

文章编号:0258-7106(2003)03-0278-09

# ETM<sup>+</sup>(TM) 蚀变遥感异常技术方法 在东天山戈壁地区的应用\*

杨建民<sup>1</sup> 张玉君<sup>2</sup> 陈薇<sup>2</sup> 王志良<sup>1</sup> 姜立丰<sup>3</sup> 姬厚贵<sup>3</sup> 韩春明<sup>1</sup>(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083;  
3 新疆地质调查院第二调查所,新疆乌鲁木齐 830000)

**摘要** 文章将蚀变遥感异常作为矿产资源综合评价与定位预测的主要参数,对在东天山戈壁地区的石英滩至赤湖地区 3.3 万余平方千米的范围内开展的 ETM<sup>+</sup>(TM) 遥感勘察结果进行了蚀变异常提取,并依此进行了矿产资源快速评价与定位预测,还对部分异常点进行了实地查证。研究区内已知矿床、矿(化)点 122 个,遥感异常与其中 105 个互洽,吻合率 86%,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金矿点的找矿范围。

**关键词** 地质学 ETM<sup>+</sup>(TM) 蚀变遥感异常 矿产资源快速评价与定位预测 东天山戈壁地区 新疆

**中图分类号**: P627

**文献标识码**: A

在东天山地区的找矿工作已经取得了重要进展,发现了一系列规模不等、储量可观的多种矿产资源,如铜、金、镍、铁、煤、石油等。在 20 世纪 70~80 年代,新疆地质局和有色地勘局在东天山发现了一大批铜镍硫化物矿床和火山岩型铁矿床及个别铜钼矿床。近年来,延东—土屋大型铜矿床的发现表明,该区是我国西北最具有找铜潜力的地区之一。目前,在东天山地区,已发现若干个有远景的铜、铜镍和金银矿带,如延东—土屋斑岩铜成矿带,黄山—镜儿泉—葫芦铜镍硫化物成矿带。与此同时,大量的科研工作全面展开,尤其是国家“305”项目的实施,引致内地不少学者与当地地质工作者联合工作,取得了一系列新数据、新成果和新认识。这些研究工作包括:从板块角度探索东天山构造演化历史(张良臣等,1985;阎文元,1985;张德润,1990;马瑞士等,1997)、构造演化与成矿关系(姬金生等,1994;杨兴科等,1997)、成岩成矿年代测定(李华芹等,1998;姬金生等,1996;毛景文等,2002b)、成岩成矿地球化学(张连昌等,1994;2000)、典型矿床解剖(杨建国等,1998;徐新煌等,1998;丰成友等,1999;陈文明,1999)、矿田构造特征与成矿控制(曾章仁等,1994;马天林等,1998),此外,姬金生等(1997)、芮宗瑶等

(2002)、韩春明等(2002)和毛景文等(2002a)还初步总结了成矿基本特点、成矿系列和成矿的地球动力学过程。虽然东天山的找矿工作已有了一定的基础,但是,在此区内利用遥感技术方法进行大范围找矿的工作还未有尝试。荒漠戈壁区植被稀疏,基岩裸露,岩石机械崩解作用强烈,是最适合应用 ETM<sup>+</sup>(TM) 蚀变遥感异常信息找矿的地区之一。因此,笔者首次应用以 ETM<sup>+</sup>(TM) 蚀变遥感异常为主导的新技术方法,在东天山戈壁地区进行了大面积的蚀变遥感异常信息提取以及矿产资源快速评价与定位预测技术方法研究,并对部分异常点进行了实地查证。

## 1 成矿地质背景

文中所述的东天山地区位于乌鲁木齐—库尔勒公路以东,吐哈盆地以南的天山地区。地质构造单元主要有北天山晚古生代造山带以及中天山地块和南部塔里木板块北缘和哈萨克斯坦—准噶尔板块南缘(图 1)。东天山属于全球三大巨型成矿域之一的中亚成矿域,是我国西北最具有找矿潜力的地区之一。晚石炭世至二叠纪是主要的构造活动期,也是

\* 本文得到地质大调查项目(编号:DKD9902001)和国家科技攻关项目(编号:2001BA609A-07-4)的联合资助  
第一作者简介 杨建民,男,1958 生,研究员,从事矿物学和矿床地质研究。  
收稿日期 2002-07-23; 改回日期 2003-01-14。李岩编辑。

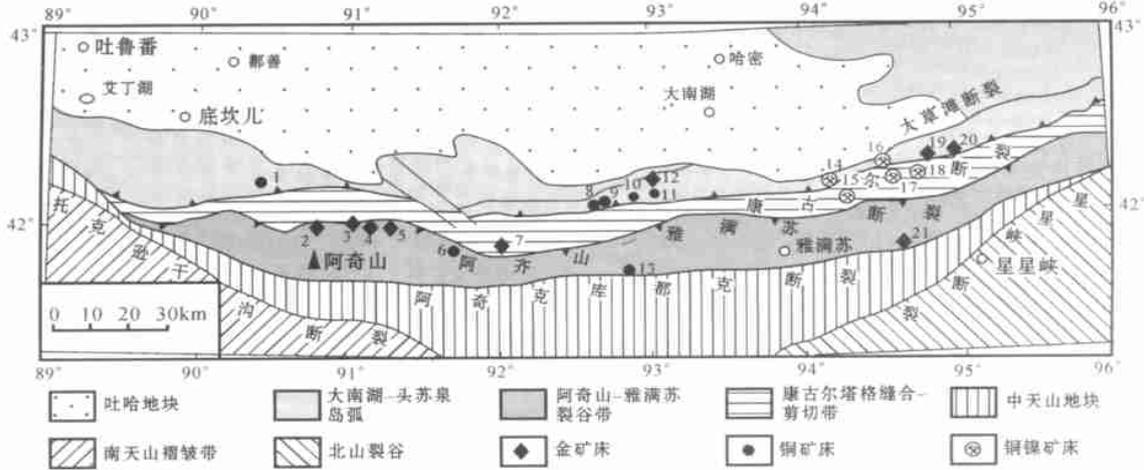


图 1 东天山大地构造单元与铜金矿床分布图

Fig.1 Distribution of tectonic units and gold-copper deposits in East Tianshan Mountains

矿床编号:1—小热泉子铜矿;2—石英滩金矿;3—康西金矿;4—康古尔金矿;5—码头滩金矿;6—维权铜矿;7—夹白山金矿;8—延东铜矿;9—土屋铜矿;10—灵龙铜矿;11—赤湖铜矿;12—小红山金矿;13—路白山铜矿;14—土墩铜镍矿;15—二红洼铜镍矿;16—香山铜镍矿;17—黄山铜镍矿;18—黄山东铜镍矿;19—148 金矿;20—梧桐窝子南金矿;21—白石沟金矿

本区最重要的成矿期。

在东天山地区内发育有 4 个矿床成矿系列:以土屋铜矿为代表的斑岩型-火山热液型铜矿成矿系列,以黑尖山铜矿为代表的火山岩型铁铜矿成矿系列,以黄山铜镍矿为代表的岩浆熔离型铜镍硫化物成矿系列和以石英滩、康古尔为代表的造山型-浅成低温热液型金矿成矿系列。根据现有工作程度,东天山地区由南向北已显现出 3 个呈近东西向展布的成矿带。南带是一个以沉积变质型和夕卡岩型为主的富铁、铜矿成矿带,自梧桐沟→赤龙峰→阿拉塔格铁矿,其间有近 10 个大、中型铁矿床沿阿其克库都克断裂两侧分布,如梧桐沟铁矿、红云滩铁矿、雅满苏铁矿、查岗诺尔铁矿等大、中型铁矿床。控矿地质构造环境有 2 种:一种是在前寒武纪基底之上形成的泥盆纪沉积盆地;另一种是阿齐山—雅满苏石炭纪弧后盆地。中石炭世深成岩浆大规模侵位到普遍发育的含铁碳酸岩建造中,形成了夕卡岩型矿床。近期,在雅满苏断裂至卡瓦布拉克断裂之间,发现了双庆、路白山、长城山等铜矿。中带是以石英滩金矿、康古尔金矿、红滩金矿、双泉子金矿、金明水金多金属矿床、维权铜-银多金属矿床、路白山铜矿床以及黄山、黄山东、葫芦、土墩、香山等大、中、小型铜镍矿为代表的金-多金属成矿带,主体分布在雅满苏断裂南侧的石炭纪岛弧和弧后盆地中。北带即土屋—延东斑岩型铜矿、三岔口—镜儿泉铜-镍-金-铂成矿

带,分布在康古尔断裂北侧,受小热泉子—企鹅山岛弧带控制。已知的矿床有小热泉子铜矿,三岔口铜矿,土屋、延东、灵龙、赤湖斑岩型铜矿,红柳沟、滴水、梧桐窝子金矿等。

## 2 蚀变遥感异常提取及其室内验证

遥感与计算机是近年来发展最为迅速的科学技术领域之一,20 世纪 80 年代以来,遥感技术已经从定性向量化、动态化、实时化、智能化发展。用遥感技术探测地物,是以各种物体对电磁波的反射、透射、吸收和自身发射为依据的。所有地物在可见光和短波红外波段内都具有与它们组分有关的光谱吸收特征,许多地物的光谱吸收特征具有专一性,据此可以精确地鉴别地物。发射于 20 世纪 80 年代初的美国陆地卫星 Landsat5 (TM) 具有 7 个波段,除热红外波段(TM6 波段)的分辨率为 120 m 外,其余 6 个波段的分辨率均为 30 m。分辨率的改进与提高是遥感技术发展的标志之一。美国航天署(NASA)1999 年发射的主力遥感卫星 Landsat7 (ETM<sup>+</sup>) 具有 8 个波段,其中全色波段的分辨率由 Landsat5 卫星的 30 m 提高为 15 m (Fischetti, 2002)。本研究使用的是从中国遥感卫星地面站获取的东天山地区的 TM 与 ETM<sup>+</sup> 数据。含铁矿物在 TM1~4 可见光及近红外波段具有明显的光谱吸收特征,对于探测干旱、半干

旱环境中含褐铁矿的岩石、土壤有较好的效果;TM5 (1.55~1.75  $\mu\text{m}$ )和TM7是专为地质勘查设计的波段。在TM7(2.08~2.35  $\mu\text{m}$ )波段内,羟基和碳酸盐矿物形成明显的特征吸收带,是目前探测含Al-OH, Fe-OH, Mg-OH基团的矿物与碳酸盐类的最理想的航天遥感波段之一。总之,从TM与ETM<sup>+</sup>图像中可提取出铁染强度、岩石土壤中的羟基和碳酸盐类矿物等3种基本的光谱信息。

在对东天山矿产资源进行深入研究的基础上,选择了从ETM<sup>+</sup>与TM遥感数据中提取微弱矿化蚀变信息的方法进行矿产资源快速评价与定位预测研究;完成了12 200 km<sup>2</sup>的TM与20800 km<sup>2</sup>的ETM<sup>+</sup>蚀变遥感异常信息的提取工作。提取方法为以主分量分析为主,具体流程与在甘肃柳沟峡所用基本相同(张玉君等,1998),ETM<sup>+</sup>(TM)蚀变遥感异常提取方法研究结果已另文刊出(张玉君等,2002)。在大东沟—赤湖(200 km×104 km,约20 800 km<sup>2</sup>)的ETM<sup>+</sup>卫片范围内提取了蚀变遥感异常,其ETM<sup>+</sup>卫片编号为13931,采集日期为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′。在石英滩—西凤山(165 km×74 km,约12 200 km<sup>2</sup>)的TM卫片范围内

提取了蚀变遥感异常,其TM卫片编号为14031,其TM数据采集日期为2000年10月30日,蚀变异常提取的范围为:东经90°01′~92°02′,北纬41°41′~42°17′。

## 2.1 已知矿床、矿(化)点坐标与蚀变遥感异常中心点坐标对比

在完成了东天山地区TM与ETM<sup>+</sup>蚀变遥感异常提取的基础上,对已知矿床、矿(化)点坐标与提取的蚀变遥感异常中心点坐标进行了叠合。在石英滩—西凤山12 200 km<sup>2</sup>的范围内,对已知的51个铜、铜钼、金、铁、铁锰、铅、镍等矿床、矿(化)点坐标与提取的ETM<sup>+</sup>蚀变遥感异常中心点坐标进行了统计分析,其中44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86.3%。在大东沟—赤湖地区20 800 km<sup>2</sup>的范围内,对已知的71个铜、铜钼、金、铁、铁锰、铅、镍等矿床、矿(化)点坐标与提取的ETM<sup>+</sup>蚀变遥感异常中心点坐标进行了统计分析,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:在TM与ETM<sup>+</sup>蚀变遥感异常提取的33 000 km<sup>2</sup>的范围内,蚀变异常中心坐标与已知矿床的吻合率达100%。表1中列出了部分统计结果。

表1 东天山部分已知矿床、矿(化)点实测坐标与蚀变遥感异常中心点坐标对比表

Table 1 Correlation of the coordinates of some ore deposits with the centers of remote sensing alteration anomalies in East Tianshan Mountains

序号	产地	矿种	实测坐标		矿化蚀变异常中心坐标		成因类型	规模
			东经	北纬	东经	北纬		
1	石英滩	金银	90°12′15″	42°06′00″	90°12′15″	42°06′22″	火山低温热液型	中型
2	康古尔	金铜	91°05′00″	42°01′00″	91°04′38″	42°01′13″	蚀变岩型	大型
3	大东沟	金	91°29′10″	42°01′05″	91°29′10″	42°01′24″	石英脉型	矿点
4	维权	铜	91°42′38″	41°53′51″	91°42′29″	41°53′25″	夕卡岩型	矿点
5	麻蟥沟	金	90°45′30″	42°01′00″	90°46′34″	42°00′07″	石英脉型	矿点
6	多头山	铁金	91°30′00″	41°47′00″	91°31′01″	41°47′03″	火山岩型	矿点
7	赤龙峰	金铜	91°40′30″	41°43′30″	91°40′47″	41°42′45″	石英脉型	矿化点
8	小尖山	铜	91°39′00″	41°56′20″	91°38′43″	41°56′54″	热液型	小型
9	铁岭一矿	铁	91°07′00″	41°47′15″	91°06′45″	41°47′18″	火山热液改造型	中型
10	百灵山	铁	91°19′44″	41°49′15″	91°19′42″	41°48′56″	热液充填型	中型
11	黑山	铜	91°36′33″	42°10′33″	91°36′26″	42°10′25″	热液型	矿点
12	骆驼峰	铁	91°44′00″	42°52′30″	91°44′00″	42°52′30″	夕卡岩型	矿点
13	红岭	铜镍	91°45′33″	42°04′03″	91°45′29″	42°04′04″	岩浆熔离型	矿点
14	土屋	铜	92°36′30″	42°07′00″	92°36′30″	42°07′00″	斑岩型	大型
15	土屋东	铜	92°37′05″	42°07′07″	92°37′04″	42°07′05″	斑岩型	大型
16	延东	铜	92°31′25″	42°05′32″	92°31′25″	42°05′32″	斑岩型	大型
17	垄西金矿	金	92°53′00″	42°07′16″	92°53′00″	42°07′16″	石英脉型	矿点
18	598	铁锰	92°55′47″	41°46′07″	92°55′47″	41°46′07″	夕卡岩型	矿点
19	长城山东	金	92°26′00″	41°48′03″	92°25′45″	41°48′16″	石英脉型	异常
20	赤湖西	镍	92°53′35″	42°07′11″	92°53′23″	42°07′09″	石英脉	矿点
21	库姆塔格	铁	93°11′00″	41°46′00″	93°11′20″	41°46′18″	火山沉积型	中型
22	沙垄东	铜金	93°11′14″	41°52′43″	93°10′34″	41°52′46″	热液型	矿点

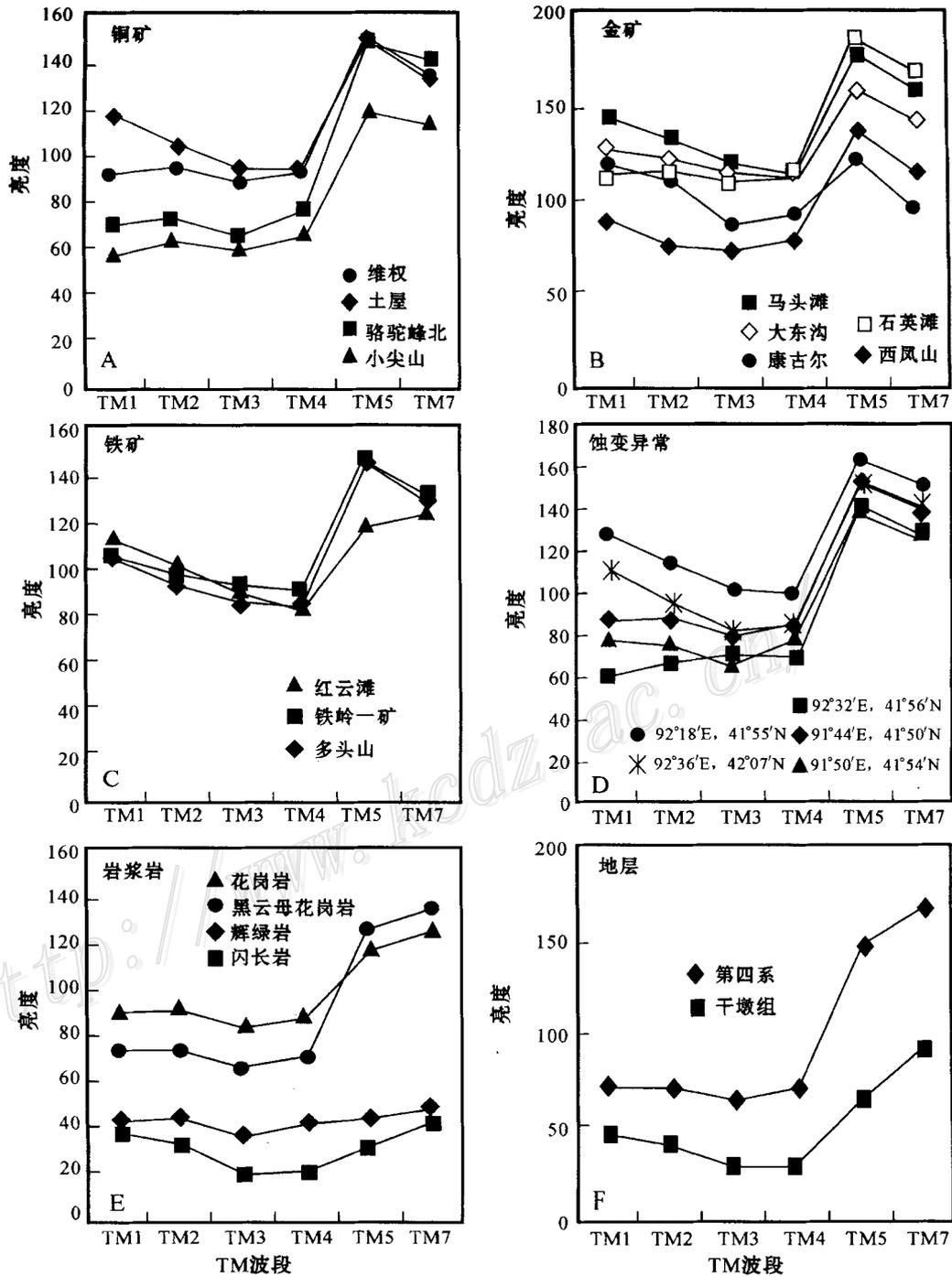


图 2 东天山典型矿床、地层、岩体及蚀变遥感异常点 TM 各波段像元亮度值曲线图

Fig.2 The DN data patterns of typical ore deposits, strata, rocks and remote sensing alteration anomalies in East Tianshan Mountains

2.2 蚀变遥感异常的图像采样验证结果

为了对东天山地区 TM 与 ETM<sup>+</sup> 蚀变遥感异常提取工作的结果进行室内验证,笔者采用了对东天山地区已知的典型矿床、地层、岩浆岩以及提取的蚀变遥感异常点 TM 各波段像元亮度值(DN 均值)进

行比较的办法。

图 2 中绘制了东天山地区典型矿床(铜、铁和金)、地层、岩体及蚀变遥感异常点 TM 各波段像元亮度值曲线。

从图 2 可以看出:①东天山不同类型矿床(铜、

铁和金)蚀变岩的波谱特征曲线在 TM5 波段处具明显的峰值,是进行蚀变异常提取的依据。②东天山岩浆岩与地层的波谱特征曲线明显区别于上述各蚀变岩石,故一般不会对蚀变岩提取造成干扰。③在东天山荒漠戈壁地区提取的蚀变遥感异常点的波谱特征曲线与不同类型矿床(铜、铁和金)蚀变岩的波谱曲线特征近似,因此可以将这些蚀变遥感异常点作为矿产资源快速评价与定位预测的一个独立参数进行研究。

### 3 实地查证

矿产资源快速评价与定位预测研究的主要目的就是进行找矿预测。找矿预测是指根据一定的矿床地质和成矿预测理论,在成矿地质环境、成矿条件、控矿条件和找矿标志等成矿规律研究的基础上对未知矿床作出推断、解释和评价。项目组与新疆地质调查院第二地调所共同合作,以现代成矿预测理论为指导,将蚀变遥感异常与地质构造、成矿带分布、容矿围岩、岩浆岩和物化探异常等多元信息进行综合分析。根据工作的不同需要,笔者选择了已知矿床、矿(化)点、矿化蚀变异常点和非矿化蚀变异常点等3类蚀变遥感异常点53个,于2001年6~8月进

行了实地查证,部分结果列于表2。在实地查证的蚀变遥感异常点中,20个为已知矿床、矿(化)点;17个为铜、金矿化蚀变异常点,在这17个新发现的与铜、金等有关的矿化蚀变异常点中,地表分别见到了黄铁矿化、硅化、褐铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、孔雀石化、黄铁绢英岩化和碳酸盐化等矿化蚀变,在这些新发现的矿化异常点中,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;16个为非矿化点,而查证非矿化蚀变异常点的意义在于研究戈壁地区普遍存在的水域、盐碱地、植被、岩浆岩等干扰蚀变遥感异常提取的不利因素。

#### 3.1 已知典型矿床的查证(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。

矿区内出露的与铜矿(化)体相关的地层主要为石炭系企鹅山群,出露岩性为玄武岩、安山岩、安山质角砾熔岩、火山角砾岩、岩屑砂岩、含砾岩屑砂岩、复成分砾岩、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

表2 TM、ETM<sup>+</sup>蚀变遥感异常点部分验证结果

Table 2 Identifying result of the remote sensing alteration anomalies in East Tianshan Mountains

序号	产地	矿种	实测坐标		地表所见主要蚀变	规模
			东经	北纬		
1	石英滩	金银	90°12'15"	42°06'22"	硅化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、冰长石化	中型
2	康古尔塔格	金铜	91°04'38"	42°01'13"	黄铁绢英岩化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化	大型
3	骆驼峰	铁	91°42'43"	41°51'24"	褐铁矿化、绿泥石化、孔雀石化	矿点
4	土屋	铜	92°36'38"	42°07'04"	硅化、绢云母化、绿泥石化、孔雀石化	大型
5	维权	银铜	91°42'29"	41°53'25"	硅化、孔雀石化、褐铁矿化、夕卡岩化	矿点
6	小尖山南	金	91°39'46"	41°55'56"	黄钾铁矾化、褐铁矿化、硅化、膏盐化	矿化点
7	黑尖山	铁铜	91°39'23"	41°44'07"	孔雀石化、褐铁矿化、硅化、绿泥石化	小型
8	赤龙峰	铁	91°51'34"	41°44'27"	孔雀石化、褐铁矿化、硅化、绿泥石化	矿点
9	路白山	铜铁	92°45'09"	42°45'19"	孔雀石化、褐铁矿化、硅化、绿泥石化	矿点
10		金	92°17'15"	41°46'34"	褐铁矿化、硅化、碳化、黄铁矿	矿化蚀变点
11		铜	92°30'45"	41°56'03"	孔雀石化、褐铁矿化、硅化、绿泥石化	矿化蚀变点
12		金	91°29'54"	41°57'53"	硅化、褐铁矿化、黄铁矿化	矿化蚀变点
13		铜	91°29'00"	41°54'54"	硅化、孔雀石化、黄铁矿化	矿化蚀变点
14		金	92°58'26"	41°39'29"	硅化、褐铁矿化、绢云母化、碳酸盐化	矿化蚀变点
15		金	91°38'35"	41°55'34"	褐铁矿化、硅化、绢云母化、退色化	矿化蚀变点
16		铜金	92°58'28"	41°39'05"	褐铁矿化、孔雀石化	矿化蚀变点
17			91°38'06"	41°55'43"	硅化黄铁矿化花岗斑岩	非矿化点
18			91°42'01"	41°57'57"	绿泥石化黑云母二长花岗岩	非矿化点
19			91°57'19"	41°03'55"	辉长岩岩体退色化	非矿化点

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 km<sup>2</sup>。

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为强硅化带、黑云母带、石英-绢云母带、绢云母(泥化、石膏化)青磐岩化带和青磐岩化带。黑云母带基本分布在主矿体内部,其他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 ETM<sup>+</sup> 蚀变遥感异常的提取结果如图 3 所示,将图 3 与 1:1 万土屋、土屋东和延东铜矿床地质略图(图 4)进行对比,从中可以看出,两者在地层、构造、岩浆岩、矿床等地质要素的空间展布上完全一致。验证结果显示本次工作提取的 ETM<sup>+</sup> 蚀变遥感异常图与已知矿床极为吻合。

### 3.2 对扩大了找矿范围的已知矿点的查证(以 A 金矿点为例)

A 金矿点是新疆地质调查院第二地调所 2001

年发现的新矿点,位于阿奇克库部克断裂南侧附近,隶属北天山古生代雅满苏—阿齐山裂谷带。出露地层主要为玄武质火山岩、安山质火山岩及大量碳酸岩夹层。在探槽中见到产于大理岩中的脉状金矿体,主要为硫化物石英脉,岩石大理岩化强烈,其他蚀变还有黄钾铁矾化、炭化、硅化、褐铁矿化。

本次工作所提取的 ETM<sup>+</sup> 蚀变遥感异常中不仅有与 A 金矿点对应的蚀变遥感异常,而且蚀变遥感异常沿东西方向展布,在其西部约 1.5 km 处发现了黄钾铁矾化、炭化、硅化、褐铁矿化等矿化蚀变异常。后者在同年 8 月异常地面查证后,也发现了相同的矿化蚀变。这是应用蚀变遥感异常找矿方法及时、快速地扩大找矿范围的又一个实例。

## 4 结 论

(1) 根据东天山石英滩至赤湖地区提取的 33 000 km<sup>2</sup> TM 与 ETM<sup>+</sup> 蚀变遥感异常研究结果,笔者认为蚀变遥感异常是一种廉价、快捷、定位精确、有效的找矿独立参数。该技术方法对于我国西部交通不便、工作程度较低的地区尤为适用。

(2) 遥感技术应用于矿产资源调查评价,从过去的目视解译到现在的利用基于高精度、高分辨率遥感矿化信息识别, GPS 定位技术, GIS 地、物、化、



图 3 土屋—延东斑岩铜矿地区 ETM<sup>+</sup> 蚀变遥感异常图

Fig. 3 Remote sensing alteration anomalies from ETM<sup>+</sup> map of the Tuwu and Yandong porphyry copper deposits

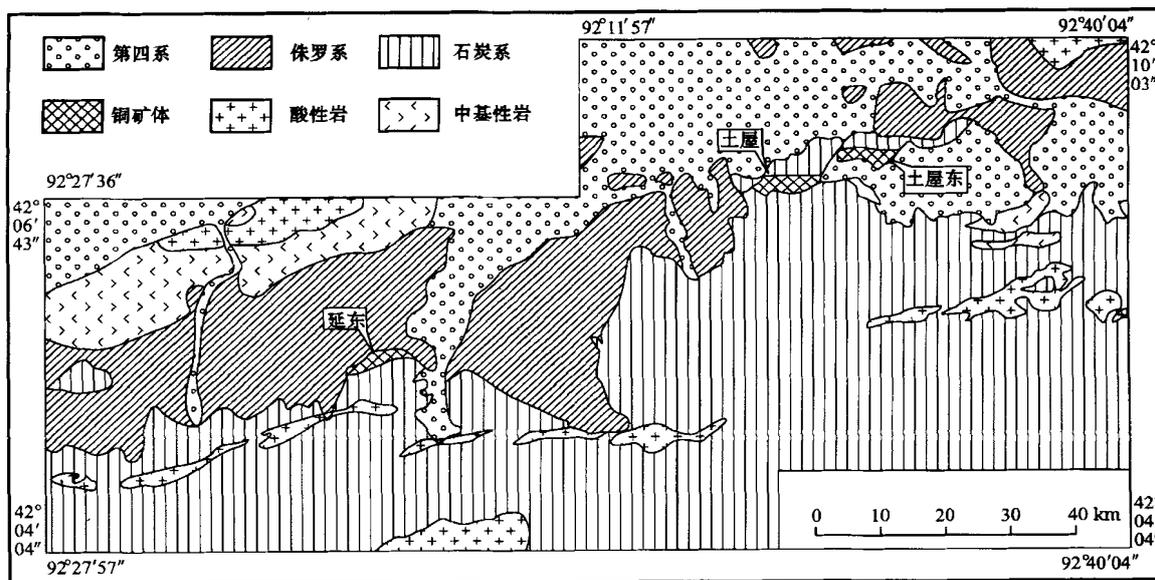


图4 土屋—延东斑岩铜矿区地质略图(据新疆地质调查院第二调查所姜立丰等,2002 改编)

Fig.4 Geological sketch map of the Tuwu and Yandong porphyry copper deposits

遥多元信息综合等高新技术的准确定位和快速评价,已进入了由定性到定量,由矿产资源调查评价的配角到主角的新阶段。

#### References

- Chen W M. 1999. A study of the isotopic composition of the Xiaorequanzi copper and zinc deposit in Xinjiang, China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 20(4): 349 ~ 356 (in Chinese with English abstract).
- Fischetti M. 2002. Bird's-eye view the earth[J]. Sci., 5: 74 ~ 75.
- Feng C Y, Ji J S and Xue C J. 1999. Geological characteristics and genetic analysis of Xi'tan epithermal gold deposit, eastern Tianshan [J]. Xinjiang Geol., 17(1): 1 ~ 7 (in Chinese with English abstract).
- Han C M, Mao J W, Yang J M, et al. 2002. Types of late Palaeozoic endogenic metal deposits and related geodynamical evolution in the east Tianshan[J]. Acta Geologica Sinica, 76(2): 222 ~ 234 (in Chinese with English abstract).
- Ji J S, Tao H X, Zen Z R, et al. 1994. Geological characteristics and mineralization of Kangguer deposit zone in eastern Tianshan Mts [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Ji J S, Xue C J, Zeng Z R, et al. 1997. Study on the Kangguertage gold zone in the east Tianshan Mts[J]. Geol. Rev., 43(1): 69 ~ 77 (in Chinese with English abstract).
- Ji J S, Zhang L C, Zeng Z R, et al. 1996. Study on gold deposit belt chronology of Kangguer in east Tianshan[J]. Geol. Sci., 31(1): 80 ~ 89 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Xie C F, Chang H L, et al. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in northern Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Ma R S, Shu L S, Sun J Q, et al. 1997. Tectonic evolution and mineralization of eastern Tianshan Mts[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Ma T L, Sun L Q and Xun X W. 1998. Structures of Kangguer gold deposit in the eastern Tianshan Mts, Xinjiang[J]. J. Geomechanics, 4(2): 45 ~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Yang J M, Han C M, et al. 2002a. Metallogenetic systems of Eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Earth Sci., 27(4): 412 ~ 424 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Yang J M, Qu W J, et al. 2002b. Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits, 21(4): 323 ~ 330 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Liu Y L, Wang L S, et al. 2002. The porphyry copper belt and its tectonic framework of eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 6(1): 83 ~ 94 (in Chinese with English abstract).
- Xu X W, Wen C Q, Mao Y S, et al. 1998. Ore types and genesis significance of Xiaorequanzi copper deposit, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 17(Supp.): 679 ~ 682 (in Chinese).
- Yan W Y. 1985. Characteristics of early Carboniferous are volcanic and minerals product in eastern Tianshan Mts[J]. Xinjiang Geol., 3(2): 49 ~ 58 (in Chinese with English abstract).
- Yang J G, Ji J S and Lu D Y. 1998. Geological characteristics and mineralogical condition of Xitan gold deposit, east Tianshan[J]. Mineral Deposit, 17(Supp): 349 ~ 352 (in Chinese with English abstract).
- Yang X K, Ji J S, Luo G C, et al. 1997. Plate Tectonic and formig law of the metallic ore deposits in eastern Tianshan[J]. J. Xi'an Geol. College, 19(3): 34 ~ 42 (in Chinese).

- Zeng Z R, Zhang L C and Han Z X. 1994. Geological character and genesis of the altered rock type gold deposit in Kanggul mylonite zone, Xinjiang[ J]. Mineral Deposits, 13(2): 97 ~ 105 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang D R. 1990. A preliminary study on geotectonics of eastern Xinjiang[ J]. Xinjiang Geol., 8(2): 99 ~ 103 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang L C and Wu N Y. 1985. Geological structures and evolution history of Tianshan Mts[ J]. Xinjiang Geol., 3(3): 1 ~ 14 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang L C, Zeng Z R and Han Z X. 1994. Study on geochemistry of Kangguer gold deposit in Xinjiang[ J]. Contrib. Geol. & Explr., 9(4): 12 ~ 21 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang L C, Ji J S, Li H Q, et al. 2000. Geochemical characteristics and source of two-type ore-forming fluids in Kangguertage gold ore belt, east Tianshan[ J]. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 535 ~ 541 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Y J and Yang J M. 1998. The method of abstracting remote sensing information of altered rocks in the uncovered bedrocks area[ J]. Remote Sensing for Land and Resources, 50(2): 46 ~ 53(in Chinese with English abstract) .
- Zhang Y J, Yang J M and Chen W. 2002. Study on the methodology for the abstraction of the aeteration anomalies from the ETM<sup>+</sup> (TM) data[ J]. Remote Sensing for Land and Resources, 54(4): 30 ~ 37(in Chinese with English abstract) .
- 姬金生, 张连昌, 曾章仁, 等. 1996. 东天山康古尔塔格金矿带年代学研究[ J]. 地质科学, 31(1): 80 ~ 89.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[ M]. 北京: 地质出版社.
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿[ M]. 北京: 地质出版社.
- 马天林, 孙立倩, 徐兴旺. 1998. 新疆东天山康古尔金矿控矿构造地质特征[ J]. 地质力学学报, 4(2): 45 ~ 51.
- 毛景文, 杨建民, 韩春明, 等. 2002a. 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, 27(4): 413 ~ 424.
- 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 2002b. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义[ J]. 矿床地质, 21(4): 323 ~ 330.
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 2002. 新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造格局[ J]. 地质学报, 6(1): 83 ~ 94.
- 徐新煌, 温春齐, 茅燕石, 等. 1998. 新疆小热泉子铜矿矿石类型及成因意义[ J]. 矿床地质, 17(增刊): 679 ~ 682.
- 阎文元. 1985. 天山东段早石炭世岛弧火山岩特征及其矿产[ J]. 新疆地质, 3(2): 49 ~ 58.
- 杨建国, 姬金生, 卢登蓉. 1998. 东天山西滩金矿床地质特征与成矿条件[ J]. 矿床地质, 17(增刊): 349 ~ 352.
- 杨兴科, 姬金生, 罗桂昌, 等. 1997. 东天山板块构造与金属矿产成矿规律[ J]. 西安地质学院学报, 19(3): 34 ~ 42.
- 曾章仁, 张连昌, 韩兆信. 1994. 新疆康古尔糜棱岩带蚀变岩型金矿床地质及成因[ J]. 矿床地质, 13(2): 97 ~ 105.
- 张德润. 1990. 新疆东部地区大地构造问题探讨[ J]. 新疆地质, 8(2): 99 ~ 103.
- 张连昌, 曾章仁, 韩兆信. 1994. 新疆康古尔金矿地球化学研究[ J]. 地质找矿论丛, 9(4): 12 ~ 21.
- 张连昌, 姬金生, 李华芹, 等. 2000. 东天山康古尔塔格金矿带两类成矿流体地球化学特征及流体来源[ J]. 岩石学报, 16(4): 535 ~ 541.
- 张良臣, 吴乃元. 1985. 天山地质构造及演化史[ J]. 新疆地质, 3(3): 1 ~ 14.
- 张玉君, 杨建民. 1998. 基岩裸露区蚀变遥感信息的提取方法[ J]. 国土资源遥感, 50(2): 46 ~ 53.
- 张玉君, 杨建民, 陈薇. 2002. ETM<sup>+</sup> (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用[ J]. 国土资源遥感, 54(4): 30 ~ 37.

#### 附中文参考文献

- 陈文明. 1999. 新疆小热泉子铜(锌)矿床同位素研究[ J]. 地球学报, 20(4): 349 ~ 356.
- 丰成友, 姬金生, 薛春纪, 等. 1999. 东天山西滩浅成低温热液金矿床地质及其成因分析[ J]. 新疆地质, 17(1): 1 ~ 7.
- 韩春明, 毛景文, 杨建民, 等. 2002. 东天山晚古生代内生金属矿床类型和成矿作用的动力学演化规律[ J]. 地质学报, 76(2): 222 ~ 234.
- 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁, 等. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿[ M]. 北京: 地质出版社.
- 姬金生, 薛春纪, 曾章仁, 等. 1997. 新疆东天山康古尔塔格金矿带研究[ J]. 地质论评, 43(1): 69 ~ 77.

## Application of ETM<sup>+</sup> (TM) Remote Sensing Alteration Anomaly Extraction Technique to Gobi Area, East Tianshan Mountains

Yang Jianmin<sup>1</sup>, Zhang Yujun<sup>2</sup>, Chen Wei<sup>2</sup>, Wang Zhiliang<sup>1</sup>, Jiang Lifeng<sup>3</sup>, Ji Hougui<sup>3</sup> and Han Chunming<sup>1</sup>  
(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 3 No. 2 Division, Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

#### Abstract

With the remote sensing alteration anomalies as the major independent anomalies in evaluating mineral re-

sources, this paper has discussed the ore-forming geological setting, described the information extraction technique from remote sensing alteration anomalies, evaluated and predicted mineral resources, and demonstrated the achievements made in identifying part of the remote alteration anomalies in a 33,000 km<sup>2</sup> area (from Shiyingtian to Chihu) of East Tianshan Mountains. 122 ore deposits and ore (mineralized) spots have been discovered in this area, of which 105 are coincident with the remote sensing alteration anomalies. The coincidence rate is 86%. It is especially prominent that the coincidence rate between the known ore deposits and the remote sensing alteration anomalies is 100%. The identification of the remote sensing alteration anomalies has led to the expansion of a mineralized area.

**Key words:** geology, ETM<sup>+</sup> (TM) remote sensing alteration anomalies, evaluation and prediction of mineral resources, East Tianshan Mountains, Xinjiang

## 罗布泊钾矿区外围盐湖钾盐资源研究与评价新进展

由中国地质科学院矿产资源研究所负责并承担的地调项目“罗布泊钾矿区外围盐湖钾盐资源潜力研究与评价”近日通过验收,获得优秀的好成绩。该项目发现,罗西洼地和铁南凹地蕴藏有富钾卤水,验证了此前矿产资源研究所专家对罗北凹地外围盐湖成钾的预测。该项目组于2000年2月~2002年12月,在中国地质调查局地质调查项目和国家305项目支持下,通过卫星影像分析、野外调查及室内测试分析,获得了可靠的地质资料,对罗布泊钾矿区外围盐湖钾盐资源进行了评价研究,取得了丰硕的成果和新的认识,表现在以下两个方面:

(1) 钾盐资源调查评价 在铁南凹地,钻探揭示潜水层(未揭穿),面积50 km<sup>2</sup>,平均厚度5.08 m,孔隙度为34%, $w(\text{KCl})$ 为1.51%(工业品位为1%),卤水密度1.2491 g/cm<sup>3</sup>,计算潜卤层的KCl资源量为162.88万t;预测潜卤层下部和承压层卤水钾盐资源量754万t。合计KCl资源量917万t,达到中型规模。在罗西洼地,钻探揭露潜卤层(W1),面积200 km<sup>2</sup>,平均厚度4.56 m,孔隙度21.77%, $w(\text{KCl})$ 1.30%,卤水密度1.2262,计算KCl资源量为316.49万t。第一承压层(W2),面积150 km<sup>2</sup>,平均厚度10.45 m,孔隙度15.5%,KCl品位1.32%,卤水密度1.2263 g/cm<sup>3</sup>,计算资源量393.28万t,预测罗西洼地西部的潜卤层和承压层KCl资源量合计555万t。罗西洼地卤水KCl资源量合计为1265万t,达到中型规模。同时,在研究区干盐湖的浅部发现多处杂卤石、钾盐镁矾和光卤石沉积层或固体矿化点,光卤石在干盐湖表面呈片-带状分布,表明固体钾盐资源尚有调查评价的潜力。此外,在盐湖区采用大地电场法探测地下富钾卤水分布,结果验证了钻探揭露的地下卤水的分布规律。罗布泊钾矿区(罗北凹地)外围的铁南凹地和罗西洼地盐湖,控制的和预测的卤水钾盐资源量达2182万t;估计钾盐资源潜在经济价值达459亿元。

(2) 钾盐成矿作用研究 研究提出“上升卤水流体补给成钾”的新认识,在罗布泊盐湖发现很多地下流体上涌的通道,认为上升卤水流体补给对罗布泊盐湖钙芒硝沉积、储卤孔隙的形成、钾盐富集起到了重要作用,甚至直接导致了固体钾盐的沉积。同时还提出“构造分异-反补成盐成钾”的新认识,新构造活动导致罗布泊北部抬升,受NNE向主压应力作用,产生一系列NNE向的张性断层,产生了盆地的“构造分异”,统一的罗布泊被分隔、断陷,形成多个次级盆地。在沉积演化中,这些次级盆地不断受到南部大湖区湖水的周期性上升反向补给,古湖水不断浓缩,成矿物质逐渐积累,最终卤水中钾元素富集成矿。上述认识深化了陆相钾盐成矿理论,对陆相钾盐找矿和评价有一定的指导意义。

(中国地质科学院矿产资源研究所 刘成林)