

西藏羌多地区遥感蚀变与构造信息提取及成矿预测

龙晓君^{1,2}, 何政伟^{1,2,3}, 刘严松^{1,2}, 夏福瑞^{1,2}, 薛东剑^{1,2}, 李喆^{1,2}

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 2. 成都理工大学信息工程学院, 成都 610059; 3. 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037)

摘要: 使用 ETM 遥感图像, 在分析地物光谱特征基础上, 利用 PCI 软件, 通过掩模技术去除白泥地、水体、阴影、植被等干扰信息, 采用主分量分析、波段比值和阈值分割技术对西藏西部羌多地区进行了铁染及羟基蚀变信息提取; 根据明显异常区建立参考谱, 创新利用光谱角法剔除假异常信息; 结合研究区线性构造的特点, 对研究区进行成矿预测, 圈定找矿远景区。提出的成矿预测方法比较灵活且效果明显, 为今后加快地质找矿工作提供了一条可供参考、行之有效的途径。

关键词: 主分量分析; 阈值分割; 蚀变信息; 成矿构造; 光谱角

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2010)02-0063-05

0 引言

随着遥感技术的不断深入, 在细分波谱、增强弱信息的基础上, 利用遥感图像处理技术提取矿化蚀变和成矿构造信息已成为遥感找矿的一个重要方法。在热液作用的影响下, 近矿围岩蚀变形成的蚀变岩石与正常围岩在矿物成分、化学成分、岩石组构和颜色等方面存在差异, 这些差异导致岩石反射光谱特征的差异, 形成蚀变围岩特定的光谱波段异常, 为遥感蚀变信息提取提供了理论依据。单一或简单的图像处理方法都很难把这些“矿化弱信息”提取出来, 针对找矿目标、背景和环境等特点, 人们提出了多种提取蚀变遥感异常信息的方法, 目前较常用的有比值法、主分量分析法、光谱角法、彩色空间变换法及克罗斯塔 (Crosta) 法等。根据围岩蚀变发现的大型金属、非金属矿床不胜枚举, 如北美、俄罗斯的大部分斑岩铜矿, 美国的许多白钨矿和犹他州的大铝矿, 我国的铜官山铜矿等实例, 均证明了蚀变信息作为找矿标志的重要意义。

国外对矿化蚀变信息的提取开始较早, 1976 年戈茨就提出了在短红外波段的 $1.6 \sim 2.2 \mu\text{m}$ 之间 2 个波谱段反射率的比值可以提供蚀变岩石和未蚀变岩石最大的分辨率; 1977 年, 艾布拉姆斯等^[1]也注意到陆地卫星多波段扫描光谱范围内含褐铁矿的蚀变岩石由于 3 价铁强吸收波谱而产生的独特反射波

谱, 并在内华达州金场根据陆地卫星波段比值图像对褐铁矿蚀变岩石进行了填图。20 世纪 80 年代, 智利使用航空摄影照片解译矿化蚀变带, 发现了玛尔泰和洛博金矿^[2]; 美国地调局利用陆地卫星数据处理, 填绘了与矿化有关的褐铁矿化异常分布^[2]; Crosta 和 Moore^[3] 利用 Landsat TM 图像数据成功地圈定了巴西 Minas Gerais 半干旱地区铁染和泥化现象; Robert 等^[2] 在新墨西哥南部 Blue Creek 盆地内热液蚀变填图, 使用 TM 图像数据成功地圈定了粘土、云母等含羟基的矿化蚀变区。

国内在这方面的研究工作主要开始于 20 世纪 90 年代, 赵元洪等^[4] 提出了波段比值的主成分复合法; 胡德永等^[5] 提出了“微量信息处理”方法; 马建文^[6] 提出了 TM 掩模 + 主成分变换 + 分类识别提取矿化弱信息方法; 张玉君等^[7] 利用与矿化相关的蚀变岩石的 TM 波段图像亮度值曲线的双峰特性提取蚀变岩信息; 张远飞等^[8] 利用“多元数据分析 + 比值 + 主成份变换 + 掩模 + 分类 (分割)”的方法在新疆、内蒙古及江西、云南成功提取了金矿化蚀变信息。

构造不仅是控矿因素, 而且在成矿作用中占主导地位, 故对构造成矿的研究更有助于了解矿床形成的过程, 对找矿研究具有重要的理论指导意义。构造解译是遥感图像地质解译的重点, 包括褶皱、断裂和节理等线性构造的解译。构造解译程度的高低对岩性、地层和矿产的解译影响很大。

本文通过对 ETM+ 遥感数据处理, 利用 PCI 软

收稿日期: 2009-9-27; 修订日期: 2010-01-10

基金项目: 国家“十一·五”科技支撑计划项目 (编号: 2008BAK49B02)、国家 863 重点项目 (编号 2007AA120306)、四川省杰出青年学科带头人培养计划项目 (编号: 06ZQ026-014) 和四川省教育厅自然科学重点项目 (编号: 2006A116) 共同资助。

件,通过掩模技术去除白泥地、水体、阴影及植被等干扰信息,采用主成分分析法和波段比值、阈值分割技术对西藏西部羌多地区进行了铁染及羟基蚀变信息的提取;根据明显异常区建立参考谱,利用光谱角法剔除假异常信息;并结合研究区线性构造的特点,对研究区进行成矿预测,圈定找矿远景区。

1 研究区概况

研究区位于西藏阿里地区革吉县和羌多,属高原湖盆区,地形相对高差较大,一般可达 800 m,平均海拔为 5 200 m;最低处在东南部,海拔 4 456 m,属盐碱地;海拔 5 800 m 以上高山为现代冰雪覆盖区。

本区的大地构造位置处于班公湖—怒江结合带西段,该结合带呈北西西向从研究区中部通过。结合带以北为喀喇昆仑—南羌塘—左贡陆块,以南为拉达克—冈底斯—拉萨—腾冲陆块。受板块构造运动影响,本区经历了古特提斯、新特提斯和陆内汇聚高原隆升等阶段的发展与演化。区域褶皱、断裂及推、滑覆构造较发育,新构造运动特征也较明显,地质构造复杂。

本区地层发育较齐全,二叠系至第四系地层均有出露,主要为一套碎屑岩、碳酸盐岩地层。第四系地层较发育,沉积类型多样,其展布受新构造的控制明显,与第四纪冰川、高原抬升及河流切割、阶地的形成密切相关。岩浆岩不太发育,呈小面积零星分布于区内中部和南部,以中生代中酸性侵入岩为主。沿班公湖—怒江结合带零星分布有蛇绿岩,在区域南部出露有新生代中性—中酸性火山熔岩、火山碎屑岩,在区域二叠系地层中局部有玄武岩、安山岩的夹层或透镜体。

本区属班公湖—怒江成矿带,二叠系砂岩、粉砂岩夹灰岩地层为区内的主要含矿地层。金属矿床(点)类型以热液型、矽卡型为主,围岩蚀变较强烈,以硅化、矽卡岩化及绿泥石化为主,是良好的找矿标志。矿化类型以磁铁矿化、黄铜矿化、闪锌矿化、褐铁矿化为主,主要发育铁、铜、铅、锌等矿床(点)。已发现弗野铁矿、石龙磁铁、普格铁铜矿、羌多银多金属矿等矿床(点),矿体多呈层状、透镜状产于砂岩、板岩、灰岩与花岗岩接触带及砂板岩层间裂隙带中,层控和构造控制特征明显。

2 数据选取及预处理

2.1 遥感图像的选取

根据现有资料,综合考虑遥感图像的空间分辨

率及波谱特征等,结合研究区自然景观和植被覆盖度,本次遥感解译工作选用具有较高空间分辨率和光谱分辨率、植被干扰较小的陆地卫星 ETM⁺ 数据,成像时间为 2001 年 10 月,轨道号为 144/037。该图像云量少,总体影像清晰,不同地物的层次感较强,色调对比度好,纹理细节清晰,植被较稀疏,利于蚀变遥感信息的提取。

2.2 最佳波段组合的选择

不同地物具有不同的电磁波谱特征。ETM⁺ 不同波段的数据,记录和反映地物的能力不同。最佳波段组合选择的原则是:①所选用波段能较好地反映地质信息;②波段之间的相关系数最小,方差最大;③波段组合的信息熵较高;④合成后的假彩色适合人眼的识别。依据上述原则,并结合研究区的矿化蚀变特征,本次研究最终选用 ETM⁺ 7、4、1 波段合成遥感地质解译的基础图像。

2.3 干扰信息的去除

在进行遥感蚀变信息提取之前,先对研究区积雪、阴影、水体及植被等干扰信息进行去除,以避免所提取的遥感蚀变信息失真。干扰的去除应根据地物在不同波段的不同波谱特征而选择不同的处理方法,将可能形成干扰的非目标地物经数学处理归入干扰窗,经掩模运算去除非目标物,尽可能地减少干扰物(白泥地、阴影、水体及植被等)对异常提取产生的影响^[9,10]。

本次研究中,经分析白泥地在各波段的波谱特征可知 ETM3 在白泥地的反射率最高,因此可以用 ETM3 高端切割进行白泥地去除。利用 PCI 软件,得到白泥地的掩模图层,与原图像作掩模运算,实现白泥地的去除。

在某些波段,水体与阴影有相似的波谱特征,因此可以将二者一并去除,ETM6/ETM1 可以作为消除水体和阴影的方法。用水体及阴影的掩模图层分别与原图像作掩模运算,实现水体和阴影的去除。

根据植被的波谱曲线特征,可去除植被方法有绿切割(ETM4)、ETM5/ETM4、ETM3/ETM4 等,经比较认为 ETM3/ETM4 方法最优。用植被掩模图层与原图像作掩模运算,实现植被的去除。

3 遥感蚀变信息与构造信息的提取

3.1 铁染蚀变信息的提取

通过对含铁矿物波谱曲线的分析可知,含铁离子的赤铁矿和褐铁矿化在 0.5 μm 处为低反射区,在 0.65 μm 处为高反射区^[11]。

由于铁的氧化物在 ETM⁺ 1、3、4、5 波段具有特殊的光谱特征,故利用这 4 个波段进行组合分析,从

含铁矿物的波谱曲线可以看出铁染信息在 ETM1 波段 ($0.45 \sim 0.52 \mu\text{m}$) 具有强吸收, 在 ETM3 ($0.63 \sim 0.69 \mu\text{m}$) 具有强反射^[12]; 然后对它们进行主成分分析, 并提取与 ETM1 波段呈正相关、与 ETM3 波段呈负相关的主分量, 用于提取铁的氧化物类蚀变矿物; 由此分析出异常集中在 PC4 中, 对 PC4 分量图进行 3×3 中值滤波, 然后选取合适的阈值进行铁染异常提取, 结果如图 1。

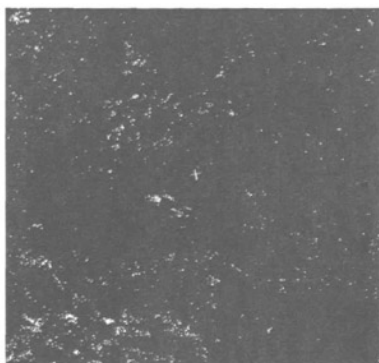


图1 铁染蚀变信息提取图

Fig. 1 Map of iron staining alteration information extraction

从铁染蚀变信息提取图可以看出, 铁染异常信息在区域上分布不均匀, 研究区西南部及中部分布面积较大, 东部分布面积较小。

3.2 羟基蚀变信息的提取

羟基蚀变信息的提取类似于铁染信息的提取, 同样根据羟基蚀变的特性对 ETM⁺1、4、5、7 这 4 个波段的图像进行主成分分析; 根据羟基蚀变分别在 ETM5 和 ETM7 有较强的反射和吸收、符号相反且绝对值大的原则^[13], 选择 PC4 分量, 它反映富羟基蚀变的遥感异常; 然后对 PC4 分量图进行 $3 \text{ 像素} \times 3 \text{ 像素}$ 中值滤波, 滤波后进行阈值分割, 提取羟基蚀变信息, 结果如图 2。

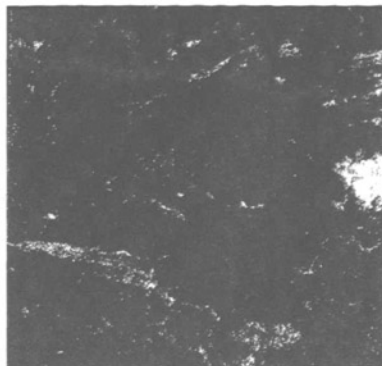


图2 羟基蚀变信息提取图

Fig. 2 Map of hydroxyl alteration information extraction

从图 2 可以看出, 羟基蚀变信息在研究区内分布较多, 大部分呈带状分布, 西北部分布相对较少, 而东部及西南部沿断裂带分布较多。

3.3 光谱角 (SAM) 假异常信息的剔除

初步提取的遥感蚀变信息结果含有“假异常信息”。因此, 有必要采用不同的遥感蚀变信息提取方法进行验证, 并结合目视解译结果进行蚀变信息筛选。前人研究光谱角所利用的标准光谱都要来自标准谱线, 这对于无标准谱线的研究者来说必有一定的局限性^[14]。本文将提取的具代表性异常的谱线作为光谱角的标准谱线来进行研究, 较灵活地克服了上述局限性; 且本次利用光谱角不是进行异常信息的提取, 而是创新地进行假异常信息的剔除。首先选定感兴趣区, 感兴趣区的波谱特征是在未经干扰预处理的波段内提取的, 即从原始图像中提取波谱数据, 作为光谱角的标准谱线。在原始图像中选择有异常的感兴趣区, 该异常需具有代表性。

本次光谱角填图所选角度为 2.5° , 图 3 是利用提取的标准谱线分别进行羟基异常及铁染异常的光谱角填图所得到的研究区内的羟基异常及铁染异常。

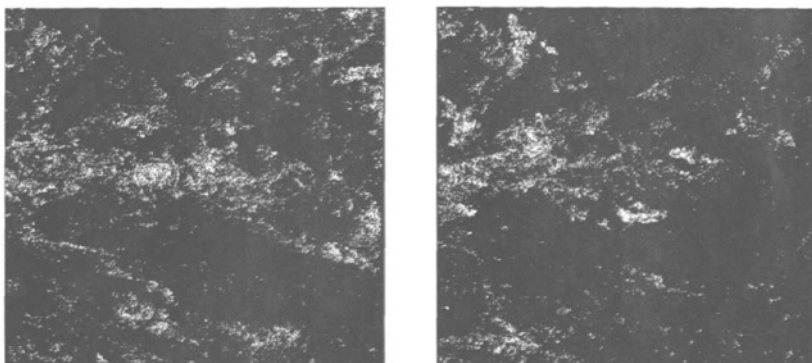


图3 光谱角法羟基异常(左)和铁染异常(右)提取图

Fig. 3 Map of hydroxyl anomaly (left) and iron staining anomaly (right) extracted by spectral angle method

利用 PCI 软件,将主分量法提取的羟基及铁染异常与光谱角法提取的两类异常分别作“与”

(AND)运算,进行假异常信息的剔除,图 4 为剔除假异常后所得到的羟基及铁染异常。

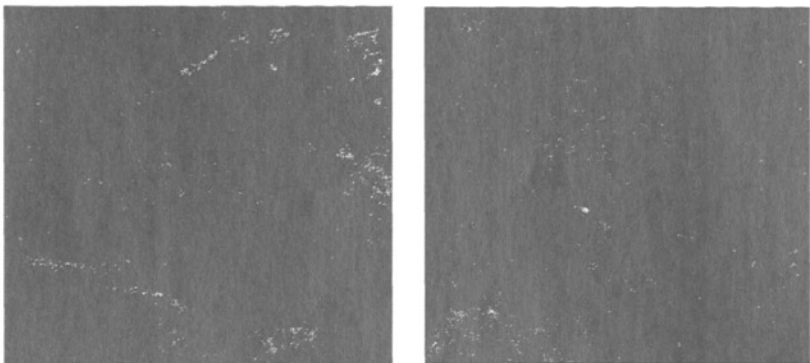


图 4 剔除假异常后羟基异常(左)和铁染异常(右)分布图

Fig.4 Hydroxyl anomaly (left) and Iron staining anomaly (right) distribution excluded false anomalies

3.4 构造信息的提取

遥感图像上与地质作用有关或受地质构造控制的线性影像即为线性构造。线性构造具有平直或微弯的直线状形态特征,这种形态特征多以地形、色调、影纹图案、植被以及水系的线性变化等表现出来^[1],其发育及总体空间分布特征表达了重要的地质构造信息。对线性构造的解译可以获得区域构造及构造控矿、导矿信息,对研究区内的成矿信息具有重要意义^[9]。图 5 中黑色线条为研究区线性构造解译结果。

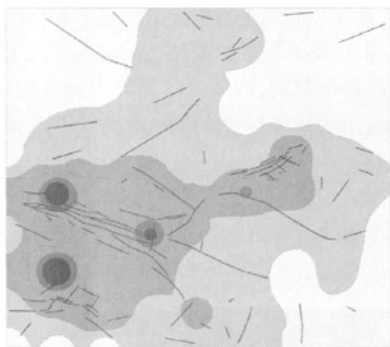


图 5 研究区线性构造及密度等值线图

Fig.5 Map of metallization structures and lineament density contour

研究区的线性构造主要分布在研究区西南部,主要以断层的形式出现,其余的为节理。节理在研究区内分布不均匀,西南部节理较发育。节理展布方向各异,长短不一,最长的约 1.6 km,最短的仅 0.15 km,具有成群成带的分布特征。从线性构造密度等值线图(如图 5 不同灰阶所示)可以看出,研究区成矿构造密度较高的区域大致有 4 处。

4 多种信息综合应用的成矿远景区预测

依据本次研究获取的铁染蚀变、羟基蚀变和线性构造等遥感找矿信息,结合其他地质、矿产等多种地质信息进行综合分析(图 6),剔除了假异常信息,最终确定研究区西南部 2 处及中东部 1 处找矿远景区(图 7),经野外验证,吻合度达 70% 以上。

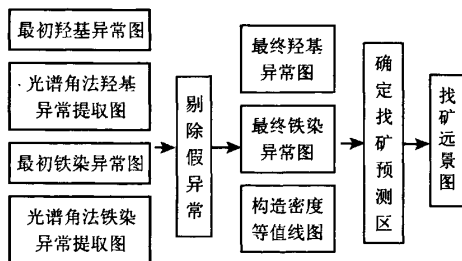


图 6 综合分析找矿预测流程

Fig.6 Flow chart of comprehensive analysis and mineralization prospecting

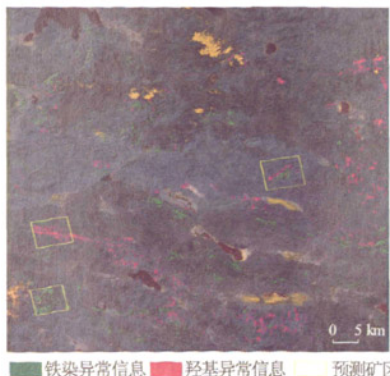


图 7 找矿远景区图

Fig.7 Map of mineralization prospecting area

5 结论

(1)通过分析波谱特征和遥感蚀变信息提取的地质依据,依据研究区矿化蚀变类型发育特征和各类典型蚀变矿物的波谱特征,将研究区的蚀变矿物划分为含铁离子蚀变矿物和含羟基或碳酸根离子蚀变矿物两类,分别提取铁染蚀变信息和羟基蚀变信息。综合比较各蚀变信息提取方法,结合研究区实际情况采用主成分分析法及比值法进行遥感蚀变信息提取。其中,采用 ETM⁺ 1、3、4、5 波段组合进行主成分分析获取铁染蚀变异常信息,采用 ETM⁺ 1、4、5、7 波段组合进行羟基蚀变信息提取。

(2)由于初步提取的遥感蚀变信息具有包含“假异常信息”和部分蚀变信息未能提取这2个典型特征,本文针对前人研究光谱角所利用的标准光谱都要来自标准谱线的局限性,将提取的具代表性异常的谱线作为光谱角的标准谱线来进行研究,较灵活地克服了上述局限性;且本次研究不是利用光谱角进行异常信息的提取,而是创新地用来进行假异常信息的剔除。

(3)进行遥感图像构造解译,在前人直接利用简略地质地图进行找矿的基础上,更进一步生成研究区构造解译图并将其生成构造密度等值线图,使得研究区成矿构造发育情况更直观,并在成矿预测时利用其与蚀变信息图进行套合,使得预测成果更准确可靠。

(4)利用剔除假异常的铁染蚀变信息图和羟基蚀变信息图及成矿构造等值线图进行叠加,综合分析各种找矿信息,最终圈定找矿远景区3处,经野外验证吻合度达70%以上。

(5)本文研究的工作在继承前人有效的找矿及提取蚀变信息的方法上有所创新,研究方法较灵活且效果明显,为今后加快地质找矿工作提供了一条可供参考、行之有效的途径。

致谢:本研究过程中,得到中国国土资源航空物探遥感中心张玉君、于学政等老师的指导与帮助,特此致谢!

参考文献:

- [1] Abrams M J. Landsat Thematic Mapper and Thematic Mapper Simulator Data for a Porphyry Copper Deposit[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1984(14): 128-136.
- [2] 王晓鹏,谢志清,伍跃中. ETM 图像数据中矿化蚀变信息的提取——以西昆仑塔什库干地区为例[J]. 地质与资源, 2002, 11(2): 119-122.
- [3] Crosta A, Moore J M. Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain [C]// Proceedings Of the 7th EBIM Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology. 1989: 1173-1187.
- [4] 赵元洪,张福祥. 波段比值的主成分复合在热液蚀变信息提取中的应用[J]. 国土资源遥感, 1991(3): 25-31.
- [5] 何国金,胡德永,陈志军,等. 从 TM 图像中直接提取金矿化信息[J]. 遥感技术与应用, 1995, 10(3): 51-54.
- [6] 马建文. 利用 ETM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 208-213.
- [7] 张玉君,杨建民,陈薇. 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[J]. 国土资源遥感, 2002(4): 30-37.
- [8] 张远飞,吴健生. 基于遥感图像提取矿化蚀变信息[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 604-606.
- [9] 陈立春,陈桂华,陈立泽. 柯坪塔格推覆系活动构造的 ETM⁺ 影像特征与解译[J]. 地震地质, 2006, 26(2): 289-296.
- [10] 杨日红,于学政. 藏东三江地区多金属矿产遥感信息综合找矿预测[J]. 地质与勘探, 2005, 41(3): 59-60.
- [11] 冯雨林,时建民,杨利军. ETM⁺ 遥感影像矿化蚀变信息的提取与找矿实践[J]. 地质与资源, 2008, 17(1): 20-23.
- [12] 韩玲,谢秋昌. 遥感技术对新疆西天山地区矿化蚀变信息的提取[J]. 遥感应用, 2007, 18(2): 49-51.
- [13] 易敏,丁明跃,周成平. 一种透视性分析方法与实验比较[J]. 数据采集与处理, 1999, 14(1): 15-18.
- [14] 郭华东. 遥感找矿方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 68-89.

Extraction of the Remote Sensing Alteration and Structure Information and Metallogenic Prognosis in Qiangduo Area, Tibet

LONG Xiao-jun^{1,2}, HE Zheng-wei^{1,2,3}, LIU Yan-song^{1,2}, XIA Fu-rui^{1,2}, XUE Dong-jian^{1,2}, LI Zhe^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Beijing Municipal Key Laboratory for Resource Environment and Geo-Graphic Information System, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract: Based on an analysis of the spectral characteristics of surface objects and using ETM remote sensing image, the authors utilized PCI software and employed the mask technique to remove various kinds of disturbance

(下转第 72 页)

- 石、矿物信息[J]. 遥感技术与应用, 1994, 9(1): 56-61.
- [7] 丑晓伟, 傅碧宏, 郑建京. 沉积岩石信息的热红外多光谱遥感探测及有效性评价[J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(1): 7-13.
- [8] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [9] Farmer V C. The Infrared Spectra of Minerals [M]. Beijing: Scientific Press, 1982.
- [10] 傅碧宏, 丑晓伟. 塔里木盆地柯坪隆起典型沉积岩类的热红外光谱特征研究[J]. 沉积学报, 1994(4): 96-101.
- [11] 徐元进, 胡光道, 张振飞. 包络线消除法及其在野外光谱分类中的应用[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(6): 11-14.
- [12] Clark R N, Roush T L. Reflectance Spectroscopy: Quantitative Analysis Techniques for Remote Sensing Application[J]. Journal of Geographical Research, 1984, 89(7): 6329-6340.
- [13] 浦瑞良, 官 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 51-52.
- [14] Michalski J R, Kraft M D, Diodrich T, et al. Thermal Emission Spectroscopy of the Silica Polymorphs and Considerations for Remote Sensing of Mars[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(19): PLA2.1-PLA2.4.
- [15] 闫柏琨, 王润生, 甘甫平, 等. 热红外遥感岩矿信息提取研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(10): 1116-1126.
- [16] 董传万, 徐夕生, 闫 强, 等. 浙东晚中生代壳幔相互作用的新例证——新昌儒岙辉绿岩-花岗岩复合岩体的年代学与地球化学[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1303-1312.

An Analysis of Emissivity Characteristics of Typical Igneous Rocks in Xinchang Area

LI Xiang, YU Le, DONG Chuan-wan, ZHANG Deng-rong

(Department of Geosciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The analysis of the characteristics of rocks and minerals constitutes the physical foundation of remote sensing exploration and rock recognition. In order to understand the spectral features more completely, the authors tested five different igneous rock samples from Xinchang area and analyzed their emission spectra. On the basis of emission characteristics of normal minerals and radicals, the authors analyzed the curves and obtained the location, depth, width, depth/width ratio, area and symmetry of the low emission bands by using the continuum removal method. The relationship of composition, alteration characteristics and associations of minerals to remote sensing spectral characteristics as well as its formation mechanism are also discussed in this paper.

Key words: Igneous rocks; Emissivity spectra; Spectral features; Remote sensing; Continuum removal

第一作者简介: 李翔(1983-), 男, 硕士在读, 主要从事遥感地质解译、蚀变信息提取方面的研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

(上接第 67 页)

information such as white mud ground, water body, shadow and vegetation. With principal component analysis, band ratio and threshold segmentation techniques, the information of iron staining and hydroxyl alteration in Qangdoi area of western Tibet was extracted. In accordance with the obvious anomalous areas, the reference spectra were built up. The method of spectral-angle mapper was used to remove the pseudo-anomaly information. In conjunction with the characteristics of linear structure in the study area, the metallogenic prognosis was carried out and, as a result, the prospect areas were delineated. The method for metallogenic prognosis proposed in this paper is fairly flexible and effective, and can provide a reference and effective way for speeding up the geological exploration work in future.

Key words: Principal component analysis; Threshold segmentation; Alteration information; Ore-forming structure; Spectral-angle mapper

第一作者简介: 龙晓君(1973-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为地理信息系统和 3S 综合应用技术。

(责任编辑: 刘心季)