

# 中国油气化探的近期进展和发展方向

汤玉平, 赵克斌, 吴传芝, 蒋 涛, 王国建

TANG Yu-ping, ZHAO Ke-bin, WU Chuan-zhi, JIANG Tao, WANG Guo-jian

中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151

Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production,  
SINOPEC, Wuxi 214151, Jiangsu, China

**摘要:**近 10 多年来, 中国油气化探理念发生了重要转变, 并取得了重大进展。开展了油气化探异常类型及成因机理研究, 进行了烃类垂向微渗漏模拟试验, 提出了“气相压驱裂隙渗透”理论; 在酸解烃、蚀变碳酸盐、荧光、紫外等传统方法的基础上, 开发了热释烃、高效液相色谱芳烃、物理吸附气、微生物专性烃菌等新方法; 进行了非常规油气资源, 尤其是天然气水合物、无机成因气的油气化探应用研究; 开展了复杂地表区如沙漠、戈壁、黄土塬、山区等化探技术方法的研究; 进行了雪样地球化学方法试验; 海上化探蓬勃发展, 尤其在南海、东海、黄海、渤海和台湾海峡开展了大量油气化探工作; 研发了新的数据处理和解释评价技术, 如决策分析、分形几何、人工神经网络等得到应用, 建立了中国主要含油气盆地油气化探数据库。在总结经验的基础上, 对油气化探的发展方向提出了一些见解。

**关键词:** 油气化探; 进展; 发展方向

中图分类号: P618.13; P622<sup>+.3</sup>

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2009)11-1614-06

**Tang Y P, Zhao K B, Wu C Z, Jiang T, Wang G J. Recent advances and developing trend of hydrocarbon geochemical exploration in China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(11):1614-1619**

**Abstract:** The concept of the hydrocarbon geochemical exploration technique has been significantly changed and the great advances of this technique have been taken place in recent years in China. A theory of pressure-driven gas-phase permeation along fractures has been proposed based on the research results of the genetic mechanism and the pattern of the oil and gas geochemical anomaly, as well as the simulation experiment results of the vertical hydrocarbon microseepage. Based on some traditional oil and gas geochemical exploration methods such as acid-extraction hydrocarbon, alteration carbonate, fluorescence spectrum and ultra-violet spectrum, some new methods (indicators) have been established including heat-released hydrocarbons, aromatic hydrocarbons from high-performance liquid chromatography, physically-adsorbed hydrocarbon gas, and obligate hydrocarbon-oxidizing bacteria. New application areas of the hydrocarbon geochemical exploration technique have been developed in the non-conventional oil and gas resources such as gas-hydrate and non-organic gas; under the complex geo-morphological conditions such as the desert, the gobi area, the loess covered area, and the mountain area, etc.; and especially in the offshore environment such as the South China Sea, the East China Sea, the Yellow Sea, the Bohai Sea and the Taiwan Strait. A hydrocarbon geochemical exploration database of the main petroliferous basins in China has been established, and some newly developed data-processing and interpretation and evaluation methods have been applied such as the decision-making analysis, the fractal geometry, and the artificial neural network systems. In summing up experiences, the authors put forward some ideas about the developing trend of the hydrocarbon geochemical exploration technique.

**Key words:** hydrocarbon geochemical exploration; recent advance; developing trend

油气化探诞生至今, 已有 80 年的历史。国内外的油气化探都是在艰难曲折中发展的。中国油气化

探经过引进、吸收、自主研发等实践, 虽几度兴衰, 也已形成了自己的理论体系和方法技术系列, 在全国

主要含油气盆地和海域开展了一系列研究与实践,证明利用油气化探技术可以进行盆地含油气远景评价、油气聚集体识别、圈闭评价、油气田范围确定、井中油气层预测等,为油气勘查贡献了力量。油气化探具有科研和生产的双重属性,有如下特点:①通过检测烃类异常,可直接判断油气聚集体是否存在、存在的有利部位及油气的成因;②对不同的地质-地理自然景观条件有较强的适用性;③相对于其他油气资源勘查方法,具有廉价、快速的特点;④不依赖于油气藏类型,仅与油气藏是否存在有关,对探测非构造圈闭油气藏有较好的成功率。

尽管由于多方面的原因,油气化探在油气勘查中受重视的程度时高时低,实际工作量时多时少,但其理论方法的研究和勘查效果的提高一直在稳步前进。本文就近 10 多年来中国油气化探的进展和需要进一步加强的方面作一简评。

## 1 近期的进展

### 1.1 基础理论研究取得重要突破

烃类垂向微运移并形成地表化探异常是近地表油气化探的基础理论,但是,由于烃类垂向微运移过程极其复杂,诸多因素对其产生影响,理论与实际测量结果有较大的差距,尤其是还没有较完善的正反演模型,使相当多的勘探家排斥油气化探技术,怀疑油气化探成果。因此,我们在进行油气化探基础理论研究时,要与油气运移等石油地质理论紧密结合,作为含油气系统中的油气散失部分来研究,不仅要强调油气藏中烃类组分运移的诸多控制因素,如相态、动力、运移通道等,还要注意油气垂向微渗漏的过程是地质历史中的连续事件,考虑沉积作用、构造运动和油气生成、运移、聚集、散失等过程的千差万别。

最近 10 多年,AAPG 多次组织了以油气化探为专题的国际性地学会议,1994 年组织的“烃类运移的近地表显示”<sup>[1]</sup>与 2002 年组织的“近地表烃类运移机制与渗漏率”专题会议,均产生了广泛的影响。Klusman 等通过研究前人的成果,系统地论述了烃类垂向微运移的“微气泡迁移机制”,较好地解释了烃类运移过程中的“色层效应”。在中国,对准噶尔盆地东部烃类微渗漏过程及机理进行了研究,认为烃类微渗漏普遍存在,但是含油气区与背景区渗漏烃的组分、结构存在重大的差别<sup>[2]</sup>。通过对某油田油

井、油水边缘井和外围干井的联井剖面进行地球化学分析,并与地球化学信息有机关联,发现油气藏不同部位的钻井中有不同的指标强度特征和各异的运移效应<sup>[3]</sup>。此外,对干扰因素的抑制方法进行了研究<sup>[4]</sup>。中国石化无锡石油地质研究所建立了 2 个微渗漏模拟试验箱装置<sup>[5]</sup>,进行了连续 3 年的烃类垂向微渗漏模拟试验和检测,提出了“气相压驱裂隙渗透”理论,揭示了烃类垂向微运移客观存在的事实,是油气化探基础理论研究的重大突破。

### 1.2 油气化探方法理念的转变和技术方法的改进

油气化探已由以普查为主发展到概查、普查、详查、精查 4 个级次的阶段。与这种变化相适应,近 10 几年来化探方法的研究理念产生了重要转变,由稳定地球化学场的理念发展到变化着的地球化学场的理念;由原来注重研究浓度异常扩展到研究结构异常和组构异常;由单指标、单学科的研究运用发展到多指标、多学科的联合攻关。油气化探方法技术的应用研究,由点(油气藏)到面(全国主要含油气盆地)、由浅(近地表)入深(井下),思路不断创新,形成了整套方法系列和技术规范。烃类检测技术由以研究吸附烃为主发展为吸留、吸附、游离态等综合烃类的检测,开发了热释烃、游离气、液相色谱芳烃、物理吸附气、微生物专性烃菌、微量元素、微磁等方法技术,更全面地提取了油气信息。

#### 1.2.1 一些新检测技术和化探方法的开发与应用

在酸解烃、顶空气、游离烃、水溶烃、荧光、紫外、吸附丝、三维荧光、紫外导数、甲烷碳同位素、 $\Delta C$ 、汞、氦、碘、微磁、微生物、氧化还原电位、亲油微量元素等传统方法的基础上,对酸解烃、顶空气、 $\Delta C$ 、荧光、吸附丝、三维荧光、氦等化探方法和测试装置进行了改进和完善,尤其是开发了物理吸附气、热释烃、高效液相色谱芳烃、微生物专性烃菌等方法,加快了油气化探技术的发展。

物理吸附气技术<sup>[6]</sup>是让样品在真空状态下比较完全地释放出物理作用吸附的气体,用气相色谱仪分析其中的轻烃,然后根据轻烃的含量与组分特征,追踪出轻烃供给源(即油气藏),并可进一步预测与推断出油气藏的性质和特征。在岩性变化很大的四川盆地新场气田实验剖面,地质及地表条件复杂的鄂尔多斯盆地镇原-泾川黄土塬实验区和塔里木盆地柴窝堡戈壁实验区,都有很好的油气指示意义,取得了很好的应用效果且有着广泛的应用前景。

热释烃技术已在油气化探中得到较好应用<sup>[7]</sup>。研究认为,热释烃分析方法可与其他化探分析方法互相补充,特别是对中国酸性土壤地区或硅酸盐含量较高的地区,热释烃分析方法更具有优势,具有很大的推广意义<sup>[8]</sup>。

芳烃组分高效液相色谱测试技术的研制<sup>[9-12]</sup>,对油气化探方法的发展有很大的推动作用。油气化探所涉及样品大多为近地表的土壤,源于油气藏的各种烃类组分在向地表迁移的过程中产生分馏效应,使得各类芳烃组分,特别是重芳烃组分在近地表土壤中含量甚微,难以检测。而在高效液相色谱测试中,通过选择适当的检测波长,使检测方法对芳烃组分达到最大灵敏度,突破了关键技术关键。芳烃组分的检测技术,尤其是三维荧光和同步荧光分析,可以为油气属性的判别提供依据。

进行了雪样地球化学方法试验研究,在已知油气藏上方取得了应用效果<sup>[13]</sup>。

此外,游离气技术也有了改进和完善,其中,“地气采集钻具(任春等)”于 2007 年获得了国家专利。为了进行非烃油气化探技术研究,中国石化无锡地质研究所开发了 CO<sub>2</sub>、He 等测试技术。

#### 1.2.2 微生物法油气勘探开始应用

20 世纪 30 年代前苏联开始了油气微生物技术研究,40 年代美国从地表土壤样品中分离出烃氧化菌并将其作为地下油气藏的指示菌,50 年代 Phillips 石油公司开发了一种油气微生物勘探技术,利用丁烷氧化菌的高抗丁醇的特性来探测烃微渗现象,与此同时德国亦开发了油气微生物勘探技术。目前,美国和德国油气微生物勘探技术处于领先地位<sup>[14-15]</sup>。

近 10 几年来,在中国油气微生物勘探技术得到勘探家的重视,在川西孝泉、二连盆地马尼特拗陷、蠡县斜坡西柳构造、华北油田、松滋油田、胜利油田等进行了试验研究并取得了较好的地质效果<sup>[16-18]</sup>。

国内油气微生物勘探技术目前还处于初始阶段,且现在研究多通过中外合作的方式展开,缺乏知识的自主性<sup>[19]</sup>。可喜的是,长江大学等单位已开始进行油气勘探方面的自主试验和开发并取得了一些应用效果<sup>[15-17]</sup>。

#### 1.2.3 非常规油气资源的油气化探应用取得进展

天然气水合物的组分以甲烷为主,研究认为,以烃类微渗漏理论为基础的地球化学勘查是勘探天然气水合物的有效方法<sup>[20-21]</sup>。在西沙海槽研究区和西

藏地区,利用甲烷进行的天然气水合物地球化学勘探,已取得应用效果。

对无机成因气田的勘查也进行了一定的研究。陈银节等(2007)研究了昌德、平方王等已知无机成因气藏上的浅层地球化学效应,认为对无机成因气藏有效的化探方法组合是顶空气、酸解烃和 CO<sub>2</sub>。

#### 1.3 对复杂地表区油气化探进行了探索性的研究

沙漠覆盖区由于受沙漠流动性的影响,常规的油气化探技术的实用性和有效性会不同程度地受到限制。为探索在沙漠区可行的地球化学勘探方法,中国石油东方地球物理公司、中国石化无锡地质研究所、合肥化探研究所等单位在塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地等沙漠(化)区开展了油气化探试验和应用研究工作,进行了一系列地球化学方法实验,除常规的地球化学检测方法外,还开展了游离烃方法的实验研究,以检验在沙漠区能否采集到合格的游离烃样品,以及该方法能否对地下油气源有指示作用,得出了肯定的结论。例如,在塔里木盆地某构造区<sup>[22]</sup>、内蒙古沙漠覆盖区<sup>[23]</sup>开展的游离烃技术试验显示,游离烃技术可有效地避免沙漠流动性等因素的影响,并具有一系列其他特点,可有效地应用于沙漠覆盖区构造圈闭的含油气性评价,为钻探工程提供地球化学依据,从而提高勘探成功率。研究表明:在沙漠覆盖区,油气地球化学勘探是一种有效的方法;游离烃和顶空气能很好地检测到油气微渗漏的信息,对下伏油气藏有着很好的指示作用,是进行油气勘探的主要地球化学方法;其他烃类指标及荧光光谱可以作为辅助指标,增加油气信息检测的可信度。

对于戈壁区的油气化探,选择新疆准噶尔盆地柴窝堡地区作为试验区<sup>[24]</sup>,针对该区的已知油气井(柴参 1 井)区,进行不同化探方法(热释烃、物理吸附气、吸附丝等)的试验性研究。从各种方法的样品采集技术、测试技术入手,对已知油气井区的化探指标进行可比性和有效性研究。研究认为:①物理吸附气(或游离烃)和热释烃方法可作为戈壁区的主要化探方法;②戈壁区样品的采集深度确定为 1.0m;③物理吸附气和吸附丝方法受地表地貌和岩性的影响较小,而热释烃法受影响相对较大,在异常解释时,要对这些因素给予充分的考虑。中国地质大学在准噶尔盆地北缘、桂林矿产地质研究院在柴达木盆地也开展了戈壁区油气化探工作。

黄土区油气化探以鄂尔多斯盆地南部的资料为基础,总结了化探方法和指标组合特点,讨论了近地表干扰因素对指标浓度的影响、校正措施和异常的确定方法,并通过实例分析详细介绍了油气化探技术在黄土区的应用效果<sup>[25]</sup>。

针对山区的油气化探,桂林矿产地质研究院、无锡石油地质研究所等单位开展了研究工作,得到了一些认识。例如,荣发准等(2007)在镇巴地区的研究认为:油气化探在山区应采用树枝布点法。

合肥石油化探研究所通过《西部复杂地表区油气地球化学勘探技术研究》项目(2005),已初步建立了复杂地表区(沙漠、戈壁、黄土覆盖区)油气化探技术系列。

#### 1.4 海上油气化探蓬勃发展

几十年来,中国在东海、南海、黄海、渤海及台湾海峡进行了不同程度的油气地球化学研究,其中,东海和南海是中国海上油气化探工作进行得最为集中的地区<sup>[26~28]</sup>。近几年来,青岛海洋地质研究所和广州海洋地质调查局等单位在南海、黄海等海域开展了大量油气化探工作,中国地质大学和中国海洋大学等进行了大量样品采集和测试研究,海上化探呈现蓬勃发展的态势。为了适应海上化探的要求,研发了大量海上样品测试技术<sup>[29~36]</sup>,取得了一系列成果。

在海底沉积物现场采集和分析技术方面,比较引人注目的当数中国研制成功的便携式高灵敏度气态烃现场测定装置,解决了海底沉积物岩心样品船上现场检测的问题。该装置可在船上现场测定沉积物样中的微量甲烷、乙烷、丙烷和氢气的含量,其重现性、稳定性和寿命均符合相关规范的要求。该装置及配套的数据快速处理解释系统,多次海上试验(渤海、南海西沙海槽区)证实效果良好<sup>[29~30]</sup>。

进行了海底沉积物高分子量烃,尤其是某些单环芳烃化合物(BTEX:苯、甲苯、乙苯和二甲苯)和多环芳烃化合物(PAH),在海洋油气化探中的应用研究<sup>[31~33]</sup>。用于海底沉积物高分子量烃测量的主要方法有:全萃取气相色谱、全扫描荧光和气相色谱/质谱。全萃取气相色谱能够给出总萃取有机物、不溶复杂化合物、总链烃的量,指示热成因和新近有机物的贡献;全扫描荧光能够给出最大荧光强度、最大发射波长、最大激发波长、R 值、指纹图形状等的信息,不仅能够指示热成因烃和新近有机物的贡献,而且能够指示油气属性和含油气性;气相色谱/质谱或

气相色谱/质谱/质谱被用于测量海底沉积物中生物标志物的组成特征,识别海底烃类渗漏的存在,给出渗漏烃源区的源岩特征、热成熟度、成烃时代、油质等信息<sup>[34]</sup>。利用吹扫捕集-气相色谱法分析了海水和沉积物样品中的 BTEX<sup>[35]</sup>。近期研究发现,利用激光单分子检测海底浅层沉积物中的 BTEX 可获得较好的效果<sup>[36]</sup>,首先通过对南海莺歌海盆地试验区的实测资料进行分析,初步探讨了 BTEX 异常与油气藏的对应关系,并以渤海渤中凹陷试验区的实测资料为例,进行了 BTEX 异常的 BP 神经网络油气综合评价预测。

#### 1.5 建立了中国主要含油气盆地油气化探数据库

2000 年建立了中国主要含油气盆地油气化探数据库<sup>[37]</sup>,收集并录入了几十年来中国主要含油气盆地或地区的油气化探数据及相关信息,为系统研究中国区域油气地球化学场的特征提供了数据资源和基础。对于中国油气化探数据管理规范化、新的处理技术和成图技术的计算机化具有一定的指导意义。该油气化探数据库的建立使油气化探信息资源共享成为可能,并为全国性的宏观决策提供了地球化学方面的依据。

该系统包括油气化探数据库和地理底图库,可以从库中随时提取所需的有用信息或数据。该系统具有数据库管理、数据处理、图形检索、成图等功能模块,各功能模块与库之间实现了无缝联结,可以在本系统内完成油气化探数据库登录、管理、浏览、检索、报表、数据预处理、指标优选、单指标异常分析、综合异常分析、化探成果图件的绘制、地理信息的叠加,以及利用 MAPGIS 技术对图形进行编辑等,给油气化探技术人员提供了方便。

油气化探数据资源的丰富程度和占有率是油气化探基础理论研究、二次开发、全国性宏观对比分析、大中型盆地油气化探编图、对老区重新认识、横向对比的基础资料和必备条件。

#### 1.6 数据处理与解释评价技术的发展

近 10 几年来,化探异常的确定方法已由单纯的浓度异常转向了结构异常和组构异常,更好地揭示了油气藏与化探异常之间的对应关系。如熵估值技术、MVI 技术等,它们主要依托指标数据结构的变化性和相关性提取异常,与指标本身的浓度或强度的高低无关,可有效地抑制干扰,提取矿致异常。组构异常的提取开拓了油气化探异常评价的新思路,

具有特别重要的指导意义。

油气化探背景与异常的分离技术发展很快,由原来的稳定的平面背景场发展为有变化的曲面背景场,采用滤波、趋势等方法分离背景并提取异常,取得了较好的应用效果。

对中国主要含油气盆地区域地球化学场的特征进行了分析研究,提出了中国区域地球化学场划分的准则<sup>[38]</sup>,为不同地区采用相应的油气化探异常提取、解释、评价方法提供了地球化学场方面的依据。

研发了新的数据处理和解释评价技术,如决策分析、熵估值、分形几何、人工神经网络等。例如,BP人工神经网络应用研究<sup>[39]</sup>,以误差反向传播学习算法为模型,以地表油气化探组合指标为导师训练信号,在导师信号引导下进行网络联想记忆自学习,训练成熟后,对预测区进行含油气远景圈闭评价。在胜利油田某凹陷进行了实际应用研究,取得了较好的圈闭识别效果。

研制了一些油气化探特殊处理软件,如D函数、吉布斯函数、综合评价指数、熵估值、决策分析等<sup>[40]</sup>。实现了油气化探异常叠合和综合异常(尤其是环异常)圈定的计算机化。

采用基于地理信息系统(GIS)的数据仓库技术<sup>[41]</sup>,以激光单分子海洋油气化探数据处理与评价作为数据仓库主题,实现了激光单分子海洋油气化探数据的可视化处理。将可视化处理分为4个步骤:数据预处理、异常背景分析、异常分析和异常综合评价,研制开发了相应的可视化软件模块。通过对渤海湾盆地某测区实测的甲苯化探数据的处理,验证了所开发技术的实用性。

## 2 发展方向

中国的油气化探事业,需要紧随技术进步,紧跟国家需求,在油气勘探家、地质家和决策者的大力支持和共同努力下不断发展。

(1)进一步探索基础理论研究,尤其是烃类在向上运移过程中的组成变化和矿化蚀变,这也是研究油气化探异常成因机理的重要途径。

(2)进一步开展非常规油气资源,如天然气水合物、无机气、煤层气、页岩气等化探技术的试验研究,并取得进展。

(3)重视老区油气滚动拓边与开发的化探应用,尤其要重视化探精查技术的发展。

(4)进一步探索和研究化探与地质、地震、电法、磁法、重力的综合研究。

(5)更加深入地研究和完善海上、复杂地表区的油气化探技术,尤其是相应的样品采集和评价技术。

(6)加强新测试技术的开发,如微量元素、不同相态烃、综合烃类检测和预处理技术的开发;重视微生物技术,尤其是分子生物学快速检测技术的研制。

(7)进一步加强油气化探的现场化、快速评价技术。

(8)开展油气化探数据库开发与应用研究,探索区域性或全国性油气地球化学调查。

## 参考文献

- [1] 吴传芝,吴学明,姚俊梅,等.AAPG Hedberg 研讨会论文摘要集(1994年)[J].油气化探,1995,(2).
- [2] 彭希龄,盛志伟.准噶尔盆地东部烃类微渗漏研究[M].北京:海洋出版社,1993.
- [3] 汤玉平,刘运黎.烃类垂向微运移的地球化学效应及其机理讨论[J].石油实验地质,2002,(5):431-436.
- [4] 贾国相.地表油气化探的影响因素及消除方法[J].物探与化探,2004,28(3):218-221.
- [5] 汤玉平,王国建.烃类垂向微渗漏理论研究现状及发展趋势[J].物探与化探,2008,(5):465-469.
- [6] 李广之,程同锦,汤玉平,等.物理吸附气的油气指示意义[J].石油实验地质,2006,28(5):484-488.
- [7] 冯晓双,李贵友.热释烃技术在油气化探中的应用[J].石油实验地质,1999,21(1):91-94.
- [8] 王周秀,徐成法,姚秀斌.化探热释烃方法机理及影响因素[J].物探与化探,2003,27(1):63-68.
- [9] 胡斌,袁子艳,邓天龙.高效液相色谱法分析芳烃时检测波长的选择[J].化学分析计量,2006,15(3):53-54.
- [10] 宋继梅,唐碧莲.原油样品的三维荧光光谱特征研究[J].光谱学与光谱分析,2000,20(1):115-118.
- [11] 邓平,王国建.超临界流体萃取在油气地球化学勘探中的应用[J].石油实验地质,2005,27(6):627-634.
- [12] 宋继梅,李武,胡斌.油气化探中芳烃油气性的辨识[J].物探与化探,2006,30(1):45-47.
- [13] 汤玉平,宁丽荣,蒋涛,等.积雪油气化探方法试验研究[J].石油实验地质,2009,31(3):287-291.
- [14] 吴传芝.微生物油气勘探技术及其应用[J].天然气地球科学,2005,16(2):82-87.
- [15] 梅博文,袁志华.地质微生物技术在油气勘探开发中的应用[J].天然气地球科学,2004,15(2):156-161.
- [16] 袁志华,梅博文,余跃惠,等.二连盆地马尼特凹陷天然气微生物勘探[J].天然气地球科学,2004,15(2):162-165.
- [17] 袁志华,梅博文,余跃惠,等.石油微生物勘探技术在西柳地区的应用[J].石油学报,2002,23(6):29-31.
- [18] 邓平,王国建,刘运黎.微生物油气勘探技术的试验研究[J].天然气

工业,2003,23(1):18-21.

[19]王冰冰,李治平.油气微生物勘探技术的应用历史及前景分析[J].内蒙古石油化工,2008,34(4):24-28.

[20]牛滨华,孙春岩.勘查地球化学方法适用于勘查天然气水合物的依据[J].现代地质,2005,(1):61-66

[21]孙春岩,牛滨华.西沙海槽研究区天然气水合物地球化学勘探及成藏模式研究[J].地学前缘,2005,(1):243-251

[22]李志明,宋喜林,张长江.游离烃技术在沙漠覆盖区构造含油气评价中的应用[J].物探与化探,2002,(5):344-346.

[23]夏响华,王国建,任春.内蒙古沙漠覆盖区油气化探应用实例[J].天然气工业,2008,(8):25-27

[24]陈浙春,汤玉平.戈壁区油气化探方法有效指标参数研究[J].石油实验地质,2008,(5):532-536.

[25]孙长青,荣发准,陈听华,等.油气化探技术在黄土覆盖区油气勘探中的应用[J].安徽地质,2001,11(3):220-224.

[26]吴传芝,程同锦,朱怀平,等.海洋油气化探研究进展[J].中国海上油气,2006,18(1):22-27.

[27]段新胜,鄢泰宁,陈劲,等.发展我国海底取样技术的几点设想[J].地质与勘探,2003,39(2):69-73.

[28]张建培,王飞.海洋油气地球化学勘探——以东海某研究区为例[J].石油实验地质,1997,19(4):332-336.

[29]孙春岩,王维熙,牛滨华,等.气态烃快速探测系统在海洋油气勘探中的应用[J].地质与勘探,2003,39(6):49-52.

[30]王维熙,孙春岩,杨慧,等.海洋油气勘探中高灵敏度气态烃现场探测系统的研制[J].中国地质大学学报(地球科学版),2004,29(2):163-168.

[31]孙春岩,肖桂义,牛滨华,等.芳香族分子示踪在海洋油气勘探中的开发和应用[J].地学前缘,2004,11(4):601-607.

[32]贺行良,夏宁,刘昌岭.海上油气化探沉积物样品测试技术[J].物探与化探,2008,32(4):404-407.

[33]李双林,董贺平,赵青芳.我国海洋油气地球化学探测形势与展望[J].海洋地质动态,2007,23(11):42-47.

[34]李双林,赵青芳,肖菲.高分子量烃在海洋油气地球化学探测中的应用[J].海洋地质动态,2007,23(11):35-41.

[35]傅剑华,艾星涛,刘海生,等.吹扫捕集-气相色谱分析海水和沉积物中的苯、甲苯、乙苯及二甲苯[J].分析化学研究简报,2005,33(12):1753-1756.

[36]初晓璐,杨作升.激光单分子海洋油气化探综合评价技术研究[D].中国海洋大学博士论文,2007.

[37]汤玉平,任春,李沙园,等.中国主要含油气盆地油气化探数据库及应用[J].物探化探计算技术,2000,22(4):295-301.

[38]汤玉平,丁相玉,吴向华,等.中国主要含油气盆地区域地球化学场参数特征及其成因研究[J].石油勘探与开发,2001,26(3):1-4.

[39]陈守余,周梅春. BP 人工神经网络油气圈闭评价[J].物探化探计算技术,1998,20(3):231-234.

[40]汤玉平,赵跃伟,刘运黎.油气化探数据处理系统[J].物探化探计算技术,2004,26(1):43-46.

[41]李谷祺,杨作升,刘展,等.基于 GIS 数据仓库的激光单分子海洋油气化探数据可视化处理[J].海洋科学,2007,31(2):13-16.