

文章编号: 1001-1412(2000)03-0267-08

遥感技术在金矿勘查中的应用进展

林颖, 凌洪飞

(南京大学 成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 遥感技术在地质领域的应用已不可忽视。遥感图像与区域地质资料、生物地球化学资料进行综合分析、预测区域成矿远景已取得了很大进展, 有很多成功的实例。文章概述了国内外遥感技术在金矿勘探中的应用, 较为系统地介绍传感器性质、地物波谱特征和图像处理技术, 重点叙述了应用岩矿遥感方法和生物地球化学遥感方法探测金矿的原理和探矿方法, 并给出了实例。

关键词: 遥感; 矿区生物地球化学效应; 金矿勘查

中图分类号: P627; P618.51

文献标识码: A

1 引言

遥感是一门新兴的科学技术, 它是从远距离的航天、航空等平台上利用可见光、红外、微波等探测仪器, 通过摄影、扫描、信息感应、传输和处理对地面物质的物理、化学、生物等特征进行远距离探测的一种现代化技术系统。遥感已广泛应用于地质、地理、海洋、环境、农林、水利、土壤及全球变化等领域。随着计算机技术的发展, 遥感应用通过计算机数据处理, 进行信息增强、提取和自动分类, 并在地理信息系统(GIS)的支持下已逐步走向定量化和智能化。

地质遥感方法始于20世纪40年代, 主要是利用大、中比例尺的航空图片进行目视解译, 以便获得地质构造信息。在原苏联科学院空间方法实验室(LAEM, 现为VNIKAM)和航天航空地质联合托拉斯(VAGT, 现为SSPE)首先开展了这种研究方法, 进行地质制图和矿物资源勘探。80年代以来, 地质遥感方法出现了质的飞跃, 新一代航天遥感器TM, SPOT的发射成功, 特别是红外细分光谱扫描仪、成像光谱仪和合成孔径侧视雷达等先进遥感器的问世, 标志着遥感技术与应用跨入发展的新阶段^[1]。1982年, 美国航天飞机首次利用非成像的多光谱辐射计(SMIRR)对地面进行了探测, 成功的识别出地表的蚀变信息。1983~1987年, 美国宇航局及喷气推进实验室开展了航空成像光谱仪(AIS)、航空可见光红外成像光谱仪(AVIRIS)以及热红外多光谱扫描仪(TIMIS)的实验及应用研究。美国GER公司也研制推出了64通道航

收稿日期: 2000-03-20

第一作者简介: 林颖(1977-), 女, 福建福安人, 南京大学地球科学系98级研究生, 主要从事矿产普查与勘探方面的研究。

空实用型成像光谱仪。1986年,中国科学院上海技术研究所研制成功了红外细分光谱扫描仪(FIMS)。这些新型技术获得了十分有效的结果,引起了国际上广泛的注意。从而导致了遥感“直接找矿”和遥感光谱地质学的发展。

2 遥感技术与矿产勘查

应用遥感技术与区域地质资料、生物地球化学资料进行综合分析,预测区域成矿远景区已取得了许多成果。特别是随着计算机技术应用的日益广泛,数字图像处理的日益发展,遥感资料的综合分析已变得越来越重要。近年来,国内外运用遥感技术研究线形、环形构造与成矿关系以及与矿化有关的热液蚀变信息的提取方法,取得了丰硕的成果。遥感与生物地球化学方法相结合探测金矿也引起了人们的关注和重视。

2.1 遥感勘查矿产的核心——遥感探测器及其图像

陆地卫星 MSS: MSS 图像为研究区基础资料,对多景影像进行光学与数字图像镶嵌,进行几何纠正,影像增强,彩色合成处理,对全区的区域构造格架、岩性分布显示良好^[2]。

陆地卫星 TM (Thematic Mapper): 陆地卫星 TM 较高的波谱及空间分辨率使其成为识别热液蚀变及岩性的有潜力的传感器系统。TM 由 7 个波段组成,将 MSS 的可见光与近红外波段延长到中红外及远红外波段,通过比值组合,对识别蚀变带有显著作用。

SPOT 卫星: SPOT 卫星是新一代遥感卫星系统。其星体上载有两台相同的高分辨率可见光扫描仪(HRV),以全色和多光谱两种方式成像。SPOT 以其较高的图像几何分辨率、立体像对能力及离天底点观测记录的特点,成为 80 年代令人瞩目的航天遥感系统。

航空红外细分光谱扫描仪: 在 $2.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 波段范围内,航空红外细分光谱扫描仪 FIMS 有 12 个通道,其波段划分精细,能探测蚀变矿物的特征光谱信息。对红外细分光谱遥感图像进行光谱特征信息的提取,分析和识别蚀变带的位置及其分布,从而圈定找矿靶区,达到遥感“直接找矿”的目的^[3]。

合成孔径侧视雷达: 作为一种主动式微波遥感系统,合成孔径侧视雷达具有全天时工作能力,并可穿透诸如干燥的沙土一类地物。同时,它的“侧视”成像方式,可以对其他机载遥感系统不能工作的地区成像。雷达图像记录了物体微波散射特性空间几何分布信息的可视图像,能提供可见光与红外波段不能反映的信息,特别是在识别构造方面有着较好的效果^[4]。

此外,国土卫星图像、气象卫星图像、航空彩红外遥感图像等资料也是提取区域地物信息、岩矿蚀变信息的来源。

2.2 遥感勘查矿产的基础——地物波谱特征

(1) 岩石矿物的波谱特征: 各种岩石矿物由于化学组分和物理性质的差异,它们在可见光、近红外波长范围($0.38 \sim 2.50 \mu\text{m}$)的反射光谱及在中、远红外波段的发射光谱是各不相同的。因而,在遥感图像上,它们呈现出不同的电磁波辐射特性(简称波谱特性)。

$0.4 \sim 1.3 \mu\text{m}$ 波长范围内岩石矿物的光谱特征主要是由它们的表面色泽、粗糙度和所含的过渡金属离子元素所决定的。铁是引起岩石矿物在小于 $1.0 \mu\text{m}$ 的近红外光段产生吸收带

的主要因素。陆地卫星 MSS 4/5 < 1 已作为指示岩石含氧化铁的一种标记。1.3 ~ 2.5 μm 的近红外波段的反射光谱,是由 OH^- , H_2O , CO_3^{2-} 等阴离子团的分子振动引起的^[5]。一般含 OH^- 的粘土类蚀变矿物反射光谱在 2.17 ~ 2.21 μm 处存在显著的光谱吸收带,碳酸盐矿物的反射光谱在 2.30 ~ 2.35 μm 处存在特征光谱吸收带。岩矿的热红外波段(8 ~ 14 μm) 吸收谱则是组成岩矿的各类分子团,其中最多见的是硅氧分子团的分子振动引起的。

0.4 ~ 2.5 μm 波长范围内,热液蚀变岩与非蚀变岩类岩石的反射光谱有明显差别。在整个波长内蚀变岩石的反射率值高于非蚀变岩,并且蚀变岩在 1.6 μm 附近具有很高的反射值,而在 2.2 μm 附近则出现特征吸收带。非蚀变岩则无此特点,其反射值在整个波段范围内变化幅度不大。从而 1.6 μm / 2.2 μm 的高反射率比值可以作为识别蚀变岩的重要标志^[6]。

(2) 植物的波谱特征:植物的波谱特征决定于植物叶体的色素成分、细胞结构和水含量。Brook(1983)^[7]指出,0.2 ~ 0.3 μm 波段的波谱特征与叶片中的色素含量有机质组成和电子传输对光合作用的抑制作用有关,0.4 ~ 0.8 μm 波段的波谱特征与叶片中的色素含量和组成有关,0.8 ~ 1.2 μm 波段的波谱特征与叶片中的细胞和树冠结构有关,1.2 ~ 2.5 μm 波段的波谱特征与叶片中的含水量有关。

2.3 遥感图像处理和信息提取

遥感平台上的全部遥感数据是遥感信息提取的来源,这些原始数据几乎都是通过图像数据处理的。主要的图像处理方法如下:

(1) IHS 彩色空间变换: IHS 显示系统由强度(I)、色度(H)、饱和(S) 3个独立的、正交的颜色显示,与 RGB 三基色成分之间可以相互转换。通过彩色空间变换,遥感图像中以强度来表示的空间信息可以从以色调和饱和度来表述的波谱信息中分离出来,从而对图像的空间信息和波谱信息独立地进行操作处理。彩色空间变换多用于色调定量解释、图像增强及含矿信息提取,还可用于不同分辨率、不同传感器图像信息复合图像模拟以及多源地学数据综合分析^[8]。

(2) K-L 变换: K-L 变换,即主成分变换,是统计特征上的正交线形变换,是进行特征抽取的重要方法。多波段图像的波段间存在着相关性,有相当多的数据重复。K-L 变换的目的是将原来各波段的有用信息压缩到尽可能少的主成分中,各主成分间具有独立性,信息不重复。

(3) 最佳合成与比值处理:从 TM 的 7 个波段中选择 3 个波段进行彩色合成的方式有 210 种,比值合成方式多达 7 980 种。利用最佳指数因子(OIF)方法,由图像统计数据可以得出信息量丰富的最佳合成方式^[6]。OIF 值越大,比值合成图像所包含的信息量越大。

(4) GIS 方法:地理信息系统 GIS 是在计算机制图和遥感技术基础之上发展起来的,可以进行多种数据的存储、编辑、查询、检索,通过模式分析输出专业图件。GIS 可以使多源数据数字化、量化,便于计算机统计、运算、推理、演绎、综合分析,建立定量的评价和分析模型进行成矿预测。

3 岩矿遥感方法探测金矿

遥感技术与地质理论、实践相结合探测金矿已经形成了一个比较完整的理论、方法体系。

基于岩石矿物的波谱特征,根据金矿成矿与线形、环形构造的密切关系,加上有效的金矿矿化蚀变信息的提取技术,使得利用遥感技术寻找金矿成为可能。

3.1 线、环构造与金矿床的关系

遥感图像上的线形和环形构造指示了一定的地下信息。线形构造指示断层、节理、裂隙密集带、挤压破碎带、软岩夹层等软弱结构面。内生热液矿床生成于构造活动带,大的构造活动常伴有岩浆活动,这种岩浆活动往往产生矿化作用。由于岩浆热液上侵作用,在遥感图像上形成以形状、色调等环状影像,称之为热环构造。侵入热环构造是地壳深部再生岩浆热动力的结果,它不仅能把深部的成矿物质带到浅部参与成矿,而且本身的高温也会使外围一定距离内的金活化而并入热液循环体系中,从而提高热液的含金浓度。在热环构造的温度、压力变化控制作用下,最终在热环构造的内外缘区更低序次的线形构造中定位并富集成矿。

3.2 金矿蚀变信息提取

金的富集成矿常与含金热液活动有关,因此在金矿体附近,常伴生着强烈的近矿围岩蚀变,蚀变的类型主要有硅化、粘土化、碳酸盐化、铁化(铁帽)。这些蚀变作用生成的矿物,以富含过渡金属元素高价阳离子、羟基、水分子的氧化物、氢氧化物、硅酸盐等为典型代表。因此蚀变围岩与背景正常围岩的反射光谱曲线形态在某些特定波段存在着明显的差异,因而遥感数据也会存在一定差异。应用遥感资料多波段的特点,通过数字图像处理技术能够提取出矿化蚀变信息。

3.3 找矿方法

首先,采用高分辨率的航天遥感图像,如美国陆地卫星 TM 图像、法国 SPOT 卫星图像等,分析金矿床与区域大型断层系和变形带的空间关系,划分构造类型,追索与金矿化有关的构造;其次,在中、大比例尺的遥感图像上解译出沿深大断裂一定距离范围内的次级线形、环形构造,并通过深大断裂、线形构造、环形构造的解译找到有利于成矿的构造区;再次,通过遥感数字图像增强处理,提取矿化蚀变信息,在遥感图像上划出异常区,与线形、环形构造解译结果结合,圈出有利成矿区及矿靶区^[9]。

3.4 岩矿遥感方法勘查金矿应用实例

杨柏林、陈赶良等(1994~1995)^[9]在黔桂交界地区研究利用卫星遥感信息来寻找微细粒浸染型金矿的可能性。在 MSS 图像线性体目视解译的基础上,定量分析了线形构造与金矿关系,获得的分维异常与金矿化有关的蚀变信息。他们根据遥感异常,结合地质、物化探资料共圈定了7个靶区。结果表明,提取出的金矿化遥感异常与已知矿床吻合得较好,通过实地验证,在异常区金含量较高,有的已达到开采要求。

细分红外光谱遥感在新疆某金矿带的实验研究中,取得了好的效果。该金矿带沿安齐大断裂分布,矿化产于中下石炭统海相基性火山-沉积岩系中,含矿岩石大体上可分为玄武岩和凝灰质粉砂岩两大类。在金矿带岩矿石光谱特征图上,与矿化有关的岩石在 $2.15 \mu\text{m}$ 附近均有一个强反射谱带。该地细分红外图像上清楚的显示出三个色调异常区,经野外验证,这些色调异常与含金蚀变岩区对应较好,与已知金矿化点的对应率达到 56.2%。从红、绿、蓝假彩色合成的异常图像上,存在两种明显的异常色:黄色和玫瑰色。与黄色色调异常区对应的矿化蚀变岩石主要为含金石英脉及其两侧的绢云母化、高岭石化的凝灰质粉砂岩。玫瑰色异常区与矿化

蚀变的玄武岩分布区基本吻合,色调异常主要反映了褐铁矿化的光谱信息^[11]。

4 生物地球化学遥感方法探测金矿

生物地球化学是研究元素在生物圈中的迁移、富集、演化规律的科学,主要包括植物地球化学和动物地球化学。当前生物地球化学勘查金属矿产主要是用植物地球化学方法。元素对生物的毒害作用导致植物的变种和植物群落的变化,这些变种的植物叫做异常植被。地球化学异常的植被响应,构成了遥感找矿信息的植物学标志。遥感与生物地球化学的结合,是两门学科各自发展的需要,既丰富了生物地球化学的探矿理论,又开拓了遥感研究和应用的领域,给遥感技术注入了新的活力。徐瑞松、马跃良等从70年代末开始对Au, Ag, Cu等生物地球化学进行了较系统的研究,发展了遥感生物地球化学的理论、技术、方法,并应用于找矿,取得一定的效果^[12, 13]。叶连俊教授等(1993)在《生物成矿作用研究》专著中,系统地阐述了生物成矿作用和P, Mn, Fe, Au等成矿过程中的生物地球化学作用^[14]。Brooks(1983)^[7]较系统的阐述了生物地球化学的探矿理论和技术方法。从60年代的航天时代至今,西方广泛开展了以遥感探测理论、技术方法和应用为目的的生物地球化学研究,其代表性的成果见文献[15-17]。

4.1 金的生物地球化学性质

早在战国时的《山海经》一书中,就提到了叶惠棠是生长在金矿附近的植物。随着化学分析技术的发展,取得了大量植物中金含量的资料。Brooks(1982)^[18]列出了133种植物和土壤中金含量的状况。植物中金的含量很低。一般来说,植物灰分中正常的 $w(\text{Au}) = 5 \times 10^{-9} \sim 100 \times 10^{-9}$,而且绝大多数为几十个 10^{-9} 。但在金矿区植物中金的质量分数通常比背景区的植物高40~150倍。

国外许多学者对指示植物和超累积植物进行了研究,前者强调植物对矿床的指示作用,后者强调植物体内富集某种金属元素超过某一临界值。Baker(1992)^[19]提出了植物吸收重金属元素的三种机理:土壤中元素含量达到一个临界值前,超累积植物元素含量与土壤中元素含量呈线性增长关系;土壤中重金属元素含量低,如果非超累积植物吸收金属元素超过自身的临界点,限制机制发生崩溃,导致植物大量吸收有毒元素直至死亡;完全线性吸收,植物中的元素含量与土壤中金属浓度呈线性关系。

4.2 金的生物地球化学效应

土壤中某些金属元素的异常含量能引起植被异常。在地球化学异常地区植被组合发生变化,形成一些种类的缺失或特殊种属(即指示植物)的发育。也有些地球化学异常地区的植被群体或其中几个种属表现出叶色、叶形、花与果的形态、植物体的长势、植物群结构(密度、长势和高度)等营养性病变或中毒性病变等,这些变化导致了单株植物和群体的电磁辐射和波谱反射特性的改变。所有这些变化,称为生物地球化学效应,在金矿区表现为以下几个方面:

生态效应:金矿区植物受金及伴生元素毒化,植物的生态发生变化。主要表现为:植物叶体收缩,颜色发生变异;植物叶面粗糙,多褐黄色斑;植物的花早谢,果不易成熟。Collins^[20]和Schwaller^[21]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,重金属矿物会引起植物矮化、褪绿等病变。

成分效应:徐瑞松等(1987~1992)^[22]在粤西—海南金矿区植物生态考察中发现,植物叶中元素富集系数由大到小依次是金>银>(铜、铅、锌);其中,金、银、锰为正异常,一般植物中金的富集系数均大于1,甚至高达1961,铜、铅、锌均为负异常。

叶体色素、水分和叶面温度:在金矿区,由于金元素在色素中的富集占主导地位,故而抑制了金的伴生元素Ag, Cu, Zn, As, Mn, Fe, Mg等的生物地球化学作用,说明金元素在色素中可能取代Cu, Mg, As, Fe等色心离子^[23],使金矿区的植物叶色多呈黄色。金矿区植物鲜叶中水含量和叶面温度都有所降低。

叶体细胞结构:受金及伴生元素毒害后,植物叶体细胞发生一系列生理变异,如细胞形态变异、细胞壁破裂,叶绿体片层结构模糊不紧凑、尖化、线粒体颗粒增多^[2]。

光谱特征效应:Brook(1983)^[7]指出,受元素毒害的植物叶片,其叶面反射光谱与未受毒害的植物相比,其红端拐点出现蓝移(或红移)是与叶片中的水含量有关。由于受毒害植物的叶面积较小,导致 $0.55\ \mu\text{m}/0.8\ \mu\text{m}$ 的反射率比值最大限度的增加。James和Rock(1998)^[24]的研究表明,受毒害植物与背景植物叶面反射光谱的蓝移量为 $0.5\ \mu\text{m}$ 左右,并可把水效应指数(Moisture Stressed Index)作为识别植物受毒害程度的标志。

4.3 生物地球化学遥感探矿方法

矿体上的植物受成矿元素的毒害而发生生物地球化学效应,这些生物地球化学效应,重者出现植物异常,植物群落发生变异,轻者使植物的叶面绿度、水含量、色素含量与结构、细胞结构、叶面温度等出现异常,这些异常没有地植被异常那么明显,需要用特殊的方法才可判别,这个方法就是遥感技术。这些叶体变异引起了绿色植物的叶面光谱反射率和波形呈现异常变化,在各类遥感图像上极易表现为不同的灰度、色度和色彩。可利用遥感技术进行探测或进行信息提取,通过遥感图像的异常色调表现出来。这些影像特征主要受金及伴生元素生物地球化学效应和波谱特征的制约,因而可以用来揭示或推断地下可能存在的隐伏矿藏。

在遥感技术中,近紫外波段可探测植物叶面的紫外荧光异常;可见光波段可精确探测植物的色素异常;近红外波段可探测植物叶冠结构和叶子细胞结构的异常;中红外波段可探测植物叶冠的水含量异常;远红外波段可精确测定叶冠表面的温度异常;微波波段可探测植物叶体的水含量、叶冠表面的温度及叶冠结构等异常。

4.4 生物地球化学遥感方法勘查金矿应用实例

根据遥感生物地球化学的理论和技术在植被地区找矿方面取得了良好的应用效果。Rock等(1988)^[25]在美国东北部的Green Mountain中部的Canals Hump山进行的FLI(Fluorescence Line Imager)和TMS(Thematic Mapped Simulator)的航空飞行实验中,受毒害的植物在FLI和TMS航空资料中呈大红色调与正常植物的蓝绿色相区别。徐瑞松(1992)^[26]的研究表明,受金及伴生元素毒化的植物叶冠的TM卫片和AIS(航空成像光谱扫描仪)资料的灰度值比背景区高10%~100%。采用遥感图像处理技术,能够把受毒害的植被与正常植物相区分,例如在运用TM卫片的3,4,2波段经主成分分析后配以红、绿、蓝合成并拉伸的假彩色图像上,河台金矿区的植被呈现为金黄色色调,而背景区的植被为黄红色调;受毒害的植被在AIS航片上呈金黄色与背景区的红色调相区别;徐瑞松(1992)^[26]重点评价了粤西高圳金矿靶区和粤西云浮金矿远景区,取得了良好的应用效果。

参考文献:

- [1] 郭华东,王长林,主编.地学新技术方法[M].北京:地质出版社,1998.
- [2] 郭华东.多源遥感技术在阿尔泰地区金矿资源调查中的应用研究[A].关广岳,主编.国际金矿地质与勘探学术会议论文集[C].沈阳:东北工学院出版社,1989.383-385.
- [3] 童庆禧,等.红外多光谱遥感技术在金矿调查中的应用研究[A].中国科学院黄金科技工作领导小组办公室,主编.中国金矿地质地球化学研究(第一集)[C].北京:科学出版社,1993.254-269.
- [4] 郭东华.多波段多平台遥感技术用于新疆地区金矿资源探测[A].中国科学院黄金科技工作领导小组办公室,主编.中国金矿地质地球化学研究(第一集)[C].北京:科学出版社,1993.270-294.
- [5] Hunt G R. Near-infrared (1.3 ~ 2.4 μm) spectra of alteration minerals-potential for use in remote sensing[J]. *geophysics*, 1979, 44(12): 1974-1986.
- [6] 孙星和.金矿资源遥感方法探讨[J]. *国土资源遥感*, 1989(2): 52-57.
- [7] Brooks R R. Biological methods of prospecting for minerals. In: John Wiley, ed. New Zealand: Palmerston North, Canada, 1983.
- [8] 陈述彭,童庆禧,郭东华.遥感信息机理研究[M].北京:科学出版社,1998.
- [9] 汪红强,杨柏林.遥感技术寻找内生金矿床的机理及方法探讨[J]. *地质地球化学*, 1999, 27(4): 99-104.
- [10] 杨柏林,等.黔桂地区微细浸染型金矿遥感找矿研究[J]. *贵州地质*, 1996(4): 300-310.
- [11] 中国科学院空间科学技术中心.中国地球资源光谱信息资料汇编[M].北京:能源出版社,1987.
- [12] 马跃良.金的生物地球化学及遥感探矿方法[J]. *地质地球化学*, 1999(1): 49-55.
- [13] Ruisong Xu. Geobotanical remote sensing in Chian[A]. *Proceeding of remote sensing in the mining and petroleum Industries. London*[C]. 1990. 111-117.
- [14] 叶连俊.生物成矿作用研究[M].北京:海洋出版社,1993.213-217.
- [15] Goetz. Remote sensing for exploration: An Overview[J]. *Econ Geol.* 1983, 78(4): 1-4.
- [16] Milton, Collins, Chang, *et al.* Remote Detection of Metal Anomalies, North Carolian[J]. *Econ Geol.* 1983, 78(4): 610-617.
- [17] Rock B N. Comparison of in situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 24: 109-127.
- [18] Brooks R R. Biological methods of prospecting for gold[J]. *J. Geochem. Explor.*, 1982, 17(2): 109-122.
- [19] Baker A J M. Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals[J]. *Plant Nutrient*, 1992, 3: 643-374.
- [20] Collins W, Chang S H. Raines G, *et al.* Airborne biogeochemical mapping of hidden mineral deposits[J]. *Econ. Geol.*, 1983, 78(4): 737-749.
- [21] Schwalle M R, Tkach S. J. Premature leaf senescence as: Remote-sensing detection and utility for geobotanical prospecting[J]. *Econ. Geol.*, 1985, 80(2): 250-255.
- [22] 徐瑞松,等. Au 及伴生元素生物地球化学效应研究——以广东河台金矿为例[J]. *地球化学*, 1996(2): 197-203.
- [23] 胡西顺,等.植物地球化学测量及其在金洞子金矿区的应用效果[J]. *地质与勘探*, 1993, 29(1): 41-46.
- [24] James E, Vogelmann, Rock B N. Assessing forest damage in high-elevation coniferous forests in Vermont and New Hampshire using thematic mapping data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 24: 227-246.
- [25] Rock B N, Hoshizaki T, Miller J R. Comparison of in situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline[J]. *Remote Sensing Environ.*, 1988, 24: 109-127.
- [26] 徐瑞松.粤西—海南金矿生物地化效应的遥感研究[J]. *地质学报*, 1992, 66(2): 170-181.

PROGRESSES OF APPLICATION OF REMOTE SENSING IN PROSPECTING FOR GOLD DEPOSITS

LIN Ying, LING Hong-fei

(State key Lab for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences,
Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Application of remote sensing in geological fields can not be ignored. Much Success has been achieved in forecasting mineral deposits by analyzing geological data, biogeochemical data and remote sensing images. In this article, domestic and overseas applications of remote sensing in prospecting for gold deposits have been discussed. First we got some knowledge of sensors, spectrum features of ground objects and image processing techniques. Then, rock and mineral remote sensing method and biogeochemistry remote sensing method were specified. Examples were depicted.

Key words: remote sensing; biogeochemistry characteristics in ore deposits; prospecting for gold deposits

《矿产保护与利用》2001年征订启事

《矿产保护与利用》是国土资源部矿产开发管理司、中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所、国家金属矿产资源综合利用工程技术研究中心(北京)、国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心、中国选矿科技信息网和国土资源部信息中心联合主办的综合性、技术性科技双月刊物。本刊重点报道国家矿产资源保护和开发利用的方针、政策;地矿行政管理经验;矿业纠纷案例分析;矿产资源形势及战略分析,非金属矿的富集分离、超细粉碎、改性、深加工产品开发应用研究;金属矿的选冶工艺、设备、药剂研究;共生矿(特别是含稀贵金属矿)的综合利用;采选尾矿、工业废料等二次资源的再利用;国外矿产开发利用状况;国内外矿产品市场信息等。

《矿产保护与利用》国内统一刊号 CN41—1122/TD, 国际标准刊号 ISSN1001—0076。本刊为双月刊,逢双月20日出版。每年6期,2001年每期定价仍为4.00元,全年定价24元/份。另有一些1995~2000年合订本,每本(年)25元(含装订、邮寄费),欢迎选订。本刊为自办发行,订阅者可向编辑部索取订单,或直接由邮局汇款至编辑部,汇款单附言栏内请注明订约款。请保留汇款凭证。

本刊专用 E-mail: KCBH@ chinajournal. net. cn

编辑部地址: 郑州市陇海西路328号 邮政编码: 450006

联系电话: 0371-8624974 转 8026, 8072, 8088 或 0371-8614970