

# 遙感地質

譯文集

1989年

505

(3-2)

3392

冶金工業部遙感技術應用中心  
冶金工業部天津地質研究院

## 目 录

- 综述:遥感地质发展的新阶段 ..... 阎积惠 (1)
- 利用六通道热红外形象进行不同成分硅酸盐岩石填图 ..... A. Gillespie, E. Abbott (6)
- 沙特阿拉伯塞姆雷恩——谢巴恩和曼达阿扎宰海卜地区机载多光谱扫描资料  
对岩石类型和蚀变带的判别 ..... W. P. Iounglin, Mohammed A. Tawlig (15)
- 用MEIS窄波段成像系统判别铁氧化物  
植物异常 ..... S. J. Fraser, J. F. Huntington (28)
- CARR BOYD矿物有限公司利用机载多光谱扫描仪  
对热液蚀变地区的光谱识别 ..... F. R. Honey, J. L. Daniels (42)
- 机载专题制图仪和热红外多光谱扫描仪数据在岩性和  
热液蚀变带制图中的综合应用 ..... Dr. Robert, K. Vincent 等 (46)
- 多波段遥感作为一种勘察工具在加拿大  
诺瓦斯科夏科伯塞德山区的应用 ..... S. D. Melvrin, M. S. Akhavi (52)
- 关于陆地卫星多光谱扫描仪图象交互式数字图象分析的  
热液褐铁矿制图 ..... Keenan lee (56)
- 新斯科舍地区麦吉马群的陆地卫星和海洋卫星图象中金矿点  
与线性体的空间相关关系 ..... G. F. Bonham, Carter (64)
- 评价加拿大边远地区地表地质的方法对比 ..... J. R. Belanger, A. N. Rencz (75)
- 维多利亚的构造格架及其与金属分布的关系 ..... Bruce Cozens (80)
- 英国南部韦塞克斯盆地应用海洋卫星SAR、陆地卫星MSS和TM资料  
进行构造岩性填图 ..... Anthony D. G. Dixon等 (88)
- TMS勘测科罗拉多州EMMONS山的  
地质结果 ..... D. L. Rickman, R. M. Sadowski (93)
- 由专题制图仪、热红外及雷达图象绘制的死谷地质图 ..... Floyd F. Sabins (97)
- 应用陆地卫星 TM数据的波谱分析判别安第斯山中部普纳高原的  
火山岩和沉积岩岩性 ..... Eric J. Fielding (104)
- 在内华达弗吉尼亚地区——卡姆斯托克矿脉用机载 TM图象  
进行粘土蚀变带填图 ..... Christopher D. Elvidge等 (112)
- 航天飞机雷达在印度尼西亚的应用 ..... J. P. Ford, F. F. Sabins Jr (118)
- 在美国宾夕法尼亚州的山脊与谷地根据植物组合及  
TM 光谱数据判别岩性单元 ..... Curtis V. Price等 (121)
- 矿产勘探中利用图象处理进行数据综合 ..... S. Aronoff (132)
- 从陆地卫星MSS数据中自动提取线性构造及其地质评价 ..... 大地正高等 (139)
- 地质编码数据库在地质调查和勘探中的应用 ..... M. S. Akhavi (152)
- 窄波段植被红色反射边缘多光谱图象中的异常  
与金属含量的相关关系 ..... J. R. Miller, E. W. Hare (155)

# 遥感地质发展的新阶段

阎 积 惠

## 摘 要

遥感地质是一个年青的边缘学科。七十年代空间遥感开始为地质工作提供多波段（可见光、红外和微波）、多层次、多时相的电磁波信息。然而由于当时的波谱分辨率较低，地质判读往往以遥感图像的结构信息为主。八十年代以来，陆地卫星4、5号和SPOT卫星先后发射成功。机载传感器的通道数目剧增，单波段宽度变窄，更多地利用红外波段，更多地利用波谱信息而不是结构信息。检测地物的能力大为增强。计算机图像处理技术逐渐推广并给于专业判读以强有力的支持。因此，空间遥感在地质调查和找矿中的实用效果更加引人注目。进入九十年代之后，遥感地质的发展将更加迅速。高分辨率的遥感图像不仅用于识别岩石类型，而且可以鉴别某些矿物，区分一些化学组份的含量。包括激光和微波在内的主动遥感方式将得到更多的应用。植物地球化学遥感在植被复盖区的找矿中将显示实效。遥感信息专业应用逐步实现模式化、量化、自动化。

## 七十年代的遥感地质

信息化社会的特点之一是科学技术空前活跃。各不同学科之间互相促进，积极渗透。许多边缘学科应运而生，蓬勃发展。遥感地质是其中之一。七十年代之前的地质工作者也偶尔地使用航空像片，当时并没有形成有系统理论和完备技术的遥感地质学科。七十年代以来，广大地质工作者在地质调查和找矿中，陆续地使用了多种航空遥感图像。其中有全色黑白照片、多光谱照片、天然彩色和红外假彩色照片，多波段红外扫描图像及雷达图像等等。摄取和生产这些图像需要电磁波理论。对遥感图像进行地质判读则不能脱离地质理论。因此，在现代空间技术和图像处理技术推动下诞生的遥感地质的理论基础，一是电磁波理论，二是地质理论。依据遥感平台飞行高度的不同，空间遥感分为航空遥感和航天遥感。

航空遥感方法选择灵活，比例尺多样，分辨率高。在地质找矿，尤其是在地质制图中的效益显而易见。但是航空遥感单幅图像覆盖面积小，对于成矿区带大范围的地质调查和找矿不仅解译工作量大，而且飞行费用高，往往使得用户难以负担。航天遥感的发展弥补了航空遥感的不足。

美国宇航局在六十年代发射了“云雨”，“泰罗斯”等气象卫星，和“阿波罗”载人宇宙飞船。从航天飞行器上拍摄了世界上第一批地球表面的照片。经过长期准备，于1972年7月23日发射了第一颗地球资源技术卫星（后改称陆地卫星）。很快获得了全球覆盖，

提供了大量地质信息，展示了宏观地质构造模型。这些新颖的地质资料开辟了遥感地质的新时代，也使广大的地学工作者受到了莫大鼓舞。1975和78年又相继发射了陆地卫星2号和3号。此外还发射了热容量测绘卫星，激光测地卫星，磁场卫星等。从而形成了多层次、多波段、多时相的空间探测体系。卫星遥感大大延伸了人类的感官，开阔了人们的视野。陆地卫星图像帮助地质学家建立了全球构造模型。在资源勘察方面获得了出乎意料的成功。我国在七十年代中期及时引进了陆地卫星MSS图像。全国的地质工作者广泛使用这些资料，统览全国的大地构造格局，及不同构造单元之间的关系。MSS提供的大量的线性构造信息丰富了地质图的内容，对找矿也有直接或间接的帮助。尽管如此，第一代陆地卫星图像毕竟有较大的局限性。最大探测波长为1.1微米，而多种岩石的特征谱带在波长更大的区段；单波段的宽度较大，针对性不强，光谱探测精度不高； $56 \times 79$ 米的空间分辨率也比较低。即使航天飞机侧视雷达图像的空间分辨率也只有 $40 \times 40$ 米。它们所提供的信息不能细致地区分各种岩性和热液蚀变带，不能满足地质调查和找矿的需要。

回顾七十年代的遥感地质工作有这样几个特点：

1. 地质领域开始利用航天遥感信息；
2. 遥感为地质工作提供包括可见光、红外和微波在内的多种波谱信息，和大区域低分辨率的地球磁场和重力场信息；
3. 计算机图像处理技术为遥感信息应用开辟了广阔前景；
4. 这一阶段的地质判读以利用遥感图像的结构信息为主，以地质构造解译为主。

### 遥感地质发展的新阶段

进入八十年代以来，遥感技术的发展日新月异。各种新型传感器不断研制成功，其光谱和几何探测精度大幅度提高。功能齐全、操作方便的多种型号的遥感图像处理系统，包括专业应用软件，正在众多的行业和学科中迅速普及。遥感技术的高速发展，已经把遥感地质学的发展推进到一个崭新阶段。这个阶段目前的主要标志有三个方面：

1、第二代资源卫星发射成功，这是最显著标志。1982年7月16日，美国发射陆地卫星4号。1984年3月1日又发射了陆地卫星5号。4、5号卫星都载有MSS和TM(Thematic Mapper)二种传感器。与1、2、3号卫星上的MSS相比，4、5号卫星上MSS的改进不大，而TM则比MSS具有明显的优越性(见表1)

MSS和TM图像单幅的复盖面积都是 $185 \times 170$ 平方公里。TM的地面几何分辨率比MSS高一倍还多。像元畸变减小。每一景的信息总量TM是MSS的七倍，更有意义的改进在于光谱探测精度的提高。三个可见光波段的带宽由0.1微米缩小至 $0.06-0.08$ 微米。第一个近红外波段由0.3微米缩小到0.14微米。窄波段扫描增强了检测地物的针对性。传感器的最小可测功率降低。反射亮度的量化级由64提高到256级。而且TM的每个亮度值所代表的地面面积仅是原MSS每个象元面积的五分之一。明显地提高了光谱探测精度，大大增强了区分不同地物的能力。TM作为第二代航天遥感图像所提供的光谱信息成为地质判读的主要依据，而不似过去主要依据图像的结构信息。

1986年2月22日法国空间研究中心发射的SPOT卫星，也属于第二代的航天遥感资源卫

TM与1、2、3号陆地卫星MSS图象性能对比简表

表1

性能	MSS			TM		
	波段( $\mu\text{m}$ )	辐射分辨率%	几何分辨率(M)	波段( $\mu\text{m}$ )	辐射分辨率%	几何分辨率(m)
波段划分 及 探测精度	0.5—0.6	0.57	80	0.45—0.52	0.8	30
				0.52—0.60	0.5	30
	0.6—0.7	0.57	80	0.63—0.69	0.5	30
	0.7—0.8	0.65	80	0.76—0.90	0.5	30
	0.8—1.1	0.70	80			
				1.55—1.75	1.0	30
				10.40—12.50	0.5	120
			2.08—2.35	0.4	30	
瞬时视场角(mr)	0.086			TM 1,2,3,4,5,7 0.042	TM6	0.17
扫描中心象元大小(M)	56×79			30×30		120×120
地面象元畸变	扫描线端点	0.8m		0.5m	2m	
	扫描带之间	0.4m		0.3m	1m	
量化级	64			256		
一景的总信息量	32兆字节			230兆字节		

\* TM1,2,3,4,5,7.为等效反射噪音信号百分数, TM6为等效温差噪音信号百分数  
星。SPOT卫星装有两个线阵传感器HRV (High Resolution Visible)。SPOT卫星图像的主要性能列于表2。

对于用户而言, SPOT 卫星图像的最大优点有两个: 一是几何分辨率高, 10米和20米的地面分辨率, 可以提供地表面详细的结构信息; 二是它可以左右探测 $27^\circ$ 角, 能产生立体像对, 进行立体量测, 用于测绘1:5万地形图。

2. 机载传感器的通道数目剧增, 单波段宽度变窄, 光谱探测精度提高, 而且越来越多地利用红外波段。检测地物的实际能力大为增强。例如美国Hunting公司制造的机载主题制图仪(A TM)有6个可见光波段, 2个近红外, 2个中红外和一个热红外波段。像元大小从几米至十几米。喷气推进实验室推出的机载成像光谱辐射仪(AIS)有128个通道, 9.6 nm的波段宽度, 10米的分辨率和380米的刈幅宽度。这些传感器经过试飞获得了良好图像。AIS已在几个国家推广使用。

3. 空间遥感信息在地质科研和生产中的应用效果有显著提高。陆地卫星1、2、3号

SPOT卫星性能简表

表2

性 能	全 色 图 像	多 波 段 图 像		
波 段 划 分 ( $\mu\text{m}$ )	0.51—0.73	0.50—0.59	0.61—0.68	0.79—0.89
几 何 分 辨 率 (m)	10	20		
量 化 级	256			
单 相 幅 面 积 ( $\text{K}\text{m}^2$ )	60 × 60			
扫 描 带 宽 (km)	117			
观 察 角	± 27°			

的MSS图像提供了大量的线型构造信息, 缺乏多种岩性信息, 对于地质工作只能起一定的辅助作用。第二代航天遥感信息的能力则远远超出上述MSS图像。无论是TM还是SPOT图像都可以放大至1: 5万比例尺, 影像清晰。利用TM磁带, 经过计算机处理, 光学放大, 可以得到多种组合多种比例尺的彩色合成图像, 比值或比值合成图像, 主成份图像, 分类图像等等。借助这些图像可以识别出不同期次不同成份的侵入岩体, 划分岩性段, 识别碳酸盐岩和含绢云母绿泥石的片岩效果较好。能清楚地显示地层褶皱的水平形态, 和长度大于100米的线性构造。因为TM7含有热液蚀变矿物中OH的特征谱带, TM4是 $\text{Fe}^{3+}$ 的最强吸收带之所在, 所以利用包括TM4、7在内的主成份图像、比值图像识别某些热液蚀变是有效的, 其中比值图像的效果更好一些。例如在我国甘肃省北山地区, 用TM4、5、7波段的合成图像划分地层、侵入体和断层, 用比值圈定蚀变带, 再与金的化探异常迭加, 用于圈出找金矿靶区, 效果良好。在国外, Hunting公司使用ATM在美国、西澳、沙特阿拉伯、西班牙等地经过多次飞行, 在内华达州圈出“卡林型金矿化带”近100公里, 在沙特阿拉伯识别铁帽, 在西班牙寻找与热液蚀变有关的金矿, 均获得预期成果。在西澳以遥感信息为主圈出靶区, 经钻探打到了大型金矿。

无论是航空遥感图像, 还是TM图像, 或SPOT图像, 都可以用于中一大比例尺的地质制图。在甘肃省北山地区使用TM数字图像进行1: 5万地质制图, 构造线清楚, 地质界限精确, 速度快, 效率高, 成本低, 所用经费只是常规地质填图方法的五分之一。

国内外空间遥感技术的发展, 遥感信息在地质调查和找矿中的应用效果, 充分说明遥感地质跨过了试验阶段, 正在进入广泛应用, 普见成效, 深入发展的新阶段。

#### 遥感地质的发展趋势

由于遥感技术的综合性和实用性, 以及空间技术和计算机技术强有力支持, 使得遥感的发展充满了活力。

法国的SPOT计划预计在1992年之前陆续发射SPOT 2和3。之后, 至2000年, 还将继续发射SPOT 4、5。在重复率和光谱探测精度, 波段划分方面将有重要改进。美国地球观

察卫星 (EOSAT) 商业公司, 已经提出了继 5 号陆地卫星之后 6、7 号卫星的设计方案, 并进行了航空遥感试验。改进的专题制图仪 (ETM) 将增加一个全色波段 (波长范围 0.5—0.86 微米) 地面分辨率为 15 米。7 号卫星的热红外波段将改为 4 个窄通道, 可用以区分岩石中二氧化硅的含量。

为了提高遥感探测的精度和适用范围, 遥感技术专家正在研制多种新式传感器, 不断拓宽电磁波谱的探测范围, 压缩单通道的波谱宽度。如 JPL 计划推出的先进的可见光和红外成像光谱辐射计 (AVIRIS) 有 224 个通道, 9.6 纳米的波段宽度, 20 米的分辨率和 11 公里的刈幅宽, 可以识别明矾石、叶腊石、高岭石、蒙脱石; 能够把石灰岩、白云岩和石膏分开; 还可以检测针铁矿、褐铁矿、黄钾铁矾和赤铁矿等铁氧化物。为了识别更多的岩石类型, 专家们又把激光全息技术引入遥感领域, 经过了实验室和机载试验, 如机载热红外激光扫描仪在区分岩性方面的初步试验结果是非常可喜的。

我们的地球经常有大片的云层和大面积的森林复盖。用可见光或红外遥感在这些地区找矿难以奏效。微波遥感有一定的效力。欧洲空间局的 SAR—580, 美国的 SIR—A, 和 SIR—B 等合成孔径侧视雷达, 经过多次飞行, 在沙漠、森林和云雨复盖区获得了有重大经济效益的成果。中国的机载侧视雷达在地质和工程地质调查中也取得了很大成绩。加拿大、日本和欧空局计划在九十年代用星载成像雷达复盖全球。

近几年来, 一些国家积极开展植物地球化学遥感找矿研究。岩石土壤中的某些金属元素使植物“中毒”, 导致植物的反射波谱发生变异, 如植物波谱的“兰移”即是这种变异现象之一。在有关杂志和国际会议上, 植物地球化学找矿方面的论文迅速增多, 方法逐步深入, 是植被复盖地区很有希望的一种遥感找矿方法。微波遥感与生物地球化学遥感技术的发展, 可以揭露出隐蔽于植被之下的地质现象和矿产。地质学家对植被复盖一筹莫展的局面已经开始改变。

在遥感系统工程中, 空中信息采集—室内图像处理—专业分析应用, 是紧密相联互相支持的三个环节。传感器所采集到的是数量庞大的原始数据, 未经图像处理之前, 专业工作者不能直接应用。可见作为中间环节的图像处理十分重要。我们现在所进行的图像处理一般的包括图像恢复, 图像增强, 信息提取和分类等等。为了研究线性构造多用滤波功能, 为了识别岩性和蚀变类型, 比值图像比主成份图像和分类图像的效果更好。多数据集拟合处理, 综合多维信息, 统一显示, 对解决地质和找矿问题均有一定效果。先进的高效率的图像处理系统与高精度的多维多时相的遥感信息相结合, 使得建立不同自然地理环境下不同的岩性、构造地质单元和矿化类型的遥感信息模式及识别程序成为可能。遥感图像处理系统与地质数据库联机, 形成网络, 建立起各种地质体的地质信息, 电磁波信息, 地球物理和地球化学信息组成的综合数据库, 不仅可以实现遥感信息自动地质判读和成图, 而且地质找矿过程中的许多环节也可以实现自动化。现代的遥感技术、空间技术、和计算机技术已经明确向我们展示了这样美好的前景。

(参考文献略)

信息,但图象判读的明显优点却不能得到发挥,因为数据不再以图象形式显示出来。

作者在本文中提出一种把图象和波谱分析两种优点结合起来的方法之初步研究成果。我们模拟计算出来的具有高其函数的发射波谱,这些波谱仅有三个参数,即中央波长、标准偏差和波幅。基本上,这三个参数均可用彩色图象表示,因为这些参数是从六个测量到的数值计算出来的,比早期的三通道彩色合成能显示更多的信息。本文中,作者试图阐明计算出来的参数中包含有意义的岩性信息,它们随着测量的成分参数不同而呈系统的变化,因此,这些参数成为图象定量判读和岩性填图的基础。

### 热红外多波谱扫描器(TIMS)数据获取

#### TIMS数据

TIMS是一种Daedalus机载线性扫描器,由美国国家航空与宇宙航行局在其空间技术实验室操作(Kahle1983; Kahle Goetz1983)。TIMS主要是稳定的Hg—Cd—Te六单元探测器组合,可获得六个通道的幅射数据。1982年,这些数据的波谱段为8.2—8.6, 8.6—9.0, 9.0—9.4, 9.4—10.2, 10.2—11.2, 11.2—12.2 $\mu\text{m}$ (Kahle Goetz, 1983),其峰灵敏度分别为8.3, 8.7, 9.1, 9.8, 10.4, 11.3 $\mu\text{m}$ 。NEAT(噪声随温度的变化)在300K时大约为0.1K。信息以数字格式显示,并通过可选温度内部参考黑体对每条扫描线进行校正。关于该仪器的性能及其数据可参阅Kahle和Goetz(1983)的论述。

1982年夏季,在加利福尼亚和内华达塞拉花岗岩基上空进行热红外多波谱扫描飞行。其后又在北加福尼亚的Josephine蛇绿岩和俄勒冈南部进行同样的扫描飞行,取得了一系列火成硅酸岩数据。此外,也利用了Kahle和Walken1984在加利福尼亚死谷进行热红外多波谱扫描所取得的石英岩数据。热红外多波谱扫描飞行在中午时分进行以取得最大热辐射。美国国家航空与宇宙航行局的空间技术实验室取得的数据以校正的计算机兼容磁带提供给喷气推进实验室。

#### 辅助数据

对从野外的风化露头和新鲜断面所采集的有代表性的岩石样品进行热反射波谱测定。这些工作是在喷气推进实验室Analect傅里叶变换光谱仪完成的。每块岩石样品大致测25个部位(视样品大小而定),取其平均值,以保证这些数值能代表岩石的总成分,并符合露头区400m<sup>2</sup>范围内的热红外多波谱扫描数据。

选定的样品的典型矿物丰度可以从薄片的点计数来估算。SiO<sub>2</sub>含量则应用电子探针分析岩石粉末熔化的玻璃珠来测定(如Nash, 1964; Balaridge, 1979),其分析结果与公布的数据(Moore, 1963)及同一样品的典型矿物计算丰度值进行对比。

### 数据处理

#### TIMS数据

对影像资料进行初步处理以校正系统的全景失真,并用逐线内部黑体参考值来校正数据。然后,对六个影像通道的发射量采用Kahle等(1980)提出的方法进行计算,他们假设第6通道的发射率总是固定在0.93。由于这一假设与超镁铁质岩低发射率(约为11 $\mu\text{m}$ )



不相符，故我们一般只在处理花岗质岩石时才用这种方法，而对于镁铁质和超镁铁质岩石，我们假设 1 通道的发射率是固定的。经用 Analect 光谱对几块岩石样品的测定，其数值为 0.98。对于一个通道来说，假设发射率是很有必要的，因为有七个未知数（6 个发射值温度）而只有 6 个辐射测量值。根据这一假设，影像中的每一点都可以计算出模拟地面温度；然后根据测定的辐射率与黑体在模拟温度中用 Planck 定律预测的辐射率的比值得出其他（1—5 或 2—6）通道的发射率。用这种方法，可从辐射率影像制成所有六个通道的发射率影像。

上述计算发射率的方法并未对水蒸气的吸收和辐射那样的大气效应进行校正，只有当获取数据时对该幅上有所了解，模拟校正值才可以应用（Kahle 等 1981）。但我们缺少这种极为重要的资料。最近，用喷气推进实验室的手提式野外发射光谱仪进行的测量调查表明，植被的波谱变化不大（在 8—12 $\mu\text{m}$  之间）因此，热红外多波谱扫描植被发射波谱的变化实际上反映了大气效应。这样，我们能用同一景中测得的植被波谱值使计算出的发射值标准化。我们在喷气推进实验室的影像处理实验室，用人机对话影像分析站，通过影像处理对某些地点提取六个已定值发射波谱。地点的选择是根据野外经验和已有地质图（Moore, 1963; Cater, Wells, 1953; Harper, 1980, 1984），使之能代表研究区图幅中所有主要的火成岩类型。选择这些地点因为它们有大于 20 米天底象元的岩石露头没有植被，很少土壤。

在 TIMS 影像所确定的某些点上野外采集到的岩石样品同样可以在实验室测到热外已有反射波谱。Kahle 等 1984 年的研究表明，对于许多天然岩石遥感观测来说，其发射率。与反射率在热红外波长范围内呈明显的反相关。事实上，它们的关系如 Kirchoff 定律所示

$$e\lambda = 1 - \lambda r \quad (1)$$

式中， $e$  和  $r$  分别为波长为  $\lambda$  时的发射率和反射率（Lyon）。但并非所有的样品都符合上式，例如岩石粉末和抛光面就不适于上式。我们根据实验室测得的反射波谱用公式（1）计算出发射波谱。根据计算出来的发射波谱和 TIMS 仪器上六个通道的相应函数等实验室数据，模拟出 TIMS 发射率。

数据回归

对于所选定的地点及岩石类型，所有 TIMS 和模拟的 TIMS 六值发射波谱用高斯函数进行拟合，其公式为：

$$e(\lambda) = 1 - \frac{A}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda - \lambda_c}{\delta} \right)^2} \quad (2)$$

式中， $A$  为振幅， $\lambda$  为中间波长， $\delta$  为标准偏差。公式中高斯函数实际上与  $Y(\lambda)$  有关。将  $(1 - e(\lambda))$  的积分分布与六个波谱波段的段长投在概率网格图上进行拟合。拟合函数的中央波长可从横座标（波长）上查出。该处回归线上相对应纵座标（概率）为 0.5。根据中央波长与概率为 0.68 的波长之差可求出标准偏差。拟合函数的振幅作为六值个发射率中最大的偏差。

## 结 果

### TIMS 和实验室波谱

图1—5表示新鲜的和風化的硅酸盐岩石实验室反射波谱和TIMS发射波谱。图1表示新鲜的样品碎块实验室波谱。图中，把反射率绘成向下增加以便使反射波谱与发射波谱相似。除尤里卡石英岩以外。所有样品采自研究区。不同的样品其最大反射率（最小发射率）波长不同，在8.6—10.3  $\mu\text{m}$ 之间。石英岩反射率波幅最大，并具有石英特有的8—9 $\mu\text{m}$ 之双强反射率带。这种双峰曲线在富含石英的布尔福罗格石英二长岩（含石英28%）中也很明显。但由于长石可能还有别的粘土矿物的影响，在波长9—10 $\mu\text{m}$ 之间，还产生另外一些峰值，并使波谱不对称。其大反射率为37%，比尤里卡石英岩的反射率低的多，这可能是由于布尔福罗格深成岩含石英较少但含长石较多的缘故。而长石和石英相比，具较低的强反射率带。同一深成岩体中贫石英岩石（石英含量7%）波谱显式出石英波段弱于长石波段，其反射率峰值仅12%。含微量石英的角闪闪长岩波谱，在波长小于9 $\mu\text{m}$ 时，反射率低。在波长为9.5 $\mu\text{m}$ 时，仍然出现长石（斜长石）反射波段。但在波长为10.2 $\mu\text{m}$ 时，可能出现由角闪石产生的最大反射波段。最后，Josephine橄榄岩在波长9.5 $\mu\text{m}$ 附近有一个强反射波段（38%），在11 $\mu\text{m}$ 附近有一个大的扇形突出部。主要的反射波段为蛇纹石类矿物引起其较小特征可能是橄榄石所致。

图2为富含石英的布尔福罗格石英二长岩新鲜碎块和自然风化表面的实验室反射波谱。与图1的蛇纹石化Josephine橄榄岩对比，这两类岩石风化面的强反射率带小于新鲜面的一半。令人惊奇的是，石英二长岩中石英波段的波幅随波长的增加而成比例

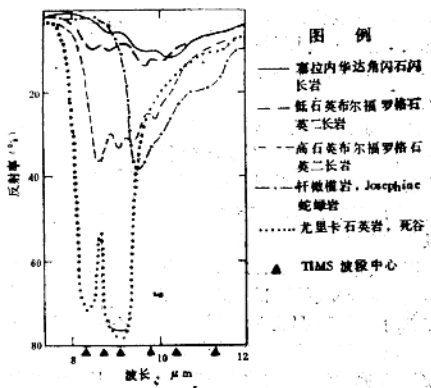


图1 新鲜的硅酸盐岩石碎块实验室反射波谱（反射率向下增加）

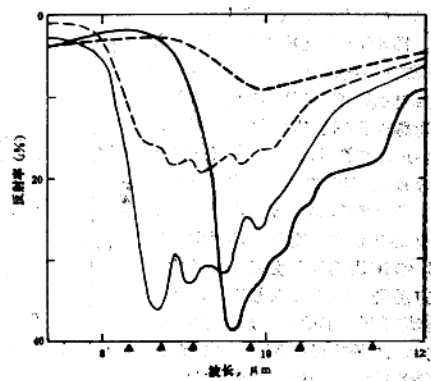


图2 新鲜和風化岩石的实验室反射波谱（反射率向下增加）

的减少。我们初步认为，这种现象是风化面上有一薄粘土膜所致。粘土矿物 $9-10\mu\text{m}$ 强反射波段使得该处波幅较大。

风化的橄榄岩其波谱甚至比石英二长岩低，但在波长为 $10\mu\text{m}$ 时仍然有明显的特征。显然风化而没有保存蛇纹石矿物，而主要由铁的氧化物以及斜方辉石和橄榄石组成。

图3为布尔福罗格深成岩石英质相露头的TIMS发射波谱与实验室中该岩石的新鲜面和风化面反射波谱之对比。很明显TIMS发射波与岩石新鲜谱不相似而与风化面的波谱相似。即使如此，TIMS 1通道的发射率似乎太低。我们推测，这可能对1通道影响最大的大气水没有完全校正的缘故。图3表明，TIMS发射率和实验室反射波谱关系符合Kirchoff定律（公式1）。

图4为不同硅酸盐岩类型的5种TIMS发射波谱。除尤里卡石英岩测自加利福尼亚死谷外，其他所有的波谱均测自研究区（Kahle, Walker, 1984）。如图1所示，石英岩波谱的波幅最大。TIMS1通道石英岩波谱发射率比预计的低。我们认为是大气水的缘故。因为没有植被复盖，Kahle和Walker对死岩的数据并没有采用本文的方法进行大气效应校正。对于新鲜的石英岩，其他通道最小发射率为0.22，也明显低于Kirchoff定律所推算的0.77这一数值。即使如此，石英岩波谱也比火成岩硅酸盐岩石波谱具更大的波幅。

火成岩硅酸盐岩石随着镁铁质成分的增加，其波谱的波幅减小而波长增大，并出现最小的发射率。

图5为蛇纹石化Josephine橄榄岩和其上发育的砖红壤土的TIMS发射光谱。根据喷气

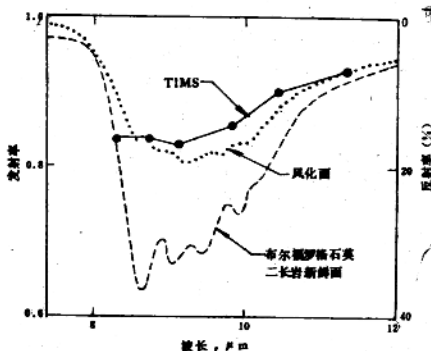


图3 新鲜的布尔福罗格石英二长岩碎块和自然风化石的实验室反射波谱与TIMS数据计算出的发射波谱的对比

图3表明，TIMS发射率和实验室反射波谱关系符合Kirchoff定律（公式1）。

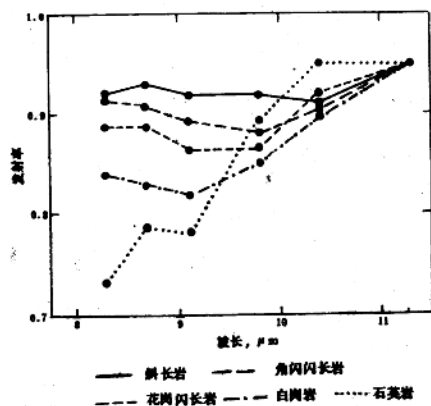


图4 硅酸盐岩的TIMS发射波谱。6通道的数值固定在0.95，石英岩波长未经大气效应校正

推进实验室的手携式野外发射波谱仪测得的数据表明红土的波谱平缓 (Kahle, Walker, 1984)。在 4、5 通道 (9.8 $\mu\text{m}$ 和10.3 $\mu\text{m}$ ) 橄榄岩波谱不同于红壤和其它岩石波谱。从图 5 也可看出,最早用于多波谱热红外形象研究的1、3、5通道的彩色合成,由于排除了第 4 通道,因此难于判别新鲜岩石和风化岩石。三个通道的不同组合的选择无助于问题的解决,它只能改变不能判别的岩石类型。只有使用所有的数据,才能使上述含糊不清的问题减少到最小。

回归

图6—9表示发射波谱的正态函数回归拟和曲线中A、 $\lambda_c$ 和 $\delta$ 三个参数之关系。图6表示橄榄岩和石英二长岩的实验室反射波谱模拟的TIMS数据及其拟合曲线。橄榄岩的连续光谱简单,而且与高斯函数拟合的假设似乎是符合的。石英二长岩的连续波谱有几个明显的特征,不易用高斯函数表达。其经严格采样的TIMS波谱并不太复杂。

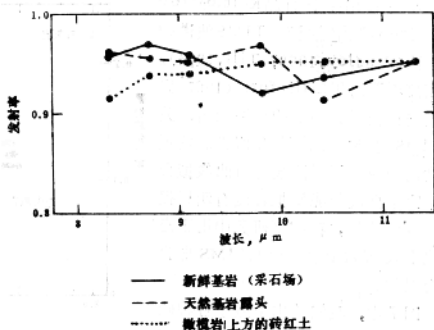


图5 北加利福尼亚 Josephine 橄榄岩和砖红土的TIMS发射波谱, 6通道的发射率定在0.95以便与图4对比

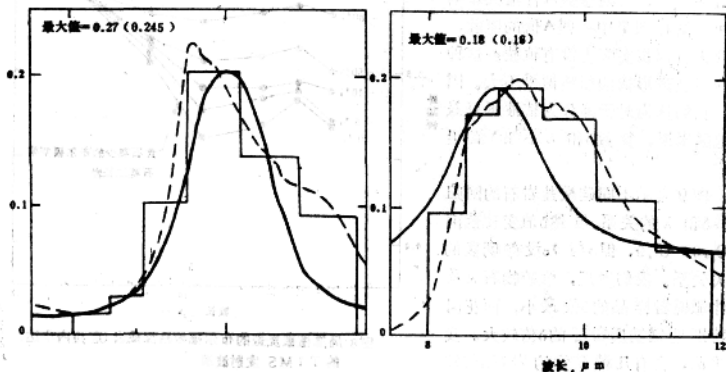


图6 连续的实验室反射波谱(虚线),模拟的TIMS发射波谱( $\epsilon = 1 - r$ , 细实线)和拟合TIMS波谱的正态函数(粗实线)。左图表明橄榄石化橄榄岩,右图表明石英二长岩。Kolmogorov-Smirnov 拟合统计判例标准在上角它是模拟的TIMS波谱正态性的尺度。括号内的数值为反射率与波长的比值。

我们采用一个样品Kolmogorov—Smirnov测定法测定TIMS波谱的正态性(Bradley, 1968; Till, 1974)。当密度不明时用Lillicfors (1967)修正表进行校正。测定的结果表明, 关于TIMS波谱为正态性的假设。其置信度达80%。根据波数进行曲线拟合并不比根据波长能使拟合度有明显提高。我们认为, 在勘察研究中用正态曲线来表现六个已定值的TIMS波谱是合理的。

图7中, 我们绘出了适于各种硅酸盐岩石的正态函数有关的参数A (发射波幅) 和 $\lambda_c$ (中央波长)的变化图。具有不同 $\lambda_c$ 的各类岩石总的分散趋势是明显的。花岗质岩石的 $\lambda_c$ 增加时, A值减小。但对于镁铁质和超镁铁质岩石来说,  $\lambda_c$ 超过 $0.6\mu\text{m}$ 时A值不再变化。

图8表明, 随着植被复盖程度的增加, 石英二长岩的TIMS波谱的发射波幅递减。在复盖只有5%时, 这种效应明显, 并对参数A有重大影响。这可能解释图7中一些A值的离散, 尽管采样部位实际上没有植被。这种效应对波谱形状的影响似乎不大。因此, 我们认为对于部分为植被所复盖的地区来说, 参数 $\delta$ 和 $\lambda$ 不如A值灵敏。

图9表示不同硅酸盐岩石的回归参数 $\delta$ 和 $\lambda$ 的关系。虽然 $\delta$ 值变化范围为 $0.6-0.9$ , 但 $\delta$ 与 $\lambda_c$ 没有明显的相关关系。我们发现, 单矿物石英及一件橄榄岩样品的 $\delta$ 值最小, 而花岗质特别是镁铁质岩石的 $\delta$ 值较大。我们推测, 含有几种矿物的岩石 $\delta$ 值较大, 因此具有两种或更多不同波长的强反射波段的复杂波谱其 $\delta$ 值也较大。

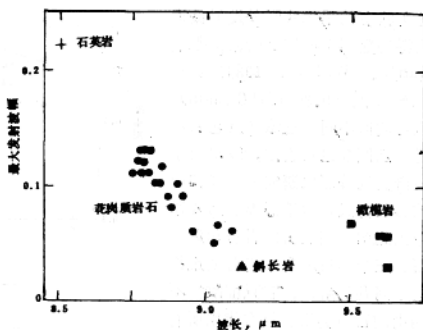


图7 不同硅酸盐岩石TIMS发射波谱的A(最大发射波幅)和 $\lambda_c$ (中央波长)变化图

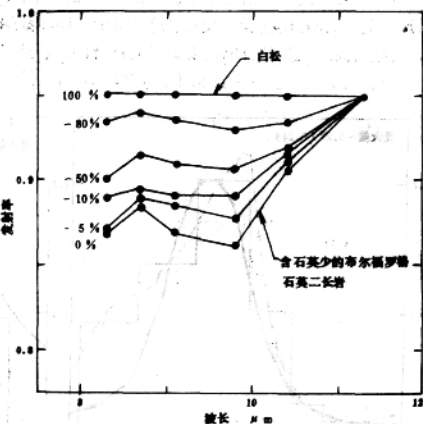


图8 局部植被复盖的布尔福罗深岩(塞拉内尔达)的TIMS发射波谱

### 回归参数和岩石成分

10—12表示参数A和 $\lambda_c$ 随岩石中石英和二氧化硅的丰度不同而变化。图10表示A值和

石英含量变化的关系，正如图7所表明的那样，它们之间表现出明显的正相关关系。从不含石英的岩石到含石英30%的花岗质岩石，A值从0.07变化到0.16。尤里卡石英岩的A值为0.22。参数A主要受石英的强反射波段控制。在大多数影象数据中，A值也为植物效应所左右，从而使解译复杂化（如图8所示）

图11表示 $\lambda_c$ 石英含量变化的关系。当石英含量从0增加到100%时， $\lambda_c$ 值从9.7减少到8.5 $\mu\text{m}$ 。不含石英的岩石，变化只有一半。超镁铁质、镁铁质和花岗质岩及石英岩可根据 $\lambda_c$ 区分开。橄榄岩和无石英闪长岩的判别表明其 $\lambda_c$ 值并不只对石英灵敏。

图12表示与图11同种岩石类型的值二氧化硅丰度 $\lambda_c$ 的相关关系。我们把这种相关性归因于火成岩中随二氧化硅增加而出现的矿物系列。

含二氧化硅低的岩石含橄榄石和辉石。这两种矿物的强反射波段接近10 $\eta\text{m}$ 。含二氧化硅多含角闪石和长石，它们的强反射波段为9—10 $\mu\text{m}$ 。含二氧化硅更高的岩石则出现长石和石英，石英的强反射波段为8—9 $\mu\text{m}$ 。

$\lambda_c$ 与石英或二氧化硅的简单关系以及普通火成岩类的可区分性，为TIMS发射波谱建立正态回归或其它合适的函数提供了基础，从而为用于影象解释目的的形象制作提

供有用的手段。尤其是，根据 $\lambda_c$ 可很好地推断岩石类型。因此，借助于 $\lambda_c$ 影象可协助进行岩性填图。 $\lambda_c$ 、A和 $\delta$ 影象作为要素应用于彩色合成照片可增加图象解译的有用信息量。

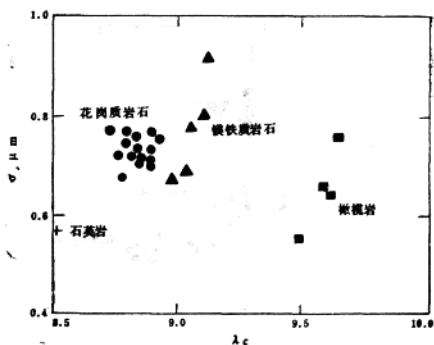


图9 不同硅酸盐岩石TIMS发射波谱回归参数 $\sigma$  (标准偏差)和 $\lambda_c$  (中央波长)变化图

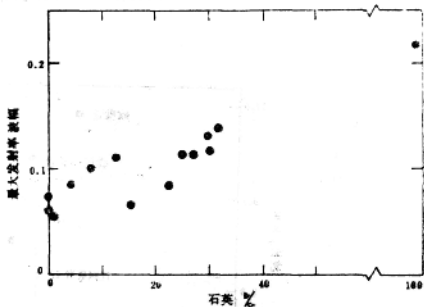


图10 在由不同硅酸盐岩石实验反射波谱计算的模拟TIMS波谱中 $\delta$ 值(最大振幅振幅)与石英含量变化图

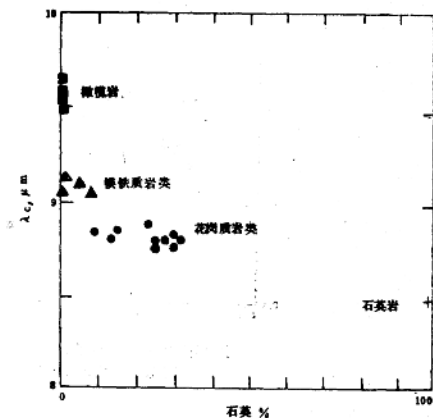


图11 不同硅酸盐岩石TIMS发射波谱的 $\lambda_c$  (中央波长)与石英含量变化图

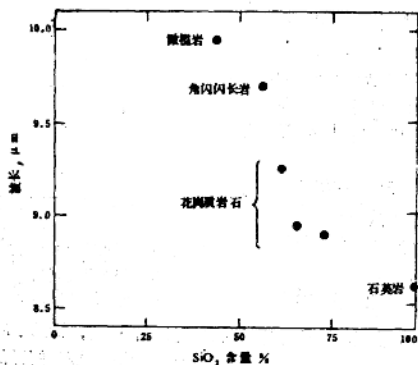


图12 据不同硅酸盐岩石实验室反射波谱计算模拟的TIMS波谱的 $\lambda_c$  (中央波长)与二氧化硅含量变化图

## 总 结

美国国家航空与宇宙航行局机载热红外多波段扫描器 (TIMS) 在塞拉内华达岩基和加利福尼亚Josephine蛇绿岩上空飞行获得波长范围为8—12 $\mu\text{m}$ 的6通道发射率影像。根据辐射数据计算的视发射率用高斯函数拟合, 打算用于模拟发射波谱的强反射波段。六通道影像的原始信息被“压缩”成三个通道, 代表波谱宽度、振幅(或波幅)以及高斯函数的中央波长。由多种矿物组成的岩石其波谱宽度较大, 而且对矿物或岩石的混合似乎是敏感的。波幅对石英含量的变化特别灵敏。中央波长与薄片中所观察到的石英含量和岩石样品电子探针分析测定的二氧化硅含量有关。这些岩石样品采自经挑选的代表一系列岩石类型的露头上。这是岩石成分最单一的测定。我们发现, 橄榄岩、角闪闪长岩, 花岗闪长岩和石英二长岩均可根据回归参数区分开来。

植被复盖程度只要达5%就影响视发射率, 特别是影响到波谱的波幅。但即使像Josephine橄榄岩区那样浓密的海岸森林地带, 利用可区分岩性的图象有可能鉴别岩石露头。

热影像数据是硅酸盐岩石地质填图中一项有价值的野外辅助技术。借助于这种技术可增加航空照片和近红外图象的信息, 从而可区分组成硅酸盐岩的矿物(不只是根据颜色指数)氧化程度及水化强度。

译自Canadian Symposium on Remote Sensing 1984

黄佳展译 杨景元校

# 沙特阿拉伯塞姆雷恩—谢巴恩 和曼达 阿扎 宰海卜地区机载多光谱 扫描资料对岩石类型和蚀变带的判别

W. P. Loughlin      Mohammed A. Tawilg

## 摘 要

干旱地区通常作为机载多光谱扫描图象地质应用的实验场地。本文介绍的是这种图象在大的区域勘探项目中系统应用的初步结果以及所使用的方法, 现已获得了大量数据, 研究工作仍在进行中。

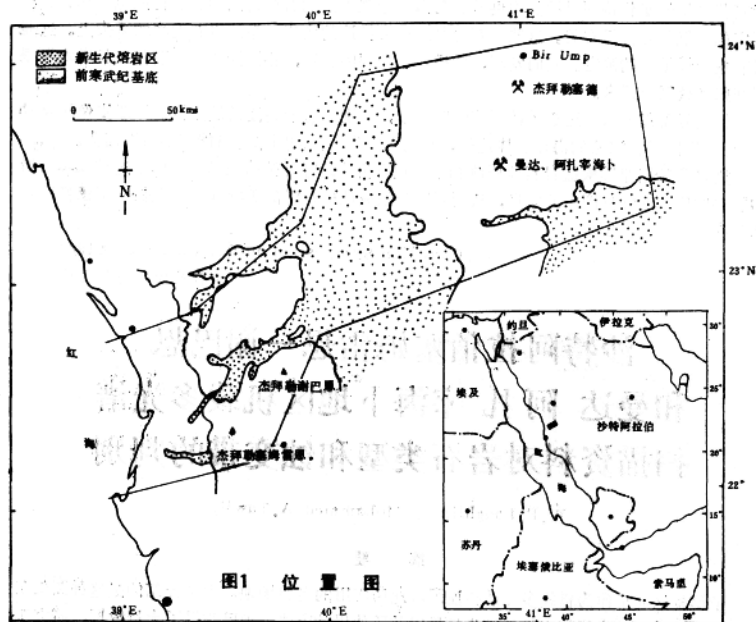
从可见光到中红外波段及4号陆地卫星TM采用的相应波段的特殊组合能有效的探测和鉴别铁帽和蚀变带。用三个波段, 波段比值或主成分方法搞成的一套花样繁多的假彩色合成图象, 增加了地质填图的精确程度和详细程度。热波段图象作为彩色合成图象的红色成分对迅速评价岩性和碎屑盖层特别有效。与以可见光到中红外光谱为基础的合成图象相比, 简单的数字增强热红外图象对风化熔岩区基岩地貌和结构的解译具有更高的可信度。



## 前 言

塞姆雷恩—谢巴恩和曼达阿扎宰海卜位于吉达之北(图1),是两个前寒武纪基底岩石区,其间是大面积的熔岩流高地。

沙特阿拉伯设在吉达的矿物资源总机构(DGMR)正在实施塞姆雷恩—谢巴恩贱贵金属成矿区的系统勘探项目,该项目已由Tawfig、Legg和Last(1985)进行过比较全面的叙述,目的是勘探与火山岩有关的黑矿型多金属硫化物及金矿化图1。



选择该区的根据是沙特阿拉伯地质上有多金属矿的产出及与其它地方类似环境进行的比较。希望机载主题制图图象能有助于火山岩相的填图及与硫化物矿化有关的铁帽和蚀变带的圈定。

机载主题制图(ATM—下同)还试图检查该种技术在不同地形地质条件下作为勘探与制图辅助手段的效果,基于此种理由,调查区跨越Harrat Rahat 第三纪熔岩流高地和一个面积很大的基底岩石区。高原内部杰拜勒塞德铜矿及曼达阿扎宰海卜金矿附近地势较低。此