单位代码

学　　号

吉林大学博士学位论文

黄林日

分类号　　P618。51　　保 密 级 别　内部

辽西建平北部 TM 信息提取及成矿预测研究

The Research Of Information Extraction and Jianping County,Liaoning Province

黄林日

指 导 教 师 ：冯本智　教授　吉林大学
专 业 名 称 ：矿物学　岩石学　矿床学
论文答辩日期：
授予学位日期：

答辩委员会主席：
论 文 评 阅 人：

2001 年 6 月

内 容 提 要

本文根据辽西建平地区 TM 提供的数据及影像特征，通过有关地物波谱特性及遥感地质解译，提取了研究区的地质构造、岩性及蚀变等信息。根据对区内成矿地质条件的综合分析，研究了区内线性构造、环形构造、韧性剪切带构造及蚀变异常等 TM 遥感信息与金、铜、钼等多金属成矿作用的关系，并结合区域地球物理、地球化学及典型矿床成矿条件的对比和成矿有利因素的具体分析，在区内划分出了四个成矿预测区，进而经综合研究进一步优选出了四个一级、五个二级和五个三级共十四个 Au、Cu、Mo 等多金属找矿靶区。通过本次综合研究和野外验证，在研究区内首次根据 TM 信息特征提取了三个重点成矿区段的蚀变异常信息，发现了五条韧性剪切带构造和三处有进一步工作价值的金矿点，为该区的进一步找矿提供了重要依据并开辟了广阔前景。

目　　录

绪言.....1
第一章 区域成矿背景.....6
一、地层.....6
二、岩浆岩.....10
三、区域构造.....12
四、区域地球物理、地球化学.....14
第二章 TM 信息特征及图像处理.....19
一、TM 信息特征.....19
二、TM 图像处理.....20
1、基础图像处理.....20
2、增强图像处理.....22
3、蚀变信息提取处理.....30
第三章 本区 TM 信息提取及影像特征研究.....32
一、区域深断裂构造 TM 影像特征.....32
1、凌原—北票岩石圈深断裂.....32
2、朱碌科—中三家壳断裂.....33
3、新城—肖家营子深断裂.....34
4、榆树林子—北台子深断裂.....35
二、区域线性构造 TM 影像特征.....35
1、东西向线性构造.....36
2、北东向线性构造.....38
3、北西向线性构造.....38
4、北北东向线性构造.....39
5、南北向线性构造.....40
三、韧性剪切带的发现及确定.....42
1、高杖子、东岱王山韧性剪切带遥感及地质构造特征.....43
2、石门子沟—长皋金矿一带韧性剪切带遥感及地质特征.....44
四、环形构造影像特征.....48
五、区域岩浆岩影像信息.....52
1、侵入岩 TM 影像.....52
2、火山岩 TM 影像.....58

六、区域 TM 影像蚀变信息.....58
第四章 区内主要 Au、Cu、Mo 矿遥感地质及成矿规律.....63
一、区内主要 Au、Cu、Mo 矿遥感地质.....63
1、长臬金矿床.....63
2、肖家营子铜钼矿床.....66
3、拦沟金矿点.....69
4、岱王山金矿点.....71
二、区域成矿规律探讨.....72
1、线性构造与成矿作用.....72
2、韧性剪切带与成矿作用.....74
3、环形构造与成矿作用.....76
4、蚀变信息与成矿作用.....78
5、区域成矿特点分析.....83
第五章 区域综合找矿模型及成矿预测.....87
一、区域 TM 遥感信息综合找矿模型.....85
二、区域成矿预测.....91
1、东岱王山—杨树沟 Cu、Au 预测区.....91
2、石门子沟—深井 Cu、Au 预测区.....94
3、下马厂—上豆腐房 Cu、Au 预测区.....98
4、三道沟—拦沟 Cu、Mo 预测区.....101
三、区域找矿靶区选择.....105
结束语.....111
参考文献.....113

绪　　言

辽西地区横跨两个一级大地构造单元，以赤峰~开原超岩石圈断裂为界，以北为内蒙~兴安古生代褶皱系，以南为前震旦纪华北地台。华北地台又划分为以下构造单元：内蒙地轴、中晚元古宙燕辽台褶带和北镇-山海关隆起，以及由多个亚带构成的中生代构造岩浆活动带。内蒙地轴被赤峰~开原超岩石圈断裂带和凌~北票岩石圈断裂带所夹持，主要由太古宙建平群组成。建平群小塔子沟组（Arx）作为金的原始矿源层在后期多次构造岩浆活动中形成了一个金及多金属矿化集中区，已经发现的有二道沟小型金矿床、金厂沟梁中型金矿床、中三家中型金矿床、肖家营子大型铜钼多金属矿床，以及金等多金属矿点、矿化点分布广泛。因此，该矿化集中区具有极大的找矿前景。

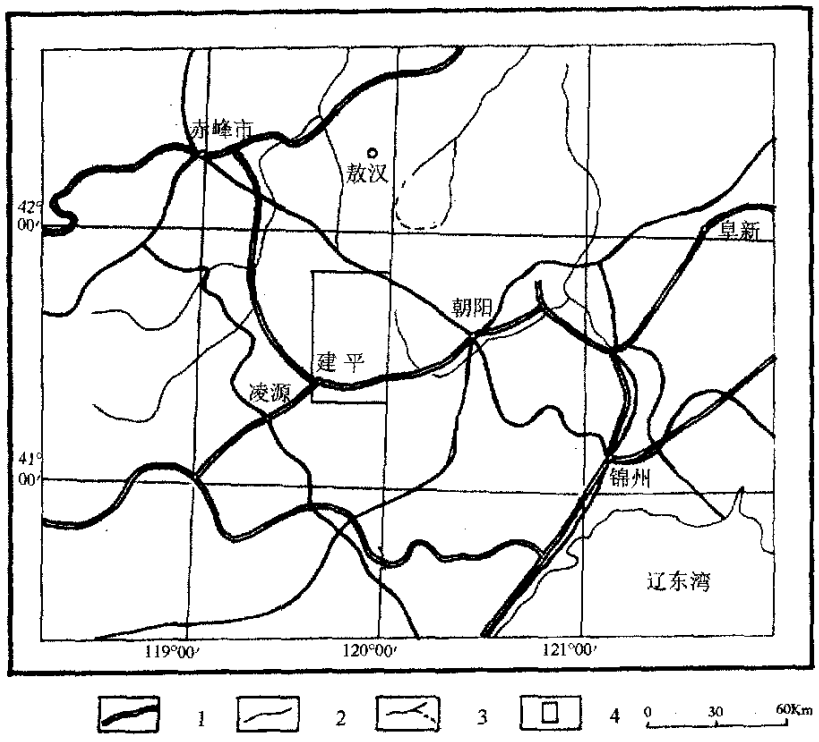


图 1　工作区交通位置图

1. 铁路　　2. 公路　　3. 河流　　4. 工作区位置

本次工作区位于辽西朝阳地区建平县和喀左县境内（图 1），范围为东经 119° 30′ ~120° 00′，北纬 41° 20′ ~41° 50′，工作区面积约

2400Km^2。区内交通较为方便，锦承、叶赤、魏塔铁路穿越工作区，京沈、锦赤、叶敖、叶老公路贯通。铁路、公路可谓发达，乡乡公路相通，主要村镇也有简易公路通行。本区属山地丘陵区，主要属努鲁儿虎山系，老图山斜插工作区南部。由于本区属大凌河等河流的发源地和分水岭，故地势较高。区内属温带季风性气候，春秋短，冬夏长，年降雨量 50mm 左右，年平均气温 8℃。由于该区干旱少雨，山区植被不发育，农业也比较落后，因此开发矿业对该区经济的可持续发展起着至关重要的作用。

该区地质工作程度较高，五十年代末就开始投入一定的地质工作，主要开展了有色金属矿产勘查，相继发现了肖家营子钼矿床、中三家（长臬）金矿床等一批有色及贵金属矿床（点）。后期又开展过 1:50000 地质调查，1:10000~1:50000 次生晕，物探工作等。但由于条件限制，有些资料难以再用。七十年代至八十年代，该区地质工作基本停止。九十年代初辽宁有色地质勘查局矿产地质研究所对辽西的金属矿产进行了较深入的地质研究，九七、九八年辽宁人有色朝阳分院在肖家营子外围开展找金工作，发现了一些新矿点，同时对辽西区域上进行了 1:200000 遥感地质调查，提出了张家营子~叶栢寿金等多金属成矿远景区。

笔者在攻读博士学位期间，确定在本区进行 TM 图像遥感地质研究，总结金等多金属的成矿规律，从而有目的地开展找矿工作，为本区经济的可持续发展服务。本项研究主要采用 TM 图像遥感地质解译与野外验证相结合，遥感信息提取与研究区的地质、物化探及矿产等资料相结合的综合研究手段，探讨区内的金、铜、钼等多金属的成矿条件，成矿特点和成矿规律，进行找矿方向研究。着重利用计算机处理的 TM 卫片，在对工作区岩性、构造解译的基础上，加强对工作区的韧性剪切带构造及矿化蚀变信息提取方面的研究。具体研究内容、方法、步骤如下：

1、首先大量收集并认真研究工作区前人有关的地质、物化探、遥感及矿产等方面的资料，拟定 TM 图像处理的技术方法。

2、进行初步野外踏勘，对区内两个重要矿床中三家金矿和肖家营子铜钼矿进行详细的实地调查研究。并对区内有影响的中三家大断裂、凌原~北票大断裂及其它一些重要矿化地，断裂及岩浆岩出露地进行较详细的调查研究。

3、进行室内 TM 图像处理。运用合理的技术手段，处理必要的基础及特征图像，以揭示及提取区内与成矿作用有关的直接或间接的地质信息。

4、进行野外验证。验证图像上反映出的有关构造与矿化等信息，并在一些必要地段采取岩矿鉴定标本及化学分析等测试样品，认真调查研究那些在 TM 图像上显示的重要找矿信息，例如韧性变形带及矿化蚀变带等重点区段，为下一步工作打下坚实基础。

5、进合综合研究。综合区内多源资料及遥感解译成果，进行工作区成矿特点及成矿规律研究，提出区内的金及多金属成矿预测区，并在有利成矿地段进一步优选出有利的找矿靶区。

该项研究的主要内容，即对区内 TM 遥感数据进行计算机图像处理，作出较高标准的，有一定直接和间接找矿信息的多种 TM 图像。根据图像线性、环形构造、岩浆岩等影像信息及区内典型矿床的影像特征，研究这些遥感信息与区内金、铜、钼等多金属成矿作用的关系，尤其内蒙地轴区韧性剪切带特征信息与金矿成矿作用的关系。根据工作区的具体地质情况及 TM 图像处理的基础理论，提取区内的一些热液蚀变信息，通过研究这些信息与区内金等多金属矿化的关系，在野外验证的基础上，总结工作区的成矿规律并预测有利的成矿地段，并通过对野外采集样品的化学分析，力争找到新的矿化线索，为进一步地质找矿服务。

本次研究完成的工作量及获得的主要成果如下：

1、完成的主要工作量

该项科研工作自一九九九年五月启动，至二 OOO 年八月止，完成的主要工作量包括：

（1）广泛收集并认真分析研究了区内前人的地质、物化探及矿产等资料。

（2）处理 1:50000 及 1:100000 图像 2400km^2；1:70000~1:400000 子区图像 5 个，面积 635 km^2；反映局部特征各类 TM 图像 20 余件，并对图像进行了综合解译。

（3）野外调查面积 1500 km^2，调查矿床（点）计 20 余处。

（4）采集各类样品 100 余件，微金分析 54 件，常量分析 21 件，光薄片 72 件。

（5）1:100000 综合编图 2400 km^2，1:50000 遥感综合解译图 2400km^2，其它各类图件 30 余件。

2、主要遥感地质找矿成果及认识

（1）根据 TM 图像地质解译、信息提取、野外调查验证及有关地质、

物化探等资料的综合分析,在研究区内提出了四个铜金及铜钼成矿预测区，并依据预测区内的具体成矿条件，在四个预测区内进一步优选出了4个一级，5个二级和5个三级共14个Au、Cu、Mo找矿靶区，为区内的进一步地质找矿指出了方向。

（2）新发现3处金矿点。根据TM图像解译结果及对提取信息等的综合研究，在野外调查验证过程中，分别发现了建平县青峰乡碾子沟金矿点、山嘴金矿点及建平县朱碌科乡的东岱王山金矿点。

（3）新发现条韧性剪切带构造。在区内内蒙地轴的太古宙地层中，根据多种变换处理的TM景像信息，野外实地验证和显微镜下鉴定等综合分析，确定了区东北部东岱王山及高杖子两条韧性剪切带构造（区内长2.5和3.0km）和区中南部石门子沟~长臬一带的三条近等间距分布的韧性剪切带构造（区内各长约28km）。

（4）在研究区的三个重点成矿区内提取了蚀变异常信息。根据蚀变矿物（OH）$^{-1}$、Fe^{3+}等在TM各个波段的波谱特性及工作区的具体地质环境，在三个重点成矿区内分别采用不同的TM数据提取蚀变异常信息，这些蚀变异常最终以不同色彩的晕圈形式在图像中显示出来，这些蚀变异常晕与已知矿点及蚀变带的吻合程度高，并且这些蚀变晕的分布与构造岩浆活动关系密切。因此这些蚀变异常信息对指导找矿具重要的应用价值。

（5）根据TM影像特征，在区内解译出了两个东西向线性构造发育带，四条北东向、三条北西向、二条北北东向及一条近南北向主干线性构造，以及一些不同方向的次级线性构造。区内这些主干线性构造分别为规模较大的断裂构造，其中北东向凌原~北票大断裂和北北东向中三家大断裂是本区最大的岩圈断裂和壳断裂。区内这些规模较大的断裂构造或主干线性构造与东西向韧性剪切带构造一起构成了本区的基本构造格架。这些构造对岩浆侵入及区内Au、Cu、Mo等的成矿起着重要控制作用。

（6）根据TM影像特征，在区内解译出环形构造50余个，这些环形构造规模不大，最大直径6.0km。从形态上，这些环形构造可以划分为单环和复式环；从成因类型上，可以划分为片麻穹隆、出露岩体、隐伏岩体、火山机构及环状裂隙或断裂等形成的环形构造。研究表明，区内一些环形构造，尤其那些与岩浆活动有成生联系的环形构造与Au、Cu、Mo的成矿作用有密切联系。

（7）根据对区内TM图像的地质解译，并对有关地质、物化探等资料

和信息的综合研究，分析了区内线性构造，尤其主干线性构造，韧性剪切带构造、环形构造及蚀变信息等与成矿作用的关系，探讨了工作区内内蒙地轴区和燕山台褶带的 Cu、Au 和 Cu、Mo 的成矿特点和规律，提出了研究区的 Au、Cu、Mo 等多金属的遥感地质综合找矿模型，为本区的成矿预测及靶区优选奠定了基础。

（8）通过综合研究对比，初步认为新发现碾子沟金矿点的成矿条件有四方面可以和山东玲珑金矿进行对比。1）矿源层相当；2）块状硫化物在蚀变岩中最为普遍，且含金高；3）构造蚀变岩及其金矿化产于深变质岩与花岗岩类的内接触带边缘；4）围岩蚀变类型相同。因此建议对碾子沟金矿点进行矿点评价，对矿化规模、品位变化及岩体的含矿性和构造与矿化的关系等方面开展深入的研究工作。

第一章　区域成矿背景

工作区横跨华北地台的内蒙地轴和燕山台褶带。其北部为内蒙~兴安褶

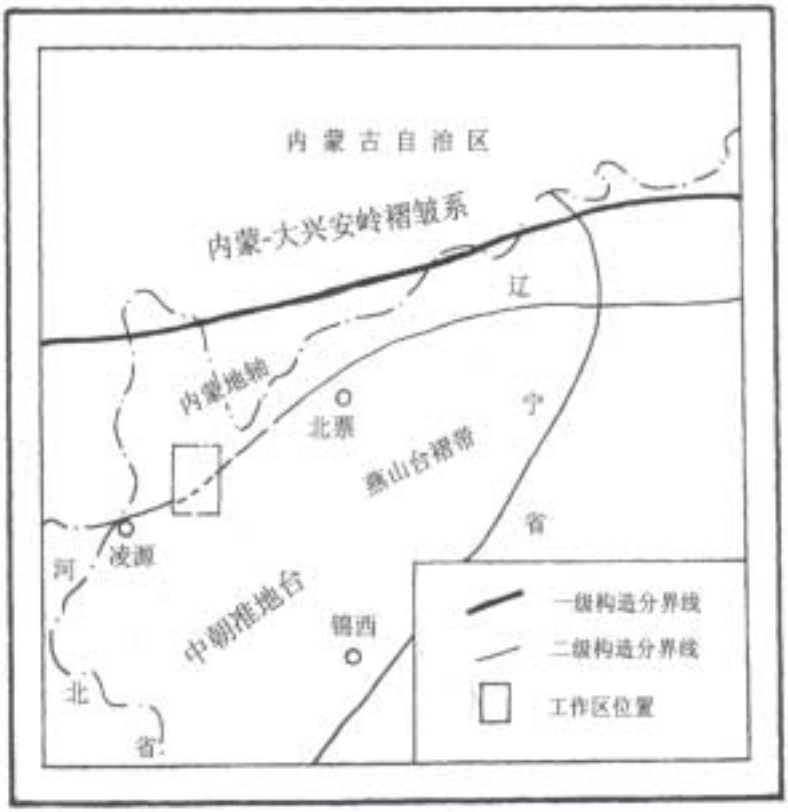


图 1-1　辽宁西部大地构造分区略图

皱系，凌原~北票大断裂为内蒙地轴和燕山台褶带的分界断裂（图 1-1）。

内蒙地轴是华北地台北缘一个近东西向轴状长期隆起地带，主要出露太古宙建平群小塔子沟组、大营子组中深变质岩系。燕山台褶带的基底由太古宙岩石构成，中元古宙接受海相沉积形成了一套碳酸盐岩建造及碎屑岩建造。中生代燕山期，在内蒙地轴及燕山台褶带的部分地段，形成了一套晚侏罗~早白垩世火山岩及碎屑岩建造。

一　地层

区内最古老的地层为太古宙建平群小塔子沟组和大营子组，皆分布在内蒙地轴区（图 1-2）。根据《辽宁区域地质志》资料，太古宙岩石的 U-pb

同位素年龄为 22.58~24.73 亿年，其值偏低；大营子组锆石 U-pb 同位素年

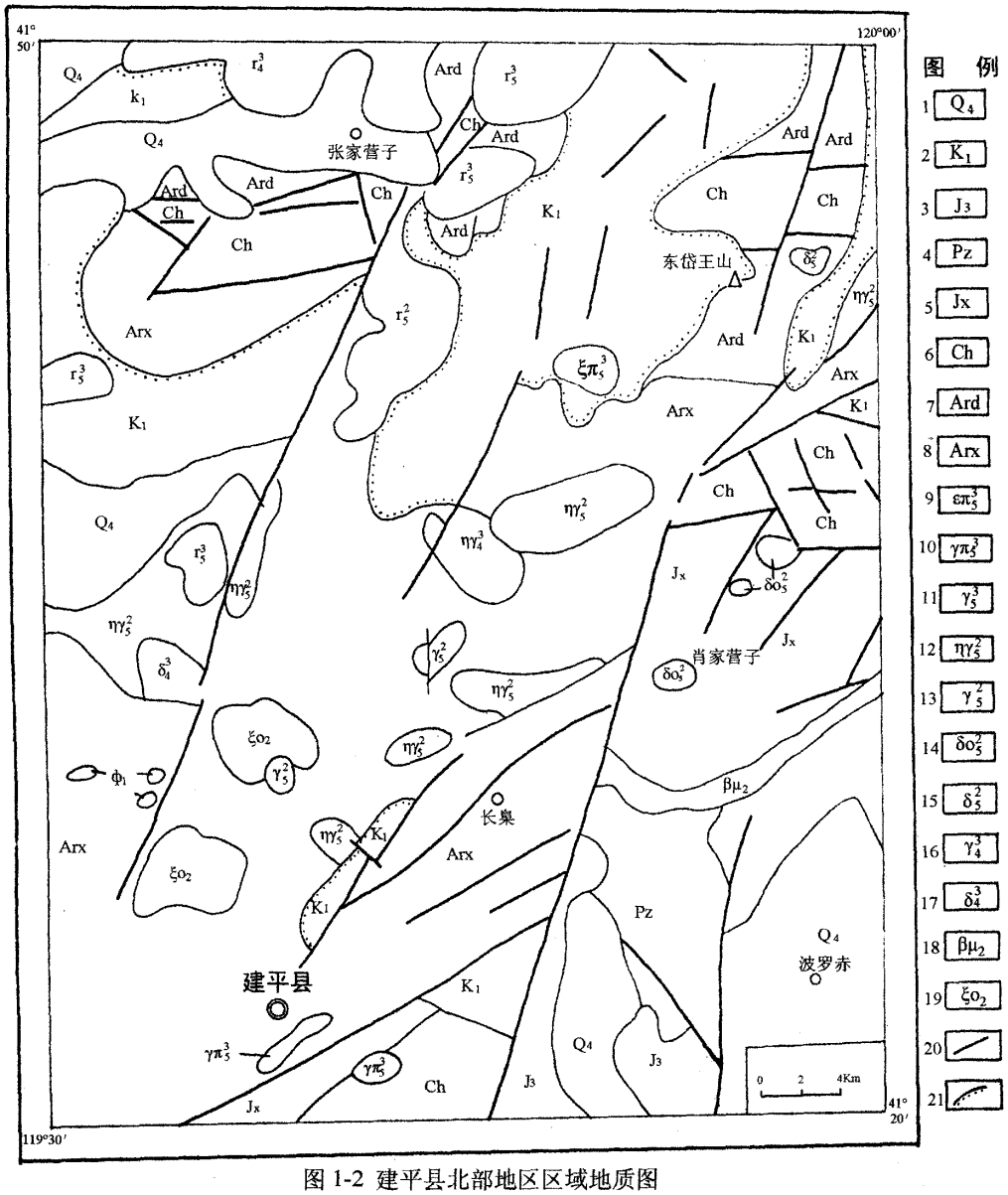


图 1-2 建平县北部地区区域地质图

1.第四系 2.早白垩世 3.晚侏罗世 4.古生界 5.中元古宙蓟县系 6.中元古宙长城系 7.太古宙大营子组 8.太古宙小塔子沟 组 9.燕山晚期正长斑岩 10.燕山晚期花岗斑岩 11.燕山晚期花岗岩 12.燕山早期二长花岗岩 13.燕山早期花岗岩 14.燕山早期石英闪长岩 15.燕山早期闪长岩 16.华力西晚期花岗岩 17.华力西晚期闪长岩 18.燕辽期辉绿岩 19.燕辽期石英正长岩 20.断裂构造 21.不整合界线

龄 22.93 亿年。近年来关广岳教授在小塔子沟组采集样品所获同位素年龄为 25.9 亿年。小塔子沟组（Arx）主要岩性为各类片麻岩、斜长角闪岩、紫苏麻粒岩及磁铁石英岩等，该组岩石广泛出露在工作区内蒙地轴区中部及南部一带；大营子组（Ard）主要岩性为黑云及角闪斜长片麻岩、变粒岩、大理岩及角闪、绢云片岩等，该组岩石主要分布在工作区北部的化石里沟及高家杖子一带。

根据辽宁有色地勘院曲兴华等人的研究，对辽西地区太古宙地层中 130 个岩石化学数据，应用多种岩石化学图解，经原岩恢复，将太古宙建平群地层恢复如下：小塔子沟组下段，由超基性岩、基性火山岩、碎屑岩及部分中基性、中酸性火山岩及碎屑岩组成，有少量超基性小侵入体；小塔子沟组中、上段，由基性、中基性火山岩、碎屑岩夹沉积岩组成；上部为沉积岩群，底部为基性、中酸性火山岩夹火山碎屑岩及砂岩。上部以硬砂岩、长石石英砂岩、泥灰岩、灰岩、凝灰质页岩、粉砂岩及薄层条带状硅质页岩。由此可见，建平群岩石组合特征与太古宙绿岩带十分相似，但本区的绿岩建造又具自身特点：1）底部超 Fe、Mg 质不发育，缺少典型的科马提岩。2）变质程度深，以角闪岩相为主，部分达麻粒岩相。3）构造变形强烈，混合岩化、岩浆侵入活动较发育。

因此可认为，本区建平群变质岩系相当于太古宙绿岩带。王义文等又建议将这套绿岩分为太古宙下绿岩建造和上绿岩建造，即小塔子沟组下部变质程度可达麻粒岩相深变质岩系的下绿岩建造和小塔子沟组上部及大营子组变质程度达角闪岩相中深变质岩系的上绿岩建造。太古宙绿岩带是公认的以金为主多金属的初始矿源层。其经过各时期的构造运动、区域变质、超变质、岩浆侵入、火山喷发等地质作用，矿源层中的金等成矿元素不断活化、迁移、富集于变质热液、岩浆热液及火山热液中，在有利的构造及围岩条件下富集成矿。

根据辽宁省区域地质志，建平群小塔子沟组和大营子组不同岩层的成矿元素丰度见表 1-1 和 1-2。可见角闪质岩石含 Au 一般均大于 4×10^{-9}，Ag 略大于或近于 0.07×10^{-6}，多数 Cu、Pb、Zn 呈高值。变粒岩与绢云片岩 Cu、Pb、Zn 含量较高。建平群小塔子沟组岩石含矿性优于大营子组，而各组中含矿性以角闪质岩石，即基性、中基性火山岩为最佳。

表 1-1　小塔子沟组不同岩层成矿元素丰度表

岩石名称	样数	成矿元素平均含量				
		Cu(10^{-6})	pb(10^{-6})	Zn(10^{-6})	Ag(10^{-6})	Au(10^{-9})
黑云斜长片麻岩	8	50.06	38.9	127	0.05	15.8
黑云角闪斜长片麻岩	4	69.3	48.3	102.8	0.15	108.3
角闪斜长片麻岩	7	66.3	73.3	137.6	0.13	42.57
斜长角闪片麻岩	98	160.7	35.3	95.7	0.113	160
斜长角闪岩	40					94
地壳丰度值（维氏）		47	16	83	0.07	4

本区缺失下元古宙地层，主要发育中元古宙长城系和蓟县系。长城系自下而上出露有常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组和高于庄组，是一套碎屑岩夹碳酸盐岩建造，岩性主要为含砾砂岩、长石石英砂岩及各种细砂岩及页岩等，并夹有白云岩、白云质灰岩。长城系主要分布在工作区北部内蒙地轴区的化石里沟及东岱王山以北一带；蓟县系主要为碳酸盐岩夹碎屑岩建造，自下而上划分为杨庄组、雾迷山组、洪水庄组和铁岭组。岩性主要为白云岩、白云质灰岩、竹叶状灰岩、厚层灰岩等，夹有各种页岩及粉砂岩。蓟县系岩石主要分布在工作区东部燕山台褶带的肖家营子一带。

表 1-2　大营子组不同岩层成矿元素丰度表

岩石名称	样数	成矿元素平均含量				
		Cu(10^{6})	pb(10^{6})	Zn(10^{6})	Ag(10^{6})	Au(10^{9})
角闪石岩	4	89.3	41.3	48.8	0.07	28.5
斜长角闪岩	3	100	116.7	106.7	0.09	4.5
角闪斜长片麻岩	4	72.3	35.9	58.8	0.07	6.0
角闪片岩	4	20.3	63.3	74.8	0.06	5.5
黑云角闪斜长片麻岩	6	38.2	44.5	70	0.06	3.8
绢云片岩	1	150	150	130	0.14	8.0
长石石英岩	1	30	100	40	0.06	3.0
黑云斜长片麻岩	11	23.4	34.4	69.6	0.09	3.8
变粒岩	2	50	120	125	0.14	2.1
大理岩	5	32.6	54.6	109.4	0.07	2.1
地壳丰度值（维		47	16	83	0.07	4

氏）						

区内古生界只出露寒武系和粤陶系，岩性主要为灰岩和页岩，分布在工作区拦沟西南一带；中生界包括侏罗系和白垩系。侏罗系零星分布在工作区东南部，主要岩性为安山岩、火山角砾岩等。白垩系义县组主要在北部较大面积出露，岩性为安山岩、角砾熔岩及页岩等。新生界主要为第四系冲积物，成份为粘土、砂土等。

二　岩浆岩

工作区内岩浆岩出露广泛，尤以侵入岩居多，多以岩株形式产出，按其形成时代与构造关系可划分为燕辽期、华力西期和燕山期三个岩浆侵入旋回。燕辽期侵入岩主要为超基性岩及石英正长岩类；华力西期侵入岩主要有闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩及花岗岩类；燕山期侵入岩主要为石英闪长岩、闪长岩、花岗斑岩、二长花岗岩、花岗岩侵入体及辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩等多种脉岩。喷岩主要为早白垩统义县组中酸性火山岩，岩石类型主要有安山岩、英安岩、安山集块岩、火山角砾岩及流纹岩等。

1、燕辽期侵入岩

区内燕辽期侵入岩主要有中元古宙时期的三座庙和黄花山两个正长岩岩体和晚元古代时期形成的拦沟辉绿岩体。三座庙和黄花山岩体分别位于建平县以北 13 公里及北西 9 公里处，即建平台拱西端南侧，受东西向断裂构造控制，侵入于建平群小塔子沟组地层中，二岩体露面积近相等，约 20km^2。三座庙及黄花山岩体黑云母 K、Ar 同位素年龄值分别为 1650.8Ma 和 1781Ma（据辽宁省区域地质志，以下同），岩体内脉岩发育，捕虏体较多，岩相带不明显，均属中深成相，具浅剥特点。根据对二岩体微量元素测试数据，除 Ga、Mo、Zn 高于对比值，pb 近于相等外，其它元素均低于对比值。此外，三座庙岩体又为一复式岩体，其内出露有辉长岩侵入体，呈近东西向延伸，面积约 7.5km^2。k-Ar 同位素年龄值为 1304.9Ma。岩体具分异现象，出现多种岩石类型，主要岩性为辉长苏长岩、辉长闪长岩等。在该岩体的东南部，又被后期的燕山期花岗岩侵入。

拦沟辉绿岩体出露在本区燕辽台褶带，即中三家大断裂以东一带，呈一向南凸出的弧形带状展布，弧顶发育在拦沟一带，两侧分别向北西和北东向延伸。该岩体在区内全长约 16km，宽度不一，中部较宽，最宽达 1.5km

左右。岩体 k-Ar 法同位素年龄值为 857.3Ma，岩石类型单一，主要为辉绿岩，相带不明显，围岩接触带不发育。岩石呈黑绿色，中细粒至粗粒结构，辉绿及嵌晶含长结构，属钙碱性岩类。

2、华力西期侵入岩

华力西晚期的岩浆侵入活动亦为区内主要岩浆活动之一。早期为中性岩浆侵入，形成小岩株，在区内出露有哈通沟闪长岩体、和尚地石英闪长岩体和深井以东的孟胡台沟闪长岩体。它们出露面积均不大，最大的哈通沟闪长岩体约 6km^2，最小的孟胡台沟闪长岩体只有 1.5km^2。晚期侵入的酸性二长花岗岩及花岗岩体规模较大，榆树林子东的下窑沟二长花岗岩，出露面积约 8km^2，工作区北部张家营子以北的烧锅地花岗岩体延至区外，区内出露面积大于 20km^2。华力西期花岗岩侵入体形态不规则，多具残留体，有时围岩残留体中可见花岗质注入现象，有的岩体边缘形成混合岩或混合花岗岩，反映为重熔型花岗岩特点。从本区华力西期侵入岩特点看，岩体有由南向北由中性向酸性过渡，岩体侵入规模有由南向北增大趋势。

3、燕山期侵入岩

区内燕山期侵入岩广泛发育，主要有中基性、中性及酸性侵入体和各种脉岩。中基性~中性侵入体在区内东部燕山台褶带内有肖家营子和三道沟中基性侵入岩体，区东北部青松岭和水泉一带出露三个闪长岩体。这几处侵入体规模均较小，一般只有 1-2km^2，肖家营子及三道沟岩体除辉石闪长岩、辉长辉绿岩外，还有石英闪长岩、正长闪长岩及粗面斑岩等，反映为中基性复式岩体。区内酸性侵入岩较发育，且皆分布在内蒙地轴区，出露主要岩性为花岗岩、二长花岗岩及花岗斑岩等。从形成时间看，燕山早期酸性侵入岩主要为花岗岩及二长花岗岩；燕山晚期主要为花岗岩和花岗斑岩，岩石类型有所差别。

从成因上看，区内燕山期侵入岩与华力西期侵入岩有明显差异，据辽宁省区域地质志，辽西地区华力西期侵入岩主要为重熔型；燕山期花岗岩主要为同熔型，造成二者成因类型差别的原因是由它们形成时所处的地质构造环境不同造成的，二者在岩石化学等方面的差别见表 1-3。

4、火山岩

区内出露主要为中生代早白垩世义县组火山岩，为一套中一酸性火山岩建造。该组火山岩主要分布在工作区北部新城以南、铁营子东北及东岱王山~老虎洞一带，这三处火山岩分布面积较大，均大于 20km^2。此外，该

期火山岩在工作区东南部也有零星出露，并在野外调研中发现，在该期火山岩内的构造破碎蚀变带中，有较好的 Mn 矿化现象。

表 1-3　辽西地区华力西期与燕山期岩浆岩特征对比简表

期次	岩石化学特征	稀土元素特征	锶、氧同位素特征	岩石学特征
华力西期重熔型	闪长岩 δ:4.81-2.42 花岗岩 δ:1.72-3.12 A/CNK>1.1 K/(K+Na):0.245~0.492. 平均 0.381 CaO、MgO 含量较低	Σ REE:67.62-168.15 Σ Ce/ Σ Y:1.79-9.57 (La/Sm)N:2.3-7.3 Ga/Yb:0.7-3.4 δ Eu:0.10-0.92 Sm/Nd:0.145~0.265	$^{87}Sr/^{86}Sr$=0.736（建平花岗岩） δ ^{18}o:0.751-10.37‰	钾长石以微斜长石为主，条纹长石、正长石次之，具典型交代结构，分异不发育，岩性复杂多变，形态不规则，较多围岩残留体，无相对应火山岩相伴生，副矿物锆石、磷灰石、磁铁矿较燕山期岩体多。
燕山期周熔型	闪长岩 δ:1.34-5.86 花岗岩 δ:1.93-2.09 A/CNK≤1.1 K/(K+Na):0.191-0.584 平均 0.364 CaO、MgO 含量较高	Σ REE:42.04-152.37 Σ Ce/ Σ Y:2.19-9.90 (La/Sm)N:1.5-6.4 Ga/Yb:0.4-1.8 δ Eu:0.03-0.95 Sm/Nd:0.135~0.353	$^{87}Sr/^{86}Sr$:0.70544-0.70686 δ ^{18}o:9.64-9.68‰	钾长石以条纹长石、正长石为主，交代结构不发育，多呈岩株产出岩性单一，与其有相对应的火山活动，副矿物成份与华力西期类似，但含量较少，缺少白钨矿等特征矿物。

三　区域构造

1、断裂构造

本区横跨两个二级大地构造单元，近东西向、北东向、北北东向及北西向断裂构造发育，并控制着岩浆侵入及成矿物质的运移和富集。

东西向断裂是本区最早形成的断裂构造，与北部的赤峰~开原大断裂平行产出，为之次级构造，在本区主要表现为韧脆性断裂及韧性剪切带构造，

多被后期的北东、北北东向等断裂切割。该组构造产状多向北倾，上陡下缓，并具长期活动特点。

北东向断裂构造在区内较广泛发育，内蒙地轴和燕山台褶带的分界构造，即凌原~北票岩石圈断裂 为区内规模最大的断裂构造。断裂北西侧为太古宙建平群，南东侧为中晚元古宙长城、蓟县及青白口系等。该断裂走向为 NE40°左右,与古生界、中生界褶皱轴方向基本一致，倾向北西，呈左行扭动，其平面呈锯齿或弧形展布，在区内被北北东向中三家大断裂错为南北两段，断距达 20 余公里。据航磁延拓资料深部倾向南东，沿主断面分布着 100-300 米的片理化带、糜棱岩化带，间有磨砾岩、碎裂岩等构造岩，并将太古宙建平群逆冲到中晚元古宙，甚至中生代地层之上。因此，该断裂为一条长期多次活动的控岩、控矿主干边界断裂。此外，区内还发育一些具一定规模的北东向断裂构造。如长臬~肖家营子北东向断裂构造等。这些断裂一般呈窄条状断续分布，长几~几十公里，宽几百~上千米，遭受强烈挤压作用岩石发生复杂的塑性变形，常发育不等厚的压扁褶皱，具透入性流劈理、叶理等面状构造。面理上见有北西或南北方向延伸的角闪石、石英及方解石等组成的线理构造，可见左形焊接韧性小断层和牵引褶皱。这些现象说明北东向断裂构造是受南北向挤压应力的分剪力或东西向应力场作用产生的左旋平移剪切带构造。

区内北北东向断裂构造也较发育，东部著名的中三家大断裂及西部的哈大火烧~七家营子北北东向断裂构造，它们皆贯穿全区，全长 50 余公里。在 1:20 万重磁图上有清晰显示，且位于重、磁场的梯度变化带上。断裂走向北东 20°~30°，倾向不定，倾角 70°~80°，切穿性强，常逆时针错断东西及北东向等断裂，沿主断面发育有泥砾岩、碎裂岩，局部见糜棱岩、片理化带，是一组左旋平移的韧脆性剪切断裂带。北北东向断裂切割了侏罗纪及以前各时代地层，属燕山晚期形成的断裂构造。北北东向断裂与北东向及东西向断裂交汇部位的控制火山~沉积盆地，并控制着岩浆岩的侵入及成矿作用的进行。

区内北西向断裂也较发育，其中规模较大的有张家营子~水泉、新城~肖家营子及碾子沟~土城子三条北西向断裂构造，走向北西 300°~320°，延长 30-50 公里。北西向断裂形成时间较长，规模不等，多与北东向、北北东向及东西向断裂复合，局部见错断东西、北东及北北东向断裂构造。断面上常发育有泥砾岩、碎斑岩、碎裂岩，部分地段见片理化带，为一组

以平移为主的韧性~脆性剪切断裂构造。

2、构造演化

在太古宙中、晚期，由于区域构造应力作用影响，在本区首先形成了一定数量的近东西向延伸的韧性剪切带构造，这些韧性变形发育地带，亦为太古宙古陆壳的构造薄弱带或地壳软弱带，其为后期的构造、岩浆活动及成矿元素的迁移、富集乃至成矿创造了有利环境。太古宙末期，本区规模最大的北东向凌原~北票岩石圈断裂开始形成 ，它不仅为二级大地构造单元的分界线，同时起着十分重要的控岩控矿作用。

中元古宙早期，由于凌原~北票大断裂不断下切，在该断裂以南沉积了地台型的中元古界~早古生界粤陶系地层；在内蒙地轴区局部地段于中元古宙形成了东西向裂陷槽，沉积了一套碳酸盐及碎屑岩建造。并在边部形成一些东西向脆性断裂。在华力西晚期，由于南北向强烈挤压的构造应力作用，在本区形成了一些东西向压性断裂构造及北东、北西向扭性断裂构造，同时在局部地段发生规模较小的中~酸性重熔岩浆的侵入活动。

中生代燕山期，本区构造应力场发生重大改变，由南北向挤压转为近东西向，形成了众多继承性的北东、北西向断裂构造，同时在一些切割较深断裂的交汇部位等，形成了一些深源同熔型中~酸性岩浆岩侵入体。在燕山中晚期，本区北部及东南部形成了上叠式断陷盆地，并发生火山喷发作用，形成了一套火山~碎屑沉积建造，同时造成同源中~酸性岩浆侵位，形成构造岩浆岩带或复式岩体。在燕山晚期，由于地壳受到再次强烈挤压，在本区形成了两条
规模较大的北北东向断裂构造,同时还产生了一些低序次的北北东向断裂。稍晚，仍有北西向断裂继续活动，并见切割了上述断裂。

区内新构造运动主要以微幅的升降运动为主，不甚强烈。

四　区域地球物理、地球化学

1、区域地球物理特征

区内太古宙变质岩系多为富含角闪石的片麻岩，其航磁均表现高值异常区。由于多期构造活动，断裂发育及岩石破碎等的影响，重力异常表现为线性低值密集的梯度带；元古界和古生界地层为一套海相碳酸盐岩及碎屑岩建造，为较高值重力异常和低值磁力异常区；中生代火山岩沉积建造，

岩石密度低，布伽重力异常明显偏低，磁场变化较大，为无规律的杂乱异常场。

区内燕辽期、华力西期及燕山期侵入岩以石英正长岩、正长岩、花岗岩及二长花岗岩为主，局部出露辉绿岩、辉长岩侵入体。其中除辉绿岩、辉长岩密度较大外，均为低重力场；磁场则表现为中低值磁场区，燕山期花岗岩类磁异常一般高于华力西期花岗岩类磁异常。

重磁异常的分布，受东西向和北东向主要构造带的影响彻，异常的形

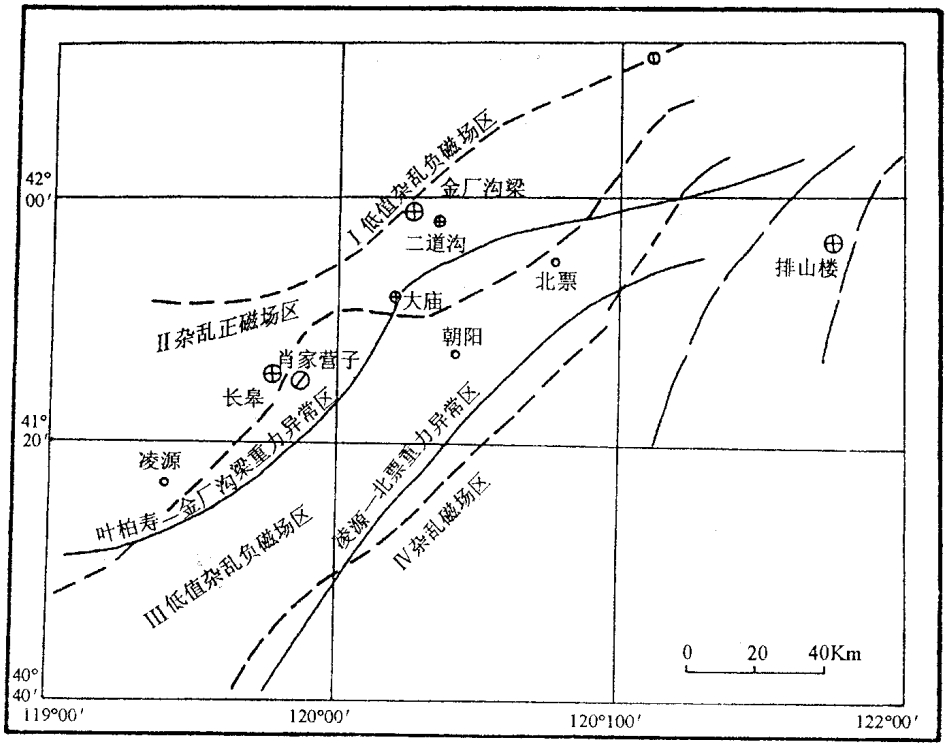


图 1-3 凌源-北票断裂两侧重力磁场分区略图

1 2 3 4 5

1.重力分区线 2.磁异常分区线 3.金矿床(点) 4.钼矿床(点) 5.铜钼矿床 (点)

态以条带状呈北东走向，局部保留近东西向异常。该区重力异常可分三个区，磁力异常可分四个区（如图 1-3）。

根据工作区 1:20 万布格重力异常图，1:5 万航磁异常图及经电算处理、延拓计算和垂直二导计算的航磁异常推断的断裂构造、断陷盆缘及主要花岗岩侵入体如图 1-4 所示。凌原~北票大断裂及中三家大断裂在重磁异常图上皆有明显显示，为重磁介面差异明显的线性异常带，并根据重磁异常线性梯度带等特征还推断有一些其它近东西向、北东向、北西向及北北东向

断裂构造。区内中部至北部推断的两个盆缘断陷，在重力布格异常图上，

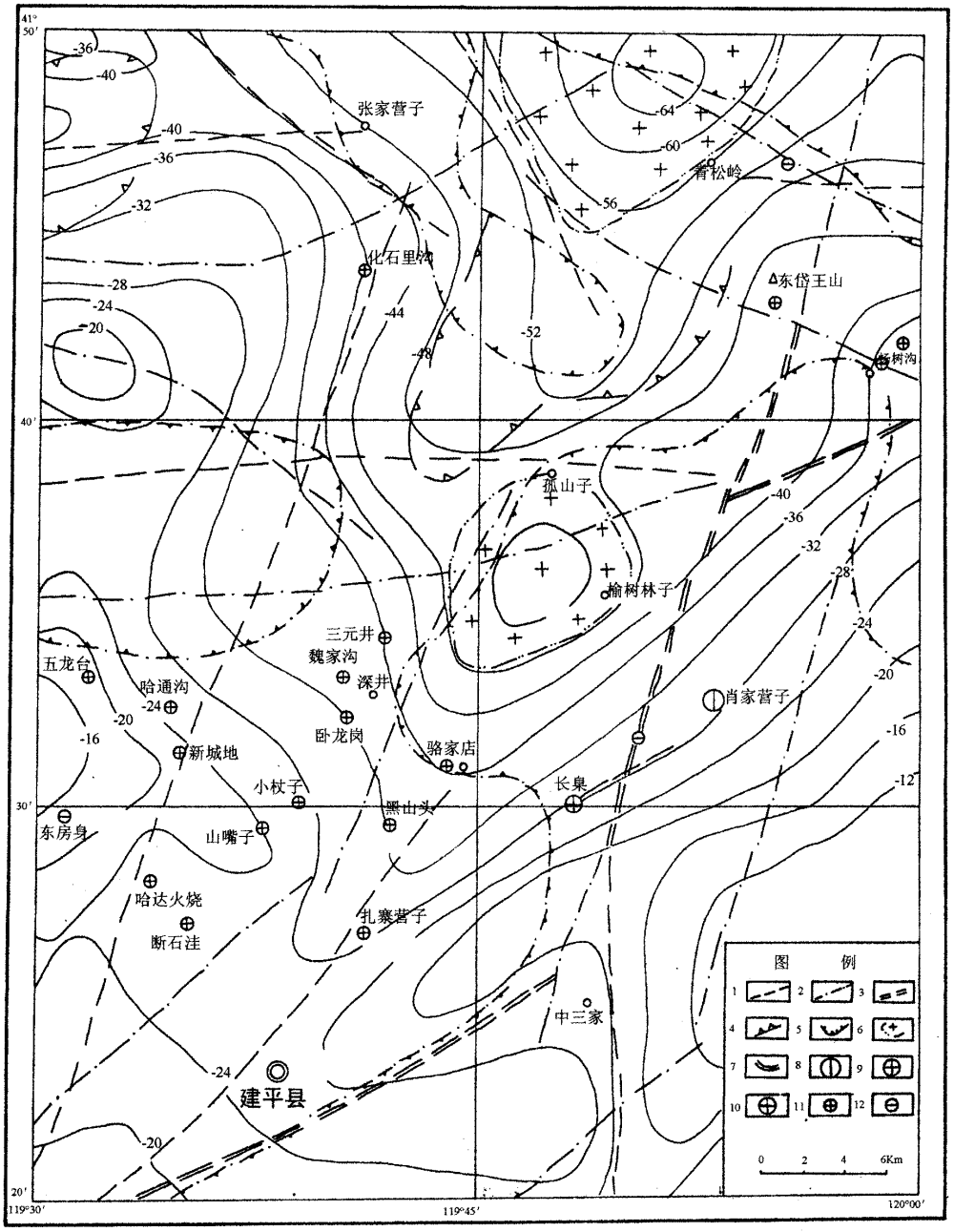


图 1-4 建平北部地区重力、航磁推测纲要图

1. 重力推断断裂 2. 航磁推断断裂 3. 重力航磁推断重合断裂 4. 重力推断断陷盆缘 5. 航磁 8 公里高度垂直二导零等值线 6. 重力推断花岗岩侵入体 7. 重力△g 等值线 8. 大型铜钼矿床 9. 中型金矿床 10. 小型金矿床 11. 金矿点 12. 铜矿点

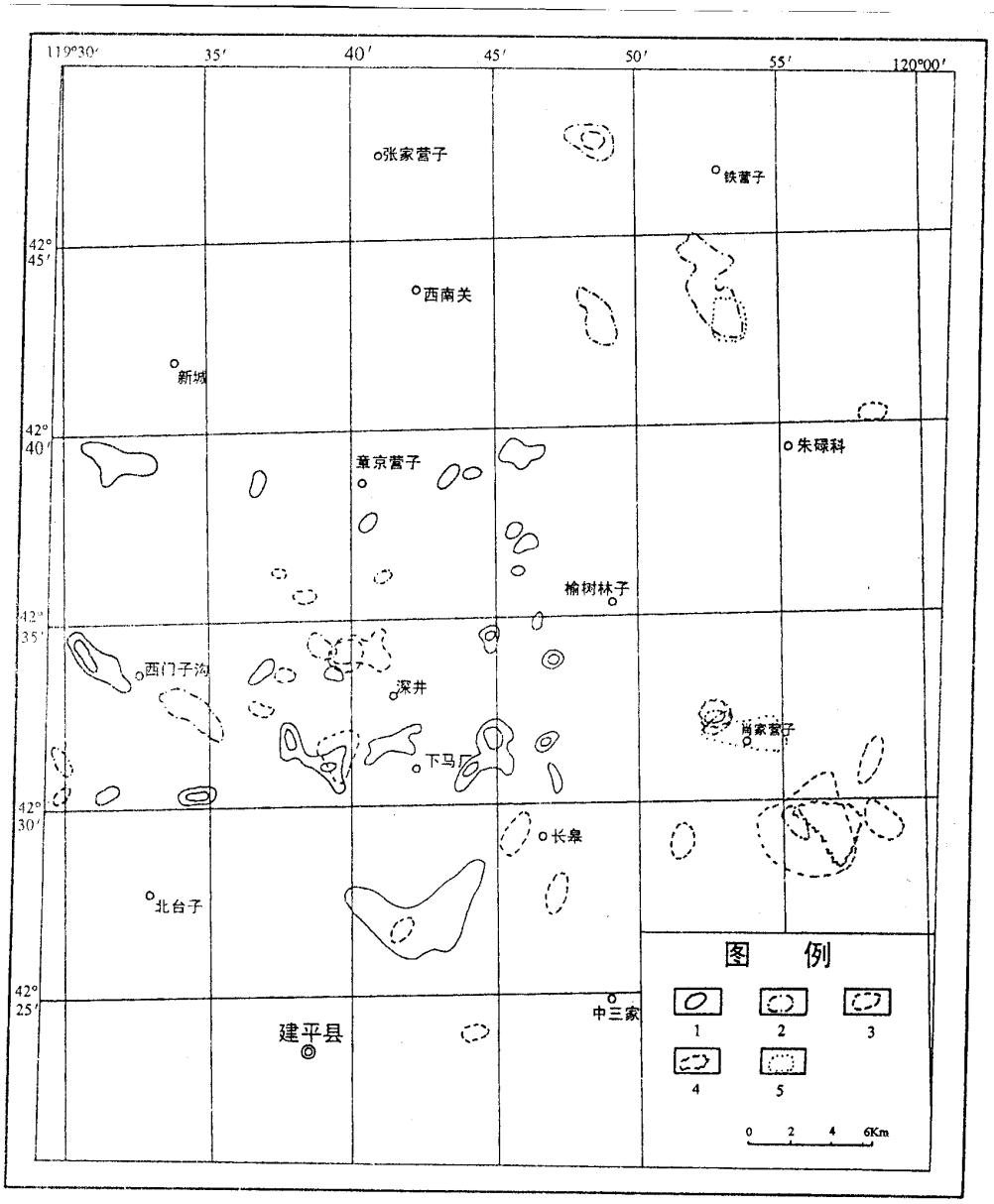


图 I-5 建平北部主要元素分散流化探异常分布图

1. Au 异常 2. Ag 异常 3. Cu 异常 4. Mo 异常 5. Pb 异常

显示重力低值异常界面或低值重力梯度带；推断的两个花岗岩侵入体，在重力布格异常图上显示为低值异常区。

2、区域地球化学特征

总体看来，区内水系沉积物 Au、Ag、As、Sb 及 Cu、Pb、Zn 异常在辽西地区内蒙地轴及燕山台褶带两大地质单元中普遍存在。地轴区 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 元素异常强度高，且依附于太古宙建平群特别是 Au、Ag 与建平群更密切。燕辽台陷带以多金属异常为主。各类异常群带或单元素异常分布明显受多组断裂控制，多分布在断裂构造的交汇部位或岩体的内外接触带上。重砂金异常多分布在建平群小塔子沟组黑云斜长片麻岩和斜长角闪岩出露区。

根据工作区 1:5 万分散流化探资料，区内几个主要元素 Au、Ag、Mo、Pb 的化探异常分布如图 1-5 所示。区内发现 Au 化探异常 23 处，主要分布在中部内蒙地轴区，该区段亦为本区金矿成矿的重要地带；区内 Ag、Cu 异常在内蒙地轴及燕山台褶带皆有分布，其中 Ag 异常 9 处，Cu 异常 18 处，这些异常主要集中在工作区中部及偏南一带，此外在区东北部也有几处零星展布；区内 Mo 异常只有 3 处，两处发育在燕山台褶带，即肖家营子 Cu、Mo 矿区及其东南的拦沟岩体一带。另处一处分布在内蒙地轴区的深井西北一带；铅异常 3 处，分别发育在工作区中部的肖家营子矿区，下马厂东及北部的东岱王山一带。总体看来，该区的多元素化探分散流异常主要集中在区中部一带，尤其在中部偏南的石门子沟~肖家营子一带异常发育较好。有多处多金属组合异常展布。此外，工作区东北部几处以 Ag、Cu 为主的异常，尤其在杨树沟、高杖子金矿点外围及东岱王山一带，有的异常提供了重要的找矿信息，值得进一步找矿工作的重视。

第二章 TM 信息特征及图像处理

现代科学技术的发展，正在积极推动传统地质工作方法的迅速变革。对地质矿产的多种属性，进行三维空间立体勘查日趋重要，空间遥感已成为地质矿产信息的重要来源。专题制图仪（Thematic Mapper）作为第二代星载传感器已经获得了十分庞大的遥感信息。本次研究的图像处理和数据分析使用的即为 1987 年 10 月 30 日接收的 121/31 景美国 Land sat5 TM 数据信息，并通先进的 PCI 软件应用 TM 数据进行了信息增强和热液蚀变信息提取处理。

一 TM 信息特征

目前，我国使用的 TM 图像和磁带，大都为北京卫星地面站接收的美国陆地卫星 5 号产品。该产品 TM 探测利用了电磁辐射波谱的可见光、近红外和热红外共 7 个波段。这 7 个波段各自针对不同的探测对象和目的，对地质应用而言，TM 每个波段都能提供一定的地质构造、地形地貌信息。其中，5、6、7、波段的信息量更为丰富，TM1、2、3、4 波段能够区分岩石中 Fe、Mn 矿物的相对含量，尤其是第 4 波段对于含铁的矿物比较敏感，往往借此区分岩性。第 5 波段只对绿帘石族矿物的特征谱带敏感，但图像的地质构造及综合景观能力表现较强。第 7 波段识别碳酸盐岩、绿片岩、绢云片岩和粘土岩及粘土矿物的聚集带效果较好。第 6 波段对于识别地热异常、岩石的构造和含水性，鉴别地质构造有一定的用途。TM 图像每个像元的亮度值都为 256 个量化级中的一个。由于在一个像元内可以有一种地物，也可以有多种地物，每种地物都有自己的辐亮度值。像元内各种地物的辐亮度与地物面积的加权和，即为像元的亮度值。因此，从像元亮度值内区分像元内的不同地物是不可能的，仅仅依据单个像元 7 个波段的亮度值也不能判断出像元的地物属性。只有当多个像元连接在一起，显示地物的几何形状，即形成影响时才可能识别地物。如果包括某种地物像元的辐亮度值与周围背景物的辐亮度值基本一致,尽管该地物可能有较大面积，但其几何形状却不能在 TM 图像上显示出来。例如，产于花岗岩或片麻岩中的某些含金石英脉，两侧又伴以硅化，它与花岗岩的电磁辐射差异很小，所以尽管石英脉有一定的规模，却不能在图像上被识别出来；反之，如在

本次研究中，在大面积灰岩中侵入的具一定规模的辉绿岩脉，则在 TM 图像上较易识别划分出来。TM 在获取数据时，有许多随机因素。因此在图像处理和判读只前，需要统计分析，以便通过这种随机性去把握整体规律，为图像处理提供依据。它包括 TM 各波段相对辐亮度的平均值、标准值和各波段的相关性。此外，频率直方图是表示离散随机变量概率分布的直观方式，它对于如何选择 TM 图像处理参数也是十分必要的。

二　TM 图像处理

TM 图像处理过程即是将 TM 数字形式的信息输入计算机处理的软件中，并经几何纠正后，按照一定的数学模型进行变换、加工，产生可供专业研究的图像或资料。本次研究 TM 图像处理的主要步骤如下：

1）首先将包含工作区、记录在磁带上的 7 个波段 TM 数据输入到 PCI 软件中。

2）进行正北纠正。将研究区（或更大一些范围）的 TM 图像按地形图的地理坐标，将原传感器扫描资料的图像纠正过来，并加公里网格及经纬网，以便与同比例尺的地形图及地质图对比研究。

3）基础图像处理。选择 3 个最佳波段进行 RGB 彩色合成，作为研究全区地形、地貌、岩性、构造等多种地质信息的基本图像。

4）增强图像处理。选择一定范围的子区，通过各种变换处理，突出特征地质信息，为综合分析成矿地质条件和进行成矿预测提供遥感影像依据。

5）矿化蚀变信息提取。根据研究区矿化蚀变特点，通过对已知成矿区矿化蚀变信息的类比，选择合适的技术方法，提取区内与金、铜、钼矿化有关的蚀变信息，为进一步综合研究及找矿服务。

1、基础图像处理

无论进行何种地质项目的遥感工作，首先都要获取一幅信息量丰富的彩色合成图像，而 TM 组合波段的选择是获得一幅好的彩色合成图像的关键。一般说来，选用参加组合三个波段进行 RGB 合成主要考虑的因素有：

1）参加合成波段信息量的丰富程度。

2）是否含有目标地物的特征信息。

3）色彩的饱和程度。

4）色差的明显程度。

TM 数据各波段的标准偏差显示了各自所含信息的离散程度，即信息的丰富程度。标准偏差越大的波段信息量应该越丰富。但由于地物在各波段辐射信息之间的相关性，三个标准偏差最大的彩色图象不一定为信息量最丰富的图象，若它们的相关性很强，各波段的信就会出现大量的重复和冗余，导致合成图像总信息量并不多，严重的相关还直接影响图像的色彩和饱和度。各波段的均值的大小对合成图像的影响也很大，如果均值相差太大，会对致严重偏色。因此，选择 TM 合成图像参加波段的主要原则为：

1）各波段方差要尽可能大

2）各波段相关系数要尽可能小

3）各波段均值大小不要相差太悬殊

4）选用含有目标物特征谱带的波段

虽然一般情况下上述条件完全满足是不可能的，但要做到尽可能相互兼顾。由于 6 波段地面分辨率为 120 米，一般单波段合成不予考虑。表 2-1 给予出了研究区 TM 数据的统计结果。经过综合对比分析，优选出 1、4、7 三个波段组合为最佳，因而制作了 1：5 万及 1：10 万的 TM1（R）+TM4（G）+TM7（B）彩色合成图像，作为本次研究的基础遥感图像。图像不仅色彩丰富、影像清晰、层次分明，而且具有明显的立体感。

表 2-1 辽西建平县北部（5321×4689 像元）相对亮度值统计结果

TM 波段	1	2	3	4	5	7	6
最小值	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最大值	219.00	176.00	193.00	191.00	244.00	207.00	203.00
平均值	59.17	27.49	35.36	38.63	74.31	40.22	98.73
标准偏差	9.11	5.83	9.37	9.42	15.33	13.13	5.01
相关矩阵	1	2	3	4	5	6	
1	1.00						
2	0.94	1.00					
3	0.93	0.95	1.00				
4	0.97	0.89	0.91	1.00			
5	0.82	0.83	0.86	0.80	1.00		
6	0.81	0.89	0.92	0.78	0.77	1.00	

基础图像的一个突出特点是进行了正北纠正，并附有公里网和经纬网，使图像与同比例尺的地形图、地质图可以匹配，正北纠正的过程是：

1）首先通过 PCIworks 功能块进行图像显示。

2）选用图像纠正功能块在显示的图像中选择地形图与图像上相同的控制点。为了提高同一控制点的准确程度，减少误差，除把地形图上的地物点与图像中同一地物点尽量对准外，可借助图像局部放大功能。选择同一控制点，一般选择水系、公路、铁路交叉点，地形三角点、山脊线的交汇点等。

3）圈定纠正区。

4）对圈定的纠正区进行正北纠正。

5）加公里网及经纬网

6）对已纠正的图像文件利用蒙泰系统等进行图像注记等的编辑，包括图名、地名点、地形三角点和图像制作单位及图例等。

7）在 Windows 状态下利用 HP-2500 高分辨率彩色喷墨打印机进行图像输出。

2、增强图像处理

本文研究的 TM 图像增强处理主要是增强研究区内金、钼、铜等矿产控矿因素的信息显示，为综合分析成矿地质条件和进行遥感成矿预测提供影像依据。在研究中，除对全区整体影像特征研究外，还根据对全区已知矿床控矿构造、控矿地层和控矿岩性等地质因素的具体分析，在区内选择了中三家~肖家营子、王洛地~深井和东岱王山~高家杖子三个子区，并分别对三个子区进行了 TM 图像增强处理。三个子区是研究区的主要成矿区段，其划分位置及主要成矿特征见表 2-2。

根据区域地貌地质及成矿条件的具体分析，采用不同的图像增强处理方法是研究已知矿床的遥感地质特征，建立遥感地质成矿和模式，进行遥感成矿预测的关键。对全区及重点成矿区段的 TM 图像增强处理方法，除采用常规的线性拉伸、非线性拉伸（指数、结数）直方图均衡化、求反等技术方法外，本次研究还产要采用了主成份分析（KL 变换）、比值变换、多种方法的组合处理、空间滤波及非监督分类等技术方法，从而达到不同程度地增强与成矿因素密切相关的各种地质信息的目的，取得了较好的解译效果。

1）主成份分析（PCA）

PCA 也叫 KL 变换，是在统计基础上的多维正交线性变换。由于 TM 各波段间存在着程度不同的相关性，有相当多的数据重合。主成份分析的目的就是将原波段的独立信息压缩到尽可能少的主成份之中，各成份间相互

表 2-2 研究区三个子区的划分及主要成矿地质特征

子区序号	子区名称	范围	面积	主要成矿地质特征
Ⅰ	中三家~肖家营子区	东经 119°45′4″~119°55′19″ 北纬 41°27′45″~41°33′45″	168 km^2	处于 NNE 向中三家大断裂,NW 向新城~肖家营子及 NE 向肖家营子~梁家沟断裂的交汇处.区内分布有肖家营子大型铜钼多金属矿床、拦沟金矿点、上豆腐房金铜矿点等。
Ⅱ	王洛地~深井区	东经 119°30′19″~119°43′48″ 北纬 41°25′38″~41°34′36″	342 km^2	除发育有 NNE 向石金大坎~烧锅杖子~双庙断裂构造外，还发育有石门子沟~深井、碾子沟~上豆腐房及王洛地~辘辘井三条近东西向韧应性剪切（变形）带。有多处燕辽及燕山期酸性侵入体及 Au、Ag、Cu 等多金属分散流异常分布。Au、Cu 等矿点、矿化点 18 处。
Ⅲ	东岱王山~高家杖子区	东经 119°48′18″~120°00′54″ 北纬 41°40′00″~41°45′00″	153 km^2	近东西向的新城~西南关~高家杖子断裂带通过该区，在东岱王山及高家杖子一带的太古代地层中有两条近东西向韧性剪切带发育，区内发育有杨树沟等 Cu、Au 矿点 4 处。

独立，信息不重合。主成份分析（PCA）的第一主分量方差最大，信息量最多，其它分量的信息量则依次递减，前 3 个主分量的信息约占总信息量的 95%以上。这样在前 3 个主成份进行彩色合成时，由于各成份独立性较

高，因此提供单一的地质信息较好。例如，表 2-3 工作区 1、2、3、4、5、7 六个波段（5321×4689 像元）的数据统计结果。

表 2-3 辽西建平县北部主成份分析变换矩阵特征向量与特征值

波段 / 主分量	band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	特征值	方差贡献率
PC1	0.2027	0.1670	0.2811	0.3131	0.7566	0.4261	952.577	88.63%
PC2	0.3086	0.2648	-0.3928	0.3442	0.6442	0.3777	95.6107	8.90%
PC3	0.4167	0.3008	0.2988	-0.1523	0.1073	0.7885	10.8407	1.01%
PC4	-0.2441	-0.2043	-0.2985	0.8776	-0.034	-0.1960	9.2430	0.86%
PC5	-0.7086	-0.0323	0.6938	0.0042	0.0065	-0.1225	4.2572	0.40%
PC6	-0.3577	0.8768	-0.3203	0.0015	0.0065	0.0251	2.5602	0.21%

从分析变换矩阵的特征向量和特征值可以看出，PC1 中第 5 分量特征向量最大，其次为 7、4 波段，其它各波段因子各有一些差别，但符号全为正，因子绝对值大小排列顺序为 5>7>4>3>1>2，与变换前 6 个波段标准差排列顺序相同，所以 PC1 近似于参加变换各波段图像标准差的加权和。其后的各个分量，以某一个波段的特征向量较大。从表中可以看出，PC2 主要反映第 5 波段信息，PC3 主要反映第 7 波段信息，且前 3 个主分量的信息占总信息量的 98.54%。因此，对前 3 个主成份 PC1（R）、PC2（G）、PC3（B）进行彩色全成，图像色彩丰富、层次分明，区内一些主要断裂构造及不同时代岩性都有所体现，为地质解译带来方便。

根据统计分析，有时前 3 个波段的某一波段不宜选用，例如对王洛地~深井区的 1、2、3、4、5、7 六个波段（667×像元）的数据统计结果见表 2-4。

根据前面的分析，王洛地~深井区 PC1 更多代表 5 波段与 7 波段成分，图像清晰，地形、地貌、构造等信息都表现得非常明显；PC2 主要代表 5 波段信息，表现较强突出地质构造特点；然而 PC3 主要代表 4 波段特征，即植被信息，合成时不 宜采用；PC4 主要代表前 3 个可见光波段特点，反映岩性、含水性等特点。选择 PC1（R）、PC2（G）、PC4（B）彩色合成图像主要反映了该区地质结构，岩性和构造等特点，并较明显地反映出一些东西向韧性剪切带的构造特征。为该区的地质解译提供了重要依据。

值得指出的是，物征向量表示各主分量与原变量之间的相互关系，表

表 2-4　王洛地-深井区主成份分析变换矩阵特征向量与特征值

波段 / 主分量	band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	特征值	方差贡献率
PC1	0.2112	0.1786	0.3069	0.2794	0.7422	0.4476	775.1817	87.87%
PC2	0.2970	0.2578	0.3994	-0.3415	0.6603	0.3649	71.4596	8.10%
PC3	0.1415	0.0844	-0.0129	0.7132	0.0840	-0.6761	15.8051	1.79%
PC4	0.4726	0.3192	0.4306	-0.5437	0.0768	-0.4335	10.9762	1.24%
PC5	0.6460	0.1838	-0.7258	-0.0231	-0.0076	0.1466	5.3640	0.61%
PC6	-0.4544	0.8711	-0.1845	-0.2332	0.0085	-0.0064	3.3678	0.37%

示主分量在多维空间的分布，并不代表信息的绝对多少。虽然 PC1 占有绝大部分信息，越向后排列的分量，所含信息量越少，但并不等于后面的分量无用。恰恰相反，由于 PCA 这种变换结果，往往起到分离原图像中光谱相关性较强的不同地物信息作用，结果可以使我们提取某些重要的地质信息。根据对特征向量矩阵的分析，对每个分量进行特征信息分析，然后根据需要选择单一分量或几个分量进行彩色合成，也可以与比值分量及单波段一起进行合成，来增强所需的某些地质信息。

2）比值处理

比值处理是不同波段间相同像元点相对亮度值的算术除法运算，是一种常用的图像处理方法。比值处理在消除地形阴影、突出目标信息，提取某些特征信息方面有较好的效果。一般情况下，经过两个波段相除得到的比值图像总信息量减少，即方差减速小。因为不论在同一波段中不同像元的相对亮度值差别或大或小，只要与另一波段中对应像元相对亮度值相近，甚至相等，两波段相对应像元的比值近于或等于 1，从而使图像层次减少，抹杀了一些不同地物的波谱差异。但另一方面，对于在原波段中反向率差别不大或相同的像元，在另外某波段中有一定的差别，比如因特征吸收谱

带而产生的差异，相除之后便会增加这类像元的差别，把均值拉开，从而提高某些地物的解译效果。比值还可以在某种程度上消除由地形引起的相同地质体之间相对亮度值的差别。

对 TM7 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，因此在工作中如何根据研究区不同特点优选出较好效果的比值方法是至关重要的。在本次研究中，我们主要选用了 TM5/7、TM5/4、TM4/3、TM3/1、TM3/4、及 TM（5-3）/TM（5+3）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 2.2μm 附近有明显的吸收谱带，含 Co_3^{2-}矿物在 2.35μm 处也有明显的吸收带，这与 TM7 的波长范围相吻合；而在第 5 波段的波长范围(1.55~1.75μm)内，少有矿物的吸收谱带，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，其它矿物都表现出高反射率特点。那些未蚀变矿物在 5、7 波段的波谱范围内没有明显的波谱特征，表现在 TM5、TM7 两个波段的相对亮度值相近，因此 TM5/7 能有效探测含羟基粘土矿物和碳酸盐矿物，即在 TM5/7 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。由于二价、三价铁离子在 TM2、3、4 波段都有一些吸收谱带，成为明显的是 0.9μm 处三价铁离子的吸收带，TM4 波段恰好位于这个波谱带范围，因此 TM5/4 可以提取铁矿信息，并且由于 TM4 波段对绿色植被有较高的反射率，运用 TM5/4 可以区分植被与植被覆盖的土壤和岩石特征。TM4/3 是一种最佳植被指数，在 TM3 波段，绿色植物的叶绿素吸收特征明显，在 TM4 波段处为一近红处高反射区，因而 TM4/3 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，TM3/4 比值很低。由于三价铁矿物于 0.46μm 处（ TM1）存在一极强的吸收谷，于 0.7μm（ TM3）存在一反射峰，因此 TM3/1 能有效地识别含三价铁离子矿物的信息。根据研究区 TM 数据特点，TM（5-3）/TM（5+3）较好地反映碳酸盐岩发育区的岩性及构造特点。

单比值图像在干旱、半干旱地区，可以提供一些有用的蚀变或地质信息，但在有植被或第四系覆盖影响时，效果受到很大影响。尤其混合像元比例大时，可以说这种方法就失去了作用。在这种情况下，比值合成彩色图像往往能够提供一些更复杂的信息内容，并会以不同的色调将某些地物的界限加强，或使某些地质现象更为突出。在本次研究中，在肖家营子区采用 M5/7（R）+TM4/3（G）+TM3/1（B）和 TM（5-3）/TM（5+3）（R）

+ M5/7（G）+TM5（B）两种彩色合成图像。前者较好地反映了岩性及蚀变信息，后者主要反映了地质构造信息；在拦沟一带采用 M5/7（R）+TM4/3（G）+TM3/1（B）彩色合成图像，主要显示了该区的岩性、构造及蚀变信息；在东岱王山一带采用了 M5/7（R）+TM3/4（G）+TM（5-3）/TM（5+3）（R）彩色合成图像，主要反映了该区的线性构造特点，对增强岩性和构造等地质信息也有一定效果。

3）组合处理

前面分述了单一处理的方法及效果，有时效果不明显。如果把这些方法组合应用，可获得更好的效果。在本次研究中，对全区和子区分别采用不同方法 KL 变换的两个主成份与一个比值或单波段进行 RGB 合成，或 KL 变换的一个主成份与一个比值及单波段的 RGB 合成，取得了较好的解译效果。

在全区 2400km^2 范围内，采用 TM1-7 波段的第一主成份 PC1（R）、TM2（G）和 TM1、3、4、5 四个波段的第三主成份 PC3（B）进行彩色合成。合成后的 1：40 万彩色图像上，中元古界灰岩及碎屑岩总体呈粉红色色彩，小塔子沟组片麻岩呈淡粉色色彩，花岗岩类主要呈粉色~深红色混杂色彩，第四系呈绿色及深兰色。不同方向的构造线清晰，中三家大断裂显示为一笔直的北北东向色调界面，两侧的景像特征差异十分明显。另采用 TM1-7 波段的第二主成份 PC2（R）、TM4（G）及 TM1、3、4、5 的第一主成份 PC1（B）进行合成，并经过空间滤波等处理后形成特征图像，较好地显示了中三家~王洛地和东岱王山~高杖子一带的东西向构造，为本区发现东西向韧性剪切构造提供了佐证。

在中三家~肖家营子子区，采用 TM1、3、4、5 主成份的 PC4（R），TM5/7（G），TM1-7 的 PC1（B）进行彩色合成。TM1、3、4、5 及 TM1-7 主成份的特征向量和特征值见表 2-7 和 2-8。

表 2-7 中三家-肖家营子区 TM1、3、4、5 波段 KL 变换特征向量与特征值

波段比值 / 主分量	TM1	TM3	TM4	TM5	特征值	方差贡献率
PC1	-0.2174	-0.3018	-0.3398	-0.8638	759.9709	89.97%
PC2	0.4271	0.5578	0.5125	-0.5015	71.6062	8.48%
PC3	0.4115	0.4564	-0.7845	0.0468	8.7200	1.03%
PC4	0.7752	-0.6303	-0.0404	-0.0092	4.3829	0.52%

由表 2-7 可以看出 TM1、3、4、5 的第四主成份虽然方差贡献率只有

0.52%，但它主要反映第一波段信息，即含铁质和水质信息；由表 2-8 可见，TM1-7 的第一主成份方差贡献率为 87.66%，且主要反映第 5、7 波段信息，即主要反映地质结构及含 OH^-及 Co^{2-}_3矿物信息。因此从该子区合成的 1：10 万图像上看，中三家断裂以东的蓟县系碳酸盐岩夹部分碎屑岩呈兰灰色色彩，而断裂以西的小塔子沟组片麻岩显示粉红色色彩，二者差异十分明显。同时子区内的一些北东、北西及近东西向断裂构造也有清晰显示。较好显示了中三家~肖家营子一带的岩性、构造特征。

表 2-6 中三家-肖家营子区 TM1-7 波段 KL 变换特征向量与特征值

波段比值 / 主分量	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	特征值	方差贡献率
PC1	0.2011	0.16570	0.2788	0.3110	0.7509	0.1219	04230	966.740	87.66%
PC2	-0.3084	-0.2646	-0.3978	-0.3440	0.6448	-0.0065	-0.3773	95.6141	8.67%
PC3	-0.1488	-0.1467	-0.2243	0.2251	-0.1130	0.9167	0.0471	14.6982	1.33%
PC4	0.3659	0.2517	0.2220	0.2678	0.0861	0.1405	-0.8091	10.7212	0.97%
PC5	0.3030	0.2158	0.2689	-0.8318	0.0114	0.3475	0.07100	8.5179	0.77%
PC6	-0.6988	-0.0273	0.7008	-0.0195	0.0024	0.0651	-0.1273	4.2194	0.38%
PC7	-0.3582	0.8770	-0.3192	0.0005	0.0063	0.0038	0.0247	2.5600	0.20%

在王落地~深井子区，采用 TM1、3、4、5 波段的第 1 主成份 PC1（R）、TM7（G）及 TM1-7 波段的第一主成份 PC1（B）进行彩色合成。该区 TM1、3、4、5 及 TM1-7 波段的主成份特征向量和特征值见表 2-7 和表 2-8。

表 2-7 王洛地-深井子区 TM1、3、4、5 波段 KL 变换特征向量与特征值

波段比值 / 主分量	TM1	TM3	TM4	TM5	特征值	方差贡献率
PC1	0.2319	0.3361	0.3094	0.8589	601.6324	89.20%
PC2	-0.4110	-0.5462	0.5202	-0.5120	55.4717	8.22%
PC3	0.3296	0.5085	-0.7955	0.0012	11.8870	1.76%
PC4	0.8178	-0.5746	0.0285	-0.0146	5.4758	0.981%

由表 2-7 可以看出，该区 TM1、3、4、5 波段 KL 变换的 PC1 占方差贡献率的 89.2%，反映出 PC1 信息量丰富。从 PC1 的特征值向量可见其主要代表 TM5，即地质构造信息；从表 2-8 可见，该区 TM1-7 波段 KL 变换的第一主成份 PC1 占信息总量的 86.77%，且主要反映 TM5 地质构造及 TM7 碳酸盐及粘土矿物信息。因此该子区的合成图像揭示了丰富的地质构造信息。图像上一些北东向、北西向及近南北向主干及次级线性构造清晰，王洛地南由岩浆侵入作用形成的环形构造也十分明显，并见有三组近东西向断续延伸的条纹条带~韧脆性断裂构造带展布。

表 2-8 王洛地-深井子区 TM1-7 波段 KL 变换特征向量与特征值

波段比值 / 主分量	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	特征值	方差贡献率
PC1	0.2098	0.1775	0.3050	0.2780	0.7378	0.1083	0.4451	784.233	86.77%
PC2	-0.2972	-0.2579	-0.3995	-0.3416	0.66000	0.0041	-0.3651	71.4606	7.91%
PC3	0.1450	0.0868	-0.0102	0.7102	0.0858	-0.0156	-0.6778	15.8057	1.75%
PC4	-0.2924	-0.1969	-0.2365	0.2842	-0.1100	0.8333	0.1805	13.8562	1.53%
PC5	0.3606	0.2471	0.3745	-0.4682	0.0504	0.5396	-0.3974	9.7667	1.08%
PC6	-0.6524	-0.1869	0.7190	0.0335	0.0104	-0.0494	-0.1368	5.3475	0.59%
PC7	-0.4533	0.8716	-0.1847	-0.0242	0.0082	0.0054	-0.0071	3.3684	0.37%

在东岱王山~高家杖子子区，采用 TM1-7 波段的第二主成份 PC2（R）、TM1、3、4、5 波段的第三主成份 PC3（G）和 TM4/3（B）进行彩色合成，

以及 TM3/1（R）、TM1-7 波段的 PC1（G）和 TM4（B）进行彩色合成。图像较好地反映细微构造的影像差别，尤其东岱王山南及高杖子一带的东西向韧性变形带特征明显；且东岱王山北西及南东侧显示出较好的兰灰色和灰绿色彩异常，这些斑杂状异常的分布与区内分散流 Ag、Pb 异常十分吻合。

3、蚀变信息提取处理

矿化蚀变信息提取是目前遥感地质找矿的一个前沿课题。由于各地区的成矿地质条件不同，目前各家应用的方法不一。运用纯理论推导的一些提取矿化信息的方法，往往在一个地区取得较好效果，而在另一地区则达不到理想效果。因此在本次研究中，笔者根据研究区内三个子区的一些矿化蚀变特点，并通过对区内大量影像数据的综合分析及野外验证结果，对三个子区分别做了 TM 影像蚀变信息提取处理，着重提取了区内与矿化有关的褐铁矿化、粘土矿化及碳酸盐化的蚀变信息。该项工作的具体步骤如下：

1）选择子区内已知特征的矿化蚀变带，并在野外工作中确定矿化蚀变类型。整个研究区金、铜、钼矿化的主要蚀变类型为绿泥石化、绢云母化、褐铁矿化、黄铁矿化、硅化、高岭土化及碳酸盐化。例如，在中三家~肖家营子子区内选择长皋金矿及肖家营子钼矿的构造矿化蚀变带，蚀变类型主要为绿泥石化、绢云母化、褐铁矿化及碳酸盐化。

2）研究这些特征矿化蚀变带的影像特征。在图像处理过程中，注意研究选择矿化蚀变带 中 7 个单波段、单个比值及 KL 变换中的单个主分量在图像上亮度值变化，选择突出蚀变带呈较高亮度值的通道。本次研究选择参与统计的通道包括 TM7 个单波段通道，比值主要选择反映矿化蚀变信息敏感的 TM5/7、TM3/1、TM5/4、TM3/4 和 TM4/3 共 5 个通道；KL 变换选择三个子区 TM1-7 波及 TM1、3、4、5 波段的所有主分量及 TM4/3 和 TM5/7 经 KL 变换的第二主成份。

3）选择三个反映蚀变带亮度值较大的通道作加法运算，放到另一通道中，并对该图像进行线性拉伸或直方图均衡化。再将该图像赋红色，与 TM5（G）、TM7（B）进行彩色合成。

4）对合成的图像进行 PC 分类，并对赋与红分量的第 1 通道进行空间滤波。空间滤波尽可能采用较小的窗口，并主要利用中值滤波和均值滤波。

5）对滤波后的图像进行非监督分类处理，压抑掉与蚀变信息无关的其

它信息，即将其它 无关信息的影像全部充填为黑色。这样便形成了似晕圈状的彩色蚀变异常区，即反映研究区蚀变信息的特征图像。

6）将该特征图像叠加在 TM7 或其它较清晰的单波段图像上，便形成了研究区（三个子区）的矿化蚀变信息图像。

在中三家~肖家营子子区，采用 TM7（求反）、TM4/3 和 TM5/7KL 变换的第二主成份和 TM1、3、4、5 波段 KL 变换的第四主成份作求和运算，经线性拉伸后赋红色，再与 TM5（G）、TM7（B）进行彩色合成，按上述方法提取矿化蚀变信息，在区内形成了似晕圈状的彩色蚀变异常区，色彩从中心蓝色~青色，向边部过渡到黄色~深粉色，色彩非常醒目。经野外验证表明，这些蚀变异常区主要为构造破碎蚀变带和矿化蚀变带。该方法不仅遵循了地质类比方法，而且在理论上也可得以证明：

1）在 TM 波谱范围内，多种含羟基矿物和蚀变矿物，如绿泥石、绢云母和高岭石等，在 TM7（2.08~2.35μm）波段显示强收特征，求反后的 TM7 图像的一些高亮度值域反映了含粘土矿物蚀变带的信息。

2）由中三家~肖家营子子区 TM4/3 和 TM5/7 经 KL 变换的特征向量和特征值（表 2-9）看，变换后的第一主成份主要包含 TM4/3 的植被信息；第二产成份反映 TM5/7 的蚀变信息。这样，第二主成份 PC2 压抑了区内的植被信息而突出了与粘土矿物有关的蚀变信息，即 PC2 图像反映了一些蚀变信息具较高的亮度值。

表 2-9 中三家-肖家营子区 TM4/3、TM5/7KL 变换特征向量与特征值

波段比值 / 主分量	TM4/3	TM5/7	特征值	方差贡献率
PC1	0.9967	-0.0809	13.0640	72.63%
PC2	0.0809	0.99670	4.9276	27.37%

3)TM1、3、4、5 波段经 KL 变换后（表 2-5），由于在第四主成份 PC4 中，TM3 和 TM 具相反的贡献标志，且 TM3 具较强的负载值，所以第四主成份 PC4 为克罗斯塔技术中的 F 图像，突出了铁的氧化物及氢氧化物成份。

在王洛地~深井区，采用了 TM1、TM2 和 TM1、3、4、5 的第四主成份 PC4 的加和方案；在东岔王山~高家杖子子区，采用 TM2、TM3 和 TM5/7、TM4/3 经 KL 变换的第二主成份 PC2 的加和方案，分别处理这两个子区的 TM 蚀变信息图像，图像上显示同中三家~肖家营子区类似的彩色蚀变异常区。经部分地段的野外检查验证，图像上较好的彩色蚀变异常区，一是构造破碎蚀变带；二是含水较多的粘土层，三是已知矿点分布区或矿化蚀变带。有的彩色蚀变异常区与化探异常分布范围相一致，这种彩色蚀变异常区应值得地质找矿的密切注意。

第三章：本区 TM 信息提取及景像特征研究

根据本区成矿地质特点，本次 TM 信息提取主要进行区内构造信息、岩性信息和蚀变信息的提取和研究。通过构造信息，研究区内深断裂构造、线性构造、韧性剪切带构造和环形构造的影像特征及分布特点，并探讨成因机制。根据岩性信息，着重研究区内岩浆岩的影像特征及展布特点。内蒙地轴区的太古宙绿岩建造及元古宙碳酸盐及碎屑岩建造，由于它们分布面积较大，影像特征明显，在 TM 图像上较易识别，故未加阐述。对区内提取的蚀变信息，本章主要研究它们在三个子区内的发育程度和展布特征。

一　区域深断裂构造 TM 影像特征

1、凌原-北票岩石圈深断裂

区内凌原-北票[illegible]单元的分界线（图 3-1），总体呈北东 65°~70°方向展布。断裂北侧内蒙地轴区主要出露中晚元古宙长城、蓟县及青白口系等海相沉积地层。该断裂地表倾向北西，据航磁延拓资料表明深部倾向南东，沿主断面分布着 100-300 米的片理化带、糜棱岩化带，间有角砾岩、碎裂岩等构造岩。它使太古宙建平群逆冲到中、上元古宙地

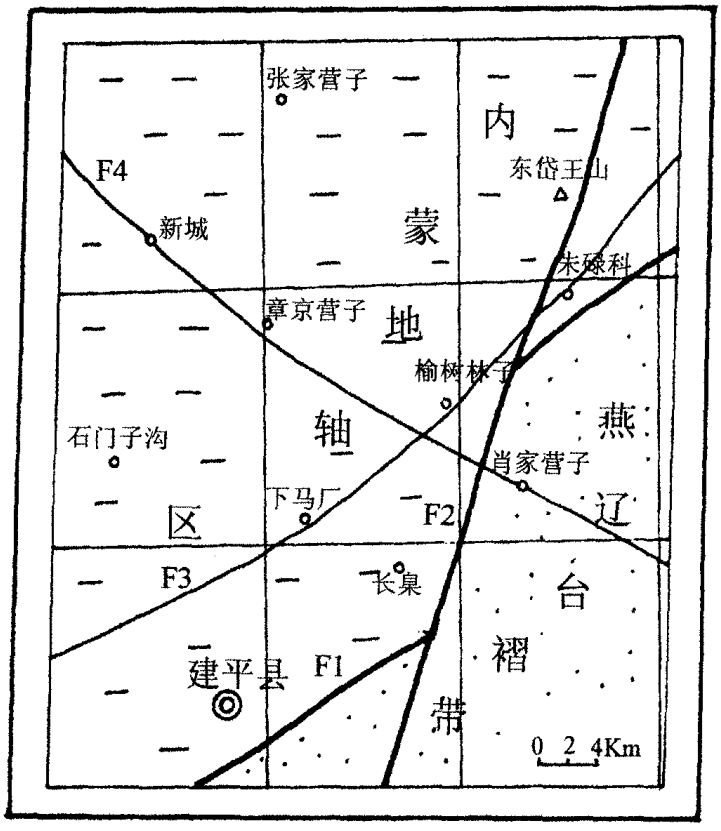


图 3-1 区内深断裂构造示意图

F1 凌原-北票岩石圈断裂　F2 中三家壳断裂
F3 新城-肖家营子深断裂　F4 榆树林子-北台子深断裂

层，甚至中生代地层之上。为一规模大、活动时间长的韧-脆性逆冲推覆构造，亦为一条长期多次活动的控矿主干断裂构造。该断裂在1：20万重力及航磁异常图上均明显显示，处于重磁场的梯度变化带上。

在工作区内，该断裂被中三家大断裂错为南北两段。南段为南沟里-五彩沟一带，全长19Km。在南半段的双庙-小平房一段，在TM147彩色合成图像上，该断裂以一条平直的北东向色异常线性构造显示出来，北侧主要呈淡粉绿、暗褐绿色，分支水系以“丰”字型为主，影纹粗糙、植被发育，出露岩性为小塔子沟组片麻岩；南侧主要呈粉褐．暗褐 色，除中间一段第四系冲积层外，发育不规则有树枝状水系，影纹细密．植被不发育，出露岩性为白垩系火山岩及中元古界灰岩。在TM1（R）、TM2（G）和TM1、3、4、5的PC3（B）彩色合成图像上断裂北西侧主要为粉红色，南东侧主要呈棕黄色，色彩差异十分明显。

该断裂北半段,小房身-半截沟一带，区内全长约15公理。在南半段的小房身－孟家湾子一带，在图像上以北东向水系发育为特点，两侧皆为第四系，色彩差异不明显，但断裂北西侧植被较发育。在TM1（R）、TM2（G）及TM1、3、4、5的PC3（B）彩色合成图像上，断裂北西侧呈兰紫色，南东侧主要呈棕红色，色彩差别较大；北半部孟家湾子－半截沟一带，在TM147图像上，断裂北侧主要呈淡紫绿．深褐绿色，稀疏的“丰“字型分支水系，影纹粗糙，地势低平，植被发育，岩性主要为小塔子沟组片麻岩。南东侧主要呈粉褐、棕褐色、较密集的树枝状水系，影纹细密，地势较高，植被发育较差，岩性为中元古界灰岩及白垩系火山碎屑岩。在TM1(R)、TM2(G)和TM1、3、4、5的彩色合成图像上，北西侧主要呈兰灰及品红色彩，南东侧主要为粉红及棕黄色彩。

由此可见，凌原－北票岩石圈断裂在本区南北两段的遥感影像特征十分清晰，断裂两侧由于岩差异使得TM图像上的色彩．水系类型．影纹图案及植被发育等方面均有明显不同。

2、朱碌科－中三家壳断裂

区内朱碌科－中三家壳断裂(俗称中三家大断裂),走向18°~20°，倾向北西，倾角70°~80°，局部较缓为45°~55°，由北西向南东逆冲，在其东西两侧分别发育有与之平行的次级断裂。该断裂在区内多为第四系覆盖，在部分地段沿断裂面发育有角砾岩．碎裂岩，偶见糜棱岩

及片理化带，为一组具左型平移特征的韧－脆性剪切断裂带。在 1:20 万航磁和重力异常图上，表现为明显的线性重磁异常梯度带。

该断裂在图像影纹上有清晰显示，在南部西营子-五彩沟一段，在 TM147 图像上，断裂 由一条平直的北北东向线性影纹构成，西侧主要呈暗粉、暗褐色，地势较高，花纹细密，水系以不规则树枝状为主，植被不发育，出露地层主要为中元古界灰岩及少量白垩系火山碎屑岩；断裂东侧主要呈暗绿色及粉绿色，地势低平，影纹粗糙，水系类型以平行状及“丰”字型为主，植被较发育，出露地层为侏罗系沉积碎屑岩建造。在 TMI（R）、TM2（G）及 TMI、3、4、5 的 PC3（B）彩色合成图像上，断裂西侧主要呈黄、红色彩，断裂东侧主要呈粉、兰色彩。在五彩沟-栾家营子一带，该断裂为内蒙地轴与燕辽台褶带二级大地构造单元的分界线。在 TMI47 合成图像上，断裂西侧呈灰绿、暗绿色，影纹粗糙，发育树枝状，“丰”字型水系，出露岩性为小塔子沟组片麻岩；断裂东侧主要呈暗褐、褐绿色，远离断裂至肖家营子以西为兰绿色，影纹细密，冲沟发育，呈树枝状、平行状及“丰”字型水系，出露岩性为晚元古界雾迷山组及古生界寒武和奥陶系灰岩。在 TMI（R）、TM2（G）和 TMI、3、4、5 的 PC3（B）彩色合成图像上，断裂在该段色彩差别十分明显，西侧南部呈粉、 粉红色，北部为黄绿色；断裂东侧为暗红色。在栾家营子-范杖子一带，该段中三家大断裂隐伏第四系之下，根据重力、航磁资料推断，该段断裂有向东偏移趋势。该断裂在本区北部的范杖子-烧锅地一带由于断裂两侧岩性差别不大，在 TM 图像上由一系列断续延伸的线性条纹及 NNE 向分支水系构成。

综上所述，中三家大断裂在 TM 遥感图像上显示十分清晰，尤其在南半段，在 TMI（R）、TM2（G）及 TMI3、4、5 的 PC3（B）彩色合成图像上，如刀削般平直，断裂两侧在色彩、影纹图案、水系类型、植被发育及综合景观等方面差异均十分明显。北半段虽由于第四系覆盖及两侧岩性差异不大，在图像上不如南半部清晰明显，但断裂两侧的影像特征也有一定区别。

3、新城-肖家营子深断裂

工作区已知三条规模较大的北西区域断裂构造具近等间距分布特征，平均间距约 15 公里，中间一条新城-肖家营子区域断裂构造出露规模最大，贯穿全区，总长 50 余公里。在 1：5 万航磁图上，该断裂表现为高磁场中的低值带，或线性梯度变化带。

该断裂在TM147合成图像上以一些北西向分支水发育为特点。断裂西半段自新、城章京营子一段，是由新城-前城，佛爷沟—三家店两条北西向分支水系衔接而成。虽然两分支水系中间被分水岭所截，但从遥感图像上两者具很好的连续性。该断裂东部肖家营子—马家杖子一段，断裂亦由一部西向分支水系构成，虽然断裂两侧均为雾迷山组灰岩，但断裂两侧影纹特征不连续。在断裂中部章京营子—肖家营子一段，该断裂由北西向线性影纹构成，并见有两条近南北向分支水系，在断裂经过处发生同方向转变，而断裂北侧出露的中生代花岗岩地貌至此中断；断裂南侧为小塔子沟组片麻岩，二者影像特征差异明显。

4、榆树林子—北台子深断裂

在本区的北东向断裂组中，除上述一条凌原—北票大断裂外，朱碌科-榆树林子-北台子断裂构造也是本区规模较大的北东向断裂构造之一。该断裂在1：5万航磁图上，显示为一条北东向展布的低值异常带。在下马厂以西一段，该断裂在航磁场上显示不明显，经遥感解译发现自下马厂向南西该断裂主体分解为两条，即由下马厂-马西沟和下马厂-杜家杖子两条分支断裂构成。

在TM147图像上，该断裂自下马厂以东主要为一北东向长条状展布的第四系覆盖区，断裂隐伏于第四系之下。在下马厂-中官营子一段，断裂沿窄条状第四系展布，并有北西向弯曲状水系发育为特点，南侧主要由小塔子沟组片麻岩构成，北侧除片麻岩外，还出露华力西期花岗岩。在水泉-东洼子店一带，断裂主体为第四系覆盖，断裂南东侧出露有燕山期花岗岩，北西侧主要为白垩世火山岩及太古宙片麻岩,断裂两侧影像特征明显不同。自下马厂以西，该断裂分解为南北两条，它们在TM遥感图像上均以一些北东向线性条纹的断续延展显示出来，且连续性较好，互相衔接构成两条分支断裂构造。这两条断裂分别切过了太古宙片麻岩、中生代花岗岩及早白垩世火山岩，但断裂两侧遥感影像特征差异不十分明显。反映了在断裂构造形成时期，可能由于基底岩性差异等原因，造成自下马厂向南西构造应力发生分解，使北东向断裂在西部规模变小，且在方向上与东部相比也有所改变。

二　区域构造TM影像特征

线性构造即指遥感影像上那些与地质作用有关，或受地质构造控制的具有线性特征的影像。研究表明，大多数遥感解译的线性构造是断裂构造

在地表自然景观下的反映，是构造应力作用下岩石的变形带、软弱带或应力集中带。线性构造是具平直或微弯的直线状形态特征，这种形态特征多半是通过地形、色调色彩、影纹图案、植被及水系的线性变化等显示出来的。本区线性构造解译标志主要包括：

（1） 色调色彩标志

主要依据色异常线、异常带和异常界面，即出现与背景色调（或色彩）有明显差别的色异常线、条带及界面。

（2）水系标志

特殊水系类型，河谷异常段和水系密度异常带。例如角状水系、格子状水系、倒钩状水系、“之”字型水系，平行状水等，直线或折线状的河谷段，河谷呈直角或锐角状急转弯，多条河流的拐点、汇流点呈直线状排列，高密度水系呈条带状展布等。

（3）地貌标志

大型地貌单元的分界线，平直的山脊、沟谷，山前直线状延伸的陡崖、断层三角面及呈线状分布的负地形等。

（4）植被标志

沿线性构造可形成植被异常带（稀少带或茂盛带），或线性构造两侧植被类型、发育程度等差异明显。

（5）综合景观标志

规模较大的线性构造及其两侧的地形、影纹、水系、色调植被等都会有较大差异，在总的影像特征上造成以线为界的感觉。

根据研究区内线性构造的发育程度及产出规模，划分出若干主干线性构造和众多次级线性构造（如图 3-2）。主干线性构造即指那些规模大、延伸远的线性构造。经遥感解译在本区划分出四条北东向、三条北西向，两条北东向和一条近南北向的主干线性构造，它们均为区内较大规模的断裂构造。次级线性构造即指那些较零散的规模不大的线性构造。根据区内线性构造持产出方向划分为东西向线性构造（270 土 10），北东向线性构造，北西向线性构造，南北向线性构造和北北东向线性构造(N10~30E)。这五组线性构造的发育先后有所不同，形态特征、构造性质及复杂程度也有所差异。

1、东西向线性构造

东西向线性构造在本区主要发育在内蒙地轴区，可划分南北两个发育

带。北带发育在工作区北部的北纬 41° 40′ -41° 45′ 之间，自西而东由新城-西南关-老虎洞-东岱王山-高家杖子一带。在该带西半段新城以北至西南关一带，主要表现为一系列近等间距较平直的东西向线性构造，平均间距 1 公理，延长约 8 公里左右。在 TM147 彩色合成图像上，这些线性构造以直线状延伸的沟谷地貌、水系及断续延伸的线性延线性条纹而显示出来，为数条发育在中元古宙地层中的东西向断裂构造组成。在该带东半段，

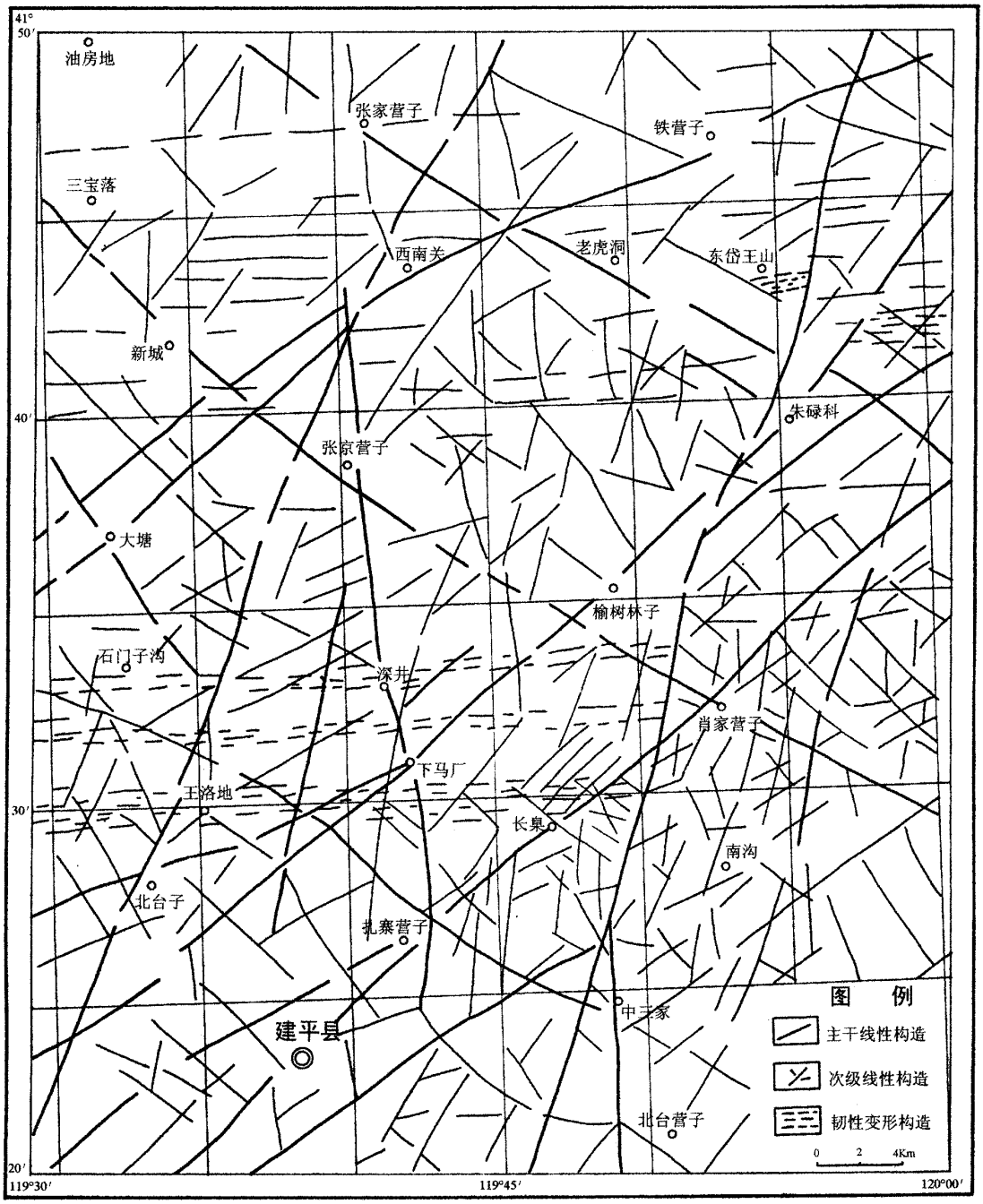


图 3-2 建平县北部 TM 图像线性构造解译图

总体上东西向线性构造不甚发育，但在东岱王山高家杖子一带，在TM147图像上，有较多的北东东及东西向线性影纹发育，在经过主成份分析、求反及空间滤波等变换和处理的TM图像上，显示多条似虫状密集排列的东西向条纹条带影像。经野外验证表明，在东岱王山以南至高家杖子一带，在太古代小塔子沟组片麻岩中，有两处北东及东西向韧性剪切带存在，并在一些地段还见有东西向韧-脆性断裂构造发育。

南带位于工作区中部偏南的石门子沟-中三家金矿一带的太古宙地层中，主要发育在北纬 41°28′48″~41°33′22″范围内，在东部被北北东向中三家大断裂所截。该带北缘自西而东大约为石门子沟、深井至中三家大断裂的海拉沟一带，南缘自西向东大约为东房身、烧锅杖子至中三家大断裂的长臬金矿一带。该带宽约8公里，区内长约30公里。在TM147图像上，东西向线性构造以一系列的东西分支水系、线性影纹及色彩异常的断裂延伸显示，在TM5/7、TM4/3作主成份分析的PC2（R）、TM4（G）及TM1、3、4、5波段的PC（B）彩色合成并进一步增强处理的特征图像上，该带显示一系列东西向线性异常发育特点。TM图像上这些东西向线性 条纹多被其它方向规模较大的线性构造穿切。野外调研表明，这些短线型的东西向线性构造主要为同方向的韧脆性断裂构造或韧性剪切带构造，并遭受后期多期构造作用的改造和破坏。

2、北东向线性构造

区内北东向线性构造十分发育，根据对处理的TM图像的综合解译，共划分出四条北东向主干线性构造，自北至南四条主干线性构造的分布及发育特点见表3-1。

本区除以上四条北东向主干线性构造外，还发育一些次级的北东向线性构造。从区域分布上看，北东向线性构造在工作区北部不发育，零星展布。在南半部较发育，尤其在榆树林子以南至中三家镇以北一段，分布较密集表明该段在长期地壳演化过程中，构造作用较强烈。

3、 北西向线性构造

本区北西向线性构造也十分发育，在TM遥感图像上，主要解译出三条主干线性构造，其在区内的展布及发育特征见表3-2。

除此三条规模较大的北西向主干线性构造外，区内一些次级北西向线性构造 也较发育，并且有的延伸较远，长达10余公里。从整体上看，无论在区内的内蒙地轴区，还是燕辽台褶带，与其它方向线性构造相比，北

西向线性构造均较发育，并且连续性好，这也反映了北西向构造的活动性及形成时代较晚的地质特点。

4、北北东向线性构造

区内发育两条贯穿全区，规模较大的北北东向主干线性构造。东部为中三家-朱碌科大断裂，西部为哈大火烧-七官营子北北东向断裂构造，二者在区内的分布及发育特征见表 3-3。

表 3-1　区内北东向主干线性构造分布及影像特征

序号	名称	分布特点	主要影像特征	发育程度
NE1	大塘-西南关-铁营子北东向主干线性构造	分布在区北部。主体自南西向北东为大塘-酒局子-化石里沟-大营子-铁营子后延至区外	在 TM147 彩色合成图像上，该主干线性构造由一系列断续展布的线性条纹及水系构成，两侧影像特征差异明显，北部主要为平行状及“丰”字型水系，南部主要为树枝状水系。	铁营子以西线性构造连续性较好，以东较差，区内出露范围全长 55Km
NE2	北台子-下马厂-朱碌科北东向主干线性构造	分布在区西南至东北部，主体自西而东为杜家营子-下马厂-榆树林子-朱碌科继续向北东延至区外。	在 TM147 彩色合成图像上，下马厂南西一段，由一系列线性色异常条纹构成；下马厂北东部，由北东向长条状展布的第四系构成，两侧色彩及影纹图案差别明显。	东侧被中三家大断裂截断后，延伸方向稍有改变，区内出露全长约 70Km。
NE3	勿苏台沟-扎寨营子-肖家营子北东向主干线性构造	南西自王福店-建平县城北东经扎寨营子长臬-肖家营子-大新井后延至区外	该构造在 1-7 波段第一主成分 Enl（R）、TM2（G）及 TM1、3、4、5 波段 PC（B）彩色合成图像上，线性影纹清晰，两侧影像特征差别明显，北侧主要呈桔黄、兰绿色，南侧主要为粉红、黄绿色。	西段在叶柏寿一带隐伏于第四系之下，区内出露全长 60Km。
NE4	南沟里-五彩沟及影壁山-半截沟北东向主干线性构造	该构造即承德北票大断裂在区内展布，被中三家大断裂截为南北两段，即南段为南沟里-五彩沟，北段影壁山-半截沟后延至区外	在 TM147 图像上，南部该构造由线性条纹及分支水系构成，北侧主要灰绿色，“丰”字型水系，南侧主要棕褐色，树枝状水系。北部线性构造以北地势低平，呈兰灰色，南部地势较高的山地，呈棕褐-暗褐色。	南北两段北东向线性构造皆发育完好，区内出露约 35Km

除上述两条主干线性构造外，区内还发育一些次级的北北东向线性构造。与全区的北东和北西向构造相比，北北东向次级线性构造数量少，但发育程度好，且主要集中发育在章京营子以南，建平县以北的区域内，在

两条北北东向主干线性构造间的袁家沟-下马厂-下石门地和肖家营子东的外朝沟-大新井北北东向线性构造在1：5万航磁异常图上也有显示， 为正负异常过渡的零值区或两个正值异常中间的低值区。此外，在长臬金矿区西侧，肖家营子

钼矿及下马厂以西，均见具有一定规模的北北东向次级线性构造发育，并切过一些东西、北东及北西向次级线性构造。

3-2 区内北西向主干线性构造分布及影像特征

序号	名称	分布特点	主要影像特征	发育程度
NW1	张家营子-水泉北西向主干线性构造	分布在工作区北部，西起上横沟，向东经章京营子、南台子，至东部榆树沟后延至区外。	在TM147彩色合成图像上，以直线延伸水系和线性条纹构成，中部一带线性构造，北部主要呈黄褐、灰褐色，发育平行及“丰”字形水系，影纹粗糙；南部呈褐绿色，发育树枝状水系，影纹细密。	该构造在张家营子及朱碌科北隐伏第四系之下，其它地段连续线性好，区内长40Km。
NW2	新城-肖家营子北西向主干线性构造	该构造横贯本区中部，西起勿素台沟，经五间庙、张家湾、肖家营子至樱桃沟后延至区外。	该构造在1-7波段第一主成分En1（R），TM2（G）及TM1、3、4、5波段PC3（B）合成图像上，东西两端由直线状水系构成，中间由连续延伸的线性影纹构成。北部主要呈暗红、粉兰色、发育平行状水系；南部主要粉红、黄绿色，发育树枝状水系。	在新城及榆树林子南西一带隐伏于第四系之下，其它地段发育较好，区内全长50Km。
NW3	碾子沟-土城子北西向主干线性构造	分布在工作区南部，西起喇嘛山沟，经土城子、四家子至甘苏庙后延至区外。	在147彩色合成图像上，该线性构造主要由北西向线性条纹及分支水系构成，南北两侧影像差别明显。北侧主要呈灰绿色，影纹粗糙，地势低平，南侧主要呈灰褐色，影纹细密，地势较高。	该构造在中三家以东较大范围隐伏于第四系之下，在工作区内全长约45Km。

5、南北向线性构造

区内南北向线性构造规模较大，构成本区唯一一条南北向主干线性构造。该构造在TM图像上以近南北向直线状水系发育为特点，北起酒局子，

向南经章京营子、下马厂、老西店，一直延伸到建平县城东部的小平房一带。在深井-下马厂一段转为北北西向，后又转为近南北向，全长32Km。该构造明显切断了东西、北东及北西向的一些次级线性构造，并使三条北东向主干线性构造在其西侧的发育特征有所改变。

此外，区内还零星发育一些次级的南北向线性构造。例如中三家南北向线性构造，以经过中三家镇南北向水系发育为特点，长约10公里，北端与中三家大断裂相交。在肖家营子铜钼矿区以东一段，发育一些规模较小的南北向线性构造，它们在TM图像上以一些断续延伸的线性条纹条带为特点。另外，还有中三家金矿西南侧的任家湾子-罗家杖子南北向线性构造、王洛地-哈通沟门南北向线性构造等，以及工作区北部的张家营子南北向线性构造等，它们均以分支水系南北向延伸为特点。区内这些南北向构造均不同程度地错断了一些其它方向的次级构造，反映了形成及活动时代较晚特点。

表 3-3　区内北北东向主干线性构造分布及影像特征

序号	名称	分布特点	主要影像特征	发育程度
NNE1	中三家-朱碌科北北东向主干线性构造	该构造南起工作区西营子，向北经古山子、辘辘井、朱碌科至北部的烧锅地后延至区外。	在TM147彩色合成图像上，该构造在南半部将凌源-北票大断裂错开22Km，线性影像清晰，刀削般平直，两侧地形地貌及影纹图案差别明显。北部由于多被第四系所盖，线性影纹断续发育，两侧影像在色彩、地貌、水系等差别较大。	该构造在中部小房身-朱碌科-范杖子一带隐伏第四系之下，区内该构造全长55Km。
NNE2	哈大火烧-七官营子北北东向主干线性构造	该构造南起榆树沟一带，向北东经杜家营子、哈大火烧、兴隆沟、七官营子，最后经北部的前三家后延至区外	在En1（R）、TM2（G）及TM1、3、4、5波段PC3（B）合成图像上，该构造自始至终在区内线性条纹连续展布，中部一带为直线状水系。东西两侧影像特征差异明显，东侧主要呈粉红色、兰粉色，致密状影纹，树枝状水系发育，两侧主要呈粉兰色、桔红色，斑杂状影纹，发育平行状及“丰”字型水系。	该构造在中部由于燕山期岩浆岩侵入发育程度较差，南北两部分发育完好，区内全长约50Km。

综上所述，区内主要发育5组线性构造。东西向线性构造主要集中在

南北两个带上，在 TM 图像上多以短线型线性条纹显示，并多被其它方向构造所限制或截断，延伸性差。南北向线性构造整体上延伸性较东西向好，但分布零星，只有一条南北向主干线性构造发育较好。其它三组北东、北西及北北东构造在区内较发育，尤其北东及北西向分别有 4 条和 3 条贯穿全区的主干线性构造，并且它们的次级构造在区内也较发育。两条北北东向主干线性构造在 TM 图像上线性影纹清晰明了，在 1：20 万和 1：5 万重力和航磁异常图上也有明显显示，它们的次级构造在区内中亦发育较好。

综合分析及野外验证表明，区内经 TM 图像解译出的线性体，大都为断裂构造或构造变形带。区内解译出北东、北西、北北东及近南北向主干线性构造共 10 条，它们与本区南北两个东西向线性构造带共同构成了本区的基本构造格架。

区内各方向线性构造 或断裂构造的形成是与区域大地构造发展密切相关的。太古宙地层中的一些东西向线性构造 （带）在太古宙时期即已形成，并见后期相同方向构造叠加现象；北东向凌源-北票大断裂在太古宙末开始形成，并在中生代燕山期得到进一步继承和改造，尤其北西向构造更为明显；北北东向线性构造主体在燕山期开始形成，是区内形成最晚的一组构造。

三　韧性剪切带的发现及确定

在对本区 TM 基础图像及各种增强图像的地质构造解译中，在本区划分的南北两个东西向线性构造发育带的太古宙变质岩出露区，发现一些以近东西向短线型为主的线性构造密集发育带。这些地段在一些求反等处理的 TM 图像上，以一些微弯似蠕虫状的细密条纹带为特征，在经过边缘锐化及拉普拉斯变换空间滤波处理后的 TM 图像上，以东西向延伸具等值线条带状异常展布为特点。经野外调查验证发现，这些东西向线性影纹密集发育带或异常区主体为太古宙变质岩中的韧性变形发育带或韧性剪切带。其发育宽度不等，几百米至几公里，延伸较稳定，带内多见有同方向脆性断裂构造叠加现象，并在局部地段见被后期不同方向断裂构造改造强烈。组成韧性剪切带的岩石有糜棱岩化岩石，初糜棱岩、糜棱岩，局部地段还见有超糜棱岩及变余糜棱岩，其与围岩呈渐变过渡关系。在本区东北部的东岱王山及高杖子一带，分别发育有两条规模较小的近东西向韧性剪切带；

在区中部偏南的石门子沟-长臬金矿一带，发育有三条相距较近的东西向韧性剪切带，它们为本区太古宙古老变质岩系中的重要构造组成部分。

1、高家杖子、东岱王山韧性剪切带遥感及地质构造特征

在工作区北东部的高杖子及杨树沟以东一段，区内发育一条宽约 1、5Km 的东西向韧性剪切带（如图 3-3）。该带向东延至区外，西部被中生代花岗岩及北东向断裂所截。在 TM147

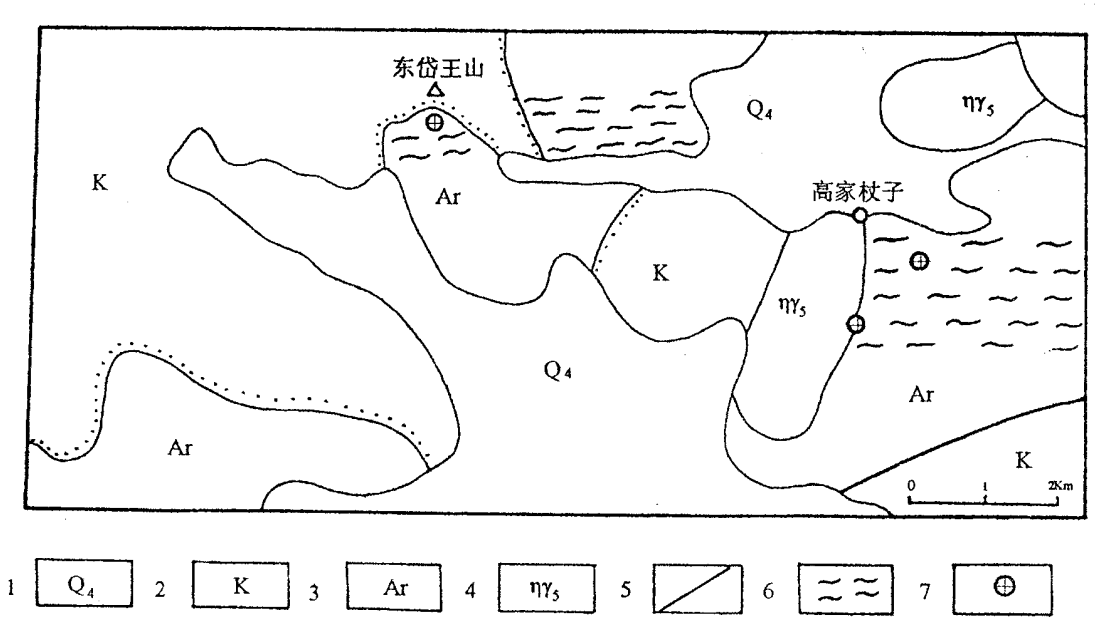


图 3-3　东岱王山-高杖子一带区域地质矿产略图

1.第四系　2.白垩系　3.太古宙　4.燕山期二长花岗岩　5.断裂构造　6.韧性剪切带　7.金矿点

彩色合成图像上，隐约见有东西向短线型线性影纹；在 TM1-7 波段的 PC2（红），TM1、3、4、5 波段的 PC3（绿）及 TM4/3（兰）的彩色合成图像上，该东西向短线型线性影纹密集带为一近东西向的糜棱岩及变余糜棱岩带，此带由南北两侧向中部逐渐由糜棱岩化岩石、初糜棱岩过渡到糜棱岩及变余糜棱岩。剪切面理产状由带边缘的北东向逐渐过渡到带内的北东东向及中部的近东西向。带内糜棱岩中，S—C 面理发育，可见串珠状、蠕虫状石英及扁豆状、眼球状长石等定向展布，其结晶尾或拖尾呈近东西向，中部 S 与 C 面理近于重合，石英重结晶及定向拉长现象普遍发育。在显微

镜下显示为拉长的单晶石英条带及一些多晶竹节状石英条带，是韧性变形的典型标志。糜棱岩中暗色矿物定向延伸明显，并在宏观及显微镜下皆可见到这些定向的暗色矿物形成一些小柔皱。在暗色矿物及长石等边部，多见发育动态重结晶现象，形成一些长石、绿泥石及绢云母等小晶粒或亚晶。由于这些小晶粒在生长过程中不断被压扁、拉长、故多呈不规则的长圆形。糜棱岩在显微镜下还见有石英波状消光、带状消光、核幔结构及石香肠等韧性变形的典型组构。该带的一些主要韧性变形组构如图 3-4（a-g）。

在工作区北部的东岱王山南侧的太古宙大营子组地层中，见一宽约 1 公里的韧性剪切带（如图 3-2）。西侧为早白垩世火山碎屑岩，东侧被第四系所覆盖。该带在 TM147 图像上，发育有较密集的北东东向不连续的短线型影纹；在 TM1-7 波段的 PC2（红）、TM1、3、4、5 波段的 PC3（绿）和 TM4/3（兰）的彩色合成图像上，呈一系列似虫状微弯的近东西及北东东向的短线型条纹。野外调查表明，该带岩石主要为糜棱岩、变余糜棱岩或构造片麻岩。岩石成份主要由长石、石英、角闪石及黑云母组成，中细粒变晶结构，斑杂构造。总体上矿物定向性明显，长轴呈北东东 75°~80°方向展布，可见眼球状长石等不对称构造斜切片麻理，长轴呈北东~北东东向延伸，结晶尾与片麻理平行，构成一个小的 S-C 组构。石英粒度不均，定向性明显，多处可见定向拉长特征，有的变为石香肠或竹节状，并在显微镜下可见到矿物颗粒的动态重结晶现象。该带的主要变形组构见图 3-4（h、i）。

2、石门子沟—长皋金矿一带韧性剪切带遥感及地质特征

在工作区南部石门子沟~长皋金矿一带的小塔子沟组地层中，在区内处理的 TM 图像上发育较多的东西向断续延伸的线性影纹。野外调查及镜下鉴定表明，在该区域发育一些近东西向韧性变形带，且多见有近东西韧性变形带上叠加了后期同方向的脆性断裂构造。根据对区内 TM 图像的解译分析，以及对野外验证及镜下鉴定结果等资料的综合研究，在该区域内划分出了三个东西向韧性剪切带。1.南部的王洛地~辘辘井；2.中部的碾子沟~上豆腐房；3.北部的石门子沟~深井东西向韧性剪切带（如图 3-5）。值得提出的是，晚期不同方向规模较大的断裂构造及岩浆侵入活动，对韧性剪切带起着一定的改造和破坏作用。

南部的王洛地~辘辘井东西向韧性剪切带，东起长皋金矿的辘辘井矿区，向西经小杖子、王洛地、东房身铜矿点后延至区外，区内全长约 28km，

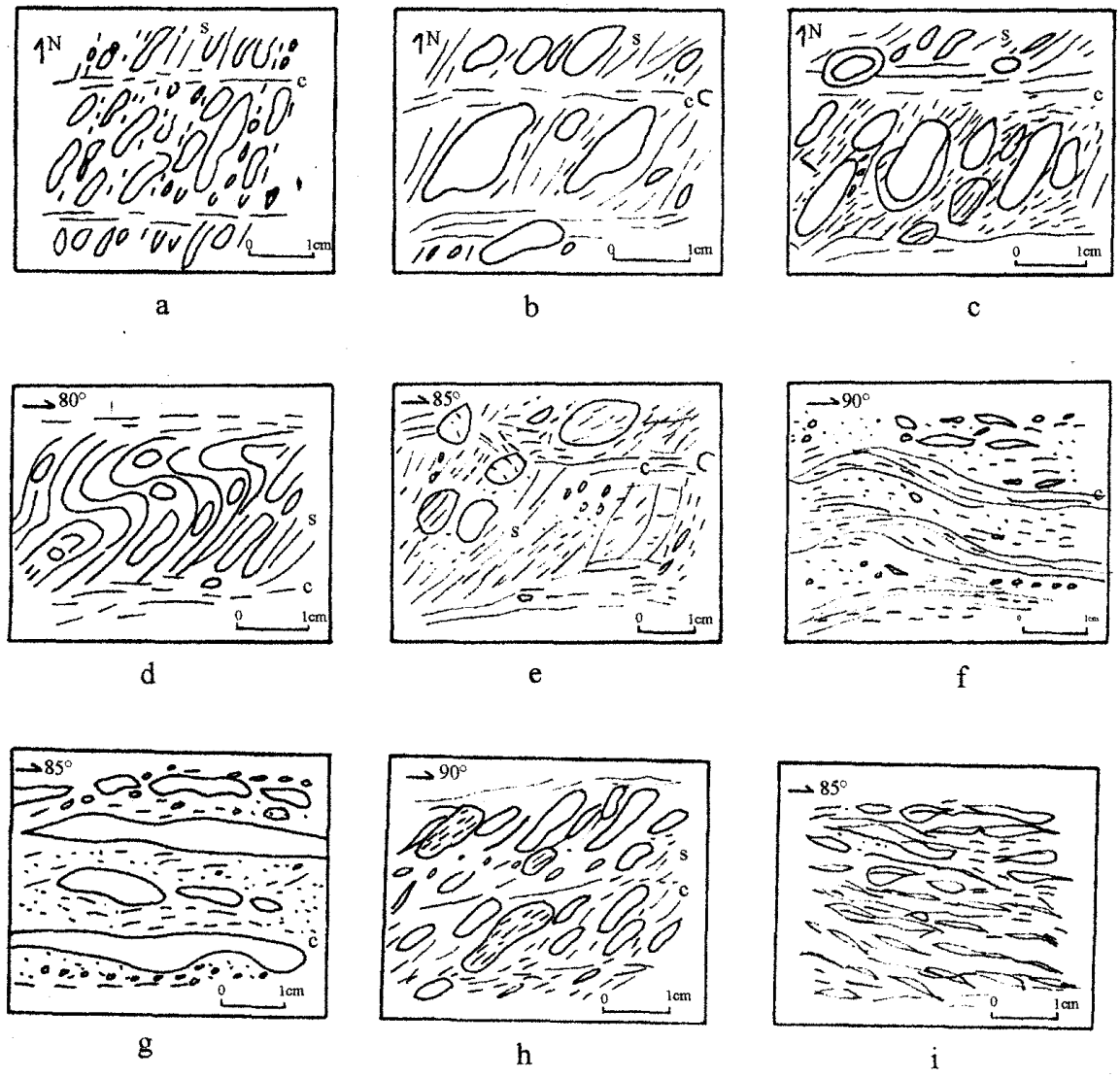


图 3-4 高杖子、东岔王山韧性剪切带野外及镜下素描

s-剪切面理 c-糜棱面理 a-g 及 h-i 分别为高杖子和东岔王山韧性剪切带中的变形构造

a.石英呈串珠状排列 b.长石呈透镜体及眼球状定向排列 c.呈定向展布的长石英、石英初始发生动态重结晶

d.韧性变形中形成的褶皱 e.长石、石英等发生动态重结晶形成亚晶、核幔构造等

f.暗色矿物组成 c 面理条带,发生微弯褶皱 g.动态重结晶后形成的石英条带

h.长石、黑云母矿物定向排列,有的云母形成“云母鱼” i.均质长英质定向拉长.s 与 c 面理近于一致

宽约 1.5km。在中三家~肖家营子子区的 TM1-7 波段的 PC4(R)、TM5/7(G)和 TM 1、3、4、5 的 PC1（B）彩色合成并求反的图像上，以及在王洛地~深井子区的 TM 1、3、4、5 的 PC1（R）、TM7(G)和 TM1-7 波段的 PC1（B）合成并求反的图像上，都较清晰地显示该带内一系列东西向微弯的短线型影纹发育特征。野外调查表明，在长皋金矿的辘辘井、豁鼻梁、云杖西、

吴家沟矿区等处，韧性变形构造十分发育，糜棱岩面理走向近东西，与区域背景场片麻理走向 NE55°~65°形成明显差异。显微镜下薄片鉴定表明，这些变形岩石明显发生糜棱岩化或形成糜棱岩。例如，在辘辘井村西及豁鼻梁等处所见的糜棱岩中，可见扁豆状、蠕虫状石英定向排列形成的 S-C 组构，石英定向生长形成的单晶或多晶石英条带，并见竹节状石英及石英定向延伸的细颈化现象，还可见一些较大的石英、长石、黑云母等矿物沿 S 面理定向展布，以及一些石英、长石、绢云母、绿泥石等微晶或亚晶的波状消光特征（如图 3-6A-C）。此外，在该带中西部的黑山头、王洛地等处的太古宙变质岩中，与之类似的韧性变形构造也十分发育。

中部的碾子沟—上豆腐房韧性剪切带，宽约 1Km，在 TM 图像上也

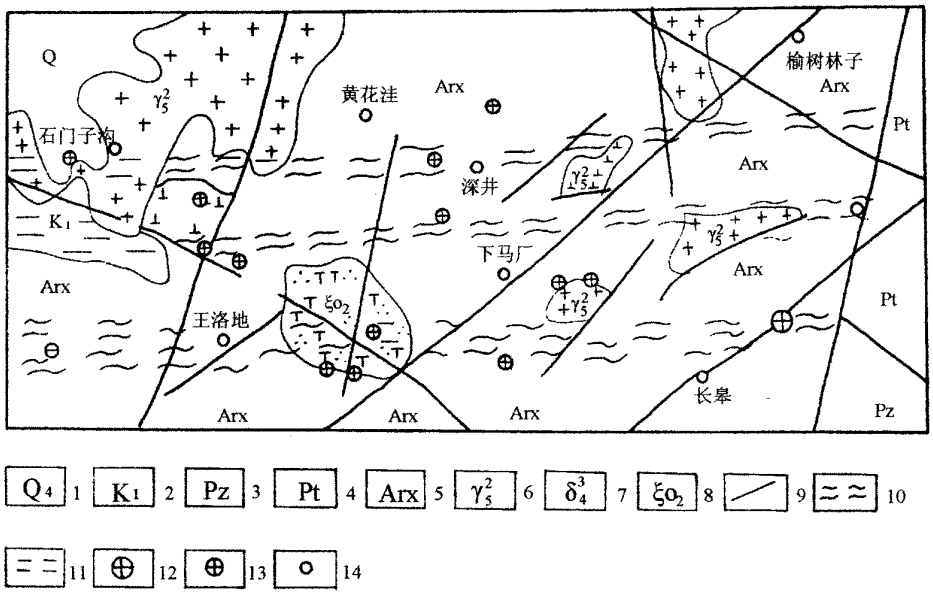


图 3-5 石门子沟-长皋一带区域地质矿产略图

1.第四系 2.早白垩世 3 古生界 4.元古界长城系 5.太古宙小塔子沟组 6.燕山期花岗岩 7.华力西期闪长岩 8.燕辽期石英闪长岩 9 断裂构造 10.韧性剪切带 11.韧脆性剪切带 12 中型金矿点 13 金矿点 14 铜矿点

有较清晰显示，为一系列东西向延伸微弯断续的线性影纹。野外调查证明，在该带上的上豆腐房、卧龙岗、碾子沟及新城地都发育有规模不等的东西向或北东东向韧性变形带或剪切带。在上豆腐房村东约 1Km 的羽裂沟内，太古代片麻岩发生强烈的糜棱岩化，形成典型的糜棱岩。岩石中碎斑发育，

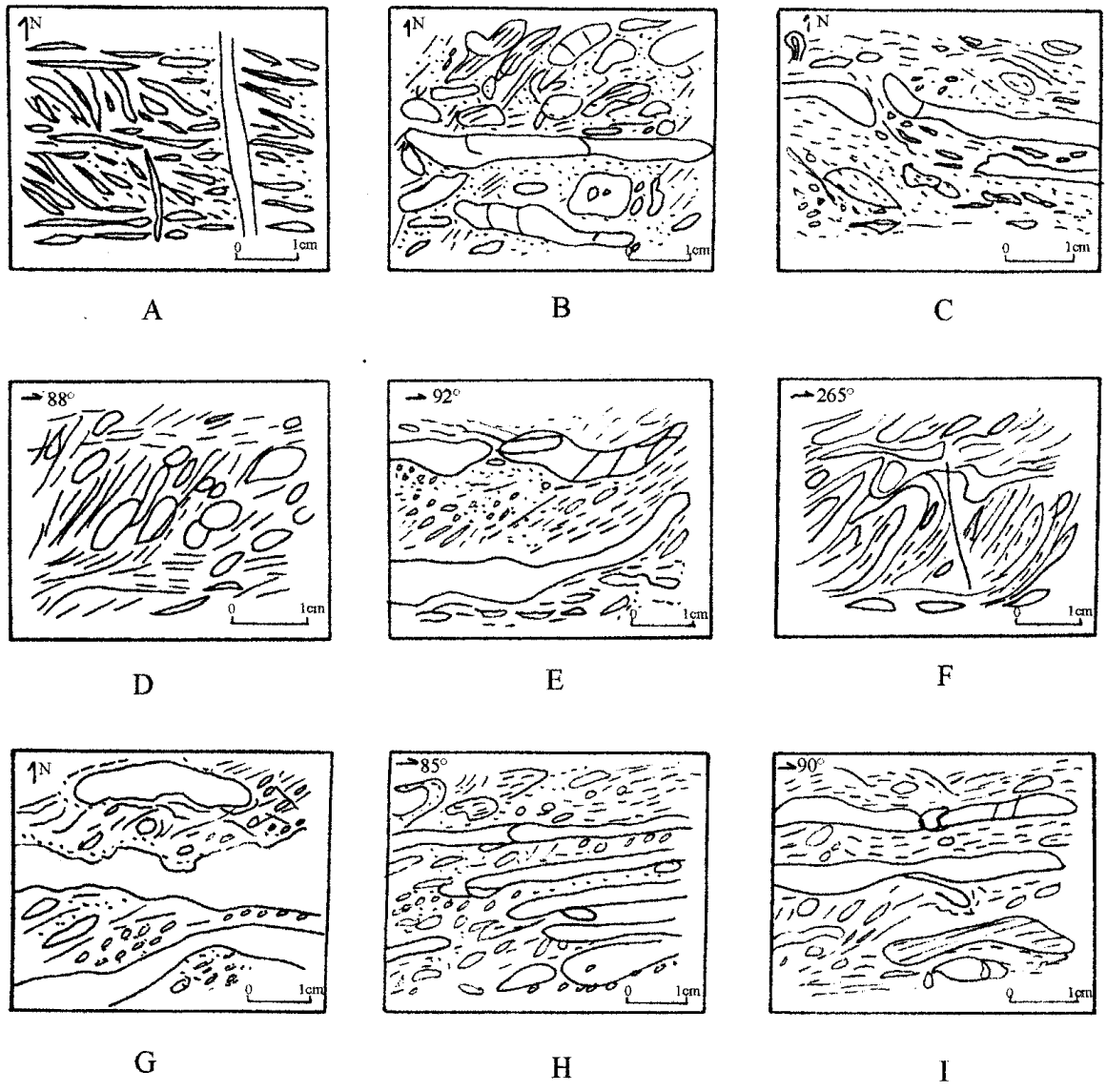


图 3-6. 石门子沟-长梟金矿三条韧性剪切带野外及镜下素描

A-C. 王洛地-辘辘井韧性剪切带长梟金矿区韧性变形构造

D-F. 碾子沟-上豆腐房韧性剪切带新城地、碾子沟、卧龙岗一带韧性剪切带变形构造

G-I. 石门子沟-深井韧性剪切带魏家沟金矿外围韧性剪切带变形构造

A. 均质岩石中石英压扁拉长,形成 s-c 组构,并见有后期石英脉侵入.

B. 石英沿 C 面理方向定向拉长,长石、黑云母等矿物发生动态重结晶,并主要沿 S 面理方向展布

C. 石英沿 C 面理展布,眼球状、扁豆状长石等沿 S 面理分布

D. 长石呈眼球状定向排列　E. 石英呈定向条带状,其它矿物细粒扁豆状,多见动态重结晶

F. 韧性变形中形成的成份层弯曲褶皱构造　G. 粗大石英定向排列,基质眼球状、扁豆状及动态重结晶现象

H. 石英带状展布　I. 石英竹节状、条带状、细颈化现象,并见"云母鱼"

扁豆状、眼球状长石定向明显，石英定向拉长现象普遍，S-C 面理发育，局部形成微晶片岩及片麻岩。由于后期构造改造强烈，C 面理产状变化较大，走向北东东及北西西向等不定。由于该区毗邻中三家大断裂，后期构造作用强烈。在新城地、碾子沟一带，发育有近东西向的破碎蚀变带，该带宽约数十米，两侧为近东西走向的糜棱岩带。主破碎带南倾，倾角 48°，高岭土、绢云母及绿泥石化强烈。糜棱岩带中，石英定向拉长明显，其它矿物大都呈鳞片状或隐晶质，偶见石英、长石及黑云母残斑。镜下见竹节状石英条带发育，并呈细颈化及弯曲状，局部还见有石英残斑边部亚颗粒及核幔构造。一些长石、绢云母等细鳞片状微晶，延伸方向与石英拉长方向近于一致，局产还见小柔皱等似流动构造。该带边部一带岩石中普遍见有一些扁豆状、眼球状长石，长轴呈北东东~北东向。此外，在卧龙岗花岗岩体围岩中，韧性变形构造十分发育，可见一些成分层发生柔皱等现象（如图 3-6 B-E）。

北部的石门子沟~深井东西向韧性剪切带，宽约 1.0 公里，在经过增强处理的 TM 合成图像上，亦表现为一些近东西向断续延伸的直线或微弯的线性影纹。野外验证表明，在带内魏家沟及石门子沟以南一带皆见有一走向北东东，宽约 800m 的糜棱岩带，经追究索延伸大于 1km，边部围岩小塔子沟组片麻岩，向带内逐渐变为糜棱岩化岩石及中部的糜棱岩。边部糜棱岩化岩石中眼球状碎斑及 S-C 组构发育。中部糜棱岩石英定向拉长特征明显，条纹条带构造发育，显微镜下可见单晶及竹节状石英条带，并见石英拉长的细颈化及石香肠构造。可见云母鱼及长石等矿物细粒化及动态重结晶现象，局部可见核幔构造及一些小柔皱等韧性变形组构。

综上所述，经卫片解译，野外实地验证和显微镜下鉴定，研究表明区内太古宙变质岩石中存在五条规模不等的韧性剪切带构造。这些韧性剪切带在太古代时期即已形成，是太古宙古陆壳的构造薄弱带。由于太古宙小塔子组地层是本区金的原始矿源层，因此，这些韧性剪切带构造对金的活化、迁移、富集乃至成矿起着十分重要作用。

四　环形构造影像特征

环形构造广义上指遥感影像上的圆形或近圆形影像（如环状山脊、水系、盆地、馒头山等）；地质构造形成的环状影像（如火山机构、岩浆活动

中心、岩体、穹窿及环状断裂等）；人类活动痕迹（如水利、军事工程等）。本文所研究的环形构造是指与地质构造有密切关系的环状影像，如岩体侵位、片麻岩穹窿、构造作用及火山作用等形成的环形构造。

本区环形构造的TM影像解译主要依靠色调、地形、水系和影纹标志。色调标志指环形构造色调呈现色环、色斑与背景色调有所差异；地形标志指环内地形地貌与环外差别明显；水系标志包括环内外分支水系类型的差异，环内的放射状水系及环形边部的弧形、环形水系特征等；影纹标志包括由色调、水系、冲沟、地貌等组成的综合影纹图案，如环状、树枝状影纹等。本区环形构造从产出形态上可划分为单环和复式环；从成因类型上可划分为出露岩体、隐伏岩体、火山口、片麻岩穹窿和环状裂隙形成的环形构造。区内共解译出规模不等的环形构造50余个（如图3-7），在影像特征上有圆形、近圆形及椭圆形，总体上规模较小，一般平均直径2-4Km，直径大于5Km的只有5个，最大直径为6.0Km。在TM影像上，复式环构造由两种类型构成，一种为大环内包含有一个或两个小环，即环套环型；另一种为大环周边部有一个或数个小环与相切或相交，亦见两个大环相互交切，即环环相切或相交型。

从区域分布上看，区内50余个环形构造的展布明显受各方向线性构造或断裂构造的控制。区域中南部石门子沟~肖家营子一带和区域北部的新城以东高家杖子一带为区内环形构造密集发育地段，其主体位于区内划分出的南北两条东西向线性构造带上；区内两条规模较大的北北东向断裂构造，对环形构造的产出也起着明显的控制作用。西部一系列环形构造成串展布在北北东向哈大火烧~七官营子断裂构造带上。东部中三家大断裂对其两侧的长臬及肖家营子一带的环形构造，及北部的东岱王山及高杖子一带的环形构造均起一定的控制作用；在长臬~肖家营子北东向断裂及张家营子~高杖子北西向断裂构造及附近地带，发育一系列规模不等的环形构造，反映出这些环形构造在成因机制上与断裂构造有密切关系。从总体特征看，区内环形构造主要发育在两条东西向线性构造带及其它方向主干线性构造或附近地带，尤其一些较大规模不同方向断裂构造的交汇部位或附近地段环形构造较发育。

从成因机制看，区内解译的环形构造主要与岩浆及构造活动有关。与岩浆作用成因有关的环形构造主要为不同时期岩浆岩侵入体、隐伏侵入体及中生代火山口。区内西部沿哈大火烧~七官营子北北东向断裂构造发育

有一系列的华力西及燕山期中酸性岩浆岩侵入体，构成一个北北东向构造岩浆活动带。在该带上展布一系列串珠状环形构造，环形体主要发育在侵入岩地段，有的小侵入体本身构成一个环形构造，可见这些环形构造的形成与岩浆侵入作用密切相关。在本区西南的王洛地一带，发育两个燕辽旋回的侵入岩体（如图 3-8），北部的三座庙岩体是一个复式岩体，分别由外侧的石英正长岩和内部的辉长苏长岩、辉长闪长岩组成，并在岩体的东部有燕山期花岗岩小岩株出露；南部的黄花山岩体，岩性主要为石英正长岩、石英二长岩。根据区内图像影像特征，在北部三座庙复式岩体内解译出三个复式环形构造，

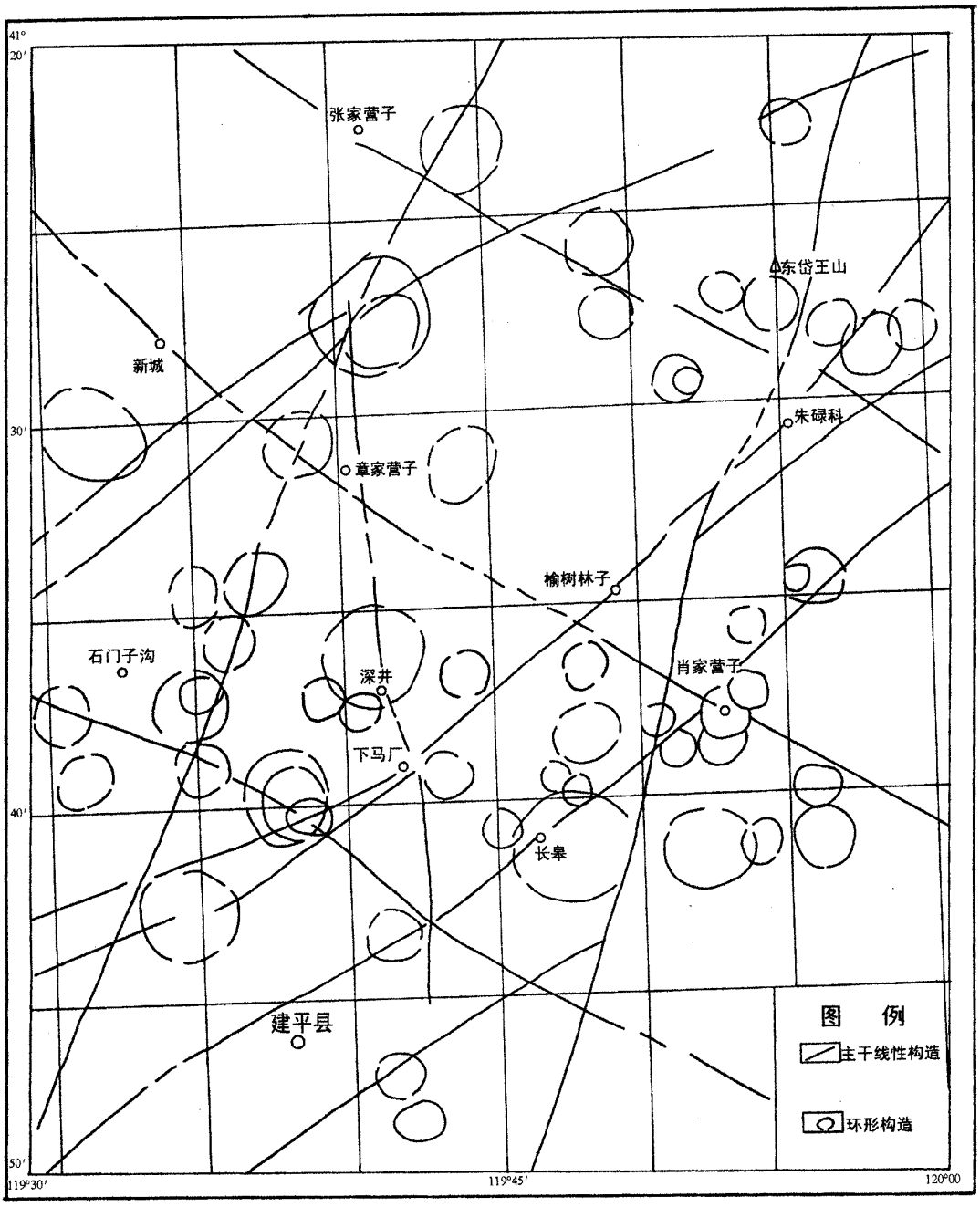


图 3-7 建平北部 TM 图像环形构造解译图

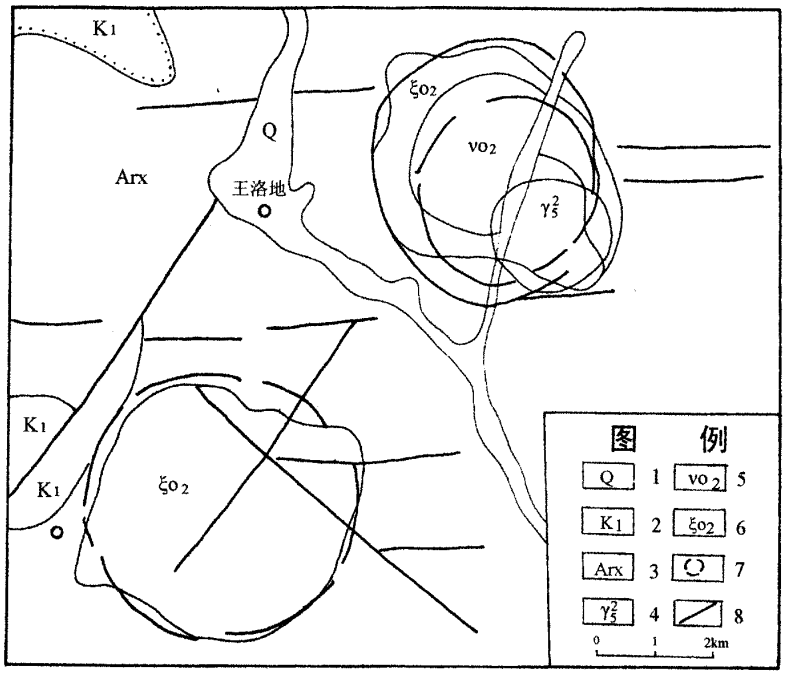


图 3-8 三座庙、黄花山岩体环形构造解译图

1.第四系 2.早白垩世 3.太古宙小塔子沟组 4.燕山期花岗岩 5.燕辽期辉长苏长岩

6.燕辽期石英正长岩 7.环形构造 8 线性构造

基本与岩体内的复合特点相吻合，南部解译出一个单环与黄花山岩体吻合程度更好，反映出这四个环形构造与岩浆侵入作用有密切成因联系。此外，区内的哈通沟岩体、杨树沟岩体、孙家窝铺岩体和肖家营子岩体等一些侵入体本身即组成一个环形构造。在图像上，这些环形构造影像清晰，环内外影像特征差别明显，是岩浆侵入作用在地表直接形成的岩体环。在长臬金矿区等处，在环形构造内部见有燕山期小岩株出露，且各种脉岩十分发育，显示环形构造之下存在隐伏岩体。这种环形构造成因与下部隐伏岩体的岩浆侵入作用有密切联系。在本区北部老虎洞及以南、章京营子以东一段，发育三个环形构造，在图像上环内呈斑杂状影纹图案，沿中心向四周发育放射状裂隙，野外验证为中生代早白垩世火山喷发机构。与构造作用有关的环形构造区内主要有两种类型，一种为太古界地层中的片麻穹窿构造，如区内中部的深井环形构造，即为太古界的一个古老片麻穹窿，该区地层产状与环形构造发生同步变化，显示“卵形构造”特点，另一种类型

为由环状裂隙或断裂形成的环形构造。由于长期多次构造影响，使区内一些不同方向裂隙或断裂相互继承和改造而最终形成这些由一系列弧形裂隙或断裂相互衔接而成的环形构造，当然，这类环形构造也可由于底辟作用等其它地质营力作用形成。

五　区域岩浆岩影像信息

前已述及，区内侵入岩较发育，多以规模较小的岩株形式产出。按其形成时代和构造关系可划分为燕辽期、华力西期和燕山期三个岩浆侵入旋回，不同期次的侵入岩岩性有所差异。区内喷出岩主要为早白垩世义县组中~酸性火山岩、火山碎屑岩等（如图 3-9）。

1、侵入岩影像

区内燕辽期侵入岩有发育在内蒙地轴区的三座庙岩体和黄花山岩体，燕辽台褶带的拦沟岩体。上述三个岩体，由于组成岩体成份的差异，在图像上影像特征也有所不同。

在主成份分析与比值组合处理的图像上，该三个岩体也有较好显示。例如，在 TM1（R）、TM2（G）和 TM1、3、4、5 波段的 PC3（B）合成图像上，的圆形的黄花山岩体主要呈粉红色色彩，与周边的浅粉、黄绿等色彩相区别，并在岩体中心向四周具放射状线性影纹；三座庙岩体在该图像上显得较复杂，石英正长岩主要呈粉红色，辉长苏长岩主要为粉（蓝）色东南角的燕山期花岗岩呈浅（蓝）黄色，与岩体周边太古宙片麻岩呈现的浅粉色相区别；拦沟岩体在 TM1、3、4、5 波段的 PC4（R）、TM5/7（G）和 TM1-7 波段 PC1（B）的彩色合成图像上，主要呈蓝粉色色彩，与周边上元界灰岩呈现的蓝绿色色彩相区别。

，区内华力西期侵入岩不发育，只在中部出露哈通沟、和尚地和孟湖台沟三个闪长岩小岩株及下窑沟二长花岗岩体，在区内北缘发育有烧锅地花岗岩侵入体。这些中、酸性侵入体受断裂控制，因而岩体产状极不规则。在 TM 图像上，这些侵入体影像特征也有差异（表 3-5）。

表 3-4　黄花山、三座庙、拦沟三个岩体影像特征简表

岩体名称	岩性	出露面积	TM 图像遥感影像特征	其它
黄花山岩体	石英正长岩 黑云正长岩 二长岩 石英二长岩	10.5 Km^2	岩体呈似圆状，周边具不清晰的弧线型影纹，量暗褐、兰灰色，发育树枝状水系，冲沟发育、地形切割深，岩体内发育北东向、北西向线性条纹，具斑状及条带状影纹图案。	岩体西侧边缘发育向西微凸的弧形水系。岩体南部发育近东西和近南北向构成的角状水系
三座庙岩体	石英正长岩 正长岩 辉石黑云正长岩 辉长苏长岩 辉石闪长岩	9.5 Km^2	岩体呈椭圆状，周边具隐约弧形影纹，正长岩类主要为暗褐、褐绿色，中部辉长岩及兰绿、淡褐色。边部地势高，中部低。岩体内发育北西向线性条纹，地形切割浅，树枝状水系不发育，局部见平行状及“丰”字型水系，呈斑块状影纹，东南部被燕山期花岗岩侵入，花岗岩呈桔红色、兰灰色/	岩体中西部有一近南北向水系穿过，西侧发育一北北东向分支水系。
拦沟岩体	辉绿岩	20.5 Km^2	岩体呈带状产出，南北两缘具不规则边界，主要呈兰灰、灰绿色，局部暗褐色，岩体内影像平滑，水系及线性影纹不发育，地形比两侧低，岩体膨胀现象明显，中部较宽，两边较窄。	在北西向分支水系经过岩体时，水系走向发生改变，局部还形成“角”状水系。

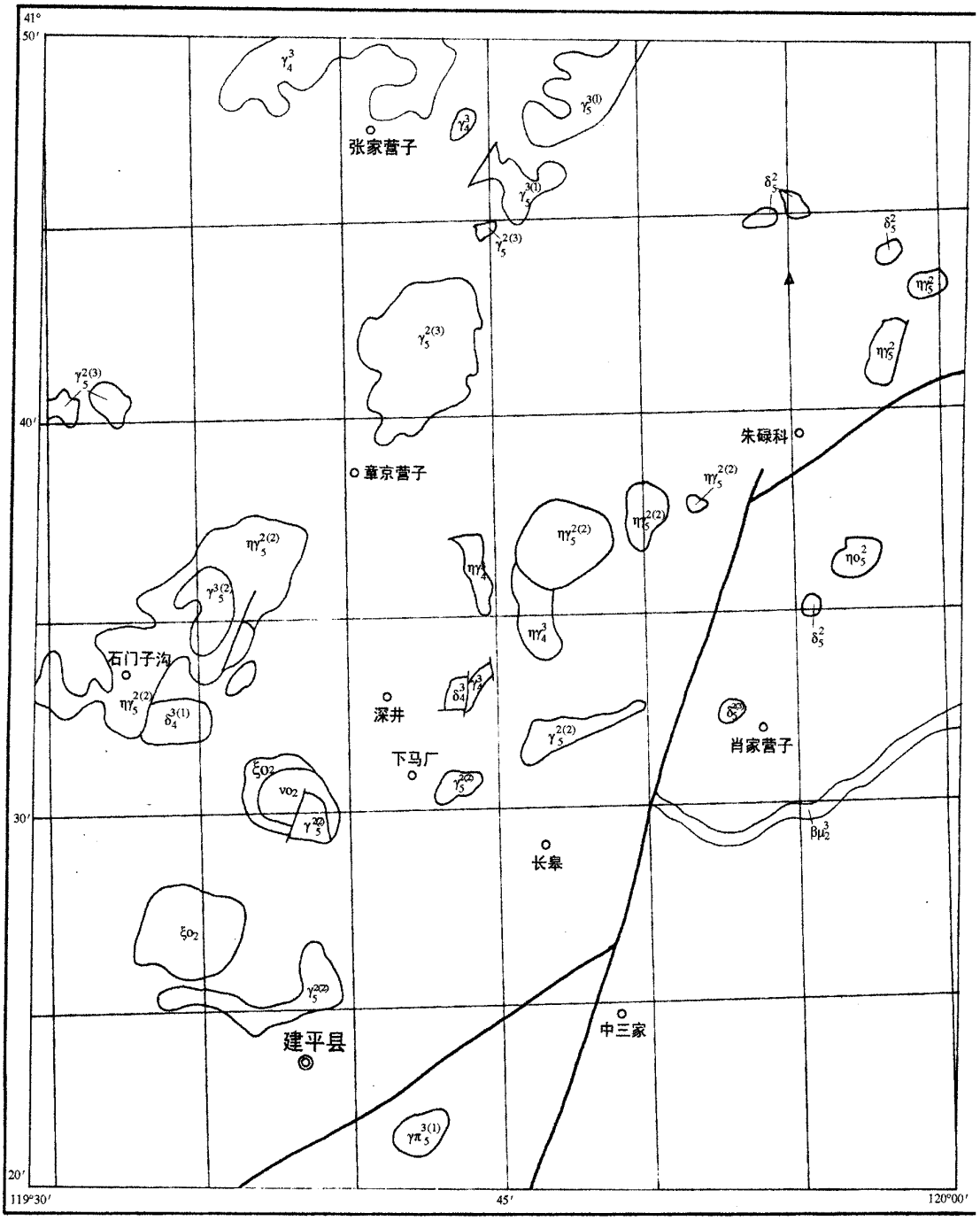


图 3-9 建平北部侵入岩 TM 图像解译图

$\gamma_5^{3(2)}$晚白垩世花岗岩　$\gamma_{\pi 5}^{3(1)}$晚白垩世花岗斑岩　$\gamma_5^{3(1)}$早白垩世花岗岩　$\gamma_5^{2(3)}$晚侏罗世花岗岩　$\delta_5^{2(3)}$晚侏罗世闪长岩

$\eta\gamma_5^{2(2)}$中侏罗世花岗岩　$\gamma_5^{2(2)}$中侏罗世花岗岩　$\eta\gamma_5^{2}$侏罗世纪花岗岩　δ_5^{2}侏罗纪闪长岩　ηo_5^{2}侏罗纪石英闪长岩

$\eta\gamma_4^{3}$ 华力西期二长花岗岩　γ_4^{3} 华力西期花岗岩　δ_4^{3} 华力西期闪长岩　$\beta\mu_2^{3}$ 燕辽期辉绿岩

vo_2 燕辽期辉长苏长岩　εo_2 燕辽期石英正长岩

表 3-5　哈通沟、和尚地、下窑沟和烧锅地岩体影像特征表

岩体名称	岩性	面积	TM147 图像上影像特征	其它
哈通沟岩体 $\delta_4^{3(1)}$	闪长岩	6km^2	呈东西延伸的长方形条块状，东西两侧为近南北向线性影纹，南北两缘为微弯状线性条纹，岩体淡粉色、粉绿色，地势较周边低，冲沟较发育，斑杂状影纹图案，岩体内发育有北东向、北西向及近东西向线性条纹。	岩体东缘为近南北向水系，岩体外侧主要为绿色及暗绿色的太古代片麻岩类
和尚地岩体 $\delta_{04}^{3(1)}$	石英闪长岩	4km^2	呈北北东延伸的长条状，西侧为北北东向断裂所切，东侧为北北东向水系及第四系覆盖，岩体呈淡粉红色，粉绿色，地势低平，冲沟不发育，发育平行状及“丰”字型水系，斑杂及条带状影纹图案，发育北西向线性影纹。	岩体东缘的北北东向水系在岩体南部转为近东西向，后又转为近南北向，构成一直角弯曲的角状水系。
下窑沟岩体 $\eta\gamma_4^3$	二长花岗岩	10km^2	北北西向延伸长条状，北侧被子东西向断裂所截，北西侧被燕山期花岗岩侵入。岩体呈兰绿色，中部被南北向第四系覆盖，地势低平，水系不发育，局部发育平行状及“丰”字型水系，图像整体平滑，局部斑杂状，岩体内发育北西及东西向线性条纹。	中部发育~南北向水系将岩体一分为二。
烧锅地岩体 γ_4^3	花岗岩	大于20km^2	周边被第四系覆盖，产形状不规则，岩体呈兰绿色、暗绿色，局部粉绿色，与周边紫色第四系差异明显，地势较周边略高，树枝状及钳状水系不发育、斑杂状影纹图案，岩体内发育北东、北西及东西向线性影纹。	岩体内局部发育南北向分支水系。

在主成份分析与波段比值组合处理的图像上，表内所列四个侵入体的影像特征也有清晰显示。例如，在TM1（R）、TM2（G）和TM1、3、4、5波段的PC3（B）彩色合成图像上，哈通沟、和尚地中性侵入体主要

表3-6　区内六个燕山期侵入体TM影像特征表

岩体名称	岩性	出露面积	TM147影像特征
肖家营子中基性岩体	石英闪长岩 正长闪长岩 辉石闪长岩 辉长辉绿岩	1.5Km^2	为一近圆形影像，岩体主要呈兰绿色，暗褐色，岩体内隐约见有北东向、北西向及近东西向线性影纹，斑杂状影纹图案。
青松岭中性侵入体	闪长岩	1.5Km^2	呈东西向延伸的不规则状,淡绿色,地势低平,水系不发育,岩体内隐约见小环形影像,发育北东向、近南北向线性条纹.
南山洼岩体	花岗岩	5.0Km^2	呈一东西向延伸的不规则三角形状,北缘呈近东西向展布,岩体呈兰绿、绿褐及暗褐色,发育树枝状水系,岩体内发育有北北东向、近东西向、北东向和北西向线性影纹.
杨树沟岩体	二长花岗岩	6.0Km^2	呈北北东向长条状展布,岩体呈粉绿、兰绿色，地势低平，树枝状水系不发育，斑杂状、条块状影纹，岩体内主要发育有北东、北西及北北东向线性条纹
孙家窝铺岩体	花岗斑岩	3.0Km^2	呈一近圆形环形构造，周边由一系列弧线型影纹构成，岩体呈褐绿色，发育树枝状水系，岩体内发育有北东向、近东西向影纹，斑杂状影纹图案。
喇嘛洞山岩体	花岗岩	5.0Km^2	岩体呈绿色及暗绿褐色，发育有树枝状水系，冲沟发育，影纹细密，岩体内发育有近东西向、北东向及北西向线性条纹，斑杂状影纹图案。

呈粉黄色、粉绿色，与周边粉蓝色的太古代地层相区别；在该图像上，下窑沟二长花岗岩为浅蓝色及蓝粉色，烧锅地岩体主要呈粉红色，岩体内外在色彩、影纹图案、水系类型及地形地貌方面都有较大差异。

区内燕山期侵入岩较发育，主要岩性为中基性、中性及酸性侵入体。中

基性~中性侵入体规模较小，区内共发现肖家营子岩体等 5 处，出露面积只有 1-1.5Km^2，主要岩石类型为辉长闪长岩、闪长岩及石英闪长岩；燕山期酸性侵入体在内蒙地轴区较广泛发育，产出规模不等，出露面积大于 15 Km^2 的有 3 处，最小的六家子花岗岩体只有 2Km^2、主要岩石类型为花岗岩、二长花岗岩和花岗斑岩。在 TM 遥感图像上，燕山期这些不同岩性侵入 体在影像特征上都有一定显示，本区几个代表性的燕山期侵入体的影像特征见表 3-6。

在其它增强处理的 TM 图像上，本区燕山期侵入岩都有一定的显示。例如，在 TM1（R）、TM2（G）及 TM1、3、4、5 波段 PC3（B）合成图像上，石门子沟二长花岗岩体呈兰粉色，花纹细密，发育树枝状水系，与外侧粉红色，发育平行状及“丰”字型水系的太古代地层相区别；南山洼花岗岩体在该图像上呈粉兰色，斑杂状影纹图案，与其外围粉红、浅粉明显不同；丛家窝铺闪长岩在该图像上呈黄绿色，周边发育一环形构造，与外侧第四系及太古界的兰绿、粉红色形成明显差异。

表 3-7　区内三处早白垩世义县组火山岩影像特征表

分布区域	分布面积	TM147 图像上影像特征	其它
新城以南一带早白垩世火山岩	30Km^2	呈不规则形状，部分被第四系覆盖，主要呈粉绿、暗绿及褐绿色，斑杂状影纹图案，地势低平，稀疏树枝状水系，冲沟不发育，发育北西向、北东向、北北东向及东西向线性影纹，与周边第四系及太古界影像特征差异明显。	有两条北西向和一条北东向分支水系从火山岩中穿过。
铁营子北东一带早白垩火山岩	20Km^2	形状不规则，北部延至区外，东南覆于太古代地层之上，中部为一环形构造火山口，周边具放射状影纹，火山口内被第四系覆盖，火山岩呈褐绿色、灰白色，具放射状、树枝状水系，冲沟发育，地势较高，主要发育有北东、北西及东西向线性条纹，斑杂状影纹图案。	火山岩东侧发育一向东凸的弧形水系
东岱王山-老虎洞一带早白垩世火山岩	>40Km^2	不规则形状，周边主要被第四系覆盖，南部等处覆于太古界地层之上，火山岩呈兰绿、浅绿及呈暗褐色，发育有树枝状、环状水系，冲沟发育，地势较高，发育有北东向，南北向及近东西向线性条纹，斑杂状影纹图案，局部见小的环形构造及放射状影纹。	火山岩内发育近南北向，北西向分支水系。

2 、火山岩 TM 影像

喷出岩在本区主要为中生界早白垩统义县组火山岩，主要岩性为安山岩、英安岩、流纹岩及火山角砾岩等，主要分布在区内北部的新城以南，铁营子东北及东岱王山老虎洞一带。在 TM 图像上，由于该期火山岩所处的区域构造位置不同，岩性不同及剥蚀程度等方面的差异，因而在地形地貌，影纹图案和色彩等方面也有所不同（表 3-7）。

在主成份分析与单波段组合的ＴＭ图像上三处火山岩也有较好的显示。例如在ＴＭ１（Ｒ）、ＴＭ２（Ｇ）与ＴＭ１、３、４、，５波段的ＰＣ３（Ｂ）合成图像上，新城以南的火山岩主要呈粉绿色，中间夹桔红色斑点；铁营子北东火山岩的火山口为桔红色近圆形图案，周边粉兰色，并具放射状线性影纹；东岱王山－老虎洞一带较大面积的火山岩呈桔红、粉兰等色彩，与周边第四系、太古界地层差别明显。

六　区域ＴＭ图像蚀变信息

在第二章已述及工作区内三个子区蚀变信息的提取方法，这些蚀变信息在ＴＭ遥感图像上以蚀变晕圈形式显示出来。野外验证表明，这些蚀变晕圈发育地带，主要为含水较多的粘土层和含铁较高的磁铁石英岩带。

1、蚀变晕在长皋金矿区及肖家营子矿区较大范围分布。且北部的蚀变晕为长皋金矿区金矿化最好地段；肖家营子钼矿区在其侵入岩体四周分布有四个蚀变晕异常，东部两个异常为矿区铜、钼矿化最好地段，西部的两个异常目前已发现较好的铜钼矿化线索。

2、在长皋金矿区北部的燕山期花岗岩侵入岩体周边部位，发育三处蚀变晕异常，经野外调查，在岩体北部东侧的蚀变晕内，岩石破碎蚀变强烈，局部地段见有黄铁矿化、黄铜矿化蚀变岩。

3、在肖家营子南的北北东向构造岩浆活动带上，零星分布着一些蚀变晕异常，这些异常主要为构造蚀变带引起，局部为含水较多的粘土层。

在王洛地-深井区，采用 TM1、TM2 和 TM1、3、4、5 主成份分析的 PC4 提取的蚀变信息（如图 3-11）。该子区内蚀变晕异常展布特征如下：

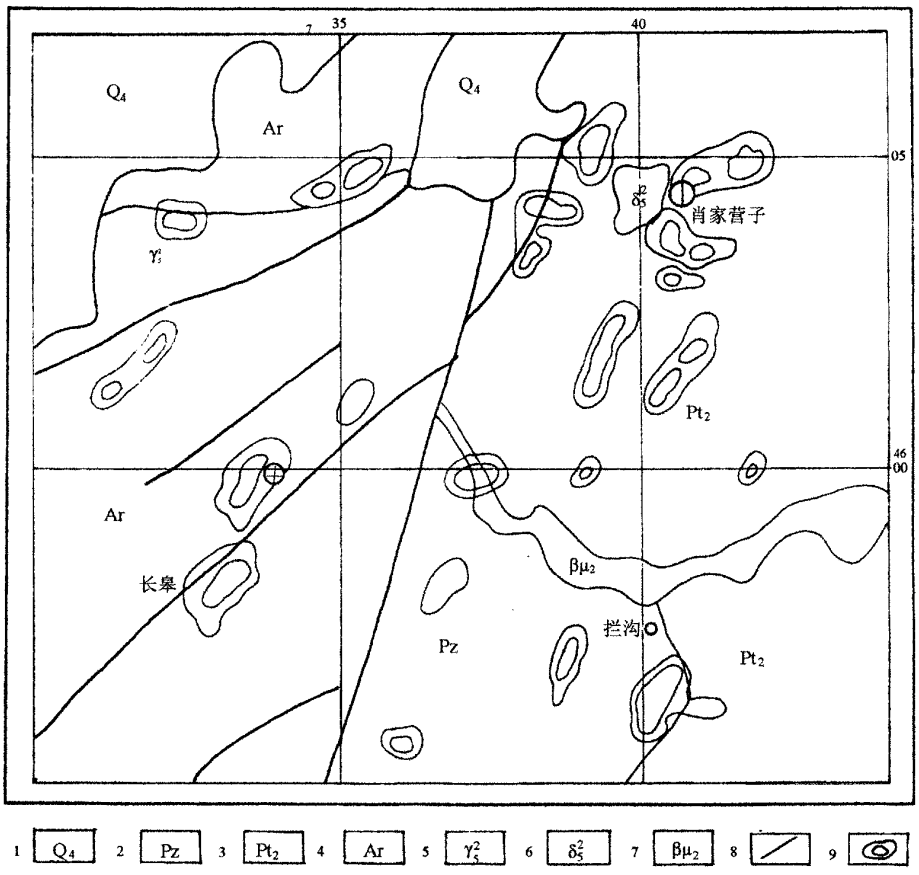


图 3-10 长皋-肖家营子区 TM 图像蚀变信息分布图

1. 第四系　2. 古生界　3. 中元古界　4. 太古界小塔子沟组　5. 燕山期花岗岩

6. 燕山期闪长岩　7. 燕辽期辉绿岩　8. 断裂构造　9. 蚀变晕异常

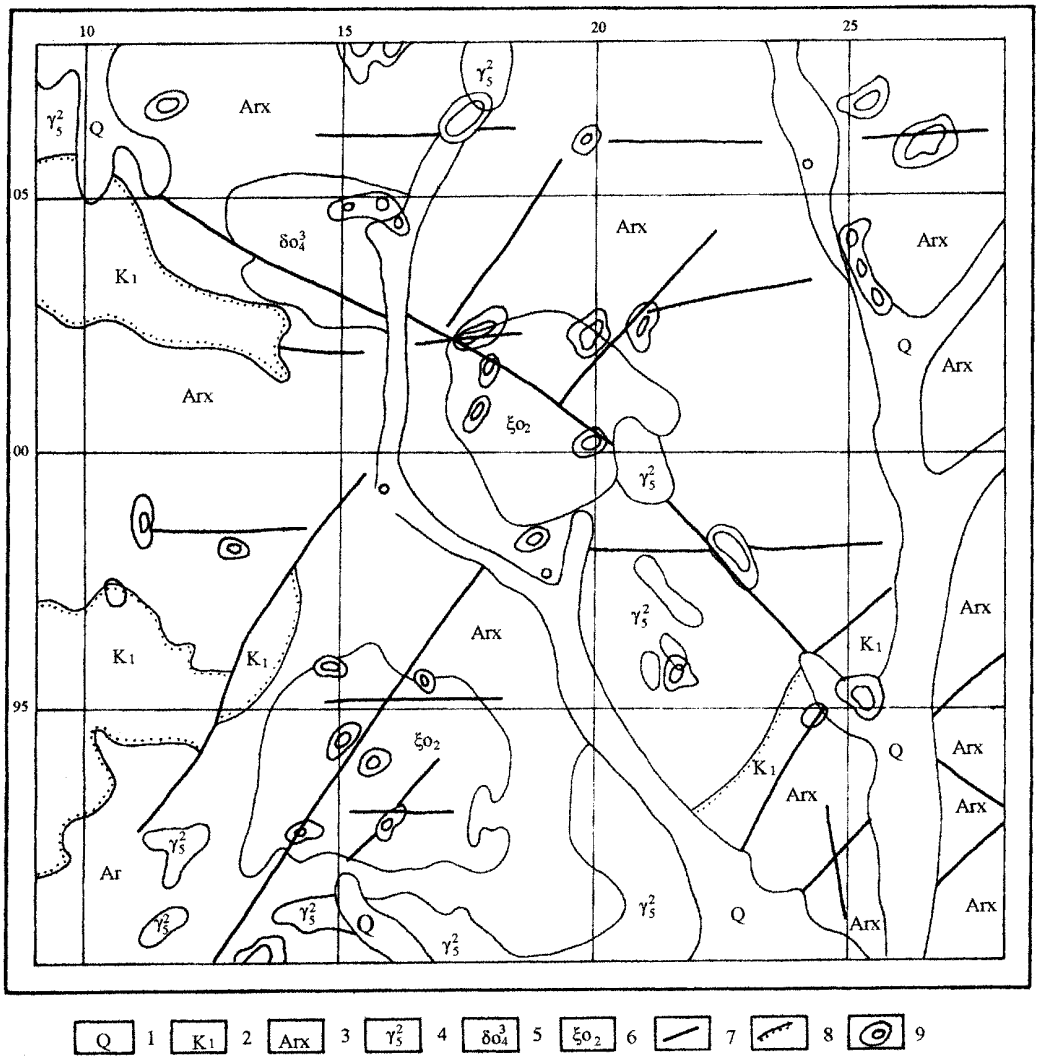


图 3-11 王洛地-深井子区 TM 图像蚀变信息分布图

1.第四系 2.早白垩世 3.太古界小塔子沟组 4.燕山期花岗岩 5.华力西期石英闪长岩
6.燕辽期石英正长岩 7.断裂构造 8.不整合界线 9.蚀变信息异常

1、区内三座庙、黄花山岩体内及边缘附近蚀变晕异常较发育。在三座庙岩体内有 3 处，边缘附近 4 处，共 7 处蚀变晕异常；南部黄花山岩体内有 4 处，边缘 2 处，共 6 处蚀变晕异常。野外调查表明，该二岩体及边部岩石破碎蚀变强烈。在二岩体内及周边附近地段已发现 5 处金矿点和 2 处金矿化点，其中 3 处金矿点与蚀变晕位置吻合，其它四处发育在蚀变晕的

附近地带。

2、一些蚀变晕有沿哈通沟~三座庙北西向断裂构造和黄花山三座庙北东向断裂构造带定向展布特征。

3、一些较分散的蚀变晕异常有沿深井至山嘴一带三条东西向断裂构造带或韧性剪切带定向分布特点，反映出一些构造活动带对蚀变晕的分布起着一定的控制作用。

在东岱王山-高家杖子区，采用 TM2、TM3 和 TM4/3、TM5/7 主成份分析的 PC2 提取的蚀变信息（如图 3-12），该子区蚀变晕异常分布特点为：

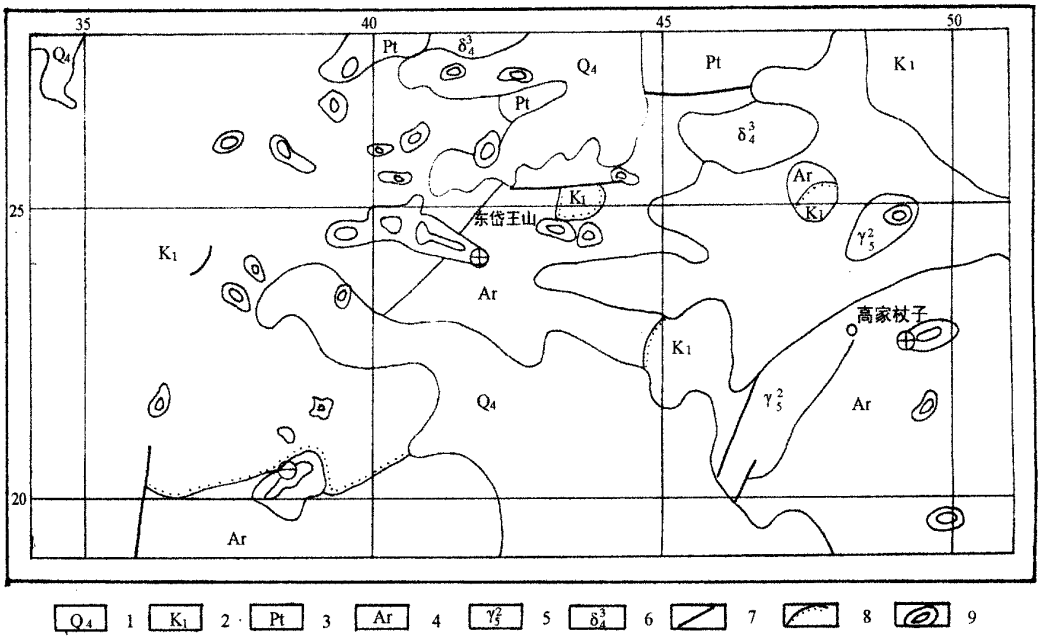


图 3-12 东岱王山-高家杖子子区 TM 图像蚀变信息分布图

1.第四系 2.早白垩世 3.元古界 4.太古界小塔子沟组 5.燕山期花岗岩 6.华力西期闪长岩
7.断裂构造 8.不整合界线 9.蚀变晕异常

1、在区内北部东岱王山一带的早白垩世火山岩及太古宙大营子组地层中，分布着较多的蚀变晕与区内 1：5 万分散流 Ag、Cu 异常分布十分吻合；东岱王山东南太古宙地层中，在蚀变晕异常边部发现一处金矿点。

2、在该区东部高家杖子以东一段的燕山期花岗岩及太古宙地层中，近南北向分布四处，蚀变晕异常，其中高家杖子正东的一处蚀变晕与高杖子金矿点吻合。野外验证表明，该段岩石蚀变强烈，岩性多为构造蚀变岩。

3、在该区东南部早白垩世火山岩与太古宙变质岩接触部位，有一处规模较大的蚀变晕异常，该异常与岱王山铜矿点相吻合。野外调查表明，该异常范围内，岩石发生强烈蚀变，蚀变类型主要为绿泥石化、绢云母化、高岭土化和孔雀石化。

第四章　区内主要 Au、Cu、Mo 矿遥感地质及成矿规律

目前，多门学科综合研究方法是地质找矿的主要方向。实践证明，遥感地质找矿方法是很有前景的，尤其随着近年来遥感技术的迅速发展，较高质量的遥感图像为地质解译及找矿研究提供了便利条件。根据遥感地质解译成果，综合地质、物化探等找矿信息，研究工作区的成矿条件及特点，总结成矿规律，提出找矿方向，是目前遥感地质找矿的主要途径。

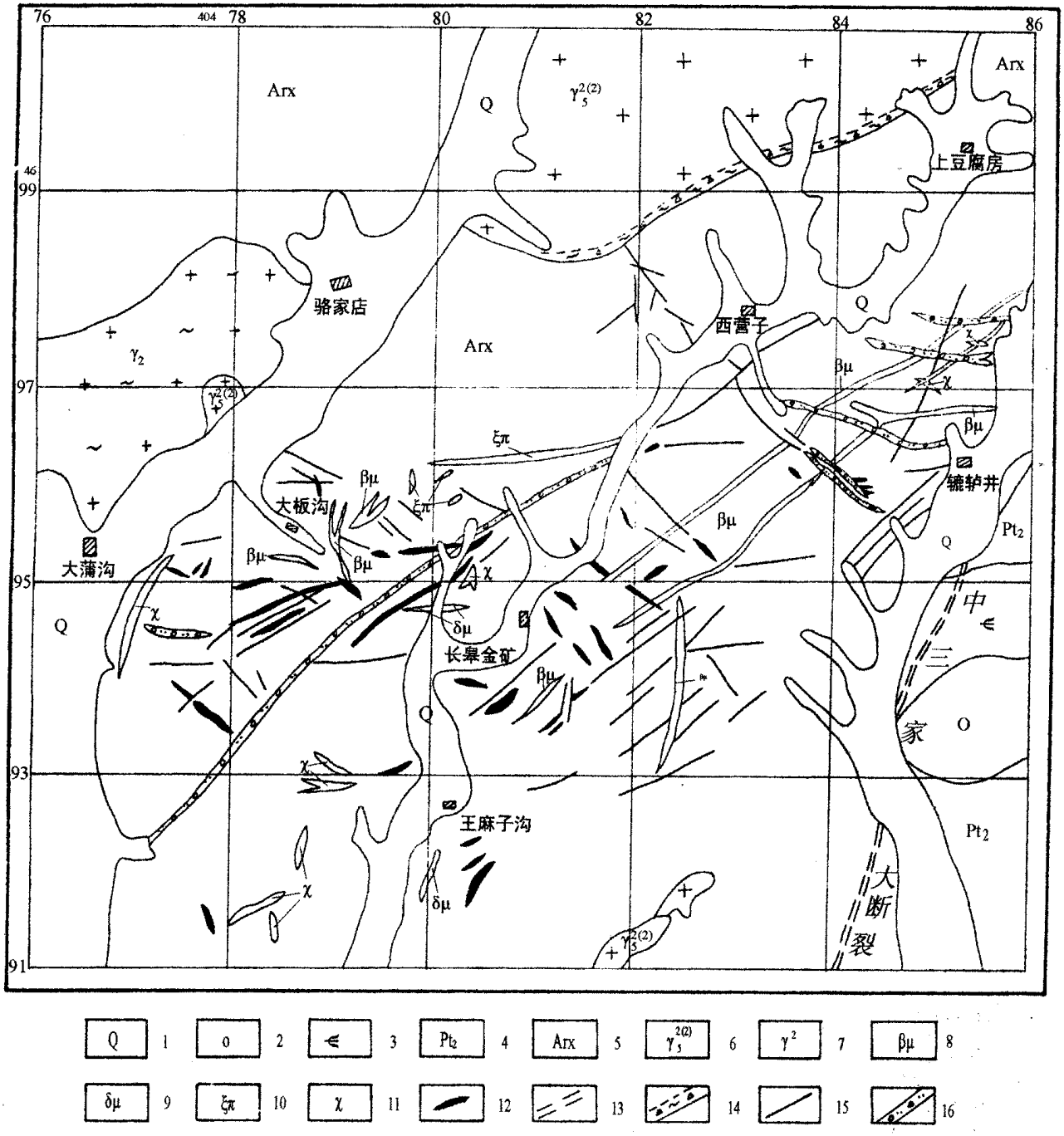
区内共发现 Au、Cu、Mo 矿床，矿（化）点 33 处，其中内蒙地轴区的长皋中型金矿床和燕辽台褶带的肖家营子大型铜钼矿床是本区两大构造单元不同类型矿床的典型代表，此外区内拦沟金矿点、岱王山金铜矿点等在成矿条件、控矿因素及影像特征方面都各具特点。研究这些已知矿床、矿点的成矿特点和影像特征，对总结成矿规律和指导找矿十分重要。

一　区内主要 Au、Cu、Mo 矿遥感地质

1、　长皋金矿床

长皋中型金矿床位于工作区南东部，处于内蒙地轴与燕辽台褶带相衔接边缘，中三家大断裂的西侧（图 4-1）。矿区围岩全部为小塔子沟片麻岩，主要岩石类型为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、含柘榴角闪黑云斜长片麻岩、磁铁石英岩及榴辉岩等。矿区断裂构造发育，主要有北东、北西和近东西向三组断裂构造发育，北西向有窑子沟区 4 条和吴家沟区 6 条断裂构造，均有含金石英脉冲填，属张~张扭性断裂；北东向断裂主要为压扭性构造，呈迭瓦状排列，断裂间距 5-30m，一般延长 100-300m，最大达千米以上，宽 0.2-1.5m，此组断裂在豁鼻梁、辘辘井等处均有出现；近东西向断裂在区内零星分布，以韧-脆型断裂为主，规模不等，局部被辉绿岩脉等脉岩冲填，在辘辘井以北一带见三条近东西向断裂构造，在其构造破碎带中均充填有含金石英脉。矿区北部有燕山期花岗岩体出露，矿区内主要发育各种基~酸性脉岩，脉岩类型主要为辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩、花岗细晶岩等，这些脉岩大部分为成矿前形成，仅见少量煌斑岩脉与含金石英脉密切共生。

在矿区北部出露长轴东西向的燕山期花岗岩体与北北东向三家大断裂之间，构成了一个扇形空间，整个矿床被控制在这样一个扇形构式的中间



Q 1　O 2　∈ 3　Pt_2 4　Arx 5　$\gamma_5^{2(2)}$ 6　γ^2 7　$\beta\mu$ 8

$\delta\mu$ 9　$\xi\pi$ 10　χ 11　12　13　14　15　16

图 4-1　长皋金矿区地质图

1. 第四系　2. 粤陶系　3. 寒武系　4. 中元古宙地层　5. 太古界小塔子沟组　6. 燕山期花岗岩
7. 吕梁期混合花岗岩　8. 辉绿岩脉　9. 闪长岩脉　10. 正长斑岩脉　11. 煌斑岩脉　12. 石英脉
13. 矿区一级断裂　14. 矿区二级断裂　15. 矿区三级断裂　16. 含矿破碎带

地带上。燕山期花岗岩南缘断裂、NNE向中三家大断裂及二者中间的北东向断裂，三者相交一处，其平面形态特征，恰似一“个”字型，在这一中间断裂中充填早期的辉绿岩脉，这一断裂规模较大，延长约6km，贯穿矿区南北，并被含矿断裂错断。矿区的主要赋矿断裂，即为垂直这一断裂的北西向含矿构造或沿其两侧平行产出的北东向含矿构造。区内矿脉形态复杂，变化多不稳定，从已工作的六十余条石英脉看，少数脉体较稳定，大部分呈透镜状或成马尾丝状等。在含金石英脉中可见的金属矿物有黑钨矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、自然铜、磁铁矿、赤铁矿；主要脉石矿物有石英、方解石、绢云母、绿泥石、长石、白云母、赤铁矿、含镁方解石、高岭石等。围岩蚀变主要类型为黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绢云母化、高岭土化和褐铁矿化。其中黄铁矿化和硅化与金矿化作用关系较密切，其它可作为寻找断裂的标志。

从TM遥感影像特征看，中三家大断裂两侧地层影像特征差异明显。在TM1、4、7分别赋红、绿、兰的合成图象上，断裂之西长臬金矿区小塔子沟组变质岩类呈现低山缓丘地貌，较开阔的V型沟谷，主脊发育，支脊不发育，坡脊较圆滑。由于黑云斜长片麻岩及角闪斜长片麻岩类在TM4波段（0.76-0.90um）处具较低的反射率(20%左右)，因此影像上呈现暗绿—黑绿色彩。断裂东部（中三家大断裂东侧）出露中元古界碳酸盐类，由于灰岩和白云岩在TM1波段(0.45-0.52um)反射率较低，在TM7波段(2.08—2.35)具有强吸收带，因此，影像上呈现青绿色色彩。地形上呈起伏明显的中低山貌，切割强烈的直线状沟谷，折线状主脊发育而支脊不发育，似羽状树枝状水系分布较均匀，碎斑状影纹结构太古界粗斑状影纹图案形成鲜明对比。在长臬金矿区内，地表可见一些规模不等石英脉体出露，由于石英岩类的光谱反射率在22%-42%左右，且在TM1、TM4、TM7三个波段几乎一致，因此地表石英脉1：5000TM147合成图上显示白色，形态呈断许短线状，延长多小于100米。其与太古宙变质岩类影像色彩反差较大，在图象上即可辨别。

根据TM147及增强图象的遥感解译，矿区内主要发育北东、北西及近东西向三组线性构造，其中长臬—肖家营子北东向主干线性构造从矿区中部通过。东西向线性构造表现为断续展布的线形条纹，多被其他两组构造所切割。野外调查表明，主要为太古宙地层中的韧性剪切带构造及后期叠加在同方向上的韧—脆性断裂构造，局部地段的韧—脆性叠加构造中见有

含金石英脉产出。北东、北西向次级构造发育，经实地调查表明，一些含金石英脉直接产生在北东、北西向的构造破碎带中。如东矿区黄家埔采区的 203 号脉，地表走向 NE50^0—60^0，沿同方向断裂构造产出，出露宽度 1—1.5m，含金品位高达数十克/吨。在矿区北部的西营子一带，NE50°—60°走向的线性构造密集排列，范围约 5km^2，该区为一局部构造应力集中区，在北矿区吴家沟坑口就分布有 1—10 号十条矿脉。此外，在大板沟、窑子沟等地段，见多条规模不等的含矿石英脉。在北西向构造破碎带中。由此反映出遥感解译的北东、北西及近东西向的一些次级线性构造主要为矿区的容矿构造。另一方面，在长臬金矿区及南侧发育一直径约 5km 的环形构造，环形构造北半部有三个直径约 1km 的小环与只相切，从矿区燕山期脉岩较广泛发育特点看，该大环代表深部存在一隐伏上拱岩体，成矿作用主要发生在环形构造的北半部及其外侧。此外，从 TM 数据提取的蚀变信息看，较好的蚀变异常分布在矿区中部，即环形构造的北半部及北东、北西和近东西向次级线形构造发育地带。

2、肖家营子铜钼矿床

肖家营子大型铜钼矿床位于工作区东部凌原一北票大断裂以南的燕辽台褶带内，西侧与中三家大断裂毗邻，处于凌原一北票大断裂与北北东向叨尔登—水塘沟隆起的复合部。矿区所见的地层主要为中元古宙蓟县系雾迷山组灰岩，岩石种类有燧石条带白云质灰岩、含泥质条带灰岩、白云质结晶灰岩等，靠近岩体边部还形成白云质大理岩接触圈及接触带附近的蛇纹石化白云质大理岩（图 4-2）。地层产状总体为一北西走向，向南西倾斜的单斜构造。区内断裂构造较发育，按其产状和性质大致可划分三组，主要一组为北东向扭性或压扭性断裂，

其次两组为近南北向压性或压扭性及北西向张性、张扭性断裂。区内岩浆岩主要为中基性岩类，其次为粗面斑岩及其它脉岩类。中基性岩呈岩株状小侵入体，南北长 1100 米、宽 720 米，分两期侵入，第一期为偏基性的辉长辉绿岩，第二期为似斑状细粒闪长岩（图 4-3）。中粗粒辉长辉绿岩主要分布在矿区的西半部，与围岩雾迷山组灰岩接触带内遭受不同程度的矽卡岩化，可见被似斑状细粒闪长岩侵入穿插，且在接触带部位遭受不同程度的钾化作用，有的甚至形成钾长岩。矿区东半部主要为细粒闪长岩，偶见捕虏了辉长辉绿岩，并被粗面斑岩脉切穿。在细粒闪长岩与围岩雾迷山组灰岩的接触部，形成矽卡带，亦遭受不同程度的钾化作用，普遍具浸

染状黄铁矿化，局部见铜钼矿化。粗面斑岩主要分布在东部，其次在西南产出，呈不规则岩脉状，延长远、延伸大，宽幅 1—10 米不等，普遍具黄铁矿化、钾化及铜钼矿化。区内其它脉岩可见闪长玢岩、辉绿玢岩、辉绿岩、闪斜煌斑岩及石英钾长石脉等。根据对区内中基性岩体及粗面斑岩脉

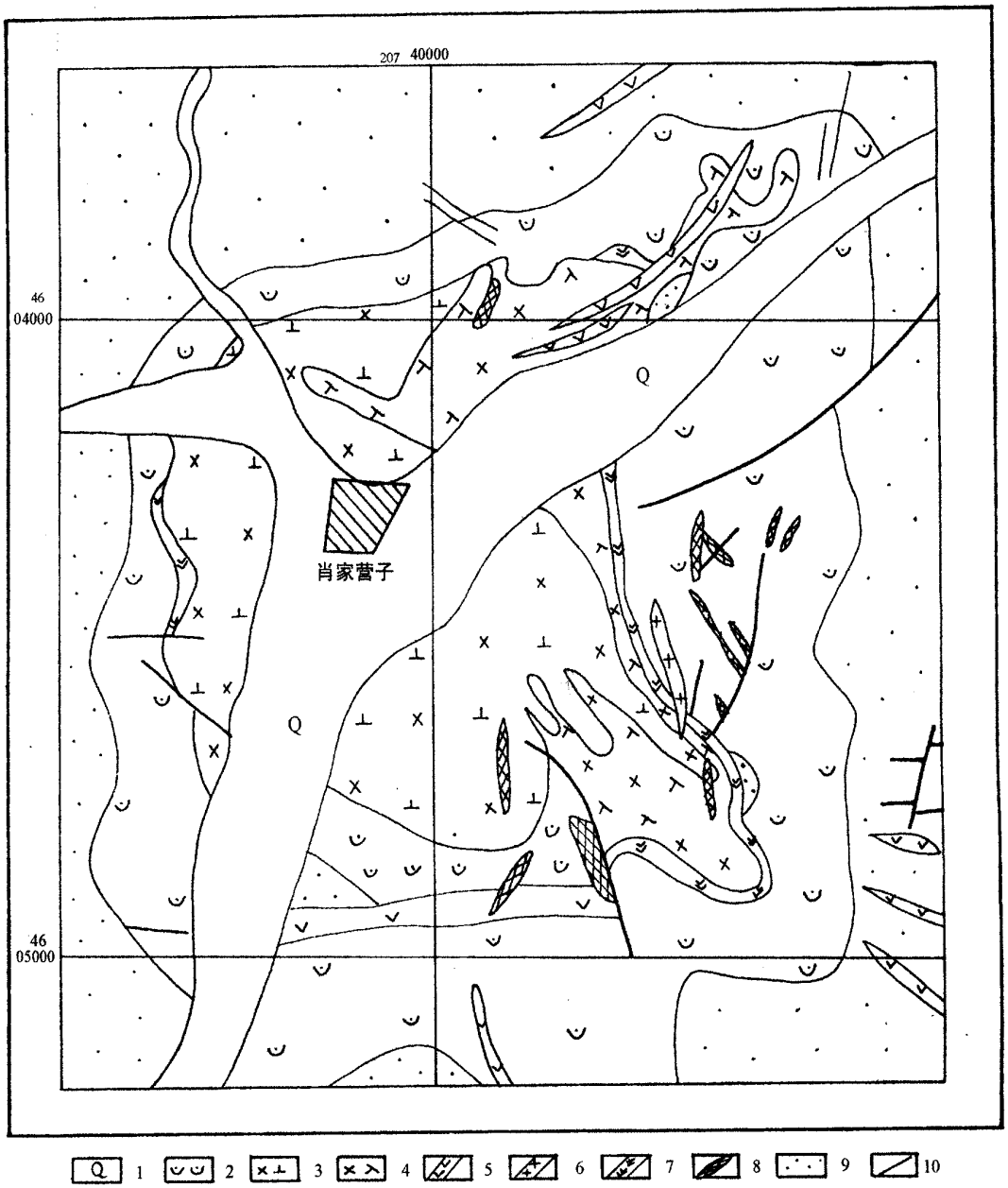


图 4-2　肖家营子矿区地质平面草图

1.第四系冲积层　2.大理岩化蛇纹石化灰岩　3.辉长辉绿岩　4.似斑状细粒闪长岩
5.粗面斑岩　6.霏细斑岩　7.矽卡岩　8.矿体　9.燧石条带灰岩　10.断裂构造

的岩石学、岩石化学、微量元素等主要特征研究，该岩体为富含 Mo、Sn 的偏碱性岩浆经不同程度同化混染形成。肖家营子铜钼矿体的产状，根据矿体空间赋存位置，可分为岩体中的矿体、接触带中的矿体，接触带及断裂联合构造中的矿体和较远离接触带的矿体。这些矿体由 20 多条主矿体和 70 多条次要矿体组成。主要矿体形成在接触带，岩舌凹陷带、岩舌—岩枝型凹陷带和岩枝型凹陷带。矿体中矿石矿物成份主要为硫化物，脉石矿物主要为矽卡岩矿物。本区围岩蚀变类型主要为矽卡岩化、钾化、黄铁矿化，其次为碳酸盐化、黑云母化，硅化、绿云母化及绿泥石化等。矽卡岩化可分两期，即中基性岩体侵入时形成的矽卡岩化及粗面斑岩脉侵入时形成的矽卡岩化。早期形成的矽卡岩矿物有镁橄榄石、透辉石、石榴石、方柱石、符山石、透闪阳起石、绿帘石、金云母、蛇纹石及磁铁矿等，晚期矽卡岩的矿物主要有透辉石、杨榴石、方柱石、透闪—阳起石、金云母、绿帘石等。钾化主要为分布在似斑状细粒闪长岩边部或其与辉长辉绿岩及粗面斑岩的接触部位。

肖家营子铜钼矿床的形成，与本区的岩浆特征，有利的围岩及地质构造条件密切相关。本区与成矿有关的岩浆岩主要为中基性岩体，尤其似斑状细粒闪长岩侵入体，其次为粗面斑岩脉。中基性岩体中 Mo、Cu、Zn、Pb 的含量均高于克拉克值几—几十倍。根据副矿物标型特征对比及磁铁矿中含基本一致的微量元素，推断粗面斑岩、似斑状细粒闪长岩及辉长辉绿岩三者为同一岩浆源产物。因此本区的成矿作用与中基性岩体（主要为细粒闪长岩）及粗面斑岩脉的侵入活动关系密切，它们均为成矿母岩。对矿床起主要控制作用的构造是岩体与围岩的接触带构造。此外，北西向断裂不仅控制了本区的岩体，而且为成矿作用的主要构造之一，控制着一部分矿体的形状、产状和空间位置。其次为北东向断裂构造，常在深部岩体复合部位形成囊状矿体。近南北向断裂构造只在局部形成多而小、品位低的矿体。本区雾迷山组灰岩与上述岩浆岩接触均可形成矽卡岩，是成矿的有利围岩。但从矿体产出部位及含矿品位变化看，含燧石泥质条带白云质灰岩与微层理白云质灰岩层最为有利，这可能由于层理发育易于侵入岩浆的同化、混染及成矿作用的进行。根据辽宁有色地勘局研究所对该矿的辉钼矿、黄铜矿、闪铁矿和方铅矿硫同位素测试结果，认为该矿床成矿物质来源于上地幔，并根据爆裂法包体测温（283^0C—501^0C），矿石成份、结构、构造及矿石矿物生成顺序等综合分析研究

表明，该矿床成因类型应属矽卡岩—高中温热液接触交代型矿床。

从 TM 遥感影像特征看，蓟县系雾迷山组白云质灰岩是该矿床的控矿地层，在 1：5000TM147 合成图像上，矿区一带雾迷山组碳酸盐岩呈山体陡立，起伏明显、沟谷发育的中山地形地貌，脊线清晰、坡陡沟深，切割多在 50—1000 米，似平行树枝状水系，碎斑状影纹结构及浅粉、青绿色彩。在 TM1（R）、TM2（G）及 TM1、3、4、5 波段 PC3（B）的彩色合成图上，矿区灰岩主要呈粉红—桔红色彩，与其它岩性地层差别明显。

控制该矿床的北北东向中三家大断裂及北东向凌原一北票大断裂构造的 TM 遥感影像特前已述及，这两条规模较大的断裂构造为区域控矿构造。从肖家营子铜钼矿床产出位置看，其刚好位于肖家营子—新城北西主干线性构造及长皋—肖家营子北东向主干线性构造的交汇部位，这两条具一定规模的北西、北东向断裂构造是肖家营子铜钼矿床的直接控矿构造。在 TM147 遥感图像上，这两条断裂表现为线性直沟，山鞍和山脊互切的综合影像特征。矿区内主要发育有北西向、北东向及近南北向三组次级线性构造，这些规模较小的断裂构造往往形成容矿构造。尤其北西向构造呈张性特点，含矿性较好；北东向构造扭性特征明显，一般在地表以下较深部位及与其它构造的复合部位含矿性较好；近南北向构造呈压扭性，含矿性较差。

肖家营子中-基性侵入体直接控制了该矿床产出，该岩体在 1：5 千 TM147 合成图像上有一定显示，总体呈元宝形，地形上处于穹状山凹部位，边界呈不规则曲线状。与雾迷山组灰岩比，细粒闪长岩色彩略浅，呈浅绿色，而在钼矿采区，呈浅黄略带砖红色彩，并且钼矿采区多沿岩体边界分布。该岩体在 TM147 及其它增强处理的图像上，呈一近圆形环形构造，该环形构造的直径约 1km，其南侧及北东侧分别有两个比之稍小的环形构造与其相交，在环环相交部位及与不同方向断裂构造复合部位，是该区铜钼矿体主要发育地带。从对长皋—肖家营子子区提取的蚀变信息看，肖家营子岩体接触带外侧南东、北东段有两处较好的蚀变异常信息，该两处异常与肖家营子铜钼矿床主要矿体产出部位相吻合。此外，在肖家营子岩体北西及南西接触带及外侧，仍发育两处较好的蚀变异常，据说目前已在岩体北西接触带外侧发现较好的矿化线索。因此，这两处蚀变信息异常发育地段值得进一步找矿的注意。

3、拦沟金矿点

喀佐县拦沟金矿点系辽宁有色地质勘查局朝阳地勘院近年来发现的，与燕辽晚期辉绿岩有关的蚀变破碎带型金矿。1997 年该院进行了 1：10000 地质填图，1998 年又开展了 1：2000 地质简测。实地调查，矿体围岩主要为燕辽晚期辉绿岩岩脉。辉绿岩中心相呈粗粒斑状结构，褐铁矿化和锰矿化较强，边缘相为细粒结构，蚀变不明显。在岩脉北侧边部与雾迷山组灰岩接触部位，具高岭土化、褐铁矿化、黄铁矿化和碳酸盐化多种蚀变。对蚀变的泥灰岩和白公质灰岩取样分析，含金为 $0.38x10^{-6}$。岩脉南侧外部接触带，铁岭组和洪水庄组泥质灰岩和薄
层状灰岩，亦具褐铁矿化及高岭土化等蚀变，对蚀变的泥岩取样分析，金品位 $0.2x10^{-6}$。据辽宁有色地勘院朝阳分院资料，已控制金矿体 6 条，金矿（化）脉 9 条。6 条金矿体中 4 条走向北东，2 条走向北西。最长一条 20 米，北东走向。9 条矿（化）脉有 6 条走向北西，3 条走向北东，最长一条长 320 米，走向北西。从矿体和矿脉的走向分布情况看，与辉绿岩脉总体走向由北西转为北东近于一致。

在 1：5 千的 TM147 经直方图均衡化增强的合成图像上，由于辉绿岩在岩脉 TM1 波段（0.45—0.52um）和 TM4 波段（0.76—0.96um）具有强吸收谷，呈低反射率(25%--30%)，因此矿区内辉绿岩脉在影像上呈现边界线不规则的窄带状褐红色斑点的青绿色色彩，突起的正地形地貌。该辉绿岩脉走向由北西的窄带状延伸形状清晰，与两侧雾迷山组灰岩差别明显。该岩脉在区内东起马家杖子，向南西延伸至拦沟村转向北西，延至辘辘井村，被北北东向中三家大断裂所截。在切截处，表现为岩脉形成的山脊被切断的影像特征。实地调查，该岩脉地表出露宽度为 100—600 米不等，以岩床产出，在 No3 观测点产状为 215^0〈25^0，与铁岭组和洪水庄组灰岩产状近于一致。风化后呈浅黄色及草绿色，特征清晰。

经过 TM 合成图像的构造解译，控制拦沟金矿点产出的北东向和北西向两组主要断裂构造，均取得较好效果。其中最大的一条控制了 3 条金矿体和 3 条金矿化体产出的北东向西风岭—拦沟断裂，在影像上呈现出清晰的线性条纹并见山鞍部及山脊被切断的地貌影像，延长约 3Km。拦沟金矿点 3 条金矿体及 3 条金矿化脉出露在该断裂北东段，断续出露，长度在 160—240 米左右。在矿体及矿化脉出露地段及其附近围岩影像可见到断续的细条状青绿色并带棕褐色斑点色彩的影像特征。此外，该 区内发育两个大小相交的环形构造，大者呈东西向扁圆形，长轴约 4Km，分布在东侧；

小者呈近圆形，直径约 2Km，分布在西侧。拦沟金矿点位于大环北缘内侧，反映出环形构造对拦沟金矿起着一定的控制作用。

4、岱王山金铜矿点

岱王山金铜矿点位于建平县朱碌科乡以西 6 公里处，矿体围岩为小塔子沟组黑云斜长片麻岩及义县组火山角砾岩，并有长英质伟晶岩及花岗质脉岩侵入。主要矿化地段有两处，一处为东部含铜石英脉，沿南北向破碎带产出，破碎带宽 4m 左右，向东倾，倾角 50°。其中两条石英脉，宽 0.15~0.6m，间距 0.2m，可见孔雀石化及褐铁矿化，并见有黄铜矿、闪锌矿及方铅矿等矿石矿物。拣块分析，$Cu>1000\times10^{-6}$，$Au<0.1\times10^{-6}$，Ag 为 45×10^{-6}；西部金矿化破碎蚀变带，主要为各种蚀变的角砾岩，产状 230°<85°，北部宽 0.7m，向南为 1-2m，至竖井膨大处为 3-4m，具硅化、褐铁矿化蚀变及孔雀石等次生矿物，再向南转为两条硅化带，宽度仅为 0.1m，延长约 150m。

在 TM147 合成并经直方图均衡化增强处理的图像上，岱王山铜矿点围岩义县组火山角砾岩，总体呈较均一的暗绿色夹杂不规则斑块状白色色彩，粗斑及碎斑状混杂的影纹结构，稀疏的树枝状及不规则状水系，突起的中低山地貌，以及沟谷发育、切割明显等影像特征。

利用 TM147 合成图像进行初步解译，该矿点发育在北北东向、北西向、北东向及近东西向四组次线性构造的复合部位。由于成矿期伴有酸性岩浆活动，因此矿区近矿围岩及其矿石的同化混染现象普遍发育。在 1：50000 的合成图像上，这种同化混染岩与义县组流纹岩、角砾熔岩等差别不明显，经过 TM1（R）、TM1-7 波段的 PC3（G）与 TM4/3（B）合成图像上，该矿点显示出一青兰色色彩的影像信息，与围岩显示的红褐色夹浅蓝紫色杂色色彩差别明显。初步认为，这种青蓝色色彩信息是铜矿化多种蚀变的综合反映，可以作为义县组火山岩分区内，指示铜矿化信息的影像标志。在该区内发育两个环形构造，小环内切于大环之中，切点位于大环东侧。大环直径约为 2.0km，小环约 1.0km，环形构造的形成与火山作用及晚期岩浆侵入活动有关，环形构造对区内矿体的展布起着一定的控制作用。此处，在东岱王山~高家杖子子区提取的蚀变信息图像上，东岱王山铜矿点刚好位于一个面积约 $4km^2$，长轴北东向近椭圆形的蚀变信息异常区内，该异常较好地揭示了区内的矿化蚀变特征。

二　区域成矿规律探讨

根据遥感解译成果，研究区内线性构造、韧性剪切带构造、环形构造及蚀变异常信息与成矿作用的关系，并结合区成矿地质条件，探讨工作区内不同大地构造单元的成矿特征，是对本区进行成矿预测的重要依据，亦为本次研究的中心内容。

1、线性构造与成矿作用

前已述及，本区主要发育近东西向、北东向、北西向、北北东向及近南北向五组线性构造，这些线性构造的发育程度及形成先后有所不同。近东西线性构造在区内主要集中在南北两个带上，主要由一些近东西向的脆性断裂和韧性剪切带构造组成。韧性构造形成时代较早，太古代时期即已形成。北东向线性构造在区内有四组贯穿全区的主干构造，其中凌原~北票大断裂构造是区内内蒙地轴和燕山台褶带的分界线，在中部又被晚期的北北东向中三家大断裂截为南北两段。另外三条北东向主干线性构造在章京营子~深井南北向主干线性构造之西发生分叉，转为两组或多组线性构造。北东向次级线性构造也发育，主要发育在工作区南半部。该组构造形成时代主要在太古代晚期及华力西晚期。北西向主干线性构造有三条，它们近等间距分布，间距约 14km。北西向次级构造在全区皆较发育，该组构造形成时代主体在华力西期和燕山期。区内北北东向主干线性构造只有两条，即东部的中三家大断裂和西部的哈大火烧~七官营子断裂构造，它们在 1：20 万重磁磁异常图上都有清晰显示，该方向次级线性构造主要集中在工作区中南部，整体延伸性较好，局部具等间距分布特点，该组构造形成时代主体为燕山晚期。近南北向构造在区内不甚发育，主要有中西部的章京营子~深井一条主干线性构造，此外还在中三家镇等处见有为数不多的次级南北向线性构造发育，该组构造形成时期亦为燕山晚期。

从各组线性构造发育特征与区内已知矿产及化探异常的分布特点看（如图 4-3），区内一些主要矿床、矿点主要发育在一些主干线性构造上或附近地段，尤其各组主干线性构造之间或主干与次级线性构造的交汇部位及附近地带。例如肖家营子铜钼矿床位于中三家大断裂东侧，且位于北东、北西两条主干线性构造的交叉部位附近；长臬金矿床位于中三家大断裂西侧，处于一条北东向主干线性构造与北东、北西向等多条次级线性构造的交汇部位；扎寨营子金矿位于北东向、北西向及南北向三条主干线性构造

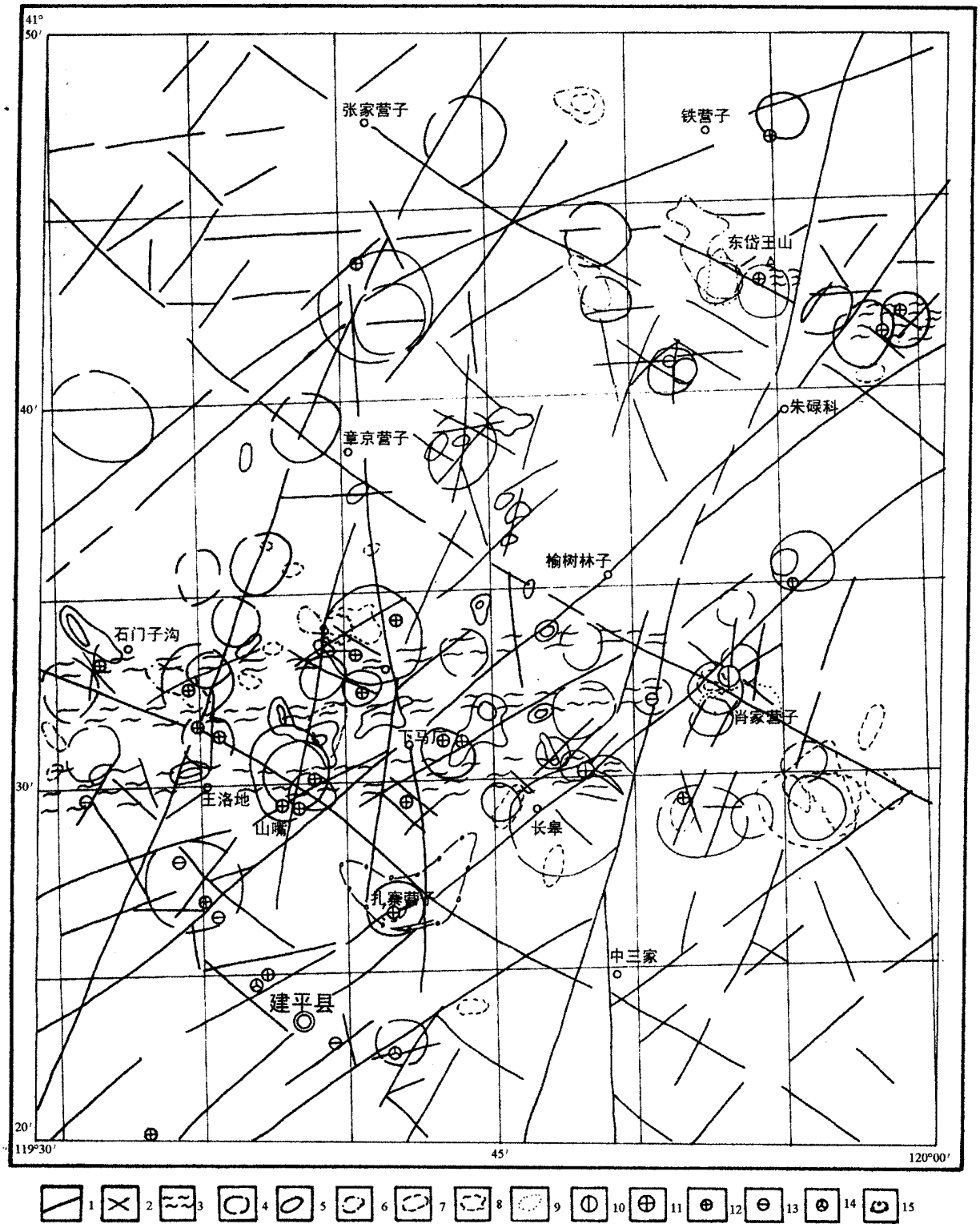


图 4-3　建平北部地区遥感解译构造与成矿作用关系图

1. 主干线性构造　2. 次级线性构造　3. 韧性剪切带构造　4. 环形构造　5. 分散流 Au 异常
6. 分散流 Ag 异常　7. 分散流 Cu 异常　8. 分散流 Mo 异常　9. 分散流 Pb 异常　10. 肖家营子铜钼矿床
11. 长皋金矿床　12. 金矿点　13. 铜矿点　14. 多金属矿点　15. 金属砂异常

交汇部位的附近地带；王洛地以北的新城地、碾子沟及哈通沟三个金矿点分别位于北北东向与北西向两条主干线性构造的交叉部位或附近地段。总体上看，全区已发现的33处金、铜、钼等矿床、矿点及矿化点都毫无例外地发育在主干线性构造附近地段，这反映出规模较大的断裂构造对成矿起着一定的控制作用。另处，区内一些主要成矿元素的化探异常也主要分布在各主干线性构造附近或多组线性构造发育地段。例如，肖家营子矿区的Mo、Cu、Pb等多元素组合异常位于北东、北西两组主干线性构造的交汇部位附近，并发育有北北东、北西、北东东及近东西向多组次级线性构造；扎寨营子Cu分散流及Au重砂异常位于北东、北西及近南北向三条主干线性构造的交汇部位及附近地带。此外，还可见一些Au、Ag等化探异常分布较远离主干线性构造，发育在多组次级构造及岩浆侵入地段，它们与环形构造关系密切。

由此可见，区内矿床、矿点及化探异常的分布与线性构造的发育有密切关系。本区解译出的一些主干线性构造，经野外调研证实，为本区发育的一些规模较大的断裂构造。尤其凌原~北票及中三家两条断裂构造，是公认的岩石圈断裂和壳断裂。这些主干线性构造往往成为重要的控矿构造或导矿构造，只有极少数只在局部特定环境下形成容矿构造。而在这些较大规模构造的附近部位，一些较小的次级构造常常形成容矿或含矿构造。由于这些次级构造规模较小且封闭性较好，使矿液易于在有利空间富集成矿。区内肖家营子铜钼矿床虽然位于两组主干断裂交汇部位很近，但矿体主要赋存在岩体周边的一些次级构造中；长臬金矿床虽然位于北东向主干线性构造附近，但矿体主要赋存在一些规模较小的北东向和北西向的构造裂隙中。因此，区内解译的一些主干和次级线性构造，可成为重要的导矿和容矿构造，它们对区内的Au、Cu、Mo等矿的形成起着重要的控制作用。

2、韧性剪切带与成矿作用

根据TM图像遥感地质解译及野外地质调查，在工作区内蒙地轴区内发现5条韧性剪切带构造（图4-3），即区域中南部的王洛地~辘辘井、碾子沟~上豆腐房和石门子沟~深井三条规模较大的韧性剪切带和北部的高杖子、东岱王山两条韧性剪切带构造，它们分别发育在南北两个东西向线性构造带上。这些韧性剪切带构造韧性变形特征明显，从宏观到微观S-C面

理发育，C面理近东西向，与北东50°-60°走向的区域片麻理不协调。它们为太古代古陆壳
的构造软弱带，其上多处叠加了同方向的脆性断裂构造，后其不同方向的脆性断裂对其完整性起到一定的破坏作用。

国内外研究成果表明，古老变质岩区的韧性变形带或剪切带与金矿成矿关系十分密切，是主要的控矿构造。工作区内已知金矿床（点）的空间产出特征也完全证明了这一点。工作区北部的高家杖子、杨树沟金矿点分别产于东西向韧性剪切带中的南北两侧。在东岱王山南的北东东向韧性剪切带中，经野外调查在局部地段发现含金石英脉体。在南部的三条韧性剪切带内，南带的长臬金矿区在韧性剪切带上金矿品位偏高，局部达 100×10^{-6}。另外，还有小杖子、黑山头、山咀等金矿点或矿化点产于其上，在西部有东房身铜矿点产出。中带有上豆腐房铜矿点，向西有卧龙岗、碾 子沟、新城地金矿点。北带有魏家沟及五龙台金矿点等。而在工作区南部此次工作未发现韧性剪切带，已知一些铜金矿（化）点矿化程度明显偏低。从区内化探异常分布特征看，南部三条韧性剪切带及南北两侧，有较密集的Au、Cu、Ag等多金属化探异常展布，这从另一侧面反映出韧性剪切带构造对成矿元素的富集起着重要作用。

韧性剪切带构造对金等成矿元素的富集乃至成矿发挥重要作用。首先太古宙变质岩中形成的东西向韧性剪切带，根据中南工业大学何绍勋、段嘉瑞等人的研究认为，在韧性变形期间不可能发生大规模的流体活动，但在韧性变形作用终止时，由于应力释放发生“构造崩塌作用”，导致流体发生突变性地反应，形成退化变质带和蚀变带，岩石和矿物变形强度越大，活性就越大，后期蚀变和退变质越强烈，使金等成矿元素失稳而沉淀下来，这就造成了韧性变形带中局部地段金等成矿元素的富集，甚至在较好的富集地段形成矿体。例如，东岱王山南的韧性剪切带内，金直接赋存在太古宙古老变质岩的石英脉中，品位可达 3.84×10^{-6}。区内大部分金矿的形成与燕山期构造岩浆活动有关，可能是韧性变形带已初步富集起来的金等成矿元素又进一步富集的结果，因而在一些有利的构造部位形成矿体。如长臬金矿床中的一些矿体，是在韧性剪切带中或附近地段，燕山期的北东及北西向次级断裂中富集成矿；也有的在东西向叠加的脆性断裂或裂隙成矿，往往这种方式的矿体品位较高。在远离韧性变形带或韧性构造不发育的太古宙变质杂岩中，虽然由于后期岩浆作用的影响，也可能形成一定的矿化，

但其矿化程度低，难以形成较好的矿体。

由此可见，工作区中近东西向韧性剪切带是金等成矿作用的重要前提，其为后期中生代构造岩浆活动，使金等成矿元素进一步迁移、富集乃致成矿作用奠定了重要基础。

3、环形构造与成矿作用

前已述及，区内环形构造的展布整体上受规模较大线性构造控制。这是由于本区一些环形构造的形成与燕辽期、华力西期及燕山期的岩浆活动有关，主要与其形成的侵入体、隐伏侵入体及火山机构等有成因联系。在岩浆侵入过程中，总要首先进入地壳较软弱地带，而这些地段恰好又是线

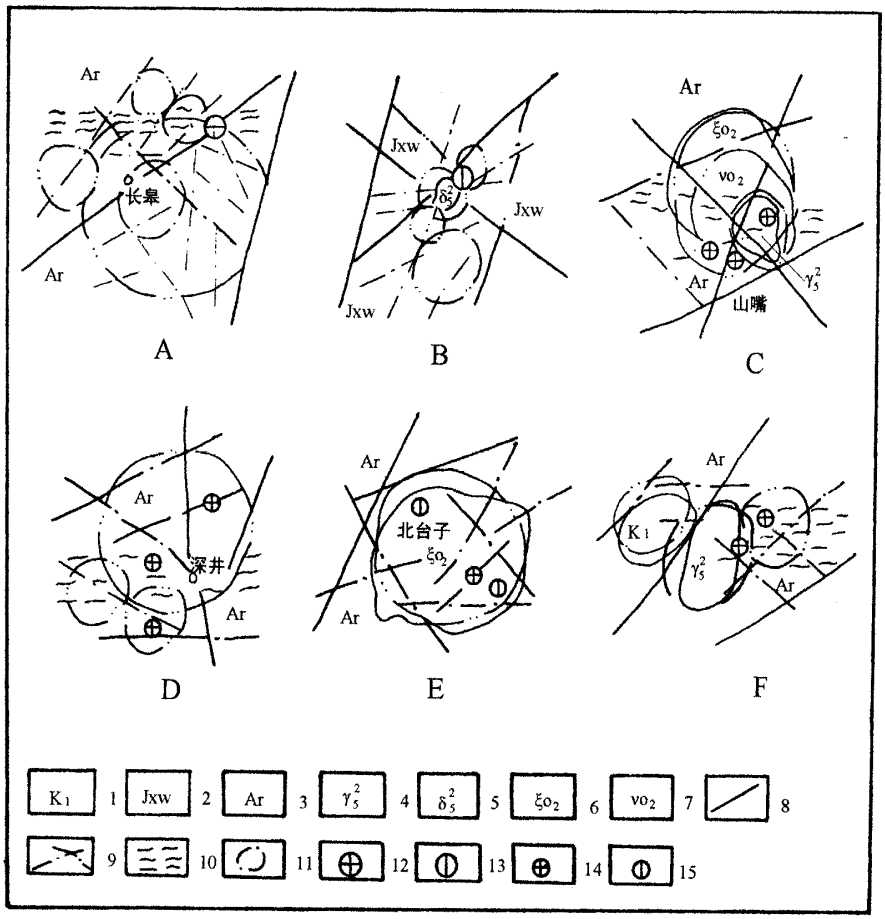


图 4-4　区内 Au、Cu、Mo 多金属矿产出部位遥感构造示意图

A. 长皋金矿区　B. 肖家营子铜钼矿区　C. 三座岩体环形构造发育区
D. 深井环形构造发育区　E. 黄花山岩体环形构造区　F. 高杖子、杨树沟金矿区
1. 早白垩世　2. 中元古界雾迷山组　3. 太古界　4. 燕山期花岗岩　5. 燕山期闪长岩
6. 燕辽期石英正长岩　7. 燕辽期辉长苏长岩　8. 主干断裂构造　9. 次级断裂构造
10. 韧性剪切带构造　11. 环形构造　12. 金矿床　13. 铜钼矿床　14. 金矿点　15. 铜矿点

性构造发生展的地带，是构造应力作用下形成的较大规模的断裂构造（带），尤其在不同方向多组断裂构造的复合部位，由于应力释放，常成为岩浆侵入的有利场所。例如，本区的一些与岩浆活动有关的环形构造，主要受东西向线性构造带及其它方向一些主干线性构造的控制，尤其在多组规模较大线性构造的交汇部位。可见，区内一些环形构造与线性构造的发生发展在成因机制上有密切联系。

区内矿产分布与环形构造产出位置关系密切。全区除南部 5 处矿化较差的矿点、矿化点外，其余 28 处金、钼、铜等矿床、矿点及矿化点都与环形构造有关。从产出位置看，这些矿床、矿（化）点主要分布在多组环形构造的复合部位，或单个环形构造的周边及内外侧。例如，长臬金矿床位于一个较大环形构造的北部边缘,同时又位于一个小环与大环的交切部位；肖家营子铜钼矿床位于由岩体构成环形构造的边部地段，且主体位于该环与外侧一小环的相切部位；在三座庙岩体构成的三个复式环形构造内，小杖子金矿、烧锅杖子金矿及山嘴金矿分别产于复式环形构造内，单环构造的内外侧；本区北部的高杖子和杨树沟金矿，分别位于两个相交环形构造的内侧。区内一些主要矿床、矿点产出部位与线环构造的关系如图 4-4 所示。由此可见，区内环形构造与线性构造一样，对金、钼、铜等矿产的产出起着重要的控制作用。此外，从区内一些化探异常与环形构造的展布关系看，区内一些较好的金等单元素及多元素组合异常，都主要分布在环形构造内及周边附近。例如，肖家营子岩体附近的 Mo、Ag、Cu、Pb 组合异常主要发育在环形构造内及周边附近；三座庙环形构造东部边缘发育较好的 Au 异常；深井环形构造东部边缘发育较好的 Au、Ag、Cu、Mo 组合异常；拦沟东部两个环形构造内外发育较好的 Mo、Ag、Cu 组合异常等。可见区内 Au 等成矿元素化探异常与环形构造
的展布关系密切，这从另一侧面反映出环形构造对成矿元素的富集乃至成矿起着不可忽视的作用。

由以上讨论可见，区内金、铜、钼等矿产及化探异常与一些环形构造的产出有密切联系，这也反映出一些环形构造与成矿作用关系的密切性。这是由于本区在燕辽期、华力西期及燕山期发生了一定规模的构造岩浆活动，形成了一些与岩浆成因有关的环形构造，而构造岩浆活动为成矿元素的活化、迁移乃至富集成矿提供了充足的热能和有利的空间。除与岩浆作用有关的环形构造外，一些片麻岩穹隆、短轴背斜及环状裂隙等成因的环

形构造，其边部为构造发育地段，有利成矿元素的迁移和富集，在有利的环境下，也可形成一定规模的矿体。

4、蚀变信息与成矿作用

在第三章中已初步探讨了根据 TM 数据在工作区内提取蚀变异常信息的分布特点。在此基础上，根据区内这些蚀变信息与构造岩浆活动，矿产及有关化探异常等的分布关系，把每个子区蚀变异常信息进一步综合，划分为不同的蚀变异常发育区，以更深入研究区内蚀变异常发育特点及与成矿作用的关系。

1）长皋~肖家营子子区

根据该区内蚀变异常分布特点及其与构造岩浆活动、矿产分布等的关系，划分出三个蚀变异常发育区（如图 4-5），每个异常发育区的具体特征见表 4-1。

表 4-1　长皋-肖家营子子区蚀变异常分区及其成矿特点

分区编号	异常区分布特点	与构造岩浆岩的关系	与已知矿产的关系	其它
Ⅰ-1	主体沿长皋~肖家营子北东向主干线性构造长条形展布	东侧为北北东向中三家大断裂，异常区受北东向主干线性构造控制，中部有东西向脆-韧性剪切带发育，并有北东、北西向等次级线性构造。区内多种脉岩发育，并有燕山期花岗岩小岩株侵入。	长皋金矿区的矿体主要产在南部两个较好的蚀变异常内，其中北部异常晕内矿体品位较好。	该异常区北延至中三家断裂附近有上豆腐房铜矿产出。蚀变（晕）异常形成与北东、北北东向深断裂及深部岩浆活动有关。
Ⅱ-2	异常区主要沿 NNE 向中三家大断裂东侧呈北北东向长条状展布	整体上位于一较大的北北东向构造岩浆活动带上，区内北北东向断裂构造发育，在肖家营子岩体外侧分布四处较好蚀变异常，南部零散分布多呈北北东向长条状，受北东向构造控制。	肖家营子大型铜钼矿床主体位于岩体东侧的蚀变异常内，拦沟金矿发育在南部北北东向蚀变异常带上。	在肖家营子岩体西北部的蚀变异常内，近期发现矿化线索。该区蚀变异常形成与北北东向中三家大断裂及燕山期构造岩浆活动关系密切。
Ⅲ-3	位于长皋金矿区北部花岗岩侵入体及周边部的一个三角形区域内	岩体产出受北东及东西向断裂构造控制，三处蚀变异常产于岩体与围岩接触带上，北部接触带发育东西向脆-韧性剪切带构造。	岩体北东缘的蚀变异常内发现矿化线索	蚀变异常形成与岩浆侵入及构造活动有关，岩体边缘接触带，尤其北缘接触带具有利成矿环境。

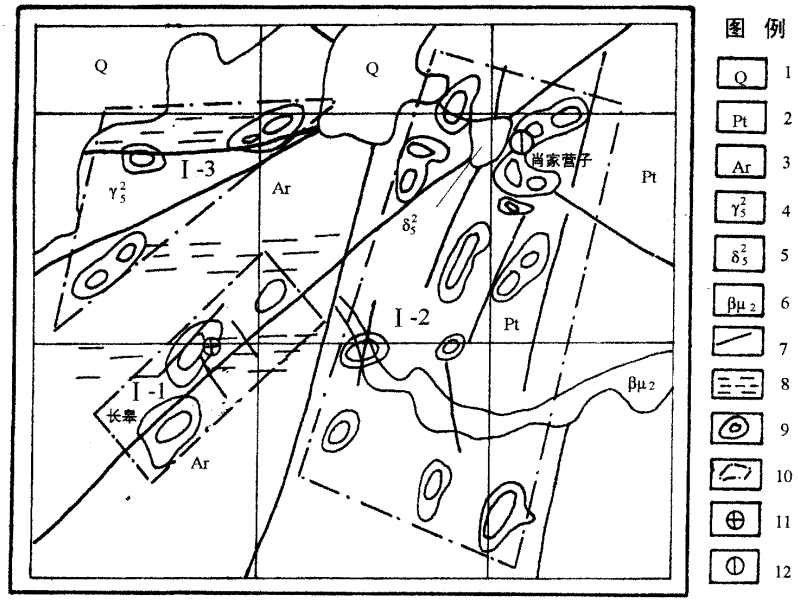


图 4-5　长皋-肖家营子区 TM 数据蚀变信息分区特征图

1. 第四系　2. 中元古宙　3. 太古宙　4. 燕山期花岗岩　5. 燕山期闪长岩　6. 燕辽期辉绿岩　7. 断裂
8. 脆-韧性剪切带　9. 蚀变信息异常　10. 蚀变异常分区及编号　11. 金矿床　12. 铜钼矿床

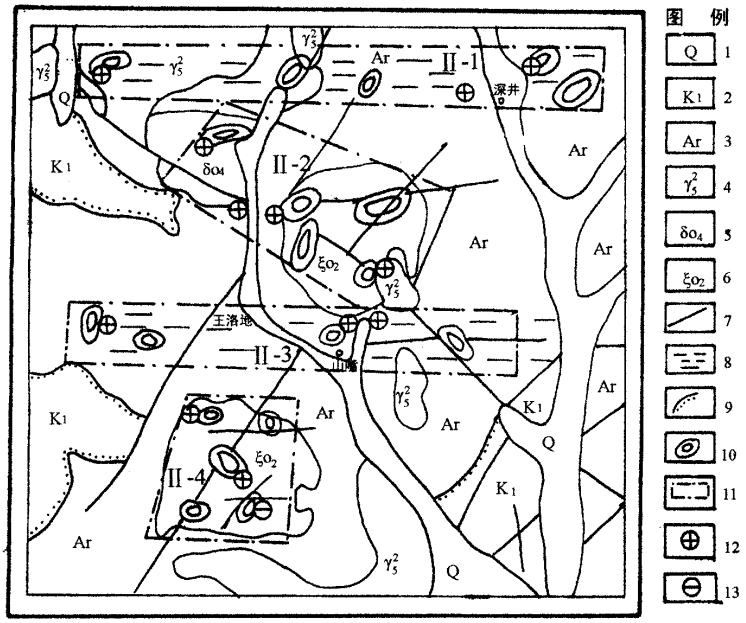


图 4-6　王洛地-深井子区 TM 数据蚀变信息分区特征图

1. 第四系　2. 早白垩世　3. 太古界　4. 燕山期花岗岩　5. 华力西期石英闪长岩　6. 燕辽期石英正长岩
7. 断裂构造　8. 脆-韧性剪切带　9. 不整合界线　10. 蚀变异常(晕)　11. 蚀变异常区　12. 金矿点　13. 铜矿点

由表 4-1 可见，长臬~肖家营子子区内的三个蚀变异常发育区段构造岩浆活动强烈，成矿条件优越。区内两个重要矿床皆发育在蚀变发育区的异常内，因此这些蚀变异常信息为地质找矿提供了较充分的依据，但是，一些矿化较好地段有时可能发生在蚀变异常区内或附近，

而距蚀变异常（晕）较远的部位。例如，拦沟金矿位于 I_{-2} 区内，产于南部三个北北东向蚀变异常的连线上，而非位于蚀变晕上或附近；上豆腐房铜矿位于 I_{-1} 区北东向蚀变晕延长线上。

由此可见，在地质找矿中，不能机械地运用这些蚀变异常信息，而应结合地质、物化探等多种成矿因素具体分析，才能得出正确结论。

表 4-2 王洛地-深井子区蚀变异常分区及成矿特点

分区编号	异常区分布特点	与构造岩浆岩的关系	与已知矿产的关系	其它
II_1	沿工作区南部东西向线性构造带呈东西状展布	该蚀变异常发育区主体位于一东西向脆-韧性剪切带上，内部有次级北东、北西等方向脆性断裂发育；区西部有较大面积中生代花岗岩及少量华力西期闪长岩出露。	区内有 3 处已知金矿点其中 2 个分别位于蚀变晕边部，另一个位于深井以西的东西向韧性剪切带中。	沿东西向异常区有 5 处蚀变晕异常，该异常带的形成与东西向脆-韧性剪切带及后期的构造岩浆活动有关。
II_{-2}	位于包含三座庙岩体及部分哈通沟岩体的北西方向近长方形区域内	异常区发育在北西向主干线性构造上，区内有较大规模的东西向及北北东向线性构造发育；区东部为三座庙岩体侵入地段，西部为哈通沟岩体东半部侵入部位。	区内有 4 处金矿点，三座庙岩体及边部的两处金矿点都处于蚀变晕边部，哈通沟岩体内金矿点位于蚀变晕南缘，新城地金矿点位于两个东西向蚀变晕延长线上。	蚀变晕异常主要集中在三座庙岩体内，哈通沟岩体内有一处异常，蚀变异常形成与 NW、EW 及 NNE 向断裂构造及燕辽期、华力西期岩浆侵入作用有关。
II_{-3}	沿工作区南部东性南西形展布	该蚀变异常发育区位于东西向脆-韧性剪切带上，并有北东向、北西向、北北东向断裂构造从区内穿过；局部地段各种脉岩发育，偶见中生代花岗侵入体沿南侧边部侵入。	区内发育三处金矿点，其中两处发育在蚀变晕边部，另一处为新发现金矿点，与前两处金矿点同位于东西向构造带上。	区内共有四处蚀变信息异常，其形成与东西向剪切带、不同方向的断裂构造及深部岩浆活动关系密切。
II_{-4}	沿黄花山岩体周边的近方形区域	蚀变异常全都分布在黄花山岩体内部，异常区内有北北东向、东西向等断裂构造发育。	区内一处金矿点及两处铜矿点皆分布在黄花山岩体内蚀变异常晕边部。	黄花山岩体内有 5 处蚀变异常晕，其成因为岩浆侵入后期构造作用叠加形成。

2）王洛地~深井区

根据该子区内蚀变异常发育与构造岩浆活动及矿产分布的关系，划分出4个蚀变信息异常发育区（如图4-6），各异常发育区的分布及其构造、岩浆岩及矿产的关系见表4-2。

由表4-2综合分析可见，王洛地~深井子区蚀变信息异常的产生明显受东西向脆-韧性剪切带及燕辽期、华力西期侵入体的控制。区内绝大多数已发现的铜、金矿产都位于所划的四个异常发育区内，并且多数铜、金矿点产于蚀变晕发育地段。野外调查表明，蚀变晕发育地段岩石大都发生了较大规模的构造蚀变、但也有一些蚀变较好地段未能以蚀变晕形式提取出来。然而根据蚀变异常展布特点及与构造岩浆作用关系等划分的蚀变异常区，则较好地把那些遗漏的构造蚀变及矿化地段包容进去，这样就更全面地利用蚀变信息分析研究成矿特点和指导找矿。例如，在本区新发现的碾子沟和山嘴金矿点都是在蚀变异常区内，在已知蚀变信息的启示下，综合研究后经野外调查发现的。

3）东岱王山~高家杖子区

该区位于工作区东北部，根据对TM数据提取的蚀变异常信息分布特点，划分出三个蚀变异常发育区（如图4-7）。它们内部构造岩浆活动及成矿特征有所不同，详见表4-3。

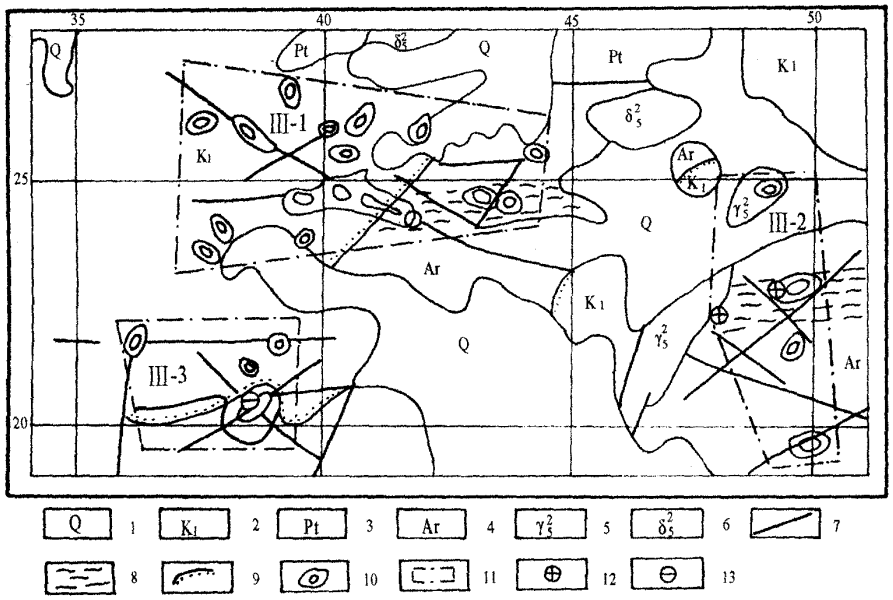


图4-7　东岱王山-高家杖子区TM数据蚀变信息分区特征图

1.第四系　2.早白垩世　3.元古界　4.太古界小塔子沟组　5.燕山期花岗岩　6.华力西期闪长岩　7.断裂构造　8.脆-韧性剪切带　9.不整合界线　10.蚀变晕异常　11.蚀变异常区　12.金矿点　13.铜矿点

表 4-3　东岱王山-高杖子区蚀变异常分区及成矿特点

分区编号	异常区分布特点	与构造岩浆岩的关系	与已知矿产的关系	其它
III-1	分布于工作区北部东岱王山一带的东西向构造带上，呈东西向延伸的条形区域。	在东岱王山及以东一段太古代地层中发育东西向脆-韧性剪切带构造，并有北东、北西向断裂构造及中基性脉岩发育。西部为早白垩世火山岩，构造蚀变发育，且有较好Ag、Cu化探异常。	新发现的东岱王山金矿点位于蚀变异常区内一较好蚀异常晕的东侧	西部火山岩中构造蚀变发育并有化探异常，成矿有利。东部韧性剪切带蚀变晕中发现金矿脉，值得进一步找矿重视。
III-2	分布于工作区北东缘高杖子一带的南北向长条形区域	该区中部发育有东西向韧性剪切带，区北部及西侧边缘有中生代花岗岩侵入体。区内北东、北西向断裂及多种脉岩发育。	中部的高杖子金矿发育在蚀变异常边部，南西部的杨树沟金矿产于韧性剪切带与岩体的接触带上。	区内共有四处近南北向展布的蚀变异常晕，其成因与韧性剪切带构造，岩浆侵入作用及断裂活动关系密切。
III-3	分布于岱王山铜矿一带的近方形区域内。	区北部与早太古宙地层接触部位有花岗岩小岩株及中酸性脉岩出露，区内北东、北西及东西向断裂构造发育。	岱王山铜矿位于区内早白垩世火山岩与太古代地层接触部位的一个较大范围蚀变异常内。	区内发育四处蚀变晕异常，较小的三处发育在早白垩世火山岩中，主要与东西向断裂活动有关。

由此可见，区内三个蚀变异常发育地段构造岩浆活动均较强烈，为成矿作用提供了有利条件。区内四处铜、金矿点有3处位于蚀变晕异常内或边部，虽然东部的杨树沟金矿位于蚀变异常之外，但其与高杖子金矿同处于东西向韧性剪切带中，并产于韧性剪切带与侵入岩体的接触带上，是蚀变区内成矿的有利部位。

综上所述，在工作区内三个子区经 TM 数据处理提取的蚀变晕异常，根据它们的分区或分布特点，可见蚀变异常的产生与构造岩浆活动关系密切，表现为一些蚀变异常常发育在岩体内或周边附近，以及各种脉岩发育地段，有的明显受断裂构造（带）的控制。它们一些与区内部分矿床、矿点的矿化蚀变基本吻合，并在划分的蚀变异常区内与金等多元素的化探异常吻合较好。在本次工作发现的三处金矿点中，其中北部的东岱王山金矿点就是通过野外验证蚀变异常过程中发现的。另外两处新发现的金矿点亦在蚀弯晕的附近地段或控制蚀弯晕的构造带上。因此，本次通过遥感技术提取蚀变信息对指示找矿具有重要的应用价值。

5、区域成矿特点分析

从工作区遥感地质解译结果及成矿地质背对背景可以看出，区内两大地质构造单元成矿特征差异明显，内蒙地轴区产出矿种以 Cu、Au 为主，成因与太古宙绿岩建造、韧性剪切带构造及后期的构造岩浆活动有关；燕辽台褶带的矿种以 Cu、Mo 为主，其形成与中元古宙雾迷山组灰岩及燕山期的构造岩浆活动关系密切。区内 Au、Mo、Cu 等矿产的形成，是与阶段性大地构造演化分不开的，它们分别为地壳演化至某一阶段，或多阶段的构造岩浆活动，使成矿元素活化、迁移而最终富集的结果。

1）内蒙地轴区

区内 Cu、Au 元素成矿特点表明，太古宙小塔小沟组及大营子组（皆为太古宙绿岩建造）为主要近矿围岩。近年来国内外一些地区该建造中的微量元测试结果表明，太古宙绿岩建造中金等成矿元素的丰度较高，尤其受热液蚀变时该建造中的金等成矿元素进一步富集使岩石中的丰度更为明显。经研究建造中原岩以基性火山岩为主，与上地幔的基性岩浆喷发有关，其中金等含量较高。世界上许多大型金矿都产于该建造中，可能与其提供一定的成矿质来源有关，因而太古宙的基性火山岩可视为金等的原始矿源层。

在太古宙漫长的地史演化中，本区首先由于区域构造应力作用，产生了一些近东西向的韧性剪切带构造，即本区南部东西向线性构造带内石门子沟~长臬一带三条近等间距的韧性剪切带，以及本区北部东西向线性构造带东段的高杖子和东岱王山两条规模较小的韧性剪切带构造。这些韧性剪切带为太古宙陆壳上的构造活动带，在区域变质作用过程中，由于流体

作用，在一些有利地段首先造成了金等成矿元素的富集，甚至在有利环境下形成矿体。例如区内的东岱王山金矿点，金即赋存在遭受韧性变形的石英细脉中，但这种矿体规模较小，变化性较大。可见太古宙陆壳上这些韧性剪切带构造使金等成矿元素得到了初步的富集，为后期构造岩浆活动及进一步成矿创造了充分的物质条件。

中元古宙晚期，由于区域构造运动影响，在本区形成了两个较具规模的侵入体，即工作区西南部的三座庙和黄花山两个石英正长岩侵入体，三座庙岩体内又有基性的辉长苏长岩出露。该期的岩浆侵入作用，使古老地壳及岩浆本身携带的成矿元素得到了进一步聚集,并在有利部位形成矿体。例如，北部三座庙岩体内及边缘附近有小杖子、烧锅杖子及山嘴三处金矿点。南部黄花山岩体内有哈大火烧、断石洼及大坤兑三处金、铜矿（化）点。它们在成因机制上皆与该期的岩浆侵入活动有密切联系。由于北部三座庙岩体侵入在太古宙韧性剪切带基底之上，因而使其中的金等成矿元素再次富集，形成的矿体无论从规模上还是从质量上都优于黄花山岩体。

在华力西晚期，由于内蒙地轴北部的蒙古地槽褶皱回返，区域上产生了强大的南北向挤压应力，在区内形成了一些规模较大的北东、北西向以扭性为主的断裂构造，因此本区的大部分北东、北西向主干线构造始于该期。同时也产生了一些规模较小的东西向压性、压扭性断裂及近南北向张性断裂构造。这些断裂构造的形成为后期构造的继承性发展，岩浆活动及成矿作用提供了有利条件。由于本区距北部槽台边缘稍远，华力西期岩浆侵入规模不大，除北缘出露较大面积的花岗岩侵入体外，在区内中部及北部一带有一些规模较小的重熔型闪长岩、石英闪长岩及花岗岩小岩株出露。由于该期侵入体少且规模较小，对成矿作用影响不大，只有发育在东西向线性构造带上的哈通沟石英闪长岩体内，有个别金矿点产出，它可能是分散在古老变质岩及韧性剪切带中的金等成矿元素，由于重熔岩浆的侵入，通过流体作用使其进一步得到富集。

进入中生代燕山期，由于受古太平洋板块向中朝板块俯冲作用的影响，东西向挤压加强，地台发生活化。本区与广大华北地台东部地区一样，构造岩浆活动强烈而频繁，除形成继承性及新生的北东、北西向以扭性为主的断裂构造外，还形成了较大规模的北北东向压扭性断裂构造，北北东向中三家大断裂可为代表。由于该区距俯冲带较远，岩浆来源较深，侵入体为深达上地幔的同熔型岩浆侵入形成。区内燕山期中酸性侵入岩发育，岩

体规模大小不一，产出部位主要受规模较大的主干线性构造及东西向线性构造带的控制。本区南部和北部两条东西向构造带，包括其内发育的韧性剪切带构造，在燕山期处于拉张环境，易于岩浆侵入，形成了东西向构造岩浆活动带，创造了有利的成矿环境。在有利的矿源基底及燕山期构造岩浆活动作用下，在本区形成了长臬金矿床、杨树沟金矿等多处 Cu、Au 矿点。除在东西向构造带外，由于燕山期构造岩浆活动的影响，在本区南部等处见少数几处 Cu、Au 及多金属矿点及矿化点，如上勿苏台金矿点，万寿南山铜矿化点等。野外调查及验证表明，这些部位形成的矿体或矿脉，品位低、规模小，利用价值不大。可见，区内一些较好的 Cu、Au 矿产的形成，是多期构造或岩浆活动使成矿元素更好富集的结果。

综上所述，本区金等成矿作用具多期次特点。首先，太古宙绿岩建造及韧性剪切带构造是金等成矿的重要前提；燕辽期、华力西期，尤其燕山期的岩浆侵入活动为金等成矿元素的活化、迁移、富集乃至成矿起了至关重要的作用；晚太古宙以来，尤其华力西期和燕山期形成的一些主干及次级断裂构造，为金等成矿元素提供了运移通道和赋存空间，是金矿等形成的重要保证。

2、燕辽台褶带

在工作区东南部，即凌原~北栗大断裂以南及中三家大断裂以东一段，地层主要为太古代基底上发展起来的中晚元古代及部分古生代的碳酸盐及少量碎屑岩建造。中三家大断裂中部东侧的肖家营子大型铜钼矿床是该区成矿的典型代表，其北部有三道沟铜钼矿点，南部有拦沟金矿点，再向南至工作区南缘外侧，中三家大断裂附近有上滴达水铜矿产出。从成矿特点看，三道沟铜钼矿及上滴达水铜矿与肖家营子铜钼矿床类似，其成因与燕山期偏碱性基--中性（尤其中性）浅成侵入体及次火山岩脉关系密切，而拦沟金矿的形成与晚元古宙末期的辉绿岩侵入体有密切联系。因此该区的金与铜、钼矿在形成时代及成因机制上截然不同。

从地史演化观点看，本区中元古宙开始进入盖层发展阶段，晚元古宙末，由于区域构造运动影响，形成了拦沟一带的弧形带状辉绿岩侵入体。该期构造岩浆活动，在深部基底使金等成矿元素发生活化、迁移、并携带至上部有利部位富集成矿。拦沟金矿即产在辉绿岩体内的构造破碎蚀变带中。虽然蚀变带规模较大，但品位较低，目前还不具开采利用价值。在元古宙末至中生代早期，除局部早古生代发育裂陷槽外，本区整体上升为陆，

遭受剥蚀，构造岩浆活动相对较弱。

中生代燕山期，受区域地台活化及中三家大断裂强烈活动的影响，区内构造岩浆活动较强烈，沿中三家大断裂以东一段，形成了北北东向的构造岩浆活动带。三道沟、肖家营子、上滴达水等处的岩浆侵入活动，为铜、钼矿的形成创造了有利条件。肖家营子铜钼矿区与矿化有关的岩浆侵入体为似斑状细粒闪长岩及粗面斑岩类。三道沟矿区与矿化有关的侵入岩为正长闪长岩及粗面斑岩、粗面流纹岩类。二者矿体主体产于岩体与围岩的接触带~矽卡岩带中，肖家营子铜钼矿床的矿体，主要赋存在岩体内外接触带的岩舌、岩枝和断裂交汇的凹陷带内。三道沟矿区铜钼矿化和蚀变都是直接与矽卡岩伴生的，矿体皆围绕接触带或大理岩层间裂隙形成。由此可见，本区与燕山期岩浆侵入活动有关的矽卡岩型铜钼矿是该区的优势矿种，在找矿中应注意在中三家大断裂东侧长条形构造岩浆活动带内，中晚元古宙，甚至古生代碳酸盐建造中的燕山期浅成及超浅成岩浆岩侵入体及接触带的矽卡岩这两个重要标志。

第五章　区域综合找矿模型及成矿预测

根据工作区成矿地质背景、遥感地质解译及信息提取结果，以及对区内地质、物化探等资料的综合分析，尤其对区内不同类别的线性构造、韧性剪切带构造、环形构造及蚀变信息等与成矿关系的重点研究，分析成矿特点，总结成矿规律建立总结找矿模式并提出找矿方向，进行成矿预测及靶区优选，为该区找矿提供依据。

一　区域 TM 遥感信息综合找矿模型

利用 TM 遥感信息找矿，就是根据 TM 提供的数据及影像特征，通过对有关地物波谱特性分析及遥感地质解译，提取研究区的地质构造、岩性及蚀变等信息，根据区域成矿特点，研究这些信息与成矿作用的关系，进行成矿有利因素分析，并结合区内的地球物理、地球化学异常及典型矿床成矿条件对比分析，划分区域成矿预测区，再根据预测区内具体成矿环境及野外调、采样分析，最终确定不同级别的找矿靶区。对本区的这一找矿模式可概括为如下图示形式（图 5-1）

前已阐明，内蒙地轴区与燕辽台褶带的成矿特征差别明显，由于矿种类型、成矿背景及条件的差异，使一些有利成矿的遥感信息也有所差别。内蒙地轴区主要矿种为铜和金。并且金占绝对优势。根据区内 Cu、Au 成矿作用与矿源岩、线环构造、韧性剪切带构造、岩浆岩及蚀变信息等关系的综合分析，总结出工作区内蒙地轴 Cu、Au 等有利成矿的遥感信息特征（表 5-1），主要包括矿源岩、地质构造、岩浆岩及蚀变异常信息四方面内容。矿源层为基础，具较高成矿元素丰度的太古宙绿岩建造是本区金等成矿的重要前提。地质构造主要包括韧性剪切带构造、深断裂构造、主干及次级线性构造及环形构造等。这些构造均为地壳上部或表层的不连续面，易成为各种含矿溶液运移的通道及矿质沉淀的场所。侵入岩及一些与其成因有关的环形构造，由于岩浆侵入活动为成矿元素的运移及富集提供了充分的能量，因而在成矿作用中发挥重要作用。根据 TM 数据提取的蚀变异常信息，指示成矿元素可能赋存的空间，也是找矿的重要标志。

区内燕辽台褶带与内蒙地轴的成矿背景条件明显不同，燕辽台褶带内 Cu、Mo 为优势矿种，以肖家营子大型铜钼矿床为典型代表，成矿作用与燕山期中~基性侵入体及超浅成脉岩等关系密切。主干线性构造等规模较

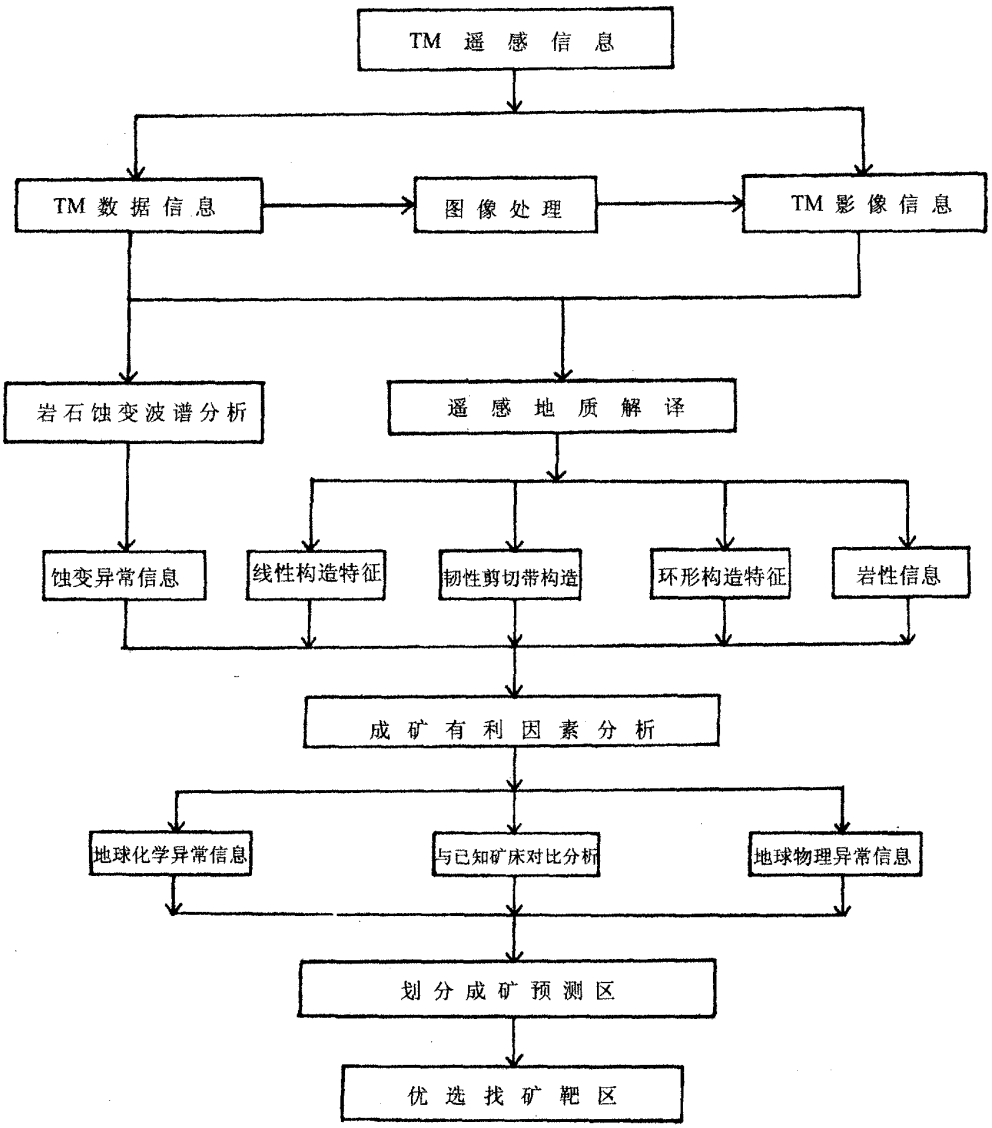


图 5-1 TM 遥感信息综合找矿模型

表 5-1 内蒙地轴区 Cu、Au 有利成矿的遥感信息特征

编号	成矿有利遥感信息	成矿有利地质条件	实例
1	太古宙小塔子沟组及大营子组绿岩建造内的断裂及破碎带	太古宙绿岩建造为Au等的原始矿源岩	区内大多Cu、Au矿的围岩为太古宙绿岩建造
2	太古宙韧性剪切带构造与主干线性构造，主要次级线性构造的交汇部位及附近	成矿元素在韧性剪切带中初步富集，后期断裂为成矿元素提供运移和富集的通道和空间	如新城地、碾子沟、山嘴等金矿点
3	太古宙韧性剪切带与环形构造、岩浆岩侵入体的复合部位	后期岩浆活动使富集在韧性剪切带中的Au等进一步活化、迁移和富集	如六家子、兴隆沟和哈通沟等金矿点
4	不同方向主干线性构造之间，主干与次级线性构造的交汇及附近地段	断裂构造交汇部位，易为岩浆活动及成矿元素富集及沉淀的场所	如长皋金矿床、新城地、碾子沟及小杖子金矿点等
5	线环构造及多组环形构造的复合部位，单个环形构造周边附近	岩浆侵入体的周边及与各种地质构造交汇部位常为成矿的有利地段	以三座庙及黄花山二岩体形成的环形构造为代表、形成6处Cu、Au矿（化）点
6	蚀变异常发育地段及蚀变异常发育区内有利都位	这些蚀变异常信息多为岩石蚀变较发育地段，为成矿的有利环境	区内长皋金矿床东岱王山金矿点、岱王山铜矿点等多处矿化与蚀变信息吻合
7	各时期中、酸性侵入岩体边部附近及多种脉岩发育地段	岩浆侵入晚期，在边部附近使自身携带及捕获围岩中的Au等成矿元素在有利环境下富集成矿	例如小杖子、哈通沟及六家子等金矿点

大的断裂构造控制着岩体的产出，次级线性构造及岩体边部构造等控制岩体的产状及矿体扩分布，矿体主要产于岩体与中晚元古界灰岩接触带~矽卡岩带上。中元古界雾迷山组等的白云质灰岩均可形成 矽卡岩，是成矿的有利围岩，但含燧石泥质条带白云质灰岩与微层理白云质灰岩互层最有利。根据微量元素、同位素等的综合研究表明，区内与 Cu、Mo 成矿作用有关的基~中性侵入体及超浅成脉岩为成矿母岩。肖家营子铜钼矿床，北部的三道沟铜钼矿及上滴达水铜矿都具类似成矿特点，根据对区内 TM 遥感信息与成矿作用关系的分析研究，总结了燕山台褶带内 Cu、Mo 等有利成矿的遥感信息特征（表 5-2）。

表 5-2　燕辽台褶带 Cu、Mo 有利成矿遥感信息特征

编号	成矿有利遥感信息	成矿有利地质条件
1	燕山期浅成、超浅成岩体、脉岩出露部位及附近	基~中性侵入体及超浅成脉岩为该区 Cu、Mo 成矿的矿源岩，是成矿的必要条件。肖家营子、三道沟及上滴达水三处铜、钼矿皆为燕山期岩浆侵入形成。
2	产干线性构造附近，尤其多组主干线性构造的复合部位	中三家大断裂以东燕山期形成一个北北东向构造岩浆活动带，肖家营子铜钼矿即产于北东，北西两组主干线性构造及一些次级构造的交汇部位
3	主干与次级及多组次级线性或断裂构造交汇部位及附近	发育在主干断裂旁侧的一些次级断裂构造常为容矿构造，三道沟铜钼矿一些矿体，主要赋存在一些次级断裂与岩体的复合部位。
4	环形构造周边及附近，尤其两个或多个环形构造及线性构造的复合部位	环形构造与岩浆侵入及构造活动有关，区内肖家营子及三道沟铜钼矿皆位于复合环形构造及其与线性构造的交汇部位
5	，岩体与围岩交代的矽卡岩为重要找矿标志，其中成矿围岩以薄层状白云质灰岩最有利	区内与 Cu、Mo 有关的矿体均产于矽卡岩带中，其中由于薄层灰岩易于与岩浆作用发生矽卡岩化，因此为有成矿和围岩。
6	蚀变异常发育地段及蚀变异常区内的成矿有利部位	肖家营子岩体周围的蚀变异常信息，指示了一些矿化较好地段，区内蚀变信息分布特点与 NNE 向构造岩浆活动吻合，值得进一步找矿重视。

由表 5-2 可见，燕辽台褶带内 Cu、Mo 成矿有利的 TM 遥感信息重点强

调了岩浆岩侵入体、矽卡岩带、线环构造及蚀变异常信息。[从已知矿产的形成特点看，区内几处燕山期基~中性侵入体及超浅成脉岩等为 Cu、Mo 成矿的矿源岩，肖家营子、三道沟铜钼矿皆为如此。当侵入岩与围岩地层，即本区的元古界灰岩接触，发生塑料袋反应，形成各种矽卡岩。尤其在一些围岩为薄层状白云质灰岩时，交代反应进行的更充分而完全，一些矿质便在矽卡岩中一些有利的构造位置沉淀并富集成矿。肖家营子及三道沟铜钼矿都具类似特点，矿体主要产于一些次级线性构造或断裂上，尤其这些断裂构造与岩体边部构造的复合部位，或一些次级线性构造与岩体环形构造的复合部位，而一些较大规模的主干线性构造或断裂构造则控制着岩体及脉岩的产出和分布。此外，从区内蚀变信息异常分布特点看，异常晕主要沿北北东向中三家大断裂东侧的构造岩浆活动带展布，除在肖家营子岩体东南、东北（矿体发育地带）部发育的两处蚀变晕异常外，还在其西北及西南部有两处较好的蚀变晕异常，值得进一步找矿工作的重视。

除上述成矿有利的 TM 遥感信息外，在运用遥感信息的综合找矿工作中，还应认真研究区内地球物理、地球化学场及已知典型矿庆等特征。从区域地球物理场看，区内 Au、Cu、Mo 等成矿的有利部位为航磁正负场过渡带、垂直二阶导数零等值线附近及重力梯度陡变带上；从地球化学场看，内蒙地轴区石门子沟~长臬一带发育较好 Au、Ag、Cu 等分散流异常，反映了较好的成矿环境。在燕山台褶带，除肖家营子矿区发育较好的多元素组合异常外，在拦沟以东一带也有较好的 Cu、Mo、Ag 组合异常，值得重视；内蒙地轴区的长臬中型金矿床和燕辽台褶带的肖家营子大型铜钼矿床分别为本区两大地质单元成矿类型的典型代表。尤其肖家营子矿床，与成矿有关的典型的岩体 、脉岩及矽卡岩，是该区寻找同类矿庆的重要标志。

二　区域成矿预测

根据研究区内蒙地轴及燕山台褶带两大构造单元的遥感地质综合找矿模型，并在野外调查，综合室内分析研究的基础上，在全区圈定了四个成矿预测区，即内蒙地轴区的东岱王山~杨树沟铜金预测区，石门子沟~深井铜金预测区和下马厂~上豆腐房铜金预测区；燕辽台褶带的三道沟~拦沟铜钼预测区。四个预测区内皆具优越成矿条件，但由于各自所处的地理位置不同，它们的成矿环境及条件又有所差异，具体特征分述如下。

1、东岱王山-杨树沟 Cu、Au 预测区

预测区跨建平县青松岭乡和朱碌科乡，西自新房子以西一带，向东经东岱王山至高家杖子一带，东西长约 15km，南北宽 9km，部面积 135km^2(如图 5-2)。

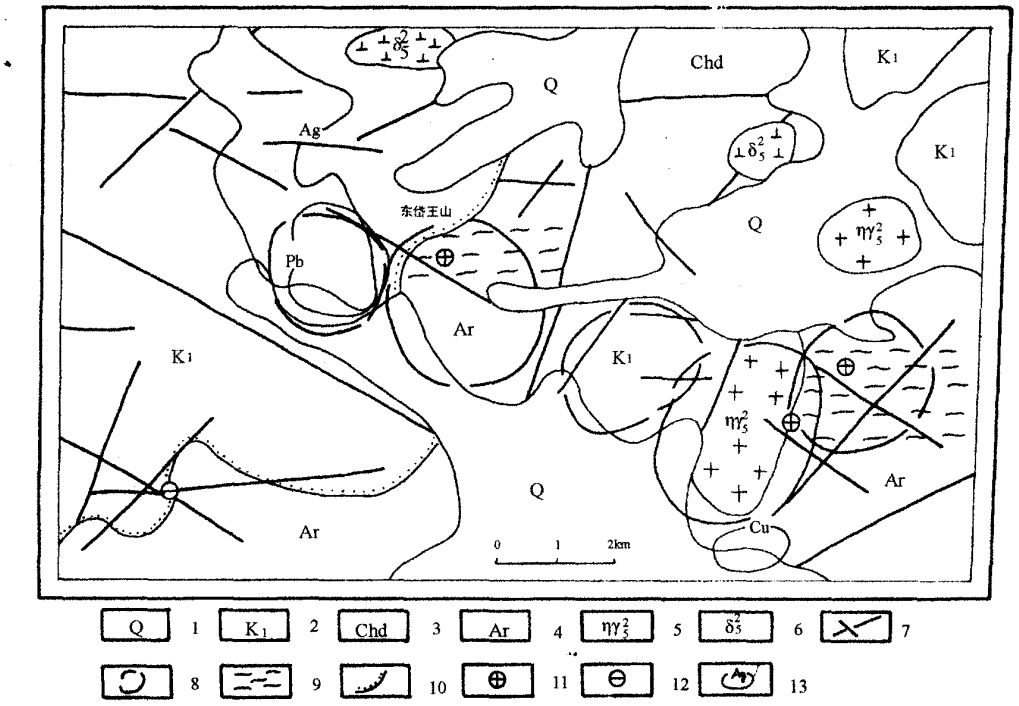


图 5-2　东岱王山-杨树沟 Cu、Au 预测区遥感解译地质矿产图

1.第四系　2.早白垩世　3.元古界大红峪组　4.太古界　5.燕山期二长花岗岩　6.燕山期闪长岩　7.断裂构造
8.环形构造　9.韧性剪切带　10.不整合界线　11.金矿点　12.铜矿点　13.分散流化探异常

区内出露地层主要为太古宙建平群大营子组混合质黑云斜长片麻岩、条带状角闪黑云斜长片麻岩及斜长角闪岩等。区西部和北部出露下白垩统义县组火山岩，东南部杨树沟一带分布有燕山早期第二阶段二长花岗岩($\eta\gamma_s^{2(3)}$) 侵入体，区域北缘及东北部还有燕山期闪长岩小岩株出露，这些侵入体明显受北北东向中三家大断裂及东西向构造带等的控制。

根据 TM 图像遥感地质解译及野外调查验证，在本区太古代大营子组地层内发现两处东西向韧性剪切带构造，即东岱王山南及高家杖子~杨树沟一带的韧性剪切构造带。两条韧性剪切带内宏观及微观 S-C 面理发育，韧性变形特征明显，是太古代时期的构造活动带，其对区内几处已知金矿的

形成起着明显控制作用。除韧性变形构造外，区内脆性断裂较发育，主要有近东西向、北西向、北东向及北北东向四组。区内东西向断裂分布较广，但一般规模较小，多被其它方向断裂所截，由于该预测区主体位于一规模较大的东西向线性构造带上，故总体看东西向韧、脆性断裂构造皆较发育。在东岱王山以南及东南高杖子~杨树沟一带，北西向断裂构造较发育，东岱王山西南一条北西向断裂，东部被第四系覆盖，是一条贯穿整个工作区北西向主干线性构造的一部分；区域中东部北北东向断裂构造较发育，中部的中三家大断裂，南北两端皆为第四系所覆。东部杨树沟岩体东缘的北北东向断裂对该岩体产状起明显控制作用;本区东南缘的北东向断裂构造，属凌原~北栗大断裂一部分，为内蒙地轴与燕辽台褶带的分界。除此之外，区内东部的一条规模较大的北东向断裂隐伏于第四系及早白垩火山岩之下。在其它部位，主要为一些规模较小的北东向次级线性或断裂构造。另外，根据 TM 遥感影像特征，在区内中东部东岱王山以西至高杖子以东一带，解译出 5 个环形构造，大小差异不大，直径为 2.0km~2.5km，呈近东西向连续衔接分布，其成因与燕山期构造活动。岩浆侵入及火山喷发作用有关，区内产出的三处金矿点皆分布在环形构造内侧以及复合部位的边缘或外侧，对本区金矿的形成起着一定的控制作用。

预测区内已知有高杖子、杨树沟、东岱王山金矿点和岱王山铜矿点。其中高杖子、杨树沟金矿属复成热液型，是在太古代大营子组地层韧性剪切带基底之上，经燕山期二长花岗岩侵入作用叠加的结果。杨树沟金矿直接产于岩体边缘的接触带，高杖子金矿虽稍远离接触带，但成矿作用与该岩体同源的脉岩关系密切。岱王山铜矿产在预测区西南部的早白垩火山岩与太古代片麻岩的接触部位，断裂构造发育，有晚期脉岩侵入。铜矿成因与早白垩世的火山作用及后期的伟晶岩、花岗岩脉侵入有关。区内另一处东岱王山金矿点是本次工作新发现的，它位于东西向韧性剪切带内。矿点在地表见褐铁矿化、黄铁矿化石英脉、石英细脉及石英网脉等非常发育，多呈灰白、褐灰及褐红色，有的呈蜂窝状，宽度几厘米至几十厘米不等。其中一条石英脉产状 150°〈71°，出露宽度大于 20cm，延长大于 15m。并见大营子组混合质黑云斜长片麻岩中矿化蚀变发育，由于韧性变形，岩石中多见石英呈扁豆状、蠕虫状、香肠状等定向延伸的不规则形状，局部可见石英呈不规则条带动状、复脉状，亦可见较大的石英脉单体。在该处及附近的灰褐色石英脉、黄铁矿化石英脉、蜂窝状石英脉等 5 个拣块样品，

经化验分析含金分别为 0.38×10^{-6}，0.10×10^{-6}，1.08×10^{-6}，2.74×10^{-6} 及 3.86×10^{-6}。可见，该处受一定矿化影响，遭受韧性变形及重结晶后的石英脉中变普遍含金，值得找矿的重视。

根据 TM 数据提取的蚀变信息，区内东岱王山南西部，岱王山铜矿一带及高杖子金矿南北部，皆具较了的蚀变信息异常。根据蚀变异常区皆寓于预测区内。在该区西北部东岱王山以西一段的义县组火山岩地层中，有一处 Ag0.1ppm 分散流和 pb80ppm 异常。在杨树沟二长花岗岩南缘，有 Cu 分散流异常，这些与区内 Au、Cu 成矿有关元素的异常信息，为进一步找矿开拓了思路。该区在 1：5 万航磁异常图上，中三家大断裂两侧显示由北向南为正负异常过渡转换地带，中三家大断裂呈北北东向零值异常，区内已知三处金矿点皆位于北部正异常向南部负异常转换的零值地段。在重力异常图上，该区显示宽缓梯度的较高负值异常区。因此，从物化遥提供的有关信息表明该预测区具有利的成矿环境。

综上可见，东岱王山~高家杖子预测区具有利的金、铜成矿条件，该区位于凌原~北栗大断裂与中三家大断裂交汇部位北侧，区内晚太古代绿岩建造中有韧性剪切带发育，后期构造岩浆活动强烈，尤其中生代燕山期火山喷发及岩浆侵入作用，为 Au、Cu 等的最终成矿创造了有利条件。区内线环构造发育，有已知的 Cu 、Au 矿点并有较好的航磁重力、地球化学及蚀变信息异常显示，均表明该区成矿环境优越，具良好的 Cu 、Au 找矿远景。

2、石门子沟-深井 Cu 、Au 预测区

预测区跨建平县白家洼乡和青峰山乡，西自白家洼乡石门子沟西部，东至深井；南起山嘴以北，北至黄花洼一带。东西长 16.5km，南北宽约 11 km，总面积约 180 km^2（如图 5-3）。

区内出露地层主要为太古代小塔子沟组片麻岩，中西部有较大面积东西向展布的下白垩统义县组火山岩出露。区内侵入岩发育，燕辽期、华力西期及燕山期侵入体皆有出露，东南部王洛地以东有燕辽期三座庙岩体出露，石门子沟东南部有哈通沟闪长岩体出露，面积约 4.5km^2。区内燕山期同熔型花岗岩较发育，主要在北部石门子沟一带较大面积分布，其次在区域东南部三座庙岩体东南缘，也有燕山期同熔型花岗株侵入，面积约 3.0km^2。可见区内不同时期的侵入岩广泛发育，不同期次的岩浆活动，为区内太古代绿岩建造中的 Au 等成矿元素的活化、迁移以至成矿提供了充

分的能量。

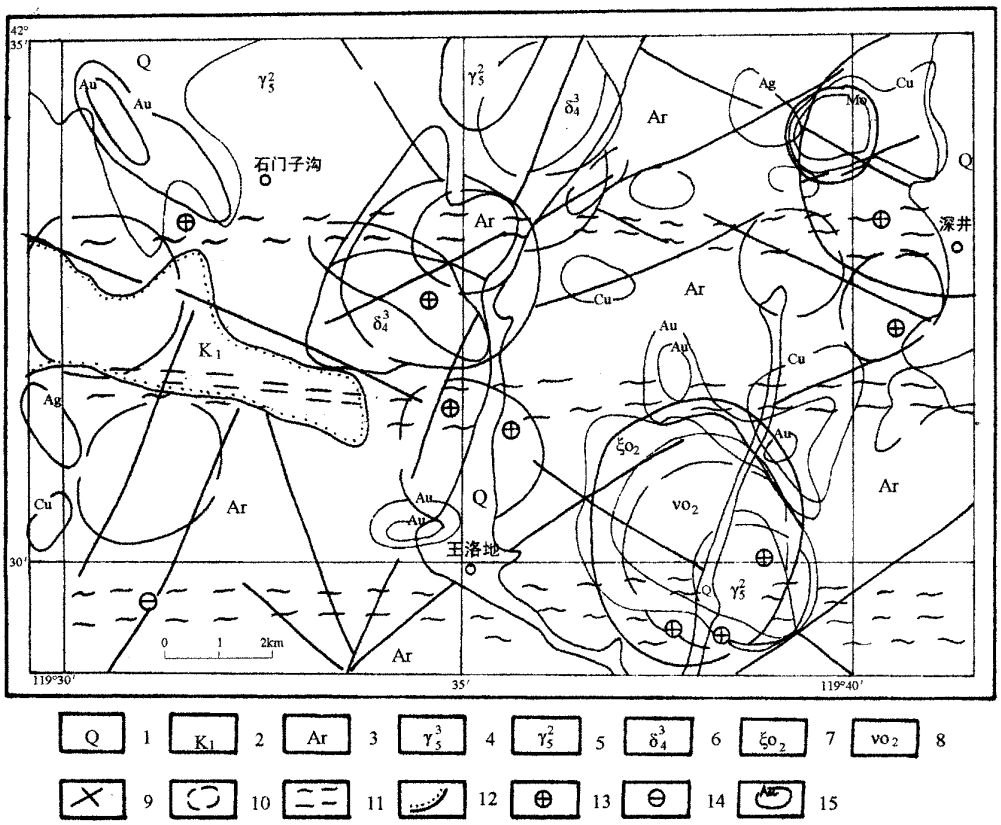


图 5-3　石门子沟-深井 Cu、Au 预测区遥感地质矿产综合图

1. 第四系　2. 早白垩世　3. 太古界　4. 燕山晚期花岗岩　5. 燕山早期花岗岩　6. 华力西期闪长岩
7. 燕辽期石英正长岩　8. 燕辽期辉长苏长岩　9. 断裂构造　10. 环形构造
11. 脆-韧性剪切带　12. 不整合界线　13. 金矿点　14. 铜矿点　15. 分散流化探异常

根据遥感地质解译及野外地质调查，在预测区内的太古代地层中发现了三条东西向的韧性剪切带构造，带内岩石韧性变形特征十分明显，S-C 组构发育，多形成糜棱岩，常见扁豆状、眼球状长石碎斑及石英定向拉长现象，局部地段达超糜烂岩。这些韧性剪切带或韧性变形发育带首先在有利地段形成了金等成矿元素的初步富集，为后期进一步成矿奠定了基础。本区除这些较早形成的东西向韧性构造外，还有一些为显生宙以来形成的一些以脆性为主的断裂构造。从产出方向看，它们在区内主要有东西向、北西向、北东向和北北东向四组。东西向脆性断裂主要表现叠加在原东西向韧性变形构造之上，形成复合构造，其一般 规模不大，有的发育成一系列密集排列的东西向裂隙构造，这些东西向脆性断裂多被后期的构造及岩

浆活动改造和破坏，而呈断续分布特点。北西向断裂构造在区内有一条规模较大的主干线性构造从区的东南部通过，该断裂西起白垩系火山岩北缘，向南东经哈通沟岩体南缘，直至三座庙岩体东南缘后继续延伸，该断裂对预测区内一些金矿的形成起着重要控制作用。此外，在北部深井一带等处还见有一些次级的北西向线性或断裂构造。区内北东向断裂构造规模较大的有三条，即北部的黄花洼、中部的王洛地和南部的下马厂三条断裂，其它为一些规模较小的北东向断裂。经下马厂的北东向断裂为本区唯一一条北东向主干线性构造的一部分，其切割深、延伸远、连续性好，亦为一条重要的控矿构造。中部王洛地以西的北北东向断裂构造，只工作区内仅次于中三家大断裂的北北东向另一断裂，在 1：5 航磁及 1：20 重力异常图上有清晰显示，亦为哈大火烧~七官营子北北东向主干线性构造的一部分，该断裂错断了华力西期中性侵入岩，控制着燕山期侵入体的分布。其次在本区西部等处还见一些规模较小的北北东向断裂发育，有的对局部的 Cu、Au 矿化起重要控制作用。总之，区内在太古代绿岩建造上的东西向韧性剪切带构造及后期不同方向脆性断裂构造发育，它们对内 Cu、Au 等成矿元素的聚集乃至成矿起重要控制作用。

除线性或断裂构造外，区内还解译出十余个环形构造。这些环形构造成因与各时期岩浆侵入作用关系密切，深井西部及西南的三个小环位于深井片麻穹隆大环的边部，与显生宙以来的岩浆活动有关；三座庙三个近内切环形构造是两期三份段不同性质岩浆侵入形成的构造形迹；王洛地以北的四个环形构造成因分别与华力西期及燕山期的岩浆侵入活动密切相关，因为该处的四个环形构造处于北北东向构造岩浆活动带上；区内西部的两个环形构造可能与早白垩世的火山活动及深部岩浆侵入有关。这些环形构造与区内的 Cu、Au 成矿关系密切，表现在区内 9 处金矿点，有 7 处直接落在环形构造边部内侧，及多组环形构造复合部位。另两处 Au 矿点及一处 Cu 矿点位于环外侧不远部位，并且区内一些 Au 、Ag、Cu 化探分散流异常都主要落在这些环形构造边部或附近。

区内发育 10 处矿点，其中 9 处金矿点，只有 1 处东房身铜矿点位于预测区西南角。区内金矿成因类型主要为岩浆热液型、复成热液型和变质热液型。岩浆热液型，如产于燕辽期岩体中的烧锅杖子金矿点，华力西期闪长岩中的哈通沟金矿点以及产于燕山期花岗岩中的小杖子金矿点，复成热液型如碾子沟、山嘴金矿点等，变质热液如魏家沟、新城地金矿点。这些

金矿与太古宙韧性剪切带构造及后期构造岩浆活动关系密切。值得提出的是，该区有两处矿点是本次工作新发现的，即王洛地北部的碾子沟金矿点和三座庙岩体东南边部的山嘴金矿，它们的主要特征见表 5-3。

表 5-3　区内两处新发现 Au 矿点的主要地质特征

矿点名称	位置	地理座标	成因类型	矿点地质特征	品位
碾子沟金矿点	建平县青峰乡碾子沟村	东经：119°35′57″ 北纬：41°31′09″	变质热液	金矿产于小塔子沟组硅化斜长片麻岩中、硅化、黄 Fe 矿化普通强烈，断裂发育，岩石破碎，可见糜棱岩，断裂附近有多条褐铁矿细条带，一组断裂产状 210°〈60°金矿化主要发育在黄铁矿化蚀变岩中，黄铁矿含量〉10%。	Au: 9.60×10^{-6}（矿点）
山嘴金矿点	建平县青峰乡山嘴村北	东经：119°38′42″ 北纬：41°29′20″	复成热液	金矿化石英脉产于小塔子沟组黑云片麻岩中，石英脉走向 350°，宽 0.3m 长〉20m，褐铁矿发育，见原生方铅矿，石英脉与片麻岩接触部位为破碎带，宽 0.5~1.0m，具高岭土化、石英脉发育。	Au: 9.60×10^{-6} Pb:15.2%（矿点）

根据 TM 数据提取的蚀弯信息，主要集中分布在南北两条韧性剪切带上及三座庙岩体和哈通沟岩体的不同部位。在碾 子沟一带，中部韧性剪切带也有两处较好的蚀变异常发育。综合研究表明，三个蚀变异常区为本区成矿的有利地段；区内 Au、Ag、Cu 等 1:5 万分散流化探异常发育较好，Au 异常 6 处、Cu 异常 5 处、Ag 异常 3 处、Mo 异常 1 处，其中发育较好的异常有：三座庙岩体北缘的 Cu、Au 组合异常，深井西北的 Au、Ag、Cu、 Mo 组合异常，哈通沟岩体北半部的 Ag 异常和王洛地及石门子沟以西的 Au 异常等。从重磁场看，该区属低值重力异常及中高值磁力异常区，不同岩性及区内较大构造对重力及航磁异常皆有影响，一些异常变化较大地段常与 Cu、Au 成矿有一定联系。

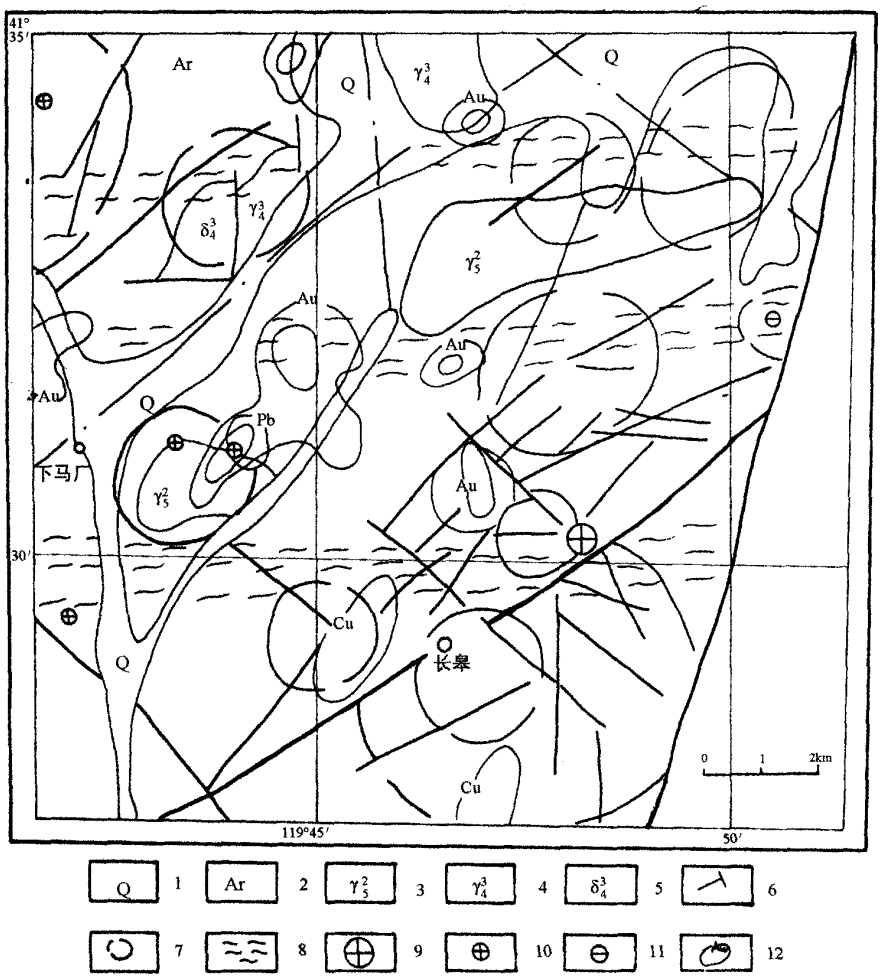


图 5-4　下马厂-上豆腐房 Cu、Au 预测区遥感地质矿产综合图

1. 第四系　2. 太古界　3. 燕山早期花岗岩　4. 华力西期花岗岩　5. 华力西期闪长岩　6. 断裂构造
7. 环形构造　8. 脆-韧性剪切带　9. 金矿床　10. 金矿点　11. 铜矿点　12. 分散流化探异常

由以上讨论可见，本预测区主体岩石组成为太古宙小塔子沟组绿岩建造，并发育有三条规模较大的韧性剪切带，自显生宙以来区内构造岩浆活动强烈，形成了北东向、北西向和北北东向三条规模较大的断裂构造，并有燕辽、华力西和燕山三个旋回的侵入岩发育。区内蚀变及物化探异常信息发育较好，并在该区已有矿产的基础上发现两处远景看好的金矿点。综上说明，该预测区具 Cu、Au 等成矿的良好条件和背景，是值得重点研究的 Cu、Au 找矿的远景区。

3、下马厂-上豆腐房 Cu、Au 预测区

该区位于石门子沟~深井铜金预测区东部，东起下马厂，西至上豆腐房；

南自长梟金矿以南，北至金沟一带。东西长 13.5km，南北平均宽 12.0km，总面积 162km^2。该区东部截至北北东向中三家大断裂（如图 5-4）。

预测区主要出露太古代小塔子沟组黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩及混合片麻岩等，其它为第四系及各类侵入岩。华力西期侵入岩在区域西北部有一处重熔型闪长岩小岩株出露，并有两处重熔型花岗岩小侵入体产出。区中部下马厂以重叠东有 3.0km^2 的燕山期同熔型花岗岩小岩株出露，岩体北缘与太古代片麻岩接触带及外侧有六家子和兴隆沟两处金矿点，并在兴隆沟矿点附近有较好的 Au、Pb 化探异常。在长梟金矿以北，有一东西向长条形的燕山期同熔型花岗岩侵入体，出露面积约 6.0km^2，在长梟金矿区一带常见有花岗岩小岩株及多种脉岩发育，脉岩类型有辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩及花岗细晶岩等，局部地段见煌岩脉与含金石英脉密切共生。

区内各种构造形迹发育，首先在太古宙绿岩建造中，由于区域构造应力作用，形成了三条近东西向的韧性剪切带构造，并在一些有利地段造成了 Au 等成矿元素的最初富集，由于被后期脆性断裂及岩浆侵入作用改造和破坏强烈，因而这些韧性变形带连续性较差。除早期形成的这些韧性构造外，区内还发育有显生宙以来形成的一些北东向、北西向、北北东向及近南北向等脆性断裂构造。较大规模的北东向断裂构造有两条，它们分别为下马厂~朱碌科和长梟~肖家营子两条主干线性构造的一部分，前者在区内隐伏于第四系之下；后者发育较好，在小塔子沟组片麻岩中形成构造破碎带，局部地段被后期脉岩冲填，该断裂对长梟金矿的形成起一定的控制作用。此外，在长梟金矿区西北等处，还有次级北东向断裂 发育，有的成为容光焕发矿构造。区内北西向断裂也较发育，其中东北角一条为新城~肖家营子北西向主干线构造的一部分。余者有长梟金矿区的一些北西向次级断裂构造，常成为较好的赋矿断裂，是长梟金矿区一组重要的含矿构造。该预测区东部边界为北北东向中三家大断裂，区内长梟金矿区北部花岗岩体中等处还见有北北东向次级断裂构造，它们形成时代较晚，多见切断老地层及一些较新的岩体。区内南北向构造不发育，只在西部下马厂一带有一南北向主干断裂，局部地段偶见次级的南北向断裂构造。除断裂或线性构造处，区内环形构造亦发育。根据 TM 卫片共解译出不同大小的环形构造 11 个，其中长梟金矿区附近有 5 个环形构造，即一个较大的环形构造及内部和北西部边缘附近的 4 个小环。长梟金矿形成部位主要在大环与东西向韧性剪切带北东向主干断裂构造及一些小环的复合部位。此外，在下马

厂西六家子花岗岩，长臬金矿北部花岗岩侵入体，区西北部华力西期中、酸性侵入体及上豆腐房铜矿一带皆有环形构造发育，且区内的下石门地金矿点、六家子金矿点、兴隆沟金矿点及上豆腐房铜矿点皆位于解译出的环形构造内侧。可见区内环形构造较发育，对 Cu、Au 成矿起明显的控制作用。

预测区内已知金矿床一处（长臬中型金矿床），金矿点 4 处，铜矿点 1 处。区内长臬金矿床的主要地质矿产特征前已述及，其为一发育在太古宙绿岩建造中的，与韧性变形带或韧性剪切带及燕山期构造岩浆活动有关的复成热液型金矿床。区内其它 5 处矿点自北而南分别为下石门地金矿点、六家子金矿点、兴隆沟金矿点、上豆腐房铜矿点及黑山头金矿点，它们的产出部位及主要成矿特征见表 5-4。可见该区 Cu、Au 矿成因类型与长臬金矿床类似，主要为复成热液型。区内主要类型为金矿，只有一处铜矿（上豆腐房铜矿）点。野外调查表明，在该矿点附近，岩石韧性变形强烈，脆性破裂亦十分发育。在强烈变形并退化变质的韧性变形带内，常叠加了同方向的后期脆性断裂，使岩石发生强烈破碎蚀变，破碎蚀变岩中局部见黄铁矿、闪锌矿及方铅矿化。由于该区毗邻中三家大断裂，次级构造发育，并已发现一些矿化现象，值行进一步找矿工作注意。

从区内蚀变异常信息分布特点看，在长臬金矿区两处异常较好。另处在北部的燕山期花岗岩体的北缘及西南边部有三处蚀变异常显示，且在该侵入体的北缘及南缘分别发育有韧性剪切带构造、环形构造、Au 化探异常及不同方向的脆性断裂构造。野外调查证实，岩体北缘有近东西向的矿化蚀变带，说明岩体边缘有成矿迹象。从区内 1：5 万分散流化探结果看，区内发现有两处 Cu 异常，6 处 Au 异常，皆为单个分散异常。Au 异常零散分布在长臬金矿以北，而两处铜异常分布在长臬金矿南部和西部。一个较好的 Au 异常发育在兴隆沟金矿以北一带，并在兴隆沟金矿附近有铅异常显示。该预测区在重力异常图上，处于一较陡变的负值异常梯度带上；在 1：5 万航磁异常图上，该区显示南北两端高值，中间低值异常特点，低值东西向条带状异常，反映为中生代构造岩浆活动带，因此亦为该区成矿作用的有利地段。综上所述，预测区广泛出露太古宙绿岩建造，并有三条韧性剪切带发育。后期又形成了一些规模较大的断裂构造及华力期和燕山期的岩浆侵入活动。构造岩浆活动为区内的 Cu、Au 成矿创造了有利条件。

表 5-4 下石门地一上豆腐房预测区内 Cu、Au 矿点主要地质特征

矿点名称	位置	地理座标	成因类型	成矿地质特征	品级
下石门地金矿点	建平县深井乡下石门地村	东经：119°41′40″ 北纬：41°34′10″	热液	石英脉赋存于斜长片麻岩及燕山期花岗岩中，有6条，长10~15m，厚0.1~0.2m，最长150m，最宽0.6m。矿石矿物有黄铜矿和黄铁矿。	Au: 1.7-8.7×10^{-6} Ag: 94×10^{-6}
六家子金矿点	建平县深井乡隆沟村六家子北	东经：119°43′08″ 北纬：41°31′00″	热液	产于小塔子沟组片麻岩中，构造发育，NE向为主，次为SE、SN向，节理裂隙均发育，南部有燕山期花岗岩株，矿物有辉钼矿、自然金。	Au: 2.0-2.4×10^{-6}
兴隆沟金矿点	建平县深井乡兴隆沟村	东经：119°43′53″ 北纬：41°30′56″	变质热液	产于小塔子沟组片麻岩及混合岩中，矿区南侧有花岗岩岩株，矿化呈脉状，为含金石英脉，已知10条，长30~200m，宽0.1~1.0m，走向北东或北西，石英脉大部分为白色，含少量黄铁矿少数含方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、白钨矿。	Au: 1.8×10^{-6}
上豆腐房铜矿点	喀左县中三家镇上豆腐房村	东经：119°50′23″ 北纬：41°31′40″	热液	矿区地层为小塔子沟组片麻岩，西北部有花岗岩出露，围岩发生碳酸盐化、高岭土化及硅化，毗邻中三家大断裂，含Cu石英脉5条，沿蚀变破碎带呈鹿茸豆状断续分布，长20~30m，最长80m，最厚达0.7m，矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿孔雀石、辉铜矿、方铜矿、菱铁矿等。	Cu: 0.37~2.19%
黑山头金矿点	建平县黑山头	东经：119°42′00″ 北纬：41°29′20″		产于小塔子沟组石榴角闪斜长片麻岩及混合岩中，岩浆岩有花岗岩、花岗细晶岩，区内构造以断裂构造为主，褶皱次之，6条矿体，长50~200m，宽0.5~2.0m，蚀变为硅化、绿泥石化、绢云母子化。	Au: 0.3-1.0×10^{-6} 最高为6.9×10^{-6}

根据遥感提取的蚀变异常信息，物化探异常信息等的综合分析，区内成矿条件优越，是Cu、Au找矿的有望远景区。

4、三道沟-拦沟铜钼预测区

预测区位于工作区中东部燕辽台褶带构造单元内，西以北北东向中三家大断裂为界，北起三道沟之北一带，南至拦沟以南丛源号水库，东至马家杖子一带，全区南北长约 16.5km，东西宽约 10km，总面积 165km^2，呈一平行四边形展布（如图 5-5）。

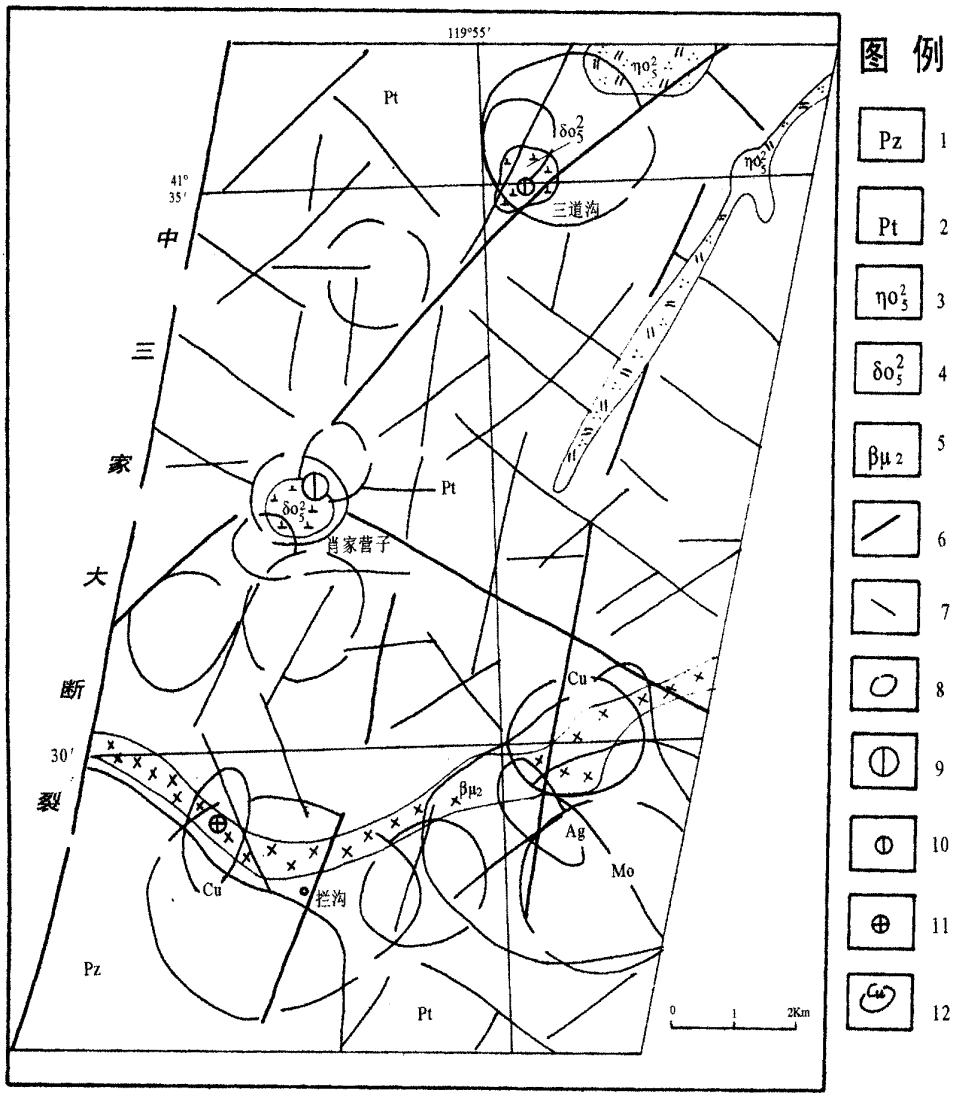


图 5-5　三道沟-拦沟 Cu、Mo 预测区遥感解译地质矿产图

1. 古生界　2. 元古界　3. 燕山期石英二长岩　4. 燕山期石英闪长岩　5. 燕山期辉长辉绿岩
6. 主干断裂　7. 次级断裂　8. 环形构造　9. 铜钼矿床　10. 铜钼矿点　11. 金矿点　12. 分散流化探异常

该区出露地层主要为中晚元古宙及少量古生界地层。古生界分布在区域西南，拦沟以西一段，为ϵ_1-O_2 的灰岩夹碎屑岩建造;中晚元古界区内主要出露雾迷山组和杨庄组,岩性主要为白云质灰岩、燧石条带结核状灰岩夹

少量砂岩。雾迷山组主要在肖家营子矿区及南部较大面积分布，为肖家营子铜钼矿床的赋矿围岩；杨庄组主要分布在区北部的三道沟一带。区内侵入岩较发育，南部拦沟一带有燕辽期辉绿岩呈东西向长条状并向南凸出的弧形展布。中部肖家营子及北部的二道沟一带有燕山期基~中性侵入岩体出露，并有超浅成脉岩发育，它们皆为肖家营子铜钼矿床及三道沟铜钼矿点的成矿母岩。此外，在该区北缘及三道沟以东一段还有燕山期石英二长岩小岩体及规模较大的脉岩露，但其与区内的成矿关系不大。

区内断裂构造发育，西缘的北北东向中三家大断裂是与西侧内蒙地轴的分界线。预测区内主要有北东向、北西向、北北东向及近东西向四组断裂构造。北东向断裂以肖家营子~三道沟断裂为代表，其为长臬~肖家营子北东向主干线性构造的一部分，是一条规模较大的断裂构造，区内其它一些北东向断裂规模较小，均为次级断裂构造；北西向断裂构造以肖家营子~康杖子断裂为典型，其为工作区新城~肖家营子北西向主干线性构造的一部分。在肖家营子~三道沟一段，也有数条近等间距分布的次级北西向断裂构造发育；区内有两条规模较大的北北东各断裂构造与中三家大断裂平行产出，即拦沟及其东部的水泉沟两条断裂构造；东西向断裂不发育，只在区中部肖家营子一带可见一些次级的东西向断裂构造产出，其它地段少见。除断裂构造外，区内根据 TM 图像解译出十余个环形构造，这些环形构造的分布明显受拦沟岩体及肖家营子~三道沟北东向断裂构造控制。在区南部沿拦沟岩体有四个环形构造分布；在肖家营子岩体附近有 5 个环形构造，三道沟岩体附近有两个环形构造，二者之间还有一环形构造发育，这些环形构造主要分布在肖家营子~三道沟北东向断裂上或旁侧。可见本区环形构造与构造岩浆活动关系密切，一些与岩浆侵入有直接成因联系的环形构造对区内已知矿产有明显控制。区内一处矿床、两处矿点皆分布在环形构造边部附近，有的为多个环形构造的复合部位。

区内已知矿床、矿点三处，肖家营子大型铜钼矿床地质特征前已述及，另两处即三道沟铜钼矿点及拦沟金矿点的主要地质特征见表 5-5。三道沟铜钼矿与肖家营子铜钼矿床成矿特征类似，主要产于三道沟岩体与中元古界碳酸盐岩接触带的矽卡岩中，该岩体有一定相变关系，中心相为二长岩或下地，边缘相为辉石闪长岩~辉石二长岩。除浅成侵入岩外，还有次火山岩，主要有粗面斑岩~粗面流汶斑岩，呈现脉状产出，局部地段还见有隐爆角砾岩出露。此外，区内还见有次闪石化辉绿岩、辉石角闪二长斑岩

及细粒闪长岩等脉岩出露。该区内的成矿作用与岩浆侵入活动密切相关。拦沟金矿主体产于辉绿岩体内的构造破碎蚀变带中，其成因可能为岩浆侵入作用捕获基底中的金，而在岩浆结晶晚期在有利环境下成矿元素进一步富集的结果，但该类型金矿在本区与燕山期岩浆活动关系不大。从区内的其它成矿信息看，在肖家营子岩体周围有四处较好的蚀变异常发育，岩体东部的两处异常有较好的矿体产出，值得注意的是西北部的异常，该异常目前已发现较好的铜钼矿化线索，值得进一步工作重视。其次，在肖家营子~拦沟一带，有一些分散的蚀变异常沿北北东向断续延伸。区内化探异常除肖家营子矿区较好的 Mo、Cu、Ag、Pb 分散流组合异常及拦沟金矿的一处 Cu 异常外，在拦沟以东一带有规模较大的 Cu、Mo、Ag 异常分布，值得重视。该区在 1：20 万重力异常图上显示为低值重力梯度带；在 1：5 万航磁异常平面图上，显示为平缓低值异常区。

综上所述，肖家营子~三道沟 Cu、Mo 成矿预测区位于中三家大断裂东侧的燕辽台褶带内，由于中生代燕山期强烈的构造岩浆活动，在本区形成了一个北北东向的构造岩浆活动带。该活动带内的成矿特点（包括南部上滴达水铜矿），表现为侵入的基~中性及碱性的浅成或超浅成岩体或脉岩为同源岩，同时也是矿源岩。矿体主要产于岩体与围岩接触的矽卡岩中，因此燕山期这些浅成超浅成的侵入体或脉岩及矽卡岩为找矿的重要标志。

表 5-5 三道沟~拦沟预测区内 CuMo 及 Au 矿点主要地质特征

矿点名称	位置	地理座标	成因类型	成矿地质特征	品位
三道沟铜钼矿点	建平县朱碌科乡水塘沟村	东经：119°55′26″ 北纬：41°34′56″	同熔岩浆热液	矿体产于岩体与围岩接触带的矽卡岩体中，共发现 11 条矿体，其中 4 条为主矿体，矿化以之尚次，有铁矽化、相化、大理岩化、矽卡岩化、绿泥化、钾长石化、铜钼矿化、细脉状、浸染状、蚀变云母酸盐。	Cu:1.0% Mo:0.12%
拦沟金矿点	喀左县中三家镇拦沟村	东经：119°51′31″ 北纬：41°29′18″	岩浆热液	金矿化主要产于燕辽晚期碎裂岩中，明显受辉绿岩破碎带控制，矿体与围岩界线清楚，主要为碎裂岩、断裂角砾岩，次之为辉绿岩脉，矿化好，主要为褐铁矿化、硅化、碳酸盐化，一般发育，一般在触部，一般表现为金辉晶体产状 155°∠80°。	Au: 最高达 15.5×10^{-6} 一般:1.0-3.0

三　区域找矿靶区选择

由此可见，区内优选出的四个铜金及铜钼预测区内皆具备优越的成矿条件，但预测区范围较大，最小为 135km^2，最大达 180km^2，在偌大区域进行找矿将是十分困难的。因此，找矿模型的具体内容及相关成矿条件的综合分析，并配合野外调查结果，在每个预测区内进一步优选出范围较小的找矿靶区是十分必要的。由于各靶区的成矿条件有所差异，又根据各靶区的成矿几率划分为三个级别。一级找矿靶区划分条件是不仅最大限度满足了找矿模型中的条件，同时在野外实际调查中发现了较好的矿化线索。如本次划分的四个一级找矿靶区，即

包括三处新发现矿点地段及另一处的矿化蚀变发育较好地段；二级找矿靶区除考虑构造岩浆条件或线环构造组合外，更着重异常考虑化探信息、蚀变异常信息等与矿化有关信息的发育程度；三级找矿靶区整体具备有利成矿条件，内蒙地轴区多发育在韧性剪切带上或附近，构造岩浆活动强烈地段，并常有化探异常及蚀变信息异常发育。燕辽台褶带内主要找矿方向为铜钼矿种，因此应注意岩浆侵入及环形构造发育情况，并可有较好的化探异常分布。总之，靶区级别的划分，总体遵循对找矿模型条件有利的原则，一般说来，符合模型条件越多，越有利于成矿。这样，在四个预测区（I-IV）内，其选出三个级别的找矿靶区 15 处，其中，东岱王山~杨树沟 Cu、Au 预测区（I 区）优选出 3 个靶区，一、二、三级各一处。石门子沟~深井 Cu、Au 预测区（Ⅱ区）优选出 5 个找矿靶区，一、二级各两处，三级一处。下马厂--上豆腐房 Cu、Au 预测区（Ⅲ区）优选 出 3 个找矿靶区，一、二、三级各一处。三道沟—拦 沟 Cu、Mo 预测区（IV 区）优选出了 3 个找矿靶区，二级一处，三级两处（如图 5-6)。其中，靶区符号Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别代表所属的预测区，下角标代表该靶区在预测区内的顺序号，而上角标则表示靶区的级别号。Ⅱ $^{1}_{2}$表示第二预测区内第二靶区，该靶区为一级找矿靶区。区内 14 处找矿靶区的主要成矿地质特征见表 5-6。

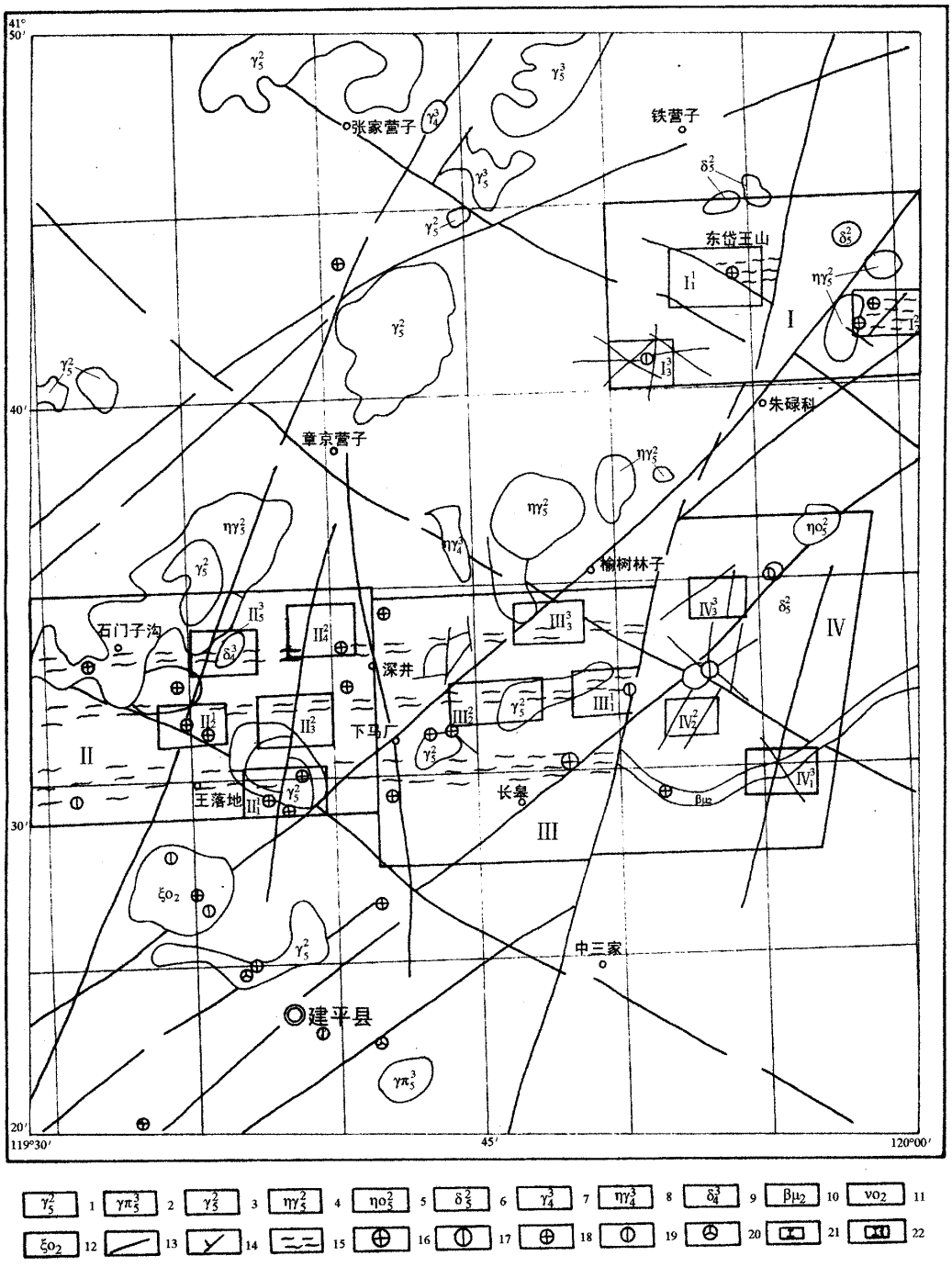


图 5-6　建平北部遥感解译主要构造、岩浆岩及成矿预测图

1. 燕山晚期花岗岩　2. 燕山晚期花岗斑岩　3. 燕山早期花岗岩　4. 燕山早期二长花岗岩　5. 燕早期石英二长岩
6. 燕山早期闪长岩　7. 华力西期花岗岩　8. 华力西期二长花岗岩　9. 华力西期闪长岩　10. 燕辽期、辉绿岩
11. 燕辽期辉长苏长岩　12. 燕辽期石英正长岩　13. 主干断裂构造　14. 次级断裂构造　15. 韧性剪切带　16. 金矿床
17. 铜钼矿床　18. 金矿点　19. 铜矿点　20. 多金属矿点　21. 预测区编号　22. 找矿靶区级别及编号

表 5-6 不同级别找矿靶区特征

靶区编号	名称	位置	面积	成矿条件	其它
I^{1}_{1}	东岱王山 Cu、Au 找矿靶区	建平朱科新子房乡碌村	14.0 Km^2	位于中三家大断裂西侧，在太古代绿岩建造中发育东西向韧性剪切带构造，并有 NNE 及 NW 向断裂构造发育，区内有较个相切的环形构造，并有较好的蚀变信息异常和 Ag、Pb 化探异常，有辉绿岩、煌斑岩等脉岩产出	韧性剪切带与线环构造交汇部位成矿有利，区内新发现一处金矿点，Au 品位达 3.6×10^{-6}
II^{1}_{1}	山嘴 Au 找矿靶区	建平青山山峰乡嘴村北	9.5 Km^2	位于两条北东、北西向主干线性构造交汇部位附近，并有 NNE 向断裂发育，区内有燕辽期和燕山期侵入岩，及由此形成的三个环形构造，区内太古代绿岩建造中有韧性剪 切带构造发育。发育两处蚀弯信息异常，整体位于北东向、东西向两个蚀变异常区交汇地段。	韧性剪切带与岩浆岩侵入体，断裂构造或线环构造复合部位有利成矿。区内原有两处 Au 矿点，又新发现一处山嘴金矿点，Au 品位达 9.61×10^{-6}
II^{1}_{2}	碾子沟 Au 找矿靶区	建平青山子峰碾沟村	7.0 Km^2	位于北北东向与北西向主干线性构造的交汇部位，同时又位于东西向韧性剪 切带上，北有哈 通沟岩体，南有三座庙侵入体。区内有一环形构造，东部有较好的蚀变信息异常，整体位于哈通沟岩体~三座庙岩体的蚀变异常区内。	韧性剪切带构造与主干断裂交汇部位附近为成矿有利地段。区内原有一新城地 Au 矿点，新发现碾子沟 Au 矿点品位达 9.60×10^{-6}
III^{1}_{2}	上豆腐 Au、Cu 找矿靶区	喀左中家三镇上豆腐村东部	6.5 Km^2	位于中三家大断裂旁侧，东南有长臬~肖家营子北东向断裂通过，区内太古宙绿岩建造韧性变形十分强烈，西部有燕山期花岗岩侵入，区内各种脉岩发育，东西部各有一环形构造，岩体北缘有较好蚀变信息，野外验证为矿化构造破碎蚀变带。	区内构造岩浆活动强烈，成矿有利，已发现岱玉山铜矿点，并在该点附近及花岗岩体北缘皆发现较多的矿化线索

续表 1

靶区编号	名称	位置	面积	成矿条件	其它
I^{2}_{2}	杨树沟东Au找矿靶区	建平朱科高乡碌杖子、水泉东村部	7.0 Km^2	该区位于中三家与凌原~北票两条大断裂所夹的锐角区内，区内太古代绿岩建造中有韧性剪切带动发育，并有北东、北西及北北东向的断裂构造产出，东缘为同熔型燕山期花岗岩，区内有个相交的环形构造，并有一处较好的蚀变异常发育	区内韧性变形发育，构造岩浆活动强烈，成矿有利，已发现有两处金矿点，该靶区东及东南部仍具找矿潜力。
II^{2}_{3}	柳家营Cu、Au找矿靶区	建平青山峰乡三座庙北部一带	9.5 Km^2	该区位于三座庙岩体东北缘的东西向韧性剪切带上，有规模较大的NNE向断裂通过，整体处于三座庙三个复式环形构造边缘，并有较好的Cu、Au异常分布，区南部边缘有较好的蚀变异常发育。	区内韧性剪切带构造与断裂构造环形构造及化探异常复合部位成矿有利。区内未发现矿点，但成矿条件优越。
II^{2}_{4}	魏家沟Cu、Au找矿靶区	建平深乡魏家沟村一带	8.0 Km^2	区内有北北东、北东、北西向断裂构造发育，南部有东西向韧性剪切带出露，区内发育两个大小相差悬殊并相交的环形构造，有Au、Ag、Cu、Mo组合异常发育，区南缘有一处蚀变异常。	区内有较好的分散流化探异常，并有一处金矿点，区内线环构造及韧性剪切带的复合部位利于成矿。
III^{2}_{2}	兴隆沟村东Cu、Au找矿靶区	建平深乡家北井骆店部一带	8.0 Km^2	区内发育东西向韧性剪切带构造，并有北东向断裂，东部有燕山期花岗岩侵入体，东缘有环形构造发育，西南与六家子花岗岩体及环形构造毗邻，区内东西两处较好Au化探异常，东部有两处较好的蚀变异常。	区内尚未发现金矿点，但较好的Au化探异常及有利的成矿环境值得进一步找矿重视。
IV^{2}_{2}	肖家营子南Cu、Mo找矿靶区	喀佐中家肖营村部三镇家子南	5.0 Km^2	该靶区与肖家营子矿区一样处于北北东向构造岩浆活动带上，区内北北东向断裂发育，野外验证表明区内有次火岩侵入体（隐爆角砾岩）出露，东部有较好蚀变异常发育，整个靶区位于北北东向蚀变异常区。	野外调查发现超浅成侵入相的火山隐爆角砾岩，其可能为成矿提供物质及能量的来源，是成矿有利场所。

续表 2

靶区编号	名称	位置	面积	成矿条件	其它
I^{3}_{3}	岱王山南 Au、Cu 找矿靶区	建平县朱碌科乡白银沟东南部	7.0 Km^2	该靶区处于中生代火山盆地与太古代绿岩建造接触部位，有中生代中酸性脉岩侵入。区内各方向断裂构造发育，有环型构造及两处较好的蚀变晕异常发育。	区内有岱王山铜矿点产出，在其边部有金矿化线索，在其附近部质仍具 Au 、Cu 成矿良好条件。
II^{3}_{5}	和尚地 Cu、Au 找矿靶区	建平县家洼乡和尚地村	6.5 Km^2	该区位于东西向韧性剪切带上，有北北东向主干线性构造从区西部通过，区内有华力西及燕山期的中性及酸性侵入体，区内有环型构造及 Au 、Cu 化探异常，且南部有一处好的蚀变异常发育。	区内尚未发现 Cu、 Au 矿点，但有化探及蚀变异常发育，构造岩浆活动强烈，又处于太古代地层的韧性剪切带上，成矿有利。
III^{3}_{3}	许家梁 Cu、Au 找矿靶区	喀佐中三家东山一西沟一带	7.0 Km^2	区内有东西向韧性剪切带构造及北东、北西向主干断裂发育，北部有花岗岩侵入体，边部有 Cu 异常产出。区东南部有环型构造，环南部有蚀变异常发育。	区内尚未发现 Cu、 Au 矿点，但区内成矿条件优越，是 Cu 、Au 成矿的有利地段。
IV^{3}_{1}	水泉沟 Au 找矿靶区	喀佐中三家镇水泉沟村	7.0 Km^2	区内有燕辽期绿岩侵入体从中通过，并有规模较大的北北东向断裂发育，区内有两个近于相切的环型构造发育，并有较大的 Ag 、Mo 、Cu 组合异常发育，整体处于一北北东向构造岩浆活动带上。	该区东部有拦沟金矿点产出，据此，该处应具备比拦沟更好的成矿条件，值得重视。
IV^{3}_{3}	干巴井子 Cu、Mo 找矿靶区	建平县朱碌科乡干巴井子村东	5.5 Km^2	区内有北东向、北北东向断裂及一环形构发育，野外验证表明该区内有超浅次火山脉岩出露，故推测深部有岩浆侵入活动，故具 Cu、Mo 成矿的良好条件。	区内发育的环形构造，指示可能有隐伏岩体存在，值得进一步找矿重视。

由表 5-6 可见四个预测区内的 14 个找矿靶区具优越或良好的成矿条件。尤为四个一级靶区，皆分布在内蒙地轴区，且都发育在太古宙绿岩建造之内的韧性变形构造带上，并经野外实地验证发现了 3 处金矿点和两处较好的 Cu、Au 矿化线索。三处金矿点中，碾子金矿点具较好的成矿规模和远景，目前已进入普查找矿阶段。5 个Ⅱ级找矿靶区，皆处于构造岩浆活动较强或线环构造发育的成矿有利地带，且多具较好的化探异常及及蚀变异常显示，有的具矿点实例，因此亦为寻找 Au 、Cu、Mo 等矿产的重要地段。5 个Ⅳ级找矿靶区，一般皆具较好的线环构造组合，常与较大规模的韧、脆性构造关系密切，并具直接或间接的岩浆侵入及化探异常等信息，亦反映区内具一定找矿价值。

在本区优选的 14 个 Au 、Cu、Mo 的找矿靶区中，对一级区可直接普查找矿；对于二级找矿靶区应先做一定间距的地质、物化探信息剖面，了解矿化情况，圈定最佳成矿部位，然后进行揭露验证；对于三级找矿靶区，应进行次生晕化探工作，了解矿化范围，并做适当的地质、物化探综合剖面，然后再根据有关信息进行综合找矿。如上选择的 14 处找矿靶区，只是主要根据遥感地质解译及信息提取的结果，并配合有关地物化信息和野外调查结果等综合研究而划分出来的。由于 Au 等多金属成矿作用的多解性和复杂性，这并不能否认在本区其它地段成矿的可能性，在四个预测区之外，仍有一些 Au、Cu 等矿点、矿化点和化探异常的展布，也值得在今后地质找矿工作中进一步分析和研究。

结　　束　　语

目前，TM 图像已经广泛用于地质找矿，并且已经取得了显著成效。本文根据辽西建平北部一带成矿地质条件，主要采用 TM 遥感地质解译与野外验证相结合，遥感信息提取与研究区的地质、物化探及矿产等有关资料相结合的综合研究手段，探讨区内的金、铜、钼等多金属的成矿条件、成矿特点和成矿规律。根据对本区 TM 图像遥感地质解译及 TM 数据的系统分析，在区内划分出了两个重要的东西向线性构造发育带，十条其它方向的主干线性构造及众多的次级线性构造和 50 余个环形构造，尤其在两条东西向构造发育带内发现了 5 条韧性剪切带构造，并对区内侵入岩的影像特征进行了细致研究。此外，还对研究区内三千个子区进行蚀变信息提取处理。通过对区内这些地质构造、岩性、蚀变等 TM 遥感信息与成矿作用关系的研究，并在综合其它有关地物化信息及总结成矿规律的基础上，建立了研究区的遥感地质综合找矿模型，经综合研究提出四个成矿预测区，并在此基础上优选出了四个一级，五个二级和五个三级共 14 个找矿靶区，并在三个 I 级靶区内，在野外调查验证中发现三处金矿点，在另外一个 I 级及一个 II 级靶区内发现了重要铜、金及多金属矿化线索，这些无疑为该区的进一步找矿创造了有利条件。

在本次研究中，除发现金矿点和矿化线索外，新发现 5 条韧性剪切带构造及对研究区内三个区蚀变信息提取研究是两个突出的亮点。根据对 TM 图像的解译分析、野外调查及镜下鉴定等综合研究，在内蒙地轴区的太古宙绿岩建造中，确定 5 条韧性剪切带构造，提出了韧性剪切带构造与区内 Cu、Au 等成矿有密切联系，论证了韧性剪切带构造是本区金矿成矿的重要前提之一；目前，提取岩性蚀变信息，甚至矿化蚀变信息，是国内外遥感地质找矿工作中一项前沿课题，许多专家学者在不同的研究区应用方法手段不尽相同。在本次研究中，作者根据研究区的具体成矿特点，在总结前人成果的基础上，运用自己总结的技术方法在三个子区进行了蚀变信息提取处理，并取得了理想的找矿效果。本次在野外验证中发现的 3 处金矿点与本区韧性剪切带构造的发现及对蚀变信息的研究这两方面的因素是密不可分的。

研究区地处辽宁西部贫困山区，地质研究工作程度相对较高。已经开采或正在开采的钼、金、铜等矿床或矿体数量不多，后备资源匮乏，构成

规模经济的矿床很少，尽快寻找可供开采利用的矿产资源基地显得十分迫切，本次遥感地质找矿研究工作无疑为加速寻找新的矿产地提供了最新资料和找矿方向。新发现的金矿类型和金矿点具有实际指导意义，建议对提出四处一级找矿靶区尽快布署普查工作，对新发现的金矿点尽快投入大比例尺的地表评价工作，以期获得更好的找矿效果。

由于地质历史发展的长期性、复杂性，以及 Ag 、Cu、Mo 等成矿作用的多样性，不可预见性，加之作者水平有限，难免在本文论证中有不当甚至错误之处，敬请各位专家、读者给予指正，本人将不胜感激。

在该项研究及论文编写过程中，始终得到指导教师冯本智教授的精心指导。此外还得到吉林有色地勘院孙宝田院长（教授）、俞中辉副院长，吉林大学吉林大学地球科学院的姚凤良教授、刘连登、孙丰月教授等的热心帮助和指教。在此深表谢意。

参考文献

1 阎积惠，TM像地质应用原理与方法 冶金工业出版社 1995
2 庄堵仁，遥感技术及地质应用研究 地质出版社 1985
3 张樵英，遥感图像目视地质解译方法 地质出版社 1985
4 朱亮璞，遥感地质学 地质出版社 1994
5 A.B.裴伟，航天遥感信息在地质中的应用 石油工业出版社 1985
6 翟裕生，大型构造与超大型矿床 地质出版社 1997
7 邹光华，中国主要类型金矿床找矿模型 地质出版社 1996
8 何绍勋，韧性剪切带与成矿 地质出版社 1996
9 李铁芳，遥感图像数字处理原理与应用 云南科技出版社 1987
10 地质部情报研究所，矿物央岩石的可见~中红外光谱及其应用 地质出版社 1980
11 F萨宾，遥感图像原理与解译 地质出版社 1980
12 陈述彭，遥感地学分析 测绘出版社 1990
13 刘燕君，遥感地质学基础 科学文献出版社 1990
14 北京大学遥感技术应用研究所，TM图像及其应用译文集 1987
15 杨世喻，云南锡矿遥感地质找矿模型 云南科技出版社 1994
16 许殿元，遥感图像信息处理 宇航出版社 1990
17 王润生，地质勘查图像分析与综合 地质出版社 1992
18 丰茂森，遥感图像数字处理 地质出版社 1992
19 童庆禧，中国典型地物波谱及其特征分析 科学出版社 1990
20 郭德方，遥感图像的计算机处理和模型判别 电子工业出版社 1987
21 刘贤德，CCD及其应用原理 华中理工大学出版社 1990
22 向永年，构造岩石学基础 地质出版社 1988
23 刘英俊，江南金矿及其成矿地球化学背景 南京大学出版社 1993
24 孙岩，断裂构造带的划分 科学出版社 1985
25 聂风军，热液金矿床成矿机理 地质科技情报 1990（1）
26 许志琴，地壳变形与显微构造 地质出版社 1984
27 向永年，构造岩石学基础 地质出版社 1988
28 承继成，遥感信息研究的原理和方法 北京大学内部出版 1987
29 王长跃，空间遥感图像的分析应用 国防出版社 1985
30 谢寿升，微波遥感技术与应用 电子工业出版社 1987

31 冶金部地质研究所，中国斑岩铜矿　科学技术出版社　1986
32 涂光炽，金矿地质若干问题探讨　科学出版社　1991
33 陈璨川，中国矿床成矿模式　地质出版社　1986
34 熊光楚，地球物理调查预测金属矿　地质出版社　1986
35 欧阳宗圻，有色及贵金属矿田（床）地球化学异常模式　科学出版社　1990
36 姚凤良、刘连登等，胶东西北部脉状金矿　吉林科学技术出版社　1990
37 吴承栋，矿床模型的建立和应用　中国地质矿产信息研究院　1992
38 刘东升，中国卡林型（微细粒浸染型）金矿　南京大学出版社　1994
39 王长跃，空间遥感图像的分析应用　国防工业出版社　1985
40 徐冠华等，再生资源遥感　科学出版社　1988
41 杨德明，韧性变形带遥感图像特征和航磁异常特征研究　长春地质学院学报　1992
42 丁家瑞，与线性构造有关的一些名词术语多议　遥感地质　1983、3
43 刘允良等，剪切带的遥感特征研究　吉林科学技术出版社　1992
44 阎积惠，甘肃北山 TM 合成图像的波段组合模式与解译　遥感信息　1989、1
45 胡家杰，胶东河西金矿控矿断裂及矿体预测　地球科学，1987、12（5）
46 胡正国，太古宙岩石中金富集的地球动力学条件　地质与勘探，199329（8）
47 李德威，含金剪切带的划分及成矿机理　矿床地质 1993 12（2）
48 李树勋，韧性剪切带的特征与金矿化的关系　中国地质　1988、5
49 刘继顺，华南东部陆壳地球化学与铀的区域成矿　中南工大出版社　1991
50 刘继顺，关于金矿床形成时代的确定方法　黄金　1991 12（10）
51 周世泰，再论华北台老变殖岩中金矿成因特征　地质与勘探 1993 29（8）
52 朱志澄，构造地质学的新进展及新构造观　地质科技情报　1988 7（1）
53 王春增，变形分解作用及其研究意义　地质科学情报　1988 7（2）
54 植起汉，1：5 万遥感综合成矿预测　遥感与地质　1990、4
55 刘心季，应用数字图像处理技术增强线性构造影像特征　遥感与地质　1985、2

56 吴虹，花岗岩体的遥感~重磁环影同现模式　遥感地质　1987，2
57 吕永昌，遥感地质技术在新疆东部金矿普查中的应用　遥感与地质　1989、1
58 杨世喻，从遥感地质信息探讨东川一易门地区构造矿化格局　矿产与地质　1990、1
59 植起汉，漠河地区岩金矿的多源找矿信息　矿产与地质　1994、1
60 吕永昌，浙东南金（银）矿的遥感影像地质模式　矿产与地质　1993、2
61 曾益文，星星峡地区遥感图像的矿产信息提取　遥感与地质　1989、2
62 曾益文，东疆主要金矿床的遥感地质模式　遥感技术动态　1989、4
63 张远飞，影像面积比数据计算机处理初探　冶金遥感地质　1983、2
64 陆军，陆地卫星影像亮度值在找矿预测中的应用　矿产与地质　1987、3
65 杨铮，个旧矿区卫星影像特征分析　遥感地质　1986、1
66 杨铭君等，陕西凤太矿田遥感构造特征与矿产关系讨论，遥感地质　1982、2
67 赵国春，变质流体对变质反应温度缓冲作用实例研究　长春地院学报　1996、1
68 刘志宏，五台山西部狐狸山含金韧性剪切带的地球化学研究　长春地院学报　1996、1
69 丘殿明，吉林省辉南地区含金韧性剪切带的构造地质特征　世界地质　2000、4
70 许志琴，中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学　地质出版社　1997
71 任麦收，份形在脆性断裂中的应用　长春地院学报　1997、27、38-41
72 F.Fsabins Remote Sensing Principles and Interpretation.Second Edition.W.H.Freednan and Company New York.1986.
73 B.S.Siegal and A.R.Gillespie,Remote Sensing in Geology.John Wiely and sons.1980
74 J.P.Ford,J.B.Cimino,Space Shuttle Columbia Views the World With Imaging Radar.1983.
75 Pontual A,IEEE Transaction on Geosience and Remote Aensing.1989.Vol.27.no.6

76 Blom.R.G.Daily.M.IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing.1982.Vol.GE-20.NO.3.

77 Robort N.Colwell.Manual of Remote Sensing,Second Edition,American Society of photogrammetry.1983.

78 S.A.Drury.Image Interpretation in Geology.1987

79 James.B.Campbell,Introduction to Remote Sensing.1987

80 Hobbs.W.H.Recognizing Thrust Faults on Remote Sensing images worded oil 1990.9.p39-45

81 Dr.Ravi Prakash Gupta.Remote sensing Geology Springer verlag Berlin Heide-Lberg.1991.

82 Christopher.A.Shuman,Proceeding of the Eighth Thematic Confererce on Geologic Remote Sensing.1991.

83 I.N.kapustin,International Geology Review 1983 Vol.25.

84 D.S.windeler.Jr.9th Themetic Conference on Remote Sensing .1993.

85 Bell.T.H.1985.Deformation partitionong and porphyroblast rotation in metamorphic rocks:a radical reinterpretation.No 3.109-118.

86 Bormemaison.M.Auriferous mineralization in some shear zones:a three stage-model of metalloginesis mineralium Deporsita 1996.

87 Phillips.G.N.Geology and alteration in the Golden M:le 1986.779-801

88 RamsayJ.G Strain Variation in shearbelt can.J.Earth sci 1970.7.

89 Ramsay.J.G.Shear zone geometry a review J.struct Geol.1980.2

90 Simpson C. Strain and shape fabric variations asociated with ductile shear zone J struct Geol. 1982.5.61-72.

91 Cook H.C and Johnston W.A. The gold resources of Canada In Gold Resources of the World 14th Inter Geol-Cong 1990

92 Fleitout l and Froideraux C. Thermal and evolution of shear Zone. J. Struct Geol.. 1980.2.159-164

93 Carter. N. L. Flow properties of continental lithosphere 1987.27-63

辽西建平北部 TM 信息提取及成矿预测研究

专　　业：矿物学、岩石学、矿床学
指导教师：冯本智教授

研究区位于华北地台北缘中东段台区一侧的内蒙地轴与燕山台褶带的结合部位，北东向凌原—北票大断裂和北北东向中三家大断裂构成内蒙地轴和燕山台褶带的分界线。区内出露的最古老地层为太古宙建平群小塔子沟组和大营子组地层，为一套麻粒岩相—角闪岩相的中深变质岩系，又被王义文等人划分为太古宙下绿岩建造和上绿岩建造；元古宙地层在本区主要出露长城系和蓟县系，为一套间歇性喷发的中酸性火山岩及碎屑岩建造。区内侵入岩较发育，从碱性—基性皆有出露，主要分布在内蒙地轴区，大都以岩株形式产出，按其形成时代与构造关系可划分为燕辽期、华力西期和燕山期三个侵入旋回，断裂构造在区内也较发育，除上述两条重要的分界断裂外，还发育有规模较大的北东、北西、北北东及南北向断裂构造，并在内蒙地轴区还发现有一些近东西向的韧性剪切带构造存在。区内矿产以 Au、Cu、Mo 矿为主，内蒙地轴区以 Cu、Au 为主，主要类型为长皋中型金矿床；燕辽台褶带以 Cu、Mo 矿为主，典型代表为肖家营子大型铜钼矿床。

该项研究的主要手段是利用 TM 遥感图像及数据进行地质解译及信息提取。首先通过对本区 TM 数据的统计分析，选择三个单波段 TM1（R）、TM4（G）、TM7（B）的彩色合成图像为本次研究的基础图像；同时还运用主成份分析、比值合成及组合处理等多种方法处理全区或子区的增强图像，较好地突出了区内及局部地段的岩性、构造等地质特征；此外，根据蚀变矿物的波谱特征及已知蚀弯带 TM 数据特点的综合研究，提取了三个子区的蚀变异常信息，这些蚀变异常以彩色晕圈形式显示出来，并与区内的成矿作用关系密切，对研究和指导该区的找矿工作具重要的应用价值。

通过对研究区 TM 图像的综合地质解译，在区内南、北部划出了两个东西向线性构造发育带，在全区划分出了四条北东向、三条北西向、二条北北东向及一条南北向共 10 条主干线性性构造及众多的次级线性构造。野外验证及综合研究表明，区内这些主干线性构造均为规模较大的断裂构造，其中北东向凌原—北票岩石圈断裂和北北东向中三家壳断裂是区内两条最重要的控岩控矿深大断裂。根据 TM 图像影像分析及野外调查验证，在本区南北两个东西向线性构造带内发现了 5 条韧性剪切带构造，即区东北部的东岱王山和高杖子两条韧性剪切带以及区中南部石门子沟~长皋金矿一

带的三条韧性剪切带。这些韧性剪切带内岩石韧性变形强烈，S-C 面理发育，不对称长石碎斑、不规则小柔皱，石英定向拉长及镜下的长石、石英的动态重结晶、核幔构造及“云母鱼”等多种韧性变形构造现象。区内这些韧性剪切带与一些主要金矿的形成有密切关系，对一些 Cu、Au 等矿化起明显的控制作用。根据 TM 图像在本区共解译出大小不等的环形构造 50 余个，环形构造整体上规模不大，最大直径约 6.0km。从形态上看，这些环形构造可划分为单环和复式环，复式环是由两个或多个环形构造相叠加而构成的，多与岩浆侵入作用有关。从成因机制上，这些环形构造可划分为太古宙片麻岩穹隆构造、岩浆侵入体、隐伏岩浆侵入体、火山中心机构及环状裂隙或断裂等形成的环形构造。区内侵入岩较发育，主要以中生代燕山期中—酸性侵入体为主，大都以岩株及脉岩形式产出，明显受区内主要线性构造（带）的控制。在 TM 遥感图像上，岩体与围岩的影像特征差异明显，且不同岩性的侵入体之间影像特征也有所差异。根据 TM 数据及已知蚀变带特点在三个子区内提取的蚀变异常信息，主要分布在一些矿床、矿（化）点及岩浆岩侵入体发育地带，并明显受区内东西向线性构造带、主干线性构造及一些主要次级线性构造控制。

据统计，区内发现的 Au、Cu、Mo 等多金属矿床、矿（化）点共 34 处，矿床只有 2 处，即长梟中型金矿床和肖家营子大型铜钼矿床。长梟金矿床产于中三家大断裂西侧，其形成主要与太古宙小塔子沟组绿岩建造，东西向韧性剪切带构造及中生代燕山期构造岩浆活动有关；肖家营子铜钼矿床形成，主要与燕山期中—基性侵入岩及粗面斑岩岩脉关系密切，矿体主要产于岩体及脉岩与围岩接触的矽卡岩带中，岩体侵入的边缘构造及北东、北西向主干及次级线性构造对该矿区内的岩体、脉岩及铜、钼等矿化起明显的控制作用。区内线性构造、环形构造、韧性剪切带构造、岩浆岩侵入体及蚀变异常信息之间在成因机制及产出特点上有一定的联系，而且它们与区内的 Au、Cu、Mo 等多金属成矿作用有密切关系。区内主干线性构造是规模较大的断裂构造，为成矿元素可提供运移的空间和通道，是主要的导矿和控矿构造，而一些较晚形成次级线性构造，多为规模较小的次级断裂，常成为含矿或容矿构造。太古宙绿岩建造中的韧性剪切带构造，是一种特殊类型的线性构造带，亦为古老地壳中的软弱带或薄弱带，易成为金等成矿元素迁移和富集的场所。区内环形构造的产出明显受主干线性构造及东西向线性构造带的控制，且从成因机制上看主要为构造岩浆活动的产物，尤其主要与岩浆侵入作用关系密切，而区内一些侵入岩为 Au、Cu、

Mo 等成矿元素活化、迁移的主要动力来源，是成矿的必要条件。在本区经 TM 数据提取的蚀变异常主要反映了一些与粘土矿化（绢云母化、绿泥石化及高岭土化等）、黄（褐）铁矿化及碳酸盐化有关的热液蚀变信息，这些蚀变为区内 Au、Cu、Mo 等矿产的主要蚀变类型，因而这些蚀变异常信息与成矿作用有密切联系，是指示找矿的重要标志。从区内已知的 Au、Cu、Mo 等矿床、矿点、矿化点及一些 Au、Cu、Mo 等多金属元素化探异常的产出特点看，本区的线性构造（尤其主干线性构造）、韧性剪切带构造、环形构造、岩浆岩侵入体及蚀变异常等尽可能多的有利成矿信息的复合部位及附近，为成矿的有利环境或地段。

利用 TM 遥感信息找矿，就是根据 TM 提供的数据及影像特征，通过对有关地物波谱特性分析及遥感地质解译，提取研究区的构造、岩性及蚀变等信息，进而根据区域成矿特点，研究这些信息与成矿作用的关系，进行成矿有利因素分析，并结合区域地球物理、地球化学及典型矿床成矿条件的对比分析，划分出 Au、Cu、Mo 成矿预测区，再经野外调查、采样分析及综合研究后，优选出不同级别的找矿靶区。由这一找矿模式可见，分析总结区内各种构造、岩性及蚀变等信息的有利成矿因素及环境十分重要，本区可概述为以下几点。

1、主干线性构造之间及主干与多组次级线性构造的复合部位。

2、东西向韧性剪切带构造与主干及次级线性构造、环形构造及中酸性侵入岩的复合部位。

3、环形构造周边附近地段及环形构造与主干、次级线性构造的复合部位。

4、侵入岩体的内外接触带及附近地段，以及侵入岩体与线环构造的复合部位。

5、蚀变异常发育地段，以及蚀变异常区内多组线性构造、环形构造及侵入岩体发育部位。

根据这些有利成矿条件，加之对区内地球物理、地球化学及典型矿床成矿特征的对比分析，在区内划分出了四个成矿预测区，并根据综合研究进一步优选出了 4 个 I 级、5 个 II 级及 5 个 III 级共 14 个找矿靶区。并在野外地质调查验证中，在三个 I 级靶区内发现 3 处金矿点。为该区的进一步找矿指明了方向并开辟了广阔的前景。

THE RESEARCH OF TM INFORMATION EXTRACTION AND METALLOGENIC PREDICTION IN THE NORTH OF JIANPING COUNTY, LIAONING PROVINCE

Abstract

The research district lies in the northern margin of the sino-korean paraplatform and extends across tow great geological units ---the Inner Mongolia Shield and Yanliao platform—folded belt that are confined by NE direction Lingyuan—Beipiao and NNE Zhongshanjia great fault. The oldest strata in the district is Archaean Jianping Group,which was divided two formations---the lower part Xiaotazigou and the upper part Dayingzi formation ,and which was strongly metamorphosed to amphibolite—granulite faces, and which was divided into lower and upper greenstone formation by Wang yiwin, etc. Proterozoic strata is mainly composed of the clastic and carbonate formation of Changcheng and Jixian system ,which chiefly exposed in the Yianliao platform—folded belt. Mesozoic upper Jurassic—lower Cretaceous strata comprise intermediate---acidic volcanic and pyroclastic rocks .The intrusive rocks taking the form of stocks and dikes in the district are well developed ,and mainly distributed in the Inner—Mongolia shield region .According to the relation of the rock—forming period and geologic tectonic, the intrusive activities may be divided three cycles, i.e. Yanliao, Variscan andYanshan cycles. The faults in the region are well developed too, except for the two great faults informed above, there are a lot of primary and secondary faults. According to the information of TM image and field survey, some EW direction ductile shear belts were found in Inner Mongolia shield district. The

minerals resources in the region are mainly Au、Cu、Mo ore deposits and spots. Changgao gold deposit is a pattern of ore—forming in Inner Mongolia shield and Xiaojiayingzi Cu—Mo deposit is that in Yanliao platform—folded belt.

The main research content is the geological interpretation and information extraction of TM image and database. First, according to the statistics and analysis of TM database in the region, the base image was selected by means of synthetizing TM1(R)、TM4(G) and TM7(B).Second, using the methods of Principal Component Analysis, Ration Synthesis, Composite Handling, etc. The enhancement images were made in all and parts of the region. The geological characteristics of rock and tectonic were obviously intensified on the images. Third, base on characteristics of altered-minerals spectrum and TM database of some known altered belt, the altered anomaly information was extracted in three divided district, and showed in color halo as well as closely related to the metallization.

In accordance with the synthetic geologic interpretation of TM image, a lot of structures had been divided ,such as 2EW direction linear structure belts,4NE,3NW,2NNE,1SN direction primary linear structures and many secondary linear structures . Field investigation and synthetic research showed that all the primary linear structures are larger scale faults, and EW Lingyuan—Beipiao and NNE Zhongsanjia are very important deep faults controlling rock and mineral in the region. According to TM image analysis and field study, five ductile shear belts had been found in the two EW direction linear structure belt. The rocks in the ductile shear belts took place strong ductile deformation, and formed a great deal deforming structures, i.e. S-C fabric, asymmetry feldspar porphyroclast, irregular little fold, quartz oriented extension, dynamic recrystallization of quartz and feldspar, core-mantle structure, mica fish, and so on. The ductile shear belts obviously controlled the primary gold ore-forming in Inner Mongolia shield. More than 50 annular structures were interpreted base on the TM image information. These circular structures were divided into simple and complex ring from their outer shape .The later was composed of two or more annular structures, and usually related to the magmatic

intrusion. Moreover ,these circular structures were also divided into Archaean gneiss dome, intrusive body, buried intrusive body, volcanic center texture, ring fracture and fault, according as their genesis mechanism. The intrusive rocks in the area were mainly controlled by primary linear structures. The differences between intrusive bodies and its wallrocks in TM image characteristics is very obvious and different kind of intrusive rocks also can be distinguished. The extracted information in three divided region are mainly distributed in the occurrence of ore deposit, ore spot and intrusive body, and controlled by EW linear structure belts, as well as different direction primary and secondary linear structures.

According to geological surveying in this district, thirty-two Au、Cu、Mo mineralizing spots and two ore deposits are found .The one deposit is Changgao middle type gold deposit, the other is Xiaojiayingzi large type Cu-Mo deposit. Changgao gold deposit occurred in the west of Zhongshanjia great fault, its origin is closely associated with Archaean greenstone formation of Xiaotazigou group, EW direction ductile shear zones and Mesozoic Yanshanian tectonic-magmatic activity. Xiaojayinzi Cu-Mo deposit have relation in origin with Yanshanian intermediate-basic magmatic activity. The ore bodies mainly occurred in skarn belts, and are controlled by the margin structures of intrusive bodies, the primary NE and NW faults and secondary linear structure Linear structures, circular structures, ductile shear zones, magmatic bodies and altered information are connected each other in genetic mechanism and occurring characters. These factors controlled the Au、Cu、Mo metallogenic process in this district . The primary faults are the passage way for ore fluid, and secondary linear structures developing later are host structures. As the soft belts in older crust, the ductile shear zones in the Archaean greenstone formation are a kind of special linear structure where Au and other metallogenic materials accumulate and migrate. The occurrence of circular structures mainly showing the result of tectonic-magmatic activity, especially relating with the intrusive bodies, are controlled by dominating faults and EW direction linear structure belts. Some intrusive bodies, as a necessary metallogenic factor, provide the main dynamic source for mobilizing and

concentrating of Au、Cu、Mo etc. The abnormal alteration information drawn from TM database reflect the hydrothermal solution alteration, such as argillic alteration (sericitize--chloritization-kaolinization), pyritzation and carbonation. Being the main wall rock alteration types of the all kinds of ore deposits in the area, these alteraten information are closely connected with the mineralization and become the important ore-hunting indicators. Researching the occurrence characters of ore deposits, we found that the overlapping places or near districts of metallogenic factors, such as linear structures, ductile shear zones, circular structures, intrusting bodies, and alteration abnormal features are favorable for ore deposition

Using the TM remote sensing information, there are mainly four steps as follows for us to search for minerals. First, base on the TM database, draw out the structure, lithology and alteration information through analysing the relevant geophysical spectrum feature and interpreting the image of remote sensing. Second, combining the regional metallogenic character, research the relation between these information and mineralization. Third, considering the features of regional geophysics, geochemistry and typical ore deposits, pick up the prospecting targets of different grades by its priority. This prospecting model show that all metallogenic information including all kinds of structure, lithology and alteration wall rock, are very important. The overlapping place or joint position of some of the metallogenic factors, such as primary faults, secondary linear structures, ductile shear zones, mid—acid intrusive rocks and alteration of wall rocks, are favorably mineralizing surrounding.

Researching the features of regional geochemistry, geophysics and typical ore deposits, we selected four metallogenic predicting district in working area. Moreover, according to above results pick up four Ⅰ—grade, five Ⅱ—grade, and five Ⅲ—grade prospecting targets. Investigating in field, found three gold mineralization in three Ⅰ—grade prospecting districts. These achievement indicate us the ore—searching ways and show that there are broad prospects