

高光谱遥感技术在岩石识别中的应用

王青华,王润生,郭小方

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要:依据不同岩石的光谱特征,通过图像处理方法,对各种岩石类型信息进行提取,使高光谱遥感技术在地学领域的应用由定性分析到定量识别。

关键词:高光谱;图像处理;光谱特征;岩石识别

中图分类号:TP 79 文献标识码:A 文章编号:1001-070X(2000)04-0039-05

0 引言

高光谱技术是近几年迅速发展起来的一种全新遥感技术,它与常规遥感技术不同之处主要是窄波段、多通道,具有图像与光谱合二为一的优点,它以纳米级的超高光谱分辨率和几十或几百个波段同时对地表地物成像,能够获得地物的连续光谱信息。借助高光谱丰富的光谱信息,依据实测的岩石矿物波谱特征,可以对不同岩石类型进行直接识别。为了充分利用高光谱信息丰富的优势提取岩石信息,达到直接识别岩性的目的,用中国科学院上海技术物理所研制的模块式航空 71 波段高光谱仪(MAIS),在河北省张家口地区进行了试验飞行。

1 MAIS 系统简介

MAIS(Modular Airborne Imaging Spectrometer)有 71 个波段,光谱覆盖范围 $0.4 \sim 12.5 \mu\text{m}$,其中,可见光和近红外光谱段($0.46 \sim 1.1 \mu\text{m}$)有 32 个波段,光谱取样间隔(或光谱分辨率)为 20 nm,短波红外区($1.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$)有 32 个波段,光谱取样间隔为 25 nm,热红外区($8.0 \sim 12.5 \mu\text{m}$)有 7 个波段,光谱取样间隔为 400~800 nm。MAIS 属于光谱波段均匀分布型的成像光谱仪^①。

2 区域地质背景

实验区位于华北地台北缘中段,内蒙古地轴与燕山褶皱带二级构造单元的交接带上,以崇礼—赤城深断裂为界,其南为燕山台褶带,其北为内蒙古地轴。在漫长的地质历史中,两侧经历了不同的地质演化历史,显示出完全不同的构造特征(图 1);试验区内地层除古生界缺失外,其它各时代地层均有出露,主要地层有:太古宇崇礼群、古元古宇红旗营子群、中元古宇、

收稿日期:2000-06-11;修订日期:2000-10-22

① 薛永祺,王建军,机载 71 波段成像光谱仪(MAIS)的研制和遥感试验结果,见:中国科学院上海技术物理所编,成像光谱技术与应用,万方数据

中生界侏罗系及新生界第四系;该区地质构造复杂,自太古宙以来,华北地台北缘产生了一系列以东向西为主的深断裂,构成横亘华北地台北部长期活动的东西向构造带。

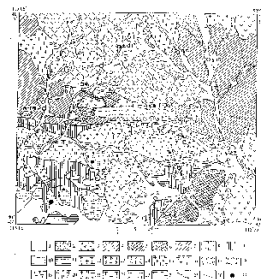


图 1 试验区区域地质图

1—第四系;2—侏罗系上统;3—侏罗系中统;4—侏罗系下统;5—中元古界蓟县系;6—中元古界长城系;7—古元古宇红旗营子系;8—太古宇崇礼群艾家沟组;9—太古宇崇礼群涧沟河组;10—太古宇崇礼群花家营组;11—太古界崇礼群水地庄组;12—燕山期斑状花岗岩;13—燕山期钾化花岗岩;14—燕山期黑云母花岗岩;15—燕山期花岗岩;16—燕山期正长斑岩;17—海西期辉石角闪二长岩;18—海西期角闪二长岩;19—海西期正长岩;20—海西期石英二长岩;21—海西期辉石角闪正长岩;22—海西期石英正长岩;23—元古宇花岗片麻岩;24—太古宇花岗片麻岩;25—碱性杂岩体边缘界线;26—断裂带;27—金矿床(点)

3 岩石地层的识别与提取

岩石地层的识别与提取,决定于对造岩矿物光谱特征的理解,尤其是对清晰的强吸收谱带的理解。岩类随造岩矿物的不同,光谱会出现一些系统的区域性变异变化,但也具有局部的稳定性和规律性。详细的岩石光谱特征分析有助于发现该区岩石诊断性光谱特征,从而利用有效的技术方法来进行岩类信息的识别。通过对研究区各岩类的野外光谱特征测试,对比分析图像中岩石的光谱特征,利用计算机进行了岩类识别和信息提取。

(1) 新生界全新统(Q_4) 该套地层主要分布在河流和河谷地带,以现代冲积和冲洪积物为主,是由河流作用形成的年轻地貌。其岩性主要为砾石、砂以及不同磨圆度的复杂堆积物,在图像上呈浅红色,如果河床中砾石成份含量多,水含量减少,则为灰白色,呈宽条带影像,具有平坦地貌的影像特征。在岩石光谱曲线中,卵石砂在 $2.25\ \mu\text{m}$ 、 $2.406\ \mu\text{m}$ 波段处具有特征的吸收谱带,在 $2.406\ \mu\text{m}$ 附近伴随 2 个弱的吸收峰,粗砂在 $2.25\ \mu\text{m}$ 和 $2.47\ \mu\text{m}$ 波段处具有特征的吸收谱带,通过 IHS 编码处理,岩石信息极易提取。在 IHS 空间对图像进行分割,可有效地提取、划分和定量表示砾石、砂及复杂堆积物色调异常。

(2) 新生界更新统(Q_3) 分布于河流两侧的阶地和河谷边坡,以黄色亚粘土为主。亚粘土垂直节理发育,干燥且具很高的渗透性。该组地层在图像上呈淡红色且影纹细腻光滑,具有平缓山坡地貌的影像特征。在岩石地物光谱曲线中,砂土在 $2.214\ \mu\text{m}$ 、 $2.48\ \mu\text{m}$ 波长处具有清晰的吸收峰,石子粗砂在 $2.098\ \mu\text{m}$ 以及 $2.4\ \mu\text{m}$ 波长处具有较砂土更尖锐的吸收谱带,同时在 $2.061\ \mu\text{m}$ 与 $2.199\ \mu\text{m}$ 波长处具有宽缓的吸收谱带,通过证据推理分析方法进行岩石信息识别,较好地提取了该套岩石信息,具体方法是:首先根据证据源的特点确定证据可能出现的取值范围,然后根据证据的知识背景和数据特点确定具体的处理方法,在应用该方法进行图像处理时,选择不同的知识背景、不同的量化形式和量化尺度的 5 个光谱特征参量作为证据源,即:第 39 波段($1.671\sim1.702\ \mu\text{m}$)经预处理后的图像数据、从第 53 波段~第 61 波段($2.114\sim2.398\ \mu\text{m}$)成像光谱数据中提取的光谱波形特征编码、第 54 波段($2.146\sim2.242\ \mu\text{m}$)与第 56 波段($2.210\sim2.242\ \mu\text{m}$)的成像光谱数据比值、中心波段位于 $2.178\sim2.210\ \mu\text{m}$ 之间的光谱角和吸收带的相对吸收强度等进行证据推理、岩性分析和识别。

(3) 中生界侏罗系张家口群(J_3) 该地层上部岩性为灰紫色流纹岩、块状流纹岩和球流纹岩;下部以流纹凝灰岩为主,与下元古界红旗营子群呈不整合接触。该套地层在影像上呈紫红色,影纹粗糙,水系上表现为由短而小的冲沟组成的平行状水系,地貌上表现为平缓、圆滑的影像特征。在岩石光谱曲线中,流纹岩在 $1.4\ \mu\text{m}$ 和 $1.9\ \mu\text{m}$ 波段处具明显的羟基吸收峰;在 $1.8\ \mu\text{m}$ 附近有弱 Fe^{2+} 引起的吸收峰;在 $2.2\ \mu\text{m}$ 附近具有由长石蚀变为高岭石后引起的吸收峰;在 $2.3\ \mu\text{m}$ 和 $2.35\ \mu\text{m}$ 波段处有微量黑云母蚀变为绿泥石引起的较弱吸收峰(见图 2)。根据光谱特征分析,用光谱波形参数技术方法,较好地提取了该套岩石信息。该方法在由岩矿光谱组成的多维光谱矢量空间,利用岩石光谱矢量的角度测度函数(θ),求解图像像元矢量(t)与岩矿参考光谱的相似性测度, θ 介于 0 到 $\pi/2$ 之间,其值愈小,两者的相似性程度愈高,图像像元包含识别与参考光谱所代表地物的可能性越大,通过选择合理的阈值,即可获取目标信息的二值图像。

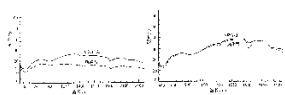


图 2 侏罗系张家口群流纹岩反射光谱

图 3 红旗营子群黑云母斜长片麻岩反射光谱

(4) 下元古界红旗营子群 ($Pt_1 hgs$) 红旗营子群分为二个岩性段:第一岩性段以黑云母斜长片麻岩和夹柘榴石的斜长片麻岩为主,含有大量暗色矿物,岩石光谱反射率很低,随着暗色矿物减少,岩石光谱反射率逐渐偏高。在地物岩石光谱曲线中, $1.9 \mu m$ 波长处羟基具有强吸收峰, $2.3 \mu m$ 波长处 $Mg-OH$ 具有吸收峰(图 3),用小波滤波方法经拉伸图像处理呈条带状浅灰绿色调,极易与其它岩类相区别。小波分析的最大特点在于具有极敏感的变焦特征,它能形成一个可调的示频窗,在低频段采用高的频率分辨率和低的时间分辨率,而在高频段采用低的频率分辨率和高的时间分辨率,从而在不同的分辨率下,反映出不同的图像结构特征,使其在处理突变信号方面具有特殊的能力。根据小波分析的这一特点,结合图像空间域数据处理方法,利用小波分析的滤波方法,提高成像光谱定量化分析方法的有效性和精度;第二岩性段以黑云片麻岩、长英片麻岩和长英麻粒岩为主,地物岩石光谱曲线与黑云斜长片麻岩光谱特征基本类同,浅色矿物成份较多。用 IHS 编码技术提取该岩性段岩石信息,该段岩石在图像中呈浅灰、浅兰色调。该群为中深变质岩系,在野外实地检查时也难以区分,在岩石信息提取中,分析造岩矿物的主要波谱特征,运用适当的图像处理方法,较清晰地进行了划分。

(5) 花岗片麻岩 (γGg) 呈带状分布于崇礼—赤城深断裂北侧,岩石为肉红色、花岗变晶结构、糜棱结构,似片麻状构造。主要矿物有钾长石、斜长石、石英、黑云母和白云母,在图像上呈浅绿色调,带状分布。环形构造及较粗糙的影纹特征突出了环状山形、山棱状山脊的地形形态以及角状、树枝状水系特征。在地物光谱曲线中, $1.93 \mu m$ 波段处 OH^- 和 H_2O 具有强烈的吸收峰, $2.20 \mu m$ 波段处 $Al-OH$ 振动谱带和 $2.3 \mu m$ 波段处的 $Mg-OH$ 振动谱带明显(图 4),用小波滤波和光谱波形参数的技术方法,提取了该类岩石信息。

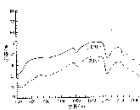


图 4 花岗片麻岩反射光谱

(6) 蛇绿岩脉 (Ψ) 在图像上呈紫红色小条带分布,因岩石极易风化而呈负地形影像特征。在地物光谱曲线中, $1.0 \mu m$ 波段处 Fe^{2+} 吸收峰明显, $0.8 \mu m$ 波段处 Fe^{3+} 具有弱吸收峰, $1.4 \mu m$ 、 $1.9 \mu m$ 、 $2.3 \mu m$ 和 $2.4 \mu m$ 等波段处具有由角闪石化和微量水分子引起的吸收谱带,图像经小波滤波、拉伸和主成分变换,提取了该类岩石信息。

(7) 辉石类岩脉(ω) 主要岩性为角闪辉石、透闪辉石岩,呈条带状分布,在图像上呈陡崖、尖棱山脊地貌特征。地物光谱曲线在 $0.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 波段间呈上升变化,在 $1.93 \mu\text{m}$ 处有一中等吸收峰,经小波滤波图像处理,提取了深蓝色的条纹状岩石信息。

根据训练区不同岩类的光谱特征,采用不同的图像处理方法,较好地提取了岩石信息,达到较准确识别岩类目的,但某种技术方法对岩类的提取有一定的局限性,为了使训练区的各类岩石信息能在图像中充分显示出来,在 39 波段($1.485 \sim 1.516 \mu\text{m}$)、33 波段($2.114 \sim 2.146 \mu\text{m}$)和 53 波段($1.671 \sim 1.702 \mu\text{m}$)合成的彩色图像上,用小波滤波、光谱波形参数提取与识别技术,制做了较清晰的岩石影像图,同时又把模式识别和统计聚类分析等方法提取的岩石信息进行叠加,使训练区各类岩石信息得到充分显示(插页彩片 9)。

4 结论

利用高光谱遥感技术进行岩石识别的研究表明:依据不同的地物岩石光谱特征,利用不同的图像处理方法,才能较好地识别岩类;与其他遥感技术相比,在岩石出露好的区域,高光谱遥感技术具有岩类定量识别的技术优势;高光谱遥感技术在进行中大比例尺填图中,能较好地发挥作用,特别是在深变质岩地区开展填图工作,能够达到较好效果。

参考文献

- [1] 童庆禧,刘洪臣.中国金矿研究新进展[M].北京:地震出版社,1994,12.
- [2] 章百明等.河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式[M].北京:石油工业出版社,1996,4.
- [3] 邱小平等.冀西北金矿集中区成矿特征[M].北京:冶金工业出版社,1996,12.
- [4] 丰茂森.遥感图像数字处理[M].北京:地质出版社,1992,4.

APPLICATION FOR DISCRIMINATION OF ROCK USING HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING TECHNIQUE

WANG Qing-hua, WANG Run-sheng, GUO Xiao-fang

(Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center, Beijing 100083, China)

Abstract: It is very potential technique to Extract different rock information using hyperspectral remote sensing data. This paper describes an application example by different image processing methods according to different rock spectral feature of MAIS data, and then it expands the capacity from qualitative analysis to quantitative extraction.

Key words: Hyperspectral; Remote sensing image processing method; Spectral feature

第一作者简介:王青华(1950—),男,高级工程师,主要从事航空、航天遥感技术应用研究工作。