

基于光谱匹配滤波的蚀变信息提取

甘甫平^{1,2)} 王润生²⁾ 马蔼乃¹⁾ 张宗贵²⁾

¹⁾(北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871) ²⁾(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要 从遥感图象中提取出围岩蚀变信息, 一直是资源遥感应用与评价的重点与难点. 在光谱-空间匹配滤波的基础上, 发展了基于光谱匹配的蚀变信息提取方法. 该方法在 0-均值空间, 以标准光谱数据库中的矿物光谱为参考光谱矢量, 根据图象像元与参考光谱矢量的匹配程度, 建立滤波检测器, 从光谱匹配的角度进行滤波以及合理的阈值化处理, 分割出蚀变信息. 以新疆东天山某金矿床和西藏冈底斯某铜矿带的 ETM⁺ 数据为例, 从图象背景中提取出与各自矿化相关的蚀变信息, 部分蚀变组合分布信息与矿床位置吻合, 从而反映该方法通用性较好.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 光谱匹配滤波 蚀变矿物 阈值

中图分类号: TP751.1 P614 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)02-0147-04

Alteration Extracting Based on Spectral Match Filter(SMF)

GAN Fu-ping^{1,2)}, WANG Run-sheng²⁾, MA Ai-nai¹⁾, ZHANG Zong gui²⁾

¹⁾(Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871)

²⁾(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083)

Abstract It is very important and difficult to extract geological altered information using remote sensing data. The method of Spectral Match Filter(SMF) in this paper was developed according to Ref.^[1]. The altered mineral spectra selected from standard spectral database were thought of as reference spectral vector in 0-mean domain. The filtering detector is established owing to the match degree between very one pixel in multiple band images and reference spectral vector in 0-mean domains. The altered information are segmented using both SMF and suitable threshold processing. Both a gold deposit at Dongtianshan of Xinjiang and a porphyry copper belt at Gangdese of Xizang are selected as test areas. Some altered minerals are extracted from ETM⁺ data using SMF. The result shows that the locations of some altered minerals or altered minerals' composition are consistent with mineral deposit or ore spot. And the result also suggests the method be in good generality.

Keywords Computer image processing, Spectral match filter, Altered mineral, Threshold

0 引言

围岩蚀变是重要的地质现象之一, 也是重要的找矿标志. 在遥感图象中, 蚀变信息仅作为一种弱的信号存在于图象的背景中, 因此, 如何从遥感图象中提取或从背景中分割出蚀变信息一直是资源遥感应用与评价研究的重点和难点^[1]. 比值法与主成分分析法是目前遥感蚀变信息提取的常用方法^[2]. 但这些方法主要着眼于增强处理, 以求目视效果, 在背

景与噪声的干扰下, 效果并不理想. 为此, 在合成背景适应性算法^[2]的光谱-空间匹配滤波基础之上, 发展了基于光谱匹配的滤波方法, 以降低背景与噪声的影响, 更好地提取蚀变信息.

完全适应性假设检验算法被 Reed & Yu 加以发展, 以用于检测在未知光谱特征的非稳态背景中的低反差目标^[3]. 进一步地, Yu & Reed 在合成背景适应性算法的基础上, 探讨了适应性光谱检测器(Adaptive Spectral Detector)的一些重要的理论, 并认为结合一个常数假警率(CFAR: Constant

基金项目: 国家 863 计划(2001AA136020-4); 中国地质调查局重点科研项目(Dk0902062); 国家自然科学基金(49871059);

中国地质调查局地质调查项目(200115106004)

收稿日期: 2002-02-05; 改回日期: 2002-08-26

False-alarm Rate)可以得到稳健的光谱特征识别,从而在未知的非稳态杂乱环境和 J 维色度空间中,检测已知(或规则)形状和光谱模式(来自于多波段图象)的目标^[1],如地面车辆与其他人造目标的光谱识别,城市多光谱图象的特征提取,以及彩色图象的可视化分析与解释等一些地物目标的形状和相对光谱特征能够被进一步明确化的领域。

而在遥感地质应用中,作为检测目标的蚀变信息的光谱特征与空间分布都是未知的,尤其是蚀变的空间分布并无规则可循.因此本研究重点是从光谱特征出发,把光谱作为一个矢量,把多波段遥感图象作为一个光谱-空间立方体,从光谱的角度进行匹配滤波,提取蚀变信息.首先对多光谱遥感数据进行空间域转换,以降低或消除噪声的影响;然后进行光谱匹配滤波处理,探索像元或模板的光谱响应关联程度,最终提取出蚀变信息,定位蚀变空间分布.具体地,就是首先通过对已知地质资料的分析,了解并分析与该区成矿密切的蚀变矿物或蚀变矿物组合;然后把来自标准光谱数据库中的这些蚀变矿物或蚀变组合光谱作为一个参考光谱矢量,构造滤波检测器,一一与图象像元(或 3×3 模板)进行匹配,使其输出的信噪比最大,对图象像元或模板的响应也最大;最后,对输出的匹配结果进行合理的阈值化处理,就可以得到蚀变矿物或蚀变组合的分布图象.其流程如图 1 所示。

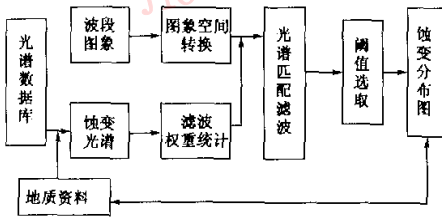


图 1 基于光谱匹配滤波的蚀变信息提取流程

1 光谱匹配滤波

1.1 数据域变换

匹配滤波是在滤波的情况下,先计算输出响应函数与作为匹配滤波器模板的卷积,求输出信噪比最大时的最佳“模板”函数^[4].为了有效地进行匹配滤波,首先必须进行图象空间域转换或对图象进行白化高斯处理^[1,5].其目的是希望通过空间转化,有效地消除或降低噪声对匹配滤波处理结果的影响,

使信息优先集中在有限的转换后的波段内.如 NAPC (Noise-adjust Principal Component Transform)^[6],正交子空间投影^[7]以及 MNF (Maximum Noise Transform)转换^[8,9]等.针对于光谱匹配滤波处理,往往是使在转换过程中,将原始数据域空间转换为 0-均值空间.具体地,对于遥感图象 X

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_J)^T \quad J \text{ 为图象波段数} \quad (1)$$

对其进行 0-均值转换后的空域 Y 为

$$Y = A^T X \quad (2)$$

对于 $A = (a_1, a_2, \dots, a_J)^T$, 必须满足

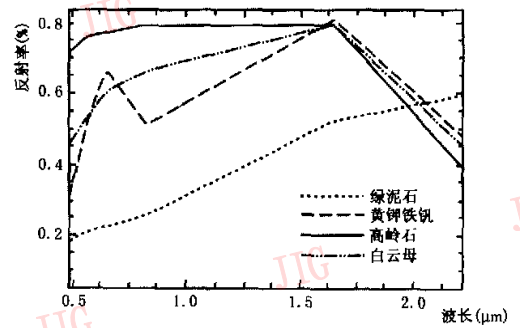
$$a_i^T \Sigma a_i = 1 \quad (3)$$

这里

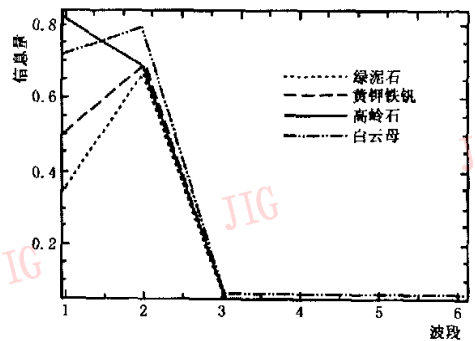
$$\Sigma = Cov\{X\} \quad (4)$$

$Cov\{X\}$ 指协方差矩阵运算。

通过图象空域转换,可以有机地将噪声集中在一些有限的波段内.图 2 是一些矿物光谱分别在 X 和 Y 空域进行抽样后的光谱剖面图,可见,在 Y 域中,信息与噪声分别有序地集中在一些有限的波段内.通过舍弃噪声波段或其他处理,可相应地降低或消除噪声的影响。



(a) 原始数据 X 空间



(b) Y 域空间

图 2 参考光谱在不同空域中的特征

1.2 光谱匹配滤波输出

对蚀变矿物光谱,在图象转换后的空间 Y 中进行重采样,形成匹配参考光谱矢量 S

$$S = [s_1, s_2, \dots, s_J]^T \quad (5)$$

可以给出匹配滤波权重 w

$$w = \begin{bmatrix} M & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & M \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_J \end{bmatrix} \quad (6)$$

这里

$$M \triangleq E\{[Y(J) - EY(J)][Y(J) - EY(J)]^T\} \quad (7)$$

式中, E 表示数学期望, M 表示方差。

由此,光谱匹配滤波输出为

$$\xi = S^T M^{-1} Y \quad (8)$$

1.3 光谱匹配滤波优化

给定假设

$$\begin{cases} H_0: Y = Y^0 \\ H_1: Y = Y^0 + S \end{cases} \quad (9)$$

Y^0 仅表示残差背景信息量。

在假设 H_0 下,方差 M 的最大似然估计为

$$\hat{M} \triangleq (1/N)YY^T \quad (10)$$

式中, N 为匹配滤波模板的像元数。

因此,滤波检测可表示为

$$r(Y) = \frac{(S^T \hat{M}^{-1} Y)^2}{(S^T \hat{M}^{-1} S) \left(1 - \frac{1}{N} Y^T \hat{M} Y\right)} \quad (11)$$

$$r(Y) \begin{cases} \geq r_0 & \text{then } H_1 \\ < r_0 & \text{then } H_0 \end{cases}$$

对于检测阈值 r_0 ,有假警概率

$$P_{FA} = P_r\{r \geq r_0 | H_0\} \quad (12)$$

检测概率为

$$P_D = P_r\{r \geq r_0 | H_1\} \quad (13)$$

这样,就可以组成一个用于匹配检测的CFAR^[1,3]优化处理器。

对于匹配滤波输出,其最优匹配结果的信噪比(SNR)应为

$$SNR = \frac{[E(\hat{\xi})|H_1]^2}{\text{Cov}(\hat{\xi}|H_0)} = \frac{[S^T M^{-1} S]^2}{S^T M^{-1} S} = S^T M^{-1} S \quad (14)$$

结合式(8)、式(11)与式(14),利用CFAR最优匹配滤波检测目标光谱,进一步地对匹配结果进行阈值化处理,可以得到与参考光谱所代表的蚀变一致的信息。

2 蚀变信息提取

选择新疆东天山金成矿带和西藏冈底斯某斑岩铜矿(化)带的ETM⁺数据进行蚀变信息提取。首先分析该区可能存在的蚀变矿物,根据蚀变围岩分布组合规律从光谱标准数据库中选择不同蚀变矿物光谱,然后对ETM⁺数据和矿物光谱进行空间转换,最后进行光谱匹配滤波检测,以及合理的阈值化处理,其结果如图版1图1、图2所示。

新疆东天山金成矿带子区为一大型金矿区,两个花岗岩体成东西向展布于矿区,热液蚀变、接触蚀变等蚀变强烈,与矿化密切相关的蚀变组合主要为青磐岩化、绿泥石化、绢云母化、硅化以及黄铁矿化等^[10]。同时,在新疆干旱的自然气候条件下,以物理风化为主,标志着其蚀变矿物信息绝大多数为母岩风化的产物。图版1图1为利用黄钾铁矾、绿泥石、绢云母作为匹配滤波参考光谱所识别出的蚀变分布。可见,黄钾铁矾分布较少,绿泥石、绢云母这些低温热液蚀变矿物分布较为广泛。这在一定程度上,与实际的浅成低温热液金矿成因较为吻合一致^[11]。

西藏冈底斯斑岩铜矿(化)带^[12]产于西藏腹地拉萨地体南缘的冈底斯造山带中。含矿斑岩属钾玄岩至高钾钙碱性岩系,主要蚀变类型为钾化、绢英岩化以及青磐岩化。矿化以岩浆期后阶段形成的脉状、网脉状和细脉浸染状矿体为主,矿石矿物简单。所选子区为一大型铜(金)矿床,蚀变类型主要为夕卡岩化,其次为绢英岩化、硅化、黄铁矿化以及大理岩化。图4为利用方解石、绿泥石、黄钾铁矾作为匹配滤波参考光谱所识别出的蚀变分布。方解石与黄钾铁矾分布较为集中,而绿泥石分布较为分散。

在以上两个试验区中,部分蚀变组合的分布位置与已知矿床的位置较为吻合,可为进一步的资源应用与评价提供可供深入研究的靶区。

3 结语

光谱匹配滤波主要是在匹配滤波处理过程中,有机地融入矿物岩石的参考光谱,即将参考光谱矢量与像元(或模板)响应的关联程度作为一个滤波检测指标进行蚀变信息提取,这在一定程度上,可以避免矿物或矿物集合体之间的相互干扰。在蚀变信息提取中,其物理意义与针对性明确,对所提取出信息

能够从地质应用的角度进行分析和理解。还需说明的是,对参考光谱的选择必须结合相关的地质背景与成矿条件,这样才可能有的放矢地进行地质分析和圈定一些找矿靶区。

致谢 非常感谢中国国土资源航空物探遥感中心曾昭明教授提供部分矿床位置坐标。

参考文献

- 1 Yu X., Reed I S., Stocker A D. Comparative performance analysis of adaptive multispectral detectors [J]. *IEEE Transaction on Signal Processing*, 1993, 41(8):2639~2656.
- 2 Ruiz-armenta J R., Prol-ledesma. Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thermatic Mapper images of Central Mexico[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1998, 19(10):1981~2000.
- 3 Reed I S., Yu X. Adaptive multiband CFAR detection of an optical patter with unknown spectral distribution [J]. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 1990, 38(10):1001~1021.
- 4 李跃,彭宇行,陈福枝. 一种基于模板匹配的电路照片拼接方法[J]. *中国图象图形学报*, 2001, 6A(3):301~305.
- 5 Chen J Y., Reed I S. A detection algorithm for optical targets in clutter [J]. *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, 1987, AES 23(1):46~59.
- 6 Lee J B., Woodyatt S., Berman M. Enhancement of high spectral resolution remote-sensing data by a noise-Adjust principal components transform[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1990, 28(3):295~304.
- 7 Harsanyi J C., Chang C. Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: an orthogonal subspace projection approach[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1994, 32(4):779~785.
- 8 Kruse F A. Mineral mapping for environmental hazards assessment using AVIRIS data, Leadville, Colorado, USA [A]. In: Presented at the eleventh thematic conference and Workshops on applied geologic remote sensing[C], Las Vegas, Nevada, 27-29 February, 1996. 1-526~1-533.

- 9 Green A A., Berman M., Switzer P et al. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implication for noise removal [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1988, 26(1):65~74.
- 10 李新峰,李志泉. 康古尔地区金矿成因类型及其控矿因素[J]. *新疆地质*, 2000, 18(1):51~60.
- 11 姬金生等. 东天山成矿区成矿地质条件与矿产资源综合评价研究[R]. 国家 305 项目办(85-902-05), 1995.
- 12 曲晓明,侯增谦,黄卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带;西藏第二条“玉龙”铜矿带? [J]. *矿床地质*, 2001, 20(4):355~366.



甘甫平 1971年生,博士,现在北京大学遥感与地理信息系统研究所从事博士后研究工作,感兴趣的研究领域为地物波谱特征、遥感技术方法与应用、高光谱以及遥感信息模型,发表论文10篇。



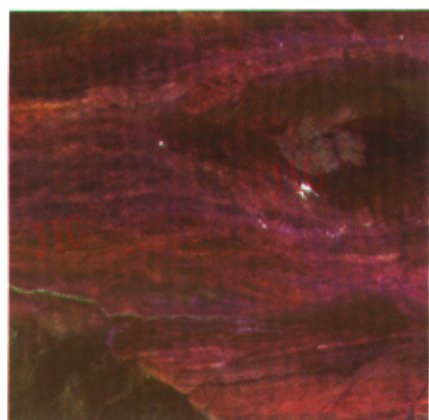
王润生 1944年生,中国地质大学博士生导师,感兴趣的研究领域为地物光谱模型、遥感图象的信息提取及数量化分析、数据综合、海洋遥感、卫星测高数据处理、高光谱等,发表论文40多篇。



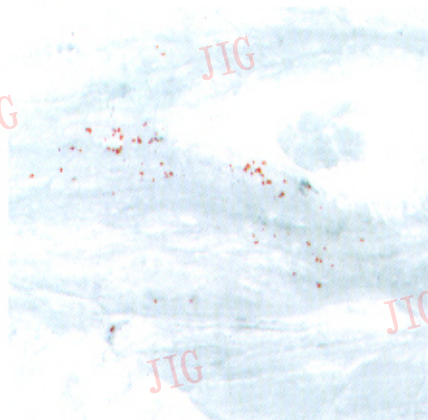
马隲乃 1936年生,北京大学教授,博士生导师,目前主要从事自然科学与社会科学的跨学科研究与教学,发表中英文论文60余篇。



张宗贵 1964年生,高级工程师,主要从事遥感新技术新方法以及航空遥感数据获取的应用研究,在国内外学术刊物及会议上公开发表文章九篇。



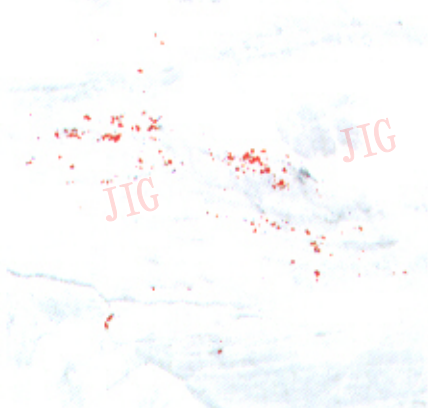
R(7)-G(4)-B(1)合成



绿泥石化

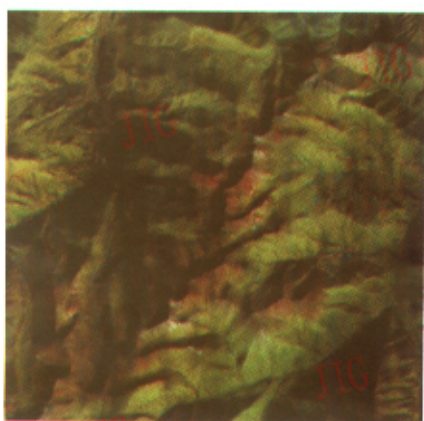


黄钾铁矾化

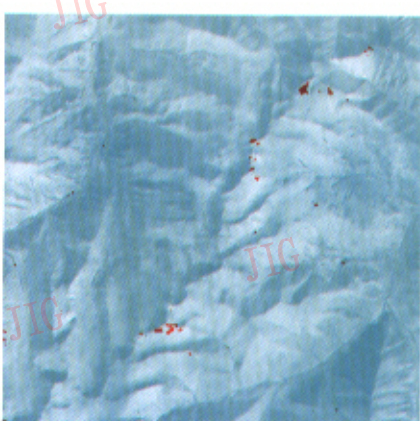


绢云母化

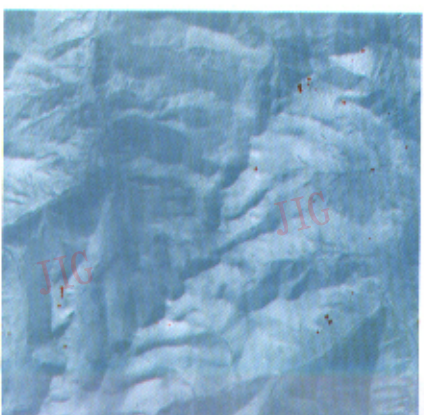
图1 新疆东天山某金成矿带蚀变信息提取(红色为蚀变分布)



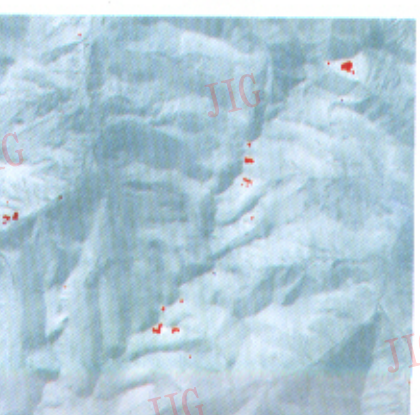
R(7)-G(4)-B(1)合成



方解石化



绿泥石化



黄钾铁矾化

图2 西藏冈底斯某斑岩铜矿(化)带蚀变信息提取(红色为蚀变分布)