



高等学校教材

地质遥感

河海大学 李冬田 编



前 言

遥感技术的应用,使整个地学科学发生了革命性的变化,并给所有涉及地学的学科带来深远的影响。它已成为人类认识和管理地球环境的强有力的手段。

30多年来,在地质工作中,遥感技术的应用越来越广泛、深入,已经形成了一门各种地质调查工作不可缺少的新学科——遥感地质学。同时,由于遥感信息的综合性,以及地学各学科之间的融合,使地质学与其它地学学科更密切地结合起来。

因此遥感技术应用课程已成为包括地质专业在内的各地学专业学生的一门重要课程。1990年12月高等学校水利水电类专业教学委员会决定编写《地质遥感》教材,按授课30学时的容量编写。1991年水文地质与工程地质专业教学指导小组讨论了该书的编写大纲。

本教材为水文地质与工程地质专业三、四年级《遥感地质学》课程的教学而编写。其内容围绕着水文地质、工程地质和环境地质工作中遥感技术的应用。本书的宗旨是在有限的教学时间内,有重点地使学生掌握在水文地质、工程地质、环境地质工作中遥感解译和应用的基本知识和方法。

本书共八章。第一至四章是遥感原理部分,其核心是使学生了解各类遥感图像形成的原理和图像特性。其中学生在前期课程中已学过的内容,本书中只作了纲要性的提示。与以往教材相比,本书主要是加强了雷达遥感部分,因为雷达遥感将在水文、工程、环境地质领域中有广泛的应用。第五章是图像处理的概念,这是遥感图像应用的基础之一。第六、七章分别为地质地貌解译和水文水环境解译,这是本书的重点。第八章遥感地学分析和地理信息系统,介绍了当前遥感地学应用的思路和方法。

遥感应用学科的实践性很强,教学中必须应用大量图像,特别是第五、六、七、八章的教学中,不用大量的图像是不可思议的。然而本书不可能录入大量图片。本书中一方面提示了《地球资源卫星像片图集》(地质出版社,1978年)中的大量图片(书中用“见卫星像片集××号”标注),以便读者可以借助这本发行较广的图集进行学习。另一方面,作者编制了与本书教学相适应的幻灯片集(包括两组立体幻灯片),以弥补本书图版不足的缺陷。

为帮助学生课外学习,本书每章后面,列出了几本主要参考书。

本书保持了遥感地学应用科学的系统性和教学的渐进性,以便于相关专业的科技人员和师生自学。

作者在编写过程中,得到了教学指导小组和华北水电学院王玲君老师的帮助。本书的图片部分选自地矿部遥感中心、铁道部专业设计院、江苏地矿局遥感站等单位编选的典型样片。王静玉同志承担了全书书稿誊清和插图描绘的工作。谨此向提供资料和帮助、支持本书编写的单位和个人表示衷心的感谢。

清华大学戚筱俊教授详细地审定了全书。他为此书付出了大量的精力和辛勤的劳动,作者借此致以敬意和由衷的谢忱。

本书虽经多次修改,但限于编者的水平和经验,仍会有不足之处,敬请批评指正。

编 者

1993年12月

目 录

前 言

第一章 遥感技术与遥感地质学	1
第一节 遥感技术的概念	1
第二节 遥感的物理基础与遥感技术的类型	6
第三节 遥感技术的应用与遥感地质学	15
第二章 摄影成像原理及投影特征	19
第一节 感光材料的基本知识	19
第二节 航空像片的投影特性	26
第三节 地面立体摄影的基本知识	32
第四节 全景摄影	37
第三章 扫描成像原理及图像的特性	39
第一节 机载扫描成像原理	39
第二节 星载扫描及其图像特性	42
第四章 侧视雷达成像原理及投影特性	50
第一节 侧视雷达成像原理	50
第二节 合成孔径侧视雷达原理	54
第三节 雷达图像测量的基本方法	57
第五章 遥感图像处理	60
第一节 遥感图像处理概述及图像的预处理	60
第二节 图像处理的基本方法	62
第六章 遥感图像的地质地貌解译	70
第一节 地质地貌解译的方法和原则	70
第二节 地质地貌解译标志	73
第三节 地貌解译	78
第四节 岩性解译与地层分析	81
第五节 地质构造解译	87
第六节 新构造解译	96
第七章 水文与水环境解译	103
第一节 水体解译	103
第二节 地表径流解译	108
第三节 地下水水文地质条件解译	109
第四节 蒸发与蒸腾解译	112

第五节 水污染解译	115
第八章 遥感地学分析与地理信息系统	118
第一节 遥感地学分析	118
第二节 地理信息系统	121
附录 图版 I ~ IV 及说明	130

第一章 遥感技术与遥感地质学

随着空间技术、技术物理和信息处理技术的迅速发展,60年代以来,遥感(remote sensing)技术迅猛地发展起来。由于应用遥感技术可以有效地获取资源、环境和各种人类活动(包括经济和军事活动)的信息,它已经成为各发达国家和疆域较大的发展中国家竞相发展的重要高科技技术。随着信息技术对国民经济和社会发展的作用越来越突出,随着资源和环境问题的日益尖锐,遥感技术的重要性也越来越突出。

遥感对于地学各学科有着不可估量的作用。它是一种强有力的获取资料和分析资料的手段,使各地学学科迅速发展,使人们有可能从全球整体和大区域整体来研究人们赖以生存的环境和资源,也使各地学学科相互联结得更加紧密,使地学进入了一个新的发展时期。

遥感技术在地质工作中的广泛运用,形成了一门新的学科——遥感地质学,成为地质工作中必不可少的高新技术手段。

第一节 遥感技术的概念

一、遥感与遥感技术系统

遥感技术是一种综合性探测技术。它通过遥感平台上装置的传感器,远距离接收目标反射或发射的各种不同波段的电磁波信息,经过对这些信息的处理和解译,达到对目标探测和识别的目的。

遥感平台(platform)即装载传感器的运载工具,如飞机、气球、火箭、卫星和地面遥感车等。根据遥感平台的性质,遥感技术可分为航空遥感,航天遥感和地面遥感。

传感器(sensor)即摄影机、扫描仪、雷达等接收电磁波信息的仪器。

目前遥感技术常用的电磁波波段包括可见光、红外线、微波等。传感器所接收的电磁波。有的是目标对太阳辐射(或其它自然辐射源辐射)的反射;有的是目标自身发射的红外线和微波;还有的是目标对人工辐射源辐射的反射。探测目标反射太阳辐射的电磁波或目标自身发射的电磁波的遥感技术,如摄影、摄像、红外扫描等,称被动遥感(passive remote sensing)。探测反射人工辐射电磁波的遥感技术,如机载侧视雷达,称主动遥感(active remote sensing)。

传感器所接收的大量的地面辐射信息,必须传输到地面,并进行处理。经过处理的资料,可提供给各应用部门(用户)进行分析和解译,以研究各种地面目标和现象。

以上说明,遥感技术是一门综合性技术。它是由航空航天技术,传感器技术,信息传输,接收、记录、存贮技术,信息处理技术和分析解译技术等高新技术有机地组合起来的一个技术系统(如图1-1)。

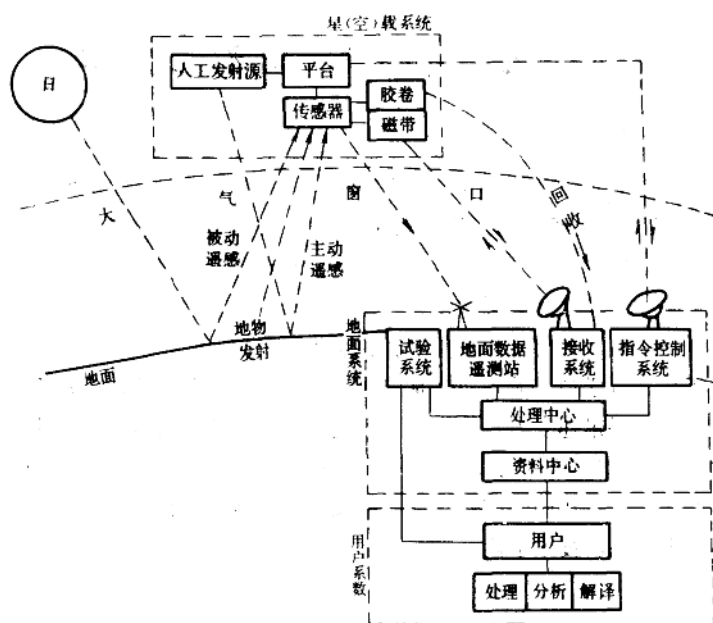


图 1-1 遥感技术系统示意图

遥感技术系统概括起来包含以下三个组成部分。

(1) 遥感信息收集系统。包括运载工具、传感器和信息传输系统，也称为星载系统或空载系统。

运载工具技术对遥感技术的发展起着决定性的作用，它是遥感技术赖以发展的前提，目前遥感所使用的运载工具主要是飞机和卫星。

传感器技术是遥感技术系统的核心。其主要功能是接收目标的电磁波信息，通常以摄影或扫描的方式把信息记录在胶卷上，或者通过光电、热电等转换和视频转换将其记录在磁带上。对于不同波段的电磁波，需用的传感器也不同。目前主要应用的传感器有摄影仪、多波段摄影仪、摄像仪、多波段扫描仪、近红外扫描仪、热红外扫描仪和侧视雷达等。另外还有非成像的各种辐射计，光度计和光谱仪等。

(2) 遥感信息的接收和预处理系统。该系统也称遥感的地面系统，其主要内容如下。

1) 接收来自星载或空载系统的信息：包括回收胶卷、磁带或通过天线接收来自星载系统的视频信号，并由记录系统记录。

2) 遥感信息预处理：对于回收的胶卷，处理和编录都比较简单。所谓遥感信息预处理主要是指接收站接收的视频信号在提供用户使用之前所必须进行的处理。其主要内容包括信号放大、变换，辐射校正和几何校正等。为了进行各种校正，需进行各种地面试验，并设立遥测站。

3) 遥感资料的存贮系统。

(3) 遥感资料分析解译系统。各应用部门根据自己不同的要求,对经过预处理资料进行分析研究和专业解译。这是众多的应用单位各自进行的工作。

综上所述,遥感技术系统是一个布置在从地面到高空的综合性的探测技术系统。因此,遥感科学是一门综合性很强的学科。它一方面以技术物理、数学、计算机、航空、航天等学科为基础;另一方面以地学各学科的发展为基础。

二、遥感平台及其相应的遥感方式

遥感平台的性质,对遥感技术系统的性质和结构,以及对遥感图像的性质和用途都起着决定性的作用。

(一) 地面平台与地面遥感

装载传感器的平台是设在地面的支架或地面遥感车。这类遥感技术称为地面遥感,主要是地面摄影。某些试验场的专门试验也用地面遥感方式进行。地面立体摄影曾经在二三十年代航空事业不太发达的时代是一种重要的遥感方式,它主要用于摄制地形图等。当代地面立体摄影(包括“近景摄影”)仍然是测制河谷大比例尺地形图的不可缺少的手段,并在边坡工程地质研究、地下开挖、以及文物、考古、建筑、侦察等许多需要进行三维研究的工作中有很大的发展前景。

(二) 航空平台与航空遥感

以飞机为主要平台的航空遥感,是当前大、中比例尺遥感的主要手段。原则上任何飞机都可用作遥感,但从具体的遥感作业的内容、要求和作业区的地形、气象条件出发,飞机必须能保持一定的高度;飞行稳定性应相当高;飞机的振动和长周期颤动应尽可能小;续航时间应较长。

航空遥感中应用最广泛的是航空摄影。另外还有航空多光谱扫描,航空热红外扫描和机载侧视雷达等。

航空摄影中最常用的摄影方式是区域航空摄影。这是一种连续的垂直摄影(如图 1-2(b))。它要求摄影仪工作时主光轴要垂直于地面,倾斜不大于 2° ;要求像片的航向重叠 $60\% \sim 65\%$,最低不低于 53% ;旁向重叠 $30\% \sim 35\%$,最低不低于 15% 。航向重叠的目的是为了能进行主体观察和立体量测。

为了某种特殊的目的,有时也用带区航空摄影和倾斜航空摄影等其它方式。

(三) 航天平台与卫星遥感

航天平台包括卫星、火箭、航天飞机等,但主要是卫星。人造卫星的发射,使遥感技术进入了一个崭新的阶段。人造卫星有多种类型,如通讯卫星、测地卫星、科学实验卫星等等,但绝大多数的卫星属于遥感卫星,其目的是探测、收集或监测地面的信息。

遥感卫星通常可分为以下三种类型。

(1) 侦察卫星。它为军事侦察服务,要求其图像对被侦察的地区有尽可能高的分辨力。因此,它飞行高度低,多数离地表 100 多 km ,近地点设计在被侦察区,并使用高分辨率的传感器。它不需要全球覆盖,运用寿命也很短(几天至几星期)。由于这种卫星飞行的姿态一般不严格控制,图像的几何歪曲有时较大。

(2) 气象卫星。以拍摄云图为主要目的。它要求覆盖面积宽阔,而对地面不要求很高

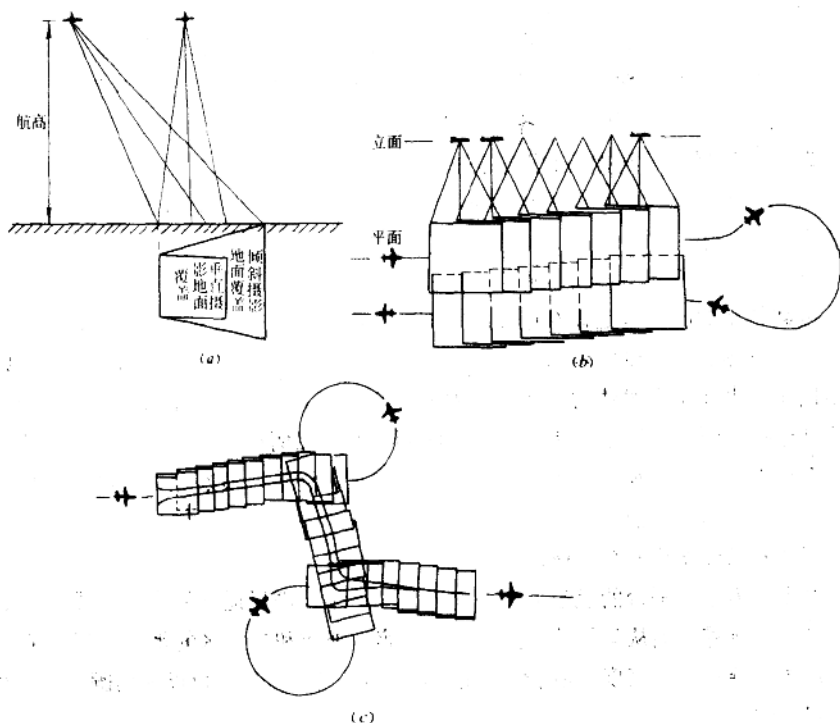


图 1-2 航空摄影的方式

(a) 垂直摄影与倾斜摄影；(b) 区域航空摄影；(c) 带区航空摄影

的分辨率。所以，气象卫星的飞行高度相当高（一般离地表 1500km），它的覆盖面积大并能进行长期的定期重复观测。

(3) 资源卫星。其目的是探测地球资源与环境，为地质、农业、林业、水利等多种目的的服务。它要求较高的地面分辨率，并且要求全球覆盖，要求有较长的寿命。因此，它的轨道应符合下列要求。

- 1) 不能太高也不能太低，一般为离地表 700~1000km 的近圆形(quasi-circular)轨道。
- 2) 为覆盖全球，轨道倾角应尽可能接近 90° ，称近极地(near polar)轨道。
- 3) 轨道必须是与太阳同步的(Sun-synchronous)，即使卫星的轨道面与太阳的入射方向永远保持一个适宜的角度（一般为 $30^\circ \sim 40^\circ$ ）（如图 1-3）。
- 4) 轨道的进动应该保证相邻轨道的图像能拼接。

除了对轨道的上述要求外，对卫星飞行的姿态则要求有高效能的控制系统，使传感器的三个轴线与地面保持适宜的关系。

地质工作主要是应用资源卫星的图像，但因为气象卫星接收的信息有很高的重复性，侦察卫星图像有很高的分辨力，有时也应用气象卫星和侦察卫星图像。

由于卫星沿相当高的轨道连续飞行, 卫星遥感具有以下特点。

(1) 视野宽广。一幅资源卫星图像往往覆盖了数千或数万平方公里, 因此可以得到地面宏观的信息, 而且它不受地形和国界的限制, 提供了全球性(或大区域)观察的手段。

(2) 定时定期重复观测。卫星沿轨道飞行, 一定时期后将再次飞临目标上空, 进行重复遥感。资源卫星重复的周期为十几天至三十几天。这种重复观测的特点, 一方面便于对目标和环境进行动态的观察; 另一方面使地表每个地点, 每一时期都具有遥感图像的记录。这对于地表环境研究, 特别是对水环境、农业环境和林业环境等方面的研究, 具有重要的意义。

20 多年来, 资源卫星遥感的方式, 发展得很快, 越来越趋于多样化。70 年代第一代资源卫星以 LANDSAT-1、LANDSAT-2、LANDSAT-3 为代表(LANDSAT-1 发射于 1972 年 7 月)。卫星飞行的轨道固定, 姿态也是固定的; 传感器的光轴永远近似垂直于地面; 应用的遥感波段主要是可见光和近红外。80 年代第二代资源卫星以 SPOT (SPOT-1 发射于 1986 年 2 月) 和装载 TM (专题制图仪) 的 LANDSAT-4、LANDSAT-5 (LANDSAT-4 发射于 1982 年 7 月, LANDSAT-5 发射于 1984 年 3 月) 为代表。SPOT 卫星的姿态控制, 可以使它在相邻轨道上作 27° 的侧倾, 从而可以进行立体制图, 同时也减少了天气对遥感资料获取的影响。LANDSAT-4 在热红外和近红外遥感波段的应用上也有了显著的发展。90 年代的第三代资源卫星中出现了 ERS、JERS 和 LANDSAT-6。ERS-1 发射于 1991 年 7 月, 其轨道是可变的, 具有 4 种可供选择的轨道, 以适应不同遥感作业的需要, 也具有姿态侧倾的功能。ERS 和 JERS 都以 SAR (综合孔径雷达) 为主要传感器。

纵观卫星遥感, 到目前为止全世界已发射应用卫星共 4000 多个。各类遥感卫星根据不同观察对象的需求, 携带各类传感器的工作波段覆盖了可见光、红外和微波; 卫星的轨道和姿态趋于多样化; 信息传递方式有回收(胶卷)式, 扫描实时传输式, 星上记录回放式和中继卫星传递方式等多种方式同时并存; 随着传感器分辨力的不断提高、光谱段的增加, 遥感信息量成百倍地增加; 数据的处理、分析技术也不断产生突破性的进展; 卫星遥感技术日益向动态、定量、模型化和智能化方向发展。卫星遥感技术的应用在将全球作为一个整体研究方面, 在对一个地区环境进行整体综合研究方面, 以及在各个地学领域的研究方面均日益显示出明显的功效。

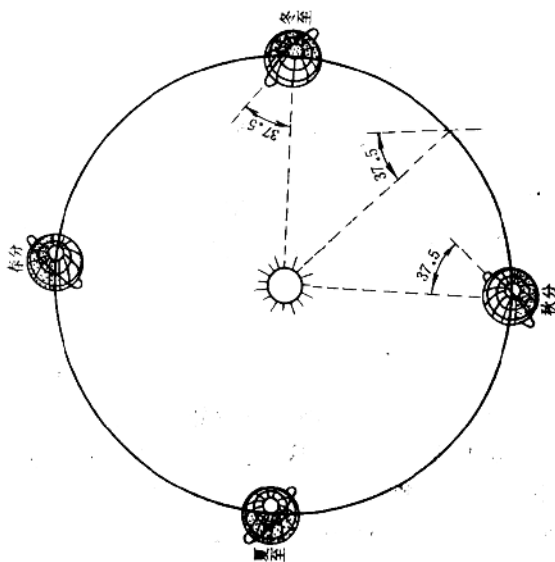


图 1-3 卫星轨道与太阳同步示意图
(地球公转一周, 卫星轨道面转动 360°)

第二节 遥感的物理基础与遥感技术的类型

一、大气窗口及遥感应用的波段

电磁波通过大气层传输。由于大气对电磁波选择性的吸收和散射，使大气对不同波段的电磁波有不同的透射率。在遥感科学中把大气透射率较高的波段称为大气窗口。只有在大气窗口的波段上，传感器才能接收到足够的穿透大气的电磁波信息，才能有效地进行遥感。

(一) 大气吸收电磁波的特性

地球大气层的厚度很大。一般说来，在地表以上 80km 的范围内大气成分是均匀混合的，80km 以上大气就非常稀薄而处于电离状态。遥感研究大气透射特性，主要是 80km 以下均匀层的透射特性。在这一层中，氮、氧、氩三种气体的含量占了大气总体积的 99.96%，其中除了 O_2 在紫外波段有些吸收外，都不吸收电磁波。吸收电磁波的气体总共不到 0.1%，它们主要有以下几种[图 1-4(a)]。

1. 水汽

水汽对红外的许多波段能强烈吸收，对红光的一部分也能吸收。大气中水汽的含量在不同地点，不同时间变化是很大的。这是造成地表太阳辐射不稳定的主要因素。大气中水汽的含量随高度增加而迅速减少，在高度 13km 以上，水汽可忽略不计。

2. 二氧化碳

CO_2 主要在高度 20km 以下，其含量基本上是稳定的(0.03%)，人烟稠密的工业区稍高。它能强烈吸收中、远红外，还能发射热红外。

3. 臭氧

O_3 在低层大气中很少，在 5~10km 以上才逐渐增加，含量最大值在 20~25km 高空。它能强烈地吸收紫外线，对可见光和红外的某些波段也能吸收。 O_3 在大气中的含量是不稳定的。

4. 其它气体

如甲烷(CH_4)、一氧化二氮(N_2O)、一氧化碳(CO)等对红外线也是有选择性地吸收，但因其含量甚微，对遥感的影响不大。

5. 气溶胶

大气中悬浮的液体和固体微粒与其周围的气体介质一起称为气溶胶，如雾、尘、烟等。它们对各种电磁波都有某些吸收，但其主要影响是散射。

(二) 大气散射作用

电磁波穿过大气层时遇到各种微粒，如气体分子，尘、烟、雾、霾等等。这些微粒会使电磁波发生衍射，从而改变电磁波的传播方向，称为大气散射。大气散射作用对可见光波段影响较大，它减弱了电磁波的能量，影响了大气的能见度。

大气散射作用一般说来有分子散射和气溶胶散射两种情况。

1. 分子散射

大气分子散射也称为瑞利散射(Rayleigh scattering)。大气中的氮、氧、水汽等各种气体分子都能使太阳辐射产生这种散射。其散射能力 $\gamma(\lambda)$ 与电磁波波长的四次方成反比即 $\gamma(\lambda) \propto \lambda^{-4}$ 。电磁波的波长愈短,受散射愈强烈〔图1-4(b)〕。这种散射与波长有关,称选择性散射。对太阳辐射来说,紫外和紫、蓝光受散射最强。因为这种散射,高空遥感就无法利用紫外波段,就是蓝光波段的遥感图像也是模糊的。

2. 气溶胶散射

气溶胶散射的性质与气溶胶颗粒直径的大小有关。当颗粒直径明显小于波长时,与瑞利散射性质相同,即 $\gamma(\lambda) \propto \lambda^{-4}$ 。当颗粒直径与波长相当时,散射量与波长的二次方成反比,即 $\gamma(\lambda) \propto \lambda^{-2}$ 。当颗粒直径大于 2λ 时,散射与波长无关,称为非选择性散射,也称米氏散射(Mie scattering)。米氏散射的散射光呈白色,其强度与空气中粗颗粒的密度有关。米氏散射的结果是使能见度降低而产生雾蒙现象。

(三) 遥感的主要大气窗口

由于大气的吸收和散射,遥感的主要大气窗口如表1-1所示。

(1) 0.3~1.3 μm 。包括全部可见光波段、部分近红外和近紫外波段,是目前遥感应用最多的窗口,其透射率大于90%,仅次于微波窗口。这个窗口与摄影波段相适应,可以用摄影方法收集和记录电磁波信息,也可用多光谱扫描仪和摄像机等传感器。

表 1-1 主要大气窗口

大气窗口	地物辐射性质	应用条件	主要传感器	图像类型
0.3~1.3 μm	反射日辐射	晴朗白天	摄影机 摄像机 多波段扫描仪	紫外像片, 全色黑白像片, 天然彩色像片, 红外黑白图像与像片, 红外假彩色像片, 多波段图像与像片
1.5~1.7 μm 2.0~2.4 μm			多波段或近红外扫描仪	近红外扫描图像
3.5~4.2 μm 4.5~5 μm	反射与发射混合	晴朗白天或夜晚(全天候)	中红外扫描仪	中红外扫描图像
8~14 μm	热发射		热红外扫描仪	热红外扫描图像
1mm~1m	发射或反射人工辐射	不受天气和时间限制(全天候)	微波扫描仪 侧视雷达	微波扫描图像 雷达图像

(2) 1.5~2.4 μm 。位于近红外中段,由两个小窗口组成:1.5~1.7 μm 和2.0~2.4 μm 。

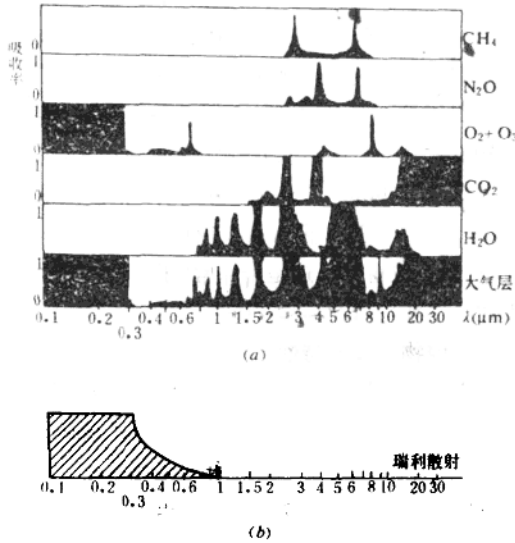


图 1-4 大气选择性吸收和散射
(a) 大气吸收光谱; (b) 瑞利散射

这两个小窗口的透射率都达 80%。这个窗口不能用摄影方法, 主要用扫描仪进行遥感。该窗口对区分蚀变岩石有较好的效果, 是遥感地质中有开发价值的一个窗口。

(3) $3.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 。位于中红外波段, 由两部分组成: $3.5 \sim 4.2 \mu\text{m}$ 和 $4.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 。前一个窗口透射率可达 90%; 后一个窗口仅 50%~60%。可用扫描仪进行遥感, 但目前应用很少。由于这个窗口得到的电磁波信息既有地物发射的, 又有地物反射的日辐射, 所以获取地物发射信息(如火山、森林火灾等)的遥感应 在黎明前进行。

(4) $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 。位于远红外波段, 是获取地物热发射信息的主要窗口, 其透射率较低, 约 60%~70%。这个窗口目前应用较广泛, 主要用扫描仪工作。

(5) 微波窗口。这是个非常“干净”的窗口, 大部分波段透射率可达 100%, 是全天候的雷达遥感波段。 $1.4 \sim 30 \text{cm}$

二、地物的波谱特性

地物(ground object)对不同的电磁波波段具有不同的反射(reflection)和发射(emission)的特性, 称之为地物的波谱特性(spectral characteristic)。

(一) 地物的反射率与反射光谱特性

在可见光和近红外波段, 地物辐射的电磁波几乎全部是对日辐射的反射。到达地表的日辐射中, 可见光和近红外波段的辐射能占其总能量的 90%以上。这个波段是太阳向地表辐射能量的主要波段。地物受太阳照射后发生反射。绝大部分地物本身是不发射可见光和近红外电磁波的。因此, 这个波段遥感研究的对象是地物对可见光和近红外日辐射的反射。

1. 反射率和亮度系数

反射率是指某物体反射能量与入射能量之比, 它反映了该物体反射电磁波的能力。在可见光和近红外波段, 由于绝大多数遥感目标的反射是漫反射, 在实际工作中, 通常把亮度系数(γ)看作反射率(ρ)。

亮度系数

$$\gamma = \frac{B}{B_0}$$

B 为物体表面法向亮度; B_0 为纯白物体在相同照射条件下的法向亮度。一般以新制备的氧化镁标准试样或新的硫酸钡纸制成的“标准板”当作“纯白物体”, 其亮度系数在可见光波段约 0.98。

亮度 B 的单位也是能量单位, 所以

$$\frac{B}{B_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$$

因为标准板的 $\rho_0 \approx 1$, 所以 $\gamma \approx \rho$ 。

2. 光谱亮度系数与反射光谱特性曲线

地物的亮度系数和反射率与入射电磁波的波长有关。地物在特定波长(波段)的亮度系数, 称为光谱亮度系数(γ_λ)。同一地物的光谱亮度系数或光谱反射率随入射电磁波波长的改变而改变。地物的这种特性称为反射光谱特性。地物的反射光谱特性通常以反射光谱特性曲线来表示。曲线的横坐标是波长, 纵坐标是光谱反射率或光谱亮度系数。这种曲线直观

地反映了地物在不同波长的光谱反射率(或光谱亮度系数)的大小及其变化,充分反映了地物反射电磁波的特性。

图 1-5(a) 表示了几种常见地物的反射光谱特征曲线。从图中可以看到,不同地物的反射光谱特征曲线有很大的差异。这种差异正是现代遥感技术应用多波段遥感技术识别不同地物的重要依据。

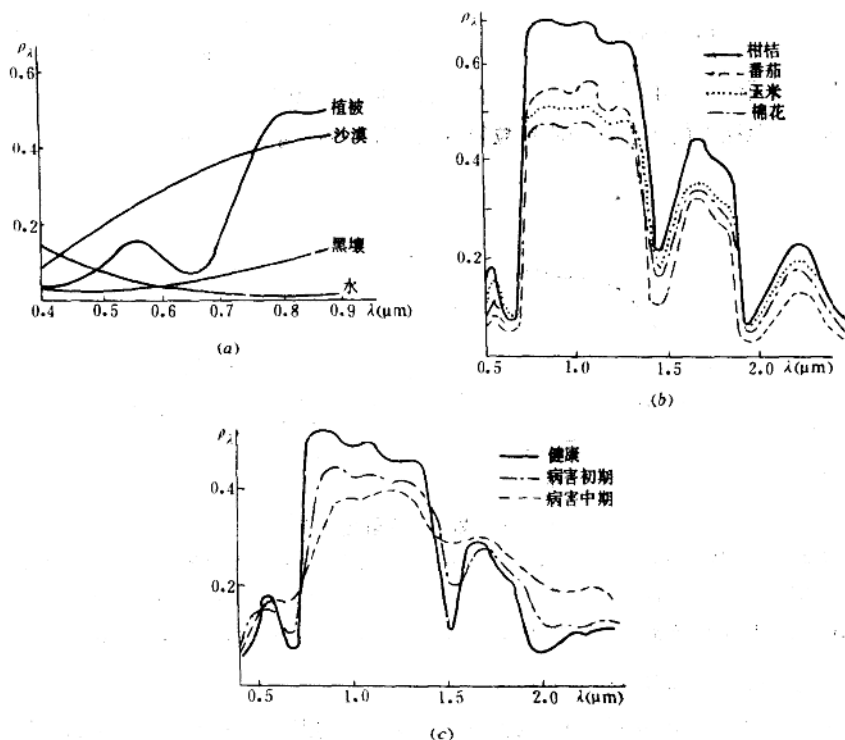


图 1-5 常见地物的反射光谱特性曲线

(a) 几种常见地物的光谱特性; (b) 不同植被的光谱特性; (c) 不同长势的植被光谱特性

植物在可见光波段是弱反射的, 仅在绿光波段反射强些, 这与叶绿素的吸收和反射作用有关。在近红外波段绿叶植物都强反射, 并有两个因水的强吸收而形成的吸收谷。在 0.7~1.3 μm 波段, 不同植物反射率的差异较大, 是识别不同植物和鉴别植物生长情况的重要波段 [图 1-5(b)、(c)]。

纯净水体在可见光—近红外波段的光谱反射率随波长增长而明显地降低。但当水体混浊, 被污染时, 光谱特性曲线明显地变化(图 1-6)。

土壤的反射光谱特性与土壤的类型、表面的粗糙度、含水量和太阳照射角等有关。一般在可见光(包括近红外)波段内, 土壤的反射率随波长增长而增高。在可见光波段内大多

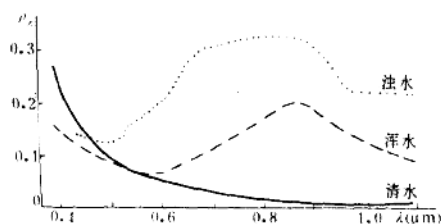


图 1-6 水体反射光谱特性

数土壤反射率比植被高，而在近红外波段内则多数土壤的反射率低于绿叶植被。

岩石的反射光谱特性与岩石的类型、化学成分、表面特性(粗糙度、风化、覆盖等)和太阳照射角等有关。从化学成分来看，新鲜岩石的反射光谱受 SiO_2 、铁离子和氢氧根含量的影响较大。 SiO_2 含量较高的、含浅色矿物较多的岩石反射率相对较高。含暗色矿物较多的岩石反射率较低。在风化表面，由于 Fe_2O_3 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的影响，使不同岩石在红、黄光波段反射率有较大的差异。另外由于岩石的结构对风化和表面粗糙度的影响，一般粗粒岩石比细粒岩石反射率低(图 1-7)。

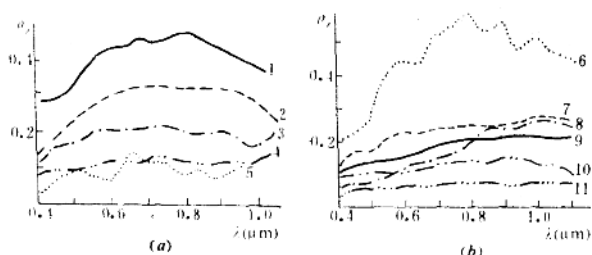


图 1-7 若干岩石的反射光谱特性

(a) 华北几种岩浆岩的反射光谱(据北京地质研究所); (b) 内蒙几种沉积岩反射光谱(据陈华慧等, 1984)

1—花岗岩; 2—正长斑岩; 3—闪长岩; 4—一次闪石化辉长岩; 5—蛇纹石化橄榄岩; 6—浅黄色细砂岩;
7—浅黄色粗砂岩; 8—黄褐色砂岩; 9—灰绿色凝灰质含砾砂岩; 10—碳质页岩; 11—灰黑色粉砂质板岩

(二) 地物的红外辐射与红外发射率

地物的热辐射与它的温度有关，地表各种地物的平均温度约为 300K。这种温度的黑体，其热辐射的峰值波长为 $9.6\mu\text{m}$ 。所以地表大多数地物的峰值波长大体上正好与 $8\sim 14\mu\text{m}$ 大气窗口相适应，即该窗口正好被用来最有效地探测地表各地物的热红外辐射。

地物的热红外辐射有以下特点：

1. 地物表面温度的昼夜变化与热惯量

地物热发射的能量与温度(绝对温度 K)的 4 次方成正比，温度对其辐射能大小的影响很大。决定地表地物温度的热能主要由太阳辐射能转换而来。地表接受的太阳辐射有昼夜变化，所以地物表面的温度也有昼夜变化，地物的热辐射也有着昼夜的变化(见图 1-8)。不同的地物，由于其热学性质的不同，其昼夜温度变化也不同。描述地物昼夜温度变化的热反应的参数是热惯量(P)，也称为热接触系数，它随物体的热传导率(k)、密度(ρ)和热容量(c)的增大而增大。

$$P = \sqrt{k\rho c}$$

热惯量越高,地物表层昼夜日温差越小;热惯量越低,昼夜日温差越大。

水体是地表所有地物中热惯量最高的地物,所以一般水体在白天温度最低,而夜里温度最高;土壤含水量越高,热惯量也越高。

2. 红外发射率与辐射温度

地物的红外发射率,即地物在热红外波段内发射强度与同温度黑体发射强度之比。表 1-2 中列举了若干样品的红外发射率。由表中可见,不同岩石的红外发射率不同。同一种岩石,其表面粗糙度增大,发射率也增大。发射率受地物表面特性的影响很大。

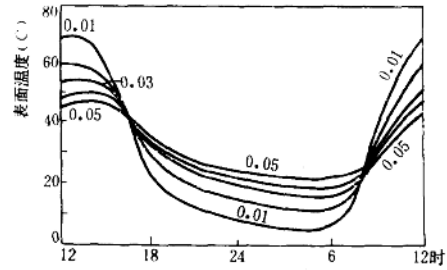


图 1-8 地物热辐射的昼夜变化
(曲线旁标注的数字表示热惯量)

表 1-2 8~12μm 波段若干典型样品的红外发射率

样 品	发 射 率
花岗岩	0.815
花岗岩(粗糙面)	0.898
玄武岩(粗糙面)	0.934
安山岩(磨光面)*	0.77
石英砂岩(磨光面)	0.909
石英砂(粗 粒)	0.914
白云岩(磨光面)	0.929
白云岩(粗糙面)	0.958
纯净水体	0.993
漂油膜的水体	0.972

注 据 K. J. K. Buettner, C. D. Kern(转引自 F. F. Sabins)简化。

* 据长谷和(8~13μm)。

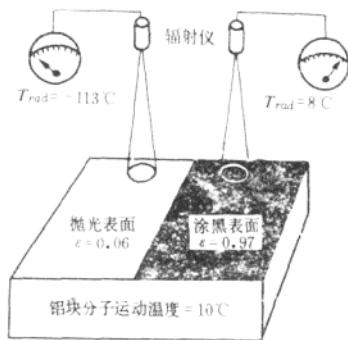


图 1-9 辐射温度受发射率变化的试验
(据 F. F. Sabins)

大多数热红外遥感系统所接收、记录的是地面目标的辐射温度,而不是目标本身的温度。辐射温度取决于物体的表面温度(不是内部温度)和发射率。

$$T_{rad} = \epsilon_{\lambda}^{1/4} \cdot T_{kin}$$

式中: T_{rad} 为辐射温度,即红外辐射仪测得的温度; T_{kin} 为物体表面温度,即物体表面实际的温度; ϵ_{λ} 为发射率。

同一物体即使表面温度一致,但由于表面粗糙度或染色的不同(发射率不同),则不同部分的辐射温度就不同。图 1-9 表示了一个例子,该铝块的不同部分由于 ϵ_{λ} 不同,其辐射温度竟相差 121°C。因此,在研究地质体的热辐射时,既要注意它的表面温度,又必须研究它的表面特性和发射率。

3. 热红外信息的综合性

遥感器所接收到的热红外信息不单纯是某一地物的辐射温度信息,而是该地点地表各

种热作用的综合的信息。

地表不断地发生着各种热作用过程。它主要包括(见图 1-10):

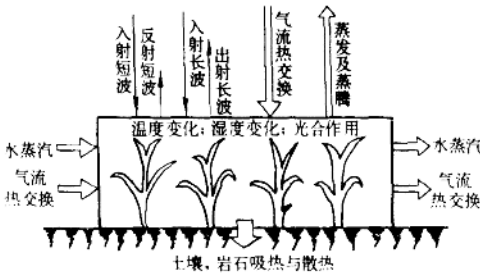


图 1-10 地表小单元的热均衡

(1) 岩石、土壤和植被吸收太阳短波辐射后, 将短波辐射能转换为热能。这个过程首先与地物在可见光与近红外波段的吸收率有关。另外, 这个过程是增温过程, 增温后的结果还与前期地物的温度有关。

(2) 蒸发和蒸腾作用消耗热能。这个过程是降温过程, 水在此过程中起着重要的作用。

(3) 近地表空气流动使热能转移。这种空气流动包括水平方向的风的影响(见图 1-11)和垂直方向的热对流。低层空气中的温度分

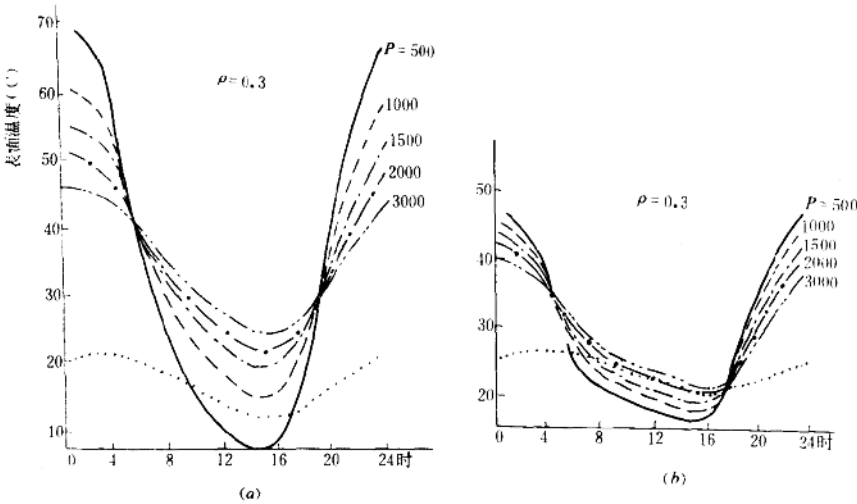


图 1-11 风对日变温曲线的影响(据 Б. В. Шмидт)

(a) 无风无云; (b) 有风 (4.1m/s) 无云

布, 如气温倒置等, 对不同高度地物的辐射温度有较大的影响。

(4) 岩石、土壤和建筑物的热传导和地热流等。

所有这些热作用都是动态的。热红外遥感从每一个小单元的地表接收到的信息是一个单一的辐射温度信息, 这种信息反映了地表这个小单元中各种热作用的综合的效应。

(三) 微波波谱及微波的若干特性

1. 微波波谱与微波大气窗口

微波是介于无线电短波和超远红外之间的电磁波, 一般认为其波长为 1mm~1m(也有人把它的长波限扩展至 3m, 有的则将其缩小到 30cm)。根据其能量和物理特征的差别常给不同波段以下列名称(表 1-3)。

表 1-3

微波波段的名称

波段名称	频率(GHz)	波长(cm)	附 注
Ka	40~26.5	0.75~1.13	0.86cm*
K	26.5~18	1.13~1.67	
Ku	18~12.5	1.67~2.4	1.8cm*
X	12.5~8	2.4~3.75	3 或 3.2cm*
C	8~4	3.75~7.5	有的资料将此段分为 G、C 两段
S	4~2	7.5~15	有的资料在 S、L 波间划出一段 LS 波
L	2~1	15~30	25cm*
P	1~0.3	30~100	有的资料称此段为 UHF, 把 $\lambda=77\sim133\text{cm}$ 波段称 P 波

注 所列范围只是大约数字。

* 为常选用的工作波长。

大气对微波几乎没有散射, 只在很少的波段有吸收作用, 主要因氧和水分子造成。这些吸收带主要在毫米波波段。在这些吸收带之间 1.4mm、3.3mm、8mm 等都是透射率近 99% 的微波窗口。在波长大于 3cm 的波段内大气影响极小, 是非常干净的、很宽阔的大气窗口。

2. 微波的反射与极化

微波的反射与目标的电学性质有关。金属导体的反射率几乎为 100%。岩石、土壤等非导体的反射率随介电常数的增大而增大。影响岩土介电常数的主要因素是含水量。岩土的介电常数通常随含水量的增加而线性增大。因此, 含水量常成为影响微波强度的重要因素。

在应用侧视雷达进行的主动微波遥感中, 镜面反射的微波能否返回雷达, 取决于地物表面的坡角和方位。雷达主要接收的是地物漫反射的回波。地物漫反射的强度与表面粗糙度有关。当表面垂直起伏 h 与微波波长 λ 之比 $h/\lambda < 1/25\sin\gamma$ 时为镜面反射; 当 $h/\lambda > 1/4.4\sin\gamma$ 时为粗糙表面有较强的漫反射; $1/25\sin\gamma < h/\lambda < 1/4.4\sin\gamma$ 时有较弱的漫反射。因此对同一地物, 用不同波段的微波脉冲进行探测时, 可能得到不同强度的漫反射。

在主动微波遥感中, 人工发射的微波脉冲是极化的, 即脉冲的电场矢量在一个平面内振荡。电场矢量与地面平行的称水平极化; 与地面垂直的称垂直极化。大部分地物的反射不改变发射脉冲的极化方向, 称同极化。植被和某些岩石的回波是非极化的, 即其反射的回波改变了入射脉冲极化的性质, 称去极化作用。若用另一天线接收与发射波极化方向垂直的回波, 就很容易从雷达图像上检出去极化作用的地物。这种微波遥感方式称 HV (水平发射, 垂直接收) 或 VH (垂直发射, 水平接收)。

3. 微波的穿透能力

微波能不同程度地穿透许多可见光透不过的物体, 云层、植被、土壤、油、水和许多非金属材料等。因此, 在军事上有很大的意义, 对地质勘测也有很大的意义。

电磁波进入有吸收作用的介质后, 强度(振幅)要衰减。在物理学中把电磁波振幅减少了 $1/e$ 倍(约 37%)时穿透的深度称为趋肤深度。在遥感中, 把趋肤深度称为电磁波的穿透深度。在这个深度之内, 如果有强反射体, 雷达可以接收到它的反射信息。穿透深度与地表物质的电导率成反比, 而随介电常数的增大而增大。土壤的含水量越小, 电磁波的穿透