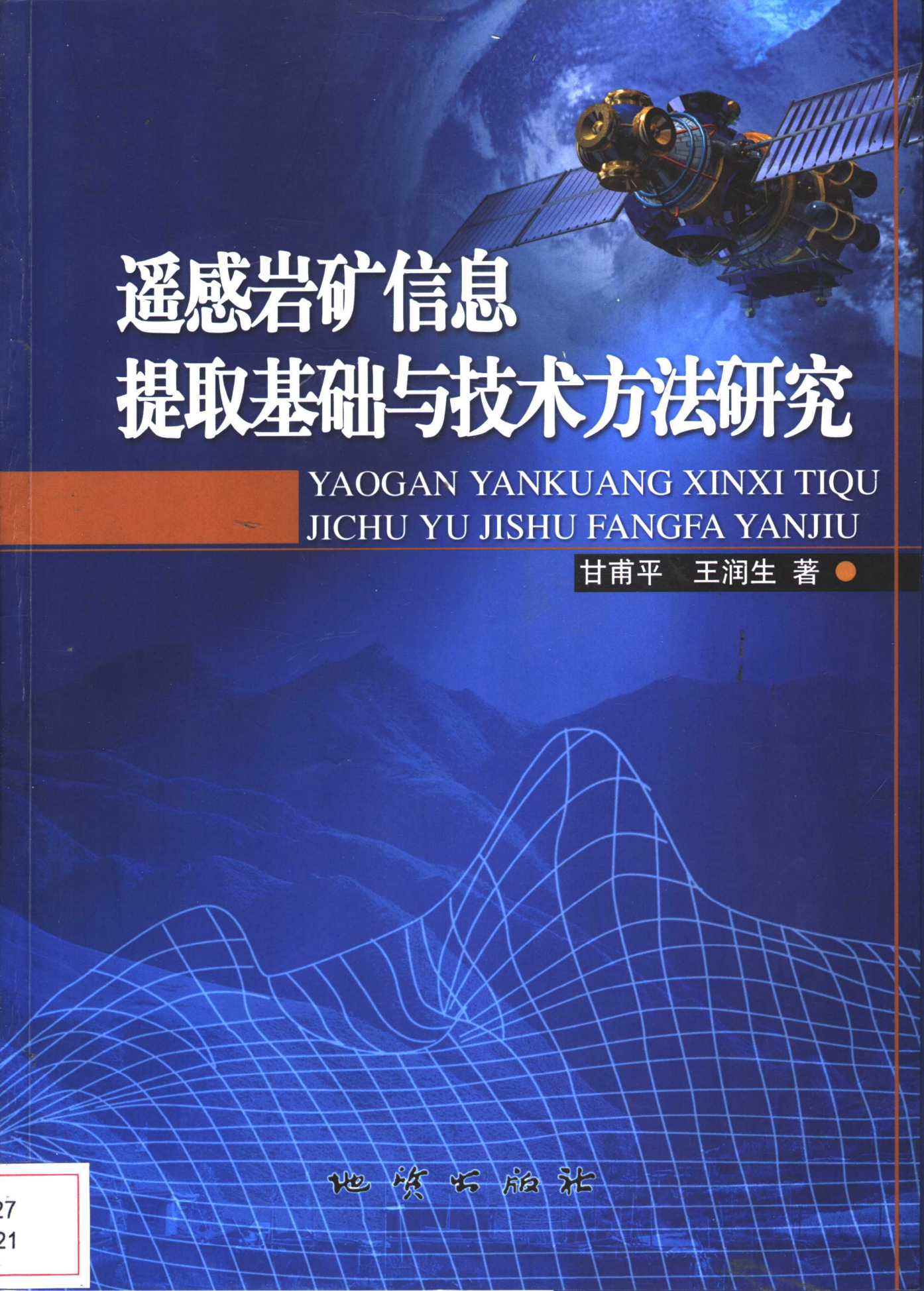


The background of the cover features a satellite in the upper right corner, orbiting a mountainous landscape. The landscape is rendered in shades of blue and white, with a grid overlay that suggests a digital or remote sensing theme. The title is prominently displayed in the upper left quadrant.

遥感岩矿信息 提取基础与技术方法研究

YAOGAN YANKUANG XINXI TIQU
JICHU YU JISHU FANGFA YANJIU

甘甫平 王润生 著 ●

地质出版社

遥感岩矿信息提取基础 与技术方法研究

甘甫平 王润生 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

在系统分析和总结岩石矿物光谱特征的基础上,本书以矿物的光谱特征为突破口和主线,从多光谱图像的信息提取和高光谱的图像分析、光谱识别,以及超光谱的植被金属量探测等不同光谱尺度对遥感岩矿信息提取的理论基础和技术方法作了较深入的研究,发展了多光谱图像的基于小波包变差的蚀变带识别和分带技术,基于光谱匹配滤波的多光谱图像矿化蚀变矿物信息提取技术,高光谱的基于矿物全波段组合的图像识别技术,高光谱矿物分层识别谱系技术,高光谱基于单矿物识别和基于组合矿物识别的光谱分析模型,地球化学异常区超光谱植被金属含量定量探测以及植被生理信息提取的分析方法等。提出了建立岩矿识别的技术集成、谱系集成和多源数据分层识别集成的思路和初步的系统框架。

本书可供从事遥感、地质工作的生产、科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究/甘甫平等著.
—北京:地质出版社,2004.2
ISBN 7-116-04022-6

I. 遥... II. 甘... III. 遥感技术—应用—矿物—
光谱分析 IV. P575.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005728 号

组稿编辑:王大军
责任编辑:李凯明 沈 镭
责任校对:关风云
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083
电 话:(010)82324508(邮购部)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zbs@gph.com.cn
传 真:(010)82310759
印 刷:北京长宁印刷厂
开 本:787mm×1092mm^{1/16}
印 张:8.25
字 数:200 千字
印 数:1—700 册
版 次:2004 年 2 月北京第一版·第一次印刷
定 价:40.00 元
ISBN 7-116-04022-6/P·2458

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前言

以辐射反演理论、辐射与地物的相互作用机理、地球系统科学理论、航天航空对地观测技术为基础的遥感技术的发展,极大地拓展了人类的视野和观测角度,使人类能够真正从整体上将地球作为一个统一的系统加以研究和认识,从不同尺度和不同层次上,揭示地球各圈层的运动变化和相互作用。遥感技术已经成为国土资源调查和监测不可替代的高技术手段。随着传感器频谱范围的不断拓宽;空间频谱和时间分辨率的不断提高;信息处理、提取和综合技术的不断发展,对遥感信息的挖掘由“粗糙”到“精细”,解释由定性到定量,地物识别由间接到直接,不断推动人们对赖以生活的大气圈、水圈、地球圈认识的深化。遥感技术正向着观测系统化、技术一体化、应用模型化、反演定量化和过程数字化方向发展。

20 世纪 90 年代以来,高光谱技术得到长足的发展。许多国家都作了大量航空飞行试验、方法研究和应用示范工作,在数据获取、辐射定标、光谱重建、数据处理等技术方面都有了很大的进步,建立了各种数据处理与识别模型。如美国拥有有机载成像光谱仪 AVIRIS、Probe-1、MASTER、SEBASS 等,在地质、农业、生态与环境等方面开展了一系列的研究工作,促进了高光谱技术与应用的深入发展,使遥感从对地物的鉴别(discrimination)发展到对地物直接识别(identification)的阶段,并使利用宏观的手段(遥感技术)进行微观(如矿物)的探测成为可能。

在未来几年内,陆续将有一系列的搭载有高光谱仪的卫星上天。如 SIMSA 卫星搭载的 HIS, ARIES-1 卫星搭载的 ARES-1 以及 PRISM 卫星都将搭载高光谱仪等。这些光谱仪的光谱分辨率一般都在几纳米到 20nm 之间,空间分辨率在几米到 50m 之间,而且个别还具有全色波段。其数据特点完全适用于地质矿产与土地利用评价,以及森林植被的动态监测等。而且,其数据基本都进入商业运营。同时我国正在研制的资源环境小卫星(1+2 星计划)也主要是采用高光谱成像仪。这些将开创高光谱技术的航天时代,并可能取代多光谱技术成为下一步应用的主流。

但无论是多光谱抑或高光谱,都是以光谱成像。其共同点是实现特征光谱线与物质成分、空间辐射特征与物体形状的一一对应。因此,如何建立地物特征(光谱、辐射)与地物组成属性之间的关联以及如何利用它们之间的关联进行遥感信息分割与提取,提高遥感技术的应用潜力,便是本书的出发点与研究的重点。为此,本书确定从分析地物光谱特征知识出发,侧重于遥感技术的应用,以开发地物光谱识别与信息定量提取技术为研究的核心,具体研究遥感地物光谱识别、地物信息提取技术以及技术和模型集成,为资源评价提供理论基础与技术支撑。

地物特征(光谱、辐射)与地物组成属性的关联分析是遥感应应用基础研究的主要内容。在其研究过程中,无论是进行相关性分析还是建立光谱物理模型,绝大多数都是在实验室内

完成,这与实际应用的自然环境存在一定差距。为此,第二章采用把理想状态下测得的岩矿标准光谱数据置于实际的地质环境进行系统分析与综合研究这一思路,从矿物离子、矿物蚀变和蚀变组合矿物三个层次分析、总结不同物化属性的光谱特征以及不同地质条件岩矿光谱的变化特点,为遥感岩矿识别与其技术方法开发与研究以及遥感地质深层次信息挖掘提供特征光谱知识。

以光谱特征知识为基础,合理地结合遥感数据的空间特性和光谱特征,采用了不同的光谱分辨率的光学遥感数据(ETM⁺、MAIS、AVIRIS、HYPERION 和 PHI),从岩矿蚀变带的识别、岩石分类与蚀变矿物识别、矿物识别到植物生化信息定量提取逐层进行遥感信息提取与应用研究。

应用基础研究与技术方法研究其必然趋势是通过建立模型和技术集成,以统一相应的研究成果,进行应用的系统与综合分析。这样,借助于光谱知识、空间特性与光谱特征、物化属性与谱系特征的关联,对地学信息进行不同层次的挖掘,从中获取必要的新信息。本书在遥感地物信息提取基础与技术方法研究的基础之上,综合二者的研究成果,以现实地质应用与资源评价为终极目标,以现代地质理论为基础,建立相应的技术应用模型,并进行模型与技术集成研究。

本书是在作者博士论文的基础之上增删而成。书中的研究内容受到国家自然科学基金(40201034)、中国国土资源部“九五”重点科技项目“成像光谱技术方法开发应用研究”和“十五”重点科技项目(20022206)以及国家高新技术发展计划(863-103)(2001AA136020-4)等项目的资助。项目各方同仁对此给予了极大帮助。在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者

2003 年 5 月

目 录

前 言

第一章 研究现状与趋势	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 岩矿光谱学机理研究进展	(2)
一、岩矿光谱机理	(2)
二、岩石矿物光谱内部化学机制	(4)
三、岩石矿物光谱外在物理机制	(5)
第三节 遥感岩矿光谱应用基础研究进展	(10)
一、岩石矿物物化属性与光谱特征相关性分析	(10)
二、物理数学模型研究	(11)
第四节 遥感岩矿信息提取技术方法研究进展	(12)
一、多光谱	(12)
二、高光谱	(13)
小结	(15)
第二章 数据与数据预处理	(16)
第一节 数据特征	(16)
一、ETM ⁺ 数据	(16)
二、MAIS 数据	(16)
三、AVIRIS 数据	(17)
四、PHI 数据	(17)
五、Hyperion 数据	(17)
第二节 数据预处理	(18)
一、AVIRIS 数据	(18)
二、MAIS 和 PHI 数据	(18)
三、Hyperion 数据	(18)
第三章 遥感岩矿识别的光谱特征	(19)
第一节 矿物基团和离子光谱的敏感性研究	(19)
一、基团和离子光谱特征	(20)
二、矿物多样性光谱特征	(30)
第二节 矿物光谱蚀变效应分析	(33)
一、标型矿物蚀变	(34)
二、中低温围岩蚀变	(35)

三、高温围岩蚀变·····	(36)
第三节 蚀变带中矿物的组合光谱特征·····	(36)
一、波段吸收深度·····	(36)
二、蚀变带矿物组合波谱表征·····	(37)
三、蚀变带中矿物的组合光谱·····	(38)
小结·····	(42)
第四章 多光谱遥感岩矿信息提取 ·····	(43)
第一节 基于小波包变差的蚀变分带·····	(43)
一、引言·····	(43)
二、图像的小波变换·····	(44)
三、基于小波包变差的岩相分带算法·····	(47)
四、试验研究·····	(48)
第二节 基于光谱匹配滤波的蚀变信息提取·····	(51)
一、引言·····	(51)
二、光谱匹配滤波·····	(51)
三、蚀变信息提取试验·····	(54)
第五章 高光谱岩矿信息提取 ·····	(57)
第一节 基于波谱组合的图像识别·····	(57)
一、基于波谱组合特征信息提取机理·····	(57)
二、基于波谱组合特征信息提取流程·····	(58)
三、试验研究·····	(60)
四、方法评价·····	(63)
第二节 基于特征谱带的矿物分层谱系识别·····	(66)
一、谱系识别规则基础·····	(66)
二、谱系识别规则·····	(67)
三、Cuprite 矿区地质概况·····	(68)
四、矿物信息提取·····	(69)
五、技术评价·····	(72)
第三节 卫星高光谱 Hyperion 数据岩矿信息提取·····	(73)
一、数据预处理·····	(73)
二、驱龙斑岩铜矿区·····	(73)
三、蚀变矿物像元波谱与矿物典型波谱的对应分析和矿物的初步识别·····	(75)
第六章 高光谱植物理化信息定量提取 ·····	(81)
第一节 高光谱植物信息提取的主要方法·····	(81)
第二节 植冠的反射光谱特征和变异性状·····	(83)
第三节 高光谱植物生物理化信息提取·····	(84)
一、试验区概况·····	(84)
二、工作方法·····	(84)
三、试验区 RARS 的计算·····	(85)

四、植物色素浓度的区域分析·····	(86)
第四节 基于物谱关联的地化信息探测·····	(89)
一、植被可见近红外区域吸收深度与土壤地球化学异常的关系·····	(89)
二、试验研究·····	(90)
三、方法应用评价·····	(92)
第七章 遥感矿物组合识别模型与技术集成 ·····	(96)
第一节 遥感矿物组合识别模型·····	(96)
一、基于单矿物识别的组合模型·····	(97)
二、基于矿物混合光谱识别的组合模型·····	(99)
第二节 遥感岩矿识别技术集成·····	(101)
一、基于岩矿识别技术体系集成·····	(101)
二、基于岩矿识别谱系技术集成·····	(103)
三、多源遥感数据分层识别集成·····	(105)
第八章 总结与讨论 ·····	(107)
一、总结·····	(107)
二、讨论·····	(108)
三、尚需解决的基础和关键技术问题·····	(108)
参考文献 ·····	(110)
附表 ·····	(119)

第一章 研究现状与趋势

第一节 概 述

在世界各国以及一些区域联盟的科技发展计划中,对地探测技术都居于核心地位。而遥感技术是对地观测技术中的“重中之重”。例如美国的“星球大战”以及“区域导弹防御计划(NMD)”,欧盟的“尤里卡”计划,前苏联的战略防御研究,日本的“科技立国”,中国的“863”计划等,遥感技术都占据重要位置。各国或各联盟分别建立起本国或本区域的立体遥感网络体系,推动了遥感技术的不断发展与遥感信息处理方法的不断创新,增强了人类从小到一个亚像元或像元(几厘米)以及大到全球尺度的资源调查、制图和环境监测能力(Williams & Southworth, 1984; Gupta, 1991),使人类能够快速获取不同层次、不同角度的地球资源和环境信息,加速信息化或数字化进程,抢滩信息技术前沿。

美国 1972 年发射的第一颗地球资源技术卫星(ERTS-1)(后更名为 Landsat-1)标志着地球遥感新时代的开始(Gupta, 1991)。到 20 世纪 80 年代初,传感器由四波段多光谱扫描仪(MSS, 空间分辨率 80m)发展到 7 波段专题制图仪(TM, 空间分辨率除热红外 6 波段 120m 外皆为 30m),成为遥感应用的主要数据源。90 年代,法国发射的 SPOT 卫星上搭载有高分辨率传感器(HRV 分辨率为 20m, 全色 10m)和印度发射的 IRS 资源卫星(多光谱分辨率 25m, 全色 5m)等也在遥感领域起着重要作用。1999 年 4 月升空的 Landsat-7 所搭载的增强型专题制图仪 ETM+,增加了 15m 全色波段,热红外 6 波段空间分辨率增加为 60m。同年 9 月,美国光谱成像公司(Spectral Imaging Inc.)成功发射搭载有空间分辨率达 1m 的 IKONOS 传感器的小卫星。这些都表明遥感应用对空间高分辨率的需求,并将进一步增强人们对地的观测能力。

高光谱是遥感光谱高分辨率发展的结果。机载高光谱遥感技术以美国的航空可见光/红外高光谱仪(AVIRIS)和加拿大的小型机载高光谱仪(CASI)最具影响力。尤其是 AVIRIS,在不断的应用试验飞行中进行不断的技术改造以提高其技术水平,到 1995 年其信噪比已达 800 以上,成为同行中的佼佼者。在国内,以上海技术物理研究所研制的 MAIS、OMIS 以及 PHI 为代表,还有长春光机所研制成功的“军民两用高分辨率高光谱仪”,都不断跟踪国际先进水平,在地质找矿、油气勘察、海岸带调查、湿地生态环境研究、农业估产等方面的应用都取得了一定的成功。

在航天高光谱技术方面,搭载有中分辨率高光谱仪 MODIS 以及反射辐射计 ASTER 的 AM-1 卫星已于 1999 年发射。MODIS 在 400~1450nm 光谱区内有选择性地设置了 36 个不连续波段,星下点地面分辨率 250m~1km。2000 年 10 月美国又成功发射搭载有高级大地高光谱仪(Advance Land Imagers-ALI)、高光谱成像仪(Hyperion)和大气校正仪(Atmospheric Corrector)等传感器的 EO-1 卫星。高光谱成像仪 Hyperion 具有 220 波段,光谱分辨率 10nm,空间分辨率 30m,幅宽 7.5km,光谱区间 400~2500nm。澳大利亚计划在 2004 年

发射 ARIES 高光谱仪,该光谱仪空间分辨率 30m,光谱区域 400 ~ 1100nm 与 2000 ~ 2500nm 共 64 波段。这些都标志着高光谱的应用高潮即将到来。

遥感技术的飞速发展带动并刺激到对地物光谱特征的研究,两者相互依赖共同促进。在 20 世纪 60 年代末 70 年代初,针对遥感应用,以 Hunt 和 Salisbury 为代表对地球上各大岩类的光谱特征进行了详尽的研究(Hunt 等, 1970 ~ 1980);80 年代中后期,随着多光谱到高光谱技术的开发与高光谱仪的研制成功,以 Clark(1990, 1999)等为代表,更进一步深入地研究了岩石矿物的光谱特征与处理技术,开发出大量的岩矿信息识别与提取技术,促进了遥感的定量化、精细化和智能化的发展。国外以美国地调局(USGS)和 JPL 为代表,在相关领域进行了一系列的开创性的工作,开发了最为典型的高光谱信息提取软件 Tetracord。中国国土资源航空物探遥感中心承担了原地矿部重点科研项目“高光谱技术开发应用研究”,积累了大量可实用的技术方法,并开发了高光谱数据分析处理系统 ISDAPS,为高光谱技术的地质应用的实用化与推广奠定了技术基础。

第二节 岩矿光谱学机理研究进展

一、岩矿光谱机理

大量的理论和实验研究充分表明:当一部分光进入物质内部时,将产生吸收行为;这种吸收行为是物质内部结构、微量元素以及具有指示物质类型的离子等的光谱表现。在可见和近红外光谱区,地物吸收光谱产生机理,主要是地物内部微粒的电子跃迁过程或振动过程(Hunt & Salisbury, 1971)。

(一) 电子跃迁

电子跃迁主要包括:晶体场效应、电荷迁移、导带、色心。

1. 晶体场效应

电子跃迁是产生吸收光谱最主要的原因。在晶体场理论中,电子占据在一个个单独具有相同能量的轨道位置上(如 s 轨道等),在晶体场作用下,能级将发生分离。轨道能级的分离使电子从低能级轨道向高能级跃迁时,必须吸收与能级之差相匹配的能量,并产生相应的吸收光谱特征(图 1-1)。能级的能量差由原子电价(如 Fe^{2+} 、 Fe^{3+})、配位数以及所占据晶体位置的对称性所决定。同时配位键组成、晶体位置的歪曲扩展、金属配位键内部原子间距等因素也控制着能级的能量差。晶体场随着元素的晶体结构而变化,这样,物质内部微粒的分裂以及离子的不同将产生明显不同的吸收。因此组成的细微变化将导致光谱谱形的偏移,从而可能利用光谱对矿物进行鉴定。吸收波段不仅包含指示矿物种类的诊断性特征,也包含指示矿物内离子的内在特征。

2. 电荷迁移

电荷迁移也能产生吸收波段。光子的吸收使电子在离子之间或离子与配位键之间移动;同时,电荷的迁移也出现在相同元素之间,例如 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 。一般地,通过电荷迁移产生的吸收波段是矿物的诊断性吸收波段,其强度是晶体场迁移的成千上万倍,但波段中心往往出现在紫外,吸收翼展布于可见光。电荷的迁移吸收是铁氧化物和氢氧化物产生红色的主要原因。也应该注意到,表面积与体积比(颗粒大小)将影响吸收的强度,并导致波形的改变。

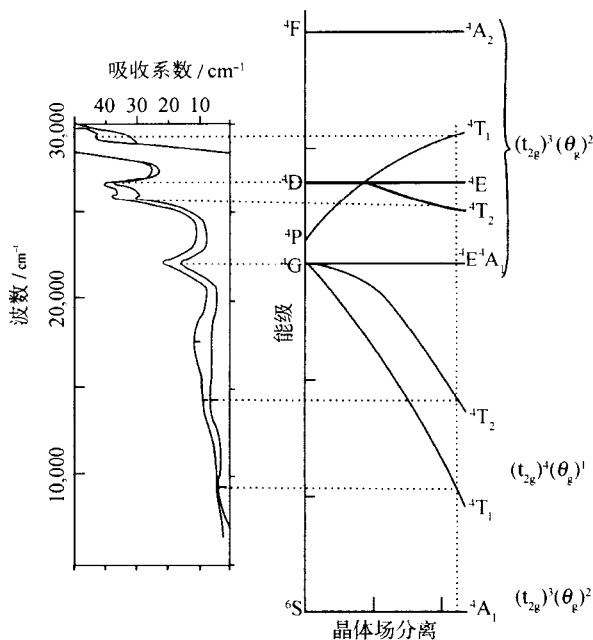


图 1-1 与旋转晶体场迁移相匹配的铁氧化物(Fe^{3+})的能级图
(据 Pieters et al., 1993)

3. 导带

一些矿物往往有两种能级:高能量称为“导带(Conduction Band)”,电子可以在整个晶格移动;而低能量区,称为“价带(Valence Band)”,电子被束缚在单个原子上。能级之间的差值称为能隙(Bandgap)。能隙在某些电子中非常小或更本不存在;而在一些电介质(Dielectrics)中非常大。一些矿物的颜色往往由能隙产生,如硫的黄色。能隙具有指示矿物的作用。

4. 色心

一些矿物显示颜色归因于色心的吸收。色心的产生主要是由于晶体缺陷的辐照度引起。晶体缺陷产生离散的能级,并使电子能级向其跃迁。电子向缺陷跃迁需要吸收光子能量,从而产生吸收特征。

(二) 基团振动

在分子和晶体晶格中,键如附着于质量上的弹簧,使整个系统都能发生振动。振动的频率依赖于每一弹力(分子键)以及它们的质量(分子每个元素的质量)。如果一个分子有 N 个原子,则具有 $3N - 6$ 个称之为基谱的简正模式。每一个振动也能出现于多个原始的基谱频率。单一基谱模式的振动称之为倍频,而不同模式振动的结合称之为合频。

如果一个分子有三种基谱振动, V_1, V_2, V_3 , 那么其倍频大约为 $2V_1, 3V_1, 2V_2$; 合频大致为 $V_1 + V_2, V_2 + V_3, V_1 + V_2 + V_3$ 等。另外 $V_1 + V_3 - V_2$ 这种差模式也可能存在。每一个高的倍频或合频振动强度比其最近的基谱振动弱 $30 \sim 100$ 倍,从而使矿物的光谱更加复杂。但在反射光谱学中,这些弱的吸收特征能够容易地测量到,而且其诊断性信息常常来自于第 2 和第 3 倍频和合频。

晶体模式有时也被 VT(迁移振动)和 VR(旋转振动)以及与其它基谱振动相结合,从而

导致光谱出现更精细的结构,这种振动出现在中红外。

二、岩石矿物光谱内部化学机制

根据对大量岩石矿物光谱特征的研究, Hunt(1977)总结出电荷跃迁或元素、离子的运动或激活行为与波谱吸收在可见与近红外光谱区域的光谱特征标识图(图 1-2);嗣后, Hunt(1982)总结出硅酸盐岩石矿物中红外吸收光谱特征标识图(图 1-3)。根据这些对应关系可以进行岩石矿物识别。

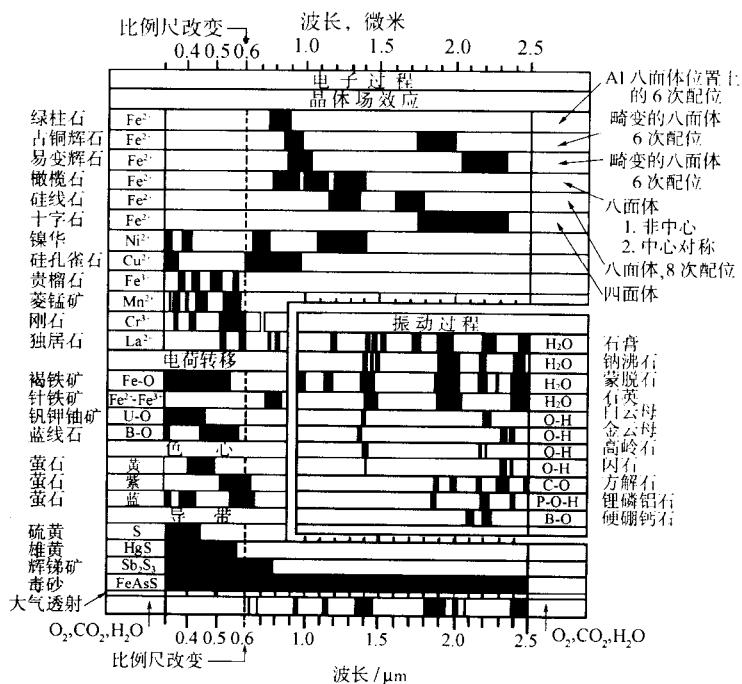


图 1-2 岩矿可见与近红外光谱特征标识图

(据 Hunt, 1977)

继 Hunt 等之后, Clark(1990, 1999)等更进一步对岩矿光谱特征信息进行研究, 继续探索离子与光谱诊断性特征之间的关系(图 1-4)。

图 1-4a 显示方解石(Calcite)、白云石(Dolomite)、绿柱石(Beryl)、石膏(Gypsum)、明矾石(Alunite)与钠板石(Rectorite)矿物中 H_2O 、 OH 与 CO_3 基团的振动或离子(如 Fe)的跃迁所产生的光谱特征。图 1-4b 主要为矿物金云母(Phlogopite)、黑云母(Biotite)、叶蜡石(Pyrophyllite)、白云母(Muscovite)与绿帘石(Epidote)中 H_2O 与 OH 基团的振动吸收波带。图 1-4c 主要显示矿物富镁皂石(Hectorite)、多水高岭石(Halloysite)、高岭石(Kaolinite)、纤蛇纹石(Chrysotile)、利蛇纹石(Lizardite)与叶蛇纹石(Antigorite)中 OH 基团的反射光谱特征。图 1-4d 显示滑石(Talc)、透闪石(Tremolite)、阳起石(Actinolite)、纤蛇纹石(Chrysotile)、利蛇纹石(Lizardite)与叶蛇纹石(Antigorite)的 OH 第一倍频(overtone)在高光谱分辨率下的吸收特征。可见, 滑石(Talc)、透闪石(Tremolite)、阳起石(Actinolite)光谱中三个尖锐的吸

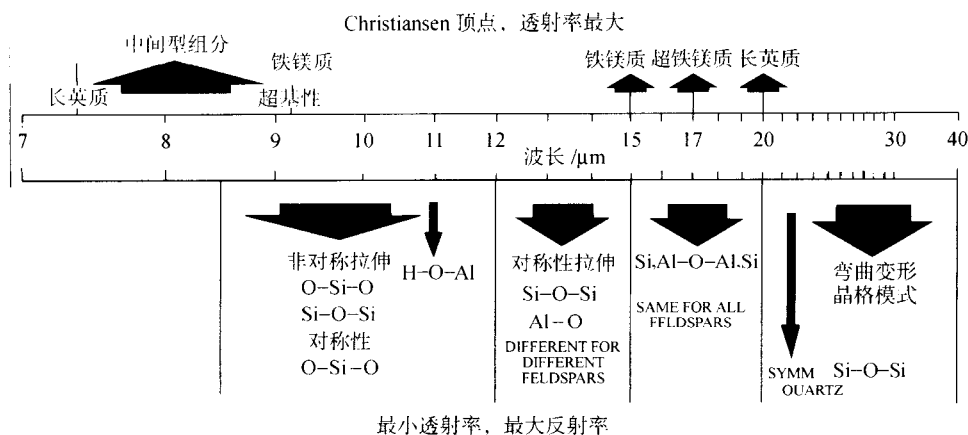


图 1-3 硅酸盐岩矿中红外光谱特征标识图
(据 Hunt, 1982)

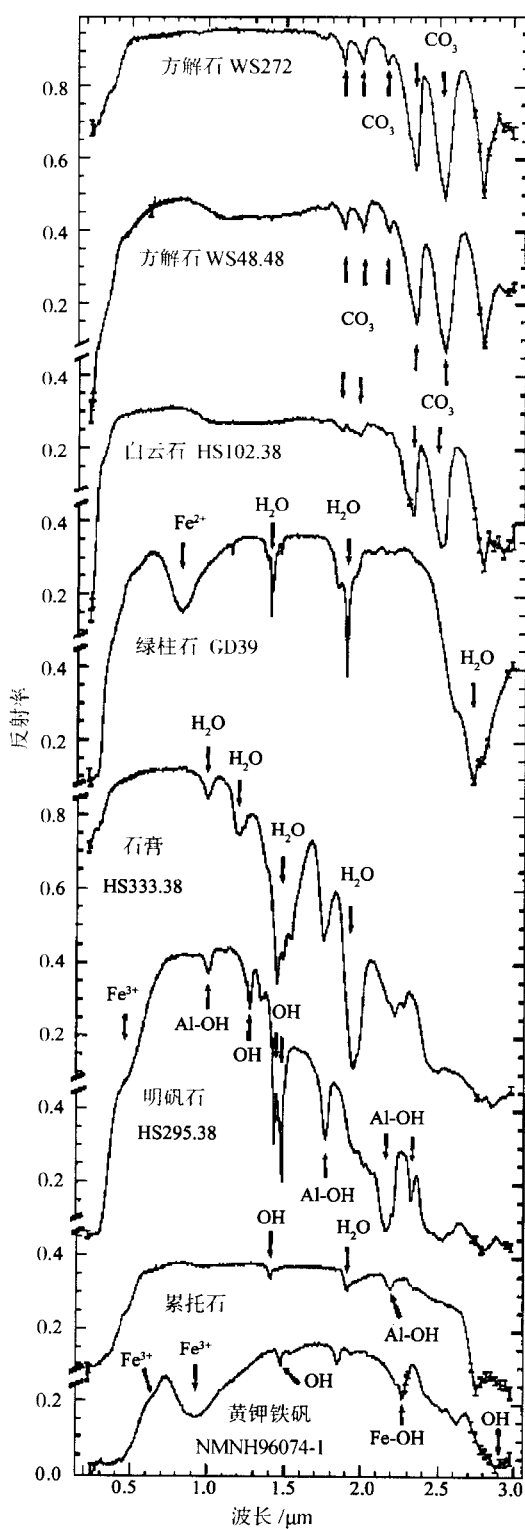
收谱带是由 Mg-OH 、 Fe-OH 的振动产生, 并具有微小的偏移; 纤蛇纹石 (Chrysotile)、利蛇纹石 (Lizardite) 与叶蛇纹石 (Antigorite) 尽管组成相同, 但由于结构的细微差异而造成吸收特征的变化。图 1-4d 也反映了在不同光谱分辨率在矿物的光谱识别能力。随着分辨率从 $0.0025\mu\text{m}$ 、 $0.00125\mu\text{m}$ 到 $0.00062\mu\text{m}$, 矿物光谱的细微差异越明显。在低分辨率下难以区分的矿物在高分辨率下可以很容易地进行识别。

三、岩石矿物光谱外在物理机制

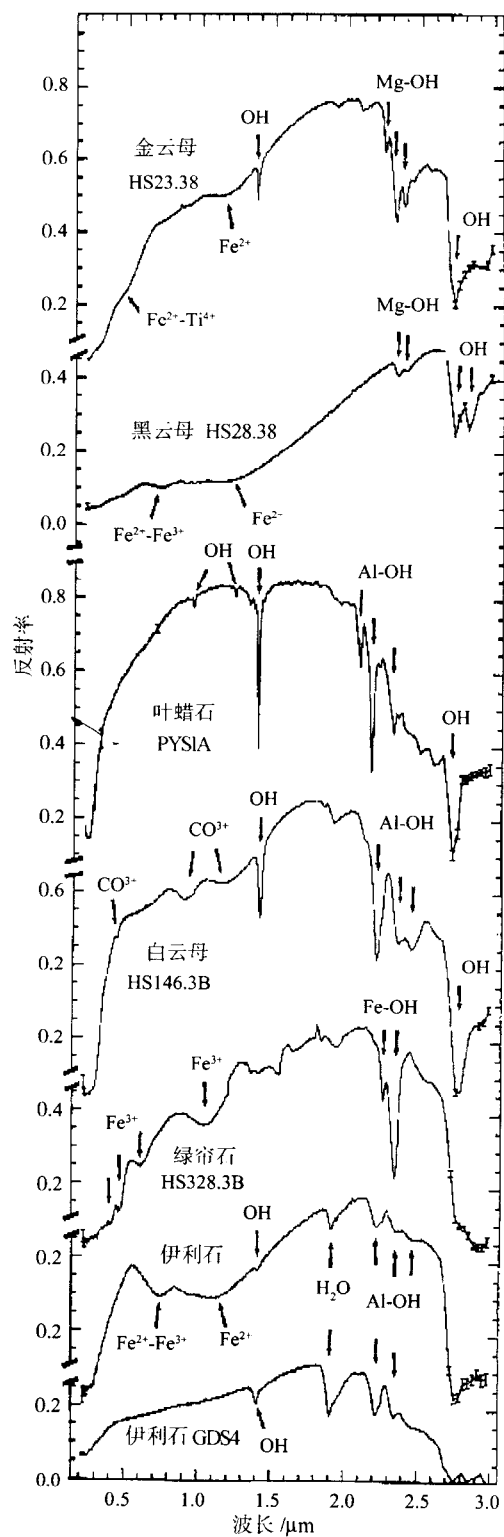
岩矿光谱特征的产生主要是由于组成物质内部离子与基团的晶体场效应与基团振动的结果。但外在的物理因素往往也会影响着岩矿的光谱特征。下面分别从矿物颗粒大小、几何光学位置、矿物表面形态与风化作用、矿物或岩石的混合等与岩矿光谱特征的关系进行论述, 分析光谱特征参量在各种外在条件下的稳定性, 评价消除这些外在因素的可能技术途径。

(一) 矿物颗粒效应

光子散射和吸收的数量依赖于颗粒大小。表面积与体积之比 (SVR, surface-to-volume ratio) 是颗粒大小的函数。颗粒愈大, 内部光学路径愈大; 根据贝尔定律, 光子将被吸收。颗粒愈小, 与内部光学路径比较, 将成比例地增加表面反射。这样, 在可见和近红外光谱区域, 对多级散射, 随着颗粒大小的增加, 反射率也随之下降。Hunt 等 (1970~1980)、Clark 等 (1999)、王润生等 (1999) 等都分别对颗粒大小与岩石矿物光谱特征的相互关系进行了深入研究, 并证实了这一规律。针对光谱的透明行为、不透明行为以及透明-不透明行为, 王润生等 (1999) 研究认为, 对于具有透明行为的矿物, 光谱反射率与粒度之间存在近似的对数关系, 随着颗粒的变小而增大; 不透明行为的矿物光谱反射率随颗粒变小而稍有降低; 对于透明-不透明行为的矿物反射率随粒度变小在透明的光谱区间而增大, 而在不透明的光谱区却下降, 从而不同粒度的光谱发生交叉。但是在中红外, 吸收系数非常大以及衍射指数在 christensen 频率处剧烈变化时, 第一表面的反射是非常大, 甚至被散射信号主宰。这种情况下颗粒大小的影响将是非常复杂, 甚至与在短波区域的趋势相反 (图 1-5)。



a



b

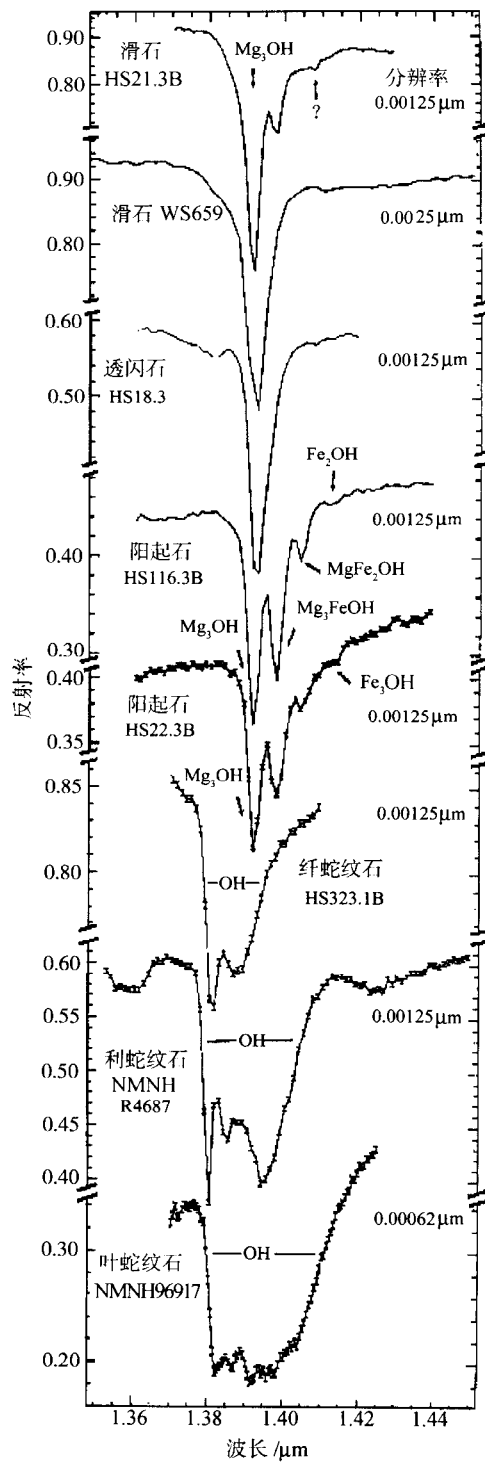
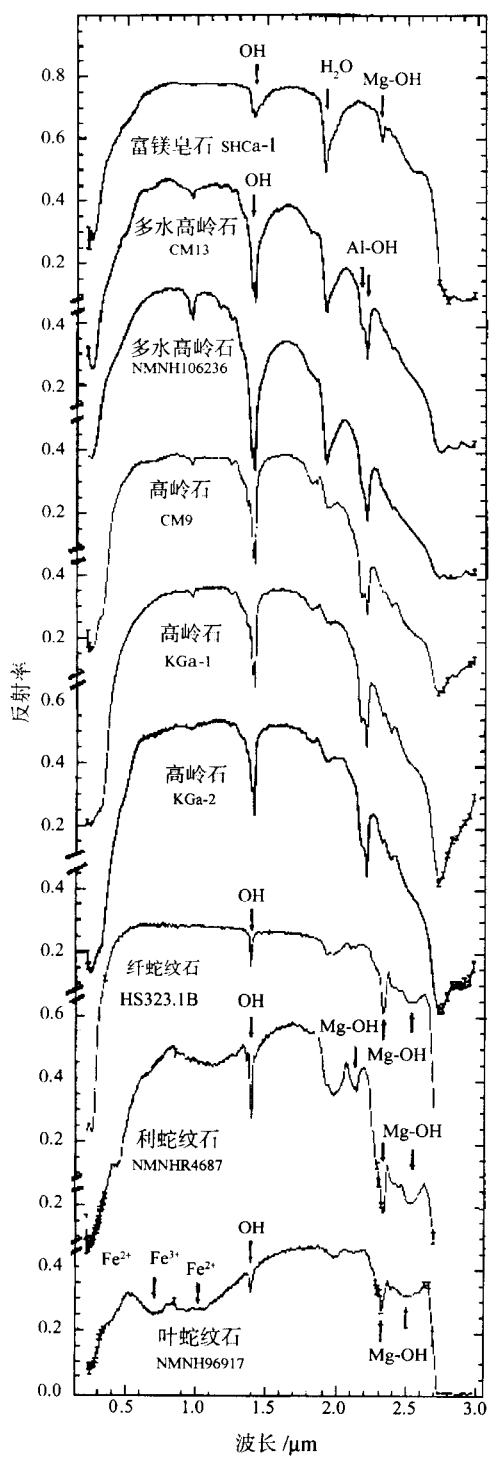


图 1-4 不同矿物光谱形成机理

(据 Clark et al., 1990)

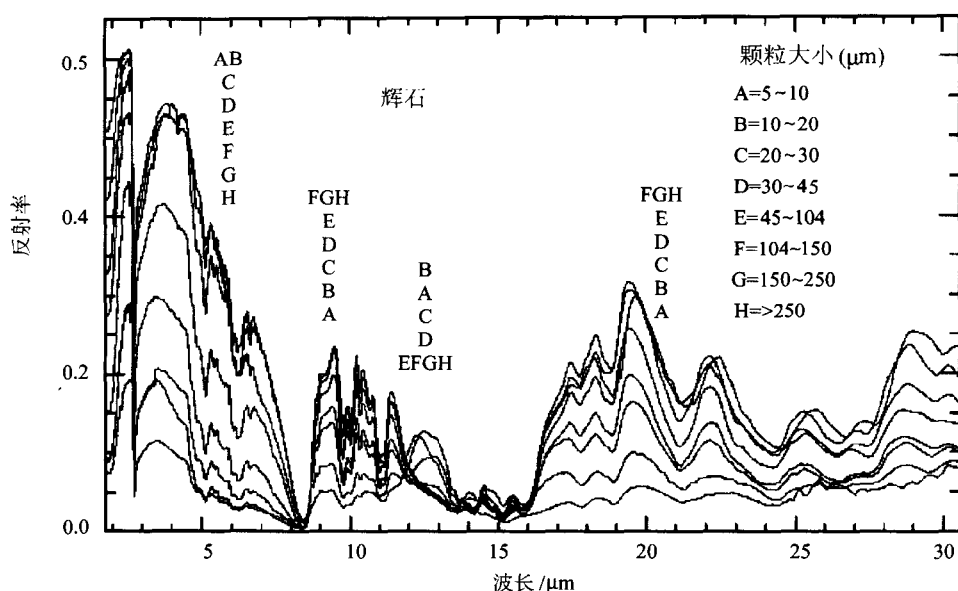


图 1-5 颗粒大小与矿物光谱关系
(据 Clark, 1999)

波段吸收深度与矿物丰度和矿物颗粒大小具有相关性。在两种矿物粒子组成的表面(其中一个具有吸收波段),随着第二个矿物丰度增加,第一个矿物的波段吸收深度 D 随之下降。对纯粉末状矿物随着颗粒增加一个微小值,波段吸收深度 D 首先开始增加,达到一个最大值,然后开始下降。随着颗粒愈来愈大,反射光谱将最终仅由第一表面反射组成。由于波段饱和(band saturation)效应,光谱反射率将永远不会为零。

(二) 视场几何

视场几何包括入射光角度、反射光角度以及相位角(反射光与入射光之间的夹角)。由于地表粗糙度的影响,视场几何的变化将导致阴影的产生和光线传播距离的改变,第一表面的属性将转向多态散射。对于任何表面和任何波长,当多级散射处于支配地位时,波段吸收深度的变化将非常微小(Clark, 1999)。王润生等(1999)通过对地物、光源和仪器观测方向三者几何关系的变化研究认为,视场几何关系仅影响岩矿反射率波谱大小,而波谱整体形态和吸收特征都基本保持不变。

(三) 矿物表面与风化效应

王润生等(1999)研究认为,岩石表面形态会对谱带强度产生影响,但谱带位置、偏倚度基本保持不变;风化效应的影响较为复杂。一般认为,随化学风化作用的加强,原岩成分会发生变化,如 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ,从而使铁离子谱带位置发生漂移,强度有所增减;但阴离子基团对应的谱带位置、波形和偏倚度均较稳定,风化生成的蚀变矿物会使羟基和水的谱带得到加强。莱昂(1996a, b)研究了风化及其它类荒漠漆表面层对高光谱分辨率遥感的影响,认为由于风化层与其下伏岩层之间光谱特征有时并不完全相同,必须将“岩石内部”物质的光谱和它的“上、下表面”光谱区分开来。莱昂进一步研究认为,对于在 SWIR 光谱区域具有很强吸收特征的岩石,如含有滑石、绢云母等矿物的岩石与铁氧物质(LDK)表面层相比更能

表现出其岩石的“真实”特性。

(四) 矿物混合

一般地,自然界存在四种矿物混合类型(Clark, 1999):线性混合(Linear Mixture 或 Areal Mixture), 紧致混合(Intimate Mixture), 包裹(Coatings)与分子混合(Molecular Mixtures)。线性混合又称真实混合,各组成成分之间没有多极散射。紧致混合为非线性混合。在包裹混合物中,每一包裹层都是散射或反射层,它们的光学厚度随着矿物性质与波长而变化。分子混合出现在分子级水平,如两种液体或固液一起混合,这种混合能够使波长偏移。图 1-6 显示了钾明矾石(Alunite)与黄钾铁矾(Jarosite)光谱混合。线形混合一般情况下能够简单地近似描述混合光谱特征。

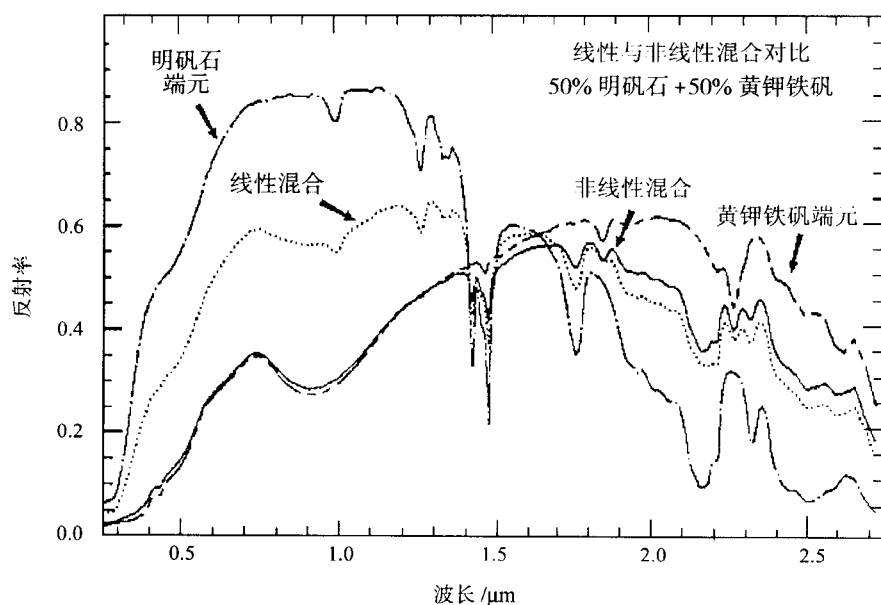


图 1-6 矿物不同混合光谱特征比较

(据 Clark, 1999)

王润生等(1999)研究了不同矿物对的混合光谱特征,初步总结了矿物混合光谱的基本特征:

- 1) 混合光谱的整体反射率一般介于参与混合的单矿物光谱反射率之间;且混合光谱反射率近似为混合单矿物光谱反射率的线形组合,特征谱带强度与矿物的百分含量基本成线性有关;

- 2) 混合单矿物的吸收谱带特征在混合光谱中基本上都能有所反映,但明显程度随着源矿物的相对含量减少而降低;单矿物中一些独有的、较弱的吸收谱带可能会被掩匿以至无法检测或辨识;

- 3) 不同矿物的吸收谱带在混合光谱中会叠加为复合谱带,当混合矿物具相邻近的吸收谱带时,复合谱带的表现行为较复杂。如矿物间的吸收强度相差不大,复合谱带一般介于源