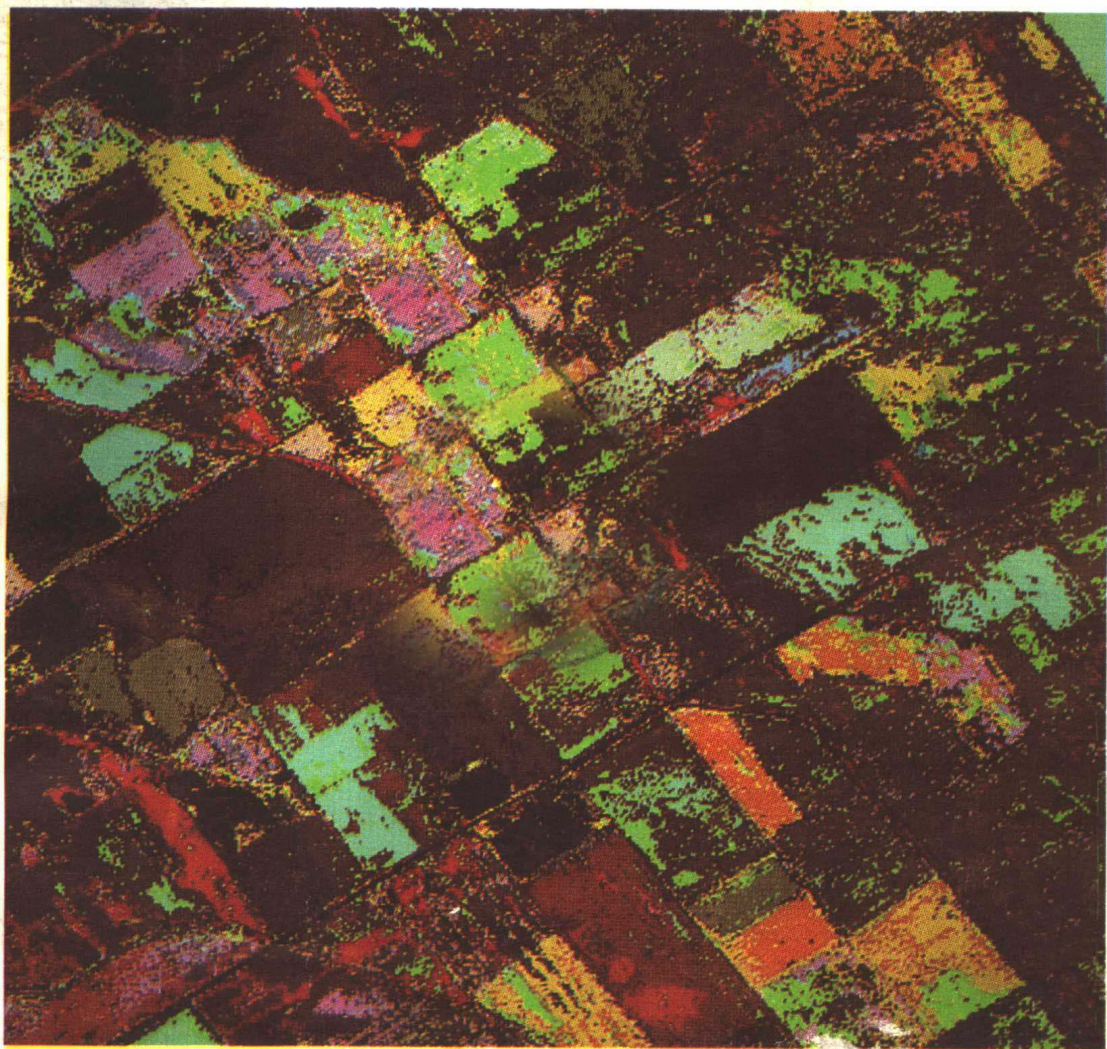


遥感与图象判读

[美] T. M. 利勒桑德 著
R. W. 基 弗

黎勇奇 译 杨廷槐 校
吴振鑫
晓 岸



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据John Wiley & Sons 出版公司T. M. Lillesand与R. W. Kiefer 合著的《Remote Sensing and Image Interpretation》一书1979年版译出。原书是作为遥感基础教程而编写的, 在美国曾为多所大学采用作教材。内容主要论述了遥感的物理基础: 航空象片和摄影测量的基础知识及象片判读; 非摄影传感器及其所获得的图象判读原理等。内容丰富、系统; 阐述简洁。每章之前有引言, 扼要说明本章内容; 章末有小结。全书附有大量插图及象片, 并举例阐明判读原理。层次清楚, 编排生动, 便于教学。

本书可作为我国高等学校遥感概论课程的教学参考书, 也可供地质、地理、测绘、农业、林业、土壤、海洋、气象、生物等方面的遥感工作者参考。对于喜爱和想了解遥感技术的人们来说, 也是一本较好的入门书。

遥感与图象判读

[美] T. M. Lillesand R. W. Kiefer 著

黎勇奇 吴振鑫 晓岸 译 杨廷槐 校

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

*

开本787×1092 1/16 印张27.5 插页8 字数610,000

1986年1月第1版 1986年1月第1次印刷

印数 00,001—2,600

书号12010·051 定价6.40元

译 者 的 话

近年来,国外遥感发展很快,我国遥感事业也突飞猛进,并取得了可喜的成绩。然而,在我国高等学校的遥感教学中,尚缺少一本比较好的教学用书或参考书。我们翻译的这本《遥感与图象判读》,是美国明尼苏达大学T. M. 利勒桑德和威斯康辛大学R. W. 基弗共同撰写的遥感基础教材。它全面介绍了遥感系统,并列举实例说明这些系统在收集各类资料时的应用。就目前国外的遥感教材而言,大多数只局限于介绍传感器及其应用,或者是由多位作者合写的纲要性文章;有的顾此失彼,失之偏颇;有的又过于详细,失之纷繁。都难以用作教学。本书无论是取材、内容编排、原理的讲述,还是例证的选取,图表的说明,都充分注意到教学的特点。内容全面、丰富、系统,阐述简洁明瞭。既包括了航空象片判读和摄影测量学方面的基础知识,又系统介绍了非摄影传感器及其所获取的图象的判读原理。每一章之前有引言,扼要说明本章的内容;章末有结语,指出每一章的重点和应注意的问题。全书附有大量插图和表格。是目前我们已知的同类书籍中比较好的一种,因此,本书除作者所在的两所大学用作遥感课程的教材外,还广为美国其他大学所采用。我们希望,在我国目前尚未出版自己的遥感教材的情况下,本书的出版,能对这一学科的教学有较大的参考作用。限于译者的水平,译文难免有不妥之处,诚恳希望读者指正。

本书绪言和第1、2、3、5章由吴振鑫译,第6、7、8、9、10章和附录由黎勇奇译,第4章由晓岸译,全书由杨廷槐校订。

译 者

1984年12月10日

前 言

本书主要是作为遥感基础教程而编写的。对于工程师、土壤学家、林业工作者、地质学家、地理学家、海洋学家、土地规划工作者、气象学家、水资源管理工作者以及生物学家——只要是与地球资源的勘测、研究和管理工作的有关的——均会发现这是一本颇有价值的教材和参考用书。本书重点论述了遥感系统，并举例说明了这些系统在收集各种资料方面的应用。

本书广泛而深入地对遥感作了导论性的阐述。实际上，没有一本书能全面论述遥感的所有理论与实践的各个方面，大多数遥感教材不是局限于某些传感器或这些传感器应用的介绍，就是由多位作者合写的纲要性文章。本书是由两位作者合作撰写的，力求把有关遥感的知识归纳成册，使学生易于掌握，并能把遥感技术应用到他（或她）的科学领域中去。

本书的编写力求简洁明瞭而言之有物。我们虽然在研究方法上不只采用“黑盒子”（指用结构复杂的电子仪器计数）的方法，但本书是供探讨地球资源利用的高年级学生阅读，而不是为电子学专家或理论数学家而编写的。书中不仅详尽地描述了有关航空象片判读和摄影测量学的“经典”内容；并且也介绍了从非摄影传感器所取得的图象的判读原理——目视判读及通过数字图象处理技术的应用判读。

本书在列述了与遥感有关的一些基本的物理原理以后，再分成二部分。上半部集中论述摄影遥感技术。作者介绍了摄影工艺所用的一些器材（如摄影机、胶片等等），而后对航片判读方法作了概括性的介绍，包括在特定测绘工作中典型航空象片判读的应用，诸如土地利用与土地规划测绘（包括土地情报数据系统设计原理）、湿地测绘以及地质和土壤填图。作者以通顺的文字探讨了航空象片判读在各个领域中的应用，如农业、林业、水利资源、城市与区域规划、野生生物生态学、考古学以及环境影响评价等。有一章专门介绍如何通过航空象片判读以进行地域评估。

在讨论涉及航空象片的摄影测量学时，应用了国际上通行的公制。这种摄影测量学包括如何根据航空象片来获得可靠的测量数据的方法描述，以及如何通过应用立体绘图仪装置进行地形测绘的研究。作者还讨论了正射投影象片的制作和特征，以及如何规划一项摄影任务。

本书介绍的摄影遥感方法以航空象片的辐射特性探讨为结尾，包括如何进行航空摄影的辐射校正，以及如何解决图象密度测量的细节问题。

本书的下半部专门阐述如何用非摄影传感器以取得数据的原理。作者描述了热扫描器、多波段扫描器和雷达系统。如同讨论摄影技术那样，作者举例说明了这些系统产生的图象在各种应用领域中是如何被解译的。本书还介绍了数字图象处理技术的一般内容，着重介绍波谱谱型识别和图象增强的原理。

本书有足够丰富的内容，可供各种不同专业课程之用，包括遥感、象片判读以及摄影测量学等课程。有的专业课程，可以取其所需而略去无关的章节，以供一学期课程或一学期课程之用。本书也可供一学年学习之用。作者编撰此书时考虑到了上述两种不同要求。

在编写本书时，必须用图解说明者，均附有插图；叙述重要原理时，则删繁就简以突出

主题。本书引用的资料均已换算成公制，必要时还引用了有具体数据的实例。各章之末选载了有针对性的参考文献，包括列出题目的文献及推荐给读者的各种书籍和文章。

本书讨论的遥感装置虽然品种繁多，从手持的35 mm摄影机以至人造卫星的陆地卫星系列，但作者还是把叙述范围控制在地球资源的电磁波遥感方面。因此还有许多遥感系统和应用领域未被本书论及。同时，遥感的发展非常迅速，以致本书阐述的一些内容也许很快就会过时。尽管如此，通过对本书的研读，应能使学生掌握基本的东西，例如图象如何获得和判读以及如何研究我们地球更开阔的画面、它的资源及其环境。

对本书作出过贡献的许多学者，作者要致以深切谢意。我们特别要感谢的是普渡 (Purdue) 大学遥感应用实验室的 R. M. 霍弗 (Roger M. Hoffer) 教授，他对原稿进行了详细的审阅，并提供了许多极有价值的建议。下述诸位也对部分原稿作了审阅，包括：纽约州锡拉丘兹 (Syracuse) 纽约州立大学环境科学与林业学院的 R. H. 布罗克 (Robert H. Brock) 教授和 W. M. 斯蒂特勒 (William M. Stiteler) 教授；缅因州奥罗诺 (Orono) 缅因大学的 J. L. 克拉普 (James L. Clapp) 教授；麦迪逊 (Madison) 威斯康辛 (Wisconsin) 大学的 D. M. 米克尔逊 (David M. Mickelson) 教授，R. P. 马丁 (Robert P. Madding) 教授，F. D. 霍尔 (Francis D. Hole) 教授以及 F. L. 斯卡佩斯 (Frank L. Scarpace) 教授；南达科他苏福尔斯 (Sioux Falls) 美国地球资源观察系统数据中心的 R. G. 里夫斯 (Robert G. Reeves) 博士和 J. V. 塔拉尼克 (James V. Taranik) 博士；马萨诸塞州切尔姆斯福特 (Chelmsford) 国际光导发光公司的 A. S. 巴雷特 (Alan S. Barrett) 博士；纽约州罗彻斯特 (Rochester) 伊思曼柯达公司的 N. L. 弗里茨 (Norman L. Fritz) 先生；弗吉尼亚州布莱克斯堡 (Blacksburg) 弗吉尼亚工学院和州立大学的 S. D. 约翰逊 (Steven D. Johnson) 教授；纽约州布法罗 (Buffalo) 卡尔斯本 (Calspan) 公司的 K. R. 皮切 (Kenneth R. Piech) 博士；纽约州奥尔巴尼 (Albany) 纽约州立大学的 F. M. 亨德森 (Floyd M. Henderson) 教授；路易斯安那 (Louisiana) 州立大学的 A. J. 刘易斯 (Anthony J. Lewis) 教授；瑞士苏黎世地球物理学院的 D. 斯坦纳 (Dietter Steiner) 教授；田纳西州查塔努加 (Chattanooga) 田纳西河谷管理局的 A. W. 沃斯 (Alan W. Voss) 先生；宾夕法尼亚州立大学 HRB-Singer 团体的 R. W. 斯廷吉林 (Ronald W. Stingelin) 博士；以及弗吉尼亚州雷斯登 (Reston) 美国地质勘探局的 R. S. 小威廉 (Richard S. Williams, Jr.) 博士。

本书作者还希望对曾为此书作出过重要贡献的许多研究生和大学学生致谢，并向为本书提供背景材料和许多插图的个人、仪器制造商、政府部门和有关商号致以谢忱。D. E. 迈斯纳 (Douglas E. Meisner) 和 W. L. 约翰逊 (William L. Johnson) 加工了几乎每一张线画图 and 许多文内象片插图，为此书的完成作出了全面的珍贵的贡献。他们在参与编撰本书时，得到了纽约州锡拉丘兹纽约州立大学环境科学与林业学院的帮助。

最后还要特别提到的是作者的家属，在成书的三年期间，他们体现了充分的合作和鼓励。

T. M. 利勒桑德 (Thomas M. Lillesand)
R. W. 基弗 (Ralph W. Kiefer)

目 录

前 言	1	参考文献选	63
第一章 遥感的原理和基础	1	第三章 航空象片判读导论	64
1.1 引言	1	3.1 引言	64
1.2 各种能量来源和辐射原理	2	3.2 航空象片判读原理	64
1.3 大气中能量的相互作用	6	3.3 象片判读的基本设备	67
1.4 能量与地表特征的相互作用	7	3.4 地质和土壤填图	75
1.5 数据收集和判读	15	3.5 土地利用和土地覆盖类型 填图	79
1.6 参比数据	16	3.6 农业应用	85
1.7 理想的遥感系统	17	3.7 林业应用	87
1.8 实际遥感系统的特性	18	3.8 水资源应用	93
1.9 遥感现状	20	3.9 城市和区域规划应用	103
1.10 本书的结构	21	3.10 湿地测绘	105
参考文献选	22	3.11 野生动物生态学应用	107
第二章 摄影系统原理	24	3.12 考古应用	110
2.1 引言	24	3.13 环境影响评价	113
2.2 航空摄影的早期历史	24	3.14 土地信息系统	114
2.3 简单摄影机	26	参考文献选	125
2.4 负片至正片的基本摄影 顺序	29	第四章 用于地面评价的航空象片判读	128
2.5 黑白胶片的冲洗	30	4.1 引言	128
2.6 黑白胶片的光谱灵敏度	31	4.2 土壤的特性	128
2.7 彩色胶片	33	4.3 土地利用可行性的评价	130
2.8 彩色胶片的冲洗	35	4.4 用于地面评价的航空象片判 读要素	131
2.9 彩色红外胶片	36	4.5 航空象片的判读方法	136
2.10 滤色片	39	4.6 沉积岩类	137
2.11 航空摄影机	42	4.7 火成岩类	148
2.12 航空象片的类型	51	4.8 变质岩类	161
2.13 垂直航空摄影象片的拍摄	51	4.9 风成沉积物	162
2.14 航空象片的比例尺	52	4.10 冰川地形	170
2.15 航空象片的地面覆盖	57	4.11 冲积地形	188
2.16 象片的分辨率	59		

4.12 有机质土壤.....	195	7.2 黑体辐射.....	271
参考文献选.....	199	7.3 实体辐射.....	273
第五章 摄影测量学	201	7.4 大气影响.....	275
5.1 引言.....	201	7.5 热辐射与地面要素的相互 作用.....	275
5.2 垂直摄影象片的几何要素.....	202	7.6 热能量探测器.....	277
5.3 通过象片坐标确定地面水 平长度、方向和角度.....	205	7.7 热辐射仪.....	278
5.4 垂直地物的投影差.....	209	7.8 热扫描仪.....	280
5.5 影象视差.....	212	7.9 热扫描仪图象判读.....	282
5.6 视差量测.....	216	7.10 热扫描仪图象的几何性质.....	292
5.7 航空摄影的地面控制.....	220	7.11 热扫描仪的辐射校准.....	300
5.8 利用地面控制确定航空象 片的航高和摄影基线.....	221	7.12 用热扫描仪数据制作温 度图.....	304
5.9 立体测图仪器.....	224	7.13 小结.....	309
5.10 正射象片.....	227	参考文献选.....	311
5.11 飞行计划.....	231	第八章 多光谱扫描和光谱模式 识别	312
5.12 解析摄影测量.....	236	8.1 引言.....	312
参考文献选.....	237	8.2 多光谱扫描仪(MSS).....	313
第六章 航空象片的辐射特征	238	8.3 多光谱扫描仪的工作情 况与设计.....	321
6.1 引言.....	238	8.4 光谱模式识别.....	323
6.2 胶片曝光量与胶片密度.....	238	8.5 分类阶段.....	325
6.3 胶片的特征曲线.....	240	8.6 训练阶段.....	332
6.4 特征曲线的制作.....	244	8.7 非监督分类法.....	337
6.5 密度仪.....	246	8.8 输出阶段.....	339
6.6 密度仪分析选例.....	248	8.9 时间与空间模式识别.....	341
6.7 影响胶片曝光的几何因 素.....	257	8.10 小结.....	343
6.8 大气效应.....	262	参考文献选.....	343
6.9 根据曝光量的测量来确 定物体相应的反射率.....	265	第九章 微波遥感	345
6.10 光谱比率.....	267	9.1 引言.....	345
6.11 小结.....	269	9.2 雷达的发展.....	345
参考文献选.....	270	9.3 机载侧视雷达系统的 工作.....	348
第七章 航空温度记录法(航空 热图象)	271	9.4 机载侧视雷达系统的空 间分辨率.....	349
7.1 引言.....	271		

9.5	雷达信号的传输特性.....	355		处理和销售.....	384
9.6	影响雷达回波的地面特征.....	356	10.5	陆地卫星图象的判读.....	386
9.7	机载侧视雷达图象的判读.....	358	10.6	陆地卫星MS S 数字数据的分析.....	396
9.8	机载侧视雷达图象的几何特征.....	363	10.7	陆地卫星数据的各种校正.....	397
9.9	雷达遥感的展望.....	367	10.8	数字增强技术.....	400
9.10	被动微波遥感原理.....	368	10.9	陆地卫星数据的计算机分类.....	412
9.11	被动微波传感器.....	370	10.10	陆地卫星-D.....	413
9.12	被动微波遥感的应用.....	373	10.11	其他地球资源遥感平台和系统.....	415
	参考文献选.....	373	10.12	气象卫星.....	420
第十章	航天遥感	375	10.13	小结.....	425
10.1	引言.....	375		参考文献选.....	426
10.2	航天遥感的早期历史.....	375	附录		428
10.3	陆地卫星的特性.....	377			
10.4	陆地卫星数据的接收、				

第一章 遥感的原理和基础

1.1 引言

遥感是通过对不与被研究物体、地区或现象直接接触的装置所获得的有关数据加以分析,从而得到该物体、地区或现象的相应信息的一门科学与技术。例如当你阅读本页这些文字时,实际上你就在从事遥感。你的两眼是接受本页所反射的光的传感器。所看到的“数据”,是相当于本页字里行间反射出来的不同光量的脉冲。这些数据在你的头脑计算机里经过分析或判读,使你能把本页面上的黑色部分看成是组成词的字符。此外,你又能看到这些词组成为句子,并解释出句子所传递的信息。

在许多方面,遥感常作为一种阅读过程。我们利用各种传感器收集遥远处的数据,经分析后可获得所要研究的物体、地区或现象的有关信息。从远距离收集到的数据可以有多种形式,包括力的分布、声波分布或电磁能量分布的变化。例如,重力仪可测得的数据是重力分布的变化。声纳像蝙蝠的导航系统那样,获得的数据是声波分布的变化。我们的眼睛获得的数据是电磁能量分布的变化。

本书论述了当今广泛用在航空平台和航天平台上帮助清查、测绘和监测地球资源的各种电磁能量传感器。这类传感器能获得运行中地球表面上的不同地物发射和反射的电磁能量数据,分析这些数据,便可得知所调查资源的有关信息。

图1.1 用图解的形式说明地球资源电磁遥感总的工作过程和要素。遥感技术的二个基本过程是数据获取和数据分析。数据获取过程的要素是:能量来源(a),能量通过大气层传播(b),能量与地表地物的相互作用(c),机载和(或)星载传感器(d),以图象形式和(或)数值形式出现的传感器数据成果(e)。总之,利用各种传感器来记录航线内地面特征反射和发射电磁能量。数据分析方法(f)是利用各种观察判读装置来分析图象资料以及(或者)用计算机来分析数字数据,从而对所获得的数据加以研究。在能取得待测资源的参比资料(诸如土壤图、作物统计资料或野外检核数据)来帮助数据分析时,一般都应用这种参比资料。有了这种参比资料的帮助,分析人员便可从中提取出传感器所检测的多种地球资源的类型、范围、位置和条件等信息。然后,以地图、表格及书面论述或报告的形式将这种信息表示出来(g),诸如土地利用图和作物面积统计资料等等,便是有代表性的信息成品。最后,将信息提供给用户(h),以供用户决策参考。

在本章的其余篇幅中,作者论述了遥感方法的基本原理。首先阐明电磁能量的基本概念,然后探讨这种电磁能量是如何与地球表面的地物相互作用的。还介绍了参比数据在数据分析过程中的作用。这些基本知识使我们对“理想”的遥感系统能有基本的概念。有了这种轮廓性的认识作基础,再去研究“实际”遥感系统中遇到的困难和问题,就比较好解决了。因之通过本章的学习,读者应能掌握遥感的一般概念和基础性的知识。

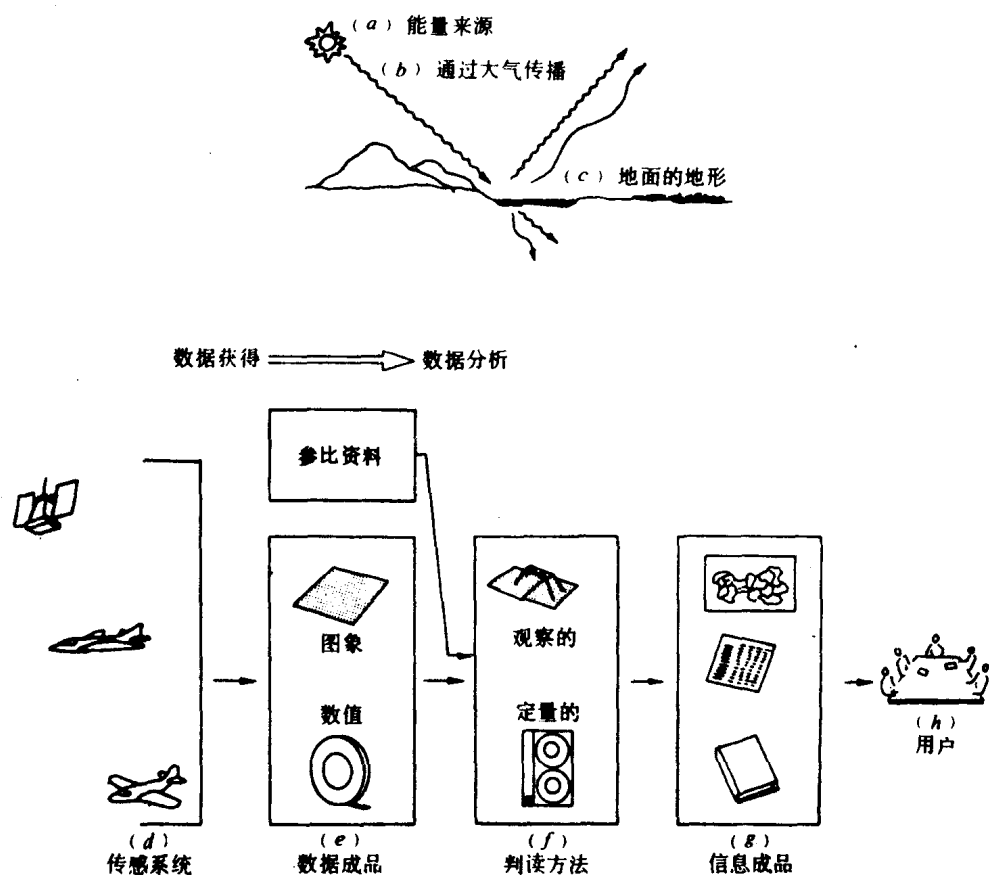


图 1.1 地球资源的电磁能量遥感

1.2 各种能量来源和辐射原理

可见光不过是电磁能量的许多种表现形式之一。此外，无线电波、热、紫外线以及X射线，均是常见的电磁能量形式。根据基本的电磁波动理论，所有这些电磁能量的表现形式都有内在的相似点，即都是电磁辐射。如图1.2所示，电磁波动理论把电磁能量描述为以“光速” c 传播的谐振正弦波动。两个相邻波峰间的距离称为波长 λ ，单位时间内空间某一固定点所经过的波峰数为波的频率 f 。

从基础物理学得知，各种波均服从下列方程

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

由于 c 基本上是一个常数 (3×10^8 米/秒) 对任何给定的电磁波而言，频率 f 和波长 λ 间是反

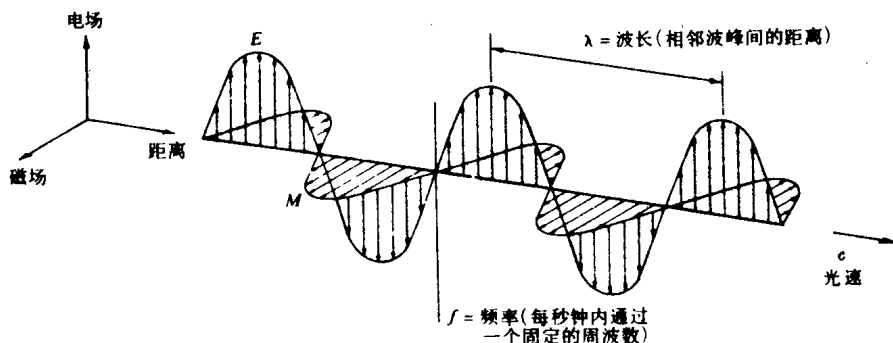


图 1.2 电磁波。包括呈直角的正弦电波 (E) 和磁波 (M)，二者均垂直于波的传输方向

比的关系。 f 和 λ 可以用来表征一定类型的电磁波。所以，在遥感中，电磁波的分类通常是按其在电磁波谱内波长的位置来确定的 (图 1.3)。按波谱量测波长的最常用单位为微米 (μm)，1 (微米) 等于 1×10^{-6} (米)。

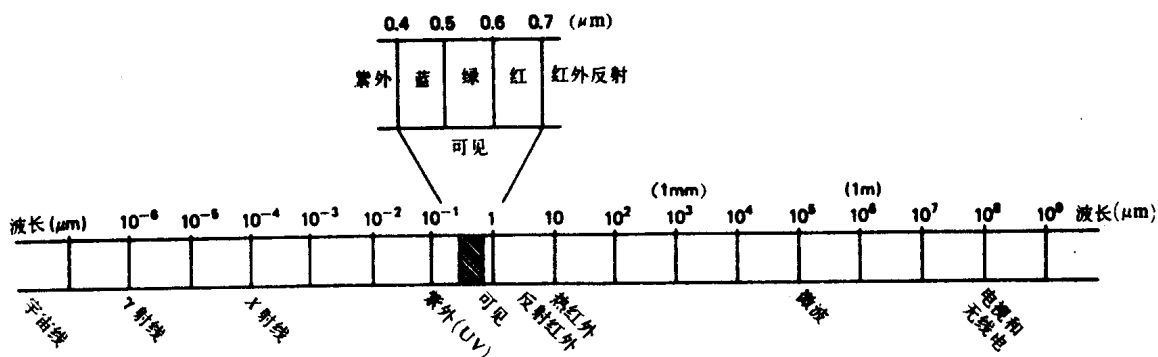


图 1.3 电磁波谱图

虽然一般把电磁波谱分成几个区加以命名 (如紫外和微波)，但实际上在不同波谱区之间并无截然的分界线。波谱是用不同的方法对各种辐射类型感测而划分的，当然也可利用不同波长的能量特征间的内在差别来划分，但前一种划分法一般用得较多。必须指出的是，遥感所用的那些电磁波段仅是某一连续波段，其波长变化可以 10 的多次幂表征出来。因此，一般普遍用对数坐标图来描述电磁波谱。“可见光”波段在这类图中只占很小一部分，因为人眼的光谱敏感性只能在大约 0.4—0.7 微米起作用。其中“蓝色”波段大约在 0.4—0.5 微米，“绿色”在 0.5—0.6 微米，“红色”在 0.6—0.7 微米。可见光区波长较短的那一端为紫外线区，而波长较长的一端为反射红外波段。比反射红外波段的波长长的，为热红外能量区。波长更长 (1 毫

米至1米)的是微波区。

一般最常用的传感装置的工作波段是波谱中的可见光、反射红外、热红外或微波区等波段中的一个或几个。应当指出,“反射”红外与“热”红外有很大区别。后者与热的直接感受有关,而前者则不然。

尽管利用波动理论很容易阐明电磁辐射的许多特征,但也可用别的理论来深入说明电磁能量是如何与物体相互作用的。这种理论(粒子理论)认为,电磁辐射由被称作光子或光量子的许多离散粒子所组成。一个光量子的能量为

$$E = hf \quad (1.2)$$

式中 E 为光量子的能量,单位焦耳(J); h 为普朗克常数, 6.626×10^{-34} 焦耳秒。

为了阐明电磁辐射行为的波和光量子模型,解方程1.1中的 f ,将其代入方程1.2,得

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

可见,光量子的能量与其波长成反比。波长越长,其所含能量越低。这种情况在遥感中有重要的含意,因为自然发射的波长较长的辐射(如不同地形的微波发射)比之较短波长(如热红外区的发射能量)的辐射更难感测。为了获得足够的可探测的能量信号,对于波长较长、发射能量较低的辐射,要求通常所用的遥感装置必须工作波段较长,在给定的时间内能覆盖大面积的地表。

太阳是遥感时电磁辐射的最主要能量来源。不过,所有物体当其温度在绝对零度(0°K 或 -273°C)以上时,均会持续发射电磁辐射。所以大地上的万物也可以说都是辐射源,当然与太阳相比,无论在量值和波谱构成上,差别都很大。如不考虑其他因素,则某一物体所辐射能量的大小是该物体表面温度值的函数。这一特性可用斯忒藩-玻尔兹曼(Stefan-Boltzmann)定律来表达,即

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

式中: W 为来自材料表面的总发射量(Wm^{-2}); σ 为斯忒藩-玻尔兹曼常数($5.6697 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$); T 为发射材料的绝对温度($^\circ\text{K}$)。

对上述单位和常数之值不一定死记,但应注意物体发射的总能量与 T^4 成正比,因之随着温度的升高,总能量会急剧增大。此外,应当指出,上述定律只表达作为黑体的那种能量源。这里所说的黑体是一种假定,是指能把入射能量全部吸收并重新发射出来的理想辐射体。但实际生活中的物体只能接近这一理想状态。有关这方面的内容在第7章将进一步探索;这里只是说明某一物体发射的能量是其温度的函数,参见方程1.4。

正如某一物体所发射的总能量随温度的变化而变化那样,物体所发射能量的光谱分布也是如此变化。图1.4所示为温度在 200°K 至 6000°K 之间的黑体的能量分布曲线。纵坐标标度上的单位($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)表示来自黑体的每1微米波谱间隔的辐射功率。因此,曲线内的面积等于总辐射率(W),而曲线则是图解说明斯忒藩-玻尔兹曼定律的数学表达。辐射体的温度越高,它所发射的辐射总额就越大。当温度增高时,图中黑体辐射分布曲线的峰值向较短波长处靠近。主波长(或黑体辐射曲线达最大值时的波长)与其温度的关系,根据威恩(Wien)

置换定律为

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

式中： λ_m 为最大光谱辐射率的波长； A 为 $2898 \mu\text{m}^\circ\text{K}$ ； T 为温度（ $^\circ\text{K}$ ）。对某一种黑体而

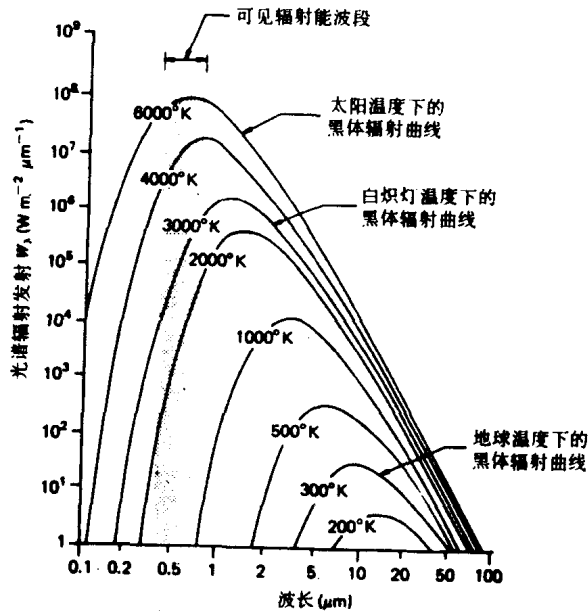


图 1.4 不同温度黑体辐射能量的光谱分布。（注意：光谱辐射的发射率 W_λ 为单位波长间隔的发射能量。总发射率 W 则由该发射率曲线下的面积给出。）

言，产生最大发射率的波长与黑体绝对温度成反比。当加热一块如铁那样的金属体时，即可观察到这种现象。随着物体的继续加热，它开始灼热而其色泽也逐步向更短的波长方向的颜色变化，即从深红至橙、黄以至最后成为白色。

太阳辐射性能与温度约为 6000°K 的黑体辐射一样(图1.4)。许多白炽灯发出的辐射可以 3000°K 黑体辐射曲线来表征。所以白炽灯具有较低的蓝色辐射能量输出，并无太阳光那样的光谱组分。当我们用白光胶卷进行室内闪光灯摄影或室外日光摄影时便可观察到这种现象。在使用普通闪光灯摄影时，由于这种闪光灯实际上就是白炽灯光源，输出的是低蓝光能量的辐射，摄得的象片就有色调偏黄的感觉。如使用蓝色闪光灯，则可补偿这种固有的光谱不平衡现象。

地球的环境温度（即地面物体如土壤、水和植物的温度）约为 300°K （ 27°C ）。根据威恩置换定律，这意味着地球表面各种物体的最大光谱发射率当出现在波长 9.7 微米左右处。由于这种辐射与地表热有关，故称“热红外”能量。肉眼看不见这种能量也不能用摄影方法记录

下来,但可用诸如辐射计和扫描器之类的热传感装置来感测(参见第7章)。相比之下,太阳具有高得多的能量峰值,它出现在图1.4所示的0.5微米左右处。人眼(以及摄影胶卷)能感受这一量级和波长的能量。因之只要有太阳照射,我们即可借助于反射太阳能量而观察到地球上各种物体。当然这里还得重申,环境地物所发射较长波长的能量,只有非摄影传感系统才能探测到。反射与发射红外波长间的一般分界线大约在3微米处。在此波长以下,反射能量为主;在此波长以上,则发射能量占优势。

诸如雷达系统等某些传感器,本身备有能源,供照射目的物之用。这类系统称作“主动式”系统,以区别于感测自然能的“被动式”系统。主动系统最常见的例子为使用闪光灯的摄影机,而同样的装置在日光中使用时就成为被动式传感器。

1.3 大气中能量的相互作用

不管是什么辐射源,传感器所接受的所有辐射量必在大气中通过某段距离,或称作光程长度。光程长度的长短悬殊很大。例如,空间摄影用的光源是太阳光,它从太阳至传感器二次穿过地球大气层;反之,机载热传感器探测从地球上的物体直接发射的能量,涉及的仅是单程的相当短的大气光程长度。大气层所引起的纯效应与这种光程长度的长短有关,并且也随所要感测的能量信号的量级、当时的大气条件以及波长的变化而变化。

由于大气效应性质复杂,关于这一问题的探讨,将在其他各章中以传感器为基础详加阐述。本章仅概念性地重点介绍这样一点,即大气能够对任何一种传感系统所接收的辐射强度和光谱组分产生重要的影响。这些影响主要通过大气散射和吸收作用的机理而产生。

散 射

大气散射就是大气中的粒子所引起的辐射呈不规则漫射。在辐射与大气分子和其他微小粒子相互作用时,经常会产生瑞利散射(Rayleigh scatter),上述微小粒子的直径远小于与之相互作用的辐射的波长。瑞利散射效应与波长的四次方成反比。因之,根据这一散射机理,短的波长与长的波长相比,前者的散射趋势要强得多。

通常我们所看到的“蓝”天是瑞利散射的表现形式。如果没有这种散射,天空应为黑色。但由于阳光与地球大气层的相互作用,较短(蓝色光)的波长的散射与其他可见波长相比更占优势。所以,我们看到的是蓝色天空。与正午相比,日出和日没时太阳光射至地球表面要穿过较长的大气光程。在这较长的光程中,短波长的散射(和吸收)非常严重,使得我们只能见到散射较少的橙色与红色的较长波长的光。

瑞利散射是造成烟雾状成象的主要原因之一。就视觉而言,大气烟雾会使影象的“清晰度差”或“反差”减弱。在彩色摄影中,它导致影象出现蓝-灰色调,高空拍摄时则更如此。在第2章中我们将看到,摄影时如在摄影机镜头前加一能阻挡短波长光的滤色片,则可以消除或至少减轻大气烟雾的影响。

另一种散射为米氏(Mie)散射,当大气粒子直径基本上等于所感测的能的波长时,会发生这种散射。水蒸气和尘埃是造成米氏散射的主要原因。这类散射与瑞利散射相比,有影

响较长波长的趋势。虽然在绝大多数大气条件下,瑞利散射占优势,但在薄云天气则米氏散射比较显著。

非选择性散射是一种比较麻烦的现象,当形成散射的粒子直径远较所传感的能波长得多时,就产生这种现象。例如水滴就会促使这种散射的形成。这种水滴的直径通常在5—100微米之间,可以散射所有可见区和红外区波长的辐射。所以就波长而论,我们称这种散射为非选择性散射。在可见光波长中,等量的蓝、绿和红色光掺杂后散射,能使雾和云显为白色。

吸收

与散射相对比,大气吸收导致辐射能量在大气组分内显著丧失。一般是由于在给定的波长处出现的能量吸收作用。最有效太阳辐射吸收体是水蒸气、二氧化碳和臭氧。因为这些气体总是会吸收特定波段范围内的电磁能量,所以,它们强烈地影响到我们利用任一给定的遥感系统从光谱上作观测的范围。大气层可以使能量特别容易传递的那段波长范围,称为大气窗。

图1.5表示辐射能源和大气吸收特性间的相互关系。图1.5a表示太阳和地物发射的能量光谱分布。这二条曲线代表遥感技术所用的最普通的能量来源。图1.5b中其能量被大气阻挡的那些光谱区用阴影表示。遥感数据的获得只能局限于那些无阻挡的所谓“大气窗”光谱区。从图1.5c可看到,人眼(“可见”区)敏感的光谱区与大气窗以及太阳能量峰值处是吻合的。地球发射的“热”能(即图1.5a所示较小的曲线),可用热扫描器这类装置通过3—5微米和8—14微米区的大气窗来感测。多波段扫描器可同时通过多个窄波段区传感,这些窄波段区可分布在从可见到热红外区的不同点上。雷达和被动式微波系统可通过1毫米至1米间的大气窗工作。

图1.5中应特别注意初始辐射电磁能量的相互作用和相互依赖程度,能量传输到地表特征、又由地表传递上来所通过的大气窗,以及探测和记录这种能量的传感器的光谱敏感度。在遥感工作中,人们不能任意选用传感器;因为选用时必须考虑到:(1)所用传感器的光谱敏感性如何;(2)所用波段范围有无大气窗存在;以及(3)这些波段范围可能有的能源、强度和光谱合成。不过最后必须根据该能量与所研究地物的相互作用如何来选定传感器的工作波段范围。这里所提的最后一点非常重要,是我们目前应予重视的。

1.4 能量与地表特征的相互作用

当电磁能量入射至任何已知的地表特征时,可能有三种基本能量与地表特征的相互作用。这种情况如图1.6所示,此图说明一个有一定容积的水体上面能量入射点的情况。能量入射到该水体表面,便分成不同的几部分,即分成反射、吸收和透射三部分能量。应用能量守恒原理,可把这三种能量相互作用间的相互关系列式如下:

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

式中 E_i 为入射能量; E_R 为反射能量; E_A 表示吸收能量; E_T 为透射能量,所有能量的组分都是波长 λ 的函数。方程1.6是一个表示反射、吸收和透射机理间相互关系的能量平衡方程。

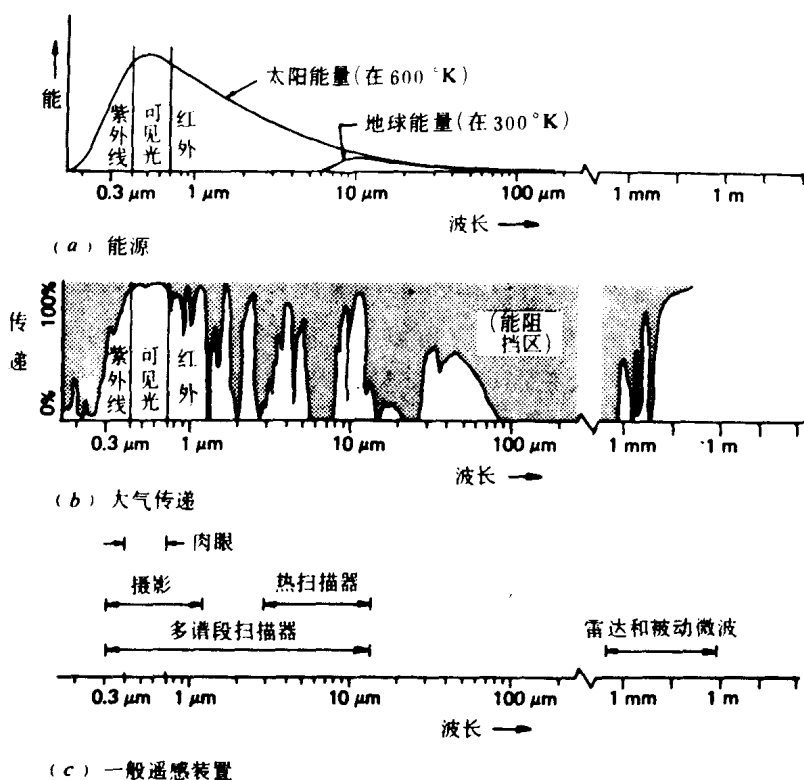


图 1.5 能源、大气效应和传感系统的光谱特性 (注意: 波长标度以对数表示)

涉及这种关系时, 有二点应予指出。首先, 不同地物所反射的、吸收的和透射的能量的比例将随不同地物的类型和条件而变化。这种比例上的差别使我们能判别图象上的不同地物特征。其次, 由于波长的不同, 即使是同一地物类型, 其不同波长处的反射、吸收和透射能量的比例也不同。因之, 二个不同的地物特征在某一波段范围内有可能分不清; 而在另一种波段中也许很易区别。在可见光谱区内, 这种光谱的变化形成称作彩色视觉效

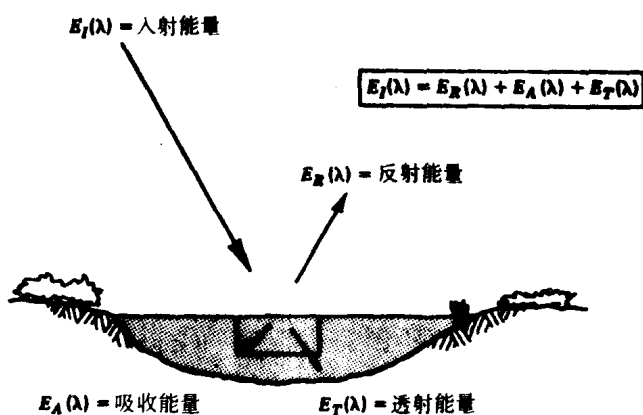


图 1.6 电磁能与地表特征间的基本相互作用

果。例如，对于在蓝色光谱区内有强烈反射的物体，称之为“蓝”色，同样，在绿色光谱区的强反射，称为“绿”色，依此类推。所以说，人眼就是利用反射能量上的光谱变化来鉴别各种物体的。

因为很多遥感系统是在反射能量占主导地位的波长区域工作的，所以地表特征的反射性质如何是很重要的。因此，方程 1.6 写成以下形式所表达的能量平衡关系是很有用的：

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

此式表示给定地物上的反射能量等于它的入射能量减去被该地物所吸收或透射的能量。

地物反射能量的几何性状也是必须考虑的重要因素，此因素主要是地物表面粗糙度的函数。镜面反射体都是平滑表面，反射角等于入射角，都表现为镜面反射。漫(或称朗伯面)反射体是能把入射能量均匀地向四面八方反射的粗糙表面。大部分地球表面既非镜面反射体也不是漫反射体。它们的特征介于二者之间。

图 1.7 介绍了镜面反射体、接近镜面反射体、接近漫反射体以及漫反射体的几何特性。表征任何一个给出表面的等级，是由该表面粗糙度相对于入射到它上面的能量波长的对比关

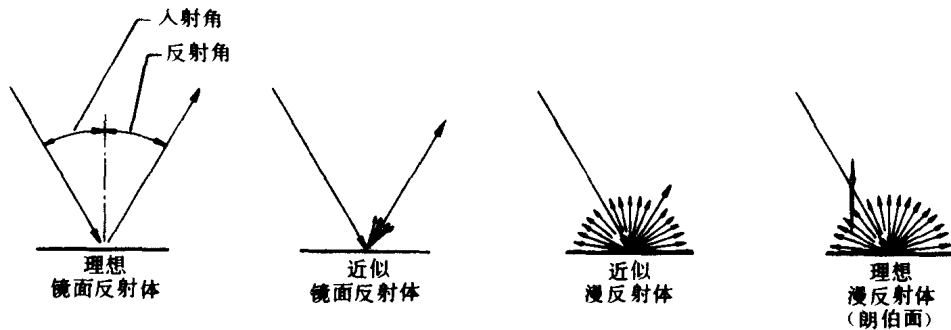


图 1.7 镜面反射率与漫反射率的比较(通常我们对物体漫反射率的测定最感兴趣)

系而定。例如，在较长波长的无线电波段范围，就入射能而言，即使多岩石的地面也会显得相当平滑。相比之下，即使象细砂那样的材料，在可见光谱段范围内也是粗糙的。总之，当入射能量的波长远比表面起伏变化或构成表面的粒子尺寸为小时，该表面就会形成漫反射。

漫反射含有反射表面的“彩色”光谱信息，而镜面反射则无。因此，在遥感中，我们对地面地物的漫反射率性质的测定一直是最感兴趣的。

地表特征的反射率特性可通过量测所反射的那部分入射能量来鉴定。因它是作为波长的函数来测定，故称之为光谱反射率 R_λ 。用数学方程定义为：

$$R_\lambda = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} = \frac{\text{物体所反射的波长 } \lambda \text{ 的能量}}{\text{入射到物体上的波长 } \lambda \text{ 的能量}} \times 100$$

式中 R_λ 以百分比表示。

我们把作为波长函数的物体光谱反射率图称作光谱反射率曲线。从这种光谱反射率曲线图形可以观察到物体的光谱特性，并且对具体应用中选择遥感的工作波段很有影响。此种情