·矿产资源·

基于ASTER遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取

代晶晶,曲晓明,辛洪波
DAI Jing-jing, QU Xiao-ming, XIN Hong-bo

中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037
Institute of Mineral Resources,Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, *China*

摘要:矿化蚀变信息的提取对圈定成矿区具有重要意义。近年来,运用多光谱遥感数据进行示矿信息提取得到了长足的发展。常用的示矿信息提取技术方法包括优化的主成分分析方法、比值算法、光谱角算法等。选取西藏改则县多龙地区为研究区,以区内多不杂斑岩型铜矿为典型的已知矿床,基于 ASTER 遥感数据,运用多种示矿信息提取方法进行靶区圈定综合研究,多种技术方法相互印证,避免了单一算法的局限性,为成矿靶区的圈定提供了更为准确的遥感依据。

关键词:ASTER 遥感数据; 多不杂斑岩铜矿; 示矿信息;西藏
中图分类号:P618.41 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2010)05-0752-08

Dai J J, Qu X M, Xin H B. Extraction of alteration mineral information using ASTER remote sensing data in Duolong area, Tibet, China. *Geological Bulletin of China,* 2010, 29(5):752–759

Abstract: Extraction of alteration mineral information plays an important role in prospecting of mineral deposit. Nowadays, using multi-spectral remote sensing data for extraction of alteration mineral information has been developing rapidly. The methods of extraction of alteration mineral information include optimal PCA (Principal Components Analysis), band ratio, SAM (Spectral Angle Mapping), etc. This paper has choosed Duolong area, Gaize, Tibet as the study area and Duobuza porphyry copper deposit as the typical deposits, and adopted several methods for extraction of alteration mineral based on ASTER remote sensing data, then the result of each method has been compared. It avoids the restriction of each method, and provides more accurate remote sensing evidence for detecting mineral deposit.

Key words: ASTER remote sensing data; Duobuza porphyry copper deposit; alteration mineral information; Tibet

自 20 世纪 80 年代末 Landsat 卫星升空以来,利用多光谱遥感技术勘查金属矿产资源的方法就大获成功。随着 2000 年先进星载热发射和反射辐射仪 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)数据的获取,ASTER 数据已被一些学者运用在岩石学和矿床学研究中。ASTER 遥感数据相对于 Landsat ETM$^+$数据而言,在短波红外与热红外波段设置了更多的波段,可提取更精细的矿物信息,在遥感地质调查与基础研究中有广阔的应用前景。本文利用 ASTER 数据,运用多种示矿信息提取方法在西藏改则县多龙地区开展靶区圈定综合研究,对比分析了多种示矿信息提取方法的优劣,并以多不杂斑岩型铜多金属矿床为已知矿床圈定了一些典型的找矿靶区,为西藏等不易到达地区开展矿产资源探测提供了技术方法支撑,同时为所处班公湖-怒江成矿区带斑岩型铜多金属矿床遥感

收稿日期:2009-10-15;**修订日期**:2009-11-11
地调项目:国家科技支撑计划重点项目(编号:2006BAB01A05)和中国地质调查局青藏专项(编号:1212010818097)资助
作者简介:代晶晶(1982-),女,研究实习员,在读博士,从事遥感找矿方向的研究。E-mail:daijingjing863@sina.com

探测提供了一定的理论依据。

1　研究区地质背景

西藏改则县多龙铜多金属矿集区位于班公湖-怒江成矿带西段(图 1),区内已知的典型矿床为多不杂和波龙斑岩型铜矿，出露地层均为中侏罗统曲色组第一、二岩性段，下白垩统美日切错组及第四系(图 2)。其中中侏罗统曲色组第一岩性段(J_2q^1)为深灰色褐铁矿化弱硅化粉砂质板岩夹变长石石英砂岩、灰岩条带及透镜体,中上部有花岗闪长斑岩、闪长玢岩出露,具孔雀石化、褐铁矿化、硅化。中侏罗统曲色组第二岩性段(J_2q^2)为浅绿灰色、浅黄褐色薄至中厚层状弱褐铁矿化、弱硅化变长石石英砂岩,中部有花岗闪长斑岩出露,具孔雀石化、锰矿化、硅化,上部有褐红色、褐灰色玄武质安山岩出露。下白垩统美日切组(K_1m)为紫红色安山质火山碎屑岩、安山玢岩。新近系中新统康托组(N_1k)为棕红色粘土及砂砾岩。第四系(Qh)为残坡积的松散砂碎石堆积及洪冲积的砾石、砂土等。区域侵入岩主要有花岗闪长斑岩和辉绿岩;火山岩主要为火山角砾岩和安山岩,其中多不杂矿区与波龙矿区的含矿斑岩均为花岗闪长斑岩。成矿时代为燕山期,成矿构造环境为碰撞后的区域性隆升构造环境。矿区内的矿化主要有孔雀石化、蓝铜矿化、黄铜矿化、黄铁矿化、锰矿化、辉铜矿化、褐铁矿化。蚀变主要为硅化、绢云母化、钾长石化、斜长石化、绿泥石化、绿帘石化等[①]。

2　数据源简介

ASTER 是(EOS)TERRA AM-1 平台预定的重要有效载荷之一,属于高级多光谱遥感成像。它有 14 个波段,波长范围在 0.52~0.86mm 之间的 3 个可见光近红外波段(VNIR)和波长范围在 1.6~2.43mm 之间的 6 个短波红外波段(SWIR)同时观测太阳反射辐射亮度,空间分辨率分别是 15m 和 30m;另外,波长范围在 8.125~11.65mm 之间的 5 个热红外波段(TIR)观测地表的发射辐射值,空间分辨率是 90m。与比较常用的多光谱数据 Landsat TM/ETM 相比较，ASTER 短波红外波段共 6 个可以进行特定矿物的识别，主要是为了进行地表土壤和矿物绘图而设计的,第 4 波段以 1.65μm 为中心,第 5~9 波段主要用来识别层状硅酸盐矿物和碳酸盐矿物在 2.1~2.4μm 典型的吸收特征。TM/ETM 只有 2 个波段,不能进行特定矿物的识别。另外,ASTER 与 TM/ETM 相比,性价比更高。

本文研究区域被 2 景 ASTER 数据所覆盖,获取数据级别为 L1B,获取时间为 2002 年 3 月 31 日。将 2 景数据镶嵌处理,然后裁剪出研究区域,图像大小为 2995 像元×1555 像元。

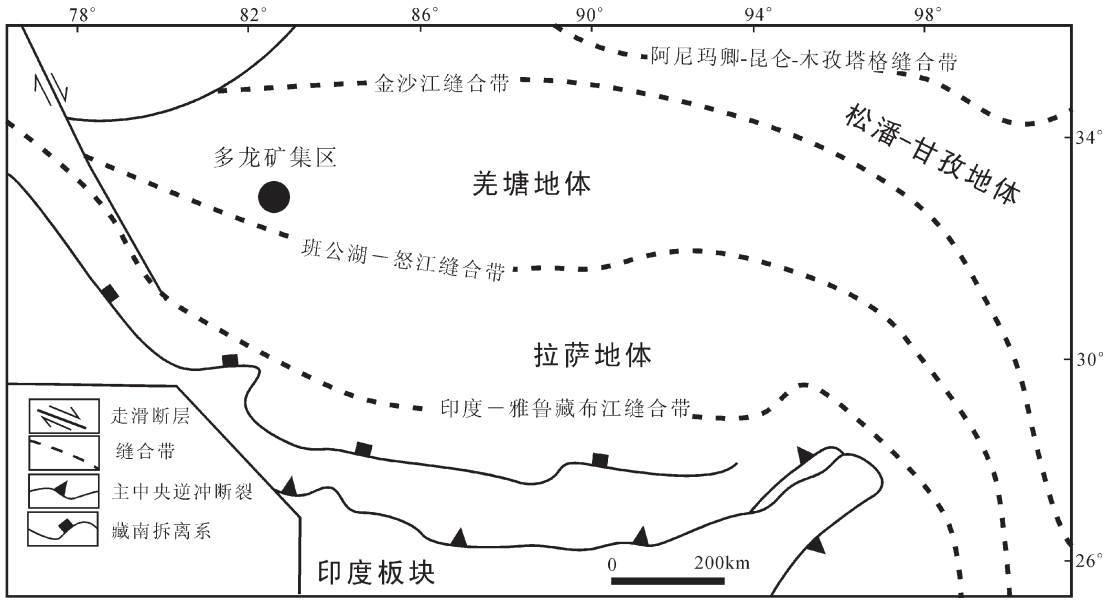
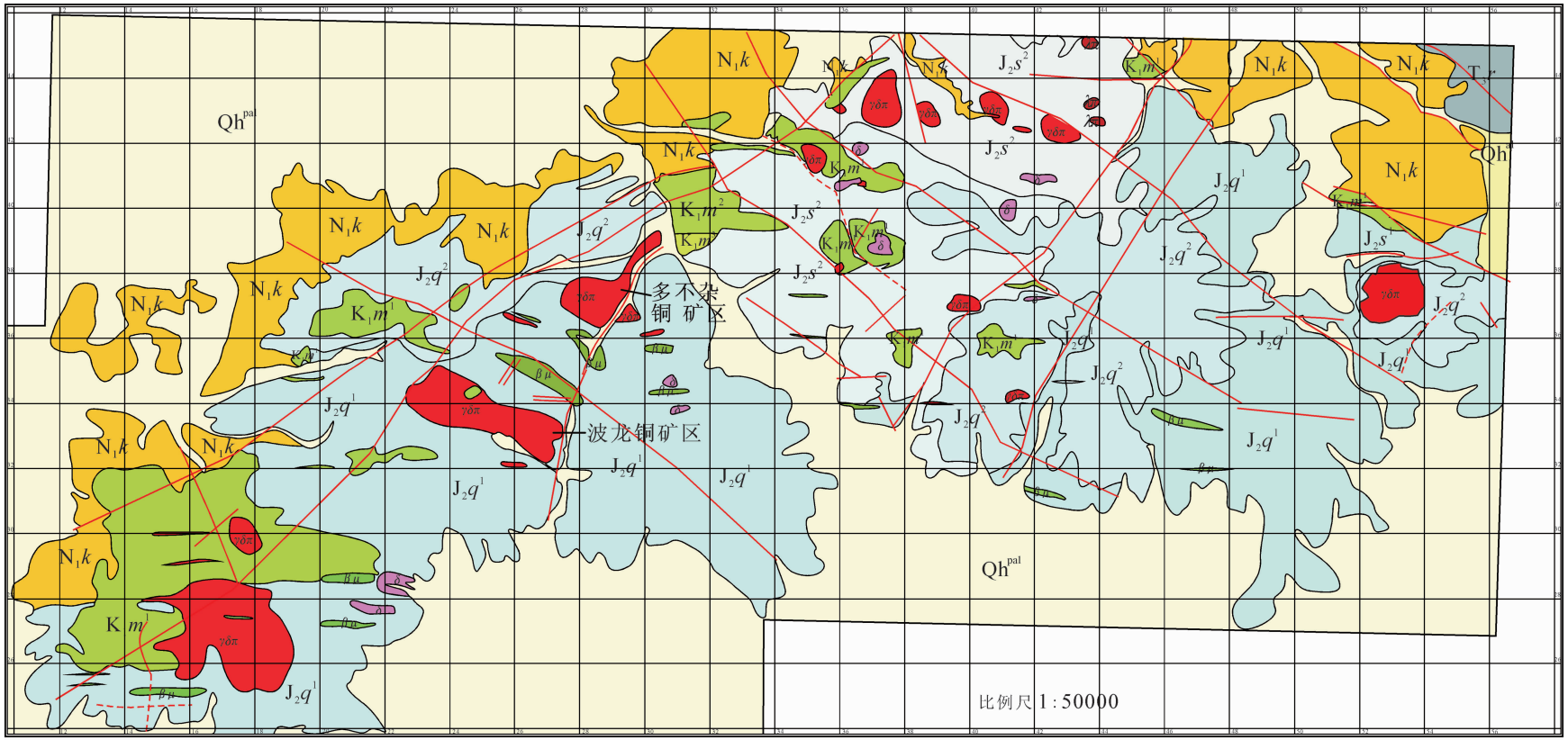


图 1　研究区位置图[①]

Fig. 1　Location map of the study area



Qh^pal 第四系冲洪积物
Qh^al 第四系冰积物
N1k 新近系康托组棕红色粘土及砂砾石层
K1m^3 下白垩统美日切组上段火山角砾岩
K1m^2 下白垩统美日切组中段火山碎屑岩
K1m^1 下白垩统美日切组下段安山玢岩、安山质玄武岩
J2s^2 中侏罗统色哇组二段：变石英砂岩、变长石石英砂岩夹深灰色粉砂质板岩
J2s^1 中侏罗统色哇组一段：变长石石英砂岩、砂砾岩夹深灰色至深黑色变石英粉砂岩
J2q^2 中侏罗统曲色组二段：变长石石英砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩，夹硅质岩、灰绿色玄武岩、基性火山熔岩
J2q^1 中侏罗统曲色组一段：深灰色粉砂质板岩夹变长石石英砂岩、灰岩条带及透镜体
T3r 日干配错组灰岩、大理岩化灰岩及透镜体
Σ 蛇纹石化橄榄岩
α 褐红色、褐灰色安山岩
ν 浅绿灰色辉长岩
βμ 灰绿色辉绿岩
δ 灰绿色闪长岩、石英闪长岩
λπ 流纹斑岩
γδπ 花岗闪长斑岩
实测性质不明断层、推测断层

图 2 研究区 1:5 万地质矿产图①

Fig. 2 The geological and mineral deposit map of the study area in 1:50000 scale

3　示矿信息提取

3.1　FLAASH 大气矫正

星载成像遥感器实际上获取的是太阳辐射通过大气层之后的信息。因此,传感器获取的信息包括地物和大气信息。为了定量地分析地表的参数,去除大气的影响是实现定量分析地表参数、进行遥感研究的关键一步。目前大气校正的方法主要有基于辐射传输方程法和经验线性法,经验线性法相对简单,且易于实现,其不足之处在于不能获取地物真实的辐射信息;而基于辐射传输方程法(6S、Modtran 等)大气校正软件由于计算过程所需参数过多、计算结果信息量大、应用困难等缺点而没有被遥感应用人员广泛使用[1]。FLAASH 是由世界一流的光学成像研究所——波谱科学研究所(Spectral Sciences)在美国空气动力实验室支持下开发的大气校正模块。FLAASH 采用 MODTRAN 4+ 辐射传输模型的代码,是目前精度最高的大气辐射校正模型。它基于像素级的校正,可校正漫反射引起的连带效应,可调整人为抑止导致的波谱平滑,能有效地消除大气、光照等因素对地物反射的影响,获得地物较为准确的反射率、辐射率、地表温度等真实的物理模型参数[2]。本文对 ASTER L1B 级 1~9 波段的数据采用 ENVI软件中的 Flaash 模块完成大气校正,具体流程见图 3[3]。

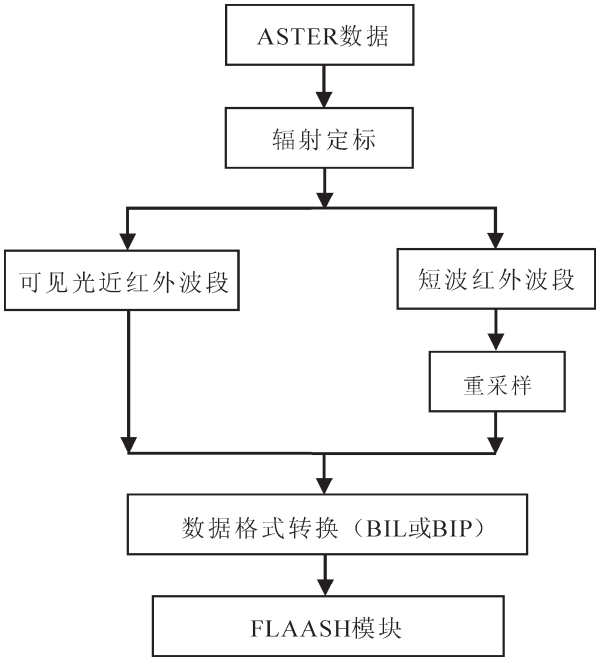


图 3　FLAASH 大气校正流程

Fig. 3　The flow chart of FLAASH atmospheric correction method

3.2　彩色增强图像

相同色彩的图像特征可能代表着相同的地物信息。可以通过分析已知的矿床的图像特征,寻找和已知矿床相似的图像特征,进而寻找新的找矿靶区。经过 FLAASH 大气矫正后的图像,选择不同的波段组合进行彩色合成,对于彩色合成图像再进行图像增强。经过实验,波段组合 468、765 比较利于示矿信息的解译。根据波谱图 4 可知,由于绢云母等粘土类矿物在 4 波段的反射峰和 6 波段、8 波段的吸收谷,故

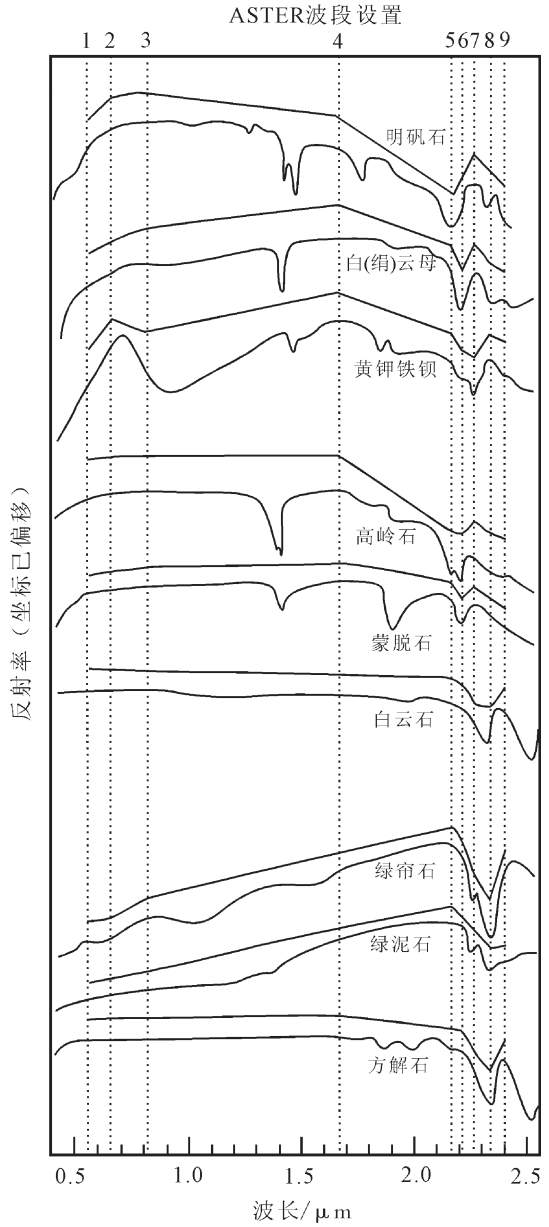


图 4　典型蚀变矿物波谱对应图(据二宫芳树等修改,2003)

Fig. 4　The spectral map of typical alteration minerals

在 468 波段组合彩色增强图像上呈现红色；由于在 6 波段的吸收谷和 5 波段、7 波段的反射峰，在 765 波段组合图像上呈现紫色，这与多不杂和波龙矿区对应良好。以此为依据，可知 468 波段组合彩色增强图像上的红色区域与 765 波段组合图像上的紫色区域有可能为找矿靶区(图 5、图 6)。

3.3 比值合成

波段比值法也是一种经常被用来提取波谱信息

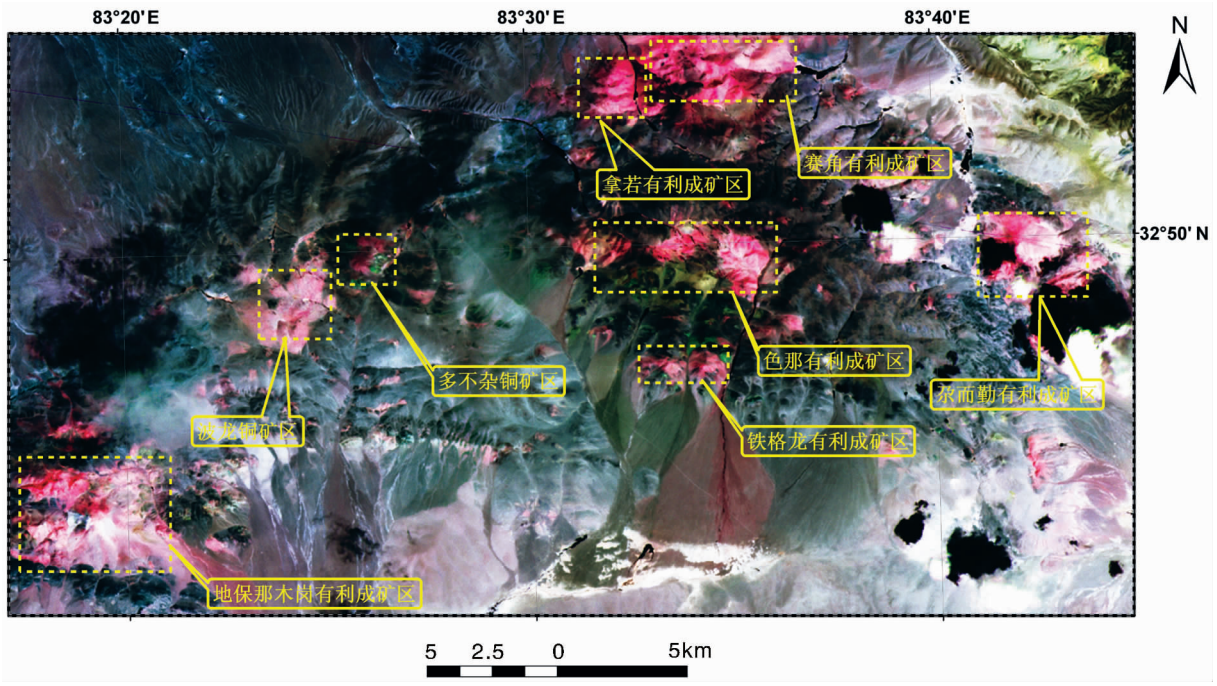


图 5 ASTER 468 波段组合增强图像

Fig. 5 The enhanced image of ASTER 468 band composition

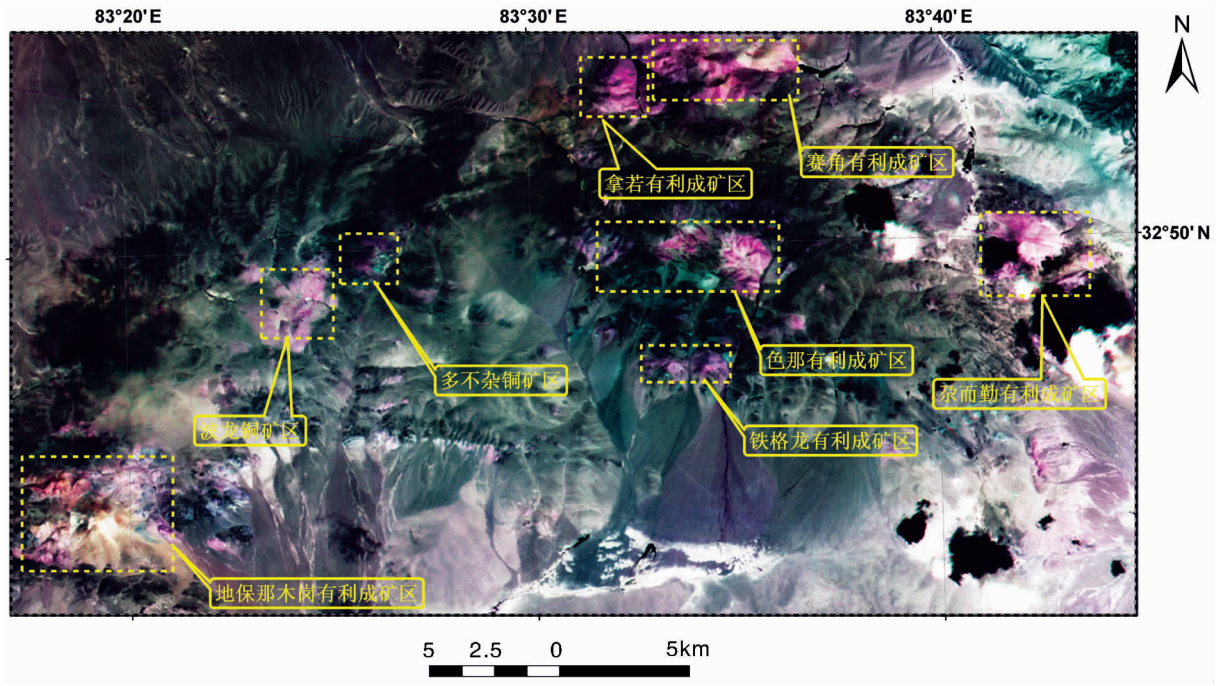


图 6 ASTER 765 波段组合增强图像

Fig. 6 The enhanced image of ASTER 765 band composition

的有效手段。根据代数运算的原理,当波段之间差值相近但斜率不同时, 反射波段与吸收波段的比值处理可增强各种岩性之间的波谱差异, 抑制地形的影响,并显示出动态的范围[4-6]。因而,以岩矿的特征光谱为基础,选取适当的波段比值进行彩色合成,可使岩性、蚀变带的信息增强,便于提取蚀变信息。经过实验,5/6、7/6、2/3 波段比值组合能较好地突出矿化信息(图 7)。在 5/6、7/6、2/3 波段比值组合增强图像

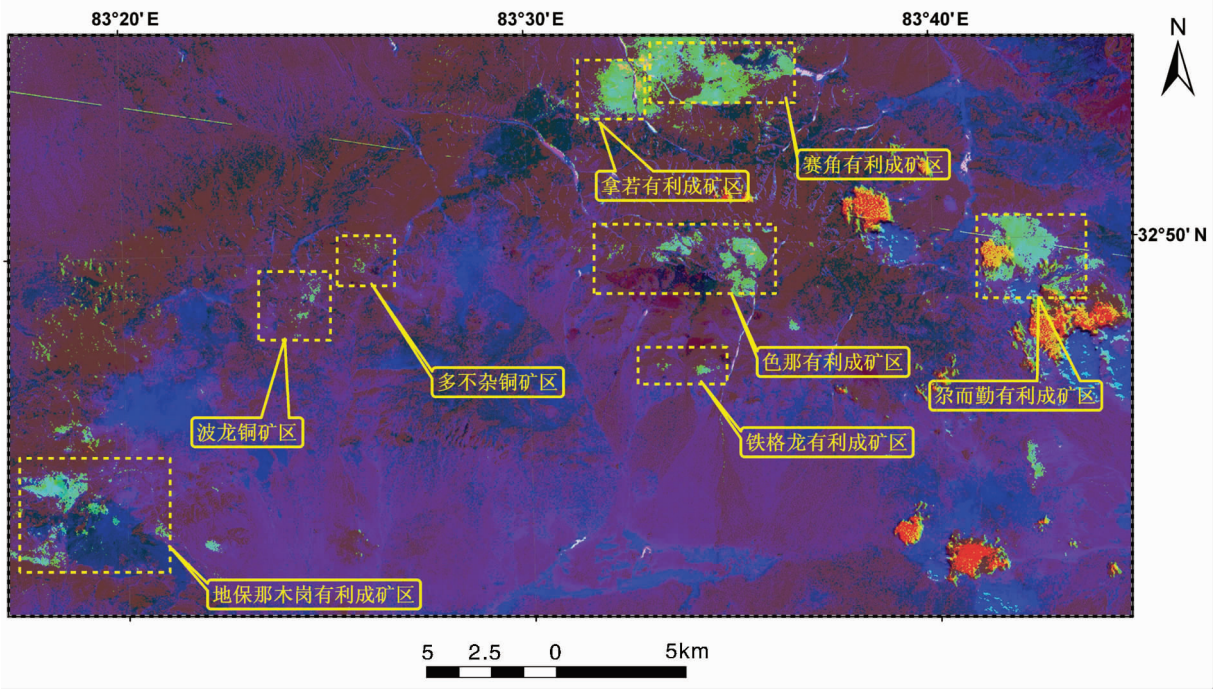


图 7　ASTER5/6、7/6、2/3 波段比值合成图像

Fig. 7　ASTER5/6、7/6、2/3 band ratioes composed image

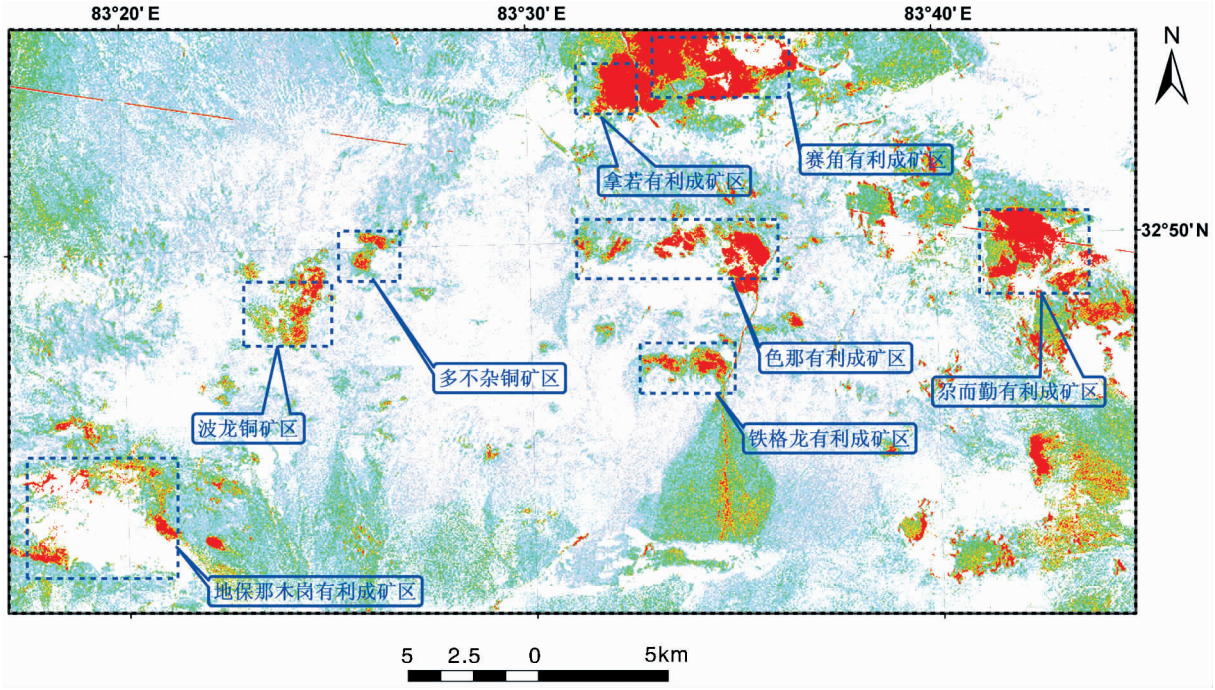
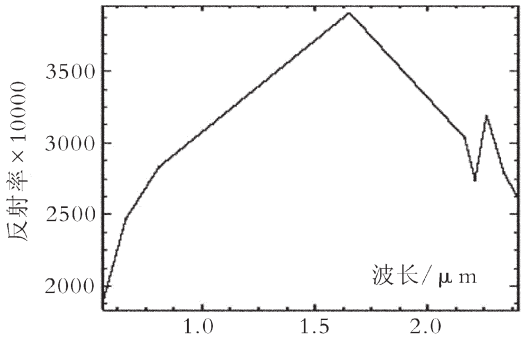


图 8　绢云母、蒙脱石类信息提取结果

Fig. 8　The image of sericite/montmorillonite information



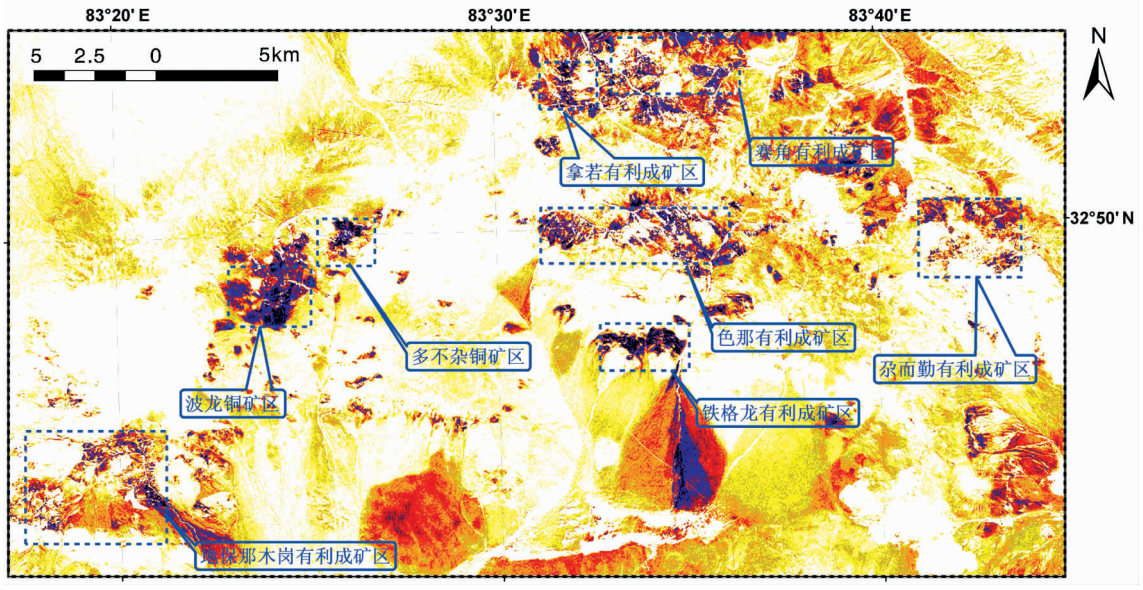


图 9 多不杂地区波谱图与 ASTER 数据 SAM 算法分类结果

Fig. 9 The spectral diagram of Duobuza mineral deposit and the result image of SAM method

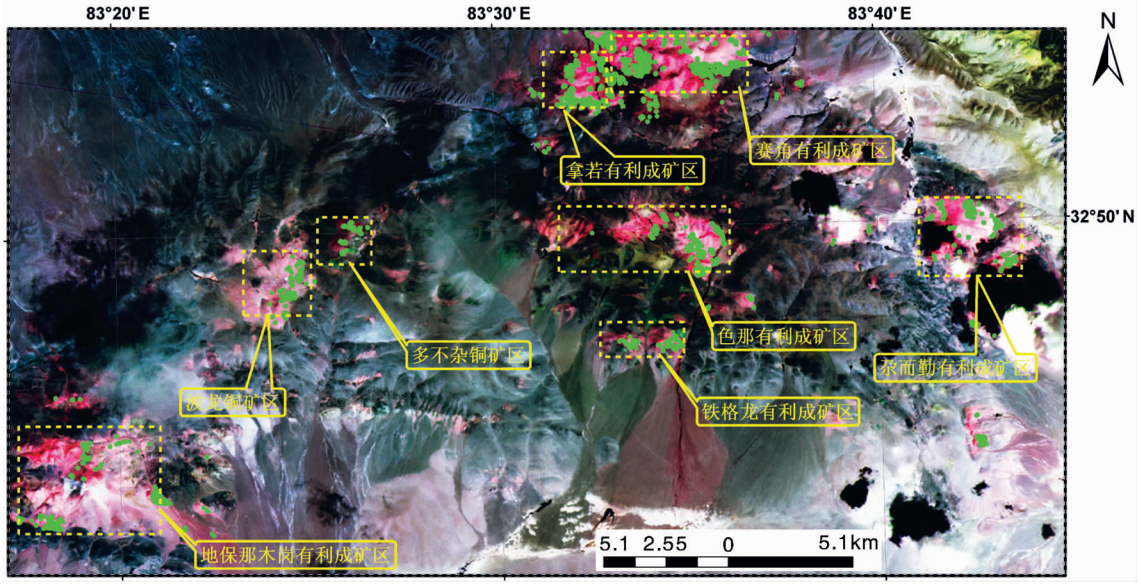


图 10 研究区靶区综合分析结果

Fig. 10 Comprehensive analytic result of the study area

上绿色区域代表蚀变信息。

3.4 绢云母类信息提取

特定的矿床类型有着特定的蚀变矿物组合,先提取与成矿有着密切联系的蚀变矿物,进而可以圈定找矿靶区。光谱指数是通过分析特定蚀变矿物的波谱吸收特征总结的定量化区分矿物类别的指数。根据图 4 所示,绢云母、蒙脱石类矿物在 6 波段具有较强的吸收特征,在 5 波段和 7 波段有反射峰,根据其吸收深度定义绢云母类光谱指数:(如果(5>6)U(7>6)U((1.082192×4−0.082192×6)<5)那么(5+7)×0.5/6)。斑岩型铜矿通常具有绢英岩化蚀变特征,本文根据上述定义的绢云母类光谱指数提取绢云母、蒙脱石类粘土蚀变矿物信息,然后对提取结果进行彩色分割,在绢云母、蒙脱石类信息提取结果图像(图 8)上红色区域代表绢云母、蒙脱石类信息。

3.5 SAM 算法

光谱角填图(Spectral Angle Mapping) 将光谱数据视为多维空间的矢量,利用解析方法计算像元光谱与光谱数据库光谱或像元训练光谱之间矢量的夹角,根据夹角的大小来确定光谱之间的相似程度,以达到识别地物的目的[5−7]。选取多不杂矿区地物波谱为依据对研究区域进行光谱角填图,得到一幅光谱角分类图像,对图像进行彩色分割,图 9 上的深色区域显示与多不杂矿区有着相似的光谱特征,为圈定找矿靶区的依据。

3.6 靶区圈定综合分析

将以上几种示矿信息提取结果与该区域 1:5 万地质矿产图(图 2)进行对比分析可知,提取的找矿靶区与地质图上含矿岩体——花岗闪长斑岩比较吻合。几种方法提取的公共区域为最佳的靶区圈定区域,将上文几种方法提取的结果进行矢量化,然后在 ArcGIS 软件中进行靶区叠加分析,最终得到了以下找矿靶区:地保那木岗有利成矿区、拿若有利成矿区、赛角有利成矿区、色那有利成矿区、铁格龙有利成矿区、尕而勤有利成矿区(如图 10 所示),图中亮绿色的区域为靶区圈定的最终结果。

4 结　论

比较以上 4 种示矿信息提取方法,其中彩色合成方法简单易行,但是圈定靶区较为粗略,可以作为靶区圈定的前期方法;比值合成方法效果较好,但是关键是必须根据典型蚀变矿物的波谱特征,选择合适的波段进行比值组合才能突出感兴趣的信息;运用光谱指数提取蚀变矿物类信息,需要在熟悉蚀变和矿床类型的前提下提取相应的蚀变矿物类信息,根据蚀变矿物类的信息圈定靶区;SAM 算法需在已知矿床波谱的前提下完成,处理之前 ASTER 数据反射率反演的精度非常重要,另外 SAM 算法本身也具有局限性,所以应对算法优化才能保证提取结果的精度。总之,运用多种示矿信息方法提取结果综合分析,并且结合地质资料才能为找矿远景区的圈定提供更为可靠的依据。

致谢:曲晓明研究员、赵元艺研究员、辛洪波副研究员在论文写作过程中给予悉心指导,并提供了相应的地质资料,谨致谢意。

参考文献

[1]吕凤军,郝跃生,李川平,等.基于 FLAASH 模块的遥感数据大气校正应用研究[J].河北地质,2007,2:23−26.

[2]郝建亭,杨武年,李玉霞,等.基于 FLAASH 的多光谱影像大气校正应用研究[J].遥感信息,2008,1:78−81.

[3]李小娟,刘晓萌,胡德勇,等.ENVI 遥感影像处理教程[M].北京:中国环境科学出版社,2007.

[4]荆凤,陈建平.矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J].遥感信息,2005,2:63−66.

[5]Inés Di Tommaso, Nora Rubinstein. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina [J].Ore Geology Reviews , 2007, 32: 275−290.

[6]甘甫平,王润生.遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究[M].北京:地质出版社,2004.

[7]王建平.基于遥感的河南卢氏西部地区蚀变信息提取与分析[J].地球信息科学,2007,6(9):111−115.

① 西藏地质调查院.1:5 万西藏自治区改则县多龙地区地质调查报告.2008.