

# 大别山北缘地质找矿中遥感方法的研究\*

赵英时 杨 忆

谭海樵

徐贵忠

(中国科学技术大学研究生院 北京 100039)

(中国矿业大学)

(中国科学院地质研究所 北京 100029)

**摘 要** 本项工作着重探讨在植被覆盖、地质背景十分复杂的地区,利用遥感信息寻找金矿及其它多金属矿的方法。即从地层岩系、构造及构造交叉部位、蚀变带这三个方面,进行地质找矿专题信息特征提取方法的研究。最后,通过信息提取及影像综合特征,进行遥感地质制图,圈定找矿有希望的地段。

**关键词** 地质专题信息提取,压抑植被信息处理,蚀变信息,比值分析,遥感地质制图

## 1 概 况

研究区位于我国鄂豫皖三省交界处的大别山北麓。由南向北为中低山—低山—丘陵—平原,地势渐缓,水系发育。本区处于华北准地台南缘和扬子准地台的过渡区,位于东秦岭—大别山碰撞带上。区内出露的地层主要有侏罗系上统( $J_3$ )中—酸性火山岩及火山碎屑岩;中统( $J_2$ )杂色石英砂岩、砂砾岩;石炭系中统( $C_2$ )泥质粉砂岩、砂岩、砂砾岩,夹煤层;中元古系( $Pt_2$ )杂色变质岩;下元古系( $Pt_1$ )混合岩化的片麻岩。区内火山喷发及岩浆活动频繁而强烈。岩浆岩分布广泛,类型多样,尤以燕山晚期中酸性岩体、岩脉发育,多期侵入,岩性复杂,结构不均,与成矿关系较为密切。区内地质构造复杂,线性环形构造发育,其中  $NWW-EW$  向深大断裂控制着地质环境的演变、地层岩体的分布及成矿作用。在此地质背景下,本区成矿条件良好,已发现了一些金和铜、铅、锌、钼等多金属矿点及矿化异常区。

本区属亚热带北部的温湿气候,年平均气温  $13^{\circ}C$  左右,年降水量约为  $1200mm$ 。植被发育,山区森林茂密,为常绿和落叶阔叶树种,植被覆盖率达  $50\%$  左右。

如何在植被覆盖区提取地质、矿产专题信息是遥感工作面临的一个难题。本项工作着重探讨在植被覆盖、地质背景十分复杂的地区利用遥感信息寻找金矿及其它多金属矿的方法。

我们选用了含研究区的信阳幅、金寨幅、合肥幅、安庆幅共四景 6 个不同时相的 MSS 和 TM 遥感图像(包括单片及  $1:50$  万假彩色合成片)以及金寨幅(1987年5月30日)的 TM 图像数据。在目视判读的基础上,考虑到与成矿、控矿有关的地质信息,从地层岩系、构造及构造交叉部位、蚀变带三个方面着眼,选择了 A 和 B 两个子区。其中 A 区约  $4100 km^2$ , 区内地层丰富、岩体复杂多样、线环形构造发育,并有  $Cu, Pb, Zn$  矿点出现; B 区面

\* 工作中曾得到中国科学院遥感应用研究所郑兰芬、王晋年、侯宏飞和地理研究所信息室机房及中国矿业大学分析测试中心同志们的热情帮助和大力支持,在此表示衷心的感谢。

收稿日期: 1993年6月29日,收到修改稿日期: 1993年10月16日

积约 2 800km<sup>2</sup>, 为一火山岩盆地区, 盆地边缘构造挤压现象明显, 并有 Au 及多金属矿点出现。

首先进行遥感图像的几何纠正。分别在 1:10 万地形图及未纠正的图像上选取地面控制点对(A 区 18 个, B 区 16 个), 系统误差均在 1 个像元以内。经几何纠正后的遥感信息, 可以保证在统一的地理坐标下与其它遥感和非遥感信息的空间匹配, 以进行多变量的综合分析。

为了解本区域内 TM 图像数据的特征, 我们对两个样区进行了 TM 各波段数据的统计分析。分析结果表明, TM 四个波段中 TM5 所包含的地物信息总量最大, 约占各波段总信息量的 35.04%, TM4 为 34.72%, 仅次于 TM5, 往下是 TM7 为 17.22%, TM3 为 8.9%。但需要指出的是 TM7 波段正处于部分热液蚀变矿物的吸收带内, 对寻找本区内与热液蚀变有关的多金属矿有特殊意义。

## 2 地质找矿专题特征信息的提取

遥感地质找矿的关键是在成矿理论指导下, 根据遥感影像特征, 识别与成矿、控矿有关的地质信息, 如地层岩系、线性环形构造、构造交叉部位、蚀变带(岩)以及有关的地貌、土壤、植被等相关信息。这些信息往往是十分复杂多变的, 难以用确定的亮度值或概率密度函数来描述它们。这就给遥感地质找矿增加了相当的难度, 需要对图像进行多种变换处理, 如比值分析、KL 变换、KT 变换、IHS 彩色空间变换、特征空间变换和滤波分析等等, 以增强或提取地质专题特征信息<sup>[1]</sup>。

### 2.1 岩性信息提取

金银及多金属矿的矿源层、成矿围岩, 主要是与成分复杂的变质岩系、岩体、中—酸性火山岩等相关。这些岩石的波谱特征除了受其主要造岩矿物波谱特征的影响外, 还与其次要组成、矿物粒度、形状、结构、含水性等密切相关, 因而即使同一岩类其光谱特征也是变化的。但是对于某个特定的区域而言, 它们在遥感图像上有其独特的影像特征、色调、纹理、图形结构等, 因此通过图像处理和综合分析是能够加以识别的。

我们首先对各岩类的 TM 数据进行了统计分析。选取 A 区中 1024 × 1024 像元的样区, 区内岩性复杂, 岩类出露较全。参考地质图选择各岩类的训练区, 共分出 12 种不同岩类。由于同一岩类的亮度值很不均匀, 故训练区的选择尽量保证有一定数量的像元, 以更具代表性。计算各波段各岩类光谱特征的统计值, 统计结果见表 1。

为了直观地显示各岩类亮度值在各波段的分布状况, 我们绘制了叠合光谱图(图 1)。图中用 a—1 字母表示 12 种岩类, 字母的位置表示各岩类在每个波段中的亮度均值, 点线长表示相对于光谱均值的标准偏差。由图可见, 尽管 4, 5 波段各岩类亮度均值差距大些, 但其各岩类亮度取值之间相互重叠严重, 仅靠光谱数据是难以将这些岩类有效地区分开的。做最大似然法的监督分类, 虽然可分出一些岩类, 如火山岩、变质岩、第四纪地层及部分花岗岩类等, 但是还存在大量混合像元难以区分, 也出现不少明显的错分。若在岩类训练区采样时, 经直方图处理, 删去少量亮度极大和极小值的像元, 再进行训练区的统计分

表 1 12 种岩类光谱特征的统计结果

Table 1 Statistics of spectrum features for 12 rock types

岩类	波段	最大值	最小值	均值	标准差	代号	
第四系地层 Q	3	84	31	52.89	6.59	a	
	4	127	25	64.79	10.08		
	5	163	4	65.34	28.67		
	7	90	2	28.32	14.19		
侏罗系上统火山岩 J <sub>3</sub>	3	77	16	24.20	3.31	b	
	4	165	44	118.37	20.04		
	5	163	24	86.30	14.70		
	7	79	7	23.60	5.16		
侏罗系中统陆相碎屑岩 J <sub>2</sub>	3	86	25	42.25	8.83	c	
	4	124	22	67.51	10.28		
	5	154	8	69.61	19.93		
	7	82	2	27.50	10.13		
石炭系中统陆源碎屑岩 C <sub>2</sub>	3	60	25	33.90	5.40	d	
	4	135	34	89.61	14.71		
	5	129	19	82.15	13.84		
	7	60	3	27.04	7.04		
元古系变质岩 Pt	3	63	23	29.45	4.32	e	
	4	128	35	89.09	13.94		
	5	135	26	75.64	12.13		
	7	61	8	22.36	5.64		
燕山晚期	第三次侵入花岗岩 $\gamma_3^{3-3}$	3	75	27	40.42	7.04	f
		4	123	31	78.91	10.81	
		5	151	15	86.59	17.23	
		7	74	5	33.21	10.01	
	第二次侵入花岗闪长岩 $\gamma\delta_3^{3-2}$	3	72	27	38.55	7.20	g
		4	127	35	82.25	14.65	
		5	166	19	81.44	20.96	
		7	80	6	28.80	10.50	
	第二次侵入花岗斑岩 $\gamma\pi_3^{3-2}$	3	86	37	49.80	4.74	h
		4	91	46	68.71	9.14	
		5	146	24	71.59	28.66	
		7	66	10	29.43	12.90	
第二次侵入石英闪长岩 $\delta\sigma_3^{3-2}$	3	58	26	38.77	6.20	i	
	4	113	43	78.01	11.22		
	5	136	25	84.94	19.17		
	7	63	7	32.87	9.81		
第二次侵入闪长岩 $\delta_3^{3-2}$	3	58	31	44.05	4.57	j	
	4	98	22	60.43	14.38		
	5	128	7	57.71	25.96		
	7	55	1	22.86	11.50		
第一次侵入花岗岩 $\gamma_3^{3-1}$	3	79	32	51.42	6.56	k	
	4	97	22	67.05	9.80		
	5	165	8	89.61	27.19		
	7	86	4	41.40	14.56		
扬子期	花岗岩 $\gamma_2$	3	40	22	27.90	2.89	l
		4	129	68	98.11	10.86	
		5	102	51	75.21	9.08	
		7	38	12	20.87	3.90	

析,建立判别函数,用这种修改后的判别函数,对每个像元进行判别分类,其效果可有所改善。但由于岩类信息复杂多变,仅用岩类的亮度值进行自动分类,效果仍不理想。

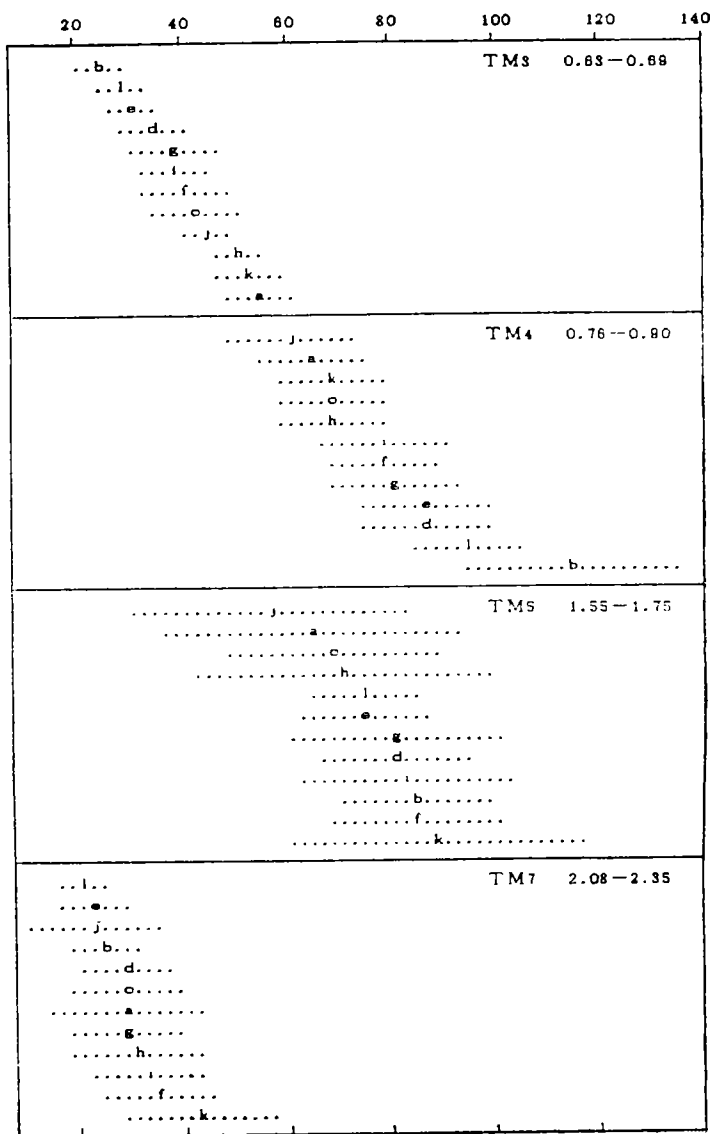


图 1 12 种光谱类别的叠合光谱图

Fig. 1 Coincident spectral plot for 12 spectral classes

在上述分类的基础上,对图像做进一步的增强处理。如为了增强视感效果,进行 IHS 彩色空间变换,即对原始图像 3 个波段的数据,在芒塞尔(Munsell)彩色空间中,作 I(亮度)—H(色调)—S(饱和度)变换,使图像数据变化与色属性特征变化对应起来,通过定量光谱特征,突出纹理信息,改进对岩类的识别能力。比值分析是增强、提取地层岩体信息的又一有效方法。它可以不同程度地消除雾霾、太阳高度角、地形等对影像密度值的影响,突出地质信息。我们采用经算法处理后的彩色比值合成图像  $TM5/7(R)$ ,  $4/3(G)$ ,  $5/4(B)$ , 那些原来较难区分或界线不清的  $\gamma_3^{3-1}$  与  $\delta o_3^{3-2}$ ,  $\gamma \pi_3^{3-2}$  与  $Q$ ,  $J_3$  与  $\gamma_3^{3-3}$ ,  $Pt$  与

$\gamma_3^{-3}$  以及 Pt 与  $C_2$  等岩体地层界线,经亮度值与各岩类纹理/图形结构信息的综合判读,其效果要比自动分类的结果有明显改善。

### 2.2 蚀变带信息的提取

构造、热液蚀变带是与矿化密切相关的直接判读标志。金银及多金属矿化的同时,矿化围岩普遍出现黄铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、高岭土化、碳酸盐化等蚀变现象,并常形成以褐铁矿为主的铁帽等。这种蚀变现象由于热液交代、动力变质、挤压

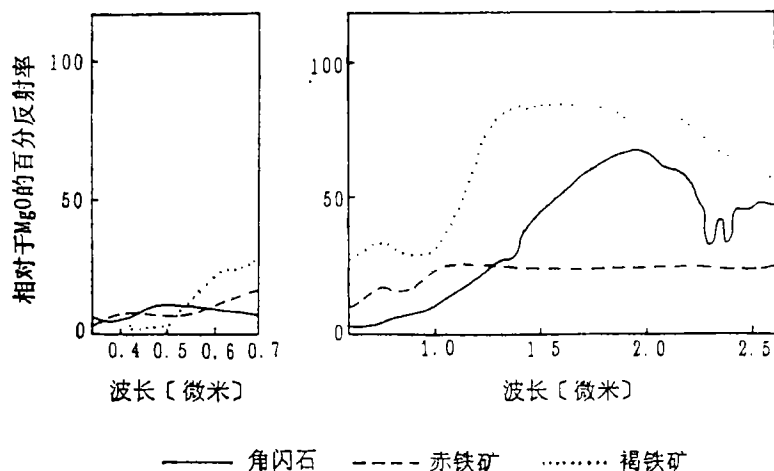


图 2 含 Fe 离子矿物的波谱曲线

Fig. 2 Curves of spectral feature of mineral containing  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$

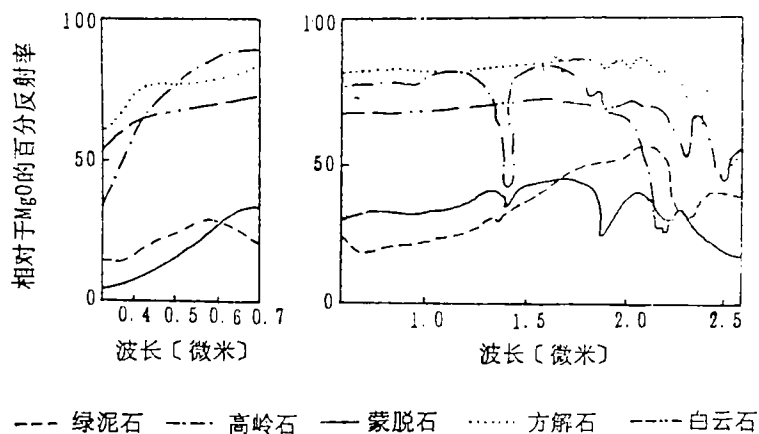


图 3 含  $OH^-$  和  $CO_3^{2-}$  矿物的波谱曲线

Fig. 3 Curves of spectral feature of mineral containing  $OH^-$ ,  $CO_3^{2-}$

破碎、风化等作用,使原岩或矿物色变浅,结构变细,而呈光谱反射率较高的褪色带。这在裸露地区尤为明显,即使在植被覆盖区,经过有效的图像处理,也能够提取蚀变与铁帽等信息。研究岩矿的波谱特征是提取蚀变带信息的前提。图 2 和图 3 是几种典型矿物的实验室光谱曲线<sup>[2]</sup>。

图 2 中,角闪石含大量二价、三价铁离子,在可见光、近红外波段有吸收,反射率普遍降低。赤铁矿、褐铁矿为三价铁离子,在  $0.9\mu\text{m}$  附近吸收带明显。图 3 说明含氢氧根矿物的绿泥石、高岭石、蒙脱石在  $1.4\mu\text{m}$  及  $2.2\mu\text{m}$  附近有明显的吸收带(又称羟基谱带);含碳酸根矿物的方解石、白云石在  $1.8\text{—}2.5\mu\text{m}$  范围内出现碳酸根谱带,尤以  $2.3\mu\text{m}$  附近吸收带明显。从图 2 和 3 中可见, TM5 ( $1.55\text{—}1.75\mu\text{m}$ ) 对上述蚀变矿物多表现出高反射率; TM7 ( $2.08\text{—}2.35\mu\text{m}$ ) 正处于含氢氧根及碳酸根的蚀变矿物吸收带内,对其表现为反射率降低; TM4 ( $0.76\text{—}0.90\mu\text{m}$ ) 对含二价、三价铁离子的矿物表现为反射率降低。那么,从理论上讲, TM5/7 增强了含  $\text{OH}^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  的蚀变矿物信息,是研究热液蚀变的最佳比值,在其比值图像上,粘土化、碳酸盐化蚀变带以及含气液包体水的石英脉等都呈现高比值、浅色调;而 TM5/4 增强  $\text{Fe}^{+2}$  和  $\text{Fe}^{+3}$  的矿物信息,在其比值图像上,原生和热蚀变而产生的含铁矿物富集带均出现高比值,以浅色调显示。但实际上,研究区为植被覆盖区,对于绿色植物而言, TM5,7 波段均受水吸收带的控制,但是 TM7 影响更大。因而 TM5/7 图像内包含有相当的植被信息,一定程度上掩盖和干扰了蚀变信息。为此,要提取蚀变信息必须首先压抑或消除植被信息的干扰,进行去植被信息的处理。但是,由于植被在 TM4 ( $0.76\text{—}0.90\mu\text{m}$ ) 波段内表现为高反射,因而,对于 TM5/4 图像而言,除了有增强铁离子信息的作用外,还有着压抑植被信息的明显作用。

为了进一步增强蚀变信息,消除和削弱植被信息的干扰(主要是 TM5/7 图像上植被信息的干扰),这里采用了两种方法,互为补充。一是,用增强植被、蚀变信息的 TM5/7 与增强蚀变、压抑植被的 TM5/4,直接进行比值合成。在所得图像上,与植被指数图像 TM4/3<sup>3</sup> 相比,植被信息明显被压抑,相应地突出了蚀变、云和水的信息。其中云和水的信息是较易于被识别的,经彩色空间变换及阈值处理,可以部分排除云和水的干扰信息,进一步突出蚀变信息。最后留在图像上的那些位于岩体周围呈星点状、条带状的亮斑,则主要为矿化围岩粘土化、碳酸盐化及含铁离子矿物的蚀变产物。用已知蚀变点进行验证,多与亮斑点吻合(图版 1, 图 4)。

另外,由于主成分分析是按方差性质将几个波段有用信息归并到几个信息相互独立的分量中,而引起分离信息的效果(又称其为去相关分析),故便于信息的增强和提取。因而我们采用的第二种方法,是用突出蚀变信息的 TM5/7 和 5/4 两张比值图像,经灰度线性扩展后,进行主成分变换<sup>[3]</sup>。变换后的第一主成分(PC<sub>21</sub>),主要集中了植被与水体和云信息,其图像与植被指数图像 TM4/3 十分相似,植被均对应着高亮度值;这样第二主成分(PC<sub>22</sub>)便自然地压抑和消除了植被信息,突出了植被、水体以外的其它信息,这里主要集中了蚀变信息并对应着图像上的高亮度值(图版 1, 图 5)。一方面,我们用这个图像,再经阈值处理设法压去些与蚀变无关的干扰信息,用经处理后的第二主成分图像与上述增强蚀变信息的图像进行复合处理,以进一步突出蚀变带,并勾绘出来;另一方面将它与其它波段共同组成该研究区典型合成图像,供下一步地质制图之用。

### 2.3 构造信息的提取

地质构造形迹主要表现为线性和环形的特征。线性、环形构造及构造交叉部位,是成矿、找矿的重要条件,而它们在遥感图像上多以特定的色调、形态、图形结构、水系展布、地貌组合等线性、环形影像特征得以显示。通过遥感图像处理,如边缘增强、灰度拉伸、方向滤波、比值分析等可以突出有关信息。我们采用方向卷积滤波方法,选用  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$  的卷积模块,来增强 NE, NW 不同方向的线性体特征。再将不同方向线性特征的增强图像彩色合成,以分析和补充勾绘某特定方向的线性构造。

此外,在构造遥感判读的基础上,对 A、B 子区内两个  $1024 \times 1024$  像元样区,进行构造形迹的统计特征分析,包括绘制线性构造统计玫瑰图,并根据线性构造的方位、长度等数据,分析其不同方向线性构造密度,为下一步研究线性构造的展布规律及成矿、控矿的关系提供佐证。

## 3 遥感地质制图

经几何精纠正和计算机增强处理后的典型彩色合成图像(即用去植被、突出蚀变的  $PC_{22}$ , 赋以蓝色;用压抑植被、突出蚀变的比值图像  $TM5/4$ , 赋以绿色;用增强地质信息和地形立体感的单波段图像  $TM5$  或  $TM7$ , 赋以红色),信息丰富,色彩层次分明,既压抑植被信息,又突出构造、蚀变等地质信息,且对地层岩体、地貌水系等特征反映明显(图版 I, 图 6)。在图像上,大部分线性环形构造的位置、规模、交接关系清晰可辨,地层界线及走向变化也得以显示。部分被第四纪松散堆积物覆盖的隐伏构造和热源环形地质体,可以通过地表岩性、地貌形态、第四纪层含水性、水系特征、植物生态、土壤等信息的传递,在影像上显示其隐约形迹。图像上地物的空间位置、形态特征要比相应地质图、地形图更为逼真、准确。我们以此图作为遥感地质制图的基本图件,根据以上地质找矿专题信息的提取及影像综合特征,进行遥感地质综合判读和成图处理,绘制地质综合判读图(图 7)。在判读过程中,由于遥感技术的局限性以及本区地质背景的复杂性,图像上那些光谱差异小的相邻地层、不同岩相以及较弱的蚀变带始终是个难点。尽管经过多种增强处理,仍有个别之处难以有效识别,因而借助了其它地学信息的支持。

研究区的断裂构造可分为 4 组、3 个级序(深断裂、大断裂、断裂)用粗细不同的线符表示。NWW—EW 向,以商城—金寨大断裂和桐城—磨子潭深大断裂为代表,分别呈折线状和舒缓波状,为本区的主干断裂,控制着地层的发育及成矿带的展布,多被后期构造切割。其次, NNE—NE 向断裂在区内普遍发育,呈直线状。断裂密集处,即构造应力相对集中地段,多有后期岩体侵入。NNW—NW 向断裂一般较晚,多呈平直线状。研究区内, NEE 向一组断裂并不突出。NWW, NE 向构造对导矿、储矿起着重要作用,其构造交叉部位常有中酸性岩体分布,或为断裂破碎带,有利于矿体的赋存。图像上显示的环形形迹不少,主要为岩浆热液环形地质体,未作进一步分类。

此图基本揭示了研究区地质矿产背景、区域地质构造格局以及与成矿的关系。这是遥感地质找矿、进行成矿预测的基础。A、B 两区成矿、控矿的特点不同,成矿有利地段的



图 7 大别山北缘地质遥感综合判读图  
Fig. 7 Geological map from integrated remote sensing interpretation in the northern fringe of Dabie Mountains

选择着眼点也各异。A 区主要考虑位于燕山晚期中酸性岩体与侏罗系火山岩接触带或震旦系变质岩地层附近, 岩浆热液环形地质体与 NWW, NE 向线性构造的交叉复合部位及出现蚀变异常的地段; B 区主要考虑位于老变质岩系基底上的火山岩界面附近, 热液环形地质体与 NWW, NE 线性构造交叉复合部位或构造挤压带上以及出现蚀变带的地段。在此基础上, 根据遥感找矿影像标志, 分别圈定了两个找矿有希望的地段。圈定的这些找矿靶区有待于进一步验证。

### 参 考 文 献

- [1] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析. 北京: 测绘出版社, 1990.  
[2] 地质情报所编. 矿物岩石的可见光—中红外光谱及其应用. 遥感专辑, 第一辑, 北京: 地质出版社, 1979.  
[3] 赵元洪等. 波段比值的主成分复合在热液蚀变信息提取中的应用. 国土资源遥感, 1991, (3).

## Study on Methods of Remote Sensing for Mineral Exploration in the Northern Fringe of Dabie Mountains

Zhao Yingshi Yang Yi

(Graduate School, Academia Sinica)

Tan Haiqiao

(China Mining University)

Xu Guizhong

(Institute of Geology, Academia Sinica)

**Abstract** The emphasis of this study has been put on the methods of applying remote sensing information for exploration of gold and other metalliferous ore deposits in the areas with dense vegetation coverage and complex geological structure. The extraction of thematic information of geological features is conducted in the three aspects: stratum and rock series, structure and intersects of structural elements, and alteration zone. Finally, the geological mapping is made to delineate the mineralization promising areas through extraction of thematic information and integrated analysis of image features.

**Key words** Extraction of geological thematic information, Processing for constraining vegetation information, Alteration information, Ratio analysis, Remote sensing geological mapping