

# 成矿地质环境遥感信息识别 方法及其应用研究\*

迟国彬 李岩

(中国科学院新疆地理研究所 乌鲁木齐 830011)

**摘要** 以大地构造格局和区域构造体系的信息识别方法为重点,介绍了图象处理基本方法——卷积滤波的运用思路、应用效果以及成矿地质环境的遥感定量分析方法。依据定量分析结果,在地理信息系统支持下,构建了可对多源地学信息进行定量判别推理分析的成矿地质环境综合评价模型,初步形成了从信息识别到综合评价的相对完整的思路和方法,并在实际运用中取得了较好的效果。

**关键词** 成矿地质环境, 遥感信息识别

## 1 前言

由于世界各国不断加强地质矿产理论和勘查技术方法的研究,逐步发展形成了以板块构造学说和大陆动力学新的研究成果为指导、追寻各种类型矿床形成时空规律为核心的现代矿产勘查思维体系。各类矿床的形成取决于成矿地质环境的时空演化规律,因而成矿地质环境的研究对矿产资源勘查有重大的指导作用。

遥感技术与地理信息系统(GIS)的发展,不但为成矿地质环境研究提供了丰富的信息基础,亦为同一空间范围内的多源信息和遥感信息的综合分析提供了理想的工具,使地质找矿研究在新的起点、新的层次上不断深化和发展。

## 2 宏观构造环境的遥感信息识别方法

遥感信息,特别是多种遥感信息的综合,以其宏观性和丰富的地质内涵已在区域地质调查和地质找矿中取得了应有的地位,对于揭示区域构造体系及其控矿作用显示出相当高的成效。各种遥感平台、各类传感器所获取的遥感信息,以不同的空间尺度蕴含着成矿的环境信息。因此,信息识别已成为遥感地质研究中需解决的重要问题。

### 2.1 大地构造格局的信息识别方法

大地构造格局是区域成矿环境宏观分析的基础依据,是区域地质演化历史的概括反

\* 参加国家305项目“七五”VI<sub>3-2</sub>专题和“八五”902-06-18专题研究工作的还有:丁暄、刘嘉麒、张雯华、袁方策、吴中莹、包安明、徐文新、陈锡飞、马虹、王晋年等同志,在此特致谢意。

收稿日期:1995年7月11日

映。研究表明,大地构造格局的信息识别主要是区域性构造形迹的识别分析。对于构造形迹数字图象增强和提取方法的研究,众多学者,都有其成功的特点<sup>[1-3]</sup>。然而,鉴于这些方法研究多数是在 $512 \times 512$ 个象元或略大一些的图象范围内进行的,加之各研究者所选用的滤波模板作用范围的限制,因而使区域性大断裂及其派生的分支断裂在结果图象上表现为具有一定方向性的断续短线体,对反映区域性断裂的整体性、连续性以及构造形迹之间的序次关系有较大的局限。

信息识别的效果依赖于对所识别信息基本特征的认识和分析。众所周知,大地构造各单元一般均为区域性深大断裂所围限;在遥感影象上,区域性构造形迹通常都是长的线性体,均都有较醒目的特征;而且,其频谱特征无疑属低频范畴。因此,必需选用能够从宏观上反映地质环境的信息源;数字图象处理方法应该采用低通滤波,使图象锐化,达到边缘增强的效果,将构造形迹信息非常明显地突现出来。

滤波(边缘增强)的实际效果依赖于选用的滤波模板。选择滤波方式和滤波模板之时,应依据信息识别的基本目的使区域性构造形迹表现的清晰、完整。滤波模板的基本作用是一种加权平均,其最终效果取决于权重因子和加权平均的作用范围——即滤波模板的大小。笔者曾就 $3 \times 3$ — $27 \times 27$ 各种大小模板的滤波效果做过仔细的比较,发现对于一幅 $512 \times 512$ 象元的图象, $9 \times 9$ 的模板即可取得较好的效果;但对于一景 MSS 影象则需 $17 \times 17$ — $23 \times 23$ 的滤波模板才会取得压抑高频信息(短、小的次级分支断裂),突出区域性构造形迹的效果。

在东昆仑—阿尔金山地区大地构造格局的信息识别中,考虑到该地区国土面积近 $33 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,故而选用经辐射校正与几何校正后的 NOAA—AVHRR 数字图象做为基础资料,采用3种不同的低通全向滤波模板,并将滤波后的图象做假彩色合成,得到构造格局的信息识别结果图象(图版 I 图 1)。在图版 I 图 1 中阿尔金深大断裂、车尔臣河大断裂、东昆仑中央断裂以及罗布泊环形影象体均都表现的十分醒目;4个色调各有差异的地区对应着不同的构造单元。依据图象上所揭示的构造轮廓,结合前人对本区的认识,可以明显划分出4个二级构造单元,即: I 东昆仑—阿尔金陆缘活动带; II 东昆仑中生代岛弧带(环形山系带); III 木孜塔格弧后盆地和 IV 塔里木多环盆地。东昆仑环形山系带以环形山体和山间拗陷的间互排列为特点,可以分出4个次级构造单元,自北向南依次为: II<sup>1</sup>柴达木中新代拗陷; II<sup>2</sup>祁曼塔格加里东岛弧; II<sup>3</sup>库木库里中新代拗陷和 II<sup>4</sup>东南昆仑海西岛弧(图 2)。各构造单元及次级单元之间为断裂所限,有其各自的岩石建造特点与发展深化历史。大地构造格局的信息识别,解决了东昆(仑)中(央)断裂的西延问题,成为该项目的重要研究成果之一,得到专家们的鉴定认可。

## 2.2 构造体系的信息识别与分析

运用同样的方法亦可进行构造体系的信息识别,但侧重于区域性构造形迹及其次级断裂、派生断裂和构造形迹之间的截接关系的信息提取。在新疆西准噶尔地区构造体系分析过程中,选用方向滤波、全向滤波和大小不同的模板组合,收到了较好的识别效果(图版 I 图 3)。在结果图象中,诸如达尔布特、哈图、玛依勒和巴尔鲁克等区域性大断裂表现的明显、完整;区内主要花岗岩体的边界清晰,并较好地区分出区域性构造形迹

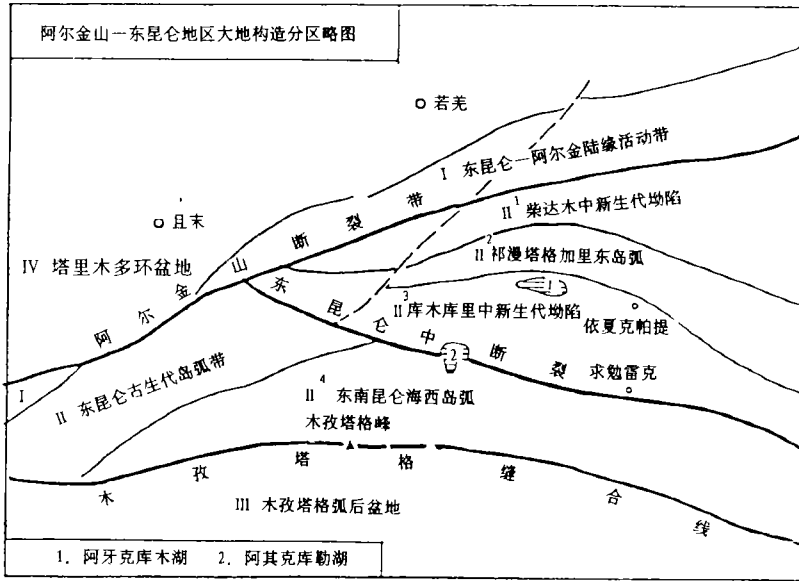


图 2 阿尔金山—东昆仑地区大地构造分区略图

Fig.2 The sketch of structural units in Arjin-East Konglong Area

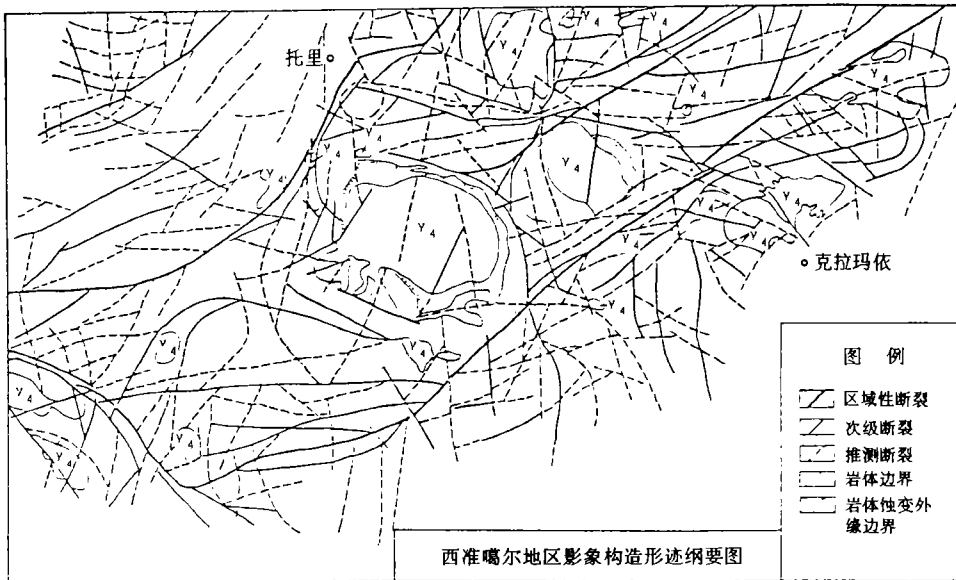


图 4 西准噶尔地区影象构造形迹纲要图

Fig.4 The sketch of structure traces in Western Zhonger area.

和次级、派生断裂形迹以及它们之间的交换、截切关系。依此编绘的构造形迹纲要图 (图 4)成为深入分析成矿地质环境的基本依据。

过去一向认为区内达尔布特深断裂呈北东向连续分布，但构造体系信息识别结果表

明,这条深断裂并非是连续的,而在克拉玛依岩体两侧明显错开而成为两段,南段北端向NE-NEE方向呈弧形延伸,北端南段被一条NWW向的次级断裂截断而分成NW与SE两个构造区域。从这两个构造区域构造形迹的展布特征证明了达尔布特断裂的活动具有明显的分期分段性。依据构造体系信息识别得出的上述地质新认识是项目的重要成果之一。

### 3 构造环境特征的定量分析及其矿产勘查意义

构造环境的定量分析通常采用构造形迹密度的趋势面分析方法,其实际效果取决于构造形迹密度的统计准则和趋势面的拟合次数。拟合结果不仅要反映出区域构造的“本底”特征,同时亦是区域构造异常分析的数量依据。

在新疆西准噶尔地区构造环境特征的定量分析过程中,依据区域性断裂对矿产分布的明显控制作用以及构造形迹交汇处对成矿的有利作用,分别赋以不同的权重系数,参与统计计算。按照数学地质理论,趋势面分析可靠程度的统计检验是由拟合适度及拟合显著性的F检验来表征的<sup>[3]</sup>。在本项工作中,6次趋势面拟合适度为50.22;F检验值为8.47,远大于置信水平为99.99%的显著性阈值1.61。说明了按6次趋势面计算结果编绘的《西准噶尔地区构造形迹趋势面图》不仅可靠而且较好地反映出构造形迹的区域特征。

构造环境特征分析通常包括趋势分析和局部异常分析两个部分。分析结果往往以趋势面图和异常图直观地体现出来。本文采用的构造形迹分析趋势面模型可以表述为:构造形迹密度值(采样值)等于区域趋势、局部异常与误差(采样误差、分析误差)的总和。误差项远小于局部异常而且是随机的,其均值为零。在此模型中,相邻的剩余值(采样值与趋势面拟合值之差)存在着一定程度的自相关。正是这种自相关剩余指出有地质意义的现象存在,特别是正的自相关剩余指出可能的矿致异常。正剩余值并非是异常值,它是局部异常与噪声之和。因此,异常的圈定需排除噪声干扰,在构造形迹趋势面分析中,异常下限的确定,使用下述经验公式<sup>[3]</sup>:

$$Lg = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^M R_i \quad K = \frac{1}{3} N \text{ 或 } K = \frac{1}{2} N$$

其中: $Lg$ 为异常下限值; $R_i$ 为第*i*个采样点的正剩余值; $M$ 为正剩余总数; $N$ 为采样点总数。

计算出的异常下限低值为2.43,高值为3.65。取3.5做为构造形迹分析异常下限,以1做为异常等值线间隔,绘制了西准噶尔地区构造形迹趋势面分析异常分布图(图5)。

从图5中可以看出:1—10号异常区分布在达尔布特断裂带上,11、12号异常区在哈图—安齐断裂带及其延续部位;13—15号异常分布在玛依力断裂带;16号异常在巴尔雷克断裂带。这几条区域性大断裂不仅控制着构造形迹的分布,也控制了异常区的分布。在西准噶尔地区,构造对金矿化区带分布的控制作用是比较明显的。为了说明构造形迹异常与金矿化区分布的对应关系,根据不完全的资料汇总成构造形迹趋势面分析异常

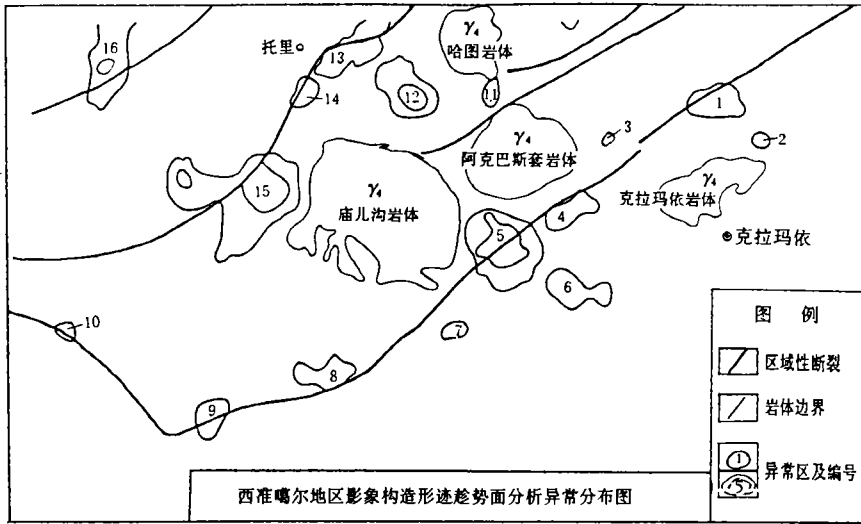


图5 西准噶尔地区构造形迹趋势面分析异常分布图

Fig.5 The abnormal distribution map of tendency surface analysis of structure traces in Western Zhonger area

表1 构造形迹趋势面分析异常区域统计表

Table 1 Statistic table of abnormal sections of structure trace

异常序号	位 置	金 矿 化 状 况
1	达尔布特断裂, 红山岩体西南	
2	克拉玛依岩体北 4km 处	
3	加木巴斯阔腊	化探异常 Au-79(1); 305 项目 VI <sub>3-2</sub> 课题 2# 远景区(2)
4	阿克阔腊克斯套	化探异常毒砂独居石-77(1), VI <sub>3-2</sub> 课题 1# 远景区
5	柳树沟	地矿局阿那尔金矿点, 品位 488g T(3)
6	包古图 II、V、VI、VII、VIII 号小岩体	有色地质总公司包古图 7,8,9,10,11,12,13,16 号金矿点(4)
7	热克套	
8	苏乌尔河中游	
9	唐巴勒河上游, 阿克库都克	
10	达尔布特断裂北西段, 巴孜托别	
11	科迭巴依克斯套	薛撤异常点, 品位 1.81g T, 1.98g T
12	博茨阿特	博茨阿特 A 矿区(5); 地矿局博茨阿特 1,2,3,4 号矿点(3)
13	玛依力断裂带, 托里县城东	
14	玛依力断裂带, 沙尼尕	
15	玛依力断裂带, 喀尔格玛	“花生米”异常, 品位 8.22g T(5), 地矿局物化探队异常钻井点(5)
16	巴尔雷克断裂带, 科克古巴斯	

附注 (1)305 项目办公室, 西准噶尔地区遥感地质矿产图, (2)305 项目 VI<sub>3-2</sub> 课题西准噶尔地区 1:20 万遥感矿产预测图, (3)据新疆地矿局七大队五分队资料, (4)据新疆有色地质总公司 701 队 3 分队资料, (5)中国科学院西准黄金遥感队, 遥感技术在新疆托里-艾比湖地区金矿资源探测应用研究, 油印稿, 1988

区统计表(表 1)。从表 1 中可知道,近年在区内新发现的金矿点、矿化点,除位于包古图 3 号、4 号岩体的克克萨依矿区因位于图幅最边缘而无法反映外,几乎全部囊括在异常区中。

#### 4 成矿地质环境遥感综合评价模型

一般来说,在进行区域矿产勘查之前,所了解的常常是该区的大地构造位置、区域地层、岩石建造等基本地质情况和遥感手段所能提供的各种与成矿有关的信息,因此,以这些基础信息为依据的地质异常分析(图版 I 图 6 图 7)和遥感异常分析,是区域成矿条件评价的基础。在地理信息系统的支持下,以专家知识构成的语义网络推理分析是区域控矿因素的综合与定量比较。着眼于区域矿产勘查前期研究的成矿条件综合评价模型,以现代成矿理论为基础,以定量化的逐步判别推理分析为核心构建而成,模型的整体框架结构见图 8。

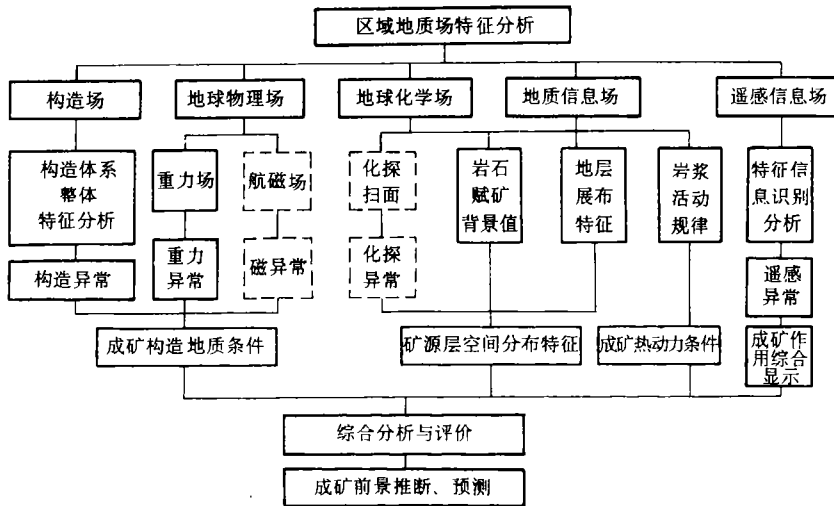


图 8 区域成矿条件综合评价模型框图

Fig.8 The framework of multidisciplinary evaluation model for regional mineralization condition

东昆仑—阿尔金山成矿地质环境遥感综合评价模型分析结果表明:祁曼塔格岛弧带的南缘、东昆中断裂带与阿尔金断裂带交汇部位(即吐拉—库木巴彦地区)以及木孜塔格缝合线与阿尔金断裂带交汇部位(即阿克塔格地区)具有良好的金矿成矿的构造条件、热动力条件和遥感信息综合异常。位于东昆中断裂带北侧的求勉雷克地区具有金矿成矿的热动力条件,有益成矿元素高背景值条件而且是区域构造趋势分析中的高异常区,表现良好的成矿地质条件。基于 GIS 的区域金矿成矿条件综合评价结果与实地地质勘查有着较好的一致性。

## 5 结束语

成矿地质环境遥感信息识别实际上是区域地质异常定量分析的过程。地质异常是一种与周围环境迥然不同的地质结构,是相对于区域背景而言的。尽管地质异常并不一定导致成矿,但矿床的形成必然以地质异常的存在为先决条件。因此,依照现代矿产勘查新思路,运用遥感信息识别分析成矿地质环境,在地理信息系统支持下,对构造异常、岩浆活动时空分布以及物化探异常的定量分析结果,利用专家知识语义网络进行多源地学信息的综合判识、评价,初步形成了具有整体性的思路和方法,并在新疆西准噶尔地区及阿尔金—东昆仑地区的找矿运用中取得了较好的效果。

### 参 考 文 献

- [1] 王润生. 遥感图象线性特征的交互提取. 环境遥感, 1988, 3 (2): 147—151.
- [2] Gerald K. Moore. Objective Procedures for Linement Enhancement and Extraction, photo. Eng. & Rem. Sen., 1983, 49 (5): 641—647.
- [3] 於崇文等. 数字地质的方法与应用. 冶金工业出版社, 1980, 246—289.

## The Recognizing Methods and Applications of Remote Sensing Information for Mineralized Geological Environment

Chi Guobin Li Yan

(Xinjiang Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)

**Abstract** This paper is focused on information recognizing method of structural framework and structural system. It introduces an applying clue and its impressions of basic method in image processing——convolution filter, and gives a quantitative method of remote sensing analysis for mineralized geological environment. According to the quantitative result, a multidisciplinary evaluation model was created to discriminate, to presume and to analyze the mineralized geological environment from multiple geo-information supported by the GIS. We not only developed a preliminary integrative track and method from information recognizing to multidisciplinary evaluation, but also gained quite good and efficient results in practical applications.

**Key words** Mineralized geological environment, Information recognizing of remote sensing

图1 阿尔金山—东昆仑地区  
大地构造格局信息识别  
结果

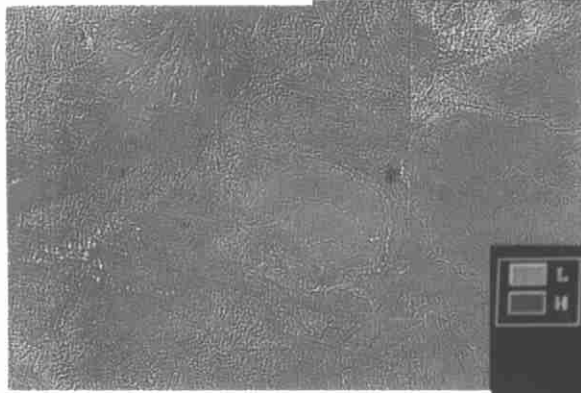


图3 西准噶尔地区构造体系信息识别结果

图6 阿尔金山—东昆仑地区构造趋势异常的  
三维展布

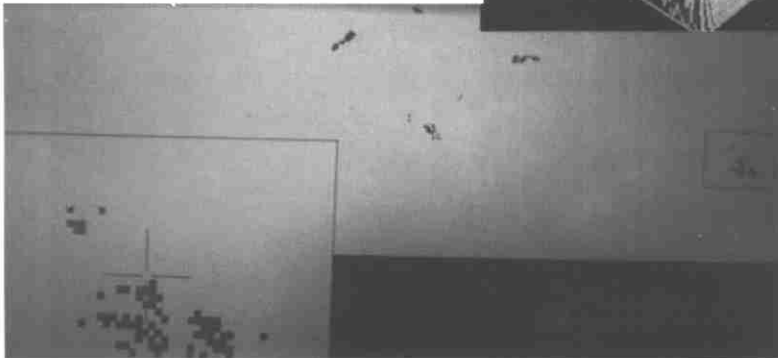
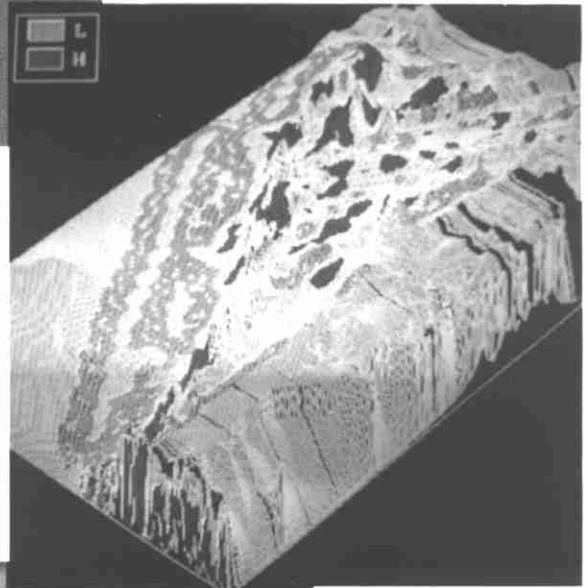


图7 阿尔金山—东昆仑  
地区成矿地质环境综合  
评价结果