

高光谱遥感蚀变矿物提取技术及其在铀矿勘查中的应用前景

车永飞, 赵英俊, 杨燕杰

核工业北京地质研究院, 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京, 100029

遥感中的蚀变矿物信息与矿床具有很好的关联性, 使得遥感蚀变信息作为独立的找矿参数成为可能 (HE zheng-wei, 1999)。由于高光谱遥感将传统图像的空间维与光谱维信息融合为一体, 使得高光谱遥感数据具有地质找矿优势, 尤其是在矿物识别与填图、岩性填图、矿产资源勘探等方面。利用高光谱技术不仅能够识别矿化蚀变现象, 而且能够区别矿化蚀变的矿物组分 (李楠等, 2010), 有助于建立蚀变分带模式, 对指导找矿具有重要的意义。本文概述了国内外高光谱遥感蚀变提取技术的最新进展, 论述已有可操作的提取蚀变类型和方法, 结合铀成矿地质特征, 展望了高光谱遥感蚀变矿物提取技术在铀矿勘查中的应用前景。

1 高光谱遥感蚀变提取技术进展

蚀变岩与其周围正常岩石在矿物种类、结构、颜色等方面存在差异, 在光谱特征上反映出特定的蚀变岩石光谱异常, 与正常岩石相比具有明显可识别的反射光谱特征。成像光谱系统获得的连续波段的宽度一般在 10 nm 以内, 这种数据具备足够的光谱分辨率以区分具有诊断性光谱特征的地表物质, 为高光谱遥感蚀变异常信息的提取提供了理论依据。

随着新的成像光谱仪的不断出现, 涌现出多种可应用于蚀变矿物提取的技术方法, 根据不同的高光谱数据特点, 结合不同环境和地区蚀变矿物的不同特征, 在技术方法上可概括为: 光谱微分、光谱匹配、混合分解、光谱分类、维特征提取、模型方法。基于上述基本理论和技术方法, 在充分总结与归纳国内外相关成果的基础上, 归纳和提炼出近年来高光谱遥感技术在蚀变矿物提取及铀矿勘查中的技术应用案例 (表 1)。

目前, 遥感蚀变矿物提取技术已由多光谱的定

性描述向高光谱定量物质组成鉴别的飞跃, 高光谱矿物识别和矿物填图分为 3 个层次, 即矿物的种类识别、丰度反演和成分识别 (王润生等, 2010)。从表 1 中可以看出高光谱技术已成功实现了蚀变矿物种类的识别, 对于矿物含量的定量反演也取得了一定的进展。

2 在铀矿勘查中的应用前景分析

2.1 研究意义

铀矿勘查和预测的关键是铀成矿地质体 (有利岩性岩相带、富铀岩体、次火山岩体、容矿主岩等)、成矿构造体系 (控岩构造、控矿构造、火山构造、裂隙带、岩体接触带等) 及成矿流体活动标志 (各类热液蚀变带及硅化带) 的有效识别。目前, 已有的高光谱遥感蚀变矿物提取技术已完全能够识别铀成矿流体活动标志 (伊利石化、绢云母化、蒙脱石化、绿泥石化、迪开石化、黄铁矿化及含铀硅化带等), 结合高空间分辨率遥感数据 (Quickbird 等), 通过高光谱遥感中的光谱信息与成矿构造信息、有利铀成矿地质体的识别, 综合分析区域铀成矿地质环境和区域铀矿化控制因素, 为区域铀矿成矿远景预测提供有用信息。

2.2 发展方向

目前, 已有的高光谱遥感岩矿蚀变信息提取技术已基本能够有效识别和提取铀矿化蚀变、岩性等综合信息, 但大部分像元反映的是铀矿特征综合信息的混合像元, 所形成的光谱也是包括了各种地物特征的混合光谱。这类光谱对于确定混合像元中各组分物质的相对丰度, 进行各种匹配处理, 成为高光谱遥感应用技术的关键所在, 也是高光谱图像处理领域的关键和技术热点。目前, 可获取使用的数据源极其有限, 数据源问题已成为高光谱应用中的主要障碍。另一方面, 需要继续研发岩矿光谱识别

的软件系统, 基于 IDL 研发高光谱遥感矿产资源探测软件。针对高光谱遥感铀矿化蚀变矿物信息提取与填图、岩性识别与填图、成矿远景区分析 3 大应用领域, 从数据分析与信息提取的角度, 软件需要集成影像特征分析、影像信息提取、端元提取、混合像元分解、蚀变填图、成矿远景区分析等功能模块。在综合考虑应用需求差异、并行算法设计、并行计算平台选择、并行程序实现及并行性能分析等因素的基础上, 设计并实现一套具有普适性的矿产资源探测高性能处理系统, 是今后的发展方向。

3 结论和展望

高光谱遥感的图谱合一以及高波谱分辨特性, 在铀矿化蚀变矿物的定量精细识别方面已经初步奠定了理论、技术和算法。可以预见, 基于 IDL 研发高光谱遥感矿产资源探测软件, 是高光谱遥感在铀矿勘查应用中的发展方向之一, 能够在铀矿等矿产勘查中发挥重要作用。

表 1 各类高光谱数据在铀矿勘查及蚀变提取中的应用总结

成像光谱仪系统	数据类型	主要技术方法	应用领域	应用效果	资料来源
航空	短波红外 (SMIR)	根据 5 个波段 (带宽 100nm) 提取	矿物识别	鉴别出高岭石、碳酸盐	Goetz, 1982
	AVIRIS 数据	利用 Tetracorder 矿物填图软件光谱匹配	矿物填图	识别出高岭石、针铁矿、方解石、蒙脱石	Cunningham 等, 2005
	Hymap 数据	利用绢云母、蒙脱石的特征吸收蚀别矿物	蚀变带地质填图	提取石英、绢云母、黄铁矿、蒙脱石	KruseFA 等, 1993
		布设高光谱勘探探测线, 光谱技术探测和野外填图联合勘查	蚀变填图/矿产勘查	识别富镁矿物、发现浅成热液金矿床	Fred A Kruse 等, 2006
		利用辉石中 Fe^{2+} 电子跃迁吸收的两个特征, 橄榄石中 Fe^{2+} 吸收带和 Fe^{3+} 吸收带的特征	地质填图和岩石鉴别	识别出辉石、橄榄石	Chabrilat 等, 2002
		以高光谱矿物识别技术为主, 结合高光谱影像与矿物分布信息制图	蚀变矿物填图	识别出含 Fe 矿物, Al-OH 类矿物, Mg-OH 类矿物, 碳酸岩及硫酸岩类矿物	甘甫平等, 2007
		应用光谱角度模型 (SAM) 分类法进行自动匹配识别和信息提取, 采用掩膜技术进行矿物填图	蚀变矿物填图	提取出方解石、绿泥石、绢云母	阚明哲等, 2005
		采用像元分解技术	矿物填图	识别火山口酸性火山喷出物	Coulter D W 等, 2009
	3Si 航空高光谱成像系统	利用 3Si 航空高光谱成像系统, 完成高光谱航空测量, 进行数据精处理	蚀变矿物填图	提取出 10 种以上常见蚀变矿物	刘德长等, 2011
	机载成像细分红外高光谱数据	建立野外实测光谱曲线库及分类子库, 基于此提取铀矿化的特征光谱信息	铀矿勘查	识别出含铀硅化断裂带	刘德长等, 1999
	CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感测量	通过对航空高光谱遥感数据精细处理和分析	蚀变矿物提取	识别出高-中-低铝绢云母、绿帘石和碳酸盐等矿物	叶发旺等, 2011
	CASI/SASI 数据	利用 Quickbird 高分遥感技术与 CASI/SASI 航空高光谱遥感技术结合	铀矿勘查	发现了铀矿化带及铀矿化蚀变类型	叶发旺等, 2012
	MAIS 光谱仪数据	借助高光谱丰富的光谱信息, 依据实测岩石矿物波谱特征, 对岩石进行直接识别	岩性识别	直接提取出岩性	王青华等, 2000
航天	Hypriion 数据	根据矿物识别规则和识别谱系	蚀变矿物提取	提取出高铝和低铝白云母化、高岭石化及绿泥石化等蚀变矿物	甘甫平等, 2002
		光谱微分及基于完全波形特征的光谱匹配	蚀变矿物提取	识别出绢英岩	高建阳, 2011
		根据蚀变矿物与背景地物波谱特征的差异, 基于综合光谱信息模型	(植被覆盖大于 70%) 蚀变矿物提取	提取出绿泥石、斜绿泥石、方解石和白云石蚀变矿物	吕凤军等, 2011
		铀矿区地物波谱测量研究	蚀变矿物提取	识别出高岭土化带	裴承凯等, 2007
		离散小波变换技术提取主要铀成矿要素的光谱参数	铀矿勘查	建立了典型四价和六价铀矿物的光谱识别谱系	张杰林, 2010
地面和岩石光谱	地面实测光谱数据	利用地面实测光谱建立蚀变矿物组合地质剖面,	蚀变矿物提取	提取出绢云母化和青磐岩化	李庆亭等, 2012
	地面光谱测量	地面光谱测量和数据挖掘技术结合, 分析铀成矿有关的岩石和地质背景	铀成矿预测	岩性识别、铀矿容矿层识别	张杰林等, 2004
	地面光谱测量和卫星遥感影像	卫星图像处理及光谱匹配技术	铀矿勘查	提取铀矿化蚀变带	雷天赐等, 2005
	地面光谱测量	挑选蚀变矿物, 获取蚀变矿物诊断性光谱特征, 建立光谱数据库	蚀变矿物分类	区分热液铀矿床水云母化、绿泥石化蚀变原岩	何建国等, 2008