

新疆巴里坤 ETM 数据遥感地质填图的探索

周 军<sup>1</sup>,高 鹏<sup>2</sup>,田勤虎<sup>1</sup>,刘 磊<sup>1</sup>,李得成<sup>1</sup>

(1. 长安大学地球科学与国土资源学院,西安 710054; 2. 中国地质大学资源学院,武汉 430074)

**摘要:** 对新疆巴里坤县八墙子一带 ETM 数据进行主成分分析、彩色、空间变换及假彩色合成等图像处理,同时,依据野外踏勘、实测剖面等资料不断调整图像处理方法;以最大程度突出已知岩性单元间影像区别为目的,通过全色谱段融合方式将图像比例尺提高到 1:5 万;在 ArcView 等平台上进行综合分析、解译和填图,并经过实地查验进一步修改填图方法与结果,最后编辑形成地质图。

**关键词:** ETM; 遥感; 地质填图; 新疆; 巴里坤

**中图分类号:** TP 79: P263 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2005)03-0057-05

0 引言

1995 年,原地质矿产部地质调查局设立“计算机辅助 1:5 万区调工作方法”(项目编号:地科专 95-37)专题研究项目<sup>[1]</sup>,将 MapInfo、Er Mapper 等软件应用于大比例尺地质填图,与澳大利亚合作在河北省秦皇岛地区的榆关幅进行试点。中国地质调查局 1999 年开始了系列与配套的“计算机辅助区域地质调查系统”项目研究(据国土资源部、中国地质调查局编印的《数字区域地质调查系统》),2001 年 9 月 20 日在北京通过对以 P(Point)、R(Routing)、B(Boundary)为特征的 RGMAP(计算机辅助区域地质调查系统)成果评审,已在国内一些地区进行过试点应用。可是,二者主要限于人工岩性识别,偏重于对野外工作方法的流程化、数字化和在此基础上所开展的计算机辅助制图,尚不能有效减少艰苦地区的野外工作量。早在 1997 年,原地质矿产部航空物探遥感中心(现为中国国土资源航空物探遥感中心)就完成了航空多光谱遥感技术的开发与应用,建立了从飞行、数据处理到野外查验一整套工作方法<sup>[2]</sup>。然而,有关系统并非专门针对大比例尺地质填图。

TM 数据是资源卫星中光谱分辨率较高者,价格低廉,ETM 增加空间分辨率 15 m 的全色谱段后,通过数据融合可获得较清晰的 1:5 万图像,至少能够用于相应比例尺地质图的草测。研究 TM、ETM 数据在 1:5 万矿产地质调查中的应用有很强的实际意义,可大幅减轻野外工作,增加地质人员集中精力解

决重大基础地质问题和开展找矿的时间,并为借助遥感数据计算机自动、半自动识别岩性积累经验。近年来,应用 TM、ETM 数据提取线性构造、矿化蚀变信息以及进行岩性识别等方面的研究成果颇丰<sup>[3~6]</sup>,本文重点介绍 ETM 数据在岩性信息提取与地质填图中的有关实践。

1 研究区概况

新疆巴里坤哈萨克自治县地处东准噶尔,区域上有额尔齐斯—玛因鄂博大断裂、阿尔曼泰断裂带以及卡拉麦里断裂带和相应蛇绿混杂岩带分布(图 1),火成活动广泛,奥陶系泥盆—石炭系发育有大量

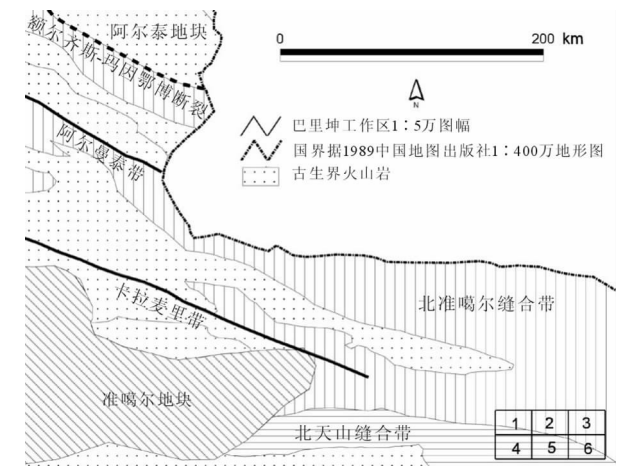


图 1 大地构造背景及工作区位置  
(大地构造区划据 Zhou 等,2000)  
1 - 马王庙幅; 2 - 三道沟幅; 3 - 二道白杨沟幅;  
4 - 旧户幅; 5 - 大熊沟幅; 6 - 板房沟幅

中基性火山岩、侵入岩以及花岗岩<sup>[7~9]</sup>,泥盆系有火山碎屑为主的浊积岩建造<sup>[7]</sup>,是寻找与基性岩有关的铜镍硫化物矿床、斑岩型铜矿,与变质浊积岩有关的金矿等重要地段<sup>[7,10]</sup>。20 世纪 90 年代末以来,东准噶尔是以找矿为目的的中国地质大调查的重要区域之一。本研究位于巴里坤县东北部八墙子一带,涉及马王庙、三道沟等 6 幅 1:5 万图幅,遥感地质填图主要在二道白杨沟、板房沟两图幅内进行(图 1),目的是为了实测 1:5 万地质填图提供详细参考。

2 思路与方法

地质填图中首先需要解决的问题是确定一些岩性界线,从图像上较有把握地解译断裂也多依据两侧岩性特征的不协调,因而最大程度地识别岩性为遥感辅助地质填图的关键。经过预处理的多光谱数据是提取岩性信息的基础,一般通过不同谱段组合的假彩色合成(RGB)与彩色空间变换(HSI)来实现<sup>[6,11]</sup>,而此前又可通过比值处理、主成分变换、滤波以及揭示灰度值空间变化的其它统计计算<sup>[12]</sup>来突出不同岩性间光谱特征差异。事实上,在具体应用中,依据理论分析选择图像处理流程并不特别重要,重要的是结合野外实勘,通过各种图像处理方法能够将已知岩性从影像上较好地区分开来,故而大量室内图像处理实验与野外实地检查非常必要。

具体方法为:①运用 ERDAS、ER Mapper 或其它图像处理软件对工作区 TM/ETM 数据进行图像处理;②通过野外踏勘建立不同岩性解译标志,利用 GPS 测定一些岩性界线及断裂位置,选择适当地段实测若干条地质剖面;③将已知岩性界线、断裂以及实测剖面内容按坐标移至图像上;④经过大量图像处理实验,最大限度地从影像特征上如实地反映

实际调查结果。由于 TM、ETM 数据光谱与空间分辨率有限,不可能在一种处理方法图像上将许多岩性区分开,故必然有一系列图像;⑤参考经坐标配准的 1:20 万或 1:10 万地质图,在 ArcView、ArcInfo 或其它图形处理软件平台上综合运用各种图像展开地质填图,经过编辑、拓扑形成岩性、构造图层;⑥选择一定比例岩性界线、断层等进行实地检查,依据检查结果,修改图像处理方法及相关地质图层,最终完成图形编辑。

3 填图区地层岩性单元特征

研究区东部地形切割强烈,山峦陡峻。二道白杨沟幅沟谷中泥盆系凝灰质砂岩形成的悬崖几近直上直下;板房沟幅东南部海拔多在 3 000 m 以上,由石炭系黑色凝灰质细砂岩、粉砂岩构成的山峰在妖魔梁一带一般超过 3 500 m,8 月间山上时常大雪纷飞,因缺乏水草难以使用牲畜,野外工作环境很差,故选择这两个图幅以遥感地质填图先行摸底。

首先,在东部马王庙、三道沟幅检查了一些实测地质界线,包括碎屑岩与火山岩界线、花岗质侵入岩边界、地层组单元间界线以及主要断裂带等,用 GPS 测定若干控制点,并按坐标转至经各种方法处理的图像之上,了解各地质体影像特征、解译标志,为下一步图像处理打下基础。

在研究区东部主要沿头道白杨沟、三道白杨沟实测两条剖面,分别记为 A-A' 及 B-B',实际位置标于图 2。A-A' 剖面向 SSW 实际尚有 8 km,遥感地质填图中已经参考,因原始资料不在笔者手上,故仅在图 2 中给出其北半部。主要地层岩性单元特征总结见表 1。

表 1 实测剖面 A-A' 及 B-B' 所涉及的地层岩性单元及其特征

编号	1:20 万群(组)及时代 <sup>①</sup>	1:20 万原符号	剖面主要特征
⑨	上侏罗统红山组	J <sub>3</sub> h	杂色砾岩夹砂岩,局部有煤线,与下伏岩层角度不整合接触
⑧	1:20 万图划归 D <sub>1-2</sub> t <sup>a</sup> ;其准确时代不详		含海百合茎粗粒大理岩,角度不整合于 D <sub>1-2</sub> t <sup>a</sup> 岩层之上;有底部砾岩,砾石成分复杂,见凝灰质砂岩、凝灰岩、安山岩、大理岩等,呈浑圆至棱角状
⑦	中—上泥盆统妖魔梁组	C <sub>2-3</sub> y	以灰色凝灰质细砂岩、粉砂岩为主,夹灰色砾岩,有花岗岩侵入
⑥	下石炭统牙曼苏组第 1 亚组	C <sub>1</sub> y <sup>a</sup>	灰黑色或深灰色凝灰质粉砂岩、细砂岩
⑤	中—下泥盆统头道白杨组第 2 亚组	D <sub>1-2</sub> t <sup>b</sup>	以灰绿色凝灰质粗砂、粉砂岩为主,闪长岩、辉长岩发育,有少量安山岩,局部见火山集块岩;上部有具韵律层、底部构造的浊积岩
④	中—下泥盆统头道白杨组第 1 亚组	D <sub>1-2</sub> t <sup>a</sup>	灰绿色凝灰质粗、细、粉砂岩,局部有泥质粉砂岩
③	中—下泥盆统三道沟组	D <sub>1-2</sub> s	灰绿色凝灰质细砂岩、粉砂岩为主,见强片理化,局部含火山角砾、集块岩;灰绿色玄武岩、安山岩;有花岗岩侵入

续表

编号	1:20 万群组名及时代 <sup>①</sup>	1:20 万原符号	剖面主要特征
②	中奥陶—下志留荒草坡群第 3 亚群	$(O_2 - S_1) hu^c$	深灰色凝灰质粉砂岩、细砂岩；区域上夹硅质粉砂岩、大理岩透镜体
①	中奥陶—下志留荒草坡群第 2 亚群	$(O_2 - S_1) hu^b$	凝灰质粉砂岩、细砂岩，有强片理化或千枚岩化，夹硅质岩或硅质岩条带，局部见灰白色大理岩；火成活动强烈，有玄武岩、安山岩、花岗岩等

<sup>①</sup> 1:20 万即 1:20 万地质矿产图(巴里坤哈萨克自治县幅),新疆区调一队 1959、1966 年实测;各地层岩性单元实际接触关系参见图 3。

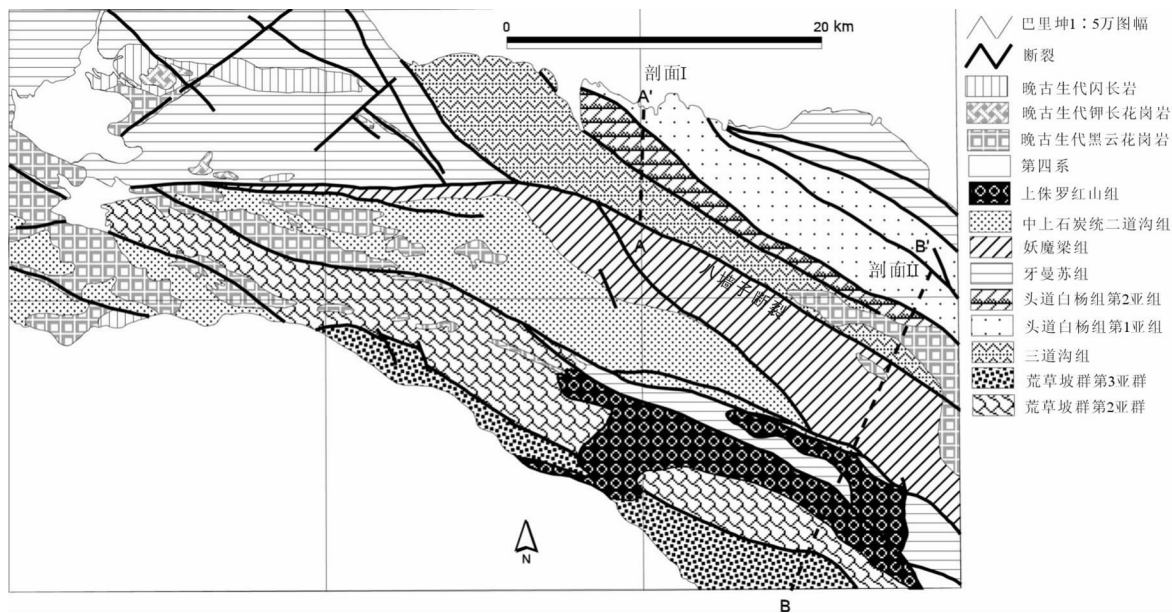


图 2 实测剖面与 1:5 万图幅在 1:20 万地质矿产图上的位置(巴里坤哈萨克自治县幅)  
(岩性单元时代及特征见表 1,1:5 万图幅名见图 1)

4 图像处理与基本地质认识

采用 ERDAS 8.4、ER Mapper 6.2 平台,遥感数据为 ETM 13930 景,以研究区(1:5 万 6 个图幅)截取子区作为图像处理单元,为有效提取局部岩性信息,一些子区被缩至两幅图大小。三道沟幅及二道白杨沟幅向北越出图像范围,因图像之外部分主要被第四系覆盖,故未拼接北部图像数据。

遥感地质填图主要在下述方法处理的图像上进行:①用 1~5、7 波段图像做主成分(PC)变换,以 PC4、5、6 分别为 R、G、B 合成假彩色,变换到 HSI(孟塞尔)空间,对 I、S 进行直方图均衡,再反变换到 RGB 空间(插页彩片 16(a));②与①方法相同,只是采用 PC1、2、3 进行处理(插页彩片 16(b));③采用 1~3 波段主成分变换的 PC1,经过 5 像元×5 像元中值滤波和 NWW 向(区内主构造方向)模拟光照阴影突出(插页彩片 16(c));④对 7、4、1 波段进行假彩色合成(插页彩片 16(d));⑤对 6、5、4 波段进行假彩色合成(插页彩片 16(e));⑥对 7、5、4 波段进行假彩色合成(插页彩片 16(f)),等等。上述后 3

个多光谱假彩色合成图像又经过全色谱段 5 像元×5 像元低通滤波融合。

大量实验及前人研究表明<sup>[13]</sup>,TM 或 ETM 数据 1~5、7 谱段变换后的第 1 主成分(PC1)虽然包含了信息量的绝大部分,但通常主要受地形、植被影响,对于区分岩性却为干扰因素,很多情况下 PC3、PC4 甚至更高的主成分区分岩性的效果反而更好。此外,由于 PC1 取得了多光谱数据方差的绝大部分,噪声低,故通过边缘增强有利于刻画线性构造细部特征,从而使其整体上得到突出,对于波长较短的可见光尤其如此。孟塞尔彩色空间中的 H、S、I 三个分量相互独立,有效地克服了 R、G、B 彩色合成中由于原数据间的相关性可能导致的地物微细色彩区分上的不足<sup>[14]</sup>,经过适当反差扩展后再反变换回 RGB 空间会使色彩层次更加明晰<sup>[11]</sup>。白云母、绿泥石、绿帘石、阳起石、角闪石以及高岭石、黄钾铁矾等含羟基矿物、碳酸盐矿物在 TM 或 ETM 第 5、7 波段波长范围存在程度不同的诊断性特征谱带<sup>[15、16]</sup>,对包括 5、7 谱段的多光谱组合进行主成分分析或假彩色合成,有利于提取这些矿物信息<sup>[17]</sup>,而运用第 4 波段位于绿色通道的假彩色图像可在解译中通过对比排除植

被干扰。再者,一些矿物(例如赤铁矿与主要组成褐铁矿的针铁矿)在可见光与近红外区间反射率差异有明显不同<sup>[4]</sup>,将可见光与近红外波段一起进行假彩色合成能有效区分之。对于颜色上有显著差别的一些岩性(即可见光区间波谱特征不同),即便近红外区间波谱特征接近或不具备所谓“诊断性特征谱带”,同样也可以在这种方法合成的假彩色图像上得到较好地区分。实践证明,上面列举的图像综合使用可以较好地解译岩性。当然,具体填图中所用图像远不止已给出的那些,限于 ETM 的光谱分辨率、空间分辨率以及与此相关的混合像元问题,同谱异物、异谱同物现象较难避免,故基本达到地质填图目的必然需要借助众多方法处理的一系列图像,限于篇幅此不一一枚举。

表 1 显示,在填图范围内,以碎屑岩为主的岩性单元总体以灰色调为特征,随着火山成分增多绿色逐渐增强,不同层位片理化程度、矿物颗粒大小或含夹层均有不同,中—基性侵入岩发育程度也相差甚大,相邻岩性单元在影像的色调、成分及纹理等方面的差异,为借助多光谱数据通过图像处理加以区分提供了可能。从插页彩片 16(a)~(f)所示图像,结合 1:20 万地质矿产图(图 2)可以看出,近 EW 走向的八墙子断裂系区内构造格架的主控断裂,已知奥陶—志留系层序位于其南,而泥盆系则主要出露在其北,断裂北侧有闪长岩基,实测剖面中所见闪长岩、辉长岩岩体也多限于其北,然较大规模的花岗岩却主要发育于断裂之南。更为重要的是,各种图像均清楚地显示(插页彩片 16),八墙子断裂以北岩层在 EW 方向上产状凌乱,连续性差,不同岩性单元杂乱嵌套,明显具构造拼合体(tectonic collage)特征<sup>[18]</sup>。由此看来,八墙子断裂很可能是卡拉麦里断裂带在区内的延续,故 A—A' 剖面(图 2)第⑤岩性单元乃寻找蛇绿混杂岩的有利地段,浊积岩所代表的较深沉积环境以及较普遍发育的中—基性侵入岩、火山岩可能为岛弧背景的指示。

## 5 遥感地质填图

在图像处理及地质认识的基础上,以野外踏勘与实测地质剖面为依据,本着从已知到未知的原则,参考 1:20 万地质矿产图(图 2)在 ArcView 3.0a 平台上逐次解译各地质界线,通过野外检查调整室内图像处理方法与解译标准,最终完成遥感地质填图。图形编辑借助 ArcInfo 7.1.1 软件进行,所填地质图

见图 3。在插页彩片 16(a)~(f)上,以绿线或红线勾勒出遥感地质填图界线或主断裂,以便观察影像区别并与图 3 进行对比。可以看出,新填 1:5 万地质图(图 3)对原 1:20 万地质矿产图中二道白杨沟幅、板房沟幅(图 2)做出许多修改,分析如下。

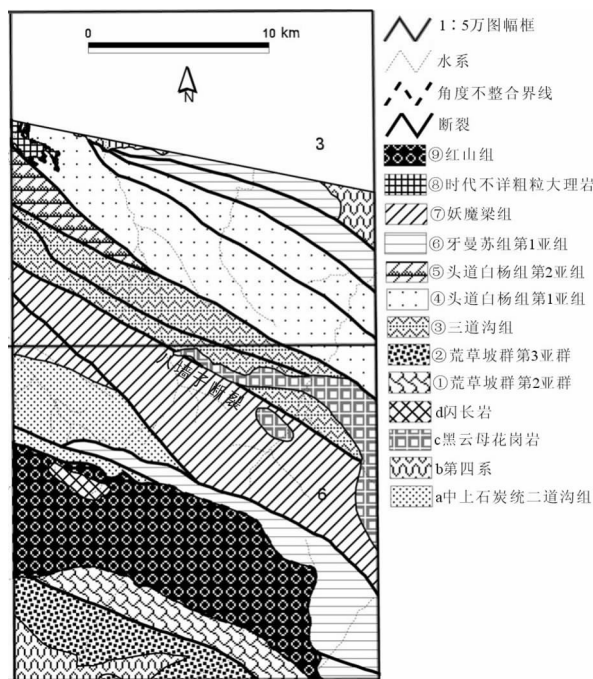


图 3 二道白杨沟、板房沟幅遥感地质填图结果  
(标号 3 为二道白杨沟幅; 标号 6 为板房沟幅; 岩性单元编号同表 1)

首先,上侏罗统红山组以格状水系为特征,支流河谷窄而浅、平行密集发育,与主流近直角相交(插页彩片 16(f)),和中奥陶—早志留系荒草坡群宽缓的树枝状水系明显不同,结合二者影纹上的总体差异,可以较准确区分之。遥感解译与实地核查均表明,荒草坡群与红山组在板房沟幅的界线应南移,而且红山组中并未穿插 1:20 万图所示的下石炭统牙曼苏组。第二,牙曼苏组以黑色调凝灰质粉砂岩为特征(表 1 及图 3 岩性单元⑥),色彩及粗糙度均与南北两侧岩性单元差异显著,可见光区段必然表现为较低的反射率(因黑色调),近红外区段遥感器获取的反射率同样不会高(由于凝灰质质地细腻,导致漫反射较弱而镜面反射相对较强),故其在插页彩片 16(b)上色调很暗(说明总反射强度较低且可见光与近红外、可见光或近红外各谱段之间反射率差异都较小),插页彩片 16(f)(RGB 754)上较深的颜色即为佐证。因此,牙曼苏组经遥感解译的新界线比较可信(局部经过实地核查),如图 3 所示,在板房沟幅中呈一长条状由 SE 向 NW 展布,南侧及西侧被红山组角度不整合覆盖。此外,二道白杨沟幅剖面 A—A'

上出露的头道白杨组第2亚组(表1及图3岩性单元⑤)中—基性火成岩发育,色泽总体较暗,对7波段及1波段的吸收比南北两侧岩性单元(分别为三道沟组和头道白杨组第1亚组,图3)明显为强,插页彩片16(d)(RGB 741)上表现为品红色调较弱,与此相对应热红外辐射却较强(插页彩片16(e)上红色调明显),从各种方法处理的图像上看应呈楔状,受南、北两断裂控制向SE逐渐尖灭。再者,二道白杨沟幅NW角上的粗粒大理岩角度不整合覆盖于头道白杨组第1亚组之上(图3),1:20万地质矿产图仅简单以岩性相变符号显之,本次研究从图像上(例如插页彩片16(b)二道白杨沟幅左上角深棕红色)准确提取出其不规则边界并在填图中按角度不整合处理。最后,实测剖面与图像解译显示,板房沟幅NE部的花岗岩岩体西部呈枝状部分(例如插页彩片16(e)上板房沟幅右上角浅蓝色)之界线与1:20万图差别较大,应总体向南移数百米。

ETM 数据信息量丰富,不仅能够依据可见光区分颜色上有差异的岩层,还有可能借助红外波段界定肉眼下区别不明显的岩性界线。例如,从RGB 754图像(插页彩片16(f))看,二道白杨沟幅剖面B-B'上头道白杨组第1亚组(表1及图3岩性单元④)与西侧A-A'剖面同一岩性单元相比可能总体上存在相变(B-B'剖面附近呈浅棕色),提取岩性信息较好的插页彩片16(a)上也有清楚显示(色泽变浅变亮),应在今后研究中加以注意。上述遥感地质填图经过适量实地检查,与1:20万图差异较大之处尤其如此。事实证明,填图结果与实际情况扣合较好,适于陡崖区、普查找矿区地质扫面,是遥感技术在地质中具体应用的一个良好实例。

## 6 结语

2000年11月美国航空航天局(NASA)成功发射EO-1卫星,携带有3种传感器,其中Hyperion光谱分辨率达10 nm,在400~2500 nm光谱区间有242个谱段<sup>[15]</sup>。2002年3月NASA及美国地质调查局(USGS)宣布数字全球公司为研制Landsat后继卫星M5星座的中标公司之一,该计划由4颗卫星组成,第1颗将于2006年第1季度发射,其余3颗于2007年第3季度底之前全部发射,多光谱谱段空间分辨率达5 m,扫描带宽仍为185 km。毫无疑问,随着遥感数据光谱分辨率、空间分辨率不断提高,遥感填图中计算机自动、半自动识别岩性会逐渐成为现

实,那时人工将侧重于量产状、打化石、采集地化与薄片样品、典型地质现象照相与素描、矿化蚀变点检查、综合分析、编写报告等。当然,仍离不开用实测剖面建立地层层序或统一岩性解译标准,从而为计算机分析选取“训练区”,本文所做研究正是这样一种类似的尝试。

**致谢:** 实测剖面与中国地质大学(武汉)李昌年教授、新疆区调二队宋洪明、宫春杰、王华星等工程师一起完成,本文由新疆区调二队资助,在此谨表谢忱!

## 参考文献

- [1] 董国臣,郝国杰,陈达,等. 计算机辅助1:5万区调工作方法[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [2] 地质矿产部,等. “九五”地矿行业科技成果推广项目指南[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [3] 阎积惠,康慧,陈怀亮. TM图像地质应用原理与方法[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.
- [4] Fraser S J. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study[J]. Int. J. Remote Sens., 1991, 12(3): 645-641.
- [5] Torres-Vera M A, Prol-Ledesma R M. Spectral enhancement of selected pixels in Thematic Mapper images of the Guanajuato district (Mexico) to identify hydrothermally altered rocks[J]. Int. J. Remote Sens., 2003, 24(22): 4357-4373.
- [6] Li P J, Zhou Z W, Li J H et al. Structural framework and its formation of the Kalpin thrust belt, Tarim Basin, north-west China, from Landsat TM data[J]. Int. J. Remote Sens., 2003, 24(18): 3535-3546.
- [7] 刘光海,陈仁义,白大明,等. 东准噶尔铜金矿成矿特征及综合评价方法[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [8] 张良臣,周庆仁,赵国龙. 天山-兴安地区区域地质特征[A]. 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [9] 马丽芳. 中国地质图集[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [10] 中华人民共和国国土资源部. 97、98中国矿产资源报告[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [11] 李林. 用SPOT数据IHS变换处理方法提取含金地质体信息[A]. 郭东华. 遥感找矿方法与实践[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [12] 黄颖端,李培军,李争晓. 基于地统计学的图像纹理在岩性分类中的应用[J]. 国土资源遥感,2003,17(3): 45-49.
- [13] 丰茂森. 遥感图像数字处理[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [14] 郭东华. 多源遥感技术探测地质矿产资源的研究[A]. 郭东华. 遥感找矿方法与实践[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [15] Hubbard B E, Crowley J K, Zimelman D R. Comparative alteration mineral mapping using visible to shortwave infrared (0.4-2.4 μm) Hyperion, ALI, and ASTER imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1401-1410.