

# 遥感技术直接找油理论基础及其实践

郭德方

(浙江大学地球科学系 杭州 310027)

**摘要** 本文在综合研究近年来国内外遥感技术直接找油这一领域研究成果的基础上,系统归纳出烃类微渗漏理论;给出了遥感技术直接探测油气藏的模型;概述了遥感技术直接找油的现状并对其未来的发展提出了看法。

**关键词** 遥感技术, 烃类微渗漏, 油气预测模型

自1972年第一颗陆地卫星问世以来,遥感油气勘探两种方法——间接找油和直接找油在国内外都有了很大发展。首先发展起来并日趋成熟的是遥感间接找油技术,它是通过提取遥感影像的线性体、环形体,解译石油勘探模式,预测油区;几乎是同时发展的,现在已成为遥感油气勘探技术前沿的是遥感直接找油技术,它是通过提取遥感影像的烃类微渗漏信息来预测油区。深埋于地下的油气藏中的烃类物质微渗漏至地表,甚至扩散到地表上空,引起地表和大气中物质物理、化学、生物学性质相应的变化,在遥感影像上形成烃类微渗漏晕;该烃晕以其特有的波谱特征可以被遥感技术检测,从而实现油气预测,这就是遥感技术直接找油的原理。研究:(1)烃类微渗漏理论;(2)烃晕对应的波谱特性以及遥感影像烃类微渗漏信息的提取是遥感技术直接找油的主要内容。本文主要研究前者,后者将在另文《烃类微渗漏晕及其信息提取》中阐述。

## 1 烃类微渗漏概述

### 1.1 烃类微渗漏现象

埋藏于地下深部的油气藏中的烃类物质通过多种方式,以上覆盖层的断裂、节理、微细裂隙、孔隙等为通道运移至地表,甚至进而扩散到近地表的空中的现象称为烃类微渗漏现象。微渗漏的烃类挥发物的主要成分为甲烷、轻烃、重烃和不饱和烃。烃类微渗透现象是普遍存在的,据统计,世界上的已知油田,85%以上存在着烃类微渗漏现象<sup>[1]</sup>。处于动态平衡的油气藏不断提供烃类物质是烃类微渗漏的前提;而地壳岩石裂隙存在的普遍性是烃类微渗漏的必要条件。

### 1.2 三种运动方式

烃类微渗漏物质向上运移的方式主要有三种:

1) 渗透运移 地下深部的油、气、水在多种力的驱动下发生运移,在适当的场所(圈闭)聚集为油气藏。当油气藏中不断扩散出的烃类挥发物等气体产生的压力与油气藏外

收稿日期: 1994年5月6日;收到修改稿日期: 1994年9月16日

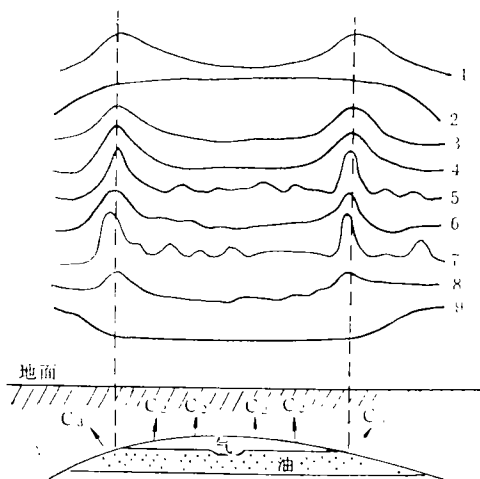
部对油、气、水的驱动力呈动态平衡时,油气藏本身成为一个强压地质体,并造成油气藏与地表间的巨大压力差。此时烃类物质及其伴生化合物沿着压力梯度方向通过上述通道向地表运移,这称之为渗透运移。渗透运移是油气藏烃类微渗漏的主要形式。

2) 水动力运移 水溶性低分子烃在水动力势(例如压力、温度、浓度等的差异)或化学势的驱动下穿过上覆盖层的垂向运移称之为水动力运移。

3) 扩散运移 气体分子具有极强的穿透能力。以气体形式存在的烃类物质通过盖层的孔隙向地表的运移即为扩散运移。油气藏的盖层多为泥页岩。实验给出,当泥页岩埋藏深度为2000m时,孔隙率约为10%,相应孔隙直径为100 Å;当泥页岩埋藏深度为4000m时,孔隙率约为4%,相应的孔隙直径为15—20 Å。油气组分中最大的分子是沥青质,其分子直径是50 Å,明显可以穿透埋藏深度为2000m的盖层;油气组分中60%以上的各种烃类,其中分子较大的复杂环烃,分子直径为15—20 Å,也可穿透埋藏深度在4000m的盖层;各种轻烃分子更小,可以穿透埋藏更深的盖层<sup>[2]</sup>。但这一扩散的速度是很慢的,据斯密恩等人(1971年)的计算表明,埋深1740m的油气藏中的甲烷扩散到地表需1.4亿年,乙烷需1.7亿年,因而相对于渗透运移,它是次要的<sup>[3]</sup>。

### 1.3 烃类微渗漏速度

相对于地质发展史而言,烃类微渗漏速度是较快的。1968年美国原子能委员会的研究证明,小分子的烃类,在14天里可穿透300m的上覆盖层,28天能穿透600m的上覆盖层;凡体积相当于胶粒的烃类分子,在地下水的参与下,不管遇到什么地层,均能以每秒若干毫米的运动速度上升运移<sup>[4]</sup>。



1. 土壤吸附烃晕, 2. 圈状晕, 3. 碳酸盐岩矿化晕,
  4. 低价铁富集晕(磁异常晕), 5. 地植物异常晕,
  6. 粘土化晕, 7. 红层褪色化晕, 8. 热异常晕, 9.
- 放射性晕。

图1 烃类微渗漏晕示意图<sup>[5]</sup>

Fig. 1 Schematic diagram of Hydrocarbon micro-seepage.

### 1.4 还原环境柱状体

微渗漏的烃类物质及其伴随物作用于油气藏上覆地层的岩石、矿物、土壤,引起蚀变。尽管这些蚀变因其上覆地层成分及蚀变溶液的不同而不同,但却多与一个基本因素有关,即与烃类微渗漏所形成的还原环境有关。微渗漏烃类及其伴随物(如碳氢化物、硫化氢和二氧化碳)在地下水的作用下被酸化(油田水中多含 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 等阴离子而呈酸性即是佐证),EH/PH(氧化还原电位/氢离子浓度)重新调配造成了还原环境,于是在油气藏上方形成了一个还原环境柱状体。在这个还原环境柱状体内,油气藏上方物质发生蚀变,它们在遥感影像上或表现为色调异常(由矿物或植物波谱响应变化所引起),或表现为影纹异常(由微地貌变化或地植物变化所引起),形成多种蚀变晕(图1)。图

1表明,绝大多数烃类微渗漏在柱状体周缘进行得最厉害,中心次之,柱状体之外最弱。

### 1.5 主要化学反应及产物

烃类微渗漏物质对上覆地层物质发生多种蚀变作用,其中主要的化学作用为还原、热降能、化合和氧化等<sup>[6]</sup>。结果生成沥青、地蜡、硫化物、酸性水和二氧化碳气体等,其中生成的碳酸盐造成碳酸盐岩矿化晕,生成的  $H_2S$  气体是造成红层褪色晕、粘土化晕和地植物异常晕的一个原因;铁由三价铁离子转化为二价铁离子造成红层褪色晕。

### 1.6 不同烃类物质的不同行为

不同烃类物质在烃类微渗漏过程中有不同的行为。烃类物质向地表运移过程中常被岩石矿物颗粒吸附,模拟实验给出<sup>[4]</sup>,在同样环境条件下,高分子重烃吸附率可达 95%,低分子轻烃吸附率为 33%,这表明轻烃较重烃更容易到达地表。轻烃( $C_1-C_5$ )在常温下为气态,分子较小而动能较大,向油气藏上方侧向扩散能力较强,向四周的扩散范围最大可达 30m—45m,在地表造成的异常多呈环状模型——烟囱效应;重烃( $>C_5$ )在常温下为液态,分子较大而且惯性较大,基本上呈垂直向上运移,在地表造成的异常多呈环状模型——顶端效应<sup>[1]</sup>(如图 1)。对某一地域而言,地表微渗漏烃类是以轻烃为主还是以重烃为主要依其油气藏类型和石油地质条件的具体情况来定;蚀变晕的形状也由于油气藏具体构造、地层、圈闭的不同而呈多种形态。

### 1.7 烃类微渗漏物质的存在形式及烃类微渗漏晕

微渗漏至地表的烃类物质,或扩散到地表上方的大气中,或存在于土壤的孔隙中,或被土壤的矿物颗粒所吸附,或与其它物质相互作用使之发生“蚀变”生成“蚀变体”,或被喜烃微生物吃掉。在气苗烃类微渗漏区放出来的气体也会被细菌分解,形成一种新陈代谢产物——石蜡垢,碳-14 分析表明其有机质由来自地下古老的碳组成<sup>[7]</sup>。简言之,它或以烃类物质形式存在,或以蚀变体形式存在。微渗漏烃类物质的这两种存在形式导致地表、地表上空物质的理化性质发生相应变化,并造成地植物生态变异。这使地表自然景观的波谱特性发生异常,它们表现为土壤吸附烃晕、霾状晕、热异常晕、红层褪色化晕、低价铁富集晕、粘土化晕、碳酸盐岩矿化晕、地植物异常晕和放射性晕等诸方面,我们统称之为烃类微渗漏晕(简称烃晕)。这样,油气的遥感图像异常不仅仅出现在烃类物质的特征谱段,而且也出现在蚀变体的特征谱段。研究烃类物质及蚀变体的光谱特性,明确其遥感响应度,排除相关物质波谱特性的干扰,使我们可以利用遥感技术直接找油。现在关于烃和烃晕的波谱特性研究已经取得许多实用性成果,也已摸索出若干烃类微渗漏晕信息的提取方法,作者另文《烃类微渗漏晕及其信息提取》论述了这方面的问题。

## 2 遥感技术直接找油实践

大量的通过研究烃类微渗漏提取地下油气藏信息的工作自二十世纪 70 年代就已经开始了。从世界范围来看<sup>[1,8]</sup>: 1973 年美国研制的航空探测仪,能区分出因地下油气藏微渗漏使地表及其上空发生变化的气流与背景区上空的气流的差异。在 1975 到 1979 年间, F. J. Donovan 报道了美国得克萨斯州的加尔扎尔油田、俄克拉荷马州的水门汀油田、怀俄明州的隐土油田和北达科他州的红翼油田的资料,他认为油气田上方地表土壤、岩石受烃类微渗漏的影响,普遍存在着明显的蚀变现象,并与地下油气藏及其走向有着很

好的相关关系。美国国家宇航局(NASA)和地球卫星委员会(GEOSAT)于1980—1984年间分别在怀俄明州、西弗吉尼亚州、得克萨斯州选择了三个油气区,利用TM影像,结合地表地球化学及生物地球化学方法,进行了这方面的工作。通过对微渗漏地表标志、遥感探测方法和地面验证技术的研究,论证了这一方法的可行性与有效性,并在此基础上发表了烃类微渗漏所引起的红层褪色,粘土矿物富集,地植物变异等一系列论文。同一时期,美国地球卫星公司与日本地球科学协会、日本地球资源卫星数据分析中心在美国犹他州里斯本谷地联合进行了油气资源遥感波谱探测试验研究,论证了油气藏烃类微渗漏的原理及引起地表红层褪色、粘土矿物富集、植物变异的机制,将这一方法向实用化推进了一步。据美国Allen M. Feder 1985年统计,利用遥感探测烃类微渗漏来圈定油气储集区的成功率达到75%甚至80%。原苏联在西西伯利亚及哈萨克斯坦利用烃类微渗漏引起地表铀矿化的再分配和油气藏上方地表热惯量异常为遥感探测标志,所圈划的油气储集区与已知油气藏的吻合率为76%。澳大利亚在1980年也在放射性异常和地表热惯量异常找油方面取得理想成果。正是在实践的基础上才总结出上述各种有效的遥感探测烃类微渗漏的标志,其中土壤粘土组分异常和土壤铁离子组分异常是NASA和GEOSAT于1984年组织40余所大学和公司的60位专家经过试验所取得的成果,前者适用于干旱半干旱区,后者适用于干旱的裸露基岩区;地植物异常美国NASA做过试验,而且这方面有很多实践的例子;碳酸盐岩组分异常是美国达拉斯化探公司建立的,是个已经应用40余年的专利(近期才公布),在酸性土壤区确有成效;地表热惯量异常是美国70年代末提出的;放射性异常是原苏联石油工业部50年代末提出。我国是从80年代中期开始这一工作的,已召开两次油气遥感会议,很多专家在这方面取得了成果:中国石油天然气总公司遥感所叶和飞等人在MSS影像上解译了晕状亮区,并发现它们与油气田的良好对应关系(叶和飞等,遥感技术在中国大陆上油气勘探中的应用,课题报告,1987.);中国科学院兰州地质所魏俊超在柴达木盆地MSS影像上解译出烃类微渗漏造成的霾状异常(云雾状晕),与北涩油气田符合较好<sup>[1]</sup>;地矿部陈传霖在内蒙二连盆地额吉诺尔地区的MSS图像上所分析出来的色调异常与地下水中的烃类异常基本一致,经化探该异常区见油<sup>[2]</sup>;地矿部航空物探遥感中心王福印对国土卫星彩色红外影像研究指出浅褐色异常区为烃类微渗漏标志<sup>[3]</sup>;中国科学院遥感所朱振海、中国石油天然气总公司石油勘探开发研究院王文彦、新疆石油管理局研究院彭希龄等通过对航空红外细分遥感的研究,1989年给出了遥感技术勘探烃类微渗漏的七项标志,确定了油气藏遥感探测的最佳工作波段组合和2.27—2.46 $\mu\text{m}$ 的有效探测窗口,提出了以探测土壤吸附烃异常为主体的遥感直接找油方法<sup>[2,4]</sup>;中国科学院兰州地质所刘子贵等人通过对样品光谱测试研究指出<sup>[5]</sup>,油气田上方地表出现的地球物理、地球化学、岩石矿物、地貌、土壤化学和植物生理方面的异常均与烃类微渗漏密切相关,烃类微渗漏物质与地表物质作用形成多种“蚀变体”,并以多种烃晕的形式表现出来,它们可作为识别烃类微渗漏的标志;北京大学遥感技术应用研究所刘燕君等人通过对黄土高原油田内外环形影像的研究,建立了黄土地区判断遥感图像油气晕的模式<sup>[6]</sup>;浙江大学地球科学系郭德方等人自1988年起在胜利油田进行了遥感油气勘探的多方面研究,其中利用计算机提取烃类微渗漏信息在遥感直接找油方面取得了有效成果。

遥感技术直接找油已取得重大进展,这表现为从发现烃类微渗漏普遍存在到对其形

成原因、运移方式、运移速度、所形成的还原环境及主要化学作用、不同烃类运移过程中的不同行为、微渗漏烃类存在形式和烃类微渗漏蚀变机理等多方面进行认识;表现为已概括出了九种烃类微渗漏晕作为烃类微渗漏的标志,并且对烃晕对应的光谱特性进行了研究,给出了识别各种烃类微渗漏晕的多个特征吸收谱段、反射峰值和遥感工作波段;表现为人们研制了运用这一技术所需要的新型传感器(如红外细分光谱仪等),并提出了一套将它应用于实践的方法;表现为人们已经研究出了许多有效的提取烃类微渗漏信息的图像处理方法;表现为已在实践中取得的重要成果:人们利用航天或航空平台,采用各种有利波

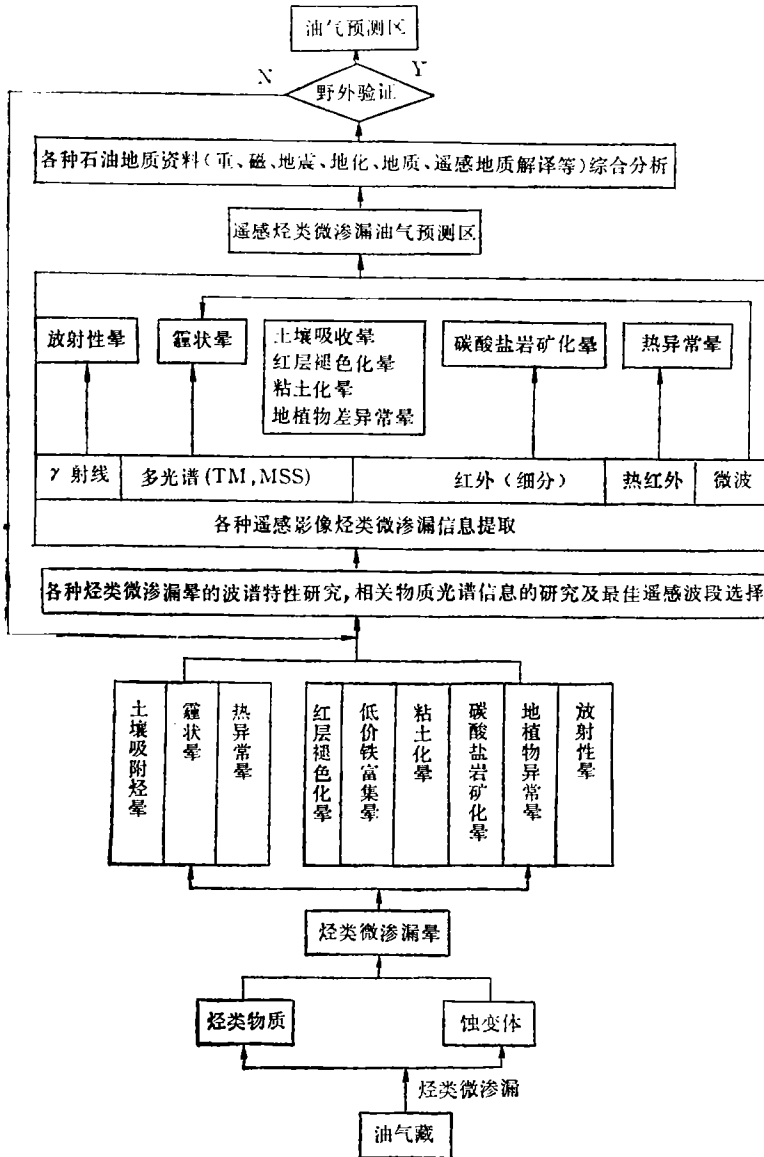


图 2 遥感技术直接探测油气藏模型

Fig. 2 The mode of direct exploration of oil-gas reservoir using remote sensing technology.

段,对不同环境地域进行了有效遥感探测,对所获得的遥感影像进行了有效的烃类微渗漏信息提取及较符合实际的预测。遥感技术直接找油已从单纯烃类微渗漏理论研究跨入实践。我们可以给出以下遥感技术直接探测油气藏模型(图 2)。

遥感技术直接找油的理论和实践表明:(1)波谱特性是遥感技术直接找油的基础。已有的关于地物波谱特性的研究成果和已概括出来的九种烃类微渗漏晕标志,已经可以用来从 TM 影像上提取油气信息。(2)计算机图像处理是遥感技术直接找油的关键。根据目标的波谱特征,运用计算机图像处理技术,可以有效的提取油气信息。(3)合适的传感器是遥感技术直接找油的前提。这里合适的主要是指其波谱分辨率和波谱工作范围两个方面。卫星 TM 作为多用途的、有着良好性能/价格比的传感器在这方面很有作为,应发挥其作用;但其相对较粗的波谱分辨率和并不覆盖全部需要的波谱工作范围影响其提取油气信息。因此除了利用 TM 之外,还应考虑发展、使用其它平台、其它谱段、分辨率更高的传感器。这是当前遥感技术直接找油的三个关键问题。应该加强以下诸方面的研究:油气藏烃类微渗漏的理论、模型及量化;对各种环境、地域条件下可能存在的烃类微渗漏晕的全面认识及对各种烃类微渗漏晕形成机理的深入研究;各种烃类微渗漏晕的波谱特征及其遥响应度;大胆使用卫星 TM 传感器,充分挖掘其应用潜力;发展在所要求谱段上具有足够高的光谱分辨率的传感器;遥感图像烃类微渗漏晕信息的计算机提取;各种烃类微渗漏晕与线性体、环形体的关系;各种烃类微渗漏晕与各种常规油气信息(石油地质、物探、化探、地震等信息)的关系。已取得的理论上和实践上的进展使我们有理由相信遥感技术直接找油是个行之有效、颇具前景的油气勘探方法,它将在实践中日趋完善。

### 参 考 文 献

- [1] 孙成权等. 遥技术术在油气勘探中的应用. 遥感技术与应用,1992. Vol. 7, No. 2.
- [2] 朱振海等. 遥感技术直接探测烃类微渗漏的方法研究. 科学通报,1990(16).
- [3] 丁暄. 遥感技术在油气资源探测应用中的关键问题. 遥感技术与应用,1992. Vol. 7, No. 4.
- [4] 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. Vol. 8, No. 4.
- [5] 刘子贵. 遥感直接勘探油气有关问题的思考. 遥感技术与应用, 1993, Vol. 8, No. 4.
- [6] 王福印. 油气微渗漏遥感影像异常形成的化学机理. 国土资源遥感,1993,(1).
- [7] J. M. 亨特. 石油地球化学和地质学. 北京:石油工业出版社,1986.
- [8] 宋建国. 遥感在油气勘探中的应用. 油气勘探译丛,1988,(1).
- [9] 王福印. 我国东部某地油气微渗漏的遥感研究. 国土资源遥感,1990,(4).
- [10] 刘燕君等. 遥感图像上的油气晕,环境遥感,1992. Vol. 7, No. 1.

## Remote Sensing Technique Used in Direct Oil-gas Exploration and Primary Theory

Guo Defang

*(Department of Earth Science, Zhe Jiang University)*

**Abstract** In this paper both home and abroad successful applications of remote sensing technique in direct oil-gas exploration in recent years have been studied systematically. On the base of systematic summary, we have obtained the Hydrocarbon micro-seepage theory, the model for direct exploration of oil-gas reservoir by use of remote sensing techniques. We also propose the view-point of the current status and future development of remote sensing technique.

**Key words** Remote Sensing Technique, Hydrocarbon Micro-seepage, Oil-gas Prospect Model