

新疆东准噶尔锡金矿产遥感调查*

崔承禹

朱亮璞

王志刚

金澔

黄长林

(中国科学院遥感应用研究所)

(北京大学地质系)

(中国科学院遥感应用研究所)

1990年7月26日收稿

摘 要

本文介绍了采用彩色红外航空像片和多种航天遥感资料,运用计算机和光学图像处理技术并结合地质资料进行的多源遥感信息对比分析、线性构造判读、主要含矿地质单元遥感影像特征及其机理分析等,以及据此建立的一套适于该区遥感找矿的工作方法。应用该方法圈定的遥感影像异常区,经野外验证,发现两处锡矿和一处金矿靶区,取得了良好的遥感找矿效果。

关键词 遥感技术 彩色红外技术 遥感找矿 锡金矿产

遥感技术在地质找矿工作中虽然取得了一些成效,但在直接寻找有色金属矿产方面的实例尚不多见,尤其是直接找到锡矿的例子,在国内外均未见报道。

我们在实施“加速查明新疆矿产资源的地质地球物理地球化学综合研究”的任务中,利用航空和航天资料,结合地质及物化探资料进行对比分析,探索了直接应用遥感技术寻找锡金矿产资源的方法,并发现了两处锡矿和一处金矿靶区,取得了较好的效果。

一、概 述

本课题的研究区在新疆准噶尔盆地的东部(图1),位于天山—蒙古地槽褶皱系和阿尔泰褶皱系之间的大地构造单元,属海西褶皱体系,谓东准噶尔褶皱带,包括阿尔曼铁山、北塔山及卡拉麦里山。区内断裂构造发育,东北部有NW向展布的阿尔曼铁深断裂,南部有近EW向展布的卡拉麦里深断裂。其间又有库普大断层和苏吉泉—平顶山大断层,断裂、线性地质构造很发育。区内出露地层主要有泥盆系中统和石炭系下统。泥盆系蕴都卡那组(D_{2y})是一组海陆交互相或陆相中基性火山岩,硅质建造,主要分布在卡拉麦里花岗岩体周围。中泥盆卡拉麦里组(D_{2k})为一套碎屑岩和火山碎屑岩,出露在卡拉麦里深断裂以南,在遥感影像上可见层理。下石炭是一套火山—沉积岩系,为地槽型海相类磨拉石建造。其中南明水组(C_{1n})和清水组(C_{1q})出露于卡拉麦里深断裂以北,在几种遥感图像上均与泥盆系地层易于区别;松喀尔苏组(C_{1s})为一套火山碎屑岩,分布于卡拉麦里深断裂以南,在遥感图像上有明显的层理。研究区内岩浆活动强烈,有大型侵入的卡拉麦里岩体,系海西中期分六次侵入的复式岩体,主要为中酸性花岗岩类,在遥感图像上呈浅色

* 参加本项研究工作的还有张圣凯、李丽、朱重光和邵芸等。

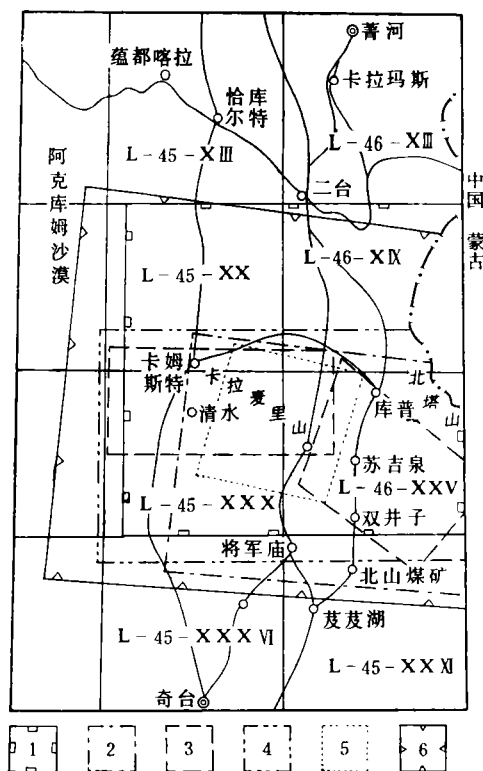


图 1 东准噶尔研究区范围及遥感资料覆盖范围

Fig. 1 Location of eastern zhungeer study area and covering region by remote sensing data

1. 研究区范围 2. TM 图像 3. 彩色红外航摄区 4. MSS 图像 5. SPOT 图像 6. 国土卫星图像

调,极易识别。岩体周邻,尤其南侧还有海西早期的辉长岩和超基性岩体,前者在航空像片上多呈深青蓝色,中低山地形,易于识别;后者大多强烈风化,为坡洪积物所掩盖的负地形,难以识别。本区的有色金属矿点和矿化点主要有金、铬、铜、铅,仅有几处小型金矿,未见有其它矿床资料。

研究区在 1964—1974 年间曾做过 1:20 万区域地质调查和 1:10 万航空磁测,部分地区做过 1:5 万地质矿产普查和物化探工作,对铬和金矿资源的调查做得较细,矿点和矿化点星罗棋布;1984 年对东准噶尔的金矿资源进行过评价;1986 年又编制了大面积的 1:10 万遥感判读地质图及地质报告。

1987 年 1 月开始,我们在上述工作的基础上,对 20 000 平方公里研究区中的 7 000 平方公里做了重点研究,进行了 1:5 万彩色红外航空摄影,并利用了陆地卫星 MSS 和 TM 数据、SPOT 图像及国土卫星像片,在对这些遥感资料进行光学和计算机图像增强处理、多源信息对比分析和地质判读的基础上,圈出了遥感影像异常区和找矿有利地段,并进行了野外验证(图 2),于 1987 年 8—9 月发现锡矿两处,经地质部门槽探和钻探工程初步验证,认为可成为工业矿床。与此同时,还发现构造破碎裂隙蚀变岩型金矿靶区一处,业

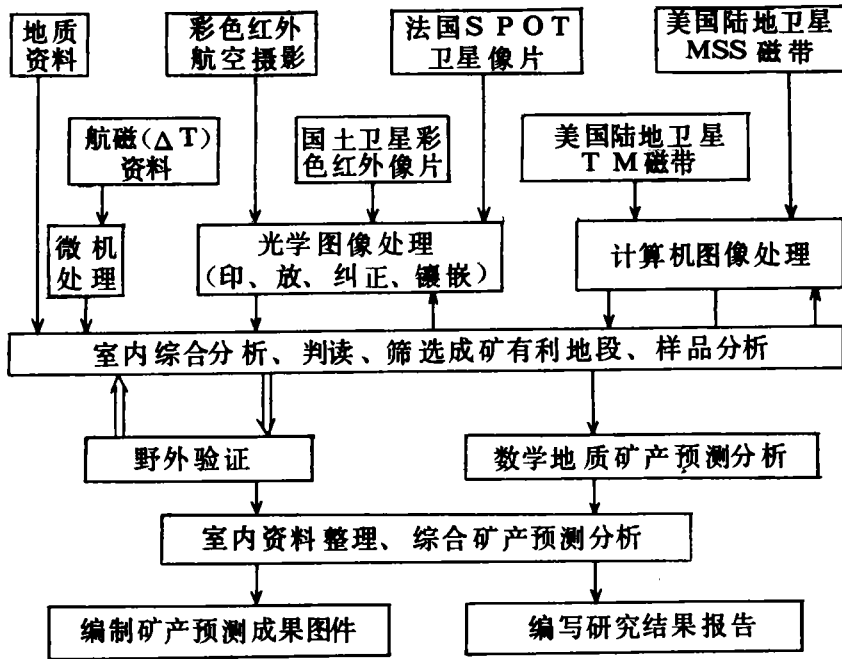


图 2 工作程序框图

Fig. 2 Flow diagram of the working procedure

已移交地质部门进行矿床评价。

二、多源遥感影像特征及机理分析

(一) 含锡石及其有关的花岗岩体

卡拉麦里花岗岩岩体共有六次侵入活动，同锡石有生成关系的主要是华力西中期第六次侵入的斑状花岗岩，岩石类型有斑状黑云母花岗岩(γ_6^{2f})、钾质花岗岩和钾质花岗斑岩(γ_5^{2f})，呈分异岩相关系产出。以找矿为出发点，按花岗岩的影像特征可将其分成 3 种类型。

1. 钾质花岗岩 (γ_5^{2f})

由于 γ_5^{2f} 含钾质多，条纹长石占 70—75%，岩石本身呈绛红或肉红色，在彩色红外航空像片(以下均指正片)的可见光波段感深绿色，而在近红外波段感红色，这样红色与深绿色叠加成稍带绿的黄色和深黄色；在影纹特征方面，呈断续的多层环状或叶脉状，表面粗糙，近 EW 向节理较发育，大都无覆盖，无明显水系。 γ_5^{2f} 岩石在 SPOT 彩色合成图像上色调叠加同彩色红外航空像片相似，呈蛋黄色，粗糙影纹，近 EW 向纹理发育，也无明显水系。已有两处小型锡矿床(面积不足 1 平方公里)产于此种影像特征的花岗岩中。

2. 淡肉红色、红色中粗粒黑云母花岗岩(γ_6^{2f})

其条纹长石少于 70%，由于条纹长石减少，斜长石增多，所以岩石呈淡肉红色或土红色，它在可见光波段感浅绿色，在近红外波段感红色，二者叠加成浅黄色，故在彩色红外航

空像片上呈浅黄至黄白色。岩石表面风化较 γ_{52}^{TM} 强一些, 石英增多, 所以呈星点状浅黄色, 斑点状圆环状影纹, 表面粗糙, 地形稍有起伏, 看不出水系。

3. 灰白色中粗粒黑云母花岗岩

斜长石占 21—24%, 条纹长石占 32—44%, 石英占 31—34%, 斜长石和石英呈乳白色, 致使在正片上叠加后仍以白色至灰白色为主。在 TM 和 SPOT 彩色合成图像上, 这种花岗岩均呈白色调, 表面光滑, 无影纹图像显示; 在国土卫星图像上能看出干树枝状水系。

(二) 含金的泥盆系和石炭系岩层

1. 泥盆系中统蕴都卡那组 (D_2y)

该组岩层主要由浅海相火山碎屑岩组成, 以黄绿色和灰绿色火山凝灰岩、层凝灰岩、砂岩为主。岩层多被花岗岩穿切, 且多已产生接触变质。在彩色红外航空像片上看不出层理方向和岩层走向, 低矮的丘陵山地大都被残积物所覆盖, 无植被。沙石表面是“沙漠漆”, 呈墨绿色。在彩色红外胶片(正片)上感深蓝色, 又叠加很弱的绿红色(红光和近红外波段的弱反射), 造成 D_2y 岩层在彩色红外航空像片上呈浅蓝色。使之同石炭系地层相近的岩石不易区分, 只有在角岩化很弱的地方呈深蓝色时, 才易辨认。但在经计算机 2(蓝)、3(绿)、4+5+7(红)波段彩色合成和 SCAL 处理的 TM 图像上, D_2y 岩层容易识别。如苏吉泉至平顶山断裂以北的 D_2y 岩层呈深蓝至蓝黑色调, 而且愈接近花岗岩岩体的变质较强的岩石色调愈深, 离岩体稍远的岩石, 在图像上的色调则稍浅一些。这当中的一些火山凝灰岩、玄武玢岩等, 在蚀变较强的情况下发生退色化, 致使在图像上的色调, 应当深的地方反而变浅, 这很可能是后期岩浆热液蚀变或汽化蚀变造成的, 这是寻找相应的矿产(如含锡石的云英岩细脉等)的有利地段。在 SPOT 图像上, D_2y 岩层呈深蓝绿色, 角岩化强的岩石, 在图像上的色调趋于呈墨绿色, 使其同周围的岩石在图像色调上有明显差异。

2. 石炭系下统南明水组 (C_1n)

该组岩层为一套地槽型海相类磨拉石建造。其下部以灰色及灰绿色板岩、千枚岩、凝灰质砂岩和粉砂岩为主, 变质程度较深, 片理很发育。上部岩性主要为一套灰绿色凝灰质砂岩、砾岩, 沿走向相变为火山灰层凝灰岩夹中基性火山岩夹层。由于岩石本身反射灰绿色, 因此在胶片上感蓝色, 加之表面多有氧化物, 铁质增多, 所以在近红外波段(0.7—0.9 微米)反射较弱, 在彩色红外航空像片和几种卫星像片上, 东准噶尔地区的石炭系和泥盆系地层均呈现深浅不同的蓝色调。但是, 其中的石英脉、酸性岩脉及退色化的褐红色条带状岩层, 在彩色红外航空像片上则呈白、灰白、黄白色调, 这两种色调异常恰是寻找金矿的有利标志。在 TM 图像上, 板岩和千枚岩呈蓝色条带状、块状影纹; 凝灰质砂岩和粉砂岩呈棕褐色宽带状。岩层中的岩相变化、退色化和褐铁矿化造成的铁染、中基性火山岩等在 TM 图像上呈现棕褐色, 大多数的金矿(化)点均分布于这种岩层中, 因而用 TM 图像圈定金矿化点是有利的, 只是地面分辨率低一些。在 SPOT 图像上, 下石炭南明水组岩层, 能识别出其走向, 纹理特征呈小树枝状, 由于断裂发育, 还可看出格网状, 呈浅蓝色、蓝色, 所以易于识别。

下石炭清水组(C_1q)因岩性基本同南明水组, 所以其判读标志也基本相同。

(三) 构 造

在遥感图像上,断裂和线性构造是以色调、岩性地层、地貌、水系、土壤、植被等判读标志的线状异常显现出来的,较易于识别。本区判读出的断裂和线性构造,按方向可分为 NWW, NW, NWW—近 EW, NEE, NE 和 NNE 六组。其中 NWW—近EW 向最醒目。下面简述一下与成矿有关的一些地质构造。

NWW—近 EW 向组:在彩色红外航空像片上,发现喀拉萨依岩体的南部有 7—8 公里长的线性构造形迹,在这条断裂的两侧判读出了几处富含锡石的云英岩脉群。

NE 向组:该组数量不多。在红土井子西北部的一条 NE 走向的线性构造内发育 10 多公里长的酸性岩脉,在其东北末端处,岩脉分叉成马尾状(或成笞帚状),按这一构造和岩性分析,在其发散的尾部找到一处富含锡石的云英岩脉群。

弧形构造:本区发现有一大的弧形位于卡拉麦里山主峰北部的清水一带。这一弧形构造在几种遥感图像上都有明显的显示,在其近旁有 10 数个含金矿点。弧形构造与金矿的成矿关系,则有待进一步研究。

三、锡矿遥感调查

锡矿床的成矿理论^[1-3]告诉我们,锡矿的主要矿物是锡石。锡石主要赋存在气-液变质的云英岩化、钾化、钠化的花岗岩中。云英岩脉是直接寻找锡矿的标志,一般分布在中、深成花岗岩侵入体边缘及其附近岩石中,常形成于侵入体的穹窿形顶部或岩钟和岩枝部,也见于岩体的接触带附近或矿脉的两侧,其形态取决于裂隙特点及形成时的环境。一般呈板状、脉状、层状、透镜状或其它不规则网脉状,厚度自数厘米至数十米,长度在几米至数百米。因而存在用遥感方法圈定云英岩脉分布的条件。下面根据前述的锡矿成矿地质规律和环境的遥感影像特征及其机理分析建立的判读标志,结合研究区成矿有利地段,进行一些具体分析。

(一) 喀拉萨依锡矿

分析覆盖卡拉麦里岩基西端的喀拉萨依岩体的彩色红外航空像片的影像特征,发现岩体是淡肉红色的黑云母花岗岩;岩体的几何形态复杂,尤其是南侧和东侧,边界多为“港湾”、“岩舌”状,有利于锡石富集;岩体内接触带有较好的钾化蚀变花岗岩;围岩捕掳体和顶垂体的角岩化较强烈,图像上呈黑色调,有的经强蚀变造成退化;围岩影像的色调不均,岩体与围岩界线不清,围岩经气液蚀变造成退化;在图像上,围岩与岩体内线性体、线性构造发育密集,尤其在 1:5 万彩色红外航空像片上,岩体的南侧有 NWW 向的线性影纹,它与云英岩脉的方向一致,沿线性构造上有多处云英岩脉,这是新发现的控矿和容矿构造;岩体中有多处云英岩脉的影像特征,它在色调、几何形态等方面同石英脉及其它酸性脉岩能区分开;在 1:20 万地质矿产图上该岩体北部有锡石重砂异常。以上这些特征就是发现喀拉萨依锡矿的综合判读标志。

这里需要强调说明的是,用彩色红外航空像片进行地质判读,直接发现云英岩脉并找

到锡矿,其关键在于如何将云英岩脉同石英脉等酸性岩脉区别开来。从 50 号和 52 号脉可明显看出,云英岩脉一般呈烟灰色,石英多者呈灰白色,浸染状锡石及褐铁矿和黑云母多数呈黑灰色,且为致密块状和粒状结构,脉长由数米至 200 余米,一般为几十米,脉宽 0.5 米至 5 米,复式脉达十几米。富石英云英岩脉比黑云母花岗岩耐风化,所以一般都突出地面,呈微突起的线状延伸正地形。云英岩脉大都出露地表(破碎带内除外),经风化其碎块残留在脉体两侧,这样便加宽了脉的可识别宽度。云英岩脉的形态、地势、航空像片上的可分辨尺寸、色调等是在彩色红外航空像片上可直接识别的基本因素。它在影像上呈青蓝色至青灰色,以此区别于纯石英脉;它的形状,尤其是短而粗状的脉体,在像片上可区别于其它酸性岩脉。建立起用彩色红外航空像片识别出云英岩脉进而寻找锡矿的方法,是本项应用研究中的突出效果。

经分析研究和野外验证,在喀拉萨依直接发现富石英云英岩脉和锡石云英岩脉共 20 处达 120 条脉,填绘了 54 平方公里 1:1 万遥感影像地质图(图版 I),并进行了槽探和刻槽、拣块取样化学分析。其中肉眼可见锡石的有 12 条脉,最长达 230 米,宽 5 米,7 条脉的锡石含量在工业品位以上。对地表做出的含矿初步评价认为,这些岩脉已具有矿床规模,并预测其深部及外接触带是锡矿及其伴生矿床赋存的有利地段。经钻探初步验证,发现了层状锡矿床。

(二) 红土井子北部的锡矿

该处锡矿是按前述遥感影像特征在室内判读时圈出的异常地段,是在以往地质资料无任何矿化、云英岩化和重砂异常显示的情况下,完全根据影像特征找到的云英岩岩脉。在彩色红外航空像片上可看出,在微钾化的淡肉红色黑云母花岗岩中,NE 向马尾状酸性岩脉沿这组方向的断裂、裂隙和节理充填,大量的线状影纹和青蓝色调的细脉型富石英云英岩脉密布,共发现 137 条脉体(不含几厘米的细网脉),主要方向为 40—65°,总体走向 50°,面积约 15 平方公里(图 3)。经野外查证和绘制 1:1000 地质草图,发现一处富含锡石的矿脉,拣块样的平均品位为 2.46%。该处上部剥蚀不大,按锡矿成矿理论,深部对锡矿、钨矿及铌、钽等矿产更为有利,建议进行工程验证。1989 年经初步钻探证实,该处是比喀拉萨依更有前景的锡矿工业矿床。

除以上两处锡矿靶区外,还对卡拉麦里花岗岩岩体及外接触带进行了遥感找矿预测和远景分析,圈出了一些锡矿远景区及有利地段。

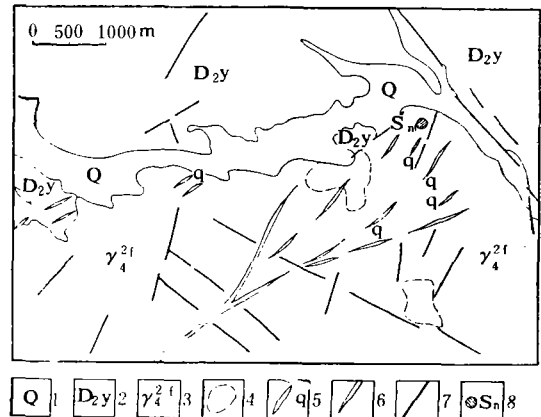


图 3 东准噶尔红土井子北锡矿靶区判读图
Fig. 3 Interpretation geological map of the Tin deposit target in the northern Hongtujing

1. 第四纪未分, 2. 蕴都卡那组凝灰岩, 3. 黑云母花岗岩,
4. 细粒花岗岩, 5. 石英脉、云英岩脉, 6. 酸性岩脉未分,
7. 断裂、线性构造, 8. 锡矿点。

四、金矿的遥感调查

综合分析卡拉麦里构造带的地质和金矿(化)点的分布状况,赋存层位以及这些岩层的遥感影像特征发现,苏吉泉—平顶山大断层以北的中泥盆统都卡那组(D_{2y})岩层中的金矿(化)点,可能与岩体的成岩期构造和侵入岩的热液活动有关。基于这一认识,我们在几种遥感图像上,分析了岩性和构造的影像异常。在彩色红外航空像片上,苏吉泉—平顶山大断层呈明显的线状和弧形,其北侧的近 EW 向的次级构造——断层和线性构造附近,分布有金矿(化)点,而在遥感影像上无石英脉的迹象。在黄羊山南(以下简称黄南)偏西 207° 方向的 7 公里处的 D_{2y} 岩层内,有 NEE 向断续分布的线性构造密集带和砂金古采坑的斑点状影纹,它的西部和南部是

NW 向弧形、线状断裂构造, 300° 走向,向东逐渐转折为近 EW 向。该断裂具有高角度北倾的特征,是一右旋压扭性断裂。这组断裂基本控制了岩体接触带的弧形展布特征。黄南线性密集带东部 200 米是卡拉麦里岩体,它正处于钠铁闪石花岗岩和钾质花岗岩的明显接触界线的西延部位,也与岩体内沿 NEE 80° 方向构造充填的基性岩脉的方向相一致(图 4)。基性岩脉在彩色红外航空像片上呈墨绿色的线状条纹,在放大至 1:1 万的彩色红外航空像片上见有岩金古采坑。在 TM 图像上可看出,黄南区北部的棕色岩性区为玄武玢岩,其南部深蓝色区为凝灰质砂岩的影像特征。鉴于黄南遥感异常区的影像特征及其所处的构造和岩浆活动是成矿的有利部位,经野外地质验证,找到了 48 条破碎裂隙脉体,又经填绘 1:2 000 实测地质草图,初步圈出其分布范围为 1.6 平方公里。脉体长 10 至 100 米不等,宽

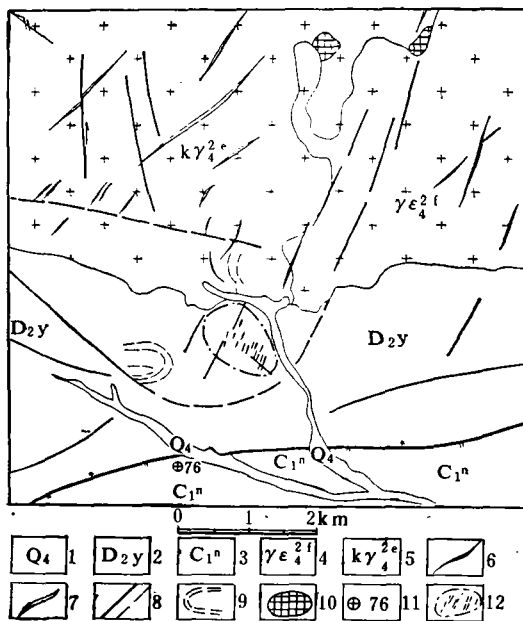


图 4 黄羊山金矿靶区地质判读略图

Fig. 4 Interpretation geological draft of the Gold deposit target in the Huangyangshan

1. 冲洪积物, 2. 蕴都卡那组凝灰岩凝灰质砂岩, 3. 那林卡那组凝灰岩中基性熔岩, 4. 钾长花岗岩, 5. 钠闪石花岗岩, 6. 基性岩脉, 7. 中酸性岩脉, 8. 断裂—线性构造, 9. 判读标志层, 10. 混染岩, 11. 原有金矿点编号, 12. 金矿化裂隙带分布。

0.5 至 3 米,可见到黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化、硅化(多为细网脉状)、绿泥石化及黄铁绢英岩化。对其钩槽和系统拣块取样及化学分析,表明含金在 0.5 克/吨以上的样品占 37%,80%的样品在 30ppb 以上,最高 33.3 克/吨,总平均 1.77 克/吨。由分析结果得知,金矿地球化学异常有一定的相关性。初步评价认为,黄南金矿靶区可能是与花岗岩侵入成岩期热液活动有关的构造破碎裂隙蚀变岩型金矿,可达成形矿床。

根据黄南金矿靶区的遥感影像特征和线性分析,并用遥感资料进行数学地质方法预测,在岩基周围还发现两处金矿成矿有利地段,但有待于查证。

五、结 论

用遥感技术在新疆东准噶尔卡拉麦里地区进行的遥感找矿应用研究,经两年室内和野外调查工作,取得了良好的效果,找到两处锡矿和一处金矿,提出了一些成矿远景区和有利地段,为地质勘探提供了靶区。这说明采用遥感影像特征与地质目标的成像机理分析,结合锡金矿产的成矿理论、地质环境及已有地质资料,进行多种信息的对比判读分析和野外验证,可为矿产勘探提供靶区,是一种行之有效的方法。

参 考 文 献

- [1] 陈光远等编著,成因矿物学与找矿矿物学,重庆出版社,1987年。
- [2] R. G. Taylor 著(云南省地质科学研究所情报室译),锡矿床地质学,地质出版社,1983年。
- [3] 贺同兴等编著,变质岩岩石学,地质出版社,1988年。

Remote Sensing for Minerals Exploration of Tin and Gold in East Zhungeer Area Xinjiang, China

Cui Chengyu

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences)

Zhu Liangpu

(Department of Geology, Peking University)

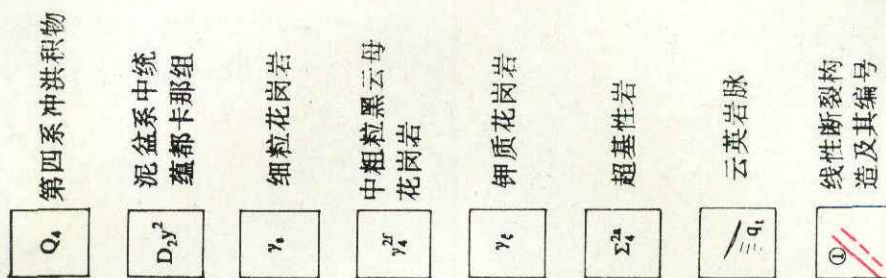
Wang Zhigang, Jin Hao, Huang Changlin

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The paper discusses the application of airborne and spaceborne remote sensing data which are optically and digitally processed to analyse the features of the mineralized geological units on imagery and its mechanism, and also to identify and determine the anomalous area of possibly mineralized geological bodies on imagery. It is discovered that one group of linearments interpreted from image existing in acid alkali-granites in arid area in the western China controls mineralization and contains mineral zones, especially on the airborne color infrared photograph they have excellent exposure. In the meanwhile, the greisen veins were interpreted from photograph, which are the good indications of tin deposit. In 1987, two tin deposit were discovered during two months field investigation. In the surveying areas, it is found that in the densely intermittent linear image feature zone and in the altered rocks in NE 80° direction exists a outer contact zone between granites and Devonian system marine volcanic-sedimentary clastic rocks, which was regarded as the favourable place for activating and re-enriching gold element in gold-bearing strata by structural and magmatic movement. In August 1988, a gold deposit of structural fractured crevice altered rocks was found in the remote sensing field investigation. It is a valuable achievement of remote sensing technology. The above examples show that remote sensing technology can rapidly undertake geological investigation and mineral exploration over large area and gain better economic results with very limited data in geologic working area difficult of conditions.

Key words remote sensing technology, color infrared gold deposit tin deposit, remote sensing for mineral product exploration



新疆东准噶尔喀拉萨依锡矿遥感地质图