

# 遥感技术在地质找矿中的应用及发展前景

耿新霞<sup>1</sup>, 杨建民<sup>1</sup>, 张玉君<sup>2</sup>, 姚佛军<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

**摘要:** 遥感技术作为矿产勘查的一种手段应用于找矿, 并取得了一定成就。遥感技术的直接应用是蚀变遥感信息的提取, 遥感技术的间接应用包括地质构造信息、植被的光谱特征及矿床改造信息等方面。遥感找矿具有很大的发展前景的领域主要有: 高光谱数据、数据融合技术、3S 的紧密结合、计算机技术的发展。

**关键词:** 遥感技术; 地质找矿; 直接应用; 间接应用; 发展前景

**中图分类号:** TP79; P627 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)02-0089-05

## 0 引言

遥感技术是太空时代的一项高新技术。遥感影像可以全面、客观地记录地表综合景观的几何特征, 遥感图像不仅可以获得地表景观的形态、分布特征组合, 而且还可以获得物质的成分和结构等, 进而实现地物识别的目的。

随着遥感技术的推广, 遥感地质技术人员不断在实践中总结和提高, 遥感技术的应用程度日臻成熟, 在地质的许多方向都有了不同程度的发展<sup>[1]</sup>。遥感技术的应用提高了地质研究的理论水平和工作效率, 同时节约经费和创造效益。20 世纪 70 年代, 美国发射了第一颗地球资源卫星 Landsat 1(1972), 随后又发射了 Landsat 2(1975) 和 Landsat 3(1978), 从此, 地勘系统在地质调查过程中引入并发展遥感技术<sup>[2]</sup>; 20 世纪 80 年代, 美国和法国相继发射了 Landsat 4(1982)、Landsat 5(1985) 和 Spot 1(1986), 传感器的发展使探测波段不断细分, 遥感图像含有更丰富的岩矿信息, 同时这一时期也是计算机技术迅速发展的阶段, 遥感信息提取也得到长足发展。遥感生物地球化学为植被地区矿化信息的提取提供了可行的方法<sup>[3,4]</sup>, 与重金属元素相关的植被红光“蓝移”可以作为矿化指示。在岩石裸露强的地

区, 利用线、环构造的目视解译提取成矿、控矿信息, 后来有效地将遥感与地质找矿紧密结合, 在地形地貌等直观的信息中建立成矿与控矿间的联系; 20 世纪 90 年代, 遥感技术与地质理论相结合, 开展了矿产遥感识别模式的研究<sup>[2]</sup>, 逐渐实现了遥感信息由定性化到定量化的提取, 并发展了不同矿种的找矿模型, 矿床模型是描述一类矿床本质特征的系统排列信息<sup>[5]</sup>, 对寻找相同或相似类型的矿床具有指导意义。

遥感技术在地质找矿中的应用包括直接应用和间接应用: 直接应用是指遥感蚀变信息的提取, 间接应用则包括地质构造信息、植被的光谱特征及矿床改造信息等方面。

## 1 遥感技术的找矿应用

### 1.1 直接应用——遥感蚀变信息的提取

岩浆热液或汽水热液使围岩的结构、构造和成分发生改变的地质作用称为围岩蚀变。围岩蚀变是成矿作用的产物, 围岩蚀变的种类(组合)与围岩成分、矿床类型有一定的内在联系, 围岩蚀变的范围往往大于矿化的范围, 而且不同的蚀变类型与金属矿化在空间分布上常具规律可循, 因此, 围岩蚀变可作为有效的找矿标志<sup>[6,7]</sup>。

收稿日期: 2007-04-02

基金项目: 地质调查项目(科(2005)017-02-02)与国家科技攻关项目(编号: 2006BAB07B07-02)联合资助。

作者简介: 耿新霞(1979-), 女, 山东潍坊人, 硕士, 矿产普查与勘探专业, 遥感找矿方向。通信地址: 北京市西城区百万庄大街 26 号, 中国地质科学院矿产资源研究所, 邮政编码: 100037, E-mail: gengxinxia0536@sina.com

### 1.1.1 蚀变遥感异常找矿标志

围岩蚀变是热液与原岩相互作用的产物。常见的蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、云英岩化、夕卡岩化等,蚀变类型与相关矿种的关系见表 1<sup>[8]</sup>。

表 1 主要围岩蚀变类型与矿化种类的关系

Table 1 Relation of the main wall rock alteration types to mineralization species

围岩蚀变类型	常伴生的相关矿种
硅化	铜、钼、铅、锌、金、银、汞、铋、黄铁矿、明矾石、重晶石等
绢云母化、绢英岩化	金、铜、铅、锌、钼、铋、萤石、红柱石、刚玉等
绿泥石化	铜、铅、锌、金、银、锡、黄铁矿等
云英岩化	钨、锡、钼、铋、铌、钽、铍、锂等
夕卡岩化	钨、锡、钼、铁、铜、铅—锌、硅灰石、透辉石等
粘土(泥)化	金、银、铜、铅、锌、高岭土、叶腊石等
碳酸盐化	铜、铅、锌、汞、菱铁矿、菱镁矿及碱性岩中的铌、钽、锆、稀土元素
明矾石化	金、银多金属、明矾石、叶腊石、高岭土等。
蛇纹石化	超基性岩中的蛇纹岩、滑石、菱镁矿、石棉。接触带中的铁、铜、石棉
钾长石化	铌、钽、铍、锂、钨、锡、钼及稀土元素等
钠长石化	铌、钽、铍、稀土元素及钨、锡、金、铁、铜、磷、黄铁矿等

### 1.1.2 信息提取的实现

与地物发生反射、透射等作用的电磁波是地物信息的载体,地物的光谱特性与其内在的物理化学特性紧密相关,物质成分和结构的差异造成物质内部对不同波长光子的选择性吸收和反射。具有稳定化学组分和物理结构的岩石矿物具有稳定的本征光谱吸收特征,光谱特征的产生主要是由组成物质的内部离子、基团的晶体场效应或基团的振动效果引起的<sup>[9]</sup>。各种矿物都有自己独特的电磁辐射,利用波谱仪对野外采样进行光谱曲线测量,根据实测光谱与参考资料库中的参考光谱进行对比,可以确定出样品的吸收谷,识别出矿物组合。根据曲线的吸收特征,选择合适的图像波段进行信息提取。

根据量子力学分子群理论,物质的光谱特征为各组成分子光谱特征的简单叠加。传感器在空中接收地表物质的光谱特性,因为探测范围内有干扰介质存在(白云、大气、水体、阴影、植被、土壤等),因此,在进行蚀变矿物信息提取时,根据干扰物质的光谱曲线出发,进行预处理消除干扰。主要造岩矿物成分(O, Si, Al, Mg)的振动基频在可见—近红外区不产生诊断性吸收谷的谱带。不同类型的矿物蚀变

会引起  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  中某一类的变化,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  在可见—近红外区可产生岩石谱带中的不同吸收谷组合,例如,在 0.4~1.3  $\mu\text{m}$  范围内的光谱特性是因为矿物晶格结构中的 Fe, Cu 等过渡性金属元素的电子跃迁引起的;1.3~2.5  $\mu\text{m}$  的光谱特性是由矿物组成中的  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  和  $\text{H}_2\text{O}$  引起的。根据吸收谷所处的波长位置、深度、宽度、对称性等特征进行处理,提取相应的蚀变遥感异常(遥感异常)<sup>[10]</sup>。现在应用的数据有多光谱 TM, ETM<sup>+</sup>, ASTER 数据以及少量的高光谱与微波遥感数据等。

蚀变遥感信息在整景图像上信息占有份额低,但局部地区的信息并不微弱,因此即使是微弱的蚀变异常也可以被检测出,试验证明,遥感信息检测的蚀变检出下限优于 1/20 000<sup>[11]</sup>。

目前遥感找矿蚀变异常信息的提取有多种方法,例如波段比值法、主成分分析法、光谱角识别法和 MPH 技术(Mask PCA and HIS)、混合象元分解等<sup>[12,13]</sup>。

“ETM<sup>+</sup> 图像数据的综合遥感找矿蚀变异常信息的提取”、“ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法技术”都取得了一定的成果。在蚀变遥感信息提取和应用研究中,形成了一套独特的技术,即“去干扰异常主分量门限化技术”<sup>[11]</sup>(图 1),包括:① 预处理:校正及去干扰,校正包括系统辐射校正、几何校正、大气粗略校正;干扰包括云、植被、阴影、水、雪等的去除。② 信息提取:以整景的 TM(ETM<sup>+</sup>)图像遥感异常信息的提取为主,其方法以 PCA 主分量分析为主,比值法为辅,同时用光谱角分析法对所获得的主分量异常进行筛选,然后进行门限化分级处理,以获得分级异常图。由于涉及到的矿床类型、规模、控矿要素、蚀变类型以及矿产勘查程度不同,仅靠单一的处理方法不利于异常信息的提取,因此需要多种方法的有效组合,一种方法为主其他方法为辅。这些遥感信息提取技术在资源勘探过程中发挥了很大的作用,目前,利用围岩蚀变找矿已经取得了很好的效果<sup>[14,15]</sup>。

## 1.2 遥感技术间接找矿的应用

### 1.2.1 地质构造信息的提取

内生矿产在空间上常产于各类地质构造的边缘部位及变异部位,重要的矿产主要分布于板块构造不同块体的结合部或者近边界地带,在时间上一般与地质构造事件相伴而生,矿床多成带分布,成矿带的规模和地质构造变异大致相当<sup>[16]</sup>。



疆阿尔泰裸露地区 1:25 万遥感地质填图<sup>[24]</sup>。

## 2 遥感找矿的发展前景

### 2.1 高光谱数据及微波遥感的应用

高光谱是集探测器技术、精密光学机械、微弱信号检测、计算机技术、信息处理技术于一体的综合性技术。它利用成像光谱仪以纳米级的光谱分辨率,成像的同时记录下成百条的光谱通道数据,从每个像元上均可以提取一条连续的光谱曲线,实现了地物空间信息、辐射信息、光谱信息的同步获取,因而具有巨大的应用价值和广阔的发展前景。成像光谱仪获得的数据具有波段多、光谱分辨率高、波段相关性高、数据冗余大、空间分辨率高等特点。高光谱图像的光谱信息层次丰富,不同的波段具有不同的信息变化量,通过建立岩石光谱的信息模型,可反演某些指示矿物的丰度。充分利用高光谱的窄波段、高光谱分辨率的优势,结合遥感专题图件以及利用丰富的纹理信息,加强高光谱数据的处理应用能力。

微波遥感的成像原理不同于光学遥感,是利用红外光束投射到物体表面,由天线接收端接收目标返回的微弱回波并产生可监测的电压信号,由此可以判定物体表面的物理结构等特征。微波遥感具有全天时、全天候、穿透性强、波段范围大等特点,因此对提取构造信息有一定的优越性,同时也可以区分物理结构不同的地表物体,因为穿透性强,对覆盖地区的信息提取也有效<sup>[25,26]</sup>。微波遥感技术因其自身的特点而具有很大的应用潜力,但微波遥感在天线、极化方式、斑噪消除、几何校正及辐射校正等关键技术都有待于深入研究<sup>[27]</sup>,否则势必影响微波遥感的发展。

### 2.2 数据的融合

随着遥感技术的微波、多光谱、高光谱等大量功能各异的传感器不断问世,它们以不同的空间尺度、时间周期、光谱范围等多方面反映地物目标的各种特性,构成同一地区的多源数据,相对于单源数据而言,多源数据既存在互补性,又存在冗余性。任何单源信息只能反映地物目标的某一方面或几个方面的特征,为了更准确地识别目标,必须从多源数据中提取比单源数据更丰富、有用的信息。多源数据的综合分析、互相补充促使数据融合技术的不断发展。通过数据融合,一方面可以去除无用信息,减少数据处理量,另一方面将有用的信息集中起来,便于各种

信息特征的优势互补。

数据的融合包括遥感数据间的融合、遥感数据与非遥感数据的融合。融合技术的实现方法有多种,简单易行的是对几何配准后的像元逐点进行四则运算或 HIS 变换,还有一些方法是对多源数据先进行预处理(特征提取、判别分析)后再进行信息融合,主要的方法有代数运算融合、小波变换融合等<sup>[20]</sup>。

蚀变矿物特征光谱曲线的吸收谷位于多光谱数据的波段位置,因此可以识别蚀变矿物,但是波段较宽,只对蚀变矿物的种属进行分类。与可见—红外波段的电磁波相比,雷达波对地面的某些物体具有强的穿透能力,能够很好地反映线性、环性构造。雷达图像成像系统向多波段、多极化、多模式发展,获取地表信息的能力越来越强。总的来说,多光谱、高光谱数据的光谱曲线特征具有区分识别岩石矿物的效果,所以对光学图像与雷达图像进行融合处理,既能提高图像的分辨率、增强纹理的识别能力,又能有效地识别矿物类型。

尽管融合技术的研究取得了一些可喜的进展,但未形成成熟的理论、模型及算法,缺乏对融合结果的有效评价手段。在以后的研究中,应该深入分析各种图像的成像机理及数据间的相关性、互补性、冗余性等,解决多源数据的辐射精校正问题,发展空间配准技术<sup>[20]</sup>。

### 2.3 3S 的结合

3S 是遥感(RS)、地理信息系统(GIS)及全球定位系统(GPS)的简称。利用 GPS 能迅速定位,确定点的位置坐标并科学地管理空间点坐标。海量的遥感数据需庞大的空间,因此要有强大的管理系统,随着当今人力资源价格的升高,在区域范围内找矿时,遥感表现出最小投入获得最大回报的优势,那么 RS 与 GIS 的结合也就势在必行,因为 GIS 更有利于区域范围的影像管理及浏览。随着 3S 技术的进展,遥感数据的可解译程度与解译速度得到进一步提高。目前,地质工作者尝试将 3S 与 VS(可视化系统)、CS(卫星通讯系统)等技术综合应用,取得了较好的效果<sup>[19]</sup>。

### 2.4 图像接收、处理及信息提取技术的发展完善

由传感器接收的地物光谱信息传到地面接收站,在计算机操作平台上进行图像的处理以及遥感信息提取。随着传感器的发展、数据量的增大,从海量的遥感数据中提取有用的、相对微量的找矿信息不是一件容易的事,传感器的发展是信息提取的前

提,图像处理技术的开发是信息提取的关键。为了提取更客观有效的找矿信息,需要进行以下几方面的工作:

①进一步发展高分辨率传感器,以便接收更微弱、细小的地质信息;②加强信息提取方法的研究,解决计算机处理的技术问题,例如补偿信号在传感器的误差、校正辐射、地形起伏等引起的图像失真等;③在选择参与信息提取的波段时,深入波段选取依据的理论研究,例如进行岩石样品的光谱测试,矿物识别与分析是遥感地质信息提取的核心,所以需要确定不同类型的矿物在各波段的吸收性<sup>[28-30]</sup>,同样在利用植物地化找矿时需配套精密的物质成分分析仪器及技术等;④遥感图像处理海量数据,经处理后的一景图数据量很大,为保障数据处理速度,需要强大的计算机技术(硬件与软件)支撑,图像处理中要将算法转化为计算机的可识别语句,需要计算机语言的发展。发展有利于提高遥感图像的信噪比、优化信息提取的软件平台,实现不同格式图像间的兼容性。

#### 参考文献:

- [1] 鞠建华,李加洪,李志忠,等. 资源环境与遥感[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [2] 唐文周. 我国遥感地质工作的现状和近期展望[J]. 国土资源遥感,1998,36(2):24-32.
- [3] Collins W, Chang S H, Raines G, et al. Airborne biogeochemical mapping of hidden mineral deposits[J]. Econ. Geol., 1983,78(4):737-749.
- [4] Schwaller M R, Tkach S J. Premature leaf senescence as: Remote-sensing detection and utility for geobotanical prospecting[J]. Econ. Geol., 1985,80:250-255.
- [5] 赵玉灵. 遥感找矿模型的研究进展与评述[J]. 国土资源遥感,2003,57(3):1-4.
- [6] 吕凤军,刑立新,范继璋,等. 基于蚀变信息场的遥感蚀变信息提取[J]. 地质与勘探,2006,42(2):65-68.
- [7] 薛春纪,祁思敬,魏合明,等. 基础矿床地质学[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [8] 全苏地质研究所. 蚀变围岩及其找矿意义[M]. 北京:地质出版社,1956.
- [9] 潘兆璜. 结晶学与矿物学(第三版)[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [10] 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[J]. 国土资源遥感,2002,54(4):30-37.
- [11] 张玉君,曾朝明,陈薇. ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程[J]. 国土资源遥感,2003,56(2):44-50.
- [12] 韩秀珍,马建文,布和敖斯尔,等. 利用卫星 ETM 与样方统计数据研究西鄂尔多斯珍稀濒危植物种群分布规律[J]. 遥感学报,2002,6(2):136-141.
- [13] 荆凤,陈建平. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J]. 遥感信息,2005,(专集):62-65,57.
- [14] 张玉君,杨建民. 基岩裸露区蚀变岩遥感信息的提取方法[J]. 国土资源遥感,1998,36(2):46-53.
- [15] 杨建民,张玉君,陈薇,等. ETM+(TM)蚀变遥感异常技术方法在东天山戈壁区的应用[J]. 矿床地质,2003,22(3):278-286.
- [16] 叶天竺. 固体矿产预测评价方法技术[M]. 北京:中国大地出版社,2004.
- [17] 徐水辉,姜端午. “遥感找矿信息提取技术”在骑田岭锡矿田的应用[J]. 湖南地质,2001,20(2):131-134.
- [18] 张侍威,和志军. 北秦岭构造带(河南段)金、铜遥感地质综合找矿模式研究[J]. 地质与勘探,2003,39(1):50-53.
- [19] 丁建华,肖克炎. 遥感技术在我国矿产资源预测评价中的应用[J]. 地球物理学进展,2006,21(2):588-593.
- [20] 戴昌达,姜小光,唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [21] 马跃良,徐瑞. 遥感生物地球化学在找矿勘探中的应用及效果[J]. 地质与勘探,1999,35(5):39-43.
- [22] 马跃良. 广东省河台金矿生物地球化学特征以及遥感找矿意义[J]. 矿物学报,2000,20(1):80-86.
- [23] 况顺达,林卫华,姚智,等. 黔东南地区金矿遥感微弱信息自动提取技术研究[J]. 贵州地质,2003,20(4):242-246.
- [24] 赵福岳. 1:25万遥感地质填图方法及应用[J]. 地质通报,2002,21(12):981-987.
- [25] 张俊荣. 我国微波遥感现状及前景[J]. 遥感技术与应用,1997,12(3):58-64.
- [26] 谭衢霖,邵芸. 成像雷达(SAR)遥感地质综合应用[J]. 地质找矿论丛,2003,18(1):59-65.
- [27] 姜景山,张云华,刘和光. 中国微波遥感技术的发展及其在我国西部开发中的作用[J]. 空间科学学报,2000,20(增刊):67-73.
- [28] 燕守勋,张兵,赵永超,等. 矿物与岩石的可见—近红外光谱特性综述[J]. 遥感技术与应用,2003,18(4):191-201.
- [29] 张建国,杨自安,胡祥昭,等. 基于光谱特征的遥感信息提取及成矿预测[J]. 矿产与地质,2004,14(18):346-349.
- [30] 甘甫平,王润生,马嵩乃,等. 光谱遥感岩矿识别基础与技术研究进展[J]. 遥感技术与应用,2002,17(3):140-147.

(4)重视地表铁帽金的找矿工作。目前的找矿实践发现本区地表存在多处含金的铁帽(如柳条沟等处),因此通过工作,掌握地表铁帽金与原生含金硫化物矿床之间的依存关系,就有可能查明其深部是否存在原生的含金硫化物矿床。如有突破,将进一步带动本区金矿新类型的找矿。

评,1982,28(2):108-117.

- [2] 陈伟军,刘红涛. 赤峰—朝阳金矿化集中区主要金矿类型及地质特征[J]. 黄金科学技术, 1999,14(5): 1-6.
- [3] 王义文. 华北地台北缘东段金矿床类型、控矿地质条件及金矿活化成矿论[J]. 地质与资源,1992,(2-3):83-88.
- [4] 徐贵忠,余宏全. 赤峰西部地区金矿床成矿时代及其成矿机制的新认识[J]. 矿床地质, 2001,20(2): 99-106.

#### 参考文献:

- [1] 王义文. 我国主要类型金矿床同位素地质学研究[J]. 地质论

## RESEARCH ON CONTROL FACTOR AND PROSPECTING DIRECTION OF GOLD DEPOSIT IN CHIFENG-CHAOYANG AREA

SHEN Liu-sheng, ZHANG Zhao-shan, WANG Ling

(Tianjin north China Geological Exploration General institute, Tianjin 300181, China)

**Abstract:** The Chifeng-Chaoyang area is an Au-deposit-concentrated area in Liaoning province. Several styles of Au deposit occur in the area, such as Jinchanggouliang style, Anjiaying style and Caihulanzi style. Au ore bodies are directly controlled by faults. The Au-bearing capacity of the regional Archean metamorphic rocks, the multi-staged and multi-genetic granitic activities and long-lived fault system are factors controlling the Au-deposit-concentrated area.

**Key Words:** Chifeng-Chaoyang area, mineralization factor, gold deposit

(上接第 93 页)

## APPLICATION OF RS TECHNOLOGY TO GEOLOGY AND ORE DEPOSIT RESEARCH AND THE DEVELOPMENT PROSPECT

GENG Xin-xia<sup>1</sup>, YANG Jian-min<sup>1</sup>, ZHANG Yu-jun<sup>2</sup>, YAO Fo-jun<sup>1</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land & Resources, Beijing 100083, China)

**Abstract:** RS technology has been used as a method in the exploration of ore deposits from the end of 20th century, and have obtained achievements. The applications of RS technology have been summarized in this paper: direct application of RS is the extraction of RS alteration anomaly information and indirect geological structure information, vegetation and ore deposit reworking information, etc. RS technology is of great development prospect in hyper-spectral RS data, data fusion technique, combination of 3S and the development of computer technology.

**Key Words:** RS technology; geology and ore deposit searching; direct application; indirect applications; development prospect