

文章编号: 1007 4619 (2007) 01 0077 08

改进的光谱角制图沿照度方向分类法及其应用 ——以 ETM 数据为例

王 涛¹, 刘少峰², 杨金中³, 詹华明⁴, 张安定¹

(1. 鲁东大学地理与资源管理学院, 山东 烟台 264025; 2. 中国地质大学, 北京 100083;
3. 中国航空物探遥感中心, 北京 100083; 4. 天津华北地质勘查局地研所, 天津 300181)

摘 要: 选取多光谱遥感数据 (ETM) 对新疆北山西段中坡山笔架山一带进行了遥感蚀变信息提取方法研究。根据光谱角制图信息增强方法的优缺点, 通过对光谱照度的研究, 提出了结合光谱角分类方法进行沿光谱照度方向距离分类的信息提取方法。实验表明, 该方法应用于 ETM 数据, 增强了目标信息, 同时剔除掉因照度所产生的大量非目标信息, 为优化信息提供了一种有效的方法。在地形比较平坦的研究区取得了很好的应用效果。

关键词: 多光谱遥感; 超基性岩; 光谱角; 光谱照度; 信息优化

中图分类号: TP751.1 文献标识码: A

An Improved SAM Classification with Direction of Irradiance and Its Application——The Studies on ETM Data

WANG Tao¹, LIU Shao feng², YANG Jin zhong³, ZHAN Hua ming⁴, ZHANG An ding¹

(1. Ludong University, College of Geography and Resource Management, Shandong Yantai 264025, China;
2. China University of Geosciences Beijing 100083, China;
3. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources Beijing 100083, China;
4. Geological Institute of North China Geological Exploration Bureau of Tianjin, Tianjing 300181, China)

Abstract This paper took the western part of Beishan area in Xinjiang as an example to study the methods of extracting alteration information from multispectral remote sensing imagery. After studying advantages and disadvantages of spectral angle mapper (SAM), a method has been developed which improves SAM classification with irradiance of objects. This method has been successfully employed to the extraction of alteration information in the test areas. Comparing with spectral angle mapper method, this method is able to remove majority false anomaly information. An effective method to remove false anomaly information in multispectral remote sensing anomaly information extraction has been developed.

Key words multispectral remote sensing; ultramafic rock; spectral angle mapper; irradiance; remote sensing anomaly information optimization

1 引 言

遥感是不直接接触物体, 利用传感器探测地

表物体的电磁波谱特性, 了解物体的自然状态、特征或演化过程的技术。多光谱遥感技术在矿产资源勘探中的应用研究比较早, 开发了许多信息提取方法, 也取得了一定的成效。国外, A. S.

收稿日期: 2005 06 20; 修订日期: 2006 01 23

基金项目: 西部重要成矿带遥感找矿异常提取及应用研究 (编号 200220140001)。

作者简介: 王涛, 1975 年出生于中国地质大学 (北京) 地质系, 获硕士学位。现在鲁东大学地理与资源学院从事遥感与地理信息系统教学与科研工作。E-mail: w641@163.com。

Jasrotia^[1]利用 TM 数据,采用克罗斯塔技术及光谱角制图方法对印度拉贾斯坦邦 DAIPUR 地区金属矿化进行了成功的研究。国内,赵元洪^[2]用 TM 波段比值+主成分变换复合方法,排除了植被覆盖因素干扰,填制了蚀变带异常信息图。张满郎^[3]采用植被指数、比值主成分变换以及对植被掩模等方法,增强蚀变信息的同时尽可能排除植被干扰。王晓鹏^[4]先用特征波段比值、主成分分析、彩色空间变换、阈值分割等技术,在西昆仑塔什库尔干地区进行了遥感找矿异常的提取试验。杨金中等^[5]则对西部地区多光谱遥感蚀变信息提取方法研究进行了较系统的总结。

前人对地物波谱特征及多光谱遥感信息处理方法作了很好的研究和总结,采用的技术方法比较成熟,但应用效果不是很理想。对每种方法产生假异常原因研究较少。主成分变换是信息提取常用算法,刘素红^[6]曾对主成分变换方法进行研究并开发了多因子逐步正交变换算法软件,在提取峪耳崖金

矿带中岩性信息中,取得了较好的效果。对于其他常用的信息提取算法,讨论得较少,另外,对地物复杂性及各种干扰因素在信息提取中的影响机理研究更少。本文结合以探测大型、超大型矿床为目的的多光谱遥感蚀变信息提取项目,对光谱角制图方法应用于多光谱遥感信息提取进行了评价,指出光谱角制图方法产生误分类的原因,并提出对光谱角制图方法沿照度方向再分类的改进,应用于新疆北山地区,取得了很好的应用效果。为西部资源勘探中多光谱遥感信息的提取和优化,提供了新思路和新方法。

2 研究区概况

研究区位于北山山系西段中坡山和笔架山一带,面积约 10000 km² (图 1)。研究区为无人居住区,属典型大陆性干旱气候,为戈壁荒漠景观,植被发育稀少,交通条件极差,地质工作程度很低。

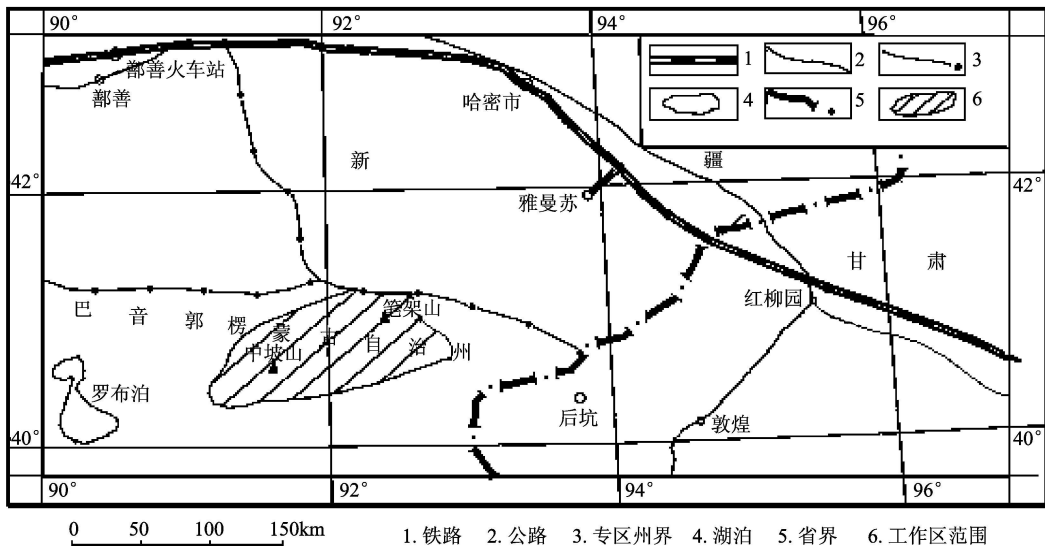


图 1 研究区位置图

Fig 1 Location of study area

研究区位于准噶尔板块和塔里木板块的缝合带靠近塔里木板块一侧,出露地层为下元古界至上古生界。区内侵入岩较发育,共有岩体 30 余个。超基性岩体、基性岩体、中性至酸性岩体区内均有出露。其中,基性、超基性岩主要为辉绿岩、辉长岩类。中酸性岩类主要以闪长岩至花岗岩类为主。区内已发现的矿床以铜镍和金为主。主要金矿有红十井金矿、大青山金矿等,主要铜矿有石门小铜矿点等。成矿作用主要与断裂和岩浆活动有关。

3 光谱角制图

光谱角制图是一种图像波谱与地物像元波谱或波谱库中地物波谱相匹配的分类技术^[7]。该算法将图像波谱看作 N 维空间中的向量,通过计算图像波谱同参考谱向量之间的“角度”来定义两者的相似性。两者的角度越小则两者的光谱相似性越大。

3.1 光谱角度与光谱距离

在光谱向量空间中,每一向量均具有特定的长度和方向。物质的“色”,是由像元向量的方向所确定;向量的长度同光照强度有关系,低照度像元距离原点近,高照度像元距离原点远。光谱角制图是基于波形分类的一种方法^[7]。在多光谱图像分类和聚类中,同样可以采用光谱角度作为分类尺度^[8]。

在多光谱遥感数据向量空间,假定二维空间中两像元点对应的向量为 v_1 和 v_2 (图 2),如果以系数 r 线性扩展向量 v_1 和 v_2 的长度,那么 v_1 与 v_2 间的光谱距离也将扩展 r 倍。假定以 rv_1 为参考谱,采用传统的基于距离的分类方法分类,在一定的照度允许范围内,有可能将向量 v_1 和 v_2 对应的像元漏分。即当一对样点彼此都是严格按线性比例变量,那么,在向量空间里,有可能无法通过定义向量距离的方法来实现两者之间的分类和聚类。但两向量之间的夹角非常小,两者的波形具有相似性,因而,采用光谱角制图能够实现两者的聚类。这是传统的基于距离分类的不足和基于波形分类光谱角制图的优势。

传感器的增益变化,大气和地形影响,使得相同类型地表物体彼此的光谱接近线性尺度变量^[9]。因此在遥感数据的多维空间里,可以通过测量“角度距离”来分类和聚类。

3.2 光谱的照度

遥感数据记录的是反映了地物照度信息的灰度值。由于地形、传感器的响应特性、大气影响、太阳辐射及其他随机性因素等的影响,使得遥感图像存在一定的辐射量失真,表现出像元照度的变化。

遥感传感器接收到的太阳光的辐射亮度和地面倾斜度有关。若处在坡度为 β 的倾斜面上的地物影像为 $g(x, y)$,则辐射校正后的图像 $f(x, y)$ 为

$$f(x, y) = \frac{g(x, y)}{\cos\beta} \quad (1)$$

在同一研究区,相同地物所在的地表倾斜面倾角 β 往往各不相同。因此,如果不考虑大气、传感器增益及其他因素对照度的影响,则地形的影响表现为线性因子。但在地势比较平坦的地区, $\cos\beta$ 接近于 1,地形对辐射的影响比较小。因此,在地势较平坦的区域,阳坡与阴坡相同类型地物在同一景数据中表现出的照度波动不是很大。由于蚀变信息往往具有分带和一定的空间分布范围的特点,因而,山体阳坡与阴坡的岩性往往具有相似性。另外,由于阴

影的存在能够干扰信息提取,在图像预处理中往往将其掩模掉。因而,在以探测大型、超大型矿床为目的的多光谱遥感蚀变信息提取中,在地形起伏不大的研究区,由地形引起的照度变化不大。在遥感蚀变信息提取中,经过较全面的图像预处理(去阴影和粗略大气校正)之后,基本可以减弱大气和地形的影响,使得相同类型地物之间的照度变化不大。

在二维空间中(见图 2),向量 v_1 和 rv_1 、 v_2 和 rv_2 以及向量 v_1 和 v_2 、 rv_1 和 rv_2 之间的距离呈线性比例关系,其在两个波段中对应的灰度值呈现比例关系。在波段坐标系中 v_1 和 rv_1 两向量在该两波段空间的斜率 (k_{v_1} , k_{rv_1}) 也呈线性比例。波段坐标中灰度值及斜率反映了波谱相似性。两者的波谱形态受系数 r 及 α 的影响。

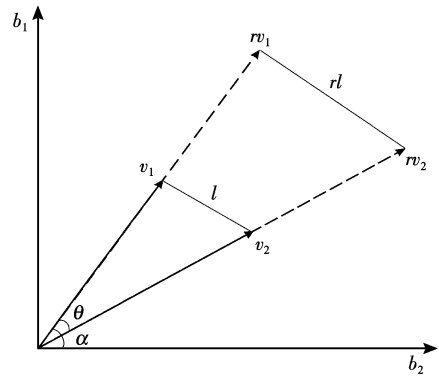


图 2 光谱角与光谱距离示意图^[9]

Fig 2 Spectral angle and spectral distance

$$b_{1v_1} = v_1 \sin\alpha \quad b_{2v_1} = v_1 \cos\alpha \quad (2)$$

$$b_{1rv_1} = rv_1 \sin\alpha \quad b_{2rv_1} = rv_1 \cos\alpha \quad (3)$$

$$k_{rv_1} = \frac{rv_1 (\sin\alpha - \cos\alpha)}{l_{(b_2 - b_1)}} \quad k_{v_1} = \frac{v_1 (\sin\alpha - \cos\alpha)}{l_{(b_2 - b_1)}} \quad (4)$$

图 3 是 TM 反射率数据,图 3 (b) 中在 TM4—5 波段二维空间中红色感兴趣区部分对应于图 3 (a) 中的岩体信息。红色训练区至原点之间存在着大量的像元,对应着照度低于岩体信息照度的像元。蓝色部分是在红色感兴趣区域地物的光谱角度范围内,选取模长短于红色感兴趣区域地物的像元。蓝色区域内所包含的地物在影像中的对应地物可分为阴影区、河流及山区植被(阴影)三大类(图 3 (a)),为低照度地物。低照度地物与参考谱并不具有相似性,因此在遥感数据的获取过程中,大气和地形的影响非常复杂,使得相同类型地表物体彼此的光谱只是接近线性尺度变量。因此,光谱角分类方法也存在明显的误分类问题。

因而,所设定的分类角度阈值、密集分布于原点附近的低照度以及高照度的非目标地物是光谱角分类方法产生误差的原因。

以本次试验区为例,选用 1999年 8月 27日,轨道号为 13932的 ETM数据 1, 2, 3, 4, 5, 7六个波段,采用 PCI图像处理软件处理数据。研究区为戈壁荒漠,地势比较平坦,因而相同地物照度变化不大。通过掩模技术对数据作必要的去除阴影、盐碱地、盐碱水体及零星植被的预处理。在经过去除阴影的预处理之后,向量空间中相同地物向量模长在一定范围内反映了相同地物照度的信息。由经验可知,蚀变矿物信息是微量信息,往往分布在距离向量空间原

点较远的区域。即,在地形起伏不大的研究区, TM数据向量空间中距离原点很近的数据反映的是阴影及其他低照度地物的信息,而蚀变矿物信息则分布于距离原点较远的区域。

研究区已知红十井金矿矿化体产于新疆北山裂谷南亚带、中上石炭统基性火成岩和火山碎屑岩中,受断裂控制的韧性剪切带型金矿床^[10],选择该矿体玄武岩围岩为参考谱,进行光谱角分类信息提取(分类角度为 2°)。对分类结果信息中,目标异常信息及假异常信息随机采样,按超基性岩、干河道、盐碱地及湿地分类,统计其向量模长。图 4和图 5是部分统计采集样点的图面位置及形成的图面波谱曲线。

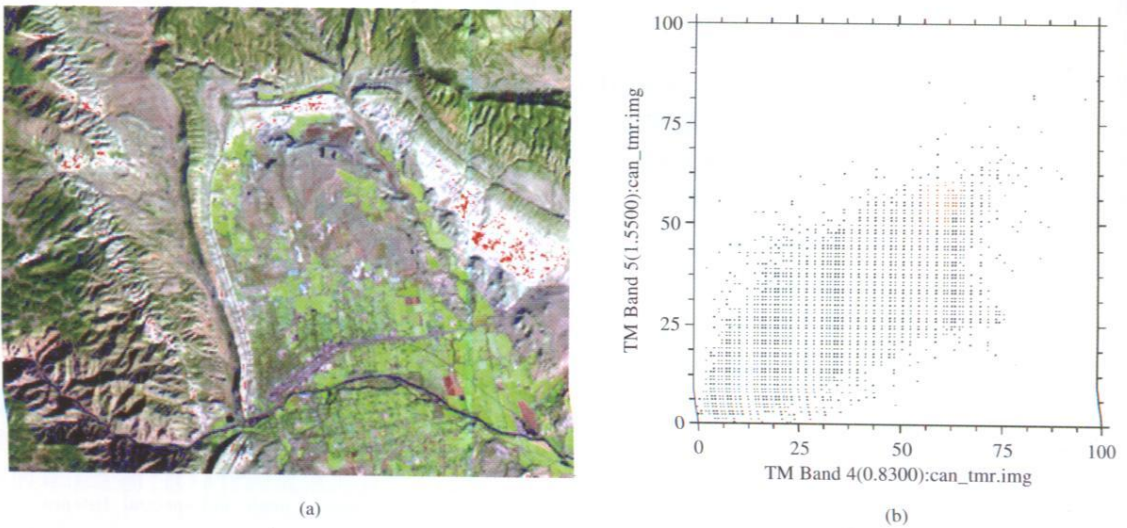


图 3 美国科罗拉多州 TM 数据(校准到反射率)

Fig.3 Landsat thematic mapper image of Colorado USA(calibrated to reflectance) and scatter plot(TM 4-5)

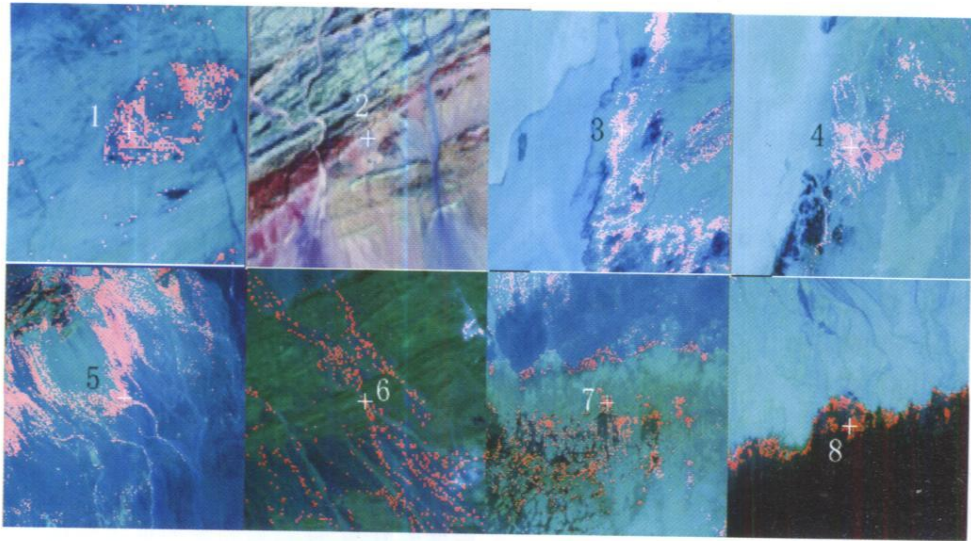


图 4 典型地物统计采样点图面位置(红色散点为异常信息)

Fig.4 Image positions of type samples

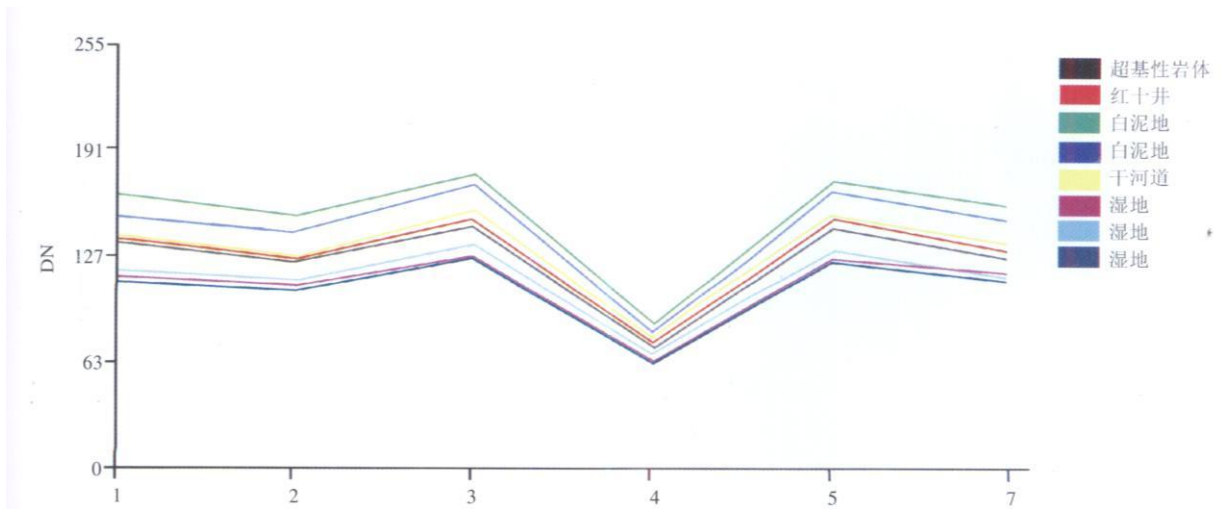


图 5 典型地物采样点形成图面波谱曲线

Fig 5 Relative reflectance for type samples

统计计算表明,盐碱地采样点的像元模长一般高于 255。图面采样点形成的图面波谱曲线 (3, 4号)各波段 DN值均高出其他地物的 DN值。干河道、盐碱地采样点的像元模长一般高于 250,这是由于在 TM1至 7波段,盐碱地呈高反射特点^[11]。湿地采样点的像元模长一般低于 280。图面采样点形成的图面波谱曲线 (6, 7, 8号)各波段 DN值均低于其他地物的 DN值。红十井金矿矿体玄武岩围岩及新发现的超基性岩体采样点图面光谱模长一般介于 200—225之间。图面采样点形成的图面波谱曲线 (1, 2号)介于盐碱地及湿地采样点图面波谱曲线之间。

可见,在多光谱遥感实际应用中,如果研究区地形因子影响不大,相同地物的向量模长在一定程度上反映了照度,而在向量模长的两个端点(很大、很小),更多的却是高照度和低照度的其他地物信息。

4 光谱角制图沿照度方向分类

由于研究区地形起伏不大,相同地物的照度在一定的范围内变化,光谱角制图不可避免会增强出那些照度很低或很高的非目标地物信息,从而产生误分类。因此提出光谱角沿照度方向分类。既可克服光谱角照度方向的误分类,又能利用其基于波形相似性分类的优点。

空间向量模长反映了照度强弱信息,最小距离分类方法是基于空间距离的分类方法。因此,通过光谱角分类结果信息与最小距离分类结果信息相乘,能够实现光谱角沿照度方向分类的目的(图 6)。

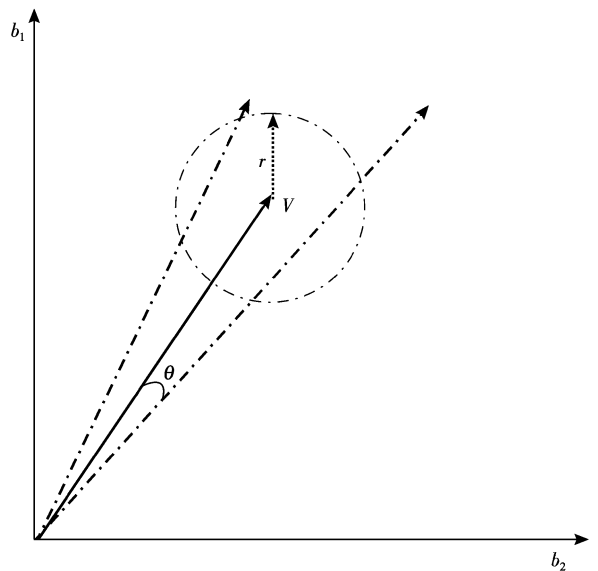


图 6 光谱角制图与最小距离分类示意图 (二维)

Fig 6 SAM classifier and minimum distance classifier

图 7是以红十井金矿矿体玄武岩围岩为训练区所做的光谱角分类结果(分类角度为 2°),该方法增强出发现的超基性岩体信息(图 7中红线所包含黄色散点信息),同时在罗布泊东缘和北缘存在较多的假异常信息。这些假异常信息主要是盐碱地及冲积扇。

采用光谱角制图提取的信息结果同最小距离分类结果相乘,实现了沿照度方向分类。单纯光谱角提取结果信息图像中大部分干扰信息,如盐碱地、干河道沉积物(图 7右下)及湿地(图 7左)干扰信息已经被去除掉(图 8)。而发现的超基性岩体信息同

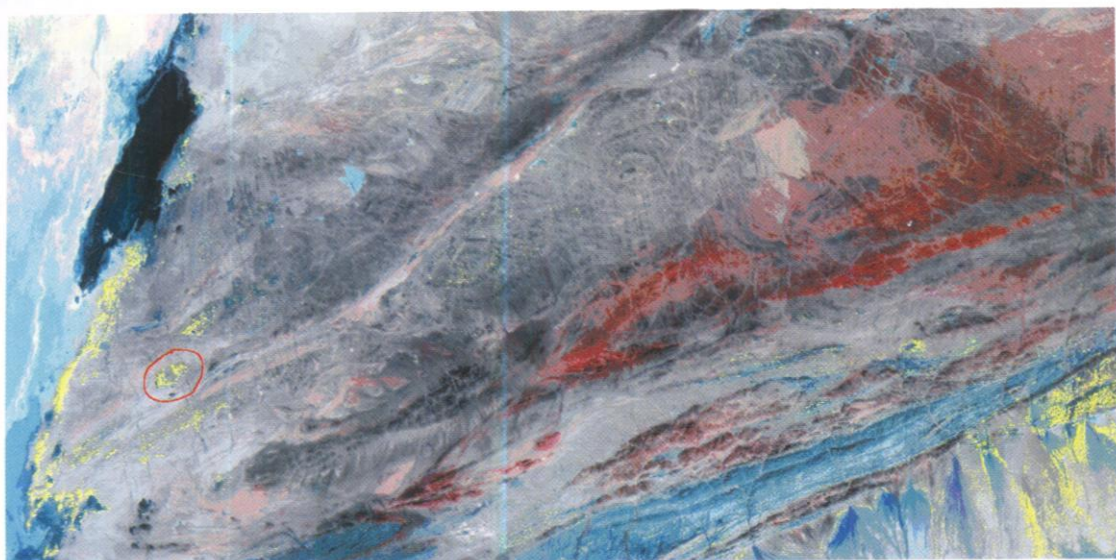


图 7 红十井金矿矿点光谱角分类结果图(分类角度为 1.0)(黄色)

Fig.7 SAM classification results of Hong shijing Gold deposit

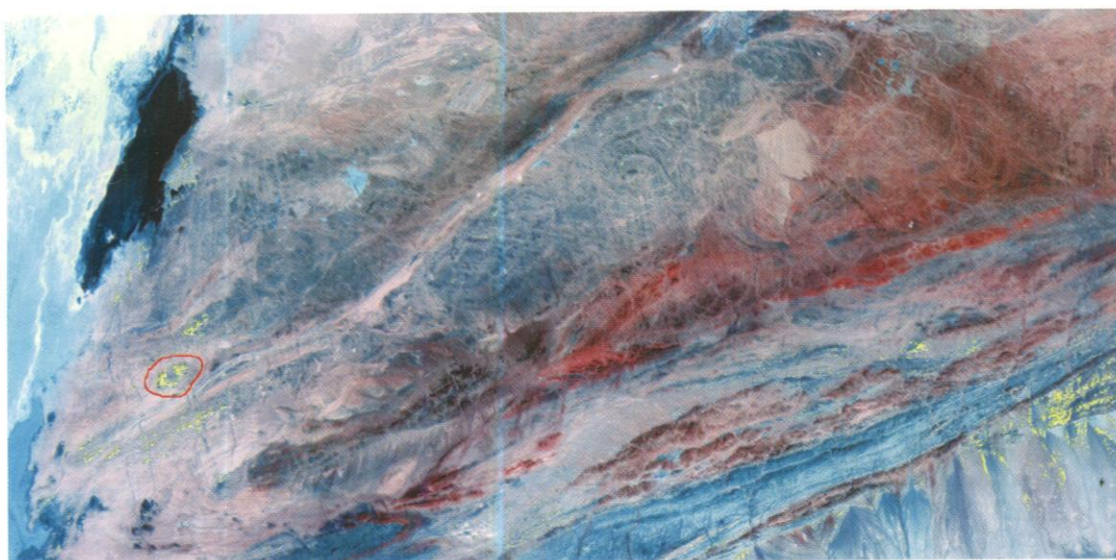


图 8 光谱角分类结果同最小距离分类结果信息相乘信息图(黄色)

Fig.8 SAM+minimum distance classification results of Hong shijing Gold deposit

样得到增强和突出(图 9)。

采用光谱角制图与最小距离分类结果相乘能够有效去除单纯光谱角分类所产生的部分假异常信息。图 10(a)为单纯光谱角分类局部结果。3, 4 号点位于研究区南端冲积扇及罗布泊边缘盐碱湿地; 1 号点位于研究区西端罗布泊东边缘盐碱地; 2 号点是位于笔架山区域的干河道盐碱地。所裁减图像的区域均出现较多的假异常信息(红色散点信息)。由于其波谱曲线同参考波谱曲线形态相近, 因而在图像预处理阶段将这些信息掩模去除掉。图 10(b)是以相同参考谱光谱角分类与最小距离分类

相乘的信息图。以上 4 个裁减区域的假异常信息被去除得很好。

5 结 果

根据所提取的遥感异常与已知矿床、矿化点的吻合性, 对异常区进行评价。2004 年 7 月 1 日至 8 月 1 日, 作者跟随中国地质科学院深入罗布泊腹地, 对圈定的异常区进行评价。经过历时一个月的野外验证, 发现圈定的遥感异常点均出现不同程度的蚀变现象。研究区已知主要矿点均落在蚀变异

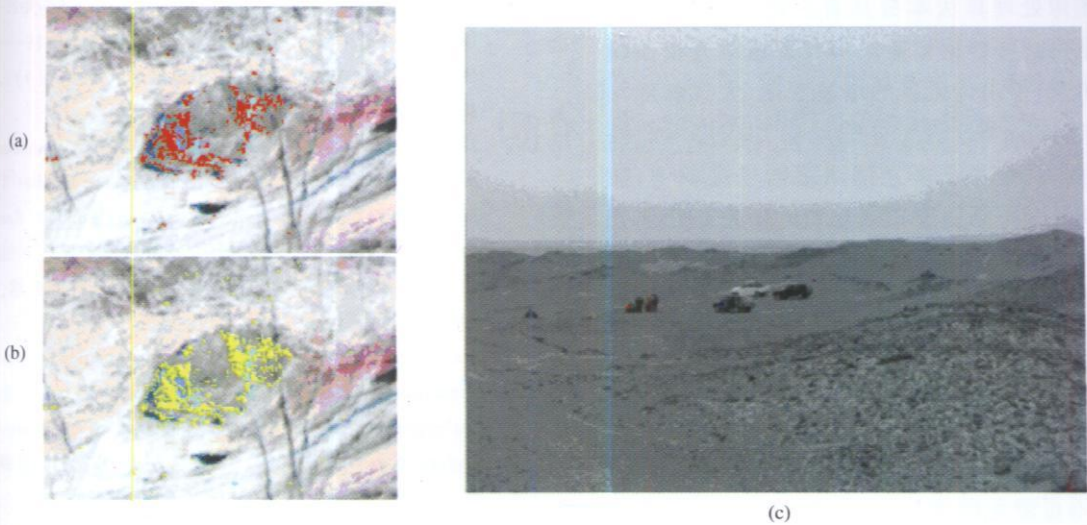


图 9 新发现超基性岩体位置

(a) 光谱角制图 + 最小距离分类方法新发现超基性岩体(红色图例); (b) 光谱角制图方法新发现超基性岩体(黄色图例);
(c) 新发现超基性岩体野外照片

Fig.9 Position of the newly-discovered ultramafic rocks

(a) Image position by means of SAM classifier plus Minimum Distance classifier; (b) Image position by means of SAM; (c) Photoed in the field

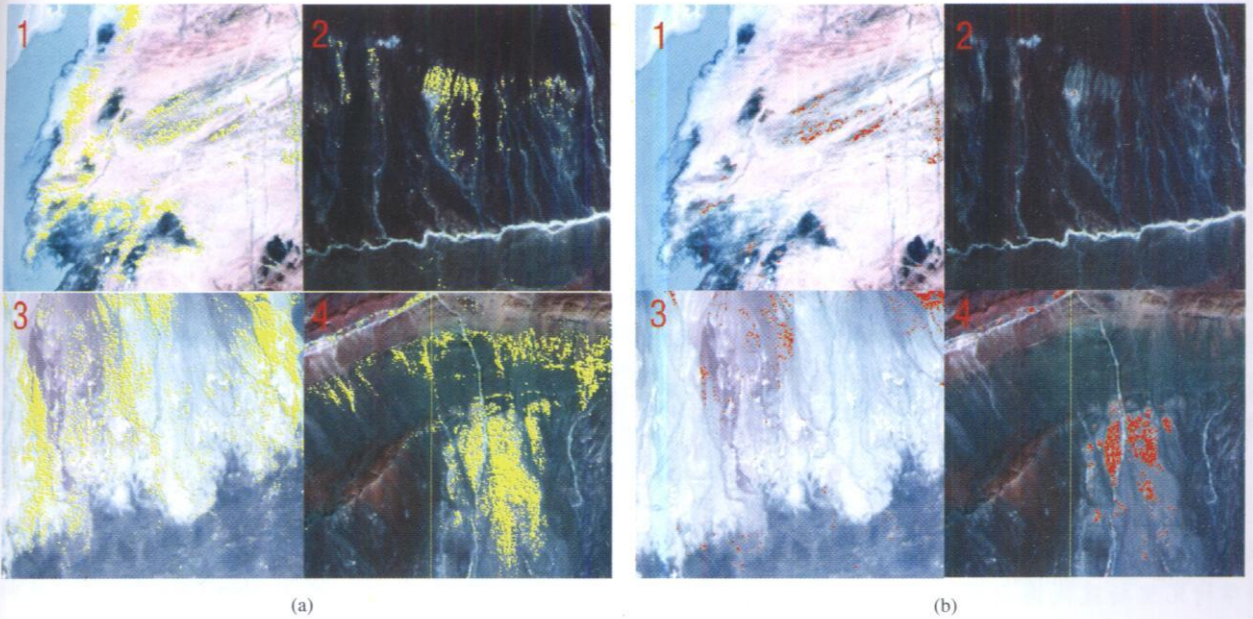


图 10 光谱角制图与光谱角 + 最小距离分类比较图

(a) 光谱角制图信息图; (b) 光谱角 + 最小距离信息图

Fig. 10 Results Contrast of SAM classification and SAM + Minmum Distance classification

(a) Results of SAM classification; (b) Results of SAM + Minmum distance classification

常区内或附近;并于罗布泊东缘处新发现一大型超基性岩体(图 9)。野外对新发现超基性岩体采样,其实验室化学鉴定铜的品位接近边界品位。部分样品,铜的品位已经超过边界品位。2004年 10月新疆地质六队在该超基性岩体成矿远景区开展了挖槽勘探工作

6 结 论

多光谱遥感蚀变信息提取是目前遥感找矿研究的热点,技术应用也比较成熟有效。但由于同物异谱和同谱异物现象的存在,多光谱波段较宽以及目

前采用的图像处理算法本身具有一定的缺陷,因而提取的信息可解释性比较差。本文通过对光谱角制图方法的研究,指出传感器的增益变化、大气和地形影响,使得相同类型地表物体彼此的光谱接近线性尺度变量,因而,应用于多光谱遥感信息提取中,能够提取识别具有不同照度相同地物的信息。在多光谱遥感数据向量空间中,尤其对于地形比较平坦的研究区来说,照度受地形影响不很大,并且在信息提取之前通常需要将阴影作为干扰通过掩模技术去除掉,使得相同地物的照度,即像元点向量模长在一定的范围内波动变化。距离原点近的像元点都是阴影及低照度地物信息,采用光谱角制图法增强目标信息的同时,不可避免的增强了低照度或高照度的其他地物信息。为克服这一问题,提出了光谱角制图沿照度方向,即向量模长方向分类的信息提取方法,并应用于新疆北山西段地势平坦的研究区,取得了很好的应用效果:增强目标信息(超基性岩体)的同时,排除掉单纯光谱角分类方法所产生的大量假异常信息,实现了异常信息的优化和筛选。

实验结果证明了光谱角制图沿照度方向分类用于地势较平坦地区蚀变信息提取后处理,能够克服该方法在照度方向的误分类,提高异常信息可解释性。光谱角制图沿照度方向分类的方法具有较高的可靠性。在西部资源勘探遥感扫面工程中,在没有出现新的算法之前,这种比较成熟的算法且了解其优缺点,并通过对其之进行改进或合理的组合来提高信息的可解释性却是非常有现实意义的。从而为目前多光谱遥感蚀变信息的提取和优化提供了一种新的思路。

致 谢 信息提取中,得到航空物探遥感中心张玉君教授的指导,野外验证过程得到了中国地质科学研究院杨建民博士及新疆哈密地质六队的帮助,在此表示感谢和敬意。

参 考 文 献 (References)

- [1] Jasrotia A S, Das I C. Spectral Characterization for Base Metal Mineralization and its Probable Extension in Udaipur area, Rajasthan [R]. http://www.geospatialtoday.com/articles/articles31_40.asp
- [2] Zhao Y H, Chen L, Zhang F X, et al The New Methods for Extracting Thematic Information: The Studies on the Methods of Directional Transformation and Logical Intersection [J]. Remote Sensing of Environment (China), 1994, 9 (4): 296—302. [赵元洪, 陈岚, 张福祥等. 遥感图像专题信息提取新方法——定向变换和逻辑取与法研究 [J]. 环境遥感, 1994, 9 (4): 296—302.]
- [3] Zhang M L. Gold Mineralized Alteration Enhancement at Moderately Vegetation Covered Area by Using Landsat TM and JERS 1 OPS Data [J]. Remote Sensing for Land & Resources 1996, (4): 52—56. [张满郎. 中等植被覆盖区金矿蚀变 TM 及 JERS 1 OPS 遥感信息增强技术 [J]. 国土资源遥感, 1996, (4): 52—56.]
- [4] Wang X P, Xie Z Q, Wu Y Z. Information Extraction of Mineralizing Alteration from ETM Space Image Taking Taxkorgan Area of West Kunlun Mountain as an Example [J]. Geology & Resources 2002, 11 (2): 119—122. [王晓鹏, 谢志清, 吴跃中. ETM 图像数据中矿化蚀变信息的提取——以西昆仑塔什库尔干地区为例 [J]. 地质与资源, 2002, 11 (2): 119—122.]
- [5] Yang J Z, Fang H B, Zhang Y J, et al Remote Sensing and Maly Extraction in Important Metallogenic Belts of Western China [J]. Remote Sensing for Land & Resources 2003, (3): 50—53. [杨金中, 方洪宾, 张玉君等. 中国西部重要成矿带遥感找矿异常提取的方法研究 [J]. 国土资源遥感, 2003, (3): 50—53.]
- [6] Liu S H, Ma J W, Lin Q Z. Separation of Rock Information from Remote Sensing Data Using Masking Technique and Step wise Orthogonal Transformation Algorithm [J]. Journal of Remote Sensing, 1999, 3 (4): 295—299. [刘素红, 马建文, 蔺启忠. 利用掩模和多因子逐步正交变换区分遥感数据中的岩性信息 [J]. 遥感学报, 1999, 3 (4): 295—299.]
- [7] Kruse F A, Lefkoff A B, Boardman J B, et al The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data [J]. Remote Sens Environ, 1993, 44: 145—163.
- [8] Youngsinn Sohn, N. Sanjay Rebella Supervised and Unsupervised Spectral Angle Classifier [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68 (12): 1271—1280.
- [9] Sohn Y, Moran E, Gurri F. Deforestation in North central Yucatan (1985—1995): Mapping Secondary Succession of Forest and Agricultural Land Use in Sothta Using the Cosine of the Angle Concept [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1999, 65 (8): 947—958.
- [10] Zhou J Y, Cui B F, Xiao H L, et al Geological Characteristics and Mineralization Prediction of the Hongshijing Gold Deposit in Ruoqiang Xinjiang [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77 (1): 105—112. [周济元, 崔炳芳, 肖惠良等. 新疆若羌县红十井金矿地质特征及深部成矿预测 [J]. 地质学报, 2003, 77 (1): 105—112.]
- [11] Howari Goodell P C, Miyamoto S, et al Spectral Properties of Salt Crusts Formed on Saline Soils <http://intl.jeq.scijournals.org/cgi/content/full/31/5/1453>