

# 成矿预测中遥感与地质异常的综合分析

## ——以兰坪盆地为例

廖崇高, 杨武年, 徐 凌, 濮国梁

(成都理工大学 遥感与GIS研究所, 四川成都 610059)

**摘要:** 遥感技术以其独特的空间和波谱特性,使其在成矿预测中的地位更加稳固,它可以宏观、多方位地对矿床存在的有利区域加以预测;地质异常作为一种新的地质理论,通过定量统计分析方法把各种有利的成矿地质条件进行成矿有利度分析。地质异常场是一个综合异常场,是各种成矿地质因素的综合反映。地质异常综合评价更多是侧重于微观的、局部的分析。基于遥感技术和地质异常理论自身的优势和局限性,将遥感和地质异常相结合,充分发挥它们的优势,并在成矿预测中得到了很好效果。

**关键词:** 遥感;地质异常;成矿预测;兰坪盆地;云南省

**中图分类号:** TP753; P627 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)01-0066-05

在众多高新科技中,遥感技术(特别是卫星遥感)具有特殊的地位。遥感卫星具有视点高、视域广、数据获取快、可重复覆盖、连续观测等特点,其数字化的数据利用网络进入用户机的图像处理系统,特别适用于地球资源勘查、地球环境监测,有利于克服自然环境条件的种种限制,能够快速、低成本、可持续地获得动态监测数据。因此,从卫星遥感技术诞生之日,一直得到了各国政府和国际组织的高度重视<sup>[1]</sup>。遥感技术的应用得到了许多行业的认可,在地质矿产勘查中也已取得了很好的成效。同时,地质异常理论作为一种数学地质理论有其自身的优势和特点,尤其在成矿预测中表现得尤为重要。所谓地质异常是指在成分、结构、构造、成因序次上与周围环境明显差异的地质体或地质体组合<sup>[2,3]</sup>。近年来,地质异常理论在成矿预测中取得了十分明显的效果,如腾冲地区的矿产预测<sup>[4]</sup>、新疆阿克布拉克-梧桐沟一带金铜成矿靶区优选与评价<sup>[5]</sup>、滇中地区沉积改造型矿床预测<sup>[6]</sup>、鲁西金矿成因类型、空间分布的评价<sup>[7]</sup>、陕西勉略宁地区的找矿预测<sup>[8]</sup>等都充分体现了地质异常理论在地质矿产勘查中的地位 and 作用。鉴于遥感技术及地质异常理论在成矿预测中的重要地位,笔者仅以兰坪盆地为例加以论证。

## 1 区域地质背景

实验区位于三江(即怒江、澜沧江和金沙江)地区中段,兰坪-思茅拗陷(或称兰坪-思茅褶皱带)的北段,东西两侧分别以维西-乔后深大断裂和澜沧江深大断裂为界,与元古界变质地体呈断层接触。该区地质构造复杂,是滇西地区与金属成矿的主要地段,是三江地区成矿带的重要组成部分。该区出露地层主要以中、新生界为主,其中三叠系、侏罗系分布最为广泛,也是兰坪盆地主要的含矿层位。实验区岩浆岩分布受区域性断裂构造控制明显,主要分布于实验区的西部及北部的构造运动强烈的地段。

## 2 遥感地质构造分析

本次研究选用了 TM 453 遥感图像经过增强处理后的假彩色合成图像作为地质解译底图,利用人工目视解译来获取所需要的线性构造和环形构造数据,其解译标志主要分为结构标志和色调标志。解

收稿日期: 2002-09-02; 修订日期: 2002-11-05

基金项目: 国土资源部资源与环境科技攻关项目(95-02-001-06)资助。

作者简介: 廖崇高(1969),男,四川宣汉人,博士研究生,从事遥感应用研究工作。

译过程实质是在求异的指导思想下进行的。与成矿作用密切相关的地质构造异常体的存在是矿体或矿床形成的必备条件, 这种地质构造异常体所表现出的地质特征则是指示矿床存在的地质标志, 而这种标志在遥感图像上可以根据地质体的几何形态、色调、纹理及地质体在空间的对比关系得以清楚、宏观地显示。因此, 通过对研究区的遥感影像地质构造分析和研究可以了解研究区的区域构造特征, 从而进一步指导找矿和圈定矿床(点)产出的有利区域, 同时也可以通过遥感地质构造分析发现地下隐伏构造和隐伏地质体。

2.1 遥感线性构造分析

遥感线性构造是地质构造场和成矿地质场在地球表面和光谱特征上的反映<sup>[9]</sup>。遥感图像的线性特征是遥感地质研究的主要标识信息之一。除了单个线性体的解译标志、地貌表现、延伸状态、走向等特征外, 线性体的空间特征如疏密程度、交切关系、空间图式等也无不受到下伏地质条件和地质活动的制约和影响, 从不同侧面反映了地质构造和地质活动特征<sup>[9]</sup>。传统的目视解译和人工分析方法着重研究单个线性特征的影像标志、形态和地质意义, 分析结果多以文字定性表述, 易于丢失和淡化不少信息。而线性体的统计方法如线性体密度、频度分析等早已为遥感地质工作者广泛应用于地质分析中, 并取得了显著成效。遥感影像信息是地下隐伏地质体和地表地物的反射和辐射的综合反映。遥感地质的重要研究内容就是研究航空航天影像上地表可观测的地形地貌景观特征与下伏地质体的相互关系。遥感图像上的线性特征是重要标志之一。线性体量化分析是深化地质研究、提高应用效果的有效途径, 不仅为地质构造分析和成矿预测提供了许多有用信息和佐证, 也为多元地质勘查数据的综合分析提供了数值化参量。

2.2 线性构造密度和频度分析

在进行线性体长度和频度统计分析时, 笔者采用了 2 cm × 2 cm (相当于实际大小 4 km × 4 km) 正方形网格把遥感解译图划分成 26 × 38 = 988 个方格。分别统计各网格内线性体的总长度和总条数, 然后作出实验区线性构造的密度图(图 1)。图中可以反映出实验区线性构造的区域分布, 线性构造等密度图结构轮廓与澜沧江深大断裂和乔后- 维西大断裂走向排列一致, 并在数值上反映出区域性断裂带的梯度带展布。通过线性构造的解译和密度分析, 笔者还发现两条重要的区域隐伏断裂带(石登-

通甸隐伏断裂带, 金顶- 马登隐伏断裂带)。这两条断裂带对该区成矿有十分重要的控制作用。结合已知矿(床)点的分布看出, 兰坪盆地已知矿(床)点明显受控于区域性断裂带, 沿澜沧江断裂带已知矿点呈带状展布。本区矿化有利地段主要分布在澜沧江断裂带、乔后- 维西断裂带及两条隐伏断裂带之间, 说明高密度异常区与矿化有利地段吻合。线性构造密度梯度带的方位则与区域断裂带或区域构造块体边界分布有关。结合实验区的区域地质背景得知, 以澜沧江为界的西部碧罗雪山和乔后- 维西断裂以东的岩体分布明显受这两条断裂带控制。从区域上看, 中、新生代盆地正好是线性体密度异常的高值异常带所夹持的区域(图 1)。图中反映了兰坪盆地局部次级线性构造的空间展布, 在白洋厂、金顶、富龙厂- 白秧坪、三山地区等有较强的低值异常出现。结合密度、频度可以看出兰坪盆地的次级小构造受区域性构造控制, 说明这些次级线性体是由区域性深大断裂派生而成, 并为成矿所需的控矿及容矿提供了场所, 区域性深大断裂则为矿液运移的有利通道。总之, 兰坪盆地已知矿(床)点分布除了受区域性深大断裂控制外, 还密集分布于线性体频度值高的地方, 如白洋厂银多金属矿床。

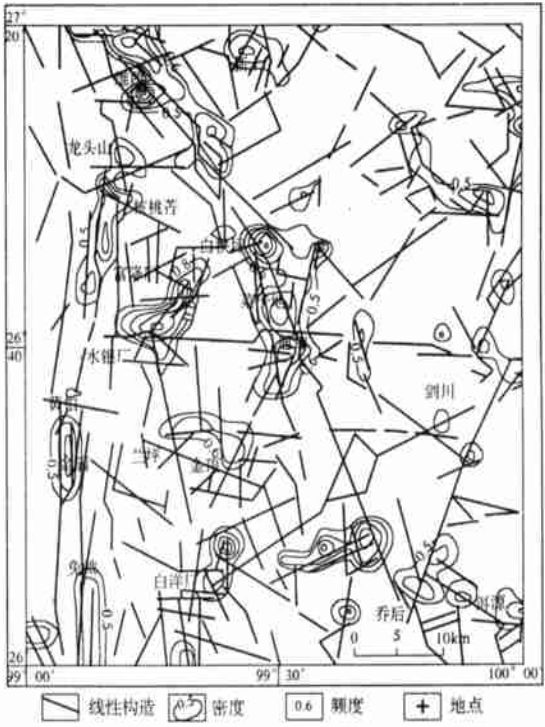


图 1 兰坪盆地线性构造密度和频度分布图

Fig. 1 A map showing density and frequency of linear structures in Lanping basin

2.3 线性构造方位-长度(频度)分析

实验区线性构造方位-长度(频度)图(图 2)是分别计算出解译区方位角分组间隔为 3° 的各组线性构造长度的和以及线性构造条数的和,对长度和频度分别做出曲线图。根据兰坪盆地线性构造的分布特点,结合该区的地质构造特征和统计学的理论,笔者把线性构造的统计结果分为方位-长度(频度)异常场和背景场,即由异常方位长度为 30.1% 和异常方位频度为 27.1% 所决定的异常线把该区的线性构造的方位-长度(频度)图分为异常区(线下)和非异常区(线上)。线性构造方位-长度(频度)分析的目的是了解线性构造产出的优势方位及区域性线性构造的空间展布特征和区域性线性构造与次级线性构造的关系。图中非异常区的峰值主要集中在 130°-180° 与 0°-15° 之间,即 NW 向和 EW 向,这与线性构造密度的空间区域展布是一致的,说明兰坪盆地至少经历了来自 NE-SW 向和 SN 向应力的两次大构造运动。由于方位-频度图反映了局部构造的分布特征,而方位-密度图反映的是区域线性构造的分布格局。图 2 中方位-频度图的非异常区的峰值区和方位-长度图的峰值区特别相似,表明兰坪盆地的局部线性构造和区域线性构造之间存在着一定的内在关联。结合该区的地质构造资料分析,该区的局部线性构造在一定程度上受区域性线性构造的控制。

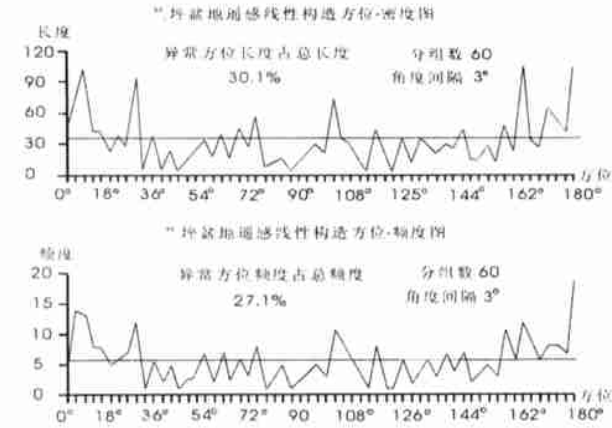


图 2 兰坪盆地线性构造方位-长度(频度)图  
Fig. 2 The orientation-length (frequency) map of linear structure in the Lanping basin

2.4 环形构造分析

环形构造是指遥感图像上由各种地质作用引起的环状影像特征。  
本次环形构造的量化分析采用反距离测度加权

的方法<sup>[10]</sup>,其原理参考文献[10-11]。基本原则为单环中部的权值为 50 分;多圈层环形构造的内环权值为 50 分;由中心向外依次降低 10 分;凡包括在单个环形构造内的网格计 50 分,被包括的多个环形构造内的网格要双重得分;环形构造边缘的网格按单元内环体所占面积比例计分。通过环形构造量化分析反映了本区环形构造的区域分布,环形构造异常的峰值与线性体密度和频度的峰值大体一致,说明环形构造分布与线性构造的分布具有一定的耦合关系。结合矿点分布图和线环构造分布图可以看出,矿点多分布在环形构造与线性构造的交切点或贯穿带及环形构造的中心或边缘地段;线-环构造带控制矿化的展布,构造块体及构造结控制矿化集中区的出现。总体来讲,兰坪盆地具有带、块、结、点、缘的控矿构造特征。

3 地质异常分析

地质异常分析方法有多种,由于地质复杂度能客观地反映有利于成矿的各种地质条件,如地层、构造、岩浆岩等,所以本次选用了地质复杂度法对实验区成矿有利度加以分析。地质复杂度是衡量某一单元子区相对于研究区复杂程度的度量。该方法是将每个单元的所有变量(包括地层、构造、岩浆活动等能够观测的地质变量进行统计)的取值进行累加,就可以得到每个方格的复杂度(C 值)<sup>[3]</sup>。计算公式为:

$$C_i = \sum_{j=1}^p X_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

其中  $X_{ij}$  为第  $i$  单元子区第  $j$  个变量的取值,  $n$  为单元总数,  $p$  为地质变量个数。当  $C_i$  值越大时表明该子区的地质复杂程度越高,成矿有利度越好;相反,表明该子区的地质条件越简单,成矿有利度越差。

实验区的独特地质构造环境(包括地层、构造、岩浆岩及变质岩等)对本区矿床的富集成矿具有十分重要作用,笔者根据这些地质条件对成矿的有利程度进行赋值,然后利用上述公式将每个单元网格内的各种赋值进行累加,从而得到该区的地质复杂度图(图 3)。图中可以直观地看出兰坪盆地地质复杂度异常的总体趋势及高值异常区的展布。结合该区已有的地质矿产资料表明:复杂程度相对较高的地区大部分为成矿有利地段,如金顶、白洋厂、通甸、

富隆厂-白秧坪等地区。

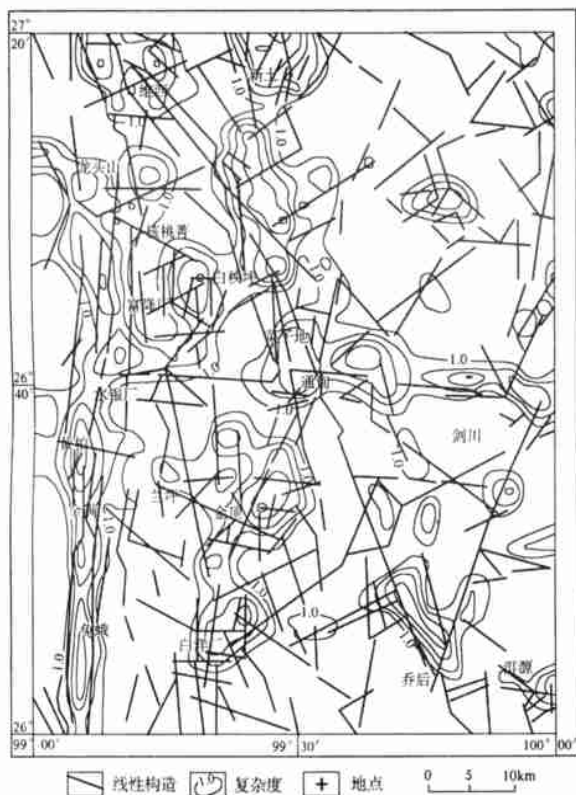


图3 兰坪盆地遥感与地质异常综合评价

Fig. 3 Synthetic evaluation by remote sensing and geo-anomaly in the Lanping basin

## 4 遥感与地质异常综合评价

遥感以其独特的空间特性、波谱特性、宏观特性和经济特性,使其在成矿预测中的地位更加稳固。遥感技术用于成矿预测主要通过目视解译,在遥感图像上圈定出与成矿有关的线性影像体和环状影像体,然后根据研究区区域地质背景筛选出遥感地质构造。其实质是一个求异的过程,即地质异常的一种表现形式。与成矿作用有密切关系的地质构造异常体的存在是矿体或矿床形成的必备条件,这种地质构造异常体所表现出的地质特征则是指示矿床存在的地质标志,而这种标志在遥感图像上可以根据地质体的几何形态、色调、纹理及地质体在空间的对比关系得以清楚、宏观的显示。

地质异常是在成分、结构、构造或成因次序上与周围环境有明显差异的地质体或地质体组合<sup>[3]</sup>。如果用一个数值(或数值区间)作为阈值来表示背景物

的话,凡超过或低于该阈值的场就构成地质异常。它具有一定的强度、空间范围和时间界限。其表现形式不仅在物质成分、结构构造和成因次序上与周围环境不同,而且还有我们肉眼很难分辨出的由地球物理场、地球化学场及遥感影像等表现出的异常(这些都只能通过特定的方法或手段才能探测)。根据研究的对象不同,确定的地质异常场与背景场的界线水平也是不同的<sup>[4]</sup>。地质异常是可能产生特殊类型矿床、新类型矿床或新规模矿床的必要条件。有异常的地方不一定有矿床,但有矿床的地方必然有地质异常存在。地质异常作为一种新的地质理论,它综合了有利于成矿的各种地质条件,根据统计学的原理把各种有利的成矿地质因素进行成矿有利度得分,进而进行成矿预测。

遥感技术作为一种先进的技术手段,可以从宏观的角度进行有利于成矿的地质构造提取。遥感影像作为一种成矿预测的信息源,在一定程度上可以作为地质异常分析的一类地质变量,应用地质异常的理论加以定量分析。在此基础上,充分发挥各自的优势,从而达到成矿预测的目的。笔者圈出了如下的成矿有利远景区:

(1) 金顶找矿远景区:分布范围与金顶穹隆构造基本吻合,出露地层主要为由外来系统(上三叠统、中侏罗统)和原地系统(白垩系、上第三系和第四系)组成。区内基本没有岩浆岩出露,在遥感图像上线、环构造发育,且线与线、线与环的交汇点普遍存在。金顶超大型铅锌矿床正好产于此区。综合各种因素分析,笔者认为在金顶超大型铅锌矿床的周围地段有望找到铅锌矿床及铜、银多金属矿床。

(2) 白洋厂找矿远景区:本区处于由兰坪-云龙断裂及江断裂所夹持的断块内,这两条断裂也正好是导矿的有利通道。区内出露地层主要为白垩系和下第三系,在遥感图像上线、环构造发育,其交汇点普遍存在。综合分析表明该区的矿床产生具有层、相、位的控制特点,是寻找银等金属矿床的有利区段。

(3) 三山-白秧坪找矿远景区:该区分布于研究区的中北部,NE向华昌山断裂和EW向隐伏断裂控制了该区的矿液运移和存储。遥感图像上线、环构造发育,该区地质找矿特征明显,具备成矿有利地层、构造条件等,是寻找铜、银等多金属矿床的有利区域。

(4) 通甸找矿远景区:位于乔后-维西断裂与研究区中部EW向隐伏断裂交汇的地段,出露地层主

要为中、上三叠统和第三系。遥感影像上 EW 向隐伏断裂明显显示, NW 向、NE 向线性构造发育, 环形构造呈同心圆形的串珠状环群, 并与线性构造交汇点耦合。综合分析表明, 该区是寻找铜、铅、锌等多金属矿床的有利区段。

(5) 乔后- 剑川找矿远景区: 该区位于黑惠江断裂以东的地区, 地层从寒武系到第四系均有出露, 遥感影像上, 除了黑惠江断裂有明显显示外, 预测区内只有少量的线性构造及单一的环形构造, 是寻找铜、银等多金属矿床的有利远景区。

总体来讲, 兰坪盆地的地质复杂程度高值区是受澜沧江断裂带、乔后- 维西断裂带、EW 向隐伏构造带及次生小构造的控制。它们之间存在着必然的联系。

#### 参考文献:

[1] 王怀义. 资源卫星光学遥感器技术现状和发展方向[A]. 第十二

届全国遥感技术学术交流会论文集[C]. 2000, 9.

- [2] 赵鹏大, 池顺都. 初论地质异常[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(3): 241-248.
- [3] 赵鹏大, 王京贵, 饶明辉, 等. 中国地质异常[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(2): 117-127.
- [4] 赵鹏大, 孟宪国. 地质异常与矿产预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(1): 39-46.
- [5] 卢宇, 李师兰. 地质异常理论在找矿靶区优选与评价中的应用[J]. 地质与勘探, 1996, (1): 7-12.
- [6] 李德威, 赵温霞, 张天平, 等. 滇中多尺度地质异常的构造背景场[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(2): 137-140.
- [7] 徐金方, 石玉臣, 刘长春, 等. 鲁西金矿成因类型、空间分布及其致矿地质异常[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(5): 468-471.
- [8] 陈守余, 胡光道, 周宗桂. 陕西勉略宁地区致矿地质异常场结构及找矿预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(5): 473-475.
- [9] 王润生, 杨文立. 遥感线性体场的定量分析[J]. 国土资源遥感, 1992, (3): 49-53.
- [10] 杨武年, 杨健. 遥感信息量化处理在西昌地区构造解析及油气远景预测中的应用[J]. 国土资源遥感, 1994, (3): 63-70.
- [11] 索小光, 赵不亿, 李甫安. 环形构造成矿预测定量分析[J]. 国土资源遥感, 1993, (2): 54-60.

## THE SYNTHETIC ANALYSIS OF REMOTE SENSING AND GEO-ANOMALY ON ORE-FORMING PREDICTION

——Taking the Lanping basin as an example

LIAO Chong-gao, YANG Wen-nian, XU Ling, PU Guo-liang

(Institute of RS and GIS, Chengdu university of technology Chengdu 610059, China)

**Abstract:** With its particular spatial and spectral characteristic, the remote sensing becomes more effective on the ore-reforming prediction. The remote sensing can predict the advantageous ore-reforming area in macroscopic aspect and three dimensions. As a new geologic theory, the geologic abnormality theory marks various advantageous ore-forming geological conditions by quantitative statistical analytical method. We can see that geo-anomalous field is a synthetic anomalous field and also the synthetic reflect of various ore-forming factors. Geo-anomaly synthetic appraisal emphasize particularly on microscopic and partial analysis. In view of the advantages and limitation of the remote sensing and the geologic abnormality theory, the author tries to integrate the two methods and receive good ore prediction results.

**Key words:** remote sensing, geo-anomaly; ore-forming prediction; Lanping basin; Yunnan