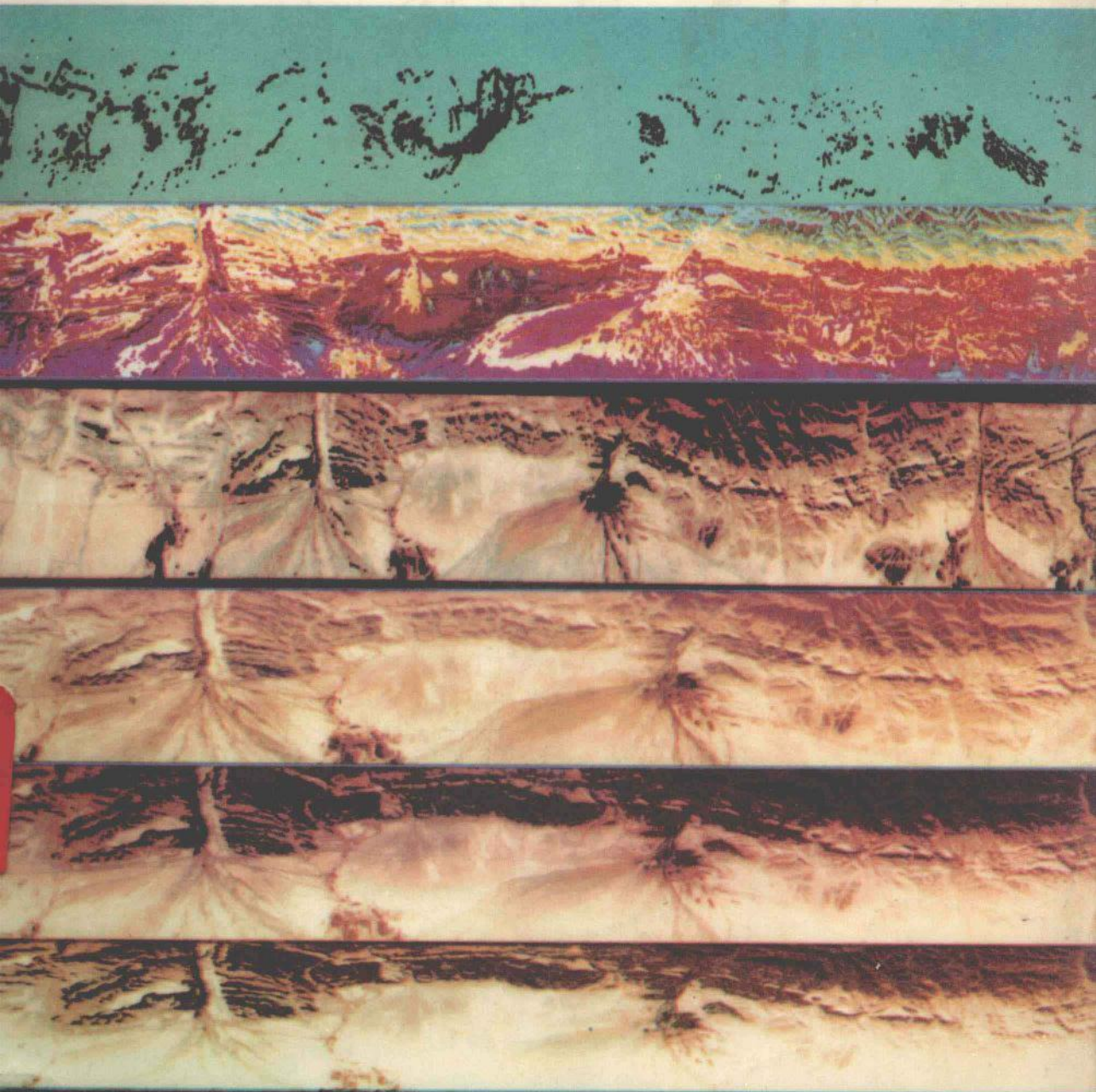


1

油气遥感勘探 评价研究

朱振海 主编



中国科学技术出版社

油气遥感勘探评价研究

朱振海 主编

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本论文集为近年来油气遥感勘探应用研究的阶段性总结,系统地论述了油气遥感勘探评价各主要环节的基本理论、工作原理及技术方法。以近年来的试验研究为依据,提出了一些新观点、新理论和新方法,尤其在首次提出油气遥感直接勘探的理论和 方法,并论证了这一技术的可行性,可靠性,以及良好的应用前景。

本文集可供石油地质勘探技术工作者、遥感应用研究人员以及有关高等院校师生参考。

(京)新登字175号

油气遥感勘探评价研究

朱振海 主编

责任编辑:陈莉萍

封面设计:王序德

*

中国科学技术出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 9.5 字数: 220千字

1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷

印数: 1—1020册 定价: 10.00元

ISBN 7-5046-0554-9/TE·4

《油气遥感勘探评价研究》编辑委员会

主 编 朱振海

副主编 林恒章 全美荣

编 委 (按姓氏笔划排序)

王文彦 朱振海 全美荣

林恒章 杨伯林 杨 红

陈宝文 张懿铨

前 言

油气资源大规模勘探与开发,一个多世纪以来,在勘探方法上从非地震法,发展到以反射地震法为主的背斜—重力,在构造油气藏的勘查中取得显著成效。如今,除处女地外,明显的构造油气藏已大部查明。勘探重点被迫转向以岩性油藏和水动力油气藏,这样对地震勘察的精度有了更高的要求,成本也随之成倍增长。由于油气藏上方的烃类微渗漏理论越来越被证实,成本低廉的非地震法的油气勘探又引人注目,有世界性的再度兴起之势。进入80年代,大量的试验研究和实际调查证实,不断渗漏到地表的烃类物质,改变了环境条件。导致表层土壤、岩石的理化特性的变化,引起氧化还原电位和氢离子浓度 $\langle \text{EH/pH} \rangle$ 的调配反应,使一些元素活化和迁移,另一些元素沉淀与累积。生长于地表层的植物体受这些变化的影响,也会出现异常和病变。这些变化主要表现为:

- (1) 土壤吸附烃异常;
- (2) 土壤粘土(矿)化;
- (3) 土壤碳酸盐异常;
- (4) 植被异常或病变;
- (5) 地表层热特性异常;
- (6) 地表层放射性异常;
- (7) 红色岩层褪色。

从理论上,这些异常在油气藏上方的三维空间呈柱状(或筒状)分布,然而油气藏及其微渗漏受到构造和地层等多因素控制,因此在地表显示的几何形态也是复杂多样的,在不同地区反映的程度也不一样。

微渗漏所导致的地表局部变化,将引起地物波谱特性异常,这就为遥感方法通过测量特定波段的波谱异常,直接发现所对应的地下油气藏的存在,奠定了理论基础。地表地物波谱特性吸收(或反射)峰的偏移或增减,并以不同的能量数值为遥感信息载体所记录。这就为以全覆盖为特点的遥感技术直接应用于油气藏的勘探,打开了方便之门。80年代以来,美、苏、日、澳、加等国的油气遥感勘探方法在不断改进和发展遥感技术的前提下,通过科学试验,开始逐渐成熟起来,并不断有新的发现,广泛引起一些油气勘探部门的重视。当前,遥感技术直接勘探油气资源的方法,特别适用于自然条件恶劣地区油气资源勘探前期的靶区搜寻。其中以航天遥感为先导,航空遥感重点解剖为后应的方式,可以缩短大面积勘查的时间,提高勘探的精度,节省勘探的经费。在遥感异常,特别是航空红外窄波段信息异常的区域,配合以石油地质、生物地球化学和地表地球化学等手段,进行野外核查,定能提高油气藏远景评价的精度。从而加快新油气田的发现。

在中国科学院资源和环境局的主持下,中国科学院遥感应用研究所在新疆的准噶尔盆地和陕西北部的鄂尔多斯盆地开展了不同程度的遥感技术勘查油气资源的应用研究。在准噶尔盆地的三台油气勘探区,与石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院和新疆石油管理局协作,并联合院内、外六个研究单位,进行航空遥感直接探测油气微渗漏的方法试验

研究,同时进行生物地球化学和地球化学普查。在发现短波红外波段的遥感异常区同已知油气田对应情况较好之后,又进行异常区的生物地球化学和地表地球化学异常的核查,证实它们之间有一定程度的相关关系。并根据这些关系推断了地震勘探未曾发现的一系列异常。表明短波红外窄波段光谱异常同油气田上方的烃类微渗漏有直接关系。继后于塔里木盆地进行的两次生产性试验研究中,获得更好的结果。这三次航空遥感油气微渗漏勘探试验研究的成果,为建立和提出一套快速、经济、有效的前期勘探新程序奠定了基础。这一勘探模式展示了广阔的应用前景。在鄂尔多斯地台区的试验研究着重于航天遥感技术在油气勘探前期的应用,探索在深厚黄土层覆盖下的地质构造平缓地区,以构造地貌法为手段,从分析水系结构和地貌特征的异常入手,判读线性形迹和圆形构造,进行线性体密度的统计与分析,发现异常。同时结合对TM近红外波段的机助反射率异常的增强分析,识别圆斑状色调异常。再与已知油气藏匹配分析之后,发现处于线性体密集带交叉部位的圆形影象与已知油气田吻合状况良好,并往往具有圆形或丰圆形色调异常,应是油气微渗漏的表征。这一结果,可为机载航空遥感直接探测指明重点区,与新疆试验模式组合成一套完整的油气遥感勘探程序。

经过4年多的潜心研究,无论在基础理论方面,还是生产试验方面都取得了长足的进展,并获得具有生产实际意义的成果,得到石油勘探部门高度评价。特别是建立以土壤烃组分异常为主体的航空遥感直接勘探油气资源的方法,在国内外均属首创,奠定了油气遥感直接勘探的基础。为了总结成果,加强交流,现将反映主要成果的部分论文选编成此文集。

全项目的工作由中国科学院遥感应用研究所朱振海和中国石油天然气总公司石油勘探开发研究院王文彦共同主持,共13个单位,60余位科技工作者(其中高级研究人员23人)参加研究工作。

本项研究工作得到原国务委员康世恩、中国石油天然气总公司李天相副总经理、丘中健副总经理、阎效实总地质师以及新疆石油管理局和塔里木石油勘探开发指挥部的支持,在此表示衷心的感谢。

本文集的插图由刘威威清绘。

由于本集编辑出版仓促,限于业务水平和经验,不妥之处恳请读者批评指正。

目 录

前言

遥感技术在油气资源勘探中的应用.....	朱振海 杨红 (1)
用于油气资源勘查的新颖遥感仪——短波红外分光光谱扫描仪.....	吴常泳 (11)
遥感直接勘探油气藏烃类微渗漏原理.....	朱振海 (18)
航空短波红外分光光谱油气遥感探测机理研究.....	杨柏林 (31)
航空短波红外分光光谱扫描仪数据在新疆准噶尔盆地东部油气资源勘探中的 应用.....	朱振海 王文彦 (47)
陕北油气区地貌构造背景的遥感研究.....	林恒章 朱博勤 (58)
油气遥感勘探中的线性体分析.....	张建中 杨红 (72)
新疆准噶尔盆地东部三台地区线性体的特征与油气藏的关系.....	李建林等 (80)
植物地球化学遥感在油气勘探中的应用现状.....	杨红等 (92)
新疆准噶尔盆地东部三台油气区地植物和植物地球化学特征.....	张镜铨 王荷生 (101)
新疆准噶尔盆地东南部已知油井区的植物地球化学勘查研究.....	张镜铨等 (111)
地表地球化学勘探油气资源的采样方法.....	朱振海 陈宝文等 (126)
油气遥感勘探综合评价研究.....	朱振海 王文彦 (134)

Contents

Foreword

Detecting Oil-gas Resources by Using Remote Sensing Techniques

.....Zhu Zhenhai, Yang Hong(10)

A New Sensor to Oil-gas Resources Exploration—Short Wave

Infrared Split Spectral ScannerWu Changyong(17)

The principle of Direct Detecting Hydrocarbon Microseepage of

Oil-gas Reservoir by Using Remote Sensing.....Zhu Zhenhai(30)

Mechanism Study of Detecting Oil-gas by Airborne Short Wave

Infrared Split Spectral Remote Sensing.....Yang Bailin(45)

Airborne Shortwave Infrared Split Spectral Scanner Data Application

in Detecting Oil-gas Resources in the East of Junggar Basin,

Xinjiang.....Zhu Zhenhai,Wang Wenyan(56)

Remote Sensing to Geomorphology-structure Background Study in

Shaanbei Oil-gas Region.....Lin Hengzhang, Zhu Boqin(70)

Lineament Analysis in Remote Sensing for Exploration Oil-gas

.....Zhang Jianzhong, Yang Hong(78)

The Relationship of Lineament Signature And Oil-gas Distribution

in Santai Region of East Junggar Basin, Xinjiang

.....Li Jianlin,et al. (91)

The present Application of Biogeochemical Remote Sensing to

Oil-gas Exploration.....Yang Hong,et al. (101)

The Geobotanic And phyto-geochemical properties of the Oil-gas

Areas in Southeast Junggar Basin.....Zhang Yili, Wang Hesheng(110)

The Biogeochemical Survey Study of Two Known Oil-gas Fields in

the Southeast Junggar Basin, Xinjiang.....Zhang Yili, et al. (125)

Sampling Surface Soil Method of Geochemistry to Oil-gas Resources

Exploration.....Zhu Zhenhai, Chen Baowen et al. (133)

Integrated Evaluation of Remote Sensing to Oil-gas Exploration

.....Zhu Zhenhai, Wang Wenyan(144)

遥感技术在油气资源勘探中的应用

朱振海 杨 红

(中国科学院遥感应用研究所)

摘 要

本文简要介绍油气资源勘探中油气遥感勘探的新技术方法。通过典型国内外应用实例,证明这一方法的可行性和有效性。根据笔者的大量工作论述了油气遥感勘探的综合分析方法的重要性,并展示了遥感技术在油气资源勘探中的广泛应用前景。

关键词: 油气遥感勘探 遥感技术 烃类微渗漏 油气藏

一、引 言

世界能源的储备正在日渐减少,将来会以更急剧的速度下降,除非有新的能源储备不断地被发现。当今世界虽然已经进入核能、煤炭、水能、地热、太阳能等逐渐代替油气资源的变革时代,但至少在近半个世纪内,人类现代化经济生活的主要能量来源,仍需依赖于石油和天然气资源。^[1]

油气资源可能提供给人类使用的数量,主要取决于已探明的油气储量及其开发生产能力。人类进行的油气资源勘探与开发,已有一百多年的历史,根据地表“油气苗”进行勘探的线索已被搜寻殆尽,一些易于勘探的背斜油气藏和地层油气藏也基本被查明。到1990年底,全球已探明的石油储量为1364亿吨,天然气储量为119万亿米³,按目前开发速度大约能支持30~40年。但全球的油气资源量与已探明的储量间仍有很大差距,这就迫使人类将油气资源的勘探方向转向人类尚未问津的地表自然条件十分恶劣的为数有限的荒漠区和寻找隐蔽油气藏。致使当前较成熟的以地震勘探方法为主的油气勘探技术面临严峻的挑战,必须改进勘探技术和分析方法,进而使勘探成本成倍增长。

遥感技术是一种辅助油气勘探寻找未发现油气藏的新方法,可提供有价值信息的高技术手段。它可以对地表景观进行区域勘探,而不受恶劣自然条件的制约,并且具有速度快、周期短的特点,将大量野外工作转移到室内进行,大大地节省了人力和物力,降低了勘探成本,提高了精度。但这并不意味着利用遥感技术进行油气资源的勘探可以取代地震的方法,而是给地震勘探提供良好的靶区,目的是减少地震勘探的工作量,省略前期勘探程序直接进入详查阶段。就油气遥感勘探方法而言,不仅可以用于油气资源的前期勘探阶段,而且可以应用于整个勘探、开发、生产各个阶段,以及油气田的环境整治等方面;不仅可以应用于新勘探地区,同时也可以在生产开发区的扩大挖潜中发挥效益。随着油气遥感本身的不断深化发展,油气遥感技术将会在众多的地质找矿行业中首先被纳入勘探程序。



图 1 大庆油气区陆地卫星影像图
Fig.1 Landsat image of Taching oil field

二、油气遥感间接和直接勘探方法

遥感技术在油气勘探中的应用,可分为间接勘探和直接勘探两大类。油气遥感间接勘探方法应用比较广泛,主要是使用卫星遥感图象或航空遥感图象,经计算机图象处理增强,用目视解译判读方法,通过色调、影纹结构、几何形态进行构造地貌和线性体组合分析图象,认识油气盆地的构造格局、次级构造的分布及有利的油气区带,辅助地震勘探建立规划模型。油气遥感直接勘探方法,是80年代以来才逐渐发展起来的,主要是利用多波段遥感技术(含卫星和航空两类平台),捕获油气藏烃类微渗漏在地表形成的特殊“蚀变”物质的波谱信息,作为油气勘探的靶区。这种方法的特点不是寻找油气藏可能存在的客体,而是直接提供油气聚集的可能场所。

1. 油气遥感间接勘探方法

油气遥感间接勘探方法,已有几十年的研究历史,国内外遥感地质专家已经做了大量工作,可以说遍及世界陆上各大主要油气田。

(1) 我国大庆油田陆地卫星图象的遥感解译。^[2]大庆油田位于松辽平原,是白垩系为主的背斜油气藏,地表为冲积平原(见图1)。

据M.T.Halboty解译,从图象上可以明显看到有一NE—SW向长垣隆起,河流明显地呈环状圈闭了这个区域。位于长垣构造顶部的湖泊或水泡子的形态与位于边缘处的有明显差异。这个长垣构造与大庆的最大一个油气藏相吻合(见图2)。

(2) 美国得克萨斯州哈德曼盆地陆地卫星图象的遥感解译。^[3]美国卫星勘探咨询公司V.S.穆尔和R.L.安德森利用陆地卫星TM图象对美国得克萨斯州的哈德曼盆地进行了油气遥感解译。

哈德曼盆地是一个较小的含

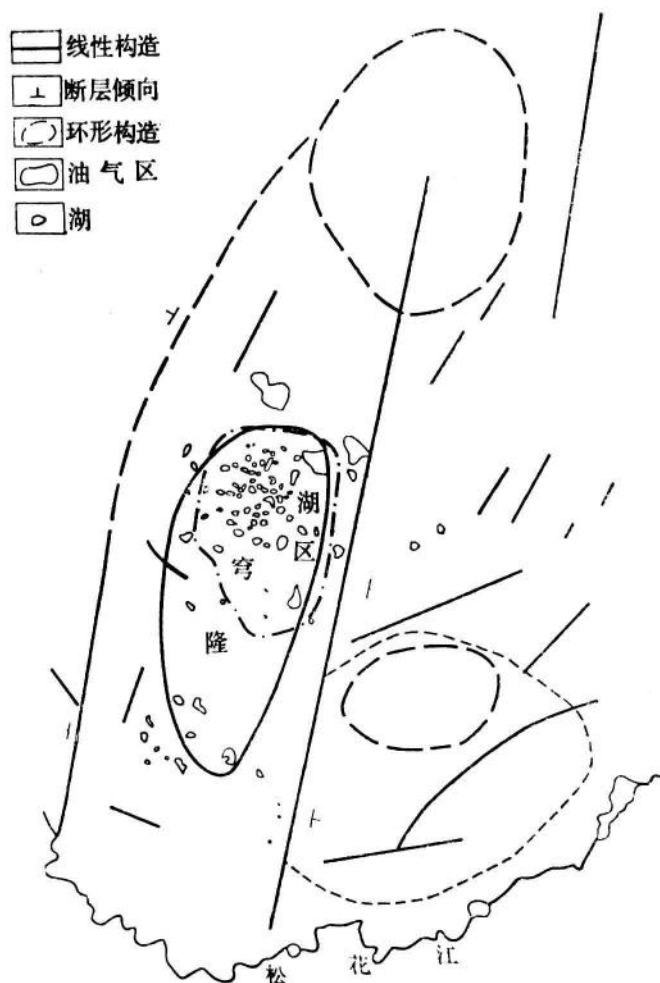


图2 大庆油田陆地卫星解译图
Fig. 2 Landsat image interpretation of Tachang oil field

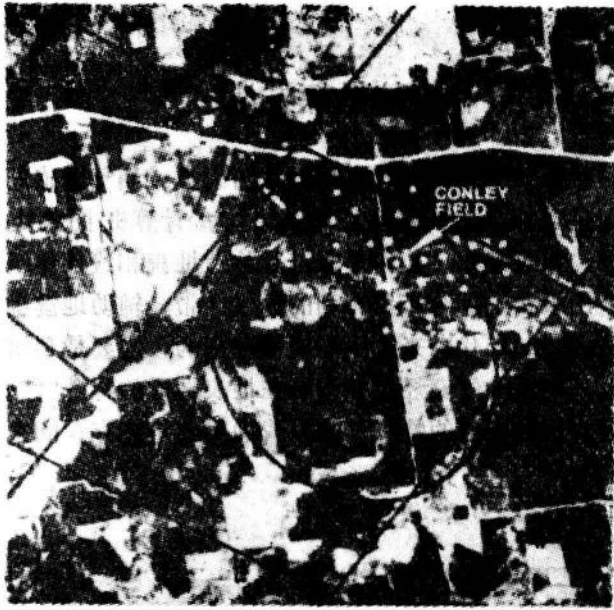


图 3 美国得克萨斯州康利油田TM图象解译图
(据V.S.Moore, 1985)

Fig. 3 TM Subscene of Conley Field,
Hardeman County, Texas.

系异常, 较大的一个储油区主要在南半部, 北界正好与一条NW 50°线性构造吻合, 该构造将环形水系异常等分, 另外也还有几条断层与之相伴生。1982年罗斯和阿尔提出生物礁与断裂相关, 正和TM图象解译相一致。

(3) 我国新疆三台油田是一个已知断块——背斜油气田。它处于山前地带。图象分析表明 (见图5) 油气田处地表山前洪积扇不发育, 水系也不发育, 色调较浅, 反映出为一断块抬升区所形成的油气聚集带。本区线性构造发育, 以近东西向为主, 形成南北向几级“台阶”, 与地震和钻探资料基本一致。

从上述几个典型实例可以看出, 利用构造地貌、色调结构及线性构造分析, 不仅可以解译含油盆地的区域构造及次级构造分布, 还可以圈划出油气田的大体位置。此外, 还有人根据线性体的组合和卫星遥感图象的霍状异常来解译油气藏的客体存在, 亦有成功的实例, 在此不复赘述。无疑这是一。

油气盆地, 1939年首先发现含油层, 1982年广泛开展了勘探开发, 发现了一系列油田。V·S·穆尔和R·L·安德森利用大比例尺卫星相片(1:10万~1:5万)对几个已知油田进行遥感解译, 结果与已知油田有很好的 consistency。

例1: 康利油田是一个已探明的古生界背斜油气藏。图象分析表明 (见图3) 在油田上方有一微细的环形水系异常及色调异常, 并被NW 50°和NE 45°两组线性构造所包围, 环形水系与背斜油气藏基本一致。

例2: 瓜纳油田是一个已知的生物礁油田。图象分析表明 (见图4) 有两个毗邻的环形水



图 4 美国得克萨斯州瓜纳油田TM图象解译图
(据V.S.Moore, 1985)

Fig. 4 TM subscene of Qanah Field, Hardeman
County, Texas

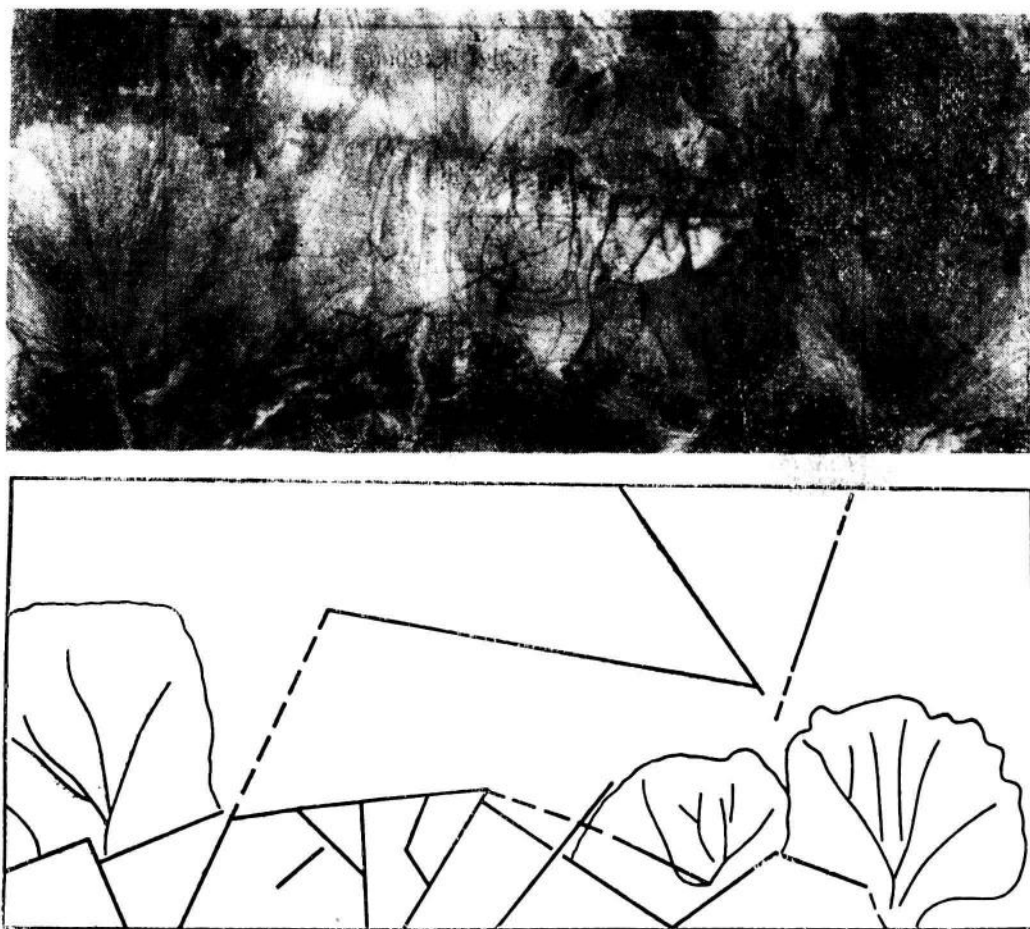


图 5 新疆三台油气田TM图象及其解释图
Fig.5 TM image interpretation of Shantai oil field, Xinjiang.

种经济、快速的方法，正象M·T·哈尔布蒂所说：“如果石油地质专家应用遥感技术，一些大油气田可能会更早一些被发现。”

2. 油气遥感直接勘探方法

油气遥感直接勘探方法，是80年代以来发展的高技术手段。主要基于具有工业价值的油气藏普遍存在有烃类微渗漏现象，利用多波段遥感技术，寻找油气聚集区域。国内外遥感专家都在积极开拓这一方法，并取得一些成功实例。

(1) 美国犹他州里斯本油田。里斯本油田是一个背斜油气藏，^[1]处于里斯本背斜谷地中（见图6）。美国地卫星公司T·B·西格尔等人在80年代初进行了遥感直接探测油气藏烃类微渗漏现象的研究，主要是利用航空主题绘图扫描仪，对烃类微渗漏造成地表红层（三叠系红色砂岩）褪色及粘土矿物丰度增高现象进行探测，编制褪色岩相图，与里斯本油田有较好的对应性。同时还进行了航空光谱仪探测和地表地球化学测量，证明了褪色现象与油气烃类微渗漏的相关性，论证了遥感直接探测油气藏的可行性。

(2) 美国怀俄明州帕特里克·壮油气田是一个背斜侧翼的岩性油气藏，白垩系砂岩为储层，上伏第三系刘易斯页岩（见图7）。1980年至1984年美国宇航局和怀俄明大学在帕特

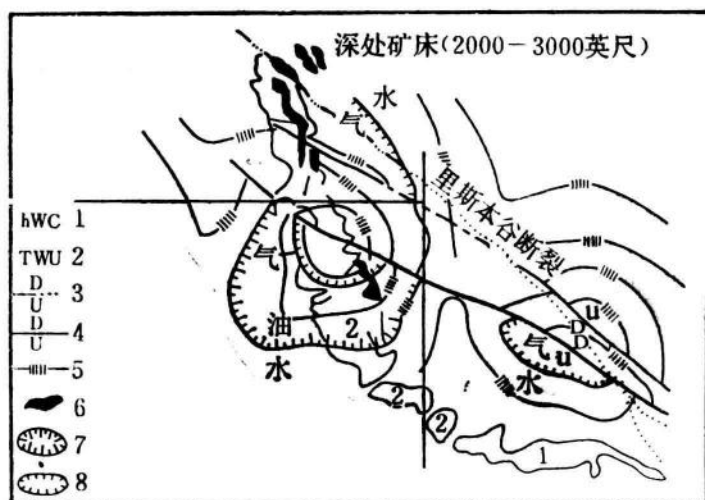


图 6 里斯本谷地背斜上温盖特褪色地层露头、钦里 (Chinle) 矿床沉积与密西西比油气聚集分布图

矿体周围实线代表近似的矿化范围

(据Conel and Niesen, 1981)

图例: 1. 温盖特退色地层; 2. 温盖特非退色地层; 3. 有位移的地表断层;
4. 密西西比岩石中的断层; 5. 密西西比纪地层顶部构造等深线; 6. 开采
的三迭铀矿床; 7. 密西西比纪-泥盆油田产区边界; 8. 密西西比纪-泥盆
纪气田产区边界。

Fig. 6 Distribution of bleached wingate outcrops, Chinle ore deposits and Mississippian oil and gas accumulations on Lisbon Valley anticline. Solid lines around ore bodies represent approximate limits of mineralization.

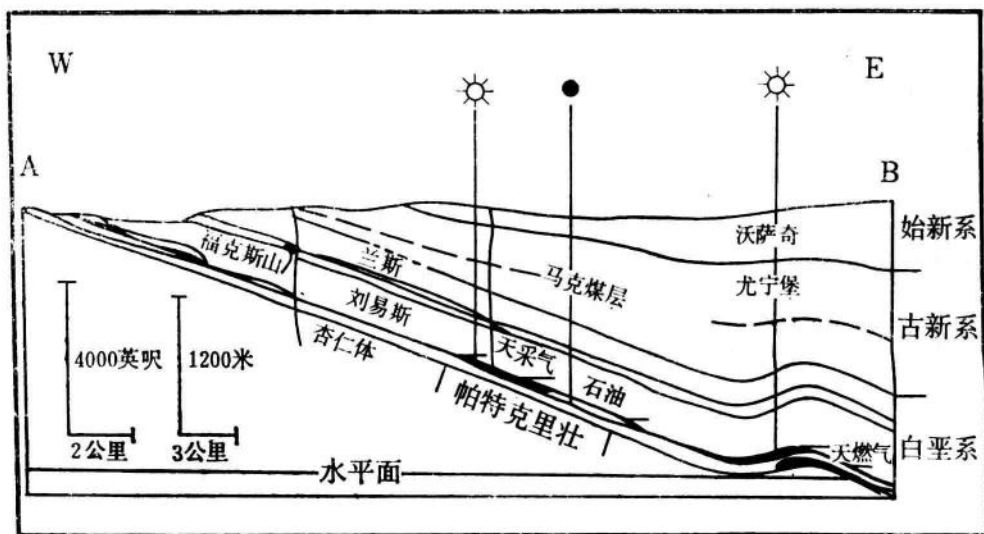


图 7 研究区的横剖面

Fig.7 Cross section of test area

里克·壮油气田进行了遥感直接探测烃类的试验研究,^[5]主要开展航空多波段扫描仪的遥感探测,进行构造解译、线性体分析、植物病变波谱解译以及地表地球化学测量和地植物调查。在地表地球化学测量中,丙烷浓度与油气藏有较好的吻合(见图8),在地植物调查中,对遥感探测出的三齿蒿病变区进行研究,证明烃类引起三齿蒿病变已有75年以上的历史,即在油气田开发之前就已存在。三齿蒿异常区正好与油气田气顶部位相吻合,也是地表烃类气体富集区,证明了地植物的烃类病变可以指示地下油气藏的烃类微渗漏。

(3) 新疆三台北油气田是一组断鼻构造油田,储油层为二叠系平地泉组。该区处于沙漠前缘,为沙化戈壁景观。笔者在中国石油天然气总公司和新疆石油管理局的支持下,1988年至1990年在三台油气区进行遥感直接勘探油气资源的方法试验。主要利用陆地卫星TM数据、航空多波段扫描仪及地表化探等技术,在三台北这一已知油气田处进行复合分析研究。航空多波段扫描仪的数据,以短波红外分光扫描仪捕获地表烃类微渗漏为主,配合烃类地表“蚀变”标志进行综合分析,得出以土壤吸附烃为主的油气遥感异常,与已知油田吻合较好(见图9),地表地球化学及地表放射性油气异常,亦都有一定的复合性。从图中明显可见航空短波红外多波段扫描数据得出的遥感油气异常与已知油田的复合性更好一些。笔者近年来在新疆地区已进行约3万平方公里的油气遥感直接勘探的方法研究,无论在什么样的地表景观区,所取得的结果基本比较稳定。

研究油气藏烃类微渗漏的遥感探测是一项十分重要的和十分诱人的课题,国内外油气遥感专家都做了不同程度的尝试和努力,并取得了较好的成效。从技术路线和研究思路分析,这一项技术包括下列三方面的理论研究:

①油气藏烃类微渗漏的理论及其普遍性;②油气藏上方地表物质的变异与烃类微渗漏的关系;③烃类“蚀变”物遥感探测的机制。

笔者在新疆的几次试验中,非常关注这些基础理论问题的研究。只有不断深化理论研究,才有可能促进技术的日臻完善。

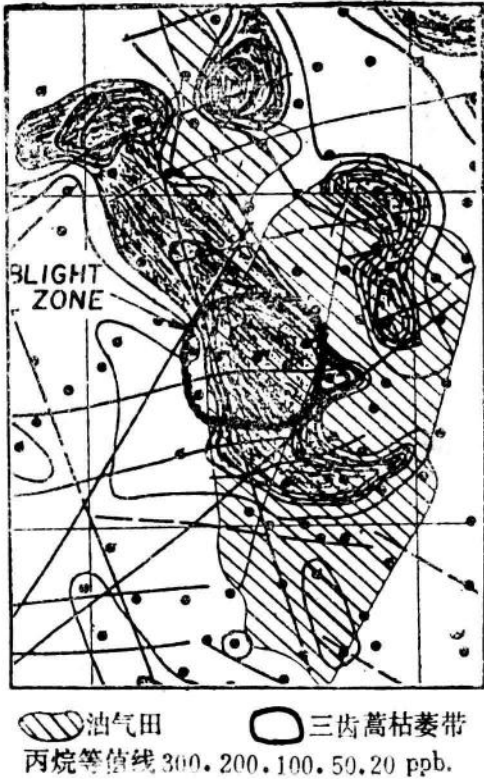


图 8 帕特里克·壮油气田与丙烷等值线和三齿蒿枯萎带的相应位置图

Fig.8 The relevant situation map of Patric draw oil field, soil gas propane isopleth and withered sage area

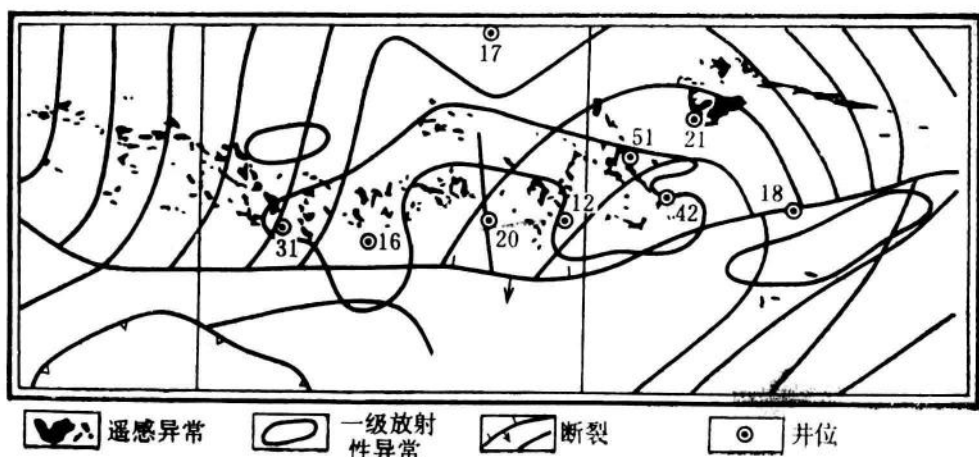


图 9 新疆北三台北油田与遥感油气异常复合图
Fig.9 Integrated map remote sensing oil and gas anomalies
and north Shantaibei oil field in Xinjiang

三、油气遥感综合勘探方法

油气藏的形成条件是十分复杂的，千变万化，利用遥感技术进行油气勘探，绝不能凭借单一的手段和单一的技术指标，必须采用综合研究的方法。基于国内外遥感成果之上，笔者提出了一套油气遥感综合勘探的技术路线模式(见图10)，采取间接和直接两种方法并举的方针，以油气遥感直接勘探方法为主线，油气遥感间接勘探方法为宏观分析对比基础。就油气遥感直接勘探方法而言亦必须采用多种指标综合分析，无论哪一项指标多么有效，都具有局限性。如在新疆准噶尔盆地进行的油气遥感方法研究中，发现地表吸附烃异常是一个较普通的标志，效果也很好，与已知油气藏(油流区块)的对应率达63.6%。而单单在东泉地区(为见油流区块)无显示，是否地表不存在烃类微渗漏的标志呢？不是。经地面化探测量，土壤吸附烃虽为低值区， ΔC 异常很高，当利用碳酸盐的特征吸收峰为主成分处理遥感数据，在该油流区块处便出现明显的遥感异常显示，而其他油气藏处则表现不明显。把这两项指标叠合起来分析，油气遥感异常与已知油气藏(油流区块)的符合率可提高到81.8%。同样，地表自然景观是多种多样的，油气藏微渗漏的烃类造成地表物质“蚀变”的类型也各不相同，为了避免片面性，只有采用多种指标的综合分析。

为了提高油气遥感异常的可信度和实用性，必需对遥感油气异常进行相关技术的地面验证。在试验中我们采用了同种技术进行地面检验，主要引入了地表地球化学，地表放射性测量和地植物学的方法。这些方法均未形成较成熟的技术，其本身与已知油气藏的符合率并不比遥感技术高。在工作中有人在地面验证与油气遥感异常不一致时，就否定油气遥感异常的可信性。孰不知地面检验技术也在发展之中，应以求同存异的精神，努力深化本学科的技术，找出共同的真谛，才能推动油气勘探新方法的发展，所以在目前阶段，采用空中、地面多种方法复合分析，是唯一提高精度的途径。

勿庸置疑，油气遥感综合勘探技术是当前非地震勘探技术中最有应用前景的方法之一，可以接受油气资源储备日益减少压力的挑战，快速有效地发现新的油气储集地区。

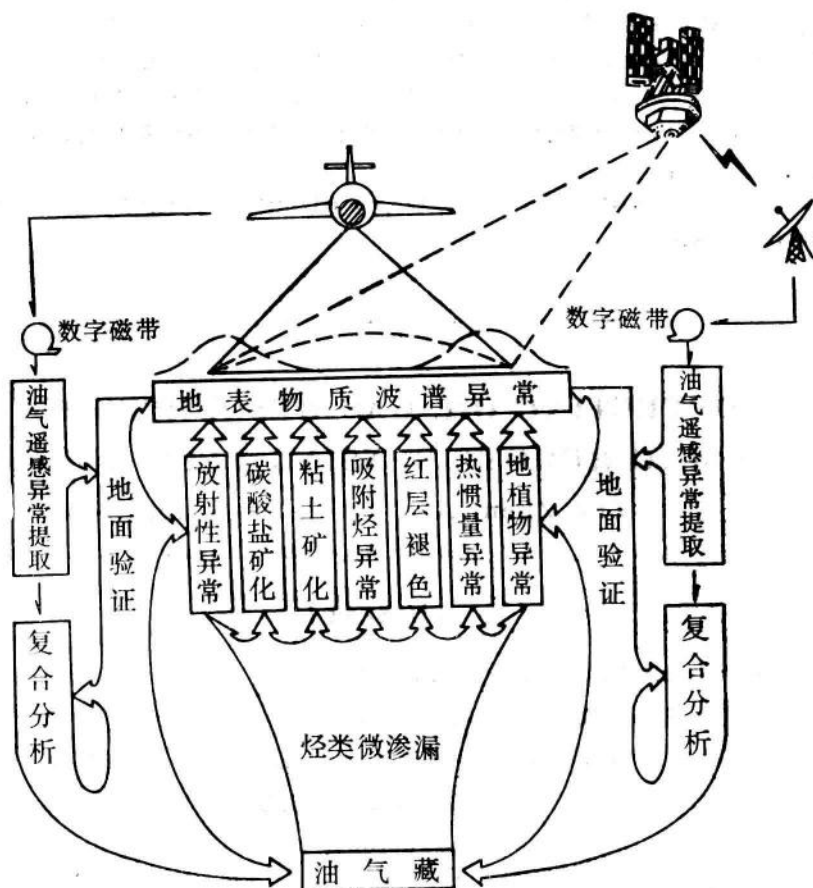


图 10 油气遥感综合勘探模式图

Fig.10 The model of integrated remote sensing to oil and gas resources exploration

油气遥感综合勘探方法是比较经济的实用技术，各国油气遥感专家都曾提出经费使用的对比分析的方案。笔者认为由于技术方法不同，所得出的成果类型和精度也不同、直接进行费用对比是很困难的，同时也不易令人信服，如果从节约时间，节省人力方面计算更是困难。假如笼统估算，据国外资料认为大约可使总体勘探经费节省20~50%，约为地震法的10%；笔者经三次大面积作业经验对油气遥感综合勘探的成本做计算：100公里长的地震测量野外经费，可以做1万平方公里面积的油气遥感勘探，从而可以具体得出其成本低廉程度的概念。

综上所述，油气遥感综合勘探技术是一种经济、快速、有效的方法，有着广阔的应用前景，其本身的理论基础研究亦有待进一步的加深。

参考文献

- [1] M. T. Halboty, International Geoscience and Remote Sensing Symposium IEEE, Washington D. C. pp. 305~311, 1981.
- [2] M. T. Halboty, Geologic Significance of Landsat Data for 15 Giant Oil and Gas Fields, "AAPG" Bulletin, Vol. 64, No. 1, pp. 8~36, 1980.
- [3] V. S. Moore and R. L. Anderson, Application of Thematic Mapper Data for Hydrocarbon