

综 述

地球科学

# 高光谱在油气勘探中的国内外研究现状

杨燕杰 赵英俊

(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)

**摘 要** 随着科技的发展, 遥感在油气勘探的作用越来越大。高光谱作为遥感发展的最新手段, 自然也受到油气勘探领域的重视。高光谱遥感具有快速, 经济, 精确的特点。通过高光谱探测油气渗漏和其引起的地表矿物蚀变、植被变化的范围, 进而确定油气勘探的区域。高光谱在油气勘探领域的应用实例相对较少, 在数据和处理方法上还存在很多不足; 比如现有的卫星高光谱数据覆盖范围有限(空间分辨率也较低), 数据处理方法大多是原有的多光谱数据处理方法, 针对高光谱数据在油气勘探中的处理方法不多。随着高光谱遥感仪器精度的提高和数据处理方法的改进, 高光谱遥感必将为油气勘探提供新的机遇。

**关键词** 油气勘探 高光谱 研究现状

中图分类号 P622.2 文献标志码 B

20 世纪 90 年代前通过对多光谱影像进行图像增强<sup>[1-3]</sup>、波段比值<sup>[4-6]</sup>、图像变换<sup>[7]</sup>等处理, 揭示和探测由油气微渗漏引起的色调异常, 填绘油气微渗漏分布区域, 进行油气远景评价<sup>[8-10]</sup>。由于多光谱遥感受光谱分辨率的限制, 多光谱遥感油气渗漏信息探测的不确定性较大<sup>[11]</sup>。随着高光谱遥感传感器的研制成功及遥感信息处理方法的发展, 我们可以获得更加丰富的空间影像信息资源。高光谱使遥感地质由识别岩性发展到识别单矿物以至矿物的化学成分及晶体结构<sup>[12]</sup>, 可以识别几十种矿物<sup>[13]</sup>, 其中大部分是蚀变矿物。这些对圈定矿化蚀变带<sup>[14]</sup>, 分析蚀变矿物组合<sup>[15]</sup>和蚀变相<sup>[16]</sup>, 定量或半定量估计相对蚀变强度和蚀变矿物含量<sup>[17]</sup>, 追索矿化热液蚀变中心和圈定找矿靶区<sup>[18-20]</sup>, 都有很重要的作用。使用中—热红外波段可识别包括造岩矿物和矿石矿物在内的绝大多数的矿物类型<sup>[21, 22]</sup>。高光谱遥感还可探测一些蚀变矿物和一

些造岩矿物的成分<sup>[23]</sup>及结构特征<sup>[24]</sup>, 用以分析成矿成岩作用的温压条件<sup>[25]</sup>、热动力过程<sup>[26]</sup>和热液运移的时空演化<sup>[27]</sup>、恢复成岩成矿历史<sup>[28]</sup>、建立不同矿床的成矿模型和找矿模型<sup>[29-31]</sup>。高光谱矿物识别技术在土壤土质调查<sup>[32, 33]</sup>、土质退化(沙漠化和盐碱化)监测<sup>[34]</sup>、矿山环境监测<sup>[35-37]</sup>等领域也都发挥了重要作用。高光谱技术是支撑我国战略矿产调查重要高新技术之一<sup>[38, 39]</sup>。利用高光谱遥感直接找油主要是利用遥感影像信息提取等技术挖掘出遥感影像的烃类微渗漏信息, 圈定或预测有利的油气勘探靶区。高光谱遥感具有经济、安全及高效率等方面的优势, 在油气勘探方面有很大的应用潜力。

## 1 国内外研究现状

随着科学技术的发展和寻找复杂油气藏的需要, 早期仅靠地面油气显示来勘探油气藏的方法已逐步被其他方法所代替, 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。现在大部分应

用到油气勘探中的遥感数据为多光谱数据,高光谱数据在油气勘探中的应用实例相对较少,而高光谱遥感技术的发展,能把遥感的油气勘探应用推向更高、更有效、量化的应用层次。

### 1.1 国外研究现状

美国<sup>[40]</sup>、德国<sup>[41]</sup>、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。Singhroy等<sup>[42]</sup>采用荧光阵列成像仪(光谱范围(430—850) nm, 288通道)研究了密西根Stoney Point油田区植被的状况,揭示了与油气微渗漏导致的植被光谱的改变。Crawford<sup>[43]</sup>(1999)利用RS光谱测量了俄勒冈州Mist气田区的Douglas杉树的光谱,研究了天然气渗漏导致的光谱异常特征。2000年以来,国外利用ASD等野外和Hymap, AVIRIS等航空高光谱传感器进行油气勘探,出现了较为成功的应用案例<sup>[44]</sup>。M Ellis(2001)等<sup>[45]</sup>建立了油气渗漏和油气渗漏区土壤的光谱库,为其他地质研究提供了依据。美国加利福尼亚南部圣巴拉地区,利用成熟的高光谱数据处理技术,确定了由于油气渗漏造成的植被异常区的范围<sup>[46]</sup>。VanderMeer等<sup>[47]</sup>在对基于遥感的油气微渗漏方法综述的基础上,提出了综合高光谱数据及相关的地质、地球化学数据。运用相关的决策方法提取了可能的油气微渗漏信息,并进行了实际验证。Noomen(2003)等<sup>[48]</sup>通过室内实验、野外光谱测量和对高光谱图像(Probe-1)的分析,研究了油气微渗漏对植被光谱的影响,目的在于通过认识植被的异常来发现新的油气资源。此外,高光谱遥感方法也被应用于油砂中油含量的探测,用于辅助油砂中油的提炼,在加拿大阿尔伯塔省已被采用。Marleen F. Noomen(2007)通过研究油气渗漏对地表植被(小麦和玉米)在高光谱反射波段的变化,从高光谱影像(HYMAP)上提取地表油气渗漏异常信息,这对油气管道的监测和油气资源的勘探具有较好的效果<sup>[49]</sup>。2008年美国的Shuhab D. Khan和Sarah Jacobson验证了岩石与土壤中的矿物蚀变与油田的烃微渗漏有关。他们应用Hyperion传感器在怀俄明州的Patrick Draw地区获取与烃微渗漏有关的异常

区域的高光谱影像。通过影像的监督分类解译出烃微渗漏区,通过应用矿物、化学与碳同位素方法进行验证,解译结果精度较高。X射线衍射结果显示异常区的长石成分减少,且含有较高的黏土成分<sup>[50]</sup>。

### 1.2 国内研究现状

中国20世纪90年代末,中国科学院开展了高光谱传感器的研制、开发了有自主知识产权的OMIS高光谱扫描仪,在中国石油一些油田开展了试验性的研究。赵欣梅(2007)系统地研究归纳了烃类物质微渗漏现象以及由此引起的地表蚀变,从微渗漏地表土壤及岩石地球化学异常、地表土壤吸附烃异常、地植物异常、地热异常等几个方面寻求遥感指示标志。充分利用卫星高光谱成像遥感数据具有的光谱细分特性,在已知油气区确定了与烃类微渗漏相关的蚀变矿物组合信息,并作为气区探测的遥感解译组合标志,进一步分析确定了新的油气勘探远景区<sup>[51]</sup>。徐大琦(2007)等提出了典型含气区测点的光谱曲线的宏观特征;给出了一种基于野外测量的反射光谱来确定特定蚀变的地表分布(即分类)的方法。将此方法应用于青海某地区野外测量的反射光谱的分析中,得到的蚀变异常区与该地区的已有气田成功吻合,成功圈出了测区内的3个较大含气区<sup>[52]</sup>。沈渊婷,王向成(2007)等对柴达木地区涩北气田地质地理环境下的蚀变矿物进行分析,结合卫星高光谱遥感数据Hyperion的图谱,对已知气田区与背景区光谱特征进行相关分析,确定了油气信息识别的有利波长范围;利用光谱角制图(SAM)技术提取了涩北气田油气的空间分布信息和台吉乃尔含气构造等远景区,为高光谱遥感油气勘探提供了有效技术与途径<sup>[53]</sup>。田淑芳等(2007)等以内蒙古东胜为研究区,以油气微渗漏理论为基础,以目前世界上星载传感器中光谱分辨率最高的EO-1卫星Hyperion数据为信息源,在对数据预处理(光谱重建、噪声消除、波段优选)的基础上,利用蚀变矿物的诊断性吸收特征谱带,结合野外实测波谱曲线,采用波段比值来分离提取含铀矿物及地层空间分布信息,进而确定油气微渗漏的空

间位置分布。从遥感的角度得出了研究区的4个油气微渗漏富集区。为东胜地区的油气资源开发提供了理论依据<sup>[54]</sup>。倪国强等(2008)等利用 Hyperion 高光谱数据,基本实现了中国某地区天然气蚀变异常区的分类:根据该地区的地质资料,具有异常显示的区域与该地区气藏形成条件相吻合。利用小波 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。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<sup>[55]</sup>。高光谱数据也被应用于海上油气资源的勘查中。海底的油气渗漏可在海洋表面形成油膜,可用遥感的方法(包括高光谱遥感)来探测<sup>[56]</sup>。田庆久 2006年9月和2007年8月通过辽东湾海上野外光谱实验及样品采集分析、多次实验室油膜光谱模拟实验与分析,针对 EO-1 卫星高光谱遥感 HYPERION 数据特点进行了波段选择和海面薄油膜和厚油膜检测模式的建立。核工业北京地质研究院在2010年对庆阳地区利用高分辨率航空成像光谱仪 CASI/SASI 进行了油气勘探的探索性研究,取得了阶段性的成果,为高分辨、高光谱影像在油气勘探中的研究提取了范例。

利用遥感技术提取油气微渗漏信息,是一种非侵入式技术,具有经济、安全及高效等方面的优势,有很大的应用潜力<sup>[57-58]</sup>。高光谱遥感技术具有较高的光谱分辨率和不间断的光谱覆盖,提供了丰富的地面信息,优化了岩矿识别与提取条件,增强了遥感对地探测能力和对地物的鉴别能力,提高了遥感技术的定量化水平。将高光谱遥感技术用于油气微渗漏信息的提取具有重要的意义。

## 2 油气渗漏理论

赋存于地下的油气藏在一定条件下可向地表渗漏,在地表形成一些特定的现象,这些现象可为油气勘探提供有用的线索。油气的地表渗漏包括2种类型:宏观渗漏(macroseepage)和微渗漏(microseepage)。宏观渗漏是地表可见的油气渗漏<sup>[59]</sup>,用常规的方法(如地表观测)就可以直接发现,通常沿

断裂带或不整合面发育。微渗漏是烃类物质垂直或近于垂直渗漏到地表,是肉眼不可见的油气渗漏,常规的方法难以发现,其存在的直接证据就是在某些油气藏上方进行常规地球化学测量时,发现土壤气体和土壤中轻的烃类物质的异常<sup>[47]</sup>。微渗漏的烃类在向地表运移过程中,必然引起油气藏上方的物质的变异,产生某些理化异常,即土壤烃组分含量异常和烃类蚀变物异常<sup>[60]</sup>。

常见的油气微渗漏引起的地表异常包括:① 红层的退色,油气微渗漏产生的还原环境使  $Fe^{3+}$  向  $Fe^{2+}$  转化,导致土壤或岩石中  $Fe^{2+}$  的富集;④ 黏土矿化(黏土矿物的富集),即混层黏土矿物和长石向高岭石的转化,长石向黏土矿物(高岭石、伊利石、绿泥石)转化;④ 碳酸盐化,即碳酸盐矿物含量的增多;¼ 植被异常;½ 某些地温异常等<sup>[56]</sup>。

常规方法很难发现油气微渗漏引起的地表异常(如土壤岩石蚀变和植被异常),而遥感则提供了快速、有效的手段来探测地表土壤、岩石和植被的异常,因此被应用于油气微渗漏的探测<sup>[61-63]</sup>,为油气勘探提供有益的线索。油气田的乙烷渗漏是甲烷的1000倍,因此在直接探测地表油气渗漏时以探测乙烷为主<sup>[64]</sup>。早期的油气微渗漏遥感探测研究多采用宽波段的图像数据,如 LANDSAT TM 数据,来提取有关的蚀变信息,并在一些已知的油气区获得了成功。但宽波段的遥感数据由于其有限的光谱和空间分辨率,在探测油气微渗漏方面有很大的局限性,如 Landsat TM 数据仅有2个短波红外波段(第5和7波段),难以进一步区分一些与油气微渗漏有关的蚀变,如碳酸盐化和黏土化。近年来,高光谱数据被应用于探测微渗漏研究<sup>[42,65]</sup>,一些石油公司也采用了相关的技术。烃类物质<sup>[66,67]</sup>和蚀变矿物<sup>[68]</sup>的诊断性光谱吸收特征分别构成了反射光谱勘探油气的直接和间接证据。

## 3 油气勘探的光谱常用光谱曲线

常用的高光谱探测波长区间一般为(0.4—2.5)  $\mu m$ 。关于油气微渗漏理论, Saunders 做了精辟的总结<sup>[69]</sup>:非常小的轻烃分子快速、垂直地上升,

进入土壤空隙中, 部分被细菌分解, 生成  $H_2S$ 、 $CO_2$ , 在地下水中的  $CO_2$  形成  $H_2CO_3$ ,  $H_2CO_3$  与黏土矿物反应生成更多的  $CaCO_3$ , 从而引起了地表物质的坚硬和难于侵蚀。在  $H_2S$  制造的还原环境中钾长石、斜长石被还原为黏土矿物, 同时三价铁被还原为二价铁。由此, 烃类物质和蚀变矿物的诊断性光谱吸收特征分别构成了反射光谱勘探油气的直接和间接证据。

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  $\mu m$  处, 存在一系列吸收谷, 特别在 (2.30—2.36)  $\mu m$  处是一个双峰式强吸收谷<sup>[70]</sup> (如图 1 所示)。黏土矿物, 如高岭土、绿泥石、蒙脱石等, 波谱特征表现在 1.422  $\mu m$  和 2.35  $\mu m$  附近 (如图 2 所示); 碳酸盐的特征谱带在 2.35  $\mu m$  和 2.55  $\mu m$  附近<sup>[71]</sup> (如图 3 所示)。黏土矿物在 2.2  $\mu m$  处表现为较强的羟基基团的吸收特征, 在短波红外波段 (2.0—2.5)  $\mu m$  处较硅酸盐、碳酸盐呈底反射率。通常情况下, 土壤和岩石有机质含量增高, 还原性增强, 部分  $Fe^{3+}$  会转化为  $Fe^{2+}$ , 使土壤和岩石漂白和红层褪色。含  $Fe$  矿物 (如辉石、橄榄石、黄铁矿和绿泥石等) 在 (0.8—1.1)  $\mu m$  存在较强的吸收, 它是  $Fe^{2+}$  晶格场吸收所致<sup>[72]</sup>。三价铁离子的特征吸收位置, 主要在 (0.87—0.9)  $\mu m$  (图 4)。二价铁离子特征吸收位置主要在 (1.0—1.3)  $\mu m$  之间 (图 5)<sup>[54]</sup>。(2.27—2.46)  $\mu m$  为油气藏遥感探测有效窗口<sup>[73]</sup>。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。

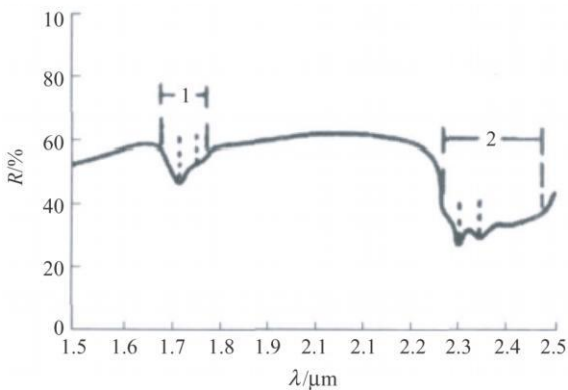


图 1 原油波谱曲线

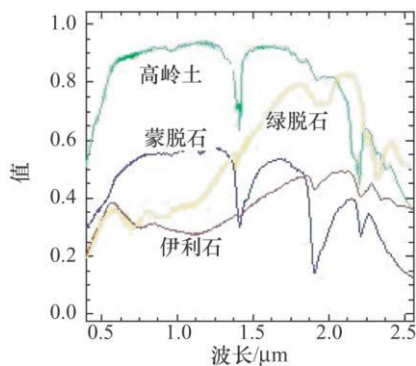


图 2 黏土矿物光谱曲线

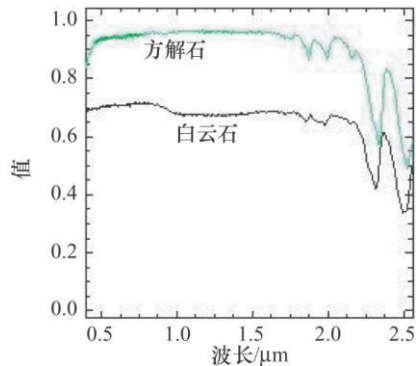


图 3 碳酸盐矿物光谱曲线

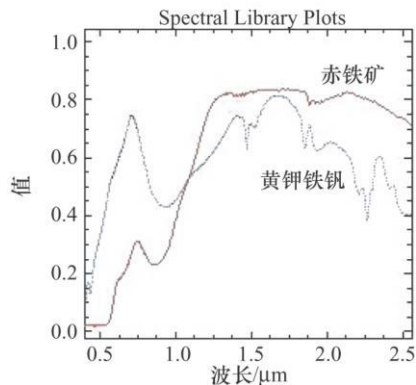


图 4 含三价铁的矿物的光谱曲线 (源自 USGS 光谱库)

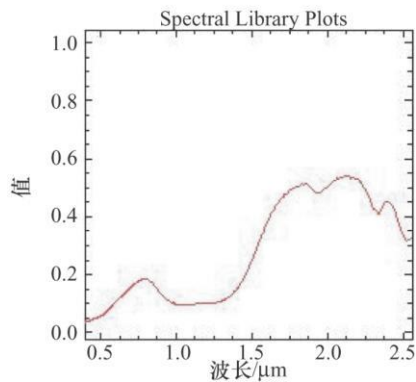


图 5 含二价铁的矿物菱铁矿的光谱曲线 (源自 USGS 光谱库)

## 4 技术方法

Singhroy<sup>[74]</sup>、Segal<sup>[75]</sup>、Carter<sup>[76]</sup>等的研究表明, 烃类微渗漏造成的地表化学环境变化会引起土壤、岩石和植物光谱特性的变化。可以通过高光谱遥感影像对这些特征的进行信息提取, 为油气勘探提供技术支持。以下是几种高光谱在油气勘探的应用方法。

### 4.1 利用地表土壤的反射光谱勘探油气的方法<sup>[52]</sup>

反射光谱学 (Reflectance spectroscopy) 就是基于某个波长区域电磁波与物质的相互作用来分析物质的一种技术。利用地表土壤的反射光谱进行油气勘探是建立在反射光谱学和油气微渗漏理论的基础上的一种方法。运用反射光谱学原理, 根据物质的诊断性光谱吸收特征 (如图 1), 可以鉴别物质成分和结构。

以反射光谱学和油气微渗漏理论为基础, 结合野外采集样品的检测报告, 对于某地区地面测量的光谱进行分析, 从而提出了典型含气区测点的光谱曲线的宏观特征; 然后, 完成反射光谱中的吸收特征的提取, 包括吸收波段深度、位置、宽度和对称度, 以此分析测区采集的样品的光谱, 建立特征光谱库; 提出了检测地表烃类物质的方法; 最后基于线性解混模型, 综合应用基于小波变换的 PCA、 $k$  均值聚类、SAM 等数学工具, 将光谱数据分类, 实现半定量地提取测区主要蚀变矿物的丰度信息。

### 4.2 通过植被异常提取油气渗漏信息<sup>[49]</sup>

土壤中天然气的异常是由于地下油气管道或天然气油气渗漏造成的。土壤中的天然气影响植被

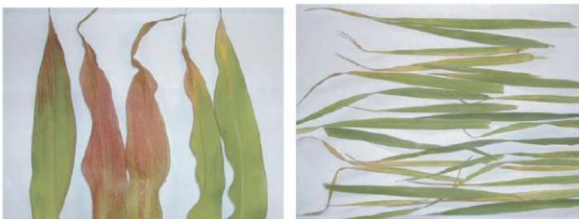


图 6 油气渗漏 30天造成的地表米玉 (左) 和小麦 (右) 的叶片颜色变化

的生长 (图 6), 而植被的生长状况可以通过光谱反射曲线来监测。大量的油气渗漏可以使植被的叶绿素减少。油气渗漏使植被的光谱发生变化, 包括红色到热红外波段 (红边) 的反射率的突然上升, 坡度, 拐点和高度的变化。这些可以用来区分几种重要的植被特征。通过植被的光谱曲线来确定植被的种属, 然后在确定同种植物不同地区之间光谱曲线的差别, 以此来确定由于油气渗漏造成的植被异常区<sup>[46]</sup>。如果土壤中的  $\text{CO}_2$  含量达到 50% 时, 在 1400 nm 和 1900 nm 处的水分光谱曲线显示叶片中的水分含量减少 (图 8)。但  $\text{CO}_2$  含量高对植被危害不大, 造成植被光谱变化的主要原因是因为缺氧。油气渗漏时进入土壤中的大量甲烷、乙烷使土壤的氧气大量减少。乙烷使玉米的反射光谱在 580 nm 处的反射率增长 (图 7)。对植被指数 NDVI 小于 0.7 的区域, 利用 HYMAP 传感器 R440/R740 对油气渗漏区的探测效果较好。当 NDVI 大于 0.75 时, 利用 HYMAP 传感器 R740/R720 对油气渗漏区的探

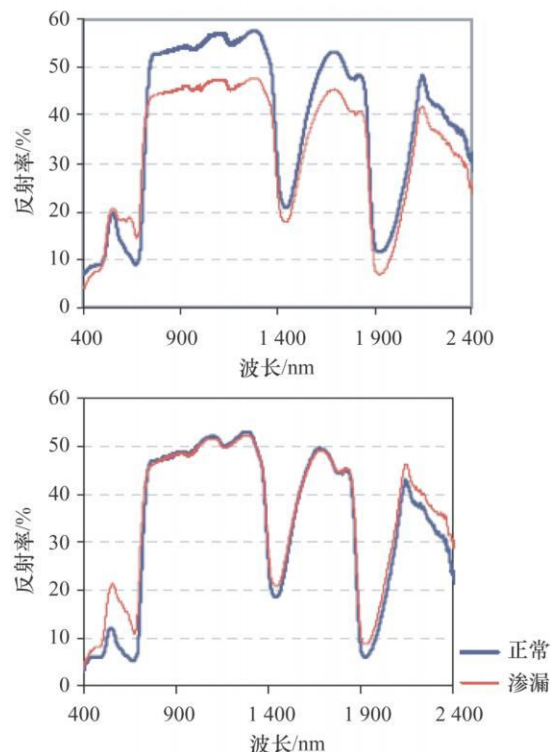


图 7 玉米和小麦在油气渗漏区的 (Gassed) 与正常情况下 (Control) 的光谱曲线对比

测效果较好。最理想的遥感探测植被受油气渗漏的影响波段在可见光和近红外几个比较窄的波段。现有的航空和航天遥感还不能探测空间区域小于 2 m 的油气渗漏区。油气渗漏对植被的影响在图像上具有圆形规律,利用指数或高斯过滤器对提高信息精度有较好的效果。长期的油气渗漏对地表的生物种类也会造成一定的影像,并使土壤中的水分含量减少<sup>[49]</sup>。

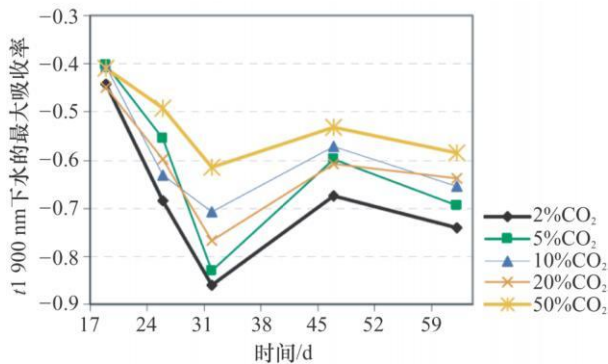


图 8 由不同 CO<sub>2</sub> 含量造成的在 1 900 nm 波段的水的最大光谱吸收特征

另外张昭贵<sup>[77]</sup>等通过对塔里木盆地塔北地区枇杷柴的研究后发现以下特征:

(1) 枇杷柴在油气区与非油气区交界处呈墨绿色,其余地区为青绿色;

(2) 枇杷柴在油气区的波谱反射率明显低于非油气区,其差值可达 20% 以上;

(3) 枇杷柴反射波谱的(左、右)吸收峰深度( $H$ )呈现明显的统计规律。对应 680 nm 波长吸收峰为  $H_{油} \leq H_{非油}$ ; 对应 960 nm 波长吸收峰,在油气区为  $H_{左} \geq H_{右}$ ,非油气区为  $H_{左} \leq H_{右}$ 。

通过对研究区红柳的进一步测试,除了发现其反射波谱特征具有类似的统计规律外,还发现油气区的红柳相对于非油气区在 680 nm 波长处有明显的“蓝移”现象<sup>[78]</sup>。

#### 4.3 油气渗漏区蚀变信息提取方法

蚀变提取主要采取的是比值的方法突出各矿物的蚀变信息,其选取比值波段的原则为:

(1) 首先优先选取质量较好的波段,作为后续处理和运算的波段;

(2) 在可选的特征吸收、高值区,尽量选择能够避开植被及其他矿物影像的位置;

(3) 由于实际情况的不可预知性,因此其比值后所得的范围,与实验室测定波谱比值后的计算值存在一定误差,因此在提取时,适当放宽了通过标准曲线计算出的范围,作为实际提取的范围。

基于以上原则,对黏土矿物选取反射高值 2 135  $\mu\text{m}$  和低值 2 205  $\mu\text{m}$  进行比值处理。其比值后黏土矿物的理论值为 (1 281—1 770)  $\mu\text{m}$ 。三价铁离子选取反射高值 1 285  $\mu\text{m}$  和低值 0 894  $\mu\text{m}$  进行比值处理,则比值应介于 (1 335—2 89)  $\mu\text{m}$  之间。二价铁离子选取反射高值 1 749  $\mu\text{m}$  (波段) 和低值 1 184  $\mu\text{m}$  (波段) 进行比值处理,则比值至少应介于 (1—5)  $\mu\text{m}$  之间。烃类物质选取 1 725  $\mu\text{m}$  的吸收位置和 2 07  $\mu\text{m}$  的高值位置进行计算。在对碳酸根离子蚀变信息时,考虑到碳酸盐矿物特称的光谱特性,其在热红外部分和其他矿物的区别度更大,更有利于其信息的提取<sup>[54]</sup>。

以上油气勘探方法显示,基于高光谱的微渗漏探测主要通过一些间接证据,如植被异常、土壤和岩石蚀变,为油气勘探提供线索。而油气资源的确定还要依靠相关的地质资料<sup>[56]</sup>。

#### 4.4 基于小波 PCA 的油气特征提取与分类方法<sup>[55]</sup>

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,具体流程如图 9 所示。

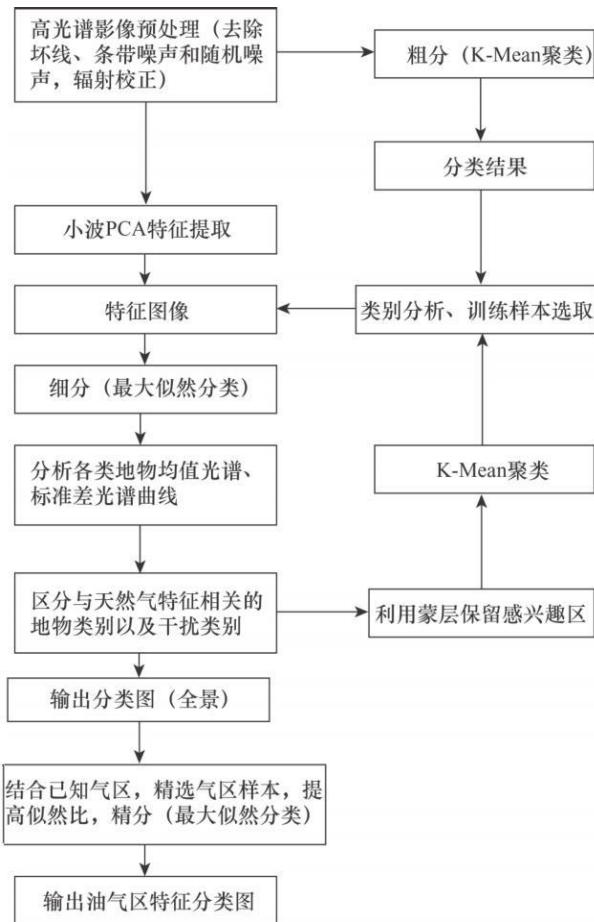


图9 天然气特征区分类系统流程

## 5 结语

将高光谱遥感数据应用于油气微渗漏研究相对较少,其研究方法和技术还有待进一步完善。尽管高光谱图像具有高的光谱分辨率,可以更准确地探测各种不同的蚀变和植被异常,但现有的卫星高光谱数据覆盖范围有限(空间分辨率也较低),广泛应用还存在一定的困难。目前我国高光谱在油气勘探中的应用还存在诸多问题,例如高空间和高波谱分辨率的遥感数据数据缺乏,主要依赖国外<sup>[79]</sup>,无法满足国家经济和社会发展的需求。由于各类卫星遥感、航空遥感的光谱设置、空间分辨率和探测内容各有侧重,因此,要成功应用遥感技术探测微烃渗漏区,必须综合光谱、磁、放射性等多源遥感

方法,同时应结合地面地质调查、地面物化探测量<sup>[80-81]</sup>等,充分利用各自优势,相互补充,相互验证。在未来的油气勘探中,要通过借鉴国外成功经验,集中优势力量,结合大量陆相遥感油气勘探实践,利用现代遥感以其在高空间和高波谱分辨率、视域广、周期短、效率高的优势和特点,将为山地、沙漠和黄土塬等复杂地区,为大面积低丰度的岩性油气藏,为广阔的海洋油气资源勘查,发挥更大的作用。

## 参考文献

- 1 李玲芝,王彦广,范士明,等.主成分变换在油气异常信息提取中的应用.环境遥感,1994;9(1):45-50
- 2 陈伟荣,郭德方,兰玉琦.比值合成和特征主成分选择技术在提取油区信息中的应用.遥感技术与应用,1995;10(1):33-39
- 3 王桂宏,张友焱,岳兵,等.柴达木盆地第四系气田构造遥感信息提取.石油勘探与开发,1998;25(4):7-9
- 4 Segal D B, Merin I S. Successful use of landsat thematic map-per data for mapping hydrocarbon microseepage induce mineralogic alteration Lisbon Valley, Utah. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1989; 55(8): 1137-1145
- 5 PeHa S A, Abdesakim M G. Orbital remote sensing for geological mapping in southern Tunisia. Implication for oil and gas exploration. Journal of African Earth Sciences, 2006; 44: 203-219
- 6 马跃良,何在成.油气烃类蚀变特征及遥感提取机理研究.2004环境遥感学术年会,2004:54-59
- 7 汤国安,张友顺,刘咏梅,等.遥感数字图像处理.北京:科学出版社,2004
- 8 赵欣梅.遥感技术在烃类微渗漏探测中的应用.石油天然气学报,2005;27(3):465-466
- 9 余华琪,齐小平.石油遥感二十年.国土资源遥感,1999(3):16-22
- 10 叶和飞.叶和飞油气地质遥感论文集.北京:地质出版社,2001
- 11 裴伟 A B. 航天遥感信息在地质中的应用.赵振远,徐树宝,刘洪学,等译.北京:石油工业出版社,1997
- 12 Pieters C M. Compositional diversity and stratigraphy of the Lunar crust derived from reflectance spectroscopy, in remote geochemical analysis: elemental and mineralogical composition. Cambridge: Cambridge University Press, 1993: 309-339
- 13 Clark R N, Swayze G A, King T V V. Imaging spectroscopy: earth and planetary remote sensing with the USGS tetracorder and expert systems. Journal of Geophysical Research, 2003; 108(E12): 5131
- 14 Sun Yanyan, Secombe P K, Yang Kai. Application of short-wave

- infrared spectroscopy to define alteration zones associated with the Elura zinc-lead-silver deposit NSW, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 2001; 73 (1): 11—26
- 15 Biewirth P, Huston D, Blawett R. Hyperspectral mapping of mineral assemblages associated with gold mineralization in the Central Pilbara western Australia. *Economic Geology*, 2002; 97: 819—826
- 16 Turner W A, Lamani A, Ruard B. Laboratory reflectance spectra of hydrothermally altered carbonate facies: pine point mining camp, NWT, Canada. *Geological Society of London*, 2003; 3 (4): 369—379
- 17 Mustard J F, Pieters C M. Abundance and distribution of ultramafic microbreccia in Moses rock dike: quantitative application of mapping spectrometer data. *Journal of Geophysical Research*, 1987; 92: 13619—13634
- 18 Hermann W, Blake M, Doyle M. Short wavelength infrared (SWIR) spectral analysis of hydrothermal alteration zones associated with basemetal sulfide deposits at Rosebery and western Tharsis Tasmania and Highway-reward Queensland. *Economic Geology*, 2001; 5(96): 939—955
- 19 Berger B R, King T V V, Month L C. Utility high-altitude infrared spectral data in mineral exploration: application to northern Patagonia mountains. *Arizona Economic Geology*, 2003; 98 (5): 1003—1018
- 20 Bedini E, van der Meer F D, van Ruitenbeek F J A. Use of H<sub>2</sub>O mapping spectrometer data to map mineralogy in the Rodalquilar Caldera, southeast Spain. In: *International Journal of Remote Sensing*, 2009; 2(30): 327—348
- 21 Cooper B L, Salisbury J W, Killen R M. Midinfrared spectral features of rocks and their powders. *J Geophys Res*, 2002; 107 (E4): 5017
- 22 闫柏璐, 王润生, 甘甫平, 等. 热红外遥感岩矿信息提取研究进展. *地球科学进展*, 2005; 20(9): 73—83
- 23 Sunshine J M, Pieters C M, Pratt S F. Deconvolution of mineral absorption bands: an improved approach. *Geophys*, 1990 (95): 6955—6966
- 24 Kruse A, Hauff P L. Identification of illite polytype zoning in disseminated gold deposits using reflectance spectroscopy and X-ray diffraction: potential for mapping with imaging spectrometry. In: *Proceedings IGARSS Vancouver, Canada*, 1989: 965—968
- 25 Duke E F. Near infrared spectra of muscovite: Tschermak substitution and metamorphic reaction progress: implication for remote sensing. *Geology*, 1994; 22(7): 621—624
- 26 Bowen B B, Martini B A, Chan M A, et al. Reflectance spectroscopic mapping of diagenetic heterogeneities and fluid-flow pathways in the Jurassic Navajo Sandstone. *American Assoc Petroleum Geologists Bulletin*, 2007; 91(2): 173—190
- 27 Ruitenbeek F J A, Cudahy T, Hale M, et al. Tracing fluid pathways in fossil hydrothermal systems with near infrared spectroscopy. *Geology*, 2005; 33(7): 597—600
- 28 Cunningham C G, Rye R O, Rockwell B W, et al. Supergene destruction of a hydrothermal replacement alunite deposit at Big Rock Candy Mountain, Utah. *Mineralogy, spectroscopic remote sensing, stable isotope, and argon-age evidences. Chemical Geology*, 2005; 215: 317—338
- 29 Brown A J, Cudahy T J, Walter M R. Hydrothermal alteration at the panorama formation North Pole dome, Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Research*, 2006; 151(3—4): 211—223
- 30 Yang K, Browne P L, Huntington J F, et al. Characterising the hydrothermal alteration of the Broadlands-Ohaaki geothermal system, New Zealand using shortwave infrared spectroscopy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2001; 106: 53—65
- 31 Gates L W, Bishop J L, Makarowicz H D, et al. Presence of beidellites on the Martian surface. 21st Australian Clay Minerals Conference, Brisbane, August 2010: 19—22
- 32 Lagacherie P, Banet F, Feret J B, et al. Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field and airborne hyperspectral measurements. *Remote Sensing of Environment*, 2008; 112(3): 825—835
- 33 Gomez C, Lagacherie P, Coubrum A G. Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements. *Geoderma*, 2008; 148: 141—148
- 34 Weng Y L, Gong P, Zhu Z L. Reflectance spectroscopy for the assessment of salt content in soils of the Yellow River Delta of China. *International Journal of Remote Sensing*, 2008; 29(19): 5511—5531
- 35 Choe E, van der Meer F D, van Ruitenbeek F J A, et al. Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: a case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain. *Remote Sensing of Environment*, 2008; 112(7): 3222—3233
- 36 Crowley J K, Williams D E, Hammstrom J M, et al. Spectral reflectance properties (0.4—2.5 μm) of secondary Fe-oxide, Fe-hydroxide, and Fe-sulfate-hydrate minerals associated with sulfide-bearing mine wastes. *Geochemistry Exploration, Environment*, 2003; 3: 219—228
- 37 Crowley J K, Hubbard B E, Mars J C. Analysis of potential debris flow source areas on Mount Shasta, California, by using airborne and satellite remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 2003; 87(2—3): 345—358



- 38 国土资源部. 卫星遥感为国土资源管理助力. <http://scitech.people.com.cn/GB/25509/55912/106631/106639/6841762.html> 2008
- 39 王润生, 甘甫平, 闫柏琨, 等. 高光谱矿物填图技术与应用研究. 国土资源遥感, 2010 1(83): 1—13
- 40 Freeman H. Evaluation of the use of hyperspectral imagery for identification of micro seeps near Santa Barbara, California. Project Report for Master of Science in Geology West Virginia University, 2003
- 41 Horig B, Kuhn F, Oesch F, *et al*. Hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons. International Journal of Remote Sensing 2001; 22(8): 1413—1422
- 42 Singhroy V H, Stanbr-G ray R, Springer J. Spectral geobotanical investigation of mineralized till sites. Proceedings of the 5th Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology. Reno Nevada September 29-October 2, 1986: 523—544
- 43 Clark R N. Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. Manual of Remote Sensing. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999
- 44 Ellis J, Davis H H, Zamudio J A. Oil and Gas Journal 2001; 99(37): 49. Horig B, Kuhn F, Oesch F, *et al*. International Journal of Remote Sensing 2001; 22(8): 1413
- 45 Ellis JM, Davis H H, Zamudio A. Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging. Oil and Gas Journal 2001; 99(37): 49—58
- 46 Dr Everett J R, Staskowski R, Jengo C. Remote sensing and GIS enable future exploration success. Worldoil 2002; 223(11): 59—65
- 47 Van der Meer Van Dijk P, Van der Werff H, *et al*. Remote sensing and petroleum seepage: a review and case study. Terra Nova 2002; 14: 1—17
- 48 Nomen M F, Skidmore A K, Van der Meer F D. Detecting the influence of gas seepage on vegetation, using hyperspectral remote sensing. Proceedings of 3rd EARS&L Workshop on Imaging Spectroscopy, 2003: 252—256
- 49 Nomen M F. Hyperspectral reflectance of vegetation of vegetation affected by underground hydrocarbon gas seepage. Enschede, the Netherlands. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation, 2007
- 50 Khan S D, Jacobson S. Remote sensing and geochemistry for detecting hydrocarbon microseepages. Geological Society of America 2008; 120(1—2): 96—105
- 51 赵欣梅. 基于烃类微渗漏理论的高光谱遥感油气异常探测方法研究. 北京: 中国地质大学(北京), 2007
- 52 徐大琦. 基于反射光谱吸收特征勘探天然气的方法研究. 光谱学与光谱分析, 2007 27(11): 2150—2154
- 53 王向成, 田庆久, 管仲. 基于 Hyperion 影像的涩北气田油气信息提取. 国土资源遥感, 2007; 1(71): 36—40
- 54 田淑芳, 陈建平, 周密. 基于航天高光谱遥感的内蒙古东胜地区油气微渗漏信息提取研究. 第 16 届全国遥感技术学术交流会论文集. 北京: 地质出版社, 2007
- 55 沈渊婷, 倪国强, 徐大琦, 等. 利用 Hyperion 短波红外高光谱数据勘探天然气的研究. 红外与毫米波学报, 2008; 27(3): 210—213, 223
- 56 李志忠, 杨日红, 党福星, 等. 高光谱遥感卫星技术及其地质应用. 地质通报, 2009; 28(2~3): 270—277
- 57 魏俊超. 油气资源遥感研究进展. 遥感技术与应用, 1997; 12(2): 49—52
- 58 Baugh W M, Kuse F A, William W, *et al*. Quantitative Geochemical analysis of ammonium minerals in southern cedar mountains Nevada using the airborne visible/infrared imaging spectrometer AVIRIS. Remote Sens Environ, 1998; 65: 292—308
- 59 Tedesco S A. Surface geochemistry in petroleum exploration. New York: Chapman and Hall, 1995
- 60 中官生. 遥感技术在油气勘探中的应用. 勘探地球物理进展, 2004 27(2): 99—103
- 61 Patton K H, Manwaring M S. Evaluation of a Landsat-derived tonal analysis for hydrocarbon microseepage, southwest Kansas. Proceedings of the Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology, Colorado Springs USA, 1984 (Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan), 1984: 441—450
- 62 Simpson C J, Wilford J R, Macias L F, *et al*. Satellite detection of natural hydrocarbon seepage: palm valley gas field and eads basin, central Australia. The APEA Journal 1989; 29: 196—211
- 63 Segal D B, Merin I S. Successful use of Landsat thematic mapper data for mapping hydrocarbon microseepage-induced mineralogic alteration. Lisbon Valley, Utah. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 1989; 55: 1137—1145
- 64 Biegert Ed K. EGM 2007 International Workshop. Innovation in EM, Grav and Mag methods: a new Perspective for Exploration. Capri, Italy, 2007; 3: 15—18
- 65 Yang H, Zhang J, Van der Meer F, *et al*. Imaging spectrometry data correlated to hydrocarbon microseepage. International Journal of Remote Sensing 2000; 21: 197—210
- 66 何谋春, 吕新彪, 刘艳荣. 激光拉曼光谱在油气勘探中的应用研究初探. 光谱学与光谱分析, 2004 24(11): 1363—1366
- 67 McCoy R M, Blake J G, Andrews K L. Detecting hydrocarbon microseepage using hydrocarbon absorption bands of reflectance spectra of surface soils. Oil and Gas Journal 2001; 99(22): 40—45
- 68 Schumacher D E. Hydrocarbon migration and its near surface effects. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 1996; 66: 157—168

- 69 Saunders D F, Burson K R, Branch J F, *et al*. New method of aerial and surface radiometric prospecting for oil and gas. *Oil and Gas Journal* 1993; 91(38): 104—109
- 70 McCoy R M, Blake J G, Andrews K L. Detecting hydrocarbon microseepage using hydrocarbon absorption bands of reflectance spectra of surface soils. *Oil and Gas Journal* 2001; 99(22): 40—45
- 71 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
- 72 Clark R N. Chapter 8 Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. *Remote Sensing (Vol. 13)—Remote Sensing for the Earth Sciences*. New York: John Wiley and Sons, 1999: 3—58
- 73 朱振海. 红外遥感油气资源勘探. 技术及其有效性评估. *环境遥感*, 1993; 8(2): 83—93
- 74 Singhroy V, Fischer J, Trevaill R, *et al*. Interpretation of ground and airborne spectral data related to hydrocarbon microseepages at the Willey Field, Southwestern Ontario, Canada. *Proceedings of the Sixth Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, 1988: 2—487
- 75 Segal D B, Merin I S. Successful use of Landsat thematic mapper data for mapping hydrocarbon microseepage induced mineralogic alteration, Lisbon Valley, Utah. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 1989; 55(8): 1137—1145
- 76 Carter J S, Koger D G. Successful applications of remotely sensed data for oil and gas exploration. *Proceedings of the Sixth Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, 1988: 1—25
- 77 张昭贵, 丁树柏, 郭祖军. 塔北地区植被波谱特征研究与遥感图像油气信息提取. *石油勘探与开发*, 1997; 24(1): 69—72
- 78 袁崇谦, 周建勋. 卫星技术在油气勘探中的应用. *海相油气地质*, 2010; 15(2): 69—75
- 79 王润生. 遥感地质技术发展的战略思考. *国土资源遥感*, 2008(1): 1—12
- 80 王桂宏, 马力宁, 夏响华, 等. 柴达木盆地第四系气田遥感综合勘探研究. *石油勘探与开发*, 2005; 32(5): 59—61
- 81 朱亮璞. *遥感地质学*. 北京: 地质出版社, 1994

## The Hyperspectral Research Status at Home and Abroad in the Oil Exploration

YANG Yan-jie, ZHAO Ying-jun

(National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis

Technique—Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, P. R. China)

**[Abstract]** As the development of the technology, the RS play a more important role in the oil exploration. The hyperspectral was the new technology of RS, so it got more attention in the oil exploration. The hyperspectral remote sensing characterized with high-speed, cheap, accurateness. There were little oil exploration examples which use hyperspectral. And there were lot of deficiencies in the data and process method. For example, the cover area of the hyperspectral satellite is limited (and the spatial resolution is small), a lot of the process methods in the hyperspectral which was use formula+spectral processes, there were little process methods for the hyperspectral in the oil exploration. As the development of the hyperspectral instruments and its process methods, the hyperspectral will provide new chance for the oil exploration.

**[Key words]** oil exploration, hyperspectral, study status