

文章编号: 1001 - 9014(2008)03 - 0210 - 05

利用 Hyperion 短波红外高光谱数据 勘探天然气的研究

沈渊婷^{1,2}, 倪国强¹, 徐大琦¹, 蒋丽丽¹, 贺金平¹

(1. 北京理工大学信息科学技术学院, 北京 100081; 2 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要: 利用高光谱遥感技术探油是一项高新油气勘探技术. 基于中国某地区 Hyperion 高光谱数据, 进行航天高光谱遥感天然气勘探技术的初步研究. 针对 Hyperion 高光谱数据的低空间分辨率、微弱信号与低信噪比等特点, 采用基于小波主成分分析的特征提取算法提取该地区烃类物质微渗漏蚀变特征, 运用聚类 K 均值法/最大似然法混合训练策略, 采用粗分-细分-精分思想完成该地区天然气蚀变异常区的分类. 结合已知地质资料分析, 分类所得的异常区与地质资料基本吻合, 分类效果好, 为油气勘探的地质解释提供了新的参考依据.

关键词: 高光谱遥感; 油气勘探; Hyperion; 特征提取

中图分类号: TP79 文献标识码: A

STUDY ON GAS EXPLORATION BY HYPERION HYPER SPECTRAL REMOTE SENSING DATA

SHEN Yuan-Ting^{1,2}, NI Guo-Qiang¹, XU Da-Qi¹, JIANG Li-Li¹, HE Jin-Ping¹

(1. School of Information Science & Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Hyperspectral remote sensing is an advanced high-technology employed in petroleum and gas exploration. In this work, the technique on gas exploration was studied based on Hyperion hyperspectral remote sensing data in one area of China. Aiming at the low spatial resolution, feeble signals and low signal noise ratio (SNR) of Hyperion hyperspectral data, a feature extraction method based on wavelet principle component analysis (PCA) was used to extract the features induced by the microseepage of gaseous hydrocarbons. With stepwise classification procedure, abnormal zones induced by gas-etching were analyzed by k-mean and maximum likelihood methods. The classification results of abnormal zones agree well with the available geological data. And the results show that our method is effective in gas exploration.

Key words: hyperspectral remote sensing; petroleum exploration; Hyperion; feature extraction

引言

早期仅靠地面油气显示来勘探油气藏的方法已逐步被地质方法所代替. 随着科学技术的发展和寻找复杂油气藏的需要, 地震、油气化探和卫星遥感方法被逐步引入油气勘探工作中. 而高光谱遥感技术的发展, 把遥感的油气勘探应用推向更高、更有效、定量化的应用层次.

美国^[1]、德国^[2]、西班牙等国家先后利用航空高光谱仪探测烃类微渗漏的油气藏蚀变异常带, 有少数几例实验研究, 部分取得了一定的成功经验. 利

用航天高光谱仪进行油气探测, 国外也处于研究阶段, 目前仅有一例实验研究的报道, 但尚未有成功案例报道. 至于国内, 利用高光谱遥感技术进行油气探测尚属首例, 尤其是利用低信噪比、低空间分辨率、地物的光谱混叠较严重的 Hyperion 卫星数据.

利用高光谱遥感技术进行油气勘探是以油气微渗漏及地物精细光谱响应为理论基础的^[3,4]. 油气藏的烃类(液态烃、气态烃)及伴生物(水及惰性气体), 沿着压力梯度方向, 通过地层孔隙、裂隙、节理、断层等向上渗透、扩散运移, 产生“烃类微渗漏现象”.

收稿日期: 2007 - 12 - 25, 修回日期: 2008 - 04 - 18

基金项目: 预研基金 (51490020105BQ0101)

作者简介: 沈渊婷 (1980-), 女, 浙江湖州人, 工学硕士, 从事高光谱遥感仪器研制与图像处理技术的研究.

Received date: 2007 - 12 - 25, revised date: 2008 - 04 - 18

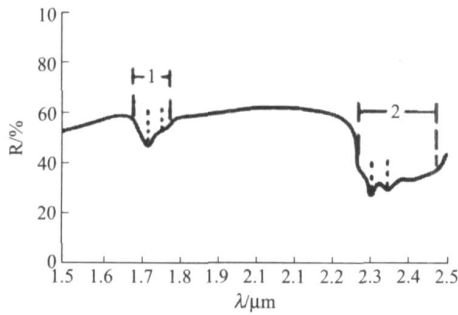


图1 原油波谱曲线
Fig.1 Petroleum spectrum

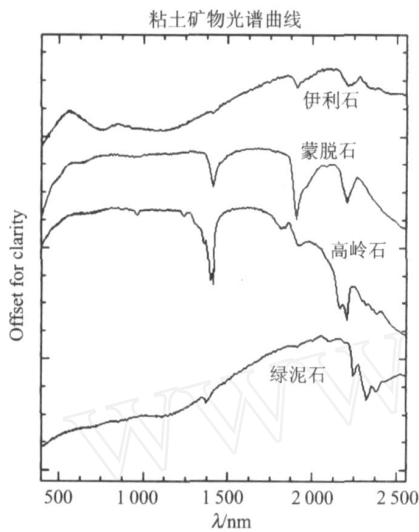


图2 粘土矿物光谱曲线
Fig.2 Clay mineral spectrum

烃类微渗漏现象造成油气藏上方的地表或近地表面物质的物化性质发生变化,出现地球化学异常和一系列烃类微渗漏的“蚀变现象”,表现为土壤依附烃类异常、土壤碳酸盐化、红色岩层褪色、土壤粘土矿化、地表磁性异常、地表层放射性矿化异常、地热梯度异常、地植物异常等。而这些异常现象会在遥感图像上呈指示性标志。借助高光谱遥感图像在光谱域和空间域的认识能力,能够将这些异常现象成功地检测出来。

在近红外至短波红外波段范围内,烃类物质在波长 1.725、1.760、2.311和 2.360 μm 处,存在一系列吸收谷,特别在 2.30~2.36 μm 处是一个双峰式强吸收谷^[5](如图 1所示)。粘土矿物,如高岭石、绿泥石、蒙脱石等,波谱特征表现在 1.4、2.2和 2.3 μm 附近(如图 2所示);碳酸盐的特征谱带在 2.35和 2.55 μm 附近^[6](如图 3所示)。一般来说,这些可以作为油气烃类微渗漏遥感直接探测的工作波段。

本文此次研究是利用 Hyperion 高光谱遥感图

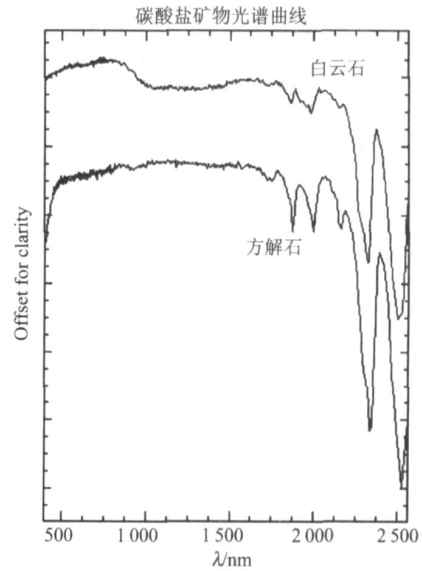


图3 碳酸盐矿物光谱曲线
Fig.3 Carbonate mineral spectrum

像,对 $\times \times$ 地区烃类微渗漏造成的遥感异常信息进行提取,运用文中使用的特征提取算法以及所设计的分类系统,作为天然气综合勘探方法中的重要一环,可为实现该地区天然气蚀变异常区的圈定、进而确定地下天然气富集、最终为天然气勘探,提供新的重要的参考依据。

2 数据源与数据预处理

2.1 EO-1 Hyperion

EO-1 (Earth Observing-1)^[7]是美国 NASA 面向 21 世纪、为了接替 Landsat 7 而研制的一新型地球观测卫星,于 2000 年 11 月发射升空,原计划运行 1 年,但至今仍运行正常,估计会运行更长的时间。EO-1 上搭载的高光谱成像仪 Hyperion 让更多遥感界同仁都能有机会使用和评价世界上首次获取的高光谱分辨力的民用航天成像光谱数据。

Hyperion 是一推扫式传感器,有 196 个经过标定的独立通道。它的谱段光谱分辨力为 10nm,空间分辨力为 30 m,很适合地质找矿,但其地面覆盖幅宽较窄,仅 7.5 km,在一定程度上使其实用性受到限制。另外,Hyperion 数据的信噪比根据谱段不同而差异悬殊。在 VNIR 波段,它的信噪比可达 190:1,而在 SWIR 波段,其信噪比低于 40:1(均为发射初期)。

Hyperion 主要技术参数如表 1 所示。

我们于 2005 年 7 月订购了 $\times \times$ 地区 8 景 Hyperion 数据,面积覆盖整个研究区 $\times \times \times \times \text{km}^2$ 。

表 1 Hyperion 主要技术参数

Table 1 Hyperion parameters

项 目	指 标
总视场 (FOV)	0.63°
瞬时视场 (IFOV)	0.043 mrad
光谱区间	400 ~ 2500 nm
谱段数	220
光谱采样间隔	10 nm
帧速率	25 Hz
数据编码	12 bit
光谱覆盖	连续

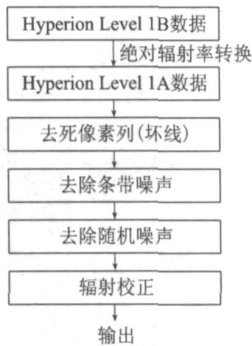


图 4 预处理

Fig 4 Preprocess

2.2 Hyperion 数据预处理

在对 Hyperion 数据进行分析和处理之前,为了真实地反映地貌信息,预处理过程必不可少.文中进行了如图 4 所示的各项预处理工作^[8].

首先对 Level 1B 数据进行绝对辐射率转换, VNIR 波段除以 40.0, SWIR 波段除以 80.0^[7].

由于 Hyperion 传感器个别通道存在坏的探测元,导致其对应的采样像素列不响应, DN (Digital Number) 值为零.对这些死像素列(坏线),采用光谱线性插值的方法实现校正.

Hyperion 光谱仪系统中每一行的各 CCD 光谱响应不一致,导致在每个谱段上出现了竖的条纹,即列向条带噪声.文中采用二次多项式拟合的方法去除条带噪声^[9].

对高光谱图像去噪的方法已有不少研究,例如王强等人的 DSGF 方法^[10],马艳华等人设计的矢量滤波器^[11].针对 Hyperion 在 SWIR 波段范围内的低信噪比,文中采用了小波域小波强制消噪方法去除图像随机噪声^[9].

辐射校正则采用 ENV I 模块 FLAASH 4.1 大气辐射校正软件包处理完成.

3 油气特征提取与分类方法

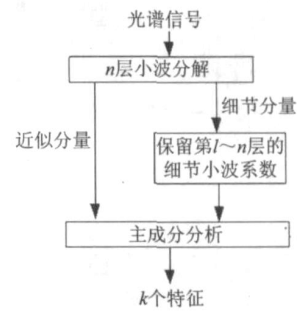


图 5 基于小波 PCA 的特征提取流程

Fig 5 Wavelet-PCA Feature Extraction

3.1 基于小波 PCA 的特征提取方法

针对 \times 地区地表油气信息微弱、Hyperion 数据的空间分辨力不够高、SWIR 波段信噪比较低等因素,一种有效的特征提取算法就极为重要,也是研究工作的难点.一些传统的特征提取算法经试用后效果甚微.文中采用了基于小波 PCA 的改进型特征提取方法^[9],它充分结合了小波分解以及主成分分析的优势,能够有效地提取微弱信息.

主成分分析 (PCA) 能利用谱段之间的相互关系,在尽可能地不丢失信息的同时,除去谱段间多余信息,将多谱段的图像信息压缩到少数几个谱段而仍能保持有效性.另一方面,小波变换能在光谱域内针对每一个像元进行数据降维.它不仅可以减少数据量,同时也能保留光谱信号中的差别,使典型光谱中的峰谷信息保留下来,这对大多数基于像元运算的分类器很有优势.由于小波分解是作用于每一个像元的,所以,在空间域内基于小波的降维不能很好区分相邻像元间的不同类.而 PCA 则能弥补这一不足.它能提供更多的不同类在相邻像元间的局部空间信息.

因此,由小波分解和 PCA 结合而成的特征提取算法,有助于更好地进行地物分类,提取烃类微渗漏蚀变特征.此算法的具体流程如图 5 所示.

3.2 分类系统设计

在高光谱分类中,实际感兴趣的地物,如农作物、森林覆盖、自然植被、矿物以及城区中的感兴趣地物都是以多种状态存在的,并在不同的光照条件下获取,呈现出相当大的统计可变性.因此用单一的平均光谱或典型地物光谱响应不足以表征这些地物,而应该用一族响应来表征.量化地表这一族响应的最有力、并有多种用途的方法之一就是每个响应用多元概率密度函数建模,从而可以采用统计模式识别方法对样本进行分类.

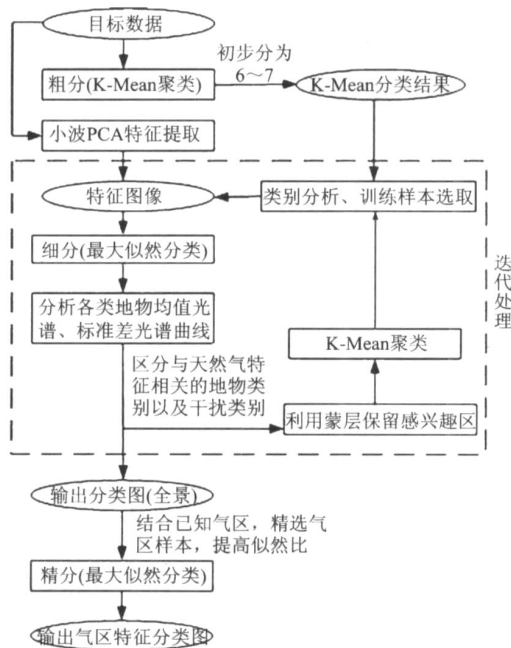


图6 天然气特征区分类系统流程

Fig 6 Classification System for natural gas feature

监督训练与非监督训练是互为补充的。前者将分析员对该区域的知识施加于分析中以约束其结果,而后者则根据该地区所代表的地物辐射特性(谱特性)的相似性和相异性来分类,不受关于该区域外部知识的约束。

本文结合两者的优点,运用 K-Mean 聚类法/最大似然法混合训练策略,采用粗分-细分-精分思想,完成对天然气蚀异常区的分类。具体分类过程如图 6 所示。

4 结果分析

4.1 实验结果分析

研究区内富含石英、石盐、方解石、白云石、钾长石、斜长石、文石、石膏以及和一些粘土矿物,如蒙脱石、伊利石、高岭石和绿泥石等。根据其岩性特点,结合上述这些粘土矿物的光谱特征,可分析出含 Al-OH 基团矿物(如高岭石、蒙脱石、伊利石)的特征谱段是 $2.16 \sim 2.24 \mu\text{m}$,含 Mg-OH 基团矿物(如绿泥石)的特征谱段是 $2.30 \sim 2.40 \mu\text{m}$ ^[12]。根据以上特征谱段,我们研究的目标数据是 B180~B224,共 45 个谱段,其对应的谱段范围为 $1.951 \sim 2.395 \mu\text{m}$ 。特征提取时保留前 5 个主成分作为特征图像,用于后续分类过程。

在完成分类之后,我们对 8 景天然气蚀异常区分类图进行了几何校正及镶嵌处理,以同一经纬

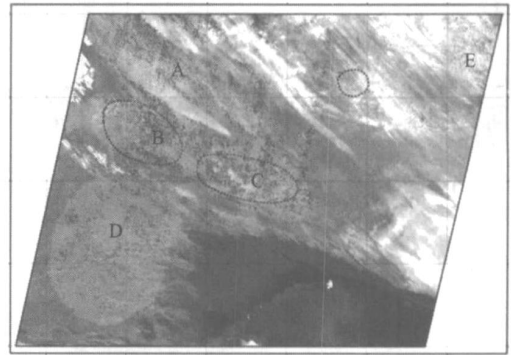


图7 x地区天然气特征区分类图

Fig 7 Nature gas classification map of x region

度的 ASTER 数据为底图,输出完整的 x 地区天然气蚀异常区分类图,如图 7 所示(红点即为天然气特征点,用浅蓝色标识出蚀异常区,分别用字母表示)。

4.2 地质解译

工作区主要为第四系内部构造。该区已有 2 个探明气田,储量较大,即一号、二号气田(图 7 中蓝圈所示),它们属于背斜式构造,目前已在进行天然气的钻井开采工作。从图 7 可观察到,特征点在 B、C 区域密度很大,与已在进行生产的一号、二号气田吻合得非常好。

在图 7 的西北角有蚀异常区 A 显示。分析地质资料,可发现此位置是属于构造岩性异常体,储量较一号、二号气田小。西南角也有蚀异常区 D 显示,可用第四系沉积相来解释。地质资料表明,南部区域属于第四系浅-较深湖相,是生气区。西南角从新第三纪开始就已是生气区,南部从第四纪开始才为生气区,故而西南角相对密集。

蚀异常区 E 目前没有准确的地质资料,所以无法对其进行准确分析,需要后期采用地震、物化探测等其他勘探手段去验证。

该地区所得到的地物分类结果,与本研究开展的地面同步测量及其他地质资料(包括付出极高的经济、人力、时间代价所获得的地震法等地质结构分析资料)具有很高的复合程度,表现了十分优良的分类精度;后期根据综合结果在该地区若干钻井,均有天然气发现,说明此方法对资源勘探起到了重要的作用,在经济性、有效性、快速性、大面积普查可能性等方面具有突出的优势,未来有巨大的发展空间。

5 总结

(下转 223 页)

波学报), 2006, 25(4): 284.

- [5] LI Xin-Sheng Urban ecological environmental quality estimation of Tie-ling city[J]. Chinese Journal of Ecology(李新生. 铁岭市城市生态环境质量评价. 生态学杂志), 1993, 12(3): 59—62
- [6] GONG Cai-Lan, YN Qiu, KUANG Ding-Bo. Remote sensing information extraction of urban environment[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (巩彩兰, 尹球, 匡定波. 城市生态环境基础状况遥感信息提取研究——以上海市中心城区为例. 红外与毫米波学报), 2007, 26(6): 441—448
- [7] YE Wen-Hu, LUAN Sheng-Ji. *Environment quality estimation study*[M]. Bei Jing: Superior Education Publishing Compa-

ny(叶文虎, 栾胜基. 环境质量评价学. 北京: 高等教育出版社), 1994: 111—150

- [8] HAO Hong-Wei, et al The simple discussion on the highway engineering with the Delphi estimation method [J]. *Technology & Economy in Areas of Communications* (郝红卫等. 浅论公路工程特尔菲评标法. 交通科技与经济), 2002, 16(4): 10—11.
- [9] SU Jun-He. *Probability and symbolic Stat*[M]. Shanghai: Shanghai University of Finance & Economics Publishing Company(苏均和. 概率论与数理统计. 上海: 上海财经大学出版社), 1999: 20—25

(上接 213页)

运用上述特征提取及分类系统, 利用 Hyperion 高光谱数据, 基本实现了 ××地区天然气蚀变异常区的分类. 根据该地区的地质资料可知, 具有异常显示的区域与该地区气藏形成条件相吻合. 文中采用的基于小波 PCA 的特征提取方法, 有效地提取了该地区地表微弱的天然气蚀变特征. 在分类时, 文中采用的非监督/监督分类混合训练策略, 有效地将干扰地物区分开, 实现了天然气蚀变异常区的聚类.

油气勘探历来是一门地球物理、地球化学、石油地质学等学科综合应用的科学. 高光谱遥感作为一项新世纪以来逐渐走向实用的新技术, 可以在众多业已成熟的油气勘探技术中, 作为新的一员, 充分发挥自己的能量.

REFERENCES

- [1] Heather Freeman. Evaluation of the use of hyperspectral imagery for identification of microseeps near Santa Barbara, California[J]. *Project Report for Master of Science in Geology West Virginia University*. 2003, 9.
- [2] Horig B, Kuhn F, Oschutz F, et al. Hymap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons[J]. *International Journal of Remote Sensing*. 2001, 22(8): 1413—1422
- [3] Cloutis E A. Spectral reflectance properties of hydrocarbons: remote sensing implications[J]. *SCIENCE*. 1989, 245: 165—168
- [4] Alexander F H Goetz. Imaging spectrometry for earth remote sensing[J]. *SCIENCE*. 1985, 228: 147—1153
- [5] Roger McCoy, Jason Blake Kathryn Andrews. Detecting hydrocarbon microseepage using hydrocarbon absorption bands

of reflectance spectra of surface soils[J]. *Oil & Gas Journal* 2001, 5.

- [6] Wang Yunpeng, Ding Xuan. Hydrocarbon alteration characteristics and remote sensing mechanism of surface soil in East Sichuan[J]. *GeoChemica* (王云鹏, 丁暄. 川东某地地表土壤烃类蚀变特征及遥感机理研究. 地球化学), 1999, 28(4): 381—392
- [7] Richard Beck. EO-1 User Guide V. 2.3. <http://eo1.usgs.gov>. 2005. 11—2006. 5.
- [8] White H P, Khurshid K S, Hitchcock R, et al. From at-sensor observation to at-surface reflectance-calibration steps for earth observation hyperspectral sensors[J]. *IEEE* 2004, 5: 3241—3244
- [9] Shen Yuanting. *Study on Hyperspectral Remote Sensing Image Processing Technology for Petroleum Exploration* [D]. Dissertation for Master's Degree (沈渊婷. 油气勘探高光谱遥感图像处理技术的研究. 硕士学位论文. 北京: 北京理工大学). 2006
- [10] WANG Qiang, SHU Jiong, YN-Qiu. DSGF method on detecting and removing spectral noise of hyperspectral image [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (王强, 束炯, 尹球. 高光谱图像光谱域噪声检测与去除的 DSGF 方法. 红外与毫米波学报), 2006, 25(1): 29—32
- [11] MA Yan-Hua, WANG Jian-Yu, MA De-Min, et al. New vector filter based on background detection used in spectral image[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (马艳华, 王建宇, 马德敏, 等. 一种用于光谱图像的基于邻域背景检测的矢量滤波器. 红外与毫米波学报), 2006, 25(2): 157—160
- [12] Gan Fuping, Wang Runsheng, Ma Ainai. Spectral identification (sit) for mineral extraction based on spectral characteristics of mineral[J]. *Earth Science Frontiers* (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. 地学前缘), 2003, 10(2): 445—454