

doi: 10.6046/gtzyyg.2012.02.07

基于 ETM⁺ 的遥感蚀变信息提取方法对比研究

张楠楠^{1,2}, 周可法^{1,3}, 陈曦¹, 李宏²

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆维吾尔自治区遥感中心, 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院新疆矿产资源研究中心, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 为从微观到宏观了解、掌握和运用围岩蚀变的特征与原岩特征, 寻找大型矿床或大型矿集区, 在总结常用遥感蚀变信息提取模型的基础上, 结合主成分分析(PCA)和支持向量机(SVM)算法, 建立了基于“掩模处理-主成分分析-支持向量机(MASK-PCA-SVM, MPS)”的遥感蚀变信息提取模型。在新疆哈图地区进行的基于 ETM⁺ 的不同蚀变信息提取模型应用对比研究表明, 使用常用模型提取出的蚀变信息和矿点吻合效果较差, 而基于 MPS 模型提取出的蚀变信息与已知矿点的吻合率可达 86.51%; 结合地质专家知识、地质图和一个已知异常点的分析结果表明, 基于 MPS 模型的蚀变信息提取精度较高, 在研究区地质应用中效果较好, 为今后该区的遥感蚀变信息提取工作提供了一种新思路。

关键词: ETM⁺; 蚀变; 信息提取; SVM

中图法分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2012)02-0034-07

0 引言

从遥感图像中深层次提取地学信息是地学定量分析的一项十分重要的工作。自遥感技术问世以来, 遥感数据种类多、数量大、信息丰富, 包含了地物的光谱信息、空间信息等, 很好地利用这些信息必将有利于目标信息的提取^[1-4]; 而如何从各类遥感数据源中有效、准确地提取相关专题所需的目标特征信息, 一直是遥感界努力探索的目标, 国内外遥感工作者都在不断地设计、研制和总结对这种遥感信息的提取和识别技术。蚀变信息是找矿的一个重要标志, 寻找与成矿相关的蚀变信息在地质找矿中有着举足轻重的作用。绝大部分内生矿床都伴随有相应的热液围岩蚀变; 围岩蚀变的特征与原岩特征从微观到宏观都有明显的区别, 了解、掌握和运用这种特征对寻找大型矿床或大型矿集区具有特别重要的地质意义^[5]。因此, 用数字处理技术从遥感图像中提取遥感蚀变信息, 可对缩小找矿范围和um和提高找矿准确度发挥重要作用。

近 30 a 来, 已有大量学者利用 ETM⁺, ASTER 或 SPOT 数据进行过遥感蚀变信息提取研究。在国外, 早在 1976 年, 戈茨利用短波红外波段 1.6 μm 和 2.2 μm 波长的两谱带反射比的比值定量划分了蚀变岩和未蚀变岩; Abrams^[6] 利用 TM 图像波段比

值 + 主成分变换方法排除了植被覆盖因素干扰, 提取了蚀变信息; Loughlin^[7] 利用 Landsat-5 TM 图像数据的 4 个波段(TM1, TM3, TM5 和 TM7 或 TM1, TM4, TM5 和 TM7), 设计了主成分变换 + 特定主因子求反的方法, 填制了巴西热带地区残积土壤中的三价铁和羟基蚀变岩信息图; Rokos 等^[8] 利用 TM, SPOT 数据, 用 B5/B7, B3/B1 等比值和主成分分析等数学运算进行了蚀变带的识别; Kusky 等^[9] 利用 B5/B7(R), B5/B1(G), B5/B4(B) 的假彩色合成及分析, 在阿拉伯—努比亚地盾的干旱气候下提取了金矿化蚀变信息; Tommasoa 等^[10] 在阿根廷利用 ASTER 数据的光谱信息及比值方法进行了蚀变信息提取及斑岩铜矿的识别。在国内, 刘燕君^[11] 在 MSS 图像上成功地把矿化点含矿围岩蚀变强烈部位增强出来; 赵元洪等^[12] 针对浙江新昌地区的植被覆盖问题采用 TM4/TM3 比值 + 主成分变换技术抑制植被干扰达到了提取蚀变信息的目的; 马建文^[13] 提出 TM 掩模 + 主成分变换 + 分类的识别、提取矿产弱信息方法, 在辽宁二道沟金矿提取了三价铁蚀变火山碎屑岩信息, 在河北华北地台北缘提取了含金钾化带信息; 刘素红等^[14] 利用 Gramschmidt 投影方法从高山区提取了 TM 数据中的含矿蚀变带信息; 张玉君等^[15-16] 总结了 ETM⁺(TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用的地质依据、波谱前提、方法选择和技术流程; 洪

收稿日期: 2011-05-26; 修订日期: 2011-07-02

基金项目: 中国科学院数字地球重点实验室开放基金项目(编号: 2011LDE005)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2007CB411308)、国家科技支撑计划(编号: 2006BAB07B07-04)、新疆自然科学基金项目(编号: 200821185)和新疆科技厅项目(编号: 200815116)共同资助。

金益等^[1]开始尝试利用 SVM 方法对 TM 数据进行蚀变信息提取;耿新霞等^[3]利用 ASTER 数据和主成分分析方法在新疆阿巴宫提取了铅锌矿蚀变信息;刁海等^[9]利用 ASTER 数据和主成分分析及分形模型计算异常灰度的阈值,提取了蚀变异常信息;邓吉秋等^[24]利用 TM 数据提取了锰矿化蚀变信息并利用该信息进行了成矿预测;另外,平仲良^[21]、张满郎^[22]、刘庆生等^[23]、李培军等^[24]、吕凤军等^[23]、张远飞等^[24]、程知言等^[27]在金矿蚀变信息的识别和增强提取方面也做了不少工作,获得了不少新认识。

1995 年,Vapnik^[28]提出了支持向量机(support vector machines,SVM)算法,我国最早见到的 SVM 方面的研究是在 2000 年以后^[29-30]。随后,SVM 在各领域的应用受到高度重视,并被广泛地应用于许多方面^[31-34]。但用 SVM 方法提取遥感蚀变信息的研究在国内外较少,尚处于起步阶段;把 SVM 和传统方法相结合进行有效的蚀变信息提取的研究则更少,只是在近两年陆续有人开始尝试利用 SVM 进行蚀变矿物信息提取。本文旨在利用比较容易获取到的 ETM⁺ 数据,结合 SVM 和传统的主成分分析,建

立基于“掩模处理-主成分分析-支持向量机(MASK-PCA-SVM,MPS)”的蚀变矿物提取模型,并在新疆哈图地区将本文提出的 MPS 方法与传统的方法进行了应用对比研究,探索出一种适合本研究区的遥感蚀变信息提取和识别方法。

1 研究区地质概况

作为研究区的新疆哈图地区位于准噶尔盆地西北缘,属于西准噶尔华力西期褶皱带扎依尔-达拉布特复向斜东段的北翼^[3]。区域地层以石炭系为主,包括下石炭统太勒古拉组(C_1t)、包古图组(C_1b)和希贝库拉斯组(C_1x);泥盆系地层出露较少,为中泥盆统巴尔雷克组(D_2b)及喀依尔巴依组(D_2k);第三系、第四系地层出现于山前及沟谷中^[6](图 1)。区内自北向南分布着哈图、安齐、达拉布特 3 条走向北东、大致平行的区域性断裂。区域内岩浆活动强烈,侵入岩发育,主要有钾长花岗岩(如哈图岩体、阿克巴斯套岩体及克拉玛依北岩体等)、斜长花岗岩、闪长岩及超基性岩等^[37]。

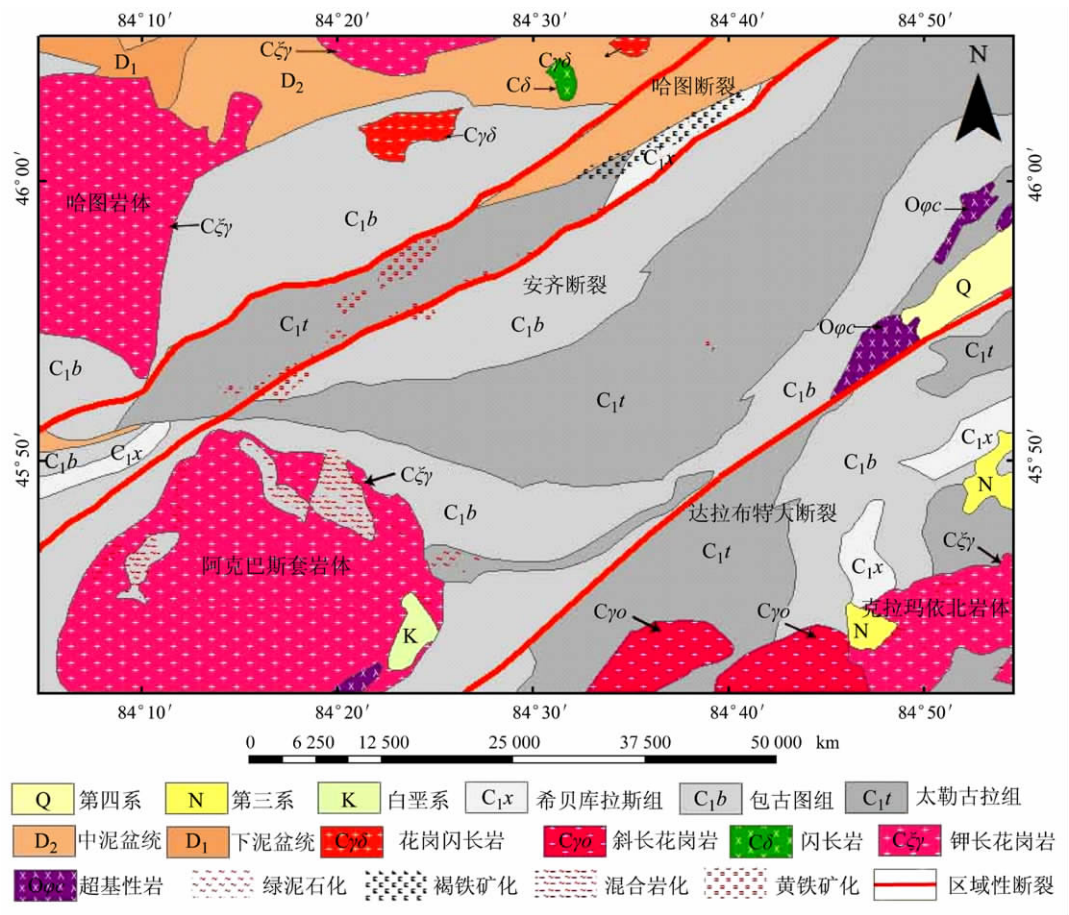


图 1 哈图地区地质简图
(根据 1:50 万地质图修编)
Fig. 1 Geological sketch - map of Hatu area
(based on the geological map at 1:500 000 scale)

同大多数金矿一样,矿区内围岩蚀变较发育,主要为黄铁矿化及毒砂化,其次为碳酸盐化、硅化、绢云母化和绿泥石化等^[8]。黄铁矿化及毒砂化较普遍,分布于脉岩的本身及其两侧,宽约 1~4 m,沿破碎带也有黄铁矿化分布。凡见有黄铁矿化和毒砂化的地方,均含有金;此两种蚀变程度愈强,含金亦愈富。在地表氧化带中,因受风化作用影响,黄铁矿和毒砂为褐铁矿所代替,并使岩石变成褐—红色,此种情况通称为“铁化”。硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化与成矿关系也极为密切。绢云母一类的矿物与其他金矿的重要蚀变岩——黄铁绢英岩中的绢云母相比,哈图金矿的绢云母颇似浅灰黄色腊状的粘土矿物,多出现在高品位的含金石英脉中,分布不均匀。本区蚀变带中的绿泥石因受到成矿后的强烈动力变质作用而严重片理化。

2 遥感蚀变信息提取模型综述

2.1 比值模型

比值分析(ratioing)是一种多光谱图像处理方法,由 2 个波段对应像元的灰度值之比或几个波段组合的对应像元灰度值之比获得^[9-40]。通常根据特定目标的反射率特征,选取反射率差值最大的 2 个波段来生成比值图像。利用蚀变矿物的吸收及反射光谱特征,有针对性地扩大要提取信息的对应波段的差异,突出目标信息,压制、消除或减弱地形阴影和植被的干扰。

根据蚀变矿物在 ETM⁺ 相关波段的光谱特征可总结出若干比值模型:含铁离子的蚀变矿物可用 ETM^+3/ETM^+1 提取;黄铁钾矾和赤铁矿可用 ETM^+5/ETM^+4 或 ETM^+3/ETM^+4 提取;含锰离子的蚀变矿物、含羟基的蚀变矿物和含碳酸根蚀变矿物可用 ETM^+5/ETM^+7 提取。

2.2 主成分模型

主成分分析(PCA)在数学上常被称为 KL 变换,是在统计上的多维正交线性变换^[41]。PCA 主要通过一次或多次坐标轴旋转变换后,使得原来在单波段图像上难以识别的目标信息在主成分图像上得到增强和分离。PCA 实际上能对图像数据进行集中和压缩,可将多光谱图像各波段中高度相关的信息集中到少数几个波段并尽可能保证这些波段的信息互不相关,即用几个综合性波段代表原图像的多个波段,使处理的数据量大幅度减少。目前,在遥感蚀变信息提取中常用的 PCA 是 Crosta 等^[42]提出的 Crosta 特征 PCA 方法,即利用 ETM⁺ 1,3,4,5 波段进

行 PCA 提取铁化蚀变信息,利用 ETM⁺ 1,4,5,7 波段进行 PCA 提取粘土化蚀变信息。

2.3 光谱角模型

光谱角制图(spectral angle mapper, SAM)方法是一种光谱匹配技术,这种技术基于估计像元光谱与样本光谱或是混合像元中端元组分(endmember)光谱的相似性来区分各像元点的光谱曲线^[43]。SAM 方法的原理是把光谱作为矢量投影到 N 维空间上(其维数 N 为试验时选取的所有波段数,各光谱曲线被看作有方向有长度的矢量,而各光谱之间形成的夹角叫作光谱角),该方法考虑的是光谱矢量的方向而非光谱矢量的长度。由于光谱矢量的长度关联到影像亮度而 SAM 方法对亮度值的影响并不敏感,所以当计算影像光谱角时, SAM 方法仅仅需要知道光谱矢量的方向而不关注影像本身的亮度。

2.4 MPS 模型

本文在常用模型和前人研究的基础上,提出了基于 MPS 的遥感矿化蚀变信息提取模型。MPS 的含义是: M 代表 MASK(即掩模处理), P 代表 PCA(即主成分分析), S 代表 SVM(即支持向量机处理)。SVM 是从线性可分情形下的最优分类超平面发展起来的,其基本思想是要使训练集的间隔最大化^[44](图 2)。

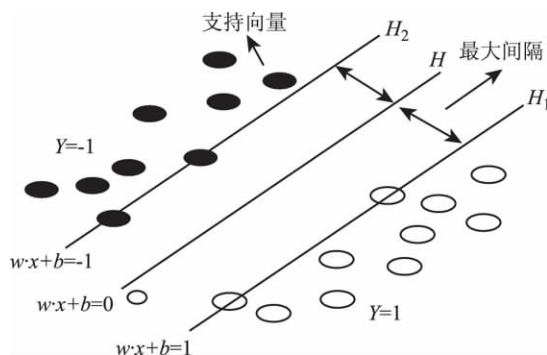


图 2 SVM 的基本思想示意图

Fig. 2 Sketch map of the basic idea of SVM

图 2 中的黑色圆点和白色圆点分别代表 2 类样本; H 是分类面, H_1 和 H_2 分别是穿过距离 2 类分类面最近的样本且平行于分类面的直线; 2 条直线之间的距离叫做分类间隔(margin)。所谓最优分类面就是要求分类面不但能将 2 类样本正确分开(训练错误率为 0),而且可使分类间隔最大。

基于 MPS 模型提取遥感矿化蚀变信息的整体思路(图 3)是:在通过掩模处理去除干扰信息的基础上进行 PCA; 利用 PCA 的结果与已知矿点进行比对,在图像与已知矿点相吻合的区域采集 SVM 所需的训练样本,对样本进行训练后对整个研究区进行矿化蚀变异常信息提取(具体过程将在另文中详述)。

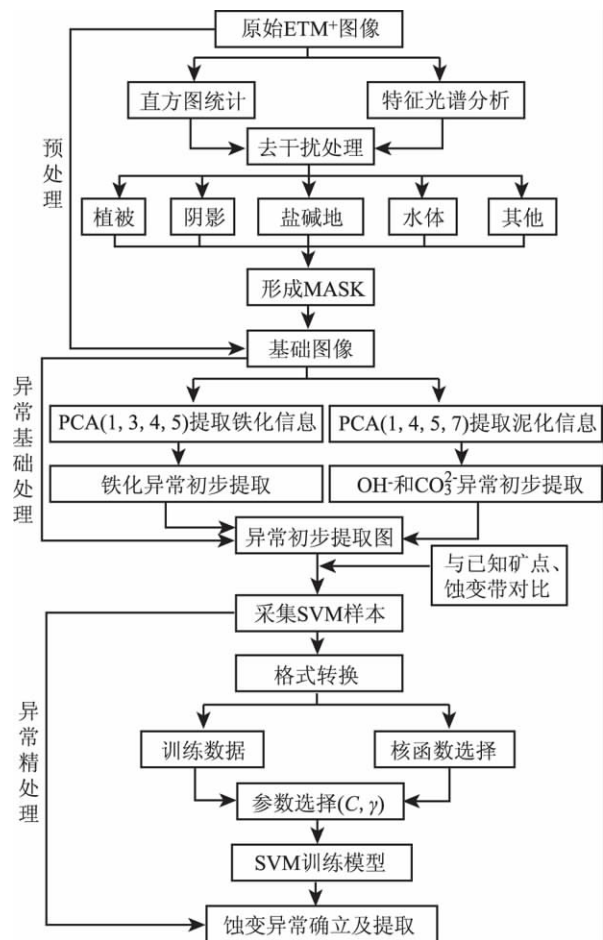


图 3 基于 MPS 模型的遥感蚀变信息提取流程图

Fig. 3 Flow chart of extracting alteration information from remote sensing image based on the MPS model

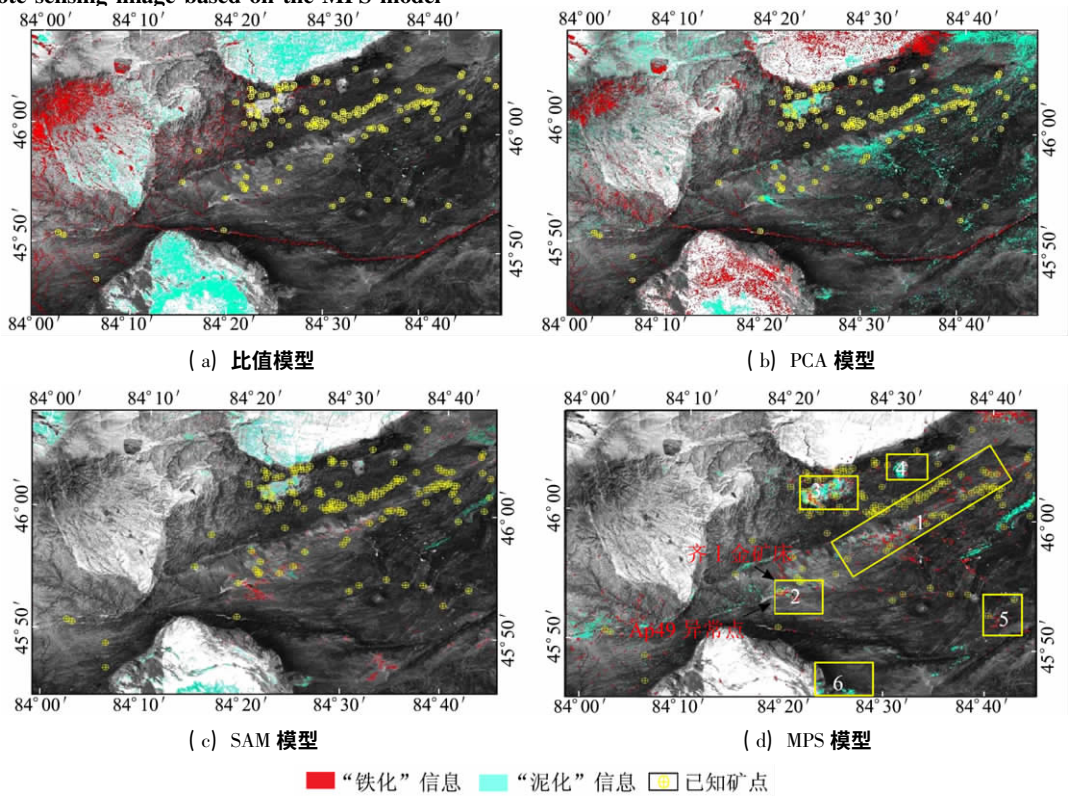


图 4 不同模型提取遥感矿化蚀变信息结果

Fig. 4 Mineralization alteration information extracted by different models using remote sensing methods

3 模型应用对比

为了进行不同模型提取遥感矿化蚀变信息的效果评价,同样用其他模型对哈图金矿地区进行了蚀变信息提取,几种模型的提取结果对比如下:

- 1) 分别用比值 $ETM^{+}3/ETM^{+}1$ 提取“铁化”信息,用比值 $ETM^{+}5/ETM^{+}7$ 提取“泥化”信息,提取结果见图 4(a) ;
- 2) 分别用常规的 PCA($ETM^{+}1,3,4,5$) 和 PCA($ETM^{+}1,4,5,7$) 提取“铁化”信息和“泥化”信息,提取结果见图 4(b) ;
- 3) 在已知矿点和蚀变带处采集样本光谱,用 SAM 提取“铁化”信息和“泥化”信息,光谱角阈值设为 0.25(该阈值最大设置为 1,为尽可能减少假异常,本文设置的阈值相对较低) ,提取结果见图 4(c) ;
- 4) 在选取核函数和最优参数后,用训练模型对整个图像进行识别,最终得到基于 MPS 模型的研究区蚀变信息提取图(图 4(d)) 。

图 4(a) —(d) 中,红色图斑代表“铁化”信息,蓝色图斑代表“泥化”信息,黄色的点代表已知矿点。

4 结果验证

本文用两种方法对上述提取结果进行验证。一种方法是利用地质图上的已知矿点及蚀变带作为查证依据,主要通过矿点及已知蚀变带与所提结果的吻合程度来进行对比验证;第二种方法是利用专家知识及已有的野外典型异常查证资料来进行验证。

4.1 与地质图对比验证

研究区地质图(图1)上标出的蚀变有黄铁矿化、绿泥石化、褐铁矿化、混合岩化等。对比地质图和图4(d)可以看出,除了阿克巴斯套岩体边缘的混合岩化体现较弱外,其他已知蚀变的地区在图4(d)上基本都有所反映。本文收集的该区已知矿点共126个,叠加到图4(d)上后,除了17个矿点吻合效果不好,其他矿点均与所提取的蚀变信息吻合较好,吻合率达86.51%。

比较图4(a)—(c)可以看出,用比值模型、PCA模型和SAM模型提取出的遥感蚀变异常中假异常都较多。其中,用比值模型提取出的假异常信息最多,提取出的“铁化”信息中大部分为植被信息,而“泥化”信息中大部分为高亮度岩体信息,与矿点吻合效果不好(只有24个矿点周边有蚀变信息,吻合率只有3.37%);用PCA模型提取出的遥感蚀变信息与比值模型相比,减少了部分假异常信息,但仍然有植被和高亮度岩体等信息存在,蚀变信息与矿点吻合率为69.05%;用SAM模型提取出的遥感蚀变信息与PCA模型相比,减少了植被的信息,但仍然存在一些高亮度岩体信息,蚀变信息与矿点吻合率为65.08%。MPS模型图(4(d))与其他3种模型相比,所提取出的遥感蚀变信息中几乎没有植被等假异常信息,而且和矿点吻合效果最好(与已知矿点的吻合率达86.51%)。

4.2 用专家知识验证

根据专家知识可知,图4(d)提取结果中的1—5号黄框内区域为野外地质专家确定的蚀变区,其中1号区域在哈图断裂附近,有着很好的容矿和导矿条件,因此发现矿点数量较多,也是蚀变数量多且蚀变强烈的地段,并且和地质图上的褐铁矿化及黄铁矿化蚀变的位置吻合较好;2号区域是齐I金矿床的所在区域,结合已有的地质资料,在齐I金矿西南约5 km的安齐断裂中部,存在Ap49异常点(其地表照片见图5),地表可见褐铁矿化。该区位于安齐断裂的上盘,处于构造破碎带,蚀变类型为硅化、黄铁矿化及碳酸盐化。



图5 Ap49异常区地表照片

Fig.5 Field photo of Ap49 abnormal area

从图4(d)中截取的图6可以看出,所提信息与地质资料描述相符。

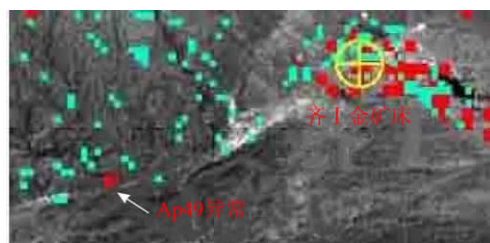


图6 Ap49异常区提取的蚀变信息

Fig.6 Alteration information extracted in Ap49 abnormal area

3号和4号区域为小岩体周边,发现的矿床也较多,并且该区域的小岩体周边已成为找矿的重点地段;5号区域的东侧也发现很多矿床蚀变比较强烈。6号区域则是从地质图上已知的有该区典型蚀变矿物绿泥石分布的区域。

5 结论

通过对3种传统模型和本文提出的MPS模型在新疆哈图地区进行蚀变遥感信息提取的对比研究可以看出:

1) 比值模型和主成分模型都容易造成假异常过多现象,光谱角模型受光谱分辨和空间分辨率的限制对数据要求较高。

2) 本文提出的基于“掩模处理—主成分分析—支持向量机(MASK-PCA-SVM,MPS)”的遥感蚀变信息提取模型的应用效果较好,与已知矿点吻合效果较好,避免了明显的假异常,突出了目标信息即矿化蚀变信息,在研究区与已知矿床吻合率达86.51%,并与地质图上的已知蚀变信息相吻合。另外,利用专家知识发现,所提的矿化蚀变信息与野外调查情况相符,与已有的野外典型异常的查证资料相符;所提取的遥感异常与野外Ap49点的异常特征描述相符、位置吻合。因此,本文的MPS蚀变信息提取模型,在很大程度上提高了蚀变异常信息提

取的精度,更有效地去除假异常信息,为蚀变信息提取提供了一种新思路。这种模型在其他地区也可以推广使用。

3) MPS 模型也存在一些问题,例如参数的选择需要在不同地区进行调整,处理整景图像时运行速度较慢,这些需要在今后的研究中进一步改进。

参考文献:

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 5 - 35.
- [2] 周成虎. 遥感影像地学理解与分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 11 - 20.
- [3] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 18 - 20.
- [4] 赵鹏大. 定量地学方法及应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 8 - 22.
- [5] 陈淳福, 梁有彬. 内生金矿床围岩蚀变及其找矿意义 [J]. 地质找矿论丛, 1999, 5(3): 63 - 70.
- [6] Abrams M J. Landsat - 4 Thematic Mapper and Thematic Mapper Simulator Data for a Porphyry Copper Deposit [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1984, 50(8): 1171 - 1173.
- [7] Loughlin W P. Principal Component Analysis for Alteration Mapping [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991, 57(9): 163 - 1169.
- [8] Rokos D, Argialas R, Mavrantza, et al. Structural Analysis for Gold Mineralization Using Remote Sensing and Geochemical Techniques in a GIS Environment: Island of Lesbos, Hellas [J]. Natural Resources Research, 2000, 9(4): 277 - 293.
- [9] Kusky T M, Talaat M R. Structural Controls on Neoproterozoic Mineralization in the South Eastern Desert, Egypt: an Integrated Field, Landsat TM, and SIR - C/X SAR Approach [J]. Journal of African Earth Sciences, 2002, 35(1): 107 - 121.
- [10] Tommasoa I D, Rubinstein N. Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data in the Infiernillo Porphyry Deposit, Argentina [J]. Ore Geology Reviews, 2007, 32(1 - 2): 275 - 290.
- [11] 刘燕君. 矿产信息的遥感地面模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 25 - 50.
- [12] 赵元洪, 张福祥, 陈南峰. 波段比值的主成份复合在热液蚀变信息提取中的应用 [J]. 国土资源遥感, 1991(3): 12 - 18.
- [13] 马建文. 利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究 [J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 208 - 213.
- [14] 刘素红, 马建文, 蔺启忠. 通过 Gram - Schmidt 投影方法在高山区提取 TM 数据中含矿蚀变带信息 [J]. 地质与勘探, 2000, 36(5): 62 - 65.
- [15] 张玉君, 杨建民, 陈 微. ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——地质依据和波谱前提 [J]. 国土资源遥感, 2002(4): 30 - 37.
- [16] 张玉君, 曾朝铭, 陈 微. ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程 [J]. 国土资源遥感, 2003(2): 44 - 49.
- [17] 洪金益, 姚学恒, 潘 东. 基于 SVM 遥感图像矿化信息提取试验 [J]. 矿业研究与开发, 2004, 24(5): 63 - 65.
- [18] 耿新霞, 杨建明, 姚佛军, 等. 新疆阿巴宫铅锌矿遥感找矿信息

- 提取及地化多元信息综合分析 [J]. 地质与勘探, 2011, 46(5): 942 - 952.
- [19] 刁 海, 张 达, 狄永军, 等. 基于主成分分析和分形模型的 ASTER 蚀变异常信息提取 [J]. 国土资源遥感, 2011(2): 75 - 80.
- [20] 邓吉秋, 谢 杨, 张宝一, 等. ETM⁺ 图像锰矿化蚀变信息提取与找矿预测 [J]. 国土资源遥感, 2011(1): 102 - 105.
- [21] 平仲良. 从陆地卫星 TM 数据提取胶东某地区某种类型金矿的围岩蚀变信息 [J]. 国土资源遥感, 1993(4): 42 - 45.
- [22] 张满郎. 金矿化蚀变信息提取中的主成分分析 [J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(3): 1 - 6.
- [23] 刘庆生, 燕守勋, 马超飞, 等. 内蒙哈达门沟金矿区山前钾化带遥感信息提取 [J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(3): 7 - 11.
- [24] 李培军, 龙玄耀, 刘 立. 基于 ASTER 数据的蛇绿岩组份识别: 以德尔尼矿区为例 [J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 1175 - 1180.
- [25] 吕凤军, 郝跃生, 石 静, 等. ASTER 遥感数据蚀变遥感异常提取研究 [J]. 地球学报, 2009, 30(2): 271 - 276.
- [26] 张远飞, 袁继明, 朱谷昌, 等. 基于遥感数据随机模型的空间结构分与蚀变信息提取 [J]. 国土资源遥感, 2010(4): 34 - 39.
- [27] 程知言, 赵培松. 云南播卡金矿蚀变信息提取及成矿预测 [J]. 国土资源遥感, 2011(2): 135 - 140.
- [28] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory [M]. New York: Springer - Verlag, 1995: 18 - 78.
- [29] Vapnik V N. 统计学习理论的本质 [M]. 张学工, 译. 北京: 清华大学出版社, 2000: 5 - 35.
- [30] 边肇琪. 模式识别 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 10 - 45.
- [31] Joachims T. Text Categorization with Support Vector Machines: Learning with Many Relevant Features [C] // Proceedings of ECML - 98, 10th European Conference on Machine Learning. 1998: 1225 - 1235.
- [32] Zien A, Rätsch G, Mika S, et al. Engineering Support Vector Machine Kernels that Recognize Translation Initiation Sites [C] // Proceedings of the 24th Annual International Conference on Machine Learning. Oxford: Oxford University Press, 2000: 799 - 807.
- [33] 卢增祥, 李衍达. 交互支持向量机学习算法及其应用 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1999, 39(7): 93 - 97.
- [34] 凌旭峰, 杨 杰, 叶晨洲. 基于支撑向量机的人脸识别技术 [J]. 红外与激光工程, 2002, 30(5): 318 - 327.
- [35] 刘鹏鹏. 新疆哈图金矿地质地球化学特征及其成矿作用 [J]. 黄金, 1995, 16(9): 2 - 6.
- [36] 魏少妮, 朱永峰. 新疆包古图中酸性岩浆侵位的 P - T - fO₂ 条件及岩体地球化学研究 [J]. 地质学报, 2010, 84(7): 1017 - 1029.
- [37] 李华芹, 陈富文, 蔡 红. 新疆西准噶尔地区不同类型金矿床 Rb - Sr 同位素年代研究 [J]. 地质学报, 2000, 74(2): 181 - 191.
- [38] 王治华, 张慧玉, 王科强, 等. ETM 图像数据中矿化蚀变信息的提取——以新疆哈图地区为例 [J]. 黄金, 2009, 30(2): 6 - 9.
- [39] 朱亮璞. 遥感地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999: 25 - 78.
- [40] 刘志杰, 韩先菊, 刘荫椿. 比值 - 特征主成分混合分析提取金矿蚀变信息——以赣南遂川地区为例 [J]. 黄金地质, 1999, 4(1): 74 - 77.
- [41] 李玉珍, 王宜怀. 主成分分析及算法 [J]. 苏州大学学报: 自然科学版, 2005, 21(1): 32 - 36.

- [42] Crósta A P, Moore J M. Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minas Gerais [C] // Proceedings of the 7th (ERIM) Thematic conference: Remote Sensing for Exploration Geology. Calgar, 1989: 225 – 255.
- [43] 安 斌, 陈书海, 严卫东. SAM 法在多光谱图像分类中的应用 [J]. 中国体视学与图像分析, 2005, 10(1): 55 – 60.
- [44] Vapnik V N. Statistical Learning Theory [M]. New York: Wiley, 1998: 3 – 55.

A Comparative Study of Extraction Methods for Alteration Information Based on ETM⁺

ZHANG Nan – nan^{1,2}, ZHOU Ke – fa^{1,3}, CHEN Xi¹, LI Hong²

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. Remote Sensing Center of Xinjiang Uyghur Autonomous Region, Urumqi 830011, China; 3. Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: In order to understand, grasp and apply the characteristics of altered wall rock and the original rock from microcosmic and macroscopic angles and look for large deposits or large ore districts, the authors summarized the common extraction models of alteration information, combined the principal component analysis (PCA) with support vector machines (SVM) to establish the MASK process – PCA – SVM (MPS) model, applied and comparatively studied these models in Hatu area of Xinjiang, and made use of the two methods to verify the extraction results. The results show that the extracting results of the common models are rather poorly consistent with the known deposits, but the alteration information extracted by MPS model is better concordant with the known mineral deposits and altered belts, with the coincidence rate arriving at 86. 51% . The combination of geological experts' knowledge with geological maps and a known anomaly spot reveals that the result of MPS model is in accord with the geological fact. Therefore, the extracting precision based on MPS model is higher than that of the common models, and the effect of application is fairly good in the study area. The model proposed in this paper provides a new idea for extracting remote sensing alteration information in the future.

Key words: ETM⁺; alteration; information extraction; SVM

第一作者简介: 张楠楠(1980 –), 女, 博士, 副研究员, 毕业于中国科学院新疆生态与地理研究所, 主要从事遥感地质及成矿预测方面的研究。E – mail: znn_0802@ 163. com。

(责任编辑: 刘心季)