

文章编号: 1007-4619 (2003) 03-0207-07

遥感地质信息提取集成与矿物遥感地质分析模型

甘甫平^{1,2}, 王润生², 马蔼乃¹, 张宗贵², 李孟霞³

(1. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

3. 西安理工大学应用物理系, 西安 710048)

摘要: 结合遥感技术的现状、发展趋势和资源环境应用需求, 从遥感地质应用出发, 提出多源遥感数据分层识别集成、基于岩矿识别技术体系集成和基于岩矿识别谱系集成的基本思路与框架, 强调矿物或矿物集合体在遥感地质分类与识别中的重要性, 初步建立矿物遥感地质分析模型, 分析集成与模型在蚀变与矿化信息提取、地质环境评价等中的可应用性。

关键词: 技术集成; 矿物分析模型; 高光谱遥感

中图分类号: TP79/P57 **文献标识码:** A

1 引言

遥感技术已经成为国土资源调查和监测不可替代的高技术手段。随着传感器频谱范围的不断拓宽, 空间频谱和时间分辨率的不断提高, 信息处理、提取和综合技术的不断发展, 对遥感信息的挖掘由“粗糙”到“精细”, 解释由定性到定量, 地物识别由间接到直接, 不断推动人们对赖以生活的不同层圈(如大气圈、水圈等)认识的深化。遥感技术正向着观测系统化、技术一体化、应用模型化、反演定量化和过程数字化方向发展。

矿物在基础地质、成矿预测、地质环境等研究中具有重要作用。矿物在自然界的分布与存在以及矿物间的共生组合具有一定的规律。矿物的共生组合是由组成矿物本身的化学元素的性质和形成矿物的地质作用过程的物理化学条件所支配。利用矿物或其共生组合规律、分带性与差异性可以确定地质作用类型和成岩成矿等物化条件(如温、压等)等地质相关信息。目前, 遥感技术的发展, 尤其是高光谱遥感技术已使矿物或矿物集合体的直接识别成为可能^[1-4], 开辟了遥感地质应用的新局面。

本文结合当前遥感技术的现状与发展趋势和资

源环境应用需求, 以矿物识别为基础, 探索遥感地质信息提取技术集成以及与地质应用紧密相关的矿物遥感地质分析模型, 以期实现遥感地质应用的一体化。

2 遥感地质信息提取集成

集成是英语 *Integration* 的中译文, 是指一种有机的结合, 在线的连接、实时的处理和系统的整体性^[5]。在遥感信息提取中, 集成是以应用为目的的一套信息描述与提取方法, 是不同技术、模型与应用的整合与一体化。不同的技术方法有不同的应用条件、针对性和应用效果。合理的模型组合、模型之间的交叉与识别技术的集成, 才能很好地发挥识别模型或技术的功效, 使 $1+1 \gg 2$ 。

在分析与总结前人^[6]以及本文研究成果的基础之上, 基于地质应用, 提出多源遥感数据分层识别集成、基于岩矿识别技术体系集成和基于岩矿识别谱系集成的思路, 并建立基本的技术集成框架。这 3 个集成模式互相联系, 互为补充, 密不可分, 并从不同角度强调了不同遥感技术的组合应用, 第一集成是不同遥感数据的综合应用, 强调的是数据源。第二集成是不同信息提取技术的集成, 强调的是手段;

收稿日期: 2001-12-29; 修订日期: 2002-04-08

基金项目: 国家 863-103(2001AA136020-4)、国家自然科学基金(40201034)、国土资源部“十五”重点科研项目(2002206)和中国地质调查局重点科研项目(DK9902062)资助。

作者简介: 甘甫平(1971—), 男, 博士后。主要研究方向: 遥感技术与应用、高光谱遥感与遥感信息模型。已发表文章 10 篇。E-mail:

fpgan@263.net

第三集成着眼于矿物识别的原理,强调的是目标。

2.1 多源遥感数据分层识别集成

低分辨率图像所蕴含的地质信息是有限的。当依次利用更高(空间、光谱)分辨率的遥感数据进行信息分割与提取时,可以探测到更细微的地质特征,得到越来越多的所需地矿信息。基于不同空间或光谱分辨率尺度下多源遥感信息的提取技术方法,可以建立多源遥感数据分层识别集成模式,综合利用不同的遥感数据(如航天 TM、SPOT、ASTER、Hyperion 或航空 OMIS、HyMap、AVIRIS 以及雷达数据等)进行地质信息的分层识别与提取。这种分层识别技术的集成类似于“树状”结构。

首先,利用多光谱的低分辨率图像,进行区域地质概况分析,划分并分析不同的岩性单元、构造展布以及找矿远景区。在划分出的找矿远景区内利用高分辨率的遥感数据进行蚀变类型识别与细分,开展矿物填图。在圈出的找矿靶区,应用更高光谱分辨率和信噪比的图像,开展矿物定量识别和成分识别,研究成岩成矿地质环境和成矿过程。对识别出的岩石矿物进行组合与变异分析,提取并挖掘深层次的成矿地质信息,建立地质成因模型。整个过程采用“倒金字塔”的思路,逐层进行分解,提取信息。该模型可以在不同应用层次上灵活地选择不同遥感数据和采取不同技术方法。

2.2 基于岩矿识别技术体系集成

该集成体系分成 3 个模块,即建立在遥感图像特征与光谱特征之上的岩矿分类与矿物识别模块,基于矿物光谱特征的反演模块,遥感矿产资源预测模块^[7]。该集成侧重于遥感信息处理和信息提取的系统化与科学化的工作方法,并充分利用多光谱图像的精细特征和高光谱数据的丰富的光谱图层信息,将不同的信息提取方法与不同的观测尺度相联系,不同的技术发展水平、不同的工作阶段与不同的应用层次相联系。这样既可整合不同光谱分辨率图像的综合应用,又可反映从不同角度识别矿物的技术方法,还可体现矿物识别的不同应用层次。

具体地,在信息提取中,不同的矿物识别模型因同样的应用目的可以进行分层应用和整合,从不同特征光谱的角度或不同的光谱吸收深度对矿物进行识别,在此基础上利用高光谱反演,分解成不同本征或关联信息提取模型,最终统一于资源矿产预测模型。整个过程需根据不同的应用目的而进行取舍

或整合。

2.3 基于岩矿识别谱系技术集成

岩矿的光谱包含有一系列特征吸收谱带。每一个特征谱带或谱带组合与岩矿内部微粒的物质属性存在一定的对应关系^[8]。例如,Fe²⁺在 1000nm 附近产生特征谱带,CO₃²⁺在 2300nm 处产生特征吸收,Al-OH 在 2200nm 附近产生特征吸收等。利用阴阳离子特征谱带或其谱带组合大致可以对矿物进行识别。例如,同时具有 Fe²⁺在 1000nm 与 CO₃²⁺在 2300nm 附近的特征谱带,便大致确定该矿物为菱铁矿。由于类质同象替代系列的存在以及离子光谱的敏感性而产生混淆,如 Fe²⁺-Zn²⁺,Ca²⁺-Fe²⁺等阳离子的部分替代,可形成 Fe[CO₃]-Zn[CO₃]、Ca[CO₃]-Fe[CO₃]等的不完全类质同象系列。这样,在对矿物的精确识别时,除了利用阴阳离子最主要的特征吸收外,还必须结合其次要特征吸收,以及利用整个谱带与识别像元的谱带进行相关匹配来识别矿物。由此,提出并建立基于岩矿识别谱系技术集成的矿物识别模式,在对矿物光谱特征作精细研究分析的基础上,建立矿物识别分层谱系,对矿物或矿物类别从大类到矿物逐层进行识别。

如可首先根据 400—1100nm 光谱区间的 Fe 吸收谱带和 2000—2500nm 羟基和碳酸根谱带将矿物分为含铁矿物、含羟基矿物和含碳酸根矿物以及其它矿物。含铁离子矿物又可根据 Fe²⁺或 Fe³⁺的光谱特征细分针铁矿或赤铁矿。含羟基和碳酸根矿物可根据最强的主要谱带位置分为:碳酸盐矿物,主要谱带位置为 2300—2350nm;含 Al-OH 键矿物,主要谱带位置位于 2200nm 附近,包含累托石、白云母、伊利石、高岭石等;含 Mg-OH 键矿物,主要谱带位置位于 2300nm 附近,包含绿泥石、黑云母等。再根据精细谱带位置、谱带形状、伴随的次要谱带特征,识别具体矿物,比如方解石的主要谱带位于 2330—2340nm,白云母主要谱带位于 2310—2320nm,并伴随有 2230nm 的次要谱带。

3 矿物遥感地质分析模型

在遥感岩矿信息提取集成中,十分强调矿物或矿物集合体的识别及其相应技术的开发。根据共生组合规律,分析直接从图像中提取出的矿物或矿物组合的空间变化、分布规律和分带性,研究成矿与矿物组合的关系,进行成矿环境评价、地质应用分析。

遥感矿物共生组合和分带的研究有两种途径,一是遥感矿物集合体地质分析模型,即根据共生组合或矿物集合体的混合光谱直接识别不同的岩矿化带,进行矿化分布空间分析。二是根据各个矿物的波谱特征,对各单矿物分别进行识别,利用所识别矿物的空间分布与空间关系,研究矿物的共生组合特征,称这种方法为遥感矿物组合地质分析模型。

3.1 遥感矿物集合体地质分析模型

该模型是基于对岩石矿物集合体光谱规律的深刻认识,从矿物共生组合出发,结合矿物的光谱特征知识,直接从图像光谱中提取出不同组合矿物(矿物集合体)的分布,然后进行蚀变带与蚀变矿化分布的识别。最终进行成矿地质分析,圈定成矿靶区,进行资源评价。

这种模型在一定程度上可克服单矿物识别中的困难,识别的工作量也大大减少。但会对有关单矿物的空间分布规律的分析带来一定的影响。在实际应用中,可采用两种做法,一是利用标准波谱库中的单矿物光谱,按照所要识别的矿物组合,进行光谱拟合或合成,从而进行矿物组合识别。这种做法对矿物集合体中矿物组合的选择往往会受到对工作区地质规律的认识和地质观点的影响,具有一定的主观性。第二种做法是以野外已知不同岩矿化带的实测波谱为依据开展工作。这种方法需要作野外波谱测试,而且要求所获取的波谱必须具有一定的代表性。

3.2 遥感矿物组合地质分析模型

该模型是根据单个矿物的波谱特征,利用信息提取集成技术,逐个地对区内的单矿物进行一一识别,然后根据矿物的空间分布,结合矿物的共生组合规律和工作区地质环境与地质条件,分析矿物分布的空间组合型式和空间变化,划分不同岩化带或相带,进行深入的地质分析。

这种模型能提取每一种感兴趣的矿物及其空间分布特征,对矿物共生组合和空间变化的分析也比较精确客观。但由于自然界的矿物绝大多数以组合的形式出现在岩石中,遥感探测到的是矿物集合体的混合光谱,对单矿物较精确的识别要进行“混合像元分解”。矿物的混合光谱效应不仅影响吸收特征的强度,还会造成谱带特征的叠加,吸收深度被掩盖。特别是光谱吸收特征位置相近的情况下,这种现象更加明显,对单矿物识别的影响也很强烈。

4 实用实例

下面从蚀变与找矿预测和地质环境应用方面阐述信息提取技术集成体系以及遥感矿物地质分析模型的具体应用。其共同点是信息提取集成技术与地质分析模型有机地结合起来,以矿物或矿物集合体的识别为核心,以对矿物组合或矿物集合体的分布规律的分析来揭示地质成因。

4.1 蚀变与找矿分析

以河北张家口赤城—崇礼地区金矿床(点)为例。该区发育强烈的以钾长石化为主的多期热液蚀变,如硅化、黄铁矿化、绢云母化、绢英岩化、绿泥石化以及褐铁矿化、高岭石化等。围岩蚀变与金矿化具有成因联系,强烈的钾长石化是该类型金矿的主要围岩蚀变及重要的找矿标志。

首先利用低分辨率的遥感数据,如TM等,识别出地质异常分布,圈出重点区段。然后利用高光谱MAIS数据在这些重点区段开展蚀变信息(主要是钾化)提取与找矿预测。区内钾长石化带主要矿物组合为钾长石、微斜长石、石英、绢云母、黄铁矿等。这些矿物除黄铁矿外,均为含Al-OH、Mg-OH键的化合物。尤其是随着钾化的减弱,Al-OH键化合物减少,光谱随之发生变化^[9]。对以钾化蚀变带中单矿物光谱特征研究表明,主要光谱特征集中在2200nm、2300nm和2440nm。2200nm和2440nm为Al-OH基团振动的特征谱带,以2200nm最为特征;2300nm处有Mg-OH基团振动的特征谱带。野外实测的钾化岩光谱特征在0.9μm附近存在Fe²⁺的特征谱带(可能含少量Fe³⁺),在短波红外区(2000—2500nm)正好集中了该带单矿物的特征吸收谱带(图1)。

以野外实测的钾长石化岩石光谱较好地反映了钾长石、微斜长石、石英、绢云母以及黄铁矿等组合光谱为特征的金矿近矿围岩蚀变的光谱,为一典型的集合体端元光谱(图1)。以该实测光谱为标准,利用光谱角技术^[1,10]和MAIS数据识别出该区的钾化分布(图2)。将光谱角识别结果孟塞尔逆HSV变换到RGB色度空间后,利用波段运算将逆变换的钾化蚀变信息叠加到MNF^[11-13]空间域的彩色图像(封四图版I图3),圈出了12处钾化区。对其中的7处进行野外与岩石化学分析,所提取的钾化点均发育不同程度的钾长石化。尤其是西沟窑东、西沟处的钾化蚀变区的岩石化学分析,东沟含金

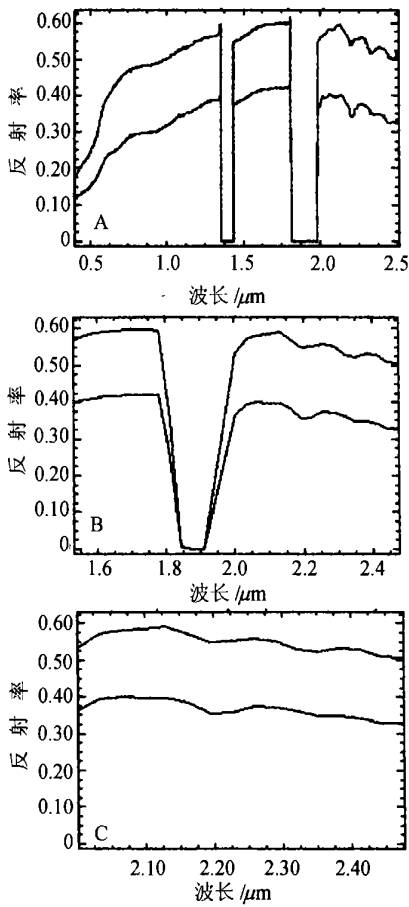


图 1 钾长石化集合体野外光谱

Fig.1 The spectra of potassic altered mineral assemblage in the field

(a)野外波谱;(b)和(c)分别为利用 MAIS 波段 1.5—2.5 μm 区间和 2.0—2.5 μm 区间取样后的野外光谱)

0.68g/t、银 348g/t、铅 15.88%；西沟含金 4.9g/t、银 50g/t、铅 2.86%^[14]。

4.2 地质环境应用分析

以国土资源部“九五”重点科研项目报告中利用 Cuprite 地区 AVIRIS 数据识别的单矿物为例进行矿物共生组合研究,以分析该区的地质环境。

试验区主要出露岩层有寒武系沉积岩和变沉积岩、第三系火山岩和第四系冲积层。寒武系仅出露 95 号公路以西,为下寒武以粉砂岩和正长石砂岩为主的 Harkless 组, Mule Spring 灰岩和中上寒武的 Emigrant 组。第三系火山岩包括渐新统一中新统的流纹岩、石英安粗岩、灰流凝灰岩和灰雨凝灰岩、中新统的 Siebert 凝灰岩和玄武岩流、上中新统一上新统 Spearhead 段和 Trail Ridge 段的 Thirsty Canyon 凝灰岩及长英岩岩墙。第三系火山岩热液蚀变广泛,在 95 号公路两边形成两个南北向拉长的蚀变区,明显可分为硅化带、蛋白石化带和泥化带,从中部向外呈同心圆状分布。硅化区主要蚀变矿物为石英和少量的方解石、明矾石和高岭石;蛋白石化带分布广泛,主要为明矾石、浸染状蛋白石、方解石置换的蛋白石和高岭石;泥化带主要有高岭石、蒙脱石和少量由火山玻璃生成的蛋白石^[15, 16]。

根据区内地质情况和蚀变特征,以 USGS 标准矿物光谱数据库为标准,结合矿物在岩石中光谱变异特征,建立单矿物识别规则,从 AVIRIS 图像中提取白云母、方解石、高岭石、明矾石、绿泥石及玉髓等矿物^[14](图 4)。然后根据各矿物分布的位置可划分出 4 个矿物组合带^[17](图 4)。“1”是明矾石+高岭石+玉髓矿物组合带。“2”是明矾石+高岭石组合带。明矾石一般为中酸性火成岩在含硫酸的低温热液作用下的蚀变产物;高岭石是分布最广的矿物之一,主要是由富含铝硅酸盐的火成岩和变质岩在酸性介质环境里经受风化或低温热液交代蚀变的产物。由此可以初步认为东部两个带早期为一低温酸性岩浆热液环境。“3”是方解石+白云母组合带。“4”是白云母+绿泥石组合带。白云母主要出现于酸性岩浆岩;绿泥石一般产于受低温热液作用的各种岩体及围岩蚀变中;方解石在变质岩、岩浆岩和沉积岩中普遍存在。结合这些矿物分析,西部两个带早期仍可能为一低温酸性的岩浆热液环境。方解石矿物在西南的存在反映该区域在后期改造的差异,这需要对矿物变体或替代系列作进一步识别与综合分析,以确定后期改造的关系。



图 2 利用光谱角技术(SAM)从 MAIS 数据上提取的钾化蚀变(图中白色)

Fig.2 The potassic altered mineral assemblage were extracted by SAM using MAIS data

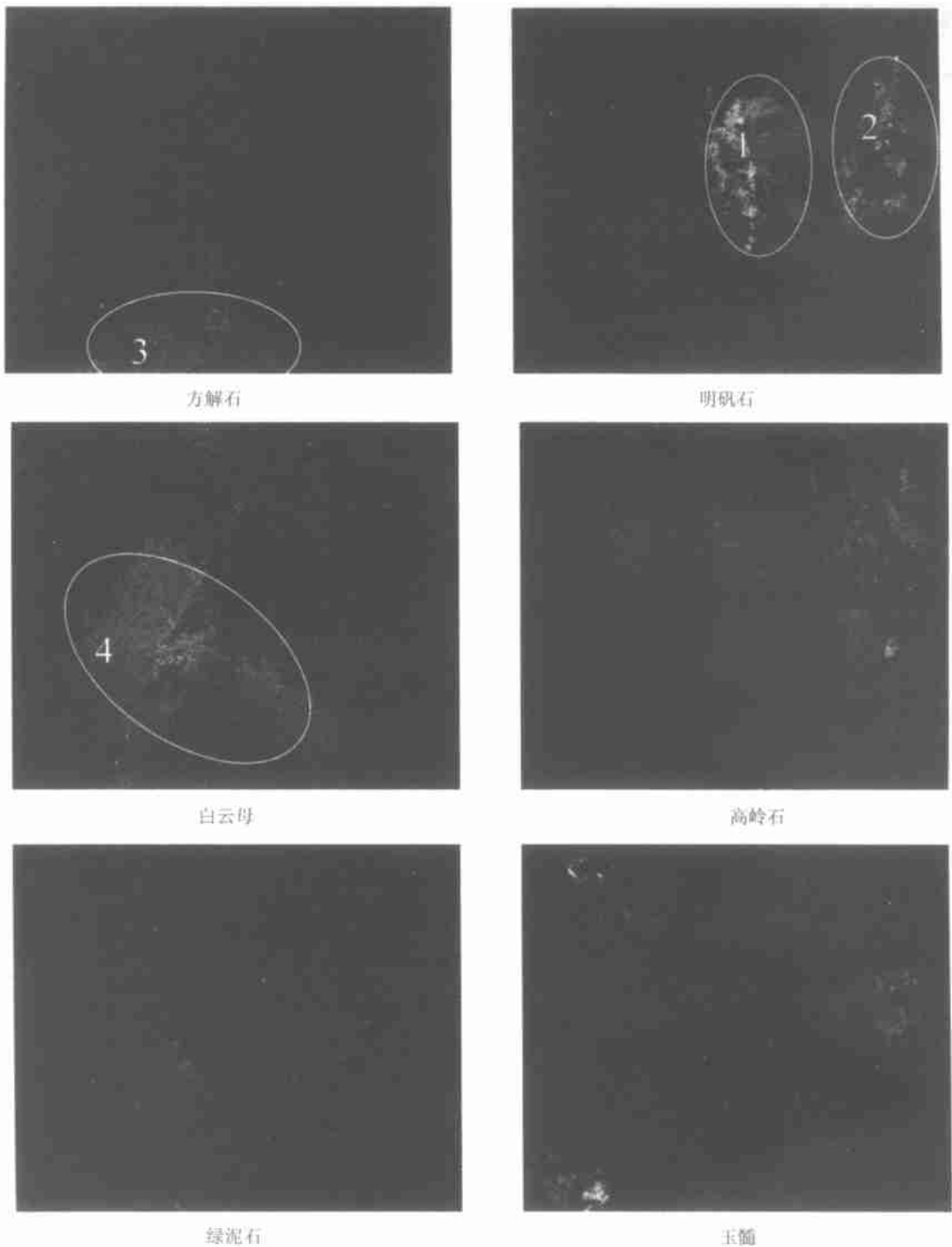


图4 从 AVIRIS 识别的矿物分布(图中白色)及相对含量与地质环境分析^[14]
 Fig.4 Analysis for geological environment, distribution and abundance of minerals discrimination
 (white color in image) using AVIRIS data for Cuprite Area

5 结论

本文从应用的角度将不同的地质信息提取模型与识别技术进行有机结合,从整体与综合的角度以

期实现地质信息提取的实时性与可应用性。在实际应用中,这3个集成模型互相联系,互为补充,密不可分。在具体的地质资源评价与应用中,根据应用目的与应用实际的不同,选用不同的遥感数据,采用不同的优化组合,形成优化的不同尺度遥感与不同

技术手段相匹配的信息提取立体集成网络。

矿物识别与分析是遥感地质信息提取的趋势所在,是各集成的核心。矿物在自然界以单矿物和集合体的形式存在。基于此分别建立矿物遥感地质分析模型。这两个模型各有千秋。遥感矿物组合地质分析模型,首先是对单矿物的识别,其主要困难是“混合像元”的分解,同时由于光谱漂移与变异使对矿物的识别较为困难。但是如果能够深入全面了解矿物的光谱变异与漂移规律,可反过来指导矿物的精细识别,以提供更高层次的地质蚀变与地质演化信息。矿物集合体地质分析模型与矿物组合地质分析模型不同的是该模型对信息的提取首先是基于对岩石矿物集合体光谱规则的深刻认识,这样利用矿物集合体的混合谱带特征进行矿物组合识别,从而可以避免光谱细微差异对信息提取的干扰。在实际应用中,常将两种地质分析模型结合起来,对比较容易识别或对地质分析特别有指示意义的矿物采用单矿物组合地质分析模型;而对于识别很困难的矿物或密切共生、区分意义不太大的矿物采用混合光谱的集合体地质分析模型。在进行混合光谱分解中,也可以选择部分单矿物和部分组合矿物作为端元。

还必须指出的是,地表覆盖物(如植被、土壤等)以及同质异谱和异质同谱等问题存在,对遥感信息的提取造成一定的影响。这些都将进一步进行深入研究。

致 谢 非常感谢 NASA 提供 Cuprite 地区的 AVIRIS 数据。

参 考 文 献 (References)

- [1] Kruse F A. Use of Airborne Imaging Spectrometer Data to Map Minerals Associated with Hydrothermally Altered Rocks in the Northern Grapevine Mountains, Nevada, and California [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1988, **24**(1):31—51.
- [2] Resmini R G, Kappus M E, Aldrich W S, et al. Mineral Mapping with Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment (HYDICE) Sensor Data at Cuprite, Nevada, U. S. A. [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1997, **18**(7):1553—1570.
- [3] Baugh W M, Kruse F A, William W, et al. Quantitative Geochemical Mapping of Ammonium Minerals in the Southern Cedar Mountains, Nevada, Using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1998, **65**(3):292—308.
- [4] Crosta A P, Sabine C, Taranik J V. Hydrothermal Alteration Mapping at Bodie, California, Using AVIRIS Hyperspectral Data [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1998, **65**(3):309—319.
- [5] Li D. On Definition, Theory and Key Technics of the Integration of GPS, RS and GIS [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**(1):64—68 [李德仁. 论 RS, GPS 与 GIS 集成的定义、理论与关键技术 [J]. 遥感学报, 1997, **1**(1):64—68.]
- [6] Ma Ainai. On Geographical Science and Geographical Information Science [M]. Huhan: Wuhan Publishing House, 2000 [马蔼乃. 地理科学与地理信息科学论 [M]. 武汉:武汉出版社, 2000.]
- [7] Wang R, Wang Q, Gan F. Plan for Research on New Technology and New Methods for Resources Assessing [R]. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources. 1999 [王润生, 王青华, 甘甫平. 资源评价中遥感新技术新方法研究项目设计书 [R]. 中国国土资源航空物探遥感中心. 1999.]
- [8] Povarennykh A S. The Use of Infrared Spectra for the Determination of Minerals. *Am. Mineral.*, 1978, **63**:956—959.
- [9] Gan F, Wang R, Guo X, et al. Discrimination and Extraction of Altered Minerals Using Imaging Spectral Remote Sensing at Chicheng-chongli Area of Hebei Province, China [J]. *Geoscience*, 2000, **14**(4):465—469. [甘甫平, 王润生, 郭小方等. 利用成像光谱遥感技术识别和提取矿化蚀变信息——以河北赤城—崇礼地区为例 [J]. 现代地质, 2000, **14**(4):465—469.]
- [10] Yuhas R H, Geotz F H A, Boardman J W. Discrimination among Semiarid Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm [A]. Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop [C]. June 1992, Pasadena, CA, JPL Publication 92—14, 147—149.
- [11] Lee J B, Woodyatt A S, Berman M. Enhancement of High Spectral Resolution Remote Sensing Data by a Noise-Adjust Principal Components Transform [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1990, **28**(3):295—304.
- [12] Green A A, Berman M, Switzer P, et al. A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1988, **26**(1):65—74.
- [13] Krue F A. Mineral Mapping for Environmental Hazards Assessment Using AVIRIS Data, Leadville, Colorado, USA [A]. Presented at the Eleventh Thematic Conference and Workshops on Applied Geologic Remote Sensing [C]. Las Vegas, Nevada, 27—29 February, 1996, II-526—II-533.
- [14] Wang R, Guo X, Wang T, et al. Research on Imaging Spectrometer Technology and its Application [R]. Research Report of Ministry of Land & Resources, 2000 [王润生, 郭小方, 王天兴等. 成像光谱方法技术开发应用研究 [R]. 国土资源部重点科研报告. 2000.]
- [15] Kruse F A, Kiereinyoung K S, Boardman J W. Mineral Mapping at Cuprite, Nevada, with a 63-Channel Imaging Spectrometer [J]. *PE & RS*, 1990, **56**(1):83—92.
- [16] Resmini R G, Kappus M E, et al. Mineral Mapping with Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment (HYDICE) Sensor Data at Cuprite, Nevada, U.S.A [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1997, **18**(7):1553—1570.
- [17] Gan F. Investigation on Principles and Techniques of Extracting Information of Rocks and Minerals Using Remote Sensing Data [D]. Ph. D Dissertation. China University of Geosciences (Beijing), 2001. [甘甫平. 遥感矿物信息提取基础与技术方法研究 [D]. 博士学位论文. 中国地质大学(北京). 2001.]

Integration for Extracting and Mineral Analysis Models for Geological Application Using Remote Sensing Data

GAN Fu-ping^{1,2}, WANG Run-sheng², MA Ai-nai¹, ZHANG Zong-gui², LI Meng-xia³

(1. Institute of Remote Sensing and GIS Peking University Beijing 100871; 2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083; 3. Applied Physics Department Xidian Institute of Technology, Xidian 710048, China)

Abstract: The idea of synthetic integration for extracting and analyzing the geological information is put forward and discussed. Three integration modes, of hierarchical identification using various scales of remote sensing, of discrimination methods and techniques for minerals and rocks, and of spectral identification tree based on spectral fracture of minerals and rocks, are primarily established. Of all, minerals or mineral assemblages discrimination are emphasized. Two combination analysis models for geological application, which are based on the single mineral identification and on the mineral assemblage identification using remote sensing, are established. It is most potential for extracting information of alteration and mineralization, and analyzing the geological environment. Both the gold deposit of Chicheng-chongli in Hebei Province and Cuprite district are as test areas, which used technique combination of both the synthetic integration and combination analysis models for geological application. The potassic altered mineral assemblage, which are strongly related to the genetic source for gold deposit, are extracted from Chicheng-chongli area in Hebei Province. The seven Mineralization and Alteration spots are extracted and confirmed. The geological genetic are analyzed effectively according to the intergrowth minerals which are discriminated using AVIRIS data at Cuprite district in U.S.A..

Key words: synthetic integration technique; mineral analysis models; hyperspectral remote sensing

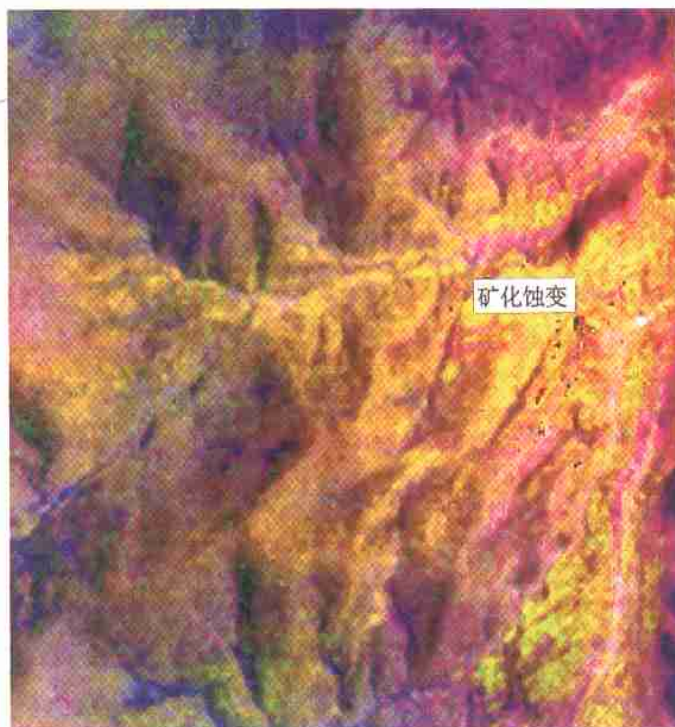


图3 矿化蚀变识别

遥感学报

(双月刊 1997 年创刊)
2003 年 5 月 第 7 卷 第 3 期

JOURNAL OF
REMOTE SENSING
(Bimonthly, Started in 1997)
Vol. 7 No. 3 May 2003

编辑:《遥感学报》编辑委员会
(北京市安外大屯路中科院遥
感应用研究所 邮编:100101)
电话:(010)65889543
主编:徐冠华
出版:科学出版社
(北京东黄城根北街 16 号
邮编:100717)
印刷装订:北京中科印刷有限公司
总发行处:北京报刊发行局
订购处:全国各邮电局
国外总发行:中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱 邮编:100044)

Editor: Editorial Board of Journal of Remote Sensing
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/ygxb>
E-mail: jrs@irsa.irsa.ac.cn
Telephone: (010)64889543
Chief Editor: XU Guanhua
Publisher: Science Press
(16 Donghuangchenggen North Street
Beijing 100717, China)
Printed by: Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed Abroad: China International
Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, 100044, Beijing, China)

国际标准刊号: ISSN 1007-4619 国内统一刊号: CN 11-3841/TP

邮发代号: 82-324 国外代号: Q1002 定价: 20.00 元 (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

主办: 中国地理学会环境遥感分会 中国科学院遥感应用研究所