

5086

7/7747

680267

遥感与影象判读

[美] 托马斯 M 尼勒桑德 合著
雷 福 W 基 富

曹垣平 译



西北林学院林学系

一九八二年十月

遥感与影像判读

[美] 托马斯M尼勒桑德 合著
雷 福 W 基 富

曹垣平 译

西北林学院林学系

前 言

写作本书主要是用于遥感的基础课程。工程师、土壤科学者、林学者、地质科学者、地理学者、海洋学者、土地规划者、气象学者、水资源管理者、生物学者——任何一个涉及地球资源的测量、研究和管理的科学工作者——把本书作为教科书和参考书都是有价值的。本书集中讨论了遥感系统，并说明它们在数据搜集应用各个领域中的功用。

本书对遥感问题提出了广泛的，但不是肤浅的介绍。没有哪本书概括了遥感理论和实践的一切方面。在这个问题上，大多数教科书都是，或者狭隘地论述某种特定的传感器或应用，或者写成多种著作的汇编。本书是一本二人合著，目的在于综合处理遥感问题，使学生在了解和应用遥感技术的适当方面具备基础。

我们力求做到明确、简单、全面和真实。我们编写本书没有按照“黑箱”^①途径，因为我们此书是供高年级学生研究地球资源管理的，不是为电子学者或理论数学家用的。我们叙述了所有航空摄影判读和摄影测量的“传统”原理，但我们也介绍了非摄影传感器影象的判读概念——目视方法和通过数字影象处理技术的应用方法两者的概念。

介绍遥感基础的物理原理以后，本书前半部分集中讨论摄影的遥感技术。我们先讨论摄影方面的器具（摄影机、软片，等等），然后对航空象片判读程序作一般的介绍。这种介绍包概特殊制图任务方面航空象片判读的实例应用，例如，土地使用和土地复盖制图与地质和土壤制图。一般地说，我们还讨论了航空象片判读对农业、林业、水资源、城市与地区规划、野生生态学、考古学与环境影响探测等方面的应用。用一正章篇幅讨论了通过航空象片判读对地面情况的分析鉴定。

我们在摄影测量讨论中涉及用航空象片进行测量的各个方面，这包括叙述用航空象片进行测量和研究用立体仪器完成地形测图的方法。与计划摄影任务的方法一道，我们还讨论了正射摄影的制作与特征。

我们对摄影遥感方法的论述，以航空象片辐射量特性的讨论结束。这包括用辐射测量方法来校正航空摄影与进行影象密度测量的详细方法。

本书第二部分论述用非摄影传感器搜集数据的取得与判读原理。我们叙述了热扫描器、多光谱扫描器和雷达系统。正如我们对摄影技术的讨论一样，我们插图说明由这些系统产生的影象在各个应用领域中的判读方法。说明了数字影象处理的一般领域，特别着重光谱图象识别原理和影象增强。

本书材料丰富，可用许多不同方式安排于许多不同课程中。这些材料包括遥感、象片判读与摄影测量方面的课程。有些课程可以省略某些章节，而用本书作为一个学期或一个季度的课程，也可用本书作为连续的两门课程。我们在编写本书时曾尽量使其具有这两种不同的可能用途。本书在图文配置方面，需要用图象的地方，我们就使用图象；原理阐明

^①指结构复杂的电子仪器——译者

比详细论述更重要时，我们就牺牲详细论述。本书自始至终使用国际单位系统（SI）。在适当的地方给出数值举例。

我们虽然讨论了由手持的35厘米摄影机到陆地卫星系列的遥感系统，我们却把本书范围限制在地球资源的电磁遥感。因此，我们就有许多遥感系统与应用领域没有涉及到。同时，遥感是这样一个动态领域，以致我们在这里涉及和介绍的内容，不用多久可能就是过时了。然而，本书期望使学生能够了解些基本的业务——形象地说——就是取得影像，研究我们地球的广阔前景、地球的资源与它们的环境。

.....

Thomas M. Lillesand

Ralp W. Kiefer

目 录

第一章 遥感概念与基础	(1)
1.1 导论.....	(1)
1.2 能源与辐射原理.....	(2)
1.3 大气中能的相互作用.....	(5)
1.4 能对地球表面特征的相互作用.....	(7)
1.5 数据获得与判读.....	(13)
1.6 参考数据.....	(14)
1.7 理想的遥感系统.....	(15)
1.8 遥感系统的特性.....	(16)
1.9 遥感现状.....	(18)
1.10 本书编排.....	(19)
第二章 摄影系统原理	(21)
2.1 导论.....	(21)
2.2 航空摄影的早期历史.....	(21)
2.3 简单摄影机.....	(23)
2.4 由负片到正片的基本摄影程序.....	(26)
2.5 黑白软片的处理.....	(27)
2.6 黑白软片的光谱感光度.....	(28)
2.7 彩色软片.....	(29)
2.8 处理彩色软片 } (彩色图片被删去)	(29)
2.9 彩色红外软片 }	(33)
2.10 滤光镜.....	(36)
2.11 航空摄影机.....	(40)
2.12 航空象片的类型.....	(47)
2.13 垂直航空象片的摄影.....	(48)
2.14 航空象片的比例尺.....	(49)
2.15 航空象片的地面摄影面积.....	(53)
2.16 摄影的分辨率.....	(54)
第三章 航空象片判读概论	(58)
3.1 导论.....	(58)

3.2	航空象片判读的基本原理	(59)
3.3	象片判读的基本设备	(61)
3.4	地质制图和土壤制图	(70)
3.5	土地使用/土地复盖制图	(75)
3.6	农业的应用	(80)
3.7	林业的应用	(83)
3.8	水资源的应用	(90)
3.9	城市与地区规划的应用	(100)
3.10	湿地制图	(101)
3.11	野生动物生态学的应用	(104)
3.12	考古学的应用	(106)
3.13	环境影响评定	(110)
3.14	土地资料系统	(110)
第四章	地形鉴定的航空象片判读	(122)
4.1	导论	(122)
4.2	土壤特性	(122)
4.3	土地使用适宜性的评定	(124)
4.4	地形鉴定的航空象片判读要素	(125)
4.5	航空象片判读方法	(130)
4.6	沉积岩	(131)
4.7	火成岩	(142)
4.8	变质岩	(153)
4.9	风积沉积物	(154)
4.10	冰川地形	(161)
4.11	河成地形	(177)
4.12	有机土壤	(185)
第五章	摄影测量学	(188)
5.1	导论	(188)
5.2	垂直航空象片的几何原理	(189)
5.3	由象片坐标确定地面水平距离、方向和角度	(192)
5.4	垂直地物的高程移位	(194)
5.5	影象视差	(197)
5.6	视差测量	(201)
5.7	航空摄影的地面控制	(205)
5.8	利用地面控制测定航高和航空象片的空中基线	(205)
5.9	立体测图仪器	(208)

5.10	正射象片	(211)
5.11	飞行计划	(217)
5.12	解析摄影测量	(221)
第六章	航空象片的辐射测量特性	(222)
6.1	导论	(222)
6.2	软片曝光量与密度	(222)
6.3	软片特性曲线	(224)
6.4	绘制特性曲线	(227)
6.5	密度计	(229)
6.6	密度测量分析示例	(231)
6.7	影响软片曝光的几何因素	(238)
6.8	大气作用	(242)
6.9	由曝光测量值测定物体的相当反射率	(245)
6.10	光谱比率	(247)
6.11	结论	(249)
第七章	航空热成像	(251)
7.1	导论	(251)
7.2	黑体辐射	(252)
7.3	实物的辐射	(252)
7.4	大气作用	(254)
7.5	热辐射与地面要素的相互作用	(255)
7.6	热能探测器	(257)
7.7	热辐射计	(258)
7.8	热扫描器	(260)
7.9	热扫描器图象判读	(262)
7.10	热扫描器图象的几何特性	(270)
7.11	热敏扫描器的辐射测量校正	(278)
7.12	热敏扫描器数据的温度制图	(282)
7.13	结论	(287)
第八章	多光谱扫描与光谱图象识别	(288)
8.1	导论	(288)
8.2	多光谱扫描器	(289)
8.3	多光谱扫描器的工作与设计研究	(293)
8.4	光谱图象识别	(299)
8.5	分类阶段	(301)
8.6	训练阶段	(305)

8.7	无监控分类.....	(310)
8.8	输出阶段.....	(313)
8.9	时间和空间的图象识别.....	(314)
8.10	结论.....	(316)
第九章	微波传感.....	(317)
9.1	导论.....	(317)
9.2	雷达的发展.....	(317)
9.3	侧视机载雷达系统的工作.....	(320)
9.4	侧视机载雷达系统的空间分辨率.....	(321)
9.5	雷达信号的发射特性.....	(325)
9.6	影响雷达回波的地面特性.....	(326)
9.7	侧视机载雷达图象的判读.....	(328)
9.8	侧视机载雷达图象的几何特性.....	(333)
9.9	雷达遥感的未来展望.....	(337)
9.10	无源微波传感原理.....	(337)
9.11	无源微波传感器.....	(338)
9.12	无源微波传感的应用.....	(341)
第十章	空间遥感.....	(342)
10.1	导论.....	(342)
10.2	空间成象的早期历史.....	(342)
10.3	陆地卫星的卫星特征.....	(343)
10.4	陆地卫星数据的接收、处理和分配.....	(349)
10.5	陆地卫星影象判读.....	(351)
10.6	陆地卫星多光谱扫描器数字数据的分析.....	(361)
10.7	应用于陆地卫星数据的校正.....	(362)
10.8	数字增强技术.....	(365)
10.9	陆地卫星数据的计算机分类.....	(375)
10.10	陆地卫星D.....	(377)
10.11	其它地球资源平台与系统.....	(378)
10.12	气象卫星.....	(383)
10.13	结论.....	(388)

第一章 遥感概念与基础

1.1 导言

遥感是用一种不与被调查研究的物体、地区和现象接触的装置取得数据，通过对所得数据的分析取得关于一个物体、地区和现象的资料的科学与技术。当你阅读这些文字时，你就是使用遥感。你的眼睛就起着传感器的作用，对这书页的反光产生反应。你的眼睛得到的“数据”就相应于从书页上暗区和亮区反射光量的刺激。对这些数据进行分析或判读你的脑力计算机会使你解释书页上的暗区是一些构成文字的字母的汇集。此外，你会认出由字构成的句子和解释句子所传达的知识。

在许多方面，可以把遥感看成是一个读书的过程。我们使用各种传感器从远距离收集数据，经过分析取得关于被比较物体、地区和现象的资料。远距离收集的数据可以有多种形式，包括力的分布、声波分布或电磁能分布等各种形式。例如，重力测量仪可获得有关各种重力分布的数据。象导弹导航一样，声纳（声波定位仪）可获得各种声波分布的数据。我们的眼睛可获得各种电磁能的分布。本书讨论的是关于电磁能传感器，这种传感器现时正用于机载和空载平台，帮助我们清查、测绘和监视地球资源。这些传感器接收由地球表面各种地形特征发射和反射的电磁能而获得数据，分析这些数据就可提供关于调查研究的资源。

图1.1以图解方式说明地球资源电磁遥感中一般的过程和原理。图中包括的两个基本过程是数据获得和数据分析。数据获得过程的原理是：能源（a），能通过大气的传播（b），能与地球表面地形特征的相互作用（c），机载和/或空载传感器（d），以图象和/或数字形式产生传感器数据。简单地说，我们用传感器记录地球表面地形特征发射和反射电磁能的变化。数据分析过程（f）包括用各种观察和判读设备分析图象资料，和/或用计算机分析数字传感器数据以检验数据。要使用与研究同资源有关的参考资料（如土壤图，农作物统计，或野外检查数据），只要是有助于对数据分析处理的资料都可参考应用。借助于参考资料，分析者可提取由传感器数据收集的各种资源的类型、范围、位置和情况的有关资料。于是提出以地图、表格和文字记述或报告等形式表示的资料（g）。典型的资料成品是如象土地使用图和农作物面积统计这样的资料。最后，把资料提交给用户，用户于他们作出决策的过程使用这种资料。

在本章的其余各节，我们将讨论作为遥感基础的基本原理。我们由电磁能的基础开始，然后研究能与地球表面地形特征的相互作用。我们还讨论参考资料在数据分析过程中所起的作用。这些基本原理将使我们有一个“理想”遥感系统的概念，以此为基础，我们研究“理想”遥感系统中所受的限制。在这个讨论之后，读者对遥感的普通概念与基础应有所了解。

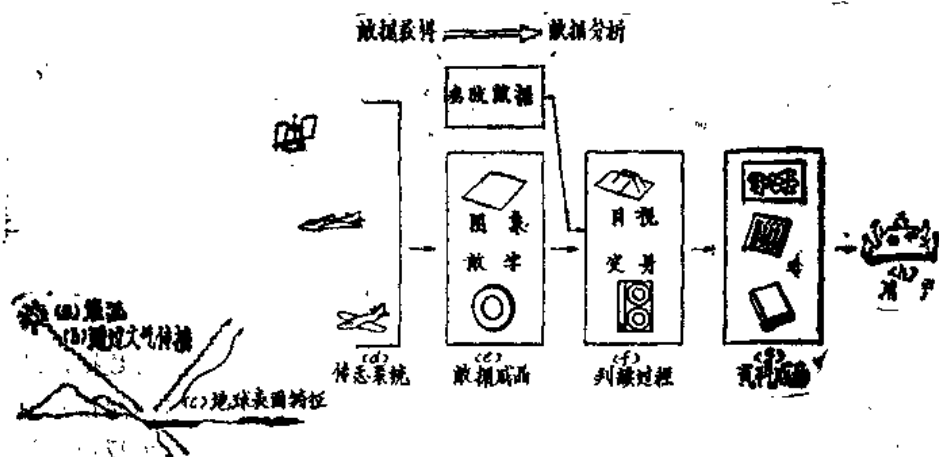


图1.1 地球资源电磁遥感。

1.2 能源与辐射原理

可见光只是许多电磁能形式的一种。无线电波、热、紫外线和X射线是另一些熟悉的形式。所有的这些能在本质上是相似的,并按照基本波理论发射。如图1.2所示,这个理论描述电磁能按正弦形式以“光速” c 传播。从一个波峰到下一个波峰的距离是波长 λ ,每单位时间通过空间一固定点的波峰数是波的频率 f 。

由基础物理学,波遵循普通方程式

$$c = f \lambda \quad (1.1)$$

因为 c 实质上是一个常数(3×10^8 米/秒),对任一已知波频率 f 和波长 λ 是互为倒数的关系,而任一项都可用以表示为特定形式的波的特征。在遥感方面,通常按电磁波在电磁光谱中的波长位置来把电磁波分类(图1.3)。沿光谱量测波长最通用的单位是微米(μm),一微米等于 1×10^{-6} 米。

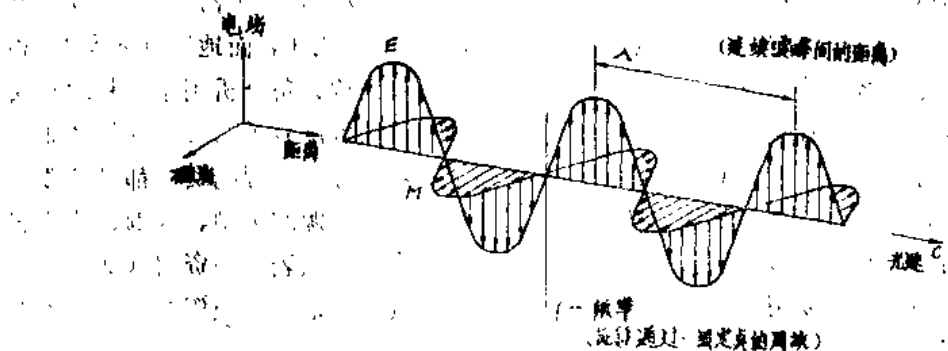


图1.2 电磁波。电磁波分量包括互成直角的正弦电波(E)和相似的磁波(M),两者都垂直于传播方向。

按照习惯,对电磁光谱的区段虽然一般地都规定了名称(如象紫外和微波),在一个标称的光谱区段和相邻区段间,都没有明确的分界线。光谱的划分是由各种方法检测每种

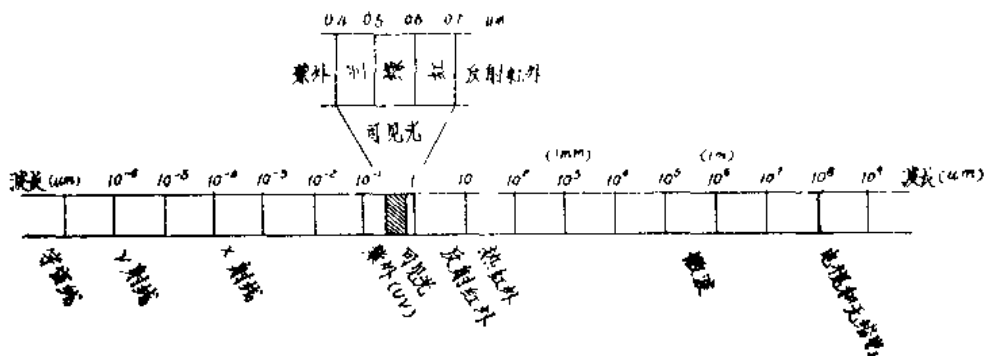


图1.3 电磁光谱

类型的辐射,比由不同波长能特性中固有的差别多得多的辐射逐渐发展起来的。此外,要注意到,用于遥感的电磁光谱部分沿连续光谱排列,以10的多少倍数的幅度变化表示其特性。因此,使用对数坐标图来描绘电磁光谱是很普遍的。这样一个对数图的“可见”部分是非常小的一个部分,因此,人眼的光谱感觉仅由大约0.4微米到大约0.7微米的范围。把“兰”色确定为0.4到0.5微米的波段,“绿”色为0.5到0.6微米,而“红”色为0.6到0.7微米。紫外能正好延伸到可见光谱区域的短波长边缘。延伸到可见光区域的长波长边缘的是反射红外(1R)波。延长到反射红外波的长波长边缘的是热红外能。在这以外的更长波长(1毫米到1米),是光谱的微波部分。

最普通的遥感系统是对光谱的可见、反射红外,热红外或微波部分的一个或数个波段起作用。注意我们在“反射”红外和“热”红外能之间所作的一个重要区别。热红外直接与热传感有关系,反射红外则与热传感没有关系。

电磁辐射的许多特性虽然最易用波动理论来说明,而其它的理论则对电磁能与物质的相互作用能给予深入而有效的理解。这种理论——粒子理论——假设电磁辐射是由许多称为光子,或量子的不连续单位所组成。已知一个量子的能为

$$E = h f \quad (1.2)$$

式中 E = 一个量子的能, 焦耳 (J)

h = Planck常数, 6.626×10^{-34} 焦耳秒

我们对 f 解方程式1.1, 并代入方程式1.2, 把波动与电磁辐射性状的量子模型联系起来, 即得

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.3)$$

这样, 我们知道, 一个量子的能是与它的波长成反比例。包含的波长愈长, 它的能量就愈低。从这样的观点来看, 即自然地发射长波辐射, 例如地面地形特征的微波发射, 比较短波长的辐射, 例如热红外能发射的辐射, 更难于传感, 这在遥感中有着重要的含意。长波长辐射的低能量含量一般地意味着, 对长波长起作用的遥感系统, 在任意已知时间应该“观察”地球的广大面积, 以获得可探测的能量信号。

太阳是用于遥感的最明显的辐射源。然而温度在绝对零 (0°K 或 -273°C) 以上的所有物体, 都不断地发射电磁辐射。所以, 地球上的物体也是辐射源, 不过同太阳相比, 它有

很不同的量值和光谱组合。在另外的物体中，任一物体辐射能量多少是物体表面温度的函数。用司替凡—波尔茨曼(Stefan Boltzmann)定律来表示这种特性，其关系用符号表示为

$$W = \sigma T^4 \quad (1.4)$$

式中 W = 由物质表面产生的总辐射发射，瓦米⁻²

σ = 司替凡—波尔茨曼常数， 5.6697×10^{-8} 瓦米⁻²°K⁻⁴

T = 发射物质的绝对温度 (°K)

这种特殊单位和常数值并不急于要求学生去记忆，但注意这样的事实却是很重要的，即由物体发射的总能量是随 T^4 而变化的，并因温度的增加而迅速地增加。此外，还应注意这个定规只是代表一个具有黑体性质的能源。黑体是一种假设和理想的辐射体，它全部吸收和再发射投射于其上的所有能量。实际的物体仅仅接近于这种理想。在7章中我们还要研究这种事实的意义。现在，我们只说明物体发射的能量主要是它的温度的函数，如式(1.4)所示。

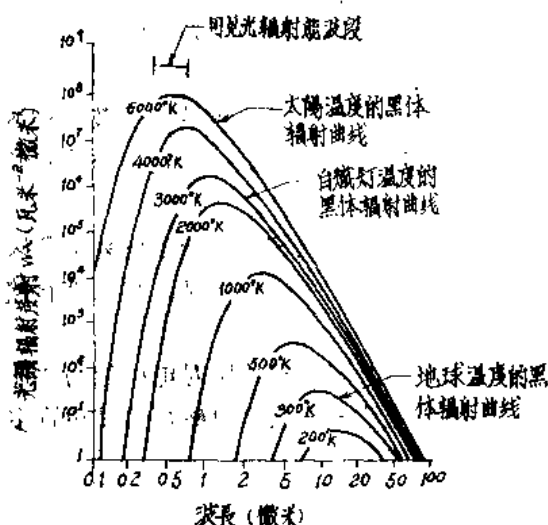


图1.4 各种温度黑体辐射的能量光谱分布。(注意，光谱发射率 W_λ 是每单位波长区间发射的能量。根据光谱发射率曲线下的面积总发射率 W 是已知的。)

正象物体发射的总能量是随温度而变一样，物体发射能量的光谱分布也是随温度而变。图1.4表示黑体在200°K到6000°K温度范围内能量的分布曲线。纵坐标尺度上的单位(瓦/米²微米⁻¹)表示来自黑体的每1微米光谱区间的辐射能量。所以，位于这些曲下线的面积等于总辐射发射率 W ，而曲线则图解地说明司替凡—波尔茨曼定律所表示的数学意义。辐射体的温度越高，辐射体发射的辐射总量越大。曲线还表明，当温度增加时，黑体辐射分布的峰值有向较短波长方向的移位。优势波长，或黑体辐射曲线达到最大值的波长，用维氏移位定律(Wien's Displacement Law)与其温度相联系，

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \quad (1.5)$$

式中 λ_m = 光谱发射率最大值的波长

$A = 2898$ 微米°K

T = 温度，°K。

这样，对于黑体来说，出现光谱发射率最大值的波长随黑体的绝对温度而逆变。当金属体例如一块铁片受热时，我们就观察到这种现象。随着物体逐渐变得甚热，物体就开始炽热发光，而其颜色也不断变成较短的波长——从暗红，到橙黄，到黄色，最后达到白色。

太阳以黑体辐射源同样的方式，发射热能，它的温度约为6000°K(图1.4)。许多白炽灯发射的辐射，可用一个3000°K的黑体辐射曲线为代表。所以，白炽灯具有相当低的兰

色能量输出，却没有象日光一样的光谱组成。我们使用镁光灯进行室内摄影时就观察到这种现象。由于镁光灯是白炽光源用明亮镁灯取得的摄影结果，将呈现“淡黄色”，因此，具有低的兰色能量的输出。我们可以使用兰色调的镁光灯来补偿这种光谱固有的不平衡。

地球周围的温度（这就是地球表面物质，例如土壤、水和植被的温度）大约是 3000°K （ 27°C ）。根据维氏移位定律，这意味着由地球特征出现的光谱发射率最大值位于约9.7微米的波长处。由于这种辐射与大地热相互关联，就称为“热红外”能。这种能量既不能看见，也不能摄影，但是却能用辐射仪和扫描器之类的热装置进行传感（在7章中叙述）。由比较可知太阳在大约0.5微米处出现甚高的能量峰值，如图1.4所示。我们的眼睛——和摄影软片——可以感受这种大小和波长的能量。这样，太阳出来的时候，借助于反射的太阳能我们能够观察地球特征。再者，周围环境地球特征发射的波长较长的能量只能用非摄影传感系统才能观察。在反射和发射的红外波长之间的普通分界线大约是3微米。在这个波长以下，反射的能量占优势；在这个波长以上，发射的能量占优势。

某些传感器，例如雷达系统，自身提供能源来照明要探测的目标特征。这些系统称为“主动”系统——以与利用自然界能源的“波动”系统相对。主动系统最普通的例子就是用镁光灯的摄影机，同一系统使用日光摄影就变成被动的传感器了。

1.3 大气中能的相互作用

不论是什么能源，遥感器探测到的所有辐射都要经过一定的大气距离，或称径长（Path Length）。所包含的径长可有很大范围的变化。例如，航天摄影是由太阳光所产生的。太阳光由光源到传感器，在它的旅程中两次通过地球大气的整个厚度。另一方面，机载热传感器探测的能量是直接由地球上的物体发射的，所以只包含相当短的单程大气径长，并且还随传感的有效信号的数量、存在的大气条件和包含的波长而变。

由于大气影响的性质变化不定，我们在其它的章中将对传感器逐一地进行研究来讨论这个问题。这里我们只想介绍一下这个概念，即大气对任何传感系统能利用的辐射强度和光谱组成，特别具有深远的影响。这些影响主要是由大气的散射和吸收的作用过程而引起的。

散 射

大气散射是大气中粒子不可预测的辐射扩散。当辐射与大气分子和其它径级（比相互作用的辐射波长更微小）的细微粒子相互作用时，瑞利散射（Rayleigh scatter）是普通现象。瑞利散射的影响与波长四次方成反比例。所以，根据这种散射机制，短波长比长波长有更强烈的散射趋势。

“兰色”天空中的瑞利散射现象。在没有散射时，天空将呈现黑色。但是，当太阳光与地球大气相互作用时，太阳光散射的很短（兰色）波长比其它可见光波长占有更大的优势。因此，我们看到的是蓝天。然而，在太阳升起和太阳降落时分，太阳光线通过比中午时候更长的大气径长。随着径长越长，短波长的散射（和吸收）就越加完全彻底，使我们只看到散射较少、波长较长的橙黄色和红色的波长。

瑞利散射是图象中“模糊”的主要原因之一。很明显，模糊会减少影象的“清晰度”，或“反差”。彩色摄影中，这种现象使影象，特别是从高空摄影的影象产生一种谈兰—灰色的摄影。我们在第二章中将了解到，在摄影时摄影机透镜前面插入一个不透射短波长的滤光镜，常可消除，或最少可减少模糊。

另一种类型的散射是米氏散射 (Mie Scatter)，当大气粒子的直径基本上等于传感能量的波长时就存在这种现象。水蒸汽和尘埃是米氏散射的主要原因。这种类型的散射与瑞利散射相比趋向于影响较长的波长。虽则瑞利散射支配或控制着大多数的大气情况，而在一些阴暗多云的大气情况下，则米氏散射是重要的因素。

一种更麻烦的现象是无选择的散射 (nonselection scatter)。当引起散射的粒子直径比传感的能量波长大得多时就产生这种散射。例如，小水滴就引起这样的散射。一般地，小水滴的直径在5到100微米范围，而对所有的可见光和反射红外波长大约发生同等的散射。因此，这种散射对于波长来说是“无选择性的”。在可见光波长中，散射等量的蓝、绿和红光，使雾和云呈现白色。

吸 收

与散射相反，大气吸收引起能量对大气成分丧失作用。在正常情况下，这包括在已知波长的能量吸收。在这一点上，大多数的太阳辐射的有效吸收体是水蒸汽，二氧化碳和臭氧。由于这些气体易于吸收特定波长波段的电磁能，不论用任何已知的遥感系统，它们在光谱方面强烈影响“我们观察的地方”，大气特别能传送能量的波长范围称为**大气窗口**。

图1.5表示能源和大气吸收特性之间的关系。图1.5a表示由太阳和地球特征发射的能量光谱分布。这两个曲线代表遥感使用的最普通的能源。在图1.5b中，被大气封闭能量的光谱区划上了阴影线。遥感资料的获得只限于无封闭的光谱区，称为“大气窗口”。注意图1.5c中，眼睛(“可见”范围)的光谱感光范围与大气窗口和来自太阳能量的峰值能级两者相一致。

用小曲线表示于a中的地球发射的“热”能，通过3到5微米和8到14微米的窗口，使用**热扫描器**这样的装置进行传感。**多光谱扫描器**通过窄波长多波段同时传感，这些波段可位于可见光至整个热光谱区各个点上。**雷达和被动微波系统**则在通过1毫米至1米区域的窗口进行工作。

由图1.5应该注意的重要问题是主要的电磁能源、传输光源能量的大气窗口(通过这个窗口传输光源能量到地球表面的地形特征，又

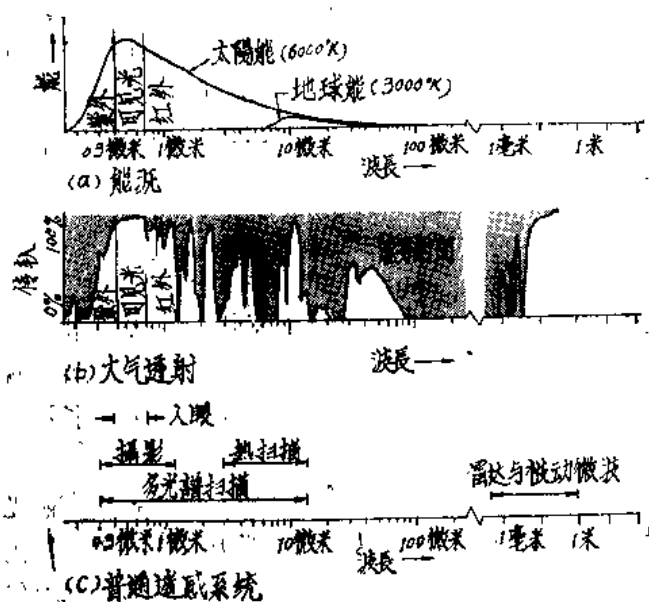


图1.5 能源光谱特征，大气影响和传感系统。
(注意，波长尺度是对数的。)

由地球表面传输能量到传感器) 与用来探测和记录能量的传感器的光谱敏感性之间的**相互作用和相互依赖**。人们不能在任一已知遥感任务中随意选择使用的传感器, 但应该考虑:

(1) 所使用的传感器的光谱敏感性, (2) 在要传感的光谱范围中是否有大气窗口, (3) 在这些光谱波段中有效能量的能源、大小和光谱组成。最后, 关于传感器光谱范围的选择必须按照这样的方式, 即能量与所研究的地面特征是互相配合的。

1.4 能与地球表面特征的相互作用

当电磁能入射到任一已知的地球表面特征上时, 它对地面特征可能发生三个基本的能量作用。这在图 1.6 中对一个水体体积的一小单元作了说明。入射在小单元上的能量的不同折射为**反射、吸收和/或透射**。应用能量守恒原理, 我们可以说明三个能量相互作用之间的相互关系, 即

$$E_i(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (1.6)$$

式中 E_i 表示入射能, E_R 表示反射能, E_A 表示吸收能和 E_T 表示透射能, 所有的能成分都是波长 λ 的函数。方程式 1.6 是一个表示能量平衡的方程式, 即表示**反射、吸收和透射**机制之间的相互关系。

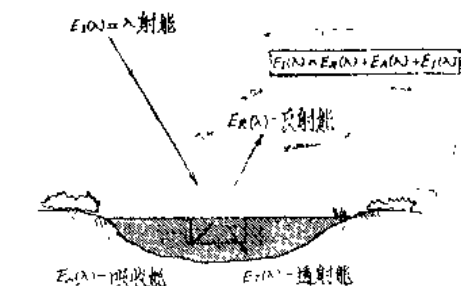


图1.6 电磁能与一地球表面特征之间的基本作用。

就这种关系来说有两点必须注意。第一, 反射、吸收和透射部分的能量将随不同的地球特征而变, 这就视它们的物质类型和条件而定。这些差别使我们能够在影象上区别出不同的特征。第二、波长关系意味着, 甚至在已知的特征类型中, **反射、吸收和透射**的能量部分将随不同的波长而变。这样, 在某一光谱波段中不能辨别的两个特征, 而在其它波长波段中可能显得非常不同。在可见光谱部分, 这些光谱的变化产生出称之为**颜色**的可见效应。例如, 当物体对光谱的蓝色部分反射强烈, 我们称物体为“蓝色”; 如此类推。这样, 眼睛就利用反射能量大小的光谱变化来识别各种不同的物体。由于许多遥感系统是在反射能起主要作用的波长区域中工作, 地球表面特征的反射性质是非常重要的。因此, 考虑以下列形式表示的方程式 1.6 的能量平衡关系是有用的

$$E_R(\lambda) = E_i(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)] \quad (1.7)$$

这就是, **反射的能量等于 λ 射到已知特征上的能量减去由这特征或者吸收或者透射的能量**。

物体反射能量的几何方式也是一个重要的考虑方面。这个因子主要是物体表面粗糙度的函数。**镜面反射体**是显示象反光镜一样的**反射平坦表面**, 反射角等于 λ 角。**漫射(朗伯)反射体**是各个方向均匀反射的粗糙表面。绝大部分的地球表面既不是完全的镜面反射体, 也不是完全的漫射反射体。大部分地球表面的特征是多少处于这两个极端之间的地势。

图1.7 说明镜面反射体、近似镜方反射体、近似漫射和漫射反射体的几何特性。表示任一已知表面特征的类型取决于与**入射能波长相比较**的表面粗糙度。例如, 对甚长波长的无线电波段, 岩石地面对入射可视为平坦表面。与此相比较, 对光谱的可见光部分, 甚至

象细沙这样的物质也显得粗糙。简而言之，当入射能的波长与地面高程变化相比，或与组成地面粒子的大小相比都小得多时，这样的地面就是漫射表面。

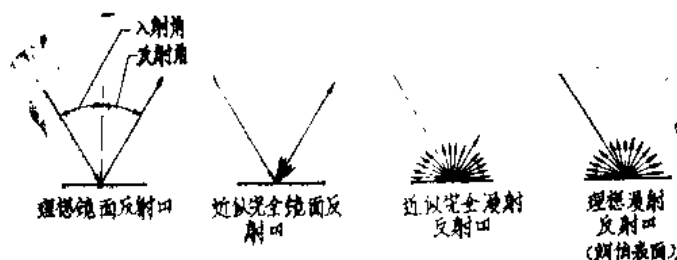


图1.7 镜面反射与漫射反射。（我们最关心的是量测物体的漫反射。）

漫反射包含关于反射面“颜色”的光谱资料，而镜面反射就不包含这种资料。因此，对遥感来说，我们最关心对地面特征的漫反射性质的测定。

地球表面特征的反射特性可由测量入射能的反射部分来确定其数量。这是作为波长的函数测定的，并且称之为光谱反射率 R_λ 。根据数学原理它定义为

$$R_\lambda = \frac{E_R(\lambda)}{E_i(\lambda)} = \frac{\text{物体反射的波长 } \lambda \text{ 的能量}}{\text{入射到物体的波长 } \lambda \text{ 的能量}} \times 100$$

式中 R_λ 以百分数表示。

作为波长函数的物体光谱反射率的图解称为光谱反射率曲线。光谱反射率曲线的形状

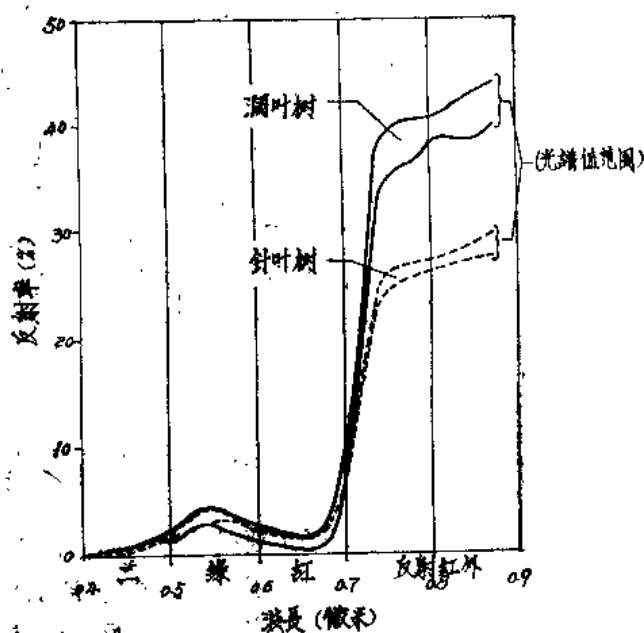


图1.8 落叶树（阔叶）和常青树（针叶—球果树）的普通光谱反射率包迹。（每一种类型有在任意波长的光谱反射率数值范围）。

使我们理解一个物体的光谱特征，并对特殊应用所要求的遥感资料选择波长区域有着重要的影响。图1.8中就说明这方面的情况。图中表示落叶树和松柏属常青树很普通的光谱反射率曲线。（在这个讨论中，我们使用落叶的和常青的术语多少有些不确切，可认为阔叶树例如橡树和枫树就是落叶的，而针叶球果树例如松树和云杉、桧树等就是常青的）。要注意每一种这些物体类型的曲线是绘成数值的“带状”（或“包迹”），而不是绘成单一的线状。这是因为光谱的反射率在已知的物质种类中多少有些变化。那就是说，一个落叶树种和另一个落叶树种的光谱反射率将决不是相同的。就是同一种树木的光谱反射率也不会是恰好相等的。在本节后我们对光谱反射率的变化性将作详细说明。

用图1.8, 假设给你选择一个机载传感器系统的任务, 用它来帮助绘制区划落叶树与针叶树的森林面积图。一种传感器的选定可能是人眼。不过这种选择有些困难。每种树的光谱反射曲线在大部分可见光谱区是重叠的, 而不重叠的部分也是非常接近的。所以, 眼睛可能, 把两种树看成基本上是相同的“绿色”阴影, 而混淆落叶树和常青树的辨认。当然, 人们利用由每个树中辨认的间空线索, 例如大小、阴影、形状、位置、等等, 可能多少使情况得到改进。然而, 由空中特别是混交林的情况, 这样做是有困难的。我们怎样才可以仅仅根据它们的光谱特征辨别两个树种呢? 我们只能使用记录反射红外能的传感器系统。装有黑白红外软片的摄影机就是这样的系统。在黑白红外象片上, 落叶树(比针叶树有较强的红外反射率)比针叶树一般地呈现更为浅淡的色调。图1.9就说明这种情况。图象表示针叶树的立木被落叶树所围绕。在图1.9a中(可见光谱), 即使针叶树有特别醒目的圆锥形状, 而落叶树有圆形树冠的特征, 实际上也不可能区别出两类树种。图1.9b(反射红外)中的针叶树具有较暗的明显色调。在这样的影象上区划落叶树与针叶树的工作则是

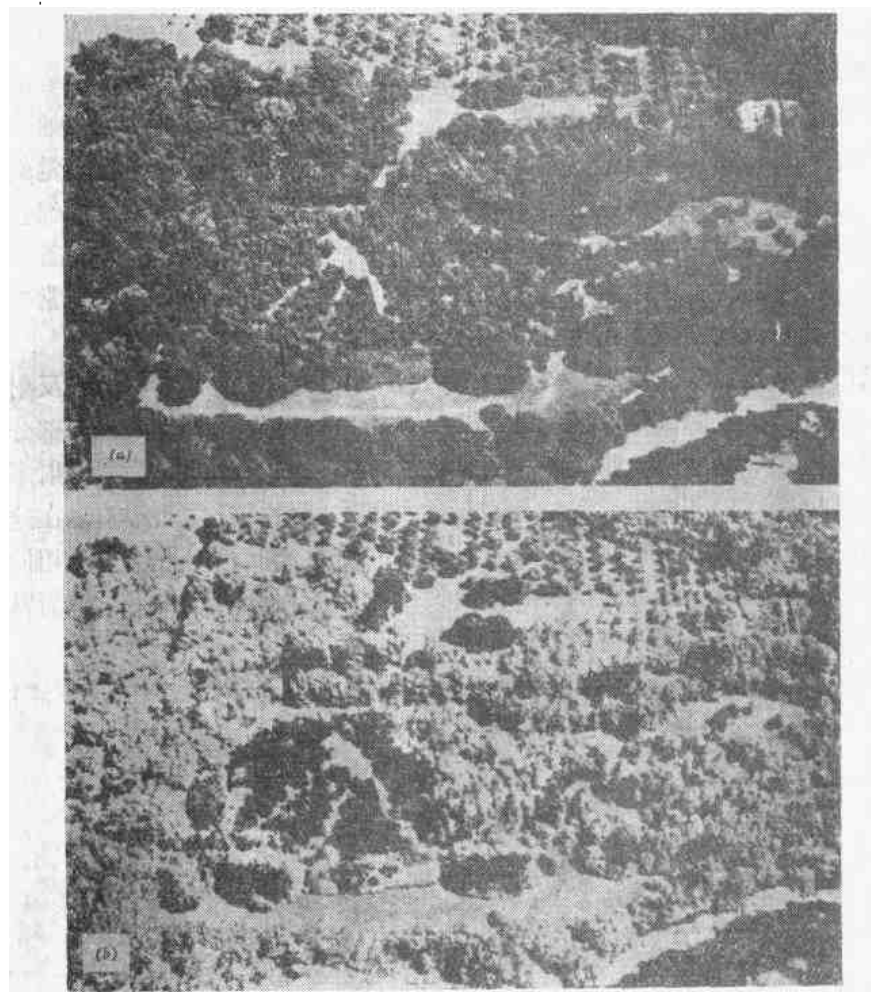


图1.9 说明落叶树与针叶树的低空倾斜航空象片(1970年6月29日)(a) 全色象片, 记录0.4到0.7微米波长波段的反射日光。(b) 黑白红外象片, 记录0.7到0.9微米波长波段的反射日光。