

# 基于地质模型的遥感多元综合信息矿产预测方法在滇东北地区铜矿勘查中的应用

王梦飞<sup>1,2</sup>, 陈广浩<sup>3</sup>, 蔡佑星<sup>4</sup>, 曾乔松<sup>1</sup>, 李鹏春<sup>3</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
3. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301; 4. 长沙师范学校, 长沙 410100)

**摘 要:** 探讨滇东北地区的铜矿勘查中基于地质模型的遥感找矿方法。不同于常用的先进行图像处理解译, 然后在图像上分析已有矿点而后通过相似类比圈定预测区的方法, 先通过在研究区内选取典型地区进行野外勘查, 构建出区域构造演化模型和成矿演化模型, 依据这些模型分析铜矿床的空间分布规律, 进而依据这些规律确定遥感找矿模式, 有针对性的选取需要通过遥感解译的岩性、构造、蚀变等找矿要素, 结合其他对矿床分布起着重要控制作用的多元信息综合分析, 在工作区圈定出综合异常区。

**关键词:** 工程地质; 成矿预测; 遥感找矿; 地质模型; 滇东北

中图分类号: TD163.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0211(2010)02-0093-06

遥感用于资源勘查一直是遥感的主要应用之一, 近年来在各矿床预测项目中, 遥感的应用更是越来越广泛, 显示了其在找矿领域巨大的作用。目前的遥感找矿方法, 常用的仍主要是先通过遥感地质解译出岩性、构造以及进行蚀变提取, 而后在图像上分析已有矿(化)点所对应的解译出的信息, 通过相似类比, 在图像上找到具有同样信息的位置进行矿产预测。由于遥感是通过间接的方式获得地表平面上的信息, 且由于遥感信息的多解性, 在解决复杂地质问题时, 传统方法因为缺少对成矿机理的研究, 往往无法深入把握矿床在空间上分布的规律, 易偏离实际地质情况。遥感应用须从“技术索引”的思路走出来, 从“控矿构造”迈向与成矿机理研究相结合的高度, 遥感必须与物化探、磁力、重力、地震探矿等方法相结合<sup>[1]</sup>, 这被认为是当前遥感找矿的主要发展方向。

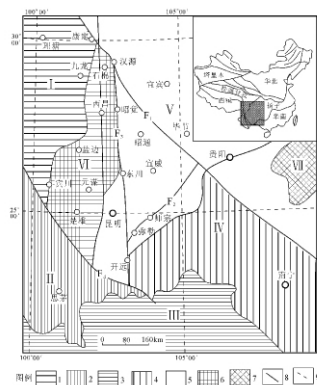
研究中, 先对滇东北地区的区域演化及铜的成矿机理进行研究, 即先利用已有的地质资料, 通过对重点区域野外踏勘, 构建区域演化模型和铜矿成矿演化模型。依据这些模型分析主要的控矿要素, 进而针对这些要素进行遥感图像的解译和异常提取。最后将提取结果与地化异常信息综合分析进行矿产

预测。

## 1 区域地质背景与地质模型

### 1.1 区域地质背景

滇东北地区地处云南与贵州、四川两省的结合部位, 在大地构造位置上位于扬子地块西南缘, 处于康滇地轴、三江褶皱带和华南褶皱系的三角部位。区内广泛分布二叠系峨眉山玄武岩, NE-SW 向师宗-弥勒深大断裂、近 SN 向的小江深大断裂和 NW-SE 向紫云-南丹深大断裂, 对成矿十分有利, 一直为地质研究的热点区域, 见图 1。



1 - 松潘-甘孜褶皱带; 2 - 三江褶皱带; 3 - 越北地块;  
4 - 华南褶皱系; 5 - 扬子地块; 6 - 康滇地轴; 7 - 江南地块;  
8 - (深)大断裂; 9 - 经纬线

图 1 滇东北地区大地构造位置

Fig. 1 Map showing of the geotectonic in the region of Northeast Yunnan

### 1.2 与成矿相关的区域地质事件

收稿日期: 2010-01-05

基金项目: 国家重点基础规划发展项目(G19990432); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-425)

作者简介: 王梦飞(1980-), 男, 江西玉山县人, 博士, 主要从事遥感找矿等方面的研究。

广泛分布于西南三省的二叠纪峨眉山玄武岩是我国唯一被国际学术界认可的大火山岩省(Large Igneous Provinces, 简称为 LIPs)<sup>[2]</sup>。目前普遍认为大陆溢流玄武岩的喷发不仅提供了铜等多金属矿床成矿的物质基础,也提供了成矿演化所需的热源、热液,而玄武岩的喷发的间歇期又为沉积矿产的富集提供了机遇<sup>[3-5]</sup>。

对峨眉山玄武岩喷发事件众多学者做了大量的研究,近年来研究比较多的是玄武岩的地幔柱成因,取得了许多证据<sup>[2,5-6]</sup>。一般认为小江断裂所处位置为地幔柱中心<sup>[4]</sup>,峨眉山大火成岩省为玄武岩沿小江断裂中心裂隙式喷发形成<sup>[2]</sup>。峨眉山大陆溢流玄武岩古火山的分布及其对应的沉积环境的急剧改变是铜成矿的一级控制因素<sup>[7]</sup>。

小江断裂为一南北向长期活动的切壳断裂,是幔源物质上升的主要通道。断裂具有东盘北推的走滑性质和多期活动、反复作用的特点。由于长期 SN 向剪应力的作用,在小江断裂东盘形成了一系列 NE 向的次级褶皱、断裂构造,尤其是次级大断裂和逆冲推覆断层系比较发育。一般大型构造由于其可为成矿提供矿源、热源、储矿场,其多期运动也有利于成矿叠加富集等,具有很好的控矿作用<sup>[8]</sup>。大型构造往往控制区域上的矿化带,二级和三级构造往往具有更好的导矿容矿构造,更容易形成矿床。

由以上研究可以认为铜矿床主要分布于北东、北西向两组断裂,其次南北向、东西向断裂附近容矿条件较好的区域如褶皱、构造破碎带等,靠近物源即小江断裂的位置更易接受含矿热液成矿,对遥感图像的解译将以识别这些断裂为主。

### 1.3 铜成矿机理

以昭通地区鲁甸县为重点进行野外考察,发现研究区广泛发育的铜矿化主要出于向斜两翼处峨眉山玄武岩与上覆岩层的接触部位,集中产于玄武岩最后喷发旋回的凝灰岩、含气孔状凝灰质熔岩内,其次在上部宣威组碳泥质层也有发现。区内铜矿化主要以自然铜为主,呈块状、片状和浸染状,其次为氧化铜与辉铜矿。铜矿化按赋存的岩石矿物类型,主要有沥青型、破碎蚀变岩型、热液蚀变岩型和碳质泥岩型等四种类型,以第一种沥青质型为主。

从铜矿石和矿物在地层中的产出和分布规律来看,滇东北地区的铜矿床,是经历了同生-后生热液活动和比较复杂的有机-无机相互作用,尤其是晚期温度、压力不太高的含铜流体进入富含有机质层带的还原作用有关。铜成矿的机理可能为峨眉山玄

武岩喷发后,在其冷却阶段(350~400℃),铜与铁从辉石等矿物中分解出,形成  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$ ,同生火山热液的硅酸介质携带这些元素向上部迁移形成含磁铁矿、赤铁矿硅质岩层。在  $\text{Fe}^{2+}$  向  $\text{Fe}^{3+}$  转化形成赤铁矿过程中, $\text{CuO}$  可以被还原形成自然铜。其后泥盆系的沉积岩在区域地温场急速升高的因素作用下进入快速生排烃阶段,在玄武岩层的最上层凝灰岩中形成油气藏,玄武岩上煤系地层中的煤炭也形成  $\text{CO}$ ,导致强还原环境出现。萃取了岩浆同期形成的铜、铁离子的热液进入到这些有机质环境中,在 180~350℃ 的降温条件下,氧化铁、氧化铜进一步与  $\text{CO}$ 、烃类发生还原反应,形成大规模自然铜矿化和铁矿化。

可以见到,无论是早期的同生热液成矿还是主成矿期的后期热液与有机质作用成矿,铜成矿的作用中都伴随着铁元素的富集。大火成岩省为富镁铁岩占优势的喷出岩及少量侵入岩,尤其是高钛玄武岩中  $\text{Cu-Fe}$  具有明显正相关,滇东北的玄武岩主要是以高钛为主<sup>[9]</sup>,因此铜矿化也伴随着明显的铁矿化。野外踏勘也可见到峨眉山玄武岩顶部凝灰岩、砾岩层和底部构造带常可见到菱铁矿-黄铜矿、碳酸盐-辉铜矿的组合,薄片镜下见矿石多为斑状结构,斑晶主要为菱铁矿,中心部位为结晶良好的晶体,边缘部位有不规则状的褐铁矿,菱铁矿颗粒的中心或边部包裹黄铜矿颗粒。因此,利用遥感图像提取铁矿化对铜矿床的分布具有良好的指示作用。

### 1.4 铜矿床演化模型

根据野外踏勘及地质资料,认为铜矿床的演化过程为图 2 所示的三个过程。

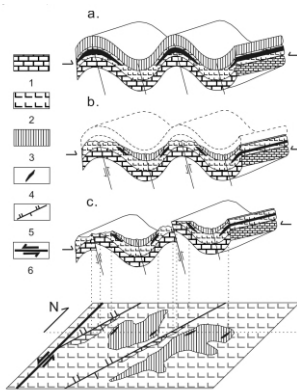
(a) 燕山运动早期环太平洋板块从南东向北北西方向俯冲碰撞,区内南北向的小江深大断裂带发生了左行走滑运动作用,产生的南东-北西向主压应力和方向为北东-南西向的主剪切应力。主压应力导致北东构造带中构造的复合叠加,形成一系列的轴线为北东-南西向的褶皱。主剪应力则在深部产生了大量北东向的断裂,为成矿流体提供了良好的运移通道和聚集空间,有利于成矿流体的贯入,有机质发生反应形成铜矿体。构造运动也为产生区域性大规模成矿流体运移提供了构造驱动力。

(b) 造山运动伴随着风化剥蚀作用,背斜顶部因为受到张力的影响,所受的侵蚀远大于受挤压应力影响的向斜部位,这使原来背斜位置的铜矿床受到剥蚀破坏,仅在背斜和向斜间拐点处留有残余。

(c) 风化剥蚀使原背斜位置的岩层更为松散,

成构造薄弱点,在挤压应力作用下,开始顺断层滑动形成逆断层。断层的上盘,由断层往外地层由老到新出露。在白垩纪时,也出现热液沿断层上升形成新矿床的现象,然而只局限在很小地区,影响不大。

由此可见,铜矿床主要分布于向斜的两翼,且虽然铜矿床分布于二叠系峨眉山玄武岩上部,但由于构造上其处于向斜的翼部,遥感图像是高空拍摄的地表平面影像,因此图像上看已知的铜矿(化)点投影落入玄武岩与三叠系地层的接触位置的三叠系一侧内。如未进行成矿模式研究,只是简单的分析图像易产生铜矿化在三叠系内的谬误。在研究中主要通过解译褶皱和有针对性的识别地层对这些信息加以提取。



1 - 下二叠统以下地层; 2 - 中、上二叠统; 3 - 三叠系以上地层; 4 - 铜矿化; 5 - 逆断层; 6 - 小江深断裂

图 2 滇东北地区铜矿床演化模式

Fig. 2 Evolution of copper deposits in the region of Northeast Yunnan

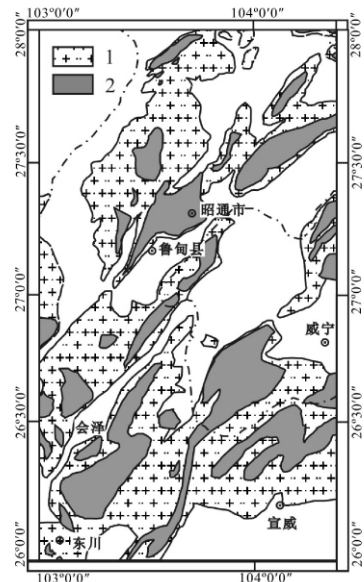
## 2 遥感地质信息的提取

工作使用的遥感影像数据为 Landsat 系列卫星的 ETM 数据,共涉及 2 景遥感影像 ETM129-41 和 ETM129-42,时相均为 2001 年 10 月 6 日。

### 2.1 岩石、地层的遥感识别

利用 ETM 影像的 743 合成来对研究区的岩石、地层进行识别。根据地质资料及野外考察,研究区主要出露早古生代以来的地层,发育较为齐全。峨眉山玄武岩其下伏地层为二叠系及石炭系碳酸盐岩地层,上覆地层为二叠系煤系地层及三叠系碎屑岩为主的地层。玄武岩及其上下地层在遥感影像上显示出巨大差异,如在 743 合成图像上,岩溶地貌区呈现红色为主基调的暖色调,并在洋红色波谱上下波动,呈桔皮纹状、花生壳纹状等纹形图案,这是岩溶区植被稀少、基岩裸露,不发育树枝状水系的体现。

而峨眉山玄武岩和陆源碎屑岩岩组布露区在影像上呈冷色调,植被分布,水系发育,但玄武岩一级冲沟长,部分地区垂直走向,发育树枝状水系,区别于碎屑岩的冲沟常呈平行排列、一级冲沟短小,与二级冲沟一起构成羽状水系等。含煤岩系布露区由于是人类生产、生活的集中地,因人为活动的强烈影响而常呈色彩斑驳的杂色带。因此,可以利用这些色彩纹理的差异加以识别<sup>[10]</sup>。



1 - 峨眉山玄武岩; 2 - 玄武岩上覆岩层  
图 3 滇东北地区遥感地层识别

Fig. 3 Stratums interpretation in Northeast Yunnan

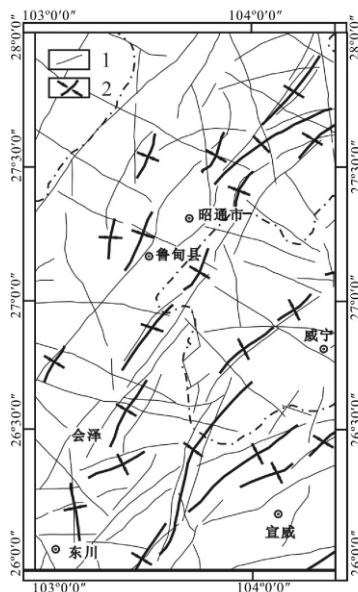
铜矿床分布于玄武岩与三叠系地层的接触位置,在三叠系的一侧内。因此研究中,只需针对与成矿有关的三类岩性进行识别,即峨眉山玄武岩下伏的岩层为一类,峨眉山玄武岩为一类,峨眉山玄武岩上覆的岩层为一类,识别结果见图 3。

### 2.2 地质构造的遥感分析

选用 ETM 图像 453 波段进行图像合成,利用图像的结构和色调差异进行目视解译。铜矿床主要与北东、北西向断裂有关,其次南北向、东西向断裂,铜矿床也主要分布在向斜的两翼。因此,本次遥感构造解译以识别这些断裂和向斜为主,识别结果如图 4 所示。

### 2.3 铁矿化蚀变的遥感分析

岩石中含量不多的磁铁矿、黄铁矿等含铁矿物即使含量很低,也会降低岩石的反射率,造成矿物岩石波谱中一部分有意义的特征谱带。因此可以利用比值增强显示图像上的铁矿化信息。使用氧化铁指数(ETM3/ETM1),氧化亚铁指数(ETM5/ETM4)和



1 - 断层 - 线性构造; 2 - 向斜

图 4 滇东北地区遥感构造解译

Fig. 4 Structures interpretation in Northeast Yunnan

ETM1 ,ETM3 ,ETM4 ,ETM5 的 PC4 进行 RGB 合成来达到排除干扰 ,增强研究区铁矿化信息的目的<sup>[1]</sup>。对图像进行光谱角分类、掩膜 ,结果见图 5 ,图中暗色为铁矿化蚀变强烈区域。

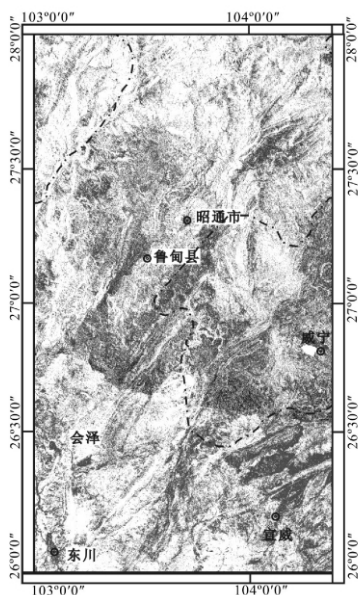


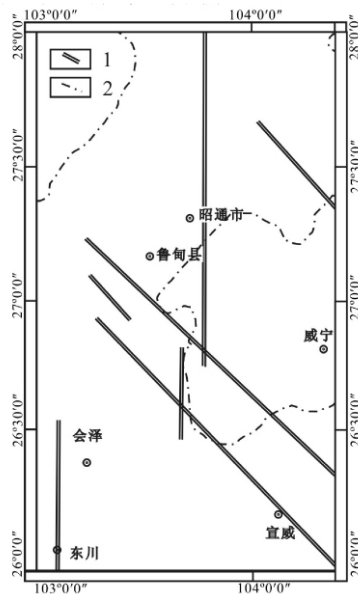
图 5 滇东北地区铁矿化蚀变异常

Fig. 5 Iron-mineralizing alteration anomaly in Northeast Yunnan

### 3 其他异常信息

大规模溢流玄武岩很可能源于大面积软流圈上

涌 ,沿深断裂形成岩浆房 ,沿大范围分布的岩浆溢流通道裂隙式喷出 ,玄武岩古火山的分布及其对应的沉积环境的急剧改变是铜成矿的一级控制因素。这些裂隙式喷发通道一般出现在岩石圈不连续界面。岩石圈地球化学边界的大量研究表明地球化学边界与板块之间的拼接线、主构造线存在总体上的相近性 ,虽然地球化学边界不等同于板块边界 ,但地球化学边界往往提供了深源的信息。显性地球化学边界在大陆上常与不同块体之间的缝合带 ,特别是元古界基底拼接带、裂陷槽有关 ,有些地段常与时代较晚的大规模走滑断层重合。另一类隐性地球化学边界出现于造山作用弱的地区 ,与不明显的地幔深断裂 - 岩石圈不连续界面有关 ,通常在地表不显示出明显的主构造线<sup>[2]</sup>。地球化学急变带可以补充遥感难以获取且在地表无明显显示的深部信息。因此 ,引入地球化学急变带进行综合分析。

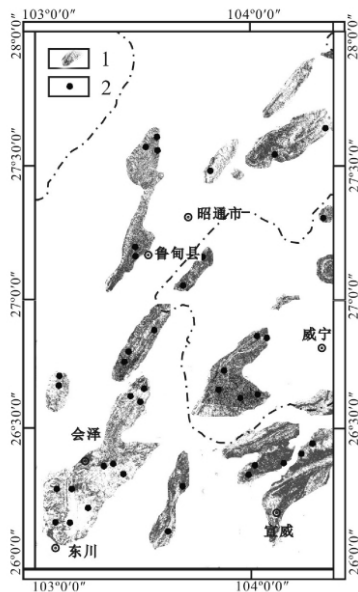


1 - 地球化学急变带; 2 - 云南省界

图 6 滇东北地区地球化学急变带 (据文献<sup>[13]</sup> ,有修改)

Fig. 6 Geochemical steep zone in Northeast Yunnan

由于地球岩石圈存在物质成分和结构的非均一性 ,在不同块体的边界上往往存在一些地球化学特征量值和地球物理梯度变化带 ,地球化学急变带即反映地球化学省之间同位素组成的急剧变化 ,地球化学急变带位置的详细确定对寻找超大型矿床的战略预测具有十分重要的意义<sup>[8]</sup>。铅同位素地球化学填图发现滇黔边界也存在一条北西走向的地球化学急变带<sup>[13]</sup> ,见图 6 ,岩石圈界面两侧铅同位素组



1 - 铜成矿有利区域; 2 - 已知铜矿(化)点

图7 滇东北地区铜矿床预测图

Fig. 7 Copper deposits prediction map in Northeast Yunnan

成存在急剧变化。根据地球化学急变带成矿的分带性规律,沿中心线是银、铅-锌、钼带,近侧为铜带,远侧为金带,因此铜的矿化集中区很可能出现在急变带两旁近侧<sup>[41]</sup>。

## 4 多元信息综合分析矿产预测

铜矿床分布的主要控制因素有:铜矿床主要位

### 参考文献:

- [1] 陈述彭. 矿产资源与遥感信息深度开发应用 [C]//2007 遥感科技论坛论文集 [C]. 北京: 地震出版社, 2007: 373-375.
- [2] 徐义刚, 钟孙霖. 峨眉山大火成岩省: 地幔热柱活动的证据及其熔融条件 [J]. 地球化学, 2001, 30(1): 1-9.
- [3] 柳贺昌. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿 [J]. 地质与勘探, 1995, 31(4): 1-6.
- [4] 李红阳, 闫升好, 王金锁, 等. 试论冀西北金银多金属矿产富集区地幔热柱及其成矿制约 [J]. 地球学报, 1996, 17(4): 401-412.
- [5] 王登红. 地幔柱的概念、分类、演化与大规模成矿—对中国西南部的探讨 [J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 67-72.
- [6] 卢纪仁. 峨眉山地幔柱的动力学特征 [J]. 地球学报, 1996, 17(4): 424-438.
- [7] 朱炳泉. 关于峨眉山溢流玄武岩省资源勘查的几个问题 [J]. 中国地质, 2003, 30(4): 406-412.
- [8] 翟裕生. 成矿构造研究的回顾和展望 [J]. 地质评论, 2002, 48(2): 140-146.
- [9] Xu Y G, Chung S L, Jang B M, et al. Petrological and geochemical constrains on the petrogenesis of the Emeishan Permo-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China [J]. Lithos, 2001, 58: 145-168.
- [10] 姚智, 罗孝桓, 况顺达. 贵州西部峨眉山玄武岩的遥感影像特征 [J]. 贵州地质, 2004, 21: 156-160.
- [11] 王晓鹏, 谢志清, 伍跃中. 西昆仑塔什库尔干地区遥感找矿异常提取方法研究 [J]. 地质找矿丛论, 2002, 17(2): 136-139.
- [12] 朱炳泉. 壳幔化学不均一性与块体地球化学边界研究 [J]. 地学前缘, 1998, 5(1/2): 73-82.
- [13] 朱炳泉, 常向阳, 胡耀国, 等. 滇—黔边境鲁甸沿河铜矿床的发现与峨眉山大火成岩省找矿新思路 [J]. 地球科学进

于遥感图上峨眉山玄武岩与三叠系地层接触位置,且位于三叠系地层一侧;铜矿化大部分位于向斜的两翼;研究区主要有四个方向的断裂构造,北东向、东西向、北东-南西向和北西-南东向,交叉成网格状,矿化点大都沿着或紧挨着这些构造分布,在构造密集或交叉的部位较有可能成矿;铜矿化和铁矿化蚀变呈现明显的正相关,铁矿化蚀变强烈的区域指示铜矿床分布范围;滇东北地区存在地球化学急变带,其中心线近侧位置很可能出现铜的矿化集中区。

综合所有分析可以圈定成矿有利区域如图7所示。图中暗色部分为铜成矿有利地段,滇东北地区已知的铜矿(化)点40个,全部位于预测区域内。

## 5 结论

遥感矿产勘查前先进行地质分析,建立地质模型得到矿产的空间分布规律和主要的控矿因素,然后有针对性的选择需遥感解译的地物和图像。处理方法可以抓住主要因素,减少工作量,同时也减少了多解性,提高遥感解译的可信度,提高找矿效率效果。遥感与其他方法,尤其是与反映与成矿关系密切、遥感方法难以提取的深部信息资料(如地化资料等)相结合进行综合分析,可以互为补充、互相验证,缩小找矿范围,实现找矿预测。

展, 2002, 17(6): 912-917.

[14] Zhu Bingquan. The mapping of geochemical provinces in China based on Pb isotopes [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1995, 55: 171-181.

### Remote Sensing and Integrative Geochemical Information Prediction of Northeast Yunnan Copper Deposits Based on Geological Model

WANG Meng-fei<sup>1,2</sup>, CHEN Guang-hao<sup>3</sup>, CAI You-xing<sup>4</sup>, ZENG Qiao-song<sup>1</sup>, LI Peng-chun<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

4. Changsha Normal College, Changsha 410100, China)

#### Abstract

The remote sensing exploration measure based on the geological model is applied to copper deposit prospecting in northeast Yunnan. It is different from normal process, which the prediction region is designated in ETM remote sensing image after the image is described, that the geological model is built based on the field work in typical area, and the distribution of ore deposits is derived from the model analysis, and then the remote sensing prospecting model is further developed. Thus, lithology, structure, alteration and other ore elements selected according to the prospecting model through remote sensing interpretation, combined with other multiple information controls the distribution of deposits into a comprehensive analysis and, ultimately, integrated anomalous area delineated.

**Keywords:** engineering geology; prospecting prediction; remote sensing exploration; geological model; northeast Yunnan