

云南个旧锡矿遥感信息提取及找矿预测

张建东, 彭省临, 杨斌, 刘明, 王力
(中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083)

摘要: 在对云南个旧锡矿成矿地质环境、地质特征及成矿规律研究的基础上, 本文重点应用遥感找矿方法, 以 TM 多光谱遥感数据为基本信息源, 解析了个旧锡矿线环构造的遥感异常信息和遥感蚀变异常信息。通过与已有的物化探资料进行对比分析和综合研究后提出了 4 个找矿远景区。

关键词: 遥感; 环形构造; 蚀变; 个旧锡矿

中图分类号: P627; P542 文献标识码: A 文章编号: 1001-1552(2007)04-0424-06

多年以来以典型矿床的线、带、环、色、块等遥感信息为依据, 通过构建遥感地质找矿模型用以参与矿产预测的做法, 早已成为一种比较行之有效的矿产预测辅助模式。地球上约四分之三的金属矿床产于环形构造, 我国南部的锡矿床亦不例外, 滇桂锡矿床几乎都对应有遥感影像的环形构造 (庄永秋和杨树培, 1996; 杨世瑜, 1995)。近年来, 随着计算机及其图像处理技术的飞速发展, 应用现代遥感技术从遥感数据中有针对性地量化提取, 用以表征蚀变岩石的 (包括与蚀变矿物类似的表生沉积物) 近矿指示信息的新参量 (遥感蚀变异常) 得到了广泛的应用, 它既可作为独立的参量参与多元地学信息综合方法进行区域矿产预测和矿产资源潜力评价, 也可直接用以快速筛选靶区和指导找矿预测。本文在对云南个旧锡矿成矿地质环境、地质特征和成矿规律研究的基础上, 应用遥感找矿方法, 重点解析了个旧锡矿线环构造的遥感异常信息, 和遥感蚀变异常信息 (唐从国等, 2004; 罗朝舜等, 2004), 对个旧矿区的找矿前景进行了综合分析和预测。

1 遥感信息找矿原理

遥感技术是利用航天或航空飞行器所携带的遥感传感器接收地面发射、反射的电磁波谱信息, 并借助电子计算机将接收到的数字信号制成可识别的遥感图像的过程。这种图像能全面、真实地反映地面的信息, 包括地面的自然地理成分和地表地质体, 以致深部的隐伏地质构造等多种层次的信息 (刘燕军, 1991; 杜国云等, 2006)。

众所周知, 任何一种金属矿产的形成总会伴随着相应的成矿流体活动, 由此而形成的地球化学晕和地球物理异常场是成矿过程中的必然产物。而地表岩石地貌、构造地貌以及人眼所不能感知的地质体的地球化学晕和某些地球物理场等特征, 均具有较强的光谱敏感性 (周成虎, 1999)。这种光谱特性属电磁波范畴, 在卫星遥感数据上可以得到或隐或现的表现, 经过遥感图像的处理能够最大限度地扩大地质体光谱敏感性的差异。因此, 通过遥感图像处理, 可以对各种与成矿有关的矿化蚀变岩石或矿化带进行计算机识别判读, 并通过对遥感图像上呈现的“色、线、环”等要素组合的形形色色的线性构

收稿日期: 2006-12-25; 改回日期: 2007-03-29

基金项目: 国家“十五”科技攻关课题 (2001BA609A-06) - “大型矿山接替资源探查技术与示范”; 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20030533012)。

第一作者简介: 张建东 (1979-), 男, 在读博士生, 从事国土资源、地理信息的研究。Email: cszj@ sina. com

造和环形构造的解译和研究, 结合地质、物化探资料综合分析, 有利于查明地表地质构造、地质体分布规律及其与金属矿化蚀变的空间关系, 进而在成矿规律研究的指导下达到找矿预测的目的。

2 个旧矿区遥感线形、环形构造分析

2.1 遥感基础图像处理

以美国陆地卫星 TM 数据 (时相: 1990-03-22) 作为基本信息源, 对个旧地区 (东经 $102^{\circ}46' \sim 103^{\circ}29'$; 北纬 $23^{\circ}06' \sim 23^{\circ}35'$) 的遥感影像进行了计算机处理, 应用比值 + 主成分分析的方法对区内热液蚀变弱信息加以提取, 并从实际地质情况出发, 采用计算机识别和人工判读相结合, 对区内的线形、环形构造进行了解译。

首先, 通过对个旧矿区约 900km^2 范围内原始 TM 数据图像的几何校正、地理配准等预处理, 得到具有统一地理坐标和校正控制点的各波段图像数据; 然后根据各个波段特征值的统计分析, 以及几种合成方案的比较, 选取相关系数相对小的三个波段最佳组合进行彩色合成, 获取目标物明确、纹理清晰、色彩丰富、层次分明、精度准确的遥感基础图像 (如图 1); 最后, 根据 TM 各个波段所能反映的地质信息, 结合工作区成矿地质条件和地质矿产图, 进行波段比值、主成份分析、HS 变换等信息增强处理, 制作遥感信息增强图像。

2.2 线形、环形影像特征

从图 1 的线、环形影像构造解译结果来看, 个旧超大型锡多金属矿集区的控矿构造格局在卫星遥感

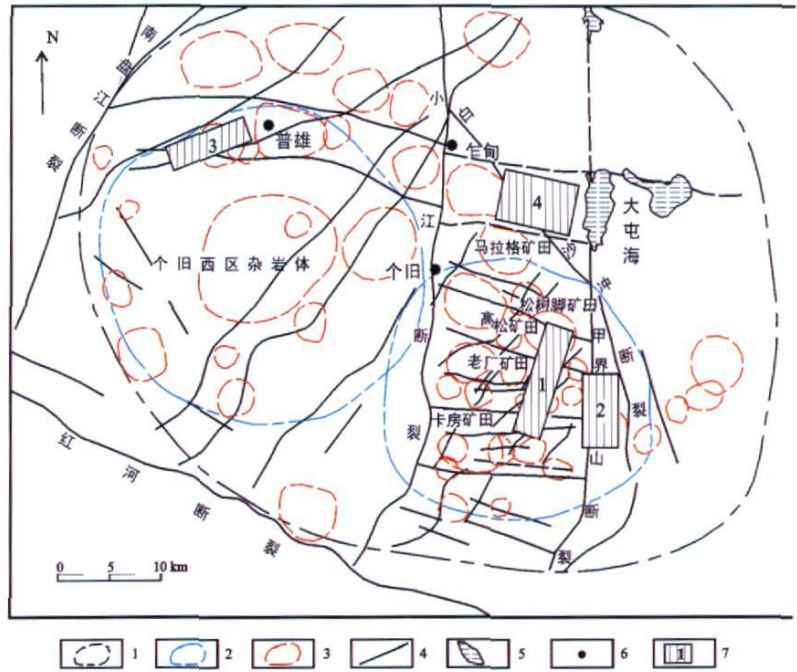
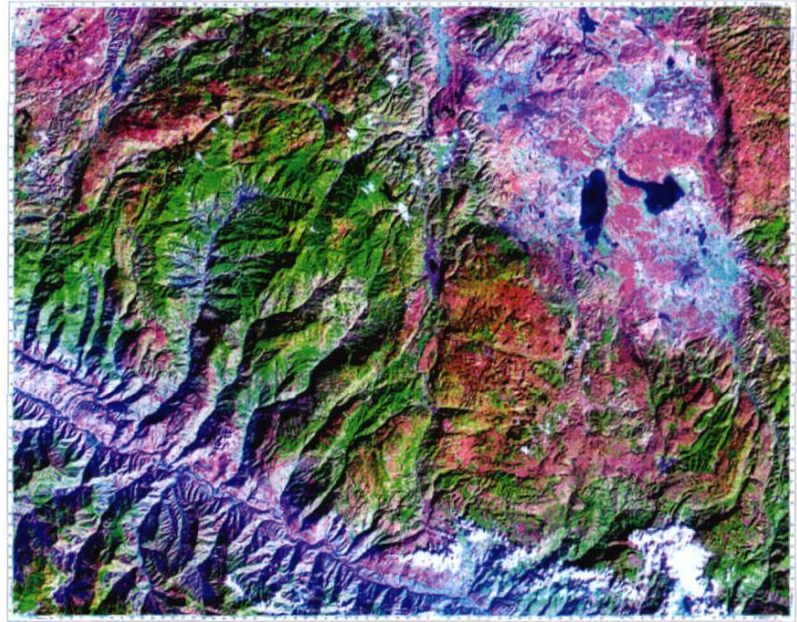


图 1 个旧地区 TM 遥感影像及线形、环形构造解释图

- 1- 一级环形构造; 2- 二级环形构造; 3- 三级环形构造; 4- 线形构造; 5- 湖泊;
- 6- 主要城镇; 7- 远景区及编号

Fig 1 TM remote sensing image and the interpretation of linear and ring structures in the Gejiu district

- 1- level one of ring structure 2- level two of ring structure 3- level three of ring structure;
- 4- string structure 5- lake 6- main town 7- prospect area and serial number

图像上的反映十分明显, 它通过不同的色彩和线、环构造及其组合表现出来。总体上, 个旧矿集区几乎以个旧市为中心显示出一个巨大的复式环形影像构造 (一级环), 直径约 60km 大环内包含两个直径分

别约为 30km、40km 的次级环形构造(二级环),以及多个成群分布、规模不等的更次一级的小型环形构造(三级环)。东西两个二级环形构造以小江断裂为界,分别涵盖了个旧东区的五子山复式背斜和西区的大杂岩体,且二者有部分重合。个旧东区的三级环形构造大部分密集分布于东区的二级环内,而西区的三级环主要分布与西区的二级环边部。

线性影像构造解译结果与矿集区内断裂构造吻合较好。西侧的北东南盘江断裂、南侧的北西向红河断裂、中部的南北向小江断裂以及东侧的甲界山断裂、白沙冲断裂,线性影像明显。其中东区的二级环内以线性构造密集发育为特征,在二级环内的两条南北向大型线性断裂构造之间发育大致呈等间距排列的一系列东西向及北东向线性构造,二者相互交织;西区线性构造表现稀疏,不如东区密集,二级环内构造不发育,但北东向线性构造较为明显;个旧西区北部有两条发育不甚明显的东西向线性构造断续延伸至小江断裂。遥感图像解译出的环形构造反映的可能是对构造-岩浆作用的影像,且不同的地质作用及过程可生成不同形态、类型、组合方式的环形构造。环形构造的发育程度,反映出岩浆活动的强弱。单个环形构造反映单个侵入岩体存在;环形构造密集段,说明岩浆活动频繁或接近上部,生成较多小的侵入体。

3 遥感矿化蚀变信息提取

地物的光谱特征是遥感信息提取的基础。个旧矿区内发育的与金属矿化有关的热液蚀变类型主要有硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、绿泥石化、绢云母化、矽卡岩化、碳酸盐岩化等,这些近矿围岩蚀变矿物可大致分为含羟基类和含铁离子类。含铁离子矿物富含 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 离子,含羟基类矿物富含水(H_2O)、羟基(OH^-)或碳酸根(CO_3^{2-})等基团。这些结构离子的电子跃迁、振动和转动过程,使富含这些离子或基团的矿物产生特征的光谱。其中含有羟基(OH^-)和含有 CO_3^{2-} 基团的蚀变矿物,如绢云母、绿泥石和碳酸盐矿物在 TM 7(2.08~2.35 μm)波段都有强的吸收带,在 TM 5(1.55~1.75 μm)波段为强反射,即在这两个波段之间存在强的光谱反差;而在 TM 4和 TM 1波段间则存在微弱的光谱反差。与矿化有关的某些铁的蚀变,如褐铁矿化、黄铁矿化等,在 TM 3(0.63~0.69 μm)波段的光谱表现为强反射,在 TM 1(0.45~0.52 μm)、TM 2(0.52~0.60 μm)

和 TM 4(0.76~0.90 μm)波段,相对 TM 3而言表现为不同程度的吸收特征。这是通过 TM 遥感数据识别和提取这两类矿化蚀变异常信息的重要依据。据此可根据蚀变岩(蚀变矿物)与未蚀变岩之间的光谱差异性提取出研究区的与含铁离子类矿物蚀变岩有关的铁化蚀变异常和与含羟基类蚀变岩矿物有关的泥化蚀变异常(吴德文等,2006;陈爱兵等,2005;蒋树芳等,2004)。

3.1 主成份分析(PCA)

在图像处理中,经主成分分析,将 TM 图像转换为一种不相关的表征函数。在主成分分析结果中,第一主成分取得总方差的绝大部分,通常是与地形和植被有关信息分量的反映,而与蚀变信息相关的波谱特征则主要存在于更高级的主成分分量中。Loughlin(1991)的研究表明,有目的的对一定波段组合进行主成分分析可将特定的信息聚集到单一的主成分分量中。如 TM 1、TM 3或 TM 2、TM 3组合有利于含铁离子蚀变信息的提取;同理,输入波段中 TM 5和 TM 7组合有利于含羟基蚀变矿物信息提取。因此,对含铁离子蚀变矿物信息提取,可采用 TM 1、TM 3、TM 4、TM 5、TM 2、TM 3、TM 4、TM 5、TM 1、TM 3、TM 4、TM 7或 TM 2、TM 3、TM 4、TM 7组合进行主成分分析。而对含羟基蚀变矿物信息提取,可采用 TM 1、TM 4、TM 5、TM 7、TM 2、TM 4、TM 5、TM 7或 TM 3、TM 4、TM 5、TM 7加以分析。

3.2 比值处理

对 TM 7个波段进行比值合成的方法近 8000 种,如果再考虑应用某些波段进行加、减等逻辑运算后再作比值处理,方法会更多,通过比值处理可以根据研究区不同特点优选出较好找矿信息来。本次研究中,我们主要选用了 TM 5/7、TM 5/4、TM 4/3、TM 3/1 及 TM 3/4这几个 TM 比值数据。根据蚀变矿物的波谱曲线,含 OH^- 蚀变矿物在 2.2 μm 附近有明显的吸收谱带,含 CO_3^{2-} 矿物在 2.35 μm 处也有明显的吸收带,这与 TM 7的波长范围相吻合;而在第 5波段的波长范围(1.55~1.75 μm)内,除绿帘石族矿物在第 5波段波谱范围内有一个异常的吸收带外,很少有矿物的吸收谱带,其它矿物都表现出高反射的特点。未蚀变矿物在 5.7波段的波谱范围内没有明显的波谱特征,表现在 TM 5、TM 7两个波段的相对亮度值相近,因此 TM 5/7能有效探测含羟基粘土矿物和碳酸盐矿物,即在 TM 5/7比值图像上,粘土矿物和碳酸盐矿物将以高值浅色调显示出来。二价、三价铁离子在 TM 2、3、4波段都有一些

吸收谱带,而在 $0.9\mu\text{m}$ 处具有更为明显的吸收带, TM 4 波段恰好位于这个波谱带范围,因此 TM 5/4 可以提取含铁蚀变矿物信息,与此同时由于 TM 4 波段对绿色植被有较高的反射率,所以运用 TM 5/4 可以区分植被与植被覆盖的土壤和岩石特征。TM 4/3 是一种最佳植被指数,在 TM 3 波段,绿色植物的叶绿素吸收特征明显,在 TM 4 波段处为一近红外高反射区,因而 TM 4/3 有很高的比值,几乎没有其它地物能引起如此高的比值。相反, TM 3/4 比值很低。由于三价铁矿物于 $0.46\mu\text{m}$ 处 (TM 1) 存在一极强的吸收谷,于 $0.7\mu\text{m}$ (TM 3) 存在一反射峰,因此 TM 3/1 能有效地识别含三价铁离子矿物的信息。

3.3 矿化蚀变信息提取处理

将研究区的与含铁离子类蚀变矿物岩有关的铁化蚀变信息和与含羟基类蚀变矿物有关的泥化蚀变信息一步步分离提取的步骤如下:

(1) 选择区内已知的矿化蚀变带;

(2) 研究这些矿化蚀变带的影像特征,注意研究矿化蚀变带在 TM 7 个单波段、单个比值及主成分分析各主分量等图像的亮度值变化,选择突出蚀变带呈较高(低)亮度值的通道或波段;

(3) 选择 3 个反映蚀变带亮度值较高(低)的通道作加和运算,放到另一通道中,再将该图像赋红色与 TM 5(G)、TM 7(B) 进行彩色台成;

(4) 对合成图像进行 PC 分类,并对赋予红分量的第一通道进行空间滤波,滤波时尽可能采用较小窗口,主要利用中值和均值滤波;

(5) 对滤波后的图像进行非监督分类。压抑掉与蚀变无关的其它信息,这样便形成了一些似晕圈状的彩色蚀变异常区;

(6) 将该图像叠加在 TM 7 或其它较清晰的单波段图像上,便形成了该区的蚀变异常信息图像,并按蚀变的强弱分别赋予不同的颜色,使其成为面状形态,从而得到铁化蚀变和泥化蚀变(含碳酸盐化蚀变)遥感异常,然后生成泥化蚀变信息遥感异常图像(图 2)和铁化蚀变信息遥感异常图像(图 3)。

4 遥感信息成矿特点分析

结合矿区的综合地质研究成果对本区的矿化遥感信息进行分析可以发现,区内线性构造、环形构造、蚀变异常信息之间在产出特征和成因机制上具有一定的联系,且与区内锡矿成矿作用有密切的关系。区内主干线性构造与矿集区内断裂构造吻合较

好,为规模较大的断裂,在有利的环境下为成矿元素提供了运移的空间通道,为主要的导矿和控矿构造。而一些较晚形成的次级线性构造,多为规模较小的次级断裂,常成为含矿或容矿构造。区内环形构造产出明显受主干线性构造的控制,从成因机制看主要为构造岩浆岩活动的产物。从蚀变图上可以发现个旧西区整体表现为围绕大杂岩体与碳酸盐岩地层的接触带部位及复式岩体之间的接触部位,蚀变晕较强;在个旧东部矿化集中区内表现有两处强烈蚀变晕,且泥化晕、铁化晕吻合非常好,色调深、强度大,整体呈北东走向,在这两处的中间部位则蚀变晕减弱,实际上这也是受深部隐伏岩体影响所致,两处蚀变较强部位分别为与马松岩体和老卡岩体对应的隆起部位,也是矿化最强部位,而两者之间蚀变相对较弱地段则为岩体、矿化体埋藏较深的高松矿田产出部位。在本区经 TM 数据提取的铁化、泥化遥感蚀变异常信息,主要反映区内锡矿化的蚀变特征,与区内构造岩浆活动及锡矿成矿作用有关,与锡矿矿床(点)和化探组合异常吻合很好。其空间相关系数较高,且往往分布在断裂构造附近及其交汇区,表明蚀变信息是指示找矿的重要标志,可作为成矿预测的有力依据。根据时空耦合综合研究分析表明,区内的线性构造、环形构造、蚀变信息产于有利成矿信息的复合部位或临近地段,为锡矿成矿的有利环境或场所。

5 找矿远景区预测

从上述遥感图像的线形、环形构造的解译结果及弱蚀变的分布特征来看,区内已知的矿化集中地段均表现有较强的蚀变晕和密集分布线、环形影像构造。东区的各锡矿田均受限于小江断裂、甲界山断裂与东西向一系列断裂构成的梯状格内,每一个格子内的北东向构造均为控制矿床产出的主要构造。遥感线形、环形影像解译结果及蚀变晕的提取结果是与锡矿产出特征相符。据此,我们通过对已知矿床的分布与线、环形影像及蚀变影像之间关系的剖析,结合综合地质研究和针对性物化探测点资料预测了 4 个找矿远景区(杨自安等, 2004 邵拥军等, 2005 廖崇高等, 2002 吕宝善, 2005)。

远景区 1: 通过野外调查和物探电测深、钻探资料说明个旧环形影像是构造和岩浆岩体的综合反映。东区矿山井下揭示小型环状构造与隐伏花岗岩突起及锡多金属床相对应,是矿区有利的控矿构造

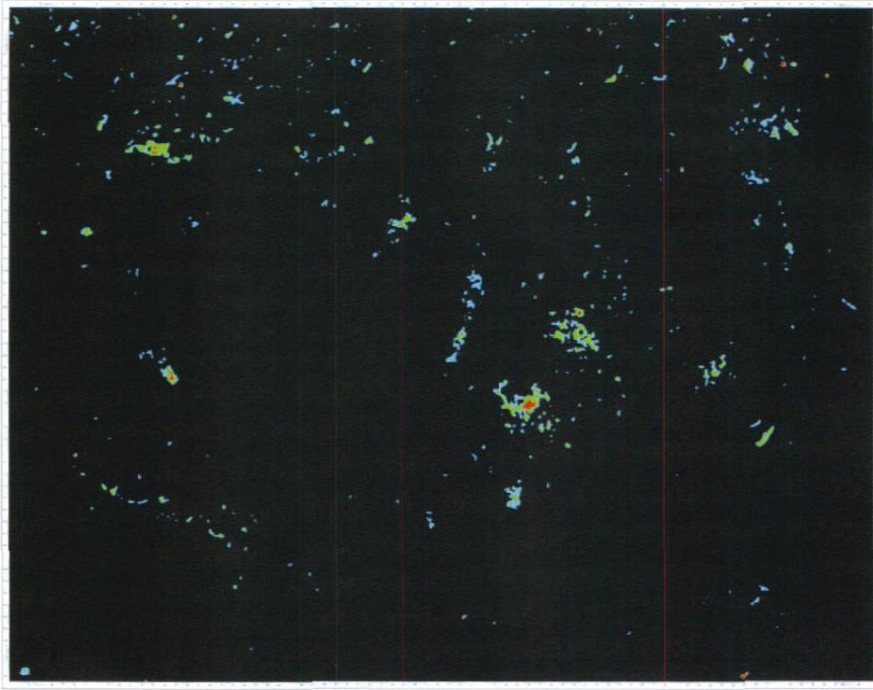


图 2 个旧矿区泥化蚀变遥感异常图

Fig 2 Remote sensing anomaly of siliceous alteration in the Gejiu mining district

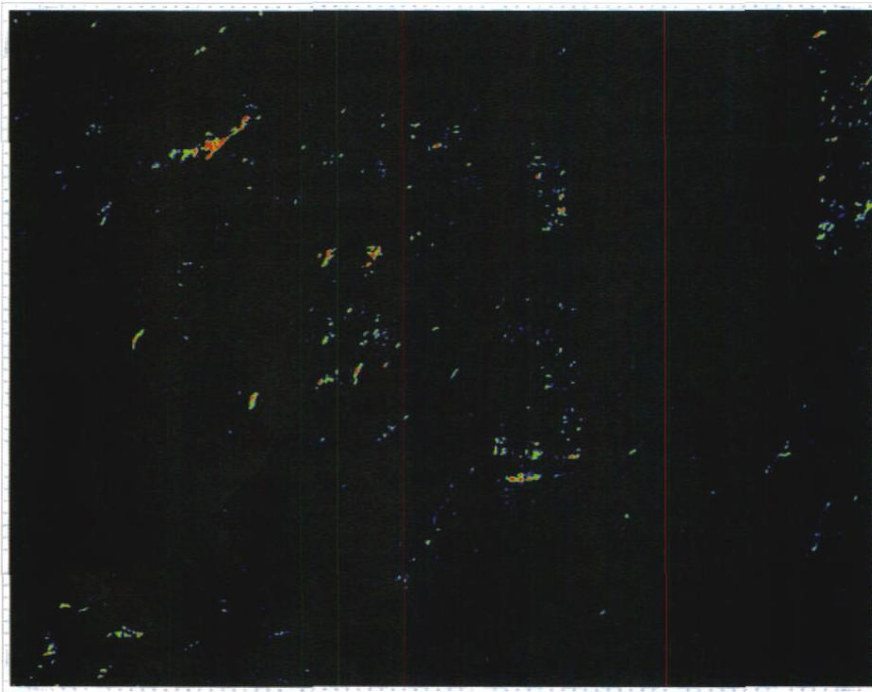


图 3 个旧矿区铁化蚀变遥感异常图

Fig 3 Remote sensing anomaly of iron alteration in the Gejiu mining district

部位。而东区高松、老厂卡房等大型矿田东部的空白地段小型环形构造、北东向线性构造仍然发育，蚀变晕仍然较强，因此应作为矿区外围找矿的首选地段。

远景区 2 东区靠近甲界山断裂附近的西侧，小型环形构造、北东-北北东向线性劈理化发育，矿化

蚀变晕仍然存在，因此也应作为东区的远景区之一。

远景区 3 西区普雄西南部一带也有较明显的环状构造影像特征，并有较强的蚀变晕呈现北东向展布，该地段属于西区杂岩体与碳酸盐岩地层的接触部位，因此应作为西区寻找矽卡岩型矿床的最佳

远景地段。

远景区 4 从个旧东区现有的各大型矿田的分布格局上看, 由一系列近东西向的线性构造为南北向的小江断裂及甲界山断裂所夹持, 构成一种近似梯子状的构造格局, 每一个“梯子格”内分别控制着个旧东区的一个大型矿田的定位。从遥感线性影像上看(图 1), 矿集区东北部蒙自盆地内湖泊(大屯海等)表现呈近南北向的串珠状分布, 与其南部的甲界山断裂恰好处一条直线上。因此有理由推断: 甲界山断裂可能向北还延伸, 其北段是因受喜山期蒙自断陷盆地切割改造才变得比较模糊。同样道理, 在个旧西区北部的两条东西方向的断裂可能越过小江断裂, 向东延伸入蒙自断陷盆地的底部, 使湖泊(大屯海)北岸近东西走向分布; 马拉格附近的地层走向也大致呈近东西向, 且地层倾角在此处呈急剧变陡的趋势。分析表明, 蒙自断陷盆地形成于喜山构造期, 在此断陷之前, 这两条东西向的断裂与小江断裂、甲界山断裂也应该构成个旧东区控矿“梯子”内的一格; 按东区矿田大致等间距分布的规律可以推断, 这里也曾有较大规模的矿床产出, 只是因成矿后喜山运动造成的差异升降, 而埋藏于断陷盆地深部。因此, 在远景区的马拉格矿田以北、乍甸以南的断陷盆地的边部应作为今后找矿的重点区之一, 有必要开展进一步的外围找矿, 尤其是深部物探工作。

致谢: 本研究得到了中南大学地学院地质所赖健清教授和邵拥军副教授以及昆明理工大学国土资源工程学院的大力支持和帮助, 在此表示诚挚的谢意。

参考文献 (References):

陈爱兵, 秦德先, 刘春学, 马娟, 洪托. 2005. 地学多源信息数

字化在个旧锡矿的应用. 金属矿山, 4: 50-52

杜国云, 王庆, 孙祝友. 2006 新构造分异的地质信息分析——以山东半岛北部为例. 大地构造与成矿学, 30(1): 114-119.

蒋树芳, 胡宝清, 黄秋燕, 周德全, 廖赤眉. 2004 广西都安喀斯特石漠化的分布特征及其与岩性的空间相关性. 大地构造与成矿学, 28(2): 214-218

廖崇高, 杨武年, 徐凌, 濮国梁. 2002 成矿预测中遥感与地质异常的综合分析. 中国地质, 29(4): 416-420

刘燕军. 1991. 遥感找矿的原理和方法. 北京: 冶金工业出版社, 1-227.

吕宝善. 2005. 论个旧老矿区的新找矿方向. 地质论评, 51(6): 640-648

罗朝舜, 赵志芳, 许东, 李文昌. 2004. 成矿区带(矿田)赋矿遥感模型. 云南地质, 3: 378-384

邵拥军, 彭省临, 吴淦国. 2005. 大型矿山接替资源定位预测的途径及其研究意义. 矿产与地质, 19(1): 16-18

唐从国, 聂启祥, 刘丛强, 高建国, 王瑞雪, 杨世瑜. 2004 云南个旧矿区卡房矿田遥感地质综合信息成矿预测. 矿物学报, 2: 164-170

吴德文, 朱谷昌, 张远飞, 袁继明. 2006 多元数据分析与遥感矿化蚀变信息提取模型. 国土资源遥感, 1: 22-25

杨世瑜. 1995. 云南锡矿遥感地质找矿模型. 国土资源遥感, 2: 36-47.

杨自安, 徐国端, 邹林, 张普斌. 2004 遥感与多元地学信息综合找矿定位预测. 矿产与地质, 4: 343-345.

周成虎. 1999. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 1-196

庄永秋, 杨树培. 1996 云南个旧锡铜多金属矿床. 北京: 地震出版社, 9-104

Loughlin W P. 1991 Principal component analysis for alteration mapping *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57: 1163-1169.

EXTRACTION OF REMOTE SENSING INFORMATION AND ORE PREDICTION IN THE GEJIU TIN DEPOSIT, YUNNAN

ZHANG Jiandong, PENG Shenglin, YANG Bin, LIU Ming and WANG Li

(School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract Based on the metallogenetic environment, geological characters and metallogenic regularity of the Gejiu tin deposits, Yunnan, this paper applies the TM multispectrum remote sensing data to interpret the remote sensing anomaly information of the string and ring structure and the remote sensing alteration anomaly information. Four ore-searching areas have been prospected by a synthetic analysis of both geophysical and geochemical data.

Keywords remote sensing, ring structure, alteration, Gejiu tin deposit