

铁路继续教育系列教材

地质路基

铁道部人事司 组织编写
铁道部人才交流培训中心



铁路继续教育系列教材

地质路基

铁道部人事司 组织编写
铁道部人才交流培训中心

邓午天 李泽民 主 编 卢世荣 副主编
顾培雄 李际中 主 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

地质路基 / 邓午天等编. —成都: 西南交通大学出版社, 2000.4 (2002.1 重印)
铁路继续教育系列教材
ISBN 7-81057-437-X

I. 地... II. 邓... III. 铁路路基 - 地质
IV. U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 21015 号

铁路继续教育系列教材

地 质 路 基

铁 道 部 人 事 司 组 织 编 写
铁道部人才交流培训中心

邓午天 李泽民 主编

顾培雄 李际中 主审

*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 刘娉婷 李英明 毛文义

封面设计 郑 宏

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行科电话: 7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 27 字数: 655 千字

2000 年 4 月第 1 版 2002 年 1 月第 2 次印刷

ISBN 7-81057-437-X/TV · 202

定价: 33.00 元

铁路继续教育系列教材编委会

主 任	华茂昆			
副主任	费克勤	安立敏	温继武	
编 委	杨友根	吴 风	丁圻墀	宋凤书
	胡东源	卢祖文	曹 菁	柳呈祥
	于 川	许守祜	章根明	柴浦安
	顾 聪	蔡申夫	刘国祥	王申庆
	何 璧	张玉秀	杨安立	吴信然
	王 成	朱克勤	赵建国	张全寿
	黄大光			

6A 672/06

《地质路基》编委会

主 编 邓午天 李泽民

副主编 卢世荣

主 审 顾培雄 李际中

编 委 秦 军 王建珍 刘昌清 梁 波

罗 强 曹新文 谭坤先 肖 均

燕川生 卢永贵 王秋明 戴玉民

序 言

《铁路继续教育系列教材》，是对铁路专业技术人员进行继续教育的基础读本。它的问世，对于抓好铁路继续教育，提高铁路专业技术队伍的素质是有益的。

铁路是我国交通运输的骨干。在加快改革开放和发展社会主义市场经济的新形势下，铁路面临着新的机遇和挑战。为把我国铁路现代化建设事业全面推向 21 世纪，我们必须以十五大精神为指导，加快铁路改革与发展，实施科教兴路战略，使铁路从传统产业逐步走向现代化。

实现铁路现代化，关键是科技，基础在教育。加快铁路科技进步，提高铁路专业技术队伍的素质，直接关系到铁路现代化的进程，现代科技发展日新月异，世界铁路在高速技术、重载技术、管理技术、安全技术和信息技术等方面取得了重大进展。为了适应新的形势，必须对全路专业技术人员广泛开展继续教育。

为了搞好铁路专业技术人员的继续教育，编写一套好的教材是非常重要的。《铁路继续教育系列教材》反映了现代科学技术发展的水平和铁路企业技术进步的特点，兼顾了教材理论体系的系统性和专业人员选修的适用性，对专业技术人员了解和把握本专业学科领域国内外科技发展动态，学习掌握先进的技术、理论和方法等会有帮助。希望全路各级组织、各级领导都来关心继续教育工作。各单位要根据实际，以这套教材为基础读本，切实抓好继续教育工作。全路广大专业技术人员要通过继续教育，不断更新知识内容，拓宽知识面，为我国铁路现代化建设事业作出新贡献。

这套教材由铁道部人事司、人才交流培训中心组织各方面的专家、教授和学者编写，部机关有关司局进行指导和审定，在此，我谨向为这套教材的编写、出版倾注了大量心血的所有工作人员表示衷心的感谢。

傅 玉 震

一九九七年十二月一日

前 言

本教材是为了适应铁路现代化建设的需要,进一步提高专业技术人员的素质,在铁道部人事司、人才交流培训中心的组织领导下编写的。

继续教育是对在职专业技术人员进行知识和技能的增新、补充、拓展和提高,不断完善知识结构,提高创造能力和专业技术水平的一种教育途径。因此,本书按适于自学、有利于实用的要求,立足铁路、兼顾公路的特点,以专题的形式,介绍了现行铁道工程专业本科教材以外的勘测、设计、施工等方面的新理论、新技术、新材料和新的施工工艺。由于覆盖面较宽,涉及学科较多,且篇幅有限,本书不可能编入所有内容和参考文献目录,也不可能像“手册”那样实用。本书适于铁路勘测设计及施工技术人员及相关专业在校学生学习和参考。

铁路勘测设计及施工继续教育教材的出版,在我国尚属首次,限于编者的水平和经验,本书难免有不足甚至错误之处,诚恳希望读者、专家给予批评指正,以便再版时修改。

本书编写工作由西南交通大学、铁道部第二勘测设计院、中铁二局集团完成。主编邓午天、李泽民,副主编卢世荣;主审顾培雄、李际中。各专题编写人员是:专题一秦军,专题二王建珍,专题三刘昌清,专题四梁波,专题五罗强,专题六曹新文,专题七卢世荣,专题八谭坤先、肖均,专题九燕川生,专题十卢永贵。

在本书各专题编写过程中提供了宝贵意见或资料的同志有:涂正林、李坚、李海光、冯俊德、李安红、刘祯和、顾华、甘善杰。在此,谨向他们以及有关专家、领导、文献资料的作者及单位表示衷心的感谢!

编 者
2000年3月

目 录

1 遥感工程地质	1
1.1 遥感原理	1
1.2 遥感技术	10
1.3 遥感技术在工程地质中的应用	21
思考题	40
参考文献	40
2 工程物理勘探	47
2.1 绪论	47
2.2 电法勘探	48
2.3 地震勘探	75
思考题	95
参考文献	95
3 新型支挡结构的设计与施工	96
3.1 概述	96
3.2 支挡结构设计中的土压力问题	97
3.3 新型支挡结构	103
3.4 抗滑支挡结构	121
思考题	132
参考文献	132
4 软弱地基处理	133
4.1 软弱地基的工程特性	133
4.2 排水疏干法中有关砂井类的设计方法简介	141
4.3 土工合成材料在软基处理中的应用	144
4.4 粉体喷射搅拌法在软基处理中的应用	149
4.5 碎石桩加固技术	153
4.6 强夯法在软基处理中的应用	157
4.7 其他软基处理技术简介	161
4.8 饱和土地基液化的估计与液化处理措施	168
思考题	175
参考文献	175

5 特殊土地区路基工程	177
5.1 膨胀土地区路基工程	177
5.2 黄土地区路基工程	192
5.3 盐渍土地区路基工程	204
5.4 冻土地区路基工程	213
思考题	221
参考文献	222
6 路基动力学的基本原理与高速重载铁路路基	223
6.1 列车荷载对路基基床的动力作用	223
6.2 基床土的动力疲劳特性	227
6.3 路基基床分析和设计	233
6.4 高速和重载铁路路基结构和技术条件	241
6.5 提速条件下基床的加固	247
思考题	249
参考文献	250
7 路基施工和工艺	251
7.1 概 述	251
7.2 施工准备	253
7.3 路 堤	254
7.4 路堑施工	279
7.5 软土地基处理施工工艺	283
7.6 路基防护及支挡结构	291
思考题	294
参考文献	294
8 石方爆破	295
8.1 爆破器材	295
8.2 凿岩机械	304
8.3 石方钻孔爆破	307
8.4 峒室爆破	324
8.5 爆破安全技术	332
思考题	335
参考文献	336
9 轨道施工	338
9.1 作业场基地	338
9.2 铺设轨道	346

9.3 既有线轨道施工	350
9.4 道岔铺设	353
9.5 无缝线路	360
9.6 高速铁路轨道施工技术	365
9.7 轨道工程验收	378
思考题	379
参考文献	380
10 公路路面工程	381
10.1 路面工程概述	381
10.2 路面构造	386
10.3 路面设计	404
思考题	420
参考文献	420

1 遥感工程地质

遥感是用非接触方式获取目标物信息的过程。在物体自身发射的电磁波能量或外部入射电磁辐射的反射、散射能量中携带了目标物自身的结构与成分信息。探测和测量这种信息的技术就是遥感。人和许多动物可以看到周围的外部世界是广义的遥感过程。现代遥感技术早期的形式是航空摄影技术。随着计算机技术、传感技术、航天技术、材料技术的迅速发展,人们发射了卫星,这使飞行平台的概念从飞机延拓到卫星等飞行器。卫星搭载的仪器不仅有照相机,而且有能获取红外波段信息、热辐射信息以及微波信息的传感器。这些获取信息的技术和设备已不能用摄影和照相机的概念来刻画和描述。1960年,美国人从功能概念的角度提出了“遥感”这一内涵更丰富、概括性更强的名称,1962年学术界正式引用并广为传播。航摄是以飞机为平台在可见光波段实施的遥感,航测是利用可见光航空遥感图象的空间几何信息制作地形图技术的简称。利用图象反映出的物理信息对地面目标物进行成分和成因方面的判断和分析,我们常常称之为判释和判译。遥感的对象不仅有地球,还包括宇宙间的其他星体,如月球、火星等。研究的内容包括气、水、土、石、地表覆盖物、浅层地下的物质性质、深层物质特性在地表的表现等。遥感所利用的传感器平台包括地球平台和星际平台。地球平台包括从近地的地基平台到航空平台、太空平台。遥感传感器所使用的电磁波波长从 γ 射线到射频无线电。在地学研究中,主要使用的波段是从紫外到微波。

1.1 遥感原理

遥感原理是遥感的基础理论。它主要说明电磁波的特性、物质对入射电磁波的反射、折射、吸收、散射特性、物质发射电磁波的特性以及电磁波被感测的原理。

1.1.1 电磁波谱

电磁波是我们非常熟悉的一种物质。它是信息从目标物体传递到传感器的载体。电磁波与物体表面及大气相互作用导致对电磁波的调制,使电磁波的极化方向、强度及频率发生变化。不同物质调制后的电磁波以电磁辐射的形式从信息源直接穿过自由空间(或间接通过反射、散射、以及再辐射)到达传感器。图 1.1 是入射到地球表面的太阳辐照度光谱曲线。

波可以被认为是由一系列谐波分量组成的。每一分量带有整个波形辐射通量的一部分,这些分量在波谱上占据的范围称为这个波的谱宽或带宽。辐射量在这些不同波长或频率分量上的分布方式称为谱分布。所有辐射量都有相对应的谱分量,它对应着作为波长或频率函数的密度,例如,谱辐射通量是波长 λ 处一个窄带范围内的辐射通量除以带宽。若要得到波谱区内波形的总通量,则将谱辐射通量在此波谱区上积分。

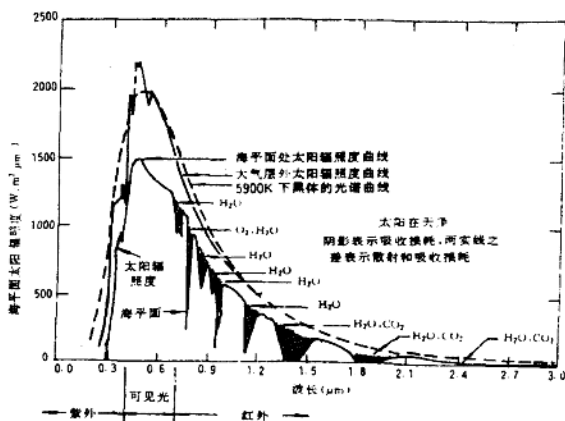


图 1.1 地球表面的太阳辐射度光谱

1.1.1.1 电磁波的产生与传播

电磁辐射产生于其他形式的能量——机械能、化学能、热能、电能、磁能及核能的转换。不同的转换机制形成波谱上不同区域的电磁波。分子有各种不同的转动能级，如果分子激发到更高的能级，它会以电磁波形式发射能量并回落到低能级上，分子激发(振动或转动)，接着衰变产生红外线及可见光波段的高频波。发射频率与分子中量子能级的能量差相关，而分子激发可以由各种途径实现，如放电、化学反应、光子辐射等。气体分子往往有清晰狭窄的发射线。在固态，原子或分子的密堆积破坏了它们的电子轨道，导致有很大数目的特征频率。对于液态，则由于分子间的无规则运动而复杂化。从紫外到高频亚毫米波宽阔的电磁波谱范围，激光器利用分子和原子的激发以及选择性衰变产生带宽狭窄的电磁辐射激光。

热能是物质分子无规则运动的机械能。无规则运动中的碰撞产生激发(电子的、振动的或旋转的)随后因衰变而随机发射电磁波。因其随机性，这种能量转换导致宽谱带的电磁发射。假如一个理想的发射源(称为黑体)以热力学定律所允许的最大效率转换热能为辐射能，则其光谱射出辐射度由普朗克公式给出：

$$S(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

其中： h 是普朗克常数； k 为玻尔兹曼常数； c 是光速； λ 为波长； T 是以开尔文为单位的绝对温度。

地球辐射可以分为短波部分和长波部分，地球辐射的短波部分(0.3~2.5 μm)以地球表面对太阳的反射为主，地球自身的热辐射可以忽略不计。在长波部分(6 μm 以上)，由于在这一区域中太阳辐射的影响极小，所以只

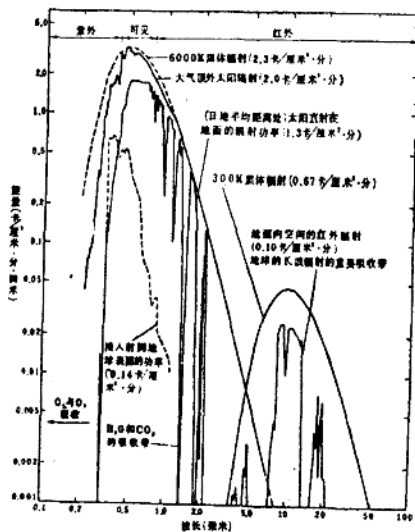


图 1.2 太阳与地表辐射的电磁波谱

有考虑地表物体自身的热辐射。而在 $2.5\mu\text{m}$ 到 $6\mu\text{m}$ 这一中红外波段,太阳辐射和地球表面的太阳辐照度光谱热辐射均不能忽略(图 1.2)。光谱射出辐射度在波长 λ_m 处取极大值:

$$\lambda_m = \frac{a}{T}$$

其中的 $a=2898\mu\text{m}\cdot\text{K}$ 。在整个电磁波谱上发射的能量由斯特藩—玻尔茨曼定律给出:

$$S = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

热发射通常是无极化的,延伸到整个波谱特别是低频端。自然界物体的特性用其谱发射率 $\epsilon(\lambda)$ 表征,它表述该物体相对同温下的黑体,由于热能转换而发射辐射的能力。

1.1.1.2 电磁波与物质的相互作用

电磁波谱区的各种相互作用是十分复杂的过程。在遥感中使用的电磁波谱的高频段 γ 射线和 X 射线与物质的相互作用来自原子间的力和电子间的力,如光电效应(吸收光子并发射电子)、康普顿效应(吸收光子并发射电子和另一个低能光子)和电子偶产生效应(吸收光子并产生电子—质子对)。这一波谱区主要用于探测放射性物质。在紫外区的相互作用来自于电子激发和迁移机制,并有对应的谱带。电磁波在传播过程中通过气体、液体与固体时,它的强度、波长、传播方向和偏振面等将发生各种变化,这种变化可以是单一的,也可以是复合的。

(1) 反射和折射

电磁波在两种不同介质的分界面将发生反射和折射。入射到界面上的电磁波能量的一部分或全部将返回原介质,另一部分能量将偏离原入射方向而进入另一种介质,偏折的大小取决于电磁波在这两种介质中的传播速度之比及入射时的角度。不同波长的电磁波偏折的方向不同。

(2) 吸收

它使电磁波在介质中传播时其强度随距离的增加而逐渐衰减。这个过程中,辐射能转换为其他形式的能量,通常是转变为热能。

(3) 散射

平面波在均匀介质中传播时,它的传播方向是不变的,如果介质有局部的不均匀时,辐射就偏离原来的方向。

(4) 偏振

在反射、折射、吸收和散射过程中,还可能改变电磁波的偏振状态。

根据能量守恒定律,没有吸收的透明介质其透射率和反射率之和应为 1。当有吸收存在时,反射率、透射率和吸收率三项之和等于 1。

在介质中电子是束缚在原子或离子周围的,介质的电导率为零,在介质中也没有传导电流。因此,介质中的电磁特性仅取决于介电常数与磁导率。而在导体中由于电导率不为零,导体中的电磁波传播特性与介电常数、磁导率和电导率都有关。

1.1.1.3 地物光谱

自然界中地物电磁辐射的反射、透射、吸收和发射特征是遥感技术应用于目标探测的基础。地表的岩石大致可分为三大类——沉积岩、岩浆岩和变质岩,各类岩石由于其形成的环境不同,它们在成分、结构上有所差异,导致它们的光谱特性也不一样。如沉积岩根据其形

成时环境的氧化、还原条件的不同而发生变化。任何物质其光谱的产生均有着严格的物理机制。对于一个分子，其能量由电子能量、振动能量和转动能量组成；对于矿物晶体来说，转动能量并不存在。决定光谱特性的机制主要有电子跃迁与晶格振动。岩石的光谱特征相对于矿物较为复杂。我们知道岩石是由矿物组成的集合体，其波谱特征与成分、结构、构造、风化等因素有关，岩石的光谱特征往往并不像矿物的光谱特征那样具有可鉴定的清晰的光谱特征。在三大类岩石中，岩石波谱的一般规律是由可见光到红外波段，波谱特性的差异呈拉大趋势，这是由它们的成分、结构等物质特性决定的。对于自然界客观存在的岩石矿物来说，影响光谱变化的因素是很复杂的，由于可见光及红外波的穿透能力只有几个微米，因此我们在对比光谱特征与成分关系时，样品表面结构和成分是非常重要的，特别是在野外自然情况下。因此，我们在分析、应用光谱特征的时候，应很好地了解它们所指示的岩石和矿物的物质、结构等方面的特点。影响岩石光谱特性的因素有：

① 风化对岩石光谱反射率的影响。风化对原岩的成分、结构的改变是显而易见的。岩石受风化剥蚀的碎屑由水化作用生成水化物或多或少地残留在覆盖岩石的表面。就沉积岩而言，由于风化后岩石的成分变化不大，风化面与新鲜面的光谱差异，主要表现在光谱反射率大小上。而在波谱形态上，在可见光部分变化略大，而在其他部分变化较小。对于透明物质，具有典型意义的是，减小粒度，反射率就会增大，而光谱特征的对比如则减小。

② 岩石表面结构对光谱反射率的影响。岩石表面结构对岩石光谱反射率有一定影响。在矿物成分基本相同时，矿物颗粒的粒度尺寸减小会导致光谱反射强度的增高，这是因为粒度愈小，它对入射光的散射愈强并减少了消光作用。在通常斜入射的情况下，细粒的矿物颗粒的微阴影覆盖的面积会变得更小，这样也提高了该表面的反射强度。

③ 岩石表面颜色对光谱反射率的影响。岩石的颜色是矿物成分、金属杂质及有机质含量的集中表现，不同种类的岩石由不同的矿物所组成，它们在颜色上是有差别的。一般来说，岩石颜色越深，说明以暗色矿物为主或含某些有机质(如炭质)杂质，则反射率亦低；岩石颜色越浅，说明以浅色矿物为主，含有机质少，则反射率亦高。岩石中的杂质成分往往反映在岩石的颜色上，进而影响该岩石的光谱反射率，有时甚至压抑掉该岩石的光谱特征。

④ 大气环境对岩石光谱反射率的影响。在自然光下测量，岩石的光谱受到环境条件的影响比较明显。如大气窗口的限制，风力的随机变化，气温、气压及能见度等的变化。最明显的是大气影响，因为大气能改变太阳辐射光谱分布，以致衰减辐射能量，增加散射辐射。因此：

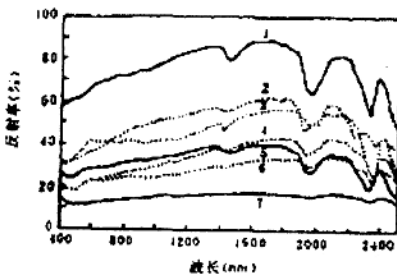


图 1.3 灰岩、白云岩光谱反射率曲线图

1—灰白色白云岩 2—灰岩 3—浅灰色灰岩 4—灰黑色灰岩
5—青灰色白云岩 6—灰色泥灰岩 7—深灰色灰岩

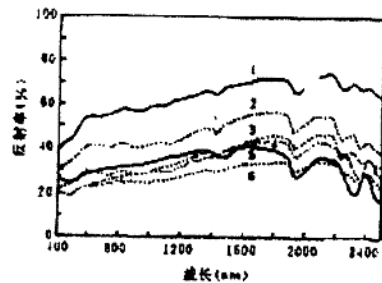


图 1.4 砂岩、粉砂岩光谱反射率曲线图

1—灰白色石英砂岩 2—灰绿色粉砂岩 3—灰绿色砂岩 4—紫红色石英砂岩 5—灰黑色细砂岩 6—灰绿色砂岩

① 地物光谱的测试要规范化以保证所测光谱数据稳定、可靠。

② 岩石的矿物成分及杂质是岩石光谱特征的决定因素。

③ 岩石的赋成环境、表面物理性质、测量的时空条件等，都对其光谱反射率产生影响。

④ 同一种岩石由于表面结构、颜色、粒度及化学成分等因素不一样，使其光谱反射率产生一定的差异，但其反射率光谱曲线形态基本不变。

图 1.3 和图 1.4 标出了灰岩、白云岩和砂岩、粉砂岩的光谱反射率曲线。

植物的叶绿素在波长小于 $0.7\mu\text{m}$ 的波谱区有很强的吸收，在 $0.3\mu\text{m}$ 至 $1.3\mu\text{m}$ 的强反射来自叶子到空气折射率的不连续性。在 $1.3\mu\text{m}$ 至 $2.5\mu\text{m}$ 区，叶子的谱反射曲线与纯水基本相同。通过植被的分布和长势，可以帮助人们对植被生长地表的物理化学性质有所了解，如地质破碎带上往往由于含水量高而植被发育较好。此外，是对植被自身生长状态的认识，从而形成农业估产等应用。图 1.5 是四种植被的发射光谱信息。

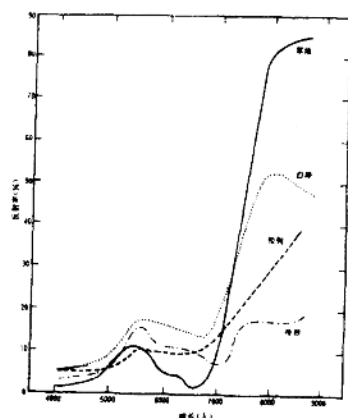


图 1.5 植被的光谱信息

水体的光谱特征比较简单，其光谱变化与水中的悬浮质、深度有着直接的关系。但是，一般来讲，随着波长变化，其反射率越来越低。理论分析的结果表明： $0.53\mu\text{m}$ 波段对清水的穿透深度可达 20 m。当波长超过 $0.76\mu\text{m}$ 时，对清水的穿透能力几乎等于零。在含有悬浮泥沙和悬浮物质时，穿透深度降低，并混入悬浮物质的光谱能量。三种水体的波谱反射率如图 1.6。

在热红外波段，除采用多波段分析方法外，还有一种用热特性来研究地物的方法。地球表面受太阳周期性的辐射，因此地面及其近地表也随这种辐射强度的周期变化产生地温的周期变化。实验结果表明这种影响随着从地表向下的深度增加而逐步减弱。对典型的岩石来讲，日变化影响的最大深度为地表下 1 m，而年变化影响的最大深度约 19 m。从物体的吸热、放热特性来研究地面目标的性质是一种很有效的方法，称之为热惯量方法。该方法在地物识别、岩石分类、土壤含水量、城市热岛效应研究中很有特色。它至少需要两个时相的温度数据，一般取于午后最高温和凌晨最低温。由于热能具有对流、辐射、传导三种传热方式，因此，周围物质（地物和空气）都会影响到目标物体的辐射温度变化。图 1.7 是温度日变化与热惯量、可见光反照率、地热通量、红外发射率的关系。

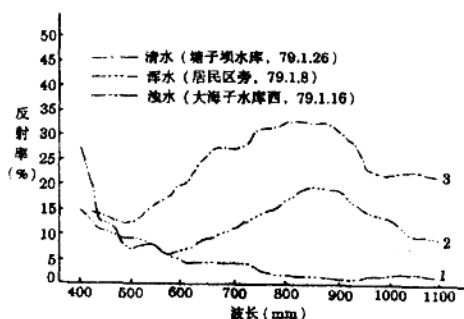


图 1.6 不同浑浊度水体的波谱反射率

微波是由于物质的分子旋转与反转、电子自转与磁场之间相互作用产生的。大地微波辐射能量小，约为 $10^{-9} \sim 10^{-20} \text{ W/M}^2$ 。微波也是电磁波，遇到目标物后同样具有反射、散射等作用。电磁波与目标的原子相互作用，这些原子变成小的电磁振子向所有方向辐射电磁波。如果表面是理想的平面，入射波在其上会产生反射波和透射波，透射角与目标物的介电常数有关。如果表面是粗糙的，部分能量在再辐射时射向各个方向，成为散射场。对于表面很粗糙的表面，向各方向散射的能量相同，其中后向散射是主动微波遥感获取目标能量的来源。

自然表面的后向散射截面依赖于入射波的偏振情况。此外，后向散射场既包含水平偏振分量（与入射平面垂直），又包含垂直偏振分量（在入射平面内），表面的后向散射特性可由四个散射截面描述。

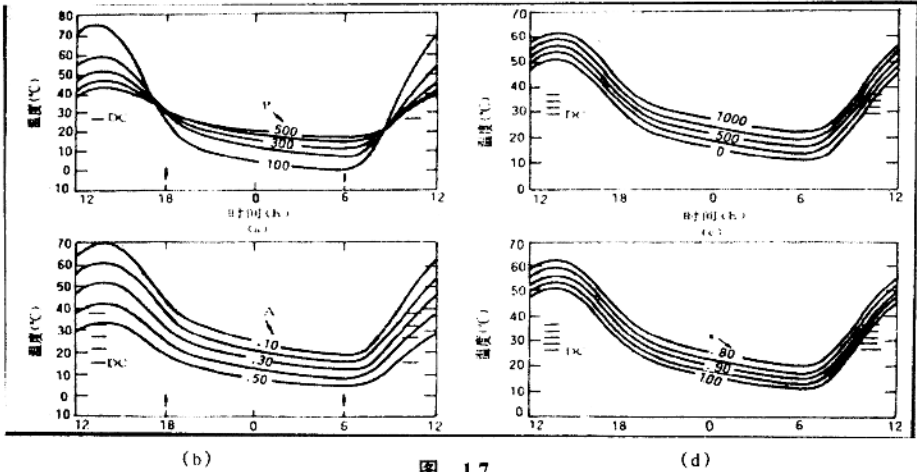


图 1.7
(a) 各种热惯量 ($\text{cal/m}^2\text{S}^{1/2}$); (c) 各种地热通量 (W/m^2);
(b) 各种反照率; (d) 各种发射率情况下的温度日变化曲线;

- σ_{HH} : 入射波为水平偏振时的水平偏振后向散射截面。
- σ_{HV} : 入射波为水平偏振时的垂直偏振后向散射截面。
- σ_{VH} : 入射波为垂直偏振时的水平偏振后向散射截面。
- σ_{VV} : 入射波为垂直偏振时的垂直偏振后向散射截面。

这四个复变参数（振幅和相位）代表了后向散射矩阵的全部特征。

在入射波与表面的相互作用中，入射波的频率是很重要的。入射波的穿透深度、粗糙表面对入射波的散射及有限的散射体对波的散射，频率都是很关键的因素。例如，当表面被 2 m 厚的纯雪覆盖时，频率高于 10 GHz 的电磁波就无法探测到表面，但雪覆盖对频率为 1.2 GHz 的电磁波来说基本上是透明的。此外，湿度也是影响穿透深度的关键因素，湿度越大，穿透深度越浅。微波的这种穿透能力使其成为了全天候的遥感传感器。由于大地辐射的微波能量很小，所以人们常常采用人造微波辐射源，将微波辐射出去，然后接收地面微波的散射能量。

1.1.1.4 大气窗口

地球表面有一层厚厚的大气，太阳辐射穿过大气层时，将受到大气中气体分子和微粒的散射与吸收。大气散射与吸收不同，不会改变大气本身的内能，只使气体分子和微粒内部的电子在太阳辐射下发生振动。它所放射的能量是入射的太阳辐射能的一部分，所以散射只是改变太阳辐射的方向，向大气质点四周散射。散射一方面使天空发光，形成空中蒙蒙亮度，另一方面，散射光将均匀地照射地面，增加了地面照度，并使阴影部分的地物也受到一定的光照。按照大气质点的大小，散射分为以下两种：

(1) 瑞利散射

当大气中质点的直径远远小于辐射波长时(小于十分之一波长)，散射的能力与辐射波长

的四次方成反比，这种散射称为瑞利散射。瑞利散射是选择性散射。

(2) 米氏散射

当大气中质点的直径等于或大于辐射波长时(如尘埃、水滴、云、雾和烟雾等)，散射能力与波长无关，这种散射称为米氏散射。米氏散射是非选择性散射。

实际上，大气中的散射，是瑞利散射和米氏散射综合影响的结果。在不同的大气条件下，有时以瑞利散射为主，有时以米氏散射为主。散射的程度除了与大气条件有关外，还与太阳高度角有关，而太阳高度角又是地理位置、季节和时间的函数。散射的影响使总的太阳辐射能损失了 22%。散射光虽然能均匀地照射地面，使阴影部分的地物也受到一定的光照，但由于散射光而产生的空中蒙雾亮度却限制了航空(航天)摄影的条件。

除了散射现象外，大气吸收对电磁波的影响很大。地球大气中 99% 的成分是氮气和氧气，此外，还有臭氧、二氧化碳、水分子等等。氧，在小于 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 处，有一个较宽的弱吸收带，在 0.69 和 $0.76\text{ }\mu\text{m}$ 附近各有一个窄吸收带，吸收能力较弱。臭氧在大气中的含量很少，只在平流层的臭氧层里(高度 $25\sim 30\text{ km}$) 密度较大。臭氧主要吸收紫外线($0.1\sim 0.36\text{ }\mu\text{m}$)，此外在 $0.55\sim 0.6\text{ }\mu\text{m}$ 处还存在一个弱吸收带，吸收能力虽然不强，但因该波段恰位于太阳辐射最强烈的辐射带里，被吸收的太阳辐射能还是很多的。

二氧化碳，吸收作用主要在红外波谱区，对可见光的吸收可以忽略不计，在 $2.6\sim 3.8\text{ }\mu\text{m}$ 和 $4.4\sim 4.4\text{ }\mu\text{m}$ 处各有一个强吸收带，在 $9.1\sim 10.9\text{ }\mu\text{m}$ 和 $12.9\sim 17.1\text{ }\mu\text{m}$ 处各有一个弱吸收带。

尘埃和水滴。尘埃对太阳辐射的吸收作用较弱，但不是选择性吸收，而是对各种波段都有少量的吸收。水滴的吸收带主要在 $0.59\text{ }\mu\text{m}$ 和 $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近。

综上所述，大气中各种成分的吸收主要发生在紫外和红外波谱区，吸收的结果使太阳辐射能量损失了 17%，最大强度的辐射波长由 $0.48\text{ }\mu\text{m}$ 移动到 $0.59\text{ }\mu\text{m}$ 。由于大气对太阳辐射的吸收和散射，必将减少通过大气的辐射能，于是我们将那些受大气吸收较少或不被大气吸收的电磁波波段称之为大气窗口。在可见光及红外区，常用的大气窗口是： $0.3\sim 1.4\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.4\sim 1.9\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.9\sim 2.7\text{ }\mu\text{m}$ 、 $4.3\sim 5.9\text{ }\mu\text{m}$ 、 $8\sim 14\text{ }\mu\text{m}$ ，在 $16\sim 24\text{ }\mu\text{m}$ 还有一个半透明窗未被利用。在微波区，可采用的大气窗口有 1.4 mm 、 3.3 mm 、 8 mm 及 $1.6\sim 15\text{ m}$ ， $15\sim 30\text{ m}$ 的辐射是否能透过大气层由电离层的具体条件来确定。大于 30 m 的无线电波则被反射回宇宙空间，不能透过大气层。图 1.8 是天顶下地球大气的吸收谱线。

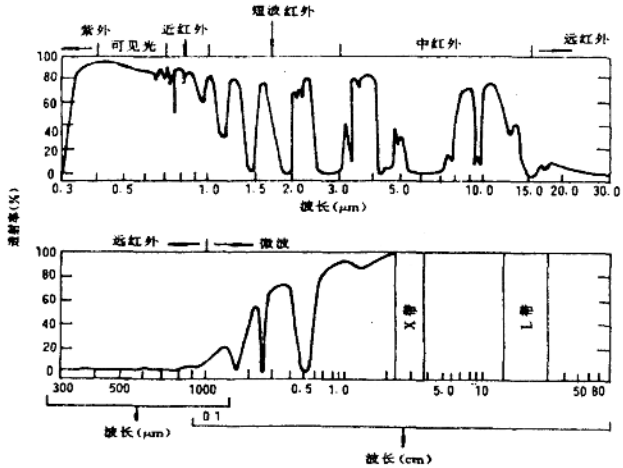


图 1.8 天顶下地球大气的吸收谱线

的吸收谱线。当用遥感技术研究大气时，大气是研究对象，气象卫星就必须选择相应的吸收区，以测量它们的含量及温度分布等。但在用遥感技术研究地球表面时，电磁波的波段必须