



黄敬峰 谢国辉 主编

# 冬小麦气象卫星综合遥感

气象出版社

# 冬小麦气象卫星综合遥感

黄敬峰 谢国辉 主编

气象出版社

(京)新登字 046 号

### 内 容 简 介

本书简要介绍了遥感的概念、分类与原理;农业遥感的类型、效益与发展概况;气象卫星的发展与特点、NOAA 气象卫星数据格式及其处理方法。着重研究冬小麦地面光谱观测原理与方法;光谱特征及其光谱监测模型;冬小麦遥感监测的物候学基础;冬小麦生产气象条件、长势及灾害的遥感、方法及模型;冬小麦气象卫星遥感估产方法、模型及业务服务系统的结构与功能和计算机系统。最后对新疆冬小麦农业气象监测、产量预报农业模型、气象模型进行了研究。可供遥感应用、农业、气象及相关学科业务、服务、管理、科研人员和院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

冬小麦气象卫星综合遥感/黄敬峰,谢国辉主编. —北京:  
气象出版社,1996.8  
ISBN 7-5029-2187-7

I. 冬… I. ①黄… ②谢… III. 冬小麦-卫星遥感 IV  
.S512.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 15515 号

### 冬小麦气象卫星综合遥感

黄敬峰 谢国辉 主编

责任编辑:陈晓梅 张淑萍 终审:周诗健

封面设计:严瑜仲 责任技编:席大光 责任校对:秦华美

气象出版社出版

(北京市海淀区白石桥路 46 号 100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

\* \* \*

开本:787×1092 1/16 印张:10.125 字数:258 千字

1996 年 8 月第一版 1996 年 8 月第一次印刷

印数:1—800 册 定价:16.00 元

ISBN 7-5029-2187-7/P·0809

# 前言

呈现在读者面前的这本书,是作者们多年来从事气象卫星遥感应用研究的结晶。从1986年参加“北方十一省、市、区冬小麦遥感综合测产”开始,先后主持和参加了新疆气象局下达的“利用气象资料和气象卫星遥感资料预测新疆草场生产力的方法研究”;新疆自治区科委“八五”重点科研项目“草地、小麦、土壤水分的卫星遥感监测与服务系统研究”;国防科工委重点资助项目“应用气象卫星综合监测干旱区域生态环境和预测研究”课题。本书是上述研究成果的系统化和理论思考,同时还引用了新疆气象局下达的科研课题“新疆主要农作物物候期预报服务系统”和中国气象局应用开发项目“新疆主要农作物与牧草生长发育动态模拟及应用”部分成果。

本书在内容上力求“深、广、新”。要有一定的深度和广度,更要“新”,要反映本学科的新动向、新问题,介绍本学科最前沿的东西,同时紧紧抓住遥感技术本身的应用性,侧重于“应用”二字,首次对气象卫星农业遥感应用进行理论的总结,使之系统化。概略思路是从遥感、气象卫星农业遥感、到遥感应用研究及其它农业气象监测预测方法进行写作的。第一章主要介绍遥感概念、分类与原理;农业遥感的类型、效益与发展概况。第二章主要介绍气象卫星的发展与特点、NOAA气象卫星的数据格式及其处理;遥感图像的显示、打印原理与方法。第三章主要研究冬小麦地面光谱观测原理与方法、植被指数模式;冬小麦光谱特征及其光谱监测模型与方法。第四章主要研究冬小麦遥感监测的物候学基础及冬小麦生产主要气象条件、长势及灾害的遥感监测,其中长势监测研究较多,比较成熟,所以介绍也比较详细;对于光、温、水等农业气象条件、农业气象灾害则研究较少,我们也介绍给大家,以期起到抛砖引玉的作用。第五章主要介绍冬小麦气象卫星遥感估产方法与模型;冬小麦气象卫星遥感综合监测预测业务服务系统的结构与功能及其计算机系统。第六章主要研究冬小麦叶面积动态、茎蘖动态、群体生物量动态、灌浆及产量形成动态监测的模型与方法。第七章主要探讨新疆冬小麦发育期观测、新疆冬小麦发育期分布规律及其气候条件、冬小麦发育期预报方法、新疆冬小麦产量农学预报模式。第八章主要介绍冬小麦产量农业气象预报原理、方法及其建模过程。许多是最新研究成果,有很多资料、论文都未曾发表。

当然,遥感是当代高技术发展的产物,是一个方兴未艾、日趋完善、崭新的科学技术体系,它涉及光学、红外、微波、激光、电子学、计算机、信息论等新技术科学以及地学基础理论等;而其应用范围几乎涉及到国民经济的每个部分。新的科学概念和方法是不能在一夜之间就成熟的,对任何重大新技术的发展来说,在知识上取得明显进展需要的时间,要用数年甚至数十年的时间尺度来估计。到目前为止,气象卫星农业遥感应用所拥有的理论和方法,无论是逻辑体系,或是实证体系,都不能恰当地反映和解释它所面对的问题。这种窘迫状况,一方面使我们深深地感到气象卫星农业遥感应用的复杂性;另一方面也使得一切从事气象卫星农业遥感应用研究的工作者,深自反省并感到肩负的责任。我们赞赏前人创造的业绩,更应记住自己应当作出的努力,这样才能真正做到继往开来,泽被后代。

本书由黄敬峰、谢国辉主编。初稿完成后,多方征求意见,再经作者修改,最后由黄敬峰副研究员统稿。本书第一章、第二章的第一节和第二节,第三章、第四章的第一节和第二节、第四

44994/02

节由黄敬峰编写；第二章第三、四、五节和第五章的第三节由李登科编写；第四章的第三节由傅玮东编写；第五章的第一节由刘绍民编写、第五章的第二节由马红娥和黄敬峰编写；第六章由张建华编写；第七章由王秀珍、黄敬峰编写；第八章的第一、二、三节由谢国辉编写，第四节由庄立伟编写。

本书按章节分别执笔，多是反映各位作者最新研究成果为主，因此在各章节内容的衔接、编著体例、表达方式等方面逻辑体系不是十分严密，存在着一定的欠妥之处。本书所有编著者都是年轻人，理论基础较扎实，但实践经验不足，初次写书，更有不周之处；其谋编布局、整体结构尚可争论。以上这些问题，敬请读者不吝赐教。

黄敬峰  
1996年3月

# 目 录

## 前言

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| <b>第一章 遥感概述</b> .....               | (1)   |
| 第一节 遥感概念与分类 .....                   | (1)   |
| 第二节 遥感原理 .....                      | (3)   |
| 第三节 农业遥感概述 .....                    | (11)  |
| <b>第二章 气象卫星农业遥感</b> .....           | (17)  |
| 第一节 气象卫星的发展与特点 .....                | (17)  |
| 第二节 NOAA 气象卫星 HRPT 的数据格式及其预处理 ..... | (19)  |
| 第三节 1B 数据集的格式及其处理 .....             | (25)  |
| 第四节 遥感图像的显示 .....                   | (30)  |
| 第五节 遥感图像的打印 .....                   | (33)  |
| <b>第三章 小麦地面光谱监测</b> .....           | (38)  |
| 第一节 小麦光谱观测与植被指数模式 .....             | (38)  |
| 第二节 小麦光谱特征 .....                    | (41)  |
| 第三节 冬小麦地面光谱监测模型 .....               | (44)  |
| <b>第四章 冬小麦遥感监测</b> .....            | (55)  |
| 第一节 冬小麦遥感动态监测的物候学基础 .....           | (55)  |
| 第二节 冬小麦生产主要气象条件监测 .....             | (59)  |
| 第三节 冬小麦生长的遥感动态监测 .....              | (67)  |
| 第四节 冬小麦灾害的遥感监测 .....                | (72)  |
| <b>第五章 冬小麦气象卫星遥感估产</b> .....        | (76)  |
| 第一节 冬小麦气象卫星遥感估产方法 .....             | (76)  |
| 第二节 冬小麦气象卫星遥感综合监测预测业务服务系统的建立 .....  | (83)  |
| 第三节 冬小麦气象卫星遥感绿度图像处理系统 .....         | (86)  |
| <b>第六章 冬小麦生长农业气象监测</b> .....        | (93)  |
| 第一节 冬小麦生长监测的模式基础 .....              | (93)  |
| 第二节 冬小麦叶面积动态监测 .....                | (95)  |
| 第三节 冬小麦茎蘖动态监测 .....                 | (99)  |
| 第四节 冬小麦群体生物量动态监测 .....              | (101) |
| 第五节 冬小麦灌浆及产量形成动态监测 .....            | (107) |
| <b>第七章 冬小麦发育期监测与产量预报农学模式</b> .....  | (112) |
| 第一节 新疆冬小麦发育期观测 .....                | (112) |
| 第二节 新疆冬小麦发育期及其气候条件 .....            | (114) |
| 第三节 新疆冬小麦发育期预报 .....                | (119) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 第四节 新疆冬小麦产量农学预报模式 .....      | (121) |
| <b>第八章 冬小麦产量农业气象预报</b> ..... | (128) |
| 第一节 冬小麦产量农业气象预报的基本模型 .....   | (128) |
| 第二节 冬小麦趋势产量预报与模拟 .....       | (131) |
| 第三节 气象产量的模拟与预报 .....         | (136) |
| 第四节 作物产量农业气象预报计算机系统 .....    | (139) |

# Contents

## Foreword

|                                                                                                                                                           |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Chapter I Introduction to Remote Sensing</b> .....                                                                                                     | (1)   |
| Section I Remote Sensing Concept and Classification .....                                                                                                 | (1)   |
| Section II Remote Sensing Principle .....                                                                                                                 | (3)   |
| Section III Introduction of Agriculture Remote Sensing .....                                                                                              | (11)  |
| <b>Chapter II Agricultural Remote Sensing of Meteorological Satellite</b> .....                                                                           | (17)  |
| Section I The Development and Characteristics of Meteorological Satellites .....                                                                          | (17)  |
| Section II HRPT Data Format and Its Preprocessing for HRPT of NOAA Meteorological Satellite .....                                                         | (19)  |
| Section III 1B Data Format and Its Processing .....                                                                                                       | (25)  |
| Section IV Display of Remote Sensing Image .....                                                                                                          | (30)  |
| Section V Printing of Remote Sensing Image .....                                                                                                          | (33)  |
| <b>Chapter III Spectrum Monitoring of Wheat</b> .....                                                                                                     | (38)  |
| Section I Wheat Spectral Observation and Vegetation Indices .....                                                                                         | (38)  |
| Section II Spectral Characteristics of Wheat .....                                                                                                        | (41)  |
| Section III Spectral Monitoring Model of Winter Wheat .....                                                                                               | (44)  |
| <b>Chapter IV Remote Sensing Monitoring of Winter Wheat</b> .....                                                                                         | (55)  |
| Section I Phenological Basis of Remote Sensing Monitoring of Winter Wheat ...                                                                             | (55)  |
| Section II Remote Sensing Monitoring of Principal Meteorological Conditions .....                                                                         | (59)  |
| Section III Remote Sensing Monitoring of Winter Wheat Growth .....                                                                                        | (67)  |
| Section IV Remote Sensing Monitoring of Winter Wheat Disasters .....                                                                                      | (72)  |
| <b>Chapter V Meteorological Satellite Remote Sensing Yield Estimation of Winter Wheat</b> .....                                                           | (76)  |
| Section I Method of Meteorological Satellite Remote Sensing Yield Estimation of Winter Wheat .....                                                        | (76)  |
| Section II Establishment of Integrated Monitoring and Predicting Operational Service System of Winter Wheat Meteorological Satellite Remote Sensing ..... | (83)  |
| Section III Greenness Image Processing System of Winter Wheat Meteorological Satellite Remote Sensing .....                                               | (86)  |
| <b>Chapter VI Agrometeorological Monitoring of Winter Wheat Growth</b> .....                                                                              | (93)  |
| Section I Basis of Winter Wheat Growth Monitoring .....                                                                                                   | (93)  |
| Section II Leaf Area Index Monitoring of Winter Wheat .....                                                                                               | (95)  |
| Section III Stem and Tiller Monitoring of Winter Wheat .....                                                                                              | (99)  |
| Section IV Biomass Monitoring of Winter Wheat .....                                                                                                       | (101) |

|                                                                                                       |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Section V Milking—filling and Yield Formation Monitoring of Winter Wheat .....                        | (107)        |
| <b>Chapter VI Monitoring of Winter Wheat Development Stage and Agronomical Yield Estimation .....</b> | <b>(112)</b> |
| Section I Observation of Winter Wheat Development Stage in Xinjiang .....                             | (112)        |
| Section II Winter Wheat Development Stage and Its Climate Condition .....                             | (114)        |
| Section III Winter Wheat Development Stage Predicting in Xinjiang .....                               | (119)        |
| Section IV Agronomical Predicting of Winter Wheat Yield in Xinjiang .....                             | (121)        |
| <b>Chapter VII Agrometeorological Predicting of Winter Wheat Yield .....</b>                          | <b>(128)</b> |
| Section I Basic Model of Winter Wheat Yield .....                                                     | (128)        |
| Section II Simulation and Predicting of Winter Wheat Trending Yield .....                             | (131)        |
| Section III Simulation and Predicting of Winter Wheat Meteorological Yield .....                      | (136)        |
| Section IV Computer System of Agrometeorological Predicting of Crop Yield ...                         | (139)        |

# 第一章 遥感概述

遥感是 60 年代发展起来的一门新兴的综合性科学技术,集中了空间、电子、光学、计算机和生物学、地学等科学的最新成就,是现代高技术领域的一个重要组成部分,目前已广泛应用于农业、林业、地质、地理、水文、海洋、气象、环境等领域,已经并将继续发挥重大作用。

## 第一节 遥感概念与分类

### 一、遥感概念

遥感(remote sensing)是一种远离目标,利用目标物反射或辐射的电磁波,通过非直接接触而测量、判定并分析目标物性质的技术。这一术语是 1960 年美国海军科学研究所 Evelyn L. Pruitt 首先提出,并在 1962 年美国召开的“环境科学遥感讨论会”上被正式引用,是用来综合以前所使用的摄影测量、像片判读、地质摄影的。特别是随着第一颗地球观测卫星 Landsat 的发射成功而迅速得到普及。

传感器(remote sensor)是接收从目标中反射或发射的电磁波的装置。根据其波段不同可分为光学传感器和微波传感器:光学传感器是指从可见光到红外区的光学领域的传感器;微波领域的传感器,则称为微波传感器。主要的传感器有摄影机、推帚式扫描仪(固体扫描仪)、TV 摄像机、光机扫描仪、雷达、微波辐射计等。

光机扫描仪(optical mechanical scanner)是对地表的辐射分光后进行观测的机械扫描型辐射计。它是把搭载扫描的飞行平台的移动与利用旋转或摆动镜对平台移动的直角方向进行扫描结合起来,从而得到二维信息的遥感器,是由采光、分光、扫描、探测元件、参照信号等部分构成。这种机械扫描型辐射计所搭载的平台有极轨卫星及飞机、陆地卫星 Landsat 的 MSS (Multispectral Scanner 多光谱扫描仪)、TM (Thematic Mapper 专题成像仪)及气象卫星 NOAA 的 AVHRR 都是光机扫描仪。

推帚式扫描仪(pushroom scanner)是将探测器搭载于飞行平台上,通过和探测器成正交方向的移动而得到目标物的二维信息。光机扫描仪是利用旋转镜扫描,是一个像元一个像元地进行采光,而推帚式扫描仪是通过光学系统一次获得一条线的图像,然后由多个固体光电转换元件进行电扫描。人造卫星搭载的推帚式扫描仪,由于没有光机扫描仪那样的机械运动部分,所以结构上可靠性高,但是由于使用了多个感光元件把光同时转换成电信号,当感光元件之间存在灵敏度差时,往往产生带状噪声。

图 1.1 列出了目前使用的传感器及其分类,随着科学技术的发展,传感器将不断增加。

搭载传感器的工具统称遥感平台(platform),按高度可分为地面平台、航空平台、航空航宇平台等,主要包括人造卫星、飞机、无线电遥控飞机、地面测量车等。

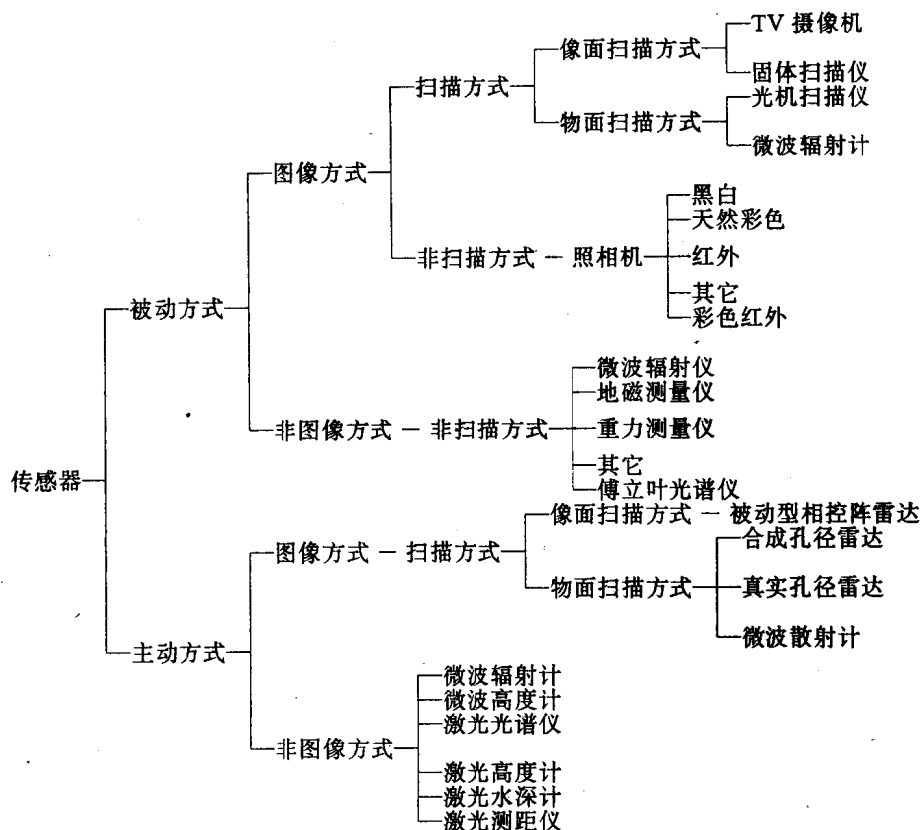


图 1.1 传感器的分类

## 二、遥感分类

遥感的分类有多种方法：

根据所利用的电磁波的光谱段，遥感可以分为可见光—反射红外遥感、热红外遥感和微波遥感三种类型。可见光—反射红外遥感所观测的电磁波的辐射源(radiation source)是太阳，包括全部可见光波段(visible light)、近红外(near infrared)和短波红外(short wave infrared)；热红外遥感(thermal infrared remote sensing)所观测的电磁波的辐射源是目标物的热辐射；微波遥感又可分为主动微波遥感和被动微波遥感：主动微波遥感是观测目标对雷达发射的微波信号的散射强度即后向散射系数；被动微波遥感是观测目标物的微波辐射。

按传感器的工作方式不同可分为被动遥感和主动遥感：被动遥感是指传感器自己不发射信号，而是接收目标物辐射的电磁波或反射的太阳辐射；主动遥感则是传感器向目标物发射电磁波，然后收集从目标物反射回来的电磁波的遥感方式。

按传感器的扫描方式可分为扫描式遥感和非扫描式遥感：扫描式是对与飞行平台的行进方向成直角的方向进行扫描，从而得出地表二维图像的遥感方式；非扫描方式是取得飞行平台下目标物的点或线的信息。

按传感器图像获得方式可分为图像方式和非图像方式：图像方式是使用摄影机等拍摄图像的遥感方式，将目标物反射或发射的电磁波能量强度的分布，以图像色调的浓淡(密度)来表示；非图像方式遥感是传感器在遥感平台移动的同时，将其测量的目标物的辐射直接用数据表示出来。

按照探测目标不同可分为海洋遥感、气象遥感、农业遥感等。

按照遥感平台可分为地面遥感、航空遥感和航天遥感。

## 第二节 遥感原理

### 一、电磁波和电磁波谱

电磁波(electromagnetic wave)是在真空或物质中通过传播电磁场的振动而传输电磁能量的波,是一种伴随电场和磁场的横波,在平面波内,电场和磁场的振动方向都在与波的行进方向成直角的平面内,是相互垂直的。电磁波在真空中以光速( $c=2.998 \times 10^8$  米/秒)传播,这就是电磁波的波动性。电磁波的粒子性是指其能量分布的量子化。电磁波的波动性和粒子性统称为波粒二像性。

电磁波的波段从波长短的一侧开始,依次叫做 $\gamma$ 射线、X射线、紫外线(UV-ultraviolet)、可见光(visible light)、红外线(IR-infrared)、无线电波。波长越短,电磁波的粒子性越强,直线性指向也越强。表 1.1 表示电磁波的各个波段,其中红外线的各个波段的名称及其波长范围以及微波(microwave)的波长范围根据使用者的需要而有所不同,这里只是一般的使用名称和波长而已。

表 1.1 电磁波的分类和名称

| 名 称 |      | 波长范围       | 名 称 |        | 波长范围     |          |
|-----|------|------------|-----|--------|----------|----------|
| 紫外线 |      | 10nm~0.4μm | 电波  | 亚 mm 波 |          | 0.1~1mm  |
| 可见光 |      | 0.4~0.7μm  |     | 微波     | mm 波     | 1~10mm   |
|     |      |            |     |        | 厘米波      | 10~100mm |
| 红外线 | 近红外  | 0.7~1.3μm  |     |        | 分米波      | 0.1~1m   |
|     | 短波红外 | 1.3~3μm    |     |        | 超短波      |          |
|     | 中红外  | 3~8μm      | 短波  |        |          | 10~100m  |
|     | 热红外  | 8~14μm     | 中波  |        |          | 100m~1km |
|     | 远红外  | 14μm~1mm   |     | 长波     |          | 1~10km   |
|     |      |            |     | 超长波    | 10~100km |          |

表 1.2 辐射测量和光度测量术语对照表

| 辐射测量      |                                  |        |                  | 光度测量 |     |
|-----------|----------------------------------|--------|------------------|------|-----|
| 名 称       | 定 义                              | 符 号    | 单 位              | 名 称  | 符 号 |
| 辐射能       | 以电磁波形式传送的能量                      | $Q_e$  | J                | 光量   | $Q$ |
| 辐射通量      | 单位时间内传送的辐射能量                     | $\Phi$ | W                | 光通量  | $F$ |
| 辐射强度      | 点辐射源在单位立体角中、单位时间内所发出的辐射能量        | $I_e$  | $Wsr^{-1}$       | 光强度  | $I$ |
| 辐射出射度     | 在单位时间内、从单位面积上辐射出的辐射能量            | $Me$   | $Wm^{-2}$        | 光出射率 | $M$ |
| 辐射照度      | 在单位时间内、单位面积上接收的辐射能量              | $E_e$  | $Wm^{-2}$        | 照度   | $E$ |
| 辐射亮度(辐射率) | 在单位立体角、单位时间内,扩展源表面法线方向上单位面积的辐射强度 | $Le$   | $Wm^{-2}sr^{-1}$ | 亮度   | $L$ |

遥感中测量的是从目标物反射或辐射的电磁波能量,根据其测定波长范围不同可分为辐射测量(radiometry)和光度测量(photometry)两种方式,前者是以从 $\gamma$ 射线到电波的整个波长范围为对象的物理辐射量的测定,而光度测量是对由人类具有视觉感应的波段——可见光所引起的知觉的量的测定,它们使用的术语和单位不同(表 1.2),其中辐射亮度与遥感采集的数据具有对应关系。表中 J 为能量单位焦耳,表示用 1 牛顿的力使物体移动 1m 所做的功;W

为功率单位瓦,表示 1 秒钟完成 1 焦耳功的功率; $L$  为立体角单位球面度,指在半径为 1 m 的球面上,1 平方米的面积相对于中心而成的立体角,整个球体分为  $4\pi$  球面度。

## 二、太阳辐射与大气窗口

在当前的遥感探测中,应用最多的还是以太阳为光源的电磁波。太阳是太阳系的中心天体和距地球最近的恒星,半径 696000km,为地球半径的 109.3 倍,其可见的表面称为光球;光球之上是 5000km 厚的内层大气,称色球层;在色球层之上是极稀薄的高温日冕,其范围可延伸到地球及更远的地方。将与太阳大小相等并辐射出同等能量的黑体的温度定义为太阳有效温度,则根据太阳总辐射能量可求出太阳有效辐射温度为 5740K。

太阳向外发射电磁波的形式及所发射的能量称为太阳辐射(solar radiation),太阳辐射能量随波长的分布称为太阳辐射光谱(solar radiation spectrum),太阳辐射光谱不是严格连续光谱,其中有 2500 条暗吸收线,即夫琅和费线(Fraunhofer line)。在地球大气的外界太阳辐射的能量的 99%集中在波长  $0.15\sim 4.0\mu\text{m}$  的光谱区内,其中波长  $0.40\sim 0.76\mu\text{m}$  的可见光谱区的能量占 45.5%左右,波长  $0.76\sim 4.0\mu\text{m}$  的红外辐射约占 44.5%,波长  $0.15\sim 0.4\mu\text{m}$  的紫外辐射约占 9%。太阳辐射光谱中以波长  $0.475\mu\text{m}$  为最强。

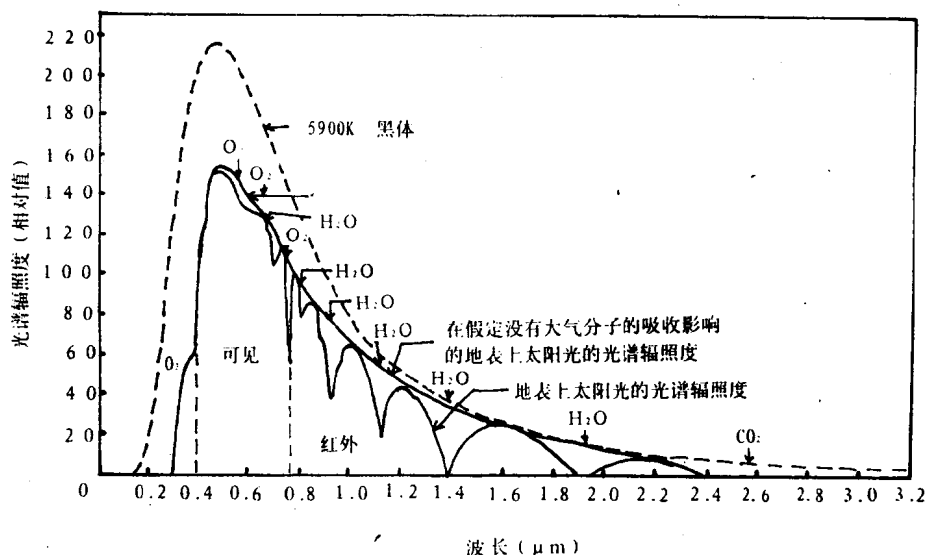


图 1.2 太阳辐射光谱与黑体辐射光谱的比较

如图 1.2 所示,表示太阳辐射光谱与黑体辐射光谱的比较,上面那条连续曲线给出了地球大气上界的粗略光谱辐照度,其最大值位于  $0.47\mu\text{m}$  处,虚线代表温度为 5900K 黑体辐射曲线,最下面的曲线表示海平面上阳光直射时的辐照度,两条连续曲线间的差值代表大气散射和吸收引起的衰减,而斜线部分则表示吸收造成的损失。

地球平均温度只有 300K,电磁辐射的峰值波长约在  $9\sim 10\mu\text{m}$  处,属远红外波段范围。图 1.3 对太阳辐射引起的目标物光谱辐射亮度  $a$  与地表辐射引起的目标物光谱辐射亮度  $b$  进行比较,图中忽略了大气吸收的影响,而且曲线的形状还与目标物的反射率、发射率及温度有关,因此实际的曲线  $a$  和曲线  $b$  的交点随目标物的反射率、发射率及温度而改变,一般大约在  $0.3\mu\text{m}$  附近。所以作为自然辐射源,地球辐射可分为两部分:波长  $0.3\sim 3.0\mu\text{m}$  部分主要是反射太阳辐射的,地球自身的热辐射极弱,可忽略不计;在波长  $6\mu\text{m}$  以上部分,主要是地球表面物体自身的热辐射(thermal radiation);而在  $3\sim 6\mu\text{m}$  的中红外波段部分,太阳与地球的热辐

射均不能忽略。在这个波段作红外摄影时,摄影时间常常选择在清晨时分,目的是尽量减少太阳辐射的影响。

太阳辐射能量到达地表,需经过电离层、臭氧层及对流层的组成的大气层,电离层在宇宙射线及紫外线的作用下,使气体发生电离,能反射不同波长的无线电波;臭氧层距地面 20~30km,它强烈地吸收太阳辐射中的紫外线;对流层则是发生各种降水过程的一层。因此太阳辐射在途经大气层时,将受到云、雾、雨、尘埃、冰粒、盐粒的反射和水分、臭氧等成分的吸收,使其能量受到重新分配。图 1.4 是大气的分光透过特性曲线,以对应于电磁波段的透过率来表示透过量。图上标出的分子式表示该分子对透过率的影响。

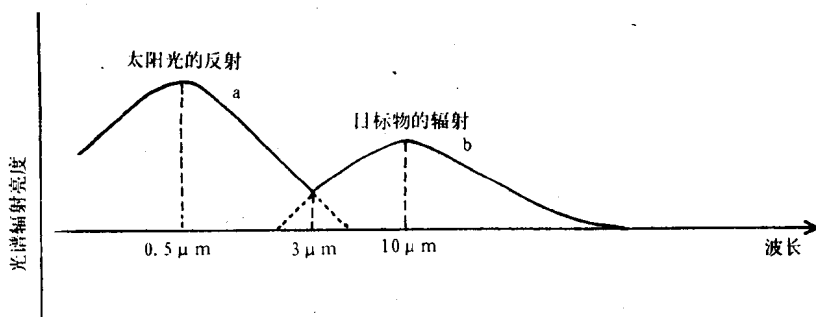


图 1.3 太阳与地表辐射引起的目标物光谱辐射亮度比较

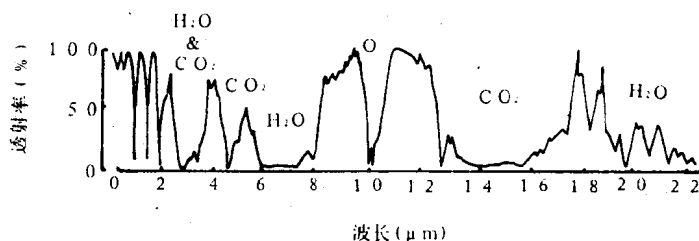


图 1.4 大气的分光透过特性曲线

由于大气对电磁波的选择性吸收,使大气在不同波段对电磁波的衰减程度各不相同。换句话说,大气对不同波段的电磁波有不同的透射率,因此有些波段电磁波能顺利透过去,而在另一些波段的电磁波则很少透过,甚至完全不能透过,大气对电磁波衰减较小,透射率较高的波段叫“大气窗口”。因此要从空中遥感地面目标,传感器的工作波段应在大气窗口处,才能接收到地面目标的电磁波信息。目前已知的大气窗口主要有:

1、可摄影窗口:波长范围为  $0.3 \sim 1.3 \mu\text{m}$ ,通过这个窗口的电磁波信息皆属地面目标的反射光谱,可以用摄影的方法来获取和记录地物的电磁波信息。这个窗口包括全部可见光( $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ )和部分紫外线(波长  $0.3 \sim 0.38 \mu\text{m}$ )以及部分近红外波段( $0.76 \sim 1.3 \mu\text{m}$ ),其短波一端由于臭氧的强烈吸收而截止于  $0.3 \mu\text{m}$ ,长波一端则终止于感光胶片最大感光波长  $1.3 \mu\text{m}$  处。这个窗口对电磁波的透射率在 90% 以上,仅次于微波窗口,是目前遥感上应用最广的窗口,被气象卫星、陆地卫星及其它遥感探测所使用。除了摄影方法外,还可以用扫描仪、光谱仪、射线仪等来探测记录地物的电磁波信息。

2、短波红外窗口:波长范围为  $1.5 \sim 2.4 \mu\text{m}$ ,通过这个窗口的电磁波信息仍然属于地面目

标的反射光谱,但不能用胶片摄影,只可用扫描仪和光谱仪来测量和记录。这个窗口的两端主要受大气中的水汽和二氧化碳的吸收作用所控制,而且由于水汽在  $1.8\mu\text{m}$  处有一个吸收带,所以本窗口又分为  $1.5\sim 1.75\mu\text{m}$  和  $2.1\sim 2.4\mu\text{m}$  两个小窗口,可探测农作物叶片温度状况。某些波段对区分蚀变岩石有较好的效果,是遥感地质应用上很有潜力的一个窗口。在 TM 传感器上已开始应用。

3、中红外窗口:波长范围  $2.4\sim 6.0\mu\text{m}$ ,这个窗口位于红外波段的前中段。通过这个窗口的电磁信息可以是地面目标的反射光谱,也可以是地面目标的发射光谱,其信息也只能用扫描仪和光谱仪进行探测与记录。由于二氧化碳在  $4.3\mu\text{m}$  处有一个强吸收带,将本窗口又分为  $3.4\sim 4.2\mu\text{m}$  和  $4.6\sim 5.0\mu\text{m}$  两个窗口,前者透射率约 90%,后者透射率约为 50~60%。

4、热红外窗口:波长范围为  $8\sim 14\mu\text{m}$ ,属于热红外波段,是地物本身的热辐射。由于臭氧、水汽、二氧化碳三种气体的共同影响,致使本窗口的透射率较低,约为 60~70%,但是这个窗口是位于地表常温下地面物体热辐射能量最集中的波段,所以是遥感地质很有用的一个窗口。目前这个窗口已得到广泛应用,主要是用扫描仪和热辐射计来获得地面目标的电磁波信息,能有效地探测地面常温物体,并可用于探测大地辐射。

5、微波窗口:波长范围为  $8\text{mm}\sim 1\text{m}$ ,位于微波波段,电磁波已不受大气干扰,透过率可达 100%,是全天候的遥感波段。目前微波传感器常用的工作波段是  $3\text{mm}$ 、 $5\text{mm}$ 、 $8\text{mm}$  的波段,今后根据需要还可能向更长的波段发展。

在这 5 个大气窗口中,陆地卫星工作范围绝大部分在可见光波段,小部分在近红外波段,已开始扩展到第二个窗口;而气象卫星已应用到第三个窗口。今后随着对地物波谱特性研究的深入和传感器的不断改进,为某种专门用途所需要的窄波段窗口的潜力还是很大的。

### 三、地物波谱特征

地面上任何物体对外来的电磁波都有反射、吸收和透射的作用。同时任何物体只要其温度高于绝对零度( $0\text{K} = -273.16^\circ\text{C}$ ),就会不断地向外发射电磁波(热辐射)。由于组成物体的内部结构不同,不同物体对电磁波的反射、吸收、透射和发射电磁波的程度不尽相同,发射电磁波的能力也有差异。物体之间的这种差异,可作为探测目标物的有用信息。但是由于技术上和其它一些原因,目前遥感技术中传感器所接收、探测的信息主要是地物反射和发射电磁波信息。

#### (一)地物反射波谱特征

根据电磁波理论,当电磁波从较稀疏的空气介质入射到较紧密的物体介质的界面上时,将产生反射。不同地物对电磁波的反射因入射波波长与地面粗糙度对比可分为镜面反射、漫反射和混合反射三种(如图 1.5)。

当地面介质起伏高度相对于入射电磁波波长而言比较小,即界面很光滑时就产生镜面反射。镜面反射的电磁波具有严格的方向性,即反射角等于入射角,其位相是相干涉的并有偏振化现象。

当地面介质起伏高度相对入射电磁波波长而言比较大时,就产生漫反射,漫反射无明显的优势方向,即将入射的电磁波再均匀地向各个方向反射出去,其位相是不相干的,也无偏振化现象。这种介面也称为“朗伯面”。

当地面介质起伏高度相对于入射电磁波波长而言具有中等粗糙度,即介于上述两者之间时,就产生混合反射。在不同方向上所反射的电磁波的辐射亮度不同,在相当镜面反射方向上的电磁波辐射亮度较强,在其它方向上反射的电磁波辐射亮度则较弱。

由于上述三种反射是由地面介质的粗糙度与入射电磁波波长相比较而言的,因此同一波

长的电磁波对不同地面而言、同一种地面相对于不同波长的电磁波而言,都可能产生不同类型的反射。如对于波长较长的无线电波来说,即使是粗糙岩石构成的崎岖地表,也可被视为光滑的介质而产生镜面反射,而对可见光来说,即使是细沙构成的地面也显得十分粗糙,故产生漫反射。

在遥感技术应用中,常以反射能量与入射能量的比值表示物体的反射电磁波的强度。

$$\text{某波段的反射系数} = \frac{\text{某波段的反射波谱能量}}{\text{某波段的入射波谱能量}}$$

$$\text{反射率}(\%) = \text{反射系数} \times 100\%$$

反射率愈高的地面,反射电磁波的能力就愈强,在遥感图像上色调就愈浅;反射率愈低的地物,反射电磁波的能力就愈弱,在遥感图像上的色调就愈深。在航空遥感技术中还常用亮度系数( $\gamma$ )来表示反射电磁波的能力大小,它是指在相同照度条件下,某物体表面的亮度 $B$ 与纯白色理想全反射表面的亮度 $B_0$ 之比,即:

$$\gamma = B/B_0$$

亮度系数也反映了地物反射电磁波的能力,但除了朗伯面在各个方向上具有相等的亮度值外,其它各种反射面在不同方向上的亮度值是不相同的,其亮度系数也就不相同。一般都以法线方向为准,叫法向亮度系数。

地物反射光谱曲线则是以横坐标代表波长,纵坐标代表反射率所作的相关曲线,以表示各种波长处地物光谱反射率大小及其随波长的改变而发生变化的特点和规律(如图 1.6 所示),不同地物的反射强度和波谱曲线形态不同。水的反射率较低,反射光谱曲线近于直线,而且随波长增加反射率变小;黑土的反射光谱曲线形态也是近似直线,但反射率随波长增加而增加;植物在可见光区反射率低于近红外波段的反射率,0.7~0.75  $\mu\text{m}$  波段反射率急剧上升,曲线具有陡向接近于直线的形态;雪被和沙漠则在可见光波段反射率高于近红外波段的反射率。由于不同类型的地物反射强度及其随波长变化的特点与规律的差异,正是遥感技术利用电磁波信息来识别和区分目标的基础。

但是在自然界中,植物种类成千上万,各土壤类型也有几十种,岩石矿物有几百种,也有含有不同化学成份等区别,因此尚需要进一步研究不同类型的植物、土壤、岩石矿物、水等同一种地物不同类型的反射光谱特征。

同一种地物不同类型的反射光谱特征,总的形状变化是基本相似的,但是光谱响应曲线具有一定的变化范围而呈一定宽度的波谱带。以植物的反射光谱特征为例(图 1.7),在可见光区域,由于色素的强烈吸收,植物叶的反射和透射都很低。叶绿素大体上在以 0.44  $\mu\text{m}$  为中心的

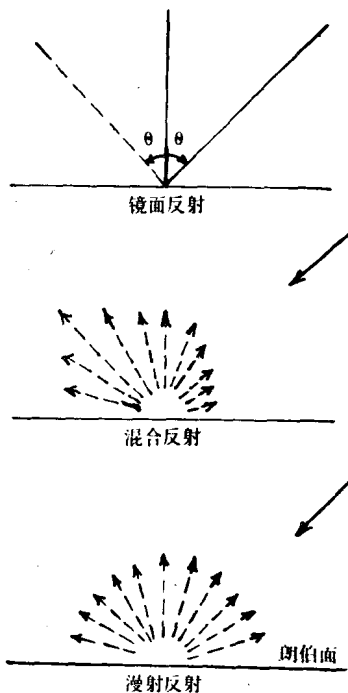


图 1.5 地面对电磁波反射的三种模式

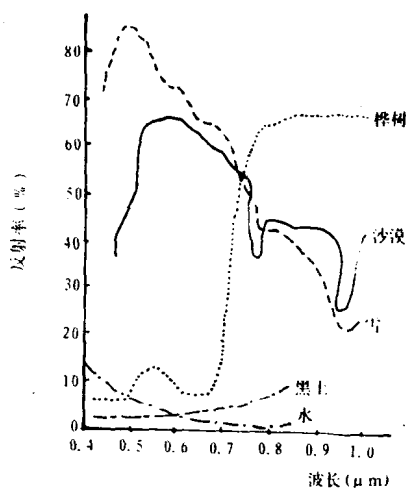


图 1.6 不同地物的反射光谱特征

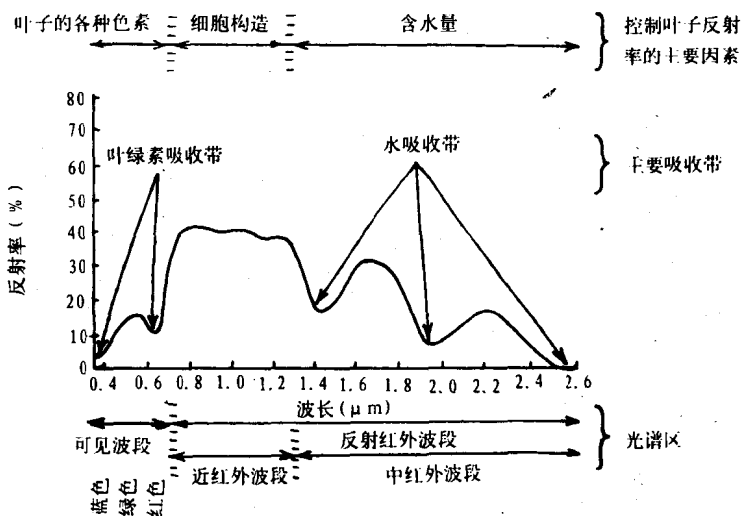


图 1.7 绿色植物的主要光谱响应特性

蓝波段及以  $0.67\mu\text{m}$  为中心的红波段吸收大量的辐射能,而在这两个吸收带中间吸收相对减少,因此在  $0.54\mu\text{m}$  附近形成绿色反射峰而呈现绿色植物。在近红外区域叶的反射及透射能量约各占入射能量的一半,被叶子吸收的能量很小( $<5\%$ )。因而在  $0.74\sim 1.3\mu\text{m}$  间形成高反射,这是细胞壁和细胞空隙的折射率不同导致多重反射引起的。因此不同植物种类的叶肉结构差异导致植物在近红外的反射差异比在可见光区域大得多(图 1.8)。在短波红外区域,由于绿色叶子细胞膜之间和内部的水分含量高,故绿色植物的反射率受以  $1.45$ 、 $1.95$ 、 $2.7\mu\text{m}$  为中心的水的吸收带的控制,入射能量中的大部分被叶子中的水分所吸收,仅小部分被叶子反射,这就是植物反射光谱的基本特征。

对于同一种类型地物,因其环境条件不同,其反射光谱特征也有差异,如同一种植物,叶子的新老、稀密、季节、土壤水分和无机质含量的差异或者受大气污染和病虫害等的影响,在各个波段的反射率也是不同的,有时在可见光波段反映不明显,而在近红外波段却能清楚地观测到

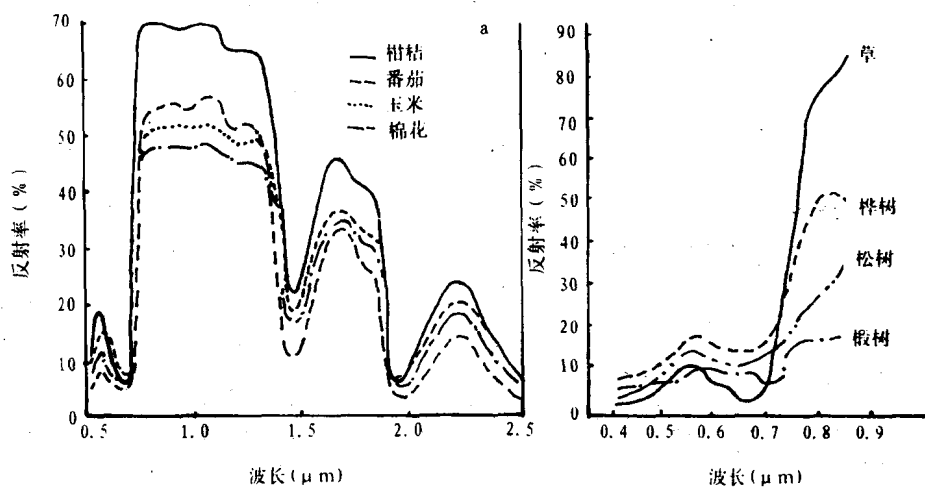


图 1.8 不同植物的光谱曲线