



中国典型地物波谱 及其特征分析

童庆禧 等 编著



科学出版社

中国典型地物波谱 及其特征分析

童庆禧等 编著

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书是一部供遥感应用的地物波谱参考手册。全书共分三部分：第一部分是有关地物波谱特性研究的综述，论述了国内外该研究的概况及其研究内容和发展方向；第二部分是我国典型的地物波谱测试数据的汇编，包括植物、土壤、岩石、水体等共277种波谱数据和曲线；第三部分分专题论述了我国有关的植被、土壤、水体、岩石和污染植物波谱的特性分析研究。

本书可供地质、地理、农林及环境保护等部门的遥感科研工作者及有关高等院校师生参考。

中国典型地物波谱 及其特征分析

童庆禧等 编著

责任编辑 姚岁寒

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年7月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1990年7月第一次印刷 印张：46

印数：0001—1,000 字数：412,000

ISBN 7-03-002030-8/P·390

定价：32.00元

前 言

应用遥感技术对地面物体进行探测,是以各种物体对电磁波辐射的反射、吸收、透射和发射特征为基础的。遥感就是通过各种有效的探测手段来收集、分析和提取各种地物电磁波辐射在波长、时间和空间上的分布特性,以达到认识和识别各种地物的目的。因此,自然界物体电磁波辐射特性的研究,在遥感技术中占有相当重要的地位。因为它既可为遥感仪器和遥感波段的选择提供依据,又是遥感图像及数据处理分析和判读的基础。

我国自开展遥感应用以来,对地物的电磁波辐射特性的研究给以了重视,曾先后研制和引进了多种测试仪器,测量了大量地物的波谱特性,其中有许多数据已得到了很好的应用。为了提高地物波谱数据的利用率,减少重复,以节省经费,交流资料,共享信息,我们将近年来测试的中国典型地物波谱数据汇编成册,以促进地物电磁波谱特性研究的发展。

本册典型地物波谱图志,共分三部分。第一部分是地物电磁波谱特性研究综述。它的目的是使读者对地物电磁波谱特性研究情况有个较全面的了解。这部分综合了近年来国内外关于地物电磁波谱特性研究概况,论述了它的研究内容和任务,发展趋势和今后的发展方向。第二部分是典型地物波谱资料汇编。这些资料是按照中国科学院空间科学技术中心主持制定的地物波谱测试规范测试的。这些波谱数据和曲线包括173种植物,31种土壤,66种岩石,7种水体,共计277种中国典型地物波谱特性。每组数据给出了波谱特性曲线图,陆地卫星多光谱扫描仪(MSS)波段和专题制图仪(TM)前四个波段反射比直方图,并且列出了10个毫微米间隔的光谱反射比值、标准差和变异系数及有关测试情况,以便应用查考。第三部分分专题论述了我国有关典型植被、土壤、水体、岩石和污染植物波谱特性的分析研究。

我们希望本书能够促进地物电磁波谱特性研究,扩大其应用范围。

在编写过程中,得到各方面同志们的大力支持和帮助。北京计算中心计算和绘制了全部数据和曲线,郑战军同志承担了请绘任务,在此表示衷心的感谢。

由于业务水平所限,缺点错误在所难免,恳切地希望广大读者批评指正。

编 者

1988年9月

《中国典型地物波谱及其特征分析》

编辑委员会

主 编 童庆禧

副主编 田国良 王尔和 王绍庆

委 员 (按姓氏笔画)

王尔和 王绍庆 田国良 朱振海

周上益 郭世忠 张雯华 童庆禧

Editorial Board of Spectra and Analysis of Typical Earth Objects of China

Chief editor Tong Qingxi

Assistant chief editors Tian Guoliang Wang Erhe
Wang Shaoqing

Board members Guo Shizhong Tian Guoliang
Tong Qingxi Wang Erhe
Wang Shaoqing Zhang Wenhua
Zhou Shangyi Zhu Zhenhai

目 录

I. 地物波谱特性研究综述

地物电磁波谱特性的研究·····	章庆禧 田国良 (1)
------------------	---------------

II. 典型地物波谱

植物光谱特性·····	(36)
土壤光谱特性·····	(234)
岩石光谱特性·····	(280)
水体光谱特性·····	(412)
不同物候期植物光谱特性·····	(426)
受污染植物光谱特性·····	(498)
受地球化学效应影响植物和土壤光谱特性·····	(544)

III. 典型地物波谱特征分析

植被和建群植物的反射光谱特性及其应用·····	王绍庆 (591)
植物光谱反射特性与植被污染遥感监测·····	郭世忠 田国良 刘厚田 (602)
土壤和水体的反射光谱特性及其应用·····	王绍庆 (611)
岩石(矿石)的反射光谱特性及其应用·····	张雯华 (623)

Contents

1. A SUMMARY OF RESEARCH ON SPECTRA OF EARTH OBJECTS

Research on Properties of Electromagnetic Spectra of Earth Objects	Tong Qingxi and Tian Guoliang (1)
--	-------------------------------------

2. SPECTRA OF TYPICAL EARTH OBJECTS

Reflective Spectra of Vegetation	(36)
Reflective Spectra of Soil	(234)
Reflective Spectra of Rock and Mineral	(280)
Reflective Spectra of Water	(412)
Reflective Spectra of Vegetation in Different Phenological Stages	(426)
Reflective Spectra of Polluted Vegetation	(498)
Reflective Spectra of Geochemical Stress Vegetation and Soil	(544)

3. ANALYSIS OF SPECTRA FOR TYPICAL EARTH OBJECTS

Spectral Reflectance of Vegetation and Its Application	Wang Shaoqing (591)
Spectral Reflectance of Vegetation and Remote Sensing Monitoring for Vegetation Pollution	Guo Shizhong Tian Guoliang Liu Houtian (602)
Spectral Reflectance of Soil and Water and Its Application	Wang Shaoqing (611)
Spectral Reflectance of Rock and Mineral and Its Application	Zhang Wenhua (623)

I. 地物波谱特性研究综述

地物电磁波谱特性的研究

童庆禧 田国良

电磁波辐射的谱特性研究（或简称波谱特性研究）在遥感技术及应用的研究发展中占有重要的地位。最近二、三十年以来，随着遥感技术的发展，人们对电磁波辐射特性的研究越来越深入，对它的了解和认识也愈益深化。如果说一个人由于有着自己独特的生理遥感器——眼睛，他在世界上靠光线——自然条件下电磁波的一部分，得到人所能获得的信息的70%左右的话，那么，在遥感技术中，人们则几乎要100%地通过电磁波而获得所需要的信息。因此可以认为，对遥感而言，电磁波辐射特性即是各种信息的制造者，又是各种信息的传递者。研究自然环境中各种地物的电磁波辐射特性是遥感技术的一项极重要的基础，它在发展遥感技术的过程中也是一项必不可少的工作。因此早在本世纪30年代苏联的克里诺夫（Кринов）就对许多自然物体的光谱反射进行了系统的测量和研究，他的《自然地物的光谱反射性能》一书是目前已知最早而且相当系统的专著，也为这方面的研究开拓了一个领域。

一、电磁波辐射特性与遥感

电磁波辐射是一种能量的动态形式，它只有在与物质的相互作用中才能得以充分表现，也只是在这种情况下才能显现出各种地物的特征。早期，人们的研究工作只是局限在电磁波的可见光部分，根据可见光的反射特性，利用光化学方法，通过摄影胶片来记录所研究对象的信息。在长期的实践中，人们了解到，电磁波在自然界中以非常广泛的形式存在着，它的波长覆盖着从宇宙射线、 γ 射线（波长在微埃级）到长波电振荡（波长达数万公里）这样一个非常宽广的范围。人们就在这样一个广阔的领域内向电磁波辐射的深度和广度进行着不懈的探索，研究它在不同波长的特性，它与各种物质相互作用的机理，寻求探测和利用电磁波辐射的途径。现在人们已经能够通过各种传感器，几乎能在所有的电磁波范围内进行探测（图1）。

但是，比较有效的用于遥感技术的电磁辐射目前还主要集中在从紫外辐射到微波辐射这个对整个电磁波范围而言的一个较窄的区域内，遥感技术的目的就是为了通过电磁波来进行探测、分析和了解所研究的对象，特别是地球表面的各种物体。为此就必须首先对电磁辐射的产生、传递以及它和物质相互作用的关系有所了解。电磁波的产生是由于物质内部状态发生变化而引起的，其中主要的是：原子核内的相互作用；各层电子的激化（或离化）；分子的运动以及电子在电磁场作用下的变化等。物质内部

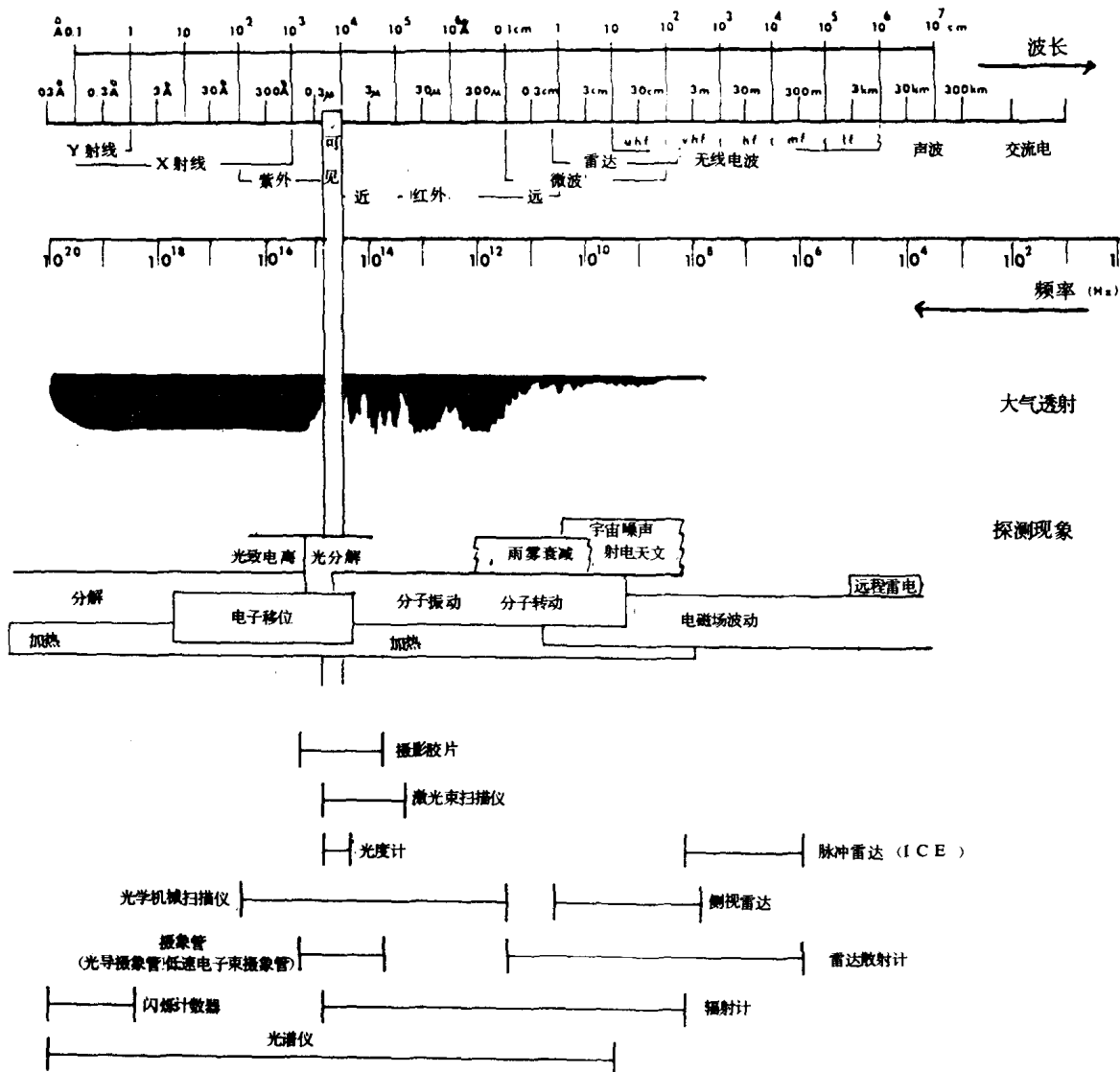


图 1 电磁波谱、大气窗以及各种传感器的工作范围(37)

状态与电磁波辐射能的关系可见于表 1。

遥感器所收集到的电磁波辐射与辐射源的波谱，所经过的大气路径以及反射和发射电磁波辐射的物体有关。对遥感来说，最主要的辐射源就是太阳，其它辐射源大多都比太阳弱。图 2 表示了太阳在大气外和大气内辐射的谱特性，图中表明了大气吸收带的位置(37)。

遥感技术的基本任务，就是在以电磁波辐射为表现形式并为传递媒介的复杂多变的环境信息中，通过各种有效的手段来收集、处理、分析和提取所需要的特征，达到认识、识别所研究的对象的存在、状况和动态的目的。这就要求深入研究环境要素的电磁波辐射信息的发生、变化、转换和传输规律，提高遥感技术的作用。有人认为：遥感技术就是一个收集、分配、处理和分析电磁波辐射信息的系统(31)，这种观点从物

表 1 物质内部状态与电磁波辐射能的关系⁽⁵¹⁾

内部状态及相互作用	能级(电子伏特)	产生的电磁波
原子核内的相互作用	$10^7 - 10^5$	γ 射线 $10^{-8} - 10^{-4}$ 微米
内层电子的离化	$10^4 - 10^2$	X 射线 $10^{-6} - 10^{-1}$ 微米
外层电子的离化	$10^2 - 4$	紫外线 $0.01 - 0.4$ 微米
外层电子的激化	$4 - 1$	可见光 $0.4 - 0.75$ 微米
分子及晶格的振动	$1 - 10^{-3}$	红外线 $0.75 - 10^3$ 微米
分子的旋转运动与 电子自旋与磁场的作用	$10^{-4} - 10^{-5}$	微波辐射 $10^3 - 10^6$ 微米
原子核的自旋与 磁场的相互作用	10^{-7}	无线电波 $> 10^6$ 微米

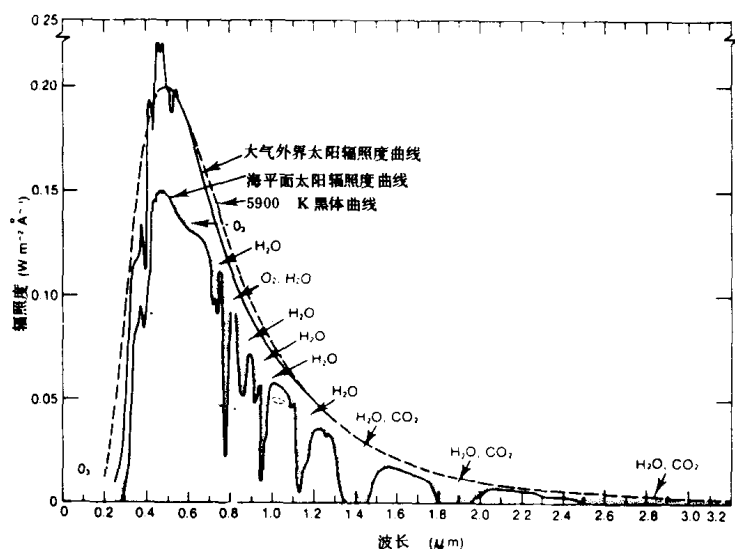


图 2 不同条件下的太阳辐射曲线

理和技术的角度看,无疑是十分正确的。

遥感技术是在电磁波辐射理论、电子学、光学、红外技术、感光化学、机械计算技术等发展的基础上,也是在数十年常规航空摄影的基础上发展起来的。现代遥感技术最重要的形式就是通过各种有效的遥感器,从地面、飞机和卫星上收集地面物体在某一电磁波辐射范围内所反映的图像,进而通过对这些图像的分析、研究,达到识别物体的目的。这种对遥感图像的分析,也就是对大范围电磁波辐射信息的分析可以分成如下几个阶段⁽⁵⁰⁾:

- (1) 根据物体的形态特征来识别物体并进行定量分析和量测;
- (2) 将整个景像中的物体分成大类,如植被、岩石、土壤、水体、人工建筑等;
- (3) 在同一种大类中再分成类型,如植物的种类、土壤类型、树种、岩石类型等;
- (4) 在同一类型中按内部要素进行分析和识别,如同一树木、植被的长势、健康

状况；树木、土壤含水量、组成成分；岩石中的矿物含量等。

上述第(1)，(2)阶段已成为常规航空摄影测量和航空相片判读的主要任务，这方面的工作已有数十年的历史，积累了丰富的经验。而第(3)，(4)阶段正是现代遥感技术要解决的课题，虽然目前对这些问题的解决还处于试验阶段，但已具有一些成功的经验，从总的情况来看，仍还只是极其初步的。解决这些问题的途径还是应该深入研究与此相关的电磁波辐射信息特征，研究这些特征信息的处理、提取、分析，特别是计算机的处理和分析研究。

二、电磁辐射的反射

在各种形式的电磁辐射及其与物质的相互作用中，对遥感作用最大，并最能揭示物体本质的是从物体出射的和反射的辐射。从辐射源入射到物体上的辐射可分成吸收，透射和反射三个分量。根据能量守恒定律，这三个分量的总合应该等于入射辐射量，或 $\tau + \alpha + \rho = 1$ ，这里 τ ， α 和 ρ 为以百分数表示的透射，吸收和反射比。

在反射辐射的测量、计算和分析中，人们常用反射率和反射比来表示反射辐射量的大小或强弱。这两个概念都表示反射辐射的相对量，但在它们之间仍存在着区别，在一般情况下不能混为一谈。根据它们在遥感中的作用，物体的反射率(Reflectivity)可以定义为一个物体其表面在满足瑞利准则的光滑(镜面)表面条件时的反射能力，而这种反射能力与辐射源的性质无关。反射比(Reflectance)表示在单位辐射面积上反射辐射能功率与入射辐射能或功率之比。在遥感技术中起主导作用的辐射源是太阳，所研究的又主要是地球表面的物体，因此，在一般情况下测量所得的是物体的反射比。在测量时往往是采取相对测量和计算的方法，即在利用光谱辐射计测量目标的反射辐射的同时，测量一个已知反射率的参考板(或称标准板)的反射辐射。这样，该物体的反射比即可按下式计算：

$$\rho_{\text{目标}} = \frac{R_{\text{目标}}}{R_{\text{参考}}} \rho_{\text{参考}} \quad (1)$$

式中： $\rho_{\text{目标}}$ 为被测地物的反射比； $\rho_{\text{参考}}$ 为参考板的反射率； $R_{\text{目标}}$ 和 $R_{\text{参考}}$ 为被测地物和参考板的反射辐射。

在测量用的光谱辐射计的光谱响应和灵敏度不变的情况下，目标和参考板的反射辐射还可以用测量的相对读数来取代，简化了测量和计算过程。

反射辐射只有当入射辐射与被测物体(地表)相互作用时才派生出来的，因此它不仅与入射辐射的强弱、波长有关，而且与入射表面的性质有很大关系。可以认为，在自然界存在两种表面，即粗糙表面和平滑表面，入射辐射在与这两种表面相互作用时前者产生漫反射，后者产生镜面反射。对某一物体表面的这种属性可根据瑞利判断来判断，即：

$$h \leq \lambda / s \cos \theta \quad (2)$$

式中 h 为表面起伏程度的平均高度(以与波长 λ 相同的单位表示); θ 为辐射源的入射角。

根据这一判据, 如果某表面的起伏度平均 $h > \lambda$ 时该表面即为漫散射面; 如果 $h \leq \lambda$ 时该表面即可看作为平滑或镜反射面。

根据斯奈耳法则, 一个镜反射面的入射辐射角与反射辐射角相等, 而且整个辐射的分布包括入射与反射均在辐射基准面上进行。镜反射比在可见光范围内变化极大, 对一个非常好的镜面其反射比值可达0.99, 而对平滑的水面最低可达0.02到0.04。一般情况下自然表面不仅对短波辐射来说不是镜面, 而且在微波区域也仍然是漫反射面。

图3表示了一个完全漫反射面或称朗伯表面的情况, 从辐射源射出的辐射(或光线)的以入射角 θ (从天顶或垂直方向算起) 和方位角 ϕ 。(相对北方而言) 落到水平表面(一个球体的赤道平面)。如果这个表面与入射波长相比是粗糙的话, 那么在表面

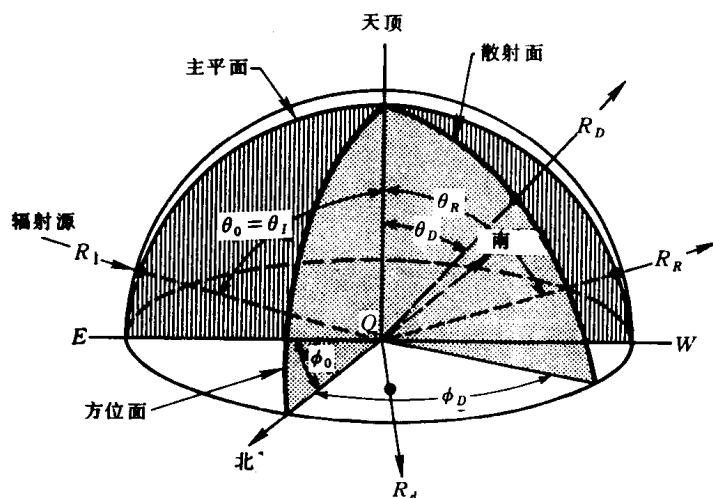


图3 漫反射(朗伯)表面反射向量示意图⁽³⁷⁾

上的任何一点 Q 上, 辐射将向某些方向反射开去, 其反射的方向与这一点的坡度有关。反射辐射的方向 R 可用一个具有一定反射角 θ (或散射角 β) 和方位角 ϕ 并位于上半球的特征向量来表示。对其它点来说, 由于坡向和坡度的差异反射辐射 R 的方向将互相有别。这样, 大量的入射辐射落在具有随机定向的不同表面造成了反射辐射的再定向并向各个方向发散。在这种情况下, 任何一个方向上的辐射量在平均情况下均与其它方向的相等, 换言之, 在半球上方任何一个观察位置上的辐射量均为常数, 而且与入射角 θ_0 有关。进而, 在任意位置上测量的辐射强度将随 $I_\theta = I_0 \cos \theta$ 的关系而变化。这一关系也称作朗伯余弦定律, 即随着入射角度的变化, 入射辐射也发生变化。或者说: 被反射的辐射强度与入射辐射强度与入射角余弦的乘积成正比。这个公式主要适用于方向反射, 所谓方向反射就是指入射和反射辐射都位于同一基准面情况下的反射。

当入射到地表的辐射来自天顶方向(或垂直于表面的方向)时 $\theta = 0$, 并 $\cos \theta = 1$, 这样 $I_\theta = I_0$ 在其它角度入射的情况下, $\cos \theta < 1$, I_θ 都将降低。虽然从任何一个位置来观察

这一表面,其照度是均匀的,但随着辐射源从天顶移向地平面时,该表面的照度将越来越低。于是这里又得出一个双向反射的概念。所谓双向反射指的是在这种情况下测量的反射率,即视角 ϕ 不等于入射角 θ ,而且入射和反射矢量并不位于同一基准面上。通常可用以下公式表达双向反射率 ρ 与辐照度 E 之间的关系。

$$\rho_R(\theta_0, \phi_0, \theta, \phi) = \frac{1}{\pi} \rho(\theta_0, \phi_0, \theta, \phi) \cos \theta [E \cos \theta_0] \quad (3)$$

式中 ρ_R 为在 R 方向上测得的反射率。

实际上,地球表面都是由不同程度的镜面反射和漫反射综合而成,因此,在分析各种表面的反射特性时,镜面反射和漫反射两部分都必须加以考虑。图4给出了在半球基准面上方向反射的分布情况。

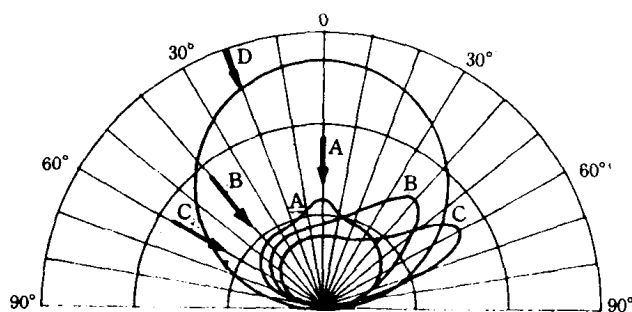


图4 方向反射在半球基准面上的分布⁽³⁷⁾

(1)全漫反射情况:辐射从 D 方向入射时,反射辐射的包络线(等反射比线)具有对称性,而且在入射方向和角度改变时仍保持不变。

(2)非完全漫反射(镜面反射分量)情况:等反射比曲线的形状因入射方向 A, B, C 而异。

在某一散射角 β 的情况下,地物的双向反射比将是由各种不规则的三维包络面综合而成。由于反射比随波长而变化,所以在研究双向反射时应在所研究的波长范围内对每一波长作出其双向反射的包络面。

地球表面反射的绝大部分电磁辐射是来自太阳的辐射。航空和航天遥感所记录成像的主要的也是地表反射的太阳辐射。因此反射辐射对遥感是主要的信息来源。地球表面各种物体反射电磁辐射的差异就是由物体的反射率或反射比所决定的。对任何航空和航天遥感器而言,无论其波段如何,总有一定的光谱响应,即总是在一定的波长区间进行探测。对一个特定的遥感波段(从 λ_1 到 λ_2),如陆地卫星的 MSS 波段或航空多光谱扫描或多波段摄影波段等,所接收到各种地物的总辐射量 L 主要由从地物表面反射的太阳辐射和由大气向上散射的辐射。这一接收到的辐射量 L 可以下式表示:

$$L = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) [\tau_\beta(\lambda) \tau_2(\lambda) \rho(\lambda) \sin \beta + \rho'_\beta(\lambda)] d\lambda \quad (4)$$

式中: $E(\lambda)$ ——大气外垂直表面的太阳光谱辐照度;

$R(\lambda)$ ——遥感器的光谱响应函数；

$\tau_{\beta}(\lambda)$ ——在太阳高度角为 β 情况下大气的斜程光谱透过率；

$\tau_2(\lambda)$ ——大气在与地表垂直方向或天顶方向的光谱透过率；

$\rho(\lambda)$ ——地表的光谱反射比；

$\rho'_{\beta}(\lambda)$ ——作为太阳高度 β 函数的大气反射比。

这是一个用以计算到达遥感器的可见光和近红外电磁辐射任意波段范围辐射率的基本公式。由此出发，在进行以遥感图像的应用分析为目的的地物电磁波反射特向的研究时并不一定需要作非常详尽的分光谱测量，而可以采用各光谱区间内反射比等各种参数的平均值（或积分值）作为分析的基础，这样不仅能保证精度，而且可大大节约测量和计算时间。

三、电磁波谱特性研究的基本任务

如前所述，各种物体，包括地球上的和遥远的宇宙天体等在遥感数据上的反映都是电磁波辐射特性的反映，特别是电磁波辐射和物质相互作用的反映。因此电磁波辐射特性研究的任务主要可归纳为以下两方面。

1. 最佳遥感仪器和最佳光谱段的选择

这是电磁波辐射特性研究的最基本的任务之一。遥感技术的成功与否的第一个关键就在于能否用最佳的遥感仪器和最佳的光谱段去进行探测。由于自然界是一个极其复杂的综合体，各种物体的存在都是与其它物体，特别是错综复杂的环境要素相互依存的。因此，要解决这一问题，必须进行大量的辐射特性的实验研究，并在统计学的基础上对大量数据进行由此及彼、由表及里、去粗取精，去伪存真的分析工作，才能有所效益。尽管人们对电磁波辐射特性的研究进行了不少实验和理论研究，但对现代日益千里的遥感技术发展速度，仍然很不适应。以美国的地球资源卫星研究工作为例，它的四个光谱段的选择主要是考虑了农业对它的要求，而对地质应用只是用它的第5波段(MSS5, 0.6—0.7微米)。这是因为从第二次世界大战中及战后发展起来的红外和彩色红外摄影在考虑伪装识别的研究中对植物的波谱特性进行了不少研究，自60年代中期以来，又利用航空多光谱摄影进行农作物区分的实验。但是，这样的光谱段选择对地质岩性识别有很大的局限性。根据近年来的波谱辐射特性研究，提出采用以2.2微米为中心的光谱段用于鉴别地质岩石的蚀变带，增加在地质探矿方面应用的可能性。为此，美国宇航局发射的陆地卫星4号和5号的专题绘图仪(TM)中增加了2.08到2.35微米的第7通道。根据美国地质调查所的研究，证明采用较窄的波段对粘土矿和矿物的蚀变带的识别效果很好。为此在近年的航天飞机的任务中进行了专门的多光谱红外辐射计的试验。该仪器共设计了10个波段，其中宽度最窄的只有0.02微米⁽⁴⁰⁾。

为了对农作物和植被进行监视，在美国的陆地卫星-1, 2, 3 中采用了MSS6(0.7—0.8微米)和MSS7(0.8—1.1微米)两个近红外波段，几年来的使用经验已证明了它们的作用。但是后来根据进一步的研究，对近红外光谱段的选择又有了新的认识。C.J. Tucker⁽⁴²⁾ 根据对大量光谱辐射资料的分析和对草地进行的窄带光谱辐射研究，认

为用一个0.76—0.90微米的近红外光谱区就足够了,这既可适用于对植被和农作物的一般研究,也适用于对不利条件下植物长势的监测。这一建议已被美国宇航局采纳并确定在陆地卫星4号的主题绘图仪的第4波段中采用了这一光谱段。

对于岩石类型的识别,仅用可见光和近红外光谱区就显得十分不足了,根据美国从60年代中期以来的岩石波谱特性的研究〔28,34〕,认为岩石的红外辐射特性与岩石的矿物质含量有很大的关系,在利用实验室和野外红外辐射研究的基础上 R.J. P.Lyon 获得了红外辐射的峰值波长与岩石二氧化硅含量关系的著名曲线(图5)。从图中可以看出,不同岩类的辐射低峰随着波长有很大的变化,变化的幅度达到2.5微米。岩石红

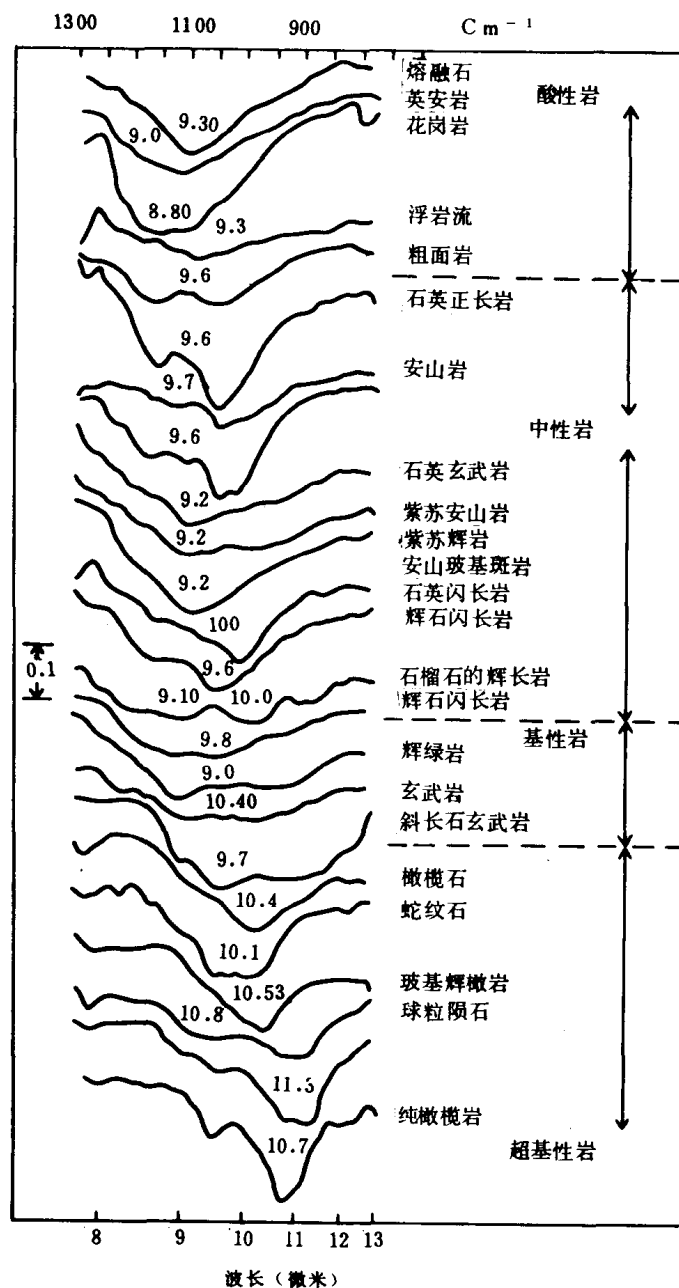


图5 不同岩石类型红外辐射特性随波长的变化

外辐射特性的这种变化是由于岩石中二氧化硅 SiO_2 含量的变化而引起的,随着二氧化硅含量的增加(从36%增加到69%),岩石红外辐射低峰则逐渐向波长较短的方向偏移(从11.3微米偏到8.8微米)。二氧化硅是地球上最常见和最多的矿物质之一,它的含量与红外辐射的这种密切的关系,为在红外遥感中采用类型匹配技术进行岩性识别提供了依据。根据美国地质调查所的建议,在陆地卫星4号的两个遥感仪器:主题绘图仪TM和多光谱扫描仪MSS中都采用了10.4—12.5微米的热红外波段,以进行广泛的地质岩类探测。1978年,美国发射了一颗名为热容量制图任务的专用卫星(HCMM),它装了一台热容量制图辐射计(HCMR),利用两个波段对地面进行遥感,一个波段为0.55—1.1微米,主要用来收集白天可见光的资料以确定地面的反照率,另一个则为10.5—12.5微米,用来收集白天和夜间的红外图像,以获取地物昼夜的温差。这一任务首先于1970年由美国宇航局的W.Hovis所倡导,其主要目的是通过对热惯量差异的分析来研究和识别岩石单元。70年代初期以后,不少专家,包括喷气推进实验室的专家在内进行了大量的地面和航空实验研究工作,为这颗卫星的图像分析奠定了基础。这颗卫星虽然只工作了两年多,但在地质、农业土壤、水以及城市气候的研究方面均取得了积极的成果⁽³⁸⁾。

根据各种地物,特别是岩石为红外辐射特性与其物质含量的关系,美国宇航局近年来还正在进行热红外多光谱扫描(TIMSS)实验⁽⁴⁰⁾,这个实验在8—14微米区域选择了6个波段。通过航空试验已证明了这种技术的有效性,下一步拟装载到航天飞机上进行空间遥感实验。

遥感仪器和最佳遥感波段的选择往往需要进行大量的工作和经历较长的时间,工作的不充分或疏忽往往会造成遥感的失败或不能获得预想的结果。探测森林火灾是森林遥感的重要内容。人们早就发现,红外遥感是探测森林火情的有效手段。早期用于森林火灾探测的红外扫描仪只有一个热红外通道(8—14微米),由于这一通道位于常温物体(-300K)的辐射峰值,因此在探测中很容易出现虚警,效果欠佳。而第二代的森林探火的红外扫描仪则采用了两个红外通道,即3—4微米和8.5—11微米⁽⁴¹⁾。它能在5000米的飞行高度上和背景温度为 $0-50^\circ\text{C}$ 之间有效地探测出 0.09 平方米温度为 600°C 的火源目标。探火效率大为提高。探测波段选择不当而导致失败的例子在其它方面,甚至在军事应用上都曾有过的。

对遥感应用而言,不同的目的应有不同的遥感仪器和不同的光谱段。根据美国对陆地卫星和天空实验室多光谱扫描和多光谱摄影图像的分析,认为现行的陆地卫星光谱段对探测水深并不理想,提出水深的探测波长最好应向短波延伸到 0.45 微米⁽²⁾,以获得更多水下细节,这与不少人对海洋水吸收和透过特性研究⁽²⁹⁾是一致的(图6,图7)。在此基础上,美国柯达公司曾研制了一种水穿透型的彩色胶片SO-224,在海洋鱼群探测试验中效果很好,从4500米高空对海洋摄影,成群的鲸鱼在照片上显示得非常清晰⁽¹⁵⁾。

海洋中叶绿素含量的多少是海洋生物产量最基本的因素,即所谓初级生产力。因此采用遥感技术大范围地探测海洋叶绿素的含量及其分布对海洋遥感来说是十分重要的项目。经过对叶绿素光谱特性的研究,美国宇航局在一系列航空实验和“雨云-7”

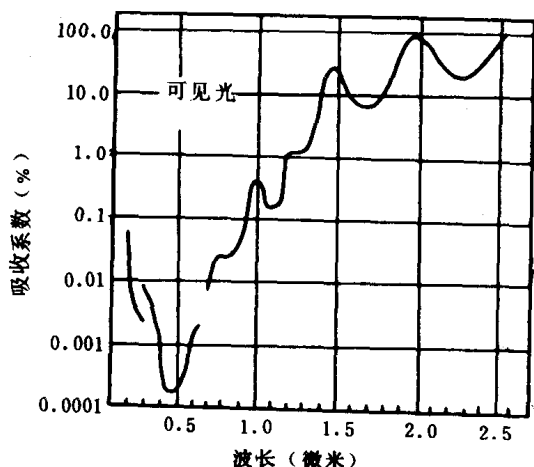


图6 纯水的吸收系数随波长(0.186—2.65微米)的变化

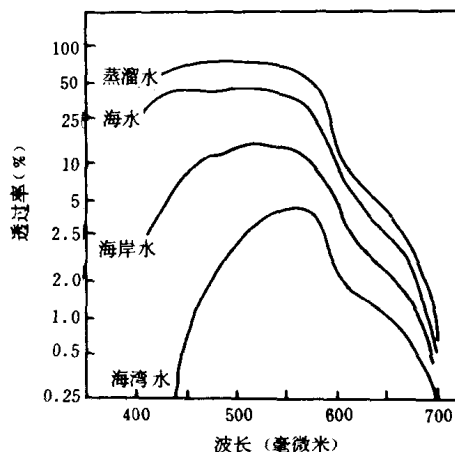


图7 海水的透过率(10米水深)随波长的变化

号海岸带水色扫描仪(CZCS)实验的基础上^(19,14), 1981年通过航天飞机进行了海洋叶绿素的遥感实验, 即所谓海洋水色实验(OCE)^(10,20), 实验中选择了8个对叶绿素敏感的窄波段, 它们是: 485.9, 518.4, 552.6, 584.5, 620.6, 655.1, 685.1, 786.6 毫微米, 其中1—7波段的带宽为23毫微米, 第8波段为52.4毫微米。

近年来, 随着环境污染的日益发展, 在污染监视中对遥感技术也提出了越来越多的要求。为有效探测起见, 近年来广泛开展了对污染物质光谱特性的研究。认为在波长短于0.54微米时, 海面的污染油膜要比水显得明亮, 这种差异在紫外区显得更为明显, 波长长于0.54微米时, 海水和油膜之间的反差减弱⁽²⁷⁾。康德拉捷夫⁽²²⁾等人在研究了油—水之间的反差值随波长的变化后得出: 油—水之间的亮度反差值(K)随波长的变短而逐渐增强, 在他们给出的光谱反差曲线(图8)上, 还反映了油—水反差系数在0.8—0.9微米的近红外区也有增强的趋势。不过这只是根据外推得出的结论, 实验效果还应进一步验证。

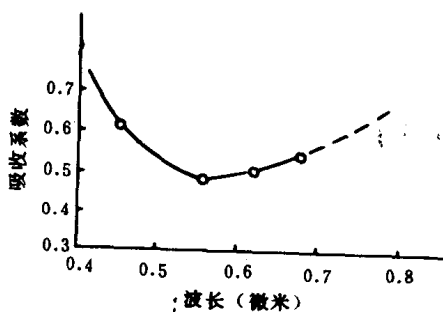


图8 污染油膜-海水的反差系数随波长的变化

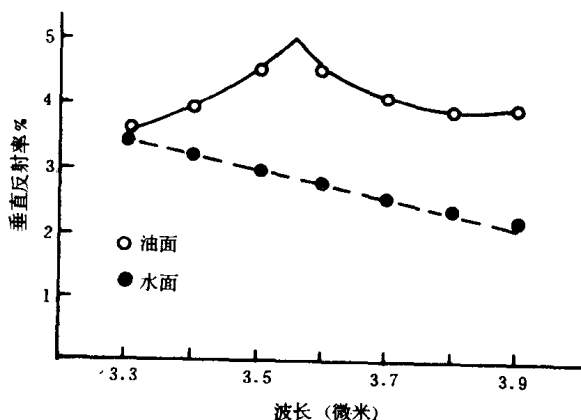


图9 垂直方向上油面和水面的红外反射率