

ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用 ——地质依据和波谱前提

张玉君¹, 杨建民², 陈 薇¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 本文为关于矿产资源预测新参数——蚀变遥感异常系列论文的第一篇。文中论述了蚀变遥感异常信息提取的地质依据和波谱前提,报道了东天山大东沟至赤湖地区两万余平方公里遥感蚀变异常提取及部分异常点的实地查证结果。区内有已知矿床、矿(化)点71个,所取得的遥感异常与其中61个互洽,吻合率达85.9%,且与已知矿床的吻合率为100%。经首批地面查证,扩大了一处已知矿点的找矿范围。文中定义了某些相关的新技术术语。

关键词: 蚀变遥感异常; 蚀变异常; 铁染异常; 遥感异常

中图分类号: TP 753 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2002)04-0030-07

0 引言

地球物理和地球化学所提交的各类异常图件,诸如航磁异常图、布格重力异常图、区域化探异常图等等,都是独立的参数。自从 Landsat 4 增设两个短波红外波段(TM5 和 TM7 波段)以来,为提取具找矿标志意义的热液蚀变岩石信息提供了有效的技术手段。20 多年来,国内外遥感工作者为开发利用这种信息进行了卓有成效的试验研究,证实了蚀变岩石信息与金属矿床有较高的相关性,所提取的蚀变遥感异常作为一种找矿标志参数同样具独立性。TM (ETM⁺) 数据的积累及计算机软硬件功能的提高已使大面积进行“扫面性”遥感异常提取工作成为可能。此类工作所涉及的理论和技术性问题如此广泛,可以和任何一个物化探独立参数所涵盖的内容相比拟,为了适应大面积 TM 蚀变遥感异常提取任务的需要,从本文起将系统介绍与 ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常信息提取方法有关的各类问题。

1 蚀变异常找矿的地质依据

近矿围岩蚀变现象作为找矿标志已有数百年历史,有文献记载也可追溯到约 200 a 前,根据围岩蚀变信息发现的大型金属、非金属矿床更是不胜枚举,

北美、俄罗斯的大部分斑岩铜矿、我国的铜官山铜矿、犹他州的大铝矿、西澳大利亚的大型金矿、墨西哥的大铂矿、美国许多白钨矿、世界大多数锡矿、哈萨克斯坦的刚玉矿等等找矿实例,充分证明交代蚀变岩石信息作为找矿标志的重要意义。

岩石的交代蚀变主要是不同类型的热液与原生岩石相互作用的产物。最常见的蚀变为硅化、绢云母化、绿泥石化、云英岩化、矽卡岩化、白云岩化、重晶石化及锰铁碳酸盐化。某种有用元素的逐步富集是形成矿床的必要条件,而这种成矿物质通常由成矿热液进行迁移搬运和卸载沉淀。近矿围岩蚀变是成矿物质逐步富集成矿过程中留下的印迹。地质学家断言,绝大多数岩浆生成的矿床都伴随有其围岩的交代蚀变现象,而且蚀变带范围大于矿体分布的范围数倍至数十倍。

遥感探测的是地表物质的光谱信息,因此只要有一定面积的蚀变岩石出露,遥感都有可能测出,也就是说,即或矿体隐伏,只要有蚀变岩出露,就有可能用 TM 发现,当然蚀变信息的强弱也很重要。

关于金属矿床的围岩蚀变专著甚丰^[1-3],围岩蚀变的理论和规律是十分复杂的,现以实例来阐述蚀变分带及其强度分级(图1,图2)。

为了说明热液蚀变可能达到的强度,根据文献[3]归纳成表1。在江西德兴县铜厂铜矿的强蚀变带中,新生蚀变矿物占蚀变岩总组成的80%以上。

收稿日期:2002-04-28; 修订日期:2002-05-23

基金项目:中国地质科学院矿产资源研究所地质大调查项目(DKD9909001)资助

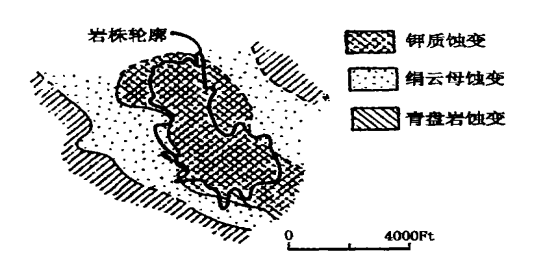


图 1 主要蚀变类型在美国新墨西哥的 Santa Rita 斑岩铜矿的分布情况^[2]

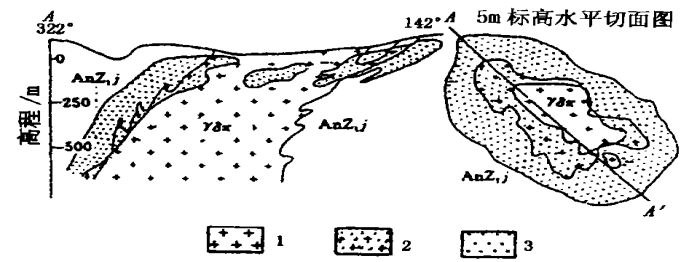


图 2 江西德兴铜厂铜矿分带模型^[4]
1- 钾长石化花岗闪长斑岩; 2- 水白云母化花岗闪长斑岩; 3- 水白云母化和绿泥石(绿帘石)千枚岩(凝灰岩) AnZij; 4- 千枚岩(凝灰岩)

表 1 热液蚀变强度分级

蚀变带	蚀 变 程 度				形成新岩石	代表性矿物及分子式
	未蚀变(0%)	弱蚀变(<10%)	中蚀变(10%~50%)	强蚀变(>50%)		
钾化	长石	出现新的钾长石	大量为钾长石细脉、钾长石团和钾长石集合体堆积	新生钾长石约占岩石的 50% 以上,原始矿物和结构的残留可以辨认出来	淡玫瑰色钾长石岩	钾长石 $KAlSi_3O_8$
绢云母化	斜长石	斜长石颗粒部分被绢云母交代	斜长石大部被绢云母交代,绢云母沿暗色矿物发育,在基质中呈现为团块和细脉	斜长石全部被绢云母交代,岩石退色,保留了原生结构	退色的绢云母岩	绢云母 $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$
青磐岩化	暗色矿物和长石	绿帘石、绿泥石部分交代暗色矿物及长石	绿帘石、绿泥石大部分交代暗色矿物和长石,出现绿帘石、绿泥石团及细脉	完全交代了暗色矿物和长石,原岩仅少量残留	绿帘石岩,绿泥石岩	绿帘石 $Ca_2FeAl_2O_7 \cdot OH$ $[Si_2O_7, SiO_4]$ 绿泥石 $(Mg, Fe)_2Al_2SiO_5(OH)_4$ $(Mg, Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$

指蚀变部分所占岩石的体积
这些数字说明中等强度以上的蚀变带对于 TM 蚀变信息提取是十分有利的。这便是以找矿(首先是大矿、富矿)为最终目的蚀变遥感异常提取的地质依据。

2 蚀变异常提取的波谱前提

近 30 a 来,一批学者进行了大量岩石和矿物波谱特性研究工作,这些研究涉及到晶体场理论的矿物学、固体物理学、量子力学、遥感岩石学等众多学科^c,最引人注意的是 Hunt 和他领导的实验室在 70 年代系统地发表了关于矿物岩石波谱测试结果的文章, Hunt (1978) 利用近 300 个粒状矿物的测定结果归纳出下述重要结论:

(1) 主要造岩矿物的主要成分,即硅、铝、镁和氧,其振动基频在中红外和远红外区,波长位于 10 μm 附近或更长区域,第一倍频也在 5 μm 附近或更长区

域,高倍频谱带强度太弱,所以在可见—近红外(VNIR)区不产生具有诊断性的谱带。

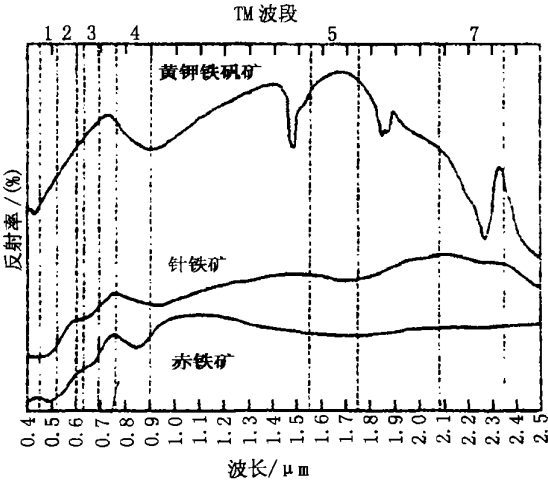


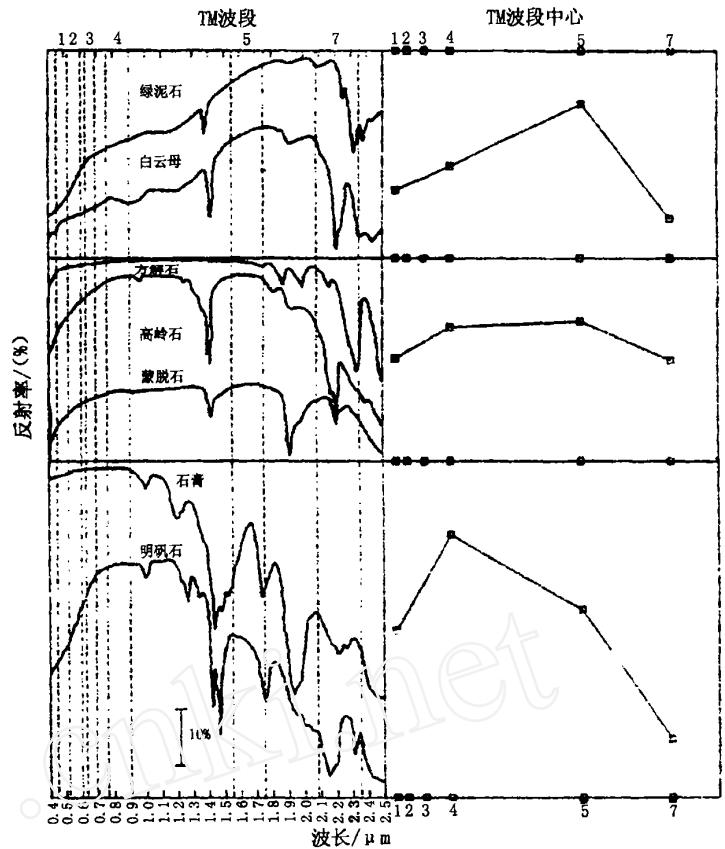
图 3 含 Fe³⁺ 矿物的反射波谱曲线
(纵坐标经零点偏移,据 Lee 和 Raines,1984)

(2) 岩石中的次要成分,如铁杂质或蚀变矿物,在岩石特征谱带形成中占有优势。换言之,在可见及近红外区中,天然矿物和岩石最常见的光谱特征是由以这样或那样形式存在的铁产生的,或者是由水、OH⁻ 基团或 CO₃²⁻ 基团产生的。

(3) 热液蚀变矿物在短波近红外波段具有诊断性强的吸收特征,它们是纯矿物本身固有的特征。不同矿物混合在一起组成的岩石,并不能改变矿物的波谱特征,因此,岩石的波谱是组成岩石的纯矿物波谱的线性组合,但某种矿物吸收特征的强弱不但取决于其含量,而且还取决于辐射能量的可接近程度。例如,某一矿物被透明矿物所包围时,其吸收特征就较强,反之亦然。吸收特征的尖锐程度取决于矿物的结晶程度,结晶程度越好,吸收特征越明显。

(4) 绝对反射率和谱带的光谱对比度对矿物颗粒大小非常敏感,对透明物质来说,一般粒级越小,总反射率越高,但光谱对比度降低;对不透明物质,粒级越小,反射率越低。

现将对岩石矿物在可见光—近红外区反射光谱特征起主导作用的离子和基团的重要吸收谱带列入表 2,并引用两个波谱曲线图(图 3,4),直观地展示含三价铁离子矿物及热液蚀变岩石中常见矿物的反射波谱曲线。



A. 反射曲线 B. 基本谱形
图 4 热液蚀变岩石中常见矿物的反射波谱曲线
(A - 热液蚀变岩石中常见矿物的反射波谱曲线,纵坐标经零点偏移;
B - 由左侧矿物反射波谱曲线组合而成。据 Knepper, 1989)

表 2 对岩石矿物在可见光—近红外区反射光谱特征起主导作用的离子和基团的重要吸收谱带

离子或基团	特征吸收波谱中心/μm	对应的 TM 波段/μm	异常提取依据	典型矿物及分子式
二价铁离子 (Fe ²⁺)	1.1~2.4 之间,因矿物不同而异			
三价铁离子 (Fe ³⁺)	0.45 0.55 0.85 0.90 0.94 吸收较强	TM1 (0.45~0.52) TM2 (0.52~0.62) TM4 (0.76~0.90)	TM3 (0.63~0.69) 亮度值偏高,而 TM1、TM2、TM4 亮度值偏低	赤铁矿 Fe ₂ O ₃ 针铁矿 FeO(OH) 黄钾铁矾 KFe ₃ [(OH) ₆](SO ₄) ₂
羟基 (OH ⁻) (Al - OH) (Mg - OH)	2.20 2.30	TM7 (2.08~2.35)	TM5 (1.55~1.75) 亮度值高于 TM7 亮度值	高岭石 Al ₄ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈ 叶蜡石 Al ₂ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂ 白云母 KAl ₂ [AlSi ₃ O ₁₀](OH) ₂ 滑石 Mg ₃ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂ 蛇纹石 Mg ₆ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈
液态水 (H ₂ O)	1.40 1.90			
碳酸根离子 (CO ₃ ²⁻)	1.90 2.00 2.16 2.35 2.55	TM7 (2.08~2.35)		方解石 CaCO ₃ 白云石 CaMg[CO ₃] ₂

表 3 列举了我国西部某些地区典型地质体及地物在 TM 各波段的像元亮度值,并将它们绘制成为曲线图(图 5)。从图 5 可以看出： 曲线 1~3 反映了不同类型

表 3 我国西部某些地区典型地质体及地物 TM 各波段像元亮度值 (据图像采样统计结果)

编号	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	地质体及地物
1	153.2	148.3	155.3	154.6	180.7	170.3	Fe 矿区蚀变岩
2	130.2	135.2	146.5	143.0	152.2	141.3	Fe - Cu 矿点蚀变岩
3	87.0	100.9	110.0	114.1	160.5	141.8	Au 矿区蚀变岩
4	146.8	163.3	164.0	162.1	164.4	118.3	白色大理岩
5	139.7	135.9	139.2	143.0	150.6	149.4	千枚岩
6	152.6	152.2	154.9	162.9	159.3	161.4	花岗岩
7	97.5	97.5	97.5	108.6	106.9	112.0	正长岩
8	112.2	111.2	112.2	109.2	129.0	138.5	辉长岩
9	79.6	79.4	60.2	190.9	73.6	56.9	有作物生长的耕地
10	216.3	208.7	216.2	215.4	209.0	215.4	荒田地
11	165.6	158.9	160.6	165.2	179.3	179.6	第四系冲积物
12	117.6	151.8	170.0	176.5	165.1	157.8	盐碱地
13	123.8	109.5	108.5	85.6	12.3	24.8	水域
14	245.0	240.0	240.0	55.0	15.0	10.0	冰
15	255.0	255.0	255.0	255.0	40.0	34.0	雪
16	239.0	219.0	253.0	184.0	182.0	157.0	云

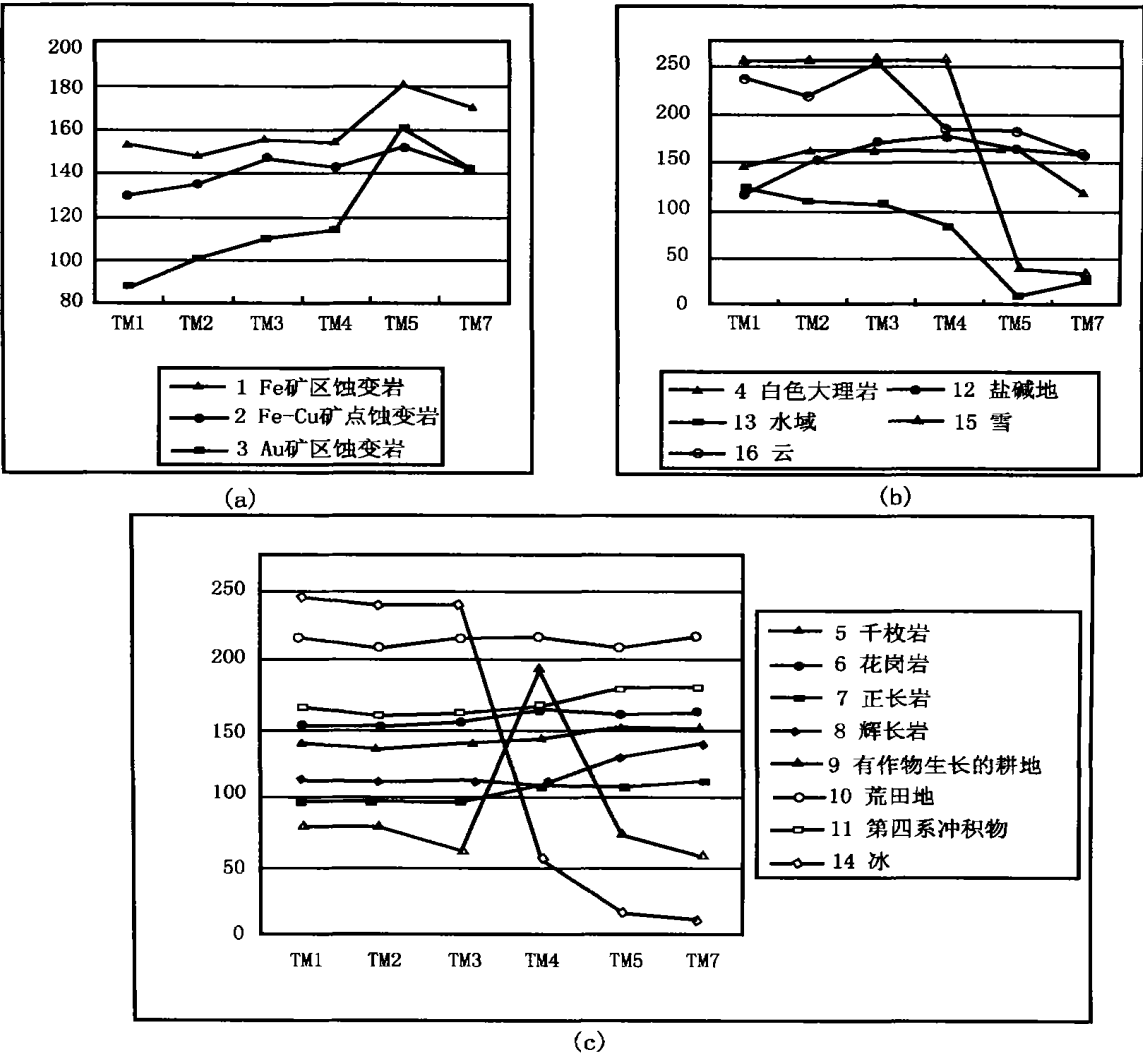


图 5 我国西部某些地区典型地质体及地物 TM 各波段像元亮度值曲线图
(a) - 铜、铁、金矿床蚀变岩石反射波谱特征曲线; (b) - 干扰地物反射波谱特征曲线; (c) - 不同围岩与植被等地物的反射波谱特征曲线

矿床(铜、铁和金)蚀变岩波谱特征,曲线具双峰现象,它由蚀变带中 OH^- 离子对 TM7 波段的强吸收和 Fe^{3+} 离子对 TM1、TM2 和 TM4 波段的吸收造成,是进行蚀变异常提取的依据; 曲线 5~8 为不同围岩的波谱特征曲线,其特征明显区别于上述各蚀变岩石的,故一般不会对蚀变岩提取造成干扰; 曲线 4 对应白色大理岩,由于 CO_3^{2-} 离子的作用,曲线具有 TM5 高于 TM7 的特征,故可能造成干扰异常; 曲线 13(水域)及曲线 14(冰)的特点是可见光(TM1、TM2、TM3)区高,以蓝光波段(TM1)为最强,在近红外区急剧下降,以 TM5 和 TM7 为最低,形成很特殊的曲线形态,利用此特征可以消除水域(水库、湖泊、河流)及冰面可能造成的干扰; 曲线 15(雪)及曲线 16(云)在 TM1—TM4 上具有高值,曲线 12(盐碱地)在 TM4 上有高值,曲线 10(荒地)在各波段均有高值,可据此特征消除(或减少)雪、云、盐碱地和荒地的干扰; 冲积扇(曲线 11)在不同条件下波谱曲线变化较大,是形成干扰异常的重要因素之一; 曲线 9 代表生长茂盛的农田,在 TM4 上有强亮度值,是由于植被在近红外波段的“陡坡效应”所形成的,故植被茂盛区的异常提取会受到一定影响。对于各类干扰(水、冰、云、雪、雾、植被、盐碱地、阴影等)的去除,将进行专题讨论。

3 东天山大东沟—赤湖地区蚀变遥感异常提取及查证

在中国地质调查局大调查项目“东天山铜金成矿地质背景和成矿过程研究”的执行过程中,我们在大东沟—赤湖(200 km × 104 km,约 20 800 km²)的 ETM⁺ 卫片范围内提取了蚀变遥感异常。ETM⁺ 卫片编号为 13931,成像日期为 2000 年 10 月 23 日,蚀变异常提取的范围为东经 91°30′~93°40′,北纬 41°30′~42°12′,提取的方法以主分量分析为主,具体流程与在甘肃柳沟峡所用基本相同^[6]。

3.1 异常点与已知矿化点座标对比

在完成了东天山地区 20 800 km² ETM⁺ 蚀变遥感异常提取的基础上,我们对大东沟—赤湖范围内已知的 71 个铜、铜钼、金、铁、铁锰、铅、镍等矿床、矿(化)点与提取的 ETM⁺ 蚀变遥感异常进行了统计分析,其中 61 个矿床、矿(化)点的实测坐标与蚀变异常中心坐标吻合,吻合率为 85.9%。需要指出的是,与已知矿床的吻合率达 100%。

3.2 实地查证

2001 年 6 月至 8 月,项目组与新疆地调院第二地调所共同工作,将 ETM⁺ 蚀变遥感异常与地质、构造、化探、物探等多元信息综合,选出一些可供查证的蚀变异常,进行了实地查证。经过两个多月的工作,验证了各类蚀变异常点 50 个,其中有 17 个为已知的铜、铜钼、金、铁、铁锰、铅、镍等矿床、矿(化)点,17 个为新发现的与铜、金等有关的矿化蚀变异常点,16 个为非矿化蚀变点。在这 17 个新发现的与铜、金等有关的矿化蚀变异常点中,地表见到了黄铁矿化、硅化、褐铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、孔雀石化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化等矿化蚀变。在这些新发现的异常区中,有的扩大了已知矿点的找矿范围,有的具有良好的找矿前景。

3.3 已知典型矿床的异常查证(以延东—土屋斑岩型铜矿床为例)

这一矿区内包括土屋、土屋东和延东 3 个大型铜矿床。铜矿床位于塔里木板块与准噶尔板块碰撞对接缝合带的北侧,即准噶尔板块最南缘的石炭纪增生拼贴岛弧带中。

矿区内出露与铜矿(化)体相关的地层主要为石炭系(2)企鹅山群,出露岩性为玄武岩、安山岩、安山质砾熔岩、火山角砾岩、岩屑砂岩、含砾岩屑砂岩、复成份砾岩、沉凝灰岩等。矿体及近矿围岩普遍孔雀石化。土屋、土屋东和延东铜矿即分布在火山熔岩与碎屑岩、火山碎屑岩的接触带上。中酸性浅成岩体是重要的控矿地质体,主要有细碧岩、花岗斑岩、斜长花岗斑岩、安山岩、石英斑岩等,通常呈岩枝、岩脉状产出,走向多为 NEE—SWW 向,与区域构造线方向基本一致,单个岩体出露面积约 0.30 km²。

矿体赋存位置为细碧岩体的中底部,其间穿插少量斜长花岗斑岩。矿体直接底板主要为角砾状沉凝灰岩、含砾砂岩和后期侵位的细碧岩,底板岩石多呈隐爆角砾状,发育黄铁矿碳酸盐脉。矿体顶板为同期同成分细碧岩,与矿体呈渐变过渡关系,亦发育同成分隐爆角砾岩。(岩)矿体蚀变类型齐全,蚀变分带明显,矿体及顶板蚀变强度(晕宽)大于底板,自中心向两侧可依次划分强硅化带、黑云母带、石英—绢云母带、绢云母—(泥化、石膏化)青盘岩化带和青盘岩化带。黑云母带基本分布在主矿体内部,其它蚀变带与矿体间不存在专属性(时有时无)。

土屋、土屋东和延东铜矿床蚀变异常的提取结果如插页彩片 6 所示。将土屋、土屋东和延东铜矿床蚀变异常图与 1:1 万土屋、土屋东和延东铜矿床

地质图(图 6)进行对比,从中可以看出,两者在地质层、构造、岩浆岩及矿床等地质要素的空间展布上完全一致。验证结果证实本次工作提取的 ETM⁺ 蚀变

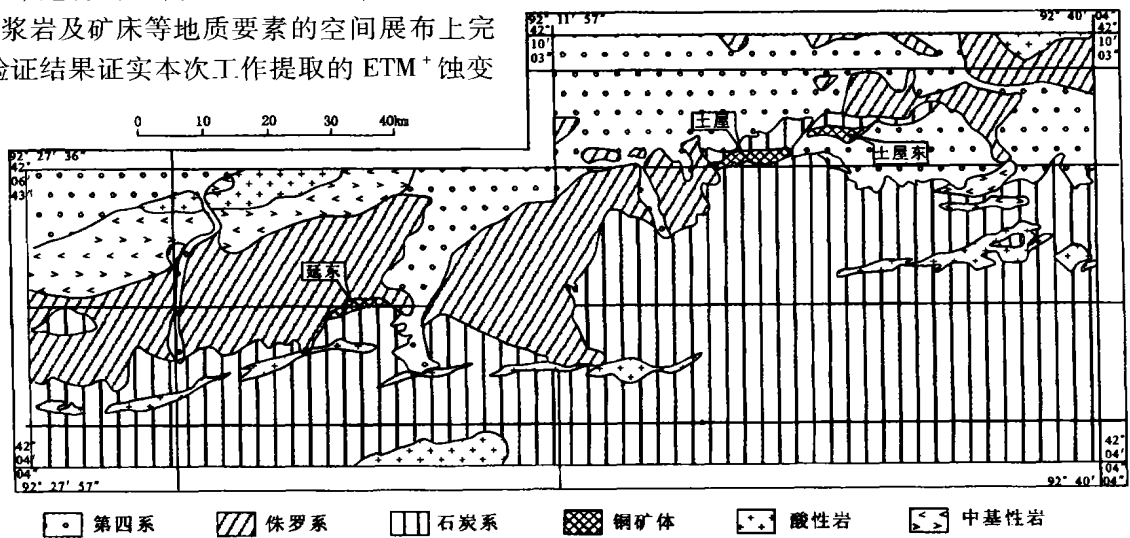


图 6 土屋—延东铜矿区地质略图
(据新疆地质调查院第二调查所姜立丰等改编,2002)

遥感异常图与已知矿床极为吻合。

3.4 对已知矿点扩大找矿范围的查证
(以 A 金矿点为例)

A 金矿点位于阿奇克库部克断裂南侧附近,属于北天山古生代雅满苏—阿齐山岛孤带^[7]。出露地层主要为玄武质火山岩、安山质火山岩与大量碳酸岩夹层。A 金矿点是新疆地调院第二地调所于 2001 年 5 月发现的,探槽见到产于大理岩中的脉状金矿体,主要为硫化物石英脉,大理岩蚀变强烈,表现为黄钾铁矾化、炭化、硅化、褐铁矿化(插页彩片 7)。

与此同时所提取的蚀变异常中不仅有与 A 金矿点对应的异常,而且在它的西北方向约 1.5 km 处还有东西向展布的蚀变异常(插页彩片 8)。后者在同年 8 月异常地面查证后,经探槽揭露也发现了金矿脉。这是蚀变遥感异常找矿方法及时快速扩大找矿范围的又一个实例。插页彩片 9 是查证时所拍的自然景观。

4 讨论

(1)大东沟至赤湖一带蚀变遥感异常与已知金属矿床完全互治,对全部矿床、矿(化)点吻合率高达 85.9%。因此有理由确信,蚀变遥感异常是一种廉价、快捷、定位精确且应用效果好的独立参数,特别是对于高山、交通不便、工作程度较低的地区尤为重要。

(2)蚀变遥感异常在应用 MSS 图像时期仅有可

能圈定由蚀变作用产生或非蚀变作用产生的三价铁氧化物;TM 则呈献了提取并区分蚀变异常及铁染异常的可能性。为避免术语上的淆惑,在今后的讨论中我们将二者统称为遥感异常,并作为蚀变遥感异常的简称。现将相关术语定义如下:

蚀变遥感异常(简称遥感异常) 依据地表蚀变岩石原、次生矿物中的 Fe³⁺、OH⁻ 等引起的光谱强吸收现象,利用数学分析(变换)方法从 TM 数据中提取的特殊遥感信息——蚀变遥感信息。其灰度图的背景值和异常下限一般由均值加 k 倍标准离差界定,高于背景值的蚀变遥感信息区、带称为蚀变遥感异常。

蚀变异常 源于 OH⁻ 等阴离子基团振动过程的蚀变遥感异常称为蚀变异常。

铁染异常 源于 Fe³⁺ 等阳离子电子过程的蚀变遥感异常称为铁染异常。

(3)迄今对于 TM 信息在找矿方面的利用大多限于局部地区,其潜力远未被穷尽。中国地质调查局为适应西部开发及资源大调查的形势,决定展开蚀变异常提取快速遥感扫面,这无疑是非常适时的,可以预言,这项规划的历史作用在某些方面将可与区域化探相比拟。

致谢: 曾朝铭同志对本工作给予了很大关注,提出遥感异常是成矿预测的“新参数”,并多次参与讨论,提出宝贵意见,特此致谢!

参考文献

- [1] [M]. ,1954.
- [2] Barnes. 热液矿床地球化学(上、下) [M]. 北京:地质出版社, 1985,1987.
- [3] . 热液矿床详细构造预测图[M]. 北京:地质出版社, 1982.
- [4] 黄崇轲,等. 中国铜矿床(上、下册) [M]. 北京:地质出版社, 2001.
- [5] 遥感专辑,第一辑. 矿物岩石的可见—中红外光谱及应用[M]. 北京:地质出版社,1980.
- [6] 张玉君,杨建民. 基岩裸露区蚀变遥感信息的提取方法[J]. 国土资源遥感,1998,(2):46- 53.
- [7] 毛景文,杨建民,朝春明,等. 东天山铜、金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型[J]. 地球科学,2002 待刊.

A STUDY OF THE METHOD FOR EXTRACTION
OF ALTERATION ANOMALIES FROM THE
ETM⁺ (TM) DATA AND ITS APPLICATION:
Geologic Basis and Spectral Precondition

ZHANG Yu - jun¹, YANGJian - min², CHEN Wei¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Mineral Deposits, Beijing 100037, China)

Abstract This is the first paper in the serial articles on the new parameter for the prediction of the mineral resources - alteration RS anomalies. The geological basis and the spectral presupposition for the alteration anomalies are discussed. The result of extracting alteration anomalies in an area of more than 20 000 square kilometers within East Tianshan Mountains and the result of the in - situ investigation of some anomalies are reported. Among the 71 known deposits or mineralization spots in this area, 61 have the corresponding alteration anomalies. The coincidence coefficient is as high as 85.9%. Some new related terms are defined.

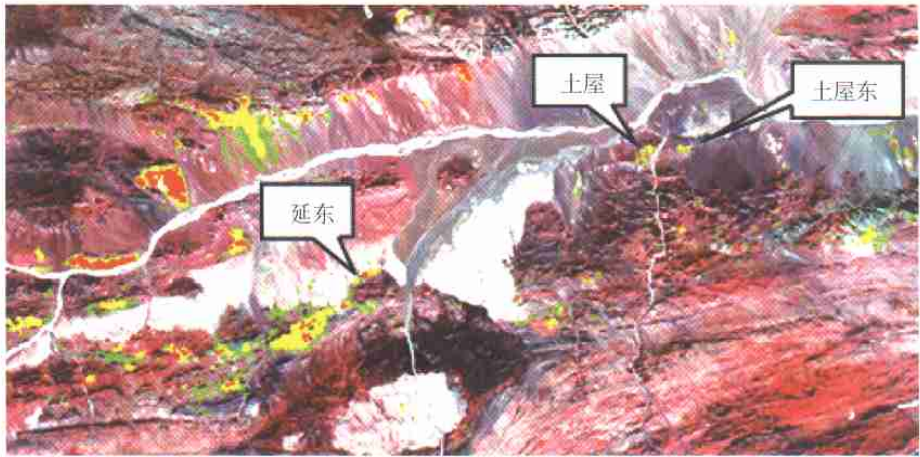
Key words Alteration RS anomaly; Alteration anomaly; Ferric contamination anomaly; RS anomaly
第一作者简介: 张玉君(1933 -),女,教授级高级工程师,1957年毕业于前苏联乌拉尔矿院物探系,曾任航遥中心航空物探研究所所长,长期从事科研,近十年涉足蚀变遥感异常提取,曾有论文、著述七十余篇(本)。

(责任编辑: 刁淑娟)

敬 告 作 者

为适应我国信息化和标准化需求,请作者在来稿时,注明论文的获奖情况(如研究领域获国家、部、省和市级奖项),特此敬告,并感谢作者和广大遥感圈内人士对本刊的支持。

(本刊编辑部)



彩片6 延东、土屋、土屋东铜矿区经主分量法提取的蚀变异常图像
(红:一级异常(3 σ);黄:二级异常(2.5 σ);绿:三级异常(2 σ),经光谱角法筛选)



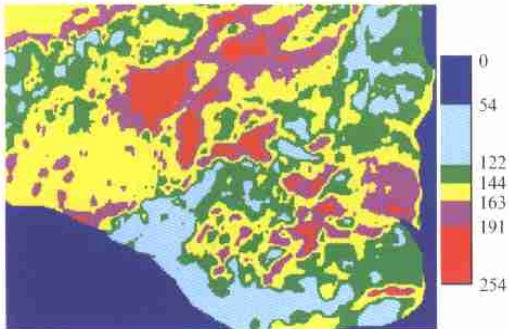
彩片7 查证探槽



彩片8 A 金矿点及经查证扩大矿化异常图像
(红、黄、绿:同彩片1说明)



彩片9 A 金矿点自然景观



彩片10 研究区ETM5/ETM7图像6段最优密度分割图
(右侧色标反映最优分割区间。图中蓝色区域为掩膜后的第四系覆盖区;浅蓝色和绿色区域主要为奥陶系上统中性火山岩;黄色区域主要为奥陶系上统沉凝灰岩、粉砂岩、砂岩等;品红和红色区域主要为晚元古代中晚期的花岗岩、闪长岩分布区和金矿化蚀变带,右下部的条带状红色区域与已知金矿化带极为吻合)。

(彩片10 见吴德文一文)