

39-43 遥感生物地球化学在找矿勘探中的应用及效果*

马跃良 徐瑞松

(中国科学院广州地球化学研究所·广州·510640)

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科学技术方法,从遥感资料中分析金矿的图
象特征,提取与金矿化有关的植被异常信息,成功地优选出金矿化遥感异常区,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

遥感生物地球化学的发展为解决在植被地区快速、经济、准确地获取矿化信息提供了可行的方法。国外, Rock^[1]研究表明,受毒害植物的叶面反射光谱的蓝移 5 nm,并用水效应指数(1.63 μm ~ 1.66 μm 处的反射率与 1.23 μm ~ 1.27 μm 处的反射率之比)作为植物受毒害的一种指标; Collins^[2], Schwallier^[3]等分别研究了金属元素对植物生长发育及光谱特征的影响,指出重金属会引起植物矮化、褪绿等病变,与重金属元素相关的植被红光边界的“蓝移”可作为矿化指示。国内,许多学者也开展了这方面的研究,田国良^[4]等研究了土壤中过量铜、镉对水稻叶片光谱特征的影响;徐瑞松、马跃良等^[5-8]研究了粤西、海南、秦岭和黑龙江等植被区遥感生物地球化学的理论和科学技术方法;吴继友等^[9]研究了山东招远金矿区赤松林植物地球化学和光谱特征。这些研究对突破植被屏障,寻找矿产资源提供了有力的理论依据。

海南西部金成矿带位于海南岛西部地区,包括东方县的不磨、抱板、二甲和昌江县的土外山等地,为一 NE 向区域成矿带,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%。

1 金矿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理论依据为:由于土壤、岩石和地下水中存在与矿化有关的金属元素地球化学(次生晕)异常,使其上生长的植物吸收这些元素后,在其生长过程中发生生理、生态变异,即植物受到“毒害”效应,植物的叶面温度、水含量、色素含量、细胞结构等出现异常,植物叶面反射率和波形呈现特征的波谱特性,这些变化可用遥感技术进行探测或进行信息提取。因而可根据植

物光谱特性变化和植被区遥感影像色调异常信息,揭示地下可能存在的某些隐伏矿床。

由于本区与广东河台地区植被类型接近,而且同属一个金成矿带,因而,根据对广东河台金矿 Au 及伴生元素生物地球化学效应研究结果作为在本区利用遥感进行 Au 矿生物地球化学异常探测和研究的理论依据。广东河台金矿区 Au 生物地球化学效应研究结果表明^[5,6],在 Au 矿区生长的植物对 Au 元素有不同程度聚积作用,植物明显受到 Au 及伴生元素的毒化,致使植物发生成分、色素、水含量、温度和细胞结构等方面生物地球化学效应,即植物叶片中的叶绿素含量发生变化,水含量比对照区低 22.5%,叶面温度比对照区低 1℃ ~ 2℃,植物叶子的细胞结构发生变形,植物光谱反射率比对照区高 5% ~ 30%,波形出现 5 nm ~ 15 nm 的“蓝移”,且在 0.7 μm ~ 0.73 μm 处的斜率变陡,在遥感图象上呈现出不同色调异常等,这些特征可作为植被地区寻找隐伏 Au 矿的生物地球化学标志(表 1)。

表 1 海南西部地区植物叶片灰分中 Au 及伴生元素含量

样品	植物种类	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	采样地点
8903	火绳树	1.22	0.391	16.77	4.191	36.87	二甲金矿
8904	葫芦茶	0.778	0.217	9.167	0.646	21.61	
B1	植物混合样	0.0199					不磨地区
B2		0.0211					
B3		0.0298					
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 ~1224	4.34 ~7.82	0.46 ~0.84	0.06 ~0.42	0.43 ~0.74	

注:单位:10⁻⁶;植物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 Au 及伴生元素,植物中的 Au 含量远远高于植物叶中金元素的丰度值, Au 元素的富集

本文 1998 年 3 月收到, 8 月改回, 王延忠编辑。

* 本文为中国科学院“七五”和“八五”重点项目(专题编号: KY85-12-08-3)中的部分研究成果, 参加本项目工作的还有谭建军、吕惠萍、李富才、胡巧、曹提等。

系数达700倍以上,植物对Ag也有一定的吸收,其富集系数在4倍以上;在不磨地区植物对Au也有一定的吸收作用,富集系数都在10倍以上;(2)植物叶中的金属元素富集系数大小顺序为 $Au > Ag > Cu$ 、 Zn 、 Pb ,其中Au、Ag为正异常,Cu、Zn、Pb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选择性的,在本地区造成植物生态及反射光谱变异主要由Au元素引起的。根据笔者对广东河台金矿区Au的生物地球化学效应研究结果表明,植物对Au元素的富集系数大于10时,该植物对寻找隐伏Au矿有一定的指示作用^[6]。在研究区内Au矿区上生长的植物对Au元素的富集系数均大于10,因而认为该植物对寻找隐伏Au矿有一定的指导意义。另外,植物群落在生态上,Au矿区(二甲、不磨)的植物的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有相似情况。

2 遥感图象影像特征及其地质意义

本研究收集的遥感资料主要有1:20万MSS卫片,1:5万和1:10万侧视雷达航片及TM数据等。

利用侧视雷达航片进行线性构造和环形构造解译;利用MSS和TM卫片进行地质及构造解译;利用TM数据资料进行计算机图象处理等。在这些工作的基础上综合分析和评价研究区的Au矿成矿地质条件和控矿构造,探索研究区内Au矿空间分布规律。图1是海南西部MSS卫片地质构造解译图,图2为海南西部侧视雷达航片线性构造和环形影像解译图。从解译图上分析Au矿的线性构造和环形影像的特征及其地质意义。

2.1 线性构造及其地质意义

线性构造是指遥感影像上呈线性展布的构造,通过解译,从1:10万侧视雷达航片和1:20万MSS卫片上提取线性构造和环形影像信息。在研究区内共判译出大量NE、EW、NS、NW等方向的线性构造(图1和图2)。NE向的线性构造较发育,如 L_1 、 L_2 、 L_3 等(图2),其中 L_1 地貌影像特征明显,是NE向的戈枕剪切断裂带的影像显示,在图象上表现为一NE向的浅色条带,在地貌上形成一些断层崖,构造带较宽,延伸50余km,构造带内伴随有强烈的挤压破碎、片理化及糜棱岩化作用,有较强的围岩蚀变,这些现象造成在遥感影像上呈NE向的浅色(褪色)条带的色调。NE向的褶皱构造以中部地区的尧文—

抱板复式背斜为代表,发育在戈枕断裂带附近,由元古界变质岩系、片岩及混合岩等组成。近EW向线性构造除北端昌江东西大断裂外,中部地区以二甲断裂为代表(L_{43}),长有5km~10km,除有明显地貌表现如二甲河外,沿断裂带有硅化破碎,从图象上明显看出其错断了NE向的戈枕断裂,为一左行平移断层。在南部公爱地区近东西向断裂(L_{40})表现为一动力变质的蚀变带。另外,在其它地区也发育有小型的近EW向线性构造。近SN向线性构造明显的有东测的广坝断裂(L_6),其错断了北东向线性构造,并为东西向构造带所切,伴有硅化破碎及Au矿化现象。NW向线性构造多为一些小型断裂构造,延伸不大,相对密集,有一些被晚期岩脉所充填。大量研究表明,大多数遥感影像上的线性构造反映的是应力作用下的岩石形变带、软弱带或应力集中带,因而它们大多成为导矿与容矿场所。在本地区所反映的几组方向的线性构造中,与金矿成矿密切相关的主要有NE、EW、NS向断裂构造,尤其多组方向的线性构造的复合地段为金成矿最有利的地区。

2.2 环形影像及其地质意义

在本地区环形影像比较发育(图1),影像多数呈圆环状色调。除区域性大环(C_1 、 C_2)以外,该地区大大小小的环形影像至少有16个,大多沿NE向呈串珠状出现。 C_1 为尖峰岭岩体的影像显示, C_2 为昌江岩体的影像显示。沿NE向呈串珠状的环形影像有的是侵入岩体、岩株(如 C_3 、 C_6 、 C_8)形成的,有可能是深部的隐伏岩体,如抱板、不磨矿区(C_7 、 C_{10})等。在这些环形影像对应的侵入岩体可以分为两组,一组以酸性岩为主,主要有海西印支期的黑云母二长花岗岩或花岗闪长岩,如詹县岩体、广坝岩体、大田岩体等(C_3 、 C_6 等);另一组为燕山期的花岗斑岩、斑状黑云母花岗岩,如尖峰岭岩体(C_1)等,以及碱性花岗斑岩或石英斑岩,如居便岩体等。

另外,在遥感图象上环形影像较发育的部位,线性影像也比较密集。众所周知,Au矿物质在一定的地质条件和环境下,沿着导矿构造定向迁移,并在有利地段聚集成矿,在遥感图象上显示,Au矿最有利的聚集部位多处于大环的外侧、小环的内侧及环形影像与线性构造密集相切或环形影像之间相切、相交的部位。从研究区已有的Au矿(点)的分布来看,抱板、二甲、不磨金矿(点)都对应于遥感图象显示的NE、EW、NS向线性构造的交汇处和环形影像的外切部位。由此可见,环形影像和线性构造是金矿勘查的重要找矿标志。

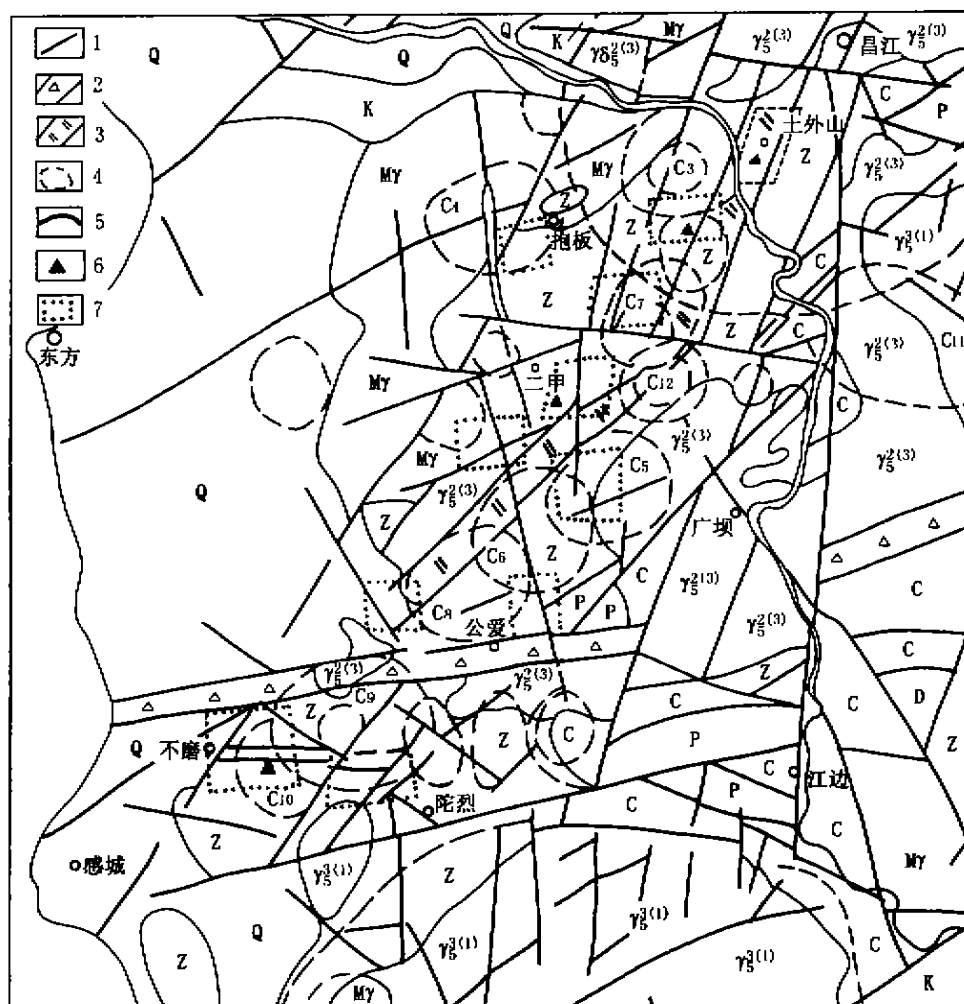


图1 海南西部地区 MSS 卫片地质构造解译图

Q—第四纪沉积物；K—白垩纪杂色砂岩，砂砾岩，凝灰岩；P—二叠纪长石石英砂岩，粉砂岩，泥灰岩等；C—石炭纪石英砂岩，白云质灰岩等；D—泥盆纪砂页岩，砾岩，板岩等；Z—震旦纪变质岩； $\gamma_5^{2(3)}$ —燕山四期似斑状花岗岩； $\gamma_5^{2(3)}$ —燕山三期花岗斑岩，花岗闪长斑岩； $\gamma_5^{2(3)}$ —燕山三期花岗岩； $\gamma_5^{2(3)}$ —燕山三期花岗闪长岩；M₁—混合岩 1—线性构造；2—动力变质蚀变带；3—韧性剪切带；4—环形构造及编号；5—地质界线；6—金矿床；7—金矿化遥感异常区

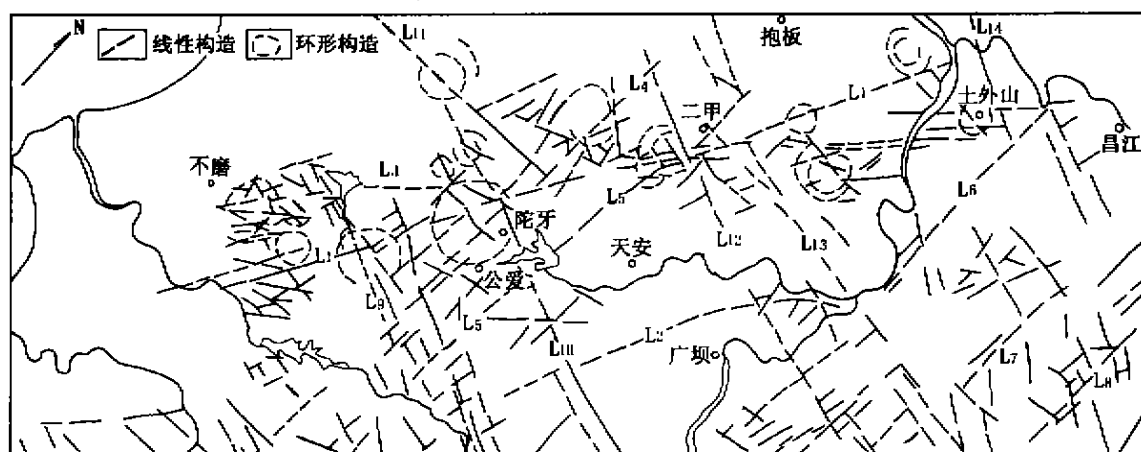


图2 海南西部地区侧视雷达航片线性构造和环形影像解译图

3 生物地球化学效应的遥感影像特征

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 图象上其亮度值产生一定的变化,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。

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。笔者在研究广东河台金矿区的生物地球化学效应遥感图象特征结果表明,主成分分析(KL 变换)能有效地提取植被异常信息,由 KL 变换得到的第二主成分集中反映了植被的绿度信息,第三主成分反映了 TM 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,拉伸后采用最大似然法对图象进行分类,从而得到反映植被反射光谱异常信息的假彩色合成图象。图 3 和图 4 分别是海南西部抱板地区和不磨

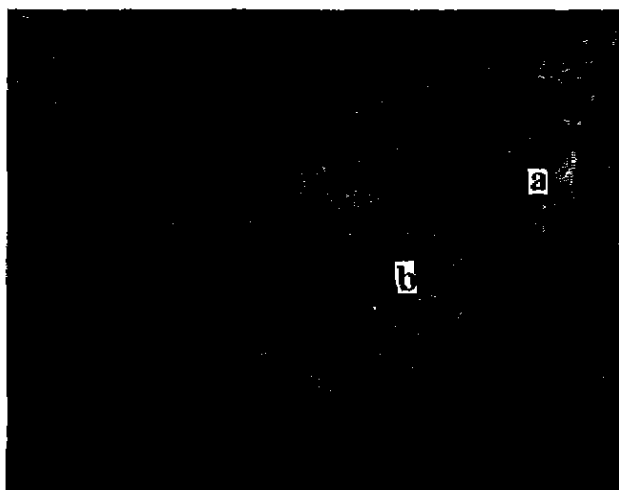


图 3 抱板地区 TM 植被反射光谱异常信息提取图像

地区植被反射光谱异常信息提取的合成图象。照片中黄色调为受 Au 及伴生元素生物地球化学效应引起的植物反射光谱异常信息,黑色为水体,红色为沙地,其余色调为正常的热带雨林植被。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,并分布在断裂的两侧,在区内已知的金矿区也呈现出此异常色调,照片中 A 处是土外山金矿,B 处是抱板金矿,C 处是不磨金矿,其余黄色调为新圈出的金矿化遥感异常区。因而,Au 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 应用及效果

根据图象处理得到的植被异常信息图象(图 3

和图 4)中的植被反射光谱异常信息色调(黄色调)

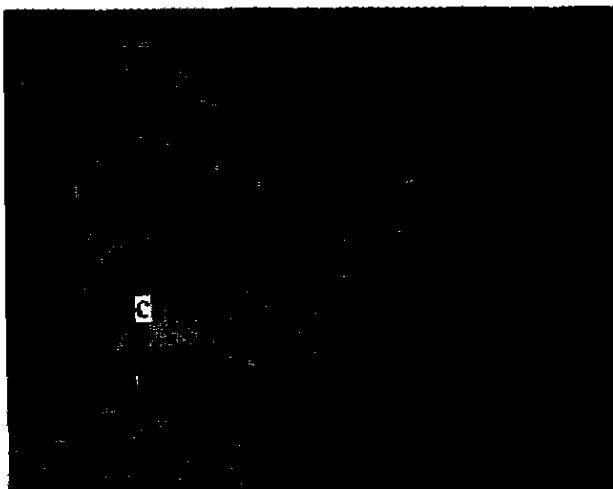


图 4 不磨地区 TM 植被反射光谱异常信息提取图象与已有的金矿区或矿化异常点吻合得相当好,据此推测了一些新的未知金矿化遥感异常区,确定了 11 个金矿化遥感异常区(图 1 所示),经地面检查结果证实,有 4 个是已知的金矿区(点),如土外山、抱板、二甲、不磨金矿等,而另外 7 个是通过遥感方法首次圈出的金矿化遥感异常区,如陀牙、公爱、抱板地区、不磨外围等。上述圈出的 Au 矿化遥感异常区经与海南地矿局所做的物化探结果进行复合,其异常范围及趋势大致相吻合,均沿 NE 向分布。通过多次的野外地质工作,对研究区内图象上所反映的线性、环形、地层、岩浆、矿化蚀变及生物地球化学效应引起的植被异常特征等进行了验证,特别对大部分异常区进行了取样分析,表 2 为海南西部金矿化遥感异常区岩石样品 Au 分析结果统计表。

共采集岩石样品 56 个,样品中平均金品位为 5.98×10^{-6} ,最高的达 160×10^{-6} ,其中有 22 个样品的 Au 品位大于 1×10^{-6} ,占 39%,11 个样品的 Au 品位大于 3×10^{-6} ,占 19.6%。从野外考察得知,在遥感异常区内断裂构造复杂,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,Au 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,Au 矿遥感异常区受到 NE 向的戈枕断裂带的控制,呈 NE 向分布,且有呈近似等距状、串珠式分布的特点,每个遥感异常区相距 5 km ~ 8 km。

由于研究经费有限,不能全面评价海南西部 Au 矿远景区,但野外地质验证结果已表明,利用遥感生物地球化学方法圈出的 Au 矿遥感异常区不同程度地存在着 Au 矿化现象,而且 Au 矿化规模较大,值得进一步勘探。

表2 海南西部 Au 矿遥感异常区 Au 分析结果统计表
10⁻⁶

采样地点	项目	Au 含量	样品数	主要岩性
东方不磨地区	平均值	2.814	12	矿化蚀变岩、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	2	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	含金石英脉、硅化混合岩、矿化蚀变岩等
	标准差	54.1148		
	变异系数(%)	184.890		
抱板红泉农场 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		

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是行之有效的,具有

快速、经济、准确的特点。

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, Rames 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): 149 ~ 149
- 5 徐瑞松. 粤西 - 海南金矿生物地球化学效应的遥感研究. 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特征及遥感信息提取. 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成矿预测中的应用研究. 地球化学, 1997, 26(1): 92 ~ 100
- 9 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 OF REMOTE SENSING AND BIOGEOCHEMISTRY TO PROSPECTING AND THEIR PRACTICAL RESULTS

Ma Yueliang, Xu Ruisong

The gold mineralized areas in western Hainan are exemplified to explain how to extract anomaly information related to gold mineralization from remote sensing and biogeochemical survey. The targets selected are checked by the ground engineering.

Key words remote sensing, biogeochemistry, gold deposit, vegetable

第一作者简介:



马跃良 男, 1965 年生。1987 年毕业于南京大学地球科学系构造专业, 现任中国科学院广州地球化学研究所副研究员, 主要从事遥感地质、环境和海洋遥感和图象处理等工作。

通讯地址: 广东省广州市五山 1131 信箱 中国科学院广州地球化学研究所 邮政编码: 510640。

'99 岩土工程勘察测试产品新技术研讨会简讯

中国建筑学会勘察分会岩土工程测试技术协作网会同温州市南光地质仪器厂于 1999 年 6 月 12 日 ~ 17 日在温州召开了 1999 年度全国岩土工程勘察测试新技术新产品讲习研讨会。来自国内 10 多个省市的 63 个单位的 99 名勘察界工程技术人员参加了会议。

会上, 岩土工程测试协作网中心站主任袁雅康教授级高工(原上海市勘察院长)作当前勘察形势和一些政策的重要讲话, 还就全国注册岩土工程师考试有关一些情况作了介绍; 同济大学朱小林教授作了《原位测试技术新发展》的专题讲座; 华东电力设计院、同济大学等几名专家还介绍了“扁铲侧胀仪(DMT)”, “电测轻便动力触探仪(PENDA)”等新技术新产品。

在野外施工现场, 南光地质仪器厂、华东电力设计院等技术人员演示了国产 DMT-WI 型扁铲侧胀仪和法国进口电测轻便动力触探仪。演示十分成功, 与会代表对先进仪器有极大兴趣。

在室内, 请上海申元岩土工程公司陈国民高工、华东电力设计院陈继成高工、陆正工程师等讲解先进仪器的数据整理、分析和应用。会上还组织大家进行信息和应用经验的交流。同时散发有关的勘察测试技术资料 and 书籍。

浙江省代表在会上还成立了岩土工程测试技术协作网杭州站。

最后由协作网中心站秘书长庄永乐主持了闭幕式, 袁雅康主任作了总结; 认为这次会议内容丰富, 时间安排紧凑, 肯定了会议取得的成绩, 并对东道主南光地质仪器厂和温州勘察测绘院对会议的组织和表示支持表示感谢。