

# 高寒山区矿化蚀变信息提取的应用研究

陈劲松<sup>①·③</sup>, 韩玲<sup>①</sup>, 王书青<sup>①</sup>, 汪帮耀<sup>②</sup>

(① 长安大学地测学院, 西安 710054; ② 长安大学资源学院, 西安 710054;

③ 云南农业大学水利水电与建筑学院, 昆明 650201)

**摘要:**从遥感影像中准确地提取矿化蚀变信息有着重要的理论和现实意义。本文中,作者利用 ETM+多光谱数据,针对新疆西天山地区特殊的高寒山区特点,提出了一种改进的光谱角分类法——定量光谱角分类法来进行矿化蚀变信息提取。通过试验研究表明,该方法能够有效地提取矿化蚀变信息,具有一定的理论参考价值。

**关键词:**遥感;蚀变;主成分分析;波谱角制图

**doi:**10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.015

**中图分类号:**TP79   **文献标识码:**A   **文章编号:**1000-3177(2012)120-0077-04

## Application Study on the Extraction of Mineralized Alteration in High and Cold Mountain Area

CHEN Jin-song<sup>①·③</sup>, HAN Ling<sup>①</sup>, WANG Shu-qing<sup>①</sup>, WANG Bang-yao<sup>②</sup>

(① College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054;

② College of Resource Science, Chang'an University, Xi'an 710054;

③ College of Water Conservancy and Hydropower and Architecture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201)

**Abstract:** Accurate extraction of mineralized alteration from remote sensing image has an important theoretical and realistic significance. In this paper, using ETM+ multispectral data, the author develops an improved spectral angle mapper——Quantitative Spectral Angle Mapper to extract mineralized alteration in high and cold mountain area of west Tianshan, Xinjiang. The test shows that Quantitative Spectral Angle Mapper can extract effectively mineralized alteration and the method has a certain theoretical reference value.

**Key words:** remote sensing; alteration; principal component analysis; spectral angle mapper

### 1 引言

随着人类进入 21 世纪信息化时代,人们对空间信息的需求空前的增长。遥感作为提供空间信息的一种重要信息来源,以其所具有的宏观性、时效性、直观性等特点越来越受到各国有有关部门的重视,遥感科学又迎来了一次大发展。

航天遥应用于地质领域始于上世纪 70 年代,经过了近 50 年的发展,遥感在地质行业诸多领域中得到了广泛应用,极大地推动了地质工作的有效开展。尤其是在矿产资源勘查以及成矿靶区预测方

面,遥感更发挥着无法替代的重要作用。

矿化蚀变信息是重要的找矿信息,利用遥感技术提取蚀变信息是遥感找矿的方法之一。几十年来,国内外学者在此方面做了许多研究,也取得了一定丰硕的成果。但针对矿化蚀变这种存在于遥感影像上的一种“弱信息”,它的提取方法有别于许多其他常规的信息提取,具有相当大的难度。因此,迄今为止所做的各种提取方法的研究都只能算是阶段性研究成果。而对于现存的各种方法所存在的一个主要问题就是缺乏普适性,推广性不是很理想。本文针对新疆西天山雾岭——查岗诺尔——智博——敦德——

收稿日期:2011-05-12   修订日期:2011-07-14

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金项目(编号 20090205110004)。

作者简介:陈劲松(1973~),男,湖北省钟祥市人,讲师,博士在读,主要从事多元地学信息技术研究。

E-mail: cjscom@126.com

备战铁矿带这一特殊高寒山区,经多种方法研究比较,提出了定量光谱角分类法,取得了较好的效果。

## 2 试验数据和方法

### 2.1 研究区概况

研究区位于新疆和静县巴仑台——巩乃斯以北查岗诺尔——备战铁矿一带,地处西天山中部,属深切切割中高山区,海拔一般在 3500m~3800m,其中 3500m 以上高山区为常年降雪区,气候寒冷,构造位置位于伊犁地块东北部。在石炭纪期间,本区属于博罗科努石炭纪活动陆缘带,分布有大面积的钙碱性火山岩套和钙碱性花岗岩,该活动陆缘带形成于伊连哈比尔古洋盆向南侧的 B 形俯冲过程,俯冲带的位置大体上位于以巴音沟蛇绿岩套为代表的北天山蛇绿岩带所在的位置。在二叠纪期间,天山地区出现了后碰撞伸展环境下的裂谷化过程,产生了数量较多的双峰式火山岩和 A 型花岗岩。研究区内构造活动强烈,火山机构十分发育,成矿地质条件十分有利。本区矿产资源丰富,除查岗诺尔和智博铁矿外,还有备战铁矿、敦德铁矿、雾嶺铁矿、古伦沟铁铅锌矿、胜利铜矿等一系列矿产地,已知矿产多与火山活动有成因联系。该区是寻找与火山活动有关的岩浆型和火山热液型铁铜多金属矿床和斑岩型铜矿最有利地区之一<sup>[1]</sup>。

### 2.2 研究方法和数据预处理

本次研究数据来源于美国马里兰大学提供的 ETM+ 数据,选用 1,2,3,4,5,7 六个多光谱波段,成像时间是 2000 年 8 月 7 日,景号:144/30,中心位置:43°11'22"N,85°9'56"E,采用 UTM 地图投影。图像的成像质量清晰,成像时间也是这一地区的冰川消融最多的季节,有利于冰川覆盖下的岩石最大程度的裸露。

根据对研究区实地的部分考察所发现的矿化蚀变出现和分布情况,以及此次研究所使用的遥感数据的空间和光谱分辨率特点,在认真分析总结了已有的各种矿化蚀变信息的提取方法基础上,本文认为:从遥感影像上提取矿化蚀变这种“弱信息”(这是从该信息所占整幅影像信息的比例来讲)主要是依据蚀变矿物比较微弱的波谱特征,对于提取这种信息之前所做的各项预处理工作,都应以尽可能不破坏原始数据的光谱特征为前提。对于传统的主成分分析法,虽然分析了蚀变矿物的光谱特征,采取了有针对性的增强蚀变信息,但在随后的信息提取方法中仍然是缺乏严密的理论依据,基本是属于一种非监督分类提取方法。本文也曾对研究区采用过传统的“去干扰异常主分量门限化技术”这一成熟的方法

来提取蚀变信息,但通过检查提取结果,发现该方法对于本次研究地区的效果令人很不满意,尤其是在对一些已知矿化点上均未能提取出已知蚀变信息。

因此,针对本次研究所采用的 ETM+ 这种宽波段遥感数据的能力特点,结合在研究区部分地区的实地考察成果,提出了本次蚀变信息的提取方法——定量光谱角分类法。这种方法简单易行,所要做的数据预处理主要是将原始遥感影像从灰度图像转变为反射率图像。其具体转化公式为:

$$L = gain * DN + bias \quad (1)$$

$$\rho = \pi L d_s^2 / (E_0 \cos \theta) \quad (2)$$

其中: $L$  是地物在大气顶部的辐射亮度, $DN$  是像元灰度值,增益( $gain$ )和偏移值( $bias$ )可从原始数据的头文件中得到, $\rho$  是地物反射率, $d_s$  为日地天文单位距离, $E_0$  为大气顶部的太阳辐照度, $\theta$  为成像时的太阳天顶角,从图像的头文件中读取<sup>[2]</sup>。

### 2.3 信息提取

矿化蚀变信息的提取有着充分的物理依据,主要是依据蚀变矿物的光谱特征和它在遥感影像上所表现出的波谱特性,本次研究所采用的信息提取方法——定量光谱角分类法仍然属于一种监督分类法。通过对研究区的部分实地调查结果和搜集到的有关资料情况的分析,发现该研究区出露地表的矿化蚀变主要有石榴石化、绿帘石—阳起石化、阳起石—磁铁矿化、蚀变大理岩化、碳酸盐化、绿帘石化等,出露地表的铁染矿化比较稀少,而比较普遍的是绿帘石化。这种矿化蚀变与研究区的矿藏分布有密切的关系,尤其是在靠近几个已知矿体的周围都发现分布着大量的绿帘石。因此,提取绿帘石化信息有着重要的指示意义,而本次研究所用的 ETM+ 数据的光谱特性及分辨率和空间分辨率的特点对提取该蚀变信息也提供了遥感数据保障。所以,绿帘石化信息被作为此次信息提取的主要对象。

#### 2.3.1 训练样本的选取

根据李小文、王锦地的观点,由于测量尺度的不同,地物波谱数据分为:材料波谱、端元波谱和遥感像元波谱。地物的非均一性导致了有的地物波谱虽然名称一样,但其所表征的地物并不相同<sup>[3]</sup>。本次研究虽然在野外实地也采集了大量的岩石实物标本,并且带回做了室内室外的测试得到了样品的材料光谱,但经过分析发现与所使用的遥感数据的像元波谱有较大的差异。因此,试验中直接从遥感影像中选取训练样本作为参考光谱,这些训练样本的选取是根据野外实地调查时用手持 GPS 机测定位置,然后在遥感影像上找到相对应的地理坐标位

置来确定的。因为两者都选用的是 WGS-84 椭球,UTM 投影,可以认为定位的精度在误差范围内。图 1 为在影像上选取的 24 处训练样本平均反射波谱。从波谱曲线可以看出,研究区的绿帘石化在 ETM+ 数据的 2 波段上有个弱反射,这与用肉眼观察到的矿物本身的浅绿色实际情况相符,并且由于含有羟基(OH<sup>-</sup>),绿帘石化在 5 波段有

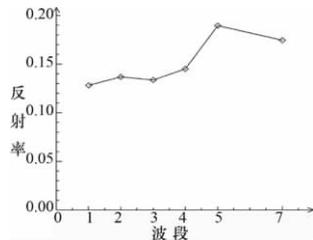


图 1 绿帘石化遥感像元波谱曲线

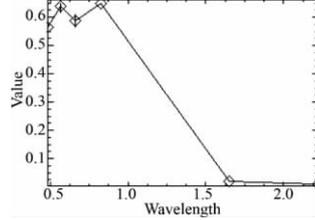


图 2 冰川遥感像元波谱曲线

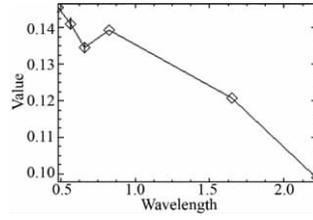


图 3 水体遥感像元波谱曲线

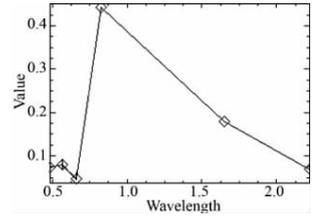


图 4 植被遥感像元波谱曲线

较高的反射率,而在 7 波段则为吸收。同时,还研究了遥感影像上其他一些主要的背景地物,如冰川(图 2)、水体(图 3)、植被(图 4)等的像元波谱,发现与绿帘石化的光谱特征存在很大的差异。因此,传统的蚀变信息提取方法中的剔除干扰的措施可以不使用,这对下面蚀变信息的提取不会造成太大的影响。

### 2.3.2 定量光谱角分类法信息提取

在选择了遥感影像上的训练样本作为参考后,我们来进行光谱角分类法的蚀变信息提取。

光谱角技术(Spectra Angle Mapper, SAM)是应用于高光谱数据的处理方法,SAM 是像元  $n$  个波段的光谱响应作为  $n$  维空间的矢量,通过计算它与参考光谱之间的广义夹角来表征其匹配程度。SAM 通过下式计算两个矢量以弧度为单位的夹角:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}}, \theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \quad (3)$$

式(3)中  $n$  为波段数,  $x = (x_1, x_2 \dots x_n)$  和  $y = (y_1, y_2 \dots y_n)$  分别表示两个光谱向量在  $n$  个波段上的属性值(一般取光谱反射率),  $\theta$  为光谱角。同类像元之间所夹的光谱角很小接近于 0,而不同类像元之间的光谱角则比较大,最大为 1<sup>[4]</sup>。

采用光谱角技术提取信息时,待提取的图像信息像元矢量与参考光谱矢量之间的广义夹角  $\theta$  的确定是关键。传统的确定光谱角  $\theta$  的方法大多是经验法,主要是通过分类提取后的效果来确定  $\theta$  的大小,缺乏理论依据。在这里,我们采用正态分布  $3\sigma$  原理来定量确定光谱角  $\theta$  的大小。

我们知道,观测值的偶然误差成正态分布,而且早在 1795 年德国数学家高斯就推导出偶然误差或然率曲线的函数表达式<sup>[5]</sup>,即高斯误差分布定律:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \quad (4)$$

式(4)中,  $\mu$  称为均值,  $\sigma$  称为标准误差。如果取  $k$  倍的标准误差,那么,任何一个观测值的误差介于

$\mu \pm k\sigma$  之间的或然率  $p$ ,如表 1 所示。

表 1 或然率与误差的关系<sup>[5]</sup>

$\kappa$	0.00	0.32	0.67	1.00	1.15	1.96	2.00	2.58	3.00
$\rho$	0.00	0.25	0.50	0.68	0.75	0.95	0.955	0.99	0.997

在这里,我们统计了所选的训练样本的反射光谱值以及计算了  $\mu + 3\sigma$  值,如表 2 所示。

表 2 训练样本的统计值

波段	$\mu$	$\sigma$	$\mu + 3\sigma$
1band	0.1281	0.01128	0.16197
2band	0.1369	0.0109	0.169567
3band	0.1337	0.01048	0.165145
4band	0.1448	0.009273	0.172661
5band	0.1895	0.019917	0.249226
7band	0.1747	0.019857	0.234307

我们把各波段的均值  $\mu$  和  $\mu + 3\sigma$  值组成两个光谱向量,即  $x = (0.1281, 0.1369, 0.1337, 0.1448, 0.1895, 0.1747)$  与  $y = (0.16197, 0.169567, 0.165145, 0.172661, 0.249226, 0.234307)$ ,用这两个向量来确定此次蚀变信息提取的广义夹角  $\theta$ ,计算得出  $\theta = 0.0412735$ 。我们用此光谱角进行了研究区的绿帘石化信息提取,图 5 为提取的蚀变信息部分结果遥感图。

### 3 结果分析

通过将试验所提取的蚀变信息结果同已有的研究区部分区域地质图和野外实际调查成果进行空间上的相关关系分析后,发现此次信息提取的结果有如下的规律:①大部分蚀变的分布与已调查出的地质构造线的位置有紧密的联系,也就是蚀变多出现

在地质构造线附近;②几个已知的铁矿点上或周围都存在着大量的蚀变信息,这一情况尤其明显地反映在从雾岭铁矿到备战铁矿这一条已知的铁铜矿成

矿带上;③从整个蚀变信息提取的情况来看,影像中的蚀变信息几乎没有同其他很明显的背景地物如:水系、冰川、植被、道路和居民地等有混淆。

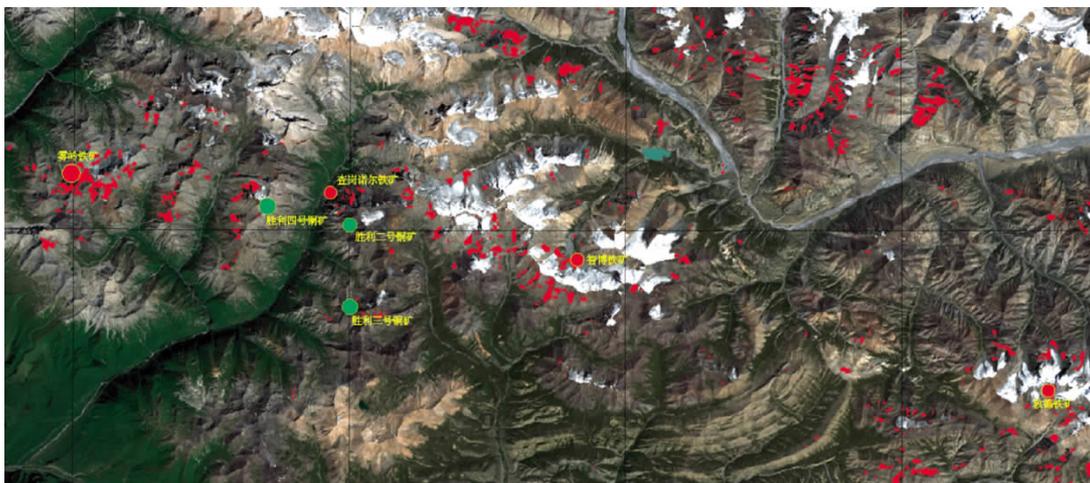


图5 绿帘石化信息提取结果(图中红色的部分为矿化蚀变)

因此,由以上的分析可以看到,本次针对新疆西天山以查岗诺尔—智博—敦德—备战铁矿带为中心的高寒山区所提出的定量光谱角分类法研究取得了较好的效果,达到了预期的蚀变信息提取目的。

感数据及本文所提出的方法,对于在一些缺乏地质工作的高寒山区提取绿帘石化蚀变信息有着较好的效果。这对今后类似地区的矿化蚀变信息提取研究有着重要的参考价值,同时也对地质找矿和圈定成矿靶区工作起到了一定的作用。

#### 4 结束语

通过本次研究可以看出,利用 ETM+多光谱遥

#### 参考文献

[1] 冯金星,石福品,汪帮耀,等. 西天山阿吾拉勒成矿带火山岩型铁矿[M]. 北京:地质出版社,2010:177.  
 [2] 邹林,杨自安,朱谷昌,等. 多光谱遥感蚀变信息提取新方法研究[J]. 地质与勘探,2006,42(6):72-73.  
 [3] 万华伟,王锦地,屈永华,等. 植被波谱空间尺度效应及尺度转换方法初步研究[J]. 遥感学报,2008,12(4).  
 [4] 丛利民,李国志,王登科,等. 光谱角技术在多光谱遥感蚀变异常提取工作中的应用[J]. 化工矿产地质,2009,31(4):242-243.  
 [5] 张玉君,曾朝铭,陈薇. 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,2003,56(2):47-49.

(上接第24页)

[4] Rango A, Gomez-Landesa E, Bleiweiss M, et al. Improved satellite snow mapping, snowmelt runoff forecasting and climate change simulations in the upper rio grande basin[J]. World Resource Review, 2003, 15(1): 25-41.  
 [5] Dozier J, Marks D. Snow mapping and classification from Landsat thematic mapper data[J]. Annals Glaciol., 1987(9): 1-7.  
 [6] Martinec J, Rango A. Parameter values for snowmelt runoff modelling[J]. Journal of Hydrology, 1986(84): 197-219.  
 [7] 马虹,程国栋. SRM 融雪径流模型在西天山巩乃斯河流域的应用实验[J]. 科学通报, 2003, 48(19): 2088-2093.  
 [8] 冯学智,李文君,史正涛,等. 卫星雪盖监测与玛纳斯河融雪径流模拟[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(1): 18-21.  
 [9] 冯学智,鲁安新,曾群柱. 中国主要牧区雪灾遥感监测评估模型研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 129-134.  
 [10] Hall D. K, Riggs G. A, Salomonson V. V, et al. MODIS snow-cover products[J]. Remote Sensing of Environment, 2002 (83): 181-194.  
 [11] 杨利普. 新疆综合自然区划概要[M]. 北京:科学出版社, 1987: 47-48.  
 [12] 黄晓东,张学通,李霞,等. 北疆牧区 MODIS 积雪产品 MOD10A1 和 MOD10A2 的精度分析与评价[J]. 冰川冻土, 2007, 29(5): 722-729.