

# 遥感特征信息提取的综合分析

——以红外细分波段新疆铁木尔特航带矿化特征信息提取为例\*

迟国彬

丁暄

李岩

(中国科学院新疆地理研究所) (中国科学院贵阳地球化学研究所) (中国科学院新疆地理研究所)

1989年5月3日收稿

## 摘 要

本文以红外细分波段新疆铁木尔特航带为例,依据不同地质体各自的光谱特征,运用主成分分析、多种信息复合等技术与综合分析方法,使该地段的矿化特征提取收到了良好效果。

本航带的矿化特征信息在图像处理结果中表现为黄色异常色调。它反映了当地多金属成矿带中二氧化硅含量低、全铁含量较高的岩矿矿化特征。团块状黄色异常色调表示出地表出露的铁帽、磁铁矿化和矽卡岩化的分布状况。野外验证表明,黄色调的分布地域与实地的地表矿化范围相吻合。

遥感特征信息提取的综合分析方法包括信息基本特征分析、图像处理、后验分析和机理解释等四个相互联系的步骤。研究表明,只有经过综合分析,才能揭示出特征信息的内在规律性,使特征信息具有较好的实用价值。

**关键词** 红外细分光谱 综合分析 信息提取

## 一、前 言

图像处理做为遥感技术的重要手段之一已日益得到广泛的应用。借助于图像处理系统本身的或开发出来的各种功能增强某些感兴趣的信息(目标信息),使其能够从“背景信息”中突出出来而易于识别,这个过程通常称之为特征信息提取。然而,已提取出来的特征信息与欲提取的目标信息是否一致;其可靠程度如何;这些特征信息反映出怎样的机理;是否揭示出目标信息某些内含的规律性,这些问题直接关系到图像处理的效果和特征信息的实用价值。

因此,欲使提取出的特征信息有较好的实用性,不仅要深入分析目标信息的基本特征,设计一套可行的图像处理方案,而且要对提取出的特征信息进行“后验分析”,即运用遥感信息和非遥感信息来揭示特征信息的机理。这样一整套的分析方法我们称之为“综合分析”,其主要步骤如图1所示。

在提取红外细分波段新疆铁木尔特航带矿化特征信息的工作中,运用综合分析方法取得了较好的效果。图像异常色调的矿化特征信息及其分布,经验证与实际矿化对应的

\* 本项工作得到童庆禧先生指导,特致谢意。

较好,同时也得到了地质部门有关专家的肯定。\*

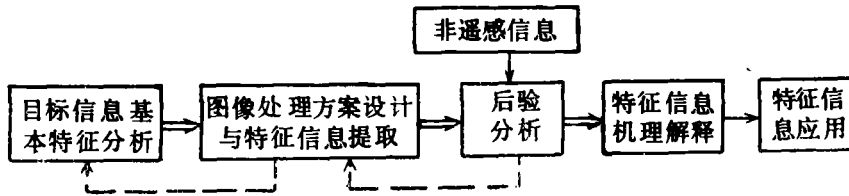


图 1 综合分析流程框图

Fig. 1 Flow-chart of comprehensive analysis

## 二、区域地质概况及主要地质体的光谱特征

在大的构造单元上,铁木尔特地区位于阿尔泰褶皱系克兰复向斜之中。矿区处于阿勒泰复向斜北东翼倒转的中心,属于阿尔泰山南缘多金属成矿带的北带。出露地层主要为中、下泥盆系地层,矿区出露地层以下泥盆康布铁堡组为主。岩性一般划分为四个岩性段,从北东到南西按 I—IV 段顺次沿北西—南东方向展布。阿巴宫—脑云敖包大断裂从本区 III、IV 岩性段的过渡部位通过,对矿化带的分布有着明显的控制作用。多金属矿化主要产于第三岩性段,为一套酸性火山岩、碎屑岩建造。主要以凝灰岩、石英黑云母片岩、大理岩为主,其次为绿泥石石英片岩、砂卡岩、钙质粉砂岩等。研究表明,铁木尔特地区的多金属矿化主要与砂卡岩及不纯的含锰碳酸盐有关,其地表表现为铁帽,出露宽度可达 25—50 米,断续延伸可达数百米。\*\*

在铁木尔特地区,中国科学院航空红外细分光谱遥感试验科研队在 2.0—2.5 微米光谱段范围,用中心波长和带宽完全一致的六通道航空机载扫描仪和地面光谱仪,获取了数字磁带信息(航带的扫描范围包括 II、III、IV 三个岩性段);以准同步方式测量了地面地质体的光谱反射率,并对该地区各岩性段的主要代表性岩石进行了室内光谱测试。为铁木尔特地区主要地质体在红外细分波段遥感特性的分析提供了基础性数据。

以 II 岩性段的二云母石英片岩、III 段的铁帽和 IV 段的石英钠长斑岩为代表性地质体,分析其室内光谱(见图 2)和野外六通道光谱特性(见图 3,图中  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $\dots$ 、 $B_6$  是六个波段的中心波长位置)。从室内光谱曲线可以看出: 波段 2 是三个岩性段地质体的反射峰肩部;波段 3 是其反射峰的峰值范围;在波段 4 内,II、III 岩性段地质体反射率渐趋减小,IV 段地质体的光谱反射率出现吸收谷;在波段 6,II、IV 段地质体出现次反射峰,而 III 岩性段的反射率继波段 4 持续减小。从野外光谱曲线可以看出: 波段 2 是 II、IV 岩性段的反射峰肩部,是 III 段的反射峰峰值范围;波段 3 为 II、IV 段峰值区,III

\* 中国科学院航空红外细分光谱遥感试验科研队,航空红外细分光谱遥感技术在新疆地质找矿(贵金属及多金属)中试验已获初步结果,油印稿,1987 年 6 月。

\*\* 杨柏林、丁暄等,铁木尔特多金属矿区遥感地质特征,油印稿,1987 年。

段的反射率下降区;波段 4, II 段出现吸收谷, III、IV 段反射率减小。在六个波段范围内, II、IV 岩性段地质体的反射率较之 III 岩性段要高些。区内以褐铁矿为主要组成成分的铁帽,在 2.0—2.5 微米波段其最大反射率值出现在 2.14 微米附近。由于 1.9 微米

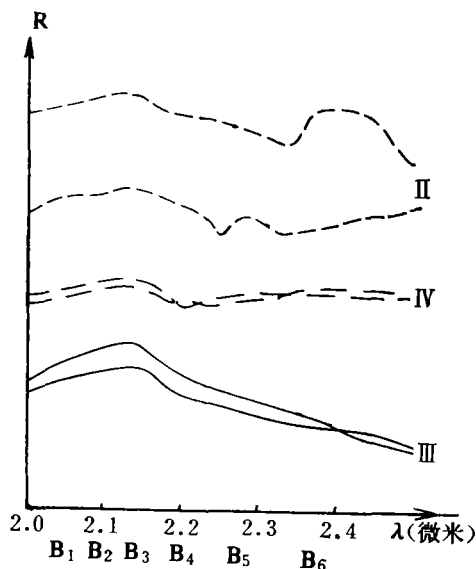


图 2 铁木尔特地区 II—IV 岩性段室内典型岩石连续光谱

Fig. 2 Laboratory measured continuous spectrum of typical rocks from lithological units to in Tiemuter

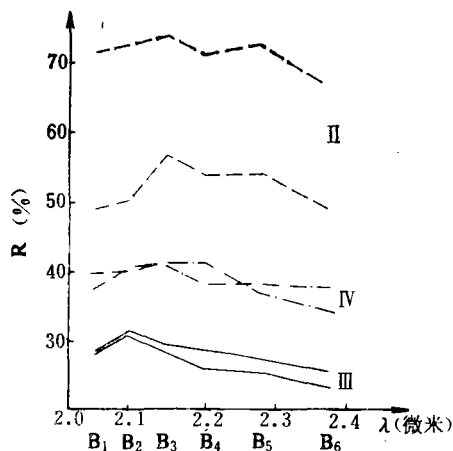


图 3 铁木尔特地区 II—IV 岩性段野外六通道典型岩石光谱

Fig. 3 Field measured 6 channels' spectrum of typical rocks from lithological units in Tiemuter

附近存在着水合作用的吸收谱带,在 2.0 微米之后铁帽的反射率增大,至 2.14 微米形成反射峰。此后,光谱反射率逐渐减小。在 2.2 微米附近 Al—OH 与 2.3 微米附近 Mg—OH 弯曲振动的合频羟基谱带位置及 2.35 微米附近的碳酸盐谱带位置均有微弱的反映。\* 总体来看,2、3 波段主要反映了铁米尔特地区 II—IV 岩性段地质体的高反射特征;4 与 6 波段反映出它们的低反射率——吸收光谱特征。

### 三、图像处理的主成分分析与矿化特征信息提取

众所周知,数字图像上的每一个像元点对应着扫描区域内一个确定的地面范围。像元的亮度必然会反映出对应地面范围内的地质体特征。由于不同类型岩石有其各自的红外细分光谱响应曲线和特征,因而像元点在多波段空间中的分布势必表现为具有相同光谱特征的像元相对聚集;而特征不同的像元相对离散。对于不同波段组合所构成的不同波

\* 李岩等,地质体的红外细分光谱特征分析及其信息提取方法——以新疆阿勒泰地区为例,油印稿,1987 年。

段空间,像元分布的聚集位置、聚集程度和离散程度是各不相同的。图像处理前光谱特征分析的目的,在于找出那些同类像元的聚集性和异类像元的离散性都相对较好的特征波段,以构成图像处理的波段空间。

从信息提取的角度分析,各类岩石之间的差异性信息是信息提取的依据。依其差异性,按一定的原则(算法)将信息重新整理(计算)、分类的过程就是信息提取的过程。显然,差异越大,信息提取所使用的方法相对简单些,也比较容易取得较好的结果;当差异性不够明显时,就必须寻求一套适宜的方法,或做些加大信息差异的预处理,再进行信息的重新整理、归并或分类。为了突出红外细分波段中地质体的高反射波段与低反射——吸收波段间的差异性,先做 2 与 3 波段的和运算,再以 2+3、4、6 波段做为三个特征波段,运用主成分分析方法进行矿化特征信息提取。

图像处理中的主成分分析,是将波段空间中的数字图像信息映射到所选取的主成分空间中,来分析识别特征信息的一种处理方法。对主成分分析机理的探讨表明,主成分由各个波段的线性组合构成,每个主成分都含有各波段的信息。在各个主成分上都存在着信息增强与归并,但增强与归并的幅度在各个主成分上并不相同,不同的主成分增强与归并的信息类型也不相同。主成分分析将反映在各波段的本征信息重新组合,表现出“综合”增强的效果。<sup>\*</sup>因此,主成分假彩色合成图像大大提高了信息识别的程度。

铁木尔特航带红外细分波段图像的矿化特征信息提取分为两个步骤:航带内三个岩性段的划分和提取 III 岩性段的矿化信息。虽然这两步使用同样的波段空间(2+3, 4, 6 三个波段)和同样的方法(主成分分析),但岩性段划分以 III 岩性段几种主要地质体在波段空间中的分布方向和位置进行映射变换;矿化特征信息提取是在岩性段划分的基础上进行的,它的映射变换主要以铁帽在波段空间中的分布为依据。其结果如图版 I 图 4 所示,右半帧是岩性段划分的假彩色合成,左半帧是矿化特征信息提取的假彩色合成。从右帧中可以看出,处理结果的颜色除黑色背景外,可以明显地分为三个色彩各异的条带。左侧为黄绿及少量红色斑点组成的条带;中间为黄色、红色及零星散布的绿色斑点组成的条带;右侧为白、蓝和少量蓝色调包围着的淡玫瑰色组成的条带。按从左到右的顺序,这三个条带依次为 II、III、IV 岩性段。野外考查及验证表明,这三个彩色条带的分界线与三个岩性段的大体界线是吻合的。以岩性段划分的处理结果为基础,可以较为准确地认定铁帽分布的地域范围,继而进行矿化特征信息提取的主成分分析。

在左帧中,整幅照片的色调以均一的蓝色为背景,分布着白色和黄色团块,以及黄绿色的斑块和玫瑰、淡玫瑰色的斑点。与右帧相比较可以发现:在 II 岩性段,除嵌有玫瑰色的白色团块外均为蓝色;III 岩性段以白色、黄色团块为主,有极少量的黄绿色斑块;IV 岩性段除少量黄色、黄绿色斑块外也均为蓝色。分析表明,大面积的蓝色调是大量重叠信息归并的结果。而呈团块状的黄色区域清晰可辨,从其周围并非一致的信息中分离出来。这些黄色团块的位置分布在 III 岩性段的中上部位及 III、IV 岩性段的过渡部位,与该区地层中的含矿部位完全一致。

<sup>\*</sup> 迟国彬等,数字图像处理主成分分析法机理探讨——以新疆铁木尔特航带为例,全国第五届遥感技术交流会论文集,1988 年。

#### 四、后验分析, 矿化特征信息的确立

处理结果中异常色调分布区域与含矿部位的一致性, 表明了主成分分析是一种提取特征信息的有效方法。为了证明异常色调确实反映出矿化特征信息, 我们将处理结果与其它遥感和非遥感信息进行吻合性检验, 进一步确立特征信息的可靠性。这个检验, 确立的过程称为“后验分析”。在本项工作中, 后验分析用 III 岩性段的有关数据, 方法用与图像处理系统完全一致的主成分分析法, 计算工作在微机上进行。

图像处理主成分分析的直观结果是图像上的异常色调, 它是由每一个像元点在三维主成分空间中的值分别赋与红、绿、蓝, 经假彩色合成而得到的。像元的色彩特征实质上是其主成分值的反映。因此, 后验分析应以主成分值为依据, 找出色彩与主成分值的关系, 进而在主成分空间中与其它信息进行复合分析, 揭示异常色调的实际含义。

首先, 在图像上一个小区内取近似矩形分布的 53 个像元点做主成分分析。为直观起见, 将其在主成分空间中的分布点绘在第一和第二主成分(分别简记为  $F_1$  和  $F_2$ ) 构成的平面上。根据图像处理得到的这些像元点的主成分值, 按 1931 CIE 色度学公式计算, 并在 CIE 色度图上查出该像元在图像处理结果照片上的颜色<sup>[1]</sup>。在这 53 个像元点中, 除 7# 是绿色、8# 是橙色外, 余者分别为黄色、带浅绿的黄色、黄绿和带浅黄的绿色。按照每

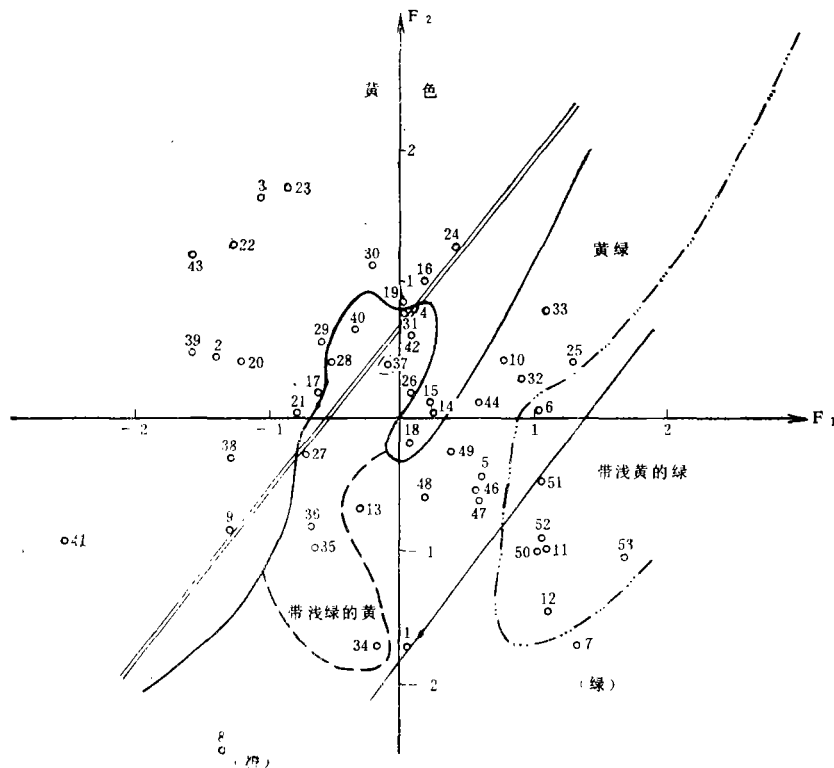


图 5 主成分平面上像元点的色调及其分布

Fig. 5 Pixels's color tone and thier distribution on principal component plane

个像元各自的色调，在图中划出了不同颜色的区分界线(见图5)。从图5的左上部到右下方，色调总的变化趋势是从黄渐次变到绿。用两条平行的直线即可分成三个大的区域。双线之上是黄色；两线之间大体为黄绿过渡带；单线之下以绿色为主。除色调为黄绿的4#和37#像元落在带浅绿的黄色范围内，像元的各种色调在  $F_1$  和  $F_2$  平面上分界明显，基本不存在不同色调的像元混杂在一起而无法勾出各种色调平面区域的情况。

图像处理方法依据于岩矿的光谱特征。分析黄色异常色调反映了哪些岩矿的光谱特征是探寻其实际含义的关键。将 III 岩性段的六种主要岩矿 30 个岩矿样品光谱主成分分析结果与表示像元色调区域范围的图 5 相复合，绘制成图 6。从中可以看出，条带状铁矿、矽卡岩及石榴子石绿泥石石英片岩绝大部分岩石样品光谱的主成分值分布在黄色色

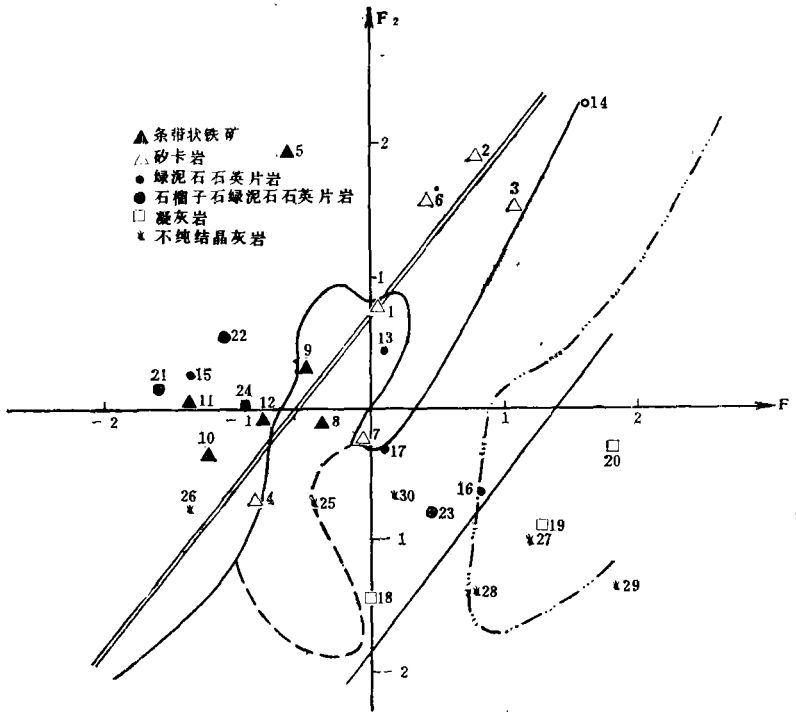


图 6 光谱样本主成分分析与像元色调区域范围复合图

Fig. 6 Overlapping map of spectral samples analyzed by principal component analysis and the extent of pixels's color tone

调范围内。1#、9# 和 8# 样品分布在带浅绿的黄色区域中非常接近黄区的部位。只有石榴子石绿泥石石英片岩的一个样品(23#)在黄绿区中。绿泥石石英片岩基本上分布在黄绿区。凝灰岩和不纯结晶灰岩分布在以绿为主要色调的范围内。进一步的分析表明，不纯结晶灰岩六个样品的分布近似与  $F_1$  平行且跨越从黄到绿的三个色调区域，主要由于所测样品的二氧化硅含量差异较大，某些样品中略有褐铁矿化现象造成。因此，像元色调与岩矿样品光谱的复合分析，初步说明了黄色异常色调代表了矿化含义。

为确切印证异常色调与矿化的对应关系，取在 III 岩性段及 III IV 岩性段过渡部位所采的 13 个岩矿样品化学成分分析数据(见下节表 2)，将其主成分分析结果与像元色调

区域范围复合绘成图 7。不难发现, 图 6 与图 7 所揭示的结论几乎完全吻合。条带状铁矿、铁帽、矽卡岩等五个样品分布在黄色区域中; 变质石英岩和石英岩分布在黄绿区中; 凝灰岩和不纯结晶灰岩分布在以绿色为主的区域内。7# 矽卡岩和 8# 含矿碎裂岩取自 III、IV 岩性段的过渡部位, 矿化程度较低分布在带浅绿的黄色范围内; 4# 石英黑云母片岩其氧化铁的含量较高位于黄区之中。

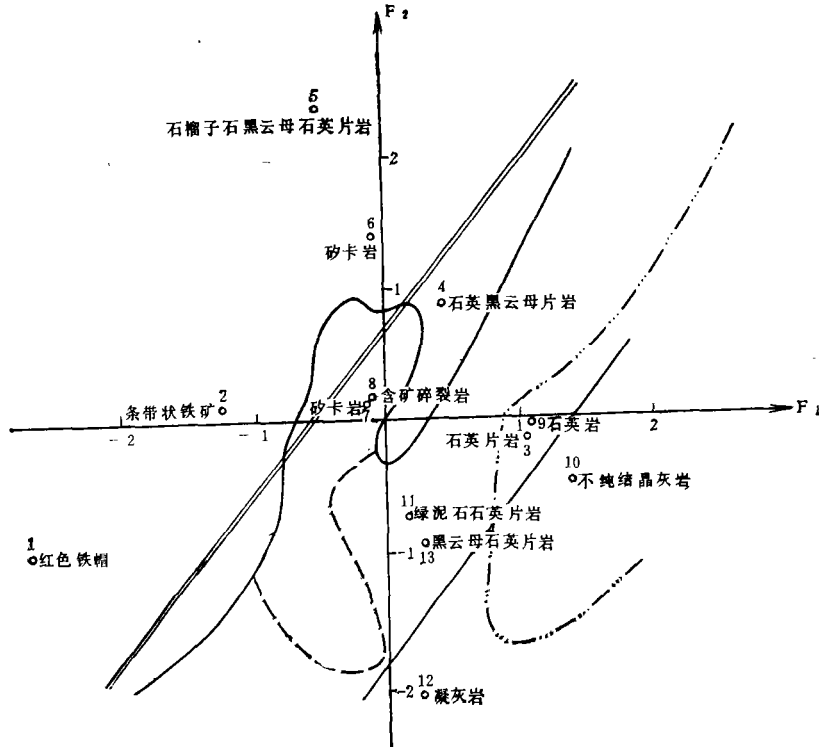


图 7 岩矿化学成分分析与像元区域范围复合图

Fig. 7 The overlapping diagram of chemical composition analysis and pixels's extent of rocks and ore

综观图 5—图 7, 图像处理、岩矿样品的光谱数据、化学成分数据三者主成分分析结果的吻合程度很好。色调、化学成分含量及矿化程度的变化趋势基本一致。可以看出黄色异常色调确实表示出矿化特征信息。矿体本身及深度蚀变的岩类(如矽卡岩、石榴子石黑云母石英片岩)在图像上表现为黄色色调; 浅度蚀变的岩类(如绿泥石石英片岩)表现为黄与绿之间的过渡色调; 与矿化基本无关的岩类(如凝灰岩、不纯结晶灰岩)表现为以绿为主的色调。此外, 对于本文所用的方法, 鉴于  $F_1$  和  $F_2$  所表达的信息量在 82.5% 以上, 因而利用  $F_1$ — $F_2$  平面图直观地分析所要探讨的问题是可行的。利用主成分平面上信息复合的结果相互比较, 可以揭示出问题的实质和内在的规律性。

## 五、机理解释,矿化特征信息的地质意义

研究发现,岩矿样品化学成分的主成分值与其百分比含量有着较好的对应关系。按照百分比含量从大到小的次序,将二氧化硅与第一主成分值及氧化铁与第二主成分值对应排列在表1之中。从对应表中可知,含量值与主成分的高值和最低值对应得很好。中间值序各在三个区段内有所变动,最大的序号变动量为3。即10#不纯结晶灰岩氧化铁含量居13个样品中的第12位,而其主成分值的值序为9。分析具有这种较好对应关系的原因,在于映射变换中各个变量对主成分的“贡献”不同,即构成主成分的各变量系数不同。对 $F_1$ 来说,其系数绝对值最大的变量是二氧化硅和三氧化二铁,后者的系数为负。这两个变量的值域前者为20.14—90.53;后者的值域为0.4—56.1,三氧化二铁百分含量的最大值和最小值相差二个数量级(见表2)。三氧化二铁的高值会使 $F_1$ 的值急剧减

表1 岩矿化学成分含量与主成分值对应表  
Table 1 Corresponding table between chemical composition content of rocks and ore and principal component value

含量序号	二氧化硅含量	岩矿代号	第一主成分值	值序号	氧化铁含量	岩矿代号	第二主成分值	值序号
1	90.53	10	1.4024	1	17.73	5	2.3753	1
2	88.01	9	1.0916	2	10	6	1.3966	2
3	78.02	3	1.0467	3	9.37	2	0.1126	5 ←
4	77.6	11	0.1735	7 ←	8.36	4	0.8708	3
5	75.83	12	0.2490	6 ←	5.27	8	0.1141	4 ←
6	74.8	13	0.2915	5 ←	5.23	3	-0.1551	8 ←
7	69.04	4	0.4439	4 ←	3.95	9	-0.0515	7
8	63.28	8	-0.1368	10 ←	3.46	7	0.0788	6 ←
9	51.26	7	-0.1093	9	2.9	11	-0.7398	10 ←
10	42.89	6	-0.0826	8 ←	2.74	13	-0.9370	11
11	40.63	2	-1.2187	12 ←	1.67	1	-0.9833	12
12	38.26	5	-0.4866	11 ←	1.58	10	-0.4985	9 ←
13	20.14	1	-2.6647	13	1.07	12	-1.5829	13

小;而其低值只起着十分微弱的作用。因此, $F_1$ 主要反映了二氧化硅含量的变化和高含量三氧化二铁的变化。 $F_2$ 则主要地反映了氧化铁含量的变化。在图7中,分布在黄色区域岩矿样品的化学成分特征是二氧化硅含量低(居第7和10至13位);全铁(三氧化二铁和氧化铁)的含量高(居第1、2、3、5、7位)。如前所述, $F_1$ - $F_2$ 平面上,从左上到右下色调从黄变绿。黄区是 $F_1$ 低值和 $F_2$ 高值区,也就是说黄色异常色调代表的矿化特征信息的机理是二氧化硅含量低而三氧化二铁及氧化铁的含量很高的矿化特征。对铁木尔特多金属成矿带而言,团块状黄色异常色调反映了地表出露的铁帽、磁铁矿化和矽卡岩化的分布状况。

表 2 岩矿样品主要化学成分含量表(%)  
Table 2 The content of main chemical components in rocks and minerals samples (%)

样品号	岩矿名称	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>
1	红色铁帽	20.14	1.64	56.10	1.67	0.40	3.32
2	条带状铁矿	40.63	0.38	44.16	9.37	0.45	1.26
3	石英片岩	78.02	7.77	3.38	5.23	2.77	0.40
4	石英黑云母片岩	69.04	7.80	3.11	8.36	4.30	1.17
5	石榴子石黑云母石英片岩	38.26	13.91	12.42	17.73	7.45	1.04
6	矽卡岩	42.89	8.12	7.04	10.00	5.30	0.36
7	矽卡岩	51.26	7.41	10.76	3.46	3.82	1.20
8	含矿碎裂岩	63.28	6.94	13.41	5.27	3.15	1.85
9	石英岩	88.01	2.28	0.97	3.95	1.45	0.67
10	不纯结晶灰岩	90.53	0.94	0.57	1.58	0.75	0.22
11	绿泥石石英片岩	77.60	9.34	0.40	2.90	1.20	1.34
12	凝灰岩	75.83	11.75	0.43	1.07	0.05	0.60
13	黑云母石英片岩	74.80	9.65	2.93	2.74	1.05	0.90

## 六、结 论

1. 遥感特征信息提取的综合分析包括信息基本特征分析、图像处理、后验分析和机理解释四个相互联系的步骤。图像处理是其中的一个重要环节, 后验分析是探讨特征信息能否确立、分析其内在含义的重要步骤。由后验分析既可解释特征信息的机理, 又可反馈到其前的步骤, 改善特征信息提取的效果。只有经过综合分析, 才能揭示出特征信息的内在规律, 使提取出的特征信息有较好的实用价值。

2. 主成分分析方法不仅对提取特征信息有着十分明显的作用和效果, 而且适用于多种信息(包括非遥感信息)的复合, 是综合分析中的重要方法和理论依据。

3. 红外细分波段铁木尔特航带矿化特征信息在图像处理结果中表现为黄色异常色调, 它反映了该地区多金属成矿带中二氧化硅含量低、全铁含量较高的岩矿矿化特征。团块状黄色异常色调表示出地表出露的铁帽、褐铁矿化和矽卡岩化的分布状况。野外验证表明, 黄色色调的分布地域与实地的地表矿化范围吻合得很好。涂光炽先生曾指出: “(在新疆)对矿床氧化带, 特别是铁帽应予以高度重视。对铁帽的正确评价等于完成了全部找矿工作并作了一半勘探。”铁木尔特多金属成矿带特征信息提取结果在某种程度上说明了红外细分光谱遥感技术和综合分析方法在地质找矿工作中有着一定的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] S. 温德罗斯, E. 约斯特等(舒守荣译), 地球资源的多光谱摄影术, 地质出版社, 1980年。

## Multidisciplinary Analysis for Feature Information Extraction of Remote Sensing

Chi Guobin

*(Xinjiang Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)*

Din Xuan

*(Guiyan Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)*

Li Yan

*(Xinjiang Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)*

### Abstract

According to the spectral characteristics of different geobodies, and using principal component analysis, information multiplex and multidisciplinary analysis method, a good result of mineralized information extraction was given in this paper, with FIMS flight strip in Tieshuerte of North Xinjiang.

The yellow abnormal color tone was shown in the mineralized feature information of FIMS flight strip of the region in image processing result. It reflected on mineralized feature with lower content of silica and higher ferri-ferrous content in polymetallic mineralization belt. Yellow abnormal color tone in form of lumps showed the distribution of gasson, magnetite and skarn on exposing surface. According to the field examination, the distribution section of yellow color tone is in agreement with the mineralized area on the spot surface.

There are four steps of multidisciplinary analysis for extracting the feature information of remote sensing, which are independent of each other and also related to each other. The four steps include: The analysis of essential feature information, image processing, verification analysis and mechanism explanation. In fact, only by multidisciplinary analysis, could the inherent law of feature information be revealed and the feature information extracted be made into a good practical value one.

**Key words** Fine split infrared spectrum Multidisciplinary analysis Information extraction

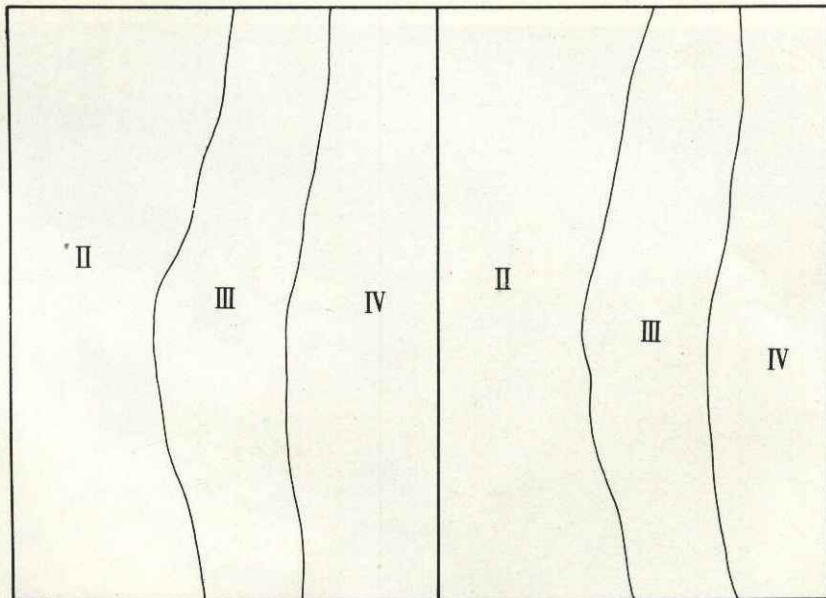
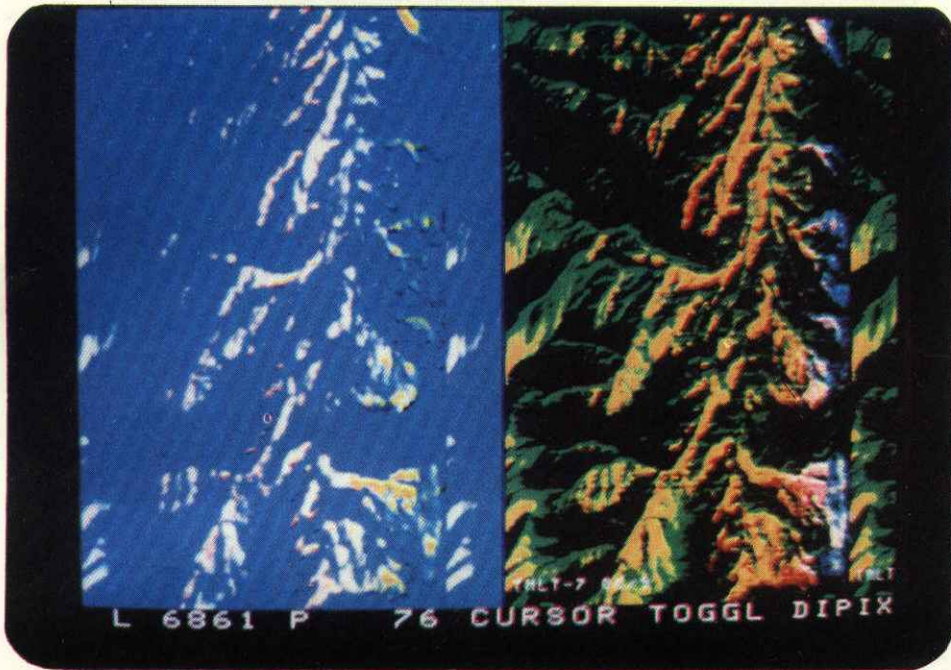


图4 铁米尔特彩色合成图像及其 II III IV 岩性段解译图