

高光谱遥感影像矿物自动识别与应用

周 强^{1,2}, 甘甫平², 王润生², 陈建平¹

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

摘要: 在对矿物光谱特征理解与归纳的基础之上,对矿物光谱特征进行知识化表达,利用数理逻辑和一定的判别规则实现对高光谱遥感影像矿物的自动识别与批量化信息提取。在 ENV I 平台上,利用 DL 语言开发了高光谱遥感影像矿物分层自动识别模块 (Mineral Auto - identification Module Based on Spectral Identification Tree :MAM - SIT)。该模块已经在新疆东天山哈密地区利用 HyMap 数据、西藏驱龙地区利用 Hyperion 数据以及美国 Cuprite 地区利用 AVIRIS 数据成功地进行了矿物识别,可识别的矿物或矿物组合可达 10 种以上,基本实现了高光谱矿物信息提取的智能化与批处理能力。

关键词: 高光谱遥感; 矿物自动识别; 矿物光谱数据; DL

中图分类号: TP 391. 41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 070X (2005) 04 - 0028 - 04

0 引言

在地学信息化中,遥感数据可以直接作为可视化信息来源。遥感数据蕴含着丰富的、不易被肉眼直接观测到的地学信息,这需要开发并发展一些算法来提取遥感图像可视信息之外的隐含信息,提高遥感信息的利用率。高光谱遥感技术的发展使利用宏观技术(遥感)进行微观信息(矿物)探测成为可能^[1],其海量的数据和丰富的信息已使传统的遥感数据处理及分析方法难以满足实际应用的需要。同时,由于目前已有高光谱矿物识别技术操作的复杂性,以及遥感处理技术人员对地物光谱普遍缺乏认识与深入的理解,需要“傻瓜”型的高光谱矿物识别技术,促进高光谱矿物识别的全面应用;另一方面,在实际应用中极为迫切需要的是实现实时快速的信息提取与可视表达,如环境污染监测等。这二者需求的结合,需要开发满足不同用户需求的、智能型的快速高光谱矿物识别技术,增强高光谱数据矿物识别的智能化、自动化、规模化以及批处理,实现高光谱技术的“高科技”开发,“低门槛”应用,“低风险”运行。

因此,本文在对矿物光谱特征深入研究^[2,3]的基

础之上,基于矿物光谱的相似性准则或逻辑关系,以 ENV 软件为平台,利用 DL 语言,充分使用其内部库函数以及封装的一些常用算法^[4,5],研发高光谱矿物识别模块,实现矿物识别的自动智能识别,改善了高光谱遥感批量信息提取与应用能力,提高了高光谱地学应用的效率。

1 矿物自动识别算法

1.1 算法设计

在对美国地调局 (USGS) 矿物光谱数据库^[4]中矿物光谱综合分析的基础之上,以光谱的吸收谱带特征为主,其它光谱特征参量为辅,基于矿物光谱的相似性准则或逻辑关系,构建了矿物识别谱系^[3,5],建立矿物识别规则,采用 IF - THEN 语句进行决策判别,逐层开展矿物识别^[5],开发了矿物分层谱系自动识别模块 (Mineral Auto - identification Module Based on Spectral Identification Tree : MAM - SIT)。

IF - THEN 语句是对矿物光谱特征分析结果和经验知识的归纳性总结和表达过程,每一个 IF - THEN 语句相当于一种矿物或矿物组合的光谱识别规则。其基本表达式为:

收稿日期: 2005 - 10 - 26; 修订日期: 2005 - 10 - 27

基金项目: 国土资源部“百名优秀青年科技人才计划”、国家自然科学基金 (40201034) 和国土资源部科研项目 (2002206) 资助。

① RSI, ENV I 3. 5 Online Guide; ② RSI, DL 5. 5 Online Guide

对于给定不同光谱特征参量 W 的矿物 M , 其矿物光谱 S 可以进行知识化, 并表示为 $W = \{ \mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_j \} (j=1, 2, 3, \dots, n)$ 。其中, μ_j 表示诊断性光谱特征参量的数目; μ_j 表示诊断性光谱特征参量的位置与相对权重, 并随 j 的增大而递减。因此, 对于光谱特征类似的矿物, μ_j 的位置序次关系非常重要。

对于某一矿物光谱 S_1 , IF $\mu_1 \in [\mu_1, \mu_2]$ and $\mu_2 \in [\mu_2, \mu_3]$ and... $\mu_j \in [\mu_j, \mu_{j+1}]$ THEN S_1 判别为矿物 M 。

在上述 IF - THEN 语句中, $[\mu_j, \mu_{j+1}]$ 表示光谱区间。根据其特征参量之间内在的逻辑关系, 其判别规则有 3 种表达方式:

唯一性判别 (存在性判别)。对于符合规则条件的像元判为某种矿物或矿物组合存在, 否则判为否;

否定性判别。如某个或某些特征出现, 则不是某种矿物或矿物组合;

似然性判别 (模糊判别)。将所有规则条件根据其在判别决策过程中的重要性赋予一定的权值, 通过对每个规则判别结果的综合处理, 得出像元与待识别矿物的似然性测度。

1.2 部分矿物类或矿物识别举例

在矿物分层谱系自动识别模块 (MAM - SIT) 中, 首先将 $0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 光谱区间划分为两个区域, 即小于 $1 \mu\text{m}$ 的光谱区和大于 $2 \mu\text{m}$ 的光谱区, 其中, 小于 $1 \mu\text{m}$ 光谱区域的谱带为电子跃迁吸收谱带, 用于识别含 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mn^{2+} 等矿物或矿物类; 大于 $2 \mu\text{m}$ 光谱区域的谱带为络阴离子振动的合频或倍频, 用于识别含 Al-OH 、 Mg-OH 和 CO_3^{2-} 等矿物或矿物类^[6]。然后, 根据主要谱带的位置将矿物划分为含 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 矿物, 碳酸盐矿物、含 Al-OH 键矿物及含 Mg-OH 键矿物等大类。以主吸收谱带和次要吸收谱带的组合特征, 并考虑到吸收谱带在不同岩石中的变异, 识别矿物类别。如对 Al-OH 键矿物可分为明矾石类、蒙脱石类、白云母类、高岭石类等; 含 Mg-OH 矿物可分为绿泥石类、黑云母类等; 碳酸盐矿物矿物包括方解石类、白云石类等。

对于矿物大类:

IF $\mu_1 [2165, 2230]$ THEN M is Al-OH

IF $\mu_1 [2315, 2330]$ THEN M is Mg-OH

IF $\mu_1 [2335, 2386]$ THEN M is CO_3^{2+}

IF $\mu_1 [1000, 1100]$ THEN M is Fe^{2+}

IF $\mu_1 [600, 900]$ THEN M is Fe^{3+}

IF $\mu_1 [450, 600]$ THEN M is Mn^{2+}

对于含 Al-OH 矿物大类, 可以进一步细分矿物种类:

IF (μ_1 2165 or 2175) and μ_2 2440 THEN M is 明矾石

IF μ_1 2205 and μ_2 2386 THEN M is 多水高岭石 or 微晶高岭石

IF μ_1 2205 and μ_2 2386 and μ_3 2315 THEN M is 微晶高岭石

IF (μ_1 2205 or 2215) and μ_2 2440 THEN M is 蒙脱石 or 白云母

IF (μ_1 2205 or 2215) and μ_2 2440 and μ_3 2355 THEN M is 白云母

IF (μ_1 2205 or 2215) and μ_2 2355 and μ_3 2440 THEN M is 伊利石

2 识别模块开发

考虑到 ENV 遥感图像处理系统为目前国际上高光谱数据处理的主流软件系统, 也是最常用的遥感图像处理工具, 故选择以 ENV I 为依托, 以 ENV I/DL 可视化开发语言为主, 辅助以 C++ 语言, 开发了成像光谱矿物识别模块。DL 是一独立于平台的应用程序开发系统, 所开发的应用程序系统几乎可不作修改而跨平台运行。该模块可以运行在任何安装了 DL 软件平台、以 Window XP/2000/95/98 或 Window NT 为操作系统的微机或工作站上。软件的主要功能模块包括高光谱数据导入、预处理和矿物识别三大部分。图 1 为嵌套于 ENV I 软件上的专用模块界面。这样, 对于所获取的高光谱数据, 数据处理人员可以依次进行处理, 得到所需要的结果。

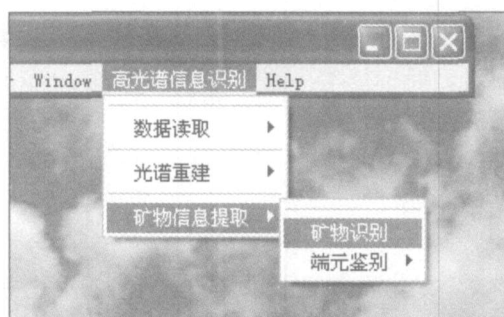


图 1 嵌套于 ENV I 上的矿物识别软件模块界面

2.1 数据预处理

包括对不同传感器如 OMIS、PHI、HyMap 等原始

数据的读取与存储、边缘辐射畸变校正。

2.2 矿物识别

针对 HyMap、Hyperion 及 AVIRIS 等数据的特点,分别设置不同的特征参数,实现大批量矿物的自动识别。模块的输入可以为经过大气校正重建的光谱数据,一次运算可以识别出 10 类矿物族或矿物,输出矿物分布图和结果报告(插页彩片 11)。通过结果报告,可以了解该区域矿物分布的大致情况,提高矿物分析处理与应用能力。

光谱端元匹配功能作为对自动识别的补充,通过像元光谱与光谱库中的端元光谱作匹配来识别矿物(插页彩片 12),并实现交互式光谱判别和对自动识别结果的交互式检查和编辑。

3 应用

该模块已经成功地应用于新疆东天山哈密地区 HyMap 数据、西藏驱龙地区 Hyperion 数据以及美国 Cuprite 地区 AVIRIS 数据矿物或矿物组合的识别。

在数据处理中,一方面,可以直接输入原始数据,按模块处理顺序逐步进行处理,以致最终识别出矿物并进行制图;另一方面,也可以直接输入经过大气校正的视反射率数据,直接利用矿物识别子模块进行矿物识别。下面以新疆东天山黄山地区的 HyMap 数据为例进行矿物智能识别。

黄山杂岩体侵位于干墩—双岔沟复式背斜的轴部附近,受北北东向康古尔塔格深大断裂及其次级断裂构成的断裂带所控制。黄山杂岩体呈近 EW 向展布,在平面上呈似镰刀状,在剖面上呈盆状。该岩体长 3.8 km,宽 0.45 km,出露面积 1.71 km²,岩体两部延深 >1 km,向东翘起^[7](图 2)。

黄山地区高光谱数据于 2002 年 10 月租用澳大利亚的成像光谱仪 HyMap 航空飞行获取。利用所开发的矿物自动识别模块 MAM-SIT,一次性地识别出该区可能存在的矿物组合或矿物,如 Al-OH、Mg-OH、Mg-Fe、贫 Al 云母、富 Al 云母、方解石、绿泥石、绿帘石、蛇纹石和滑石(插页彩片 13)。

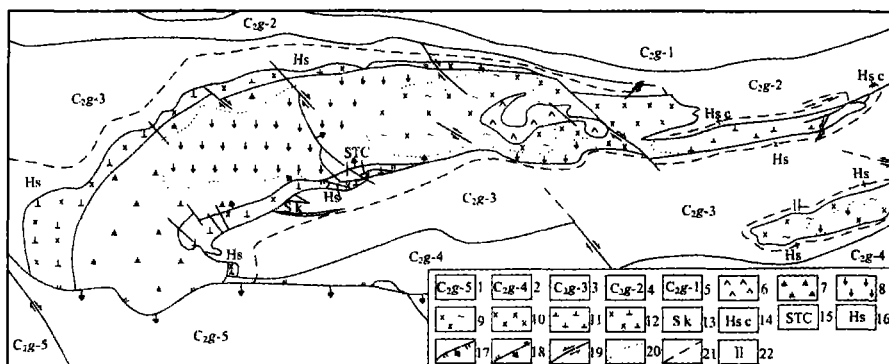


图 2 新疆哈密黄山铜镍矿床地质略图 (根据新疆地质矿产局第六地质大队, 1987)

- 1 - 下石炭统干墩组; 2 - 干墩组第一岩性段; 3 - 干墩组第二岩性段; 4 - 干墩组第三岩性段; 5 - 干墩组第五岩性段;
6 - 斜长角闪橄榄岩体; 7 - 角闪二辉橄榄岩相; 8 - 角闪二辉辉石岩相; 9 - 辉长苏长岩相; 10 - 辉长岩相; 11 - 辉长
闪长岩相; 12 - 辉长闪长岩体; 13 - 砂卡岩; 14 - 角岩化; 15 - 蛇纹岩化; 16 - 角岩; 17 - 正断层; 18 - 逆断层;
19 - 平移断层; 20 - 岩体界线; 21 - 推测地质界线; 22 - 矿体及编号

结合该区地质图(图 2)分析,所识别的结果与该区的岩相展布基本一致,并从空间信息分布的角度提供矿物的展布情况。

4 结语

本文在矿物光谱库中矿物光谱特征综合分析的基础上,将光谱特征参量进行知识化,基于知识化矿物光谱特征参量之间的相似性准则或逻辑关系,采用 IF-THEN 语句进行决策判别,开发了高光谱影像矿物识别模块 MAM-SIT,基本实现高光谱遥

感数据矿物的智能识别与批量处理,极大地提高了遥感数据快速高效的应用能力,初步解决了高光谱遥感微观信息的实时快速提取与可视表达。

由于该模块仅仅是高光谱矿物自动识别的雏形,是基于 ENV 软件二次开发与 DL 语言的结合,今后还需结合软件工程进一步完善。

参考文献

- [1] Green R O, Eastwood M L, et al Imaging spectroscopy and the airborne visible/infrared imaging spectrometer(AVIRIS) [J]. Remote Sens Environ, 1998, 65: 227 - 248.
- [2] 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.

- [3] 甘甫平,王润生,马蔼乃. 基于特征谱带的高光谱遥感矿物谱系识别[J]. 地学前缘, 2003, 10(2): 445 - 4543.
- [4] USGS, USGS Digital Spectral Library[EB/OL]. <http://spec.lah.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>
- [5] Gan F, Wang R, Ma A. Spectral Identification Tree (SIT) for Mineral Extraction Using AVIRIS Data[C]. Proceedings of SPIE, 2003, 4897: 203 - 210.
- [6] 甘甫平. 高光谱图谱信息及其应用[R]. 北京大学博士后出站报告, 2004.
- [7] Clark R N, King T V V, Klejwa M, et al. High Spectral Resolution Reflectance Spectroscopy of Minerals[J]. J. Geophys Res, 1990, 95, 12653 - 12680.
- [8] 慕纪录. 新疆哈密黄山铜镍矿床中浅富矿体特征及形成机制[J]. 矿物岩石, 1996, 16(1): 58 - 67.

MINERAL AUTO - IDENTIFICATION BASED ON HYPERSPPECTRAL IMAGING DATA AND ITS APPLICATION

ZHOU Qiang^{1,2}, GAN Fu - ping², WANG Run - sheng², CHEN Jian - ping¹

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Spectral knowledge acquired through the understanding of mineral spectral features was used to perform automatic extraction of mineral type information based on mathematical, logic and some other decision rules in the hyperspectral imaging field. In this paper, a mineral auto - identification module for hyperspectral imaging data (MAM - HD) has been designed by DL language on ENVI software. It has intelligence and batch processing capacity so that it can identify and extract as many as over 10 types of minerals or mineral groups directly. This module is applicable to aero HyMap and AVIRIS data as well as satellite Hyperion data. It already identified and discriminated some minerals in East Tianshan Mountain of Xinjiang and Qulong area of Tibet in China and Cuprite in U. S. A.

Key words: Hyperspectral imaging data; Mineral auto - identification module; Mineral spectra; DL

第一作者简介: 周 强 (1972 -), 女, 中国地质大学 (北京) 在职博士研究生, 地球信息探测技术专业, 主要从事遥感技术与地质应用研究。

(责任编辑: 肖继春)

消息报道

中国遥感应用协会 2005 年年会在南京成功召开

2005 年 11 月 12 ~ 15 日, 中国遥感应用协会在南京师范大学召开了 2005 年年会暨第八届海峡两岸空间资讯与防灾科技研讨会。会议由庄逢甘理事长主持, 来自两岸三地代表共 281 人欢聚一堂, 共同交流遥感信息技术一年来的新进展, 会议内容丰富, 取得主要成果如下:

(1) 成功地召开了“多多合作 协调小组第四次会议”。由香港中文大学、台湾大学和中国遥感应用协会代表组成的多云多雨地区遥感应用协调小组 (简称“多多合作协调小组”), 共商发挥香港中文大学遥感卫星地面站的作用, 在基础研究、应用研究及成果转化方面开展多层次合作。香港中文大学卫星遥感地面接收站负责人表示该站进入试运行后, 与中国遥感应用协会有关会员逐个落实合作计划。为了适应多云多雨地区遥感工作需要, 香港中文大学太空与地球信息科学研究所表示积极配合北京师范

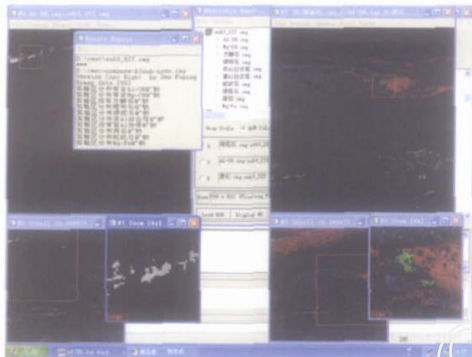
大学珠海分校举办培训班, 培训多云多雨地区遥感应用技术人才。

(2) 成功地召开了第八届海峡两岸空间资讯与防灾科技研讨会。交流论文 14 篇, 双方签署了合作备忘录。台湾地理信息学会代表同意 2006 年 10 月中下旬在台湾举办“2006 年第九届海峡两岸空间资讯与防灾科技研讨会”。

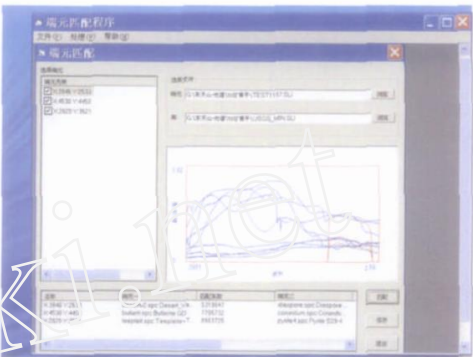
(3) 成功地召开了全国遥感技术交流和地理空间信息与产品展览会。会议征集论文 100 篇, 出版了《2005 遥感科技论坛》。大会交流论文 29 篇, 评选出优秀论文 10 篇。

(4) 成功地召开了理事会和常务理事会, 研究了遥感信息技术“十一五”期间的发展方向, 安排了中国遥感应用协会下一年度的工作, 确定 2006 年 8 月下旬在山西太原市召开年会。

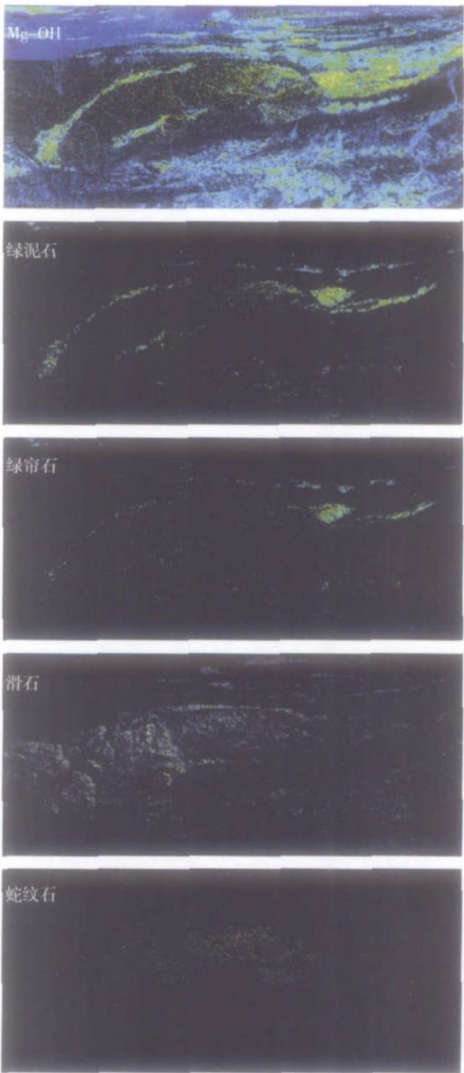
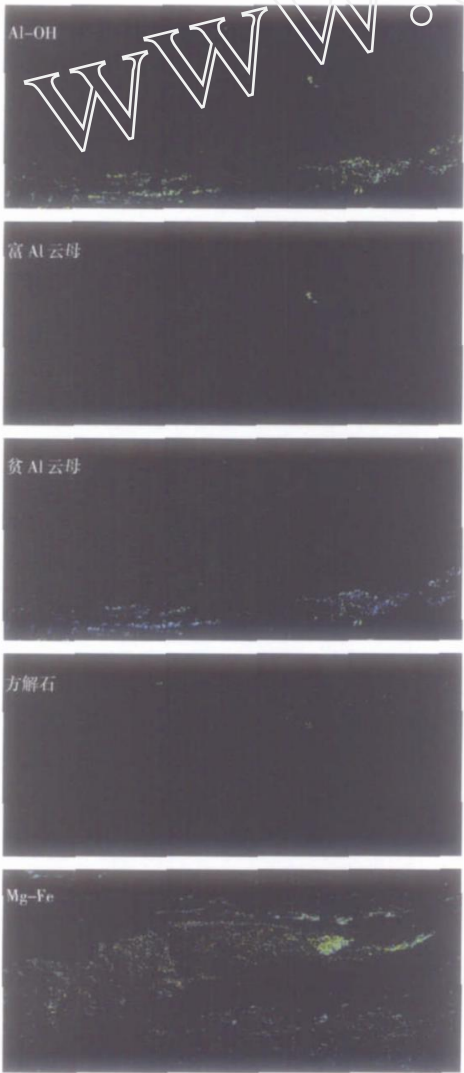
(中国遥感应用协会 胡如忠供稿)



彩片 11 MAIM-SIT 矿物识别主界面



彩片 12 利用光谱库实现对纯端元的鉴别



彩片 13 MAIM - SIT 模块进行矿物识别
(从紫色到红色表示该矿物分布的相对含量由少到多)