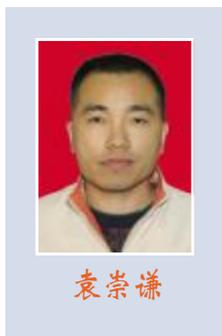


文章编号:1672-9854(2010)-02-0069-07

## 卫星遥感技术在油气勘探中的应用

袁崇谦, 周建勋

(中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室)



**摘要** 卫星遥感技术在油气勘探中的应用日趋广泛,尤其在含油气盆地构造研究和烃类微渗漏检测方面取得了显著进展。根据目前国内外的研究资料,结合中国南方的遥感实例,介绍了盆地的遥感构造特征,遥感解译的方法、步骤和实际效果。阐述了遥感技术在油气藏烃类微渗漏勘探中的检测原理、方法和应用。现状表明,高光谱遥感与智能计算将在油气勘探中发挥重要作用。

**关键词** 卫星遥感技术; 油气勘探; 构造影像; 卫星图像解译; 油气藏

**中图分类号**: TE19      **文献标识码**: A

**袁崇谦** 1970年生,中国石油大学(北京)博士研究生,地质资源与地质工程专业。通讯地址:102249 北京市昌平区府学路18号 中国石油大学(北京)资源与信息学院; 电话:(010)89733278

卫星遥感技术是遥感技术与太空探测技术的结合。1972年美国地球资源技术卫星 ERTS-1(后更名为 Landsat-1)的成功发射,将地球科学研究带入“覆盖全球、穿越层圈”的发展阶段,油气资源勘探得益于系统、连续、动态的遥感观测数据而产生活力。

卫星遥感技术在油气勘探中的应用始于含油气盆地构造研究。Collins 和 Mccown 等人最先将 ERTS-1 遥感资料用于美国阿纳达科盆地和得克萨斯州狭长地区的区域地质与线性构造研究,在发现的 76 个遥感影像异常区中有 59 个与正在开采的油气田相对应。随后美国地质学家又在怀俄明州与蒙大拿州集中开展了遥感信息的构造分析,研究表明已知油区大都处于线性体高密度分布区<sup>[1]</sup>。前苏联从 1976 年开始在南曼格什拉克、第聂伯—普里皮雅茨、西西伯利亚等含油气省(区)进行卫星遥感构造解译与分析工作,在研究盆地的地质构造、阐明深部构造与地貌景观之间的相互关系以及评价盆地含油气远景等方面,积累了一系列遥感研究成果<sup>[2]</sup>。

20 世纪 80 年代中期以来,随着卫星遥感技术的发展,烃类微渗漏遥感探测成为油气资源遥感研究的重要趋势。美国国家宇航局(NASA)和地球卫星

委员会(GEOSAT)于 80 年代初在怀俄明州、西弗吉尼亚州和德克萨斯州选择了三个油气区,利用 Landsat 卫星影像结合地球化学资料开展烃类微渗漏遥感探测工作,结果表明利用遥感技术直接探查油气藏是可行的。Singhroy 等<sup>[3]</sup>、Segal 等<sup>[4]</sup>、Carter 等<sup>[5]</sup>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,这种变化又在卫星影像上表现为色调异常,因此通过波段比值与彩色变换等方法增强异常信息可以直接圈定可能的油气藏。

20 世纪 90 年代以后,随着新型遥感传感器的不断推出、遥感探测分辨率的不断提高、高光谱技术的兴起以及图像处理技术的长足进步,油气资源遥感进入一个新的发展时期。一方面,将遥感技术与物探、化探、地震资料集成在一起进行综合油气勘探受到越来越多的重视;另一方面,加强基础理论研究以适应高速发展的卫星遥感技术也成为重要的发展趋势。

我国油气资源遥感起步于 70 年代末期,并于 1980 年由石油部成立了国内第一家以天然气勘探为服务方向的遥感地质研究所<sup>[6]</sup>。我国利用遥感技术

收稿日期:2009-06-11; 改回日期:2010-03-05

进行油气勘探,最初从塔里木盆地西南地区和柴达木盆地的先导性遥感油气勘探试验开始,进而逐步扩展到全国其他含油气盆地。“六五”到“九五”期间,先后在豫、藏、内蒙、辽、鲁、晋、苏、川、滇、黔、桂等 15 个省(区)进行了近  $500 \times 10^4 \text{ km}^2$  的遥感地质应用研究,涉及不同的地质构造和地貌类型,新解译局部构造(带)近千个、断裂上万条,预测了一批有勘探远景的含油气构造带<sup>[6-7]</sup>。研究手段上,主要利用卫星遥感数据,结合地质、地球物理资料,研究区域地质构造,分析构造与油气富集关系,确定石油勘探远景区。近几年来,又配合地面化探和地物波谱数据进行多源信息综合分析,为油气勘探提供有利的勘探靶区。与国外研究相比,我国油气资源遥感技术仍然存在一些问题<sup>[8]</sup>,如:(1)长期依赖国外资源卫星,难以获得长期、稳定的数据保障;(2)实验手段和技术保障滞后,制约了研究向纵深方向发展;(3)一般化的、跟踪模仿性的研究较多,深层次的、探索前瞻性的研究较少;(4)研究分散、技术集成度差,缺乏系统性和连续性。

本文着重介绍含油气盆地构造研究和烃类微渗漏检测的卫星遥感技术原理与方法,希望帮助油气地质勘探工作者了解这一领域的情况,推动这一经济高效手段在油气勘探中的广泛运用,为解决油气资源勘探问题发挥更好的作用。

## 1 含油气盆地构造遥感解译

### 1.1 卫星遥感地质构造特征

地球表面各式各样的构造形迹,是长期构造演化与构造变形的产物,是内动力地质作用与外动力地质作用综合作用的结果。卫星遥感影像客观、全面、综合地记录了地球表面的地质构造信息,清晰地显示活动构造,有效地揭示隐伏构造,其中大量的线性体和环形体,为分析局部构造与区域构造、浅表构造与深层构造之间的关系提供了重要信息。

活动构造无论是以新构造形式出现还是以重新活动的古构造形式出现,都可以通过遥感影像上不同的纹线、色线、色带以及色界线识别出来。断裂构造在遥感影像上通常以线性体的形式出现,部分则以环形体或其他特殊纹理形式出现。研究表明不同力学性质的断裂构造在遥感影像上表现为不同的线性体形式<sup>[9-10]</sup>;与挤压作用有关的断裂线性体

一般具多组平行、排列较整齐的特点;与拉张作用有关的断裂线性体沿某一方向呈锯齿形追踪样式,比较清晰但规模通常不大;与剪切作用有关的断裂线性体可以使两侧影像发生错位,有的表现为众多水系有规律地沿某一方向发生同步拐弯或截然断流。

现今的油气地质工作主要在沉积盆地内展开,工作区内往往覆盖有一定厚度的第四系疏松盖层。隐伏的断裂构造在遥感图像上常常比较隐晦,表现出弥散性的影像特征,但是当近地表岩层在区域应力场作用下发生变形时,深层断裂对盖层变形方式起到明显的控制作用,影响到地表松散沉积物,引起微地貌、水系和色调异常,从而在遥感图像上有所反映<sup>[11-12]</sup>。

卫星遥感影像的广阔视野和高度概括性突破了传统地质方法点、线观测的局限性,是研究大区域范围地质构造及其展布特征的有力工具;另一方面,高分辨率卫星影像(如 Quickbird 遥感影像最高提供 0.6m 的地面分辨率)又为局部构造精细分析提供了有效手段。卫星遥感这种“既见树木、又见森林”的技术特点,使其不仅在石油勘探前期的地质构造研究方面有着重要作用,在研究盆地的详细结构特点和有利区带分布方面也能发挥明显优势。

### 1.2 构造信息提取方法

虽然遥感影像包含了丰富的地质构造信息,但并非总是直观明了。遥感影像是地表物质(地物)特征的综合反映,其中的地质构造信息受到其他地物信息的干扰掩盖。此外,地物光谱在大气传播过程的辐射噪声也会导致信息质量的下降。因此,必须通过特定的方法从遥感数据中提取有用的构造信息。这一方法的实质是图像恢复与信息增强。在此基础上,才能进行地质构造特征的解译。这一过程既是信息处理的技术问题,同时也融合了解译者的地学经验,通常由五个步骤组成,如图 1 所示。

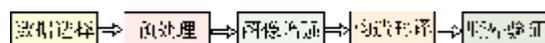


图 1 遥感信息处理流程图

#### 1.2.1 数据选择与预处理

不同分辨率的遥感数据价格差别很大,一般在不同的油气勘探阶段,基于经济性原则选择相应分辨率的遥感数据。目前,区域油气勘探中 Landsat 7

ETM+<sup>①</sup>是最为经济实用的卫星数据。该卫星于1999年4月发射,包括1个15m分辨率的全色数据和6个30m分辨率的波段数据(涵盖可见光、近红外、中红外光谱段)。虽然ETM+的地面最高分辨率为15m,但因构造线性信息的特殊性,即便是数米宽的构造形迹也得以清晰反映,因此ETM+遥感数据可以满足1:20万尺度的构造分析与断裂系统研究。

大气校正与几何校正是遥感数据处理最为基础的工作,如果不重视这一步骤,将会导致图像质量明显下降。经过大气校正后的遥感图像消除了数据噪声,使得清晰度明显提高。几何校正决定了遥感图像的坐标精度,也是与其他地质数据配套分析的基础,其重要性不言而喻。

### 1.2.2 遥感图像增强处理

“遥感图像增强”包括彩色增强、图像运算、空域增强及频域增强等处理方法<sup>[13]</sup>,其中彩色合成、比值运算、定向滤波最为常用,具体选择何种方法视实际需要和具体地质—地貌特征而定。

通过图像的增强处理可以合成一幅信息丰富、重点突出的彩色图像,为地质构造解译奠定基础。对于ETM+多光谱数据的波段选择问题,阎积惠等<sup>[14]</sup>给出了几个定量的数学依据,即各波段的方差尽可能大,

各波段的相关系数尽可能小,各波段的均值相差不能太悬殊。彩色增强过程中还要考虑不同波段的特长:TM1、TM2<sup>②</sup>为可见光波段,对自然景观中的地物、植被、松散堆积物及水下地形反映敏感;TM3、TM4为近红外波段,对地面岩石构造反映清晰;TM5、TM7为中红外波段,对蚀变岩类、隐伏构造、含水性和水体边界信息反映效果好。根据实际经验,地质构造研究中通常选择7-4-3或7-4-1波段组合。

“比值处理”是同一遥感图像、不同波段间相同像元亮度值的算术除法运算,虽然是一种简单的图像运算,但是由于它能够消除光照条件的影响、突出细微的光谱变化,因而是一种常用的图像增强方法。定向滤波技术则是在图像空域中对线状构造要素进行定向增强处理,通过设置卷积运算使用的方向模板,使模板增强方向与所要提取的地质构造实际走向尽量一致,从而使该方向的构造信息得以增强。通过比值处理与定向滤波处理后的图像通常能够更加准确地反映了构造现象。如图2,首先取自对某地区的图像(a)进行TM4/TM3比值运算,然后对中间结果施加NE15°定向滤波,运算后的灰度图像(b)突出增强了NNE、NE方向的线性形迹,图像中部一条NNE向原本模糊的隐伏断层现在也清楚地显现出来。

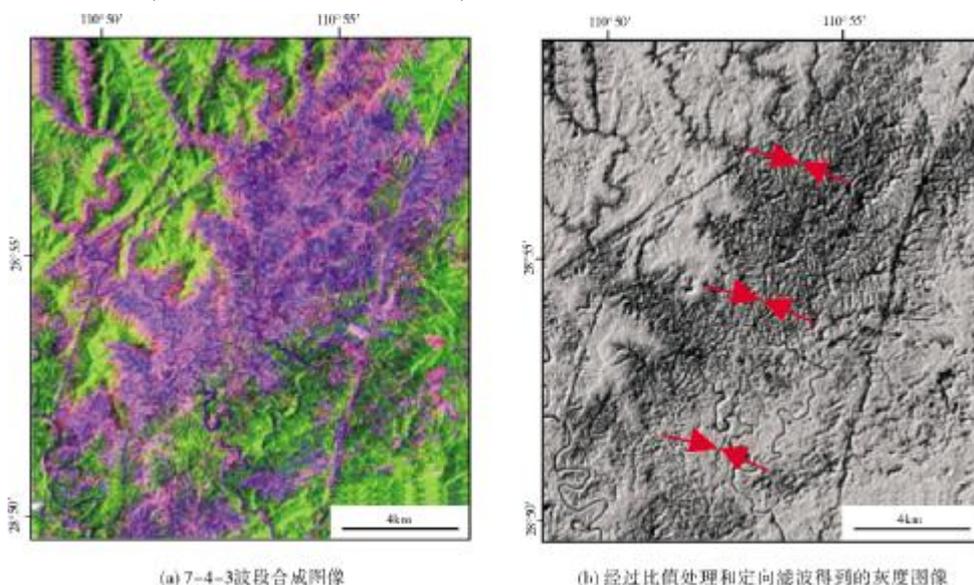


图2 图像增强处理示例(7-4-3波段合成的图像)  
(a)经过比值处理和定向滤波得到灰度图像;(b)增强显示NNE、NE向的构造形迹  
箭头指示NNE向的隐伏断层

① ETM+: Landsat 系列第7颗卫星搭载的传感器型号

② TM: Landsat 系列第4、第5颗卫星搭载的传感器型号,其后数字1、2、3等代表某一数据波段

### 1.2.3 室内解译与野外验证

“遥感构造解译”是遥感信息到地质构造信息的转化过程,需要解译者从错综复杂的遥感图像中识别和分析构造形迹的存在标志、形态特征、分布规律及其组合关系。解译者对卫星遥感图像形成机理的认识水平、对遥感图像中包含的地质信息的识别能力以及对研究区地质状况的掌握程度,在解译过程中起着关键性作用<sup>[15]</sup>。

具体解译过程是根据遥感影像的光谱特征(色)、影纹特征(影)和形态特征(形)建立相应的解译标志,利用类比的方法进行识别。解译标志分为反映地质构造本身直观特性的直接解译标志和反映地质构造与其他地物之间关系的间接解译标志。

值得注意的是,遥感解译标志不是一成不变的。实际上,遥感影像的稳定性是相对的、有条件的,其变异性是绝对的、普遍的,这就是解译过程中出现“同谱异物”和“同物异谱”的原因<sup>[16]</sup>。为了解决遥感信息的模糊性、可变性与地域局限性可能带来的解译错误,一方面应该进行多时相、多类型遥感资料的对比分析以及与其他地学资料相互验证。另一方面,则是对关键地带进行野外实地验证。

## 2 烃类微渗漏遥感直接检测

### 2.1 油气藏烃类微渗漏理论基础

埋藏于地下深处处于动态平衡状态的油气藏与地表间通常存在着一定的压力差,其中的烃类物质及其伴生化合物因而沿着压力梯度方向,以渗透运移、水动力运移和扩散运移等多种方式<sup>[17]</sup>,通过上覆岩层的断层、节理及微裂隙等通道运移至地表,甚至扩散至空中,从而在地面物质中形成物理与化学的异常(图3)。具体表现有六种异常,即土壤吸附烃异常、红层褪色异常、黏土矿物异常、碳酸盐矿物异常、地植物异常和放射性异常。地表物理化学信息异常必然导致光谱特征异常,因此理论上可以从遥感光谱数据中得到反映,这就是烃类微渗漏卫星遥感直接检测方法的理论基础。

### 2.2 烃类微渗漏的遥感检测方法

烃类微渗漏异常在多光谱遥感图像(如 Landsat ETM+)上具有较高的光谱响应,表现为不同的能量

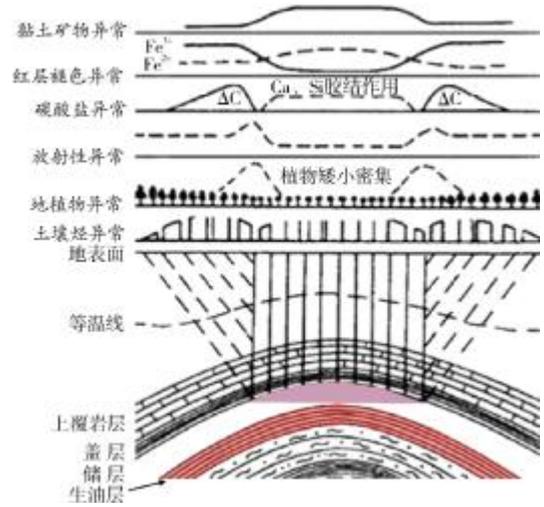


图3 油气藏烃类微渗漏模型<sup>[17-19]</sup>

值即灰度变化,影像呈现斑状、雾状、环形和圆形等晕状色调异常,地面规模可达数千米至数十千米<sup>[20]</sup>。

实际应用中为了增强异常信息的显示效果,根据各种蚀变异常在多光谱图像不同波段光谱特征的差异,常常利用“比值法”突出油气异常区的图像色带显示<sup>[4,21-22]</sup>。以“红层褪色异常”为例,烃类物质运移至地表后被氧化,生成二氧化碳和硫化氢,形成地表的还原环境,土壤或岩石中三价铁离子向二价铁离子转化,使原先由三价铁离子形成的红层褪色。二价铁离子矿物吸收峰在  $1.0\ \mu\text{m}$  附近,三价铁离子矿物吸收峰在  $0.9\ \mu\text{m}$  附近。根据两者的光谱特征差异,利用波段比值  $\text{TM1}/\text{TM3}$  或  $\text{TM2}/\text{TM3}$  来突出油气异常区的红层褪色异常和含铁矿物的分布信息。一般油气异常区有较高的  $\text{TM1}/\text{TM3}$  或  $\text{TM2}/\text{TM3}$ ,从而在遥感图像上以相对高亮度显示。同样的道理,可以用  $\text{TM5}/\text{TM7}$ 、 $\text{TM5}/\text{TM4}$  突出“黏土矿化”和“碳酸盐矿化”遥感影像异常。除了比值法外,其他常用的异常信息增强方法还有特征主成分变换与色彩空间变换<sup>[23-25]</sup>。

从油田地质资料得知,烃类微渗漏在许多油气田普遍存在,由烃类微渗漏造成的地表烃类蚀变体也为油气物探、化探方法所证实。综合已有的工作经验,烃类微渗漏遥感检测在油气勘探中应用的一般步骤为<sup>[22-26]</sup>:首先根据土壤成分特征分析,提取反映烃类微渗漏蚀变信息的土壤地球化学成分因子,然后确定反映烃类微渗漏蚀变信息特征的 TM 波段比值因子,最后将波段比值与原始波段进行彩色合成,

并且在地理信息系统支持下,将研究区已知钻孔位置标注在合成图像上,一方面检验烃类微渗漏异常与已知钻孔含油情况之间的对应关系,另一方面对新的含油气区进行预测。

### 3 应用举例

#### 3.1 断裂构造遥感解译

图4来自湖南张家界地区。与传统的地质方法断裂填图相比,利用卫星遥感进行断裂解译的结果,除了真实反映本区断裂连续延伸(如 $F_1$ 、 $F_3$ 、 $F_5$ )的特点,而且能比传统地质方法识别出更多的断层(如 $F_4$ ),断裂的不同级别也看得更加清晰。图5来自贵

州遵义地区,经过一定的图像增强手段,横贯图幅的 $NWW$ 向右行走滑断层( $F_1$ )得以明确识别,不同级别断裂之间的交切关系也得以明确。

上述实例清楚表明,遥感解译方法较之传统地质方法不仅经济高效,而且可靠性较高。实际上,很多大型断裂构造地面露头的直接观察比较困难,传统野外地质方法难以全面揭示其区域延伸状态,卫星遥感则能很好弥补这一不足,通过将个别的、分散的构造迹象联系起来,从而达到全面了解之目的。因此,人们普遍认同卫星遥感方法解译断裂构造通常比常规野外工作更有效,以遥感资料解译结果为基础编制的小比例尺地质图,较之现有地质图更为客观、准确、详细。

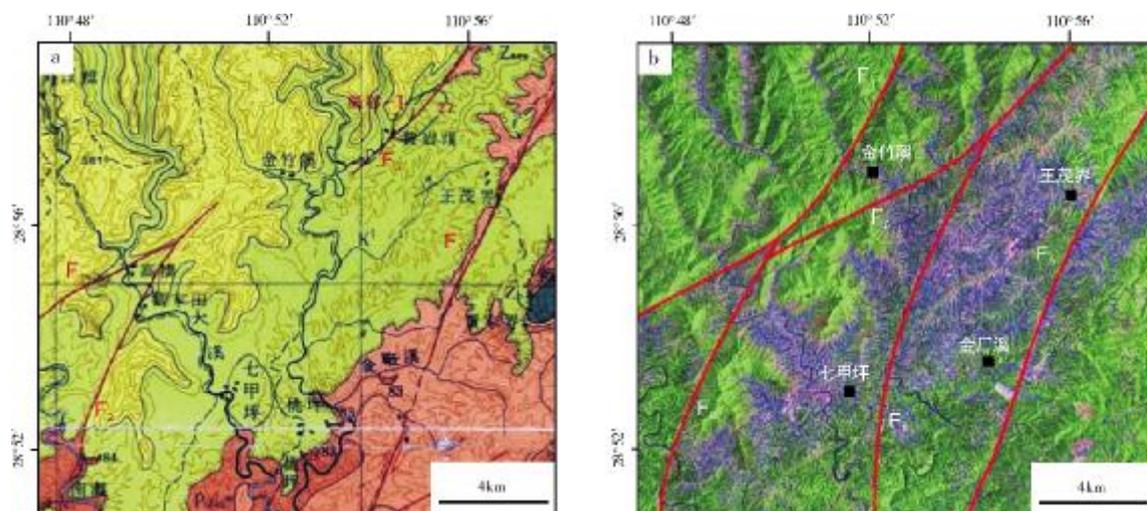


图4 湖南张家界地区传统野外地质方法填图(a)与卫星遥感解译技术断裂填图(b)的效果对比  
与传统的1:20万地质填图(a)相比,遥感解译图(b)准确地揭示出本区断裂的展布特征。

$F_1$ — $F_5$ 为解译断层

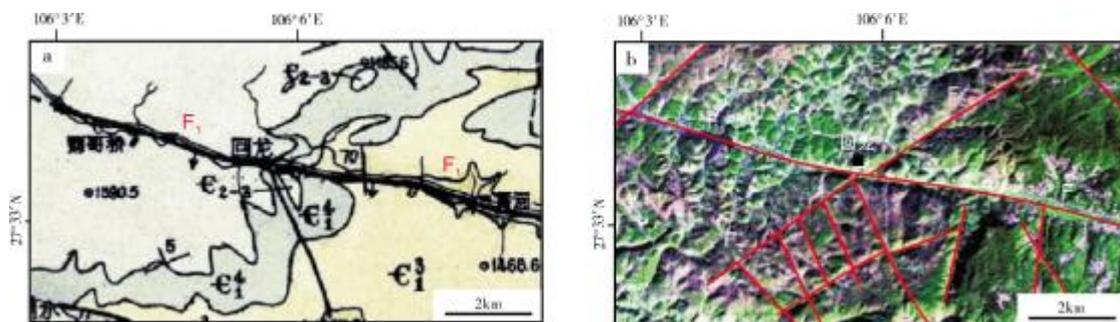


图5 贵州遵义地区传统野外地质方法填图(a)与遥感解译技术断裂填图(b)的效果对比  
与现有1:20万地质图(a)相比,遥感解译图(b)清晰显示出本区断裂的交切关系。

$F_1$ 、 $F_2$ 为解译断层

### 3.2 油气异常信息提取

烃类微渗漏能够引起地面植物的异常反应,因此油气区植被波谱特征是油气遥感中的一项重要研究内容。张昭贵等<sup>[27]</sup>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。依据植被的波谱特征及其与微渗漏现象的关系以TM1、TM4、TM5、TM7为主,结合其他波段图像,设计了彩色合成、主成分变换、比值计算等图像增强处理方案。在TM(2×4)/3、TM2/7、TM4/5比值合成图像上,东河塘油田、轮南油田和桑塔木油田均呈现紫红色、具雾状结构,与已知油田的分布十分吻合;其他影像异常区被划为有待深入研究的有利区带,显示塔北地区虽然研究程度甚高并经历多种勘探技术覆盖,仍然具有较好的勘探前景。

### 3.3 气田遥感综合勘探

柴达木盆地东部三湖地区第四系厚度大,其中夹有可作为较好储集层的泥质细砂岩和粉砂岩类,构成自生自储成气组合。该地区被盐碱壳大范围覆盖,盐碱壳下存有厚达数十米至百米的软泥层,地震勘探施工难度极大。由于含气层、表层气与地表盐沼等均可造成地震剖面上的低速效应,该地区低幅度构造圈闭在常规地震剖面上得不到真实反映,根据已知气田含气地震标志确定的几口探井都没有成功<sup>[25]</sup>。另一方面,该地区无植被和人文活动干扰,适合利用遥感技术提取第四系地面构造和隐伏构造;第四系含气构造存在的烃类微渗漏也能够遥感图像上通过影像形态、纹理特征及色调异常反映出来。王桂宏等<sup>[28]</sup>在利用各种遥感图像增强手段并与已知气藏遥感异常标志对比的基础上,在三湖

地区卫星遥感图像上解译出5个一级异常区。其中达南4号地区在遥感图像上有比较明显的环形影像异常显示,地形上显示为地貌高;与已知的涩北1号气田对比表明,两者具有较为相似的地球化学异常特征;地磁特征表现为宽缓的局部构造显示,细微特征为锯齿状高频异常;地温测量为明显的高异常特征;重新处理的地震主测线上有较明显的背斜特征,联络测线上有下拉显示。综合上述特征,认为达南4号为含气构造,应作为下一步详探的首选目标。

## 4 结语

随着石油天然气的不断开采,油气资源日益减少,勘探难度越来越大。尽管地面调查、物理勘探、化学勘探等技术不断发展,但勘探成本十分昂贵。卫星遥感技术经过几十年的发展,在油气勘探中的应用已经从间接、辅助性迈入直接、综合性的发展阶段,日益成为油气勘探中成本低廉、省时省力、尤其适合环境条件恶劣地区地质调查的有效方法。从当前我国油气资源遥感的应用现状来看,应该加强如下几方面的研究与实践。

(1) 注重培养复合型人才。卫星遥感技术是多学科集成的技术,对人员素质提出了较高的要求。通常遥感技术专业人员和油气勘探技术人员往往偏重于各自的领域;遥感技术人员不了解遥感信息的地质意义,只能给出纯粹的技术处理结果,油气勘探人员则不了解卫星图像的成像机理,不清楚遥感信息与地面信息之间的对应关系。因此,注重培养和造就通晓地质与遥感技术的复合型人才,是提高卫星遥感油气勘探应用水平的关键环节。

(2) 推广高光谱遥感技术的应用。目前油气资源遥感中应用最多的是以ETM+为代表的多光谱数据。多光谱数据由于光谱分辨率的限制(如ETM+只有7个波段),很难反映烃类渗漏导致的光谱变化特征。而高光谱技术为每个像元提供数十至数百个窄波段光谱信息,能够产生一条完整而连续的光谱曲线,从而实现油气资源的精细探测。

(3) 加强遥感信息处理的方法研究。一方面,遥感技术几十年的发展积累了海量的基础数据,另一方面,现今遥感数据处理的方法仍然以目视解译为主,数据供应与数据使用之间存在着尖锐的矛盾。小波计算、模糊数学、神经网络、遗传算法等智能计算方法,不仅能够提高海量数据的处理效率,甚至能够

自动发现有利的地质构造与油气资源信息。因此,智能计算技术是未来遥感信息处理的重要发展方向。

#### 参考文献

- [1] 丁暄,王云鹏. 石油遥感应用研究进展综述[J]. 遥感技术与应用,1992,7(1): 62-65.
- [2] 裴伟 A B. 航天遥感信息在地质中的应用[M]. 赵振远,徐树宝,刘洪学,等,译. 北京:石油工业出版社,1997.
- [3] Singhroy V, Fischer J, Trevail R, et al. Interpretation of ground and airborne spectral data related to hydrocarbon microseepage at the Willey Field, Southwestern Ontario, Canada[C]. Proceedings of the Sixth Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 1988, 2:487.
- [4] Segal D B, Merin I S. Successful use of landsat thematic mapper data for mapping hydrocarbon microseepage induce mineralogic alteration, Lisbon Valley, Utah[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1989, 55 (8): 1137-1145.
- [5] Carter J S, Koger D G. Successful applications of remotely sensed data for oil and gas exploration[C]. Proceedings of the Sixth Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 1988, 1:19-25.
- [6] 余华琪,齐小平. 石油遥感二十年[J]. 国土资源遥感, 1999, (3): 16-22.
- [7] 叶和飞. 叶和飞油气地质遥感论文集[M]. 北京:地质出版社,2001.
- [8] 王润生. 遥感地质技术发展的战略思考[J]. 国土资源遥感, 2008, (1): 1-12.
- [9] 谭青. 油气勘探中的遥感预测技术[J]. 天然气工业, 2004, 24(3): 44-48.
- [10] Fu B, Awata Y. Displacement and timing of left-lateral faulting in the Kunlun Fault Zone, northern Tibet, inferred from geologic and geomorphic features[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 29: 253-265.
- [11] Walker R T, Bayasgalan A, Carson R, et al. Geomorphology and structure of the Jid right-lateral strike-slip fault in the Mongolian Altay mountains[J]. Journal of Structural Geology, 2006, 28: 1607-1622.
- [12] 隋志龙,李德威,黄春霞. 断裂构造的遥感研究方法综述[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3): 34-44.
- [13] 汤国安,张友顺,刘咏梅,等. 遥感数字图像处理[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [14] 阎积惠,康慧,陈怀亮. TM 图像地质应用原理与方法[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.
- [15] 朱亮璞. 遥感地质学[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [16] 丁家瑞. 关于遥感技术在地质工作中应用的一些问题思考[J]. 国土资源遥感, 1996, (2): 1-9.
- [17] 朱振海. 油气藏烃类微渗漏理论及遥感油气资源探测的机理研究[J]. 遥感技术与应用, 1994, 9(1): 1-10.
- [18] Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 170-185.
- [19] 郭德方. 遥感技术直接找油理论基础及其实践[J]. 环境遥感, 1995, 10(1): 45-51.
- [20] 张磊. 国外遥感技术在烃类微渗漏探测中的应用简介[J]. 国土资源遥感, 1995, (1): 55-60.
- [21] Pena S A, Abdelsalam M G. Orbital remote sensing for geological mapping in southern Tunisia: Implication for oil and gas exploration[J]. Journal of African Earth Sciences, 2006, 44: 203-219.
- [22] 马跃良,何在成. 油气烃类蚀变特征及遥感提取机理研究[C]. 2004 环境遥感学术年会, 2004:54-59.
- [23] 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[J]. 环境遥感, 1994, 9(1): 45-50.
- [24] 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[J]. 遥感技术与应用, 1995, 10(3): 33-39.
- [25] 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[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(4): 7-9.
- [26] 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[J], 2005, 27(3): 465-466.
- [27] 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[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(1): 69-72.
- [28] 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[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 59-61.

编辑:赵国宪

## Application of Satellite Remote Sensing Technology in Oil and Gas Exploration

Yuan Chongqian, Zhou Jianxun

**Abstract:** The application of satellite remote sensing technology tends to spread wide in oil and gas exploration. Remarkable progress has been made in such areas as research on tectonics of petroliferous basins and detection of reservoir hydrocarbon micro-seepage. Based on the current domestic and international research data and combined with our research in southern China, the methods steps and the application effects for geological structure interpretation of petroliferous basins are introduced. The theory and the detection methods for reservoir hydrocarbon micro-seepage are also briefly introduced. The present situation shows that hyperspectral remote sensing and intelligent computing will play an important role in future oil and gas exploration.

**Key words:** Remote sensing technology; Oil and gas exploration; Tectonic image; Remote image interpretation; Hydrocarbon reservoir

Yuan Chongqian: male, Doctor degree in progress at China University of Petroleum (Beijing). Add: Department of Earth Science, China University of Petroleum, Changping, Beijing, 102249 China