

矿物与岩石的可见—近红外光谱特性综述

燕守勋¹, 张 兵¹, 赵永超¹, 郑兰芬¹, 童庆禧¹, 杨 凯²

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101;

2. 澳大利亚联邦科学与工业研究院, 勘探与采矿所 PO Box 136, North Ryde 1670)

摘要:矿物和岩石的系统光谱学研究是当今高光谱遥感发展的基础。在简要介绍了吸收光谱产生的电子过程和振动过程机理后, 系统归纳了主要矿物类型和岩石类型的可见—近红外光谱特征。认为矿物的吸收光谱主要由二价、三价铁离子和过渡族元素的电子跃迁以及晶体场效应等电子过程产生; 此外, 还可以由水分子、Al—OH、Mg—OH、碳酸根的振动过程及卤化物的色心和硫化物的导带产生; 岩石的吸收光谱都是杂质、包体、蚀变及替代成分产生的, 主要为铁、水和羟基、碳酸根、硼酸根的光谱。最后指出, 不同物理、化学环境下的矿物光谱特征变异研究在将来的高光谱遥感地质勘察中将变的更为重要。

关键词:矿物和岩石; 可见—近红外光谱

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0323(2003)04-0191-11

1 引言

测谱学(Spectroscopy)研究光与地物的相互作用。据测谱学原理由矿物的光谱特性研究矿物晶体结构和成分由来已久^[1~7], 仍然方兴未艾^[8~11]。对矿物、岩石光谱特性的系统研究^[12~32]奠定了当今高光谱遥感技术发展的基础^[33~35]。在前人研究成果^[12~32]的基础上, 本文系统归纳矿物与岩石的可见—近红外光谱特征。

2 矿物光谱吸收机理

物体的光谱特性与其内在的理化特性紧密相关, 以矿物为例, 矿物光谱主要取决于物体内部电子(Electrons)与晶体场(Crystal Fields)的相互作用, 以及物体内部的分子振动(Molecular Vibrations)。电子与晶体场的相互作用来源于晶体场作用(Crystal Field Effects)、电荷转移(Charge Transfer)、半导体(Semiconductor)和色心(Color Centers)的影响。在晶体场作用中由于离子(Ion)能级的跃迁会引起吸收特征的变化, 但反射光谱主要还是由矿物的差异引起的, 它与粒径无关。在晶体场作用中, 铁离子扮

演十分重要的角色, 一方面它在地球上广泛存在, 另一方面 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 能够置换自然界中的 Mg^{2+} 和 Al^{3+} 。电子从一个原子到另一个原子的转移也会对光谱产生影响, 例如 Fe—O 的电子转移就会引起光谱吸收位置向紫外(Ultraviolet)方向移动。反射光谱吸收边缘取决于禁带(Band Gap)的宽度, 入射的光子(Incoming Photons)必须有足够的能量来推动价带(Valence Band)电子进入导带区(Conduction Band), 而在波长方向反射光的急剧增加与带隙能量有关。在某些如离子缺失的结构缺陷的情况下, 就会产生电子捕获, 如 CaF_2 中的 F 离子丢失而被一个电子取代时, 就会造成红绿吸收, 而呈现紫色, 从而形成了色心。不同物质的分子振动对光谱特性有很大的影响, 一般的固体物质的振动发生在大于 $2.5 \mu\text{m}$ 波长范围, Si—O、Al—O 的分子振动就发生在 $10 \mu\text{m}$ 波长范围。H₂O 有 $2.66 \mu\text{m}$ 、 $2.74 \mu\text{m}$ 和 $6.08 \mu\text{m}$ 3 个基本的分子振动波长位置。不同物质间这种内在的微观差异正是成像光谱仪遥感实现地物探测的物理基础。

矿物光谱吸收机理包括金属阳离子在可见光区域的电子过程以及阴离子基团在近红外区域的振动

收稿日期: 2003-05-08; 修订日期: 2003-06-23

基金项目: 863—13 主题岩矿波谱库项目, 国家自然科学基金项目(40072092)和中科院遥感所知识创新前沿项目(CX020007)联合资助。

作者简介: 燕守勋(1961—), 男, 研究员, 主要从事遥感地质应用研究。

过程。

2.1 电子过程

(1) 晶体场效应和电荷转移

电子在原子或离子能级之间或元素之间的电荷跃迁,产生吸收光谱。常见阳离子的特征吸收位置如下:

- Fe^{2+} : 1.0 ~ 1.1 μm , 0.55 μm , 0.51 μm , 0.43 μm , 0.45 μm , 1.8~1.9 μm ;
 - Fe^{3+} : 0.87 μm , 0.7 μm , 0.52 μm , 0.49 μm , 0.45 μm , 0.40 μm ;
 - Ni^{2+} : 1.25 μm , 0.75 μm , 0.4 μm ;
 - Cu^{2+} : 0.8 μm ;
 - Mn^{2+} : 0.34 μm , 0.37 μm , 0.41 μm , 0.45 μm , 0.55 μm ;
 - Cr^{3+} : 0.4 μm , 0.55 μm , 0.7 μm ;
 - Ti^{4+} : 0.45 μm , 0.55 μm , 0.60 μm , 0.64 μm ;
 - La^{2+} : 0.8 μm , 0.75 μm , 0.6 μm , 0.5 μm .
- (2) 色心。主要为卤化物(如萤石)。
- (3) 导带跃迁。半导体材料(如硫,辰砂,辉锑矿等)。

2.2 振动过程

阴离子基团伸缩或弯曲振动产生基频、倍频与合频。主要阴离子基团的振动吸收光谱如下:

- (1) 水: 1.875 μm , 1,454 μm , 1.38 μm , 1.135 μm , 0.942 μm 。主要为 1.4 μm 和 1.9 μm 。
- (2) 羟基: $Al-OH$ 2.2 μm , $Mg-OH$ 2.3 μm 。
- (3) 碳酸盐: 2.55 μm , 2.35 μm , 2.16 μm , 2.00 μm , 1.90 μm 。

3 矿物的可见—近红外光谱

3.1 硅酸盐矿物

硅酸盐矿物中,电子成因的光谱大都是二价和三价铁离子和锰离子及铜离子的跃迁产生的;振动过程大都是水、羟基产生的。对主要硅酸盐矿物的光谱特性分述如下:

(1) 岛状硅酸盐矿物。橄榄石族(镁橄榄石、铁橄榄石、锰橄榄石、钙镁橄榄石),化学式为: $(Mg, Fe, Mn, Ca)SiO_4$, 具有 1.06 μm , 0.82 μm , 1.3 μm , 0.4 μm , 0.5 μm , 0.63~0.65 μm 二价、三价铁离子谱带; 0.37 μm , 0.415 μm , 0.45 μm , 0.55 μm 锰离子谱带; 0.73 μm 铁锰联合谱带。石榴石族矿物光谱特征见表 1。

表 1 石榴石族矿物可见—近红外光谱

矿物族	矿物名称	化学式	电子过程			振动过程		
			二价铁谱带(μm)	三价铁谱带(μm)	其它阳离子谱带(μm)	1.4 μm OH 倍频、合频(μm)	1.9 μm H ₂ O 振动谱带(μm)	Al-O-H 弯曲基谱振动的合频(μm)
石榴石族	锰铝榴石	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	1.275, 1.7	0.8, 0.9	0.41Mn ²⁺ 谱带, 0.37、0.43、0.55 Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ 、Mn ²⁺ 谱带			
	贵榴石	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	1.28, 1.7	0.7, 0.85	0.37、0.43、0.51, 0.57Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ 谱带			
	钙铁榴石	$Ca_3(Fe^{3+}, Ti)(SiO_4)_3$		0.86, 0.45, 0.625, 0.5, 0.37				
	钙铝榴石	$Ca_3Al_2(SiO_4)_2$	1.0 铁置换钙	0.8 铁置换铝	0.6, 0.43Fe ²⁺ , Fe ³⁺ 谱带			
石榴族	砂线石	$AlO(SiO_4)$						
	蓝晶石	$AlO(SiO_4)$						
	黄玉	$Al_2(SiO_4)(F, OH)_2$				1.4	1.9	2.15, 2.2 伴随谱带
石榴石族	十字石	$(Fe^{2+}, Mg)_2(Al, Fe^{3+})_2O_6(SiO_4)_4$	可见区强度下降			1.05 反射极大, 向长波方向下降		
	硅钙硼石	$CaB(SiO_4)(OH)$				1.02, 1.26, 1.48, 1.70, 1.74, 1.80 为 OH 伸缩振动模式的合频; 2.1, 2.5 为 OH 伸缩振动模和晶格振动的合频, 可能还有 B-O 伸缩振动模的合频		
	硼石	$CaTiO(SiO_4)$						

- (2) 群状和环状硅酸盐矿物光谱特征见表 2。
- (3) 链状硅酸盐的光谱特征见表 3。
- (4) 层状硅酸盐的光谱见表 4。
- (5) 架状硅酸盐的光谱见表 5。

3.2 碳酸盐的可见—近红外光谱

碳酸盐矿物中,电子成因的光谱大都是由二价和三价铁离子、锰离子、铜离子的跃迁产生的;振动过程大都是水,羟基,碳酸根产生的(表 6)。

表 2 群状和环状硅酸盐矿物可见—近红外光谱表

亚类	矿物族	矿物名称	化学式	电子过程	振动过程
群状硅酸盐	绿帘石族	斜黧帘石	$\text{Al}_2\text{O} \cdot \text{OH}(\text{Si}_2\text{O}_7)$ (SiO_4)	0.46、0.48、0.55、0.8、1.0 μm 铁离子谱带	1.55、1.85、1.95、2.35 μm 为 OH 谱带
		黧帘石	$\text{Ca}_2(\text{AlOH})$ $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	0.43、0.53 μm 铁离子谱带	1.68、1.85、1.9、2.3、2.35、2.48 μm 为水和 OH 谱带
		褐帘石	$(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})_2$ $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})$ $(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}$ $\text{OH}(\text{Si}_2\text{O}_7)$ (SiO_4)		
		符山石	$\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5$ $(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$	0.95、0.75 μm 铁离子谱带	1.4、1.44、1.9、2.2、2.37 μm 水和 OH 谱带
环状硅酸盐		斧石	$(\text{Ca}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{Al}_2(\text{BO}_3)$ $(\text{Si}_4\text{O}_{12})(\text{OH})$	1.2 μm 铁离子谱带	
		蓝青石	$\text{Al}_3(\text{Mg}1\text{Fe}^{2+})$ $(\text{Si}_5\text{AlO}_{18})$	0.95 μm 铁离子谱带	
		电气石	$(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Al})_3$ $\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4$	1.1、0.75 μm 铁离子谱带	2.2~2.4 μm 处的吸收谱带系 OH 和 B—O 伸缩振动合频
		硅孔雀石	$\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	0.75 μm Cu^{2+} 吸收	1.42、1.92、2.23 μm 水和 OH 谱带

表 3 链状硅酸盐的光谱特征表

亚类	族	矿物名称	化学式	电子过程			振动过程		
				二价铁 (μm)	三价铁 (μm)	其它阳离子(μm)	1.4 μm OH 倍频、合频, 1.9 μm H_2O 振动谱带	Al—O—H 弯曲基 谱振动的合频(μm)	Mg—O—H 振动(μm)
链状硅酸盐	辉石族	蔷薇辉石	$(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Ca})(\text{Si}_3)$	1.04		0.35、0.37、0.42, 0.55 锰离子跃迁	1.4, 1.9		
		透辉石	$\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	1.07	0.45、0.65		1.4, 1.9		
		普通辉石	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Al})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$	1.0 宽谱带				2.3 羟基的合频	
		锂辉石	$(\text{Li}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$						
	硬玉	深绿辉石	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})$ $(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$	1.05	0.85、0.45				
		硬玉	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$	1.0	0.8 铁置换铝				
		直闪石	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7$ $(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH}, \text{F})_2$	0.95	0.65、0.475, 0.375		1.4	2.32、2.40 OH 谱带	
	硅闪石	镁铁闪石	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5$ $(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	0.95、1.0	0.86		1.4	2.2~2.4 间弱的 OH 谱带	
		阳起石	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5$ $(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH}, \text{F})_2$	1.03	0.63		1.4	2.32、2.38 OH 谱带	
		透闪石	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})$ $(\text{OH}, \text{F})_2$	1.05			1.9		2.35
	闪石族	纤闪石	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5$ $(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH}, \text{F})_2$	1.0	0.75		1.4, 1.9		2.32 2.38
		绿闪石		1.0	0.7		1.4, 1.9		2.32 2.38
		钠闪石	$\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}$ $(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH}, \text{F})_2$	0.975	0.7		1.4	2.2	2.35
	蓝闪石	$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{Si}_8\text{O}_{22})$ $(\text{OH})_2$	0.6~1.0 之间二价铁置换 镁, 三价铁置换铝				1.4, 1.9		2.32
	软玉			1.0	0.7		1.4, 1.9		2.33
	锂蓝闪石	$\text{Li}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})$ $(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{Si}_8\text{O}_{22})$ $(\text{OH}, \text{F})_2$	1.0	0.7			1.4		2.35
	碱锰闪石	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Fe}^{3+}\text{Al})_5$ $(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH}, \text{F})_2$					1.4		2.32 2.38

续表 3

亚类	族	矿物名称	化学式	电子过程			振动过程		
				二价铁 (μm)	三价铁 (μm)	其它阳离子 (μm)	1.4 μm OH 倍频、合频, 1.9 μm H ₂ O 振动谱带	Al-O-H 弯曲基 谐振动的合频(μm)	Mg-O-H 振动(μm)
闪石族	角闪石	(Ca, Na, K) ₂₋₃		1.0	0.7				2.33
		(Mg, Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Al) ₅							2.4
		[Si ₆ (Si, Al) ₂ O ₂₂](OH, F) ₂							

表 4 层状硅酸盐的光谱表

亚类	族	矿物名称	化学式	电子过程			振动过程		
				二价铁 (μm)	三价铁 (μm)	其它阳离子 (μm)	1.4 μm OH 倍频、合频, 1.9 μm H ₂ O 振动谱带	Al-O-H 弯曲基 谐振动的合频(μm)	Mg-O-H 振动(μm)
层状硅酸盐	粘土矿物	地开石	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	1.0	0.7		1.43, 1.48, 1.9	1.77, 2.2	
		叶腊石	$\text{Al}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{OH})_4$				1.4, 1.9	2.2, 1.0, 2.3	
		变埃洛石	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$				1.4	2.2	
		水合变埃洛石	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$				1.9	1.0	
		蒙脱石	$(1/2\text{Ca}, \text{Na})0.7(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_4$ $(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$				1.4 1.9	2.25	
		高岭石	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$				1.4 1.9	2.16~2.17 和 2.2 双吸收峰,前者弱,后者强	
		滑石	$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$				1.4 1.9		2.32
		蛇纹石	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$				1.4		2.34
		蛇纹石石棉					1.4		2.34
		伊利石	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_4$ $(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$				1.4 1.9	2.2	2.34
		锂云母	$\text{K}_2(\text{Li}, \text{Al})_5$ $(\text{Si}_{6-7}\text{Al}_{2-1}\text{O}_{20})(\text{OH}, \text{F})_4$				1.4	1.28, 1.33, 2.03, 2.14, 2.2, 2.35, 2.45	
		白云母	$\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH}, \text{F})_4$				1.4	2.2, 2.35, 2.45	
		金云母	$\text{K}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH}, \text{F})_4$				1.4	1.38, 2.2, 2.325, 2.385	

表 5 架状硅酸盐的光谱表

亚类	族	矿物名称	化学式	电子过程			振动过程		
				二价铁 (μm)	三价铁 (μm)	其它阳离子 (μm)	1.4 μm OH 倍频、合频, 1.9 μm H ₂ O 振动, Al-O-H 弯曲基谐振动的合频(μm)和碳酸根谱带		
架状硅酸盐	长石族	钙长石	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1.0 杂质	0.65 杂质		1.4, 1.9, 2.35 包体水		
		微斜长石	KAlSi_3O_8				1.4 和 1.9 包体水, 2.2, 2.5 蚀变		
		钠长石	$\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$				1.4 和 1.9 包体水, 2.2, 2.36 蚀变		
		奥长石					1.4 和 1.9 包体水, 2.2 蚀变		
		钠长石	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$				1.4 和 1.9 包体水, 2.2 蚀变		
		拉长石							
		正长石	KAlSi_3O_8				1.4 和 1.9 包体水, 2.2 蚀变		
		歪长石	$(\text{Na}, \text{K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$						
		条纹长石							
		钙霞石	$(\text{Na}, \text{Ca})_{7-8}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{CO}_3, \text{SO}_4, \text{Ca})_{1.5-2.0}1\sim5\text{H}_2\text{O}$				1.4, 1.9		
	似长石族	青金石	$(\text{Na}, \text{Ca})_{4-8}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4, \text{S})_{1-2}$			0.6	1.4, 1.9, 2.5 包体水		
		方钠石	$\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{Cl}_2$			0.6	1.9		
		方柱石	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_4\text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_3\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH}, \text{CO}_3, \text{SO}_4)$			1.0	1.4, 1.9 水和 2.35 碳酸根谱带		
		蓝方石	$(\text{Na}, \text{Ca})_{4-8}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4, \text{S})_{1-2}$						

续表 5

亚类	族	矿物名称	化学式	电子过程			振动过程 1.4 μm OH 倍频、合频,1.9 μm H ₂ O 振动,Al-O-H 弯曲基谱振动的合频(μm)和碳酸根谱带
				二价铁 (μm)	三价铁 (μm)	其它阳离子 (μm)	
架状硅酸盐	沸石族	辉沸石	(Ca,Na ₂ ,K ₂)(Al ₂ Si ₃ O ₁₀)·2H ₂ O				0.985,1.17,1.44,1.92 水
		钠沸石	Na ₂ (Al ₂ Si ₃ O ₁₀)·2H ₂ O				0.985,1.19,1.165,1.44 水和 1.95,2.2,2.44 羟基
	石英族	石英	SiO ₂				

表 6 碳酸盐矿物的可见—近红外光谱

矿物名称	化学式	碳酸根的倍频或合频振动谱带(μm)					光谱特征		
							羟基倍频或合频 振动谱带(μm)	Cu ²⁺ ,Mn ²⁺ 电子 过程谱带(μm)	Fe ²⁺ 的电子 过程谱带(μm)
		V	IV	III	I	I			
蓝铜矿	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	1.9(7)	—	2.05	2.28	—	1.45,1.95,2.35,2.5	0.8,0.52 前的强下降	
孔雀石	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	—	—	—	2.29	2.52		0.8,0.52 前的强下降	
方解石	CaCO ₃	1.88	2.0	2.16	(2.3)2.35	(2.5)2.55			
白云石	CaMg(CO ₃) ₂	1.86	1.99	2.14	2.33	2.53			
		1.87		2.16	2.34				
菱镁矿	MgCO ₃	1.84	1.96	2.13	2.31	2.51			
菱锰矿	MnCO ₃	1.90	2.02	2.17	2.37	2.57		0.34,0.37,0.41,0.45,0.55	
菱铁矿	Fe CO ₃	1.92	—	2.17	2.35	2.56			1.1
菱锌矿	Zn CO ₃	—	2.01	—	2.37	2.57			
菱锶矿	Sr CO ₃	1.89	2.02	2.18	2.36	2.56			
毒重石	Ba CO ₃	1.92	2.05	2.21	2.39	2.60			

3.3 氧化物和氢氧化物的可见—近红外光谱

氧化物和氢氧化物矿物中,电子成因的光谱大都是二价和三价铁离子和锰离子及铜和铬电子成因

的光谱大都是二价和三价铁离子和锰离子及铜离子的跃迁产生的;振动过程大都是水,羟基产生的(表 7)。

表 7 氧化物、氢氧化物的可见—近红外光谱

矿物名称	化学式	光谱特征			
		OH 振动谱带(μm)	Fe ²⁺ 谱带(μm)	Fe ³⁺ 谱带(μm)	其它阳离子谱带(μm)
水镁石	Mg(OH) ₂	0.74,0.96,1.4,2.32,2.49			
锡石	SnO ₂				
金绿宝石	BeAl ₂ O ₄			0.8 杂质	
刚玉	Al ₂ O ₃		0.55,0.45,1.1 杂质	0.4,0.74 杂质	0.7Cr ³⁺
赤铜矿	Cu ₂ O				Cu ⁺ 电子跃迁 0.85,和导带 0.57,0.62
硬水铝石	AlH ₂ O	1.4,1.8			
三水铝石	Al(OH) ₃	1.0,1.45,2.3			
针铁矿	FeHO ₂			0.9	
赤铁矿	Fe ₂ O ₃			0.9	
钛铁矿	FeTiO ₃		1.5		Ti ³⁺ +2.0
褐铁矿	2Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	1.4,1.9		0.9	
磁铁矿	Fe ²⁺ Fe ³⁺ O ₄		1.0		
硬锰矿	MnO ₂				
软锰矿	MnO ₂ (OH)				
金红石	TiO ₂				
红锌矿	ZnO				

3.4 硫化物和硫酸盐的可见—近红外光谱

硫化物和硫酸盐的矿物中,电子成因的光谱大都是二价和三价铁离子跃迁以及导带产生的;振动过程大都是水、羟基产生的(表 8)。

3.5 卤化物、磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐和硼酸盐的可见—近红外光谱

卤化物、磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐和硼酸盐矿物中,电子成因的光谱大都是二价和三价铁离子和锰

离子及铜离子和镉离子的跃迁和卤化物的色心产生的;振动过程大都是水、羟基、硼酸根产生的(表 9)。

表 8 硫化物和硫酸盐的光谱特征

矿物名称	化学式	光谱特征	
		OH 振动谱带(μm)	金属离子电子过程(μm)
钠明矾石	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	1.01,1.45,1.775,2.17,2.33,1.35,2.0,2.5	
毒砂	FeAsS		
重晶石	BaSO ₄		
天青石	SrSO ₄		0.6 辐射蓝
辉铜矿	Cu ₂ S		0.85 Cu ⁺
辰砂	HgS		0.6 导带
辉砷钴矿	CoAsS		
硫砷铜矿	Cu ₃ AsS ₄		
方铅矿	PbS		2.3 开始上升
石膏	CaSO ₄ ·2H ₂ O	1.0, 1.2, 1.45, 1.55, 1.9, 2.2, 2.5	
羽毛矿	Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄		0.9 分开不透明与透明光谱范围
黄钾铁矾	KFe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	1.4, 1.9, 2.5	0.9 Fe ³⁺
白铁矿	FeS ₂		1.0 Fe ²⁺
辉钼矿	MoS ₂		0.9 分开不透明与透明光谱范围
红砷镍矿	NiAsS		
淡红银矿	Ag ₃ AsS ₃		
深红银矿	Ag ₃ SbS ₃		
黄铁矿	FeS ₂		
磁黄铁矿	Fe _{1-x} S		0.55 导带
雄黄	AsS		0.35 导带, 0.35~0.6 陡降, 2.0~2.5 下降
闪锌矿	ZnS		0.78 锐吸收限
辉锑矿	Sb ₂ S ₃		0.45 锐吸收限, 向长波升高
硫	S		
无水芒硝	Na ₂ SO ₄		

表 9 卤化物、磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐和硼酸盐的可见—近红外光谱

矿物名称	化学式	光谱特征		
		电子过程谱带(μm)	色心谱带(μm)	振动过程谱带(μm)
氯铜矿	Cu(OH) ₂ Cl	0.56 反射率极大), 0.8Cu ²⁺ 吸收		
冰晶石	Na ₃ AlF ₆		0.6,0.57, 0.45,0.405,0.34	
萤石	CaF ₂			
食盐	NaCl			
钾盐	KCl			1.0, 1.23, 1.46, 1.77, 1.99, 2.27 水合杂质
铈磷铝石	(Li,Na)Al(PO ₄)(F,OH)			1.54, 2.0 OH 振动;1.86,2.18, 2.38, 2.44 传 P-O-H 合频
磷灰石	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	0.53, 0.58, 0.75, 0.81 二价铜杂质		1.4, 2.32, 2.39
矾钾铀矿	K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·3H ₂ O	0.475 陡		1.42, 1.93, 2.234
天蓝石	(Mg,Fe)Al ₂ (PO ₄) ₂ (OH) ₂	0.46 强反射, 0.68Fe ³⁺		1.52, 2.2, 2.42
砷铅矿	Pb ₅ (AsO ₄ ,PO ₄) ₃ Cl			1.43, 1.93, 2.3
独居石	(Ce,Lan,Y,Th)PO ₄	0.55,0.68,0.75,0.81, 0.88 二价铜		1~2 之间的包体水谱带
绿松石	CuAl ₆ (PO ₄) ₄ (OH) ₈ ·4H ₂ O	0.323,0.427 铁谱带, 0.8 铜谱带		大于 1.4 的水和羟基谱带
蓝铁矿	Fe ₃ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O	0.7~1.1 下降为铁谱带		
银星石	Al ₃ (OH) ₃ (PO ₄) ₂ ·5H ₂ O	0.59 Cr ³⁺		1.4, 1.45, 1.9
银星石		0.6 Cr ³⁺		1.475, 1.96, 2.16, 2.5
硼砂	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O			1.0, 1.17, 1.45, 1.93, 2.3 水合水倍频与合频; 2.15 B—O 伸缩振动
硬硼钙石	Ca ₂ B ₄ O ₁₁ ·5H ₂ O			2.1 B—O 伸缩振动
四水硼砂	Na ₂ B ₄ O ₇ ·4H ₂ O			2.2 B—O 伸缩振动
硼钠钙石	NaCaB ₅ O ₉ ·8H ₂ O			1.43 双重谱带和 1.95 水振动, 2.1~2.2 硼酸根振动的倍频加合

4 岩石的可见—近红外光谱

4.1 酸性火成岩的可见—近红外光谱

火成岩的主要成分硅—氧四面体和铝—氧四面体并没有光谱特征,其光谱都是杂质、包体、蚀变(如长石类的粘土化,云母、角闪石的绿泥石化、绿帘石化等)及替代成分产生的,主要为铁、水和羟基的光谱(表 10)。

表 10 酸性火成岩的可见—近红外光谱

岩石类型	岩石名称	光谱特征			
		羟基 Al—OH,Mg—OH 振动谱带(μm)	水谱带(μm)	Fe ²⁺ 谱带(μm)	Fe ³⁺ 谱带(μm)
花岗岩	文象花岗岩	2.2	1.4,1.9,2.5		0.55
	细晶花岗岩		1.4,1.9,2.5		0.85
	花岗岩	2.25	1.4,1.9,2.5		0.85
	黑云母花岗岩		1.4,1.9,2.5		
	石英二长岩		1.4,1.9		
	角闪花岗岩	2.3	1.4,1.95		
	绿泥石蚀变花岗岩	2.35	1.4	0.9,1.1	
酸性火山玻璃	珍珠岩	2.2	1.2,1.4,1.9	0.95,1.1	0.45 前陡降
	浮岩	2.25	1.4,1.9,2.5	1.1	0.85
	黑曜岩	2.2,2.25	1.4,1.9,2.5	1.1	0.85
	玻斑岩		1.4,1.9	1.0	
流纹岩	蚀变流纹岩	2.2	1.4,1.9,2.5	0.5,1.1	
	流纹岩			0.95	
凝灰岩	凝灰岩	2.25,2.35	1.4,1.9,2.5	0.95	0.7
	白色灿砾凝灰岩	2.2	1.4,1.9	1.05	0.7
	绿色灿砾凝灰岩	2.2	1.4,1.9	1.05	0.7
	火山角砾岩		1.4,1.9		
	流纹凝灰岩				0.55 处陡降

4.2 中性火成岩的可见—近红外光谱特征

中性火成岩的可见—近红外光谱都是杂质、包体、副矿物、蚀变及替代成分产生的,主要为铁、水和羟基的光谱(表 11)。

表 11 中性火成岩的可见—近红外光谱特征

岩石类型	岩石名称	光谱特征			
		Al—OH,Mg—OH 羟基振动谱带(μm)	水谱带(μm)	Fe ²⁺ 谱带(μm)	Fe ³⁺ 谱带(μm)
正长岩	正长斑岩		1.4,1.9	0.6~1.2 之间	
	正长岩	2.25	1.4,1.9,2.5	0.95,1.05	
粗面岩	粗面斑岩			1.0	0.55,0.86
	粗面岩	2.2	1.4,1.9,2.5		
霞石正长岩	霞石正长岩	2.2	1.4,1.9,2.5		
响岩	响岩		1.4,1.93,2.5	0.7,1.0	
二长岩	二长斑岩		1.9	0.55 处下降	
	二长岩	2.4	1.9		
石英二长岩	石英二长岩	2.3,2.4	1.4,1.9	1.0	0.45,0.7,朝蓝波下降
	石英二长斑岩		1.4,1.9		
安粗岩	安粗岩	2.4	1.9	1.05	0.7
花岗闪长岩	黑云母花岗闪长岩			0.6~1.3 之间的凹形	
	花岗闪长岩		1.9,2.5		
英安岩	英安斑岩	2.3	1.4,1.9,2.5	1.0	0.55
	磷石英英安岩			1.0	0.7
闪长岩	角闪闪长岩	2.2	1.9	1.0	0.7
	闪长斑岩		1.9		
安山岩	安山岩		1.4,1.9,2.5	0.9	
	角闪安山岩				朝蓝波下降

4.3 基性、超基性火成岩的可见—近红外光谱

杂质、包体、副矿物、蚀变及替代成分产生的,主要为基性、超基性火成岩的可见—近红外光谱都是铁,水和羟基的光谱(表 12)。

表 12 基性、超基性火成岩的可见—近红外光谱

岩石类型	岩石名称	光谱特征			
		羟基谱带(μm)	水谱带(μm)	Fe ²⁺ 谱带(μm)	Fe ³⁺ 谱带(μm)
辉长岩	苏长辉长岩	2.3		0.9, 1.85	
	苏长斑岩			0.95, 1.28, 1.95	
	斜长辉长岩			1.25	
	橄榄辉长岩			1.0	
	倍长辉长岩			1.0	0.7
	苏长辉长岩				0.7, 0.95
	正长辉长岩			1.0	0.7
玄武岩	橄榄玄武岩			1.0	0.65
	玄武岩		1.9(风化)	1.0	
	高原玄武岩			1.0	
	玄武质火山渣				0.6 拐点, 0.85
	杏仁状玄武岩				0.85
	多孔玄武岩			1.0	
辉绿岩	辉绿岩			0.95, 1.05, 1.95	
	蚀变辉绿岩	2.35	1.4, 1.9	1.0	0.7
超基性岩	橄榄岩(石棉)	2.35	1.4	1.0, 1.85, 0.95, 0.45	
	辉岩			0.95, 1.85, 2.35	0.65
	纯橄岩(蛇纹石)	2.35		1.05, 1.25	0.85

4.4 沉积岩的可见—近红外光谱

沉积岩的可见—近红外光谱矿物中,电子成因的光谱大都是二价和三价铁离子和锰离子及铜离子和铬离子的跃迁产生的;振动过程大都是水、羟基、碳酸根产生的(表 13)。

4.5 变质岩的可见—近红外光谱

变质岩的可见—近红外光谱,电子成因的光谱大都是二价和三价铁离子和锰离子及铜离子的跃迁产生的;振动过程大都是水、羟基、碳酸根、硼酸根产生的(表 14)。

表 13 沉积岩的可见—近红外光谱

岩石类型	岩石名称	光谱特征				
		羟基谱带(μm)	水谱带(μm)	碳酸根的谱带(μm)	Fe ²⁺ 谱带(μm)	Fe ³⁺ 谱带(μm)
灰岩	灰色灰岩	1.4, 2.25		2.35, 2.46	1.0~0.6 之间的谱带	
	白云质灰岩		1.4, 1.9	2.0, 2.33		0.5
	石灰岩		1.45, 1.9	2.35		0.86
	含化石灰岩		1.4, 1.9	2.35		0.375, 0.5, 0.95
	石印灰岩		1.4	2.35		
	鲕状灰岩		1.45, 1.9	2.33	1.0	
	泥质灰岩		1.9	2.35		
砂岩	红色砂岩	2.2	1.4, 1.9			小于 1 处
	长石砂岩	2.2	1.4, 1.9, 2.5			0.375, 0.5
	海绿石砂岩	1.4, 2.2, 2.35, 2.5	1.9		1.1	0.475, 0.7, 0.9
	杂砂岩	1.4, 2.2, 2.275, 2.36	2.0		0.85, 1.1	
	砂岩	1.4, 2.2				0.475, 0.7
	红色云母砂岩	1.4, 2.2			0.86	
	含铁砂岩			2.3	0.86	
	粉砂岩	2.3	1.9, 2.5		0.55, 0.85	
页岩	磷质页岩		1.4, 1.9			
	砂质页岩	1.4, 2.2	1.9, 2.5			
	钙质页岩		1.4, 1.9	2.35		
	含伊利石页岩	1.4, 2.2, 2.35	1.9		1.1	0.75
	泥质页岩	1.4, 2.2	1.9	2.3, 2.5		
	碳质页岩	2.2, 2.3				
	黑色页岩	2.2				

表 14 变质岩的可见—近红外光谱

岩石类型	岩石名称	光谱特征					
		羟基谱带(μm)	水谱带(μm)	碳酸根的谱带(μm)	Fe ²⁺ 谱带(μm)	Fe ³⁺ 谱带(μm)	其它阳离子谱带(μm)
大理岩	白云质大理岩			2.35			
	大理岩			2.35			
	粉红色大理岩	1.45		2.35		0.55, 0.85	
	蛇纹石大理岩	1.4, 2.3				0.45, 0.65	
	含锰蛇纹石大理岩	0.89, 1.3, 1.37, 1.4				0.45, 0.65	0.36, 0.385, 0.42, 0.55 锰离子谱带
石英岩	灰色石英岩	2.2	1.4, 1.9				
	绿泥石石英岩	1.4, 2.2					0.45, 0.61 铈离子
	绿色石英岩	1.4, 2.2					
	红色石英岩	1.4, 2.2	1.9, 2.5	2.0, 2.35		0.55, 0.86	
	紫色石英岩					0.55, 0.86	
片麻岩	钠长石片麻岩				1.1	0.7, 0.85	
	长英质片麻岩		1.4, 1.9, 2.5		0.325~1.3 间的低值带		
	眼球状片麻岩				0.6~1.3 间的低值带		
	角闪片麻岩	1.4, 2.33, 2.4			1.1	0.7, 0.9	
	闪长片麻岩		1.4, 1.9				
	砂线石—石榴石片麻岩	2.2			1.3	0.5, 0.575, 0.85	
板岩	正长片麻岩						
	板岩	2.34				0.7~0.9	
	灰色板岩		1.4	2.23, 2.35			
	红色板岩	1.4, 2.2, 2.3				0.85	
千枚岩	空晶板岩						
	千枚岩						
	石透闪片岩	1.4, 2.2			1.0		
	角闪片岩	1.4, 2.32, 2.38	1.9		1.0	0.17	
	绿色片岩	1.4, 1.45, 2.35			1.0	0.65, 0.9	
	绿泥片岩	1.4, 2.0~2.6 间的谱带			1.1	0.7, 0.9	
	电气石片岩				1.15	0.45, 0.80	
	石墨片岩						
	云母片岩	1.4, 2.2					

5 结 语

近年来的研究更进一步认识到^[36],光谱对地物化学成分和结构的微细变化非常敏感,地物微细的化学成分和结构的变化常常导致吸收位置和吸收形态的变化.因此,地物的光谱特性在现实世界中是非常复杂的.在早期研究中,这成为一大劣势.随着技术的发展和地对物光谱特性和迁移原因的深入探究及知识的增加,这一劣势正转变为探究地物化学成分和结构及自然环境微细变化的强大优势.可以预料,随着对不同环境下地物光谱变化特性的深入探究,基于地物光谱微细变化的环境变化遥感定量探测的实用化技术将不断涌现.例如:由岩矿光谱特性提取岩石、矿石形成的成分分带和温度参数:Duke^[37](1994)的研究表明,前寒武纪变质瓦克岩白云母因契尔马克(Tschemmak)置换,二八体 Al^{iv}的增加导致吸收光谱向短波方向迁移,在缺少其它变质

级标志的情况下,将此运用于变质带的划分;辉石在 1 μm 和 2 μm 处的吸收峰随主要元素 Fe、Mg、Ca 的变化,分别具有 130 nm 和 500 nm 的迁移幅度.单斜辉石/斜方辉石共生矿物对主要成分的变化是矿物形成的温度计.Cloutis(1991)^[38]将辉石地质温度计与辉石吸收光谱变异,对应吸收光谱分析矿物形成的古温度.对环境敏感的矿物及其光谱特征在不同环境下的变异更具有地质环境勘察意义.

参考文献:

[1] Tsuboi M. On the Positions of the Hydrogen Atoms in the Crystal Structure of Muscovite as Revealed by the Infrared Absorption Study[J]. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 1950, 3:83~88.

[2] Sutherland G B B M. Infrared and X-ray Analysis of Crystal Structure[A]. Nuovo Cimento Supplemento, I Serie[C]. 1955, 10:635~641.

[3] Serratos J P, Bradley W F. Determination of the Orienta-

- tion of OH Bond Axes in Layer Silicates by Infrared Absorption[J]. *Journal of Physical Chemistry*, 1958, 62:1164~1167.
- [4] Fripiat J J. Application of Infrared Spectroscopy to the Study of Clay Minerals [J]. *Bulletin Groupe Francais Argiles*, 1960, 12:25~41.
- [5] Vedder W, McDonald R S. Vibration of the OH Ions in Muscovite [J]. *Journal of Chemical Physics*, 1963, 38:1583~1590.
- [6] Tuddenham W M, Lyon R J P. Infrared Techniques in the Identification and Measurement of Minerals [J]. *Analytical Chemistry*, 1960, 3:1630~1634.
- [7] Stubican V, Roy R. Isomorphous Substitution and Infrared Spectra of the Layer Lattice Silicates [J]. *American Mineralogist*, 1961, 46:32~51.
- [8] Povarennykh A S. The Use of Infrared Spectra for the Determination of Minerals [J]. *American Mineralogist*, 1978, 63: 956~959.
- [9] Gaffey S J. Spectral Reflectance of Carbonates Minerals in the Visible and Near-Infrared (0.35 ~ 2.25 microns): Calcite, Aragonite, and Dolomite [J]. *American Mineralogist*, 1986, 71:151~162.
- [10] Gaffey S J. Spectral Reflectance of Carbonates Minerals in the Visible and Near-infrared (0.35 ~ 2.55 μm): Anhydrous Carbonate Minerals [J]. *J Geophysics Research*, 1987, 92 (B2):1426~1440.
- [11] Post J L, Noble P N. The Near-infrared Combination and Frequencies of Dioctahedral Smectites, Micas, and Illites [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1993, 41(6):639~644.
- [12] Hunt G R. Spectroscopic Properties of Rocks and Minerals. In *Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals* [M]. Edited by Carmichael R C, Boca Raton Florida: C. R. C. Press Inc, 1989. 599~669.
- [13] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; I Silicate Minerals [J]. *Modern Geology*, 1970, 1:283~300.
- [14] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks, I. Carbonates [J]. *Modern Geology*, 1971, (2):23~30.
- [15] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; II. Oxides and Hydroxides [J]. *Modern Geology*, 1971, (2):195~205.
- [16] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; III. Sulphides and Sulphates [J]. *Modern Geology*, 1971, (3):1~14.
- [17] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; V. Halides, Arsenates, Vanadates And Borates [J]. *Modern Geology*, 1972, (3):121~132.
- [18] Hunt G R, Salisbury J W, Lenhoff C J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; VI. Additional Silicate Minerals [J]. *Modern Geology*, 1973, (4):85~106.
- [19] Hunt G R, Salisbury J W, Lenhoff C J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; VI. Acidic Igneous Rocks [J]. *Modern Geology*, 1973, (4):217~224.
- [20] Hunt G R, Salisbury J W, Lenhoff C J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks; VII. Intermediate Igneous Rocks [J]. *Modern Geology*, 1973, (4):237~244.
- [21] Hunt G R, Salisbury J W, Lenhoff C J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks. VIII. Basic & Ultrabasic Igneous Rocks [J]. *Modern Geology*, 1974, (5):15~22.
- [22] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks. IX. Sedimentary Rocks [J]. *Modern Geology*, 1976, (5): 211~217.
- [23] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks. XII. Metamorphic Rocks [J]. *Modern Geology*, 1976, (5):219~228.
- [24] Hunt G R. Spectral Signature of Particular Minerals, in the Visible and Infrared [J]. *Geophysics*, 1977, (42):501~513.
- [25] Hunt G R, Salisbury J W. Assessment of Landsat Filters for Rock Type Discrimination, Based on Intrinsic Information in Laboratory Spectra [J]. *Geophysics*, 1978, 43:738~747.
- [26] Hunt G R. Near-infrared (1.3~2.4) Spectra of Alteration Minerals-Potential for Use in Remote Sensing [J]. *Geophysics*, 1979, 44:1974~1986.
- [27] Hunt G R. Electromagnetic Radiation: The Communication Link in Remote Sensing [A]. In: B. Siegal and A. Gillespie (Eds), *Remote Sensing in Geology* [C]. New York, Wiley, 1980. 702.
- [28] Hunt G R, Hall R B. Identification of Kaolins and Associated Minerals in Altered Volcanic Rocks by Infrared Spectroscopy [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1981, 29:76~78.
- [29] 童庆禧. 中国典型地物波谱及其特征分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [30] Clark RN, King T V V, Klejwa M, et al. High Spectral Resolution Reflectance Spectroscopy of Minerals [J]. *J Geophysics Research*, 1990, 95:12653~12680.
- [31] Burns R N. Mineralogical Applications of Crystal Field Theory [M]. 2nd, Cambridge University Press, Cambridge, 1993. 1~551.
- [32] Farmer E F. Near Infrared Spectra of Minerals [M]. Mineralogical Society, London, 1974. 539.
- [33] Goetz A F H, Vane G, Solomon J E, Rock B N. Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing [J]. *Science*, 1985, 228:1147~1153.
- [34] Cloutis E A. Hyperspectral Geological Remote Sensing: Evaluation of Analytical Techniques [J]. *Int J Remote Sensing*, 1996, 17(12):2215~2242.
- [35] 童庆禧, 薛永祺, 郑兰芬, 等. 高光谱分辨率遥感信息机理与地物识别 [A]. 陈述彭, 童庆禧, 郭华东主编. 遥感信息机理研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1998. 139~233.
- [36] Clark R N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principals of Spectroscopy [A]. In: *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing* [C]. 3 ed., Vol. 3,

- edited by Rencz A N, Wiley J, Sons. Inc, 1999. 3~58.
- [37] Duke E F. Near Infrared Spectra of Muscovite, Tschermak Substitution and Metamorphic Reaction Progress, Implication for Remote Sensing[J]. *Geology*, 1994, 22(7): 621~624.
- [38] Cloutis E A, Gaffey M J. Pyroxene Spectroscopy Revisited: Spectral-composition Correlation and Relationship to Geothermometry [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1991, 96: 22809~22826.

Summarizing the VIS-NIR Spectra of Minerals and Rocks

YAN Shou-xun¹, ZHANG Bing¹, ZHAO Yong-chao¹, ZHENG Lan-fen¹,
TONG Qing-xi¹, YANG Kai²

(1. *Institute of Remote sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
2. *CSIRO Exploration and Mining, PO Box 136, North Ryde 1670, Australia*)

Abstract: Systematic spectroscopic studies of minerals and rocks are the basements for hyperspectral remote sensing development. The VIS-NIR spectral features of major minerals and rocks were systematic summarized after the absorption principle of electronic processes and vibration processes were briefly addressed in the paper. Absorption of minerals are caused by electric processes, such as crystal field effects and charge transfer absorption of Fe^{2+} , Fe^{+3} and transition elements; or aused by vibration processes of water molecule, Al-O-H, Fe-O-H, Mg-O-H, CO_3^{2-} , and color centers of fluorite and conduction bands of sulfur. Absorption of rocks are caused by Fe^{2+} , Fe^{+3} and water molecule, Al-O-H, Mg-O-H, CO_3^{2-} , which are impurity, inclusion, alteration or replacement components. At last, the paper pointed out that it is more important for geological exploration with hyperspectral remote sensing in the future to study the change regularity of mineral spectra in different geophysical and geochemical environments.

Key words: Minerals and rocks, Visible and near-infrared spectra