

海洋油气资源遥感探测的理论基础与技术方法

王洁^①, 徐瑞松^②, 杨世伦^①

(^① 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062;

^② 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘要: 提出寻求有效快速的技术方法勘探海洋油气资源的必要性, 总结了海洋油气藏的基本特征, 并从理论基础分析了利用遥感技术勘探的可行性, 针对这些理论基础提出一些海洋油气遥感探测方法, 指出遥感技术用于海洋油气资源探测是今后发展的一个重要方向。

关键词: 海洋油气勘探; 理论基础; 遥感技术

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2010.05.024

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2010)111-0115-04

Theoretical Foundations and Technical Methods of Marine Oil-gas Exploration Using Remote Sensing

WANG Jie^①, XU Ruifeng^②, YANG Shilun^①

(^① State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062;

^② Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract: It is necessary to search an effective and rapid technical method of prospecting marine oil and gas resources at present. In this paper, the features of marine oil-gas resources are presented and the feasibility of its exploration using remote sensing is discussed based on analyzing the theoretical foundation. Some advanced remote sensing methods are listed for prospecting marine oil-gas and the authors point out that it is an important application of remote sensing technique to marine oil and gas exploration.

Key words: marine oil-gas exploration; theoretical foundation; remote sensing technology

1 引言

随着全球经济的复苏, 石油消费需求不断增加, 国际原油价格一路走高, 为世界石油工业带来巨大的发展机遇, 同时也使全球油气勘探与开发, 面临更加严峻的挑战。在扩大产量, 增加供应的压力下, 加强油气勘探, 促进油气重大发现, 加快产能建设, 成为当前全球油气勘探开发的首要任务。近十年, 陆上油气勘探程度较高, 发现油气田规模渐小, 新增储量对世界油气储量增长的贡献降低。相比之下, 海洋油气勘探开发迅速发展, 不断获得重大发现, 发现的油气田规模大、产能高, 其油气产量占世界总产量

比例不断增加。我国有 300km² 的管辖海域, 开展海洋油气勘探已经成为我国油气资源勘探的重要内容。虽然我国海域蕴藏着丰富的油气资源, 但海域特殊的自然环境和复杂的油气储藏条件决定了海洋油气勘探开发具有高投入、高技术、高风险的特点, 在探测、钻探、开发工程、建造等方面面临诸多技术难题, 与国外海洋石油工程技术的飞速发展尚有很大距离。如何在较短的时间内, 在面积广阔的海域上对油气资源准确勘探, 如何采用先进的手段, 从而降低成本, 减少风险, 提高效率的探测复杂海洋环境中的油气藏, 成为我们面临的首要研究问题。

鉴于海洋油气资源常规方法勘探难度大、费用

收稿日期: 2009-10-31

基金项目: 国家博士后基金资助(20090450074)。

作者简介: 王洁, 华东师范大学, 博士, 从事海洋遥感研究。

E-mail: wangjiesl@126.com

高,一些发达国家 80 年代以来,积极将遥感技术引入到海洋油气资源勘探领域,并已获得了明显的成效。茫茫大海中,若能利用遥感手段初步确定出与油气藏相关的有利远景地带是非常有意义的,从而可大大缩小调查的工作量,节省调查的费用,符合当前我国的国情,而且易于实现。再者遥感技术所具有的观测范围广、信息量大、信息量化、数据更新快、多时相、多平台、历史资料丰富、可比性强等其他方法无法比拟的优点对海洋油气的调查研究显得十分突出。要想推进这一技术的发展首先要加强对海洋油气遥感探测理论基础的认知,针对这些理论基础寻求合适的遥感技术方法。

2 海洋油气遥感探测的理论基础

海洋油气资源遥感探查技术,实际上是以遥感宏观、同步的数据获取,通过计算机图像处理方法,提取出由于海底油气藏烃类渗漏引起的海洋表面异常或由于油气藏存在而产生的海底重力异常。在 GIS 的支持下,经与油气地质、地球物理及地球化学数据复合分析,圈划出异常靶区的一种综合勘探技术^[1]。所以海洋油气资源遥感探测的理论基础有两个:①海底烃类微渗漏;②由于油气藏的存在而导致的海底微重力异常。

2.1 海底烃类微渗漏

早在 1857 年在罗马尼亚进行的石油勘探中就首次发现烃类微渗漏现象,1859 年在美国北部宾夕法尼亚州泰特斯维尔就曾根据烃类微渗漏的原理发现油气化探异常进行过石油钻探,并获得成功,它标志着烃类微渗漏探测已成为油气勘探的重要方法之一。海洋油气资源的遥感探测机理,与陆上油气遥感直接勘探技术相同,仍以油气藏普遍存在的烃类微渗漏理论为依据,只是海上油气藏烃类微渗漏受其上方海洋水体影响,在海面形成的烃类渗漏标志有所不同,应用的具体遥感技术手段也因而有所不同(图 1,给出了海底油气藏烃微渗漏的模式以及烃微渗漏引起的对海洋的各种影响作用)。

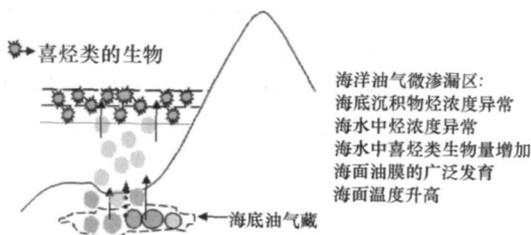


图 1 海底油气藏烃微渗漏模型及对海洋的影响

另外,海面烃类渗漏标志受海水温跃层、海流、潮汐、海况及气象条件的影响,从而使得遥感探测难度加大,油气藏存在的判断技术更为复杂。基于烃类渗漏理论进行的海洋油气资源遥感探测技术的方法有两种:

(1) 烃类渗漏形成油膜的检测

通过大量的研究工作发现,海洋油气藏的烃类渗漏可以在海面形成油膜,海水表面油膜是海水中烃类渗漏存在的又一直接显示。与航道和油船泄漏形成的油膜不同,由海底烃类渗漏形成的油膜在空间上具有一定的分布规律。对墨西哥湾海域海水表面油膜调查结果表明,表面油膜围绕着声波探测发现的气泡流(渗漏源)分布,当渗漏源不是一个而是多个时,围绕多个渗漏源分布着多套表面油膜,因此表面油膜的存在可以反映一个甚至多个渗漏源^[2~4]。所以可以依据油膜的特性及其对海洋表面环境产生的影响,运用各种不同的遥感探测技术,对海面油膜进行有效探测。

(2) 烃类渗漏引起的海表温度异常的检测

用卫星热红外增温异常探测油气藏的理论基础正是微渗漏^[5~7]。据报道,无地震发生的情况下,世界上 85% 的油气田存在油气微渗漏。在地震的影响下,渗漏的程度将大大加强^[8~14]。基于临震前油气藏区甲烷泄漏导致的海表面温度异常来探测海域油气藏是一种间接的找矿方法。

大量的调查结果显示:在中、强地震前、后 10 天左右,在未来的震中附近区域上空会出现气温上升现象,异常幅度可达 $3^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$,并且将一直持续至地震发生几天后,而且,气温异常有一定的区域分布^[15~21]。关于中、强地震临震前出现表面气温异常的形成机制,主要存在两种观点:一种观点认为,中、强地震临震前出现的地球表面增温现象是由于地球“排气”所致^[14,22]。地球内部充满了流体和气体(如 CH_4 、 CO_2 、 H_2O 等),在地球应力场作用下引起地壳变形和破裂,使得地球内部的一些气体溢出地壳而进入大气,温室效应、地电场作用下的激发极化效应致使地表温度升高。另一种观点是“半导体行为”。尽管地震从地表以下几十公里开始,电磁波不可能穿透致密的岩石传播很远,但是,2000 年, Freund 指出:压缩岩石能够导致在岩石内部产生正电荷,它们能够形成一个带电的岩石域,并以 $100\text{m/s} \sim 300\text{m/s}$ 的速度迁移至岩石表面,表面的正电荷将吸引大气微粒中的负电荷靠近地球表面, Freund & Ouzounov 认为带电粒子的合成会释放红外辐射。不

仅如此,他们利用 NASA 卫星上的 MODIS 传感器发现,2001 年 1 月 26 日印度西部的古吉拉特地区地震发生前,该地区的气温升高了 $2^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。尽管对地震临震前的增温机制看法不一,但是,在中、强地震临震前,在未来的震中附近区域会出现增温现象,已经达成共识。对于以上两种看法,作者倾向于前者。因为大量的实验和观测已经证实:震前空气中 CO_2 、 CH_4 等气体的含量确实增加了,而且, CO_2 、 CH_4 等气体含量的增加确实会使温度升高^[11-14]。

临震前,空气中的 CO_2 、 CH_4 等气体主要来自地表至 $6\text{km}\sim 7\text{km}$ 深度的上地壳层。此层不仅分布着丰富的各式气藏,如油(气)藏、 CO_2 气藏、He 气藏等,而且还分布着巨量的深部来源的气体聚集体,在海底沉积物中还有着巨大的天然气水合物藏。因此,通过观察、分析油气藏区海表面气温变化情况,并与其周围地区进行比较,可以探测海底油气藏的分布。

2.2 由于油气藏的存在而导致的海底微重力异常

海面形状由各种大气条件和地球引力所控制,地球引力主要由地球内部物质产生。海水由于受地球引力作用而调节变化,因此,通过对海平面形状的研究就可反映海底物质的分布情况。当海底物质密度均匀时,海面形状表现为与地球具有相同曲率的重力等势面,当海底物质密度较大时,重力势出现正异常,海面高度也表现出正异常;当海底物质密度较小时,重力势出现负异常,海面高度也表现出负异常。当有含油地层存在时,由于油气的密度比围岩低,从而引起重力的负异常。应用雷达测高技术可获得海面高度,它应用天底指向脉冲雷达即高度计,通过测量发射脉冲和海面回波脉冲的时间差值,得到海面平均高度。精确测定卫星轨道高度,就可求出海面相对地球理想椭圆面的高度。在反演大地水准面高度时,海表面的干扰如波浪、潮汐和海流均被消除,并对不同的水深进行调整。大地水准面以一系列的波状起伏为特征。长距离的波状起伏是由地球深部物质的分布变化产生的,而短距离的波状起伏是地壳局部的物质变化引起的,如海洋油气藏。当有含油气地层存在时,由于油气的密度比围岩低,从而引起重力的负异常。据研究表明,由高度计数据得到相对海面高度的精度为 $3\text{cm}\sim 5\text{cm}$ 。而具有开采价值的海底油气藏的存在可以造成海面高度降低约 25cm 。根据从高度计获得的海面高度,可推算出大地水准面高度和反演海面重力异常,从而为海洋油气藏探查提供间接探查标志^[23]。

3 海洋油气资源遥感检测的技术方法

一般来说,用遥感技术反演海底重力异常是探测海洋油气资源的间接方法,经常要和地球物理探测技术结合应用才能获得成功。而烃类微渗漏的遥感探测是一种勘探海洋油气藏的直接方法,这种检测方法就是通过传感器接收的海表辐射光谱信息,提取烃类渗漏产生油膜与周围海表环境相比的光谱异常、热辐射异常、荧光异常等与油气有关的信息,它通常与地球化学探测技术结合使用能达到更好的效果。

通常利用遥感技术探测海洋油气资源主要有以下几种方法:

(1) 利用紫外传感器探测

通过对原油薄油膜层与海水的光谱曲线特征进行比较,发现油膜在紫外(UV)、蓝和反射红外波段的反射率值比海水的反射率值高,而在红外波段的反射强度却比较低。因而利用 UV 图像可有效地检测到海面油膜。UV 图像是用于检测海面油膜最有效的遥感方法,应用 UV 图像能检测到薄至 0.15mm 的油膜^[24]。

(2) 利用可见光和反射红外遥感传感器探测

在可见光和反射红外区间,油膜特征的检测由两个因素决定:一个是光谱反射差异,另一个是海面油膜的表面张力。可见光和反射红外图像主要用于检测由人工泄漏而产生的较厚的海面油膜,对于海洋油气藏渗漏所产生的较薄油膜,则须通过各种图像处理方法来对油膜特征进行增强和信息提取。

(3) 利用热红外遥感传感器探测

海面油膜与洁净水体相比辐射温度较低。这主要是因为海水和油膜的热红外比辐射率之间存在着较明显的差异。实验证明,厚度大于 0.3mm 的油膜,热红外比辐射率在 $0.95\sim 0.98$ 之间,而海水的比辐射率则为 0.993 。因而当油膜与海水的环境温度相同时,它们的热红外辐射强度是不同的。即使实际温度相同,但在热红外图像上,油膜却比海水“冷”。因此在热红外图像上,油膜的灰度级要比周围的海水低。另外,在地震的时候,由于海底的油气藏的出气作用,其上方海表温度要高于无油气区域,所以通过观测分析地震时期海表温度的异常也可以探测海底油气藏的分布。

(4) 利用雷达图像探测

利用卫星的雷达测高数据,经过精确的卫星轨道纠正,电离层纠正、大气水分纠正、海底地形纠正

等一系列数据校正,反演出海洋大地水准面。根据海底油气藏的微重力特征,在有油气藏上方的海水表面呈现负值的标志,可以圈划出油气异常靶区。

(5) 利用激光荧光遥感传感器探测

激光荧光传感器是利用油膜中的某些成分吸收紫外辐射并受到激发这一特点来进行探测的,它是主动式的遥感传感器;随着这种受激作用的产生,很快发生在可见光波段内的荧光发射。并不是所有的物质都能够被激发且具有这种荧光发射特性,而海上油膜所发射出的荧光与其他自然荧光物质(如叶绿素)所发射出的荧光在光谱特征上差别很大,因此,发射荧光可被视作海上油膜独有的特性并成为探测的依据。

(6) 利用微波辐射计探测

海洋能够发射微波辐射,而被油污覆盖的海面发射微波辐射的能力要比正常海面要强,因此它在暗色的海水背景下表现为明亮的特征。水体的发射系数为 0.4,而油的发射系数为 0.8,微波辐射计能够探测到这一系数的不同,因此能够被用于海上油污染的探测。

4 结束语

如今的地球化学勘探、地球物理勘探、生物地球化学勘探都可用于海域油气的找矿工作中,但是这些方法都有其局限性,尤其是海上的调查费用较高,深水区的油气勘探又存在较大的风险,如果能利用遥感手段初步确定出与油气藏相关的有利远景地带是非常有意义的。

从上述简单的介绍可以看出,应用遥感技术探测海洋油气藏是切实可行的,当然仅凭遥感技术是比较困难的,必须结合各种实况调查资料及地质、地球物理资料、并用地球化学和生物地球化学检测加以验证。从国内外近年来的油气勘探实践来看,其他探测油气的方法与遥感结合起来常可获得成功。因此,对于海洋油气资源的探测,开展基于遥感技术的初步勘探方法的研究是十分有必要的。在当今油气田勘探难度日益增大,勘探成本日益升高的情况下,快速、经济的遥感技术是一种有前景的勘查手段,预测不久的将来,海洋油气遥感探测技术将受到更多的瞩目和重视,得到更广泛的应用与发展。

参考文献

- [1] 黄晓霞,燕守勋,朱振海.国外海洋油气资源的遥感技术探测[J].遥感技术与应用,1997,12(4):58-63.
- [2] O'Brien G W. Yampi Shelf, Browse Basin, North-West Shelf, Australia: a test-bed for constraining hydrocarbon migration and seepage rates using combinations of 2D and 3D seismic data and multiple, independent remote sensing technologies[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005(22):517-549.
- [3] De Beukelaer S M. Distinct side-scan sonar, RADARSAT SAR, and acoustic profiler signatures of gas and oil seeps on the Gulf of Mexico slope [J]. Geomarine Lett., 2003(23):177-186.
- [4] 吴传芝,赵克斌,丁相玉.近海油气藏渗漏烃的检测方法综述[J].地质科技情报,2004,23(3):61-65.
- [5] 强祖基,侯常恭.寻找油气富集带的遥感找矿新方法——卫星热红外探测技术[J].科学通报,1994,39(18):1725-1726.
- [6] 强祖基,孔令昌,郭满红,等.卫星热红外增温机制的实验研究[J].地震学报,1997,19(2):197-201.
- [7] 卢振权,强祖基,吴必豪.南海临震前卫星热红外增温异常原因初探[J].地球学报,2002,23(1):42-46.
- [8] 强祖基,侯常恭.青海共和7级地震卫星热红外临震增温前兆[J].现代地质,1992,6(3):297-300.
- [9] 强祖基,侯常恭.实验室模拟卫星热红外增温机制的研究[J].科学通报,1995,40(1):96.
- [10] 强祖基,徐秀登,侯常恭.卫星热红外异常——临震前兆[J].科学通报,1990,35(17):1324-1327.
- [11] Sugisaki, Ryuichi, Takamori Ito et al.. Gas geochemical changes at mineral springs associated with the 1995 southern Hyogo earthquake (M=7.2) [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1996(139):239-249.
- [12] Giammanco S, Gurrieri S, Valenza M. Soil CO₂ degassing along tectonic structures of Mount Etna (Sicily): the Pernicana fault[J]. Applied Geochemistry, 1997(12):429-436.
- [13] Parello F, Alessandro W D, Bonfanti P, et al.. Subsurface gases in selected sites of the Mount Etna (Sicily) [J]. Acta Vulcanol, 1995(7):35-42.
- [14] 车用太,鱼金子,刘五洲.地壳放气动态监测与张北-尚义 Ms6.2 级地震预报[J].地质论评,1999,45(1):59-65.
- [15] Mallet R. First report on the facts of earthquake phenomena [C]// Report of the XXth Meeting of the British Association for the Advancement of Science. London, 1851:1-89
- [16] Tramutoli V, Bello G D, Pergola N et al.. Robust satellite techniques for remote sensing of seismically active areas[J]. Annali di Geofisica, 2001(44):295-312.

(下转第39页)

表 1 多块匹配和整帧图像匹配的结果对比表

实际总数	多块匹配后差分				整帧图像匹配后差分			
	检测总数	漏检数	重检数	误检数	检测总数	漏检数	重检数	误检数
623	731	11	119	0	848	89	94	220

表 1 中实际总数为通过目视对 50 帧视频图像中的鸟类进行统计的结果。漏检数是没有检测到的鸟的数量,造成漏检的原因是由于相邻视频帧间部分鸟不存在运动。重检是将一只鸟检测为两只,造成重检的原因主要是视频帧图像中的部分鸟的头颈和身体部分本身存在分隔,如图 6 所示,对这些鸟的检测将作为两部分检测出来。误检数是将背景作为运动的鸟类检测出来。由表 1 可以看出,本文所用

的多块匹配方法误检数和漏检数量明显少于整帧图像匹配差分后的结果,说明本文所用的方法对背景的去除效果较好。

本文针对在鄱阳湖中拍摄的视频的特点,在常用的 SAD 方法基础上进行了改进,并对鄱阳湖拍摄的鸟类视频进行了实验。通过用本文讲述方法和常规 SAD 方法匹配后用帧间差分法的结果进行了对比,证明了本文方法具有更好的检测效果。

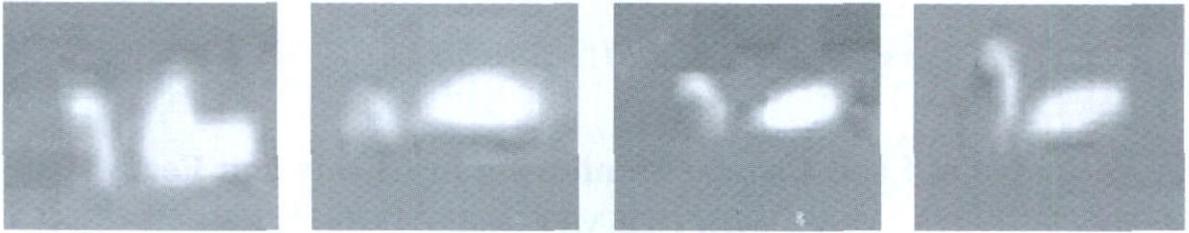


图 6 造成重检情况的鸟类图像

参考文献

- [1] 鄱阳湖: <http://baike.baidu.com/view/4173.htm>.
- [2] 王栓,艾海舟,何克忠.基于差分图像的多运动目标的检测与跟踪[J].中国图像图形学报,1999,4(6):173-178.
- [3] 陈忠碧,张启衡,彭芙蓉,等.基于块估计的运动目标检测方法[J].光电工程,2006,33(6):15-19.
- [4] 沈海浪,平西建,许志勇.一种基于背景重建的运动目标检测算法[J].信息工程大学学报,2004,5(3):69-71.
- [5] Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C] // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999(2): 248-252.
- [6] Barron J, Fleet D, Beauchemin S. Performance of optical flow techniques [J]. International Journal of Computer Vision, 1994, 12(1): 42-77.
- [7] 冈萨雷斯著,阮秋琦,阮宇智译.数字图像处理(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [8] 杨志云,郝红卫,陈骥.一种精确而快速的块匹配算法[J].计算机工程,2008,34(2):223-225.
- [9] 纪腾飞,王世刚,周茜,等.基于动静背景下的视频对象自适应提取算法[J].吉林大学学报(信息科学版),2007,25(1):73-77.

(上接第 118 页)

- [17] Tronin A A, Biagi P F, Molchanov O A, et al. Temperature variations related to earthquakes from simultaneous observation at the ground stations and by satellites in Kamchatka area [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004(29): 501-506.
- [18] Tronin A A, Hayakawa M, Molchanov O A. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China [J]. Journal of Geodynamics, 2002(33): 519-534.
- [19] Kozak L V, Dzubenko M I, Ivchenko V M. Temperature and thermosphere dynamics behavior analysis over earthquake epicenters from satellite measurements [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004(29): 507-515.
- [20] 李勇,何洋波,马丽,等.用分类回归树方法研究亮温异常变化[J].北京师范大学学报(自然科学版),2003,39(2):143-145.
- [21] 强祖基,杜乐天.地球排气与森林火灾和地震活动[J].地学前缘,2001,8(2):235-245.
- [22] 徐秀登,徐向民,马升灯,等.临震大气增温异常成因的初步认识[J].地震学报,1995,17(1):123-127.
- [23] 黄晓霞,朱振海.海洋油气资源的遥感探测技术[J].地质科技情报,1997(16):89-94.
- [24] Maurer A, Edgerton A T. Flight evaluation of U. S. coast guard airborne oil surveillance system [J]. Marine ecology Society Journal, 1976(10): 38-52.