

干旱区 TM 图像岩石地层信息 提取与分析方法研究^①

丑晓伟 傅碧宏

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

提 要 本文以新疆柯坪地区为例,通过不同岩石地层单元的岩石化学特征,矿物组合特征和室内反射光谱特征研究,结合图像数据的计算机处理结果,对干旱区沉积岩的 TM 图像岩石地层信息提取方法进行了探讨。经对岩石测试分析数据和其图像表征的综合分析,作者将区内的岩石地层单元划分为 10 类,划分精度可达到岩性段,说明了 TM 图像在岩石学应用研究领域具有较大的潜力。研究中采用的技术方法也具有一定的推广性。

关键词 干旱区 TM 图像 岩石地层信息

第一作者简介 丑晓伟 男 27 岁 硕士 遥感地质学

80 年代以来,多光谱卫星遥感数据以其丰富的地质内涵、广泛的应用前景和较高的性能价格比,在地质应用研究领域发挥了愈来愈大的作用。本文拟以新疆柯坪地区为例,探讨干旱区利用 TM 图像数据进行遥感地质制图和区域找矿的核心问题—岩石地层信息提取与分析方法。

1 自然地理和区域地质背景

新疆柯坪地区,介于南天山山脉与塔克拉玛干沙漠之间,地理坐标为 77°00′—80°00′E,39°50′—41°00′N,面积约 2500km²。区内地势北高南低,海拔一般在 1100—3000m 之间,属中高山地形。区内主要山系均呈 NEE—SWW 向展布,形态多为北缓南陡的单面山,各山系之间为戈壁覆盖,构成山体与洼地的相间排列。区内气候炎热干燥,年降雨量在 40—80mm 之间,植被稀疏,水系不发育,居民分散,土壤覆盖率低,岩石裸露,是进行遥感地质研究的理想地区。

柯坪地区出露的地层以古生界为主,普遍缺失中生界,新生界一般均为陆相红层及松散的碎屑堆积,构成区内褶皱基底的元古界片岩仅零星出露于研究区东北部。区内古生界主要为一套滨海—浅海相碳酸盐岩和海陆过渡相—陆相碎屑岩,从寒武系到二叠系均有出露。

柯坪地区大地构造位置上位于塔里木板块西北缘,是一个隆起断块,隆起的构造格架主要与南天山褶皱带和喀喇昆仑褶皱带的形成有关。区内地层均已发生强烈褶皱,NEE 向断裂异常发育,断裂性质被认为是薄皮叠瓦状逆冲断层^①,受断裂控制的一系列逆冲岩席等间距与南天山褶皱带平行排列,构成叠瓦状的单面山型断块,呈弧形向 SSE 方向凸出。由于遭受多期构

① 中国科学院兰州地质研究所与日本地球科学综合研究所合作研究项目。

造运动的强烈变形改造,形成了现今地表复杂的地质构造景观。

2 岩石的组成、结构与光谱特征

岩石在可见—近红外和短波红外光谱域(0.4—2.5 μm)的反射光谱特征取决于其成分、结构、质点的不透明度和光照条件等因素。其中岩石成分是决定其谱带特征的主导因素。一般在可见—近红外域(0.4—1.3 μm)岩石的光谱特性主要是由某些金属阳离子的电子跃迁引起的;而在短波红外域(1.3—2.5 μm)岩石的光谱特性均是由羟基、水分子和碳酸根等基团的分子振动过程引起的^[2,3]。岩石结构和质点的不透明度对其反射率的影响规律是,透明矿物粒度越细,反射率越高;不透明矿物粒度越细,反射率越低。最为重要的是,岩石的光谱往往不是由某几种主要矿物的光谱简单累加构成的,大多数情况下它主要与岩石中的微量元素和杂质成分有关,而且一种矿物的特征谱带往往会压抑甚至会掩蔽另一种矿物的特征谱带,导致岩石的光谱通常都是较为复杂的。

表 1 不同岩石地层单元的岩石化学成分

Table 1 Chemical composition of different lithostratigraphic units

样品层位	样品岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	灼减	总量	样品个数
中上寒武统阿瓦塔格群 ϵ_{2-3aw}	灰白色白云岩	1.72	0.007	0.32	0.14	0.19	0.016	16.79	36.39	0.06	0.06	0.03	0.13	44.17	100.02	3
下奥陶统丘里塔格群 (O _{1ql})	灰白色灰岩	0.50	0.079	0.44	0.98	2.12	0.026	0.57	55.01	0.05	0.09	0.03	0.11	40.01	100.01	5
中奥陶统萨尔干塔格群 O _{2sr}	暗紫红色泥灰岩	6.11	0.22	2.23	0.89	0.34	0.061	1.19	49.01	0.12	0.43	0.07	0.25	38.93	99.85	6
下志留统柯坪塔格组下段 S _{1k} ¹	紫红色砂岩	72.30	0.563	10.85	2.02	3.84	0.093	2.32	1.13	0.94	1.92	0.21	0.56	3.60	100.35	1
下志留统柯坪塔格组上段 S _{1k} ²	灰绿色砂岩	75.58	0.47	9.43	1.93	3.11	0.116	1.94	1.11	0.88	1.57	0.187	0.47	3.47	100.26	2
中上志留统塔塔埃尔塔格组 S _{2-3t}	暗紫红色砂岩	89.92	0.20	3.31	0.75	0.20	0.081	0.53	1.62	0.99	0.35	0.281	0.28	1.18	99.70	1
下泥盆统衣木干他乌组 D _{1y}	紫红色粉砂岩	78.61	0.61	7.73	1.23	0.13	0.093	2.21	4.21	1.37	0.74	0.078	0.79	3.52	100.87	1
中上泥盆统克兹尔塔格组 D _{2-3k}	砖红色砂岩	85.94	0.27	4.48	0.61	1.62	0.025	1.20	1.85	0.55	0.95	0.093	0.17	1.82	99.58	3
下二叠统康克林组 P _{1k}	灰白色生物灰岩	1.21	0.009	0.45	0.06	0.11	0.01	0.71	54.92	0.07	0.06	0.032	0.13	43.20	100.07	5
下二叠统巴立克立克组 P _{1b}	灰黑色生物灰岩	9.50	0.064	2.05	0.16	0.23	0.022	1.64	47.35	0.18	0.34	0.076	0.52	37.91	100.04	6

对于区内不同岩石地层单元样品,经化学分析,其化学组成特征如表 1 所示;经薄片鉴定和 X 射线衍射分析,其矿物的组成和结构特征如下:(1)中上寒武统阿瓦塔格群的灰白色白云岩,矿物成分以自生白云石为主,自生方解石和石英次之,粒状变晶结构。(2)下奥陶统丘里塔格群灰白色灰岩、中奥陶统萨尔干塔格群紫红色泥灰岩、下二叠统康克林组灰白色生物灰岩和巴立克立克组灰黑色生物灰岩等碳酸盐岩,其矿物成分均以自生方解石和微晶方解石为主,微

晶结构。萨尔干塔格群和巴立克立克组石英含量较高,丘里塔格群铁质含量较高。(3)下志留统柯坪塔格组下段紫红色砂岩、中上志留统塔塔埃尔塔格组紫红色砂岩和下志留统柯坪塔格组上段灰绿色砂岩,矿物成分均以石英为主,含大量硅质岩屑、燧石岩屑、长石和少量粘土,颗粒支撑结构,孔隙式胶结;不同之处是灰绿色砂岩的绿泥石含量较高,胶结物多以钙质、泥质为主,紫红色砂岩的赤铁矿含量较高,胶结物多以铁质为主。(4)下泥盆统衣木干他乌组紫红色粉砂岩和中上泥盆统克兹尔塔格组砖红色砂岩,矿物成分均以硅质、燧石岩屑和石英矿屑为主,含少量长石、白云母和粘土,胶结物多为钙质;不同之处是衣木干他乌组矿物粒度小,杂基支撑结构,胶结类型多为基底式,克兹尔塔格组矿物粒度大,颗粒支撑结构,胶结类型多为孔隙式。

经美国产高精度红外智能光谱辐射计测试,不同岩石具有不同的反射光谱特征(图1)。

碳酸盐岩的反射光谱特征如下:(1)在 2.33 μm 附近均存在强吸收谱带,这是由其矿物方解石和白云石中 CO_3^{2-} 基团的内部振动和晶格振动引起的。(2)在 TM5 波段(1.55—1.75 μm)波长范围内均具有相对较高的反射率平台。(3)由于碳酸盐岩的主要组成矿物方解石和白云石是透明矿物,对铁染现象非常敏感,只要有微量铁的存在,便会导致铁的较强谱带出现,图1中碳酸盐岩样在 0.4—0.6 μm 之间的强吸收谱带便是由铁离子的电子跃迁引起的。碎屑岩与碳酸盐岩相比,其反射率相对较低,而且谱带特征少,仅有的谱带特征均是由铁、羟基和水分子产生的。图1中碎屑岩样的反射光谱特征不外乎是,在 1.4 μm 、1.9 μm 附近存在由粘土矿物产生的羟基或水的强吸收谱带和 0.90 μm 附近存在的由三价铁离子电子跃迁引起的吸收谱带;在 2.2—2.5 μm 之间由长石、云母、绿泥石等矿物和钙质胶结物产生的吸收谱带。

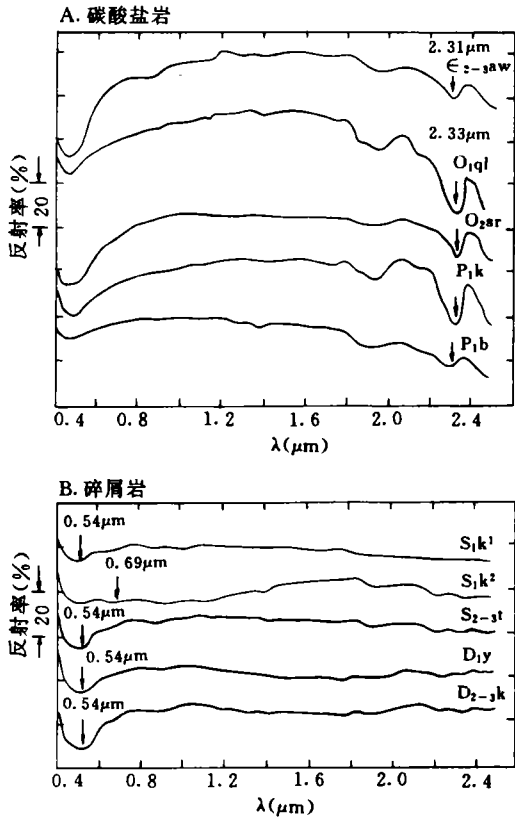


图1 不同岩石地层单元的实验室反射光谱曲线

Fig.1 Laboratory reflectance spectra of different lithostratigraphic units

记录的光谱信息与所要提取的岩石信息之间的相关性,从而找出实现两者转化的有效图像处理技术途径,是其关键所在。

图2是区内不同岩石地层单元TM图像亮度统计均值折线图。为了确保统计结果的精确代表性,每一岩石地层单元均有一定的像元参与统计。对比图1和图2,不难发现,两者的差异较大,这是因为,据TM图像的成像模式可知,TM图像数据是经过量化的岩石反射亮度值,它

3 图像数据的分析与处理技术

对于TM图像的岩石地层信息提取技术来说,从深入研究不同岩石的组成、结构和光谱特征入手,通过图像数据的统计分析,确定图像

与岩石的反射率不同。TM 图像中岩石反射亮度值的相对大小,除主要与岩石自身的反射特性有关外,还与太阳、大气和地形等因素有关,只有经大气散射校正后的波段比值图像才与太阳照度、漫射光和地形无关,仅与反射比有关^[4]。因此可以说,波段比值图像中不同岩石地层单元的反射亮度比值与其光谱反射率比值之间存在正相关关系,可以以不同岩石地层单元的反射光谱数据作为 TM 图像波段比值增强处理的依据。

对柯坪地区不同岩石地层单元的岩石化学成分、矿物组成和室内反射光谱等特征的综合分析表明,其不同的反射光谱谱带特征均是由羟基、水分子和碳酸根等基团的分子振动过程与铁离子的电子跃迁引起的,对应到矿物成分上,则主要体现为其主要矿物(以碳酸盐岩为主)和作为杂质或胶结物成分矿物(以碎屑岩为主)的光谱行为特征。这些矿物主要是方解石和白云石、绿泥石和赤铁矿等。方解石和白云石是组成区内不同地质时代碳酸盐岩地层单元的主要矿物,从图 3 可看出,它们在 2.33 μm 附近存在的由 CO_3^{2-} 基团引起的强吸收谱带特征与 TM7 波段的探测波长范围相对应,而在 TM5 波段探测波长范围内,则表现出相对较高的反射率特点。绿泥石和赤铁矿分别是区内绿色砂岩系和红色砂岩系的赋色矿物,绿泥石在 0.7 μm 和 0.9 μm 附近存在 Fe^{3+} 离子的特征吸收谱带,尤以 0.7 μm 处吸收最为强烈,这与 TM3 波段的探测波长范围相对应,赤铁矿在 0.54 μm 、0.66 μm 和 0.85 μm 处吸收最为强烈,这与 TM2 波段的探测波长范围相对应,因此,可选择 TM7/5 来增强区内碳酸盐岩地层单元的光谱信息,选择 TM3/1、TM2/3、和 TM4/3 来增强区内碎屑岩地层单元的光谱信息。

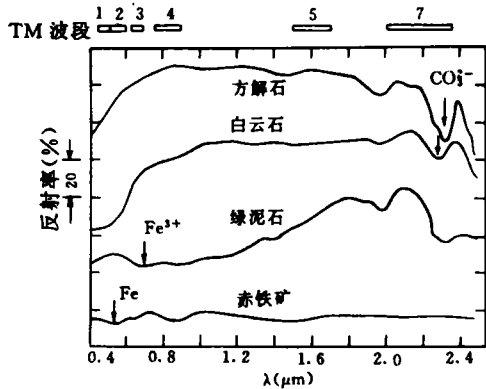


图 3 不同矿物反射光谱特征与 TM 波段探测波长范围的关系

Fig. 3 Relationship between the reflectance spectral features of different minerals and the wavelength range of TM bands

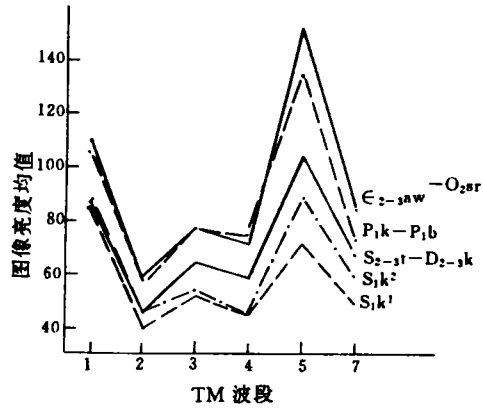


图 2 不同岩石地层单元 TM 图像亮度统计均值折线图

Fig. 2 Statistical means of TM imagery brightness of different lithostratigraphic units

表 2 是上述不同 TM 波段比值图像中不同岩石地层单元的图像亮度统计均值。可以看出,中上寒武统、中下奥陶统和下二叠统等碳酸盐岩地层单元,其 TM7/5 比值图像的亮度统计均值均相对较低;下志留统、中上志留统和泥盆系等红色碎屑岩地层单元,其 TM2/3 比值图像的亮度统计均值均相对

较高。因此,在增强处理时,应选择 TM7/5 来增强区内碳酸盐岩地层单元的光谱信息,选择 TM2/3 来增强区内碎屑岩地层单元的光谱信息。

较低;下志留统绿色碎屑岩地层单元,其 TM3/1 和 TM4/3 比值图像的亮度统计均值均相对较低,这说明不同岩石地层单元 TM 图像亮度比值与其光谱反射率比值的变化趋势是一致的,研究中采用的图像处理方法是有效可行的。

表 2 不同岩石地层单元 TM 比值图像统计特征

Table 2 Statistical characteristics of different lithostratigraphic units from TM ratio images

岩石地层单元		TM3/1	TM2/3	TM4/3	TM7/5
Є _{2-3aw}	灰白色白云岩	109	108	131	91
O _{1ql}	灰白色灰岩				
O _{2sr}	暗紫红色泥灰岩				
S _{1k¹}	紫红色砂岩	117	84	105	194
S _{1k²}	灰绿色砂岩	86	144	84	172
S _{2-3t}	暗紫红色砂岩	175	47	128	180
D _{1y}	紫红色粉砂岩				
D _{2-3k}	砖红色砂岩				
P _{1k}	灰白色生物灰岩	134	101	142	82
P _{1b}	灰黑色生物灰岩				

波段比值图像在增强不同岩石地层单元光谱反差信息的同时,消除或减弱了地形信息和岩石总的反照率信息。然而,地貌形态和纹理特征常是遥感图像解译的一种重要标志,为了补救上述缺憾,在对 TM 图像进行波段比值增强处理基础上,又部分地叠加了 TM4 单波段图像的信息。选择 TM4 单波段图像,是因为其波长范围属近红外温柔段,其图像立体感较强,能较清楚地显示各种地形细节。

4 增强图像的岩石地层单元划分

一幅遥感图像的信息内容主要包括波谱特征和空间特征两个方面。波谱特征主要体现在图像色调的变化上,空间特征主要反映图像亮度值(或灰度值)的空间变化情况。利用 TM3/1、TM2/3 和 TM/5 与 TM4 的叠加复合图像分别对应黄、品红和青色进行减色合成,并根据叠加合成图像的色调和纹理特征,在研究区的岩石地层信息提取与分析工作中取得了显著效果,区内的 10 个岩石地层单元都被详细地划分出来,而且岩石地层划分的精度可达到岩性段,不同岩石单元之间界限清楚,位置准确。

研究区出露的阿瓦塔格群、丘里塔格群、萨尔干塔格群、康克林组和巴立克立克组等碳酸盐地层单元,在 TM7 波段探测波长范围内存在 CO₃²⁻ 基团的强吸收谱带,导致其 TM7/5 比值相对偏低,在叠加合成图像上其基色均呈青色调。其中直接呈整合接触的阿瓦塔格群白云岩和丘里塔格群灰岩,岩层厚度均较大,虽然纹理特征不太明显,但却组成正地形,构成区内陡峻的山脊和陡坡。由于丘里塔格群灰岩表面风化强烈,多被三价铁矿物污染成黄褐色,对其岩样的室内反射光谱测量结果表明,三价铁矿物的存在,使其在 0.489μm、0.66μm 和 0.923μm 附近均存在铁离子的较强谱带,导致其 TM3/1 比值也相对偏低,在比值叠加合成图像上呈绿色。

研究区出露的柯坪塔格组下段、塔塔埃尔塔格组、衣木干他乌组和克兹尔塔格组等红色碎屑岩地层单元,在 TM2 波段探测波长范围内存在 Fe³⁺ 离子的强吸收谱带,导致其 TM2/3 比值相对偏低,在叠加合成图像上其基色均呈品红色调。其中直接呈整合接触的中上志留统塔塔

埃尔塔格组、下泥盆统衣木干他乌组和中上泥盆统克兹尔塔格组,由于岩石结构特征存在差异,它们能以不同的色彩饱和度和纹理特征从叠加合成图像上有效识别。衣木干他乌组以泥质粉砂岩为主,矿物粒度小,杂基支撑结构,基底式胶结;塔塔埃尔塔格组和克兹尔塔格组则以较坚硬的石英砂岩为主,矿物粒度大,颗粒支撑结构,孔隙式胶结。由于其主要矿物成分为透明矿物石英,衣木干他乌组岩石的光谱反射率相对较高,在叠加合成图像上,其基色虽与塔塔埃尔塔格组和克兹尔塔格组相同,但饱和度大;而且衣木干他乌组纹理不发育,地貌上呈低缓的冲沟,塔塔埃尔塔格组和克兹尔塔格组纹理发育,地貌上呈单面山。

研究区出露的柯坪塔格组上段灰绿色碎屑岩地层单元,在 TM3 波段探测波长范围内存在 Fe^{3+} 离子的强吸收谱带,导致其 TM3/1 比值相对偏低,在叠加合成图像上其基色呈橙黄色。由于该段地层以砂岩为主,夹泥质岩薄层,在地貌上构成正负地形条带状相间排列,泥质岩薄层的走向控制了水系的谷底。

5 结 论

(1) 这项方法性的试验研究表明,通过岩石薄片鉴定、化学分析、X 射线衍射分析和反射光谱测量,确定不同岩石地层单元的矿物组成和化学成分,探讨其反射光谱特征及其成因,设计合理的图像增强处理方案,可有效地将不同岩石地层单元信息提取出来,这一方面工作的开展必将推动遥感岩石地层信息提取与分析的定量化发展。

(2) 柯坪隆起在古生代属于塔里木板块的边缘拗陷,由于古生代地层被认为是塔里木盆地深部最重要的油源岩之一^[5],柯坪隆起一直是人们研究塔里木盆地古生代地层含油气特征有利地区之一。TM 图像具有较高的空间分辨率和光谱精度,其增强图像可提供详细、准确的岩石地层信息,岩石地层单元的划分精度可达到岩性段,从而为区内的沉积构造演化研究提供了依据,对整个塔里木盆地的石油地质研究也有一定的指导意义。

(3) 研究中采用的图像处理方法简单适用。虽然不同岩石地层单元的光谱特征和图像特征可能受大地构造位置和自然地理条件等因素的影响具有一定的局限性,但文中采用的技术方法却具有一定的推广性。

致谢 本项研究是在作者导师魏俊超研究员的悉心指导下完成的,江德昕、王永栋和师铮等先生给予了一定指导和帮助,岩石样品的反射光谱数据和 TM 图像数据均是由日本国地球科学综合研究所提供的,在此一并致谢。

收稿日期:1994年7月12日

参 考 文 献

- [1] Nishida, T. and Berry, J. L., 1990, Structure and hydrocarbon potential of the Tarim Basin (NW China) from satellite imagery, *Jour. Petrol. Geol.*, 13(1):35—58.
- [2] 地质部情报研究所编,1980,矿物岩石的可见—中红外光谱及其应用,遥感专辑第1辑,北京:地质出版社,171—179.
- [3] 丁喧等,1992,光谱遥感找矿理论、技术与应用,地球化学,(1):1—8.
- [4] 王海平等,1992,遥感图像处理中比值法的解析及其应用,地质论评,38(1):82—89.
- [5] 范璞主编,1990,塔里木油气地球化学,北京:科学出版社,6—22页.

Extraction and Analysis of Lithostratigraphic Information from Landsat Thematic Mapper Imagery in Arid Region

Chou Xiaowei and Fu Bihong

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

The study focuses on the Kalpin Region, where is of an arid climate, 40—80mm annual precipitation, sparse vegetation, and well exposed rocks. The strata of the study area are mainly composed of carbonates from littoral to shallow marine facies and clastics from marine—continent transitional to terrestrial facies. Based on the synthetical analysis of the characteristics of chemical and mineral composition, reflectance spectrum, and imagery brightness values of different rocks, the method for extracting the lithostratigraphic information from Landsat Thematic Mapper (TM) imagery has been approached.

The results of reflectance spectrum measurement show that the absorption features of different rocks are all present from the electronic transitions and vibrations of the ferro ions, hydroxyl, molecular water, and carbonaceous ion in the constituent minerals. The results of X ray diffraction analysis and thin section identification show that the minerals are mainly calcite, dolomite, chlorite, and hematite etc., and most of the minerals appear in the rocks as main component or impurity and cement. According to the spectral reflectance features of the minerals, the authors pointed out that the band ratio images, such as TM3/1, TM2/3, TM4/3, and TM7/5, can extract the lithostratigraphic information of different rocks in the study area effectively. By analysing the imagery features of different rocks using a ratio colour composite image, which was superimposed on the TM4 single band image, the authors also presented the results of lithostratigraphic interpretation of the study area, which has shown a good potential for extracting lithostratigraphic information by using TM image data.

Key words: arid climate Thematic Mapper (TM) imagery lithostratigraphic information