

# 遥感地质在川西北平武—青川地区 金矿研究中的应用

杨庆德 陈光火 马建文 谷稚芳

**提 要** 本文运用遥感地质综合研究方法,解译分析了区域构造组合特征及与金矿成矿的关系,探讨了TM 蚀变带信息提取试验方法,提出了遥感影像找矿模式和川西北金矿的找矿前景。

**关键词** 遥感地质 线性构造 环形影像 蚀变信息 模式 远景

本区金矿资源丰富,尤以砂金采掘历史悠久,目前已发现的各类金矿床、矿化点 100 余处,金矿主要集中分布在川、甘、陕交接地带,构成著名的“金三角”成矿区。近年来在该区不断发现新的矿床(点)和新的金矿类型,邻区东北塞和邱洛特大型金矿床的发现,证明了川西北地区是一个寻找金矿,特别是微细浸染型金矿较有潜在远景的地区。

自七十年代以来,该区进行了地质普查和砂金的勘探工作,但对岩金的研究工作程度较低,仅有 1/20 万的铜、金普查和少数矿点的评价资料,亦属找矿的薄弱地区。八六年以来,配合地质、化探课题,开展了遥感地质综合研究工作。采用美国 Landsat5 我国地面站接收的最新 TM、MSS 卫星数据资料,在本区首次进行了图像处理、地质构造解释和蚀变带信息提取试验,建立了遥感影像找矿程序模式,进行了成矿远景预测,取得一定的效果和进展。并为该区深入研究成矿条件,进一步扩大找矿远景提供了地质依据和新技术手段。

## 一、成矿地质背景

研究区位于扬子准地台与松潘、秦岭褶皱系接合部,经历了晋宁、印支、燕山为主的多次构造运动,为一长期构造岩浆活动的软弱带,成矿区域热动力条件有利,构造破碎带发育,有利于热液活动和矿液的充填交代。据我国已发现的大型金矿床,多位于地台、褶皱系边缘,尤其是那些深大断裂、断裂、裂隙发育的地带,本区置于龙门山深大断裂带和不同大地构造单元的交界处,亦属有利成矿的大地构造环境(图 1)。

区内出露的含矿地层主要有元古界碧口群,志留系茂县群、泥盆系、二迭系及三迭系五个层位。根据野外调查和我院地质化探组测试结果,主要含金岩性有变中性基性火山岩(Au—0.019ppm)、绢云千枚岩(Au—0.015ppm)、板岩(Au—0.018ppm)、长石石英砂岩(Au—0.083ppm)和碳酸盐岩(Au—0.018ppm)等,这些岩石较地壳含金的平均值(黎形—0.0035ppm)一般高出 1—2 个数量级。本区已发现的金矿床、矿化点多分布在这些层位的岩性中,如产于碧口群变中性基性火山岩(细碧岩)中的王前沟、后沟金矿床,产于茂县群变酸性火山岩—钾长粗面岩中的酒家垭金矿点,产于泥盆系炭质板岩、灰岩及石英砂岩中的桥桥上金

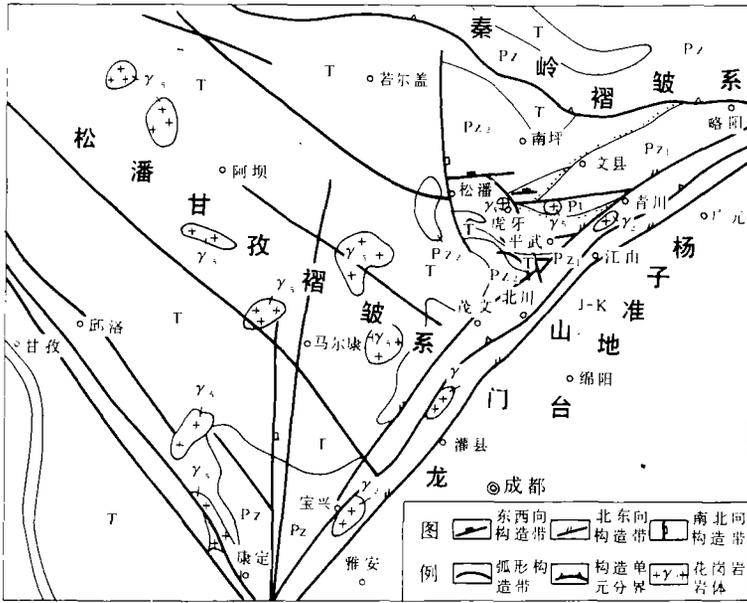


图 1 川西北地区构造略图

Fig. 1. Tectonic sketch of the northwest Sichuan

矿床,产于二迭系砂岩、结晶灰岩中的银厂沟汞金矿化点(Au—0.3ppm)以及分布于三迭纪砂岩、板岩、灰岩中的东北寨大型金矿床等(图2)。

本区金矿分布主要受摩天岭东西向构造带、龙门山北东向构造带和岷江南北向构造带的控制;并与印支—燕山中酸性岩浆岩的分布有关,据四川冶金606队八三年资料,于木皮—五层岭岩体外围有白钨矿分散流异常,经VI、V剖面岩石采样分析,近岩体亦存在Au<sub>3</sub>、Au<sub>4</sub>两个金原生晕异常(图3),金在岩体附近含量有强烈跳动现象(四川冶金606队平武—青川地区金铜普查地质报告1982),说明岩体对金及一些相关元素有改造活化作用。区内金矿床(点)和蚀变矿化异常,多集中分布在构造交汇复合部位,如酒家垭、后沟等金矿点分布在北东向与近南北向构造交汇处,水晶岩石背、桥桥上金矿床及银厂沟蚀变矿化异常分布在东西向及近南北向构造交汇复合部位,五层岭等蚀变矿化异常位于多组构造与环形构造的交切处,反映了构造对金矿分布的控制规律(图3)。根据野外调查和区域构造应力分析,本区成矿经过了先压后张再闭合的构造演变过程。据四川省地质局资料分析,<sup>(2)</sup>晋宁期受南北向挤压产生东西向构造显示压性,至印支早期应力场转为东西向挤压,产生拉张显示张性、有利成矿,而此时对北东向构造产生压扭,对南北向构造产生挤压,至燕山—喜山早期,应力场又转为南北向挤压,东西向构造封闭显示压性,南北向构造拉张,北东向构造产生张扭,有利矿液的充填交代,是重要的成矿期,至喜山晚期,应力场又转为东西向挤压为主,南北向构造封闭显示压性,北东向构造显示压扭性质(图2)。成矿受东西向、北东向和近南北向三组主要构造控制,而近南北向构造对

本区成矿及找矿具有更重要的意义,至今仍有活动。综合分析区域构造控矿条件,认为本区成矿主要有两个时期:一是印支期(东西向构造成矿),二是燕山期(南北向、北东向构造成矿)。

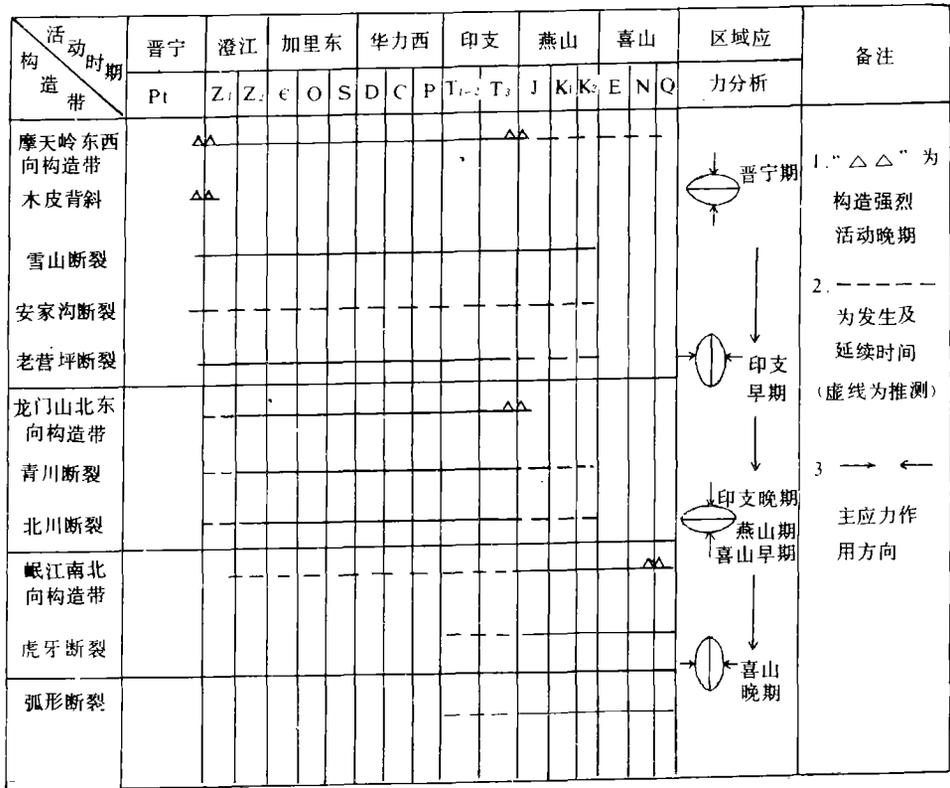


图 2 川西北地区构造时序及区域应力分析

Fig. 2. Tectonic time sequence and regional stress analysis

(参考四川省构造体系发展简表编制)

根据含矿层位、控矿因素、蚀变矿化和赋存特征,将区内金矿划为细碧角斑岩型、钾长粗面岩型和微细浸染型三种金矿类型。产于碧口群的细碧角斑岩型系由早期中性火山岩经区域变质和中生代构造岩浆活动改造富集成矿,主要蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化,区内金矿点大都属于此类,如王前沟、岩石背、董家山、后沟等金矿点。产于茂县群中的钾长粗面岩型,系由中酸性火山岩经区域变质中生代热液改造沿层间破碎带和构造破碎带成矿,构成含石英英脉或含矿蚀变岩,矿体直接围岩为钾长粗面岩夹在干枚岩中呈似层状分布、厚 1—2 米、最厚达 10 米以上,东西向延长百米或数公里,主要金矿点有酒家垭等。微细浸染型区内发现成型的金矿不多,仅邻区东北寨、桥桥上初具规模,区内在银厂沟、联合村等处也发现了重要异常地段,我院于老营坪下泥盆统构造破碎带取样分析最高达 2.22g/t,该类型金矿主要产于泥盆至三迭系中的灰岩、砂岩和炭质泥岩、板岩及凝灰质干枚岩中,普遍见有硅化、黄铁矿化和高岭土化等蚀变现象、并与砷、汞等低温热液矿床有共生特征。

遥感地质解译结果表明,矿化异常绝大多数落在东西向、北东向及近南北向构造的交汇点上或线性构造与环形构造的复合交切处(图3),这种规律反映了印支、燕山两期构造作用成矿迭加的结果(图2),进一步揭示了本区成矿规律与找矿方向。

### 二、构造地质解译

遥感技术应用于地质找矿在我国虽已有十几年的历史,但至今在许多方面仍处在实验性阶段,而依据影像特征进行构造解译是目前遥感运用于地质最有效的方法之一。遥感图像上所显示的大量线性和环形影像,已成为提示区域和局部构造、分析成矿背景进行远景予测的重要手段(图3)。

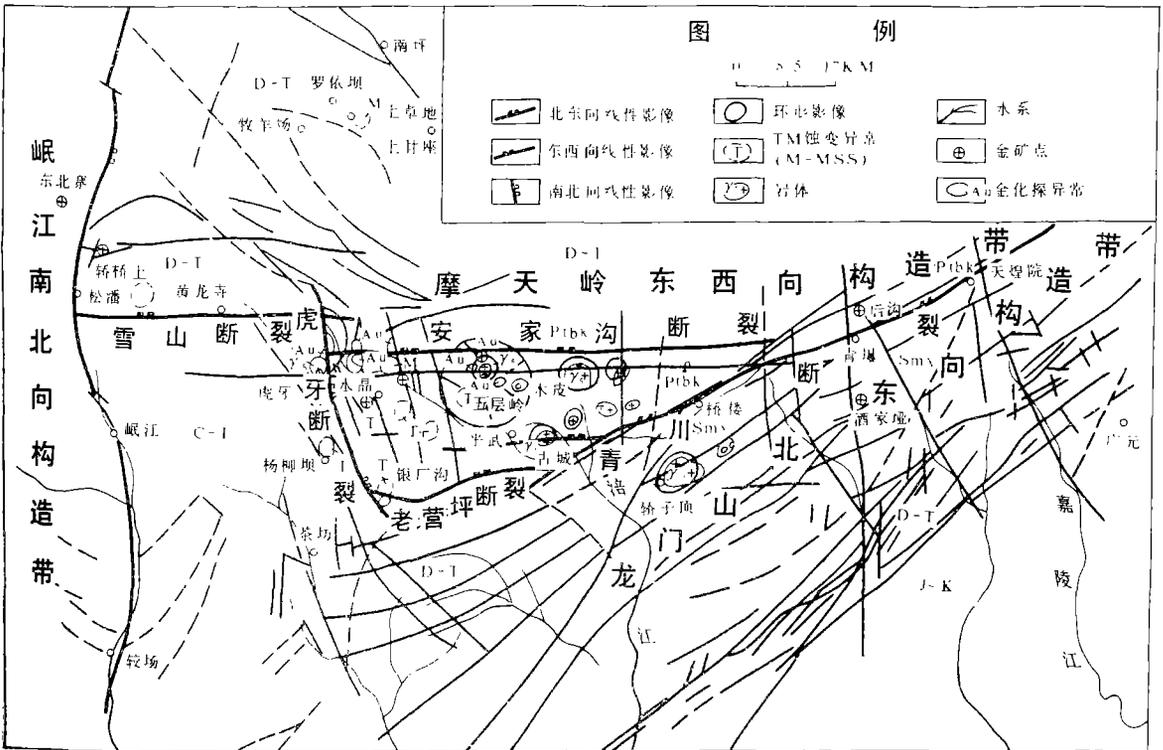


图3 川西北地区卫星影像解译略图

Fig. 3. Interpretation sketch map of the satellite image for the northwest Sichuan area

#### (一)线性构造:

在川西北平武、青川、南坪地区,运用陆地卫星数据处理、信息增强的1/10万和1/20万的彩色比值合成图像,分析影像反映的地貌水系特征、图像的色调变化、影像图型及其图型的几

川西北构造地质解译及影象特征

表 1

Table 1. Tectonic geological interpretation and image characteristics

线 性 构 造 及 影 象 特 征	东西向线性构造	1. 老营坪断裂 2. 平武断裂。 3. 董家山—五层岭断裂。 4. 安家沟断裂。	该组线性构造形成时代较早, 被后期地质活动所破坏, 线性影象发育较弱不连续, 且比较隐蔽, 但上述四条较清晰, 色带延伸很长、平直。
	北东向线性构造	1. 青川断裂带 2. 龙门山断裂带。 3. 金宝寺—黄土梁断裂。 4. 关压—酒家垭断裂。 5. 李平—梨子园断裂。 6. 凉水—茶坝—武台山断裂。 7. 白石坡断裂(两组成锐角相交)。	断裂影象清晰易见, 有明显的色调异常, 线性影象比较密集发育较强, 呈线状延申从银厂—天隍院的线性影象最明显, 有北北东向线性影象交叉于桥楼地区。 水系发育呈蓝色调展布方向与线性影象一致呈北东向, 受构造控制。
	南北向线性构造	1. 虎牙断裂 2. 土城断裂 3. 桂花桥沟断裂。 4. 阔达断裂。 5. 阴平—平武断裂 6. 青溪—金坝子断裂。 7. 乐安断裂。 8. 大坝—梨子园断裂。 9. 控制水系等断裂。 10. 青川—酒家垭—凉水断裂。	河流呈直线状, 沿沟谷呈南北延申切割较深呈蓝色调。
	北西向线性构造	1. 土城—坝子断裂 2. 桥楼—银洞沟断裂 3. 三锅石—关压断裂 4. 腊烛石—茶坝断裂 5. 林头—武台山断裂	影象清晰, 线性影象密集, 发育强烈, 短而细, 岩性界线有被错断现象。 水系发育呈钳状沟头, 树枝状, 杆线状展布受构造控制。
环 形 构 造 及 影 象 特 征	单环	轿子顶、赵壁山、镗鼓顶、杨柳坝	该区解译出四种形态不同, 大小不一的环形构造均分布在南北向和北东向影象交叉部位和碧口群的东西向线性影象边缘处, 多为岩体, 由于色调排列组合, 线性影象和水系分布方向而显示, 环内部色调比环外色调较模糊。
	双环	黄羊	
	多环	五层岭(内环是五层岭岩体)	
	半环	红岩山	

何组合特征、纹理、阴影特征等影象解译标志, 结合地面地质调查和对已有的地质资料分析, 解

译并划分了东西向、北东向、近南北向及北西向四组线性构造及其次级伴生、派生的断裂构造,规模较大的计有 26 条,它们在遥感图像上影像清晰,空间分布上往往发育成带,时间先后关系上呈现一定的相对时序。根据各组不同的影像特征和影像穿切错动关系,综合解译了东西向构造属本区较老的构造带;北东向构造规模巨大属深断裂带,晚于东西向构造带;近南北向构造为本区发育较晚至今尚有活动的构造带。

**东西向构造:**线性体清晰,色调偏暗,彩色比值图上呈暗棕色,影像线条断续出现,与元古界碧口群地层走向一致,延深较大,东边于青川与北东向构造相交,西部被近南北向断裂所穿切,主要有雪山断裂、安家沟断裂、老营坪断裂、平武断裂等,它们及其次级构造近于平行分布,构成本区较老的摩天岭东西向构造带(图 3),经历了普宁、印支等多次构造运动和先压后张再闭合的多次构造变形,是区内较早成矿的控矿构造(图 2)。

**北东向构造:**线性体具有平直、粗、连续及延伸长等影像特征,多与北东向发育的水系分布相一致,彩色比值图上呈宽带状兰色调,十分醒目(照片 1),反映了深大断裂的影像特征。并有一组偏北北东的线性体与之斜交,沿该主干断裂与之平行的细小线性体密集,并为多条近南北向的线性体所穿切,于青川县和古城附近切穿了三条近东西向的构造(图 3)。区内规模较大的有青川断裂、金宝寺—黄土梁等七条断裂,属龙门山北东向断裂带的组成部分。它发育于古生代,强烈活动于中生代,由于受到南北向地应力的不均匀挤压,使北东端向北,南西端向南反时针扭动,至使断裂显示压扭冲性质。野外观察断层面上破裂岩、糜棱岩均有,挤压破碎带十分发育,平面上分叉闭合现象很普遍,在板桥青川断裂带中见有角砾岩发育,并沿断裂带方向常有现代河流发育,卫片影像十分清楚,故该断裂带,除显示压扭外还兼有张扭特点,反映了北东向构造带经历了多次构造活动,为本区规模最大的深断裂带。在地貌上它是划分四川盆地与川西高原的边界,在大地构造分区上,是西藏板块与华南板块(或扬子准地台)的分界,是控制本区和大区成矿的深部构造带。

**南北向构造:**近南北向的线性体平直密集,近于平行排列,多有向北北西偏转,可能是受北东向构造带反扭构造作用的影响。沿南北向构造多发育为近代河溪和沟谷,地貌影像清晰,在比值彩色合成图上呈浅兰色调,沿该组断裂多处有中生代岩体、岩脉侵入出露,矿化体亦较发育,沿断裂带地震活动频繁,有的切穿第四系,表明近期还在活动。区内规模较大的虎牙断裂、平武—木皮断裂、青川—酒家垭等 10 余条断裂,隶属于岷江南北向构造带(图 3)。主要形成于燕山—喜山期,切穿本区一切构造,经历了多期构造发展过程(图 2),对本区成矿和扩大找矿远景具有重要意义。

除上述三组主要构造影像外,尚有一组短而细北西向分布的线性影像,沿线性体有钳状沟谷,树枝状水系发育。该组断裂在本区发育较弱,且与成矿关系不够密切。另外在杨柳坝至大桥以南,尚见有稀疏分布的弧形影像,可能存在弧形构造,对本区成矿作用尚不十分清楚。

## (二) 环形构造

遥感地质研究的环形构造,其含义是具有对称中心的地质体。近年来的研究发现,环形构造在地球表面是普遍存在的,这是卫星遥感对构造地质学所作出的重要贡献之一。环形构造的直径最大可达 1000Km,一般几十公里至几公里不等,本区出现的多为较小类型,一般在 20Km 至 2—3Km 大小。在卫星影像中,环形构造通常以色调及纹理两种主要特征表现出来

(照片 2), 其环形影像的成因类型是多种多样的, 有岩浆、火山、构造、地貌以及更大范围的陆核、岛弧等。根据 TM、MSS 卫星数据处理图像, 本区共解译了七个环形构造, 分为四种组合形式、三种成因类型。

按组合形式划分为单环、双环、多环和半环四种类型。按成因划分为岩体侵入(岩浆成因)、构造活动带(构造成因)、热液蚀变活动带(热源成因)等三种主要成因类型(表 1)。岩浆成因的有五层岭、红岩山、赵壁山、擂鼓顶和轿子顶环形构造。构造成因的有杨柳坝(或隐伏岩体造成)、热源成因的有黄羊环形构造, 蚀变矿化强烈(图 3)。

各类地物 TM5/7 值(来源于参考书目 3)

表 2

Table 2. TM 5/7 values for various cultures

凝灰岩	1.27	蚀变安山岩	2.04
石英二长岩	1.17	褐铁矿石英绢云母	1.71
冲积物	0.99	灌树丛 1	2.07
未蚀变安山岩	0.87	灌树丛 2	1.61

各类地物的 MSS 原始数据及计算值

表 3

Table 3. Primary MSS data and values for various cultures

地物 \ 波段	值							
	4	5	6	7	4/5	5/6	6/7	(4/5) (6/7)
褐铁矿 1 *	24.4	38.9	40.6	27.1	0.63	0.96	1.5	0.42
褐铁矿 2 *	28	40.1	45.8	35	0.70	0.88	1.31	0.53
褐铁矿 3 *	27	40.2	48.8	39.3	0.67	0.82	1.24	0.54
岩石 1	16	27.68	48.3	49	0.58	0.57	0.99	0.59
岩石 2	46	65	73	58	0.70	0.89	1.26	0.56
岩石 3 *	30	41.4	48.8	43	0.73	0.85	1.12	0.65
植被 1 *	10.6	10.2	25.4	25.3	1.04	0.41	1.00	1.01
植被 2 *	12.5	12.7	51	63	0.98	0.25	0.81	1.21
水体	9	8	6	1	1.12	1.33	6	0.18
氧化红层	21	37	50.2	47.5	0.57	0.74	1.05	0.54
植被 3	8.5	12.2	33.8	45.3	0.70	0.31	0.86	0.81

环形构造与线性构造往往联系在一起, 环形构造周边常发育为断裂破碎带, 并常伴有放射状断裂、斜交断裂通过, 为一构造薄弱界面, 有利于矿液的充填, 如五层岭环形构造(图 3)。根

据环形体周围的围岩蚀变和地表矿化出露综合分析,可进行金矿远景区段的预测。

### 三、蚀变带信息提取

近期室内外光谱研究证实,岩性是可以鉴别的,特别是铁、粘土和碳酸盐矿物。可以由它们的特殊的光谱吸收带,经过数字图像处理。信息增强提取辨认出来。本区利用 MSS 和 TM 数据,对金矿蚀变带的风化矿化体露头—褐铁矿和含水蚀变矿物,进行了数字图像信息提取,经外验证,预测了七处蚀变矿化异常点(图 3),为进一步普查找矿提供了重要依据和线索。

#### (一)TM—蚀变矿化异常:

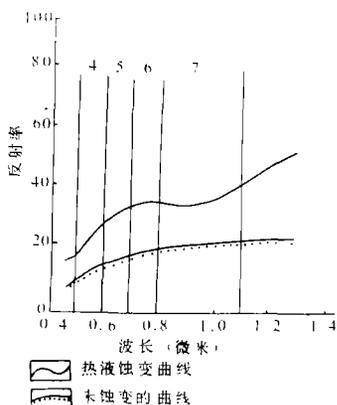


图 4 热液蚀变带和未蚀变的石英粗面岩的反射光谱性曲线

(据 Donald B. Segal, 1983)

Fig. 4. Reflective spectral curves of quartz trachyte in alteration zone and unaltered zone

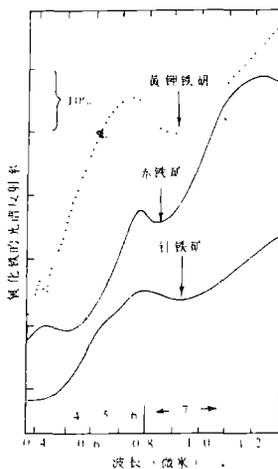


图 5 黄钾铁矾、赤铁矿、针铁矿的实验室光谱反射特性曲线

图 5 中的褐铁矿的三种铁族矿物有一致的光谱特性

(据 Hunt 和 Ashley, 1979)

Fig. 5. Characteristic curves of laboratory spectrum for autunzeite, hematite and chileite

金矿床是与中低温气液活动有关的金属矿床,往往形成比矿体本身大得多的蚀变晕,其特点是形成蚀变晕的矿物多含有  $[OH]^-$ 、 $[CO_3]^{2-}$ 、 $[SO_4]^{2-}$ 、 $[PO_4]^{3-}$  和  $SiO_2$  等“基团”,在 TM 中红外和远红外波段具有特征吸收谱带,可为空间遥感所利用,为信息提取提供了可能性,并且这种蚀变带(晕)易产生深、浅色调异常:如硅化、绢云母化、高岭土化、云英岩化、方解石化、重晶石化等,产生浅色调;绿泥石化、矽卡岩化、硫化物及铁矿物的褐铁矿化,易产生深色调,因而有时在一般合成图像上也可直接解译出蚀变带异常的位置,但由于信息较弱,一般不经过专门处理难以直接识别。

在本区经过实验,蚀变矿物在  $2.2\mu m$  ( $TM_1$ ) 附近具有特殊的吸收特性,数据处理时利用  $TM_5/7$  来增强这种特性(表 2、图 4),蚀变岩与非蚀变岩在  $TM_5/7$  差值较大。而植被(灌木丛)具有相似的  $TM_5/7$  值,因采用 TM 数据是近冬季 11 月分接收的,大部植被已落叶,减少了对

数据处理影像的影响。经分析比较,本区采用了 TM5/7(红)、5/4(绿)、3/4 兰比值彩色合成,放大至 1/10 万彩色蚀变异常影像图,蚀变矿物信息以红色斑点状醒目的显示出来(照片 3)。

根据蚀变带信息异常影像,经野外地质调查验证,予测了五层岭、银厂沟、火炮岭等六处蚀变矿化异常地段,五层岭地表硅化、黄铁矿化发育,经取样分析有 Au 的显示 [0.1—0.01ppm] 取得了较好的予测效果(照片 3)。

(二)MSS—褐铁矿化异常:

根据本区碧口群、茂县群绿片岩中金矿化蚀变特征,采用了多光谱扫描 MSS 数据提取褐铁矿化信息的方法,因该矿化蚀变类型主要为黄铁矿化、绢云母化、硅化和碳酸盐化,矿化体露头风化后多形成褐铁矿铁帽,根据实验室三价铁光谱曲线特征(图 5),褐铁矿在 0.85—0.95 $\mu\text{m}$ (MSS7) 波谱范围内,有一个较大的吸收特性,利用比值 MSS6/7 来增强这种特性,根据计算值分析(表 3),褐铁矿与普通岩石和植被之间在 MSS6/7 中有较大的差异,在综合比值彩色合成图上 [4/5—红、4/5/6/7—绿,6/7—兰] 以及标准比值合成图上以深兰色得到显示。

根据提取的褐铁矿化信息,经野外调查验证,予测了桂花桥沟、洪崩流、董家山三处矿化异常,桂花桥沟为首次发现的异常点(图 3),地表硅化、黄铁矿化强烈,变中基性火山岩分布广泛,并发现火山角砾岩转石,沿桂花桥沟水溪有民采砂金,为该点进一步工作提供了依据。

褐铁矿与氧化红土层,在 MSS6/7 中有相似的值,在解译中根据地质特征,结合地形地貌容易将其区分出来。

四、遥感影像找矿模式及远景予测

(一)遥感影像找矿模式:

利用遥感找矿的基本指导思路,是从影像上解译出地质信息,落实到地面对应的找矿标志,分析出反映这种特殊影像特征的地质作用,有目的地指导普查找矿工作。因此,该模式必须反映与地质成矿模式不同而又有一定联系的独具的特点,其基本内容包括遥感影像特征、地面找矿标志和成矿地质作用三个方面。现将川西北地区遥感影像找矿模式归纳为框图表示(图 6)。

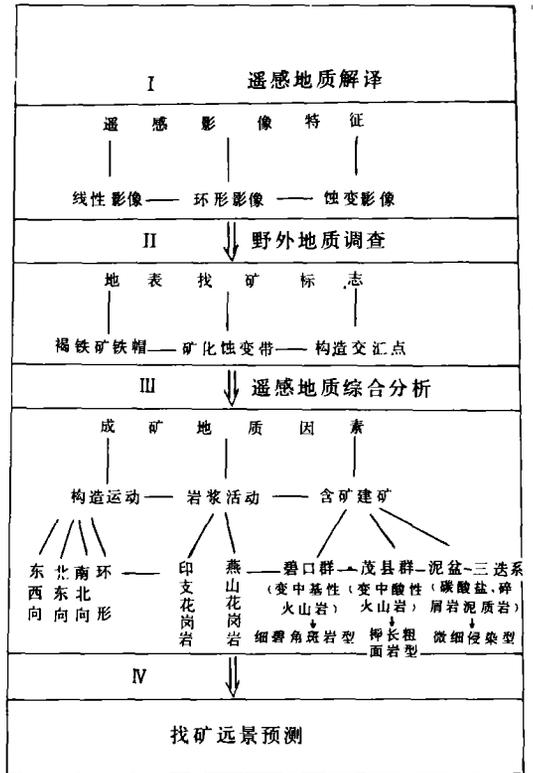


图 6 川西北金矿遥感影像找矿遥感地质解译程序模式框图

Fig. 6. Block diagram for sense-remoting geological interpretation program

(二)远景预测:

根据卫星影像地质解译和野外验证结果,东西向、北东向、近南北向构造交汇部位,线性构造与环形构造的交切点,环形构造边缘破碎带,蚀变影像异常点分布区是成矿的有利部位。根据在本区建立的遥感影像找矿程序模式,结合已和矿化点、化探异常分布规律,经综合解译分析,共予测了七个成矿远景区;即木皮—五层岭远景区(I),桂花桥沟远景区(II),杨柳坝—红奔柳远景区(III),虎牙—黄羊—水晶远景区(IV),银厂沟—老营坪—火炮岭远景区(V),酒家垭—古城远景区(VI),罗依坝—上甘座—联合村远景区(VII)。前三个为本区首次予测的新区,可作为今后进一步重点工作的依据(图7)。

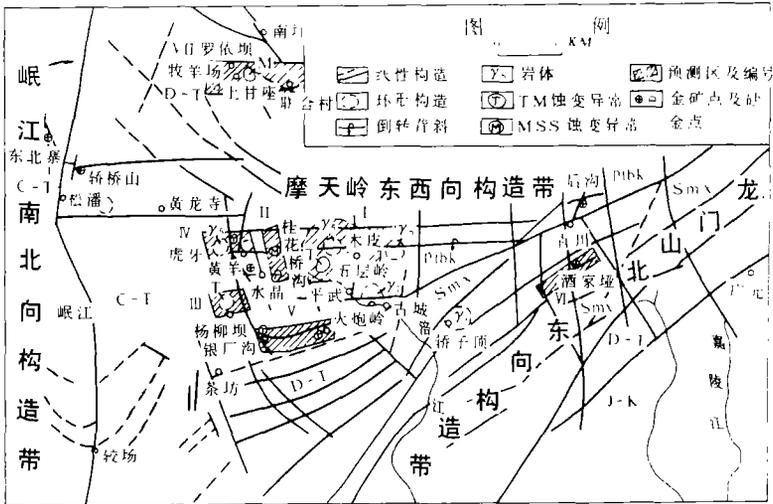
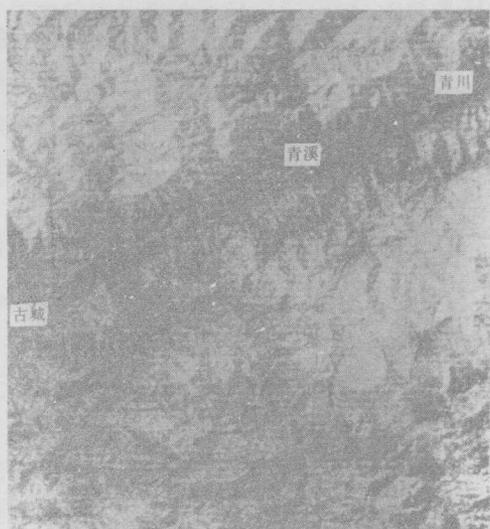


图 7 川西北地区金矿遥感影像预测图

Fig. 7. Predictive map of sense-remoting image for gold deposit in northwest Sichuan area

参考文献

(1)蔡远松等:浅论四川省构造体系,《中国分省构造体系研究文集》,第2辑,地质出版社,1985  
 (2)庄培仁等:遥感技术及地质应用研究,地质出版社,1986



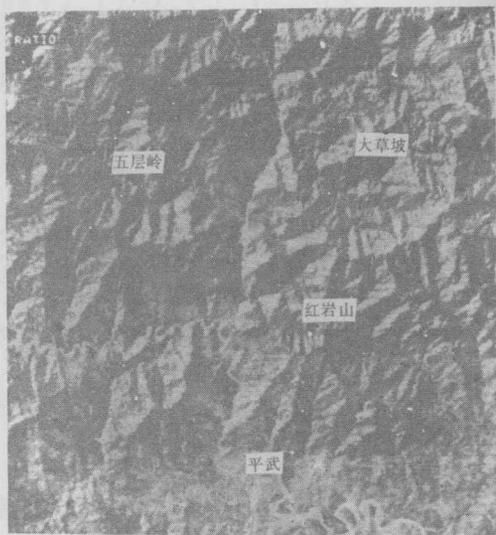
照片 1: 青川—古城断裂 (深色) MSS 主成份分析图

Photo 1. MSS major composition analysis image for Qingchuan-Gucheng fracture.

照片 2: 平武地区 MSS 标准比值彩色合成图

(五层岭、红岩山、大草坡环形构造非常清楚)

Photo 2. Colored composite image of MSS standard ratio for Pingwu area



照片 3: 五层岭热液蚀变彩色异常(暗色)

TM—5/7(R)、5/4(G)、3/4(B)

Photo 3. Colored anomaly for Wucenlin hydrothermal alteration area

## APPLICATION OF SENSE-REMOTING IN THE EXPLORATION FOR GOLD MINERALIZATION IN QINCHUAN-PINGWU AREA

*Yang Qinde Chen Guanghuo Ma Jianwen Gu Zhifang*

### Abstract

Gold mineralizations in northwest Sichuan area are very abundant, more than 100 deposits are found so far. Most of them occurred in the border area of Sichuan, Gansu and Shanxi, which is the so-called "gold triangle" mineralization area. Since 1986, we have used TM, MSS satellite images of Landsat and conducted digital processing, geological tectonic interpretation and experimental studies of information selection for the first time in this area. The linear structures, ring structures and their relationship with the exploration for gold mineralization have been interpreted, TM information selection for alteration discussed, and the exploration model on sense-remoting images established. As a result, seven prospects are delineated within the studied area, as well as an altered mineralization is outlined.