

# 广东鼎湖钼矿区的生物地球化学效应\*

吕惠萍 徐瑞松 徐火盛

(中国科学院广州地质新技术研究所 广州 510640)

**摘要** 本文论述了广东鼎湖钼矿区生物地球化学异常特征和植物波谱特征,并对该区的TM图像进行了较深入的分析与应用处理。研究表明,钼矿区的植物波谱反射率与TM灰度值均比对照区的高,经K-L变换后的TM假彩色合成影像上,钼矿区呈现的形状、色调均与对照区有明显区别,研究区TM影像特征主要受植物叶中的钼含量及叶绿素含量的影响。本研究结果为在植被覆盖区用生物地球化学遥感探矿提供了理论依据。

**关键词** 斑岩钼矿区,生物地球化学异常,波谱反射率, TM 信息

## 1 前言

随着遥感技术的日益发展,遥感技术在裸露、半裸露地区寻找矿产资源,已取得了较好的社会和经济效益,但在植被覆盖区寻找隐伏矿产仍没有一条较为有效、快速、经济的途径。本文拟通过讨论植物波谱信息和TM信息,提取广东鼎湖钼矿区生物地球化学遥感异常特征,为在植被覆盖区探矿寻求最佳途径。

本研究的工作方法是,在研究区内选择具有代表性的剖面线,在不同蚀变带和不同钼浓度梯度上,即主要依据Mo从高含量—中含量—低含量—正常含量,选择观测点,分析岩石、土壤、植物的物理化学组分和植物的细胞结构、叶绿素含量、水含量等;并分春、秋两季测试植物的室内外光谱。室外光谱波段为0.42—0.85 $\mu\text{m}$ ,室内光谱波段为0.42—2.5 $\mu\text{m}$ ,共获1573组光谱曲线和数据。同时对1988年12月的TM信息进行综合分析处理,从中寻找生物地球化学异常与遥感信息的内在关系,探讨生物地球化学遥感探矿的机制。

## 2 研究区生物地球化学概况

广东鼎湖钼矿区位于南亚热带,与联合国教科文委的鼎湖山自然保护区相毗邻。矿区植物生长茂盛,覆盖率为75—90%,为南亚热带次生针、阔叶混交林,上层植物以马尾松(*Pinus massoniana*)、鼠刺(*Itea chinensis*)等乔木为主(占15—33%),中层以桃金娘(*Rhodomytus tomentosa*)等灌木及乔木幼苗为主(占10—20%),下层以芒萁(*D. linears Var. dichotoma*)等草本植物为主(占20—35%)。矿中心点和蚀变带与对照区

\* 国家自然科学基金资助项目。参加本研究的还有董裕国、谢永泉、吴晋、刘颖、叶连群、曾提、戴慧民和招爱铭等。

收稿日期: 1992年11月4日,收到修改稿日期: 1992年12月14日

植物群落结构基本相似。

钼矿体产于斜长花岗斑岩与粉砂岩接触带中,呈椭圆状,矿体长 1 700m,宽 840m,平均厚 141m,矿体围岩蚀变,属中心式面型蚀变,在平面上呈环带状,从内向外为黑云母—钾长石化带 (Bi—Or)、石英—绢云母化带 (Q—Sey)、石英—黄铁矿化带 (Q—Py)、绿泥石—黄铁矿化带 (Che—Py)。

在鼎湖钼矿区,岩石、土壤最高含钼量分别为 1 188.11 ppm 和 1 211.89 ppm,为对照区的 100 倍和 1 000 倍。当置信度为 0.05 时,土壤中钼含量与围岩的相关系数为 0.93,矿区主要植物马尾松、桃金娘、鼠刺、芒萁叶片中最高含钼量分别为 7.99 ppm, 10.55 ppm, 3.63 ppm 和 9.23 ppm,为对照区的 10—50 倍;当置信度为 0.05 时,土壤中钼含量与各种植物中 Mo 含量的相关系数均大于 0.90。表明了土壤中钼含量的变化可反映出母岩钼元素的相对丰度,同时,植物吸收、积累钼元素的情况,在很大程度上决定于土壤中钼含量的多少。表 1 为研究区岩石、土壤、植物中 Mo 和叶绿素的含量表。

图 1 (图版 I) 是矿区及对照区土壤化学成分含量分布图。该图表明,矿区土壤中钼含量明显的正异常,矿区与对照区相比,变化幅度较大;土壤中铜含量变化差异不很大,其变化趋势仍是矿区高,对照区低;锌含量除 6 号点偏高外,其它点含量基本相近;铬含量是除 6 号点偏低外,其它点含量基本相近。以上说明了在本研究中生物地球化学异常的主导元素主要是钼。

表 1 岩石、土壤 B 层、植物 Mo 含量及叶绿素含量  
Table 1 Mo contents in rock, soil B layer, plants and chlorophyll contents of plants

	岩石中	土壤 B 层	马尾松		桃金娘		鼠 刺		芒 萁	
	Mo 含量	Mo 含量	Co	Ch	Co	Ch	Co	Ch	Co	Ch
2	1188.81	1211.89	6.97	160.2	4.03	146.8	2.59	34	6.2	111.0
4	297.87	759.96	7.99	226.2	10.55	196.9	3.63	118.7	9.23	168.3
6	52.44	219.24	<0.2	155.6	1.52	223.6	0.49	56.2	3.48	77.8
8	10.03	12.57	0.37	183.2	1.03	109.5	0.20	54.6	0.90	198.8
9	7.47	4.00	0.22	190.8	0.67	194.4	0.20	54.7		149.9
10	12.73	2.80	0.44	177.5	<0.2	230.7	0.30	41.9	<0.2	139.7

注: Ch——植物叶绿素含量, Co——植物叶片中的 Mo 含量。

钼是植物正常生长的必需元素,土壤中缺少钼,植物会生长不良,但土壤中钼含量过高,会影响植物的营养吸收,植物将出现一些钼含量过剩现象,生理上表现为在植物体内钼毒害引起的细胞病变,叶绿体结构受破坏,矿中心点植物叶绿素含量低于钼含量较低的谷点(见表 1)。研究区 4 号点位于阴坡,植物生长较为浓绿,使该点植物叶绿素含量偏高。

### 3 矿区植物光谱反射率特征

遥感技术的原理及主要依据是地物的反射光谱特征。本研究区植物覆盖率高,矿区

的遥感信息主要反映的是植被信息。在可见光谱段，植物对太阳辐射的反射光谱特性主要受色素的影响；在近红外波段受细胞结构的影响；在中红外波段主要受水分含量的影响。叶绿素在波长  $0.44\mu\text{m}$  (蓝光)和  $0.66\mu\text{m}$  (红光)附近有强烈的吸收带。

受矿区生物地球化学异常的影响，矿区植物叶绿素含量发生变化，使矿区植物的光谱反射率与正常植物的光谱相比有一定的差异。图2为研究区的室内光谱曲线图。

通过对所测光谱数据及图形进行微分、积分、切比雪夫拟合、最佳波段选择等分析研究，发现鼎湖钼矿区的植物光谱反射率具有以下特征。

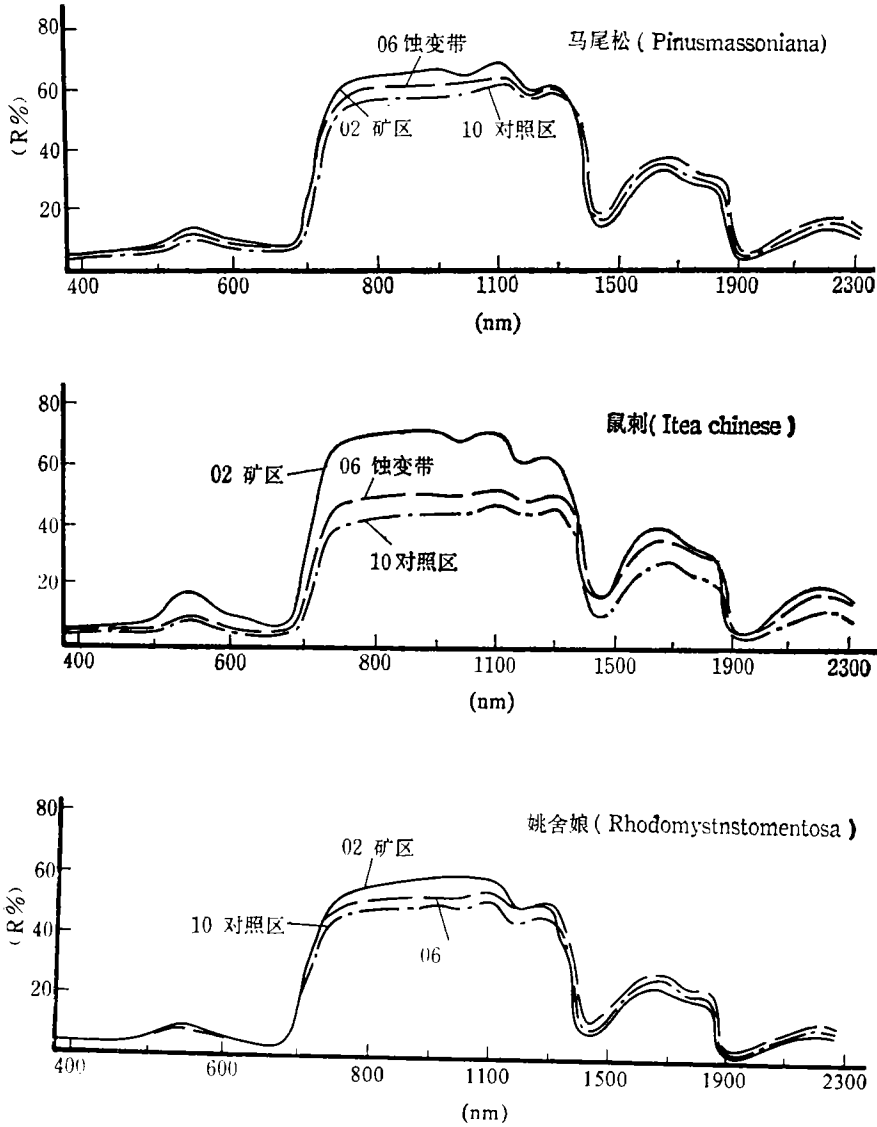


图2 研究区室内光谱曲线图

Fig. 2 Reflectance curve of some plants

——Mo ore value, --- alteration zone, -.- background

(1) 钼矿区植物叶面光谱在  $0.4\text{--}2.5\ \mu\text{m}$  的反射率普遍比对照区的高,其变化幅度在  $5\text{--}15\%$  之间。

(2) 矿区植物光谱反射率的陡坡发生偏移,在  $0.46\ \mu\text{m}$  和  $0.68\ \mu\text{m}$  附近,矿区植物光谱与对照区植物光谱相比,出现蓝移,位移量为  $5\text{--}10\ \mu\text{m}$ 。

#### 4 研究区的 TM 信息特征分析

TM 信息是目前在资源调查方面应用最广泛的卫星遥感资料,其优势在于有丰富的光谱信息及较高的空间分辨率。为此,本研究选用 1988 年 12 月 6 日获取的 TM CCT 磁带,范围以研究区为中心的一个  $512\times 512$  的图幅。考虑到研究区是钼矿区,植物主要受钼元素异常的影响发生了一系列生理生态变化的特点,根据前述植物反射波谱特征和表

表 2 TM 光谱波段设计依据及主要用途

Table 2 The design foundation and mainly useage of TM band

波段	波长范围 ( $\mu\text{m}$ )	理论依据	主要用途
1	0.45—0.52	植物吸收峰 $0.45\ \mu\text{m}$	近海岸水域制图、土壤/植物分类、落叶/针叶林分类
2	0.52—0.60	植物反射峰 $0.55\ \mu\text{m}$	探测植物叶绿素反射率,以估计作物长势
3	0.63—0.69	植物吸收峰 $0.65\ \mu\text{m}$	探测植物叶绿素吸收率,用于区分植物种类
4	0.76—0.90	植物近红外反射特征 $0.7\text{--}1.3\ \mu\text{m}$	植物生物量测定,水体测绘
5	1.55—1.75	水分子吸收峰 $1.4$ 和 $1.9\ \mu\text{m}$	植物和土壤含水量测量,云和雪的区分
6	10.4—12.5	地物热红外反射特征	(热红外波段)植物热强度测量和地物热测绘,土壤水状况辨别
7	2.08—2.35	与蚀变岩石有关的粘土矿物中的羟基吸收	(地质学家追加)波段,蚀变岩探测、地质探矿、水热条件制图

2 的 TM 波段特点,以及表 3 TM 正片灰度值统计和表 4 TM 各波段相关性分析,选择 TM4, TM5, TM2/TM3 为本研究合成图像的基本波段。

表 3 研究区 TM 正片灰度值均值和方差统计表

Table 3 TM band 1—7 gray value of research area

波段	均 值								方差
	2	4 <sub>上</sub>	4 <sub>中</sub>	4 <sub>下</sub>	6	8	9	10	
TM1	58	56	56	57	57	54	54	54	2.18
TM2	23	21	22	20	21	21	20	19	1.94
MT3	23	16	16	16	19	18	17	16	2.17
TM4	47	57	63	57	42	53	44	22	13.54
TM5	54	42	43	33	37	39	30	22	10.64
TM7	18	11	13	8	14	10	7	3	4.09

表 4 研究区 TM 各波段相关系数表

Table 4 Correlation index of TM band 1—7 gray, research area.

	1	2	3	4	5	7
1	1					
2	0.8253	1				
3	0.0396	-0.2932	1			
4	-0.3446	-0.5912	-0.9187	1		
5	0.8246	0.7436	-0.4710	-0.7462	1	
7	-0.3622	-0.2228	-0.5626	0.9541	0.0685	1

选定了波段后,接下来考虑的便是图像的变换组合方式。多波段图像组合的基本出发点,是尽可能扩展地物波谱的差异性,以求增强有用信息的微小差异,提高地物的分辨率,增强对地物的识别能力。目前常用的图像变换组合主要有哈德玛变换(CHADARD)、斜变、K-L 变换等。鉴于本研究区的地形、地貌变化不大,重点提取的信息是植被变化的微小差异。因此,本研究采用 K-L 变换组合方案。图版 I 中的图 3 为 TM5, TM4, TM2/TM3 经 K-L 变换后取 1, 2, 3 主成分配以红、绿、蓝所得的假彩色合成影像。在该影像中,钼矿体或围岩蚀变带上的植被呈桔红色串环状色调(影像中 A),其它的植被区为

表 5 TM 各波段灰度值与植物光谱反射率、钼含量、色素含量、水含量相关性统计表

Table 5 Correlation index of TM band 1—7 gray value, plant spectrum reflectance value, Mo content of plants, total amount chlorophyll of plants and moisture of plants

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM'1	0.9891	0.7928	0.0883	-0.3227	0.7973	-0.3771
TM'2	0.5980	0.4748	-0.3771	-0.5813	0.7905	0.0067
TM'3	0.0633	-0.1905	0.9669	0.8920	-0.4757	-0.6703
TM'4	-0.3625	-0.998	0.2622	0.4238	-0.5939	-0.4664
TM'5	0.8493	0.6186	0.2231	-0.5474	0.9117	0.0897
TM'7	0.3220	-0.3415	0.7638	0.8603	-0.7291	0.6033
$P_{Mo}$	0.8246	0.5526	-0.2369	-0.5425	0.4194	0.0539
$P_{a+b}$	-0.4608	-0.3473	0.4409	0.6149	0.7382	0.4351
$P_w$	0.7011	0.4166	0.0264	-0.2686	0.5989	-0.1807
	TM'1	TM'2	TM'3	TM'4	TM'5	TM'7
TM'1						
TM'2						
TM'3						
TM'4						
TM'5						
TM'7						
$P_{Mo}$	0.8194	0.7652	-0.3035	-0.7557	-0.9861	0.6955
$P_{a+b}$	-0.5092	0.8351	0.5924	-0.9226	0.7891	0.8537
$P_w$	0.6556	0.2517	0.0125	-0.4109	0.7419	-0.3286

注: TM1—TM7——为 TM 波段 1—7 灰度值; TM'1—TM'7——植物室内光谱反射率按 TM 波段积分后所得的值;  $P_{Mo}$ ——植物叶中含钼量;  $P_{a+b}$ ——植物叶片叶绿素总量;  $P_w$ ——植物叶片水分含量。

浅红色色调(影像中 B)。影像中,异常色调带呈环带状与本矿体的围岩蚀变属中心式面型蚀变、在平面上呈环带状的地质构造相吻合;矿体色调的异常是研究区生物地球化学异常引起的并经图像处理增强了的 TM 信息异常所致。

## 5 研究区生物地球化学遥感信息的复合分析

表 5 是研究区各波段、植物光谱反射率与植物钼含量、叶绿素含量、水含量的相关统计表。表中的数据表明,研究区植物的波谱特征及 TM 的影像特征均与植物的钼含量、叶绿素含量及水含量密切相关。反映了地面生物地球化学异常可引起遥感信息特征的异常。

(1) TM' 与 TM 对应的波段灰度值相关性较好,呈明显的正相关关系,说明了植物波谱反射率与 TM 灰度值是相对应的,其变化趋势相一致;

(2) 研究区植物中钼含量、叶绿素含量及水含量与植物波谱反射率的相关性,均较与 TM 各波段灰度值的相关性为强,说明了植物光谱反射率受影响的因素较少;

(3) 研究区植物中钼含量与植物光谱反射率及 TM 1,2,5 波段的灰度值呈正相关,与 4 波段呈较强的负相关;

(4) 研究区植物叶绿素含量与植物光谱反射率及 TM 1,2,4 波段的灰度值呈负相关,与 5,7 波段呈正相关;

(5) 研究区植物含水量均与植物光谱反射率及 TM 灰度值的 1,5 波段呈较明显的正相关。

## 6 结 语

本研究说明了经过有效地提取生物地球化学异常信息,用遥感信息在植被覆盖区寻找隐伏矿床是可行的,理论是成立的。该原理和方法已成功地应用于粤西—海南及黑龙江等广大植被覆盖区找金矿的工作,并分别找到了 5 个金矿远景区、2 个金矿靶区和 8 个金矿遥感异常区,取得了较好的社会效益和显著的经济效益。本研究为在植被覆盖区寻找隐伏矿床开辟了一条经济、快速的途径。

### 参 考 文 献

- [1] 徐火盛等. 广东鼎湖山钼矿区生物地球化学效应波谱特征及其探矿应用研究. 见: 第 11 届亚洲遥感会议论文集, Vol. II, Q-28-1—Q-28-3.
- [2] 徐瑞松. 粤西—海南金矿生物地化效应的遥感研究——以河合金矿为例. 地质学报, 1992,(2): 170—181.
- [3] 李铁芳等. 遥感图像数字处理原理与应用. 昆明: 云南科技出版社, 1987.

## The Study of Biogeochemical Characteristic of Mo-Deposit in Lake Dinhu, Guangdong Province

Lü Huiping Xu Ruisong Xu Huoseng

*(Guangzhou new technology Institute of Geology, Academia Sinica)*

**Abstract** The paper discusses the abnormal biogeochemical characteristics of Mo-deposit in Lake Dinhu, the plants spectrum characteristics, mechanisms of TM image characteristics, and research the biogeochemical characteristics on TM images. Establish the theoretical basis of biogeochemical remote sensing prospect for regions covered by plants.

The results show that the gray Level on TM image in Mo deposit area are higher than the background level, the abnormal colour in the TM false colour composite image of Mo ore-field is different from background's. The TM gray level has a direct bearing in the spectral reflectance of the plants. The main mechanism of TM image characteristics is Mo content and chlorophyll of plants.

**Key words** Mo-deposit, Abnormal biogeochemical characteristics, Spectrum characteristics, TM image