



新疆阿勒泰地区典型矿物岩石光谱特征



彭光雄 叶震超等

pgx457600@gmail.com; pgxcsu@mail.csu.edu.cn

中南大学地球科学与信息物理学院

2010 年 12 月

新疆阿勒泰地区典型矿物岩石光谱特征

彭光雄* 叶震超等

(中南大学地球科学与信息物理学院, 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083)

School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Changsha, China 410083)

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与晶体场的相互作用,以及物体内的分子振动。电子与晶体场的相互作用来源于晶体场作用、电荷转移、半导体和色心的影响。在晶体场作用中由于离子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,入射的光子必须有足够的能量来推动价带电子进入导带区,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 μm 波长范围, Si-O 、 Al-O 的分子振动就发生在 10 μm 波长范围。 H_2O 有 2.66 μm 、2.74 μm 和 6.08 μm 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。

岩石矿物光谱分析技术在地质领域的应用主要在:①宝玉石鉴定。该技术作为快速无损鉴定,在长波近红外波段可进行绿柱石类、软玉类、叶腊石类、蛇纹石类、碧玺、黄玉、田黄石以及翡翠等的鉴定工作。②矿物的识别与分析。在自然界,矿物尤其是蚀变矿物多以隐晶质、细分散的状态存在。近红外光谱测量在野外现场即可进行良好的鉴别和区分,且对某些矿物的细分是一般方法难以取代的,如对某一区域主要蚀变矿物组合非标准建库,即可进行半定量对比分析。③矿床的勘察与评价。成矿一定有蚀变作用发生。蚀变矿物作为地质找矿及成矿分析的指示剂,利用其近红外光谱特性进行成矿带的划分,重建地质环境,重演作用过程,揭示成矿规律。近红外光谱分析技术应用于地质调查研究中有特别重要的意义,具体有:提供矿化环境特征,鉴别原岩类型,指示矿化关系,指示风化范围和过程,指示矿化作用的化学过程以及温度压强指示。

通过建立蚀变矿物成矿模型,应用近红外矿物分析仪进行蚀变矿物填图,以圈定新的成矿靶区。根据各区域地质条件的不同,建立近红外非标准矿物数据库,以开展矿物定量鉴定分析。在地表植被稀少的区域,适合利用红外遥感成像技术,开展地质普查找矿工作,这样地面测量与空间遥感想结合,从而可以加快地质勘探工作的步伐。

对野外采集的 120 余个岩石和矿物标本,分别采用两种不同型号的光谱测试仪对其进行了光谱测试,获取了两组光谱测试数据,光谱仪的主要性能和测试结果叙述如下。

* Email:pgxcusu@mail.csu.edu.cn

1.1 光谱测试仪器

1.1.1 SVC GER3700 光谱仪

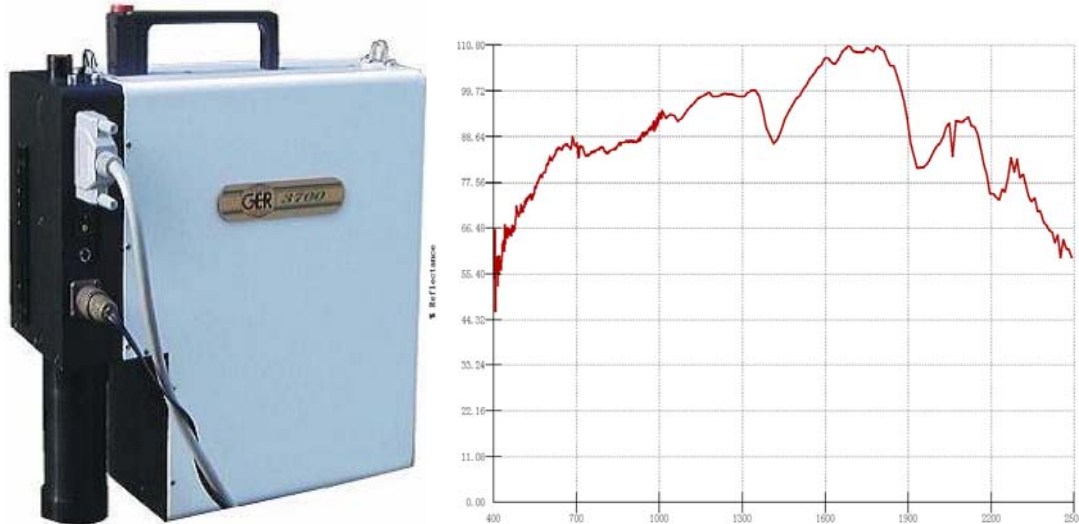


图 3-1 SVC GER3700 全波段高光谱便携式分光辐射度计

美国 SVC GER3700 全波段高光谱便携式分光辐射度计结合精密光学和 Si、PbS 线阵列探测器前沿技术的优势,以及采用最新的电路电子学生产了 GER3700 高光谱便携式分光辐射度计。通过笔记本电脑可以在测量地点实时展示光谱数据。GER3700 便携式地物光谱仪所有光学器件均固定安装,即使在最恶劣的条件下也能保证精确度和一致的测量结果。可以使用标准的高功效收集光学镜或可选择的光纤光导进行快速、全光谱范围的数据采集。可选择不同 FOV 光学,使 GER3700 地物波谱仪成为同类中最通用的工具。

SVC GER3700 全波段高光谱便携式分光辐射度计的技术参数: 光谱波长测定范围: 350 - 2500 nm ; 频道 (channels) : 704; 探测器通道: 线阵 512 元 Si, 128 元 PbS 和 64 元 PbS (共 704 通道) ; 本体重量: 6.0 kg ; 视场确定: 激光及光学; 光谱分辨率 (半高宽): 300 - 1050 nm 为 1.5 nm , 1050 - 1900 nm 为 6.5 nm , 1900 - 2500 nm 为 9.5 nm。 ; 扫描时间: 50 ms 及以上 (可程序设定)。

1.1.2 便携式近红外光谱分析仪

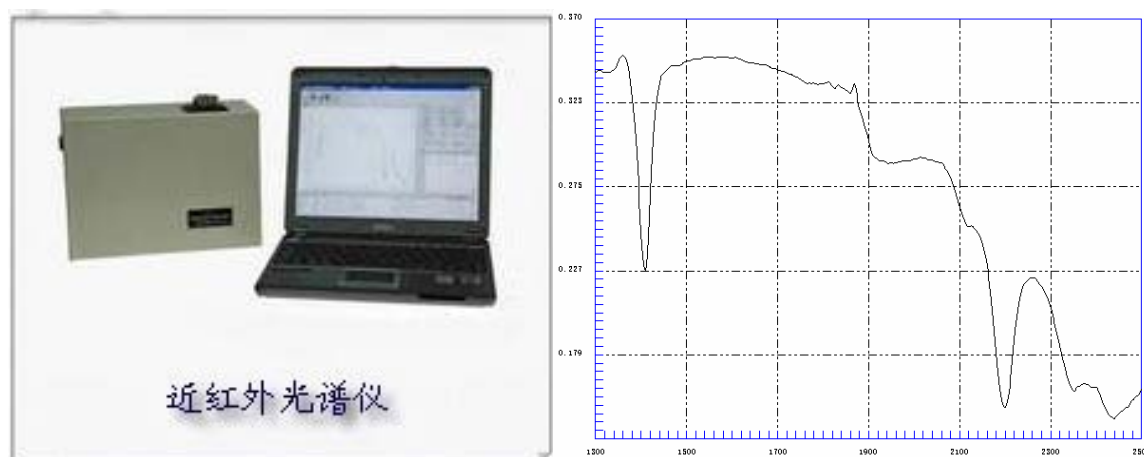


图 3-2 便携式近红外光谱分析仪

便携式近红外光谱分析仪（型号：ZDJ1PB-1）技术参数如下。仪器测量范围：1300nm-2500nm；仪器分辨率： $<8\text{nm}$ ；波长稳定性： $\pm 1\text{nm}$ ；波长重复性： $\pm 1\text{nm}$ ；波长扫描间隔：2nm,4nm；信噪比：63dB；探测器：PbS(Te 制冷)；仪器体积：255×110×187；仪器重量：4.2kg；备用电源工作时间： >2 小时。研制软件：1、PC 机应用程序；2、微型 PDA 应用程序。主要特点：体积小、重量轻、分辨率高，野外现场矿物无损测量。

近红外光谱分析仪可进行 7 波长在 1 300 ~ 2 500 nm 近红外光谱的测量分析。主要是由于分子震动的非谐震动使分子震动从基态向高能态跃迁时产生的，记录的主要是含氢基团 X—H (X=C, H, O) 震动的倍频和合频吸收。它们合频和一级倍频正处于波长 1 300 ~ 2 500 nm 的仪器测量范围。根据对矿物各基团吸收光谱产生不同的峰型、峰位以及强度，建立区域标准吸收谱线，通过该标准吸收谱线对区域未知矿物吸收谱线对比，判断矿物种类、矿物定名及进行矿物分析。1) 近红外矿物分析仪可测量矿物种类主要为硅酸盐中部分单矿物，含羟基硅酸盐矿物，硫酸盐矿物，碳酸盐矿物。2) 利用近红外矿物谱线的峰位特征以及峰位的漂移变化进行一定的矿物化学成分结构分析。3) 矿物结晶度的不同产生了矿物光谱图峰形尖锐程度的变化。矿物的结晶度标志着矿化作用过程中热液蚀变体系结晶时的温度和化学环境以及蚀变程度。4) 用蚀变矿物近红外谱线强弱对比表现，可找出矿物蚀变与成矿的相关性，建立成矿模型，进行成矿分析预测。

近红外光谱分析仪测量内容：含羟基之硅酸盐矿物（绿帘石，闪石等），硫酸盐矿物（明矾石，黄铁钾矾，石膏等），碳酸盐矿物（方解石，白云石等）。在地质中的应用主要包括：矿物识别（定性和半定量），为勘查、地质和土壤/基岩测量进行矿物填图，钻孔和隧道（平硐）编录，蚀变系统填图和目标区选择，成矿作用的指示，成矿潜力评价，矿物地球化学和结晶学，采矿中的品位控制，下脚料中粘土含量监测，辅助遥感图片的判别等。具体意义如下：1. 提供矿化环境的特征，如交代类型和交代带等。2. 鉴别原岩类型：鉴别高岭石，表明其原岩是长英质岩石，发现蒙脱石表明原岩是镁铁质岩。3. 指示矿化关系，富镁的绿泥石接近矿化中心，富钾的白云母更和矿化有关。4. 指示风化范围和过程，如三水铝石表示晚期的铝土质环境。5. 指示矿化作用的化学过程，（如 K/Na 交代）及温度（叶腊石，黄玉，地开石等矿物是高温矿物。6. 蚀变矿物 填图矿床种类。可对高硫化物浅成热液矿床、低硫化物浅成热液矿床、斑岩型铜矿床、中温热液矿床、沉

积岩型金-铜矿床、铀矿床、火山岩型块状硫化物（VHMS）矿床及金伯利岩矿床进行系统的蚀变矿物填图，帮助研究者快速评价矿床，提高勘探效率。。

1.2 常见矿物曲线特征谱

矿物的近红外光谱法和分析研究矿物的重要手段。由于矿物晶格中原子间的化学键的弯曲和伸缩吸收某些区域的红外光谱，根据矿物中某些官能团的特征吸收光谱可以区分不同的矿物及同一矿物的不同结晶度，这些特点在野外地质调查研究工作中具有特别重要的意义。应用这一方法可以区分层状硅酸盐中单矿物（粘土矿物，绿泥石，蛇纹石等），含羟基之硅酸盐矿物（绿帘石，闪石等），硫酸盐矿物（明矾石，黄铁钾矾，石膏等），碳酸盐矿物（方解石，白云石等）；矿物的结晶度不同，其红外吸收峰形也不相同，而矿物的结晶度标志着矿化作用过程中热液蚀变体系结晶时的温度和化学环境，结晶度也与蚀变体系中的粘土风化有关。这些矿物光谱曲线的特征谱为矿物的识别和遥感信息的提取奠定了基础。

1.2.1 常见矿物的吸收特征

1、AL-OH 矿物

AL-OH 矿物：2170-2210nm 为特征吸收。代表矿物：叶蜡石，黄玉，白云母，绢云母，伊利石，高岭石、蒙脱石。1410-1440nm：-OH 键的对称峰，-OH、H₂O(H⁺)二个峰；1910nm：结构水；1940-1950nm：吸附水。

（1）2200nm 附近：主吸收峰，绢云母含量影响 2160 处的左肩部吸收峰，肩部峰在 2160-2165nm 为高岭石，随着结晶度的增加，肩峰向长波方向移动，迪开石在 2180nm。（2）2320 - 2380nm 处三阶梯吸收峰，是高岭石的特征次吸收峰。原地型高岭石结晶度好，峰形尖锐；搬运型高岭石结晶度低，峰形缓。（3）2345-2350nm 次吸收峰：绢云母。（4）黄玉：2080nm 强吸收峰，1680 有峰。（5）叶蜡石：高温形成，2160-2170 峰与高岭石次吸收峰重；2320 有吸收峰，2070-2180 特征吸收峰，1390-1396 吸收峰尖锐，含 -OH 少。

2、硫酸盐

a.明矾石:K-明矾石: 2210 主吸收, 1470>1420>1768; Na 明矾石: 2160-2170, 1490, 2320。b.黄铁钾矾: 2260-2270nm 主吸收, 1850nm>1470nm。C.石膏: 主吸收 - 1940nm, 1449、1489 与 1550nm 三步峰是特征峰, 1750 有吸收峰。

3、Mg-OH 矿物

Mg-OH 矿物：特征吸收在 2300-2400nm。代表矿物：绿泥石，滑石，叶蛇纹石，黑云母，金云母等。

1. 绿泥石（与黑云母易混淆）：（1）2250-2260nm 处与 2340 - 2350nm 处有双峰；（2）1910, 2000nm 处为水的双峰；（3）1410nm 为 -OH 吸收峰；（4）Fe 取代 Mg, 2340 强, 2250 弱且向短波方向移动。

2. 金云母（与 Mg 绿泥石接近）：2380-2390 为单峰；2000 无水吸收峰。

3. 蛇纹石：2320 吸收峰最强, 2380-2390nm 有吸收峰。

4 滑石：2380-2390nm, Mg 层状硅酸盐, 尖峰在 2310 处, 与角闪石峰重, 比角闪石

短。与透闪石混，比透闪石长。

4、碳酸盐

2300-2400 有峰，与层状硅酸盐不同。方解石：2340nm 特征吸收（2336-2337nm）；菱镁矿：2310nm (2320-2321nm)；白云石：2320-2325nm，菱铁矿：峰变化大(>2320nm)。

5、Fe - OH 矿物

特征带是 2240-2265nm。绿泥石：2245-2260nm, 2340-2360nm 吸收峰。

6、绿帘石（与绿泥石易混）

1540 特征吸收峰，2340 峰形。

7、电气石

2200nm, 2240-2250nm 吸收峰，与绢云母、高岭石易混淆，与绿泥石易混淆时看 2370-2380nm 处吸收峰。

1.2.2 蚀变矿物近红外光谱分析法

1.含水矿物

含水矿物在 1400nm 和 1900nm 附近都有吸收峰。（1）、吸附水：为孤立水分子，谱带宽缓，吸收弱。吸收峰：1925nm, 1413.5nm；（2）、晶格水：结晶水谱带较宽缓，吸收强吸收峰：1935, 1748, 1443.5, 2215nm；层间水吸收峰：1915, 1423.5, 2135nm；结构水吸收峰：1403.5, 1915, 2205, 1825nm。

含晶格水矿物随着水分子对矿物物化属性影响加深，仪器图形更多的表现出离解的水 (H3O⁻)、(H3O⁺) 或 (OH⁻) 的谱形特征，吸收峰尖锐，既深又窄。

2.碳酸盐矿物化学性质与近红外光谱特征表

表 3-1 碳酸盐矿物化学性质与近红外光谱特征表

结构类型	晶体结构	矿物	化学式	W(CO ₂)	特征谱带				
				%	1	2	3	4	5
方解石型	三方晶系	菱镁矿	MgCO ₃	52.19	2496	2305	-	1915	1975
		白云石	CaMgCO ₃	47.33	2528	2315	2145	1985	1865
		方解石	CaCO ₃	43.97	2528	2335	2165	1995	1875
		菱锰矿	MnCO ₃	38.29	-	2365	2175	2005	1895
		菱铁矿	FeCO ₃	37.99	2528	2345	-	1925	-
文石型	斜方晶系	菱锶矿	SrCO ₃	29.81	-	2345	2175	2015	1885
		毒重石	BaCO ₃	22.30	-	2386	2205	2045	1915
孔雀石	单斜晶系	蓝铜矿	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	25.53	2418	2365	2265	2205	-
		孔雀石	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂	19.90	-	2355	2285	2215	2204.5

碳酸盐矿物最显著的识别特征是 2300 - 2400nm 之间具有单一的特征吸收，该吸收峰为左宽右窄，有别于其它矿物。同时绝大多数矿物在 2100-2200nm 及 2500nm 附近具有次一级特征吸收峰。

3. 铝化物 (Al³⁺)

表 3-2. 铝化物物化性质与波谱特征

类型	矿物名	分子式	铝的结构特征	光谱特征吸收	
氧化物	刚玉 corundum	$\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$	Al ³⁺ 充填 O ²⁻ 组成的 2/3 的八面体空隙	1882, 2045	
氢氧化物	三水铝石 gibbsite	Al(OH) ₃	Al ³⁺ 充填 (OH) ⁻ 组成的 2/3 的八面体空隙	1436, 1558, 2265, 1935	
	硬水铝石 diaspore	$\alpha - \text{Al}(\text{OH})_3$	Al ³⁺ 充填 O ²⁻ 与 (OH) ⁻ 1/2 的八面体	1409, 1825, 2045	
硅酸盐	铝硅酸盐	钠长石 albite	Na[AlSi ₃ O ₈]	四次配位	-
	铝的硅酸盐	高岭石 kaolinite	Al[Si ₄ O ₁₀](OH) ₈	六次配位	1414, <u>2205</u> , <u>2386</u> , 2165, 1915, 1394, <u>2325</u>
		白云母 muscovite	K{Al ₂ [AlSi ₃ O ₁₀]}(OH) ₂	四、六次配位	1414, <u>2215</u> , <u>2355</u> , <u>2440</u> , 1925, 2125

铝的氧化物在 1400nm 附近反射峰较强。铝的氢氧化物中，三水铝石在 1440-1600nm 间产生由 1435 和 1558nm 组成的尖锐的“二元”吸收峰；硬水铝石中 Al-O-H 键较弱，在 1408nm 吸收较弱。钠长石光谱特征不明显；白云母和高岭石因较强的 Al-OH 键而表现出较一致的 1420 与 2150nm 的特征吸收峰，但在 2200-2500nm 之间吸收峰形态存在较大差异，这是二者识别与区分的标志，是由于 Al 在晶体结构中不同占位的光谱表现。低温下，『AlO₄』四面体体积稍大于 [SiO₄] 四面体，易转变为六次配位：钙长石 『Ca[Al₂Si₂O₈』』 转变成绿帘石 [Ca₂(Al, Fe)₃O(OH)(SiO₄)Si₂O₇]，成为最稳定的八面体。绿帘石光谱特征较钙长石复杂，并具有高岭石或白云母相同的谱型，但特征谱带位置相对向长波方向移动，主要由于 Fe 影响 Al-OH。高温富铝环境，『AlO₄』 可由六次配位转化为部分 Al 的四次配位，如高岭石 [Al₄[SiO₄](OH)₈] 在 1000 - 1500 度可部分转化为矽线石 [Al[AlSiO₄]]，二者在 2200nm 附近主要特征吸收峰高岭石较矽线石尖锐，次级吸收峰特征吸收较明显。

4. 金属 - OH 矿物

由于阴阳离子之间键的共价程度、阴阳离子间距离造成晶体对称度的不同，使金属 - OH 基团光谱产生一定差异。

AL-OH: 该类矿物最显著的特征吸收是在 2200nm 附近的最大吸收峰及其两侧的一些次一级吸收峰构成“二元结构”。含 Al-OH 识别光谱位于 2165-2215nm。

表 3-3. AL-OH 矿物特征吸收

矿物	明矾石	锂绿泥石	埃洛石	伊利石	高岭石	蒙脱石	白云母	叶蜡石	累脱石	黄玉
特征吸收	2165 2325	2175 2365	2205 2165	2215 2355	2205 2165	2205 2215	2195-2225 2355	2165 2315	2195	2085, 2155 2215

Mg-OH 矿物: 该类矿物最显著的吸收峰在 2300nm 附近, 即 2315-2325nm。

表 3-4. Mg-OH 矿物特征峰

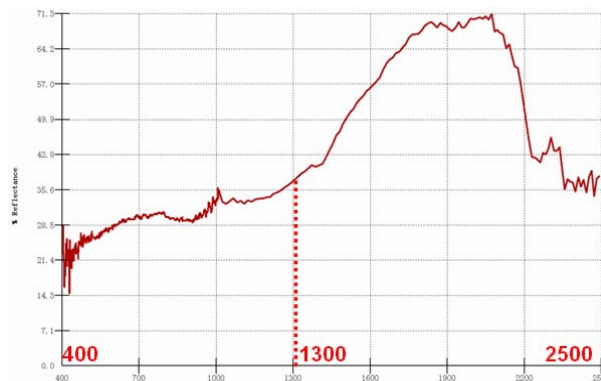
矿物	阳起石	黑云母	水镁石	叶蛇纹石	纤蛇纹石	利蛇纹石	锂皂石	金云母	滑石	透闪石
特征峰	2315	2335	2315	2325	2325	2315-2325	2305	2325	2315	2315

1.3 光谱测试结果

SVC GER3700 光谱仪和便携式近红外光谱仪的光谱测试结果分别如图 3-3 和 4-4 所示, 两种光谱仪所有标本的全部测试结果见附录二。

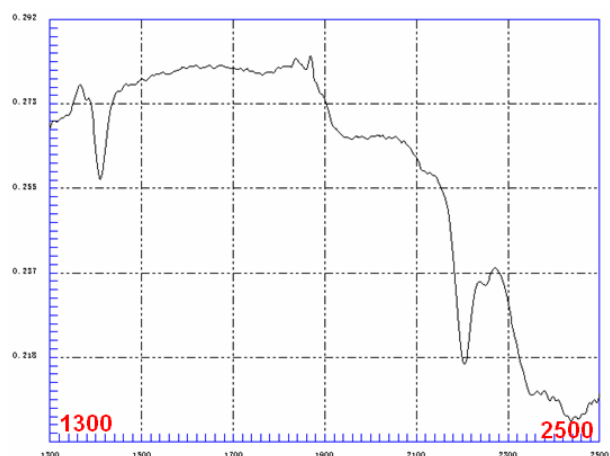


a.A01-1 皱纹线理的云母片岩

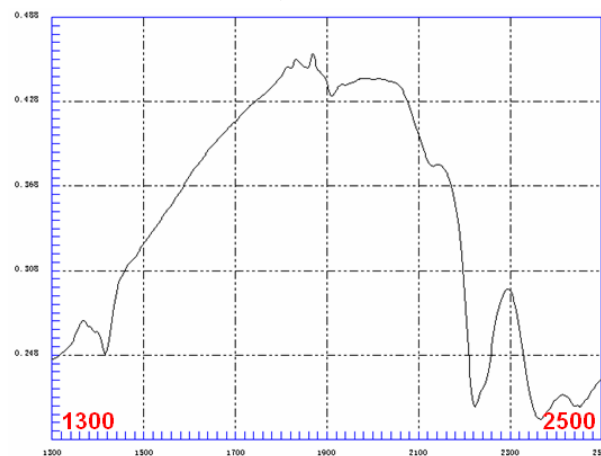


b.A01-6 二云母片岩

图 3-3. SVC GER3700 光谱仪光谱测试结果



a.A01-1 皱纹线理的云母片岩



b.A01-6 二云母片岩

图 3-4. 便携式近红外光谱仪光谱测试结果

有图 3-3 和图 3-4 可以看出 A01-1 皱纹线理的云母片岩和 A01-6 二云母片岩两个标本

在两种光谱测试仪下的测得的对应光谱曲线形态是一致的，但在光谱测量范围上存在一定的差异。由于便携式近红外光谱仪比 SVC GER3700 光谱仪的光谱分辨率要高一些，因此所测定的光谱曲线更加细腻，从而跟有利于矿物的区分。

1.4 典型矿物岩石的光谱特征分析

吸收峰深浅强弱不但表示样品中矿物含量的纯度，还代表矿物特征谱线主次峰之分。为了更直观的从标准吸收波长判读谱线信息，对波谱的吸收峰强度的相对强弱和峰形特征做如下划分：①弱吸收峰，一般峰；②中等吸收峰；③强吸收峰三类。

根据谱线峰形，将吸收峰峰形分为：①单峰（常见峰形）；②双峰（两峰相连，峰深相若）③左肩峰（同一吸收峰谷，短波方为次一级峰）；④右肩峰（同一吸收峰谷，长波方为次一级峰）；⑤双肩峰（形似三股钢叉形）；⑥三步峰（阶梯状三连峰，石膏的结晶水峰为特有）。

又根据近红外图谱谱形线，将图谱大致分为：①坡型，即左（短波长处）高，右（长波长处）低；②山型，即中间高，两端低，主要有圆滑的山头型，尖锐的山峰型。

对工作区典型矿物河岩石的光谱特征及吸收谱带进行了分析，这对于该区域地质研究提供了一种新的技术手段和方法，起到了与传统方法互补的作用，特别是对于遥感蚀变和异常信息的提取提供了重要的参考信息。

1.4.1 典型矿物光谱特征

工作区典型矿物的光谱特征及吸收谱带如图 3-5 到图 3-14 和表 3-5 所示。

表 3-5. 工作区典型矿物光谱吸收谱带

矿物名称	分子式	吸收谱带
1 普通水晶	SiO ₂	(1490, 1920)
2.芙蓉石	SiO ₂	(1490, 1920)
3 黑云母	K(Mg,Fe ²⁺) ₃ (Al,Fe ³⁺)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	(2250, 2340)
4.白云母	KAl ₂ [Si ₃ AlO ₁₀](OH,F) ₂	(1400 强, 2200 强)
5.绿柱石	Be ₃ Al ₂ (SiO ₃) ₆	(1400 强, 1900 强, 2200)
6.电气石	NaR ₃ Al ₆ [Si ₆ O ₁₈](BO ₃) ₃ (OH) ₄ ,SiO ₂	(1400 弱, 2400)
7.含钽赤铁矿	Fe ₂ O ₃	(1300, 1700 强, 2400)
8.斜长石	NaAlSi ₃ O ₈ (Ab) -CaAl ₂ Si ₂ O ₈ (An)	(1400 弱, 1950, 2200)
9.叶蜡长石	NaAlSi ₃ O ₈	(1400 强, 1950, 2200)
10.石榴子石	Fe ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	无明显吸收带

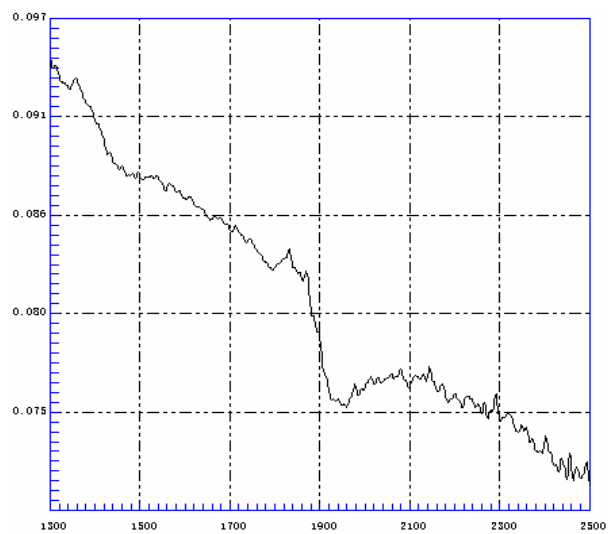


图 3-5.水晶：吸收带（1490，1920）

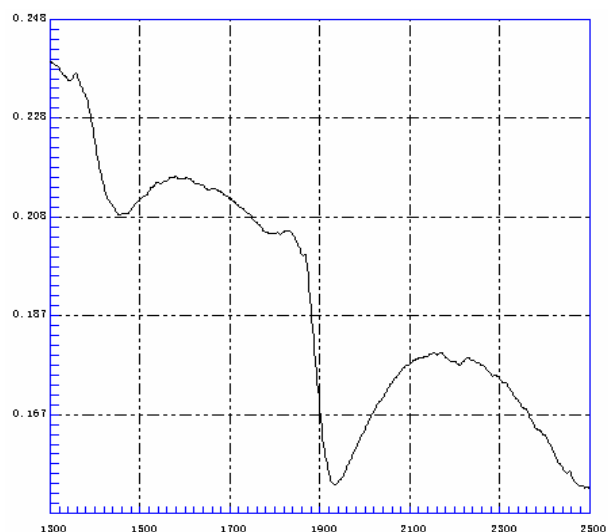


图 3-6.芙蓉石：吸收带（1490，1920）

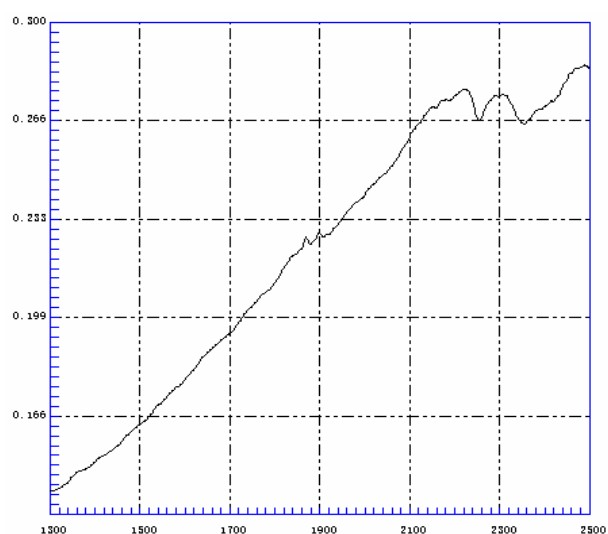


图 3-7.黑云母：吸收带（2250，2340）

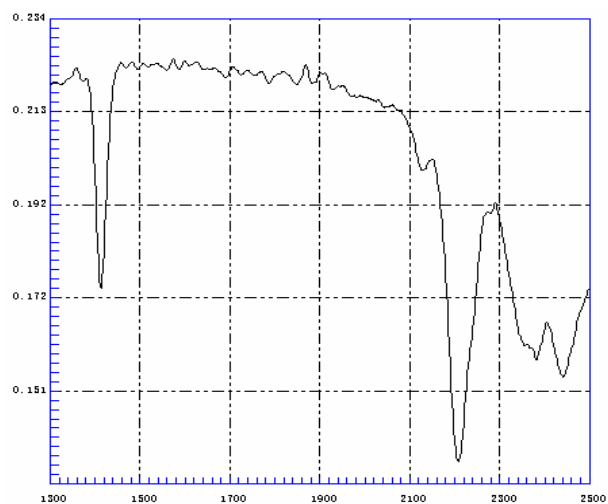


图 3-8.白云母: 吸收带 (1400 强, 2200 强)

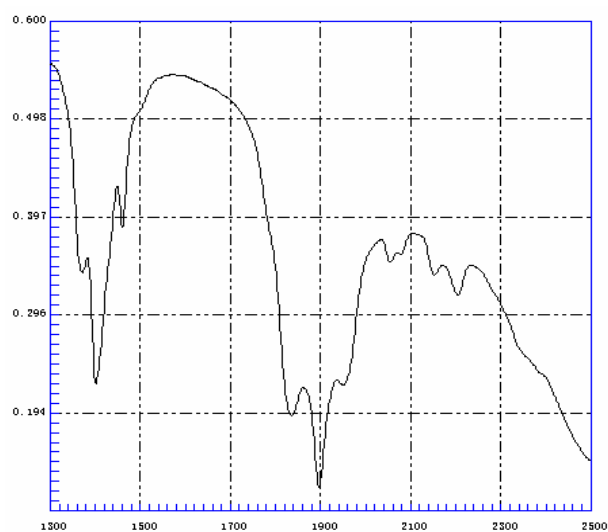


图 3-9.绿柱石: 吸收带 (1400 强, 1900 强, 2200)

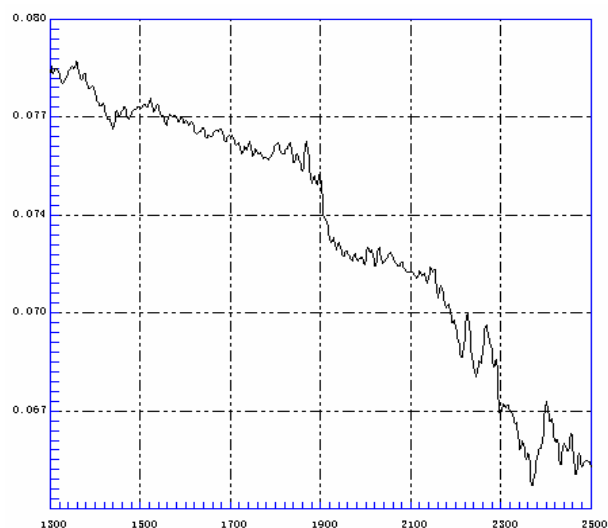


图 3-10.电气石: 吸收带 (1400 弱, 2400)

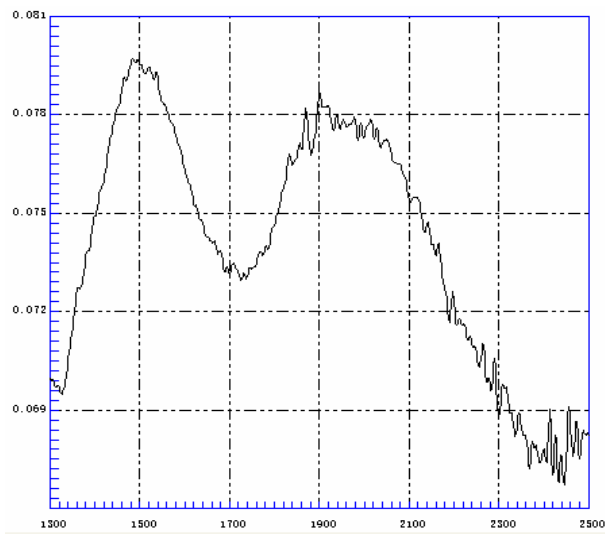


图 3-11. 赤铁矿 (疑似钽铌铁矿)：吸收带 (1300, 1700 强, 2400)

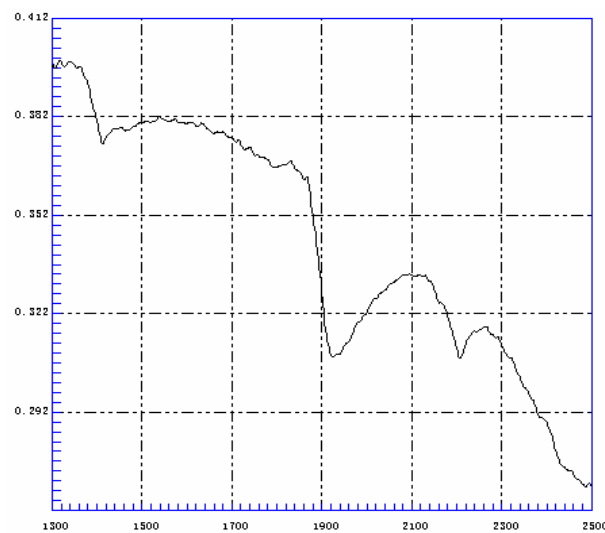


图 3-12. 斜长石: 吸收带 (1400, 1950, 2200)

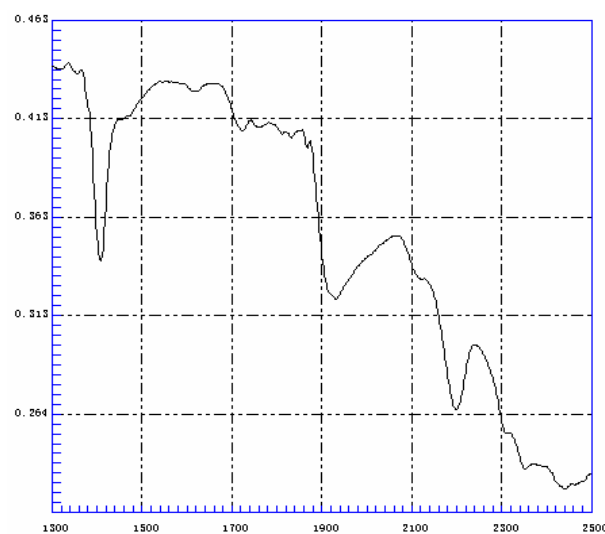


图 3-13. 叶蜡长石: 吸收带 (1400 强, 1950, 2200)

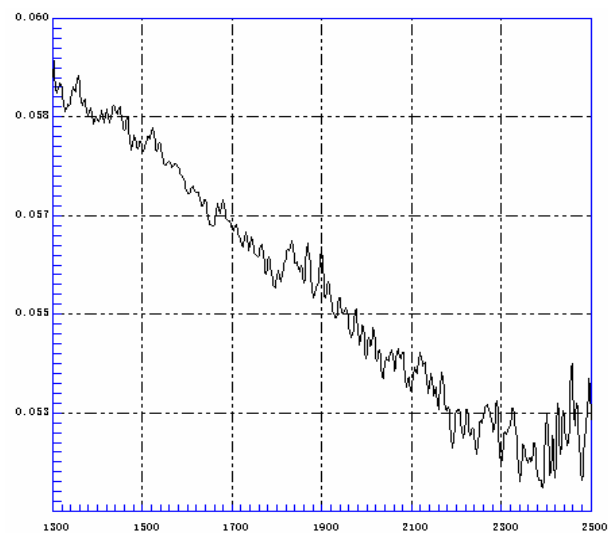


图 3-14. 石榴子石：无明显吸收带

1.4.2 典型岩石光谱特征

工作区典型岩石的光谱特征及吸收谱带如图 3-15 到图 3-24 和表 3-6 所示。

表 3-6. 工作区典型岩石光谱吸收谱带

矿物名称	吸收谱带
1. 文象结构伟晶岩	(1400, 1920 强, 2200)
2. 锂辉石伟晶岩	(1400 强, 1920 强, 2200)
3. 含石榴子石变斑晶的片岩	(1400 弱, 1920 强)
4. 细粒花岗岩	(1400 强, 1920, 2200 强)
5. 千枚岩	(1400 强, 2000 弱, 2200 强)
6. 眼球状花岗岩	(1400 强, 1920 强, 2200 弱)
7. 含变斑晶的云母片岩	(1400 强, 1920 弱, 2200 强)
8. 绢云母泥质千枚岩	(1400 强, 1920 弱, 2200 强, 2380 弱)
9. 白云石英片岩	(1400 强, 1920 弱, 2200 强, 2420 弱)
10. 黑云片岩	(1400 弱, 1920 强, 2200 较强, 2380 弱)

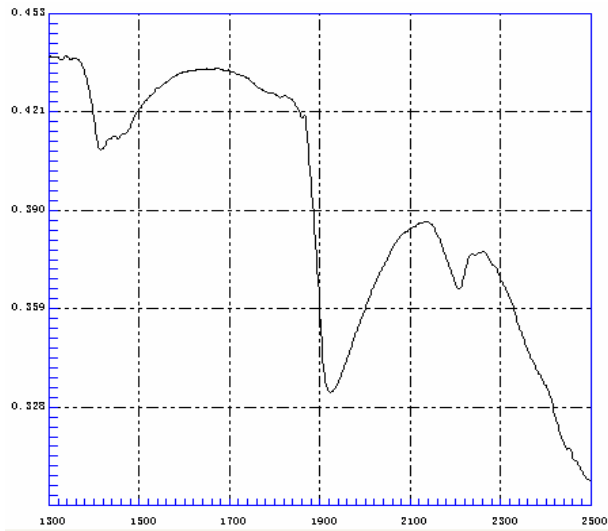


图 3-15. 文象结构伟晶岩：吸收带（1400，1920 强，2200）

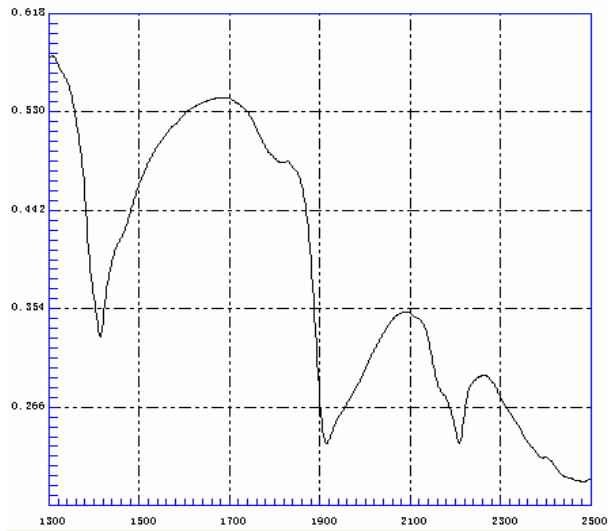


图 3-16. 锂辉石伟晶岩：吸收带（1400 强，1920 强，2200）

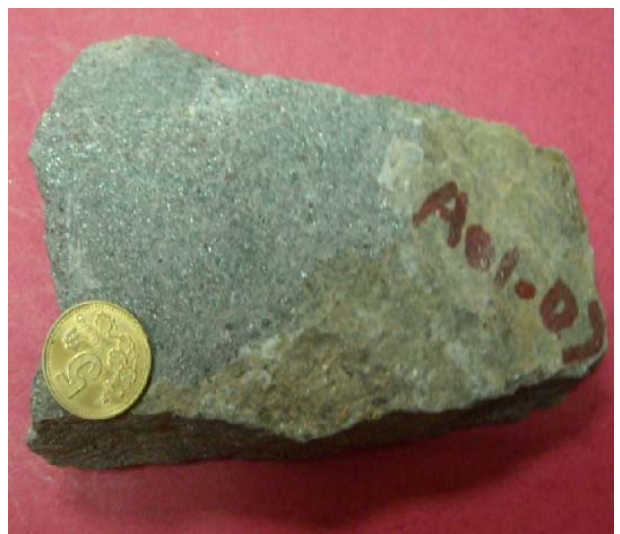
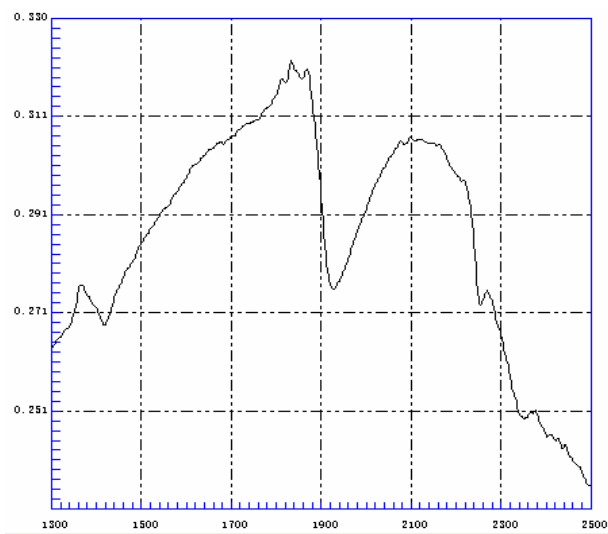


图 3-17. 含石榴子石变斑晶的片岩：吸收带（1400 弱，1920 强）

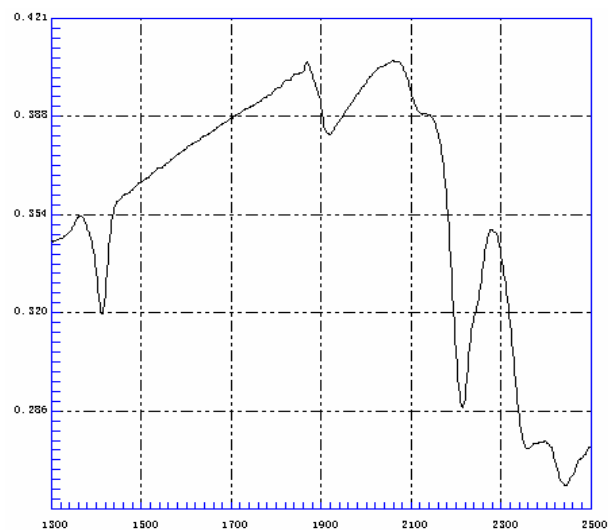


图 3-18. 细粒花岗岩：吸收带（1400 强，1920，2200 强）

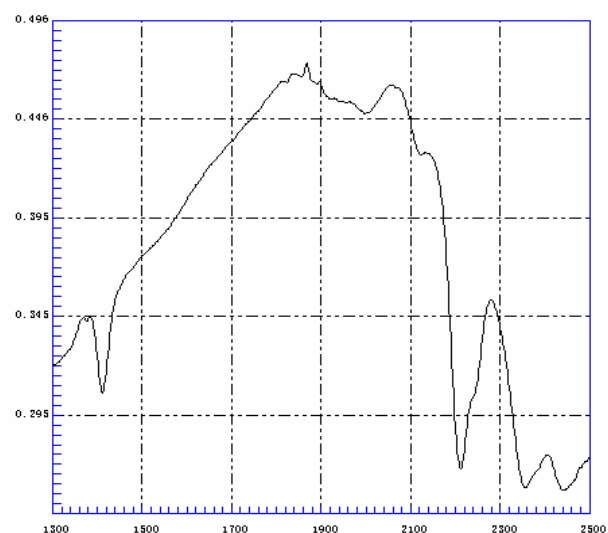


图 3-19. 千枚岩：吸收带（1400 强，2000 弱，2200 强）

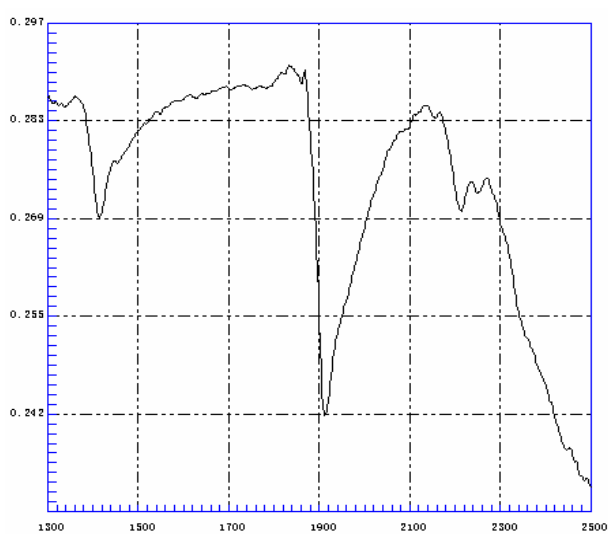


图 3-20. 眼球状花岗岩：吸收带（1400 强，1920 强，2200 弱）

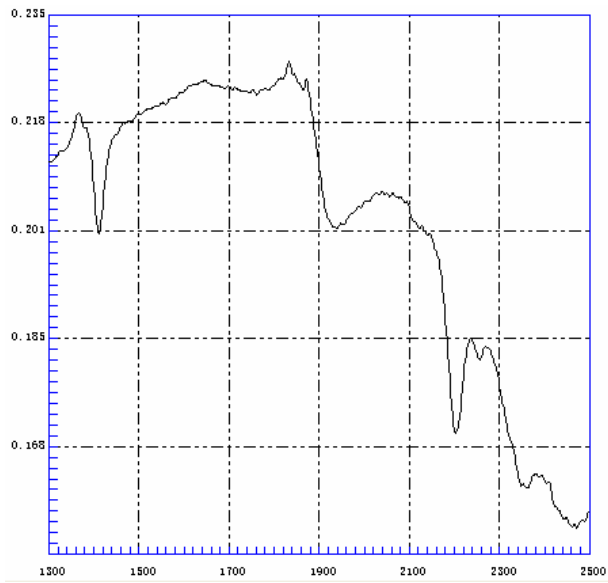


图 3-21. 含变斑晶的云母片岩：吸收带（1400 强，1920 弱，2200 强）

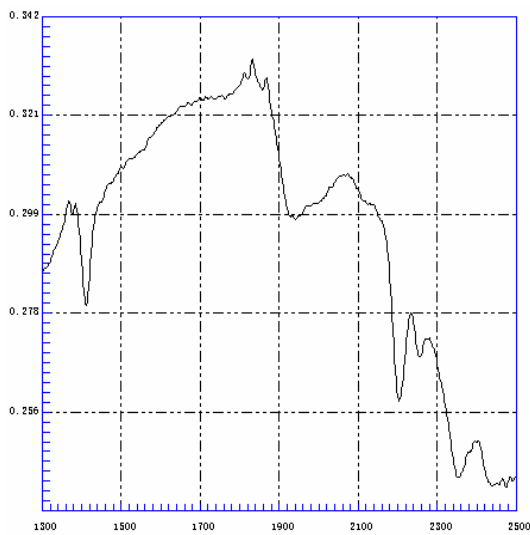


图 3-22. 绢云母泥质千枚岩：吸收带（1400 强，1920 弱，2200 强，2380 弱）

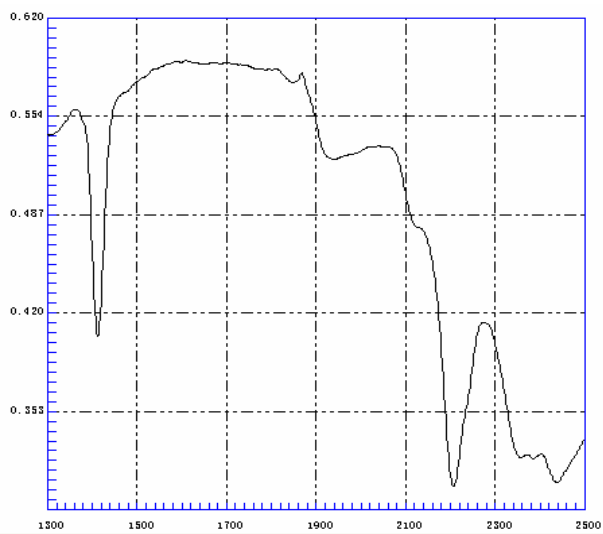


图 3-23. 白云石英片岩：吸收带（1400 强，1920 弱，2200 强，2420 弱）

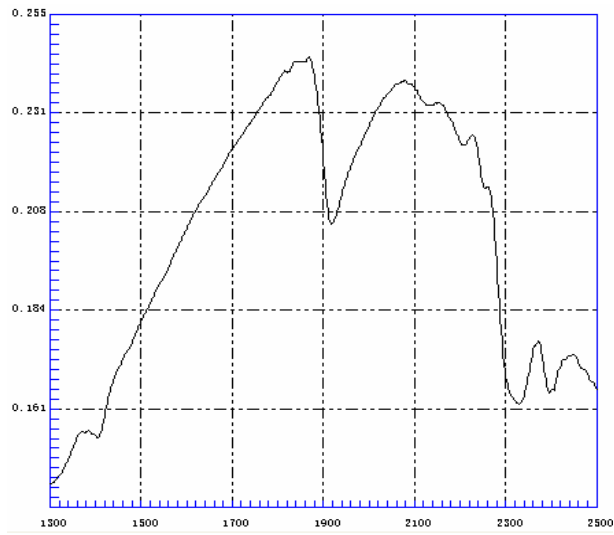


图 3-24.黑云片岩：吸收带（1400 弱，1920 强，2200 较强，2380 弱）