

文章编号: 1001-1412(1999)04-0029-06

# 试论遥感地质找矿的进展

谭衢霖, 翟建平, 徐光平

(南京大学 地球科学系 南京大学成矿机制研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 随着遥感应用技术的进步, 遥感在地质找矿中的应用越来越深入, 遥感的地质分析能力也不断提高。同时, 地理信息系统在遥感信息集成分析、圈定成矿靶区及远景区的应用研究中, 成为空间多源信息综合处理的有力工具, 在遥感地质找矿中起着巨大的作用。遥感地质找矿的关键是遥感含矿信息提取技术。文章以遥感地质信息获取, 含矿多源信息提取与分析, 以及地理信息系统在地质找矿中的应用为主要内容, 对遥感地质找矿的进展作了简要的阐述。

**关键词:** 遥感地质找矿; 信息处理; 地理信息系统; 信息复合分析

中图分类号: P627

文献标识码: A

## 1 概述

随着信息获取和信息处理技术的不断进步和完善, 遥感地质找矿作为遥感应用的重要领域取得了长足的发展。遥感地质找矿是遥感信息获取、含矿信息提取以及含矿信息成矿分析与应用的过程。其中遥感信息获取是遥感找矿的基础, 含矿信息提取是遥感找矿的关键, 而含矿信息的成矿分析则是遥感地质找矿的保证。遥感地质找矿是三方面的成功结合。因此, 遥感地质找矿的进展完全体现在遥感信息获取, 含矿信息提取和含矿信息的成矿分析三个方面。

## 2 遥感信息获取手段的发展

遥感信息获取是遥感应用的基础, 遥感地质找矿工作随着信息获取手段的更新而不断发展。

70年代以前, 以黑白全色摄影为代表的地质摄影测量<sup>[1]</sup>, 在地质应用领域徘徊了几十年, 因为它主要停留在摄影图像的表面判读上, 不能给传统地质学带来多少新信息、新发现。70年

收稿日期: 1999-08-23;

第一作者简介: 谭衢霖(1975-), 男, 江西宁都人, 硕士, 矿床普查与勘探专业。

代以后,以陆地卫星为平台的多光谱扫描技术给地质找矿发展带来新的契机。它以多个窄波段同时获取同一地物的可见光——近红外光谱信息。特别是经过改进的 TM 专题制图仪,除了光谱分辨率和空间分辨率得到提高之外,还专门设置了“地质窗口”,并把探测范围扩展到了热红外波段,使 TM 专题制图仪的 7 个波段同时具有对生物和叶绿素、岩石和矿物、干湿土壤以及水分等自然要素更强的波谱响应<sup>[2]</sup>。窄波段突出了地物的专题信息,多波段组合提供了从地质母体到风化残物,从土壤发育到生物群落,以及大气降水和水份作用的时间与空间演变系列的综合信息,使人类能够动态地、全方位地研究地质事件的发生和矿床的形成。摆脱了过去就矿论矿的单一找矿方式,把地质找矿与地球演化相联系,同岩石圈、生物圈、水圈以及大气圈研究相结合,促进了成矿新理论、找矿新模式的形成,使地质找矿面貌为之一新,进入“立体找矿”发展新阶段<sup>[3]</sup>。

进入 90 年代,以成像光谱和成像雷达技术为代表的新一代对地观测系统提供了更强的地质信息获取手段。成像光谱仪由于具有高光谱分辨率和宽度很窄的多波段遥感图像的特点,可以进行地物波谱特征定量及空间定位分析,从而为岩石类型、矿物成分识别提供了全新的技术手段<sup>[4]</sup>。成像光谱技术以获取岩石物质成分信息见长,特别对含有氢氧根、碳酸根和硫酸根类蚀变矿物最敏感,利用其“诊断性”吸收特征可进行蚀变矿物填图,进而圈定找矿靶区。

成像雷达具有全天候、全天时的探测能力,它主动发射电磁波“照亮”地物,接收地物表面粗糙度和介电特性信息,并随着电磁波波长的增加其穿透覆盖物的能力也增加。成像雷达发射能量脉冲的电场矢量可以在垂直面和水平面内极化,不同地物的不同性质有不同的极化散射性。电磁波发射的方向、入射角不同,对地物表面结构特征有不同的加强或压制效果,基于以上种种优势,成像雷达成为探测地质构造最有效的手段之一<sup>[5]</sup>。

### 3 含矿信息提取技术

遥感信息提取由人工或计算机进行。事实上,遥感信息提取几乎都是利用了人和计算机双方的作用,人和计算机的优缺点相辅相成,完全依靠单方面的情况是很少的。这种人和计算机相互配合同时进行分析的方法称为人机交互方式。80 年代以前,由于计算机性能低下,价格昂贵,遥感信息的提取较多依赖于判读人员的知识,得到的地学信息不仅有限,而且花费大量时间,存在个人差异。80~90 年代,计算机的性能突飞猛进,运行速度、存储容量大大提高,用计算机进行图像处理方便快捷;90 年代末,随着计算机网络的迅速发展,遥感数据已实现全球范围内的传递、接收和检索。如由地球观测机构的国际组织 CEOS(Committee on Earth Observation Satellite)建立的 CEOS-IDN(international directory network)国际网络<sup>[6]</sup>。

为了减轻人的劳动,目前倾向于尽可能采用计算机来代替人工进行图像判读。如通过使计算机学习判读人员所具有的知识而进行信息提取,这种方式称为专家系统(expert system)。

遥感信息提取的原始数据来源于通过遥感平台上的遥感器采集的全部遥感数据。这些原始数据几乎都是作为图像数据处理的。因此,除一部分数据处理外,遥感信息提取大部分属于图像处理的范畴。图 1 表示了遥感数据处理的内容。

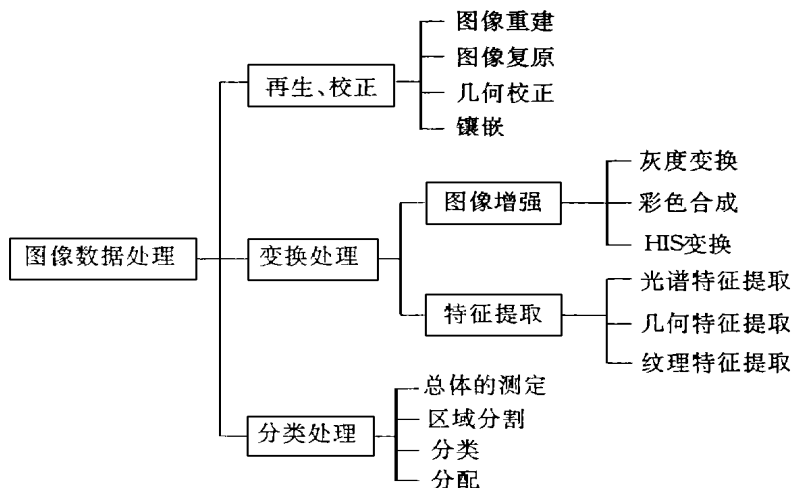
图 1 遥感数据处理的内容<sup>[6]</sup>

Fig. 1 Steps of remote sensing data procession

遥感图像经过图像校正,消除伴随观测而产生的误差及畸变,再经过变换、分类等处理,得到易于识别的遥感图像。遥感图像提供的最为直观的信息是反映岩性/土壤、地貌/构造方面的特征,前者以图像的色调信息反映出来,后者则是由纹理信息来表示<sup>[7]</sup>。遥感找矿中的信息提取就是通过计算机图像处理方法与矿化相关的构造(断裂、节理及隐伏构造)及岩性(含矿地层、岩石及蚀变岩)和具指示意义的脉岩信息提取出来并加以定量分析。常用的分析方法可以分为图像增强和特征提取以及基于地理信息系统(GIS)的多源地学数据综合分析方法。当前,遥感地质找矿中最常用的分析方法是彩色空间变换(HSI变换)、纹理特征提取分析、主成分分析及多源地学数据综合分析。

### 3.1 彩色空间变换(HSI变换)

颜色是不同光谱段电磁波辐射作用于人眼所引起的除形象之外的视觉特征。它用三个属性来描述,即色调(H)、饱和度(S)和强度(I)。强度指颜色的总亮度,色调指构成颜色的光的平均波长,而饱和度指颜色相对于灰色的纯度。通过彩色空间变换,遥感图像中以强度来表示的空间信息可以从以色调和饱和度来表述的波谱信息中分离出来,从而对图像的空间信息和波谱信息独立地进行操作处理,而互不影响。采用不同坐标系统,HSI彩色空间变换有不同的模型。

彩色空间变换在遥感图像中多用于对色调定量解释,图像增强及含矿信息提取,还可用于不同分辨率和不同传感器遥感图像信息复合图像模拟以及多源地学数据综合分析<sup>[8]</sup>

### 3.2 主成分分析处理

主成分分析亦称K-L变换,是进行物征提取的一种正交线性变换方法。多光谱遥感图像的波段间存在相关性,有相当多的数据重复,不利于岩性识别。主成分分析的目的是把各波段中的信息压缩到尽可能少的主成分中,使各主成分具独立性,其中第一主成分方差最大,信息量最多,次级主成分的信息依次递减。一般,前三个主成分即可占据总信息量的90%~

99%<sup>[6]</sup>。一幅主成分图像中包含了比一幅原始波段内容更突出的信息,起到图像增强作用;另一方面,在多波段图像中,可以用少数几个正交的主成分作为新的数据通道来代替相关性甚大的多个原始波段,从而起到降维和数据压缩作用。一般对 TM 图像 6 个波段同时进行主成分分析,选取前三个成分进行假 3 彩色合成、数字分析或分类。

### 3.3 纹理特征提取

纹理也叫结构,是指存在于图像中某一范围内的形状很小的、半周期性或有规律地排列的图案,纹理可以分为微观纹理和宏观纹理。根据构成图案的要素形状、分布密度、方向性等纹理进行图像特征提取的处理叫做纹理分析。对数字图来说,找出表示纹理特征的指标是很难的,所以多采用求出小窗口内图像的统计特征,与光谱数据一起进行分类,或对有方向性的图像使用功率谱进行分析的方法。通常,把遥感图像上呈现的具有直线性或接近直线的排列图案叫做线性构造。线性构造可反映出地下状况,与地下深部的断裂有直接或间接的关系,可以比较容易地了解大范围的地质状况<sup>[9]</sup>。

### 3.4 基于 GIS 的多源地学数据综合分析

随着遥感找矿技术的发展,一方面信息来源及种类越来越多,另一方面遥感找矿工作的难度也越来越大,遥感找矿信息的不确定性和成矿信息的复杂性,促使遥感地质找矿必须与地球物理和地球化学信息相结合,走综合信息找矿方法的路子。因此,基于 GIS 的多源地学数据综合分析方法就成为矿产资源预测的重要方法。

地理信息系统是在计算机制图和遥感技术基础之上发展起来的,可以进行多种数据的存储、编辑、查询、检索,通过模式分析输出专业图件。任何二维空间数据都可通过网格化转换成图像形式,应用彩色技术可将灰度图像转化为彩色显示。为了消除彩色显示对图像高频信息的压制而对纹理分析产生的影响,需选用滤波方式或人工模拟阴影技术对图像高频信息增强<sup>[10]</sup>。

多源数据复合分析并不是原始图件简单的叠合;地理信息系统也不仅是多源数据库,它可以使多源数据数字化、定量化,便于计算机统计、运算、推理、演绎、综合分析,建立定量的评价和分析模型进行成矿预测。

## 4 含矿遥感信息的成矿分析方法

遥感地质找矿是在地质成矿理论指导下的矿产探测活动。含矿信息的分析方法离不开成矿理论对遥感信息的“地质语言化”<sup>[11]</sup>。它有二种途径:①新一代高分辨率(光谱分辨率和空间分辨率)遥感数据提供了更精确的地物属性信息和更丰富的表部微细结构信息,其波谱响应与更加接近物质成分自身的光谱特征,利用“诊断性”波谱特性探测与矿床有关的围岩蚀变,追求“直接找矿”效果;②在最新成矿理论指导下,把矿床的形成与整个地球演化联系起来,充分利用与矿床形成有关的岩石圈、生物圈、大气圈和水圈等环境信息,遵循“环境-矿床”的分析思路。显然,前者探测目标明确、方法简捷,利于在已知矿带对矿床快速评价。不足之处是宏观概括性差,缺乏系统性整体概念,对深部和隐伏矿产信息的揭示有一定的局限性;后者宏观特征

突出, 综合性强, 能够发现基底以及盲矿有关信息, 揭示新的成矿规律, 其不足之处是信息多解, 难以定量描述。

#### 4.1 宏观对比研究寻找大一超大型矿靶区

迄今研究表明, 大一超大型矿床的形成, 其空间位置离不开有利的巨型构造, 有人把大一超大型矿床选择在特定的构造位置上产出的特性称之为“成矿偏在性”。涂光炽院士指出, 大一超大型矿床在成矿类型和成矿地域上存在“偏在性”, 并有成群分布的特性<sup>[12]</sup>。这为利用遥感技术寻找大一超大型矿靶区提供了理论依据。航天遥感影像的宏观性和对地物现象的概括能力以及资料获取的可重复性给寻找大一超大型矿靶区的对比研究带来极大的便利。宏观的成矿环境研究是成矿预测的基础, 与邻区对比研究是圈定大一超大型矿靶区的依据<sup>[13]</sup>。

利用遥感图像的高度概括能力, 研究宏观地质特征, 以全球构造演化为主线, 综合地质、地貌、物探、化探、生物等信息, 从三维空间角度, 以动态发展的观点, 与当代最新成矿理论相结合, 抓住地质找矿中的关键性问题, 选准利于发挥遥感优势的突破点, 是遥感地质找矿取得成功的有效途径。

#### 4.2 以聚矿构造为核心的遥感影像模式找矿

当代著名的勘查地质学家 R. 伍德指出: “勘查的成功特别取决于二种技能, 即观察和解释”。遥感技术以其独有的高度(宏观概括)、广度(紫外-微波多波段信息)和深度“诊断性”波形特征, 揭示了许多新的、地面工作难以发现的地质现象和矿床聚集规律, 地壳中矿床分布的重要规律之一便是一定的矿床类型产在一定类型的构造中, 对于每种构造而言都有其相应的成矿专属性。因此, 以聚矿构造为核心的遥感影像模式找矿成为矿产勘查中重要的手段。下面是三种重要的找矿构造影像模式。

(1) 环形构造影像模式 遥感技术给地质学带来的最大冲击和贡献是环形构造, 因为环形构造形成多与地球热动力环境有关。如: 火山-破火山口, 火山-火山穹窿或岩浆侵位等。由于岩浆作用造成深部物质的密度降低, 侵入体岩石密度要比围岩(沉积-火山沉积岩)低, 往往形成重力低值异常。中酸性成分的喷发岩盖层多显示负磁异常, 花岗岩侵入体多为正磁异常。所以, 环形构造往往是重要的深部聚矿构造。据统计, 我国的铬、镍、铁、铜、钨、锡、锑、汞等主要内生金属矿产 91% 与环形构造有关。环形构造影像模式已演变出了线-环交切影像模式, 串珠型环形影像模式, 多层叠合环形影像模式, 寄生环形影像模式等等。

(2) 弧形构造影像模式 地壳物质和结构在横向上都存在着不均一性, 弧形构造的形成也正是由于这种不均一性引起的。异常的地质结构造成与周围迥然不同的成矿环境, 是可能产生特殊类型矿床或产出前所未有的新类型或新规模矿床的必要条件<sup>[11]</sup>。多年来找矿实践证明弧形构造(体)是一种“异常成矿构造体”, 反映一种特殊的成矿环境, 是有利的聚矿场所。

遥感地质找矿实践表明, 当地壳中多级弧形构造耦合在一起时, 是大一超大型矿床聚集的最有利场所。因此, 加强遥感信息与深部地球物理和地球化学场特征综合研究, 从三维空间角度控制地壳弧形结构、构造特征及耦合关系, 对寻找大一超大型矿床具有重要的理论意义和找矿意义。

(3) 横向穿透构造模式 横向穿透构造主要指与区域构造正交或斜交的构造中断带。常以高角度切割区域走向构造、地貌、沉积地层等, 并造成重力异常和磁异常中断, 所以又称横向构

造不连续带。识别这类构造必须借助地貌-地质、地质-地球物理等综合分析方法,遥感技术已成为国内外研究横向穿透构造的主要手段之一。

横向穿透构造充分体现了地壳物质结构和构造的不均一性,它既是地块、构造体等地质体的接触边界,也是地壳中的薄弱地带。因此,横向穿透构造是地应力作用的强应变带和应力释放场所。在长期、反复的地质演化过程中,起着控制岩浆活动,矿液、油气和热流的运移和聚集,以及变质作用和地震活动的作用。所以,横向穿透构造是重要的控矿构造,我国许多重要的矿床都受到这种构造的控制。又由于横向穿透构造正切或斜切走向构造,与走向构造相交部位形成穿透性构造结,这种构造交汇部位历来都是找矿工作注意的目标<sup>[1]</sup>。

## 5 遥感地质找矿展望

面临 21 世纪以知识和信息为基础的知识经济时代的到来,科学技术进步加快,遥感数据获取能力不断提高,来自全球定位系统、地理信息系统、地面台站网络、卫星数据通信……等对地观测系统的数据源极大丰富,遥感技术以前所未有的速度发展。经过多年的探索和实践,遥感地质找矿无论在理论、技术和方法等方面都产生了质的飞跃,遥感地质找矿方兴未艾。一个以遥感信息为主体,结合地质、地球物理、地球化学等多源地学数据的综合信息找矿法已经形成。成像光谱、成像雷达等遥感科学前沿新技术的进展不断给遥感地质找矿注入新的活力,新全球观、成矿新理论、新规律不断给人们以新的启迪、新的思索。相信在以现代成矿新理论、新思想指导下,以现代遥感新技术为手段的遥感地质找矿工作一定能够焕发出勃勃生机。

### 参考文献:

- [1] 马蔼乃. 遥感概论[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [2] 王宇明. 遥感技术及其应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [3] 中国科学院遥感应用研究所. 遥感科学进展[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [4] 王西川, 钱新强. 环境遥感原理与图像分析[M]. 开封: 河南大学出版社, 1991.
- [5] 郭华东. 遥感信息科学开放研究实验室年报[R]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 1995.
- [6] (日) 遥感研究会(刘勇卫, 贺雪鸿译). 遥感精解[M]. 北京: 测绘出版社, 1993.
- [7] Juts S L. Geological mapping and detection of oblique extensional structures in the Icenyan R, fit valley with a SPOT/Land-TM datamerge[J]. Int. J. Remote sensing, 1993, 14(9): 1677-1688.
- [8] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [9] 刘浩, 郭华东. 雷达图像纹理信息的提取及在地质分析中的利用[J]. 环境遥感, 1995, (2): 107-113.
- [10] 张庸. 遥感成像原理及图像特征[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [11] 赵鹏大, 等. 科学找矿与矿床预测[A]. 新疆地质科学, 第一辑[C]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [12] 涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [13] 宫鹏, 史培军, 浦瑞良, 等. 对地观测技术与地球系统科学[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

## ORE-CONTROLLING STRUCTURE IN LONGWAN IRON MINE

LI Yao-ming

(*Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China*)

**Abstract:** Structural control of Longwan iron deposit in arch belt of the western margin of Yanghe Yu uplift, Zunhua terrain is dealt with according to terrain theory and structural analysis. The uplift margin was then remaining under static+ dynamic environment. Iron ore bodies were controlled by combination of folding and ductile-brittle shear zone occurring as shearing slice or folding slice group.

**Key words:** marginal arch belt; co-axial superpositional folds; ductile-brittle fracture; folding slice

---

(上接第 34 页)

## A TENTATIVE DISCUSSION ON THE PROGRESS OF REMOTE SENSING PROSPECTING

TAN Qu-lin, ZHAI Jian-ping, XU Guang-ping

(*Department of Earth Sciences, State Key Lab of Mineral deposits, Nanjing University, Nanjing 210093 China*)

**Abstract:** Along with the progress of remote sensing techniques, the application of remote sensing in prospecting is farther deepened and the geological analyses capability has been improved continuously. Geographical information system(GIS) exerts a crucial role as a tool of comprehensive treatment of various informations in information-compositing analysis and the study of exploration of ore-forming zone. The prospecting advancement through remote sensing is mainly depended on the techniques of information extraction. The paper discusses the progress of prospecting through remote sensing, covering the information acquisition, various information extraction and analysis and the application of GIS.

**Key words:** remote sensing prospecting; information treatment; geographical information system; information-compositing analysis