

云南思姑锡矿区地质、化探、遥感多元信息综合找矿研究

刘 磊^{1,2}, 张 兵³, 周 军⁴, 王 钰⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 新疆地矿局第七地质大队, 乌苏 833000; 4. 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安 710054)

摘 要 文章通过对地质、遥感、地球化学等多元地学数据的找矿信息提取和综合处理技术研究, 形成了一套多元信息综合找矿的技术。选择 Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 等 6 个元素, 对矿区原生晕进行了 R 型聚类分析、因子分析等分析, 并以传统化探处理方法 (平均值 + $n \times$ 标准差) 确定异常下限圈定异常区域; 将遥感、化探与地质信息融合并进行综合分析, 总结出矿区矿体的产出状态和成矿地质特征。经野外工作、探槽及坑道验证, 证实了预测的准确性。

关键词 遥感 化探数据 多元信息 思姑锡矿区

中图分类号 TP79: P618.44 **文献标识码** A **文章编号** 10495-5331(2008)05-0070-06

开展矿床外围及深部的地质找矿工作是此次工作的重点, 然而仅仅依靠常规的地质方法和手段是很难在找矿中有所突破, 所以必须引入新的技术和找矿方法。矿产信息是各种成矿相关信息 (包括地质构造、地球化学、地球物理, 以及由它们伴生的地表信息) 的综合体现。由此可见, 矿产信息具有多元性的特征。因此, 综合运用地质、地球物理、地球化学、遥感等多种技术方法的集合组成, 进行矿产资源的综合评价与分析, 无疑已成为现代矿产预测和勘查工作的主要趋势^[1]。

多元信息综合 (融合) 找矿逐渐受到地学工作者关注, 方洪宾等 (1998) 进行了遥感化探信息综合分析在地质找矿中的应用研究^[2]; 刘素红等 (2000) 利用 Gram-Schmidt 投影方法在高山区提取 TM 图像中的含矿蚀变带信息^[3]; 廖崇高等 (2002) 对兰坪地区的遥感线性体密度异常、频度异常、遥感环形影像异常、地球化学异常、地球物理异常、地质异常及已知矿 (点) 床的分布等 7 种控矿因素作为多源成矿预测^[4]; 刘成等 (2003) 进行了化探与遥感数据叠合研究^[4]; 周军等 (2005) 在海南不磨金矿区利用地质、化探、遥感多元信息综合找矿研究^[5]; 吴德文等 (2005) 对遥感与化探数据融合处理技术方法及应用进行了研究^[6]; 周军等 (2005) 在新疆东准格爾进行蚀变矿物填图及多元信息找矿^[7]; 木合塔尔等

(2006) 在东天山土屋—延东铜矿开展了基于 GIS 的找矿有利岩性、遥感断裂影响带 (Buffer 区)、地球化学异常、地质异常及已知矿 (点) 床的分布等 6 种控矿因素的多源信息成矿预测^[8]等, 这些研究都取得了很好的效果。此次多元信息综合找矿正是在这些研究的基础上开展的。

1 地质概况

思姑锡、铅、锌矿点位于现代地质划分的“三江”褶皱系成矿带, 以怒江断裂为界, 其西为波密—腾冲褶皱系, 其东为三江褶皱系。即: 位于班公湖—怒江板块结合带西部, 下察隅—梁河陆块、伯舒拉—高黎贡山推覆带 (陆缘弧) 的东缘, 推覆带中主要为一套强烈糜棱岩化和混合岩化的变质杂岩及喜马拉雅酸性侵入岩带, 带内构造变形强烈。由于严格受青藏高原“歹”字型构造体系影响 (制约), 区内地质体的主体构造线均呈近南北—北北西向展布, 区域性大断裂及其派生的构造破碎带等低压空间均较发育, 控制了区内的沉积作用、岩浆活动、变质作用及矿产分布。

2 工作思路与技术路线

思姑锡矿区位于云南省贡山县境内, 此次勘查区具体坐标范围为: 98°39'56" ~ 98°42'06" E, 27°41'

[收稿日期] 2007-05-08; [修订日期] 2007-08-27。

[基金项目] 云南省国土资源厅项目 (编号 5300000510406) 资助。

[第一作者简介] 刘 磊 (1982 年—), 男, 2007 年毕业于长安大学, 获硕士学位, 在读博士生, 现主要从事遥感、地理信息系统地质应用及地学数据处理工作。

50 ~ 27 43 03 N (图 3 ~ 图 7 中各矩形范围)。由于此次找矿的重点在矿山深部和外围找矿上,所以仅仅依靠常规地质方法和手段,很难取得理想的效果,因此必须引入新的地质理论和找矿方法、利用先进技术、采用合理的工作方法,才有可能取得突破。

通过对思姑锡矿前期地质勘查资料的研究,对勘查区范围遥感图像进行有针对性的处理及地质解译,选择重点区域进行大比例尺地质填图的同时利用 X 荧光分析仪进行岩石地球化学测量,进行化探数据处理结合遥感异常及地质认识圈定找矿靶区,并在有利地段进行探槽和坑道工程验证等工作。考虑工作区地势险峻、露头一般,实际工作中没有按常规选择一定间距的路线逐次穿越,而是侧重于系统选择可到达的路线进行矿床地质调查,对地质点进行取样,并根据 ETM+ 数字图像处理与解译结果挑选重要地段进行检查,在野外利用 GPS 手持机进行定位。

岩石测量采用成都理工大学研制的 X 荧光分析仪进行测定, X 荧光分析仪一次可以同时测量 5 种以上元素,甚至多达十余种元素的定性、定量测定,其检出限可达 10 ~ 200mg/kg,在原位条件下分析精度可达 2% ~ 10%^[9]。近些年在地质学研究、矿产资源评价、矿山开采和选矿冶炼过程分析等方面,已有大量应用实例^[9-11],实践证明, X 荧光技术是一种快速、经济、有效的方法。此次工作主要测定 Sn、Mo、Ag、Cu、Pb、Zn 等 6 种元素,对部分样品的定量分析工作由保山地质实验室承担。由于 X 荧光分析仪的测试结果为相对数据,无标准单位,为了使分析结果能与定量的化学分析相比较,将化学分析的复样全部进行 X 荧光分析仪测定,建立 X 荧光分析仪分析与化学分析的近似定量关系,方便野外矿化异常的确定。通过对比分析表明 X 荧光分析仪测试结果较为可靠,可以满足此次工作需要。

具体工作方法为: 运用 ERDAS 8.7 对工区的 ETM+ 图像进行图像处理; 利用垂直于地质体方向的路线进行野外地质填图,在填图的同时取岩石测量样品,根据文献 [12] 等得知,注意采集裂隙充填物质是十分重要的,因此此次工作样品采集工作主要对区内各种岩脉、断层泥或细粒物、褐铁矿化物质、矿(化)层位、构造破碎带及区内具代表性的岩石进行采集。将已知岩性界线、断裂以及野外路线内容按坐标移至图像上; 对矿区 Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 等 6 个元素原生晕进行了相关、偏相关、R 型聚类、因子分析等分析,并以传统化探处理方法 (平均值 + n 标准差) 确定异常下限,绘制等值线图。

将遥感与化探数据融合 (叠合),以 ARCGIS 9.0 软件为平台将遥感与化探数据融合图像与地质资料

综合分析,并根据已知矿点分析控矿及赋矿构造,圈定成矿有利地段。在重点地段进行探槽、和坑道工程验证。

3 化探数据处理结果

3.1 元素相关、偏相关、聚类与因子分析

如表 1 所示,化探数据除 Mo 与 Ag 没有明显的相关关系外其他元素都显正相关关系。对于偏相关系数, Sn 与 Mo 表现为负相关,而与 Zn、Ag 三元素为相关关系,与 Pb、Cu 没有明显的相关关系。数据表明,工作区中 Zn、Ag 为成矿头晕元素, Pb、Cu、Mo 主要显示成矿尾晕元素特征, Cu 因与 Zn 偏相关、与 Pb 和 Ag 无明显偏相关关系而与 Mo 负偏相关从而具过渡性质。而 Zn、Pb 与 Mo 的偏相关关系说明 Zn、Pb 也具有一定程度的头尾晕过渡的元素特征。

基于距离的聚类分析得到了类似的结果 (图 1)。在欧几里得距离平方为 20 的条件下,工作区化探样品元素大致分为两组,一组为 Cu、Zn、Pb、Mo,另一组为 Ag、Sn。前一组主要为尾晕元素组合,而后一组则为头晕元素特征, Sn 与头晕元素关系密切。

因子分析与上面分析结果相吻合。如图 2 所示,经 Varimax (方差最大法) 旋转后第一主因子 (F₁) 由 Cu、Zn、Pb、Mo 组成,其中 Zn、Pb、Mo 3 元素因子载荷大于 0.9, Cu 元素接近 0.9,应主要代表成矿尾晕元素;第二主因子 (F₂) 由 Ag、Sn 组成,而且两元素因子载荷都大于 0.8,主要代表成矿头晕元素。而从图 2 表现出头、尾晕元素组合间并无明显联系。由于锡矿床的标准的基本分带模式从下至上

表 1 工作区各元素含量相关及偏相关系数

	Sn	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo
Sn	1	0.781	0.764	0.719	0.794	0.551
Cu	-0.064	1	0.971	0.937	0.430	0.856
Zn	0.214	0.740	1	0.984	0.380	0.931
Pb	0.162	-0.118	0.340	1	0.322	0.965
Ag	0.561	-0.166	0.061	0.366	1	0.103
Mo	-0.224	-0.408	0.225	0.795	-0.531	1

注 1: n=114,原始数据取常用对数;上半三角为相关系数,下半三角为偏相关系数; =0.05,粗斜体者为 $|R| > R$; =0.01,粗体者为 $|R| > R$ 。

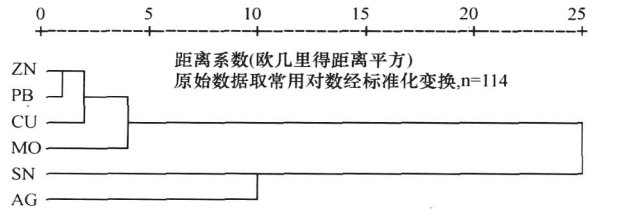


图 1 样品元素含量聚类分析谱系图

分别为: Nb、Ta、(Be) Sn、W、Mo、Cu W、Mo、Cu Pb、Zn、Ag、Au、As、Ba^[12]。而研究区内 Ag、Sn相关性较好,说明存在一定的头、尾晕叠加现象(图 2、图 3),推测矿体可能向深部延伸。

3.2 各元素等值线图编制

图 3为研究区内 6个元素含量等值线图。等值线图以样条插值(sp line)绘制,从而体现出异常的成带性及连续性,根据各元素均值(μ)和标准差(σ)确定的异常下限,对 $\mu + 1.64 \sim \mu + 2$, $\mu + 2 \sim \mu + 3$ 及 $\mu + 3 \sim \text{Maximum}$ 各区间以不同颜色和线型区分元素含量变化。

图 3中十字为 X 荧光测量 Sn 元素高值点。从图 3可知害笨和娃全的 Sn 化探异常与已知 Sn 矿化点吻合较好,通过对比 X 荧光分析仪测量与化学分析结果得 X 荧光测量结果为 26000 化学分析结果在 1%以上,说明 Sn 原生晕异常与矿化之间的空间

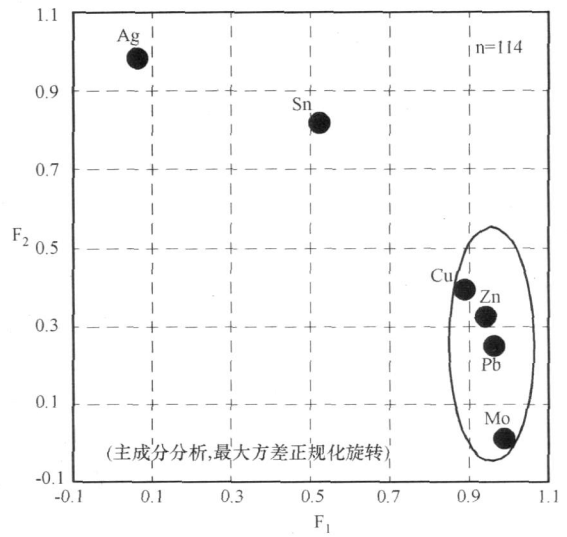


图 2 工作区原生晕样品元素含量因子载荷图

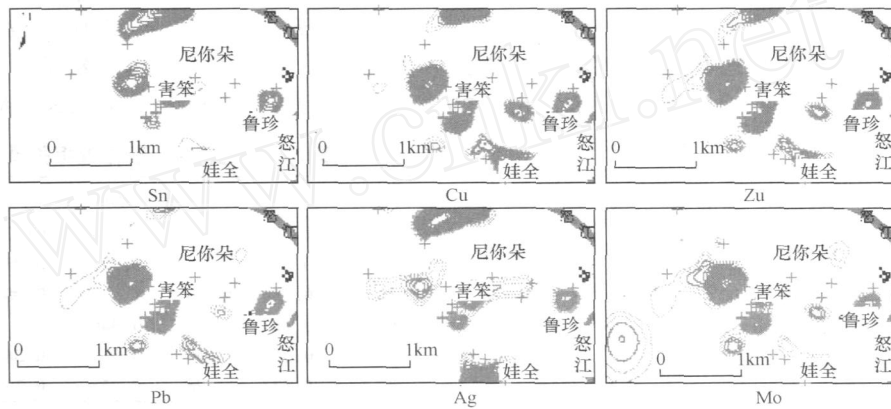


图 3 各元素等值线图

关系密切,从而证明岩石地球化学测量结果对 Sn 矿化有一定的指示意义。从所测定的 6 个元素看, Sn 矿化异常与其他各元素在害笨、娃全和鲁珍附近吻合较好, Ag 为成矿头晕元素且与 Sn 元素关系密切,而在害笨与鲁珍之间 Sn 和 Ag 存在弱异常而 Cu、Zn、Pb 和 Mo 却存在较强异常,这种头晕元素弱异常与尾晕元素较强异常的叠加并有 Sn 矿化应为深部有较大找矿潜力的间接指示。

综上所述,头尾晕元素组合由花岗岩及地层控制,总体沿 NW - NNW 方向展布而在 EW 方向存在一定的分带性,指示岩体及地层对矿液活动有明显的控制作用,应为主要控矿因素。

4 遥感数字图像处理、多元信息融合(复合)分析

由于工作区植被茂密、土壤覆盖严重、岩石露头较凌乱,而且地形陡峻,遥感图像受阴影影响严重,

使遥感技术的效果受到很大影响,所以此次研究仅采用传统的主成分变换+分类(阈值分割)方法来提取“矿化弱信息”,由于干扰因素众多,结果仅作为一次有益的尝试。

4.1 矿化蚀变信息提取

图像处理以 ERDAS 8.7 为平台,所用数据为 ETM + 13241 景,时相为 2000 年 12 月 25 日,数据已作过几何精校正、坐标配准,并将灰度值拉伸到 0 ~ 255 区间。研究所采用的方法有 Crosta 法^[13]。

以工作区范围遥感图像进行处理,底衬图像为经全色波段融合后 7(R)、4(G)、1(B)假彩色合成图像,叠加的含羟基矿物遥感蚀变异常由 TM1、4、5、7 进行主成分变换后经取反的 PC4(表 2)作阈值分割获得, $\mu + 1.64 \sim \mu + 2$ 、 $\mu + 2 \sim \mu + 3$ 及 $> \mu + 3$ 三级异常分别用青、橙和黄色着色;铁氧化物异常由 TM1、3、4、5 的 PC4(表 2)取反后进行阈值分割得到, $\mu + 1.64 \sim \mu + 2$ 、 $\mu + 2 \sim \mu + 3$ 及 $> \mu$

+3 三级异常分别用红、黄绿和蓝色着色。图 6 为通过上述方法处理得到的工作区遥感异常图像。根据原始图像可知所提取的羟基蚀变信息基本反映工作区内裸土及岩石露头,而铁染信息则被植被干扰较强,效果不甚明显。由于工作区山势过于陡峻,使得遥感图像上工作区范围内中部狭长地带都显示为阴影。根据野外工作知,花岗岩区异常较多主要由于岩石中含有较多长石、石英和黑云母,而黑云母在各波段吸收都较强,这导致了花岗岩区蚀变面积和

规模都较大;而花岗岩东侧异常经验证,由于部分露头岩性为灰黑色薄层炭质绢云板岩和薄层绢云变砂岩,这部分异常与含羟基蚀变矿物有关;怒江沿岸两侧岩石在 TM7 谱段反射率较高则可能因为这一范围内的岩石多为粉砂岩。而异常一定程度上也表现出受 NW、NE 向构造控制的特征。但是水系对遥感蚀变信息提取效果的影响却很大,怒江也被作为异常突出出来,这可能由于水系在各谱段反射率都较低。

表 2 工作区 TM1、3、4、5 及 TM1、4、5、7 主成分分析特征向量表

波段	PC1	PC2	PC3	PC4	波段	PC1	PC2	PC3	PC4
TM1	0.288	- 0.575	0.659	0.389	TM1	0.267	- 0.664	- 0.695	- 0.073
TM3	0.457	- 0.519	- 0.254	- 0.676	TM4	0.614	0.655	- 0.407	0.166
TM4	0.625	0.632	0.405	- 0.215	TM5	0.553	- 0.095	0.381	- 0.734
TM5	0.563	0.014	- 0.581	0.587	TM7	0.495	- 0.348	0.453	0.654

4. 2 线性影像提取、解译及分析

遥感构造解译是遥感在地质上最成功的应用之一,可以利用构造的解译标志来推测构造的深浅^[14],利用遥感解译构造已在地质调查、找矿及地震研究等领域取得了很好的效果^[15-17]。上述应用主要是依据岩层错动、不同产状相交、水系流向、影纹、色调、构造形态及地貌等特征目视解译的结果,但对于特征不明显的地区则必须通过一系列图像处理方法使其突出出来。遥感数字图像处理提取线性构造信息的方法有多重主成分分析^[15]和滤波^[5,7,16,17]。

由于主成分变换后第一主成分(PC1)取得了多光谱数据方差的绝大部分,噪声低,故通过边缘增强有利于刻画线性构造细部特征,从而使其整体上得到突出,对于波长较短的可见光尤其如此^[16,17]。所以研究中对 ETM3、2、1 波段主成分变换的 PC1 进行 5×5 像元中值滤波和 NW、NE 向模拟光照阴影突出、地质解译等方法提取线性构造。

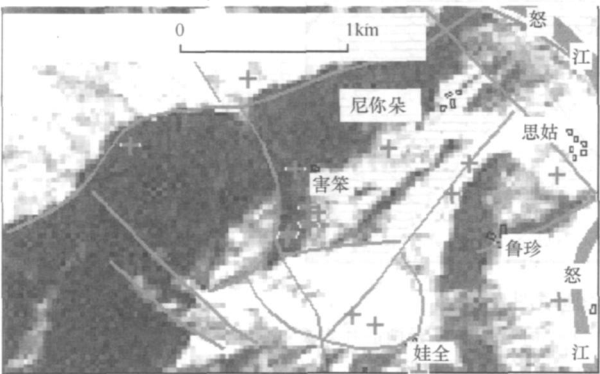


图 4 第 1~3 波段 PC1 构造解译图像

图 4 为 1~3 波段主成分变换后对 PC1 构造解

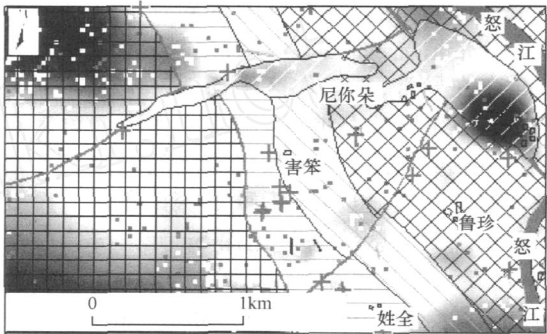


图 5 Sn(R)、Ag(G)、Mo(B)假彩色合成图像

译后的图像,图中红色线条为经过多种图像解译获得的断裂构造。由图可以看出通过整个区域的 NE 向构造与大比例尺地质填图获得的结果相当吻合(图 5、6)。而解译出的环形构造也很好的印证了区内岩体的存在。区内 NE 向构造较清晰,规模也较大,形成时代应较 NW 向构造晚,对 NW 向构造的错断较明显。更重要的是不但遥感蚀变异常沿 NW 向构造分布(遥感蚀变异常位置见图 6),Sn 高值点也大体延 NNW 向构造分布,这也从另一方面证实了 NNW 向构造为控矿构造这一事实。

4. 3 遥感、化探数据融合及多元信息综合分析

遥感与化探数据融合方法很多,主要有利用 GIS 的叠置分析及缓冲区分析^[1,8]、与遥感图像做和后假彩色合成法^[4]、化探数据栅格化后直接与遥感数据进行假彩色合成法^[5]、基于 HS 变换的数据融合^[5,6]、二维相关编码数据融合^[6]、几何平均法^[7]等。经过一系列试验,研究采用条件判别+遥感化探数据做和法进行数据融合,具体为对化探数据的 $\mu + 1.64 \sim \mu + 2$ 、 $\mu + 2 \sim \mu + 3$ 、 $\mu + 3 \sim \text{Max}$

mum几个区间遥感图像所对应的区域分别加上不同的数值,形成异常梯度,而且不改变遥感图像基本色调。

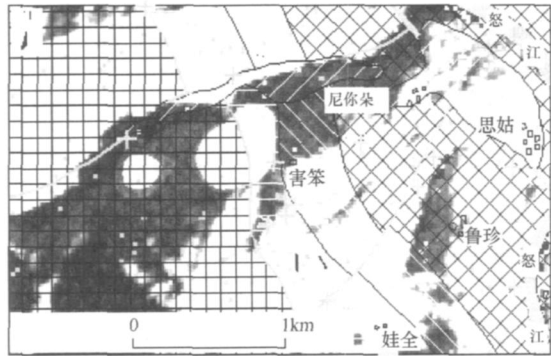


图 6 TM741与化探数据融合图像

工作区的 Sn (R)、Ag (G)、Mo (B)三元素假彩色合成图像利用头、尾晕元素的对比有效的体现了元素的分带情况,如图 5所示,尾晕元素 Mo不仅在西南角存在异常,在工作区中部 NW 向同头晕元素 Sn、Ag也存在异常叠加,这说明工作区内可能存在多期热液成矿作用,害笨和鲁珍之间的紫色区域为头尾晕叠加部位,也应作为重点探矿靶区。图 6由提取矿化蚀变信息结果与化探 Sn元素异常融合而成,融合方法为对化探 Sn元素数据的 $\mu + 1.64 \sim \mu + 2$ 、 $\mu + 2 \sim \mu + 3$ 、 $\mu + 3 \sim \text{Maximum}$ 几个区间

遥感图像所对应的区域分别加上不同的数值,形成异常梯度,白色越强则为 Sn异常越强,同时叠加了地质内容。害笨南部和矿区北部遥感蚀变异常与 Sn元素异常吻合较好,而害笨北部大片区域由于受阴影影响色调较暗,无法提取遥感蚀变信息。总体来看区内遥感及化探异常均受构造控制明显,应进一步进行野外验证工作。

5 综合异常检查、评价及分析

5.1 综合异常检查

在具体工作中,通过地球化学测量成果的研究,认为测区中部存在明显的锡矿化体分布密集地带,具有进一步工作意义。为此,在清理民采老硐的基础上,选择了矿化普遍、构造发育等最有利地段布置了部分新的探槽工程,并在对其进行地质编录的同时进行了现场 X 荧光分析、测试,探槽工程具体位置详见图 7地质图。

5.2 综合评价结果

经过综合异常检查及分析,圈定了 3个矿化带,分别介绍如下:

1) 马娃卡—害笨—娃全锡矿化带:该矿化带位于矿区西部马娃卡—娃全断层 (F₁) 东侧的马娃卡河中段—害笨—娃全一带,紧靠燕山期花岗岩侵入体,呈近南北向狭长带状展布,发育于石炭系二段下部大理岩、变砂岩、板岩之中 (图 7)。

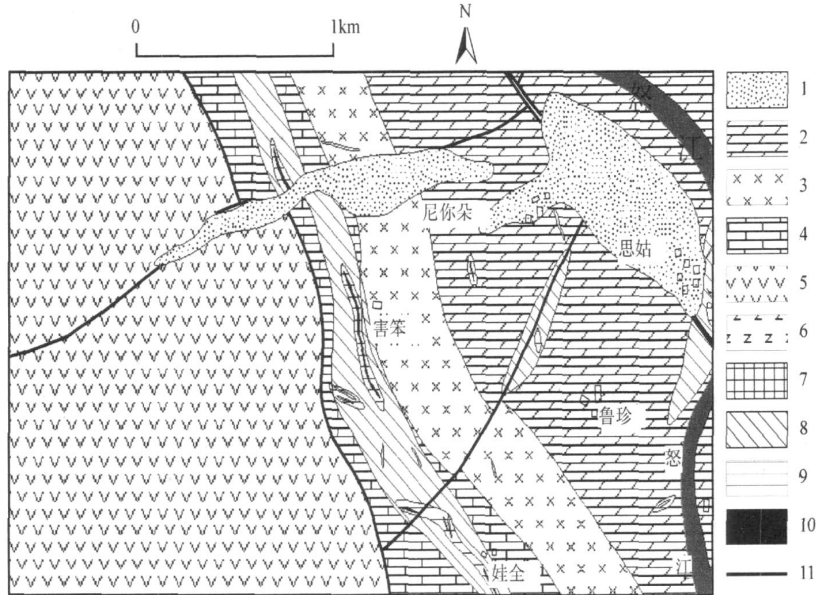


图 7 思姑锡矿区地质图

1—第四系;2—石炭系三段下亚段下岩组绿泥片岩、角闪片岩、二云微晶片岩夹细粒大理岩、变砂岩;3—石炭系二段上亚段大理岩夹绢云板岩;4—石炭系二段下亚段绢云变质长石英砂岩、砂质板岩、绢云母板岩;5—燕山早期边缘相二长花岗岩;6—伟晶岩脉;7—石英脉;8—矿化带;9—矿化体;10—矿体;11—断层

2) 尼你朵矿化带:该矿化带位于矿区中部害本与思姑村之间的泥你朵一带,其展布及形态受控于娃全断层(F_3)呈北东向展布。矿化体主要分布在伟晶岩脉体的裂隙、破碎带或其边缘与变砂岩、绢云石英片岩、大理岩等岩层的接触带中,呈脉状、囊状、团块状分布。

3) 思姑矿化带:位于矿区东部怒江边思姑村一带,沿公路大致呈近南北向展布。经地质勘察,该锡矿化带中主要分布有较强云英岩化的伟晶岩脉,且数量多,岩脉长度一般大于 15m,厚度一般在 3~4m 左右,规模相对较大。总体上,几条主要脉体的走向方向都是以近南北-北西向为主,其次为北东向,少数北西向,一般情况,云英岩化伟晶岩脉体比较破碎,产状零乱。

6 结论

随着空间遥感技术和信息处理技术的迅猛发展,遥感与常规地质地球物理地球化学相结合的多元信息综合找矿方法正逐渐成为现代找矿的技术主流。文章通过对思姑锡矿地质条件、地球化学信息、遥感图像线性构造及矿化蚀变信息进行综合分析、研究,并通过野外工程验证,取得了较好的效果。多元地学信息的提取和综合分析为矿产勘查提供了大量的地质信息,只要充分利用这些信息,必定取得较好的效果,文章便是一个实例。

[参考文献]

- [1] 廖崇高,杨武年,刘登忠,等. 基于 GIS 空间分析进行多源信息成矿预测[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(2): 146 - 150.
- [2] 方洪宾,李志中. 遥感化探信息综合分析在地质找矿中的应用研究[J]. 国土资源遥感, 1998, 4: 33 - 36.
- [3] 刘素红,马建文,蔺启忠. 通过 Gram-Schmidt 投影方法在高山区提取 TM 数据中含矿蚀变带信息[J]. 地质与勘探, 2000,

36(5): 62 - 65.

- [4] 刘 成,金成洙,姚玉增,等. 化探散点数据的图像华及其和遥感图像的叠合[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2003, 24(6): 597 - 599.
- [5] 周 军,王继辉,祁世军,等. 海南不磨金矿区地质、化探、遥感多元信息综合找矿研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2005.
- [6] 吴德文,袁继明,张远飞,等. 遥感与化探数据融合处理技术方法及应用研究[J]. 国土资源遥感, 2005, 3: 44 - 47.
- [7] 周 军,陈明勇,高 鹏,等. 新疆东准格纳蚀变矿物填图及多元信息找矿[J]. 国土资源遥感, 2005, 4: 51 - 55.
- [8] 木合塔尔·扎日,郭瑞清,依玛木·塔伊尔. 基于 GIS 空间分析进行多源信息成矿预测——以东天山土屋—延东铜矿床预测为例[J]. 新疆地质, 2006, 24(3): 314 - 317.
- [9] 任家富,周建斌,庾先国,等. EDXRF-1024 便携式高精度 X 荧光分析仪[J]. 核技术, 2006, 29(9): 698 - 700.
- [10] 赵志强,杜晓冉,李 铭,等. X 荧光分析仪在地质工作中运用实例[J]. 化工矿产地质, 2005, 27(1): 47 - 49.
- [11] 花永涛,程 锋,赖万昌,等. X 荧光分析仪在新疆某地的应用[J]. 物探与化探, 2006, 30(4): 370 - 373.
- [12] 邵 跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [13] Crosta A P, and Moore J M. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone Belt terrain[A]. Proceedings 7th International Conference Applied Geologic Remote Sensing[C].
- [14] 陈圣波,周云轩,刘万崧. 一种表征遥感图像深部层次信息的方法[J]. 遥感学报, 2001, 5(5): 367 - 369.
- [15] 朱小鸽. 多重主成分分析及在地质构造信息提取中的应用[J]. 遥感学报, 2000, 4(4): 299 - 303.
- [16] 周 军,高 鹏,田勤虎,等. 新疆巴里坤 ETM 数字遥感地质填图的探索[J]. 国土资源遥感, 2005, 3: 57 - 61.
- [17] M A Torres - Vera and R M Prol - Ledesma, 2003, Spectral enhancement of selected pixels in Thematic Mapper images of the Guanajuato district (Mexico) to identify hydrothermally altered rocks[J]. International Journal of Remote Sensing, 24, 4357 - 4373.

SYNTHETIC ANALYSES OF REMOTE SENSING, GEOCHEMICAL SURVEYING AND GEOLOGY IN THE ORE EXPLORATION IN THE SIGU TIN DEPOSIT, YUNNAN PROVINCE

LU Lei^{1,2}, ZHANG Bing³, ZHOU Jun⁴, WANG Yu⁴

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101;

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

3. Geological Brigade Seven of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Wusu 833000;

4. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054.)

Abstract: Ore prospecting method of multivariate information gained by synthetic analyses on remote sensing images, geological data and geochemical information is introduced and index for ore prospecting has been set up. Sn, Cu, Pb, Zn, Ag and Mo elements are chosen for primary habits with R-type cluster analysis and factor analysis. Traditional geochemical data processing method with geochemical anomalous line (mean + n × standard deviation) is adopted to define geochemical anomaly. After synthetic analyses of multivariate information, ore occurrences and mineralizing characters are summarized. Veracity of forecasting by tunnel and trenching exploration is approved.

Key words: remote sensing, geochemical surveying data, multivariate information, Sigu tin deposit