

遥感生物地球化学效应技术 在找矿中的应用效果^{①③}

马跃良^②

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640)

摘 要 在植被地区, 如何快速、经济、准确地获取矿化信息是遥感地质找矿研究的一大难题。遥感生物地球化学理论和方法的成熟为解决这一难题提供了可行的方法。本文以海南西部金成矿区为例, 利用遥感生物地球化学的理论和技术方法, 从遥感所包含的信息中提取与金矿化有关的植被异常信息, 成功地优选出金矿远景区, 并进行了地面验证, 取得了良好的应用效果。

关键词 遥感, 生物地球化学, 金矿, 植被

1 前言

在传统地质找矿中, 植被成为制约找矿的一个重要的因素, 如何突破这一天然屏障是摆在广大地质工作者前面的重大难题。随着航空航天事业的蓬勃发展, 遥感技术在各个领域得到了广泛的应用, 遥感生物地球化学理论和技术方法也日趋成熟, 同时也为这一难题提供了解决的可靠方法。国外, 在维尔纳茨基、戈尔德施密特和费尔斯曼等的著作影响下, 开展了以探矿为目的的生物地球化学研究。美国的 NASA 中心和 USGS 设有专门的研究组对 Cu、Pb、Zn 等金属元素的生物地球化学效应波谱和遥感特征进行了研究; Rock^[1]的研究表明, 受毒害植物与正常植物的叶面反射光谱的蓝移量为 5 nm, 并用水效应指数(1.63~1.66 μm 处的反射率与 1.23~1.27 μm 处的反射率之比)作为植物受毒害的一种指标; Collins et al.^[2], Schwaller et al.^[3]等都分别研究了金属矿物对植物的生长发育及光谱特征的影响。研究表明重金属元素会引起植物矮化、褪绿等病变, 因而与重金属元素相关的植被红光边界光谱曲线向短波方向的“蓝移”可作为矿化的指示。国内, 许多学者也开展了这方面的研究, 如田国良^[4]等研究了土壤中过量铜、镉对水稻、棉花叶片光谱特征的影响; 徐瑞松、马跃良、吕惠萍等^[5-9]研究了粤西、海南和黑龙江等广大植被区遥感生物地球化学的理论和技术方法; 吴继友等^[10]研究了山东招远金矿区赤松林的植物地球化学和光谱特征。这些研究对突破植被屏障, 寻找矿产资源

① 本文为中国科学院“七五”和“八五”重点项目中的部分研究成果。

③ 作者简介: 马跃良, 男, 1965 年 10 生。助理研究员, 主要从事遥感地质、环境和海洋遥感和遥感图象处理等。

② 收稿日期 1998-07-10 改回日期 1998-08-10

提供了有力的理论依据。

海南省西部金成矿带位于海南岛的西部地区,包括东方县的布磨、抱板、二甲和昌江县的土外山等地(图 1),为一北东向的区域成矿带,地貌上属低山丘陵,气候干燥炎热,植物以低矮灌木林、稀树草本混交季雨林为主,覆盖率大于 80%。本研究区在地质构造上属于华南加里东-海西地槽的西部边缘,处于昌江-琼海、尖峰岭-大吊罗区域性东西断裂与北东向的詹县复式背斜的交接处,北东向的戈枕断裂带贯穿全区。在戈枕断裂的下盘,即 SE 侧主要出露下古生界变质岩系(抱板群),而其上盘除此变质岩系外,尚分布有大量的混合岩,东部有泥盆系、石炭系及少量二叠系地层出露。岩浆岩主要为印支期和燕山期中、晚期侵入岩体,沿北东方向展布。区内构造复杂,各方向构造运动频繁交替,且有多期次、多阶段活动的特点,主体上以北东向为主,北东向的戈枕断裂带是这一地区的主干断裂构造,直接控制着区内金的成矿作用及其空间分布规律。

2 生物地球化学效应特征

利用遥感生物地球化学方法寻找隐伏矿床,其理论依据为: 由于土壤中存在与矿化有关的金属元素地球化学(次生晕)异常,生长其上的植物吸收了这些元素后,在其生长过程中发生了生理、生态变异,即植物受到“毒害”效应,使植物的叶面温度、水含量、色素含量、细胞结构等出现异常,这些变异可用遥感技术进行探测或进行信息提取。在遥感技术中,可见光波段可探测植物色素异常,近红外波段可探测植物叶冠结构和叶子的细胞结构异常,中红外波段可探测叶冠的含水量异常,热红外波段可探测叶面温度异常,微波波段可探测叶子的含水量、叶面温度及叶冠结构异常等。由于成矿元素生物地球化学效应产生了植物生理、生态变异,必然使矿区的植物叶面的波谱反射率和波形与对照区相比,呈现出异常的波谱特征,在遥感图象便相应呈现出异常的景象特征,因而,根据植物的光谱特性的变化及植被区遥感影像的色调异常,可揭示地下深部可能存在的某些隐伏矿床。

由于本地区与广东河台金矿地区的植被类型接近,而且同属一个金成矿带,因而,笔者根据对广东河台金矿区的金及伴生元素生物地球化学效应研究的结果作为在本地区利用遥感进行金矿生物地球化学异常探测和研究的理论依据。据广东河台金矿区金生物地球化学效应研究结果表明^[5,6,7],在金矿区上生长的植物对金和伴生元素有不同程度的吸收和聚积作用,植

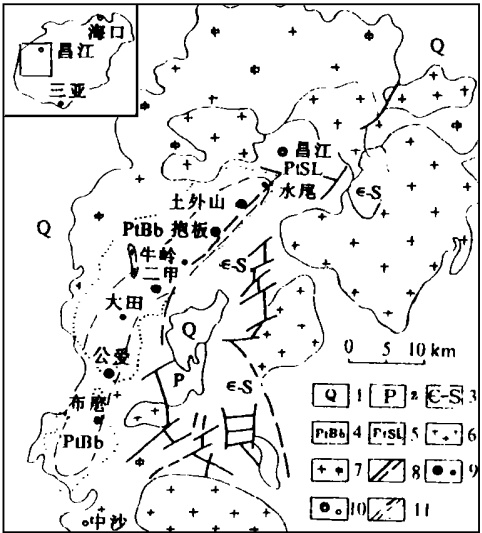


图 1 海南西部地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch of the west Hainan province

- 1. 第四系 2. 二叠系 3. 寒武-志留系 4. 前寒武系抱板群 5. 前寒武系石碌群 6. 燕山期花岗岩 7. 海西-印支期花岗岩 8. 实测或推测断层 9. 矿(床)点 10. 地名 11. 实测或推测地质界线

物明显产生了金及伴生元素的毒化效应,而且金属元素对植物的毒化效应以金元素为主,致使植物发生了的化学成分、叶色素、水含量、叶面温度和细胞结构等方面的生物地球化学效应。通过对金矿区和对照区的植物对比分析研究结果表明,金矿区上生长的植物叶片中的叶绿素含量发生了变化,水含量和叶面温度分别比对照区低 22.5%和 1~2^[3];植物叶子的细胞结构发生变形,叶绿体的片层结构模糊,不紧凑且尖化,线粒体颗粒增多。并且有金属小黑点沉淀,内质网有金属小碎点;在光谱特征上,植物叶子反射率升高 5%~30%左右,其波形出现 5~15 nm 的“蓝移”现象,且在 0.7~0.73 μm 处的斜率变陡;在遥感图象上,受毒害作用的植被在色彩上呈现出异常色调特征等等。这些特征可作为植被地区找隐伏金矿的生物地球化学标志和遥感特征标志。表 1 为研究区内不同植物的叶灰分中的金及伴生元素含量分析表。

表 1 海南西部地区植物叶灰分中金及伴生元素含量
Table 1 Contents of Au and associated elements in leaf ash of plants
in the western Hainan

$w_B/10^{-6}$

样品	植物种类	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	采样地点
8903	火绳树	1.224	0.391	16.77	4.191	36.87	二甲金矿 矿体
8904	葫芦茶	0.778	0.217	9.167	0.646	21.61	
B1	植物混合样	0.019 9					布磨遥感 异常区 蚀变岩
B2	植物混合样	0.021 1					
B4	植物混合样	0.029 8					
植物中的微量元素丰度值		0.001	0.050	20.00	10.00	50.00	
植物的富集系数		19.9~1.224	4.34~7.82	0.46~0.84	0.06~0.42	0.43~0.74	

注:植物中金属元素的富集系数为植物中的金属元素含量与植物中金属元素丰度值的比值,>1 为正异常,<1 为负异常。

从植物样品的分析结果看出:(1)在二甲金矿区植物明显吸收了金及伴生元素,植物中的金含量远远高于植物叶中金元素的丰度值,金元素的富集系数达七百倍以上,植物对 Ag 也有一定的吸收,其富集系数在四倍以上;在布磨地区植物对金也有一定的吸收作用,富集系数都在十倍以上;(2)植物叶中的金属元素富集系数大小顺序为金>银>铜、锌、铅,其中金、银为正异常,铜、锌、铅的富集系数小于 1,为负异常。由此可见,植物对土壤和岩石中的化学元素的吸收是有一定的选择性的,在本地区造成植物生态及反射光谱变异主要由金元素引起。根据笔者对广东河台金矿区金的生物地球化学效应研究结果表明,植物对金元素的富集系数大于 10 时,该植物对寻找隐伏金矿有一定的指示作用^[6]。在研究区内金矿区上生长的植物对金元素的富集系数均大于 10,因而认为该植物对寻找隐伏金矿有一定的指导意义。

另外,在本地区的植物主要以葫芦茶、火绳树、飞机草和布渣树等热带雨林灌木林和草本植物为主,偶有少量乔本植物,在生态上,金矿区(二甲、布磨)上生长的植物群落叶片大多有发黄现象,叶面有斑状病变现象,而在矿区外围的植物长势茂盛,极少有发黄和病变现象,这些特征与广东河台金矿区相似。

3 生物地球化学效应遥感影像特征

TM 图象的亮度值反映了地表地物的综合光谱信息,但在植被覆盖(覆盖率达 80% 以上)地区,它以反映植被的反射光谱信息为主,因而,由矿化元素的生物地球化学效应引起的植物生理、生态和反射光谱特征的变化,也必然导致 TM 图象上对应的亮度值产生一定的灰度变化,在彩色合成图上就会产生色调的差异,这就是说,利用图象处理技术可以从遥感信息中提取这些植被反射光谱异常信息。

目前,遥感图象处理技术发展了许多方法,如何从这些方法中选择最优处理方法,以获得所需的信息,是遥感图象处理应用的一个重要方面。本次研究收集的 TM 数据时相为 1986 年 11 月 1 日。提取植被反射光谱异常信息采用的主要处理方法有比值、主成分分析(KL 变换)、HIS 变换、分类等。笔者研究广东河台金矿区的生物地球化学效应遥感图象特征的结果表明,比值方法对土壤的赋水性差异、植被长势差异及由生物地球化学效应等引起的植被反射光谱的微小变化能取得良好的效果。主成分分析(KL 变换)能有效地提取植被异常信息,研究结果表明,由 KL 变换得到的第二主成分集中反映了植被的绿色信息,第三主成分反映了 TM 各个波段对土壤和植被水分的敏感信息^[8]。因而,在众多的图象处理方法中,为了突出植被和蚀变等信息,最后选择的图象处理方案为:利用 TM 七个波段数据进行主成分分析,选择第一、二、三主成分进行合成,得到的图象综合反映了植被的光谱信息。为了使图象更加清晰,对合成的图象进一步进行拉伸后采用最大似然法对图象进行分类,从而得到有利于区分植被反射光谱异常信息的假彩色合成图象。按此图象处理方法对海南西部抱板和布磨地区进行了遥感图象处理,并得到了重点反映金及伴生元素生物地球化学效应引起的植被反射光谱异常信息的假彩色合成图象。在彩色合成图象中,对不同植被覆盖情况用不同的色调表示,其中无植被信息为黑色色调,对应于水体信息;植被稀少信息为红色色调,对应于沙地信息;其余色调为不同地质体上的热带雨林植被覆盖信息,其中金黄色色调综合反映了受金及伴生元素生物地球化学毒化效应引起的植物反射光谱异常信息,这种色调信息正是地下金矿床通过地面生长的植物表现出来的异常信息色调,根据这种异常色调可以推测和圈定金矿化遥感异常区。在提取的遥感图象上金黄色色调异常呈北东向展布,在区域上与戈枕断裂方向一致,并分布在主干断裂的两侧,除区内已知金矿区(如土外山金矿、抱板金矿、布磨金矿等)植被的金黄色调外,其余金黄色调为新圈出的金矿遥感异常区。因而,金矿可以引起植被生物地球化学异常,并在遥感图象上呈现出不同的色调显示。

4 应用效果

在遥感计算机图象处理得到的图象中,反映植被光谱异常信息的色调(金黄色调)与已有

的金矿区或矿化异常点吻合得相当好, 据此推测了一些新的未知金矿化异常区, 在本研究区确定了 10 个金矿遥感远景地段, 经地面检查结果证实, 有几个是已知的金矿区(点), 如抱板、二甲、布磨金矿等, 而另外一些是通过遥感方法首次圈定的金矿化遥感异常区, 如陀牙、公爱、布磨外围等。上述圈出的金矿化遥感异常区经与海南地矿局所做的物化探结果进行复合, 其异常范围及趋势大致相吻合, 均沿北东向分布。通过多次的野外地质工作, 对研究区内图象上所反映的线性、环形、地层、岩浆、矿化蚀变及生物地球化学效应引起的植被异常特征等进行了验证。在金矿化遥感异常区内, 植被覆盖类型基本上与已知金矿区(二甲、布磨金矿) 相同, 均以热带灌木林、草本植物为主, 乔木类植物较少, 而且植被覆盖率在 80% 以上, 在遥感影象上, 异常区大多位于多组方向的线性构造的复合地段或环形影象密集区的交切部位。我们对大部分异常区进行了采样分析, 表 2 为海南西部金矿遥感异常区地面样品金分析结果统计表。

表 1 海南西部金矿遥感异常区金分析结果统计表

Table 2 Results of Au in the remote sensing abnormal areas of western Hainan $w(\text{Au})/10^{-6}$

采样地点	项目	金含量	样品数	主要岩性
东方布磨地区	平均值	2.814	12	蚀变岩、石英脉等
	标准差	5.244		
	变异系数/ %	186.35		
土外山地区	平均值	0.3917	12	蚀变岩、石英脉、破碎硅化岩
	标准差	0.2573		
	变异系数/ %	65.69		
土外山矿点	平均值	29.2686	7	石英脉、混合岩、蚀变岩
	标准差	54.1148		
	变异系数/ %	184.89		
抱抱红泉农场 14 队	平均值	7.9971	7	硅化蚀变岩
	标准差	17.3704		
	变异系数/ %	217.21		
抱板 29 队	平均值	1.36	5	硅化蚀变岩、混合片岩、蚀变岩
	标准差	1.0313		
	变异系数/ %	75.83		
公爱农场	平均值	3.8933	6	蚀变岩、石英脉
	标准差	3.0669		
	变异系数/ %	78.77		
中沙地区	平均值	0.76	7	硅化片岩、蚀变岩、石英脉等
	标准差	0.7782		
	变异系数/ %	102.39		

在所圈定的金矿遥感异常区共采集了岩石样品 56 个, 样品中平均品位为 $w(\text{Au})$ 5.98×10^{-6} , 最高的达 160×10^{-6} , 其中有 22 个样品的金品位大于 1×10^{-6} , 占 39%, 11 个样品的金

品位大于 3×10^{-6} , 占 19.6%。从野外考察得知, 这些遥感异常区在地层上为中元古界抱板群混合岩化变质岩, 断裂构造复杂, 不同程度地存在围岩蚀变, 主要以硅化、黄铁矿化、黄铜矿化和绿泥石化为主, 金矿化明显受断裂构造的控制, 并与岩体有一定的空间、成因上的联系。从区域上看, 金矿遥感异常区受到 NE 向的戈枕断裂带的控制, 呈 NE 向分布, 且有呈近等距、串珠式分布的特点, 每个遥感异常区相距 5~ 8 km, 它们共同构成了海南西部戈枕金矿成矿带。

由于研究经费有限, 不能全面评价海南西部金矿远景区, 但从野外地质验证结果已表明, 利用遥感生物地球化学方法圈定的金矿遥感异常区不同程度地存在着金矿化现象, 而且金矿化规模较大, 值得有关部门进一步勘探。

5 结语

运用遥感生物地球化学方法在植被覆盖地区寻找隐伏矿藏和优选金矿远景区取得了较好的应用效果, 从而也证明了此技术用于找矿是可行的, 并具有快速、经济、准确的特点, 本研究丰富了遥感生物地球化学的理论、技术方法和应用研究, 具有广泛的推广和应用前景。

致谢: 本研究的工作是全体课题组人员共同合作的结晶, 在研究工作中曾得到中国科学院黄金领导小组、海南地质矿产总公司、海南有色金属总公司、海南 934 地质大队、中科院贵阳地球化学研究所、中科院遥感应用研究所和中科院卫星地面站等单位有关同志的帮助和支持, 在此深表谢意!

参考文献

1. Rock B N, Hoshizaki T, Miller J R. Comparison of in situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline. *Remote Sensing Environ*, 1988, (24): 109~ 127
2. Collins W, Chang S H, Raines G et al. Airborne biogeochemical mapping of hidden mineral deposits. *Econ Geol*, 1983, 78(4): 737~ 749
3. Schwaller M R, Tkach S J. Premature leaf senescence as: Remote-sensing detection and utility for geobotanical prospecting. *Econ Geol*, 1985, 80: 250~ 255
4. 田国良, 包佩丽, 李建军, 等. 土壤中镉、铜伤害对水稻光谱特性的影响. *环境遥感*, 1990, 5(2): 140~ 149
5. 徐瑞松. 粤西—海南金矿生物地化效应的遥感研究. *地质学报*, 1992, 66(2): 170~ 181
6. 徐瑞松, 马跃良, 吕惠萍. Au 及伴生元素生物地球化学效应研究. *地球化学*, 1996, 25(2): 196~ 203
7. 马跃良, 徐瑞松, 吕惠萍, 等. 金矿生物地球化学效应及遥感信息提取. *遥感技术与应用*, 1998, 13(1): 8~ 17
8. 马跃良, 徐瑞松, 魏东原. 生物地球化学遥感技术在金矿预测中的应用研究. *地球化学*, 1997, 26(1): 92~ 100
9. 吕惠萍, 徐瑞松, 徐火盛. 广东鼎湖钼矿区的生物地球化学效应. *环境遥感*, 1994, 9(1): 22~ 28
10. 吴继友, 倪健, 冯素萍, 等. 山东省招远金矿区春季赤松林的植物地球化学和反射光谱特征. *环境遥感*, 1994, 9(2): 113~ 121

APPLICATION EFFECTS OF REMOTE SENSING BIOGEOCHEMICAL TECHNOLOGY ON PROSPECTING OF ORE DEPOSITS

Ma Yueliang

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract

In the vegetation area, to extract mineralization information from remote sensing data rapidly, economically and accurately is still great difficult at present. The theory and method of remote sensing biogeochemistry provide a new way for solving this problem. This paper takes the gold mineralized zone of western Hainan as research target. We extract the vegetation abnormal information related to gold mineralization from remote sensing data using the theory of remote sensing biogeochemistry, optimize the gold prospective areas successfully and verify it by field work, and yield good application effect.

Key words Remote sensing, Biogeochemistry, Vegetation, Gold deposit