垂直和倾斜航空摄影测量。详细介绍了航空相机的部件、重要的航空相机类型以及数据采集中所用的带通滤波器。新增部分描述了小、中、大幅面数码相机的特征,主要的黑白、彩色胶片以及彩红外胶片,并简要说明数字化航空像片的方法。

第5章 影像目视解译的要素

本章回顾了遥感数据的特点,并用新的实例说明区域航空观测的重要性、三维深度视觉的影响、获取人眼所不能看到的信息的作用,以及能够收集并记录地球资源空间数据历史变化的意义,并介绍了影像解译的基本要素。本章总结了包括利用辅助信息、收集判别依据、在影像分析中应用多种概念在内的不同研究方法。

第6章 摄影测量学

本章介绍了从垂直航空像片中获取定量信息的方法,定义了单次航空摄影中的术语和成像几何、比例尺和高度的测量方法以及立体成像原则。新增部分描述了利用软拷贝摄影测量进行立体像对的内、外定向,以及如何获取单点高程、等高线、数字地形模型、正射影像以及基于浮游测标提取感兴趣的特征。最后给出从垂直遥感数据中进行面积量测的方法。

第7章 多光谱遥感系统

本章定义了多光谱传感器系统,同时介绍了重要的传感器类型和最重要的传感器新进展。推荐的传感器有数字地球的 WorldView I 和 II、NASA 的陆地卫星数据持续任务项目以及 NOAA 的 NOPESS。USGS 的全球可视化浏览器,有助于学习者重点回顾不同类型的遥感数据。

第8章 热红外遥感

本章描述了如何利用热红外遥感制作地表温度图,热红外遥感的发展史提供了更多有关 Herschel 实验的内容。本章简要介绍了热红外辐射特性、辐射原理、大气窗口、植被、土壤、岩石、水和城市的昼夜温度特征等以及热红外扫描仪器和前视红外传感器的特点。以加拿大机载热红外宽频成像仪(TABI)和机载热红外光谱成像仪(TASI)为例,介绍了机载热红外传感器,并对俄勒冈州连续作业温度制图(mapping stream temperature)、南卡罗来纳化粪池泄露制图、北卡罗来纳的工业建筑屋顶湿度监测以及作物胁迫日监测等新案例进行详细讲解。

第9章 主被动微波遥感

本章首先回顾了主动微波遥感的发展历史,介绍了发射和接收一束微波脉冲的方法以及重要的地球同步合

成孔径雷达的特点。接着讨论了频率、极化、波长、俯角、观测方向、入射角、斜距、地距等重要影像几何雷达系统参数。影响主动微波后向散射的主要环境因素包括表面粗糙度、介电常数和方位基点效应，并就植被、水面和城市对主动微波的响应进行了扩展说明。本节重点介绍了加拿大的 RADARSAT-1 和 ERS-2，欧洲航天局的 ERS-1 和 ERS-2，Envisat ASAR，NASA 的 TRMM 微波成像仪和航天雷达地形任务（SRTM）的新进展以及以新犹他州和坦桑尼亚 SRTM 为例的主动微波干涉技术。被动遥感主要讨论 NASA 的先进微波扫描辐射计（AMER-E）获取的新数据。

第 10 章 激光雷达遥感

这一全新章节首先介绍了应用激光雷达技术的基本原理，并特别强调了激光雷达传感器的功能以及如何依据首回波、中间回波和最后回波提取有用信息。然后，以一案例介绍如何利用激光雷达获取详细的数字表面模型和数字地形模型，并强调了激光雷达强度数据的重要性。

第 11 章 植被遥感

本章首先介绍了光合作用的基本原理，接着讨论了在可见光、近红外和中红外波段影响叶面反射率的主要因素以及二向反射分步函数（BRDF），并强调在调查中明确不同植被类型的物候周期的重要性。本章介绍了 20 多种常用遥感植被指数的获取方法，简单比值指数与归一化植被指数（NDVI）之间新的非线性关系，以及应用遥感数据计算地表生态指数和辅助估算生物多样性的方法。在最后的新案例中，介绍了南非如何通过监测农业生产来预测需水量。

第 12 章 水体遥感

本章首先介绍不同波长的电磁波能如何与水面、次表面和底部相互作用，以及有机物（如叶绿素）和无机物（如悬浮泥沙）对水体光谱反射率的影响。接着介绍了 8 种常用的测定水体中浮游植物丰度的方法，并新增一节回顾利用被动遥感（航空摄影）和主动遥感（SONAR 和 LIDAR）进行测深制图的新进展。最后列举了借助遥感手段监测水面温度、降水量、气溶胶和云、水蒸气和雪的方法，并总结了用于观测海洋水色的传感器系统。

第 13 章 城市景观遥感

遥感数据提取的城市信息已列入美国国家空间数据基础设施（NSDI）。本章首先引入城市遥感的空间、光谱和时间分辨率等概念，并以居民地、商业用地、工业用地、交用地、通信用地和公共用地的最新遥感影像为例，介绍了最主要的城市土地利用/土地覆被分类方法。然后介绍了如何利用软拷贝摄影测量和激光雷达获取城市三维信息，并新增不透水层制图和河漫滩范围提取的内容。

第 14 章 土壤、矿物和地貌遥感

本章首先介绍了土壤的质地、含水量、有机质、氧化铁含量、含盐量、生物结皮和表面粗糙度等对土壤光谱反射率的影响，以及依据成像光谱技术区分岩石和矿物。接着介绍了如何利用遥感数据识别岩性、地质构造、河网密度和水系类型。最后，本章新增部分介绍了如何利用遥感数据获取流域形态特征，并用许多新的实例来说明如何依据遥感数据确定地表的地貌特征。

第 15 章 现场反射率测量

这一全新章节介绍了在野外采用太阳光度计以及在实验室采用人工光度计进行现场光谱反射率测量的基本原理。接着回顾了手持式光谱辐射计的特征，包括光谱分辨率、采样间隔、设计、采样速度、观测几何和视场。

致 谢

我想感谢我的妻子 Marsha 给予我的耐心鼓励，还要感谢 Judith Berglund, Jungho Im, Maria Garcia-Quijano, Shawn Callihan, Charles Huang 和 Brian Hadley 审阅相关章节。Pearson 教育出版公司的员工 Dan Kaveney (科学主编), Jeff Howard (编辑), Barbara Booth (审稿) 和 Ed Thomas (出品人), 也给了我很大的帮助。

美国摄影测量与遥感协会、美国地理协会、Geocarto 国际中心、Taylor & Francis 公司授权作者从以下版权著作中摘取资料 *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, *Manual of Remote sensing*, *Manual of Color Aerial Photography*, *Geocarto International* 和 *International Journal of Remote sensing*。

Elsevier 公司授权作者选用了 *Remote Sensing of the Environment* 和 *Geoderma* 中下列文章的数据: Torgersen C E et al. 2001. Airborne Thermal Remote Sensing for Water Temperature Assessment in Rivers and Streams. RSE, 85: 1-20; Legleiter C J et al. 2004. Passive Optical Remote Sensing of River Channel Morphology and In-stream Habitat: Physical Basis and Feasibility. RSE, 93: 493-510; Chen J et al. 2005. A new Index for Mapping Lichen-dominated Biological Soil Crust in Desert Area. RSE, 96: 165-175; Farifteh J et al. 2006. Assessing Salt-affected Soils Using Remote Sensing, Solute Modeling, and Geophysics. *Geoderma*, 130: 191-206.

John Pike (美国科学家联盟) 提供了遥感影像, Cris Benton 博士 (加利福尼亚伯克利大学) 提供了风筝摄影, Stefan Sandmeier 博士提供了 BRDF 的许多资料。一些有历史价值的照片由位于得克萨斯州的得克萨斯大学奥斯汀分校哈利·内森人文学研究中心以及位于德国慕尼黑的德国博物馆提供。

以下机构也提供了极大帮助: Smithsonian 国家航空航天博物馆、国会图书馆、美国宇航局 (NASA) 观测站、美国宇航局戈达德热带雨林观测站 (Mission office) (Alan Nelson)、美国宇航局戈达德太阳和日光层观测站 (Joseph Gurman)、美国宇航局喷气推进器实验室、美国地质调查局 (USGS) 沙漠进程工作组、美国地质调查局西部地区海岸与海洋地质、美国地质调查局成像光谱实验室 (Kathie Coil)、美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 和加拿大地质调查局。

商业卫星数据供应商提供了大量平台、传感器和影像产品的实例。特别感谢: 数字地球公司 (Chuck Herring)、ImageSat 国际公司 (Clark Nelson)、Lockheed Martin 公司 (Jeannie Duisenberg 和 Mary Skerrett) 和 Hughes Santa Barbara 研究中心。摄影工程公司提供了传感器信息和影像, 包括 Leica 地理系统公司 (Alistair Wells)、L-H 系统公司 (A. Stewart Walker 博士)、Marconi Intgratd 系统公司 (Bob Hayes)、E. Coyote Enterprises 与 Z/I 成像公司 (Marilyn O' Cuilinn)、光谱分析仪公司、斯托克顿红外温度记录仪公司 (Cindy Hawks) 和 Vexcel 公司。

John R. Jensen
南卡罗来纳大学

第1章 环境遥感

发现和认识自然规律往往需要建立假设、证实或否认假设。用于证实或否认假设的数据主要有两种：①现场数据；②遥感数据。

本章首先介绍现场、遥感数据获取方式，然后对遥感处理过程进行简单的描述，最后展望遥感技术在地球资源管理中的应用前景，并给出全书的组织结构。共分为6节，1.1 现场数据采集，1.2 遥感数据采集，1.3 遥感数据处理，1.4 地球观测经济学，1.5 地球资源分析透视，1.6 本书的结构。

1.1 现场数据采集

采集现场实测数据通常是数字影像处理成功与否的关键。本节讨论了人工调查和传感器采集现场数据的方法：①到乡村或城市直接进行调查走访，获取可用于量化人口统计特征的数据。②在研究区域放置一个传感器进行测量。该方法的优点是可以减轻在恶劣天气条件下进行单调数据采集的辛苦，同时还有利于同时获取多个位置上相同类型的数据。本节还介绍了遥感调查中常用的光谱数据和叶面积指数的采集方式。

野外现场实测数据采集中也会引入误差，在本节的现场数据采集误差部分，分析了观测者作为干扰源对数据采集的影响，并从采样方案设计、现场仪器操作、仪器校准等方面阐述了误差产生的原因。

1.2 遥感数据采集

本章介绍了遥感的定义，指出遥感不仅是一门科学，还是一门艺术，并从遥感传感器、遥感对象、遥感距离三个方面分别进行了讨论，最后客观地评价了遥感的优势和局限性。

1983年美国摄影测量与遥感协会(ASPRS)定义遥感为：在不直接接触研究目标的情况下，利用记录装置观测或获取目标或现象的某些特征信息的过程。

1988年ASPRS又给出了一个摄影测量与遥感结合的定义：对使用传感器系统获得的影像及数字图像进行记录、测量和解译，从而获得自然物体和环境的可靠信息的一门艺术、科学和技术。

遥感既是一门科学，也是一门艺术。遥感的主要优势在于：能提供一些基本生物物理信息，而这些信息在许多自然和社会经济过程建模中起到非常关键的作用。其最大的局限性在于，遥感解决问题的能力往往被过分夸大。

1.3 遥感数据处理

用于地球资源研究的遥感数据的采集和分析过程是通过遥感处理系统地实现的。本节简述遥感处理过程：

(1) 陈述问题。利用各种推理方法和模型来确定科学问题和研究对象。科学方法与环境模型结合，主要基于两类推理：演绎推理、归纳推理。用于遥感、GIS和环境科学的研究模型主要有：确定性模型（经验模型、知识驱动模型、过程驱动模型）和随机模型。

(2) 确定现场数据、辅助数据、遥感数据需求。现场数据可以用于：①校准遥感数据；②对最终结果进行无偏的精确评价。间接数据又称辅助数据，在遥感处理中具有重要价值。遥感能提供两类不同变量的信息：生物物理变量和混合变量。

(3) 采集遥感数据。遥感数据采集分为被动式和主动式, 被动式传感器记录来自地面反射或发射的电磁波辐射, 而主动式传感器如微波(雷达)或声呐等, 则要先向地面发射电磁波, 然后记录回到传感器的后向散射辐射通量。光谱分辨率是指遥感仪器能感应到的电磁频谱中特定波长间隔的数量和大小; 空间分辨率是遥感系统可解析的两个目标之间的最小角度或分离的线宽度; 时间分辨率一般指获取某一特定区域遥感影像的频率; 辐射分辨率则为遥感探测器记录地面反射、发射或后向散射的辐射通量对信号强度差异的敏感性。偏振信息和角度信息也是重要的遥感参数。该部分还介绍了航空遥感系统, 以及当前与未来卫星遥感系统, 如 EOS 科学计划和商业化卫星遥感系统。

(4) 遥感数据分析。分别讨论了模拟影像和数字影像的处理流程和方法。重点介绍了数字影像处理中的辐射校正、几何纠正、影像增强、摄影测量、信息提取、GIS 辅助遥感建模、场景模拟、变化监测等方面的内容。

(5) 信息表达。主要简述信息的表达方式和相应的误差评价。一般说来, 表述遥感信息的主要方式有: 增强影像、影像地图、正射影像图、专题图、空间数据库文件、统计信息、表格等。

在信息表达部分, 还专门提出了有待于进一步改进的 4 种减小误差的措施: ①记录对原始遥感数据所进行的各种操作序列; ②存档单个原始资料的几何(空间)误差和专题(属性)误差; ③改进图例设计, 特别是基于遥感的变化检测产品; ④精确的误差评估统计报告。

1.4 地球观测经济学

利用遥感数据对地球资源进行管理和应用, 是一个包含数据采集、影像处理和信息利用的信息传播系统, 在这个过程中存在一系列经济原理。其中信息提供者需要资金维持系统的运行, 而信息使用者期望从获取的信息中创造价值。这个收支系统必须维持平衡才能使对地观测产业蓬勃发展。

目前的遥感产业中, 技术人员和用户之间还存在一定的认识差距, 这需要技术人员在对用户需求有更深入了解的基础上进行研发来弥补。另一方面, 商业公司(例如 Google Earth)在遥感系统上取得的新进展也会对遥感数据的使用和增值产生巨大影响。

1.5 地球资源分析透视

遥感在不同领域有着广泛的用途, 而本书则聚焦于如何利用遥感手段获取有价值的地球观测信息。本节简要介绍了本书的主要内容: 利用遥感数字影像处理手段获取地球资源信息的科学方法和技术。

1.6 本书的结构

本书第 1 章主要定义了基本遥感术语, 并且展望了遥感科学在地球资源探索中的应用前景; 第 2 章介绍了电磁辐射的基本原理及其在环境遥感中的作用; 第 3 章回顾了地面摄影、航空及航天遥感平台的历史; 第 4 章介绍了空中摄影测量、滤波和胶片; 第 5 章介绍了目视解译的要素; 第 6 章回顾了摄影测量中利用航片提取定量信息的原理; 第 7 章回顾了光机电一体化遥感系统; 第 8 章介绍了热红外遥感; 第 9 章主要介绍主被动微波遥感; 第 10 章主要介绍激光雷达技术; 第 11 章探讨了遥感在获取陆地及水生植被生物物理信息上的应用; 第 12 章探讨水体遥感, 包括水、冰、雪、大气水分和温度; 第 13 章描述了遥感如何获取特定的城市/郊区基础设施信息; 第 14 章探讨如何利用遥感提取土壤、矿物特征, 及地表形态特征; 第 15 章讨论了如何进行现场光谱反射率的测量。

第2章 电磁辐射原理

遥感系统接收到的电磁辐射能量经历了多种基本的交互作用，如果遥感系统接收的能量源自太阳，则能量是：

- 源自太阳的原子辐射；
- 以光速穿过真空；
- 和地球大气发生交互作用；
- 和地表发生交互作用；
- 再次和地球大气发生作用；
- 最后到达传感器，与各种光学器件、滤光器、胶片感光器或探测器发生交互作用。

每种交互作用都会影响到遥感系统记录的辐射信息。为了更好地从遥感数据中获取有用信息，研究分析电磁辐射能量由源到达遥感系统探测器的过程中所经历的每次交互作用是十分必要的。

本章共分为6节：2.1 传导、对流、辐射；2.2 电磁辐射模型；2.3 大气能量-物质交互作用；2.4 地面能量-物质交互作用；2.5 大气中能量-物质的二次交互作用；2.6 传感器系统能量-物质交互作用。

2.1 传导、对流、辐射

能量传输的三种基本方式包括传导、对流和辐射。电磁辐射传输是遥感科学最感兴趣的研究内容之一，它是太阳和地球之间真空地带能量传输的唯一途径。

2.2 电磁辐射模型

为了描述电磁辐射如何产生、传播以及与其他物质的交互作用，主要采用两种电磁辐射模型：波模型和粒子模型。

本节对波模型概念进行了详细的阐述，介绍了电磁波的产生，引出了著名的斯蒂芬-波尔兹曼定律和维恩位移定律，并简单介绍了电磁波谱区域的划分。

电磁能量的粒子模型则认为能量是以离散包（称为量子或光子）的形式传输的，将能量描述为离散的能量包对光和物质之间相互作用的研究具有现实意义。

2.3 大气能量-物质交互作用

电磁辐射产生后，要经过地球大气层传播才能到达地面，大气不仅影响辐射传输速度，也影响其波长、强度、光谱分布和传播强度。本节讨论大气中发生的折射、散射、吸收和反射等能量-物质交互作用。

折射是当光经过一种介质到达另一种不同密度的介质时发生的弯曲，其发生原因是电磁波在密度不同介质中的传播速度不同，可以用菲涅耳定律来描述。

大气微粒的散射是严重的大气影响之一，散射方向无法预测，散射分为三种：瑞利散射、米氏散射和非选择性散射。绝大部分瑞利散射都发生在距地面2~8km的大气中。米氏散射（也称非分子或气溶胶散射）发生在4.5km以下低层大气中。当微粒的直径大于入射光波长10倍以上时，就会发生选择性散射，这种情况出现

的最少。散射是遥感中需要考虑的重要因素，它使影像对比度降低，目标难以分辨，从而大大降低遥感数据的信息量。

吸收是将接收的辐射能量转化为其他形式能量的过程，入射辐射能的吸收在大气和地面均会发生，吸收波段是某种物质吸收辐射能所对应的电磁波波长范围。

反射是入射辐射遇到云顶、水面或陆面目标后被“弹开”的过程，包括镜面反射和漫反射两种。

2.4 地表能量-物质交互作用

对遥感而言，辐射通量特性及其与地球表面的交互作用至关重要，是许多遥感研究的重点。研究特定波长的入射辐射通量及其地面交互作用的本质特性，就有可能获得有关地面的重要信息。本节介绍地面物质-能量的交互作用，详细讲述了半球反射率、吸收率、透射率、辐射通量密度、辐照度、出射度、辐射率等与辐射传输密切相关的概念。半球反射率、透射率和吸收率不提供从特定方向到达地面一个特定面积上的确切能量，也不提供某特定方向地表出射的确切辐射通量，而辐射通量密度、辐照度、出射度和辐射率能提供更精确的辐射信息。

2.5 大气中能量-物质的二次交互作用

电磁辐射到达地面后，有一部分重新回到天空与大气再次发生能量-物质交互作用，本节简短描述了大气能量-物质的二次交互作用。

2.6 传感器系统能量-物质交互作用

本节分析能量到达传感器时与传感器元件（如光学镜头、感光乳剂、CCD 阵列等）发生的能量-物质交互作用。此外，本节详细介绍了带来影像噪声的能量进入传感器的各种途径。

第3章 航空摄影和航空平台的发展历史

各种各样的遥感系统都可以记录从地球表面反射的电磁能量，相机仍然是一种最可靠和有效的遥感设备。本章首先回顾了摄影术的发展史，然后讲述了用来获取航空影像的亚轨道摄影平台的发展过程，最后简单介绍了在轨航空摄影数据采集的历史。

本章共分为7节：3.1 摄影的发展史，3.2 航空平台摄影，3.3 “一战”和“二战”中的摄影侦察，3.4 冷战中的摄影侦查，3.5 卫星遥感，3.6 无人机，3.7 商业遥感平台。

3.1 摄影的发展史

摄影技术的发展包括光和颜色理论、暗箱、感光材料与定影术三个方面。

本节首先概述了光与颜色的理论发展历史，回顾了光与颜色组成的不确定争论，牛顿的三棱镜分光实验揭示了阳光的波谱组成，开创了现代光学的新纪元。

摄影暗箱的作用是通过棱镜聚光反射，将外部世界按比例投射到记录平台上。

感光材料的发明与定影术的发展经历了以下阶段：尼埃普斯的“阳光摄影法”（1826年），得到了世界上第一幅摄影影像；达盖尔的银版摄影法（1839年）、塔尔伯特的卡罗式摄影法（1839年）、苏格阿切尔的湿版摄影法（1851年），能够非常好地记录细节，深受大众喜爱，缺点是除了重新拍摄外，无法生产多个副本。马克斯韦耳于1861年提出物理学色觉理论，引发了摄影世界由黑白步入彩色，1871年马杜库斯发明了使用白明胶的溴化银干板摄影法，不仅可以在感光乳剂干燥时显影，还缩短了曝光时间，1871年佛克尔研究发现，使用感光增添剂可以将感光乳剂的感光度扩展到绿色光，推动了更多色感的发展。1888年，伊斯曼改革摄影工艺，创立柯达公司，推动了摄影的普及。

3.2 航空平台摄影

本节介绍了航空摄影平台和航空摄影的发展历史，分别回顾了轻于空气的航空平台包括扑翼机、热气球和风筝，以及重于空气的平台包括火箭、信鸽、滑翔机、飞机。

（1）扑翼机的发明与试验。模仿鸟类的飞行原理，多以失败告终；

（2）热气球的发明与其在航空摄影中的应用。1783年，Joseph 和 Etienne Montgolfier 发明了热气球。1858年，著名摄影师 Gaspard Felix Tournachon 乘坐热气球拍摄了第一幅航空像片，但没有保留下来。现存最早的航空像片拍摄于1860年，由 James W. Black 和 Samuel A. King 乘坐热气球在美国波士顿上空拍摄。热气球航空摄影的难题在于曝光的瞬间气球难以保持稳定，并且自由飞行的气球很难导航到要拍摄的目标区域；

（3）风筝在航空摄影中的应用。介绍了其发展历史以及与热气球一样面临无法保持稳定和导航的缺陷；

（4）火箭在航空摄影中的应用。在飞机发明之前，人们将相机发射到天空，然后回收相机和胶片，来获取航空相片；

（5）信鸽、滑翔机与飞机在航空摄影中的应用。首先介绍了利用信鸽进行航空摄影的流程；然后介绍滑翔机的发明与发展历史，莱特兄弟对滑翔机进行多次试验，于1900年设计出成功滑翔机，并于1903年建造了第一个可用的飞机螺旋桨，成功进行了飞机试飞，从此开始了重于空气的载人动力飞行。

3.3 “一战”和“二战”中的摄影侦察

从1907年到1930年，世界上成立了许多航空公司，在“一战”和“二战”期间，大量飞机用于军事摄影侦察。

“一战”中的航空摄影侦察。本节首先介绍了利用航拍获得军事情报在一战前期不受重视及后期被广泛应用的情况，利用航空摄影获得的航片用于制作比传统绘图方式更精确的地图，以便在地图匮乏的区域制定军事策略；航空相机的镜头可以发现隐藏的军用物资，记录军队行动和武器物资储备。专家一致认为，在一战期间，至少三分之二的军事信息是通过航空摄影获取或确认的。

二战中的航空摄影侦察。航空摄影侦察在第二次世界大战中发挥了重大作用。本节介绍了1940年的敦刻尔克大撤退之后，英国几乎完全切断了军事情报的正常来源，不得不将航空摄影作为他们首要的信息来源。“二战”中，经过改进的飞机（例如P-38）获取了数百万张航空侦察像片。此外，轰炸机经常获取航空像片用于随后的轰炸损毁评估。

3.4 冷战中的摄影侦察

本节首先介绍了“二战”后美、苏冷战军备竞赛的背景，分析了获得军事情报的重要性。并分别介绍了气球摄影侦察技术、U-2侦察机计划、The SR-71侦察机和隐形机技术。

(1) 气球摄影侦察技术。1955年，美国启动高空无人热气球侦察计划，前苏联和中国空军迅速反应拦截，1956年，热气球侦察计划被迫终止。

(2) U-2侦察机计划。介绍了U-2侦察机的研制背景及技术参数，其装载两个高分辨率相机，飞行高度为70 000英尺。U-2侦察机在对苏联的军事侦察和古巴的封锁中提供了重要的军事情报信息。

(3) SR-71侦察机。针对U-2侦察机飞行速度慢的缺点，SR-71侦察机一方面提高了飞行速度，达到了超音速，同时提高了飞行高度。

(4) 隐形机技术。介绍了隐形技术的原理和实现方法。

3.5 卫星遥感

本节首先回顾了卫星遥感的起源和发展，并介绍了美国当代军事情报卫星的类型与特点，以及地球资源观测卫星的发展简介。

卫星遥感的起源是军事侦察：自前苏联于1957年10月24日发射了第一颗人造地球卫星Sputnik I后，美国也在50年代末期启动了“科罗纳”轨道卫星侦察计划，并发射了KH系列侦察卫星。其中早期的KH-1、KH-2、KH-3和KH-6携带单一全色相机，而KH-4则装有前视和后视两个相机，可立体成像。科罗纳在军事情报侦察中起到了重要作用，还用于美国国内的地图编绘和更新。

美国当代军事情报卫星主要包括四种：雷达成像卫星、高分辨率光学卫星、电子侦察卫星和跟踪与资料中继卫星。

卫星遥感在军事上的成功应用也促进了地球资源观测卫星的快速发展，自1972年Landsat MSS发射成功至21世纪以来，卫星遥感在时间、空间分辨率上不断取得突破。

3.6 无人机

无人机的发明与应用是近代科技的一个重大进步。从20世纪80年代开始，美国国防部已经投资了数十亿美元研制无人机。由于无人机需要满足特殊的战术和持续侦察的任务需求，因此，对各项技术参数（续航能力、重量、飞行高度等）与有效载荷能力要求较高。无人机可装载各类传感器以获取不同类型的军事侦察信

息，可通过无线电技术向地面实时传递影像。

无人机技术是一把双刃剑，既可用于法律实施、地球资源分析、城市规划等方面的遥感数据采集，也可用于军事侦察和非法的间谍活动。

3.7 商业遥感平台

常用的商业遥感平台有单翼飞机和喷气式飞机，它们通常在飞行高度和速度方面不及军用平台，但是它们足够获取满足民用需求的高质量遥感影像和其他种类的遥感数据。

第4章 航空摄影——拍摄点、相机、滤光片和胶片

为了保证获取高质量的航空相片并进行正确解译，需要理解光学原理和光与感光物质的交互作用。本章主要包括以下内容：拍摄点、相机、滤光片和胶片感光剂。

本章共分为5节：4.1 垂直和倾斜拍摄点，4.2 航空摄像机，4.3 航空摄影滤光片，4.4 航空摄影胶片，4.5 航空摄影任务规划。

4.1 垂直和倾斜拍摄点

航空摄影根据拍摄点（垂直或倾斜拍摄点）的不同，分为垂直摄影和倾斜摄影。

垂直摄影是指相机的主光轴在正负 3° 之内垂直于地球水准面时的航空摄影。对垂直摄影得到的立体像对采用摄影测量原理进行定量分析，可以得到以下几类信息：平面地图、地形图、数值高程模型和正射影像。垂直航空像片大量应用于地球资源管理和规划。

倾斜摄影是指相机的主光轴偏离主垂线角度大于 3° 时的航空摄影，包括地平线不可见的低倾斜航空像片；地平线可见的高倾斜航空像片。倾斜航空像片由于其符合人对自然的观测视角，因此，更方便进行人工解译，但较难获得定量信息。

4.2 航空相机

本节主要介绍了航空相机的组成和类别。相机主要由胶片、镜头和快门组成，镜头用于将现实世界的反射光聚焦到胶片上。曝光期间胶片所在的区域称为焦平面，镜头后焦点到焦平面的距离称为焦距，大多数航空量测相机有固定的焦距。相机焦距和镜头直径的比率称为光圈级数，光圈级数越小，单位时间内通过镜头的光线就越多，镜头拍摄速度也就越快。相机快门打开的时间长度称为曝光时间，为了保证胶片感光剂接收适当数量的光，航空摄影必须决定好镜头孔径尺寸和曝光时间长度之间的关系。

航空相机类型包括：单镜头相机、多镜头（多波段）相机、机载数码相机和其他相机。

单镜头相机是最常用的获取地表信息的航空相机，其主要组成包括：相机机体、镜筒、快门、胶片传输设备和飞机固定平台等。镜筒是相机最重要的部件，一般由多个不同视场角（ β ）的镜头组成：特宽角镜头（ $\beta \geq 120^\circ$ ）；宽角镜头（ $90^\circ \leq \beta < 120^\circ$ ）；中角镜头（ $60^\circ < \beta < 90^\circ$ ）；常角镜头（ $\beta = 60^\circ$ ）。在同一航线高度，成像范围与视场角成正比；在同一视场角镜头下，成像范围与航高成反比。由于飞行造成的图像运动通过补偿去除可显著提高像片质量。像片标注可为影像解译提高有效信息，如灰度级、成像时间、焦距、光圈号数等。

多镜头（多波段）相机通过对同一区域同一时间进行多波段成像，可获取更多信息。

机载数码相机的成像传感器通常是电荷耦合器件（CCD）或者互补金属氧化物半导体（CMOS）计算机芯片，传感器将光转化为电子，并量化为辐射强度值。数码相机根据像素多少可分为：小幅面数码相机、中幅面数码相机和大幅面数码相机。大幅面数码相机（如ADS-40、DMC）性能优于大幅面模拟相机。

4.3 航空摄影滤光片

本节介绍了航空摄影滤光原理和滤光片的类型、尺寸和颜色。加色法理论是基于色光混合原理，红、绿、

蓝是加色法三原色，加色法用于在电视屏幕和计算机显示器上显示图像。减色法理论是基于颜料和染料的使用，黄、品红、青是用于减色法的补色，减色法广泛应用于滤光片和彩色打印。

滤光片的作用是在光线到达焦平面并曝光前过滤掉特定波长的光，以获得特定的光能量信息。常用的航空摄影滤光片包括：①减蓝滤光片：选择性的去除天空气溶胶瑞利散射对蓝光的散射作用；②雾霾滤光片：吸收波长小于 400nm 的光，减少大气雾霾影响；③带通滤波器：通过相机胶片和滤光片组合，来选择性记录特定波段的反射光；④偏振滤光片：利用偏振作用，对光进行选择和控制，从而只允许在一定方向振动的偏振光通过，同时，也会阻止或削弱不同方向的偏振光。在进行水体成像时，通过偏振滤光片去除水表噪声反射。

4.4 航空摄影胶片

高质量的航空像片的获取需要以下三个要素：恰当的胶片/滤光片组合、合适的光圈数和正确的曝光时间。但在处理曝光不足或者曝光过度的航空像片时，需要理解感光乳胶的特性。

本节分别介绍了感光剂的基本特性、黑-白感光剂和彩色感光剂的特点及其在航空摄影中的应用。

感光剂的基本特征：胶片通常由三层组成：感光层，包括光敏感的卤化银晶体；片基，透明或纸质的支撑材料；防光晕层，用来吸收透过的光线。相片乳剂的感光度与单位面积卤化银晶体的数目、形状、尺寸和晶体敏感的光线波长有关。卤化银颗粒越大，曝光所需的光线就越少，曝光时间也就越短。然而，随着颗粒尺寸和感光度的增加，得到的影像变得更加粗糙，分辨率也可能会降低。

黑-白感光剂：包括正色感光剂、全色感光剂和近红外感光剂。介绍了黑白航空底片和正片的制作流程：胶片曝光后得到潜影，再经过显影处理后便得到灰度和几何都反转了的底片，我们通常从底片生产正像复印品。

黑白底片的高级辐射特性：透光率、不透明度、密度、特征曲线和胶片速度。本节详细介绍了黑白底片的数字化方法：①测微密度计数字化，可以测量底片上细微尺寸的密度特性，并记录为亮度值；②视频数字化，使用摄影机感应硬拷贝影像，然后执行模-数转换；③线/面阵列 CCD 数字化，使用桌面线阵数字化仪，可以得到高质量的数字影像。

彩色感光剂：标准彩色和彩红外相片感光剂大量用于摄影测量和影像判读。标准彩色相片记录 0.4~0.7 μm 波长范围内的能量，描述地表的颜色和人们眼睛所看到的颜色一致。彩色胶片经过曝光显影后，可得到彩色负片或彩色反转片，彩色负片用于制作彩色像片，彩色反转片可用于制作幻灯片。1942 年，柯达公司生产出假彩色伪装探测胶片（彩红外胶片），在辨别伪装和监测植被状况方面有重要作用，彩红外航空摄影也一直作为一种重要的遥感手段。

4.5 航空摄影任务规划

为了合理规划航空摄影任务，我们必须考虑三方面因素：①太阳方位角：太阳在地平线以上 30°到 52°时，是一天中获取航空像片的最佳时间；②天气情况：最好是在锋面系统过境后几天拍摄航空像片；③摄影航线：综合考虑摄影区域状况和遥感平台条件，合理设计摄影航线。