

基于主成分分析的植被掩模与模式滤波方法 在中等植被区蚀变信息提取中的应用

张晋开 崔承禹 支毅乔

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘要 植被干扰的消除对于应用TM图象进行蚀变信息提取是非常重要的。本文从矿物、岩石和植被在TM波段内的波谱响应分析入手,选择了TM5和TM1, TM5和TM7, TM4和TM3这三个组合分别来增强含铁矿物(主要是铁氧化物)、含羟基矿物和碳酸盐矿物及植被信息。通过对比值、比值合成以及主成分分析等方法的比较,提出了一种适合于中等植被覆盖区蚀变信息提取的新方法,即基于主成分分析的植被掩模和模式滤波相结合的方法。此方法在试验区进行蚀变信息提取中取得良好效果,它不仅识别出了与地表金矿化区一致的蚀变矿物富集区,而且对于土石矿区的一些矿脉也有较好反映。

关键词 TM 图象, 蚀变信息, 主成分分析, 植被掩模, 模式滤波

1 引言

围岩蚀变是寻找热液矿床的重要标志之一。利用遥感手段识别地表蚀变矿物异常晕或蚀变矿物富集区,可以间接地推断地壳热活动的活跃程度,这对于遥感地质调查有着重要意义。陆地卫星,尤其是包含有短波反射红外波段的LANDSAT-4、5为宏观研究地表蚀变提供了重要的数据源。

自从Rowan(1977)^[1]利用MSS波段中所包含的与三价铁离子密切相关的强吸收带,应用比值方法突出铁离子信息取得成功以来,国内外学者竞相研究利用航天遥感资料提取蚀变信息的方法,取得不少成果。在比值方法的基础上,基于主成分分析的提取方法成为近年来的一种常用蚀变信息提取方法。不同于比值,主成分分析根据输入图象的统计特性,对图象中的方差信息进行重新分配,进而得到有关地物分布及丰度的信息。利用主成分分析产生的新图象识别蚀变带被认为是准确的,而且最可靠(产

生的假异常(False Anomalies)最小)^[2]。其中最具代表性的是克罗斯塔技术(Crosta Technique)^[2]。它通过对主成分分析的特征向量载荷(Eigenvector Loading)的详细分析来确定哪一个或哪几个主成分中集中了与特定目标相关的波谱信息,并且可以预测感兴趣地物在有关主成分中将以暗色调或亮色调显示。但克罗斯塔技术用4个波段作为输入,在结果解释分析时,有时比较困难。

地表物质复杂多样,植被常常是地物的一个重要组成部分。在利用LANDSAT-4、5的短波红外区(SWIR)通道TM5和TM7进行含羟基矿物信息提取,利用可见光到近红外区(VNIR)的铁离子吸收带进行含铁矿物提取时,植被在这些波段间的波谱响应差异与含羟基矿物或含铁矿物的类似性使得结果图象上形成了许多假异常。因此消除植被干扰也是近年来应用TM图象进行蚀变信息提取中的一个难题,诸如比值合成^[3]、矿物吸收指数评价技术¹⁾、对数剩余技术¹⁾、最小二乘法剩余技术²⁾以及比尔沃思提出的混合象元分解技术¹⁾等在应用机载数

• 收稿日期:1995.10.06;收到修改稿日期:1996.02.05

1) 地质矿产部情报所编,金矿遥感及其综合评价方法工作案例(一)、(二),1990.

2) 地质矿产部情报所编,金矿遥感及其综合评价方法——综述:问题讨论,1991.

据进行植被区蚀变信息提取中均取得一些成果,但对于 TM 图象,效果并不十分突出,实用性很差。

本文针对中等植被覆盖区(覆盖率为 10%—30%)^[1]蚀变信息提取中的植被干扰去除问题提出了一种基于主成分分析的植被掩模与模式滤波相结合的方法(Combined Technique of Vegetation Masking and Mode Filtering 简称 CTVMMF)。

2 CTVMMF 的全过程

CTVMMF 是在对比分析各种蚀变信息增强及植被干扰去除方法的基础上,以矿物、植被的波谱特性为依据,并结合 TM 波段的特性开发的一种在中等植被覆盖区进行蚀变信息提取的新方法。它基于中等植被覆盖区存在着大量以非植被地物占主导的象元,而这些象元的波谱特征主要由非植被地物的波谱特征来决定的理论。CTVMMF 方法的工作流程包括波段选择、信息增强、植被掩模生成和蚀变信息提取 4 部分。

2.1 波段选择

利用 TM 数据进行蚀变信息提取时,可把蚀变矿物大致分为两类:第一类为层状硅酸盐矿物(粘土矿物、云母等)、水合硫酸盐矿物(石膏、明矾石等)和碳酸盐矿物(方解石、白云石等),这些矿物中 Al—OH, Mg—OH, Fe—OH, Si—OH 和 C—O 等键固有的基频与 O—H 键基频或倍频在 2.0—2.4 微米区有特征吸收带;第二类为含铁矿物(赤铁矿、褐铁矿、针铁矿等),这些矿物在小于 0.5 微米的整个波段内有一个强烈的电荷转移吸收带,在 0.92 微米附近存在一个晶体场效应吸收带。

为了更好地了解蚀变矿物在陆地卫星 TM 六个通道(热红外通道除外)中的波谱行为,分析植被对于蚀变矿物波谱特征的干扰,选择合适的波段组合来进行蚀变信息提取,我们选取高岭土、赤铁矿和针铁矿、绿草分别作为含羟基矿物(包括碳酸盐矿物)、铁氧化物以及植被的代表,将它们的波谱曲线进行了对比,如图 1。

由图 1 可以看出,与铁离子有关的吸收带在 TM1(电荷转移吸收带)和 TM4(晶体场效应吸收带)内,在 TM3 和 TM5 则显示相对较高的反射率;与 OH—有关的强吸收带在 TM7 内,而在其他几个波段则显示差别不大的高反射率;植被的吸收带在 TM1 和 TM3,而在 TM2 和 TM4 显示高反射率,并

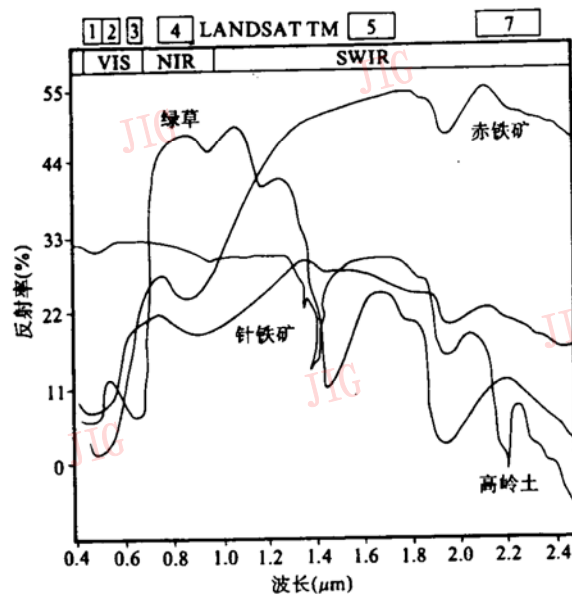


图 1 几种特征矿物及绿草从可见光到短波红外区的波谱特征^[4]

Fig. 1 Spectral characteristics of several typical minerals and green grass within VIR and SWIR Region

以 TM4 为甚,它在 TM5 和 TM7 虽然无明显吸收,可它在 TM5 的反射率要比 TM7 为大。

TM3 和 TM1, TM4 和 TM5 的差异虽常被用来识别铁氧化物富集地带,但从波谱曲线分析,铁氧化物在 TM1 和 TM5 之间的差别最大。Podwysoccki 曾采用 TM5/TM1 来突出铁氧化物^[4],笔者认为利用 TM5 和 TM1 来突出铁氧化物的波谱对比度(Spectral Contrast)是比较合理的。但 TM1 中的植被吸收带干扰较大,因此应用这一波段组合进行铁氧化物信息提取时,应消除植被干扰;TM5 和 TM7 的差异对于填绘含羟基矿物富集区是最有效的,但植被波谱曲线中由 TM5 到 TM7 的负斜率又同样干扰了羟基信息特征,也应通过适当方法进行消除;TM4 和 TM3 反射率的差异对于植被信息最敏感,也最具有特征性。

2.2 信息增强

遥感图象中不同的色调(Tone)和结构(Texture)的组合是地质体的波谱信息(岩石学、土壤学和蚀变矿物学等信息)和空间信息(构造与地貌等信息)的反映。对于蚀变信息提取,其核心是要突出遥感图象的波谱信息。比值和主成分分析是两种最常用的波谱信息增强手段。比值可以压抑地形变差,增大波谱对比度,突出特征信息,比值图象的解释主要依赖于用于比值的两波段之间的地物波谱曲线斜率

的大小;主成分分析则是利用一个特征向量算子作用于输入图象,将图象中的方差信息进行重新分配,利用其不同主成分浓缩信息的侧重不同,通过对特征向量载荷的判别分析,从某一个或某几个主成分中得到特征信息,它的基础是输入图象的相关性大小。主成分分析用于信息增强与提取,可以是多个输入图象,但由于特征信息(尤其是波谱信息)常常存在于级序较高的主成分中,因此多个图象作输入,使得级序较高的主成分中的噪声掩盖了特征波谱信息;另外,多个输入对于结果的解释也带来诸多困难,因此认为,对于突出特征波谱信息而言,采用只用两个最能显示特征信息的波段作为输入的主成分变换技术,即选择主成分分析(SPCA 即 Selective Principsl Component Analysis)较为妥当。那么,在信息增强时究竟是利用比值还是选择主成分分析好呢?

比值方法以地物波谱的斜率为依据,简单易行。但由于比值图象中的方差信息是分子和分母非线性叠加的结果,解释起来有时比较困难;此外,比值运算是比例相关的,在生成比值图象时对原始波段的不同处理,可以导致差别很大的比值图象,常常扩大异常区。选择主成分分析(SPCA)基于两个输入波段的相关性统计,当两波段相关性较大时,其第二主成分最大限度地突出了两个输入波段的波谱差异,地形等空间信息则主要体现在第一主成分中,同时由于选择主成分分析是一种只有两个输入的线性变换,结果易于解释,其原理可用二维离散图来表示,如图2。离散图中每一个点就是一个象元,其坐标由两输入图象的数字亮度值(DN)来决定。自然地物的

大部分图象数据都显示正态分布,因此在多数情况下,二维离散图均为椭圆。主成分分析就是通过对这个数据特征空间的旋转,产生两个新的数据集,即PC#1和PC#2(如图2),其中PC#1包含了两个输入图象的大部分方差信息(它与离散图中椭圆的长轴重合),两个输入图象中强烈相关的信息均表现在PC#1中,PC#1中的象元亮度值非常接近原始输入图象的平均值,因而PC#1反应了输入图象的空间信息;PC#2(同离散图中椭圆的短轴重合)包含了原始图象中相关性差的信息,更多的是波谱信息。在地形影响不大的情况下,地物的数字亮度值在二维离散图呈长短轴相差不大的椭圆形分布,但在地形起伏区,由于地形的影响,阳坡象元向亮度值增大方向移动,阴坡象元向亮度值减小方向移动,造成数据空间集群呈长椭圆形分布(如图2中虚线所示),其长轴(即PC#1)与数据点由于地形影响而发生移动的方向线一致,在与长轴垂直的方向(即PC#2)上,数据点受地形影响最小。由此可以看出,选择主成分分析,在增强特征信息的同时,也可以一定程度地压制地形变差。基于以上分析,认为当两个特征波段相关性较大时,采用选择主成分分析来增强信息;当两个波段相关性较小时,主成分分析已失去作用,此时应采用比值增强信息。

在本次研究的试验区,通过对8个子区TM5和TM7, TM5和TM1, TM3和TM4的相关性统计,发现TM5和TM7的相关系数大于0.9, TM5和TM1的相关系数大于0.8,而TM3和TM4的相关系数小于0.4,因此采用SPCA来增强含羟基矿物信息和含铁矿物信息,利用比值运算来突出植被信息。经SPCA后的第二主成分(PC#2)就包含了相应的蚀变信息。为描述和解译方便,对PC#2图象再进行适当的处理,使得蚀变信息在图象上呈亮色调,并把经过处理的PC#2图象称为蚀变信息增强图象。

2.3 植被掩模的生成

植被在近红外区(TM4)与红光区(TM3)的波谱差异在植被监测中是非常实用的。在对TM4作线性拉伸, TM3作对数拉伸(以扩展其低值区,突出植被在该波段的吸收特征)的基础上,进行TM4/TM3比值。在该比值图象上,其最亮区完全被植被所占据;在TM4(R), TM3(G), TM2(B)的假彩色图象上,红色毫不列外地显示植被。因此通过在TM4/TM3图象上人机交互式地选取一个阈值,同

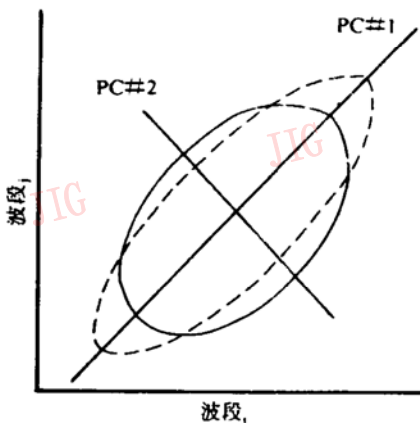


图2
Fig. 2

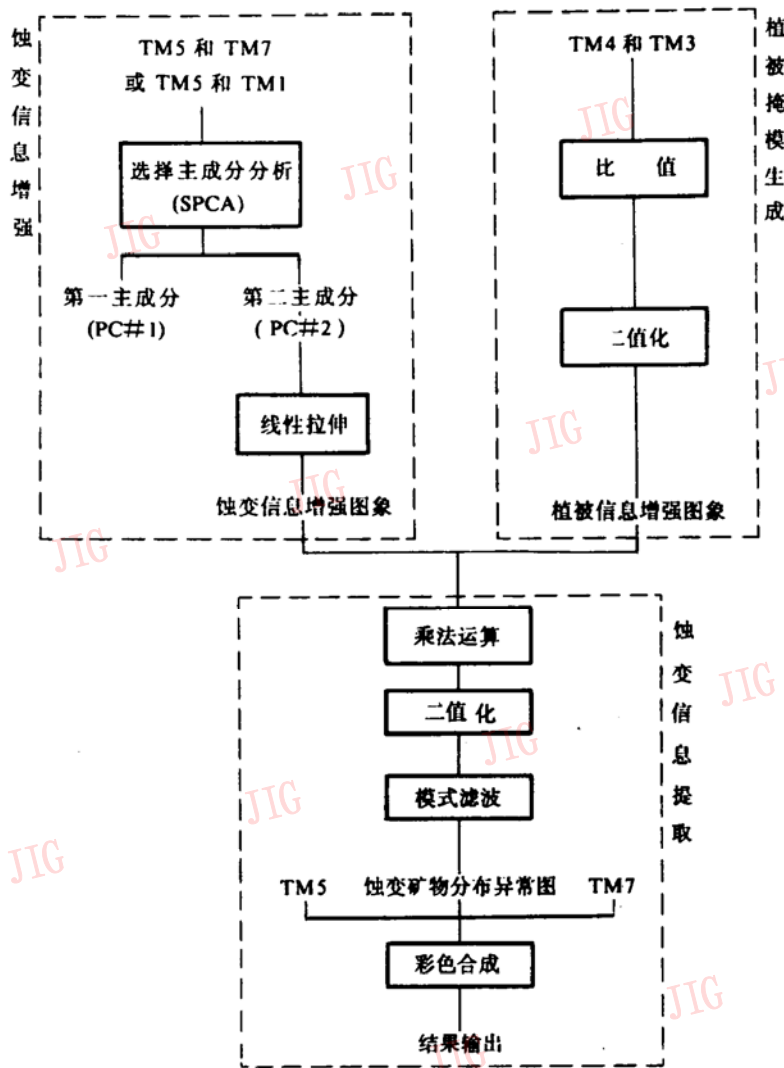


图3 CTVMF流程图

Fig. 3 Flow diagram of CTVMF

时对照同一地区的 TM4(R), TM3(G), TM2(B) 彩色图象, 对 TM4/TM3 比值图象进行二值化处理, 使得植被区为“0”, 非植被区为“1”, 生成一幅非植被地物分布区图即植被掩模(Vegetation Mask)。

2.4 蚀变信息的提取

把植被掩模与蚀变信息增强图象作乘法运算, 便得到一幅无植被干扰的图象。由于在蚀变信息增强图上, 蚀变信息总是以高亮度灰阶表示, 因此对已消除植被的图象再一次合适的二值化处理, 便可得到非植被地物蚀变信息分布图, 但阈值的选取是一个关键。在本研究中, 通过研究已消除植被的图象的灰度直方图, 并多次试验, 认为选整个灰度范围的高值区的 10% 作为阈值, 使大于这一阈值的象元亮度值为“1”, 小于这一阈值的象元亮度值为“0”, 较

为理想。但这样处理后的蚀变信息图象上, 图斑杂乱分布, 难以解译分析, 为了便于解译, 在研究中又应用 3×3 模式滤波器(Mode Filter)加以滤波, 使这一问题得到了较好地解决。

模式滤波是一种统计滤波, 它将滤波器所覆盖的象元按其灰度值进行排序, 然后计算该区域中各个灰度值出现的次数, 并将出现次数最多的那个灰度即模(Mode)作为滤波器所覆盖区域中心象元的值。对于二值图象, 其原理可用下式表示。

$$G(i, j) = \begin{cases} 1, & f(1) > f(0) \\ 0, & f(0) > f(1) \end{cases}$$

其中, $G(i, j)$ 表示滤波器覆盖区中心象元的灰度值; $f(1), f(0)$ 分别表示滤波器覆盖区中灰度值为“1”和“0”的象元出现的次数。

利用模式滤波的“清洁画面”功能, 去掉了图象

中的孤立点,得到了较为理想的蚀变矿物分布图。

二值化处理使得图象完全丢失地形信息,因此为了更好地解释和分析这些异常,将模式滤波后的图象(为描述方便,记为A)与TM通道中反映地形信息较好的波段一起进行彩色合成,在此选用了标准差和灰度范围都较大的TM5和TM7,颜色分配为A(R),TM5(G),TM7(B),这样即生成了既包括有地形信息,又有特征蚀变信息的彩色图象。CTVMMF的流程可用图3表示。

3 应用效果

研究中将试验区选在太行山中段麻棚岩体东南侧。此区植被覆盖率达20%—30%,出露地层主要为阜平群团泊口组的黑云斜长片麻岩和斜长角闪岩。燕山期中酸性岩浆活动强烈,构造破碎,蚀变普遍。地表许多地区土壤红化严重。金矿化及多金属矿化点多,现已发现石湖大型破碎蚀变岩型金矿(蚀变类型主要包括褐铁矿化、高岭土化、黄铁矿化和碳酸盐化等)。

选用该区1987年9月的TM数据,其统计结果见表1。

表1 试验区TM波段统计特性

Table 1 Statistic characteristics of TM bands in test site

波段	1	3	4	5	7
最大值	133	85	127	150	83
最小值	52	11	8	2	0
标准值	6.97	8.46	11.38	18.95	11.11
平均值	70.11	31.35	60.96	73.60	30.72
相关矩阵	1	3	4	5	7
1	1.00	0.82	0.46	0.84	0.91
3		1.00	0.40	0.79	0.83
4			1.00	0.72	0.60
5				1.00	0.95
7					1.00

在实验过程中,就彩色合成、比值及CTVMMF方法进行了尝试和对比。

3.1 彩色合成

选取TM4(R),TM5(G),TM7(B)进行彩色合成(图版I图4)。由于植被在TM4的反射率最高,植被象元在该图象上呈不同深浅的红色(如河流两侧及山脉的阴坡等)。随着混合象元中植被成分的递减,象元色调由鲜红色逐渐过渡到淡红色或黄色。从理论分析,无植被干扰的含OH根的蚀变矿物象元

在该图象上应呈黄色调(因为含OH根矿物在TM4和TM5呈相差不大的高反射率,而在TM7表现为明显的吸收),但由于植被象元同蚀变象元混在一起,再加上植被与蚀变矿物按不同比例组成混合象元,使得蚀变信息同植被信息混杂一体,很难从中提取感兴趣的蚀变信息。图中大面积的红色调或黄色调区域中,究竟哪些与蚀变有关,不得而知。同样,在用TM4(R),TM5(G)和TM1(B)的彩色合成图象提取铁氧化物信息时,也碰到类似问题。

3.2 比值及比值合成

分别进行了TM5/TM7, TM5/TM1, TM3/TM1等比值处理以及TM5/TM7(R), TM5/TM1(G), TM4/TM3(B)的彩色合成处理,生成的图象中反映的主要是植被信息,仍然无法提取蚀变信息。

3.3 CTVMMF

分别用TM5和TM7, TM5和TM1作选择主成分分析(SPCA)来突出含羟基矿物信息和含铁矿物信息,其特征向量矩阵及特征值见表2和表3。由表中可以看出,第二主成分反映了输入波段的差异,包含了有用的蚀变信息,但由于蚀变矿物吸收所在波段TM7或TM1,对于第二主成分(PC#2)的贡献为正,这使得在第二主成分中蚀变信息显示为低亮度值,为便于目视解译,将第二主成分图象进行减运算(Negate),使得蚀变信息显示为高亮度值。选用

表2 TM5和TM7的选择主成分分析

Table 2 SPCA of TM5 and TM7

输入波段	TM5	TM7	
均值	128.9	141.8	
标准差	73.2	34.3	
	特征向量矩阵		特征值(%)
PC#1	91.3	40.9	98.3
PC#2	-40.9	91.3	1.7

表3 TM5和TM1的选择主成分分析

Table 3 SPCA of TM5 and TM1

输入波段	TM5	TM1	
均值	128.9	75.9	
标准差	73.2	25.7	
	特征向量矩阵		特征值(%)
PC#1	84.6	53.3	93.6
PC#2	-53.3	84.6	6.4

TM4和TM3作比值来增强植被信息,应用前述的CTVMMF方法进行蚀变信息提取,分别得到了含

羟基矿物和含铁矿物异常分布图(图版 I 图 5 和图 6)。图 7 和图 8 是对图 5 和图 6 蚀变区域的解译图。由图可以看出,蚀变矿物异常分布区与金矿化分布有较好的相关性,地表查证也同样发现这些异常区有大量铁染和粘土化,民间采金活动普遍。尤其是含铁矿物的异常分布区同金矿化的关系更为密切,这同该试验区地表的大面积“红化”有关。另外,图 5 中部沿河谷、河床分布的异常区是由于河床泥沙沉积物中含有大量粘土矿物所致。仔细对图 6 中的土石矿区(A 区)的影象异常区进行分析,并与矿区主要

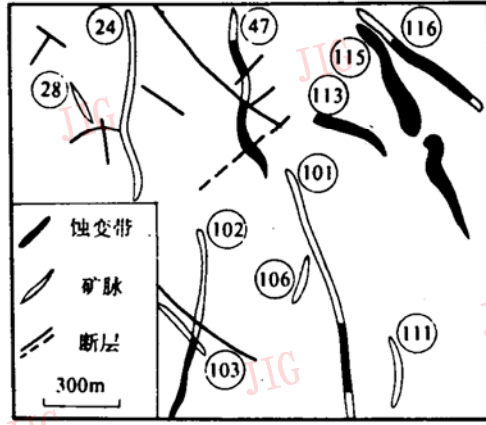


图 9 上石矿区主要矿脉及蚀变分布图

Fig. 9 Distribution of main mineral veins and alteration in TUSHI mine field¹⁾

矿脉及蚀变分布图(图 9)进行对比,发现一条分叉状异常(B 区)同矿区的 115 和 116 脉吻合极好,C 区的近南北向断续分布的线状异常也与 47 和 101 脉结伴而行。据矿区地质资料,116,101 及 47 号脉的地表褐铁矿蚀变非常发育(见图 9),这同由图象上得到的信息相符。

4 结 论

应用 TM 图象进行蚀变信息提取时,虽然植被对蚀变信息干扰较大,但在中等植被覆盖区,基于主成分分析的 CTVMFM 方法仍可得到较真实的蚀变矿物异常区。此方法明显优于传统的彩色合成和比值等方法。尤其是铁氧化物在地表外动力作用下,常常形成较大的铁染区时,对这种地区的识别,无论是对大范围的蚀变填图还是对一些较大的矿体的识别,都有非常重要的意义。

参 考 文 献

- [1] Rowan *et al.* Discrimination of Hydrothermally Altered and Unaltered Rocks in Visible and Near-infrared Multispectral Images. *Geophysics*, 1977, Vol. 42.
- [2] W. P. Loughlin. Principle Component Analysis for Alteration Mapping. Presented at the Eighth thematic Conference on Geological Remote Sensing, Denver, Colorado, USA, 1991, April 29-May 2.
- [3] S. J. Hook and T. J. Munday. Preprocessing and Analysis of Air-

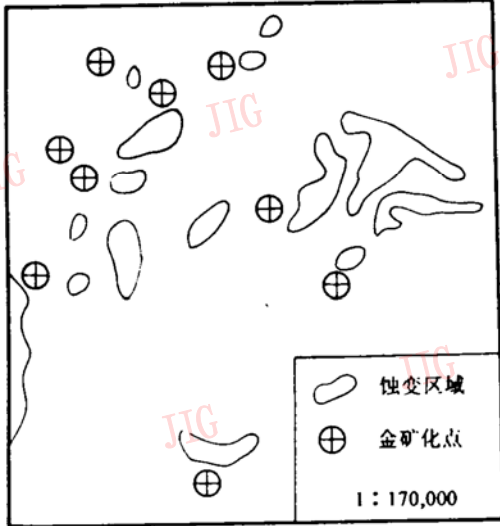


图 7 含羟基矿物异常分布区与金矿化关系图
Fig. 7 Relationship between anomaly areas of OH-bearing minerals and gold mineralization^{*}

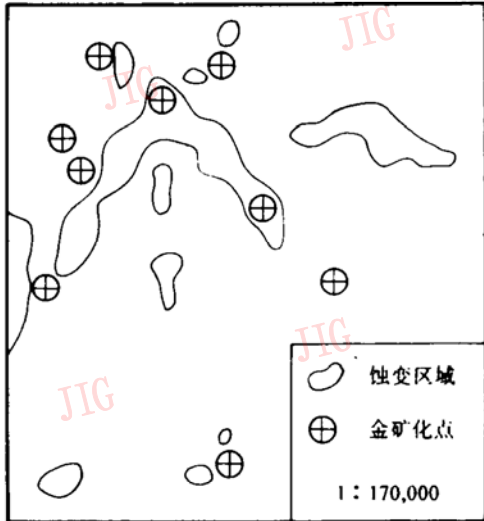


图 8 含铁氧化物异常分布区与金矿化关系图
Fig. 8 Relationship between anomaly areas of Fe oxides and gold mineralization

^{*} 冶金工业部第一冶金地质勘探公司第六分公司编。河北省灵寿县土石金矿区土岭矿段勘探地质报告, 1988。

borne Visible and Shortwave Infrared Data for the Detection of Alteration in Weathered Vegetated Terrain. Proceeding of IGARSS'88 Symposium, Edinburgh, Scotland, 1988, 13 - 16

sept.
[4] Dr. Carlo Maffi. Geological Interpretation & Field Evaluation of Remote Sensing Images, AMF, Adelaide, 1991.



张晋开, 1990年毕业于北京大学地质系地球化学专业, 获理学学士学位; 1993年7月在中国科学院遥感应用研究所获地图学与遥感专业硕士学位并留所工作至今。主要研究方向: 遥感地质、岩矿红外辐射特性研究。目前正从事红外遥感用于地震预报的科研工作。发表论文4篇。

A New Method for Alteration Extraction in Mid-vegetated Areas Using TM Data — Combined Technique of Vegetation Masking and Mode Filtering (CTVMMF) Based on Principal Component Analysis (PCA)

Zhang Jinkai Cui Chengyu Zi Yiqiao

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

ABSTRACT Reducing vegetation effects is very important for alteration extraction using TM Image Based on the spectral responds of minerals and vegetation in TM bands, TM5 and TM7 are selected for OH-bearing mineral spectral feature enhancement, TM5 and TM1 for iron oxides, TM4 and TM3 for vegetation in this paper. After comparing ratio composition, various PCA methods and other techniques for alteration extraction, CTVMMF is proposed This method has been successfully employed for the extraction of alteration information in test areas. Most of alteration belts derived form TM images are identified with gold mineralization areas and some linear alterations extended on the ground surface along the gold veins.

Keywords TM Image, Alteration, Principal component analysis, Vegetation masking, Mode filtering

“佳能”杯彩色设计大师有奖竞赛圆满结束

佳能香港有限公司与《微电脑世界》杂志、《电脑爱好者》杂志和《计算机世界》周报联合推出的“佳能”杯彩色设计大师有奖竞赛活动, 历时3个月, 终于圆满结束。参赛作品以纪念计算机诞生50周年为主题, 形式多样, 借助计算机高度的抽象和设计能力, 描绘出计算机诞生50周年以来与人类水乳交融的美好生活空间, 证明了主办单位的共

识: “借助于计算机和高品质的彩色打印机, 艺术对我们已经不再神秘, 每一个人都有机会成为‘彩色设计大师’。”

6月中旬, 由活动评委会从参赛作品中评选出获奖作品。感谢佳能香港有限公司、《微电脑世界》杂志、《电脑爱好者》杂志和《计算机世界》周报的大力支持, 特于本刊封底发表作品一等奖: 世纪之交, 以续读者。