

北京一号小卫星在遥感找矿异常提取中的应用 ——以哈密黄山铜镍矿区为例

刘圣伟¹, 徐元柳², 杨苏明¹, 葛大庆¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 为了评价并推进“北京一号”小卫星在我国矿产资源调查领域中的应用,以新疆哈密黄山铜镍多金属成矿带为试验区,在深入分析岩石及其影像光谱特征的基础上,针对小卫星多光谱数据,采取几种信息增强方法对构造和矿化蚀变信息进行提取,结果证明了所用方法对“北京一号”小卫星褐铁矿和绿泥石类等矿化蚀变异常信息提取的可行性。

关键词: “北京一号”小卫星; 黄山; 找矿异常; 蚀变信息提取

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)04-0038-05

0 引言

“北京一号”小卫星是中英联合研制、可自行控制并且能快速执行各种专项任务的高性能对地观测小卫星。它具有双遥感器,可同时获取 32 m 分辨率多光谱(520 ~ 620 nm、630 ~ 690 nm、760 ~ 900 nm)数据和 4 m 分辨率的全色波段(500 ~ 800 nm)数据,幅宽分别为 600 km 和 24 km。小卫星所获取的数据将广泛服务于我国的国土资源调查、土地利用监测、城市建设规划、测绘、环境及灾害监测、农业林业管理、重大工程监测以及 2008 年北京奥运会等众多领域。目前,我国正在积极开展和推进该卫星综合应用示范研究,并在土地、农林、水环、城市及地质等应用领域取得了成功的应用示范成果。本文即是该卫星在地质找矿应用中的初步研究结果。

1 地质概况

新疆东天山地区是我国西部重要矿产资源远景区,蕴藏着金、铜、镍及铝等矿种,是国土资源部首批国土资源调查区,其中哈密黄山铜镍矿带是康古尔塔格—黄山金、铜、镍和铝成矿带中的重要矿床之一,已探明铜镍储量数十万吨。该区在地理位置上属于西北干旱区,天气晴朗,空气污染小,大气散射及水汽吸收较弱,植被覆盖稀少,且岩石风化以物理风化为主,因此,非常有利于遥感找矿。

黄山铜镍矿带(也称土墩—黄山—镜儿泉矿带)受康古尔塔格深大断裂控制,矿床的容矿围岩为一套镁铁质基性—超基性岩体,大部分含矿岩体侵入于下石炭统干墩组(C_1g)和梧桐窝子组(C_{1w})地层,是近 20 a 来发现的又一大型铜镍矿基地^[1],现已查明黄山、黄山东 2 处大型矿床和土墩、香山及葫芦等多处中小型矿床(图 1)。

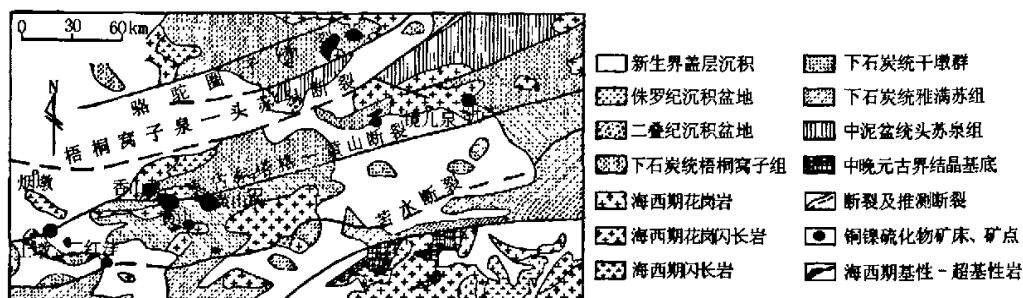


图 1 新疆哈密黄山地区铜镍矿带地质图(据王玉柱等^[2])

收稿日期: 2007-08-20; 修订日期: 2007-09-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题“遥感区域综合应用示范(2005AA133011-2)”。

本文以“北京一号”小卫星多光谱数据的地质应用为研究目标,以新疆哈密黄山铜镍多金属成矿带为试验区,对构造和矿化蚀变异常信息提取的方法和效果作初步分析。

2 研究区主要蚀变岩石光谱分析

2.1 岩石实测光谱特征分析

针对蚀变信息遥感提取需要,对研究区普遍出露的各类岩石实测反射率光谱特征进行分析。通过对比研究,发现矿化蚀变岩光谱曲线最显著的特征是整体反射率相对较高,存在蚀变矿物特征吸收谱带,主要是 0.5 μm 和 0.9 μm 处的含铁矿物吸收带、2.2 μm 处的粘土矿物吸收带和 2.35 μm 处的碳

酸岩矿物吸收带。光谱特征吸收带吸收程度随各类蚀变作用的强弱变化,蚀变作用越强,蚀变类型越复杂,曲线形态变化越大。对样品的岩矿分析和光谱分析都表明该地区矿化蚀变岩中的蚀变矿物以褐铁矿和绿泥石等粘土矿物为代表(图 2a、b)。矿化蚀变岩的原岩为辉绿岩(样品 141、105)和辉长岩(样品 019、021),样品 021、105 的光谱以粘土矿物在短波红外谱段的吸收特征为主;019、141 则以褐铁矿的可见光-近红外吸收特征为主,同时也存在较强的粘土矿物吸收特征。

未蚀变围岩如闪长岩、凝灰岩、板岩和灰岩等的光谱曲线表现为整体反射率较低,起伏变化小,形态变化也不大(图 2c)。

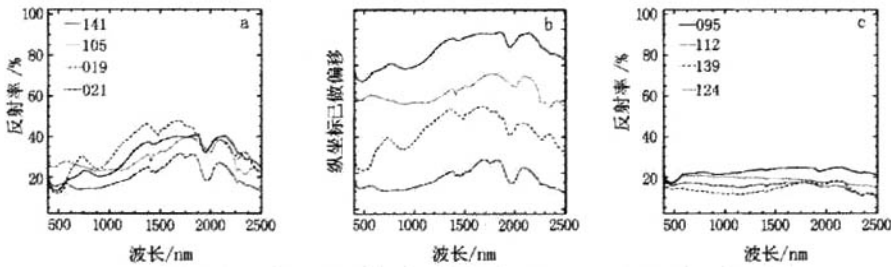


图2 黄山铜镍矿带矿化蚀变岩和非矿化围岩实测反射光谱曲线
(a: 矿化蚀变岩; b: 为便于区分对 a 图进行了纵坐标偏移,图例同 a; c: 未蚀变围岩)

2.2 主要岩类像元表观反射率特征

由于获取研究区小卫星数据时受薄云影响较大,而获该地区 TM 图像时天气晴朗,大气影响小,

因此,采用直方图匹配法对小卫星数据中的薄云进行去除,处理结果如图 3 所示。

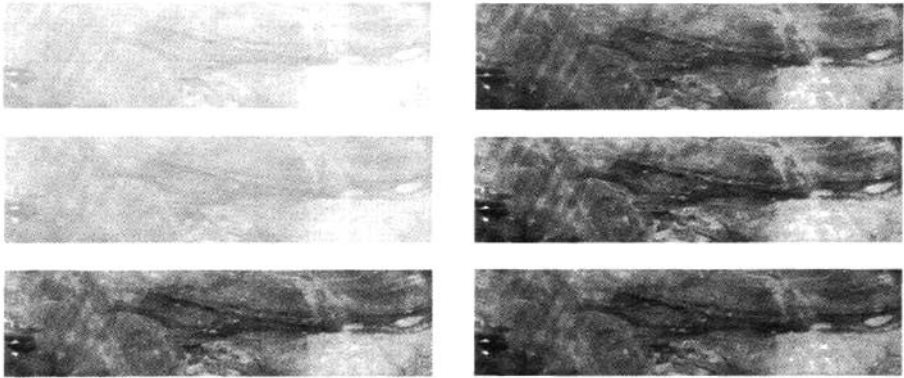


图3 小卫星数据直方图匹配法薄云去除纠正前(左)后(右)对比
(由上到下依次为绿、红、近红外波段)

可以看出,小卫星绿波段和红波段纠正后,影像清晰了很多,近红外波段纠正前后差别不大。这是因为,近红外波段受云的影响较小。

在黄山铜镍矿带及其外围地区,根据主要岩类的分布(图 1),在小卫星和 TM 图像的对应位置选取样区,并进行表观反射率值统计。参与统计的是经过辐射定标和直方图匹配薄云去除等预处理的小

卫星 1、2、3 波段(520 ~ 620 nm、630 ~ 690 nm、760 ~ 900 nm)和相应的 TM 2(520 ~ 600 nm)、TM 3(630 ~ 690 nm)、TM 4(760 ~ 900 nm)波段数据。该区地貌特征见插页彩片 16。

区内像元统计选取的主要岩类及地物有花岗岩、闪长岩、玄武岩、粉砂岩、板岩、褐铁矿化蚀变岩、绿泥石化蚀变岩和第四系砂土。区内各类

岩石及地物的小卫星数据各波段表观反射率曲线见图4(左)。从图中可见,第四系砂土整体呈现突出的高反射率值,花岗岩的光谱曲线形态与第四系砂土接近,但反射率相对稍低,这是它们近似的矿物成分特征(主要为石英、长石)在影像上的反映;板岩、粉砂岩、玄武岩和闪长岩的光谱曲线的反射率值和形态均十分接近,特点是曲线相对较为平直,而且反射率低于花岗岩;蚀变岩褐铁矿化的特征在于由高价铁离子在550 nm 和

850 ~ 940 nm 谱段的特征吸收谱带引起的曲线在小卫星红波段呈相对高值,绿泥石化蚀变岩则随波长的增加,反射率呈降低趋势,原因是绿泥石中铁成分在600 ~ 1 000 nm 波段范围存在的宽缓吸收特征,而且蚀变岩的光谱特征随蚀变作用的加强而愈加明显。图4(右)是同样的岩石、地物类型在TM2、3、4波段的光谱曲线,与图4(左)相比,反射率值稍有差异,但表现出一致的光谱吸收特征。

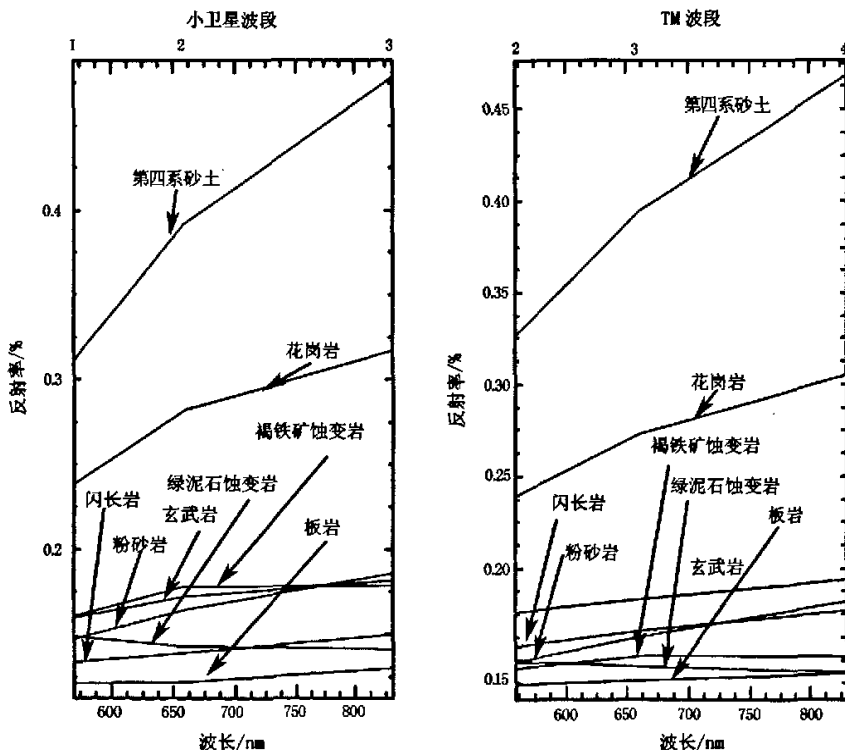


图4 黄山地区主要岩石、地物的图像表观反射率特征
(左:小卫星影像;右:TM影像)

分析表明,由于大部分岩石类型的表观反射率曲线形态差异很小,通过小卫星图像区分岩性存在一定的困难,但是蚀变矿物中所含的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等离子的特征吸收,会导致相应小卫星波段产生有别于未蚀变岩石的光谱特征, Fe^{3+} 在550 nm 波长处和850 ~ 940 nm 谱段存在较强吸收,此外, Fe^{2+} 和 Cu^{2+} 在600 ~ 1 000 nm 谱段具有特征宽缓吸收带。而蚀变岩石(如黄铁矿化、菱铁矿化、蓝铜矿化、孔雀石化、绿泥石化等)及其地表氧化物(赤铁矿化、褐铁矿化、黄钾铁矾化等)含有大量 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 离子基团或离子,这就是本文利用“北京一号”小卫星多光谱数据提取蚀变信息的物理基础(表1)。

表1 哈密黄山地区蚀变矿物类型对小卫星光谱特征的影响

金属离子	特征吸收谱段/nm	对应小卫星波段	蚀变矿物
Fe^{3+}	550, 850 ~ 940	1, 3	褐铁矿
Fe^{2+} 、 Fe^{3+}	600 ~ 1 000	2, 3	绿泥石

3 遥感地质找矿信息提取

从试验区成矿模式来讲,其找矿的主要目标是探测断裂带和蚀变带,因此,要求采取构造信息和蚀变信息提取相结合,从而进行遥感信息综合解译分析的策略。在提取断裂信息,确定可能成矿区域的基础上,对提取的岩石蚀变信息进行筛选,填制矿化蚀变异常图。采取的技术方法流程如图5所示。

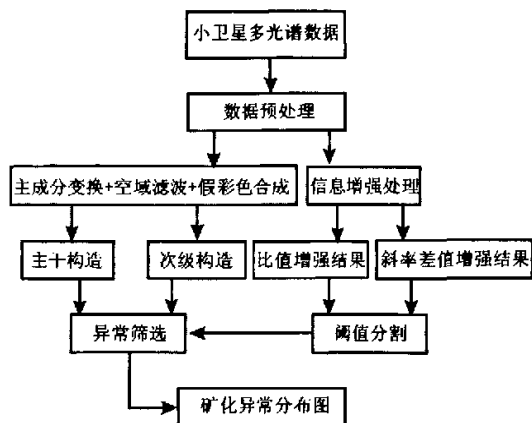


图5 矿化信息提取处理流程

3.1 构造信息提取

断裂构造常以线性体方式反映在遥感影像上。根据成矿规律,构造缝合线和深大断裂等巨型断裂往往仅作为控矿构造,本身不赋存矿体,矿体常富集在与主干构造斜交或平行的断层和节理中,因此,采用的构造信息提取技术流程是先增强主干线性体,寻找可能控矿构造,然后增强细微线性体,以确定断层、节理等次级断裂寻找容矿构造,缩小找矿范围。线性体在遥感影像上一般反映高频信息,前人提出了许多线性体增强方法。参考前人的经验^[4],经多次试验和改进,认为采用主成分变换+空域滤波+假彩色合成方法提取构造信息效果最佳。

(1)使用低通卷积滤波压抑细微线性体,增强影像主干构造,以突出可能控矿构造。对小卫星3个反射波段进行主成分变换,所产生的第三主成分(PC3)主要包含线性体信息,对其进行3像元×3像元的低通卷积滤波,之后,通过小卫星近红外波段图像(红)、滤波结果图像(绿)及PC1图像(蓝)进行假彩色合成,合成图像显著增强了本区主干构造(插页彩片17)。

(2)对主干构造区域使用高通卷积滤波增强细微线性体,以突出可能容矿构造。细微线性体主要包含在信息量高的波段中,此时选择方差最大的小卫星近红外波段,首先对其进行5像元×5像元高通卷积滤波增强细微线性体;再对滤波结果进行5像元×5像元低通滤波,这样既消除了高频噪声,又同时使线性体得到增强;最后,对滤波结果图像(红)、PC1图像(绿)及小卫星近红外波段图像(蓝)进行假彩色合成(插页彩片18)。可以看出,次级断裂和细微构造得到显著增强。

3.2 遥感蚀变信息提取

矿化蚀变信息的遥感提取方法通常有主成分分析、波段比值、混合像元分解及光谱角度填图等。针

对试验区属戈壁基岩裸露区,地形和植被等干扰因素小等地质情况,提出利用光谱波段斜率参数和波段差值组合运算的方式进行蚀变信息提取。

(1)绿泥石类蚀变信息的增强。采用小卫星波段1、3的差值($B1 - B3$)进行。由于绿泥石类矿物中铁离子的特征吸收, $B1$ 波段的反射率要高于 $B3$ 波段的反射率,因此,含此类矿物的蚀变岩在差值图像上呈高亮度区。为了避免其它因素的影响,可利用目标物光谱的 $B1$ 波段反射率也高于 $B2$ 波段的反射率特性,预先对 $B2 - B1 > 0$ 的区域进行掩模,以提高信息提取精度。

(2)褐铁矿类蚀变信息的增强。引入光谱波段斜率参数(K),即光谱在不同波段的反射率值的差与相应波长之差的比值,用公式表示为 $K = (R_e - R_s) / (\lambda_e - \lambda_s)$,其中, R_e 、 R_s 分别为终点和起点波长位置的反射率值; λ_e 、 λ_s 为相应的波长。这里用 K_1 表示 $B2$ 波段到 $B1$ 波段的光谱斜率; K_2 表示 $B3$ 到 $B2$ 波段的光谱斜率。由于褐铁矿类在红光波段($B2$ 波段)的相对高值, $K_1 - K_2$ 的差值就会表现为高值,从而在图像上呈高亮度区。同样需要注意的是,该方法需要利用该类信息在 $B2$ 波段反射率高于 $B1$ 波段的特性,预先对 $B2 - B1$ 为负的像元进行掩模处理,以避免提取错误信息。

3.3 矿化蚀变信息提取结果

对提取出的蚀变矿物信息进行密度分割,得到包含褐铁矿和绿泥石化不同程度分级的蚀变结果(插页彩片19)。结合区域地质和矿产资料,对提取的断裂和蚀变信息进行分析筛选,剔除伪信息。例如,区内花岗岩和第四系砂土存在褐铁矿化,板岩和闪长岩存在绿泥石化,但它们是区域变质作用的产物,不是所需要的矿化信息。最后得到研究区矿化蚀变结果图像,与实地验证的情况对比,吻合较好。

4 结论和讨论

综上所述,尽管小卫星数据与TM数据相比波段较少,缺少具有重要矿化指示意义的粘土矿物短波红外特征吸收信息,但选用合理的光谱信息增强技术,结合成矿区带地质体的光谱特征研究,有针对性地提取基岩裸露区成矿区带与含铁矿物有关的矿化蚀变异常是可行的。值得指出的是,“北京一号”小卫星具有同时获取4 m高分辨率全色波段影像的能力,对提高地质构造解译和地物识别的精度将很有意义。

致谢:“北京一号”小卫星数据由北京宇视蓝图信息技术有限公司提供,小卫星辐射定标系数由中科院遥感应用研究所提供,特此感谢!

参考文献

- [1] 王崇义,石长运,王晓亭. 黄山基-超基性岩体成岩机制及其含矿性初步探讨[J]. 新疆地质,1986,4(1):1-11.
- [2] 王玉往,王京彬,王莉娟,等. 新疆哈密黄山地区铜镍硫化物矿床的稀土元素特征及意义[J]. 岩石学报,2004,20(4):935-948.
- [3] 吴昭昭,田庆久,陈骏,等. 新疆哈密黄山地区多金属矿床遥感地质信息提取与找矿模式研究[J]. 高校地质学报,2004,10(1):114-120.

INFORMATION EXTRACTION OF MINERALIZING ANOMALY WITH BEIJING-1: A CASE STUDY OF THE HUANGSHAN COPPER - NICKEL ORE BELT IN HAMI, XINJIANG PROVINCE

LIU Sheng - wei¹, XU Yuan - liu², YANG Su - ming¹, GE Da - qing¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to evaluate and promote the application of small satellite Beijing-1 in mineral resources exploration, the authors used this satellite as data source to do some information extraction study of the remote sensing mineralizing anomaly in the Huangshan copper - nickel ore belt. The lab and image spectra of various rocks were analyzed, and then the structural and mineralizing alteration information was extracted by using an effective image processing technique. The results show that it is feasible to extract alteration anomaly of iron - bearing minerals such as limonite and chlorite with Beijing-1.

Key words: Beijing-1 small satellite; Huangshan; Mineralizing anomaly; Information extraction

第一作者简介: 刘圣伟(1972-),男,博士,高级工程师,中国地质大学(北京)地图制图学与地理信息工程专业毕业,日前主要从事遥感技术方法和地学应用研究,已发表论文10余篇。

(责任编辑:刁淑娟)

2007 对地观测与数字地球论坛在北京成功召开

由国际数字地球学会中国国家委员会和中国科学院对地观测与数字地球科学中心共同主办的“2007 对地观测与数字地球论坛”于 2007 年 11 月 22 日在中国科学院文献情报中心报告厅隆重举行。论坛吸引了来自 60 个单位的 300 名嘉宾和代表。

这是我国举办的首届“对地观测与数字地球”科学领域的学术论坛。组委会特邀了国内外著名的专家作专题报告。中国科学院对地观测与数字地球科学中心发展战略委员会主任徐冠华院士以“地球观测与导航技术研究进展与发展战略思考”;国防科工委系统一司张伟副司长以“航天发展与空间应用”;中国—澳大利亚空间信息联合研究中心 Peter Woodgate 教授以“Virtual Australia - The next generation of research investments to help shape a nation”;加拿大遥感中心主任 Denis Hains 教授以“An overview of CCRS”;国家遥感中心邵立勤教授以“中国综合地球观测系统设计”;UNESCO 联合国教科文组织遥感技术主管 Mario Hernandez 以“Cooperation between UNESCO and the Chinese Academy of Sciences Center for Earth Observation and Digital Earth”;国家卫星海洋应用中心副总工程师林明森研究员以“我国海洋系列卫星发展与应用”;国家卫星气象中心副主任卢乃锰研究员以“风云气象卫星的现状和未来”;中国科学院上海技术物理研究所所长王建宇研究员以“对地观测光学传感器技术”;中国科学院对地观测与数字地球科学中心张建国研究员以“陆地

观测卫星地面系统发展的新阶段”;中国土地勘测规划院姜栋研究员以“遥感技术在土地调查监测中的应用与展望”;国家林业局调查规划设计院副院长王庆杰研究员以“遥感技术在林业资源监测和生态建设中的应用与研究”和农业部规划设计研究院副院长杨邦杰研究员以“对地观察与农情遥感监测”为论坛主题先后作了报告。

论坛报告介绍了国内外对地观测与数字地球科学研究和发展方向,分析了该领域的战略重点。通过交流,与会代表了解了对地观测与数字地球领域学术研究国内外新方法、新思路。

此外,组委会还安排了论坛相关议题讨论,通过互动发言,围绕论坛定位、机制和作用等方面积极献计献策。代表们希望办好这系列性论坛,通过不同的论坛交流形式,固定论坛时间,优选论坛主题,不断提高论坛的层次和影响力,成为品牌,使与会人员可以通过论坛了解领域发展的导向和技术发展的最前沿。

中国科学院对地观测与数字地球科学中心主任郭华东在闭幕词中指出,首届“对地观测与数字地球”论坛圆满结束,一年一届的论坛需要全国对地观测与数字地球领域的政府官员、科学家的参与和支持。希望通过大家的努力,完善论坛形式,在学术性、战略性和创新性方面不断增强,以此加强相关部门和国际间的联合与合作,指导和引领学科发展,为政府科技决策提供咨询。

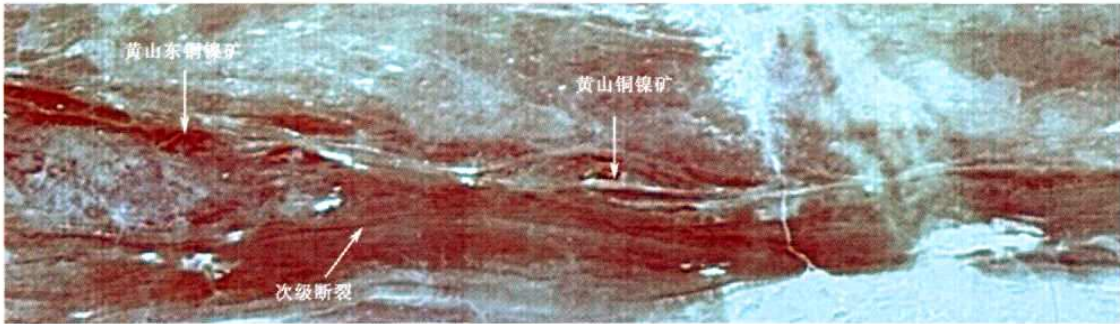
(朱博勤 供稿)



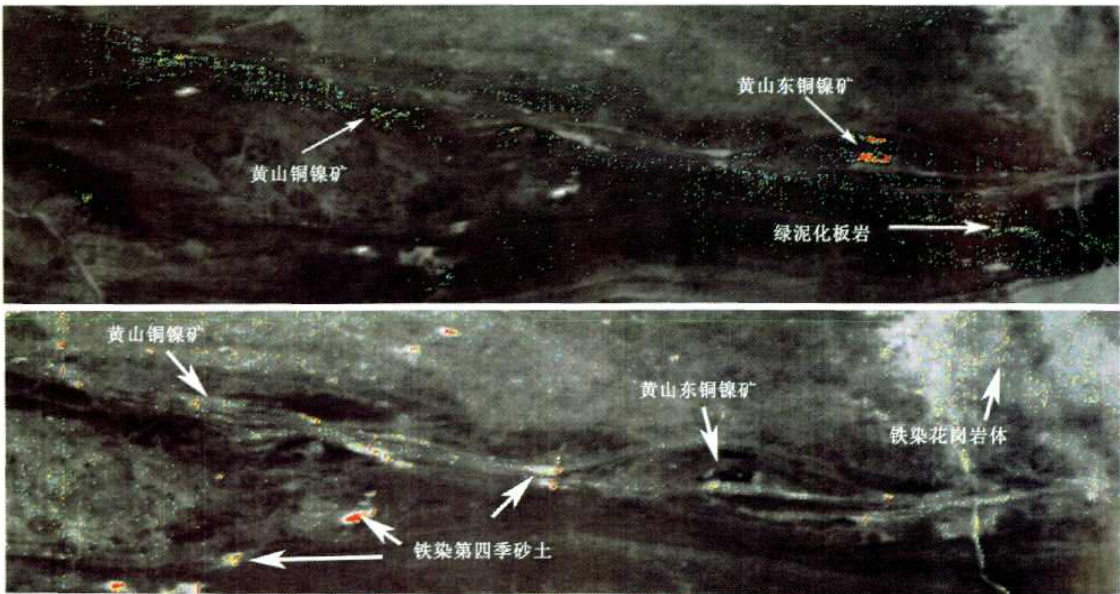
彩片16 黄山地区小卫星彩色合成图像 (R: 红波段; G: 近红外波段; B: 绿波段)



彩片17 主干构造增强结果



彩片18 次级构造增强结果



彩片19 黄山地区矿化蚀变提取结果 (上: 绿泥石化; 下: 褐铁矿化)