基于遥感的河南卢氏西部地区蚀变信息提取与分析

王建平[1,2]
(1中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;
2河南省地质调查院, 郑州 450007)

摘要: 近矿围岩蚀变和构造分析是找矿研究的重要内容, 遥感异常信息提取、遥感地质解译, 结合野外调查能查明围岩蚀变分布情况和构造特征。本文以河南省卢氏县西部地区的成矿远景区为研究区域, 选用 ASTER多光谱数据和 SPOT5高分辨率数据, 利用遥感图像波段比值处理方法及特征主组分分析、光谱角填图分类等分析方法, 对该地区重要成矿区段做矿化蚀变信息提取及遥感地质综合分析并提供了新的找矿靶区。

关键词: 遥感找矿; 近矿围岩蚀变; 信息提取; ASTER多光谱数据

1 引言

河南卢氏县西部地区位于重要的金、银、钼、铜、铅、锌等多金属成矿带。近矿围岩蚀变是成矿物质逐步富集成矿过程中留下的印迹。岩石中的次要成分如铁杂质或蚀变矿物可形成岩石谱带中的强势地位, 热液蚀变矿物在短红外和近红外具有诊断性强吸收特征[1]。

目前, 遥感找矿工作中, 使用 ETM + (TM)数据、ASTER多光谱数据、星载 HYPERION高光谱数据, 采用合适的信息提取方法, 如比值分析、克罗斯塔分析、色彩空间变换、光谱角技术等, 提取矿化蚀变信息, 结合遥感地质解译和成矿条件分析, 能够对成矿进行有效的预测。

2 研究区地质背景和数据源选取

研究区面积约 400 km^2, 位于华北地台南缘, 所出露的地层从老到新有熊耳群、官道口群、栾川群等及第三系和第四系。主要分布的熊耳群形成于中元古代早期, 与管道口群为不整合接触, 主要由鸡蛋坪组陆相喷发的中酸性火山熔岩和马家河组海陆交互相的安山岩组成。官道口群主要为石英砂岩、白云岩、板岩等。栾川群主要为白云岩、含炭绢云千枚岩等。

侵入岩不发育, 多呈小岩株状产出, 有八宝山岩体、圪老湾岩体和前柳关岩体三个岩体, 从中酸性的花岗闪长岩到酸性的钾长花岗岩, 侵位时代从燕山期早期到晚期, 全部属“I”型花岗岩。脉岩分布较少, 主要为沿断裂或裂隙贯入的煌斑岩脉、正长岩脉、闪长岩脉、石英脉。

从中元古代起经历了构造作用, 主要是宽缓的背向斜及与之相伴的北西西走向, 断面北倾的逆冲断层, 北东向断层次之, 潘河断裂以北褶皱构造不发育。

在八宝山岩体与围岩的接触带上普遍见到接触交代铁铜硫矿化形成的矿体, 岩体中次生富集成辉铜矿矿床[2]。

要利用遥感图像来提取研究区内各种矿化蚀变信息、地质岩性与构造特征, 在选择遥感数据源时就必须满足以下两个条件, 一是遥感图像要具有较高的光谱分辨率, 二是遥感图像要具有较高的几何分辨率。对此, 本研究采用了 ASTER多光谱数据进行蚀变信息提取, ASTER数据在可见光~热红外谱段有 14个波段, 适合提取蚀变信息。同时采用了 SPOT5高分辨率数据来进行重要岩性和构造的分析解译。SPOT5数据的分辨率全息波段为 2.5m, 3个可见光和 1个短红外波段为

收稿日期: 2007-02-19; **修回日期**: 2007-11-15.
资助项目: 河南省地质调查院承担的矿产地质调查项目。
作者简介: 王建平 (1964-), 男, 博士, 毕业于中国地质大学, 主要从事地质矿产调查、遥感地质研究工作。
E-mail: eratonce@vip.sina.com

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

10m。采用 SPOT不同波段组合及融合的影像，能够解译出丰富的地质信息。

研究中选用的遥感影像为 2005年 02月 28日的 ASTER数据和 2004年 10月 19日的 SPOT5数据。ASTER数据成像于初春季节，植被覆盖很少，光照强度适中，基本没有云雾干扰。SPOT5数据成像于深秋季节，植被覆盖开始变少，光照强度较高。

3 蚀变信息提取方法与应用

蚀变信息提取的波谱前提：含铁离子矿物富含 Fe^{3+}和 Fe^{2+}离子，羟基类矿物富含水 (H_2O)、羟基 (OH^-) 或碳酸根 (CO_3^{2-}) 等基团，这些结构离子的电子跃迁、振动和转动过程，使富含这些离子或基团的矿物产生特征光谱[3]。以这些特征光谱为依据，采用以下三种方法进行信息提取。

3.1 特征主成分分析

根据地物的波谱特性和主成分分析后产生的特征向量矩阵中各波段的载荷因子的大小提取目标地物信息。这种方法首先由 Crosta 和 MCM.Moore[4]在 1989年提出来的，W.P Longhliu[5]在 1991成功地用此方法填绘了美国西部内华达等州的蚀变信息。对于特定的研究区域，提取信息的要求不同，选取所代表特征信息的主成分也需不同，目前应用效果较好的有提取铁氧化物及羟基矿物的特征主成分算法[6]。

图 1为特征主成分分类方法提取的铁氧化物信息，图中白色的点表示铁氧化物，底图为第四主组分取反影像，部分已经过实地验证。

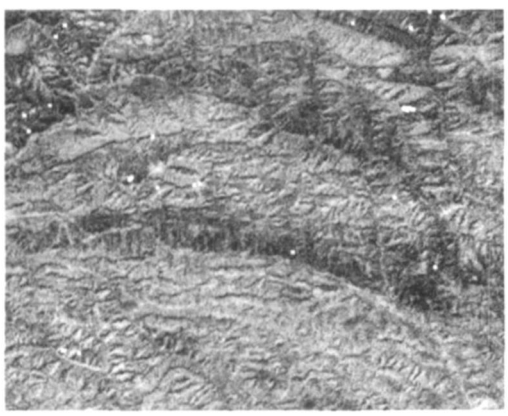


图 1 特征主成分分类提取铁氧化物结果

Fig. 1 Result of principal components analysis

3.2 波段比值处理

根据镁羟基类、铝羟基类及铁氧化物等蚀变矿物光谱特征，利用 ASTER数据在可见光、近红外、短红外和热红外谱段的各个波段数据[7]，选择 7种方法进行波段比值处理，增强研究区中有关矿化的蚀变信息。具体处理方法及其意义见表 1，研究结果表明这些信息提取方法对铁氧化物、绿泥绿帘石类、硅化等蚀变信息的提取效果较好。

表 1 ASTER数据比值处理及其意义

Tab. 1 Band ratioing of ASTER data and its significance

ASTER波段间比值	增强信息
(7+9) / 8	绿泥绿帘石化类蚀变信息
(2+3) / 1	铁氧化物类蚀变信息
(5+7) / 6	白云母、高岭石、明矾石类蚀变信息
5 / 4	最佳植被指数，显示富铁和富二氧化硅岩类为浅色
(5/8) + (6/9)	蒙脱石类蚀变信息
(4/3) + (2/1)	氧化铁帽等信息

3.3 光谱角填图分类

光谱角填图 (spectral angle mapping) 将光谱数据视为多维空间的矢量，利用解析方法计算像元光谱与光谱数据库光谱或像元训练光谱之间矢量的夹角，根据夹角的大小来确定光谱间的相似程度，以达到识别地物的目的[8]。此算法将两个光谱当作是矢量空间的两个矢量，其维度等于波段数 (nb)，通过计算两者间的“光谱角”，确定它们的相似程度。根据每条所选的参考光谱曲线，为每条影像光谱 (像元) 确定一个光谱角 α。这个值被用来向光谱角填图分类输出影像的相应像元赋值，每条参考波谱曲线都将产生一个输出影像。波谱角填图分类形成一个新的数据体，其波段数等于分类中所用的参考光谱数目[9]

把重要矿床作为感兴趣区 (ROIs) 或者光谱数据库中重要岩石、矿物类型作为参考光谱。应用它们计算影像中每条光谱与参考光谱的的角度距离，进而区分识别重要矿化蚀变信息[10]。

图 2是光谱角填图分类提取结果绿泥绿帘石类蚀变和铁氧化物类蚀变的结果。图中的黑点表示绿泥绿帘石类蚀变，白点表示铁氧化物类蚀变，底图为 943波段组合的灰度图。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

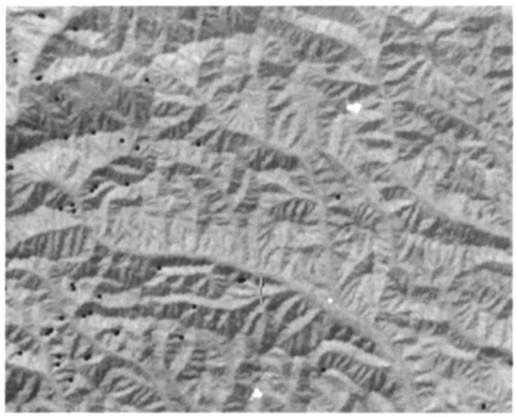


图 2　光谱角填图分类提取结果

Fig. 2　Result of spectral angle mapping

4　研究结果与地质解译综合分析

通过对卢氏西部地区与矿化有关的蚀变信息提取研究，利用高分辨率的 SPOT数据进行地质解译，并对重点地区开展了实地检查，发现这一地区重要蚀变类型具有较好的分布规律，有些与现有矿床（点）有良好的对应关系，具体情况分析如下：

4.1　铁氧化物类蚀变分布特征

工作区内铁氧化物类蚀变分布范围较广，强度较强，从北到南总体上呈三个带。

①秦池——龙眼嘴一带

北带分布于工作区西北角秦池一带的古元古界高山河组（Pt_1g）地层区内，其岩性主要有泥岩、含砂泥岩，石英砂岩、细砂岩、粉砂岩等，提取的铁氧化物分布特征主要与该套地层中紫红色碎屑沉积岩铁氧化物含量较高有关，与成矿关系不大。

②丰台沟一带

中部丰台沟一带，铁氧化物蚀变分布范围略有扩大，但个体蚀变规模变小，主要分布于古元古界官道口群龙家园组（Pt_1l）地层区，其主体为燧石条带细晶白云岩及中厚层状细晶白云岩。这套地层氧化蚀变一般不会形成铁氧化物类矿物，推断上述蚀变可能与成矿热液活动有关。

③保台沟脑——麻子沟一带

位于调查区南缘，近东西带状分布于秦祁昆地层区宽坪岩群四岔口岩组（$Pt_{-3}s$）范围，其岩性为二云石英片岩、黑云石英片岩为主夹薄层状石英岩、斜长角闪片岩及大理岩等，主要是一套碎屑岩和基性火山岩建造。提取的铁氧化物蚀变与基性火山岩中铁镁矿物氧化蚀变有关，与断裂构造关系不密切，示矿意义不明显。

4.2　铝羟基类蚀变分布特征

铝羟基类蚀变矿物以高岭石、蒙脱石、明矾石等为代表。区内铝羟基类蚀变非常发育，东半部铝羟基类矿物蚀变明显高于西半部地区，在东半部铝羟基蚀变分布区，中南半部又略高于北半部。

沙河——大王家村附近，铝羟基类蚀变成面状近均匀分布形态分布于官道口群龙家园组（Pt_1l）、白术沟组（Pt_1b）及震旦系东坡组（Zd）等地层范围内。白术沟组（Pt_1b）主体为灰黑色碳质板岩。东坡组（Zd）岩性主要为粉砂质绢云板岩。铝羟基类蚀变主要由上述岩层氧化蚀变形成的含铝羟基类矿物组成，示矿意义不大，但有少数小面积分布的铝羟基类蚀变与断裂、环形构造关系密切，具有较好的找矿前景。

4.3　绿泥绿帘石类蚀变分布特征

绿泥绿帘石类蚀变也可称作为镁羟基类蚀变，以绿泥石和绿帘石为代表，与斑岩型铜钼、铬铁矿床等关系密切，是找矿的一类重要标志。提取的绿泥绿帘蚀变，主要位于神陀——牛家嘴及潘河附近地区（图 3）。

主要分布于官道口群巡检司组（Pt_1xj）、熊耳群鸡蛋坪组（Pt_1j）。巡检司组（Pt_1xj）总体为白云岩和纹层白云岩组成的基本层序重复，为一套海相火山沉积建造，地层中 Au、Ag、Pb、Zn元素含量高出维氏值的 1.56～10.82倍。在熊耳山地区形成了多个大型金银矿床，矿床类型有以金矿为主共（伴）生银、铅矿、以铅锌矿为主共（伴）生银、金矿床。鸡蛋坪组是脉状铅锌矿赋存的主要层位，尤其是中基性火山熔岩、火山碎屑岩是有利于成矿的岩性[11]。断裂附近的绿泥绿帘石类蚀变区是有利的成矿区域。

4.4　外业验证

外业调查主要有以下几方面内容：实地检查验证遥感提取的各种异常信息，采集重要岩性类型、矿化蚀变矿源层及矿石标本；测量典型岩石、

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

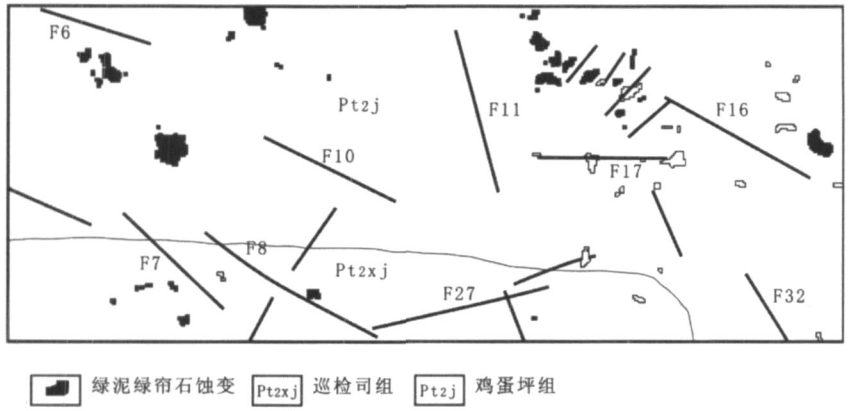


图 3 神陀——牛家嘴地区蚀变分布特征

Fig. 3 Spatial distribution of alterations in the Shentuo-Niujiazui district

矿源层与矿化蚀变信息类型光谱数据；对新发现的矿化蚀变地区进行详细的岩石类型采样、分析矿化蚀变岩类型及成因矿化类型及品位等。经过外业调查，重新采样测试了大量实地样品，进一步修正信息提取方法，使提取结果更加接近客观实际情况。

在潘河附近及北部地区，对蚀变信息提取、地质解译的结果和预测区域进行实地考察 (见图 4)，发现并验证了铁氧化物蚀变和绿泥绿帘石类蚀变共 7处，遥感解译出的断裂构造共 12条、岩株 4个，发现矿化点 2处。

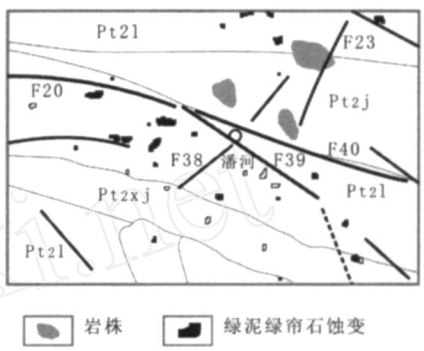


图 4 潘河附近地区蚀变分布地质略图

Fig. 4 Geological sketch on the distribution of alterations in the Panhe district

4.5 基于遥感技术的找矿靶区预测

多金属矿床矿化蚀变强烈，并且多具有明显的组合关系。通过分析蚀变信息组合与地层、岩性、构造、地化异常、矿床分布间的关系，进而利用与成矿关系密切的蚀变信息组合进行遥感找矿预测研究，共圈定了 16个具有较好找矿远景的靶区，局部区域的预测情况见图 5。

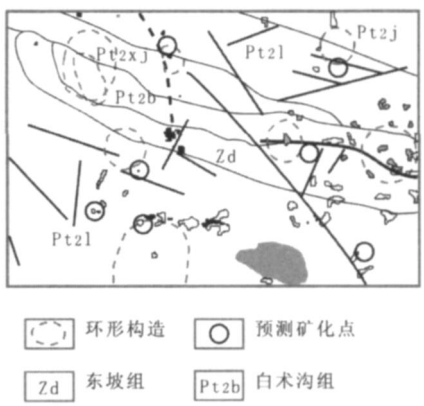


图 5 局部地区矿化预测

Fig. 5 New exploration targets on the metallogenic sections

5 结论与讨论

特征主成分分析方法提取的铁氧化物蚀变和硅化蚀变，经实地验证，大部分区域都符合。研究区铁氧化物类蚀变和铝羟基类蚀变分布广，信息提取结果受地层岩性的影响大，与成矿有关的蚀变较少，需要进行大量的筛选；

波段比值处理方法简便易行，对增强蚀变信息尤为有效，主要用于提取羟基类蚀变，并对铁氧化物蚀变提取结果进行比对修正。绿泥绿帘石类蚀变的信息提取结果，与已知矿化的蚀变特征表现出一致性，分布于官道口群巡检司组 (Pt_2 xj)、熊耳群鸡蛋坪组 (Pt_2 j) 的绿泥绿帘石类蚀变是良好的找矿标志；

光谱角填图分类主要用于提取绿泥绿帘石类蚀

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

变和铁氧化物蚀变，提取结果和用波段比值处理提取的结果基本一致。进一步的研究需选用均值图像参与处理过程，反映不同岩类总体反射水平的差异，可以区分出重要的岩性，例如石英岩、花岗岩、板岩等。需要补充采集重要岩性的波谱数据，改进处理方法，进一步对重要岩性进行识别。

信息提取结果受地形因素的影响较大，本次研究是以目视的判断加以消除，无法定量消除。进一步的处理应该加入高程模型，对原始数据进行预处理，基本消除地形因素的影响。

本次研究主要依据蚀变信息和地质解译的结果，结合已有的地质勘探资料，直接对成矿作出了预测。进一步的遥感找矿研究需要与岩石学研究和矿床学研究结合，在可靠的成矿机制基础上，直接识别与成矿有关的地层、岩石、构造、围岩蚀变等。

参考文献

[1] 张玉君，杨建民，陈薇. 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. 国土资源遥感，2002，(4)：30～31.

[2] 河南省区域地质调查队. 1∶5 000沙河幅地质图说明书. 1996，4～13.

[3] 甘甫平，王润生. 遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究. 北京：地质出版社，2004，2～5.

[4] Crosta A P，MCM Moore J. Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerrain. Proceedings of the 7th (ERIM) Thematic conference. Remote Sensing for Exploration Geology，Calgary，1989，1173～1179.

[5] W P Loughlin. Proncipal component analysis for alteration mapping . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing，1991，(57)：1163～1169.

[6] 毛晓长，刘文灿，杜建国 等. ETM +和 ASTER在遥感矿化蚀变信息提取应用中的比较——以安徽铜陵凤凰山矿田为例. 现代地质，2005，(2)：309～314.

[7] 吕凤军. ASTER数据的特性及其应用. 河北遥感，2007，(1)：19～20.

[8] Kruse F A，et al. The Spectral Image Processing System (SIPS)-Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. Remote Sens. Environ.，1993，(44)：145～163.

[9] 王志刚，朱振海，王红梅 等. 光谱角度填图方法及其在岩性识别中的应用. 遥感学报，1999，(1)：60～65.

[10] Freek van der Meer. Imaging Spectrometry and the Ronda Peridotites. Printed in the Netherlands by Grafisch Service Centrum Van de，1994，132.

[11] 罗铭玖，黎世美，卢欣祥 等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床系列. 北京：地质出版社，2000，15～17.

Research of Wall Rock Alteration Information Extraction and Exploration by Remote Sensing in the Western Part of the Lushi District, Henan

WANG Jianping[1,2]

(1 *School of the Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)

(2 *Henan Institute of Geology Survey, Zhengzhou* 450007, *China*)

Abstract: Wall rock alteration and structures are important to exploration. Extracting information of anomalies from, and geological interpreting of remote sensing data, combined with field investigation, can map out the spatial distribution of wall rock alterations and recognize structures. This paper studies the ore prospect in the western part of the Lushi District, Henan Province, using ASTER multi-spectral data and SPOT5 high resolution data. Using techniques including band ratioing, principal components analysis, and spectral angle mapper classification, anomaly information on mineralization and alteration were extracted and comprehensive remote sensing geological analyses were carried out on the important metallogenic sections in the district, by which new exploration targets have been generated.

Key words: exploration by remote sensing; wall rock alteration; information extraction; ASTER multi-spectral data

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net