

Landsat TM 及 JERS-1 SAR 数据 在金矿探测中的应用研究

张满郎 郑兰芬

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘要 金矿遥感探测之关键在于成矿构造及铁氧化物、含羟基蚀变矿物的信息提取。JERS-1 SAR 在构造探测方面具有很大的优势, 可通过噪斑消除及边缘增强的空间滤波来提取构造信息。Landsat TM 可通过主成分变换, 比值分析-主成分变换来提取蚀变矿物波谱信息、抑制植被波谱干扰。这两种遥感数据的复合处理可综合蚀变与构造信息。

关键词 JERS-1 SAR, Landsat TM, 信息提取, 复合处理

1 引言

研究区为河北金厂峪金矿及其周围地区, 植被覆盖中等。构造位置上属华北地台北缘, 以近东西向构造为主, 并发育与之交汇的北东向, 北西向构造。主要出露太古界迁西群斜长角闪片麻岩、麻粒岩、变粒岩及磁铁石英岩组成的绿岩带变质岩系, 长城系灰岩及燕山期中酸性杂岩体。区内变质作用、岩浆热液活动及多期构造作用强烈, 金矿成矿地质条件优越。已探明大中型金矿有金厂峪太古界绿岩带型金矿, 峪耳崖花岗岩浆热液细脉浸染带型金矿^[1]。与金矿有关蚀变主要有硅化、绢云母化、高岭石化、绿泥石化及黄铁矿化(多氧化形成铁染)。

从图1可以看出, 含金蚀变岩及含金石英脉在 $2.20 \mu\text{m}$ 附近具有强烈的羟基光谱吸收特征, 构造蚀变岩及黄铁矿化含金石英脉在 $0.45 \mu\text{m}$, $0.86 \mu\text{m}$ 附近具有强烈的铁离子

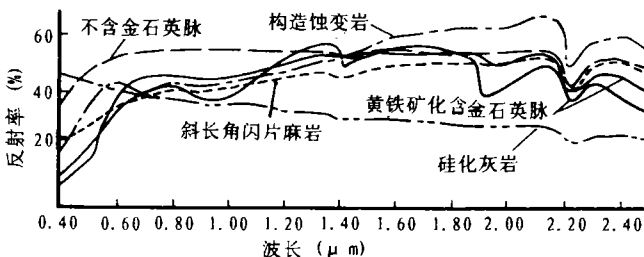


图1 研究区部分岩石样品反射光谱曲线

Fig.1 Reflectance of some typical rock samples on the study area

光谱吸收。金矿遥感探测应着眼于含羟基矿物(绢云母化、粘土矿化等)、铁氧化物的光谱信息及构造带(包括纹理信息及光谱信息)特征信息提取。Landsat TM 的多光谱优势及 JERS-1 SAR 在地质构造探测方面的优势使得解决上述问题成为可能。

2 数据获取及分析

本研究中使用的是 1987 年 5 月 14 日获取的 Landsat TM 数据。在 TM 数据中 TM1 波段为铁离子电荷转移吸收带, TM4 波段为铁离子晶体场效应吸收带, TM5 波段中大部分造岩矿物表现为高反射率段, TM7 波段为粘土矿物及碳酸盐矿物光谱吸收带。在 TM1—TM3 还包含植被的叶绿素吸收特征, 并且绿色植物在 TM3 到 TM4 波段反射率陡然升高。从本试验区岩石矿物光谱吸收特征显著程度而言, 铁氧化物的显著吸收特征在 TM1 波段, 而 TM7 波段主要包含粘土矿物光谱吸收特征。

日本地球资源卫星合成孔径雷达 JERS-1 SAR 的数据获取时间为 1992 年 8 月 28 日。其探测波段为 L 波段(中心波长 23.5cm), HH 极化方式, 距离及方位分辨率为 18 m, 探测带宽 75 km。因雷达的侧视成像特点, 对地表几何形态敏感, 显示较强的立体感。雷达的工作波长较长, 对地表松散覆盖物有一定的穿透能力, 在构造探测方面是其它遥感器所不及的。不同的岩性单元以其介电常数及表面粗糙度的差异而在雷达影象上表现为色调的不同, 而岩石的介电常数与粗糙度又决定于岩石的物质成分、结构构造、含水量及抗风化性质等。此外不同岩石类型, 如花岗岩, 碳酸盐岩及泥质岩类之纹理特征差异较大, 在雷达影象上得以区别。断裂破碎带一般为蓄水构造, 因具有较大的介电常数而在雷达影象上呈浅色条带。与偏重于利用灰度信息的其它遥感图象不同, 雷达图象的灰度影响因素多, 一般是通过宏观纹理分析或纹理与灰度信息综合分析来提取地质体信息^[2]。

3 遥感图象处理

3.1 TM 图象处理

用 TM 多光谱数据进行蚀变信息提取与岩性地质填图, 有效的图象处理方法有去相关处理、波段比值处理及主成分变换等方法。

因波段间存在较高的相关性, 产生的信息冗余不利于岩性识别, 通过原始波段图象与一个转换矩阵相乘, 可实现去相关处理。这种方法不能提取专题信息, 但信息损失小, 且能显著提高图象的岩性识别能力。在编制区域 1/20 万—1/5 万遥感综合地质解译图时, 所用的基础图件就是经过去相关、边缘增强及彩色合成处理的 TM 图象。

波段比值是一种提取波谱信息的有利手段, 可增强各类岩性之间的波谱差别, 压抑地形影响并易于解释。以岩石、矿物的特征光谱为依据, 选用适当的波段比值进行彩色合成可对岩性、蚀变带增强。如粘土矿物蚀变带在 TM5/7 图象上, 铁氧化物在 TM5/1、TM3/1 及 TM5/4 图象上呈浅色, 植被在 TM4/3 图象为高亮度区。但波段比值处理的效果受植被、土壤的干扰因素影响。为了消除干扰因素, 进行专题信息提

取, 可通过对两幅比值图象实施逻辑取与处理^[3], 如 $TM5/7$ 为粘土蚀变与植被信息, $(TM5/7)/(TM4/3)$ 为粘土蚀变及水体等其它干扰信息, 对这两幅比值图象进行逻辑取与, 可把同时为粘土蚀变的象元提取出来, 并达到消除干扰的目的。与之类似, 对 $TM5/4$ 和 $TM3/1$ 两幅比值图象进行逻辑取与可提取铁氧化物专题信息。对经过波段比值和逻辑取与处理而得到的专题信息图象进行结构滤波以便消除孤立散点, 改善图象质量。

主成分变换是一种进行特征提取的正交线性变换方法, 把各波段中的有用信息压缩到尽可能少的主成分中, 一方面具有去相关的效果, 另一方面通过对特征向量载荷, 即主成分与原始波段关系的研究, 可判断出某一特定主成分对某些地物波谱增强作用。如训练区 $TM1, 2, 3, 5, 7$ 波段主成分变换产生的 $PC2$ 图象, $TM5, TM7$ 波段特征向量(分别为 0.413 和 -0.849) 强负载, 且符号相反, 增强了粘土矿物的波谱信息。 $PC4$ 图象上, $TM5, 4, 1$ 波段的特征载荷分别为 -0.765, 0.497 和 0.309, 铁氧化物呈暗色调, 进行减运算可使之呈高亮度显示。图版 I 图 2 为 $TM3(B), TM7(G), PC4(R)$ 彩色合成图象。应该指出的是主成分变换可能同时增强植被干扰信息, 通过两个比值图象的直接主成分变换(DPCA)可抑制植被干扰^[4]。研究中, $TM5/1, TM4/3$ 主成分变换产生的 $PC2$ 在抑制植被干扰的同时增强了铁氧化物信息(定为 F 图象), $TM5/7, TM4/3$ 主成分变换产生的 $PC2$ 增强了粘土矿物信息(定为 H 图象), 根据 F 及 H 图象的灰度——频率直方图分布特征, 进行监督分类, 得到地质分类图象。图版 I 图 3 为 F 图象监督分类结果, 黄色为迁西群斜长角闪片麻岩, 深红色为铁氧化物, 玫瑰红色为粘土矿物, 蓝色为淤积沙堆, 绿色为树林区, 黑色为无地质意义的其它未分类地物。H 分类图象上变质岩、粘土矿物及铁氧化物亦可提取出来, 但 F 分类图象上铁氧化物面积更大, H 分类图象上粘土矿物面积更大, 这从一个侧面说明了该方法的可行性。这种分类结果还得到了野外地质验证, 并可从产状上区分与金矿化无关的变质岩系中的磁铁石英岩夹层及低洼区现代粘土沉积。

3.2 JERS-1 SAR 图象处理

SAR 图象主要进行噪斑消除及线性体增强处理, 采用 Lee 滤波消除图象噪斑, 这种滤波是一种基于图象标准差统计基础上的自适应(adaptive)滤波, 能在消除图象噪斑的同时保留原图象的锐度及细节^[5]。对图象进行边缘增强以利于线性构造提取。采用的是 3×3 中心加强拉普拉斯滤波核, 使各个方向的构造均得到增强。处理后图象立体感很强, 可解译的地质构造线丰富(图版 I 图 4)。

3.3 JERS-1 SAR 与 Landsat TM 的复合处理

Landsat TM 与 JERS-1 SAR 的复合处理能集中多光谱优势及地质构造探测优势。研究中采用假彩色合成及 BGR-IHS 彩色空间变换两种方法对图象进行复合处理。TM 选用了对蚀变岩石反应敏感的 1、4、7 波段数据, 在假彩色合成复合处理中先对 $TM1, 4, 7$ 波段进行去相关处理。SAR 图象在复合前先进行 Lee 滤波, 去噪斑处理及拉普拉斯滤波增强。复合中以 TM 图象为基准, 选择同名地物控制点对 SAR 图象

进行几何校正, SAR 与 TM 图象配准。在彩色空间变换复合处理中将 TM1(B)7(G)4(R) 图象 IHS 正变换, 对 H、S 图象进行线性拉伸, 用 SAR 图象取代原来的 I 图象, 再进行 IHS 逆变换, 回到 BGR 彩色空间。复合处理结果良好, 既得到图象纹理的立体感又增加了鲜明的色彩层次 (图版 I 图 5)。

4 金矿遥感地质分析与应用效果

4.1 线性体提取及统计分析

SAR 图象经过线性体增强。扫描输出及放大, 进行线性构造解译 (图 6), 再在 ILWIS 系统支持下进行数字化, 并对线性体进行方向、密度及节点进行统计, 构造趋势面分析, 确定构造异常区 (图 7)。图中可以看出, 东西向的太古界绿岩带线性构造较发育, 线性体密度较大, 表明研究区主要发育东西向构造带。在都山岩体南北两侧, 发育峪耳崖-汤道河北东向构造带及铍尖-建昌营北西向构造带。在金厂峪附近, 北西向、北东向构造带交汇部位为线性构造高密度区。

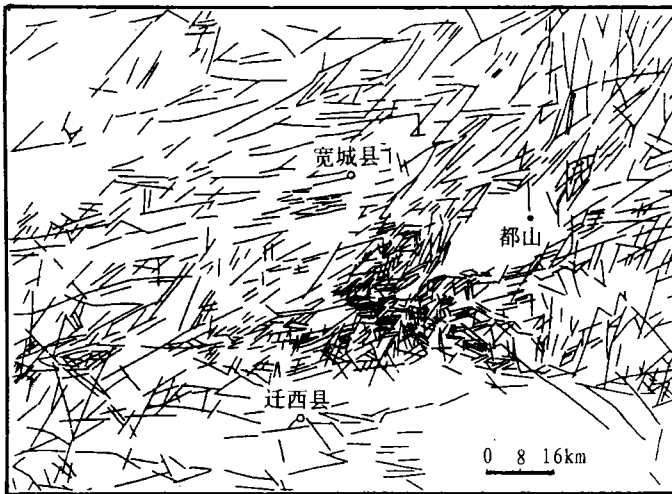


图 6 研究区线性构造解译图

Fig.6 Interpretation of linear structures

4.2 金矿成矿构造带划分

金矿成矿构造带的划分依据主要有: 其一, 作为大型构造带, 其构造方向、强度、派生裂隙及组合形式有明显差异; 其二, 各带的岩浆作用、变质作用及热液活动各有特点, 金矿成矿带具有特征的地质演化历史, 控制了金矿的形成与产出条件。结果 SAR, TM 影象解译, 区内存在 3 条成矿构造带及 3 种金矿成因类型。

近东西向绿岩带型金矿成矿构造带 该构造带贯穿全区, 西起遵化县马兰峪, 经迁

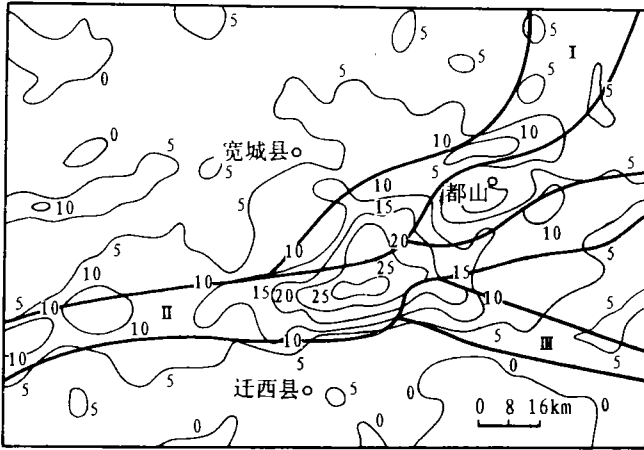


图 7 线性构造密度及金矿成矿带划分图

- I. 花岗岩小岩体型金矿成矿构造带；
- II. 绿岩带型金矿成矿构造带；
- III. 砂卡岩型金及多金属成矿构造带

Fig.7 Map of the density of linear structures and gold mineralization zones

西县上营、王厂、青龙县城、马圈子向东延伸，纵向切割太古界绿岩带迁西群变质岩地层组成的背斜核部，派生裂隙走向以北东、北东东为主，沿构造带变质作用强烈，有印支期及燕山早期的超基性、基性、中基性岩浆侵入。该构造带之东段，南北两侧岩浆岩明显不同，北侧为吕梁期侵入的都山花岗岩体，南侧为燕山末期蛇盘逸酸性花岗岩体。该岩体分异程度高，石英含量高，发育中粒黑云母花岗岩，钾长花岗岩，石英质花岗斑岩，角砾状石英斑岩等。该构造带之太古界变质岩中发育金厂峪、桦尖、响水沟等与变质热液活动有关的金矿。金矿床均显示出如下共同特点：(1) 其控岩构造为上述近东西向背斜轴部构造薄弱带，有受核部地层上川组 (Arc) 层控的特点。(2) 控矿构造主要为北北东向、北东向扭性断裂。(3) 围岩蚀变有绢云母化、黄铁矿化、硅化、绿泥石化。角闪质岩石含金 $(0.10 - 0.83) \times 10^{-6}$ ，比基性岩平均丰度高 25 — 200 倍。混合岩化的斜长角闪岩比其附近的斜长角闪岩中金含量低一倍左右，表明混合岩化过程中金向混合岩化程度低的方向迁移富集。金矿化一般远离燕山期岩体，金矿床形成的基本模式为：具有火山沉积旋回的地层经吕梁期区域变质混合岩化造就了巨大的上川组 (Arc) 金矿源层，近东西向的背斜轴部构造薄弱带控制了成矿范围，变质热液，燕山期构造岩浆热液叠加使得金元素进一步富集，而在北北东、北东向断裂中富集成矿。该带金矿寻找应侧重于太古界绿岩带中的北东向断裂及与东西向断裂交汇部位。

北东向花岗岩内外接触带型金矿成矿构造带 兴隆—喜峰口—峪耳崖—汤道河发育一条北东向波状断裂构造带，其西段走向北东东，在董家口转向北东，在东部的苇子沟拐向近东西，至汤道河又拐向北东，向东继续延伸至辽宁境内的柏仗子金矿。该构造带基本上代表太古界变质岩地层与长城系灰岩之岩性软弱接触面，断裂带北侧为灰岩地层组成的高山峻岭。派生裂隙主要为北东东走向，多与灰岩中的层间剥离面一致。燕

山期中基性, 中酸性小岩体呈串珠状侵入, 并发育众多的中基性、中酸性岩墙, 岩脉, 该构造带发育有峪耳崖金矿, 花岗岩小岩体本身遭受较强的岩浆热液蚀变而显示与其它燕山期花岗岩体不同的异常色调(峪耳崖岩体影象上呈菱形状, 浅紫色调), 表明小岩体本身的金矿成矿潜力。该成矿构造带之金矿床有如下特点: (1) 控岩与控矿构造方向一致, 主要为北东、北东东向断裂, 作为长城系灰岩间滑动面, 或长城系灰岩与太古界变质岩的剥离面, 既控制了燕山期花岗岩体又控制了金矿体的产状, 矿体呈平行或侧幕状排列。(2) 主要围岩蚀变有硅化, 黄铁矿化、钾长石化、高岭石化。(3) 为含金黄铁矿石英脉及细脉浸染型金矿, 与燕山期花岗岩小岩体关系密切, 发生于其内外接触带。岩体含金量是克拉克值的 17—110 倍, 为金的主要矿源。金矿成因类型为与燕山期晚期花岗岩有关的中温热液裂隙充填, 交代矿床, 该带应注意灰岩中的透镜状花岗岩小岩体, 金矿化发生于岩体内及边缘破碎蚀变带。

北西向矽卡岩型金钼铅锌成矿构造带 发育于小西天—采桑峪—三道河一带, 切割长城系灰岩, 其西北端与上述东西向构造带相交于桦尖金矿一带。断裂带之南为低注的山前地带, 断裂带之北侧为灰岩地层组成的高山峻岭。断裂带之东南段与燕山期花岗岩相接, 其派生裂隙走向为北西及北东向, 控制了岩体的形态、产状。燕山期中晚期花岗岩体的主要岩相有中粒黑云母花岗岩、钾长花岗岩、石英质花岗斑岩、角砾状石英斑岩等。岩浆侵入规模、分异程度及热液活动程度非常强烈。岩体接触带的灰岩地层呈浅灰或灰白色调, 普遍遭受硅化等岩浆热液交代。在花岗岩、石英斑岩与灰岩的接触带发育钼、铅、锌多金属矿化点数处并发育铅金化探异常区。

金、多金属矿床特点: (1) 矿化及蚀变岩受北西向构造带(倾向北东, 使地层强烈揉皱, 形成劈理化带)及其派生的北东向、北东东向(倾向北西)断裂控制。北西向主断裂带作为边界及岩体与围岩接触带限制了岩浆活动范围, 北东向、北东东向断裂交叉控制岩体, 其交汇处为热液交代、成矿之主要部位。(2) 相对于前两个成矿带而言, 该带的燕山期花岗岩体规模最大, 分异最好, 岩浆热液活动及与碳酸盐围岩的成分交换最充分, 产生一些典型的接触交代蚀变, 如硅化、碳酸盐化、绿帘石化、透闪石化等, 形成典型的接触热液交代型金钼铅锌多金属矿床(其中的钼来自花岗岩浆, 铅、锌来自碳酸盐岩地层, 金是多种来源)。矽卡岩型矿床之一显著特点是热液蚀变及矿化之分带性, 其金、钼、铅、锌矿体以带状或不甚规则的形状产出。金矿寻找需侧重燕山晚期偏酸性花岗斑岩与灰岩之接触带, 并注意带状蚀变。

5 结 论

(1) Landsat TM 数据在提取与金矿有关的铁氧化物及含羟基蚀变矿物光谱信息方面是有所作为的, 可用比值分析, 主成分变换增强铁氧化物、含羟基蚀变矿物的波谱吸收特征, 进行蚀变填图。将 $TM4/3$ 与 $TM5/1$ 或 $TM5/7$ 比值图象作直接主成分分析, 可以在提取蚀变信息的同时抑制植被光谱干扰。

(2) JERS-1 SAR 数据在地质构造信息提取中具有优势, 图象处理主要进行噪声消除及边缘增强, 通过 Lee 滤波与拉普拉斯滤波可以取得较满意的效果。

(3) JERS-1 SAR 与 Landsat TM 复合处理可综合构造与岩性识别优势。在研究中,上述两幅遥感图象时相不同,几何校正是复合处理中的关键,用地形图对雷达图象进行几何校正及增加控制点数能达到较好的配准精度。

(4) 区域成矿构造带划分是金矿遥感探测的重要环节,本研究中将区域成矿规律与遥感图象分析有机地结合起来,在金矿成矿构造带划分方面取得了良好的应用效果。

参 考 文 献

- [1] 余昌涛,贾斌. 冀东主要类型金矿床的成因及形成机理. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集第 2 卷. 北京:地质出版社,1989.
- [2] 邵芸等. 雷达图象的宏观纹理分析和地质应用效果. 机载雷达遥感应用试验研究. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [3] 赵元洪等. 遥感图象专题信息提取新方法——定向变换和逻辑取与法研究. 环境遥感,1994,9(4).
- [4] Frazer S. J., Green A. A.. A Software Defoliant for Geological Analysis of Band Ratios. International Journal of Remote Sensing, 1987, (8), 525—532.
- [5] Lee, J. S.. Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics. IEEE Trans, 1980, PAMI-2: 165—168.

作 者 简 介

张满郎,男,1963年7月生,1983年毕业于中南工业大学地质系矿产勘探专业,获工学学士学位,1988年毕业于中国科学院地质研究所岩石构造专业,获理学硕士学位,主要从事多光谱、成象光谱遥感应用研究,已发表论文10篇。

Application of Landsat TM and JERS-1 SAR Data to Gold Exploration

Zhang Manlang Zheng Lanfen

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

Abstract The key point for gold exploration using remote sensing technology is the information extraction of ore-forming structures and the spectral character of the ferroxides and altered hydrous minerals. JERS-1 SAR is of great potential in structural extraction, which can be achieved by suppressing the speckled noise and edge enhancement using spatial filters. With the help of principal component analysis of the band or ratio imagery of the landsat TM, the spectral character of altered minerals can be extracted, while the influence of the vegetation can be suppressed. Both alteration and structural information can be extracted by the integration of the two above remote sensing data.

Key words JERS-1 SAR, Landsat TM, Image integration, Information extraction



图 2 TM3(B)、TM7(G)及PC4(R)合成图



图 3 TM5/1、TM4/3及PC2 监督分类结果

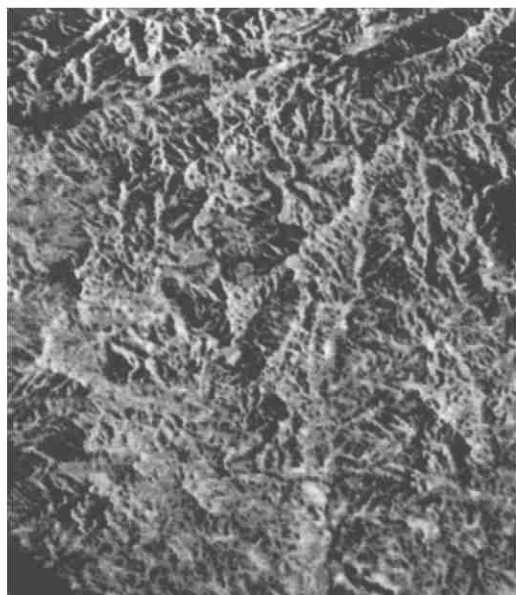


图 4 JERS-1 SAR 处理结果

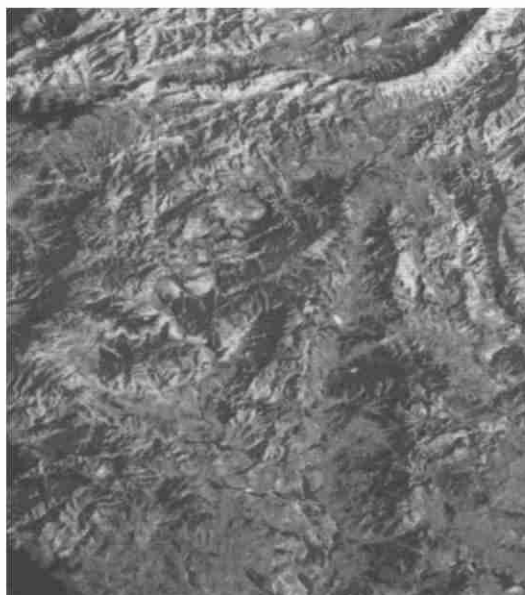


图 5 SAR(B)、TM4(G)及TM7(R)合成图