

冀东地区金矿地质遥感信息提取方法研究*

王建君

(石油勘探开发科学研究院 北京 ·100083)

朱亮璞

(北京大学地质学系 北京 ·100871)

冀东地区金矿主要包括金厂峪、长城式和峪耳崖型。后期叠加断裂构造往往直接控制矿体产出,黄铁矿化是矿化主要标志。根据光谱特征可把金矿区围岩、蚀变岩和矿脉分开。位于断裂附近的羟基和 3 价铁信息复合异常地带是金矿化远景区。热红外多光谱资料对岩性和构造识别有明显效果,可以进行变质岩与白云岩的区分和区内主要出露岩类的区分。区域性断裂—线性构造、韧性剪切带和挤压破碎等控矿构造遥感影像特征明显。

关键词 冀东 金矿 遥感 图像增强 围岩蚀变 控矿构造

冀东地区金矿主要包括金厂峪型、长城式和峪耳崖型金矿 3 大类。金矿产出的基本特征是:以太古宙斜长角闪岩为矿源层,明显受后期压扭性为主的叠加断裂及其破碎带的直接控制,黄铁矿化往往是直接标志,空间上金矿产出与中生代花岗岩关系密切。

1 遥感金矿地质研究

1991 年至 1992 年,我们利用本区丰富的遥感资料,以 TM 图像为主,配合雷达和热红外资料以及假彩色外摄影航片的地质解释,对重点地段进行野外验证、地面和室内数据实测,进行图像资料的增强处理,区分、识别主要岩性及蚀变地质体,分析矿区构造影像特征。

1.1 地物波谱测试

使用“IRIS—3 型的红外智能光谱仪”进行室内地物波谱测试。对从金厂峪、峪耳崖和平泉下营坊金矿采集的与金矿有关的围岩、蚀变岩和石英脉的光谱曲线(图 1—(a)、(b)、(c))分析可知:蚀变岩反射率高于围岩,石英脉最高。蚀变岩与石英脉因含蚀变矿物,产生在 $1.4\mu\text{m}$ 、 $1.9\mu\text{m}$ 和 $2.2\mu\text{m}$ 处水与羟基的吸收谱带及 $0.9\mu\text{m}$ 附近 2 价铁谱带较明

显。黄铁矿化特征谱带及反映为 $1.0\mu\text{m} \sim 1.3\mu\text{m}$ 产生一个宽的吸收带。铁帽样品除具有铁的氧化物的光谱特征外,还具有自己的特征(图 1—(d)): $0.55\mu\text{m}$ 处强度陡降, $0.9\mu\text{m}$ 处 3 价铁氧化物谱带, $1.4\mu\text{m}$ 、 $1.9\mu\text{m}$ 附近水的谱带, $1.4\mu\text{m}$ 和 $2.2\mu\text{m}$ 处羟基谱带, $2.15\mu\text{m}$ 处 2 价铁向 3 价铁转化引起反射峰。分析岩石的光谱特征就可把金矿区的围岩、蚀变岩和矿脉分开。

1.2 遥感金矿化蚀变有关信息提取

1.2.1 与金矿化有关的羟基和 3 价铁信息的提取

选择金厂峪区进行 TM 资料为主的与金矿化有关的蚀变信息提取。矿区热液蚀变强烈,地表常呈现黄铁矿化形成的 3 价铁铁帽,我们把氧化物的识别作为蚀变信息提取的重点。选取 $\text{TM}_3 / \text{TM}_1$ (传统的三价铁矿物信息增强方法)与 $\text{TM}_4 / \text{TM}_3$ (反映植被量的稳定图像)两个比值波段,进行拉伸处理使之标准化,最后作主成份变换。发现 $\text{TM}_4 / \text{TM}_3$ 对 PC_1 贡献最大,主要反映植被信息; $\text{TM}_3 / \text{TM}_1$ 对 PC_2 贡献最大, PC_2 图像为铁氧化物图像,即此图像上铁氧化异常处显示为亮的地带。

在反映羟基和 3 价铁信息的图像上同时

本文 1997 年 8 月收到,王延忠编辑。

* 参加本次工作的还有北京大学地质学系 89 级研究生李晓莉、88 级本科生谢艳霞、张志平。

显示为异常的地带,才是有可能与金矿矿化蚀变有关的遥感信息。选择 TM1、4、5、7 作为主成份分析的输入波段进行羟基制图,发现 PC4 将含羟基矿物的像元增强,为暗色,

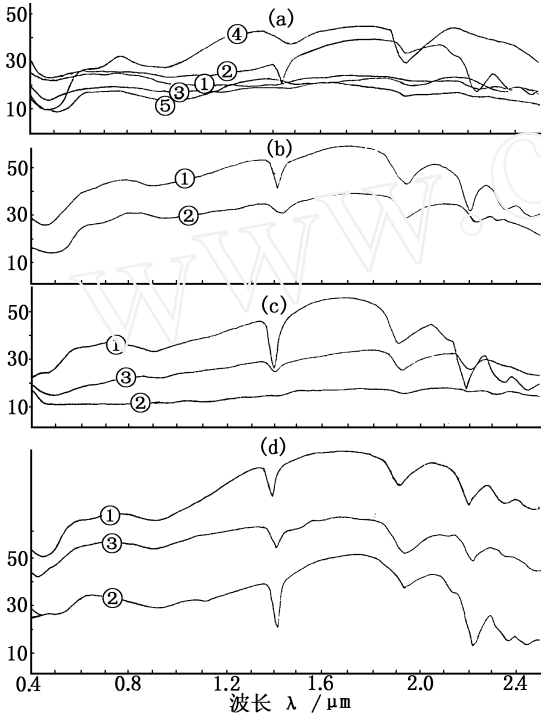


图 1 与金矿有关围岩、蚀变岩、石英脉及铁染样品光谱反射曲线

(a)金厂峪金矿: —黄铁矿化角闪斜长片麻岩; —绢云母化斜长片麻岩; —斜长角闪岩(退变为绿片岩) —含矿石英脉; —黑云角闪长片麻岩。(b)峪耳崖金矿:1 —含矿白色花岗岩;2 —不含矿白色花岗岩。(c)下营坊金矿: —绢云母化石英二长斑岩; —花岗片麻岩; —黄铁矿、绢云母化含矿花岗岩。(d)铁染样品: —构造破碎带; —石英质糜棱岩; —灰白色构造岩

原因是羟基反射率高的 TM5 波段对 PC4 的贡献为负。PC4 经减法处理后,可将羟基异常处显示为最亮地带。对比铁氧化物异常图像发现,后者 A、B、C、D 4 个异常地带中,A 区同时在羟基图像上显示异常(图 2),它可能是热液蚀变造成的 3 价铁富集带(表 1)。为了验证这一设想,我们进行了 SAR—TM 复合试验,处理框图见图 3,表明 A 区位于 NNE 向线性构造密集区内,彩红外航片和 1 500 金厂峪矿区地质图也表明 A 区在断层附近。

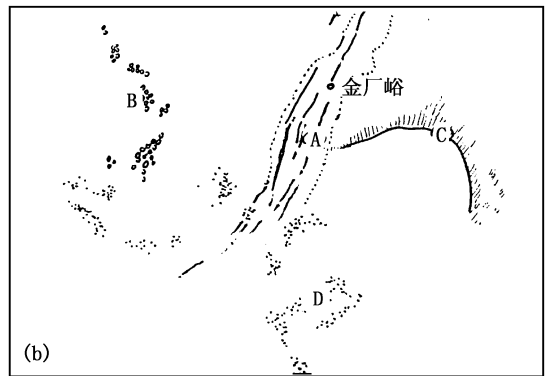


图 2 3 价铁图像及异常

(a) —TM3/1、4/3 主成份 PC2 图像(Fe^{3+} 图像)

(b) —3 价铁异常示意图

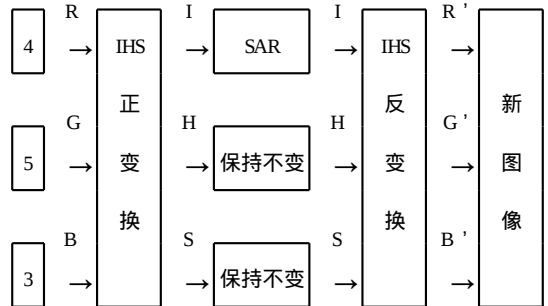


图 3 TM + SAR 处理框图

1.2.2 TMS 和彩红外等资料的初步使用

1990 年 11 月,迁西、青友龙一带以金厂峪金矿为中心获取了两条航带的热红外多光谱资料(TIMS),在 $8\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$ 热红外波段细分了 7 个波段。其图像灰度值反映了地物目标的热辐射强弱,当岩石或矿物分布占有一定面积时,可粗略认为 TIMS 像元主要反映的是某类单矿物或岩石的波谱特征,并且

TIMS 图像上反射出来的辐射强度主要为单位温度的放大信息。由于波段窄,图像之间的相关系数高,我们采用图像去相关处理方法,包括主成份法、比值法和彩色变换(YIQ)法等进行小马坪子区岩性岩类识别研究。

表 1 羟基图像与铁氧化物图像的对比分析表

	铁氧化物	羟基图像	与金矿化关系	成因分析
A	亮	亮	可能与矿化有关	可能蚀变引起
B	亮	暗	无关	河滩沉积物含 Fe 高
C	亮	暗	无关	坡积物含 Fe 高
D	亮	暗	无关	地表风化铁染

TIMS 前 6 个波段主要成份分析发现 PC3、PC4 和 PC6 几乎全为干扰信息,选用 PC1、PC2 和 PC5 进行彩色合成,以 PC1 占 97.7 %信息量的合成图像记录的是不同地物辐射程度的细微变化经 4 次幂放大的信息,它能把片麻岩与麻粒岩、变质岩与碳酸盐岩识别出来。

应用查维兹(Chavez et al,1989)^[2]提供的用 3 个比值的标准差及两两这间的相关系数计算最佳指数的方法,我们优选波段 3/4、4/5、和 6/5 组合 3/1、4/2、6/4 组合作为最佳比值波段组合。波段 3/4、4/5、和 6/5 的亮度增强处理结果显示(图 4)太古界变质岩和元古界白云岩分别以兰色和桔黄色显示。

TIMS 地质构造解译的总体效果也许无法与 SAR 相比,但波段 3/1、4/2、6/4 饱和度增强处理后所反映的一条醒目断层,在 1 200 000 SAR 上未能显示,野外勘查证明断层是存在的。热红外多光谱资料对岩性和线性构造识别有明显效果,童庆禧等(1992)^[3]也有类似结论。

解译主要使用 1 20 万和 1 50 万 TM4、3、2 合成图像,配合小区彩红外航片和 TM—SAR 复合图像。TM 小比例尺像片断裂—线

1.3 陆地卫星 TM、航空 ASR 和彩红外航片区域与矿区构造解释分析

1.3.1 遥感断裂—线性构造的特点

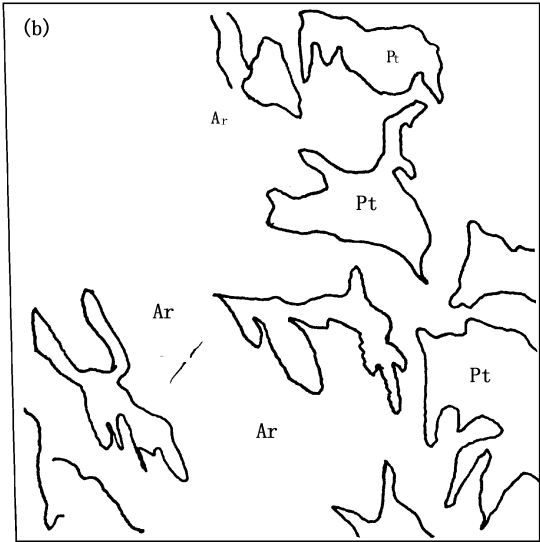


图 4 TMS3/4、4/5、6/5 亮度增强处理结果(a)及太古界(Ar)与元古界(Pt)区分(b)示意图

性构造解译主要依据色调、色彩异常,可识别出区域性断裂构造的主要力学性质显示压性压扭性,压性断裂显示平缓波状并常由密集的多条平行排列的断裂组成;压扭性断裂显示为网状状、鳞片状等特征。区域性深大断裂往往反映为线性构造高密区,压性断裂往往构成其低序次断裂,显示挤压破碎带或蚀变带,彩红外像片多为暗色。

1.3.2 擦崖子 NW 向断裂遥感地质特征

TM4、3、2 合成像片上表现为线性色调分

界面,北侧基岩山地呈黄褐色,地形高差大;南侧呈浅兰色低短丘陵,断面舒缓波状延展。沿断裂发育破碎带、断层角砾岩和糜棱岩,显示多期活动,有较弱的绿泥石化,具明显压性特征。该断裂无论从地形地貌、水系分布特征都显示为活动断裂。

1.3.3 金厂峪一带韧性剪切带构造

韧性剪切高应带往往是线性构造密集区,无论是彩红外航片、TM 或 SAR 像片都能清楚看出金厂峪地区这一特征, TM 像片剪切带总体影像特征为:显示正地形及陡坎,可能由韧性剪切 C 面理形成,其产状也一致,陡坎间正地形色调均一,密布模糊线状影像。彩红外航片反映剪切带内部破碎。根据彩红外航片编制的线性构造等密图(图 5)可以清晰反映 3 条控矿深大断裂和剪切带边界。

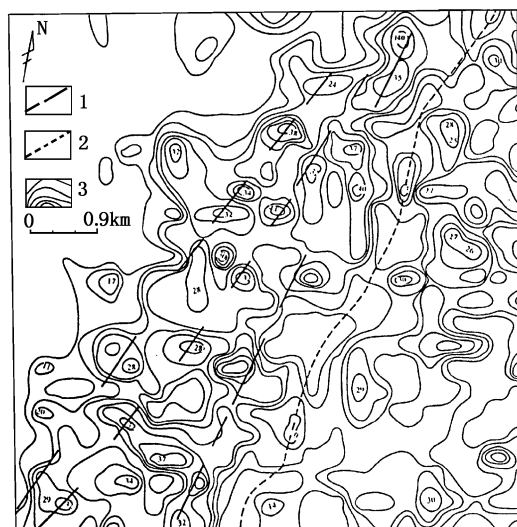


图 5 金厂峪地区线性构造等密图

1—推断深大断裂;2—剪切带边界;3—线性构造等密线

1.3.4 区域 NNE 向雁列构造的分析

分布于片石峪、金厂峪一带,从 TM 和彩红外航片影像特征分析,发育挤压破碎。具体构造分析内部发育绿泥石绢云母片岩及钠长石化片岩带以及广泛的金铜矿化的石英脉,部分显示逆冲。NNE 向挤压片岩带代表一组呈雁行状排列的挤压性结构面,反映后

期挤压作用和矿化关系密切。TM 合成图像表现为雁列构造内部不均一的色彩。

2 冀东地区金矿遥感地质模型与找矿方向讨论

1) 含金母岩 金的主要矿源层是太古界八道河群王厂组斜长角闪岩类岩石,依据 TMS 资料小马坪子区的增强处理结果,不仅可以区分变质岩与白云石,而且区内主要出露岩类基本可以区别。根据波谱特征可进一步区分围岩、蚀变岩和含金石英脉;

2) 区域断裂构造 区内大中型金矿主要受北东和近东西向的压扭性断裂控制,矿体产于低序次断裂裂隙、挤压破碎带。金厂峪矿区挤压破碎在彩红外航片呈现暗色,反映岩石结构破碎,漫反射增强;

3) 构造事件 冀东地区晚前寒武纪沿大型开阔褶皱翼部出现韧性剪切带^[4],剪切扩容为成矿物质富集提供了有利条件,剪切抬升使成矿物质在张脆性断裂作用下弥散,矿液进入层间破碎带和滑塌角砾带,成为长城式金矿的可能成因机制。后期可能来自燕山期的挤压作用使金进一步富集,形成金厂峪巨厚石英脉型金矿。含金石英脉是在挤压性剪切作用下形成的,可与加拿大 Abitibi 金矿对比^[5]剪切带内线性构造密集,多种遥感资料都显示这一特征,内部剪切面理和破碎带也可以从 TM 和彩红外航片得到反映。彩红外航片还显示金厂峪矿区主体断裂附近棕色条带断续分布,黑白航片上则为灰白色蠕虫状,经分析可能是含金石英脉的特征。本区金矿化与中生代岩浆作用有关,主要金矿(点)的产出空间上与花岗岩关系密切;

4) 近矿与远矿蚀变 冀东金矿蚀变类型主要有近矿黄铁矿化、硅化、绢云母化,远矿有绢云母化和绿泥石化,简单脉型金矿蚀变较弱,“长城式”金矿主要限于黄铁矿化。彩红外航片上金厂峪子区丰富的蚀变显示为深色异常。TM 图像上羟基和 (下转第 61 页)

单管旋喷法加固软土地基的应用 胡二中 (5—61)

预应力锚索在边坡加固中方位角的确定 舒家华等 (6—45)

珠江三角洲软土特性及化学灌浆加固初探 程鉴基 (6—48)

高强混凝土桩中坍落度的选取与应用 尹小波 (6—52)

填土地基的处理技术 蔡雨晴 (6—55)

砂石泵轴端密封的研究与设计 张景端 (6—58)

地质信息

《物探化探译丛》1998 年征订启事 (1—30)

《黄金科学技术》(双月刊)1998 年征订启事 (1—37)

中国有色金属工业总公司重点实验室之一——成矿机理重点实验室 (1—封 2)

地质矿产部岩矿测试技术研究所——国家地质实验测试中心 (2—封 2)

第二届亚洲太平洋国际流体包体学会 (APIFIS) 学术讨论会将在乌兹别克斯坦共和国首都塔什干召开 (2—49)

中国地质大学——科学钻探国家专业实验室 (3—插 1)

矿物岩石材料开发与应用国家实验室 (4—插 1)

我国嵌岩技术取得重大突破 刘三意 (5—22)

中国科学院地质研究所——岩石圈构造演化开放实验室 (6—封二)

(上接第 32 页)

3 价铁信息复合异常部位是热液蚀变造成的
3 价铁富集带,与断层有关的这类富集带可作为金矿化的远景区。

参考文献

1 闫积惠.冀东“长城式”金矿之初见.冶金地质动态,1996

2 Chavez P S,Retal. Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,

1989,55:339~348

3 童庆禧,等., 热红外多光谱遥感技术金矿调查应用研究. 红外与毫米波学报,1992,11(3)

4 孙大中,等. 冀东太古宙含金岩石系列研究,见:沈阳地质矿产研究所编,中国金矿主要类型区域成矿条件文集,2. 冀东地区. 北京:地质出版社,1989:49~98

5 Boullier A,Robert F. Paleoseismic events recorded in Archean gold - quartz vein network,Vald'or,Abitibi,Quebec,Canada. J. Struct. Geol.,1992,14:161~179

EXTRACTION OF REMOTE SENSING INFORMATION
FOR GOLD DEPOSITS, EASTERN HEBEI

Wang Jianjun, Zhu Liangpu

The Jinchangyu - type, Great Wall - type and Yuerya - type deposits are typical gold deposits in eastern Hebei. The orebodies are controlled by late superimposed faults. The mineralization is characterized by pyritization. The wallrocks, altered rocks and veins can be distinguished by spectrum features. The areas in which the hydroxyl anomaly and iron stain are developed near faults are good prospects for gold mineralization. It is proved that the thermal infrared multispectral scanner is efficient in discrimination of lithology and structures, which can be used to distinguish the metamorphic rocks and dolomite. The ore - controlling structures such as regional linear structure, ductile shear zone and fractures can be easily identified on images.

Key words eastern Hebei, gold deposit, remote sensing, enhancement of image, alteration, ore - controlling structure

第一作者简介:

王建君 男,1969 年生。1992 年毕业于北京大学地质学系构造地质学专业,1998 年获北京大学理学博士学位。现为石油勘探开发科学研究院博士后,主要从事油气勘探和区域构造研究。

通讯地址:北京市海淀区学院路 910 信箱 地质所 邮政编码:100083