

基于 ALI 数据的柴达木油气区含铁矿物制图

管仲¹,田庆久^{1,2},王向成¹

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所,南京 210093; 2. 中国科学院遥感卫星地面站,北京 100086)

摘要: 烃类微渗漏造成的油气藏上方红层褪色是遥感间接找油气的重要标志之一,因此,在油气遥感勘探中,含铁矿物的分布制图和铁异常信息的提取至关重要。作为新一代的多光谱图像,ALI(Advanced Land Imager)和 ETM⁺ 图像相比,光谱分辨率有了很大提高,它在 0.4~1.3 μm 波长范围内有 7 个波段,可以有效地反映出不同含铁矿物在此波长范围内独特的光谱特征,可以用于含铁矿物制图和铁异常信息提取。本文选取有天然气分布的柴达木盆地东部三湖地区为研究区,对 ALI 图像运用光谱角度制图方法进行含铁矿物分布制图。

关键词: 遥感; 油气; ALI; 含铁矿物; 柴达木盆地

中图分类号: TP 79 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2006)03-0043-04

0 引言

在油气遥感研究中,油气藏上方的红层褪色现象是长期被关注的油气遥感异常之一^[1~4]。微渗漏的烃类物质运移至地表后被氧化,生成二氧化碳及硫化氢,形成了地表的还原环境,该环境使地表岩层中呈红色的含高价铁离子(Fe³⁺)矿物(如赤铁矿、针铁矿、褐铁矿等)重新沉淀为低价铁(Fe²⁺)矿物(如黄铁矿、菱铁矿、磁铁矿等),导致红色岩层褪色^[1,5]。当 Fe³⁺ 离子还原为 Fe²⁺ 离子形成红层褪色晕的同时,也形成了 Fe²⁺ 离子的富集^[5]。二价铁离子矿物与三价铁离子矿物有着不同的波谱特性,并且不同的含铁矿物,由于化合物分子结构、晶体结构以及透明度的差异,其波谱特征又有差异^[6]。利用不同含铁矿物的波谱特征差异,可以进行含铁矿物的分布制图,提取和油气异常有关的铁异常信息,为油气勘探提供有效线索。

传统的多光谱遥感数据(如 TM、ETM⁺)由于光谱分辨率较低,难以对含铁矿物的分布和蚀变做出精确地制图。前人对含铁矿物的分布制图和蚀变信息提取所做的研究多是利用高光谱遥感数据来完成

的^[4,7~9]。作为新一代多光谱传感器,ALI 数据质量和分辨率有了很大提高,特别是 0.4~1.3 μm 波长范围内光谱分辨率的提高,能有效识别不同含铁矿物的典型波谱特征。而作为 TM、ETM⁺ 数据的替代数据,ALI 必然有着广泛的应用前景。因此,探讨 ALI 数据对含铁矿物的制图能力和矿物制图技术方法具有重要的应用价值。

本文对 ALI 图像运用光谱角度制图方法进行含铁矿物分布制图,并对制图效果进行了讨论,最后对含铁矿物的分布与天然气异常和天然气分布的空间相关性进行了探讨。

1 研究区和数据

1.1 研究区

研究区位于柴达木盆地东部三湖地区,该区覆盖的第四系地层蕴藏着丰富的天然气资源,区内目前已探明台南、涩北一号及涩北二号 3 个整装大型气田,盐湖、驼峰山、台吉乃尔气田以及伊克雅乌汝、鸭湖、南陵丘等含气构造^[10]。研究中所用 ALI 数据覆盖范围如图 1 中长方框所示^[11]。涩北一号和涩北二号气田位于图像的中部,驼峰山气田位于图像的上部。

收稿日期: 2006-02-23; 修订日期: 2006-03-24
基金项目: 国土资源部项目“高光谱遥感油气调查应用实验研究”。

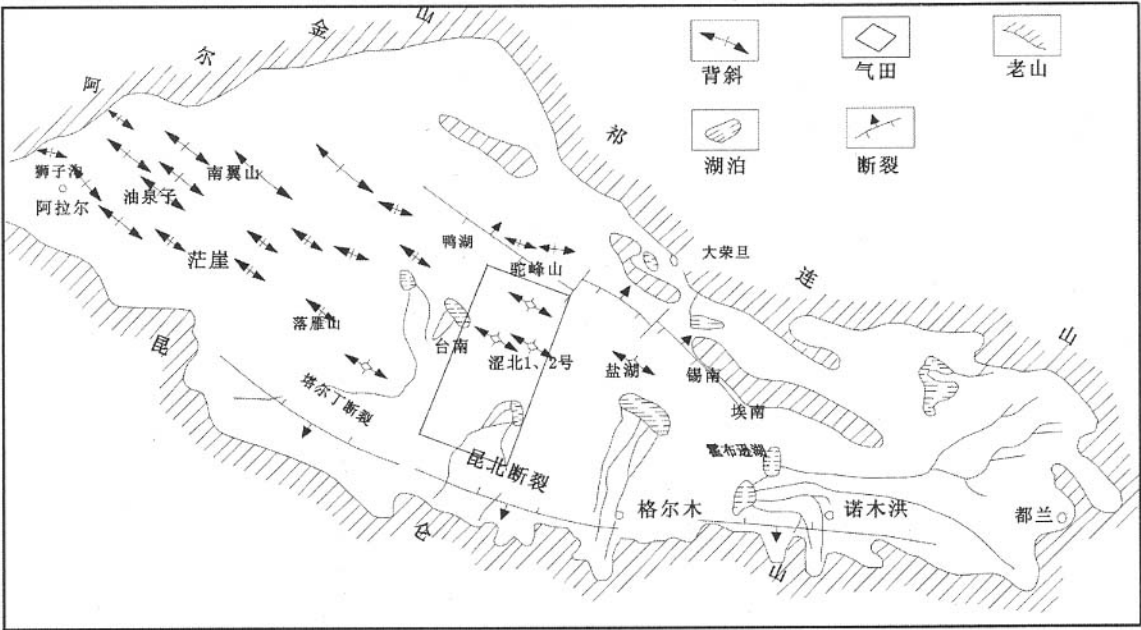


图1 柴达木盆地构造和气田分布

1.2 ALI 数据及预处理

1.2.1 ALI 数据

ALI 多光谱传感器是地球观测卫星 - 1 (EO - 1) 上 3 个传感系统中的一个。EO - 1 于 2000 年 11 月 21 日成功发射。作为 Landsat 的未来替代传感器, 它的技术性能和指标与 Landsat 7 的 ETM⁺ 保持了连贯性, 并且在光谱分辨率和数据质量上有很大提高^[12]。特别是 0.4 ~ 1.3 μm 之间光谱分辨率的提高, 能有效地识别出不同含铁矿物在 0.4 ~ 1.3 μm 之间的独特光谱诊断特征, 达到了区分不同含铁矿物的水平 (图 2)。研究中所用的 ALI (EO1A1370342005184110PZ.L1G) 数据获取时间为 2005 年 7 月 3 日。

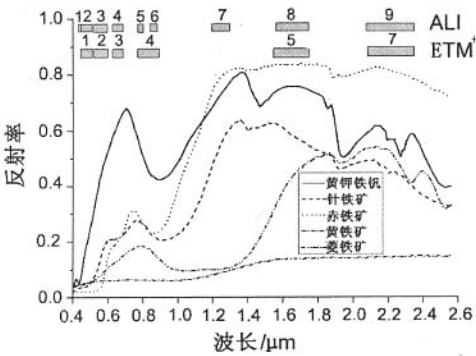


图2 含铁矿物光谱与 ALI/ETM⁺ 波段宽度分布

1.2.2 数据预处理

数据预处理包括辐射亮度值计算和地表反射率反演。为了得到星上辐射亮度值, 需要对原始的 DN 值进行处理。根据 EO - 1 用户手册^[13], 对于 2004

年 12 月 22 日以后获得的 ALI 数据, 辐射亮度 (单位为 $mW \cdot cm^{-2} \cdot sr \cdot \mu m^{-1}$) 采用: 辐射亮度 = $DN \times$ 增益 + 偏移公式计算, 其中, 各个波段的增益和偏移数值见表 1。

表 1 ALI 辐射亮度计算参数^[13]

波段	增益	偏移	波段	增益	偏移	波段	增益	偏移
Pan	0.024	-2.2						
1	0.045	-3.4	4	0.018	-1.3	7	0.008 3	-1.3
2	0.043	-4.4	5	0.011	-0.85	8	0.002 8	-0.6
3	0.028	-1.9	6	0.009 1	-0.65	9	0.000 91	-0.21

为了得到真实的地表反射率, 从而反映不同含铁矿物的光谱特征, 需要对星上辐射亮度值做大气校正后再转化成实际的地面反射率。我们利用 6S^[14] 大气校正模型实现了地面反射率的反演, 最后得到 ALI 的地面反射率图像用于光谱角法制图和分析。

2 SAM 制图和分析

光谱角度制图 (Spectral Angle Mapper, 以下简称 SAM) 是遥感图像处理, 特别是高光谱遥感中常用的方法之一, 它通过计算像元光谱与参考光谱之间的角度来确定二者之间的相似性^[15]。利用高光谱数据, SAM 技术在地质矿物分类和识别中得到了广泛应用, 证明了 SAM 技术在遥感地质研究中的应用的有效性^[7, 16~18]。ALI 数据在 0.4 ~ 1.3 μm 之间的光谱信息丰富, 而且含铁矿物的诊断光谱特征集中在此波长范围, 因此, 利用 SAM 技术和 ALI 数据进行

含铁矿物识别和制图是可行的。

我们从 USGS 矿物光谱库中选取了针铁矿、赤铁矿、黄钾铁钒、黄铁矿及菱铁矿光谱作为 SAM 分类识别的参考光谱(图 2)。首先,根据 ALI 数据 9 个波段(全色波段除外)的波长范围对 5 条参考光谱进行光谱重采样(图 3);然后对重采样后的参考光谱

黄铁矿和针铁矿占多,其次是黄钾铁钒,呈零星分布。针铁矿主要分布在图像的左上区域;黄钾铁钒含量比较少,但分布较广,在图像的许多区域都有出现;黄铁矿主要分布在图像的右边区域。由于没有进行研究区土壤采样和样品的理化分析,我们不能详细分析这些含铁矿物的组分含量对制图结果的影响和 SAM 制图结果的精确程度。但是从插页影片 4 可以发现,含铁矿物的分布与天然气气藏的空间分布具有很好的相关性。首先,天然气气田区有明显的低价铁(Fe^{2+})富集异常:在图像中部的涩北气田区域和图像右边的驼峰山气田区域,在制图结果上都发现有黄铁矿的典型分布,特别在驼峰山气区黄铁矿的分布非常明显,而且呈带状分布,与油气控制构造有很强的空间相关性;在天然气分布区域几乎就没有识别到含三价铁的针铁矿,而在远离天然气异常的图像左边区域识别到大片的针铁矿分布。其次,油气藏上方烃渗漏造成的硫酸盐化也使得气田区域有不少黄钾铁钒的存在,如涩北 1 号和 2 号气田处。含铁矿物的分布和天然气分布的空间相关性证明了本方法制图结果是可信的。

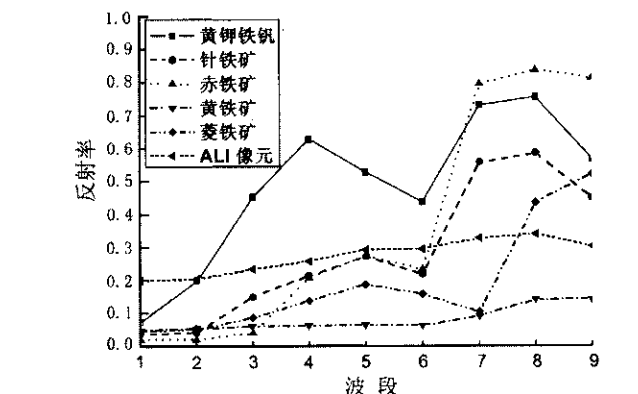


图 3 参考光谱重采样后光谱曲线

和 ALI 反射率图像进行连续统去除操作(continuum removal)^[9],突出这些含铁矿物独特的光谱特征(图 4);最后,利用连续统去除操作后的参考光谱和 ALI 反射率图像的 1~7 波段进行这 5 种矿物的 SAM 识别。

3 结论和讨论

由于 ALI 数据在 $0.4 \sim 1.3 \mu\text{m}$ 波长范围内的光谱分辨率有很大提高,达到了区分不同含铁矿物光谱特征的水平,因此,本文首次尝试性地利用 SAM 方法对 ALI 数据进行了含铁矿物制图,取得了令人满意的效果,证明了 SAM 方法结合 ALI 数据进行含铁矿物制图的有效性和可行性。含铁矿物识别和蚀变制图在资源勘查中有着非常重要的作用,相信本文中的方法会在 ALI 数据的地质应用中发挥作用。

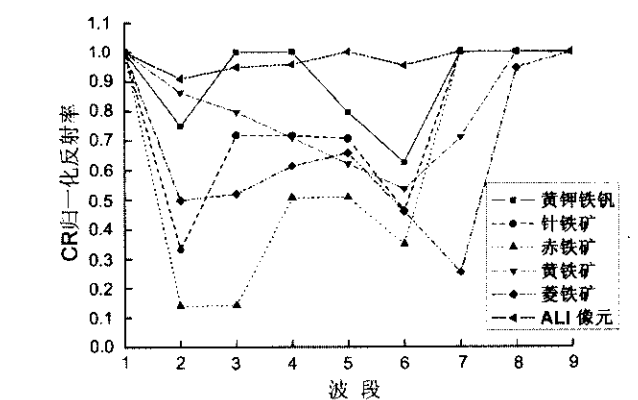


图 4 连续统去除操作后的参考光谱曲线

在 SAM 操作中需要输入一个阈值(光谱角度),小于这一阈值的像元就被分为参考矿物一类。SAM 结果一定程度上取决于这一阈值的设定,而阈值的大小是通过反复试验来确定的。5 种参考矿物的初始阈值都设为 0.2,发现图像中并没有识别到赤铁矿和菱铁矿,而黄铁矿和针铁矿几乎覆盖了整幅图像。由于阈值 0.2 已经比较大,因此我们认为,研究区地表中赤铁矿和菱铁矿的含量非常少,主要以黄铁矿、针铁矿和黄钾铁钒为主。随后逐个调整这 3 种矿物的 SAM 阈值,分别为 0.11、0.18 和 0.14。这 3 种矿物的 SAM 识别结果如插页影片 4 所示。

SAM 方法作为一种比较光谱相似度较简单的方法,具有快速、灵活和直接的特点,但它识别矿物间微小光谱差异的能力相对差。虽然本文在 SAM 识别之前使用连续统去除操作放大了矿物间的光谱形态差异,但是对于有些矿物间非常细微的光谱差异, SAM 方法还是不能很好地区分。如何改进 SAM 方法来解决这个问题值得进一步研究。另外,研究中所用 ALI 数据的空间分辨率为 $30\text{m} \times 30\text{m}$,图像上每个像元的光谱可能是像元内多种岩石和矿物共同作用的结果,而在制图时只用一种矿物来代替,这样只能识别到每个像元中矿物组分含量最多或光谱贡献最大的矿物,影响了制图的精度。针对 ALI 数据,如何利用光谱混合分析方法实现像元内多种矿物的分

在研究区第四系地层中,含铁矿物组分含量以

布制图,提高制图精度,值得进一步研究。

参考文献

- [1] Dietmar Schumacher. Hydrocarbon - Induced Alteration of Soils and Sediments[A]. AAPG Memoir 66[C]. 1996.
- [2] 王云鹏,耿安松,刘德汗. 鄂尔多斯盆地地表烃类的遥感探测研究[J]. 天然气工业,1999,19(6): 17 - 20.
- [3] ALMEIDA - FILHO R. Remote Detection of Hydrocarbon Microseepage - induced Soil Alteration[J]. Int. J. Remote sensing, 2002, 23(18): 3523 - 3524.
- [4] Heather Freeman. Evaluation of the use of Hyperspectral Imagery for Identification of Microseeps Near Santa Barbara[A]. California [C]. 2003.
- [5] 郭德方. 遥感技术直接找油[J]. 石油学报,1995,16(4): 9 - 16.
- [6] 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.
- [7] Alvaro P Crosta, Charles Sabine, James V Taranik. Hydrothermal Alteration Mapping at Bodie, California, Using AVIRIS Hyperspectral Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 65: 309 - 319.
- [8] William H Farrand, Joseph C Harsanyi. Mapping the Distribution of Mine Tailings in the Coeur d'Alene River Valley, Idaho, Through the use of a Constrained Energy Minimization Technique [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 59: 64 - 76.
- [9] Sabins F F. Remote Sensing for Mineral Exploration[J]. Ore Geology review, 1999, 14: 157 - 183.
- [10] 梁全胜,刘震,常迈,等. 柴达木盆地三湖坳陷浅层生物气成藏模式分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005, 20(3): 36 - 42.
- [11] 顾树松. 柴达木盆地第四系生物气藏的形成与模式[J]. 天然气工业,1996,16(5): 6 - 9.
- [12] Hearn D, Digenis C J, Lencioni D E, et al. EO - 1 Advanced Land Imager Overview[A]. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium[C]. 2001.
- [13] EO - 1 User's Guide[EB/OL]. <http://eo1.usgs.gov> 2005.
- [14] Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum(6S) [EB/OL]. 6S User Guide, 1994.
- [15] Kruse F A, Lefkoff A B, Boardman J W, et al. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 44: 145 - 163.
- [16] Baugh W M, Kruse F A, Atkinson W Jr. Quantitative Geochemical Mapping of Ammonium Minerals in the Southern Cedar Mountains, Nevada, Using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 65: 292 - 308.
- [17] Debba P, van Ruitenbeek F J A, et al. Optimal Field Sampling for Targeting Minerals using Hyperspectral Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99: 373 - 386.
- [18] Fred A Kruse, Joseph W Boardman, Jonathan F Huntington. Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO - 1 Hyperion for Mineral Mapping[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1388 - 1399.
- [19] Clark R N, Roush T L. Reflectance Spectroscopy: Quantitative Analysis Techniques for Remote Sensing Application[J]. J. of Geophysical Research, 1984, 89: 6329 - 6340.

THE MAPPING OF FERRIFEROUS MINERALS BASED ON ALI IMAGERY IN QAIDAM GAS - OIL AREA

GUAN Zhong¹, TIAN Qing - jiu^{1,2}, WANG Xiang - cheng¹

(1. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. The Remote Sensing Satellite Station, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China)

Abstract : The bleach of red beds above the oil and gas reservoirs caused by the hydrocarbon microseepage is one of the usual indicators in indirect search for oil and gas by remote sensing technology. Therefore, the mapping of ferri-ferrous minerals and the information extraction of iron anomalies play an important role in oil and gas remote sensing exploration. As a new generation of the multispectral image, the spectral resolution of ALI (Advanced Land Imager) has a great improvement compared with the ETM⁺ imagery. ALI has six bands in the 0.4 ~ 1.0 μm wavelength region and can represent special spectral characteristics of ferri-ferrous minerals in the 0.4 ~ 1.0 μm region, so it can be used for the mapping of ferri-ferrous minerals and the information extraction of iron anomalies. In this paper, the three - lake region of Qaidam basin was chosen as the study area, in which gas reservoirs are developed. An ALI image and the spectral angle mapping (SAM) method were used to map the distribution of ferri-ferrous minerals, with a good result obtained. Based on the mapping result, the paper has discussed the spatial relationship of the ferri-ferrous minerals to gas anomaly and gas distribution.

Key words : Remote sensing ; Oil - gas ; ALI ; Ferri-ferrous minerals ; Qaidam basin

第一作者简介:管仲(1983 -)男,硕士研究生,主要研究方向为资源环境遥感研究。

万方数据

(责任编辑:刁淑娟)